



**Adaptasi Penilaian Kerentanan Sederhana/*Simplified*  
*Vulnerability Assesment* (SVA) Bangunan Terhadap Gempa  
Dalam Proses Desain Arsitektur di Indonesia  
(Studi Kasus : Kota Semarang)**

**DISERTASI**

Oleh :

**Livian Teddy  
Nim : 21020114510005**

**PROGRAM DOKTOR ILMU ARSITEKTUR DAN PERKOTAAN  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG**

**2018**

**Adaptasi Penilaian Kerentanan Sederhana/*Simplified*  
Vulnerability Assesment (SVA) Bangunan Terhadap Gempa  
Dalam Proses Disain Arsitektur di Indonesia  
(Studi Kasus : Kota Semarang)**

Disertasi Diajukan  
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Doktor  
Di Bidang Ilmu Arsitektur dan Perkotaan  
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Oleh :  
**Livian Teddy, ST. MT**  
**Nim : 21020114510005**

Telah dipertahankan pada Sidang Terbuka Disertasi  
Promosi Doktor  
Tanggal 22 November 2018

Prof. Dr.–Ing. Ir. Gagoek Hardiman	Promotor	.....
Dr. Ir. Nuroji, MS	Co-promotor I	.....
Prof. Dr. Ir. Sri Tudjono, MS	Co-promotor II	.....
Prof.Dr.Ir. Sugeng Triyadi S, MT	Penguji Eksternal	.....
Ir. M. Agung Wibowo, MM.,M.Sc, Ph.D	Penguji Internal	.....
Dr. Ir. Agung Budi Sardjono, MT	Penguji Internal	.....
Dr. Ir. Titien Woro Murtini, MSA	Penguji Internal	.....

Mengetahui,  
Ketua Program Doktor Ilmu Arsitektur dan Perkotaan  
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Dr. Ir. Atiek Suprapti, MT  
NIP. 196509131998032001

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Diponegoro

Ir. M. Agung Wibowo, MM.,M.Sc, Ph.D  
NIP. 196702081994031005



## ABSTRAK

Indonesia rawan gempa, banyak bangunan ‘*engineered*’ mengalami kerusakan dan roboh yang menimbulkan banyak korban jiwa akibat salah perencanaan. Perlu kerjasama yang baik antara arsitek dan ahli struktur untuk mencegah hal tersebut dan terciptanya *earthquake architecture*. Dengan cara, dalam proses disain arsitek dapat mengidentifikasi dan mengevaluasi kerentanan bangunannya terhadap gempa. Sayangnya belum adanya metode evaluasinya sehingga alternatifnya mengadaptasi metode SVA (*Simplified Vulnerability Assesment*) yaitu analisis *engineering* terbatas berdasarkan informasi dari gambar arsitektur dan struktur pada bangunan eksisting. *The Japan Building Disaster Prevention Association* (JBDPA) dan Matsutaro Seki mengembangkan SVA. Seki memodifikasi SVA JBDPA dan menyesuaikannya dengan peraturan gempa internasional. Tetapi kedua metode SVA tersebut digunakan untuk mengevaluasi kerentanan bangunan yang sudah ada terhadap gempa untuk tujuan *retrofit* sedangkan metode SVA untuk tujuan disain arsitektur sampai dengan saat ini belum ada. **Novelty dari penelitian ini** yaitu adaptasi metode SVA *retrofit* JBDPA dan Seki menjadi SVA Disain Arsitektur yang sesuai kondisi konstruksi di Indonesia. Sebagai upaya menjawab **tujuan penelitian ini** yaitu membangun prosedur atau metode yang dapat digunakan oleh arsitek dalam mengevaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa dalam proses disain arsitektur yang sesuai dengan kondisi Indonesia. Setelah didapatkan metode SVA Disain Arsitektur hasil adaptasi ini divalidasi dan digunakan untuk mengevaluasi kerentanan bangunan yang ada di Semarang sebagai salah satu kota paling rawan gempa di Pulau Jawa. Hasilnya kelemahan disainnya terhadap gempa dibuat *guidance*-nya.

Pada penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan **metode studi kasus**. Metode SVA Disain Arsitektur di uji validitas dan reliabilitasnya dengan uji non parametrik Wilcoxon *Two-Related-Samples* dan korelasi Spearman dengan 10 hasil analisa *pushover* dari peneliti lain. Dari 2 uji tersebut hasilnya cukup baik memprediksi potensi kerentanan bangunan terhadap gempa dalam proses disain arsitektur dan konsistensi hasil analisisnya dianggap cukup baik.

SVA JBDPA dan Seki pada prinsipnya struktur aman jika indeks kapasitas gempa struktur  $\geq$  indeks beban gempa. Adaptasi SVA *retrofit* JBDPA dan Seki menjadi SVA Disain Arsitektur pada penelitian ini bahwasanya indeks kapasitas gempa struktur adalah indeks gempa dasar struktur dan indeks ireguleritas. Variabel-variabel dalam indeks gempa dasar struktur diadopsi dari teori “Evaluasi Cepat Sistem Rangka Pemikul Momen Tahan Gempa Sesuai SNI 03-2847-2002 dan SNI 03-1726-2002” Indeks gempa dasar struktur terdiri dari variabel-variabel indeks dimensi kolom dan/atau dinding geser, indeks kekakuan kolom dan/atau dinding geser, indeks kolom kuat/balok lemah, indeks redundansi, dan indeks daktilitas struktur. Sedangkan variabel-variabel indeks ireguleritas diadopsi dari teori “Horizontal and Vertical Structural Irregularities” dari FEMA 451B. Untuk indeks beban gempa adalah perkalian indeks respon seismik dan faktor keutamaan fungsi bangunan. Dari hasil adaptasi metode SVA *retrofit* JBDPA dan Seki menjadi SVA Disain Arsitektur sebagaimana dijelaskan diatas didapatkan **2 temuan dalam penelitian ini** yaitu temuan metode evaluasi kerentanan bangunan struktur rangka pemikul momen terhadap gempa dan temuan metode evaluasi kerentanan bangunan struktur rangka pemikul momen & dinding geser terhadap gempa. Setelah metode SVA Disain Arsitektur didapatkan dan di validasi uji Wilcoxon *Two-Related-Samples* dengan 10 hasil analisa *pushover* dengan hasil yang baik. **Kelebihan SVA Disain Arsitektur** memiliki kemampuan yang mendekati analisa kerentanan *Pushover* dibandingkan

RVS (*Rapid Visual Assesment*), SVA JBDPA dan SVA Seki. Terutama kriteria evaluasi struktur tahan gempa yang lebih lengkap dalam kaitan dengan *preliminary design* struktur bangunan dan kriteria evaluasi konfigurasi geometri reguler/ireguler dalam kaitan dengan eksplorasi disain bentuk bangunan.

Kemudian SVA Disain Arsitektur diaplikasikan untuk mengevaluasi kerentanan 8 rencana bangunan yang ada di Semarang yang berasal dari Izin Mendirikan Bangunan (IMB) Dinas Tata Ruang Kota Semarang. Kota Semarang dipilih karena termasuk 3 kota paling rawan gempa di P. Jawa. Dari hasil evaluasi didapatkan kelemahan-kelemahan disain dan dari kelemahan-kelemahan tersebut dibuat **guidance-nya** yaitu proses *form finding* yg lebih tahan gempa; pengaturan dimensi balok/kolom dan kelangsingan kolom berdasarkan konsep *strong column-weak beam*; mengatasi kolom pendek dengan pengaturan jendela dan mengatasi kolom langsing dengan pengaturan di struktur bangunan; pengaturan letak dinding geser pada bentuk reguler berdasarkan pertimbangan kekakuan struktur, mekanikal elektrik dan sirkulasi; mengatasi ireguleritas sudut dalam dengan dilatasi dan pengaturan dinding geser; mengatasi ireguleritas berat dan geometri vertikal dengan pengaturan *preliminary* dimensi balok kantilever; mengatasi *weak story* dengan pengaturan dimensi dinding geser secara gradual atau merata; dan mengatasi *soft story* akibat perbedaan kepadatan dinding bata. Dari proses *guidance* didapatkan **2 temuan tambahan** yaitu persamaan penentuan dimensi kolom yang lebar dan tingginya berbeda berdasarkan rasio modul struktur dan penentuan dimensi kolom yang lebar dan tingginya yang sama berdasarkan grafik hubungan dimensi kolom dan dimensi struktur. Kemudian kedua temuan di uji validitasnya dengan uji Wilcoxon *Two-Independent-Samples* dengan hasil kedua temuan validitasnya cukup baik dan dari uji reliabilitas korelasi *Spearman* kedua temuan tersebut hasil konsistensinya juga sangat baik.

**Kata kunci** : gempa, SVA Disain Arsitektur, *Simplified Vulnerability Assesment*

## ABSTRACT

Indonesia is prone to earthquakes, many 'engineered' buildings have been damaged and collapsed causing many casualties due to misplaced planning. Therefore, a good cooperation between architects and structural experts is urgently necessary to prevent this problem. Hence, the earthquake architecture is created. By means of the design process, architects can identify and evaluate the vulnerability of building to the earthquake. Unfortunately, there is no evaluation method; thus, the alternative is adapting SVA (Simplified Vulnerability Assessment) method which is a limited engineering analysis based on information from architectural drawing and structure in existing building. The Japan Building Disaster Prevention Association (JBDPA) and Matsutaro Seki developed SVA. Seki modifies SVA of JBDPA and adapts it to international earthquake regulations. However, both SVA methods are used to evaluate the vulnerability of existing building to the earthquake for retrofit purposes. Meanwhile, the SVA method for architectural design purposes up to now does not yet exist. **Novelty** from this research is the adaptation of retrofit method SVA of JBDPA and Seki become SVA Architectural Design which will be suitable for the construction condition in Indonesia. In an effort to answer the **purpose** of this research is to build procedures or methods that can be used by architects in evaluating the vulnerability of building to the earthquake in the process of architectural design in accordance with the condition of Indonesia. Having obtained the SVA method of Architectural Design, the results of this adaptation are validated and used to evaluate the vulnerability of existing buildings in Semarang as one of the most earthquake-prone cities in Java Island. The result is the weakness of the design of the earthquake made its guidance.

This research is a quantitative research with **case study method**. The validity and reliability test of the SVA Method of Architectural Design was conducted with non-parametric test of Wilcoxon Two-Related-Samples and Spearman correlation with 10 pushover analysis results from other researchers. From these two tests, the results are good enough to predict the potential vulnerability of building to the earthquake in the process of architectural design and consistency of the results of the analysis is considered quite good.

SVA JBDPA and Seki, in the principle, is a safe structure if the earthquake the seismic structure index  $\geq$  the seismic demand index. The adaptation of retrofit SVA of JBDPA and Seki into SVA of Architectural Design in this research is that the seismic structure index is basic seismic structure index and irregularity index. Variables in the basic seismic structure index were adopted from the theory of "Rapid Evaluation of Earthquake Resistant Frame Resistance System according to SNI 03-2847-2002 and SNI 03-1726-2002". The basic seismic structure index consists of variables : column and/or shear wall dimension index, column and/or shear wall stiffness index, strong column/weak beam index, redundancy index, and structure ductility index. The irregularity index variables were adopted from the "Horizontal and Vertical Structural Irregularities" theory of FEMA 451B. Meanwhile, the seismic demand index is the multiplication of seismic response index and the main function factor of the building. From the result of adaptation of retrofit method SVA of JBDPA and Seki to be SVA of Architectural Design as described above, **2 findings** were obtained in this research that is the method of vulnerability evaluation of structure of moment frame for earthquake and the method of vulnerability evaluation of structure of moment frame and shear wall for earthquake. After the SVA Design Architecture method was obtained and validated Wilcoxon *Two-Related-Samples* Test with 10 results of

pushover analysis with a good result. **The advantage** of SVA Architectural Design is that it has the ability to approach pushover vulnerability analysis compared to RVS (Rapid Visual Assessment), retrofit SVA of JBDPA and SVA Seki. Particularly, it has the more complete quarantine earthquake resistance evaluation criteria in relation to the preliminary design of building structures and the evaluation criteria for regular/irregular geometry in relation to the exploration of the building form design.

Furthermore, the SVA Architectural Design was applied to evaluate the vulnerability of 8 existing building plans in Semarang coming from the Building Permit of Spatial Planning Department of Semarang City. Semarang City was chosen because it is one of the 3 most earthquake-prone cities in Java Island. From the evaluation, the results obtained are the design weaknesses, and from the weaknesses, **the guidance** was made with the process of finding more earthquake resistant form; setting the dimensions of the beam/column and the severity of the columns based on the strong column-weak beam concept; overcoming short columns with window settings and overcoming slender columns with settings in building structures; setting the location of the shear wall in the regular form based on the rigidity of structure, mechanical electrical and circulation; overcoming the irregularity of re-entrant corners with dilatation and shear wall arrangements; overcoming weight/mass irregularity and vertical geometry with preliminary arrangement of cantilever beam dimensions; overcoming the weak story by setting the gradual or evenly shifting shear wall dimensions; and overcoming the soft story due to differences in the density of brick walls. From the guidance process, there are other findings, namely the formula for determining the width and height of different column dimensions based on the ratio of the module structure and the determination of the same column width and height dimensions based on the graph of column dimension relationships and structural modules. Then the two findings were tested for validity by the Wilcoxon Two-Independent-Samples test with the results of the two findings of good validity and from the Spearman correlation reliability test both of these findings are also very good consistency.

**Keywords:** *earthquake, SVA Architectural Design, Simplified Vulnerability Assessment.*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirrabbi'l Aalamiin, merupakan anugerah yang sangat besar dari Allah Subhanahu wa ta'ala, penulis dapat menyelesaikan disertasi pada Program Doktor Ilmu Arsitektur dan Perkotaan Universitas Diponegoro, dengan judul : “Adaptasi Penilaian Kerentanan Sederhana/*Simplified Vulnerability Assesment (SVA)* Bangunan Terhadap Gempa Dalam Proses Disain Arsitektur di Indonesia (Studi Kasus : Kota Semarang)”. Keberhasilan dalam menyelesaikan disertasi ini, tentunya atas dukungan dari berbagai pihak yang telah membantu dan senantiasa menyemangati. Pada kesempatan yang baik ini, perkenankanlah kami mengucapkan terima kasih yang sedalamdalamnya kepada yang terhormat :

1. Prof.Dr.-Ing.Ir.Gagoek Hardiman selaku Promotor, Dr. Ir. Nuroji, MS selaku Co-Promotor I, Prof. Dr. Ir. Sri Tudjono, MS selaku Co-Promotor II yang telah banyak memberikan bimbingan, pencerahan dan telah membukakan pengetahuan yang luas bagi penulis.
2. Prof.Dr.Ir. Sugeng Triyadi S. MT selaku penguji eksternal.
3. Dr.Ir.Atiok Suprapti,MT, Dr. Ir. Agung Budi Sardjono, MT, Dr. Ir. Titien Woro Murtini, MSA, selaku penguji Internal.
4. Dinas Tata Ruang Kota Semarang, yang telah memberikan kesempatan untuk mengumpulkan data-data IMB.
5. Tim Ahli Bangunan (TABG) Kota Semarang periode 2016 & 2017 telah memberikan banyak pencerahan.
6. Dr. Siti Aisyah, ST. MT, yang telah memberi pencerahan tentang analisa pushover.
7. Dr.Ir.Atiok Suprapti,MT selaku Ketua dan Dr.Siti Rukayah,ST.,MT selaku Sekretaris
8. Program Doktor Ilmu Arsitektur dan Perkotaan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
9. Ir.M.Agung Wibowo,MM.,M.Sc,Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
10. Prof. Dr. Ir. Subriyer Nasir, MS selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
11. Ir. Tuter Lusetyowati, MT selaku Koordinator Program Studi Arsitektur Universitas Sriwijaya.
12. Teman-teman PDTAP Fakultas Teknik Universitas Diponegoro khususnya angkatan X, tahun 2014 : Pak Djatmiko, Bro Imam, Bro Burhan, Bro Erwin, Bro Ibrahim, Cik Ely, Bu Zul serta rekan-rekan di PDTAP UNDIP : Mbak Avi, Bu Elysa, Bu Isti, Bu Susi, Mbak Santi, Bu Santy, Bro Herwin, Bro Rahmat, Bro Marwoto, Bro Zaflis, Bro Hikman, Bro Ishak yang telah memberikan motivasi dalam menyelesaikan studi ini.
13. Teman-teman dosen Program Studi Arsitektur Universitas Sriwijaya yang banyak memberikan motivasi dan semangat untuk menyelesaikan studi ini.
14. Keluarga yang selalu memberikan doa untuk menyelesaikan studi ini khususnya istriku Triana Mayasari, dan anaku tersayang Naufal, Tania dan Tasya yang selalu menyemangati hidup saya.
15. Orang tua saya tercinta : Bapak Rusmadi. R (Alm) dan Ibu Rohma F yang selalu menginspirasi dan berdoa untuk saya sehingga selalu semangat berjuang dalam menyelesaikan studi dan berjuang dalam menghadapi ujian dalam kehidupan.
16. Pegawai administrasi Prodi Ilmu Arsitektur dan Perkotaan UNDIP: Mas Imam, Maskuron, Mas Wid & Mbak Rini dan pegawai administrasi Prodi T. Arsitektur,

Fakultas Teknik dan Universitas Sriwijaya yang banyak membantu dalam administrasi selama studi ini.

17. Semua pihak yang tidak bisa kami sebutkan satu persatu yang telah membantu proses studi hingga selesainya disertasi ini.

Akhir kata, semoga disertasi ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu arsitektur khususnya pada ranah bangunan tahan gempa yang terkait dengan bentuk dan struktur, serta mampu menginspirasi para arsitek dalam mendisain bangunan di zona rawan gempa. Kritik dan saran membangun sangat kami harapkan untuk penyempurnaan disertasi ini.

Semarang, Oktober 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR GAMBAR .....	xxx
DAFTAR ISTILAH .....	xlvii
DAFTAR NOTASI .....	lvi
<b>BAB I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. LATAR BELAKANG .....	1
1.1.1. INDONESIA RAWAN GEMPA .....	1
1.1.2. PROSES PERENCANAAN BANGUNAN .....	2
1.1.3. KESENJANGAN TEORITIK DAN EMPIRIK.....	4
1.2. MASALAH PENELITIAN.....	5
1.3. PERUMUSAN MASALAH .....	9
1.4. HIPOTESIS PENELITIAN .....	9
1.5. TUJUAN PENELITIAN.....	10
1.6. RUANG LINGKUP DAN BATASAN PENELITIAN.....	11
1.7. NOVELTY, RUMPUN KEILMUAN DAN <i>STATE OF THE ART</i> .....	12
1.7.1. KEASLIAN PENELITIAN DAN KEBARUAN ( <i>NOVELTY</i> ) PENELITIAN .....	12
1.7.2. RUMPUN KEILMUAN .....	16
1.7.3. <i>STATE OF THE ART</i> .....	17
1.8. SISTEMATIKA PENULISAN .....	19
<b>BAB II. TINJAUAN LITERATUR .....</b>	<b>21</b>
2.1. <i>EARTHQUAKE ARCHITECTURE</i> .....	21
2.1.1. GETARAN GEMPA DI TANAH.....	21
2.1.2. RESPON STRUKTURAL TERHADAP GEMPA .....	22
2.1.3. EFEK GEMPA PADA BANGUNAN.....	23

2.1.4.	KONSEP BANGUNAN TAHAN GEMPA .....	30
2.1.5.	DESAIN ARSITEKTUR DAN PROSES DESAIN ARSITEKTUR.....	37
2.1.6.	TREN DISAIN ARSITEKTUR DI INDONESIA YANG MEMPENGARUHI KERENTANAN BANGUNAN TERHADAP GEMPA .....	38
2.2.	SISTEM STRUKTUR PENAHAN BEBAN LATERAL .....	46
2.2.1.	STRUKTUR RANGKA RIGID.....	47
2.2.2.	STRUKTUR DUAL .....	47
2.2.3.	STRUKTUR DENGAN DINDING BATA PENGISI .....	48
2.2.4.	SISTEM STRUKTUR LANTAI.....	49
2.3.	KOEFISIEN BEBAN SEISMIK, ANALISA STATIK EKUIVALEN DAN KERENTANAN BANGUNAN TERHADAP GEMPA .....	50
2.3.1.	KOEFISIEN BEBAN SEISMIK DAN ANALISA STATIK EKUIVALEN ..	50
2.3.2.	KERENTANAN STRUKTUR TERHADAP GEMPA.....	56
2.3.3.	<i>SIMPLIFIED VULNERABILITY ASSESMENT</i> (SVA) JBDPA.....	57
2.3.4.	<i>SIMPLIFIED VULNERABILITY ASSESMENT</i> (SVA) MATSUTARO SEKI	67
2.4.	<i>PRELIMINARY DESIGN</i> STRUKTUR DAN KONFIGURASI GEOMETRI BANGUNAN .....	69
2.4.1.	<i>PRELIMINARY DESIGN</i> STRUKTUR .....	69
2.4.2.	KONFIGURASI GEOMETRI BANGUNAN .....	72
2.5.	RINGKASAN .....	89
<b>BAB III. METODE PENELITIAN .....</b>		<b>91</b>
3.1.	FILOSOFI PENELITIAN.....	92
3.2.	JENIS RANCANGAN PENELITIAN .....	92
3.3.	VARIABEL PENELITIAN .....	94
3.4.	SAMPEL DAN MODEL PENELITIAN.....	102
3.4.1.	SAMPEL PENELITIAN.....	102
3.4.2.	MODEL PENELITIAN .....	104
3.5.	LOKASI PENELITIAN.....	105
3.6.	METODE PENGUMPULAN DATA .....	109
3.6.1.	DATA KUANTITATIF.....	109
3.6.2.	DATA KUALITATIF.....	110
3.7.	METODE ANALISIS DATA RENCANA BANGUNAN .....	110
3.7.1.	STRUKTUR RANGKA PEMIKUL MOMEN.....	110
3.7.2.	STRUKTUR RANGKA PEMIKUL MOMEN DAN DINDING GESER....	111



3.8.	METODE VALIDITAS PENELITIAN .....	112
3.8.1.	VALIDITAS EMPIRIK STRUKTUR RANGKA PEMIKUL MOMEN DAN STRUKTUR RANGKA PEMIKUL MOMEN & DINDING GESER .....	112
3.8.2.	VALIDITAS PENDUKUNG REKOMENDASI TABG KOTA SEMARANG .....	113
3.9.	METODE RELIABILITAS PENELITIAN.....	114
<b>BAB IV. TINJAUAN LOKASI PENELITIAN.....</b>		<b>116</b>
4.1.	ARSITEKTUR KOTA - KOTA DI INDONESIA DAN KOTA SEMARANG .....	116
4.1.1.	PERKEMBANGAN ARSITEKTUR KOTA DI INDONESIA.....	116
4.1.2.	ARSITEKTUR KOTA SEMARANG .....	118
4.2.	KONDISI KEGEMPAAN KOTA-KOTA DI INDONESIA.....	119
4.3.	KONDISI KEGEMPAAN KOTA SEMARANG, IJIN MENDIRIKAN BANGUNAN (IMB) DAN TIM AHLI BANGUNAN GEDUNG (TABG) KOTA SEMARANG .....	120
4.3.1.	KONDISI KEGEMPAAN KOTA SEMARANG .....	120
4.3.2.	IJIN MENDIRIKAN BANGUNAN (IMB) DAN TIM AHLI BANGUNAN GEDUNG (TABG) KOTA SEMARANG.....	123
<b>BAB V. ADAPTASI SVA <i>RETROFIT</i> JBDPA DAN SEKI MENJADI SVA DISAIN ARSITEKTUR .....</b>		<b>125</b>
5.1.	ADAPTASI INDEKS KAPASITAS STRUKTUR ( $I_s$ ) .....	125
5.1.1.	INDEKS GEMPA DASAR STRUKTUR RANGKA PEMIKUL MOMEN ( $E_0$ ) .....	126
5.1.2.	INDEKS GEMPA DASAR STRUKTUR RANGKA PEMIKUL MOMEN DAN DINDING GESER ( $E_0$ ).....	128
5.2.	ADAPTASI INDEKS IREGULERITAS ( $S_D$ ).....	131
5.2.1.	KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN TORSI .....	132
5.2.2.	KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN SUDUT DALAM.....	133
5.2.3.	KONFIGURASI DISKONTINUITAS DIAFRAGMA.....	133
5.2.4.	KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN SISTEM NONPARALEL .....	134
5.2.5.	KONFIGURASI SOFT STORY / TINGKAT LUNAK.....	134
5.2.6.	KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN BERAT/MASSA.....	135
5.2.7.	KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN GEOMETRI VERTIKAL .....	135

5.2.8.	KONFIGURASI DISKONTINUITAS KETIDAKBERATURAN KUAT LATERAL TINGKAT / <i>WEAK STORY</i> .....	136
5.2.9.	... KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN PERGESERAN MELINTANG TERHADAP BIDANG & DISKONTINUITAS ARAH BIDANG.....	136
5.3.	ADAPTASI INDEKS BEBAN LATERAL GEMPA ( $I_{50}$ ).....	138
5.4.	ADAPTASI INDEKS KAPASITAS GEMPA STRUKTUR VS INDEKS BEBAN LATERAL GEMPA .....	139
5.5.	TEMUAN ADAPTASI SVA RETROFIT JBDPA DAN SEKI MENJADI SVA DISAIN ARSITEKTUR.....	141
<b>BAB VI. VERIFIKASI.....</b>		<b>144</b>
6.1.	VALIDITAS SVA DISAIN ARSITEKTUR DENGAN ANALISA <i>PUSHOVER</i> .....	144
6.1.1.	PERBANDINGAN SVA DISAIN ARSITEKTUR DAN ANALISA <i>PUSHOVER</i> .....	144
6.1.2.	UJI BEDA SVA DISAIN ARSITEKTUR DAN ANALISA <i>PUSHOVER</i> ..	162
6.2.	VALIDITAS SVA DISAIN ARSITEKTUR BERDASARKAN REKOMENDASI TIM AHLI BANGUNAN GEDUNG (TABG) KOTA SEMARANG.....	164
6.3.	RELIABILITAS .....	175
<b>BAB VII. APLIKASI LAPANGAN.....</b>		<b>177</b>
7.1.	SVA GEDUNG KULIAH 8 LANTAI .....	177
7.2.	SVA GEDUNG RAWAT INAP & OK RUMAH SAKIT 5 LANTAI DI JL. CIPTO SEMARANG.....	204
7.3.	SVA MENARA BRI 9 LANTAI DI JL. A. YANI SEMARANG.....	227
7.4.	SVA GEDUNG RADIOTERAPY DAN ONKOLOGI (R&O) 6 LANTAI RSUP DR. KARIADI DI JL. KARIADI SEMARANG.....	254
7.5.	SVA GEDUNG RS. GIGI DAN MULUT RSI. SULTAN AGUNG 6 LANTAI DI JL. KALIGAWA SEMARANG .....	277
7.6.	SVA GEDUNG LABORATORIUM FAKULTAS KEDOKTERAN UNISSULA 8 LANTAI DI JL. KALIGAWA SEMARANG .....	302
7.7.	SVA GEDUNG HOTEL ARTOTEL 12 LANTAI DI JL. GAJAHMADA SEMARANG.....	327
7.8.	.SVA GEDUNG TOKO T 6 LANTAI DI JL. MT. HARYONO SEMARANG .....	354

7.9.	..RESUME HASIL ANALISA SVA DISAIN ARSITEKTUR PADA DISAIN BANGUNAN DI KOTA SEMARANG .....	378
<b>BAB VIII. GUIDANCE DISAIN ARSITEKTUR BANGUNAN TAHAN GEMPA</b>		
.....		<b>379</b>
8.1.	<i>GUIDANCE</i> DISAIN ARSITEKTUR BANGUNAN TAHAN GEMPA DENGAN KONFIGURASI GEOMETRI BENTUK-BENTUK UMUM ...	379
8.2.	GUIDANCE DISAIN ARSITEKTUR BANGUNAN TAHAN GEMPA DI ZONA <i>MODERATELY HIGH</i> (MH) – <i>HIGH</i> (H).....	404
8.2.1.	KOLOM DAN BALOK .....	405
8.2.2.	<i>STRONG COLUMN/WEAK BEAM</i> (SCWB) .....	411
8.2.3.	DINDING GESER .....	415
8.2.4.	KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN SUDUT DALAM.....	423
8.2.5.	KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN DISKONTINUITAS DIFRAGMA.....	426
8.2.6.	KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN BERAT/MASSA DAN KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN GEOMETRI VERTIKAL.....	428
8.2.7.	KONFIGURASI DISKONTINUITAS KETIDAKBERATURAN KUAT LATERAL TINGKAT / WEAK STORY.....	430
8.2.8.	KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN PERGESERAN MELINTANG TERHADAP BIDANG & DISKONTINUITAS ARAH BIDANG .....	431
8.3.	VALIDITAS DAN REABILITAS TEMUAN TAMBAHAN .....	432
8.3.1.	VALIDITAS.....	432
8.3.2.	RELIABILITAS .....	435
<b>BAB IX. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI.....</b>		<b>436</b>
9.1.	RINGKASAN TEMUAN .....	436
9.2.	KONTRIBUSI TEORITIK DAN PRAKTIS .....	437
9.2.1.	KONTRIBUSI TEORITIK.....	437
9.2.2.	KONTRIBUSI PRAKTIS.....	438
9.3.	REKOMENDASI .....	439
9.3.1.	REKOMENDASI TEORITIK .....	439
9.3.2.	REKOMENDASI PRAKTIS .....	439
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>441</b>

## DAFTAR TABEL

• Tabel 1.1. Data gempa di Indonesia .....	2
• Tabel 2.1. Klasifikasi Situs (sumber : SNI 1726-2012) .....	51
• Tabel 2.2. Faktor Amplikasi Untuk Periode Pendek (Fa) .....	52
• Tabel 2.3. Faktor Amplikasi Untuk Periode 1 detik (Fv) .....	52
• Tabel 2.4. Faktor Keutamaan Bangunan (I) .....	54
• Tabel 2.5. Kriteria disain simpangan global/global drift pada setiap level kinerja ATC 58 .....	56
• Tabel 2.6. Klasifikasi elemen vertikal .....	59
• Tabel 2.7 Indeks daktilitas .....	59
• Tabel 2.8. Klasifikasi item dan nilai G serta R .....	62
• Tabel 2.9. Nilai $\alpha$ yang disarankan .....	65
• Tabel 2.10. Nilai Indeks Waktu .....	66
• Tabel 2.11. Kekuatan dan daktilitas kolom .....	68
• Tabel 2.12. Faktor R, Cd dan $\Omega_0$ untuk sistem penahan gaya gempa untuk Rangka Beton Betulang Penahan Momen berdasarkan IBC 2000 ..	68
• Tabel 2.13. Faktor keutamaan gempa berdasarkan IBC 2000 .....	69
• Tabel 2.14. Urutan kapasitas final dari simplikasi evaluasi struktural .....	69
• Tabel 2.15. Mode oskilasi: Pertama 6 mode termasuk oskilasi yang tidak diharapkan, pada bangunan berbentuk kompleks .....	74
• Tabel 2.16. Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain .....	82
• Tabel 3.1. Operasionalisasi variabel : jenis variabel, variabel dan sub variabel .....	99
• Tabel 3.2. Operasionalisasi variabel : sub variabel, indikator dan tolok ukur .....	99
• Tabel 3.3. Variasi zona gempa, kelas situs, fungsi dan tinggi bangunan lokasi penelitian untuk validasi model matematis SVA Disain Arsitektur .....	106
• Tabel 3.4. Variasi zona gempa, kelas situs, fungsi dan tinggi bangunan rencana di Kota Semarang untuk contoh aplikasi metode SVA Disain	

Arsitektur.....	108
• Tabel 4.1. Rentang nilai percepatan respon spektral (MCER) di masing-masing zona gempa .....	119
• Tabel 5.1. Indeks gabungan rata-rata tegangan geser dan indeks daktilitas elemen struktur .....	130
• Tabel 5.2. Faktor R dan $\Omega_0$ untuk sistem penahan gaya gempa menurut SNI 1726:2012 .....	131
• Tabel 5.3. Tingkatan kualitas rasio eksentrisitas ( $e_r$ ) konfigurasi ketidakberaturan torsi .....	132
• Tabel 5.4. Tingkatan kualitas rasio dimensi bangunan ( $b_r$ ) konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam .....	133
• Tabel 5.5. Tingkatan kualitas rasio lubang bukaan ( $e_v$ ) konfigurasi diskontinuitas diafragma .....	134
• Tabel 5.6. Tingkatan kualitas rasio jumlah elemen balok & kolom ( $j_r$ ) konfigurasi ketidakberaturan sistem nonparalel .....	134
• Tabel 5.7. Tingkatan kualitas rasio tinggi kolom ( $l_r$ ) konfigurasi tingkat lunak .....	135
• Tabel 5.8. Tingkatan kualitas rasio massa lantai ( $m_r$ ) konfigurasi ketidakberaturan berat/massa .....	135
• Tabel 5.9. Tingkatan kualitas rasio kekakuan terhadap massa ( $n_r$ ) konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal .....	136
• Tabel 5.10. Tingkatan kualitas rasio luas kolom ( $a_r$ ) konfigurasi tingkat lemah .....	136
• Tabel 5.11. Tingkatan kualitas rasio kepadatan dinding ( $d_r$ ) konfigurasi ketidakberaturan bidang .....	137
• Tabel 5.12. Rekapitulasi indeks ireguleritas ( $S_D$ ) .....	137
• Tabel 5.13. Rekomendasi evaluasi kerentanan seismik berdasarkan performa seismik .....	140
• Tabel 5.14. Temuan metode evaluasi kerentanan bangunan struktur rangka pemikul momen, dan struktur rangka pemikul momen & dinding geser terhadap gempa .....	141
• Tabel 5.15. Perbandingan kriteria evaluasi kerentanan bangunan	

terhadap dengan metode RVS, SVA JBDPA, SVA Seki, SVA Disain Arsitektur dan Analisa Pushover.....	142
• Tabel 6.1. Data wilayah gempa model .....	144
• Tabel 6.2. Data struktur gedung model .....	145
• Tabel 6.3. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) model a .....	145
• Tabel 6.4. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi model a .....	145
• Tabel 6.5. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) serta perbandingan SVA dan analisis pushover model a .....	146
• Tabel 6.6. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) model b .....	147
• Tabel 6.7. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi model b .....	147
• Tabel 6.8. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) serta perbandingan SVA dan analisis pushover model b .....	147
• Tabel 6.9. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) model c .....	148
• Tabel 6.10. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi model c .....	149
• Tabel 6.11. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) serta perbandingan SVA dan analisis pushover model c .....	149
• Tabel 6.12. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) model d .....	150
• Tabel 6.13. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi model d .....	150
• Tabel 6.14. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) serta perbandingan SVA dan analisis pushover model d .....	150
• Tabel 6.15. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) model e .....	151
• Tabel 6.16. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi model e .....	152
• Tabel 6.17. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) serta perbandingan SVA dan analisis pushover model e .....	152
• Tabel 6.18. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) model f .....	153
• Tabel 6.19. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi model f .....	153
• Tabel 6.20. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan	

Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) serta perbandingan SVA dan analisis pushover model f .....	153
• Tabel 6.21. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) model g .....	155
• Tabel 6.22. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi model g .....	155
• Tabel 6.23. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) serta perbandingan SVA dan analisis pushover model g .....	155
• Tabel 6.24. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) model h .....	156
• Tabel 6.25. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi model h .....	157
• Tabel 6.26. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) serta perbandingan SVA dan analisis pushover model h .....	157
• Tabel 6.27. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) model i .....	158
• Tabel 6.28. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi model i .....	158
• Tabel 6.29. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) serta perbandingan SVA dan analisis pushover model i .....	159
• Tabel 6.30. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) model j .....	160
• Tabel 6.31. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi model j .....	160
• Tabel 6.32. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) serta perbandingan SVA dan analisis pushover model j .....	160
• Tabel 6.33. Perbandingan SVA Disain Arsitektur dan analisa pushover pada model –a s/d e .....	162
• Tabel 6.34. Perbandingan SVA Disain Arsitektur dan analisa pushover model –f s/d j .....	162
• Tabel 6.35. Tabulasi <i>drift ratio</i> SVA Disain Arsitektur dan analisa pushover model –a s/d j .....	163
• Tabel 6.36. Hasil uji normalitas data Kolmogorov-Smirnov .....	164
• Tabel 6.37. Hasil uji Wilcoxon <i>Two-Related-Samples</i> .....	164
• Tabel 6.38. Rekomendasi dari ahli arsitektur dan ahli struktur TABG Kota Semarang .....	165

• Tabel 6.39. Potensi kerusakan bangunan survei dengan asumsi disain sistem penahan gaya gempa SRPMK dan SDSK .....	169
• Tabel 6.40. Perubahan potensi kerusakan bangunan survei jika pelaksanaanya tidak mengikuti persyaratan disain dan aturan detailing SRPMK dan SDSK misalnya SRPMB &SDSB .....	169
• Tabel 6.41. Rasio luas total kolom disain ( $\sum A_c$ )/luas total kolom minimal ( $\sum A_{c \text{ min}}$ ) bangunan yang disurvei .....	172
• Tabel 6.42. Rasio luas total kolom dan dinding geser disain ( $\sum A_{csw}$ )/luas total kolom dan dinding geser minimum ( $\sum A_{csw \text{ min}}$ ) bangunan yang disurvei .....	173
• Tabel 6.43. Indeks <i>strong column-weak beam</i> ( $I_{SCWB}$ ) bangunan yang disurvei .....	174
• Tabel 6.44. Indeks konfigurasi ketidakberaturan vertikal/ <i>setback</i> bangunan yang disurvei .....	175
• Tabel 6.45. Hasil korelasi Spearman antara SVA Disain Arsitektur dan analisa pushover model –a s/d j .....	176
• Tabel 7.1. Rasio bentang struktur dan tinggi balok, dan rasio tinggi balok dan lebar balok .....	186
• Tabel 7.2. Dimensi minimal kolom .....	186
• Tabel 7.3. <i>Strong column</i> dan <i>weak beam</i> .....	186
• Tabel 7.4. Indeks kolom ( $I_{C-i}$ ) berdasarkan jumlah jenis kolom ( $h_o/D$ ) dan indeks jenis kolom .....	189
• Tabel 7.5. Indeks dinding geser $I_{SW-i}$ berdasarkan jumlah jenis dinding geser dan indeks dinding geser .....	189
• Tabel 7.6. Jumlah luas dimensi kolom disain ( $\sum A_c$ ) dan jumlah luas dimensi kolom minimum ( $\sum A_{c \text{ min}}$ ) .....	190
• Tabel 7.7. Jumlah luas dimensi dinding geser disain ( $\sum A_{sw}$ ) dan jumlah luas dimensi dinding geser minimum ( $\sum A_{sw \text{ min}}$ ) .....	190
• Tabel 7.8. Kombinasi ( $\sum A_c$ )/ $\sum A_{c \text{ min}}$ dan ( $\sum A_{sw}$ )/( $\sum A_{sw \text{ min}}$ ) .....	190
• Tabel 7.9. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung kuliah Jl. Gajah Semarang .....	191
• Tabel 7.10. Eksentrisitas ( $e_{x-i}$ dan $e_{y-i}$ ) antara pusat massa dan pusat	



kekakuan lantai pada gedung kuliah 8 lantai .....	192
• Tabel 7.11. Rasio luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan ( $I_{p-i}$ ) dan luas lantai bangunan utama ( $I_{u-i}$ ) pada gedung kuliah 8 lantai .....	193
• Tabel 7.12. Rasio lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll ( $I_{b-i}$ ) dan luas lantai ( $I_{l-i}$ ) pada gedung kuliah 8 lantai .....	194
• Tabel 7.13. Rasio tinggi kolom satu tingkat dari tingkat $-i$ ( $I_{i+1}$ ) dan tinggi kolom ditingkat $-i$ ( $I_i$ ) pada gedung kuliah 8 lantai .....	196
• Tabel 7.14. Rasio massa lantai ditingkat $-i$ ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat $-i$ ( $m_{i+1}$ ) pada gedung kuliah 8 lantai .....	197
• Tabel 7.15. Rasio panjang bangunan ( $L_i$ ) dan panjang <i>setback</i> bangunan ( $A_i$ ) pada tingkat yang ditinjau pada gedung kuliah 8 lantai .....	198
• Tabel 7.16. Rasio luas kolom tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$ dan luas kolom dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$ pada gedung kuliah 8 lantai .....	199
• Tabel 7.17. Rasio kepadatan dinding bata ( $d_{r-i}$ ) pada gedung kuliah 8 lantai.....	201
• Tabel 7.18. Konfigurasi ketidakberaturan vertikal dan horisontal ( $S_{D-i}$ ) gedung kuliah 8 lantai .....	203
• Tabel 7.19. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) pada gedung kuliah 8 lantai .....	204
• Tabel 7.20. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) pada gedung kuliah 8 lantai .....	204
• Tabel 7.21. Rasio bentang struktur dan tinggi balok, dan rasio tinggi balok dan lebar balok .....	212
• Tabel 7.22. Dimensi minimal kolom .....	212
• Tabel 7.23. <i>Strong column</i> dan <i>weak beam</i> .....	213
• Tabel 7.24. Indeks kolom ( $I_{C-i}$ ) berdasarkan jumlah jenis kolom ( $h_o/D$ ) dan indeks jenis kolom .....	215
• Tabel 7.25. Indeks dinding geser $I_{SW-i}$ berdasarkan jumlah jenis dinding geser dan indeks dinding geser .....	215
• Tabel 7.26. Jumlah luas dimensi kolom disain ( $\sum Ac$ ) dan jumlah luas dimensi kolom minimum ( $\sum Ac_{min}$ ) .....	215
• Tabel 7.27. Jumlah luas dimensi dinding geser disain ( $\sum Asw$ ) dan	

jumlah luas dimensi dinding geser minimum ( $\sum A_{sw \text{ min}}$ ) .....	215
• Tabel 7.28. Kombinasi ( $\sum A_c$ )/ $\sum A_c \text{ min}$ dan ( $\sum A_{sw}$ )/( $\sum A_{sw \text{ min}}$ ) .....	215
• Tabel 7.29. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung rawat inap Jl. Dr. Cipto Semarang .....	217
• Tabel 7.30. Eksentrisitas ( $e_{x-i}$ dan $e_{y-i}$ ) antara pusat massa dan pusat kekakuan lantai pada gedung rawat inap dan OK 5 lantai .....	217
• Tabel 7.31. Rasio luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan ( $I_{p-i}$ ) dan luas lantai bangunan utama ( $I_{u-i}$ ) pada gedung rawat inap dan OK 5 lantai .....	218
• Tabel 7.32. Rasio lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll ( $I_{b-i}$ ) dan luas lantai ( $I_{l-i}$ ) pada gedung rawat inap dan OK 5 lantai .....	219
• Tabel 7.33. Rasio tinggi kolom satu tingkat dari tingkat $-i$ ( $I_{i+1}$ ) dan tinggi kolom ditingkat $-i$ ( $I_i$ ) pada gedung rawat inap dan OK 5 lantai....	220
• Tabel 7.34. Rasio massa lantai ditingkat $-i$ ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat $-i$ ( $m_{i+1}$ ) pada gedung rawat inap dan OK 5 lantai .....	221
• Tabel 7.35. Rasio panjang bangunan ( $L_i$ ) dan panjang <i>setback</i> bangunan ( $A_i$ ) pada tingkat yang ditinjau pada gedung rawat inap 5 lantai .....	222
• Tabel 7.36. Rasio luas kolom tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$ dan luas kolom dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$ pada gedung rawat inap dan OK 5 lantai	222
• Tabel 7.37. Rasio luas dinding geser tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$ dan luas dinding geser dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$ pada gedung rawat inap dan OK 5 lantai .....	223
• Tabel 7.38. Rasio kepadatan dinding bata ( $d_{r-i}$ ) pada gedung rawat inap dan OK 5 .....	223
• Tabel 7.39. Konfigurasi ketidakberaturan vertikal dan horisontal ( $S_{D-i}$ ) gedung rawat inap & OK 5 lantai (sumber : analisa) .....	226
• Tabel 7.40. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) pada gedung rawat inap & OK 5 lantai .....	226
• Tabel 7.41. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) pada gedung rawat inap & OK 5 lantai.....	226
• Tabel 7.42. Rasio bentang struktur dan tinggi balok, dan rasio tinggi	

balok dan lebar balok .....	234
• Tabel 7.43. Dimensi minimal kolom .....	234
• Tabel 7.44. <i>Strong column</i> dan <i>weak beam</i> .....	235
• Tabel 7.45. Indeks kolom ( $I_{C-i}$ ) berdasarkan jumlah jenis kolom ( $h_o/D$ ) dan indeks jenis kolom .....	237
• Tabel 7.46. Indeks dinding geser $I_{SW-i}$ berdasarkan jumlah jenis dinding geser dan indeks dinding geser .....	237
• Tabel 7.47. Jumlah luas dimensi kolom disain ( $\sum A_c$ ) dan jumlah luas dimensi kolom minimum ( $\sum A_c \text{ min}$ ) .....	238
• Tabel 7.48. Jumlah luas dimensi dinding geser disain ( $\sum A_{sw}$ ) dan jumlah luas dimensi dinding geser minimum .....	238
• Tabel 7.49. Kombinasi $(\sum A_c)/\sum A_c \text{ min}$ dan $(\sum A_{sw})/(\sum A_{sw} \text{ min})$ .....	238
• Tabel 7.50. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung menara BRI Jl. A. Yani Semarang .....	239
• Tabel 7.51. Eksentrisitas ( $e_{x-i}$ dan $e_{y-i}$ ) antara pusat massa dan pusat kekakuan lantai pada gedung menara BRI .....	240
• Tabel 7.52. Rasio luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan ( $I_{p-i}$ ) dan luas lantai bangunan utama ( $I_{u-i}$ ) pada gedung menara BRI 9 lantai .....	241
• Tabel 7.53. Rasio lubang bukaan ramp, void atap, shaft, tangga, lift dll ( $I_{b-i}$ ) dan luas lantai ( $I_{l-i}$ ) pada gedung menara BRI 9 lantai .....	242
• Tabel 7.54. Rasio tinggi kolom satu tingkat dari tingkat $-i$ ( $I_{i+1}$ ) dan tinggi kolom ditingkat $-i$ ( $I_i$ ) pada gedung menara BRI 9 lantai .....	244
• Tabel 7.55. Rasio massa lantai ditingkat $-i$ ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat $-i$ ( $m_{i+1}$ ) pada gedung menara BRI 9 lantai .....	246
• Tabel 7.56. Rasio panjang bangunan ( $L_i$ ) dan panjang <i>setback</i> bangunan ( $A_i$ ) pada tingkat yang ditinjau pada gedung menara BRI 9 lantai .....	247
• Tabel 7.57. Rasio luas kolom tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$ dan luas kolom dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$ pada gedung menara BRI 9 lantai .....	248
• Tabel 7.58. Rasio luas dinding geser tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$ dan luas dinding geser dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$ pada gedung menara BRI 9 lantai .....	249
• Tabel 7.59. Rasio kepadatan dinding bata ( $d_{r-i}$ ) pada gedung menara BRI	

9 lantai .....	250
• Tabel 7.60. Konfigurasi ketidakberaturan vertikal dan horisontal ( $S_{D-i}$ ) gedung menara BRI 9 lantai .....	253
• Tabel 7.61. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) pada gedung menara BRI 9 lantai .....	254
• Tabel 7.62. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) pada gedung menara BRI 9 lantai .....	254
• Tabel 7.63. Rasio bentang struktur dan tinggi balok, dan rasio tinggi balok dan lebar balok .....	261
• Tabel 7.64. Dimensi minimal kolom .....	261
• Tabel 7.65. <i>Strong column</i> dan <i>weak beam</i> .....	262
• Tabel 7.66. Indeks kolom ( $I_{C-i}$ ) berdasarkan jumlah jenis kolom ( $h_o/D$ ) dan indeks jenis kolom .....	264
• Tabel 7.67. Jumlah luas dimensi kolom disain ( $\sum A_c$ ) dan jumlah luas dimensi kolom minimum ( $\sum A_{c \text{ min}}$ ) .....	264
• Tabel 7.68. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung R&O RSUP Dr. Kariadi Jl. Kariadi Semarang .....	265
• Tabel 7.69. Eksentrisitas ( $e_{x-i}$ & $e_{y-i}$ ) antara pusat massa dan pusat kekakuan lantai pada gedung R&O RSUP Dr. Kariadi .....	265
• Tabel 7.70. Rasio lubang bukaan ramp, void atap, shaft, tangga, lift dll ( $l_{b-i}$ ) dan luas lantai ( $l_{i-i}$ ) pada gedung R&O 6 lantai .....	268
• Tabel 7.71. Rasio jumlah elemen balok dan kolom utama yang mengikuti aksis ortogonal ( $\sum j_i$ ) dan jumlah total elemen balok dan tingkat yang ditinjau ( $\sum j_{i-i}$ ) pada gedung R&O 6 lantai .....	269
• Tabel 7.72. Rasio tinggi kolom satu tingkat dari tingkat $-i$ ( $l_{i+1}$ ) dan tinggi kolom ditingkat $-i$ ( $l_i$ ) pada gedung R&O 6 lantai .....	270
• Tabel 7.73. Rasio massa lantai ditingkat $-i$ ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat $-i$ ( $m_{i+1}$ ) pada gedung R&O 6 lantai .....	271
• Tabel 7.74. Rasio panjang bangunan ( $L_i$ ) dan panjang setback bangunan ( $A_i$ ) pada tingkat yang ditinjau pada gedung R&O 6 lantai .....	272
• Tabel 7.75. Rasio luas kolom tingkat yang ditinjau- ( $\sum a_e$ ) $_i$ dan luas kolom dari tingkat atas- ( $\sum a_e$ ) $_{i+1}$ pada gedung R&O 6 lantai .....	273

• Tabel 7.76. Rasio kepadatan dinding bata ( $d_{r-i}$ ) pada gedung R&O 6 lantai.....	274
• Tabel 7.77. Konfigurasi ketidakberaturan vertikal dan horisontal ( $S_{D-i}$ ) gedung R&O 6 lantai .....	276
• Tabel 7.78. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) pada gedung R&O 6 lantai .....	276
• Tabel 7.79. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) pada gedung R&O 6 lantai .....	277
• Tabel 7.80. Rasio bentang struktur dan tinggi balok, dan rasio tinggi balok dan lebar balok .....	284
• Tabel 7.81. Dimensi minimal kolom .....	284
• Tabel 7.82. <i>Strong column</i> dan <i>weak beam</i> .....	284
• Tabel 7.83. Indeks kolom ( $I_{C-i}$ ) berdasarkan jumlah jenis kolom ( $h_o/D$ ) dan indeks jenis kolom .....	287
• Tabel 7.84. Indeks dinding geser $I_{SW-i}$ berdasarkan jumlah jenis dinding geser dan indeks dinding geser .....	287
• Tabel 7.85. Jumlah luas dimensi kolom disain ( $\sum A_c$ ) dan jumlah luas dimensi kolom minimum ( $\sum A_{c \text{ min}}$ ) .....	287
• Tabel 7.86. Jumlah luas dimensi dinding geser disain ( $\sum A_{sw}$ ) dan jumlah luas dimensi dinding geser minimum .....	287
• Tabel 7.87. Kombinasi $(\sum A_c)/\sum A_{c \text{ min}}$ dan $(\sum A_{sw})/(\sum A_{sw \text{ min}})$ .....	288
• Tabel 7.88. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung RS. Gigi & Mulut Jl. Kaligawe Km. 4 Semarang .....	289
• Tabel 7.89. Eksentrisitas ( $e_{x-i}$ & $e_{y-i}$ ) antara pusat massa dan pusat kekakuan lantai pada gedung RS. Gigi & Mulut .....	290
• Tabel 7.90. Rasio luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan ( $I_{p-i}$ ) dan luas lantai bangunan utama ( $I_{u-i}$ ) pada gedung RS. Gigi & Mulut 6 lantai .....	291
• Tabel 7.91. Rasio lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll ( $I_{b-i}$ ) dan luas lantai ( $I_{l-i}$ ) pada gedung RS. Gigi & Mulut 6 lantai .....	292
• Tabel 7.92. Rasio tinggi kolom satu tingkat dari tingkat $-i$ ( $I_{i+1}$ ) dan tinggi kolom ditingkat $-i$ ( $I_i$ ) pada gedung RS. Mulut & Gigi 6 lantai .....	293
• Tabel 7.93. Rasio massa lantai ditingkat $-i$ ( $m_i$ ) dan massa lantai satu	

tingkat diatas dari tingkat $-i$ ( $m_{i+1}$ ) pada gedung RS 6 lantai .....	294
• Tabel 7.94. Rasio panjang bangunan ( $L_i$ ) dan panjang <i>setback</i> bangunan ( $A_i$ ) pada tingkat yang ditinjau pada gedung RS. Gigi & Mulut 6 lantai ..	295
• Tabel 7.95. Rasio luas kolom tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$ dan luas kolom dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$ pada gedung RS. Gigi & Mulut 6 lantai .	297
• Tabel 7.96 Rasio luas dinding geser tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$ dan luas dinding geser dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$ pada gedung RS. Gigi & Mulut 6 lantai .....	297
• Tabel 7.97. Rasio kepadatan dinding bata ( $d_{r-i}$ ) pada gedung RS. Gigi & Mulut 6 lantai .....	298
• Tabel 7.98. Konfigurasi ketidakberaturan vertikal dan horisontal ( $S_{D-i}$ ) gedung RS. Gigi & Mulut 6 lantai .....	301
• Tabel 7.99. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) pada gedung RS. Gigi & Mulut 6 lantai .....	301
• Tabel 7.100. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) pada gedung RS. Gigi & Mulut 6 lantai	302
• Tabel 7.101. Rasio bentang struktur dan tinggi balok, dan rasio tinggi balok dan lebar balok .....	310
• Tabel 7.102. Dimensi minimal kolom .....	310
• Tabel 7.103. <i>Strong column</i> dan <i>weak beam</i> .....	310
• Tabel 7.104. Indeks kolom ( $I_{C-i}$ ) berdasarkan jumlah jenis kolom ( $h_o/D$ ) dan indeks jenis kolom .....	312
• Tabel 7.105. Indeks dinding geser $I_{SW-i}$ berdasarkan jumlah jenis dinding geser dan indeks dinding geser .....	313
• Tabel 7.106. Jumlah luas dimensi kolom disain ( $\sum Ac$ ) dan jumlah luas dimensi kolom minimum ( $\sum Ac$ min) .....	313
• Tabel 7.107. Jumlah luas dimensi dinding geser disain ( $\sum Asw$ ) dan jumlah luas dimensi dinding geser minimum ( $\sum Asw$ min) .....	313
• Tabel 7.108. Kombinasi $(\sum Ac)/\sum Ac$ min dan $(\sum Asw)/(\sum Asw$ min) .....	313
• Tabel 7.109. . Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung Lab. FK Unissula Jl. Kaligawe Km. 4 Semarang .....	315

• Tabel 7.110. Eksentrisitas ( $e_{x-i}$ & $e_{y-i}$ ) antara pusat massa dan pusat kekakuan lantai pada gedung lab. FK Unissula .....	315
• Tabel 7.111. Rasio luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan ( $l_{p-i}$ ) dan luas lantai bangunan utama ( $l_{u-i}$ ) pada gedung Lab. FK Unissula 8 lantai .....	316
• Tabel 7.112. Rasio lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll ( $l_{b-i}$ ) dan luas lantai ( $l_{i-i}$ ) pada gedung lab. FK Unissula 8 lantai .....	317
• Tabel 7.113. Rasio tinggi kolom satu tingkat dari tingkat $-i$ ( $l_{i+1}$ ) dan tinggi kolom ditingkat $-i$ ( $l_i$ ) pada gedung lab. FK Unissula 8 lantai	319
• Tabel 7.114. Rasio massa lantai ditingkat $-i$ ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat $-i$ ( $m_{i+1}$ ) pada gedung lab. FK Unissula 8 lantai .....	320
• Tabel 7.115. Rasio panjang bangunan ( $L_i$ ) dan panjang <i>setback</i> bangunan ( $A_i$ ) pada tingkat yang ditinjau pada gedung Lab. FK Unissula 8 lantai.....	321
• Tabel 7.116. Rasio luas kolom tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$ dan luas kolom dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$ pada gedung lab. FK Unissula 8 lantai ..	322
• Tabel 7.117. Rasio luas dinding geser tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$ dan luas dinding geser dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$ pada gedung lab. FK Unissula 8 lantai .....	322
• Tabel 7.118. Rasio kepadatan dinding bata ( $d_{r-i}$ ) pada gedung lab. FK Unissula 8 lantai .....	323
• Tabel 7.119. Konfigurasi ketidakberaturan vertikal dan horisontal ( $S_{D-i}$ ) gedung lab. FK Unissula 8 lantai .....	326
• Tabel 7.120. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) pada gedung lab. FK Unissula 8 lantai .....	327
• Tabel 7.121. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) pada gedung lab. FK Unissula 8 lantai	327
• Tabel 7.122. Rasio bentang struktur dan tinggi balok, dan rasio tinggi balok dan lebar balok .....	334
• Tabel 7.123. Dimensi minimal kolom .....	334
• Tabel 7.124. <i>Strong column</i> dan <i>weak beam</i> .....	334
• Tabel 7.125. Indeks kolom ( $I_{C-i}$ ) berdasarkan jumlah jenis kolom ( $h_o/D$ )	

dan indeks jenis kolom .....	337
• Tabel 7.126. Indeks dinding geser $I_{SW-i}$ berdasarkan jumlah jenis dinding geser dan indeks dinding geser .....	337
• Tabel 7.127. Jumlah luas dimensi kolom disain ( $\sum Ac$ ) dan jumlah luas dimensi kolom minimum ( $\sum Ac \text{ min}$ ) .....	337
• Tabel 7.128. Jumlah luas dimensi dinding geser disain ( $\sum Asw$ ) dan jumlah luas dimensi dinding geser minimum .....	338
• Tabel 7.129. Kombinasi $(\sum Ac)/\sum Ac \text{ min}$ dan $(\sum Asw)/(\sum Asw \text{ min})$ .....	338
• Tabel 7.130. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung Hotel Artotel Jl. Gajah Mada Semarang .....	340
• Tabel 7.131. Eksentrisitas ( $e_{x-i}$ & $e_{y-i}$ ) antara pusat massa dan pusat kekakuan lantai pada gedung Hotel Artotel .....	340
• Tabel 7.132. Rasio lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll ( $l_{b-i}$ ) dan luas lantai ( $l_{i-i}$ ) pada gedung Hotel Artotel 12 lantai .....	342
• Tabel 7.133. Rasio jumlah elemen balok dan kolom utama yang mengikuti aksis ortogonal ( $\sum j_i$ ) dan jumlah total elemen balok dan tingkat yang ditinjau ( $\sum j_{i-i}$ ) pada gedung Hotel Artotel 12 lantai.....	343
• Tabel 7.134. Rasio tinggi kolom satu tingkat dari tingkat $-i$ ( $l_{i+1}$ ) dan tinggi kolom ditingkat $-i$ ( $l_i$ ) pada gedung hotel Artotel 12 lantai .....	345
• Tabel 7.135. Rasio massa lantai ditingkat $-i$ ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat $-i$ ( $m_{i+1}$ ) pada gedung hotel Artotel 12 lantai ..	345
• Tabel 7.136. Rasio panjang bangunan ( $L_i$ ) dan panjang <i>setback</i> bangunan ( $A_i$ ) pada tingkat yang ditinjau pada gedung hotel Artotel 12 lantai .....	346
• Tabel 7.137. Rasio luas kolom tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$ dan luas kolom dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$ pada gedung hotel Artotel 12 lantai .....	348
• Tabel 7.138. Rasio luas dinding geser tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$ dan luas dinding geser dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$ pada gedung hotel Artotel 12 lantai .....	348
• Tabel 7.139. Rasio kepadatan dinding bata ( $d_{r-i}$ ) pada gedung hotel Artotel 12 lantai .....	350
• Tabel 7.140. Konfigurasi ketidakberaturan vertikal dan horisontal ( $S_{D-i}$ )	



gedung hotel Artotel 12 lantai .....	352
• Tabel 7.141. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) pada gedung hotel Artotel 12 lantai .....	353
• Tabel 7.142. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) pada gedung hotel Artotel 12 lantai ...	353
• Tabel 7.143. Rasio bentang struktur dan tinggi balok, dan rasio tinggi balok dan lebar balok .....	361
• Tabel 7.144. Dimensi minimal kolom .....	362
• Tabel 7.145. <i>Strong column</i> dan <i>weak beam</i> .....	362
• Tabel 7.146. Indeks kolom ( $I_{C-i}$ ) berdasarkan jumlah jenis kolom ( $h_o/D$ ) dan indeks jenis kolom .....	364
• Tabel 7.147. Indeks dinding geser $I_{SW-i}$ berdasarkan jumlah jenis dinding geser dan indeks dinding geser .....	364
• Tabel 7.148. Jumlah luas dimensi kolom disain ( $\sum A_c$ ) dan jumlah luas dimensi kolom minimum ( $\sum A_c \text{ min}$ ) .....	364
• Tabel 7.149. Jumlah luas dimensi dinding geser disain ( $\sum A_{sw}$ ) dan jumlah luas dimensi dinding geser minimum ( $\sum A_{sw} \text{ min}$ ) .....	365
• Tabel 7.150. Kombinasi $(\sum A_c)/\sum A_c \text{ min}$ dan $(\sum A_{sw})/(\sum A_{sw} \text{ min})$ .....	365
• Tabel 7.151. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung Toko T Jl. MT. Haryono Semarang .....	366
• Tabel 7.152. Eksentrisitas ( $e_{x-i}$ & $e_{y-i}$ ) antara pusat massa dan pusat kekakuan lantai pada gedung Toko T .....	367
• Tabel 7.153. Rasio luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan ( $l_{p-i}$ ) dan luas lantai bangunan utama ( $l_{u-i}$ ) pada gedung rawat inap dan OK 5 lantai .....	368
• Tabel 7.154. Rasio lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll ( $l_{b-i}$ ) dan luas lantai ( $l_{i-i}$ ) pada Toko T 6 lantai .....	369
• Tabel 7.155. Rasio tinggi kolom satu tingkat dari tingkat $-i$ ( $l_{i+1}$ ) dan tinggi kolom ditingkat $-i$ ( $l_i$ ) pada Toko T 6 lantai .....	370
• Tabel 7.156. Rasio massa lantai ditingkat $-i$ ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat $-i$ ( $m_{i+1}$ ) pada Toko T 6 lantai .....	371
• Tabel 7.157. Rasio panjang bangunan ( $L_i$ ) dan panjang <i>setback</i> bangunan ( $A_i$ ) pada tingkat yang ditinjau pada Toko T 6 lantai .....	372

• Tabel 7.158. Rasio luas kolom tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$ dan luas kolom dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$ pada Toko T 6 lantai .....	373
• Tabel 7.159. Rasio luas dinding geser tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$ dan luas dinding geser dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$ pada Toko T 6 lantai .....	373
• Tabel 7.160. Rasio kepadatan dinding bata ( $d_{r-i}$ ) pada Toko T 6 lantai.....	374
• Tabel 7.161. Konfigurasi ketidakberaturan vertikal dan horisontal ( $S_{D-i}$ ) Toko T 6 lantai .....	377
• Tabel 7.162. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) pada gedung Toko T 6 lantai .....	377
• Tabel 7.163. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) pada Toko T 6 lantai .....	377
• Tabel 7.164. Resume hasil analisa SVA Disain Arsitektur pada disain bangunan di Kota Semarang .....	378
• Tabel 8.1. Konfigurasi geometris bentuk-bentuk dasar, transformasi & komposisi massa serta respon perilakunya terhadap gempa .....	379
• Tabel 8.2. Bentang dan tinggi maks./min. bangunan umum di Indonesia	412
• Tabel 8.3. Dimensi balok/kolom dan tinggi kolom yang disarankan untuk bangunan hotel dengan modul struktur 6x6 m .....	412
• Tabel 8.4. Dimensi balok/kolom dan tinggi kolom yang disarankan untuk bangunan hotel dengan modul struktur 7.5x7.5 m .....	413
• Tabel 8.5. Dimensi balok/kolom dan tinggi kolom yang disarankan untuk bangunan perkantoran dengan modul struktur 10.5x10.5 m .....	413
• Tabel 8.6. Dimensi balok/kolom dan tinggi kolom yang disarankan untuk bangunan apartemen dengan modul struktur 5x5 m .....	414
• Tabel 8.7. Dimensi balok/kolom dan tinggi kolom yang disarankan untuk bangunan apartemen dengan modul struktur 7x7 m .....	414
• Tabel 8.8. Dimensi balok/kolom dan tinggi kolom yang disarankan untuk bangunan parkir dengan modul struktur 8.1x8.1 m .....	414
• Tabel 8.9. Dimensi balok/kolom dan tinggi kolom yang disarankan untuk bangunan sekolah dengan modul struktur 8.0x8.0 m .....	414
• Tabel 8.10. Perbandingan dimensi kolom berdasarkan perhitungan konsultan (bc1) dan grafik hubungan dimensi kolom dan modul struktur	416

- Tabel 8.11. Karakteristik tata letak inti (core) bangunan ..... 418
- Tabel 8.12. Perbandingan momen inersia kolom sumbu lemah dengan dimensi kolom rasio 1 dan 0.4 ..... 434
- Tabel 8.13. Hasil uji Wilcoxon Two-Independent-Samples ..... 434
- Tabel 8.14. Perbandingan dimensi kolom bc1 dan bc2..... 435
- Tabel 8.15. Hasil uji Wilcoxon Two-Independent-Samples ..... 435
- Tabel 8.16. Hasil korelasi Spearman antara Ic2 dan Ic1..... 436
- Tabel 8.17. Hasil korelasi Spearman antara bc2 dan bc1..... 436

## DAFTAR GAMBAR

• Gambar 1.1. Data episenter gempa utama di Indonesia dan sekitarnya untuk magnituda $M \geq 5.0$ yang dikumpulkan dari berbagai sumber dalam rentang waktu tahun 1900-2000 .....	1
• Gambar 1.2. Standar proses disain di Indonesia .....	3
• Gambar 1.3. Rumpun keilmuan SVA Disain Arsitektur .....	16
• Gambar 1.4. Gap teori, <i>State of the art</i> dan <i>Novelty</i> .....	18
• Gambar 2.1. Jenis gelombang gempa .....	21
• Gambar 2.2. Amplikasi gelombang gempa di tanah lunak .....	22
• Gambar 2.3. Kerusakan struktural a). Kolom, b). Dinding geser .....	24
• Gambar 2.4. Kerusakan non-struktural a). Plafon, b). Plambing .....	24
• Gambar 2.5. Kerusakan tanah a). <i>Tilting</i> , b). <i>Crack</i> .....	24
• Gambar 2.6. Gempa Bengkulu 2007, pendetailan tulangan kolom yang tidak memadai dan kebiasaan memasukkan pipa saluran air hujan dalam kolom yang dapat mengurangi kapasitas geser kolom .....	25
• Gambar 2.7. Kerusakan kolom akibat kompresi aksial yang kuat dan momen lentur siklik (a) momen lentur diagram; (b) diagram gaya geser; (c) sketsa kerusakan; diagram (d) gaya aksial .....	26
• Gambar 2.8. Gempa Yogya 2006, <i>Ground floors soft story</i> .....	26
• Gambar 2.9. Gempa Kobe 1995, bangunan komersial lantai ketiganya hilang dan lantai di atasnya mendudukinya .....	27
• Gambar 2.10. <i>Short column</i> (a) momen lentur diagram; (b) diagram gaya geser; (c) gaya aksial; (d) sketsa kerusakan; diagram .....	27
• Gambar 2.11. Gempa Yogya 2006, <i>short column</i> : a). Sketsa interupsi balok di kolom, b). Rusak geser pada kolom .....	27
• Gambar 2.12. Gempa Yunani 1996, <i>short column</i> akibat interupsi dinding di kolom .....	28
• Gambar 2.13. a). Gempa Yogya 2006, <i>pounding</i> di <i>expansion joint</i> , b). Gempa Mexico 1985, <i>pounding</i> bangunan yang serupa .....	28
• Gambar 2.14. Efek <i>P-Delta</i> , model kantilever sederhana $M_u = V_u H + W_g \Delta$ .....	29

• Gambar 2.15. Gempa Yogya 2006, a). Kegagalan tekuk pada kolom perimeter atap <i>truss</i> lt.02, b). Atap <i>truss</i> yang ambruk .....	29
• Gambar 2.16. Gempa Padang 2009, a). 3D struktur, b). Denah .....	30
• Gambar 2.17. Sistem struktur berkarakter simplisitas a). Bentuk tipikal sistem rangka, b). Konfigurasi tipikal sistem dinding geser, c). Sistem dual sistem rangka dan dinding geser .....	31
• Gambar 2.18. a). Kolom diatas balok, b). Masalah lantai dengan void besar .....	31
• Gambar 2.19. Konfigurasi geometri horisontal yang baik dan tidak baik	32
• Gambar 2.20. Sistem <i>flat slab</i> a). Lantai langsung diatas kolom, b). Lantai dengan <i>drop panel</i> .....	33
• Gambar 2.21. Konsentrasi gaya geser yang besar di a). <i>Short column</i> di perimeter bangunan, b). <i>Short column</i> kolom mezanin .....	33
• Gambar 2.22. Distribusi massa dan kekakuan arah vertikal .....	33
• Gambar 2.23. Masalah balok bentang panjang .....	34
• Gambar 2.24. Aspek rasio .....	34
• Gambar 2.25. Perletakan <i>core</i> yang kurang baik, yang dapat menyebabkan lantai diafragma mengalami resiko kegagalan geser di koneksi dengan <i>core</i> .....	34
• Gambar 2.26. Posisi <i>expansion joint</i> .....	35
• Gambar 2.27. Sistem penahan gaya lateral, a). Rangka beton penahan momen, b). Dinding geser beton .....	36
• Gambar 2.28. Posisi <i>expansion joint</i> .....	36
• Gambar 2.29. Mengurangi efek goyangan gempa yang masuk .....	36
• Gambar 2.30. Mekanisme <i>strong beam-weak colum</i> .....	37
• Gambar 2.31. Karya Arsitektur Modern Le Corbusier Villa Savoy.....	38
• Gambar 2.32. Ekspos kolom-kolom langsing untuk memberi kesan monumental pada bangunan tetapi meningkatkan potensi soft story pada kolom tersebut.....	39
• Gambar 2.33. <i>Free design of the ground plan &amp; the facade</i> pada lantai dasar dan lantai 1.....	39

• Gambar 2.34. Kombinasi arsitektur modern dan arsitektur Bali.....	40
• Gambar 2.35. Arsitektur dekonstruksi yang cenderung aseimic.....	40
• Gambar 2.36. a). Transformasi dimensional, b). Transformasi subtraktif, c). Transformasi aditif.....	41
• Gambar 2.37. Model dasar (100%) dan model subtraktif 89%, 78%, 60%, 56%, 47%, 33%.....	41
• Gambar 2.38. Berat bangunan vs Gaya geser dasar gempa.....	42
• Gambar 2.39. Penggunaan sirip-sirip ACP sebagai ornamen hias pada bangunan.....	42
• Gambar 2.40. Penggunaan sirip-sirip beton yang mempengaruhi kekakuan struktur utama bangunan.....	43
• Gambar 2.41. Perletakkan kolam renang di sebagian <i>roof top</i> akan menimbulkan potensi <i>P Delta effect</i> dan <i>torsion effect</i> .....	43
• Gambar 2.42. Efek puntir pada perletakkan kolam renang di sebagian <i>roof top</i> .....	44
• Gambar 2.43. Energi mekanik ( $E_k$ ) jatuhnya air dari <i>roof top</i> merupakan kombinasi dari energi potensial ( $m.g.h$ ) dan energi kinetik ( $m.a.h$ ) dimana ; $m$ =massa air, $g$ =percepatan gravitasi, $a$ =percepatan air akibat goyangan gempa dan $h$ =tinggi air dari <i>roof top</i> ke <i>ground</i> .....	44
• Gambar 2.44. Penggunaan balok transfer dalam mengakomodasi r. serbaguna di lantai bawah akan meningkatkan potensi kegagalan lentur balok transfer akibat gempa vertikal.....	45
• Gambar 2.45. Bentuk ireguler bangunan dapat membentuk modul struktur yang ireguler .....	45
• Gambar 2.46. Modul struktur yang tidak konsisten panjang pendeknya dapat menyebabkan konsentrasi gaya gempa.....	46
• Gambar 2.47. Ireguleritas modul struktur rumah tinggal.....	46
• Gambar 2.48. Sistem struktur rangka.....	47
• Gambar 2.49. Sistem bangunan inti dan rangka.....	48
• Gambar 2.50. Plat lantai 1 arah.....	49
• Gambar 2.51. Plat lantai 2 arah.....	50
• Gambar 2.52. Peta Gempa Indonesia.....	51

• Gambar 2.53. Bentuk umum respons spektrum disain.....	53
• Gambar 2.54. Struktur bangunan dan mode ke-1.....	55
• Gambar 2.55. Distribusi gaya gempa ( $F_i$ ) dan gaya geser gempa ( $V_i$ ).....	55
• Gambar 2.56. Tinggi bersih dan lebar kolom yang ditinjau.....	59
• Gambar 2.57. Definisi luas penampang dinding.....	61
• Gambar 2.58. Area void.....	62
• Gambar 2.59. Aspek rasio ( $h/b$ ) bagian proyeksi.....	63
• Gambar 2.60. Geometri bagian menyempit (a) & (b) dan tidak menyempit (c) & (d).....	64
• Gambar 2.61. Geometri eksentrisitas void & simbol.....	64
• Gambar 2.62. Geometri eksentrisitas & simbol.....	65
• Gambar 2.63. Ketentuan dimensi penampang balok.....	70
• Gambar 2.64 . Konsep <i>strong column-weak beam</i> .....	71
• Gambar 2.65. Ketidak beraturan torsi (tipe 1a) dan ketidak beraturan torsi berlebihan (tipe 1b).....	72
• Gambar 2.66. Deformasi rantai relatif.....	73
• Gambar 2.67. Ketidakberaturan sudut dalam (tipe 2).....	74
• Gambar 2.68. Konsentrasi tegangan di sudut dalam : konsentrasi ini terjadi pada bangunan berbentuk kompleks dapat menyebabkan kerusakan signifikan pada saat terjadi gempa.....	75
• Gambar 2.69. Mode torsional oskilasi : mode ini terjadi pada bangunan berbentuk kompleks memberikan kontribusi signifikan terhadap keseluruhan respon bangunan jika mempunyai periode natural yang besar.....	75
• Gambar 2.70. Mode lecutan oskilasi : mode ini terjadi pada bangunan berbentuk denah X yang menyebabkan konsentrasi tegangan pada sudut dalam.....	75
• Gambar 2.71. Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma (tipe 3).....	76
• Gambar 2.72. Konfigurasi regular atau ireguler ketidakberaturan diskontinuitas diafragma .....	76
• Gambar 2.73. Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang (tipe 4) .....	77

• Gambar 2.74. Konfigurasi ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang .....	77
• Gambar 2.75. Ketidakberaturan sistem nonparalel (tipe 5) .....	78
• Gambar 2.76. Konfigurasi ketidakberaturan sistem paralel .....	78
• Gambar 2.77. Konfigurasi ketidakberaturan sistem paralel yang dapat menyebabkan torsi pada bangunan .....	78
• Gambar 2.78. Konfigurasi ketidakberaturan sistem paralel dengan rasio potongan $A_o/A.B \geq 5\%$ menyebabkan translasi diagonal .....	79
• Gambar 2.79. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (tipe 1a) dan Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan (tipe 1b) .....	80
• Gambar 2.80. Konfigurasi ketidakberaturan kekakuan .....	81
• Gambar 2.81. Ketidakberaturan berat/massa (tipe 2) .....	81
• Gambar 2.82. Distribusi massa yang merata dan tidak merata .....	84
• Gambar 2.83. Ketidakberaturan geometri vertikal (tipe 3) .....	84
• Gambar 2.84. Indeks kerusakan pada bangunan setback .....	85
• Gambar 2.85. Diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal (tipe 4) .....	86
• Gambar 2.86. Jalur gaya tak langsung dari sistem dinding tak beraturan..	86
• Gambar 2.87. Diskontinuitas parsial dan kemungkinan lokasi sekring struktural atau area sendi plastis .....	87
• Gambar 2.88. Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat (tipe 5a) dan diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat berlebihan (tipe 5b) .....	87
• Gambar 2.89. Perilaku short column dan formasi struktur yang menyebabkannya .....	88
• Gambar 3.1. Diagram alur pikir .....	91
• Gambar 3.2. Hubungan variabel kapasitas seismik struktur bangunan dan beban lateral gempa .....	94
• Gambar 3.3. SVA retrofit, hubungan variabel kapasitas seismik struktur bangunan dengan kapasitas gempa dasar struktur, ireguleritas geometri dan usia bangunan.....	94
• Gambar 3.4. SVA Disain Arsitektur, hubungan variabel kapasitas	95



seismik struktur bangunan dengan kapasitas gempa dasar struktur dan ireguleritas geometri. ....	
• Gambar 3.5. SVA Disain Arsitektur, SRPM hubungan variabel kapasitas gempa dasar struktur dengan dimensi kolom, kekakuan kolom, <i>strong column-weak beam</i> dan redundansi. ....	95
• Gambar 3.6. SVA Disain Arsitektur, SRPM dan dinding geser hubungan variabel kapasitas gempa dasar struktur dengan dimensi kolom/dinding geser, kekakuan kolom/dinding geser, <i>strong column-weak beam</i> dan redundansi. ....	95
• Gambar 3.7. SVA Disain Arsitektur, hubungan variabel ireguleritas geometri dengan ireguleritas horisontal dan ireguleritas vertikal.....	96
• Gambar 3.8. SVA Disain Arsitektur, hubungan variabel beban lateral gempa dengan lokasi bangunan, respon seismik disain, respon seismik minimal dan faktor keutamaan bangunan.....	96
• Gambar 3.9. SVA Disain Arsitektur, level kerentanan antara beban lateral gempa dan kapasitas seismik struktur bangunan.....	97
• Gambar 3.10. Hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat, variabel dengan sub variabel, dan sub variabel dan indikator .....	98
• Gambar 3.11. Hubungan dunia nyata, model konseptual dan model matematika .....	104
• Gambar 3.12. Zona gempa sampel penelitian : wilayah 2, 4 dan 6 peta gempa Indonesia tahun 2002 .....	106
• Gambar 3.13. Zona gempa sampel penelitian : Kota Banyumas dan Kota Bobong Peta Gempa Indonesia tahun 2012 .....	107
• Gambar 3.14. Lokasi sampel penelitian sebagai contoh aplikasi dari metode SVA Disain Arsitektur yang menggunakan peraturan gempa SNI 1726 : 2012 .....	108
• Gambar 4.1. Arsitektur kota di Indonesia tahun 1960 – 2015.....	117
• Gambar 4.2. Arsitektur kota Semarang tahun 1960 – 2015.....	118
• Gambar 4.3. Nilai parameter $S_s$ kota-kota di Indonesia .....	119

• Gambar 4.4. Nilai parameter $S_1$ kota-kota di Indonesia .....	120
• Gambar 4.5. Sesar aktif di kota Semarang dan sekitarnya .....	121
• Gambar 4.6. Nilai parameter spektra SS Kota Semarang .....	122
• Gambar 4.7. Nilai parameter spektra $S_1$ Kota Semarang .....	122
• Gambar 4.8. Alur pengurusan IMB Kota Semarang .....	124
• Gambar 4.9. Alur rekomendasi dari TABG Kota Semarang .....	124
• Gambar 5.1. luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan ( $l_{p-i}$ ) tingkat ke $-i$ dan luas lantai bangunan utama tingkat ke $-i$ ( $l_{u-i}$ ).....	133
• Gambar 5.2. Gaya geser dasar vs simpangan atap pada tingkat kekuatan disain, inelastis/aktual dan elastis .....	140
• Gambar 6.1. Dilatasi antara struktur jalan masuk dan gedung Lab. Fak. Kedokteran Unissula .....	170
• Gambar 6.2. Dilatasi antara struktur jalan masuk dan gedung RS. Gigi & Mulut RS. Sultan Agung .....	170
• Gambar 6.3. Rasio $L/h_b$ untuk balok biasa .....	171
• Gambar 6.4. Rasio $L_k/h_b$ untuk balok kantilever .....	172
• Gambar 6.5. Rasio $h_b/b_b$ balok .....	172
• Gambar 7.1. Site eksisting dan posisi gedung kuliah yang akan dibangun .....	177
• Gambar 7.2. Gambar denah, tampak dan potongan gedung kuliah .....	182
• Gambar 7.3. Gambar denah kolom, balok & plat lantai gedung kuliah ....	186
• Gambar 7.4. Massa gedung kuliah yang relatif kaku dengan $H/B=1.7 <$ $4$ .....	187
• Gambar 7.5. a). Kolom yang dinterupsi dinding semi basement & dinding $\frac{1}{2}$ pembatas, b). Ketinggian kolom yang tidak sama .....	188
• Gambar 7.6. a). Kolom semi basement yang diinterupsi oleh dinding beton, b). Kolom lantai P2 yang diinterupsi oleh dinding $\frac{1}{2}$ pembatas, dan semuanya akan berperilaku <i>short column</i> / kolom pendek ( $h_o/D \leq 2$ ) yang rentan terhadap kegagalan geser .....	189
• Gambar 7.7. Geometri bangunan yang relatif simetris pada sumbu X (a) dan sumbu Y (b), walaupun terdapat massa aditif dan subtraktif tetapi tidak terlalu berpengaruh .....	192

• Gambar 7.8. a). Penambahan massa aditif untuk tempat parkir, b). dan c). Penambahan massa aditif untuk fungsi servis .....	194
• Gambar 7.9. a). Pengurangan lantai P2, b). Untuk mengakomodasi parkir mobil di muka bangunan .....	195
• Gambar 7.10. a). Bukaannya utilitas (tangga, lift, shaft), b). Bukaannya pada lantai atap .....	195
• Gambar 7.11. Kolom langsing yang rentan terhadap kegagalan lentur ....	196
• Gambar 7.12. Konfigurasi massa bangunan .....	197
• Gambar 7.13. a). Proses transformasi aditif dan subtraktif dengan pertimbangan keseimbangan struktural, b). Menghasilkan karya arsitektur gedung kuliah yang tidak monoton .....	198
• Gambar 7.14. Bukaannya-bukaan (jendela, ventilasi, <i>cladding</i> ) pada fasad bangunan yang disusun dengan teratur sehingga tidak menyebabkan potensi ketidakseragaman kekakuan pada bangunan .....	199
• Gambar 7.15. Kontinuitas alur beban pada gedung kuliah 8 lantai .....	200
• Gambar 7.16. Bukaannya-bukaan (jendela, ventilasi, <i>cladding</i> ) pada fasad bangunan yang disusun dengan teratur sehingga tidak menyebabkan potensi ketidakseragaman kekakuan pada bangunan .....	201
• Gambar 7.17. Site plan pentahapan pembangunan pengembangan rumah sakit di Jl. Cipto Semarang .....	205
• Gambar 7.18. Gambar denah, tampak dan potongan gedung r. rawat inap dan OK di Jl. Dr. Cipto Semarang .....	210
• Gambar 7.19. Gambar denah kolom, balok, plat lantai & dinding geser gedung r. rawat inap dan OK di Jl. Dr. Cipto Semarang .....	212
• Gambar 7.20. Penggabungan 2 massa bangunan yang memiliki kekakuan yang berbeda Massa A dengan $H/B_1=3.5$ yang relatif fleksibel dan Massa B dengan $H/B_2=2$ yang relatif kaku .....	213
• Gambar 7.21. <i>Screening</i> jenis kolom .....	214
• Gambar 7.22. Eksentrisitas antara <i>center of massa</i> (CM) dan <i>center of rigidity</i> (CR) .....	218
• Gambar 7.23. Konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam yang terbentuk antara pertemuan massa besar dan massa kecil gedung rawat inap dan	218

OK .....	
• Gambar 7.24. a). Bukaan utilitas (tangga, lift, shaft), b). Bukaan pada lantai atap .....	220
• Gambar 7.25. Konfigurasi massa bangunan .....	221
• Gambar 7.26. Proses transformasi aditif yang minimalis .....	222
• Gambar 7.27. Bukaan-bukan (jendela, ventilasi, <i>cladding</i> ) pada fasad bangunan yang disusun dengan teratur sehingga tidak menyebabkan potensi ketidakseragaman kekakuan pada bangunan .....	224
• Gambar 7.28. Gambar denah, tampak dan potongan gedung menara BRI di Jl. A. Yani Semarang .....	231
• Gambar 7.29. Gambar denah kolom, balok & plat lantai gedung menara BRI .....	234
• Gambar 7.30. Massa gedung menara BRI yang relatif kaku dengan $H/D=1.1 < 4$ .....	235
• Gambar 7.31. Kolom yang dinterupsi dinding $\frac{1}{2}$ pembatas parkir mobil dan ketinggian kolom yang tidak sama .....	236
• Gambar 7.32. Berbagai jenis tinggi efektif kolom yang dipengaruhi tinggi kolom, tinggi balok (gambar a, b & d) atau interupsi dinding (gambar c) tetapi semuanya masih dalam kategori kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ) .....	237
• Gambar 7.33. Geometri bangunan yang relatif simetris pada sumbu Y (a) dan asimetris pada sumbu X (b), terdapat massa aditif tetapi tidak terlalu berpengaruh .....	240
• Gambar 7.34. a) & b). Massa aditif lantai P2 s/d lantai atap untuk perluasan tempat parkir, atap dak dan tangga darurat, c). Massa subtraktif lantai 04 s/d lantai atap untuk area perkantoran .....	242
• Gambar 7.35. a). Bukaan ramp lantai P2, b). Bukaan void atap lantai 01, c). Bukaan tipikal (shaft, lift, tangga) pada semua lantai .....	243
• Gambar 7.36. Lantai sebagai diafragma berfungsi mengekang seluruh kolom & dinding geser dan menyalurkan beban lateral ( $F_h$ ) ke kolom dan dinding geser. Jika terdapat bukaan yang besar fungsi diafragma akan berkurang secara drastis .....	244

• Gambar 7.37. Ketinggian lantai yang berbevariasi dapat menimbulkan potensi kolom pendek/short column, kolom langsing/slender column dan tingkat lunak/ <i>soft story</i> .....	245
• Gambar 7.38. Konfigurasi massa/berat bangunan .....	246
• Gambar 7.39. Kombinasi massa yang memiliki ketinggian yang berbeda menimbulkan potensi konsentrasi tegangan lateral dan potensi torsi. Idealnya dipisahkan dengan dilatasi .....	247
• Gambar 7.40. Kontinuitas alur beban kolom gedung menara BRI 9 lantai (sumber : analisa) .....	248
• Gambar 7.41. Diskontinuitas alur beban dinding geser pada gedung menara BRI 9 lantai .....	250
• Gambar 7.42. Pengaturan dinding yang kaku dan tak kaku yang tidak acak dapat mengurangi potensi ketidakseragaman kekakuan di menara BRI 9 lantai .....	251
• Gambar 7.43. Gambar denah, tampak dan potongan gedung R&O RSUP Dr. Kariadi di Jl. Kariadi Semarang .....	259
• Gambar 7.44. Gambar denah kolom, balok & plat lantai gedung R&O RSUP Dr. Kariadi .....	261
• Gambar 7.45. Massa gedung R&O RSUP Dr. Kariadi yang sangat kaku dengan $H/B=0.6 < 4$ .....	262
• Gambar 7.46. Berbagai jenis tinggi efektif kolom yang dipengaruhi tinggi kolom dan tinggi balok (gambar a & b) tetapi semuanya masih dalam kategori kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ) .....	263
• Gambar 7.47. Pemisahan massa gedung R&O yang berbeda ketinggian dengan dilatasi .....	266
• Gambar 7.48. Massa bangunan tambahan yang membentuk sudut $\geq 120^\circ$ dengan massa utama dianggap tidak membentuk ketidakberaturan sudut dalam .....	267
• Gambar 7.49. Bukaan-bukaan di gedung R&O terjadi di area lift, eskalator, tangga dan shaft .....	268
• Gambar 7.50. Konfigurasi ketidakberaturan sistem non paralel a.) Area elemen kolom dan balok non ortogonal, b). Area kolom bulat .....	269

• Gambar 7.51. Ketinggian lantai yang sama dapat meminimalisir potensi tingkat lunak/soft story .....	270
• Gambar 7.52. Konfigurasi massa bangunan .....	271
• Gambar 7.53. a). Perluasan ruang dengan balok kantilever, b). Potensi tekuk pada balok ( $F_v$ ) dan kolom ( $M_v$ ) akibat gempa vertikal .....	272
• Gambar 7.54. Kontinuitas alur beban kolom gedung R&O 6 lantai .....	273
• Gambar 7.55. Buka-an-bukan (jendela, ventilasi, cladding) pada fasad bangunan yang disusun relatif teratur dapat mengurangi potensi ketidakseragaman kekakuan pada gedung R&O .....	274
• Gambar 7.56. Site eksisting dan posisi gedung RS. Gigi & Mulut RSI Sultan Agung yang akan dibangun .....	277
• Gambar 7.57. Gambar denah, tampak dan potongan gedung RS. Gigi & Mulut di Jl. Kaligawe Semarang .....	281
• Gambar 7.58. Gambar denah kolom, balok & plat lantai gedung RS. Gigi & Mulut RSI. Sultan Agung .....	283
• Gambar 7.59. Massa gedung RS. Gigi & Mulut RSI Sultan Agung yang sangat kaku dengan $H/B=0.77 < 4$ .....	285
• Gambar 7.60. Berbagai jenis tinggi efektif kolom yang dipengaruhi tinggi kolom dan tinggi balok a). & b). kategori kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ), c). Kolom langsing ( $6 \leq h_0/D$ ) .....	286
• Gambar 7.61. Eksentrisitas antara center of massa (CM) dan center of rigidity (CR) yang dapat menyebabkan rotasi pada gedung RS. Gigi & Mulut pada saat gempa kuat .....	290
• Gambar 7.62. Penambahan dinding geser dibagian belakang gedung mengurangi eksentrisitas antara center of massa (CM) dan center of rigidity (CR) .....	291
• Gambar 7.63. Massa tambahan utama terjadi pada RS. Gigi & Mulut ini akibat proses :a). Aditif dan b). Subtraktif tetapi tidak membentuk konfigurasi ketidakberaturan sudut yang berlebihan .....	292
• Gambar 7.64. Buka-an-bukaan di gedung RS. Gigi & Mulut ini terjadi di area lift, void, tangga dan shaft .....	293
• Gambar 7.65. Ketinggian lantai yang tidak sama tetapi masih batas	294

toleransi dapat meminimalisir potensi tingkat lunak/ <i>soft story</i> .....	
• Gambar 7.66. Konfigurasi massa/berat bangunan .....	295
• Gambar 7.67. Kombinasi massa besar dibawah dan massa kecil diatas dapat menimbulkan potensi konsentrasi tegangan lateral .....	296
• Gambar 7.68. Kontinuitas alur beban kolom gedung R&O 6 lantai .....	297
• Gambar 7.69. Buka-an-bukaan (jendela, ventilasi, cladding) dan open plan pada bangunan dapat mempengaruhi kekakuan bangunan RS. Gigi & Mulut .....	299
• Gambar 7.70. Site eksisting dan posisi gedung Lab. FK Unissula yang akan dibangun .....	302
• Gambar 7.71. Gambar denah, tampak dan potongan gedung Lab. FK Unissula di Jl. Kaligawe Semarang .....	306
• Gambar 7.72. Gambar denah kolom, balok & plat lantai gedung Lab. FK Unissula 8 lantai .....	309
• Gambar 7.73. Massa gedung lab. FK Unissula 8 lantai yang cukup kaku dengan $H/B=1.04 < 4$ .....	311
• Gambar 7.74. Berbagai jenis tinggi efektif kolom yang dipengaruhi tinggi kolom, tinggi balok & interupsi bukaan a). & b).kategori kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ), c). Kolom pendek ( $h_0/D \leq 2$ ) .....	312
• Gambar 7.75. Perletakan dinding geser yang mempertimbangkan keseimbangan kekakuan dapat memperkecil eksentrisitas antara center of massa (CM) dan center of rigidity (CR) .....	316
• Gambar 7.76. Massa tambahan utama terjadi pada laboratorium FK ini akibat proses kombinasi massa dan subtraktif sehingga membentuk konfigurasi ketidakberaturan sudut .....	317
• Gambar 7.77. Buka-an-bukaan di gedung RS. Gigi & Mulut ini terjadi di area lift, void, tangga dan shaft .....	318
• Gambar 7.78. Ketinggian lantai sama kecuali kolom dibawah lantai 01 tetapi masih batas toleransi sehingga meminimalisir potensi tingkat lunak/ <i>soft story</i> .....	319
• Gambar 7.79. Konfigurasi massa/berat bangunan .....	320
• Gambar 7.80. Setback kantilever dapat menimbulkan potensi	321

konsentrasi tegangan lateral .....	
• Gambar 7.81. Kontinuitas alur beban kolom gedung lab. FK Unissula 8 lantai .....	322
• Gambar 7.82. Buka-an-bukan (jendela, ventilasi, cladding) dan open plan pada bangunan dapat mempengaruhi kekakuan gedung lab. FK Unissula	324
• Gambar 7.83. Gambar denah, tampak dan potongan gedung Hotel Artotel di Jl. Gajah Mada Semarang .....	331
• Gambar 7.84. Gambar denah kolom, balok & plat lantai gedung Hotel Artotel 12 lantai .....	333
• Gambar 7.85. Massa gedung Hotel Artotel 12 lantai yang super langsing dengan $H/W=9.11 > 4$ .....	335
• Gambar 7.86. Kekakuan kolom yang dipengaruhi tinggi kolom, tinggi balok & interupsi bukaan a). & b). kategori kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ) ...	336
• Gambar 7.87. Perletakan dinding geser yang mempertimbangkan keseimbangan kekakuan dapat memperkecil eksentrisitas antara center of massa (CM) dan center of rigidity (CR).....	341
• Gambar 7.88. Buka-an-bukaan di gedung Hotel Artotel terjadi di area lift, void, tangga dan shaft .....	342
• Gambar 7.89. Konfigurasi ketidakberaturan sistem non paralel Hotel Artotel .....	343
• Gambar 7.90. Ketinggian lantai yang cukup bervariasi tetapi masih batas toleransi sehingga meminimalisir potensi tingkat lunak/ <i>soft story</i> ..	344
• Gambar 7.91. Konfigurasi massa/berat bangunan hotel Artotel .....	346
• Gambar 7.92. a). Perluasan ruang dengan balok kantilever, b). Potensi tekuk pada balok ( $F_v$ ) dan kolom ( $M_v$ ) akibat gempa vertikal .....	347
• Gambar 7.93. Kontinuitas alur beban kolom dan dinding geser gedung hotel Artotel 12 lantai .....	349
• Gambar 7.94. Buka-an-bukan (jendela, ventilasi, cladding) dan open plan pada bangunan dapat mempengaruhi kekakuan gedung hotel Artotel 12 lantai .....	351
• Gambar 7.95. Gambar denah, tampak dan potongan gedung Toko T di Jl. MT. Haryono Semarang .....	358



• Gambar 7.96. Gambar denah kolom, balok & plat lantai gedung Toko T 6 lantai .....	361
• Gambar 7.97. Gabungan massa gedung kaku & non kaku Toko T 6 lantai dengan $H/W_1=2.06 < 4$ dan $H/W_2=4.54 > 4$ .....	362
• Gambar 7.98. Kekakuan kolom yang dipengaruhi tinggi kolom, tinggi balok & interupsi bukaan a). Kategori kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ), b). & c). kategori kolom langsing ( $h_0/D > 6$ ) .....	363
• Gambar 7.99. Perletakan dinding geser yang kurang mempertimbangkan keseimbangan kekakuan dapat memperbesar eksentrisitas antara <i>center of massa</i> (CM) dan <i>center of rigidity</i> (CR) .....	367
• Gambar 7.100. Konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam yang terbentuk antara pertemuan massa besar dan massa kecil Toko T .....	368
• Gambar 7.101. Bukaan-bukaan di Toko T terjadi di area lift, tangga dan shaft .....	369
• Gambar 7.102. Ketinggian lantai relatif tipikal kecuali lantai semi basement tetapi masih batas toleransi sehingga meminimalisir potensi tingkat lunak/ <i>soft story</i> .....	370
• Gambar 7.103. Konfigurasi massa/berat bangunan Toko T .....	371
• Gambar 7.104. Setback kantilever dengan potensi konsentrasi tegangan gaya vertikal gempanya medium .....	372
• Gambar 7.105. Kontinuitas alur beban kolom dan diskontinuitas alur beban dinding geser Toko T 6 lantai .....	374
• Gambar 7.106. Bukaan-bukaan (jendela, ventilasi) dan penggunaan dinding geser dapat mempengaruhi kekakuan Toko T .....	375
• Gambar 8.1. Konfigurasi geometri dengan bentuk-bentuk dasar : a). Tabung segitiga, b). Kotak bujur sangkar, c). Kotak persegi panjang dan d). Tabung silinder.....	400
• Gambar 8.2. Konfigurasi geometri dengan bentuk-bentuk organis .....	401
• Gambar 8.3. Konfigurasi geometri dengan bentuk massa subtraktif : a). Model dasar, dan b). Model subtraktif.....	401
• Gambar 8.4. Konfigurasi geometri dengan massa : a). Bentuk -X, b). Bentuk -Z, c). Bentuk -T, d). Bentuk -L, e). Bentuk -U dan f). Bentuk -	402

Y.....	
• Gambar 8.5. Perbedaan deformasi dan konsentrasi tegangan pada massa bentuk X akibat gempa.....	402
• Gambar 8.6. Deformasi diujung sayap massa dan konsentrasi tegangan di pertemuan massa dapat dikurangi dengan penggunaan massa podium.....	402
• Gambar 8.7. Komposisi massa sama bentuk dan beda ketinggian dapat menimbulkan perbedaan deformasi, konsentrasi tegangan di pertemuan massa dan torsi.....	403
• Gambar 8.8. Komposisi massa beda bentuk dan sama ketinggian dapat menimbulkan perbedaan deformasi dan torsi.....	403
• Gambar 8.9. Komposisi massa beda bentuk dan sama ketinggian dapat menimbulkan perbedaan deformasi dan torsi.....	404
• Gambar 8.10. Luas area beban kolom A1, A2, A3 & A4 .....	405
• Gambar 8.11. Hubungan modul struktur (a) dan dimensi balok (b) .....	406
• Gambar 8.12. a). Tinggi balok ( $h_b$ )= $1/14*L$ dan b). Tinggi balok ( $h_b$ )= $1/10*L$ .....	406
• Gambar 8.13. Kegagalan geser <i>short column</i> akibat perletakan lubang ventilasi .....	407
• Gambar 8.14. Posisi lubang jendela (a), lubang ventilasi (b) dan lubang dinding pagar pembatas (c) yang berpotensi terbentuknya <i>short column</i> .	407
• Gambar 8.15. Contoh analisa kolom yang berpotensi terjadi short column.....	408
• Gambar 8.16. Memberi jarak dengan dinding setebal $2xh_o$ antara kolom dan lubang jendela/ventilasi .....	408
• Gambar 8.17. Memberi celah 10 – 15 cm yang diisi dengan bahan getas/elastis antara kolom dengan lubang jendela ventilasi/jendela yang dibatasi kolom praktis .....	409
• Gambar 8.18. Disain kolom langsing : a). Didalam struktur utama, b). Diluar struktur utama .....	409
• Gambar 8.19. Evaluasi kolom langsing .....	410
• Gambar 8.20. Mengurangi potensi kolom langsing : a). Dimensi kolom	410

sebanding dengan tingginya, b). Gunakan balok interupsi .....	
• Gambar 8.21. Redundansi dan efektivitas SCWB $\geq 2$ Portal .....	411
• Gambar 8.22. Grafik hubungan dimensi kolom ( $b_c$ ) dan modul struktur ( $L_x$ & $L_y$ ).....	415
• Gambar 8.23. Bangunan langsing $H/W > 4$ .....	417
• Gambar 8.24. Jarak maksimal <i>core wall</i> dengan satu sisi terujung bangunan .....	419
• Gambar 8.25. Jaringan utilitas dengan posisi <i>core wall</i> di satu sisi terujung bangunan .....	419
• Gambar 8.26. <i>Core wall</i> di satu sisi terujung bangunan dapat menimbulkan torsi .....	420
• Gambar 8.27. <i>Core wall</i> di satu sisi ujung bangunan dan penambahan shear wall diujung lainnya dapat mengurangi potensi torsi .....	420
• Gambar 8.28. Jarak maksimal <i>core wall</i> di tengah bangunan dengan sisi terujung bangunan .....	420
• Gambar 8.29. Jaringan utilitas dengan posisi <i>core wall</i> di tengah bangunan .....	421
• Gambar 8.30. <i>Core wall</i> di tengah bangunan dapat menimalisir potensi torsi .....	421
• Gambar 8.31. Jangkauan ruang lebih luas dengan <i>double core</i> .....	421
• Gambar 8.32. Jaringan utilitas dengan posisi <i>core wall</i> di ujung-ujung bangunan .....	422
• Gambar 8.33. <i>Core wall</i> ganda di ujung-ujung bangunan dapat menimalisir potensi torsi .....	422
• Gambar 8.34. Jangkauan ruang lebih luas dengan <i>core</i> jamak .....	422
• Gambar 8.35. Jaringan utilitas dengan posisi <i>core wall</i> jamak di sudut-sudut bangunan .....	423
• Gambar 8.36. <i>Core wall</i> jamak di sudut-sudut bangunan dapat menimalisir potensi torsi.....	423
• Gambar 8.37. Jangkauan ruang tidak tipikal dengan <i>core</i> jamak acak .....	423
• Gambar 8.38. Jaringan utilitas dengan posisi <i>core wall</i> jamak acak .....	424
• Gambar 8.39. Susunan <i>core wall</i> jamak yang disusun berdasar	424

pertimbangan keseimbangan kekakuan dapat menimalisir potensi torsi ..	
• Gambar 8.40. Kombinasi massa ortogonal .....	424
• Gambar 8.41. Kombinasi massa paralel tetapi tidak sama besar .....	425
• Gambar 8.42. Pisahkan massa yang membentuk konfigurasi sudut dalam dengan dilatasi .....	425
• Gambar 8.43. Pembesaran area sudut dalam .....	425
• Gambar 8.44. Pembesaran balok dan kolom pada area pertemuan massa	426
• Gambar 8.45. Gunakan dinding geser pada posisi potensi konsentrasi gaya gempa (a s/d d) atau yang dapat memperkecil potensi torsi yang menyebabkan konsentrasi gaya gempa (e dan f) .....	426
• Gambar 8.46. Kolom di area void berpotensi menjadi kolom langsing (a dan b) .....	427
• Gambar 8.47. Void di bagian atap dan ditutupi dengan rangka baja yang relatif fleksibel menjadikan atap bagian kurang kaku dari bangunan .....	428
• Gambar 8.48. Re-disain kelangsingan kolom di area void dengan aturan $2 < h_o/D < 6$ (a dan b) .....	428
• Gambar 8.49. Kombinasi balok/kolom dan void pada struktur atap .....	429
• Gambar 8.50. Balok kantilever yang terbentuk pada seluruh lantai .....	430
• Gambar 8.51. Balok kantilever yang terbentuk pada lantai teratas .....	430
• Gambar 8.52. a). Panjang balok kantilever ( $L_k \leq 1/5 * \text{bentang struktur dibelakangnya (L)}$ ), b). Dimensi balok kantilever .....	431
• Gambar 8.53. Terbentuknya <i>strong story</i> dan <i>weak story</i> pada bangunan bertingkat .....	431
• Gambar 8.54. a). Dinding geser didisain gradual, b). Dinding geser didisain merata .....	432
• Gambar 8.55. Disain open plan pada lantai dasar yang menyebabkan potensi <i>soft story</i> .....	433
• Gambar 8.56. Beberapa konsep solusi soft story di lantai dasar .....	433
• Gambar 9.1. Kontribusi teoritis SVA Disain Arsitektur dalam rumpun keilmuan <i>Earthquake Architecture</i> .....	438
• Gambar 9.2. Kontribusi praktis SVA Disain Arsitektur dalam proses perancangan .....	439

## DAFTAR ISTILAH

- Adaptasi : Mengambil dengan melakukan perubahan besar-besaran
- Adjusment* : Mengambil dengan melakukan perubahan kecil
- Adopsi : Mengambil begitu saja tanpa merubah
- Aksis ortogonal : Dalam dua arah dan keduanya membentuk sudut  $90^{\circ}$ .
- Analisa pushover* : Analisa statik non-linear untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan atau struktur. Analisa dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan sampai runtuh.
- Analisa statik ekuivalen : Suatu representasi dari beban gempa setelah disederhanakan dan dimodifikasi, yang mana gaya inersia yang bekerja pada suatu massa akibat gempa disederhanakan menjadi gaya horizontal.
- Beban mati, Beban hidup, Beban gempa : **Beban mati** : Beban dengan besar yang konstan dan berada pada posisi yang sama setiap saat yang merupakan berat sendiri struktur dan beban lain yang melekat pada struktur secara permanen.  
**Beban hidup** : Beban yang besar dan posisinya dapat berubah-ubah dan dapat bergerak dengan tenaganya sendiri yang disebut beban bergerak.  
**Beban gempa** : Beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa bumi (baik itu gempa tektonik atau vulkanik) yang mempengaruhi struktur tersebut.
- Dinding struktural beton biasa (SDSB) : Sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, yang beban gravitasinya dipikul oleh dinding penumpu dan sistem bresing, sedangkan beban lateral akibat gaya gempa dipikul oleh dinding geser atau rangka bresing. Tingkat daktilitasnya terbatas dapat digunakan pada daerah resiko gempa rendah dan menengah.
- Dinding struktural beton khusus (SDSK) : Sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, yang beban gravitasinya dipikul oleh dinding penumpu dan sistem bresing, sedangkan beban lateral akibat gaya gempa dipikul oleh dinding geser atau rangka bresing. Tingkat daktilitasnya penuh atau tinggi, digunakan pada daerah dengan tingkat resiko tinggi.

- Kekakuan (*stiffness* ),  
Kekuatan (*strength*),  
Daktilitas/*ductility*
- : **Kekakuan (*stiffness* )** : Kemampuan struktur untuk mempertahankan batas toleransi deformasi akibat gaya.  
**Kekuatan (*strength*)** : Kapasitas suatu elemen struktur atau sekumpulan elemen struktur dalam menahan gaya  
**Daktilitas (*ductility*)** : Kemampuan struktur, komponennya atau material yang digunakan untuk memberikan tahanan dalam domain inelastis tanpa struktur mengalami keruntuhan
- Deformasi
- : Perubahan bentuk struktur akibat adanya gaya dari luar maupun dari dalam.
- Dilatasi
- : Sebuah sambungan/garis pada sebuah bangunan yang karena sesuatu hal memiliki sistim struktur berbeda untuk menghindari kerusakan atau retak – retak pada bangunan yang ditimbulkan oleh gaya vertikal dan horizontal, seperti pergeseran tanah, gempa bumi, dan lain - lain
- Drift ratio* (%)
- : Simpangan pada tingkat itu dinormalisasi dengan ketinggian dari tingkat itu ke tingkat di bawah.
- Eksentrisitas, Pusat Kekakuan, Pusat Massa
- : **Eksentrisitas** : pusat kekakuan dan pusat massa pada gedung tidak berimpit yang mengakibatkan gedung akan mengalami puntir.  
**Pusat kekakuan** : titik dimana pada suatu lantai bangunan, apabila bekerja gaya horizontal pada titik tersebut, lantai tingkat tersebut tidak mengalami rotasi tapi hanya bertranslasi.  
**Pusat massa** : letak titik tangkap resultante beban mati dan beban hidup yang sesuai yang bekerja pada lantai tingkat tersebut.
- Faktor keutamaan fungsi bangunan (*I<sub>e</sub>*)
- : Tingkat resiko yang dibolehkan pada suatu bangunan tergantung peruntukan bangunan. Bangunan yang penting tingkat resikonya harus lebih kecil dibandingkan bangunan biasa sehingga faktor keutamaan bangunan penting lebih besar dari pada bangunan biasa dan sebaliknya. Hal ini dilakukan untuk menghindari bangunan tersebut dari kerusakan yang terjadi.
- Earthquake architecture*
- : Perpaduan antara *earthquake engineering* dan arsitektur yang menghasilkan karya arsitektur yang menarik dan tahan gempa.
- Faktor kuat lebih ( $\Omega_0$ ),  
Faktor modifikasi respon (**R**)
- : **Faktor kuat lebih ( $\Omega_0$ )** : parameter kuat lebih bahan dan sistem struktur yang tidak boleh lebih kecil dari 3.  
**Faktor modifikasi respon (**R**)** : parameter reduksi beban gempa sehingga desain struktur bangunan direncanakan tidak dalam kondisi elastis, namun boleh mengalami proses

- plastifikasi pada elemen-elemen struktur yang sudah direncanakan untuk mengalaminya ketika bangunan menerima beban gempa.
- Faktor modifikasi gaya geser tingkat  $\left(\frac{n+1}{n+i}\right)$ , Faktor modifikasi gaya gempa tingkat  $\left(\frac{n+i}{2n-i+1}\right)$  : **Faktor modifikasi gaya geser tingkat** : Suatu faktor normalisasi indeks kekuatan kolom dan/atau dinding geser dari lantai atas yang setara dengan koefisien geser dasar dengan pertimbangan tingkat lantai dan distribusi gaya lateral gempa yang semakin ke atas semakin mengecil.  
**Faktor modifikasi gaya gempa tingkat** $\left(\frac{n+i}{2n-i+1}\right)$  : Suatu faktor normalisasi indeks kekuatan gempa dari lantai atas yang setara dengan koefisien gaya gempa dengan pertimbangan tingkat lantai dan distribusi gaya gempa yang semakin ke atas semakin membesar.
- FEMA : *The Federal Emergency Management Agency*/Badan Penanggulangan Bencana Federal Amerika
- Gaya geser dasar gempa (V) : Pengaruh gempa pada struktur bangunan biasanya dimodelkan dengan terjadinya gaya geser yang bekerja pada dasar bangunan.
- Gaya lateral : Gaya pada bangunan yang bersifat horizontal dengan arah yang tidak menentu, seperti angin dan gempa bumi.
- Immediate Occupancy (IO), Life Safety (LS), Collapse Prevention (CP)* : **Immediate Occupancy (IO)** : Suatu keadaan kerusakan pasca gempa di mana hanya terjadi kerusakan struktural yang sangat terbatas. terjadi.  
**Life Safety (LS)** : Suatu keadaan kerusakan pasca-gempa di mana kerusakan signifikan pada struktur telah terjadi, tetapi masih dalam batas beberapa bagian mengalami runtuh struktur sebagian atau total.  
**Collapse Prevention (CP)** : Suatu keadaan kerusakan pasca-gempa di mana bangunan berada di ambang mengalami keruntuhan sebagian atau total.
- Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO}$ ) : Tingkat standar indeks seismik yang diperlukan untuk bangunan agar aman terhadap bahaya gempa di lokasi gedung.
- Indeks daktilitas ( $R/\Omega_0$ ) : Indeks yang merepresentasikan kapasitas deformasi dari suatu bagian struktural yaitu faktor modifikasi respon (R) dinormalisasi faktor kuat lebih ( $\Omega_0$ ).
- Indeks dimensi dinding geser ( $I_{Asw-i}$ ) : Kekuatan lateral atau kapasitas lateral dari dinding geser pada suatu tingkat yang berupa koefisien indeks dimensi dinding geser yaitu luas total dinding geser disain dinormalisasi luas total

- dinding geser minimal.
- Indeks dimensi kolom ( $I_{Ac-i}$ ) : Kekuatan lateral atau kapasitas lateral dari kolom pada suatu tingkat yang berupa koefisien indeks dimensi kolom yaitu luas total kolom disain dinormalisasi luas total kolom minimal.
- Indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen ( $E_o$ ) : Indeks yang merepresentasikan kinerja dasar seismik struktur rangka pemikul momen, dievaluasi sebagai fungsi dari indeks dimensi kolom ( $I_{Ac-i}$ ), indeks jenis kolom ( $I_{C-i}$ ), indeks strong column-weak beam ( $I_{SCWB-i}$ ), indeks periode getar struktur ( $I_T$ ), indeks daktilitas ( $R/\Omega_0$ ), dan faktor modifikasi gaya geser tingkat  $\left(\frac{n+1}{n+i}\right)$ .
- Indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dan dinding geser ( $E_o$ ) : Indeks yang merepresentasikan kinerja dasar seismik struktur rangka pemikul momen dan dinding geser, dievaluasi sebagai fungsi dari indeks dimensi kolom ( $I_{Ac-i}$ ), indeks dimensi dinding geser ( $I_{ASW-i}$ ), indeks jenis kolom ( $I_{C-i}$ ), indeks jenis dinding geser ( $I_{SW-i}$ ), indeks strong column-weak beam ( $I_{SCWB-i}$ ), indeks periode getar struktur ( $I_T$ ), indeks daktilitas ( $R/\Omega_0$ ), dan faktor modifikasi gaya geser tingkat  $\left(\frac{n+1}{n+i}\right)$ .
- Indeks ireguleritas ( $S_D$ ) : Suatu indeks yang memodifikasi indeks gempa dasar dari struktur ( $E_o$ ) dalam pertimbangan ketidakseimbangan dalam distribusi kekakuan dan/atau ketidakteraturan dalam rencana struktural dan elevasi bangunan.
- Indeks jenis dinding geser ( $I_{SW-i}$ ) : Indeks yang merepresentasikan kekakuan dinding geser, dievaluasi sebagai fungsi dari perkalian indeks dinding geser ( $I$ ) dan jumlah jenis dinding geser a, b & c ( $N_{SW-a, b \& c}$ ) dinormalisasi jumlah total dinding geser  $\sum N_{SW}$ .
- Indeks jenis kolom ( $I_{C-i}$ ) : Indeks yang merepresentasikan kekakuan kolom, dievaluasi sebagai fungsi dari perkalian indeks kolom ( $I$ ) dan jumlah jenis kolom a, b & c ( $N_{C-a, b \& c}$ ) dinormalisasi jumlah total kolom ( $\sum N_C$ ).
- Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_S$ ) : Indeks yang merepresentasikan kinerja struktur gempa.
- Indeks kekuatan geser struktur : Kekuatan lateral atau kapasitas lateral dari elemen struktural pada suatu tingkat yang berupa koefisien geser, yaitu gaya geser dinormalisasi oleh berat bangunan didukung oleh lantai suatu tingkat.



- Indeks kolom dan dinding geser (I) : Indeks yang merepresentasikan kekakuan kolom & dinding geser yaitu perkalian rata-rata tegangan geser dan daktilitas kolom & dinding geser dinormalisasi perkalian rata-rata tegangan geser dan daktilitas kolom & dinding geser maksimum.
- Indeks periode getar struktur (I<sub>T</sub>) : Indeks yang merepresentasikan kerjasama seluruh elemen struktur (redundansi), dievaluasi sebagai periode getar struktur berdasarkan perhitungan software (T<sub>c</sub>) dinormalisasi periode getar struktur maksimum yang diperbolehkan (T<sub>max</sub>).
- Indeks respon seismik (I<sub>CS</sub>) : Indeks yang merepresentasikan kekuatan lateral gempa, dievaluasi sebagai koefisien respon seismik disain (C<sub>S</sub>) dinormalisasi koefisien respon seismik minimum (C<sub>S min</sub>).
- Indeks *Strong Column Weak Beam* (I<sub>SCWB-i</sub>) : Indeks yang merepresentasikan kekuatan kolom > kekuatan balok, dievaluasi sebagai jumlah kolom yang memenuhi  $W_p \text{ kolom} \geq 1.2 \times W_p \text{ balok}$  (N<sub>SCWB</sub>) dinormalisasi jumlah total kolom ( $\sum N_c$ ).
- Indeks waktu (t) : Indeks yang memodifikasi indeks gempa dasar dari struktur E<sub>0</sub> sebagai pertimbangan proses penuaan bangunan.
- JBDPA : *The Japan Building Disaster Prevention Association*/Asosiasi Pencegahan Bencana Bangunan Jepang
- Kapasitas/kekuatan geser balok, kolom dan *shear wall* : Kemampuan balok, kolom dan *shear wall* dalam menahan gaya-gaya yang tegak lurus sumbunya. Pada material beton kapasitas/kekuatan geser balok, kolom dan *shear wall* ditentukan kuat geser beton dan kuat geser baja tulangan.
- Koefisien respon seismik disain (C<sub>S</sub>), Koefisien respon seismik minimum (C<sub>S min</sub>) : **Koefisien respon seismik disain (C<sub>S</sub>)** : Koefisien yang merepresentasikan kekuatan lateral gempa rencana, dievaluasi sebagai zona gempa (S<sub>S</sub> & S<sub>1</sub>), jenis tanah, sistem struktur, tinggi bangunan, periode getar struktur dan faktor keutamaan fungsi bangunan (I<sub>e</sub>).  
**Koefisien respon seismik minimum (C<sub>S min</sub>)** : Koefisien yang merepresentasikan kekuatan lateral gempa minimum dimana S<sub>S</sub>=0.25g dan S<sub>1</sub>=0.1g berdasarkan FEMA 155-2015.
- Kolom langsing (*slender column*), Kolom normal, Kolom pendek (*short column*) : **Kolom langsing (*slender column*)** : Kolom dimana tinggi kolom bersih (h<sub>0</sub>) dibanding lebarnya (D) lebih besar sama dengan 6 ( $6 \leq h_0/D$ ), dimana mekanisme keruntuhannya ditentukan oleh kekuatan bahannya (baja atau betonnya), momen lentur dan momen tambahan akibat faktor tekuk.

**Kolom normal** : Kolom dimana tinggi kolom bersih ( $h_0$ ) dibanding lebarnya ( $D$ ) lebih kecil dengan 6 tetapi lebih besar 2 ( $2 < h_0/D < 6$ ), di mana mekanisme keruntuhannya ditentukan oleh kekuatan bahannya (baja atau betonnya) dan mungkin juga oleh adanya momen lentur.

**Kolom pendek (*short column*)** : Kolom dimana tinggi kolom bersih ( $h_0$ ) dibanding lebarnya ( $D$ ) lebih kecil sama dengan 2 ( $2 \geq h_0/D$ ) di mana mekanismenya keruntuhannya ditentukan oleh kekuatan bahannya (baja atau betonnya) tanpa adanya momen lentur.

- Konfigurasi diskontinuitas diafragma : Jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 persen daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 persen dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.
- Konfigurasi diskontinuitas ketidakberaturan kuat lateral tingkat/*weak story* : Jika kuat lateral tingkat kurang dari 80% dan 65% kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.
- Konfigurasi ketidakberaturan berat/massa : Jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.
- Konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal/*setback* : Jika dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130% dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya.
- Konfigurasi ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang & diskontinuitas arah bidang : Jika terdapat pergeseran elemen vertikal arah melintang dan arah bidang.
- Konfigurasi ketidakberaturan sistem nonparalel : Jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya gempa.
- Konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam : Jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan.
- Konfigurasi ketidakberaturan torsi : Jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali & 1.4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur.

- Konfigurasi tingkat lunak/*soft story* : Jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70% & 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% & 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.
- Konfigurasi tingkat lemah / *weak story* : Jika kuat lateral tingkat kurang dari 80% & 65% kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.
- Massa aditif : Proses perubahan bentuk (transformasi) dengan penambahan elemen tetap satu bentuk atau bentuk lainnya
- Massa subtraktif : Proses perubahan bentuk (transformasi) dengan merubah volume tetap satu bentuk atau bentuk lainnya.
- Mode* : Pada analisis dinamik, periode getar diasosiasikan dengan pola goyangan (*mode shape*). *Mode shape* yang memiliki frekuensi terendah (periode terpanjang) disebut sebagai *mode shape* pertama (*mode* satu atau *fundamental mode*). *Mode shape* pertama yang umumnya diadopsi, artinya struktur dianggap cukup fleksibel dengan lantai-lantai tingkat yang relatif kaku. Setiap struktur memiliki banyak frekuensi natural yang berhubungan dengan *mode shape* sebagai degree of freedom (DoF). Analisis untuk mencari *mode shape* (eigenvalue analysis) dilakukan dengan komputer
- Modulus plastis ( $W_p$ ) : Properti geometrik untuk penampang melintang dari suatu objek yang umumnya digunakan dalam bahan di mana perilaku plastis dapat diamati.
- Participating mass ratio* : Pada analisis dinamik, faktor persentase massa yang mewakili berapa banyak struktur yang berpartisipasi dalam getaran untuk setiap mode getaran ketika struktur bergetar pada mode getaran kompleks. Misalnya, jika mode pertama *participating mass ratio* adalah 60%, 60% dari total massa struktur berpartisipasi dalam mode pertama. Oleh karena itu, mode dengan faktor partisipasi massa yang tinggi dipertimbangkan dalam gelombang gempa untuk analisis.
- Performance level* : Pada analisa pushover, diekspresikan 2 hal pokok yaitu level kerusakan dan status operasional yang keduanya merupakan tingkatan-tingkatan kinerja struktur bangunan akibat level *hazard* yang berbeda (*Immediate Occupancy-IO*, *Life Safety-LS*, *Collapse Prevention-CP*).

- Performa seismik : Pada analisa *Pushover*, proses disain bangunan yang mana kinerja bangunan yang dikehendaki ditentukan terlebih dahulu dan di ujung proses disain target kinerja tersebut dipakai sebagai *acceptance criteria* yang harus dipenuhi.
- Periode getar struktur (T) : Waktu yang diperlukan untuk menempuh satu putaran lengkap dari suatu getaran ketika terganggu dari posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi aslinya.
- Redundansi : Karakteristik dimana seluruh elemen struktur sebagai bagian menahan beban gempa.
- Rapid Visual Assesment (RVS), Simplified Vulnerability Assesment (SVA) & Detailed Vulnerability Assesment (DVA)* : **Rapid Visual Analysis (RVS)/** Pemilahan Visual dengan Cepat : Prosedur ini hanya membutuhkan evaluasi visual dan informasi tambahan terbatas dan tidak melibatkan perhitungan struktural tetapi penilaian berdasar visual dan skoring  
**Simplified Vulnerability Assesment (SVA)/** Penilaian Kerentanan Sederhana : Prosedur ini membutuhkan analisis *engineering* terbatas berdasarkan informasi gambar struktural dan arsitektural. Hasil dari prosedur SVA dapat digunakan untuk mendasari status potensial dari bangunan yang dipilih dan selanjutnya ada daftar pendek bangunan yang membutuhkan penilaian kerentanan yang lebih detail.  
**Detailed Vulnerability Assesment (DVA)/** Penilaian Kerentanan Detail : Prosedur ini membutuhkan analisis komputer detail, bisa sama atau bahkan lebih kompleks daripada yang dibutuhkan untuk disain bangunan baru.
- Sistem ganda struktur rangka pemikul momen (SRPMB, SRPMM, SRPMK) dan sistem dinding struktural (SDSB, SDKS) : Sistem struktur dengan rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh sistem rangka pemikul momen (SRPMB, SRPMM, SRPMK) dan dinding geser (SDSB, SDKS).
- Strong column-weak beam (SCWB)* : Total momen kolom harus lebih 1.2 kali lebih besar total momen balok. Tujuannya untuk mencegah terjadinya sendi plastis pada kolom-kolom yang pada dasarnya didisain sebagai komponen pemikul beban lateral sedangkan pelelehan didisain hanya pada balok sehingga walaupun bangunan mengalami deformasi inelastis yang besar tetapi tidak terjadi keruntuhan.

- Struktur rangka pemikul momen biasa (SRPMB) : Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur. Tingkat daktilitasnya terbatas dan hanya cocok digunakan di daerah dengan resiko gempa yang rendah.
- Struktur rangka pemikul momen menengah (SRPMM) : Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur. Tingkat daktilitasnya sedang dan digunakan di daerah dengan resiko gempa sedang.
- Struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK) : Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur. Tingkat daktilitasnya tinggi atau daktilitas penuh, sistem ini harus digunakan pada daerah dengan tingkat resiko gempa yang tinggi.
- SVA Desain Arsitektur : Metode penilaian sederhana kerentanan bangunan terhadap gempa berdasarkan gambar arsitektur dan struktur yang masih dalam proses desain arsitektur.
- Target displacement* : Pada analisa *pushover*, prosesnya bisa dilakukan dengan prosedur *load-controlled* atau *displacement-controlled*. Prosedur *load-controlled* digunakan jika beban yang diaplikasikan telah diketahui nilainya. Misalnya, beban gravitasi bisa diaplikasikan dalam *pushover load-controlled*. Prosedur *displacement-controlled* biasanya digunakan jika beban yang bisa ditahan oleh suatu struktur belum diketahui dengan pasti. Sehingga, beban tersebut ditingkatkan sampai struktur mencapai suatu nilai simpangan target (***target displacement***).
- Torsi : Efek momen termasuk putaran/ puntiran yang terjadi pada penampang tegak lurus terhadap sumbu utama dari elemen
- Translasi : Perpindahan dari suatu titik tertentu pada sebuah struktur akibat adanya gaya dari luar maupun dari dalam.

## DAFTAR NOTASI

- $a_{r-i}$  = rasio luas kolom dan/atau dinding geser ditingkat  $-i$  ( $\sum a_e$ ) <sub>$i$</sub>  dan luas kolom dan/atau dinding geser satu tingkat dari tingkat  $-i$  ( $\sum a_e$ ) <sub>$i+1$</sub> .
- $A_g$  = luas kolom ( $m^2$ )
- $\sum A_C$  = luas total kolom disain ( $m^2$ )
- $\sum A_{C \min}$  = luas total kolom minimal ( $m^2$ )
- $\sum A_{SW}$  = luas total dinding geser disain ( $m^2$ )
- $\sum A_{SW \min}$  = luas total dinding geser minimal ( $m^2$ )
- $b_b$  = lebar balok (m)
- $b_c$  = lebar kolom (m)
- $b_{r-i}$  = rasio luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan ( $l_{p-i}$ ) tingkat ke  $-i$  dan luas lantai bangunan utama tingkat ke  $-i$  ( $l_{u-i}$ )
- $C_S$  = koefisien respon seismik disain
- $C_{S \min}$  = koefisien respon seismik minimum
- $d_{r-i}$  = rasio kepadatan dinding (%), luas dinding bata lantai tingkat ke  $-i$  ( $\sum d_i$ ) dan luas lantai di lantai tingkat ke  $-i$  ( $\sum l_{tot-i}$ ).
- $e_{r-i}$  = rasio antara panjang eksentrisitas ( $e_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan lebar bangunan ( $w_i$ ) tingkat ke  $-i$
- $e_{v-i}$  = rasio luas lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll tingkat ke  $-i$  ( $l_{b-i}$ ) dan luas lantai tingkat ke  $-i$  ( $l_{l-i}$ )
- $E_0$  = indeks gempa dasar struktur
- $E_{0-i}$  = indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen di tingkat ke  $-i$  atau struktur rangka pemikul momen & dinding geser di tingkat ke  $-i$
- $fc'$  = mutu beton ( $Kg/m^2$ )
- $h$  = tinggi kolom lantai perlantai (m)
- $h_b$  = tinggi balok (m)
- $h_c$  = tinggi kolom (m)
- $h_o$  = tinggi kolom bersih ( $h-h_b$ ) (m)
- $H$  = tinggi bangunan (m)
- $i$  = jumlah tingkat yang dievaluasi. Dimana tingkat pertama diberi nomor 1 dan tingkat selanjutnya  $n$

- $I$  = indeks kolom atau dinding geser
- $I_{Ac-i}$  = indeks dimensi kolom di tingkat ke- $i$
- $I_{Asw-i}$  = indeks dimensi dinding geser di tingkat  $-i$
- $I_{C-i}$  = indeks jenis kolom di tingkat ke- $i$
- $I_{CS}$  = indeks respon seismik
- $I_e$  = Faktor keutamaan fungsi bangunan
- $I_S$  = Indeks kapasitas gempa struktur
- $I_{S-i}$  = Indeks kapasitas gempa struktur di tingkat  $-i$
- $I_{SO}$  = indeks beban lateral gempa
- $I_{SO-i}$  = indeks beban lateral gempa di tingkat  $-i$
- $I_{SW-i}$  = indeks jenis dinding geser di tingkat  $-i$
- $I_{SCWB-i}$  = indeks *Strong Column Weak Beam* di tingkat  $-i$
- $I_T$  = Indeks periode getar struktur,  $T_c \leq T_{max} \rightarrow I_T = 1$  dan  $T_c > T_{max} \rightarrow I_T = 0$
- $j_{r-i}$  = rasio jumlah elemen balok, kolom dan/atau dinding geser yang tidak mengikuti aksis ortogonal ( $\sum j_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan jumlah total elemen balok, kolom dan/atau dinding geser tingkat ke  $-i$  ( $\sum j_{t-i}$ ).
- $l_{r-i}$  = rasio tinggi kolom/dinding geser satu tingkat dari tingkat  $-i$  ( $l_{i+1}$ ) dan tinggi kolom ditingkat  $-i$  ( $l_i$ ).
- $L_k$  = bentang balok kantilever (m)
- $L$  = bentang balok / lebar bangunan (m)
- $L_x$  &  $L_y$  = bentang balok aksis  $-X$  &  $-Y$  (m)
- $m_{r-i}$  = rasio massa lantai ditingkat  $-i$  ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat  $-i$  ( $m_{i+1}$ ).
- $n$  = jumlah tingkat bangunan
- $\sum N_C$  = jumlah total kolom
- $N_{C-a}$  = jumlah jenis kolom  $-a$  (tabel 5.1)
- $N_{C-b}$  = jumlah jenis kolom  $-b$  (tabel 5.1)
- $N_{C-c}$  = jumlah jenis kolom  $-c$  (tabel 5.1)
- $N_{SCWB}$  = Jumlah kolom yang memenuhi  $W_p \text{ kolom} \geq 1.2 \times W_p \text{ balok}$
- $N_{SW-a}$  = jumlah jenis dinding geser  $-a$  (tabel 5.1)
- $N_{SW-b}$  = jumlah jenis dinding geser  $-b$  (tabel 5.1)

- $N_{SW-c}$  = jumlah jenis dinding geser  $-c$  (tabel 5.1)
- $\frac{n+1}{n+i}$  = faktor modifikasi kapasitas geser tingkat, mengikuti distribusi semakin keatas semakin mengecil
- $\frac{n+i}{2n-i+1}$  = faktor modifikasi gaya gempa tingkat, mengikuti distribusi semakin keatas semakin membesar
- $P_u$  = beban total yang bekerja pada kolom (Kg)
- $R$  = faktor modifikasi respon berdasarkan SNI 1726:2012 (tabel 5.2)
- $R/\Omega_0$  = indeks daktilitas
- $S_D$  = indeks ireguleritas
- $S_{D-i}$  = indeks ireguleritas di tingkat  $-i$
- $S_{r-i}$  = rasio panjang bangunan (L) tingkat ke  $-i$  dan panjang *setback* bangunan (A) tingkat ke  $-i$
- $S_s$  = parameter percepatan respons spektral MCE (gempa tertimbang maksimum) dari peta gempa pada perioda pendek
- $S_1$  = parameter percepatan respons spektral MCE (gempa tertimbang maksimum) dari peta gempa pada perioda 1 detik
- $t$  = indeks waktu
- $T_c$  = periode getar struktur berdasarkan perhitungan *software* (detik)
- $T_{max}$  = periode getar struktur maksimum yang diperbolehkan (detik)
- $W$  = lebar bangunan (m)
- $W_p$  = modulus plastis ( $m^3$ )
- $W_{pb}$  = modulus plastis balok ( $m^3$ )
- $W_{pc}$  = modulus plastis kolom ( $m^3$ )
- $\Omega_0$  = faktor kuat lebih SNI 1726:2012 (tabel 5.2)

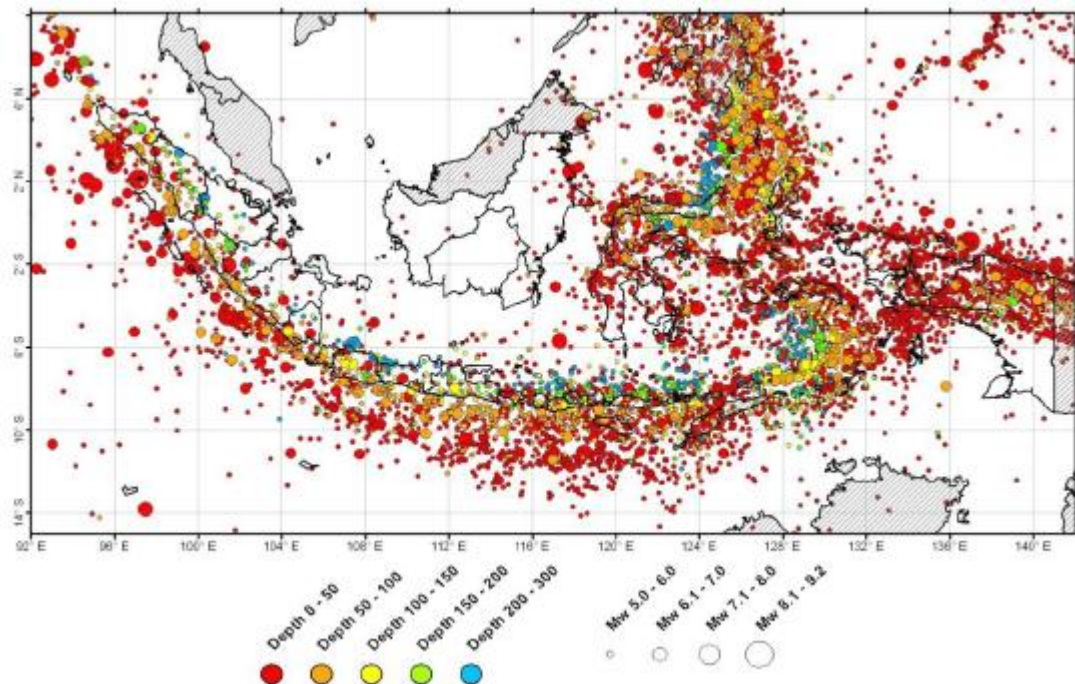


# BAB I. PENDAHULUAN

## 1.1. LATAR BELAKANG

### 1.1.1. INDONESIA RAWAN GEMPA

Indonesia merupakan negara rawan bencana gempa bumi karena dilewati beberapa jalur gempa teraktif di dunia, seperti jalur gempa Mediteranian dan Circum Pasifik. Dengan demikian, sudah ribuan kali gempa besar maupun kecil yang tercatat dan tidak tercatat menimpa Indonesia (lihat gambar 1.1).



Gambar 1.1. Data episenter gempa utama di Indonesia dan sekitarnya untuk magnituda  $M \geq 5.0$  yang dikumpulkan dari berbagai sumber dalam rentang waktu tahun 1900-2000 (sumber : Irsyam & Et.al. 2010)

Gempa Aceh tahun 2004 menimbulkan 220.240 jiwa tewas atau hilang karena diikuti oleh gelombang Tsunami dan mengakibatkan kerusakan hampir seluruh infrastruktur serta bangunan yang ada. Hal tersebut, diikuti pada beberapa gempa lainnya seperti gempa Yogyakarta tahun 2006, gempa Bengkulu dan Sumatra Barat tahun 2007 yang juga menimbulkan korban jiwa dan kerusakan tidak sedikit pada bangunan (lihat tabel 1.1). Dengan kondisi rawan gempa seperti ini sudah seharusnya bangunan-bangunan yang ada di Indonesia didesain tahan gempa.

Tabel 1.1. Data gempa di Indonesia (sumber :  
Maidiawati et al. 2011)

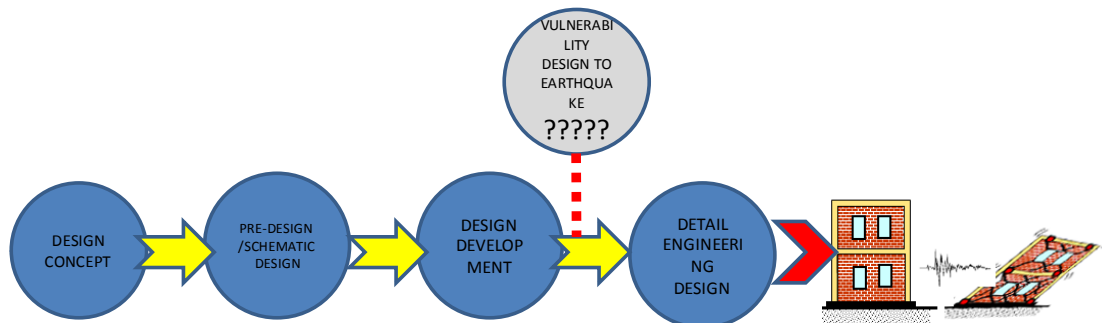
No.	Nama Gempa	Magnitud (Mu)	Tewas / hilang	Luka-luka	Kerusakan Gedung			Kerusakan rumah		
					Berat	Sedang	Ringan	Berat	Sedang	Ringan
1	Gempa & Tsunami Aceh, 26 Desember 2004	8.9	220.240	-	344.770	348.564	-	127.325	151.653	-
2	Gempa Nias, 28 Maret 2005	8.6	915	75.499	1.451	-	77	13.480	39.722	-
3	Gempa Yogyakarta, 27 Mei 2006	6.3	5.737	38.423	127.879	182.392	261.219	109.048	99.009	202.044
4	Gempa Sumatera Barat-Bukit Tinggi, 6 Maret 2007	6.4	-	-	-	4811	-	12.948	12.801	17.970
5	Gempa Bengkulu & Mentawai, 12 & 13 September 2007	8.4 & 7.9	-	-	2	-	-	88.487	10.505	49.433
6	Gempa Tasikmalaya, 2 September 2009	7.3	-	-	8.585	-	9.111	900	-	512
7	Gempa Sumatera Barat-Padang, 30 September 2009	7.6	>1.000	>2.000	3.927	2.236	1.767	119.005	73.733	78.802
8	Gempa Sumatera Barat-Mentawai, 26 Oktober 2009	7.2	546	412	14	-	-	522	-	204

Pada kenyataannya fenomena kerusakan bangunan-bangunan tersebut merupakan tipe kerusakan yang sama dan terulang setiap terjadi gempa besar, maka hal tersebut mengindikasikan mal-praktek konstruksi (Hoedajanto dan Riyansyah, 2015). Kerusakan-kerusakan fatal yang terjadi pada bangunan akibat gempa di Indonesia tidak hanya pada '*non-engineered building*', tetapi juga pada '*engineered building*'. Kesalahan yang terjadi mulai dari perencanaan, pelaksanaan, dan pemeliharaan bangunan (Boen, 2006., 2007a., 2007b). Secara logis, *engineered building* melalui proses perencanaan seharusnya lebih aman dibandingkan *non-engineered building*, tetapi yang terjadi bangunan *engineered* ternyata banyak menimbulkan korban akibat keruntuhan bangunan.

### 1.1.2. PROSES PERENCANAAN BANGUNAN

Dalam perencanaan bangunan tahan gempa merupakan tanggung jawab arsitek dan ahli struktur (Arnold dan Stewart, 2000., Saradj, 2008). Dengan demikian, adanya kegagalan bangunan karena gempa akibat kesalahan perencanaan seharusnya menjadi tanggung jawab arsitek dan ahli struktur. Di Undang-Undang Nomor 18 tahun 1999 tentang Jasa Konstruksi pasal 26 yang menyebutkan bahwa apabila terjadi

kegagalan bangunan disebabkan kesalahan perencanaan bisa dikenakan ganti rugi. Selanjutnya, pada pasal 43 menyebutkan bahwa perencana, pelaksana, dan pengawas pekerjaan konstruksi yang mengakibatkan kegagalan konstruksi atau kegagalan bangunan dapat dikenakan pidana. Dengan demikian, konsekuensi dari arsitek dan ahli struktur sebagai perencana bangunan seharusnya dapat bekerjasama dengan baik. Arsitek harus memahami dasar pengetahuan *seismic engineering* yang menjadi kebutuhan struktur. Di lain pihak ahli struktur harus memahami kebutuhan fungsional dan aspirasi arsitek. Dengan kolaborasi yang baik antara keduanya diharapkan dapat tercipta *earthquake architecture* (Arnold, 1996). *Earthquake architecture* merupakan perpaduan antara *earthquake engineering* dan arsitektur yang menghasilkan karya arsitektur spesial dan tahan gempa (Slak dan Kilar, 2008).



Gambar 1.2. Standar proses disain di Indonesia (IAI, 2007)

Langkah awal mewujudkan *earthquake architecture* dalam proses desain, arsitek dapat mengidentifikasi dan mengevaluasi kerentanan bangunannya terhadap gempa (Slak dan Kilar, 2012). Standar tahapan proses desain di Indonesia menurut ketentuan Ikatan Arsitek Indonesia (IAI) (IAI, 2007) yaitu dari tahap konsep desain (*design concept*), tahap pra-desain/skematis, desain (*pre-design/schematic design*), tahap pengembangan desain (*design development*), dan tahap pembuatan gambar kerja (*detail engineering design*) (gambar 1.2). Dalam tahap-tahap proses desain tersebut biasanya arsitek terfokus pada tata ruang dan tata bentuk sehingga kerentanan bangunan terhadap gempa sering terabaikan. Diketahui adanya kerentanan desain bangunan terhadap gempa pada tahap proses desain, maka dapat dilakukan perubahan desain untuk mengurangi resiko yang kemungkinan terjadi pada saat gempa kuat. Selain itu, dalam mendesain bangunan tahan gempa, arsitek seharusnya mempunyai ahli struktur yang handal. Akan tetapi, hal yang salah mengasumsikan mereka dapat mengatasi segalanya (Arnold and Stewart, 2000).

### 1.1.3. KESENJANGAN TEORITIK DAN EMPIRIK

Perihal yang menjadi kendala dalam mengidentifikasi dan mengevaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa dalam proses desain yaitu belum adanya metode evaluasi yang memang khusus diperuntukkan bagi tujuan tersebut. Alternatifnya, mengadaptasi metode evaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa yang sudah ada yaitu *Simplified Vulnerability Assesment* (SVA) dan disesuaikan dengan kondisi konstruksi yang ada di Indonesia. SVA adalah analisis *engineering* terbatas berdasarkan informasi dari gambar arsitektur dan struktur pada bangunan eksisting. *The Japan Building Disaster Prevention Association* (JBDPA) dan Matsutaro Seki mengembangkan SVA. Model matematika JBDPA dan Seki ini relatif sederhana dalam memprediksi kerentanan terhadap gempa karena bisa dihitung dengan cepat (*manual/spreadsheet*), mudah (rumus-rumus sederhana), terukur dan relatif akurat. Seki memodifikasi SVA JBDPA dan menyesuaikannya dengan peraturan gempa internasional. Akan tetapi, kedua metode SVA tersebut digunakan untuk mengevaluasi kerentanan bangunan yang sudah ada terhadap gempa dengan tujuan *retrofit*, sedangkan metode SVA untuk desain arsitektur sampai saat ini belum ada. Adaptasi metode SVA Desain Arsitektur ini bertujuan membangun prosedur atau metode yang dapat digunakan oleh arsitek dalam mengevaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa pada proses desain arsitektur yang sesuai dengan kondisi Indonesia. Setelah didapatkan metode SVA Desain Arsitektur, hasil adaptasi ini divalidasi dan digunakan untuk mengevaluasi kerentanan bangunan yang ada di Semarang sebagai salah satu kota paling rawan gempa di Pulau Jawa (Partono, 2015). Hasilnya kelemahan desainnya terhadap gempa dibuat *guidance* agar desain bangunannya lebih tahan terhadap gempa.

**Dengan demikian, terdapat kesenjangan (*gap*) antara harapan teoritik dengan kenyataan di lapangan. Disatu sisi Indonesia rawan gempa, banyak bangunan ‘*engineered*’ mengalami roboh dan rusak berat diakibatkan oleh kesalahan perencanaan. Di sisi lain, terdapat kesadaran perencana untuk mengurangi potensi tersebut dalam proses desain arsitektur yang perlu dilakukan evaluasi kerentanan bangunan desain terhadap gempa, tetapi metode evaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa untuk desain arsitektur sampai saat ini belum ada (lihat gambar 1.4). Kesenjangan ini merupakan *gap* teoritik yang perlu dilakukan penelitian yang mendalam yaitu tentang adaptasi SVA sebagai metode evaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa dalam proses desain di**

Indonesia. Keunikannya adalah pada umumnya ahli struktur menggunakan SVA sebagai metode evaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa untuk *retrofit*/perkuatan bangunan eksisting sehingga lebih tahan gempa, sedangkan usulan arsitek menggunakan SVA sebagai metode evaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa untuk desain arsitektur sampai saat ini belum ada.

## 1.2. MASALAH PENELITIAN

Prosedur pemeriksaan kerentanan seismik bangunan dikelompokkan dalam 3 prosedur (Sinha and Goyal, 2004) yaitu:

- *Rapid Visual Screening (RVS)*/Pemilahan Visual dengan Cepat atau Prosedur Level 1.
- *Simplified Vulnerability Assesment (SVA)*/Penilaian Kerentanan Sederhana atau Prosedur Level 2.
- *Detailed Vulnerability Assesment (DVA)*/Penilaian Kerentanan Detail atau Prosedur Level 3.

Prosedur RVS hanya membutuhkan evaluasi visual dan informasi tambahan terbatas. RVS sangat sederhana karena tidak melibatkan perhitungan struktural, tetapi penilaian berdasar visual dan skoring. RVS dibuat untuk mengevaluasi kerentanan bangunan-bangunan dalam suatu wilayah sehingga dibuat tidak detail untuk kemudahan dan penilaian kerentanan bangunan berdasarkan konfigurasi geometri bangunan semata. RVS pertama kali diusulkan di USA tahun 1988 dengan diterbitkannya FEMA 154 dan FEMA 155. Setelah itu, diperbaharui pada tahun 2002 dan 2015. FEMA 154 dan 155 dibuat untuk tipikal konstruksi di Amerika (USA), walaupun banyak digunakan di banyak negara setelah dimodifikasi disesuaikan dengan keadaan negara tersebut seperti RVS Kanada (NRC-CNRC, 1993), RVS India (Arya, 2014), RVS Malaysia (Ramly *et al.*, 2014), RVS Nepal (Paudyal *et al.*, 2010), dan RVS Indonesia (Idham, 2011). RVS FEMA ini jika digunakan secara langsung untuk mengevaluasi kerentanan bangunan dalam proses desain sebenarnya hasilnya cukup baik (Teddy, Hardiman dan Nuroji, 2016). Akan tetapi, fokus evaluasi kerentanan gempanya hanya pada konfigurasi geometrik bangunan dan tidak dapat memprediksi kerentanan seismik suatu bangunan kombinasi antara konfigurasi geometri dengan kapasitas geser strukturnya, sedangkan untuk disesuaikan dalam

prosedur evaluasi kerentanan bangunan dalam proses desain membutuhkan pengetahuan dan pemahaman analisis *static pushover* yang mendalam.

Prosedur RVS lainnya dikembangkan oleh Tomaz Slak dan Vojko Kilar (2012). Mereka menggunakannya untuk mengevaluasi peserta lomba kompetisi desain bangunan. Mereka dalam mengevaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa membaginya dalam 3 parameter penilaian yaitu parameter arsitektural, parameter struktural, dan parameter eksternal. Setelah itu, masing-masing parameter dibobot oleh para ahli arsitektur serta ahli struktur yang nilainya disesuaikan dengan tingkat kepentingannya berdasarkan pendapat ahli tersebut dan di-*input* dalam *spreadsheet* sederhana. Peserta kompetisi yang memiliki skor final rata-rata parameter struktural dan parameter arsitektural yang relatif sama tinggi akan jadi pemenang. Secara konseptual prosedur RVS ini sebenarnya sangat baik untuk mengevaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa karena hampir semua indikator-indikator bangunan tahan gempa dipertimbangkan. Akan tetapi, secara operasional sulit untuk diadaptasi karena indikator-indikator tersebut tidak jelas pengukurannya sehingga sangat tergantung pada tingkat 'keahlian' yang menilai karena prosedur RVS Tomaz dan Vojko Kilar tidak mempunyai manualnya.

Prosedur SVA membutuhkan analisis *engineering* terbatas berdasarkan informasi dari gambar arsitektur dan struktural. Metode ini lebih detail daripada RVS. Penilaian kerentanan berdasarkan konfigurasi geometri bangunan dan sistem struktur sehingga membutuhkan gambar rencana paling tidak gambar rencana arsitektur dan struktur. Hasil dari prosedur SVA dapat digunakan untuk mendasari status potensial dari bangunan yang dipilih dan selanjutnya dibuat daftar pendek bangunan yang membutuhkan penilaian kerentanan yang lebih detail. Prosedur DVA membutuhkan analisis komputer detail, bisa sama atau bahkan lebih kompleks daripada yang dibutuhkan untuk desain bangunan baru.

*Standard for Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Building* (SCEERCB) yang dibuat oleh *The Japan Building Disaster Prevention Association* (JBDPA) pada tahun 1990 kemudian direvisi pada tahun 2001, termasuk dalam kategori prosedur SVA dan DVA. Dikarenakan dalam standar ini terdapat 3 level *screening procedure* yaitu level 1 termasuk dalam kategori prosedur SVA, *screening procedure* level 2 dan level 3 yang termasuk dalam kategori prosedur DVA. Tiap-tiap level *screening procedure* disesuaikan dengan tujuan evaluasi dan karakteristik struktural bangunan sebagai verifikasi struktural atau *retrofit* akibat gempa pada

bangunan (Okada *et al.*, 2005). Beberapa ahli mengadaptasi JBDPA untuk diterapkan di negara tertentu seperti Morales & Sugano (2013) untuk Dominica, Linn & Tajiri (2013) untuk Myanmar, Maidiawati (2013) untuk Indonesia. Bahkan, Seki (2015) mengadaptasi SCEERCB untuk disesuaikan dengan peraturan gempa internasional (*International Building Code-IBC 2000*) sehingga dapat digunakan semua negara yang memakai atau mengadopsi peraturan tersebut seperti Seki & Islam (2015) untuk Bangladesh.

Pada prinsipnya JBDPA menilai ketahanan seismik bangunan dari 3 parameter yaitu membandingkan beban lateral gempa dengan kapasitas seismik struktur, konfigurasi geometri, dan faktor usia bangunan. Kerentanan elemen non struktural juga dievaluasi untuk keselamatan penghuni dan orang-orang disekitar bangunan. Pada level 1, perhitungan kapasitas seismik struktur berdasarkan dimensi kolom dan dinding geser, sedangkan dilevel 2 dan 3 berdasarkan mode kegagalan struktur. Untuk konfigurasi geometri, skoring level 1 s/d 3 terdapat sedikit perbedaan pada faktor penyesuaian. Semakin detail perhitungan pada level 2 dan 3, maka faktor penyesuaiannya semakin kecil sehingga didapatkan hasil skoring total yang lebih besar dibandingkan level 1. Untuk faktor usia bangunan dilihat dari ciri-ciri fisik kerusakan bangunan. Pada level 1 skoring ciri visual yang dominan sedangkan pada level 2 dan 3 skoring merupakan rerata gabungan dari ciri visual. Jenis struktur beton yang dievaluasi kerentanannya yaitu struktur rangka pemikul momen (SRPM) dan SRPM kombinasi dengan *shear wall*. Perhitungan-perhitungan dalam JBDPA merupakan perhitungan aritmatika biasa, teori dan contoh perhitungannya sangat lengkap tercantum dalam manualnya.

Dalam proses desain arsitektur biasanya arsitek fokus pada perubahan bentuk, tata ruang, dan *preliminary design* struktur bangunan serta sifatnya dinamis karena desain dapat berubah. Dari ruang lingkup SVA JBDPA menurut penjabaran diatas memungkinkan untuk diadaptasi dalam menilai kerentanan bangunan pada proses desain. *Preliminary design* struktur kerentanannya dapat dievaluasi dengan kapasitas seismiknya dan bentuk tata ruang kerentanannya bisa dievaluasi dengan konfigurasi geometrisnya. Akan tetapi, untuk mengadaptasi SVA JBDPA dan Matsutaro Seki dalam menilai kerentanan bangunan pada proses desain di Indonesia yang harus diperhatikan yaitu:

1. Secara umum JBDPA dan SVA Matsutaro Seki merupakan verifikasi struktural bangunan eksisting untuk tujuan *retrofit* sehingga perhitungan yang dilakukan

untuk mengetahui daktilitas; deformasi dan kapasitas aksial; lentur dan geser elemen struktur balok; kolom dan dinding geser apakah melebihi atau kurang dari yang dipersyaratkan akibat dari beban gempa. Jika kurang dapat ditingkatkan dengan metode-metode perkuatan/*retrofit* yang ada. Berbeda dengan konsep-konsep ideal bangunan tahan gempa seperti persyaratan luasan dan dimensi minimal elemen struktur, daktilitas sistem struktur, *strong column-weak beam* dan redundansi tidak menjadi pertimbangan utama.

2. SVA JBDPA dan Matsutaro Seki merupakan perhitungan pembobotan struktur yaitu perkalian rasio antara kapasitas geser elemen struktur kolom atau dinding geser dan beban kumulatif lantai; faktor modifikasi respon dan faktor kuat lebih; dan bobot kualitas ireguleritas geometri. Setelah itu, dibandingkan dengan perkalian koefisien respon seismik dan faktor keutamaan fungsi bangunan ( $I_e$ ).
3. Dalam SVA JBDPA dan Matsutaro Seki hubungan saling berpengaruh antar parameter variabel struktur dan antar parameter beban lateral dijabarkan dalam bentuk perkalian. Parameter utama dalam variabel struktur adalah kapasitas lateral elemen struktur, sedangkan parameter struktur lainnya dan variabel ireguleritas geometri diasumsikan memengaruhi parameter utama. Parameter utama dalam variabel beban lateral gempa adalah beban lateral gempa (koefisien seismik gempa), sedangkan parameter lainnya diasumsikan memengaruhi parameter utama.
4. Prosedur SVA JBDPA dapat digunakan untuk mengevaluasi kerentanan perlantai bangunan, sedangkan SVA Matsutaro Seki hanya mengevaluasi kerentanan lantai dasar saja.
5. Evaluasi kerentanan konfigurasi geometri SVA JBDPA mungkin terbatas untuk bangunan eksisting yang ada di Jepang, sedangkan pada prosedur SVA Matsutaro Seki kerentanan konfigurasi geometri diasumsikan tidak berpengaruh pada bangunan dan nilainya 1.
6. Rekomendasi prosedur SVA JBDPA dalam mengevaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa hanya aman atau tidak aman. Berbeda dengan rekomendasi prosedur SVA Matsutaro Seki yang hanya pada rekomendasi aman atau perlu evaluasi lanjutan.

Berdasarkan hal-hal di atas, maka permasalahan yang menarik untuk diteliti yaitu Adaptasi SVA JBDPA dan Matsutaro Seki untuk mengevaluasi kerentanan gempa



pada bangunan dalam proses desain arsitektur berdasarkan kondisi bangunan-bangunan di Indonesia.

### **1.3. PERUMUSAN MASALAH**

Berdasarkan uraian latar belakang dan masalah penelitian di atas, maka permasalahan penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana mengadaptasi SVA untuk tujuan *retrofit* JBDPA dan Matsutaro Seki sebagai SVA Desain Arsitektur yang dapat mengevaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa dalam proses desain arsitektur berdasarkan kondisi di Indonesia?
2. Bagaimana prosedur SVA Desain Arsitektur yang diusulkan parameter-parameter kapasitas gempa dasar struktur disesuaikan dengan konsep ideal bangunan tahan gempa dan konstruksi di Indonesia?
3. Bagaimana prosedur SVA Desain Arsitektur yang diusulkan dapat mengevaluasi ireguleritas konfigurasi geometri bangunan *engineered* yang umum dan terdapat di Indonesia?
4. Bagaimana prosedur SVA Desain Arsitektur yang diusulkan parameter-parameter beban lateral gempa disesuaikan dengan kondisi gempa yang ada di Indonesia?
5. Bagaimana prosedur SVA Desain Arsitektur yang diusulkan dapat diketahui level kerentanan bangunan akibat gempa?

### **1.4. HIPOTESIS PENELITIAN**

Menurut Robson dalam Runeson *et al.*, (2012), hipotesis merupakan jembatan antara *research question* dan desain penelitian. Dengan demikian, hipotesis merupakan prediksi sementara atas pertanyaan permasalahan penelitian yang akan dibuktikan kemudian.

Adapun hipotesis penelitian yaitu:

1. SVA *retrofit* merupakan beban lateral gempa yang akan memengaruhi kapasitas seismik struktur bangunan yaitu kapasitas gempa dasar struktur, ireguleritas konfigurasi geometri bangunan, dan usia bangunan; sedangkan SVA Desain Arsitektur merupakan beban lateral gempa yang akan memengaruhi kapasitas seismik struktur bangunan yaitu kapasitas gempa dasar struktur dan ireguleritas konfigurasi geometri bangunan.

2. Pada SVA Desain Arsitektur, kapasitas gempa dasar struktur bangunan berhubungan erat dengan dimensi kolom atau dinding geser, kekakuan kolom atau dinding geser, *strong column/weak beam*, redundansi dan daktilitas.
3. Pada SVA Desain Arsitektur, ireguleritas konfigurasi geometri bangunan *engineered* yang ada di Indonesia berhubungan erat dengan ketidakberaturan horisontal dan vertikal bentuk geometri bangunan.
4. Pada SVA Desain Arsitektur, beban lateral gempa di Indonesia berhubungan erat dengan respon seismik desain dan minimal zona gempa di Indonesia, dan faktor keutamaan fungsi bangunan.
5. Pada SVA Desain Arsitektur, level kerentanan bangunan akibat gempa berhubungan erat dengan tingkat performa seismik dari struktur bangunan yaitu rusak ringan (*Immediate Occupancy-IO*), rusak sedang (*Life Safety-LS*) dan rusak berat (*Collapse Prevention-CP*).

### **1.5. TUJUAN PENELITIAN**

Adapun tujuan umum penelitian ini adalah membangun prosedur atau metode yang dapat digunakan oleh arsitek dalam mengevaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa dalam proses desain arsitektur yang sesuai dengan kondisi Indonesia.

Sedangkan tujuan khusus penelitian ini, antara lain :

1. Menguji teori SVA Desain Arsitektur bahwa beban lateral gempa akan memengaruhi kapasitas seismik struktur bangunan yaitu kapasitas gempa dasar struktur dan ireguleritas konfigurasi geometri bangunan.
2. Menguji teori SVA Desain Arsitektur bahwa kapasitas gempa dasar struktur bangunan berhubungan erat dengan dimensi kolom atau dinding geser, kekakuan kolom atau dinding geser, *strong column/weak beam*, redundansi dan daktilitas.
3. Menguji teori SVA Desain Arsitektur bahwa ireguleritas konfigurasi geometri bangunan *engineered* yang ada di Indonesia berhubungan erat dengan ketidakberaturan horisontal dan vertikal bentuk geometri bangunan.
4. Menguji teori SVA Desain Arsitektur bahwa beban lateral gempa di Indonesia berhubungan erat dengan respon seismik desain dan minimal zona gempa di Indonesia serta faktor keutamaan fungsi bangunan.
5. Menguji teori SVA Desain Arsitektur bahwa level kerentanan bangunan akibat gempa berhubungan erat dengan tingkat performa seismik dari struktur bangunan

yaitu rusak ringan (*Immediate Occupancy-IO*), rusak sedang (*Life Safety-LS*) dan rusak berat (*Collapse Prevention-CP*).

## 1.6. RUANG LINGKUP DAN BATASAN PENELITIAN

Ada beberapa yang menjadi ruang lingkup dan batasan penelitian ini yaitu :

- Zonasi Wilayah Gempa

Sebagaimana dijelaskan di atas jika intensitas gempa yang berbeda-beda, kerentanan bangunan terhadap gempa juga berbeda-beda. Menurut FEMA 155 (FEMA, 2015) zona intensitas gempa dapat dibagi dalam 5 kategori zona : *low*, *moderate*, *moderately high*, *high*, dan *very high*. Untuk proses adaptasi usulan SVA Disain Arsitektur diusahakan menggunakan sampel bangunan yang berasal dari zona-zona gempa tersebut, tetapi bergantung pada ketersediaan dan kelengkapan data yang ada. Untuk aplikasi lapangan dari prosedur SVA Desain Arsitektur yang diusulkan perlu dilakukan pembatasan wilayah penelitian berdasarkan wilayah di Indonesia yang pernah terjadi gempa kuat dan memiliki potensi yang besar untuk terjadi lagi yaitu di Semarang. Semarang termasuk zona gempa *moderately high* s/d *high*. Selain itu, Kota Semarang saat ini sedang banyak pembangunan fisik gedung-gedung komersil, perkantoran dan lainnya sebagaimana. Hal itu juga terjadi di kota-kota lainnya di Indonesia, sehingga menarik untuk dipelajari bagaimana Pemerintah Kota Semarang bersiap diri mengontrol performa bangunan di Kota Semarang terhadap gempa melalui tim Tim Ahli Bangunan Gedung (TABG).

- Bangunan umum di Indonesia

Berdasarkan penelitian T. Boen (2006; 2007a; 2007b) tentang kerusakan fatal bangunan *engineered* di Indonesia akibat gempa kuat sebagian besar merupakan bangunan sistem struktur beton bertulang kombinasi dengan dinding bata, serta merupakan bangunan tingkat rendah dan tingkat menengah. Untuk penelitian ini difokuskan pada bangunan-bangunan umum di Indonesia yaitu bangunan dengan material beton bertulang, sistem lantai *one way* atau *two way*, bukan bangunan berbentang lebar/*pre-stress/post-stress*, sistem struktur rangka pemikul momen (SRPM) atau sistem dual dengan dinding geser yang ketinggian bangunannya bertingkat maksimum  $\pm 10$  lantai. Bangunan dengan ketinggian tersebut yang mendominasi kota-kota di Indonesia sehingga memiliki potensi besar

menyebabkan korban jiwa yang banyak ketika terjadi gempa kuat jika bangunan tersebut tidak direncanakan dengan baik ketahanannya terhadap gempa.

- Aspek biaya

Desain bangunan tahan gempa juga berkaitan erat dengan faktor pembiayaan bangunan, tetapi pada penelitian ini tidak menjadi fokus penelitian hanya menjadi bagian pertimbangan.

- Batasan penelitian arsitektur dan teknik sipil

Supaya tidak masuk ke ranah Teknik Sipil terlalu dalam dan obyektifitas, maka perhitungan beban gempa ( $C_s$  dan  $C_{s \text{ min}}$ ) dihitung menggunakan program *spreadsheet* dan untuk verifikasi empirik dengan analisa pushover yang dilakukan dengan menggunakan hasil riset peneliti-peneliti lain. Walaupun demikian, terdapat penggunaan *software* SAP2000 dan ETABS, hanya untuk melihat perilaku dinamis dan eksentrisitas dari model bangunan yang tidak sampai ke desain dan hanya data sekunder saja.

- Evaluasi dan eksplorasi desain

Tujuan utama dalam penelitian ini yaitu membuat prosedur atau metode yang mengevaluasi kerentanan desain bangunan terhadap gempa, sedangkan eksplorasi desain bangunan tahan gempa terbatas sebagai *guidance* dari kelemahan desain bangunan yang disurvei di Kota Semarang.

## **1.7. NOVELTY, RUMPUN KEILMUAN DAN STATE OF THE ART**

### **1.7.1. KEASLIAN PENELITIAN DAN KEBARUAN (NOVELTY) PENELITIAN**

Untuk mengetahui posisi penelitian ini terhadap penelitian-penelitian sejenis lainnya dilakukan *theory mapping*, sehingga diketahui keaslian dan kebaruan (*novelty*) penelitian yang dilakukan.

Pada tahun 1995 terjadi gempa Kobe di Jepang, sejumlah besar bangunan yang di desain dengan peraturan gempa lama mengalami rusak berat. Berdasarkan pengalaman tersebut. pemerintah Jepang melakukan evaluasi gempa dan pekerjaan perkuatan pada bangunan yang ada khususnya bangunan sebelum 1980. Setelah tahun 1995 beberapa kali gempa besar terjadi, tetapi bangunan sudah dilakukan perkuatan tetap bertahan. Sekarang hampir semua bangunan di Jepang memiliki ketahanan yang baik terhadap gempa sampai level terbesar dan kerusakan bangunan oleh gempa dapat

dikurangi. Keberhasilan ini membuat banyak ahli struktur mengadaptasi prosedur evaluasi gempa untuk digunakan di negara lain.

Morales & Sugano (2013) melakukan peninjauan ulang atas Pedoman Evaluasi Bangunan Paska Gempa Republik Dominica. Kemudian terdapat kekurangan bahwa prosedur evaluasinya terlalu subyektif sehingga diadopsilah prosedur JBDPA. Untuk *rapid evaluation* menggunakan level 1 prosedur JBDPA dengan melakukan penyesuaian pada *strength index C* material blok beton bata bertulang yang biasa digunakan di Dominica, sedangkan *detailed evaluation* menggunakan level 2 dan 3 SCEERCB dengan melakukan penyesuaian *deterioration factor  $\eta$*  sehingga didapatkan rasio kapasitas seismik residual yang lebih realistis dari perbandingan kapasitas seismik sebelum dan sesudah terjadi gempa dengan multiplikasi *deterioration factor  $\eta$* .

Linn & Tajiri (2013) menggunakan prosedur JBDPA level 1 dan 2 untuk mengevaluasi performa seismik bangunan material beton bertulang bertingkat rendah *existing*. Bangunan baru di Myanmar sudah membuat modifikasi dan simplikasi pada faktor kekuatan serta daktilitas kolom.

Maidiawati (2013) melakukan penelitian 2 bangunan *showroom* dengan material beton bertulang yang secara jumlah lantai, modul, dimensi struktur dan bentuk bangunan relatif sama. Akan tetapi, akibat gempa Padang September 2007 menghasilkan keadaan yang sangat berbeda. Bangunan pertama roboh, sedangkan bangunan kedua tetap berdiri dengan kondisi rusak sedang. Dengan prosedur JBDPA level 1 s/d 3 mengevaluasi performa seismik kedua bangunan, seharusnya akibat dari gempa kedua bangunan tersebut dalam kondisi roboh. Penelitian selanjutnya, kedua bangunan bebas dari efek torsi. Bangunan kedua tetap berdiri, ternyata akibat kontribusi yang signifikan dari dinding pengisi bata. Banyak bangunan di Indonesia yang memiliki daktilitas rendah, tetapi tetap *survived* pada saat terjadi gempa akibat kontribusi dinding pengisi bata. Untuk itu, dalam menggunakan JBDPA di Indonesia, Maidiawati mengusulkan prosedur baru yang memasukkan kontribusi dinding pengisi bata pada *strength index C* dan *ductility index F*. *Strength index C*. Kedua kontribusi tersebut merupakan perbandingan kapasitas geser kolom yang memasukkan efek *strut* dinding bata pengisi dan berat bangunan pada lantai ditinjau. *Ductility index F* diganti dengan daktilitas perpindahan. Daktilitas perpindahan

didapatkan dari kurva hubungan antara degradasi kekuatan beton dengan daktilitas perpindahan.

Berdasarkan keprihatinan Matsutaro Seki (2015) bahwasanya banyak negara berkembang yang merupakan wilayah rawan gempa sehingga Seki ikut berkontribusi mengeluarkan metode menginvestigasi kapasitas gempa bangunan beton bertulang dengan sistem SRPM sebelum terkena gempa. Hal tersebut berdasarkan filosofi standar evaluasi Jepang SCEERCB yang dibuat oleh JBDPA sehingga dapat diaplikasikan pada bangunan yang didesain dengan peraturan gempa internasional. Beberapa hal yang diusulkannya untuk memperbaiki prosedur level 1 SCEERCB agar diterapkan negara berkembang yaitu :

- Indeks daktilitas ( $F_S$ ) didapat dari hasil pembagian faktor modifikasi respon ( $R$ ) dan faktor *over strength* ( $\Omega_0$ ) sesuai dengan jenis struktur peraturan gempa IBC 2000.
- Berdasarkan penelitiannya, rata-rata kekuatan tegangan geser kolom ( $\tau_C$ ) di negara Bangladesh yaitu  $0.7 - 1 \text{ N/mm}^2$ . Kondisi ini sama dengan rata-rata kekuatan tegangan geser kolom ( $\tau_C$ ) yang dikeluarkan oleh JBDPA.
- Indeks beban lateral gempa ( $I_{SSO}$ ) didapat hasil perkalian koefisien respon gempa ( $C_S$ ) dan faktor keutamaan bangunan ( $I_e$ ) dari peraturan gempa IBC 2000.
- Membuat urutan rekomendasi perlu evaluasi lanjutan atau tidak dari hasil perbandingan indeks gempa struktur dan indeks beban lateral gempa.

Seki & Islam (2015) menerapkan prosedur yang dibuat Matsutaro Seki di Bangladesh untuk mengevaluasi kerentanan seismik 51 bangunan menggunakan material beton bertulang dengan sistem SRPM. Hasilnya menunjukkan hanya 25% bangunan yang aman sisanya perlu evaluasi lanjutan.

Berdasarkan hasil penelitian SVA seluruhnya merupakan metode evaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa bertujuan untuk retrofit atau perkuatan bangunan eksisting agar lebih tahan gempa. Sebaliknya, metode evaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa yang bertujuan untuk desain arsitektur sampai saat ini belum ada. **Novelty (kebaruan) dari penelitian ini yaitu memodifikasi metode SVA retrofit JBDPA dan Seki menjadi SVA Desain Arsitektur yang sesuai kondisi konstruksi di Indonesia (lihat gambar 1.4). Arti penting dari penelitian ini yaitu diharapkan temuan metode SVA Desain Arsitektur ini dapat digunakan**

**dalam proses desain arsitektur sehingga dapat mengurangi potensi kerusakan bangunan akibat gempa di Indonesia.**

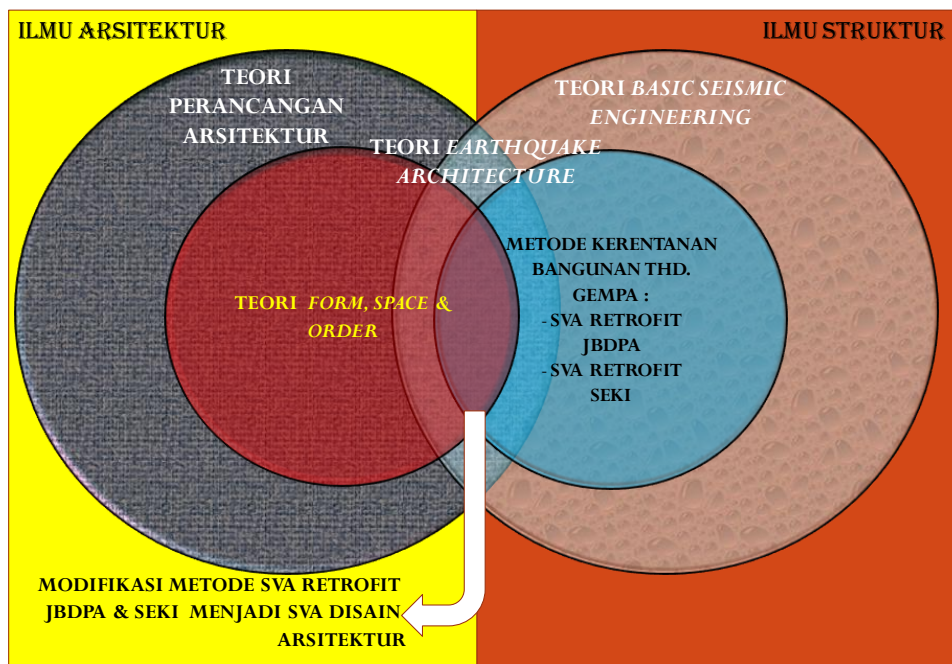
Dari penggunaan prosedur SVA JBDPA beberapa ahli yang sudah disebutkan sebelumnya, prosedur level 1 atau SVA secara intensif digunakan oleh Matsutaro Seki. Beberapa hal yang dikemukakannya, bisa menjadi koridor dalam mengadaptasi prosedur level 1 atau SVA prosedur JBDPA, dan prosedur Matsutaro Seki dalam penelitian ini yaitu :

1. SVA Disain Arsitektur yang diusulkan merupakan verifikasi struktural bangunan yang belum ada atau dalam tahap proses desain sehingga konsep-konsep ideal bangunan tahan gempa (Purwono, 2007) seperti persyaratan luasan dan dimensi minimal elemen struktur, daktilitas sistem struktur, *strong column-weak beam*, redundansi serta konfigurasi geometri masih bisa diterapkan dengan lebih leluasa.
2. SVA Desain arsitektur sebagaimana SCEERCB dan Matsutaro Seki merupakan perhitungan pembobotan struktur yaitu perkalian rasio luas desain dan luas minimal elemen struktur kolom atau dinding geser, rasio kekakuan kolom ataudinding geser, rasio *strong column-weak beam*, rasio periode getar struktur, rasio daktilitas sistem struktur dan bobot kualitas ireguleritas geometri. Kemudian, dibandingkan dengan perkalian rasio koefisien respon seismik dan faktor keutamaan fungsi bangunan.
3. SVA Desain arsitektur sebagaimana SVA SCEERCB dan Matsutaro Seki, hubungan saling berpengaruh antara parameter variabel struktur dan parameter beban lateral yang dijabarkan dalam bentuk perkalian. Parameter utama dalam variabel struktur adalah rasio luas desain dan luas minimal elemen struktur kolom/dinding geser; sedangkan rasio kekakuan kolom/dinding geser, rasio *strong column-weak beam*, rasio periode getar struktur, rasio daktilitas sistem struktur, dan bobot kualitas ireguleritas geometri diasumsikan memengaruhi rasio luas desain serta luas minimal elemen struktur kolom/dinding geser. Parameter utama dalam variabel beban lateral gempa mengikuti konsep parameter utama struktur yaitu rasio koefisien respon seismik gempa desain dan minimal, sedangkan parameter faktor keutamaan fungsi diasumsikan memengaruhi parameter rasio koefisien seismik gempa desain dan minimal.
4. Untuk dapat digunakan dalam mengevaluasi kerentanan perlantai bangunan sebagaimana prosedur SVA SCEERCB pada variabel struktur, variabel

ireguleritas dan variabel beban lateral gempa perlu dikalikan dengan faktor distribusi penjaralan gempa.

5. Evaluasi kerentanan konfigurasi geometri menggunakan FEMA-451B (FEMA, 2007). Pedoman ini bersumber mengatur secara umum bentuk konfigurasi bangunan yang didesain oleh arsitek, sehingga lebih sesuai digunakan untuk mengevaluasi ireguleritas bangunan dalam proses desain. Untuk operasionalnya, dipilih *code* atau penelitian yang relatif mirip dengan kondisi yang ada di Indonesia.
6. Untuk diketahui rekomendasi level kerusakan bangunan akibat gempa dapat dimodifikasi dari urutan rekomendasi evaluasi kerentanan seismik Matsutaro Seki dari hasil perbandingan indeks gempa struktur dan indeks beban lateral gempa berdasarkan level kerentanan seismik yang umum digunakan yaitu FEMA 273 (FEMA, 1997).

### 1.7.2. RUMPUN KEILMUAN



Gambar 1.3. Rumpun keilmuan SVA Disain Arsitektur (sumber : analisa)

Ketahanan bangunan terhadap gempa merupakan salah satu fokus ilmu struktur khususnya ilmu *Seismic Engineering*. Salah satu bagian dari ilmu tersebut yaitu teori tentang evaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa yakni *Rapid Visual Analysis* (RVS) digunakan untuk tujuan mitigasi, *Simplified Vulnerability Assesment* untuk tujuan retrofit dan *Detailed Vulnerability Analysis* untuk tujuan mitigasi, retrofit dan



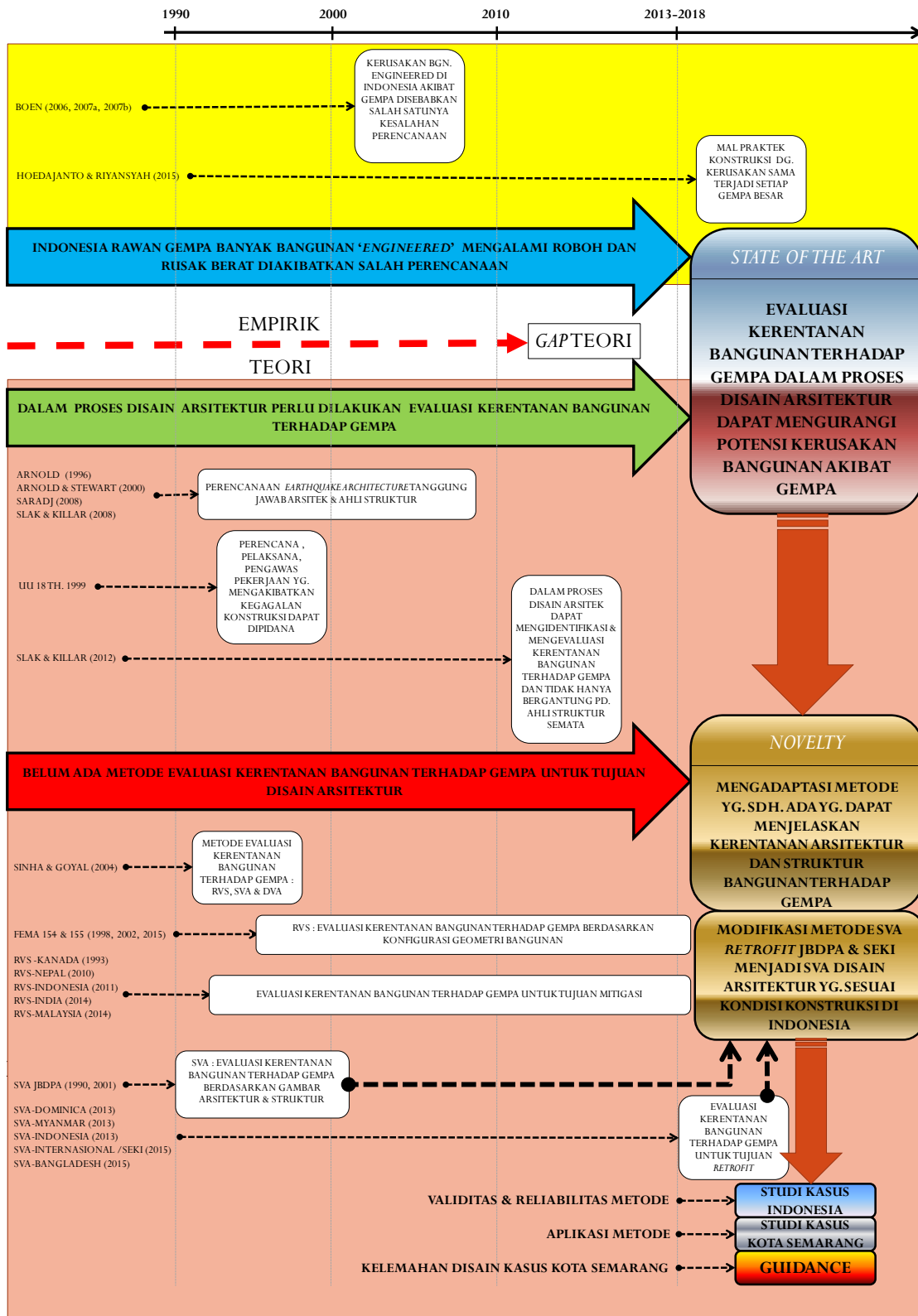
desain struktur. Sebaliknya, di ranah ilmu arsitektur, ketahanan bangunan terhadap gempa berkaitan dengan Teori Perancangan Arsitektur khususnya Teori bentuk (*Form*), ruang (*Space*) dan susunannya (*Order*) akan berpengaruh terhadap perilaku bangunan terhadap gempa.

Teori *Earthquake Architecture* merupakan adaptasi, *adjustment* dan adopsi dari Teori *Basic Seismic Engineering* yang diintegrasikan dengan Teori Perancangan Arsitektur sehingga memudahkan arsitek untuk memahami dan mempraktekkan ketahanan bangunan terhadap gempa dalam proses desain.

Dalam penelitian ini, SVA Desain Arsitektur merupakan bagian dari integrasi Teori *Form, Space and Order* dan adaptasi SVA *Retrofit* JBDPA serta Seki menjadi metode SVA Desain Arsitektur. SVA Desain Arsitektur juga memperkaya rumpun Teori *Earthquake Architecture* yang pada saat ini lebih banyak teori-teori yang berisi konsep-konsep bangunan tahan gempa, sedangkan teori-teori operasionalisasi penerapannya pada desain bangunan relatif kurang dan metode SVA Desain Arsitektur diharapkan dapat mengisi kekosongan teori tersebut (lihat gambar 1.3).

### **1.7.3. STATE OF THE ART**

Perkembangan Teori *Earthquake Architecture* di dunia Arsitektur terus berkembang dari waktu ke waktu, tetapi tidak selamanya dapat menjawab tantangan desain bangunan di zona rawan gempa. Penelitian ini berusaha mengisi celah tersebut dan sekaligus menentukan posisi penelitian ini terhadap penelitian-penelitian sebelumnya. Dari hasil *mapping theory* tentang *Earthquake Architecture* didapatkan *State of the art* atau ujung keilmuannya yaitu evaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa dalam proses desain arsitektur yang dapat mengurangi potensi kerusakan bangunan akibat gempa. Akan tetapi, metode evaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa untuk tujuan desain arsitektur sampai saat ini belum ada. Untuk mengatasi hal tersebut dengan *Novelty* (kebaruan) dari penelitian ini yaitu adaptasi metode yang sudah ada dapat menjelaskan kerentanan arsitektur serta struktur bangunan terhadap gempa dengan cara memodifikasi metode SVA *retrofit* JBDPA dan Seki menjadi SVA Desain Arsitektur yang sesuai kondisi konstruksi di Indonesia (lihat gambar 1.4).



Gambar 1.4. Gap teori, State of the art dan Novelty (sumber : analisa)

## 1.9. SISTEMATIKA PENULISAN

Laporan disertasi ini dibagi dalam 9 bab. Bab pertama merupakan pendahuluan yang meliputi latar belakang, masalah penelitian, perumusan masalah, hipotesis penelitian, tujuan penelitian, ruang lingkup dan batas penelitian (mencakup *novelty*, rumpun keilmuan, dan *state of the art*), serta sistematika penulisan.

Bab kedua merupakan tinjauan literatur yang meliputi *earthquake architecture*; sistem struktur penahan beban lateral; koefisien beban seismik; analisa statik ekuivalen dan kerentanan bangunan terhadap gempa; preliminary design struktur dan konfigurasi geometri bangunan; dan ringkasan.

Bab ketiga merupakan metode penelitian yang meliputi filosofi penelitian, jenis rancangan penelitian, variabel penelitian, sampel dan model penelitian, lokasi penelitian, metode pengumpulan data, metode analisis data rencana bangunan, metode validitas penelitian, serta metode reliabilitas penelitian.

Bab keempat merupakan tinjauan lokasi penelitian yang meliputi arsitektur kota-kota di Indonesia dan Kota Semarang; kondisi kegempaan kota-kota di Indonesia; kondisi kegempaan kota semarang; dan Ijin Mendirikan Bangunan (IMB) dan Tim Ahli Bangunan Gedung (TABG) Kota Semarang.

Bab kelima merupakan adaptasi SVA retrofit JBDPA dan Seki menjadi SVA Desain Arsitektur yang meliputi adaptasi indeks kapasitas struktur; adaptasi indeks ireguleritas; adaptasi indeks beban lateral gempa; adaptasi indeks kapasitas gempa struktur vs indeks beban lateral gempa; serta temuan adaptasi SVA *retrofit* JBDPA dan Seki menjadi SVA Desain Arsitektur.

Bab keenam merupakan verifikasi yang meliputi validitas SVA Desain Arsitektur dengan analisa *pushover*, validitas SVA Desain Arsitektur berdasarkan rekomendasi Tim Ahli Bangunan Gedung (TABG) Kota Semarang, dan reliabilitas.

Bab ketujuh merupakan aplikasi lapangan yang meliputi SVA gedung kuliah 8 lantai; SVA gedung rawat inap & ok rumah sakit 5 lantai di Jl. cipto semarang; SVA menara BRI 9 lantai di Jl. A. Yani Semarang; SVA gedung radioterapy dan onkologi (R&O) 6 lantai RSUP dr. Kariadi di Jl. kariadi Semarang; SVA gedung RS. gigi dan mulut RSI. Sultan Agung 6 lantai di Jl. Kaligawe Semarang; SVA gedung laboratorium Fakultas Kedokteran UNISSULA 8 lantai di Jl. Kaligawe Semarang ; SVA gedung Hotel Artotel 12 lantai di Jl. Gajahmada Semarang; SVA gedung toko T 6 lantai di Jl. MT. Haryono Semarang; dan resume hasil analisa SVA Desain Arsitektur pada disain bangunan di Kota Semarang.

Bab kedelapan merupakan *guidance* desain arsitektur bangunan tahan gempa yang meliputi *guidance* desain arsitektur bangunan tahan gempa dengan konfigurasi geometri bentuk-bentuk umum dan *guidance* desain arsitektur bangunan tahan gempa di zona *moderately high* (mh) – *high* (h).

Bab kesembilan merupakan kesimpulan dan rekomendasi yang meliputi kesimpulan; kontribusi teoritik dan praktis; dan rekomendasi.

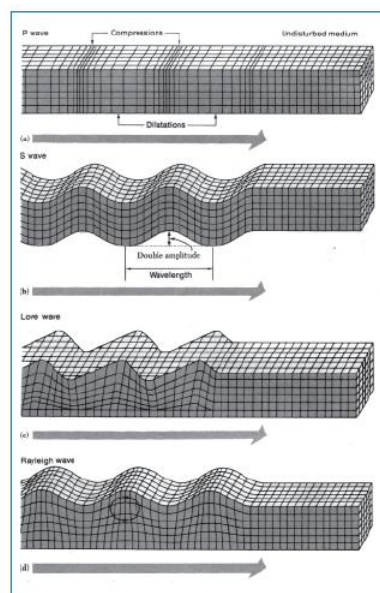
## BAB II. TINJAUAN LITERATUR

### 2.1. EARTHQUAKE ARCHITECTURE

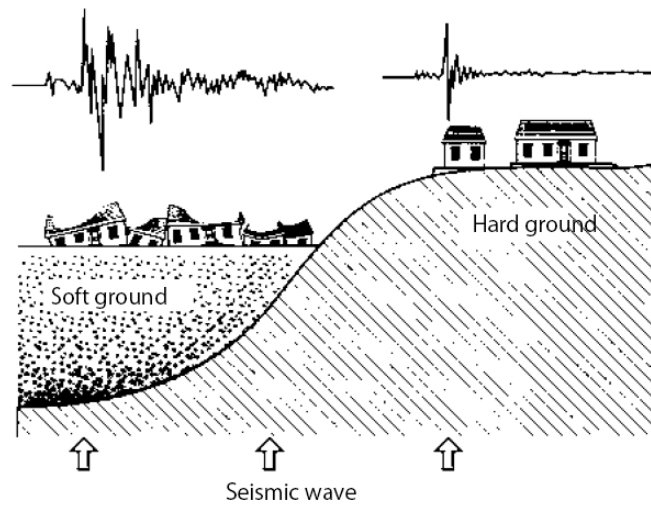
Dalam desain bangunan tahan gempa, arsitek dan ahli struktur berbagi tanggung jawab. Apapun yang didesain oleh arsitek kemungkinan besar akan memengaruhi respon bangunan terhadap gempa. Arsitek harus berperan penuh di dalamnya sehingga lebih praktis dan ekonomis mengenai prinsip-prinsip bangunan tahan gempa yang diterapkan langsung dalam desain. *Earthquake architecture* merupakan perpaduan antara *earthquake engineering* dan arsitektur yang menghasilkan karya arsitektur yang spesial serta tahan gempa (Slak dan Kilar, 2008) yaitu :

#### 2.1.1. GETARAN GEMPA DI TANAH

Gempa sebagai peristiwa pergerakan kerak bumi, akan menghasilkan 4 jenis gelombang gempa (Bolt and Dreger, 2006., Charleson, 2008., Pawirodikromo, 2012), meliputi (1) Dalam bumi terdapat Gelombang Primer (P-Wave) dan Gelombang Sekunder (S-Wave); (2) Permukaan bumi terdapat Gelombang Love (L-Wave) dan Gelombang Rayleigh (R-Wave) (gambar 2.1). Kombinasi pergerakan arah horisontal S-Wave, L-Wave dan R-Wave menyebabkan efek yang sangat merusak pada bangunan karena bangunan jauh lebih sensitif pada pergerakan lateral dibandingkan vertikal.



Gambar 2.1. Jenis gelombang gempa (sumber : Bolt & Dreger 2006)



Gambar 2.2. Amplikasi gelombang gempa di tanah lunak (sumber : JIA & JASO 2012)

Semakin lunak dan tebal tanah permukaan semakin besar pula derajat amplikasi (pembesaran) gelombang gempa (JIA and JASO, 2012) (gambar 2.2). Bangunan *low* dan *middle rise* memiliki periode fundamental vibrasi antara 0.2 s/d 1 Hz, sedangkan tanah juga memiliki frekuensi natural antara 0.5 s/d 1 Hz. Hal ini menyebabkan resonansi (Chopra, 2001) sehingga bangunan *low* dan *middle rise* lebih rentan terhadap getaran gempa disamping *engineering investment*-nya yang juga rendah. Akibatnya, ketika terjadi gempa besar banyak bangunan-bangunan *low* dan *middle rise* mengalami kerusakan parah dan menyebabkan korban jiwa paling banyak terutama di negara berkembang.

### 2.1.2. RESPON STRUKTURAL TERHADAP GEMPA

Daya tahan bangunan akibat gempa paling tidak ditentukan oleh 3 hal (Paulay and Priestley, 1992) dan (Elnashai and Sarno, 2008), antara lain:

- Kekakuan (*stiffness*)

Kekakuan adalah kemampuan struktur untuk mempertahankan batas toleransi deformasi akibat gaya. Faktor yang memengaruhi dari kekakuan, antara lain (a) Properti bahan yaitu modulus elastisitas; (b) Properti geometrik struktur yaitu dimensi panjang, lebar dan tinggi balok, kolom; (c) Properti koneksi yaitu kualitas hubungan antara balok dan kolom; (d) Properti sistem yaitu kekakuan lateral tergantung pada sistem struktur yang digunakan untuk menahan beban lateral, distribusi kekakuan elemen struktur dan tipe diafragma yang menghubungkan

elemen struktur vertikal. Material beton memiliki kekakuan yang lebih besar dibandingkan material struktur bangunan lainnya, seperti baja dan kayu. Biasanya dalam proses desain dilakukan pengecekan ada tidaknya *soft story*.

- Kekuatan (*strength*)

Kekuatan adalah kapasitas suatu elemen struktur atau sekumpulan elemen struktur dalam menahan gaya. Biasanya didefinisikan kapasitas aksial, momen, dan geser elemen struktur dalam menahan beban. Faktor yang memengaruhi dari kekuatan, antara lain (a) Properti kekuatan material yaitu mutu bahan; (b) Properti komponen struktural yaitu kolom umumnya memiliki kekuatan tekuk dan geser lebih rendah dibandingkan dinding geser; (c) Properti koneksi yaitu kualitas hubungan antara balok dan kolom); (d) Properti sistem yaitu ketahanan lateral terhadap gempa dipengaruhi kompleksitas interaksi antara kolom, balok, lantai dan dinding pengisi.

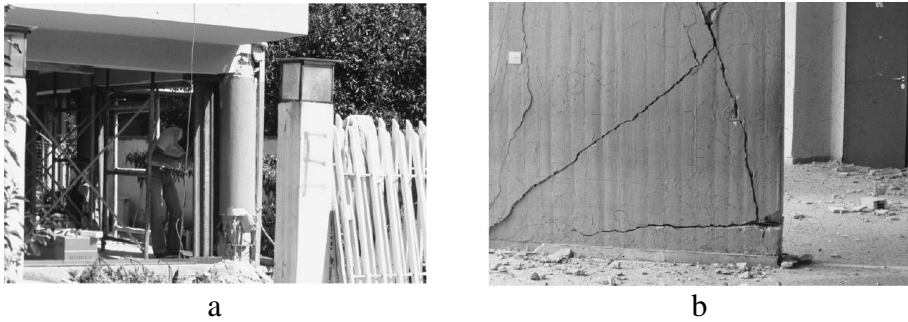
- Daktilitas (*ductility*)

Daktilitas adalah kemampuan struktur komponen atau material yang digunakan untuk memberikan tahanan dalam domain inelastis tanpa struktur mengalami keruntuhan (*collapse*). Dalam perancangan struktur tahan gempa, tersedianya daktilitas yang tinggi merupakan hal mendasar untuk menjamin aksi distribusi plastis di antara komponen struktur yang menahan beban lateral sehingga dapat mengabsorpsi sebanyak mungkin dan mendisipasi energi gempa yang masuk. Faktor yang memengaruhi dari daktilitas, antara lain (a) Properti material yaitu beton dan bata merupakan material getas, metal, dan kayu yang merupakan material daktil. Maka dari itu untuk meningkatkan daktilitas beton dan bata dengan menambahkan baja tulangan; (b) Properti geometri struktur yaitu dimensi balok dan kolom; (c) Properti koneksi yaitu dimensi koneksi, luas tulangan, level beban aksial kolom, adanya balok dan plat lantai dalam koneksi; (d) Properti sistem yaitu daktilitas sistem suatu struktur tergantung pada tersedianya daktilitas masing-masing elemen struktur.

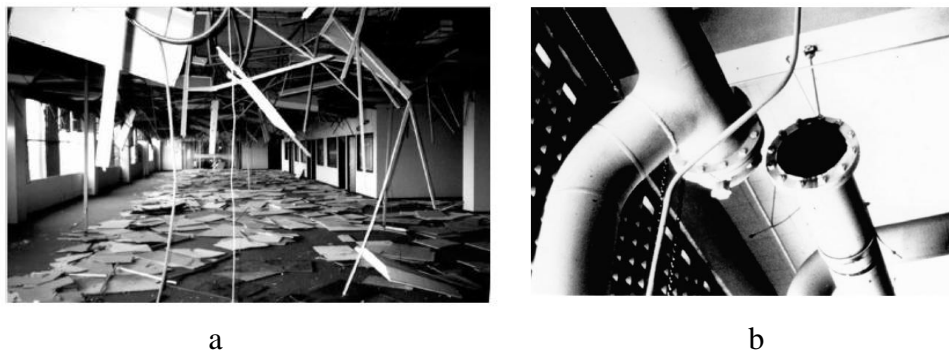
### **2.1.3. EFEK GEMPA PADA BANGUNAN**

Terjadinya gempa kuat di dunia merupakan test daya tahan struktur sebenarnya. Hasilnya, seluruh kelemahan struktur, ketidaksempurnaan *code*, kesalahan analisis dan desain, atau konstruksi yang tidak baik akan terlihat semuanya (Penelis and

Penelis, 2014). Gempa kuat tersebut akan menyebabkan kerusakan-kerusakan elemen bangunan yaitu kerusakan pada elemen-elemen struktural (misalnya: kolom, balok, plat lantai, dinding geser, join antara balok dan kolom) (gambar 2.3); kerusakan pada elemen-elemen non struktural (misalnya: plafon, dinding, perabot, plambing) (gambar 2.4); dan kerusakan pada tanah pendukung bangunan (misalnya: liquifaksi, *settlement*, longsor) (gambar 2.5).



Gambar 2.3. Kerusakan struktural a). Kolom, b). Dinding geser (sumber : Penelis & Penelis 2014)



Gambar 2.4. Kerusakan non-struktural a). Plafon, b). Plambing (sumber : FEMA 2012)



Gambar 2.5. Kerusakan tanah a). *Tilting*, b). *Crack* (sumber : JIA & JASO 2012)



Hal-hal berikut ini menyebabkan kerusakan-kerusakan elemen struktural dan non-struktural pada bangunan yaitu :

### 1. Kesalahan perencanaan

Hal ini terjadi karena apa yang direncanakan tidak sesuai dengan kenyataan ketika terjadi gempa. Salah satunya disebabkan desain respon spektrum yang dibuat tidak berkorelasi dengan respon spektrum aktual (Penelis and Penelis, 2014). Oleh karena itu, desain spektrum harus diperbarui secara berkala karena pergerakan lempeng tektonik yang bersifat dinamis (Irsyam and Et.al., 2010). Sebab lainnya, bangunan rusak atau rubuh yaitu bangunan yang tidak didesain sesuai dengan kondisi seismik bangunan tersebut berada (Boen, 2007b). Kemungkinan disebabkan pemahaman *code* yang terbaru kurang sosialisasi sehingga menggunakan *code* lama yang sudah tidak berlaku (Pawirodikromo, 2007). Penyebab lainnya, kesalahan analisis perilaku dinamis bangunan terutama bangunan ireguler, karena untuk menganalisisnya tidak hanya butuh pengetahuan yang baik tetapi juga pengalaman (Arnold, 1996).

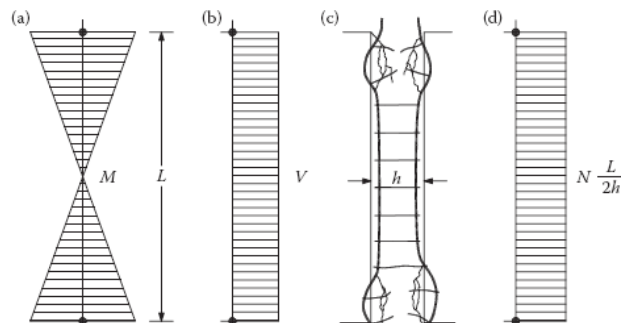
### 2. Kualitas Material dan Pelaksanaan

Kualitas material sangat berpengaruh terhadap daya tahan bangunan ketika terjadi gempa. Berdasarkan penelitian Teddy Boen (2006, 2007a, 2007b) di Sumatra Barat, Bengkulu, Yogyakarta; Widodo Pawirodikromo (2007) dan Amr S Elnashai et. al (2006) di Yogyakarta bahwa sebagian besar bangunan rusak berat dan ambruk memiliki kualitas beton serta dinding bata yang rendah. Kemudian, pendetailan tulangan yang kurang memadai untuk memberikan tahanan yang baik terhadap beban siklik gempa (gambar 2.6).



Gambar 2.6. Gempa Bengkulu 2007, pendetailan tulangan kolom yang tidak memadai dan kebiasaan memasukkan pipa saluran air hujan dalam kolom yang dapat mengurangi kapasitas geser kolom (sumber : Boen 2007a)

### 3. Tingkat lunak (*soft story*)



Gambar 2.7. Kerusakan kolom akibat kompresi aksial yang kuat dan momen lentur siklik (a) momen lentur diagram; (b) diagram gaya geser; (c) sketsa kerusakan; diagram (d) gaya aksial. (sumber : Penulis & Penulis 2014)

Berdasarkan penelitian di daerah yang mengalami gempa kuat di Indonesia oleh Teddy Boen (2006, 2007a, 2007b) di Sumatra Barat, Bengkulu, Yogyakarta; serta Widodo Pawirodikromo (2007) di Yogyakarta menemukan bahwa kasus yang paling banyak terjadi menyebabkan bangunan bertingkat ambruk di daerah tersebut yang diakibatkan oleh *soft story* pada lantai dasar (gambar 2.8) . Hal ini biasa terjadi pada kolom yang memiliki proporsi kelangsingan menengah s/d tinggi (gambar 2.7).



Gambar 2.8. Gempa Yogya 2006, *Ground floors soft story* (sumber : Boen 2006)

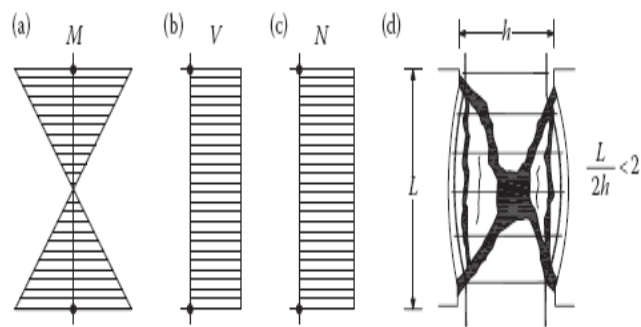
Disamping itu, tingkat lunak (*soft story*) dapat juga terjadi di lantai atas (gambar 2.9). *Soft story* disebabkan kekakuan suatu tingkat paling lemah dibandingkan tingkat lainnya (Bachmann, 2003., Taranath, 2010). Penyebab lainnya yaitu tidak terbentuk mekanisme *strong column weak beam* sehingga menyebabkan kolom lebih dulu gagal dibandingkan balok (Penelis and Kappos, 1997). Kesalahan ini bisa terjadi akibat salah perencanaan.



Gambar 2.9. Gempa Kobe 1995, bangunan komersial lantai ketiganya hilang dan lantai di atasnya mendudukinya (sumber : Bachmann 2003).

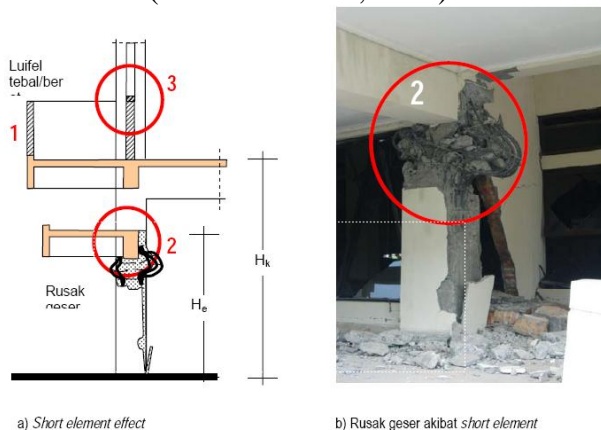
#### 4. *Short column*

Kolom pendek (*short column*) terjadi akibat memiliki proporsi antara tinggi kolom dan lebar kolom  $< 2$ . Hal ini mengundang gaya geser yang lebih besar daripada kapasitas kolom untuk menahannya (lihat gambar 2.10) (Taranath, 2010., Penulis and Penulis, 2014).



Gambar 2.10. *Short column* (a) momen lentur diagram; (b) diagram gaya geser; (c) gaya aksial; (d) sketsa kerusakan; diagram (sumber : Penulis & Penulis 2014)

Kasus *short column* disebabkan ketinggian kolom di interupsi oleh balok atau dinding (gambar 2.11). Apabila tinggi kolom memendek, maka gaya geser yang terjadi akan besar (gambar 2.12). Jika tidak diantisipasi akan menyebabkan kerusakan pada kolom (Pawirodikromo, 2007).



Gambar 2.11. Gempa Yogya 2006, *short column* : a). Sketsa interupsi balok di kolom, b). Rusak geser pada kolom (sumber : Pawirodikromo 2007)



Gambar 2.12. Gempa Yunani 1996, *short column* akibat interupsi dinding di kolom  
(sumber : Penelis & Penelis 2014)

## 5. Dilatasi

Dalam arsitektur terdapat dilatasi atau pemisahan bangunan dilakukan dengan alasan :

- Untuk menghindari kemungkinan *settlement* yang tidak seragam pada bangunan panjang > 30 m akibat kondisi daya dukung tanah yang berbeda-beda.
- Untuk menyederhanakan konfigurasi ireguler menjadi relatif reguler sehingga diharapkan respon bangunan terhadap gempa jauh lebih baik.



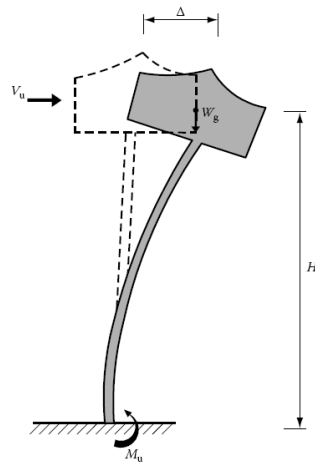
a



b

Gambar 2.13. a). Gempa Yogya 2006, *pounding* di *expansion joint*  
(sumber : Elnashai et al. 2006), b). Gempa Mexico 1985, *pounding* bangunan yang serupa (sumber : Bachmann 2003).

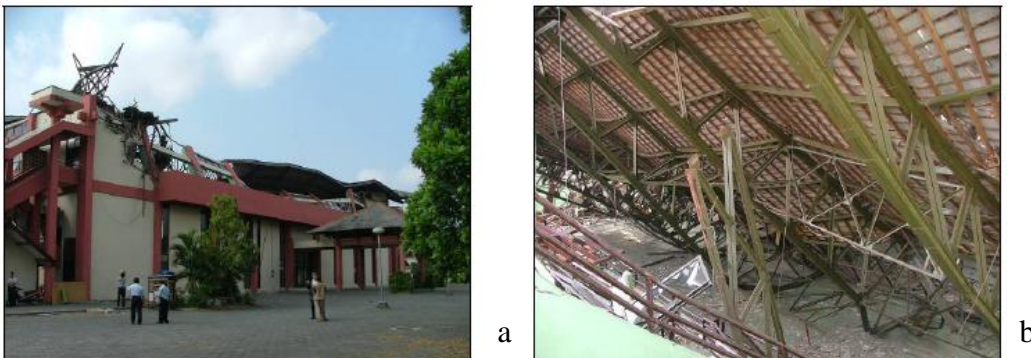
## 6. Efek P-Delta



Gambar 2.14. Efek P-Delta, model kantilever sederhana  $M_u = V_u H + W_g \Delta$ .  
(sumber : Taranath 2010).

Efek P-Delta terjadi pada struktur yang fleksibel akibat dari gaya lateral, menghasilkan simpangan horisontal yang membuat tambahan momen tumbang akibat beban gravitasi yang mengalami eksentrisitas (Taranath, 2010).

Efek P-Delta atau efek pendulum disebabkan beban yang ditahan cukup berat, sedangkan kolom yang menahannya relatif langsing sehingga ketika terjadi beban horisontal akan bergoyang bolak balik seperti pendulum yang akan membuat rusak kolom dan rubuh (gambar 2.14).



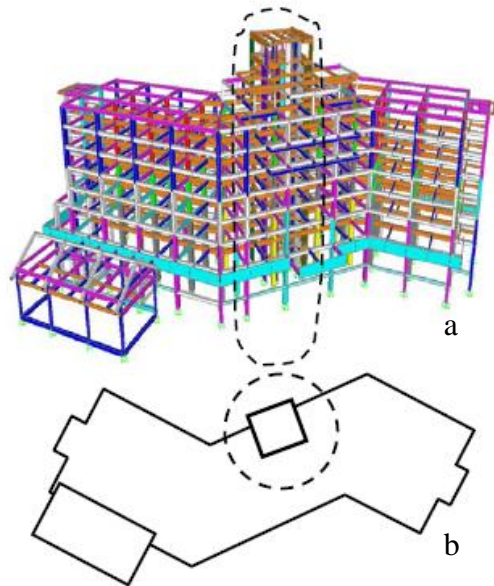
Gambar 2.15. Gempa Yogya 2006, a). Kegagalan tekuk pada kolom perimeter atap *truss* lt.02, b). Atap *truss* yang ambruk (sumber : Elnashai et al. 2006).

Efek ini juga yang dilaporkan oleh Amr S Elnashai (2006) terjadi pada Gedung Olah Raga (GOR) di Yogyakarta. Akibat menahan beban atap *truss* kantilever yang berat dan efek pendulum kolom-kolom *support perimeter* dari atap mengalami kegagalan tekuk (lihat gambar 2.15).



## 7. Efek Torsi

Torsi terjadi akibat pusat massa dan pusat kekakuan tidak berimpit atau eksentrisitas. Hal ini biasanya terjadi pada bangunan dengan konfigurasi ireguler atau tidak beraturan seperti X, L, U, T, Y, Z. Hal ini seharusnya dihindari karena efeknya sangat merusak bangunan terutama bangunan dengan material beton (Moon, 2012).



Gambar 2.16. Gempa Padang 2009, a). 3D struktur, b). Denah (sumber : Ismail et al. 2011).

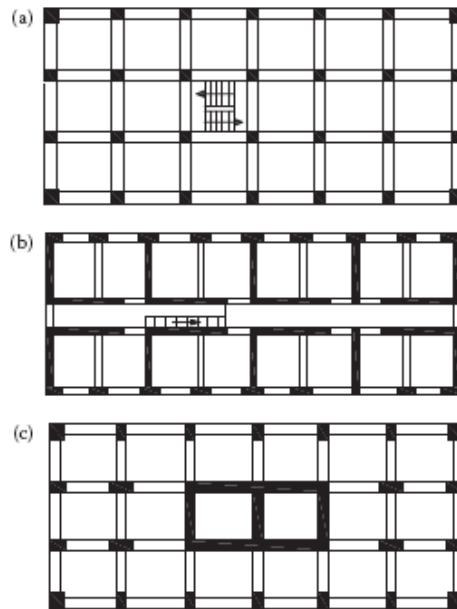
Menurut Febrin Anas Ismail et. al. (2011) bahwa efek torsi terjadi di salah satu hotel 7 lantai yang merupakan tertinggi di Padang berbentuk huruf Z dan *rigid frame*. Berdasarkan penelitian mereka, bagian tengah hotel mengalami kerusakan paling parah. Salah satu penyebab kerusakan berat dari gedung tersebut yaitu bentuk denah bangunan yang tidak simetris. Hal tersebut merupakan satu hal yang dapat menimbulkan konsentrasi tegangan akibat beban dinamis yang bekerja pada bagian tengah bangunan (lihat gambar 2.16).

### 2.1.4. KONSEP BANGUNAN TAHAN GEMPA

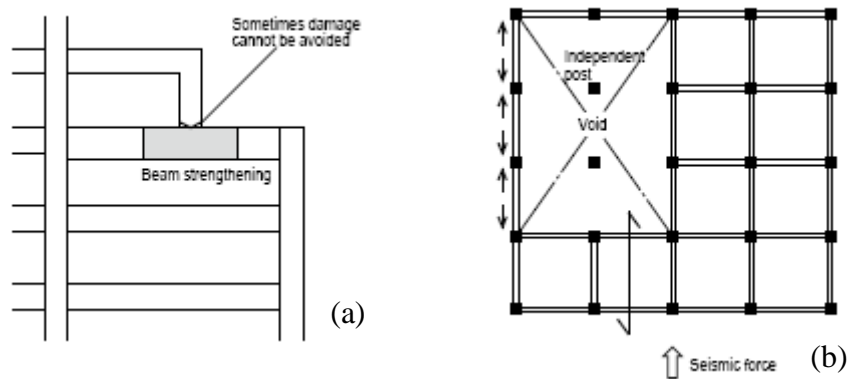
Konsep bangunan tahan gempa memiliki 2 tujuan yaitu melindungi diri penghuni dan melindungi kehilangan properti. Dengan pentingnya tujuan dari konsep bangunan tahan gempa banyak negara dan peneliti berusaha mengembangkannya, antara lain FEMA P-749 (2010), JIA DAN JASO (2012), George GP dan Gregory GP (2014), Bungale S. Taranath (2005), dan Teddy Boen et. al. (2014). Pengembangan tujuan konsep bangunan tahan gempa yaitu :

1. Semplicitas struktural

Sistem struktur yang simpel dengan mudah diidentifikasi jalur bebannya dari elemen struktur sampai dengan pondasi (gambar 2.17). Hindari jalur beban yang tidak menerus seperti balok transfer (gambar 2.18a), void (gambar 2.18b) serta ornamen besar dan berat yang dapat membahayakan manusia pada saat terjadi gempa.



Gambar 2.17. Sistem struktur berkarakter simplisitas a). Bentuk tipikal sistem rangka, b). Konfigurasi tipikal sistem dinding geser, c). Sistem dual sistem rangka dan dinding geser (sumber : Penulis & Penulis 2014).

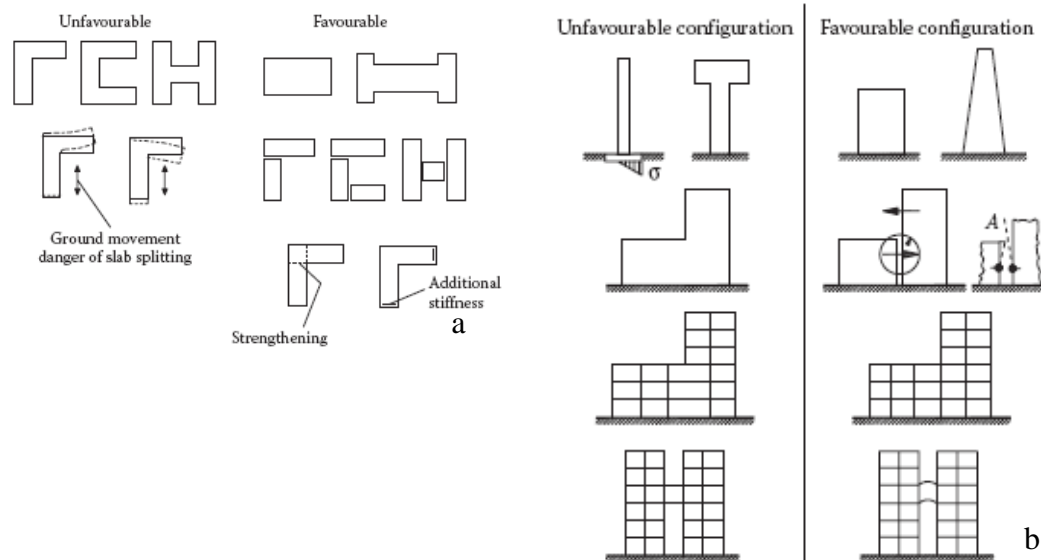


Gambar 2.18. a). Kolom diatas balok, b). Masalah lantai dengan void besar (sumber : JIA & JASO 2012).

## 2. Reguleritas/keteraturan

Struktur reguler dengan distribusi massa, kekuatan dan kekakuan yang merata pada seluruh elemen struktur ketika gempa dapat menghasilkan deformasi yang seragam. Sebaliknya, pada struktur ireguler ketika gempa dapat menyebabkan

konsentrasi kerusakan lokal. Seandainya ireguleritas tidak bisa dihindari perlu adanya pemecahan khusus. Sebagian besar *code* mengatur ireguleritas bangunan, tetapi bukan berarti menyetujui desain ireguler, mereka sebaliknya membuat desainer untuk lebih berhati-hati atas potensi efek kerusakan dari desain ireguler.

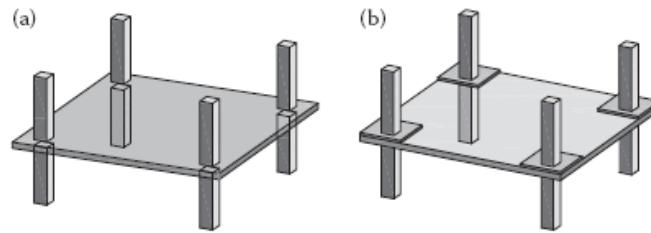


Gambar 2.19. Konfigurasi geometri horisontal yang baik dan tidak baik (sumber : Penelis & Penelis 2014).

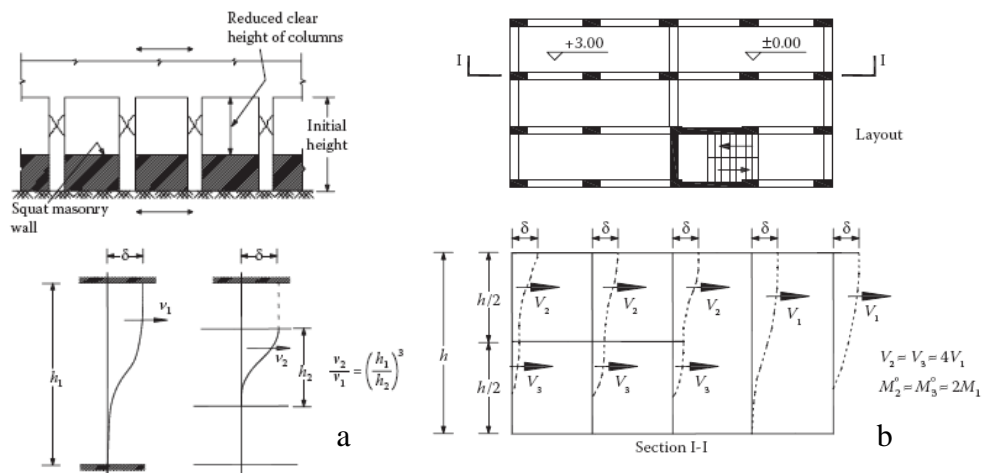
3. Cukup kaku/*stiffness*, kekuatan/*strength* dan relatif merata
  - Struktur tidak cukup kaku dan kuat saat terjadi gempa dapat menyebabkan deformasi yang besar dan menyebabkan kerusakan bangunan.
  - Hindari sistem lantai datar (*flat slab*) tanpa balok karena kurang kaku dan kemungkinan gagal pons (gambar 2.20).
  - Hindari kolom pendek (*short column*) karena gaya geser yang datang bisa melebihi kapasitasnya (gambar 2.21).
  - Hindari *soft story* atau tingkat lunak seperti lantai dasar terbuka karena dapat menyebabkan keruntuhan. Jika tidak bisa dihindari harus dilakukan analisis dan detail secara khusus dari struktur dinding dan kolom (gambar 2.22).
  - Hindari balok dengan bentang lebar 15 s/d 20 m dapat menyebabkan vibrasi vertikal dan variasi tegangan pada balok yang tidak sama bentang (gambar 2.23).
  - Kekakuan dan ketahanan dua arah  $-x$  dan  $-y$  untuk menjamin kesamaan tahanan, kekakuan dan daktilitas di kedua arah.



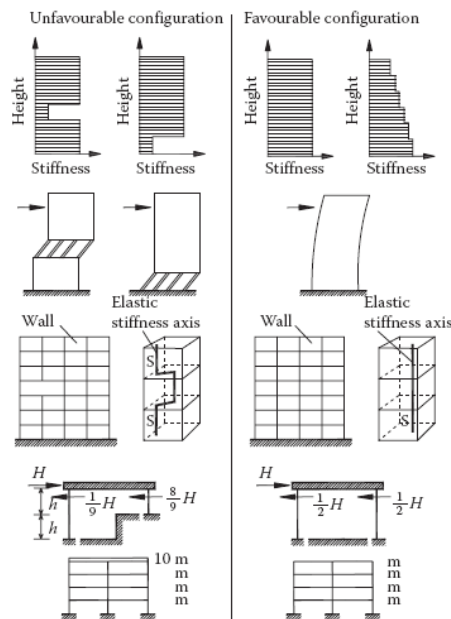
- Aspek rasio H (tinggi bangunan)/D (lebar bangunan) sebaiknya  $\leq 4$ , sehingga bangunan relatif kaku (gmb. 2.24).



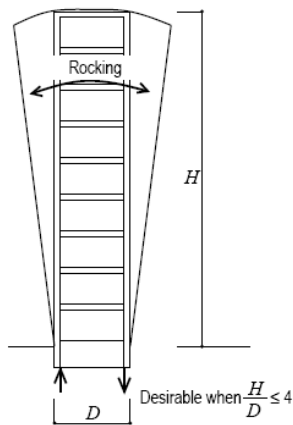
Gambar 2.20. Sistem *flat slab* a). Lantai langsung diatas kolom, b). Lantai dengan *drop panel* (sumber : Penulis & Penulis 2014).



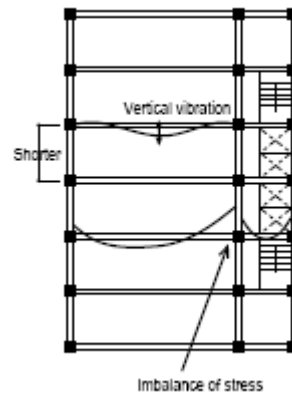
Gambar 2.21. Konsentrasi gaya geser yang besar di a). *Short column* di perimeter bangunan, b). *Short column* kolom mezanin (sumber : Penulis & Penulis 2014).



Gambar 2.22. Distribusi massa dan kekakuan arah vertikal (sumber : Penulis & Penulis 2014).



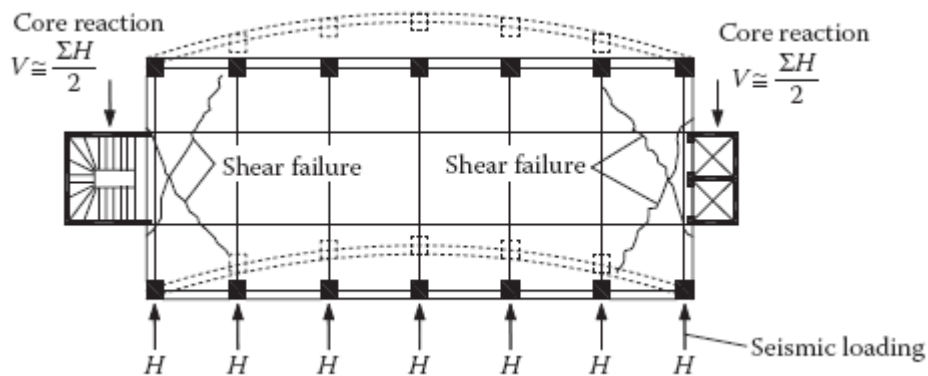
Gambar 2.24. Aspek rasio (sumber : JIA & JASO 2012).



Gambar 2.23. Masalah balok bentang panjang (sumber : JIA & JASO 2012).

#### 4. Diafragma yang kompak

Fungsi lantai diafragma pada bangunan bertingkat yaitu menyalurkan beban lateral ke elemen struktur vertikal kolom dan dinding geser yang selanjutnya ke pondasi. Ketidaksiharian lokasi dan bukaan yang sangat besar (tangga atau *core lift*, atrium, *skylight*), dapat menyebabkan fungsi diafragma gagal sehingga membutuhkan perlakuan khusus untuk menganalisa dan mendesain lantai diafragma tersebut (gambar 2.25).



Gambar 2.25. Perletakan *core* yang kurang baik, yang dapat menyebabkan lantai diafragma mengalami resiko kegagalan geser di koneksi dengan *core* (sumber : Penulis & Penulis 2014).

#### 5. Daktilitas struktur harus direncanakan dengan baik

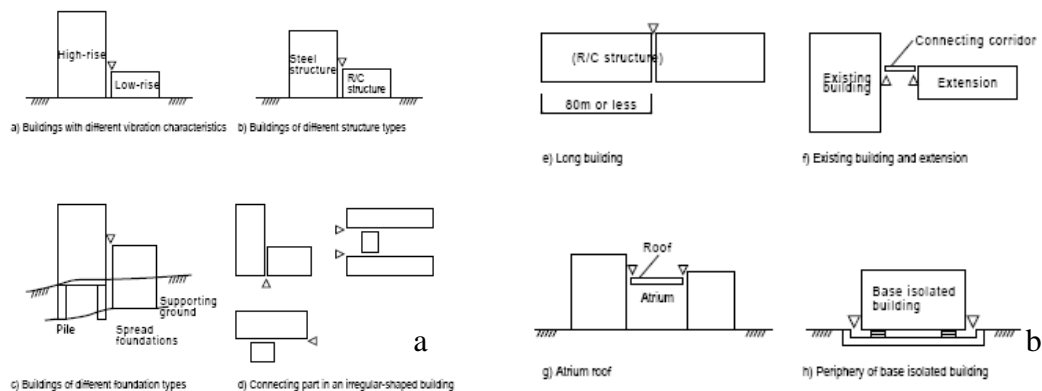
Daktilitas adalah kemampuan struktur berdeformasi inelastis tanpa mengalami kerusakan yang berarti. Agar daktilitas struktur bekerja dengan baik bergantung pada material elemen struktur (kombinasi beton dan tulangan), dimensi elemen struktur, serta koneksi antar elemen struktur (*detailing*).

## 6. Batasi kompleksitas bangunan dengan dilatasi

Untuk mengurangi ireguleritas bangunan cara memecahnya dengan dilatasi sehingga menjadi relatif simetri dan reguler. Dalam penggunaan dilatasi pertimbangkan perilaku deformasi bangunan yaitu:

- Dilatasi bangunan sama tinggi atau lantai sejajar, jika terjadi *pounding* yang paling rusak biasanya komponen non struktural.
- Dilatasi bangunan beda elevasi bisa terjadi *pounding* pada kolom.
- Dilatasi bangunan beda ketinggian, bangunan pendek bisa menerima beban dinamis tak terduga akibat *pounding* dan collapse bangunan sebelahnya.

Penggunaan *expansion joint* pada dilatasi untuk mengontrol gaya eksternal seperti gempa, angin, perubahan temperatur, penyusutan, dan perbedaan penurunan. Hal itu menjamin keamanan struktur, fungsi dan penampilan yang baik (gmb. 2.28). Hal-hal lain yang perlu diperhatikan jarak dan detail dilatasi.



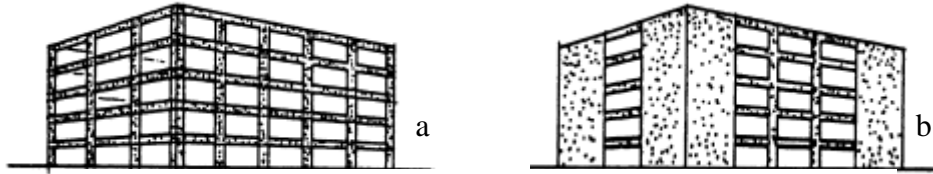
Gambar 2.26. Posisi *expansion joint* (sumber : JIA & JASO 2012).

## 7. Batasi deformasi dan kerusakan bangunan dengan sistem penahan gaya lateral.

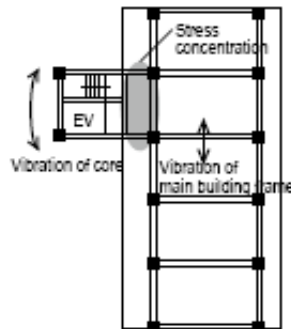
Terdapat beberapa sistem yang bisa digunakan secara efektif untuk memberikan ketahanan terhadap gaya lateral gempa yaitu :

- Bangunan dengan rangka ruang untuk menahan gaya gempa yakni kolom dan balok yang beraksi menahan lentur (gambar 2.27a) atau dinding geser yang lebih kaku daripada struktur rangka (gmb. 2.27b).
- Ketika mengkombinasi struktur rangka dan dinding geser disebut sistem dual, dimana struktur rangka paling tidak menahan 25% s/d 35% dari gaya lateral. Dinding geser harus ada pada aksis  $-x$  dan  $-y$  pada bangunan dan pertimbangkan perletaknya pada distribusi kekakuan dan eksentrisitas (gambar 2.28).

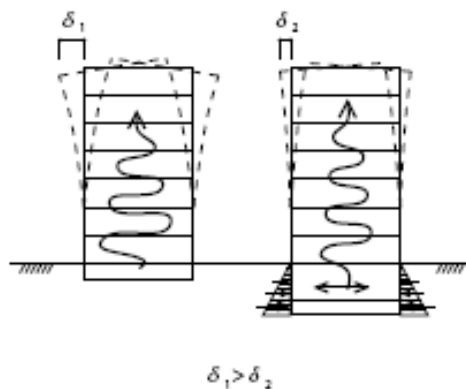
- Penggunaan dinding geser pada basement sangat efektif mereduksi gaya gempa (gambar 2.29).



Gambar 2.27. Sistem penahan gaya lateral, a). Rangka beton penahan momen, b). Dinding geser beton (sumber : Taranath 2005).



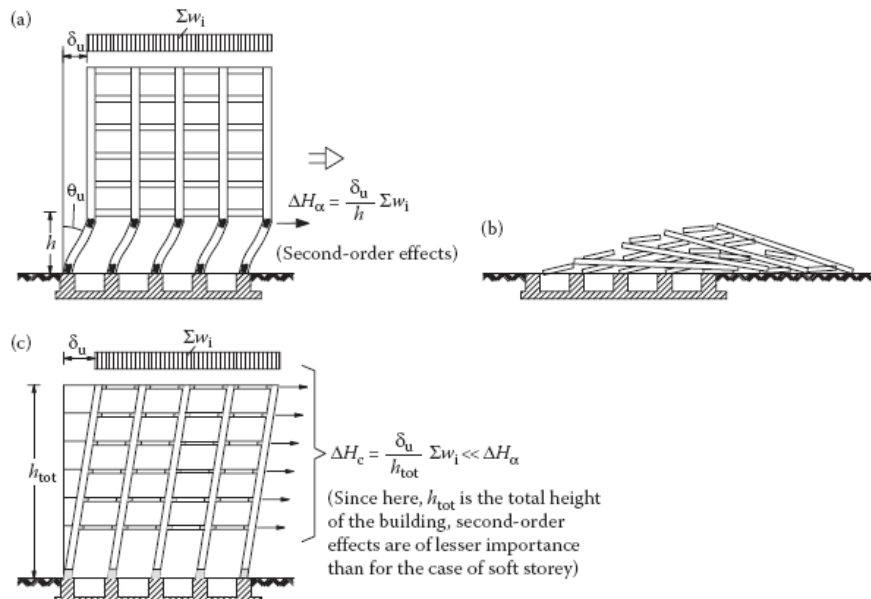
Gambar 2.28. Posisi *expansion joint* (sumber : JIA & JASO 2012).



Gambar 2.29. Mengurangi efek goyangan gempa yang masuk (sumber : JIA & JASO 2012).

#### 8. *Strong column-weak beam*

Konsep *strong column-weak beam* atau kolom kuat-balok lemah yaitu distribusi ekstensif dari sendi plastis seharusnya dijamin. Hindari konsentrasi sendi plastis hanya pada tingkat tertentu saja (mekanism *soft story*) dan khususnya dibagian bawah serta atas kolom ditingkat yang sama. Hal ini dapat dicapai dengan cukup handal, jika dapat dijamin terbentuknya sendi plastis hanya terjadi di balok dan bukannya kolom kecuali formasi plastis yang tidak terhindarkan di dasar bangunan (gambar 2.30).



Gambar 2.30. Mekanisme *strong beam-weak column* (sumber : Penelis & Penelis 2014).

Mekanisme plastis dari sistem rangka dengan *strong beam-weak column*, antara lain (a) memunculkan *soft story* yang efek *second order* mengarahkan formasi tumbang efek pendulum; (b) pola tumbang *pancake* (rata dengan tanah); (c) sistem rangka *strong column-weak beam* yang menjamin eksistensi kolom vertikal sebagai tulang punggung yang kuat menjaga dari keruntuhan (lihat gambar 2.30).

## 9. Redundansi

Struktur redundansi jika relatif jumlah besar elemen berpartisipasi untuk memberikan suatu kekuatan struktur dan seandainya sedikit elemen yang berpartisipasi akibat kerusakan, hal ini berarti menyisakan elemen-elemen yang mungkin kekuatan residualnya untuk mempertahankan dari ambruk.

### 2.1.5. DESAIN ARSITEKTUR DAN PROSES DESAIN ARSITEKTUR

Bangunan gedung hasil karya arsitek merupakan proses imajinatif yang dituangkan menjadi gambar desain yang diwujudkan dalam rupa nyata. Gambar desain tersebut merupakan proses rumit pengolahan desain arsitektur dalam tahap-tahap perancangan arsitektur.

#### 1. Disain Arsitektur

Geometri adalah ide formatif dalam arsitektur yang telah digunakan sejak awal sejarah arsitektur sebagai alat desain. Geometri adalah penentu paling umum karakteristik dalam bentuk bangunan. Bentuk bangunan merupakan pengembangan

bentuk primer menjadi bentuk gubahan setelah melalui proses abstraktif dan proses imajinatif berdasarkan pengalaman visual maupun pengalaman estetika seseorang.

## 2. Tahapan Proses Disain Arsitektur

Layanan Utama Jasa Arsitek dalam pekerjaan perencanaan dan perancangan Arsitektur akan dilaksanakan dalam tahapan-tahapan pekerjaan perancangan arsitektur yaitu (IAI, 2007) :

- Pekerjaan Tahap ke 1 : Tahap Konsep Rancangan
- Pekerjaan Tahap ke 2 : Tahap Pra Rancangan / Skematik Desain
- Pekerjaan Tahap ke 3 : Tahap Pengembangan Rancangan
- Pekerjaan Tahap ke 4 : Tahap Pembuatan Gambar Kerja

### 2.1.6. TREN DESAIN ARSITEKTUR DI INDONESIA YANG MEMENGARUHI KERENTANAN BANGUNAN TERHADAP GEMPA

Apa yang didesain oleh arsitek pada bangunan bisa memengaruhi perilaku bangunan dalam menghadapi goyangan gempa. Kebiasaan-kebiasan desain yang dapat memengaruhi kerentanan bangunan terhadap gempa yaitu :

#### 1. Laggam Bangunan

Indonesia juga tidak luput dari pengaruh laggam arsitektur yang berkembang di dunia. Laggam-laggam arsitektur tersebut, antara lain :

##### a. Arsitektur modern



Gambar 2.31. Karya Arsitektur Modern Le Corbusier Villa Savoy (sumber : Ching et al. 2011).

Beberapa pengaruh arsitektur modern pada performa bangunan terhadap gempa yaitu (1) Pilotis, dengan mengangkat bangunan dari atas tanah dengan kolom (*pilotis*) sehingga memberi kesan “melayang” bangunan terhadap sekitarnya dan kesan mengalir (gambar 2.31 dan 2.32). Desain bangunan seperti ini dapat menimbulkan *soft story* akibat perbedaan kekakuan yang drastis lantai atas dan bawah; (2) *Free*

*design of the ground plan & free design of the façade.* Dengan menghapus dinding masif pada lantai dasar, dibiarkan terbuka, dan bebas dianjurkan penggunaan dinding kaca seperti lobi hotel bank. Dampaknya sama dengan diatas yaitu *soft story* (gambar 2.33).



Gambar 2.32. Ekspos kolom-kolom langsing untuk memberi kesan monumental pada bangunan tetapi meningkatkan potensi *soft story* pada kolom tersebut (sumber : [http://lh5.ggpht.com/\\_BuyHB\\_UQftY/S6DLycY7uNI/AAAAAAAAABV4/ds3GchVwtj4/IMG\\_1248.JPG](http://lh5.ggpht.com/_BuyHB_UQftY/S6DLycY7uNI/AAAAAAAAABV4/ds3GchVwtj4/IMG_1248.JPG)).



Gambar 2.33. *Free design of the ground plan & the facade* pada lantai dasar dan lantai 1 (sumber : <http://www.onino.co/wp-content/uploads/2015/11/unikama.jpg>).

b. Arsitektur post-modern

Bentuk bangunan yang kembali simetris sehingga mengurangi resiko puntir bangunan akibat gempa. Terjadinya percampuran arsitektur masa kini dan masa lampau sehingga banyak menggunakan ornamen yang bisa menimpa orang



dibawahnya dan dapat memengaruhi kekakuan kolom dan balok di mana ornamen tersebut dipasang (gambar 2.34).



Gambar 2.34. Kombinasi arsitektur modern dan arsitektur Bali (sumber : <http://www.bi.go.id/id/publikasi/kajian-ekonomi-regional/bali/profil/PublishingImages/Presentation1.jpg>).

### c. Arsitektur dekonstruksi

Langgam arsitektur dekonstruksi berusaha menampilkan arsitektur “yang tidak biasa”, diluar dari norma-norma arsitektur dan struktur pada umumnya dengan bentuk yang abstrak dan kontras melalui permainan bidang serta garis yang simpang siur. Bangunan dengan arsitektur dekonstruksi cenderung *aseismic* (gambar 2.35). Untuk menjadikan *seismic resistant*, bangunan dengan langgam ini membutuhkan dana yang sangat besar sehingga jika diterapkan pada bangunan *low* atau *middle budget* sangat beresiko.



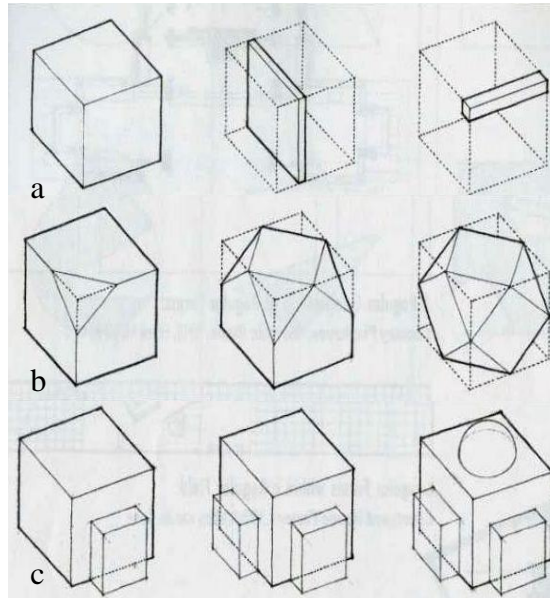
Gambar 2.35. Arsitektur dekonstruksi yang cenderung *aseismic* (sumber : <http://www.grya.co.id/stories/content/images/2016/01/image1.jpg>).

## 2. Tranformasi bentuk

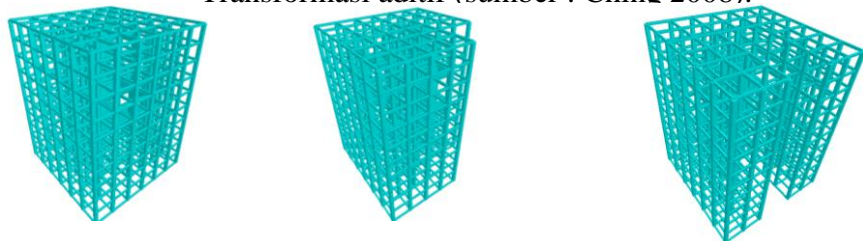
Dalam proses desain arsitektur dikenal proses *form finding* yaitu proses pencarian bentuk sampai akhirnya ditemukan bentuk yang sesuai. Biasanya dimulai dengan bentuk sederhana, kemudian dilakukan transformasi sehingga didapatkan bentuk yang



lebih kompleks. Ada 3 macam bentuk tranformasi (Ching, 2008), meliputi (1) Dimensional yaitu merubah dimensi tetapi satu bentuk (gambar 2.36a); (2) Subtraktif yaitu merubah volume tetap satu bentuk atau bentuk lainnya (gambar 2.36b); (3) Aditif yaitu penambahan elemen tetap satu bentuk atau bentuk lainnya (gambar 2.36c).



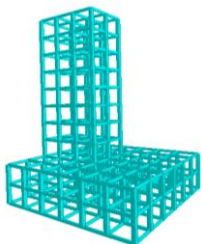
Gambar 2.36. a). Transformasi dimensional, b). Transformasi subtraktif, c). Transformasi aditif (sumber : Ching 2008).



a. Model dasar 100%    b. Model subtraktif 89%    c. Model subtraktif 78%



d. Model subtraktif 60%    e. Model subtraktif 56%    f. Model subtraktif 47%



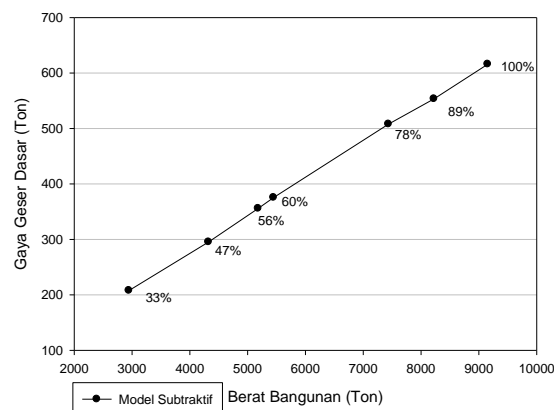
g. Model subtraktif 33%

Gambar 2.37. Model dasar (100%) dan model subtraktif 89%, 78%, 60%, 56%, 47%, 33% (sumber : Teddy et al. 2016)

Pada proses transformasi ini biasanya arsitek lebih fokus pada aspek estetika saja. Padahal berdasarkan penelitian (Teddy, Hardiman dan Nuroji, 2016) perubahan dari bentuk dasar menjadi bentuk yang lebih kompleks mengakibatkan perubahan konfigurasi bangunan yang dapat memengaruhi respon struktur terhadap gempa, sehingga dalam mendesain bangunan arsitek perlu mempertimbangkan perubahan bentuk bangunan pada perubahan perilaku bangunan tersebut terhadap gempa (gambar 2.37).

### 3. Material bangunan

Hal yang paling memengaruhi besar kecilnya gaya gempa yang datang pada bangunan yaitu kondisi seismik suatu tempat dan berat bangunan. Kondisi seismik suatu tempat di luar kendali manusia dan tergantung karakteristik geologi suatu tempat, tetapi untuk berat bangunan arsitek dan ahli struktur dapat mengontrolnya karena semakin berat bangunan semakin besar gaya gempa yang akan terjadi pada bangunan (gambar 2.38).



Gambar 2.38. Berat bangunan Vs Gaya geser dasar gempa (sumber : Teddy et al. 2016).



Gambar 2.39. Penggunaan sirip-sirip ACP sebagai ornamen hias pada bangunan (sumber : <http://2.bp.blogspot.com/-gfa1bgpGJpE/UMG8HADqelI/AAAAAAAAAK4/BjW5U3Mg8yc/s1600/SIRIP+KANAN.JPG>).

Berat bangunan tergantung berat struktur dan non struktur. Untuk mengurangi berat bangunan yang paling kemungkinan dapat dilakukan yaitu dengan berat non struktur. Sebaliknya, berat struktur sangat bergantung pada hasil perhitungan ahli struktur, misalnya dengan menggunakan material dinding (partisi) atau ornamen yang ringan dan relatif fleksibel. Selain mengurangi beban mati gedung juga tidak mengganggu kekakuan bangunan (gambar 2.39 dan 2.40).



Gambar 2.40. Penggunaan sirip-sirip beton sebagai ornamen hias yang mempengaruhi kekakuan struktur utama bangunan (sumber : <http://www.perencanaanstruktur.com/2010/10/bentuk-keruntuhan-bangunan-saat-gempa.html>).

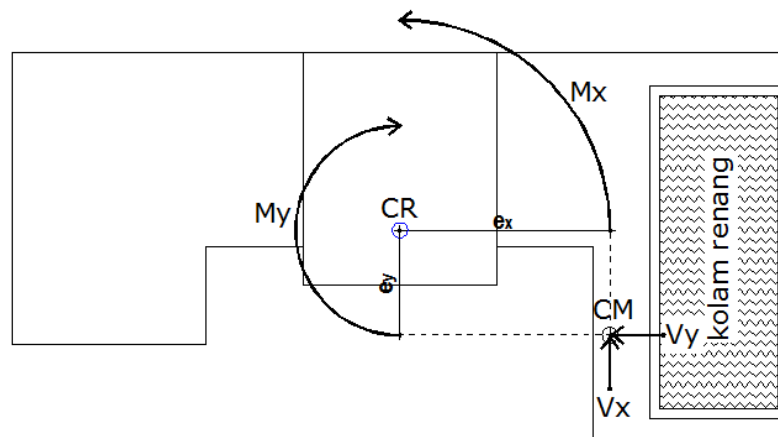
#### 4. *Roof top swimming pool*



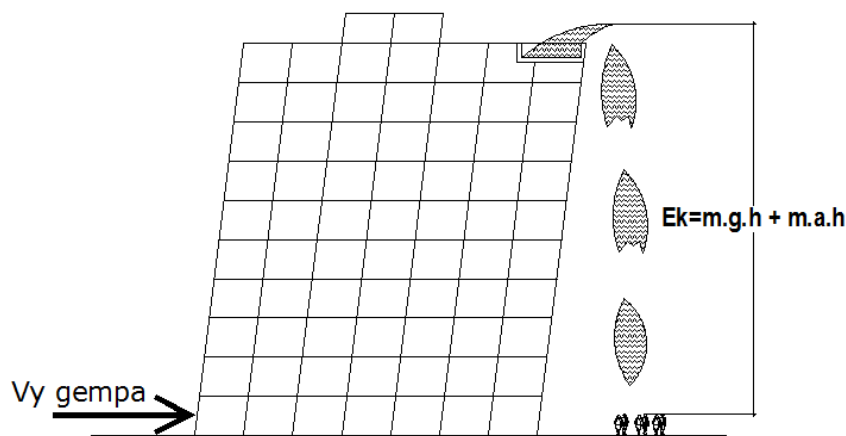
Gambar 2.41. Perletakkan kolam renang di sebagian *roof top* akan menimbulkan potensi *P Delta effect* dan *torsion effect* (sumber : <http://heights-holdings.com/images/wp/gallery-water-park-3d-building-side-view-top.jpg>).

Perletakkan kolam renang di atap gedung bertingkat > 3 lantai akan menimbulkan potensi *p-delta effect* atau efek pendulum dan perletaknya, jika tidak merata pada suatu lantai akan menimbulkan efek torsi atau puntir (gambar 2.41). Torsi terjadi akibat eksentrisitas ( $e_x$  dan  $e_y$ ) akibat pusat massa (CM) dan pusat kekakuan (CR) tidak berimpit. Eksentrisitas tersebut akan semakin besar jaraknya jika bentuk

bangunan tidak beraturan, sehingga ketika terjadi gempa ( $F_x$  &  $F_y$ ) akan terjadi momen puntir ( $M_x$  dan  $M_y$ ) dan hal tersebut sangat berbahaya bagi bangunan (gambar 2.42).



Gambar 2.42. Efek puntir pada perletakkan kolam renang di sebagian *roof top*



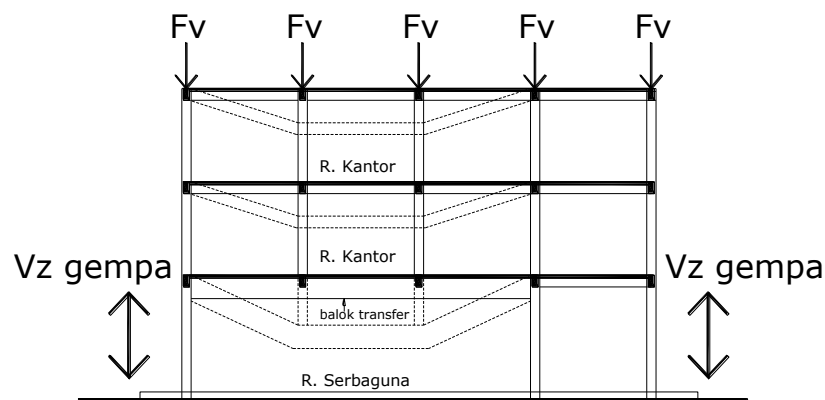
Gambar 2.43. Energi mekanik ( $E_k$ ) jatuhnya air dari *roof top* merupakan kombinasi dari energi potensial ( $m.g.h$ ) dan energi kinetik ( $m.a.h$ ) dimana ;  $m$ =massa air,  $g$ =percepatan gravitasi,  $a$ =percepatan air akibat goyangan gempa dan  $h$ =tinggi air dari *roof top* ke *ground*.

Hal lain yang mungkin tidak pernah terbayangkan arsitek dalam mendesain kolam renang di *roof top* terutama yang berada di pinggir bangunan bahwa akibat goyangan gempa air dari dalam kolam bisa keluar dan menimpa orang dibawahnya. Secara hukum fisika sederhana bahwa jatuhnya air menciptakan energi potensial akibat gravitasi dan energi kinetik akibat goyangan gempa (gambar 2.43). Jatuhan air akibat goyangan gempa pada kolam yang diletakkan di tanah dengan kolam yang diletakkan di lantai 5 energi kejatuhannya (energi mekanik) akan 20 kali lebih besar dan hal

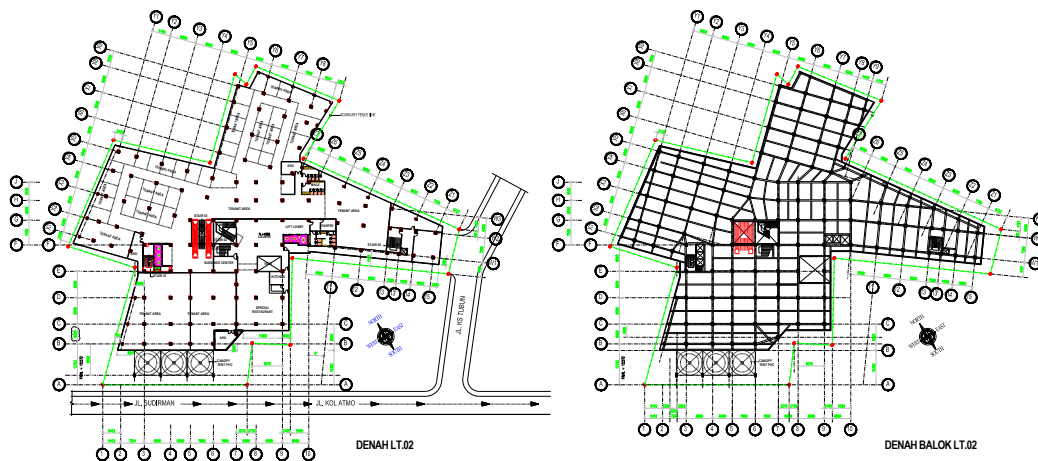
tersebut sangat membahayakan jika menimpa orang-orang dibawahnya. Untuk itu, Nathan Madutujuh (2015) tidak merekomendasikan perletakkan kolam renang di *roof top* pada bangunan *middle rise* dan *highrise* di zona rawan gempa.

## 5. Modul bangunan

Aktivitas manusia di dalam bangunan mewadahi di dalam ruang. Ruang dibentuk oleh modul-modul struktur yang biasanya disesuaikan dengan aktivitas dalam ruangan seperti retail, kantor, serbaguna, parkir, kolam renang, hunian, kelas dan lainnya. Gabungan aktivitas-aktivitas yang berbeda dalam satu gedung dapat mengakibatkan ketidakberaturan modul struktur (gambar 2.44).



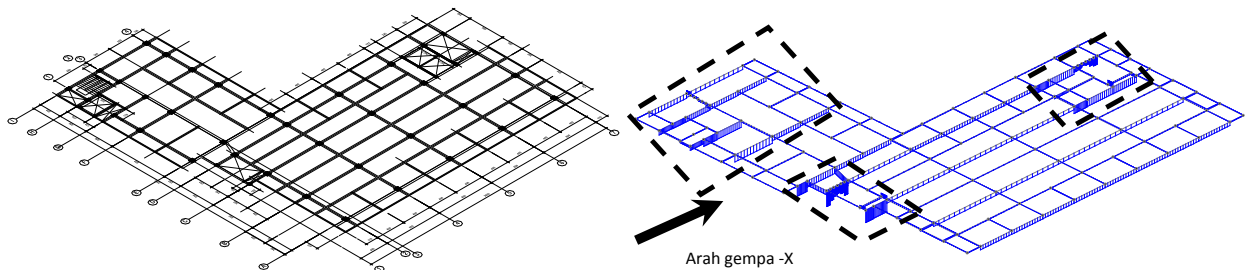
Gambar 2.44. Penggunaan balok transfer dalam mengakomodasi r. serbaguna di lantai bawah akan meningkatkan potensi kegagalan lentur balok transfer akibat gempa vertikal.



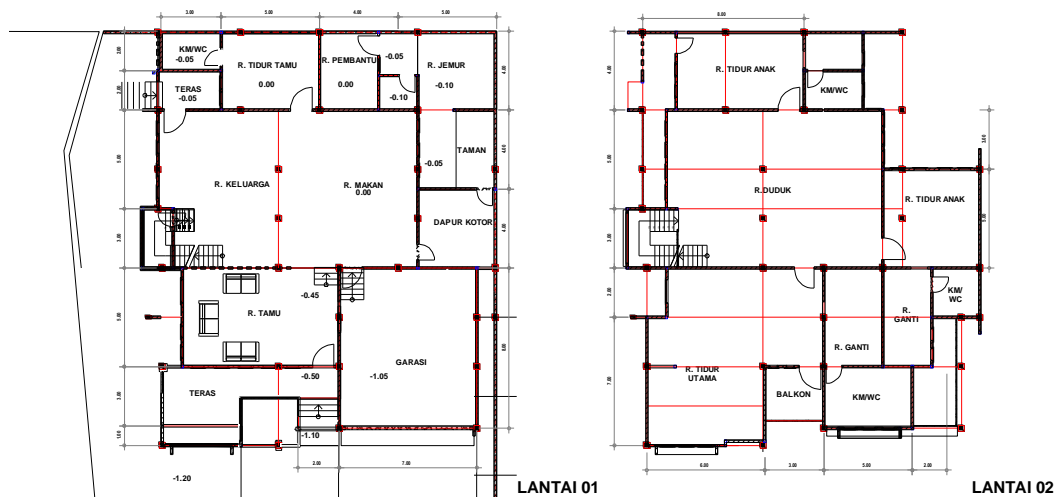
Gambar 2.45. Bentuk ireguler bangunan dapat membentuk modul struktur yang ireguler (sumber : dokumentasi pribadi).

Selain bentuk bangunan yang ireguler juga dapat menghasilkan susunan modul-modul struktur yang tidak beraturan (gambar 2.45). Ketidakberaturan modul struktur akan mengakibatkan terkonsentrasinya gaya gempa elemen-elemen struktur tertentu

sehingga dapat mengakibatkan kerusakan setempat (gambar 2.46) dan efek torsi pada bangunan akibat pusat massa dan pusat kekakuan tidak berimpit.



Gambar 2.46. Modul struktur yang tidak konsisten panjang pendeknya dapat menyebabkan konsentrasi gaya gempa (sumber :Teddy 2015).



Gambar 2.47. Ireguleritas modul struktur rumah tinggal (sumber :dokumentasi pribadi).

Kebiasaan dalam mendesain tata ruang lebih dulu, kemudian menentukan modul strukturnya yang merupakan salah satu faktor terbentuknya ireguleritas modul struktur (gambar 2.47).

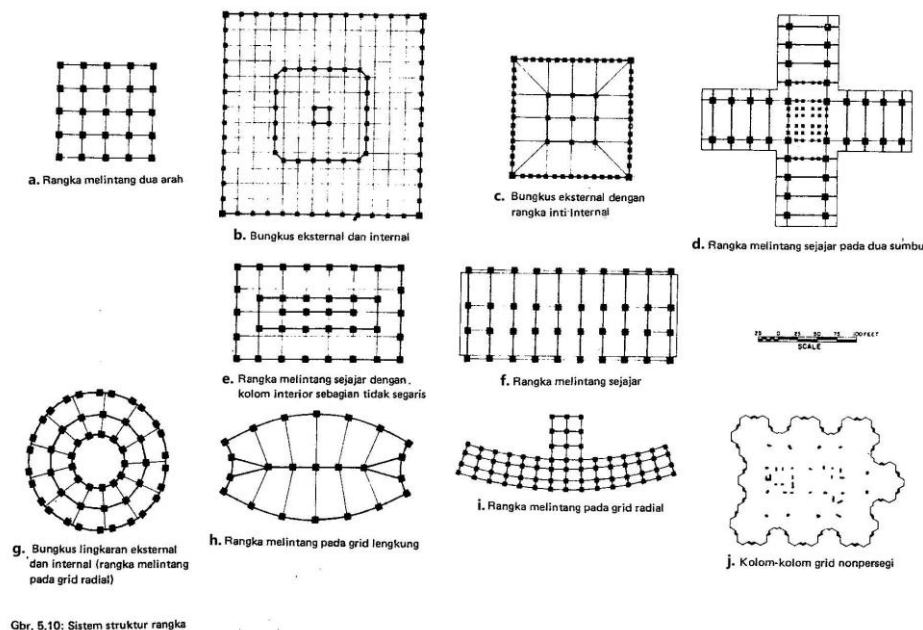
## 2.2. SISTEM STRUKTUR PENAHAN BEBAN LATERAL

Dengan kemajuan teknologi struktur pada saat ini, terdapat banyak sistem struktur penahan beban lateral. Akan tetapi, paling tidak ada 3 jenis sistem struktur penahan beban lateral yang sering digunakan di Indonesia yaitu struktur dinding berangka, struktur rangka, dan struktur dual (gabungan struktur rangka dan dinding geser). Pemilihan jenis struktur dipengaruhi oleh (Taranath, 2010) yaitu fungsi, pertimbangan arsitektur, sirkulasi ruangan, tinggi dan aspek rasio, serta intensitas beban.



### 2.2.1. STRUKTUR RANGKA RIGID

Rangka rigid (kaku) biasanya terdiri dari susunan paralel atau ortogonal kolom dan balok (gambar 2.48). Tahanan terhadap beban horisontal diberikan oleh tahanan lentur kolom, balok dan join. Kontinuitas dari rangka juga memberikan kontribusi menahan beban gravitasi dengan mengurangi momen di balok. Keuntungan dari rangka rigid yaitu sederhana, susunannya tidak mengganggu, bebas dari pengaku dan struktur dinding, lebih leluasa mengatur ruang dalam serta dapat menyusun jendela atau dinding fasade tanpa halangan. Rangka rigid dianggap ekonomis untuk bangunan sampai dengan 25 lantai. Akan tetapi, jika dikombinasi dengan *shear wall* atau *core* dapat menghasilkan struktur yang lebih kaku sehingga tinggi potensialnya bisa sampai dengan 50 lantai atau lebih.

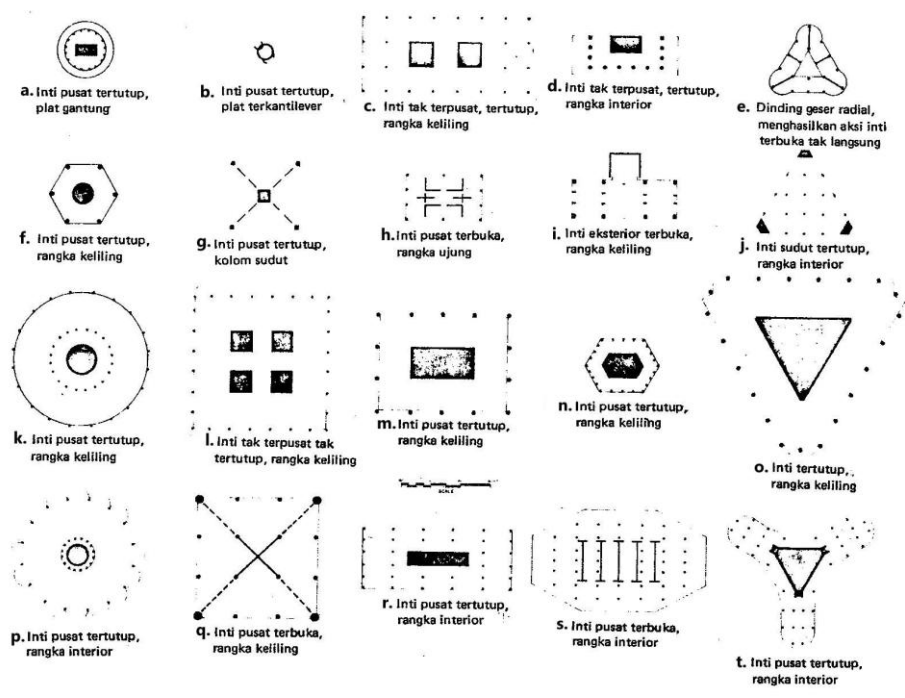


Gambar 2.48. Sistem struktur rangka (sumber : Schueller 1989).

### 2.2.2. STRUKTUR DUAL

Pada sistem struktur ini ketahanan terhadap beban horisontal diberikan oleh kombinasi dinding geser dan rangka rigid (gambar 2.49). Dinding geser biasanya diletakkan di sekitar elevator dan *shaft* servis. Ketika struktur rangka rigid dan dinding geser dibebani secara lateral, perbedaan bentuk defleksi antara dinding geser dan rangka dapat dengan efektif mengurangi defleksi horisontal sampai dengan ketinggian lebih dari 50 tingkat. Sistem ini merupakan yang paling populer digunakan dalam menahan beban lateral pada bangunan tingkat menengah 10 lantai s/d tingkat

tinggi 50 lantai. Dengan pembesaran pada bagian pangkal balok (*haunch*) ketinggian struktur rangka dan dinding geser bisa ditingkatkan sampai dengan 70 s/d 80 lantai.



Gambar 2.49. Sistem bangunan inti dan rangka (sumber : Schueller 1989).

### 2.2.3. STRUKTUR DENGAN DINDING BATA PENGISI

Pada saat ini struktur rangka beton digunakan di seluruh dunia. Pengalaman gempa yang terjadi di seluruh dunia menunjukkan penggunaan struktur rangka beton tidak menjamin ketahannya terhadap gempa (kecuali rangka beton dengan detail khusus). Permasalahannya diperburuk oleh penggunaan dinding bata pengisi. Ketika menggunakan dinding bata sebagai pembatas ruangan memberikan efek buruk pada performa bangunan terhadap gempa. Oleh karena itu, tidak mudah mencapai performa gempa daktil pada bangunan rangka beton karena membutuhkan detail khusus gempa dengan level lanjut keahlian konstruksi dan dibutuhkan kontrol kualitas.

Untuk itu ada 2 alternatif rangka beton di daerah resiko gempa tinggi (Murty *et al.*, 2006) yaitu :

- Rangka beton dengan dinding bata, tetapi dibatasi hanya pada ketinggian 3-4 lantai.
- Rangka beton dengan dinding geser. Untuk sistem struktur ini fisibel dan ekonomis bagi bangunan tingkat menengah dan tingkat tinggi.



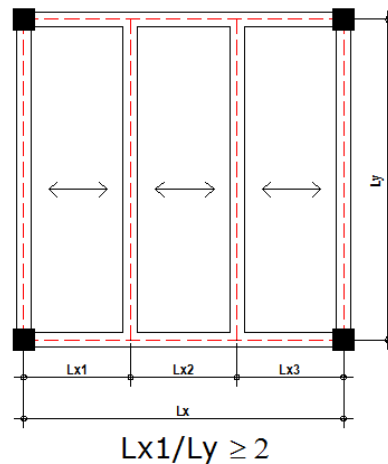
Berdasarkan kenyataan empiris bagi bangunan yang memiliki daktilitas rendah kepadatan dinding bata dapat membantu kekakuan bangunan. Kepadatan dinding yaitu luas total penampang dinding di tingkat tertentu di bagi luas atap atau luas lantai tingkat di atasnya. Kepadatan dinding paling tidak  $\pm 1\%$  di masing-masing aksis yang ditinjau agar memiliki performa yang baik terhadap gempa di zona A. Di Zona B 0.8% dan Zona C 0.6% (Boen, Arya and Ishiyama, 2014).

#### 2.2.4. SISTEM STRUKTUR LANTAI

Sistem struktur lantai balok dan plat lantai sangat penting perannya dalam menahan gaya gempa sebagai diafragma yang berfungsi menahan gaya gravitasi, membantu ketahanan lateral struktur vertikal, menahan gaya vertikal gempa, menahan gaya tekukan kolom, mentransfer gaya inersia lateral ke elemen struktur vertikal, dan mentransfer gaya melalui diafragma.

Sistem struktur lantai ada banyak macamnya. Dua diantaranya yang paling sering digunakan di Indonesia (Nawy, 1998., Asroni, 2010) yaitu :

##### 1. Sistem plat lantai 1 arah

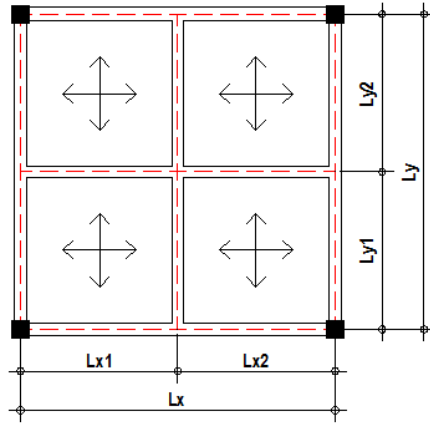


Gambar 2.50. Plat lantai 1 arah

Plat lantai 1 arah adalah suatu lantai beton bertulang di mana perbandingan antara bentang yang panjang dengan bentang yang pendek sama atau lebih besar dari 2. Plat lantai sistem ini lebih dominan menahan beban berupa momen lentur pada bentang satu arah saja (gambar 2.50).

##### 2. Sistem plat lantai 2 arah

Plat lantai 2 arah adalah suatu lantai beton bertulang di mana perbandingan antara bentang yang panjang dengan bentang yang pendek sama atau lebih kecil dari 2. Plat lantai sistem ini menahan momen lentur pada bentang dua arah (gambar 2.51).



$$Lx1/Ly1 \leq 2$$

Gambar 2.51. Plat lantai 2 arah

### 2.3. KERENTANAN BANGUNAN TERHADAP GEMPA

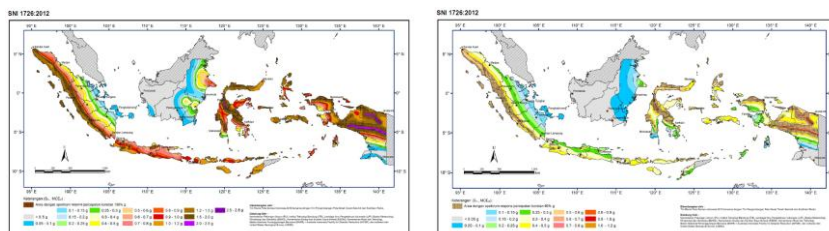
Untuk memastikan bahwasanya bangunan kuat dalam menahan beban gempa, maka bangunan perlu dianalisis responnya terhadap gempa, antara lain dengan analisa statik ekuivalen dan analisa kerentanan bangunan terhadap gempa.

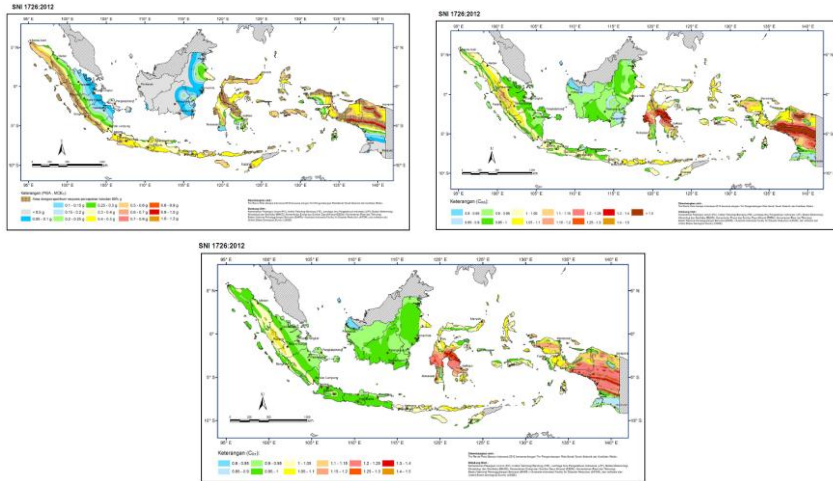
#### 2.3.1. KOEFISIEN BEBAN SEISMIK DAN ANALISA STATIK EKUIVALEN

Analisis statik ekuivalen merupakan pengganti efek beban dinamis sesungguhnya yang terjadi ketika gempa. Oleh karena itu, gaya-gaya horisontal tersebut secara umum disebut sebagai Gaya atau Beban Horisontal Ekuivalen Statik. Untuk menganalisis beban gempa statik ekuivalen dibutuhkan koefisien beban seismik yang didapat dari analisa respon spektrum zona gempa desain.

##### 1. Koefisien beban seismik berdasarkan SNI 1726:2012

Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726: 2012) mengacu pada SNI 1726:2002, UBC-97, IBC-2009, ASCE 7-10 (Irsyam *et al.*, 2010). Gambar 2.52 adalah peta respon spektrum yang akan dipakai untuk membuat desain respon spektrum. Untuk itu, perlu diketahui terlebih dahulu klasifikasi tanah seperti tabel 2.1.





Gambar 2.52 . Peta Gempa Indonesia (sumber : SNI 1726-2012)

Parameter respon spektrum percepatan pada periode pendek  $S_{MS}$  dihitung dengan,

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \text{ ----- (2. 1)}$$

$S_s$  adalah parameter respon spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode 0.2 dt di batuan dasar ( $S_B$ ) dengan probabilitas terlampaui sebesar 2% selama 50 th (gambar 2.52).  $F_a$  adalah koefisien atau faktor amplikasi pada periode 0,2 dt (tabel 2.2).

Atau tercantum ([http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/))

Tabel 2.1. Klasifikasi Situs (sumber : SNI 1726-2012)

Kelas situs	$\bar{V}_s$ (m/dt)	$\bar{N}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan Keras)	$\geq 1500$	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	$>50$	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	$< 175$	$<15$	$< 50$
	Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air ( $w$ ) $\geq 40$ persen, dan 3. Kuat geser tak terdrainase $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF(tanah khusus yang mem-butuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti Pasal 6.9.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah. - Lempung sangat organik dan atau gambut (ketebalan $> 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7.5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$ ) - Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa		

Sementara itu, parameter respon spektrum percepatan pada periode panjang  $S_{M1}$  ( $T=1$  dt) dihitung dengan :

$$S_{M1} = F_a \cdot S_1 \text{ ----- (2. 2)}$$

$S_1$  adalah parameter respon spektral percepatan gempa  $MCE_R$  untuk periode 1 dt di batuan dasar ( $S_B$ ) dengan probabilitas terlampaui sebesar 2% selama 50 th (gmb. 2.52 atau [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/)).

Tabel 2.2. Faktor Amplikasi Untuk Periode Pendek ( $F_a$ )  
(sumber : SNI 1726-2012)

Klasifikasi Site	$S_s$				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s \geq 1.25$
Batuan Keras ( $S_A$ )	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan ( $S_B$ )	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak ( $S_C$ )	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
Tanah Sedang ( $S_D$ )	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
Tanah Lunak ( $S_E$ )	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
Tanah Khusus ( $S_F$ )	SS	SS	SS	SS	SS

Tabel 2.3. Faktor Amplikasi Untuk Periode 1 detik ( $F_V$ )  
(sumber : SNI 1726:2012)

Klasifikasi Site	$S_1$				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
Batuan Keras ( $S_A$ )	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan ( $S_B$ )	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak ( $S_C$ )	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
Tanah Sedang ( $S_D$ )	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
Tanah Lunak ( $S_E$ )	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
Tanah Khusus ( $S_F$ )	SS	SS	SS	SS	SS

Keterangan: SS adalah lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons site spesifik

Sementara itu  $F_V$  adalah koefisien atau faktor amplikasi pada periode 1 dt (tabel 2.3). Selanjutnya parameter respon spektrum dapat diperoleh dengan,

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \text{-----} (2.3)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \text{-----} (2.4)$$

$S_{DS}$  adalah parameter respon spektrum percepatan desain untuk periode 0.2 dt, sedangkan  $S_{DI}$  adalah parameter respons spektrum desain untuk periode 1 dt.

Nilai-nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{DI}$  sebagaimana persamaan (2.3) serta (2.4) adalah parameter respon spektral kecepatan untuk periode pendek  $T=0.2$  dt dan periode panjang  $T=1$  dt. Selanjutnya, perlu dibuat respon spektrum desain yang akan dipakai untuk menentukan gaya geser statik ekuivalen dengan bentuk umum seperti persamaan (2.9). Respon spektrum untuk percepatan  $T < T_0$  dihitung melalui,

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_o} \right) \text{-----} (2.5)$$

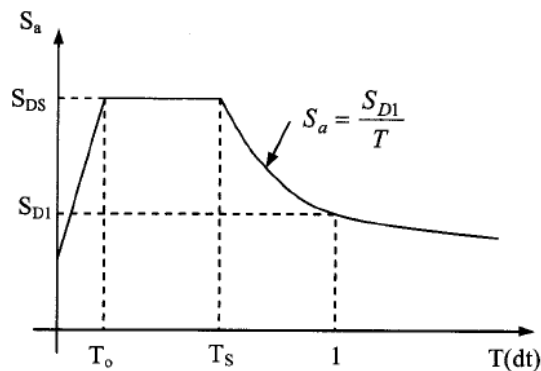
Sedangkan untuk  $T_o < T < T_s$ , maka respon spektrum percepatan  $S_a = S_{DS}$ . Lalu, untuk  $T > T_s$ , maka respon spektrum percepatan  $S_a$  dihitung dengan,

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \text{-----} (2.6)$$

Sementara itu, nilai-nilai  $T_o$  dan  $T_s$  adalah :

$$T_o = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \text{-----} (2.7)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \text{-----} (2.8)$$



Gambar 2.53. Bentuk umum respons spektrum disain

Menurut Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012 (BSN, 2012), maka gaya geser dasar  $V$  dapat dihitung dengan,

$$V = C_s \cdot W_t \text{-----} (2.9)$$

$C_s$  adalah koefisien beban seismik yang dapat dihitung dengan,

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e} \text{-----} (2.10)$$

Namun demikian, nilai  $C_s$  tidak perlu lebih besar dari,

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \cdot (R/I_e)} \text{-----} (2.11)$$

Akan tetapi, nilai  $C_s$  juga tidak boleh kurang dari,

$$C_s = 0.044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \text{-----} (2.12)$$

Untuk nilai  $S_1 > 0,60$  g, nilai  $C_s$  tidak boleh kurang dari,

$$C_s = \frac{0.5.S_1}{(R/I_e)} \text{-----} (2. 13)$$

Definisi dan nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ ,  $S_1$  dan lainnya adalah bisa dilihat pada keterangan di atas. Untuk struktur portal beton bertulang dan struktur portal baja menurut SNI 1726:2012 berturut-turut adalah,

$$\text{Beton} \rightarrow T = 0.0466.H_B^{0.90} \text{-----} (2. 14)$$

$$\text{Baja} \rightarrow T = 0.0724.H_B^{0.80} \text{-----} (2. 15)$$

Apabila periode getar fundamental didapatkan, maka dengan memakai respon spektrum yang sesuai tempat di mana bangunan akan dibangun sehingga koefisien beban seismik  $C_s$  menurut persamaan (2.15) dapat dihitung.

Untuk Faktor keutamaan bangunan ( I ) yaitu tabel 2.5.

Tabel 2.4. Faktor Keutamaan Bangunan (I)  
(Sumber : SNI 1726:2012)

No	Jenis Gedung	Kategori Resiko	Faktor Keutamaan
1	Struktur gedung resiko rendah (fasilitas pertanian, perkebunan, perikanan, gudang, rumah jaga)	I	1,00
2.	Struktur gedung resiko menengah (perumahan, toko, kantor, apartmen, mall, bangunan industri,pabrik)	II	1,00
3.	Struktur gedung resiko tinggi 1) bioskop, gedung pertemuan, stadion, fasilitas kesehatan tanpa unit bedah, penjara, gedung penitipan anak, orang jompo; 2) gedung pusat pembangkit tenaga, fasilitas telekomunikasi, penanganan air, limbah.	III	1,25
4	Struktur gedung penting (bangunan monumental, gedung sekolah dan fasilitasnya, rumah sakit, gedung pemadam kebakaran, gedung perlindungan dan komunikasi dalam kondisi darurat, pusat pembangkit energi, menara telekomunikasi, struktur station listrik, struktur penting lainnya)	IV	1,50

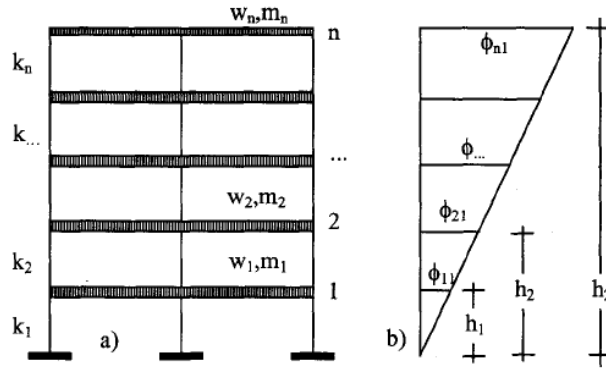
Faktor keutamaan bangunan berkaitan dengan tingkat resiko yang diperbolehkan pada suatu bangunan. Tingkat resiko yang diperbolehkan bergantung tujuan bangunan. Bangunan yang terpenting tingkat resikonya harus lebih kecil dibandingkan bangunan biasa sehingga faktor keutamaan bangunan (I) terpenting lebih besar daripada bangunan biasa dan sebaliknya. Hal ini dilakukan untuk menghindari bangunan tersebut dari kerusakan yang terjadi.

## 2. Distribusi Beban Statik Ekuivalen / Gaya Horisontal Tingkat

Gaya geser (V) pada rumus (2.16) merupakan gaya geser dasar yang bekerja pada dasar bangunan. Gaya geser ini akan terdistribusi sepanjang tinggi bangunan dengan rumus :

$$F_i = \frac{w_i.h_i}{\sum_{i=1}^m w_i.h_i} V \text{-----} (2. 16)$$

Dengan  $F_i$  adalah gaya horizontal tingkat ke-I,  $w_i$  dan  $h_i$  berturut-turut adalah berat (termasuk beban) tingkat ke-I dan tingkat ke-i.



Gambar 2.54. Struktur bangunan dan mode ke-1  
(sumber : Pawirodikromo 2012)

Rumus (2.16) adalah persamaan yang sering dipakai untuk menentukan gaya horisontal tingkat, penyederhanaan dari beban dinamik gempa bumi apabila koordinat mode-1 relatif linier. Apabila *mode shape* tidak linier yaitu pada bangunan-bangunan tinggi/fleksibel maka persamaan (2.16) perlu dimodifikasi seperti persamaan (2.17). Menurut SNI (1726:2012) persamaan yang lebih umum dapat dipakai untuk memperhitungkan kelangsingan struktur adalah,

$$F_i = \frac{w_i \cdot h_i^k}{\sum_{i=1}^m w_i \cdot h_i^k} V \text{-----} (2. 17)$$

k adalah suatu koefisien yang bergantung pada periode getar fundamental struktur. Nilai k tersebut adalah,

k=1 apabila  $T < 0,50 \text{ dt}$

k=2 apabila  $T > 2,50 \text{ dt}$

k merupakan nilai interpolasi linier bila  $0,50 < T < 2,50 \text{ dt}$ .

	(1) Uniform	(2) Inverted triangle	(3) $\sqrt{\alpha}$
Seismic force (coeff.)			
Seismic shear force			

Gambar 2.55. Distribusi gaya gempa ( $F_i$ ) dan gaya geser gempa ( $V_i$ )  
(sumber : Ishiyama, 2011)

Untuk bangunan *middle rise* untuk distribusi gaya gempa tingkat ( $F_i$ ) relatif mengikuti distribusi *inverted triangle* (b) dan untuk distribusi gaya geser gempa tingkat ( $V_i$ ) relatif mengikuti distribusi *uniform* (d) (lihat gambar 2.55).

Kriteria penerimaan (*acceptance criteria*) ini bisa juga diterapkan pada seluruh jenis analisis gempa yaitu dari hasil analisis elastik (ekuivalen statik, linier-elastik dinamik analisis) maupun analisis inelastik (*static pushover, inelastic dynamic analysis*). Apabila performa struktur masih memenuhi kriteria maka tingkat kinerja yang diinginkan telah tercapai (Pawirodikromo, 2012).

Kriteria penerimaan untuk setiap *performance level* dapat dilihat *global drift* Vision 2000 (tabel 2.5).

Tabel 2.5. Kriteria disain simpangan global/*global drift* pada setiap level kinerja ATC 58 (sumber : FEMA 2012b)

System Discriptions	Performance Levels			
	Operational	Life Safety	Near Collapse	Colapse
Overall Building Damage	Light	Moderate	Severe	Complete
Permissible Transient Drift	< 0,50 %	< 1,50 %	< 2,50 %	> 2,50 %
Permissible Permanent Drift	Negligible	< 0,50 %	< 2,50 %	> 2,50 %

Adapun level kinerja struktur tersebut berdasarkan FEMA 273 (FEMA, 1997) yaitu :

- Segera dapat dipakai (IO = *Immediate Occupancy*)
- Keselamatan penghuni terjamin (LS = *Life-Safety*)
- Terhindar dari keruntuhan total (CP = *Collapse Prevention*)

### 2.3.2. KERENTANAN STRUKTUR TERHADAP GEMPA

Berbeda dengan bangunan menghasilkan bermacam-macam derajat kerentanan akibat gempa sebagai fungsi geometris atau karakter kualitatif (seperti ketinggian, dimensi rencana, konfigurasi elevasi dan lainnya). Lalu, untuk karakteristik struktural (seperti material konstruksi, massa, kekakuan, kualitas konstruksi, kekuatan, daktilitas, tegangan, simpangan akibat gempa, parameter perilaku non linier dan informasi struktural lainnya).

Prosedur pemeriksaan kerentanan seismik dikelompokkan dalam 3 prosedur (Sinha and Goyal, 2004) yaitu :

1. *Rapid Visual Screening* (RVS)/Pemilahan Visual dengan Cepat atau Prosedur Level 1. Prosedur ini hanya membutuhkan evaluasi visual dan informasi tambahan terbatas. RVS sangat sederhana karena tidak melibatkan perhitungan struktural, tetapi penilaian berdasarkan visual dan skoring. Prosedur level 1 ini



direkomendasikan untuk seluruh bangunan. RVS pertama kali diusulkan di USA tahun 1988 dengan diterbitkannya FEMA 154 dan FEMA 155. Kemudian diperbaharui pada tahun 2002 dan 2015. FEMA 154 & 155 dibuat untuk tipikal konstruksi di USA, walaupun digunakan di banyak negara setelah dimodifikasi disesuaikan dengan keadaan negara tersebut.

2. *Simplified Vulnerability Assessment (SVA)*/Penilaian Kerentanan Sederhana atau Prosedur Level 2. Prosedur ini membutuhkan analisis *engineering* terbatas berdasarkan informasi dari observasi visual dan gambar struktural atau diukur dilapangan. Hasil dari prosedur SVA dapat digunakan untuk mendasari status potensial dari bangunan yang dipilih. Selanjutnya, ada daftar pendek bangunan yang membutuhkan penilaian kerentanan yang lebih detail.
3. *Detailed Vulnerability Assessment (DVA)*/Penilaian Kerentanan Detail atau Prosedur Level 3. Prosedur ini membutuhkan analisis komputer detail, bisa sama atau bahkan lebih kompleks daripada yang dibutuhkan untuk desain bangunan baru.

### **2.3.3. SIMPLIFIED VULNERABILITY ASSESMENT (SVA) JBDPA**

Metode *screening* lainnya yang dikeluarkan oleh *The Japan Building Disaster Prevention Association (JBDPA)* (Okada *et al.*, 2005) yaitu *Standard for Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Buildings*. Tujuan dari standar ini adalah evaluasi ketahanan bangunan material beton yang ada terhadap gempa. Ada 3 level *screening procedure* pada metode ini yaitu level 1, level 2 dan level 3; masing-masing level disesuaikan dengan tujuan evaluasi serta karakteristik struktural bangunan sebagai verifikasi struktural atau analisa lanjutan.

Evaluasi kegunaan ini berdasarkan pada dua hal yaitu inspeksi lapangan dan perhitungan struktur yang merepresentasikan performa seismik bangunan dalam istilah indeks kapasitas gempa struktur ( $I_S$ ), serta indeks gempa non struktural ( $I_N$ ). *Screening* level 1 prosedur JBDPA ini sama dengan SVA sebagaimana yang dinyatakan oleh (Sinha dan Goyal, 2004). Adapun atribut-atribut bangunan yang digunakan dalam perhitungan yaitu :

1. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_S$ ) dihitung menggunakan rumus :

$$I_S = E_0 \cdot S_D \cdot t \text{ ----- (2. 18)}$$

Di mana,  $E_0$  = Indeks gempa dasar struktur

$S_D$  = Indeks ireguleritas

t = Indeks waktu

a. Indeks gempa dasar struktur ( $E_0$ )

Indeks gempa dasar struktur ( $E_0$ ) untuk mengevaluasi performa gempa dasar bangunan yaitu perkalian indeks kekuatan dan indeks daktilitas struktur kolom, lalu dinding geser pada masing-masing lantai dan arah aksis.

$$E_0 = \frac{n+1}{n+i} (C_w + \alpha_1 C_c) \cdot F_w \text{ ----- (2. 19)}$$

Jika pada tingkat bangunan terdapat *short column* ekstrim gunakan perhitungan :

$$E_0 = \frac{n+1}{n+i} (C_{sc} + \alpha_2 C_w + \alpha_3 C_c) \cdot F_{sc} \text{ ----- (2. 20)}$$

Di mana,

n = Jumlah tingkat bangunan.

i = Jumlah tingkat yang dievaluasi. Di mana tingkat pertama diberi nomor 1 dan tingkat selanjutnya n.

$\frac{n+1}{n-i}$  = faktor modifikasi kapasitas geser tingkat.

$C_w$  = Indeks kekuatan dinding, dihitung dengan rumus (2.21).

$C_c$  = Indeks kekuatan kolom, dihitung dengan rumus (2.22), kecuali *short column* ekstrim.

$C_{sc}$  = Indeks kekuatan *short column* ekstrim, dihitung dengan rumus (2.23).

$\alpha_1$  = Faktor kekuatan efektif kolom pada deformasi *ultimate* dinding yang diambil nilai 0.7, nilainya 1 jika  $C_w \approx 0$ .

$\alpha_2$  = Faktor kekuatan efektif dinding pada deformasi *ultimate* pada kasus kolom *short column* ekstrim, nilainya 0.7.

$\alpha_3$  = Faktor kekuatan efektif kolom pada deformasi *ultimate* pada kasus kolom *short column* ekstrim, nilainya 0.5.

$F_w$  = Indeks daktilitas dinding (indeks daktilitas kolom pada kasus  $C_w$  mendekati 0), nilainya diambil 1.

$F_{sc}$  = Indeks daktilitas *short column* ekstrim, nilainya diambil 0.8.

Tabel 2.6. Klasifikasi elemen vertikal (sumber : Okada et al. 2005)

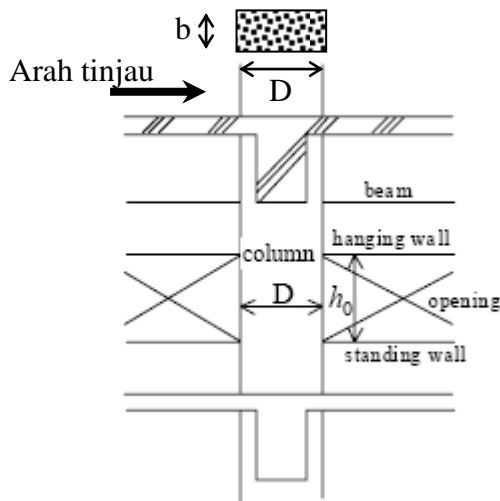
Elemen vertikal	Definisi
Kolom	Kolom dengan $h_0/D \geq 2$
<i>Short column</i> ekstrim	Kolom dengan $h_0/D \leq 2$
Dinding	Dinding termasuk yang tanpa kolom pembatas

Catatan :  $h_0$  = Tinggi kolom bersih (lihat gmb.2.56)

D = Lebar kolom yang ditinjau

Tabel 2.7. Indeks daktilitas (sumber : Okada et al. 2005)

Elemen Vertikal	Indeks Daktilitas (F)
Kolom ( $h_0/D > 2$ )	1.0
<i>Short column</i> ekstrim ( $h_0/D \leq 2$ )	0.8
Dinding	1.0



Gambar 2.56. Tinggi bersih dan lebar kolom yang ditinjau (sumber : Okada et al. 2005)

$$C_W = \frac{\tau_{W1} \cdot A_{W1} + \tau_{W2} \cdot A_{W2} + \tau_{W3} \cdot A_{W3}}{\Sigma W} \cdot \beta_C \text{----- (2. 21)}$$

$$C_C = \frac{\tau_C \cdot A_C}{\Sigma W} \cdot \beta_C \text{----- (2. 22)}$$

$$C_{SC} = \frac{\tau_{SC} \cdot A_{SC}}{\Sigma W} \cdot \beta_C \text{----- (2. 23)}$$

$$\beta_C = \frac{F_C}{20} \text{----- } F_C \leq 20 \text{----- (2. 24)}$$

$$\beta_C = \sqrt{\frac{F_C}{20}} \text{----- } F_C > 20 \text{----- (2. 25)}$$

Di mana,

$C_W$  = Indeks kekuatan dinding

$C_C$  = Indeks kekuatan kolom

$C_{SC}$  = Indeks kekuatan *short column* ekstrim

$\tau_{W1}$  = Kekuatan geser rata-rata pada kondisi *ultimate* dinding dengan 2 kolom pembatas, di mana diambil nilai = 3 N/mm<sup>2</sup>.

$\tau_{W2}$  = Kekuatan geser rata-rata pada kondisi *ultimate* dinding dengan 1 kolom pembatas, di mana diambil nilai = 2 N/mm<sup>2</sup>.

$\tau_{W3}$  = Kekuatan geser rata-rata pada kondisi *ultimate* dinding dengan tanpa kolom pembatas, di mana diambil nilai = 1 N/mm<sup>2</sup>.

$\tau_C$  = Kekuatan geser rata-rata pada kondisi *ultimate* kolom, di mana diambil nilai = 1 N/mm<sup>2</sup> atau 0.7 N/mm<sup>2</sup> jika  $h_0/D > 6$ .

$\tau_{SC}$  = Kekuatan geser rata-rata pada kondisi *ultimate short column* ekstrim, di mana diambil nilai = 1.5 N/mm<sup>2</sup>.

$A_{W1}$  = Luas total penampang dinding dengan 2 kolom pembatas di tingkat dan efektif arah yang ditinjau (mm<sup>2</sup>), lihat gmb. 2.57.

$A_{W2}$  = Luas total penampang dinding dengan 1 kolom pembatas di tingkat dan efektif arah yang ditinjau (mm<sup>2</sup>), lihat gmb. 2.57.

$A_{W3}$  = Luas total penampang dinding dengan tanpa kolom pembatas di tingkat dan efektif arah yang ditinjau (mm<sup>2</sup>), lihat gmb. 2.57.

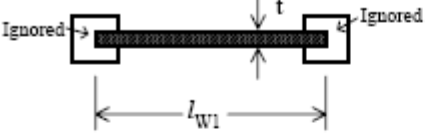
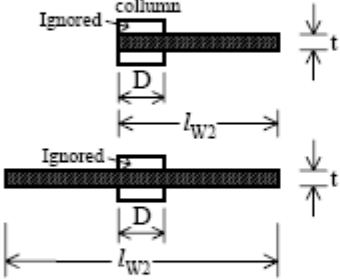
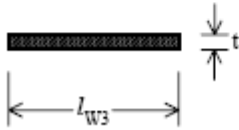
$A_C$  = Luas total penampang kolom di tingkat yang ditinjau, di mana luas kolom pembatas dinding (1 atau 2 kolom) dapat diabaikan dalam perhitungan.

$A_{SC}$  = Luas total penampang *short column* ekstrim di tingkat yang ditinjau (mm<sup>2</sup>).

$\sum A_f$  = Total luas lantai yang didukung oleh tingkat yang ditinjau (m<sup>2</sup>).

$\sum W$  = Total berat bangunan (1.2DL+1.6LL untuk perhitungan gempa) yang didukung oleh tingkat yang ditinjau.

$F_C$  = Kuat tekan beton (N/mm<sup>2</sup>).

	$A_{W1} = t \times l_{W1}$
	$A_{W2} = t \times l_{W2}$ <p>It should be considered as a column, in case <math>(l_{W2} - D)</math> is less than 450 mm.</p>
	$A_{W3} = t \times l_{W3}$ <p>This wall should be ignored, in case <math>l_{W3}</math> is less than 450mm.</p>

Gambar 2.57. Definisi luas penampang dinding (sumber : Okada et al. 2005)

b. Indeks ireguleritas ( $S_D$ )

Indeks ireguleritas merupakan kuantifikasi efek kompleksitas bentuk dan distribusi keseimbangan kekakuan serta penilaian performa gempa struktur berdasarkan *engineering judgment*. Hal-hal yang perlu dipertimbangkan yaitu:

- Berhubungan dengan denah rencana lantai (integritas struktural rencana lantai meliputi reguleritas, aspek rasio, bagian yang menyempit, *expansion joint*, hall (ukuran dan lokasi).
- Berhubungan dengan rencana potongan (integritas struktural rencana potongan) meliputi keberadaan *basement*, keseragaman tinggi tingkat, keberadaan *soft story*.

Indeks ireguleritas harus dihitung sebagai produk geometri yang derajat pengaruh  $q_i$  sebagaimana rumus (2.26) yang berasal dari indeks tingkatan reguleritas  $G_i$  dan faktor *adjustment*  $R_i$ .

$$S_{D1} = q_{1a} \times q_{1b} \times \dots \times q_{1j} \text{ ----- (2. 26)}$$

$$q_{1j} = [1-(1-G_1) \times R_{1j}] \text{ ----- } i = \text{item a, b, c, d, e, f, i, j} \text{ ---- (2. 27)}$$

Dimana,

$G_1$  = Faktor tingkatan penilaian (lihat tabel 2.8)

$R_{1j}$  = Faktor *adjustment* item-item penilaian (lihat tabel 2.8)

$i$  = item-item penilaian (lihat tabel 2.8)

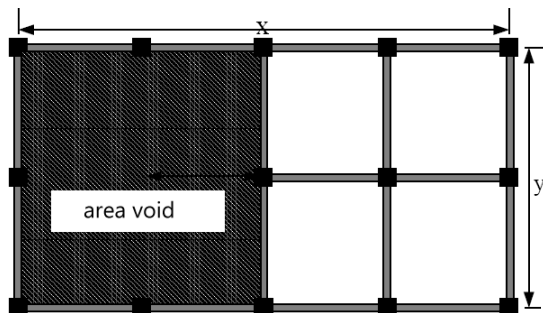
Tabel 2.8. Klasifikasi item dan nilai G serta R (sumber : Okada et al. 2005)

		Gi (Tingkatan kualitas)			R (Faktor <i>adjustment</i> )	
		1.0	0.9	0.8	R1i	
Keseimbangan horisontal	a	Reguleritas/keteraturan	Regular a1	Regular a2	Regular a3	1.0
	b	Aspek rasio dari rencana	$b \leq 5$	$5 < b \leq 8$	$b > 8$	0.5
	c	Bagian menyempit	$c \geq 0.8$	$0.5 \leq c < 0.8$	$c < 0.5$	0.5
	d	<i>Expansion joint</i> *(1)	$d \geq 1/100$	$1/200 \leq d < 1/100$	$d < 1/200$	0.5
	e	Area void*(2)	$e \leq 0.1$	$0.1 \leq e < 0.3$	$e > 0.3$	0.5
	f	Eksentrisitas area void	$f_1 \leq 0.4 \ \& \ f_2 \leq 0.1$	$f_1 \leq 0.4 \ \& \ 0.1 < f_2 \leq 0.3$	$f_1 > 0.4 \ \text{atau} \ f_2 > 0.3$	0.25
Keseimbangan elevasi	h	lantai bawah tanah	$h \geq 1.0$	$0.5 \leq h < 1.0$	$h < 0.5$	0.5
	i	Keseragaman tinggi tingkat	$l \geq 0.8$	$0.7 \leq l < 0.8$	$l < 0.7$	0.5
	j	<i>Soft story</i>	Tidak ada <i>soft story</i>	Ada <i>Soft story</i>	Ada eksentrisitas <i>soft story</i>	1.0
Eksentrisitas	l	Eksentrisitas	$l \leq 0.1$	$0.1 < l \leq 0.15$	$l > 0.15$	1.0
Kekakuan	n	(Kekakuan/massa) Rasio dari tingkat atas dan bawah	$n \leq 1.3$	$1.3 < n \leq 1.7$	$n > 1.7$	1.0

Catatan (\*):

(1). Untuk bangunan yang dipisahkan dengan *expansion joint*/dilatasi, masing-masing bangunan dicek terpisah.

(2). Untuk simbol perhitungan item (e) dapat dilihat pada gmb. 2.58.



Gambar 2.58. Area void (sumber : Okada et al. 2005)

Keterangan tabel 2.8 :

(a). Reguleritas/keteraturan

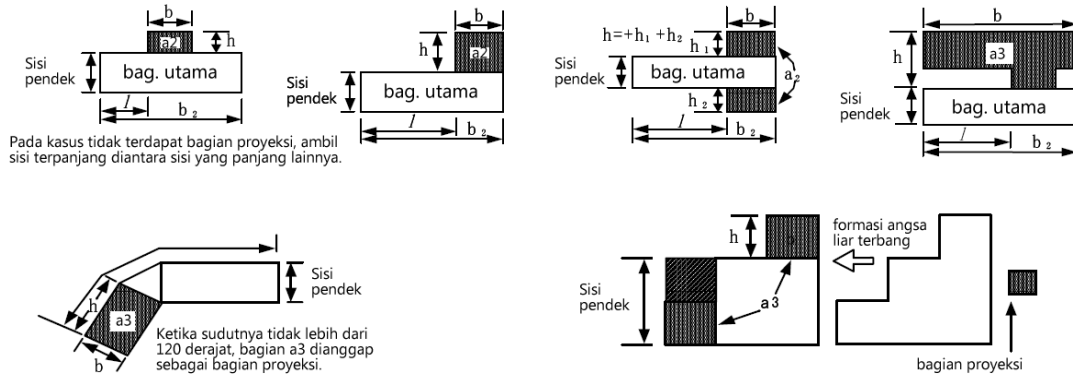
$a_1$  = Keseimbangan struktural baik dan area bagian proyeksi tidak lebih dari 10% luas lantai.

$a_2$  = Keseimbangan struktural lebih jelek daripada  $a_1$  atau area bagian proyeksi tidak lebih dari 30% luas lantai dengan bentuk rencana L, T atau U.

$a_3$  = Keseimbangan struktural lebih jelek daripada  $a_2$  atau area bagian proyeksi

lebih dari 30% luas lantai dengan bentuk rencana L, T atau U.

Jika aspek rasio ( $h/b$ ) dari bagian proyeksi kurang dari  $\frac{1}{2}$  tidak usah dimasukkan dalam perhitungan item ini. Bagian proyeksi didefinisikan sebagai bagian terkecil bangunan, sedangkan bagian terbesar bangunan sebagai bagian utama.



Gambar 2.59. Aspek rasio ( $h/b$ ) bagian proyeksi (sumber : Okada et al. 2005)

(b). Aspek rasio dari rencana

$$b = [\text{dimensi sisi panjang } (h) / \text{dimensi sisi pendek } (b)]$$

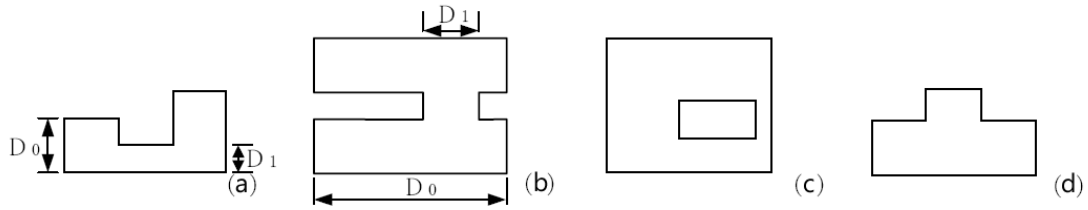
Pada kasus di mana denah rencana tidak kotak. Dimensi sisi panjang dapat mengabaikan bagian proyeksi ketika area proyeksi kurang dari 10% luas lantai, jika sebaliknya harus diambil sebagai dimensi terpanjang dari  $b_1=2l$  dan  $b_2$  sebagaimana gambar 2.59 diatas.

Pada kasus di mana denah rencana berbentuk dan “~” tidak ada bagian proyeksi, dimensi sisi terpanjang harus diambil sebagai dimensi sisi panjang.

Pada kasus formasi rencana ‘angsa liar terbang’, dimensi sisi pendek harus didefinisikan untuk area kotak ekuivalen dengan dimensi sama sisi panjang.

(c). Bagian menyempit

$c = D_1/D_0$ , hal ini terjadi pada bangunan seperti gambar 2.60(a) dan (b) yang mempunyai bagian menyempit, sedangkan gambar 2.60(c) dan (d) tidak ada. Pada gambar 2.60(b), dua faktor reduksi oleh keseimbangan struktural serta bagian yang menyempit harus dievaluasi dan hanya faktor terburuk yang diadopsi pada evaluasi.



Gambar 2.60. Geometri bagian menyempit (a) & (b) dan tidak menyempit (c) & (d) (sumber : Okada et al. 2005)

(d). *Expansion joint*

$d$  = (lebar bersih *expansion joint* / tinggi dari dasar sampai dengan *expansion joint*)

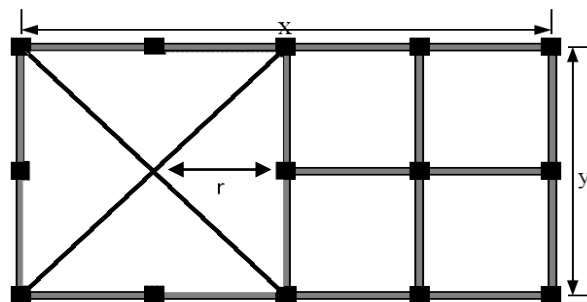
(e). Luas void

$e$  = (luas void / luas total lantai), area void yaitu kamar atau ruangan yang memanjang keatas melebihi dua tingkat atau lebih. Walaupun demikian, jika dikelilingi oleh dinding beton tidak dianggap sebagai area void.

(f). Eksentrisitas area void

$f_1$  = (jarak antara pusat area lantai dan pusat area void / dimensi sisi pendek bangunan) =  $r/y$ .

$f_2$  = (jarak antara pusat area lantai dan pusat area void / dimensi sisi panjang bangunan) =  $r/x$ . Simbol  $r$ ,  $x$  dan  $y$  dapat dilihat pada gmb. 2.61.



Gambar 2.61. Geometri eksentrisitas void & simbol (sumber : Okada et al. 2005)

(h). Lantai bawah tanah

$h$  = (area basement / area bangunan)

(i). Keseragaman tinggi tingkat

$i$  = (tinggi tingkat atas / tinggi tingkat yang ditinjau). Pada kasus tingkat puncak, tinggi tingkat bawah diambil sebagai pengganti tingkat atasnya dalam perhitungan.

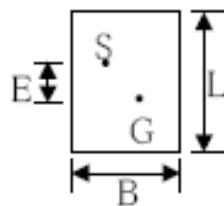
(j). *Soft story*



Pada bangunan yang memiliki kolom pilotis atau kolom yang menyokong dinding di atasnya dan kolom ini letaknya eksentris, hal ini dapat dianggap *soft story* eksentris. Rangka penahan momen tanpa dinding pengisi tidak dimasukkan dalam kelompok *soft story* eksentris. Lokasi eksentrisitas dari *soft story* bisa ditentukan dengan cara deformasi *soft story* yang paling besar eksentrisitasnya. Jika dianggap bukan *soft story* eksentris dapat diambil nilai 0.9, seperti kasus deformasi *soft story* dimana deformasinya tidak terlalu besar akibat dikekang oleh dinding disebelahnya.

(l). Eksentrisitas

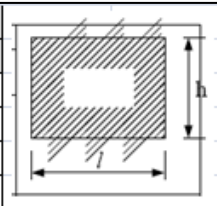
$l = E / \sqrt{B^2 + L^2}$ , di mana S = pusat gravitasi, G = pusat kekakuan, di mana kekakuan lateral oleh masing-masing rangka dihitung sebagai (penjumlahan luas penampang kolom + luas penampang dinding x  $\alpha$ ). Di mana nilai  $\alpha$  ditentukan pada tabel 2.9.



Gambar 2.62. Geometri eksentrisitas & simbol (sumber : Okada et al. 2005)

Tabel 2.9. Nilai  $\alpha$  yang disarankan (sumber : Okada et al. 2005)

Aspek rasio dari dinding $h / l$	$\alpha$	
	Dinding pada modul rangka	Dinding diluar modul rangka
$3.0 \leq h / l$	1	0.3
$2.0 \leq h / l < 3.0$	1.5	0.5
$1.0 \leq h / l < 2.0$	2.5	0.8
$h / l < 1.0$	3.5	1.2



(n). Rasio kekakuan dan massa

$n = (\text{rasio kekakuan terhadap massa dari tingkat atas}) / (\text{rasio kekakuan terhadap massa dari tingkat yang ditinjau}) \times \beta$ .  $\beta = (N-1)/N$  dimana N adalah jumlah lantai yang didukung oleh tingkat yang ditinjau. Berat tingkat adalah berat bangunan didukung oleh tingkat yang ditinjau dan kekakuan di hitung sebagai { penjumlahan luas penampang kolom + (luas penampang dinding x  $\alpha$ ) } / (tinggi tingkat).

Pada kasus tingkat puncak, tingkat atas diambil sebagai tingkat bawah dalam perhitungan dan  $\beta = 2.0$ . Pada kasus tingkat menengah, tingkat atas diambil sebagai tingkat bawah dan rasio dihitung dengan cara yang sama dan nilai yang terbesar diambil.

c. Indeks waktu (t)

Indeks waktu (t) mengevaluasi efek kerusakan seperti retak, defleksi, umur, dan lainnya terhadap performa gempa struktur.

Nilai indeks waktu ditentukan setelah dilakukan inspeksi lapangan. Nilai total Nilai Indeks Waktu dihasilkan dari rumus :

$$t_i = (t_1 + t_2 + t_3 \dots + t_N) / N \text{ ----- (2. 28)}$$

Dimana,

$t_i$  = Indeks waktu ditingkat -i.

$t_N$  = Item yang di inspeksi (tabel 2.10).

N = Banyaknya item yang di inspeksi.

Tabel 2.10. Nilai Indeks Waktu (sumber : Okada et al. 2005)

Item yang dicek	Derajat	Nilai T (beri tanda lingkaran pada derajat yang relevan)
<b>Defleksi</b>	Bangunan miring atau penurunan terlihat jelas pada saat observasi	0.7
	Tempat pembuangan sampah atau bekas sawah	0.9
	Defleksi balok atau kolom yang terlihat secara visual	0.9
	Tidak ada hubungan dengan hal tersebut	1
<b>Retak di dinding &amp; kolom</b>	Terlihat terdapat bocoran hujan yang mengakibatkan karat pada tulangan	1
	Cenderung retak pada kolom jelas teramati	0.8
	Retak yang tak terhitung jumlahnya diamati di dinding eksternal	0.9
	Terlihat terdapat bocoran hujan yang tidak mengakibatkan karat pada tulangan	0.9
	Tidak ada hubungan dengan hal tersebut	1
<b>Pernah terbakar</b>	Terdapat bekasnya	0.7
	Pernah terjadi tapi bekasnya tidak terlalu jelas	0.8
	Tidak pernah terjadi	1
<b>Penggunaan bangunan</b>	Telah digunakan tempat bahan kimia	0.8
	Tidak ada hubungan dengan hal tersebut	1
<b>Usia bangunan</b>	lebih dari 30 tahun	0.8
	lebih dari 20 tahun	0.9
	kurang dari 30 tahun	1
<b>Kondisi finishing</b>	Teramati pengelupasan signifikan <i>finishing</i> eksternal akibat penuaan	0.9
	Teramati pengelupasan & kerusakan signifikan <i>finishing</i> eksternal akibat penuaan	0.9
	Tidak masalah	1

2. Indeks beban (*demand*) gempa ( $I_{SO}$ )

Struktur dinyatakan aman jika :

$$I_s \geq I_{SO} \text{-----} (2. 29)$$

$$E_0.S_D.T \geq 0.8.Z.G.U \text{-----} (2. 30)$$

Di mana,  $I_s$  = Indeks kapasitas gempa struktur

$I_{SO}$  = Indeks beban (*demand*) gempa

$Z$  = Indeks zona, yaitu faktor modifikasi perhitungan untuk aktivitas seismik dan intensitas seismik yang direncanakan di wilayah lokasi bangunan

$G$  = Indeks tanah, yaitu faktor modifikasi perhitungan efek amplikasi dari permukaan tanah, kondisi geologi dan interaksi tanah serta struktur pergerakan gempa yang direncanakan

$U$  = Indeks penggunaan, yaitu faktor modifikasi yang memperhitungkan fungsi dari bangunan.

**2.3.4. SIMPLIFIED VULNERABILITY ASSESMENT (SVA) MATSUTARO SEKI**

Berdasarkan keprihatinan Matsutaro Seki (2015) bahwa banyak negara berkembang yang merupakan wilayah rawan gempa sehingga beliau ikut berkontribusi mengeluarkan metode menginvestigasi kapasitas gempa bangunan sebelum terkena gempa. Hal tersebut berdasarkan filosofi standar evaluasi Jepang yang dibuat oleh JBDPA (Okada *et al.*, 2005) dengan tujuan untuk diaplikasikan pada bangunan yang didesain dengan peraturan gempa internasional.

1. Simplikasi indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{SS}$ ) dihitung menggunakan rumus :

$$I_{SS} = E_{SS}.S_{SD}.t_s \text{-----} (2. 31)$$

$$E_{SS} = C_{SS}.F_s \text{-----} (2. 32)$$

$$C_{SS} = \tau.\sum A_C/W \text{-----} (2. 33)$$

$$F_s = R/\Omega_0 \text{-----} (2. 34)$$

Di mana,

$E_{SS}$  = Simplikasi indeks struktural

$S_{SD}$  = Simplikasi indeks ireguleritas

$t_s$  = Simplikasi indeks waktu

$C_{SS}$  = Simplikasi indeks kapasitas kekuatan kolom bangunan

$F_s$  = Simplikasi indeks daktilitas

$\tau$  = Rata-rata kekuatan geser dari kolom (N/mm<sup>2</sup>) (tabel 2.11)

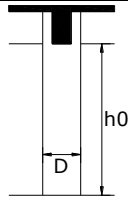
$\sum A_C$  = total luas kolom

W = Total berat bangunan

R = Faktor modifikasi respon (tabel 2.12)

$\Omega_0$  = Faktor kuat lebih (tabel 2.12)

Tabel 2.11. Kekuatan dan daktilitas kolom (sumber : Seki 2015)

Jenis Elemen Lateral	Persyaratan		Indeks (I)	
	Kolom	Tinggi bersih/dimensi kolom ; h <sub>0</sub> /D		Definisi h <sub>0</sub> /D
a). Kolom langsing		$6 \leq h_0/D$		0.7
b). Kolom normal		$2 < h_0/D < 6$		0.8
c). Kolom pendek		$h_0/D \leq 2$		1.0

Tabel 2.12. Faktor R, Cd dan  $\Omega_0$  untuk sistem penahan gaya gempa untuk Rangka Beton Bertulang Penahan Momen berdasarkan IBC 2000 (sumber : Seki 2015)

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respon (R)	Faktor kuat lebih ( $\Omega_0$ )
Rangka beton beton bertulang pemikul momen biasa	3	3
Rangka beton beton bertulang pemikul momen menengah	5	3
Rangka beton beton bertulang pemikul momen khusus	8	3

## 2. Simplikasi indeks *judgment* beban gempa ( $I_{SSO}$ )

$$I_{SSO} = S_D \cdot I_S \text{-----} (2.35)$$

Di mana,

$I_{SSO}$  = Koefisien gaya geser dasar desain bangunan

$S_D$  = Koefisien respon seismik berdasarkan IBC 2000

$I_S$  = Faktor keutamaan gempa berdasarkan IBC 2000 (tabel 2.13).

Metode penilaian kapasitas seismik suatu bangunan (tabel 2.14) yaitu:

- $I_{SS} \geq I_{SSO}$  : Lebih tinggi daripada beban gempa (SA)
- $0.5I_{SSO} \leq I_{SS} \leq I_{SSO}$  : Lebih rendah daripada beban gempa (SB)
- $I_{SS} < 0.5I_{SSO}$  : Sangat rendah daripada beban gempa (SC)

Tabel 2.13. Faktor keutamaan gempa berdasarkan IBC 2000 (sumber : Seki 2015)

Kategori	Pengguna	Faktor seismik
I	Bangunan dan struktur kecuali kategori II, III dan IV	1.00
II	Fasilitas umum dan bangunan dengan kapasitas pengguna yang besar	1.25
III	Didisain sebagai fasilitas penting seperti rumah sakit, stasiun pemadam kebakaran, stasiun SAR, kantor polisi dll.	1.50
IV	Struktur dengan potensi bahaya pada manusia kecil seperti fasilitas pertanian, fasilitas sementara dll.	1.00

Tabel 2.14. Urutan kapasitas final dari simplikasi evaluasi struktural (sumber : Seki 2015)

Urutan Kapasitas Final	Kapasitas Seismik	Rekomendasi
A	SA	Aman
B	SB	Direkomendasikan evaluasi lebih detail
C	SC	Direkomendasikan segera evaluasi lebih detail

## 2.4. PRELIMINARY DESIGN STRUKTUR DAN KONFIGURASI GEOMETRI BANGUNAN

Kerentanan bangunan terhadap gempa dipengaruhi oleh dimensi struktur dan konfigurasi geometri dari bangunan. Berikut ini akan dijelaskan *preliminary design* struktur dan macam-macam bentuk konfigurasi geometri bangunan.

### 2.4.1. PRELIMINARY DESIGN STRUKTUR

*Preliminary design* sistem rangka balok dan kolom di sini digunakan pada bangunan *low* dan *middle rise*.

#### 1. Dimensi *preliminary design* struktur balok dan plat lantai

- Perbandingan lebar balok terhadap tinggi balok struktur tidak boleh kurang dari 0.4.

$$\frac{b_w}{h} \geq 0.4 \text{-----} (2.36)$$

- Lebar penampang balok haruslah :

$$\text{Minimal } b_w \geq 250 \text{ mm -----} (2.37)$$

$$\text{Maksimal } 250 < b_w \leq c + 2\left(\frac{3}{4}h\right) \text{-----} (2.38)$$

- Balok konvensional  $h = \pm 1/10 - 1/14 l$  dan balok kantilever  $h=1/5 l$
- Tebal plat lantai  $t = 12 \text{ cm}$

Di mana,

$l$  = bentang

$l_n$  = bentang bersih

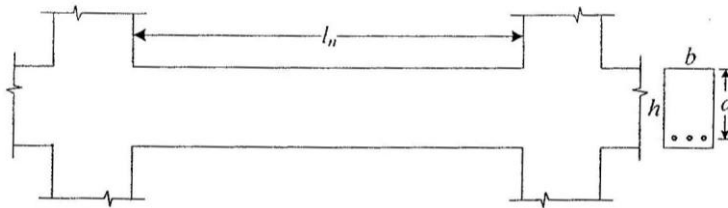
$b_w$  = lebar balok

$d$  = tinggi balok sampai dengan penulangan balok terbawah

$h$  = tinggi balok

$c$  = dimensi kolom

$t$  = tebal plat lantai



Gambar 2.63. Ketentuan dimensi penampang balok (sumber : Imran & Hendrik 2010).

2. Dimensi *preliminary design* struktur kolom (Ersoy, 2013)

Untuk kolom dimensi minimumnya berdasarkan pertimbangan kuat gesernya yaitu :

$$A_{ci} \geq 0.0015 \sum A_{oi} \text{-----} (2. 39)$$

$A_{ci}$  = luas area penampang kolom

$\sum A_{oi}$  = Jumlah total area beban kolom seluruh lantai

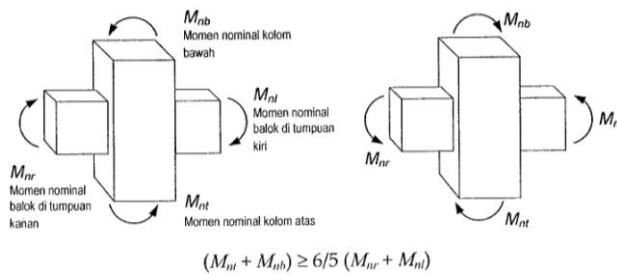
$$A_{ci} \geq 0.09 \text{ m}^2 \text{ (min 30x30 cm)}$$

Rasio dimensi penampang seharusnya tidak lebih dari 2.0

$$h/b \leq 2.0$$

3. Dimensi *preliminary design* struktur kolom dan balok mengikuti konsep *strong column-weak beam* (lihat gambar 2.76) yaitu penjumlahan momen nominal kolom atas dan bawah harus lebih besar 1.2 kali daripada jumlah momen nominal balok tumpuan kiri dan kanan. Tujuan dari konsep tersebut untuk mencegah terjadinya sendi plastis terhadap kolom-kolom yang pada dasarnya didesain sebagai komponen pemikul beban lateral. Sebaliknya, pelelehan didesain hanya pada balok sehingga pada saat bangunan mengalami deformasi inelastis yang besar tidak terjadi keruntuhan.

$$(M_{nt} + M_{nb}) \geq \frac{6}{5} (M_{nr} + M_{nl}) \text{----- (2. 40)}$$



Gambar 2.64. Konsep *strong column-weak beam* (sumber : Imran & Hendrik 2010).

Akan tetapi, konsep *strong column-weak beam* untuk penerapannya secara praktis tidak mudah karena tidak hanya dimensi kolom dan balok saja yang berpengaruh; namun juga mutu beton dan baja, luas pembesian kolom dan balok, serta detail pembesian. Untuk mempermudah penerapannya dalam *preliminary* desain struktur dengan rumus (Bisch *et al.*, 2012) :

$$W_p \text{ kolom} \geq 1.2 \times W_p \text{ balok} \text{----- (2. 41)}$$

Di mana,

$W_p$  = modulus plastis ( $\text{cm}^3$  atau  $\text{m}^3$ )

$W_p = 1/4 \times b \times h^2$

b = lebar balok/kolom

h = tinggi balok/kolom

4. Bangunan yang secara lateral didukung oleh balok, kolom, dan dinding geser (Ersoy, 2013)

- Mengecek dimensi *preliminary design* struktur balok sesuai prosedur diatas.
- Mengecek dimensi *preliminary design* struktur kolom.
- Untuk dinding geser luas minimumnya berdasarkan pertimbangan kuat gesernya yaitu :

$$\sum A_{wi} \geq 0.0012 \sum A_{pi} \text{----- (2. 42)}$$

Tebal minimum  $t = 25$  cm

Sedangkan batasan jumlah luas area kolom dan dinding geser minimum yaitu :

$$(\sum A_{ci} + \sum A_{wi}) \geq 0.002 \sum A_{pi} \text{----- (2. 43)}$$

Di mana  $\sum A_{pi}$  = luas total lantai

$\sum A_{wi}$  = luas total penampang dinding geser

Perhitungan ini harus memuaskan pada kedua arah aksis, namun juga pada masing-masing arah yang ditinjau hanya dinding geser pada aksis kuat yang dimasukkan.

- Mengecek dimensi *preliminary design* struktur kolom dan balok mengikuti konsep *strong column-weak beam* sesuai dengan prosedur diatas.

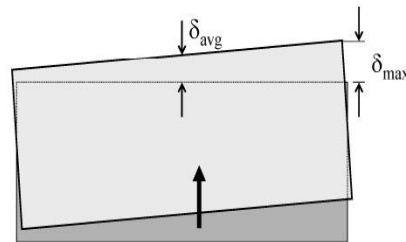
## 2.4.2. KONFIGURASI GEOMETRI BANGUNAN

Ada 2 kriteria konfigurasi geometri bangunan yaitu reguler dan ireguler. Konfigurasi ireguler terdapat 2 kategori yaitu ireguler horisontal dan ireguler vertikal. Di FEMA 451B (FEMA, 2007) memberikan kriteria-kriteria bangunan yang memiliki kategori horisontal dan vertikal.

### 1. Ireguler Horisontal

#### Horizontal Structural Irregularities

##### 1a) and 1b) Torsional Irregularity



Gambar 2.65. Ketidak beraturan torsi (tipe 1a) dan ketidak beraturan torsi berlebihan (tipe 1b) (sumber : (FEMA, 2007).

$$\delta_{max} < 1.2\delta_{avg} \text{ No irregularity}$$

$$1.2\delta_{avg} \leq \delta_{max} \leq 1.4\delta_{avg} \text{ Irregularity}$$

$$\delta_{max} > 1.4\delta_{avg} \text{ Extreme irregularity}$$

Irregularity 1b is NOT PERMITTED in SDC E or F.

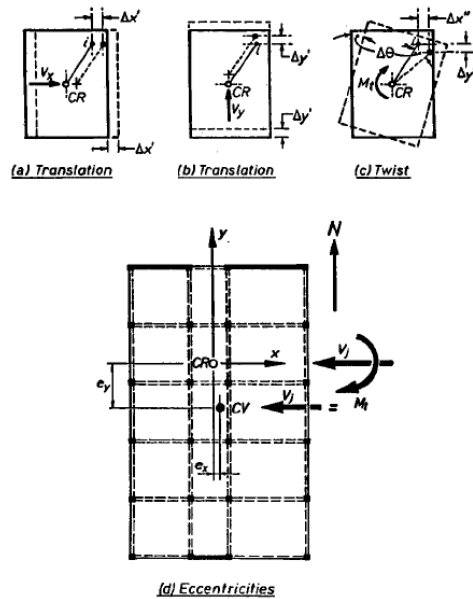
- Tipe 1a – Ketidakberaturan torsi

Didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, maka torsi yang dihitung termasuk tak terduga. Lalu, disebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur (gambar 2.65). Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.



- Tipe 1b – Ketidak beraturan torsi berlebihan

Didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, maka torsi yang dihitung termasuk tak terduga. Lalu, disebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur (gambar 2.65). Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.



Gmb. 2.66. Deformasi lantai relatif (sumber : Paulay & Priestley 1992)

Walaupun demikian, denah bangunan berbentuk regular yang terdapat perbedaan susunan, dimensi dan material balok, kolom, dinding geser, dinding bata, void pada lantai serta distribusi beban pada bangunan dapat menyebabkan torsi pada bangunan. Torsi terjadi akibat pusat massa dan pusat kekakuan tidak berimpit sehingga menimbulkan eksentrisitas yang dapat menyebabkan puntiran/torsi pada bangunan (gambar 2.66).

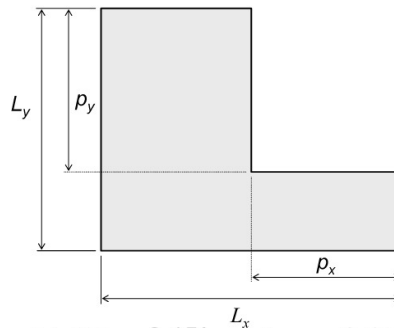
Secara sederhana, pusat massa dapat dikatakan pusat geometri bangunan sehingga mudah dihitung secara simple. Sebaliknya, pusat kekakuan adalah dengan menghitung kekakuan dari kolom serta unsur vertikal lainnya seperti dinding geser, tangga dan sebagainya, sehingga hitungannya cukup rumit (Kardiyono, 1997).

- Tipe 2 – Ketidakberaturan sudut dalam

Didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan (gambar 2.67).

## Horizontal Structural Irregularities

### 2) Re-entrant Corner Irregularity



Gambar 2.67. Ketidakberaturan sudut dalam (tipe 2) (sumber : (FEMA, 2007).

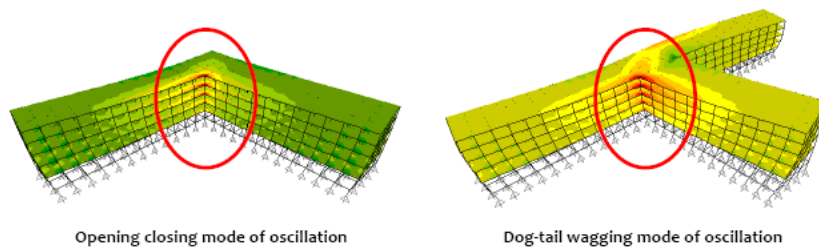
$$\text{Irregularity exists if } p_y > 0.15L_y \text{ and } p_x > 0.15L_x$$

Tabel 2.15. Mode oskilasi: Pertama 6 mode termasuk oskilasi yang tidak diharapkan, pada bangunan berbentuk kompleks (Sumber : Murty et al. 2012)

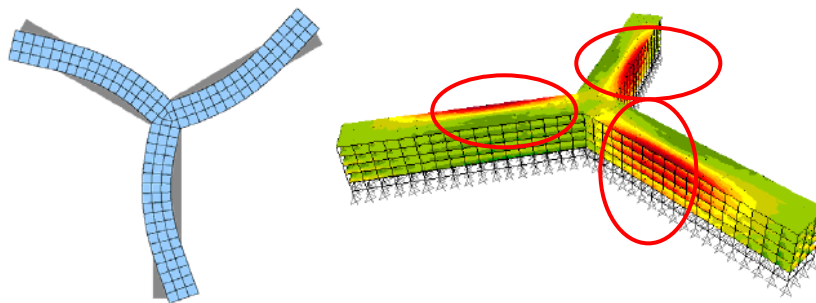
Mode	Type of oscillation in first six modes in buildings with different plan shapes					
1	Y-translation	Y-translation with torsion	X-translation	Torsion	X-translation with torsion	Torsion
2	X-translation	X-translation with torsion	Y-translation	Y-translation	Y-translation with torsion	X-translation
3	Torsion	Torsion	Torsion	X-translation	Torsional	Y-translation
4	Opening-closing	Opening-closing	Opening-closing	Opening-closing	Opening-closing	Dog tail wagging
5	Mixed	Dog tail wagging	Mixed	Mixed	Dog tail wagging	Opening-closing
6	Mixed	Mixed	2 <sup>nd</sup> X-translation	Mixed	Mixed	Mixed

Note: Diagonal translation, torsion, opening-closing, and dog-tail-wagging are not acceptable as initial modes of oscillation in buildings

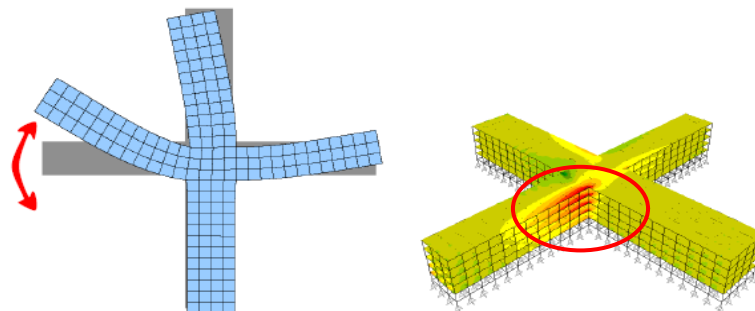
Bangunan dengan bentuk X, Y, Z, T, U, H, L dapat dikategorikan bangunan dengan konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam. Efek konfigurasi bangunan ini akibat gempa dapat menimbulkan deformasi bangunan yang tidak seragam sehingga menimbulkan konsentrasi tegangan pada sudut-sudut dalam bangunan dan menimbulkan torsi pada bangunan (Murty, 2012) (lihat tabel 2.15 dan gambar 2.68 s/d 2.70).



Gambar 2.68. Konsentrasi tegangan di sudut dalam : konsentrasi ini terjadi pada bangunan berbentuk kompleks dapat menyebabkan kerusakan signifikan pada saat terjadi gempa (sumber : Murty et al. 2012)



Gambar 2.69. Mode torsional oskilasi : mode ini terjadi pada bangunan berbentuk kompleks memberikan kontribusi signifikan terhadap keseluruhan respon bangunan jika mempunyai periode natural yang besar (sumber : Murty et al. 2012)



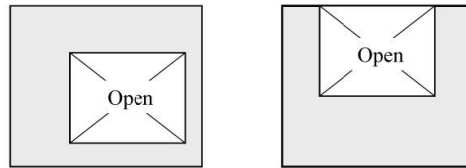
Gambar 2.70. Mode lecutan oskilasi : mode ini terjadi pada bangunan berbentuk denah X yang menyebabkan konsentrasi tegangan pada sudut dalam (sumber : Murty et al. 2012)

- Tipe 3 – Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

Didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong maupun terbuka lebih besar dari 50 persen daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 persen dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya (gambar 2.71).

## Horizontal Structural Irregularities

### 3) Diaphragm Discontinuity Irregularity

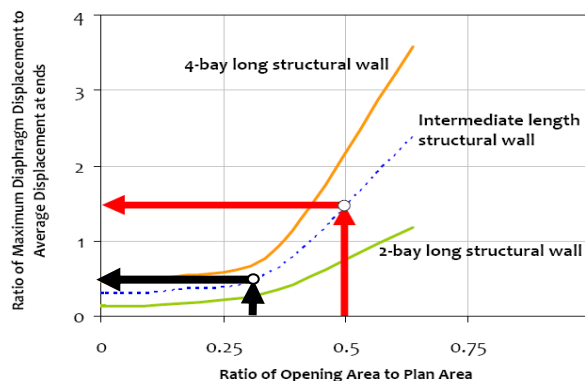


Irregularity exists if open area  $> 0.5$  times floor area  
OR if effective diaphragm stiffness varies by more than  
50% from one story to the next.

Gambar 2.71. Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma (tipe 3)  
(sumber : (FEMA, 2007).

Lubang pada lantai bangunan bertingkat biasanya tidak dapat dihindarkan untuk fungsi-fungsi utilitas bangunan seperti sirkulasi (tangga, lift, eskalator) dan shaft untuk mekanikal elektrik bangunan. Selain itu, untuk fungsi arsitektural seperti void atrium supaya kelihatan lebih megah, persepsi keluasan.

Konfigurasi seperti ini akan mengurangi integritas lantai dalam menahan beban gempa dan menyalurkan beban gempa ke elemen-elemen struktur lainnya. Untuk mengevaluasi apakah konfigurasi ireguler diskontinuitas diafragma terbentuk pada suatu bangunan dengan ketentuan membandingkan luasan bukaan void, tangga, lift, eskalator dan shaft dengan luas lantai dengan batasan :



Gambar 2.72. Konfigurasi regular atau ireguler ketidakberaturan diskontinuitas diafragma (sumber : Murty et al. 2012)

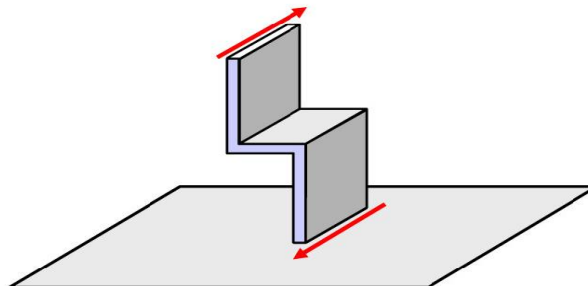
Lihat gmb. 2.72, bukaan 25%-30% pada lantai tidak menyebabkan deformasi struktur yang terlalu besar, tetapi  $> 30\%$  deformasi struktur mengalami kenaikan yang signifikan sehingga bukaan pada lantai dibatasi maksimal 50%.

- Tipe 4 – Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang

Didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan lateral seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal (gambar 2.73).

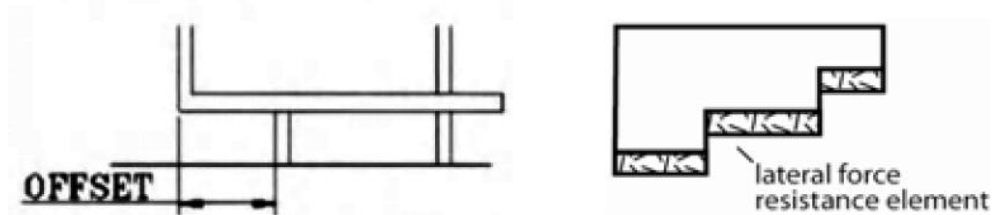
## Horizontal Structural Irregularities

### 4) Out of Plane Offsets



Gambar 2.73. Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang (tipe 4) (sumber : (FEMA, 2007).

Konfigurasi seperti ini terbentuk oleh bidang-bidang struktural (dinding geser) atau bidang-bidang non struktural, tetapi memiliki cukup kekakuan (dinding bata) yang disusun antar tingkat relatif tidak menerus sehingga dapat menyebabkan terputusnya jalur beban yang pada akhirnya terjadi perbedaan kekakuan dan eksentrisitas antar tingkat (gambar 2.74).



Gambar 2.74. Konfigurasi ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang

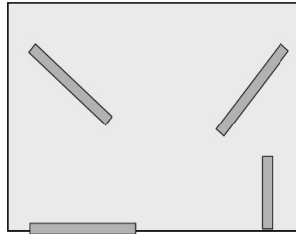
Dinding bata yang memiliki lubang (pintu, jendela, ventilasi)  $> 50\%$  luas bidang dinding tidak begitu banyak memberikan kontribusi kekakuan lateral (Semnani, Rodgers and Burton, 2014) maka disini tidak diperhitungkan. Untuk dinding geser beton karena diperhitungkan kontribusinya  $75\% - 100\%$  dalam menahan beban lateral gempa, maka kontinuitas dinding geser harus dari pondasi sampai dengan atap. Dengan demikian, jika terdapat diskontinuitas dinding geser, maka dianggap bangunan tersebut memiliki konfigurasi ireguleritas horisontal yang fatal.

- Tipe 5 – Ketidakberaturan sistem nonparalel

Didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya gempa (gambar 2.75).

## Horizontal Structural Irregularities

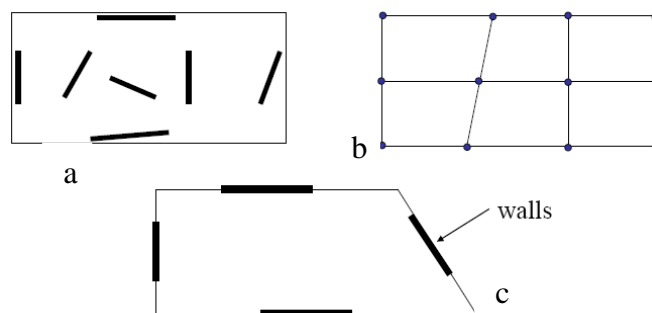
### 5) Nonparallel Systems Irregularity



**Nonparallel system Irregularity** exists when the vertical lateral force resisting elements are not parallel to or symmetric about the major orthogonal axes of the seismic force resisting system.

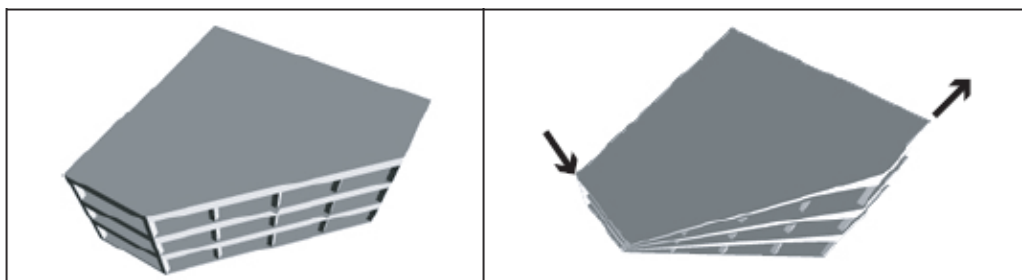
Gambar 2.75. Ketidakberaturan sistem nonparalel (tipe 5) (sumber : (FEMA, 2007).

Konfigurasi ini terjadi, meliputi (1) bangunan regular karena dinding ruangnya miring, sehingga dinding geser (gmb.2.76a) atau balok disusun juga miring (gmb.2.76b); (2) bangunan regular karena susunan kolom tidak satu aksis, sehingga balok yang menyambungkan kolom tersebut menjadi miring (gmb.2.76b); (3) bangunan ireguler yang biasanya mengikuti bentuk lahan atau bangunannya sengaja dibuat miring karena pertimbangan estetika arsitek (gmb. 276c).

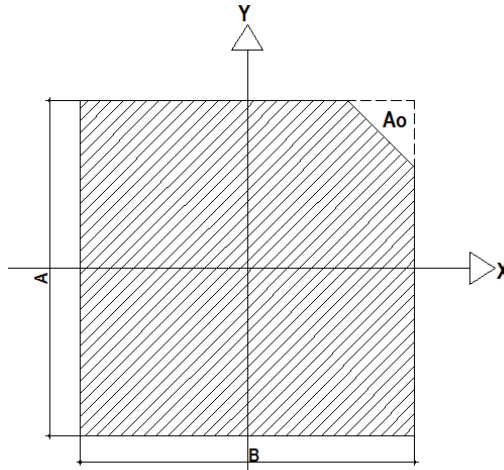


Gambar 2.76. Konfigurasi ketidakberaturan sistem paralel

Konfigurasi ketidakberaturan sistem paralel dapat mengarahkan torsi, instabilitas, dan kerusakan lokal pada bangunan (gambar 2.77) (Arnold, 2006).



Gambar 2.77. Konfigurasi ketidakberaturan sistem paralel yang dapat menyebabkan torsi pada bangunan (sumber : Arnold 2006)



Gambar 2.78. Konfigurasi ketidakberaturan sistem paralel dengan rasio potongan  $A_0/A.B \geq 5\%$  menyebabkan translasi diagonal.

$\frac{A_0}{A.B} \geq 5\% \text{ s/d } 10\% \rightarrow$  menyebabkan translasi diagonal pada bangunan

$\frac{A_0}{A.B} \geq 30\% \rightarrow$  menyebabkan translasi diagonal disertai rotasi pada bangunan.

Translasi diagonal dan rotasi pada bangunan merupakan kondisi bangunan yang tidak diharapkan ketika terjadi gempa, karena kolom berbentuk kotak didesain untuk menahan gaya geser dan momen lentur searah aksis ortogonalnya (Murty *et al.*, 2012).

## 2. Ireguler Vertikal

- Tipe 1a – Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak

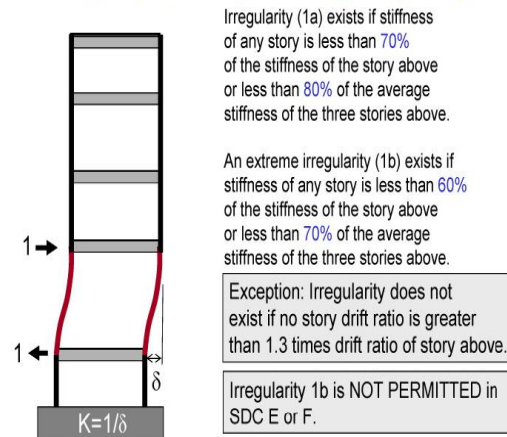
Didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya (gambar 2.79).

- Tipe 1b – Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan

Didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 60 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya (gambar 2.79).

## Vertical Structural Irregularities

### 1a, 1b) Stiffness (Soft Story) Irregularity

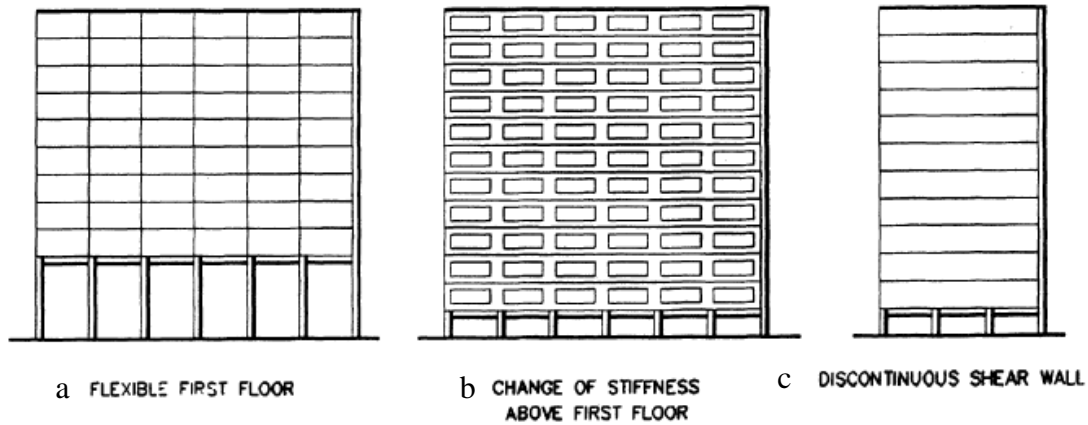


Gambar 2.79. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (tipe 1a) dan Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan (tipe 1b) (sumber : (FEMA, 2007)).

Konfigurasi ketidakberaturan kekakuan adalah berkurangnya kekakuan lateral secara tiba-tiba pada suatu tingkat (*soft story*). Kondisi seperti ini bisa terjadi ditingkat manapun tapi yang paling kritis ketika terjadi di lantai pertama, sebab gaya geser gempa yang paling besar terjadi di level tersebut. Karakteristik esensial dari tingkat lunak ini adalah adanya suatu tingkat yang mengalami diskontinuitas kekakuan.

Ada beberapa hal yang menyebabkan terjadinya *soft story* (Arnold, 2001), yaitu (1) kolom struktur lantai pertama lebih tinggi daripada tingkat atasnya sehingga menghasilkan kurangnya kekakuan dan terjadinya deformasi yang lebih besar terjadi di lantai pertama. Lantai pertama lebih tinggi dibandingkan lantai di atasnya, biasanya karena membutuhkan ruang yang besar seperti ruang pertemuan atau *banking hall* (lihat gmb. 2.80a); (2) terjadinya perubahan kekakuan yang tiba-tiba di lantai kedua, meskipun ketinggian antar lantai relatif sama. Hal utama disebabkan pemilihan material seperti di lantai pertama untuk kesan terbuka banyak menggunakan material transparan, misalnya kaca yang kurang kekakuannya dan lantai di atasnya diganti banyak menggunakan material dinding yang relatif kaku seperti dinding bata (lihat gmb. 2.80b); (3) terjadinya diskontinuitas dinding geser di mana gaya geser ditahan oleh dinding yang tidak menerus sampai ke pondasi, tetapi berhenti hanya di lantai kedua sehingga terjadi perubahan kekakuan secara tiba-tiba (lihat gmb. 2.80c).





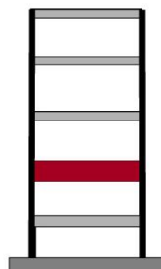
Gambar 2.80. Konfigurasi ketidakberaturan kekakuan (sumber : Arnold 2001)

- Tipe 2 – Ketidakberaturan berat (massa)

Didefinisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150 persen massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau (gambar 2.81).

### Vertical Structural Irregularities

#### 2) Weight (Mass) Irregularity



Irregularity exists if the effective mass of any story is more than 150% of the effective mass of an adjacent story.

Exception: Irregularity does not exist if no story drift ratio is greater than 1.3 times drift ratio of story above.

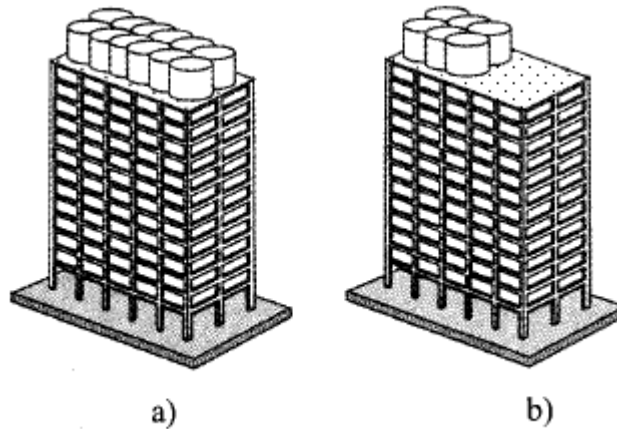
Gambar 2.81. Ketidakberaturan berat/massa (tipe 2) (sumber : FEMA 2007).

Konfigurasi ketidakberaturan berat atau massa terbentuk akibat distribusi beban yang tidak merata pada suatu bangunan. Distribusi beban yang tidak merata ini bisa terjadi penuh atau parsial pada satu lantai maupun beberapa lantai akibat kombinasi beban yang berlainan fungsi pada satu bangunan (lihat tabel 2.16), seperti unit apartemen kombinasi dengan kolam renang atau perkantoran dengan parkir kendaraan.

Tabel 2.16. Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain (sumber : BSN 2013)

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m <sup>2</sup> )	Terpusat lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses		
Ruang kantor	50 (2,4)	2 000 (8,9)
Ruang komputer	100 (4,79)	2 000 (8,9)
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18)a	
Ruang pertemuan		
Kursi tetap (terikat di lantai)	100 (4,79)a	
Lobi	100 (4,79)a	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)a	
Panggung pertemuan	100 (4,79)a	
Lantai podium	150 (7,18)a	
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m <sup>2</sup> )	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
Koridor		
Lantai pertama	100 (4,79)	
Lantai lain	sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)a	
Hunian (lihat rumah tinggal)		
Ruang mesin elevator (pada daerah 2 in.x 2 in. [50 mmx50 mm])		300 (1,33)
Konstruksi pelat lantai finishing ringan ( pada area 1 in.x 1 in. [25 mm x 25 mm])		200 (0,89)
Jalur penyelamatan terhadap kebakaran	100 (4,79)	
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	
Tangga permanen	Lihat pasal 4.5	
Garasi/Parkir	40 (1,92) a,b,c	
Mobil penumpang saja	c	
Truk dan bus		
Susunan tangga, rel pengamandan batang pegangan	Lihat pasal 4.5	
Helipad	60 (2,87) de tidak boleh direduksi	e,f,g
Rumah sakit:		
Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	1 000 (4,45)
Ruang pasien	40 (1,92)	1 000 (4,45)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan		
Ruang baca	60 (2,87)	1 000 (4,45)
Ruang penyimpanan	150 (7,18) a, h	1 000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,45)
Pabrik		
Ringan	125 (6,00)a	2 000 (8,90)
Berat	250 (11,97)a	3 000 (13,40)
Gedung perkantoran:		
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian		
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	2 000 (8,90)
Kantor	50 (2,40)	2 000 (8,90)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	2 000 (8,90)
Lembaga hukum		
Blok sel	40 (1,92)	
Koridor	100 (4,79)	

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m <sup>2</sup> )	Terpusat lb (kN)
Tempat rekreasi		
Tempat bowling, Kolam renang, dan penggunaan yang sama	75 (3,59)a	
Bangsas dansa dan Ruang dansa	100 (4,79)a	
Gimnasium	100 (4,79)a	
Tempat menonton baik terbuka atau tertutup	100 (4,79)a,k	
Stadium dan tribun/arena dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai)	60 (2,87)a,k	
Rumah tinggal		
Hunian (satu keluarga dan dua keluarga)		
Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang	10 (0,48)l	
Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang	20 (0,96)m	
Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur	30 (1,44)	
Semua ruang kecuali tangga dan balkon	40 (1,92)	
Semua hunian rumah tinggal lainnya		
Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka	40 (1,92)	
Ruang publik dan koridor yang melayani mereka	100 (4,79)	
Atap		
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)n	
Atap digunakan untuk taman atap	100 (4,79)	
Atap yang digunakan untuk tujuan lain	Sama seperti hunian dilayani a	
Atap yang digunakan untuk hunian lainnya		
Awning dan kanopi		
Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24) tidak boleh direduksi	
Rangka tumpu layar penutup	5 (0,24) tidak boleh direduksi dan berdasarkan luas tributari dari atap yang ditumpu oleh rangka	200 (0,89)
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	2 000 (8,9)
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai		
Titik panel tunggal dari batang bawah ranga atap atau setiap titik sepanjang komponen struktur utama yang mendukung atap di atas pabrik, gudang, dan perbaikan garasi		300 (1,33)
Semua komponen struktur atap utama lainnya		300 (1,33)
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan		
Sekolah		
Ruang kelas	40 (1,92)	1 000 (4,5)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,5)
Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1 000 (4,5)
Bak-bak/scuttles, rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses		200 (0,89)
Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97)a,p	8 000 (35,6)q
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	300r
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	300r
Gudang di atas langit-langit	20 (0,96)	
Gudang penyimpan barang sebelum disalurkan ke pengecer (jika diantisipasi menjadi gudang penyimpanan, harus dirancang untuk beban lebih berat)		
Ringan	125 (6,00)a	
Berat	250 (11,97)a	
Toko		
Eceran		
Lantai pertama	100 (4,79)	1 000 (4,45)
Lantai di atasnya	75 (3,59)	1 000 (4,45)
Grosir, di semua lantai	125 (6,00)a	2 000 (4,45)
Penghalang kendaraan		Lihat pasal 4.5
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)a	



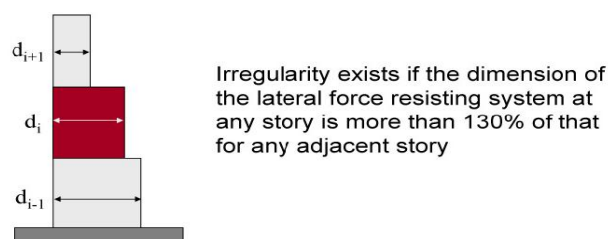
Gambar 2.82. Distribusi massa yang merata dan tidak merata  
(sumber : Pawirodikromo 2012)

Efek akibat dari distribusi beban yang tidak merata pada suatu bangunan (gambar 2.82), yaitu (1) distribusi beban yang tidak merata secara parsial pada satu lantai atau beberapa lantai dapat menyebabkan torsi yang tidak beraturan terhadap bangunan (Miranda *et al.*, 2012); (2) distribusi beban yang tidak merata secara tingkat pada beberapa lantai suatu bangunan dapat menyebabkan deformasi bangunan yang berlebihan (Soni, Agrawal and Pande, 2015); (3) gabungan keduanya yang dapat menyebabkan terjadinya deformasi dan torsi secara bersamaan pada bangunan.

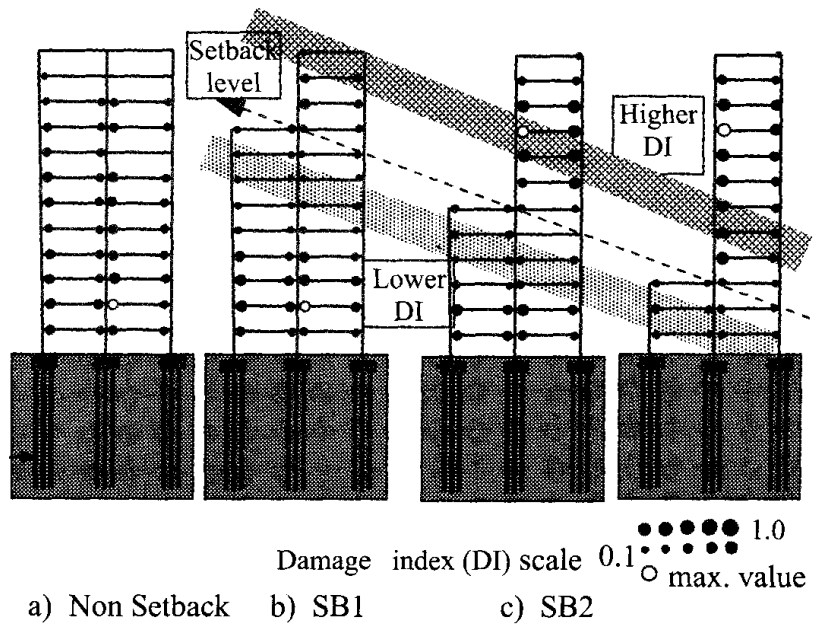
- Tipe 3 – Ketidakberaturan geometri vertikal

Didefinisikan ada jika dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa disemua tingkat lebih dari 130 persen dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya (gambar 2.83).

### Vertical Structural Irregularities 3) Vertical Geometric Irregularity



Gambar 2.83. Ketidakberaturan geometri vertikal (tipe 3) (sumber : FEMA 2007).



Gambar 2.84. Indeks kerusakan pada bangunan *setback* (sumber : Pawirodikromo 2012)

*Setback* berarti memundurkan atau memajukan bagian bangunan. Di arsitektur pengaturan *setback* bangunan merupakan modifikasi dari amplop bangunan yang terbentuk oleh batasan garis sempadan bangunan dan ketinggian bangunan. Langkah pengaturan tata letak bangunan terhadap garis jalan, antara lain (1) memundurkan atau memajukan bagian sudut bangunan, (2) memundurkan atau memajukan bagian atas bangunan, (3) memundurkan atau memajukan bagian lantai dasar bangunan, dan (4) pengaturan kontinuitas muka bangunan sepanjang jalan.

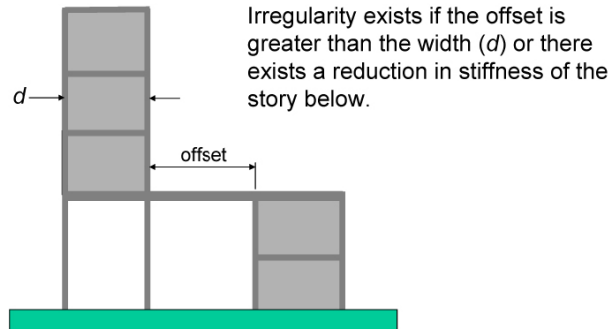
Bangunan *setback* termasuk bangunan ireguler karena pusat massa dan pusat kekakuan tidak berimpit secara vertikal. Massa dan kekakuan baik arah horisontal maupun arah vertikal tidak terdistribusi secara merata. Permasalahan akan terjadi pada daerah peralihan kekakuan dari kekakuan yang besar terhadap bagian bawah kekakuan yang relatif kecil di bagian atas. Diskontinuitas seperti ini mengarahkan pada konsentrasi tegangan diperbatasan tingkat antara tower dan podium sehingga membutuhkan penulangan khusus untuk zona ini. Seberapa besar masalah yang ditimbulkan oleh *setback* tergantung pada rasio luasan atas terhadap bawah, rasio tinggi bagian *setback* terhadap bawah, arah *setback* (1 atau 2 arah), dan letak *setback* (simetri atau tidak) (lihat gambar 2.84).

- Tipe 4 – Diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal

Didefinisikan ada jika pegeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya (gambar 2.85).

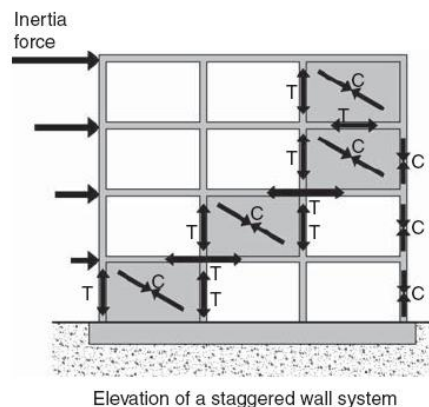
### Vertical Structural Irregularities

#### 4) In-Plane Discontinuity Irregularity

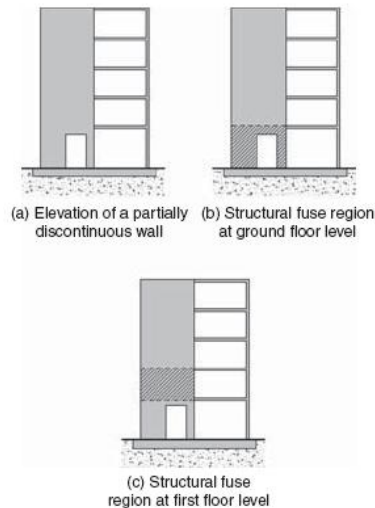


Gambar 2.85. Diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal (tipe 4) (sumber : FEMA 2007).

Konfigurasi ketidakberaturan diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal terbentuk pada bangunan bertingkat yaitu (1) elemen dinding yang tidak menerus secara vertikal akibat adanya pergeseran bidang dinding (gambar 2.86); (2) elemen dinding yang menerus secara vertikal, tetapi mengalami perlemahan akibat adanya bukaan-bukaan (gambar 2.87). Konfigurasi (1) dapat menyebabkan ketidakseragaman kekakuan pada bangunan, torsi, tingkat lunak, deformasi yang berbeda antar tingkat dan menimbulkan konsentrasi tegangan pada bangunan; sedangkan konfigurasi (2) dapat menimbulkan tingkat lunak pada bangunan.



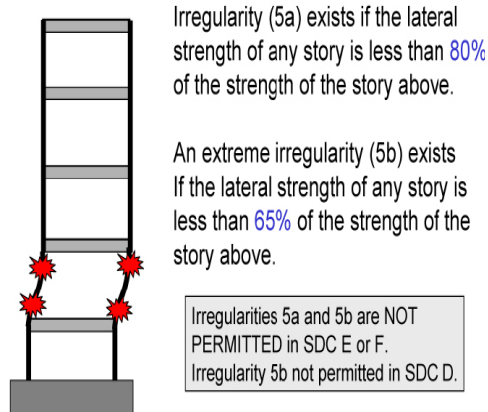
Gambar 2.86. Jalur gaya tak langsung dari sistem dinding tak beraturan (sumber : Charleson 2008)



Gambar 2.87. Diskontinuitas parsial dan kemungkinan lokasi sekring struktural atau area sendi plastis (sumber : (Charleson, 2008))

- Tipe 5a – Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat  
Didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau (gambar 2.88).
- Tipe 5b – Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat berlebihan  
Didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat tingkat adalah kuat total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau (gambar 2.88).

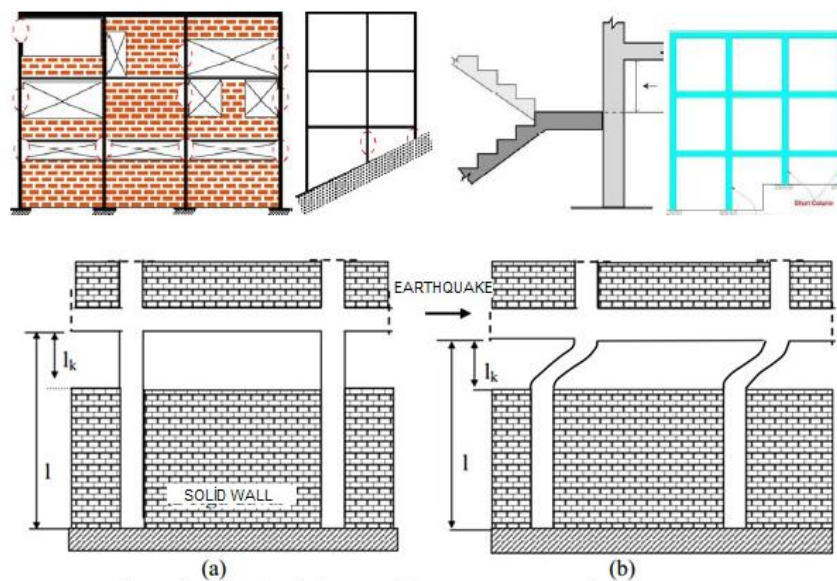
### Vertical Structural Irregularities 5a, 5b) Strength (Weak Story) Irregularity



Gambar 2.88. Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat (tipe 5a) dan diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat berlebihan (tipe 5b) (sumber : FEMA 2007).



Pada desain tahan gempa, ketidakberaturan tingkat lunak (*soft story*) dan tingkat lemah (*weak story*) adalah istilah yang berbeda antara kekakuan dan ketahanan suatu lantai pada sebuah bangunan. Akan tetapi, keduanya merupakan sumber serius terjadinya kerusakan bangunan akibat gempa. Sumber yang biasa terjadi adalah konfigurasi bangunan *open floor*. Konsep arsitektur yang terkenal pada zaman arsitektur modern sampai dengan sekarang dengan pionirnya Le Corbusier di tahun 1926 dengan dogma arsitektur modernnya yaitu (1). *Pilotis (open first floor)*, (2). *The free plan*, (3). *The free facade*, (4). *Strip windows* dan (5). *Roof terraces-roof garden*.



Gambar 2.89. Perilaku *short column* dan formasi struktur yang menyebabkannya (sumber : (Çögürçü, 2015))

Selain *open floor*, tingkat lemah (*weak story*) dapat disebabkan oleh (Perez, 2012) oleh (1) eliminasi atau pelemahan dari komponen penahan gempa, (2) Gabungan sistem yaitu rangka dan dinding geser di mana dinding diinterupsi pada lantai kedua atau lantai pertengahan. Selain itu, berdasarkan studi Kirac et. al. (2010) dalam (Tabeshpour, Azad and Golafshani, 2012) tentang perilaku seismik tingkat lemah (*weak story*) menyatakan *weak story* dapat diakibatkan oleh adanya variasi ketinggian dan bentang bangunan. Menurut Nevzat Kirac et. al. (dalam Abidi and Madhuri, 2012) formasi struktur yang dapat memengaruhi ketidakberaturan atau ireguleritas tingkat lemah (*weak story*) suatu bangunan (gambar 2.89) yaitu tinggi dari tingkat lemah (*weak story*); adanya lantai mezanin; rigiditas dan distribusi kolom di tingkat lemah (*weak story*); proyeksi *overhang* dan kantilever yang ada di tingkat lemah (*weak story*); dinding pengisi; jenis dan properti tanah; jumlah lantai dan kondisi gempa. Adanya lantai mezanin, *overhang*/tritisan, dinding pengisi, balok tangga, dan



kolom di lereng yang menginterupsi kolom dapat menyebabkan *short column*. Akibat dari memendek kekakuannya bertambah secara signifikan sehingga gaya geser yang diterimanya lebih besar. Dikarenakan dimensinya tetap, maka kekuatannya tetap. Oleh karena itu, akibat dari menerima gaya geser melebihi kekuatannya, maka dapat merusak kolom.

## 2.5. RINGKASAN

Struktur tahan gempa jika memenuhi aturan bahwa kapasitas geser struktur  $\geq$  beban geser gempa. Usulan metode SVA Desain Arsitektur diadaptasi dari metode SVA JBDPA dan Matsutaro Seki. Pada prinsipnya terdapat 3 bagian penting dari kedua metode tersebut yaitu kapasitas geser dasar struktur, ireguleritas geometri, dan beban geser gempa; di mana kapasitas geser struktur yaitu kapasitas geser dasar struktur dan bentuk geometri  $\geq$  beban geser gempa. Akan tetapi, metode SVA JBDPA dan Matsutaro Seki merupakan metode evaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa untuk tujuan *retrofit*. Dengan demikian, apabila digunakan sebagai SVA Desain Arsitektur perlu dilakukan modifikasi terutama pada bagian berupa (1) kapasitas geser dasar struktur dengan memasukkan konsep-konsep ideal desain struktur tahan gempa yaitu redundansi, dimensi kolom, kekakuan kolom, kolom kuat/balok lemah dan daktilitas struktur; 2) ireguleritas geometri yang lebih umum berdasarkan FEMA-451B.

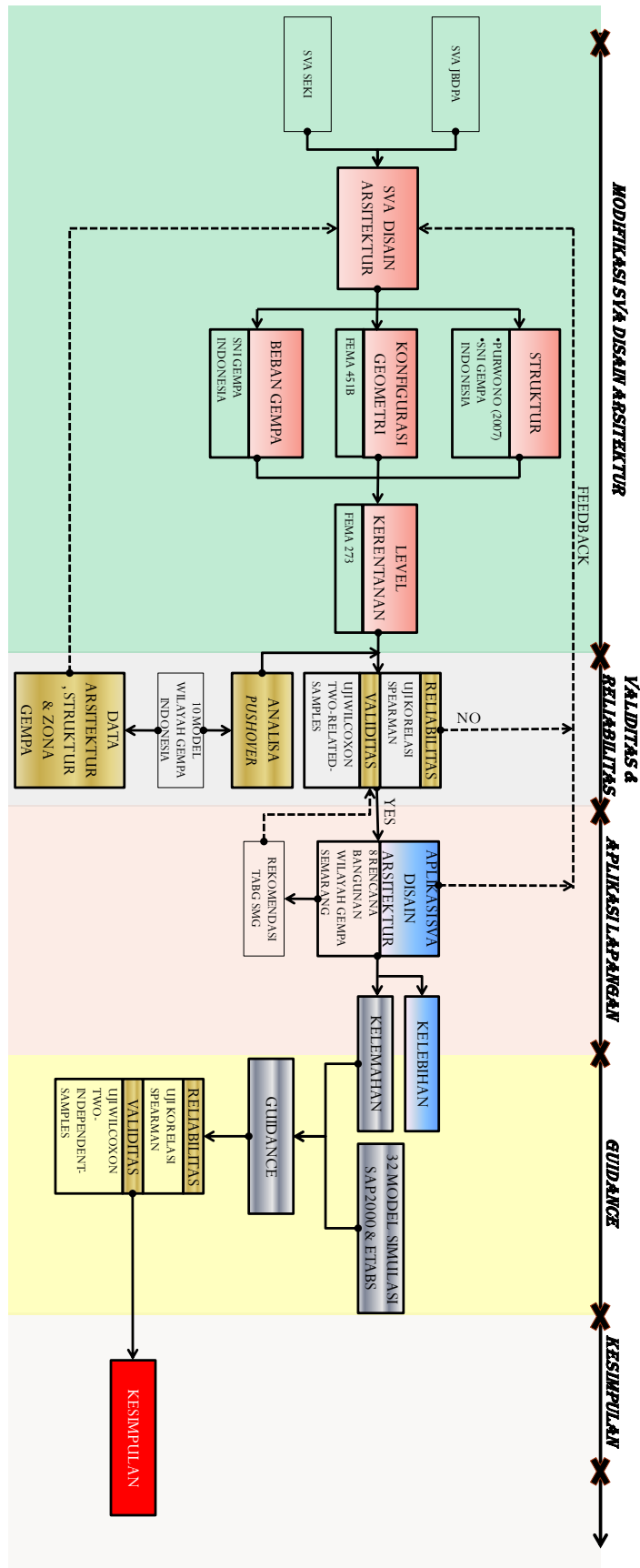
Untuk mendesain struktur tahan gempa harus diketahui dan dipahami proses penjalaran gempa, sistem struktur penahan beban lateral, *preliminary* desain struktur, dan konsep-konsep disain bangunan tahan gempa. Penjalaran gempa dikulit bumi dengan cara yaitu dalam bumi berupa Gelombang Primer (P-Wave) dan Gelombang Sekunder (S-Wave), sedangkan dalam permukaan bumi berupa Gelombang Love (L-Wave) dan Gelombang Rayleigh (R-Wave).

Sistem struktur penahan beban lateral yaitu struktur rangka rigid dan struktur dual (kombinasi struktur rangka rigid dan dinding geser). Sistem struktur lantai yang umum digunakan yaitu sistem lantai *one-way* atau *two-way*. Selain itu, ketahanan struktur terhadap gempa juga dipengaruhi oleh dinding pengisi.

Kemampuan arsitek dalam *preliminary* desain struktur seperti menentukan posisi serta dimensi kolom, balok dan dinding geser juga sangat membantu ahli struktur dalam mendesain struktur tahan gempa. Penerapan konsep-konsep ideal bangunan

tahan gempa pada struktur dan geometri bangunan dapat mengurangi kerusakan struktur bangunan akibat gempa kuat. Adapun konsep-konsep ideal bangunan tahan gempa yaitu simpilistas struktural, reguleritas/keteraturan, cukup kaku/*stiffness*, kekuatan/*strength* dan relatif merata, diafragma yang kompak, daktilitas struktur harus direncanakan dengan baik, datasi kompleksitas bangunan dengan dilatasi, datasi deformasi dan kerusakan bangunan dengan sistem penahan gaya lateral, *strong column-weak beam* dan redundansi.

# BAB III. METODE PENELITIAN



Gambar 3.1. Proses penelitian

Penelitian pada umumnya terdapat 4 tujuan yaitu mendeskripsikan, memahami, memprediksi, dan mengontrol. Metode adalah pendekatan sistematis yang merupakan bagian dari penelitian. Tanpa metode, penelitian tidak lebih dari spekulasi yang membohongi orang-orang (Clark-Carter, 2004).

### **3.1. FILOSOFI PENELITIAN**

Gempa merupakan fenomena alam. Fenomena alam dipelajari dalam ilmu pengetahuan alam (*science*) yaitu pengetahuan yang berawal dan didasarkan pada pengalaman (*experience*) yang tertangkap lewat pancaindra, kemudian diolah oleh nalar (*reason*). Hal-hal tersebut merupakan dasar dari penelitian kuantitatif. Paradigma kuantitatif merupakan satu pendekatan penelitian yang dibangun berdasarkan filsafat positivisme. Positivisme adalah satu aliran filsafat yang menolak unsur metafisik dan teologik dari realitas sosial.

Paradigma kuantitatif berpandangan bahwa sumber ilmu terdiri dari dua yaitu pemikiran rasional dan empiris. Oleh sebab itu, ukuran kebenaran terletak pada koherensi dan korespondensi. Koheren berarti sesuai dengan teori-teori terdahulu, serta korespondensi berarti sesuai dengan kenyataan empiris. Penelitian deduktif dimulai dengan teori yang ada, menetapkan hipotesis untuk penelitian, dan akhirnya melakukan pengamatan. Selama analisis, pengamatan baik menerima atau menolak hipotesis, yang berarti menerima atau menolak teori (Runeson *et al.*, 2012)

### **3.2. JENIS RANCANGAN PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan paradigma positivistik dengan pendekatan kuantitatif dan strategi penelitian deduktif, sedangkan metode penelitian utama yang digunakan yaitu metode studi kasus Per Runeson (Runeson *et al.*, 2012) yang merupakan aplikasi studi kasus di dalam *software engineering*. Pemilihan metode studi kasus Per Runeson di dalam penelitian ini disebabkan, antara lain (1) penelitian ini pada prinsipnya mengikuti tahap-tahap dalam penelitian *software engineering* walaupun sederhana. Untuk memudahkan evaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa, rumus-rumus dalam SVA Desain Arsitektur di *input* dalam *software spreadsheet* (excel); (2) teorinya cukup lengkap dari konsep studi kasus, desain studi kasus, pengumpulan data, analisa data dan interpretasi, pelaporan dan contoh-contoh studi kasus; (3) mengadaptasi, dan mengadopsi berbagai metode studi kasus lainnya untuk diaplikasikan di metode studi kasus *software engineering*.

Penelitian kuantitatif menurut Bungin (2009) ada 3 metode penelitian yaitu penelitian survei, penelitian studi kasus, dan penelitian eksperimen.

Menurut Yin (2003) dalam (Runeson *et al.*, 2012) menggunakan 3 kriteria untuk menentukan apakah studi kasus lebih sesuai sebagai strategi suatu riset dibandingkan jenis riset. Survei atau eksperimen yaitu fenomena yang akan dipelajari merupakan fenomena kontemporer, tipe pertanyaan riset, dan derajat kontrol yang dibutuhkan.

Berdasarkan 3 kriteria tersebut metode riset penelitian ini menggunakan Metode Studi Kasus dengan pertimbangan sebagai berikut :

- Masalah gempa pada bangunan merupakan isu kontemporer yang terjadi pada saat ini dan akan datang. Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia (HAKI) hampir selalu menjadikan masalah gempa menjadi topik seminarnya setiap tahun.
- Penelitian ini akan melakukan proses adaptasi teori SVA *retrofit* menjadi teori SVA Desain Arsitektur. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (Setiawan, 2012), kata tanya yang sesuai untuk mempertanyakan proses sesuatu yaitu bagaimana. Kata tanya ‘bagaimana’ merupakan tipe pertanyaan riset eksplanasi studi kasus.
- Tidak adanya kontrol peneliti terhadap obyek yang diteliti karena gempa merupakan fenomena alam dan bangunan yang diteliti pernah ada, model bangunan oleh riset peneliti lain, bangunan eksisting atau bangunan dalam proses perencanaan konsultan.

Selain 3 pertimbangan di atas dalam pemilihan metode studi kasus pada penelitian ini, alasan lainnya berdasarkan (Groat and Wang, 2013) yaitu :

- Batas antara fenomena gempa dan bangunan di suatu lokasi tidak terlihat jelas sehingga perlu penelitian mendalam untuk mengetahui pengaruh gempa pada bangunan.
- Mempunyai kapasitas untuk menjelaskan hubungan kausalitas yang rumit dan kompleks antara parameter gempa, parameter struktur dan parameter arsitektur pada bangunan sebagaimana penelitian eksperimen.
- Mempunyai kapasitas untuk menguji teori seperti metode SVA Desain Arsitektur yang diusulkan pada penelitian ini.
- Mempunyai kapasitas untuk mengkombinasikan berbagai macam jenis data kuantitatif dan kualitatif untuk membuktikan fenomena gempa serta dampaknya pada bangunan yang memerlukan bermacam sumber data seperti bangunan

masalalu, uji simulasi/eksperimen, pendapat para ahli dan lainnya. Hal ini dimaksudkan juga sebagai upaya triangulasi untuk meningkatkan validitas dalam riset studi kasus.

- Mempunyai kemampuan generalisasi ke teori sebagaimana riset eksperimen dan dapat dilakukan uji coba dengan eksperimen lainnya. Walaupun demikian, teori SVA Desain Arsitektur hanya di uji menggunakan 8 studi kasus model bangunan di Indonesia, tidak berarti keberlakuannya hanya kasus dengan zona gempa dan tipologi bangunan yang relatif mirip atau sama. Variabel SVA Desain Arsitektur diturunkan dari teori yang relatif lengkap dalam mengevaluasi seluruh potensi kerentanan bangunan terhadap gempa.

### 3.3. VARIABEL PENELITIAN

Operasionalisasi dari variabel penelitian sehingga bisa diukur berkaitan dengan hipotesis.

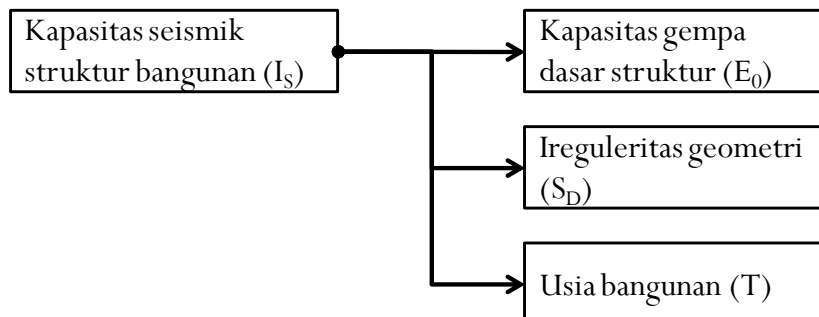
Adapun hipotesis penelitian dan bagan operasional variabel-variabelnya yaitu :

1. Beban lateral gempa akan memengaruhi kapasitas seismik struktur bangunan (gambar 3.2):



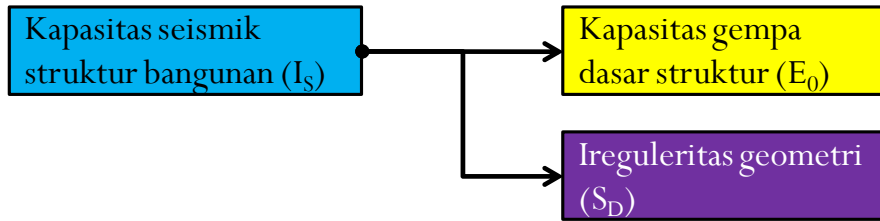
Gambar 3.2. Hubungan variabel kapasitas seismik struktur bangunan dan beban lateral gempa (sumber : analisa)

SVA *retrofit* merupakan beban lateral gempa yang akan memengaruhi kapasitas seismik struktur bangunan yaitu kapasitas gempa dasar struktur, ireguleritas konfigurasi geometri bangunan dan usia bangunan (gambar 3.3).



Gambar 3.3. SVA retrofit, hubungan variabel kapasitas seismik struktur bangunan dengan kapasitas gempa dasar struktur, ireguleritas geometri dan usia bangunan (sumber : analisa).

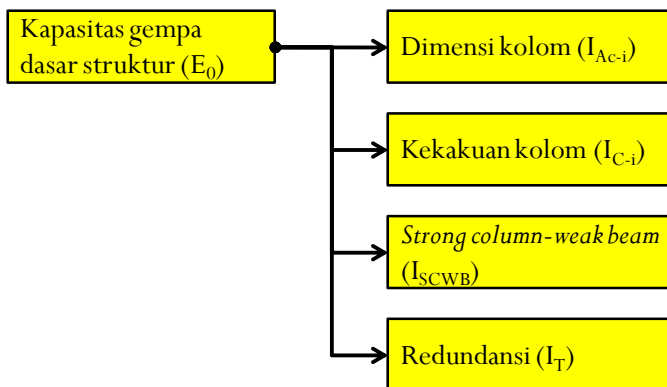
SVA Desain Arsitektur merupakan beban lateral gempa yang akan memengaruhi kapasitas seismik struktur bangunan yaitu kapasitas gempa dasar struktur dan ireguleritas konfigurasi geometri bangunan (gambar 3.4).



Gambar 3.4. SVA Disain Arsitektur, hubungan variabel kapasitas seismik struktur bangunan dengan kapasitas gempa dasar struktur dan ireguleritas geometri (sumber : analisa).

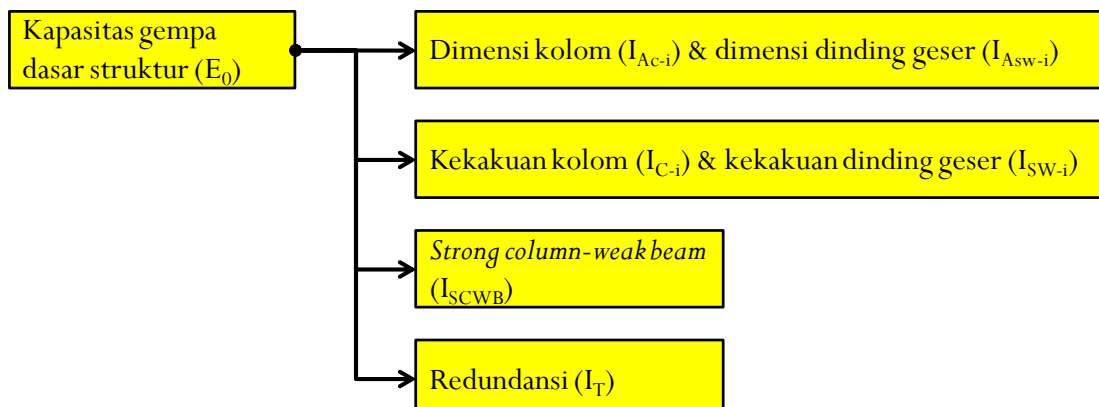
2. Pada SVA Desain Arsitektur, kapasitas gempa dasar struktur bangunan berhubungan erat dengan dimensi kolom/dinding geser, kekakuan kolom/dinding geser, *strong column/weak beam*, redundansi dan daktilitas (gambar 3.5 & 3.6).

SRPM



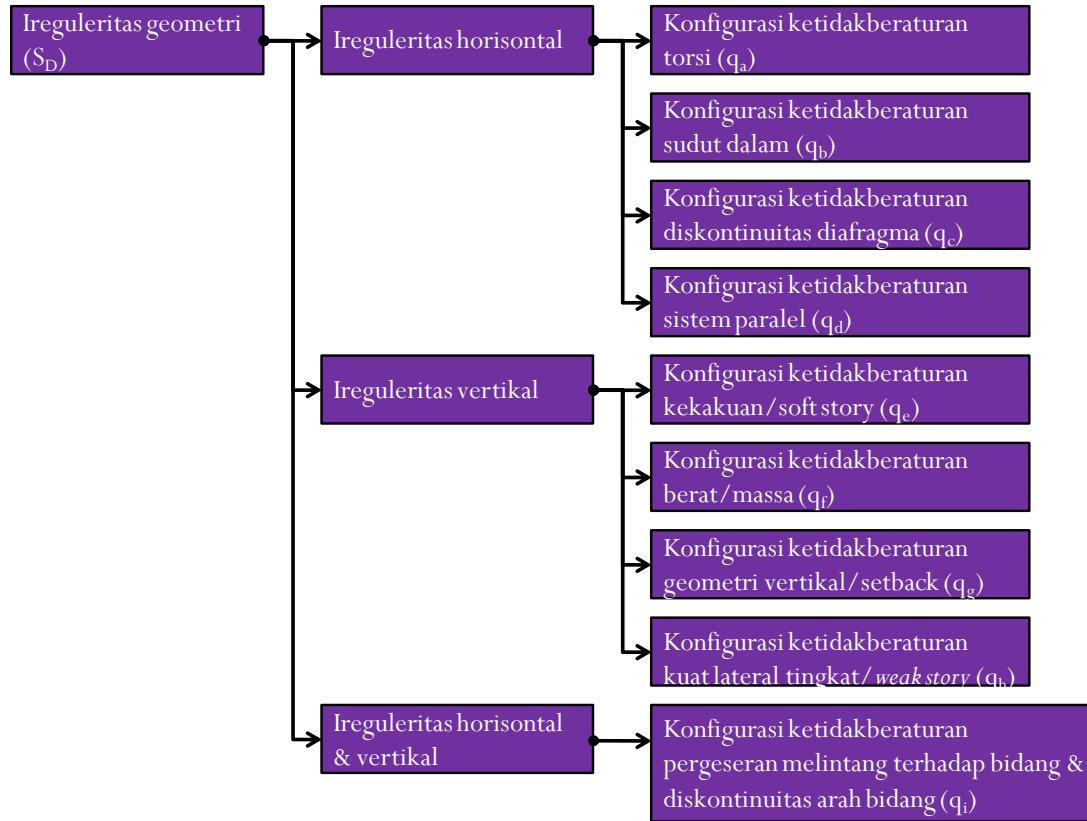
Gambar 3.5. SVA Disain Arsitektur, SRPM hubungan variabel kapasitas gempa dasar struktur dengan dimensi kolom, kekakuan kolom, *strong column-weak beam* dan redundansi (sumber : analisa).

SRPM & DINDING GESER



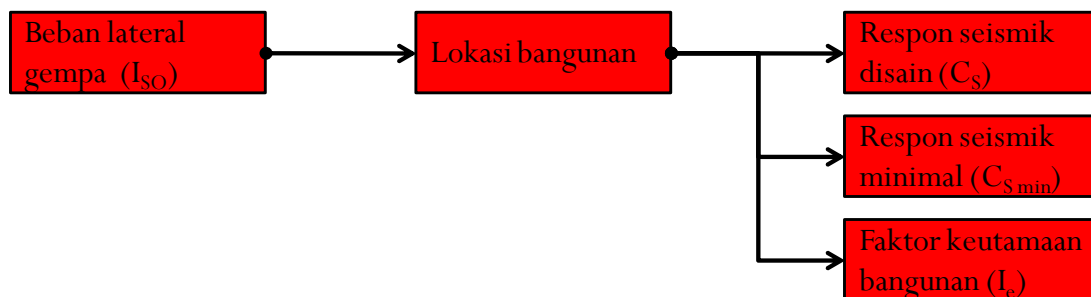
Gambar 3.6. SVA Disain Arsitektur, SRPM dan dinding geser hubungan variabel kapasitas gempa dasar struktur dengan dimensi kolom/dinding geser, kekakuan kolom/dinding geser, *strong column-weak beam* dan redundansi (sumber : analisa)

3. Pada SVA Desain Arsitektur, ireguleritas konfigurasi geometri bangunan *engineered* yang ada di Indonesia berhubungan erat dengan ketidakberaturan horisontal dan vertikal bentuk geometri bangunan (gambar 3.7).



Gambar 3.7. SVA Disain Arsitektur, hubungan variabel ireguleritas geometri dengan ireguleritas horisontal dan ireguleritas vertikal (sumber : analisa).

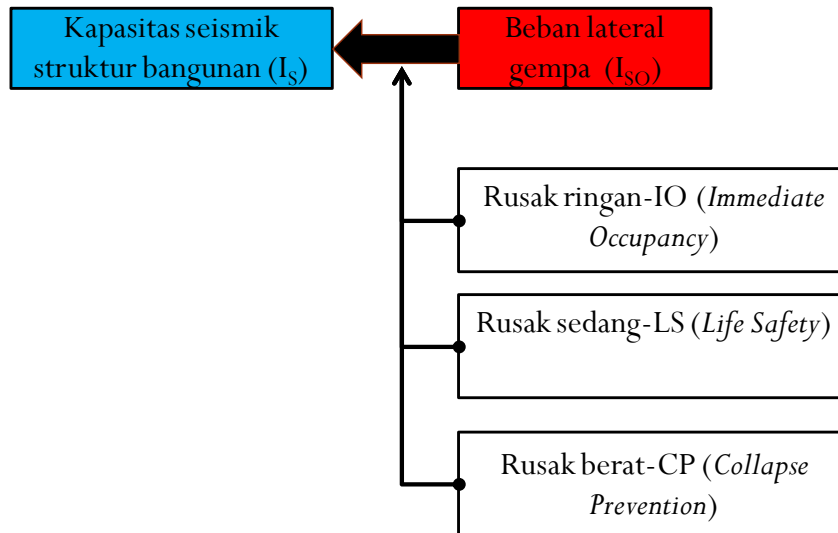
4. Pada SVA Desain Arsitektur, beban lateral gempa di Indonesia berhubungan erat dengan respon seismik desain dan minimal zona gempa di Indonesia, serta faktor keutamaan fungsi bangunan (gambar 3.8).



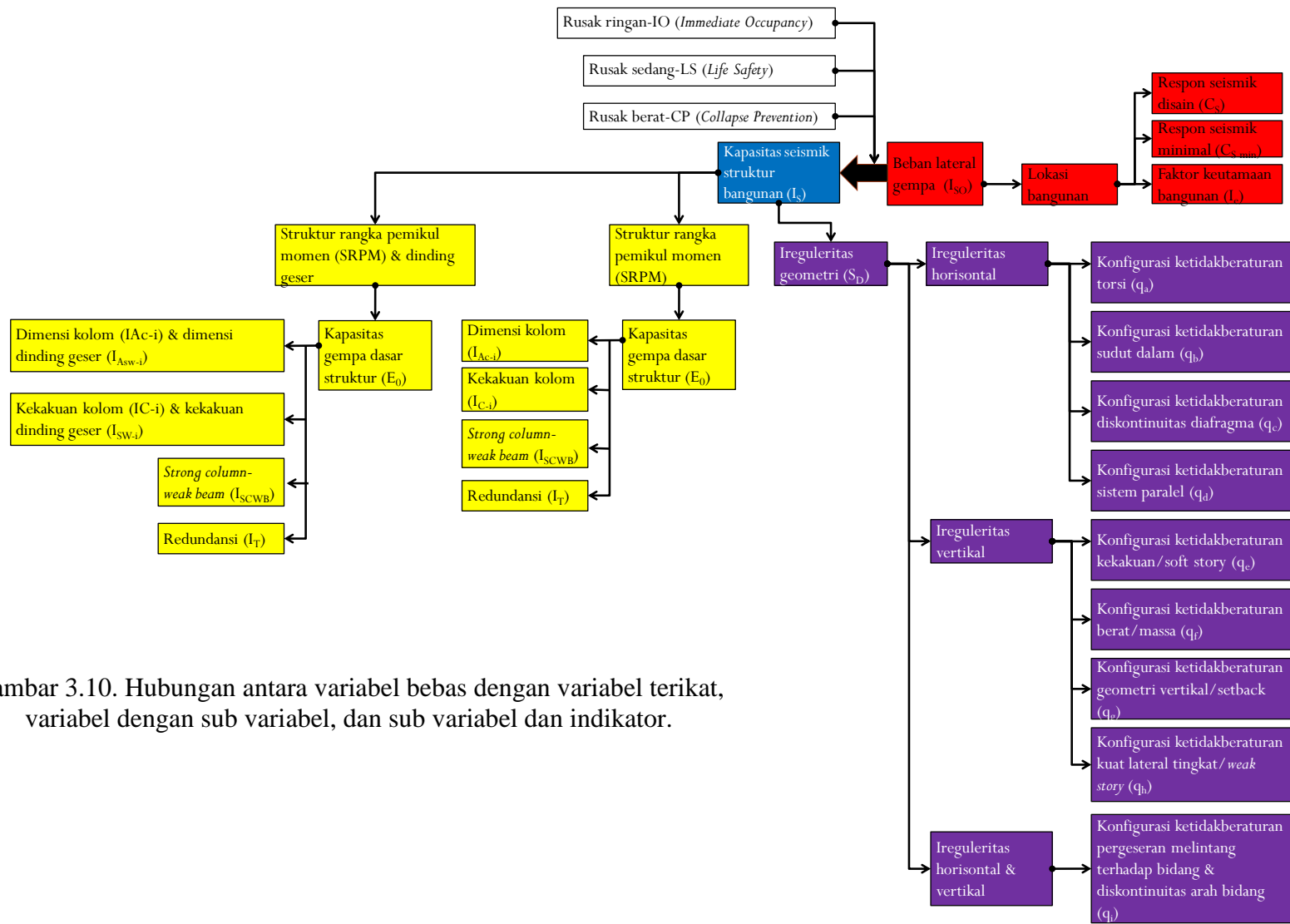
Gambar 3.8. SVA Disain Arsitektur, hubungan variabel beban lateral gempa dengan lokasi bangunan, respon seismik disain, respon seismik minimal dan faktor keutamaan bangunan (sumber : analisa).



5. Pada SVA Desain Arsitektur, level kerentanan bangunan akibat gempa berhubungan erat dengan tingkat performa seismik dari struktur bangunan yaitu rusak ringan (*Immediate Occupancy-IO*), rusak sedang (*Life Safety-LS*), dan rusak berat (*Collapse Prevention-CP*) (gambar 3.9).



Gambar 3.9. SVA Disain Arsitektur, level kerentanan berdasarkan perbandingan beban lateral gempa dan kapasitas seismik struktur bangunan (sumber : analisa).



Gambar 3.10. Hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat, variabel dengan sub variabel, dan sub variabel dan indikator.

Adapun operasionalisasi variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

Tabel 3.1. Operasionalisasi variabel : jenis variabel, variabel dan sub variabel

	Jenis variabel	Variabel	Sub variabel
1.	Variabel bebas	Indeks beban lateral gempa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lokasi bangunan</li> </ul>
2.	Variabel terikat	Indeks gempa dasar struktur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Struktur rangka pemikul momen</li> <li>• Struktur rangka pemikul momen dan dinding geser</li> </ul>
		Indeks ireguleritas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konfigurasi ireguler horisontal</li> <li>• Konfigurasi ireguler vertikal</li> <li>• Konfigurasi ireguler horisontal &amp; vertikal</li> </ul>
3.	Variabel interverning	Level kerentanan	-

Tabel 3.2. Operasionalisasi variabel/sub variabel, indikator dan tolok ukur

	Variabel / Sub variabel	Indikator	Tolok ukur
1.	Lokasi bangunan	Faktor modifikasi gaya gempa tingkat	Tingkat & jumlah lantai
		Indeks respon seismik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Koefisien respon seismik desain berdasarkan SNI 1726:2012</li> <li>• Koefisien respon seismik minimum <math>S_5=0.25g</math> dan <math>S_1=0.1g</math> berdasarkan FEMA 155</li> </ul>
		Faktor keutamaan fungsi bangunan	Tabel 1 dan 2 SNI 1726:2012
2.	Struktur rangka pemikul momen	Faktor modifikasi kapasitas geser tingkat	Tingkat & jumlah lantai
		Indeks dimensi elemen lateral (kolom) tingkat yang dievaluasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luas total kolom desain (<math>m^2</math>)</li> <li>• Luas total kolom minimal (<math>m^2</math>)</li> </ul>
		Indeks jenis kolom tingkat yang dievaluasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jumlah jenis kolom langsing (a), kolom normal (b) &amp; kolom pendek (c).</li> <li>• Indeks kolom jenis</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li><math>a=0.7, b=0.8 \text{ \&amp; } c=0.1</math></li> <li>Jumlah total kolom</li> </ul>
		Indeks <i>Strong Column Weak Beam</i> tingkat yang dievaluasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jumlah kolom yang memenuhi <math>W_p</math> kolom <math>&gt; 1.2 \times W_p</math> balok</li> <li>Jumlah total kolom</li> </ul>
		Indeks periode getar struktur	<ul style="list-style-type: none"> <li>Periode getar struktur berdasarkan perhitungan <i>software</i> (detik)</li> <li>Periode getar struktur maksimum yang diperbolehkan (detik)</li> </ul>
		Indeks daktilitas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Faktor modifikasi respon berdasarkan SNI 1726:2012 (tabel 9)</li> <li>Faktor kuat lebih SNI 1726:2012 (tabel 9)</li> </ul>
3.	Struktur rangka pemikul momen & dinding geser	Faktor modifikasi kapasitas geser tingkat	Tingkat & jumlah lantai
		Indeks dimensi elemen lateral (kolom) tingkat yang dievaluasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Luas total kolom desain (<math>m^2</math>)</li> <li>Luas total kolom minimal (<math>m^2</math>)</li> </ul>
		Indeks jenis kolom tingkat yang dievaluasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jumlah jenis kolom langsing (a), kolom normal (b) &amp; kolom pendek (c).</li> <li>Indeks kolom jenis <math>a=0.7, b=0.8 \text{ \&amp; } c=0.1</math></li> <li>Jumlah total kolom</li> </ul>
		Indeks dimensi elemen lateral (dinding geser) tingkat yang dievaluasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Luas total dinding geser disain (<math>m^2</math>)</li> <li>Luas total dinding geser minimal (<math>m^2</math>)</li> </ul>
		Indeks jenis dinding geser tingkat yang dievaluasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jumlah jenis dinding geser dibatasi 2 kolom (a), dibatasi 1 kolom (b) &amp; tanpa dibatasi kolom (c).</li> <li>Indeks dinding geser jenis <math>a=1, b=0.7 \text{ \&amp; } c=0.3</math></li> </ul>
		Indeks <i>Strong Column Weak Beam</i> tingkat yang dievaluasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jumlah kolom yang memenuhi <math>W_p</math> kolom <math>&gt; 1.2 \times W_p</math> balok</li> <li>Jumlah total kolom</li> </ul>
		Indeks periode getar struktur	<ul style="list-style-type: none"> <li>Periode getar struktur berdasarkan perhitungan</li> </ul>

			<p><i>software</i> (detik)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Periode getar struktur maksimum yang diperbolehkan (detik)</li> </ul>
		Indeks daktilitas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faktor modifikasi respon berdasarkan SNI 1726:2012 (tabel 6.2)</li> <li>• Faktor kuat lebih SNI 1726:2012 (tabel 6.2)</li> </ul>
4.	Konfigurasi ireguler horisontal	Konfigurasi ketidakberaturan torsi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Panjang eksentrisitas tingkat ke-i</li> <li>• Lebar bangunan yang ditinjau tingkat ke-i</li> </ul>
		Konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan tingkat ke-i</li> <li>• Luas lantai bangunan utama tingkat ke-i</li> </ul>
		Konfigurasi diskontinuitas diafragma	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luas lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll tingkat ke-i</li> <li>• Luas lantai tingkat ke-i</li> </ul>
		Konfigurasi ketidakberaturan sistem nonparalel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jumlah elemen balok, kolom dan/atau dinding geser yang tidak mengikuti aksis ortogonal tingkat ke-i</li> <li>• Jumlah total elemen balok, kolom dan/atau dinding geser tingkat ke-i</li> </ul>
5.	Konfigurasi ireguler vertikal	Konfigurasi <i>soft story</i> / tingkat lunak	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tinggi kolom/dinding geser satu tingkat dari tingkat ke-i</li> <li>• Tinggi kolom ditingkat ke-i</li> </ul>
		Konfigurasi ketidakberaturan berat/massa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Massa lantai ditingkat ke-i</li> <li>• Massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat ke-i</li> </ul>
		Konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Panjang bangunan pada tingkat ke-i</li> <li>• Panjang <i>setback</i> bangunan pada tingkat ke-i</li> </ul>
		Konfigurasi diskontinuitas ketidakberaturan kuat lateral tingkat / <i>weak story</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luas kolom dan/atau dinding geser ditingkat ke-i</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luas kolom dan/atau dinding geser satu tingkat dari tingkat ke-i</li> </ul>
6.	Konfigurasi ireguler horisontal & vertikal	Konfigurasi ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang & diskontinuitas arah bidang	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luas dinding bata lantai tingkat ke -i</li> <li>• Luas lantai di lantai tingkat ke -i</li> </ul>
7.	Level kerentanan	Tingkat performa seismik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &lt;0.5% = Rusak ringan/<i>Immediate Occupancy</i> (IO)</li> <li>• &lt;1.5% = Rusak sedang/<i>Life Safety</i> (LS)</li> <li>• &lt;2.5% = Rusak berat/<i>Collapse Prevention</i> (CP)</li> </ul>

### 3.4. SAMPEL DAN MODEL PENELITIAN

#### 3.4.1. SAMPEL PENELITIAN

Pada penelitian studi kasus yang menggunakan pendekatan kuantitatif dalam pemilihan sampel tetap menggunakan *sampling logic* (Runeson *et al.*, 2012). Teknik sampling yang digunakan yaitu *purposive sampling*. Menurut Nasution (1995) *purposive sampling* adalah sampel yang dipilih dengan cermat hingga relevan dengan desain penelitian. Ada dua jenis sampel yang akan digunakan sebagai sampel model analog/konseptual yang digunakan untuk validasi model matematika dan sampel rencana bangunan yang digunakan untuk contoh aplikasi lapangan model matematika yang diusulkan. Untuk jumlah sampel yang digunakan antara 6 -10 sampel dianggap cukup memadai jika mampu memberi dukungan yang kuat terhadap proposisi awalnya (Yin, 2013). Dalam pemilihan kasus sampel harus memiliki variasi sehingga lebih kaya dalam perbandingannya, tetapi pada kenyataannya juga tergantung pada ketersediaan data tersebut di lapangan (Flyvbjerg, 2007 dalam Runeson *et al.*, 2012).

##### 1. Sampel model analog/konseptual

Pada saat studi pendahuluan, sangat sulit didapatkan data bangunan yang lengkap (gambar arsitektur, struktur, dan laporan analisa struktur) yang terkena dampak gempa untuk parameterisasi model matematika dan verifikasi model matematika tersebut. Selanjutnya, digunakan campuran (lihat tabel 3.3) antara data lapangan (model j) dan model analog (model a s/d i). Kedua jenis data tersebut sudah dianalisis dengan analisis *pushover* karena analisis *pushover* merupakan analisis kerentanan bangunan

terhadap gempa yang cukup baik dalam memprediksi perilaku inelastik bangunan yang tidak terlalu tinggi (Wiryanto, 2005).

Digunakan 10 sampel model bangunan yang didapatkan dari data lapangan dan model analog yang memiliki variasi dalam properti struktur, konfigurasi geometrik, dan lokasi bangunan yang dapat memengaruhi kerentanan bangunan terhadap gempa yaitu :

- Variasi lebar, panjang dan tinggi kolom, balok dan dinding geser
- Variasi lebar, panjang dan tinggi bangunan
- Variasi perioda getar struktur
- Variasi jenis sistem penahan gaya gempa
- Variasi ireguleritas geometri
- Variasi zona gempa, kelas situs, dan fungsi bangunan

## **2. Sampel rencana bangunan**

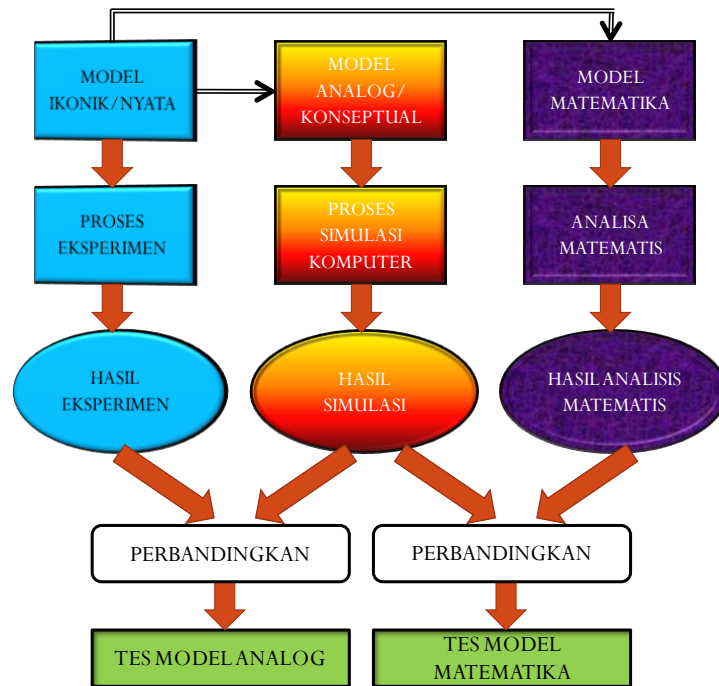
Rencana bangunan yang dijadikan sampel didapatkan dari dokumen perencanaan konsultan yang masuk ke Dinas Tata Kota dan Perumahan (DISTARU) Kota Semarang sebagai bagian dari dokumen Izin Mendirikan Bangunan (IMB). Sebagai bagian dari prosedur mendapatkan IMB, maka untuk bangunan  $\geq 4$  lantai dokumen perencanaan konsultan harus dievaluasi dan mendapat rekomendasi dari tim TABG. Penggunaan sampel rencana bangunan bertujuan sebagai contoh penggunaan model matematika yang diusulkan dan mempelajari kelemahan performa bangunan yang direncanakan oleh konsultan terhadap gempa dikaitkan dengan desain struktur dan konfigurasi geometri bangunannya.

Digunakan 8 sampel rencana bangunan yang memiliki variasi dalam properti struktur, konfigurasi geometrik, dan lokasi bangunan yang dapat memengaruhi kerentanan bangunan terhadap gempa yaitu :

- Variasi lebar, panjang dan tinggi kolom, balok dan dinding geser
- Variasi lebar, panjang dan tinggi bangunan
- Variasi perioda getar struktur
- Variasi jenis sistem penahan gaya gempa
- Variasi ireguleritas geometri
- Variasi zona gempa, kelas situs, dan fungsi bangunan

### 3.4.2. MODEL PENELITIAN

Model adalah sebuah sistem yang mensimulasikan dunia nyata yang sedang dipelajarinya. Ada 4 tipe simulasi model yaitu ikonik (pengujian material), analog (simulasi kondisi aktual), operasional (eksperimen lapangan), dan matematika (kuantifikasi kondisi nyata) (Groat and Wang, 2013).



Gambar 3.11. Hubungan dunia nyata, model konseptual dan model matematika (sumber : (Allen and Tildesley, 2017).

Menurut (Allen and Tildesley, 2017) pengujian suatu teori di dunia *engineering* umumnya dilakukan 2 cara (lihat gambar 3.11) yaitu (1) tes model analog dengan membandingkan hasil eksperimen dan hasil simulasi komputer; (2) tes model matematika dengan membandingkan antara hasil simulasi komputer dan hasil analisis matematis. Dalam penelitian ini digunakan cara ke-2 karena akan menguji model matematika SVA Desain Arsitektur dengan membandingkannya pada hasil analisa *pushover* simulasi *software* SAP2000 dan ETABS dari peneliti lain.

Dalam penelitian ini digunakan 2 model yaitu :

#### 1. Model Matematika

Model matematika adalah seperangkat formula dan / atau persamaan mandiri berdasarkan perkiraan deskripsi kuantitatif fenomena nyata serta dibuat dengan harapan bahwa perilaku yang diprediksi akan sesuai dengan perilaku sebenarnya yang menjadi dasar pemikirannya (Ledder, 2013). Persamaan model matematika yang digunakan pada penelitian ini diadaptasi dari persamaan penilaian kerentanan bangunan terhadap gempa oleh JBDPA dan Matsutaro Seki. Model matematika



digunakan dalam SVA Desain Arsitektur relatif sederhana dalam memprediksi kerentanan terhadap gempa karena bisa dihitung dengan cepat (*manual/spreadsheet*), mudah (rumus-rumus sederhana), terukur (perhitungan aritmatika), dan relatif akurat (divalidasi).

## **2. Model Analog / Konseptual**

Model konseptual adalah sebuah perkiraan dari dunia nyata yang berfungsi sebagai deskripsi visual model matematika (Ledder, 2013). Model analog/konseptual pada penelitian ini digunakan sebagai model simulasi dalam program SAP2000 atau ETABS dengan analisis *pushover*, dapat diketahui kerentanan bangunan yang dimodelkan terhadap gempa. Tujuan penggunaan model analog ini yaitu verifikasi dari model matematika yang diadaptasi dari JBDPA dan Matsutaro Seki.

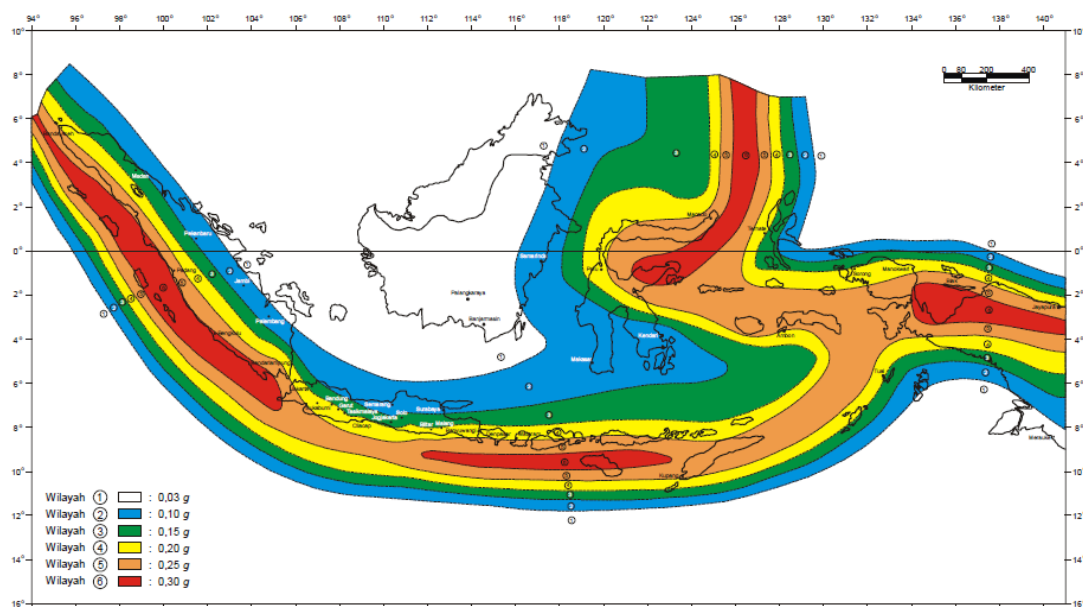
### **3.5. LOKASI PENELITIAN**

Pada prinsipnya SVA Desain Arsitektur digunakan untuk mengevaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa yang menggunakan peraturan gempa terbaru SNI 1726:2012, tetapi untuk melakukan verifikasi prosedur SVA Desain Arsitektur dengan prosedur analisis *pushover* ternyata sampai saat ini masih banyak yang berdasarkan peraturan gempa lama SNI 1726:2002. Hal ini berpengaruh pada perhitungan SVA Desain Arsitektur pada parameter  $C_s$ ,  $C_{s\ min}$ , dan nilai  $I_e$ . Akan tetapi, hal ini tidak masalah karena evaluasi kerentanan SVA Desain Arsitektur dapat disesuaikan dengan peraturan gempa mana yang digunakan. Pada prinsipnya, evaluasi kerentanan dengan SVA Desain Arsitektur dan analisis *pushover* yang menggunakan peraturan gempa SNI 1726 : 2002 atau SNI 1726 : 2012 harus mendapatkan hasil kerentanan yang relatif sama.

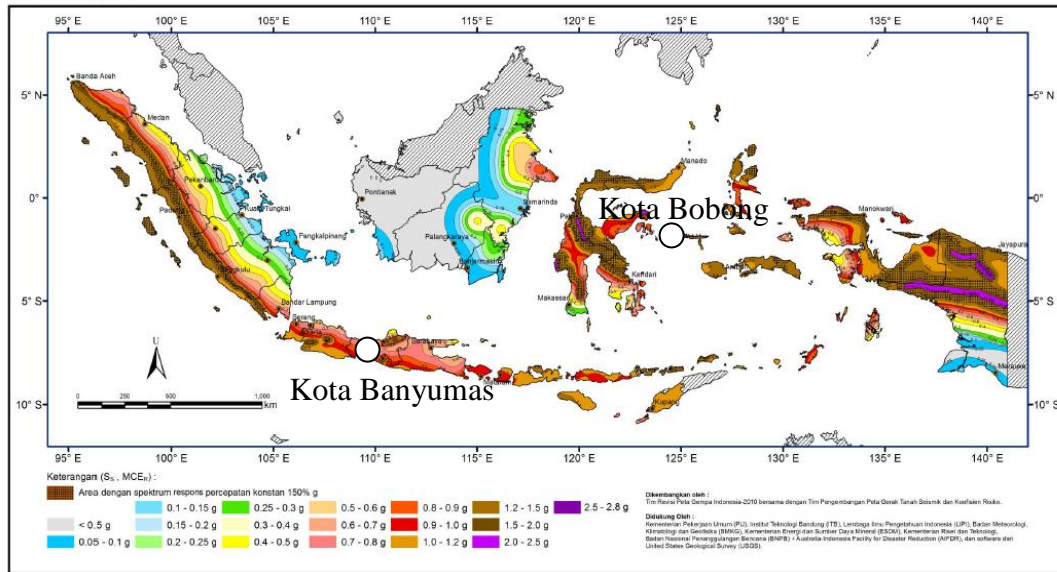
Dalam proses verifikasi model matematis dan contoh aplikasi SVA Desain Arsitektur untuk lokasi penelitian ini dipilih yang memiliki variasi zona gempa, kelas situs, fungsi dan tinggi bangunan sehingga diketahui tingkat validitas model dan memperkaya pembahasan.

Tabel 3.3. Variasi zona gempa, kelas situs, fungsi dan tinggi bangunan lokasi penelitian untuk validasi model matematis SVA Desain Arsitektur

Model	Code	Zona gempa	Kelas situs	Fungsi bangunan	Jumlah Lantai	
a	SNI 1726-2002	Wilayah 6 Ca=0.35, Cv=0.54	Zona tinggi	Tanah sedang	Kantor	6
b	SNI 1726-2002	Wilayah 6 Ca=0.38, Cv=0.95	Zona tinggi	Tanah lunak	Kantor	14
c	SNI 1726-2002	Wilayah 6 Ca=0.33, Cv=0.42	Zona tinggi	Tanah keras	Kantor	10
d	SNI 1726-2012	Banyumas Ss=0.7 g, S1=0.25 g	Zona sedang tinggi	Tanah keras	Kantor	5
e	SNI 1726-2002	Ternate - Wilayah 4 Ca=0.28, Cv=0.42	Zona sedang	Tanah sedang	Kantor	4
f	SNI 1726-2012	Kota Bobong Ss=1.355 g, S1=0.537 g	Zona tinggi	Tanah sedang	Kantor	12
g	SNI 1726-2002	Wilayah 6 Ca=0.33, Cv=0.42	Zona tinggi	Tanah keras	Kantor	12
h	SNI 1726-2002	Wilayah 4 Ca=0.34, Cv=0.85	Zona sedang	Tanah lunak	Kantor	10
i	SNI 1726-2002	Wilayah 4 Ca=0.34, Cv=0.85	Zona sedang	Tanah lunak	Kantor	5
j	SNI 1726-2002	Wilayah 2 Ca=0.12, Cv=0.15	Zona rendah	Tanah keras	Sekolah	2



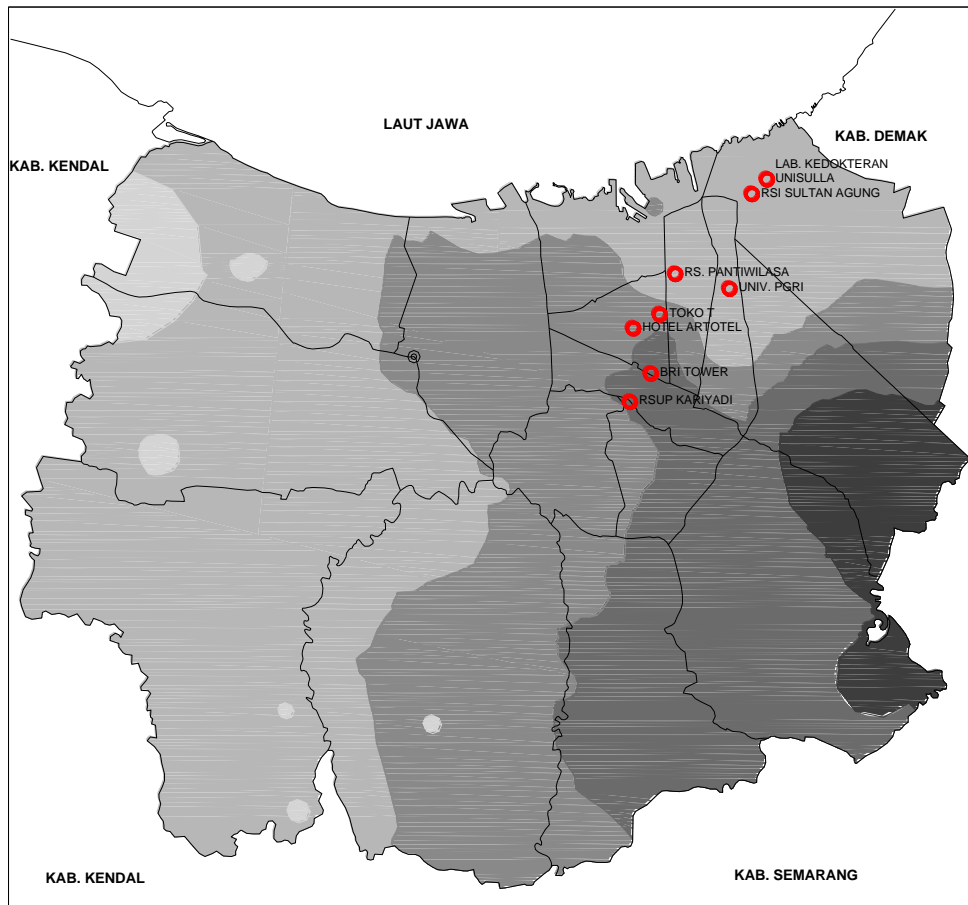
Gambar 3.12. Zona gempa sampel penelitian : wilayah 2, 4 dan 6 peta gempa Indonesia tahun 2002 (sumber : SNI 1726 : 2002).



Gambar 3.13 . Zona gempa sampel penelitian : Kota Banyumas dan Kota Bobong Peta Gempa Indonesia tahun 2012 (sumber : SNI 1726-2012)

- Untuk wilayah gempa Indonesia terdiri 10 lokasi (lihat tabel 3.3), meliputi 8 Lokasi dibagi di wilayah 2, lalu 4 dan 6 peta gempa Indonesia SNI 1726:2002, serta 2 lokasi di SNI 1726:2012. Untuk perhitungan  $C_s$ , data-data parameter  $S_s$  (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan  $S_1$  (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) lokasi peta gempa SNI 1726:2012 (lihat gambar 3.13) didapatkan dari laman : [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/) , sedangkan data-data  $C_a$  (faktor respons gempa horisontal) dan  $C_v$  (faktor respons gempa vertikal) untuk lokasi di peta gempa SNI 1726:2002 didapatkan dari peta gempa (lihat gambar 3.12) serta grafik respons spektrum gempa rencana SNI 1726:2002. Perhitungan  $C_{s \min}$ ,  $S_s=0.25g$  dan  $S_1=0.1g$  berdasarkan FEMA 155 atau  $C_a$  serta  $C_v$  dari wilayah 2 peta gempa SNI 1726:2002. Untuk kelas situs lokasi di peta gempa SNI 1726:2002 dan SNI 1726:2012 terbagi tanah lunak, sedang dan keras sedangkan fungsi bangunan terbagi menjadi perkantoran serta sekolah.
- Untuk wilayah gempa Kota Semarang terdiri dari 8 lokasi yang tersebar di kota bawah dan atas peta gempa Kota Semarang menurut SNI 1726:2012 (lihat tabel 3.4 & gambar 3.14) . Untuk perhitungan  $C_s$ , data-data parameter  $S_s$  dan  $S_1$  lokasi peta gempa Kota Semarang menurut SNI 1726:2012 didapatkan dari laman : [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/) . Perhitungan  $C_{s \min}$ ,  $S_s=0.25g$  dan  $S_1=0.1g$  berdasarkan FEMA 155. Untuk kelas situs lokasi di peta gempa Kota Semarang menurut SNI 1726:2012 terbagi tanah lunak dan

sedang, sedangkan fungsi bangunan terbagi menjadi perkantoran, komersil, kampus, dan fasilitas kesehatan.



Gambar 3.14. Lokasi sampel penelitian sebagai contoh aplikasi dari metode SVA Disain Arsitektur yang menggunakan peraturan gempa SNI 1726 : 2012

Tabel 3.4. Variasi zona gempa, kelas situs, fungsi dan tinggi bangunan rencana di Kota Semarang untuk contoh aplikasi metode SVA Desain Arsitektur

Model	Code	Zona gempa		Kelas situs
Hotel 12 lantai (HA-01)	SNI 1726-2012	Semarang	Sedang tinggi	Tanah lunak
		$S_s=0.996 g$ , $S_1=0.335 g$		
Rumah Sakit 5 lantai (RS-01)	SNI 1726-2012	Semarang	Sedang tinggi	Tanah lunak
		$S_s=0.97 g$ , $S_1=0.328 g$		
Gedung kuliah 8 lantai (GK-01)	SNI 1726-2012	Semarang	Tinggi	Tanah lunak
		$S_s=1.098 g$ , $S_1=0.364 g$		
Rumah sakit gigi & mulut 6 lt. (GM-01)	SNI 1726-2012	Semarang	Sedang tinggi	Tanah lunak
		$S_s=0.993 g$ , $S_1=0.338 g$		
Gedung lab. Fakultas Kedokteran 8 lantai (LAB U-01)	SNI 1726-2012	Semarang	Sedang tinggi	Tanah lunak
		$S_s=0.993 g$ , $S_1=0.338 g$		

Model	Code	Zona gempa	Kelas situs
Rumah sakit radioterapy & onkologi 6 lantai (ONG-01)	SNI 1726- 2012	Semarang	Tinggi  Tanah sedang
		S <sub>s</sub> =1.098 g, S <sub>1</sub> =0.364 g	
Menara Bank 9 lantai (BR-01)	SNI 1726- 2012	Semarang	Tinggi  Tanah lunak
		S <sub>s</sub> =1.1 g, S <sub>1</sub> =0.36 g	
Gedung Toko T 6 lantai (TT-01)	SNI 1726- 2012	Semarang	Tinggi  Tanah lunak
		S <sub>s</sub> =1.008 g, S <sub>1</sub> =0.339 g	

### 3.6. METODE PENGUMPULAN DATA

Dalam penelitian ini digunakan data kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif merupakan data angka yang didapatkan dari hasil pengukuran. Lalu, data kualitatif adalah data dalam bentuk kata-kata dan gambar dari dokumen, observasi, dan transkrip (Neuman, 2014).

#### 3.6.1. DATA KUANTITATIF

##### 1. Model analog/konseptual

Model analog digunakan sebagai verifikasi dari model matematika yang diadaptasi dari JBDPA dan Matsutaro Seki. Digunakan 10 model analog yang didapatkan dari penelitian-penelitian sebelumnya. Data-data kuantitatif yang dikumpulkan dari penelitian-penelitian tersebut yaitu :

- Lebar, panjang dan tinggi kolom, balok dan dinding geser
- Lebar, panjang dan tinggi bangunan
- Periode getar struktur
- Jenis sistem struktur penahan gaya gempa
- Ireguleritas geometri bangunan
- Zona gempa, kelas situs dan fungsi bangunan

##### 2. Data rencana bangunan

Data rencana bangunan digunakan sebagai contoh aplikasi lapangan dari model matematika yang diusulkan dan mempelajari kelemahan performa bangunan yang direncana oleh konsultan terhadap gempa dikaitkan dengan desain struktur dan konfigurasi geometri bangunannya. Digunakan 8 data perencanaan bangunan meliputi gambar arsitektur & struktur, laporan perencanaan arsitektur, serta laporan perhitungan struktur. Data-data kuantitatif yang dikumpulkan dari gambar arsitektur dan struktur, laporan perencanaan arsitektur serta laporan perhitungan struktur yaitu :

- Lebar, panjang dan tinggi kolom, balok dan dinding geser
- Lebar, panjang dan tinggi bangunan
- Periode getar struktur
- Jenis sistem struktur penahan gaya gempa
- Ireguleritas geometri
- Zona gempa, kelas situs, dan fungsi bangunan

### **3.6.2. DATA KUALITATIF**

#### **1. Dokumentasi**

Pada intinya metode ini digunakan untuk menelusuri data historis kejadian dan kerusakan akibat gempa yang pernah terjadi di Indonesia serta data-data tentang bangunan di Indonesia. Data ditelusuri dari penelitian-penelitian sebelumnya dan dokumentasi yang dilakukan oleh perusahaan, instansi pemerintah, pribadi, media dan *on-line*.

#### **2. Wawancara**

Wawancara dilakukan terstruktur dan tidak terstruktur secara langsung atau tatap muka maupun melalui *e-mail* kepada arsitek, ahli struktur atau narasumber. Tujuan wawancara yaitu untuk mendapatkan pemahaman teoritis tentang bangunan tahan gempa dari para pakar/narasumber. Untuk pemahaman yang mendalam mengenai proses desain dan memperkuat interpretasi hasil analisis dokumen laporan serta gambar perencanaan konsultan dalam menghadapi potensi gempa kuat di Kota Semarang.

#### **3. Rekomendasi dari TABG Kota Semarang**

Untuk bangunan  $\geq 4$  lantai dokumen perencanaan konsultan harus dievaluasi dan mendapat rekomendasi dari TABG Kota Semarang. Rekomendasinya berupa rekomendasi tertulis (lembar saran/masukan) dan tak tertulis (rekaman suara) yang didapatkan pada proses paparan konsultan dihadapan TABG Kota Semarang. Rekomendasi dari TABG ini digunakan sebagai bagian verifikasi dari model matematika yang diusulkan.

## **3.7. METODE ANALISIS DATA RENCANA BANGUNAN**

### **3.7.1. STRUKTUR RANGKA PEMIKUL MOMEN**

Adapun langkah-langkah perhitungannya yaitu :

1. Tabulasi *screening* dimensi struktur bangunan rencana, *strong column/weak beam*, periode getar dan kekakuan.
2. Tabulasi perhitungan indeks kapasitas geser struktur ( $I_S$ ) yaitu menghitung faktor modifikasi kapasitas geser tingkat masing-masing lantai, menghitung indeks dimensi kolom -  $I_{Ac-i}$  (rumus 5.3), menghitung indeks jenis kolom -  $I_{C-i}$  (rumus 5.4) dan menghitung indeks *strong column/weak beam*-  $I_{SCWB-i}$  (rumus 5.5). Dapatkan nilai  $T_C$  perbandingan dengan  $T_{max}$  tentukan indeks periode getar struktur ( $I_T$ ) dan dapatkan nilai  $R$  dan  $\Omega_0$  dari tabel 9 SNI 1726:2012 atau tabel 3 SNI 1726:2002 hitung daktilitas struktur  $R / \Omega_0$ . Kalikan semuanya (rumus 5.2) sehingga didapatkan indeks kapasitas dasar gempa struktur ( $E_0$ ). Menghitung indeks ireguleritas- $S_D$  (rumus 5.13 s/d 5.21). Kalikan indeks kapasitas dasar gempa struktur ( $E_0$ ) dengan indeks ireguleritas ( $S_D$ ) sehingga didapatkan indeks kapasitas gempa struktur ( $I_S$ ) (rumus 5.1).
3. Tabulasi perhitungan indeks beban lateral gempa ( $I_{SO}$ ) lokasi bangunan yaitu menghitung faktor modifikasi beban gempa tingkat masing-masing lantai, hitung  $C_S$  dan  $C_{Smin}$  kemudian masukkan dalam rumus 5.23, sehingga didapatkan nilai  $I_{CS}$ . Dapatkan nilai  $I_e$  dari tabel 1 dan 2 SNI 1726:2012 atau tabel 1 SNI 1726:2002. Nilai-nilai faktor modifikasi beban gempa tingkat,  $I_{CS}$  dan  $I_e$  masukkan dalam rumus 5.22 sehingga didapatkan nilai indeks beban lateral ( $I_{SO}$ ).
4. Tabulasi perhitungan indeks kapasitas gempa struktur vs indeks beban lateral gempa yaitu untuk menganalisis kerentanan rencana bangunan dari konsultan dengan membandingkan nilai  $I_S$  dan  $I_{SO}$  berdasarkan ketentuan tabel 5.13 sehingga diketahui kemungkinan *level performance*.

### 3.7.2. STRUKTUR RANGKA PEMIKUL MOMEN DAN DINDING GESER

Adapun langkah-langkah perhitungannya yaitu :

1. Tabulasi *screening* dimensi struktur bangunan rencana, *strong column/weak beam*, periode getar dan kekakuan.
2. Tabulasi perhitungan indeks kapasitas geser struktur ( $I_S$ ) yaitu Menghitung faktor modifikasi kapasitas geser tingkat masing-masing lantai, menghitung indeks dimensi kolom -  $I_{Ac-i}$  (rumus 5.7), menghitung indeks jenis kolom -  $I_{C-i}$  (rumus 5.9), menghitung indeks dimensi dinding geser -  $I_{ASW-i}$  (rumus 5.8), menghitung indeks jenis dinding geser -  $I_{SW-i}$  (rumus 5.10) dan menghitung indeks *strong column/weak beam*-  $I_{SCWB-i}$  (rumus 5.11). Dapatkan nilai  $T_C$  perbandingan

dengan  $T_{max}$  tentukan indeks periode getar struktur ( $I_T$ ) dan dapatkan nilai  $R$  dan  $\Omega_0$  dari tabel 9 SNI 1726:2012 atau tabel 3 SNI 1726:2002, hitung daktilitas struktur  $R / \Omega_0$ . Kalikan berdasarkan rumus 5.6 sehingga didapatkan indeks kapasitas dasar gempa struktur ( $E_0$ ). Menghitung indeks ireguleritas- $S_D$  (rumus 5.13 s/d 5.21). Kalikan indeks kapasitas dasar gempa struktur ( $E_0$ ) dengan indeks ireguleritas ( $S_D$ ) sehingga didapatkan indeks kapasitas gempa struktur ( $I_S$ ) (rumus 5.6).

3. Tabulasi perhitungan indeks beban lateral gempa ( $I_{SO}$ ) lokasi bangunan yaitu menghitung faktor modifikasi beban gempa tingkat masing-masing lantai. Hitung  $C_S$  dan  $C_{Smin}$ , kemudian masukkan dalam rumus 5.23 sehingga didapatkan nilai  $I_{CS}$ . Dapatkan nilai  $I_e$  dari tabel 1 dan 2 SNI 1726:2012 atau tabel 1 SNI 1726:2002. Nilai-nilai faktor modifikasi beban gempa tingkat,  $I_{CS}$  dan  $I_e$  masukkan dalam rumus 5.22 sehingga didapatkan nilai indeks beban lateral ( $I_{SO}$ ).
4. Tabulasi perhitungan indeks kapasitas gempa struktur vs indeks beban lateral gempa yaitu untuk menganalisa kerentanan rencana bangunan dari konsultan dengan membandingkan nilai  $I_S$  dan  $I_{SO}$  berdasarkan ketentuan tabel 5.13 sehingga diketahui kemungkinan *level performance*.

### **3.8. METODE VALIDITAS PENELITIAN**

#### **3.8.1. VALIDITAS STRUKTUR RANGKA PEMIKUL MOMEN DAN STRUKTUR RANGKA PEMIKUL MOMEN & DINDING GESER**

Adapun langkah-langkah validasinya yaitu :

1. Ikuti langkah perhitungan tahap 1 s/d 3 struktur rangka pemikul momen dan struktur rangka pemikul momen serta dinding geser di atas.
2. Untuk verifikasi prosedur SVA yang diusulkan, dibandingkan dengan hasil-hasil analisis pushover peneliti lainnya yaitu perbandingan nilai  $I_S$  dan  $I_{SO}$  berdasarkan ketentuan tabel 5.13 sehingga diketahui kemungkinan *level performance*. Kemudian, perbandingan *level performance* hasil SVA dengan *level performance* hasil analisis pushover SAP2000/ETABS dari penelitian-penelitian tersebut.
3. Prinsip validitas di sini adalah validitas yang baik dimana skor setiap subjek diperoleh oleh alat ukur tersebut tidak jauh berbeda dari skor yang sesungguhnya (Azwar, 2001). Untuk mengukur validitas prosedur SVA yang diusulkan dengan melakukan uji beda prosedur SVA Desain Arsitektur dan Analisa *Pushover* hasil para peneliti lainnya dari model-model bangunan seluruh Indonesia. Uji beda



yang digunakan yaitu Uji Wilcoxon *Two-Related-Samples*. Uji beda di sini untuk mengetahui apakah hasil pengukuran kerentanan bangunan di Indonesia terhadap gempa dengan prosedur SVA Desain Arsitektur dan Analisis Pushover memberikan hasil berbeda atau relatif sama. Uji ini merupakan uji non parametrik sehingga tidak membutuhkan normalitas data (Ghozali, 2002).

4. Adapaun cara pengukurannya yaitu transformasikan perlantai *level performance* IO, LS atau CP hasil SVA menjadi *drift ratio* berdasarkan tabel 2.5 : IO=0.5%, LS=1.5% dan CP=2.5%. Jika diasumsikan *drift ratio* hasil analisis pushover *software* Etabs dan SAP2000 level performanya terjadi sama diseluruh lantai, maka *drift ratio* hasil SVA dan analisis pushover *software* Etabs serta SAP2000 dapat dilakukan uji beda Wilcoxon *Two-Related-Samples* sehingga diketahui hasil pengukuran kerentanan bangunan di Indonesia terhadap gempa menggunakan SVA Desain Arsitektur dan Analisis Pushover. Jika signifikansinya  $< 0.05$  berarti ada perbedaan yang signifikan hasil kerentanan antara SVA Desain Arsitektur dan Analisis Pushover, sebaliknya jika signifikansinya  $> 0.05$  berarti tidak ada perbedaan yang signifikan atau relatif sama hasil kerentanan antara SVA Desain Arsitektur dan Analisis Pushover.

### **3.8.2. VALIDITAS PENDUKUNG REKOMENDASI TABG KOTA SEMARANG**

Salah satu prinsip untuk meningkatkan validitas dalam riset studi kasus yaitu triangulasi. Menurut Robson (2002) dalam Runeson *et al* (2012), triangulasi adalah mengambil berbagai perspektif pada objek yang dipelajari dengan memberikan gambaran yang luas. Salah satu cara mengkombinasi tipe dari metode pengumpulan data yang berbeda, misalnya dengan metode kualitatif dan kuantitatif (Stake, 1995 dalam Runeson *et al.*, 2012). Antara keduanya secara kuat saling mendukung dan menguatkan (Runeson *et al.*, 2012). Salah satu strategi pencampuran data kualitatif dan kuantitatif tersebut yaitu strategi *embedded konkuren*. Strategi *embedded konkuren* maksudnya adalah metode sekunder yang kurang diprioritaskan atau pendukung (kualitatif atau kuantitatif) ditancapkan (*embedded*) atau disarangkan (*nested*) ke dalam metode yang lebih dominan/utama (kualitatif atau kuantitatif). Kedua metode bisa dibandingkan atau bisa juga memberikan penilaian gabungan (Creswell, 2010).

Data kualitatif berupa rekomendasi dari TABG Kota Semarang digunakan sebagai validasi pendukung dari validasi empirik karena tugas pokok serta fungsi TABG sifatnya hanya pertimbangan teknis dan tidak mengukur kerentanan bangunan rencana dari konsultan secara langsung. Prinsip validitas disini yaitu apa yang direkomendasikan oleh TABG bisa diukur dan dijelaskan oleh prosedur SVA yang diusulkan sebagai penilaian gabungan. Adapun proses validitas dengan data kualitatif berupa rekomendasi dari TABG Kota Semarang berdasarkan Runeson *et al.* (2012) yaitu :

- Tahap pertama, mempelajari dari seluruh rekomendasi dari TABG baik tulisan dalam lembar saran atau masukan maupun rekaman suara pada saat proses presentasi dan tanya jawab dengan konsultan.
- Tahap kedua, menandai yang berpengaruh pada kerentanan bangunan terhadap gempa dan memberikan deskripsi singkat bagian struktur dan/atau geometri bangunan yang dipengaruhinya.
- Tahap ketiga, dari deskripsi tersebut mencari tema dari indikator SVA yang dapat mengukurnya.

### **3.9. METODE RELIABILITAS PENELITIAN**

Reliabilitas diterjemahkan dari kata *reliability* yang berarti keterpercayaan, keajegan, konsistensi dan lain sebagainya. Pengukuran yang memiliki reliabilitas tinggi disebut pengukuran yang reliabel. Pada intinya konsep reliabilitas adalah sejauh mana hasil suatu pengukuran dapat dipercaya.

Untuk mengukur tingkat reliabilitas dapat dilakukan dengan berbagai metode pendekatan (Azwar, 2001) yaitu :

1. Pendekatan Tes – Ulang
2. Pendekatan Bentuk – Paralel
3. Pendekatan Konsistensi Internal

Pada penelitian ini digunakan pengujian reliabilitas dengan metode pendekatan bentuk – paralel. Diasumsikan hasil analisa SVA Desain Arsitektur dan Analisis Pushover merupakan test paralel yang dilakukan terhadap multi kasus uji kerentanan bangunan-bangunan di Indonesia terhadap gempa. Tinggi rendahnya reliabilitas test dicerminkan oleh koefisien korelasi antara skor pada dua test yang paralel, yang dikenakan pada sekelompok bangunan tersebut. Semakin tinggi koefisien korelasi

berarti konsistensi antara hasil pengenaan dua test tersebut semakin baik serta hasil analisis kedua metode dikatakan semakin reliabel dan begitu juga sebaliknya. Menurut (Cohen, 1988) korelasi  $> 0.5$  termasuk korelasi yang tinggi antar 2 test. Uji korelasi Spearman disarankan oleh Revelle and Condon (2014) untuk menguji reabilitas 2 test paralel.

## **BAB IV. TINJAUAN LOKASI PENELITIAN**

### **4.1. ARSITEKTUR KOTA - KOTA DI INDONESIA DAN KOTA SEMARANG**

Perkembangan arsitektur modern Indonesia di mulai pada masa kolonial Belanda awal abad ke-20. Di mana arsitek-arsitek Belanda mulai berkarya di Indonesia. Karya-karya tersebut sudah pasti sangat terpengaruh perkembangan arsitektur di Eropa. Akan tetapi, perkembangan teknik struktur di Indonesia relatif lambat masuknya sehingga tidak sempat berintegrasi dengan baik ke dalam perkembangan arsitektur Indonesia. Hal ini pada perkembangan selanjutnya terdapat konsep-konsep bentuk bangunan Eropa membudaya, padahal tidak cocok ketahanannya terhadap kondisi Indonesia yang rawan gempa (Wangsadinata, 2009).

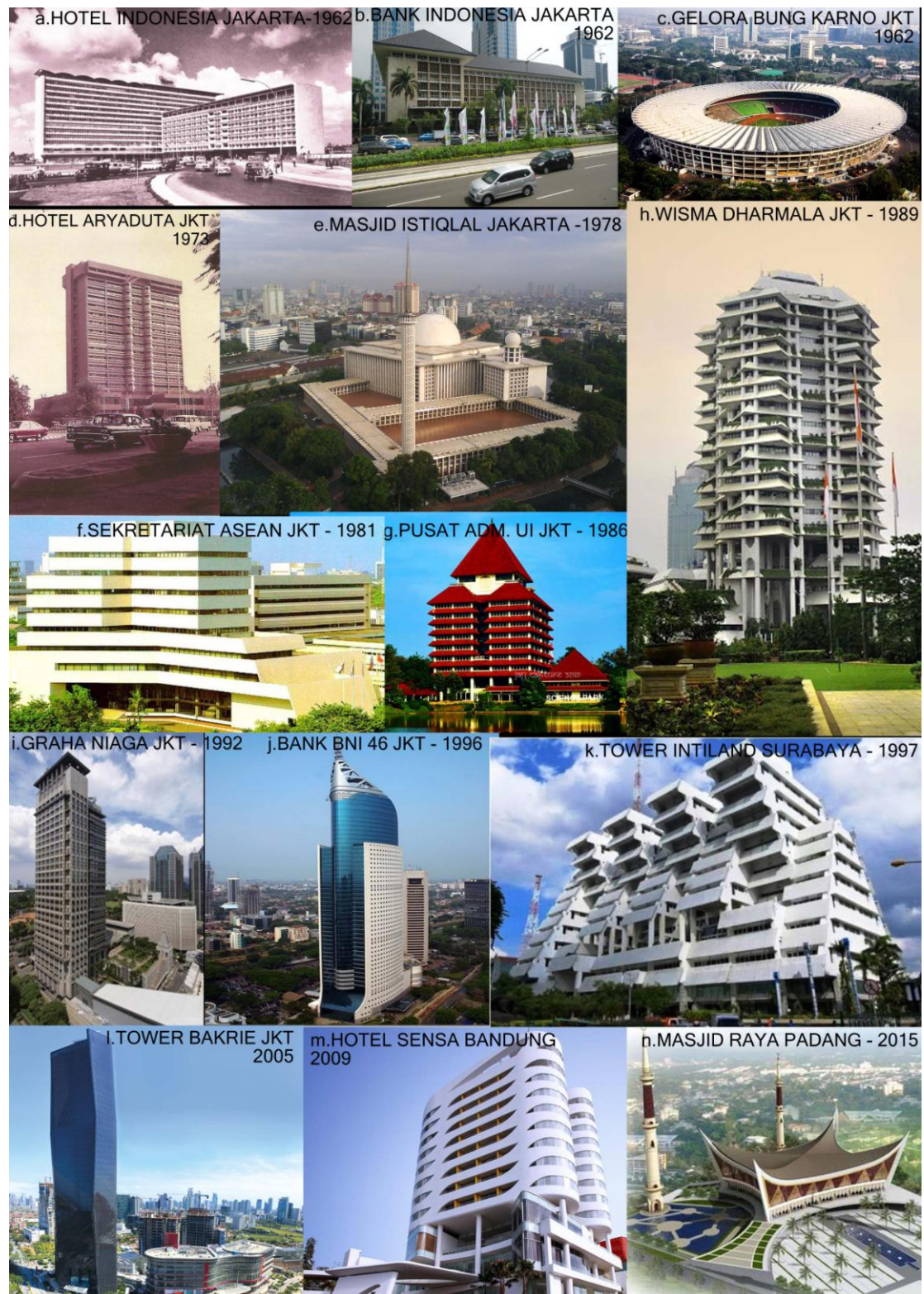
#### **4.1.1. PERKEMBANGAN ARSITEKTUR KOTA DI INDONESIA**

Perkembangan arsitektur kota di Indonesia dipengaruhi oleh perkembangan ilmu struktur, ilmu teknik gempa serta teknologi konstruksi. Di masa-masa awal pembangunan di Indonesia era tahun 1960 s/d 1970-an bangunan di Indonesia terbatas menggunakan komposisi bentuk-bentuk dasar geometri seperti persegi, bulat atau kombinasi bentuk dasar dengan modul struktur vertikal dan horisontal yang teratur (gmb.4.1a s/d 4.1e) . Hal ini dimaklumi pada masa itu belum banyak ahli konstruksi di Indonesia dan di dunia mengenai ilmu struktur dan *seismic engineering*. Pada masa itu baru mulai berkembang sehingga membatasi ketinggian dan bentuk bangunan yang ada di Indonesia.

Di era tahun 1980-an tepatnya di tahun 1983 pemerintah mengeluarkan pertama kali Peraturan Perencanaan Tahan Gempa (PPTGI, 1983). Di era tersebut dengan mulai berkembangnya pengetahuan tentang ilmu struktur dan ilmu teknik gempa berpengaruh pada komposisi bangunan yang terbentuk dari proses kombinasi dan transformasi bentuk-bentuk dasar seperti transformasi subtraktif, transformasi aditif. Akan tetapi, dengan tetap mempertahankan keteraturan modul struktur horisontal dan vertikal (gmb. 4.1f s/d 4.1h).

Di era tahun 1990-an merupakan masa transisi dari cara manual ke era komputer yang saat itu mulai dipakai untuk menganalisis struktur gedung. Kemudahan ini dimanfaatkan oleh arsitek dan ahli struktur untuk mendesain bangunan dengan

menggunakan transformasi bentuk-bentuk dasar dengan modul struktur horisontal relatif teratur, tetapi modul struktur vertikal relatif tidak beraturan (gmb. 4.1i s/d 4.1k).

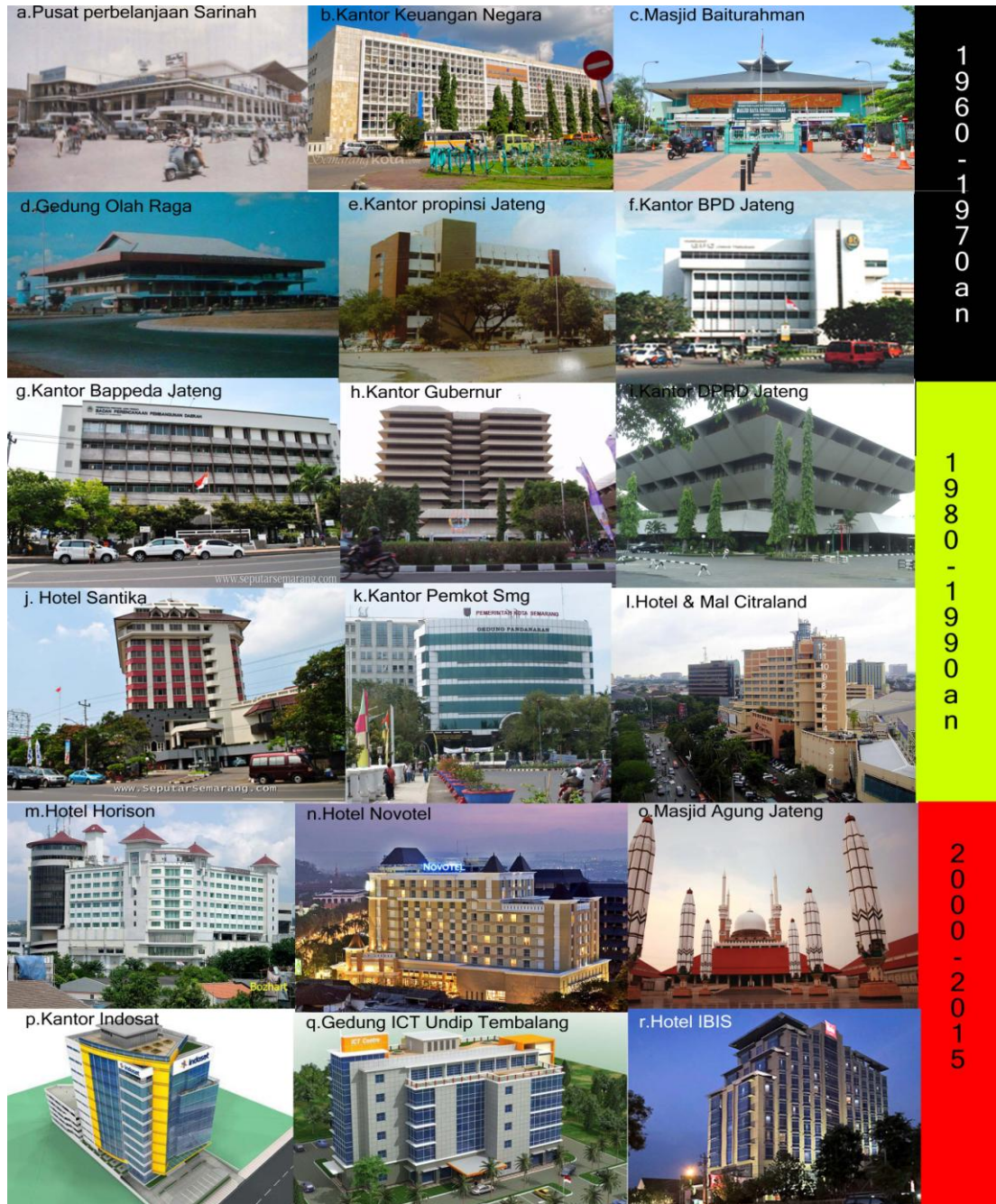


Gambar 4.1. Arsitektur kota di Indonesia tahun 1960 - 2015



Di era tahun 2000-an s/d sekarang merupakan era desain tanpa batas. Dengan kemajuan perangkat lunak (Sap2000, Etabs, Staadpro, Sanspro) dan perangkat keras (ilmu struktur, ilmu teknik gempa, ilmu material dan teknologi konstruksi) bentuk-bentuk dengan komposisi kompleks, bentuk organis dan bentuk tidak beraturan lainnya memungkinkan untuk diwujudkan (gmb. 4.11 s/d4.1n).

#### 4.1.2. ARSITEKTUR KOTA SEMARANG



Gambar 4.2. Arsitektur kota Semarang tahun 1960 - 2015

Semarang di era tahun 1960 - 1970-an didominasi oleh bangunan *low rise* dan *middle rise* dengan bentuk-bentuk dasar atau kombinasi bentuk dasar seperti kotak,

limasan, pelana dengan modul struktur vertikal dan horisontal teratur (gmb. 4.3a s/d 4.3f). Di era tahun 1980-1990-an selain bangunan *middle rise*, bangunan *high rise* mulai banyak bermunculan dengan komposisi agak kompleks dengan modul struktur horisontal relatif teratur, tetapi modul struktur vertikal relatif tidak beraturan (gmb. 4.2g s/d 4.2i). Era tahun 2000 s/d sekarang sebenarnya merupakan era desain tanpa batas. Walaupun banyak didirikan bangunan-bangunan tinggi yang berkomposisi kompleks, namun ireguleritasnya secara konstruksi tidak kritis sebagaimana di Jakarta (gmb. 4.2m s/d 4.2r).

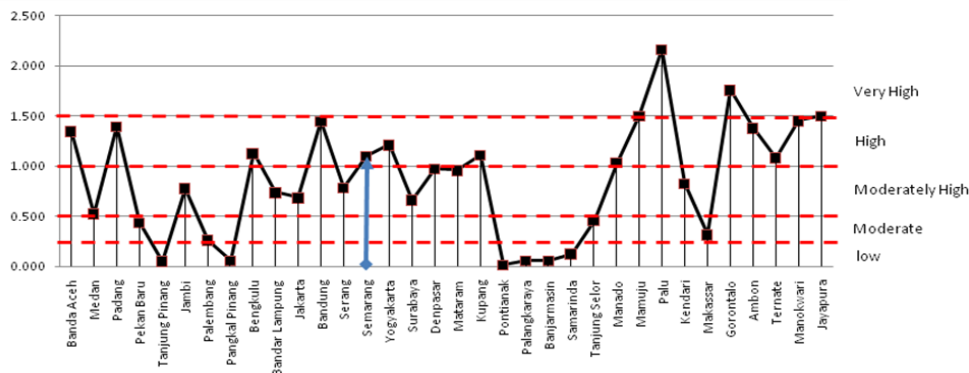
#### 4.2. KONDISI KEGEMPAAN KOTA-KOTA DI INDONESIA

Dengan peta gempa (BSN, 2012) yang terbaru, pada saat ini setiap lokasi di Indonesia memiliki parameter  $S_s$  (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan  $S_1$  (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) yang berbeda. Artinya, berpengaruh pada besar kecilnya gempa yang akan terjadi di suatu tempat. Untuk memudahkan mengidentifikasi potensi besar kecilnya gempa di suatu lokasi, FEMA 155 (FEMA, 2015) membagi dalam 5 zona gempa (tabel 4.1) yaitu :

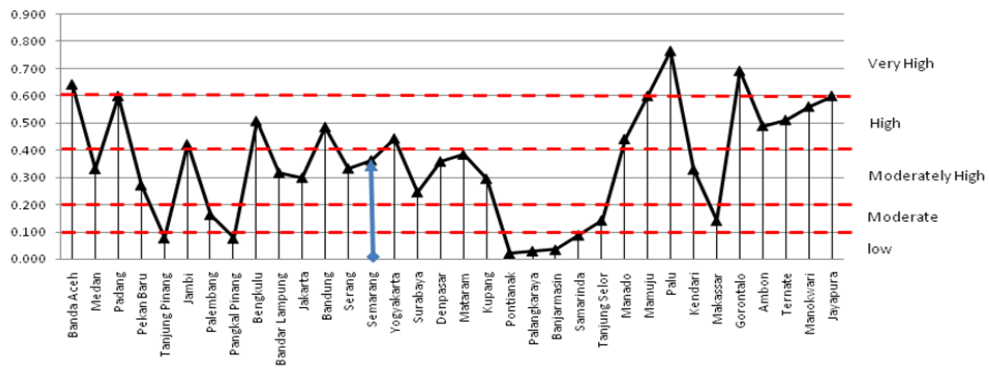
Tabel 4.1. Rentang nilai percepatan respon spektral ( $MCE_R$ ) di masing-masing zona gempa (Sumber : FEMA 2015).

Zona Gempa	Rentang nilai respon masing-masing zona	
	$S_s$ (g)	$S_1$ (g)
Rendah ( <i>Low</i> )	$S_s < 0.250g$	$S_1 < 0.100g$
Sedang ( <i>Moderate</i> )	$0.250g \leq S_s < 0.500g$	$0.100g \leq S_1 < 0.200g$
Sedang Tinggi ( <i>Moderately High</i> )	$0.500g \leq S_s < 1.000g$	$0.200g \leq S_1 < 0.400g$
Tinggi ( <i>High</i> )	$1.000g \leq S_s < 1.500g$	$0.400g \leq S_1 < 0.600g$
Sangat Tinggi ( <i>Very High</i> )	$S_s \geq 1.500g$	$S_1 \geq 0.600g$

Wilayah di Indonesia memiliki kategori zona gempa rendah s/d zona gempa sangat tinggi (gambar 4.3 dan 4.4). Sebagian besar kota-kota besar di Indonesia masuk kategori zona gempa sedang tinggi s/d sangat tinggi.



Gambar 4.3. Nilai parameter  $S_s$  kota-kota di Indonesia (sumber : diolah dari <http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain Spektra Indonesia 2011/>)



Gambar 4.4. Nilai parameter S<sub>1</sub> kota-kota di Indonesia (sumber : diolah dari [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/))

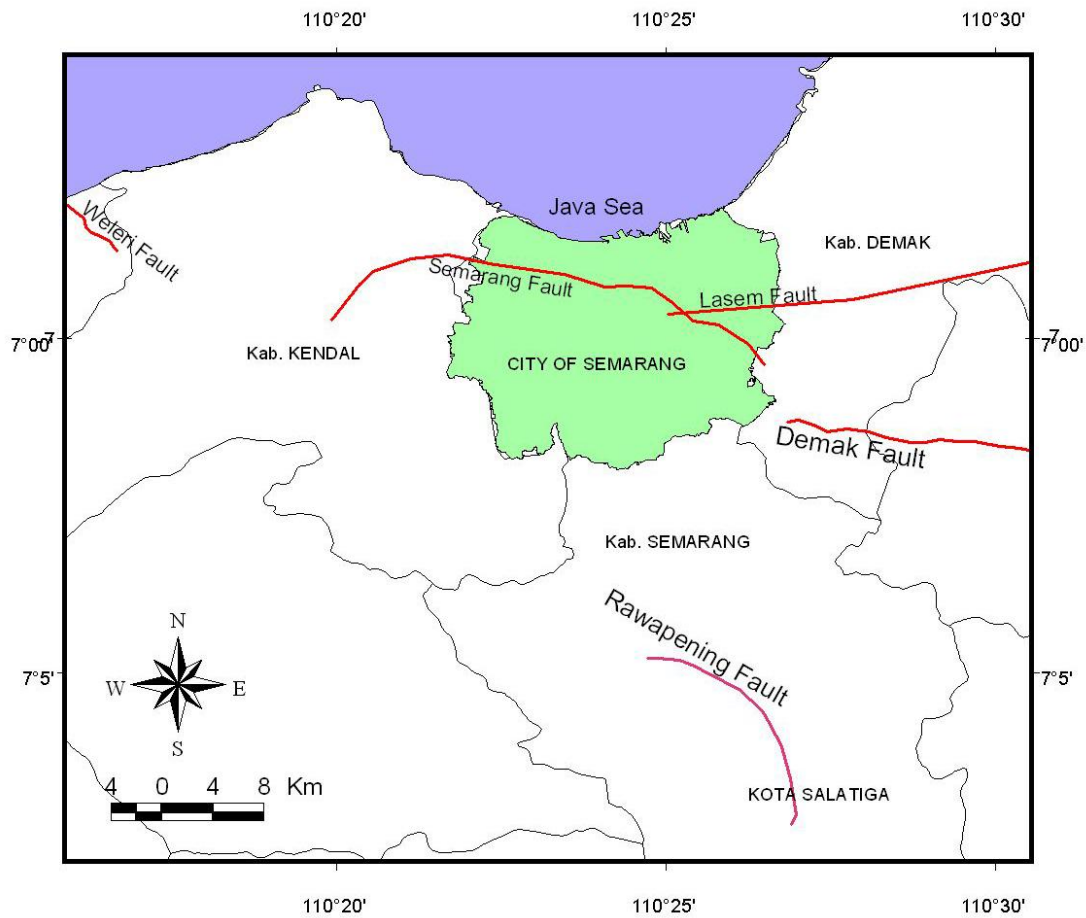
### 4.3. KONDISI KEGEMPAAN KOTA SEMARANG, IJIN MENDIRIKAN BANGUNAN (IMB) DAN TIM AHLI BANGUNAN GEDUNG (TABG) KOTA SEMARANG

Semarang termasuk 3 kota besar yang paling rawan gempa di Pulau Jawa setelah Bandung dan Yogyakarta. Oleh karena itu, Semarang sebagai kota yang memiliki potensi terjadinya gempa kuat. Tidak hanya arsitek dan ahli struktur saja yang berperan dalam mendesain bangunan harus tahan gempa, tetapi juga pihak pemerintah kota yang mempunyai kewenangan “memaksa” agar gedung yang dibangun tahan gempa melalui ketentuan regulasi. Regulasi yang biasa digunakan di Indonesia dalam mengontrol, mengatur, mengawasi serta mengendalikan terhadap setiap kegiatan membangun, memperbaiki, dan merombak/merobohkan bangunan yaitu Ijin Mendirikan Bangunan (IMB).

#### 4.3.1. KONDISI KEGEMPAAN KOTA SEMARANG

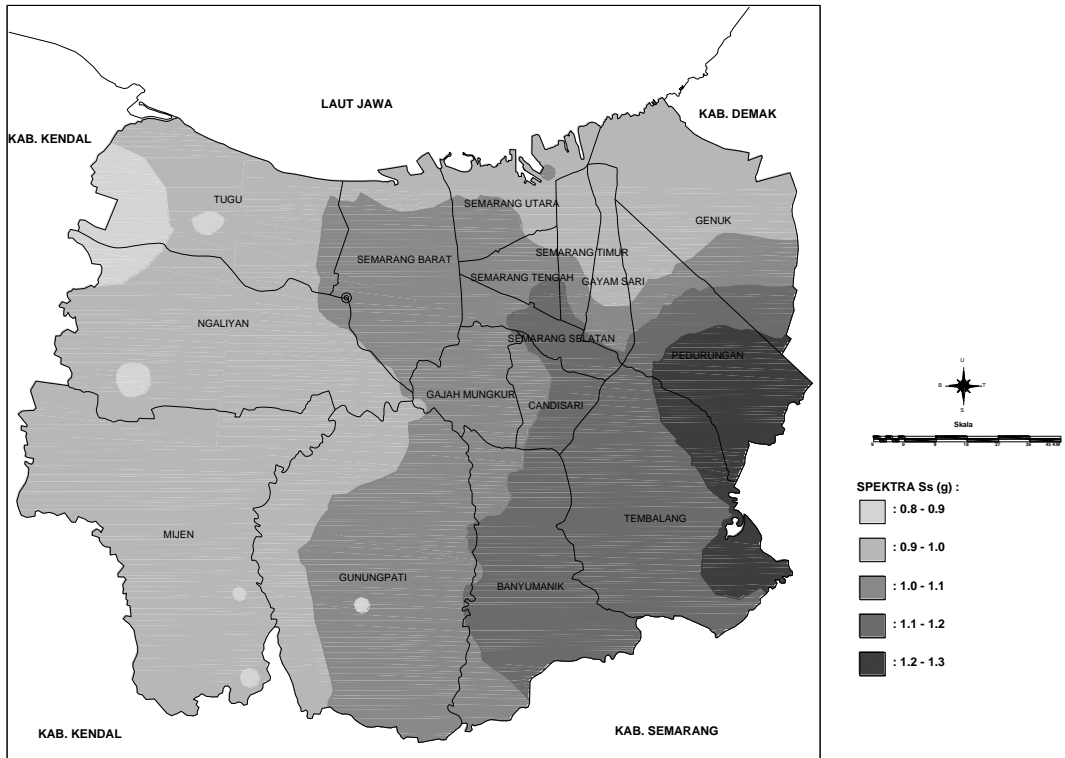
Menurut Engkon Kertapati (K.Kertapati, Sukahar and Saputra, 2010) ada 3 gempa bumi di Jawa Tengah yang memberikan dampak merusak pada bangunan dan korban jiwa di Kota Semarang yaitu gempa bumi Jepara tahun 1821, gempa bumi Semarang tahun 1856 dan gempa bumi Pati tahun 1890. Ketiga gempa tersebut disebabkan oleh Sesar Semarang dan Sesar Lasem. Berdasarkan penelitian terbaru tahun 2016 oleh Tim Revisi Peta Bencana Gempa (Partono *et al.*, 2017) sesar-sesar tersebut masih aktif dan melintasi kota Semarang secara langsung. Selain itu diketemukannya juga sesar-sesar aktif sekitar Kota Semarang yaitu sesar Weleri, sesar Demak dan sesar Rawapening yang juga semakin menambah potensi terjadi gempa besar di Kota Semarang (gambar 4.5).



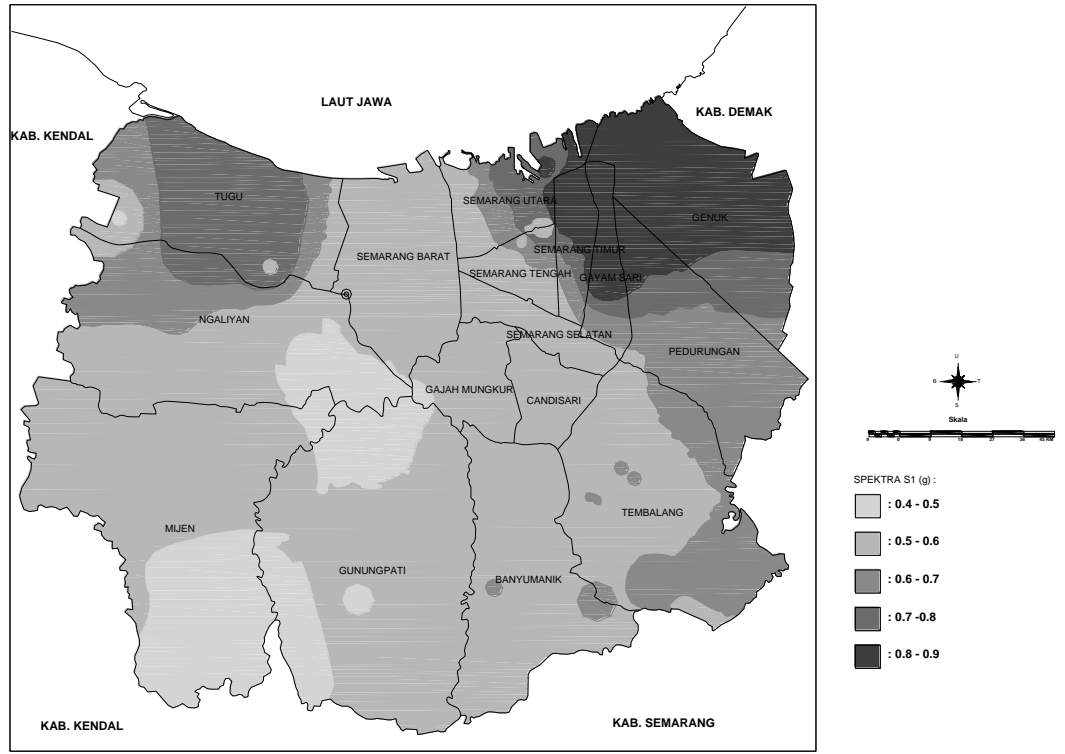


Gambar 4.5 . Sesar aktif di kota Semarang dan sekitarnya (sumber : Partono *et al.*, 2017)

Memang dengan lamanya periode gempa yang merusak pernah terjadi sehingga terlupakan dan menimbulkan pendapat orang bahwa Semarang aman dari gempa. Padahal, berdasarkan hasil mikro zonasi gempa Kota Semarang (gmb. 4.6 dan 4.7 ) oleh Windu P (Partono, 2015) dan berdasarkan prosedur SNI 1726:2012 (BSN, 2012), Kota Semarang memiliki parameter  $S_S = 0.8g - 1.3g$  dan  $S_1 = 0.4g - 0.9g$  berarti termasuk zona gempa *moderately high – high*. Artinya, hal tersebut juga menimbulkan potensi kerusakan sedang s/d berat pada bangunan (Sarkisian, 2012). Dengan kondisi rawan gempa seperti ini seharusnya seluruh perencanaan bangunan dan infrastruktur di Semarang mempertimbangkan potensi kekuatan gempa yang mungkin terjadi.



Gambar 4.6. Nilai parameter spektra  $S_s$  Kota Semarang (sumber : di gambar ulang dari Partono, 2015)



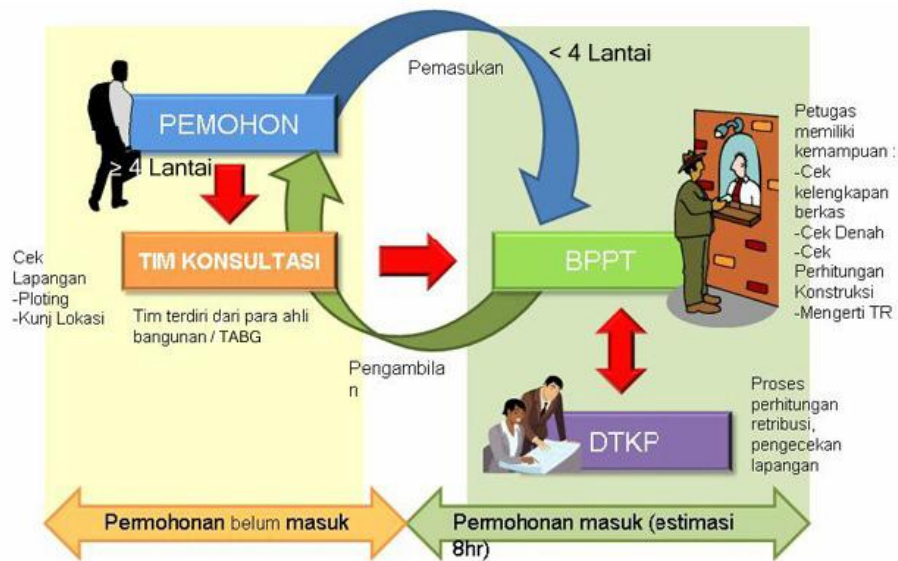
Gambar 4.7. Nilai parameter spektra  $S_1$  Kota Semarang (sumber : di gambar ulang dari Partono, 2015)

#### **4.3.2. IJIN MENDIRIKAN BANGUNAN (IMB) DAN TIM AHLI BANGUNAN GEDUNG (TABG) KOTA SEMARANG**

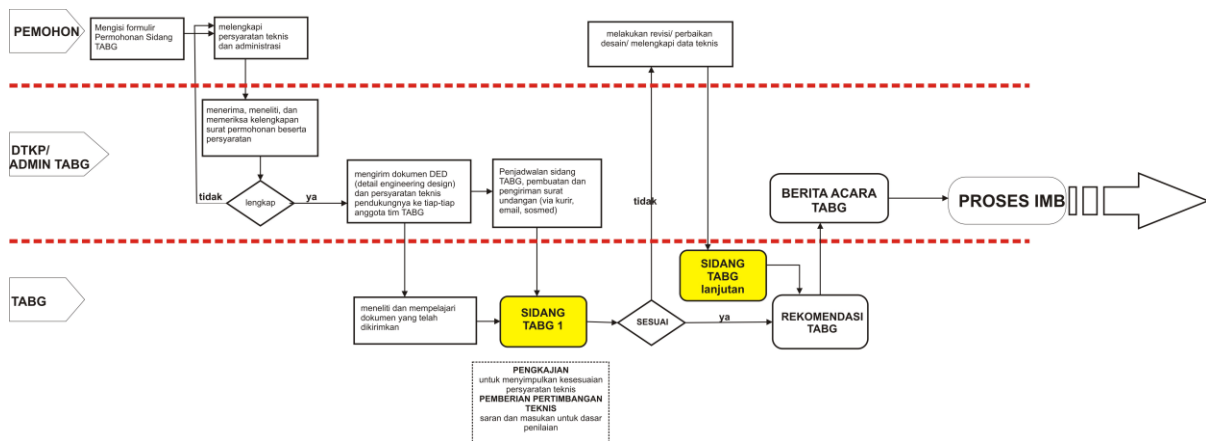
Kota Semarang sebagaimana kota besar lainnya di Indonesia seperti Jakarta, Surabaya, Bandung, Medan dan Makassar merupakan kota-kota dengan tingkat pertumbuhan infrastruktur termasuk di dalamnya pembangunan gedung-gedung bertingkat; cukup tinggi dengan jumlah dan pertumbuhan penduduk yang cukup tinggi pula. Dengan potensi terjadi gempa kuat di Kota Semarang serta jumlah penduduk dan banyaknya gedung bertingkat dapat menimbulkan potensi korban jiwa dan harta yang sangat banyak, jika gedung-gedung di Kota Semarang di bangun tidak tahan gempa. Cara yang paling memungkinkan pemerintah daerah dalam mengontrol desain bangunan terutama bangunan bertingkat agar tahan gempa adalah melalui IMB.

Di Kota Semarang IMB khusus bangunan  $\geq 4$  lantai dalam proses IMB, desain bangunan harus mendapat rekomendasi Tim Ahli Bangunan Gedung (TABG) (lihat gambar 4.8 dan 4.9). TABG merupakan amanah dari Undang-Undang no. 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung (*Undang-Undang No. 28 tentang Bangunan Gedung*, 2002). Kemudian, ditindaklanjuti dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No : 26/PRT/M/2007 tentang Pedoman Tim Ahli Bangunan Gedung (DPU Dirjen Cipta Karya, 2007). Semenjak dikeluarkannya undang-undang tersebut Kementerian PU dan seluruh provinsi, kabupaten, dan kota harus mempunyai TABG. Walaupun demikian, saat ini baru sedikit provinsi, kabupaten, dan kota yang memiliki TABG. Secara umum tugas TABG yaitu memberikan pertimbangan teknis kepada menteri PU dan pemerintah daerah berupa nasihat, pendapat, dan pertimbangan profesional pada pengesahan rencana teknis bangunan gedung untuk kepentingan umum dan bangunan gedung fungsi khusus.

TABG di Kota Semarang terdiri dari berbagai bidang ahli; yang direkrut dari berbagai instansi dan akademisi untuk masa jabatan selama 1 tahun seperti ahli arsitektur, ahli struktur, ahli geoteknik, ahli mekanikal dan ahli elektrikal dari akademisi, ahli tata kota dari dinas tata kota, ahli dari badan lingkungan hidup, ahli dari dinas kebakaran, ahli lalu lintas dan perparkiran dari dinas perhubungan, dan ahli keselamatan & kesehatan kerja (K3) dari dinas tenaga kerja.



Gambar 4.8. Alur pengurusan IMB Kota Semarang (sumber : DISTARU Kota Semarang)



Gambar 4.9. Alur rekomendasi dari TABG Kota Semarang (sumber : DISTARU Kota Semarang)

Rekomendasi dari TABG ini sifatnya komprehensif dalam pemberian pertimbangan teknis dari desain bangunan sampai dengan persyaratan teknis yang harus dipenuhi oleh suatu gedung bertingkat sehingga bangunan tidak hanya menarik, tetapi juga kuat secara struktural dan memberikan pengaruh yang positif terhadap lingkungan sekitarnya.

## **BAB V. ADAPTASI SVA *RETROFIT* JBDPA DAN SEKI MENJADI SVA DESAIN ARSITEKTUR**

Prinsip dasar bangunan tahan gempa yaitu kapasitas struktur bangunan harus lebih besar daripada beban lateral gempa. Sebaliknya, kapasitas struktur bangunan ditentukan oleh *stiffness* (kekakuan), *strength* (kekuatan), dan *ductility* (daktilitas) dari elemen struktur bangunan (balok, kolom, plat lantai, dinding geser). Perilaku bangunan dipengaruhi oleh konfigurasi bangunan yang akan memengaruhi kapasitas struktur. Untuk beban lateral gempa ditentukan oleh koefisien seismik dan berat bangunan. Prinsip-prinsip dasar bangunan tahan gempa di atas menjadi koridor dalam adaptasi SVA JBDPA dan Matsutaro Seki untuk menjadi metode evaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa dalam proses desain arsitektur atau bisa disebut SVA dsain arsitektur. Selain itu, kemudahan dan akurasi juga menjadi pertimbangan.

### **5.1. ADAPTASI INDEKS KAPASITAS STRUKTUR**

Secara umum indeks kapasitas struktur diadopsi dari prosedur yang direkomendasikan oleh Matsutaro Seki (Seki, 2015). Lalu, beberapa parameter yang terkandung dalam indeks kapasitas struktur yang tidak ada di prosedur Matsutaro Seki diadopsi dari JBDPA dan penelitian lainnya untuk melengkapi.

Untuk bangunan baru dianggap indeks waktu akibat degradasi umur bangunan dan akibat gempa tidak berpengaruh (nilai  $t=1$ ) dan yang paling berpengaruh pada bangunan baru yaitu indeks gempa dasar struktur ( $E_0$ ) serta indeks ireguleritas ( $S_D$ ).

Maka rumus indeks kapasitas gempa struktur ( $I_S$ ) menjadi yaitu :

$$I_S \geq I_{S0}$$

$$E_0 \cdot S_D \cdot (t) \geq (0.8 \cdot Z \cdot G) \cdot U \rightarrow \text{SVA RETROFIT JBDPA}$$

$$E_0 \cdot S_D \cdot (t) \geq (C_S) \cdot I_e \rightarrow \text{SVA RETROFIT SEKI}$$

$$E_0 \cdot S_D \geq (I_{CS}) \cdot I_e \rightarrow \text{SVA DISAIN ARSITEKTUR}$$

KET. :

- $t$  = Indeks waktu (degradasi kualitas str akibat umur bgn dan gempa sebelumnya)
- $Z$  = Indeks zona gempa
- $G$  = Indeks tanah
- $I_e = U$  = Faktor keutamaan fungsi bangunan

$$I_S = E_0 \cdot S_D \cdot \text{-----} \quad (5.1)$$

Di mana,  $E_0$  = Indeks gempa dasar struktur

$S_D$  = Indeks iregularitas

### 5.1.1. INDEKS GEMPA DASAR STRUKTUR RANGKA PEMIKUL MOMEN ( $E_0$ )

Beberapa pertimbangan dalam *adjustment* indeks gempa dasar struktur yaitu :

- Indeks kekuatan geser struktur berdasarkan prosedur Seki dan JBDPA merupakan perbandingan gaya geser kolom serta berat bangunan. Untuk lebih mudah dipahami dalam ranah arsitektur ketentuan di atas dimodifikasi sebagaimana rumus dibawah menjadi indeks kekuatan geser struktur yang merupakan perbandingan luas kolom dan luas kumulatif lantai. Dalam sistem penahan gaya lateral paling tidak dipengaruhi oleh redundansi, dimensi kolom, kekakuan kolom, kolom kuat/balok lemah, dan daktilitas struktur (Purwono, 2007). Berdasarkan hal tersebut, dimensi kolom/dinding geser menjadi kekuatan geser struktur utama yang dipengaruhi redundansi, kekakuan kolom, kolom kuat/balok lemah, dan daktilitas struktur.

$$C = \frac{\text{gayageser}}{\text{beratbangunan}} = \frac{\text{luas kolom}(m^2) \cdot \text{teg. geser rata-rata kolom} (\frac{kg}{m^2})}{\text{luas lantai} (m^2) \cdot \text{beban lantai} (\frac{kg}{m^2})} = \frac{\text{luas kolom}(m^2)}{\text{luas lantai} (m^2)}$$

- Kekuatan geser kolom dijabarkan perbandingan luas kolom dan lantai; redundansi dijabarkan periode getar struktur; kekakuan kolom dijabarkan rasio tinggi kolom dan lebar kolom; kolom kuat/balok lemah dijabarkan perbandingan jumlah kolom yang memenuhi *strong column-weak beam* dan jumlah seluruh kolom; serta daktilitas struktur mengadopsi prosedur Matsutaro Seki karena sudah disesuaikan dengan faktor daktilitas peraturan gempa internasional dengan memasukkan faktor modifikasi respon (R) dan faktor kuat lebih ( $\Omega_0$ ). Peraturan gempa Indonesia (SNI 1726:2012) mengadopsi peraturan gempa internasional tersebut.
- Indeks kolom dan dinding geser (I) merupakan rasio dari rata-rata kekuatan geser dari kolom/dinding geser, dan indeks daktilitas kolom/dinding geser yang dimodifikasi dari prosedur Matsutaro Seki serta JBDPA (lihat tabel 5.1).
- Distribusi gaya geser gempa pada struktur mengikuti pola semakin keatas semakin mengecil (lihat gambar 2.55d) sehingga untuk mengevaluasi kapasitas geser tingkatnya menggunakan faktor modifikasi gaya geser tingkat  $\frac{n+1}{n+i}$  prosedur JBDPA.

$$E_o = \frac{n+1}{n+i} \left( \frac{V_c}{W} \right) \cdot F \rightarrow \text{SVA RETROFIT JBDPA}$$

$$E_o = \left( \frac{V_c}{W} \right) \cdot \frac{R}{\Omega_o} \rightarrow \text{SVA RETROFIT SEKI}$$

redundansi, dimensi kolom/dinding geser, kekakuan kolom/dinding geser, kolom kuat-balok lemah dan daktilitas struktur (Purwono, 2007).

$$\frac{v}{W} = \frac{\text{luas kolom (m}^2\text{)} \times \text{teg. geser rata-rata kolom (kg/m}^2\text{)}}{\text{luas lantai (m}^2\text{)} \times \text{beban lantai (kg/m}^2\text{)}} = \frac{\text{luas kolom (m}^2\text{)}}{\text{luas lantai (m}^2\text{)}}$$

$$E_o = \frac{n+1}{n+i} (I_{Ac-i} \cdot I_{C-i} \cdot I_{SCWB-i} \cdot I_T) \cdot \frac{R}{\Omega_o} \rightarrow \text{SVA DISAIN ARST.}$$

Ket. :  
 $V_c$  = Kapasitas geser kolom  
 $F = \frac{R}{\Omega_o}$  = daktilitas  
 $W$  = berat lantai tingkat

$$E_{0-i} = \frac{n+1}{n+i} (I_{Ac-i} \cdot I_{C-i} \cdot I_{SCWB-i} \cdot I_T) \cdot \frac{R}{\Omega_o} \quad (5.2)$$

$$I_{Ac-i} = \frac{\Sigma A_c}{\Sigma A_{c\min}} \quad (5.3)$$

$$I_{C-i} = \frac{(N_{C-a} \times 0.6) + (N_{C-b} \times 0.8) + (N_{C-c} \times 1.0)}{\Sigma N_c} \quad (5.4)$$

$$I_{SCWB-i} = \frac{N_{SCWB}}{\Sigma N_c} \quad (5.5)$$

Dimana,

$E_{0-i}$  = Indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen di tingkat ke-i

$n$  = Jumlah tingkat bangunan.

$i$  = Jumlah tingkat yang dievaluasi. Di mana tingkat pertama diberi nomor 1 dan tingkat terakhir adalah  $n$ .

$\frac{n+1}{n+i}$  = faktor modifikasi kapasitas geser tingkat, mengikuti distribusi semakin ke atas

semakin mengecil (lihat gambar 2.55d).

$I_{Ac-i}$  = Indeks dimensi kolom di tingkat ke-i

$I_{C-i}$  = Indeks jenis kolom di tingkat ke-i

$I_{SCWB-i}$  = Indeks *Strong Column Weak Beam* di tingkat ke-i

$I_T$  = Indeks periode getar struktur,  $T_c \leq T_{\max} \rightarrow I_T = 1$  dan  $T_c > T_{\max} \rightarrow I_T = 0$

$T_c$  = Periode getar struktur berdasarkan perhitungan *software* (detik)

$T_{max}$  = Periode getar struktur maksimum yang diperbolehkan (detik)

$R/\Omega_0$  = Indeks daktilitas

$R$  = Faktor modifikasi respon berdasarkan SNI 1726:2012 (tabel 5.2)

$\Omega_0$  = Faktor kuat lebih SNI 1726:2012 (tabel 5.2)

$\Sigma A_C$  = luas total kolom desain ( $m^2$ )

$\Sigma A_{C\ min}$  = luas total kolom minimal ( $m^2$ ) 0.15% dari luas kumulatif area beban kolom (Ersoy, 2013), di mana minimal luas kolom 0.09  $m^2$  atau 0.3x0.3 m.

$N_{C-a}$  = jumlah jenis kolom –a (tabel 5.1)

$N_{C-b}$  = jumlah jenis kolom –b (tabel 5.1)

$N_{C-c}$  = jumlah jenis kolom –c (tabel 5.1)

0.7, 0.8, 1.0 = Indeks kolom (I) jenis kolom a, b & c (tabel 5.1)

$\Sigma N_C$  = Jumlah total kolom

$N_{SCWB}$  = Jumlah kolom yang memenuhi  $W_p\ kolom \geq 1.2 \times W_p\ balok$ ,  $W_p$  = modulus plastis,  $W_p = 0.25 \times b \times h^2$  dan  $W_p = 1/6 \times d^3$ ,  $b$  &  $h$  = dimensi lebar dan tinggi balok atau kolom,  $d$  = diameter kolom (Bisch *et al.*, 2012).

### 5.1.2. INDEKS GEMPA DASAR STRUKTUR RANGKA PEMIKUL MOMEN DAN DINDING GESER ( $E_0$ )

$$E_0 = \frac{n+1}{n+i} \left( \frac{V_C + V_{SW}}{W} \right) \cdot F \rightarrow \text{SVA RETROFIT JBDPA}$$

redundansi, dimensi kolom/dinding geser, kekakuan kolom/dinding geser, kolom kuat-balok lemah dan daktilitas struktur (Purwono, 2007).

$$\frac{V}{W} = \frac{\text{luas kolom (m}^2\text{)} \times \text{teg. geser rata-rata kolom (kg/m}^2\text{)}}{\text{luas lantai (m}^2\text{)} \times \text{beban lantai (kg/m}^2\text{)}} = \frac{\text{luas kolom (m}^2\text{)}}{\text{luas lantai (m}^2\text{)}}$$

$$E_0 = \frac{n+1}{n+i} [(I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}) + (I_{Asw-i} \cdot I_{SW-i})] \cdot I_{SCWB-i} \cdot I_T \cdot \frac{R}{\Omega_0} \rightarrow \text{SVA DISAIN ARST.}$$

Ket. :

$V_C$  = Kapasitas geser kolom

$V_{SW}$  = Kapasitas geser *shear wall*

$F = \frac{R}{\Omega_0}$  = daktilitas

$W$  = berat lantai tingkat



$$E_{0-i} = \frac{n+1}{n+i} [(I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}) + (I_{Asw-i} \cdot I_{SW-i})] \cdot I_{SCWB-i} \cdot I_T \cdot \frac{R}{\Omega_0} \text{----- (5.6)}$$

$$I_{Ac-i} = \frac{\Sigma A_C}{\Sigma A_{C \min}} \text{----- (5.7)}$$

$$I_{Asw-i} = \frac{\Sigma A_{SW}}{\Sigma A_{SW \min}} \text{----- (5.8)}$$

$$I_{C-i} = \frac{(N_{C-a} \times 0.6) + (N_{C-b} \times 0.8) + (N_{C-c} \times 1.0)}{\Sigma N_C} \text{----- (5.9)}$$

$$I_{SW-i} = \frac{(N_{SW-a} \times 1.0) + (N_{SW-b} \times 0.7) + (N_{SW-c} \times 0.3)}{\Sigma N_{SW}} \text{----- (5.10)}$$

$$I_{SCWB-i} = \frac{N_{SCWB}}{\Sigma N_C} \text{----- (5.11)}$$

Di mana,

$E_{0-i}$  = Indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dan dinding geser di tingkat ke-i

n = Jumlah tingkat bangunan.

i = Jumlah tingkat yang dievaluasi. Di mana tingkat pertama diberi nomor 1 dan tingkat terakhir adalah n.

$\frac{n+1}{n+i}$  = faktor modifikasi kapasitas geser tingkat, mengikuti distribusi semakin keatas semakin mengecil (lihat gambar 2.55d).

$I_{Ac-i}$  = Indeks dimensi kolom di tingkat ke-i (tabel 5.1)

$I_{C-i}$  = Indeks jenis kolom di tingkat ke-i.

$I_{Asw-i}$  = Indeks dimensi dinding geser di tingkat ke-i.

$I_{SW-i}$  = Indeks jenis dinding geser di tingkat ke-i.

$I_{SCWB-i}$  = Indeks *Strong Column Weak Beam* tingkat di tingkat ke-i.

$I_T$  = Indeks periode getar struktur,  $T_c \leq T_{\max} \rightarrow I_T = 1$  dan  $T_c > T_{\max} \rightarrow I_T = 0$

$T_c$  = Periode getar struktur berdasarkan perhitungan *software* (detik)

$T_{\max}$  = Periode getar struktur maksimum yang diperbolehkan (detik)

$R/\Omega_0$  = Indeks daktilitas

R = Faktor modifikasi respon berdasarkan SNI 1726:2012 (tabel 5.2)

$\Omega_0$  = Faktor kuat lebih SNI 1726:2012 (tabel 5.2)

$\Sigma A_C$  = luas total kolom desain ( $m^2$ )

$\Sigma A_{C \min}$  = luas total kolom minimal ( $m^2$ ) 0.15% dari luas kumulatif area beban kolom

(Ersoy, 2013), di mana minimal luas kolom 0.09 m<sup>2</sup> atau 0.3x0.3 m.

$\sum A_{SW}$ =luas total dinding geser disain (m<sup>2</sup>)

$\sum A_{SW \text{ min}}$ =luas total dinding geser minimal (m<sup>2</sup>) 0.12% dari luas kumulatif luas lantai  
(Ersoy, 2013).

$N_{C-a}$ =jumlah jenis kolom –a (tabel 5.1)

$N_{C-b}$ =jumlah jenis kolom –b (tabel 5.1)

$N_{C-c}$ =jumlah jenis kolom –c (tabel 5.1)

0.6, 0.8, 1.0=Indeks kolom (I) jenis a, b & c (tabel 5.1)

$N_{SW-a}$ =jumlah jenis dinding geser –a (tabel 5.1)

$N_{SW-b}$ =jumlah jenis dinding geser –b (tabel 5.1)

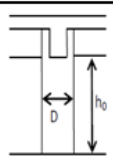

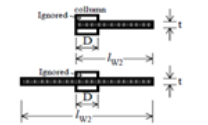
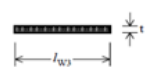
$N_{SW-c}$ =jumlah jenis dinding geser –c (tabel 5.1)

1.0, 0.7, 0.3=Indeks dinding geser (I) jenis a, b & c (tabel 5.1)

$\sum N_C$ =Jumlah total kolom

$N_{SCWB}$ =Jumlah kolom yang memenuhi  $W_p \text{ kolom} \geq 1.2 \times W_p \text{ balok}$ ,  $W_p$ =modulus plastis,  $W_p = 0.25 \times b \times h^2$  dan  $W_p = 1/6 \times d^3$ ,  $b \times h$ =dimensi lebar dan tinggi balok atau kolom,  $d$ =diameter kolom (Bisch *et al.*, 2012).

Tabel 5.1. Indeks gabungan rata-rata tegangan geser dan indeks daktilitas elemen struktur (sumber : diolah dari Seki 2015; Okada et al. 2005)

Jenis elemen struktur	Persyaratan		Rata-rata tegangan geser ( $\tau_C$ ) (N/mm <sup>2</sup> )	Indeks daktilitas ( $F_c$ )	$\tau_C * F_c$	Indeks I = $(\tau_C * F_c) / (\tau_C * F_c)_{\text{max}}$
	Tinggi bersih/dimensi kolom ; $h_0/D$	Definisi $h_0/D$				
Kolom langsing -a	$6 \leq h_0/D$		0.7	1.0	0.7	0.6
Kolom normal -b	$2 < h_0/D < 6$		1.0	1.0	1	0.8
Kolom pendek -c	$h_0/D \leq 2$		1.5	0.8	1.2	1.0
Dinding geser -a		Dibatasi 2 kolom	3.0	1.0	3	1.0
Dinding geser -b		Dibatasi 1 kolom	2.0	1.0	2	0.7
Dinding geser -c		Tanpa dibatasi kolom	1.0	1.0	1	0.3

Tabel 5.2. Faktor R dan  $\Omega_0$  untuk sistem penahan gaya gempa menurut SNI 1726:2012 (Sumber : BSN 2012)

Sistem penahan -gaya seismik	Koefisien modifikasi respon (R)	Faktor kuat lebih ( $\Omega_0$ )
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3
Sistem ganda dengan rangka pemikul momen biasa dengan dinding geser beton bertulang biasa	4½	2½
Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah dengan dinding geser beton bertulang biasa	5½	2½
Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah dengan dinding geser beton bertulang khusus	6½	2½
Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus dengan dinding geser beton bertulang biasa	6	2½
Sistem ganda dengan rangka pemikul khusus dengan dinding geser beton bertulang khusus	7	2½

## 5.2. ADAPTASI INDEKS IREGULERITAS ( $S_D$ )

Beberapa pertimbangan dalam adaptasi indeks ireguleritas yaitu :

- Secara umum pedoman konfigurasi reguler atau ireguler bangunan mengadopsi prosedur FEMA-451B (FEMA, 2007). Pedoman ini bersumber mengatur secara umum bentuk konfigurasi bangunan yang didesain oleh arsitek, sehingga lebih sesuai digunakan mengevaluasi ireguleritas bangunan dalam proses desain. Selain itu, hampir semua peraturan gempa di dunia mengadopsinya termasuk Indonesia.
- Tidak semua prosedur FEMA-451B mudah dalam operasionalnya terutama bagi arsitek dalam mengevaluasi ireguleritas bangunan pada proses desain, sehingga perlu mengadopsi kode atau peraturan gempa maupun penelitian lainnya yang telah menjabarkan lebih lanjut dalam penggunaan prosedur tersebut dan jika tidak memungkinkan dapat dilakukan penelitian tersendiri.
- Indeks ireguleritas JBDPA minimum 0.8 ( $S_{D1} \geq 0.8$ ), hal ini mungkin disebabkan konfigurasi geometri bangunan-bangunan lama di Jepang (< tahun 2000-an) yang jadi target *code* ini tidak terlalu ireguler. Berdasarkan percobaan sistem skoring JBDPA tidak terlalu cocok untuk diterapkan di Indonesia karena potensi ireguleritas bentuk bangunan di Indonesia cukup tinggi. Perlu dilakukan penyesuaian yaitu dibagi dalam 3 tingkatan skoring ( $G_1$ ) yaitu ringan=1, sedang=0.75, berat=0.5, dan tidak ada faktor *adjustment*. Jadi indeks ireguleritas merupakan perkalian antar klasifikasi item konfigurasi ireguler dengan masing-masing tingkat penilaiannya. Untuk penentuan persyaratan tingkatan penilaian masing-masing item konfigurasi ireguler dengan mempertimbangkan beberapa

kode atau peraturan gempa di dunia dari hasil penelitian lainnya atau jika tidak memungkinkan dilakukan penelitian tersendiri.

$$\begin{aligned}
 S_D &= 1 \text{ (reguler)} && \rightarrow \text{SVA RETROFIT SEKI} \\
 S_{D1} &= q_{1a} \times q_{1b} \times \dots \times q_{1j} && \rightarrow \text{SVA RETROFIT JBDPA} \\
 & q_{ij} = [1 - (1 - G_i) \times R_{ij}] \text{ ----- } i = \text{item a, b, c, d, e, f, i, j} \\
 S_D &= q_a \times q_b \times \dots \times q_k && \rightarrow \text{SVA DISAIN ARSITEKTUR} \\
 \text{Ket. :} & & & \\
 & \bullet G_1 = \text{Faktor tingkatan penilaian (1, 0.9 \& 0.8)} \\
 & \bullet R_{ij} = \text{Faktor } \textit{adjustment} \text{ item-item penilaian (0.25, 0.5 \& 1)} \\
 & \bullet i = \text{item-item penilaian}
 \end{aligned}$$

$$S_{D-i} = q_a \times q_b \times \dots \times q_i \text{ ----- (5.12)}$$

Di mana,

$S_{D-i}$  = Indeks ireguleritas di tingkat ke-i

$q_a \dots q_i$  = Item konfigurasi ireguler a s/d i ditingkat -i.

### 5.2.1. KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN TORSI

Torsi terjadi akibat pusat massa dan pusat kekakuan tidak berimpit sehingga menimbulkan eksentrisitas (e) yang dapat menyebabkan puntiran/torsi pada bangunan. Walaupun demikian, denah bangunan berbentuk regular tetapi perbedaan susunan, dimensi dan material balok, kolom, dinding geser, dinding bata, void pada lantai serta distribusi beban terhadap bangunan dapat menyebabkan torsi pada bangunan. Untuk penentuan persyaratan tingkatan penilaian eksentrisitas suatu bangunan yaitu :

$$e_{r-i} = e_i / w_i \text{ ----- (5.13)}$$

Di mana :  $e_{r-i}$  = rasio antara panjang eksentrisitas ( $e_i$ ) tingkat ke -i dan lebar bangunan ( $w_i$ ) tingkat ke -i.

Tabel 5.3. Tingkatan kualitas rasio eksentrisitas ( $e_{r-i}$ )

Sumber	Tingkatan kualitas		
	1.0	0.75	0.5
JBDPA (Okada <i>et al.</i> , 2005)	$e_{r-i} \leq 0.1$	$0.1 < e_{r-i} < 0.3$	$e_{r-i} \geq 0.3$

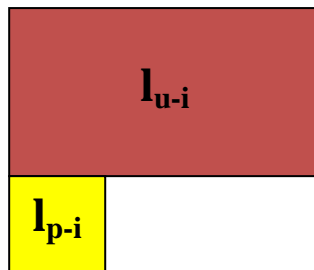
### 5.2.2. KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN SUDUT DALAM

Efek konfigurasi bangunan akibat gempa dapat menimbulkan deformasi bangunan yang tidak seragam sehingga menimbulkan konsentrasi tegangan terhadap sudut-sudut dalam bangunan dan menimbulkan torsi pada bangunan.

Untuk penentuan persyaratan tingkatan penilaian ketidakberaturan sudut dalam suatu bangunan yaitu :

$$b_{r-i} = l_{p-i}/l_{u-i} \text{ ----- (5.14)}$$

Di mana :  $b_{r-i}$  = rasio luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan ( $l_{p-i}$ ) tingkat ke  $-i$  dan luas lantai bangunan utama tingkat ke  $-i$  ( $l_{u-i}$ ).



Gambar 5.1. luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan ( $l_{p-i}$ ) tingkat ke  $-i$  dan luas lantai bangunan utama tingkat ke  $-i$  ( $l_{u-i}$ ).

Tabel 5.4. Tingkatan kualitas rasio dimensi bangunan ( $b_{r-i}$ ) konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam

Sumber	Tingkatan kualitas		
	1.0	0.75	0.5
JBDPA (Okada <i>et al.</i> , 2005)	$b_{r-i} \leq 10\%$	$10\% < b_{r-i} \leq 30\%$	$b_{r-i} > 30\%$
NZSEE (2006)	Seluruh sayap, panjang/lebar $\leq 3$	Salah satu sayap, panjang/lebar $> 3$	Dua atau lebih sayap, panjang/lebar $> 3$
Rekomendasi	Seluruh sayap $b_{r-i} \leq 10\%$	Salah satu sayap $10\% < b_{r-i} \leq 30\%$	Dua atau lebih sayap $b_{r-i} > 30\%$

### 5.2.3. KONFIGURASI DISKONTINUITAS DIAFRAGMA

Lubang pada lantai akibat void, shaft, tangga, lift, eskalator dan lainnya harus dibatasi karena konfigurasi seperti ini akan mengurangi integritas lantai dalam menahan beban gempa dan menyalurkan beban gempa ke elemen-elemen struktur lainnya (balok, kolom dan dinding geser).

Untuk penentuan persyaratan tingkatan penilaian diskontinuitas diafragma suatu bangunan yaitu :

$$e_{v-i} = \sum l_{b-i} / \sum l_{l-i} \text{ ----- (5.15)}$$

Di mana :  $e_{v-i}$  = rasio luas lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll tingkat ke  $-i$  ( $l_{b-i}$ ) dan luas lantai tingkat ke  $-i$  ( $l_{l-i}$ ).

Tabel 5.5. Tingkatan kualitas rasio lubang bukaan ( $e_{v-i}$ ) konfigurasi diskontinuitas diafragma

Sumber	Tingkatan kualitas		
	1.0	0.75	0.5
JBDPA (Okada <i>et al.</i> , 2005)	$e_{v-i} \leq 0.1$	$0.1 < e_{v-i} < 0.3$	$e_{v-i} \geq 0.3$

#### 5.2.4. KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN SISTEM NONPARALEL

Balok, kolom, dan dinding geser yang tidak disusun mengikuti aksis ortogonal akan membentuk konfigurasi ketidakberaturan sistem nonparalel. Konfigurasi seperti ini dapat mengarahkan torsi, translasi diagonal, dan kerusakan lokal pada bangunan. Untuk penentuan persyaratan tingkatan penilaian ketidakberaturan sistem non paralel suatu bangunan yaitu :

$$j_{r-i} = \frac{\sum j_i}{\sum j_{t-i}} \text{-----} (5.16)$$

Di mana,  $j_{r-i}$  = rasio jumlah elemen balok, kolom dan/atau dinding geser yang tidak mengikuti aksis ortogonal ( $\sum j_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan jumlah total elemen balok, kolom dan/atau dinding geser tingkat ke  $-i$  ( $\sum j_{t-i}$ ).

Tabel 5.6. Tingkatan kualitas rasio jumlah elemen balok & kolom ( $j_{r-i}$ ) konfigurasi ketidakberaturan sistem nonparalel

Sumber	Tingkatan kualitas		
	1.0	0.75	0.5
Rekomendasi	$j_{r-i} < 30\%$	$30\% \leq j_{r-i} \leq 50\%$	$j_{r-i} > 50\%$

#### 5.2.5. KONFIGURASI *SOFT STORY* / TINGKAT LUNAK

Konfigurasi ketidakberaturan kekakuan adalah berkurangnya kekakuan lateral secara tiba-tiba pada suatu tingkat / *soft story*. Kondisi seperti ini bisa terjadi ditingkat manapun, tetapi yang paling kritis ketika terjadi di lantai pertama, sebab gaya geser gempa yang paling besar terjadi di level tersebut. Karakteristik esensial dari tingkat lunak ini adalah adanya suatu tingkat yang mengalami diskontinuitas kekakuan. Untuk mengevaluasi suatu bangunan termasuk konfigurasi ini dengan rumus pendekatan yaitu :

$$l_{r-i} = l_{i+1} / l_i \text{-----} (5.17)$$

Di mana :  $I_{r-i}$  = rasio tinggi kolom/dinding geser satu tingkat dari tingkat  $-i$  ( $I_{i+1}$ ) dan tinggi kolom ditingkat  $-i$  ( $I_i$ ).

Tabel 5.7. Tingkatan kualitas rasio tinggi kolom ( $I_{r-i}$ ) konfigurasi tingkat lunak

Sumber	Tingkatan kualitas		
	1.0	0.75	0.5
JBDPA (Okada <i>et al.</i> , 2005)	$I_{r-i} \geq 0.8$	$0.7 \leq I_{r-i} < 0.8$	$I_{r-i} < 0.7$

### 5.2.6. KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN BERAT/MASSA

Distribusi beban yang tidak merata pada suatu lantai atau lantai di bawah maupun di atasnya akan membentuk konfigurasi ketidakberaturan berat/massa. Konfigurasi seperti ini dapat menyebabkan torsi dan deformasi berlebihan pada bangunan.

Untuk penentuan persyaratan tingkatan penilaian ketidakberaturan berat/massa suatu bangunan yaitu :

$$m_{r-i} = \sum m_i / \sum m_{i+1} \text{ ----- (5.18)}$$

Di mana :  $m_{r-i}$  = rasio massa lantai ditingkat  $-i$  ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat  $-i$  ( $m_{i+1}$ ).

Tabel 5.8. Tingkatan kualitas rasio massa lantai ( $m_{r-i}$ ) konfigurasi ketidakberaturan berat/massa

Sumber	Tingkatan kualitas		
	1.0	0.75	0.5
NZSEE (2006)	$m_{r-i} \leq 100\%$	$100\% < m_{r-i} \leq 150\%$	$m_{r-i} > 150\%$

### 5.2.7. KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN GEOMETRI VERTIKAL

Bangunan *setback* termasuk bangunan ireguler karena pusat massa dan pusat kekakuan tidak berimpit secara vertikal. Massa dan kekakuan baik arah horisontal maupun arah vertikal tidak terdistribusi secara merata. Problem akan terjadi pada daerah peralihan kekakuan dari kekakuan yang besar terhadap bagian bawah kekakuan yang relatif kecil pada bagian atas. Diskontinuitas seperti ini mengarahkan pada konsentrasi tegangan diperbatasan tingkat antara tower dan podium.

Untuk penentuan persyaratan tingkatan penilaian ketidakberaturan geometri vertikal suatu bangunan yaitu :

$$s_{r-i} = A_i / L_i \text{ ----- (5.19)}$$

Di mana,  $s_{r-i}$  = rasio panjang bangunan ( $L_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan panjang *setback* bangunan ( $A_i$ ) tingkat ke  $-i$ .

Tabel 5.9. Tingkatan kualitas rasio panjang bangunan dan setback ( $S_{r-i}$ ) konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal

Sumber	Tingkatan kualitas		
	1.0	0.75	0.5
Bureau Of Indian Standards (BIS, 2002)	$s_{r-i} < 0.1$	-	-
FEMA 451B (FEMA, 2007)	-	-	$s_{r-i} > 0.3$
Rekomendasi	$s_{r-i} \leq 0.1$	$0.1 < s_{r-i} < 0.3$	$s_{r-i} \geq 0.3$

### 5.2.8. KONFIGURASI DISKONTINUITAS KETIDAKBERATURAN KUAT LATERAL TINGKAT / *WEAK STORY*

Konfigurasi ini merupakan diskontinuitas kapasitas lateral struktur kolom dan dinding geser. Kasus yang sering terjadi pada konfigurasi tingkat lemah / *weak story* yaitu tidak memadainya dimensi ukuran kolom, sehingga ketika terjadi gempa dengan cepat tidak bisa bertahan lama langsung mengalami kegagalan tekuk.

Untuk penentuan persyaratan tingkatan penilaian ketidakberaturan kuat lateral tingkat yaitu :

$$a_{r-i} = (\sum a_e)_i / (\sum a_e)_{i+1} \text{ ----- (5.20)}$$

Di mana,  $a_{r-i}$  = rasio luas kolom dan/atau dinding geser ditingkat  $-i$  ( $\sum a_e$ ) <sub>$i$</sub>  dan luas kolom dan/atau dinding geser satu tingkat dari tingkat  $-i$  ( $\sum a_e$ ) <sub>$i+1$</sub> .

Tabel 5.10. Tingkatan kualitas rasio luas kolom ( $a_{r-i}$ ) konfigurasi tingkat lemah

Sumber	Tingkatan kualitas		
	1.0	0.75	0.5
Turkish Earthquake Code (2007)	$a_{r-i} > 0.8$	$0.65 \leq a_{r-i} \leq 0.8$	$a_{r-i} < 0.65$

### 5.2.9. KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN PERGESERAN MELINTANG TERHADAP BIDANG & DISKONTINUITAS ARAH BIDANG

Konfigurasi ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang dan diskontinuitas arah bidang yang paling sering terjadi di Indonesia yaitu akibat penggunaan dinding bata sebagai batas pemisah ruangan yang disusun kurang teratur dan kadang tidak menerus ke tingkat atas/bawah sehingga terputusnya jalur beban,



terjadi perbedaan kekakuan, dan eksentrisitas antar tingkat. Untuk mengevaluasi apakah keberadaan dinding bata bisa meningkatkan kekakuan atau malah menimbulkan potensi *softstory* dengan rumus yaitu :

$$d_{r-i} = \Sigma d_i / \Sigma l_i \text{-----} (5.21)$$

Di mana,  $d_{r-i}$  = rasio kepadatan dinding (%),  $\Sigma d_i$  = luas dinding bata lantai tingkat ke -i dan  $\Sigma l_{tot-i}$  = Luas lantai di lantai tingkat ke -i.

Tabel 5.11. Tingkatan kualitas rasio kepadatan dinding ( $d_{r-i}$ ) konfigurasi ketidakberaturan bidang

Sumber	Tingkatan kualitas		
	1.0	0.75	0.5
Alwashali & Maeda (2012)	$d_{r-i} > 1.5\%$	$1\% \leq d_{r-i} \leq 1.5\%$	$d_{r-i} < 1\%$
Boen et al. (2014)	-	$d_{r-i} \geq 1\%$	$d_{r-i} < 1\%$
Rekomendasi	$d_{r-i} > 1.5\%$	$1\% \leq d_{r-i} \leq 1.5\%$	$d_{r-i} < 1\%$

Tabel 5.12. Rekapitulasi indeks ireguleritas di tingkat -i ( $S_{D-i}$ )

			Gi (Tingkatan kualitas)		
			1.0	0.75	0.5
Ireguleritas Horizontal	a	Konfigurasi ketidakberaturan torsi	$e_{r-i} \leq 0.1$	$0.1 < e_{r-i} < 0.3$	$e_{r-i} \geq 0.3$
	b	Konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam	Seluruh sayap $b_{r-i} \leq 10\%$	Salah satu sayap $10\% < b_{r-i} \leq 30\%$	Dua atau lebih sayap $b_{r-i} > 30\%$
	c	Konfigurasi ketidakberaturan diskontinuitas diafragma	$e_{v-i} \leq 0.1$	$0.1 < e_{v-i} < 0.3$	$e_{v-i} \geq 0.3$
	d	Konfigurasi ketidakberaturan sistem paralel	$j_{r-i} < 30\%$	$30\% \leq j_{r-i} \leq 50\%$	$j_{r-i} > 50\%$
Ireguleritas Vertikal	e	Konfigurasi ketidakberaturan kekakuan	$l_{r-i} \geq 0.8$	$0.7 \leq l_{r-i} < 0.8$	$l_{r-i} < 0.7$
	f	Konfigurasi ketidakberaturan berat/massa	$m_{r-i} < 100\%$	$100\% \leq m_{r-i} \leq 150\%$	$m_{r-i} > 150\%$
	g	Konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal / setback	$s_{r-i} \leq 0.1$	$0.1 < s_{r-i} < 0.3$	$s_{r-i} \geq 0.3$
	h	Konfigurasi ketidakberaturan diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat	$a_{r-i} \geq 0.8$	$0.65 \leq a_{r-i} < 0.8$	$a_{r-i} < 0.65$
Ireguleritas Horizontal & Vertikal	i	Konfigurasi ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang & diskontinuitas arah bidang	$d_{r-i} > 1.5\%$	$1\% \leq d_{r-i} \leq 1.5\%$	$d_{r-i} < 1\%$

### 5.3. ADAPTASI INDEKS BEBAN LATERAL GEMPA ( $I_{SO}$ )

Untuk indeks beban lateral gempa diadopsi dari beberapa prosedur dengan pertimbangan sebagai berikut :

- Secara umum untuk indeks beban lateral gempa diadopsi dari prosedur Matsutaro Seki (Seki, 2015) karena sudah disesuaikan dengan peraturan gempa internasional-IBC2000 (ICC, 2000) dan Indonesia mengadopsi peraturan tersebut.
- Untuk koefisien respon seismik ( $C_s$ ) dan faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) mengadopsi SNI 1726:2012.
- Di indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dan dinding geser, kekuatan lateralnya terletak pada perbandingan luas kolom desain/luas kolom minimum atau luas kolom+ dinding geser desain/ luas kolom+ dinding geser desain. Di indeks beban lateral gempa mengikuti juga pola tersebut yaitu kekuatan intensitas gempa terletak pada perbandingan koefisien respon seismik desain/ koefisien respon seismik minimum.
- Distribusi gaya gempa pada struktur mengikuti pola semakin ke atas semakin membesar (lihat gambar 2.55b) sehingga untuk mengevaluasi distribusi gaya gempa tingkatnya menggunakan faktor modifikasi gaya geser tingkat yang semakin ke atas semakin membesar  $\frac{n+i}{2n-i+1}$  kebalikan dari faktor modifikasi

gaya geser tingkat  $\frac{n+i}{n+1}$ .

$$I_{SO} = (0.8.Z.G).U \rightarrow \text{SVA RETROFIT JBDPA}$$

$$I_{SO} = (C_s).I_e \rightarrow \text{SVA RETROFIT SEKI}$$

$$I_{SO} = \frac{n+i}{2n-i+1} (I_{CS}).I_e \rightarrow \text{SVA DISAIN ARSITEKTUR}$$

Ket. :  
 $U = I_e =$  Faktor keutamaan fungsi bangunan

$$I_{SO-i} = \frac{n+i}{2n-i+1} (I_{CS}. I_e) \text{-----} (5.22)$$

$$I_{CS} = \frac{C_s}{C_{S\min}} \text{-----} (5.23)$$

Di mana,

$I_{SO}$  = Indeks beban lateral gempa di tingkat -i

n = Jumlah tingkat bangunan.

i = Jumlah tingkat yang dievaluasi. Di mana tingkat pertama diberi nomor 1

dan tingkat terakhir adalah n.

$\frac{n+i}{2n-i+1}$  = faktor modifikasi gaya gempa tingkat, mengikuti distribusi semakin ke

atas semakin membesar (lihat gambar 2.55b).

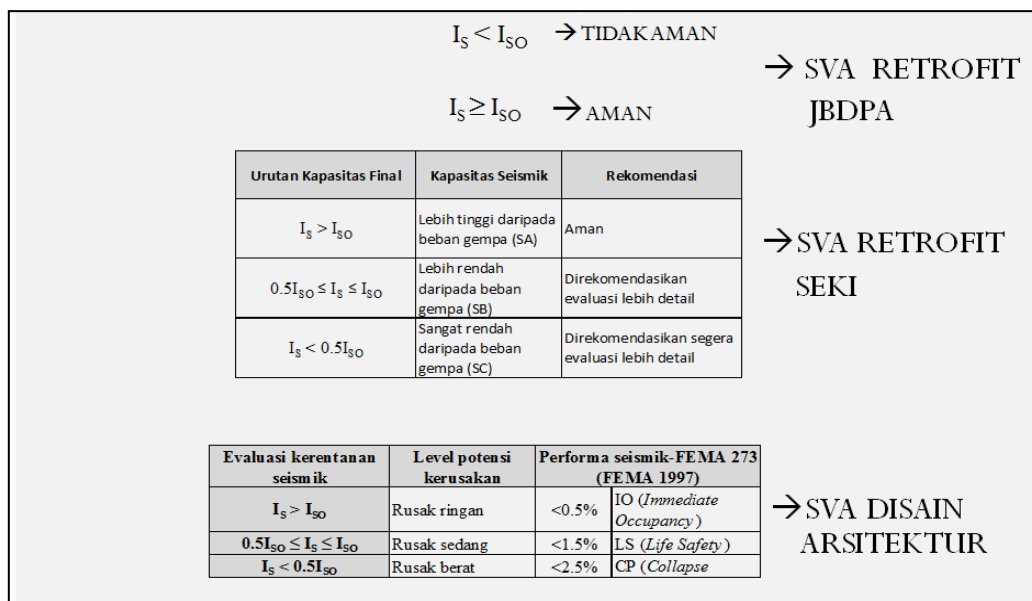
$C_S$  = Koefisien respon seismik desain berdasarkan SNI 1726:2012 (rumus 2.16 s/d 2.19)

$C_{S\ min}$  = Koefisien respon seismik minimum  $S_S=0.25g$  dan  $S_1=0.1g$  berdasarkan FEMA 155 (FEMA 2015) atau wilayah 2 SNI 1726:2002

$I_{CS}$  = Indeks respon seismik

$I_e$  = Faktor keutamaan fungsi bangunan berdasarkan tabel 1 & 2 SNI 1726:2012 atau tabel 1 SNI 1726:2002

#### 5.4. ADAPTASI INDEKS KAPASITAS GEMPA STRUKTUR ( $I_S$ ) VS INDEKS BEBAN LATERAL GEMPA ( $I_{SO}$ )



Sebagaimana yang telah disebutkan sebelumnya bahwa prinsip dasar bangunan tahan gempa yaitu kapasitas lateral struktur bangunan harus lebih besar daripada beban lateral gempa atau menurut rumus yaitu :

$$I_{S-i} \geq I_{SO-i} \text{-----} (5.24)$$

Di mana,  $I_S$  = Indeks kapasitas gempa struktur di tingkat -i

$I_{SO}$  = Indeks beban (*demand*) gempa di tingkat -i

Untuk mengevaluasi kerentanan suatu struktur bangunan dengan membandingkan antara tingkatan indeks kapasitas struktur terhadap indeks beban lateral gempa dan

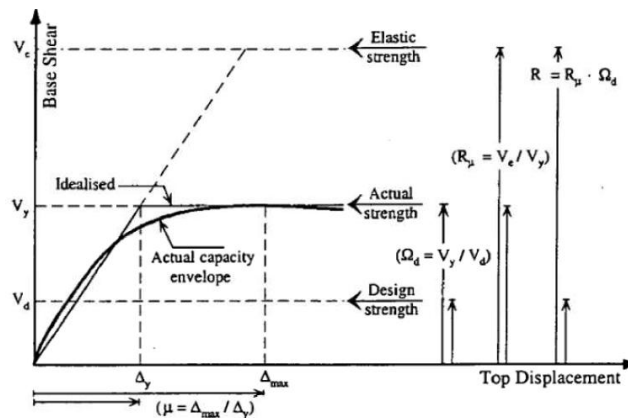
masing-masing tingkatan dapat diketahui kemungkinan level kerusakan bangunan (tabel 5.13).

Menghubungkan kriteria evaluasi kerentanan seismik Seki dengan performa seismik FEMA 273 karena ada kemiripan level potensi kerusakan dan untuk memudahkannya serta membandingkannya dengan hasil analisis *pushover*.

Tabel 5.13. Rekomendasi evaluasi potensi kerentanan seismik berdasarkan performa seismik (sumber : modifikasi prosedur Seki 2015)

Evaluasi kerentanan seismik	Level potensi kerusakan	Performa seismik-FEMA 273 (FEMA 1997)	
$I_S > I_{S0}$	Rusak ringan	<0.5%	IO ( <i>Immediate Occupancy</i> )
$0.5I_{S0} \leq I_S \leq I_{S0}$	Rusak sedang	<1.5%	LS ( <i>Life Safety</i> )
$I_S < 0.5I_{S0}$	Rusak berat	<2.5%	CP ( <i>Collapse Prevention</i> )

Jika mempertimbangkan mengenai perhitungan gaya geser dasar prosedur SVA yang dibuat masih dalam taraf *design strength* (lihat gambar 5.1) maka performa seismik bangunan yang diharapkan terjadi dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO).



Gambar 5.2. Gaya geser dasar vs simpangan atap pada tingkat kekuatan disain, inelastis/aktual dan elastis (sumber : Seki 2015)

## 5.5. TEMUAN ADAPTASI SVA *RETROFIT* JBDPA DAN SEKI MENJADI SVA DESAIN ARSITEKTUR

Berdasarkan analisis proses adaptasi SVA retrofit JBDPA dan Seki menjadi SVA Desain Arsitektur di atas didapatkan temuan-temuan yaitu :

Tabel 5.14. Temuan metode evaluasi kerentanan bangunan struktur rangka pemikul momen, dan struktur rangka pemikul momen & dinding geser terhadap gempa

NO	TEMUAN	FORMULA																
1.	Metode mengevaluasi kerentanan bangunan struktur rangka pemikul momen terhadap gempa	Perbandingan kapasitas lateral struktur bangunan dan beban lateral gempa : $I_s \geq I_{SO}$																
		Kapasitas lateral struktur rangka pemikul momen : $I_s = \frac{n+1}{n+i} \left[ (I_{Ac-i} \cdot I_{C-i} \cdot I_{SCWB-i} \cdot I_T \cdot \frac{R}{\Omega_0}) \right] S_D$																
		Beban lateral gempa : $I_{SO} = \frac{n+i}{2n-i+1} I_{CS} \cdot I_e$																
		Level potensi kerentanan seismik berdasarkan perbandingan kapasitas lateral struktur bangunan dan beban lateral gempa :																
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Evaluasi kerentanan seismik</th> <th>Level potensi kerusakan</th> <th colspan="2">Performa seismik-FEMA 273 (FEMA 1997)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>I_s &gt; I_{SO}</math></td> <td>Rusak ringan</td> <td>&lt;0.5%</td> <td>IO (Immediate Occupancy)</td> </tr> <tr> <td><math>0.5I_{SO} \leq I_s \leq I_{SO}</math></td> <td>Rusak sedang</td> <td>&lt;1.5%</td> <td>LS (Life Safety)</td> </tr> <tr> <td><math>I_s &lt; 0.5I_{SO}</math></td> <td>Rusak berat</td> <td>&lt;2.5%</td> <td>CP (Collapse Prevention)</td> </tr> </tbody> </table>	Evaluasi kerentanan seismik	Level potensi kerusakan	Performa seismik-FEMA 273 (FEMA 1997)		$I_s > I_{SO}$	Rusak ringan	<0.5%	IO (Immediate Occupancy)	$0.5I_{SO} \leq I_s \leq I_{SO}$	Rusak sedang	<1.5%	LS (Life Safety)	$I_s < 0.5I_{SO}$	Rusak berat	<2.5%	CP (Collapse Prevention)
Evaluasi kerentanan seismik	Level potensi kerusakan	Performa seismik-FEMA 273 (FEMA 1997)																
$I_s > I_{SO}$	Rusak ringan	<0.5%	IO (Immediate Occupancy)															
$0.5I_{SO} \leq I_s \leq I_{SO}$	Rusak sedang	<1.5%	LS (Life Safety)															
$I_s < 0.5I_{SO}$	Rusak berat	<2.5%	CP (Collapse Prevention)															
2.	Metode mengevaluasi kerentanan bangunan struktur rangka pemikul momen dan dinding geser terhadap gempa	Perbandingan kapasitas lateral struktur bangunan dan beban lateral gempa : $I_s \geq I_{SO}$																
		Kapasitas lateral struktur rangka pemikul momen & dinding geser : $I_s = \frac{n+1}{n+i} \left[ [(I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}) + (I_{Asw-i} \cdot I_{SW-i})] \cdot I_{SCWB-i} \cdot I_T \cdot \frac{R}{\Omega_0} \right] S_D$																
		Beban lateral gempa : $I_{SO} = \frac{n+i}{2n-i+1} I_{CS} \cdot I_e$																
		Level potensi kerentanan seismik berdasarkan perbandingan kapasitas lateral struktur bangunan dan beban lateral gempa :																
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Evaluasi kerentanan seismik</th> <th>Level potensi kerusakan</th> <th colspan="2">Performa seismik-FEMA 273 (FEMA 1997)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>I_s &gt; I_{SO}</math></td> <td>Rusak ringan</td> <td>&lt;0.5%</td> <td>IO (Immediate Occupancy)</td> </tr> <tr> <td><math>0.5I_{SO} \leq I_s \leq I_{SO}</math></td> <td>Rusak sedang</td> <td>&lt;1.5%</td> <td>LS (Life Safety)</td> </tr> <tr> <td><math>I_s &lt; 0.5I_{SO}</math></td> <td>Rusak berat</td> <td>&lt;2.5%</td> <td>CP (Collapse Prevention)</td> </tr> </tbody> </table>	Evaluasi kerentanan seismik	Level potensi kerusakan	Performa seismik-FEMA 273 (FEMA 1997)		$I_s > I_{SO}$	Rusak ringan	<0.5%	IO (Immediate Occupancy)	$0.5I_{SO} \leq I_s \leq I_{SO}$	Rusak sedang	<1.5%	LS (Life Safety)	$I_s < 0.5I_{SO}$	Rusak berat	<2.5%	CP (Collapse Prevention)
Evaluasi kerentanan seismik	Level potensi kerusakan	Performa seismik-FEMA 273 (FEMA 1997)																
$I_s > I_{SO}$	Rusak ringan	<0.5%	IO (Immediate Occupancy)															
$0.5I_{SO} \leq I_s \leq I_{SO}$	Rusak sedang	<1.5%	LS (Life Safety)															
$I_s < 0.5I_{SO}$	Rusak berat	<2.5%	CP (Collapse Prevention)															

Tabel 5.15. Perbandingan kriteria evaluasi kerentanan bangunan terhadap dengan metode RVS, SVA JBDPA, SVA Seki, SVA Disain Arsitektur dan Analisa Pushover

NO.	KRITERIA EVALUASI	RVS	SVA JBDPA	SVA SEKI	SVA DISAIN ARSITEKTUR	ANALISA STRUKTUR & PUSHOVER
1.	TAHAP EVALUASI KERENTANAN DALAM PROSES DISAIN ARSITEKTUR	TAHAP PRA-DISAIN	TAHAP DED	TAHAP DED	TAHAP PENGEMBANGAN DISAIN & TAHAP DED	TAHAP DED
2.	KERENTANAN YANG DI EVALUASI JUMLAH TINGKAT YANG DI EVALUASI	KONFIGURASI GEOMETRI LOWRISE, MIDDLE RISE & HIGHRISE	STRUKTUR LOWRISE & MIDDLE RISE	STRUKTUR LOWRISE & MIDDLE RISE	STRUKTUR & KONFIGURASI GEOMETRI LOWRISE & MIDDLE RISE	STRUKTUR & KONFIGURASI GEOMETRI TIDAK TERBATAS
3.	MENGEVALUASI KERENTANAN PERLANTAI ATAU BLOK GEDUNG	GEDUNG	LANTAI PERLANTAI	HANYA LANTAI 1	LANTAI PERLANTAI	GEDUNG
4.	JENIS STRUKTUR YANG BISA DI EVALUASI	SELURUH JENIS STRUKTUR BETON BERTULANG & BAJA	STRUKTUR PEMIKUL MOMEN DAN KOMBINASI STRUKTUR PEMIKUL MOMEN & DINDING GESER BETON BERTULANG	STRUKTUR PEMIKUL MOMEN BETON BERTULANG	STRUKTUR PEMIKUL MOMEN DAN KOMBINASI STRUKTUR PEMIKUL MOMEN & DINDING GESER BETON BERTULANG	SELURUH JENIS STRUKTUR DAN MATERIAL
5.	KRITERIA EVALUASI STRUKTUR TAHAN GEMPA	-	KAPASITAS GESER KOLOM/DINDING GESER, BERAT BANGUNAN, KERAKUAN KOLOM/DINDING GESER, & DAKTILITAS.	KAPASITAS GESER KOLOM, BERAT BANGUNAN, KERAKUAN KOLOM & DAKTILITAS.	RASIO TINGGI & LEBAR GEDUNG, DIMENSI BALOK/KOLOM/DINDING GESER, KERAKUAN KOLOM/DINDING GESER, KOLOM KUAT-BALOK LEMAH, REDUNDANSI (PERIODE GETAR GEDUNG) & DAKTILITAS.	SELURUH KRITERIA BANGUNAN TAHAN GEMPA
6.	TIPE KONFIGURASI GEOMETRI YANG DI EVALUASI	REGULER & IREGULER	REGULER & IREGULER	REGULER	REGULER & IREGULER	REGULER & IREGULER
7.	KRITERIA EVALUASI KONFIGURASI GEOMETRI REGULER & IREGULER	<ul style="list-style-type: none"> <li>LAHAN BERLERENG</li> <li>WEAK / SOFT STORY</li> <li>SETBACK</li> <li>KOLOM PENDEK / SHORT COLUMN</li> <li>LEVEL YANG BERJENJANG / SPLIT LEVEL</li> <li>IRREGULERITAS TORSIONAL</li> <li>SISTEM NON-PARALEL</li> <li>KETIDAKBERATURAN SIDUT DALAM</li> <li>KETIDAKBERATURAN DISKONTINUITAS DIAFRAGMA</li> <li>KETIDAKBERATURAN MELINTANG TERHADAP BIDANG REDUNDANSI</li> <li>POUNDDING</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>REGULERITAS / KETIDAKBERATURAN RATURAN</li> <li>ASPEK RASIO DARI BENCANA</li> <li>BAGIAN MENYEMPIT</li> <li>EXPANSION JOINT</li> <li>AREA FOLD</li> <li>EKSENTRISITAS ARKAVOID</li> <li>LANTAI BAWAH TANAH</li> <li>KESERAGAMAN TINGGALINGKAT</li> <li>SOFT STORY</li> <li>EKSENTRISITAS</li> <li>KERAKUAN / MASSA</li> <li>RASIO DARI TINGKAT ATAS DAN BAWAH</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN TORSI</li> <li>KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN SIDUT DALAM</li> <li>KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN DISKONTINUITAS DIAFRAGMA</li> <li>KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN SISTEM PARALEL</li> <li>KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN KERAKUAN / SOFT STORY</li> <li>KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN BEKAT / MASSA</li> <li>KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN GEOMETRIVERTIKAL / SETBACK</li> <li>KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN DISKONTINUITAS DALAM</li> <li>KETIDAKBERATURAN KUAT LATERAL TINGKAT / WEAK STORY</li> <li>KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN PERGESERAN MELINTANG TERHADAP BIDANG &amp; DISKONTINUITASRAH BIDANG</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN TORSI</li> <li>KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN SIDUT DALAM</li> <li>KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN DISKONTINUITAS DIAFRAGMA</li> <li>KETIDAKBERATURAN PERGESERAN MELINTANG TERHADAP BIDANG</li> <li>KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN SISTEM PARALEL</li> <li>KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN KERAKUAN / SOFT STORY</li> <li>KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN BEKAT / MASSA</li> <li>KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN GEOMETRIVERTIKAL / SETBACK</li> <li>DISKONTINUITAS ARAH BIDANG DALAM KETIDAKBERATURAN ELEMEN PENAHAN GAYA LATERAL VERTIKAL / WEAK STORY</li> <li>KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN DISKONTINUITASDALAM KETIDAKBERATURAN KUAT LATERAL TINGKAT</li> </ul>
8.	KRITERIA BEBAN LATERAL GEMPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>ZONA GEMPA</li> <li>TIPE TANAH</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ZONA GEMPA</li> <li>TIPE TANAH</li> <li>FUNGSI BANGUNAN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ZONA GEMPA</li> <li>TIPE TANAH</li> <li>FUNGSI BANGUNAN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ZONA GEMPA</li> <li>TIPE TANAH</li> <li>FUNGSI BANGUNAN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ZONA GEMPA</li> <li>TIPE TANAH</li> <li>FUNGSI BANGUNAN</li> </ul>

Berdasarkan perbandingan metode-metode RVS, SVA JBDPA, SVA Seki, SVA Desain Arsitektur dan Analisa struktur & *Pushover* yang digunakan dalam mengevaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa dalam proses desain arsitektur, hanya SVA Desain Arsitektur memiliki kemampuan yang mendekati Analisa Struktur & *Pushover*. Terutama kriteria evaluasi struktur tahan gempa yang lebih lengkap dalam kaitan dengan *preliminary design* struktur bangunan dan kriteria evaluasi konfigurasi geometri reguler/ireguler dalam kaitan dengan eksplorasi desain bentuk bangunan.

## BAB VI. VERIFIKASI

### 6.1. VERIFIKASI SVA DESAIN ARSITEKTUR DENGAN ANALISIS *PUSHOVER*

#### 6.1.1. PERBANDINGAN SVA DESAIN ARSITEKTUR DAN ANALISIS *PUSHOVER*

Untuk memverifikasi validitas prosedur SVA Desain Arsitektur yang diusulkan perlu dilakukan perbandingan antara SVA Desain Arsitektur dengan analisis kerentanan bangunan terhadap gempa yang lebih detail yaitu analisis *pushover*. Hasil analisis *pushover* yang digunakan merupakan hasil penelitian yang dilakukan peneliti-peneliti lain sehingga hasilnya lebih objektif.

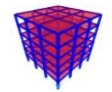
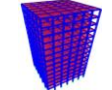

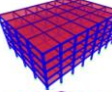
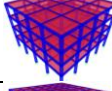
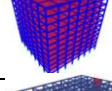
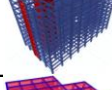
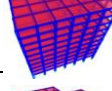
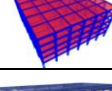
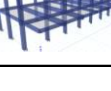
Walaupun demikian, prosedur SVA yang diusulkan ini untuk menganalisis kerentanan bangunan dengan ketinggian maksimum tingkat menengah/*middle rise* ( $\pm 10$  lantai), tetapi untuk mengetahui batas validitasnya ketinggian model yang diteliti sampai dengan 14 lantai. Data-data zona gempa dan struktur didapatkan dari penelitian di (tabel 6.1 dan 6.2).

Tabel 6.1. Data wilayah gempa model

Model	Code	Zona gempa	Kelas situs	Sistem struktur	Ie
a	SNI 1726- 2002	Wilayah 6	Tanah sedang	Struktur rangka pemikul momen khusus	1
		Ca=0.35, Cv=0.54			
b	SNI 1726- 2002	Wilayah 6	Tanah lunak	Struktur rangka pemikul momen khusus	1
		Ca=0.38, Cv=0.95			
c	SNI 1726- 2002	Wilayah 6	Tanah keras	Struktur rangka pemikul momen khusus	1
		Ca=0.33, Cv=0.42			
d	SNI 1726- 2012	Banyumas	Tanah keras	Struktur rangka pemikul momen menengah	1
		Ss=0.7 g, S1=0.25 g			
e	SNI 1726- 2002	Ternate - Wilayah 4	Tanah sedang	Struktur rangka pemikul momen khusus	1
		Ca=0.28, Cv=0.42			
f	SNI 1726- 2012	Kota Bobong	Tanah sedang	Struktur rangka pemikul momen khusus	1
		Ss=1.355 g, S1=0.537 g			
g	SNI 1726- 2002	Wilayah 6	Tanah keras	Struktur rangka pemikul momen & dinding geser	1
		Ca=0.33, Cv=0.42			
h	SNI 1726- 2002	Wilayah 4	Tanah lunak	Struktur rangka pemikul momen khusus	1
		Ca=0.34, Cv=0.85			
i	SNI 1726- 2002	Wilayah 4	Tanah lunak	Struktur rangka pemikul momen khusus	1
		Ca=0.34, Cv=0.85			
j	SNI 1726- 2002	Wilayah 2	Tanah keras	Struktur rangka pemikul momen biasa	1
		Ca=0.12, Cv=0.15			



Tabel 6.2. Data struktur gedung model

Model	Jumlah lantai (tinggi-m)	Dimensi balok (cm)	Dimensi kolom (cm)	Dimensi dinding geser (cm)	Dimensi gedung (m)	Modul (m)	layout
a	6 (3.5)	25X50	65X65 (lantai 1-3), 55X55 (lantai 4-6)	-	18X18	6X6	
b	14 (4)	40X80 (lantai 1-4), 40X70 (lantai 5-9), 30X60 (lantai 10-14)	80X80 (lantai 1-5), 70X70 (lantai 6-10)	-	30X30	5X5	
c	10 (4 & 3.6)	40X60 (balok induk), 30X60 (balok anak)	80X80 (lantai 1-4), 70X70 (lantai 5-14)	-	24X24	8X8	
d	5 (4)	35X60	60X60	-	42X32	6X8	
e	4 (4 & 3.5)	30X45 (lantai 1-3), 30X40 (lantai 4)	45X45	-	18X18	4.5X4.5	
f	12 (4)	40X60	60X60	-	42X42	6X6	
g	12 (4&3.5)	50X70	80X80	35	30X56	6X7	
h	10 (3.5)	40X60	75X75	-	30X30	5X5	
i	5 (3.5)	40X60	60X60	-	30X30	5X5	
j	2 (3.6)	24X35, 35X60, 40X40, 40X45	24X40, 35X40	-	10.8X18.54	3.18X7.7, 3.1X3.18	

1. Model -a

Tabel 6.3. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) model a (sumber : analisa)

Model	Lantai	$\frac{n+1}{n+i}$	$I_{A-i}$	$I_{C-i}$	$I_{SCWB-i}$	$I_T$	R	$Q_0$	$E_{o-i}$	$S_{D-i}$	$I_{S-i}$
(a)	1st	7/7	1.00	2.36	1.00	1.00	8.5	2.8	7.17	1.00	7.17
	2nd	7/8	0.88	2.02	1.00	1.00	8.5	2.8	5.36	1.00	5.36
	3rd	7/9	0.78	1.67	1.00	1.00	8.5	2.8	3.94	1.00	3.94
	4th	7/10	0.70	1.38	1.00	1.00	8.5	2.8	2.94	1.00	2.94
	5th	7/11	0.64	1.21	1.00	1.00	8.5	2.8	2.34	1.00	2.34
	Rf	7/12	0.58	1.15	1.00	1.00	8.5	2.8	2.04	1.00	2.04

Tabel 6.4. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi model a (sumber : analisa)

Model	Lantai	$\frac{n+1}{2n-i+1}$	$I_{CS}$	$I_e$	$I_{SO-i}$	
(a)	1st	7/12	0.58	2.18	1.0	1.27
	2nd	7/11	0.64	2.18	1.0	1.38
	3rd	7/10	0.70	2.18	1.0	1.52
	4th	7/9	0.78	2.18	1.0	1.69
	5th	7/8	0.88	2.18	1.0	1.90
	Rf	7/7	1.00	2.18	1.0	2.18

Tabel 6.5. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) serta perbandingan SVA dan analisis pushover model a (sumber : analisa)

Model	Lantai	$I_{S-i}$	$I_{SO-i}$	SVA	Analisa pushover - SAP2000	
					drift ratio(%)	Level performa
(a)	1st	7.17	1.27	IO	0.61%	IO
	2nd	5.36	1.38	IO		
	3rd	3.94	1.52	IO		
	4th	2.94	1.69	IO		
	5th	2.34	1.90	IO		
	Rf	2.04	2.18	LS		

Pada (tabel 6.3) nilai  $I_{S-i}$  merupakan perkalian  $E_{0-1}$  dan  $S_{D-i}$ .  $E_{0-i}$  adalah indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen khusus yang merupakan hasil perkalian faktor modifikasi kapasitas geser tingkat ( $\frac{n+1}{n+i}$ ), indeks dimensi kolom ( $I_{Ac-i}$ ) > 1, indeks jenis kolom ( $I_{C-i}$ )=0.8 kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ), indeks *strong column weak beam* ( $I_{SCWB-i}$ )=1, indeks periode getar struktur ( $I_T$ )=1, indeks daktilitas sistem struktur ( $R/\Omega_0$ )=8.5/2.8=3.04 dan  $S_{D-i}$  adalah ireguleritas geometri bangunan karena model a kategori bentuk geometrinya beraturan, maka nilainya = 1. Tabel 6.4,  $I_{SO-i}$  adalah indeks beban lateral gempa yang merupakan perkalian faktor modifikasi beban horisontal tingkat ( $\frac{n+i}{2n-i+1}$ ), indeks respon seismik ( $C_s/C_{Smin}$ )=2.18, dan faktor keutamaan fungsi bangunan ( $I_e$ )=1 (perkantoran). Pada (tabel 6.5) memperlihatkan dari lantai 1 s/d lantai atap perbandingannya  $I_S > I_{SO}$ , hal ini berarti dimensi kolom dan balok sudah didesain dengan baik sehingga menjamin kekakuan, kekuatan, dan daktilitas yang memadai ketika terjadi gempa kuat hanya mengalami potensi rusak ringan atau IO (*Immediate Occupancy*).

Pada (Tabel 6.5) hasil penelitian Siti Aisyah (N Aisyah and Megantara, 2011) pada model a dengan analisis pushover menghasilkan *target displacement*=0.132 m dengan *drift ratio*=0.61%. Berdasarkan FEMA 273 model a yang berada di Wilayah Gempa 6 Tanah Sedang dalam kondisi inelastik mampu menahan beban gempa sampai pada tingkat *Immediate Occupancy* (IO). Pada tingkat IO hanya terdapat sedikit potensi kerusakan struktural dan bisa cepat diperbaiki. Prediksi prosedur SVA yang diusulkan relatif sama hasil penelitian Siti Aisyah ini.

## 2. Model -b

Tabel 6.6. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) model b (sumber : analisa)

Model	Lantai	$\frac{n+1}{n+i}$	$I_{A-i} I_{C-i}$	$I_{SCWB-i}$	$I_T$	R	$\Omega_0$	$E_{s-i}$	$S_{D-i}$	$I_{S-i}$	
(b)	1st	15/15	1.00	1.33	1.00	1.00	8.5	2.8	4.03	1.00	4.03
	2nd	15/16	0.94	1.43	1.00	1.00	8.5	2.8	4.07	1.00	4.07
	3rd	15/17	0.88	1.55	1.00	1.00	8.5	2.8	4.15	1.00	4.15
	4th	15/18	0.83	1.69	1.00	1.00	8.5	2.8	4.27	1.00	4.27
	5th	15/19	0.79	1.42	1.00	1.00	8.5	2.8	3.41	1.00	3.41
	6th	15/20	0.75	1.58	1.00	1.00	8.5	2.8	3.59	1.00	3.59
	7th	15/21	0.71	1.77	1.00	1.00	8.5	2.8	3.84	1.00	3.84
	8th	15/22	0.68	2.01	1.00	1.00	8.5	2.8	4.16	1.00	4.16
	9th	15/23	0.65	2.33	1.00	1.00	8.5	2.8	4.62	1.00	4.62
	10th	15/24	0.63	2.77	1.00	1.00	8.5	2.8	5.26	1.00	5.26
	11th	15/25	0.60	3.25	1.00	1.00	8.5	2.8	5.92	1.00	5.92
	12th	15/26	0.58	3.86	1.00	1.00	8.5	2.8	6.77	1.00	6.77
	13th	15/27	0.56	4.36	1.00	1.00	8.5	2.8	7.35	1.00	7.35
	Rf	15/28	0.54	4.36	0.29	1.00	8.5	2.8	2.05	1.00	2.05

Tabel 6.7. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi model b (sumber : analisa)

Model	Lantai	$\frac{n+1}{2n-i+1}$	$I_{CS}$	$I_e$	$I_{SO-i}$	
(b)	1st	15/28	0.54	3.36	1.0	1.80
	2nd	15/27	0.56	3.36	1.0	1.87
	3rd	15/26	0.58	3.36	1.0	1.94
	4th	15/25	0.60	3.36	1.0	2.02
	5th	15/24	0.63	3.36	1.0	2.10
	6th	15/23	0.65	3.36	1.0	2.19
	7th	15/22	0.68	3.36	1.0	2.29
	8th	15/21	0.71	3.36	1.0	2.40
	9th	15/20	0.75	3.36	1.0	2.52
	10th	15/19	0.79	3.36	1.0	2.65
	11th	15/18	0.83	3.36	1.0	2.80
	12th	15/17	0.88	3.36	1.0	2.96
	13th	15/16	0.94	3.36	1.0	3.15
	Rf	15/15	1.00	3.36	1.0	3.36

Tabel 6.8. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) serta perbandingan SVA dan analisis pushover model b (sumber : analisa)

Model	Lantai	$I_{S-i}$	$I_{SO-i}$	SVA	Analisa pushover - ETABS	
					drift ratio (%)	Level performa
(b)	1st	4.03	1.80	IO	0.85%	IO - LS
	2nd	4.07	1.87	IO		
	3rd	4.15	1.94	IO		
	4th	4.27	2.02	IO		
	5th	3.41	2.10	IO		
	6th	3.59	2.19	IO		
	7th	3.84	2.29	IO		
	8th	4.16	2.40	IO		
	9th	4.62	2.52	IO		
	10th	5.26	2.65	IO		
	11th	5.92	2.80	IO		
	12th	6.77	2.96	IO		
	13th	7.35	3.15	IO		
	Rf	2.05	3.36	LS		

Pada (tabel 6.6) nilai  $I_S$  merupakan perkalian  $E_{0-i}$  dan  $S_{D-i}$ .  $E_{0-i}$  adalah indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen khusus yang merupakan hasil perkalian faktor modifikasi kapasitas geser tingkat ( $\frac{n+1}{n+i}$ ), indeks dimensi kolom ( $I_{Ac-i}$ )  $> 1$ , indeks jenis kolom ( $I_{C-i}$ )=0.8 kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ), indeks *strong column weak beam* ( $I_{SCWB-i}$ )=1; kecuali lantai atap=0.29, indeks periode getar struktur ( $I_T$ )=1, indeks daktilitas sistem struktur ( $R/\Omega_0$ )=8.5/2.8=3.04 dan  $S_{D-i}$  adalah ireguleritas geometri bangunan karena model b kategori bentuk geometrinya beraturan maka nilainya = 1. Tabel 6.7,  $I_{SO-i}$  adalah indeks beban lateral gempa yang merupakan perkalian faktor modifikasi beban horisontal tingkat ( $\frac{n+i}{2n-i+1}$ ), indeks respon seismik ( $C_s/C_{Smin}$ )=3.36 dan faktor keutamaan fungsi bangunan ( $I_e$ )=1 (perkantoran). Pada (tabel 6.8) memperlihatkan dari lantai 1 s/d lantai 13 kecuali lantai atap perbandingannya  $I_S > I_{SO}$ , hal ini berarti dimensi kolom dan balok sudah cukup didesain dengan baik sehingga menjamin kekakuan, kekuatan, dan daktilitas yang cukup memadai ketika terjadi gempa kuat masih didominasi potensi rusak ringan atau IO (*Immediate Occupancy*).

Tabel 6.8, hasil penelitian Puput Risdanareni (Risdanareni, TAVIO and Subekti, 2009) pada model b dengan analisis pushover menghasilkan *target displacement*=0.474 m dengan *drift ratio*=0.85%. Berdasarkan FEMA 273, model b di atas yang berada di Wilayah Gempa 6 Tanah Lunak dalam kondisi inelastik mampu menahan beban gempa sampai pada tingkat *Immediate Occupancy* (IO). Pada tingkat IO hanya terdapat sedikit potensi kerusakan struktural dan bisa cepat diperbaiki. Prediksi prosedur SVA yang diusulkan relatif mendekati hasil penelitian Puput Risdanareni ini.

Tabel 6.9. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S,i}$ ) model c  
(sumber : analisa)

### 3. Model -c

Model	Lantai	$\frac{n+1}{n+i}$	$I_{Ac-i}$	$I_{C-i}$	$I_{SCWB-i}$	$I_T$	R	$\Omega_0$	$E_{s-i}$	$S_{D-i}$	$I_{S,i}$
(c)	1st	11/11	1.00	1.19	1.00	0	8.5	2.8	0.00	1.00	0.00
	2nd	11/12	0.92	1.32	1.00	0	8.5	2.8	0.00	1.00	0.00
	3rd	11/13	0.85	1.48	1.00	0	8.5	2.8	0.00	1.00	0.00
	4th	11/14	0.79	1.69	1.00	0	8.5	2.8	0.00	1.00	0.00
	5th	11/15	0.73	1.98	1.00	0	8.5	2.8	0.00	1.00	0.00
	6th	11/16	0.69	1.81	1.00	0	8.5	2.8	0.00	1.00	0.00
	7th	11/17	0.65	2.27	1.00	0	8.5	2.8	0.00	1.00	0.00
	8th	11/18	0.61	2.94	1.00	0	8.5	2.8	0.00	1.00	0.00
	9th	11/19	0.58	4.14	1.00	0	8.5	2.8	0.00	1.00	0.00
	Rf	11/20	0.55	5.36	0.50	0	8.5	2.8	0.00	1.00	0.00

Tabel 6.10. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi model c (sumber : analisa)

Model	Lantai	$\frac{n+1}{2n-i+1}$		$I_{CS}$	$I_e$	$I_{SO-i}$
(c)	1st	11/20	0.55	1.81	1.0	1.00
	2nd	11/19	0.58	1.81	1.0	1.05
	3rd	11/18	0.61	1.81	1.0	1.11
	4th	11/17	0.65	1.81	1.0	1.17
	5th	11/16	0.69	1.81	1.0	1.25
	6th	11/15	0.73	1.81	1.0	1.33
	7th	11/14	0.79	1.81	1.0	1.43
	8th	11/13	0.85	1.81	1.0	1.54
	9th	11/12	0.92	1.81	1.0	1.66
	Rf	11/11	1.00	1.81	1.0	1.81

Tabel 6.11. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) serta perbandingan SVA dan analisis pushover model c (sumber : analisa)

Model	Lantai	$I_{S-i}$	$I_{SO-i}$	SVA	Analisa pushover - SAP2000	
					drift ratio (%)	Level performa
(c)	1st	0.00	1.00	CP	1.78%	LS-CP
	2nd	0.00	1.05	CP		
	3rd	0.00	1.11	CP		
	4th	0.00	1.17	CP		
	5th	0.00	1.25	CP		
	6th	0.00	1.33	CP		
	7th	0.00	1.43	CP		
	8th	0.00	1.54	CP		
	9th	0.00	1.66	CP		
	Rf	0.00	1.81	CP		

Pada (tabel 6.9) nilai  $I_S$  merupakan perkalian  $E_{0-i}$  dan  $S_{D-i}$ .  $E_{0-i}$  adalah indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen khusus yang merupakan hasil perkalian faktor modifikasi kapasitas geser tingkat ( $\frac{n+1}{n+i}$ ), indeks dimensi kolom ( $I_{Ac-i}$ ) > 1, indeks jenis kolom ( $I_{C-i}$ )=0.8 kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ), indeks *strong column weak beam* ( $I_{SCWB-i}$ )=1; kecuali lantai atap=0.5, indeks periode getar struktur ( $I_T$ )=0 karena  $T_C=0.69$  detik >  $T_{max}=0.5$  detik, indeks daktilitas sistem struktur ( $R/\Omega_0$ )=8.5/2.8=3.04 dan  $S_D$  adalah ireguleritas geometri bangunan karena model c kategori bentuk geometrinya beraturan maka nilainya = 1.

Tabel 6.10,  $I_{SO-i}$  adalah indeks beban lateral gempa yang merupakan perkalian faktor modifikasi beban horisontal tingkat ( $\frac{n+i}{2n-i+1}$ ), indeks respon seismik ( $C_S/C_{Smin}$ )=1.81, dan faktor keutamaan fungsi bangunan ( $I_e$ )=1 (perkantoran). Pada (tabel 6.11) memperlihatkan dari lantai 1 s/d lantai atap  $I_S < I_{SO}$ , sebenarnya dimensi kolom dan balok sudah didesain dengan baik. Akan tetapi, perlu kombinasi dengan struktur dinding geser sehingga tidak hanya menjamin kekuatan dan daktilitas,

tetapi juga kekakuan yang memadai. Dengan demikian, bangunannya tidak terlalu fleksibel ( $T_C > T_{max}$ ) sehingga persyaratan keamanan elemen arsitektur dan struktur serta kenyamanan penghuni bangunan terpenuhi.

Tabel 6.11, hasil penelitian Yosafat A. Pranata (Pranata, 2006) pada model c dengan analisis pushover menghasilkan *target displacement*= 0.6479 m dengan *drift ratio*=1.78%. Berdasarkan FEMA 273, model c yang berada di Wilayah Gempa 6 Tanah Keras dalam kondisi inelastik mampu menahan beban gempa sampai pada tingkat antara *Life Safety (LS)*-*Collapse Prevention (CP)*. Artinya, terdapat potensi kerusakan struktural sedang sampai dengan berat. Pada tingkat ini hanya terdapat kemungkinan bangunan tersebut tidak dapat diperbaiki lagi. Prediksi prosedur SVA yang diusulkan relatif mendekati hasil penelitian Yosafat A. Pranata ini karena bangunan yang fleksibel bisa mengalami level kerusakan LS (rusak sedang) – CP (rusak berat).

#### 4. Model -d

Tabel 6.12. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) model d (sumber : analisa)

Model	Lantai	$\frac{n+1}{n+i}$	$I_{A-i} I_{C-i}$	$I_{SCWB-i}$	$I_T$	R	$\Omega_0$	$E_{s-i}$	$S_{D-i}$	$I_{S-i}$	
(d)	1st	6/6	1.00	1.14	1.00	1.00	5	3	1.90	1.00	1.90
	2nd	6/7	0.86	1.42	1.00	1.00	5	3	2.02	1.00	2.02
	3rd	6/8	0.75	1.86	1.00	1.00	5	3	2.33	1.00	2.33
	4th	6/9	0.67	2.52	1.00	1.00	5	3	2.80	1.00	2.80
	Rf	6/10	0.60	3.20	0.33	1.00	5	3	1.04	1.00	1.04

Tabel 6.13. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi model d (sumber : analisa)

Model	Lantai	$\frac{n+1}{2n-i+1}$		$I_{CS}$	$I_e$	$I_{SO-i}$
(d)	1st	6/10	0.60	2.26	1.0	1.36
	2nd	6/9	0.67	2.26	1.0	1.51
	3rd	6/8	0.75	2.26	1.0	1.70
	4th	6/7	0.86	2.26	1.0	1.94
	Rf	6/6	1.00	2.26	1.0	2.26

Tabel 6.14. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) serta perbandingan SVA dan analisis pushover model d (sumber : analisa)

Model	floor	$I_{S-i}$	$I_{SO-i}$	SVA	Analisa pushover - SAP2000	
					drift ratio (%)	Level performa
(d)	1st	1.90	1.36	IO	0.31%	IO
	2nd	2.02	1.51	IO		
	3rd	2.33	1.70	IO		
	4th	2.80	1.94	IO		
	Rf	1.04	2.26	LS		

Pada (tabel 6.12) nilai  $I_s$  merupakan perkalian  $E_{0-i}$  dan  $S_{D-i}$ .  $E_{0-i}$  adalah indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen menengah yang merupakan hasil perkalian faktor modifikasi kapasitas geser tingkat  $(\frac{n+1}{n+i})$ , indeks dimensi kolom  $(I_{Ac-i}) > 1$ , indeks jenis kolom  $(I_{C-i})=0.8$  kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ), indeks *strong column weak beam*  $(I_{SCWB-i})=1$ ; kecuali lantai atap=0.33, indeks periode getar struktur  $(I_T)=1$ , indeks daktilitas sistem struktur  $(R/\Omega_0)=5/3=1.67$  dan  $S_D$  adalah ireguleritas geometri bangunan karena model d kategori bentuk geometrinya beraturan maka nilainya = 1.

Tabel 6.13,  $I_{SO-i}$  adalah indeks beban lateral gempa yang merupakan perkalian faktor modifikasi beban horisontal tingkat  $(\frac{n+i}{2n-i+1})$ , indeks respon seismik  $(C_s/C_{Smin})=2.26$ , dan faktor keutamaan fungsi bangunan  $(I_e)=1$  (perkantoran). Pada (tabel 6.14) memperlihatkan dari lantai 1 s/d lantai 4 kecuali lantai atap perbandingannya  $I_s > I_{SO}$ . Hal ini berarti dimensi kolom dan balok sudah cukup didesain dengan baik sehingga menjamin kekakuan, kekuatan, dan daktilitas yang cukup memadai ketika terjadi gempa kuat masih didominasi potensi rusak ringan atau IO (*Immediate Occupancy*).

Tabel 6.14, hasil penelitian Yanuar H (Haryanto, Sudibyo and Wariyatno, 2012) pada model d dengan analisis pushover menghasilkan *target displacement*=0.060m dengan *drift ratio*= 0.31%. Berdasarkan FEMA 273, model d di atas yang berada di Wilayah Gempa Banyumas kondisi Tanah Keras dengan  $S_S=0.7$  g dan  $S_0=0.25$  g dalam kondisi inelastik mampu menahan beban gempa sampai pada tingkat *Immediate Occupancy* (IO). Pada tingkat IO, hanya terdapat sedikit kerusakan struktural dan bisa cepat diperbaiki. Prediksi prosedur SVA yang diusulkan relatif sama hasil penelitian Yanuar Haryanto ini.

## 5. Model -e

Tabel 6.15. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) model e (sumber : analisa)

Model	Lantai	$\frac{n+1}{n+i}$	$I_{Ac-i} I_{C-i}$	$I_{SCWB-i}$	$I_T$	R	$\Omega_0$	$E_{e-i}$	$S_{D-i}$	$I_{S-i}$
(e)	1st	5/5	1.00	1.20	1.00	8.5	2.8	3.64	1.00	3.64
	2nd	5/6	0.83	1.34	1.00	8.5	2.8	3.40	1.00	3.40
	3rd	5/7	0.71	1.35	1.00	8.5	2.8	2.93	1.00	2.93
	Rf	5/8	0.63	1.35	0.31	8.5	2.8	0.79	1.00	0.79

Tabel 6.16. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi model e (sumber : analisa)

Model	Lantai	$\frac{n+1}{2n-i+1}$		$I_{cs}$	$I_e$	$I_{SO-i}$
(e)	1st	5/8	0.63	1.26	1.0	0.79
	2nd	5/7	0.71	1.26	1.0	0.90
	3rd	5/6	0.83	1.26	1.0	1.05
	Rf	5/5	1.00	1.26	1.0	1.26

Tabel 6.17. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) serta perbandingan SVA dan analisis pushover model e (sumber : analisa)

Model	Lantai	$I_{S-i}$	$I_{SO-i}$	SVA	Analisa pushover - SAP2000	
					drift ratio (%)	Level performa
(e)	1st	3.64	0.79	IO	0.60%	IO
	2nd	3.40	0.90	IO		
	3rd	2.93	1.05	IO		
	Rf	0.79	1.26	LS		

Pada (tabel 6.15) nilai  $I_{S-i}$  merupakan perkalian  $E_{0-i}$  dan  $S_{D-i}$ .  $E_{0-i}$  adalah indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen khusus yang merupakan hasil perkalian faktor modifikasi kapasitas geser tingkat ( $\frac{n+1}{n+i}$ ), indeks dimensi kolom ( $I_{Ac-i}$ ) > 1, indeks jenis kolom ( $I_{C-i}$ )=0.6 kolom langsing ( $6 \leq h_0/D$ ), indeks *strong column weak beam* ( $I_{SCWB-i}$ )=1; kecuali lantai atap=0.31, indeks periode getar struktur ( $I_T$ )=1, indeks daktilitas sistem struktur ( $R/\Omega_0$ )=8.5/2.8=3.04 dan  $S_D$  adalah ireguleritas geometri bangunan karena model e kategori bentuk geometrinya beraturan maka nilainya = 1.

Tabel 6.16,  $I_{SO-i}$  adalah indeks beban lateral gempa yang merupakan perkalian faktor modifikasi beban horisontal tingkat ( $\frac{n+i}{2n-i+1}$ ), indeks respon seismik ( $C_S/C_{Smin}$ )=0.26, dan faktor keutamaan fungsi bangunan ( $I_e$ )=1 (perkantoran). Pada (tabel 6.17) memperlihatkan dari lantai 1 s/d lantai 3 kecuali lantai atap perbandingannya  $I_S > I_{SO}$ . Hal ini berarti dimensi kolom dan balok masih cukup didesain dengan baik sehingga menjamin kekakuan, kekuatan, dan daktilitas yang cukup memadai ketika terjadi gempa kuat masih didominasi potensi rusak ringan atau IO (*Immediate Occupancy*).

Tabel 6.17, hasil penelitian Mufti A. Sultan (Sultan, 2016) pada model e dengan analisis pushover menghasilkan *target displacement*=0.0872 m dengan *drift ratio*=



0.60%. Berdasarkan FEMA 273, model e di atas yang berada Ternate di Wilayah Gempa 4 dengan kondisi Tanah Sedang dalam kondisi inelastik mampu menahan beban gempa sampai pada tingkat *Immediate Occupancy* (IO). Pada tingkat IO, hanya terdapat sedikit kerusakan struktural dan bisa cepat diperbaiki. Prediksi prosedur SVA yang diusulkan relatif sama hasil penelitian Mufti A. Sultan ini.

## 6. Model -f

Tabel 6.18. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) model f (sumber : analisa)

Model	Lantai	$\frac{n+1}{n+i}$	$I_{A-i} I_{C-i}$	$I_{SCWB-i}$	$I_T$	R	$\Omega_0$	$E_{0-i}$	$S_{D-i}$	$I_{S-i}$	
(f)	1st	13/13	1.00	0.58	1.00	1.00	8	3	1.55	1.00	1.55
	2nd	13/14	0.93	0.63	1.00	1.00	8	3	1.57	1.00	1.57
	3rd	13/15	0.87	0.70	1.00	1.00	8	3	1.61	1.00	1.61
	4th	13/16	0.81	0.77	1.00	1.00	8	3	1.68	1.00	1.68
	5th	13/17	0.76	0.87	1.00	1.00	8	3	1.78	1.00	1.78
	6th	13/18	0.72	1.00	1.00	1.00	8	3	1.92	1.00	1.92
	7th	13/19	0.68	1.16	1.00	1.00	8	3	2.11	1.00	2.11
	8th	13/20	0.65	1.00	1.00	1.00	8	3	1.72	1.00	1.72
	9th	13/21	0.62	1.16	1.00	1.00	8	3	1.91	1.00	1.91
	10th	13/22	0.59	1.38	1.00	1.00	8	3	2.18	1.00	2.18
	11th	13/23	0.57	1.72	1.00	1.00	8	3	2.59	1.00	2.59
	Rf	13/24	0.54	2.21	0.25	1.00	8	3	0.80	1.00	0.80

Tabel 6.19. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi model f (sumber : analisa)

Model	Lantai	$\frac{n+1}{2n-i+1}$	$I_{CS}$	$I_e$	$I_{SO-i}$	
(f)	1st	13/24	0.54	3.33	1.0	1.81
	2nd	13/23	0.57	3.33	1.0	1.88
	3rd	13/22	0.59	3.33	1.0	1.97
	4th	13/21	0.62	3.33	1.0	2.06
	5th	13/20	0.65	3.33	1.0	2.17
	6th	13/19	0.68	3.33	1.0	2.28
	7th	13/18	0.72	3.33	1.0	2.41
	8th	13/17	0.76	3.33	1.0	2.55
	9th	13/16	0.81	3.33	1.0	2.71
	10th	13/15	0.87	3.33	1.0	2.89
	11th	13/14	0.93	3.33	1.0	3.10
	Rf	13/13	1.00	3.33	1.0	3.33

Tabel 6.20. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) serta perbandingan SVA dan analisis pushover model f (sumber : analisa)

Model	Lantai	$I_{S-i}$	$I_{SO-i}$	SVA	Analisa pushover - SAP2000	
					drift ratio (%)	Level performa
	1st	1.55	1.81	LS		
	2nd	1.57	1.88	LS		
	3rd	1.61	1.97	LS		
	4th	1.68	2.06	LS		
	5th	1.78	2.17	LS		

(f)	6th	1.92	2.28	LS	1.36%	IO-LS
	7th	2.11	2.41	LS		
	8th	1.72	2.55	LS		
	9th	1.91	2.71	LS		
	10th	2.18	2.89	LS		
	11th	2.59	3.10	LS		
	Rf	0.80	3.33	CP		

Pada (tabel 6.18) nilai  $I_{S-i}$  merupakan perkalian  $E_{0-i}$  dan  $S_{D-i}$ .  $E_{0-i}$  adalah indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen khusus yang merupakan hasil perkalian faktor modifikasi kapasitas geser tingkat ( $\frac{n+1}{n+i}$ ), indeks dimensi kolom ( $I_{Ac-i}$ ) < 1 lantai 1 s/d lantai 4; sedangkan ( $I_{Ac-i}$ ) > 1 lantai 5 s/d lantai atap, indeks jenis kolom ( $I_{C-i}$ )=0.8 kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ), indeks *strong column weak beam* ( $I_{SCWB-i}$ )=1 kecuali lantai atap=0.25, indeks periode getar struktur ( $I_T$ )=1, indeks daktilitas sistem struktur ( $R/\Omega_0$ )=8/3 dan  $S_{D-i}$  adalah ireguleritas geometri bangunan karena model f kategori bentuk geometrinya beraturan maka nilainya = 1.

Tabel 6.19,  $I_{SO-i}$  adalah indeks beban lateral gempa yang merupakan perkalian faktor modifikasi beban horisontal tingkat ( $\frac{n+i}{2n-i+1}$ ), indeks respon seismik ( $C_S/C_{Smin}$ )=3.33 dan faktor keutamaan fungsi bangunan ( $I_e$ )=1 (perkantoran). Pada (tabel 6.20) memperlihatkan dari lantai 1 s/d lantai 11  $0.5I_{SO} \leq I_S \leq I_{SO}$  (LS), sedangkan lantai atap  $I_S < 0.5I_{SO}$  (CP); hal ini berarti dimensi kolom dan balok belum didesain dengan baik. Walaupun demikian, kekakuan dan daktilitas mencukupi, tetapi kekuatan struktur kurang memadai sehingga saat terjadi gempa kuat bisa mengalami potensi rusak sedang atau LS (*Life Safety*).

Tabel 6.20, hasil penelitian Sudarman (Sudarman et al., 2014) pada model f dengan analisis pushover menghasilkan *target displacement*=0.65 m dengan *drift ratio*=0.36%. Berdasarkan FEMA 273, model f di atas yang berada di Kota Bobong Maluku Utara kondisi Tanah Sedang dengan  $S_S = 1.355$  g dan  $S_0 = 0.537$  g dalam kondisi inelastik mampu menahan beban gempa sampai pada tingkat antara *Immediate Occupancy* (IO) – *Life Safety* (LS), tetapi berdasarkan *drift ratio* sudah mendekati LS. Artinya, terdapat potensi kerusakan struktural ringan sampai dengan sedang tetapi masih bisa diperbaiki. Prediksi prosedur SVA yang diusulkan relatif mendekati hasil penelitian Sudarman ini.

## 7. Model -g

Tabel 6.21. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) model g (sumber : analisa)

Model	Lantai	$\frac{n+1}{n+i}$	$I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}$	$I_{ASw-i} \cdot I_{SW-i}$	$I_{SCWB-i}$	$I_T$	R	$\Omega_0$	$E_{s-i}$	$S_{D-i}$	$I_{S-i}$	
(g)	lantai 01	13/13	1.00	1.42	0.62	1	1.00	8.5	2.8	6.19	0.75	4.64
	lantai 02	13/14	0.93	1.55	0.67	1	1.00	8.5	2.8	6.26	0.75	4.70
	lantai 03	13/15	0.87	1.70	0.74	1	1.00	8.5	2.8	6.42	0.75	4.81
	lantai 04	13/16	0.81	1.88	0.82	1	1.00	8.5	2.8	6.67	0.75	5.00
	lantai 05	13/17	0.76	2.11	0.93	1	1.00	8.5	2.8	7.05	0.75	5.29
	lantai 06	13/18	0.72	2.40	1.06	1	1.00	8.5	2.8	7.58	0.75	5.69
	lantai 07	13/19	0.68	2.78	1.23	1	1.00	8.5	2.8	8.34	0.75	6.26
	lantai 08	13/20	0.65	3.31	1.48	1	1.00	8.5	2.8	9.46	0.75	7.09
	lantai 09	13/21	0.62	4.09	1.85	1	1.00	8.5	2.8	11.16	0.75	8.37
	lantai 10	13/22	0.59	5.15	2.47	1	1.00	8.5	2.8	13.67	0.75	10.25
	lantai 11	13/23	0.57	5.69	3.70	1	1.00	8.5	2.8	16.11	0.75	12.08
	lantai Atap	13/24	0.54	5.69	7.40	0.29	1.00	8.5	2.8	6.28	0.75	4.71

Tabel 6.22. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi model g (sumber : analisa)

Model	Lantai	$\frac{n+1}{2n-i+1}$	$I_{CS}$	$I_e$	$I_{SO-i}$	
(g)	lantai 01	13/24	0.54	3.308	1.0	1.79
	lantai 02	13/23	0.57	3.308	1.0	1.87
	lantai 03	13/22	0.59	3.308	1.0	1.95
	lantai 04	13/21	0.62	3.308	1.0	2.05
	lantai 05	13/20	0.65	3.308	1.0	2.15
	lantai 06	13/19	0.68	3.308	1.0	2.26
	lantai 07	13/18	0.72	3.308	1.0	2.39
	lantai 08	13/17	0.76	3.308	1.0	2.53
	lantai 09	13/16	0.81	3.308	1.0	2.69
	lantai 10	13/15	0.87	3.308	1.0	2.87
	lantai 11	13/14	0.93	3.308	1.0	3.07
	lantai Atap	13/13	1.00	3.308	1.0	3.31

Tabel 6.23. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) serta perbandingan SVA dan analisis pushover model g (sumber : analisa)

Model	Lantai	$I_{S-i}$	$I_{SO-i}$	SVA	Pushover analysis-SAP2000	
					drift ratio (%)	Performance level
(g)	lantai 01	4.64	1.79	IO	0.60%	IO
	lantai 02	4.70	1.87	IO		
	lantai 03	4.81	1.95	IO		
	lantai 04	5.00	2.05	IO		
	lantai 05	5.29	2.15	IO		
	lantai 06	5.69	2.26	IO		
	lantai 07	6.26	2.39	IO		
	lantai 08	7.09	2.53	IO		
	lantai 09	8.37	2.69	IO		
	lantai 10	10.25	2.87	IO		
	lantai 11	12.08	3.07	IO		
	lantai Atap	4.71	3.31	IO		

Pada (tabel 6.21) nilai  $I_s$  merupakan perkalian  $E_{0-i}$  dan  $S_{D-i}$ .  $E_{0-i}$  adalah indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dan dinding geser khusus yang merupakan hasil perkalian faktor modifikasi kapasitas geser tingkat  $(\frac{n+1}{n+i})$ , indeks dimensi kolom ( $I_{Ac-i}$ )  $> 1$ , indeks jenis kolom ( $I_{C-i}$ )=0.8 kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ), indeks *strong column weak beam* ( $I_{SCWB-i}$ )=1; kecuali lantai atap=0.29, indeks periode getar struktur ( $I_T$ )=1, indeks daktilitas sistem struktur ( $R/\Omega_0$ )=8.5/2.8=3.04 dan  $S_{D-i}$  adalah ireguleritas geometri bangunan karena model g kategori bentuk geometrinya ireguler. Dikarenakan perletakan dinding geser yang tidak simetris, maka nilai indeks geometri untuk lantai 1 s/d lantai atap = 0.75.

Tabel 6.22,  $I_{SO-i}$  adalah indeks beban lateral gempa yang merupakan perkalian faktor modifikasi beban horisontal tingkat  $(\frac{n+i}{2n-i+1})$ , indeks respon seismik ( $C_S/C_{Smin}$ )=3.308 dan faktor keutamaan fungsi bangunan ( $I_e$ )=1 (perkantoran). Pada (tabel 6.23) memperlihatkan dari lantai 1 s/d lantai atap perbandingannya  $I_s > I_{SO}$  (IO). Hal ini berarti kombinasi struktur rangka pemikul momen dan struktur dinding geser didesain dengan baik sehingga menjamin kekakuan, kekuatan, dan daktilitas yang memadai. Dengan demikian, ketika terjadi gempa kuat hanya potensi rusak ringan atau IO (*Immediate Occupancy*).

Tabel 6.23, hasil penelitian Suprpto (Suprpto and Sudarto, 2009) pada model g dengan analisis pushover menghasilkan *target displacement*=0.256 m dengan *drift ratio*= 0.60%. Berdasarkan FEMA 273, model g di atas yang berada di Wilayah Gempa 6 dengan kondisi Tanah Keras dalam kondisi inelastik mampu menahan beban gempa sampai pada tingkat *Immediate Occupancy* (IO). Pada tingkat IO, hanya terdapat sedikit kerusakan struktural dan bisa cepat diperbaiki. Prediksi prosedur SVA yang diusulkan relatif sama hasil penelitian Suprpto ini.

## 8. Model -h

Tabel 6.24. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) model h (sumber : analisa)

Model	Lantai	$\frac{n+1}{n+i}$	$I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}$	$I_{SCWB-i}$	$I_T$	R	$\Omega_0$	$E_{0-i}$	$S_{D-i}$	$I_{S-i}$	
(h)	lantai 01	11/11	1.00	1.69	1.00	1.00	8.5	2.8	5.12	0.50	2.56
	lantai 02	11/12	0.92	1.87	1.00	1.00	8.5	2.8	5.20	0.50	2.60
	lantai 03	11/13	0.85	2.09	1.00	1.00	8.5	2.8	5.38	0.50	2.69
	lantai 04	11/14	0.79	2.38	1.00	1.00	8.5	2.8	5.67	0.50	2.83
	lantai 05	11/15	0.73	2.75	1.00	1.00	8.5	2.8	6.12	0.50	3.06
	lantai 06	11/16	0.69	2.45	1.00	1.00	8.5	2.8	5.11	0.50	2.55

lantai 07	11/17	0.65	2.85	1.00	1.00	8.5	2.8	5.60	0.50	2.80
lantai 08	11/18	0.61	3.36	1.00	1.00	8.5	2.8	6.24	0.50	3.12
lantai 09	11/19	0.58	3.76	1.00	1.00	8.5	2.8	6.60	0.50	3.30
RF	11/20	0.55	3.76	0.31	1.00	8.5	2.8	1.95	0.50	0.98

Tabel 6.25. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi model h (sumber : analisa)

Model	Lantai	$\frac{n+1}{2n-i+1}$	$I_{CS}$	$I_e$	$I_{SO-i}$	
(h)	lantai 01	11/20	0.550	1.667	1.0	0.92
	lantai 02	11/19	0.579	1.667	1.0	0.96
	lantai 03	11/18	0.611	1.667	1.0	1.02
	lantai 04	11/17	0.647	1.667	1.0	1.08
	lantai 05	11/16	0.688	1.667	1.0	1.15
	lantai 06	11/15	0.733	1.667	1.0	1.22
	lantai 07	11/14	0.786	1.667	1.0	1.31
	lantai 08	11/13	0.846	1.667	1.0	1.41
	lantai 09	11/12	0.917	1.667	1.0	1.53
	RF	11/11	1.000	1.667	1.0	1.67

Tabel 6.26. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) serta perbandingan SVA dan analisis pushover model h (sumber : analisa)

Model	Lantai	$I_{S-i}$	$I_{SO-i}$	SVA	Pushover analysis-SAP2000	
					drift ratio (%)	Performance level
(h)	lantai 01	2.56	0.92	IO	0.91%	IO-LS
	lantai 02	2.60	0.96	IO		
	lantai 03	2.69	1.02	IO		
	lantai 04	2.83	1.08	IO		
	lantai 05	3.06	1.15	IO		
	lantai 06	2.55	1.22	IO		
	lantai 07	2.80	1.31	IO		
	lantai 08	3.12	1.41	IO		
	lantai 09	3.30	1.53	IO		
	RF	0.98	1.67	LS		

Pada (tabel 6.24) nilai  $I_{S-i}$  merupakan perkalian  $E_{0-i}$  dan  $S_{D-i}$ .  $E_{0-i}$  adalah indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen khusus yang merupakan hasil perkalian faktor modifikasi kapasitas geser tingkat ( $\frac{n+1}{n+i}$ ), indeks dimensi kolom ( $I_{Ac-i}$ ) > 1, indeks jenis kolom ( $I_{C-i}$ )=0.8 kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ), indeks *strong column weak beam* ( $I_{SCWB-i}$ )=1; kecuali lantai atap=0.31, indeks periode getar struktur ( $I_T$ )=1, indeks daktilitas sistem struktur ( $R/\Omega_0$ )=8.5/2.8=3.04 dan  $S_{D-i}$  adalah ireguleritas geometri bangunan karena model f kategori bentuk geometrinya ireguler. Dikarenakan terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam, maka indeks geometri nilainya = 0.5.

Tabel 6.25,  $I_{SO-i}$  adalah indeks beban lateral gempa yang merupakan perkalian faktor modifikasi beban horisontal tingkat ( $\frac{n+i}{2n-i+1}$ ), indeks respon seismik ( $C_s/C_{smin}$ )=1.667 dan faktor keutamaan fungsi bangunan ( $I_e$ )=1 (perkantoran). Pada (tabel 6.26) memperlihatkan seluruh lantai  $I_s > I_{SO}$  (IO), kecuali lantai atap  $0.5I_{SO} \leq I_s \leq I_{SO}$  (LS). Hal ini berarti dimensi kolom dan balok didesain dengan cukup baik sehingga masih menjamin kekakuan, kekuatan, dan daktilitas yang memadai. Dengan demikian, ketika terjadi gempa kuat hanya potensi rusak ringan atau IO (*Immediate Occupancy*).

Tabel 6.26, hasil penelitian Lumantarna (Lumantarna, Gunawan and Wijaya, 2004) pada model h dengan analisis pushover menghasilkan *target displacement*=0.32 m dengan *drift ratio*=0.91%. Berdasarkan FEMA 273, model h di atas yang berada di wilayah 4 kondisi Tanah Lunak dalam kondisi inelastik mampu menahan beban gempa sampai pada tingkat antara *Immediate Occupancy* (IO) – *Life Safety* (LS). Artinya, terdapat potensi kerusakan struktural ringan sampai dengan sedang, tetapi masih bisa diperbaiki. Prediksi prosedur SVA yang diusulkan relatif mendekati hasil penelitian Lumantarna ini.

## 9. Model-i

Tabel 6.27. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) model i (sumber : analisa)

Model	Lantai	$\frac{n+1}{n+i}$	$I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}$	$I_{SCWB-i}$	$I_T$	R	$\Omega_0$	$E_{0-i}$	$S_{D-i}$	$I_{S-i}$	
(i)	lantai 01	6/6	1.00	2.09	1.00	1.00	8.5	2.8	6.33	0.50	3.16
	lantai 02	6/7	0.86	2.43	1.00	1.00	8.5	2.8	6.32	0.50	3.16
	lantai 03	6/8	0.75	2.87	1.00	1.00	8.5	2.8	6.52	0.50	3.26
	lantai 04	6/9	0.67	3.20	1.00	1.00	8.5	2.8	6.48	0.50	3.24
	RF	6/10	0.60	3.20	0.31	1.00	8.5	2.8	1.81	0.50	0.91

Tabel 6.28. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi model i (sumber : analisa)

Model	Lantai	$\frac{n+1}{2n-i+1}$	$I_{CS}$	$I_e$	$I_{SO-i}$	
(i)	lantai 01	6/10	0.60	1.205	1.0	0.72
	lantai 02	6/9	0.67	1.205	1.0	0.80
	lantai 03	6/8	0.75	1.205	1.0	0.90
	lantai 04	6/7	0.86	1.205	1.0	1.03
	RF	6/6	1.00	1.205	1.0	1.20

Tabel 6.29. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_S$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO}$ ) serta perbandingan SVA dan analisis pushover model i (sumber : analisa)

Model	Lantai	$I_{S-i}$	$I_{SO-i}$	SVA	Pushover analysis-SAP2000	
					drift ratio (%)	Performance level
(i)	lantai 01	3.16	0.72	IO	0.57%	IO
	lantai 02	3.16	0.80	IO		
	lantai 03	3.26	0.90	IO		
	lantai 04	3.24	1.03	IO		
	RF	0.91	1.20	LS		

Pada (tabel 6.27) nilai  $I_S$  merupakan perkalian  $E_{0-i}$  dan  $S_{D-i}$ .  $E_{0-i}$  adalah indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen khusus yang merupakan hasil perkalian faktor modifikasi kapasitas geser tingkat ( $\frac{n+1}{n+i}$ ), indeks dimensi kolom ( $I_{Ac-i}$ ) > 1, indeks jenis kolom ( $I_{C-i}$ )=0.8 kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ), indeks *strong column weak beam* ( $I_{SCWB-i}$ )=1; kecuali lantai atap=0.31, indeks periode getar struktur ( $I_T$ )=1, indeks daktilitas sistem struktur ( $R/\Omega_0$ )=8/3 dan  $S_{D-i}$  adalah ireguleritas geometri bangunan karena model f kategori bentuk geometrinya ireguler. Terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam, maka indeks geometrinya nilainya = 0.5.

Tabel 6.28,  $I_{SO-i}$  adalah indeks beban lateral gempa yang merupakan perkalian faktor modifikasi beban horisontal tingkat ( $\frac{n+i}{2n-i+1}$ ), indeks respon seismik ( $C_S/C_{Smin}$ )=1.205 dan faktor keutamaan fungsi bangunan ( $I_e$ )=1 (perkantoran). Pada (tabel 6.29) memperlihatkan dari lantai 1 s/d lantai 4 kecuali lantai atap perbandingannya  $I_S > I_{SO}$  (IO). Hal ini berarti dimensi kolom dan balok masih cukup didesain dengan baik; sehingga menjamin kekakuan, kekuatan, dan daktilitas yang cukup memadai ketika terjadi gempa kuat masih didominasi potensi rusak ringan atau IO (*Immediate Occupancy*).

Pada (tabel 6.29) hasil penelitian Lumantarna (Lumantarna, Gunawan and Wijaya, 2004) pada model i dengan analisis pushover menghasilkan *target displacement*=0.1 m dengan *drift ratio*= 0.57%. Berdasarkan FEMA 273, model i di atas yang berada di Wilayah Gempa 4 dengan kondisi Tanah Lunak dalam kondisi inelastik mampu menahan beban gempa sampai pada tingkat *Immediate Occupancy* (IO). Pada tingkat

IO, hanya terdapat sedikit kerusakan struktural dan bisa cepat diperbaiki. Prediksi prosedur SVA yang diusulkan relatif sama hasil penelitian Lumantarna ini.

## 10. Model-j

Tabel 6.30. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) model j (sumber : analisa)

Model	Lantai	$\frac{n+1}{n+i}$		$I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}$	$I_{SCWB-i}$	$I_T$	R	$\Omega_0$	$E_{0-i}$	$S_{D-i}$	$I_{S-i}$
(j)	lantai 01	3/3	1.00	1.47	0.47	0.00	3.5	2.8	0.00	0.38	0.00
	RF	3/4	0.75	1.47	0.18	0.00	3.5	2.8	0.00	0.38	0.00

Tabel 6.31. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi model j (sumber : analisa)

Model	Lantai	$\frac{n+1}{2n-i+1}$		$I_{CS}$	$I_e$	$I_{SO-i}$
(j)	lantai 01	3/4	0.75	1.00	1.0	0.75
	RF	3/3	1.00	1.00	1.0	1.00

Tabel 6.32. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) serta perbandingan SVA dan analisis pushover model j (sumber : analisa)

Model	Lantai	$I_{S-i}$	$I_{SO-i}$	SVA	Pushover analysis-SAP2000	
					drift ratio (%)	Level kinerja
(j)	lantai 01	0.00	0.75	CP	1.76%	LS-CP
	RF	0.00	1.00	CP		

Pada (tabel 6.30) nilai  $I_S$  merupakan perkalian  $E_{0-i}$  dan  $S_{D-i}$ .  $E_{0-i}$  adalah indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen biasa yang merupakan hasil perkalian faktor modifikasi kapasitas geser tingkat ( $\frac{n+1}{n+i}$ ), indeks dimensi kolom ( $I_{Ac-i}$ ) > 1, indeks jenis kolom ( $I_{C-i}$ )=0.8 kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ), indeks *strong column weak beam* ( $I_{SCWB-i}$ )=1; kecuali lantai atap=0.31, indeks periode getar struktur ( $I_T$ )=0 karena  $T_{C-y}$ =0.537 detik >  $T_{max}$ =0.38 detik, indeks daktilitas sistem struktur ( $R/\Omega_0$ )=3.5/2.8 dan  $S_{D-i}$  adalah ireguleritas geometri bangunan dikarenakan model j kategori bentuk geometrinya ireguler dari kombinasi konfigurasi ketidakberaturan torsi dan *setback* maka indeks geometrinya nilainya = 0.38.

Tabel 6.31,  $I_{SO-i}$  adalah indeks beban lateral gempa yang merupakan perkalian faktor modifikasi beban horisontal tingkat ( $\frac{n+i}{2n-i+1}$ ), indeks respon seismik



$(C_s/C_{smin})=1.0$  dan faktor keutamaan fungsi bangunan ( $I_e$ )=1 (sekolah). Pada (tabel 6.32) memperlihatkan dari lantai 1 s/d lantai atap perbandingannya  $I_s < 0.5I_{SO}$  (CP). Hal ini berarti dimensi kolom, balok, dan geometri bangunan belum didesain dengan baik sehingga terbentuk kekakuan, kekuatan, serta daktilitas yang tidak memadai ketika terjadi gempa kuat mengakibatkan potensi rusak berat atau CP (*Collapse Prevention*).

Tabel 6.32 hasil penelitian Dirgantari (Dirgantari and Wahyuni, 2014) pada model j dengan analisis pushover menghasilkan *target displacement*=0.127 m dengan *drift ratio*= 1.76%. Berdasarkan FEMA 273, model j di atas yang berada di Wilayah Gempa 2 dengan kondisi Tanah Keras dalam kondisi inelastik mampu menahan beban gempa sampai pada tingkat *Life Safety (LS) – Collapse Prevention (CP)*. Pada tingkat ini hanya terdapat kemungkinan bangunan tersebut tidak dapat diperbaiki lagi. Prediksi prosedur SVA yang diusulkan relatif mendekati hasil penelitian Dirgantari ini.

## **11. Rekapitulasi Perbandingan SVA Desain Arsitektur Dan Analisa Pushover**

### **Model -a s/d j**

Dari penjelasan di atas rekapitulasi hasil perbandingan analisis SVA Desain Arsitektur dan analisis pushover model –a s/d j dapat dilihat pada tabel 6.33 dan 6.34. Untuk model dengan jumlah 3 s/d 6 lantai hasil analisis kerentanan gempa tersebut antara SVA Desain Arsitektur dan Pushover didominasi hasil yang relatif sama (model a, d, e, dan i), sedangkan untuk model dengan jumlah  $\geq 10$  lantai antara SVA Desain Arsitektur dan Pushover didominasi hasil yang mendekati sama atau masih dalam rentang kerentanan (model b, c, f dan h). Walaupun demikian, secara struktural memenuhi syarat kekakuan, kekuatan, dan daktilitas yang memadai; tetapi semakin tinggi struktur rangka pemikul momen (SRPM) akan semakin fleksibel dan potensi kerusakannya. Bisa  $\approx LS$  atau  $\geq LS$  dan fungsi ketinggian sebagai bagian dari kerentanan bangunan terhadap gempa tidak bisa diprediksi secara tepat oleh SVA Desain Arsitektur.

Dengan demikian, seluruh hasil analisis SVA Desain Arsitektur bisa sama atau masih dalam rentang kerentanan hasil prediksi analisis pushover. Hal ini bisa dianggap memadai karena menurut (Sinha and Goyal, 2004) hasil dari prosedur SVA digunakan sebagai *screening* awal untuk mengetahui potensi kerentanan bangunan

terhadap gempa dan selanjutnya dibuat daftar pendek bangunan yang membutuhkan penilaian kerentanan lebih detail yang dilakukan oleh ahli struktur.

Tabel 6.33. Perbandingan SVA Disain Arsitektur dan analisa pushover pada model –a s/d e (sumber : analisa)

Lantai	model -a		model -b		model -c		model -d		model -e	
	SVA	Pushover	SVA	Pushover	SVA	Pushover	SVA	Pushover	SVA	Pushover
lt.01	IO	IO	IO	IO-LS	CP	LS-CP	IO	IO	IO	IO
lt.02	IO	IO	IO	IO-LS	CP	LS-CP	IO	IO	IO	IO
lt.03	IO	IO	IO	IO-LS	CP	LS-CP	IO	IO	IO	IO
lt.04	IO	IO	IO	IO-LS	CP	LS-CP	IO	IO	-	-
lt.05	IO	IO	IO	IO-LS	CP	LS-CP	-	-	-	-
lt.06	-	-	IO	IO-LS	CP	LS-CP	-	-	-	-
lt.07	-	-	IO	IO-LS	CP	LS-CP	-	-	-	-
lt.08	-	-	IO	IO-LS	CP	LS-CP	-	-	-	-
lt.09	-	-	IO	IO-LS	CP	LS-CP	-	-	-	-
lt.10	-	-	IO	IO-LS	-	-	-	-	-	-
lt.11	-	-	IO	IO-LS	-	-	-	-	-	-
lt.12	-	-	IO	IO-LS	-	-	-	-	-	-
lt.13	-	-	IO	IO-LS	-	-	-	-	-	-
RF	LS	IO	LS	IO-LS	CP	LS-CP	LS	IO	LS	IO

Tabel 6.34. Perbandingan SVA Disain Arsitektur dan analisa pushover model –f s/d j (sumber : analisa)

Lantai	model -f		model -g		model -h		model -i		model -j	
	SVA	Pushover	SVA	Pushover	SVA	Pushover	SVA	Pushover	SVA	Pushover
lt.01	LS	IO-LS	IO	IO	IO	IO-LS	IO	IO	CP	LS-CP
lt.02	LS	IO-LS	IO	IO	IO	IO-LS	IO	IO	-	-
lt.03	LS	IO-LS	IO	IO	IO	IO-LS	IO	IO	-	-
lt.04	LS	IO-LS	IO	IO	IO	IO-LS	IO	IO	-	-
lt.05	LS	IO-LS	IO	IO	IO	IO-LS	-	-	-	-
lt.06	LS	IO-LS	IO	IO	IO	IO-LS	-	-	-	-
lt.07	LS	IO-LS	IO	IO	IO	IO-LS	-	-	-	-
lt.08	LS	IO-LS	IO	IO	IO	IO-LS	-	-	-	-
lt.09	LS	IO-LS	IO	IO	IO	IO-LS	-	-	-	-
lt.10	LS	IO-LS	IO	IO	-	-	-	-	-	-
lt.11	LS	IO-LS	IO	IO	-	-	-	-	-	-
lt.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
lt.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RF	CP	IO-LS	IO	IO	LS	IO-LS	LS	IO	CP	LS-CP

### 6.1.2. UJI BEDA SVA DISAIN ARSITEKTUR DAN ANALISA PUSHOVER

Uji beda di sini untuk mengetahui apakah hasil pengukuran kerentanan bangunan di Kota Semarang terhadap gempa dengan prosedur SVA Desain Arsitektur dan Analisis Pushover memberikan hasil berbeda atau relatif sama. Untuk mengetahuinya dilakukan uji Wilcoxon *Two-Related-Samples*.

Dengan mentransformasi *level performance* perlantai hasil SVA menjadi *drift ratio* dan diasumsikan *drift ratio* hasil analisis pushover *software* Etabs dan SAP2000 level performanya terjadi sama diseluruh lantai, maka hasilnya bisa dilihat pada tabel 6.35.

Tabel 6.35. Tabulasi *drift ratio* SVA Disain Arsitektur dan analisa pushover model –a s/d j (sumber : analisa)

NO.	MODEL	SVA	PUSHOVER	NO.	MODEL	SVA	PUSHOVER
1	model a	0.50%	0.61%	41	model f	1.50%	1.36%
2	model a	0.50%	0.61%	42	model f	1.50%	1.36%
3	model a	0.50%	0.61%	43	model f	1.50%	1.36%
4	model a	0.50%	0.61%	44	model f	1.50%	1.36%
5	model a	0.50%	0.61%	45	model f	1.50%	1.36%
6	model a	1.50%	0.61%	46	model f	1.50%	1.36%
7	model b	0.50%	0.85%	47	model f	1.50%	1.36%
8	model b	0.50%	0.85%	48	model f	1.50%	1.36%
9	model b	0.50%	0.85%	49	model f	1.50%	1.36%
10	model b	0.50%	0.85%	50	model f	1.50%	1.36%
11	model b	0.50%	0.85%	51	model f	2.50%	1.36%
12	model b	0.50%	0.85%	52	model g	0.50%	0.60%
13	model b	0.50%	0.85%	53	model g	0.50%	0.60%
14	model b	0.50%	0.85%	54	model g	0.50%	0.60%
15	model b	0.50%	0.85%	55	model g	0.50%	0.60%
16	model b	0.50%	0.85%	56	model g	0.50%	0.60%
17	model b	0.50%	0.85%	57	model g	0.50%	0.60%
18	model b	0.50%	0.85%	58	model g	0.50%	0.60%
19	model b	0.50%	0.85%	59	model g	0.50%	0.60%
20	model b	0.50%	0.85%	60	model g	0.50%	0.60%
21	model c	2.50%	1.78%	61	model g	0.50%	0.60%
22	model c	2.50%	1.78%	62	model g	0.50%	0.60%
23	model c	2.50%	1.78%	63	model g	0.50%	0.60%
24	model c	2.50%	1.78%	64	model h	0.50%	0.91%
25	model c	2.50%	1.78%	65	model h	0.50%	0.91%
26	model c	2.50%	1.78%	66	model h	0.50%	0.91%
27	model c	2.50%	1.78%	67	model h	0.50%	0.91%
28	model c	2.50%	1.78%	68	model h	0.50%	0.91%
29	model c	2.50%	1.78%	69	model h	0.50%	0.91%
30	model c	2.50%	1.78%	70	model h	0.50%	0.91%
31	model d	0.50%	0.31%	71	model h	0.50%	0.91%
32	model d	0.50%	0.31%	72	model h	0.50%	0.91%
33	model d	0.50%	0.31%	73	model h	0.50%	0.91%
34	model d	0.50%	0.31%	74	model i	0.50%	0.57%
35	model d	1.50%	0.31%	75	model i	0.50%	0.57%
36	model e	0.50%	0.60%	76	model i	0.50%	0.57%
37	model e	0.50%	0.60%	77	model i	0.50%	0.57%
38	model e	0.50%	0.60%	78	model i	0.50%	0.57%
39	model e	1.50%	0.60%	79	model j	2.50%	1.76%
40	model f	1.50%	1.36%	80	model j	2.50%	1.76%

Tabel 6.35 di *input* ke dalam *software* statistik SPSS. Kemudian, dilakukan uji Kolmogorov-Smirnov lebih dulu untuk mengetahui normalitas data tabel 6.35. Dari hasil pengujian pada tabel 6.36 memperlihatkan data tidak berdistribusi normal, karena nilai p-value (0.000) lebih kecil dari pada alfa (0.05). Hal ini berarti penggunaan uji non-parametrik Wilcoxon *Two-Related-Samples* sudah sesuai.

Tahap selanjutnya dilakukan uji Wilcoxon *Two-Related-Samples* terhadap data tabel 6.35, hasilnya dapat dilihat pada tabel 6.37. Hasil signifikansinya  $0.866 > 0.05$  berarti tidak ada perbedaan yang signifikan atau relatif sama hasil kerentanan antara

SVA Desain Arsitektur dan Analisis Pushover, maka SVA Desain Arsitektur dianggap cukup baik dalam memprediksi potensi kerentanan bangunan terhadap gempa dalam proses desain arsitektur.

Tabel 6.36. Hasil uji normalitas data Kolmogorov-Smirnov (sumber : analisa)

		SVA	PUSHOVER
N		80	80
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	.010000	.009538
	Std. Deviation	.0076307	.0044717
	Absolute	.406	.239
Most Extreme Differences	Positive	.406	.239
	Negative	-.256	-.133
Kolmogorov-Smirnov Z		3.634	2.137
Asymp. Sig. (2-tailed)		.000	.000

a. Test distribution is Normal.  
b. Calculated from data.

Tabel 6.37. Hasil uji Wilcoxon *Two-Related-Samples* (sumber : analisa)

	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1	The median of differences between SVA and PUSHOVER equals 0.	Related-Samples Wilcoxon Signed Rank Test	.866	Retain the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is .05.

	PUSHOVER - SVA
Z	-.168 <sup>b</sup>
Asymp. Sig. (2-tailed)	.866

a. Wilcoxon Signed Ranks Test  
b. Based on positive ranks.

## 6.2. VALIDITAS SVA DESAIN ARSITEKTUR BERDASARKAN REKOMENDASI TIM AHLI BANGUNAN GEDUNG (TABG) KOTA SEMARANG

Tim Ahli Bangunan Gedung mempunyai tugas memberikan nasihat, pendapat, dan pertimbangan profesional membantu pemerintah daerah atau Pemerintah dalam penyelenggaraan bangunan gedung (DPU Dirjen Cipta Karya, 2007). TABG bekerja berdasarkan pengetahuan, pemahaman, dan pengalaman mereka dalam bidang tertentu di dalam tata bangunan dan tata lingkungan. Jadi rekomendasi TABG merupakan pertimbangan profesional sehingga digunakan sebagai verifikasi dari prosedur SVA Desain Arsitektur yang diusulkan.

Beberapa rekomendasi yang sering diberikan oleh ahli arsitektur dan ahli struktur TABG Kota Semarang pada proyek Bangunan Gedung kampus Universitas PGRI (GK-01), RS Pantiwilasa (RS-01), Menara BRI (BR-01), Radioteraphy & Onkology RS Kariadi (ONG-01), RS Gigi & mulut RS Sultan Agung (GM-01), Lab. Fak. Kedokteran Unissula (LAB\_U-01), Hotel Artotel (HA-01), Toko T (TT-01), Apartemen & hotel *Cityland*, Apartemen & Kondotel *Pinnacle*, Apartemen Cordova, STIKES Telogorejo yang dapat berpengaruh kepada kerentanan bangunan tersebut terhadap gempa (lihat tabel 6.38) yaitu :

Tabel 6.38. Rekomendasi dari ahli arsitektur dan ahli struktur TABG Kota Semarang (sumber : analisa).

No.	Rekomendasi	Keterangan	Tema
1.	Cek garis sempadan, KRK, KDB dan KLB.	Berpengaruh pada perbandingan D/L dan H/D yang penting bagi kekakuan bangunan.	Indeks Periode Getar ( $I_T$ )
2.	Detailing harus sesuai dengan kategori desain seismik yang dipilih.	Detailing tulangan <i>confinement</i> kolom & balok, detailing hubungan balok & kolom, detailing hubungan balok & plat lantai, detailing sambungan lewatan.	Faktor daktilitas ( $R/\Omega_0$ )
3.	Penyederhanaan bentuk-bentuk yang kompleks	Penyederhanaan bentuk-bentuk yang kompleks dengan dilatasi : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Berpengaruh pada potensi puntir pada bangunan.</li> <li>• Berpengaruh pada potensi konsentrasi tegangan gaya pada elemen struktur.</li> </ul>	Konfigurasi ketidakberaturan torsi ( $e_r$ ), sudut dalam ( $b_r$ ) & sistem non paralel ( $j_r$ )
4.	Cek kapasitas geser balok, kolom dan dinding geser.	Berpengaruh pada dimensi penampang dan luas tulangan geser balok, kolom dan dinding geser.	$L/h$ , $h/b$ , $\frac{\sum A_c}{\sum A_c} \min$ , $\frac{\sum A_{sw}}{\sum A_{sw}} \min$ , $\frac{\sum A_{csw}}{\sum A_{csw}} \min$
5.	Kontrol kapasitas momen nominal aktual kolom terhadap kapasitas momen nominal aktual balok untuk menjamin prinsip desain <i>strong column-weak beam</i> (SCWB).	Berpengaruh pada posisi sendi plastis yang hanya boleh terjadi di balok, sedangkan di kolom hanya boleh terjadi di kolom lantai dasar.	Indeks SCWB ( $I_{SCWB}$ )

6.	Cek puntir pada kolom dan balok kantilever.	Kantilever yang terlalu dalam dapat menimbulkan potensi tekuk pada kolom dan torsi yang besar pada balok.	Konfigurasi ketidakberaturan vertikal/ <i>setback</i> ( $s_r$ )
----	---	---	---

### 1. KRK, Garis Sempadan, KDB dan KLB

Keterangan Rencana Kota (KRK), garis sempadan, Koefisien Dasar Bangunan (KDB), dan Koefisien Luas Bangunan (KLB) merupakan aturan-aturan yang ditetapkan oleh pemerintah daerah (kota maupun kabupaten) dalam menjaga keserasian bangunan dan lingkungannya. Hal ini tidak menjadi masalah jika diterapkan di tempat-tempat diluar pusat pertumbuhan di suatu wilayah, di mana harga tanah masih relatif murah dan bisa didapatkan relatif luas. Akan tetapi, penerapannya di pusat-pusat pertumbuhan seperti pusat kota dan pusat pendidikan sering menimbulkan masalah.

Dengan harga tanah yang relatif mahal para investor akan memanfaatkan tanahnya seoptimal mungkin untuk mendapatkan keuntungan sebesar mungkin. Akan tetapi, keinginan tersebut dibatasi oleh KRK, sempadan, dan KDB; sehingga investor akan memanfaatkan semaksimal mungkin lantai dasar yang dapat dibangunnya sampai garis batas KRK, sempadan, dan KDB yang disyaratkan. Hal ini sering menciptakan denah bangunan yang langsing di mana rasio lebar bangunan ( $D$ )/panjang bangunan ( $L$ )  $< 0.5$  keatas. Investor akan membangun setinggi mungkin, walaupun dibatasi oleh KLB sering dilanggar. Hal ini juga menciptakan bangunan langsing di mana tinggi bangunan ( $H$ )/lebar bangunan ( $D$ )  $> 4$ .  $D/L < 0.5$  dan  $H/D > 4$  dapat mengakibatkan bangunan menjadi kurang kaku atau terlalu fleksibel. Pada saat terjadi gempa kuat bangunan fleksibel akan mengakibatkan efek pendulum (*P-Delta effect*). Selain itu, dapat mengakibatkan rasa kurang nyaman bagi penghuni bangunan karena periode getar bangunan besar mengakibatkan bangunan bergoyang melebihi batas servisnya. Hal tersebut dapat mengakibatkan jendela atau pintu sulit dibuka, retak di dinding/kaca, lift yang sering *out of service* dan lain sebagainya.

Dari 8 bangunan yang disurvei, 4 bangunan yang memiliki luas lahan terbatas yaitu Hotel Artotel, RS Pantiwilasa, Menara BRI dan Toko T.

#### a. Hotel Artotel

Dengan aturan KRK, sempadan, KDB dan KLB, Hotel Artotel di Jalan Gajah Mada, denah Hotel Artotel memiliki rasio  $D/L=0.25 < 0.5$  dan gabungan massa

bangunan dengan  $H/D1=9.1$  dan  $H/D2=5 > 4$  sehingga mengakibatkan bangunan tersebut memiliki periode getar  $T_{C-X}=2.12$  dtk dan  $T_{C-Y}=1.85$  dtk  $> T_{max}=1.61$  dt. Bangunan Hotel Artotel ini termasuk kategori super langsing sehingga tidak memenuhi syarat keamanan struktur dan kenyamanan penghuni dengan  $I_T=0$  (lihat gambar 7.85 dan tabel 7.148).

#### **b. RS Pantiwilasa**

Dengan aturan KRK, sempada, KDB dan KLB di Jalan Dokter Cipto, RS Pantiwilasa memiliki gabungan denah dengan rasio  $D1/L1=0.2$  dan  $D2/L2=0.26 < 0.5$  dan gabungan massa bangunan dengan  $H/D1=2$  dan  $H/D2=3.5 < 4$  agak fleksibel. Akan tetapi, dengan penggunaan *shear wall* yang intensif mengakibatkan bangunan tersebut memiliki periode getar  $T_{C-X}=0.44$  dtk dan  $T_{C-Y}=0.89$  dtk  $< T_{max}=1.16$  dt, sehingga memenuhi syarat keamanan struktur dan kenyamanan penghuni dengan  $I_T=1$  (lihat gambar 7.20 dan tabel 7.42).

#### **c. Menara BRI**

Dengan aturan KRK, sempadan, KDB dan KLB di Jalan Ahmad Yani, Menara BRI memiliki denah dengan rasio  $D/L=0.55 > 0.5$  dan massa bangunan dengan  $H/D=1.1 < 4$  relatif kaku dengan penggunaan *shear wall* yang intensif dan pembatasan penggunaan KLB sesuai dengan kebutuhan. Hal tersebut mengakibatkan bangunan memiliki periode getar  $T_{C-X}=0.52$  dtk dan  $T_{C-Y}=0.57$  dtk  $< T_{max}=1.06$  dt, sehingga memenuhi syarat keamanan struktur dan kenyamanan penghuni dengan  $I_T=1$  (lihat gambar 7.30 dan tabel 7.64).

#### **d. Toko T**

Dengan aturan KRK, sempadan, KDB dan KLB di Jalan MT. Haryono, Toko T memiliki gabungan denah dengan rasio  $D1/L1=0.79 > 0.5$  dan  $D2/L2=0.38 < 0.5$ , dan massa bangunan dengan  $H/D1=2.1 < 4$  dan  $H/D2=4.5 > 4$  relatif fleksibel dengan penggunaan *shear wall* yang intensif. Hal itu mengakibatkan bangunan memiliki periode getar  $T_{C-X}=0.49$  dtk dan  $T_{C-Y}=0.51$  dtk  $< T_{max}=1.61$  dt yang memenuhi syarat keamanan struktur dan kenyamanan penghuni dengan  $I_T=1$  (lihat gambar 7.97 dan tabel 7.170).

## **2. Kategori Desain Seismik**

Kategori desain seismik (A, B, C, E dan D) salah satunya ditentukan oleh pemilihan sistem penahan gaya gempa yang berpengaruh pada besarnya faktor koefisien modifikasi respons (R) dan faktor kuat lebih ( $\Omega_0$ ) (lihat tabel 5.2). Dalam SVA Desain Arsitektur yang diusulkan rasio  $R/\Omega_0$  merupakan faktor daktilitas.

Konsekuensi dari pemilihan sistem penahan gaya gempa harus mengikuti aturan detailing struktur rangka pemikul momen biasa (SRPMB), menengah (SRPMM), dan khusus (SRPMK) atau sistem ganda struktur rangka pemikul momen (SRPMB, SRPMM, SRPMK) dan sistem dinding struktural biasa (SDSB) atau khusus (SDSK). Aturan *detailing* tersebut mengatur detailing jarak sengkang, detailing tulangan *confinement*, detailing hubungan balok & kolom, detailing sambungan lewatan dan lainnya. Semakin tinggi level pemilihan sistem penahan gaya gempa menjadikan praktek lapangannya dilaksanakan dengan persyaratan desain dan detailing gempa semakin ketat.

Pada dasarnya dalam praktek sering kali pemilihan sistem penahan gaya gempa SRPMK atau kombinasi SRPMK dan SDSK hanya untuk mereduksi gaya geser gempa dasar ( $V$ ), sehingga dimensi struktur bisa lebih kecil dan jumlah tulangan lebih sedikit. Akan tetapi, pada saat pelaksanaannya tidak mengikuti persyaratan desain dan aturan detailing SRPMK atau kombinasi SRPMK dan SDSK. Hal ini bisa berakibat fatal karena gaya yang diterima elemen struktur bisa melebihi kapasitasnya dan perilaku daktilnya tidak sesuai dengan asumsi desainnya, sehingga ketika terjadi gempa kuat bangunan tersebut bisa rusak parah bahkan bisa *collapse*.

Fenomena tersebut bisa diperlihatkan pada bangunan yang disurvei. Dari 8 bangunan yang disurvei asumsi desain sistem penahan gaya gempanya yaitu Universitas PGRI-SRPMK ( $R=8$  &  $\Omega_0=3$ ), RS Pantiwilasa-SRPMK ( $R=8$  &  $\Omega_0=3$ ), Menara BRI-SRPMK & SDSK ( $R=7$  &  $\Omega_0=2.5$ ), Radioteraphy & Onkology RS Kariadi-SRPMK ( $R=8$  &  $\Omega_0=3$ ), Gigi & mulut RS Sultan Agung-SRPMK ( $R=8$  &  $\Omega_0=3$ ), Lab. Fak. Kedokteran Unissula-SRPMK ( $R=8$  &  $\Omega_0=3$ ), Hotel Artotel-SRPMK ( $R=8$  &  $\Omega_0=3$ ) dan Toko T-SRPMB ( $R=3$  &  $\Omega_0=3$ ). Jika dalam pelaksanaannya tidak mengikuti persyaratan desain serta aturan detailing SRPMK dan SDSK, misalnya SRPMB ( $R=8$  &  $\Omega_0=3$ ) dan SRPMB & SDSB ( $R=4.5$  &  $\Omega_0=2.5$ ) maka yang terjadi seluruh bangunan kecuali Toko T mengalami perubahan potensi kerusakan yaitu rusak ringan (IO) menjadi rusak sedang (LS) atau berat (CP) dan rusak sedang (LS) menjadi rusak berat (CP) (tabel 6.39 dan 6.40).



Tabel 6.39. Potensi kerusakan bangunan survei dengan asumsi disain sistem penahan gaya gempa SRPMK dan SDSK (sumber : analisa).

Lantai	HA-01	RS-01	GK-01	GM-01	LAB_U-01	ONG-01	BR-01	TT-01
GF	CP	-	IO	-	-	-	IO	-
lt.01	CP	-	IO	LS	CP	IO	IO	IO
lt.02	LS	IO	IO	LS	LS	IO	IO	LS
lt.03	LS	IO	IO	LS	LS	IO	IO	LS
lt.04	LS	IO	IO	CP	LS	IO	IO	LS
lt.05	LS	IO	IO	CP	LS	IO	IO	IO
lt.06	LS	-	CP	-	LS	-	IO	-
lt.07	LS	-	-	-	IO	-	IO	-
lt.08	IO	-	-	-	-	-	-	-
lt.09	IO	-	-	-	-	-	-	-
lt.10	IO	-	-	-	-	-	-	-
RF	LS	IO	CP	CP	CP	IO	IO	IO

Tabel 6.40. Perubahan potensi kerusakan bangunan survei jika pelaksanaannya tidak mengikuti persyaratan disain dan aturan detailing SRPMK dan SDSK misalnya SRPMB &SDSB (sumber : analisa).

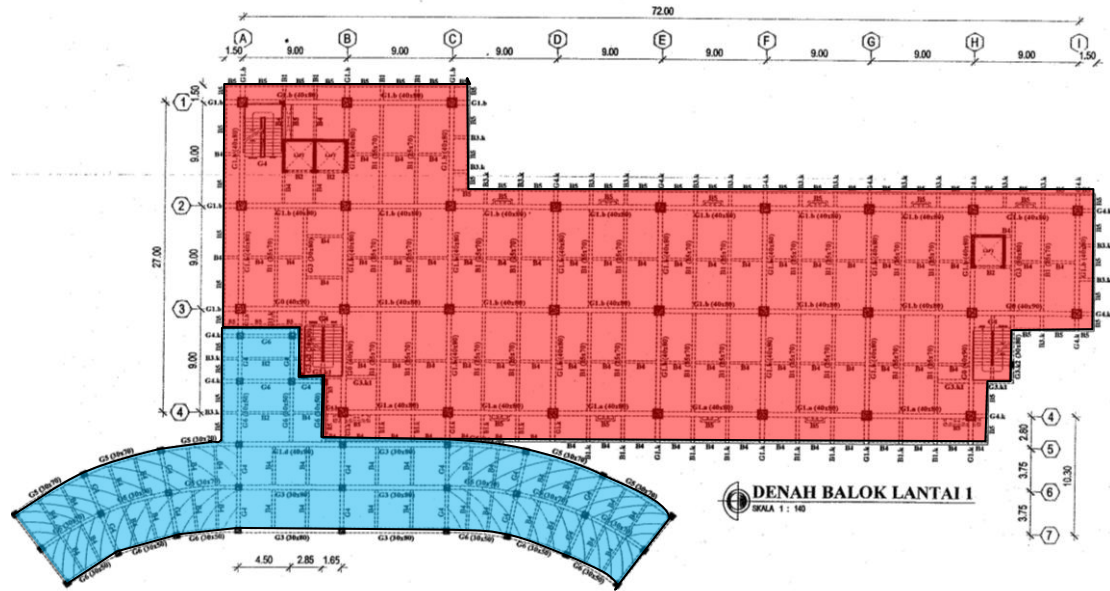
Lantai	HA-01	RS-01	GK-01	GM-01	LAB_U-01	ONG-01	BR-01	TT-01
GF	CP	-	IO	-	-	-	LS	-
lt.01	CP	-	LS	CP	CP	LS	LS	IO
lt.02	CP	LS	LS	CP	CP	LS	IO	LS
lt.03	CP	LS	IO	CP	CP	LS	IO	LS
lt.04	CP	LS	LS	CP	CP	LS	IO	LS
lt.05	CP	LS	LS	CP	CP	LS	IO	IO
lt.06	CP	-	CP	-	CP	-	IO	-
lt.07	CP	-	-	-	CP	-	IO	-
lt.08	CP	-	-	-	-	-	-	-
lt.09	CP	-	-	-	-	-	-	-
lt.10	LS	-	-	-	-	-	-	-
RF	CP	CP	CP	CP	CP	LS	IO	IO

### 3. Dilatasi

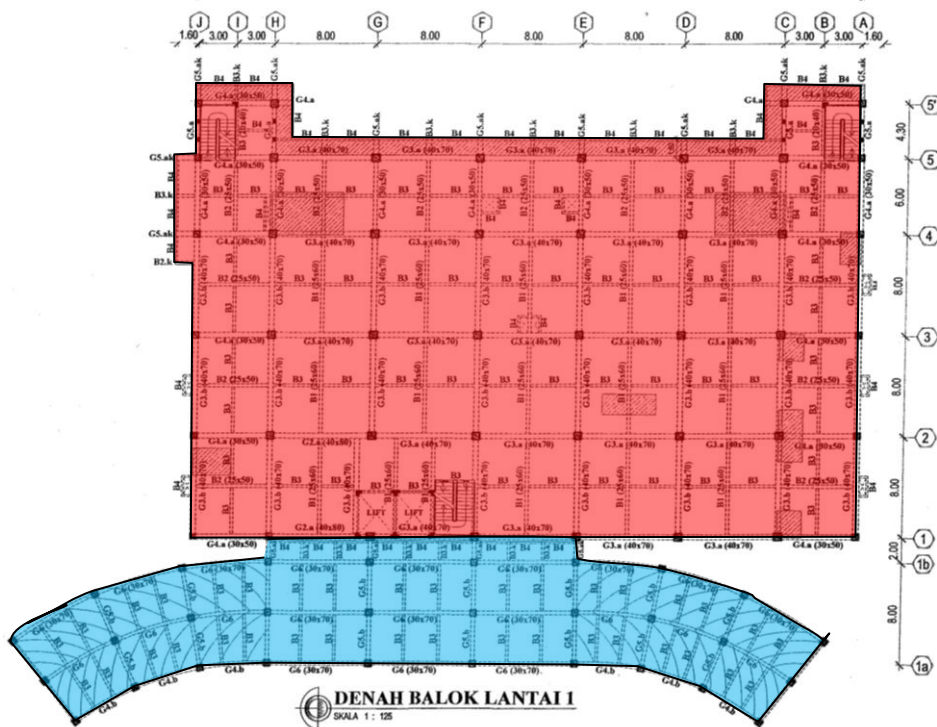
Pada saat ini desain bentuk geometri bangunan yang kompleks semakin menjadi *trend*. Bahkan alasan pembenarannya bisa bermacam-macam, bisa karena alasan estetika maupun pertimbangan bentuk lahan yang sulit. Dampak dari bentuk-bentuk kompleks tersebut paling tidak dapat menciptakan konfigurasi ketidakberaturan torsi, konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam dan konfigurasi ketidakberaturan sistem non paralel. Ketiga konfigurasi ireguler tersebut dapat mengakibatkan potensi puntir pada bangunan dan potensi konsentrasi tegangan gaya pada elemen struktur tertentu.

Dari 8 bangunan yang disurvei kompleksitas bangunannya disebabkan oleh gabungan massa bangunan seperti RS Pantiwilasa, Gigi dan mulut RS Sultan Agung, Lab. Fak. Kedokteran Unissula, Menara BRI dan Toko T atau mengikuti bentuk lahan seperti Radioteraphy & Onkology RS Kariadi. Dilatasi digunakan di RS Gigi dan mulut RS Sultan Agung, Lab. Fak. Kedokteran Unissula dan Radioteraphy &

Onkology RS Kariadi. Hal tersebut mengurangi terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan torsi, konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam, dan konfigurasi ketidakberaturan sistem non paralel pada ketiga bangunan tersebut (lihat gambar 7.47, gambar 6.1 dan gambar 6.2).



Gambar 6.1. Dilatasi antara struktur jalan masuk dan gedung Lab. Fak. Kedokteran Unissula (sumber : analisa)



Gambar 6.2. Dilatasi antara struktur jalan masuk dan gedung RS. Gigi & Mulut RS. Sultan Agung (sumber : analisa)

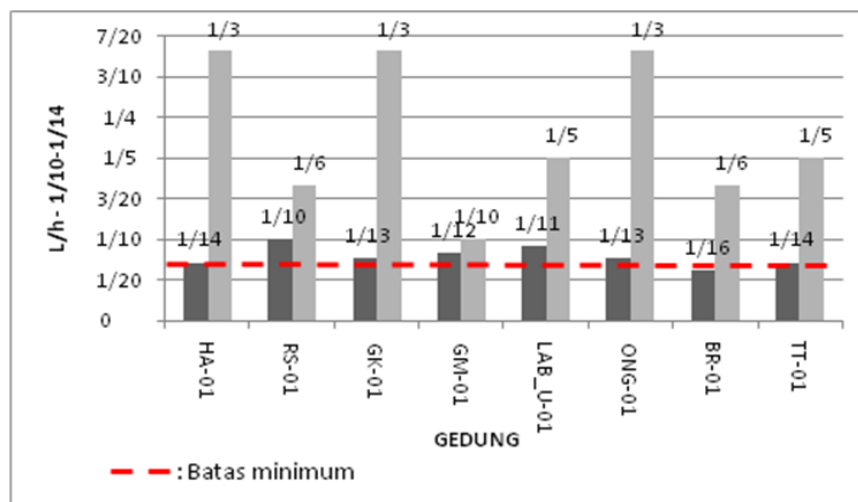
#### 4. Kapasitas Geser Balok, Kolom Dan *Shear Wall*

Gaya geser dasar gempa terdistribusi ke seluruh elemen struktur bangunan. Untuk menahan gaya geser gempa pada struktur yaitu kombinasi antara dimensi penampang balok, kolom, dan dinding geser serta luas tulangan gesernya.

Dari prosedur SVA yang diusulkan, untuk penampang balok perlu di cek panjang bentang ( $L$ )/tinggi balok ( $h$ )  $< 1/10-1/14$  untuk balok biasa atau  $< 1/5$  untuk balok kantilever dan tinggi balok ( $h$ )/lebar balok ( $b$ )  $\leq 2$ . Untuk penampang kolom perlu di cek luas minimum  $\geq 0.09 \text{ m}^2$  atau  $30 \times 30 \text{ cm}^2$  dan luas total kolom desain ( $\sum A_c$ )/luas total kolom minimal ( $\sum A_{c \text{ min}}$ )  $\geq 1$ . Untuk gabungan penampang struktur rangka pemikul momen dan dinding geser perlu di cek luas total kolom dan dinding geser desain ( $\sum A_{csw}$ )/luas total kolom dan dinding geser minimum ( $\sum A_{csw \text{ min}}$ )  $\geq 1$ .

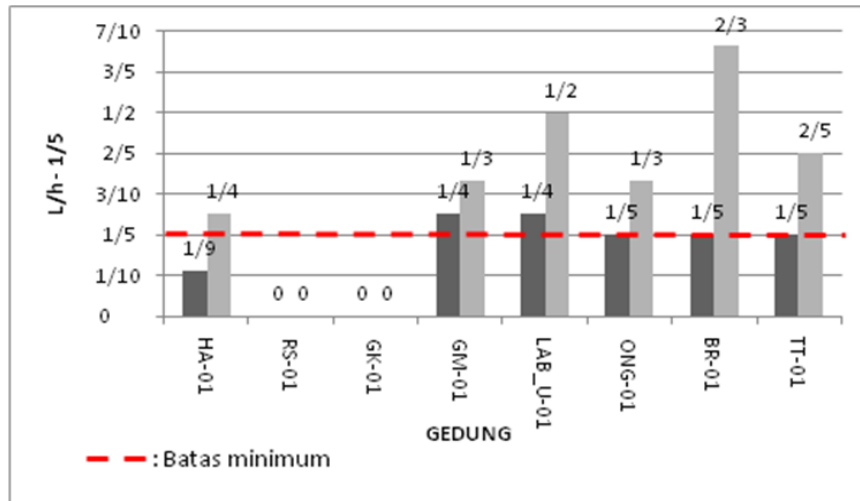
##### a. Rasio panjang bentang ( $L$ )/tinggi balok ( $h$ ) dan tinggi balok ( $h$ )/lebar balok ( $b$ )

Untuk rasio  $L/h$  balok hampir semua tidak ada  $< 1/14$  kecuali untuk menara BRI (BR-01) agak sedikit dibawah yaitu  $1/16$ , meski bukan balok struktur utama (gambar 6.3). Sebaliknya, untuk rasio  $L/h$  balok kantilever semua bangunan sudah memenuhi kecuali Hotel Artotel (HA-01) dibawah  $1/9$  dan ini beresiko patah dalam menahan gaya dinamis gempa vertikal (gambar 6.4).

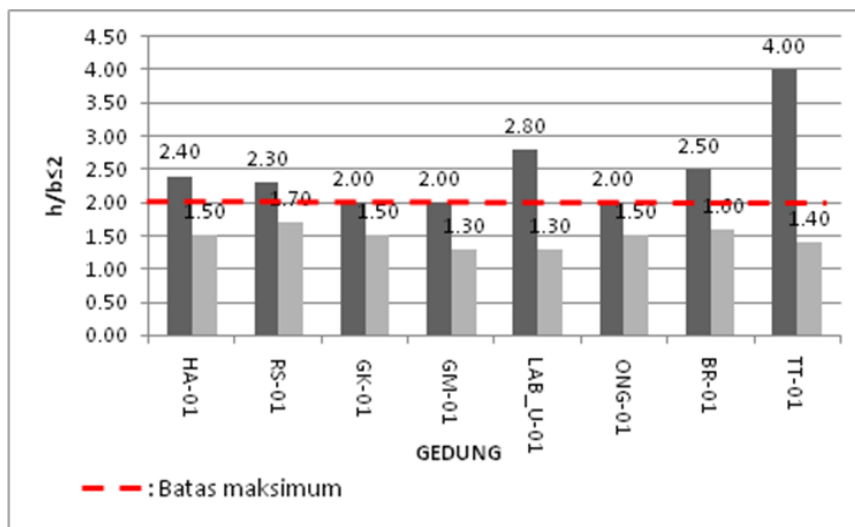


Gambar 6.3. Rasio  $L/h$  untuk balok biasa (sumber : analisa)

Rasio  $h/b$  balok  $< 2$  hanya pada Gedung kuliah Universitas PGRI (GK-01), Gigi & Mulut RS Sultan Agung (GM-01) dan Radioteraphy & Onkology RS Kariadi (ONG-01), sedangkan lainnya  $> 2$  (gambar 6.5). Hal ini berarti mengurangi kapasitas geser yang ideal bagi balok.



Gambar 6.4. Rasio L/h untuk balok kantilever (sumber : analisa)



Gambar 6.5. Rasio h/b balok (sumber : analisa)

**b. Rasio luas total kolom desain ( $\sum A_c$ )/luas total kolom minimal ( $\sum A_{c \min}$ )**

Tabel 6.41. Rasio luas total kolom desain ( $\sum A_c$ )/luas total kolom minimal ( $\sum A_{c \min}$ ) bangunan yang disurvei (sumber : analisa).

Lantai	HA-01	RS-01	GK-01	GM-01	LAB_U-01	ONG-01	BR-01	TT-01
GF	-	-	2.59	-	-	-	-	-
lt.01	-	-	3.46	-	-	1.30	-	-
lt.02	-	-	4.44	-	-	1.49	-	-
lt.03	-	-	5.02	-	-	1.83	-	-
lt.04	-	-	4.91	-	-	2.40	-	-
lt.05	-	-	6.61	-	-	3.38	-	-
lt.06	-	-	6.47	-	-	-	-	-
lt.07	-	-	-	-	-	-	-	-
lt.08	-	-	-	-	-	-	-	-
lt.09	-	-	-	-	-	-	-	-
lt.10	-	-	-	-	-	-	-	-
RF	-	-	6.53	-	-	4.53	-	-

Untuk rasio  $\sum A_c / \sum A_{c \text{ min}}$  yang menggunakan struktur rangka pemikul momen semuanya  $> 1$  (tabel 6.41). Akan tetapi, rasio ini masih dipengaruhi variabel struktur lainnya seperti jenis kolom, *strong column-weak beam*, periode getar, daktilitas dan variabel bentuk geometri bangunan. Jika variabel struktur tersebut tidak direncana dengan baik dan terjadi kombinasi ireguleritas pada geometri bangunan, maka nilainya bisa  $< 1$ .

**c. Rasio luas total kolom dan dinding geser desain ( $\sum A_{\text{csw}}$ )/luas total kolom dan dinding geser minimum ( $\sum A_{\text{csw min}}$ )**

Bangunan survei yang menggunakan kombinasi struktur rangka pemikul momen dan dinding geser rasio  $\sum A_{\text{csw}} / (\sum A_{\text{csw min}} > 1$ , kecuali Hotel Artotel (HA-01) yaitu pada Lantai dasar dan lantai 01 (tabel 6.42). Akan tetapi, rasio ini masih dipengaruhi variabel struktur lainnya seperti jenis kolom & dinding geser, *strong column-weak beam*, periode getar, daktilitas dan variabel bentuk geometri bangunan. Jika variabel struktur tersebut tidak direncana dengan baik dan terjadi kombinasi ireguleritas pada geometri bangunan, maka nilainya bisa  $< 1$ .

Tabel 6.42. Rasio luas total kolom dan dinding geser disain ( $\sum A_{\text{csw}}$ )/luas total kolom dan dinding geser minimum ( $\sum A_{\text{csw min}}$ ) bangunan yang disurvei (sumber : analisa).

Lantai	HA-01	RS-01	GK-01	GM-01	LAB_U-01	ONG-01	BR-01	TT-01
GF	0.79	-	-	-	-	-	1.51	-
lt.01	0.94	-	5.03	1.28	1.07	-	1.55	5.49
lt.02	1.07	5.55	-	1.29	1.23	-	2.37	3.93
lt.03	1.19	6.91	-	1.56	1.19	-	2.79	4.92
lt.04	1.12	9.13	-	1.67	1.42	-	3.13	6.56
lt.05	1.52	13.46	-	2.51	1.78	-	2.86	9.83
lt.06	1.52	-	-	-	5.79	-	3.84	-
lt.07	1.84	-	-	-	5.79	-	5.82	-
lt.08	2.34	-	-	-	-	-	-	-
lt.09	3.22	-	-	-	-	-	-	-
lt.10	5.14	-	-	-	-	-	-	-
RF	12.05	24.97	-	5.01	5.79	-	12.10	19.67

**5. Strong Column-Weak Beam (SCWB)**

Konsep *strong column-weak beam* yaitu kapasitas momen nominal aktual kolom  $\geq 1.2$  x kapasitas momen nominal aktual balok. Dengan kolom lebih kuat daripada balok diharapkan posisi sendi plastis yang hanya boleh terjadi di balok, sedangkan di kolom hanya boleh terjadi di kolom lantai dasar. Hal ini dilakukan untuk mereduksi kekuatan gempa dan mencegah keruntuhan tiba-tiba pada bangunan akibat gempa

kuat. Kapasitas momen kolom dan balok tergantung pada dimensi penampang dan luas tulangan pokok balok dan kolom.

Pada SVA Desain Arsitektur yang diusulkan, konsep *strong column-weak beam* diterjemahkan yaitu modulus plastis kolom  $\geq 1.2 \times$  modulus plastis balok. Dari (tabel 6.43) 8 bangunan yang disurvei tidak ada satupun bangunan yang seluruh balok dan kolom 100% memenuhi persyaratan SCWB, hanya bangunan Radioteraphy & Onkology RS Kariadi (ONG-01) yang hampir memenuhinya. Sebagian besar berkisar antara 73%-100% kecuali RS Gigi dan Mulut RS Sultan Agung (GM-01) pada lantai 04 dan 05 = 42%. Akan tetapi, pada lantai atap dari 8 bangunan yang disurvei 5 bangunan yaitu Hotel Artotel (HA-01), RS Pantiwilasa (RS-01), Gedung kuliah Universitas PGRI (GK-01), RS Gigi dan Mulut RS Sultan Agung (GM-01) dan Lab. Fak. Kedokteran Unissula (LAB\_U-01) nilai Indeks *strong column-weak beam* ( $I_{SCWB}$ ) antara 23%-50%. Hal ini disebabkan, antara lain (1) kapasitas momen kolom aktual pada suatu lantai merupakan pertambahan momen kolom aktual lantai tersebut dan kolom dibawahnya, sedangkan momen aktual balok merupakan pertambahan momen aktual balok kanan dan kiri dari kolom tersebut. Di lantai atap tidak memiliki kolom lagi dan tinggal kapasitas momen aktual kolom dibawah lantai tersebut, sehingga nilainya bisa lebih kecil daripada pertambahan momen aktual balok kanan dan kiri dari kolom tersebut; (2) berubahnya dimensi kolom biasanya semakin keatas semakin mengecil, sedangkan dimensi balok relatif tetap sehingga pertambahan momen aktual kolom < daripada pertambahan momen aktual balok.

Tabel 6.43. Indeks *strong column-weak beam* ( $I_{SCWB}$ ) bangunan yang disurvei (sumber : analisa).

Lantai	HA-01	RS-01	GK-01	GM-01	LAB_U-01	ONG-01	BR-01	TT-01
GF	100%	-	90%	-	-	-	88%	-
lt.01	100%	-	95%	85%	100%	94%	88%	86%
lt.02	100%	73%	94%	76%	100%	99%	93%	86%
lt.03	100%	73%	100%	84%	100%	99%	100%	86%
lt.04	100%	73%	74%	42%	100%	99%	100%	86%
lt.05	100%	73%	65%	42%	100%	99%	100%	86%
lt.06	100%	-	50%	-	96%	-	100%	-
lt.07	100%	-	-	-	96%	-	-	-
lt.08	100%	-	-	-	-	-	-	-
lt.09	100%	-	-	-	-	-	-	-
lt.10	100%	-	-	-	-	-	-	-
RF	38%	39%	50%	23%	29%	99%	100%	86%

## 6. Setback Kantilever

*Setback* bisa terjadi menjorok kedalam atau keluar bangunan. *Setback* yang menjorok keluar disebut dengan *overhang* atau kantilever. Kantilever biasanya digunakan oleh arsitek untuk menambah luasan ruangan. Kantilever bisa menjadi masalah jika menjorok terlalu dalam ( $> 1/5$  bentang) karena dapat menimbulkan potensi tekuk pada kolom dan torsi yang besar pada balok terutama akibat perilaku dinamis gempa vertikal.

Dari 8 bangunan yang disurvei semuanya memiliki penambahan luasan ruangan dengan cara kantilever dan hanya Hotel Artotel (HA-01) yang kantilevernya menjorok terlalu dalam sehingga dapat menimbulkan potensi tekuk pada kolom dan torsi pada balok yang berlebihan, baik akibat beban gravitasi maupun kombinasi dengan beban gempa (lihat tabel 6.44).

Tabel 6.44. Indeks konfigurasi ketidakberaturan vertikal/*setback* bangunan yang disurvei (sumber : analisa).

Lantai	HA-01	RS-01	GK-01	GM-01	LAB_U-01	ONG-01	BR-01	TT-01
GF	1	-	0.75	-	-	-	1	-
lt.01	0.5	-	1	1	0.75	1	1	1
lt.02	0.5	1	1	0.75	0.75	1	1	0.75
lt.03	0.5	1	1	1	1	0.75	0.75	0.75
lt.04	0.5	1	1	1	1	0.75	1	0.75
lt.05	0.5	1	1	1	1	0.75	1	0.75
lt.06	0.5	-	0.75	-	1	-	1	-
lt.07	0.5	-	-	-	1	-	1	-
lt.08	0.5	-	-	-	-	-	-	-
lt.09	0.5	-	-	-	-	-	-	-
lt.10	0.5	-	-	-	-	-	-	-
RF	0.5	1	0.75	1	1	0.75	1	0.75

## 6.3. RELIABILITAS

Untuk mengukur reliabilitas metode SVA Desain Arsitektur dengan mengkorelasikannya pada analisis Pushover yang diasumsikan sebagai test paralelnya. Tabel 6.35 di atas di *input* ke dalam *software* statistik SPSS, selanjutnya dianalisis dengan uji korelasi *Spearman* dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 6.45. Dari (tabel 6.45) koefisien reliabilitas antara *drift ratio* hasil SVA Desain Arsitektur dan analisis pushover yaitu 0.735. Menurut (Cohen, 1988) korelasi  $> 0.5$  termasuk korelasi yang tinggi antar 2 test. Dengan koefisien reliabilitas  $0.735 > 0.5$ , maka SVA Desain Arsitektur dan analisis Pushover konsistensi hasil analisisnya dianggap cukup baik dalam memprediksi potensi kerentanan bangunan terhadap gempa.

Tabel 6.45. Hasil korelasi Spearman antara SVA Disain Arsitektur dan analisa pushover model –a s/d j (sumber : analisa)

Spearman Correlations Section (Row-Wise Deletion)

	SVA	PUSHOVER
SVA	1	0.735
PUSHOVER	0.735	1

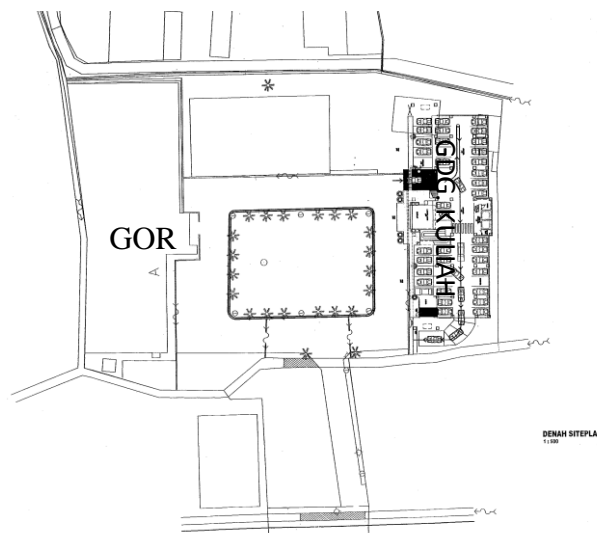


# BAB VII. APLIKASI LAPANGAN SVA DESAIN ARSITEKTUR

Tujuan dari aplikasi lapangan prosedur SVA Desain Arsitektur yaitu mempelajari kerentanan desain bangunan terhadap gempa yang ada di Kota Semarang dan juga sebagai verifikasi dari prosedur yang diusulkan. Untuk tujuan pertama yaitu mempelajari tipe-tipe desain yang rentan terhadap gempa dilakukan oleh arsitek atau konsultan. Selain itu, tujuan kedua untuk memverifikasi hasil evaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa dengan memperbandingkan rekomendasi ahli arsitektur dan ahli struktur dari tim TABG Kota Semarang pada bab VI.

## 7.1. SVA GEDUNG KULIAH UNIVERSITAS PGRI 8 LANTAI

### 1. Data Arsitektur

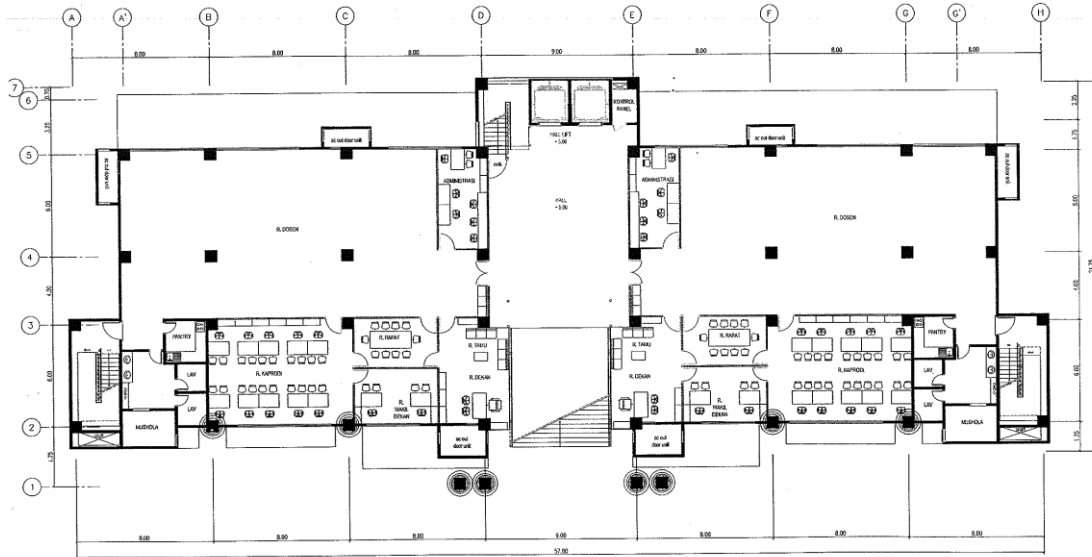


Gambar 7.1. *Site* eksisting dan posisi gedung kuliah yang akan dibangun (sumber : Dinas Tata Ruang Kota (DISTARU) Kota Semarang)

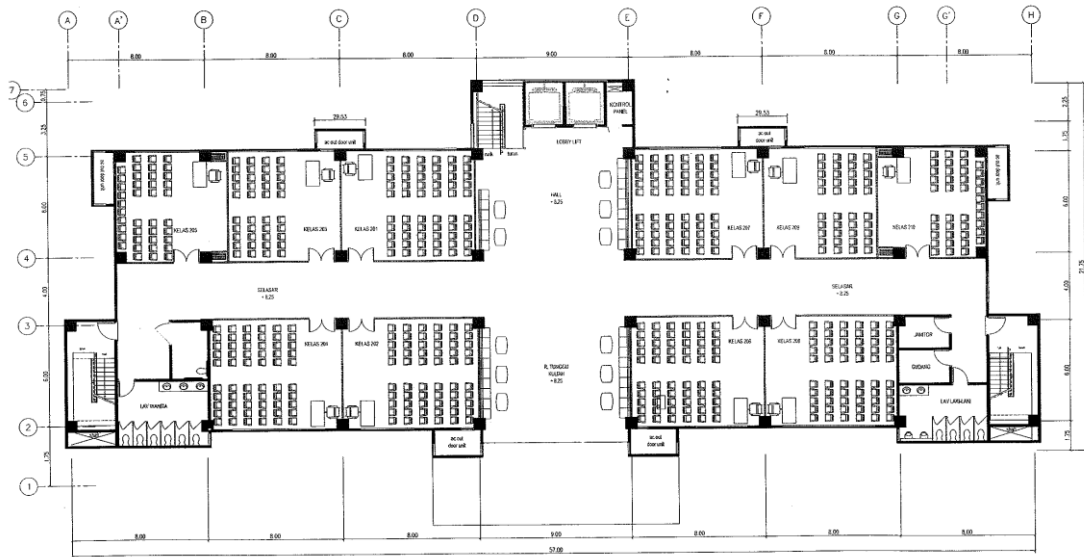
Gedung kuliah tersebut berada di Jl. Gajah, Kota Semarang. Di lahan eksisting seluas 4.832 m<sup>2</sup> dan di tapak tersebut telah ada satu bangunan gedung olah raga (GOR) dan lapangan terbuka dibagian tengah tapak. Bentuk geometri bangunan empat persegi panjang dan relatif simetris dengan memperhatikan tapak yang tersedia. Adapun fungsi bangunan per lantai dapat diuraikan sebagai berikut :

- Lantai P1 berfungsi untuk parkir 41 mobil, *ground reservoir*, ruang keamanan, dan CCTV.
- Lantai P2 berfungsi untuk parkir 251 motor, ruang Genset, trafo dan panel, ruang Pompa.
- Lantai 1 berfungsi untuk ruang dekan (2 bh), ruang wakil dekan (4 bh), ruang kaprodi (10 bh), ruang dosen (96 orang), ruang rapat (2 bh) dilengkapi lavatory umum, pantri dan lainnya.

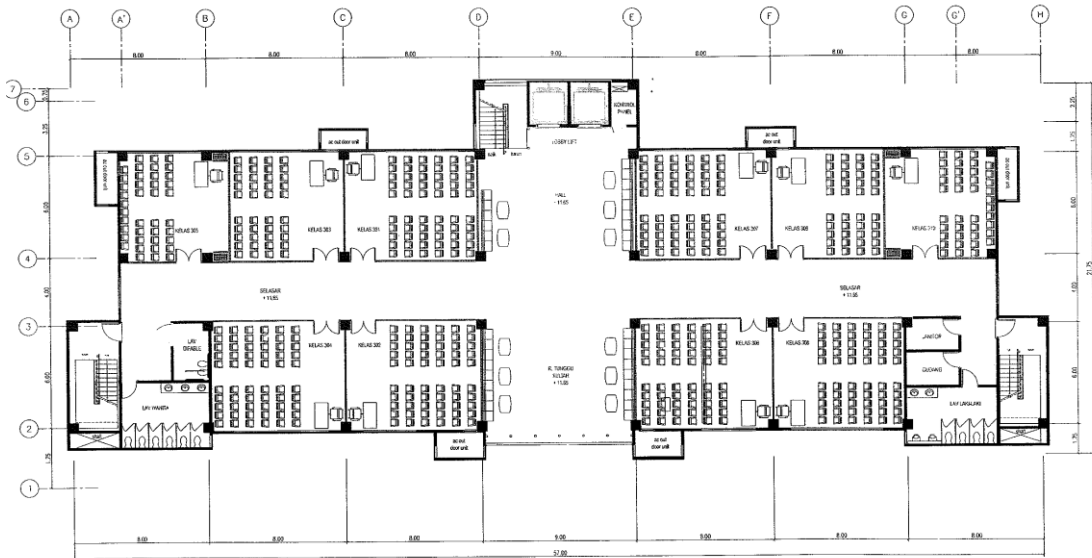




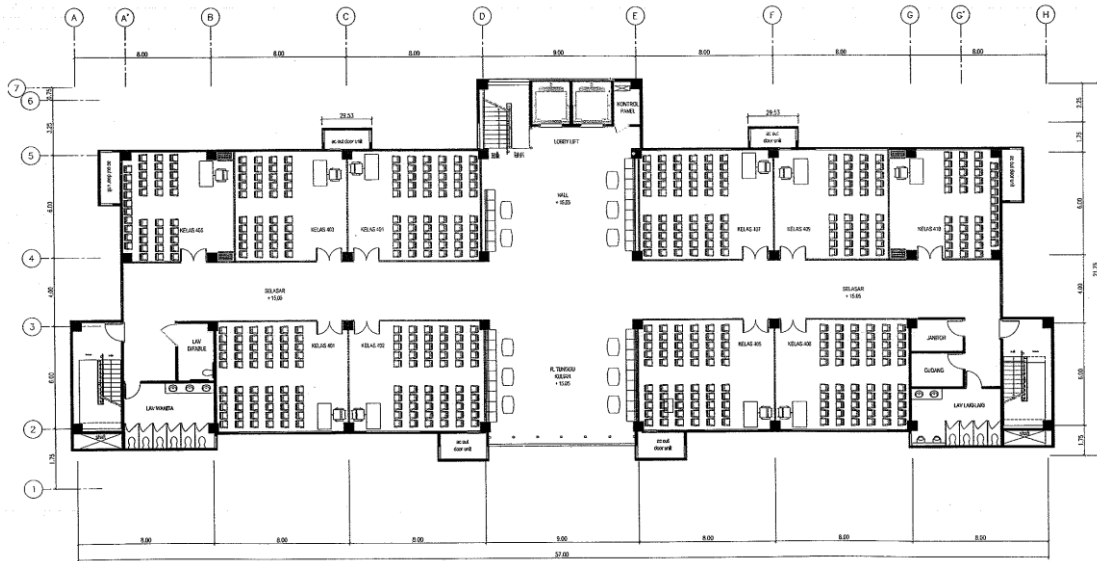
**C DENAH LANTAI LT.1**



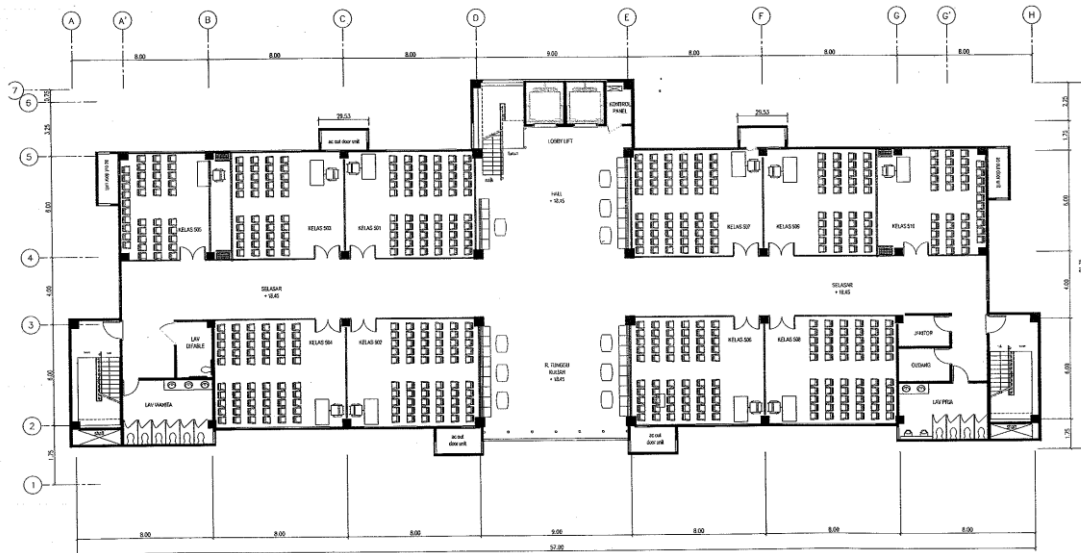
**d DENAH LANTAI LT.2**



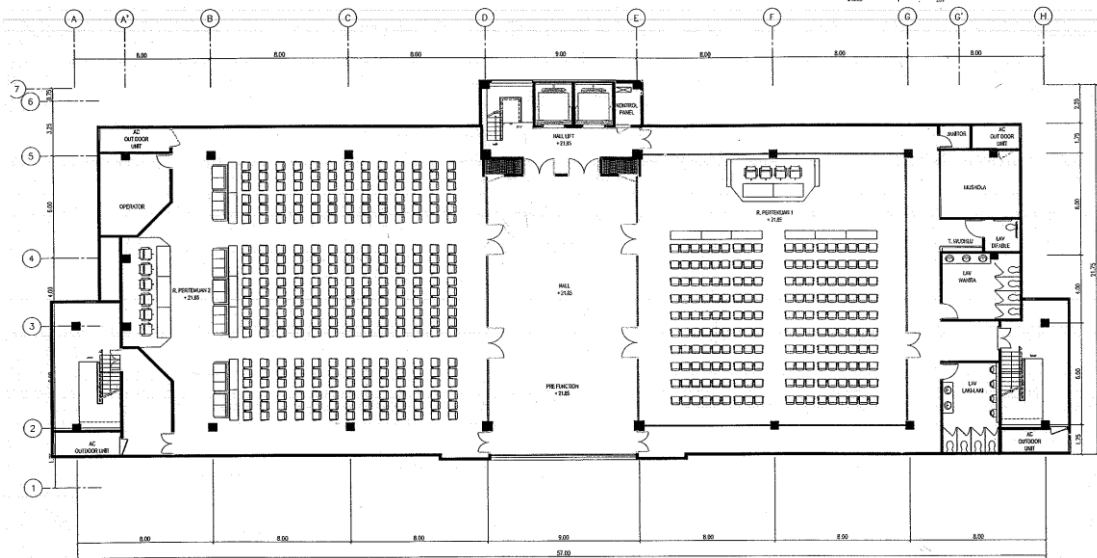
**e DENAH LANTAI LT.3**



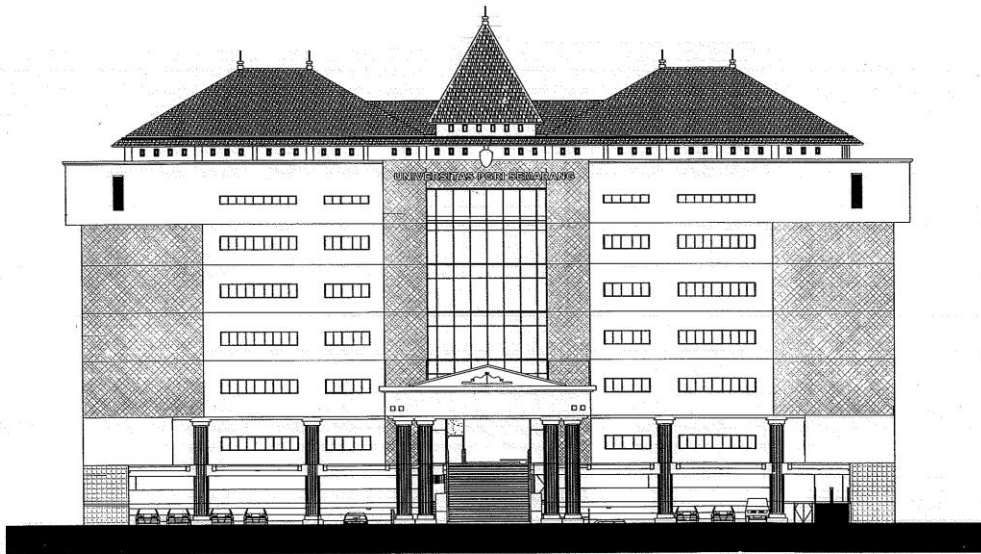
f DENAH LANTAI LT.4



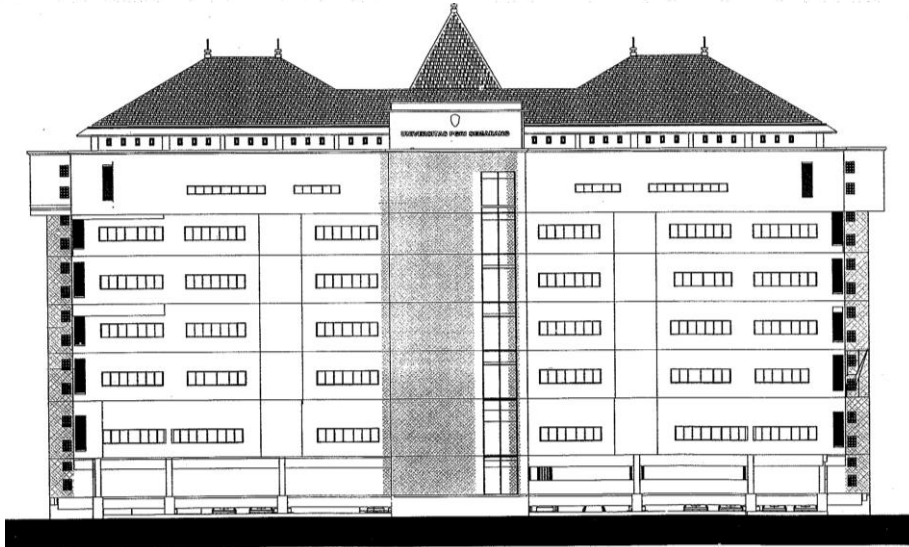
g DENAH LANTAI LT.5



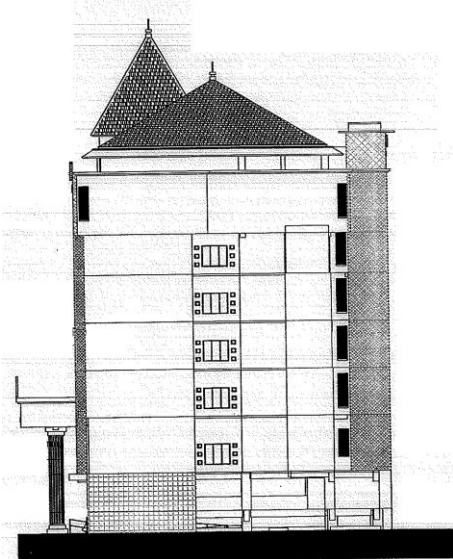
h DENAH LANTAI LT.6



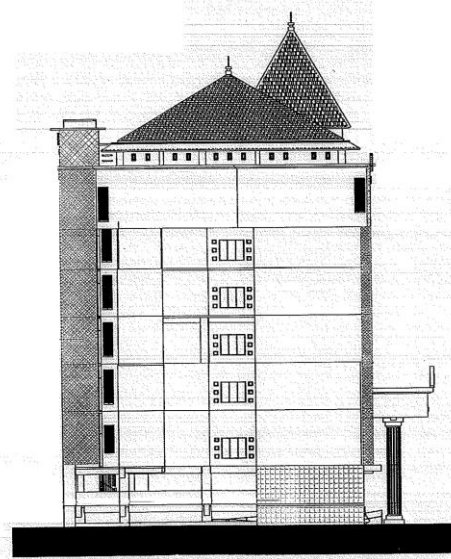
i TAMPAK A  
1:200



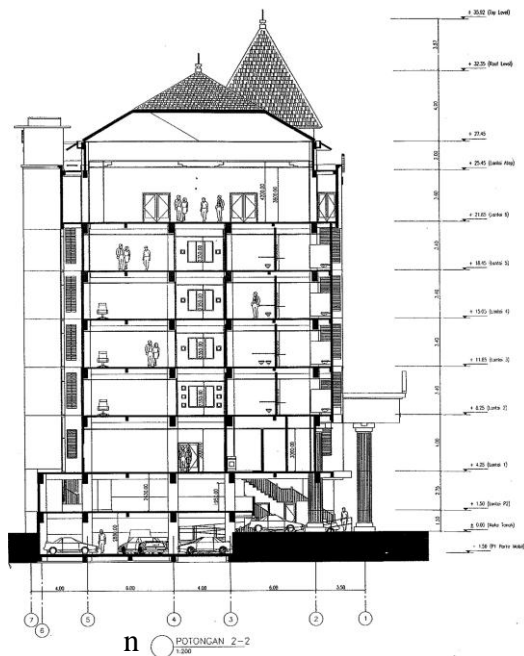
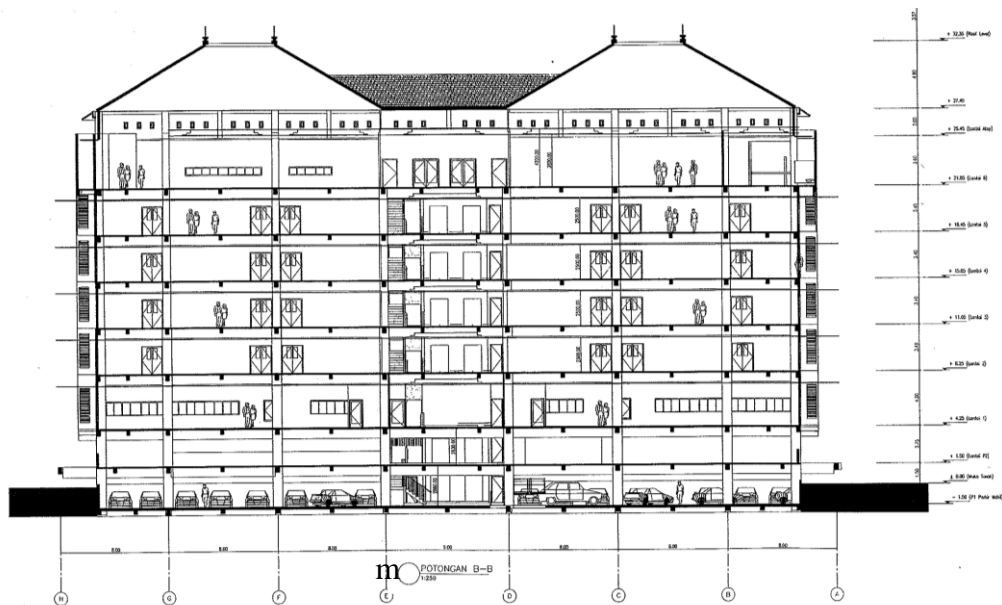
j TAMPAK B  
1:200



k TAMPAK C  
1:200



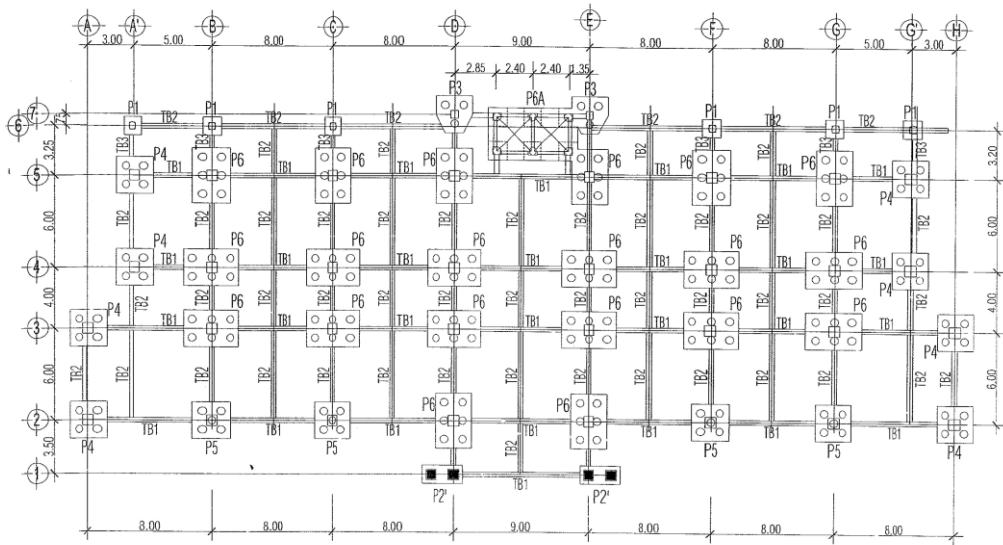
l TAMPAK D  
1:200



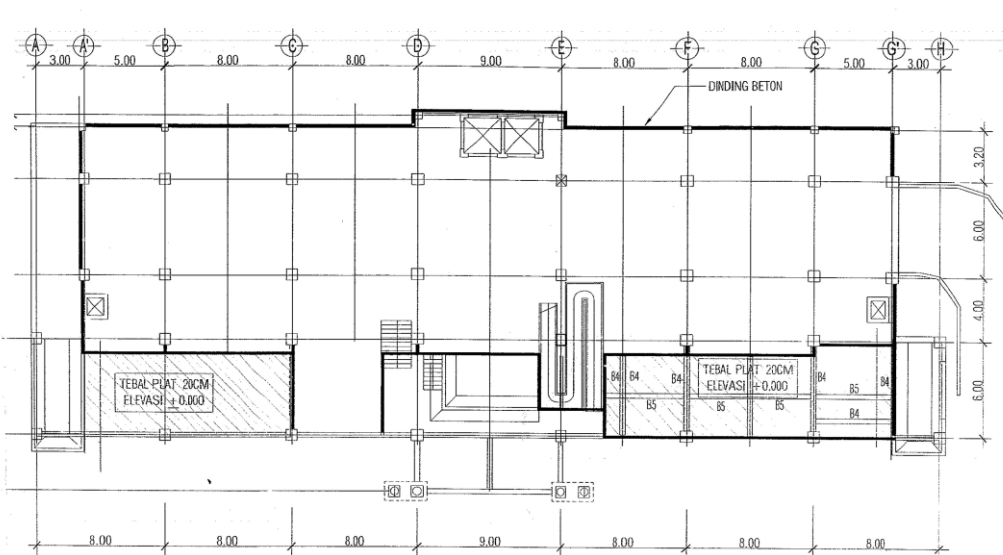
Gambar 7.2. Gambar denah, tampak dan potongan gedung kuliah(sumber : Dinas Tata Ruang (DISTARU) Kota Semarang)

## 2. Data Struktur

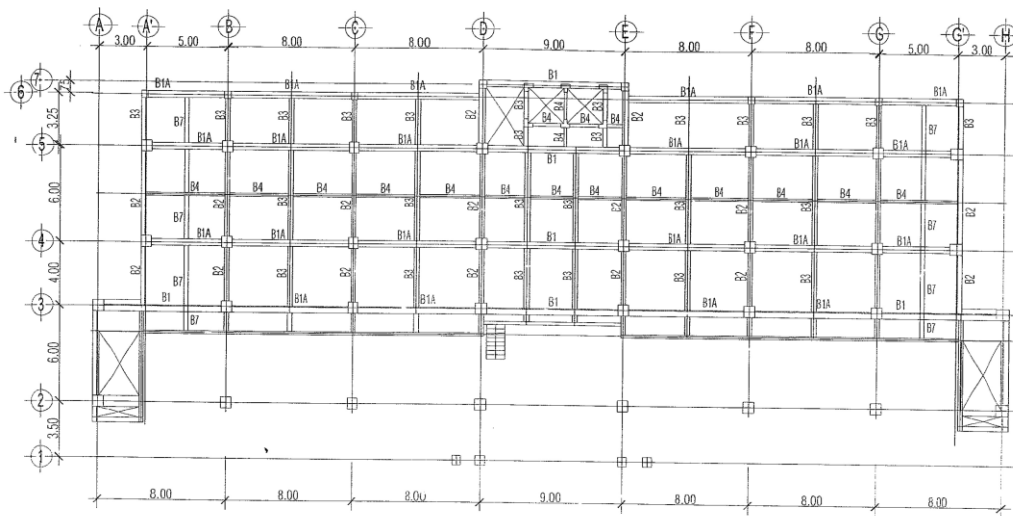
Struktur atas yang digunakan pada gedung tersebut yaitu struktur beton bertulang sistem rangka penahan momen khusus (SRPMK). Mutu beton pelat, balok, kolom dan dinding geser yaitu K-300; sedangkan tulangan  $f_y=400$  MPa (BJTD-40  $D \geq 12$ ) dan  $f_y=240$  MPa (BJTP-24  $D \leq 12$ ). Untuk atap baja profil IWF dengan mutu St 37.



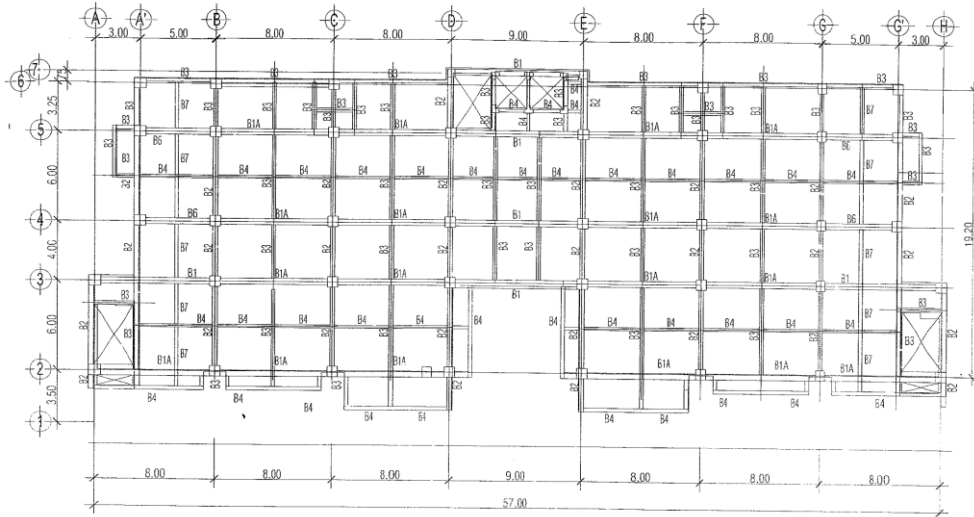
a DENAH TIE BEAM & PONDASI



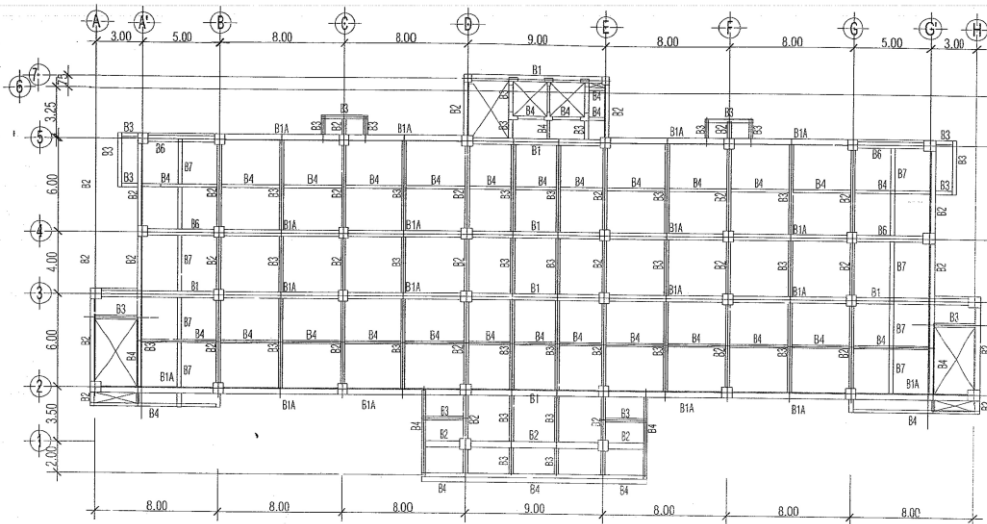
b DENAH DINDING BETON DAN TALUD - LT P1  
SKALA 1 : 200



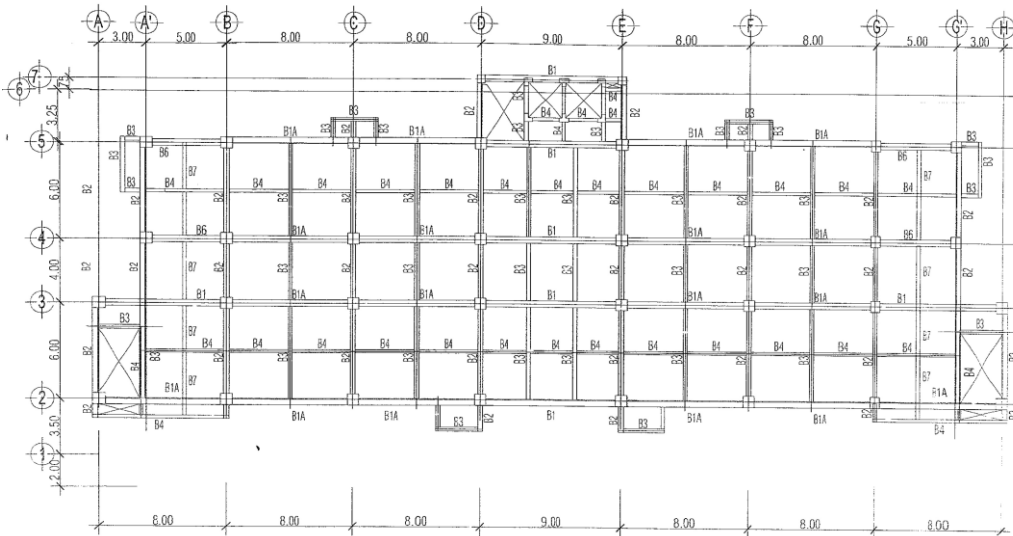
c DENAH BALOK - LT P2  
SKALA 1 : 200



d DENAH BALOK - LT 1  
SKALA 1 : 200

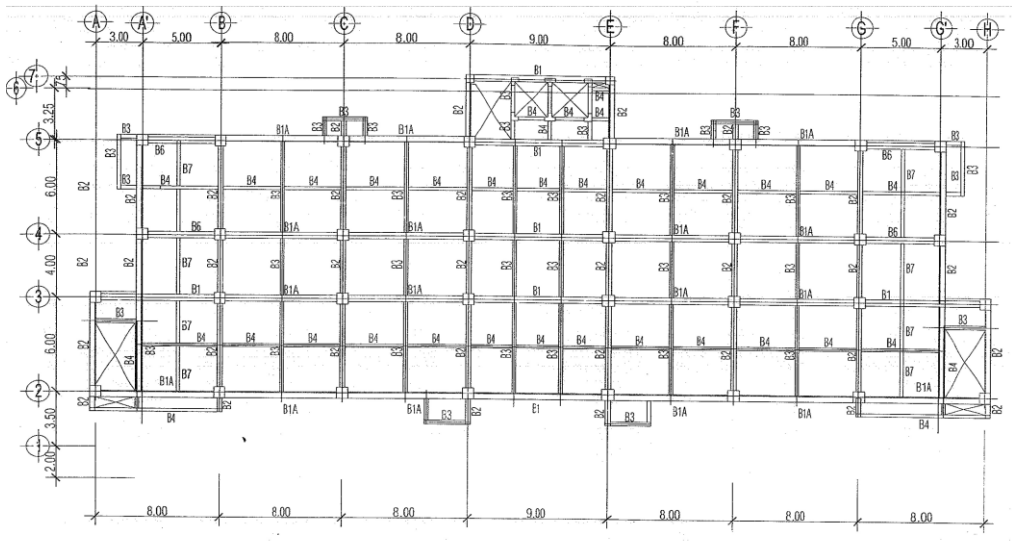


e DENAH BALOK - LT 2  
SKALA 1 : 200

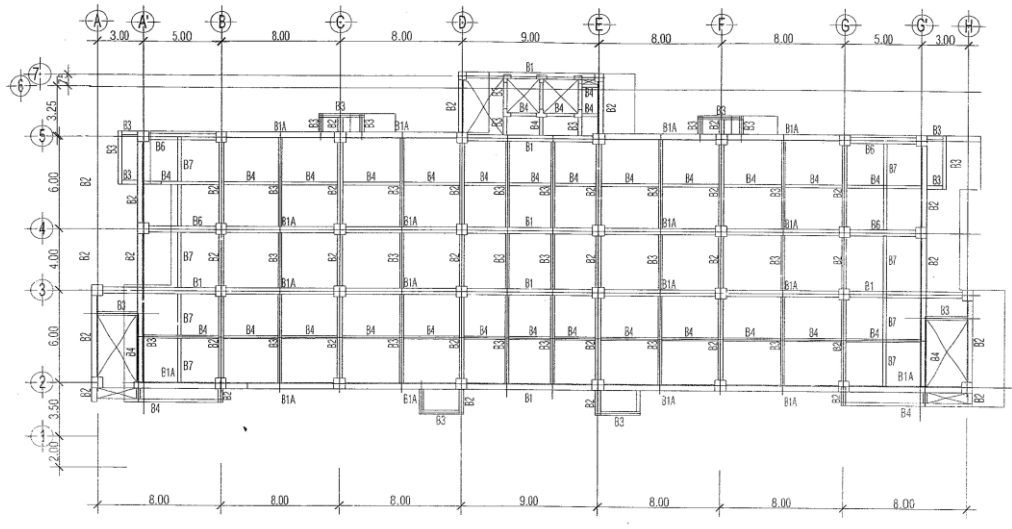


f DENAH BALOK - LT 3  
SKALA 1 : 200

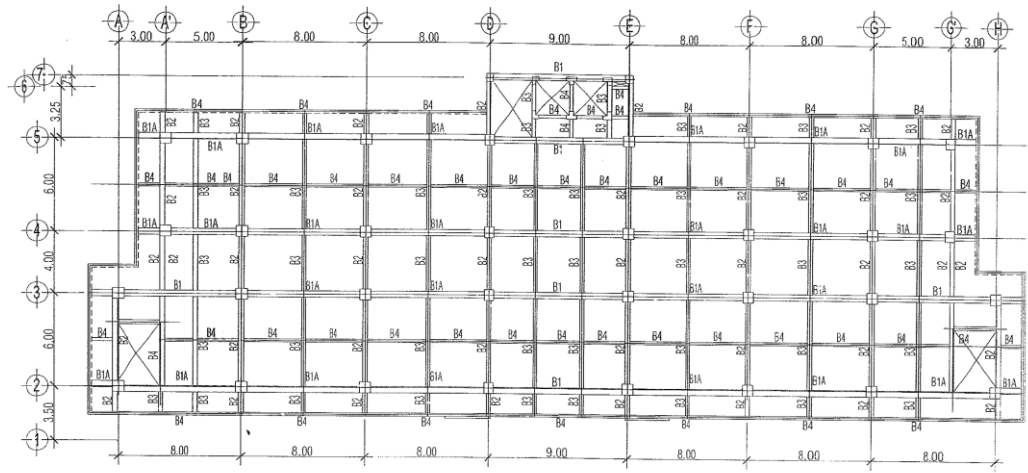




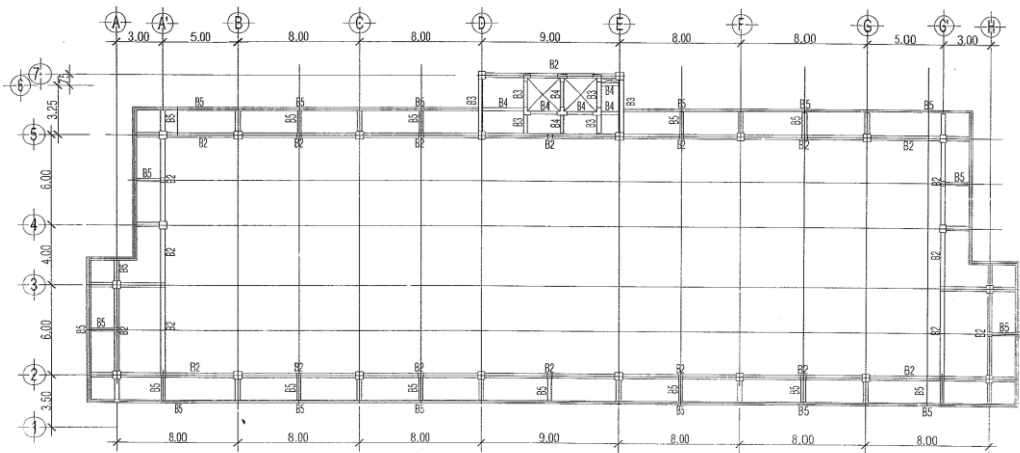
g DENAH BALOK - LT 4



h DENAH BALOK - LT 5  
SKALA 1 : 200



i DENAH BALOK - LT 6  
SKALA 1 : 200



j DENAH BALOK ATAP  
SKALA 1 : 200

Gambar 7.3. Gambar denah kolom, balok & plat lantai gedung kuliah  
(sumber : DISTARU Kota Semarang)

### 3. Screening dimensi struktur gedung kuliah, *strong column & weak beam*, periode getar dan kekakuan

Tabel 7.1. Rasio bentang struktur dan tinggi balok, dan rasio tinggi balok dan lebar balok (sumber : analisa).

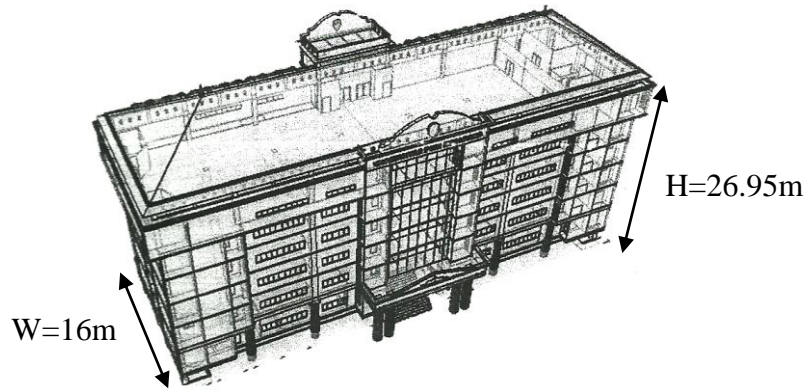
Balok	Dimensi - $b_b/h_b$ (cm)	Bentang - L (m)	$L/h_b - 1/10-1/14$	$h_b/b_b \leq 2$
B1	40/70	8, 9	1/11-1/13	1.8
B1A	40/70	5, 8	1/7-1/11	1.8
B2	30/50	4, 6	1/8-1/12	1.7
B3	25/45	1.7, 2.3, 3, 3.25, 4, 5, 6	1/4-1/13	1.8
B4	20/40	1.35, 1.7, 3, 4	1/3-1/10	2
B6	40/60	5	1/8	1.5

Tabel 7.2. Dimensi minimal kolom (sumber : analisa).

Kolom	Dimensi - $b_c/h_c$ (cm)	$b_c/h_c$	$b_c \geq 30$	$b_c/h_c \geq 0.4$
K1	70/70	1.00	ya	ya
K1A	70/70	1.00	ya	ya
K2	60/60	1.00	ya	ya
K3	50/50	1.00	ya	ya
K4	45/45	1.00	ya	ya

Tabel 7.3. *Strong column* dan *weak beam* (sumber : analisa).

LANTAI	$W_p \text{ KOLOM} > 1.2 \times W_p \text{ BALOK}$
lantai P2	90%
lantai 01	95%
lantai 02	94%
lantai 03	100%
lantai 04	74%
lantai 05	65%
lantai 06	50%
RF	50%



Gambar 7.4. Massa gedung kuliah yang relatif kaku dengan  $H/W=1.7 < 4$  (sumber : analisa)

- Pada (tabel 7.1 dan 7.2) memperlihatkan bahwa dimensi balok dan kolom, tinggi dan lebarnya sudah memenuhi ketentuan SNI dalam menahan gempa kuat.
- Pada (tabel 7.3) memperlihatkan bahwa sebagian besar dimensi balok dan kolom sudah memenuhi ketentuan  $W_p \text{ kolom} \geq 1.2 \times W_p$ , kecuali lantai 6 sehingga kemungkinan terbentuknya mekanisme *strong column-weak beam* diharapkan terjadi pada saat gempa kuat.
- Dari hasil perhitungan konsultan bangunan gedung kuliah ini memiliki rentang periode getar pendekatan  $T_a=0.86$  dtk dan  $T_{max}=1.2$  dtk, sedangkan berdasarkan perhitungan periode getar fundamentalnya ( $T_c$ ) untuk arah sumbu  $-Y=0.94$  dtk dan untuk arah sumbu  $-X=1.0$  dtk. Periode getar arah sumbu  $-X$  dan  $-Y$  masih di dalam rentang  $T_a$  dan  $T_{max}$  yang berarti bangunannya tidak terlalu kaku dan juga tidak terlalu fleksibel.
- Massa bangunan gedung kuliah di mana perbandingan lebar dan tinggi bangunan ( $H/B=1.7 < 4$ ) sudah cukup membuat kekakuan bangunan dan tidak memerlukan pengaku tambahan seperti dinding geser (gambar 7.4).

#### 4. Indeks kapasitas geser struktur ( $I_{S-i}$ ) gedung kuliah

Perencana struktur merancang gedung kuliah ini dengan jenis SRPMK. Akan tetapi, dikarenakan terdapat dinding geser di lantai basement, maka menggunakan persamaan struktur rangka pemikul momen dan dinding geser (persamaan 5.6). Namun, untuk faktor  $R$  dan  $\Omega_0$  tetap menggunakan SRPMK dengan  $R=8$  dan  $\Omega_0 = 3$  (lihat tabel 5.2).

$$E_{0-i} = \frac{n+1}{n+i} [(I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}) + (I_{Asw-i} \cdot I_{SW-i})] \cdot I_{SCWB-i} \cdot I_T \cdot \frac{R}{\Omega_0} \text{-----} (5.6)$$

Dimana,

$n$  = Jumlah tingkat bangunan.

$i$  = Jumlah tingkat yang dievaluasi. Di mana tingkat pertama diberi nomor 1 dan tingkat terakhir adalah  $n$ .

$I_{AC-i}$  = Indeks dimensi kolom di tingkat ke- $i$

$I_{C-i}$  = Indeks jenis kolom di tingkat ke- $i$ .

$I_{ASW-i}$  = Indeks dimensi dinding geser di tingkat ke- $i$ .

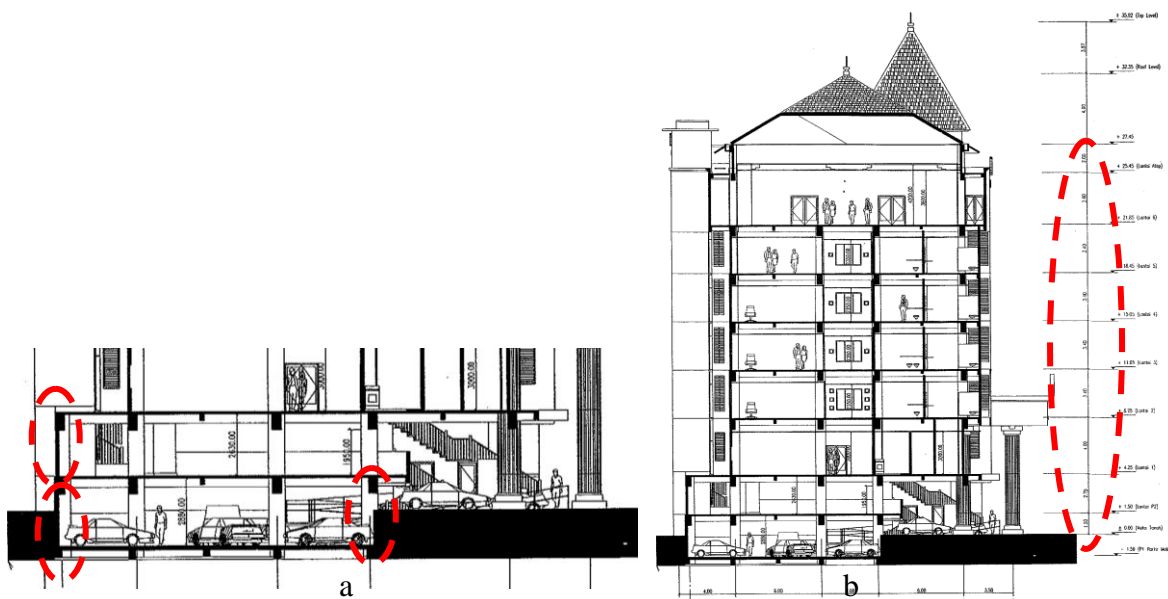
$I_{SW-i}$  = Indeks jenis dinding geser di tingkat ke- $i$ .

$I_{SCWB-i}$  = Indeks *Strong Column Weak Beam* tingkat di tingkat ke- $i$ .

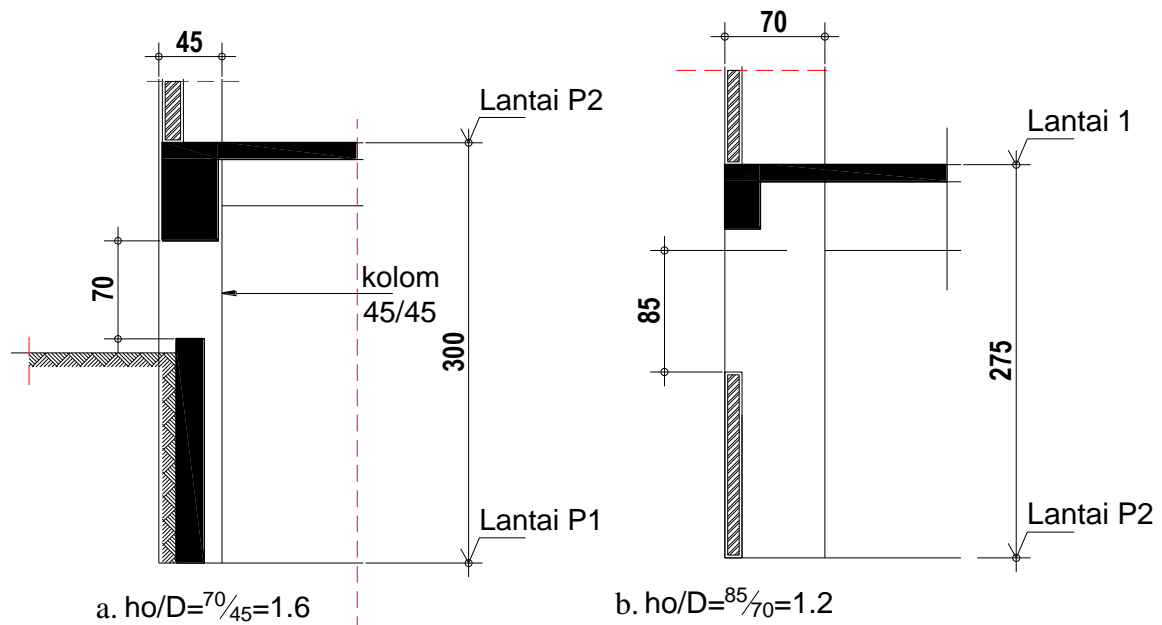
$I_T$  = Indeks periode getar struktur,  $T_c \leq T_{max} \rightarrow I_T = 1$  dan  $T_c > T_{max} \rightarrow I_T = 0$

$R/\Omega_0$  = Indeks daktilitas

Sebagai langkah awal untuk menghitung indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dan dinding geser dengan persamaan 5.6 dilakukan *screening* kategori jenis kolom menurut tabel 5.1, karena dimensi kolom dan ketinggian perlantai bangunan ada yang tidak tipikal. Adanya dinding semi basement dan dinding 1/2 pembatas parkir motor yang menginterupsi kolom.



Gambar 7.5. a). Kolom yang diterupsi dinding semi *basement* & dinding 1/2 pembatas, b). Ketinggian kolom yang tidak sama (sumber : Dinas Tata Ruang (DISTARU) Kota Semarang)



Gambar 7.6. a). Kolom semi basement yang diinterupsi oleh dinding beton, b). Kolom lantai P2 yang diinterupsi oleh dinding 1/2 pembatas, dan semuanya akan berperilaku *short column* / kolom pendek ( $h_0/D \leq 2$ ) yang rentan terhadap kegagalan geser (sumber : analisa)

Untuk gedung kuliah parameter indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen yaitu :

Tabel 7.4. Indeks kolom ( $I_{C-i}$ ) berdasarkan jumlah jenis kolom ( $h_0/D$ ) dan indeks jenis kolom (sumber : analisa).

Lantai	Jumlah jenis kolom ( $N_c$ )			$I^*N_c / \sum N_c$			Indeks Kolom ( $I_{C-i}$ ) $\sum(I^*N_c / \sum N_c)$
	(a). $h_0/D \leq 2$ (bh)	(b). $2 < h_0/D < 6$ (bh)	(c). $6 \leq h_0/D$ (bh)	$h_0/D \leq 2$	$2 < h_0/D < 6$	$6 \leq h_0/D$	
	lantai P1	20	20	-	0.50	0.40	-
lantai P2	11	35	-	0.24	0.61	-	0.85
lantai 01	-	34	10	-	0.62	0.14	0.75
lantai 02	2	35	3	0.05	0.70	0.05	0.80
lantai 03	2	35	3	0.05	0.70	0.05	0.80
lantai 04	2	35	3	0.05	0.70	0.05	0.80
lantai 05	2	35	3	0.05	0.70	0.05	0.80
lantai 06	-	4	24	-	0.11	0.51	0.63
Indeks (I)	1	0.8	0.6				

Tabel 7.5. Indeks dinding geser  $I_{SW-i}$  berdasarkan jumlah jenis dinding geser dan indeks dinding geser (sumber : analisa).

Lantai	Jumlah jenis shear wall ( $N_{sw}$ )			$I^*N_{sw} / \sum N_{sw}$			Indeks shear wall ( $I_{SW-i}$ ) $\sum(I^*N_{sw} / \sum N_{sw})$
	(a). Dibatasi 2 kolom (bh)	(b). Dibatasi 1 kolom (bh)	(c). Tanpa dibatasi kolom (bh)	Dibatasi 2 kolom	Dibatasi 1 kolom	Tanpa dibatasi kolom	
	lantai P1	9	8		0.53	0.33	0.00
Indeks (I)	1	0.7	0.3				

Tabel 7.6. Jumlah luas dimensi kolom disain ( $\sum A_c$ ) dan jumlah luas dimensi kolom minimum ( $\sum A_c \text{ min}$ ) (sumber : analisa).

Lantai	$\sum A_c$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_c \text{ min}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_c / \sum A_c \text{ min}$ (I <sub>a</sub> )
lantai P2	14.46	5.50	2.63
lantai 01	17.40	5.02	3.46
lantai 02	17.80	4.01	4.44
lantai 03	16.18	3.22	5.02
lantai 04	12.54	2.55	4.91
lantai 05	12.54	1.90	6.61
lantai 06	9.90	1.24	7.99
RF	6.46	0.99	6.53

Tabel 7.7. Jumlah luas dimensi dinding geser disain ( $\sum A_{sw}$ ) dan jumlah luas dimensi dinding geser minimum ( $\sum A_{sw} \text{ min}$ ) (sumber : analisa).

Lantai	$\sum A_{sw}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{sw} \text{ min}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{sw} / \sum A_{sw} \text{ min}$ (I <sub>sw</sub> )
lantai P2	21.31	4.27	4.99

Tabel 7.8. Kombinasi ( $\sum A_c$ )/ $\sum A_c \text{ min}$  dan ( $\sum A_{sw}$ )/( $\sum A_{sw} \text{ min}$ ) (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai (m <sup>2</sup> )	$\sum A_c$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{sw}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{csw}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{csw} \text{ min}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{csw} / \sum A_{csw} \text{ min}$
lantai 01	3555.47	14.46	21.3	35.8	7.11	5.03

- Dari (tabel 7.4) memperlihatkan bahwa gedung kuliah tersebut didominasi jenis kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ) yang sebagian kecil terdapat kolom pendek ( $h_0/D \leq 2$ ) serta kolom langsing ( $6 \leq h_0/D$ ) yang berarti kegagalan geser dan lentur pada kolom bangunan dapat diminimalisir.
- Jenis dinding geser berdasarkan (tabel 7.5) yaitu dinding geser yang diapit dua kolom dan satu kolom. Hal ini menguntungkan karena dapat menambah kekakuan pada lantai bawah bangunan.
- Pada (tabel 7.6, 7.7 dan 7.8) memperlihatkan bahwa dimensi kolom dan dinding geser pada gedung kuliah tersebut sudah memenuhi persyaratan minimum bahkan melebihi.
- Struktur yang dipilih SPRMK maka  $R = 8$  dan  $\Omega_0 = 3$  (lihat tabel 5.2)

##### 5. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung kuliah

$$I_{SO-i} = \frac{n+i}{2n-i+1} (I_{CS} \cdot I_e) \text{-----} (5.22)$$

Dimana,

$n$  = Jumlah tingkat bangunan.

$i$  = Jumlah tingkat yang dievaluasi. Di mana tingkat pertama diberi nomor 1

dan tingkat terakhir adalah n

$C_S$  = Koefisien respon seismik desain

$C_{S \min}$  = Koefisien respon seismik minimum  $S_S=0.25g$  dan  $S_1=0.1g$

$I_{CS}$  = Indeks respon seismik

$I_e$  = Faktor keutamaan fungsi bangunan

Untuk zona gempa wilayah Jl. Gajah Semarang parameter gempanya yaitu :

$S_S = 1.098 g$

$S_1 = 0.364 g$

Site class = E

Seismic important factor  $I_e$  untuk gedung kuliah = 1.5

$C_S = 0.124$

$C_{S \min} = 0.051$

$I_{CS} = C_S/C_{S \min} = 2.43$

Adapun indeks beban lateral gempa pada masing-masing tingkat dapat dilihat pada tabel 7.9.

Tabel 7.9. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung kuliah Jl. Gajah Semarang (sumber : analisa).

Model	Lantai	$\frac{n+1}{2n-i+1}$		$I_{CS}$	$I_e$	$I_{SO-i}$
GK-01	lantai P2	9/16	0.56	2.43	1.50	2.05
	lantai 01	9/15	0.60	2.43	1.50	2.19
	lantai 02	9/14	0.64	2.43	1.50	2.34
	lantai 03	9/13	0.69	2.43	1.50	2.52
	lantai 04	9/12	0.75	2.43	1.50	2.74
	lantai 05	9/11	0.82	2.43	1.50	2.98
	lantai 06	9/10	0.90	2.43	1.50	3.28
	RF	9/9	1.00	2.43	1.50	3.65

## 6. Ireguleritas konfigurasi ( $S_{D-i}$ )

### a. Konfigurasi ketidakberaturan torsi

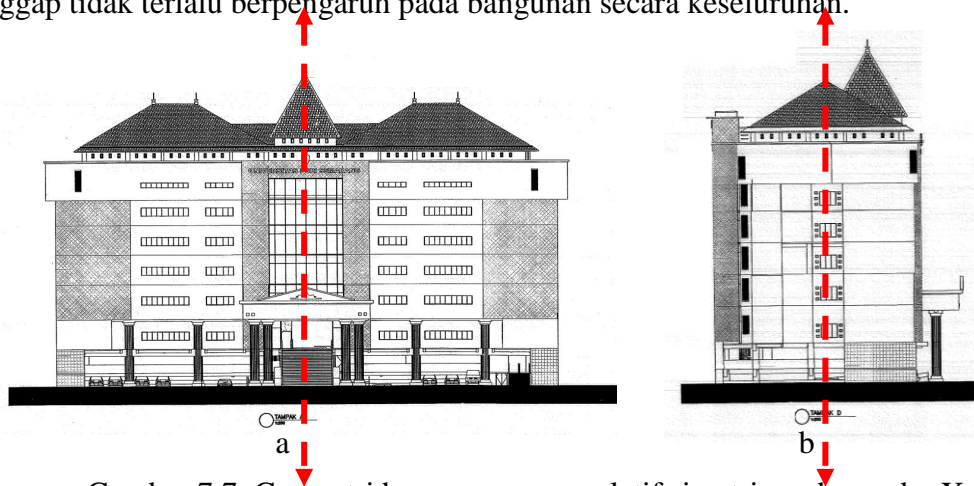
$$e_{r-i} = e_i/w_i \text{-----}(5.13)$$

Di mana :  $e_{r-i}$  = rasio antara panjang eksentrisitas ( $e_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan lebar bangunan ( $w_i$ ) tingkat ke  $-i$ .

Tabel 7.10. Eksentrisitas ( $e_{x-i}$  dan  $e_{y-i}$ ) antara pusat massa dan pusat kekakuan lantai pada gedung kuliah 8 lantai (sumber : analisa).

Lantai	$e_{x-i}$ (m)	$e_{y-i}$ (m)	$e_{rx-i}$	$e_{ry-i}$	$e_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai P2	0.994	0.040	0.019	0.003	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 01	0.020	0.107	0.0004	0.005	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 02	0.021	1.361	0.0004	0.053	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 03	0.022	1.188	0.0004	0.054	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 04	0.036	1.480	0.001	0.068	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 05	0.036	1.480	0.001	0.068	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 06	0.056	1.879	0.001	0.086	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai Atap	0.077	3.345	0.001	0.154	$0.1 < e_{r-i} < 0.3$	0.75

Bentuk geometris gedung kuliah ini relatif simetris baik pada sumbu X maupun sumbu Y (gambar 7.7). Hal ini dapat dilihat pada (tabel 7.10) semua eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan bangunan cukup kecil  $< 10\%$  dari panjang dan lebar bangunan, kecuali pada atap sehingga potensi terjadi torsi/puntir pada bangunan pada saat terjadi gempa kuat dapat diminimalisir. Pada lantai atap kolom utama yang mendukungnya hanya pada fasade bangunan dan pada tengah bangunan lantai atap terdapat void yang ditutupi dengan atap kuda-kuda baja profil IWF sehingga terjadi eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan. Akan tetapi, dikarenakan torsi yang terjadi hanya dibagian atap dan juga tidak terdapat massa yang berat, maka dianggap tidak terlalu berpengaruh pada bangunan secara keseluruhan.



Gambar 7.7. Geometri bangunan yang relatif simetris pada sumbu X (a) dan sumbu Y (b), walaupun terdapat massa aditif dan subtraktif tetapi tidak terlalu berpengaruh (sumber : analisa)

**b. Konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam**

$$b_{r-i} = l_{p-i}/l_{u-i} \text{-----(5.14)}$$

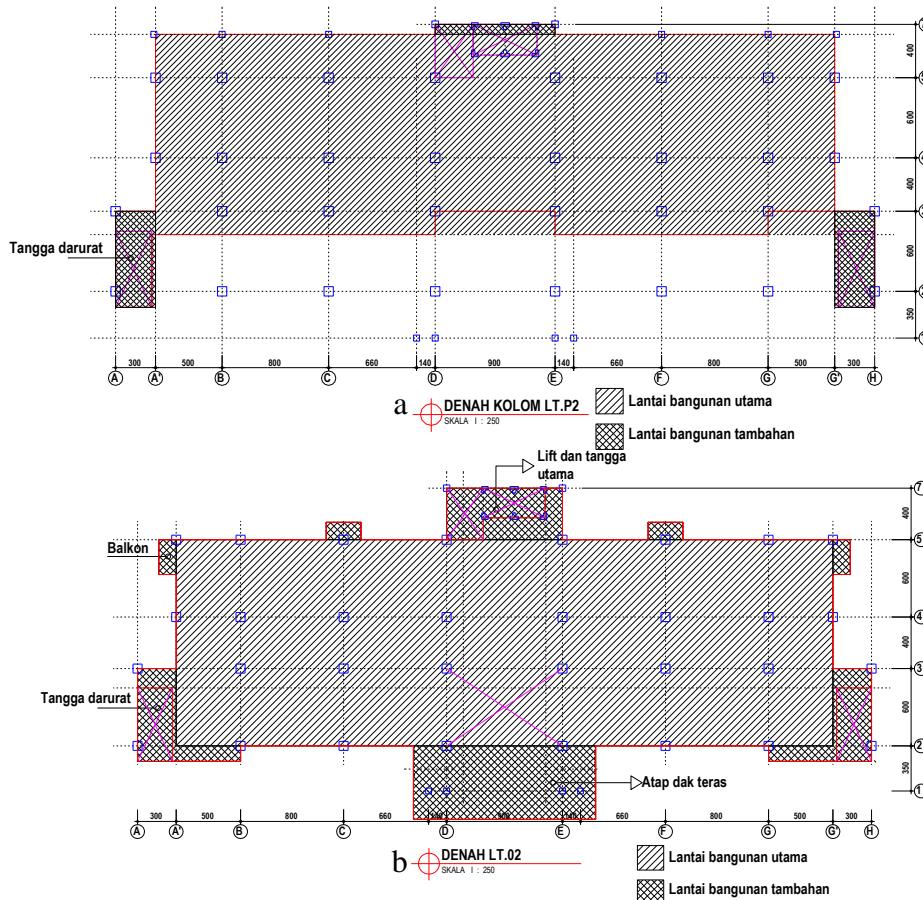
Di mana :  $b_{r-i}$  = rasio luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan ( $l_{p-i}$ ) tingkat ke  $-i$  dan luas lantai bangunan utama tingkat ke  $-i$  ( $l_{u-i}$ ).

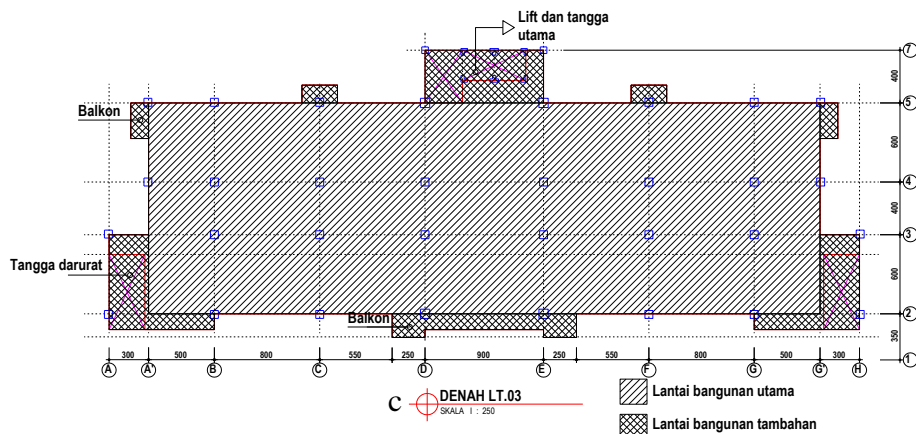


Tabel 7.11. Rasio luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan ( $l_{p-i}$ ) dan luas lantai bangunan utama ( $l_{u-i}$ ) pada gedung kuliah 8 lantai

Lantai	Luas lantai utama ( $l_{u-i}$ ) (m <sup>2</sup> )	Luas proyeksi bangunan terbesar ( $l_{p-i}$ ) (m <sup>2</sup> )	$l_{p-i}/l_{u-i}$	$b_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai P2	599.25	21.60	3.6%	$b_{r-i} \leq 10\%$	1
lantai 01	816.00	27.60	3.4%	$b_{r-i} \leq 10\%$	1
lantai 02	816.00	80.66	9.9%	$b_{r-i} \leq 10\%$	1
lantai 03	816.00	36.00	4.4%	$b_{r-i} \leq 10\%$	1
lantai 04	816.00	36.00	4.4%	$b_{r-i} \leq 10\%$	1
lantai 05	816.00	36.00	4.4%	$b_{r-i} \leq 10\%$	1
lantai 06	816.00	42.75	5.2%	$b_{r-i} \leq 10\%$	1
lantai Atap	816.00	42.75	5.2%	$b_{r-i} \leq 10\%$	1

Massa aditif yang cukup besar yaitu atap dak teras yang menaungi tangga utama (gambar 7.8b), sedangkan pada lantai-lantai lainnya massa aditif tidak terlalu signifikan  $< 10\%$  dari massa utama (gambar 7.8c). Massa-massa aditif yang relatif tidak signifikan yang ada di bangunan tersebut (tabel 7.11) diharapkan tidak membentuk potensi konsentrasi tegangan-tegangan pada elemen struktur balok dan kolom yang berlebihan pada saat terjadi gempa kuat.





Gambar 7.8. a). Penambahan massa aditif untuk tempat parkir, b). dan c).  
 Penambahan massa aditif untuk fungsi servis (sumber : analisa)

**c. Konfigurasi ketidakberaturan diskontinuitas difragma**

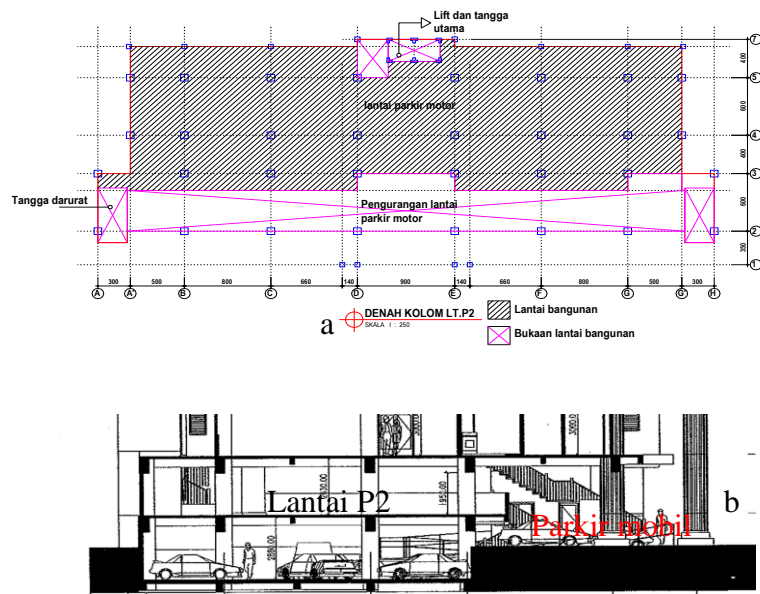
$$e_{v-i} = \sum l_{b-i} / \sum l_{l-i} \text{-----(5.15)}$$

Di mana :  $e_{v-i}$  = rasio luas lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll tingkat ke  $-i$  ( $l_{b-i}$ ) dan luas lantai tingkat ke  $-i$  ( $l_{l-i}$ ).

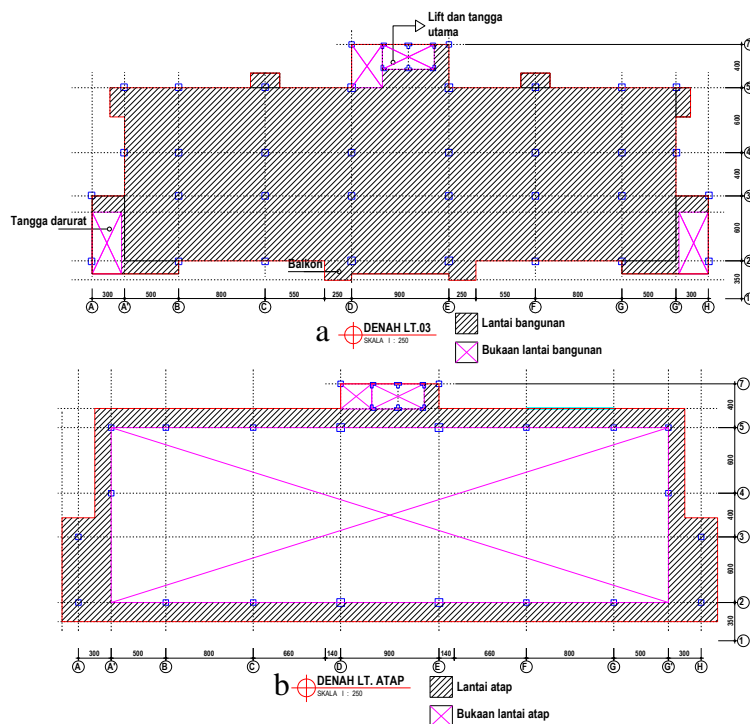
Tabel 7.12. Rasio lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll ( $l_{b-i}$ ) dan luas lantai ( $l_{l-i}$ ) pada gedung kuliah 8 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai ( $\sum l_{l-i}$ ) (m2)	luas bukaan ( $\sum l_{b-i}$ ) (m2)	$\sum l_{b-i} / \sum l_{l-i}$	$e_{v-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai P2	1031.04	297.09	0.29	$0.1 < e_{v-i} < 0.3$	0.75
lantai 01	1001.91	53.51	0.05	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 02	1002.44	53.51	0.05	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 03	941.587	53.52	0.06	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 04	941.565	53.48	0.06	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 05	941.565	53.50	0.06	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 06	1130.250	46.96	0.04	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai Atap	1130.250	833.60	0.74	$e_{v-i} \geq 0.3$	0.5

Bukaan-bukaan pada gedung kuliah terjadi pada area tangga, lift, dan shaft. Bukaan-bukaan untuk fungsi servis tersebut sebenarnya tidak terlalu berpengaruh pada integritas lantai bangunan (tabel 7.12 dan gambar 7.10a). Pengurangan sebagian lantai parkir motor yang cukup berpengaruh pada integritas lantai yaitu pada lantai P2 (gambar 7.9a) untuk mengakomodasi parkir mobil dibawahnya (gambar 7.9b). Bukaan lainnya yang sangat besar yaitu pada bagian atap yang ditutup atap genteng dengan kuda-kuda baja IWF (gambar 7.10b), tetapi khusus pada bagian atap hal ini tidak menjadi masalah. Hal tersebut disebabkan bagian lantai atap di gedung kuliah tidak terdapat beban yang cukup berat seperti *roof tank* dengan kapasitas yang besar selain menahan beban atap dan kuda-kudanya. Selain itu, karena terletak paling atas bangunan integritas lantainya tidak akan terlalu berpengaruh terhadap bangunan secara keseluruhan.



Gambar 7.9. a). Pengurangan lantai P2, b). Untuk mengakomodasi parkir mobil di muka bangunan (sumber : analisa)



Gambar 7.10. a). Bukan utilitas (tangga, lift, shaft), b). Bukan pada lantai atap (sumber : analisa)

#### d. Konfigurasi ketidakberaturan sistem nonparalel

$$j_{r-i} = \frac{\sum j_i}{\sum j_{t-i}} \text{-----(5.16)}$$

Di mana,  $j_{r-i}$  = rasio jumlah elemen balok, kolom dan/atau dinding geser yang tidak mengikuti aksis ortogonal ( $\sum j_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan jumlah total elemen balok, kolom dan/atau dinding geser tingkat ke  $-i$  ( $\sum j_{t-i}$ ).

Dari gambar struktur 7.3a s/d j terlihat seluruh sistem balok, kolom, dan dinding geser mengikuti aksis ortogonal x dan y. Gedung kuliah tersebut tidak termasuk kategori ketidakberaturan sistem non paralel.

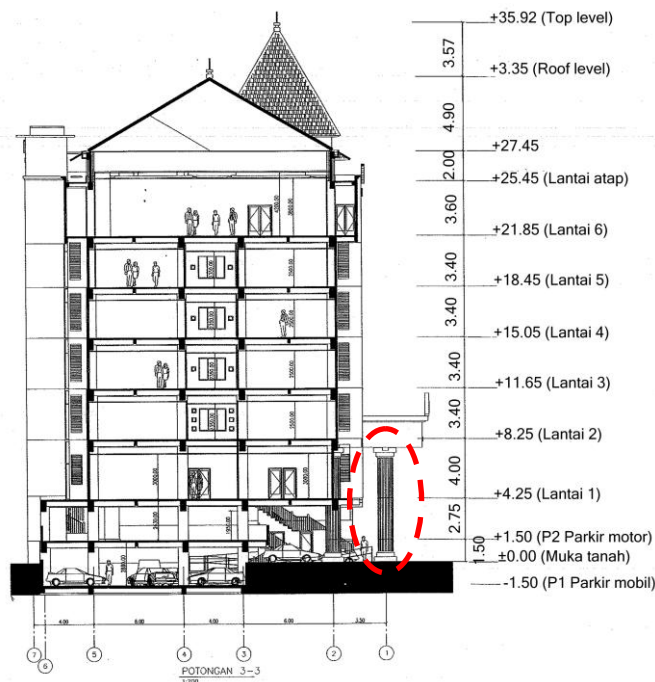
**e. Konfigurasi *soft story* / tingkat lunak**

$$I_{r-i} = l_{i+1} / l_i \text{-----(5.17)}$$

Di mana :  $I_{r-i}$  = rasio tinggi kolom/dinding geser satu tingkat dari tingkat  $-i$  ( $l_{i+1}$ ) dan tinggi kolom ditingkat  $-i$  ( $l_i$ ).

Tabel 7.13. Rasio tinggi kolom satu tingkat dari tingkat  $-i$  ( $l_{i+1}$ ) dan tinggi kolom ditingkat  $-i$  ( $l_i$ ) pada gedung kuliah 8 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Tinggi tingkat ( $l_i$ ) (m)		$l_{i+1} / l_i$		$I_{r-i}$		Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai P2	3.00	3.00	0.92	1.42	$I_{r-i} \geq 0.8$	$I_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 01	2.75	4.25	1.45	1.94	$I_{r-i} \geq 0.8$	$I_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 02	4.00	8.25	0.85	0.41	$I_{r-i} \geq 0.8$	$I_{r-i} < 0.7$	1
lantai 03	3.40	3.40	1.00	1.00	$I_{r-i} \geq 0.8$	$I_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 04	3.40	3.40	1.00	1.00	$I_{r-i} \geq 0.8$	$I_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 05	3.40	3.40	1.00	1.00	$I_{r-i} \geq 0.8$	$I_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 06	3.40	3.40	1.06	1.06	$I_{r-i} \geq 0.8$	$I_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai Atap	3.60	3.60	0.94	0.94	$I_{r-i} \geq 0.8$	$I_{r-i} \geq 0.8$	1



Gambar 7.11. Kolom langsing yang rentan terhadap kegagalan lentur (sumber : analisa)

Pada gedung kuliah tersebut terdapat variasi ketinggian kolom. Hal ini kurang menguntungkan karena dapat menyebabkan potensi *short column* seperti pada kolom di bawah lantai P2 dan lantai 1 (lihat gambar 7.5b), sedangkan untuk potensi *soft story* hanya terjadi pada kolom yang mendukung atap teras dengan dimensi 45/45 cm dan

ketinggian 8,25m (lihat tabel 7.13 dan gambar 7.11). Namun, dikarenakan hanya mendukung atap teras hal ini dapat diabaikan.

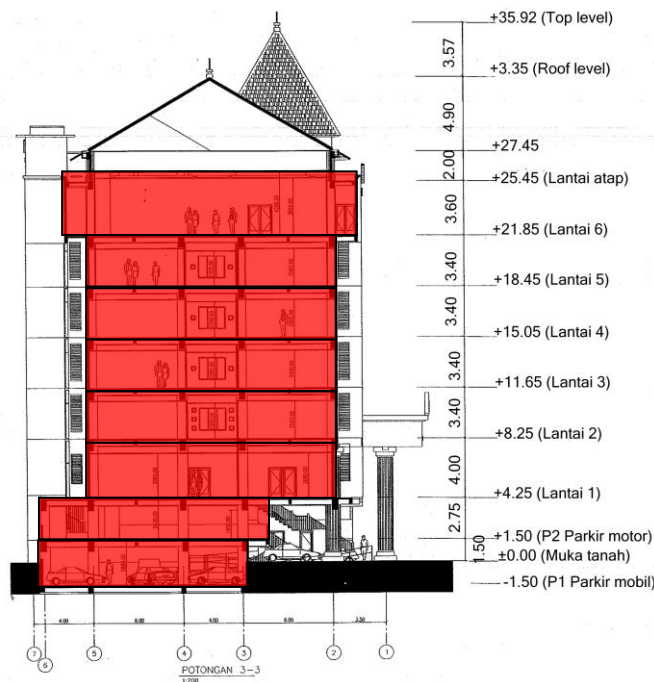
**f. Konfigurasi ketidakberaturan berat/massa**

$$m_{r-i} = \frac{\sum m_i}{\sum m_{i+1}} \dots \dots \dots (5.18)$$

Di mana :  $m_{r-i}$  = rasio massa lantai ditingkat -i ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat -i ( $m_{i+1}$ ).

Tabel 7.14. Rasio massa lantai ditingkat -i ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat -i ( $m_{i+1}$ ) pada gedung kuliah 8 lantai (sumber : analisa).

Lantai	$m_i$ (Kg)	$\sum m_i / \sum m_{i+1}$	$m_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai P2	1,186,445	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 01	1,082,479	91%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 02	1,127,329	104%	$100\% < m_{r-i} < 150\%$	0.75
lantai 03	1,055,041	94%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 04	1,055,025	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 05	1,055,025	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 06	1,637,927	155%	$m_{r-i} > 150\%$	0.5
lantai Atap	256,310	16%	$m_{r-i} < 100\%$	1



Gambar 7.12. Konfigurasi massa bangunan (sumber : analisa)

Perbedaan massa lantai bangunan yang cukup signifikan terjadi pada gedung kuliah tersebut tidak secara parsial pada satu lantai, tetapi antar lantai karena berlainan fungsi yaitu tempat parkir motor (LL=400 kg/m<sup>2</sup>) pada lantai P2, ruang kuliah (LL=250 kg/m<sup>2</sup>) pada lantai 1 s/d , dan ruang pertemuan (LL=400 kg/m<sup>2</sup>) pada lantai 6. Lantai P2 walaupun menahan beban hidup yang lebih berat, tetapi karena terjadi pengurangan luasan lantai dibandingkan dengan berat lantai 01 tidak

banyak perbedaan. Dengan demikian, yang paling signifikan terjadi perbedaan berat lantai 05 yang berfungsi sebagai ruang kuliah dan lantai 06 yang berfungsi sebagai ruang pertemuan/auditorium (lihat tabel 7.14). Selain itu, penambahan luas lantai 06 juga menambah perbedaan berat lantai yang signifikan. Lantai 06 merupakan lantai yang paling atas dari gedung tersebut, dengan kondisi seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya dapat mengakibatkan potensi deformasi yang berlebihan pada saat terjadi gempa kuat (lihat gambar 7.12).

**g. Konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal**

$$s_{r-i} = A_i/L_i \text{-----(5.19)}$$

Di mana,  $s_{r-i}$  = rasio panjang bangunan (L) tingkat ke -i dan panjang *setback* bangunan (A) tingkat ke -i.

Tabel 7.15. Rasio panjang bangunan ( $L_i$ ) dan panjang *setback* bangunan ( $A_i$ ) pada tingkat yang ditinjau pada gedung kuliah 8 lantai (sumber : analisa).

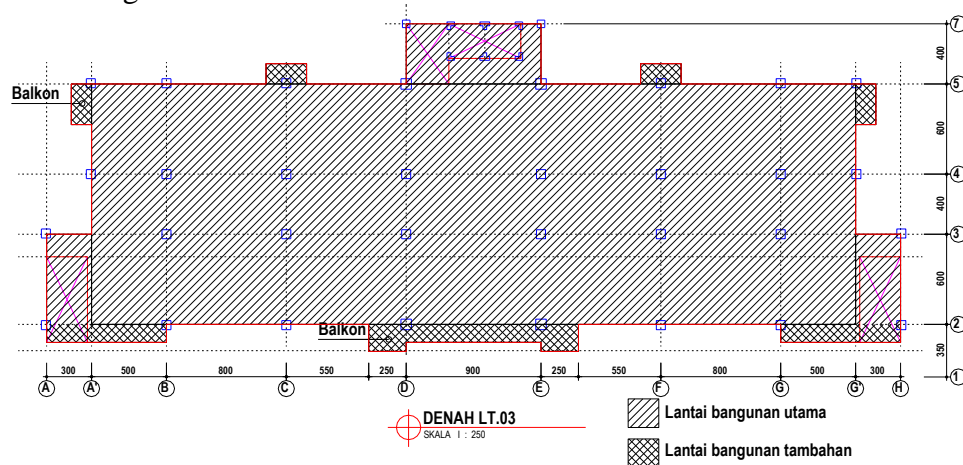
Lantai	$L_i$ (m)	$A_i$ (m)	$A_i/L_i$	$s_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai P2	16.00	4.25	0.27	$0.1 < s_{r-i} \leq 0.3$	0.75
lantai 01	16.00	0.00	0.00	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 02	16.00	0.00	0.00	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 03	16.00	0.00	0.00	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 04	16.00	0.00	0.00	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 05	16.00	0.00	0.00	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 06	16.00	1.75	0.11	$0.1 < s_{r-i} \leq 0.3$	0.75
lantai Atap	16.00	1.75	0.11	$0.1 < s_{r-i} \leq 0.3$	0.75



Gambar 7.13. Pengolahan *setback* massa bangunan gedung kuliah yang membentuk iregularitas geometri vertikal (sumber : analisa)



Pengolahan *setback* massa bangunan pada gedung kuliah tersebut terjadi pada semua lantai. Akan tetapi, yang cukup besar yaitu hanya pada lantai P1, lantai P2, lantai 6 dan atap karena melibatkan area lantai yang cukup luas (lihat tabel 7.15 dan gambar 7.13). Sebaliknya, lantai pada tingkat lainnya luasannya cukup kecil yang hanya digunakan sebagai balkon atau tempat menempatkan *outdoor* AC (gambar 7.14). Secara umum proses aditif dan subtraktif tersebut tidak membentuk konfigurasi ketidakberaturan vertikal secara masif. Namun, permainan transformasi subtraktif yang berlebihan pada dasar bangunan karena dapat memengaruhi ketahanan bangunan secara signifikan pada gempa. Respon ketahanan bangunan terhadap gempa yang paling besar terjadi di dasar bangunan yang kemudian secara gradual semakin ke atas akan berkurang.



Gambar 7.14. Pengolahan *setback* massa bangunan gedung kuliah yang membentuk ireguleritas vertikal (sumber : analisa)

**h. Konfigurasi diskontinuitas ketidakberaturan kuat lateral tingkat / *weak story***

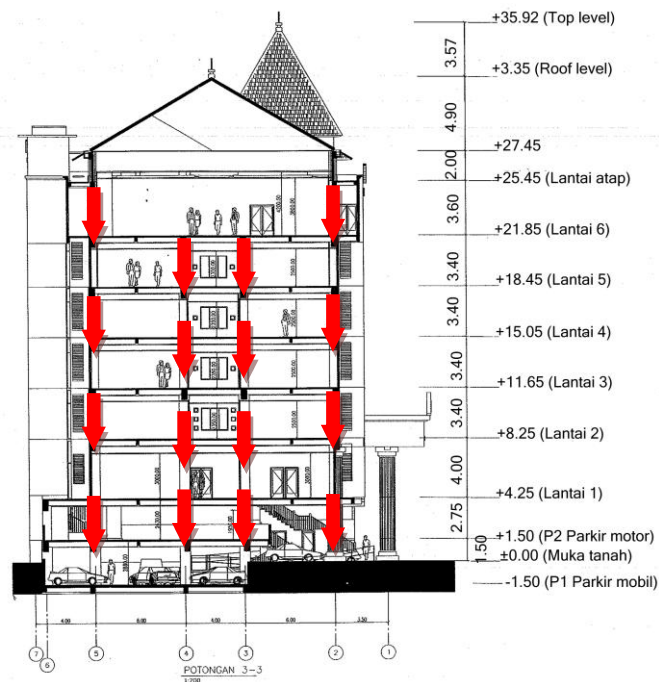
$$a_{r-i} = (\sum a_e)_i / (\sum a_e)_{i+1} \text{-----(5.20)}$$

Di mana,  $a_{r-i}$  = rasio luas kolom dan/atau dinding geser ditingkat  $-i$  ( $\sum a_e)_i$  dan luas kolom dan/atau dinding geser satu tingkat dari tingkat  $-i$  ( $\sum a_e)_{i+1}$ .

Tabel 7.16. Rasio luas kolom tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$  dan luas kolom dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$  pada gedung kuliah 8 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas kolom tipikal ( $a_e)_i$ (m2)	$(\sum a_e)_i / (\sum a_e)_{i+1}$	$a_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai P2	18.21	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 01	18.21	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 02	18.21	1.07	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 03	16.99	1.35	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 04	12.54	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 05	12.54	1.27	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 06	9.90	1.53	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai Atap	6.46	0.65	$0.65 \leq a_{r-i} < 0.8$	0.75

Dari (tabel 7.16 dan gambar 7.15) terlihat tidak terdapat kolom yang mengalami pemutusan alur beban dan pengurangan luasan pada lantai tertentu yang dapat mengakibatkan pelemahan dari komponen penahan gempa tersebut, kecuali pada kolom di bawah lantai atap karena kolom hanya ada pada perimeter bangunan. Hal tersebut dapat diabaikan karena kolom pada tingkat ini hanya menahan beban atap yang bebannya tidak terlalu berat. Selain itu, terjadi perubahan dimensi kolom yang gradual dari tingkat bawah sampai dengan tingkat paling atas tidak mengakibatkan pelemahan pada kolom dalam menahan gaya lateral.



Gambar 7.15. Kontinuitas alur beban pada gedung kuliah 8 lantai (sumber : analisa)

**i. Konfigurasi ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang & diskontinuitas arah bidang**

$$d_{r-i} = \frac{\sum d_i}{\sum l_i} \text{-----(5.21)}$$

Di mana,  $d_{r-i}$  = rasio kepadatan dinding (%),  $\sum d_i$  = luas dinding bata lantai tingkat ke -i dan  $\sum l_{tot-i}$  = Luas lantai di lantai tingkat ke -i.



Tabel 7.17. Rasio kepadatan dinding bata ( $d_{r-i}$ ) pada gedung kuliah 8 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai ( $\sum I_i$ ) (m <sup>2</sup> )	Luas dinding bata ( $\sum d_i$ ) (m <sup>2</sup> )	$\sum d_i / \sum I_i$	$d_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai P2	1031.04	9.62	0.9%	$1\% \leq d_{r-i} \leq 1.5\%$	0.75
lantai 01	1001.91	14.26	1.4%	$1\% \leq d_{r-i} \leq 1.5\%$	0.75
lantai 02	1002.44	35.90	3.6%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 03	941.59	33.46	3.6%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 04	941.57	33.77	3.6%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 05	941.57	33.77	3.6%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 06	1130.25	34.49	3.1%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai Atap	1130.25	40.25	3.6%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1

Bukaan-bukaan pada fasad gedung kuliah ini diatur dengan baik, tidak secara acak sehingga tidak menyebabkan potensi ketidakseragaman kekakuan bangunan. Selain itu, dimensi jendela atau ventilasinya pada fasad bangunan luasnya tidak melebihi yang dapat mengganggu kekakuan dinding bata fasad dalam membantu struktur utama menahan beban lateral (lihat gambar 7.16).



Gambar 7.16. Bukaan-bukaan (jendela, ventilasi, *cladding*) pada fasad bangunan yang disusun dengan teratur sehingga tidak menyebabkan potensi ketidakseragaman kekakuan pada bangunan (sumber : analisa)

Berbeda pada dinding interior yang sebagian besar menggunakan partisi kecuali pada area servis seperti toilet, tangga, lift, shaft (lihat gambar 7.2a s/d h). Dari (tabel 7.17) dinding bata di bawah lantai atap s/d lantai 02 rasio kepadatan dindingnya merupakan kontribusi dari dinding bata area servis dan fasad bangunan. Dinding bata di bawah lantai P2 kontribusinya pada kekakuan bangunan minimal karena terdapat

dinding beton pembatas semi basement. Sebaliknya, dinding bata di bawah lantai 01 sebagian besar dinding  $\frac{1}{2}$  pembatas lantai parkir motor yang kekakuannya bahkan mengganggu kekakuan kolom struktur utama karena membentuk *short column* (lihat gambar 7.6). Secara keseluruhan kekakuan struktur utama di lantai 01 s/d 06 dibantu oleh kekakuan dinding fasad, sedangkan pada lantai P1 dan P2 dibantu oleh kekakuan dinding beton pembatas semi basement.

### **7. Perbandingan indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) gedung kuliah.**

Berdasarkan data-data dan perhitungan di atas, maka dapat disimpulkan untuk gedung kuliah, antara lain:

- Pada (tabel 7.19) kolom  $I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}$  merupakan perkalian indeks luas kolom dan indeks jenis kolom memperlihatkan nilainya  $> 1$  yang berarti dimensi kolom sudah didesain dengan benar sehingga memenuhi syarat luas minimum dalam menahan gempa kuat serta didominasi oleh kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ) yang meminimalisasi potensi kegagalan geser dan lentur pada kolom akibat gempa.
- Pada (tabel 7.19) kolom  $I_{Asw-i} \cdot I_{SW-i}$  merupakan perkalian indeks luas dinding geser dan indeks jenis dinding geser memperlihatkan nilainya  $> 1$  yang berarti dimensi dinding geser sudah didesain dengan baik sehingga memenuhi syarat luas minimum dalam menahan gempa kuat dan dinding geser tersebut dikekang oleh kolom sehingga menambah kekakuan struktur bagian bawah bangunan.
- Pada (tabel 7.19) kolom  $I_{SCWB-i}$  merupakan indeks *strong column weak beam* yang nilainya masih cukup baik  $> 50\%$  sehingga diharapkan ketika terjadi gempa kuat mekanisme *strong column weak beam* ( $W_p \text{ kolom} > 1.2 \times W_p \text{ balok}$ ) masih bisa terjadi.
- Pada (tabel 7.19) kolom  $I_T$  merupakan indeks periode getar struktur yang nilai = 1 yang berarti periode getar struktur ( $T_{C-X}=1 \text{ dtk}$  &  $T_{C-Y}=0.94 \text{ dtk}$ )  $<$  periode getar maksimum ( $T_{max}=1.2 \text{ dtk}$ ) yang berarti bangunannya tidak terlalu fleksibel sehingga persyaratan keamanan elemen arsitektur dan struktur serta kenyamanan penghuni bangunan terpenuhi.
- Pada (tabel 7.19) kolom R dan  $\Omega_0$  merupakan faktor reduksi gempa dan faktor kuat lebih (tabel 5.2) yang nilainya tergantung jenis struktur yang dipilih. Jenis struktur yang digunakan pada bangunan kuliah 8 lantai tersebut yaitu SRPMK

yang berarti  $R = 8$  dan  $\Omega_0 = 3$ . Perbandingan  $R/\Omega_0$  merupakan indeks daktilitas sistem struktur bangunan kuliah.

- Pada (tabel 7.19) kolom  $E_{0-i}$  adalah indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dan dinding geser yang merupakan hasil perkalian faktor modifikasi kapasitas geser tingkat; indeks dimensi kolom dan dinding geser; indeks jenis kolom dan dinding geser; indeks *strong column-weak beam*; indeks periode getar struktur dan indeks daktilitas sistem struktur.
- Pada (tabel 7.19) kolom  $S_{D-i}$  merupakan indeks ireguleritas geometri bangunan. Jika dilihat dari indeks ireguleritas ( $S_{D-i}$ ) per lantai terkandung ireguleritas geometri terutama pada lantai P2, lantai 06 dan *roof floor* yang nilainya  $\leq 0.5$ . Tabel 7.18 memperlihatkan di lantai P2 indeks ireguleritasnya akibat dari kontribusi luas lantai parkir motor yang berkurang untuk mengakomodasi parkir mobil dimuka bangunan dan kepadatan dinding yang kurang dari  $< 1\%$  luas lantai. Di lantai 06 indeks ireguleritasnya akibat perbedaan massa lantai yang lebih berat karena digunakan sebagai ruang pertemuan dibandingkan ruang lainnya. Selain itu, sebagai ruang kuliah dan terdapat kantilever yang membentuk *setback* pada bangunan. Sebaliknya, untuk *roof floor* / lantai atap yang membentuk void menyebabkan eksentrisitas, berkurangnya integritas diafragma lantai atap, dan berkurangnya kolom hanya diperimeter pada lantai 06 dapat mengakibatkan *weak story*.

Tabel 7.18. Konfigurasi ketidakberaturan vertikal dan horisontal ( $S_{D-i}$ ) gedung kuliah 8 lantai (sumber : analisa).

Lantai	a eksentrisitas	b sudut dalam	c diafragma	d non paralel	e soft story	f massa	g setback	h weak story	i out-in plane	$S_{D-i}$
lantai P2	1	1	0.75	1	1	1	0.75	1	0.75	0.42
lantai 01	1	1	1	1	1	1	1	1	0.75	0.75
lantai 02	1	1	1	1	1	0.75	1	1	1	0.75
lantai 03	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.00
lantai 04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.00
lantai 05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.00
lantai 06	1	1	1	1	1	0.5	0.75	1	1	0.38
RF	0.75	1	0.5	1	1	1	0.75	0.75	1	0.21

- Pada (tabel 7.19 dan 7.20) kolom  $I_{S-i}$  adalah indeks kapasitas struktur yang merupakan perkalian indeks gempa dasar struktur ( $E_{0-i}$ ) dan indeks ireguleritas geometri bangunan ( $S_{D-i}$ ). Terlihat nilainya akan berkurang drastis apabila ireguleritas geometri bangunan cukup signifikan.
- Pada (tabel 7.20) kolom  $I_{SO-i}$  adalah indeks beban lateral gempa yang merupakan perkalian faktor modifikasi beban horisontal tingkat, indeks respon seismik, dan faktor keutamaan fungsi bangunan yang nilainya semakin besar jika fungsi

bangunan semakin penting. Untuk lebih jelas bisa dilihat (tabel 7.9) dan keterangannya di atas.

- Pada (tabel 7.20) perbandingan indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) memperlihatkan bahwa secara umum  $I_S > I_{SO}$  yang berarti gedung cukup aman ketika terjadi gempa kuat dan potensi level kerusakan bangunan akibat gempa tersebut adalah rusak ringan (*IO-Immediate Occupancy*). Bagian paling atas gedung kuliah yaitu lantai 06 dan lantai atap merupakan bagian yang terlemah. Lantai 06 dan lantai atap dengan nilai indeks kapasitas gempa struktur  $I_S < 0.5I_{SO}$  beserta potensi kerusakan akibat gempa kuat yaitu rusak berat. Potensi kerusakan berat tersebut akibat dari desain dimensi kolom dan ireguleritas desain geometri bangunan. Pada lantai P2 sebenarnya juga mengalami ireguleritas geometri, tetapi kapasitas strukturnya cukup memadai.

Tabel 7.19. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) pada gedung kuliah 8 lantai (sumber : analisa).

Model	Lantai	$\frac{n+1}{n+i}$	$I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}$	$I_{Asw-i} \cdot I_{SW-i}$	$I_{SCWB-i}$	$I_T$	R	$\Omega_0$	$E_{0-i}$	$S_{D-i}$	$I_{S-i}$	
GK-01	lantai P2	9/9	1.00	2.33	4.29	0.90	1	8	3	15.89	0.42	6.70
	lantai 01	9/10	0.90	2.94		0.95	1	8	3	6.70	0.75	5.02
	lantai 02	9/11	0.82	3.35		0.94	1	8	3	6.90	0.75	5.18
	lantai 03	9/12	0.75	3.99		1.00	1	8	3	7.98	1.00	7.98
	lantai 04	9/13	0.69	3.90		0.74	1	8	3	5.30	1.00	5.30
	lantai 05	9/14	0.64	5.26		0.65	1	8	3	5.83	1.00	5.83
	lantai 06	9/15	0.60	5.14		0.50	1	8	3	4.12	0.38	1.54
	RF	9/16	0.56	4.10		0.50	1	8	3	3.08	0.21	0.65

Tabel 7.20. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) pada gedung kuliah 8 lantai (sumber : analisa).

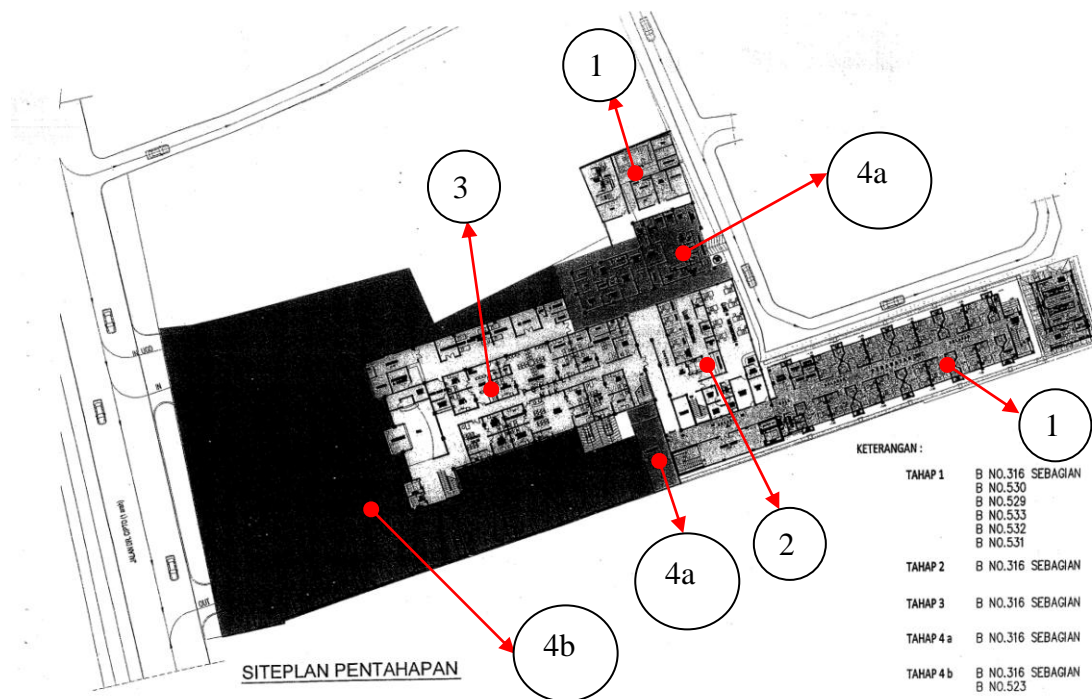
Model	Lantai	$I_{S-i}$	$I_{SO-i}$	SVA
GK-01	lantai P2	6.70	2.05	IO
	lantai 01	5.02	2.19	IO
	lantai 02	5.18	2.34	IO
	lantai 03	7.98	2.52	IO
	lantai 04	5.30	2.74	IO
	lantai 05	5.83	2.98	IO
	lantai 06	1.54	3.28	CP
	RF	0.65	3.65	CP

## 7.2. SVA GEDUNG RAWAT INAP & OK RUMAH SAKIT PANTI WILASA 5 LANTAI DI JALAN CIPTO SEMARANG

### 1. Data Arsitektur

Dengan semakin majunya rumah sakit, pihak yayasan memutuskan untuk mengembangkan fasilitas rumah sakit dengan memperbaiki fasilitas yang ada dan menambah fasilitas yang belum ada pada rumah sakit. Akan Tetapi, kendala dalam

mengembangkan fasilitas tersebut dengan menggunakan lokasi yang sudah ada sehingga diperlukan pentahapan pembangunan agar tidak mengganggu operasional rumah sakit yang ada saat ini (gambar 6.17).

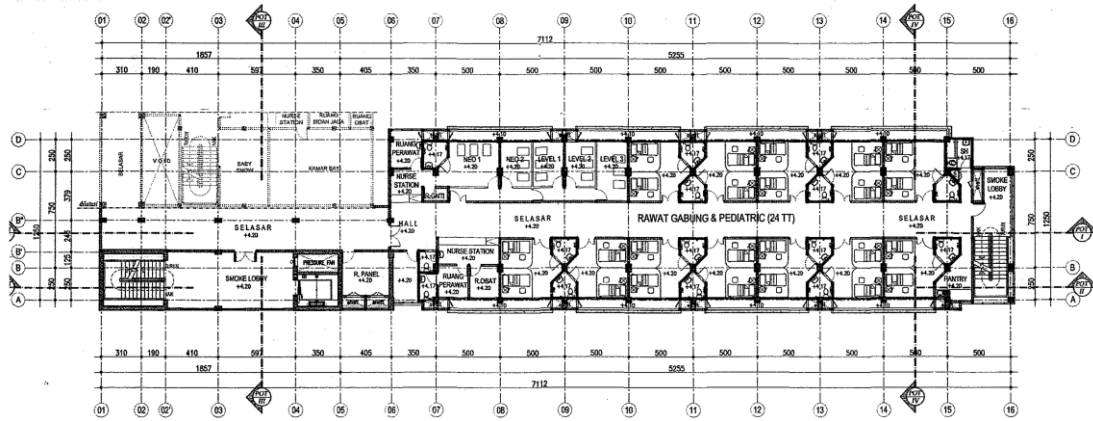


Gambar 7.17. Site plan pentahapan pembangunan pengembangan rumah sakit Panti Wilasa di Jl. Cipto Semarang (sumber : DISTARU Kota Semarang).

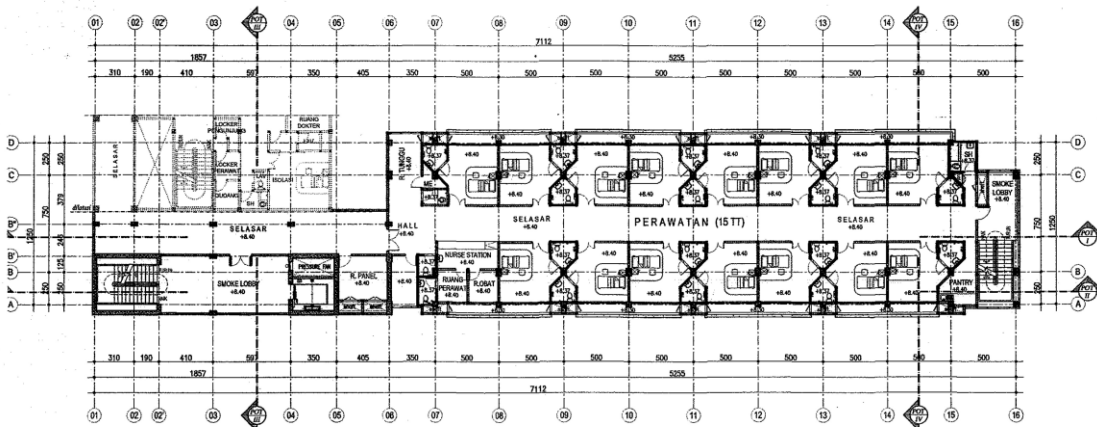
Salah satu tahap awal gedung yang akan dibangun adalah gedung rawat inap dan OK 5 lantai. Konsep yang mendasari gedung ini yaitu konsep arsitektur modern minimalis dengan penjabaran :

- Nuansa penataan didesain sedemikian rupa supaya membuat pasien merasa aman dan nyaman sehingga pasien tidak merasa tertekan, namun tetap memperhatikan beberapa sisi berkaitan dengan prosedur kerja yang berlaku.
- Penggunaan bahan material dan teknologi modern seperti pemakaian unsur kaca dan jendela yang lebar pada fasade bangunan. Selain sebagai perantara sumber cahaya alami, pemakaian kaca pada fasade bangunan dapat memberikan kesan elegan dan modern pada bangunan.
- Desain arsitektur modern sejatinya menekankan hal-hal yang bersifat esensial atau fungsional. Bentuk-bentuk geometris elementer seperti garis, persegi, dan kubus tanpa ornamen atau dekorasi menjadi karakternya. Sudut-sudut tegas dengan

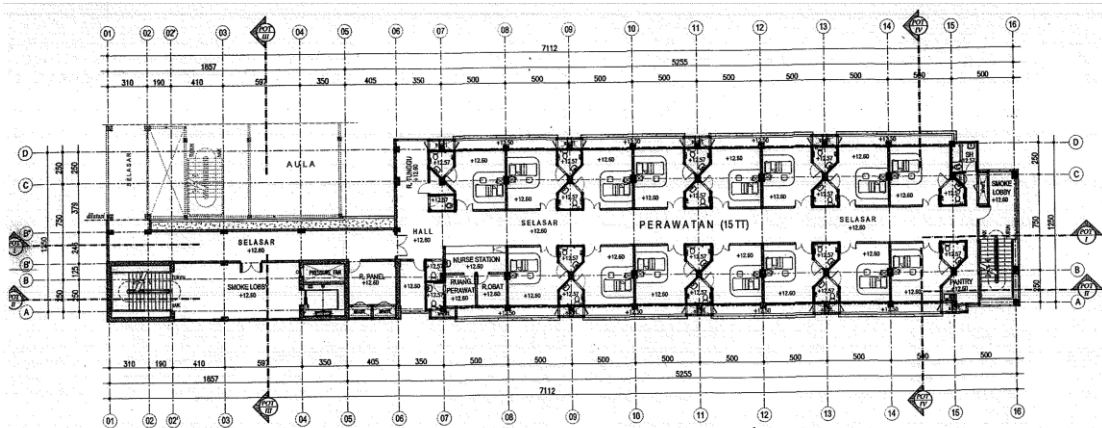




**b DENAH RENCANA LANTAI 2**  
skala 1:250



**C DENAH RENCANA LANTAI 3**  
skala 1:250

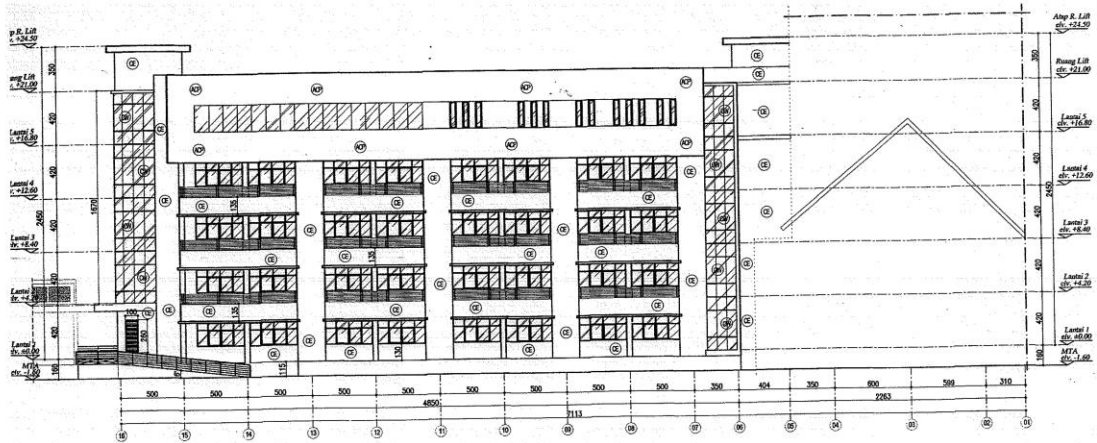


**d DENAH RENCANA LANTAI 4**  
skala 1:250

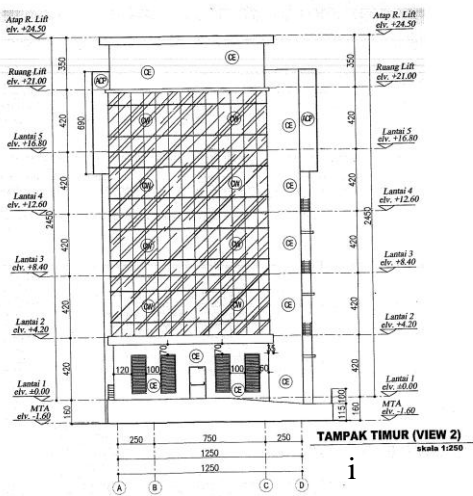




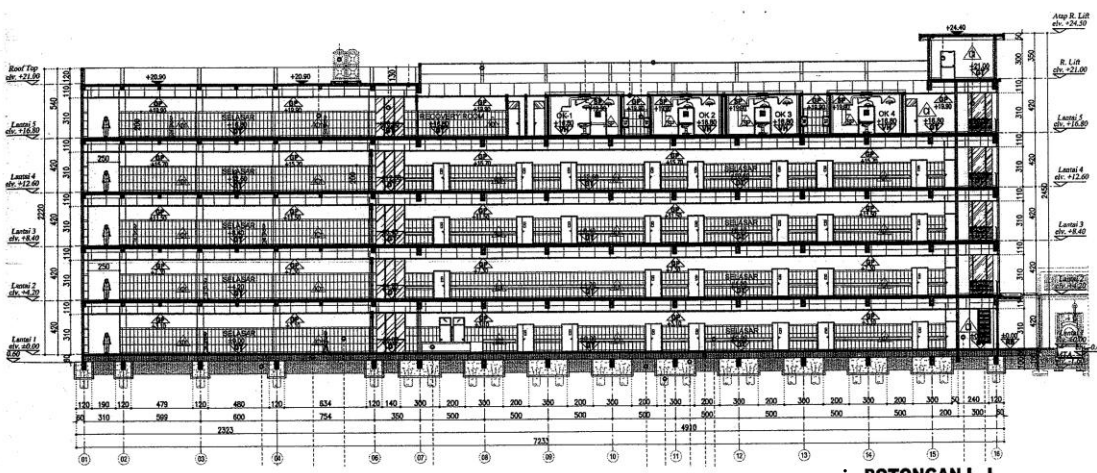




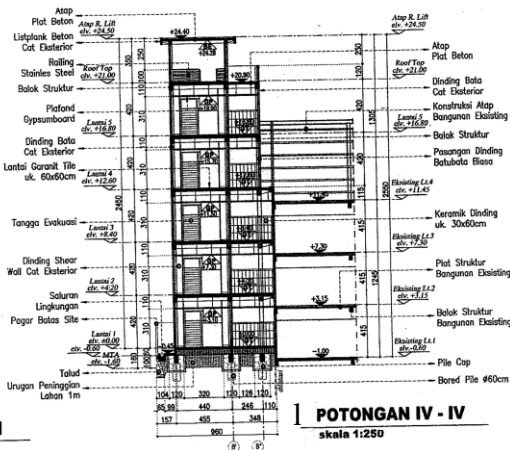
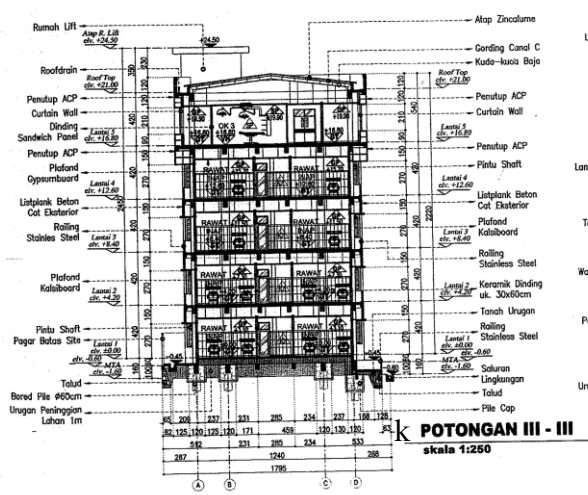
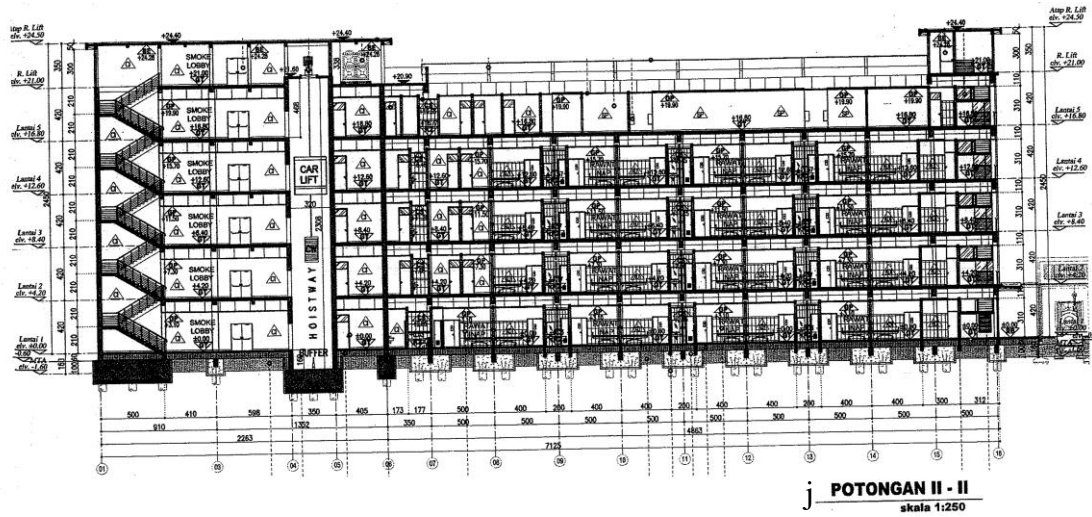
**h TAMPAK UTARA (VIEW 3)**  
skala 1:250



**i TAMPAK TIMUR (VIEW 2)**  
skala 1:250



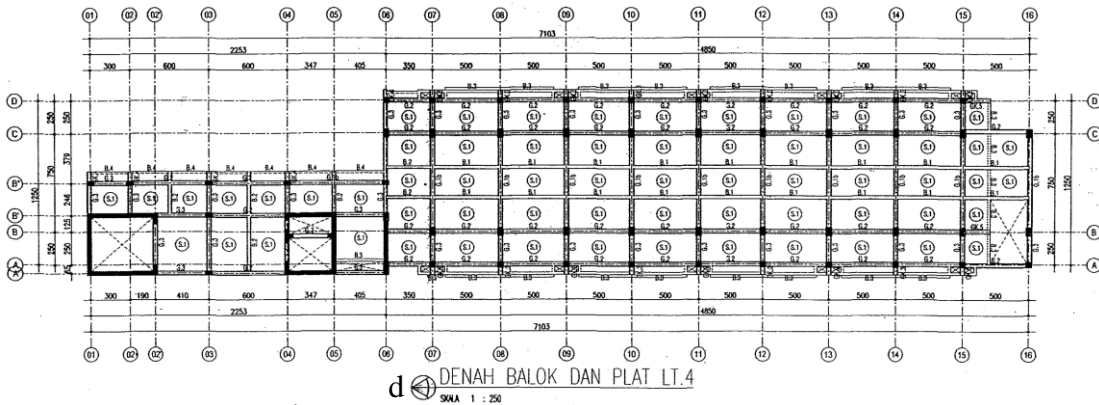
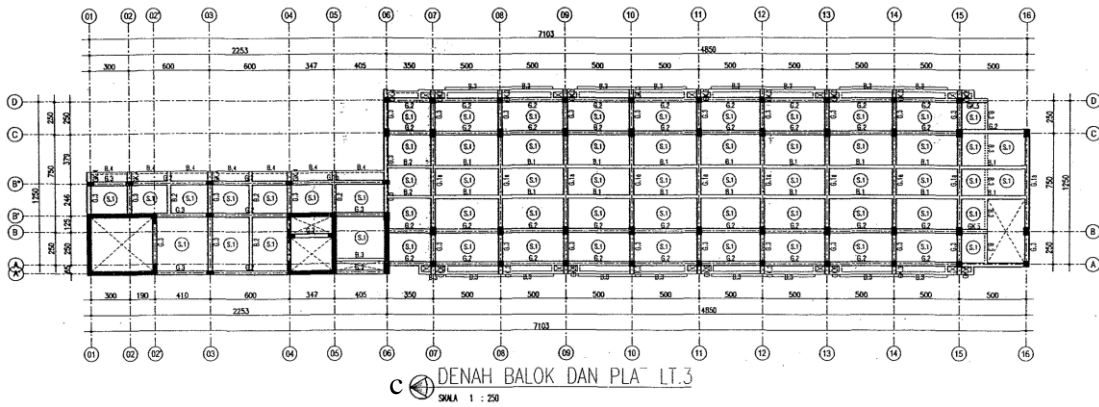
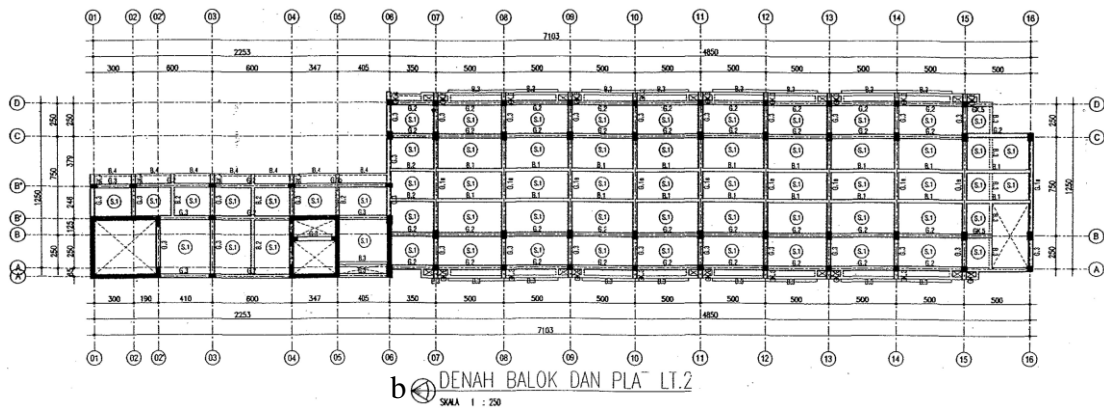
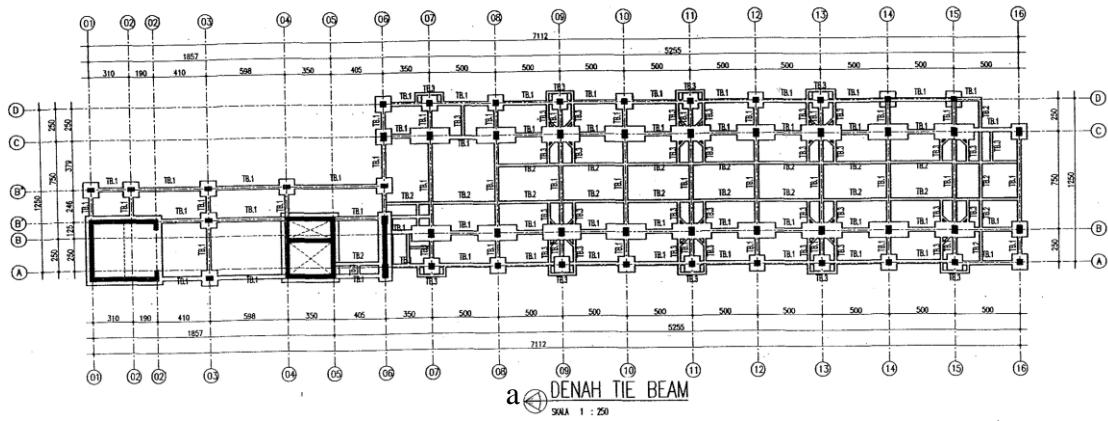
**i POTONGAN I - I**  
skala 1:250

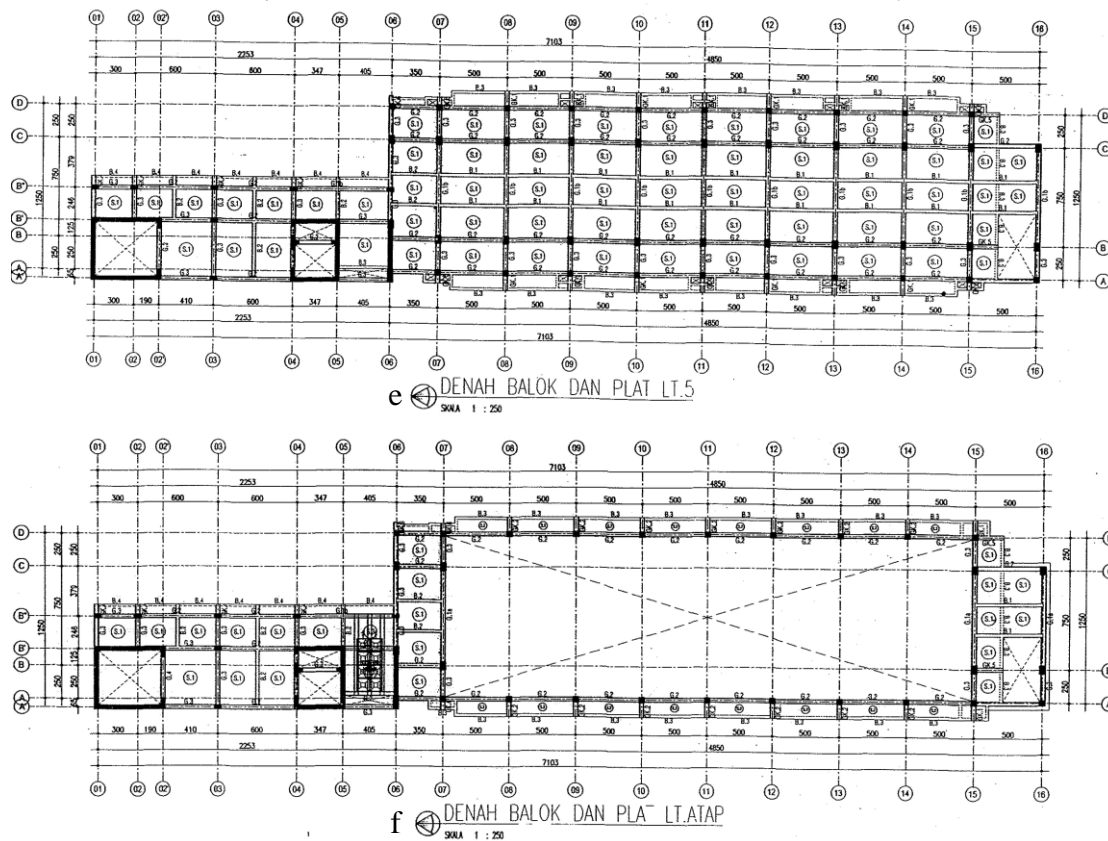


Gambar 7.18. Gambar denah, tampak dan potongan gedung r. rawat inap dan OK di Jl. Dr. Cipto Semarang (sumber : DISTARU Kota Semarang).

## 2. Data Struktur

Struktur atas yang digunakan pada gedung tersebut yaitu struktur beton bertulang sistem rangka penahan momen khusus (SRPMK). Mutu beton pelat, balok, dan kolom yaitu K-250, sedangkan tulangan  $f_y=400$  MPa (BJTD-40  $D \geq 10$ ) dan  $f_y=240$  MPa (BJTP-24  $D \leq 10$ ). Untuk atap baja profil IWF dengan mutu St 37.





Gambar 7.19. Gambar denah kolom, balok, plat lantai & dinding geser gedung r. rawat inap dan OK di Jl. Dr. Cipto Semarang (sumber : DTKP Kota Semarang).

### 3. Screening dimensi struktur gedung kuliah, *strong column & weak beam*, periode getar alami dan kekakuan

Tabel 7.21. Rasio bentang struktur dan tinggi balok, dan rasio tinggi balok dan lebar balok (sumber : analisa).

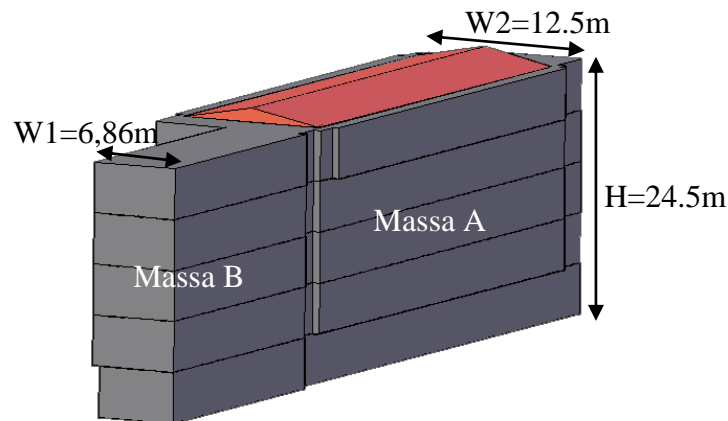
Balok	Dimensi - $b_b/h_b$ (cm)	Bentang -L (m)	$L/h_b - 1/10-1/14$	$h_b/b_b \leq 2$
G1a	30/70	7.5	1/11	2.3
G1b	30/70	7.5	1/11	2.3
G2	30/50	5, 6	1/10 - 1/12	1.7
G3	30/40	2.46, 2.5, 3, 3.75	1/6 - 1/9	1.3
B1	25/50	5	1/10	2

Tabel 7.22. Dimensi minimal kolom (sumber : analisa).

Kolom	Dimensi - $b_c/h_c$ (cm)	$b_c/h_c$	$b_c \geq 30$	$b_c/h_c \geq 0.4$
K1a	40/60	0.67	ya	ya
K1b	40/60	0.67	ya	ya
K2a	40/40	1.00	ya	ya
K2b	40/40	1.00	ya	ya
K3	30/50	0.60	ya	ya
K4	25x25	1.00	tidak	ya

Tabel 7.23. *Strong column* dan *weak beam* (sumber : analisa).

LANTAI	$W_p \text{ KOLOM} > 1.2 \times W_p \text{ BALOK}$
lantai 02	73%
lantai 03	73%
lantai 04	73%
lantai 05	73%
lantai Atap	39%



Gambar 7.20. Penggabungan 2 massa bangunan yang memiliki kekakuan yang berbeda Massa B dengan  $H/W1=2$  yang relatif fleksibel dan Massa A dengan  $H/W2=3.6$  yang relatif kaku (sumber : analisa)

- Pada (tabel 7.21 dan 7.22) memperlihatkan bahwa dimensi balok dan kolom, tinggi dan lebarnya sudah memenuhi persyaratan dalam menahan gempa kuat.
- Pada (tabel 7.23) memperlihatkan bahwa dimensi balok dan kolom sudah memenuhi ketentuan  $W_p \text{ kolom} > 1.2 \times W_p \text{ balok}$ , kecuali lantai 05 sehingga diharapkan mekanisme *strong column* dan *weak beam* terbentuk pada saat terjadinya gempa kuat.
- Dari hasil perhitungan konsultan bangunan rumah sakit ini memiliki rentang periode getar pendekatan  $T_a = 0.83 \text{ dtk}$  dan  $T_{\max} = 1.16 \text{ dtk}$ , sedangkan berdasarkan perhitungan periode getar fundamentalnya ( $T_{\text{cal}}$ ) untuk arah sumbu  $-Y = 0.89 \text{ dtk}$  dan untuk arah sumbu  $-X = 0.44 \text{ dtk}$ . Untuk periode getar arah sumbu  $-Y$  masih di dalam rentang  $T_a$  serta  $T_{\max}$  yang berarti bangunannya tidak terlalu kaku dan juga tidak terlalu fleksibel, sedangkan arah sumbu  $-X$  periode getarnya di bawah  $T_a$  berarti bangunannya pada aksis ini terlalu kaku. Hal tersebut disebabkan penggunaan dinding geser yang berlebihan.

- 2 massa bangunan yang memiliki kekakuan yang berbeda yaitu massa A memiliki kekakuan relatif kaku dan massa B yang relatif fleksibel memiliki kendala jika digabungkan. Ketika terjadi gempa pada arah aksis -Y massa B akan mengalami deformasi yang lebih besar daripada massa A dan jika deformasi tersebut berlebihan dapat ikut pula menyeret massa A. Alternatifnya memberi kekakuan tambahan pada massa B yaitu dengan dinding geser sehingga kekakuan antara massa A dan B relatif seimbang (gambar 7.20).

#### 4. Indeks beban (*demand*) gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung kuliah

Sebagai langkah awal untuk menghitung indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dengan persamaan 5.2 sebagaimana persamaan di bawah ini :

$$E_{0-i} = \frac{n+1}{n+i} (I_{Ac-i} \cdot I_{C-i} \cdot I_{SCWB-i} \cdot I_T) \cdot \frac{R}{\Omega_0} \quad (5.2)$$

Dimana,

$n$  = Jumlah tingkat bangunan.

$i$  = Jumlah tingkat yang dievaluasi. Di mana tingkat pertama diberi nomor 1 dan tingkat terakhir adalah  $n$ .

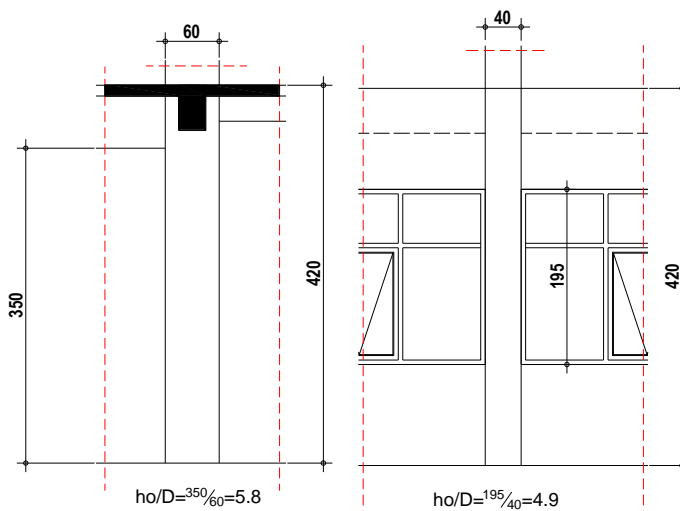
$I_{Ac-i}$  = Indeks dimensi kolom di tingkat ke- $i$

$I_{C-i}$  = Indeks jenis kolom di tingkat ke- $i$ .

$I_{SCWB-i}$  = Indeks *Strong Column Weak Beam* tingkat di tingkat ke- $i$ .

$I_T$  = Indeks periode getar struktur,  $T_c \leq T_{max} \rightarrow I_T = 1$  dan  $T_c > T_{max} \rightarrow I_T = 0$

$R/\Omega_0$  = Indeks daktilitas



Gambar 7.21. Screening jenis kolom (sumber : analisa)

Untuk gedung rawat inap parameter indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momennya yaitu :

Tabel 7.24. Indeks kolom ( $I_{C-i}$ ) berdasarkan jumlah jenis kolom ( $h_0/D$ ) dan indeks jenis kolom (sumber : analisa).

Lantai	Jumlah jenis kolom ( $N_c$ )			$I^*N_c/\sum N_c$			Indeks Kolom ( $I_{C-i}$ ) $\sum(I^*N_c/\sum N_c)$
	(a). $h_0/D \leq 2$ (bh)	(b). $2 < h_0/D < 6$ (bh)	(c). $6 \leq h_0/D$ (bh)	$h_0/D \leq 2$	$2 < h_0/D < 6$	$6 \leq h_0/D$	
	lantai 02	-	5.00	43.00	-	0.08	0.54
lantai 03	-	5.00	43.00	-	0.08	0.54	0.6
lantai 04	-	5.00	43.00	-	0.08	0.54	0.6
lantai 05	-	5.00	43.00	-	0.08	0.54	0.6
lantai Atap	-	-	34.00	-	-	0.60	0.6
Indeks (I)	1	0.8	0.6				

Tabel 7.25. Indeks dinding geser  $I_{SW-i}$  berdasarkan jumlah jenis dinding geser dan indeks dinding geser (sumber : analisa).

Lantai	Jumlah jenis shear wall ( $N_{sw}$ )			$I^*N_{sw}/\sum N_{sw}$			Indeks shear wall ( $I_{SW-i}$ ) $\sum(I^*N_{sw}/\sum N_{sw})$
	(a).Dibatasi 2 kolom (bh)	(b).Dibatasi 1 kolom (bh)	(c).Tanpa dibatasi kolom (bh)	Dibatasi 2 kolom	Dibatasi 1 kolom	Tanpa dibatasi kolom	
	lantai 02	1.00	-	7.00	0.13	-	0.26
lantai 03	1.00	-	7.00	0.13	-	0.26	0.4
lantai 04	1.00	-	7.00	0.13	-	0.26	0.4
lantai 05	1.00	-	7.00	0.13	-	0.26	0.4
lantai Atap	1.00	-	7.00	0.13	-	0.26	0.4
Indeks (I)	1	0.7	0.3				

Tabel 7.26. Jumlah luas dimensi kolom disain ( $\sum Ac$ ) dan jumlah luas dimensi kolom minimum ( $\sum Ac_{min}$ ) (sumber : analisa).

Lantai	$\sum Ac$ (m <sup>2</sup> )	$\sum Ac_{min}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum Ac/\sum Ac_{min}$ (Ia)
lantai 02	9.29	5.54	1.68
lantai 03	9.29	4.84	1.92
lantai 04	9.29	4.37	2.12
lantai 05	9.29	4.32	2.15
lantai Atap	5.93	4.32	1.37

Tabel 7.27. Jumlah luas dimensi dinding geser disain ( $\sum Asw$ ) dan jumlah luas dimensi dinding geser minimum ( $\sum Asw_{min}$ ) (sumber : analisa).

Lantai	$\sum Asw$ (m <sup>2</sup> )	$\sum Asw_{min}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum Asw/\sum Asw_{min}$ (Isw)
lantai 02	37.58	5.06	7.4
lantai 03	37.58	4.07	9.2
lantai 04	37.58	3.08	12.2
lantai 05	37.58	2.09	18.0
lantai Atap	37.58	1.05	35.9

Tabel 7.28. Kombinasi ( $\sum Ac$ )/ $\sum Ac_{min}$  dan ( $\sum Asw$ )/( $\sum Asw_{min}$ ) (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai (m <sup>2</sup> )	$\sum Ac$ (m <sup>2</sup> )	$\sum Asw$ (m <sup>2</sup> )	$\sum Acsw$ (m <sup>2</sup> )	$\sum Acsw_{min}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum Acsw/\sum Acsw_{min}$
lantai 02	4218.44	9.29	37.6	46.9	8.44	5.55
lantai 03	3392.64	9.29	37.6	46.9	6.79	6.91
lantai 04	2566.83	9.29	37.6	46.9	5.13	9.13
lantai 05	1741.03	9.29	37.6	46.9	3.48	13.46
lantai Atap	871.33	5.93	37.6	43.5	1.74	24.97

- Dari (tabel 7.24) memperlihatkan bahwa gedung rawat inap didominasi jenis kolom langsing ( $6 \leq h_0/D$ ) dan sebagian kecil terdapat kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ) yang berarti potensi kegagalan lentur sangat besar.
- Jenis dinding geser berdasarkan (tabel 7.25) yaitu dinding geser yang tidak diapit sama sekali oleh kolom. Hal ini kurang menguntungkan karena dinding geser menjadi kurang kaku.
- Pada (tabel 7.26, 7.27 dan 7.28) memperlihatkan bahwa dimensi kolom dan dinding geser pada gedung kuliah sudah memenuhi persyaratan minimum bahkan melebihi.
- Struktur yang dipilih SPRMK maka  $R = 8$  dan  $\Omega_0 = 3$  (lihat tabel 5.2)

### 5. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ )

$$I_{SO-i} = \frac{n+i}{2n-i+1} (I_{CS} \cdot I_e) \text{ ----- (5.22)}$$

Dimana,

$n$  = Jumlah tingkat bangunan.

$i$  = Jumlah tingkat yang dievaluasi. Di mana tingkat pertama diberi nomor 1 dan tingkat terakhir adalah  $n$

$C_S$  = Koefisien respon seismik desain

$C_{S \min}$  = Koefisien respon seismik minimum  $S_S=0.25g$  dan  $S_1=0.1g$

$I_{CS}$  = Indeks respon seismik

$I_e$  = Faktor keutamaan fungsi bangunan

Untuk zona gempa wilayah Jl. Dr. Cipto Semarang parameter gempanya yaitu :

$$S_S = 0.97 \text{ g}$$

$$S_1 = 0.328 \text{ g}$$

*Site class* = E

*Seismic important factor*  $I_e$  untuk gedung rumah sakit = 1.5

$$C_S = 0.113$$

$$C_{S \min} = 0.049$$

$$I_{CS} = C_S / C_{S \min} = 2.306$$

Adapun beban lateral gempa pada masing-masing tingkat dapat dilihat pada tabel 7.29.



Tabel 7.29. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung rawat inap Jl. Dr. Cipto Semarang (sumber : analisa).

Model	Lantai	$\frac{n+1}{2n-i+1}$		$I_{CS}$	$I_e$	$I_{SO-i}$
RS-01	lantai 02	6/10	0.60	2.306	1.50	2.08
	lantai 03	6/9	0.67	2.306	1.50	2.31
	lantai 04	6/8	0.75	2.306	1.50	2.59
	lantai 05	6/7	0.86	2.306	1.50	2.97
	lantai Atap	6/6	1.00	2.306	1.50	3.46

## 6. Ireguleritas konfigurasi ( $S_{D-i}$ )

### a. Konfigurasi ketidakberaturan torsi

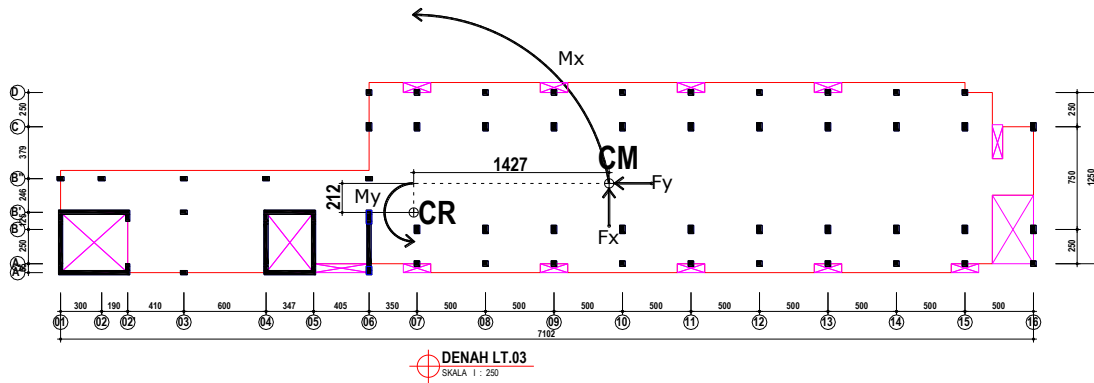
$$e_{r-i} = e_i / w_i \text{-----} (5.13)$$

Di mana :  $e_{r-i}$  = rasio antara panjang eksentrisitas ( $e_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan lebar bangunan ( $w_i$ ) tingkat ke  $-i$ .

Tabel 7.30. Eksentrisitas ( $e_{x-i}$  dan  $e_{y-i}$ ) antara pusat massa dan pusat kekakuan lantai pada gedung rawat inap dan OK 5 lantai (sumber : analisa).

Lantai	$e_{x-i}$ (m)	$e_{y-i}$ (m)	$e_{rx-i}$	$e_{ry-i}$	$e_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 02	14.355	2.164	0.202	0.156	$0.1 < e_{r-i} < 0.3$	0.75
lantai 03	14.267	2.121	0.201	0.153	$0.1 < e_{r-i} < 0.3$	0.75
lantai 04	14.267	2.121	0.201	0.153	$0.1 < e_{r-i} < 0.3$	0.75
lantai 05	14.581	2.104	0.205	0.140	$0.1 < e_{r-i} < 0.3$	0.75
lantai Atap	8.169	0.333	0.115	0.022	$e_{r-i} \leq 0.1$	1

Bentuk geometris gedung rawat inap dan OK ini relatif ireguler. Hal itu, dikarenakan adanya keputusan pembangunan bertahap sehingga memengaruhi tata massa bangunan (lihat gambar 7.17). Maka dari itu tata massa gedung rawat inap dan OK ini dibentuk dengan massa yang berbeda 1 massa kecil dan 1 massa massa yang besar. Kondisi yang tidak *balance* ini coba diatasi oleh perencana gedung secara struktural dengan menambahkan 2 *shear wall* berbentuk *box* di tangga utama dan lift pasien serta 1 *shear wall* berbentuk lajur diapit oleh kolom yang diletakkan berbatasan antara massa yang kecil dengan yang besar. Akan tetapi, konsentrasi perletakan *shear wall* pada satu tempat menyebabkan eksentrisitas yang cukup besar antara pusat massa (CM) dan pusat kekakuan (CR) disemua tingkat lantai, kecuali di lantai atap sehingga potensi terjadi torsi/puntir pada bangunan pada saat terjadi gempa kuat (lihat tabel 7.30 dan gambar 7.22).



Gambar 7.22. Eksentrisitas antara *center of massa* (CM) dan *center of rigidity* (CR) (sumber : analisa)

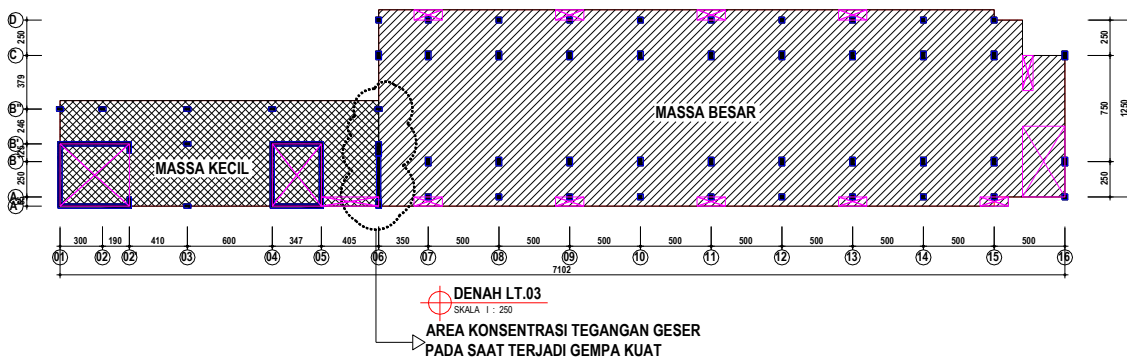
**b. Konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam**

$$b_{r-i} = I_{p-i}/I_{u-i} \text{----- (5.1)}$$

Di mana :  $b_{r-i}$  = rasio luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan ( $I_{p-i}$ ) tingkat ke  $-i$  dan luas lantai bangunan utama tingkat ke  $-i$  ( $I_{u-i}$ ).

Tabel 7.31. Rasio luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan ( $I_{p-i}$ ) dan luas lantai bangunan utama ( $I_{u-i}$ ) pada gedung rawat inap dan OK 5 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai utama ( $I_{u-i}$ ) (m2)	Luas proyeksi bangunan terbesar ( $I_{p-i}$ ) (m2)	$I_{p-i}/I_{u-i}$	$b_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 02	658.780	168.00	25.5%	$10% < b_{r-i} \leq 30%$	0.75
lantai 03	658.780	168.00	25.5%	$10% < b_{r-i} \leq 30%$	0.75
lantai 04	658.780	168.00	25.5%	$10% < b_{r-i} \leq 30%$	0.75
lantai 05	658.780	168.00	25.5%	$10% < b_{r-i} \leq 30%$	0.75
lantai Atap	658.780	168.00	25.5%	$10% < b_{r-i} \leq 30%$	0.75



Gambar 7.23. Konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam yang terbentuk antara pertemuan massa besar dan massa kecil gedung rawat inap dan OK (sumber : analisa)

Penggabungan antara massa yang besar dan kecil pada massa gedung rawat inap dan OK menyebabkan terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam yaitu

potensi terkonsentrasinya tegangan geser pada saat terjadi gempa kuat di elemen struktur yang berbatasan antara massa yang besar dan kecil. Dalam hal ini, perencana mencoba meminimalisasi struktur gedung dengan menambahkan dinding geser berbentuk lajur diapit oleh kolom (lihat tabel 7.31 dan gambar 7.23).

**c. Konfigurasi ketidakberaturan diskontinuitas difragma**

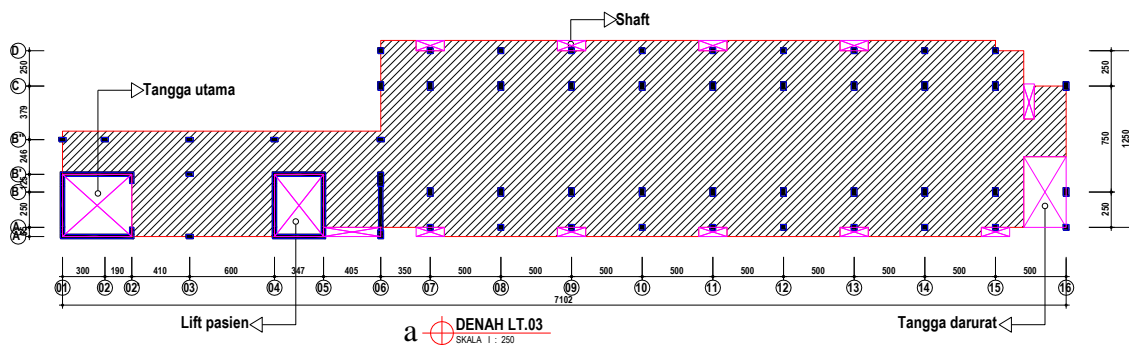
$$e_{v-i} = \frac{\sum l_{b-i}}{\sum l_{l-i}} \text{-----} (5.15)$$

Di mana :  $e_{v-i}$  = rasio luas lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll tingkat ke -i ( $l_{b-i}$ ) dan luas lantai tingkat ke -i ( $l_{l-i}$ ).

Tabel 7.32. Rasio lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll ( $l_{b-i}$ ) dan luas lantai ( $l_{l-i}$ ) pada gedung rawat inap dan OK 5 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai ( $\sum l_{l-i}$ ) (m2)	luas bukaan ( $\sum l_{b-i}$ ) (m2)	$\frac{\sum l_{b-i}}{\sum l_{l-i}}$	$e_{v-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 02	825.80	66.41	0.08	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 03	825.80	68.55	0.08	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 04	825.80	68.55	0.08	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 05	869.694	70.01	0.08	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai Atap	871.334	563.97	0.65	$e_{v-i} \geq 0.3$	0.5

Bukaan-bukaan pada gedung rawat inap dan OK terjadi pada area tangga, lift, dan shaft. Bukaan-bukaan ini tidak terlalu berpengaruh pada integritas lantai dalam menyalurkan beban lateral elemen struktur lainnya seperti balok, kolom, dan dinding geser karena luasannya minimal < 10% dari luasan lantai (tabel 7.32 dan gambar 7.24a). Bukaan lainnya yang sangat besar yaitu pada bagian atap yang ditutupi atap genteng dengan kuda-kuda baja IWF (gambar 6.24b). Namun, terdapat bagian atap yang ditutupi lantai beton dan menahan beban cukup berat *roof tank*. Hal tersebut cukup berbahaya karena dengan hilangnya integritas lantai dalam menyebarkan beban lateral, artinya bisa terjadi pada saat terjadinya konsentrasinya tegangan geser pada elemen-elemen struktur yang ada disekitar beban berat tersebut saja. Hal ini nampaknya diantisipasi oleh perencana struktur gedung meletakkan *roof tank* diatas *shear wall* elemen struktur yang kapasitas geser dan kekakuan yang sangat besar (gambar 7.24b).



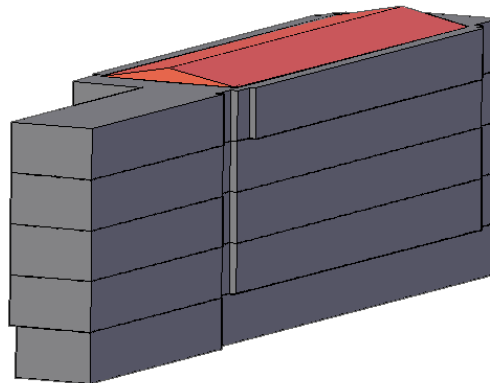




Tabel 7.35. Rasio panjang bangunan ( $L_i$ ) dan panjang *setback* bangunan ( $A_i$ ) pada tingkat yang ditinjau pada gedung rawat inap 5 lantai (sumber : analisa).

Lantai	$L_i$ (m)	$A_i$ (m)	$A_i/L_i$	$s_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_j$ )
lantai 02	6.86	0.60	0.09	$sr-i \leq 0.1$	1
lantai 03	6.86	0.60	0.09	$sr-i \leq 0.1$	1
lantai 04	6.86	0.60	0.09	$sr-i \leq 0.1$	1
lantai 05	6.86	0.60	0.09	$sr-i \leq 0.1$	1
lantai Atap	6.86	0.60	0.09	$sr-i \leq 0.1$	1

Dari gambar arsitektur gedung rawat inap dan OK dari gambar 7.18a s/d l di atas memperlihatkan proses transformasi *setback* pada gedung ini relatif minimal dan cenderung bermain *solid* serta *void* pada bidang fasad bangunan. Dampak positifnya potensi terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan vertikal juga kecil (lihat gambar 7.26 dan tabel 7.35).



Gambar 7.26. Proses transformasi aditif yang minimalis (sumber : analisa)

**h. Konfigurasi diskontinuitas ketidakberaturan kuat lateral tingkat / *weak story***

$$a_{r-i} = (\sum a_e)_i / (\sum a_e)_{i+1} \text{-----} (5.20)$$

Di mana,  $a_{r-i}$  = rasio luas kolom dan/atau dinding geser ditingkat  $-i$  ( $\sum a_e)_i$  dan luas kolom dan/atau dinding geser satu tingkat dari tingkat  $-i$  ( $\sum a_e)_{i+1}$ .

Tabel 7.36. Rasio luas kolom tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$  dan luas kolom dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$  pada gedung rawat inap dan OK 5 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas kolom tipikal ( $a_e)_i$ (m <sup>2</sup> )	$(\sum a_e)_i / (\sum a_e)_{i+1}$	$a_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_j$ )
lantai 02	9.29	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 03	9.29	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 04	9.29	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 05	9.29	1.57	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai Atap	5.93	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1

Tabel 7.37. Rasio luas dinding geser tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$  dan luas dinding geser dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$  pada gedung rawat inap dan OK 5 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas kolom tipikal ( $a_e$ ) <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	$(\sum a_e)_i / (\sum a_e)_{i+1}$	$a_{r-i}$	Tingkatan kualitas (G <sub>i</sub> )
lantai 02	11.58	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 03	11.58	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 04	11.58	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 05	11.58	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai Atap	11.58	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1

Dari (tabel 7.36 dan 7.37) terlihat tidak terdapat kolom dan dinding geser yang mengalami pengurangan luasan pada lantai tertentu yang dapat mengakibatkan pelemahan dari elemen struktur penahan gempa tersebut, kecuali pada kolom dibawah lantai atap karena kolom hanya ada pada perimeter bangunan massa besar. Hal tersebut dapat diabaikan karena kolom pada tingkat ini hanya menahan beban atap yang bebannya tidak terlalu berat. Sementara itu, untuk *roof tank* diletakkan di atas dinding geser. Selain itu, tidak terjadi perubahan dimensi kolom dan dinding geser dari tingkat bawah sampai dengan tingkat paling atas.

**i. Konfigurasi ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang & diskontinuitas arah bidang**

$$d_{r-i} = \sum d_i / \sum l_i \text{-----} (5.21)$$

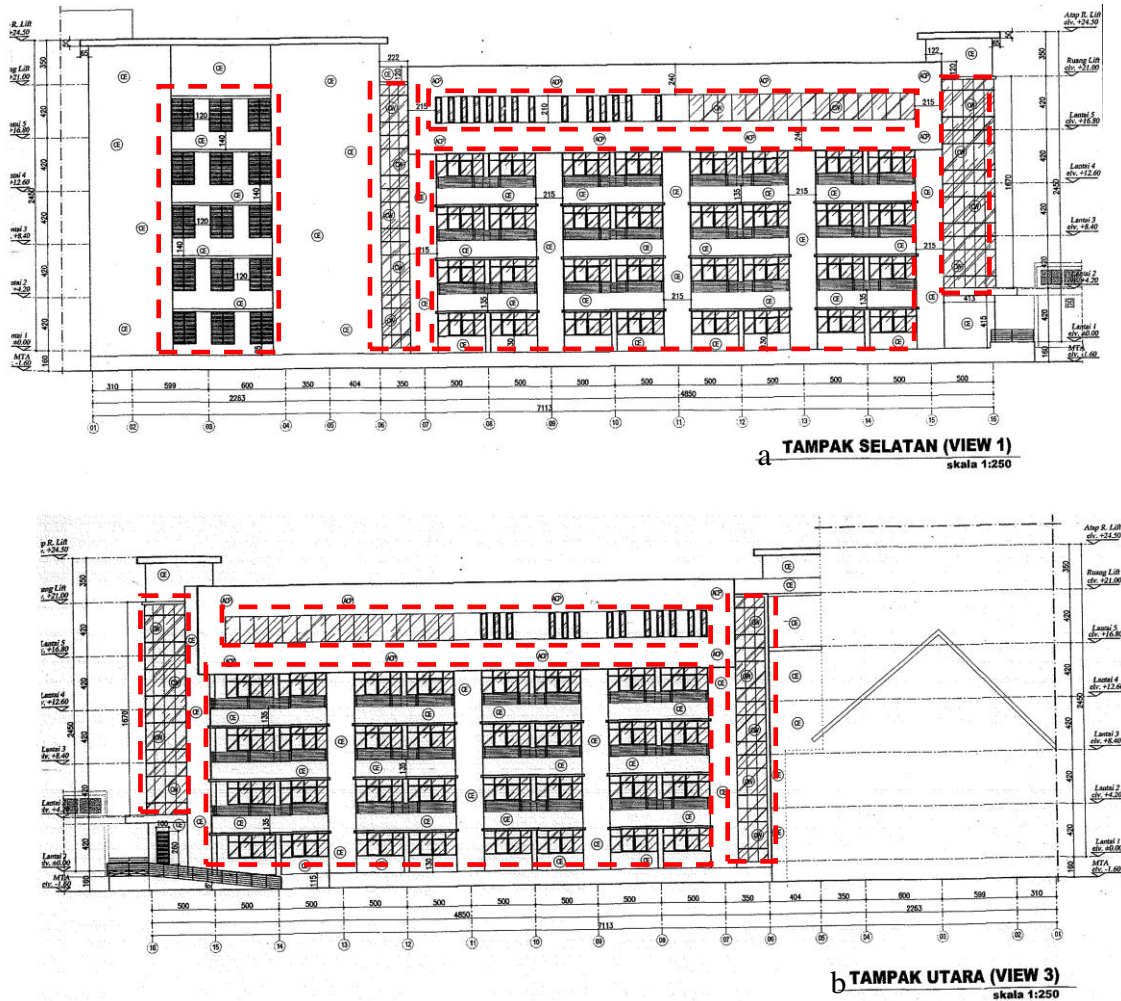
Di mana,  $d_{r-i}$  = rasio kepadatan dinding (%),  $\sum d_i$  = luas dinding bata lantai tingkat ke -i dan  $\sum l_{tot-i}$  = Luas lantai di lantai tingkat ke -i.

Tabel 7.38. Rasio kepadatan dinding bata ( $d_{r-i}$ ) pada gedung rawat inap dan OK 5 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai ( $\sum l_i$ ) (m <sup>2</sup> )	Luas dinding bata ( $\sum d_i$ ) (m <sup>2</sup> )	$\sum d_i / \sum l_i$	$d_{r-i}$	Tingkatan kualitas (G <sub>i</sub> )
lantai 02	825.80	41.68	5.0%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 03	825.80	41.83	5.1%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 04	825.80	41.99	5.1%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 05	869.69	41.85	4.8%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai Atap	871.33	57.47	6.6%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1

Bukaan-bukaan pada fasad gedung kuliah diatur dengan cukup baik, tidak secara acak sehingga tidak menyebabkan potensi ketidakseragaman kekakuan bangunan. Akan tetapi, dimensi jendela atau ventilasi pada fasad bangunan luasnya banyak melebihi yang dapat mengganggu kekakuan dinding bata fasad dalam membantu struktur utama menahan beban lateral. Hal ini berarti dinding fasad bangunan tidak efektif dalam membantu kekakuan bangunan (lihat gambar 7.27).





Gambar 7.27. Bukaan-bukan (jendela, ventilasi, *cladding*) pada fasad bangunan yang disusun dengan teratur sehingga tidak menyebabkan potensi ketidakteraturan kekakuan pada bangunan (sumber : analisa)

Sementara itu, pada dinding interior didominasi menggunakan dinding bata sehingga kekakuan struktur utama dibantu oleh kekakuan dinding interior. Dikarenakan secara kepadatan dan distribusinya cukup menyebar sehingga meminimalisasi terjadinya konsentrasi kekakuan bangunan (lihat tabel 7.38 dan gambar denah arsitektur 7.18a s/d e).

### 7. Perbandingan indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) gedung rawat inap dan OK 5 lantai.

Berdasarkan data-data dan perhitungan di atas, maka disimpulkan untuk gedung rawat inap dan OK yaitu :

- Pada (tabel 7.40) kolom  $I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}$  merupakan perkalian indeks luas kolom dan indeks jenis kolom memperlihatkan sebagian besar nilainya  $> 1$  yang berarti dimensi kolom memenuhi syarat luas minimum dalam menahan gempa kuat,



tetapi masih didominasi oleh kolom langsing ( $6 \leq h_0/D$ ) yang berarti potensi kegagalan lentur pada kolom akibat gempa bisa saja terjadi.

- Pada (tabel 7.40) kolom  $I_{Asw-i} \cdot I_{SW-i}$  merupakan perkalian indeks luas dinding geser dan indeks jenis dinding geser memperlihatkan nilainya  $> 1$  yang berarti dimensi dinding geser sudah didesain memenuhi syarat luas minimum bahkan berlebihan dalam menahan gempa kuat.
- Pada (tabel 7.40) kolom  $I_{SCWB-i}$  merupakan indeks *strong column weak beam* yang nilainya masih cukup baik  $> 70\%$  sehingga diharapkan ketika terjadi gempa kuat mekanisme *strong column weak beam* ( $W_p \text{ kolom} > 1.2 \times W_p \text{ balok}$ ) masih bisa terjadi kecuali pada lantai 05.
- Pada (tabel 7.40) kolom  $I_T$  merupakan indeks periode getar struktur yang nilai = 1 yang berarti periode getar struktur ( $T_{C-X}=0.44 \text{ dtk}$  &  $T_{C-Y}=0.89 \text{ dtk}$ )  $<$  periode getar maksimum ( $T_{max}=1.16 \text{ dtk}$ ). Artinya, bangunannya tidak terlalu fleksibel sehingga persyaratan keamanan elemen arsitektur dan struktur serta kenyamanan penghuni bangunan terpenuhi.
- Pada (tabel 7.40) kolom R dan  $\Omega_0$  merupakan faktor reduksi gempa dan faktor kuat lebih (tabel 5.2) yang nilainya tergantung jenis struktur yang dipilih. Jenis struktur yang digunakan pada gedung rawat inap dan OK 5 lantai ini yaitu SRPMK yang berarti  $R = 8$  dan  $\Omega_0 = 3$ . Perbandingan  $R/\Omega_0$  merupakan indeks daktilitas sistem struktur bangunan rumah sakit ini.
- Pada (tabel 7.40) kolom  $E_{0-i}$  adalah indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dan dinding geser yang merupakan hasil perkalian faktor modifikasi kapasitas geser tingkat; indeks dimensi kolom dan dinding geser; indeks jenis kolom dan dinding geser; indeks *strong column weak beam*; indeks periode getar struktur dan indeks daktilitas sistem struktur.
- Pada (tabel 7.40) kolom  $S_{D-i}$  merupakan indeks ireguleritas geometri bangunan. Jika dilihat dari indeks ireguleritas ( $S_{D-i}$ ) per lantai terkandung ireguleritas geometri terutama pada lantai 05 dan lantai atap yang nilainya  $\leq 0.5$ . Tabel 7.39 memperlihatkan di lantai 05 indeks ireguleritasnya akibat kombinasi ireguleritas yaitu eksentrisitas, terbentuknya sudut dalam dan massa yang lebih berat dibandingkan lantai lainnya. Sementara itu, lantai atap disebabkan kombinasi yaitu terbentuknya sudut dalam dan void yang besar pada diafragma lantai atap.

Tabel 7.39. Konfigurasi ketidakberaturan vertikal dan horisontal ( $S_{D-i}$ ) gedung rawat inap & OK 5 lantai (sumber : analisa).

Lantai	a eksentrisitas	b sudut dalam	c diafragma	d non paralel	e soft story	f massa	g setback	h weak story	i out-in plane	$S_{D-i}$
lantai 02	0.75	0.75	1	1	1	1	1	1	1	0.56
lantai 03	0.75	0.75	1	1	1	1	1	1	1	0.56
lantai 04	0.75	0.75	1	1	1	1	1	1	1	0.56
lantai 05	0.75	0.75	1	1	1	0.75	1	1	1	0.42
lantai Atap	1	0.75	0.5	1	1	1	1	1	1	0.38

- Pada (tabel 7.40 dan 7.41) kolom  $I_{S-i}$  adalah indeks kapasitas struktur yang merupakan perkalian indeks gempa dasar struktur ( $E_{0-i}$ ) dan indeks ireguleritas geometri bangunan ( $S_{D-i}$ ). Terlihat nilainya akan berkurang drastis jika ireguleritas geometri bangunan cukup signifikan.
- Pada (tabel 7.41) kolom  $I_{SO-i}$  adalah indeks beban lateral gempa yang merupakan perkalian faktor modifikasi beban horisontal tingkat, indeks respon seismik dan faktor keutamaan fungsi bangunan yang nilainya semakin besar jika fungsi bangunan semakin penting. Untuk lebih jelas bisa dilihat tabel 7.29 dan keterangannya diatas.
- Pada (tabel 7.41) perbandingan indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) memperlihatkan bahwa semua lantai menunjukkan  $I_S > I_{SO}$  yang berarti gedung aman ketika terjadi gempa kuat dan potensi level kerusakan bangunan akibat gempa tersebut adalah rusak ringan (*IO-Immediate Occupancy*). Sebenarnya semua lantai mengalami ireguleritas geometri, tetapi kapasitas strukturnya cukup memadai.

Tabel 7.40. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) pada gedung rawat inap & OK 5 lantai (sumber : analisa).

Model	Lantai	$\frac{n+1}{n+i}$	$I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}$	$I_{Asw-i} \cdot I_{Sw-i}$	$I_{SCWB-i}$	$I_T$	R	$\Omega_0$	RKS	$E_{0-i}$	$S_{D-i}$	$I_{S-i}$	
RS-01	lantai 02	6/6	1.00	1.04	2.88	0.73	1	8	3	2.86	7.62	0.56	4.29
	lantai 03	6/7	0.86	1.19	3.58	0.73	1	8	3	2.98	7.95	0.56	4.47
	lantai 04	6/8	0.75	1.32	4.73	0.73	1	8	3	3.31	8.82	0.42	3.72
	lantai 05	6/9	0.67	1.34	6.97	0.73	1	8	3	4.04	10.77	0.56	6.06
	lantai Atap	6/10	0.60	0.82	13.93	0.39	1	8	3	3.41	9.10	0.38	3.41

Tabel 7.41. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) pada gedung rawat inap & OK 5 lantai (sumber : analisa).

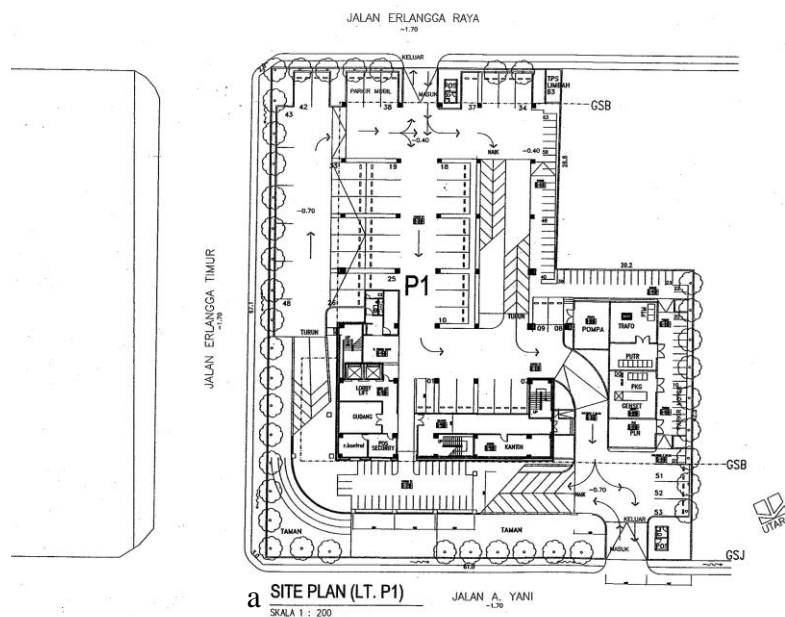
Model	Lantai	$I_{S-i}$	$I_{SO-i}$	SVA
RS-01	lantai 02	4.29	2.08	IO
	lantai 03	4.47	2.31	IO
	lantai 04	3.72	2.59	IO
	lantai 05	6.06	2.97	IO
	lantai Atap	3.41	3.46	IO

### 7.3. SVA MENARA BRI 9 LANTAI DI JL. A. YANI SEMARANG

#### 1. Data Arsitektur

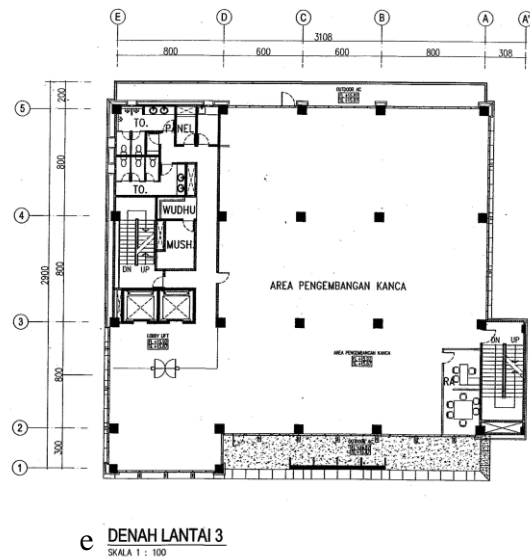
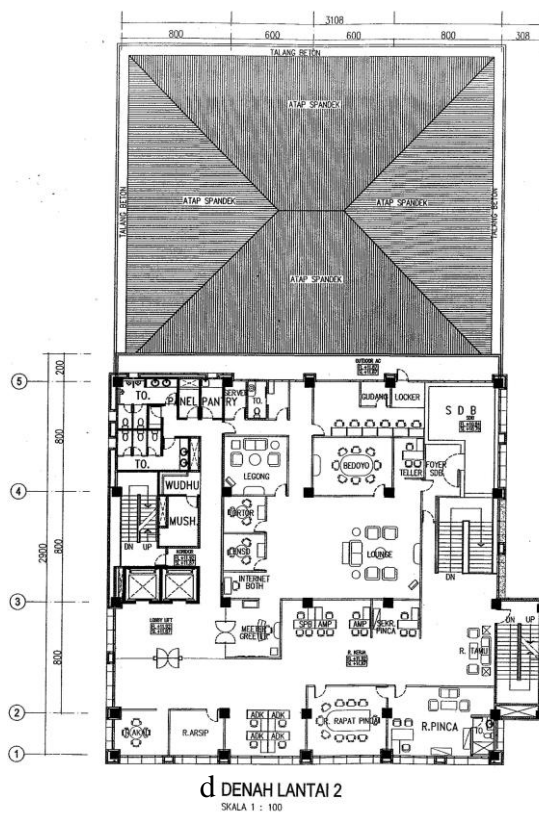
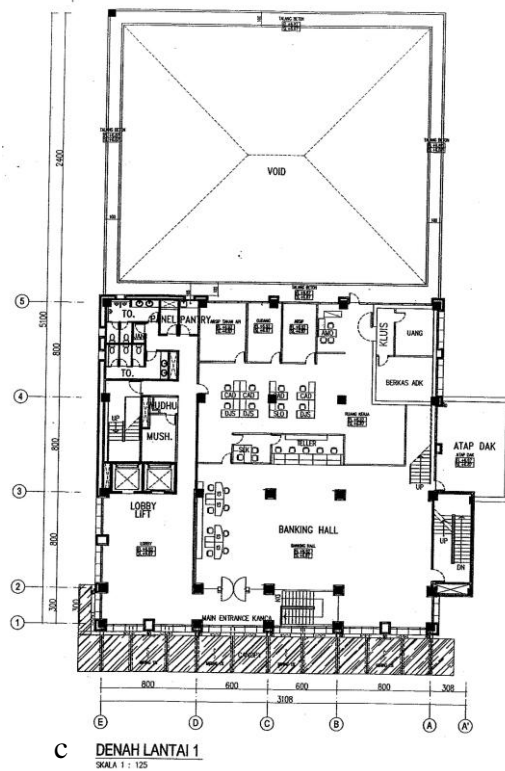
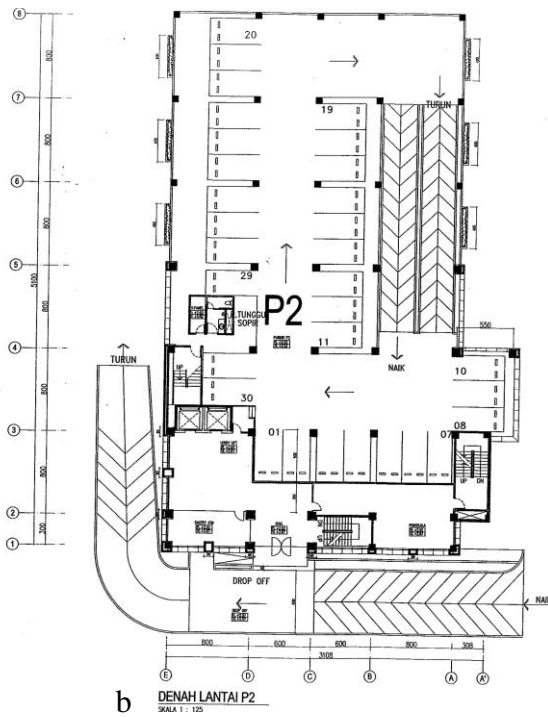
Dengan berkembangnya usaha perbankan Bank Rakyat Indonesia di Semarang, sehingga membutuhkan kantor cabang dengan ruang yang lebih luas dan representatif. Sementara itu, kantor lama sudah tidak dapat menampung lagi aktivitas perbankan ke depan. Untuk itu direncanakan kantor cabang baru yang menempati lahan kantor cabang BRI lama di Jl. A Yani.

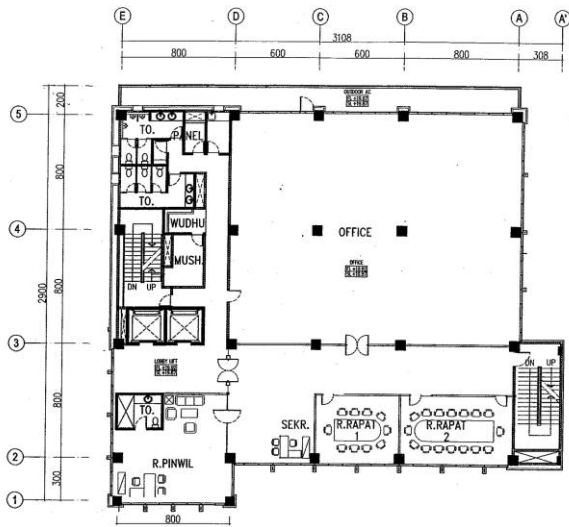
Adanya tuntutan bahwa menara BRI Semarang sebagai pusat perkantoran yaitu kantor cabang, kantor wilayah, dan sentra layanan prima BRI. Dengan demikian, secara filosofis harus memiliki dan mencerminkan ciri kewibawaan birokrasi, keterbukaan dalam pelayanan serta dinamika dalam pembangunan, dan juga sebagai *landmark* bagi lingkungan sekitar. Secara umum bentuk geometri bangunan ini simetris, fasade bangunan lugas dan bersih, dan detail elemen bangunan sederhana. Adapun fungsi bangunan per lantai dapat diuraikan sebagai berikut :



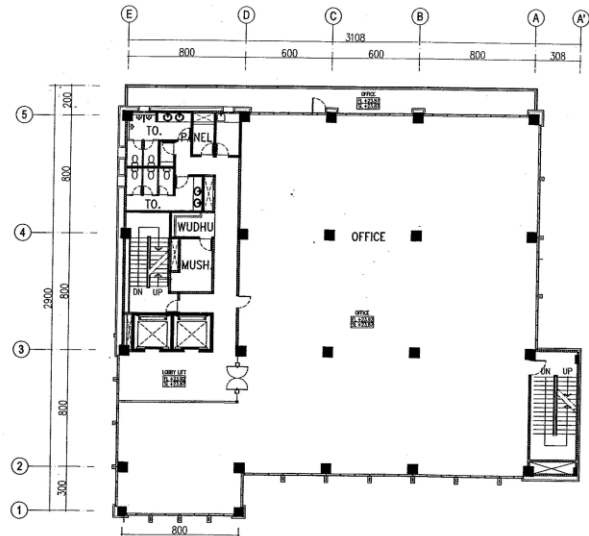
- Lantai P1 : parkir, gudang dan kantin
- Lantai P2 : parkir, *gallery atm*
- Lantai 01 : *Banking hall, e-banking*
- Lantai 02 : *Kanca back office, SLP*
- Lantai 03 : perluasan kantor cabang
- Lantai 04 : r. Pinwil, r. Rapat, r. Kantor

- Lantai 05 : r. Kantor
- Lantai 06 : r. Kantor
- Lantai 07 : r. Serbaguna, pre function, r. Rapat
- Lantai atap : r. mesin lift dan servis

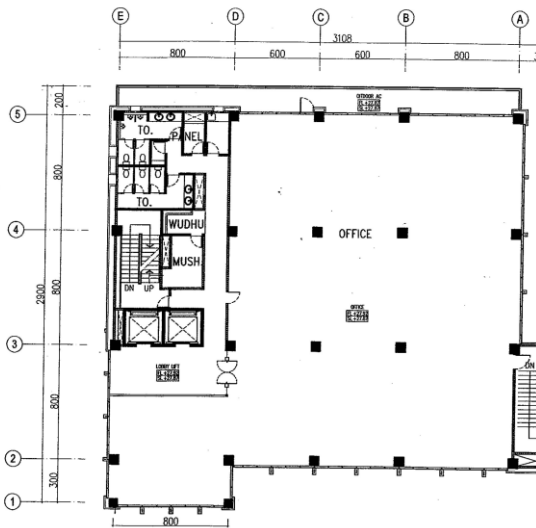




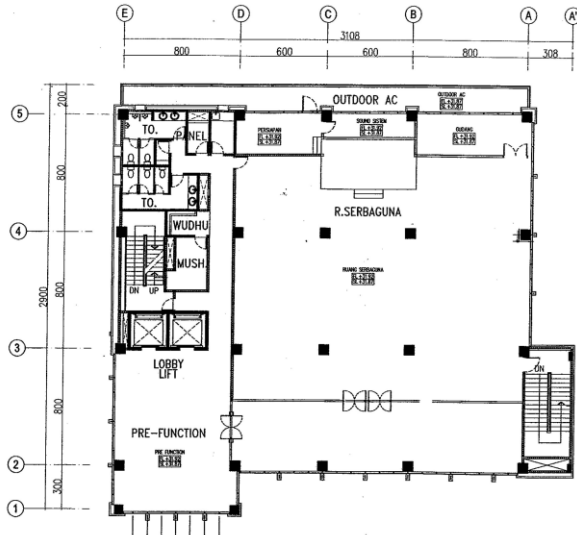
f DENAH LANTAI 4  
SKALA 1 : 100



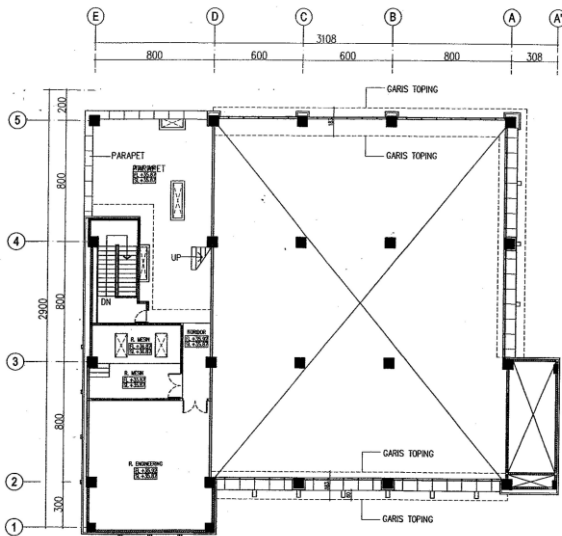
g DENAH LANTAI 5  
SKALA 1 : 100



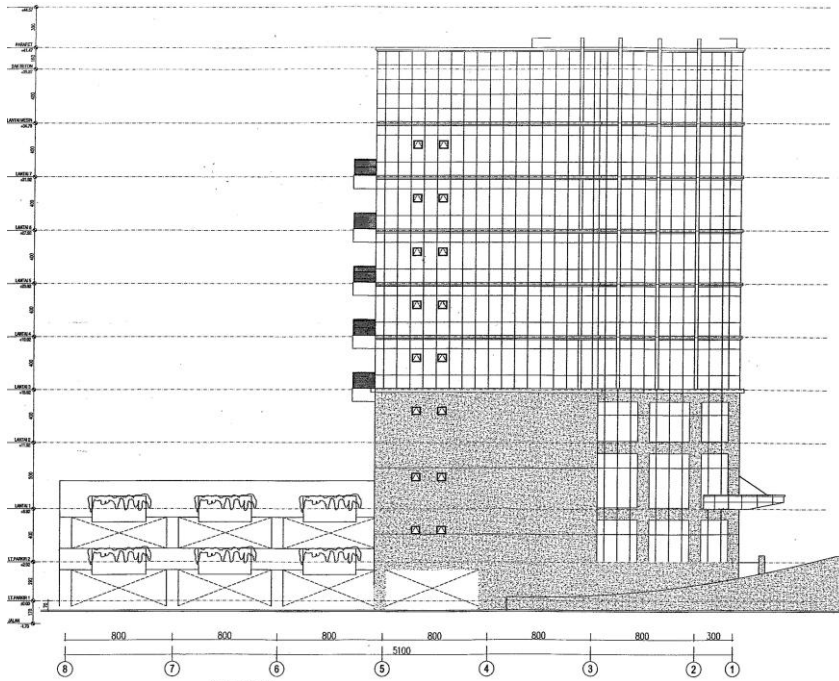
h DENAH LANTAI 6  
SKALA 1 : 100



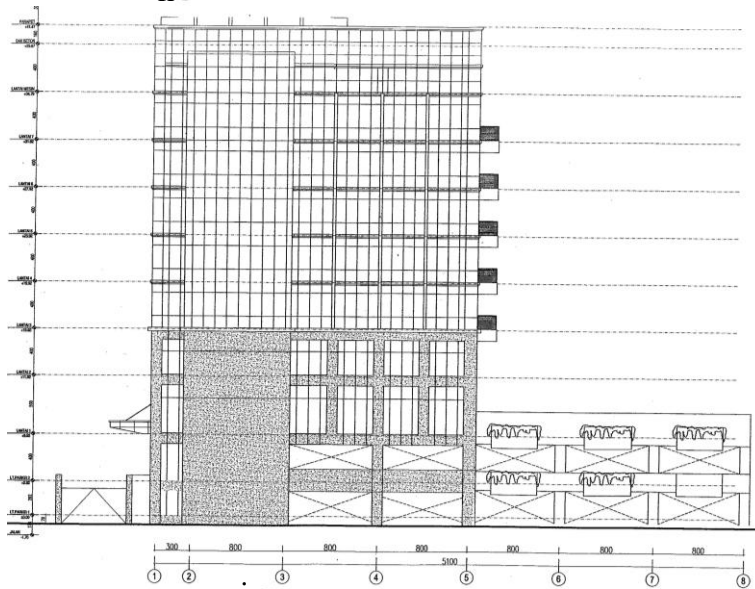
i DENAH LANTAI 7 (r.serbaguna)  
SKALA 1 : 100



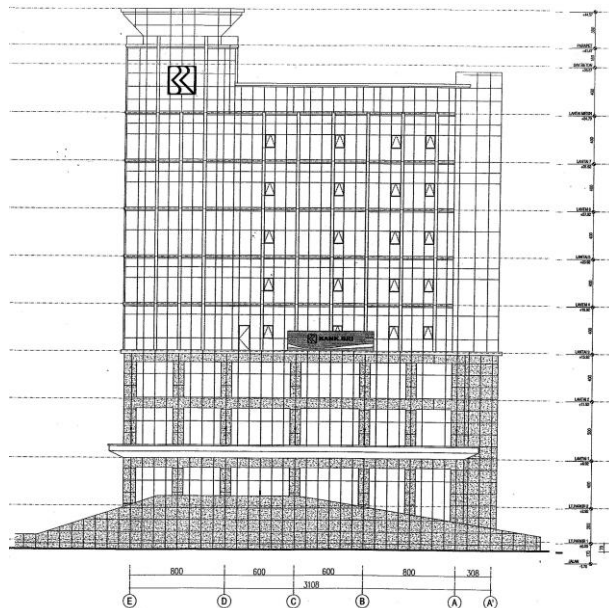
j DENAH LANTAI 7A (r.mesin)  
SKALA 1 : 100



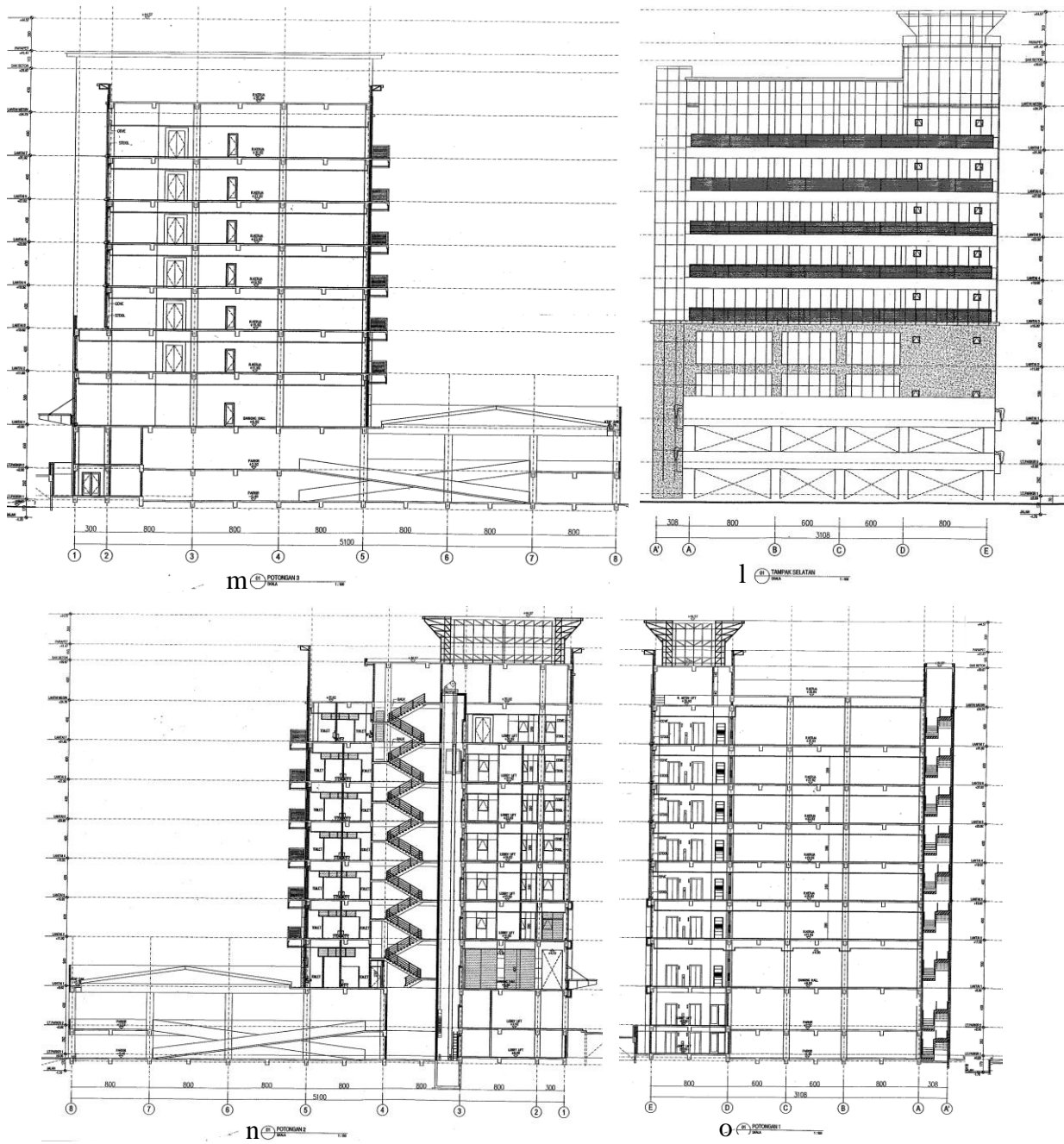
k TAMPAK TIMUR



j TAMPAK BARAT



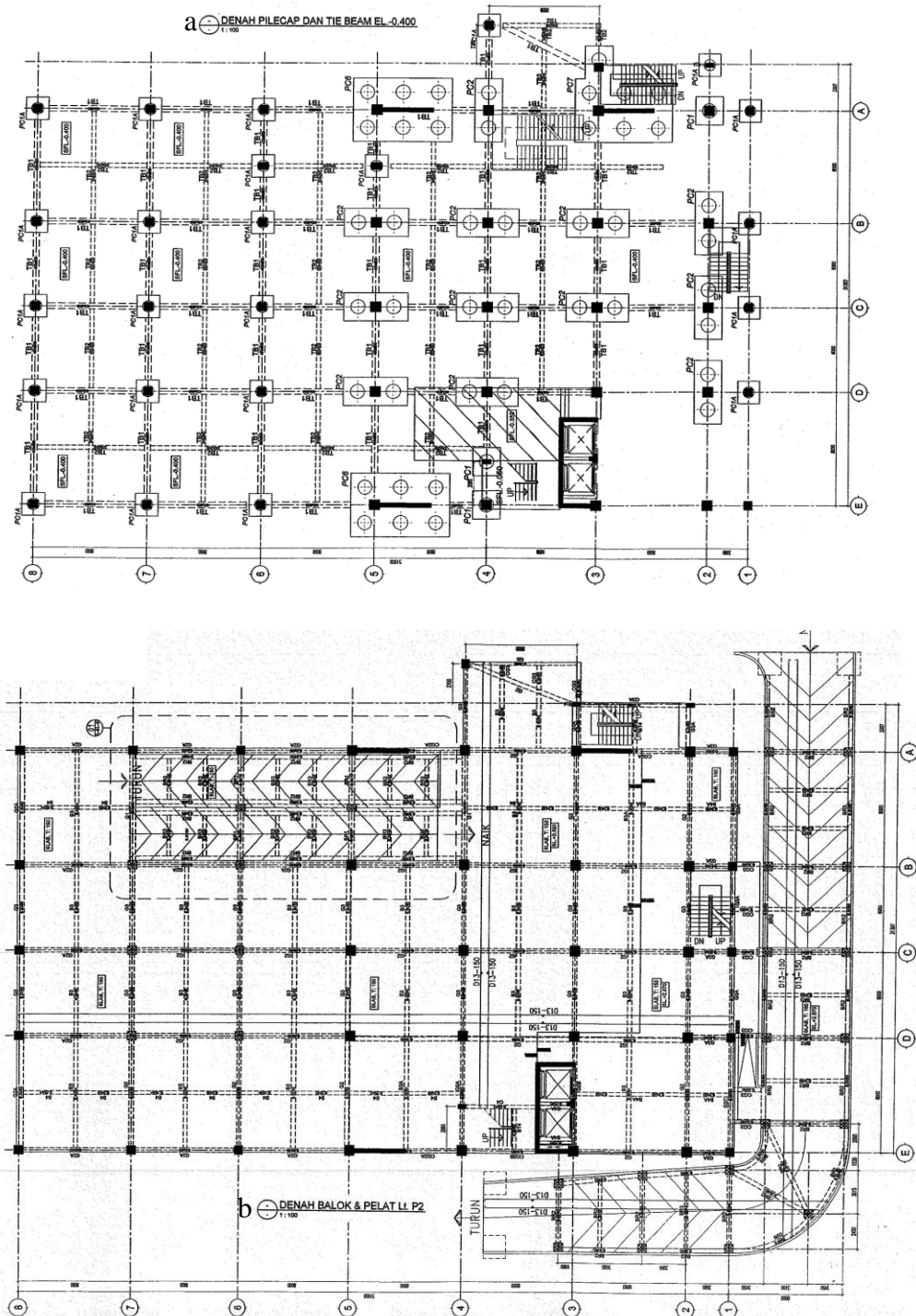
k TAMPAK UTARA



Gambar 7.28. Gambar denah, tampak dan potongan gedung menara BRI di Jl. A. Yani Semarang (sumber : DISTARU Kota Semarang).

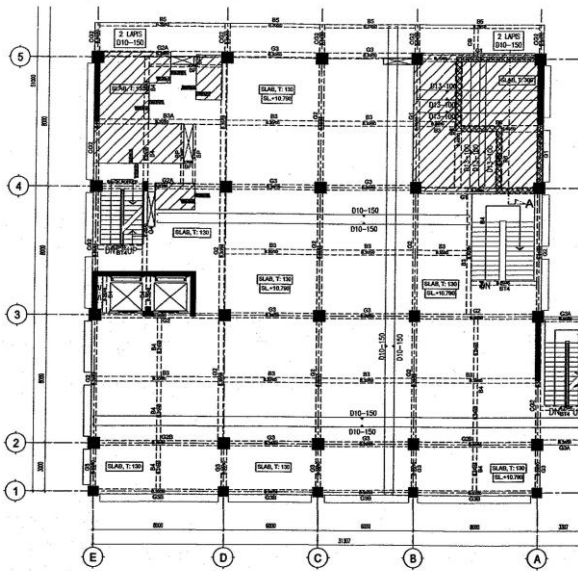
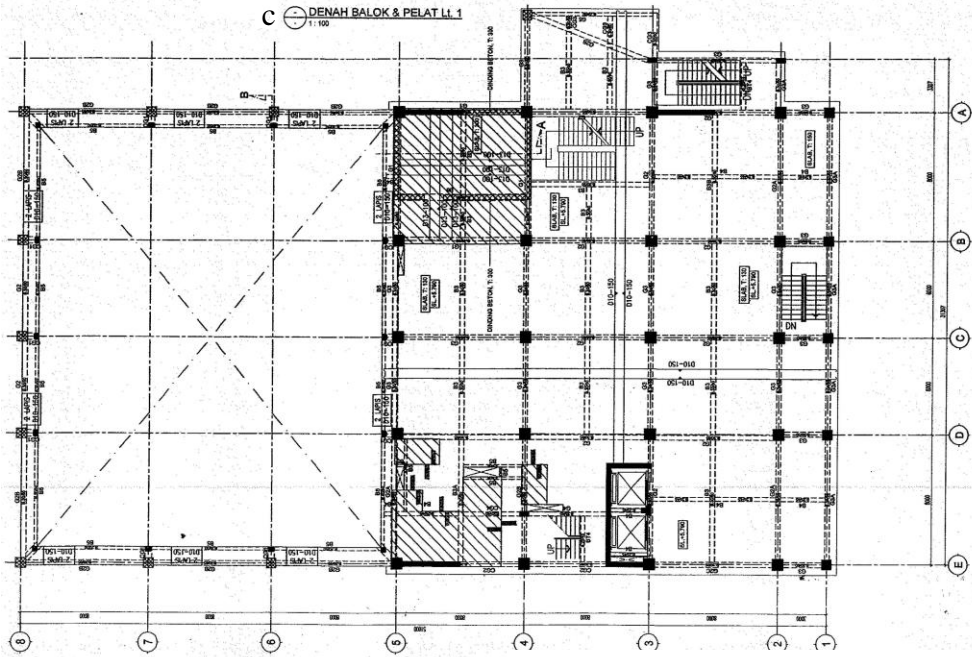
## 2. Data Struktur

Struktur atas yang digunakan pada gedung ini sistem ganda dengan dinding geser beton bertulang khusus. Mutu beton pelat, balok, kolom dan dinding geser yaitu K-350, sedangkan tulangan  $f_y=400$  MPa (BJTD-40  $D \geq 12$ ) dan  $f_y=240$  MPa (BJTP-24  $D \leq 12$ ).

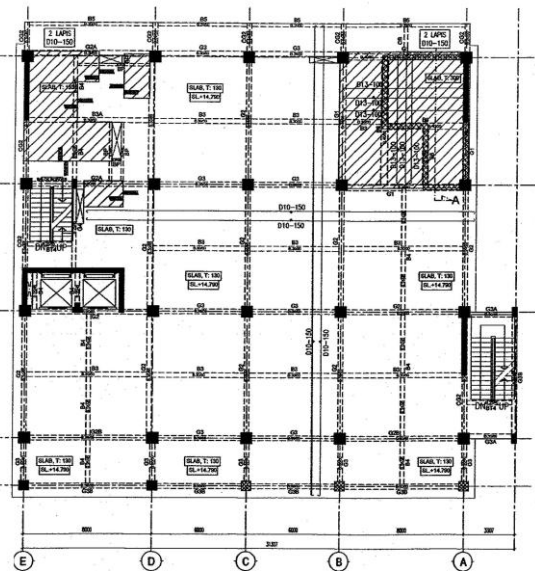




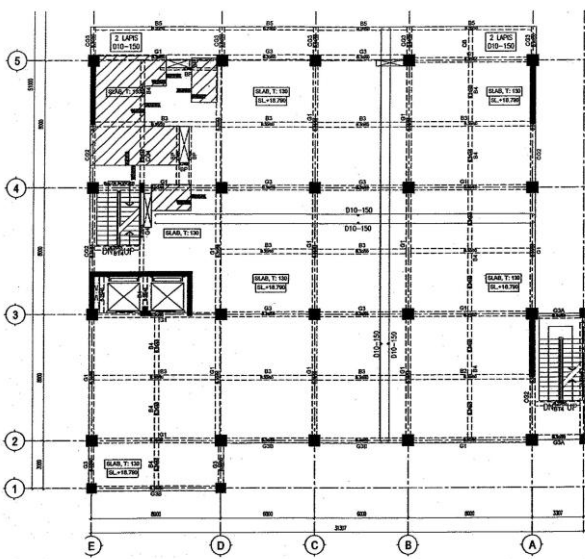
c DENAH BALOK & PELAT Lt. 1  
1:100



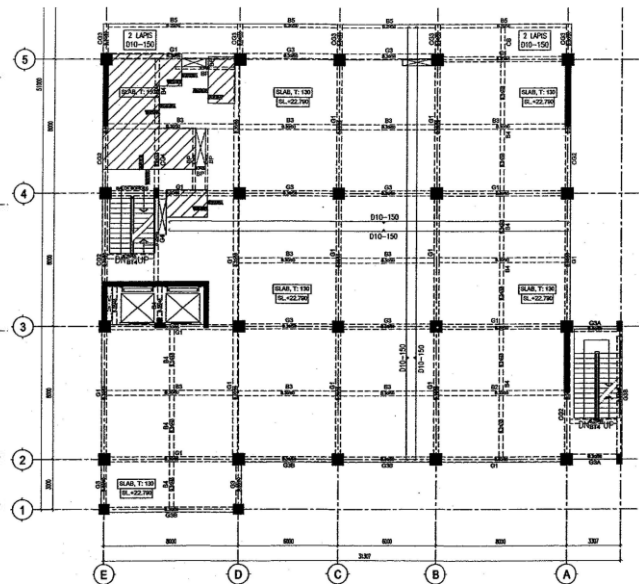
d DENAH BALOK & PELAT Lt. 2  
1:100



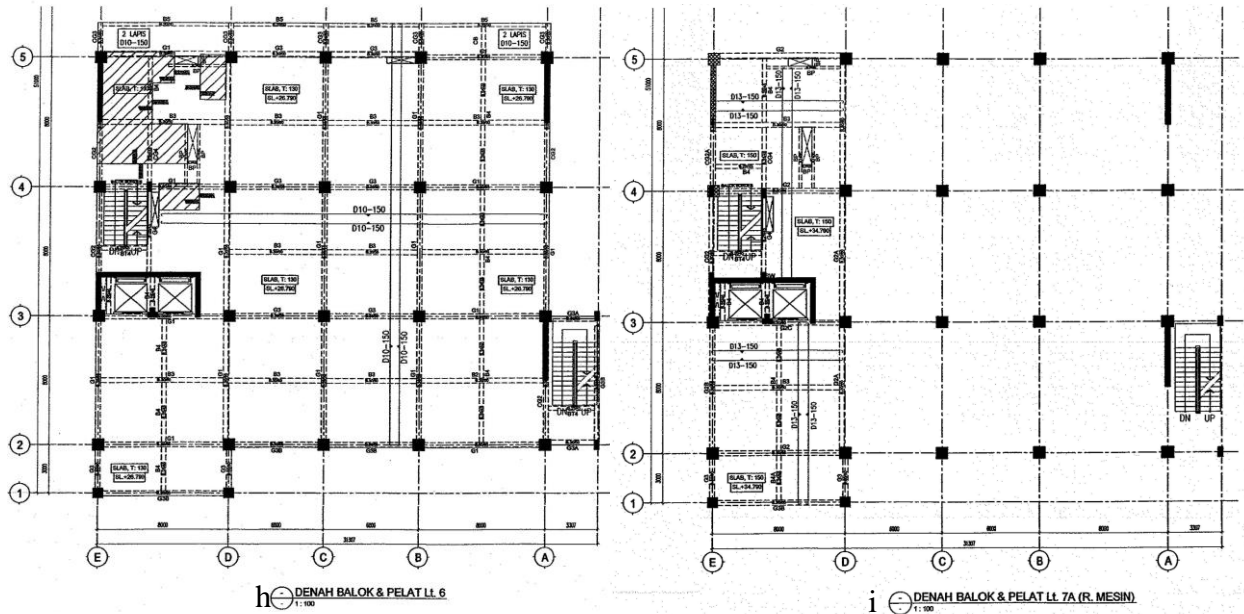
e DENAH BALOK & PELAT Lt. 3  
1:100



f DENAH BALOK & PELAT Lt. 4  
1:100



g DENAH BALOK & PELAT Lt. 5  
1:100



Gambar 7.29. Gambar denah kolom, balok & plat lantai gedung menara BRI (sumber : DISTARU Kota Semarang)

### 3. Screening dimensi struktur gedung menara BRI, strong column & weak beam, periode getar dan kekakuan

Tabel 7.42. Rasio bentang struktur dan tinggi balok, dan rasio tinggi balok dan lebar balok (sumber : analisa).

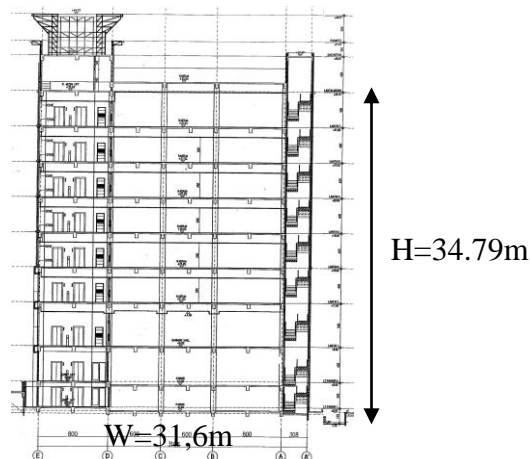
Balok	Dimensi - $b_b/h_b$ (cm)	Bentang - L (m)	$L/h_b - 1/10-1/14$	$h_b/b_b \leq 2$
G1	40/80	8	1/10	2.0
G2	30/65	8	1/12	2.2
G2A	30/65	8	1/12	2.2
G2B	30/65	8	1/12	2.2
G2C	30/65	8	1/12	2.2
G3	30/50	3, 5.5, 6	1/6-1/12	1.7
G3A	30/50	3, 3.08, 6, 8	1/6-1/16	1.7
G3B	30/50	6, 8	1/12-1/16	1.7
G5	20/50	8	1/16	2.5
CG2A	30/65	8	1/12	2.2
Balok kantilever	Dimensi - $b_b/h_b$ (cm)	Bentang - L (m)	$L/h_b - \leq 1/5$	$h_b/b_b \leq 2$
CG1	40/65	1	1/1.5	1.6
CG3	30/50	2.42	1/5	1.7

Tabel 7.43. Dimensi minimal kolom (sumber : analisa).

Kolom	Dimensi - $b_c/h_c$ (cm)	$b_c/h_c$	$b_c \geq 30$	$b_c/h_c \geq 0.4$
K1	70/70	1.00	ya	ya
K1A	70/70	1.00	ya	ya
K1B	70/70	1.00	ya	ya
K2	70/70	1.00	ya	ya
K3	30/60	0.50	ya	ya

Tabel 7.44. *Strong column* dan *weak beam* (sumber : analisa).

LANTAI	$W_p$ KOLOM $> 1.2 \times W_p$ BALOK
lantai P2	88%
lantai 01	88%
lantai 02	93%
lantai 03	100%
lantai 04	100%
lantai 05	100%
lantai 06	100%
lantai 07	100%
lantai Atap	96%



Gambar 7.30. Massa gedung menara BRI yang relatif kaku dengan  $H/W=1.1 < 4$  (sumber : analisa)

- Pada (tabel 7.42) memperlihatkan bahwa dimensi balok, tinggi dan lebarnya sebagian besar sudah memenuhi ketentuan SNI dalam menahan gempa kuat, tetapi beberapa belum memenuhi persyaratan. Sementara itu, pada (tabel 7.43) dimensi kolom, tinggi dan lebarnya sudah memenuhi ketentuan dalam menahan gempa kuat.
- Pada (tabel 7.44) memperlihatkan bahwa sebagian besar dimensi balok dan kolom sudah memenuhi ketentuan  $W_p$  kolom  $\geq 1.2 \times W_p$  walaupun tidak 100%. Dengan demikian, adanya kemungkinan terbentuknya mekanisme *strong column* dan *weak beam* diharapkan masih bisa terjadi pada saat gempa kuat.
- Dari hasil perhitungan konsultan bangunan rumah sakit ini memiliki rentang periode getar pendekatan  $T_a=0.76$  dtk dan  $T_{max}=1.06$  dtk, sedangkan berdasarkan perhitungan periode getar fundamentalnya ( $T_{cal}$ ) untuk arah sumbu  $-Y=0.57$  dtk dan untuk arah sumbu  $-X=0.52$  dtk. Untuk periode getar arah sumbu  $-Y$  dan  $-X$

ternyata  $< T_a$  yang berarti bangunannya terlalu kaku disebabkan penggunaan dinding geser yang berlebihan.

- Massa bangunan gedung menara BRI di mana perbandingan lebar dan tinggi bangunan ( $H/W=1.1 < 4$ ) sudah cukup membuat kekakuan bangunan, Kemudian, kombinasi dengan dinding geser semakin menambah kekakuan gedung menara BRI ini (gambar 7.30).

#### 4. Indeks kapasitas geser struktur ( $I_{S-i}$ ) gedung menara BRI

Perencana struktur merancang gedung bank ini dengan jenis sistem ganda dan rangka pemikul khusus dengan dinding geser beton bertulang khusus, maka menggunakan persamaan struktur rangka pemikul momen dan dinding geser (persamaan 5.6) dengan faktor R dan  $\Omega_0$  dengan  $R=8$  dan  $\Omega_0 = 3$  (lihat tabel 5.2).

$$E_{0-i} = \frac{n+1}{n+i} [(I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}) + (I_{Asw-i} \cdot I_{SW-i})] \cdot I_{SCWB-i} \cdot I_T \cdot \frac{R}{\Omega_0} \text{-----(5.6)}$$

Dimana,

$n$  = Jumlah tingkat bangunan.

$i$  = Jumlah tingkat yang dievaluasi. Di mana tingkat pertama diberi nomor 1 dan tingkat terakhir adalah  $n$ .

$I_{Ac-i}$  = Indeks dimensi kolom di tingkat ke- $i$  (tabel 5.1)

$I_{C-i}$  = Indeks jenis kolom di tingkat ke- $i$ .

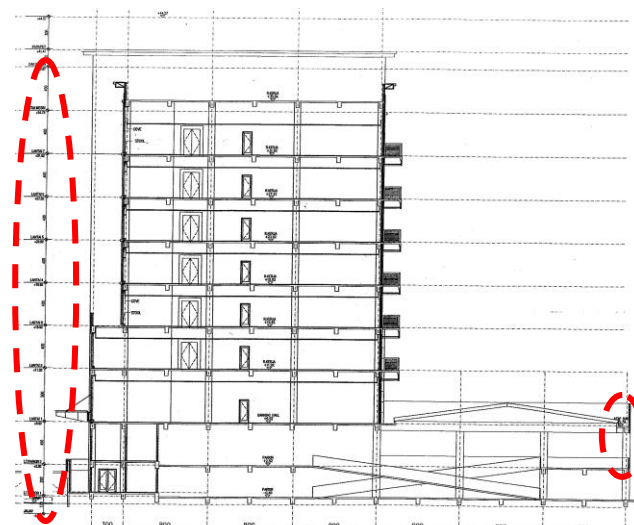
$I_{Asw-i}$  = Indeks dimensi dinding geser di tingkat ke- $i$ .

$I_{SW-i}$  = Indeks jenis dinding geser di tingkat ke- $i$ .

$I_{SCWB-i}$  = Indeks *Strong Column Weak Beam* tingkat di tingkat ke- $i$ .

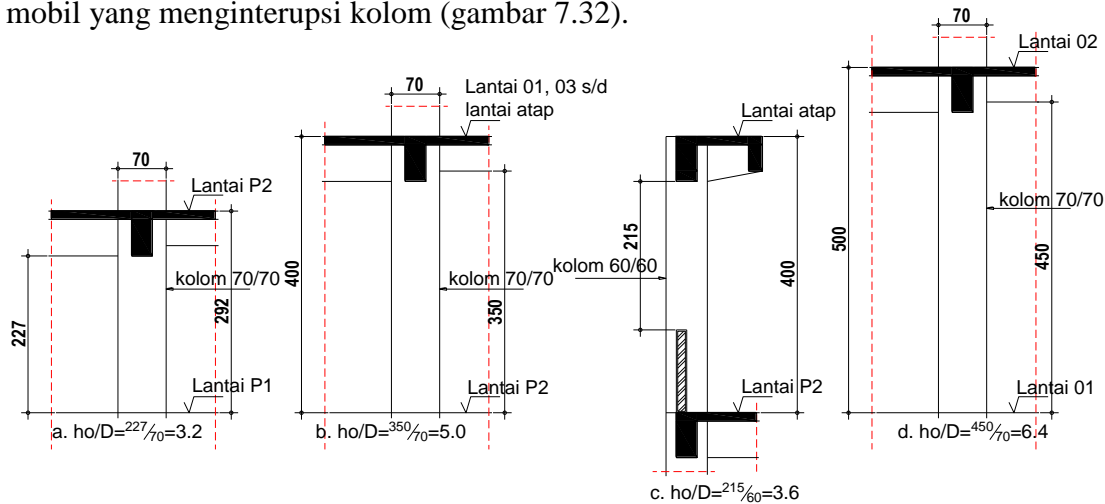
$I_T$  = Indeks periode getar struktur,  $T_c \leq T_{max} \rightarrow I_T = 1$  dan  $T_c > T_{max} \rightarrow I_T = 0$

$R/\Omega_0$  = Indeks daktilitas



Gambar 7.31. Kolom yang dinterupsi dinding 1/2 pembatas parkir mobil dan ketinggian kolom yang tidak sama (sumber : analisa)

Sebagai langkah awal untuk menghitung indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dan dinding geser dengan persamaan 5.6 di atas dilakukan *screening* kategori jenis kolom menurut tabel 5.1, karena dimensi kolom dan ketinggian perlantai bangunan ada yang tidak tipikal, serta adanya dinding 1/2 pembatas parkir mobil yang menginterupsi kolom (gambar 7.32).



Gambar 7.32. Berbagai jenis tinggi efektif kolom yang dipengaruhi tinggi kolom, tinggi balok (gambar a, b & d) atau interupsi dinding (gambar c) tetapi semuanya masih dalam kategori kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ) (sumber : analisa)

Untuk gedung menara BRI ini parameter indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dan dinding geser yaitu :

Tabel 7.45. Indeks kolom ( $I_{c-i}$ ) berdasarkan jumlah jenis kolom ( $h_0/D$ ) dan indeks jenis kolom (sumber : analisa).

Lantai	Jumlah jenis kolom ( $N_c$ )			$I^*N_c/\sum N_c$			Indeks Kolom ( $I_{c-i}$ )
	(a). $h_0/D \leq 2$ (bh)	(b). $2 < h_0/D < 6$ (bh)	(c). $6 \leq h_0/D$ (bh)	$h_0/D \leq 2$	$2 < h_0/D < 6$	$6 \leq h_0/D$	
	$\sum (I^*N_c/\sum N_c)$						
lantai P1	-	41.00	2.00	-	0.76	0.03	0.79
lantai 01	-	30.00	2.00	-	0.75	0.04	0.79
lantai 02	-	22.00	-	-	0.80	-	0.80
lantai 03	-	20.00	2.00	-	0.73	0.05	0.78
lantai 04	-	18.00	2.00	-	0.72	0.06	0.78
lantai 05	-	18.00	2.00	-	0.72	0.06	0.78
lantai 06	-	18.00	2.00	-	0.72	0.06	0.78
lantai 07	-	18.00	2.00	-	0.72	0.06	0.78
lantai Atap	-	18.00	2.00	-	0.72	0.06	0.78
Indeks (I)	1	0.8	0.6				

Tabel 7.46. Indeks dinding geser  $I_{sw-i}$  berdasarkan jumlah jenis dinding geser dan indeks dinding geser (sumber : analisa).

Lantai	Jumlah jenis shear wall ( $N_{sw}$ )			$I^*N_{sw}/\sum N_{sw}$			Indeks shear wall ( $I_{sw-i}$ )
	(a). Dibatasi 2 kolom (bh)	(b). Dibatasi 1 kolom (bh)	(c). Tanpa dibatasi kolom (bh)	Dibatasi 2 kolom	Dibatasi 1 kolom	Tanpa dibatasi kolom	
	$\sum (I^*N_{sw}/\sum N_{sw})$						
lantai P1	-	4.00	2.00	-	0.47	0.10	0.57
lantai 01	-	4.00	2.00	-	0.47	0.10	0.57
lantai 02	1.00	5.00	3.00	0.11	0.39	0.10	0.60
lantai 03	1.00	5.00	5.00	0.09	0.32	0.14	0.55
lantai 04	1.00	5.00	5.00	0.09	0.32	0.14	0.55
lantai 05	-	4.00	2.00	-	0.47	0.10	0.57
lantai 06	-	4.00	2.00	-	0.47	0.10	0.57
lantai 07	-	4.00	2.00	-	0.47	0.10	0.57
lantai Atap	-	4.00	2.00	-	0.47	0.10	0.57
Indeks (I)	1	0.7	0.3				

Tabel 7.47. Jumlah luas dimensi kolom disain ( $\sum A_c$ ) dan jumlah luas dimensi kolom minimum ( $\sum A_c \text{ min}$ ) (sumber : analisa).

Lantai	$\sum A_c$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_c \text{ min}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_c / \sum A_c \text{ min}$ (I <sub>a</sub> )
lantai P2	16.12	10.24	1.57
lantai 01	12.13	8.64	1.40
lantai 02	9.51	6.75	1.41
lantai 03	9.51	5.84	1.63
lantai 04	8.43	4.67	1.80
lantai 05	8.92	3.83	2.33
lantai 06	8.92	2.99	2.98
lantai 07	8.92	2.24	3.98
lantai Atap	8.92	1.80	4.96

Tabel 7.48. Jumlah luas dimensi dinding geser disain ( $\sum A_{sw}$ ) dan jumlah luas dimensi dinding geser minimum ( $\sum A_{sw} \text{ min}$ ) (sumber : analisa).

Lantai	$\sum A_{sw}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{sw} \text{ min}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{sw} / \sum A_{sw} \text{ min}$ (I <sub>sw</sub> )
lantai P2	9.54	10.19	0.9
lantai 01	9.54	8.40	1.1
lantai 02	16.55	6.60	2.5
lantai 03	16.55	5.60	3.0
lantai 04	15.53	4.59	3.4
lantai 05	8.52	3.66	2.3
lantai 06	8.52	2.73	3.1
lantai 07	8.52	1.80	4.7
lantai Atap	8.52	0.86	9.9

Tabel 7.49. Kombinasi ( $\sum A_c$ )/ $\sum A_c \text{ min}$  dan ( $\sum A_{sw}$ )/( $\sum A_{sw} \text{ min}$ ) (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai (m <sup>2</sup> )	$\sum A_c$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{sw}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{csw}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{csw} \text{ min}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{csw} / \sum A_{csw} \text{ min}$
lantai P2	8493.76	16.12	9.5	25.7	16.99	1.51
lantai 01	6997.12	12.13	9.5	21.7	13.99	1.55
lantai 02	5500.48	9.51	16.5	26.1	11.00	2.37
lantai 03	4663.84	9.51	16.5	26.1	9.33	2.79
lantai 04	3827.20	8.43	15.5	24.0	7.65	3.13
lantai 05	3050.56	8.92	8.5	17.4	6.10	2.86
lantai 06	2273.92	8.92	8.5	17.4	4.55	3.84
lantai 07	1497.28	8.92	8.5	17.4	2.99	5.82
lantai Atap	720.64	8.92	8.5	17.4	1.44	12.10

- Dari (tabel 7.45) memperlihatkan bahwa gedung menara BRI ini didominasi jenis kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ) dan sebagian kecil terdapat kolom langsing ( $6 \leq h_0/D$ ) yang berarti kegagalan geser dan lentur pada kolom bangunan dapat diminimalisir.
- Jenis dinding geser berdasarkan (tabel 7.46) yaitu sebagian besar terbagi dinding geser yang diapit satu kolom dan tidak diapit kolom. Hal ini kurang

menguntungkan karena tambahan kekakuan dari dinding geser akibat jepitan kolom kurang maksimal.

- Pada (tabel 7.47, 7.48 dan 7.49) memperlihatkan bahwa dimensi kolom dan dinding geser pada gedung menara BRI sudah memenuhi persyaratan minimum bahkan melebihi.
- Struktur yang dipilih sistem ganda dengan rangka pemikul khusus dengan dinding geser beton bertulang khusus, maka  $R = 7$  dan  $\Omega_0 = 2.5$  (lihat tabel 5.2)

### 5. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung menara BRI

$$I_{SO-i} = \frac{n+i}{2n-i+1} (I_{CS} \cdot I_e) \text{-----(5.22)}$$

Dimana,

$n$  = Jumlah tingkat bangunan.

$i$  = Jumlah tingkat yang dievaluasi. Di mana tingkat pertama diberi nomor 1 dan tingkat terakhir adalah  $n$

$C_S$  = Koefisien respon seismik desain

$C_{S \min}$  = Koefisien respon seismik minimum  $S_S=0.25g$  dan  $S_1=0.1g$

$I_{CS}$  = Indeks respon seismik

$I_e$  = Faktor keutamaan fungsi bangunan

Untuk zona gempa wilayah Jl. A. Yani Semarang parameter gempanya yaitu :

$S_S = 1.10 g$

$S_1 = 0.36 g$

*Site class* = E

*Seismic important factor*  $I_e$  untuk gedung menara BRI = 1.0

$C_S = 0.094$

$C_{S \min} = 0.058$

$I_{CS} = C_S / C_{S \min} = 1.621$

Adapun beban lateral gempa pada masing-masing tingkat dapat dilihat pada tabel 7.50.

Tabel 7.50. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung menara BRI Jl. A. Yani Semarang (sumber : analisa).

Model	Lantai	$\frac{n+i}{2n-i+1}$	$I_{CS}$	$I_e$	$I_{SO-i}$	
BR-01	lantai P1	10/18	0.56	1.621	1.00	0.90
	lantai 01	10/17	0.59	1.621	1.00	0.95
	lantai 02	10/16	0.63	1.621	1.00	1.01
	lantai 03	10/15	0.67	1.621	1.00	1.08
	lantai 04	10/14	0.71	1.621	1.00	1.16
	lantai 05	10/13	0.77	1.621	1.00	1.25
	lantai 06	10/12	0.83	1.621	1.00	1.35
	lantai 07	10/11	0.91	1.621	1.00	1.47
	lantai Atap	10/10	1.00	1.621	1.00	1.62



## 6. Ireguleritas konfigurasi ( $S_{D-i}$ )

### a. Konfigurasi ketidakberaturan torsi

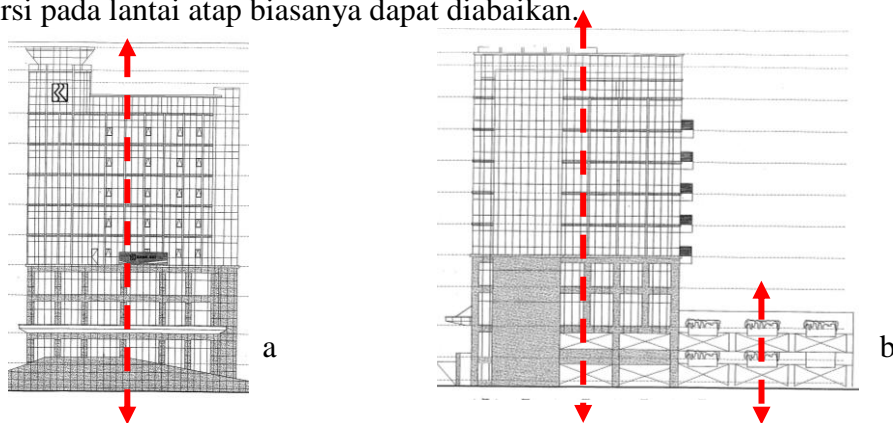
$$e_{r-i} = e_i/w_i \text{-----(5.13)}$$

Di mana :  $e_{r-i}$  = rasio antara panjang eksentrisitas ( $e_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan lebar bangunan ( $w_i$ ) tingkat ke  $-i$ .

Tabel 7.51. Eksentrisitas ( $e_{x-i}$  &  $e_{y-i}$ ) antara pusat massa dan pusat kekakuan lantai pada gedung menara BRI (sumber : laporan perhitungan struktur konsultan, 2017).

Lantai	$e_{x-i}$ (m)	$e_{y-i}$ (m)	$e_{rx-i}$	$e_{ry-i}$	$e_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai P2	0.60	7.10	0.021	0.139	$0.1 < e_{r-i} \leq 0.3$	0.75
lantai 01	1.60	4.50	0.057	0.088	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 02	1.50	1.20	0.054	0.041	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 03	0.80	0.40	0.029	0.014	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 04	0.80	1.00	0.029	0.034	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 05	0.70	1.20	0.025	0.041	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 06	0.60	1.30	0.021	0.045	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 07	0.30	1.60	0.011	0.055	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai Atap	3.70	1.20	0.132	0.041	$0.1 < e_{r-i} \leq 0.3$	0.75

Bentuk geometris gedung bank ini berbentuk ireguler karena merupakan gabungan 2 massa dengan ketinggian berbeda. Massa didepan lebih tinggi (9 lantai), sedangkan massa dibelakang lebih pendek (2 lantai). Jika dianalisa lebih lanjut massa bank BRI ini relatif simetris pada sumbu Y saja dan asimetris pada sumbu X dari lantai P1 s/d lantai 01, sedangkan lantai 02 s/d lantai atap relatif simetris (gambar 7.33). Hal ini dapat dilihat pada (tabel 7.51) pada eksentrisitas arah  $-X$  relatif kecil, sedangkan arah-Y pada lantai P2 dan lantai 01 cukup besar tetapi pada lantai selanjutnya lantai 02 s/d 07 eksentrisitas relatif kecil. Potensi terjadi torsi/puntir maksimum pada bangunan ini bisa terjadi pada pertemuan antara massa besar dan massa kecil, sedangkan pada lantai atap karena beban yang didukungnya tidak terlalu berat, torsi pada lantai atap biasanya dapat diabaikan.



Gambar 7.33. Geometri bangunan yang relatif simetris pada sumbu Y (a) dan asimetris pada sumbu X (b), terdapat massa aditif tetapi tidak terlalu berpengaruh (sumber : analisa)



**b. Konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam**

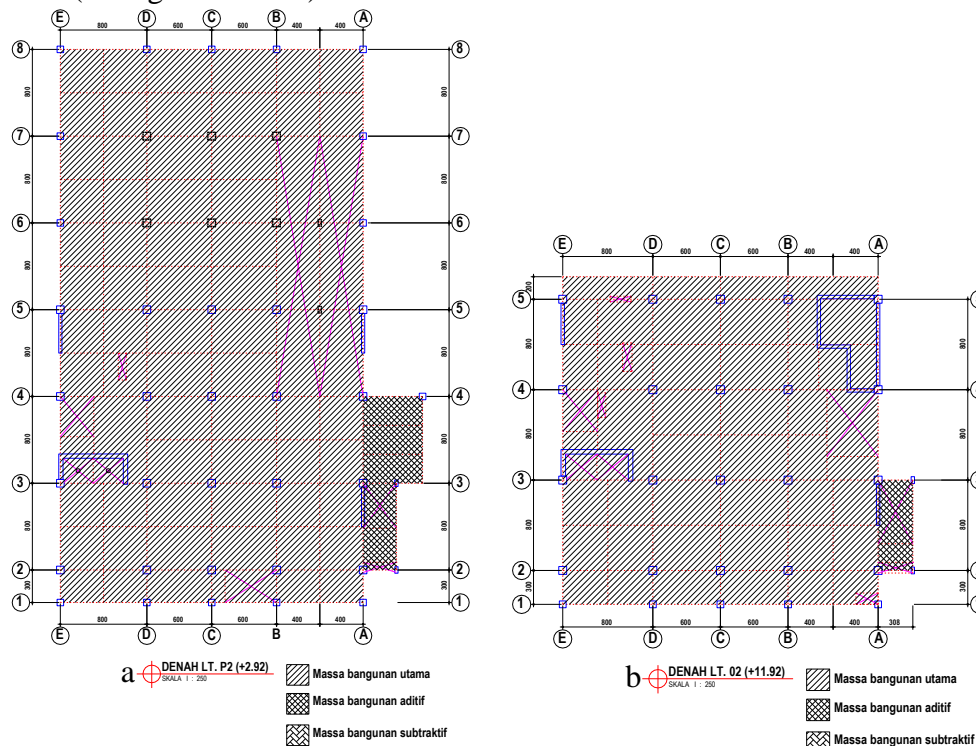
$$b_{r-i} = I_{p-i}/I_{u-i} \text{-----(5.14)}$$

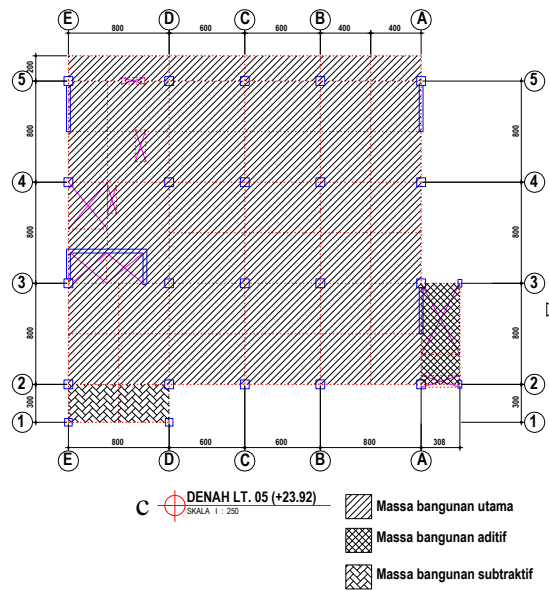
Di mana :  $b_{r-i}$  = rasio luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan ( $I_{p-i}$ ) tingkat ke  $-i$  dan luas lantai bangunan utama tingkat ke  $-i$  ( $I_{u-i}$ ).

Tabel 7.52. Rasio luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan ( $I_{p-i}$ ) dan luas lantai bangunan utama ( $I_{u-i}$ ) pada gedung menara BRI 9 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai utama ( $I_{u-i}$ )	Luas proyeksi terbesar ( $I_{p-i}$ )	$I_{p-i}/I_{u-i}$	$b_{r-i}$	Tingkatan kualitas (G <sub>i</sub> )
lantai P2	1428.00	68.64	4.8%	$b_{r-i} \leq 10\%$	1
lantai 01	1428.00	68.64	4.8%	$b_{r-i} \leq 10\%$	1
lantai 02	756.00	24.64	3.3%	$b_{r-i} \leq 10\%$	1
lantai 03	756.00	24.64	3.3%	$b_{r-i} \leq 10\%$	1
lantai 04	672.00	24.64	3.7%	$b_{r-i} \leq 10\%$	1
lantai 05	672.00	24.64	3.7%	$b_{r-i} \leq 10\%$	1
lantai 06	672.00	24.64	3.7%	$b_{r-i} \leq 10\%$	1
lantai 07	672.00	24.64	3.7%	$b_{r-i} \leq 10\%$	1
lantai Atap	672.00	24.64	3.7%	$b_{r-i} \leq 10\%$	1

Massa aditif dan subtraktif pada gedung menara ini tidak terlalu besar sehingga tidak menimbulkan ireguleritas sudut dalam. Dengan demikian, diharapkan tidak membentuk potensi konsentrasi tegangan-tegangan pada elemen struktur balok dan kolom yang berlebihan pada saat terjadi gempa kuat (lihat tabel 7.52). Massa aditif terjadi pada seluruh lantai dari lantai P2 s/d lantai atap yang difungsikan sebagai perluasan lantai parkir, atap dak, dan tangga darurat. Sementara itu, massa subtraktif terjadi pada lantai lantai 04 s/d lantai atap yang difungsikan sebagai bagian dari lantai utama (lihat gambar 7.34).





Gambar 7.34. a) & b). Massa aditif lantai P2 s/d lantai atap untuk perluasan tempat parkir, atap dak dan tangga darurat, c). Massa subtraktif lantai 04 s/d lantai atap untuk area perkantoran (sumber : analisa)

**c. Konfigurasi ketidakberaturan diskontinuitas difragma**

$$e_{v-i} = \frac{\sum l_{b-i}}{\sum l_{i-i}} \text{-----(5.15)}$$

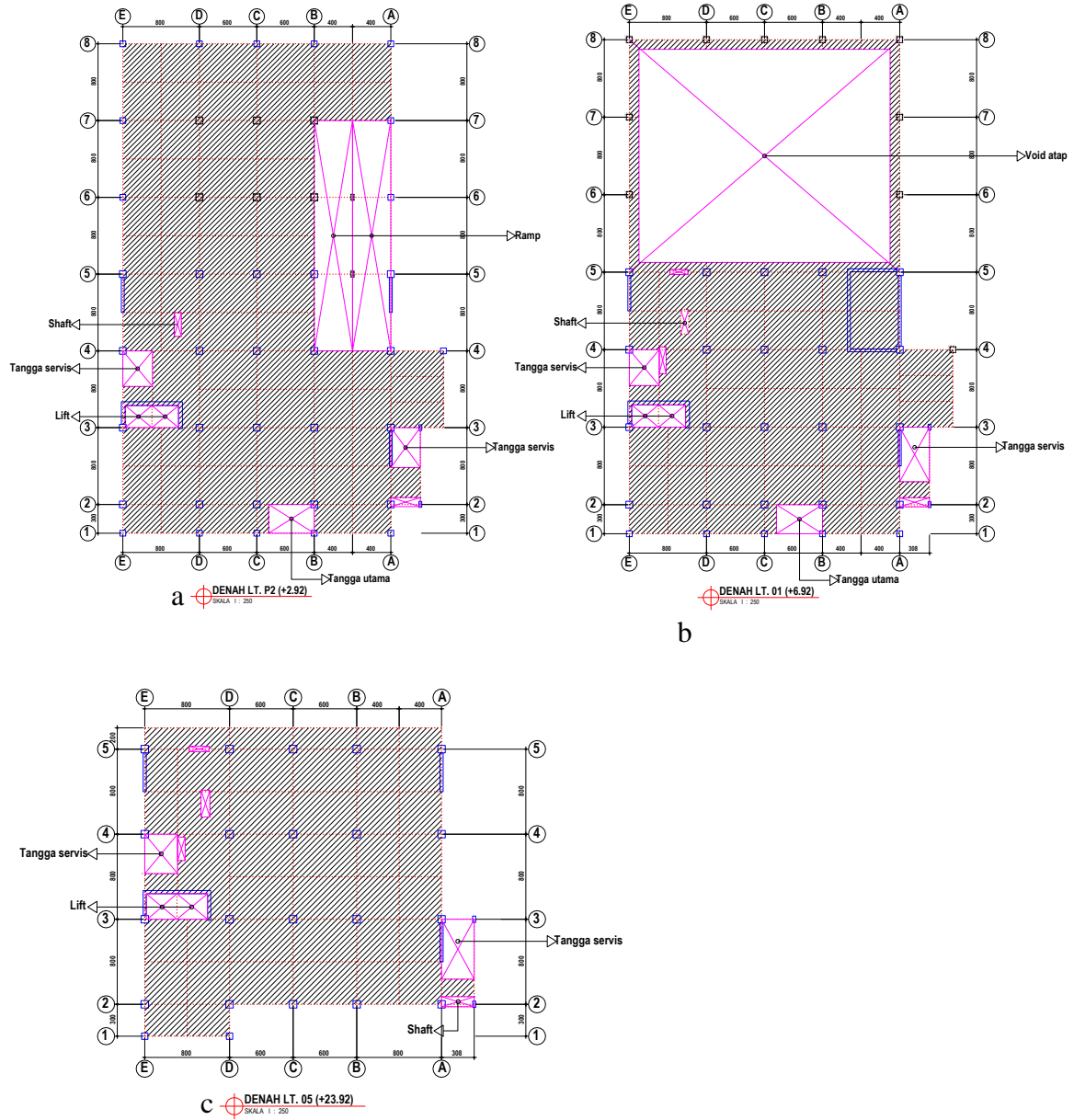
Di mana :  $e_{v-i}$  = rasio luas lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll tingkat ke -i ( $l_{b-i}$ ) dan luas lantai tingkat ke -i ( $l_{i-i}$ ).

Tabel 7.53. Rasio lubang bukaan ramp, void atap, shaft, tangga, lift dll ( $l_{b-i}$ ) dan luas lantai ( $l_{i-i}$ ) pada gedung menara BRI 9 lantai (sumber : analisa).

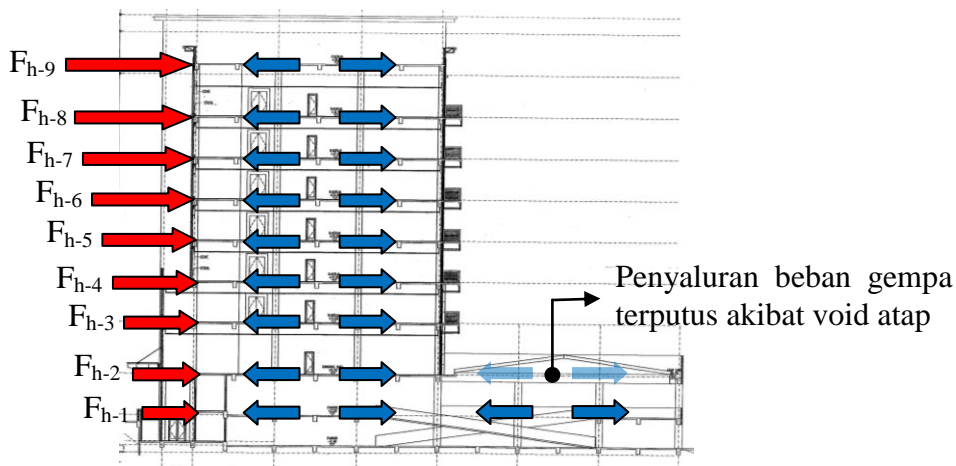
Lantai	Luas lantai ( $\sum l_{i-i}$ ) (m2)	luas bukaan ( $\sum l_{b-i}$ ) (m2)	$\frac{\sum l_{b-i}}{\sum l_{i-i}}$	$e_{v-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai P2	1496.640	248.13	0.17	$0.1 < e_{v-i} < 0.3$	0.75
lantai 01	1496.640	633.78	0.42	$e_{v-i} \geq 0.3$	0.5
lantai 02	836.640	78.10	0.09	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 03	836.640	50.27	0.06	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 04	776.640	50.81	0.07	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 05	776.640	50.27	0.06	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 06	776.640	50.27	0.06	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 07	776.640	50.27	0.06	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai Atap	720.640	32.43	0.04	$e_{v-i} \leq 0.1$	1

Bukaan-bukaan pada gedung menara BRI ini terjadi pada area ramp, void atap, shaft, tangga, dan lift. Bukaan yang cukup besar terjadi pada lantai P2 yang difungsikan sebagai tempat parkir yaitu bukaan untuk ramp sebagai jalur sirkulasi vertikal mobil yang akan parkir. Bukaan yang paling besar terjadi pada lantai 01 yaitu void atap yang ditutupi atap genteng dengan kuda-kuda baja IWF. Bukaan ini sangat memengaruhi integritas lantai 01 yang harus menahan beban lateral yang besar

sebagai akibat pertemuan massa vertikal yang lebih fleksibel dan massa horisontal yang lebih kaku (gambar 7.36). Sementara itu, pada lantai lainnya bukaannya tidak terlalu signifikan (lihat tabel 7.53 dan gambar 7.35).



Gambar 7.35. a). Bukaan ramp lantai P2, b). Bukaan void atap lantai 01, c). Bukaan tipikal (shaft, lift, tangga) pada semua lantai (sumber : analisa)



Gambar 7.36. Lantai sebagai diafragma berfungsi mengekang seluruh kolom & dinding geser dan menyalurkan beban lateral ( $F_h$ ) ke kolom dan dinding geser. Jika terdapat bukaan yang besar fungsi diafragma akan berkurang secara drastis (sumber : analisa)

**d. Konfigurasi ketidakberaturan sistem nonparalel**

$$j_{r-i} = \frac{\sum j_i}{\sum j_{t-i}} \text{-----}(5.16)$$

Di mana,  $j_{r-i}$  = rasio jumlah elemen balok, kolom dan/atau dinding geser yang tidak mengikuti aksis ortogonal ( $\sum j_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan jumlah total elemen balok, kolom dan/atau dinding geser tingkat ke  $-i$  ( $\sum j_{t-i}$ ).

Dari gambar struktur 7.29a s/d i terlihat seluruh sistem balok, kolom, dan dinding geser mengikuti aksis ortogonal x dan y. Gedung menara BRI ini tidak termasuk kategori ketidakberaturan sistem non paralel.

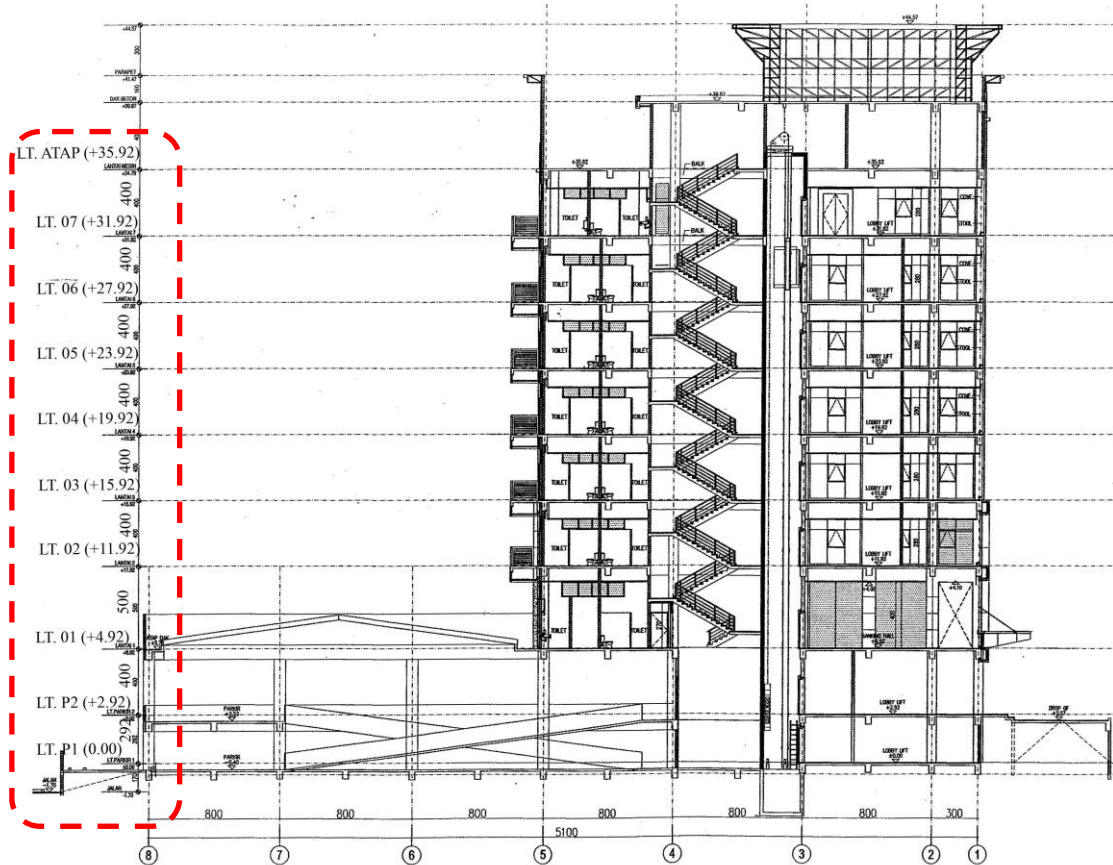
**e. Konfigurasi *soft story* / tingkat lunak**

$$l_{r-i} = l_{i+1} / l_i \text{-----}(5.17)$$

Di mana :  $l_{r-i}$  = rasio tinggi kolom/dinding geser satu tingkat dari tingkat  $-i$  ( $l_{i+1}$ ) dan tinggi kolom ditingkat  $-i$  ( $l_i$ ).

Tabel 7.54. Rasio tinggi kolom satu tingkat dari tingkat  $-i$  ( $l_{i+1}$ ) dan tinggi kolom ditingkat  $-i$  ( $l_i$ ) pada gedung menara BRI 9 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Tinggi tingkat ( $l_i$ ) (m)	$l_{i+1} / l_i$	$l_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai P2	2.92	1.37	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 01	4.00	1.25	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 02	5.00	0.80	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 03	4.00	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 04	4.00	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 05	4.00	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 06	4.00	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 07	4.00	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai Atap	4.00	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1



Gambar 7.37. Ketinggian lantai yang berbevariasi dapat menimbulkan potensi kolom kolom pendek/*short column*, kolom langsing/*slender column* dan tingkat lunak/*soft story* (sumber : analisa)

Pada gedung BRI ini terdapat variasi ketinggian kolom. Hal tersebut kurang menguntungkan karena dapat menyebabkan potensi *short column*, *slender column*, dan *soft story* (lihat gambar 7.37). Potensi *short column* terjadi pada lantai P2 karena ketinggiannya paling rendah (2.92 m), sedangkan potensi kolom langsing terjadi pada lantai 01 karena kolomnya paling tinggi (5.00 m) dibandingkan kolom lainnya (4.00 m). Berdasarkan hasil screening jenis kolom di atas semua kolom termasuk kategori kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ) yang berarti potensi kegagalan geser dan lentur dapat diminimalisasi.

Berdasarkan analisis ketinggian lantai bangunan memperlihatkan potensi terjadi *soft story* pada lantai tertentu tidak terbentuk. Walaupun begitu, ketinggian kolom lantai 02 paling tinggi dibandingkan ketinggian kolom lantai lainnya, tetapi masih didalam batas aman (tabel 7.54).

**f. Konfigurasi ketidakberaturan berat/massa**

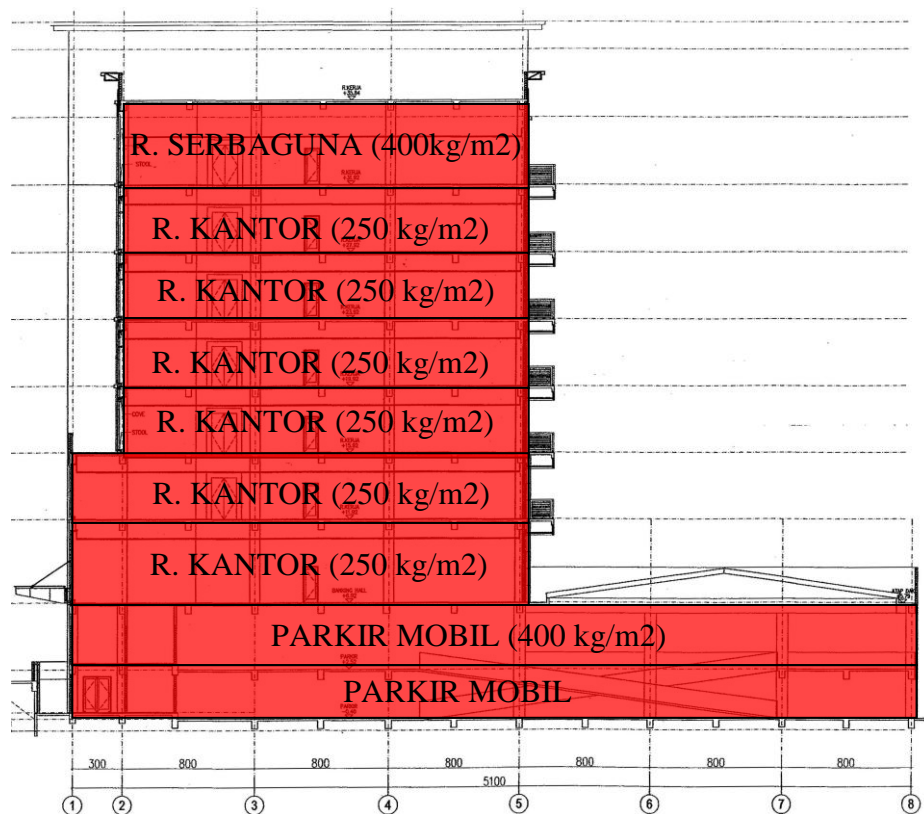
$$m_{r-i} = \sum m_i / \sum m_{i+1} \text{-----}(5.18)$$



Di mana :  $m_{r-i}$  = rasio massa lantai ditingkat  $-i$  ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat  $-i$  ( $m_{i+1}$ ).

Tabel 7.55. Rasio massa lantai ditingkat  $-i$  ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat  $-i$  ( $m_{i+1}$ ) pada gedung menara BRI 9 lantai (sumber : analisa).

Lantai	$m_i$ (Kg)	$\sum m_i / \sum m_{i+1}$	$m_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai P2	1,507,037	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 01	944,936	63%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 02	849,846	90%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 03	862,346	101%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 04	702,115	81%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 05	702,638	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 06	702,638	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 07	877,134	125%	$100\% \leq m_{r-i} \leq 150\%$	0.75
lantai Atap	500,797	57%	$m_{r-i} < 100\%$	1



Gambar 7.38. Konfigurasi massa/berat bangunan (sumber : analisa)

Luas lantai dan fungsi bangunan memengaruhi perbedaan berat antar lantai bangunan. Perletakan massa yang lebih berat pada gedung ini yaitu tempat parkir ( $LL=400 \text{ kg/m}^2$ ) yang dilokalisasi pada bagian bawah bangunan (lantai P1 dan P2) dan tidak digabungkan dengan lantai memiliki fungsi berbeda ( $r. \text{ Kantor}=250 \text{ kg/m}^2$ ).

Hal tersebut merupakan pilihan tepat karena meminimalisasi terjadinya potensi efek pendulum dan torsi. Akan tetapi, perletakan ruang serbaguna di lantai paling atas sebenarnya kurang tepat karena memiliki massa yang lebih berat ( $LL=400 \text{ kg/m}^2$ ) dibandingkan ruang perkantoran dibawahnya. Kondisi seperti ini dapat mengakibatkan potensi deformasi yang berlebihan pada saat terjadi gempa kuat (lihat tabel 7.55 dan gambar 7.38).

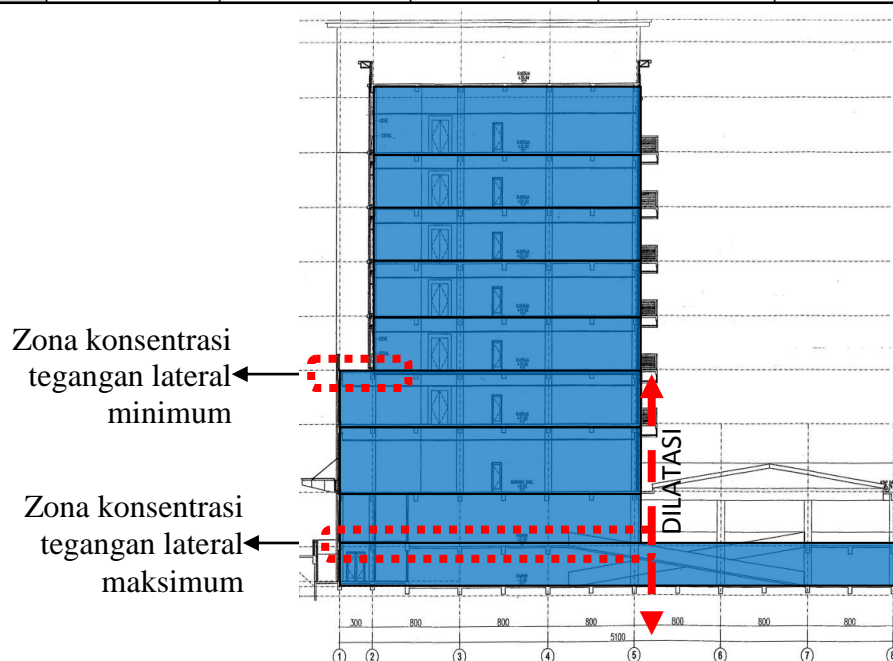
**g. Konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal**

$$s_{r-i} = A_i/L_i \text{-----(5.19)}$$

Di mana,  $s_{r-i}$  = rasio panjang bangunan (L) tingkat ke -i dan panjang *setback* bangunan (A) tingkat ke -i.

Tabel 7.56. Rasio panjang bangunan ( $L_i$ ) dan panjang *setback* bangunan ( $A_i$ ) pada tingkat yang ditinjau pada gedung menara BRI 9 lantai (sumber : analisa).

Lantai	$L_i$ (m)	$A_i$ (m)	$A_i/L_i$	$s_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai P2	31.08	2.42	0.08	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 01	31.08	2.42	0.08	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 02	29	2.00	0.07	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 03	24	3.00	0.13	$0.1 < s_{r-i} < 0.3$	0.75
lantai 04	24	2.00	0.08	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 05	24	2.00	0.08	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 06	24	2.00	0.08	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 07	24	2.00	0.08	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai Atap	24	0.00	0.00	$s_{r-i} \leq 0.1$	1



Gambar 7.39. Kombinasi massa yang memiliki ketinggian yang berbeda menimbulkan potensi konsentrasi tegangan lateral dan potensi torsi. Idealnya dipisahkan dengan dilatasi (sumber : analisa)

Kombinasi massa yang memiliki perbedaan ketinggian akan membentuk *setback* dan potensi torsi. Konfigurasi *setback* akan menimbulkan potensi konsentrasi tegangan pada elemen struktur (balok, kolom, dinding geser, plat lantai) pada area pertemuan antara massa vertikal dan horisontal (lihat tabel 7.56 dan gambar 7.39). Idealnya, untuk menghindari potensi konsentrasi tegangan yang berlebihan pada elemen struktur dan potensi torsi pada bangunan yang memiliki ketinggian bangunan yang berbeda secara signifikan dengan cara dilatasi.

Untuk mencegah *pounding*/benturan antar bangunan jarak dilatasi paling tidak  $\geq 1/100 \times$  tinggi bangunan.

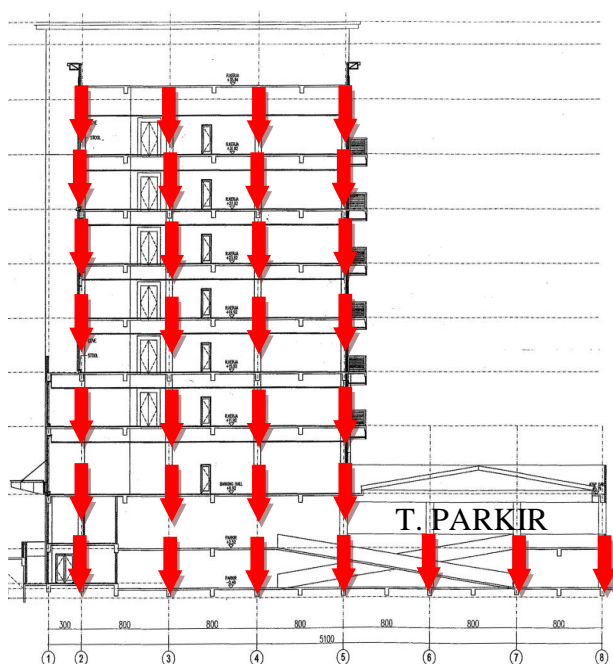
**h. Konfigurasi diskontinuitas ketidakberaturan kuat lateral tingkat / *weak story***

$$a_{r-i} = (\sum a_e)_i / (\sum a_e)_{i+1} \text{-----(5.20)}$$

Di mana,  $a_{r-i}$  = rasio luas kolom dan/atau dinding geser ditingkat  $-i$  ( $\sum a_e)_i$  dan luas kolom dan/atau dinding geser satu tingkat dari tingkat  $-i$  ( $\sum a_e)_{i+1}$ .

Tabel 7.57. Rasio luas kolom tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$  dan luas kolom dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$  pada gedung menara BRI 9 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas kolom tipikal ( $a_e)_i$ (m2)	$(\sum a_e)_i / (\sum a_e)_{i+1}$	$a_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai P2	18.08	1.16	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 01	15.56	1.30	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 02	11.96	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 03	11.96	1.10	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 04	10.88	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 05	10.88	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 06	10.88	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 07	10.88	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai Atap	10.88	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1



Gambar 7.40. Kontinuitas alur beban kolom gedung menara BRI 9 lantai (sumber : analisa)

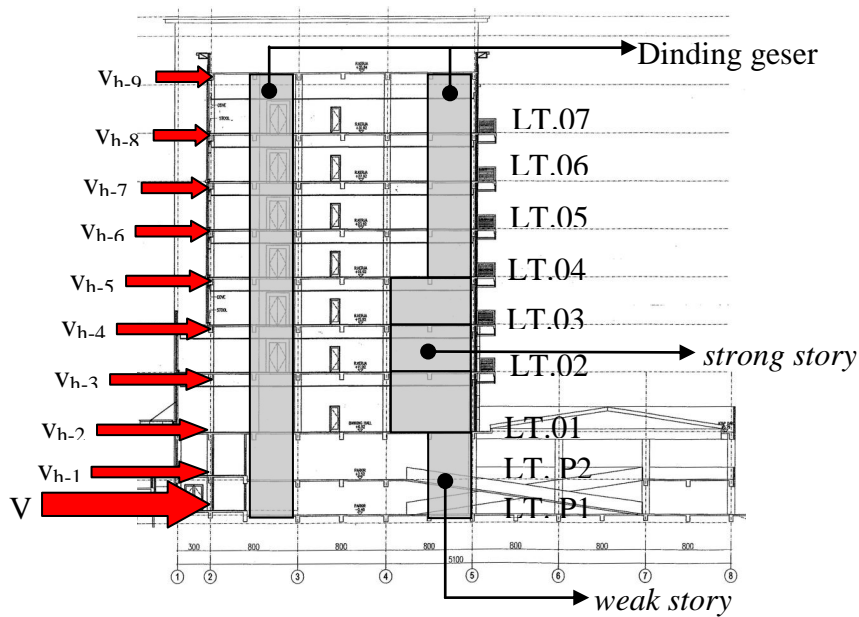


Dari (tabel 7.57 dan gambar 7.40) terlihat tidak terdapat kolom yang mengalami pemutusan aliran beban seperti penghilangan kolom yang diganti dengan balok transfer yang sangat kritis jika terjadi gempa arah vertikal. Walaupun demikian, terdapat pengurangan luasan kolom pada lantai P2 tempat parkir mobil karena kolom hanya ada pada perimeter bangunan, sedangkan bagian tengah yang tidak terdapat kolom dinaungi oleh atap genteng dengan kuda-kuda baja IWF. Hal tersebut memang mengurangi kemampuan bangunan dalam menahan gaya lateral gempa, tetapi tidak menyebabkan diskontinuitas ketidakberaturan kuat lateral tingkat.

Berbeda dengan dinding geser. Terdapat diskontinuitas alur beban pada dinding geser pada lantai 01. Hal ini disebabkan adanya tambahan dinding beton ruang khasanah di lantai 01 s/d lantai 03. Walaupun diasumsikan bukan sebagai dinding geser, tetapi pada kenyataannya dinding ruang khasanah ( $t=30$  cm) memiliki kekuatan yang sangat besar dibandingkan dengan kolom yang menjadikan lantai 01 s/d lantai 03 dan memiliki kekuatan lebih besar dibandingkan dengan lantai P1 dan P2. Sementara itu, pada kenyataannya bagian bawah bangunan menahan gaya geser gempa paling besar dibandingkan tingkat atasnya sehingga lantai P1 dan P2 menjadi tingkat lemah/*weak story* (lihat tabel 7.58 dan gambar 7.41).

Tabel 7.58. Rasio luas dinding geser tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$  dan luas dinding geser dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$  pada gedung menara BRI 9 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas dinding geser tipikal ( $a_e$ ) <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	$(\sum a_e)_i / (\sum a_e)_{i+1}$	$a_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai P2	9.54	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 01	9.54	0.58	$a_{r-i} \leq 0.65$	0.5
lantai 02	16.55	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 03	16.55	1.07	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 04	15.53	1.82	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 05	8.52	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 06	8.52	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 07	8.52	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai Atap	8.52	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1



Gambar 7.41. Diskontinuitas alur beban dinding geser pada gedung menara BRI 9 lantai (sumber : analisa)

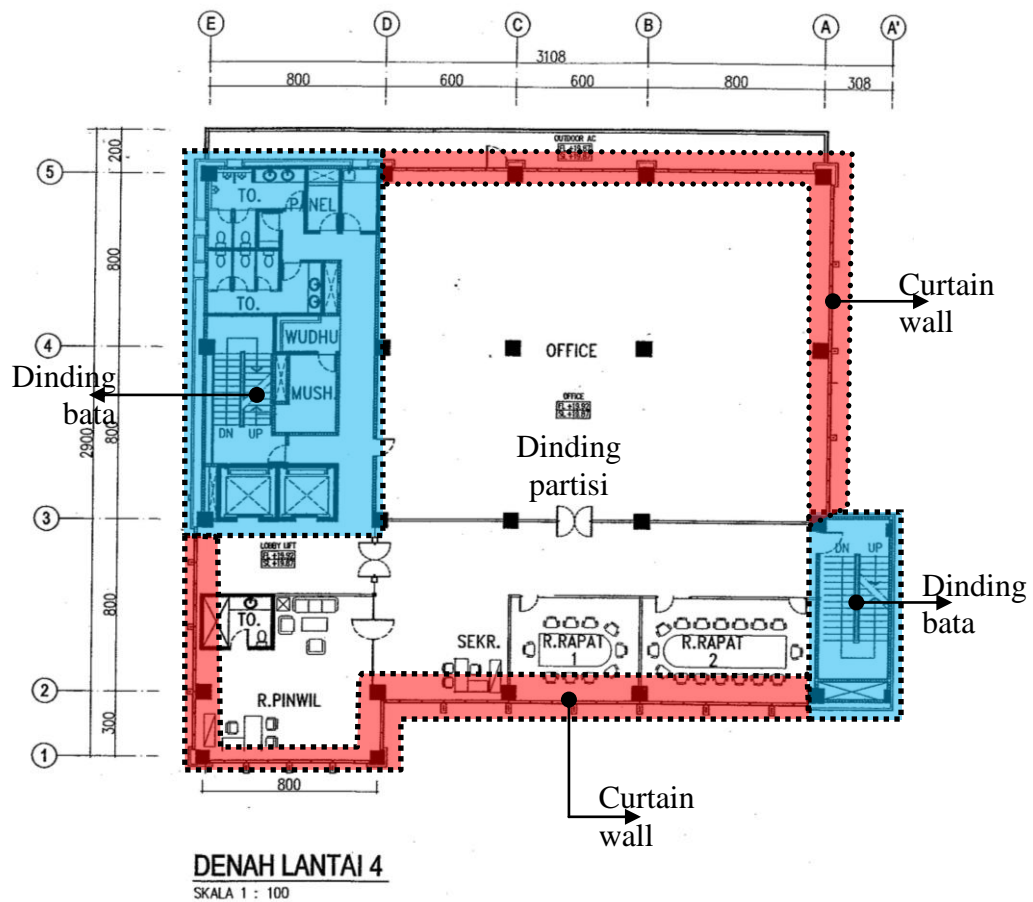
**i. Konfigurasi ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang & diskontinuitas arah bidang**

$$d_{r-i} = \Sigma d_i / \Sigma l_i \text{-----(5.21)}$$

Di mana,  $d_{r-i}$  = rasio kepadatan dinding (%),  $\Sigma d_i$  = luas dinding bata lantai tingkat ke -i dan  $\Sigma l_{tot-i}$  = Luas lantai di lantai tingkat ke -i.

Tabel 7.59. Rasio kepadatan dinding bata ( $d_{r-i}$ ) pada gedung menara BRI 9 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai ( $\Sigma l_i$ ) (m2)	Luas dinding bata ( $\Sigma d_i$ ) (m2)	$\Sigma d_i / \Sigma l_i$	$d_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai P2	1496.64	25.14	1.7%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 01	852.64	14.12	1.7%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 02	836.64	18.92	2.3%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 03	836.64	19.71	2.4%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 04	776.64	17.81	2.3%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 05	776.64	18.76	2.4%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 06	776.64	17.47	2.2%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 07	776.64	17.47	2.2%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai Atap	720.64	21.02	2.9%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1



Gambar 7.42. Pengaturan dinding yang kaku dan tak kaku yang tidak acak dapat mengurangi potensi ketidakseragaman kekakuan di menara BRI 9 lantai (sumber : analisa)

Dinding bata pada gedung ini digunakan di ruang-ruang servis seperti toilet, tangga, ruang panel, shaft dan lainnya. Dinding luar bangunan didominasi oleh *curtain wall* dan *alluminium composite*, sedangkan dinding interior ruang-ruang kantor didominasi oleh dinding partisi. Kepadatan dan distribusi dinding bata di setiap lantai gedung BRI ini relatif sama sehingga potensi kontribusi dinding bata pada kekakuan bangunan relatif sama diharapkan potensi ketidakseragaman kekakuan bangunan dapat diminimalisasi (tabel 7.59 dan gambar 7.42).

#### 7. Perbandingan indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) gedung menara BRI 9 lantai.

Berdasarkan data-data dan perhitungan di atas, maka dapat disimpulkan untuk gedung menara BRI yaitu :

- Pada (tabel 7.61) kolom  $I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}$  merupakan perkalian indeks luas kolom dan indeks jenis kolom memperlihatkan nilainya  $> 1$  yang berarti dimensi kolom

sudah didesain dengan benar sehingga memenuhi syarat luas minimum dalam menahan gempa kuat dan didominasi oleh kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ) yang berarti meminimalisasi kegagalan geser dan lentur pada kolom akibat gempa.

- Pada (tabel 7.61) kolom  $I_{Asw-i} \cdot I_{SW-i}$  merupakan perkalian indeks luas dinding geser dan indeks jenis dinding geser memperlihatkan dinding geser di bawah lantai P2 dan lantai 01 nilainya  $< 1$  yang berarti dimensi dinding geser belum didesain dengan baik sehingga memenuhi syarat luas minimum dalam menahan gempa kuat. Apalagi bagian bawah bangunan menahan gaya geser gempa paling besar dibandingkan tingkat atasnya.
- Pada (tabel 7.61) kolom  $I_{SCWB-i}$  merupakan indeks *strong column weak beam* yang walaupun nilainya separuhnya  $< 1$  tetapi masih  $> 0.8$ . Hal ini terjadi di kolom yang tidak menerus ke atas seperti kolom di zona parkir di bawah lantai P2 dan 01, serta kolom di bawah lantai atap sehingga kapasitas lenturnya hanya pada kolom di bawah lantai saja bukan gabungan kolom atas dan bawah. Akan tetapi hal ini masih cukup baik sehingga diharapkan mekanisme *strong column weak beam* ( $W_p \text{ kolom} > 1.2 \times W_p \text{ balok}$ ) masih tetap terjadi pada saat terjadi gempa kuat.
- Pada (tabel 7.61) kolom  $I_T$  merupakan indeks periode getar struktur yang nilai = 1 yang berarti periode getar struktur ( $T_{C-X}=0.52 \text{ dtk}$  &  $T_{C-Y}=0.57 \text{ dtk}$ )  $<$  periode getar pendekatan ( $T_a=0.76 \text{ dtk}$ ) yang berarti bangunannya terlalu kaku.
- Pada (tabel 7.61) kolom R dan  $\Omega_0$  merupakan faktor reduksi gempa dan faktor kuat lebih (tabel 5.2) yang nilainya tergantung jenis struktur yang dipilih. Jenis struktur yang digunakan pada bangunan kuliah 8 lantai ini yaitu sistem ganda dengan rangka pemikul khusus dengan dinding geser beton bertulang khusus yang berarti  $R = 7$  dan  $\Omega_0 = 2.5$ . Perbandingan  $R/\Omega_0$  merupakan indeks daktilitas sistem struktur bangunan bank ini.
- Pada (tabel 7.61) kolom  $E_{0-i}$  adalah indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dan dinding geser yang merupakan hasil perkalian faktor modifikasi kapasitas geser tingkat; indeks dimensi kolom dan dinding geser; indeks jenis kolom dan dinding geser; indeks *strong column weak beam*; indeks periode getar struktur dan indeks daktilitas sistem struktur.
- Pada (tabel 7.61) kolom  $S_{D-i}$  merupakan indeks ireguleritas geometri bangunan. Jika dilihat dari indeks ireguleritas ( $S_{D-i}$ ) perlantai terkandung ireguleritas geometri terutama pada lantai P1 dan lantai 01  $\leq 0.5$ . Tabel 7.60 memperlihatkan

di lantai P2 indeks ireguleritasnya akibat kontribusi terjadinya eksentrisitas pada gabungan massa yang memiliki perbedaan ketinggian, bukaan *ramp* yang mengurangi integritas diafragma dan terbentuknya *setback*. Sementara itu, pada lantai 01 indeks ireguleritasnya ( $S_{D-i}$ ) akibat bukaan void atap yang mengurangi integritas diafragma dan terbentuknya *weak story* akibat penambahan luasan dinding geser ruang khasanah di lantai 02 s/d 04.

Tabel 7.60. Konfigurasi ketidakberaturan vertikal dan horisontal ( $S_{D-i}$ ) gedung menara BRI 9 lantai (sumber : analisa).

Lantai	a eksentrisitas	b sudut dalam	c diafragma	d non paralel	e soft story	f massa	g setback	h weak story	i out-in plane	$S_{D-i}$
lantai P2	0.75	1	0.75	1	1	1	1	1	1	0.56
lantai 01	1	1	0.5	1	1	1	1	0.5	1	0.25
lantai 02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.00
lantai 03	1	1	1	1	1	1	0.75	1	1	0.75
lantai 04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.00
lantai 05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.00
lantai 06	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.00
lantai 07	1	1	1	1	1	0.75	1	1	1	0.75
lantai Atap	0.75	1	1	1	1	1	1	1	1	0.75

- Pada (tabel 7.61 dan 7.62) kolom  $I_{S-i}$  adalah indeks kapasitas struktur yang merupakan perkalian indeks gempa dasar struktur dan indeks ireguleritas geometri bangunan. Terlihat pada lantai P2 dan 01 nilainya akan berkurang drastis akibat ireguleritas geometri bangunan.
- Pada (tabel 7.62) kolom  $I_{SO-i}$  adalah indeks beban lateral gempa yang merupakan perkalian faktor modifikasi beban horisontal tingkat, indeks respon seismik dan faktor keutamaan fungsi bangunan yang nilainya semakin besar jika fungsi bangunan semakin penting.
- Pada (tabel 7.62) perbandingan indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) memperlihatkan bahwa semua lantai menunjukkan  $I_S > I_{SO}$  yang berarti gedung aman ketika terjadi gempa kuat dan potensi level kerusakan bangunan akibat gempa tersebut adalah rusak ringan (*IO-Immediate Occupancy*). Sebenarnya sebagian besar lantai mengalami ireguleritas geometri, namun kapasitas strukturnya cukup memadai.

Tabel 7.61. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) pada gedung menara BRI 9 lantai (sumber : analisa).

Model	Lantai	$\frac{n+1}{n+i}$	$I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}$	$I_{Asw-i} \cdot I_{SW-i}$	$I_{SCWB-i}$	$I_T$	R	$\Omega_0$	$E_{0-i}$	$S_{D-i}$	$I_{S-i}$	
BR-01	lantai P1	10/10	1.00	1.25	0.53	0.88	1	7	2.5	4.39	0.56	2.47
	lantai 01	10/11	0.91	1.11	0.64	0.88	1	7	2.5	3.91	0.25	0.98
	lantai 02	10/12	0.83	1.13	1.50	0.93	1	7	2.5	5.68	1.00	5.68
	lantai 03	10/13	0.77	1.27	1.61	1.00	1	7	2.5	6.21	0.75	4.66
	lantai 04	10/14	0.71	1.41	1.84	1.00	1	7	2.5	6.50	1.00	6.50
	lantai 05	10/15	0.67	1.82	1.32	1.00	1	7	2.5	5.85	1.00	5.85
	lantai 06	10/16	0.63	2.33	1.77	1.00	1	7	2.5	7.17	1.00	7.17
	lantai 07	10/17	0.59	3.11	2.69	1.00	1	7	2.5	9.55	0.75	7.16
	lantai Atap	10/18	0.56	3.87	5.58	0.96	1	7	2.5	14.09	0.75	10.57

Tabel 7.62. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) pada gedung menara BRI 9 lantai (sumber : analisa).

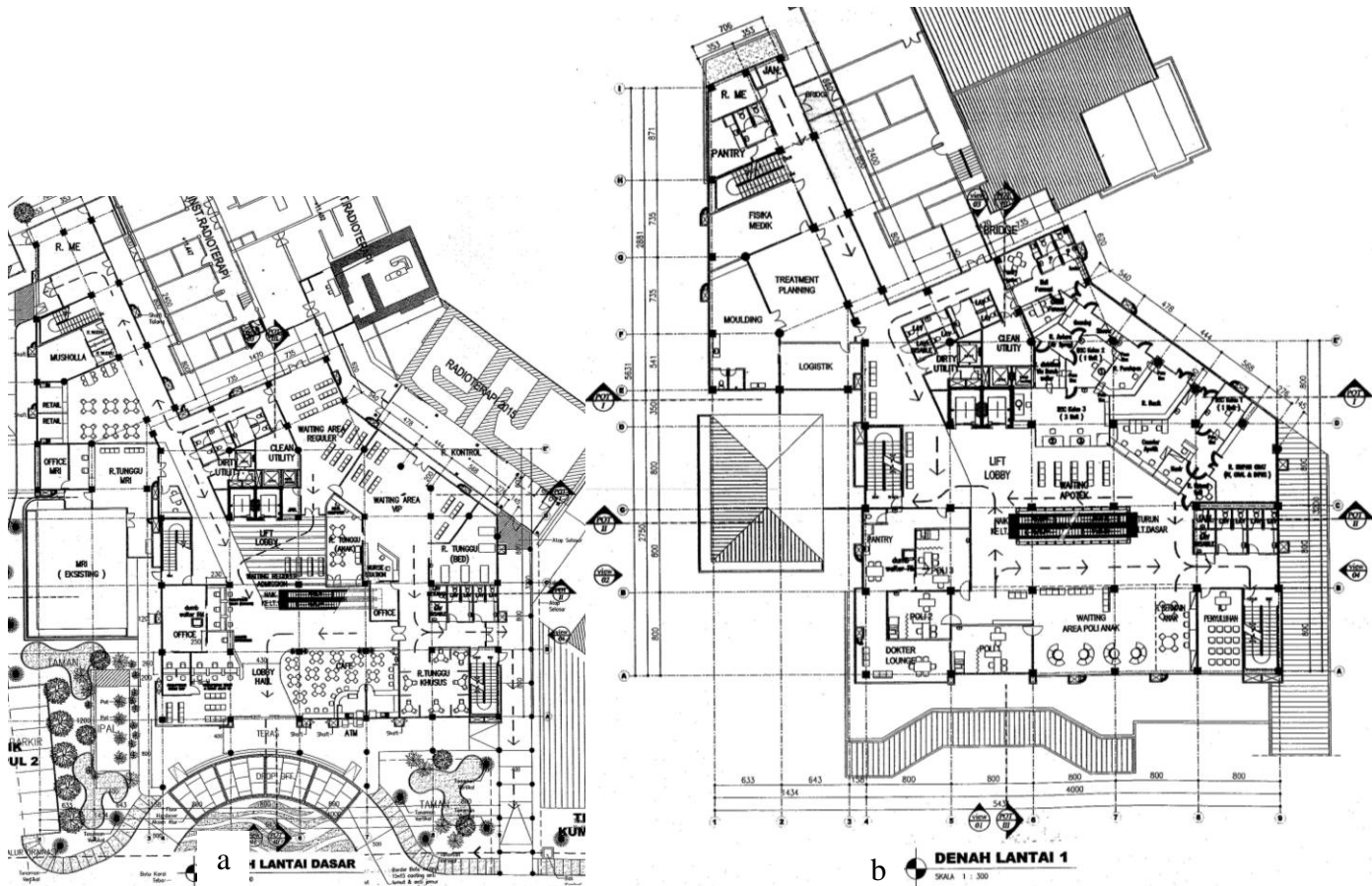
Model	Lantai	$I_{S-i}$	$I_{SO-i}$	SVA
BR-01	lantai P1	2.47	0.90	IO
	lantai 01	0.98	0.95	IO
	lantai 02	5.68	1.01	IO
	lantai 03	4.66	1.08	IO
	lantai 04	6.50	1.16	IO
	lantai 05	5.85	1.25	IO
	lantai 06	7.17	1.35	IO
	lantai 07	7.16	1.47	IO
	lantai Atap	10.57	1.62	IO

#### 7.4. SVA GEDUNG RADIOTERAPY DAN ONKOLOGI (R&O) 6 LANTAI RSUP DR. KARIADI DI JL. KARIADI SEMARANG

##### 1. Data Arsitektur

RSUP Dr. Kariadi Semarang merupakan Rumah Sakit terbesar sekaligus berfungsi sebagai rumah sakit rujukan bagi wilayah Jawa Tengah. Saat ini RSUP Dr. Kariadi adalah Rumah Sakit kelas A Pendidikan dan berfungsi sebagai Rumah sakit Pendidikan bagi dokter, dokter spesialis, dan sub spesialis dari FK UNDIP, serta Institusi Pendidikan lain serta tenaga kesehatan lainnya. Selain sebagai rumah sakit yang memiliki fungsi rujukan dan pendidikan, RSUP Dr. Kariadi juga mempunyai fungsi pelayanan medik sehingga harus mempunyai fasilitas unggulan. Salah satunya fasilitas unggulannya yaitu onkologi terpadu untuk penanganan pasien penderita kanker. Untuk mendukung fasilitas tersebut diperlukan gedung representatif yang mewadahi fungsi radioterapi dan onkologi. Untuk itu direncanakan gedung radioterapi dan onkologi (r&o) 6 lantai yang terdiri dari :

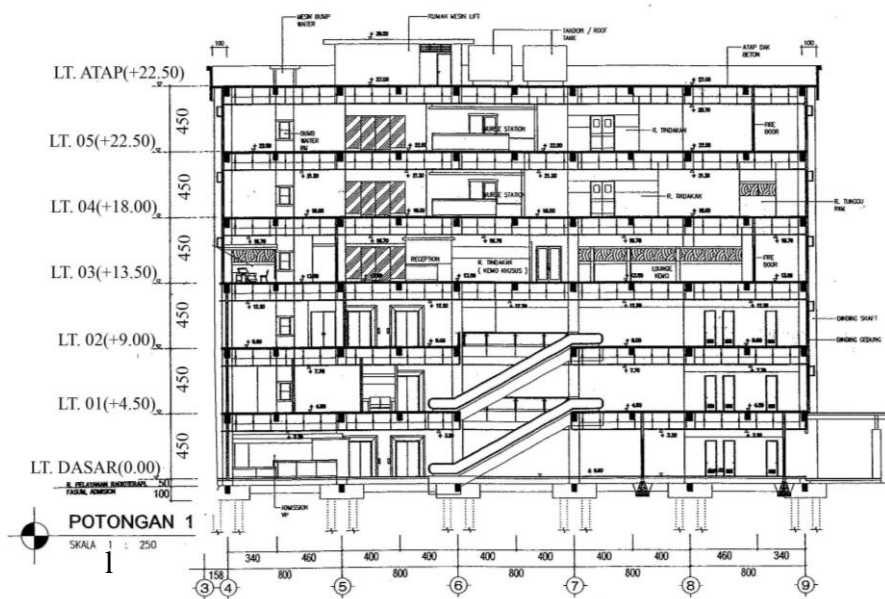
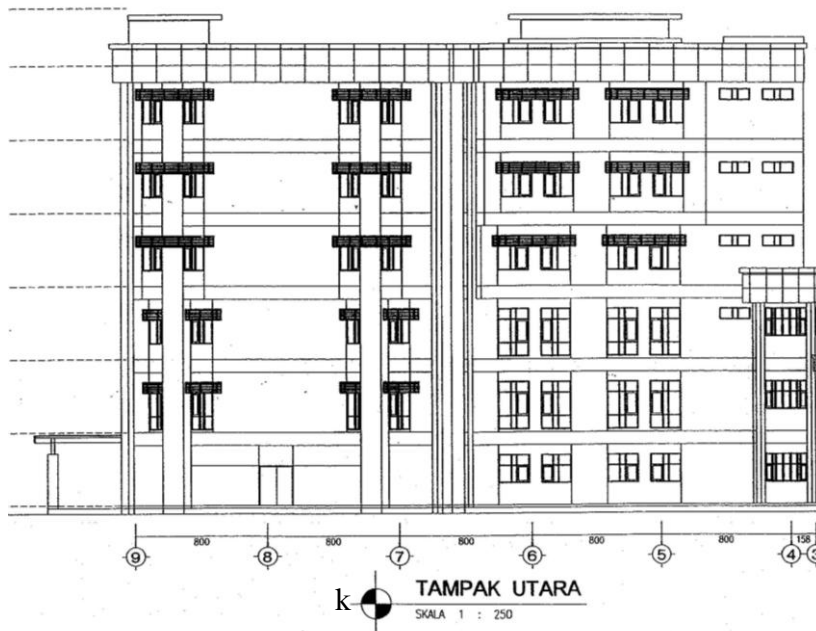
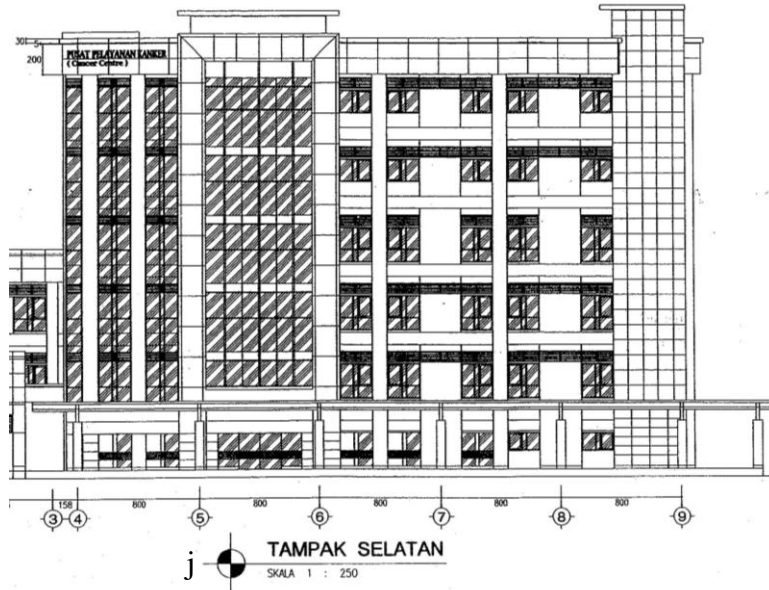
- Lantai dasar : hall, pendaftaran, ruang tunggu dan retail
- Lantai 01 : farmasi dan poli anak
- Lantai 02 : poliklinik dan rekam medik
- Lantai 03 : kemoterapi
- Lantai 04 : rawat inap dan ruang pasien imunitas menurun
- Lantai 05 : rawat inap

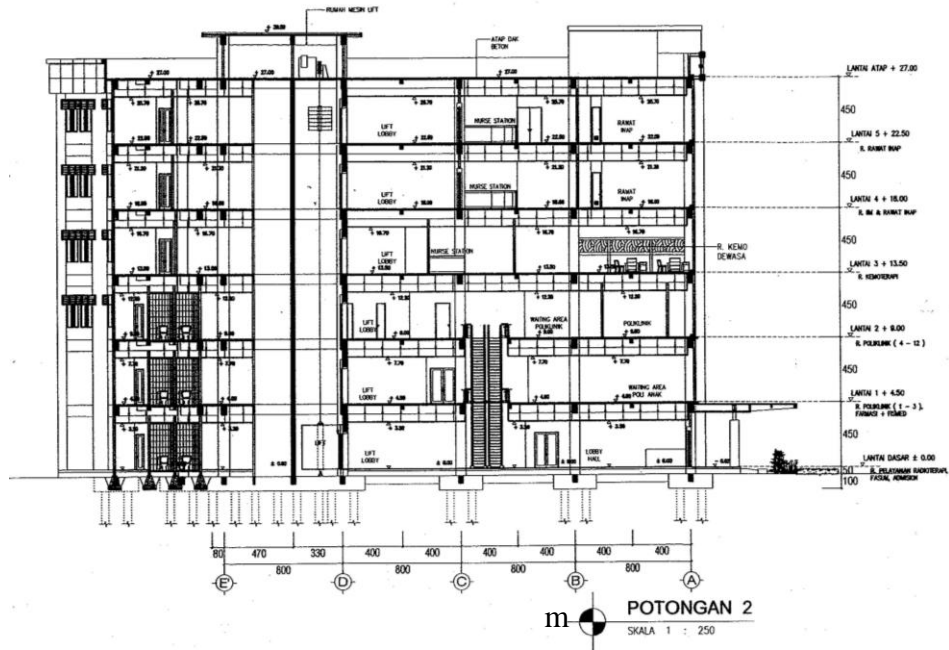








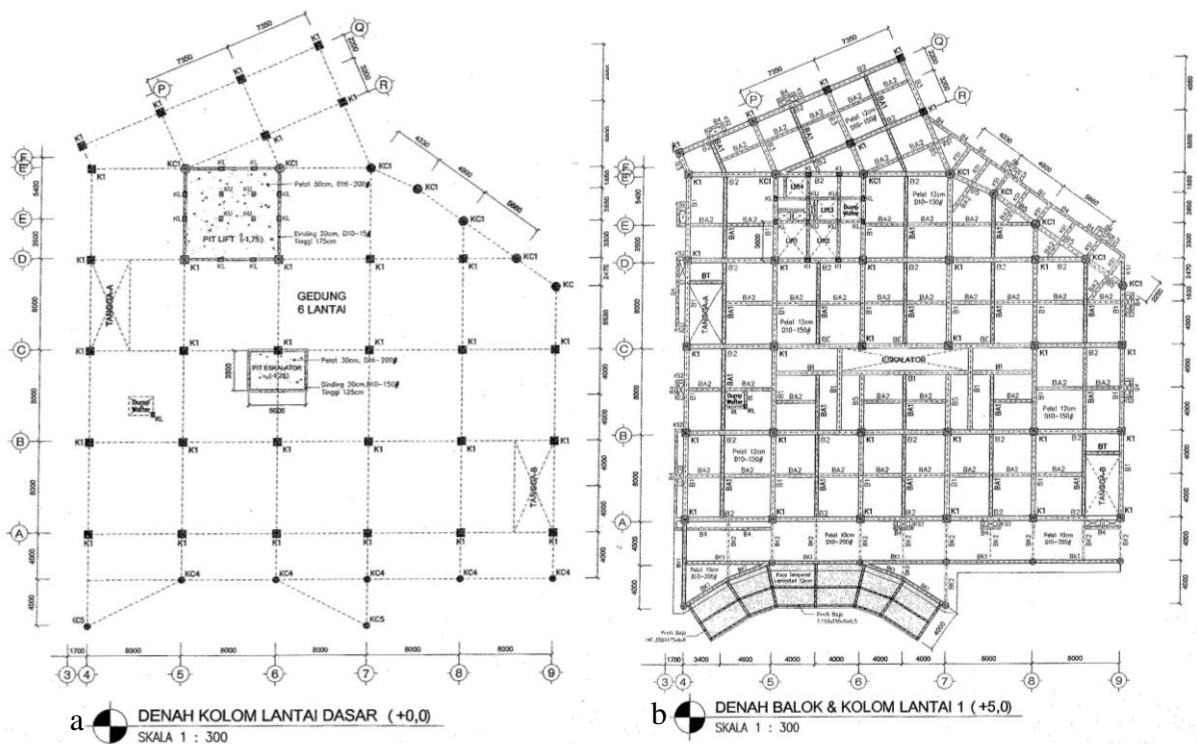


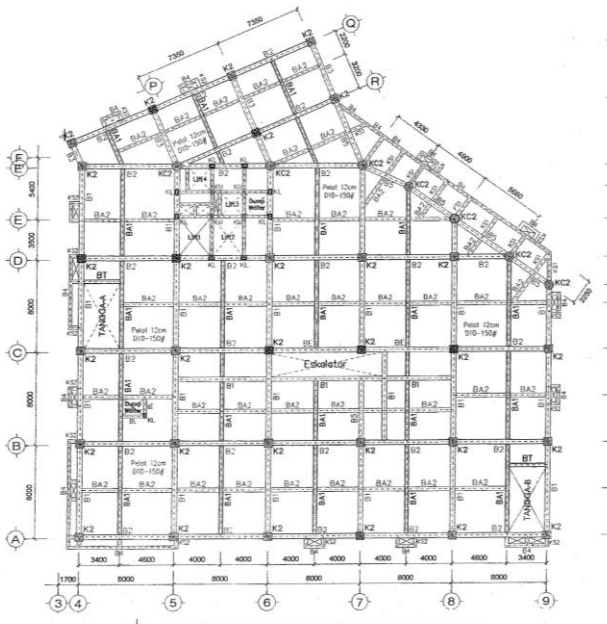


Gambar 7.43. Gambar denah, tampak dan potongan gedung R&O RSUP Dr. Kariadi di Jl. Kariadi Semarang (sumber : DISTARU Kota Semarang).

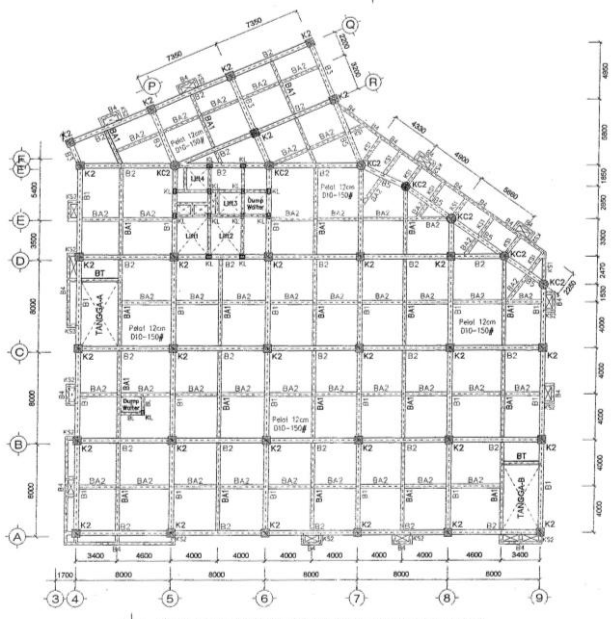
## 2. Data Struktur

Struktur atas yang digunakan pada gedung ini yaitu struktur beton bertulang sistem rangka penahan momen khusus (SRPMK). Mutu beton pelat, balok, kolom dan dinding geser yaitu K-350, sedangkan tulangan  $f_y=400$  MPa (BJTD-40  $D \geq 12$ ) dan  $f_y=240$  MPa (BJTP-24  $D \leq 12$ ).

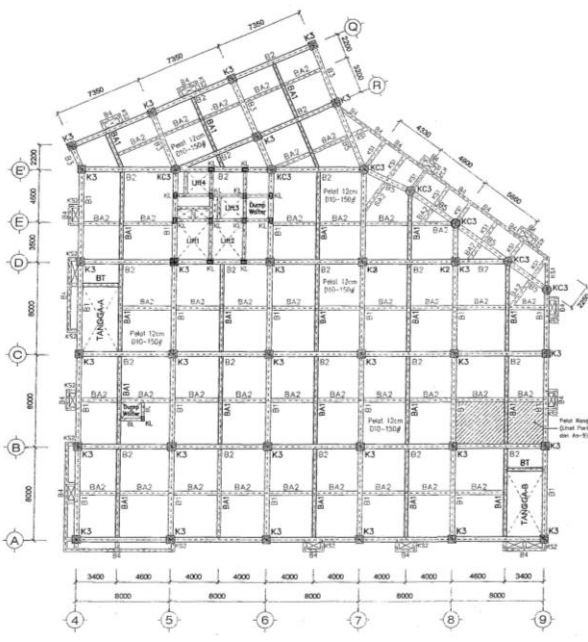




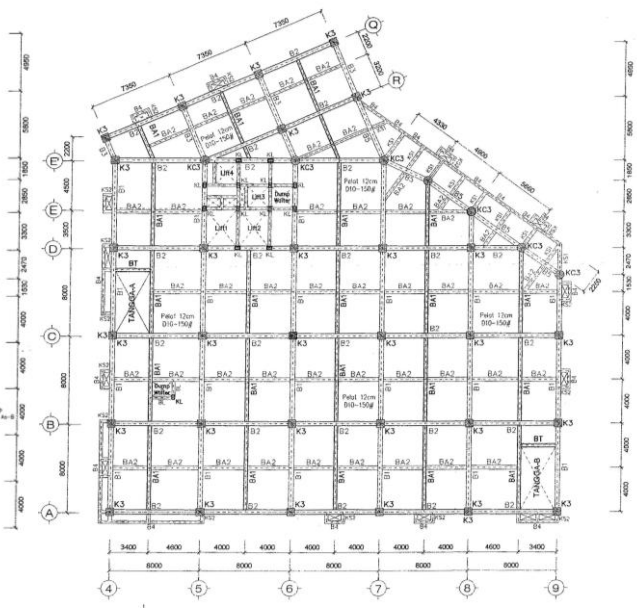
**c** DENAH BALOK & KOLOM LANTAI 2 (+9,5)  
SKALA 1 : 250



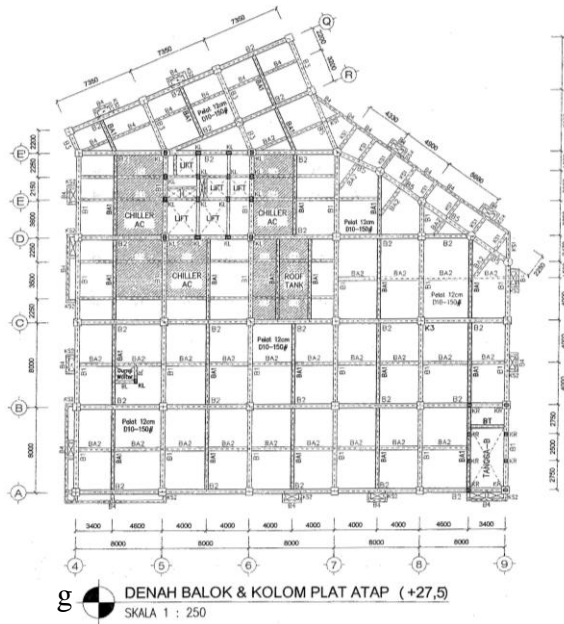
**d** DENAH BALOK & KOLOM LANTAI 3 (+14,0)  
SKALA 1 : 250



**e** DENAH BALOK & KOLOM LANTAI 4 (+18,5)  
SKALA 1 : 250



**f** DENAH BALOK & KOLOM LANTAI 5 (+23,0)  
SKALA 1 : 250



Gambar 7.44. Gambar denah kolom, balok & plat lantai gedung R&O RSUP Dr. Kariadi (sumber : DISTARU Kota Semarang)

### 3. Screening dimensi struktur gedung R&O RSUP Dr. Kariadi, *strong column* & *weak beam*, periode getar dan kekakuan

Tabel 7.63. Rasio bentang struktur dan tinggi balok, dan rasio tinggi balok dan lebar balok (sumber : analisa).

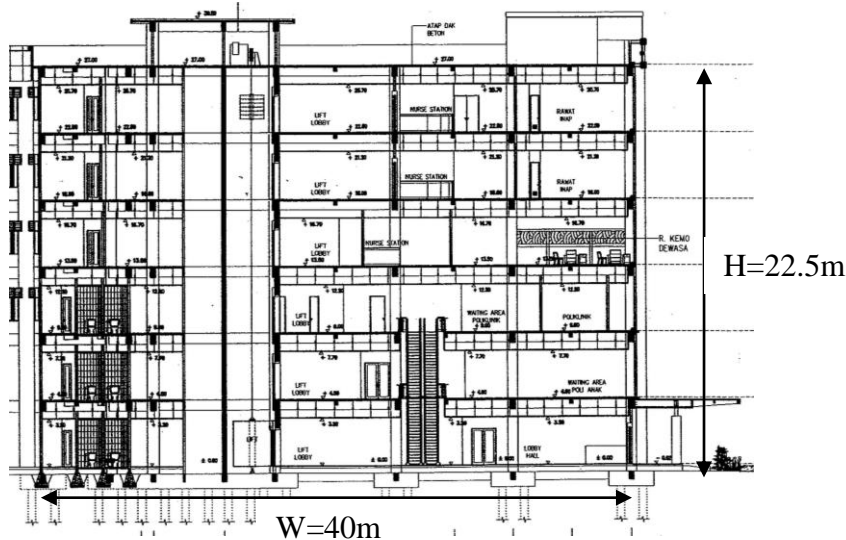
Balok	Dimensi - $b_b/h_b$ (cm)	Bentang -L (m)	$L/h_b - 1/10-1/14$	$h_b/b_b \leq 2$
B1	40/70	8	1/11	1.8
B2	45/75	7.34, 8	1/10-1/11	1.7
B3	40/60	2.2, 3.2, 5.4	1/4-1/9	1.5
B4	25/45	4, 4.2, 4.33, 4.9, 5.6	1/9-1/12	1.8
BT	30/45	3.4	1/7.5	1.5
B5	40/70	4.3, 4.9, 5.66, 6.38	1/6-1/9	1.8
BA1	35/60	4.8, 5.4, 8	1/8-1/13	1.7
BA2	30/45	1.4, 3.7, 4	1/3-1/9	1.5
BK1	30/50	4, 8	1/8-1/16	1.7
BK2	25/40	4	1/10	1.6
Balok Kantilever	Dimensi - $b_b/h_b$ (cm)	Bentang -L (m)	$L/h_b - \leq 1/5$	$h_b/b_b \leq 2$
KS1	30/60	1.8, 2.8	1/3-1/5	2.0
KS2	30/45	0.75, 1	1/2	1.7

Tabel 7.64. Dimensi minimal kolom (sumber : analisa).

Kolom	Dimensi - $b_c/h_c$ (cm)	$b_c/h_c$	$b_c \geq 30$	$b_c/h_c \geq 0.4$
K1	70/70	1.00	ya	ya
K2	70/70	1.00	ya	ya
K3	70/70	1.00	ya	ya
KC1	D-80	1.00	ya	ya
KC2	D-80	1.00	ya	ya
KC3	D-80	1.00	ya	ya
KC4	D-55	1.00	ya	ya
KC5	D-55	1.00	ya	ya

Tabel 7.65. *Strong column dan weak beam* (sumber : analisa).

LANTAI	Wp KOLOM > 1.2xWp BALOK
lantai 01	94%
lantai 02	99%
lantai 03	99%
lantai 04	99%
lantai 05	99%
lantai Atap	99%



Gambar 7.45. Massa gedung R&O RSUP Dr. Kariadi yang sangat kaku dengan  $H/W=0.6 < 4$  (sumber : analisa)

- Pada (tabel 7.63) memperlihatkan bahwa dimensi balok, tinggi, dan lebarnya sudah memenuhi ketentuan SNI dalam menahan gempa kuat. Sementara itu, pada tabel 7.64 dimensi kolom, tinggi, dan lebarnya sudah memenuhi ketentuan dalam menahan gempa kuat.
- Pada (tabel 7.65) memperlihatkan bahwa dimensi balok dan kolom sudah memenuhi ketentuan  $W_p \text{ kolom} \geq 1.2 \times W_p$  sehingga kemungkinan terbentuknya mekanisme *strong column dan weak beam* diharapkan bisa terjadi pada saat gempa kuat.
- Dari hasil perhitungan konsultan bangunan rumah sakit ini memiliki rentang periode getar pendekatan  $T_a=0.92$  dtk dan  $T_{max}=1.29$  dtk, sedangkan berdasarkan perhitungan periode getar fundamentalnya ( $T_{cal}$ ) untuk arah sumbu – Y=1.06 dtk dan untuk arah sumbu – X=0.98 dtk. Untuk periode getar arah sumbu

-Y dan -X masih didalam rentang  $T_a$  dan  $T_{max}$  yang berarti bangunannya tidak terlalu kaku/fleksibel.

- Massa bangunan gedung R&O RSUP Dr. Kariadi di mana perbandingan lebar dan tinggi bangunan ( $H/W=0.56 < 4$ ) sudah membuat kekakuan gedung ini (gambar 7.45).

#### 4. Indeks kapasitas geser struktur ( $I_{S,i}$ ) gedung R&O RSUP Dr. Kariadi

Perencana struktur merancang gedung R&O ini dengan jenis SRPMK, maka menggunakan persamaan struktur rangka pemikul momen (persamaan 5.2) dengan faktor R dan  $\Omega_0$  dengan  $R=8$  dan  $\Omega_0 = 3$  (lihat tabel 5.2).

$$E_{0-i} = \frac{n+1}{n+i} (I_{Ac-i} \cdot I_{C-i} \cdot I_{SCWB-i} \cdot I_T) \cdot \frac{R}{\Omega_0} \text{-----(5.2)}$$

Dimana,

$n$  = Jumlah tingkat bangunan.

$i$  = Jumlah tingkat yang dievaluasi. Di mana tingkat pertama diberi nomor 1 dan tingkat terakhir adalah  $n$ .

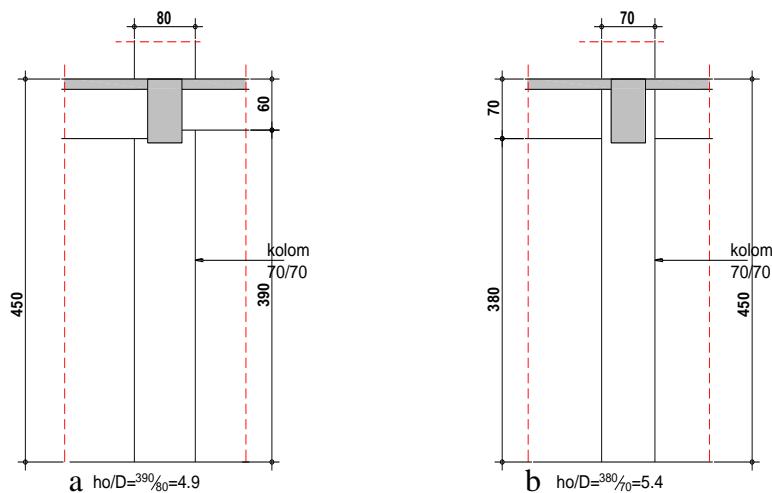
$I_{Ac-i}$  = Indeks dimensi kolom di tingkat ke- $i$  (tabel 5.1)

$I_{C-i}$  = Indeks jenis kolom di tingkat ke- $i$ .

$I_{SCWB-i}$  = Indeks *Strong Column Weak Beam* tingkat di tingkat ke- $i$ .

$I_T$  = Indeks periode getar struktur,  $T_c \leq T_{max} \rightarrow I_T = 1$  dan  $T_c > T_{max} \rightarrow I_T = 0$

$R/\Omega_0$  = Indeks daktilitas



Gambar 7.46. Berbagai jenis tinggi efektif kolom yang dipengaruhi tinggi kolom dan tinggi balok (gambar a & b) tetapi semuanya masih dalam kategori kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ) (sumber : analisa)

Sebagai langkah awal untuk menghitung indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dengan persamaan 5.6 di atas dilakukan *screening* kategori jenis kolom menurut tabel 5.1 untuk mengetahui kekakuan kolom (gambar 7.46).

Untuk gedung kuliah parameter indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen yaitu :

Tabel 7.66. Indeks kolom ( $I_{C-i}$ ) berdasarkan jumlah jenis kolom ( $h_0/D$ ) dan indeks jenis kolom (sumber : analisa).

Lantai	Jumlah jenis kolom ( $N_c$ )			$I \cdot N_c / \sum N_c$			Indeks Kolom ( $I_{C-i}$ ) $\sum (I \cdot N_c / \sum N_c)$
	(a). $h_0/D \leq 2$ (bh)	(b). $2 < h_0/D < 6$ (bh)	(c). $6 \leq h_0/D$ (bh)	$h_0/D \leq 2$	$2 < h_0/D < 6$	$6 \leq h_0/D$	
	lantai 01	-	37.00	7.00	-	0.67	0.10
lantai 02	-	37.00	-	-	0.80	-	0.80
lantai 03	-	37.00	-	-	0.80	-	0.80
lantai 04	-	37.00	-	-	0.80	-	0.80
lantai 05	-	37.00	-	-	0.80	-	0.80
lantai Atap	-	37.00	-	-	0.80	-	0.80
Indeks (I)	1	0.8	0.6				

Tabel 7.67. Jumlah luas dimensi kolom disain ( $\sum A_c$ ) dan jumlah luas dimensi kolom minimum ( $\sum A_c \text{ min}$ ) (sumber : analisa).

Lantai	$\sum A_c$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_c \text{ min}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_c / \sum A_c \text{ min}$ (I <sub>a</sub> )
lantai 01	19.88	15.24	1.30
lantai 02	18.22	12.22	1.49
lantai 03	18.22	9.94	1.83
lantai 04	18.22	7.60	2.40
lantai 05	18.22	5.39	3.38
lantai Atap	18.22	4.03	4.53

- Dari (tabel 7.66) memperlihatkan bahwa gedung R&O ini didominasi jenis kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ) dan sebagian kecil terdapat kolom langsing ( $6 \leq h_0/D$ ) yang berarti kegagalan geser dan lentur pada kolom bangunan dapat diminimalisasi.
- Pada tabel 7.67 memperlihatkan bahwa dimensi kolom pada gedung R&O ini sudah memenuhi persyaratan minimum bahkan melebihi.
- Struktur yang dipilih SRPMK maka  $R = 8$  dan  $\Omega_0 = 3$  (lihat tabel 5.2)

##### 5. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung R&O RSUP Dr. Kariadi

$$I_{SO-i} = \frac{n+i}{2n-i+1} (I_{CS} \cdot I_e) \text{-----(5.22)}$$

Dimana,

$n$  = Jumlah tingkat bangunan.

$i$  = Jumlah tingkat yang dievaluasi. Di mana tingkat pertama diberi nomor 1

dan tingkat terakhir adalah  $n$

$C_S$  = Koefisien respon seismik desain



$C_{S \min}$  = Koefisien respon seismik minimum  $S_S=0.25g$  dan  $S_1=0.1g$

$I_{CS}$  = Indeks respon seismik

$I_e$  = Faktor keutamaan fungsi bangunan

Untuk zona gempa wilayah Jl. Kariadi Semarang parameter gempanya yaitu :

$S_S = 1.10 g$

$S_1 = 0.36 g$

Site class = D

Seismic important factor  $I_e$  untuk gedung rumah sakit = 1.5

$C_S = 0.07$

$C_{S \min} = 0.05$

$I_{CS} = C_S / C_{S \min} = 1.40$

Adapun beban lateral gempa pada masing-masing tingkat dapat dilihat pada tabel

7.68. Tabel 7.68. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung R&O RSUP Dr. Kariadi Jl. Kariadi Semarang (sumber : analisa).

Model	Lantai	$\frac{n+1}{2n-i+1}$		$I_{CS}$	$I_e$	$I_{SO-i}$
ONG-01	lantai 01	7/12	0.58	1.40	1.5	1.23
	lantai 02	7/11	0.64	1.40	1.5	1.34
	lantai 03	7/10	0.70	1.40	1.5	1.47
	lantai 04	7/9	0.78	1.40	1.5	1.63
	lantai 05	7/8	0.88	1.40	1.5	1.84
	lantai Atap	7/7	1.00	1.40	1.5	2.10

## 6. Ireguleritas konfigurasi ( $S_{D-i}$ )

### a. Konfigurasi ketidakberaturan torsi

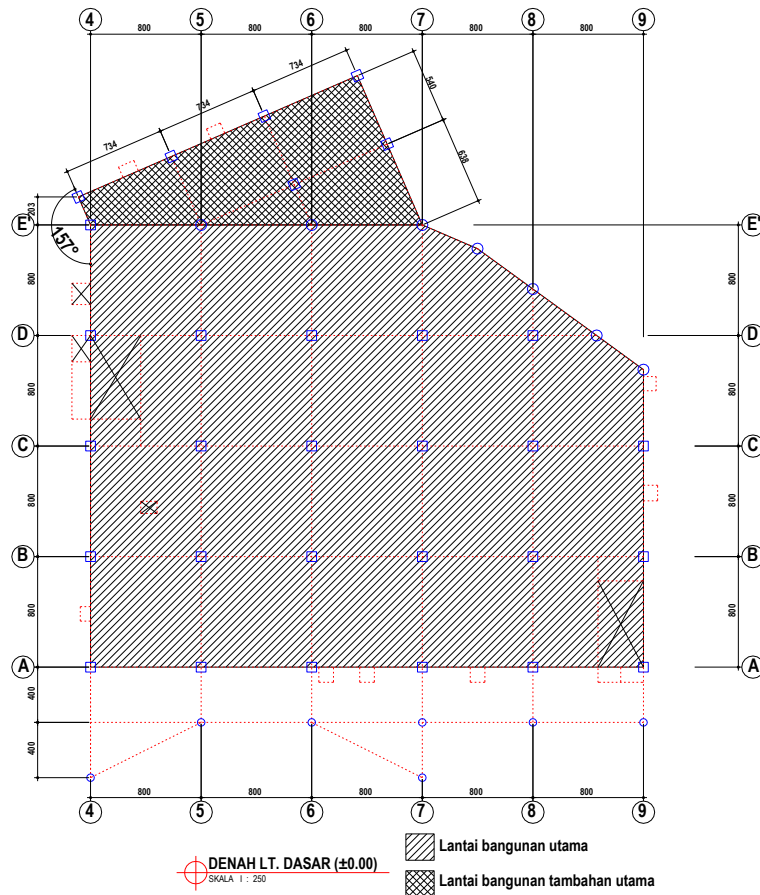
$$e_{r-i} = e_i / w_i \text{-----(5.13)}$$

Di mana :  $e_{r-i}$  = rasio antara panjang eksentrisitas ( $e_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan lebar bangunan ( $w_i$ ) tingkat ke  $-i$ .

Tabel 7.69. Eksentrisitas ( $e_{x-i}$  &  $e_{y-i}$ ) antara pusat massa dan pusat kekakuan lantai pada gedung R&O RSUP Dr. Kariadi (sumber : analisa).

Lantai	$e_{x-i}$ (m)	$e_{y-i}$ (m)	$e_{rx-i}$	$e_{ry-i}$	$e_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	0.20	4.32	0.005	0.092	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 02	0.24	1.89	0.006	0.040	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 03	0.16	1.44	0.004	0.031	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 04	0.25	1.45	0.006	0.031	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 05	0.25	1.45	0.006	0.031	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai Atap	0.97	0.72	0.024	0.015	$e_{r-i} \leq 0.1$	1





Gambar 7.48. Massa bangunan tambahan yang membentuk sudut  $\geq 120^\circ$  dengan massa utama dianggap tidak membentuk ketidakberaturan sudut dalam (sumber : analisa)

Massa tambahan/ekstensi dari massa utama terjadi di bagian belakang bangunan R & O. Antara massa utama dan massa ekstensi membentuk sudut  $157^\circ$ . Sementara itu, menurut ketentuan JBDPA jika massa ekstensi/proyeksi membentuk sudut  $120^\circ$  dengan massa utama, maka dianggap bukan konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam (lihat gambar 7.48). Jadi diharapkan ketika terjadi gempa kuat walaupun mungkin terjadi konsentrasi tegangan terhadap elemen struktur pada pertemuan massa utama dan massa ekstensi tidak mengakibatkan kerusakan yang berarti.

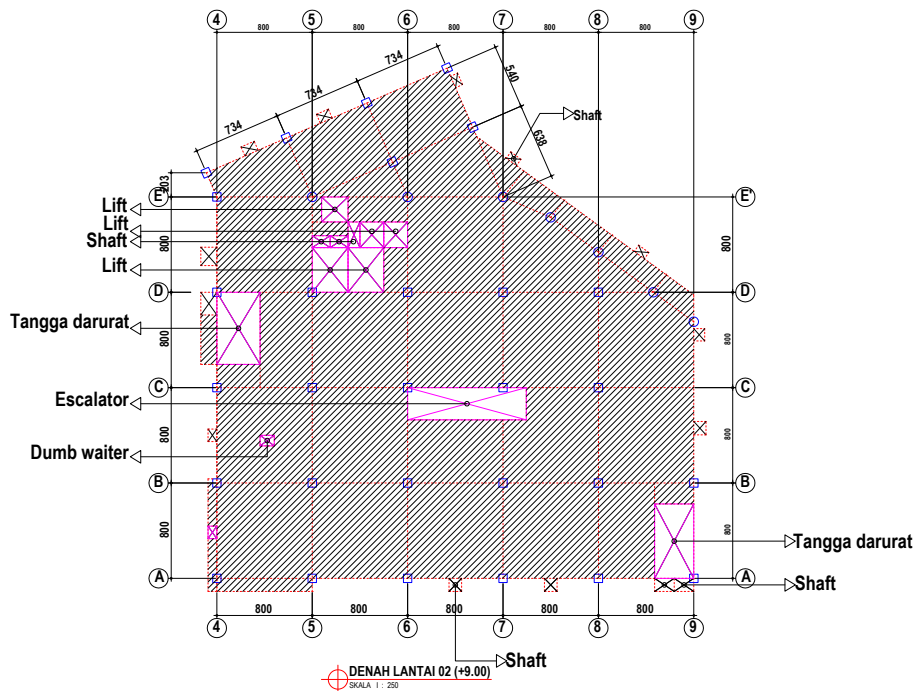
**c. Konfigurasi ketidakberaturan diskontinuitas difragma**

$$e_{v-i} = \frac{\sum l_{b-i}}{\sum l_{i-i}} \text{-----(5.15)}$$

Di mana :  $e_{v-i}$  = rasio luas lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll tingkat ke  $-i$  ( $l_{b-i}$ ) dan luas lantai tingkat ke  $-i$  ( $l_{i-i}$ ).

Tabel 7.70. Rasio lubang bukaan ramp, void atap, shaft, tangga, lift dll ( $l_{b-i}$ ) dan luas lantai ( $l_{i-i}$ ) pada gedung R&O 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai ( $\sum l_{i-i}$ ) (m <sup>2</sup> )	luas bukaan ( $\sum l_{b-i}$ ) (m <sup>2</sup> )	$\sum l_{b-i} / \sum l_{i-i}$	$e_{v-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_j$ )
lantai 01	1603.956	123.24	0.08	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 02	1420.736	112.04	0.08	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 03	1465.370	89.11	0.06	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 04	1480.963	89.68	0.06	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 05	1480.963	89.67	0.06	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai Atap	1580.084	62.46	0.04	$e_{v-i} \leq 0.1$	1



Gambar 7.49. Bukaan-bukaan di gedung R&O terjadi di area lift, eskalator, tangga dan shaft (sumber : analisa)

Bukaan-bukaan pada gedung R&O ini terjadi pada area lift, tangga, shaft, dan eskalator (gambar 7.49). Pada (tabel 7.70) memperlihatkan bahwa bukaan-bukaan tersebut tidak terlalu besar dan masih dalam batas toleransi, sehingga diharapkan ketika terjadi gempa fungsinya sebagai diafragma dalam mengekang kolom dan menyalurkan beban lateral ke kolom masih dapat terjadi dengan baik.

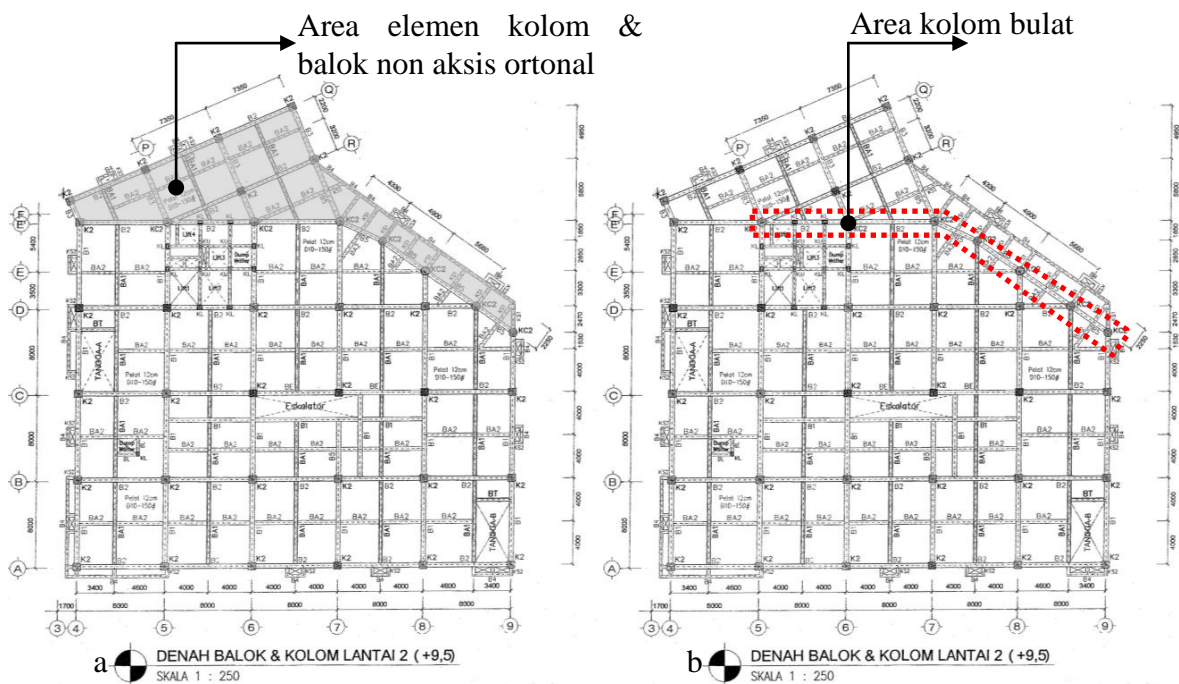
**d. Konfigurasi ketidakberaturan sistem nonparalel**

$$j_{r-i} = \frac{\sum j_i}{\sum j_{t-i}} \text{-----(5.16)}$$

Di mana,  $j_{r-i}$  = rasio jumlah elemen balok, kolom dan/atau dinding geser yang tidak mengikuti aksis ortogonal ( $\sum j_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan jumlah total elemen balok, kolom dan/atau dinding geser tingkat ke  $-i$  ( $\sum j_{t-i}$ ).

Tabel 7.71. Rasio jumlah elemen balok dan kolom utama yang mengikuti aksis ortogonal ( $\sum j_i$ ) dan jumlah total elemen balok dan tingkat yang ditinjau ( $\sum j_{t-i}$ ) pada gedung R&O 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Jumlah elemen struktur tidak mengikuti aksis- $\sum j_i$ (bh)	Jumlah elemen struktur - $\sum j_{t-i}$ (bh)	$\sum j_i/\sum j_{t-i}$	$j_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_j$ )
lantai 01	29.00	130.00	22.3%	$j_{r-i}<30\%$	1
lantai 02	24.00	106.00	22.6%	$j_{r-i}<30\%$	1
lantai 03	28.00	109.00	25.7%	$j_{r-i}<30\%$	1
lantai 04	28.00	108.00	25.9%	$j_{r-i}<30\%$	1
lantai 05	29.00	108.00	26.9%	$j_{r-i}<30\%$	1
lantai Atap	31.00	118.00	26.3%	$j_{r-i}<30\%$	1



Gambar 7.50. Konfigurasi ketidakberaturan sistem non paralel a.) Area elemen kolom dan balok non ortogonal, b). Area kolom bulat (sumber : analisa)

Konsekuensi bentuk geometri gedung yang relatif ireguler berpengaruh pada keteraturan sistem struktur. Hal ini dapat dilihat pada gambar struktur 7.44a s/d g terlihat struktur bagian belakang gedung terdapat sistem balok dan kolom tidak mengikuti aksis ortogonal x dan y (lihat juga gambar 7.50a). Konfigurasi ketidakberaturan paralel seperti ini dapat menyebabkan torsi, translasi diagonal dan konsentrasi tegangan pada elemen struktur. Perencana struktur bangunan R&O kelihatannya sudah mengantisipasi kemungkinan terjadinya kombinasi adanya torsi dan translasi diagonal pada gedung ini dengan membuat kolom bulat pada kolom-kolom yang berbatasan dengan area balok & kolom yang tidak mengikuti aksis





Pada gedung R&O ini ketinggian kolom setiap lantai dasar s/d lantai 05 dibuat sama yaitu 4.5 m. Hal ini menguntungkan karena kekakuan kolom setiap tingkat menjadi relatif sama yang berarti potensi tingkat lunak/*soft story* pada lantai tertentu dapat diminimalisasi (tabel 7.72 dan gambar 7.51). Selain itu, berdasarkan hasil *screening* kolom di atas, jenis kolom yang mendominasi gedung ini yaitu kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ). Hal ini berarti potensi kegagalan geser dan lentur akibat gempa kuat dapat diminimalisasi.

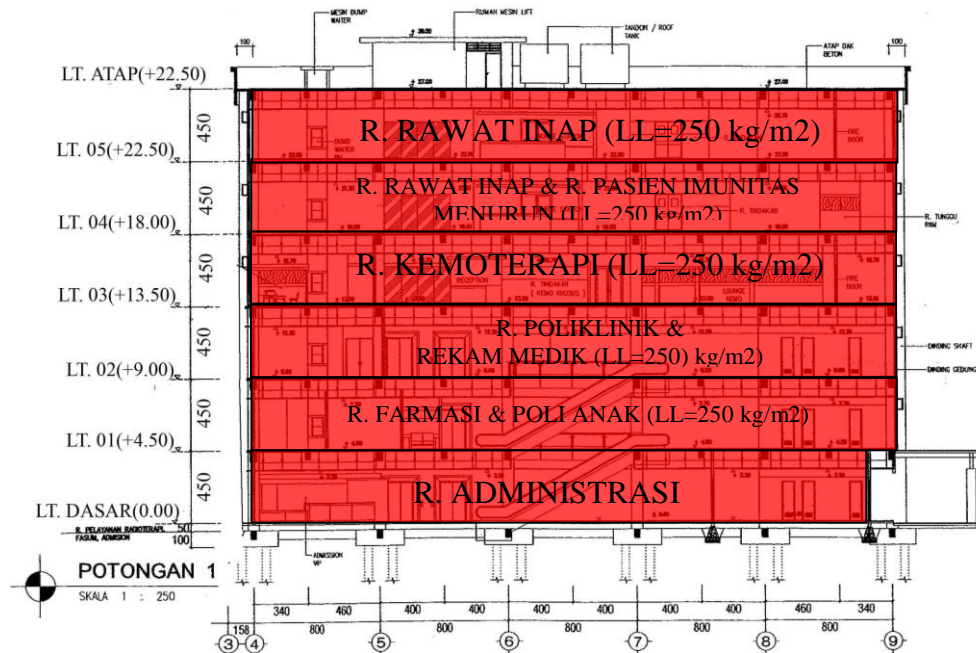
**f. Konfigurasi ketidakberaturan berat/massa**

$$m_{r-i} = \sum m_i / \sum m_{i+1} \text{-----(5.18)}$$

Di mana :  $m_{r-i}$  = rasio massa lantai ditingkat -i ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat -i ( $m_{i+1}$ ).

Tabel 7.73. Rasio massa lantai ditingkat -i ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat -i ( $m_{i+1}$ ) pada gedung R&O 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	$m_i$ (Kg)	$\sum m_i / \sum m_{i+1}$	$m_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	1,700,902	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 02	1,554,729	91%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 03	1,635,000	105%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 04	1,652,842	101%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 05	1,652,856	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai Atap	1,141,711	69%	$m_{r-i} < 100\%$	1



Gambar 7.52. Konfigurasi massa bangunan (sumber : analisa)

Dengan bentuk denah yang relatif tipikal dan penggabungan fungsi penggunaan yang relatif sama pada setiap lantainya dapat meminimalisasi terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan berat/massa pada gedung R&O ini. Hal ini menguntungkan karena deformasi yang mungkin terjadi bisa lebih seragam dan potensi terjadinya torsi akibat perbedaan berat dapat diminimalisasi (lihat tabel 7.73 dan gambar 7.52).

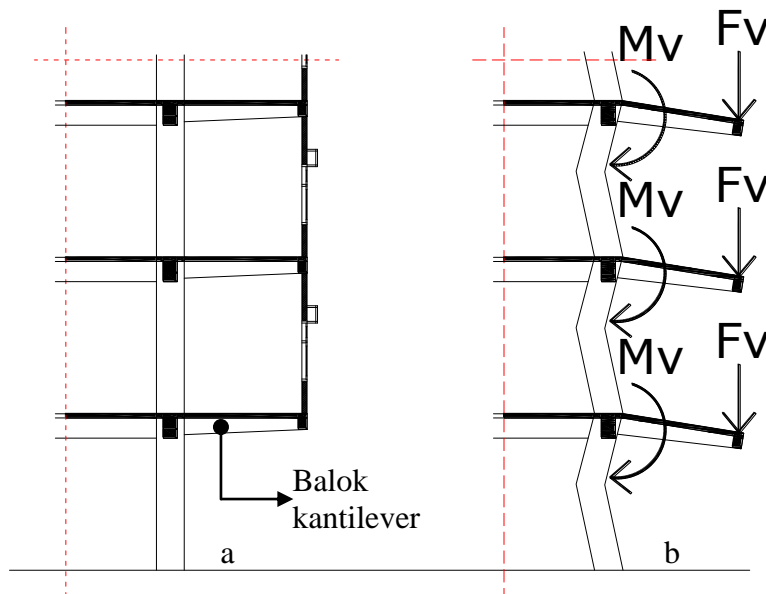
**g. Konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal**

$$s_{r-i} = A_i/L_i \text{-----(5.19)}$$

Di mana,  $s_{r-i}$  = rasio panjang bangunan ( $L_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan panjang *setback* bangunan ( $A_i$ ) tingkat ke  $-i$ .

Tabel 7.74. Rasio panjang bangunan ( $L_i$ ) dan panjang *setback* bangunan ( $A_i$ ) pada tingkat yang ditinjau pada gedung R&O 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	$L_i$ (m)	$A_i$ (m)	$A_i/L_i$	$s_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	24	2.80	0.12	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 02	24	2.80	0.12	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 03	24	3.81	0.16	$0.1 < s_{r-i} < 0.3$	0.75
lantai 04	24	3.81	0.16	$0.1 < s_{r-i} < 0.3$	0.75
lantai 05	24	3.81	0.16	$0.1 < s_{r-i} < 0.3$	0.75
lantai Atap	24	3.81	0.16	$0.1 < s_{r-i} < 0.3$	0.75



Gambar 7.53. a). Perluasan ruang dengan balok kantilever, b). Potensi tekuk pada balok ( $F_v$ ) dan kolom ( $M_v$ ) akibat gempa vertikal (sumber : analisa)

*Setback* yang terjadi pada gedung R&O ini berbentuk kantilever yang terjadi pada semua lantai dari lantai 01 s/d lantai atap. Penambahan ruang dengan teknik kantilever secara fungsional arsitektural memang menguntungkan, tetapi jika



dilakukan secara berlebihan dalam menahan beban gravitasi (DL+LL) saja dapat menimbulkan potensi tekuk pada balok kantilevernya dan kolom dibawah yang mendukungnya. Potensi kegagalan tekuk ini semakin besar ketika menahan kombinasi beban gravitasi dan beban gempa vertikal serta hal ini bisa saja terjadi di gedung R&O ini (lihat tabel 7.74 dan gambar 7.53).

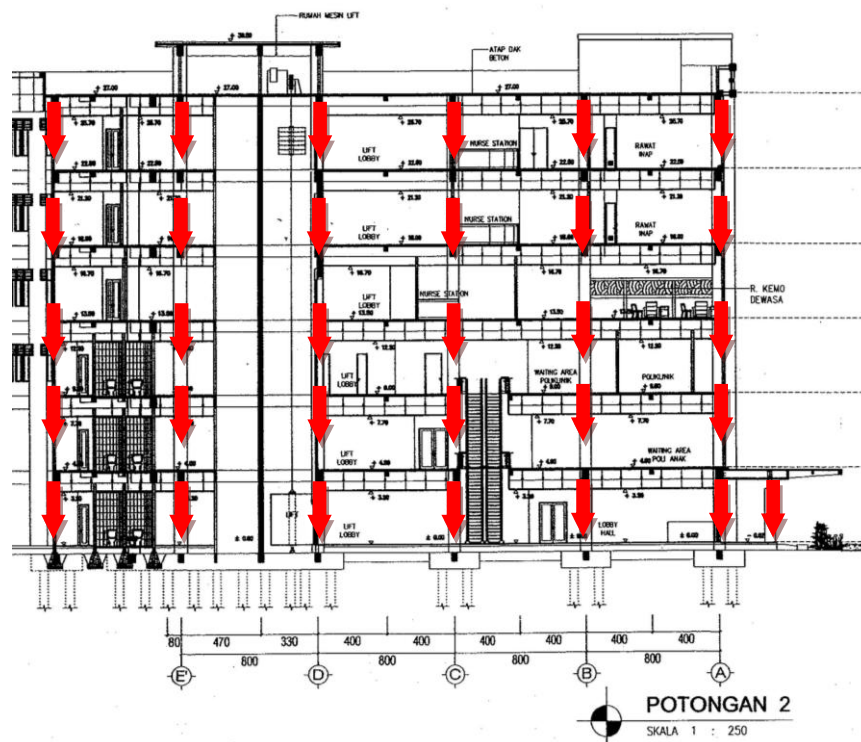
**h. Konfigurasi diskontinuitas ketidakberaturan kuat lateral tingkat / weak story**

$$a_{r-i} = (\sum a_e)_i / (\sum a_e)_{i+1} \text{-----(5.20)}$$

Di mana,  $a_{r-i}$  = rasio luas kolom dan/atau dinding geser ditingkat  $-i$  ( $\sum a_e$ ) $_i$  dan luas kolom dan/atau dinding geser satu tingkat dari tingkat  $-i$  ( $\sum a_e$ ) $_{i+1}$ .

Tabel 7.75. Rasio luas kolom tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$  dan luas kolom dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$  pada gedung R&O 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas kolom tipikal ( $a_e$ ) $_i$ (m2)	$(\sum a_e)_i / (\sum a_e)_{i+1}$	$a_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	19.88	1.09	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 02	18.22	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 03	18.22	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 04	18.22	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 05	18.22	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai Atap	18.22	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1



Gambar 7.54. Kontinuitas alur beban kolom gedung R&O 6 lantai (sumber : analisa)

Dari (tabel 7.75 dan gambar 7.54) terlihat tidak terdapat kolom yang mengalami pemutusan aliran beban seperti penghilangan kolom yang diganti dengan balok transfer, yang sangat kritis jika terjadi gempa arah vertikal. Pengurangan luasan kolom lantai 01 dibandingkan lantai dasar karena adanya tambahan kolom di area teras dan selasar lantai dasar serta tidak menerus ke lantai atasnya sehingga tidak menyebabkan diskontinuitas ketidakberaturan kuat lateral tingkat pada bangunan ini.

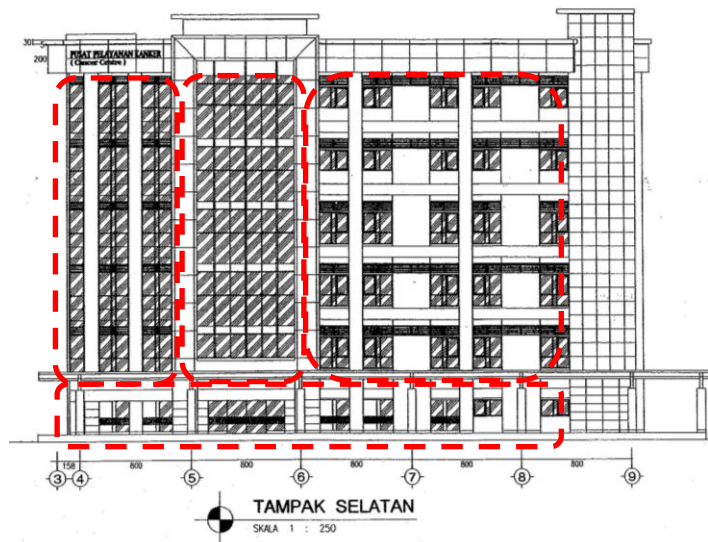
**i. Konfigurasi ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang & diskontinuitas arah bidang**

$$d_{r-i} = \frac{\sum d_i}{\sum l_i} \text{-----(5.21)}$$

Di mana,  $d_{r-i}$  = rasio kepadatan dinding (%),  $\sum d_i$  = luas dinding bata lantai tingkat ke -i dan  $\sum l_{tot-i}$  = Luas lantai di lantai tingkat ke -i.

Tabel 7.76. Rasio kepadatan dinding bata ( $d_{r-i}$ ) pada gedung R&O 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai ( $\sum l_i$ ) (m <sup>2</sup> )	Luas dinding bata ( $\sum d_i$ ) (m <sup>2</sup> )	$\sum d_i / \sum l_i$	$d_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	1423.30	58.92	4.1%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 02	1420.74	56.18	4.0%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 03	1465.37	63.68	4.3%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 04	1480.96	76.18	5.1%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 05	1480.96	101.27	6.8%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai Atap	1580.08	96.60	6.1%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1



Gambar 7.55. Bukaan-bukan (jendela, ventilasi, *cladding*) pada fasad bangunan yang disusun relatif teratur dapat mengurangi potensi ketidakseragaman kekakuan pada gedung R&O (sumber : analisa)

Dinding bata pada gedung ini digunakan di ruang-ruang servis seperti toilet, tangga, lift, dinding eksterior dan lainnya. Dinding interior menggunakan dinding bata

dan dinding partisi. Dinding kaca juga digunakan sebagai dinding eksterior dibagian muka gedung. Kepadatan dan distribusi dinding bata per lantai relatif sama sehingga potensi kontribusi dinding bata pada kekakuan bangunan relatif sama diharapkan potensi ketidakseragaman kekakuan bangunan dapat diminimalisasi (tabel 7.76 dan gambar 7.55).

#### **7. Perbandingan indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) gedung R&O RSUP Dr. Kariadi 6 lantai.**

Berdasarkan data-data dan perhitungan di atas, maka dapat disimpulkan untuk gedung R&O RSUP Dr. Kariadi yaitu :

- Pada (tabel 7.78) kolom  $I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}$  merupakan perkalian indeks luas kolom dan indeks jenis kolom memperlihatkan nilainya  $> 1$  yang berarti dimensi kolom sudah didesain dengan benar sehingga memenuhi syarat luas minimum dalam menahan gempa kuat dan seluruh kolom termasuk kategori kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ) yang berarti meminimalisasi kegagalan geser dan lentur pada kolom akibat gempa.
- Pada (tabel 7.78) kolom  $I_{SCWB-i}$  merupakan indeks *strong column weak beam* yang nilainya  $\approx 1$ . Perencana dengan baik mendesain dimensi kolom dan balok sehingga hampir seluruhnya memenuhi persyaratan mekanisme *strong column weak beam* ( $W_p \text{ kolom} > 1.2 \times W_p \text{ balok}$ ), maka diharapkan ketika terjadi gempa kuat mekanisme SCWB terdistribusi dengan baik.
- Pada (tabel 7.78) kolom  $I_T$  merupakan indeks periode getar struktur yang nilai = 1 yang berarti periode getar struktur ( $T_{C-X}=0.98 \text{ dtk}$  &  $T_{C-Y}=1.06 \text{ dtk}$ )  $<$  periode getar maksimum ( $T_{max}=1.29 \text{ dtk}$ ) yang berarti bangunannya tidak terlalu fleksibel sehingga persyaratan keamanan elemen arsitektur dan struktur serta kenyamanan penghuni bangunan terpenuhi.
- Pada (tabel 7.78) kolom R dan  $\Omega_0$  merupakan faktor reduksi gempa dan faktor kuat lebih (tabel 5.2) yang nilainya tergantung jenis struktur yang dipilih. Jenis struktur yang digunakan pada bangunan kuliah 8 lantai ini yaitu SRPMK yang berarti  $R = 8$  dan  $\Omega_0 = 3$ . Perbandingan  $R/\Omega_0$  merupakan indeks daktilitas sistem struktur gedung R&O ini.
- Pada (tabel 7.78) kolom  $E_{0-i}$  adalah indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen yang merupakan hasil perkalian faktor modifikasi kapasitas geser tingkat,

indeks dimensi kolom, indeks jenis kolom, indeks *strong column weak beam*, indeks periode getar struktur dan indeks daktilitas sistem struktur.

- Pada (tabel 7.78) kolom  $S_{D-i}$  merupakan indeks ireguleritas geometri bangunan. Jika dilihat dari indeks ireguleritas ( $S_{D-i}$ ) ireguleritas geometri yang terjadi relatif minimal pada gedung ini (tabel 7.77). Tidak terjadi kombinasi ireguleritas geometri, ireguleritas terjadi pada lantai 03 s/d atap akibat terbentuk *setback* berupa kantilever dan nilainya masih  $> 0.5$ .

Tabel 7.77. Konfigurasi ketidakberaturan vertikal dan horisontal ( $S_{D-i}$ ) gedung R&O 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	a eksentrisitas	b sudut dalam	c diafragma	d non paralel	e soft story	f massa	g setback	h weak story	i out-in plane	$S_{D-i}$
lantai 01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.00
lantai 02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.00
lantai 03	1	1	1	1	1	1	0.75	1	1	0.75
lantai 04	1	1	1	1	1	1	0.75	1	1	0.75
lantai 05	1	1	1	1	1	1	0.75	1	1	0.75
lantai Atap	1	1	1	1	1	1	0.75	1	1	0.75

- Pada (tabel 7.78 dan 7.79) kolom  $I_{S-i}$  adalah indeks kapasitas struktur yang merupakan perkalian indeks gempa dasar struktur dan indeks ireguleritas geometri bangunan.
- Pada (tabel 7.79) kolom  $I_{SO-i}$  adalah indeks beban lateral gempa yang merupakan perkalian faktor modifikasi beban horisontal tingkat, indeks respon seismik dan faktor keutamaan fungsi bangunan yang nilainya semakin besar jika fungsi bangunan semakin penting.
- Pada (tabel 7.79) perbandingan indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) memperlihatkan bahwa  $I_S > I_{SO}$  yang berarti gedung aman ketika terjadi gempa kuat dan potensi level kerusakan bangunan akibat gempa tersebut adalah rusak ringan (*IO-Immediate Occupancy*).

Tabel 7.78. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) pada gedung R&O 6 lantai (sumber : analisa).

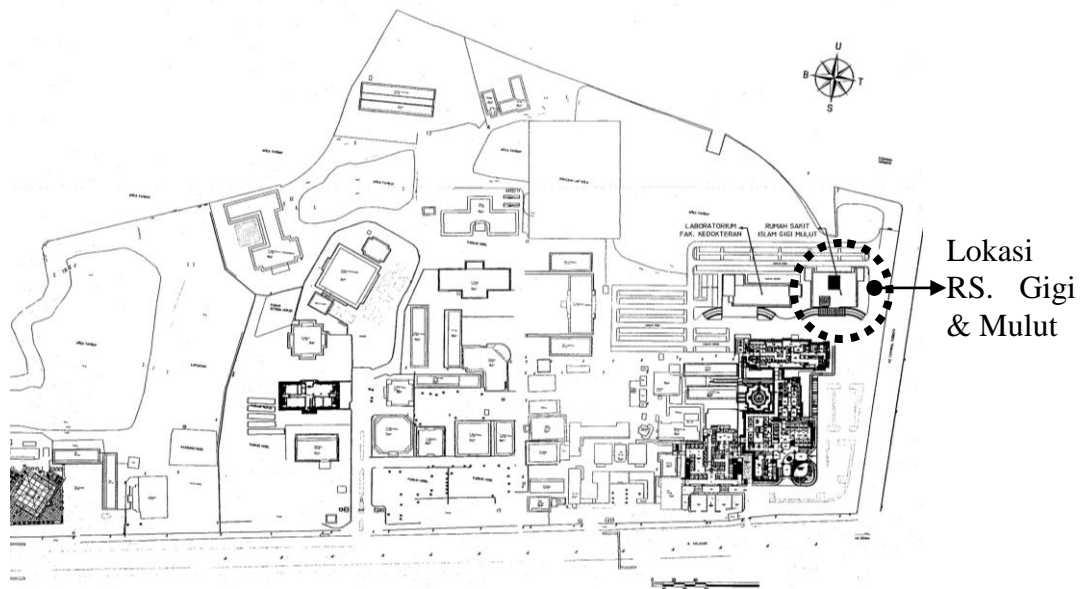
Model	Lantai	$\frac{n+1}{n+i}$	$I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}$	$I_{SCWB-i}$	$I_T$	R	$\Omega_0$	$E_{O-i}$	$S_{D-i}$	$I_{S-i}$	
ONG-01	lantai 01	7/7	1.00	1.00	0.94	1.00	8	3	2.50	1.00	2.50
	lantai 02	7/8	0.88	1.19	0.99	1.00	8	3	2.75	1.00	2.75
	lantai 03	7/9	0.78	1.47	0.99	1.00	8	3	3.00	0.75	2.25
	lantai 04	7/10	0.70	1.92	0.99	1.00	8	3	3.53	0.75	2.65
	lantai 05	7/11	0.64	2.71	0.99	1.00	8	3	4.53	0.75	3.40
	lantai Atap	7/12	0.58	3.62	0.99	1.00	8	3	5.56	0.75	4.17

Tabel 7.79. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) pada gedung R&O 6 lantai (sumber : analisa).

Model	Lantai	$I_{S-i}$	$I_{SO-i}$	SVA
ONG-01	lantai 01	2.50	1.23	IO
	lantai 02	2.75	1.34	IO
	lantai 03	2.25	1.47	IO
	lantai 04	2.65	1.63	IO
	lantai 05	3.40	1.84	IO
	lantai Atap	4.17	2.10	IO

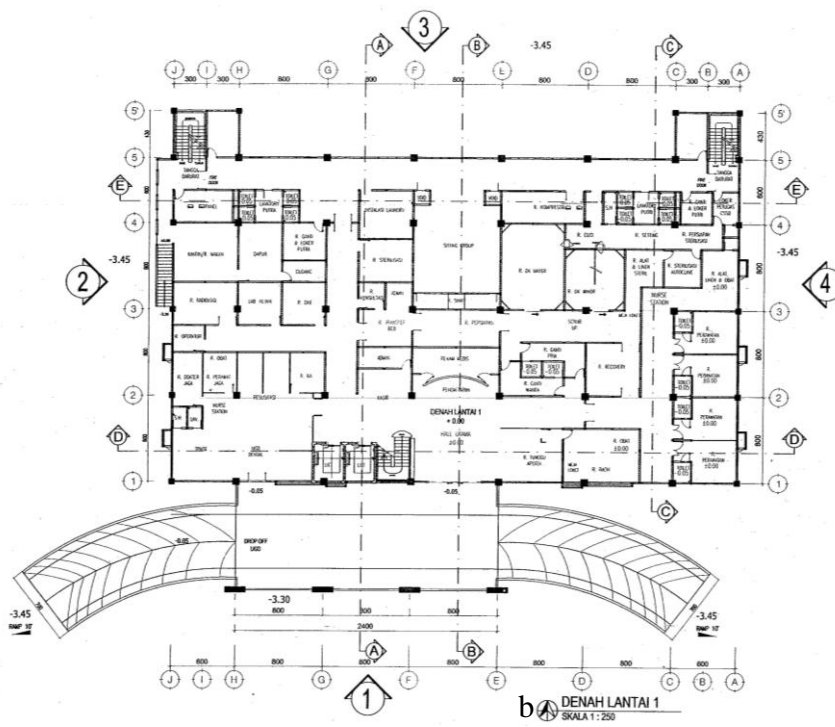
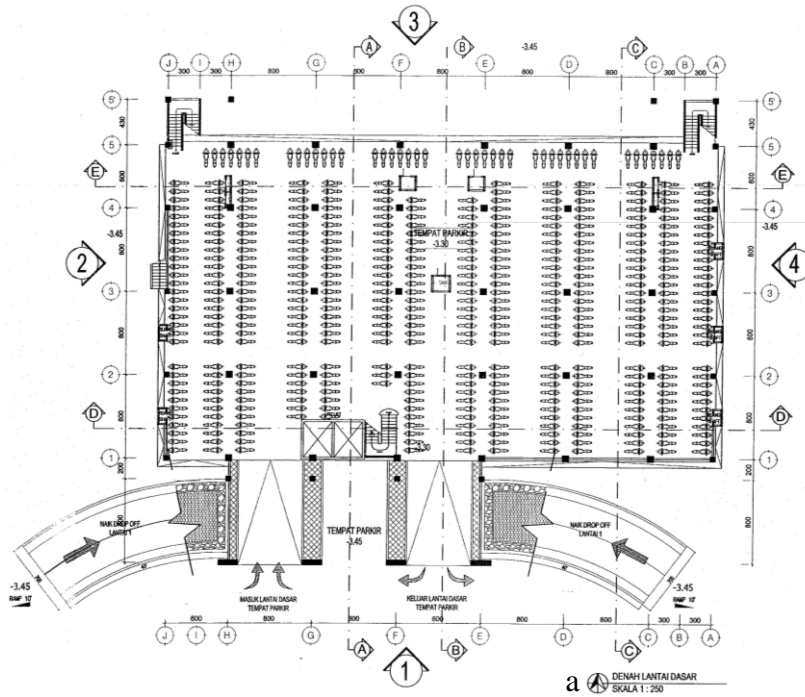
## 7.5. SVA GEDUNG RS. GIGI DAN MULUT RSI. SULTAN AGUNG 6 LANTAI DI JL. KALIGAWA SEMARANG

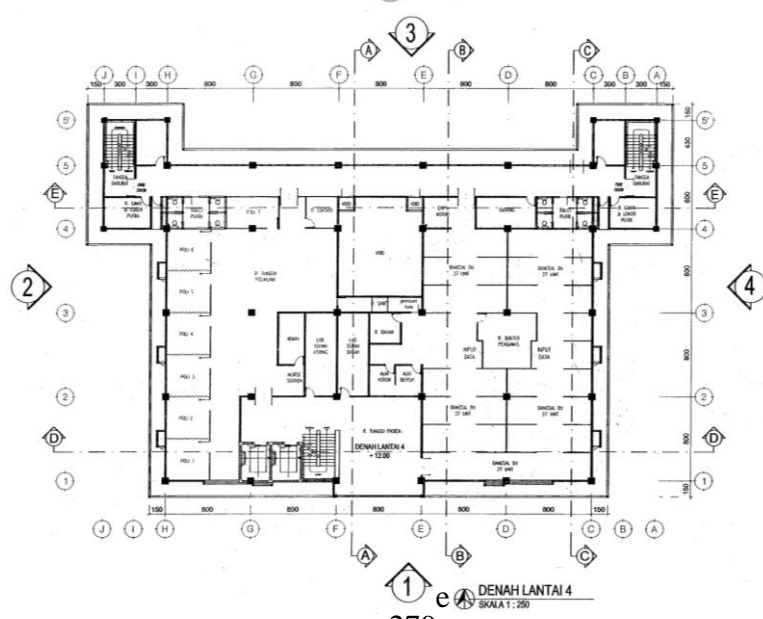
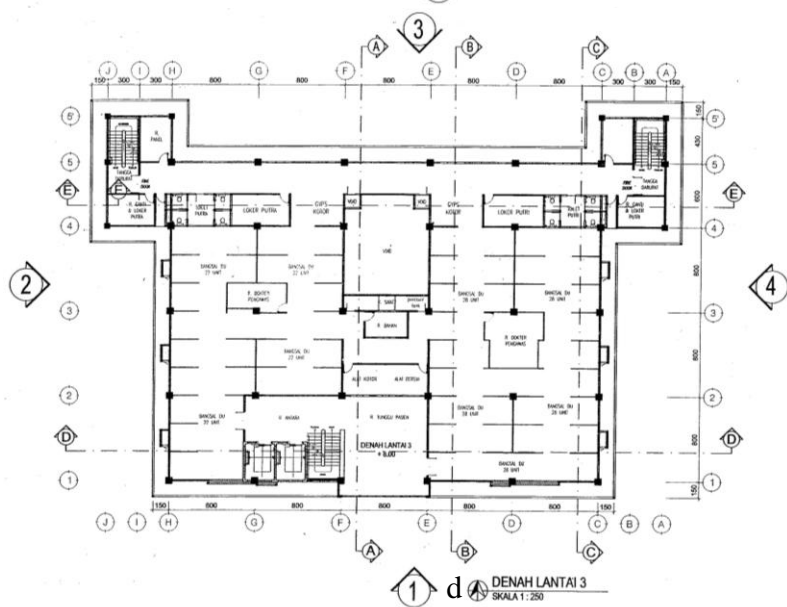
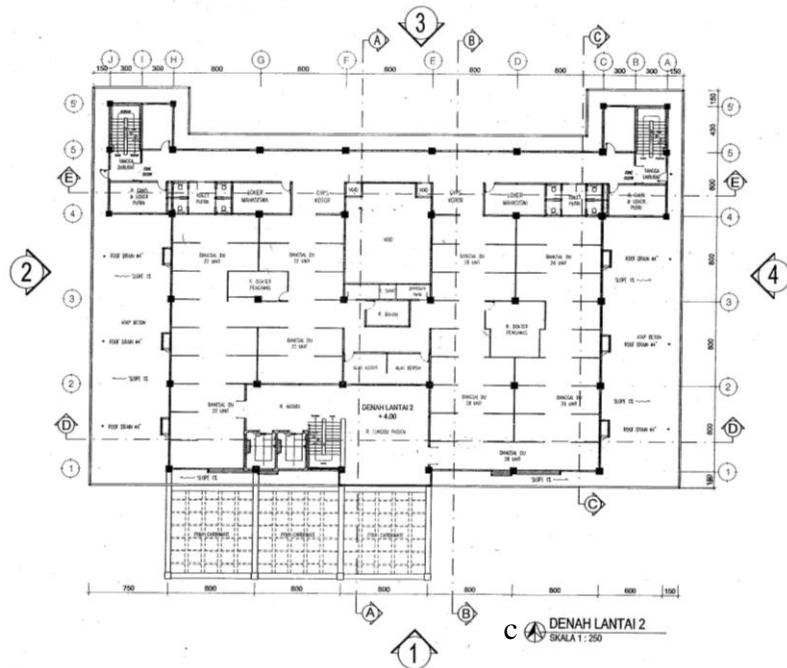
### 1. Data Arsitektur



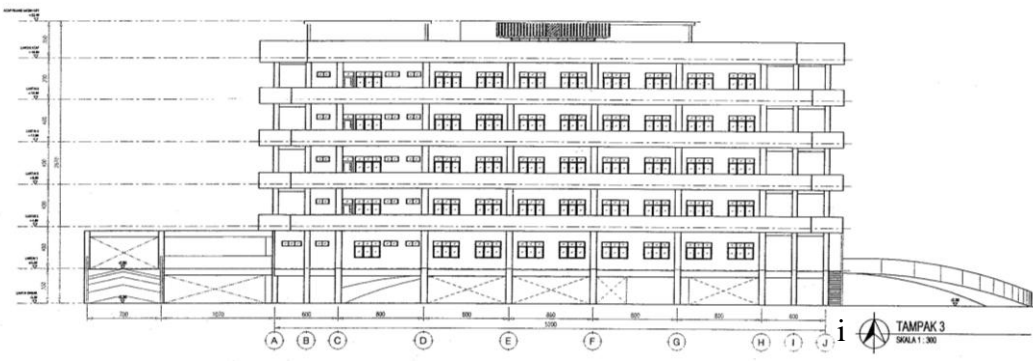
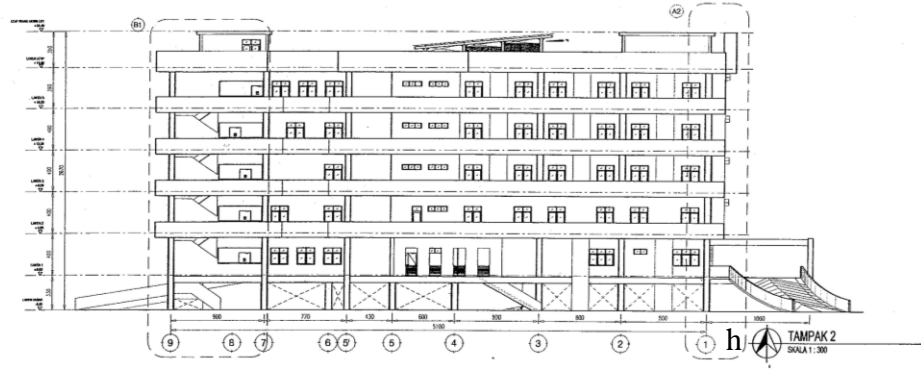
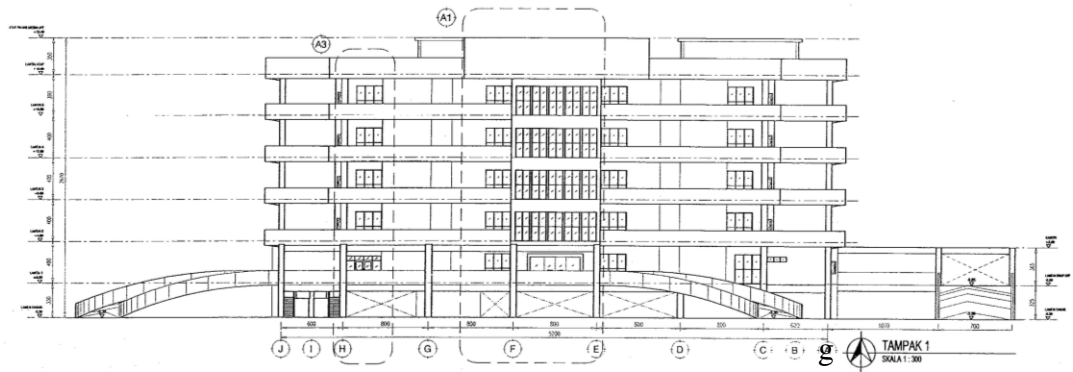
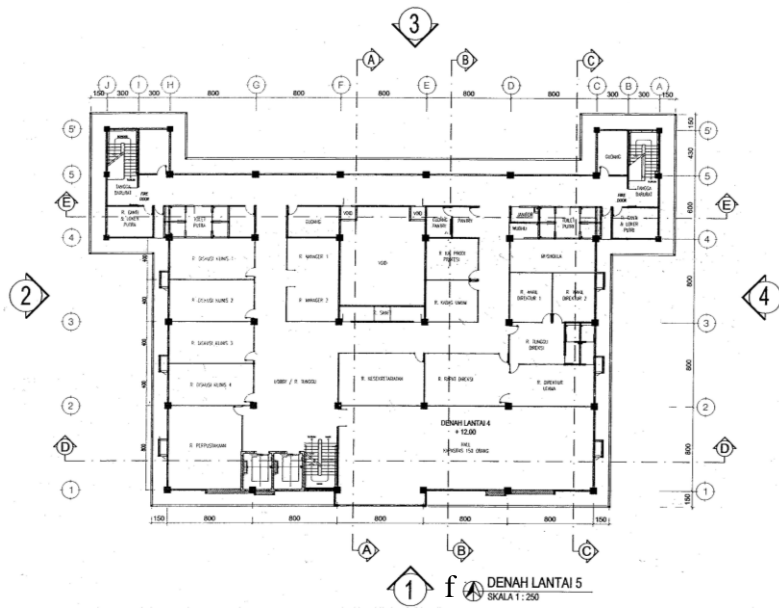
Gambar 7.56. Site eksisting dan posisi gedung RS. Gigi & Mulut RSI Sultan Agung yang akan dibangun (sumber : DISTARU Kota Semarang)

Sejak tanggal 25 Juni 2011, RSI Sultan Agung ditunjuk sebagai RS Pendidikan Utama Fakultas Kedokteran Universitas Sultan Agung Semarang sesuai dengan keputusan Menteri Kesehatan RI nomor : HK.03.05/III/1299/11. Dengan semakin dibutuhkannya kekhususan dalam penanganan penyakit gigi dan mulut sehingga dirasa perlu pendidikan dokter gigi spesialis sebagai bagian FK Unissula. Sebagai persyaratan utama dalam mendirikan pendidikan dokter gigi spesialis tersebut yaitu adanya rumah sakit gigi mulut yang tidak hanya berfungsi sebagai sarana pendidikan bagi mahasiswa kedokteran gigi tetapi juga sebagai pusat pelayanan dan informasi kesehatan gigi dan mulut yang berorientasi pada publik.

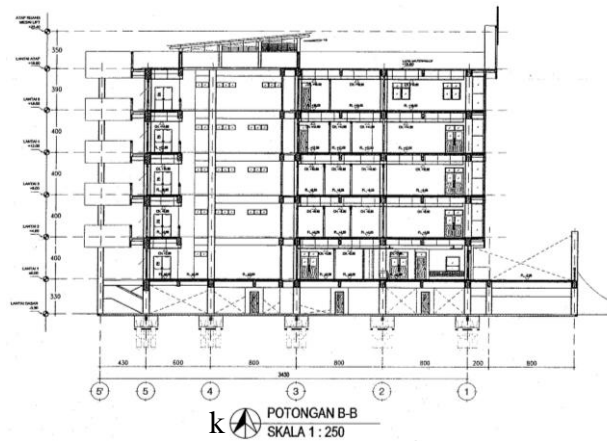
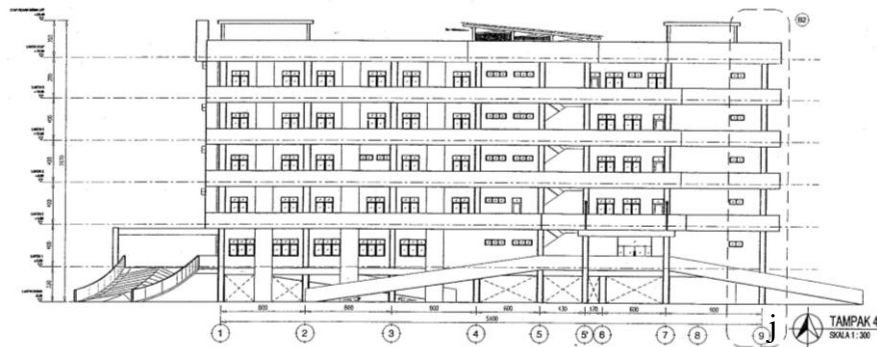








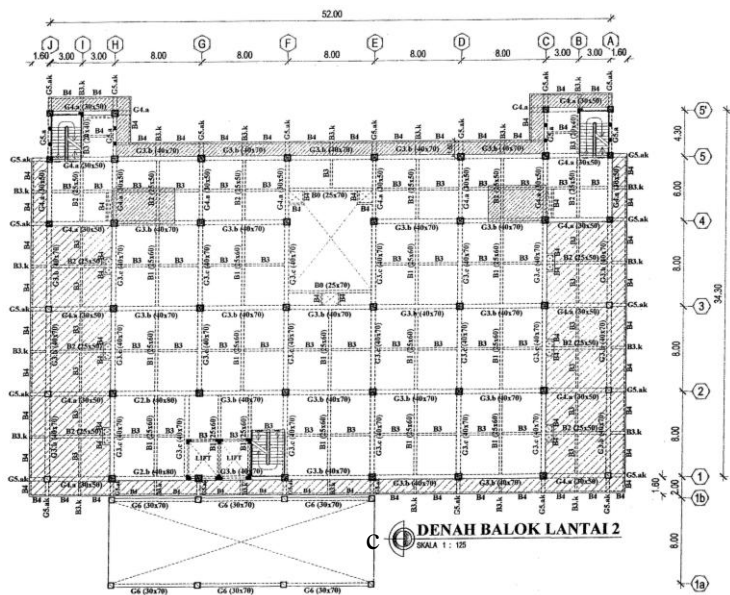
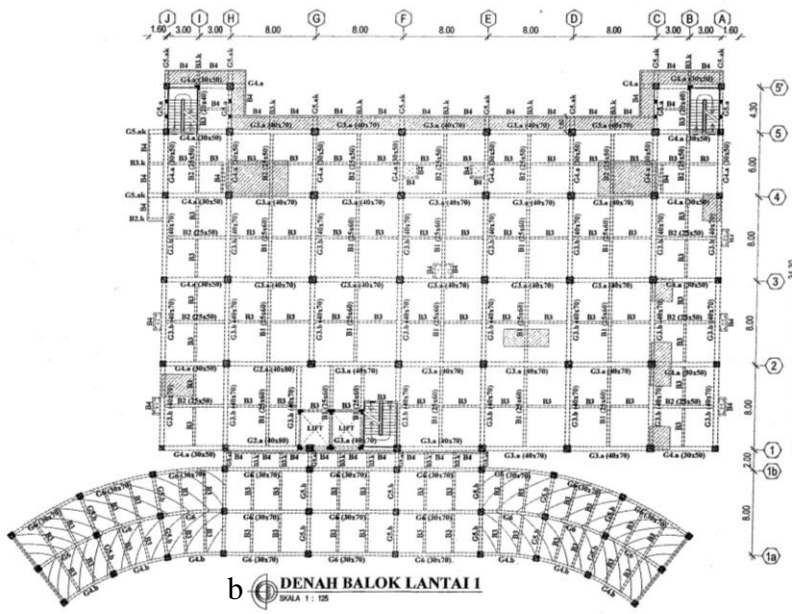
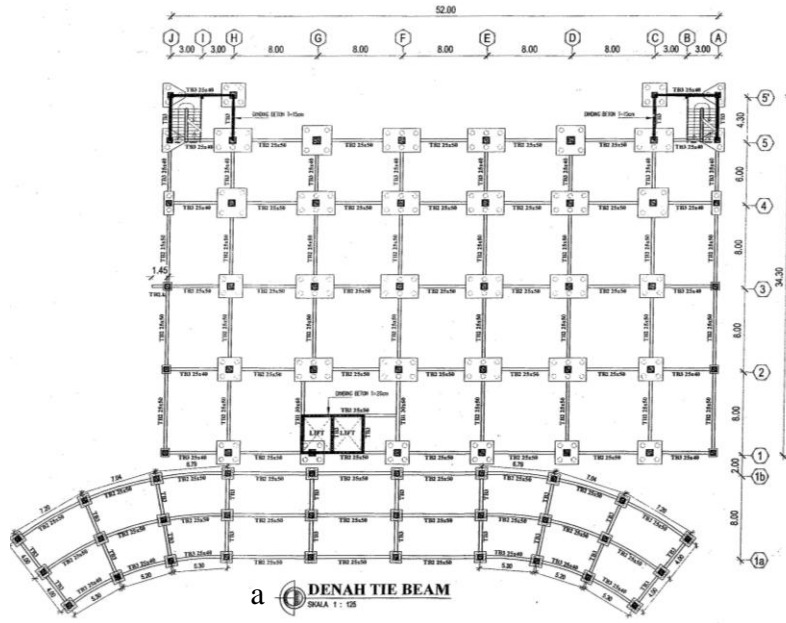


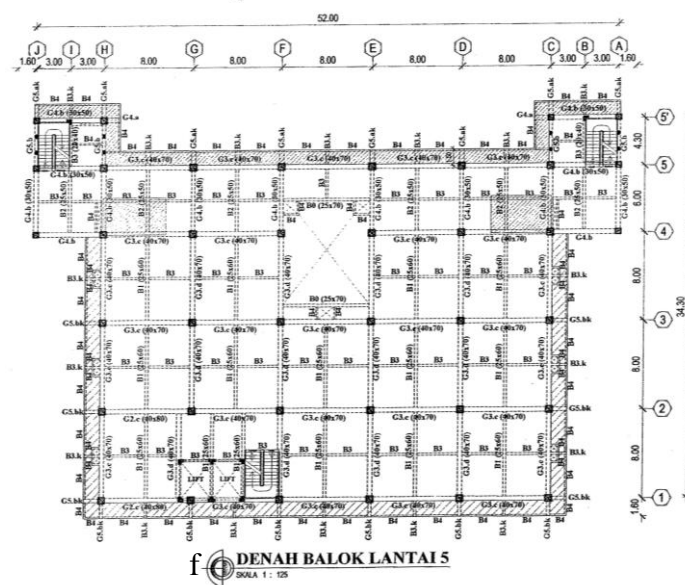
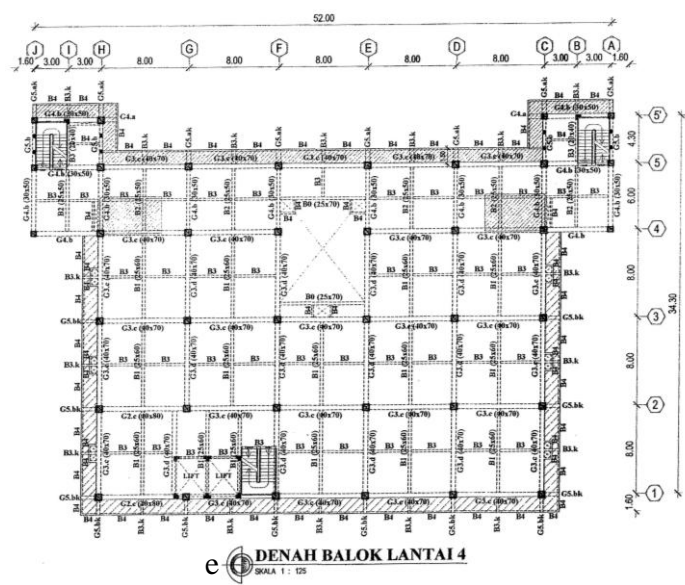
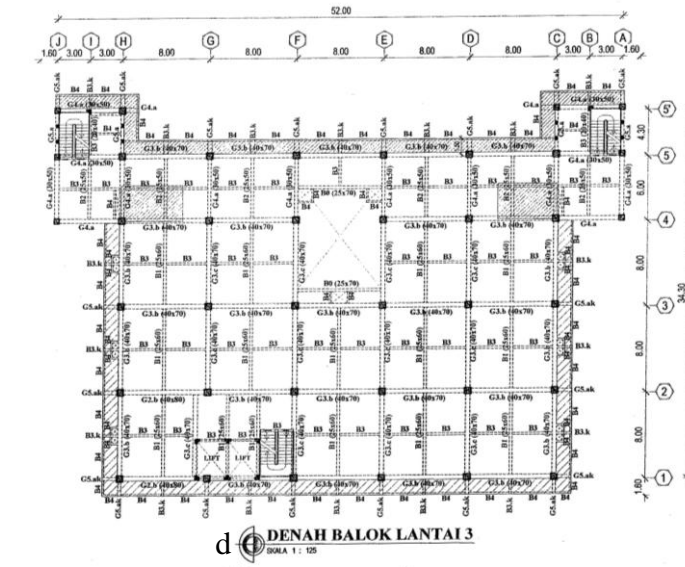


Gambar 7.57. Gambar denah, tampak dan potongan gedung RS. Gigi & Mulut di Jl. Kaligawe Semarang (sumber : DISTARU Kota Semarang).

## 2. Data Struktur

Struktur atas yang digunakan pada gedung ini yaitu struktur beton bertulang sistem rangka penahan momen khusus (SRPMK). Mutu beton pelat, balok, kolom dan dinding geser yaitu K-300, sedangkan tulangan  $f_y=400$  MPa (BJTD-40  $D \geq 16$ ),  $f_y=320$  MPa (BJTD-32  $D < 16$ ) dan  $f_y=240$  MPa (BJTP-24  $D < 10$ ).





Gambar 7.58. Gambar denah kolom, balok & plat lantai gedung RS. Gigi & Mulut RSI. Sultan Agung (sumber : DISTARU Kota Semarang)

3. *Screening* dimensi struktur gedung RS. Gigi dan Mulut RSI. Sultan Agung, *strong column & weak beam*, periode getar dan kekakuan

Tabel 7.80. Rasio bentang struktur dan tinggi balok, dan rasio tinggi balok dan lebar balok (sumber : analisa).

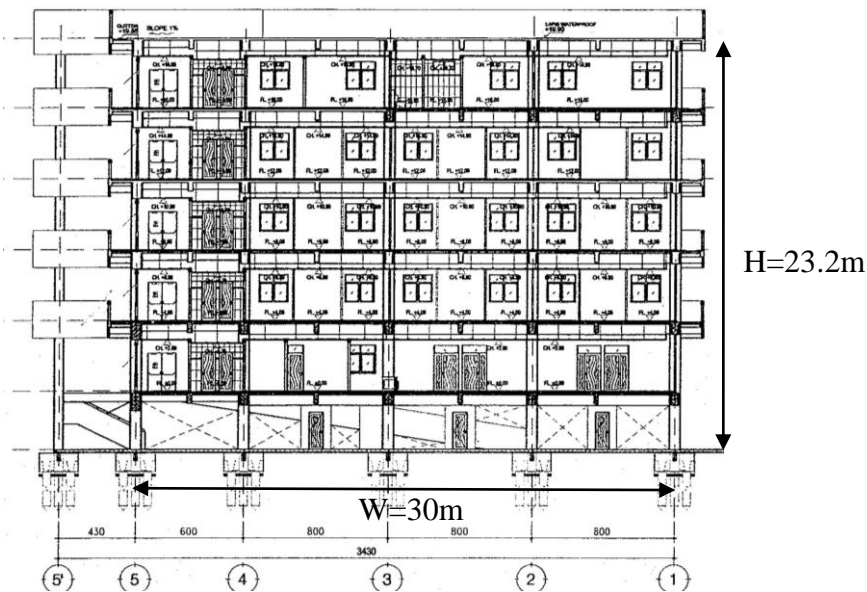
Balok	Dimensi - $b_b/h_b$ (cm)	Bentang -L (m)	$L/h_b - 1/10-1/14$	$h_b/b_b \leq 2$
G2.a	40/80	8	1/10	2.0
G2.b	40/80	8	1/10	2.0
G2.c	40/80	8	1/10	2.0
G3.a	40/70	8	1/11	1.8
G3.b	40/70	8	1/11	1.8
G3.c	40/70	8	1/11	1.8
G3.d	40/70	8	1/11	1.8
G4.a	30/50	6	1/12	1.7
G4.b	30/50	6	1/12	1.7
G5.a	30/40	4.3	1/11	1.3
Balok kantilever	Dimensi - $b_b/h_b$ (cm)	Bentang -L (m)	$L/h_b - \leq 1/5$	$h_b/b_b \leq 2$
G4.a	30/50	1.5	1/3	1.7
G5.ak	30/40	1.5	1/4	1.3
G5.bk	30/40	1.5	1/4	1.3

Tabel 7.81. Dimensi minimal kolom (sumber : analisa).

Kolom	Dimensi - $b_c/h_c$ (cm)	$b_c/h_c$	$b_c \geq 30$	$b_c/h_c \geq 0.4$
K1.a	70/70	1.00	ya	ya
K1.b	70/70	1.00	ya	ya
K2.a	60/60	1.00	ya	ya
K2.b	60/60	1.00	ya	ya
K3.a	50/50	1.00	ya	ya
K3.b	50/50	1.00	ya	ya
K4	40/40	1.00	ya	ya

Tabel 7.82. *Strong column* dan *weak beam* (sumber : analisa).

LANTAI	$W_p \text{ KOLOM} > 1.2 \times W_p \text{ BALOK}$
lantai 01	85%
lantai 02	76%
lantai 03	84%
lantai 04	42%
lantai 05	42%
lantai Atap	23%



Gambar 7.59. Massa gedung RS. Gigi & Mulut RSI Sultan Agung yang sangat kaku dengan  $H/W=0.77 < 4$  (sumber : analisa)

- Pada tabel 7.80 dan 7.81 memperlihatkan bahwa dimensi balok/kolom, tinggi dan lebarnya sudah memenuhi ketentuan SNI dalam menahan gempa kuat.
- Pada (tabel 7.82) memperlihatkan bahwa dimensi balok dan kolom sudah memenuhi ketentuan  $W_p \text{ kolom} \geq 1.2 \times W_p$  sehingga kemungkinan terbentuknya mekanisme *strong column* dan *weak beam* diharapkan bisa terjadi pada saat gempa kuat.
- Dari hasil perhitungan bangunan RS Gigi & Mulut memiliki rentang periode getar pendekatan  $T_a=0.79$  dtk dan  $T_{max}=1.11$  dtk. Sementara itu, berdasarkan perhitungan periode getar fundamentalnya ( $T_{cal}$ ) untuk arah sumbu  $-Y=0.79$  dtk dan untuk arah sumbu  $-X=1.01$  dtk. Untuk periode getar arah sumbu  $-Y$  dan  $-X$  masih di dalam rentang  $T_a$  dan  $T_{max}$  yang berarti bangunannya tidak terlalu kaku/fleksibel.
- Massa bangunan gedung RS Gigi & Mulut RSI Sultan Agung di mana perbandingan lebar dan tinggi bangunan ( $H/W=0.77 < 4$ ) sudah membuat kekakuan pada gedung ini (gambar 7.59).

#### 4. Indeks kapasitas geser struktur ( $I_{s,i}$ ) gedung RS. Gigi & Mulut

Perencana struktur merancang gedung rumah sakit ini dengan jenis SRPMK. Akan tetapi, dikarenakan ada dinding geser di lantai basement, maka menggunakan persamaan struktur rangka pemikul momen dan dinding geser (persamaan 5.6).

Namun, untuk faktor R dan  $\Omega_0$  tetap menggunakan SRPMK dengan R=8 dan  $\Omega_0 = 3$  (lihat tabel 5.2).

$$E_{0-i} = \frac{n+1}{n+i} [(I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}) + (I_{Asw-i} \cdot I_{SW-i})] \cdot I_{SCWB-i} \cdot I_T \cdot \frac{R}{\Omega_0} \text{-----(5.6)}$$

Dimana,

n = Jumlah tingkat bangunan.

i = Jumlah tingkat yang dievaluasi. Di mana tingkat pertama diberi nomor 1 dan tingkat terakhir adalah n.

$I_{Ac-i}$  = Indeks dimensi kolom di tingkat ke-i (tabel 5.1)

$I_{C-i}$  = Indeks jenis kolom di tingkat ke-i.

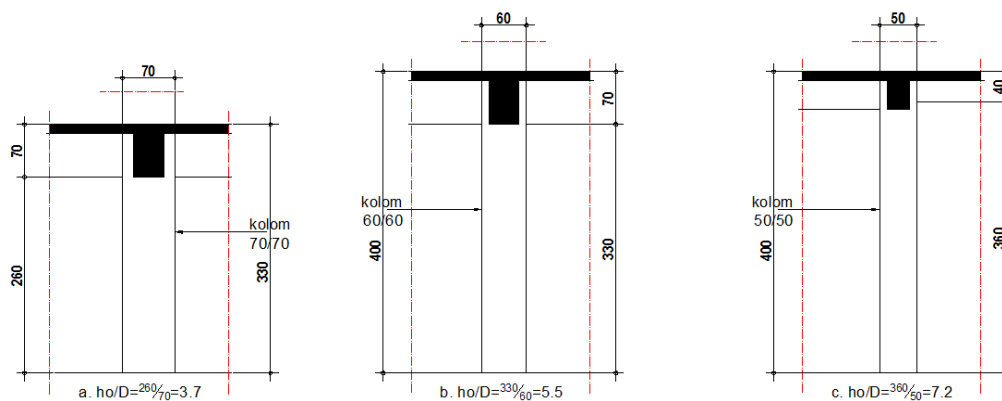
$I_{Asw-i}$  = Indeks dimensi dinding geser di tingkat ke-i.

$I_{SW-i}$  = Indeks jenis dinding geser di tingkat ke-i.

$I_{SCWB-i}$  = Indeks *Strong Column Weak Beam* tingkat di tingkat ke-i.

$I_T$  = Indeks periode getar struktur,  $T_c \leq T_{max} \rightarrow I_T = 1$  dan  $T_c > T_{max} \rightarrow I_T = 0$

$R/\Omega_0$  = Indeks daktilitas



Gambar 7.60. Berbagai jenis tinggi efektif kolom yang dipengaruhi tinggi kolom dan tinggi balok a). & b). kategori kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ), c). Kolom langsing ( $6 \leq h_0/D$ ) (sumber : analisa)

Sebagai langkah awal untuk menghitung indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dengan persamaan 5.6 di atas dilakukan *screening* kategori jenis kolom menurut tabel 5.1, untuk mengetahui kekakuan kolom (gambar 7.60).

Untuk gedung RS. Gigi dan Mulut ini parameter indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dan dinding geser yaitu :

Tabel 7.83. Indeks kolom ( $I_{C-i}$ ) berdasarkan jumlah jenis kolom ( $h_0/D$ ) dan indeks jenis kolom (I) (sumber : analisa).

Lantai	Jumlah jenis kolom ( $N_c$ )			$I^*N_c/\sum N_c$			Indeks Kolom ( $I_{C-i}$ ) $\sum(I^*N_c/\sum N_c)$
	(a). $h_0/D \leq 2$ (bh)	(b). $2 < h_0/D < 6$ (bh)	(c). $6 \leq h_0/D$ (bh)	$h_0/D \leq 2$	$2 < h_0/D < 6$	$6 \leq h_0/D$	
	lantai 01	-	35.00	-	-	0.80	-
lantai 02	-	31.00	12.00	-	0.58	0.17	0.74
lantai 03	-	31.00	6.00	-	0.67	0.10	0.77
lantai 04	-	16.00	21.00	-	0.35	0.34	0.69
lantai 05	-	16.00	21.00	-	0.35	0.34	0.69
lantai Atap	-	16.00	21.00	-	0.35	0.34	0.69
Indeks (I)	1	0.8	0.6				

Tabel 7.84. Indeks dinding geser  $I_{SW-i}$  berdasarkan jumlah jenis dinding geser dan indeks dinding geser (I) (sumber : analisa).

Lantai	Jumlah jenis shear wall ( $N_{sw}$ )			$I^*N_{sw}/\sum N_{sw}$			Indeks shear wall ( $I_{SW-i}$ ) $\sum(I^*N_{sw}/\sum N_{sw})$
	(a). Dibatasi 2 kolom (bh)	(b). Dibatasi 1 kolom (bh)	(c). Tanpa dibatasi kolom (bh)	Dibatasi 2 kolom	Dibatasi 1 kolom	Tanpa dibatasi kolom	
	lantai 01	6.00	1.00	6.00	0.46	0.05	0.14
lantai 02	-	1.00	6.00	-	0.10	0.26	0.36
lantai 03	-	1.00	6.00	-	0.10	0.26	0.36
lantai 04	-	1.00	6.00	-	0.10	0.26	0.36
lantai 05	-	1.00	6.00	-	0.10	0.26	0.36
lantai Atap	-	1.00	6.00	-	0.10	0.26	0.36
Indeks (I)	1	0.7	0.3				

Tabel 7.85. Jumlah luas dimensi kolom disain ( $\sum A_c$ ) dan jumlah luas dimensi kolom minimum ( $\sum A_c \text{ min}$ ) (sumber : analisa).

Lantai	$\sum A_c$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_c \text{ min}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_c / \sum A_c \text{ min}$ (I <sub>a</sub> )
lantai 01	13.80	13.51	1.02
lantai 02	16.24	11.38	1.43
lantai 03	14.74	8.61	1.71
lantai 04	11.01	6.62	1.66
lantai 05	11.01	4.66	2.36
lantai Atap	11.01	3.37	3.27

Tabel 7.86. Jumlah luas dimensi dinding geser disain ( $\sum A_{sw}$ ) dan jumlah luas dimensi dinding geser minimum ( $\sum A_{sw} \text{ min}$ ) (sumber : analisa).

Lantai	$\sum A_{sw}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{sw} \text{ min}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{sw} / \sum A_{sw} \text{ min}$ (I <sub>sw</sub> )
lantai 01	10.96	11.64	0.9
lantai 02	4.63	9.69	0.5
lantai 03	4.63	7.44	0.6
lantai 04	4.54	5.58	0.8
lantai 05	4.54	3.72	1.2
lantai Atap	4.54	1.86	2.4

Tabel 7.87. Kombinasi  $(\sum A_c)/\sum A_c \text{ min}$  dan  $(\sum A_{sw})/(\sum A_{sw} \text{ min})$   
(sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai (m <sup>2</sup> )	$\sum A_c$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{sw}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{csw}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{csw} \text{ min}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{csw}/\sum A_{csw} \text{ min}$
lantai 01	9703.20	13.80	10.96	24.76	19.41	1.28
lantai 02	8079.00	16.24	4.63	20.87	16.16	1.29
lantai 03	6204.00	14.74	4.63	19.37	12.41	1.56
lantai 04	4653.00	11.01	4.54	15.55	9.31	1.67
lantai 05	3102.00	11.01	4.54	15.55	6.20	2.51
lantai Atap	1551.00	11.01	4.54	15.55	3.10	5.01

- Dari (tabel 7.83) memperlihatkan bahwa gedung RS Gigi & Mulut ini didominasi jenis kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ) dan kolom langsing ( $6 \leq h_0/D$ ) yang berarti kegagalan lentur pada kolom bangunan ini masih potensial terjadi terutama pada saat gempa kuat.
- Jenis dinding geser berdasarkan (tabel 7.84) didominasi dinding geser yang tidak diapit kolom dan sebagian kecil yang diapit 1 dan 2 kolom. Hal ini kurang menguntungkan karena tambahan kekakuan dari dinding geser akibat jepitan kolom kurang maksimal.
- Pada (tabel 7.85) memperlihatkan bahwa dimensi kolom pada gedung RS. Gigi & Mulut ini sudah memenuhi persyaratan minimum dalam menghadapi gempa kuat.
- Tabel 7.86 memperlihatkan bahwa dimensi dinding geser gedung ini sebagian besar belum memenuhi persyaratan minimum. Hal ini berarti tambahan kekakuan dan kekuatan dari dinding geser menjadi kurang signifikan.
- Tabel 7.87 memperlihatkan kombinasi antara dimensi kolom dan dimensi dinding geser pada gedung RS Gigi & Mulut ini masih memenuhi persyaratan minimum dalam menghadapi gempa kuat.
- Struktur yang dipilih SRPMK maka  $R = 8$  dan  $\Omega_0 = 3$  (lihat tabel 5.2).

**5. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung RS. Gigi & Mulut RSI. Sultan Agung**

$$I_{SO-i} = \frac{n+i}{2n-i+1} (I_{CS} \cdot I_e) \text{-----(5.22)}$$

Dimana,

$n$  = Jumlah tingkat bangunan.

$i$  = Jumlah tingkat yang dievaluasi. Di mana tingkat pertama diberi nomor 1 dan tingkat terakhir adalah  $n$



$C_S$  = Koefisien respon seismik desain

$C_{S \min}$  = Koefisien respon seismik minimum  $S_S=0.25g$  dan  $S_1=0.1g$

$I_{CS}$  = Indeks respon seismik

$I_e$  = Faktor keutamaan fungsi bangunan

Untuk zona gempa wilayah Jl. Kaligawe Km. 4 Semarang parameter gempanya yaitu :

$S_S = 0.993 g$

$S_1 = 0.338 g$

Site class = E

Seismic important factor  $I_e$  untuk gedung rumah sakit = 1.5

$C_S = 0.111$

$C_{S \min} = 0.043$

$I_{CS} = C_S / C_{S \min} = 2.581$

Adapun beban lateral gempa pada masing-masing tingkat dapat dilihat pada tabel 7.89.

Tabel 7.88. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung RS. Gigi & Mulut Jl. Kaligawe Km. 4 Semarang (sumber : analisa).

Model	Lantai	$\frac{n+1}{2n-i+1}$		$I_{CS}$	$I_e$	$I_{SO-i}$
GM-01	lantai 01	7/12	0.58	2.581	1.50	2.26
	lantai 02	7/11	0.64	2.581	1.50	2.46
	lantai 03	7/10	0.70	2.581	1.50	2.71
	lantai 04	7/9	0.78	2.581	1.50	3.01
	lantai 05	7/8	0.88	2.581	1.50	3.39
	lantai Atap	7/7	1.00	2.581	1.50	3.87

## 6. Ireguleritas konfigurasi ( $S_{D-i}$ )

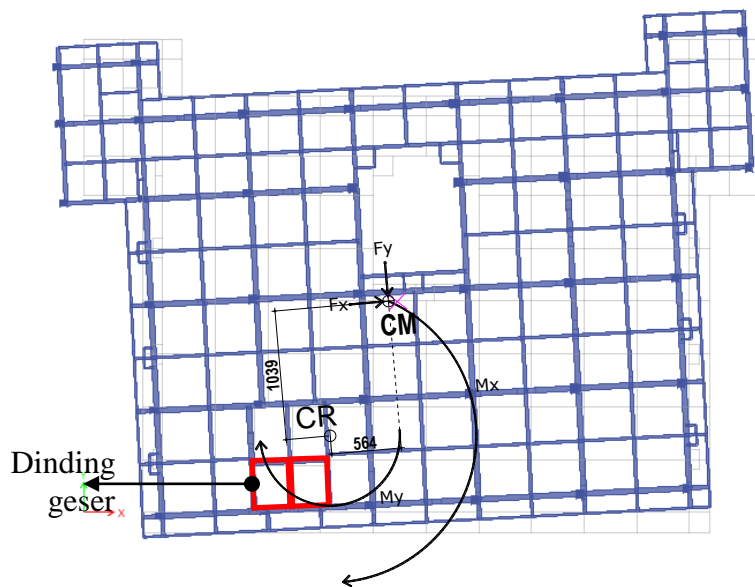
### a. Konfigurasi ketidakberaturan torsi

$$e_{r-i} = e_i / w_i \text{-----(5.13)}$$

Di mana :  $e_{r-i}$  = rasio antara panjang eksentrisitas ( $e_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan lebar bangunan ( $w_i$ ) tingkat ke  $-i$ .

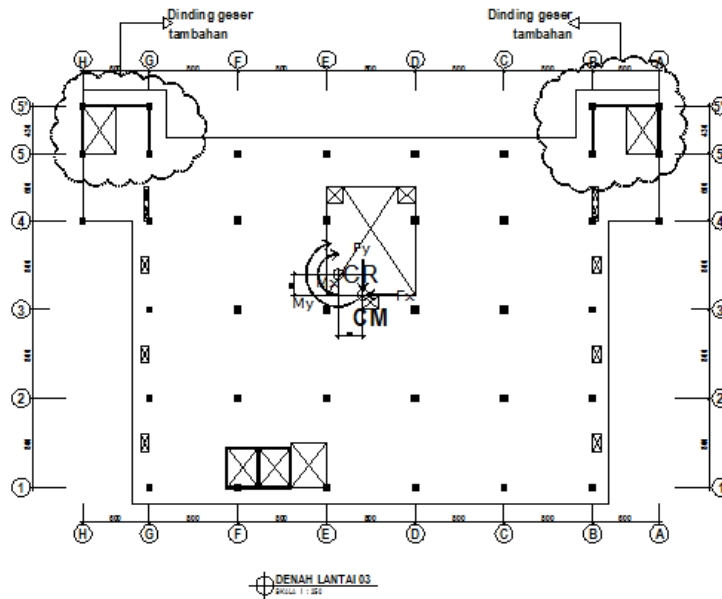
Tabel 7.89. Eksentrisitas ( $e_{x-i}$  &  $e_{y-i}$ ) antara pusat massa dan pusat kekakuan lantai pada gedung RS. Gigi & Mulut (sumber : analisa).

Lantai	$e_{x-i}$ (m)	$e_{y-i}$ (m)	$e_{rx-i}$	$e_{ry-i}$	$e_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	3.06	0.21	0.06	0.01	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 02	5.83	9.95	0.11	0.29	$0.1 < e_{r-i} < 0.3$	0.75
lantai 03	5.64	10.39	0.11	0.30	$0.1 < e_{r-i} < 0.3$	0.75
lantai 04	5.12	9.88	0.10	0.29	$0.1 < e_{r-i} < 0.3$	0.75
lantai 05	4.46	8.76	0.09	0.26	$0.1 < e_{r-i} < 0.3$	0.75
lantai Atap	2.84	6.31	0.05	0.18	$0.1 < e_{r-i} < 0.3$	0.75



Gambar 7.61. Eksentrisitas antara *center of massa* (CM) dan *center of rigidity* (CR) yang dapat menyebabkan rotasi pada gedung RS. Gigi & Mulut pada saat gempa kuat (sumber : analisa)

Gedung RS Gigi & Mulut ini sebenarnya relatif reguler bahkan pada sumbu -Y simetris sehingga eksentrisitas yang terjadi seharusnya tidak terlalu besar. Akan tetapi, akibat perletakan dinding geser yang kurang mempertimbangkan keseimbangan kekakuan mengakibatkan eksentrisitas antara *center of massa* (CM) dan *center of rigidity* (CR) yang dapat menyebabkan potensi rotasi pada gedung rumah sakit ini ketika terjadi gempa kuat. Dengan meneruskan dinding geser yang ada di lantai dasar di bagian belakang gedung sampai dengan lantai 05, ternyata dapat mengurangi eksentrisitas yang berarti mengurangi potensi rotasi gedung rumah sakit ini pada saat terjadi gempa kuat (lihat gambar 7.61, 7.62 dan tabel 7.90).



Gambar 7.62. Penambahan dinding geser dibagian belakang gedung mengurangi eksentrisitas antara *center of massa* (CM) dan *center of rigidity* (CR) (sumber : analisa)

**b. Konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam**

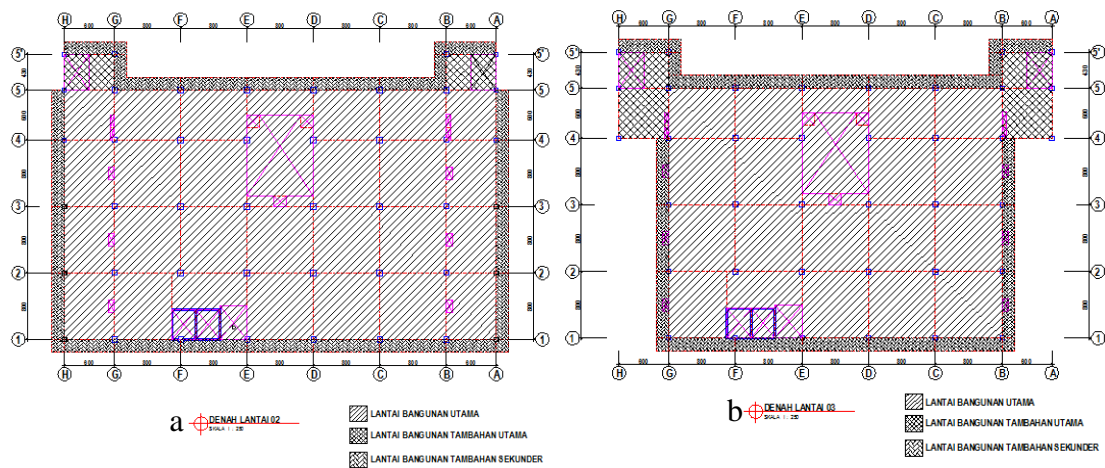
$$b_{r-i} = l_{p-i}/l_{u-i} \text{-----(5.14)}$$

Di mana :  $b_{r-i}$  = rasio luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan ( $l_{p-i}$ ) tingkat ke  $-i$  dan luas lantai bangunan utama tingkat ke  $-i$  ( $l_{u-i}$ ).

Tabel 7.90. Rasio luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan ( $l_{p-i}$ ) dan luas lantai bangunan utama ( $l_{u-i}$ ) pada gedung RS. Gigi & Mulut 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai utama ( $l_{u-i}$ ) (m2)	Luas proyeksi bangunan terbesar ( $l_{p-i}$ ) (m2)	$l_{p-i}/l_{u-i}$	$b_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_j$ )
lantai 01	1560.00	25.80	1.7%	$br \leq 10\%$	1
lantai 02	1560.00	25.80	1.7%	$br \leq 10\%$	1
lantai 03	1200.00	61.80	5.2%	$br \leq 10\%$	1
lantai 04	1200.00	61.80	5.2%	$br \leq 10\%$	1
lantai 05	1200.00	61.80	5.2%	$br \leq 10\%$	1
lantai Atap	1200.00	61.80	5.2%	$br \leq 10\%$	1

Massa tambahan utama gedung ini terjadi akibat proses aditif yaitu pada lantai dasar s/d lantai 02, sedangkan massa tambahan utama akibat proses subtraktif yaitu lantai 03 s/d lantai atap. Berdasarkan tabel 7.91 dan gambar 7.63 proses aditif dan subtraktif pada gedung RS Gigi dan Mulut ini masih dalam batas toleransi yang berarti potensi terbentuknya konsentrasi tegangan pada elemen-elemen struktur (balok, kolom, plat lantai & dinding geser) di area pertemuan antara massa bangunan utama dan massa bangunan tambahan tidak terlalu besar.



Gambar 7.63. Massa tambahan utama terjadi pada RS. Gigi & Mulut ini akibat proses :a). Aditif dan b). Subtraktif tetapi tidak membentuk konfigurasi ketidakberaturan sudut yang berlebihan (sumber : analisa)

**c. Konfigurasi ketidakberaturan diskontinuitas diafragma**

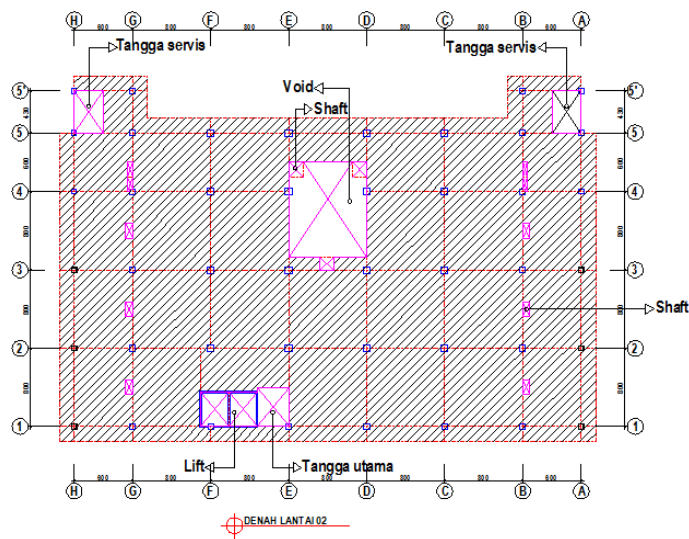
$$e_{v-i} = \frac{\sum l_{b-i}}{\sum l_{i-i}} \text{-----(5.15)}$$

Di mana :  $e_{v-i}$  = rasio luas lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll tingkat ke -i ( $l_{b-i}$ ) dan luas lantai tingkat ke -i ( $l_{i-i}$ ).

Tabel 7.91. Rasio lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll ( $l_{b-i}$ ) dan luas lantai ( $l_{i-i}$ ) pada gedung RS. Gigi & Mulut 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai ( $\sum l_{i-i}$ ) (m2)	luas bukaan ( $\sum l_{b-i}$ ) (m2)	$\frac{\sum l_{b-i}}{\sum l_{i-i}}$	$e_{v-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	1624.197	68.41	0.04	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 02	1875.000	148.49	0.08	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 03	1551.000	148.52	0.10	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 04	1551.000	148.52	0.10	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 05	1551.000	148.52	0.10	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai Atap	1551.000	122.75	0.08	$e_{v-i} \leq 0.1$	1

Bukaan-bukaan pada gedung RS Mulut dan Gigi ini terjadi pada area lift, tangga, shaft dan void (gambar 7.64). Pada (tabel 7.92) memperlihatkan bahwa bukaan-bukaan tersebut tidak terlalu besar dan masih dalam batas-batas toleransi sehingga diharapkan ketika terjadi gempa fungsinya sebagai diafragma dalam mengekang kolom dan menyalurkan beban lateral ke kolom dan dinding geser masih dapat terjadi dengan baik.



Gambar 7.64. Buka-an-bukaan di gedung RS. Gigi & Mulut ini terjadi di area lift, void, tangga dan shaft (sumber : analisa)

**d. Konfigurasi ketidakberaturan sistem nonparalel**

$$j_{r-i} = \sum j_i / \sum j_{t-i} \text{-----(5.16)}$$

Di mana,  $j_{r-i}$  = rasio jumlah elemen balok, kolom dan/atau dinding geser yang tidak mengikuti aksis ortogonal ( $\sum j_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan jumlah total elemen balok, kolom dan/atau dinding geser tingkat ke  $-i$  ( $\sum j_{t-i}$ ).

Dari gambar struktur 7.58a s/d f terlihat seluruh sistem balok, kolom dan dinding geser mengikuti aksis ortogonal x dan y. Gedung RS Gigi dan Mulut ini tidak termasuk kategori ketidakberaturan sistem non paralel.

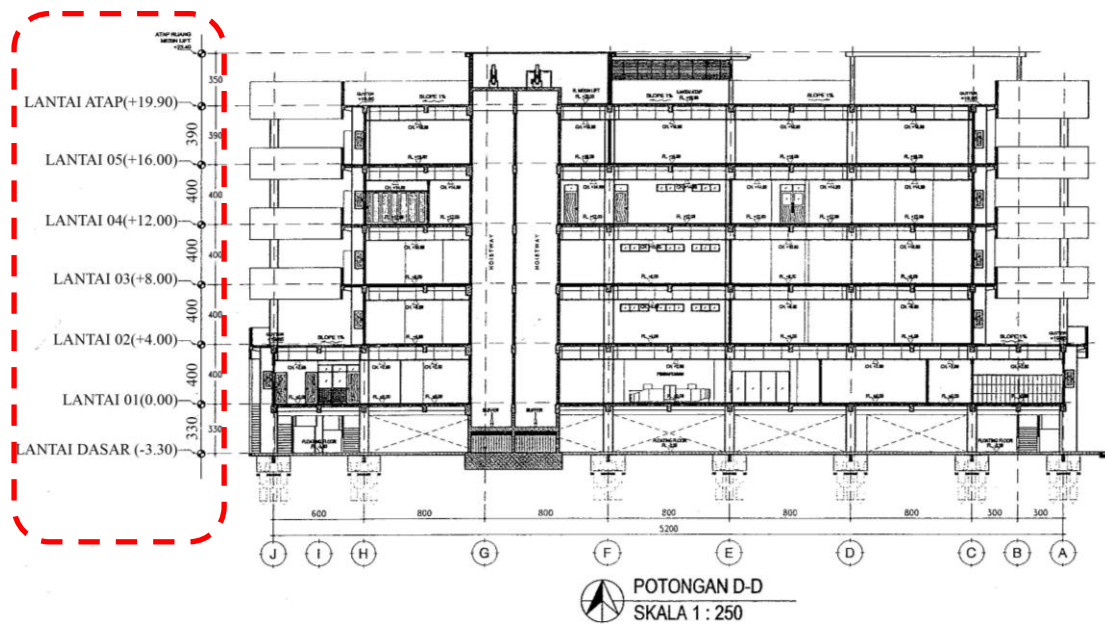
**e. Konfigurasi soft story / tingkat lunak**

$$l_{r-i} = l_{i+1} / l_i \text{-----(5.17)}$$

Di mana :  $l_{r-i}$  = rasio tinggi kolom/dinding geser satu tingkat dari tingkat  $-i$  ( $l_{i+1}$ ) dan tinggi kolom ditingkat  $-i$  ( $l_i$ ).

Tabel 7.92. Rasio tinggi kolom satu tingkat dari tingkat  $-i$  ( $l_{i+1}$ ) dan tinggi kolom ditingkat  $-i$  ( $l_i$ ) pada gedung RS. Mulut & Gigi 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Tinggi tingkat ( $l_i$ ) (m)	$l_{i+1} / l_i$	$l_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	3.30	1.21	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 02	4.00	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 03	4.00	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 04	4.00	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 05	4.00	0.98	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai Atap	3.90	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1



Gambar 7.65. Ketinggian lantai yang tidak sama tetapi masih batas toleransi dapat meminimalisir potensi tingkat lunak/*soft story* (sumber : analisa)

Pada gedung rumah sakit ini yang memiliki ketinggian kolom sama yaitu lantai 01 s/d 04, sedangkan yang tidak sama yaitu lantai dasar dan lantai 05 (gambar 7.65). Berdasarkan perhitungan (tabel 7.93) walaupun terdapat beberapa perbedaan ketinggian kolom, tetapi masih dalam batas toleransi sehingga potensi tingkat lunak/*soft story* pada lantai tertentu dapat diminimalisasi.

**f. Konfigurasi ketidakberaturan berat/massa**

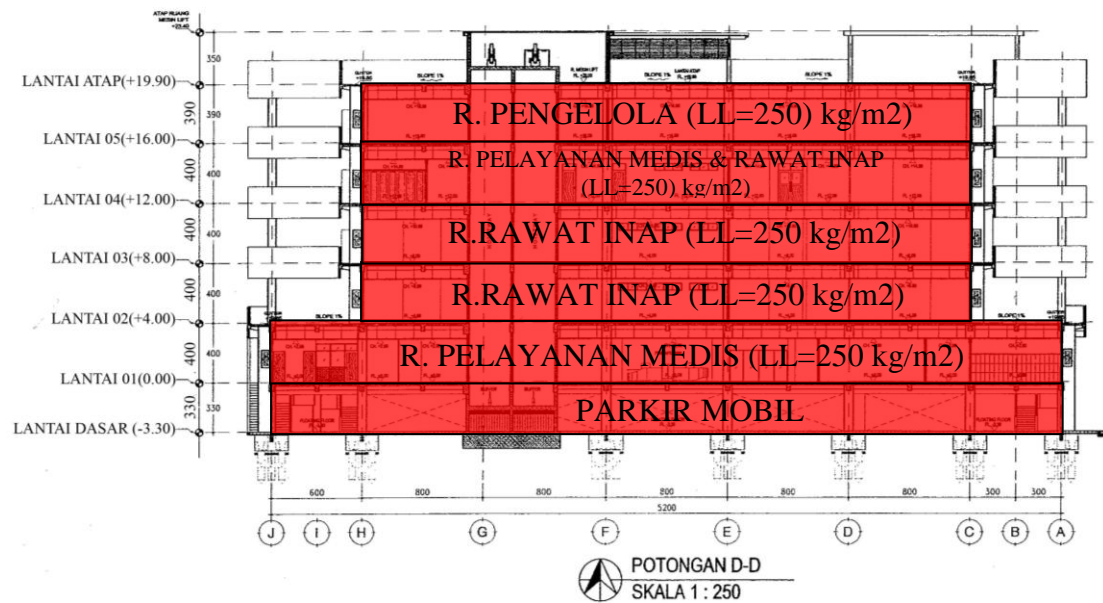
$$m_r = \sum m_i / \sum m_{i+1} \text{-----(5.18)}$$

Di mana :  $m_r$  = rasio massa lantai ditingkat  $-i$  ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat  $-i$  ( $m_{i+1}$ ).

Tabel 7.93. Rasio massa lantai ditingkat  $-i$  ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat  $-i$  ( $m_{i+1}$ ) pada gedung RS 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	$m_i$ (Kg)	$\sum m_i / \sum m_{i+1}$	$m_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	1848271.51	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 02	1957780.34	106%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 03	1666147.67	85%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 04	1666147.67	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 05	1666147.67	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai Atap	1234011.20	74%	$m_{r-i} < 100\%$	1





Gambar 7.66. Konfigurasi massa/berat bangunan (sumber : analisa)

Dengan denah yang mengecil ke atas dan pengelompokan fungsi yang relatif sama pada setiap lantainya dapat meminimalisasi terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan berat/massa pada gedung RS Gigi dan Mulut . Hal ini menguntungkan karena deformasi yang mungkin terjadi bisa lebih seragam dan potensi terjadinya torsi akibat perbedaan berat dapat diminimalisasi (lihat tabel 7.94 dan gambar 7.66).

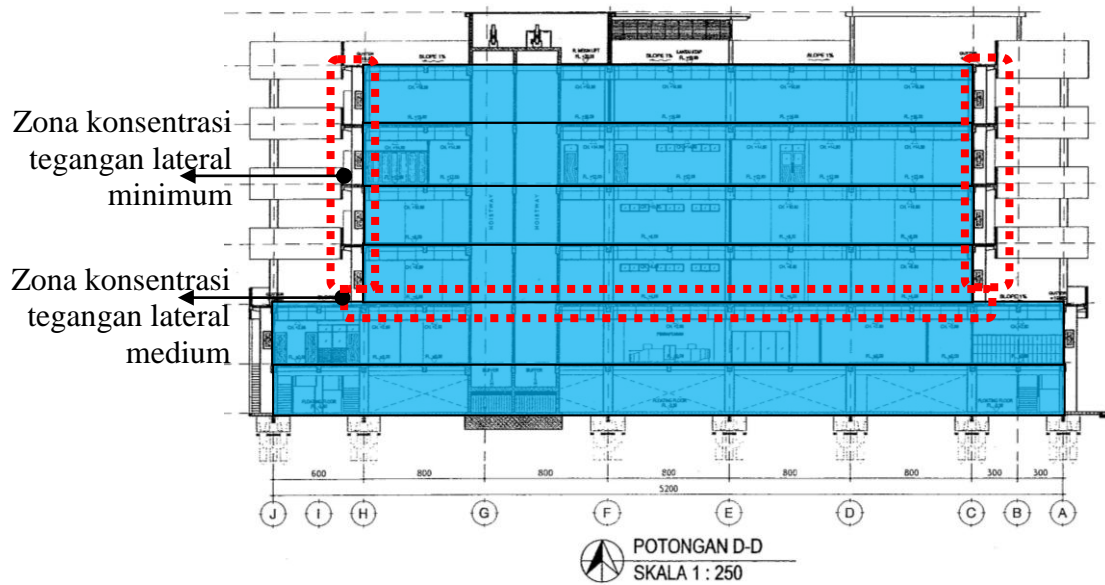
**g. Konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal**

$$s_{r-i} = A_i/L_i \text{-----(5.19)}$$

Di mana,  $s_{r-i}$  = rasio panjang bangunan ( $L_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan panjang *setback* bangunan ( $A_i$ ) tingkat ke  $-i$ .

Tabel 7.94. Rasio panjang bangunan ( $L_i$ ) dan panjang *setback* bangunan ( $A_i$ ) pada tingkat yang ditinjau pada gedung RS. Gigi & Mulut 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	$L_i$ (m)	$A_i$ (m)	$A_i/L_i$	$s_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	30	1.50	0.05	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 02	40	6.00	0.15	$0.1 < s_{r-i} < 0.3$	0.75
lantai 03	30	1.50	0.05	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 04	30	1.50	0.05	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 05	30	1.50	0.05	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai Atap	30	1.50	0.05	$s_{r-i} \leq 0.1$	1



Gambar 7.67. Kombinasi massa besar dibawah dan massa kecil diatas dapat menimbulkan potensi konsentrasi tegangan lateral (sumber : analisa).

Kombinasi massa besar di bawah dan massa kecil di atas dapat menimbulkan potensi konsentrasi tegangan pada elemen struktur (balok, kolom, plat lantai, dinding geser) pada pertemuan antara massa besar dan massa kecil. Akan tetapi, berdasarkan (tabel 7.95) *setback* yang terbentuk pada massa RS Gigi dan Mulut ini sebagian besar masih dalam toleransi karena *setback*-nya berupa kantilever yang hanya berfungsi sebagai selasar sehingga konsentrasi tegangan lateralnya minimum. Pada relatif medium potensi konsentrasi tegangan lateralnya yaitu zona pertemuan kombinasi antara massa besar yang di bawah dan massa kecil yang di atas (lihat gambar 7.67).

**h. Konfigurasi diskontinuitas ketidakberaturan kuat lateral tingkat / weak story**

$$a_{r-i} = (\sum a_e)_i / (\sum a_e)_{i+1} \text{-----(5.20)}$$

Di mana,  $a_{r-i}$  = rasio luas kolom dan/atau dinding geser ditingkat -i ( $\sum a_e)_i$  dan luas kolom dan/atau dinding geser satu tingkat dari tingkat -i ( $\sum a_e)_{i+1}$ .



Tabel 7.95. Rasio luas kolom tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$  dan luas kolom dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$  pada gedung RS. Gigi & Mulut 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas kolom tipikal ( $a_e)_i$ (m <sup>2</sup> )	$(\sum a_e)_i / (\sum a_e)_{i+1}$	$a_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	16.6	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 02	16.6	1.10	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 03	15.1	1.34	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 04	11.26	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 05	11.26	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai Atap	11.26	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1

Tabel 7.96. Rasio luas dinding geser tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$  dan luas dinding geser dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$  pada gedung RS. Gigi & Mulut 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas dinding geser tipikal ( $a_e)_i$ (m <sup>2</sup> )	$(\sum a_e)_i / (\sum a_e)_{i+1}$	$a_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	8.16	1.91	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 02	4.27	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 03	4.27	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 04	4.29	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 05	4.29	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai Atap	4.29	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1



Gambar 7.68. Kontinuitas alur beban kolom gedung R&O 6 lantai (sumber : analisa)

Dari gambar 7.68 terlihat tidak terdapat kolom yang mengalami pemutusan aliran beban seperti penghilangan kolom yang diganti dengan balok transfer yang sangat kritis jika terjadi gempa arah vertikal. Akan tetapi, pada tabel 7.96 terdapat pengurangan luasan kolom dari lantai 02 ke lantai 03 dan lantai 03 ke lantai 04

dikarenakan terjadinya perubahan denah bangunan. Begitu juga pada dinding geser di bawah lantai 01 ke lantai 02 juga mengalami pengurangan luasan (tabel 7.97), dikarenakan dinding geser dibagian belakang bangunan (lihat gambar 7.58a) hanya ada di lantai dasar dan tidak menerus ke tingkat di atasnya. Walaupun demikian, baik pengurangan luasan kolom dan dinding geser tersebut tidak menyebabkan diskontinuitas ketidakberaturan kuat lateral tingkat.

**i. Konfigurasi ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang & diskontinuitas arah bidang**

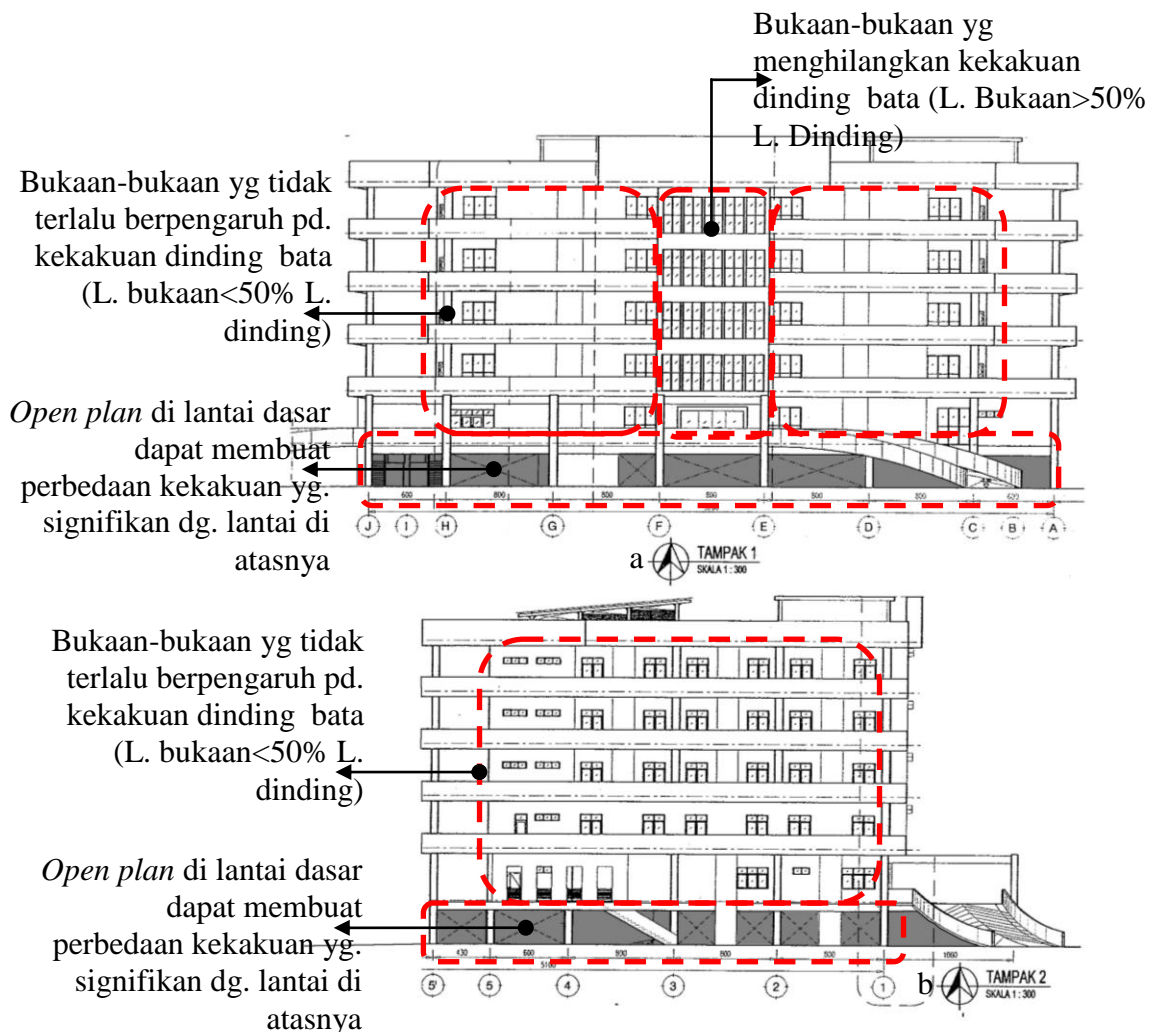
$$d_{r-i} = \Sigma d_i / \Sigma l_i \text{-----}(5.21)$$

Di mana,  $d_{r-i}$  = rasio kepadatan dinding (%),  $\Sigma d_i$  = luas dinding bata lantai tingkat ke -i dan  $\Sigma l_{tot-i}$  = Luas lantai di lantai tingkat ke -i.

Tabel 7.97. Rasio kepadatan dinding bata ( $d_{r-i}$ ) pada gedung RS. Gigi & Mulut 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai ( $\Sigma l_i$ ) (m2)	Luas dinding bata ( $\Sigma d_i$ ) (m2)	$\Sigma d_i / \Sigma l_i$	$d_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	1624.20	2.62	0.2%	$d_{r-i} < 1.0\%$	0.5
lantai 02	1875.00	101.26	5.4%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 03	1551.00	57.81	3.7%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 04	1551.00	58.30	3.8%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 05	1551.00	60.51	3.9%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai Atap	1551.00	55.43	3.6%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1

Untuk mengantisipasi banyaknya pengunjung rumah sakit serta mahasiswa kedokteran gigi dan mulut serta wilayah Kaligawe yang rawan banjir, maka perencana hanya memanfaatkan lantai dasar sebagai tempat parkir sehingga dibuat sistem *open plan* (tanpa dinding). Sementara itu, lantai di atasnya menggunakan dinding bata di ruang-ruang servis seperti toilet, tangga, lift, shaft, dinding eksterior dan lainnya. Dinding interior menggunakan dinding bata dan dinding partisi. Dinding kaca juga digunakan sebagai dinding eksterior hanya dibagian muka gedung. Dengan sistem *open plan* pada lantai dasar membuat kepadatan dan distribusi dinding bata antara lantai dasar dengan lantai di atasnya berbeda sangat signifikan sehingga dapat membuat ketidakseragaman kekakuan bangunan dan memicu timbulnya *soft story* di lantai dasar (tabel 7.98 dan gambar 7.69).



Gambar 7.69. Bukaan-bukaan (jendela, ventilasi, *cladding*) dan *open plan* pada bangunan dapat mempengaruhi kekakuan bangunan RS. Gigi & Mulut (sumber : analisa)

### 7. Perbandingan indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) gedung RS. Gigi & Mulut RSI Sultan Agung 6 lantai.

Berdasarkan data-data dan perhitungan di atas, maka dapat disimpulkan untuk gedung RS Gigi dan Mulut RSI Sultan Agung yaitu :

- Pada (tabel 7.99) kolom  $I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}$  merupakan perkalian indeks luas kolom dan indeks jenis kolom memperlihatkan nilainya untuk lantai dasar  $< 1$  dan lantai di atasnya  $> 1$  yang berarti dimensi kolom belum didesain dengan baik, sehingga belum memenuhi syarat luas minimum dalam menahan gempa kuat dan terutama lantai dasar karena menahan gaya geser gempa paling besar. Selain itu, kolom terbagi dalam kategori kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ) dan kolom langsing ( $6 \leq h_0/D$ )

yang berarti masih potensial terjadinya kegagalan lentur pada kolom akibat gempa kuat.

- Pada (tabel 7.99) kolom  $I_{Asw-i} \cdot I_{SW-i}$  merupakan perkalian indeks luas dinding geser dan indeks jenis dinding geser memperlihatkan nilainya  $< 1$  yang berarti dimensi dinding geser belum didesain dengan baik sehingga tidak memenuhi syarat luas minimum dalam menahan gempa kuat.
- Pada (tabel 7.99) kolom  $I_{SCWB-i}$  merupakan indeks *strong column weak beam* yang nilainya terbagi  $< 50\%$  dan  $> 50\%$ . Perencana belum dengan baik mendesain dimensi kolom dan balok sehingga masih ada nilai yang  $< 50\%$  yang belum memenuhi persyaratan mekanisme *strong column weak beam* ( $W_p$  kolom  $> 1.2 \times W_p$  balok), maka ketika terjadi gempa kuat mekanisme SCWB bisa tidak terdistribusi dengan baik.
- Pada tabel (7.99) kolom  $I_T$  merupakan indeks periode getar struktur yang nilai = 1 yang berarti periode getar struktur ( $T_{C-X}=1.01$  dtk &  $T_{C-Y}=0.79$  dtk)  $<$  periode getar maksimum ( $T_{max}=1.11$  dtk) yang berarti bangunannya tidak terlalu fleksibel sehingga persyaratan keamanan elemen arsitektur dan struktur serta kenyamanan penghuni bangunan terpenuhi.
- Pada tabel (7.99) kolom R dan  $\Omega_0$  merupakan faktor reduksi gempa dan faktor kuat lebih (tabel 6.2) yang nilainya tergantung jenis struktur yang dipilih. Jenis struktur yang digunakan pada bangunan kuliah 8 lantai ini yaitu SRPMK yang berarti  $R = 8$  dan  $\Omega_0 = 3$ . Perbandingan  $R/\Omega_0$  merupakan indeks daktilitas sistem struktur gedung rumah sakit ini.
- Pada (tabel 7.99) kolom  $E_{0-i}$  adalah indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dan dinding geser yang merupakan hasil perkalian faktor modifikasi kapasitas geser tingkat; indeks dimensi kolom dan dinding geser; indeks jenis kolom dan dinding geser; indeks *strong column weak beam*; indeks periode getar struktur dan indeks daktilitas sistem struktur.
- Pada (tabel 7.99) kolom  $S_{D-i}$  merupakan indeks ireguleritas geometri bangunan. Jika dilihat tabel 7.98 indeks ireguleritas ( $S_D$ )  $\approx 0.5$  yaitu terjadi di lantai 01 dan 02. Di lantai 01 terjadi akibat ireguleritas dibawahnya yang disebabkan sistem *open plan*, sedangkan di lantai 02 terjadi kombinasi ireguleritas yaitu disebabkan *setback* dan eksentrisitas. Hal ini kurang menguntungkan karena terjadi dibagian

bawah bangunan yang menerima gaya geser gempa paling besar pada bangunan ini.

Tabel 7.98. Konfigurasi ketidakberaturan vertikal dan horisontal ( $S_{D-i}$ ) gedung RS. Gigi & Mulut 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	a eksentrisitas	b sudut dalam	c diafragma	d non paralel	e soft story	f massa	g setback	h weak story	i out-in plane	$S_{D-i}$
lantai 01	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	0.50
lantai 02	0.75	1	1	1	1	1	0.75	1	1	0.56
lantai 03	0.75	1	1	1	1	1	1	1	1	0.75
lantai 04	0.75	1	1	1	1	1	1	1	1	0.75
lantai 05	0.75	1	1	1	1	1	1	1	1	0.75
lantai Atap	0.75	1	1	1	1	1	1	1	1	0.75

- Pada (tabel 7.99 dan 7.100) kolom  $I_{S-i}$  adalah indeks kapasitas struktur yang merupakan perkalian indeks gempa dasar struktur dan indeks ireguleritas geometri bangunan.
- Pada (tabel 7.100) kolom  $I_{SO-i}$  adalah indeks beban lateral gempa yang merupakan perkalian faktor modifikasi beban horisontal tingkat, indeks respon seismik dan faktor keutamaan fungsi bangunan yang nilainya semakin besar jika fungsi bangunan semakin penting.
- Pada (tabel 7.100) perbandingan indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) memperlihatkan bahwa lantai 01 s/d 03 nilai  $I_S \rightarrow 0.5 I_{SO} \leq I_S \leq I_{SO}$  yang berarti gedung mengalami potensi kerusakan sedang (*LS-Life Safety*) ketika terjadi gempa kuat dan lantai 01 s/d 03 nilai  $I_S \rightarrow I_S < 0.5 I_{SO}$  potensi level kerusakan bangunan akibat gempa kuat adalah rusak berat (*CP-Collapse Prevention*). Hal ini berarti gedung Rumah Sakit Gigi dan Mulut ini belum didesain dengan benar karena untuk rumah sakit level kerusakan yang diperbolehkan pada saat terjadi gempa yaitu rusak ringan (*IO-Immediate Occupancy*).

Tabel 7.99. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) pada gedung RS. Gigi & Mulut 6 lantai (sumber : analisa).

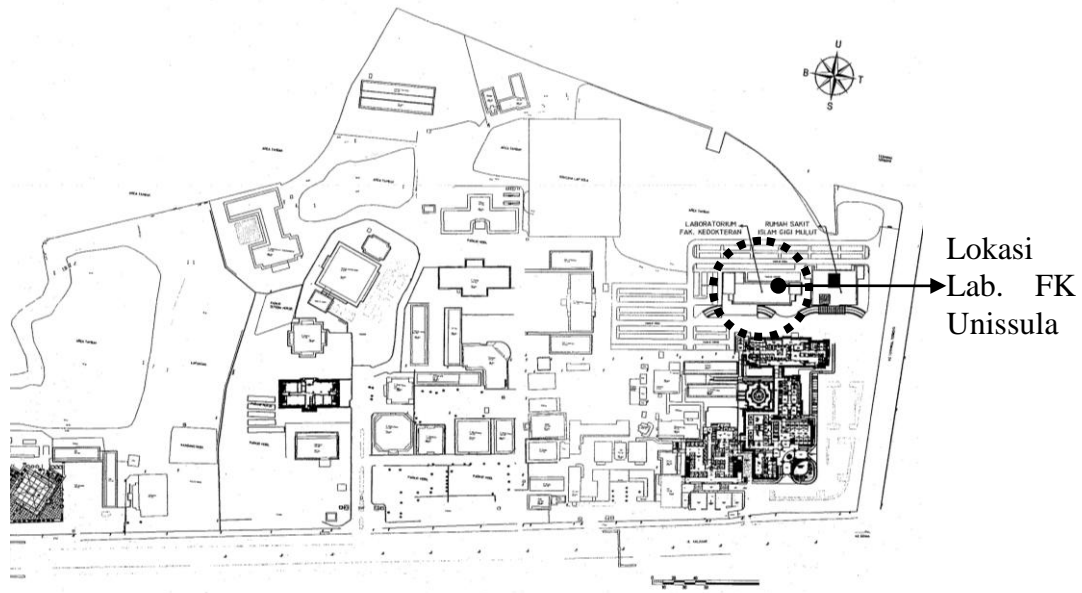
Model	Lantai	$\frac{n+1}{n+i}$	$I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}$	$I_{Asw-i} \cdot I_{Sw-i}$	$I_{SCWB-i}$	$I_T$	R	$\Omega_0$	$E_{0-i}$	$S_{D-i}$	$I_{S-i}$	
GM-01	lantai 01	7/7	1.00	0.82	0.62	0.85	1	8	3	3.24	0.50	1.62
	lantai 02	7/8	0.88	1.06	0.17	0.76	1	8	3	2.17	0.56	1.22
	lantai 03	7/9	0.78	1.31	0.22	0.84	1	8	3	2.67	0.75	2.00
	lantai 04	7/10	0.70	1.14	0.29	0.42	1	8	3	1.12	0.75	0.84
	lantai 05	7/11	0.64	1.62	0.44	0.42	1	8	3	1.46	0.75	1.10
	lantai Atap	7/12	0.58	2.25	0.87	0.23	1	8	3	1.11	0.75	0.84

Tabel 7.100. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) pada gedung RS. Gigi & Mulut 6 lantai (sumber : analisa).

Model	Lantai	$I_{S-i}$	$I_{SO-i}$	SVA
GM-01	lantai 01	1.62	2.26	LS
	lantai 02	1.22	2.46	LS
	lantai 03	2.00	2.71	LS
	lantai 04	0.84	3.01	CP
	lantai 05	1.10	3.39	CP
	lantai Atap	0.84	3.87	CP

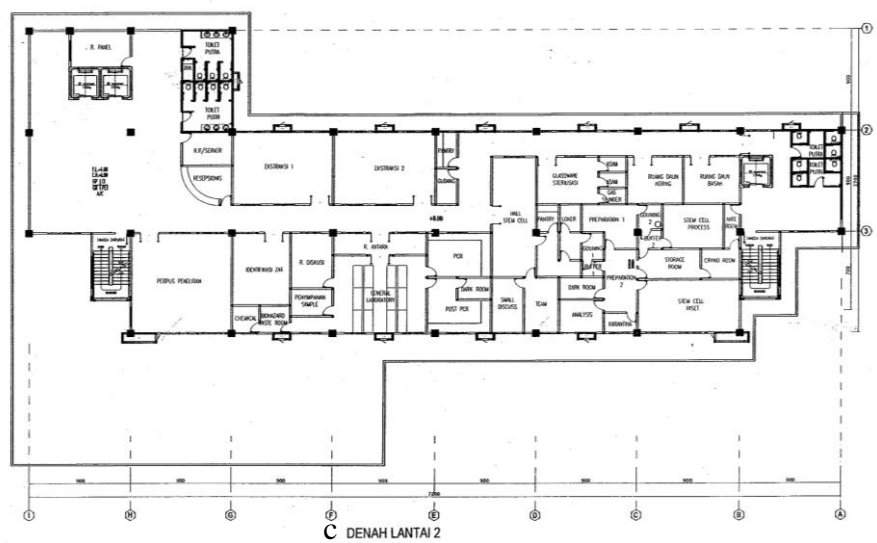
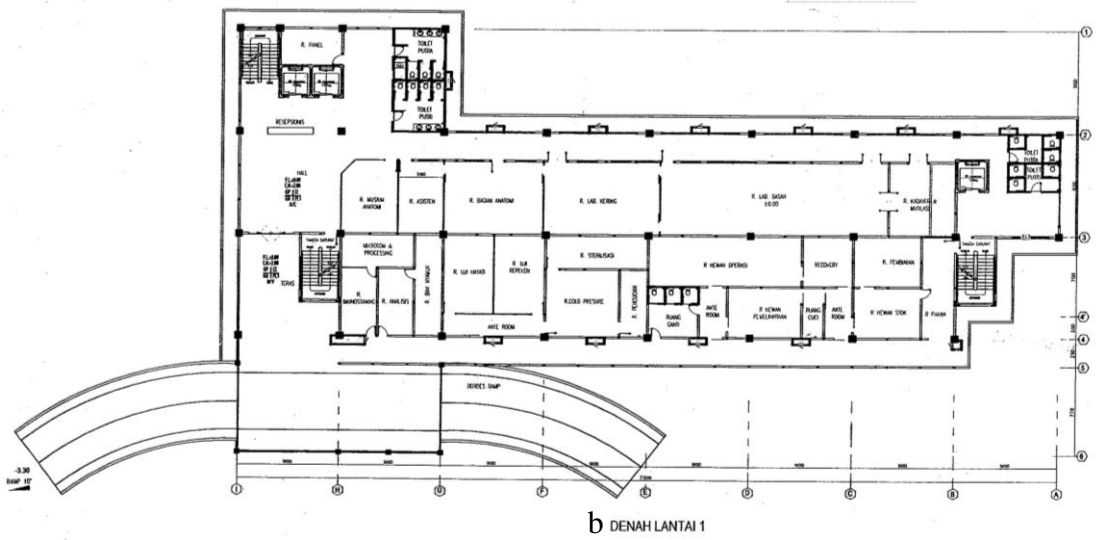
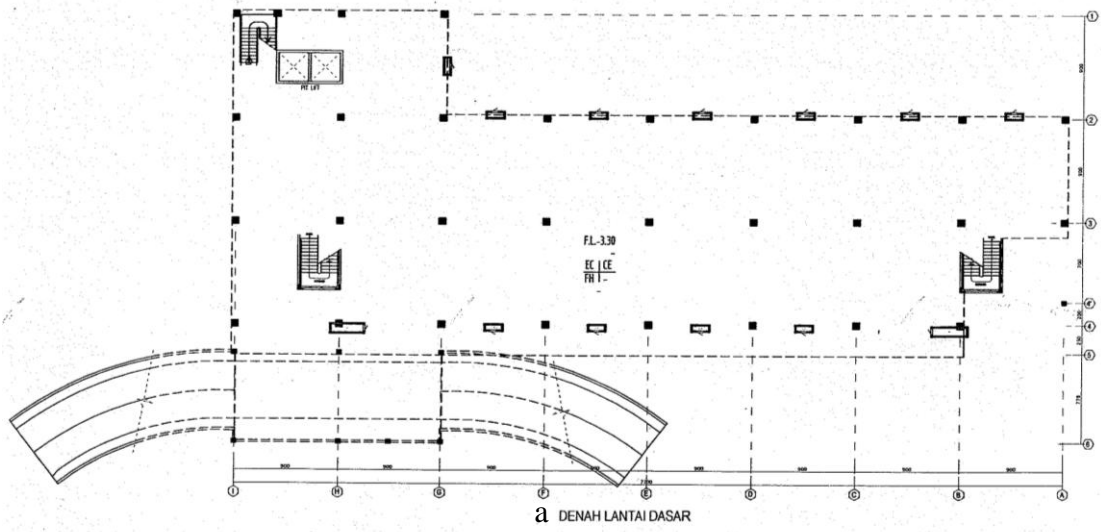
## 7.6. SVA GEDUNG LABORATORIUM FAKULTAS KEDOKTERAN UNISSULA 8 LANTAI DI JL. KALIGAWA SEMARANG

### 1. Data Arsitektur

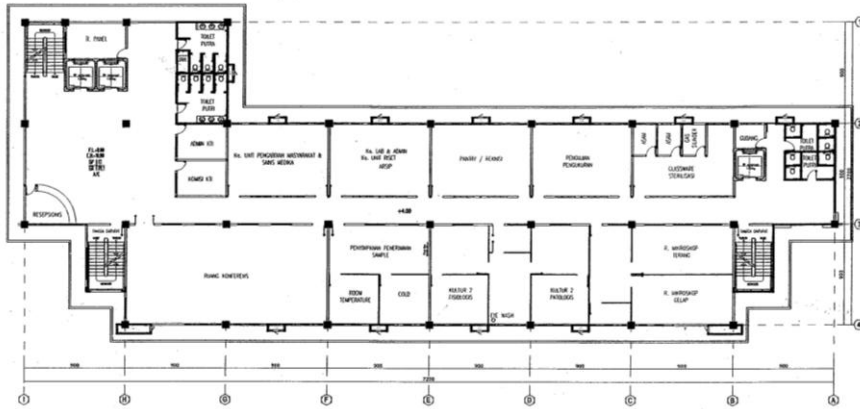


Gambar 7.70. Site eksisting dan posisi gedung Lab. FK Unissula yang akan dibangun (sumber : DISTARU Kota Semarang)

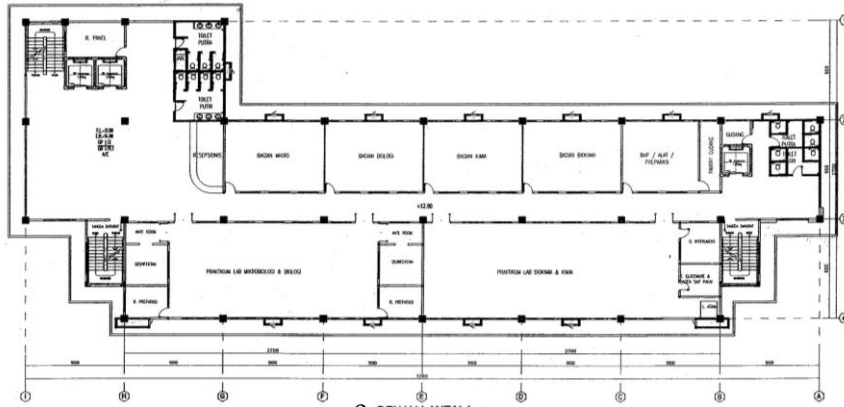
RSI Sultan Agung akan melakukan pengembangan dengan membangun Rumah Sakit Islam Gigi dan Mulut. Bersama dengan itu, Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung Semarang juga akan membangun gedung laboratorium praktik fakultas kedokteran. Lokasi yang dipilih untuk pengembangan gedung baru ini berada satu kawasan dengan kawasan rumah sakit. Hal ini dilakukan selain digunakan oleh mahasiswa kedokteran untuk kegiatan belajar, mengajar dan praktik, juga digunakan sebagai fasilitas pelayanan yang lengkap bagi rumah sakit.



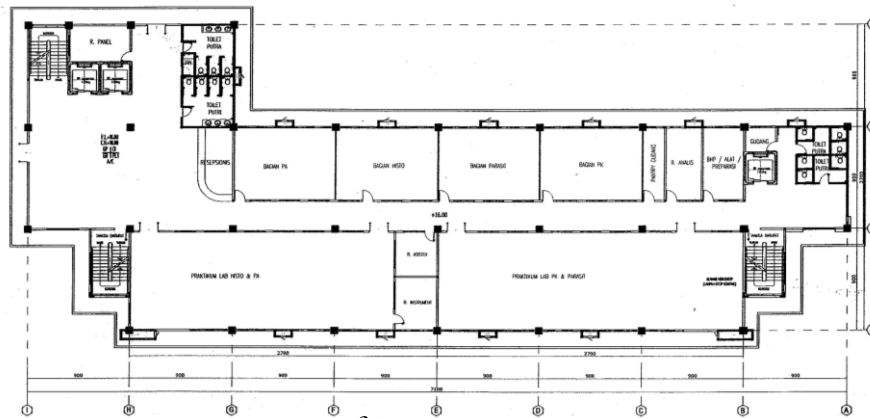




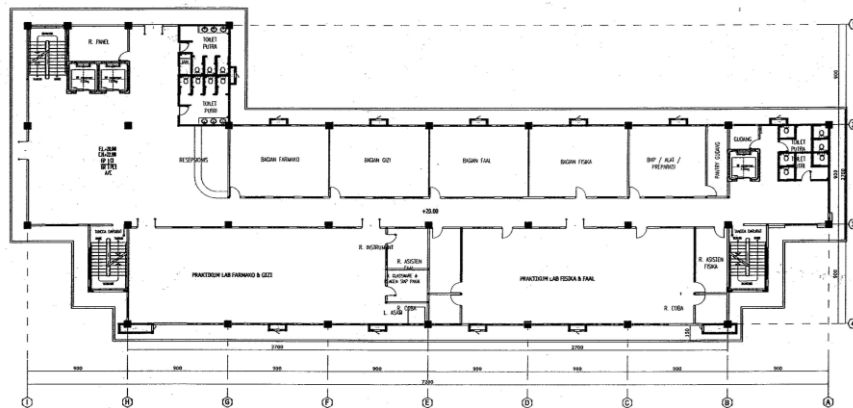
d DENAH LANTAI 3



e DENAH LANTAI 4

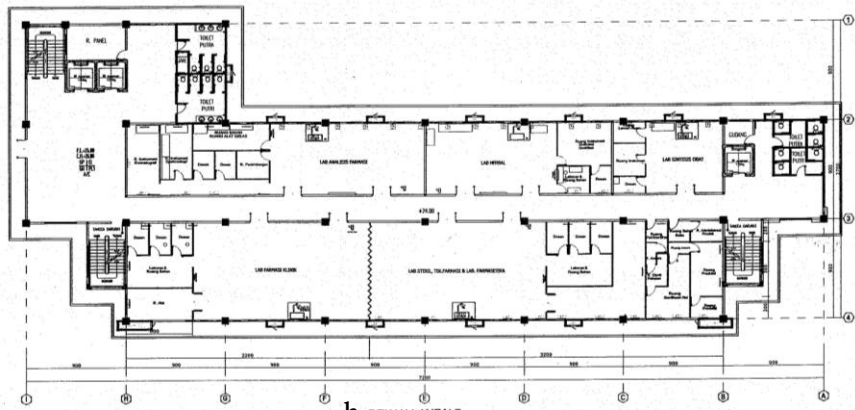


f DENAH LANTAI 5

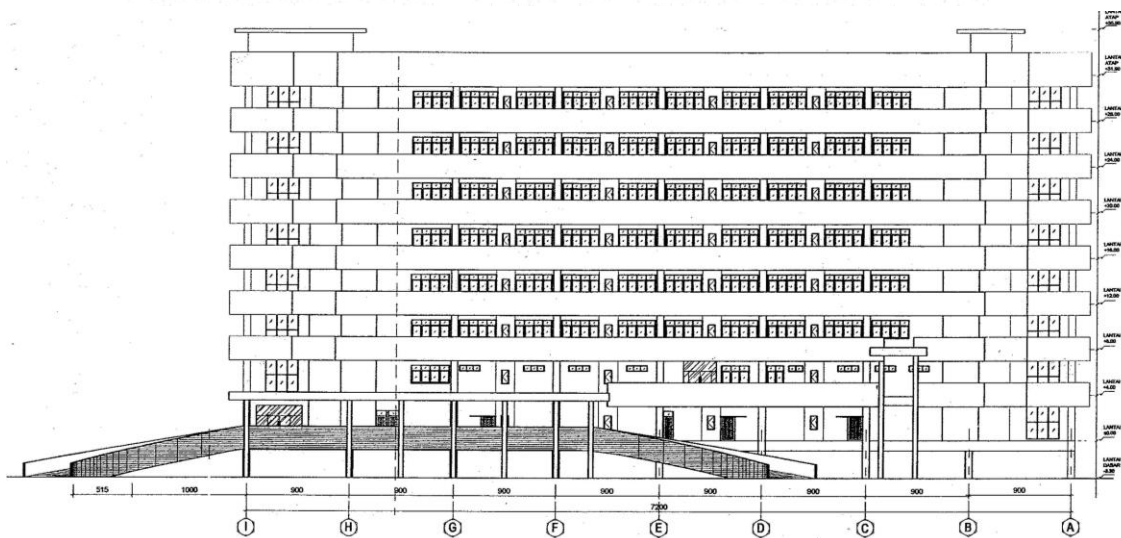


g DENAH LANTAI 6

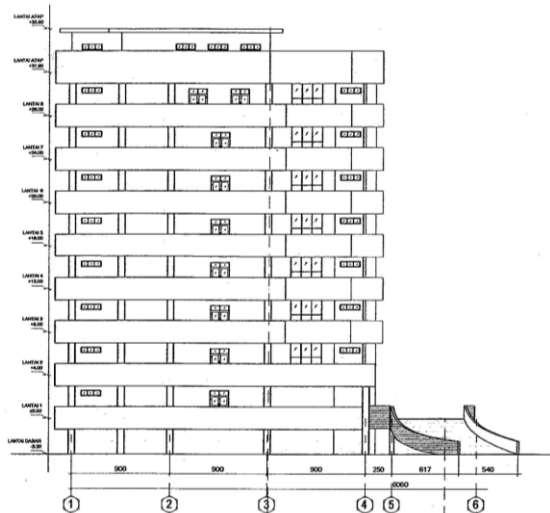




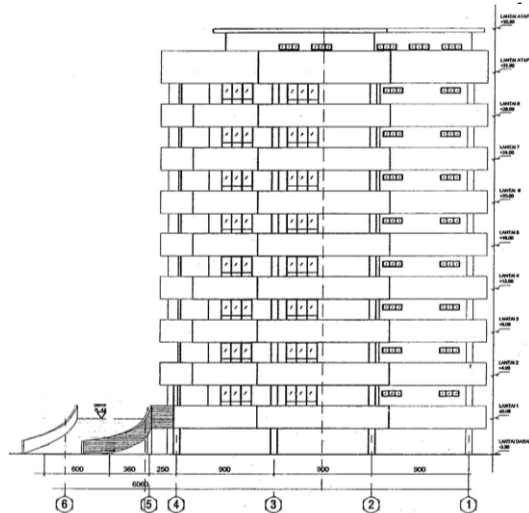
h DENAH LANTAI 7



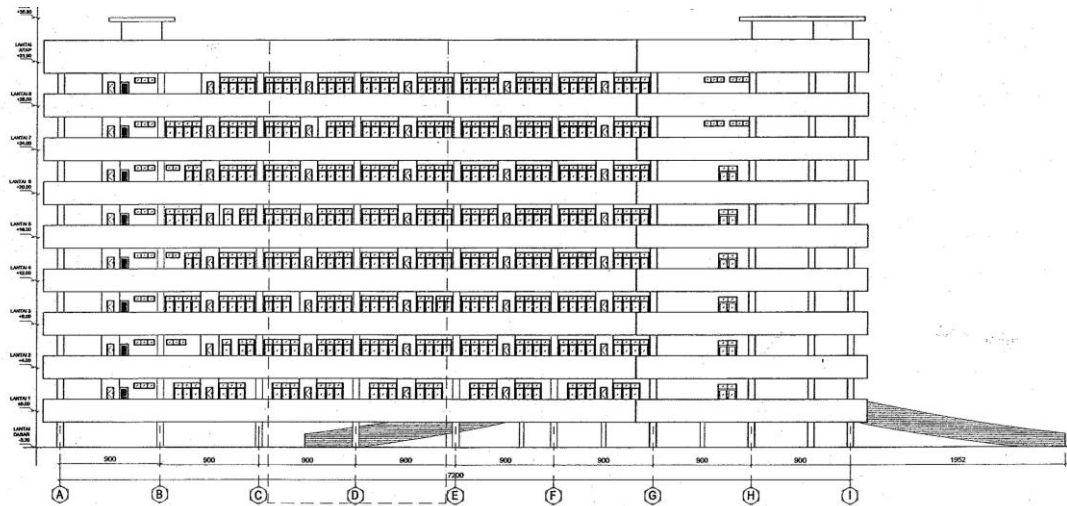
i TAMPAK 1  
SKALA 1:300



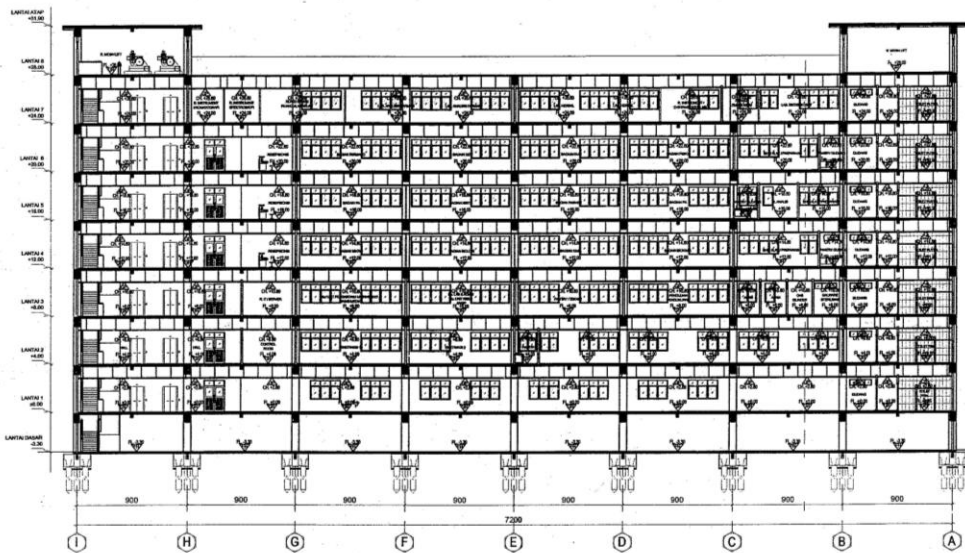
j TAMPAK 2  
SKALA 1:300



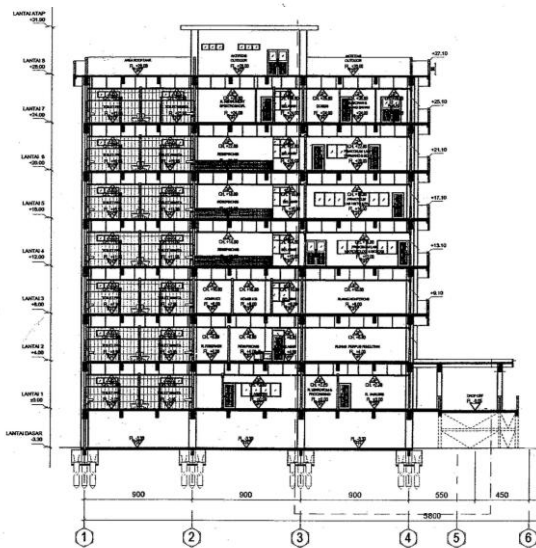
k TAMPAK 3  
SKALA 1:300



1 TAMPAK 4  
SKALA 1:300



m POTONGAN A-A  
SKALA 1:250

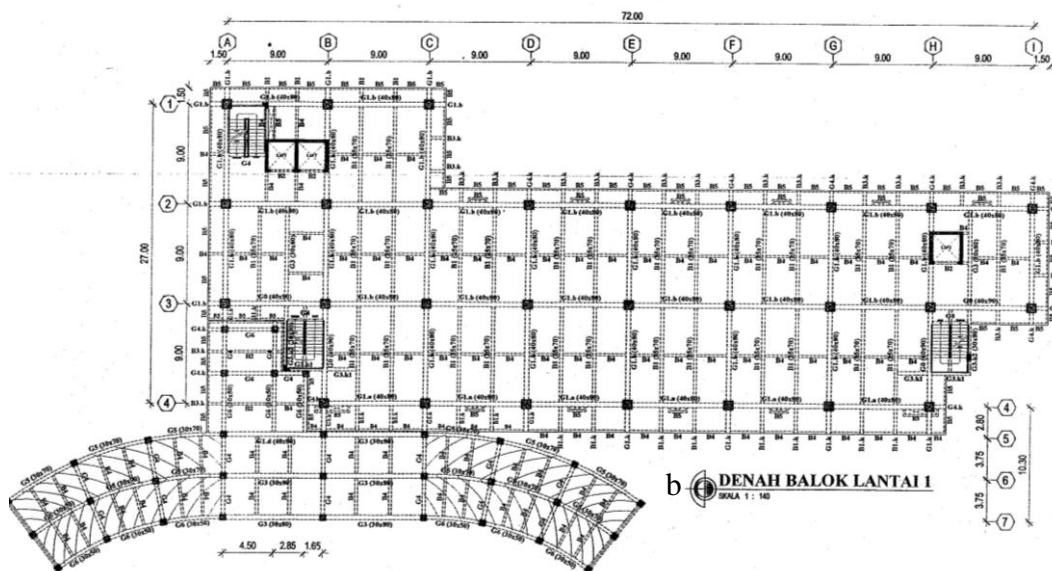
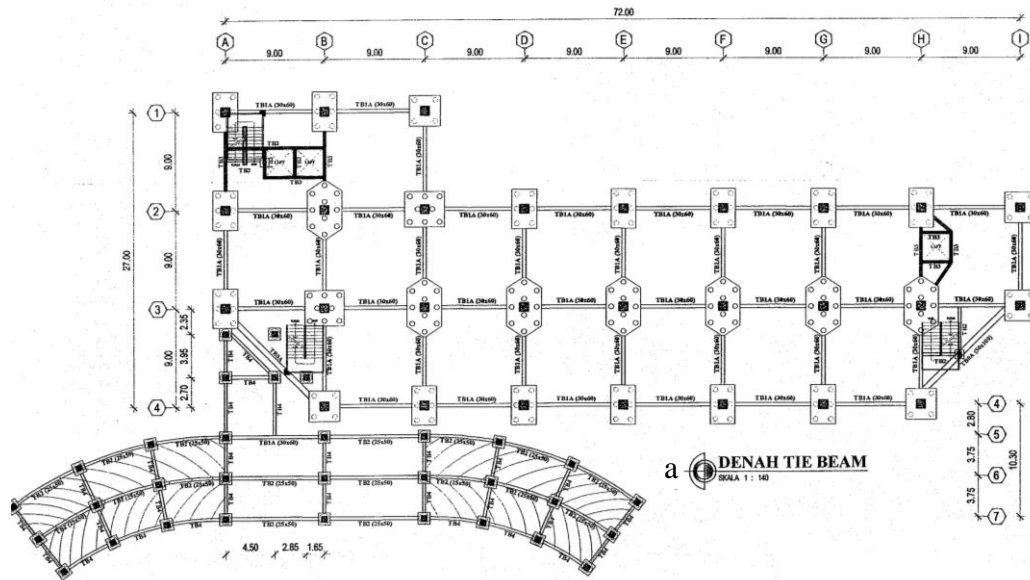


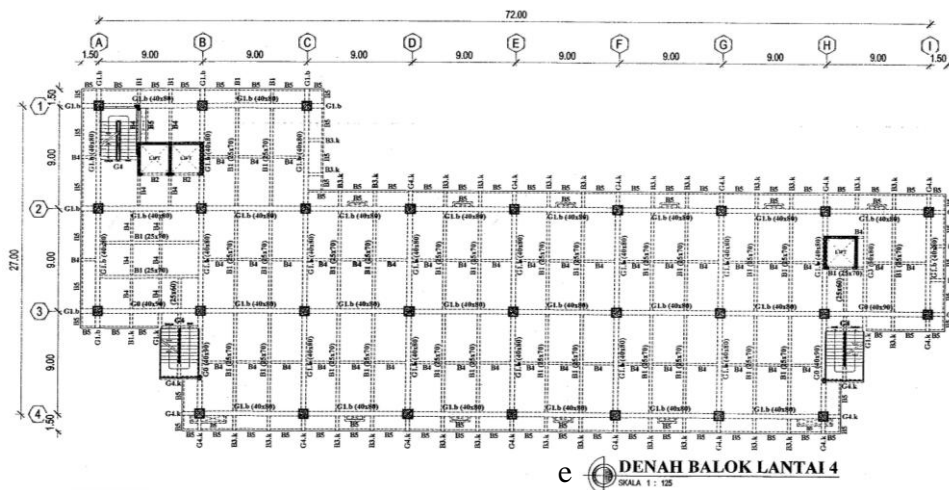
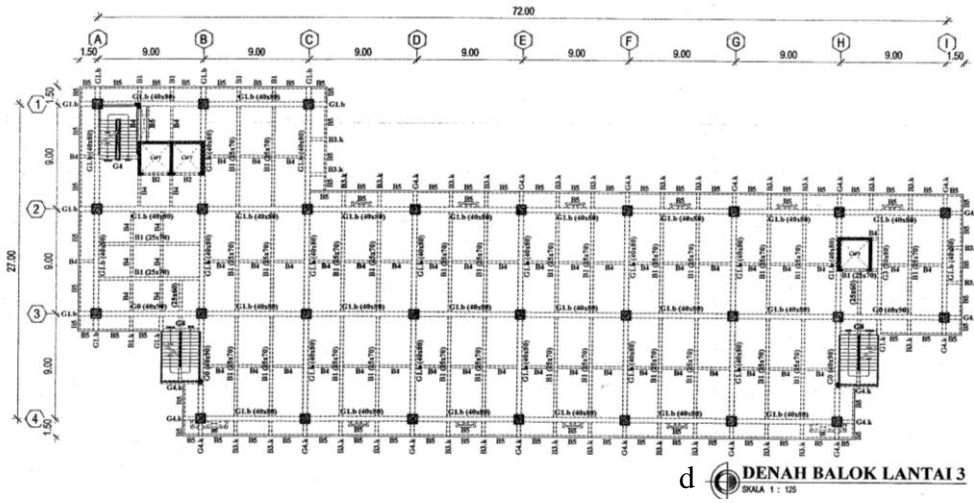
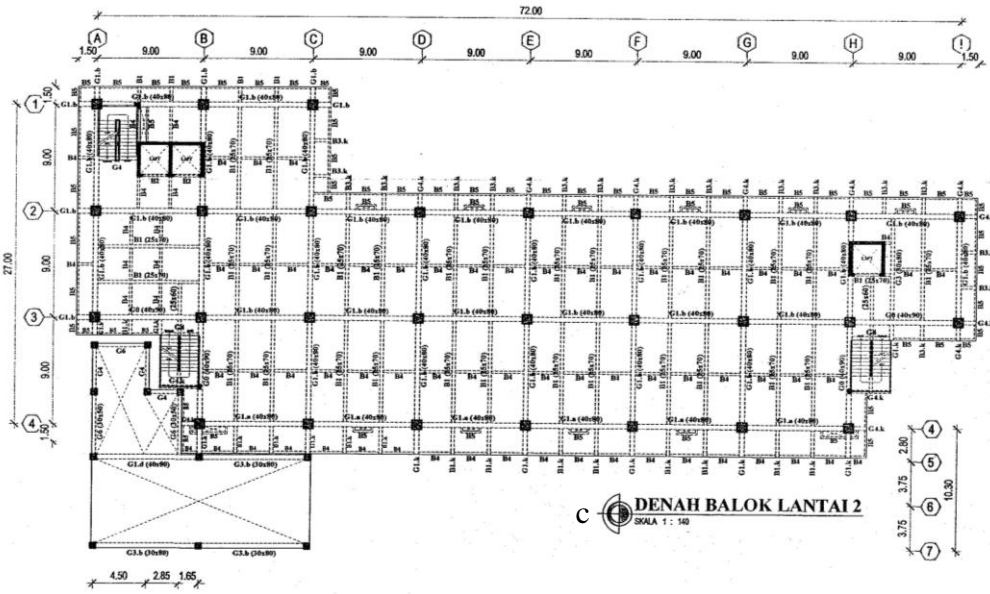
n POTONGAN B-B  
SKALA 1:250

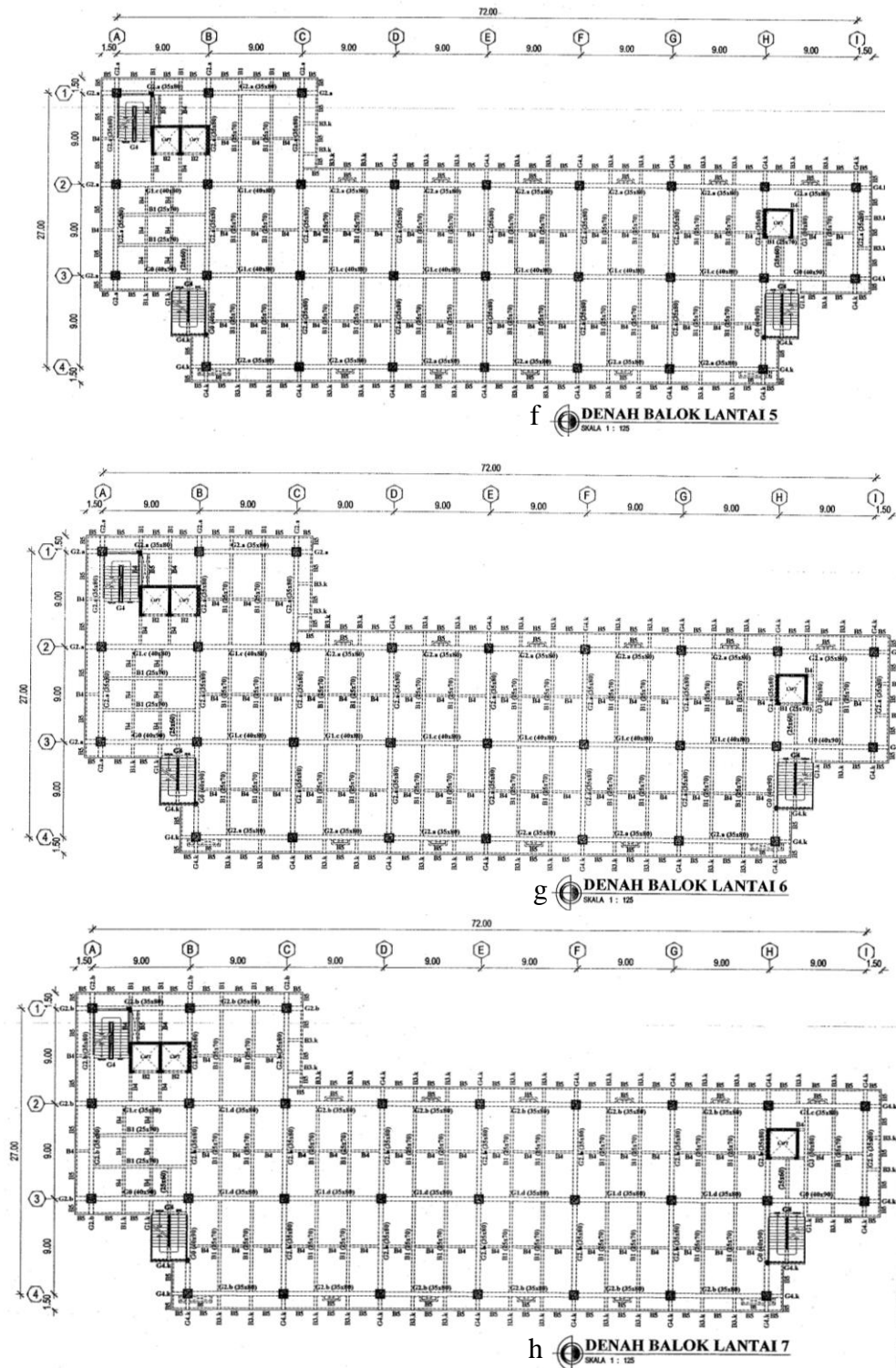
Gambar 7.71. Gambar denah, tampak dan potongan gedung Lab. FK Unissula di Jl. Kaligawe Semarang (sumber : DISTARU Kota Semarang).

## 2. Data Struktur

Struktur atas yang digunakan pada gedung ini yaitu struktur beton bertulang sistem rangka penahan momen khusus (SRPMK). Mutu beton pelat, balok, kolom dan dinding geser yaitu K-300, sedangkan tulangan  $f_y=400$  MPa (BJTD-40  $D \geq 16$ ),  $f_y=320$  MPa (BJTD-32  $D < 16$ ) dan  $f_y=240$  MPa (BJTP-24  $D < 10$ ).







Gambar 7.72. Gambar denah kolom, balok & plat lantai gedung Lab. FK Unissula 8 lantai (sumber : DISTARU Kota Semarang)

3. *Screening* dimensi struktur gedung Lab. FK Unissula, *strong column & weak beam*, periode getar dan kekakuan

Tabel 7.101. Rasio bentang struktur dan tinggi balok, dan rasio tinggi balok dan lebar balok (sumber : analisa).

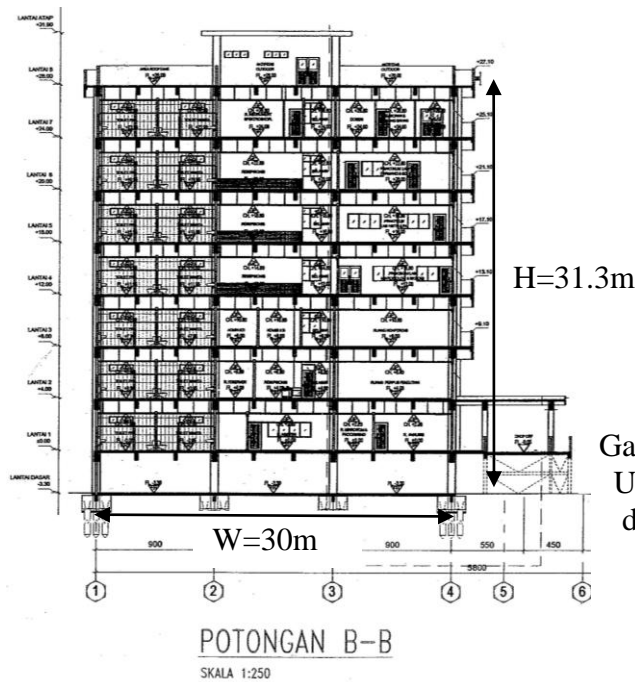
Balok	Dimensi - $b_b/h_b$ (cm)	Bentang -L (m)	$L/h_b - 1/10-1/14$	$h_b/b_b \leq 2$
G0	40/90	9	1/10	2.3
G1a	40/80	9	1/11	2.0
G1b	40/80	9	1/11	2.0
G1c	40/80	9	1/11	2.0
G1d	40/80	9	1/11	2.0
G2a	35/80	9	1/11	2.3
G2b	35/80	9	1/11	2.3
G3	30/80	9	1/11	2.7
B1	25/70	9	1/13	2.8
B2	20/50	2.75	1/5.5	2.5
B4	20/40	3	1/7.5	2.0
B5	15/30	1.5, 3	1/5-1/10	2.0
Balok kantilever	Dimensi - $b_b/h_b$ (cm)	Bentang -L (m)	$L/h_b - \leq 1/5$	$h_b/b_b \leq 2$
G1b	40/80	1.5	1/2	2.0
B1	25/70	1.5	1/2	2.8
G4k	30/40	1.5	1/4	1.3
B3k	25/40	1.5	1/4	1.6
G3k1	30/80	3.5	1/2	2.7
G1k	40/80	2.8	1/2	2.0

Tabel 7.102. Dimensi minimal kolom (sumber : analisa).

Kolom	Dimensi - $b_c/h_c$ (cm)	$b_c/h_c$	$b_c \geq 30$	$b_c/h_c \geq 0.4$
K1a	90/90	1.00	ya	ya
K1b	90/90	1.00	ya	ya
K1c	90/90	1.00	ya	ya
K2a	80/80	1.00	ya	ya
K2b	80/80	1.00	ya	ya
K2c	80/80	1.00	ya	ya
K3a	70/70	1.00	ya	ya
K3b	70/70	1.00	ya	ya
K3c	70/70	1.00	ya	ya
K3d	70/70	1.00	ya	ya
K4	30/50	0.60	ya	ya
K5	25/50	0.50	tidak	ya
K3b	50/50	1.00	ya	ya
K4	40/40	1.00	ya	ya

Tabel 7.103. *Strong column* dan *weak beam* (sumber : analisa).

LANTAI	$W_p \text{ KOLOM} > 1.2 \times W_p \text{ BALOK}$
lantai 01	100%
lantai 02	100%
lantai 03	100%
lantai 04	100%
lantai 05	100%
lantai 06	96%
lantai 07	96%
lantai atap	29%



Gambar 7.73. Massa gedung lab. FK Unissula 8 lantai yang cukup kaku dengan  $H/W=1.04 < 4$  (sumber : analisa)

- Pada (tabel 7.102 dan 7.103) memperlihatkan bahwa dimensi balok/kolom, tinggi dan lebarnya sudah memenuhi ketentuan dalam menahan gempa kuat.
- Pada (tabel 7.104) memperlihatkan bahwa dimensi balok dan kolom sudah memenuhi ketentuan  $W_p \text{ kolom} \geq 1.2 \times W_p$  kecuali lantai atap, sehingga kemungkinan terbentuknya mekanisme *strong column* dan *weak beam* diharapkan bisa terjadi pada saat gempa kuat.
- Dari hasil perhitungan konsultan bangunan Lab. ini memiliki rentang periode getar pendekatan  $T_a=1.03$  dtk dan  $T_{max}=1.45$  dtk, sedangkan berdasarkan perhitungan periode getar fundamentalnya ( $T_{cal}$ ) untuk arah sumbu  $-Y=1.12$  dtk dan untuk arah sumbu  $-X=1.15$  dtk. Untuk periode getar arah sumbu  $-Y$  dan  $-X$  masih di dalam rentang  $T_a$  dan  $T_{max}$  yang berarti bangunannya tidak terlalu kaku dan fleksibel.
- Geometri gedung Lab. FK Unissula di mana perbandingan lebar dan tinggi bangunan ( $H/W=1.04 < 4$ ) sudah membuat kekakuan gedung ini (gambar 7.73).

#### 4. Indeks kapasitas geser struktur ( $I_s$ ) gedung lab. FK Unissula

Perencana struktur merancang gedung laboratorium ini dengan jenis SRPMK. Akan tetapi, dikarenakan ada dinding geser, maka menggunakan persamaan struktur rangka pemikul momen dan dinding geser (persamaan 5.6). Namun, untuk faktor  $R$  dan  $\Omega_0$  tetap menggunakan SRPMK dengan  $R=8$  dan  $\Omega_0 = 3$  (lihat tabel 5.2).

$$E_{0-i} = \frac{n+1}{n+i} [(I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}) + (I_{Asw-i} \cdot I_{SW-i})] \cdot I_{SCWB-i} \cdot I_T \cdot \frac{R}{\Omega_0} \text{-----(5.6)}$$

Dimana,

n = Jumlah tingkat bangunan.

i = Jumlah tingkat yang dievaluasi. Di mana tingkat pertama diberi nomor 1 dan tingkat terakhir adalah n.

$I_{Ac-i}$  = Indeks dimensi kolom di tingkat ke-i (tabel 5.1)

$I_{C-i}$  = Indeks jenis kolom di tingkat ke-i.

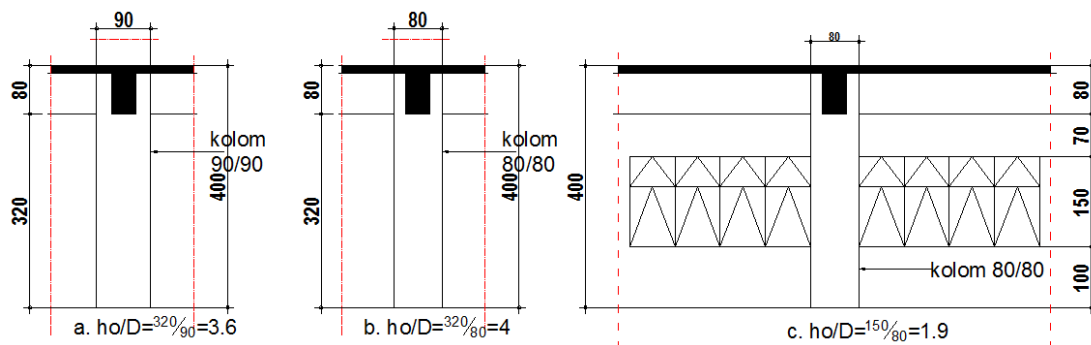
$I_{Asw-i}$  = Indeks dimensi dinding geser di tingkat ke-i.

$I_{SW-i}$  = Indeks jenis dinding geser di tingkat ke-i.

$I_{SCWB-i}$  = Indeks *Strong Column Weak Beam* tingkat di tingkat ke-i.

$I_T$  = Indeks periode getar struktur,  $T_c \leq T_{max} \rightarrow I_T = 1$  dan  $T_c > T_{max} \rightarrow I_T = 0$

$R/\Omega_0$  = Indeks daktilitas



Gambar 7.74. Berbagai jenis tinggi efektif kolom yang dipengaruhi tinggi kolom, tinggi balok & interupsi bukaan a). & b). kategori kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ), c). Kolom pendek ( $h_0/D \leq 2$ ) (sumber : analisa)

Sebagai langkah awal untuk menghitung indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dengan persamaan 5.6 dilakukan *screening* kategori jenis kolom menurut tabel 5.1, untuk mengetahui kekakuan kolom (gambar 7.74).

Untuk gedung Lab. FK Unissula parameter indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dan dinding geser yaitu :

Tabel 7.104. Indeks kolom ( $I_{C-i}$ ) berdasarkan jumlah jenis kolom ( $h_0/D$ ) dan indeks jenis kolom (sumber : analisa).

Lantai	Jumlah jenis kolom ( $N_c$ )			$I \cdot N_c / \sum N_c$			Indeks Kolom ( $I_{C-i}$ ) $\sum (I \cdot N_c / \sum N_c)$
	(a). $h_0/D \leq 2$ (bh)	(b). $2 < h_0/D < 6$ (bh)	(c). $6 \leq h_0/D$ (bh)	$h_0/D \leq 2$	$2 < h_0/D < 6$	$6 \leq h_0/D$	
	lantai 01	-	28.00	-	-	0.80	
lantai 02	-	28.00	-	-	0.80	-	0.80
lantai 03	4.00	24.00	-	0.14	0.69	-	0.83
lantai 04	9.00	19.00	-	0.32	0.54	-	0.86
lantai 05	9.00	19.00	-	0.32	0.54	-	0.86
lantai 06	9.00	19.00	-	0.32	0.54	-	0.86
lantai 07	9.00	19.00	-	0.32	0.54	-	0.86
lantai atap	9.00	19.00	-	0.32	0.54	-	0.86
Indeks (I)	1	0.8	0.6				



Tabel 7.105. Indeks dinding geser  $I_{sw-i}$  berdasarkan jumlah jenis dinding geser dan indeks dinding geser (sumber : analisa).

Lantai	Jumlah jenis shear wall ( $N_{sw}$ )			$I^*N_{sw}/\sum N_{sw}$			Indeks shear wall ( $I_{sw-i}$ ) $\sum(I^*N_{sw}/\sum N_{sw})$
	(a).Dibatasi 2 kolom (bh)	(b).Dibatasi 1 kolom (bh)	(c).Tanpa dibatasi kolom (bh)	Dibatasi 2 kolom	Dibatasi 1 kolom	Tanpa dibatasi kolom	
	lantai 01			8.00	-	-	0.30
lantai 02			8.00	-	-	0.30	0.30
lantai 03			8.00	-	-	0.30	0.30
lantai 04			8.00	-	-	0.30	0.30
lantai 05			8.00	-	-	0.30	0.30
lantai 06			8.00	-	-	0.30	0.30
lantai 07			8.00	-	-	0.30	0.30
lantai atap			8.00	-	-	0.30	0.30
Indeks (I)	1	0.7	0.3				

Tabel 7.106. Jumlah luas dimensi kolom disain ( $\sum Ac$ ) dan jumlah luas dimensi kolom minimum ( $\sum Ac_{min}$ ) (sumber : analisa).

Lantai	$\sum Ac$ (m <sup>2</sup> )	$\sum Ac_{min}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum Ac/\sum Ac_{min}$ (I <sub>a</sub> )
lantai 01	22.68	18.08	1.25
lantai 02	22.68	15.76	1.44
lantai 03	17.92	13.43	1.33
lantai 04	17.92	11.20	1.60
lantai 05	17.92	8.96	2.00
lantai 06	13.72	6.72	2.04
lantai 07	13.72	4.51	3.05
lantai atap	13.72	2.72	5.04

Tabel 7.107. Jumlah luas dimensi dinding geser disain ( $\sum Asw$ ) dan jumlah luas dimensi dinding geser minimum ( $\sum Asw_{min}$ ) (sumber : analisa).

Lantai	$\sum Asw$ (m <sup>2</sup> )	$\sum Asw_{min}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum Asw/\sum Asw_{min}$ (I <sub>sw</sub> )
lantai 01	4.55	15.29	0.3
lantai 02	4.55	13.33	0.3
lantai 03	4.55	11.37	0.4
lantai 04	4.55	9.47	0.5
lantai 05	4.55	7.58	0.6
lantai 06	4.55	1.89	2.4
lantai 07	4.55	1.89	2.4
lantai atap	4.55	1.89	2.4

Tabel 7.108. Kombinasi ( $\sum Ac$ )/ $\sum Ac_{min}$  dan ( $\sum Asw$ )/( $\sum Asw_{min}$ ) (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai (m <sup>2</sup> )	$\sum Ac$ (m <sup>2</sup> )	$\sum Asw$ (m <sup>2</sup> )	$\sum Acsw$ (m <sup>2</sup> )	$\sum Acsw_{min}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum Acsw/\sum Acsw_{min}$
lantai 01	12745.20	22.68	4.55	27.23	25.49	1.07
lantai 02	11109.30	22.68	4.55	27.23	22.22	1.23
lantai 03	9473.40	17.92	4.55	22.47	18.95	1.19
lantai 04	7894.50	17.92	4.55	22.47	15.79	1.42
lantai 05	6315.60	17.92	4.55	22.47	12.63	1.78
lantai 06	1578.90	13.72	4.55	18.27	3.16	5.79
lantai 07	1578.90	13.72	4.55	18.27	3.16	5.79
lantai atap	1578.90	13.72	4.55	18.27	3.16	5.79

- Dari tabel 7.105 memperlihatkan bahwa gedung Lab. FK ini didominasi jenis kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ) dan sebagian kolom langsing ( $6 \leq h_0/D$ ) yang berarti kegagalan geser dan lentur pada kolom bangunan ini masih dapat diminimalisasi pada saat terjadi gempa kuat.
- Jenis dinding geser berdasarkan tabel 7.106 seluruh dinding geser tidak diapit kolom. Hal ini kurang menguntungkan karena tambahan kekakuan dari dinding geser akibat jepitan kolom kurang maksimal.
- Pada (tabel 7.107) memperlihatkan bahwa dimensi kolom pada gedung Lab. FK Unissula ini sudah memenuhi persyaratan minimum dalam menghadapi gempa kuat.
- Tabel 7.108 memperlihatkan bahwa dimensi dinding geser gedung ini sebagian besar belum memenuhi persyaratan minimum. Hal ini berarti tambahan kekakuan dan kekuatan dari dinding geser menjadi kurang signifikan.
- Tabel 7.109 kombinasi luas kolom dan dinding geser pada gedung ini masih memenuhi persyaratan minimum, tetapi pada lantai 01 s/d 03 luasnya agak irit menghadapi gempa kuat.
- Struktur yang dipilih SRPMK maka  $R = 8$  dan  $\Omega_0 = 3$  (lihat tabel 5.2)

##### 5. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung lab. FK Unissula

$$I_{SO-i} = \frac{n+i}{2n-i+1} (I_{CS}, I_e) \text{-----(5.22)}$$

Dimana,

$n$  = Jumlah tingkat bangunan.

$i$  = Jumlah tingkat yang dievaluasi. Di mana tingkat pertama diberi nomor 1 dan tingkat terakhir adalah  $n$

$C_S$  = Koefisien respon seismik desain

$C_{S \min}$  = Koefisien respon seismik minimum  $S_S=0.25g$  dan  $S_1=0.1g$

$I_{CS}$  = Indeks respon seismik

$I_e$  = Faktor keutamaan fungsi bangunan

Untuk zona gempa wilayah Jl. Kaligawe Km. 4 Semarang parameter gempanya yaitu :

$$S_S = 0.993 g$$

$$S_1 = 0.338 g$$

Site class = E

Seismic important factor  $I_e$  untuk gedung pendidikan = 1.5

$$C_S = 0.097$$

$$C_{S \min} = 0.038$$

$$I_{CS} = C_S / C_{S \min} = 2.553$$

Adapun beban lateral gempa pada masing-masing tingkat dapat dilihat pada tabel 7.109.

Tabel 7.109. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung Lab. FK Unissula Jl. Kaligawe Km. 4 Semarang (sumber : analisa).

Model	Lantai	$\frac{n+1}{2n-i+1}$		$I_{CS}$	$I_e$	$I_{SO-i}$
LAB_U-01	lantai 01	9/16	0.56	2.553	1.50	2.15
	lantai 02	9/15	0.60	2.553	1.50	2.30
	lantai 03	9/14	0.64	2.553	1.50	2.46
	lantai 04	9/13	0.69	2.553	1.50	2.65
	lantai 05	9/12	0.75	2.553	1.50	2.87
	lantai 06	9/11	0.82	2.553	1.50	3.13
	lantai 07	9/10	0.90	2.553	1.50	3.45
	lantai atap	9/9	1.00	2.553	1.50	3.83

## 6. Iregularitas konfigurasi ( $S_{D-i}$ )

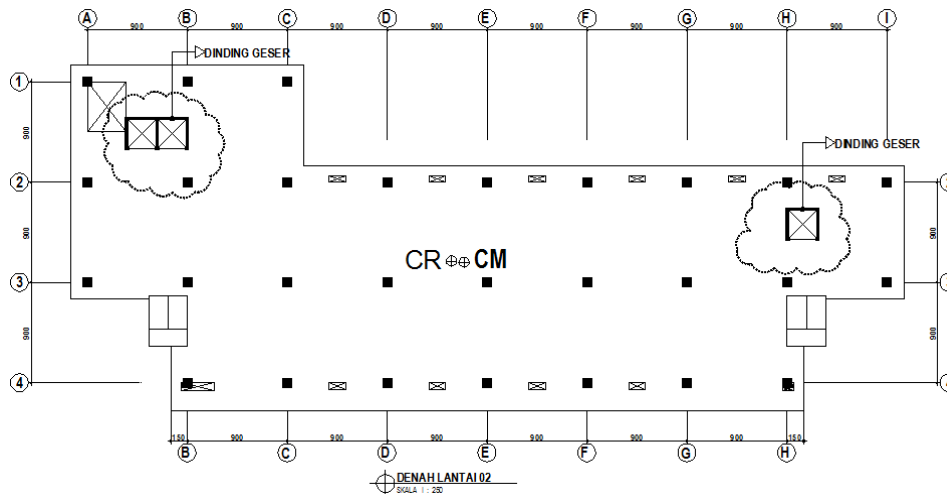
### a. Konfigurasi ketidakberaturan torsi

$$e_{r-i} = e_i / w_i \text{-----(5.13)}$$

Di mana :  $e_{r-i}$  = rasio antara panjang eksentrisitas ( $e_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan lebar bangunan ( $w_i$ ) tingkat ke  $-i$ .

Tabel 7.110. Eksentrisitas ( $e_{x-i}$  &  $e_{y-i}$ ) antara pusat massa dan pusat kekakuan lantai pada gedung lab. FK Unissula (sumber : laporan perhitungan struktur konsultan, 2017).

Lantai	$e_{x-i}$ (m)	$e_{y-i}$ (m)	$e_{rx-i}$	$e_{ry-i}$	$e_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	0.80	0.64	0.011	0.024	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 02	1.12	0.10	0.016	0.004	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 03	0.50	0.50	0.007	0.018	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 04	0.64	0.64	0.009	0.024	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 05	0.55	0.73	0.008	0.027	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 06	1.03	0.81	0.014	0.030	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 07	0.72	1.22	0.010	0.045	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai atap	1.24	1.66	0.017	0.062	$e_{r-i} \leq 0.1$	1



Gambar 7.75. Perletakan dinding geser yang mempertimbangkan keseimbangan kekakuan dapat memperkecil eksentrisitas antara *center of massa* (CM) dan *center of rigidity* (CR) (sumber : analisa)

Gedung laboratorium ini bentuk geometrinya relatif ireguler baik sumbu -X maupun sumbu -Y, tetapi dengan perletakan dinding geser yang mempertimbangkan keseimbangan kekakuan mengakibatkan eksentrisitas antara *center of massa* (CM) dan *center of rigidity* (CR) relatif kecil. Hal ini dapat meminimalisasi potensi terjadinya torsi pada gedung ini ketika terjadi gempa kuat (lihat tabel 7.110 dan gambar 7.75).

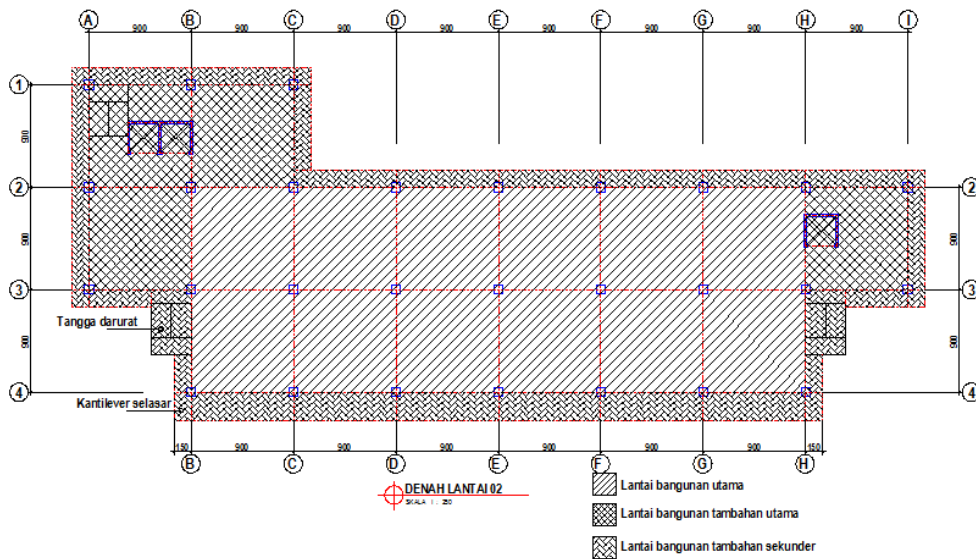
#### b. Konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam

$$b_{r-i} = l_{p-i}/l_{u-i} \text{-----(5.14)}$$

Di mana :  $b_{r-i}$  = rasio luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan ( $l_{p-i}$ ) tingkat ke -i dan luas lantai bangunan utama tingkat ke -i ( $l_{u-i}$ ).

Tabel 7.111. Rasio luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan ( $l_{p-i}$ ) dan luas lantai bangunan utama ( $l_{u-i}$ ) pada gedung Lab. FK Unissula 8 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai utama ( $l_{u-i}$ )	Luas proyeksi terbesar ( $l_{p-i}$ )	$l_{p-i}/l_{u-i}$	$b_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	972.000	243.00	25.0%	$10% < b_{r-i} \leq 30%$	0.75
lantai 02	972.000	243.00	25.0%	$10% < b_{r-i} \leq 30%$	0.75
lantai 03	972.000	243.00	25.0%	$10% < b_{r-i} \leq 30%$	0.75
lantai 04	972.000	243.00	25.0%	$10% < b_{r-i} \leq 30%$	0.75
lantai 05	972.000	243.00	25.0%	$10% < b_{r-i} \leq 30%$	0.75
lantai 06	972.000	243.00	25.0%	$10% < b_{r-i} \leq 30%$	0.75
lantai 07	972.000	243.00	25.0%	$10% < b_{r-i} \leq 30%$	0.75
lantai atap	972.000	243.00	25.0%	$10% < b_{r-i} \leq 30%$	0.75



Gambar 7.76. Massa tambahan utama terjadi pada laboratorium FK ini akibat proses kombinasi massa dan subtraktif sehingga membentuk konfigurasi ketidakberaturan sudut (sumber : analisa).

Massa tambahan utama gedung ini terjadi akibat proses penggabungan massa dan proses subtraktif dari lantai 01 s/d lantai atap (gambar 7.76). Berdasarkan tabel 7.111 proses tersebut pada Lab. FK Unissula mengakibatkan terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan selasar sudut dalam. Hal ini dapat berpotensi terbentuknya konsentrasi tegangan pada elemen-elemen struktur (balok, kolom, plat lantai) di area pertemuan antara massa bangunan utama dan massa bangunan tambahan utama.

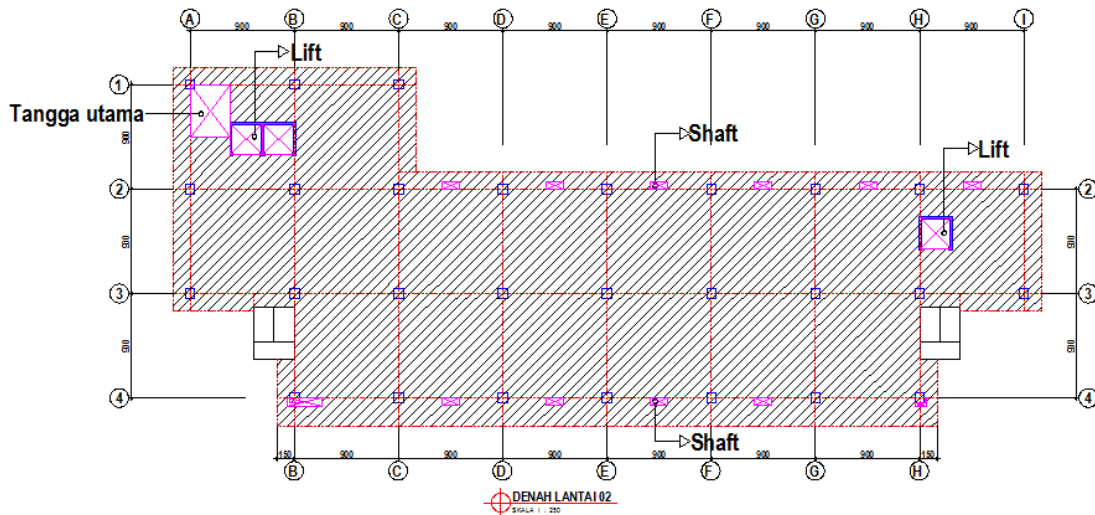
**c. Konfigurasi ketidakberaturan diskontinuitas difragma**

$$e_{v-i} = \sum l_{b-i} / \sum l_{l-i} \text{-----(5.15)}$$

Di mana :  $e_{v-i}$  = rasio luas lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll tingkat ke -i ( $l_{b-i}$ ) dan luas lantai tingkat ke -i ( $l_{l-i}$ ).

Tabel 7.112. Rasio lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll ( $l_{b-i}$ ) dan luas lantai ( $l_{l-i}$ ) pada gedung lab. FK Unissula 8 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai ( $\sum l_{l-i}$ ) (m2)	luas bukaan ( $\sum l_{b-i}$ ) (m2)	$\sum l_{b-i} / \sum l_{l-i}$	$e_{v-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	1635.900	39.78	0.02	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 02	1635.900	49.23	0.03	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 03	1578.900	49.23	0.03	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 04	1578.900	49.23	0.03	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 05	1578.900	49.23	0.03	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 06	1578.900	49.23	0.03	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai 07	1578.900	49.23	0.03	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
lantai atap	1578.900	9.33	0.01	$e_{v-i} \leq 0.1$	1



Gambar 7.77. Bukaan-bukaan di gedung RS. Gigi & Mulut ini terjadi di area lift, void, tangga dan shaft (sumber : analisa)

Bukaan-bukaan pada gedung Lab. FK Unissula terjadi pada area lift, tangga dan shaft (gambar 7.77). Pada tabel 7.112 memperlihatkan bahwa bukaan-bukaan tersebut tidak terlalu besar dan masih dalam batas toleransi sehingga diharapkan ketika terjadi gempa fungsinya sebagai diafragma dalam mengekang kolom dan menyalurkan beban lateral ke kolom serta dinding geser masih dapat terjadi dengan baik.

**d. Konfigurasi ketidakberaturan sistem nonparalel**

$$j_{r-i} = \sum j_i / \sum j_{t-i} \text{-----(5.16)}$$

Di mana,  $j_{r-i}$  = rasio jumlah elemen balok, kolom dan/atau dinding geser yang tidak mengikuti aksis ortogonal ( $\sum j_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan jumlah total elemen balok, kolom dan/atau dinding geser tingkat ke  $-i$  ( $\sum j_{t-i}$ ).

Dari gambar struktur 7.72a s/d h terlihat seluruh sistem balok, kolom, dan dinding geser mengikuti aksis ortogonal x dan y. Gedung Lab. FK Unissula ini tidak termasuk kategori ketidakberaturan sistem non paralel.

**e. Konfigurasi soft story / tingkat lunak**

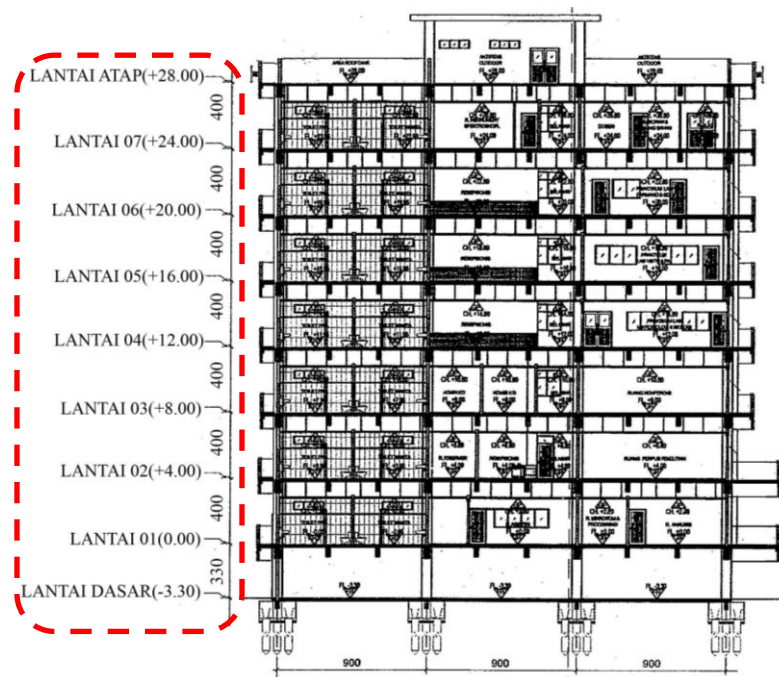
$$l_{r-i} = l_{i+1} / l_i \text{-----(5.17)}$$

Di mana :  $l_{r-i}$  = rasio tinggi kolom/dinding geser satu tingkat dari tingkat  $-i$  ( $l_{i+1}$ ) dan tinggi kolom ditingkat  $-i$  ( $l_i$ ).

Tabel 7.113. Rasio tinggi kolom satu tingkat dari tingkat  $-i$  ( $l_{i+1}$ ) dan tinggi kolom ditingkat  $-i$  ( $l_i$ ) pada gedung lab. FK Unissula 8 lantai(sumber : analisa).

Lantai	Tinggi tingkat ( $l_i$ ) (m)	$l_{i+1}/l_i$	$l_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	3.30	1.21	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 02	4.00	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 03	4.00	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 04	4.00	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 05	4.00	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 06	4.00	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 07	4.00	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai atap	4.00	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1

Pada gedung rumah sakit ini yang memiliki ketinggian kolom sama yaitu kolom di bawah lantai 02 s/d 07, sedangkan yang tidak sama yaitu kolom dibawah lantai 01 (gambar 7.78). Berdasarkan perhitungan tabel 7.113 walaupun terdapat beberapa perbedaan ketinggian kolom, tetapi masih dalam batas toleransi sehingga potensi tingkat lunak/*soft story* pada lantai tertentu dapat diminimalisasi.



Gambar 7.78. Ketinggian lantai sama kecuali kolom dibawah lantai 01 tetapi masih batas toleransi sehingga meminimalisir potensi tingkat lunak/*soft story* (sumber : analisa)

#### f. Konfigurasi ketidakberaturan berat/massa

$$m_{r-i} = \frac{\sum m_i}{\sum m_{i+1}} \text{-----(5.18)}$$

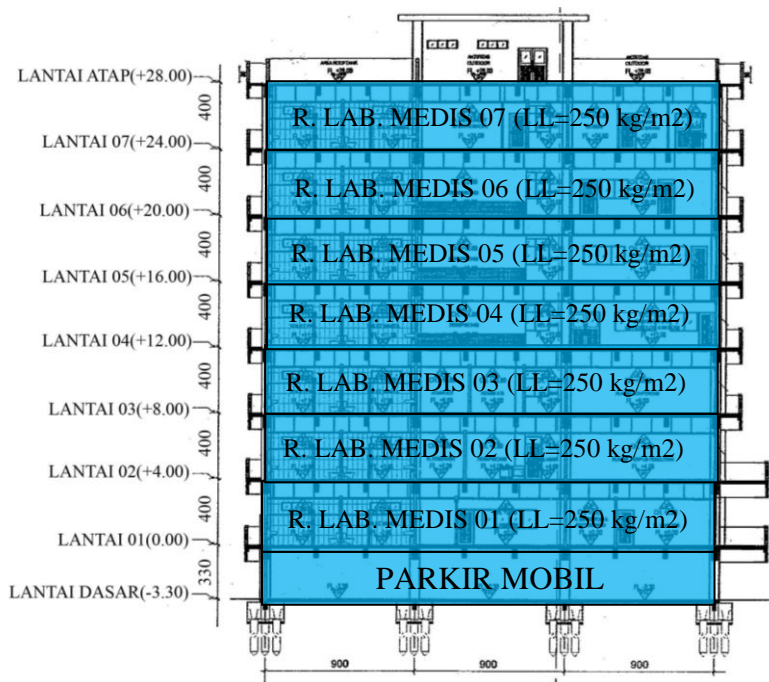
Di mana :  $m_{r-i}$  = rasio massa lantai ditingkat  $-i$  ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat  $-i$  ( $m_{i+1}$ ).



Tabel 7.114. Rasio massa lantai ditingkat  $-i$  ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat  $-i$  ( $m_{i+1}$ ) pada gedung lab. FK Unissula 8 lantai (sumber : analisa).

Lantai	$m_i$ (Kg)	$\sum m_i / \sum m_{i+1}$	$m_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	1,896,190.56	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 02	1,884,963.96	99%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 03	1,817,247.96	96%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 04	1,817,247.96	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 05	1,817,247.96	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 06	1,817,247.96	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 07	1,817,247.96	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai atap	1,356,108.48	75%	$m_{r-i} < 100\%$	1

Dengan denah yang relatif tipikal dan pengelompokan fungsi yang relatif sama pada setiap lantainya dapat meminimalisasi terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan berat/massa pada gedung laboratorium. Hal ini menguntungkan karena deformasi yang mungkin terjadi bisa lebih seragam dan potensi terjadinya torsi akibat perbedaan berat dapat diminimalisasi (lihat tabel 7.114 dan gambar 7.79).



Gambar 7.79. Konfigurasi massa/berat bangunan (sumber : analisa)

**g. Konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal**

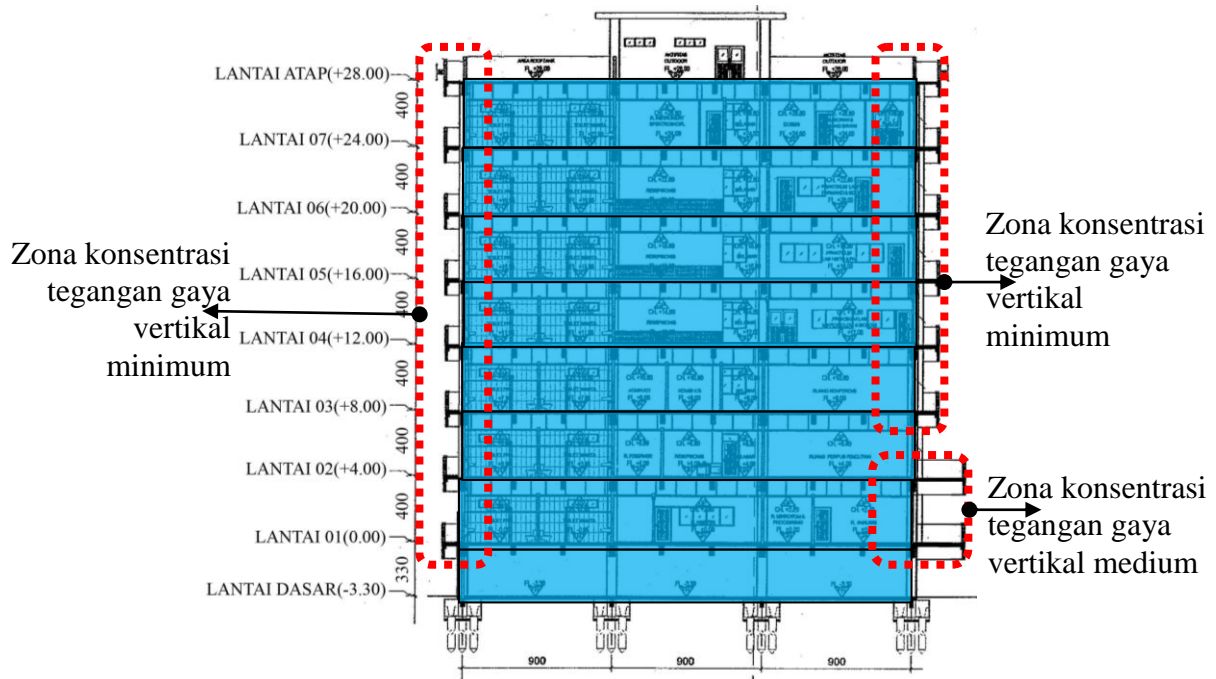
$$s_{r-i} = A_i / L_i \text{-----(5.19)}$$

Di mana,  $s_{r-i}$  = rasio panjang bangunan ( $L_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan panjang *setback* bangunan ( $A_i$ ) tingkat ke  $-i$ .



Tabel 7.115. Rasio panjang bangunan ( $L_i$ ) dan panjang *setback* bangunan ( $A_i$ ) pada tingkat yang ditinjau pada gedung Lab. FK Unissula 8 lantai (sumber : analisa).

Lantai	$L_i$ (m)	$A_i$ (m)	$A_i/L_i$	$s_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	18	2.50	0.14	$0.1 < s_{r-i} \leq 0.3$	0.75
lantai 02	18	2.50	0.14	$0.1 < s_{r-i} \leq 0.3$	0.75
lantai 03	18	1.50	0.08	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 04	18	1.50	0.08	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 05	18	1.50	0.08	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 06	18	1.50	0.08	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 07	18	1.50	0.08	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai atap	18	1.50	0.08	$s_{r-i} \leq 0.1$	1



Gambar 7.80. *Setback* kantilever dapat menimbulkan potensi konsentrasi tegangan lateral (sumber : analisa).

*Setback* pada gedung laboratorium ini terbentuk oleh penonjolan selasar bangunan berupa kantilever. Kantilever tersebut sebagian besar penonjolannya tidak begitu dalam sehingga potensi konsentrasi tegangan akibat gaya gempa vertikal minimum. Akan tetapi, jika penonjolannya cukup panjang seperti lantai 01 dan lantai 02 potensi konsentrasi tegangan gaya vertikal bisa menjadi signifikan (lihat gambar 7.80 dan tabel 7.115).

**h. Konfigurasi diskontinuitas ketidakberaturan kuat lateral tingkat / *weak story***

$$a_{r-i} = (\sum a_e)_i / (\sum a_e)_{i+1} \text{-----(5.20)}$$

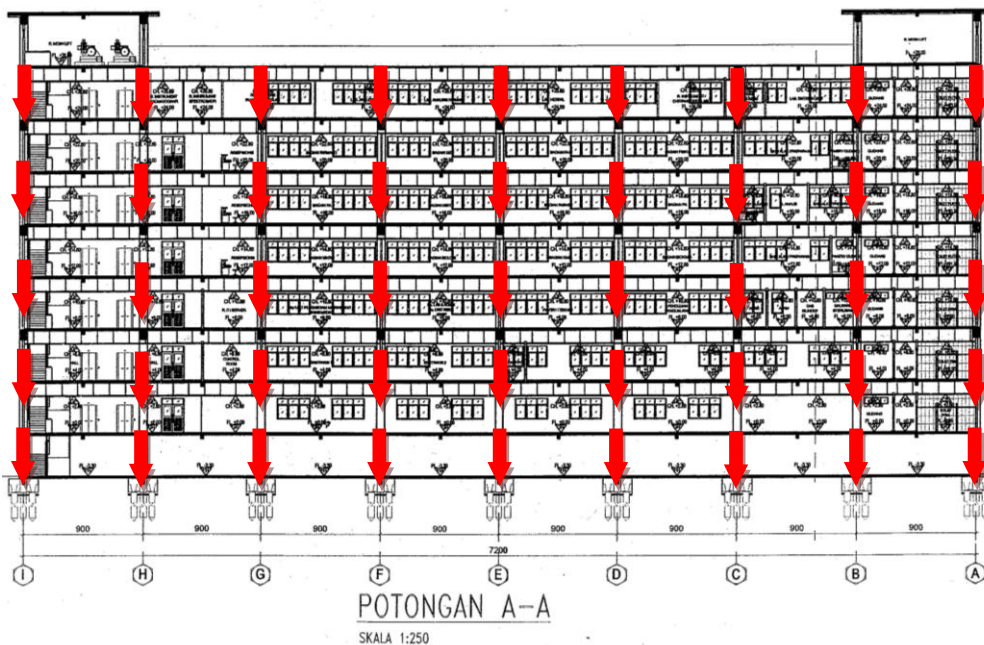
Di mana,  $a_{r-i}$  = rasio luas kolom dan/atau dinding geser ditingkat  $-i$  ( $\sum a_e)_i$  dan luas kolom dan/atau dinding geser satu tingkat dari tingkat  $-i$  ( $\sum a_e)_{i+1}$ .

Tabel 7.116. Rasio luas kolom tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$  dan luas kolom dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$  pada gedung lab. FK Unissula 8 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas kolom tipikal $(a_e)_i$ (m2)	$(\sum a_e)_i / (\sum a_e)_{i+1}$	$a_{r-i}$	Tingkatan kualitas $(G_i)$
lantai 01	22.68	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 02	22.68	1.27	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 03	17.92	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 04	17.92	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 05	17.92	1.31	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 06	13.72	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 07	13.72	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai atap	13.72	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1

Tabel 7.117. Rasio luas dinding geser tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$  dan luas dinding geser dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$  pada gedung lab. FK Unissula 8 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas dinding geser tipikal $(a_e)_i$ (m2)	$(\sum a_e)_i / (\sum a_e)_{i+1}$	$a_{r-i}$	Tingkatan kualitas $(G_i)$
lantai 01	4.55	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 02	4.55	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 03	4.55	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 04	4.55	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 05	4.55	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 06	4.55	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 07	4.55	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai atap	4.55	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1



Gambar 7.81. Kontinuitas alur beban kolom gedung lab. FK Unissula 8 lantai (sumber : analisa)

Dari gambar 7.81 terlihat tidak terdapat kolom yang mengalami pemutusan aliran beban seperti penghilangan kolom yang diganti dengan balok transfer yang sangat kritis jika terjadi gempa arah vertikal. Pada tabel 7.116 terdapat pengurangan luasan kolom di bawah lantai 02 ke lantai 03 dan di bawah lantai 05 ke lantai 06 dikarenakan

terjadinya perubahan dimensi kolom yang mengecil ke tingkat atas dan tidak menyebabkan diskontinuitas ketidakberaturan kuat lateral tingkat. Sementara itu, luasan dinding geser gedung Lab. FK Unissula tipikal dari lantai dasar s/d lantai atap sehingga pengurangan luasan kolom dan luasan tipikal dinding geser meniadakan potensi *weak story* di gedung laboratorium ini (tabel 7.117).

**i. Konfigurasi ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang & diskontinuitas arah bidang**

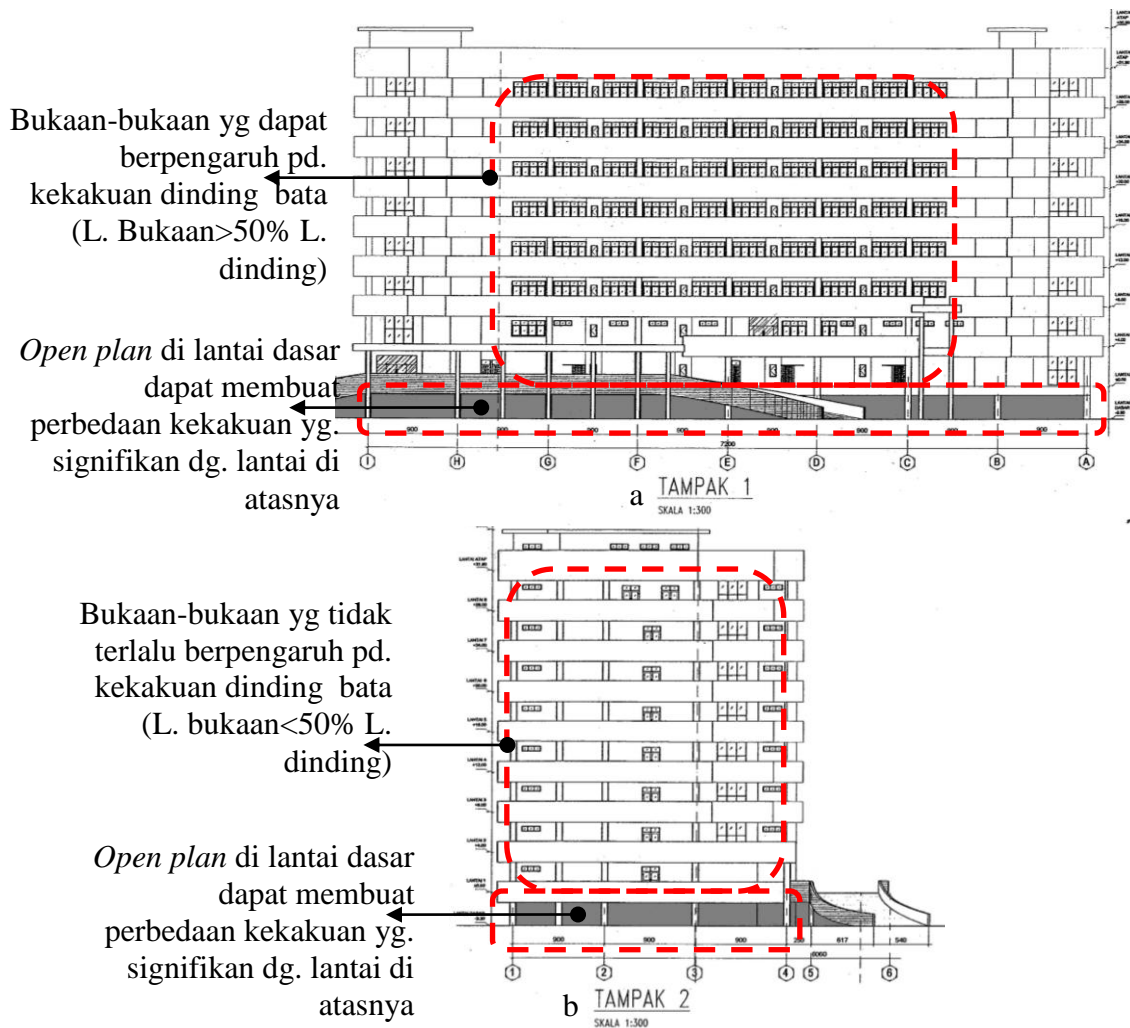
$$d_{r-i} = \Sigma d_i / \Sigma l_i \text{-----(5.21)}$$

Di mana,  $d_{r-i}$  = rasio kepadatan dinding (%),  $\Sigma d_i$  = luas dinding bata lantai tingkat ke -i dan  $\Sigma l_{tot-i}$  = Luas lantai di lantai tingkat ke -i.

Tabel 7.118. Rasio kepadatan dinding bata ( $d_{r-i}$ ) pada gedung lab. FK Unissula 8 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai ( $\Sigma l_i$ ) (m2)	Luas dinding bata ( $\Sigma d_i$ ) (m2)	$\Sigma d_i / \Sigma l_i$	$d_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	1635.90	8.91	0.5%	$d_{r,i} < 1.0\%$	0.5
lantai 02	1635.90	39.98	2.4%	$d_{r,i} > 1.5\%$	1
lantai 03	1578.90	41.70	2.6%	$d_{r,i} > 1.5\%$	1
lantai 04	1578.90	42.36	2.7%	$d_{r,i} > 1.5\%$	1
lantai 05	1578.90	42.36	2.7%	$d_{r,i} > 1.5\%$	1
lantai 06	1578.90	42.71	2.7%	$d_{r,i} > 1.5\%$	1
lantai 07	1578.90	42.71	2.7%	$d_{r,i} > 1.5\%$	1
lantai atap	1578.90	42.71	2.7%	$d_{r,i} > 1.5\%$	1

Untuk mengantisipasi banyaknya pengunjung rumah sakit serta mahasiswa kedokteran gigi dan mulut di wilayah Kaligawe yang rawan banjir, maka perencana hanya memanfaatkan lantai dasar sebagai tempat parkir sehingga dibuat sistem *open plan* (tanpa dinding). Sementara itu, lantai di atasnya menggunakan dinding bata di ruang-ruang servis seperti toilet, tangga, lift, shaft, dinding eksterior dan lainnya. Dinding interior menggunakan dinding partisi. Dengan sistem *open plan* pada lantai dasar membuat kepadatan dan distribusi dinding bata antara lantai dasar dengan lantai di atasnya berbeda sangat signifikan sehingga dapat membuat ketidakseragaman kekakuan bangunan dan memicu timbulnya *soft story* di lantai dasar (tabel 7.118 dan gambar 7.82).



Gambar 7.82. Bukaan-bukaan (jendela, ventilasi, *cladding*) dan *open plan* pada bangunan dapat mempengaruhi kekakuan gedung lab. FK Unissula (sumber : analisa)

### 7. Perbandingan indeks kapasitas gempa struktur ( $I_s$ ) dan indeks beban lateral gempa ( $I_{SO}$ ) gedung lab. FK Unissula 8 lantai.

Berdasarkan data-data dan perhitungan di atas, maka dapat disimpulkan untuk gedung lab. FK Unissula yaitu :

- Pada (tabel 7.120) kolom  $I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}$  merupakan perkalian indeks luas kolom dan indeks jenis kolom memperlihatkan nilainya untuk lantai dasar = 1 dan lantai di atasnya > 1 yang berarti dimensi kolom didesain dengan cukup baik sehingga memenuhi syarat luas minimum dalam menahan gempa kuat. Kolom gedung ini didominasi kategori kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ) dan sebagian kolom pendek ( $h_0/D \leq 2$ ) yang berarti masih potensial terjadinya kegagalan geser pada kolom akibat gempa kuat.

- Pada (tabel 7.120) kolom  $I_{Asw-i} \cdot I_{SW-i}$  merupakan perkalian indeks luas dinding geser dan indeks jenis dinding geser memperlihatkan nilainya  $< 1$  yang berarti dimensi dinding geser belum didesain dengan baik sehingga tidak memenuhi syarat luas minimum dalam menahan gempa kuat.
- Pada (tabel 7.120) kolom  $I_{SCWB-i}$  merupakan indeks *strong column weak beam* yang nilainya didominasi  $> 96\%$  dan hanya lantai atap  $< 50\%$ . Perencana masih sangat baik mendesain dimensi kolom dan balok sehingga didominasi yang memenuhi persyaratan mekanisme *strong column weak beam* ( $W_p$  kolom  $> 1.2 \times W_p$  balok), maka diharapkan ketika terjadi gempa kuat mekanisme SCWB dapat terbentuk.
- Pada (tabel 7.120) kolom  $I_T$  merupakan indeks periode getar struktur yang nilai = 1 yang berarti periode getar struktur ( $T_{C-X}=1.15$  dtk &  $T_{C-Y}=1.12$  dtk)  $<$  periode getar maksimum ( $T_{max}=1.45$  dtk) yang berarti bangunannya tidak terlalu fleksibel sehingga persyaratan keamanan elemen arsitektur dan struktur serta kenyamanan penghuni bangunan terpenuhi.
- Pada (tabel 7.120) kolom R dan  $\Omega_0$  merupakan faktor reduksi gempa dan faktor kuat lebih (tabel 5.2) yang nilainya tergantung jenis struktur yang dipilih. Jenis struktur yang digunakan pada bangunan kuliah 8 lantai ini yaitu SRPMK yang berarti  $R = 8$  dan  $\Omega_0 = 3$ . Perbandingan  $R/\Omega_0$  merupakan indeks daktilitas sistem struktur gedung laboratorium ini.
- Pada (tabel 7.120) kolom  $E_{0-i}$  adalah indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dan dinding geser yang merupakan hasil perkalian faktor modifikasi kapasitas geser tingkat; indeks dimensi kolom dan dinding geser; indeks jenis kolom dan dinding geser; indeks *strong column weak beam*; indeks periode getar struktur dan indeks daktilitas sistem struktur.
- Pada (tabel 7.120) kolom  $S_{D-i}$  merupakan indeks ireguleritas geometri bangunan. Jika dilihat tabel 7.119 indeks ireguleritas ( $S_{D-i}$ ) yang cukup kecil terjadi di lantai 01 dan 02. Di lantai 01 akibat kombinasi ireguleritas dibawahnya yang menggunakan sistem *open plan*. Terbentuknya *setback* dan ketidakberaturan sudut dalam, sedangkan di lantai 02 terjadi kombinasi ireguleritas yaitu disebabkan terbentuknya ketidakberaturan sudut dalam dan *setback*. Hal ini kurang menguntungkan karena terjadi dibagian bawah bangunan yang menerima gaya geser gempa paling besar pada bangunan ini.

Tabel 7.119. Konfigurasi ketidakberaturan vertikal dan horizontal ( $S_{D-i}$ ) gedung lab. FK Unissula 8 lantai (sumber : analisa).

Lantai	a eksentrisitas	b sudut dalam	c diafragma	d non paralel	e soft story	f massa	g setback	h weak story	i out-in plane	$S_{D-i}$
lantai 01	1	0.75	1	1	1	1	0.75	1	0.5	0.28
lantai 02	1	0.75	1	1	1	1	0.75	1	1	0.56
lantai 03	1	0.75	1	1	1	1	1	1	1	0.75
lantai 04	1	0.75	1	1	1	1	1	1	1	0.75
lantai 05	1	0.75	1	1	1	1	1	1	1	0.75
lantai 06	1	0.75	1	1	1	1	1	1	1	0.75
lantai 07	1	0.75	1	1	1	1	1	1	1	0.75
lantai atap	1	0.75	1	1	1	1	1	1	1	0.75

- Pada (tabel 7.120 dan tabel 7.121) kolom  $I_{S-i}$  adalah indeks kapasitas struktur yang merupakan perkalian indeks gempa dasar struktur dan indeks ireguleritas geometri bangunan.
- Pada (tabel 7.121) kolom  $I_{SO-i}$  adalah indeks beban lateral gempa yang merupakan perkalian faktor modifikasi beban horisontal tingkat, indeks respon seismik dan faktor keutamaan fungsi bangunan yang nilainya semakin besar jika fungsi bangunan semakin penting.
- Pada (tabel 7.121) perbandingan indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) memperlihatkan bahwa lantai 01 dan lantai atap nilai  $I_S \rightarrow I_S < 0.5I_{SO}$  potensi level kerusakan bangunan akibat gempa kuat adalah rusak berat (*CP-Collapse Prevention*). Lantai 02 s/d 06 nilai  $I_S \rightarrow 0.5 I_{SO} \leq I_S \leq I_{SO}$  yang berarti gedung mengalami potensi kerusakan sedang (*LS-Life Safety*) ketika terjadi gempa kuat dan lantai 07 nilai  $I_S > I_{SO}$  yang berarti gedung potensi level kerusakan bangunan akibat gempa kuat adalah rusak ringan (*IO-Immediate Occupancy*). Hal ini berarti gedung laboratorium ini belum didesain dengan baik karena untuk fasilitas pendidikan/kesehatan level kerusakan yang diperbolehkan pada saat terjadi gempa yaitu rusak ringan (*IO-Immediate Occupancy*). Dengan nilai  $I_S$  yang didominasi oleh kerusakan sedang dan berat disebabkan oleh dimensi dinding geser terlalu kecil sehingga tidak signifikan dalam meningkatkan kapasitas geser gedung. Padahal gedung berada di lokasi tanah lunak yang mengakibatkan menerima gaya gempa lebih besar.



Tabel 7.120. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) pada gedung lab. FK Unissula 8 lantai (sumber : analisa).

Model	Lantai	$\frac{n+1}{n+i}$		$I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}$	$I_{Asw-i} \cdot I_{SW-i}$	$I_{SCWB-i}$	$I_T$	R	$\Omega_0$	$E_{o-i}$	$S_{D-i}$	$I_{S-i}$
LAB_U-01	lantai 01	9/9	1.00	1.00	0.09	1.00	1	8	3	2.91	0.28	0.82
	lantai 02	9/10	0.90	1.15	0.10	1.00	1	8	3	3.01	0.56	1.69
	lantai 03	9/11	0.82	1.11	0.12	1.00	1	8	3	2.67	0.75	2.00
	lantai 04	9/12	0.75	1.38	0.14	1.00	1	8	3	3.05	0.75	2.29
	lantai 05	9/13	0.69	1.73	0.18	1.00	1	8	3	3.52	0.75	2.64
	lantai 06	9/14	0.64	1.77	0.72	0.96	1	8	3	4.11	0.75	3.08
	lantai 07	9/15	0.60	2.63	0.72	0.96	1	8	3	5.17	0.75	3.88
	lantai atap	9/16	0.56	4.36	0.72	0.29	1	8	3	2.18	0.75	1.63

Tabel 7.121. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) pada gedung lab. FK Unissula 8 lantai (sumber : analisa).

Model	Lantai	$I_{S-i}$	$I_{SO-i}$	SVA
LAB_U-01	lantai 01	0.82	2.15	CP
	lantai 02	1.69	2.30	LS
	lantai 03	2.00	2.46	LS
	lantai 04	2.29	2.65	LS
	lantai 05	2.64	2.87	LS
	lantai 06	3.08	3.13	LS
	lantai 07	3.88	3.45	IO
	lantai atap	1.63	3.83	CP

## 7.7. SVA GEDUNG HOTEL ARTOTEL 12 LANTAI DI JL. GAJAHMADA SEMARANG

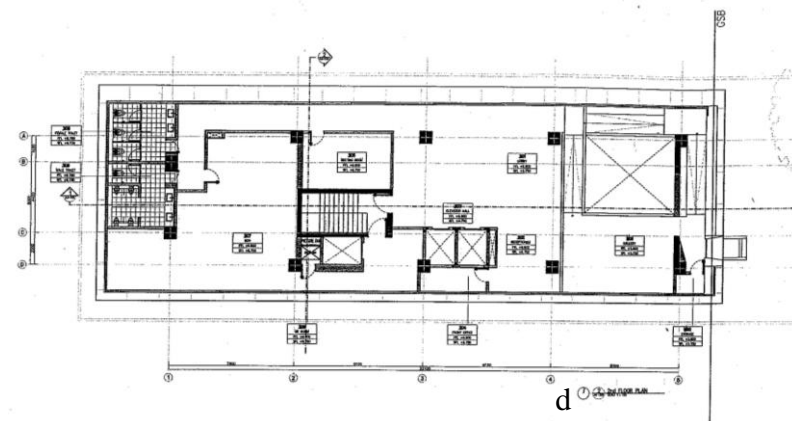
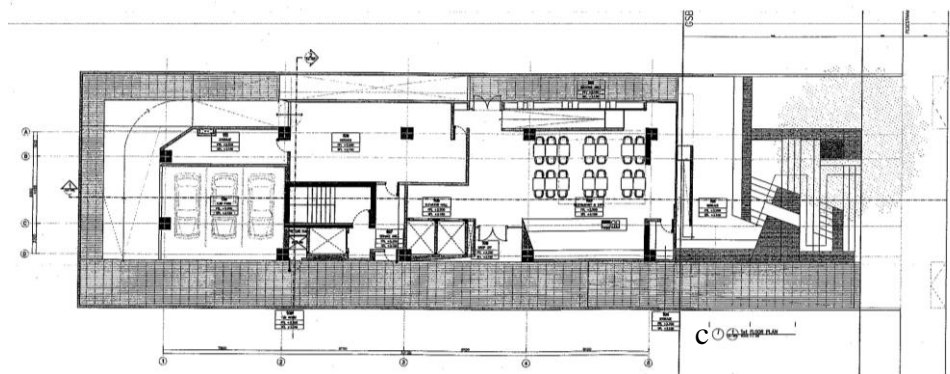
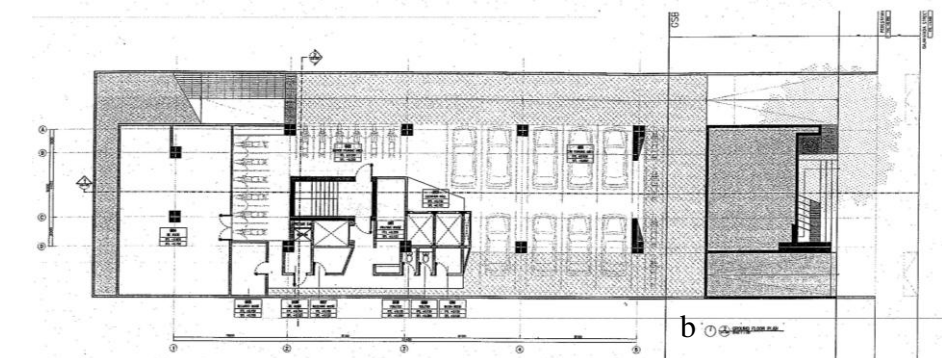
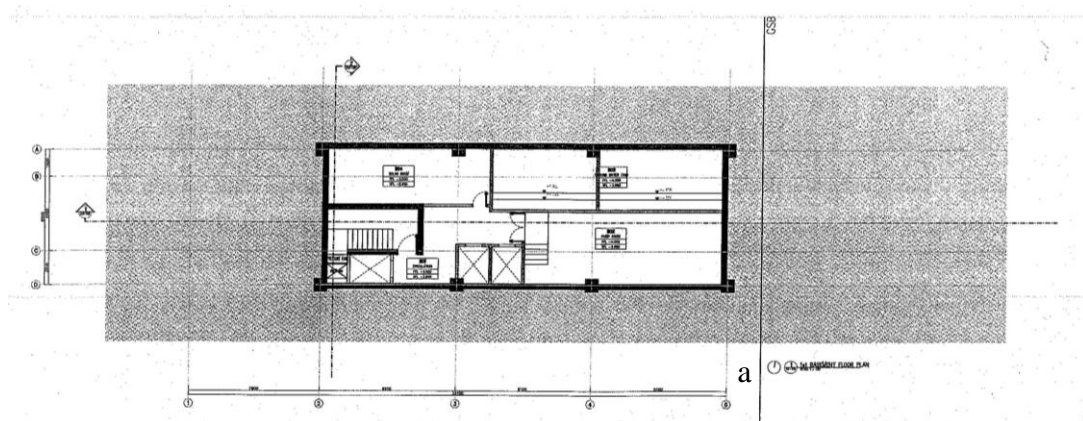
### 1. Data Arsitektur

Sebagai salah satu kota metropolitan terbesar di Jawa Tengah membuat kota Semarang semakin berkembang pesat. Banyak pembangunan yang dilakukan dengan semakin banyaknya didirikannya perkantoran, perdagangan, pabrik dan lainnya. Selain itu, Semarang termasuk kota besar yang menjadi tujuan wisata di Jawa Tengah. Hal ini memengaruhi banyak orang yang berkunjung ke Semarang baik dengan tujuan bisnis atau rekreasi sehingga memunculkan kebutuhan akan tempat menginap yang aman, nyaman, dan strategis. Fenomena ini ditangkap oleh PT. HDA dengan berencana membangun hotel 12 lantai di pusat Kota Semarang yaitu di Jl. Gajah Mada.

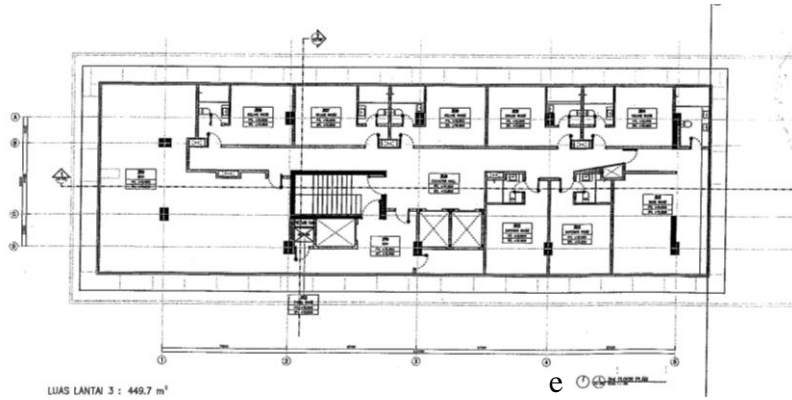
Adapun rencana penggunaan dari 12 lantai tersebut yaitu :

- Lantai basement, difungsikan sebagai ruang mekanikal elektrik.

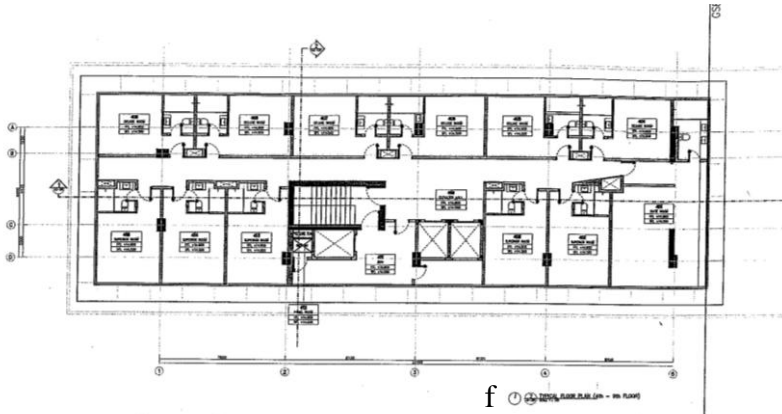
- Lantai dasar, difungsikan sebagai tempat parkir motor dan mobil.
- Lantai 01, difungsikan sebagai restaurant.
- Lantai 02, difungsikan sebagai hall dan lobby hotel.
- Lantai 03 s/d 09, difungsikan sebagai ruang penginapan.
- Lantai 10, difungsikan sebagai bar.



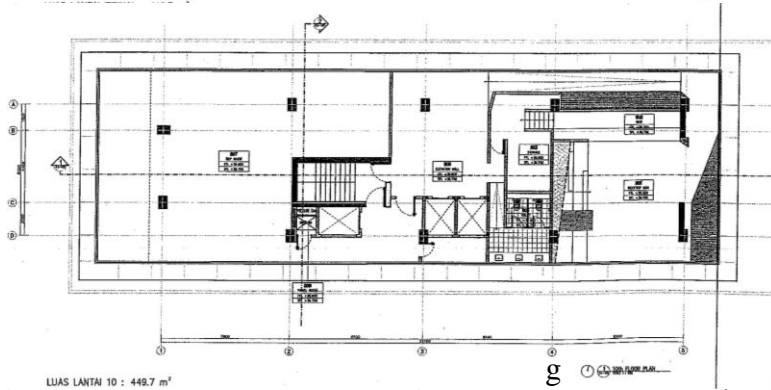




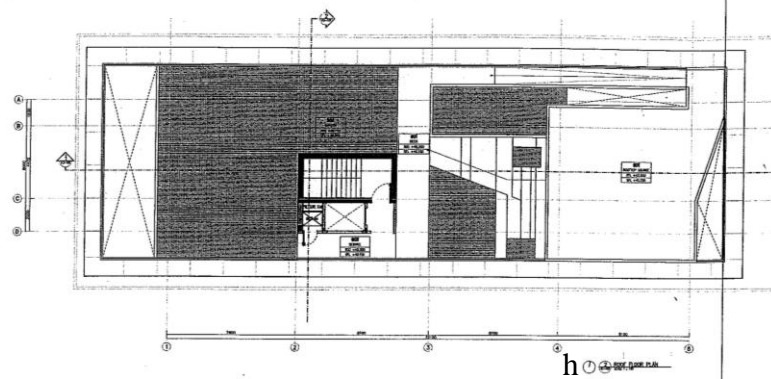
LUAS LANTAI 3 : 449.7 m<sup>2</sup>



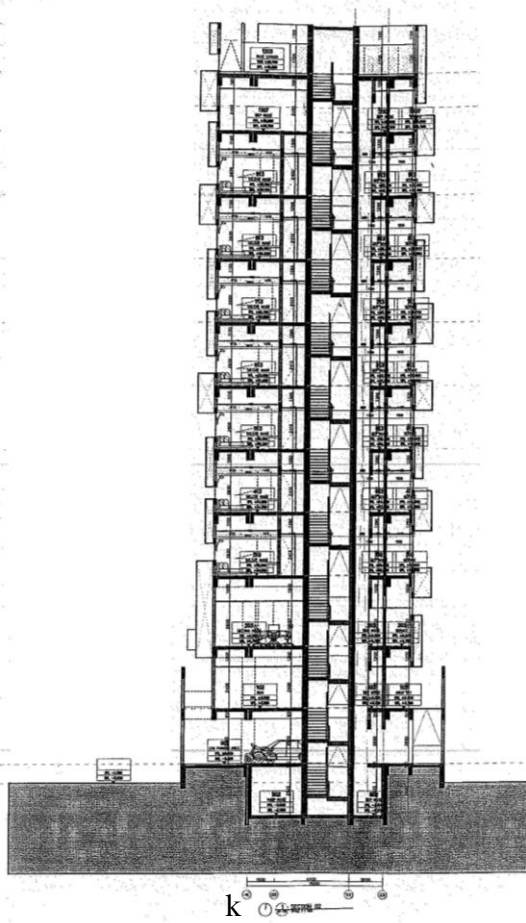
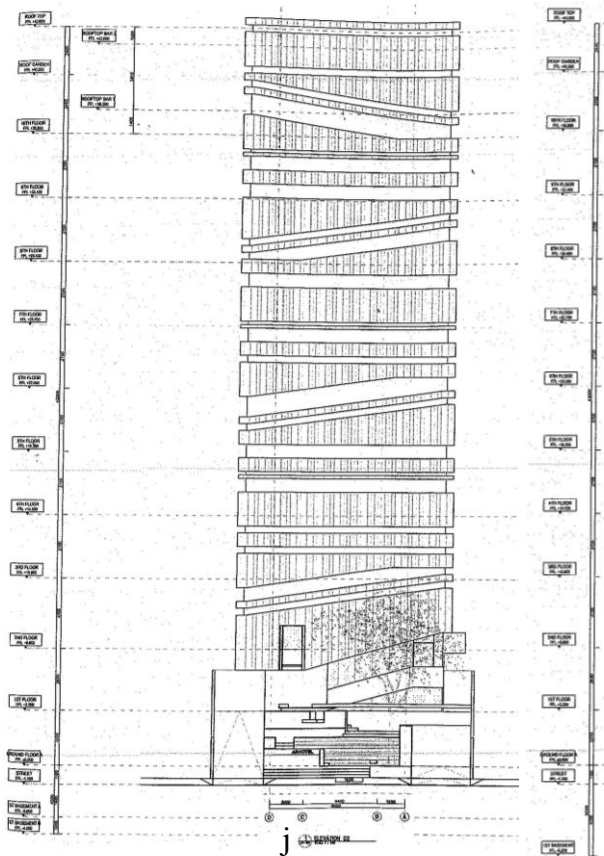
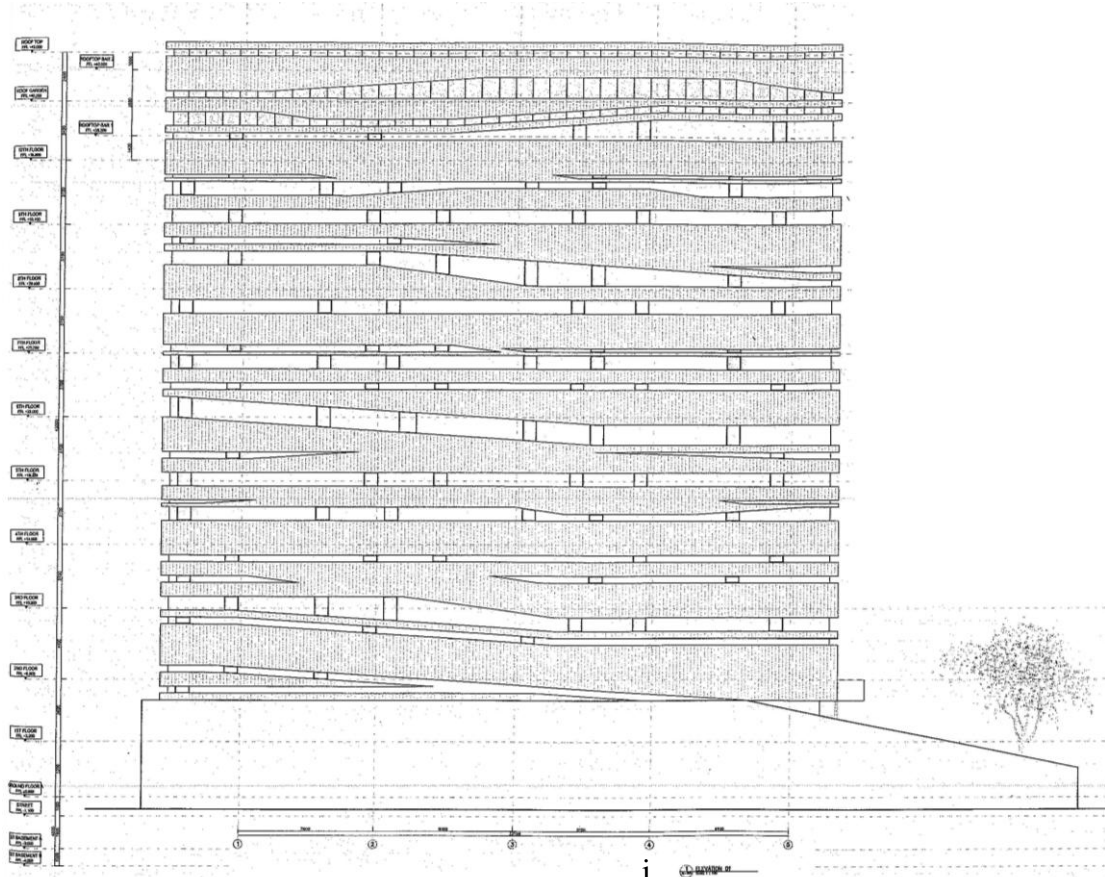
f

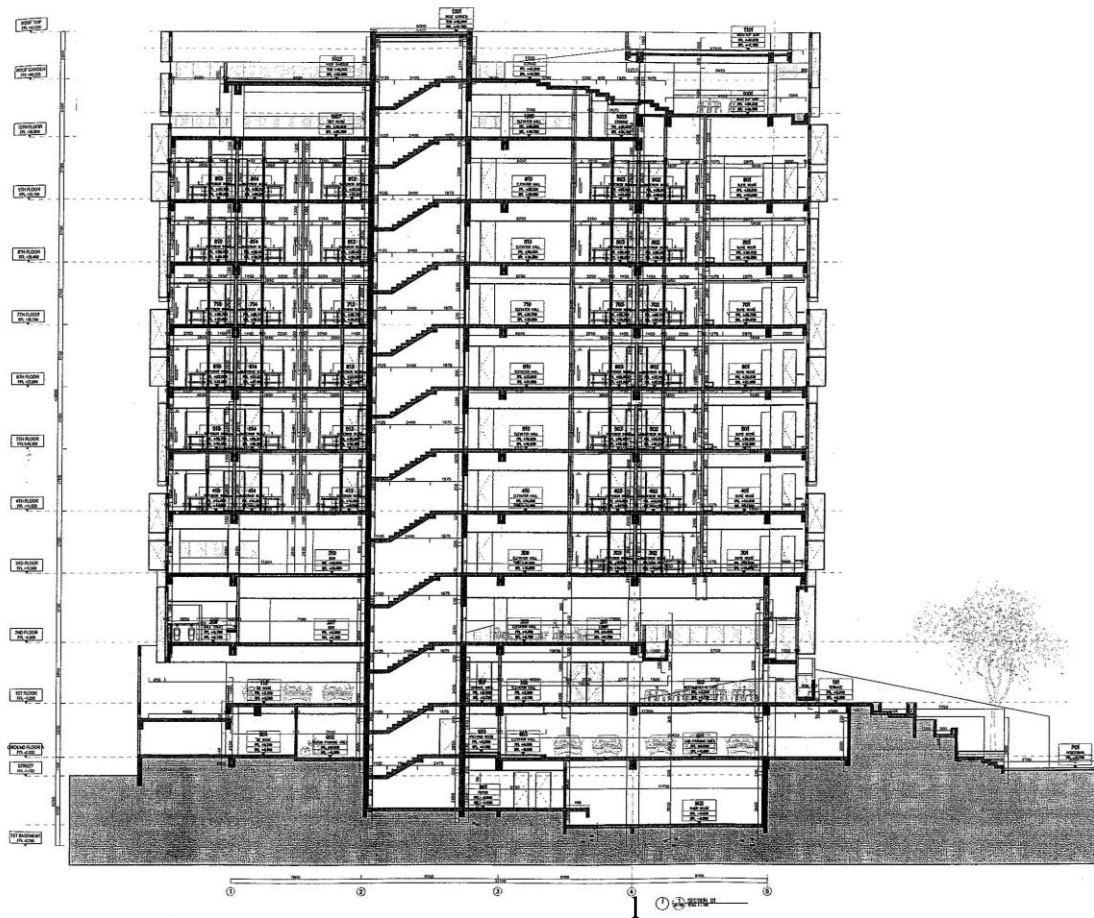


LUAS LANTAI 10 : 449.7 m<sup>2</sup>



h

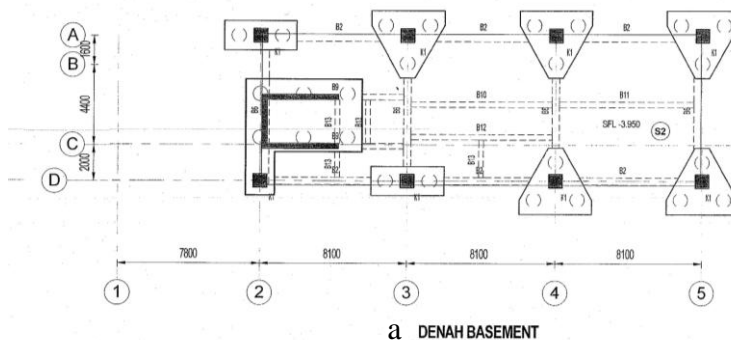


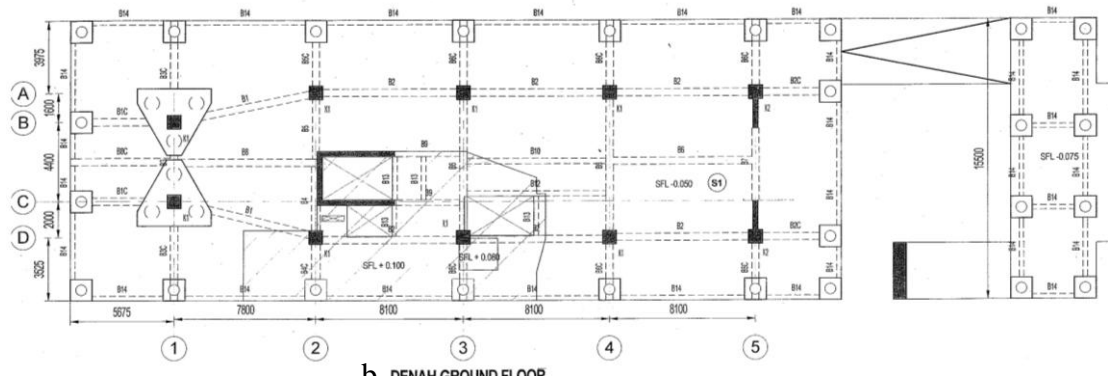


Gambar 7.83. Gambar denah, tampak dan potongan gedung Hotel Artotel di Jl. Gajah Mada Semarang (sumber : DISTARU Kota Semarang).

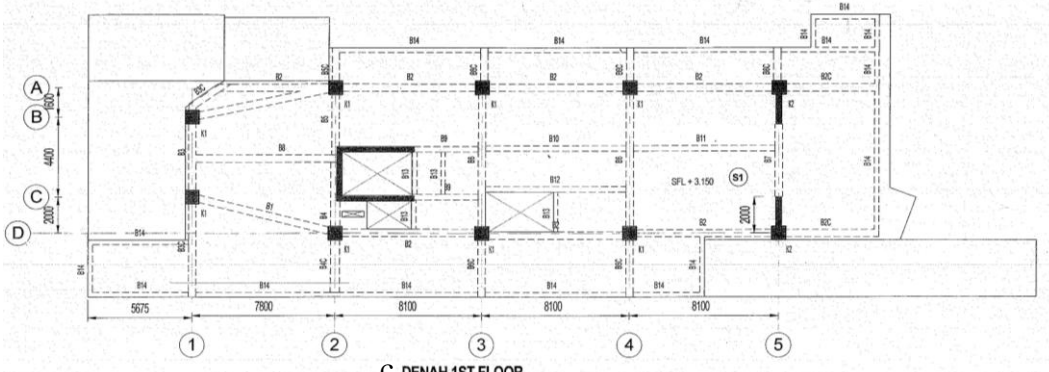
## 2. Data Struktur

Struktur atas yang digunakan pada gedung ini yaitu struktur beton bertulang sistem rangka penahan momen khusus (SRPMK). Mutu beton kolom dan dinding geser yaitu K-500, sedangkan balok dan plat lantai yaitu K-450. Lalu, tulangan  $f_y=400$  MPa (BJTD-40  $D \geq 10$ ) dan  $f_y=240$  MPa (BJTP-24  $D < 10$ ).

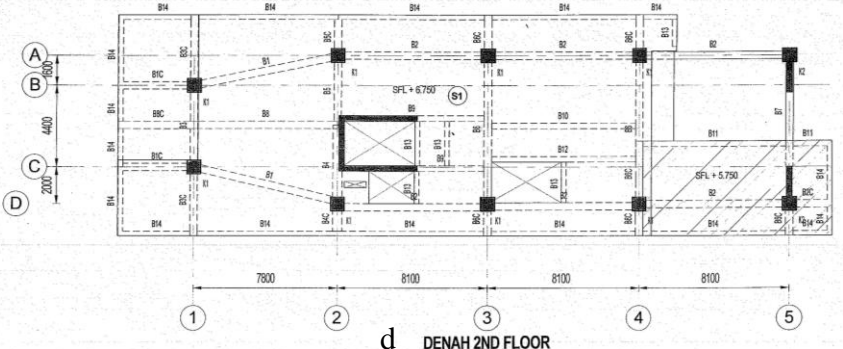




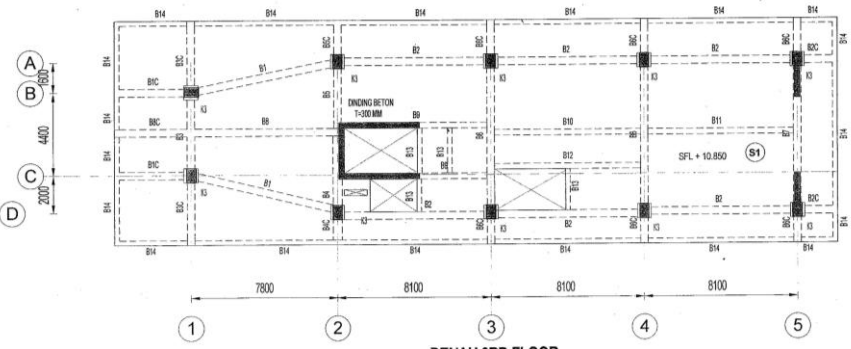
b DENAH GROUND FLOOR



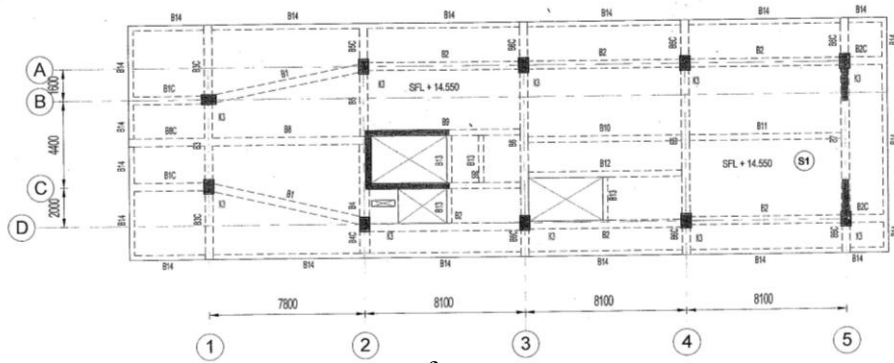
c DENAH 1ST FLOOR



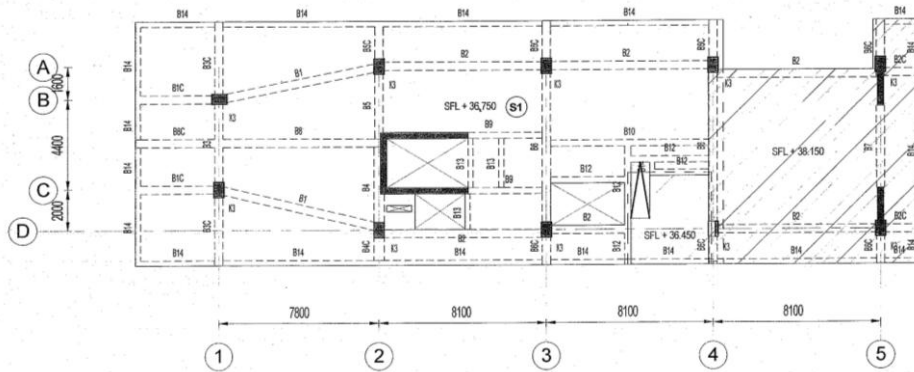
d DENAH 2ND FLOOR



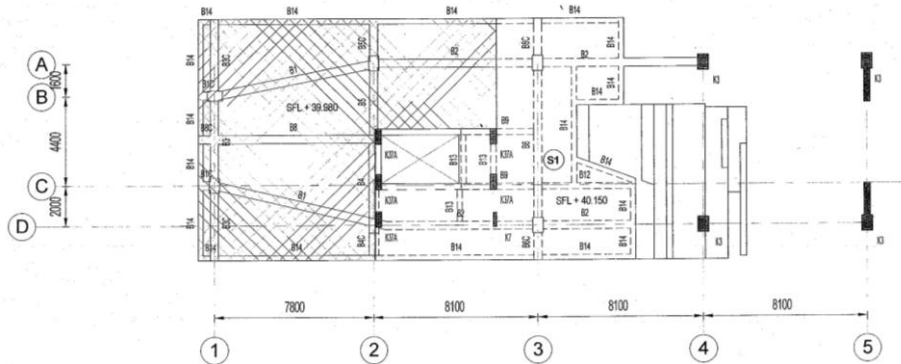
e DENAH 3RD FLOOR



f DENAH 4TH-9TH FLOOR



g DENAH 10TH FLOOR



h DENAH ROOF FLOOR

Gambar 7.84. Gambar denah kolom, balok & plat lantai gedung Hotel Artotel 12 lantai (sumber : DISTARU Kota Semarang)

3. Screening dimensi struktur gedung Hotel Artotel strong column & weak beam, periode getar dan kekakuan

Tabel 7.122. Rasio bentang struktur dan tinggi balok, dan rasio tinggi balok dan lebar balok (sumber : analisa).

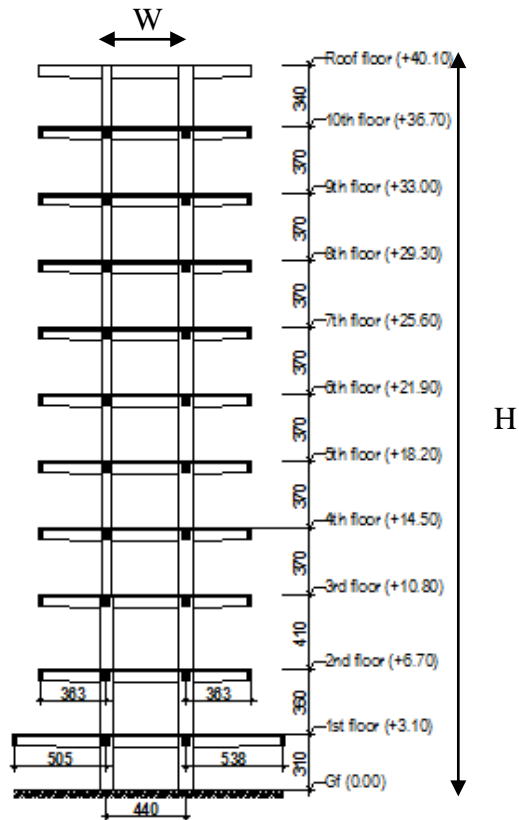
Balok	Dimensi - $b_b/h_b$ (cm)	Bentang -L (m)	$L/h_b - 1/10-1/14$	$h_b/b_b \leq 2$
B1, B2, B5	40/60	3.75, 6.2, 8.1	1/6-1/14	1.5
B3C, B6, B7, B8	40/70	2.26, 4.05, 4.4, 7.8, 8	1/3-1/11	1.8
B4	50/50	4.26	1/9	1.0
B9, B10, B12	30/60	3.4, 4.1, 4.7, 8.1	1/6-1/14	2.0
B13	25/40	2, 2.55, 2.7	1/5-1/7	1.6
B14	25/60	2, 2.625, 3.75, 4.4, 5.45, 5.68, 7.8, 8, 8.1	1/3-1/14	1.6
Balok kantilever	Dimensi - $b_b/h_b$ (cm)	Bentang -L (m)	$L/h_b - \leq 1/5$	$h_b/b_b \leq 2$
B2, B2C, B5C	40/60	2.1, 3.45, 5.1	1/4-1/9	1.5
B3C, B6C, B8C	40/70	2, .05, 3.375, 3.75, 5.375	1/3-1/8	1.8
B12	30/60	3.75	1/6	2.0
B14	25/60	3.375	1/6	2.4

Tabel 7.123. Dimensi minimal kolom (sumber : analisa).

Kolom	Dimensi - $b_c/h_c$ (cm)	$b_c/h_c$	$b_c \geq 30$	$b_c/h_c \geq 0.4$
K1	75/75	1.00	ya	ya
K3	55/75	0.73	ya	ya
K4	30/75	0.40	ya	ya
K7	13/70	0.19	tidak	tidak

Tabel 7.124. *Strong column* dan *weak beam* (sumber : analisa).

LANTAI	$W_p \text{ KOLOM} > 1.2 \times W_p \text{ BALOK}$
GF	100%
1	100%
2	100%
3	100%
4	95%
5	95%
6	95%
7	95%
8	95%
9	95%
10	95%
RF	30.0%



Gambar 7.85. Massa gedung Hotel Artotel 12 lantai yang super langsing dengan  $H/B=9.11 > 4$  (sumber : analisa)

- Pada (tabel 7.122 dan 7.123) memperlihatkan bahwa dimensi balok/kolom, tinggi dan lebarnya sudah memenuhi ketentuan dalam menahan gempa kua, tetapi untuk balok kantilever dimensinya masih terlalu kecil.
- Pada (tabel 7.124) memperlihatkan bahwa dimensi balok dan kolom sudah memenuhi ketentuan  $W_p \text{ kolom} \geq 1.2 \times W_p$ , kecuali lantai atap sehingga kemungkinan terbentuknya mekanisme *strong column* dan *weak beam* diharapkan masih bisa terjadi pada saat gempa kuat.
- Dari hasil perhitungan konsultan bangunan hotel ini memiliki rentang periode getar pendekatan  $T_a=1.15$  dtk dan  $T_{max}=1.61$  dtk, sedangkan berdasarkan perhitungan periode getar fundamentalnya ( $T_{cal}$ ) untuk arah sumbu  $-Y=1.85$  dtk dan untuk arah sumbu  $-X=2.12$  dtk. Periode getar arah sumbu  $-Y$  dan  $-X$  ternyata di atas  $T_{max}$  yang berarti bangunannya terlalu fleksibel.
- Geometri gedung Hotel Artotel di mana perbandingan lebar dan tinggi bangunan ( $H/W=9.11 > 4$ ) sangat besar sehingga membuat gedung ini kurang kaku atau terlalu fleksibel (gambar 7.85).

#### 4. Indeks kapasitas geser struktur ( $I_{S-i}$ ) gedung Hotel Artotel

Perencana struktur merancang gedung hotel ini dengan jenis SRPMK. Akan tetapi, dikarenakan ada dinding geser, maka menggunakan persamaan struktur rangka pemikul momen dan dinding geser (persamaan 5.6). Namun, untuk faktor R dan  $\Omega_0$  tetap menggunakan SRPMK dengan  $R=8$  dan  $\Omega_0 = 3$  (lihat tabel 5.2).

$$E_{0-i} = \frac{n+1}{n+i} [(I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}) + (I_{Asw-i} \cdot I_{SW-i})] \cdot I_{SCWB-i} \cdot I_T \cdot \frac{R}{\Omega_0} \quad (5.6)$$

Dimana,

$n$  = Jumlah tingkat bangunan.

$i$  = Jumlah tingkat yang dievaluasi. Di mana tingkat pertama diberi nomor 1 dan tingkat terakhir adalah  $n$ .

$I_{Ac-i}$  = Indeks dimensi kolom di tingkat ke- $i$  (tabel 5.1)

$I_{C-i}$  = Indeks jenis kolom di tingkat ke- $i$ .

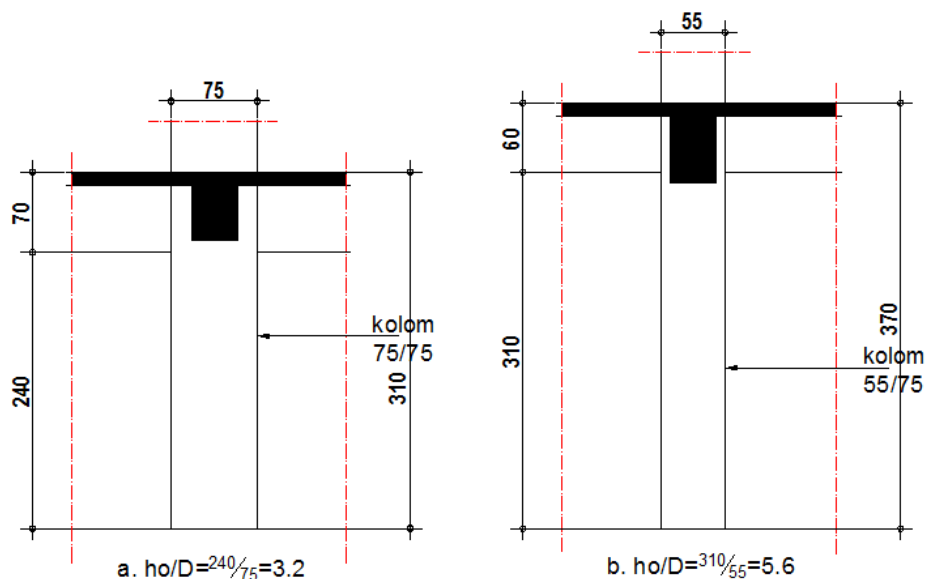
$I_{Asw-i}$  = Indeks dimensi dinding geser di tingkat ke- $i$ .

$I_{SW-i}$  = Indeks jenis dinding geser di tingkat ke- $i$ .

$I_{SCWB-i}$  = Indeks *Strong Column Weak Beam* tingkat di tingkat ke- $i$ .

$I_T$  = Indeks periode getar struktur,  $T_c \leq T_{max} \rightarrow I_T = 1$  dan  $T_c > T_{max} \rightarrow I_T = 0$

$R/\Omega_0$  = Indeks daktilitas



Gambar 7.86. Kekakuan kolom yang dipengaruhi tinggi kolom, tinggi balok & interupsi bukaan a). & b). kategori kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ) (sumber : analisa)

Sebagai langkah awal untuk menghitung indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dengan persamaan 5.6 dilakukan *screening* kategori jenis kolom menurut tabel 5.1, untuk mengetahui kekakuan kolom (gambar 7.86).



Untuk gedung Hotel Artotel ini parameter indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dan dinding geser yaitu :

Tabel 7.125. Indeks kolom ( $I_{C-i}$ ) berdasarkan jumlah jenis kolom ( $h_0/D$ ) dan indeks jenis kolom (sumber : analisa).

Lantai	Jumlah jenis kolom ( $N_c$ )			$I^*N_c/\sum N_c$			Indeks Kolom ( $I_{C-i}$ ) $\sum(I^*N_c/\sum N_c)$
	(a). $h_0/D \leq 2$ (bh)	(b). $2 < h_0/D < 6$ (bh)	(c). $6 \leq h_0/D$ (bh)	$h_0/D \leq 2$	$2 < h_0/D < 6$	$6 \leq h_0/D$	
	GF	-	8	-	-	0.8	
1	-	10	-	-	0.8	-	0.8
2	-	10	-	-	0.8	-	0.8
3	-	10	-	-	0.8	-	0.8
4	-	10	-	-	0.8	-	0.8
5	-	10	-	-	0.8	-	0.8
6	-	10	-	-	0.8	-	0.8
7	-	10	-	-	0.8	-	0.8
8	-	10	-	-	0.8	-	0.8
9	-	10	-	-	0.8	-	0.8
10	-	10	-	-	0.8	-	0.8
RF	-	10	-	-	0.8	-	0.8
<b>Indeks (I)</b>	1	0.8	0.6				

Tabel 7.126. Indeks dinding geser  $I_{SW-i}$  berdasarkan jumlah jenis dinding geser dan indeks dinding geser (sumber : analisa).

Lantai	Jumlah jenis shear wall ( $N_{sw}$ )			$I^*N_{sw}/\sum N_{sw}$			Indeks shear wall ( $I_{SW-i}$ ) $\sum(I^*N_{sw}/\sum N_{sw})$
	(a).Dibatasi 2 kolom (bh)	(b).Dibatasi 1 kolom (bh)	(c).Tanpa dibatasi kolom (bh)	Dibatasi 2 kolom	Dibatasi 1 kolom	Tanpa dibatasi kolom	
	GF	-	-	3	-	-	
1	-	2	3	-	0.32	0.36	0.68
2	-	2	3	-	0.32	0.36	0.68
3	-	2	3	-	0.32	0.36	0.68
4	-	2	3	-	0.32	0.36	0.68
5	-	2	3	-	0.32	0.36	0.68
6	-	2	3	-	0.32	0.36	0.68
7	-	2	3	-	0.32	0.36	0.68
8	-	2	3	-	0.32	0.36	0.68
9	-	2	3	-	0.32	0.36	0.68
10	-	2	3	-	0.32	0.36	0.68
RF	-	2	3	-	0.32	0.36	0.68
<b>Indeks (I)</b>	1	0.7	0.3				

Tabel 7.127. Jumlah luas dimensi kolom disain ( $\sum A_c$ ) dan jumlah luas dimensi kolom minimum ( $\sum A_{c \text{ min}}$ ) (sumber : analisa).

Lantai	$\sum A_c$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{c \text{ min}}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_c/\sum A_{c \text{ min}}$ (Ia)
GF	4.50	5.11	0.88
1	5.63	6.34	0.89
2	5.63	5.57	1.01
3	5.63	5.04	1.12
4	4.13	4.46	0.92
5	4.13	3.89	1.06
6	4.13	3.32	1.24
7	4.13	2.74	1.50
8	4.13	2.17	1.90
9	4.13	1.60	2.58
10	4.13	1.05	3.94
RF	4.13	0.90	4.58

Tabel 7.128. Jumlah luas dimensi dinding geser disain ( $\sum A_{sw}$ ) dan jumlah luas dimensi dinding geser minimum ( $\sum A_{sw \text{ min}}$ ) (sumber : analisa).

Lantai	$\sum A_{sw}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{sw \text{ min}}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{sw}/\sum A_{sw \text{ min}}$ (lsw)
GF	3.42	5.99	0.57
1	3.42	5.76	0.59
2	3.42	5.08	0.67
3	3.42	4.55	0.75
4	3.42	4.03	0.85
5	3.42	2.98	1.15
6	3.42	2.98	1.15
7	3.42	2.46	1.39
8	3.42	1.93	1.77
9	3.42	1.41	2.43
10	3.42	0.88	3.88
RF	3.42	0.38	9.10

Tabel 7.129. Kombinasi ( $\sum A_c$ )/ $\sum A_c \text{ min}$  dan ( $\sum A_{sw}$ )/( $\sum A_{sw \text{ min}}$ ) (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai (m <sup>2</sup> )	$\sum A_c$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{sw}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{csw}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{csw \text{ min}}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{csw}/\sum A_{csw \text{ min}}$
GF	4994.68	4.50	3.42	7.92	9.99	0.79
1	4800.28	5.63	3.42	9.05	9.60	0.94
2	4233.00	5.63	3.42	9.05	8.47	1.07
3	3795.63	5.63	3.42	9.05	7.59	1.19
4	3358.25	4.13	3.42	7.55	6.72	1.12
5	2483.51	4.13	3.42	7.55	4.97	1.52
6	2483.51	4.13	3.42	7.55	4.97	1.52
7	2046.13	4.13	3.42	7.55	4.09	1.84
8	1608.76	4.13	3.42	7.55	3.22	2.34
9	1171.39	4.13	3.42	7.55	2.34	3.22
10	734.01	4.13	3.42	7.55	1.47	5.14
RF	313.04	4.13	3.42	7.55	0.63	12.05

- Dari (tabel 7.125) memperlihatkan bahwa gedung hotel ini didominasi jenis kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ) dan sebagian kolom langsing ( $6 \leq h_0/D$ ) yang berarti kegagalan geser dan lentur pada kolom bangunan ini masih dapat diminimalisasi pada saat terjadi gempa kuat.
- Jenis dinding geser berdasarkan (tabel 7.126) terbagi dinding geser yang tidak diapit kolom dan yang diapit satu kolom. Hal ini kurang menguntungkan karena tambahan kekakuan dari dinding geser akibat jepitan kolom kurang maksimal.
- Pada (tabel 7.127) memperlihatkan bahwa dimensi kolom pada gedung hotel Artotel ini belum memenuhi persyaratan minimum dalam menghadapi gempa kuat. Luasan kolom bangunan ini dari lantai *Ground floor*/lantai dasar, tetapi

lantai 01 dan lantai 04 kurang dari luas minimum, sedangkan gaya geser gempa paling besar terjadi dibagian bawah bangunan. Begitu juga pada luasan dinding geser dari lantai dasar s/d lantai 04 kurang dari luasan minimum, sedangkan bersama-sama dengan kolom menahan gaya geser gempa (tabel 7.128).

- Tabel 7.129 memperlihatkan kombinasi antara dimensi kolom dan dimensi dinding geser pada gedung ini pada lantai GF dan lantai 01 belum memenuhi persyaratan minimum dalam menghadapi gempa kuat, sedangkan gaya geser gempa paling besar terjadi dibagian bawah bangunan.
- Struktur yang dipilih SRPMK maka  $R = 8$  dan  $\Omega_0 = 3$  (lihat tabel 5.2)

**5. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung Hotel Artotel**

$$I_{SO-i} = \frac{n+i}{2n-i+1} (I_{CS} \cdot I_e) \text{-----(5.22)}$$

Dimana,

$n$  = Jumlah tingkat bangunan.

$i$  = Jumlah tingkat yang dievaluasi. Di mana tingkat pertama diberi nomor 1 dan tingkat terakhir adalah  $n$

$C_S$  = Koefisien respon seismik desain

$C_{S \text{ min}}$  = Koefisien respon seismik minimum  $S_S=0.25g$  dan  $S_1=0.1g$

$I_{CS}$  = Indeks respon seismik

$I_e$  = Faktor keutamaan fungsi bangunan

Untuk zona gempa wilayah Jl. Gajah Mada Semarang parameter gempanya yaitu :

$S_S = 0.996 g$

$S_1 = 0.335 g$

*Site class* = E

*Seismic important factor*  $I_e$  untuk gedung hotel = 1.0

$C_S = 0.0462$

$C_{S \text{ min}} = 0.018$

$I_{CS} = C_S / C_{S \text{ min}} = 2.567$

Adapun beban lateral gempa pada masing-masing tingkat dapat dilihat pada tabel 7.130.

Tabel 7.130. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung Hotel Artotel Jl. Gajah Mada Semarang (sumber : analisa).

Model	Lantai	$\frac{n+1}{2n-i+1}$		$I_{CS}$	$I_e$	$I_{SO-i}$
HA-01	GF	13/24	0.54	2.567	1.0	1.39
	1	13/23	0.57	2.567	1.0	1.45
	2	13/22	0.59	2.567	1.0	1.52
	3	13/21	0.62	2.567	1.0	1.59
	4	13/20	0.65	2.567	1.0	1.67
	5	13/19	0.68	2.567	1.0	1.76
	6	13/18	0.72	2.567	1.0	1.85
	7	13/17	0.76	2.567	1.0	1.96
	8	13/16	0.81	2.567	1.0	2.09
	9	13/15	0.87	2.567	1.0	2.22
	10	13/14	0.93	2.567	1.0	2.38
	RF	13/13	1.00	2.567	1.0	2.57

## 6. Ireguleritas konfigurasi ( $S_{D-i}$ )

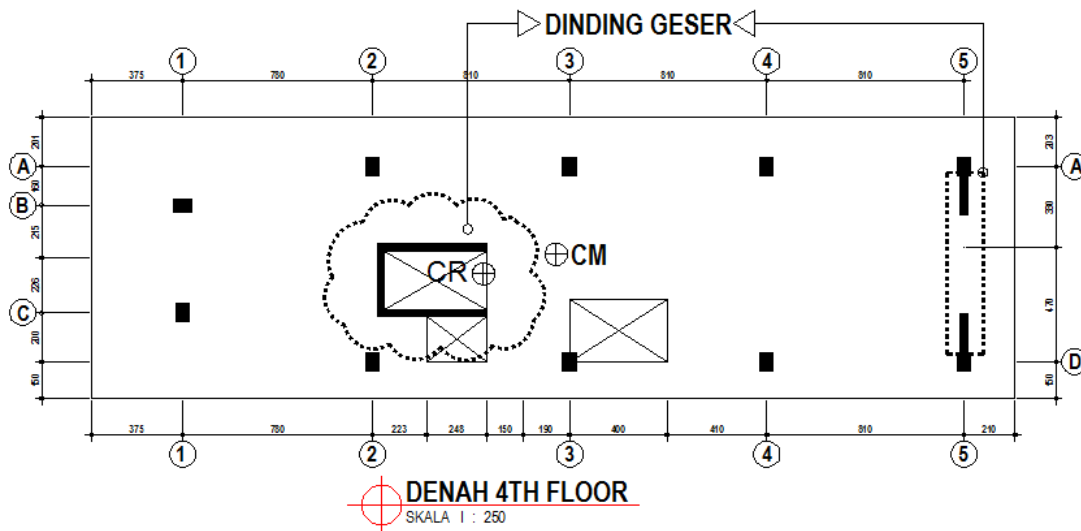
### a. Konfigurasi ketidakberaturan torsi

$$e_{r-i} = e_i/w_i \text{-----}(5.13)$$

Di mana :  $e_{r-i}$  = rasio antara panjang eksentrisitas ( $e_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan lebar bangunan ( $w_i$ ) tingkat ke  $-i$ .

Tabel 7.131. Eksentrisitas ( $e_{x-i}$  &  $e_{y-i}$ ) antara pusat massa dan pusat kekakuan lantai pada gedung Hotel Artotel (sumber : analisa).

Lantai	$e_{x-i}$ (m)	$e_{y-i}$ (m)	$e_{rx-i}$	$e_{ry-i}$	$e_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
GF	5.436	0.581	0.224	0.073	$0.1 < e_{r-i} < 0.3$	0.75
1	0.833	0.219	0.026	0.027	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
2	2.317	0.238	0.072	0.030	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
3	0.059	0.602	0.002	0.075	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
4	0.039	0.644	0.001	0.081	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
5	0.039	0.644	0.001	0.081	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
6	0.039	0.644	0.001	0.081	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
7	0.039	0.644	0.001	0.081	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
8	0.039	0.644	0.001	0.081	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
9	0.039	0.644	0.001	0.081	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
10	0.490	0.452	0.015	0.057	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
RF	1.729	0.638	0.054	0.080	$e_{r-i} \leq 0.1$	1



Gambar 7.87. Perletakan dinding geser yang mempertimbangkan keseimbangan kekakuan dapat memperkecil eksentrisitas antara *center of massa* (CM) dan *center of rigidity* (CR) (sumber : analisa)

Gedung hotel ini bentuk geometrinya relatif ireguler pada sumbu -Y dan simetris sumbu -X. Perletakan dinding gesernya sudah mempertimbangkan keseimbangan kekakuan mengakibatkan eksentrisitas antara *center of massa* (CM) dan *center of rigidity* (CR) relatif kecil sehingga dapat meminimalisasi potensi terjadinya torsi pada gedung ini ketika terjadi gempa kuat (lihat tabel 7.131 dan gambar 7.87).

**b. Konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam**

$$b_{r-i} = I_{p-i}/I_{u-i} \text{-----(5.14)}$$

Di mana :  $b_{r-i}$  = rasio luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan ( $I_{p-i}$ ) tingkat ke -i dan luas lantai bangunan utama tingkat ke -i ( $I_{u-i}$ ).

Dari gambar struktur 7.84a s/d h tidak terdapat massa aditif atau subtraktif maupun kombinasi massa yang membentuk konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam.

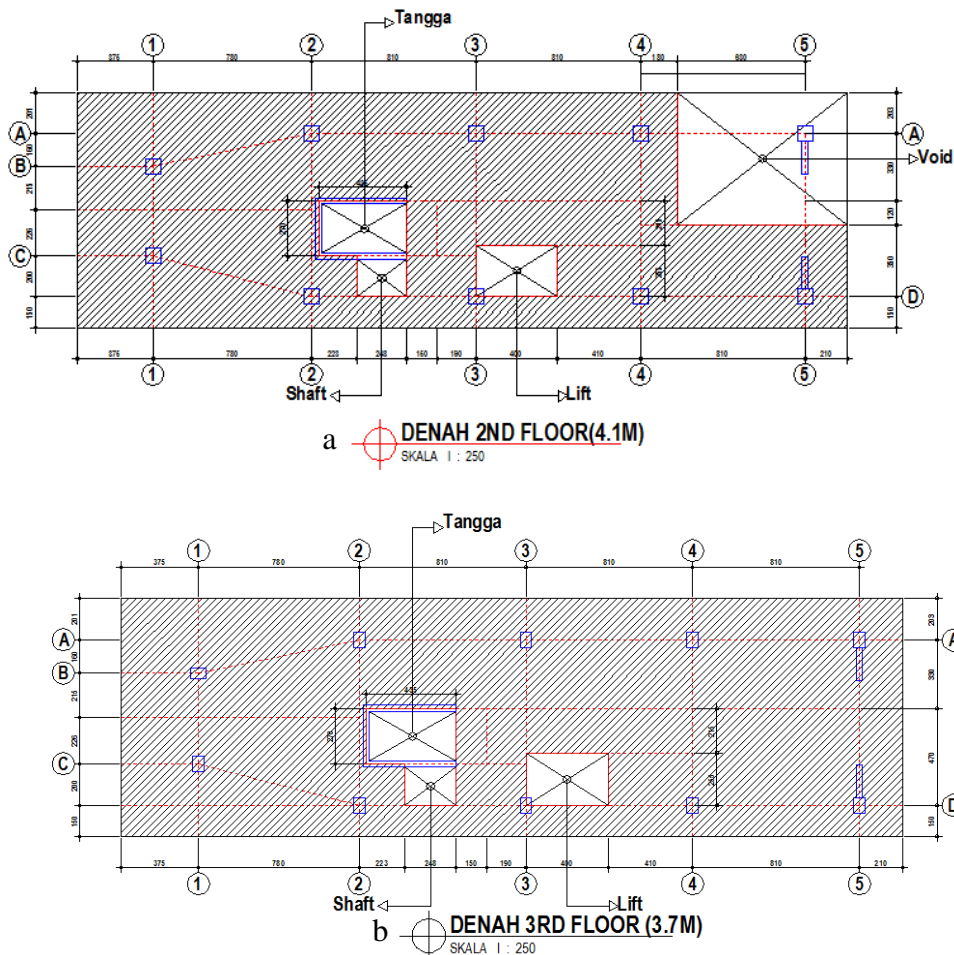
**c. Konfigurasi ketidakberaturan diskontinuitas diafragma**

$$e_{v-i} = \sum l_{b-i}/\sum l_{i-i} \text{-----(5.15)}$$

Di mana :  $e_{v-i}$  = rasio luas lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll tingkat ke -i ( $l_{b-i}$ ) dan luas lantai tingkat ke -i ( $l_{i-i}$ ).

Tabel 7.132. Rasio lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll ( $l_{b-i}$ ) dan luas lantai ( $l_{l-i}$ ) pada gedung Hotel Artotel 12 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai ( $\sum l_{l-i}$ ) (m <sup>2</sup> )	luas bukaan ( $\sum l_{b-i}$ ) (m <sup>2</sup> )	$\sum l_{b-i} / \sum l_{l-i}$	$e_{v-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
GF	194.40	26.90	0.14	$0.1 < e_{v-i} < 0.3$	0.75
1	635.62	93.42	0.15	$0.1 < e_{v-i} < 0.3$	0.75
2	437.37	81.71	0.19	$0.1 < e_{v-i} < 0.3$	0.75
3	437.37	26.89	0.06	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
4	437.37	26.89	0.06	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
5	437.37	26.89	0.06	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
6	437.37	26.89	0.06	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
7	437.37	26.89	0.06	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
8	437.37	26.89	0.06	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
9	437.37	26.89	0.06	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
10	437.37	43.30	0.10	$e_{v-i} \leq 0.1$	1
RF	369.95	78.86	0.21	$0.1 < e_{v-i} < 0.3$	0.75



Gambar 7.88. Bukaan-bukaan di gedung Hotel Artotel terjadi di area lift, void, tangga dan shaft (sumber : analisa)

Bukaan-bukaan pada gedung Hotel Artotel ini terjadi pada area lift, tangga, void dan shaft (gambar 7.88). Pada (tabel 7.132) memperlihatkan bahwa bukaan-bukaan pada lantai *ground floor* s/d lantai 3 dan *roof floor* cukup besar. Sementara itu, lantai

lainnya masih dalam batas-batas toleransi sehingga hal ini berpotensi ketika terjadi gempa fungsinya sebagai diafragma dalam mengekang kolom dan menyalurkan beban lateral ke kolom serta dinding geser bisa terganggu.

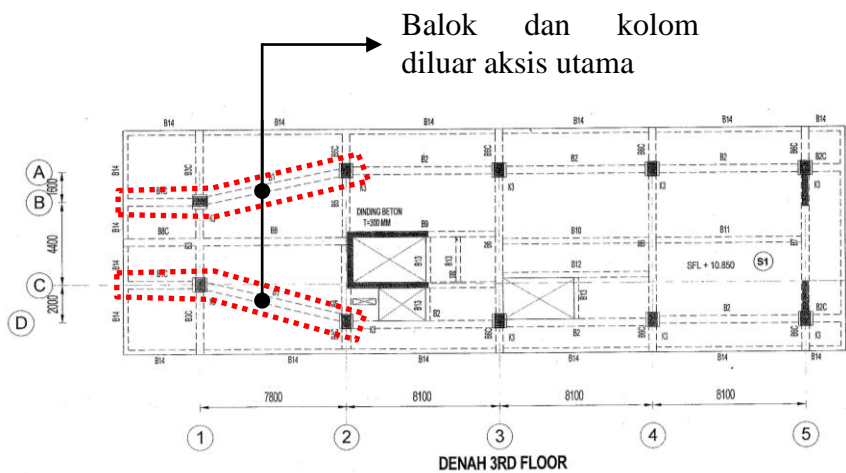
**d. Konfigurasi ketidakberaturan sistem nonparalel**

$$j_{r-i} = \frac{\sum j_i}{\sum j_{t-i}} \text{-----(5.16)}$$

Di mana,  $j_{r-i}$  = rasio jumlah elemen balok, kolom dan/atau dinding geser yang tidak mengikuti aksis ortogonal ( $\sum j_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan jumlah total elemen balok, kolom dan/atau dinding geser tingkat ke  $-i$  ( $\sum j_{t-i}$ ).

Tabel 7.133. Rasio jumlah elemen balok dan kolom utama yang mengikuti aksis ortogonal ( $\sum j_i$ ) dan jumlah total elemen balok dan tingkat yang ditinjau ( $\sum j_{t-i}$ ) pada gedung Hotel Artotel 12 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Jumlah elemen struktur tidak mengikuti aksis- $\sum j_i$ (bh)	Jumlah elemen struktur- $\sum j_{t-i}$ (bh)	$\frac{\sum j_i}{\sum j_{t-i}}$	$j_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
GF	0.00	28.00	0.0%	$j_{r-i} < 30\%$	1
1	5.00	68.00	7.4%	$j_{r-i} < 30\%$	1
2	6.00	69.00	8.7%	$j_{r-i} < 30\%$	1
3	6.00	69.00	8.7%	$j_{r-i} < 30\%$	1
4	6.00	69.00	8.7%	$j_{r-i} < 30\%$	1
5	6.00	69.00	8.7%	$j_{r-i} < 30\%$	1
6	6.00	69.00	8.7%	$j_{r-i} < 30\%$	1
7	6.00	69.00	8.7%	$j_{r-i} < 30\%$	1
8	6.00	69.00	8.7%	$j_{r-i} < 30\%$	1
9	6.00	69.00	8.7%	$j_{r-i} < 30\%$	1
10	6.00	69.00	8.7%	$j_{r-i} < 30\%$	1
RF	4.00	59.00	6.8%	$j_{r-i} < 30\%$	1



Gambar 7.89. Konfigurasi ketidakberaturan sistem non paralel Hotel Artotel (sumber : analisa)

Dari gambar struktur 7.84a s/d h dan gambar 7.89 dengan bentuk geometri bangunan yang mengecil kedepan, konsekuensinya memengaruhi susunan balok dan

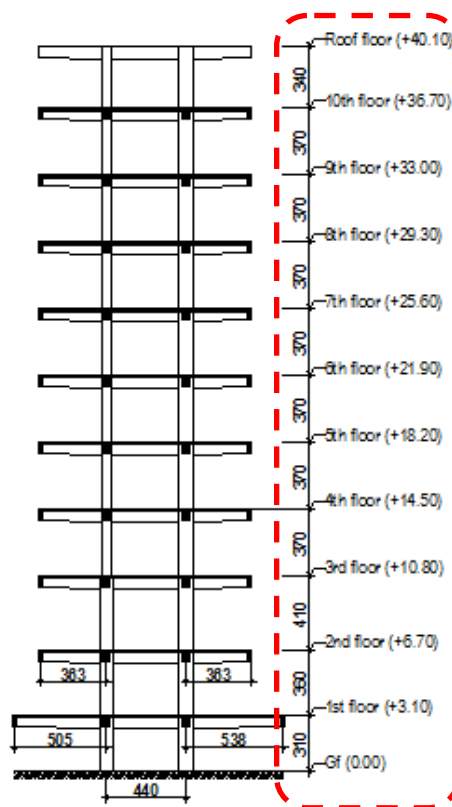
kolom dibagian depan bangunan menjadi di luar aksis utama. Walaupun demikian, jika dilihat tabel 7.133 jumlah elemen struktur balok serta kolom yang tidak mengikuti aksis ortogonal (x dan y) masih dalam batas toleransi sehingga diharapkan ketika terjadi gempa kuat potensi torsi, translasi diagonal, dan konsentrasi tegangan pada elemen struktur tidak menimbulkan kerusakan yang berarti.

**e. Konfigurasi *soft story* / tingkat lunak**

$$I_{r-i} = l_{i+1} / l_i \text{-----(5.17)}$$

Di mana :  $I_{r-i}$  = rasio tinggi kolom/dinding geser satu tingkat dari tingkat  $-i$  ( $l_{i+1}$ ) dan tinggi kolom ditingkat  $-i$  ( $l_i$ ).

Pada gedung hotel ini yang memiliki ketinggian kolom sama yaitu kolom di bawah lantai 04 s/d 10, sedangkan yang tidak sama yaitu kolom di bawah lantai 01 s/d 03 dan lantai atap (gambar 7.90). Berdasarkan perhitungan tabel 7.134 walaupun terdapat beberapa perbedaan ketinggian kolom, tetapi masih dalam batas toleransi sehingga potensi tingkat lunak/*soft story* pada lantai tertentu dapat diminimalisasi.



Gambar 7.90. Ketinggian lantai yang cukup bervariasi tetapi masih dalam batas toleransi sehingga meminimalisir potensi tingkat lunak/*soft story* (sumber : analisa)



Tabel 7.134. Rasio tinggi kolom satu tingkat dari tingkat -i ( $l_{i+1}$ ) dan tinggi kolom ditingkat -i ( $l_i$ ) pada gedung hotel Artotel 12 lantai(sumber : analisa).

Lantai	Tinggi tingkat ( $l_i$ ) (m)	$l_{i+1}/l_i$	$l_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
GF	3.90	0.79	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
1	3.10	1.16	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
2	3.60	1.14	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
3	4.10	0.90	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
4	3.70	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
5	3.70	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
6	3.70	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
7	3.70	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
8	3.70	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
9	3.70	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
10	3.70	0.92	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
RF	3.40	1.09	$l_{r-i} \geq 0.8$	1

**f. Konfigurasi ketidakberaturan berat/massa**

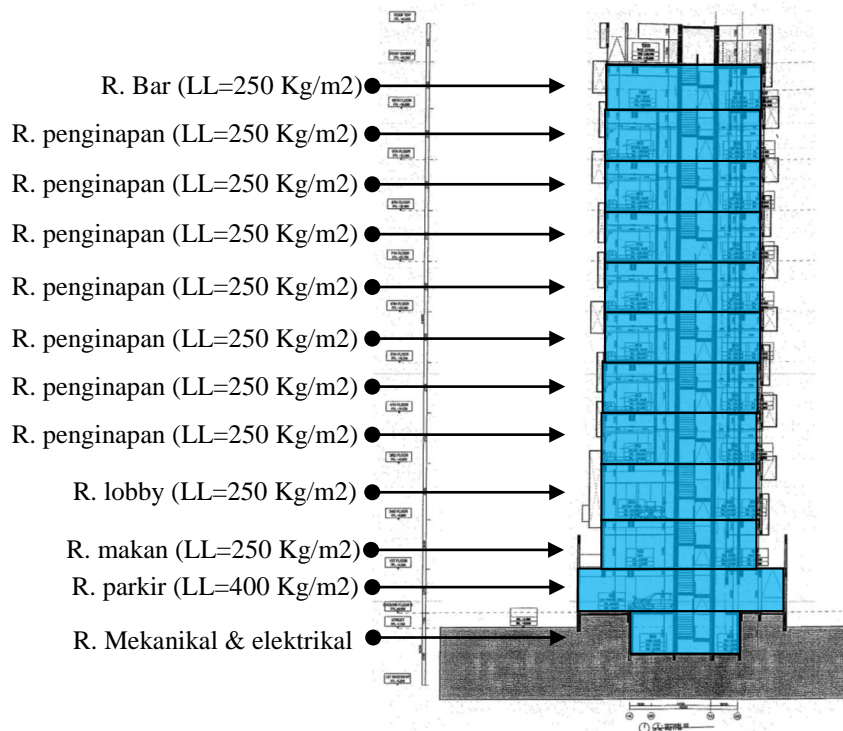
$$m_{r-i} = \sum m_i / \sum m_{i+1} \text{-----(5.18)}$$

Di mana :  $m_{r-i}$  = rasio massa lantai ditingkat -i ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat -i ( $m_{i+1}$ ).

Tabel 7.135. Rasio massa lantai ditingkat -i ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat -i ( $m_{i+1}$ ) pada gedung hotel Artotel 12 lantai (sumber : analisa).

Lantai	$m_i$ (Kg)	$\sum m_i / \sum m_{i+1}$	$m_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
GF	270,092	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
1	696,251	258%	$m_{r-i} > 150\%$	0.5
2	458,258	66%	$m_{r-i} < 100\%$	1
3	528,877	115%	$100\% < m_{r-i} < 150\%$	0.75
4	528,877	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
5	528,877	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
6	528,877	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
7	528,877	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
8	528,877	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
9	528,877	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
10	507,744	96%	$m_{r-i} < 100\%$	1
RF	280,744	55%	$m_{r-i} < 100\%$	1

Pada hotel ini memiliki pengelompokan fungsi yang relatif sama pada setiap lantainya. Akan tetapi, pada lantai bagian bawah lantai dasar s/d 03 memiliki luasan agak berbeda akibat perluasan lantai atau void sehingga berpengaruh pada perbedaan massa/berat pada lantai-lantai tersebut. Hal ini kurang menguntungkan karena deformasi yang mungkin terjadi bisa tidak seragam, tetapi fungsi yang relatif sama potensi terjadinya torsi akibat perbedaan berat dapat diminimalisasi (lihat tabel 7.135 dan gambar 7.91).



Gambar 7.91. Konfigurasi massa/berat bangunan hotel Artotel  
(sumber : analisa)

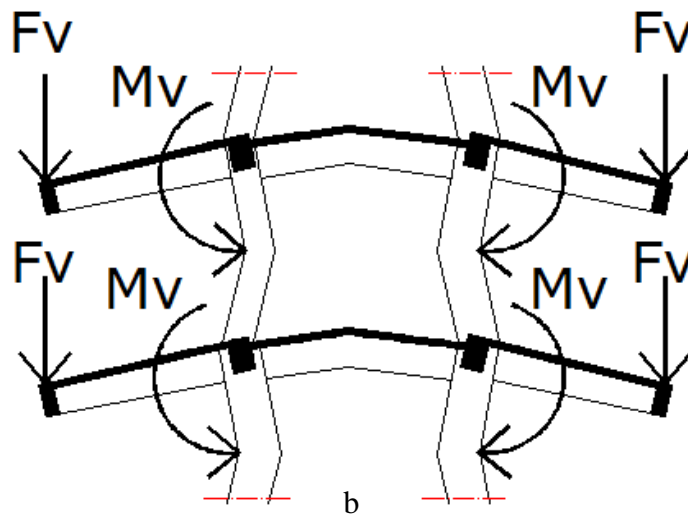
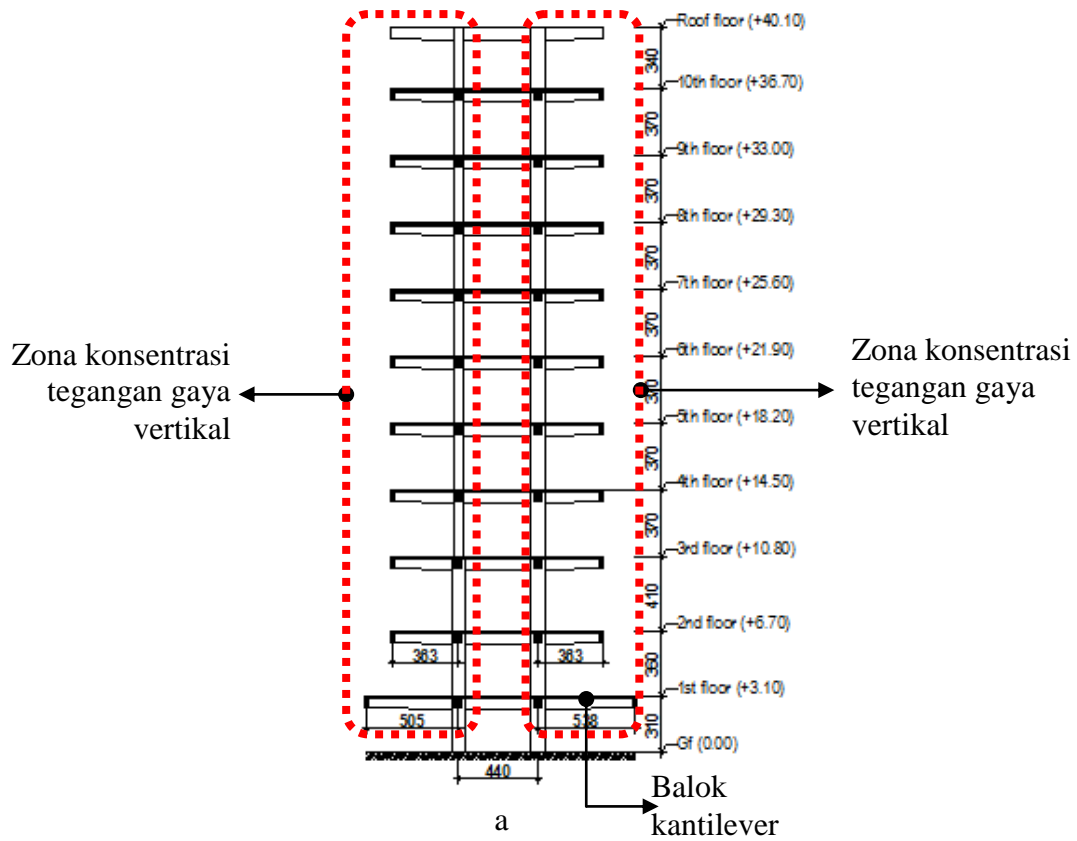
**g. Konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal**

$$s_{r-i} = A_i/L_i \text{-----}(5.19)$$

Di mana,  $s_{r-i}$  = rasio panjang bangunan ( $L_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan panjang *setback* bangunan ( $A_i$ ) tingkat ke  $-i$ .

Tabel 7.136. Rasio panjang bangunan ( $L_i$ ) dan panjang *setback* bangunan ( $A_i$ ) pada tingkat yang ditinjau pada gedung hotel Artotel 12 lantai (sumber : analisa).

Lantai	$L_i$ (m)	$A_i$ (m)	$A_i/L_i$	$s_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
GF	18	0.00	0.00	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
1	4.4	5.05	1.15	$s_{r-i} \geq 0.3$	0.5
2	4.4	3.63	0.82	$s_{r-i} \geq 0.3$	0.5
3	4.4	3.63	0.82	$s_{r-i} \geq 0.3$	0.5
4	4.4	3.63	0.82	$s_{r-i} \geq 0.3$	0.5
5	4.4	3.63	0.82	$s_{r-i} \geq 0.3$	0.5
6	4.4	3.63	0.82	$s_{r-i} \geq 0.3$	0.5
7	4.4	3.63	0.82	$s_{r-i} \geq 0.3$	0.5
8	4.4	3.63	0.82	$s_{r-i} \geq 0.3$	0.5
9	4.4	3.63	0.82	$s_{r-i} \geq 0.3$	0.5
10	4.4	3.63	0.82	$s_{r-i} \geq 0.3$	0.5
RF	4.4	3.63	0.82	$s_{r-i} \geq 0.3$	0.5



Gambar 7.92. a). Perluasan ruang dengan balok kantilever, b). Potensi tekuk pada balok ( $F_v$ ) dan kolom ( $M_v$ ) akibat gempa vertikal (sumber : analisa)

*Setback* pada gedung hotel ini terbentuk oleh perluasan lantai bangunan berupa kantilever. Kantilever tersebut yang berada dibagian depan dan sebagian dibagian belakang bangunan hotel penonjolannya cukup dalam antara 3.5 m dan 5 m sehingga potensi konsentrasi tegangan akibat gaya gempa vertikal juga sangat besar (tabel

7.136 & gambar 7.92). Hal ini disebabkan pemilik bangunan ingin memaksimal luas ruangan hotel dilahan dengan luasan terbatas.

**h. Konfigurasi diskontinuitas ketidakberaturan kuat lateral tingkat / weak story**

$$a_r = (\sum a_e)_i / (\sum a_e)_{i+1} \text{-----(5.20)}$$

Di mana,  $a_r$  = rasio luas kolom dan atau dinding geser tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$  dan luas kolom dan atau dinding geser dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$ .

Dari gambar 7.93 terlihat tidak terdapat dinding geser atau kolom yang mengalami pemutusan aliran beban seperti penghilangan kolom yang diganti dengan balok transfer yang sangat kritis jika terjadi gempa arah vertikal. Pada (tabel 7.137 dan 7.138) terdapat pengurangan luasan kolom dan dinding geser di bawah lantai dikarenakan terjadinya perubahan dimensi kolom yang mengecil ke tingkat atas, tetapi tidak menyebabkan potensi *weak story* di gedung hotel ini.

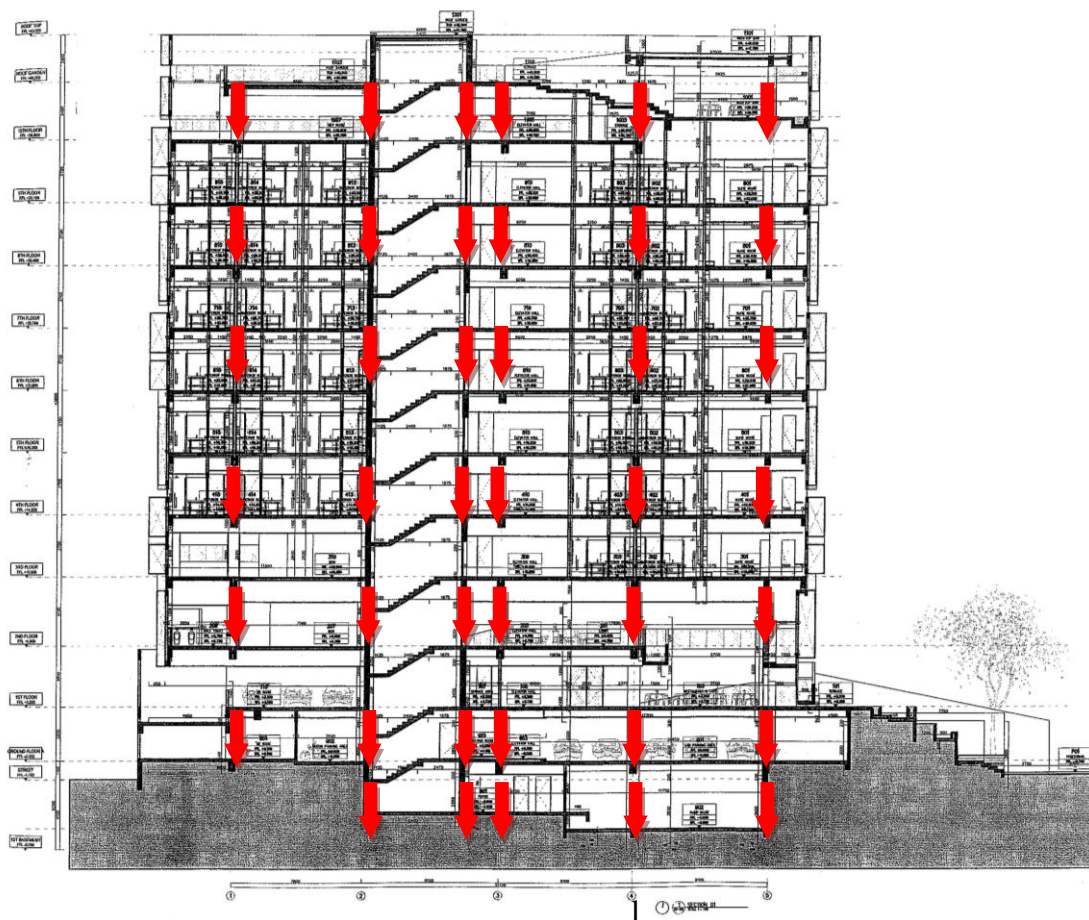
Tabel 7.137. Rasio luas kolom tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$  dan luas kolom dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$  pada gedung hotel Artotel 12 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas kolom tipikal ( $a_e$ ) <sub>i</sub> (m2)	$(\sum a_e)_i / (\sum a_e)_{i+1}$	$a_{r-i}$	Tingkatan kualitas (G <sub>i</sub> )
GF	4.50	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
1	4.50	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
2	4.50	1.36	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
3	3.30	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
4	3.30	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
5	3.30	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
6	3.30	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
7	3.30	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
8	3.30	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
9	3.30	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
10	3.30	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
RF	3.30	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1

Tabel 7.138. Rasio luas dinding geser tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$  dan luas dinding geser dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$  pada gedung hotel Artotel 12 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas dinding geser tipikal ( $a_e$ ) <sub>i</sub> (m2)	$(\sum a_e)_i / (\sum a_e)_{i+1}$	$a_{r-i}$	Tingkatan kualitas (G <sub>i</sub> )
GF	5.51	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
1	5.51	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
2	5.51	1.06	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
3	5.21	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
4	5.21	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1

5	5.21	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
6	5.21	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
7	5.21	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
8	5.21	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
9	5.21	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
10	5.21	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
RF	5.21	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1



Gambar 7.93. Kontinuitas alur beban kolom dan dinding geser gedung hotel Artotel 12 lantai (sumber : analisa)

**i. Konfigurasi ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang & diskontinuitas arah bidang**

$$d_{r-i} = \frac{\sum d_i}{\sum l_i} \text{-----(5.21)}$$

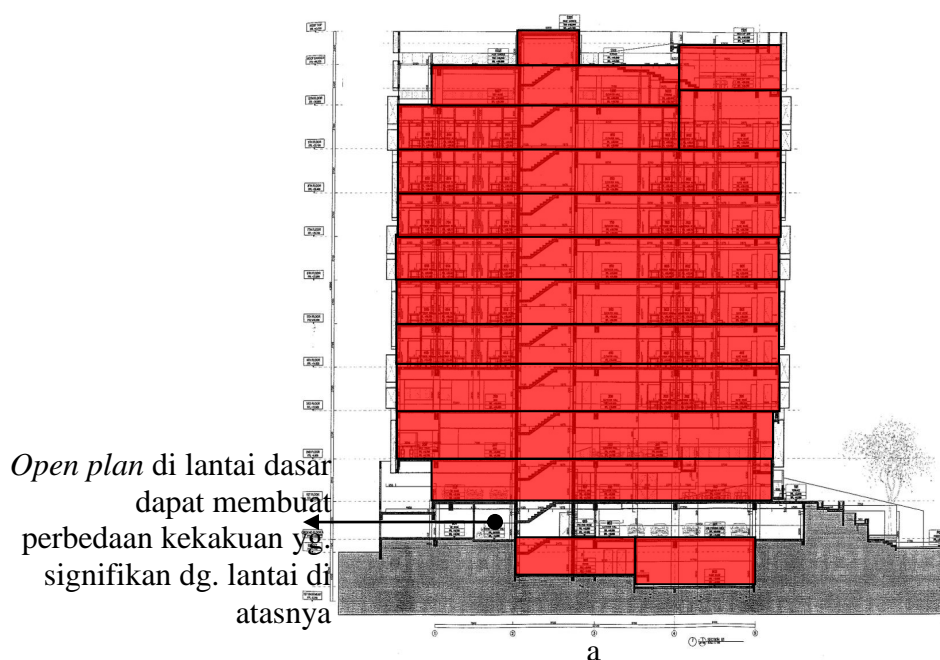
Di mana,  $d_{r-i}$  = rasio kepadatan dinding (%),  $\sum d_i$  = luas dinding bata lantai tingkat ke  $-i$  dan  $\sum l_{tot-i}$  = Luas lantai di lantai tingkat ke  $-i$ .

Dengan luasan lahan yang terbatas sehingga untuk menampung parkir motor dan mobil bagian lantai dasar dibuat *open plan* (tanpa dinding). Sementara itu, sebagian besar lantai di atasnya menggunakan dinding bata di ruang-ruang seperti toilet, tangga, lift, shaft, dinding eksterior, ruang kamar dan lainnya.

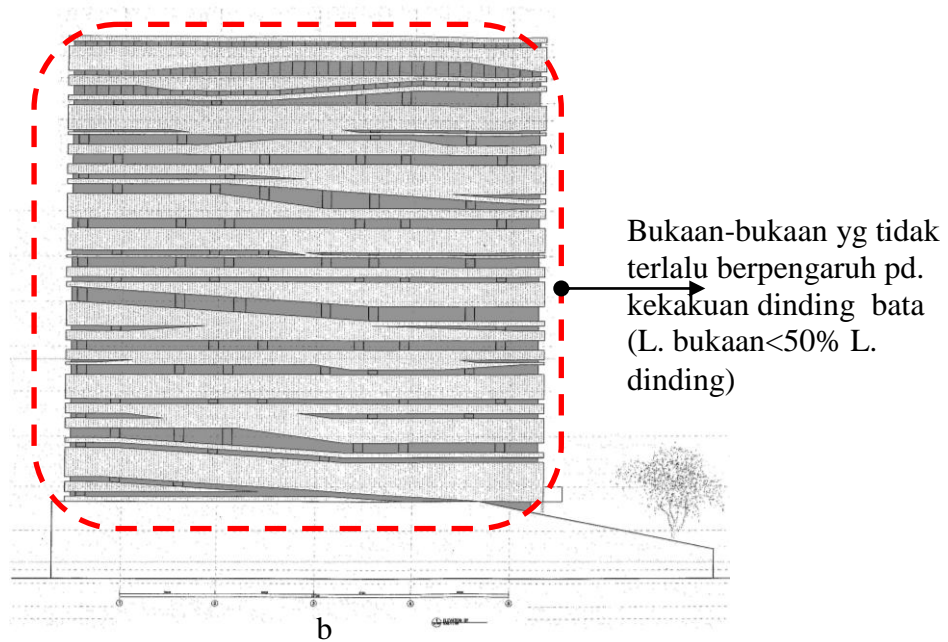
Tabel 7.139. Rasio kepadatan dinding bata( $d_{r-i}$ ) pada gedung hotel Artotel 12 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai ( $\Sigma I_i$ ) (m <sup>2</sup> )	Luas dinding bata ( $\Sigma d_i$ ) (m <sup>2</sup> )	$\Sigma d_i / \Sigma I_i$	$d_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
GF	194.40	13.88	7.1%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
1	567.28	7.53	1.3%	$1\% \leq d_{r-i} \leq 1.5\%$	0.75
2	382.56	12.25	3.2%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
3	437.37	14.94	3.4%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
4	437.37	30.30	6.9%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
5	437.37	34.88	8.0%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
6	437.37	34.88	8.0%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
7	437.37	34.88	8.0%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
8	437.37	34.88	8.0%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
9	437.37	34.88	8.0%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
10	420.97	34.88	8.3%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
RF	313.04	10.50	3.4%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1

Sistem *open plan* pada lantai dasar membuat kepadatan dan distribusi dinding bata antara lantai dasar dengan lantai di atasnya berbeda cukup signifikan sehingga dapat membuat ketidakseragaman kekakuan bangunan dan memicu timbulnya *soft story* di lantai dasar (tabel 7.139 dan gambar 7.94).







Gambar 7.94. Bukaan-bukaan (jendela, ventilasi, *cladding*) dan *open plan* pada bangunan dapat mempengaruhi kekakuan gedung hotel Artotel 12 lantai (sumber : analisa)

### 7. Perbandingan indeks kapasitas gempa struktur ( $I_s$ ) dan indeks beban lateral gempa ( $I_{so}$ ) gedung hotel Artotel 12 lantai.

Berdasarkan data-data dan perhitungan di atas, maka dapat disimpulkan untuk gedung hotel Artotel yaitu :

- Pada (tabel 7.141) kolom  $I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}$  merupakan perkalian indeks luas kolom dan indeks jenis kolom memperlihatkan nilainya untuk lantai dasar s/d lantai 06  $< 1$  dan lantai di atasnya  $> 1$  yang berarti dimensi kolom tidak didesain dengan cukup baik sehingga kolom bagian bawah belum memenuhi syarat luas minimum dalam menahan gempa kuat.
- Pada (tabel 7.141) kolom  $I_{Asw-i} \cdot I_{SW-i}$  merupakan perkalian indeks luas dinding geser dan indeks jenis dinding geser memperlihatkan untuk lantai dasar s/d lantai 07 nilainya  $< 1$  dan lantai di atasnya  $> 1$  yang berarti dimensi dinding geser belum didesain dengan baik sehingga tidak memenuhi syarat luas minimum dalam menahan gempa kuat. Hal ini sangat beresiko karena bagian bawah bangunan merupakan bagian yang paling besar menerima gaya geser gempa, tetapi kolom dan dinding geser belum memenuhi syarat luas minimum.
- Pada (tabel 7.141) kolom  $I_{SCWB-i}$  merupakan indeks *strong column weak beam* untuk lantai dasar s/d lantai 10 nilainya = 100% dan hanya lantai atap nilainya =

37.5%. Perencana masih sangat baik mendesain dimensi kolom dan balok sehingga didominasi memenuhi persyaratan mekanisme *strong column weak beam* ( $W_p \text{ kolom} > 1.2 \times W_p \text{ balok}$ ) sehingga diharapkan ketika terjadi gempa kuat mekanisme SCWB dapat terbentuk.

- Pada (tabel 7.141) kolom  $I_T$  merupakan indeks periode getar struktur yang nilai = 1 yang berarti periode getar struktur ( $T_{C-X}=2.12 \text{ dtk}$  &  $T_{C-Y}=1.85 \text{ dtk}$ ) > periode getar maksimum ( $T_{max}=1.61 \text{ dtk}$ ) yang berarti bangunannya terlalu fleksibel sehingga persyaratan keamanan elemen arsitektur dan struktur serta kenyamanan penghuni bangunan belum terpenuhi.
- Pada (tabel 7.141) kolom R dan  $\Omega_0$  merupakan faktor reduksi gempa dan faktor kuat lebih (tabel 6.2) yang nilainya tergantung jenis struktur yang dipilih. Jenis struktur yang digunakan pada bangunan hotel 12 lantai ini yaitu SRPMK yang berarti  $R = 8$  dan  $\Omega_0 = 3$ . Perbandingan  $R/\Omega_0$  merupakan indeks daktilitas sistem struktur gedung hotel ini.
- Pada (tabel 7.141) kolom  $E_{0-i}$  adalah indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dan dinding geser yang merupakan hasil perkalian faktor modifikasi kapasitas geser tingkat; indeks dimensi kolom dan dinding geser; indeks jenis kolom dan dinding geser; indeks *strong column weak beam*; indeks periode getar struktur dan indeks daktilitas sistem struktur.
- Pada (tabel 7.141) kolom  $S_{D-i}$  merupakan indeks ireguleritas geometri bangunan. Jika dilihat tabel 7.140 indeks ireguleritas ( $S_{D-i}$ ) seluruh lantai nilainya  $\leq 0.5$ . Hal tersebut berarti gedung ini bentuk geometrinya sangat ireguler kombinasi dari konfigurasi ketidakberaturan torsi, diskontinuitas diafragma, ketidakberaturan massa, ketidakberaturan geometri vertikal dan ketidakberaturan bidang.

Tabel 7.140. Konfigurasi ketidakberaturan vertikal dan horisontal ( $S_{D-i}$ ) gedung hotel Artotel 12 lantai (sumber : analisa).

Lantai	a eksentrisitas	b sudut dalam	c diafragma	d non paralel	e soft story	f massa	g setback	h weak story	i out-in plane	$S_{D-i}$
GF	0.75	1	0.75	1	1	1	1	1	1	0.56
1	1	1	0.75	1	1	0.5	0.5	1	0.75	0.14
2	1	1	0.75	1	1	1	0.5	1	1	0.38
3	1	1	1	1	1	0.75	0.5	1	1	0.38
4	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	0.50
5	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	0.50
6	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	0.50
7	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	0.50
8	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	0.50
9	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	0.50
10	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	0.50
RF	1	1	0.75	1	1	1	0.5	1	1	0.38



- Pada (tabel 7.141 dan 7.142) kolom  $I_{S-i}$  adalah indeks kapasitas struktur yang merupakan perkalian indeks gempa dasar struktur dan indeks ireguleritas geometri bangunan.
- Pada (tabel 7.142) kolom  $I_{SO-i}$  adalah indeks beban lateral gempa yang merupakan perkalian faktor modifikasi beban horisontal tingkat, indeks respon seismik dan faktor keutamaan fungsi bangunan yang nilainya semakin besar jika fungsi bangunan semakin penting.
- Pada (tabel 7.142) memperlihatkan dari lantai 1 s/d lantai atap nilai  $I_S < 0.5I_{SO}$  dengan potensi level kerusakan bangunan akibat gempa kuat adalah rusak berat (*CP-Collapse Prevention*). Potensi rusak berat ini disebabkan beberapa hal yaitu untuk struktur dimensi kolom/dinding geser sebagian besar belum memenuhi syarat luas minimum dan dengan luas lahan terbatas syarat redundansi diabaikan. Sementara itu, untuk bentuk geometri walaupun sebenarnya bentuknya relatif simpel, tetapi karena pengolahannya kurang mempertimbangkan sensitifitas geometri bangunan yang berada dilahan terbatas sehingga banyak membentuk konfigurasi ireguler.

Tabel 7.141. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) pada gedung hotel Artotel 12 lantai (sumber : analisa).

Model	Lantai	$\frac{n+1}{n+i}$	$I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}$	$I_{Asw-i} \cdot I_{SW-i}$	$I_{SCWB-i}$	$I_T$	R	$\Omega_0$	$E_{o-i}$	$S_{D-i}$	$I_{S-i}$	
HA-01	GF	13/13	1.00	0.70	0.17	1	0.00	8	3	0.00	0.56	0.00
	1	13/14	0.93	0.71	0.40	1	0.00	8	3	0.00	0.14	0.00
	2	13/15	0.87	0.81	0.46	1	0.00	8	3	0.00	0.38	0.00
	3	13/16	0.81	0.89	0.51	1	0.00	8	3	0.00	0.38	0.00
	4	13/17	0.76	0.74	0.58	1	0.00	8	3	0.00	0.50	0.00
	5	13/18	0.72	0.85	0.78	1	0.00	8	3	0.00	0.50	0.00
	6	13/19	0.68	0.99	0.78	1	0.00	8	3	0.00	0.50	0.00
	7	13/20	0.65	1.20	0.95	1	0.00	8	3	0.00	0.50	0.00
	8	13/21	0.62	1.52	1.20	1	0.00	8	3	0.00	0.50	0.00
	9	13/22	0.59	2.07	1.65	1	0.00	8	3	0.00	0.50	0.00
	10	13/23	0.57	3.06	2.64	1	0.00	8	3	0.00	0.50	0.00
RF	13/24	0.54	3.67	6.19	0.375	0.00	8	3	0.00	0.38	0.00	

Tabel 7.142. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) pada gedung hotel Artotel 12 lantai (sumber : analisa).

Model	Lantai	$I_{S-i}$	$I_{SO-i}$	SVA
	GF	0.00	1.39	CP
	1	0.00	1.45	CP
	2	0.00	1.52	CP
	3	0.00	1.59	CP
	4	0.00	1.67	CP

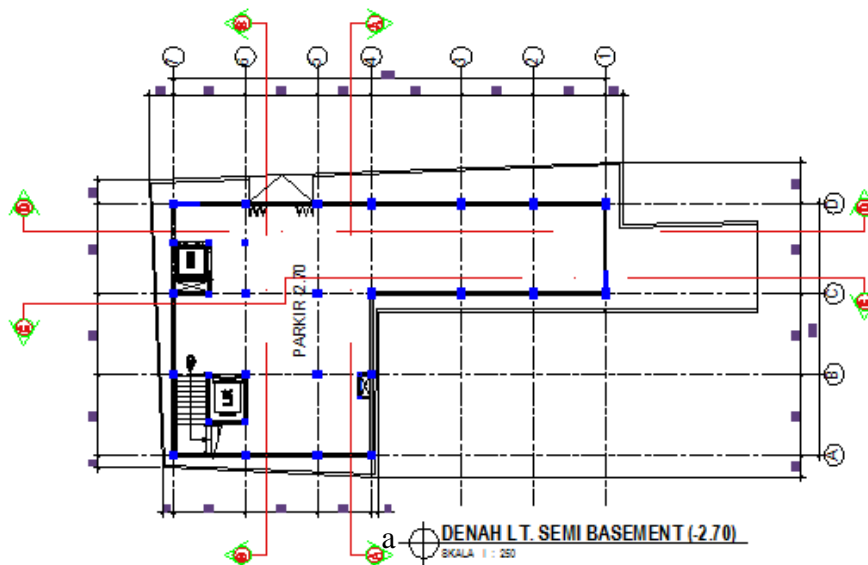
HA-01	5	0.00	1.76	CP
	6	0.00	1.85	CP
	7	0.00	1.96	CP
	8	0.00	2.09	CP
	9	0.00	2.22	CP
	10	0.00	2.38	CP
	RF	0.00	2.57	CP

## 7.8. SVA GEDUNG TOKO T 6 LANTAI DI JL. MT. HARYONO SEMARANG

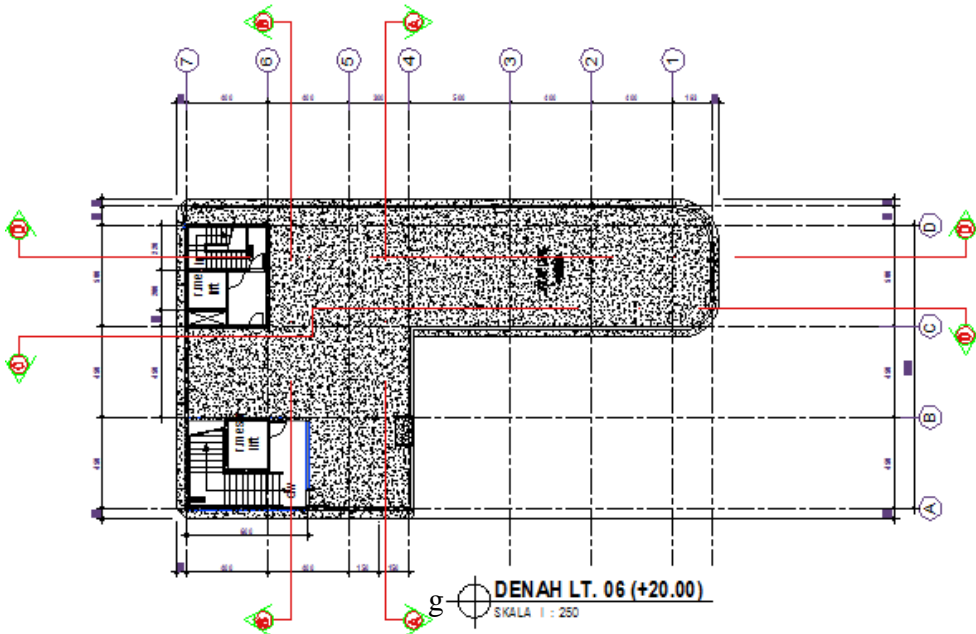
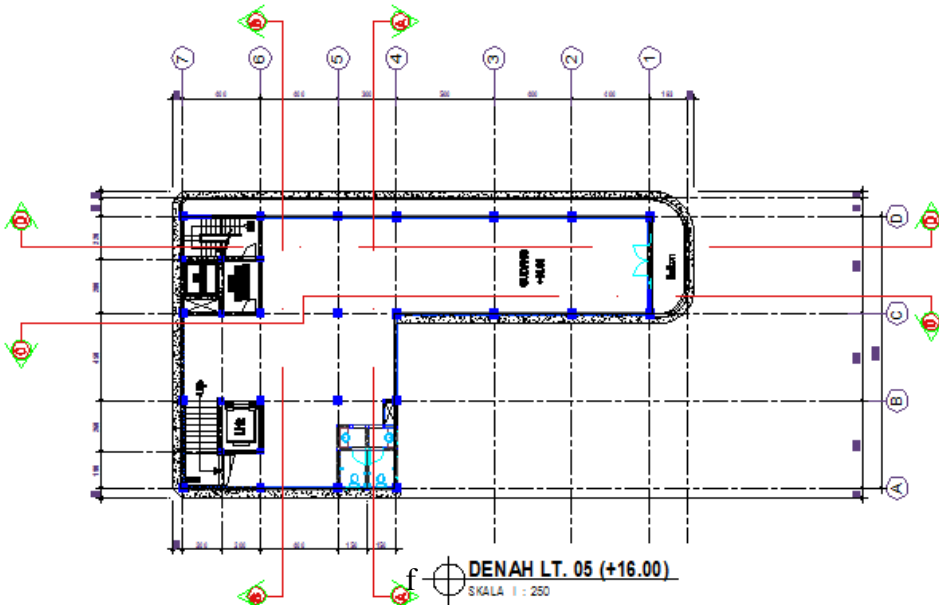
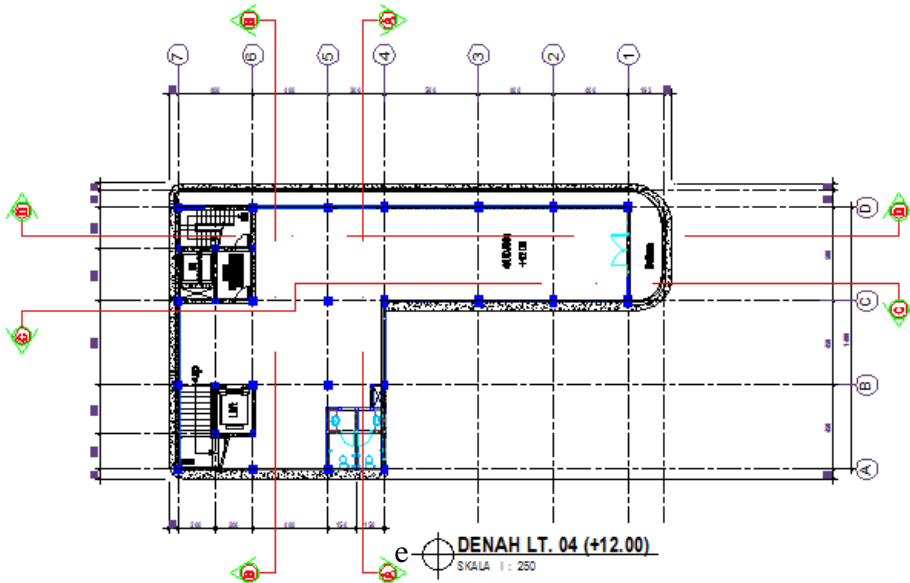
### 1. Data Arsitektur

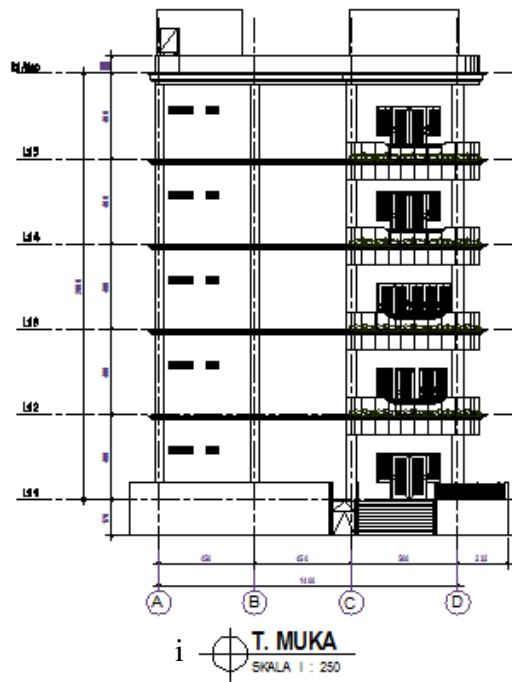
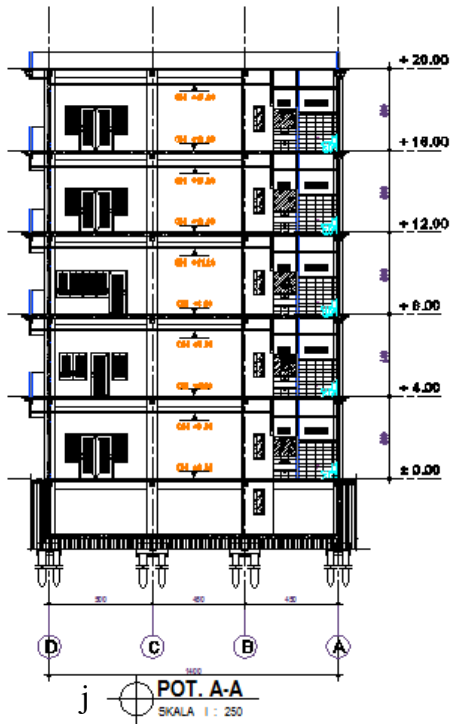
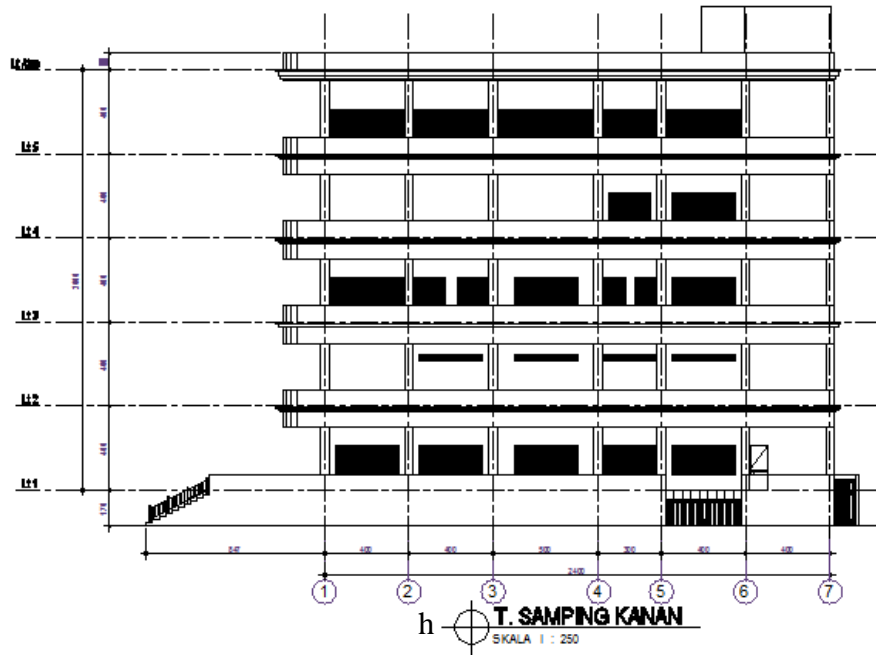
Toko T berada di Jl. MT. Haryono yang terdiri dari 6 lantai. Adapun rencana penggunaan dari 6 lantai tersebut yaitu :

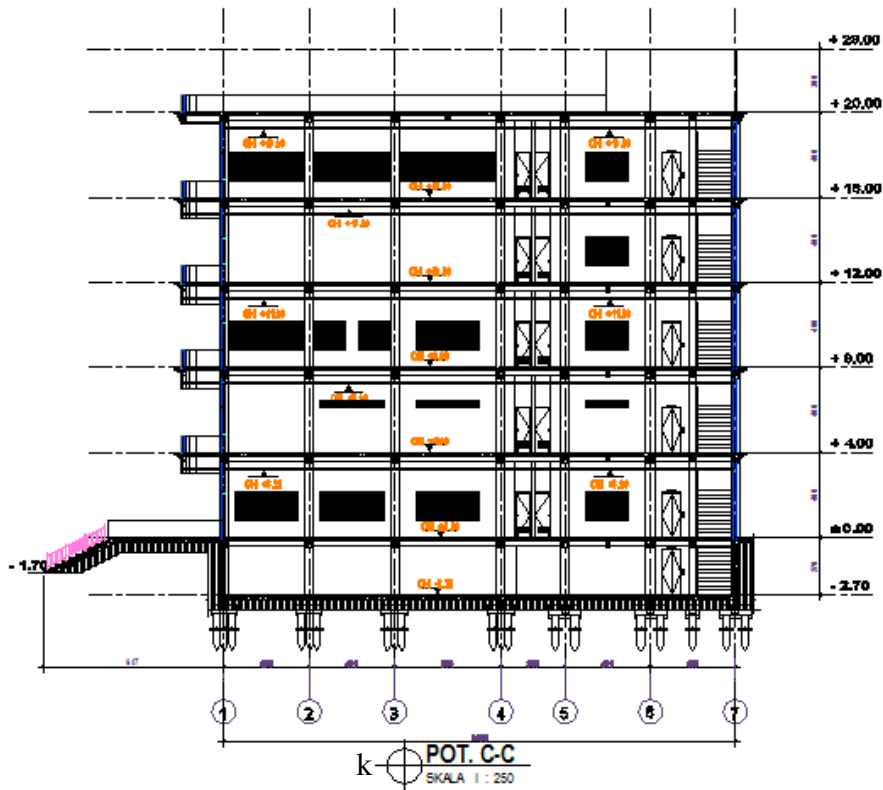
- Lantai semi basement, difungsikan sebagai ruang mekanikal elektrikal dan tempat Parkir motor dan mobil.
- Lantai 01 s/d 05, difungsikan ruang pertokoan.







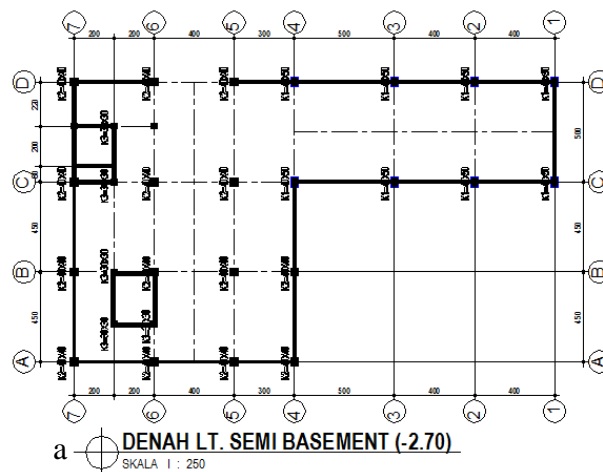


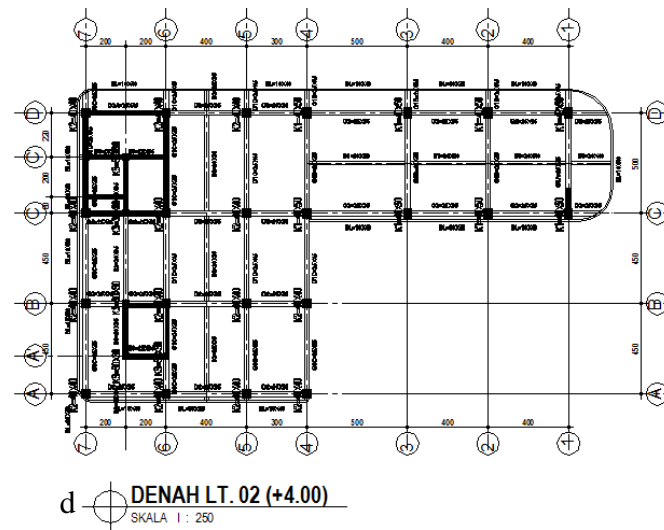
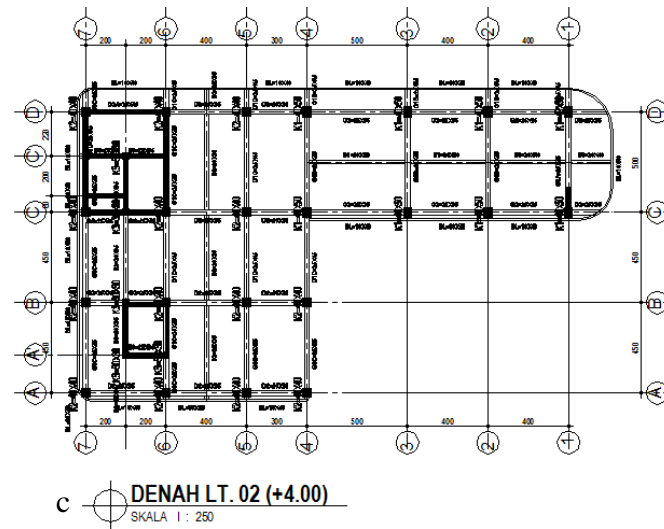
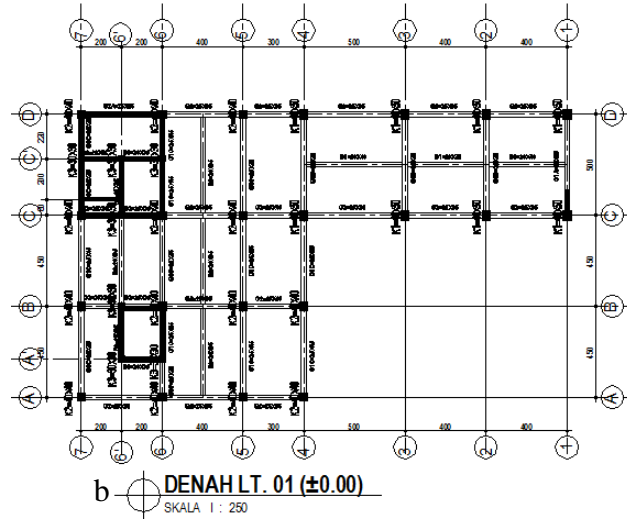


Gambar 7.95. Gambar denah, tampak dan potongan gedung Toko T di Jl. MT. Haryono Semarang (sumber : DISTARU Kota Semarang).

## 2. Data Struktur

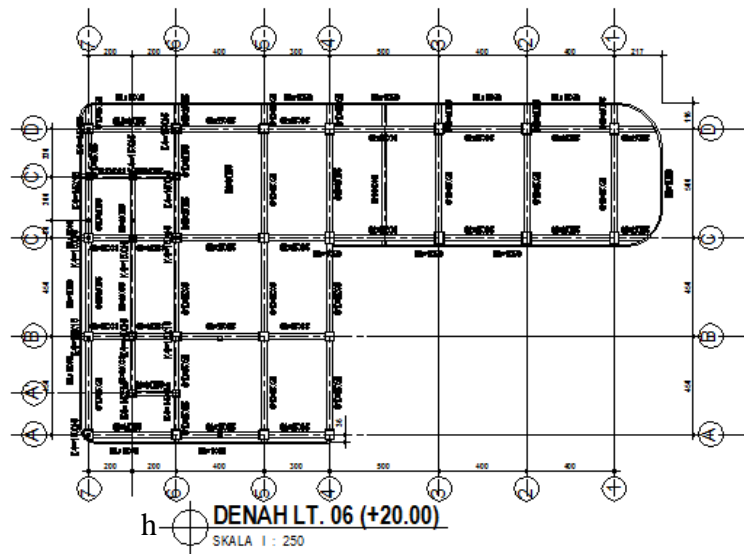
Struktur atas yang digunakan pada gedung ini yaitu struktur beton bertulang sistem rangka penahan momen khusus (SRPMK). Mutu beton pelat, balok, kolom dan dinding geser yaitu K-300, sedangkan tulangan  $f_y=400$  MPa (BJTD-40  $D \geq 12$ ) dan  $f_y=240$  MPa (BJTP-24  $D \leq 12$ ).











Gambar 7.96. Gambar denah kolom, balok & plat lantai gedung Toko T 6 lantai (sumber : DISTARU Kota Semarang)

3. Screening dimensi struktur gedung Toko T *strong column & weak beam*, periode getar dan kekakuan

Tabel 7.143. Rasio bentang struktur dan tinggi balok, dan rasio tinggi balok dan lebar balok (sumber : analisa).

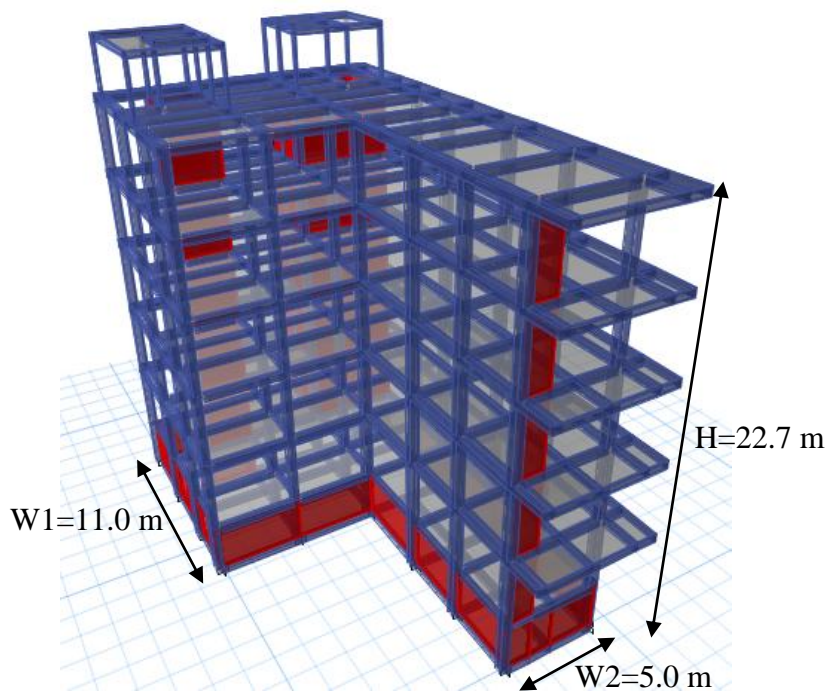
Balok	Dimensi - $b_b/h_b$ (cm)	Bentang -L (m)	$L/h_b - 1/10-1/14$	$h_b/b_b \leq 2$
G1A	25/45	5	1/11	1.8
G1B	25/45	5	1/11	1.8
G1C	25/45	4.5	1/10	1.8
G2A	25/45	4	1/9	1.8
G2	25/35	3, 4, 5	1/8.5-1/14	1.4
B1	20/40	4, 5	1/10-1/12.5	2.0
B2	20/35	4.5	1/13	1.8
B3	20/35	2, 2.6	1/6-1/7	1.8
BL	25/35	2	1/6	1.4
BL	10/40	2	1/5	(
Balok kantilever	Dimensi - $b_b/h_b$ (cm)	Bentang -L (m)	$L/h_b - \leq 1/5$	$h_b/b_b \leq 2$
G1A	25/45	1.2	1/2.5	1.8
G1B	25/45	1.2	1/2.5	1.8
G1C	25/45	1.2	1/2.5	1.8
G2	25/45	2.2	1/5	1.8
B1	20/40	1.2	1/3	2.0
B2	20/35	1.2	1/3	1.8

Tabel 7.144. Dimensi minimal kolom (sumber : analisa).

Kolom	Dimensi - $b_c/h_c$ (cm)	$b_c/h_c$	$b_c \geq 30$	$b_c/h_c \geq 0.4$
K1	40/50	0.80	ya	ya
K2	40/40	1.00	ya	ya
K3	30/30	1.00	ya	ya

Tabel 7.145. *Strong column* dan *weak beam* (sumber : analisa).

LANTAI	$W_p \text{ KOLOM} > 1.2 \times W_p \text{ BALOK}$
lantai 01	86%
lantai 02	86%
lantai 03	86%
lantai 04	86%
lantai 05	86%
lantai 06	86%
lantai atap	36%



Gambar 7.97. Gabungan massa gedung kaku & non kaku Toko T 6 lantai dengan  $H/W1=2.06 < 4$  dan  $H/W2=4.54 > 4$  (sumber : analisa)

- Pada (tabel 7.143 dan 7.144) memperlihatkan bahwa dimensi balok/kolom, tinggi dan lebarnya sudah memenuhi ketentuan SNI dalam menahan gempa kuat.
- Pada (tabel 7.145) memperlihatkan bahwa indeks dimensi balok dan kolom nilainya =86%, kecuali lantai atap dianggap masih memenuhi ketentuan  $W_p$

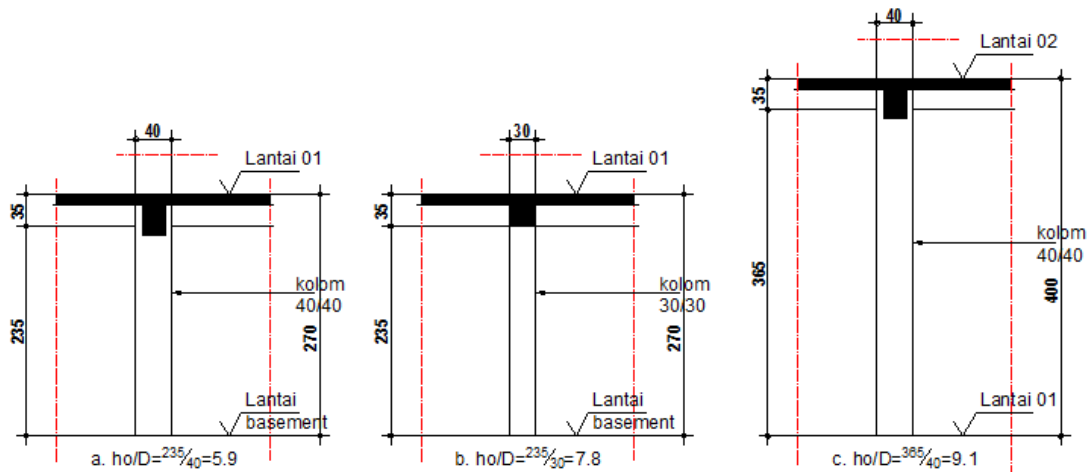
kolom  $\geq 1.2xWp$  sehingga kemungkinan terbentuknya mekanisme *strong column* dan *weak beam* diharapkan masih bisa terjadi pada saat gempa kuat.

- Dari hasil perhitungan konsultan bangunan toko ini memiliki rentang periode getar pendekatan  $T_a=0.77$  dtk dan  $T_{max}=1.61$  dtk, sedangkan berdasarkan perhitungan periode getar fundamentalnya ( $T_{cal}$ ) untuk arah sumbu  $-Y= 0.505$  dtk dan untuk arah sumbu  $-X= 0.488$  dtk. Periode getar arah sumbu  $-Y$  dan  $-X$  ternyata di antara  $< T_a$  yang berarti bangunannya terlalu kaku. Hal ini disebabkan penggunaan dinding geser yang berlebihan.
- Geometri gedung toko T merupakan gabungan massa kaku dan kurang kaku di mana perbandingan lebar dan tinggi bangunan  $H/W_1=2.06 < 4$  dan  $H/W_2=4.54 > 4$ . Hal ini menguntungkan massa yang kurang kaku digabung dengan massa kaku sehingga fleksibilitasnya berkurang (gambar 7.97).

#### 4. Indeks kapasitas geser struktur ( $I_{S-i}$ ) gedung Toko T

Perencana struktur merancang gedung Toko T ini dengan jenis SRPMB. Akan tetapi, dikarenakan ada dinding geser, maka menggunakan persamaan struktur rangka pemikul momen dan dinding geser (persamaan 5.6). Namun, untuk faktor R dan  $\Omega_0$  tetap menggunakan SRPMB dengan  $R=4.5$  dan  $\Omega_0 = 2.5$  (lihat tabel 5.2).

$$E_{0-i} = \frac{n+1}{n+i} [(I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}) + (I_{Asw-i} \cdot I_{SW-i})] \cdot I_{SCWB-i} \cdot I_T \cdot \frac{R}{\Omega_0} \text{-----(5.6)}$$



Gambar 7.98. Kekakuan kolom yang dipengaruhi tinggi kolom, tinggi balok & interupsi bukaan a). Kategori kolom normal ( $2 < h_0/D < 6$ ), b). & c). kategori kolom langsing ( $h_0/D > 6$ ) (sumber : analisa)

Sebagai langkah awal untuk menghitung indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dengan persamaan 5.6 di atas dilakukan *screening* kategori jenis kolom menurut tabel 5.1, untuk mengetahui kekakuan kolom (gambar 7.98).

Untuk gedung toko T ini parameter indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dan dinding geser yaitu :

Tabel 7.146. Indeks kolom ( $I_{C-i}$ ) berdasarkan jumlah jenis kolom ( $h_0/D$ ) dan indeks jenis kolom (sumber : analisa).

Lantai	Jumlah jenis kolom ( $N_c$ )			$I^*N_c/\sum N_c$			Indeks Kolom ( $I_{C-i}$ )
	(a). $h_0/D \leq 2$	(b). $2 < h_0/D < 6$	(c). $6 \leq h_0/D$	$h_0/D \leq 2$	$2 < h_0/D < 6$	$6 \leq h_0/D$	
	(bh)	(bh)	(bh)				$\sum(I^*N_c/\sum N_c)$
lantai 01	-	3.00	1.00	-	0.60	0.15	0.75
lantai 02	-	-	17.00	-	-	0.60	0.60
lantai 03	-	-	17.00	-	-	0.60	0.60
lantai 04	-	-	17.00	-	-	0.60	0.60
lantai 05	-	-	17.00	-	-	0.60	0.60
lantai atap	-	-	17.00	-	-	0.60	0.60
Indeks (I)	1	0.8	0.6				

Tabel 7.147. Indeks dinding geser  $I_{SW-i}$  berdasarkan jumlah jenis dinding geser dan indeks dinding geser (sumber : analisa).

Lantai	Jumlah jenis shear wall ( $N_{sw}$ )			$I^*N_{sw}/\sum N_{sw}$			Indeks shear wall ( $I_{SW-i}$ )
	(a). Dibatasi 2 kolom (bh)	(b). Dibatasi 1 kolom (bh)	(c). Tanpa dibatasi kolom (bh)	Dibatasi 2 kolom	Dibatasi 1 kolom	Tanpa dibatasi kolom	
							$\sum(I^*N_{sw}/\sum N_{sw})$
lantai 01	8.00	-	1.00	0.89	-	0.03	0.92
lantai 02	8.00	-	1.00	0.89	-	0.03	0.92
lantai 03	8.00	-	1.00	0.89	-	0.03	0.92
lantai 04	8.00	-	1.00	0.89	-	0.03	0.92
lantai 05	8.00	-	1.00	0.89	-	0.03	0.92
lantai 06	8.00	-	1.00	0.89	-	0.03	0.92
lantai atap	8.00	-	1.00	0.89	-	0.03	0.92
Indeks (I)	1	0.7	0.3				

Tabel 7.148. Jumlah luas dimensi kolom disain ( $\sum A_c$ ) dan jumlah luas dimensi kolom minimum ( $\sum A_{c \text{ min}}$ ) (sumber : analisa).

Lantai	$\sum A_c$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{c \text{ min}}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_c/\sum A_{c \text{ min}}$ (I <sub>a</sub> )
lantai 01	0.57	0.47	1.21
lantai 02	2.84	1.63	1.74
lantai 03	2.84	1.46	1.94
lantai 04	2.84	1.44	1.97
lantai 05	2.84	1.44	1.97
lantai atap	2.84	1.44	1.97

Tabel 7.149. Jumlah luas dimensi dinding geser disain ( $\sum A_{sw}$ ) dan jumlah luas dimensi dinding geser minimum ( $\sum A_{sw \text{ min}}$ ) (sumber : analisa).

Lantai	$\sum A_{sw}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{sw \text{ min}}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{sw}/\sum A_{sw \text{ min}}$ (I <sub>sw</sub> )
lantai 01	17.00	1.92	8.9
lantai 02	8.03	1.66	4.8
lantai 03	8.03	1.33	6.1
lantai 04	8.03	0.99	8.1
lantai 05	8.03	0.66	12.1
lantai atap	8.03	0.33	24.2

Tabel 7.150. Kombinasi ( $\sum A_c$ )/ $\sum A_c \text{ min}$  dan ( $\sum A_{sw}$ )/( $\sum A_{sw \text{ min}}$ ) (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai (m <sup>2</sup> )	$\sum A_c$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{sw}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{csw}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{csw \text{ min}}$ (m <sup>2</sup> )	$\sum A_{csw}/\sum A_{csw \text{ min}}$
lantai 01	1600.59	0.57	17.00	17.6	3.20	5.49
lantai 02	1381.59	2.84	8.03	10.9	2.76	3.93
lantai 03	1105.28	2.84	8.03	10.9	2.21	4.92
lantai 04	828.96	2.84	8.03	10.9	1.66	6.56
lantai 05	552.64	2.84	8.03	10.9	1.11	9.83
lantai atap	276.32	2.84	8.03	10.9	0.55	19.67

- Dari (tabel 7.146) memperlihatkan bahwa gedung Toko T ini didominasi jenis kolom langsing ( $6 \leq h_0/D$ ) yang berarti potensi terjadi kegagalan lentur pada kolom bangunan ini pada saat terjadi gempa kuat.
- Jenis dinding geser berdasarkan (tabel 7.147) didominasi dinding geser yang diapit dua kolom dan hanya sebagian kecil yang tidak diapit kolom. Hal ini menguntungkan karena adanya tambahan kekakuan akibat jepitan dinding geser pada kolom struktur.
- Pada (tabel 7.148, 7.149 dan 7.150) memperlihatkan bahwa dimensi kolom dan dinding geser pada gedung toko T ini sudah memenuhi persyaratan minimum dalam menghadapi gempa kuat.
- Struktur yang dipilih SRPMB, maka  $R = 4.5$  dan  $\Omega_0 = 2.5$  (lihat tabel 5.2).

##### 5. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung Toko T

$$I_{SO-i} = \frac{n+i}{2n-i+1} (I_{CS} \cdot I_e) \text{-----(5.22)}$$

Dimana,

$n$  = Jumlah tingkat bangunan.

$i$  = Jumlah tingkat yang dievaluasi. Di mana tingkat pertama diberi nomor 1 dan tingkat terakhir adalah  $n$

$C_S$  = Koefisien respon seismik desain

$C_{S\ min}$  = Koefisien respon seismik minimum  $S_S=0.25g$  dan  $S_1=0.1g$

$I_{CS}$  = Indeks respon seismik

$I_e$  = Faktor keutamaan fungsi bangunan

Untuk zona gempa wilayah Jl. MT. Haryono Semarang parameter gempanya yaitu

:

$$S_S = 1.008\ g$$

$$S_1 = 0.339\ g$$

Site class = E

Seismic important factor  $I_e$  untuk gedung pertokoan = 1.0

$$C_S = 0.202$$

$$C_{S\ min} = 0.139$$

$$I_{CS} = C_S / C_{S\ min} = 1.453$$

Adapun beban lateral gempa pada masing-masing tingkat dapat dilihat pada tabel 7.151.

Tabel 7.151. Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) lokasi gedung Toko T Jl. MT. Haryono Semarang (sumber : analisa).

Model	Lantai	$\frac{n+1}{2n-i+1}$		$I_{CS}$	$I_e$	$I_{SO-i}$
TT-01	lantai 01	7/12	0.58	1.453	1.00	0.85
	lantai 02	7/11	0.64	1.453	1.00	0.92
	lantai 03	7/10	0.70	1.453	1.00	1.02
	lantai 04	7/9	0.78	1.453	1.00	1.13
	lantai 05	7/8	0.88	1.453	1.00	1.27
	lantai atap	7/7	1.00	1.453	1.00	1.45

## 6. Ireguleritas konfigurasi ( $S_D$ )

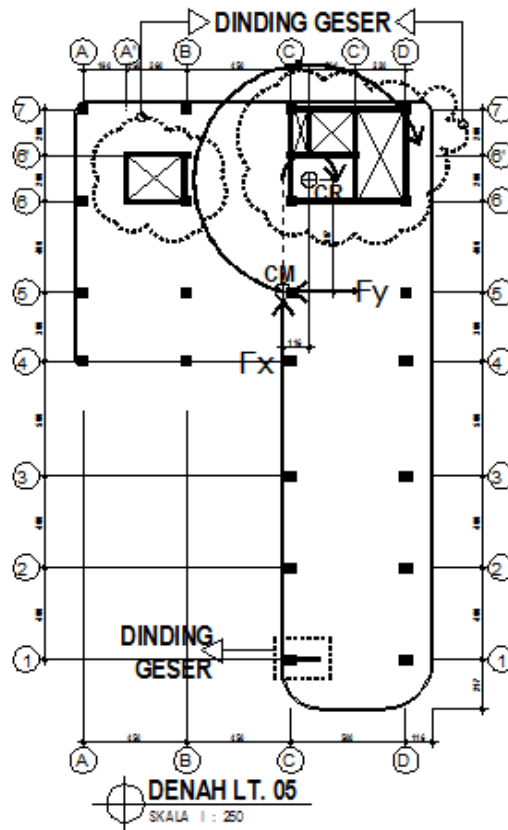
### a. Konfigurasi ketidakberaturan torsi

$$e_{r-i} = e_i / w_i \text{-----(5.13)}$$

Di mana :  $e_{r-i}$  = rasio antara panjang eksentrisitas ( $e_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan lebar bangunan ( $w_i$ ) tingkat ke  $-i$ .

Tabel 7.152. Eksentrisitas ( $e_{x-i}$  &  $e_{y-i}$ ) antara pusat massa dan pusat kekakuan lantai pada gedung Toko T (sumber : analisa).

Lantai	$e_{x-i}$ (m)	$e_{y-i}$ (m)	$e_{rx-i}$	$e_{ry-i}$	$e_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	0.12	2.42	0.01	0.10	$e_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 02	0.87	5.01	0.06	0.21	$0.1 < e_{r-i} < 0.3$	0.75
lantai 03	1.06	5.36	0.08	0.22	$0.1 < e_{r-i} < 0.3$	0.75
lantai 04	1.13	5.23	0.08	0.22	$0.1 < e_{r-i} < 0.3$	0.75
lantai 05	1.16	4.87	0.08	0.20	$0.1 < e_{r-i} < 0.3$	0.75
lantai atap	1.30	3.77	0.09	0.16	$0.1 < e_{r-i} < 0.3$	0.75



Gambar 7.99. Perletakan dinding geser yang kurang mempertimbangkan keseimbangan kekakuan dapat memperbesar eksentrisitas antara *center of massa* (CM) dan *center of rigidity* (CR) (sumber : analisa)

Bangunan yang memiliki geometri ireguler horisontal seperti bangunan Toko T, berpotensi terjadinya eksentrisitas antara pusat massa (CM) dan pusat kekakuan (CR) yang mengakibatkan torsi atau puntiran pada bangunan saat terjadi gempa dan ini harus dihindari. Salah satu cara mengurangi eksentrisitas pada bangunan yaitu pengaturan perletakan dinding gesernya mempertimbangkan keseimbangan kekakuan dapat memperkecil eksentrisitas antara *center of massa* (CM) dan *center of rigidity* (CR). Akan tetapi, sebaliknya jika tidak dipertimbangkan dengan baik dapat memperbesar eksentrisitas (lihat tabel 7.152 dan gambar 7.99)

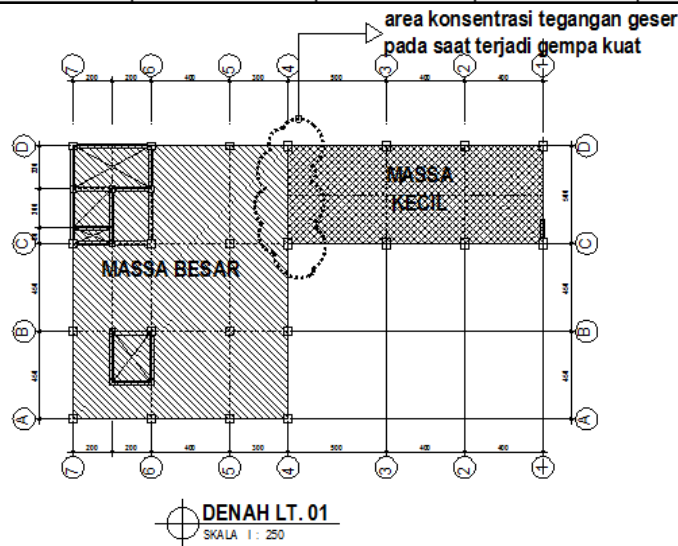
**b. Konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam**

$$b_{r-i} = l_{p-i}/l_{u-i} \text{-----(5.14)}$$

Di mana :  $b_{r-i}$  = rasio luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan ( $l_{p-i}$ ) tingkat ke  $-i$  dan luas lantai bangunan utama tingkat ke  $-i$  ( $l_{u-i}$ ).

Tabel 7.153. Rasio luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan ( $l_{p-i}$ ) dan luas lantai bangunan utama ( $l_{u-i}$ ) pada gedung rawat inap dan OK 5 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai utama ( $l_{u-i}$ )	Luas proyeksi terbesar ( $l_{p-i}$ )	$l_{p-i}/l_{u-i}$	$b_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	154.000	65.00	42.2%	$b_{r-i} > 30\%$	0.5
lantai 02	154.000	65.00	42.2%	$b_{r-i} > 30\%$	0.5
lantai 03	154.000	65.00	42.2%	$b_{r-i} > 30\%$	0.5
lantai 04	154.000	65.00	42.2%	$b_{r-i} > 30\%$	0.5
lantai 05	154.000	65.00	42.2%	$b_{r-i} > 30\%$	0.5
lantai atap	154.000	65.00	42.2%	$b_{r-i} > 30\%$	0.5



Gambar 7.100. Konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam yang terbentuk antara pertemuan massa besar dan massa kecil Toko T (sumber : analisa)

Dengan lahan terbatas dan bentuknya huruf L berpengaruh pada bentuk geometri Toko T yang berbentuk huruf L pula. Bentuk geometrinya akhirnya menghasilkan massa besar dan massa kecil. Rencana awalnya akan dibuat dilatasi untuk memisahkan kedua massa tersebut, tetapi dengan memisahkan massa kecil menjadi sangat fleksibel sehingga membutuhkan dinding geser yang lebih banyak untuk membuatnya kaku. Sementara itu, luas ruang terbatas dan adanya masalah biaya. Akhirnya, diputuskan tetap menjadi satu massa bangunan dengan penambahan dinding geser pada massa besar dan massa kecil.



Adanya penggabungan antara massa besar dan kecil pada massa Toko T ini menyebabkan terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam yaitu potensi terkonsentrasinya tegangan geser ketika terjadi gempa kuat di elemen struktur yang berbatasan antara massa yang besar dan kecil (lihat tabel 7.153 dan gambar 7.100).

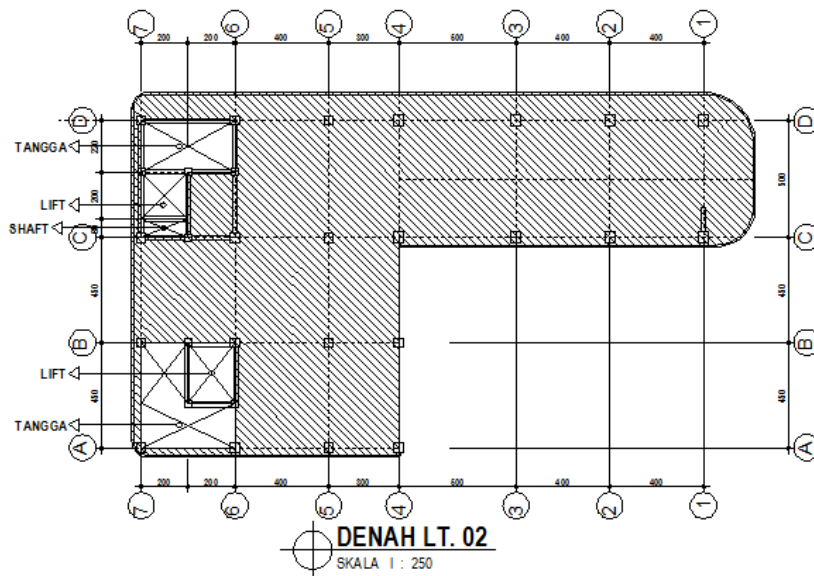
**c. Konfigurasi ketidakberaturan diskontinuitas difragma**

$$e_{v-i} = \frac{\sum l_{b-i}}{\sum l_{l-i}} \text{-----(5.15)}$$

Di mana :  $e_{v-i}$  = rasio luas lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll tingkat ke -i ( $l_{b-i}$ ) dan luas lantai tingkat ke -i ( $l_{l-i}$ ).

Tabel 7.154. Rasio lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll ( $l_{b-i}$ ) dan luas lantai ( $l_{l-i}$ ) pada Toko T 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai ( $\sum l_{l-i}$ ) (m <sup>2</sup> )	luas bukaan ( $\sum l_{b-i}$ ) (m <sup>2</sup> )	$\frac{\sum l_{b-i}}{\sum l_{l-i}}$	$e_{v-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	219.000	32.40	0.15	$0.1 < e_{v-i} < 0.3$	0.75
lantai 02	276.319	32.40	0.12	$0.1 < e_{v-i} < 0.3$	0.75
lantai 03	276.319	32.40	0.12	$0.1 < e_{v-i} < 0.3$	0.75
lantai 04	276.319	32.40	0.12	$0.1 < e_{v-i} < 0.3$	0.75
lantai 05	276.319	32.40	0.12	$0.1 < e_{v-i} < 0.3$	0.75
lantai atap	276.319	32.40	0.12	$0.1 < e_{v-i} < 0.3$	0.75



Gambar 7.101. Bukaan-bukaan di Toko T terjadi di area lift, tangga dan shaft (sumber : analisa)

Bukaan-bukaan di lantai Toko T ini terjadi pada area lift, tangga dan shaft (gambar 7.101). Pada tabel 7.154 memperlihatkan bahwa bukaan-bukaan pada lantai 01 s/d lantai atap cukup besar > 10%, tetapi masih < 30% luas lantai sehingga masih

bisa diharapkan berfungsi sebagai diafragma dalam mengekang kolom dan menyalurkan beban lateral ke kolom dan dinding geser.

**d. Konfigurasi ketidakberaturan sistem nonparalel**

$$j_{r-i} = \frac{\sum j_i}{\sum j_{t-i}} \text{-----(5.16)}$$

Di mana,  $j_{r-i}$  = rasio jumlah elemen balok, kolom dan/atau dinding geser yang tidak mengikuti aksis ortogonal ( $\sum j_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan jumlah total elemen balok, kolom dan/atau dinding geser tingkat ke  $-i$  ( $\sum j_{t-i}$ ).

Dari gambar struktur 7.96a s/d h terlihat seluruh sistem balok, kolom, dan dinding geser mengikuti aksis ortogonal x dan y. Gedung Toko T ini tidak termasuk kategori ketidakberaturan sistem non paralel.

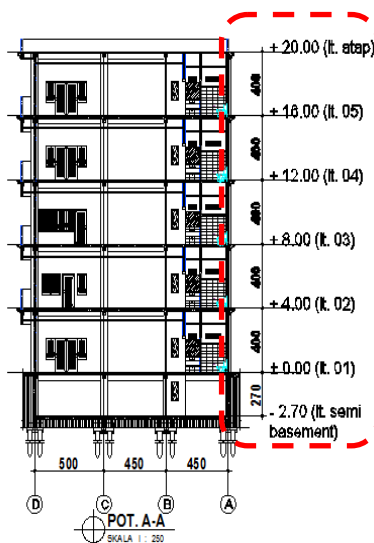
**e. Konfigurasi soft story / tingkat lunak**

$$l_{r-i} = l_{i+1} / l_i \text{-----(5.17)}$$

Di mana :  $l_{r-i}$  = rasio tinggi kolom/dinding geser satu tingkat dari tingkat  $-i$  ( $l_{i+1}$ ) dan tinggi kolom ditingkat  $-i$  ( $l_i$ ).

Tabel 7.155. Rasio tinggi kolom satu tingkat dari tingkat  $-i$  ( $l_{i+1}$ ) dan tinggi kolom ditingkat  $-i$  ( $l_i$ ) pada Toko T 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Tinggi tingkat ( $l_i$ ) (m)	$l_{i+1} / l_i$	$l_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	2.70	1.48	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 02	4.00	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 03	4.00	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 04	4.00	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 05	4.00	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai atap	4.00	1.00	$l_{r-i} \geq 0.8$	1



Gambar 7.102. Ketinggian lantai relatif tipikal kecuali lantai semi basement tetapi masih batas toleransi sehingga meminimalisir potensi tingkat lunak/soft story (sumber : analisa)

Pada gedung Toko T ini memiliki ketinggian kolom tipikal yaitu 4 m kecuali kolom di bawah lantai 01 (gambar 7.102). Berdasarkan perhitungan tabel 7.155 dengan ketinggian lantai yang tipikal dan hanya perbedaan ketinggian di lantai basement tidak menyebabkan potensi terbentuknya tingkat lunak.

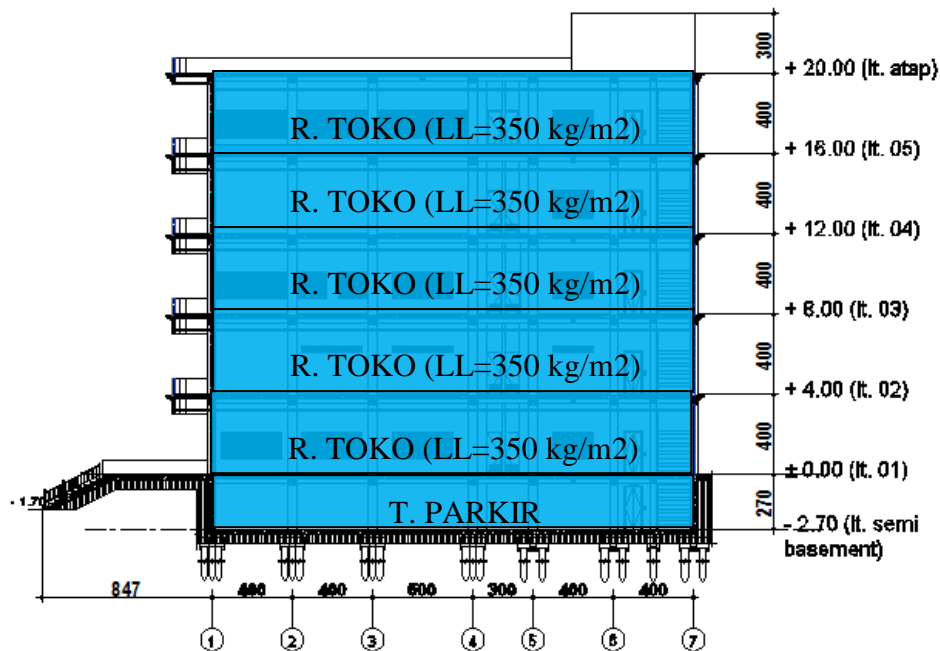
**f. Konfigurasi ketidakberaturan berat/massa**

$$m_{r-i} = \frac{\sum m_i}{\sum m_{i+1}} \dots \dots \dots (5.18)$$

Di mana :  $m_{r-i}$  = rasio massa lantai ditingkat -i ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat -i ( $m_{i+1}$ ).

Tabel 7.156. Rasio massa lantai ditingkat -i ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat -i ( $m_{i+1}$ ) pada Toko T 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	$m_i$ (Kg)	$\frac{\sum m_i}{\sum m_{i+1}}$	$m_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	261,986	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 02	342,462	131%	$100\% \leq m_{r-i} \leq 150\%$	0.75
lantai 03	342,462	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 04	342,462	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai 05	342,462	100%	$m_{r-i} < 100\%$	1
lantai atap	210,746	62%	$m_{r-i} < 100\%$	1



Gambar 7.103. Konfigurasi massa/berat bangunan Toko T(sumber : analisa)

Pada toko ini memiliki pengelompokan fungsi yang relatif sama setiap lantainya dari lantai 01 s/d 05. Akan tetapi, memiliki luasan agak berbeda antara lantai 01 dan lantai 02 s/d 05 akibat perluasan lantai dengan penambahan selasar dan kanopi, namun berpengaruh pada perbedaan massa/berat hanya pada lantai 01 dengan lantai

02. Hal ini berarti potensi deformasi yang tidak seragam antar lantai akibat perbedaan berat/massa dapat diminimalisasi (lihat tabel 7.156 dan gambar 7.103).

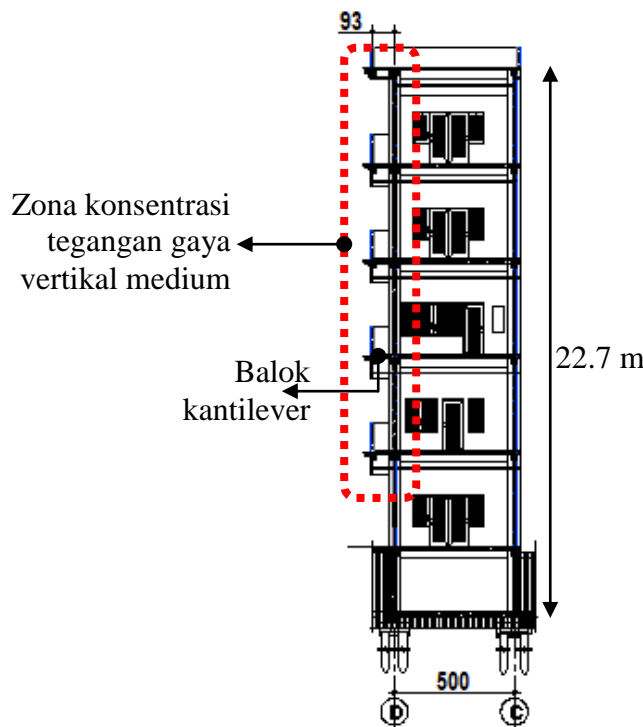
**g. Konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal**

$$s_{r-i} = A_i/L_i \text{-----(5.19)}$$

Di mana,  $s_{r-i}$  = rasio panjang bangunan ( $L_i$ ) tingkat ke  $-i$  dan panjang *setback* bangunan ( $A_i$ ) tingkat ke  $-i$ .

Tabel 7.157. Rasio panjang bangunan ( $L_i$ ) dan panjang *setback* bangunan ( $A_i$ ) pada tingkat yang ditinjau pada Toko T 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	$L_i$ (m)	$A_i$ (m)	$A_i/L_i$	$s_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	5	0.00	0.00	$s_{r-i} \leq 0.1$	1
lantai 02	5	0.93	0.19	$0.1 < s_{r-i} < 0.3$	0.75
lantai 03	5	0.93	0.19	$0.1 < s_{r-i} < 0.3$	0.75
lantai 04	5	0.93	0.19	$0.1 < s_{r-i} < 0.3$	0.75
lantai 05	5	0.93	0.19	$0.1 < s_{r-i} < 0.3$	0.75
lantai atap	5	0.93	0.19	$0.1 < s_{r-i} < 0.3$	0.75



Gambar 7.104. *Setback* kantilever dengan potensi konsentrasi tegangan gaya vertikal gempanya medium (sumber : analisa).

*Setback* pada gedung toko ini terbentuk oleh perluasan lantai bangunan berupa kantilever. Kantilever tersebut yang berada disekeliling bangunan yang berfungsi sebagai selasar dan kanopi dengan penonjolan 0.5 m s/d 1.93 m. Sebenarnya penonjolan kantilever tersebut tidak terlalu dalam, tetapi pada massa yang kecil penonjolan tersebut cukup berpengaruh karena portal balok dan kolom pendukungnya

terlalu langsing sehingga berpotensi terjadinya konsentrasi tegangan gaya gempa vertikal pada balok serta kolom yang mendukung kantilever tersebut (lihat tabel 7.157 dan gambar 7.104).

**h. Konfigurasi diskontinuitas ketidakberaturan kuat lateral tingkat / weak story**

$$a_{r-i} = (\sum a_e)_i / (\sum a_e)_{i+1} \text{-----(5.20)}$$

Di mana,  $a_{r-i}$  = rasio luas kolom dan/atau dinding geser ditingkat  $-i$   $(\sum a_e)_i$  dan luas kolom dan/atau dinding geser satu tingkat dari tingkat  $-i$   $(\sum a_e)_{i+1}$ .

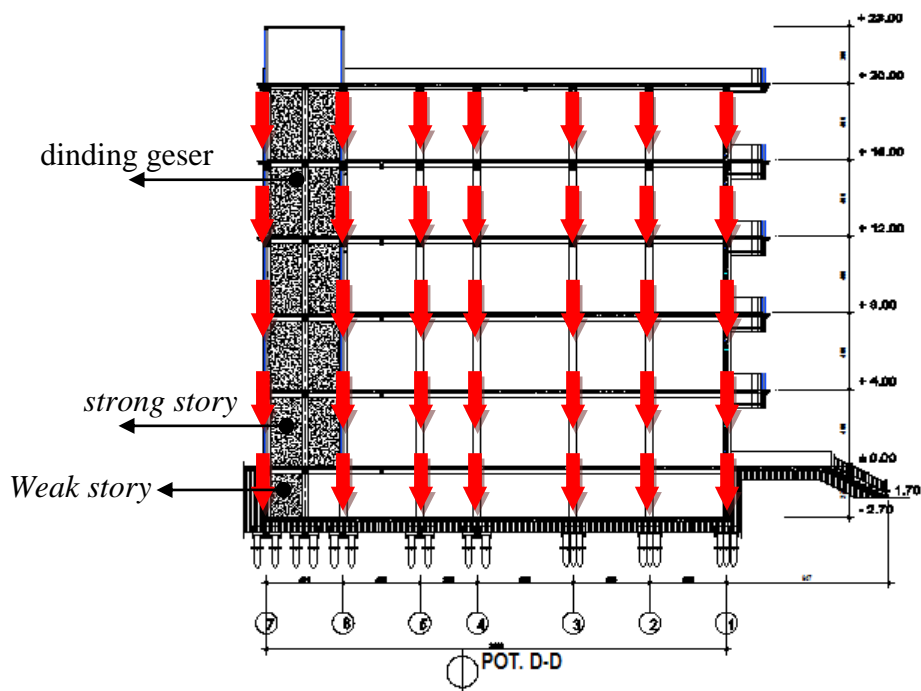
Dari (tabel 7.158 dan gambar 7.105) tidak terdapat kolom yang mengalami pemutusan aliran beban seperti penghilangan kolom yang diganti dengan balok transfer yang sangat kritis jika terjadi gempa arah vertikal. Berbeda dengan dinding geser terdapat diskontinuitas alur beban dinding geser di bawah lantai 01 sehingga menciptakan potensi *weak story* pada saat terjadi gempa kuat (tabel 7.159 dan gambar 7.105).

Tabel 7.158. Rasio luas kolom tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$  dan luas kolom dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$  pada Toko T 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas kolom tipikal $(a_e)_i$ (m2)	$(\sum a_e)_i / (\sum a_e)_{i+1}$	$a_{r-i}$	Tingkatan kualitas $(G_i)$
lantai 01	4.47	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 02	4.47	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 03	4.47	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 04	4.47	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 05	4.47	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai atap	4.47	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1

Tabel 7.159. Rasio luas dinding geser tingkat yang ditinjau- $(\sum a_e)_i$  dan luas dinding geser dari tingkat atas- $(\sum a_e)_{i+1}$  pada Toko T 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas dinding geser tipikal $(a_e)_i$ (m2)	$(\sum a_e)_i / (\sum a_e)_{i+1}$	$a_{r-i}$	Tingkatan kualitas $(G_i)$
lantai 01	6.10	0.76	$0.65 \leq a_{r-i} < 0.8$	0.75
lantai 02	8.03	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 03	8.03	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 04	8.03	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai 05	8.03	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1
lantai atap	8.03	1.00	$a_{r-i} \geq 0.8$	1



Gambar 7.105. Kontinuitas alur beban kolom dan diskontinuitas alur beban dinding geser Toko T 6 lantai (sumber : analisa)

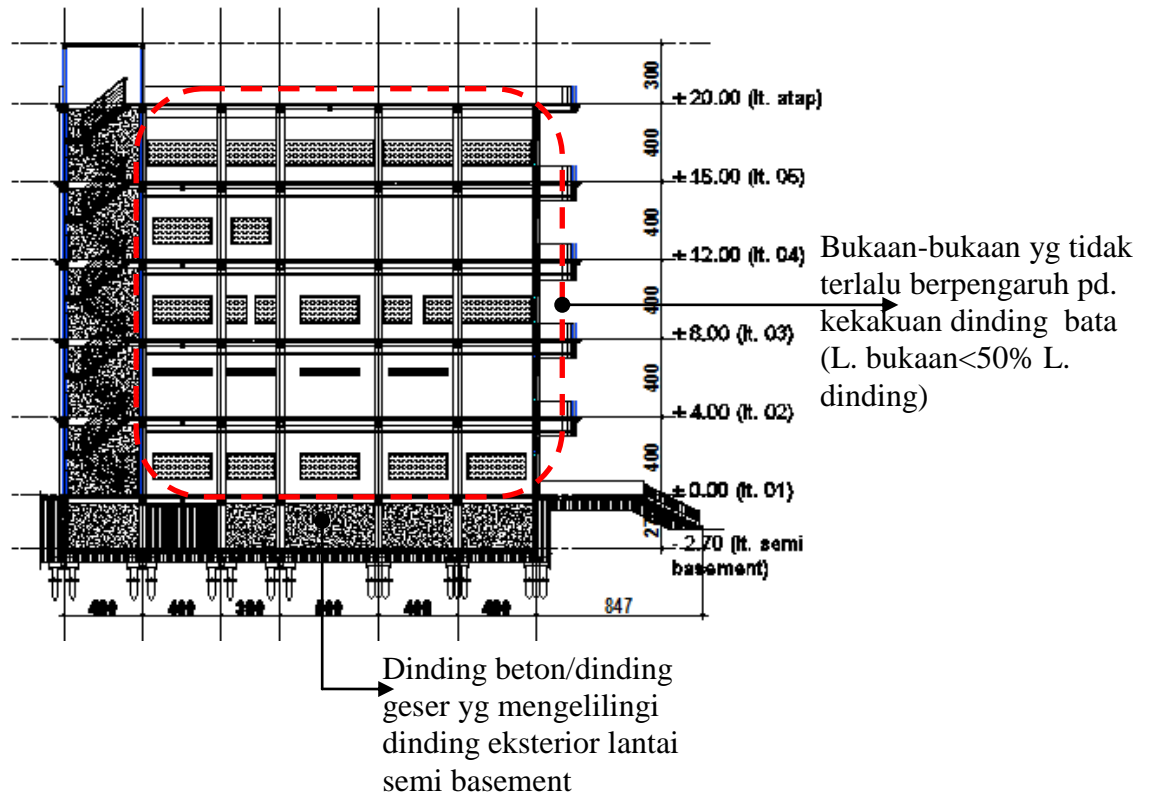
**i. Konfigurasi ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang & diskontinuitas arah bidang**

$$d_{r-i} = \frac{\sum d_i}{\sum l_i} \text{-----(5.21)}$$

Di mana,  $d_{r-i}$  = rasio kepadatan dinding (%),  $\sum d_i$  = luas dinding bata lantai tingkat ke -i dan  $\sum l_{tot-i}$  = Luas lantai di lantai tingkat ke -i.

Tabel 7.160. Rasio kepadatan dinding bata ( $d_{r-i}$ ) pada Toko T 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	Luas lantai ( $\sum l_i$ ) (m <sup>2</sup> )	Luas dinding bata ( $\sum d_i$ ) (m <sup>2</sup> )	$\sum d_i / \sum l_i$	$d_{r-i}$	Tingkatan kualitas ( $G_i$ )
lantai 01	219.00	0.00	0.0%	$d_{r-i} < 1.0\%$	0.5
lantai 02	276.32	10.71	3.9%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 03	276.32	10.71	3.9%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 04	276.32	10.71	3.9%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai 05	276.32	10.71	3.9%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1
lantai atap	276.32	10.71	3.9%	$d_{r-i} > 1.5\%$	1



Gambar 7.106. Bukaan-bukaan (jendela, ventilasi) dan penggunaan dinding geser dapat mempengaruhi kekakuan Toko T (sumber : analisa)

Dengan luasan lahan yang terbatas sehingga untuk menampung parkir motor dan mobil bagian lantai semi basement interiornya dibebaskan dari dinding bata. Akan tetapi, pada dinding eksteriornya dikelilingi dinding beton/dinding geser walaupun di atasnya menggunakan dinding bata di ruang-ruang seperti toilet, shaft, dan dinding eksterior tetap membuat lantai basement lebih kaku dibandingkan lantai di atasnya. Sementara itu, dinding bata di bawah lantai 02 s/d lantai atap memiliki kepadatan yang sama sehingga kekakuan dinding batanya relatif sama dan potensi *soft story* di tingkat tertentu dapat diminimalisasi (lihat tabel 7.160 dan gambar 7.106).

**7. Perbandingan indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) Toko T 6 lantai.**

Berdasarkan data-data dan perhitungan di atas, maka dapat disimpulkan untuk gedung Toko T yaitu :

- Pada (tabel 7.162) kolom  $I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}$  merupakan perkalian indeks luas kolom dan indeks jenis kolom memperlihatkan nilainya untuk lantai semi basement = 0.91 dan lantai di atasnya > 1 yang artinya dimensi kolom sudah didesain dengan cukup baik sehingga memenuhi syarat luas minimum dalam menahan gempa kuat. Akan

tetapi, hal itu didominasi kategori kolom langsing ( $6 \leq h_0/D$ ) sehingga masih potensial terjadinya kegagalan lentur pada kolom akibat gempa kuat.

- Pada (tabel 7.162) kolom  $I_{SCWB-i}$  merupakan indeks *strong column weak beam* yang nilainya = 86%. Perencana masih cukup baik mendesain dimensi kolom dan balok sehingga didominasi yang memenuhi persyaratan mekanisme *strong column weak beam* ( $W_p \text{ kolom} > 1.2 \times W_p \text{ balok}$ ), maka diharapkan ketika terjadi gempa kuat potensi mekanisme SCWB masih dapat terbentuk.
- Pada (tabel 7.162) kolom  $I_T$  merupakan indeks periode getar struktur yang nilai = 1 yang berarti periode getar struktur ( $T_{C-X}=0.488 \text{ dtk}$  &  $T_{C-Y}=0.505 \text{ dtk}$ ) < periode getar pendekatan ( $T_a=0.77 \text{ dtk}$ ) yang berarti bangunannya terlalu kaku. Dinding geser disekililing lantai semi basement dan untuk lantai di atasnya konsentrasi dinding geser di massa besar membuat bangunan toko T sangat kaku, tetapi karena perletakannya kurang mempertimbangkan keseimbangan kekakuan mengakibatkan masalah eksentrisitas.
- Pada (tabel 7.162) kolom R dan  $\Omega_0$  merupakan faktor reduksi gempa dan faktor kuat lebih (tabel 5.2) yang nilainya tergantung pemilihan jenis struktur. Jenis struktur yang digunakan pada bangunan toko 6 lantai ini yaitu SRPMB yang berarti  $R = 4.5$  dan  $\Omega_0 = 2.5$ . Perbandingan  $R/\Omega_0$  merupakan indeks daktilitas sistem struktur Toko T ini.
- Pada (tabel 7.162) kolom  $E_{0-i}$  adalah indeks gempa dasar struktur rangka pemikul momen dan dinding geser yang merupakan hasil perkalian faktor modifikasi kapasitas geser tingkat; indeks dimensi kolom dan dinding geser; indeks jenis kolom dan dinding geser; indeks *strong column weak beam*; indeks periode getar struktur dan indeks daktilitas sistem struktur.
- Pada (tabel 7.162) kolom  $S_{D-i}$  merupakan indeks ireguleritas geometri bangunan. Jika dilihat tabel 7.161 indeks ireguleritas ( $S_D$ ) < 0.5 terjadi di seluruh lantai. Hasil kombinasi konfigurasi ketidakberaturan torsi, ketidakberaturan sudut dalam, ketidakberaturan kontinuitas diafragma, ketidakberaturan berat/massa, ketidakberaturan *setback*, *weak story* dan ketidakberaturan bidang. Hal ini artinya bangunan termasuk kategori bangunan dengan konfigurasi geometri sangat ireguler.



Tabel 7.161. Konfigurasi ketidakberaturan vertikal dan horisontal ( $S_{D-i}$ ) Toko T 6 lantai (sumber : analisa).

Lantai	a eksentrisitas	b sudut dalam	c diafragma	d non paralel	e soft story	f massa	g setback	h weak story	i bidang	$S_{D-i}$
lantai 01	1	0.5	0.75	1	1	1	1	0.75	0.5	0.14
lantai 02	0.75	0.5	0.75	1	1	0.75	0.75	1	1	0.16
lantai 03	0.75	0.5	0.75	1	1	1	0.75	1	1	0.21
lantai 04	0.75	0.5	0.75	1	1	1	0.75	1	1	0.21
lantai 05	0.75	0.5	0.75	1	1	1	0.75	1	1	0.21
lantai atap	0.75	0.5	0.75	1	1	1	0.75	1	1	0.21

- Pada (tabel 7.162 dan 7.163) kolom  $I_{S-i}$  adalah indeks kapasitas struktur yang merupakan perkalian indeks gempa dasar struktur dan indeks ireguleritas geometri bangunan.
- Pada (tabel 7.163) kolom  $I_{SO-i}$  adalah indeks beban lateral gempa yang merupakan perkalian faktor modifikasi beban horisontal tingkat, indeks respon seismik, dan faktor keutamaan fungsi bangunan yang nilainya semakin besar jika fungsi bangunan semakin penting.
- Pada (tabel 7.163) perbandingan indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) memperlihatkan bahwa seluruh lantai  $\rightarrow I_S > I_{SO}$ , potensi level kerusakan bangunan akibat gempa kuat adalah rusak ringan (*IO-Immediate Occupancy*). Hal ini hasil kompensasi dari bentuk ireguler dengan penggunaan dinding geser yang intensif.

Tabel 7.162. Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) pada gedung Toko T 6 lantai (sumber : analisa).

Model	Lantai	$\frac{n+1}{n+i}$	$I_{AC-i} \cdot I_{C-i}$	$I_{ASW-i} \cdot I_{SW-i}$	$I_{SCWB-i}$	$I_T$	R	$\Omega_0$	$E_{0-i}$	$S_{D-i}$	$I_{S-i}$	
TT-01	lantai 01	7/7	1.00	0.91	8.16	0.86	1	4.5	2.5	14.07	0.14	1.98
	lantai 02	7/8	0.88	1.04	4.47	0.86	1	4.5	2.5	7.48	0.16	1.18
	lantai 03	7/9	0.78	1.16	5.58	0.86	1	4.5	2.5	8.14	0.21	1.72
	lantai 04	7/10	0.70	1.18	7.44	0.86	1	4.5	2.5	9.37	0.21	1.98
	lantai 05	7/11	0.64	1.18	11.17	0.86	1	4.5	2.5	12.20	0.21	2.57
	lantai atap	7/12	0.58	1.18	22.33	0.86	1	4.5	2.5	21.29	0.21	4.49

Tabel 7.163. Perbandingan Indeks kapasitas gempa struktur ( $I_{S-i}$ ) dan Indeks beban lateral gempa ( $I_{SO-i}$ ) pada Toko T 6 lantai (sumber : analisa).

Model	Lantai	$I_{S-i}$	$I_{SO-i}$	SVA
TT-01	lantai 01	1.98	0.85	IO
	lantai 02	1.18	0.92	IO
	lantai 03	1.72	1.02	IO
	lantai 04	1.98	1.13	IO
	lantai 05	2.57	1.27	IO
	lantai atap	4.49	1.45	IO

## 7.9. RESUME HASIL ANALISA SVA DISAIN ARSITEKTUR PADA DISAIN BANGUNAN DI KOTA SEMARANG

Tabel 7.164. Resume hasil analisa SVA Disain Arsitektur pada disain bangunan di Kota Semarang (sumber : analisa).

N0	GEDUNG	LOKASI	DISAIN STRUKTUR	DISAIN ARSITEKTUR
1.	GEDUNG KULIAH UNIV. PGRI 8 LANTAI DI JL. GAJAH SEMARANG	DITANAH LUNAKYG. MEMILIKI DAYA DUKUNGTANAH RENDAH & BERPOTENSI MEMPERBESAR GELOMBANG GEMPA.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• KONFIGURASI BENTUK BANGUNAN TIDAK TERLALU FLEKSIBEL.</li> <li>• DIMENSI KOLOM, BALOK &amp; DINDING GESER SUDAH MEMENUHI SYARAT.</li> <li>• TINGGI KOLOM &amp; KEKANGAN KOLOM DI DINDING MASIH MEMENUHI SYARAT KEKAKUAN.</li> <li>• RASIO DIMENSI KOLOM &amp; BALOK MASIH MEMENUHI SYARAT SCWB.</li> </ul>	SECARA UMUM BENTUK SIMETRIS 1 AKSIS DAN DISAIN KONFIGURASI GEOMETRI MASIH KURANG BAIK KARENA TERDAPAT KOMBINASI IREGULERITAS BERLEBIHAN.
2.	GEDUNG RAWAT INAP & OK RUMAH SAKIT PANTI WILASA 5 LANTAI DI JL. CIPTO SEMARANG	DITANAH LUNAKYG. MEMILIKI DAYA DUKUNGTANAH RENDAH & BERPOTENSI MEMPERBESAR GELOMBANG GEMPA.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• KONFIGURASI BENTUK BANGUNAN TIDAK TERLALU FLEKSIBEL.</li> <li>• DIMENSI KOLOM, BALOK &amp; DINDING GESER SUDAH MEMENUHI SYARAT.</li> <li>• TINGGI KOLOM &amp; KEKANGAN KOLOM DI DINDING MASIH MEMENUHI SYARAT KEKAKUAN.</li> <li>• RASIO DIMENSI KOLOM &amp; BALOK MASIH MEMENUHI SYARAT SCWB.</li> </ul>	SECARA UMUM BENTUK ASIMETRIS DAN DISAIN KONFIGURASI GEOMETRI MASIH CUKUP BAIK DG. TIDAK TERBENTUKNYA KOMBINASI IREGULERITAS BERLEBIHAN.
3.	MENARA BRI 9 LANTAI DI JL. A. YANI SEMARANG	DITANAH LUNAKYG. MEMILIKI DAYA DUKUNGTANAH RENDAH & BERPOTENSI MEMPERBESAR GELOMBANG GEMPA.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• KONFIGURASI BENTUK BANGUNAN TIDAK TERLALU FLEKSIBEL.</li> <li>• DIMENSI KOLOM, BALOK &amp; DINDING GESER MASIH MEMENUHI SYARAT.</li> <li>• TINGGI KOLOM SUDAH MEMENUHI SYARAT KEKAKUAN &amp; KEKANGAN KOLOM DI DINDING GESER BELUM MEMENUHI SYARAT KEKAKUAN.</li> <li>• RASIO DIMENSI KOLOM &amp; BALOK MASIH MEMENUHI SYARAT SCWB.</li> </ul>	SECARA UMUM BENTUK SIMETRIS 1 AKSIS DAN DISAIN KONFIGURASI GEOMETRI MASIH CUKUP BAIK TETAPI MASIH ADA KONFIGURASI <i>WEAK STORY</i> DARI DINDING BETON VAULT DI LANTAI 03.
4.	GEDUNG RADIOTERAPY DAN ONKOLOGI (R&O) 6 LANTAI RSUP DR. KARIADI DI JL. KARIADI SEMARANG	DITANAH RELATIF KERASYG. MEMILIKI DAYA DUKUNG CUKUP BAIK & BERPOTENSI MEREDAM GELOMBANG GEMPA.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• KONFIGURASI BENTUK BANGUNAN TIDAK TERLALU FLEKSIBEL.</li> <li>• DIMENSI KOLOM &amp; BALOK MASIH MEMENUHI SYARAT.</li> <li>• TINGGI KOLOM SUDAH MEMENUHI SYARAT KEKAKUAN.</li> <li>• RASIO DIMENSI KOLOM &amp; BALOK MASIH MEMENUHI SYARAT SCWB.</li> </ul>	SECARA UMUM BENTUK ASIMETRIS DAN DISAIN KONFIGURASI GEOMETRI MASIH CUKUP BAIK DG. TIDAK TERBENTUKNYA KOMBINASI IREGULERITAS BERLEBIHAN.
5.	GEDUNG RS. GIGI DAN MULUT RSI. SULTAN AGUNG 6 LANTAI DI JL. KALIGAWA SEMARANG	DITANAH LUNAKYG. MEMILIKI DAYA DUKUNGTANAH RENDAH & BERPOTENSI MEMPERBESAR GELOMBANG GEMPA.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• KONFIGURASI BENTUK BANGUNAN TIDAK TERLALU FLEKSIBEL.</li> <li>• DIMENSI KOLOM &amp; BALOK MASIH MEMENUHI SYARAT, SEDIKANTAN DIMENSI DINDING GESER BELUM MEMENUHI.</li> <li>• TINGGI KOLOM SUDAH MEMENUHI SYARAT KEKAKUAN &amp; KEKANGAN KOLOM DI DINDING GESER BELUM MEMENUHI SYARAT KEKAKUAN.</li> <li>• RASIO DIMENSI KOLOM &amp; BALOK BELUM MEMENUHI SYARAT SCWB.</li> </ul>	SECARA UMUM BENTUK ASIMETRIS DAN DISAIN KONFIGURASI GEOMETRI MASIH CUKUP BAIK TETAPI MASIH ADA KONFIGURASI <i>SOFT STORY</i> DARI PERBEDAAN KEPADATAN DINDING LT.01 DG. LANTAI DIATASNYA.
6.	GEDUNG LABORATORIUM FAKULTAS KEDOKTERAN UNISSULA 8 LANTAI DI JL. KALIGAWA SEMARANG	DITANAH LUNAKYG. MEMILIKI DAYA DUKUNGTANAH RENDAH & BERPOTENSI MEMPERBESAR GELOMBANG GEMPA.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• KONFIGURASI BENTUK BANGUNAN TIDAK TERLALU FLEKSIBEL.</li> <li>• DIMENSI KOLOM &amp; BALOK MASIH MEMENUHI SYARAT, SEDIKANTAN DIMENSI DINDING GESER BELUM MEMENUHI.</li> <li>• TINGGI KOLOM SUDAH MEMENUHI SYARAT KEKAKUAN &amp; KEKANGAN KOLOM DI DINDING GESER BELUM MEMENUHI SYARAT KEKAKUAN.</li> <li>• RASIO DIMENSI KOLOM &amp; BALOK MASIH MEMENUHI SYARAT SCWB.</li> </ul>	SECARA UMUM BENTUK ASIMETRIS DAN DISAIN KONFIGURASI GEOMETRI MASIH CUKUP BAIK TETAPI MASIH ADA KONFIGURASI <i>SOFT STORY</i> DARI PERBEDAAN KEPADATAN DINDING LT.01 DG. LANTAI DIATASNYA.
7.	GEDUNG HOTEL ARTOTEL 12 LANTAI DI JL. GAJAHMADA SEMARANG	DITANAH LUNAKYG. MEMILIKI DAYA DUKUNGTANAH RENDAH & BERPOTENSI MEMPERBESAR GELOMBANG GEMPA.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• KONFIGURASI BENTUK BANGUNAN TERLALU FLEKSIBEL.</li> <li>• DIMENSI KOLOM, BALOK &amp; DINDING GESER BELUM MEMENUHI SYARAT.</li> <li>• TINGGI KOLOM &amp; KEKANGAN KOLOM DI DINDING GESER MASIH MEMENUHI SYARAT KEKAKUAN.</li> <li>• RASIO DIMENSI KOLOM &amp; BALOK SUDAH MEMENUHI SYARAT SCWB.</li> </ul>	SECARA UMUM BENTUK ASIMETRIS DAN DISAIN KONFIGURASI GEOMETRI KURANG BAIK KARENA TERBENTUKNYA KOMBINASI IREGULERITAS YANG BERLEBIHAN.
8.	GEDUNG TOKO T 6 LANTAI DI JL. MT. HARYONO SEMARANG	DITANAH LUNAKYG. MEMILIKI DAYA DUKUNGTANAH RENDAH & BERPOTENSI MEMPERBESAR GELOMBANG GEMPA.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• KONFIGURASI BENTUK BANGUNAN TIDAK TERLALU FLEKSIBEL.</li> <li>• DIMENSI KOLOM, BALOK &amp; DINDING GESER SUDAH MEMENUHI SYARAT.</li> <li>• TINGGI KOLOM BELUM MEMENUHI SYARAT KEKAKUAN &amp; KEKANGAN KOLOM DI DINDING GESER SUDAH MEMENUHI SYARAT KEKAKUAN.</li> <li>• RASIO DIMENSI KOLOM &amp; BALOK SUDAH MEMENUHI SYARAT SCWB.</li> </ul>	SECARA UMUM BENTUK ASIMETRIS DAN DISAIN KONFIGURASI GEOMETRI KURANG BAIK KARENA TERBENTUKNYA IREGULERITAS SUDUT DALAM KOMBINASI IREGULERITAS LAINNYA YANG BERLEBIHAN

## BAB VIII. GUIDANCE DESAIN ARSITEKTUR

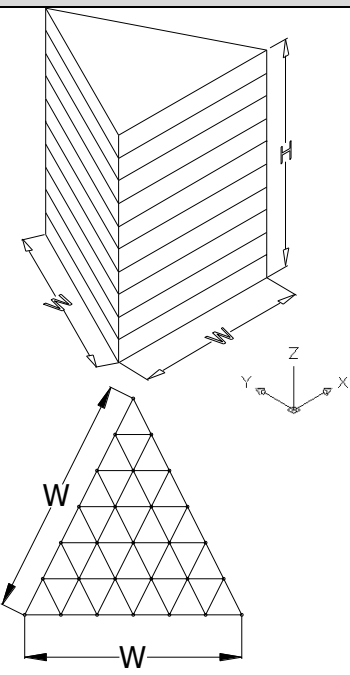
### BANGUNAN TAHAN GEMPA

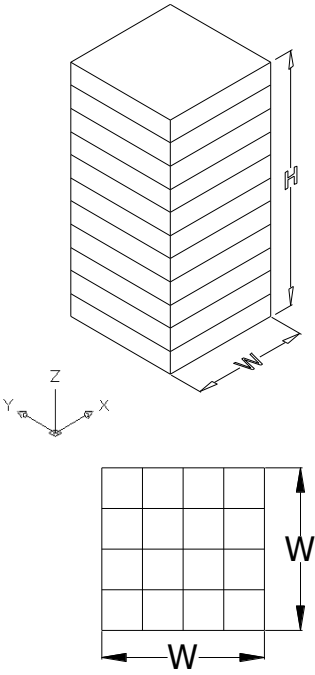
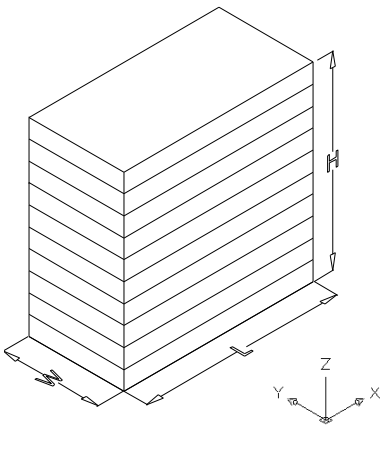
Desain arsitektur pada zona rawan gempa perlu mempertimbangkan ketahanannya terhadap gempa. Berikut ini akan diberikan *guidance* desain konfigurasi geometri bangunan tahan gempa secara umum di zona rawan gempa dan khusus di zona *Moderately High (MH) – High (H)*.

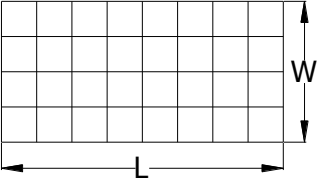
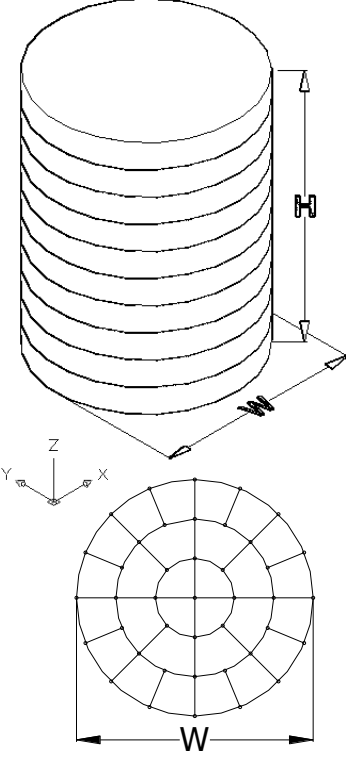
#### 8.1. GUIDANCE DESAIN ARSITEKTUR BANGUNAN TAHAN GEMPA DENGAN KONFIGURASI GEOMETRI BENTUK-BENTUK UMUM

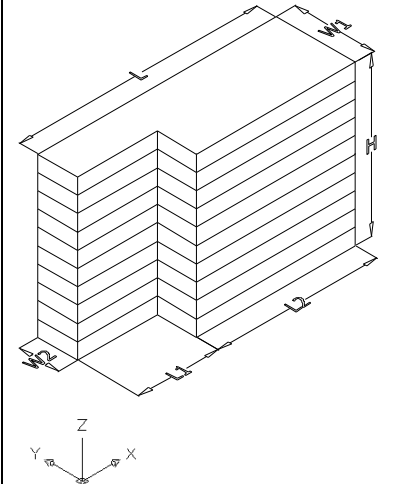
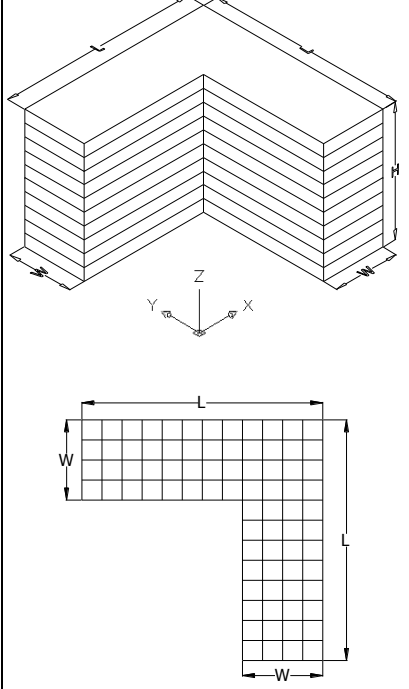
Dalam proses desain arsitektur dikenal proses *form finding* yaitu proses pencarian bentuk sampai akhirnya ditemukan bentuk yang sesuai. Biasanya dimulai dengan bentuk geometri dasar, kemudian dilakukan transformasi bentuk dan/atau komposisi massa sehingga didapatkan bentuk geometri yang lebih kompleks. Perubahan dari bentuk dasar menjadi bentuk yang lebih kompleks dapat mengakibatkan perubahan konfigurasi bangunan yang dapat memengaruhi respon struktur terhadap gempa. Berikut ini akan dijelaskan respon geometri bentuk-bentuk umum yang sering digunakan terhadap gempa, yang bisa dijadikan pedoman bagi arsitek dalam mendesain bangunan yaitu :

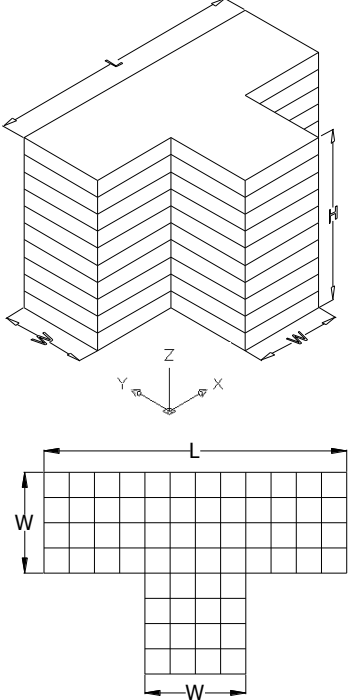
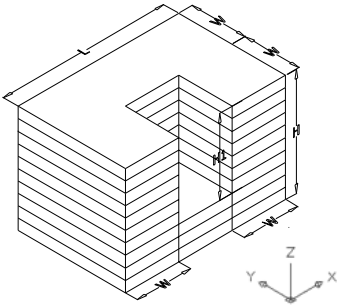
Tabel 8.1. Konfigurasi geometris bentuk-bentuk dasar, transformasi & komposisi massa serta respon perilakunya terhadap gempa

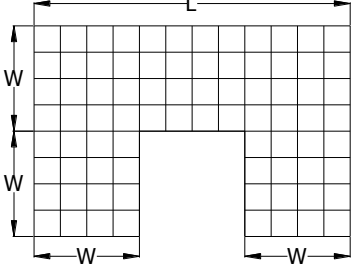
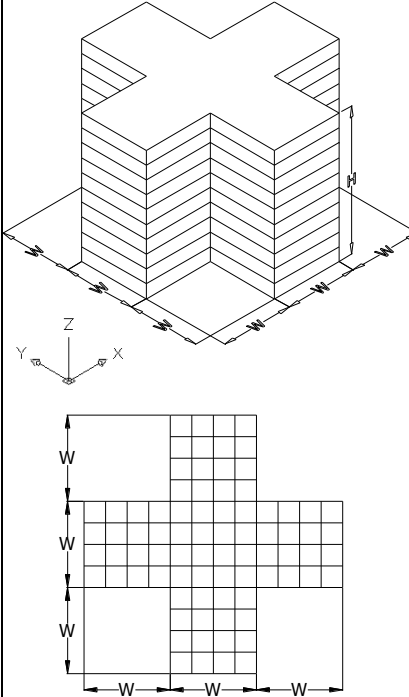
No	Geometri	Keuntungan	Kelemahan
1.		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk lebih atraktif.</li> <li>- Dengan bentuk segitiga sama sisi deformasi dominan translasi (mode 1 &amp; 2).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modul struktur yang tidak grid persegi atau grid segitiga untuk membentuk ruang yang efektif menjadi lebih sulit.</li> <li>- Jika terlalu langsing <math>H/W &gt; 4</math>, bangunan terlalu fleksibel sehingga bisa mengganggu kenyamanan penghuni dan pemeliharaan gedung (lift macet, pintu &amp; jendela sukar dibuka,</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W = 30 \text{ m}</math>, <math>H = 40 \text{ m}</math>, <math>H/W=1.3</math></li> <li>• mode 1=translasi-Y, mode 2=translasi-X, &amp; mode 3=rotasi</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 5</li> <li>• <math>T_c-X=1.96 \text{ dt}</math> &amp; <math>T_c-Y=1.93 \text{ dt}</math>.</li> </ul>		<p>dinding retak). Selain itu, juga meningkatkan gaya-gaya internal kolom dan balok terutama di bagian bawah bangunan.</p>
2.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W = 20 \text{ m}</math>, <math>H = 40 \text{ m}</math>, <math>H/W=2</math></li> <li>• mode 1=translasi-Y, mode 2=translasi-X, &amp; mode 3=lecutan-Y</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 4</li> <li>• <math>T_c-X=1.99 \text{ dt}</math> &amp; <math>T_c-Y=1.99 \text{ dt}</math>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengaturan modul struktur lebih teratur dengan modul grid sehingga tata ruang lebih efektif.</li> <li>- Bentuk simetris 2 aksis sehingga menimalisir terjadinya : <ul style="list-style-type: none"> <li>o Torsi / puntir</li> <li>o Penyebaran gaya lebih merata</li> </ul> </li> <li>- Deformasi dominan translasi (mode 1 &amp; 2).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jika terlalu langsing <math>H/W &gt; 4</math>, bangunan terlalu fleksibel sehingga bisa mengganggu kenyamanan penghuni dan pemeliharaan gedung. Selain itu, juga meningkatkan gaya-gaya internal kolom dan balok terutama di bagian bawah bangunan.</li> </ul>
3.		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengaturan modul struktur lebih teratur dengan modul grid sehingga tata ruang lebih efektif.</li> <li>- Bentuk simetris 2 aksis sehingga menimalisir terjadinya : <ul style="list-style-type: none"> <li>o Torsi / puntir</li> <li>o Penyebaran gaya lebih merata</li> </ul> </li> <li>- Deformasi dominan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jika <math>L \geq 50 \text{ m}</math> mengakibatkan mode dinamis lecutan horisontal.</li> <li>- Jika terlalu langsing <math>H/W &gt; 4</math>, bangunan terlalu fleksibel sehingga bisa mengganggu kenyamanan penghuni dan pemeliharaan gedung. Selain itu,</li> </ul>

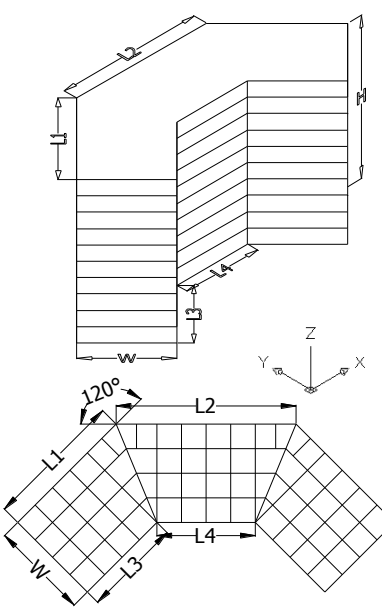
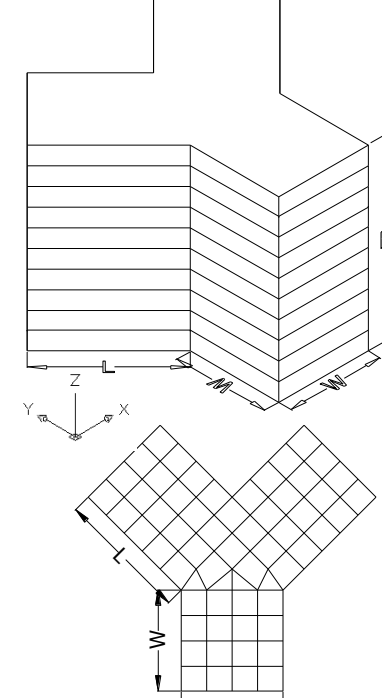
	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W = 20 \text{ m}</math>, <math>H = 40 \text{ m}</math>, <math>L = 40 \text{ m}</math>, <math>H/W=2</math></li> <li>• mode 1=translasi-Y, mode 2=translasi-X, &amp; mode 3=lecutan-Y</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 4</li> <li>• <math>Tc-X=1.97 \text{ dt}</math> &amp; <math>Tc-Y=2.04 \text{ dt}</math></li> </ul>	<p>translasi (mode 1 &amp; 2).</p>	<p>juga meningkatkan gaya-gaya internal kolom dan balok terutama di bagian bawah bangunan.</p>
4.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W = 20 \text{ m}</math>, <math>H = 40 \text{ m}</math>, <math>H/W=2</math></li> <li>• mode 1=translasi-Y, mode 2=translasi-X, &amp; mode 3=lecutan-Y</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 4</li> <li>• <math>Tc-X=1.71 \text{ dt}</math> &amp; <math>Tc-Y=1.71 \text{ dt}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk lebih dinamis.</li> <li>- Bentuk simetris 2 aksis sehingga menimalisir terjadinya : <ul style="list-style-type: none"> <li>o Torsi / puntir</li> <li>o Penyebaran gaya lebih merata</li> </ul> </li> <li>- Deformasi dominan translasi (mode 1 &amp; 2).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modul struktur yang tidak grid persegi untuk membentuk ruang yang efektif menjadi lebih sulit.</li> <li>- Jika terlalu langsing <math>H/W &gt; 4</math>, bangunan terlalu fleksibel sehingga bisa mengganggu kenyamanan penghuni dan pemeliharaan gedung. Selain itu, juga meningkatkan gaya-gaya internal kolom dan balok terutama di bagian bawah bangunan.</li> </ul>
5.		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengaturan modul struktur lebih teratur dengan modul grid sehingga tata ruang lebih efektif.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk ireguler dengan deformasi kombinasi translasi (mode 1) dan torsi-translasi</li> </ul>

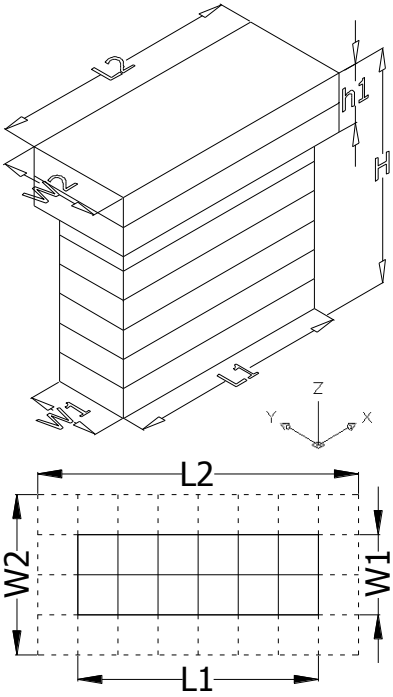
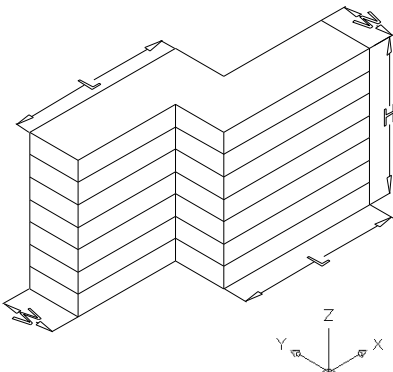
	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W1 = 20</math> m, <math>W2=10</math> m, <math>L1=20</math> m, <math>L2=40</math> m, <math>H = 40</math> m, <math>H/W1=2</math>, <math>H/W2=4</math></li> <li>• mode 1=translasi-Y, mode 2=torsi-translasi-X, &amp; mode 3=torsi</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 5</li> <li>• <math>Tc-X=1.94</math> dt &amp; <math>Tc-Y=2.06</math> dt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jika massa besar <math>H/W1 &lt; 4</math> dan massa kecil <math>H/W2 &gt; 4</math> maka massa kecil akan berkurang fleksibilitasnya.</li> </ul>	<p>(mode 2).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elemen struktur umumnya tidak didesain untuk menahan deformasi translasi-diagonal dan torsi.</li> <li>- Dengan terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam dapat menimbulkan terkonsentrasinya gaya geser pada pertemuan massa.</li> <li>- Dengan <math>H/W1 &lt; H/W2</math> menimbulkan perbedaan kekakuan dan deformasi pada masing-masing massa sehingga kegagalan struktur massa kecil dapat ikut menyeret massa besar.</li> </ul>
6.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W=20</math> m, <math>L=60</math> m, <math>H=40</math> m, <math>H/W=2</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk lebih atraktif.</li> <li>- Pengaturan modul struktur lebih teratur dengan modul grid sehingga tata ruang lebih efektif.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk ireguler dengan deformasi dominan translasi-diagonal (mode 1 &amp; 2).</li> <li>- Elemen struktur umumnya tidak didesain untuk menahan deformasi translasi-diagonal dan torsi.</li> <li>- Dengan terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam dapat menimbulkan terkonsentrasinya gaya geser pada pertemuan massa.</li> </ul>

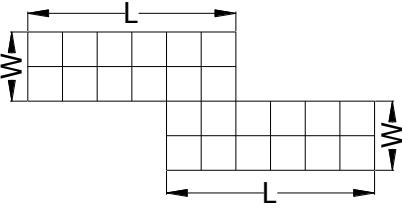
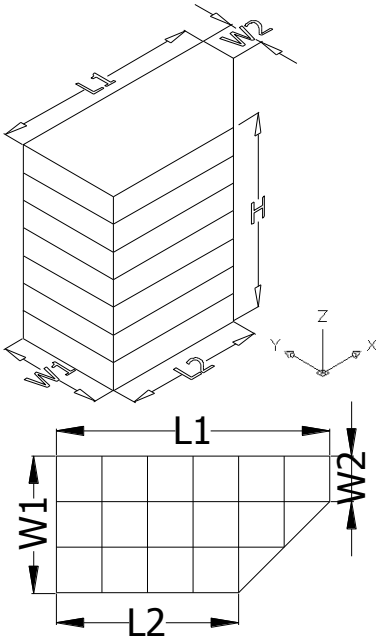
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mode 1= translasi-diagonal, mode 2= translasi-diagonal, &amp; mode 3=torsi</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq</math> 85% <math>\rightarrow</math> mode 5</li> <li>• <math>T_c\text{-X}=2.03</math> dt &amp; <math>T_c\text{-Y}=2.01</math> dt</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pada arah aksis yang sama bisa terjadi perbedaan deformasi yang besar pada ujung-ujung massa bangunan.</li> </ul>
7.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W=20</math> m, <math>L=60</math> m, <math>H=40</math> m, <math>H/W=2</math></li> <li>• mode 1=translasi-Y, mode 2=torsi-translasi-X, &amp; mode 3=torsi</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq</math> 85% <math>\rightarrow</math> mode 5</li> <li>• <math>T_c\text{-X}=1.99</math> dt &amp; <math>T_c\text{-Y}=2.03</math> dt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk lebih atraktif.</li> <li>- Pengaturan modul struktur lebih teratur dengan modul grid sehingga tata ruang lebih efektif.</li> <li>- Massa bangunan lebih kaku daripada massa linier.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk ireguler yang menimbulkan kombinasi deformasi translasi (mode 1) dan torsi-translasi (mode 2).</li> <li>- Elemen struktur umumnya tidak didesain untuk menahan deformasi translasi-diagonal dan torsi.</li> <li>- Kombinasi deformasi translasi dan torsi bisa mengakibatkan terjadinya perbedaan deformasi yang besar pada ujung-ujung massa bangunan.</li> <li>- Dengan terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam dapat menimbulkan terkonsentrasinya gaya geser pada pertemuan massa.</li> </ul>
8.		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk lebih atraktif.</li> <li>- Pengaturan modul struktur lebih teratur dengan modul grid sehingga tata ruang lebih efektif.</li> <li>- Massa bangunan lebih kaku daripada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam dapat menimbulkan terkonsentrasinya gaya geser pada pertemuan massa.</li> </ul>

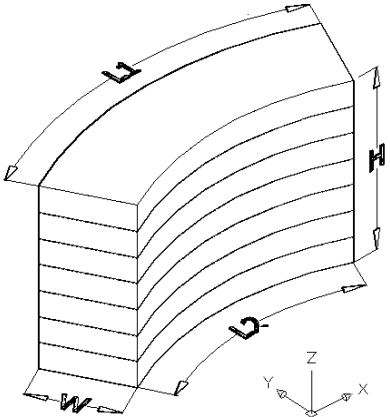
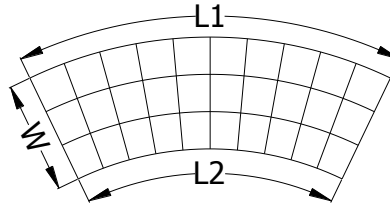
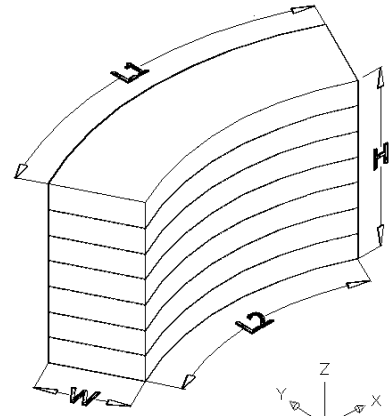
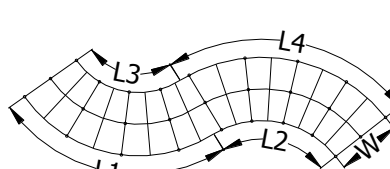
	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W=20</math> m, <math>L=60</math> m, <math>H=40</math> m, <math>H/W=2</math></li> <li>• mode 1=translasi-X, mode 2=translasi-Y, &amp; mode 3=torsi</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 5</li> <li>• <math>Tc-X=2.02</math> dt &amp; <math>Tc-Y=2.01</math> dt</li> </ul>	<p>massa linier.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Deformasi dominan translasi (mode 1 &amp; 2).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pada arah aksis -X bisa terjadi perbedaan deformasi yang besar pada ujung-ujung massa bangunan.</li> </ul>
9.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W=20</math> m, <math>H=40</math> m, <math>H/W=2</math></li> <li>• mode 1=translasi-X, mode 2=translasi-Y, &amp; mode 3=lecutan-diagonal</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 4</li> <li>• <math>Tc-X=1.76</math> dt &amp; <math>Tc-Y=1.76</math> dt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk lebih atraktif.</li> <li>- Jika pertemuan massa saling tegak lurus pengaturan modul pertemuan massa masih bisa grid.</li> <li>- Deformasi dominan translasi (mode 1 &amp; 2).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jika pertemuan massa tidak saling tegak lurus maka pengaturan modul pertemuan massa tidak bisa grid.</li> <li>- Kombinasi deformasi translasi dan torsi bisa mengakibatkan terjadinya perbedaan deformasi yang besar pada ujung-ujung massa bangunan.</li> <li>- Terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam dapat menimbulkan terkonsentrasinya gaya geser pada pertemuan massa.</li> </ul>
10.		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk lebih atraktif.</li> <li>- Pengaturan modul struktur dominan modul grid.</li> <li>- Pertemuan massa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pertemuan massa tidak saling tegak lurus maka pengaturan modul pertemuan massa</li> </ul>

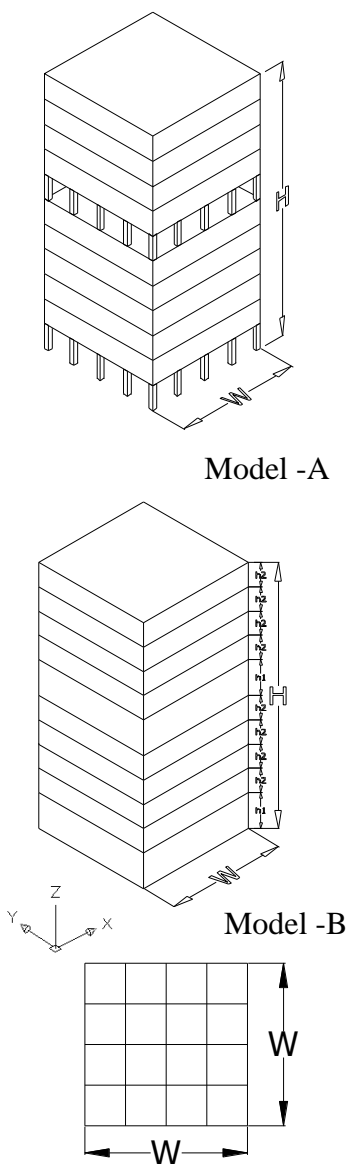


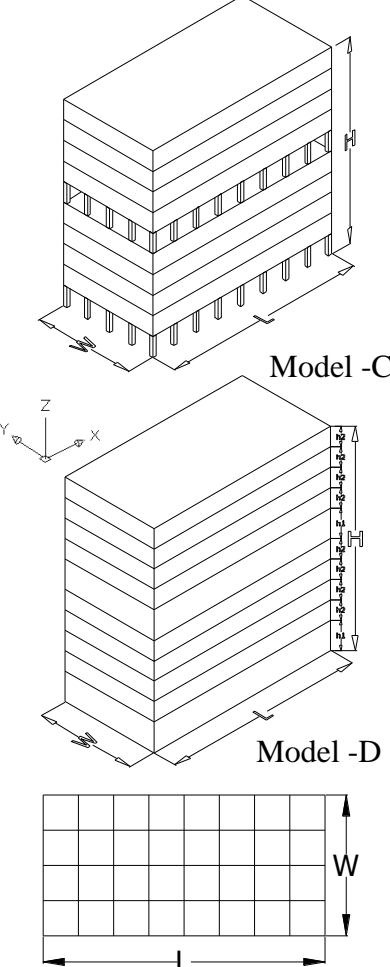
	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• L1=28.28 m, L2=36.57 m, L3=20 m, L4=20 m, W=20 m, H=40 m, H/W=2</li> <li>• mode 1=translasi-Y, mode 2=torsi, &amp; mode 3=torsi</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 5</li> <li>• Tc-X=1.72 dt &amp; Tc-Y=1.75 dt</li> </ul>	<p>tidak saling tegak lurus <math>\leq 120^0</math> dianggap non-konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam.</p>	<p>tidak bisa grid.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk ireguler yang menimbulkan kombinasi deformasi translasi (mode 1) dan torsi (mode 2).</li> <li>- Elemen struktur umumnya tidak didesain untuk menahan deformasi translasi-diagonal dan torsi.</li> <li>- Tata massa yang tidak saling tegak lurus menyebabkan terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sistem non paralel yang dapat memperbesar deformasi translasi dan torsi.</li> </ul>
11.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• W=20 m, L=25.86 m, H=40 m, H/W=2</li> <li>• mode 1=translasi-X, mode</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk lebih atraktif.</li> <li>- Pengaturan modul struktur dominan modul grid.</li> <li>- Deformasi dominan translasi (mode 1 &amp; 2).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pertemuan massa tidak saling tegak lurus maka pengaturan modul pertemuan massa tidak bisa grid.</li> <li>- Tata massa yang tidak saling tegak lurus menyebabkan terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sistem non paralel yang dapat memperbesar deformasi translasi dan torsi.</li> <li>- Pada arah aksis -X bisa terjadi perbedaan deformasi yang</li> </ul>

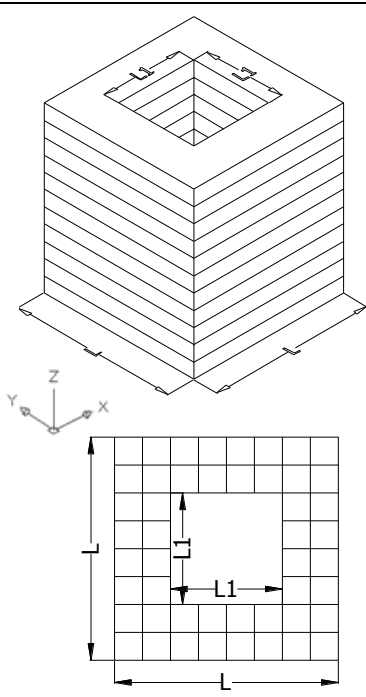
	<p>2= translasi-Y, &amp; mode 3=torsi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 5</li> <li>• <math>Tc-X=2.02</math> dt &amp; <math>Tc-Y=1.99</math> dt</li> </ul>		<p>besar pada ujung-ujung massa bangunan.</p>
<p>12.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>L1=30</math> m, <math>L2=40</math> m, <math>W1=10</math> m, <math>W2=20</math> m, <math>h1=8</math> m, <math>H=40</math> m, <math>H/W=2</math></li> <li>• mode 1=translasi-Y, mode 2= translasi-X, &amp; mode 3= torsi-lecutan overhang</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 5</li> <li>• <math>Tc-X=2.5</math> dt &amp; <math>Tc-Y=2.75</math> dt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk lebih atraktif.</li> <li>- Pengaturan modul struktur lebih teratur dengan modul grid sehingga tata ruang lebih efektif.</li> <li>- Deformasi dominan translasi (mode 1 &amp; 2).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Meski bentuk simetris, tetapi jika panjang overhang 25% dari bentang portal sebelahnya dapat terjadi kombinasi translasi (mode 1 &amp; 2) dan torsi-lecutan overhang (mode 3) yang dapat menimbulkan konsentrasi gaya-gaya pada pertemuan massa overhang dan massa bangunan utama.</li> <li>- Selain itu, dengan massa yang paling atas lebih berat daripada dibawahnya dan <math>H/W&gt;4</math> dapat menimbulkan efek pendulum yang bisa menimbulkan kegagalan tekuk pada kolom.</li> </ul>
<p>13.</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk lebih atraktif.</li> <li>- Pengaturan modul struktur lebih teratur dengan modul grid sehingga tata ruang lebih efektif.</li> <li>- Deformasi dominan translasi (mode 1 &amp; 2).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dengan terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam dapat menimbulkan terkonsentrasinya gaya geser pada pertemuan massa.</li> </ul>

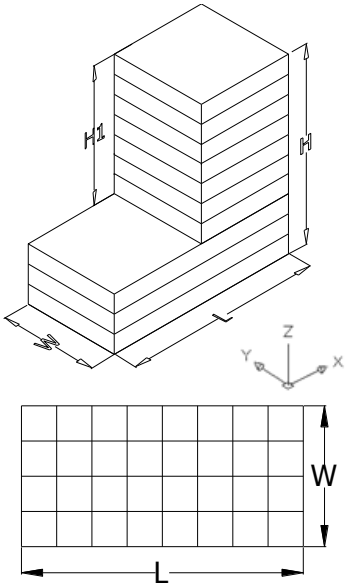
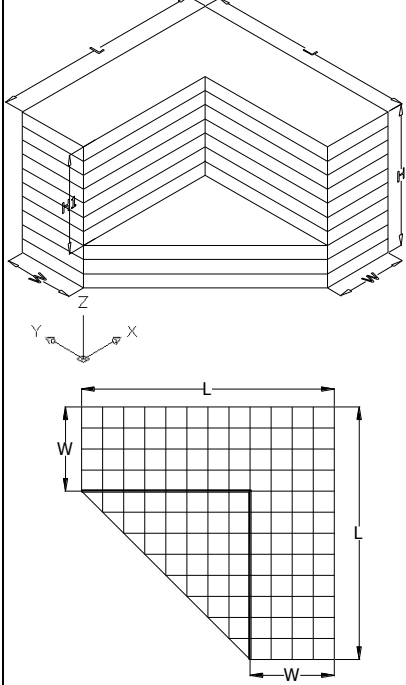
	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>L=30</math> m, <math>W=10</math> m, <math>H=40</math> m, <math>H/W=4</math></li> <li>• mode 1=translasi-Y, mode 2= translasi-X, &amp; mode 3=lecutan-Y</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 4</li> <li>• <math>Tc-X=1.91</math> dt &amp; <math>Tc-Y=2.05</math> dt</li> </ul>		
14.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>L1=30</math> m, <math>L2=20</math> m, <math>W1=15</math> m, <math>W2=5</math> m, <math>H=28</math> m, <math>H/W1=1.87</math></li> <li>• mode 1= torsi-translasi-Y, mode 2= torsi-translasi-X, &amp; mode 3=torsi</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 5</li> <li>• <math>Tc-X=1.31</math> dt &amp; <math>Tc-Y=1.37</math>dt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk lebih atraktif.</li> <li>- Pengaturan modul struktur masih dominan modul grid.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bagian massa yang terpotong membentuk modul struktur yang tidak grid sehingga dapat membentuk ruang yang tidak efektif.</li> <li>- Bentuk ireguler yang menimbulkan kombinasi deformasi torsi-translasi (mode 1 &amp; 2) dan torsi (mode 3).</li> <li>- Elemen struktur umumnya tidak didesain untuk menahan deformasi translasi-diagonal dan torsi.</li> <li>- Massa terpotong membentuk konfigurasi ketidakberaturan non paralel yang dapat memperbesar deformasi translasi dan torsi.</li> </ul>
15.		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk atraktif dinamis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modul struktur yang tidak grid</li> </ul>

	  <ul style="list-style-type: none"> <li>• L1=50 m, L2=36.58 m, W=15 m, H=28 m, H/W=1.87</li> <li>• mode 1=translasi-Y, mode 2= torsi, &amp; mode 3= torsi</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq</math> 85% <math>\rightarrow</math> mode 5</li> <li>• Tc-X=1.28 dt &amp; Tc-Y=1.38 dt</li> </ul>		<p>persegi untuk membentuk ruang yang efektif menjadi lebih sulit.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk ireguler yang menimbulkan kombinasi deformasi translasi (mode 1 ) dan torsi (mode 2).</li> <li>- Elemen struktur umumnya tidak didesain untuk menahan deformasi translasi-diagonal dan torsi.</li> <li>- Dengan bentuk bagian dari lingkaran maka modul strukturnya tidak grid, sehingga menghasilkan konfigurasi ketidakberaturan non paralel yang dapat memperbesar deformasi translasi dan torsi.</li> </ul>
16.	 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk atraktif dinamis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modul struktur yang tidak grid persegi untuk membentuk ruang yang efektif menjadi lebih sulit.</li> <li>- Bentuk sangat ireguler sehingga menimbulkan deformasi dominan torsi (mode 1, 2 &amp; 3).</li> <li>- Elemen struktur umumnya tidak didesain untuk menahan</li> </ul>

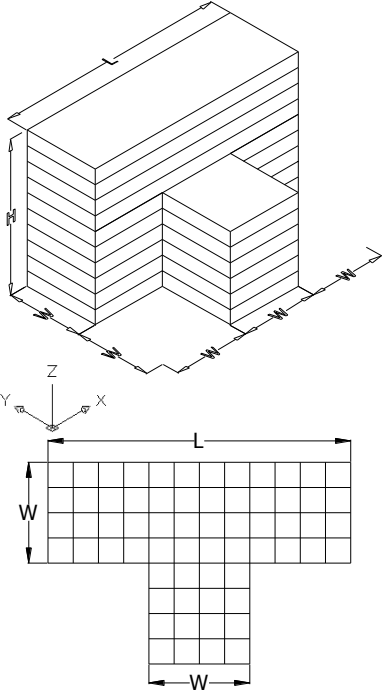
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L1=33.61 m, L2=21.39 m, L3=18.43 m, L4=36.05 m, W=10 m, H=28 m, H/W=2.8</li> <li>• mode 1= torsi, mode 2= torsi, &amp; mode 3= torsi</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq</math> 85% <math>\rightarrow</math> mode 6</li> <li>• Tc-X=1.15 dt &amp; Tc-Y=1.2 dt</li> </ul>		<p>deformasi translasi-diagonal dan torsi.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dengan bentuk bagian dari lingkaran, maka modul strukturnya tidak grid sehingga menghasilkan konfigurasi ketidakberaturan non paralel yang dapat memperbesar deformasi translasi dan torsi.</li> </ul>
17.	 <p>Model -A</p> <p>Model -B</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengaturan modul struktur lebih teratur dengan modul grid sehingga tata ruang lebih efektif.</li> <li>- Bentuk simetris 2 aksis sehingga meminimalisir terjadinya torsi dan penyebaran gaya lebih merata.</li> <li>- Deformasi dominan translasi (mode 1 &amp; 2).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jika terdapat <i>open space</i> pada lantai dasar dan/atau lantai tengah bangunan, sedangkan lantai lainnya diisi dengan tata ruang dinding masif dengan distribusi cukup merata dengan kepadatan <math>&gt;1\%</math>. Dengan demikian, potensi terjadinya <i>soft story</i> pada bagian <i>open space</i> karena kekakuannya lebih lemah dibandingkan lainnya (model - A), atau</li> <li>- Jika ketinggian lantai dasar dan/atau lantai tengah bangunan lebih tinggi dari lantai lainnya (<math>h_1 &gt; h_2</math>), maka potensi terjadinya <i>soft story</i> pada bagian kolom lantai yang lebih tinggi</li> </ul>

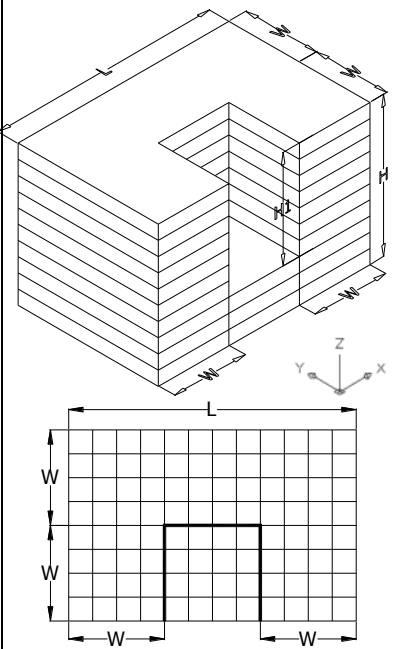
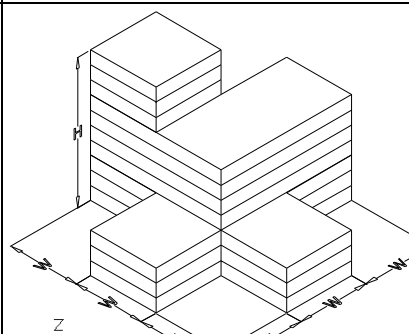
	<p>Model B :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W=20</math> m, <math>H=40</math> m, <math>h_1=6</math>m, <math>h_2=4</math>m, <math>H/W=2</math></li> <li>• mode 1=translasi-Y, mode 2=translasi-X, &amp; mode 3=lecutan-Y</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 3</li> <li>• <math>T_c-X=2.13</math> dt &amp; <math>T_c-Y=2.13</math> dt</li> </ul>		<p>karena kekakuannya lebih lemah dibandingkan lainnya (model – B).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Jika terlalu langsing <math>H/W &gt; 4</math>, dapat memperparah terjadinya <i>soft story</i>.</li> </ul>
18.	 <p>Model -C</p> <p>Model -D</p> <p>Model D :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W = 20</math> m, <math>L=40</math> m, <math>h_1=6</math> m, <math>h_2=4</math> m, <math>H = 44</math> m, <math>H/W=2.2</math></li> <li>• mode 1=translasi-Y, mode 2=translasi-X, &amp; mode 3=lecutan-Y</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 4</li> <li>• <math>T_c-X=2.12</math> dt &amp; <math>T_c-Y=2.2</math> dt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengaturan modul struktur lebih teratur dengan modul grid sehingga tata ruang lebih efektif.</li> <li>- Bentuk simetris 2 aksis sehingga terjadinya torsi dan penyebaran gaya lebih merata.</li> <li>- Deformasi dominan translasi (mode 1 &amp; 2).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jika terdapat <i>open space</i> pada lantai dasar dan/atau lantai tengah bangunan, sedangkan lantai lainnya diisi dengan tata ruang dinding masif dengan distribusi cukup merata dengan kepadatan <math>&gt;1\%</math>. Dengan demikian, potensi terjadinya <i>soft story</i> pada bagian <i>open space</i> karena kekakuannya lebih lemah dibandingkan lainnya (model – C), atau</li> <li>- Jika ketinggian lantai dasar dan/atau lantai tengah bangunan lebih tinggi dari lantai lainnya (<math>h_1 &gt; h_2</math>), maka potensi terjadinya <i>soft story</i> pada bagian kolom lantai yang lebih tinggi karena kekakuannya lebih lemah dibandingkan lainnya (model –</li> </ul>

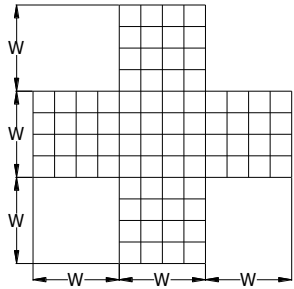
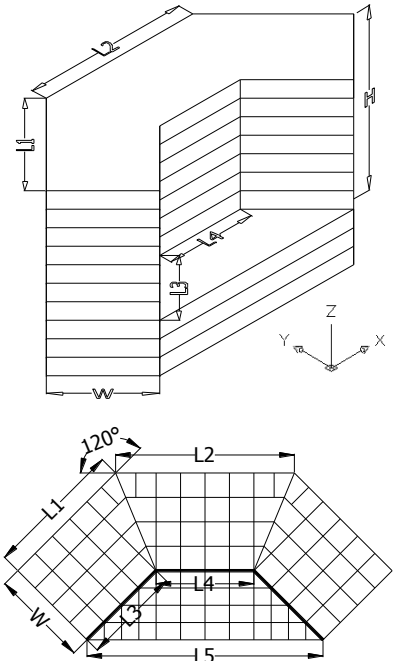
			D). - Jika terlalu langsing $H/W > 4$ dan/atau $L \geq 50$ m dapat memperparah terjadinya <i>soft story</i> .
19.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>L=40</math> m, <math>L1=20</math> m, <math>H = 40</math> m, <math>H/L=1</math></li> <li>• mode 1=translasi-Y, mode 2=translasi-X, &amp; mode 3=lecutan-Y</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 4</li> <li>• <math>Tc-X=1.98</math> dt &amp; <math>Tc-Y=1.98</math> dt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pencapaian dan penghawaan alami dapat masuk melalui void.</li> <li>- Pengaturan modul struktur lebih teratur dengan modul grid sehingga tata ruang lebih efektif.</li> <li>- Bentuk simetris 2 aksis sehingga meminimalisir terjadinya torsi.</li> <li>- Deformasi dominan translasi (mode 1 &amp; 2).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jika void <math>&gt;50\%</math> dari luas lantai, maka kemampuan lantai sebagai diafragma menyalurkan beban lateral dan pengikat kolom dan/atau dinding geser berkurang drastis.</li> <li>- Adanya void pada bangunan meningkatkan fleksibilitas bangunan. Jika void <math>&gt; 25\%-30\%</math> dari luas lantai, maka fleksibilitas yang terjadi akan meningkatkan deformasi translasi secara drastis.</li> <li>- Peningkatan fleksibilitas bangunan juga meningkatkan gaya momen kolom dan balok terutama di bagian bawah bangunan.</li> <li>- Dengan adanya void pada arah aksis yang sama bisa terjadi perbedaan deformasi yang besar pada ujung dan tengah massa bangunan.</li> </ul>
20.		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk lebih atraktif.</li> <li>- Pengaturan modul struktur lebih teratur dengan modul grid</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Komposisi massa tower dan podium diletakkan tidak simetris 1 aksis</li> </ul>

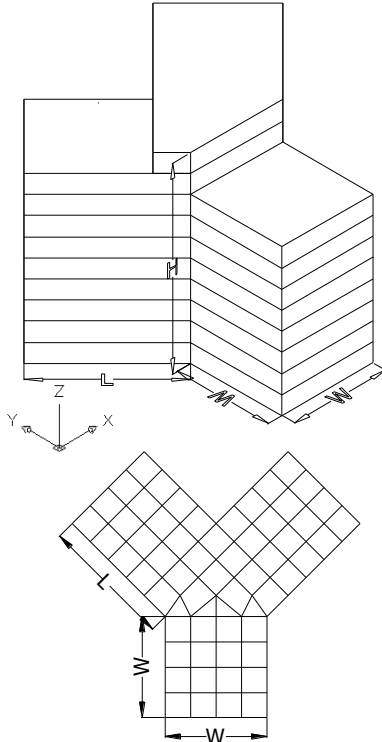
	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W = 20 \text{ m}</math>, <math>H = 40 \text{ m}</math>, <math>L=40 \text{ m}</math>, <math>H/W=2</math></li> <li>• mode 1= torsi, mode 2=translasi-X, &amp; mode 3= torsi.</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\% \rightarrow</math> mode 7</li> <li>• <math>Tc-X=1.73 \text{ dt}</math> &amp; <math>Tc-Y=1.91 \text{ dt}</math></li> </ul>	<p>sehingga tata ruang lebih efektif.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Adanya massa podium dapat mengurangi deformasi.</li> </ul>	<p>mengakibatkan kombinasi deformasi torsi (mode 1 ) dan translasi (mode 2).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Jika tower terlalu langsing <math>H1/W &gt; 4</math>, bangunan terlalu fleksibel sehingga bisa mengganggu kenyamanan penghuni dan pemeliharaan gedung.</li> <li>- Selain itu, bentuk ireguler geometri vertikal ini juga meningkatkan gaya-gaya internal plat, kolom, dan balok antara pertemuan podium dan tower.</li> </ul>
21.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W=20 \text{ m}</math>, <math>L=60 \text{ m}</math>, <math>H=40 \text{ m}</math>, <math>H/W=2</math></li> <li>• mode 1= translasi-diagonal, mode 2= translasi-diagonal, &amp;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk lebih atraktif.</li> <li>- Pengaturan modul struktur dominan modul grid.</li> <li>- Massa aditif (podium) yang menghubungkan sayap-sayap tower dapat mengurangi deformasi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk ireguler kombinasi massa podium dan tower berbentuk 'L' menghasilkan deformasi dominan translasi-diagonal (mode 1 &amp; 2).</li> <li>- Elemen struktur umumnya tidak didesain untuk menahan deformasi translasi-diagonal dan torsi.</li> <li>- Pada arah aksis yang sama bisa terjadi perbedaan deformasi yang besar pada ujung-ujung massa bangunan.</li> <li>- Jika tower terlalu</li> </ul>

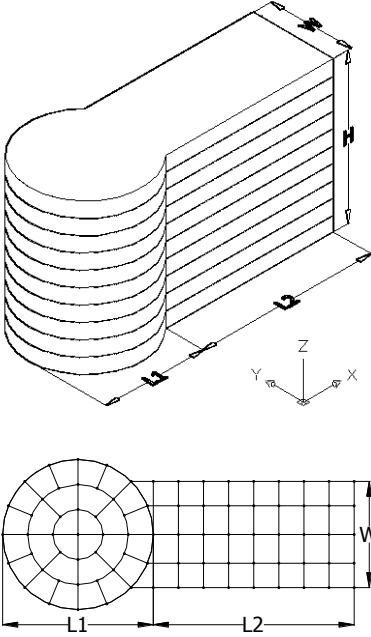
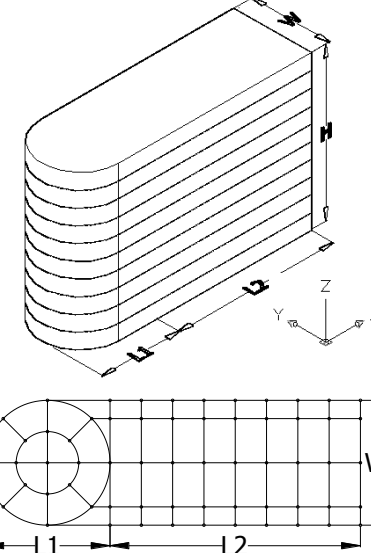


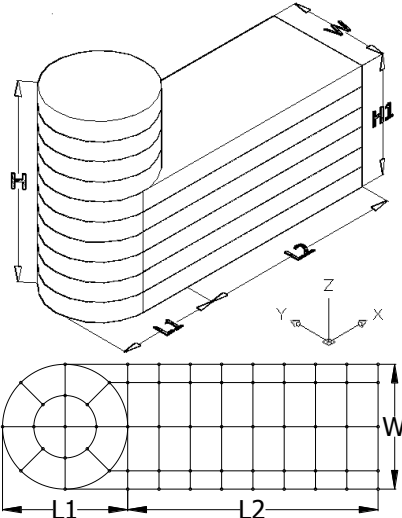
	<p>mode 3= torsi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq</math> 85% <math>\rightarrow</math> mode 5</li> <li>• <math>T_{c-X}=1.93 dt</math> &amp; <math>T_{c-Y}=1.90 dt</math></li> </ul>		<p>langsing <math>H1/W &gt; 4</math> dan tower terlalu fleksibel sehingga bisa mengganggu kenyamanan penghuni serta pemeliharaan gedung.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Selain itu, bentuk ketidakberaturan geometri vertikal dan ketidakberaturan sudut dalam ini juga meningkatkan gaya-gaya internal plat, kolom, dan balok antara pertemuan podium dan tower.</li> </ul>
22.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W=20 m, L=60 m, H=40 m, H/W=2</math></li> <li>• mode 1=torsi, mode 2=translasi-Y, &amp; mode 3=torsi</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq</math> 85% <math>\rightarrow</math> mode 5</li> <li>• <math>T_{c-X}=1.93 dt</math> &amp; <math>T_{c-Y}=1.87 dt</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk lebih atraktif.</li> <li>- Pengaturan modul struktur lebih teratur dengan modul grid sehingga tata ruang lebih efektif.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk ireguler yang dibentuk kombinasi massa yang berbeda ketinggian secara signifikan mengakibatkan kombinasi deformasi dominan torsi (mode 1 ) dan translasi (mode 2).</li> <li>- Dengan terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal dan ketidakberaturan sudut dalam dapat menimbulkan terkonsentrasinya gaya-gaya internal plat, kolom dan balok pada pertemuan massa yang beda ketinggian.</li> </ul>
23.		- Bentuk lebih atraktif.	- Bentuk ireguler

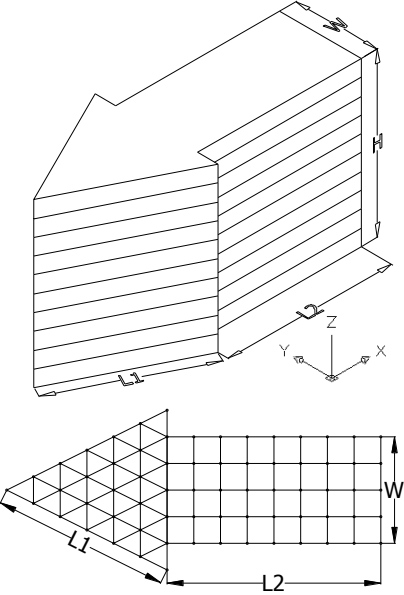
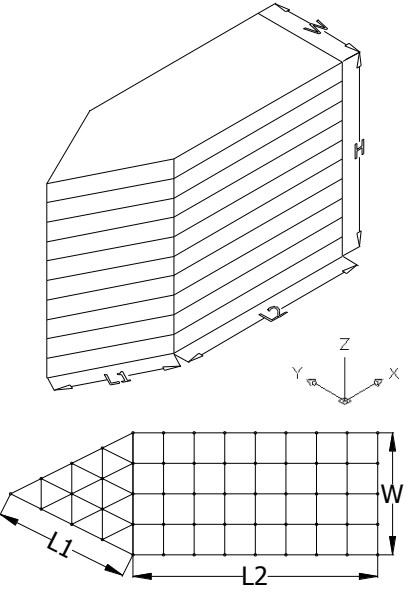
	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W=20</math> m, <math>L=60</math> m, <math>H=40</math> m, <math>H/W=2</math></li> <li>• mode 1= torsi, mode 2=translasi-Y, &amp; mode 3= torsi</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 5</li> <li>• <math>T_c-X=1.96</math> dt &amp; <math>T_c-Y=1.96</math> dt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengaturan modul struktur lebih teratur dengan modul grid sehingga tata ruang lebih efektif.</li> <li>- Massa aditif (podium) yang menghubungkan sayap-sayap tower dapat mengurangi deformasi.</li> </ul>	<p>komposisi massa podium dan tower berbentuk 'U' menghasilkan deformasi dominan rotasi (mode 1) dan translasi (mode 2).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam dapat menimbulkan terkonsentrasinya gaya geser pada pertemuan massa.</li> <li>- Pada arah aksis -X bisa terjadi perbedaan deformasi yang besar pada ujung-ujung massa bangunan.</li> <li>- Jika tower terlalu langsing <math>H1/W &gt; 4</math> dan tower terlalu fleksibel sehingga bisa mengganggu kenyamanan penghuni serta pemeliharaan gedung.</li> <li>- Selain itu, bentuk ireguler geometri vertikal ini juga meningkatkan gaya-gaya internal plat, kolom, dan balok antara pertemuan podium dan tower.</li> </ul>
24.		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk lebih atraktif.</li> <li>- Jika pertemuan massa saling tegak lurus pengaturan modul pertemuan massa masih bisa grid.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk ireguler yang dibentuk komposisi massa yang berbeda ketinggian dan diatur relatif acak menghasilkan kombinasi deformasi</li> </ul>

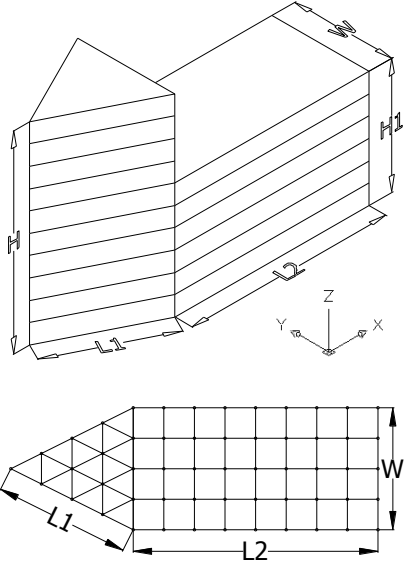
	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W=20</math> m, <math>H=40</math> m, <math>H/W=2</math></li> <li>• mode 1= torsi, mode 2=translasi-Y, &amp; mode 3= torsi</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 8</li> <li>• <math>Tc-X=1.44</math> dt &amp; <math>Tc-Y=1.28</math> dt</li> </ul>		<p>dominan torsi (mode 1) dan translasi (mode 2).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dengan terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal dan ketidakberaturan sudut dalam dapat menimbulkan terkonsentrasinya gaya-gaya internal plat, kolom dan balok pada pertemuan massa yang beda ketinggian.</li> </ul>
25.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>L1=28.28</math> m, <math>L2=36.57</math> m, <math>L3=20</math> m, <math>L4=20</math> m, <math>L5=48.28</math> m, <math>W=20</math> m, <math>H=40</math> m, <math>H/W=2</math></li> <li>• mode 1= torsi, mode 2= translasi-Y, &amp; mode 3= torsi</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 5</li> <li>• <math>Tc-X=1.61</math> dt &amp; <math>Tc-</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk lebih atraktif.</li> <li>- Pengaturan modul struktur dominan modul grid.</li> <li>- Massa aditif (podium) yang menghubungkan sayap-sayap tower dapat mengurangi deformasi.</li> <li>- Pertemuan massa tidak saling tegak lurus <math>\leq 120^\circ</math> dianggap non-konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pertemuan massa tidak saling tegak lurus maka pengaturan modul pertemuan massa tidak bisa grid.</li> <li>- Bentuk ireguler komposisi massa podium dan tower berbentuk 'V' menghasilkan deformasi dominan rotasi (mode 1) dan translasi (mode 2).</li> <li>- Tata massa yang tidak saling tegak lurus menyebabkan terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sistem non paralel yang dapat memperbesar deformasi translasi dan torsi.</li> <li>- Jika tower terlalu langsing <math>H1/W &gt; 4</math> dan tower terlalu</li> </ul>

	Y=1.59 dt		<p>fleksibel sehingga bisa mengganggu kenyamanan penghuni serta pemeliharaan gedung.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Selain itu, bentuk ireguler geometri vertikal ini juga meningkatkan gaya-gaya internal plat, kolom, dan balok antara pertemuan podium dan tower.</li> </ul>
26.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• W=20 m, L=25.86 m, H=40 m, H/W=2</li> <li>• mode 1= torsi, mode 2= translasi-Y, &amp; mode 3= torsi</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 5</li> <li>• Tc-X=1.90 dt &amp; Tc-Y=1.84 dt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk lebih atraktif.</li> <li>- Pengaturan modul struktur dominan modul grid.</li> <li>- Pertemuan massa tidak saling tegak lurus <math>\leq 120^0</math> dianggap non-konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam.</li> <li>- Bentuk ireguler yang dibentuk kombinasi massa yang berbeda ketinggian, tetapi tidak berbeda secara signifikan dan diatur relatif acak mengakibatkan kombinasi deformasi dominan torsi (mode 1) dan translasi (mode 2). Akan tetapi, tidak sebesar jika ketinggian antar massa berbeda secara signifikan.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pertemuan massa tidak saling tegak lurus, maka pengaturan modul pertemuan massa tidak bisa grid.</li> <li>- Tata massa yang tidak saling tegak lurus menyebabkan terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sistem non paralel yang dapat memperbesar deformasi translasi dan torsi.</li> <li>- Pada arah aksis -X bisa terjadi perbedaan deformasi yang besar pada ujung-ujung massa bangunan.</li> </ul>
27.		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk lebih atraktif dan dinamis.</li> <li>- Pengaturan modul struktur masih dominan modul grid.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modul struktur tabung silinder yang tidak grid persegi untuk membentuk ruang</li> </ul>

	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W=21.21</math> m, <math>L1=30</math> m, <math>L2=40</math> m, <math>H=40</math> m, <math>H/W=1.9</math></li> <li>• mode 1= torsi, mode 2= translasi-X, &amp; mode 3= torsi</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 5</li> <li>• <math>Tc-X=1.81</math> dt &amp; <math>Tc-Y=2.04</math> dt</li> </ul>		<p>yang efektif menjadi lebih sulit.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk ireguler komposisi massa berbentuk tabung dan kotak yang sama tinggi menghasilkan kombinasi deformasi dominan torsi (mode 1) dan translasi (mode 2).</li> <li>- Massa tabung dengan modul yang tidak saling tegak lurus dengan modul grid massa kotak menyebabkan terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sistem non paralel yang dapat memperbesar deformasi translasi dan torsi.</li> </ul>
28.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W=20</math> m, <math>L1=20</math> m, <math>L2=40</math> m, <math>H=40</math> m, <math>H/W=2</math></li> <li>• mode 1= torsi &amp; mode 3=</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk lebih atraktif dan dinamis.</li> <li>- Pengaturan modul struktur masih dominan modul grid.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modul struktur tabung silinder yang tidak grid persegi untuk membentuk ruang yang efektif menjadi lebih sulit.</li> <li>- Bentuk ireguler komposisi massa berbentuk tabung dan kotak yang sama lebarnya (W) menghasilkan kombinasi deformasi dominan torsi (mode 1) dan translasi (mode 3)</li> <li>- Massa tabung dengan modul</li> </ul>

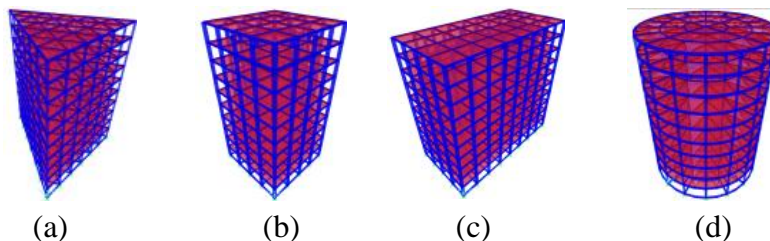
	<p>translasi-X</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 5</li> <li>• <math>Tc-X=1.65</math> dt &amp; <math>Tc-Y=1.76</math> dt</li> </ul>		<p>yang tidak saling tegak lurus dengan modul grid massa kotak menyebabkan terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sistem non paralel yang dapat memperbesar deformasi translasi dan torsi.</p>
<p>29.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W=20</math> m, <math>L1=20</math> m, <math>L2=40</math> m, <math>H=40</math> m, <math>H1=24</math> m, <math>H/W=2</math></li> <li>• mode 1= torsi, mode 2= translasi-X, &amp; mode 3= torsi.</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 5</li> <li>• <math>Tc-X=1.20</math> dt &amp; <math>Tc-Y=1.53</math> dt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk lebih atraktif dan dinamis.</li> <li>- Pengaturan modul struktur masih dominan modul grid.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modul struktur tabung silinder yang tidak grid persegi untuk membentuk ruang yang efektif menjadi lebih sulit.</li> <li>- Bentuk ireguler komposisi massa berbentuk tabung silinder dan kotak yang sama lebarnya (<math>W</math>), tetapi beda ketinggian (<math>H</math> &amp; <math>H1</math>) menghasilkan kombinasi deformasi dominan torsi (mode 1) dan translasi-X (mode 2).</li> <li>- Massa tabung dengan modul yang tidak saling tegak lurus dengan modul grid massa kotak menyebabkan terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sistem non paralel yang dapat memperbesar</li> </ul>

			deformasi translasi dan torsi.
30.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>B=20</math> m, <math>P1=30</math> m, <math>P2=40</math> m, <math>H=40</math> m, <math>H/B=2</math></li> <li>• mode 1=translasi-Y &amp; mode 3= translasi-X.</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 5</li> <li>• <math>Tc-X=1.87</math> dt &amp; <math>Tc-Y=1.97</math> dt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk lebih atraktif dan dinamis.</li> <li>- Pengaturan modul struktur masih dominan modul grid.</li> <li>- Komposisi modul grid segitiga dan persegi menghasilkan deformasi dominan translasi (mode 1 &amp; 3).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modul struktur tabung segitiga yang tidak grid persegi (grid segitiga) untuk membentuk ruang yang efektif menjadi lebih sulit.</li> </ul>
31.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W=20</math> m, <math>L1=20</math> m, <math>L2=40</math> m, <math>H=40</math> m, <math>H/W=2</math></li> <li>• mode 1=translasi-Y &amp; mode 2=translasi-X, mode 3=rotasi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk lebih atraktif dan dinamis.</li> <li>- Pengaturan modul struktur masih dominan modul grid.</li> <li>- Komposisi modul grid segitiga dan persegi menghasilkan deformasi dominan translasi (mode 1 &amp; 2).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modul struktur tabung segitiga yang tidak grid persegi (grid segitiga) untuk membentuk ruang yang efektif menjadi lebih sulit.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 5</li> <li>• <math>T_c-X=1.94</math> dt &amp; <math>T_c-Y=2.07</math> dt</li> </ul>		
32.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W=20</math> m, <math>L1=20</math> m, <math>L2=40</math> m, <math>H=40</math> m, <math>H1=24</math> m, <math>H/W=2</math></li> <li>• mode 1=rotasi &amp; mode 2=translasi-X, mode 3=rotasi</li> <li>• Participating Mass Ratio <math>\geq 85\%</math> <math>\rightarrow</math> mode 8</li> <li>• <math>T_c-X=1.37</math> dt &amp; <math>T_c-Y=1.73</math> dt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bentuk lebih atraktif dan dinamis.</li> <li>- Pengaturan modul struktur masih dominan modul grid.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modul struktur tabung segitiga yang tidak grid persegi (grid segitiga) untuk membentuk ruang yang efektif menjadi lebih sulit.</li> <li>- Bentuk ireguler komposisi massa berbentuk tabung segitiga dan kotak yang sama lebarnya (<math>W</math>), tetapi beda ketinggian (<math>H</math> &amp; <math>H1</math>) menghasilkan kombinasi deformasi dominan torsi (mode 1) dan translasi-X (mode 2).</li> </ul>

Berikut ini *guidance* dalam proses *form finding* berdasarkan tabel 8.1 sehingga didapatkan disain konfigurasi bangunan yang lebih tahan terhadap gempa yaitu :

### 1. Penggunaan bentuk-bentuk dasar

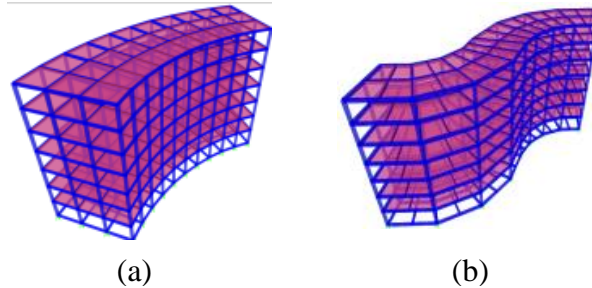


Gambar 8.1. Konfigurasi geometri dengan bentuk-bentuk dasar : a). Tabung segitiga, b). Kotak bujur sangkar, c). Kotak persegi panjang dan d). Tabung silinder.



Penggunaan bentuk-bentuk dasar atau primer tabung segitiga, kotak bujur sangkar, kotak persegi panjang, dan tabung silinder merupakan bentuk-bentuk reguler yang ketahanannya terhadap gempa sangat baik; tetapi secara estetika relatif monoton.

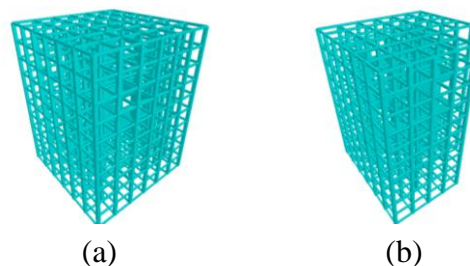
## 2. Penggunaan bentuk-bentuk organis



Gambar 8.2. Konfigurasi geometri dengan bentuk-bentuk organis.

Bentuk-bentuk seperti ini mengandung ireguleritas torsi dan ireguleritas sistem non paralel serta kondisi di lapangan responnya terhadap gempa sulit diprediksi. Hindari penggunaan bentuk-bentuk organis di zona gempa kuat karena ketahanannya kurang baik terhadap gempa, walaupun secara estetika relatif menantang.

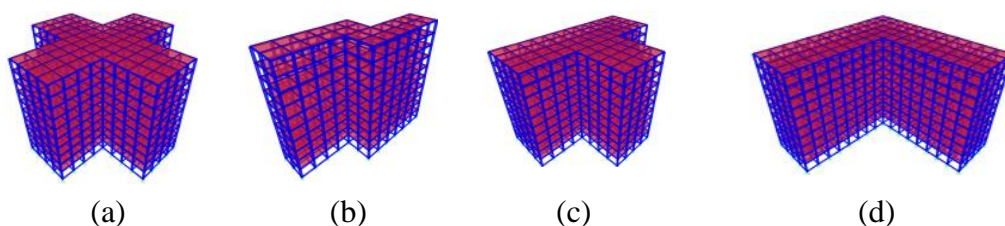
## 3. Penggunaan bentuk massa aditif dan subtraktif

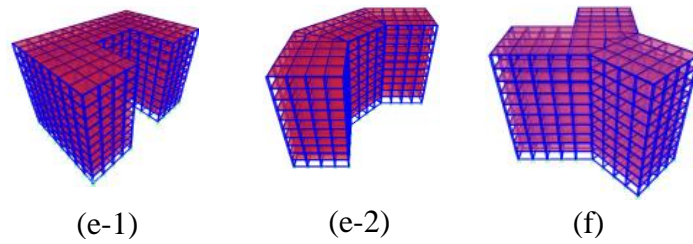


Gambar 8.3. Konfigurasi geometri dengan bentuk massa subtraktif : a). Model dasar, dan b). Model subtraktif (sumber : Teddy, Hardiman and Nuroji, 2016).

Untuk mengurangi persepsi monoton pada bentuk-bentuk dasar di atas dapat dilakukan proses aditif (penonjolan) dan/atau subtraktif (coakan) dari bentuk-bentuk dasar  $\leq \pm 10\%$  sehingga ketahanannya terhadap gempa masih relatif baik sebagaimana bentuk dasarnya.

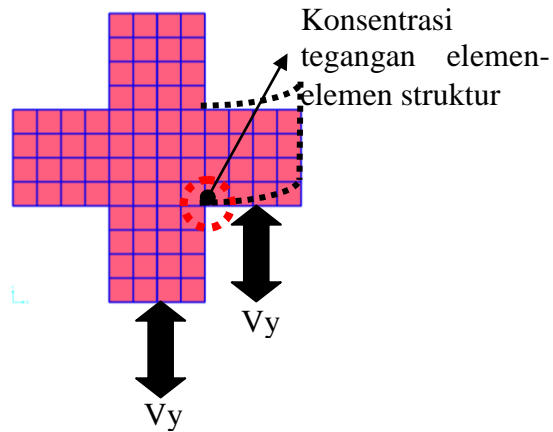
## 4. Penggunaan massa bentuk +, Z, T, L, U, Y





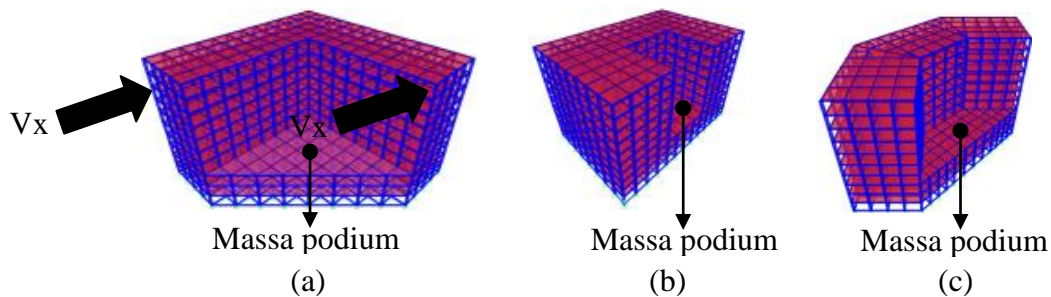
Gambar 8.4. Konfigurasi geometri dengan massa : a). Bentuk -X, b). Bentuk -Z, c). Bentuk -T, d). Bentuk -L, e). Bentuk -U dan f). Bentuk -Y

Yang perlu diperhatikan dalam penggunaan massa bentuk X, Z, T, L, U, Y dalam desain yaitu potensi terjadi perbedaan deformasi diujung-ujung sayap massa dan konsentrasi tegangan dipertemuan massa pada saat terjadi gempa kuat.



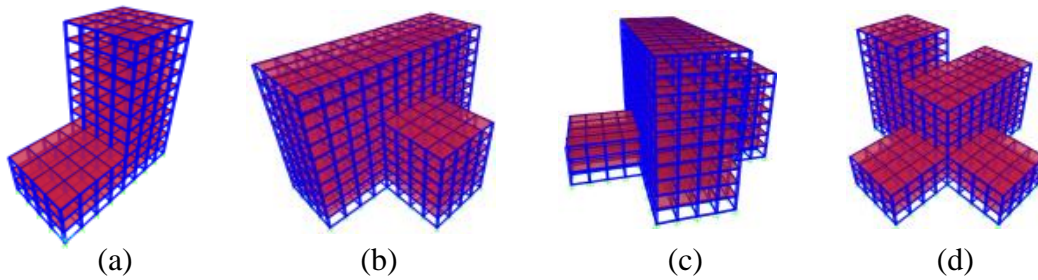
Gambar 8.5. Perbedaan deformasi dan konsentrasi tegangan pada massa bentuk X akibat gempa.

Untuk mengurangi perbedaan deformasi dan konsentrasi tegangan dengan penggunaan massa podium, *shear wall*, dan perkuatan lainnya.



Gambar 8.6. Deformasi diujung sayap massa dan konsentrasi tegangan di pertemuan massa dapat dikurangi dengan penggunaan massa podium

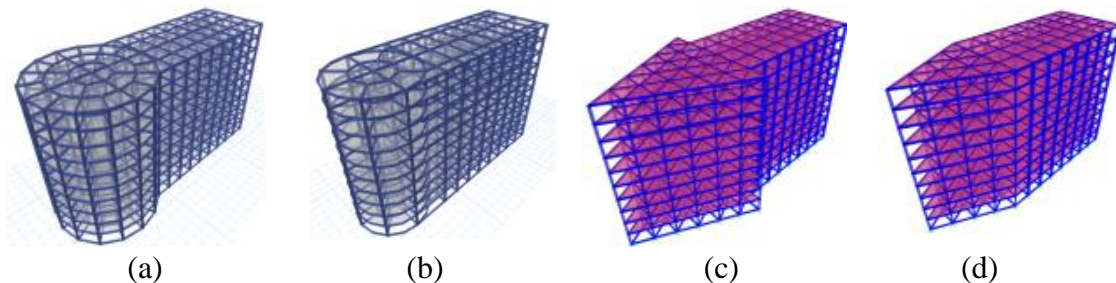
## 5. Penggunaan komposisi massa sama bentuk



Gambar 8.7. Komposisi massa sama bentuk dan beda ketinggian dapat menimbulkan perbedaan deformasi, konsentrasi tegangan di pertemuan massa dan torsi.

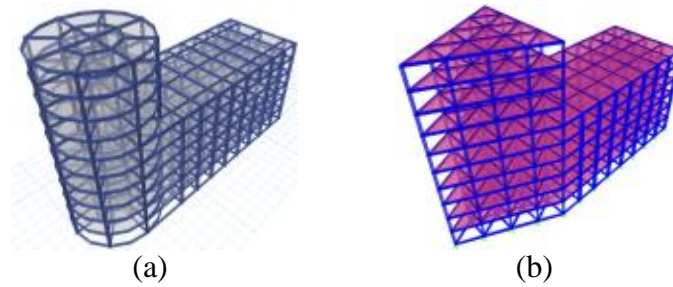
Komposisi massa sama bentuk dan beda ketinggian seperti (gambar 8.7a s/d 8.7d) pada saat terjadi gempa kuat dapat menimbulkan potensi terjadinya perbedaan deformasi diujung-ujung sayap massa, konsentrasi tegangan dipertemuan massa, dan terjadinya torsi akibat perbedaan ketinggian. Untuk mengurangi perbedaan deformasi dan konsentrasi tegangan dengan penggunaan massa podium, *shear wall/core wall*, dan perkuatan lainnya serta tata massa paling tidak simetris 1 aksis (gambar 8.7a s/d 8.7c); sehingga perilaku bangunan ketika terjadi gempa tidak acak dan masih bisa diprediksi serta diantisipasi.

## 6. Penggunaan komposisi massa berbeda bentuk



Gambar 8.8. Komposisi massa beda bentuk dan sama ketinggian dapat menimbulkan perbedaan deformasi dan torsi.

Modul struktur lingkaran mengandung ireguleritas sistem non paralel, sedangkan modul struktur segitiga memiliki kestabilan yang baik dibandingkan modul struktur lingkaran dan persegi. Secara umum komposisi massa sama bentuk dan ketinggian seperti (gambar 8.7a s/d 8.7c) pada saat terjadi gempa kuat dapat menimbulkan potensi terjadinya perbedaan deformasi diujung-ujung sayap massa dan terjadinya torsi akibat perbedaan kekakuan modul struktur.



Gambar 8.9. Komposisi massa beda bentuk dan sama ketinggian dapat menimbulkan perbedaan deformasi dan torsi.

Komposisi massa beda bentuk dan ketinggian seperti (gambar 8.9a s/d 8.9b) pada saat terjadi gempa kuat dapat menimbulkan potensi terjadinya perbedaan deformasi diujung-ujung sayap massa dan terjadinya torsi akibat perbedaan ketinggian. Untuk mengurangi perbedaan deformasi dan torsi pada komposisi massa berbeda bentuk atau ketinggian dengan *shear wall/core wall*. Lalu, untuk perkuatan lainnya yaitu tata massa paling tidak simetris 1 aksis, sehingga perilaku bangunan ketika terjadi gempa tidak acak dan masih bisa diprediksi serta diantisipasi.

## 8.2. GUIDANCE DESAIN ARSITEKTUR BANGUNAN TAHAN GEMPA DI ZONA MODERATELY HIGH (MH) – HIGH (H)

Kota Semarang termasuk dalam zona gempa Moderately High (MH) – High (H). Dengan zona gempa tersebut berdasarkan SVA Desain Arsitektur terhadap hasil perencanaan Gedung kampus Universitas PGRI (GK-01), RS Pantiwilasa (RS-01), Menara BRI (BR-01), Radioteraphy & Onkology RS Kariadi (ONG-01), Gigi & Mulut RS Sultan Agung (GM-01), Lab. Fak. Kedokteran Unissula (LAB\_U-01), Hotel Artotel (HA-01), dan Toko T (TT-01) hampir separuhnya memiliki potensi rentan terhadap gempa. Kondisi ini disebabkan beberapa hal yaitu :

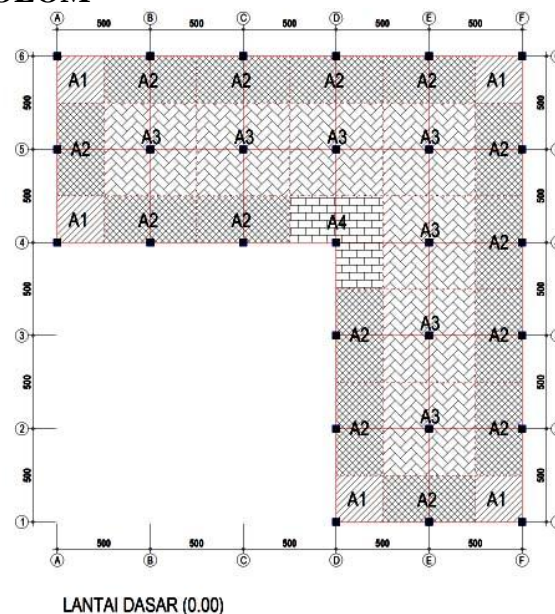
1. Pendimensian kolom tidak dievaluasi berdasarkan aturan-aturan tertentu yang praktis dan logis sehingga bisa mengurangi potensi terlalu boros atau irit.
2. Penentuan ketinggian kolom belum mempertimbangkan terbentuknya kolom langsing / *slender column*.
3. Perletakkan lubang ventilasi dan jendela terutama di periferi bangunan yang belum mempertimbangkan terbentuknya kolom pendek / *short column*.
4. Pendimensian dinding geser belum memperhitungkan kapasitas geser dinding geser, kekakuan, dan kelangsingan bangunan.

5. Perletakkan dinding geser belum mempertimbangkan potensi terjadinya torsi pada bangunan.
6. Pendimensian balok walaupun sudah menggunakan aturan praktis 1/10-1/14, tetapi belum mempertimbangkan kelangsingan bangunan sehingga bisa mengakibatkan bangunan terlalu fleksibel ( $T_C > T_{max}$ ).
7. Pertimbangan pendimensian balok dan kolom berdasarkan kriteria *strong column / weak beam* belum optimal.
8. Pemecahan desain untuk mengantisipasi dampak negatif terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan yaitu sudut dalam, diskontinuitas diafragma, berat (massa), geometri vertikal (*setback*), diskontinuitas kuat lateral tingkat (*weak story*) dan bidang belum optimal.

Untuk mencegah hal-hal tersebut, berikut ini akan diberikan *guidance* desain arsitektur sehingga bangunan relatif lebih tahan terhadap gempa.

## 8.2.1. KOLOM DAN BALOK

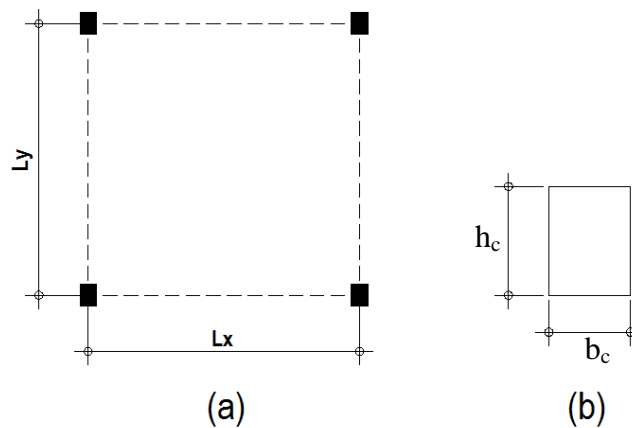
### 1. DIMENSI KOLOM



Gambar 8.10. Luas area beban kolom A1, A2, A3 & A4 (sumber : analisa).

- Untuk menentukan *preliminary* dimensi kolom dalam perencanaan arsitektur dengan aturan luas minimum kolom ( $A_{C \min}$ )=0.15% dari luas kumulatif area beban kolom (Ersoy, 2013), di mana minimal luas kolom 0.09 m<sup>2</sup> atau 0.3x0.3 m. Gunakan luas kolom desain ( $A_C$ ) di mana  $I_{Ac-i} \cdot I_{C-i} > 1$  karena berdasarkan temuan evaluasi rencana bangunan di Semarang apabila syarat tersebut terpenuhi, maka umumnya syarat  $T_c < T_{max}$  dan  $I_s > I_{SO}$  juga terpenuhi.

- Sedangkan untuk perbandingan lebar ( $b_c$ ) dan tinggi kolom ( $h_c$ ) yaitu :



Gambar 8.11. Rasio modul struktur (a) dan dimensi kolom (b) (sumber : analisa)

$$\frac{b_c}{h_c} = \frac{L_x}{L_y} \geq 0.4 \text{-----(8.1)}$$

Di mana,

$b_c$  = lebar kolom (m)

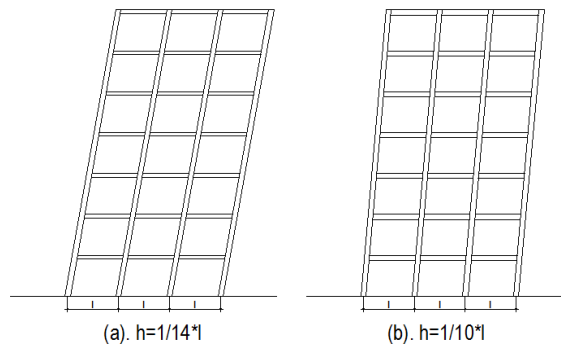
$h_c$  = tinggi kolom (m)

$L_x$  = bentang struktur arah sumbu -X

$L_y$  = bentang struktur arah sumbu -Y

## 2. DIMENSI BALOK

- Secara umum *preliminary* dimensi balok *one-way* dan *two-way* dapat mengikuti aturan tinggi balok ( $h_b$ )=  $\pm 1/10 - 1/14$ \*bentang struktur (L) dan  $h_b/b_b \leq 2$  dengan  $b_{b \min} \geq 25$  cm (gambar 8.12a).
- Akan tetapi, apabila bangunan cukup langsing ( $H/W > 4$ ) atau  $> 5$  lantai pergunakan aturan  $h=1/10 - 1/12$ \*bentang struktur (L) dan batasi juga bentang struktur  $\leq 12$  m sehingga dapat membantu mengurangi fleksibilitas bangunan (gambar 8.12a dan 8.12b).



Gambar 8.12. a). Tinggi balok ( $h_b$ )=1/14L dan b). Tinggi balok ( $h_b$ )=1/10L (sumber : analisa)



### 3. KOLOM PENDEK & KOLOM LANGSING

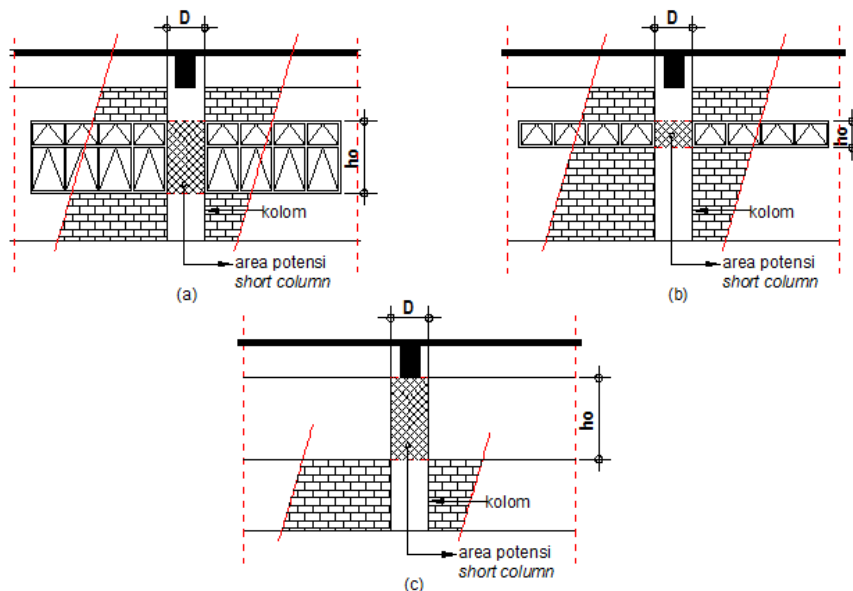
#### a. Kolom Pendek/*Short column*

Perletakan lubang jendela dan ventilasi seharusnya tidak hanya mempertimbangkan aspek fungsi dan estetika, tetapi juga potensi terjadinya kolom pendek atau *short column*. Hal ini terjadi akibat perbedaan kekakuan pada kolom. Pada satu bagian kolom tidak terkekang akibat lubang jendela atau ventilasi, sedangkan bagian kolom lainnya terkekang oleh dinding (lihat gambar 8.13).



Gambar 8.13. Kegagalan geser *short column* akibat perletakan lubang ventilasi (sumber : Kozani, G (1996) dalam Penelis and Penelis (2014))

Hasil analisis rencana bangunan di Semarang terdapat 3 tipe perletakan jendela atau ventilasi yang dapat menyebabkan potensi *short column* yaitu :

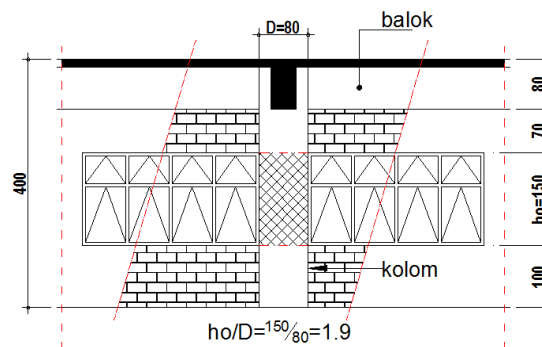


Gambar 8.14. Posisi lubang jendela (a), lubang ventilasi (b) dan lubang dinding pagar pembatas (c) yang berpotensi terbentuknya *short column* (sumber : analisa).

- Jendela yang diletakkan 2 arah langsung bersebelahan dengan kolom (gambar 8.14a).

- Ventilasi yang diletakkan 2 arah langsung bersebelahan dengan kolom (gambar 8.14b).
- Dinding pagar pembatas 2 arah langsung bersebelahan dengan kolom (gambar 8.14c).

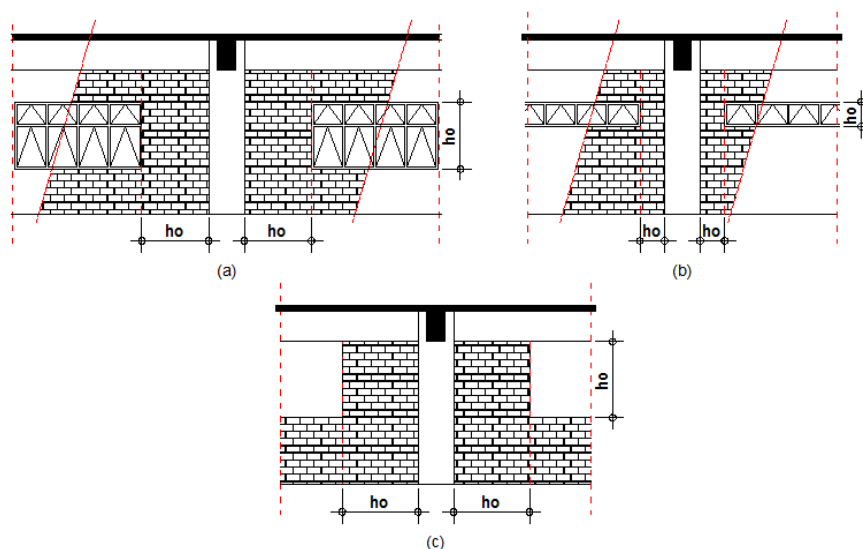
Untuk menganalisis apakah suatu kolom potensi terjadinya *short column* dengan rumus yang ada pada tabel 5. 1 yaitu  $h_o/D \leq 2$ , di mana  $h_o$ =tinggi bersih kolom dan  $D$ =lebar kolom yang ditinjau. Seperti contoh gambar 8.15 dibawah  $h_o/D=1.9 \leq 2$  sehingga kolom tersebut termasuk kategori *short column*.



Gambar 8.15. Contoh analisa kolom yang berpotensi terjadi *short column* (sumber : analisa).

Untuk mencegah terbentuknya *short column* akibat perletakan lubang jendela atau ventilasi, antara lain :

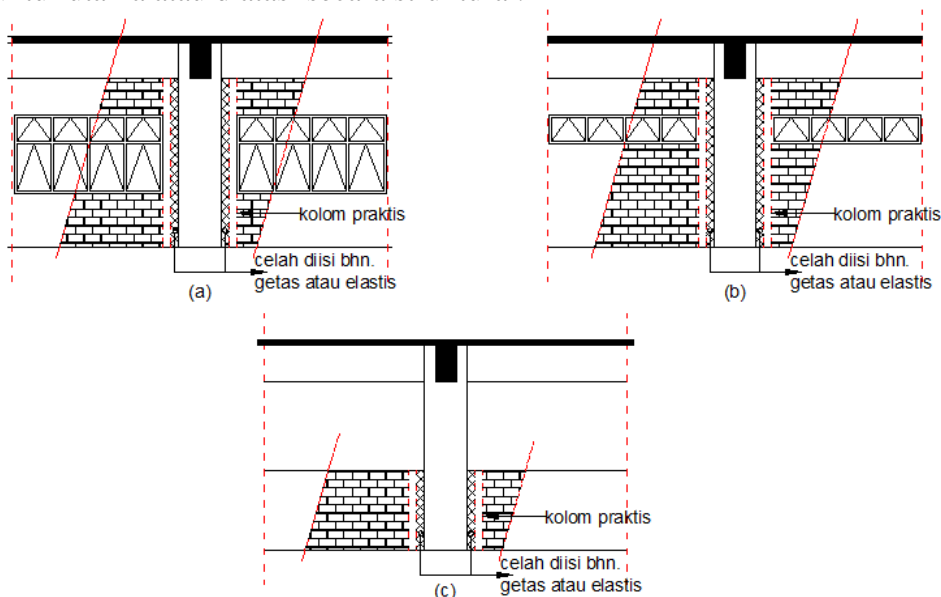
- Tidak meletakkan secara langsung lubang ventilasi atau jendela secara langsung bersebelahan dengan cara menyisipkan bata dengan panjang horizontal dua kali jeda bukaan ( $2xh_o$ ) yang menghasilkan masalah kolom pendek ( $h_o$ ), di mana bata menutupi tinggi seluruh kolom (Guevara and García, 2005) (gambar 8.16).



Gambar 8.16. Memberi jarak dengan dinding setebal  $2xh_o$  antara kolom dan lubang jendela/ventilasi (sumber : analisa).

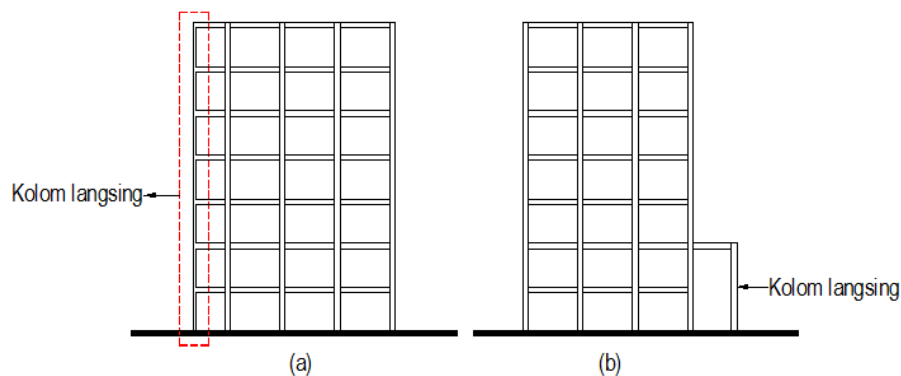


- Jika terpaksa meletakkan secara langsung bersebelahan dengan kolom atur tinggi ( $h_o$ ) lubang ventilasi atau jendela sehingga  $2 < h_o/D < 6$  atau lubang jendela/ventilasi hanya satu sisi yang bersebelahan langsung dengan kolom.
- Memberi celah/gap 10 – 15 cm antara kolom dan lubang ventilasi atau jendela yang dibatasi kolom praktis. Celah tersebut diisi dengan bahan getas atau elastis sehingga tidak mengganggu pergerakan kolom ketika terjadi gempa (gambar 8.17).
- Meletakkan bagian yang terdapat *short column* dipinggir dan diluar sistem struktur utama atau diatasi secara struktural.



Gambar 8.17. Memberi celah 10 – 15 cm yang diisi dengan bahan getas/elastis antara kolom dengan lubang jendela ventilasi/jendela yang dibatasi kolom praktis (sumber : analisa).

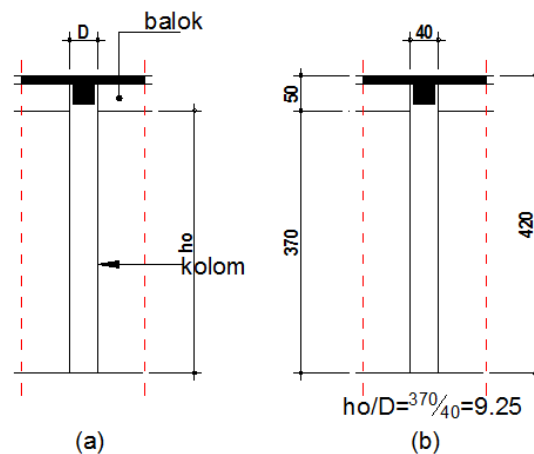
#### b. Kolom Langsing/Slender Column



Gambar 8.18. Desain kolom langsing yaitu (a) di dalam struktur utama, (b) di luar struktur utama (sumber : analisa).

Kolom langsing/*slender column* dapat menyebabkan kegagalan lentur pada kolom yang menyebabkan ketinggian kolom tidak sebanding dengan lebar kolom. Hasil analisis rencana bangunan di Semarang yaitu desain kolom langsing terjadi di dalam sistem struktur utama (gambar 8.18a) dan di luar sistem struktur utama (gambar 8.18b). Desain kolom langsing dapat mengakibatkan potensi *soft storey* dan hal ini sangat berbahaya terutama jika terjadi dalam sistem struktur utama, dapat mengakibatkan keruntuhan total atau sebagian pada saat terjadi gempa kuat.

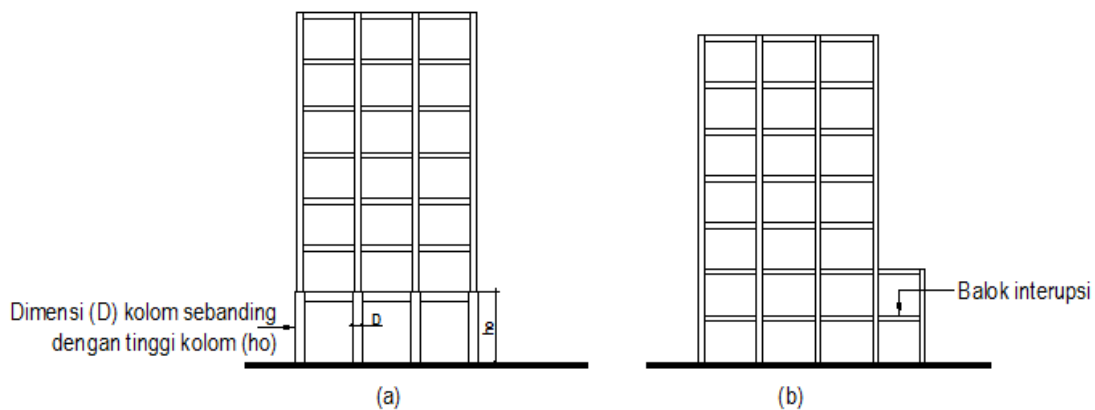
Untuk menganalisis apakah suatu kolom potensi terjadinya *slender column* dengan rumus yang ada pada tabel 5.1 yaitu  $h_o/D \geq 6$ , di mana  $h_o$ =tinggi bersih kolom dan  $D$ =lebar kolom yang ditinjau. Seperti contoh gambar 8.19 di bawah  $h_o/D=9.25 \geq 6$  sehingga kolom tersebut termasuk kategori *slender column*.



Gambar 8.19. Evaluasi kolom langsing (sumber : analisa).

Untuk mencegah terbentuknya desain kolom langsing yaitu :

- Penentuan dimensi kolom (D) tidak hanya berdasarkan pertimbangan beban saja, tetapi juga tinggi kolom ( $h_o$ ) dimana  $2 < h_o/D < 6$ .



Gambar 8.20. Mengurangi potensi kolom langsing yaitu (a) dimensi kolom sebanding dengan tingginya, (b) gunakan balok interupsi (sumber : analisa).

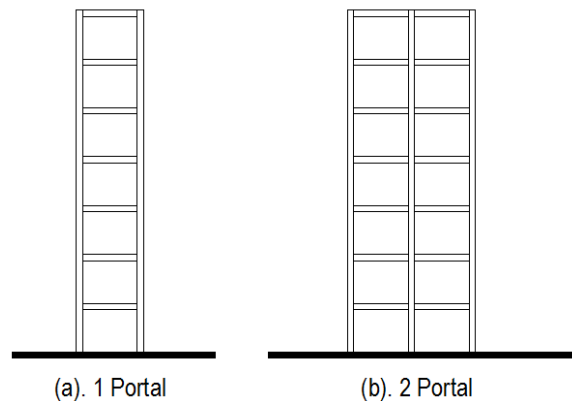
- Gunakan balok interupsi untuk mengurangi potensi *slender column* (gambar 8.20b).
- Jika pada lantai dasar kolomnya dibuat lebih tinggi daripada kolom di atasnya perbesar dimensi (D) kolom sebanding dengan tingginya ( $h_0$ ) dengan aturan  $2 < h_0/D < 6$  (gambar 8.20a) sehingga tidak menjadi potensi *slender column*.
- Meletakkan bagian yang terdapat potensi *slender column* di luar dan dipinggir sistem struktur utama atau diatasi secara struktural (gambar 8.20a dan 8.20b).

### 8.2.2. STRONG COLUMN/WEAK BEAM (SCWB)

*Strong column/weak beam* atau kolom kuat/balok lemah adalah konsep untuk mencegah terjadinya keruntuhan kolom lebih dahulu daripada balok sehingga mencegah terjadinya keruntuhan total bangunan ketika terjadi gempa kuat. Hasil analisis rencana bangunan di Semarang, penerapan konsep *strong column/weak beam* rata-rata  $> 60\%$ . Hal ini masih dianggap baik, karena kapasitas lentur balok merupakan gabungan kontribusi balok dan tulangnya. Untuk balok dan kolom memenuhi kriteria *strong column/weak beam* merupakan gabungan fungsi bentang/tinggi, dimensi, inersia balok, dan kolom serta beban yang satu sama lain saling berhubungan.

Untuk menerapkan konsep SCWB dengan cara yaitu :

- Dalam penentuan dimensi balok/kolom dan tinggi kolom sehingga terbentuknya SCWB merupakan proses iteratif. Supaya lebih mudah sebaiknya menggunakan *spreadsheet*.
- Untuk menjamin redundansi dan efektifitas terbentuknya SCWB jumlah portal dalam arah utama  $\geq 2$  (gambar 8.21).



Gambar 8.21. Redundansi dan efektifitas SCWB  $\geq 2$  Portal (sumber : analisa).

- Pedoman penerapan SCWB untuk bangunan umum di Indonesia dengan ketentuan modul struktur yang biasa digunakan berdasarkan fungsi bangunan dan tinggi per lantai maksimum/minimum yang disarankan (tabel 8.2)

Tabel 8.2. Bentang dan tinggi maks./min. bangunan umum di Indonesia (sumber : berbagai sumber).

Jenis bangunan	Bentang (m)	Tinggi maks. per lantai (m)	Tinggi min. per lantai (m)
Hotel	6 - 7.5	5	3
Perkantoran	10.5	5	3
Apartemen	5 - 7	5	3
Parkir	8.1	5	3
Pendidikan	8	5	4

### 1. Bangunan hotel

Modul struktur yang umum digunakan yaitu 6 – 7.5 m dengan ketinggian maksimum per lantai 5 m dan ketinggian minimum 3 m.

- Modul struktur 6x6 m (tabel 8.3)

Jika digunakan modul 6x6 m dimensi balok yang disarankan 25/50 cm, sedangkan dimensi kolom tergantung jumlah lantai. Untuk bangunan 10 lantai dimensi kolom lantai 1 disarankan 70/70 cm dengan ketinggian per lantai tipikal maksimum 4.7 m dan minimum 3 m. Untuk bangunan 6 lantai dimensi kolom lantai 1 disarankan 55/55 cm dengan ketinggian per lantai tipikal maksimum 3.8 m dan minimum 3 m. Untuk bangunan 2 s/d 4 lantai agar memenuhi SCWB disarankan sama dengan bangunan 5 lantai yaitu dimensi kolom 50/50 cm dengan ketinggian per lantai tipikal maksimum 3.5 m dan minimum 3 m.

Untuk bangunan 10 lantai gradasi perubahan dimensi kolom dari lantai 1 s/d lantai 10 yang disarankan 0.7 s/d 0.50 m. Bangunan 8 lantai gradasi perubahan dimensi kolom dari lantai 1 s/d lantai 8 yang disarankan 0.65 s/d 0.50 m. Sebaliknya, bangunan 4 s/d 2 lantai untuk memenuhi SCWB disarankan dimensi kolomnya tipikal yaitu 0.50 m.

Tabel 8.3. Dimensi balok/kolom dan tinggi kolom yang disarankan untuk bangunan hotel dengan modul struktur 6x6 m (sumber : analisa).

BALOK				KOLOM		KOLOM>BALOK	TINGGI KOLOM	
Lx (m)	Ly (m)	h <sub>b</sub> (m)	b <sub>b</sub> (m)	n (Jumlah lt)	b <sub>c</sub> (m)	$l_c > 1.2 \times l_b$	h max (m)	h min (m)
6	6	0.50	0.25	10	0.70	memenuhi	4.70	3.00
6	6	0.50	0.25	9	0.70	memenuhi	4.70	3.00
6	6	0.50	0.25	8	0.65	memenuhi	4.40	3.00
6	6	0.50	0.25	7	0.60	memenuhi	4.10	3.00
6	6	0.50	0.25	6	0.55	memenuhi	3.80	3.00
6	6	0.50	0.25	5	0.50	memenuhi	3.50	3.00
6	6	0.50	0.25	4	0.40	tidak memenuhi	2.90	3.00
6	6	0.50	0.25	3	0.40	tidak memenuhi	2.90	3.00
6	6	0.50	0.25	2	0.30	tidak memenuhi	2.30	3.00

- Modul struktur 7.5x7.5 m (tabel 8.4)

Jika digunakan modul 7.5x7.5 m dimensi balok yang disarankan 30/60 cm, sedangkan dimensi kolom tergantung jumlah lantai. Untuk bangunan 10 lantai dimensi kolom lantai 1 disarankan 90/90 cm dengan ketinggian perlantai tipikal maksimum 5 m dan minimum 3 m. Untuk bangunan 5 lantai dimensi kolom lantai 1 disarankan 65/65 cm dengan ketinggian perlantai tipikal maksimum 4.5 m dan minimum 3 m. Untuk bangunan 2 lantai agar memenuhi SCWB disarankan sama dengan bangunan 3 lantai yaitu dimensi kolom disarankan 50/50 cm dengan ketinggian perlantai tipikal maksimum 3.6 m dan minimum 3 m.

Untuk bangunan 10 lantai gradasi perubahan dimensi kolom dari lantai 1 s/d lantai 10 yang disarankan 0.9 s/d 0.5 m. Bangunan 8 lantai gradasi perubahan dimensi kolom dari lantai 1 s/d lantai 8 yang disarankan 0.8 s/d 0.5 m. Sebaliknya, bangunan 2 lantai untuk memenuhi SCWB disarankan dimensi kolomnya tipikal yaitu 0.5 m.

Tabel 8.4. Dimensi balok/kolom dan tinggi kolom yang disarankan untuk bangunan hotel dengan modul struktur 7.5x7.5 m (sumber : analisa).

BALOK				KOLOM		KOLOM>BALOK	TINGGI KOLOM	
Lx (m)	Ly (m)	h <sub>b</sub> (m)	b <sub>b</sub> (m)	n (Jumlah It)	b <sub>c</sub> (m)	$l_c > 1.2 \times l_b$	h max (m)	h min (m)
7.5	7.5	0.60	0.30	10	0.90	memenuhi	5.00	3.00
7.5	7.5	0.60	0.30	9	0.85	memenuhi	5.00	3.00
7.5	7.5	0.60	0.30	8	0.80	memenuhi	5.00	3.00
7.5	7.5	0.60	0.30	7	0.75	memenuhi	5.00	3.00
7.5	7.5	0.60	0.30	6	0.70	memenuhi	4.80	3.00
7.5	7.5	0.60	0.30	5	0.65	memenuhi	4.50	3.00
7.5	7.5	0.60	0.30	4	0.55	memenuhi	3.90	3.00
7.5	7.5	0.60	0.30	3	0.50	memenuhi	3.60	3.00
7.5	7.5	0.60	0.30	2	0.40	tidak memenuhi	3.00	3.00

## 2. Bangunan perkantoran (tabel 8.5), apartemen (tabel 8.6 & 8.7), parkir (tabel 8.8) dan pendidikan (tabel 8.9)

Modul struktur yang umum lainnya dengan ketinggian maksimum dan minimumnya serta gradasi perubahan dimensi kolomnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 8.5. Dimensi balok/kolom dan tinggi kolom yang disarankan untuk bangunan perkantoran dengan modul struktur 10.5x10.5 m (sumber : analisa).

BALOK				KOLOM		KOLOM>BALOK	TINGGI KOLOM	
Lx (m)	Ly (m)	h <sub>b</sub> (m)	b <sub>b</sub> (m)	n (Jumlah It)	b <sub>c</sub> (m)	$l_c > 1.2 \times l_b$	h max (m)	h min (m)
10.5	10.5	0.85	0.40	10	1.00	memenuhi	5.00	3.00
10.5	10.5	0.85	0.40	9	1.00	memenuhi	5.00	3.00
10.5	10.5	0.85	0.40	8	1.00	memenuhi	5.00	3.00
10.5	10.5	0.85	0.40	7	1.00	memenuhi	5.00	3.00
10.5	10.5	0.85	0.40	6	1.00	memenuhi	5.00	3.00
10.5	10.5	0.85	0.40	5	0.90	memenuhi	5.00	3.00
10.5	10.5	0.85	0.40	4	0.80	memenuhi	5.00	3.00
10.5	10.5	0.85	0.40	3	0.70	memenuhi	5.00	3.00
10.5	10.5	0.85	0.40	2	0.55	tidak memenuhi	4.15	3.00

Tabel 8.6. Dimensi balok/kolom dan tinggi kolom yang disarankan untuk bangunan apartemen dengan modul struktur 5x5 m (sumber : analisa).

BALOK				KOLOM		KOLOM>BALOK	TINGGI KOLOM	
Lx (m)	Ly (m)	h <sub>b</sub> (m)	b <sub>b</sub> (m)	n (Jumlah It)	b <sub>c</sub> (m)	$I_c > 1.2 \times I_b$	h max (m)	h min (m)
5	5	0.40	0.25	10	0.60	memenuhi	4.00	3.00
5	5	0.40	0.25	9	0.55	memenuhi	3.70	3.00
5	5	0.40	0.25	8	0.55	memenuhi	3.70	3.00
5	5	0.40	0.25	7	0.50	memenuhi	3.40	3.00
5	5	0.40	0.25	6	0.45	memenuhi	3.10	3.00
5	5	0.40	0.25	5	0.40	tidak memenuhi	2.80	3.00
5	5	0.40	0.25	4	0.40	tidak memenuhi	2.80	3.00
5	5	0.40	0.25	3	0.35	tidak memenuhi	2.50	3.00
5	5	0.40	0.25	2	0.30	tidak memenuhi	2.20	3.00

Tabel 8.7. Dimensi balok/kolom dan tinggi kolom yang disarankan untuk bangunan apartemen dengan modul struktur 7x7 m (sumber : analisa).

BALOK				KOLOM		KOLOM>BALOK	TINGGI KOLOM	
Lx (m)	Ly (m)	h <sub>b</sub> (m)	b <sub>b</sub> (m)	n (Jumlah It)	b <sub>c</sub> (m)	$I_c > 1.2 \times I_b$	h max (m)	h min (m)
7	7	0.55	0.30	10	0.85	memenuhi	5.00	3.00
7	7	0.55	0.30	9	0.80	memenuhi	5.00	3.00
7	7	0.55	0.30	8	0.75	memenuhi	5.00	3.00
7	7	0.55	0.30	7	0.70	memenuhi	4.75	3.00
7	7	0.55	0.30	6	0.65	memenuhi	4.45	3.00
7	7	0.55	0.30	5	0.60	memenuhi	4.15	3.00
7	7	0.55	0.30	4	0.55	memenuhi	3.85	3.00
7	7	0.55	0.30	3	0.45	tidak memenuhi	3.25	3.00
7	7	0.55	0.30	2	0.40	tidak memenuhi	2.95	3.00

Tabel 8.8. Dimensi balok/kolom dan tinggi kolom yang disarankan untuk bangunan parkir dengan modul struktur 8.1x8.1 m (sumber : analisa).

BALOK				KOLOM		KOLOM>BALOK	TINGGI KOLOM	
Lx (m)	Ly (m)	h <sub>b</sub> (m)	b <sub>b</sub> (m)	n (Jumlah It)	b <sub>c</sub> (m)	$I_c > 1.2 \times I_b$	h max (m)	h min (m)
8.1	8.1	0.65	0.30	10	0.95	memenuhi	5.00	3.00
8.1	8.1	0.65	0.30	9	0.90	memenuhi	5.00	3.00
8.1	8.1	0.65	0.30	8	0.85	memenuhi	5.00	3.00
8.1	8.1	0.65	0.30	7	0.80	memenuhi	5.00	3.00
8.1	8.1	0.65	0.30	6	0.75	memenuhi	5.00	3.00
8.1	8.1	0.65	0.30	5	0.70	memenuhi	4.85	3.00
8.1	8.1	0.65	0.30	4	0.60	memenuhi	4.25	3.00
8.1	8.1	0.65	0.30	3	0.55	memenuhi	3.95	3.00
8.1	8.1	0.65	0.30	2	0.45	tidak memenuhi	3.35	3.00

Tabel 8.9. Dimensi balok/kolom dan tinggi kolom yang disarankan untuk bangunan sekolah dengan modul struktur 8.0x8.0 m (sumber : analisa).

BALOK				KOLOM		KOLOM>BALOK	TINGGI KOLOM	
Lx (m)	Ly (m)	h <sub>b</sub> (m)	b <sub>b</sub> (m)	n (Jumlah It)	b <sub>c</sub> (m)	$I_c > 1.2 \times I_b$	h max (m)	h min (m)
8	8	0.65	0.30	10	0.95	memenuhi	5.00	4.00
8	8	0.65	0.30	9	0.90	memenuhi	5.00	4.00
8	8	0.65	0.30	8	0.85	memenuhi	5.00	4.00
8	8	0.65	0.30	7	0.80	memenuhi	5.00	4.00
8	8	0.65	0.30	6	0.75	memenuhi	5.00	4.00
8	8	0.65	0.30	5	0.70	memenuhi	4.85	4.00
8	8	0.65	0.30	4	0.60	memenuhi	4.25	4.00
8	8	0.65	0.30	3	0.55	tidak memenuhi	3.95	4.00
8	8	0.65	0.30	2	0.45	tidak memenuhi	3.35	4.00

Di mana,

$L_x$  = Panjang bentang aksis -X

$L_y$  = Lebar bentang aksis -Y

$h$  = Tinggi lantai perlantai

$h_b$  = Tinggi balok

$b_b$  = Lebar balok =  $\frac{1}{2} * h_b$

$I_b$  = Momen inersia balok =  $\frac{1}{12} * b_b * h_b^3$

$N$  = Jumlah lantai

$A_g$  = Luas kolom =  $0.15\% * L_x * L_y * N$

$b_c$  = lebar kolom =  $\sqrt{A_g}$

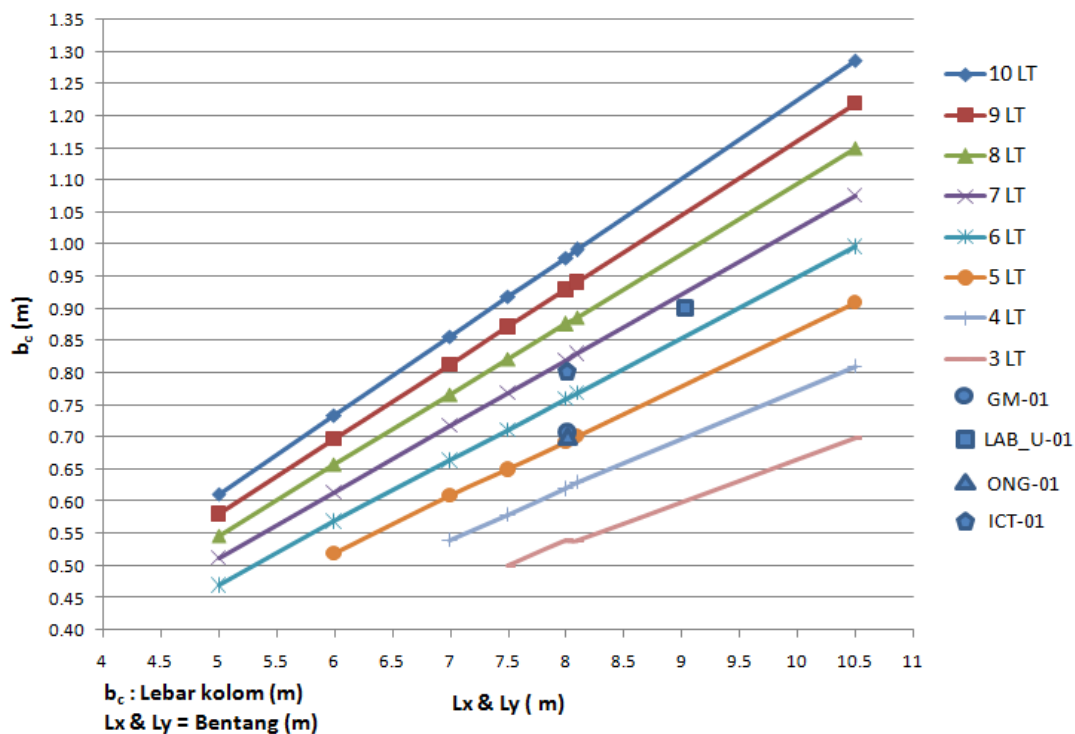
$I_c$  = Momen inersia kolom sumbu

lemah=  $\frac{1}{12} * h_c * b_c^2$

$I_c > 1.2 * I_b \rightarrow$  SCWB

$h_o = h - h_b$

$h_{min} \ \& \ h_{max} \rightarrow 2 < h_o/D < 6$



Gambar 8.22. Grafik hubungan dimensi kolom ( $b_c$ ) dan modul struktur ( $L_x$  &  $L_y$ ) (sumber : analisa).

Untuk memudahkan perhitungan dimensi kolom berdasarkan hubungannya dengan modul struktur dapat dilihat pada gambar 8.22. Cara penggunaannya (lihat tabel 8.10 dan gambar 8.22) :

- GM-01 : modul struktur 8x8 m dan ketinggian bangunan 6 lantai, maka dimensi kolomnya berdasarkan perhitungan konsultan ( $b_{c1}$ )=0.7x0.7 m sedangkan jika menggunakan grafik 8.22 ( $b_{c2}$ )=0.76x0.76 m.

- LAB\_U-01 : modul struktur 9x9 m dan ketinggian bangunan 8 lantai, maka dimensi kolomnya berdasarkan perhitungan konsultan ( $b_{c1}$ )=0.9x0.9 m sedangkan jika menggunakan grafik 8.22 ( $b_{c2}$ )=0.98x0.98 m.
- ONG-01 : modul struktur 8x8 m dan ketinggian bangunan 6 lantai, maka dimensi kolomnya berdasarkan perhitungan konsultan ( $b_{c1}$ )=0.7x0.7 m sedangkan jika menggunakan grafik 8.22 ( $b_{c2}$ )=0.76x0.76 m.
- ICT-01 : modul struktur 8x8 m dan ketinggian bangunan 7 lantai, maka dimensi kolomnya berdasarkan perhitungan konsultan ( $b_{c1}$ )=0.8x0.8 m sedangkan jika menggunakan grafik 8.22 ( $b_{c2}$ )=0.82x0.82 m.

Dari contoh diatas baik perhitungan dimensi oleh konsultan dan menggunakan grafik 8.22 relatif tidak jauh berbeda.

Tabel 8.10. Perbandingan dimensi kolom berdasarkan perhitungan konsultan ( $b_{c1}$ ) dan grafik hubungan dimensi kolom dan modul struktur ( $b_{c2}$ ) (sumber : analisa).

Gdg.	n (Jumlah lt)	Lx (m)	Ly (m)	$b_{c1}$ (m)	$b_{c2}$ (m)
Rumah sakit gigi & mulut 6 lt. (GM-01)	6	8	8	0.70	0.76
Gedung lab. Fakultas Kedokteran 8 lantai (LAB_U-01)	8	9	9	0.90	0.98
Rumah sakit radioterapy & onkologi 6 lantai (ONG-01)	6	8	8	0.70	0.76
Gedung ICT Undip (ICT-01)	7	8	8	0.80	0.82

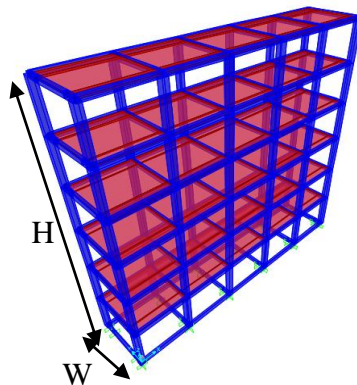
### 8.2.3. DINDING GESER

Dinding geser berfungsi bersama-sama kolom menahan beban lateral gempa dan meningkatkan kekakuan bangunan. Untuk bangunan di zona gempa kuat penggunaan dinding geser sangat signifikan pengaruhnya dalam meningkatkan ketahanan bangunan terhadap gempa.

Hasil analisis rencana bangunan di Semarang yaitu beberapa bangunan sudah menerapkan bangunan dengan baik, tetapi beberapa bangunan lain belum menerapkannya dengan baik. Terdapat 3 tipe penggunaan dinding geser kurang optimal dari rencana bangunan tersebut :



- Bangunan langsing ( $H/W > 4$ ) (gambar 8.23) seharusnya menggunakan secara intensif dinding geser untuk menahan beban lateral gempa dan meningkatkan kekakuan bangunan, tetapi karena tidak diperkirakan sebelumnya oleh arsitek dan diserahkan sepenuhnya ke ahli struktur sehingga desain dinding geser tidak optimal disebabkan perletakan dinding geser terkena kendala desain ruang dan tampilan.
- Penggunaan kombinasi kolom dan dinding geser hanya digunakan untuk meningkatkan kekakuan bangunan, sedangkan kapasitas gesernya tidak memadai.



Gambar 8.23. Bangunan langsing  $H/W > 4$  (sumber : analisa).

## 1. DIMENSI DINDING GESER

Untuk mengevaluasi apakah suatu bangunan membutuhkan atau tidak membutuhkan dinding geser yaitu :

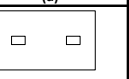
- Bangunan atau bagian bangunan memiliki kelangsingan dengan  $H/W > 4$  maupun bangunan fleksibel dengan  $T_c > T_{max}$  untuk meningkatkan ketahanan lateral dan kekakuan bangunan.
- Tahap-tahap untuk menghitung luas kolom dan dinding geser yang dibutuhkan yaitu :
  - Jika informasi  $T_c$  belum diketahui dan bangunan memiliki  $H/W \leq 4$ , untuk mengetahui apakah tersebut cukup menggunakan SRPM atau kombinasi dengan dinding geser yaitu gunakan lebih dulu prosedur SRPM buat  $I_{Ac-i} \cdot I_{C-i} > 1$  dan asumsikan  $I_T = 1$ . Seandainya hasil dari  $I_S < I_{SO}$ , maka bangunan memerlukan kombinasi SRPM dan dinding geser.
  - Untuk menentukan *preliminary* kombinasi SRPM dan dinding geser yaitu dimensi kolom dalam perencanaan arsitektur dengan aturan luas minimum kolom ( $A_{C\ min}$ )=0.15% dari luas kumulatif area beban kolom, di mana minimal

luas kolom 0.09 m<sup>2</sup> atau 0.3x0.3 m. Luas minimum dinding geser ( $A_{SW\ min}$ )=0.12% luas kumulatif luas lantai dengan  $t\ min=25\ cm$ . Gunakan luas kolom desain ( $A_C$ ) di mana  $I_{Ac-i}.I_{C-i} > 1$  dan luas dinding geser desain ( $A_{SW}$ ) di mana  $I_{ASW-i}.I_{SW-i} > 1$  karena berdasarkan temuan evaluasi rencana bangunan di Semarang jika syarat tersebut terpenuhi, maka umumnya syarat  $T_c < T_{max}$  dan  $I_s > I_{SO}$  juga terpenuhi.

## 2. PERLETAKAN DINDING GESER

Jika desain kolom sudah dilakukan dan dinding geser sudah diketahui luas totalnya ( $A_{SW}$ ), selanjutnya di mana perletakan dan orientasinya yang sangat tergantung pada bentuk bangunan.

Tabel 8.11. Karakteristik tata letak inti (*core*) bangunan (sumber : Juwana, 2005).

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
<b>Letak Inti</b>						
<b>Pengaruh pada</b>	Di ujung	Di luar	Di tengah	Inti Ganda	Di Sudut	Acak
Fleksibilitas ruang	Baik	Sangat baik	Cukup	Kurang	Baik	Kurang sekali
Ruang di sisi keliling bangunan	Kurang	Cukup	Sangat baik	Sangat baik	Kurang sekali	Baik
Pemanfaatan lantai dasar	Cukup	Sangat baik	Cukup	Kurang	Baik	Kurang sekali
Jarak dari inti	Kurang	Kurang sekali	Baik	Sangat baik	Cukup	Cukup
Kejelasan pola sirkulasi	Cukup	Kurang	Baik	Sangat baik	Cukup	Cukup
Pencahayaan alami	Baik	Sangat baik	Kurang sekali	Kurang sekali	Sangat baik	Kurang
Hubungan dengan utilitas di atap	Cukup	Kurang sekali	Sangat baik	Baik	Kurang	Cukup
Hubungan dengan utilitas di lt. Dasar	Cukup	Kurang	Baik	Sangat baik	Kurang sekali	Cukup
Kekakuan struktur (gaya lateral)	Kurang	Kurang sekali	Sangat baik	Sangat baik	Baik	Cukup

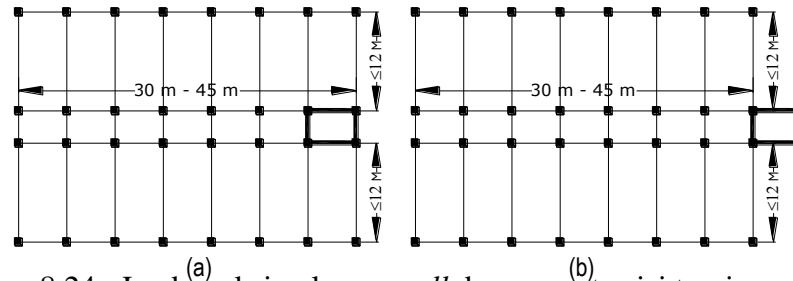
Adapun pertimbangan dalam desain dinding geser yaitu :

- Perletakan dinding geser harus mempertimbangkan keseimbangan bentuk denah dan kekakuan, karena jika tidak malah membuat potensi terjadinya torsi semakin besar dari sebelumnya.
- Pada bangunan bertingkat paling sering penggunaan *shear wall* berbentuk kotak inti di sekeliling tangga, elevator, shaft dan lainnya (*core wall*). Keuntungan penggunaan *core wall* secara struktural yaitu dapat menahan segala gaya aksial, geser, momen dan torsi dari segala arah (Taranath, 1988). Tetapi perletakannya merupakan kombinasi pertimbangan kekuatan, kekakuan, eksentrisitas, kebutuhan luas lantai bersih, sirkulasi penghuni, jaringan utilitas dan pencahayaan alami (tabel 8.13).

Dari tabel 8.11 di atas perletakan *core wall* dapat dijelaskan sebagai berikut :

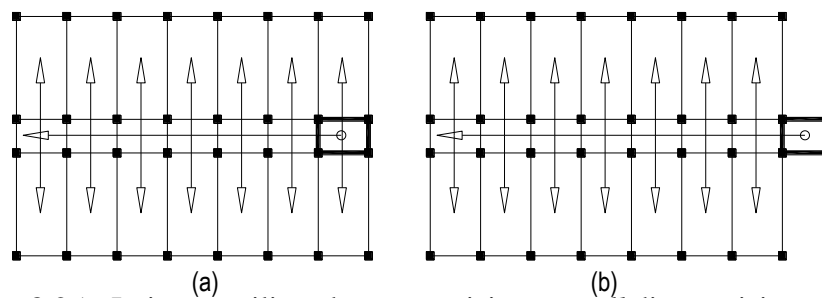
- *Core wall* yang diletakkan di satu sisi ujung bangunan (a & b).

- Arsitektural adalah gangguan akibat perletakkan *core* minimal sehingga fleksibilitas ruangnya baik untuk kemungkinan perubahan ruang di masa mendatang. Akan tetapi, dikarenakan perletakkannya di ujung bangunan untuk persyaratan keamanan dan kenyamanan penghuni jarak maksimal inti dengan terujung bangunan antara 30 m – 45 m (gambar 8.24).



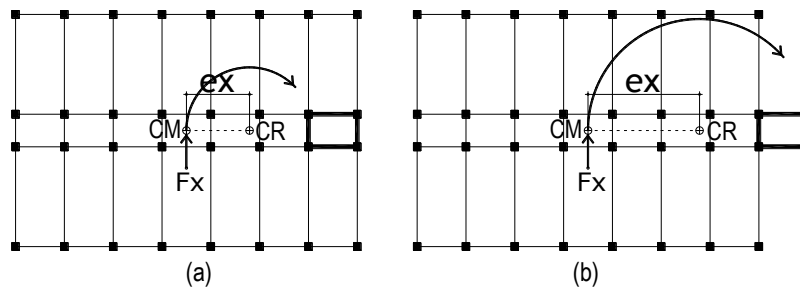
Gambar 8.24. Jarak maksimal *core wall* dengan satu sisi terujung bangunan (sumber : analisa).

- Utilitas adalah *core wall* yang biasanya berisi jalur utilitas utama (plumbing, ME dll) yang dialirkan ke ruangan-ruangan. Perletakkan *core wall* di ujung bangunan terutama jaringan utilitas plumbing dapat menyebabkan kendala perbedaan tekanan yang tidak seimbang (gambar 8.25). Untuk pencahayaan alami dengan posisi *core wall* di ujung bangunan menguntungkan karena gangguan masuknya cahaya alami pada perimeter bangunan minimal dan *core* dapat langsung mendapat pencahayaan alami.

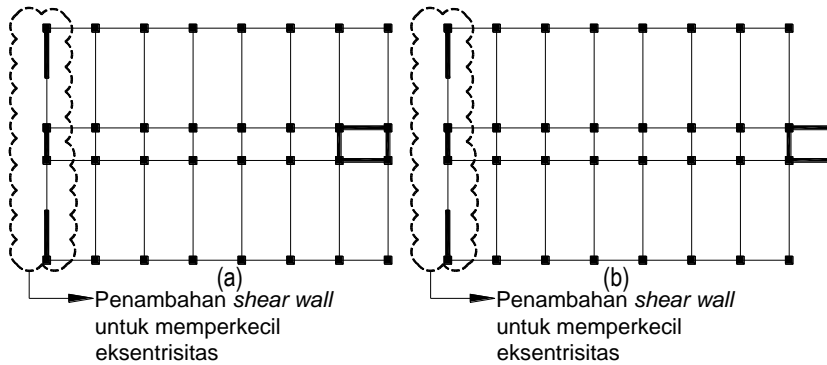


Gambar 8.25. Jaringan utilitas dengan posisi *core wall* di satu sisi terujung bangunan (sumber : analisa).

- Struktural adalah *core wall* di satu sisi ujung bangunan secara struktural kurang menguntungkan karena menimbulkan eksentrisitas (*ex*) yang besar antara pusat massa (*CM*) dan pusat kekakuan (*CR*) yang dapat menimbulkan torsi (gambar 8.26). Untuk memperkecil potensi torsi tersebut dan tetap menjaga fleksibilitas ruang dengan menambahkan *shear wall* di ujung lainnya (gambar 8.27).

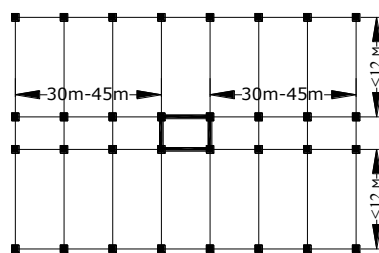


Gambar 8.26. Core wall di satu sisi terujung bangunan dapat menimbulkan torsi (sumber : analisa).



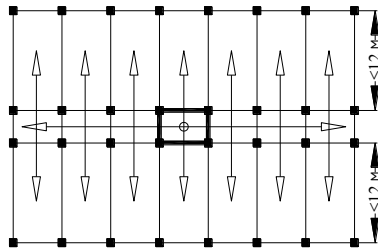
Gambar 8.27. Core wall di satu sisi ujung bangunan dan penambahan shear wall diujung lainnya dapat mengurangi potensi torsi (sumber : analisa).

- Core wall yang diletakkan di tengah bangunan (c).
  - Arsitektural : agak mengganggu fleksibilitas ruang, tetapi posisi perletakkannya di tengah bangunan untuk persyaratan keamanan dan kenyamanan penghuni sangat baik karena jarak maksimal inti dengan terujung bangunan merata antara 30 m – 45 m (gambar 8.28).



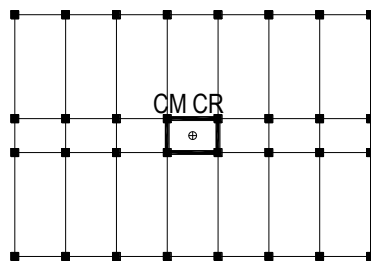
Gambar 8.28. Jarak maksimal core wall di tengah bangunan dengan sisi terujung bangunan (sumber : analisa).

- Utilitas : Dengan posisi core wall di tengah bangunan memudahkan pembagian jaringan utilitas (gambar 8.29). Untuk pencahayaan alami dengan posisi core wall di tengah bangunan menguntungkan karena gangguan masuknya cahaya alami pada perimeter bangunan minimal, tetapi untuk zona core wall sendiri tidak dapat langsung mendapat pencahayaan alami.



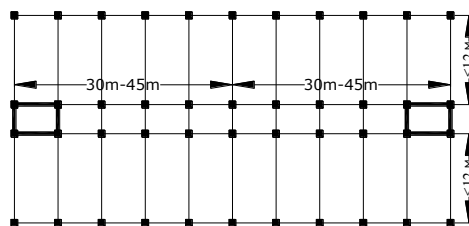
Gambar 8.29. Jaringan utilitas dengan posisi *core wall* di tengah bangunan (sumber : analisa).

- Struktural : *core wall* di tengah bangunan secara struktural sangat menguntungkan karena dapat meminimalisir eksentrisitas ( $ex$ ) antara pusat massa (CM) dan pusat kekakuan (CR) yang dapat menimbulkan torsi (gambar 8.30).



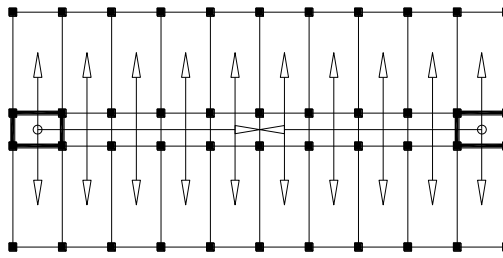
Gambar 8.30. *Core wall* di tengah bangunan dapat meminimalisir potensi torsi (sumber : analisa).

- *Core wall* ganda yang diletakkan di ujung-ujung bangunan (d).
  - Arsitektural : Agak mengganggu fleksibilitas ruang, tetapi posisi perletakkannya di ujung-ujung bangunan untuk persyaratan keamanan dan kenyamanan penghuni sangat baik karena bisa mendapatkan jangkauan ruang yang lebih luas (gambar 8.31).



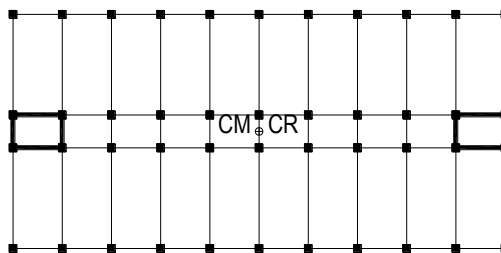
Gambar 8.31. Jangkauan ruang lebih luas dengan *double core* (sumber : analisa).

- Utilitas : Dengan posisi *core wall* di ujung-ujung bangunan memudahkan pembagian jaringan utilitas (gambar 8.32). Untuk pencahayaan alami dengan posisi *core wall* di ujung-ujung bangunan masih cukup baik, tetapi untuk zona *core wall* sendiri kurang optimal pencahayaan alaminya karena hanya pada satu sisi.



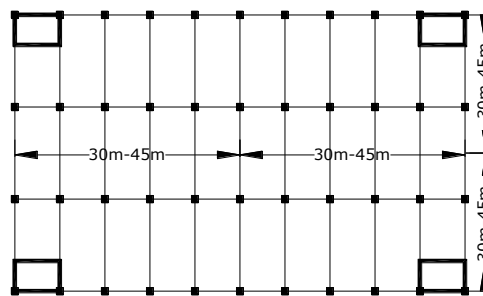
Gambar 8.32. Jaringan utilitas dengan posisi *core wall* di ujung-ujung bangunan (sumber : analisa).

- Struktural : *core wall* ganda di ujung-ujung bangunan secara struktural sangat menguntungkan karena dapat meminimalisir eksentrisitas ( $ex$ ) antara pusat massa ( $CM$ ) dan pusat kekakuan ( $CR$ ) yang dapat menimbulkan torsi (gambar 8.33).



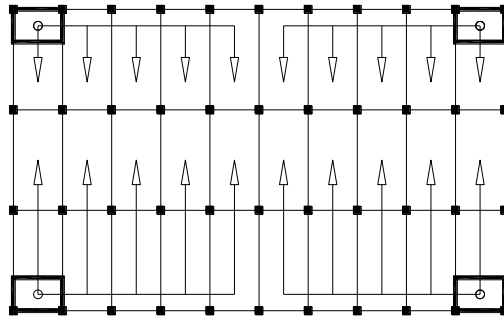
Gambar 8.33. *Core wall* ganda di ujung-ujung bangunan dapat meminimalisir potensi torsi (sumber : analisa).

- *Core wall* jamak yang diletakkan di sudut-sudut bangunan (e).
  - Arsitektural : Fleksibilitas ruang sangat baik dan posisi perletakkannya di sudut-sudut bangunan untuk persyaratan keamanan dan kenyamanan penghuni cukup baik karena jangkauan ruang yang lebih luas (gambar 8.34).



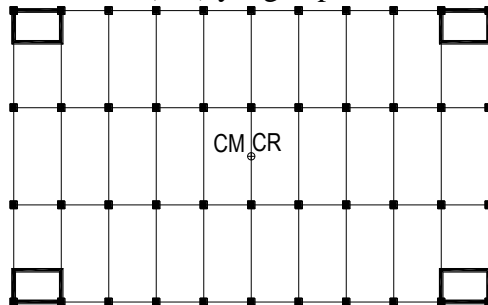
Gambar 8.34. Jangkauan ruang lebih luas dengan *core* jamak (sumber : analisa).

- Utilitas : Dengan posisi *core wall* di ujung-ujung bangunan memudahkan pembagian jaringan utilitas (gambar 8.35). Untuk pencahayaan alami dengan posisi *core wall* jamak di sudut-sudut bangunan agak kurang baik terutama jaringan utilitas plambing dengan kendala perbedaan tekanan yang tidak seimbang. Untuk pencahayaan alami dalam ruangan dan di zona *core wall* dengan posisi *core wall* jamak di sudut-sudut bangunan masih cukup baik.



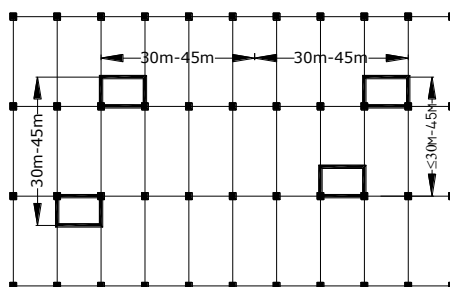
Gambar 8.35. Jaringan utilitas dengan posisi *core wall* jamak di sudut-sudut bangunan (sumber : analisa).

- Struktural : *core wall* ganda di ujung-ujung bangunan secara struktural sangat menguntungkan karena dapat menimalisir eksentrisitas ( $ex$ ) antara pusat massa (CM) dan pusat kekakuan (CR) yang dapat menimbulkan torsi (gambar 8.36).



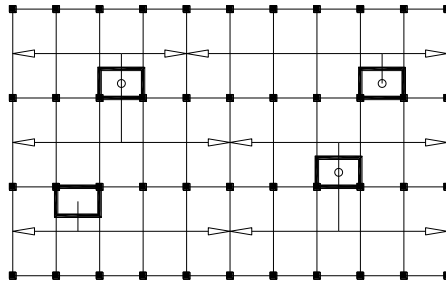
Gambar 8.36. *Core wall* jamak di sudut-sudut bangunan dapat menimalisir potensi torsi (sumber : analisa).

- *Core wall* jamak yang diletakkan acak di dalam bangunan (f).
  - Arsitektural : Fleksibilitas ruang kurang baik dan perletakkannya yang acak di dalam bangunan untuk persyaratan keamanan dan kenyamanan penghuni masih cukup baik karena jangkauan penghuni ke *core wall* dengan letak yang acak bisa kurang atau lebih dari 30 m-45 m (gambar 8.37).



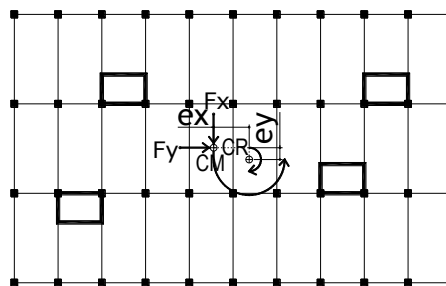
Gambar 8.37. Jangkauan ruang tidak tipikal dengan *core* jamak acak (sumber : analisa).

- Utilitas : Dengan posisi *core wall* jamak yang acak menyulitkan dalam pembagian jaringan utilitas (gambar 8.38). *Core wall* jamak bisa menjadi halangan pencahayaan alami ruangan dan untuk zona *core wall* sendiri tidak dapat langsung mendapat pencahayaan alami.



Gambar 8.38. Jaringan utilitas dengan posisi *core wall* jamak acak (sumber : analisa).

- Struktural : Susunan *core wall* jamak acak sebaiknya dihindari karena responnya terhadap gempa sulit diprediksi dan diantisipasi (gambar 8.39).

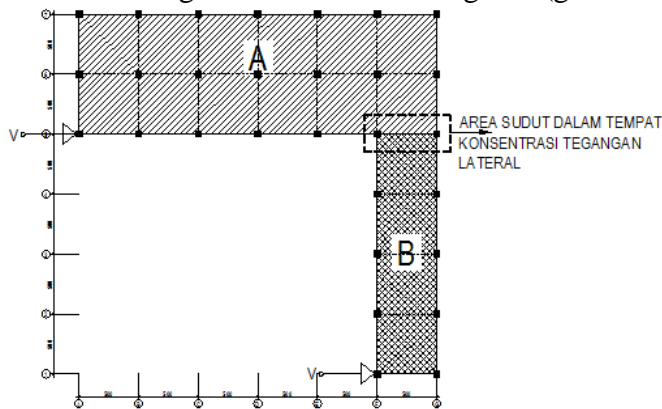


Gambar 8.39. Susunan *core wall* jamak yang disusun berdasarkan pertimbangan keseimbangan kekakuan dapat menimalisir potensi torsi (sumber : analisa).

#### 8.2.4. KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN SUDUT DALAM

Konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam terjadi akibat kombinasi massa yang membentuk sudut dalam. Area sudut dalam menjadi tempat konsentrasi gaya-gaya akibat gempa. Berdasarkan analisis rencana bangunan di Kota Semarang, konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam terbentuk akibat 2 macam tipe yaitu :

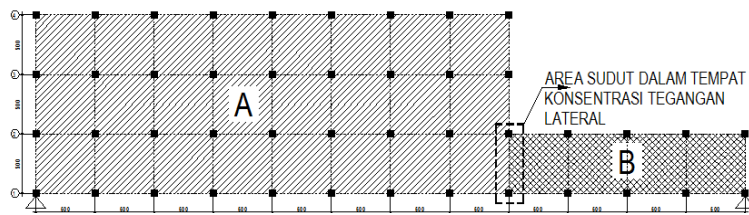
- Kombinasi massa ortogonal atau relatif ortogonal (gambar 8.40).



Gambar 8.40. Kombinasi massa ortogonal (sumber : analisa).



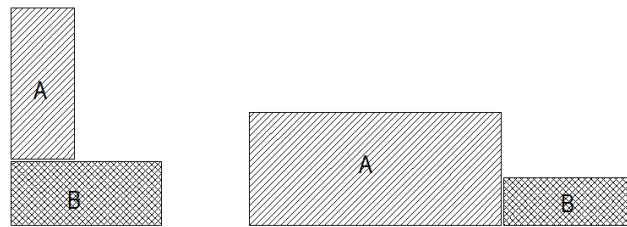
- Kombinasi massa paralel tetapi tidak sama besar (gambar 8.41).



Gambar 8.41. Kombinasi massa paralel tetapi tidak sama besar (sumber : analisa).

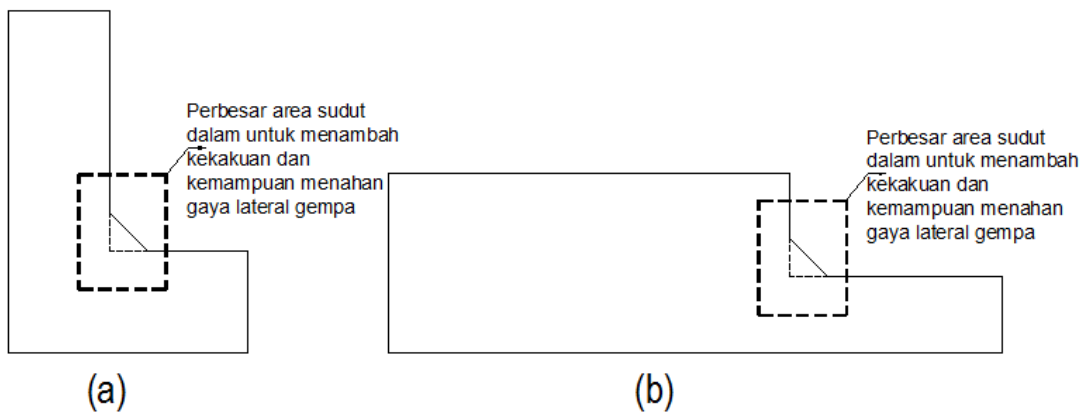
Untuk mengurangi dampak negatif dengan terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam pada bangunan, antara lain :

- Salah satu cara mengurangi kompleksitas bentuk bangunan yaitu dengan dilatasi (gambar 8.42).



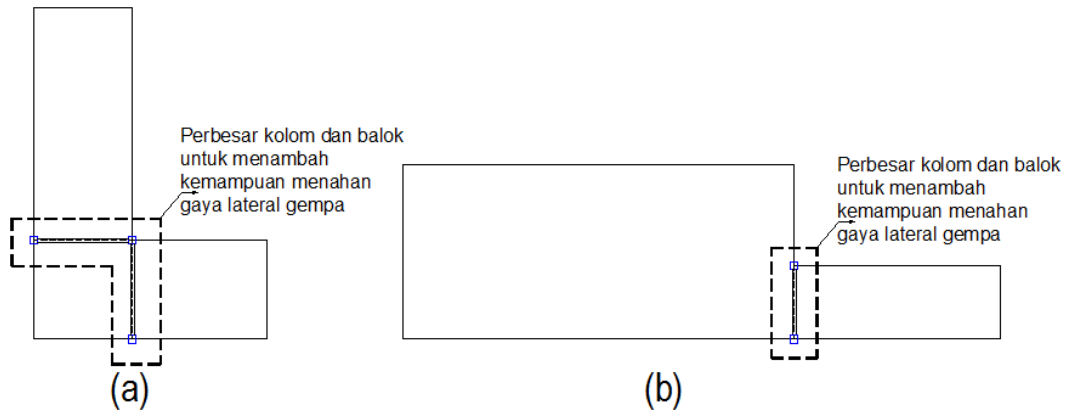
Gambar 8.42. Pisahkan massa yang membentuk konfigurasi sudut dalam dengan dilatasi (sumber : analisa).

- Jika terbentuk konfigurasi sudut dalam :
  - Perbesar area sudut dalam untuk menambah kekakuan dan kapasitas menahan gaya lateral gempa (gambar 8.43).

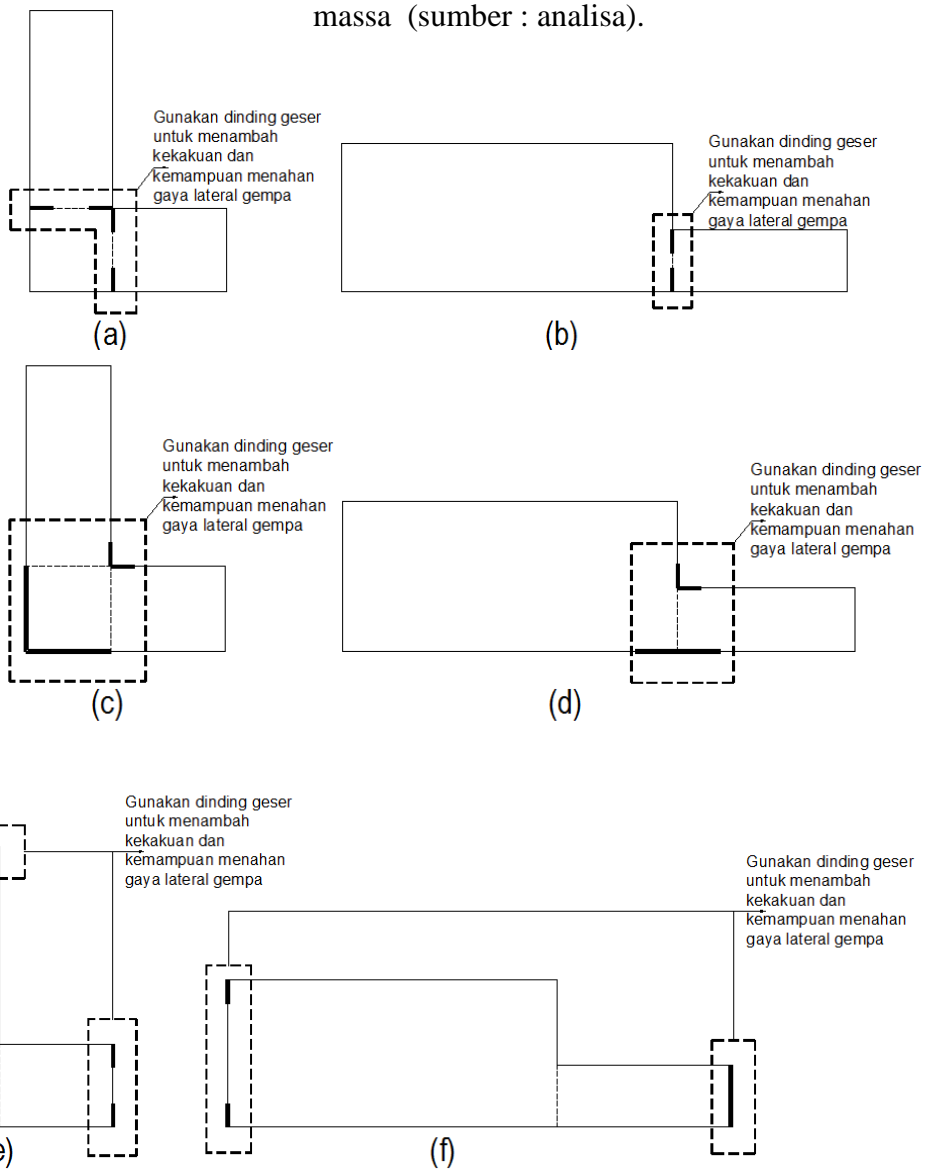


Gambar 8.43. Pembesaran area sudut dalam (sumber : analisa).

- Lakukan pembesaran dimensi balok dan kolom pada area pertemuan massa untuk menambah kapasitas menahan gaya lateral gempa (gambar 8.44).



Gambar 8.44. Pembedaran balok dan kolom pada area pertemuan massa (sumber : analisa).



Gambar 8.45. Gunakan dinding geser pada posisi potensi konsentrasi gaya gempa (a s/d d) atau yang dapat memperkecil potensi torsi yang menyebabkan konsentrasi gaya gempa (e dan f) (sumber : analisa).

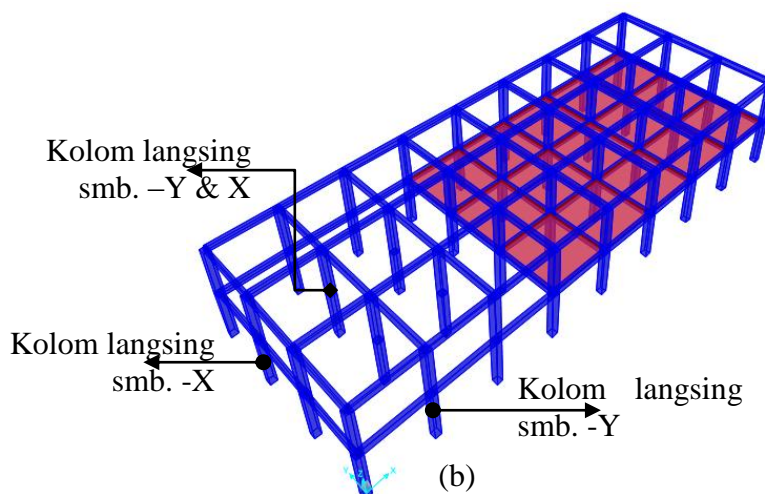
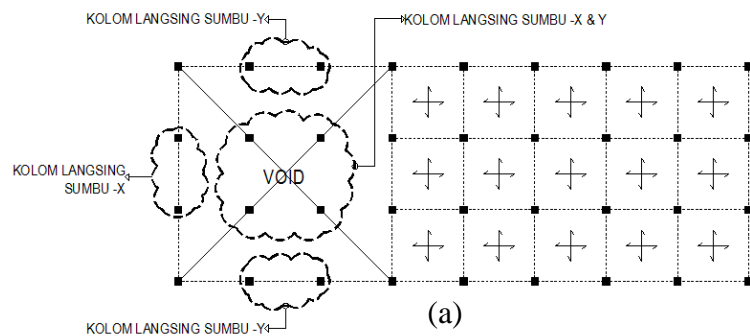
- Gunakan dinding geser untuk menambah kekakuan dan kapasitas menahan gaya lateral gempa tempatkan di posisi potensi terjadinya konsentrasi gaya gempa (gambar 8.45a s/d 8.45d) atau yang dapat memperkecil potensi torsi yang mengakibatkan konsentrasi gaya gempa (gambar 8.45e dan 8.45f).

### 8.2.5. KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN DISKONTINUITAS DIAFRAGMA

Konfigurasi ketidakberaturan diskontinuitas diafragma terbentuk akibat lubang/void pada lantai yang dapat mengurangi kekakuan bangunan. Berdasarkan analisis rencana bangunan di Kota Semarang, konfigurasi ini terbentuk 2 tipe yaitu :

- Void yang terjadi di lantai dasar

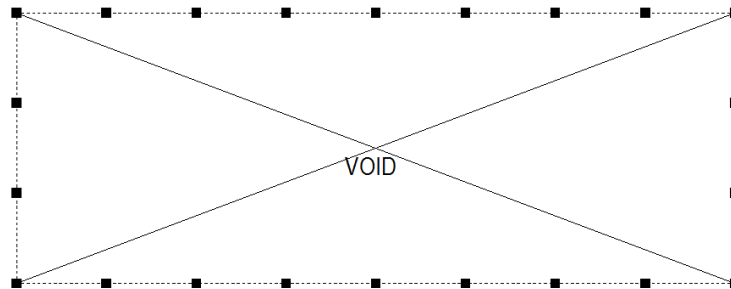
Di lantai dasar dampak penghilangan plat lantai mengakibatkan kolom-kolom disekitar void berpotensi menjadi kolom langsing ( $h_o/D > 6$ ) yang berakibat rentan terhadap kegagalan lentur ketika terjadi gempa kuat (gambar 8.46a & 8.46b).



Gambar 8.46. Kolom di area void berpotensi menjadi kolom langsing (a dan b) (sumber : analisa).

- Void di bagian atap

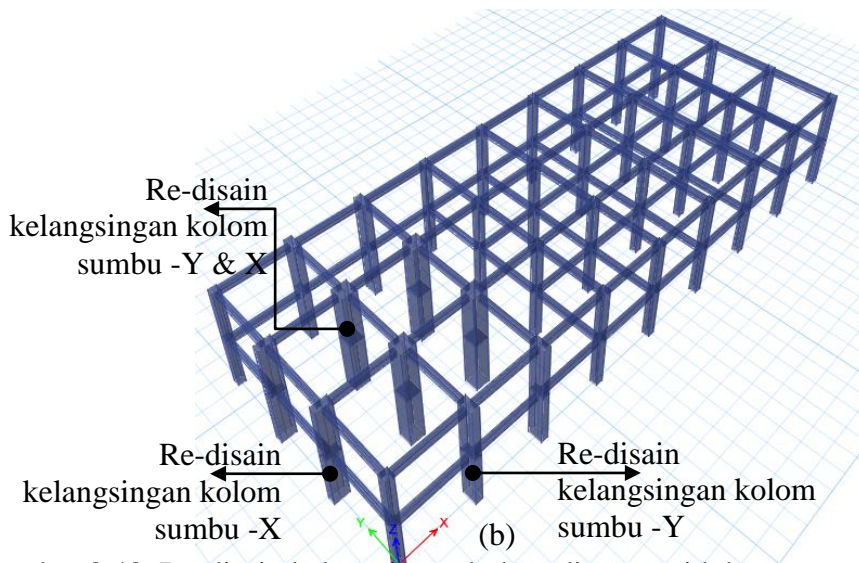
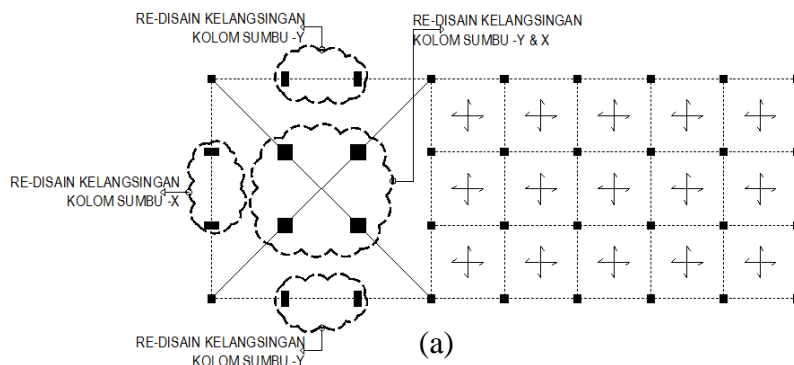
Void dibagian atap disebabkan alasan penghematan dengan mengganti kolom tengah dan plat beton atap dengan rangka baja profil/ringan serta penutup atap genteng atau untuk alasan fungsional sebagai ruang serbaguna yang bebas kolom tengah sehingga menjadikan atap bagian terlemah dari bangunan (gambar 8.47).



Gambar 8.47. Void di bagian atap dan ditutupi dengan rangka baja yang relatif fleksibel menjadikan atap bagian kurang kaku dari bangunan (sumber : analisa).

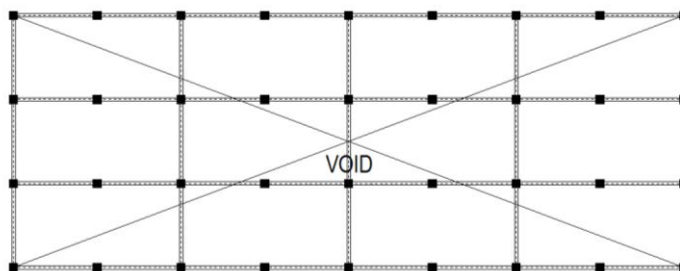
Untuk mengurangi dampak negatif dengan terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan diskontinuitas diafragma pada bangunan, antara lain :

- Untuk void di lantai dasar



Gambar 8.48. Re-disain kelangsingan kolom di area void dengan aturan  $2 < h_o/D < 6$  (a dan b) (sumber : analisa).

- Untuk tidak mengurangi kekakuan bangunan akibat lubang bukaan terutama void dengan luas  $> 30\%$  luas lantai, tinjau kelangsingan kolom sumbu  $-X$  dan  $Y$  dan re-desain dimensi kolom-kolom area void dengan aturan  $2 < h_o/D < 6$  (gambar 8.48a dan 8.48b).
  - Hindari bukaan/void  $> 50\%$  luas lantai karena dapat mengakibatkan potensi torsi pada bangunan karena perbedaan beban dan kekakuan lantai.
  - Kompensasi bukaan/void dengan pembesaran dimensi kolom hanya dapat dilakukan di lantai dasar. Jika dilakukan di lantai tingkat lainnya dapat menyebabkan *weak story* sehingga hindari atau  $< 30\%$  luas lantai void/bukaan di tingkat lainnya, maka tidak terlalu berpengaruh pada kekakuan bangunan.
  - Jika ternyata dibutuhkan bukaan-bukaan selain lantai dasar, pertimbangkan penggunaan pengaku bangunan lainnya misalnya dinding geser.
- b. Untuk void di bagian atap
- Penggunaan struktur bagian atap sama dengan struktur tingkat lainnya yang menggunakan balok, kolom, dan plat beton sehingga keseluruhan tingkat bangunan memiliki kekuatan serta kekakuan yang relatif sama.
  - Jika tidak memungkinkan, hilangkan plat atap betonnya saja. Namun, sebagian balok dan kolomnya tetap ada sehingga masih memiliki kekuatan serta kekakuan yang masih cukup besar (gambar 8.49).



Gambar 8.49. Kombinasi balok/kolom dan void pada struktur atap (sumber : analisa).

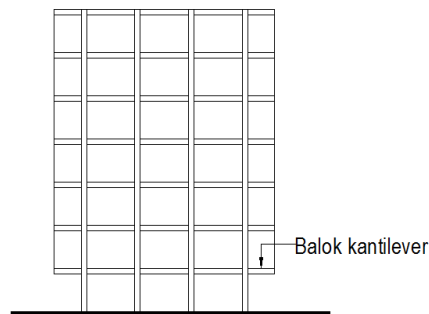
## 8.2.6. KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN BERAT/MASSA DAN KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN GEOMETRI VERTIKAL

Konfigurasi ketidakberaturan berat/massa terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan beban pada suatu lantai yang dapat menyebabkan torsi atau perbedaan beban antar lantai yang dapat menyebabkan efek pendulum. Sebaliknya, konfigurasi

ketidakberaturan geometri vertikal terbentuk akibat pemunduran (*setback*) atau memajukan (kantilever) bagian dari bangunan yang dapat menyebabkan konsentrasi di area perbatasan *setback* dan kantilever.

Berdasarkan analisis rencana bangunan di Kota Semarang, 2 konfigurasi ini sering terbentuk secara bersama-sama yaitu :

- Dengan keterbatasan lahan sehingga untuk mendapatkan luas ruangan yang maksimal dengan cara memajukan seluruh atau sebagian lantai bangunan (gambar 8.50).



Gambar 8.50. Balok kantilever yang terbentuk pada seluruh lantai (sumber : analisa).

- Menggunakan lantai tingkat teratas untuk kebutuhan ruang pertemuan yang lebih banyak menampung orang dengan cara memajukan lantai teratas tersebut (gambar 8.51).



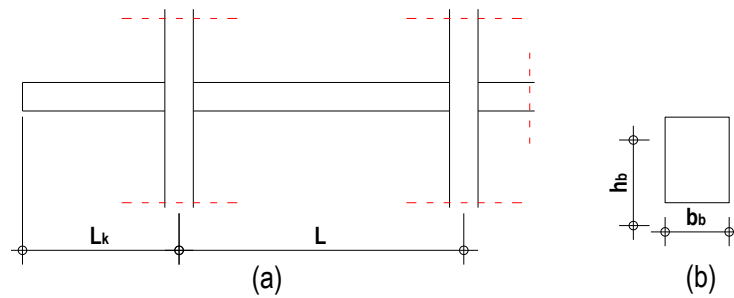
Gambar 8.51. Balok kantilever yang terbentuk pada lantai teratas (sumber : analisa).

Terbentuknya kombinasi konfigurasi ketidakberaturan massa dan geometri vertikal pada bangunan tingkat rendah dan menengah pada rencana bangunan di Kota Semarang dampak yang paling potensial terjadi akibat gempa vertikal yaitu *collapse* pada bagian kantilever.

Untuk mengurangi dampak negatif dengan terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan massa dan geometri vertikal pada bangunan, antara lain :

- Secara umum *preliminary* dimensi balok kantilever mengikuti aturan tinggi balok  $(h) = \pm 1/5 * \text{bentang kantilever } (L_k)$  dan  $h_b/b_b \leq 2$  dengan  $b_{b \text{ min}} \geq 25 \text{ cm}$  (gambar

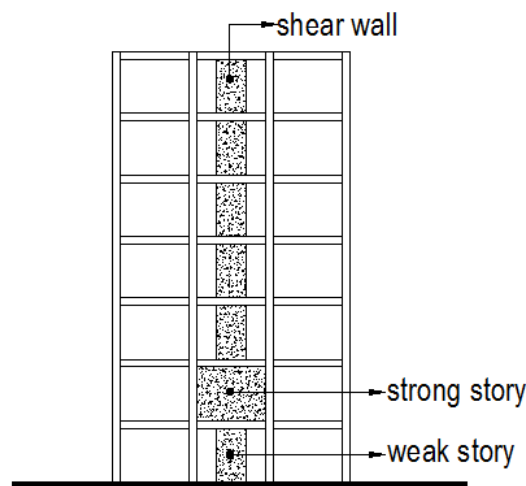
8.52b), untuk membatasi fleksibilitasnya akibat efek dinamis gempa terutama gempa vertikal (gmb. 8.52a).



Gambar 8.52. a). Panjang balok kantilever ( $L_k \leq 1/5 \cdot \text{bentang}$  struktur dibelakangnya ( $L$ ), b). Dimensi balok kantilever (sumber : analisa).

### 8.2.7. KONFIGURASI DISKONTINUITAS KETIDAKBERATURAN KUAT LATERAL TINGKAT / *WEAK STORY*

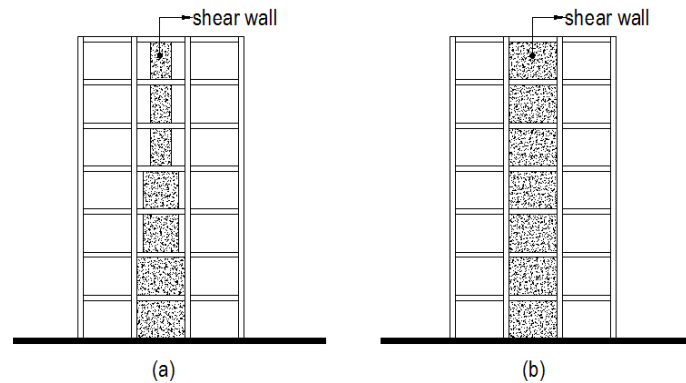
Konfigurasi diskontinuitas ketidakberaturan kuat lateral tingkat / *weak story* terjadi akibat perbedaan kekuatan elemen struktur lateral antar tingkat di dalam suatu bangunan yang dapat mengakibatkan potensi tekuk pada elemen struktur lateral yang mengalami *weak story* akibat gempa kuat. Berdasarkan analisis rencana bangunan di Kota Semarang, konfigurasi ini terbentuk akibat luasan dinding geser suatu tingkat lantai lebih besar daripada lantai tingkat dibawahnya (gambar 8.53).



Gambar 8.53. Terbentuknya *strong story* dan *weak story* pada bangunan bertingkat (sumber : analisa).

Pertimbangan desain dinding geser untuk mencegah terbentuknya *weak story* :

- Dinding geser didesain secara gradual semakin ke atas semakin berkurang dimensinya, tetapi luasannya disesuaikan berdasarkan perhitungan (gambar 8.54a).



Gambar 8.54. a). Dinding geser didesain gradual, b). Dinding geser didesain merata (sumber : analisa).

- Dinding geser didesain secara merata dari lantai bawah sampai dengan lantai teratas, tetapi tebalnya disesuaikan berdasarkan perhitungan (gambar 8.54b).

### 8.2.8. KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN PERGESERAN MELINTANG TERHADAP BIDANG & DISKONTINUITAS ARAH BIDANG

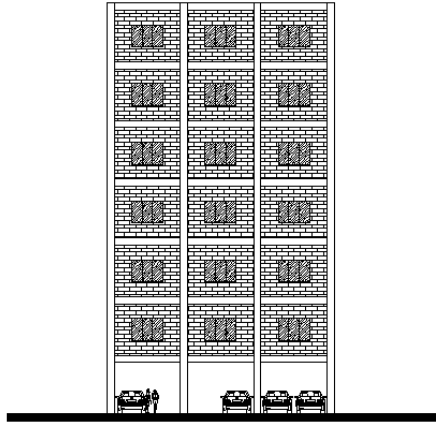
Konfigurasi ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang dan diskontinuitas arah bidang terjadi akibat distribusi kekakuan yang tidak merata dari pemasangan dinding bata pada bangunan yang dapat mengakibatkan konsentrasi tegangan pada elemen struktur, torsi, dan *soft story*.

Berdasarkan analisis rencana bangunan di Kota Semarang, konfigurasi ini terbentuk akibat mendesain lantai dasar sebagai *open plan* (terbuka) yang dimanfaatkan sebagai parkir kendaraan bermotor dan antisipasi potensi terjadinya banjir. Sebaliknya, lantai di atasnya menggunakan dinding bata di ruang-ruangnya sehingga terjadi perbedaan kekakuan yang signifikan dan dapat menyebabkan potensi terjadinya *soft story* (gambar 8.55 dan 8.56a).

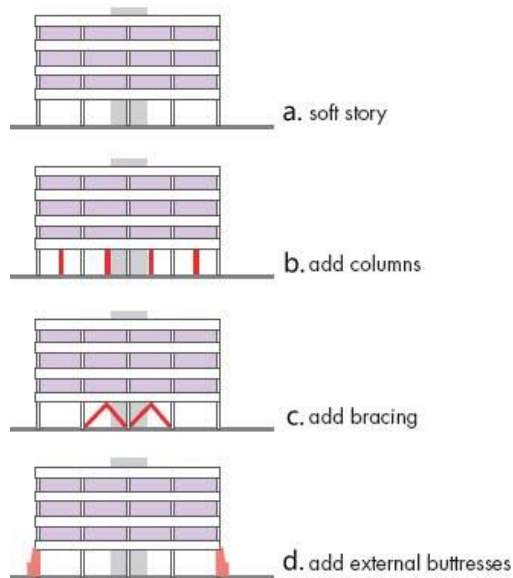
Untuk mengurangi dampak negatif dengan terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang dan diskontinuitas arah bidang pada bangunan, antara lain :

- Jika desain bangunan yang di lantai dasarnya bebas dinding. Namun, lantai atasnya memiliki dinding yang relatif masif, perkaku kolom lantai dasar dengan *bracing* (gambar 8.56b), penambahan kolom (gambar 8.56c) atau penyokong lainnya (gambar 8.56d). Dapat pula mempergunakan dinding atasnya yang memiliki kekakuan kecil seperti dinding partisi dan dinding kaca.





Gambar 8.55. Desain *open plan* pada lantai dasar yang menyebabkan potensi *soft story* (sumber : analisa).



Gambar 8.56. Beberapa konsep solusi *soft story* di lantai dasar (sumber : Arnold, 2006)

- Jika desain bangunan mempertahankan konfigurasi *soft story*, beberapa *code* menyarankan perhitungan kapasitas dari balok dan kolom ditingkatkan 2.5 kali dari perhitungan normal (Altuntop, 2007).

### 8.3. VALIDITAS DAN REABILITAS TEMUAN TAMBAHAN

#### 8.3.1. Validitas

##### 1. Dimensi kolom ( $b_c \neq h_c$ )

Tabel 8.12. Perbandingan momen inersia kolom sumbu lemah dengan dimensi kolom rasio 1 dan 0.4 (sumber : analisa).

$b_{c1}$ (m)	$h_{c1}$ (m)	$I_{c1}$ (m <sup>3</sup> )	$b_{c2}$ (m)	$h_{c2}$ (m)	$I_{c2}$ (m <sup>3</sup> )	$b_{c2}/h_{c2}$
0.5	0.5	0.005	0.32	0.79	0.002	0.40
0.6	0.6	0.011	0.38	0.95	0.004	0.40
0.7	0.7	0.020	0.44	1.11	0.008	0.40
0.8	0.8	0.034	0.51	1.26	0.014	0.40
0.9	0.9	0.055	0.57	1.42	0.022	0.40
1	1	0.083	0.63	1.58	0.033	0.40
1.1	1.1	0.122	0.70	1.74	0.049	0.40
1.2	1.2	0.173	0.76	1.90	0.069	0.40
1.3	1.3	0.238	0.82	2.06	0.095	0.40
1.4	1.4	0.320	0.89	2.21	0.128	0.40
1.5	1.5	0.422	0.95	2.37	0.169	0.40
1.6	1.6	0.546	1.01	2.53	0.218	0.40

Untuk memvalidasi rumus 8.1 akan dibandingkan dimana dimensi lebar ( $b_{c2}$ ) dan tinggi kolom ( $h_{c2}$ ) dengan rasio = 0.4 apakah berbeda secara signifikan dengan dimensi lebar ( $b_{c1}$ ) dan panjang kolom ( $h_{c1}$ ) dengan rasio = 1 (lihat tabel 8.12).

Dari uji beda satu sisi Wilcoxon *Two-Independent-Samples* dengan program SPSS menunjukkan (lihat tabel 8.13) antara momen inersia kolom ( $I_{c1}$ ) dengan dimensi  $b_{c1}$  dan  $b_{c2}$  rasio = 1 dan dengan momen inersia kolom ( $I_{c2}$ ) dengan dimensi  $b_{c1}$  dan  $b_{c2}$  rasio = 0.4 hasil signifikansinya  $0.133/2=0.067 > 0.025=0.05/2$ . Berarti tidak ada perbedaan yang signifikan atau relatif sama antara momen inersia kolom sumbu lemah dengan dimensi kolom rasio  $\geq 0.4$  dan momen inersia kolom dengan dimensi kolom rasio=1.

Tabel 8.13. Hasil uji *Wilcoxon Two-Independent-Samples* (sumber : analisa).

	bc
Mann-Whitney U	46.000
Wilcoxon W	124.000
Z	-1.501
Asymp. Sig. (2-tailed)	.133
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.143 <sup>a</sup>

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: jk

## 2. Dimensi kolom ( $b_c$ ) = ( $h_c$ )

Untuk memvalidasi grafik hubungan dimensi kolom ( $b_c$ ) dan modul struktur ( $L_x$  &  $L_y$ ) dengan membandingkannya dengan rumus *preliminary* dimensi kolom lainnya yang sering digunakan perencana struktur di Indonesia (Budiono *et al.*, 2017) yaitu :

$$A_g = \frac{P_u}{0.35 * f_c'} \text{-----(8.2)}$$

Dimana,

$A_g$  = luas kolom ( $m^2$ )

$f_c'$  = mutu beton ( $Kg/m^2$ )

$P_u$  = beban total yang bekerja pada kolom –  $1.3(1.2DL+1.6LL)$  ( $Kg$ )

Diasumsikan  $f_c'=225 \text{ kg/cm}^2$ ,  $DL=400 \text{ kg/m}^2$ ,  $LL=250 \text{ Kg/m}^2$ , jumlah lantai = 5 lantai, modul struktur  $L_x=7 \text{ m}$  dan  $L_y=7 \text{ m}$  dengan :

- Rumus 8.2 didapatkan  $A_g=0.36 \text{ m}^2$  atau lebar kolom ( $b_{c1}$ )= $0.60 \times 0.60 \text{ m}$
- Grafik 8.22 didapatkan lebar kolom ( $b_{c2}$ )= $0.61 \times 0.61 \text{ m}$

Kemudian dibuat jumlah lantai dan modul struktur yang berbeda-beda didapatkan dimensi kolom  $b_{c1}$  dan  $b_{c2}$  sebagaimana tabel 8.14.

Tabel 8.14. Perbandingan dimensi kolom  $b_{c1}$  dan  $b_{c2}$  (sumber : analisa).

n (Jumlah Lt)	Lx (m)	Ly (m)	Ag (m2)	$b_{c1}$ (m)	$b_{c2}$ (m)
5	7	7	0.36	0.60	0.61
6	7	7	0.43	0.65	0.66
7	7	7	0.50	0.71	0.71
8	7	7	0.57	0.75	0.76
9	7	7	0.64	0.80	0.81
10	7	7	0.71	0.84	0.85
5	8	8	0.46	0.68	0.69
6	8	8	0.56	0.75	0.76
7	8	8	0.65	0.81	0.82
8	8	8	0.74	0.86	0.87
9	8	8	0.84	0.91	0.93
10	8	8	0.93	0.96	0.98
5	9	9	0.59	0.77	0.78
6	9	9	0.71	0.84	0.85
7	9	9	0.82	0.91	0.92
8	9	9	0.94	0.97	0.98
9	9	9	1.06	1.03	1.04
10	9	9	1.18	1.08	1.10

Penentuan dimensi kolom dengan 2 cara diatas menghasilkan dimensi yang sedikit berbeda. Untuk mengetahui apakah perbedaan dimensi  $b_{c1}$  dan  $b_{c2}$  di tabel 8.14, berbeda secara signifikan atau tidak maka dilakukan uji Wilcoxon *Two-Independent-Samples*.

Tabel 8.15. Hasil uji Wilcoxon *Two-Independent-Samples* (sumber : analisa).

	bc
Mann-Whitney U	151.000
Wilcoxon W	322.000
Z	-.348
Asymp. Sig. (2-tailed)	.728
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.743 <sup>a</sup>

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: JK

Dari uji Wilcoxon *Two-Independent-Samples* dengan program SPSS menunjukkan antara dimensi  $b_{c1}$  dan  $b_{c2}$ , hasil signifikansinya  $0.728 > 0.05$  (tabel 8.15) berarti tidak ada perbedaan yang signifikan atau relatif sama penentuan dimensi kolom dengan cara grafik hubungan dimensi kolom ( $b_c$ ) dan modul struktur ( $L_x$  &  $L_y$ ) (gambar 8.22) dan dengan cara rumus beban total dan mutu beton kolom (rumus 8.2).

### 8.3.2. Reliabilitas

#### 1. Dimensi kolom ( $b_c$ ) $\neq$ ( $h_c$ )

Untuk mengukur reliabilitas rumus 8.1 dengan mengkorelasikan  $I_{c2}$  dengan  $I_{c1}$  yang diasumsikan sebagai test paralelnya (lihat tabel 8.12). Nilai  $I_{c1}$  dan  $I_{c2}$  dari tabel 8.12 di atas di *input* ke dalam *software* statistik SPSS, selanjutnya dianalisis dengan uji korelasi *Spearman* dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 8.16. Dari tabel 8.16 koefisien reliabilitas antara  $I_{c2}$  dan  $I_{c1}$  yaitu 1.0. Maka konsistensi antara  $I_{c2}$  dan  $I_{c1}$  hasil analisisnya sangat baik.

Tabel 8.16. Hasil korelasi Spearman antara  $I_{c2}$  dan  $I_{c1}$  (sumber : analisa)

Correlations				
			lc1	lc2
Spearman's rho	lc1	Correlation Coefficient	1.000	1.000**
		Sig. (1-tailed)	.	.
		N	12	12
	lc2	Correlation Coefficient	1.000**	1.000
		Sig. (1-tailed)	.	.
		N	12	12

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

#### 2. Dimensi kolom ( $b_c$ ) = ( $h_c$ )

Untuk mengukur reliabilitas grafik hubungan dimensi kolom ( $b_c$ ) dan modul struktur ( $L_x$  &  $L_y$ ) (gmb. 8.22) dengan mengkorelasikan  $b_{c2}$  dengan  $b_{c1}$  yang diasumsikan sebagai test paralelnya (lihat tabel 8.14). Nilai  $b_{c1}$  dan  $b_{c2}$  dari tabel 8.14 di atas di *input* ke dalam *software* statistik SPSS, selanjutnya dianalisis dengan uji korelasi *Spearman* dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 8.17. Dari tabel 8.17 koefisien reliabilitas antara  $b_{c2}$  dan  $b_{c1}$  yaitu 0.999. Maka konsistensi antara  $b_{c2}$  dan  $b_{c1}$  hasil analisisnya sangat baik.

Tabel 8.17. Hasil korelasi Spearman antara  $b_{c2}$  dan  $b_{c1}$  (sumber : analisa)

			bc1	bc2
Spearman's rho	bc1	Correlation Coefficient	1.000	.999**
		Sig. (2-tailed)	.	.000
		N	18	18
	bc2	Correlation Coefficient	.999**	1.000
		Sig. (2-tailed)	.000	.
		N	18	18

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

## BAB IX. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

### 9.1. RINGKASAN TEMUAN

Dalam penelitian ini didapatkan **2 temuan utama** SVA Desain Arsitektur yaitu **(1). Temuan metode evaluasi kerentanan bangunan struktur rangka pemikul momen terhadap gempa, (2). Temuan metode evaluasi kerentanan bangunan struktur rangka pemikul momen dan dinding geser terhadap gempa.**

Penemuan utama SVA Desain Arsitektur didapatkan dari proses adaptasi SVA retrofit JBDPA dan Seki yaitu :

1. SVA JBDPA dan Seki pada prinsipnya struktur aman jika indeks kapasitas gempa struktur  $\geq$  indeks beban gempa.
2. Adaptasi SVA *retrofit* JBDPA dan Seki menjadi SVA Disain Arsitektur pada penelitian ini bahwasanya indeks kapasitas gempa struktur adalah indeks gempa dasar struktur dan indeks ireguleritas. Variabel-variabel dalam indeks gempa dasar struktur diadopsi dari teori “Evaluasi Cepat Sistem Rangka Pemikul Momen Tahan Gempa Sesuai SNI 03-2847-2002 dan SNI 03-1726-2002”. Indeks gempa dasar struktur terdiri dari variabel-variabel indeks dimensi kolom dan/atau dinding geser, indeks kekakuan kolom dan/atau dinding geser, indeks kolom kuat/balok lemah, indeks redundansi, dan indeks daktilitas struktur.
3. Sedangkan variabel-variabel indeks ireguleritas diadopsi dari teori “Horizontal and Vertical Structural Irregularities” dari FEMA 451B.
4. Untuk indeks beban gempa adalah perkalian indeks respon seismik dan faktor keutamaan fungsi bangunan.

Setelah metode SVA Disain Arsitektur didapatkan dan di validasi dengan uji Wilcoxon *Two-Related-Samples* dengan 10 hasil analisa *pushover* dengan hasil yang baik. Kemudian SVA Desain Arsitektur di aplikasikan pada 8 rencana bangunan yang ada di Semarang dan berasal dari Izin Mendirikan Bangunan (IMB) Dinas Tata Ruang Kota Semarang. Dari hasil evaluasi didapatkan kelemahan-kelemahan disain dan dari kelemahan-kelemahan tersebut dibuat **guidance-nya** yaitu :

1. Proses *form finding* yg lebih tahan gempa.
2. Pengaturan dimensi balok/kolom dan kelangsingan kolom berdasarkan konsep *strong column-weak beam*.

3. Mengatasi kolom pendek dengan pengaturan jendela dan mengatasi kolom langsing dengan pengaturan di struktur bangunan;
4. Pengaturan letak dinding geser pada bentuk reguler berdasarkan pertimbangan kekakuan struktur, mekanikal elektrikal dan sirkulasi;
5. Mengatasi ireguleritas sudut dalam dengan dilatasi dan pengaturan dinding geser;
6. Mengatasi ireguleritas berat dan geometri vertikal dengan pengaturan *preliminary* dimensi balok kantilever;
7. Mengatasi *weak story* dengan pengaturan dimensi dinding geser secara gradual atau merata; dan
8. Mengatasi *soft story* akibat perbedaan kepadatan dinding bata.

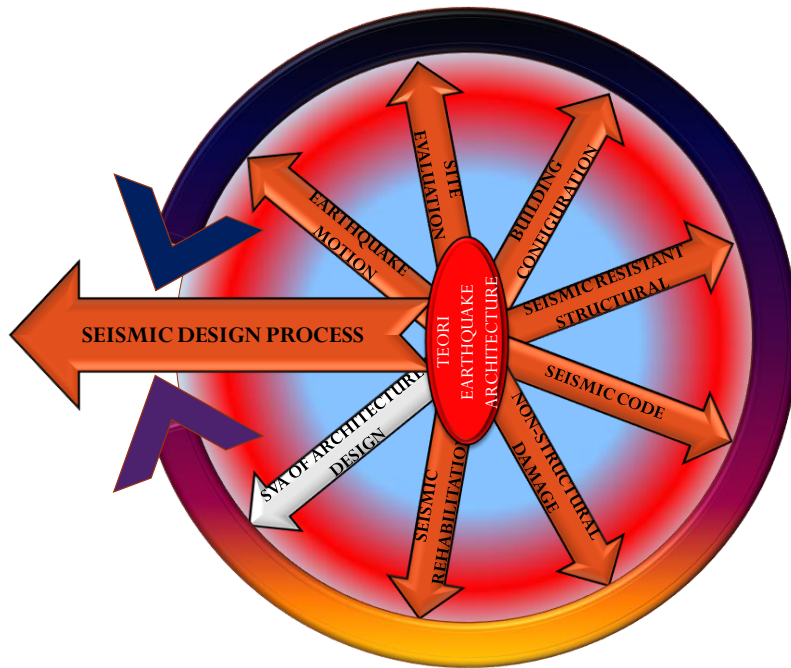
Dari proses *guidance* didapatkan **2 temuan tambahan** yaitu **(1). Temuan penentuan dimensi kolom yang lebar dan tingginya berbeda berdasarkan rasio modul struktur, (2). Temuan penentuan dimensi kolom yang lebar dan tingginya yang sama berdasarkan grafik hubungan dimensi kolom dan dimensi struktur.**

Kemudian kedua temuan di uji validitasnya dengan uji Wilcoxon *Two-Independent-Samples* dengan hasil kedua temuan validitasnya cukup baik dan dari uji reliabilitas korelasi *Spearman* kedua temuan tersebut hasil konsistensinya juga sangat baik.

## **9.2. KONTRIBUSI PENGETAHUAN TEORITIK DAN PRAKTIS**

### **9.2.1. KONTRIBUSI TEORITIK**

Sebagaimana yang dijelaskan di awal bahwa adaptasi teori SVA JBDPA dan SVA Seki menjadi SVA Desain Arsitektur pada penelitian ini termasuk dalam rumpun keilmuan *Earthquake Architecture*. Teori *Earthquake Architecture* diadaptasi, *adjustment*, dan diadopsi dari Teori *Basic Seismic Engineering*. Pada umumnya, *Earthquake Architecture* membahas teori mengenai pergerakan gempa dan efeknya pada bangunan, pemilihan site di zona gempa, konfigurasi bangunan, sistem struktur tahan gempa, regulasi/*code* perancangan bangunan tahan gempa, kerusakan non-struktural, rehabilitasi seismik/*retrofit* bangunan eksisting, dan proses desain bangunan tahan gempa. Metode evaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa dalam proses desain arsitektur belum dibahas dalam teori-teori tersebut, sehingga SVA Desain Arsitektur bisa mengisi kekosongan teori tersebut dan memperkaya teori *Earthquake Architecture* (lihat gambar 9.1).

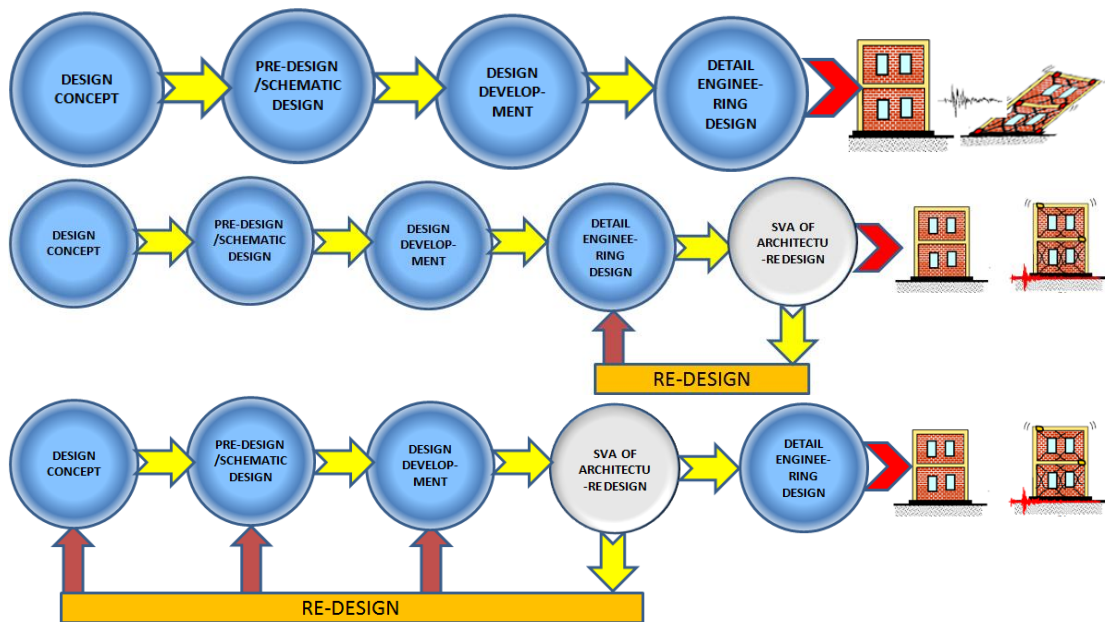


Gambar 9.1. Kontribusi teoritis SVA Disain Arsitektur dalam rumpun keilmuan *Earthquake Architecture* (sumber : analisa)

### 9.2.2. KONTRIBUSI PRAKTIS

Pada umumnya, dalam proses perancangan bangunan, arsitek tidak pernah tahu seberapa rentan rancangannya terhadap gempa dan menyerahkan sepenuhnya penanganannya kepada *civil engineering*. Bukti empirik memperlihatkan pola perencanaan seperti ini kurang efektif dalam menciptakan bangunan tahan gempa. Dengan metode SVA Desain Arsitektur, kerentanan bangunan dapat diketahui arsitek dalam proses desain terutama pada tahap *design development*/pengembangan desain dan *detail engineering design* (lihat gambar 9.2). Dengan demikian, arsitek dapat mengetahui penyebabnya, antara lain:

- Mengetahui penyebab kerentanan apakah dari faktor struktur, arsitektur atau kombinasi keduanya.
- Mengetahui faktor-faktor kerentanan, dan dari faktor-faktor tersebut arsitek dapat memprediksi kerentanan hasil desainnya terhadap gempa yaitu rusak ringan, rusak sedang atau rusak berat.
- Melakukan *re-design* sebagai kontrol hasil desainnya, di mana ireguleritas masih bisa ditoleransi atau di mana ireguleritas tidak boleh berlebihan.



Gambar 9.2. Kontribusi praktis SVA Disain Arsitektur dalam proses perancangan (sumber : analisa)

### 9.3. REKOMENDASI

#### 9.3.1. REKOMENDASI TEORITIS

1. SVA Disain Arsitektur merupakan prosedur penilaian kerentanan bangunan bermaterial beton terhadap gempa pada bangunan bertingkat maksimum  $\pm 10$  lantai, sehingga jika digunakan dalam menilai kerentanan bangunan bermaterial baja bertingkat maksimum  $\pm 10$  lantai perlu dilakukan pengecekan ulang pada parameter struktur dan parameter konfigurasi geometri apakah masih sesuai dengan perilaku bangunan baja pada saat terjadi gempa kuat.
2. SVA Desain Arsitektur dapat juga dikembangkan dalam menilai kerentanan bangunan *highrise* ( $> 10$  lantai) atau bangunan khusus seperti bangunan berbentuk lebar, misalnya stadion yang mungkin perlu dilakukan modifikasi pada parameter struktur dan konfigurasi geometri sehingga sesuai dengan perilaku bangunan berbentuk lebar atau bangunan *high rise* pada saat terjadi gempa kuat.

#### 9.3.2. REKOMENDASI PRAKTIS

1. Dengan adanya aturan bahwa rencana bangunan  $> 4$  lantai di setiap kota, kabupaten, dan provinsi harus dinilai dan dievaluasi kelayakannya oleh TABG masing-masing kota, kabupaten, dan provinsi. Terutama yang berada di zona rawan gempa. Metode SVA Desain Arsitektur dapat membantu tugas, khususnya



tenaga ahli arsitek dalam menilai kelayakan rencana bangunan tersebut dari sisi kerentanannya terhadap gempa selain syarat-syarat kelayakan teknis lainnya.

2. SVA Desain Arsitektur pada penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut menjadi *software* yang aplikatif sehingga bisa digunakan sehari-hari oleh arsitek dalam proses desain.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidi, M. and Madhuri, M. (2012) ‘Review on Shear Wall for Soft Story High-Rise Buildings’, *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 1(6), pp. 52–54.
- Allen, M. P. and Tildesley, D. J. (2017) *Computer simulation of liquids*. Oxford university press.
- Altuntop, M. A. (2007) *Analysis of Building Structures with Soft Stories [Master thesis]*. Atilim University.
- Alwashali, H. and Maeda, M. (2012) ‘Study of Seismic Evaluation Methods Of RC Buildings With Masonry Infill Walls ; A Case Study of Building in Jordan’, in Japan Association for Earthquake Engineering (JAEE) (ed.) *International Symposium on Earthquake Engineering, JAEE, Vol.1*. Tokyo: JAEE, pp. 497–506.
- Arnold, C. (1996) ‘Architectural Aspects of Seismic Resistant Design’, in *Eleventh World Conference on Earthquake Engineering*. Elsevier Science Ltd.
- Arnold, C. (2001) ‘Architectural Considerations’, in Naeim, F. (ed.) *The Seismic Design Handbook*. Boston, MA: Springer US. doi: 10.1007/978-1-4615-1693-4.
- Arnold, C. (2006) ‘Seismic Issues In Architectural Design’, in *Designing For Earthquakes A Manual For Architects - FEMA 454*. California: Engineering Research Institute (EERI).
- Arnold, C. and Stewart, W. W. (2000) ‘Seismic Analysis and Design’, in AIA (ed.) *The Architects Handbook of Professional Practice*. 13th editi. New Jersey: John Wiley & Sons Inc., pp. 1–7.
- Arya, A. S. (2014) *Guidelines Rapid Visual Screening (RVS) of Building of Masonry and Reinforced as Prevalent in India*. New Delhi: Building Material & Technology Promotion Council Ministry of Housing & Urban Poverty Alleviation Government of India.
- Asroni, A. (2010) *Balok Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Azwar, S. (2001) *Reliabilitas dan Validitas*. 3th edn, Yogyakarta: Pustaka

*Pelajar*. 3th edn. Jakarta: Pustaka Pelajar.

- Bachmann, H. (2003) *Seismic Conceptual Design of Buildings – Basic principles for engineers, architects, building owners, and authorities*. Swiss: Vertrieb Publikationen.
- BIS (2002) *Criteria for Earthquake Resistant Design of Structures Part 1 General Provisions and Buildings - IS 1893( Part 1 ):2002*. New Delhi: Bureau of Indian Standards (BIS).
- Bisch, P. *et al.* (2012) *Eurocode 8: Seismic Design of Buildings Worked examples*. Luxembourg: doi: 10.2788/91658.
- Boen, T. (2006) *The Yogya Earthquake 27 May 2006, Structural Damage Report*.
- Boen, T. (2007a) *Bengkulu & West Sumatra Earthquakes, September 12, 2007, Structural Damage Report*.
- Boen, T. (2007b) 'West Sumatra Earthquake, 6 March 2007, Structural Damage Report', in HAKI (ed.) *Konstruksi Tahan Gempa Indonesia*. Jakarta: HAKI, pp. 1–30.
- Boen, T., Arya, A. S. and Ishiyama, Y. (2014) *Guidelines for Earthquake Resistant Non-Engineered Construction*. UNESCO.
- Bolt, B. and Dreger, D. (2006) 'Nature of Earthquake and Seismic Hazards', in *Designing For Earthquakes A Manual For Architects - FEMA 454*. California: Engineering Research Institute (EERI).
- BSN (2012) *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung - SNI 1726 : 2012*. Jakarta: Badan Standar Nasional.
- BSN (2013) *Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain-SNI 1727:2013*. Jakarta: Badan Standar Nasional.
- Budiono, B. *et al.* (2017) *Contoh Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Dinding Struktur Khusus Di Jakarta*. Bandung: Penerbit ITB.
- Bungin, H. . B. (2009) *Metodelogi Penelitian Kuantitatif*. Jakarta: Kencana Prenada Media Group.
- Charleson, A. (2008) *Seismic Design for Architects*. New York: Architectural Press.

- Ching, F. D. K. (2008) *Arsitektur, Bentuk, Ruang dan Tatahanan*. Jakarta: Erlangga.
- Ching, F. D. K., Jarzombek, M. and Prakash, V. (2011) *A Global History of Architecture*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Chopra, A. K. (2001) *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Clark-Carter, D. (2004) *Quantitative Psychological Research - A Student's Handbook*. New York: Psychology Press.
- Çögürçü, M. T. (2015) 'Construction And Design Defects In The Residential Buildings And Observed Earthquake Damage Types In Turkey', *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3(C187–C187), pp. 1–26.
- Cohen, J. (1988) *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Earlbaum Associates.
- Creswell, J. W. (2010) *Research design: pendekatan kualitatif, kuantitatif, dan mixed*. Translated by A. Fawaid. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Dirgantari, W. and Wahyuni, E. (2014) 'Studi Assessment Kerentanan Gedung Beton Bertulang Terhadap Beban Gempa Dengan Menggunakan Metode Pushover Analysis', *ITS Library*. Surabaya, pp. 1–6.
- DPU Dirjen Cipta Karya (2007) *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 26 Tentang Pedoman Tim Ahli Bangunan Gedung (TABG)*. Indonesia.
- Earthquake Research Departement (2007) *Turkish Earthquake Code (TEC)*. General Directorate of Minister Affairs.
- Elnashai, A. S. *et al.* (2006) *The Yogyakarta Earthquake of May 27, 2006*.
- Elnashai, A. S. and Sarno, L. Di (2008) *Fundamentals of Earthquake Engineering*. West Sussex UK: John Wiley & Sons, ltd.
- Ersoy, U. (2013) 'A Simple Approach for Preliminary Design of Reinforced Concrete Structures to be Built in Seismic Regions', *Teknik Dergi*, 24(4), pp. 6559–6574.
- FEMA (1997) *Nehrp Guidelines For The Seismic Rehabilitation Of Buildings-FEMA 273*. Washington DC: Federal Emergency Management Agency (FEMA).
- FEMA (2007) *NEHRP Recommended Provisions for New Buildings and Other Structures: Training and Instructional Materials-FEMA 451B*.

Washington DC: Federal Emergency Management Agency (FEMA).

- FEMA (2010) *Earthquake-Resistant Design Concepts An Introduction to the NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures-FEMA P-749*. Washington DC: Federal Emergency Management Agency (FEMA).
- FEMA (2012a) *Reducing the Risk of Nonstructural Earthquake Damage-Practical Guide-FEMA E74*. Washington DC: Federal Emergency Management Agency (FEMA).
- FEMA (2012b) *Seismic Performance Assessment of Buildings-FEMA P-58/ATC 58*. Washington DC: Federal Emergency Management Agency (FEMA).
- FEMA (2015) *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: Supporting Documentation-FEMA 155*. Washington DC: Federal Emergency Management Agency (FEMA).
- Ghozali, I. (2002) *Statistik Non-Parametrik: Teori dan Aplikasi dengan Program SPSS, Universitas Diponegoro. Semarang*.
- Groat, L. and Wang, D. (2013) *Architectural Research Methods*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Guevara, L. T. and Garcí a, L. E. (2005) ‘The Captive-and Short-Column Effects’, *Earthquake Spectra*, 21(1), pp. 141–160.
- Haryanto, Y., Sudiby, G. H. and Wariyatno, N. G. (2012) ‘Kinerja Model Struktur Gedung Lima Lantai Pada Kondisi Tanah Keras Di Wilayah Banyumas Akibat Beban Gempa SNI 03-1726-2002 Dan SNI 03-1726-2012’, *Dinamika Rekayasa*, 11(2), pp. 80–84.
- Hoedajanto, D. and Riyansyah, M. (2015) ‘Bangunan Tahan Gempa dan Tanggung Jawab Legal Praktisi Konstruksi Indonesia’, in Sukamta, D. and Et.al. (eds) *Challenges in the Future*. Jakarta: HAKI, pp. 1–10.
- IAI (2007) *Pedoman Hubungan Kerja Antara Arsitek Dengan Pengguna Jasa*. Jakarta: Badan Sistem Informasi Arsitektur Ikatan Arsitek Indonesia.
- ICC (2000) *International Building Code-IBC2000*. California: International Conference of Building Officials.
- Idham, N. C. (2011) *Seismic Vulnerability Assessment In Vernacular Houses: The Rapid Visual Screening Procedure for Non Engineered Building with Application to Java Indonesia [PhD thesis]*. Eastern Mediterranean

University.

- Imran, I. and Hendrik, F. (2010) *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*. Bandung: Institut Teknologi Bandung (ITB).
- Irsyam, M. *et al.* (2010) 'Development Of Seismic Hazard Maps Of Indonesia For Revision Of Hazard Map In SNI 03-1726-2002', in *Seminar HAKI*.
- Irsyam, M. and Et.al. (2010) *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010-Sebagai Acuan Dasar Perencanaan Dan Perancangan Infrastruktur Tahan Gempa*. Jakarta: Kementrian Pekerjaan Umum.
- Ishiyama, Y. (2011) 'Introduction to Earthquake Engineering and Seismic Codes in the World', *Hokkaido University, Hokkaido, Japan*.
- Ismail, F. A., Hakam, A. and Fauzan (2011) 'Kerusakan Bangunan Hotel Bumi Minang Akibat Gempa Padang 30 September 2009', *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 18(No. 2), pp. 119–125.
- JIA and JASO (eds) (2012) *Earthquake-Resistant Building Design for Architects*. Japan: Takhesi Goto.
- Juwana, J. S. (2005) *Panduan Sistem Bangunan Tinggi*. Jakarta: Erlangga.
- K.Kertapati, E., Sukahar and Saputra, E. A. (2010) 'Studi Seismotektonik Daerah Muria Untuk Kelayakan & Keselamatan Rencana Pusat Listrik Reaktor Daya Plrd - Ujung Lemah Abang - Ula - Jepara - Jawa Tengah', in *Perkembangan dan Kemajuan Konstruksi Indonesia*. Jakarta: HAKI, pp. 1–15.
- Ledder, G. (2013) *Mathematics for the Life Sciences*. New York, NY: Springer New York (Springer Undergraduate Texts in Mathematics and Technology). doi: 10.1007/978-1-4614-7276-6.
- Linn, W. P. and Tajiri, S. (2013) 'Modified Seismic Evaluation Method for Reinforced Concrete Buildings in Myanmar', *Bulletin of IISEE*. Edited by IISEE. Tsukuba Japan, 47.
- Lumantarna, B., Gunawan, I. and Wijaya, E. (2004) 'Keandalan Analisa Pushover Untuk Meramal Prilaku Seismik Nonlinier Struktur Portal Terbuka Dengan Reentrant Corner', *Civil Engineering Dimension*, 6(1), p. pp--1.
- Madutujuh, N. (2015) 'Effects of Horizontal and Vertical Earthquake Accelerations to Rooftop Pool During Medium Earthquake', in Sukamta,

D. and Et.al. (eds) *Challenges in the Future*. Jakarta: HAKI, pp. 1–10.

- Maidiawati *et al.* (2011) *Guideline for low rise wall type structures*.
- Maidiawati (2013) *Modeling of Brick Masonry Infill for Seismic Performance Evaluation of RC Frame Buildings [Doctoral thesis]*. Toyohashi University of Technology.
- Miranda, B. *et al.* (2012) ‘Torsional Considerations in Building Seismic Design’, in NZSEE (ed.) *Implementing lessons learnt*. Wellington: New Zealand Society for Earthquake Engineering Incorporated, p. 55.
- Moon, D. S. (2012) *Integrated Seismic Assessment And Design Of Plan [PhD thesis]*. University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Morales, J. M. H. and Sugano, S. (2013) ‘Improvement of Dominican Guideline for Post-Earthquake Evaluation of Buildings’, *Bulletin of IISEE*. Edited by IISEE. Tsukuba Japan, 47, pp. 67–72.
- Murty, C. V. R. *et al.* (2006) *AT RISK: The Seismic Performance of Reinforced Concrete Frame Buildings with Masonry Infill Walls*. California: Earthquake Engineering Research Institute (EERI).
- Murty, C. V. R. *et al.* (2012) *Some Concepts in Earthquake Behaviour of Buildings*. Gujarat: Gujarat State Disaster Management Authority Government of Gujarat.
- N Aisyah, S. and Megantara, Y. (2011) ‘Pemodelan Struktur Bangunan Gedung Bertingkat Beton Bertulang Rangka Terbuka Simetris di Daerah Rawan Gempa Dengan Metoda Analisis Pushover’, in Ibrahim, E. *et al.* (eds) *Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3*. Palembang: Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, pp. 218–233.
- Nasution, S. (1995) *Metode research (penelitian ilmiah): usul tesis, desain penelitian, hipotesis, validitas, sampling, populasi, observasi, wawancara, angket*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Nawy, E. G. (1998) *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Translated by B. Suryoatmono. Bandung: PT. Refika Aditama.
- Neuman, L. W. (2014) *Social research methods: Qualitative and quantitative approaches*. 7th edn. London: Pearson Education Limited. doi: 10.1234/12345678.
- NRC-CNRC (1993) *MANUAL FOR SCREENING OF BUILDINGS FOR*

*SEISMIC INVESTIGATION*. Vancouver: National Research Council of Canada.

- NZSEE (2006) *Assessment and Improvement of the Structural Performance of Buildings in Earthquakes*. Wellington: New Zealand Society for Earthquake Engineering (NZSEE).
- Okada, T. *et al.* (eds) (2005) *Guidelines for Seismic Retrofit of Existing Reinforced Concrete Buildings*. Tokyo: The Japan Building Disaster Prevention Association (JBDPA).
- Partono, W. (2015) *Pembuatan Peta Mikrozonasi Gempa Kota Semarang Melalui Pengembangan Program Seismic Hazard dengan Mempertimbangkan Kondisi Fragility Bangunan [Doctor tesis]*. Universitas Diponegoro Semarang.
- Partono, W. *et al.* (2017) ‘Sensitivity Analysis of Tall Buildings in Semarang, Indonesia Due to Fault Earthquakes with Maximum 7 Mw’, in UNSRI and UTM (eds) *International Conference on Construction and Building Engineering (ICONBUILD 2017)*. Palembang: University of Sriwijaya, pp. 1–32.
- Paudyal, Y. R. *et al.* (2010) ‘Rapid Visual Seismic Vulnerability Assesment Tool for Kathmandu Valley, Nepal’. Available at: <http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00550/2010/16-03-0022.pdf>.
- Paulay, T. and Priestley, M. (1992) *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. Canada: John Wiley & Sons.
- Pawirodikromo, W. (2007) ‘Kerusakan Bangunan Pada Gempa Yogyakarta 27 Mei 2006 : Akibat Kebelum Jelasan Code, Sosialisasi atau Pelaksanaan ?’, in HAKI (ed.) *Konstruksi Tahan Gempa Indonesia*. Jakarta: HAKI, pp. 1–17.
- Pawirodikromo, W. (2012) *Seismologi Teknik dan Rekaya Kegempaan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Penelis, G. G. and Kappos, A. J. (1997) *Earthquake Resistant Concrete Structures*. London: E & FN SPON.
- Penelis, G. G. and Penelis, G. G. (2014) *Concrete Buildings in Seismic Regions*. Florida: CRS Press.
- Perez, L. T. G. (2012) “Soft Story” and “Weak Story” in Earthquake Resistant



Design: A Multidisciplinary Approach', in NICEE (ed.) *15th World Conference on Earthquake Engineering*. Lisboa: National Information Centre of Earthquake Engineering (NICEE).

- Pranata, Y. A. (2006) 'Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan Pushover Analysis (Sesuai ATC-40, FEMA 356 Dan FEMA 440)', *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 3(No.1), p. 41 to 52.
- Purwono, R. (2007) *Evaluasi Cepat Sistem Rangka Pemikul Momen Tahan Gempa Sesuai SNI 03-2847-2002 dan SNI 03-1726-2002*. Surabaya: Itspress.
- Ramly, N. *et al.* (2014) 'Rapid Visual Screening Method for Seismic Vulnerability Assessment of Existing Buildings in Bukit Tinggi, Pahang, Malaysia', in *Advances in Civil, Structural and Mechanical Engineering*. Institute of Research Engineers and Doctors, pp. 1–4.
- Revelle, W. and Condon, D. M. (2014) 'Reliability', in Irwing, P., Booth, T., and Hughes, D. (eds) *Handbook of Psychometric Testing*. Wiley-Blackwell.
- Risdanareni, P., Tavio and Subekti, A. (2009) 'Analisis Pengaruh Variasi Hubungan Tegangan Regangan Beton dan Bentang Bangunan Terhadap Kinerja Struktur Rangka Tiga Dimensi dengan Metode Nonlinear Statik Pushover', in *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah*. Surabaya: ITS, pp. 61–67.
- Runeson, P. *et al.* (2012) *Case study research in software engineering: Guidelines and examples*. John Wiley & Sons.
- Saradj, F. M. (2008) 'SEISMIC ISSUES IN THE DESIGN PROCESS THE ROLE OF ARCHITECT IN SEISMIC SAFETY ISSUES IN THE DESIGN PROCESS', *IUST International Journal of Engineering Science*, 19(6), pp. 9–20.
- Sarkisian, M. (2012) *Designing Tall Buildings Structure As Architecture*. New York: Routledge Taylor & Francis Group.
- Schueller, W. (1989) *Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi*. Bandung: PT Eresco.
- Seki, M. (2015) 'A Proposal on the Simplified Structural Evaluation Method for Existing Reinforced Concrete Buildings Based on the Japanese Seismic Evaluation Standard vis-a-vis the International Seismic Code', *Journal of*

*Earthquake Science and Engineering*, 2(1), pp. 14–24.

- Seki, M. and Islam, M. R. (2015) *A Proposal on the Simplified Structural Evaluation Method for Existing Reinforced Concrete Buildings in Bangladesh, Global Shelter Cluster*. Available at: [www.sheltercluster.org](http://www.sheltercluster.org) (Accessed: 15 August 2016).
- Semnani, S. J., Rodgers, J. E. and Burton, H. V. (2014) *Conceptual Seismic Design Guidance for New Reinforced Concrete Framed Infill Buildings*.
- Setiawan, E. (2012) *Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) Edisi III, Jakarta: Balai Pustaka*.
- Sinha, R. and Goyal, A. (2004) ‘A National Policy for Seismic Vulnerability Assessment of Buildings and Procedure for Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Vulnerability’, [http://www.civil.iitb.ac.in/~rsinha/Vulnerability\\_Assessment.pdf](http://www.civil.iitb.ac.in/~rsinha/Vulnerability_Assessment.pdf).
- Slak, T. and Kilar, V. (2008) ‘Assessment of Earthquake Architecture as a Link between Architecture and Earthquake Engineering’, *Prostor (Zagreb)*, 2(36), pp. 154–167.
- Slak, T. and Kilar, V. (2012) ‘Parameterization and Evaluation of Seismic Resistance within the Context of Architectural Design’, *Modern Applied Science*, 6(7). doi: 10.5539/mas.v6n7p17.
- Soni, A. G., Agrawal, D. G. and Pande, A. M. (2015) ‘Effect of Irregularity on buildings and their Consequences’, *International Journal of modern Trends in Engineering and Research*, 2(4), pp. 14–21.
- Sudarman *et al.* (2014) ‘Analisis Pushover Pada Struktur Gedung Bertingkat’, *Jurnal Sipil Statik*, 2(4), pp. 201–213.
- Sultan, M. A. (2016) ‘Evaluasi Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan Analisa Pushover’, *SIPILsains*, 6(11), pp. 1–8.
- Suprpto, K. and Sudarto, S. (2009) ‘Evaluation of Performance of Asymmetrically Dual System Structures Using Pushover and Time History Analyses’, *Journal of Civil Engineering*, 29(1), pp. 36–45.
- Tabeshpour, M. R., Azad, A. and Golafshani, A. A. (2012) ‘Seismic Behavior and Retrofit of Infilled Frames’, in *Earthquake-Resistant Structures - Design, Assessment and Rehabilitation*. InTech. doi: 10.5772/28579.
- Taranath, B. S. (1988) *Structural Analysis and Design of Tall Buildings*. NY

Mcgraw-hill.

- Taranath, B. S. (2005) *WIND and EARTHQUAKE RESISTANT BUILDINGS STRUCTURAL ANALYSIS AND DESIGN*. New Jersey: Marcel Dekker.
- Taranath, B. S. (2010) *Reinforced Concrete Design of Tall Buildings*. Florida: CRS Press.
- Teddy, L. (2015) *Identifikasi Ketahanan Konfigurasi Bangunan Terhadap Gempa (Studi Kasus : Rumah Sakit Swasta 10 Lantai Di Palembang)*. Semarang.
- Teddy, L., Hardiman, G. and Nuroji (2016a) 'Behavior Identification of Subtractive Transformation in Building Design Process Against Earthquake', in Ohgai, A. (ed.) *The 10th International Symposium on City Planning and Environment Management in Asian Countries*. Gowa: Asian Urban Research Group Kyushu University, pp. 221–225.
- Teddy, L., Hardiman, G. and Nuroji (2016b) 'The Application of Rapid Visual Analysis (RVS) in Architectural Process as Support Disaster Resilient in Indonesia', in Swasto, D. F. and Hidayati, I. (eds) *Inclusive Space Enriching Culture-3rd Biennale ICIAP International Conference on Indonesia Architecture and Planning*. Yogyakarta: Architecture & Planning Dept, Engineering Faculty, Gajah Mada University.
- *Undang-Undang No. 18 tentang Jasa Konstruksi* (1999).
- *Undang-Undang No. 28 tentang Bangunan Gedung* (2002). Indonesia.
- Wangsadinata, W. (2009) 'Arsitektur Sebagai Seni Struktur', in Budihardjo, E. (ed.) *Pengaruh Budaya dan Iklim Dalam Perancangan Arsitektur*. Bandung: PT. Alumni.
- Wiryanto, D. (2005) 'Evaluasi Kinerja Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover', in *Civil Engineering National Conference : Sustainability Construction & Structural Engineering Based on Professionalism*. Semarang: Unika Soegijapranata, p. 1 to 28.
- Yin, R. (2013) *Studi Kasus Desain dan Metode, PT Raja Grafindo Persada*. Translated by M. D. Mudzakir. Jakarta: .