

LAPORAN AKHIR
PENELITIAN DISERTASI DOKTOR



SIMPLIFIED VULNERABILITY ANALYSIS (SVA) PRELIMINARY DESIGN
STRUKTUR RANGKA DALAM PROSES DISAIN ARSITEKTUR
DI INDONESIA

Tahun ke- 1 dari rencana 1 tahun

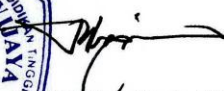
Livian Teddy, S.T., M.T.
NIDN : 0010057507

UNIVERSITAS SRIWIJAYA
Desember, 2018

HALAMAN PENGESAHAN
PENELITIAN DISERTASI DOKTOR

Judul	: <i>Simplified Vulnerability Analysis (SVA) Preliminary Design Struktur Rangka Dalam Proses Disain Arsitektur di Indonesia</i>
Pelaksana	
Nama Lengkap	: Livian Teddy, ST. MT
NIDN	: 0010057507
Jabatan Fungsional	: Lektor
Program Studi	: Teknik Arsitektur
Nomor HP/Surel	: 081367673139/livianteddy@gmail.com
Perguruan Tinggi	: Universitas Sriwijaya
Alamat	: Jl. Raya Palembang - Prabumulih KM. 32 Inderalaya Ogan Ilir 30662
Penanggung jawab	: -
Tahun pelaksanaan	: Tahun ke- 1 dari rencana 1 tahun
Biaya tahun berjalan	: Rp. 57.500.000,-
Biaya keseluruhan	: Rp. 57.500.000,-

Inderalaya, Desember 2018

Mengetahui,

Prof. Dr. Ir. Subriyer Nasir, MS
NIP/NIK : 196009091987031004

Ketua Peneliti

Livian Teddy, ST. MT
NIP/NIK : 197402012005011003

Menyetujui
Ketua LPPM

Prof. Dr. Tatang Suhery, M.A., Ph.D
NIP/NIK : 195904121984031001

RINGKASAN

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 Assessment*) 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 dengan 10 hasil analisa *pushover* dengan hasil yang baik. **Kelebihan SVA Disain Arsitektur** memiliki kemampuan yang mendekati analisa kerentanan *Pushover* dibandingkan RVS (*Rapid Visual Assessment*), 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.

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

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan akhir penelitian disertasi doktor ini sebagai salah satu kewajiban setelah memperoleh Hibah Penelitian Disertasi Doktor dari DRPM Ditjen Penguatan Risbang KEMEN RISTEKDIKTI. Laporan kemajuan penelitian disertasi doktor ini berisikan hasil tinjauan pustaka, tujuan dan manfaat penelitian, metode penelitian, hasil dan luaran yang dicapai, rencana tahapan berikutnya dan kesimpulan dan saran.

Dalam penyusunan laporan akhir penelitian disertasi ini, penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, maka dalam kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya dan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penyusunan laporan kemajuan penelitian disertasi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga hasil laporan kemajuan penelitian disertasi ini dapat diselesaikan menjadi laporan akhir penelitian disertasi, dan penulis dapat menyelesaikan studi doktornya. Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk peningkatan penulisan laporan akhir penelitian disertasi selanjutnya.

Inderalaya, November 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	2
RINGKASAN.....	3
PRAKATA.....	5
DAFTAR ISI	6
DAFTAR GAMBAR	7
DAFTAR TABEL	7
 BAB I. PENDAHULUAN	 9
1.1. Latar Belakang	9
1.2. Permasalahan Penelitian.....	10
1.3. Keutamaan Penelitian.....	11
1.4. Keterkaitan dengan Penyelesaian Disertasi	11
1.5. Kontribusi Terhadap Ilmu Pengetahuan.....	12
1.6. Luaran Penelitian	12
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	13
2.1. Kerentanan Struktur Terhadap Gempa	13
2.1.1. <i>Simplified Vulnerability Assesment</i> (SVA) Berdasarkan JBDPA.....	13
2.1.2. <i>Simplified Vulnerability Assesment</i> (SVA) Berdasarkan Matsutaro Seki	23
2.2. <i>Preliminary Design</i> Struktur Dan Konfigurasi Geometri Bangunan.....	25
2.2.1. <i>Preliminary Design</i> Struktur.....	25
2.2.2. Konfigurasi Geometri Bangunan	27
BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN.....	31
3.1. Tujuan Penelitian	31
3.2. Manfaat Penelitian	31
BAB IV. METODE PENELITIAN.....	34
4.1. Jenis Rancangan Penelitian	34
4.2. Variabel Penelitian	34
4.3. Sampel Dan Model Penelitian	37
4.4. Lokasi Penelitian.....	40
BAB V. HASIL YANG DICAPAI	45
BAB VI. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA	50
BAB VII. KESIMPULAN DAN SARAN	51

DAFTAR PUSTAKA	52
Lampiran 1. Berita Acara Sidang Terbuka.....	53

DAFTAR GAMBAR

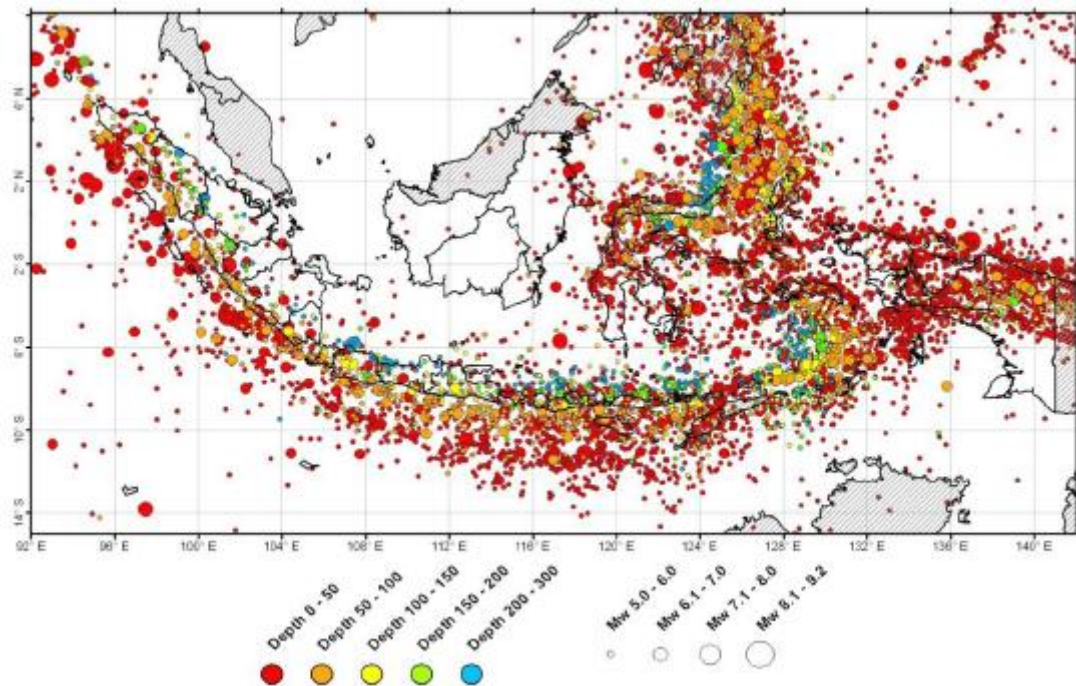
• Gambar 1.1. Data episenter gempa utama di Indonesia dan sekitarnya untuk magnituda $M \geq 5.0$ yang dikumpulkan dari berbagai sumber dalam rentang waktu tahun 1900-2000	9
• Gambar 2.1. Tinggi bersih dan lebar kolom yang ditinjau.....	15
• Gambar 2.2. Definisi luas penampang dinding.....	17
• Gambar 2.3. Area void.....	18
• Gambar 2.4. Aspek rasio (h/b) bagian proyeksi.....	19
• Gambar 2.5. Geometri bagian menyempit (a) & (b) dan tidak menyempit (c) & (d).....	20
• Gambar 2.6. Geometri eksentrisitas void & simbol.....	20
• Gambar 2.7. Geometri eksentrisitas & simbol.....	21
• Gambar 2.8. Ketentuan dimensi penampang balok.....	26
• Gambar 2.9. Konsep <i>strong column-weak beam</i>	26
• Gambar 3.1. Kontribusi teoritis SVA Disain Arsitektur dalam rumpun keilmuan <i>Earthquake Architecture</i>	32
• Gambar 3.2. Kontribusi praktis SVA Disain Arsitektur dalam proses perancangan.....	33
• Gambar 4.1. Hubungan dunia nyata, model konseptual dan model matematika	39
• Gambar 4.2. Zona gempa sampel penelitian : wilayah 2, 4 dan 6 peta gempa Indonesia tahun 2002.....	42
• Gambar 4.3 . Zona gempa sampel penelitian : Kota Banyumas dan Kota Bobong Peta Gempa Indonesia tahun 2012.....	42
• Gambar 4.4. Lokasi sampel penelitian sebagai contoh aplikasi dari metode SVA Disain Arsitektur yang menggunakan peraturan gempa SNI 1726 : 2012.....	43
• Gambar 5.1. Peneliti berfoto bersama Majelis Sidang Terbuka : Dekan, Kaprodi, Pembimbing dan Penguji selesai Sidang Terbuka tanggal 22 November 2018.....	47

DAFTAR TABEL

• Tabel 1.1. Target Capaian Tahun Pertama Penelitian.....	12
• Tabel 2.1. Klasifikasi elemen vertikal.....	15
• Tabel 2.2. Indeks daktilitas.....	15
• Tabel 2.3. Klasifikasi item dan nilai G serta R.....	18
• Tabel 2.4. Nilai α yang disarankan.....	21
• Tabel 2.5. Nilai Indeks Waktu.....	22
• Tabel 2.6. Kekuatan dan daktilitas kolom.....	24
• Tabel 2.7. Faktor R, Cd dan Ω_o untuk sistem penahan gaya gempa untuk Rangka Beton Betulang Penahan Momen berdasarkan IBC 2000.....	24
• Tabel 2.8. Faktor keutamaan gempa berdasarkan IBC 2000.....	25
• Tabel 2.9. Urutan kapasitas final dari simplikasi evaluasi struktural.....	25
• Tabel 2.10. Ketidakberaturan horisontal pada struktur.....	28
• Tabel 2.11. Ketidakberaturan vertikal pada struktur.....	29
• Tabel 4.1. Operasionalisasi variabel : jenis variabel, variabel dan sub variabel.....	34
• Tabel 4.2. Operasionalisasi variabel : sub variabel, indikator dan tolok ukur.....	35
• Tabel 4.3. Variasi zona gempa, kelas situs, fungsi dan tinggi bangunan lokasi penelitian untuk validasi model matematis SVA Disain Arsitektur.....	41
• Tabel 4.4. Variasi zona gempa, kelas situs, fungsi dan tinggi bangunan rencana di Kota Semarang untuk contoh aplikasi metode SVA Disain Arsitektur.....	44
• Tabel 5.1. Tabel Capaian Target Penelitian.....	45
• Tabel 5.2. Temuan metode evaluasi kerentanan bangunan struktur rangka pemikul momen, dan struktur rangka pemikul momen & dinding geser terhadap gempa.....	45
• Tabel 5.3. Daftar Publikasi Jurnal International Bereputasi dan Prosiding Internasional Terindeks.....	46

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang



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)

Indonesia merupakan negara rawan bencana gempa bumi karena dilewati beberapa jalur gempa teraktif di dunia seperti jalur gempa Mediteranian dan Circum Pasifik. Dengan keadaan demikian, sudah ribuan kali gempa besar maupun kecil yang tercatat dan tidak tercatat menimpa Indonesia (lihat gambar 1.1). Gempa Aceh tahun 2004, yang menimbulkan 220.240 jiwa tewas atau hilang karena diikuti oleh gelombang Tsunami dan mengakibatkan kerusakan hampir seluruh infrastruktur dan bangunan yang ada. Kemudian diikuti 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. Dengan kondisi rawan gempa seperti ini, sudah seharusnya bangunan-bangunan yang ada di Indonesia didisain tahan gempa.

Dalam perencanaan bangunan tahan gempa merupakan tanggung jawab arsitek dan ahli struktur (Arnold and Stewart, 2000; Saradj, 2008), maka kegagalan bangunan karena gempa akibat kesalahan perencanaan seharusnya menjadi tanggung keduanya jawabnya. 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 yang spesial dan tahan gempa

(Slak and Kilar, 2008). Langkah awal dalam mewujudkan *earthquake architecture*, dalam proses disain, arsitek dapat mengidentifikasi dan mengevaluasi kerentanan bangunannya terhadap gempa (Slak and Kilar, 2012).

Yang menjadi kendala dalam mengidentifikasi dan mengevaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa dalam proses disain yaitu belum adanya metode evaluasi yang memang khusus diperuntukkan untuk tujuan tersebut. Alternatifnya mengadaptasi metode evaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa yang sudah ada dan disesuaikan dengan kondisi konstruksi yang ada di Indonesia.

1.2. Permasalahan

Prosedur pemeriksaan kerentanan seismik bangunan dikelompokkan dalam 3 prosedur (Sinha and Goyal, 2004) yaitu 1). *Rapid Visual Screening (RVS)*/Pemilahan Visual dengan Cepat, 2). *Simplified Vulnerability Assesment (SVA)*/Penilaian Kerentanan Sederhana, dan 3). *Detailed Vulnerability Assesment (DVA)*/Penilaian Kerentanan Detail. Prosedur RVS hanya membutuhkan evaluasi visual dan informasi tambahan terbatas. RVS sangat sederhana karena tidak melibatkan perhitungan struktural tetapi penilaian berdasar visual dan skoring. Prosedur SVA (*Simplified Vulnerability Analysis*) yaitu analisis *engineering* terbatas berdasarkan informasi dari gambar arsitektur dan struktur pada bangunan eksisting. Prosedur DVA membutuhkan analisis komputer detail, bisa sama atau bahkan lebih kompleks daripada yang dibutuhkan untuk disain bangunan baru. Pada proses disain arsitektur yang menjadi fokus dimensi struktur dan bentuk geometri maka prosedur SVA yang paling sesuai untuk diadaptasi sebagai metode yang dapat digunakan oleh arsitek dalam mengevaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa dalam proses disain arsitektur yang sesuai dengan kondisi Indonesia.

Asosiasi dan peneliti yang mengembangkan secara intensif SVA yaitu *The Japan Building Disaster Prevention Association (JBDPA)* (Okada *et al.*, 2005) dengan mengeluarkan *Standard for Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Building (SSEERCB)* dan Matsutaro Seki (Seki, 2015). Seki mengadopsi SVA SSEERCB dan menyesuaikannya dengan peraturan gempa internasional. Tujuan dari SVA mereka kembangkan yaitu verifikasi struktural untuk dilakukan *retrofit* sehingga jika digunakan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi kerentanan bangunan dalam proses disain arsitektur perlu dimodifikasi.

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

Bagaimana mengadaptasi SVA JBDPA dan Matsutaro Seki sebagai metode evaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa dalam proses disain arsitektur berdasarkan kondisi bangunan-bangunan di Indonesia ?

1.3. Keutamaan Penelitian

Dari beberapa hal yang melandasi penelitian ini dirumuskan keutamaan penelitian ini adalah :

1. Kerusakan-kerusakan fatal yang terjadi pada bangunan akibat gempa di Indonesia tidak hanya pada bangunan '*non-engineered*' tetapi juga pada bangunan '*engineered*'. Kesalahan yang terjadi mulai dari perencanaan, pelaksanaan dan pemeliharaan bangunan (Boen, 2006, 2007a, 2007b). Potensi ini seharusnya bisa dikurangi dimulai dari hulunya yaitu proses perencanaan dengan menerapkan metode yang dapat menilai kerentanan bangunan disain terhadap gempa.
2. Metode SVA yang dikembangkan oleh JBDPA dan Seki merupakan metode penilaian kerentanan bangunan eksisting terhadap gempa. Metode ini belum pernah digunakan sebelumnya untuk tujuan mengevaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa dalam proses disain arsitektur.
3. Tujuan prediksi prosedur SVA disini tidak mencari hasil yang sama persis dengan hasil analisa prosedur yang lebih akurat seperti analisa pushover tetapi hasil prediksi SVA diatas atau dibawah satu tingkat dari perhitungan akurat sudah dianggap memadai karena menurut (Sinha and Goyal, 2004) 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 yang dilakukan oleh ahli struktur.

1.4. Keterkaitan Dengan Penyelesaian Disertasi

Penelitian ini merupakan bagian penting dari penelitian disertasi penulis. Secara utuh dalam penelitian disertasi membangun metode yang dapat menilai dan mengevaluasi kerentanan bangunan umum yang ada di Indonesia yaitu struktur rangka beton dan kombinasi struktur rangka dan dinding geser beton, sistem struktur lantai *one way* atau *two way*, ketinggian maksimum tingkat menengah ± 10 lantai dan bentuk geometri reguler dan ireguler. Pada penelitian ini dibatasi pada jenis struktur rangka, sistem struktur lantai *one way* atau *two way*, ketinggian maksimum tingkat menengah ± 10 lantai dan bentuk geometri reguler.

1.5. Kontribusi Terhadap Ilmu Pengetahuan

Di Indonesia masih terjadi perdebatan bahwsanya bangunan tahan gempa bukan ranah arsitek tetapi ahli struktur. Dikotomi inilah yang membuat perkembangan teknik struktur di Indonesia tidak terintegrasi dengan baik ke dalam perkembangan arsitektur Indonesia (Wangsadinata, 2009). Hal tersebut juga berpengaruh masih sedikitnya hasil-hasil penelitian yang dilakukan oleh arsitek sendiri maupun yang berkolaborasi dengan ahli teknik sipil atau ahli lainnya tentang bangunan tahan gempa di Indonesia yang bisa digunakan atau pertimbangan arsitek dalam praktek. Penelitian ini berusaha mengisi minimnya hasil penelitian bangunan tahan gempa di Indonesia tersebut.

1.6. Target Capaian Tahunan

Tabel 1.1. Target Capaian Tahun Pertama Penelitian

No.	Jenis Luaran				Indikator Capaian
	Kategori	Sub Kategori	Wajib	Tambahan	TS
1	Artikel ilmiah dimuat di jurnal	Internasional bereputasi	X		Accepted/published
2	Artikel ilmiah dimuat di jurnal	Internasional bereputasi	X		Accepted/published
3	Artikel ilmiah dimuat di prosiding	Internasional Terindeks		X	Sudah dilaksanakan
4	Kemajuan program doktor	-		X	Sidang terbuka

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kerentanan Struktur Terhadap Gempa

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

- *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 berdasar 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 perbaharui pada tahun 2002 dan 2015. FEMA 154 & 155 dibuat untuk tipikal konstruksi di USA, walaupun banyak digunakan di banyak negara setelah dimodifikasi disesuaikan dengan keadaan negara tersebut.
- *Simplified Vulnerability Assesment (SVA)*/Penilaian Kerentanan Sederhana atau Prosedur Level 2. Prosedur ini membutuhkan analisis *engineering* terbatas berdasarkan informasi dari observasi visual dan gambar struktural atau diukur di lapangan. 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 atau Prosedur Level 3. Prosedur ini membutuhkan analisis komputer detail, bisa sama atau bahkan lebih kompleks daripada yang dibutuhkan untuk disain bangunan baru.

2.1.1. Simplified Vulnerability Assesment (SVA) Berdasarkan 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*. Tujuannya 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 dan karakteristik struktural bangunan sebagai verifikasi struktural atau analisa lanjutan.

Evaluasi kegempaan ini didasarkan pada dua hal yaitu inspeksi lapangan dan perhitungan struktur yang merepresentasikan performa seismik bangunan dalam istilah indeks kapasitas gempa struktur (I_s) dan indeks gempa non struktural (I_N). *Screening* level 1 prosedur JBDPA

ini sama dengan SVA sebagaimana yang dinyatakan oleh (Sinha and Goyal, 2004). Adapun atribut-atribut bangunan yang digunakan dalam perhitungan yaitu :

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

$$I_S = E_0 \cdot S_D \cdot t \text{ ----- (2.1)}$$

Dimana, 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) yang mana untuk mengevaluasi performa gempa dasar bangunan yaitu perkalian indeks kekuatan dan indeks daktilitas struktur kolom dan dinding geser pada masing-masing lantai dan arah aksis.

$$E_0 = \frac{n+1}{n+i} (C_W + \alpha_1 C_C) \cdot F_W \text{ ----- (2.2)}$$

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

$$E_0 = \frac{n+1}{n+i} (C_{SC} + \alpha_2 C_W + \alpha_3 C_C) \cdot F_{SC} \text{ ----- (2.3)}$$

Dimana,

n = Jumlah tingkat bangunan.

i = Jumlah tingkat yang dievaluasi. Dimana 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 (2.4).

C_C = Indeks kekuatan kolom, dihitung dengan rumus (2.4) kecuali *short column* ekstrim.

C_{SC} = Indeks kekuatan *short column* ekstrim, dihitung dengan rumus (2.5).

α_1 = Faktor kekuatan efektif kolom pada deformasi *ultimate* dinding yang diambil nilai 0.7, nilainya 1 jika $C_W \approx 0$.

α_2 = Faktor kekuatan efektif dinding pada deformasi *ultimate* pada kasus kolom *short column* ekstrim, nilainya 0.7.

α_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 2.1. Klasifikasi elemen vertikal (sumber : Okada et al. 2005)

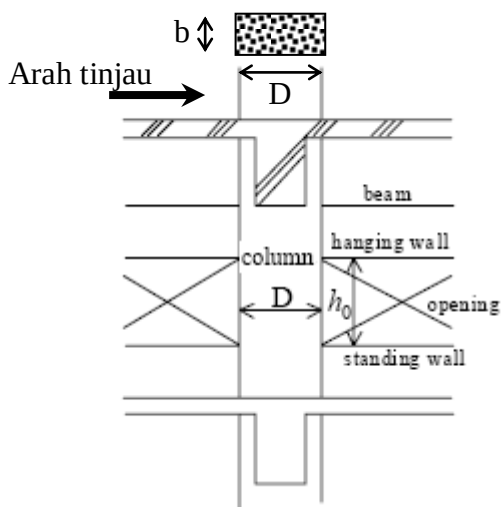
Elemen vertikal	Definisi
Kolom	Kolom dengan $h_0/D \geq 2$
<i>Short column</i> ekstrim	Kolom dengan $h_0/D \leq 2$
Dinding	Dinding termasuk yang tanpa kolom pembatas

Catatan : h_0 = Tinggi kolom bersih (lihat gmb 2.1)

D = Lebar kolom yang ditinjau

Tabel 2.2. 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 2.1. Tinggi bersih dan lebar kolom yang ditinjau (sumber : Okada et al. 2005)

$$C_W = \frac{\tau_{W1} \cdot A_{W1} + \tau_{W2} \cdot A_{W2} + \tau_{W3} \cdot A_{W3}}{\Sigma W} \cdot \beta_C \text{-----} (2.4)$$

$$C_C = \frac{\tau_C \cdot A_C}{\Sigma W} \cdot \beta_C \text{-----} (2.5)$$

$$C_{SC} = \frac{\tau_{SC} \cdot A_{SC}}{\Sigma W} \cdot \beta_C \text{-----} (2.6)$$

$$\beta_C = \frac{F_C}{20} \text{ ---- } F_C \leq 20 \text{-----} (2.7)$$

$$\beta_c = \sqrt{\frac{F_c}{20}} \quad \text{----- } F_c > 20 \text{ -----} \quad (2.8)$$

Dimana,

C_w = Indeks kekuatan dinding

C_c = Indeks kekuatan kolom

C_{sc} = Indeks kekuatan *short column* ekstrim

τ_{w1} = Kekuatan geser rata-rata pada kondisi *ultimate* dinding dengan 2 kolom pembatas, dimana diambil nilai = 3 N/mm².

τ_{w2} = Kekuatan geser rata-rata pada kondisi *ultimate* dinding dengan 1 kolom pembatas, dimana diambil nilai = 2 N/mm².

τ_{w3} = Kekuatan geser rata-rata pada kondisi *ultimate* dinding dengan tanpa kolom pembatas, dimana diambil nilai = 1 N/mm².

τ_c = Kekuatan geser rata-rata pada kondisi *ultimate* kolom, dimana diambil nilai = 1 N/mm² atau 0.7 N/mm² jika $h_0/D > 6$.

τ_{sc} = Kekuatan geser rata-rata pada kondisi *ultimate short column* ekstrim, dimana diambil nilai = 1.5 N/mm².

A_{w1} = Luas total penampang dinding dengan 2 kolom pembatas di tingkat dan efektif arah yang ditinjau (mm²), lihat gmb. 2.2.

A_{w2} = Luas total penampang dinding dengan 1 kolom pembatas di tingkat dan efektif arah yang ditinjau (mm²), lihat gmb. 2.2.

A_{w3} = Luas total penampang dinding dengan tanpa kolom pembatas di tingkat dan efektif arah yang ditinjau (mm²), lihat gmb. 2.2.

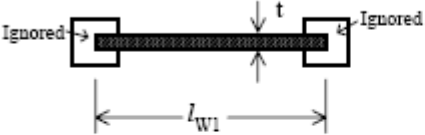
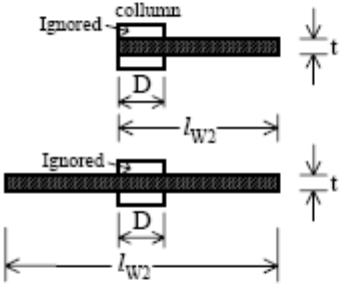
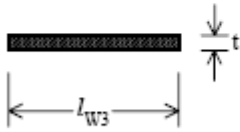
A_c = Luas total penampang kolom di tingkat yang ditinjau, dimana luas kolom pembatas dinding (1 atau 2 kolom) dapat diabaikan dalam perhitungan.

A_{sc} = Luas total penampang *short column* ekstrim di tingkat yang ditinjau (mm²).

$\sum A_f$ = Total luas lantai yang didukung oleh tingkat yang ditinjau (m²).

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

F_c = Kuat tekan beton (N/mm²).

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

Gambar 2.2. 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 dan penilaian performa gempa struktur berdasarkan *engineering judgment*.

Hal-hal yang dipertimbangkan :

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

Indeks ireguleritas harus dihitung sebagai produk geometri yang derajat pengaruh q_i sebagaimana rumus (2.9) yang berasal dari indeks tingkatan reguleritas G_i dan faktor *adjustment* R_i .

$$S_{D1} = q_{1a} \times q_{1b} \times \dots \times q_{1j} \text{ ----- (2.9)}$$

$$q_{1j} = [1 - (1 - G_1) \times R_{1j}] \text{ ----- } i = \text{item a, b, c, d, e, f, i, j} \text{ ---- (2.10)}$$

Dimana,

G_1 = Faktor tingkatan penilaian (lihat tabel 2.3)

R_{1j} = Faktor *adjustment* item-item penilaian (lihat tabel 2.3)

i = item-item penilaian (lihat tabel 2.3)

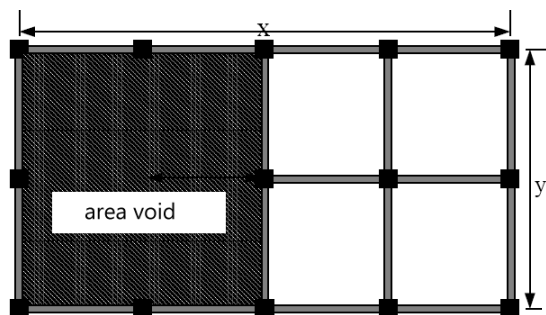
Tabel 2.3. Klasifikasi item dan nilai G serta R (sumber : Okada et al. 2005)

			Gi (Tingkatan kualitas)			R (Faktor <i>adjustment</i>)
			1.0	0.9	0.8	R _{1i}
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	Expansion joint *(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	$f_1 \leq 0.4 \text{ \& } f_2 \leq 0.1$	$f_1 \leq 0.4 \text{ \& } 0.1 < f_2 \leq 0.3$	$f_1 > 0.4 \text{ atau } f_2 > 0.3$	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	Soft story	Tidak ada soft story	Ada Soft story	Ada eksentrisitas soft story	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 di cek terpisah.

(2). Untuk simbol perhitungan item (e) dapat dilihat pada gmb. 2.3.



Gambar 2.3. Area void (sumber : Okada et al. 2005)

Keterangan tabel 2.8 :

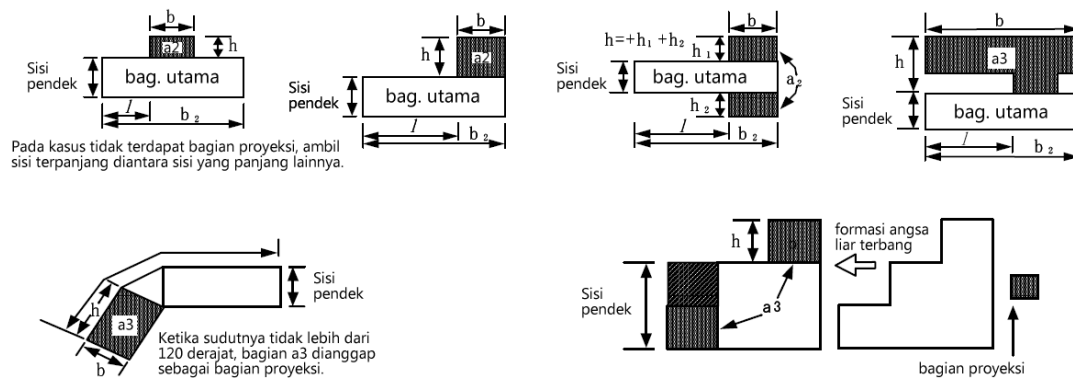
(a). Reguleritas/keteraturan

a_1 = Keseimbangan struktural baik dan area bagian proyeksi tidak lebih dari 10% dari 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 2.4. Aspek rasio (h/b) bagian proyeksi (sumber : Okada et al. 2005)

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

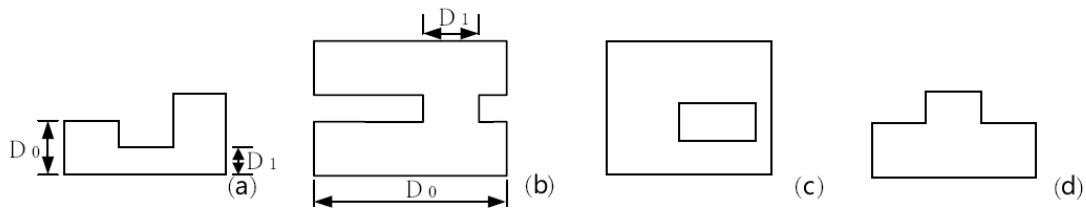
Pada kasus dimana denah rencana tidak kotak. Dimensi sisi panjang dapat mengabaikan bagian proyeksi ketika area proyeksi kurang dari 10% luas lantai, jika sebaliknya harus diambil sebagai dimensi terpanjang dari $b_1=2l$ dan b_2 sebagaimana gambar 2.4 diatas.

Pada kasus dimana denah rencana berbentuk “~” 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 2.5(a) dan (b) yang mempunyai bagian menyempit sedangkan gambar 2.5(c) dan (d) tidak terdapat. Pada gambar 2.5(b), dua faktor reduksi oleh keseimbangan struktural dan bagian yang menyempit harus dievaluasi dan hanya faktor terburuk yang diadopsi pada evaluasi.



Gambar 2.5. 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*)

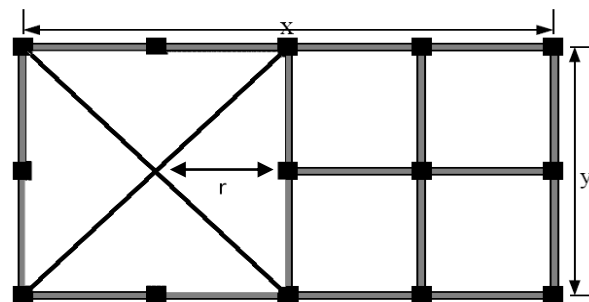
(e). Luas void

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. 2.6.



Gambar 2.6. 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.

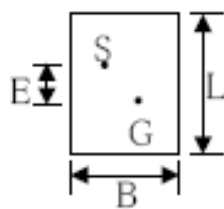
(j). *Soft story*

Pada bangunan yang memiliki kolom pilotis atau kolom yang menyokong dinding diatasnya 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 seperti 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

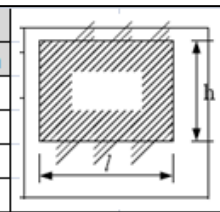
$I = E / \sqrt{B^2 + L^2}$, dimana S = pusat gravitasi, G = pusat kekakuan, dimana kekakuan lateral oleh masing-masing rangka dihitung sebagai (penjumlahan luas penampang kolom + luas penampang dinding x α). Dimana nilai α ditentukan pada tabel 2.4.



Gambar 2.7. Geometri eksentrisitas & simbol (sumber : Okada et al. 2005)

Tabel 2.4. Nilai α yang disarankan (sumber : Okada et al. 2005)

Aspek rasio dari dinding h / l	α	
	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 yang didukung oleh tingkat yang ditinjau dan kekakuan di hitung sebagai { penjumlahan luas penampang kolom + (luas penampang dinding x α) } / (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 :

$$t_i = (t_1 + t_2 + t_3, \dots + t_N) / N \text{ ----- (2.11)}$$

Dimana,

t_i = Indeks waktu ditingkat -i.

t_N = Item yang di inspeksi (tabel 2.5).

N = Banyaknya item yang di inspeksi.

Tabel 2.5. Nilai Indeks Waktu (sumber : Okada et al. 2005)

Item yang dicek	Derajat	Nilai T (beri tanda lingkaran pada derajat yang relevan)
Defleksi	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
Retak di dinding & kolom	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
Pernah terbakar	Terdapat bekasnya	0.7
	Pernah terjadi tapi bekasnya tidak terlalu jelas	0.8
	Tidak pernah terjadi	1
Penggunaan bangunan	Telah digunakan tempat bahan kimia	0.8
	Tidak ada hubungan dengan hal tersebut	1
Usia bangunan	lebih dari 30 tahun	0.8
	lebih dari 20 tahun	0.9
	kurang dari 30 tahun	1
Kondisi finishing	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 :

$$I_s \geq I_{SO} \text{ ----- (2.12)}$$

$$E_0.S_D.T \geq 0.8.Z.G.U \text{ ----- (2.13)}$$

Dimana, 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 amplifikasi dari permukaan tanah, kondisi geologi dan interaksi tanah & struktur pergerakan gempa yang direncanakan

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

2.1.2. Simplified Vulnerability Assesment (SVA) Berdasarkan Matsutaro Seki

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

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

$$I_{SS} = E_{SS} \cdot S_{SD} \cdot t_S \text{ ----- (2.14)}$$

$$E_{SS} = C_{SS} \cdot F_S \text{ ----- (2.15)}$$

$$C_{SS} = \tau \cdot \sum A_C / W \text{ ----- (2.16)}$$

$$F_S = R / \Omega_0 \text{ ----- (2.17)}$$

Dimana,

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

τ = Rata-rata kekuatan geser dari kolom (N/mm²) (tabel 2.6)

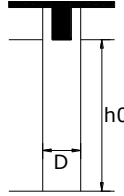
$\sum A_C$ = total luas kolom

W = Total berat bangunan

R = Faktor modifikasi respon (tabel 2.7)

Ω_0 = Faktor kuat lebih (tabel 2.7)

Tabel 2.6. Kekuatan dan daktilitas kolom (sumber : Seki 2015)

Jenis Elemen Lateral	Persyaratan		Indeks (I)
Kolom	Tinggi bersih/dimensi kolom ; h_0/D	Definisi h_0/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 2.7. Faktor R, Cd dan Ω_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 (Ω_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

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

$$I_{SSO} = S_D \cdot I_S \text{-----} (2.18)$$

Dimana,

I_{SSO} = Koefisien gaya geser dasar disain bangunan

S_D = Koefisien respon seismik berdasarkan IBC 2000

I_S = Faktor keutamaan gempa berdasarkan IBC 2000 (tabel 2.8).

Metode penilaian kapasitas seismik suatu bangunan (tabel 2.9) 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 2.8. 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 2.9. 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

2.2. Preliminary Design Struktur Dan Konfigurasi Geometri Bangunan

2.2.1. Preliminary Design Struktur

Preliminary design sistem rangka balok dan kolom disini 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.

$$\frac{b_w}{h} \geq 0.4 \text{ ----- (2.19)}$$

- Lebar penampang balok haruslah :

$$\text{Minimal } b_w \geq 250 \text{ mm ----- (2.20)}$$

$$\text{Maksimal } 250 < b_w \leq c + 2\left(\frac{3}{4}h\right) \text{ ----- (2.21)}$$

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

Dimana,

l = bentang

l_n = bentang bersih

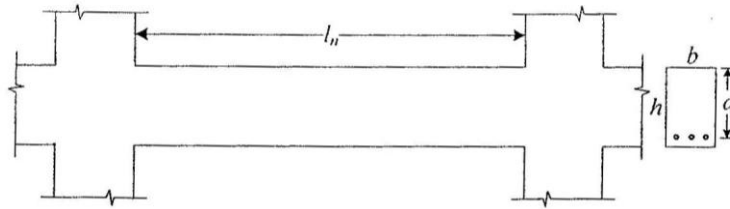
b_w = lebar balok

d = tinggi balok sampai dengan penulangan balok terbawah

h = tinggi balok

c = dimensi kolom

t = tebal plat lantai



Gambar 2.8. Ketentuan dimensi penampang balok (sumber : Imran & Hendrik 2010).

2. Dimensi preliminary design struktur kolom (Ersay, 2013)

Untuk kolom dimensi minimumnya berdasarkan pertimbangan kuat gesernya yaitu :

$$A_{ci} \geq 0.0015 \sum A_{oi} \text{-----} (2.22)$$

A_{ci} = luas area penampang kolom

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

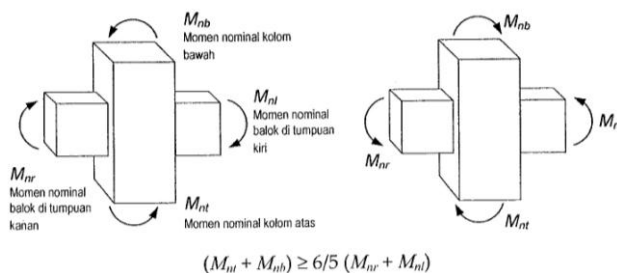
$$A_{ci} \geq 0.09 \text{ m}^2 \text{ (min 30x30 cm)}$$

Rasio dimensi penampang seharusnya tidak lebih dari 2.0

$$h/b \leq 2.0$$

- Dimensi preliminary design struktur kolom dan balok mengikuti konsep strong column-weak beam (lihat gambar 2.9) yaitu penjumlahan momen nominal kolom atas dan bawah harus lebih besar 1.2 kali dari pada jumlah momen nominal balok tumpuan kiri dan kanan. 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.

$$(M_{nt} + M_{nb}) \geq \frac{6}{5} (M_{nr} + M_{nl}) \text{-----} (2.23)$$



Gambar 2.9. Konsep *strong column-weak beam* (sumber : Imran & Hendrik 2010).

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

$$W_p \text{ kolom} \geq 1.2 \times W_p \text{ balok} \text{-----} (2.24)$$

Dimana,

W_p = modulus plastis (cm^3 atau 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 :

$$\sum A_{wi} \geq 0.0012 \sum A_{pi} \text{-----} (2.25)$$

Tebal minimum t= 25 cm

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

$$(\sum A_{ci} + \sum A_{wi}) \geq 0.002 \sum A_{pi} \text{-----} (2.26)$$

Dimana $\sum A_{pi}$ = luas total lantai

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

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

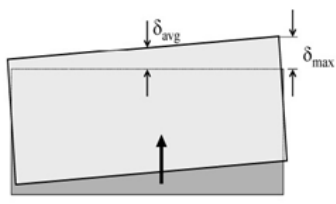
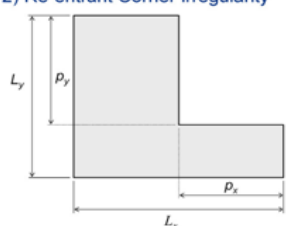
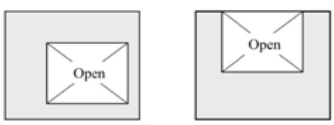
- Mengecek dimensi *preliminary design* struktur kolom dan balok mengikuti konsep *strong column-weak beam* sesuai dengan prosedur diatas.

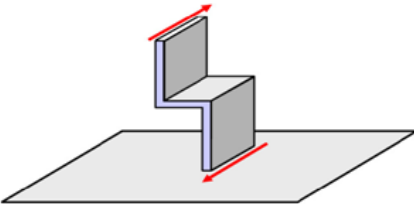
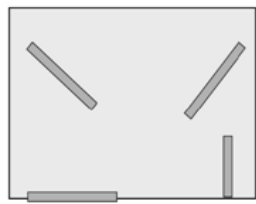
2.2.2. Konfigurasi Geometri Bangunan

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

- Ireguler Horisontal

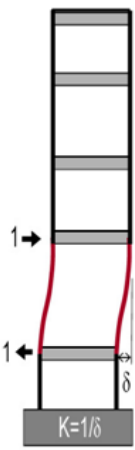
Tabel 2.10. Ketidakberaturan horisontal pada struktur.
(Sumber : FEMA 2007)

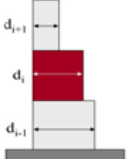
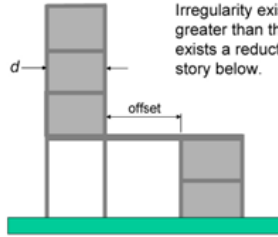
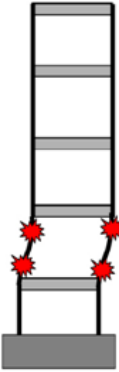
Tipe	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Ilustrasi
1a	Ketidakteraturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	Horizontal Structural Irregularities 1a) and 1b) Torsional Irregularity  $\delta_{max} < 1.2\delta_{avg}$ No irregularity $1.2\delta_{avg} \leq \delta_{max} \leq 1.4\delta_{avg}$ Irregularity $\delta_{max} > 1.4\delta_{avg}$ Extreme irregularity Irregularity 1b is NOT PERMITTED in SDC E or F.
1b	Ketidakteraturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	
2	Ketidakteraturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan.	Horizontal Structural Irregularities 2) Re-entrant Corner Irregularity  Irregularity exists if $p_y > 0.15L_y$ and $p_x > 0.15L_x$
3	Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada 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.	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.

Tipe	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Ilustrasi
4	Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.	Horizontal Structural Irregularities 4) Out of Plane Offsets 
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.	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.

- Ireguler Vertikal

Tabel 2.11. Ketidakberaturan vertikal pada struktur.
(Sumber : FEMA 2007)

Tipe	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Ilustrasi
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.	Vertical Structural Irregularities 1a, 1b) Stiffness (Soft Story) Irregularity  Irregularity (1a) exists if stiffness of any story is less than 70% of the stiffness of the story above or less than 80% of the average stiffness of the three stories above. An extreme irregularity (1b) exists if stiffness of any story is less than 60% of the stiffness of the story above or less than 70% of the average stiffness of the three stories above. Exception: Irregularity does not exist if no story drift ratio is greater than 1.3 times drift ratio of story above. Irregularity 1b is NOT PERMITTED in SDC E or F.
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.	
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.	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.

Tipe	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Ilustrasi
3	Ketidakteraturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130 persen dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya.	Vertical Structural Irregularities 3) Vertical Geometric Irregularity  Irregularity exists if the dimension of the lateral force resisting system at any story is more than 130% of that for any adjacent story
4	Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakteraturan 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.	Vertical Structural Irregularities 4) In-Plane Discontinuity Irregularity  Irregularity exists if the offset is greater than the width (d) or there exists a reduction in stiffness of the story below.
5a	Diskontinuitas dalam Ketidakteraturan 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.	Vertical Structural Irregularities 5a, 5b) Strength (Weak Story) Irregularity  Irregularity (5a) exists if the lateral strength of any story is less than 80% of the strength of the story above. An extreme irregularity (5b) exists if the lateral strength of any story is less than 65% of the strength of the story above. Irregularities 5a and 5b are NOT PERMITTED in SDC E or F. Irregularity 5b not permitted in SDC D.
5b	Diskontinuitas dalam Ketidakteraturan Kuat Lateral Tingkat yang 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.	

Kriteria-kriteria diatas tidak semuanya dapat digunakan secara langsung dalam menilai ketidakberaturan/ireguleritas suatu bangunan. Sehingga harus dikembangkan cara-cara yang praktis tetapi valid dalam menilai ireguleritas bangunan.

BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. 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 disain arsitektur yang sesuai dengan kondisi Indonesia.

Sedangkan tujuan khusus penelitian ini adalah :

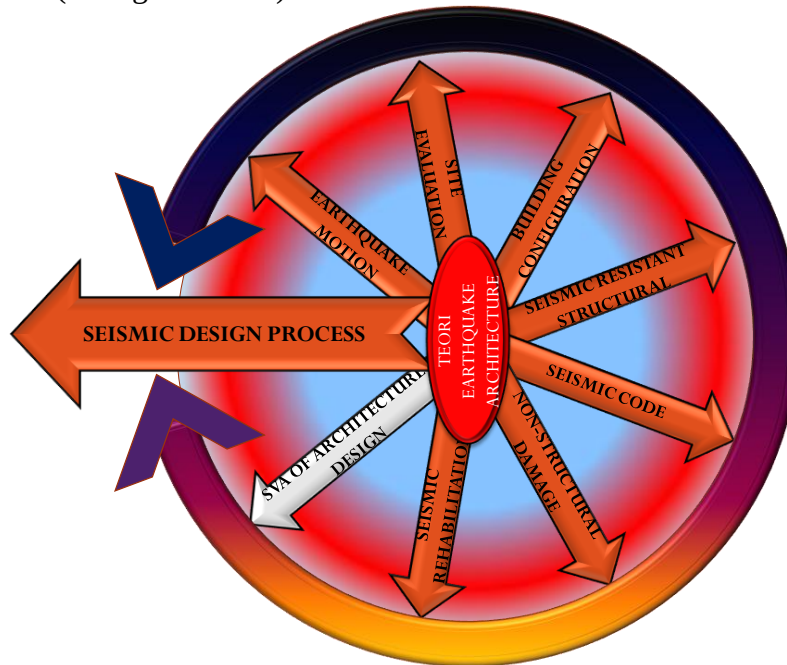
1. Menguji teori SVA Disain Arsitektur bahwa beban lateral gempa akan mempengaruhi kapasitas seismik struktur bangunan yaitu kapasitas gempa dasar struktur dan ireguleritas konfigurasi geometri bangunan.
2. Menguji teori SVA Disain Arsitektur bahwa kapasitas gempa dasar struktur bangunan berhubungan erat dengan dimensi kolom/dinding geser, kekakuan kolom/dinding geser, *strong column/weak beam*, redundansi dan daktilitas.
3. Menguji teori SVA Disain 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 Disain Arsitektur bahwa beban lateral gempa di Indonesia berhubungan erat dengan respon seismik disain dan minimal zona gempa di Indonesia, dan faktor keutamaan fungsi bangunan.
5. Menguji teori SVA Disain 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*).

3.2. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis

Sebagaimana yang dijelaskan di muka bahwasanya adaptasi teori SVA JBDPA dan SVA Seki menjadi SVA Disain Arsitektur dalam 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 : 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 disain bangunan tahan gempa. Metode evaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa dalam proses disain arsitektur belum dibahas dalam teori-teori tersebut sehingga SVA Disain Arsitektur bisa mengisi kekosongan teori tersebut dan memperkaya teori *Earthquake Architecture* (lihat gambar 3.1).

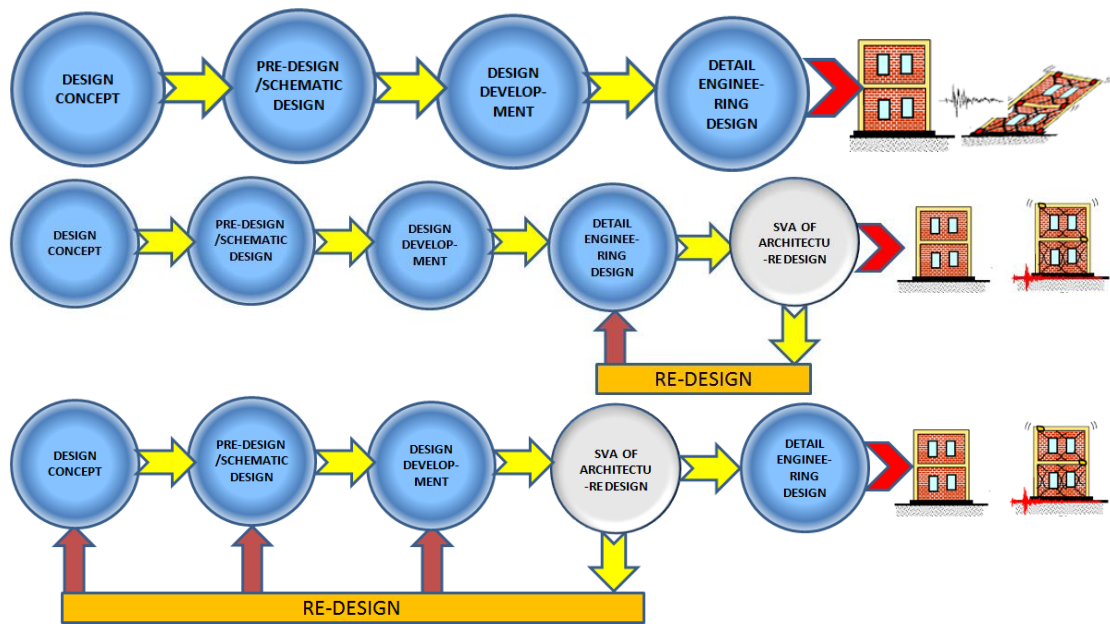


Gambar 3.1. Kontribusi teoritis SVA Disain Arsitektur dalam rumpun keilmuan *Earthquake Architecture* (sumber : analisa)

2. Manfaat 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 Disain Arsitektur, kerentanan bangunan dapat diketahui arsitek dalam proses disain terutama pada tahap *design development*/pengembangan disain dan *detail engineering design* (lihat gambar 3.2), sehingga arsitek dapat :

- 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 disainnya terhadap gempa : rusak ringan, rusak sedang atau rusak berat.
- Melakukan *re-design* sebagai kontrol hasil disainnya, dimana ireguleritas masih bisa ditoleransi atau dimana ireguleritas tidak boleh berlebihan.



Gambar 3.2. Kontribusi praktis SVA Disain Arsitektur dalam proses perancangan
(sumber : analisa)

BAB IV. METODE PENELITIAN

4.1. 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*.

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 distudi 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 Disain 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.

4.2. Variabel Penelitian

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

Tabel 4.1. Operasionalisasi variabel : jenis variabel, variabel dan sub variabel

	Jenis variabel	Variabel	Sub variabel
1.	Variabel bebas	Indeks beban lateral gempa	• Lokasi bangunan
2.	Variabel terikat	Indeks gempa dasar struktur	• Struktur rangka pemikul momen • Struktur rangka

			pemikul momen dan dinding geser
		Indeks ireguleritas	• Konfigurasi ireguler horisontal • Konfigurasi ireguler vertikal • Konfigurasi ireguler horisontal & vertikal

Tabel 4.2. Operasionalisasi variabel : sub variabel, indikator dan tolok ukur

	Sub variabel	Indikator	Tolok ukur
1.	Lokasi bangunan	Faktor modifikasi gaya gempa tingkat	Tingkat & jumlah lantai
		Indeks respon seismik	• Koefisien respon seismik disain berdasarkan SNI 1726:2012 • Koefisien respon seismik minimum $S_s=0.25g$ dan $S_1=0.1g$ berdasarkan FEMA 155
		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	• Luas total kolom disain (m^2) • Luas total kolom minimal (m^2)
		Indeks jenis kolom tingkat yang dievaluasi	• Jumlah jenis kolom langsing (a), kolom normal (b) & kolom pendek (c). • Indeks kolom jenis $a=0.7$, $b=0.8$ & $c=0.1$ • Jumlah total kolom
		Indeks <i>Strong Column Weak Beam</i> tingkat yang dievaluasi	• Jumlah kolom yang memenuhi W_p kolom $> 1.2 \times W_p$ balok • Jumlah total kolom
		Indeks periode getar struktur	• Periode getar struktur berdasarkan perhitungan <i>software</i> (detik) • Periode getar struktur maksimum yang diperbolehkan (detik)
		Indeks daktilitas	• Faktor modifikasi respon berdasarkan SNI

			1726:2012 (tabel 9) Faktor kuat lebih SNI 1726:2012 (tabel 9)
3.	Struktur rangka pemikul momen & dinding geser	Faktor modifikasi kapasitas geser tingkat	Tingkat & jumlah lantai
		Indeks dimensi elemen lateral (kolom) tingkat yang dievaluasi	- Luas total kolom disain (m^2) - Luas total kolom minimal (m^2)
		Indeks jenis kolom tingkat yang dievaluasi	- Jumlah jenis kolom langsing (a), kolom normal (b) & kolom pendek (c). - Indeks kolom jenis $a=0.7$, $b=0.8$ & $c=0.1$ - Jumlah total kolom
		Indeks dimensi elemen lateral (dinding geser) tingkat yang dievaluasi	- Luas total dinding geser disain (m^2) - Luas total dinding geser minimal (m^2)
		Indeks jenis dinding geser tingkat yang dievaluasi	- Jumlah jenis dinding geser dibatasi 2 kolom (a), dibatasi 1 kolom (b) & tanpa dibatasi kolom (c). - Indeks dinding geser jenis $a=1$, $b=0.7$ & $c=0.3$
		Indeks <i>Strong Column Weak Beam</i> tingkat yang dievaluasi	- Jumlah kolom yang memenuhi W_p kolom $> 1.2 \times W_p$ balok - Jumlah total kolom
		Indeks periode getar struktur	- Periode getar struktur berdasarkan perhitungan <i>software</i> (detik) - Periode getar struktur maksimum yang diperbolehkan (detik)
		Indeks daktilitas	- Faktor modifikasi respon berdasarkan SNI 1726:2012 (tabel 6.2) - Faktor kuat lebih SNI 1726:2012 (tabel 6.2)
4.	Konfigurasi ireguler horisontal	Konfigurasi ketidakberaturan torsi	- Panjang eksentrisitas tingkat ke-i - Lebar bangunan yang ditinjau tingkat ke-i
		Konfigurasi ketidakberaturan sudut	Luas proyeksi

		dalam	proyeksi/sayap bangunan tingkat ke-i • Luas lantai bangunan utama tingkat ke-i
		Konfigurasi diskontinuitas diafragma	• Luas lubang bukaan void, shaft, tangga, lift dll tingkat ke-i • Luas lantai tingkat ke-i
		Konfigurasi ketidakberaturan sistem nonparalel	• Jumlah elemen balok, kolom dan/atau dinding geser yang tidak mengikuti aksis ortogonal tingkat ke-i • Jumlah total elemen balok, kolom dan/atau dinding geser tingkat ke-i
5.	Konfigurasi ireguler vertikal	Konfigurasi <i>soft story</i> / tingkat lunak	• Tinggi kolom/dinding geser satu tingkat dari tingkat ke-i • Tinggi kolom ditingkat ke-i
		Konfigurasi ketidakberaturan berat/massa	• Massa lantai ditingkat ke-i • Massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat ke-i
		Konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal	• Panjang bangunan pada tingkat ke-i • Panjang <i>setback</i> bangunan pada tingkat ke-i
		Konfigurasi diskontinuitas ketidakberaturan kuat lateral tingkat / <i>weak story</i>	• Luas kolom dan/atau dinding geser ditingkat ke-i • Luas kolom dan/atau dinding geser satu tingkat dari tingkat ke-i
6.	Konfigurasi ireguler horisontal & vertikal	Konfigurasi ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang & diskontinuitas arah bidang	• Luas dinding bata lantai tingkat ke -i • Luas lantai di lantai tingkat ke -i

4.3. Sampel Dan Model Penelitian

4.3.1. 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 (Nasution, 1995) *purposive sampling* adalah sampel yang dipilih dengan cermat hingga relevan dengan disain 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. Sehingga untuk 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 di analisa dengan analisa *pushover* karena analisa *pushover* merupakan analisa 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 mempengaruhi 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 ≥ 4 lantai dokumen perencanaan konsultan harus dievaluasi dan mendapat rekomendasi dari tim TABG.

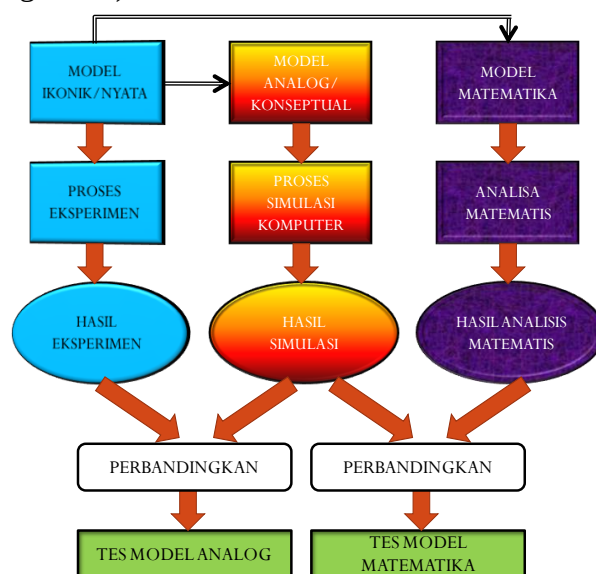
Penggunaan sampel rencana bangunan disini bertujuan sebagai contoh penggunaan model matematika yang diusulkan dan mempelajari kelemahan performa bangunan yang direncana oleh konsultan terhadap gempa dikaitkan dengan disain struktur dan konfigurasi geometri bangunannya.

Digunakan 8 sampel rencana bangunan yang memiliki variasi dalam properti struktur, konfigurasi geometrik da lokasi bangunan yang dapat mempengaruhi 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

4.3.2. Model Penelitian

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



Gambar 4.1. 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 Disain Arsitektur dengan membandingkannya dengan 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 dan 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 di adaptasi dari persamaan penilaian kerentanan bangunan terhadap gempa oleh JBDPA dan Matsutaro Seki. Model matematika digunakan dalam SVA Disain 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 analisa *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.

4.4. Lokasi Penelitian

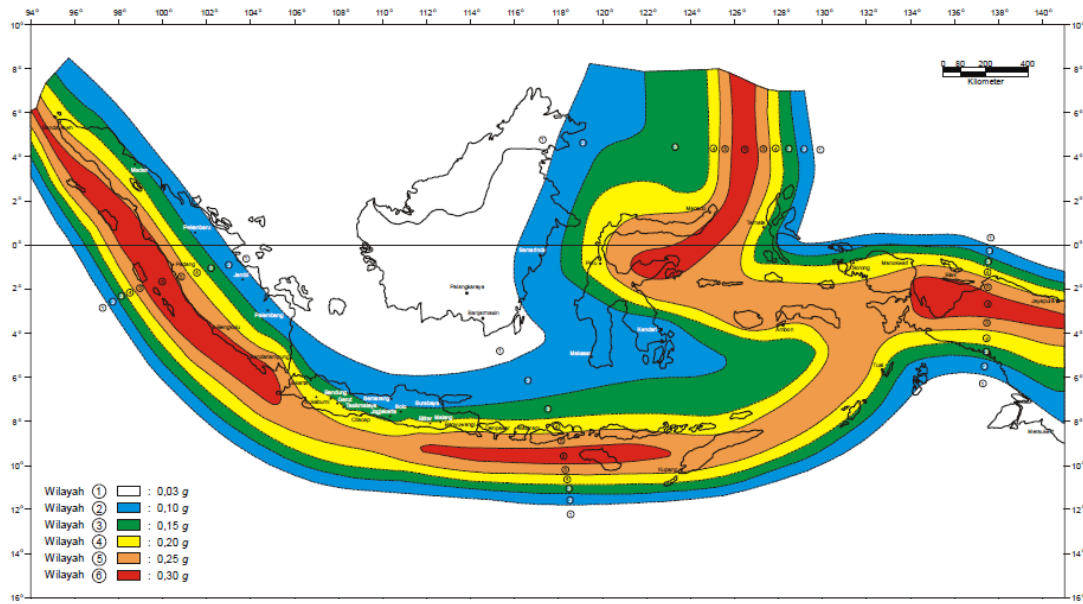
Pada prinsipnya SVA Disain Arsitektur digunakan untuk mengevaluasi kerentanan bangunan terhadap gempa yang menggunakan peraturan gempa terbaru SNI 1726:2012 tetapi untuk melakukan verifikasi prosedur SVA Disain Arsitektur dengan prosedur analisa *pushover* ternyata sampai pada saat ini masih banyak yang berdasarkan peraturan gempa lama SNI 1726:2002. Hal ini berpengaruh pada perhitungan SVA Disain Arsitektur pada parameter C_s , $C_{s\ min}$, dan nilai I_e . Tetapi hal ini tidak masalah, karena evaluasi kerentanan

SVA Disain Arsitektur bisa disesuaikan dengan peraturan gempa mana yang digunakan. Pada prinsipnya evaluasi kerentanan dengan SVA Disain Arsitektur dan analisa pushover yang menggunakan peraturan gempa SNI 1726 : 2002 atau SNI 1726 : 2012 harus menghasilkan hasil kerentanan yang relatif sama.

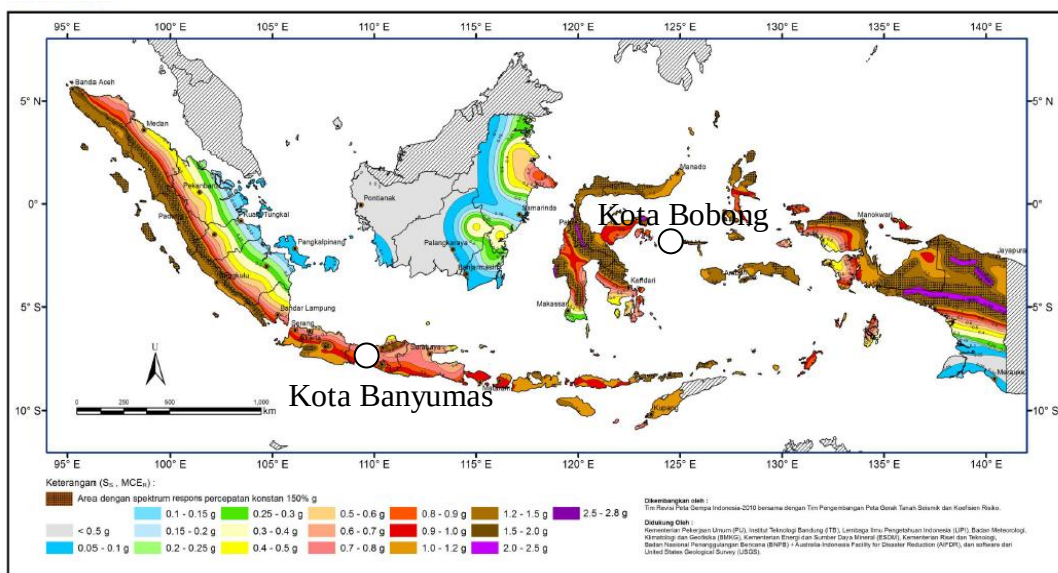
Dalam proses verifikasi model matematis dan contoh aplikasi SVA Disain Arsitektur untuk lokasi penelitian ini dipilih yang memiliki variasi zona gempa, kelas situs, fungsi dan tinggi bangunan sehingga di ketahui tingkat validitas model dan memperkaya pembahasan :

Tabel 4.3. Variasi zona gempa, kelas situs, fungsi dan tinggi bangunan lokasi penelitian untuk validasi model matematis SVA Disain Arsitektur

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



Gambar 4.2. Zona gempa sampel penelitian : wilayah 2, 4 dan 6 peta gempa Indonesia tahun 2002 (sumber : SNI 1726 : 2002).

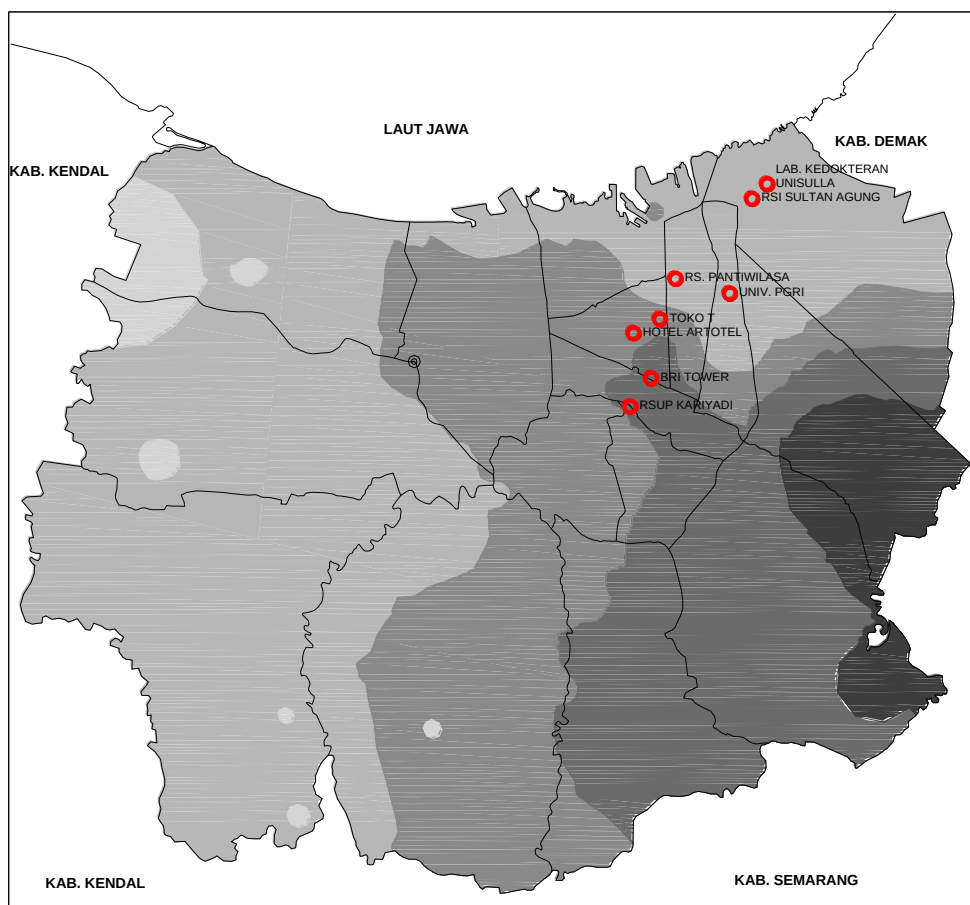


Gambar 4.3 . Zona gempa sampel penelitian : Kota Banyumas dan Kota Bobong Peta Gempa Indonesia tahun 2012 (sumber : SNI 1726-2012)

- Untuk wilayah gempa Indonesia terdiri 10 lokasi (lihat tabel 4.3) : 8 Lokasi dibagi di wilayah 2, 4 dan 6 peta gempa Indonesia SNI 1726:2002 dan 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/ 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 4.2) dan grafik

respons spektrum gempa rencana SNI 1726:2002. Perhitungan $C_{S \text{ min}}$, $S_S=0.25g$ dan $S_1=0.1g$ berdasarkan FEMA 155 atau C_a dan 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 dan 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 4.4 & gambar 4.4) . 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/. Perhitungan $C_{S \text{ min}}$, $S_S=0.25g$ 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 4.4. Lokasi sampel penelitian sebagai contoh aplikasi dari metode SVA Disain Arsitektur yang menggunakan peraturan gempa SNI 1726 : 2012

Tabel 4.4. Variasi zona gempa, kelas situs, fungsi dan tinggi bangunan rencana di Kota Semarang untuk contoh aplikasi metode SVA Disain 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		
Rumah sakit radioterapy & onkologi 6 lantai (ONG-01)	SNI 1726-2012	Semarang	Tinggi	Tanah sedang
		S _s =1.098 g, S ₁ =0.364 g		
Menara Bank 9 lantai (BR-01)	SNI 1726-2012	Semarang	Tinggi	Tanah lunak
		S _s =1.1 g, S ₁ =0.36 g		
Gedung Toko T 6 lantai (TT-01)	SNI 1726-2012	Semarang	Tinggi	Tanah lunak
		S _s =1.008 g, S ₁ =0.339 g		

BAB V. HASIL YANG DICAPAI

5.1. Capaian Target Penelitian

Tabel 5.1. Tabel Capaian Target Penelitian

No.	Jenis Kegiatan	Output	Realisasi	
			Capaian	Keterangan
1.	2 Publikasi jurnal internasional bereputasi terindeks <i>web of science</i>	Draft	• 1 Published (Indian Journal Science & Technology) • 1 Published (Jurnal Kejuruteraan Malaysia)	Terlampir
2.	1 Publikasi Prosiding International Terindeks	Draft	• 1 Published (IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 99)	Terlampir
3.	Laporan Disertasi	Berita acara sidang terbuka	Sudah dilaksanakan	Terlampir

5.2. Temuan Penelitian

Berdasarkan proses adaptasi SVA retrofit JBDPA dan Seki menjadi SVA Disain Arsitektur diatas didapatkan temuan model matematis yaitu :

Tabel 5.2. 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 :
		$I_s = \frac{n+1}{n+i} \left[(I_{Ac-i} \cdot I_{C-i} \cdot I_{SCWB-i} \cdot I_T \cdot \frac{R}{\Omega_0}) \right] \cdot S_D$
		Beban lateral gempa :
		$I_{so} = \frac{n+i}{2n-i+1} \cdot I_{CS} \cdot I_e$
		Level potensi kerentanan seismik berdasarkan perbandingan kapasitas lateral struktur bangunan dan

		beban lateral gempa : <table><tr><th>Evaluasi kerentanan seismik</th><th>Level potensi kerusakan</th><th colspan="2">Performa seismik-FEMA 273 (FEMA 1997)</th></tr><tr><td>$I_s > I_{SO}$</td><td>Rusak ringan</td><td><0.5%</td><td>IO (Immediate Occupancy)</td></tr><tr><td>$0.5I_{SO} \leq I_s \leq I_{SO}$</td><td>Rusak sedang</td><td><1.5%</td><td>LS (Life Safety)</td></tr><tr><td>$I_s < 0.5I_{SO}$</td><td>Rusak berat</td><td><2.5%</td><td>CP (Collapse Prevention)</td></tr></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 : $I_s = \frac{n+1}{n+i} \left[[(I_{Ac-i} \cdot I_{C-i}) + (I_{Asw-i} \cdot I_{SW-i})] \cdot I_{SCWB-i} \cdot I_T \cdot \frac{R}{\Omega_0} \right] \cdot S_D$ Beban lateral gempa : $I_{SO} = \frac{n+i}{2n-i+1} \cdot I_{CS} \cdot I_e$ Level potensi kerentanan seismik berdasarkan perbandingan kapasitas lateral struktur bangunan dan beban lateral gempa : <table><tr><th>Evaluasi kerentanan seismik</th><th>Level potensi kerusakan</th><th colspan="2">Performa seismik-FEMA 273 (FEMA 1997)</th></tr><tr><td>$I_s > I_{SO}$</td><td>Rusak ringan</td><td><0.5%</td><td>IO (Immediate Occupancy)</td></tr><tr><td>$0.5I_{SO} \leq I_s \leq I_{SO}$</td><td>Rusak sedang</td><td><1.5%</td><td>LS (Life Safety)</td></tr><tr><td>$I_s < 0.5I_{SO}$</td><td>Rusak berat</td><td><2.5%</td><td>CP (Collapse Prevention)</td></tr></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)															

5.3. Publikasi Jurnal International Bereputasi dan Prosiding International Terindeks

Tabel 5.3. Daftar Publikasi Jurnal International Bereputasi

No.	JURNAL	STATUS
1.	JURNAL INTERNASIONAL, TERINDEKS : WEB OF SCIENCE CLAVIRATE ANALYTIC Indian Journal Science and Technology, E-ISSN : 0974-5645, ISSN : 0974-6846 http://www.indjst.org/index.php/indjst/article/view/121768/8875 1, Volume 11-Issue 20, Indian Society for Education and Environment Judul : Simplified Vulnerability Analysis (SVA) Preliminary Design of the Frame Structure in the Architectural Design Process	Sudah terbit, Mei 2018
2.	JURNAL INTERNASIONAL, TERINDEKS : WEB OF SCIENCE CLAVIRATE ANALYTIC	Sudah terbit,

	Jurnal Kejuruteraan/Journal of Engineering, E-ISSN : 2289-7526, ISSN : 0128-0198 http://www.ukm.my/jkukm/ , Volume 30(2) 2018, Faculty of Engineering and Built Environment Universiti Kebangsaan Malaysia Judul : The Soft Story Challenge to Architectural Design in Earthquake-Prone Areas	Oktober 2018
3.	INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABILITY IN ARCHITECTURAL DESIGN AND URBANISM 2017, TERINDEKS : SCOPUS IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 99 (2017) 01 1001, doi : 10.1088/1755-1315/99/1/011001, http://iopscience.iop.org/issue/1755-1315/99/1 , Departement of Architecture, Faculty of Engineering, Diponegoro University, 2017 Judul : The effect of earthquake on architecture geometry with non-parallel system irregularity configuration	Sudah terbit 2018

5.4. Kemajuan Program Doktor

Hasil penelitian disertasi ini sudah dipertahankan di majelis sidang terbuka pada tanggal 22 November 2018 (berita acara sidang terlampir).



Gambar 5.1. Peneliti berfoto bersama Majelis Sidang Terbuka : Dekan, Kaprodi, Pembimbing dan Penguji selesai Sidang Terbuka tanggal 22 November 2018.

BAB VI. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

Temuan SVA Desain Arsitektur pada penelitian ini hanya dikhususkan pada bangunan umum dengan ketinggian 2 s/d 10 lantai dan bermaterial beton. Kedepannya akan dilakukan penelitian lanjutan sehingga SVA Desain Arsitektur dapat digunakan dalam menilai kerentanan bangunan umum dengan ketinggian 2 s/d 10 lantai dan bermaterial baja sehingga perlu dilakukan pengecekan ulang pada parameter struktur dan parameter konfigurasi geometri apakah masih sesuai atautkah perlu modifikasi dengan perilaku bangunan baja pada saat terjadi gempa kuat.

BAB VII. KESIMPULAN DAN SARAN

7.1. Kesimpulan

SVA *Retrofit* JBDPA dan Matsutaro Seki merupakan SVA yang digunakan dalam penilaian kerentanan bangunan sebelum dan sesudah gempa sebagai dasar penilaian lanjutan apakah diperlukan perkuatan dan jenis perkuatan apa yang sesuai. Sedangkan SVA Disain Arsitektur merupakan SVA yang digunakan dalam penilaian kerentanan bangunan terhadap gempa dalam proses disain arsitektur.

Prinsip dasar penilaian kerentanan bangunan terhadap gempa prosedur RVS, SVA dan DVA sama yaitu kapasitas struktur bangunan lebih besar daripada beban lateral gempa. Prinsip ini juga diadopsi SVA Disain Arsitektur sebagai prinsip dasar penilaian kerentanan bangunan terhadap gempa tetapi karena SVA *Retrofit* JBDPA dan Matsutaro Seki, dan SVA Disain Arsitektur memiliki tujuan yang berbeda sehingga parameter struktur, geometri bangunan dan beban gempa perlu dilakukan modifikasi. Untuk parameter struktur dimasukkan konsep-konsep ideal disain bangunan tahan gempa dan diantara parameter-parameter tersebut yang berhubungan dengan *code*/peraturan gempa disesuaikan dengan menggunakan peraturan gempa Indonesia. Parameter geometri bangunan disesuaikan dengan bentuk-bentuk geometri yang umum di Indonesia. Modifikasi pada parameter struktur berpengaruh pada parameter-parameter beban gempa sehingga juga dilakukan modifikasi dan diantara parameter-parameter tersebut yang berhubungan dengan *code*/peraturan gempa disesuaikan dengan menggunakan peraturan gempa Indonesia.

7.2. Saran

Indonesia sebagai wilayah yang rawan gempa sehingga diharapkan temuan metode SVA Disain Arsitektur ini dapat digunakan dalam proses disain arsitektur sehingga dapat mengurangi potensi kerusakan bangunan akibat gempa di Indonesia.

REFERENSI

- Allen, M. P. and Tildesley, D. J. (2017) *Computer simulation of liquids*. Oxford university press.
- Arnold, C. (1996) ‘Architectural Aspects of Seismic Resistant Design’, in *Eleventh World Conference on Earthquake Engineering*. Elsevier Science Ltd.
- 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.
- 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.
- Bungin, H. . B. (2009) *Metodelogi Penelitian Kuantitatif*. Jakarta: Kencana Prenada Media Group.
- Cohen, J. (1988) *Statistical power analysis for the behavioral sciences* . Hillsdale, NJ: Lawrence Earlbaum Associates.
- 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 (2007) *NEHRP Recommended Provisions for New Buildings and Other Structures: Training and Instructional Materials-FEMA 451B*. Washington DC: Federal Emergency Management Agency (FEMA).
- Groat, L. and Wang, D. (2013) *Architectural Research Methods*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Imran, I. and Hendrik, F. (2010) *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*. Bandung: Institut Teknologi Bandung (ITB).
- Irsyam, M. and Et.al. (2010) *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010-Sebagai Acuan Dasar Perencanaan Dan Perancangan Infrastruktur Tahan Gempa*. Jakarta: Kementrian Pekerjaan Umum.
- 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.

- Nasution, S. (1995) *Metode research (penelitian ilmiah): usul tesis, desain penelitian, hipotesis, validitas, sampling, populasi, observasi, wawancara, angket*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Okada, T. et al. (eds) (2005) *Guidelines for Seismic Retrofit of Existing Reinforced Concrete Buildings*. Tokyo: The Japan Building Disaster Prevention Association (JBDPA).
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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: .

Lampiran 1. Berita Acara Sidang Terbuka



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO

FAKULTAS TEKNIK

Jl. Prof. H. Soedarto, S.H Tembalang – Semarang, Kode Pos 50275 Telp. (024) 7460053, 7460055 Fax. (024) 7460055
Situs : <http://www.ft.undip.ac.id> – Email : teknik@undip.ac.id

**BERITA ACARA
UJIAN PROMOSI DOKTOR
SAUDARA LIVIAN TEDDY, ST., MT.
PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU ARSITEKTUR DAN PERKOTAAN
FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS DIPONEGORO**

Pada hari ini, Kamis tanggal 22 November 2018 bertempat di Ruang Sidang Sekolah Pascasarjana, Fakultas Teknik menyelenggarakan Ujian Promosi Doktor atas nama Saudara Livian Teddy, ST., MT., Program Studi Doktor Ilmu Arsitektur dan Perkotaan Fakultas Teknik UNDIP;

1. Ujian Promosi Doktor dipimpin oleh Ir. M. Agung Wibowo, M.M., M.Sc., Ph.D. sebagai Ketua Tim Penguji, didampingi oleh Dr. Ir. Atiek Suprpti, M.T. sebagai Sekretaris Tim Penguji, serta anggota Tim Penguji yang terdiri dari :
 1. Prof. Dr. Ir. Sugeng Triyadi, M.T. (Penguji Eksternal)
 2. Dr. Ir. Titien Woro Murtini, MSA
 3. Dr. Ir. Agung Budi Sardjono, M.T.
 4. Prof. Dr. Ir. Sri Tudjono, M.S. (Co Promotor II)
 5. Dr. Ir. Nuroji, M.S. (Co Promotor I)
 6. Prof. Dr.-Ing. Ir. Gagoek Hardiman (Promotor)
2. Hasil penilaian Ujian Promosi Doktor Saudara Livian Teddy, ST., MT. setelah diperhitungkan dengan IP (Indeks Prestasi) Kuliah Tatap Muka dan Nilai Ujian Tertutup, maka dinyatakan **LULUS** dengan predikat: **Sangat Memuaskan** dengan rata-rata nilai kumulatif : **3,85 (tiga koma delapan puluh lima)** dan lama studi 4 tahun 2 bulan 21 hari.

Demikian Berita Acara Ujian Promosi Doktor dibuat dan disusun sesuai dengan jalan dan hasil rapat.



Semarang, 22 November 2018
Ketua Tim Penguji,

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