**Bidang Penelitian: Material Maju** 

## LAPORAN AKHIR PENELITIAN SAINS TEKNOLOGI DAN SENI UNIVERSITAS SRIWIJAYA

## JUDUL PENELITIAN

## PERUBAHAN PERILAKU DINAMIS PADA BANGUNAN IREGULER DENGAN SISTEM KONSTRUKSI RANGKA RIGID MENJADI SISTEM KONSTRUKSI RANGKA RIGID & DINDING GESER/SHEAR WALL BERMATERIAL BETON BERTULANG



1. Dr. Livian Teddy, ST., MT

2. Husnul Hidayat, ST., MT

3. Dessa Andriyali Armarieno, S.T., M.T

(NIDN. 0010057507) (NIDN. 0024108304) (NIDN. 0001128505)

Dibiayai oleh: Anggaran DIPA Badan Layanan Umum Universitas Sriwijaya Tahun Anggaran 2021 No. SP DIPA-023.17.2.677515/2021, tanggal 23 November 2020 Sesuai dengan SK Rektor Nomor : 0007/UN9/SK.LP2M.PT/202I Tanggal 27 April 2021

PROGRAM STUDI TEKNIK ARSITEKTUR FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SRIWIJAYA Tahun Anggaran 2021

# HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR SKEMA PENELITIAN SAINS, TEKNOLOGI, DAN SENI

1. Judul Penelitian	: Perubahan Perilaku Dinamis Pada Bangunan Ireguler
	Dengan Sistem Konstruksi Rangka Rigid Menjadi
	Sistem Konstruksi Rangka Rigid & Dinding
	Geser/Shear Wall Bermaterial Beton Bertulang
2. Bidang Penelitian	: Material Maju
3. Ketua Peneliti	
a. Nama Lengkap	: Dr. Livian Teddy, ST.,MT
b. NIDN/NIDK	: 0010057507
c. Pangkat dan Golongan	: Penata/IIIc
d. Fakultas/Jurusan/Prodi	:Teknik/Teknik Arsitektur
e. Telepon/HP/Faks/E-mail	: 0895383927303/livianteddy@gmail.com
4 Jumlah Anggota Peneliti	: 2
a.Nama Anggota I	: Husnul Hidayat, ST., M.Sc
NIDN/NIDK	: 0024108304
b.Nama Anggota II	: Dessa Andriyali Armarieno,S.T.,M.T
NIDN/NIDK	: 0001128505
5 Jangka Waktu Penelitian	: 1 tahun
6.Jumlah Dana yang disetujui	: Rp. 30.000.000,-
7. Target Luaran TKT	: 3

8.Nama, NIM dan Jurusan/ Program Studi/BKU Mahasiswa yang Terlibat

- Hanifh Gusti Akbar, 03061281621040, T. Arsitektur, Arsitektur tahan gempa
- Maria Amanda Suhendar, 03061181722015, T. Arsitektur, Arsitektur tahan gempa

AKEBUDAY Mengetahui Jekan DEKA Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T. NIP. 196706151995121002

Indralaya, November 2021 Ketua Peneliti,

Dr. Lívian Teddy, ST.,MT NIP. 197402012005011003

KEBUIndarataya, November 202 A Ketua PPM Universitas Sriwijaya, Samsuryadi, S.Si., M.Kom., Ph.D NIP\_197102041997021003

### KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT sebagai sumber ilmu, rahmat, barakah, anugrah dan pemberi petunjuk jalan dan kemudahan yang telah melimpahkan nikmat, karunia dan hidayah-Nya. Laporan penelitian dengan judul : Perubahan Perilaku Dinamis pada Bangunan Ireguler Dengan Sistem Konstruksi Rangka Rigid Menjadi Sistem Konstruksi Rangka Rigid & Dinding Geser/*Shear Wall* Bermaterial Beton Bertulang. Diharapakan dapat menambah pengalaman penelitian penulis dalam bidang arsitektur. Semoga penelitian ini nantinya dapat memberikan pedoman bagi arsitek dalam mendisain bangunan tahan gempa.

Indralaya, November 2021

Dr. Livian Teddy, ST., MT

## DAFTAR ISI

HALA	i i
HALA	MAN PENGESAHAN ii
KATA	A PENGANTAR iii
DAFT	iv
BAB I	I. PENDAHULUAN1
1.1.	LATAR BELAKANG
1.2.	RUMUSAN MASALAH
1.2.	TUJUAN PENELITIAN
BAB I	II. TINJAUAN LITERATUR3
2.1.	STRUKTUR RANGKA RIGID
2.2.	STRUKTUR DUAL
2.3.	MATERIAL BETON BERTULANG
2.4.	MODAL ANALYSIS DAN ECCENTRICITY (ANALISIS MODAL &
	EKSENTRISITAS)
2.4.1.	DIRECTIONS FACTOR (FAKTOR ARAH )
2.4.2.	PERIOD (PERIODE GETAR STRUKTUR )
2.4.3.	<i>MODE</i> (RAGAM )
2.4.4.	PARTICIPATING MASS RATIO (RASIO PARTISIPASI MASSA)7
2.4.5.	ECCENTRICITY (EKSENTRISITAS)
2.5.	EVALUASI IREGULERITAS GEOMETRI BANGUNAN TERHADAP GEMPA8
2.5.1.	KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN TORSI8
2.5.2.	KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN SUDUT DALAM9
2.5.3.	KONFIGURASI DISKONTINUITAS DIAFRAGMA9
2.5.4.	KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN SISTEM NONPARALEL10
2.5.5.	KONFIGURASI SOFT STORY / TINGKAT LUNAK11
2.5.6.	KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN BERAT/MASSA12
2.5.7.	KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN GEOMETRI VERTIKAL12
2.5.8.	KONFIGURASI DISKONTINUITAS KETIDAKBERATURAN KUAT LATERAL
	TINGKAT / WEAK STORY
2.5.9.	KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN PERGESERAN MELINTANG
	TERHADAP BIDANG & DISKONTINUITAS ARAH BIDANG14

BAB I	II. METODE PENELITIAN	17
3.1.	JENIS RANCANGAN PENELITIAN	17
3.2.	SAMPEL DAN MODEL PENELITIAN	18
3.3.	METODE PENGUMPULAN DATA	18
3.4.	METODE ANALISIS DATA	18
BAB I	V. TINJAUAN LOKASI PENELITIAN	20
4.1.	KONDISI KEGEMPAAN DI INDONESIA	20
4.2.	KONDISI KEGEMPAAN DI SUMATERA SELATAN	22
4.3.	MODEL PENELITIAN	23
BAB V	V. FORMULA DAN PROSEDUR PERLETAKAN DINDING GESER YAN	G
	DIUSULKAN & STUDI KASUS	26
5.1.	FORMULA DAN PROSEDUR YANG DIUSULKAN	26
5.2.	STUDI KASUS	30
5.2.1.	MODEL 1 DAN 1A	30
5.2.2.	MODEL 2 DAN 2A	32
5.2.3.	MODEL 3 DAN 3A	34
5.2.4.	MODEL 4 DAN 4A	36
5.2.5.	MODEL 5 DAN 5A	38
5.2.6.	MODEL 6 DAN 6A	40
5.2.7.	MODEL 7 DAN 7A	13
5.2.8.	MODEL 8 DAN 8A	45
5.2.9.	MODEL 9 DAN 9A	18
5.2.10.	MODEL 10 DAN 10A	50
5.2.11.	MODEL 11 DAN 11A	53
5.2.12.	MODEL 12 DAN 12A	55
5.2.13.	MODEL 13 DAN 13A	58
5.2.14.	MODEL 14 DAN 14A	50
BAB V	/I. KESIMPULAN	53
DAFT	AR PUSTAKA	54
LAMP	PIRAN : LUARAN WAJIB	58

## **BAB I. PENDAHULUAN**

#### I.1. LATAR BELAKANG

Indonesia merupakan wilayah rawan gempa termasuk wilayah Sumatera Selatan, sehingga bangunan harus dirancang untuk tahan gempa di Indonesia. Proses perancangan bangunan tahan gempa seharusnya dimulai dari proses disain arsitektur dengan mempertimbangkan aspek geometri bangunan yang akan berpengaruh pada perilaku struktur dalam menerima beban lateral terutama gempa (Banginwar, Vyawahare and Modani, 2012).

Bangunan dengan konfigurasi geometri reguler/beraturan relatif lebih tahan terhadap gempa sedangkan bangunan dengan konfigurasi geometri ireguler/tidak beraturan ketika terjadi gempa kuat banyak yang mengalami kerusakan parah bahkan roboh (Tarigan, 2007; Teddy et al., 2017, 2018b, 2020). Tetapi kebutuhan bangunan akibat pertumbuhan penduduk yang semakin besar dan lokasi bangunan yang semakin terbatas di kota-kota besar, seringkali bangunan dengan konfigurasi ireguler tidak terhindarkan (Ravikumar et al., 2012). Ireguleritas pada pangunan dapat memicu timbulnya torsi yang diakibatkan adanya eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan. Untuk mengurangi efek torsi pada bangunan umumnya dengan menggunakan shear wall/dinding geser. Shear wall juga memiliki kemampuan untuk memperkaku dan mereduksi deformasi pada bangunan akibat beban gempa (Kewalramani and Syed, 2018). Tetapi efisiensi penggunaan shear wall sangat tergantung pada posisi perletakkannya di bangunan. Untuk mendapatkan posisi shear wall yang optimum sangat sulit dan jika salah perletakkan dapat memicu torsi yang lebih besar lagi dari sebelumnya (Banerjee and Srivastava, 2020). Untuk mendapatkan guidance posisi optimal shear wall beberapa peneliti (Kewalramani and Syed, 2018; Powale and Pathak, 2019; Banerjee and Srivastava, 2020) melakukan simulasi dengan Etabs secara trial-anderror. Dengan melakukan variasi perletakan shear wall pada beberapa bangunan ireguler. Kemudian hasilnya dibandingkan untuk mengetahui posisi yang paling optimum. Tetapi proses disain seperti ini cukup lambat dan luas dinding geser yang dibutuhkan juga tidak diketahui. Beberapa peneliti lainnya (Basu and Jain, 2007; Zhang and Mueller, 2017; Botiş, Cerbu and Shi, 2018; Botis and Cerbu, 2020) menggunakan pemograman seperti matlab sehingga langsung didapatkan posisi dan orientasi optimum shear wall dan luasan yang dibutuhkan. Cara ini memang praktis tapi tidak semua ahli struktur dan arsitek menguasai pemograman matriks yang kompleks tesebut.

Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini mengusulkan formula dan prosedur perhitungan yang relatif sederhana untuk mendapatkan preliminary luasan shear wall dan posisi optimal shear wall. Untuk menguji prosedur tersebut dilakukan menggunakan hasil penelitian sebelumnya (Teddy, Adiyanto and Hidayat, 2020) simulasi menggunakan 14 model bangunan dengan material beton bertulang dengan berbagai kategori ireguleritas karena material beton bertulang dikenal sebagai material yang getas dan paling banyak di gunakan di Indonesia sehingga harus berhati-hati dalam penggunaanya. Hasil analisanya yang menggunakan software Etabs didapatkan output : fundamental period, mode, participacing ratio dan eccentricity model bangunan tanpa shear wall. Atas dasar output tersebut dilakukan perhitungan sederhana penentuan luas shear wall menggunakan formula dan prosedur yang diusulkan kemudian shear wall ditambahkan pada masing-masing model untuk memperbaiki irreguleritasnya sehingga menjadi relatif reguler. Selanjutnya di analisa kembali sehingga didapatkan output: fundamental period, mode, participacing ratio dan eccentricity model bangunan dengan shear wall. Hasil output sebelum dan sesudah pemberian shear wall dibandingkan untuk mengetahui kelebihan dan kelemahannya. Kemudian disusun guidance bagi arsitek sebagai pertimbangan dalam mendisain geometri bangunan dengan konfigurasi ireguler dan penggunaan shear wall untuk memperbaiki perilaku dinamis bangunan menjadi relatif reguler sehingga lebih tahan terhadap gempa.

#### I.2. RUMUSAN MASALAH

Bagaimana formula dan prosedur perletakan *shear wall* untuk mendapatkan *preliminary* luasan *shear wall* dan posisi optimal *shear wall* ?

#### **I.3. TUJUAN PENELITIAN**

- Untuk mendapatkan pedoman bagi arsitek dalam mendisain bangunan dengan menggunakan *shear wall* dalam mengurangi dampak ireguleritas bangunan sehingga lebih tahan terhadap gempa.
- 2. Menambah khasanah keilmuan dalam ilmu arsitektur terutama dalam bidang *earthquake architecture*.

## **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

#### 2.1. STRUKTUR RANGKA RIGID

Rangka rigid (kaku) biasanya terdiri dari susunan paralel atau ortogonal kolom dan balok (gambar 2.1). 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. 1. Sistem struktur rangka (sumber : Schueller 1989).

## **2.2.STRUKTUR DUAL**

Pada sistem struktur ini ketahanan terhadap beban horisontal diberikan oleh kombinasi dinding geser dan rangka rigid (gambar 2.2). 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. 2. Sistem bangunan inti dan rangka (sumber : Schueller 1989).

### 2.3.MATERIAL BETON BERTULANG

Beton bertulang merupakan material favorit dalam industri bangunan di dunia termasuk di Indonesia. Beton merupakan material percampuran dari semen, kerikil, pasir dan air. Material yang terbentuk dari hasil percampuran tersebut dapat memiliki sifat memiliki kekuatan tekan yang tinggi tapi kekuatan tarik yang lemah. Untuk mengatasi hal tersebut beton dikombinasikan dengan baja tulangan.

Jika proses pembentukan beton bertulang dilakukan dengan baik akan mendapatkan material yang kuat, tahan lama dan daktil (Nawy, Surjaman and Suryoatmono, 1990). Dalam perencanaan bangunan tahan gempa tingkat daktilitas beton bertulang bermacam-macam sesuai dengan Kategori Desain Seismik-nya.

#### 2.4. MODAL ANALYSIS (ANALISIS MODAL)

Analisis modal, atau metode *mode*-superposisi, adalah prosedur respons dinamis linier yang mengevaluasi dan melapiskan bentuk *mode* getaran bebas untuk mengkarakterisasi pola perpindahan. Bentuk *mode* menggambarkan konfigurasi yang secara alami akan dipindahkan oleh suatu struktur. Biasanya, pola perpindahan lateral menjadi perhatian utama. Bentuk mode ekspresi matematika orde rendah cenderung memberikan kontribusi terbesar untuk respon struktural. Saat pesanan meningkat, bentuk *mode* berkontribusi lebih sedikit, dan diperkirakan kurang andal. Masuk akal untuk memotong analisis jika jumlah bentuk *mode* cukup.

Sebuah struktur dengan derajat kebebasan N akan memiliki bentuk mode N yang sesuai. Setiap bentuk *mode* adalah pola perpindahan independen dan normal yang dapat diperkuat dan dilapiskan untuk membuat pola perpindahan resultan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3. Perpindahan resultan dan komponen modal (sumber : Ondrej, 2019).

Evaluasi numerik dilanjutkan dengan mengurangi persamaan gerak (N persamaan diferensial simultan digabungkan dengan massa penuh dan matriks kekakuan) menjadi himpunan yang jauh lebih kecil dari persamaan diferensial orde dua tak berpasangan (N persamaan koordinat normal independen). Ortogonalitas hubungan bentuk mode memungkinkan reduksi ini.

Dalam program ETABS analisis modal menghasilkan beberapa *output* dalam menilai ireguleritas suatu bangunan yaitu *directions factor*, *period*, *mode* dan *participating ratio*. Analisis lainnya dalam Etabs dalam menilai ireguleritas suatu bangunan yaitu *centers mass and rigidity*.

#### 2.4.1. DIRECTIONS FACTOR (FAKTOR ARAH)

Untuk setiap mode, faktor arah modal mengidentifikasi dominasi arah eksitasi. Setiap faktor adalah persentase yang menghubungkan komponennya (terjemahan sepanjang X atau

Y, atau rotasi sekitar Z) dengan perpindahan total pada semua diafragma dan lantai. Oleh karena itu, faktor arah berjumlah 100 (Habib, 2012).

### 2.4.2. PERIOD (PERIODE GETAR STRUKTUR)

Periode getar biasanya digambarkan sebagai pendulum yang diberi gaya sehingga mengayun secara bolak balik. Periode getar disimbolisasi T dengan satuan detik. Waktu mengayun pendulum dari mulainya berayun sampai dengan kembali ketempatnya semula disebut 1 periode getar.

Bangunan juga memiliki periode getar alami atau *natural fundamental period*. Dimana bangunan bangunan akan berayun dengan sendirinya tanpa adanya gaya dari luar yang tergantung pada kekakuan dan massa bangunan itu sendiri. Periode getar struktur ini merupakan hal yang sangat penting dalam perencanaan bangunan tahan gempa karena merupakan salah satu parameter yang menentukan intensitas gempa pada bangunan (Mulia, 2016).

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k} = \frac{1}{f}}$$
(2.1)

Dimana,

T = periode getar ω = frekuensi sirkular m = massa k = kekakuan f = frekuensi

### 2.4.3. *MODE* (RAGAM)

Menurut Mulia (Mulia, 2016), *mode* berkaitan erat dengan periode getar. Dalam analisa dinamik, periode getar divisualisasikan sebagai pola ayunan (*shape mode*). *Mode shape* merupakan pola-pola ayunan dalam periode terpanjang sampai dengan periode terpendek. Periode *mode shape* terpanjang disebut *mode shape* pertama atau *fundamental mode*. Pada umumnya *fundamental mode* ini digunakan dalam mengevaluasi fleksibelitas bangunan. Perhitungan *mode shape* sangat sulit dilakukan secara manual tetapi pada saat ini sudah banyak *software* struktur seperti Sap2000, Etabs, Staadpro dan lainnya yang dapat melakukan perhitungan dinamis *mode shape*.

Shape mode digunakan untuk menilai tingkat ireguleritas konfigurasi geometri bangunan. Bangunan yang mempunyai mode 1 dan mode 2 = translasi (Ux, Uy), dan mode 3 = rotasi (Rz) maka bangunan tersebut memiliki konfigurasi geometri yang reguler (Murty *et al.*, 2012). Nilai mode yaitu dari 0-1, semakin mendekati nilai 1 berarti translasi dan rotasi dominan pada satu aksis saja begitu juga sebaliknya semakin mendekati nilai 0 translasi dan rotasi tidak dominan dan bercampurbaur antar aksis.

### 2.4.4. PARTICIPATING MASS RATIO (RASIO PARTISIPASI MASSA)

Participacing Mass Ratio berhubungan dengan mode shape. Pola-pola mode shape dijumlahkan sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total (mass participating ratio) paling tidak 100%. Mass participating ratio 100% dapat digunakan untuk menilai kelayakan model bangunan seperti bentuk bangunan yang terlalu ireguler sehingga mass participating ratio 100% sulit tercapai.

### 2.4.5. CENTER OF MASS AND RIGIDITY (PUSAT MASSA DAN KEKAKUAN)

*Centers of Mass and Rigidity* digunakan untuk mengukur tingkat potensi terjadinya torsi pada suatu bangunan. Torsi diakibatkan terjadinya eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan bangunan atau dengan kata lain pusat massa dan pusat kekakuan tidak berimpit. 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 (Tjokrodimuljo, 1997).



Gambar. 2.4. Eksentrisitas menyebabkan deformasi translasi dan torsi pada bangunan (sumber : Paulay & Priestley 1992)

## 2.5. EVALUASI IREGULERITAS GEOMETRI BANGUNAN TERHADAP GEMPA

Sebenarnya FEMA 451B (FEMA, 2007) sudah memberikan koridor dalam mengevaluasi ireguleritas suatu bangunan tetapi sifatnya terlalu teknis sehingga tidak mudah dipahami oleh arsitek. Sehingga kemudian dikembangkan menjadi SVA (*Simplified Vulnerability Assesment*) Desain Arsitektur (Teddy *et al.*, 2018a) yang salah satunya dapat mengevaluasi ireguleritas bangunan dalam proses desain.

### 2.5.1. KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN TORSI

Torsi terjadi akibat pusat massa (CM) dan pusat kekakuan (CR) tidak berimpit sehingga menimbulkan eksentrisitas (e) yang dapat menyebabkan puntiran/torsi pada bangunan (gambar 2.5). 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 :

 $e_{r-i} = e_i / w_i$  ------ (2.2)

Di mana :  $e_{r-i}$  = rasio antara panjang eksentrisitas ( $e_i$ ) tingkat ke -i dan lebar bangunan ( $w_i$ ) tingkat ke -i.



Tabel 2.1. Tingkatan kualitas rasio eksentrisitas (e<sub>r-i</sub>) konfigurasi ketidakberaturan torsi

Gambar 2.5 : Eksentrisitas (ex, ey) antara center of massa (CM) dan center of rigidity (CR)

#### 2.5.2. 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 (gambar 2.6).

Untuk penentuan persyaratan tingkatan penilaian ketidakberaturan sudut dalam suatu bangunan yaitu :

$$b_{r-i} = l_{p-i}/l_{u-i}$$
 ------ (2.3)

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 2.6. Luas proyeksi proyeksi/sayap bangunan  $(l_{p-i})$ tingkat ke —i dan luas lantai bangunan utama tingkat ke —i  $(l_{u-i})$ .

Tabel 2.2: Tingkatan kualitas rasio dimensi bangunan  $(b_{r-i})$  konfigurasi

ketidakberaturan sudut dalam
------------------------------

Sumber	Tingkatan kualitas (q <sub>b</sub> )		
	1.0	0.75	0.5
JBDPA (Okada <i>et al.</i> , 2005); NZSEE (2006)	Seluruh sayap b <sub>r-i</sub> ≤10%	Salah satu sayap 10% <b<sub>r-i≤30%</b<sub>	Dua atau lebih sayap b <sub>r-i</sub> >30%

### 2.5.3. 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) (gambar 2.7). Untuk penentuan persyaratan tingkatan penilaian diskontinuitas diafragma suatu bangunan yaitu :

$$e_{v-i} = \sum l_{b-i} / \sum l_{l-i}$$
 ------ (2.4)

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 ( $l_{1-i}$ ).



Gambar 2.7. Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

Tabel 2.3. Tingkatan kualitas rasio lubang bukaan (ev-i)

Sumber	Tingkatan kualitas (q <sub>c</sub> )		
	1.0	0.75	0.5
JBDPA (Okada			
<i>et al.</i> , 2005)	e <sub>v-i</sub> ≤0.1	$0.1 < e_{v-i} < 0.3$	$e_{v-i} \ge 0.3$

## konfigurasi diskontinuitas diafragma

### 2.5.4. 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 (gambar 2.8). Untuk penentuan persyaratan tingkatan penilaian ketidakberaturan sistem non paralel suatu bangunan yaitu :

$$j_{r-i} = \sum j_i / \sum j_{t-i}$$
 ------ (2.5)

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 ( $\sum j_{t-i}$ ).



Gambar 2.8. Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang

Tabel 2.4. Tingkatan kualitas rasio jumlah elemen balok & kolom (jr-i)

konfigurasi ketidakberaturan sistem nonparalelSumberTingkatan kualitas (qd)1.00.750.5

Rekomendasi
 $j_{r-i} < 30\%$   $30\% \le j_{r-i} \le 50\%$   $j_{r-i} > 50\%$ 

### 2.5.5. KONFIGURASI SOFT STORY / TINGKAT LUNAK

Konfigurasi ketidakberaturan kekakuan adalah berkurangnya kekakuan lateral secara tibatiba 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 (gambar 2.9).

Untuk mengevaluasi suatu bangunan termasuk konfigurasi ini dengan rumus pendekatan yaitu :

$$l_{r-i} = l_{i+1} / l_i$$
 ------ (2.6)

Di mana :  $l_{r-i}$  = rasio tinggi kolom/dinding geser satu tingkat dari tingkat -i ( $l_{i+1}$ ) dan tinggi kolom ditingkat -i ( $l_i$ ).



Gambar 2.9. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak/soft story

Tabel 2.5. Tingkatan kualitas rasio tinggi kolom (l<sub>r-i</sub>) konfigurasi tingkat lunak

Sumber	Tingkatan kualit	as (q <sub>e</sub> )	
	1.0	0.75	0.5

JBDPA (Okada et			
al., 2005)	$l_{r-i} \ge 0.8$	$0.7 \le l_{r-i} < 0.8$	l <sub>r-i</sub> <0.7

### 2.5.6. 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 (gambar 2.10). Untuk penentuan persyaratan tingkatan penilaian ketidakberaturan berat/massa suatu bangunan yaitu :

$$m_{r-i} = \sum m_i / \sum m_{i+1}$$
 ------ (2.7)

Di mana :  $m_{r-i}$  = rasio massa lantai ditingkat -i ( $m_i$ ) dan massa lantai satu tingkat diatas dari tingkat -i ( $m_{i+1}$ ).



Gambar 2.10. Ketidakberaturan berat/massa

Tabel 2.6: Tingkatan kualitas rasio massa lantai (m<sub>r-i</sub>) konfigurasi

notionito fracture of a massa				
Sumber	Tingkatan kualitas (q <sub>f</sub> )			
	1.0	0.75	0.5	
NZSEE	m .≤100%	100% <m <150%<="" td=""><td>m .&gt;150%</td></m>	m .>150%	
(2006)	III <sub>r-1</sub> -10070	100/0 <iii<sub>r-1100/0</iii<sub>	III <sub>r-1</sub> ~13070	

ketidakberaturan berat/massa

### 2.5.7. KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN GEOMETRI VERTIKAL

Kategor *setback* bisa pemunduran bangunan atau pemajuan bangunan (kantilever). 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 (gambar 2.11) atau untuk kantilever antara kolom dan balok kantilever.

Untuk penentuan persyaratan tingkatan penilaian ketidakberaturan geometri vertikal suatu bangunan yaitu :

$$s_{r-i} = A_i/L_i$$
 ------ (2.8)

Di mana,  $s_{r-i} = rasio panjang bangunan (L_i) tingkat ke -i dan panjang$ *setback* $bangunan (A_i) tingkat ke -i.$ 



Gambar 2.11 : Ketidakberaturan geometri vertikal

Tabel 2.7: Tingkatan kualitas rasio panjang bangunan dan setback (S<sub>r-i</sub>) konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal

Sumber	Tingkatan kualitas (q <sub>g</sub> )		
	1.0	0.75	0.5
Bureau Of Indian Standards (BIS, 2002); FEMA 451B (FEMA, 2007)	s <sub>r-i</sub> ≤0.1	0.1 <s<sub>r-i&lt;0.3</s<sub>	s <sub>r-i</sub> ≥0.3

## 2.5.8. 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 (gambar 2.12).

Untuk penentuan persyaratan tingkatan penilaian ketidakberaturan kuat lateral tingkat yaitu :

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  $-i (\sum a_e)_{i+1}$ .

Sumber	Tingkatan kualitas (q <sub>h</sub> )		
	1.0	0.75	0.5
Turkish			
Earthquake Code	$a_{r-i} > 0.8$	$0.65 \le a_{r-i} \le 0.8$	a <sub>r-i</sub> <0.65
(2007)			

Tabel 2.8. Tingkatan kualitas rasio luas kolom (ar-i) konfigurasi tingkat lemah



Gambar 2.12. Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat

## 2.5.9. KONFIGURASI KETIDAKBERATURAN PERGESERAN MELINTANG TERHADAP BIDANG & DISKONTINUITAS ARAH BIDANG

Konfigurasi ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang (gambar 2.13) dan diskontinuitas arah bidang (gambar 2.14) 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 :

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.



Gambar 2.13 : Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang





Tabel 2.9: Tingkatan kualitas rasio kepadatan dinding (d<sub>r-i</sub>)

1	1	1. 1. 1
Konfigurasi	ketidakberaturan	bidang

Sumber		Tingkatan kualitas (q <sub>i</sub> )				
		1.0	0.75	0.5		
Alwashali & M	laeda					
(2012); Boen et	al.	d <sub>r-i</sub> >1.5%	$1\% \le d_{r-i} \le 1.5\%$	$d_{r-i} < 1\%$		
(2014)						

			Gi (Tingkatan kualitas)					
			1.0	0.75	0.5			
	а	Konfigurasi ketidakberaturan torsi	e <sub>r-i</sub> ≦0.1	0.1 <e<sub>r-i&lt;0.3</e<sub>	e <sub>r-i</sub> ≥0.3			
	b	Konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam	Seluruh sayap b <sub>r-i</sub> ≤10%	Salah satu sayap 10% <b<sub>r-i≤30%</b<sub>	Dua atau lebih sayap b <sub>r-i</sub> >30%			
Ireguleritas Horisontal	c	Konfigurasi ketidakberaturan diskontinuitas diafragma	e <sub>v-i</sub> ≤0.1	0.1 <e<sub>v-i&lt;0.3</e<sub>	e <sub>v-i</sub> ≥0.3			
	d	Konfigurasi ketidakberaturan sistem paralel	j <sub>r-i</sub> <30%	30%≤j <sub>r-i</sub> ≤50%	j <sub>r-i</sub> >50%			
	е	Konfigurasi ketidakberaturan kekakuan	I <sub>r-i</sub> ≥0.8	0.7≤I <sub>r-i</sub> <0.8	I <sub>r-i</sub> <0.7			
	f	Konfigurasi ketidakberaturan berat/massa	m <sub>r-i</sub> <100%	100%≤m <sub>r-i</sub> ≤150%	m <sub>r-i</sub> >150%			
Ireguleritas Vertikal	g	Konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal / setback	s <sub>r-i</sub> ≤0.1	0.1 <s<sub>r-i&lt;0.3</s<sub>	s <sub>r-i</sub> ≥0.3			
	h	Konfigurasi ketidakberaturan diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat	a <sub>r⊣</sub> ≥0.8	0.65≤a <sub>r-i</sub> <0.8	a <sub>r-i</sub> <0.65			
Ireguleritas Horisontal & Vertikal	i	Konfigurasi ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang & diskontinuitas arah bidang	d <sub>r-i</sub> >1.5%	1%≤d <sub>r.i</sub> ≤1.5%	d <sub>r-i</sub> <1%			

Tabel 2.10. Rekapitulasi indeks ireguleritas di tingkat -i  $(S_{D-i})$ 

## **BAB III. METODE PENELITIAN**



Gambar 3.15. Alur Penelitian

## **3.1. JENIS RANCANGAN PENELITIAN**

Penelitian ini penelitian eksperimen simulasi yang bertujuan menguji model matematis dan prosedur yang diusulkan dengan hasil analisa *modal analysis* dan *eccentricity software*  Etabs. Proses ini umum dilakukan dalam pengujian teori didalam dunia *engineering* (Allen and Tildesley, 2017).

#### **3.2. SAMPEL DAN MODEL PENELITIAN**

Dalam penelitian simulasi ini digunakan model 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 ETABS dengan analisis modal, dapat diketahui ireguleritas bangunan yang dimodelkan terhadap gempa.

Teknik sampling yang digunakan dalam pemilihan model simulasi dalam penelitian ini yaitu *purposive sampling*. Menurut Nasution (1995) *purposive sampling* adalah sampel yang dipilih dengan cermat hingga relevan dengan desain penelitian. Sehingga dalam penelitian ini digunakan 14 model simulasi memiliki variasi konfigurasi geometri yang cukup variatif sehingga dapat dianggap menggambarkan konfigurasi geometri ireguler yang umum digunakan didunia nyata. Hal sesuai yang di anjurkan oleh Yin (Yin, 2013), jumlah sampel yang digunakan antara 6 -10 sampel dianggap cukup memadai jika mampu memberi dukungan yang kuat terhadap proposisi awalnya

#### **3.3. 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).

Data-data kuantitatif yang dikumpulkan dari penelitian-penelitian sebagai *input* pembuatan model simulasi tersebut yaitu :

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

#### **3.4. METODE ANALISIS DATA**

Penelitian ini mengusulkan formula yang relatif sederhana dan prosedur perletakan dinding geser untuk mendapatkan preliminary luasan dinding geser dan posisi optimal

dinding geser. Untuk menguji prosedur tersebut dilakukan menggunakan 14 model bangunan dengan berbagai kategori ireguleritas. Tahap simulasinya : Pertama, 14 model bangunan ireguler tanpa dinding geser di analisa menggunakan software Etabs untuk mendapatkan output : *fundamental period, mode, participacing ratio dan eccentricity*. Atas dasar *output* tersebut dilakukan perhitungan sederhana penentuan luas dinding geser menggunakan formula dan prosedur perletakan dinding geser yang diusulkan.

Tahap berikutnya, dinding geser ditambahkan pada masing-masing model untuk memperbaiki ireguleritasnya sehingga menjadi relatif reguler. Selanjutnya 14 model bangunan ireguler dengan dinding geser tersebut di analisa kembali sehingga didapatkan *output: fundamental period, mode, participacing ratio dan eccentricity*. Hasil *output* sebelum dan sesudah pemberian dinding geser dibandingkan untuk mengetahui akurasi, kelebihan dan kelemahan dari formula dan prosedur yang diusulkan.

## **BAB IV. LOKASI PENELITIAN**

Indonesia merupakan negara rawan bencana gempa bumi (gambar 4.1) karena dilewati beberapa jalur gempa teraktif di dunia, seperti jalur gempa Mediteranian dan Circum Pasifik dan juga berbagai patahan-patahan lokal/sesar. Dengan demikian, sudah ribuan kali gempa besar maupun kecil yang tercatat dan tidak tercatat menimpa Indonesia. Gempa Aceh tahun 2004 menimbulkan 200.000-an 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. Dengan kondisi rawan gempa seperti ini sudah seharusnya bangunan-bangunan yang ada di Indonesia didesain tahan gempa.



Gambar 4.16. Kejadian gempa utama tahun 1900 s/d 2016 (dari total kejadia dengan Mw > 5 sebanyak > 50.000 (sumber : Katalog gempa PUSGEN, 2017)

### 4.1. KONDISI KEGEMPAAN DI INDONESIA

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. Dengan peta gempa yang terbaru 2019 (BSN, 2019), di semua lokasi ada yang mengalami kenaikan dan ada pula yang mengalami penurunan parameter  $S_S$  dan  $S_1$  dibandingkan peta gempa 2012 (BSN, 2012). Artinya, berpengaruh juga potensi 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 4.11. Rentang nilai percepatan respon spektral (MCE<sub>R</sub>)

di masing-masing zona gempa (Sumber : FEMA 2015).

Zona Compa	Rentang nilai respon masing-masing zona				
2011a Gempa	Ss (g)	S1 (g)			
Rendah (Low)	Ss < 0.250g	S1 < 0.100g			
Sedang ( <i>Moderate</i> )	0.250g ≤ Ss < 0.500g	$0.100g \le S1 < 0.200g$			
Sedang Tinggi ( <i>Moderately High</i> )	$0.500g \le Ss < 1.000g$	$0.200g \le S1 < 0.400g$			
Tinggi (High)	$1.000g \le Ss < 1.500g$	$0.400g \le S1 < 0.600g$			
Sangat Tinggi (Very High)	Ss ≥ 1.500g	S1≥0.600g			

Wilayah di Indonesia di peta gempa 2019 memiliki kategori zona gempa rendah (*Low*) s/d zona gempa tinggi (*High*) (gambar 4.1 dan 4.2).



Gambar 4.1. Nilai parameter S<sub>S</sub> kota-kota di Indonesia (sumber : diolah dari <u>http://rsapuskim2019.litbang.pu.go.id/</u>)



Gambar 4.2. Nilai parameter S<sub>1</sub> kota-kota di Indonesia (sumber : diolah dari <u>http://rsapuskim2019.litbang.pu.go.id/</u>)

#### 4.2. KONDISI KEGEMPAAN DI SUMATERA SELATAN

Berdasarkan peta gempa yang terbaru tahun 2019 (BSN, 2019) daerah-daerah di Provinsi Sumatera Selatan termasuk dalam zona *Moderately High* (tinggi menengah ) sampai dengan *High* (tinggi) (lihat gambar 4.3 dan 4.4). Yang berarti sebagian besar daerah-daerah di Provinsi Sumatera Selatan rawan potensi terjadinya gempa. Hal ini berarti arsitek-arsitek di daerah pun perlu bersiap-siap dalam menghadapi potensi terjadinya gempa pada bangunan yang didesainnya. Hal ini berarti arsitek perlu pedoman praktis dalam proses *form finding*. Tetapi pedoman bangunan tahan gempa yang dikembangkan baru-baru ini terlalu teknis dan sulit dipahami oleh arsitek (Özmen and Ünay, 2007). Sehingga diharapkan penelitian ini dapat menjadi kontribusi kecil bagi arsitek sebagai pedoman mendesain bangunan.



Gambar 4.3. Nilai parameter S<sub>s</sub> Kabupaten-kabupaten di Prov. Sumsel (sumber : diolah dari <u>http://rsapuskim2019.litbang.pu.go.id/</u>)



Gambar 4.4. Nilai parameter S<sub>1</sub>Kabupaten-kabupaten di Prov. Sumsel (sumber : diolah dari <u>http://rsapuskim2019.litbang.pu.go.id/</u>)

### **4.3. MODEL PENELITIAN**

Dalam penelitian digunakan 14 model yang berkategori ireguler horisontal dan vertikal. Untuk zona gempa Sumatera Selatan yang digunakan yaitu zona *High* ( $S_s = 1.5$  dan  $S_1 = 0.6$ ), kelas situs tanah lunak, dan fungsi bangunan sebagai perkantoran. Asumsi beban DL = 400 Kg/m2 dan LL = 250 Kg/m2. Sedangkan data-data dimensi struktur dan material dari masingmasing model dapat dilihat pada tabel dibawah ini (tabel 4.2) :

No ·	Model	Jml Lt. (n)	mutu beton (Kg/cm2 )	Mutu baja (Kg/cm2)		Dimensi		Teba l plat lt. (cm)	Tebal plat dindin g geser	Tingg i kolo m (m)
				Tulanga n	Sengkan	balok (cm)	kolom (cm)		(cm)	
1		10	300	4000	2400	B25X40	K60X60	12	25	4
2		10	300	4000	2400	B25X40	K60X60	12	25	4
3		10	300	4000	2400	B25X40	K60X60	12	25	4
4		7	300	4000	2400	B25X40	D60	12	25	4
5		7	300	4000	2400	B25X50 B30X60	D65	12	25	4

Tabel 4.12. Data struktur dan material model bangunan

6	10	300	4000	2400	B25X40	K60X60	12	25	4
7	10	300	4000	2400	B25X40	K60X60	12	25	4
8	10	300	4000	2400	B25X40	K60X60	12	25	4
9	10	300	4000	2400	B25X40	K60X60	12	25	4
10	10	300	4000	2400	B25X40	K60X60	12	25	4
11	10	300	4000	2400	B25X40	K60X60	12	25	4
12	10	300	4000	2400	B25X40 B25X50	K60X60 D60	12	25	4
13	10	300	4000	2400	B25X50	K60X60 D60	12	25	4

14		10	300	4000	2400	B25X40	K60X60 D60	12	25	4
----	--	----	-----	------	------	--------	---------------	----	----	---

## BAB V. FORMULA DAN PROSEDUR PERLETAKAN DINDING GESER YANG DIUSULKAN & STUDI KASUS

### 5.1. FORMULA DAN PROSEDUR YANG DIUSULKAN

Ada beberapa langkah yang perlu dilakukan dalam mendesain perletakan dinding geser pada bangunan yaitu :

1. Langkah pertama, tentukan luas dinding geser yang dibutuhkan dengan menggunakan formula dibawah ini (Ersoy, 2013).

$$\mathbf{A}_{\mathrm{SW}} \ge 0.0012 \sum \mathbf{A}_{\mathrm{pi}} \tag{1}$$

Dimana,

 $A_{SW}$  = Luas minimum penampang dinding geser perlantai

- $\sum A_{pi} =$  Luas kumulatif bruto lantai
- Langkah kedua, setelah diketahui luas penampang dinding geser yang dibutuhkan selanjutnya dilakukan distribusi dinding geser pada lantai bangunan. Perletakan dan orientasi dari dinding geser harus mempertimbangkan :
- Keseimbangan bentuk denah karena jika tidak malah membuat potensi terjadinya torsi semakin besar dari sebelumnya.
- Orientasi dinding geser harus mempertimbangkan kekakuan yang relatif sama antara aksis –X dan -Y denah bangunan. Sumbu lemah bangunan mendapatkan orientasi luas dinding yang lebih daripada sumbu kuat sehingga kedua sumbu memiliki kekakuan yang relatif sama (lihat gambar 1).

$$A_{SW-X} = \frac{Y}{(X+Y)} \cdot A_{SW}$$

$$A_{SW-Y} = \frac{X}{(X+Y)} A_{SW}$$
(3)

Dimana,

A<sub>SW</sub> = Luas minimum penampang dinding geser perlantai

 $A_{SW-X}$  = Luas dinding geser aksis –X

 $A_{SW-Y}$  = Luas dinding geser aksis –Y

Y & X = Dimensi bangunan arah aksis -X dan -Y



- Langkah ketiga, untuk denah kompleks sama ketinggian (gambar 2) dapat disederhanakan dengan membaginya menjadi beberapa blok denah persegi empat sehingga bisa di analisa dengan langkah 2.
- Hitung luas dinding geser masing-masing blok yang proposional dengan luas masingmasing blok. Blok dengan denah yang luas memiliki dinding geser yang luas juga dan sebaliknya, dengan formula :

$$A_{SW-A} = \frac{L_A}{(L_A + L_B + L_C)} \cdot A_{SW}$$
(4)

$$A_{SW-B} = \frac{L_B}{(L_A + L_B + L_C)} . A_{SW}$$
(5)

$$A_{SW-C} = \frac{L_C}{(L_A + L_B + L_C)} A_{SW}$$
(6)

Dimana,

 $A_{SW-A}$ ,  $A_{SW-B}$ ,  $A_{SW-C}$  = Luas dinding geser blok A, B, dan C

 $L_A$ ,  $L_B$ ,  $L_C$  = Luas blok A, B dan C

 Setelah diketahui masing-masing luas dinding geser masing-masing blok selanjutnya hitung luas dinding geser blok pada masing-masing aksis –X dan –Y berdasarkan formula 2 dan 3 menjadi :

Blok A 
$$\rightarrow A_{SW-AX} = \frac{Y1}{(Y1+X1)} A_{SW-A}$$
 (7)

$$A_{SW-AY} = \frac{X1}{(Y1+X1)} A_{SW-A}$$
(8)

Blok B
$$\rightarrow A_{SW-BX} = \frac{Y}{(Y+X2)} A_{SW-B}$$
 (9)

$$A_{SW-BY} = \frac{X2}{(Y+X2)} A_{SW-B}$$
(10)

Blok C 
$$\rightarrow A_{SW-CX} = \frac{Y3}{(Y3+X3)} A_{SW-C}$$
 (11)

$$A_{SW-CY} = \frac{X3}{(Y3+X3)} A_{SW-C}$$
(12)

Dimana,

 $A_{SW-AX}$ ,  $A_{SW-BX}$ ,  $A_{SW-CX}$  = luas dinding geser aksis –X blok A, B, dan C  $A_{SW-AY}$ ,  $A_{SW-BY}$ ,  $A_{SW-CY}$  = luas dinding geser aksis –Y blok A, B, dan C



4. Langkah keempat, untuk denah kompleks dengan beda ketinggian yang signifikan maka masing-masing blok massa yang berbeda ketinggian dihitung sendiri-sendiri luas dinding

gesernya berdasarkan langkah 2 atau langkah 3 tergantung pada komposisi massa dan beda ketinggian bangunan kompleks tersebut.

5. Langkah kelima, untuk mendapatkan jumlah dan panjang dinding geser maka luas dinding geser dari formula 2, 3 dan 7 s/d 12 pada masing-masing aksis –X dan -Y dibagi jumlah dinding geser yang akan distribusikan pada masing-masing aksis. Selanjutnya untuk mengetahui panjangnya dibagi tebal dinding geser (t min. = 25 cm). Ada beberapa lokasi distribusi dinding geser yang ideal (Duggal, 2007; Ali and Aquil, 2014; Vithal, 2017; Fares, 2019) yaitu di sudut-sudut bangunan (gambar 3a), disepanjang sisi bangunan jika > 30 m (gambar 3b), dipertemuan antar massa bangunan (gambar 3c) dan menggunakan inti bangunan (gambar 3d) yang dapat meningkatkan kekakuan dan kekuatan struktur serta mengurangi torsi. Keempat lokasi dinding geser tersebut dapat dipasang sendiri-sendiri ataupun kombinasi.



## **5.2. STUDI KASUS**

## 5.2.1. MODEL 1 DAN 1A





Fabel 13. Modal Direction	Factors model	1 and model 1A
---------------------------	---------------	----------------

a). Model 1						b). Model 1A						
Mode	Period	eriod UX UY RZ Mode Perio		Period	UX	UY	RZ					
	(sec.)						(sec.)					
1	1.921	0.418	0.418	0.164		1	1.008	0.941	0.006	0.053		
2	1.908	0.500	0.500	0		2	0.939	0.009	0.988	0.003		
3	1.842	0.083	0.083	0.835		3	0.752	0.005	0.006	0.944		
Story	Moo	lel 1	Mod	el 1A								
---------	------------------	------------------	------------------	------------------								
-	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>								
Story10	1	1	1	1								
Story9	1	1	1	1								
Story8	1	1	1	1								
Story7	1	1	1	1								
Story6	1	1	1	1								
Story5	1	1	1	1								
Story4	1	1	1	1								
Story3	1	1	1	1								
Story2	1	1	1	1								
Story1	1	1	1	1								

Tabel 14. Rasio eksentrisitas model 1 dan model 1A

Model 1 (gambar 4) dipasang dinding geser menjadi model 1A (gambar 5). Untuk perhitungan dinding geser, massa bangunan dibagi menjadi massa A dan B. Dengan formula 1 s/d 12, didapatkan untuk massa A dibutuhkan dinding geser aksis  $-X 6 \odot 5$  m, dan aksis  $-Y 2 \odot 2.4$  m dan  $6 \odot 5$  m sedangkan untuk massa B dibutuhkan dinding geser aksis  $-X 6 \odot 5$  m.

Dengan penambahan dinding geser juga meningkatkan kekakuan bangunan dengan berkurangnya Periode Fundamental model 1 sebelum menggunakan dinding geser = 1.921 detik (tabel 1a) dan setelah menggunakan dinding geser model 1A Periode Fundamental = 1.008 detik (tabel 1b). Periode ini juga masih dibawah Tmax yang dipersyaratkan yaitu 1.09 detik.

Berdasarkan *shape mode*, model 1 mode 1 dan 2 nilai translasinya sama dan tidak dominan sedangkan mode -3 rotasi dan dominan (tabel 1a). Hal ini berarti translasi masing-masing aksis –Y dan –X yang terjadi tidak seragam atau terjadi translasi diagonal. Dengan demikian bangunan model 1 dapat dikategorikan bangunan ireguler. Untuk memperbaiki perilaku deformasinya diletakkan dinding geser pada model 1A yaitu di sudut-sudut bangunan, sepanjang sisi bangunan dan pertemuan massa A dan B. Hasilnya perilaku deformasinya mengalami perbaikan yang signifikan. Model 1A mode 1 dan 2 = translasi dan dominan, dan mode 3 = rotasi dan dominan (tabel 1b). Maka model 1A dapat dikategorikan bangunan reguler.

Rasio eksentrisitas model 1  $e_{r-x}$  dan  $e_{r-y} = 1$  berarti potensi rotasinya kecil. Setelah penambahan dinding geser rasio eksentrisitas model 1A  $e_{r-x}$  dan  $e_{r-y} = 1$ . Jadi perletakan dari dinding geser sudah optimal karena tidak menimbulkan eksentrisitas yang berlebihan pada bangunan yang dapat menyebabkan konfigurasi ketidakberaturan torsi. Selain itu masalah utama model 1A yaitu terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam (Teddy *et al.*, 2018a) yang dapat menyebabkan konsentrasi gaya-gaya pada pertemuan massa A dan B. Dengan adanya dinding geser pada pertemuan massa A dan B juga ikut menambah kapasitas struktur yang ada dalam menghadapi konsentrasi gaya-gaya tersebut.



## 5.2.2. MODEL 2 DAN MODEL 2A



a). Mode	el 2				b). Model 2	). Model 2A					
Mode	Period	UX	UY	RZ	Mode	Period	UX	UY	RZ		
	(sec.)					(sec.)					
1	1.891	0	1	0	1	1.241	0.999	0	0.001		
2	1.857	0.6	0	0.4	2	0.958	0	1	0		
3	1.778	0.4	0	0.6	3	0.769	0.001	0	0.999		

Tabel 15. Modal Direction Factors model 2 and model 2A

Story	Moo	del 2	Model 2A		
-	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>	
Story10	1	1	1	1	
Story9	1	1	1	1	
Story8	1	1	1	1	
Story7	1	1	1	1	
Story6	1	1	1	1	
Story5	1	1	1	1	
Story4	1	1	1	1	
Story3	1	1	1	1	
Story2	1	1	1	1	
Story1	1	1	1	1	

Tabel 16. Rasio eksentrisitas model 2 dan model 2A

Model 2 (gambar 6) dipasang dinding geser menjadi model 2A (gambar 7). Untuk perhitungan dinding geser, massa bangunan dibagi menjadi massa A dan B. Dengan formula 1 s/d 12, didapatkan untuk massa A dibutuhkan dinding geser 6  $\odot$  5 m sedangkan untuk massa B dibutuhkan dinding geser 2  $\odot$  5 m.

Dengan penambahan dinding geser juga meningkatkan kekakuan bangunan dengan berkurangnya Periode Fundamental model 2 sebelum menggunakan dinding geser = 1.891 detik (tabel 3a) dan setelah menggunakan dinding geser model 2A Periode Fundamental = 1.241 detik (tabel 3b). Periode ini mendekati Tmax yang dipersyaratkan yaitu 1.09 detik. Kekakuan model 2A sudah mencukupi yang dipersyaratkan dalam menghadapi goyangan gempa kuat.

Model 2 sebenarnya termasuk kategori bangunan cukup reguler karena mode 1 dan 2 translasi, dan mode 3 rotasi tetapi translasi mode 2 dan rotasi mode 3 tidak cukup dominan (tabel 3a). Translasi mode 2 bercampur dengan rotasi dan rotasi mode 3 bercampur dengan translasi. Hal ini mengindikasi performa perilaku deformasinya masih bisa diperbaiki. Setelah dipasang dinding geser di ujung-ujung sayap bangunan B dan di sisi bangunan massa A serta pertemuan massa A dan B performa perilaku deformasinya mengalami perbaikan. Mode 1 translasi arah aksis –X dan dominan, mode 2 translasi arah aksis –Y dan dominan, dan mode 3 rotasi arah aksis –Z dan dominan (tabel 3b). Maka model 2A sudah menjadi bangunan reguler.

Rasio eksentrisitas model 1  $e_{r-x}$  dan  $e_{r-y} = 1$  berarti potensi rotasinya kecil. Setelah penambahan dinding geser rasio eksentrisitas model 2A  $e_{r-x}$  dan  $e_{r-y} = 1$  (tabel 4). Jadi perletakan dari dinding geser sudah optimal karena tidak menimbulkan eksentrisitas yang berlebihan pada bangunan. Terbentuk konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam (Teddy *et al.*, 2018a) pada model 2A yang dapat menyebabkan konsentrasi gaya-gaya pada pertemuan massa A dan B. Tetapi dengan adanya dinding geser pada pertemuan massa A dan B berarti menambah kapasitas struktur yang ada dalam menghadapi konsentrasi gaya-gaya tersebut. Selain itu model 2A juga memiliki konfigurasi ketidakberaturan non paralel (Teddy *et al.*, 2018a) yang harus diwaspadai karena pemasangan dinding geser tidak berarti menghilangkan potensi terjadinya torsi dan tegangan berlebih pada elemen-elemen struktur yang dapat menimbulkan kerusakan lokal tidak terduga sebelumnya (Arnold, 2006).



## 5.2.3. MODEL 3 DAN MODEL 3A



Tabel 17. Modal Direction Factors model 3 and model 3A

a). Model 3 b)						). Model 3A					
Mode	Period	UX	UY	RZ		Mode	Period	UX	UY	RZ	
	(sec.)						(sec.)				
1	1.942	0	1	0		1	1.151	1	0	0	
2	1.817	0	0	1		2	0.955	0	1	0	
3	1.813	1	0	0		3	0.655	0	0	1	

Tabel 18. Rasio eksentrisitas model 3 dan model 3A

Story	Moo	del 3	Model 3A		
-	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>	
Story10	1	1	1	1	
Story9	1	1	1	1	
Story8	1	1	1	1	
Story7	1	1	1	1	
Story6	1	1	1	1	
Story5	1	1	1	1	
Story4	1	1	1	1	
Story3	1	1	1	1	
Story2	1	1	1	1	
Story1	1	1	1	1	

Model 3A (gambar 9) merupakan merupakan model 3 (gambar 8) setelah dipasang dinding geser dan inti bangunan. Model 3 dikategorikan bangunan yang sangat langsing karena rasio

Tinggi bangunan (H)/Lebar bangunan (D) = 40/10 = 4, sehingga model ini dikategorikan sangat langsing. Sedangkan rasio kelangsingan ideal untuk mengurangi fleksibelitas bangunan yaitu H/D < 2 (Madutujuh, 2020). Untuk meningkatkan kekakuan model 3A secara signifikan maka dipasang gabungan inti bangunan 2 © 2.5 x 5 m (formula 1 s/d 6) di ujung-ujung sayap bangunan arah aksis –X dan –Y, dan dinding geser 2 © 2 m arah aksis -X dipertemuan massa A dan B.

Sebelum pemasangan dinding geser periode fundamental (T) model 2 = 1.942 detik (model 5a) dan mengalami penurunan setelah pemasangan inti bangunan dan dinding geser pada model 2A = 1.151 detik (tabel 5b). Periode fundamental (T) model  $2A \approx 1.09$  detik (Tmax). Berarti kekakuan model 3A sudah mencukupi yang dipersyaratkan dalam menghadapi goyangan gempa kuat.

Model 3 memiliki *mode shape* yaitu mode 1 = translasi dominan arah aksis -Y, mode 2 = rotasi dominan arah aksis –Z, dan mode 3 = translasi dominan arah aksis –X. Hal ini berarti model 3 terkategori bangunan ireguler sehingga perlu diperbaiki perilaku deformasinya. Setelah pemasangan dinding geser dan inti bangunan pada model 3A, perilaku deformasinya mengalami perbaikan menjadi bangunan reguler dimana mode 1 = translasi dominan aksis –X. Maka model 3A, sudah menjadi bangunan reguler.

Rasio eksentrisitas baik model 3 dan model 3A  $e_{r-x}$  dan  $e_{r-y} = 0$  (tabel 6) sehingga potensi terjadinya torsi pada bangunan relatif kecil. Penggunaan dinding geser pada model 3A mencegah terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan torsi (Teddy *et al.*, 2018a) dan konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam (Teddy *et al.*, 2018a).



#### 5.2.4. MODEL 4 DAN MODEL 4A



Tabel 19. Modal Direction Factors model 4 and model 4A

a). Mode	el 4			b).	M	odel 4A	el 4A				
Mode	Period	UX	UY	RZ		Mode	Period	UX	UY	RZ	
	(sec.)						(sec.)				
1	1.304	0	1	0		1	0.740	0	1	0	
2	1.219	0.085	0	0.915		2	0.702	0.995	0	0.005	
3	1.169	0.915	0	0.085		3	0.505	0.005	0	0.995	

Story	Moo	del 1	Model 1A			
_	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>		
Story7	1	1	1	1		
Story6	1	1	1	1		
Story5	1	1	1	1		
Story4	1	1	1	1		
Story3	1	1	1	0.75		
Story2	1	1	1	0.75		
Story1	1	1	1	1		

Tabel 20. Rasio eksentrisitas (er) model 4 dan model 4A

Untuk memperbaiki performa model 4 (gambar 10) maka dipasang dinding geser pada model 4A (gambar 11) di sudut-sudut dan disisi kiri-kanan bangunan.

Model 4 sebelum dipasang dinding geser memiliki periode fundamental (T) = 1.304 detik setelah dipasang dinding geser periode fundamental (T) model 4A = 0.740 detik. Jika diperbandingkan dengan Tmax = 0.83 detik > T model 4A = 0.74 detik, berarti kekakuan model 4A sudah memenuhi prasyarat kekakuan bangunan tahan gempa.

Berdasarkan tabel 7a *mode shape* model 4 yaitu mode 1 = translasi dominan arah aksis -Y, mode 2 = rotasi dominan arah aksis -Z, dan mode 3 = translasi dominan arah aksis-X. Hal ini berarti Model 1 berkategori bangunan sangat ireguler. Hal ini dipengaruhi oleh terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sistem nonparalel pada model ini. Untuk memperbaiki ireguleritas model 4 perlu dipasang dinding geser. Setelah dipasang dinding geser, *mode shape* model 4A yaitu mode 1 = translasi dominan arah aksis -Y, mode 2 = translasi dominan arah aksis -X dan mode 3 = rotasi dominan arah aksis -Z (tabel 7b). Dengan demikian performa model 4A mengalami perbaikan menjadi bangunan reguler.

Sebelum pemasangan dinding geser, potensi torsi model 4 relatif kecil karena nilai rasio eksentrisitas ( $e_{r-x}$  dan  $e_{r-y}$ ) = 1. Tetapi setelah pemasangan dinding geser pada model 4A terjadi potensi torsi kategori sedang dengan nilai rasio eksentrisitas ( $e_{r-y}$ ) = 0.75 di lantai 2 dan 3 (tabel 8). Berarti masih terbentuk konfigurasi ketidakberaturan torsional (Teddy *et al.*, 2018a) dan masih perlu di re-desain. Selain itu masih terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan non paralel (Teddy *et al.*, 2018a) pada model 4A yang harus diwaspadai karena pemasangan dinding geser tidak berarti menghilangkan potensi terjadinya torsi dan tegangan berlebih pada elemen-elemen struktur yang dapat menimbulkan kerusakan lokal tidak terduga sebelumnya (Arnold, 2006).



## 5.2.5. MODEL 5 DAN MODEL 5A



Tabel 21. Modal Direction Factors model 5 and model 5A

a). Model 5						). Model 5A					
Mode	Period	UX	UY	RZ	•	Mode	Period	UX	UY	RZ	
	(sec.)						(sec.)				
1	1.099	0.021	0.940	0.04		1	0.690	0.701	0.299	0	
2	1.049	0.001	0.042	0.958		2	0.569	0.299	0.701	0	
3	1.029	0.979	0.019	0.003		3	0.398	0	0	1	

Tabel 22. Rasio eksentrisitas model 5 dan model 5A

Story	Moo	del 3	Model 3A			
-	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>		
Story7	1	1	1	1		
Story6	1	1	1	1		
Story5	1	1	1	1		
Story4	1	1	1	1		
Story3	1	1	1	1		
Story2	1	1	1	1		
Story1	1	1	1	1		

Model 5 (gambar 12) dibutuhkan dinding geser untuk memperbaiki performanya dan model 5A (gambar 13) setelah dipasang dinding gesernya. Dengan perhitungan formula 1 s/d 3 dibutuhkan dinding geser 4 4.2–5 m.

Periode fundamental (T) model 5 sebelum dipasang dinding geser = 1.099 detik (tabel 9a) dan setelah dipasang dinding geser periode fundamental (T) model 5A = 0.69 detik (tabel 9b). Jika dibandingkan dengan Tmax = 0.83 detik > T model 3A = 0.69 detik. Terjadi peningkatan kekakuan yang signifikan dalam menghadapi potensi gaya gempa kuat.

*Mode shape* model 5 dikategorikan bangunan ireguler karena mode 1 = translasi, mode 2 = rotasi, dan mode 3 = translasi (tabel 9a). Setelah dipasang dinding geser di ujung-ujung sayap bangunan performa model 5A mengalami perbaikan dimana mode 1 dan 2 = translasi, mode 3 = rotasi dan ketiga mode tersebut cukup dominan (tabel 6b).

Seluruh rasio eksentrisitas model 5 dan model 5A  $e_{r-x}$  dan  $e_{r-y} = 1$  (tabel 10). Berarti potensi terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan torsi (Teddy *et al.*, 2018a) pada model 5A bukan masalah yang krusial bagi bangunan berbentuk organis ini. Tetapi potensi terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan non paralel (Teddy *et al.*, 2018a) pada model 5A yang harus diwaspadai karena pemasangan dinding geser tidak berarti menghilangkan potensi terjadinya torsi dan tegangan berlebih pada elemen-elemen struktur yang dapat menimbulkan kerusakan lokal tidak terduga sebelumnya (Arnold, 2006).



## 5.2.6. MODEL 6 DAN MODEL 6A



Tabel 23. Modal Direction Factors model 6 and model 6A

a). Mode	el 6	b). Model 64				odel 6A	6A				
Mode	Period	UX	UY	RZ	-	Mode	Period	UX	UY	RZ	
	(sec.)						(sec.)				
1	1.816	0	0.936	0.064	-	1	1.163	0.888	0.111	0	
2	1.647	1	0	0	-	2	0.933	0.111	0.886	0.002	
3	1.255	0	0.063	0.937		3	0.660	0	0.014	0.986	

Tabel 24. Rasio eksentrisitas (er) model 6 dan model 6A

Story	Mod	lel 6	Model 6A		
-	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>	
Story10	1	1	1	1	
Story9	1	1	1	1	
Story8	1	1	1	1	
Story7	1	1	1	1	
Story6	0.75	1	1	1	
Story5	0.75	1	1	1	
Story4	0.5	1	1	1	

Story3	0.75	1	1	1
Story2	0.75	1	1	1
Story1	0.75	1	1	1

Performa model 6 (gambar 14) tidak begitu baik karena konfigurasi geometrinya memiliki konfigurasi ketidakberaturan torsional dan konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal . Untuk memperbaiki performanya digunakan formula 1 s/d 3 dipasang dinding geser diujung sudut-sudut sebelah kiri dari massa *podium* (A) 2 © 5 m arah aksis –X dan disudut-sudut massa *tower* (B) 2 © 2.5 m arah aksis –X dan 2 © 5 m arah aksis –Y (gambar 15).

Model 6 memiliki periode fundamental (T) = 1.816 detik (tabel 11a) dan setelah dipasang dinding geser di model 6A memiliki periode fundamental (T) = 1.163 detik (tabel 11b). Jika dibandingkan dengan Tmax = 1.09 detik  $\approx$  T model 6A = 1.163 detik, berarti kekakuan model 6A sudah mencukupi syarat ketahanan terhadap gempa kuat.

*Mode shape* model 2 yaitu mode 1 = translasi dominan arah aksis -Y, mode 2 = translasi dominan arah aksis -X, dan mode = 3 rotasi dominan arah aksis -Z (tabel 11a). Sebenarnya *mode shape* model 2 sudah berkategori bangunan reguler tetapi masih memiliki konfigurasi ketidakberaturan torsional dan konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal. Jadi pemasangan dinding geser di model 6A untuk mengurangi kedua ireguleritas tersebut. Setelah pemasangan dinding geser *mode shape* pada model 6A yaitu mode 1 = translasi dominan arah aksis -Y, mode 2 = translasi dominan arah aksis -X, dan mode = 3 rotasi dominan arah aksis -Z (tabel 11b) yang berarti model 6A masih bisa dipertahankan reguleritasnya.

Model 6 memiliki potensi torsi sedang (0.75) s/d berat (0.5) akibat eksentrisitas arah sumbu – X di lantai 1 s/d 6. Setelah dipasang dinding geser pada model 6A rasio eksentrisitasnya ( $e_{r-x}$  dan  $e_{r-y}$ ) = 1, yang berarti potensi terjadinya torsi relatif kecil (tabel 12). Kekakuan dan kekuatan dari dinding geser juga mengurangi potensi kerusakan lokal akibat terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal. Konfigurasi ketidakberaturan torsional (Teddy *et al.*, 2018a) dan konfigurasi ketidakbeberaturan vertikal (Teddy *et al.*, 2018a) dapat dikontrol dengan pemasangan dinding geser. Dengan demikian konfigurasi geometri model 6A sudah memenuhi syarat ketahanan bangunan terhadap gempa kuat.

## 5.2.7. MODEL 7 DAN MODEL 7A





Tabel 25. Modal Direction Factors model / and model / A	Tabel 25. Modal	Direction	Factors	model 7	and mode	el 7A
---------------------------------------------------------	-----------------	-----------	---------	---------	----------	-------

a). Mode	el 7				b).	Model 7	A			
Mode	Period	UX	UY	RZ	-	Mode	Period	UX	UY	RZ
	(sec.)						(sec.)			
1	1.833	0.32	0.32	0.36	-	1	1.006	0.934	0.005	0.06
2	1.797	0.5	0.5	0	_	2	0.936	0.008	0.988	0.004
3	1.732	0.18	0.18	0.64		3	0.753	0.058	0.006	0.936

Story	Moo	lel 7	Mod	el 7A
-	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>
Story10	1	1	1	1
Story9	1	1	1	1
Story8	1	1	1	1
Story7	1	1	1	1
Story6	1	1	1	1
Story5	1	1	1	1
Story4	1	1	1	1
Story3	1	1	1	1
Story2	1	1	1	1
Story1	1	1	1	1

Tabel 26. Rasio eksentrisitas model 7 dan model 7A

Model 7 (gambar 16) dipasang dinding geser menjadi model 7A (gambar 17). Untuk perhitungan dinding geser hanya pada massa bangunan A dan B sedangkan untuk massa bangunan C tidak diperhitungkan karena hanya 3 lantai dan sudah cukup kaku. Dengan formula 1 s/d 12, didapatkan untuk massa A dibutuhkan dinding geser aksis  $-X 6 \odot 5$  m, dan aksis  $-Y 2 \odot 2.4$  m dan  $6 \odot 5$  m sedangkan untuk massa B dibutuhkan dinding geser aksis  $-X 6 \odot 5$  m, dan aksis  $-Y 2 \odot 5$  m.

Dengan penambahan dinding geser juga meningkatkan kekakuan bangunan dengan berkurangnya Periode Fundamental model 7 sebelum menggunakan dinding geser = 1.833 detik (tabel 13a) dan setelah menggunakan dinding geser model 7A Periode Fundamental = 1.006 detik (tabel 13b). Periode ini juga masih dibawah Tmax yang dipersyaratkan yaitu 1.09 detik.

Berdasarkan *shape mode*, model 7 mode 1 dan 2 nilai translasinya sama dan tidak dominan sedangkan mode -3 rotasi dan agak dominan (tabel 13a). Hal ini berarti translasi masing-masing aksis –Y dan –X yang terjadi tidak seragam atau terjadi translasi diagonal. Dengan demikian bangunan model 7 dapat dikategorikan bangunan ireguler. Untuk memperbaiki perilaku deformasinya diletakkan dinding geser pada model 7A yaitu di sudut-sudut bangunan, sepanjang sisi bangunan dan pertemuan massa A dan B. Hasilnya perilaku deformasinya mengalami perbaikan yang signifikan. Model 7A mode 1 dan 2 = translasi dan

dominan, dan mode 3 = rotasi dan dominan (tabel 13b). Maka model 7A dapat dikategorikan bangunan reguler.

Rasio eksentrisitas model 7  $e_{r-x}$  dan  $e_{r-y} = 1$  berarti potensi rotasinya kecil. Setelah penambahan dinding geser rasio eksentrisitas model 7A  $e_{r-x}$  dan  $e_{r-y} = 1$  (tabel 14). Jadi perletakan dari dinding geser sudah optimal karena tidak menimbulkan eksentrisitas yang berlebihan pada bangunan yang dapat menyebabkan konfigurasi ketidakberaturan torsional (Teddy *et al.*, 2018a). Selain itu masalah model 7A yaitu terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam (Teddy *et al.*, 2018a) yang dapat menyebabkan konsentrasi gaya-gaya pada pertemuan massa A dan B dan terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal (Teddy *et al.*, 2018a) yang dapat menyebabkan kerusakan lokal antara podium dan tower. Dengan adanya dinding geser pada pertemuan massa A dan B juga ikut menambah kapasitas struktur yang ada dalam menghadapi konsentrasi gaya-gaya tersebut. Serta dengan kekakuan dan kekuatan dari dinding geser juga mengurangi potensi kerusakan lokal akibat terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal.



## 5.2.8. MODEL 8 DAN MODEL 8A



Tabel 27. Modal Direction Factors model 8 and model 8A

a). Mode	el 8			1	b).	. Model 8A					
Mode	Period	UX	UY	RZ		Mode	Period	UX	UY	RZ	
	(sec.)						(sec.)				
1	1.832	0.657	0	0.343		1	1.151	1	0	0	
2	1.777	0	1	0		2	0.841	0	1	0	
3	1.593	0.355	0	0.645		3	0.629	0.032	0	0.989	

Story	Mo	del 8	Model 8A			
_	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>		
Story10	1	0.75	1	1		
Story9	1	0.75	1	1		
Story8	1	0.75	1	1		
Story7	1	0.75	1	1		
Story6	1	0.75	1	1		
Story5	1	1	1	1		
Story4	1	1	1	1		
Story3	1	1	1	1		
Story2	1	1	1	1		
Story1	1	1	1	1		

Tabel 28. Rasio eksentrisitas model 8 dan model 8A

Model 8 (gambar 18) memiliki massa yang berbeda ketinggian. Sebenarnya perilaku deformasi model 8 masih cukup baik tetapi terdapat translasi dan rotasi yang tidak cukup dominan (tabel 15a). Sehingga untuk memperbaiki perilaku deformasinya perlu dipasang dinding geser sebagaimana model 8A (gambar 19). Untuk perhitungan dinding geser massa model 8 dibagi massa A dan B tetapi hanya massa A yang diperhitungkan sedangkan massa B tidak diperhitungkan secara khusus karena massanya relatif kecil. Berdasarkan formula 1 s/d 3 untuk massa A didapatkan dinding geser 4 © 5 m arah aksis –X dan 6 © 5 m arah aksis –Y.

Periode fundamental (T) model 8 = 1.832 detik (tabel 15a) dan setelah dipasang dinding geser periode fundamental (T) model 8A = 1.151 detik (tabel 15b). Periode fundamental (T) model 4A = 1.151 detik  $\approx$  1.09 detik (Tmax). Berarti kekakuan model 8A sudah memenuhi prasyarat ketahanan terhadap gempa kuat.

Model 8 sebenarnya termasuk kategori bangunan cukup reguler karena mode 1 dan 2 translasi, dan mode 3 rotasi tetapi translasi mode 1 dan rotasi mode 3 tidak cukup dominan (tabel 15a). Translasi mode 1 bercampur dengan rotasi dan rotasi mode 3 bercampur dengan translasi. Hal ini mengindikasi performa perilaku deformasinya masih bisa diperbaiki. Model 8a setelah dipasang dinding geser di ujung-ujung sayap bangunan dan di sisi bangunan massa A serta pertemuan massa A dan B performa perilaku deformasinya mengalami perbaikan yaitu mode 1 translasi dominan arah aksis –X, mode 2 translasi dominn arah aksis –Y, dan mode 3 rotasi dominan arah aksis –Z (tabel 15b). Maka model 8A dapat dikategorikan bangunan reguler.

Untuk potensi rotasi pada model 8 arah aksis –X relatif kecil ( $e_{r-x} = 1$ ) tetapi untuk arah aksis –Y potensi rotasinya termasuk kategori menengah ( $e_{r-y} = 0.75$ ) dari lantai 6 s/d 10. Setelah dipasang dinding geser pada model 8A potensi rotasi arah aksis –X bisa dipertahankan tetap kecil ( $e_{r-x} = 1$ ) sedangkan eksentrisitas arah aksis –Y ( $e_{r-y} = 1$ ) pada lantai 6 s/d 10 bisa direduksi sehingga potensi rotasinya menjadi relatif kecil (tabel 16). Potensi torsi pada konfigurasi ketidakberaturan vertikal (Teddy *et al.*, 2018a) dengan komposisi simetris dan potensi terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam (Teddy *et al.*, 2018a) pada model 8A dapat dikontrol dengan penggunaan dinding geser.

## 5.2.9. MODEL 9 DAN MODEL 9A





Tabel 29. Modal Direction Factors model 9 And model 9A



	(sec.)						(sec.)			
1	1.562	0.814	0.019	0.167	-	1	1.039	0.014	0.929	0.056
2	1.385	0.008	0.989	0.003	-	2	0.817	0.979	0.004	0.018
3	1.019	0.359	0.053	0.588		3	0.592	0.14	0.155	0.705

Tabel 30. Rasio eksentrisitas model 9 dan model 9A

Story	Mo	del 9	Mod	el 9A
_	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>
Story10	1	1	1	1
Story9	1	1	1	1
Story8	1	0.75	0.75	1
Story7	1	0.75	0.75	1
Story6	1	0.75	0.75	1
Story5	1	0.75	0.75	1
Story4	1	0.75	1	1
Story3	1	0.75	1	1
Story2	1	0.75	1	1
Story1 1		1	1	1

Perilaku deformasi model 9 (gambar 20) bisa dikategorikan bangunan reguler tetapi mode rotasinya tidak cukup dominan. Untuk memperbaikinya, model 9A (gambar 21) dibagi beberapa massa sesuai dengan perbedaan ketinggiannya tetapi untuk perhitungan dinding geser hanya pada massa A dan B sedangkan untuk massa C tidak diperhitungkan karena massanya relatif kecil. Dengan formula 1 s/d 3 didapatkan untuk massa A 2  $\odot$  5 m arah aksis –X, massa B 4  $\odot$  5 m arah aksis –X dan 4  $\odot$  5 m arah aksis –Y.

Model 9 memiliki periode fundamental (T) = 1.562 detik (tabel 17a) dan kemudian kekakuan model 9A meningkat setelah dipasang dinding geser dengan periode fundamental (T) = 1.039 detik (tabel 17b). Periode ini masih dibawah Tmax = 1.09 detik. Dengan demikian kekakuan model 9A sudah sesuai dengan asumsi yang dipersyaratkan bagi bangunan tahan gempa di zona gempa kuat.

Model 9 dengan mode 1 = translasi dominan arah aksis -X, mode 2 = translasi dominan arah aksis -Y, dan mode 3 = rotasi kurang dominan arah aksis -Z (tabel 17a). Sebenarnya model 9 bisa dikategorikan bangunan reguler tetapi kelemahannya mode 3-nya tidak cukup dominan.

Dan hal ini menjadi tantangan apakah bisa diperbaiki perilaku deformasinya. Setelah dipasang 2 dinding geser di ujung-ujung massa A, 2 dinding geser dipertemuan massa A dan B, 2 dinding geser di ujung sayap massa B dan 4 dinding geser dipertemuan antara massa B dan C perilaku deformasi model 9A mengalami perbaikan. Perilaku deformasi model 9A menjadi mode 1 = translasi dominan arah aksis -Y, mode 2 = translasi dominan arah aksis -X, dan mode 3 rotasi cukup dominan arah aksis Z (tabel 17b).

Model 9 memiliki konfigurasi ketidakberaturan vertikal (Teddy *et al.*, 2018a) karena memiliki beberapa massa yang berbeda ketinggian. Pada tabel 18, konfigurasi ketidakberaturan vertikal dengan komposisi acak ini menyebabkan eksentrisitas arah aksis –Y dari lantai 2 s/d lantai 8 dengan kategori menengah ( $e_{r-y} = 0.75$ ). Hal dapat menimbulkan potensi torsi yang cukup besar. Ternyata setelah pemasangan dinding geser pada model 9A eksentrisitas tetap terjadi diarah aksis –X dari lantai 5 s/d 8 dengan kategori menengah ( $e_{r-x} = 0.75$ ). Berarti terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan torsional (Teddy *et al.*, 2018a) pada model 9 dan 9A disebabkan oleh konfigurasi ketidakberaturan vertikal dengan komposisi acak dan tidak mudah di kontrol dengan pemasangan dinding geser. Pemasangan dinding geser pada model 9A hanya dapat mengontrol terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam (Teddy *et al.*, 2018a).



#### 5.2.10. MODEL 10 DAN MODEL 10A



Tabel 31. Modal Direction Factors model 2 and model 2A

a). Model 10 b						). Model 10A					
Mode	Period	UX	UY	RZ		Mode	Period	UX	UY	RZ	
	(sec.)						(sec.)				
1	1.741	0.461	0	0.539	-	1	1.25	0.998	0	0.002	
2	1.723	0	1	0		2	1.162	0	1	0	
3	1.638	0.538	0	0.462		3	0.81	0.002	0	0.998	

Tabel 32. Rasio eksentrisitas model 10 dan model 10A

Story	Mod	lel 10	Mode	el 10A
-	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>
Story10	1	1	1	1
Story9	1	1	1	1
Story8	1	1	1	1
Story7	1	1	1	1
Story6	1	1	1	1
Story5	1	1	1	1
Story4	1	1	1	1
Story3	1	1	1	1
Story2	1	1	1	1
Story1	1	1	1	1

Model 10 (gambar 22) dipasang dinding geser menjadi model 10A (gambar 23). Untuk perhitungan dinding geser, hanya massa A dan B sedangkan untuk massa C tidak diperhitungkan karena hanya 3 lantai. Dengan formula 1 s/d 12, didapatkan untuk massa A dibutuhkan dinding geser 2 © 5 m sedangkan untuk massa B dibutuhkan dinding geser 2 © 5 m.

Dengan penambahan dinding geser juga meningkatkan kekakuan bangunan dengan berkurangnya Periode Fundamental model 10 sebelum menggunakan dinding geser = 1.741 detik (tabel 19a) dan setelah menggunakan dinding geser model 10A Periode Fundamental = 1.25 detik (tabel 19b). Periode ini mendekati Tmax yang dipersyaratkan yaitu 1.09 detik. Kekakuan model 10A sudah mencukupi yang dipersyaratkan dalam menghadapi goyangan gempa kuat.

Model 10 dengan mode 1 = rotasi kurang dominan arah aksis -Z, mode 2 = translasi dominan arah aksis -Y, dan mode 3 = translasi kurang dominan arah aksis -X (tabel 19a). Berarti model 10 konfigurasi geometrinya sangat tidak reguler. Dan hal ini menjadi tantangan apakah bisa diperbaiki perilaku deformasinya. Setelah dipasang 2 dinding geser di ujung-ujung massa A dan B, perilaku deformasi model 10A mengalami perbaikan. Perilaku deformasi model 10A menjadi mode 1 = translasi dominan arah aksis -X, mode 2 = translasi dominan arah aksis -Y, dan mode 3 rotasi dominan arah aksis -Z (tabel 19b).

Rasio eksentrisitas model 10  $e_{r-x}$  dan  $e_{r-y} = 1$  berarti potensi rotasinya kecil. Setelah penambahan dinding geser rasio eksentrisitas model 10A  $e_{r-x}$  dan  $e_{r-y} = 1$  (tabel 20). Jadi perletakan dari dinding geser sudah optimal karena tidak menimbulkan eksentrisitas yang berlebihan pada bangunan. Terbentuk konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam (Teddy *et al.*, 2018a) dan terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal (Teddy *et al.*, 2018a) pada model 10A yang dapat menyebabkan konsentrasi gaya-gaya pada pertemuan massa A dan B, dan pertemuan massa podium dan tower. Tetapi dengan adanya dinding geser menambah kapasitas struktur yang ada dalam menghadapi konsentrasi gaya-gaya tersebut. Selain itu model 10A juga memiliki konfigurasi ketidakberaturan non paralel (Teddy *et al.*, 2018a) yang harus diwaspadai karena pemasangan dinding geser tidak berarti menghilangkan potensi terjadinya torsi dan tegangan berlebih pada elemen-elemen struktur yang dapat menimbulkan kerusakan lokal tidak terduga sebelumnya.

## **5.2.11. MODEL 11 DAN MODEL 11A**





Tabel 33. Modal	Direction	Factors	model	11	and	model	11A

a). Model 11						Model 1	1A			
Mode	Period	UX	UY	RZ		Mode	Period	UX	UY	RZ
	(sec.)						(sec.)			
1	1.797	0.734	0.093	0.173		1	1.132	0.984	0.006	0.01

2	1.732	0.135	0.857	0.008	2	1.060	0.007	0.989	0.004
3	1.577	0.152	0.069	0.778	3	0.742	0.034	0.037	0.929

Story	Mod	el 11	Mode	el 11A
	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>
Story10	0.75	0.75	0.75	0.75
Story9	1	0.75	1	0.75
Story8	1	1	1	1
Story7	1	1	1	1
Story6	1	1	1	1
Story5	1	1	1	1
Story4	1	1	1	1
Story3	1	1	1	1
Story2	1	1	1	1
Story1	1	1	1	1

Tabel 34. Rasio eksentrisitas model 11 dan model 11A

Performa model 11 (gambar 24) tidak begitu baik karena konfigurasi geometrinya memiliki konfigurasi ketidakberaturan torsional, konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam dan konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal . Digunakan formula 1 s/d 3, untuk memperbaiki performanya dipasang dinding geser massa A 2  $\odot$  5 m, massa B 2  $\odot$  5 m dan massa C 2  $\odot$  5 m (gambar 25).

Model 11 memiliki periode fundamental (T) = 1.797 detik (tabel 21a) dan kemudian kekakuan model 11A meningkat setelah dipasang dinding geser dengan periode fundamental (T) = 1.132 detik (tabel 21b). Periode ini mendekati Tmax = 1.09 detik. Dengan demikian kekakuan model 11A sudah sesuai dengan asumsi yang dipersyaratkan bagi bangunan tahan gempa di zona gempa kuat.

Model 11 dengan mode 1 = translasi cukup dominan arah aksis –X, mode 2 = translasi dominan arah aksis –Y, dan mode 3 = rotasi cukup dominan arah aksis –Z (tabel 21a). Sebenarnya model 11 bisa dikategorikan bangunan reguler tetapi memiliki konfigurasi ketidakberaturan torsional, konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam dan konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal. Dan hal ini menjadi tantangan apakah bisa diperbaiki konfigurasi tersebut. Setelah dipasang dinding geser, model 11A mengalami perbaikan.

Perilaku deformasi model 11A menjadi mode 1 = translasi dominan arah aksis -Y, mode 2 = translasi dominan arah aksis -X, dan mode 3 rotasi dominan arah aksis Z (tabel 21b).

Model 11 memiliki konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal (Teddy *et al.*, 2018a) karena memiliki beberapa massa yang berbeda ketinggian dan 2 massa yang tidak mengikuti aksis orthogonal yang mengakibat terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan torsional (Teddy *et al.*, 2018a), dan konfigurasi ketidakberaturan sistem nonparalel (Teddy *et al.*, 2018a). Setelah pemasangan dinding geser model 11A mengalami perbaikan perilaku deformasi dan dengan kekakuan dan kekuatan dinding geser dapat mengurangi potensi terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan torsional masih terjadi. Tetapi untuk potensi terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan torsional masih terjadi. Pada tabel 22, masih terjadi eksentrisitas di model 11A dari lantai 9 dan lantai 10 dengan kategori menengah (e<sub>r-y</sub> dan e<sub>r-x</sub> = 0.75). Hal dapat menimbulkan potensi torsi yang cukup besar. Selain itu terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan non paralel juga harus diwaspadai karena pemasangan dinding geser tidak berarti menghilangkan potensi terjadinya torsi dan tegangan berlebih pada elemen-elemen struktur yang dapat menimbulkan kerusakan lokal tidak terduga sebelumnya.



## **5.2.12. MODEL 12 DAN MODEL 12A**



Tabel 35. Modal Direction Factors model 12 and model 12A

a). Model 12 b						Model 1	2A			
Mode	Period	UX	UY	RZ	-	Mode	Period	UX	UY	RZ
	(sec.)						(sec.)			
1	1.947	0	0.645	0.355	-	1	1.084	0	0.998	0.002
2	1.726	1	0	0	-	2	1.014	1	0	0
3	1.602	0	0.355	0.645		3	0.955	0	0.002	0.998

Tabel 36. Rasio eksentrisitas model 12 dan model 12A

Story	Mod	lel 12	Model 12A			
-	e <sub>r-x</sub> e <sub>r-y</sub>		e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>		
Story10	1	1	1	1		
Story9	1	1	1	1		
Story8	1	1	1	1		
Story7	1	1	1	1		
Story6	1	1	1	1		
Story5	1	1	1	1		
Story4	1	1	1	1		
Story3	1	1	1	1		
Story2	1	1	1	1		
Story1	1	1	0.75	1		

Model 12 (gambar 26) dipasang dinding geser menjadi model 12A (gambar 27). Untuk perhitungan dinding geser, dibagi 2 massa yaitu massa A dan B. Dengan formula 1 s/d 12, didapatkan untuk massa A dibutuhkan dinding geser 2  $\odot$  5 m arah aksis –X dan 4  $\odot$  5 m arah aksis –Y sedangkan untuk massa B dibutuhkan dinding geser 4  $\odot$  5 m.

Model 12 memiliki periode fundamental (T) = 1.947 detik (tabel 23a) dan kemudian kekakuan model 12A meningkat setelah dipasang dinding geser dengan periode fundamental (T) = 1.084 detik (tabel 23b). Periode ini dibawah dibawah Tmax = 1.09 detik. Dengan demikian kekakuan model 12A sudah sesuai dengan asumsi yang dipersyaratkan bagi bangunan tahan gempa di zona gempa kuat.

Model 12 dengan mode 1 = translasi cukup dominan arah aksis -Y, mode 2 = translasi dominan arah aksis -X, dan mode 3 = rotasi cukup dominan arah aksis -Z (tabel 23a). Sebenarnya model 12 bisa dikategorikan bangunan reguler tetapi kelemahannya mode 1 dan 2-nya hanya cukup dominan. Dan hal ini menjadi tantangan apakah bisa diperbaiki perilaku deformasinya. Setelah dipasang 4 dinding geser di ujung-ujung massa A, 2 dinding geser disisi massa A, dan 4 dinding geser di massa B, perilaku deformasi model 12A mengalami perbaikan. Perilaku deformasi model 12A menjadi mode 1 = translasi dominan arah aksis -Y, mode 2 = translasi dominan arah aksis -X, dan mode 3 rotasi cukup dominan arah aksis Z (tabel 23b), sehingga menjadi berkategori bangunan reguler.

Setelah pemasangan dinding geser model 12A mengalami perbaikan perilaku deformasi tetapi untuk potensi terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan torsional (Teddy *et al.*, 2018a) dan konfigurasi ketidakberaturan nonparalel (Teddy *et al.*, 2018a) masih terjadi. Pada tabel 24, masih terjadi eksentrisitas di model 12A dari lantai 10 dengan kategori menengah ( $e_{r-x} = 0.75$ ). Hal dapat menimbulkan potensi torsi yang cukup besar. Selain itu terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan non paralel juga harus diwaspadai karena pemasangan dinding geser tidak berarti menghilangkan potensi terjadinya torsi dan tegangan berlebih pada elemen-elemen struktur yang dapat menimbulkan kerusakan lokal tidak terduga sebelumnya.

## 5.2.13. MODEL 13 DAN MODEL 13A





Tabel 37. Modal Direction Factors model 13 and model 13A

a). Model 13 b)					b).	). Model 13A				
Mode	Period	UX	UY	RZ	_	Mode	Period	UX	UY	RZ
	(sec.)						(sec.)			
1	1.460	0	0.795	0.205	-	1	1.183	1	0	0
2	1.151	1	0	0	_	2	0.893	0	0.84	0.16
3	0.919	0	0.534	0.466	_	3	0.690	0	0.216	0.784

Tabel 38. Rasio eksentrisitas n	nodel 13 dan model 13A
---------------------------------	------------------------

Story	Model 13	Model 13A	

	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>
Story10	1	1	1	1
Story9	0.75	1	1	1
Story8	0.75	1	1	1
Story7	0.5	1	0.75	1
Story6	0.75	1	0.75	1
Story5	0.75	1	1	1
Story4	0.75	1	1	1
Story3	1	1	1	1
Story2	1	1	1	1
Story1	1	1	1	1

Model 13 (gambar 28) dipasang dinding geser menjadi model 13A (gambar 27). Untuk perhitungan dinding geser, dibagi 2 massa yaitu massa A dan B. Dengan formula 1 s/d 3, didapatkan untuk massa A dibutuhkan dinding geser 4  $\odot$  5 m arah aksis –Y sedangkan untuk massa B dibutuhkan dinding geser 2  $\odot$  5 m arah aksis –Y.

Model 13 memiliki periode fundamental (T) = 1.46 detik (tabel 25a) dan kemudian kekakuan model 13A meningkat setelah dipasang dinding geser dengan periode fundamental (T) = 1.183 detik (tabel 25b). Periode ini mendekati Tmax = 1.09 detik. Dengan demikian kekakuan model 13A sudah sesuai dengan asumsi yang dipersyaratkan bagi bangunan tahan gempa di zona gempa kuat.

Model 13 dengan mode 1 = translasi dominan arah aksis -Y, mode 2 = translasi dominan arah aksis -X, dan mode 3 = translasi kurang dominan arah aksis -Y (tabel 25a). Berarti model 13 konfigurasi geometrinya tidak reguler. Dan hal ini menjadi tantangan apakah bisa diperbaiki perilaku deformasinya. Setelah dipasang 2 dinding geser di ujung kanan massa A dan 2 dinding geser di sisi massa A, serta 2 dinding geser di massa B maka perilaku deformasi model 13A mengalami perbaikan. Perilaku deformasi model 13A menjadi mode 1 = translasi dominan arah aksis -X, mode 2 = translasi dominan arah aksis -Y, dan mode 3 rotasi dominan arah aksis -Z (tabel 25b), sehingga menjadi berkategori bangunan reguler.

Model 13 memiliki konfigurasi geometrinya memiliki konfigurasi ketidakberaturan torsional, konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam dan konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal (Teddy *et al.*, 2018a). Sebelum pemasangan dinding geser model 13 terdapat eksentrisitas di lantai 4 s/d 9 kategori menengah ( $e_{r-x}=0.75$ ) dan besar ( $e_{r-x}=0.5$ ) (tabel 26).

Setelah pemasangan dinding geser model 13A mengalami perbaikan perilaku deformasi dan dengan kekakuan dan kekuatan dinding geser juga menimalisir terjadinya konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal yaitu dengan mereduksi konsentrasi tegangan-tegangan geser gempa pada pertemuan massa podium dan tower. Tetapi untuk potensi terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan torsional dan konfigurasi ketidakberaturan nonparalel masih terjadi. Pada tabel 26, masih terjadi eksentrisitas di model 13A lantai 6 dan 7 dengan kategori menengah ( $e_{r-x} = 0.75$ ). Hal ini masih menimbulkan potensi torsi yang cukup besar. Selain itu terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan non paralel juga harus diwaspadai karena pemasangan dinding geser tidak berarti menghilangkan potensi terjadinya torsi dan tegangan berlebih pada elemen-elemen struktur yang dapat menimbulkan kerusakan lokal tidak terduga sebelumnya.



## **5.2.14. MODEL 14 DAN MODEL 14A**



Gambar 47. Model 14A setelah dipasang dinding geser : a). Denah, b). 3D

a). Model 14 b						). Model 14A				
Mode	Period	UX	UY	RZ	_	Mode	Period	UX	UY	RZ
	(sec.)						(sec.)			
1	1.643	0	0.78	0.22		1	1.170	1	0	0
2	1.303	1	0	0	_	2	0.877	0	0.94	0.06
3	1.097	0	0.582	0.418		3	0.550	0	0.066	0.934

Tabel 39. Modal Direction Factors model 14 and model 14A

Tabel 40. Rasio eksentrisitas model 14 dan model 14A

Story	Mod	el 14	Model 14A			
	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>	e <sub>r-x</sub>	e <sub>r-y</sub>		
Story10	0.75	1	0.75	1		
Story9	0.75	1	0.75	1		
Story8	0.75	1	1	1		
Story7	0.5	1	0.75	1		
Story6	0.75	1	0.75	1		
Story5	0.75	1	0.75	1		
Story4	0.75	1	1	1		
Story3	1	1	1	1		
Story2	1	1	1	1		
Story1	1	1	1	1		

Model 14 (gambar 30) dipasang dinding geser menjadi model 14A (gambar 30). Untuk perhitungan dinding geser, dibagi 2 massa yaitu massa A dan B. Dengan formula 1 s/d 3, didapatkan untuk massa A dibutuhkan dinding geser 4 © 5 m arah aksis –Y sedangkan untuk massa B dibutuhkan dinding geser 1 © 5 m arah dan 2 © 2.5 m

Model 14 memiliki periode fundamental (T) = 1.643 detik (tabel 27a) dan kemudian kekakuan model 14A meningkat setelah dipasang dinding geser dengan periode fundamental (T) = 1.17 detik (tabel 27b). Periode ini mendekati Tmax = 1.09 detik. Dengan demikian kekakuan model 14A sudah sesuai dengan asumsi yang dipersyaratkan bagi bangunan tahan gempa di zona gempa kuat.

Model 14 dengan mode 1 = translasi dominan arah aksis -Y, mode 2 = translasi dominan arah aksis -X, dan mode 3 = translasi kurang dominan arah aksis -Y (tabel 27a). Berarti model 14 konfigurasi geometrinya tidak reguler. Dan hal ini menjadi tantangan apakah bisa diperbaiki perilaku deformasinya. Setelah dipasang 2 dinding geser di ujung kanan massa A dan 4 dinding geser di massa A dan 3 dinding geser di massa B maka perilaku deformasi model 14A mengalami perbaikan. Perilaku deformasi model 14A menjadi mode 1 = translasi dominan arah aksis -X, mode 2 = translasi dominan arah aksis -Y, dan mode 3 rotasi dominan arah aksis -Z (tabel 27b), sehingga menjadi berkategori bangunan reguler.

Model 14 memiliki konfigurasi geometrinya memiliki konfigurasi ketidakberaturan torsional dan konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal (Teddy *et al.*, 2018a). Sebelum pemasangan dinding geser model 14 terdapat eksentrisitas di lantai 4 s/d 10 kategori menengah ( $e_{r-x}=0.75$ ) dan besar ( $e_{r-x}=0.5$ ) (tabel 28). Setelah pemasangan dinding geser model 14A mengalami perbaikan perilaku deformasi dan dengan kekakuan dan kekuatan dinding geser juga menimalisir terjadinya konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal yaitu dengan mereduksi konsentrasi tegangan-tegangan geser gempa pada pertemuan massa podium dan tower. Tetapi untuk potensi terbentuknya konfigurasi ketidakberaturan torsional dan konfigurasi ketidakberaturan nonparalel masih terjadi. Pada tabel 28, masih terjadi eksentrisitas di model 14A lantai 5 s/d 7 dan lantai 9 & 10 dengan kategori menengah ( $e_{r-x} = 0.75$ ). Hal ini masih menimbulkan potensi torsi yang cukup besar.

# **BAB VI. KESIMPULAN**

Dari penerapan formula-formula perhitungan kebutuhan dinding geser dan langkah-langkah pemasangannya pada model 1A s/d 14A diatas dapat dibuat *guidance* sebagai berikut :

- Formula 1 s/d 12 dan langkah 1 s/d 5 cukup akurat dalam memperhitungkan luasan dan lokasi dinding geser pada bangunan.
- Pemasangan dinding geser yang optimal pada bangunan dimana : kekuatan dan kekakuan bangunan bertambah, distribusi kekuatan dan kekakuan relatif merata, perilaku deformasi dapat di antisipasi dan eksentrisitas bangunan dapat direduksi.
- Pemasangan dinding geser dapat memperbaiki ireguleritas secara optimal pada bangunan dengan konfigurasi ketidakberaturan torsi dan konfigurasi ketidakberaturan sudut dalam.
- Pemasangan dinding geser pada konfigurasi ketidakberaturan geometri vertikal hanya dapat memperbaiki secara optimal ireguleritas bangunan dengan komposisi geometri simetris (1 atau 2 aksis) sedangkan untuk komposisi geometri acak cukup sulit mengontrol eksentrisitasnya.
- Pemasangan dinding geser pada konfigurasi ketidakberaturan non paralel cukup sulit tercapai kondisi optimal. Hanya dapat memperbaiki kekuatan, kekakuan, perilaku deformasi dan eksentrisitas bangunan. Tetapi untuk distribusi kekuatan dan kekakuan bangunan cukup sulit dikontrol dengan bentuk bangunan yang organis dan acak tersebut.
- Jika penambahan dinding geser menghasilkan penurunan periode fundamental yang tidak terlalu signifikan pertimbangkan penggunaan kombinasi inti bangunan dan dinding geser.
- Luasan dan posisi inti bangunan yang sudah ditentukan sebelumnya bisa asumsikan sebagai bagian dari kolom struktur. Setelah dilakukan *structure analysis* dan *modal analysis* Etabs dan ternyata masuk kategori bangunan ireguler dapat ditambahkan dinding geser untuk memperbaiki ireguleritasnya dengan formula 1 s/d 12 dan langkah 1 s/d 5 diatas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ali, S. E. and Aquil, M. M. U. (2014) 'Study of Strength of RC Shear Wall at Different Location on Multi-Storied Residential Building', *Journal of engineering and research and applications*, 4(9), pp. 134–141.
- 2. Allen, M. P. and Tildesley, D. J. (2017) *Computer simulation of liquids*. Oxford university press.
- 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. (2006) 'Seismic Issues In Architectural Design', in *Designing For Earthquakes A Manual For Architects - FEMA 454*. California: Engineering Research Institute (EERI).
- Banerjee, R. and Srivastava, J. B. (2020) 'Defining Optimum Location of Shear Wall in an Irregular Building by Considering Torsion', *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(4), pp. 2247–2251. doi: 10.35940/ijeat.D6822.049420.
- Banginwar, R. S., Vyawahare, M. R. and Modani, P. O. (2012) 'Effect of plans configurations on the seismic behaviour of the structure by response spectrum method', *Int. J. Eng. Res. Appl.* Citeseer, 2, pp. 1439–1443.
- Basu, D. and Jain, S. K. (2007) 'Alternative method to locate centre of rigidity in asymmetric buildings', *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 36(7), pp. 965– 973. doi: 10.1002/eqe.658.
- 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).
- 9. Boen, T., Arya, A. S. and Ishiyama, Y. (2014) *Guidelines for Earthquake Resistant Non-Engineered Construction*. UNESCO.
- Botis, M. F. and Cerbu, C. (2020) 'A Method for Reducing of the Overall Torsion for Reinforced Concrete Multi-Storey Irregular Structures', *Applied Sciences*, 10(16), p. 5555. doi: 10.3390/app10165555.
- Botiş, M. F., Cerbu, C. and Shi, H. (2018) 'Study on the reduction of the general / overall torsion on multi – story, rectangular, reinforced concrete structures', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 399, p. 12005. doi: 10.1088/1757-899X/399/1/012005.

- 12. BSN (2012) Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726 : 2012. Jakarta: Badan Standar Nasional.
- 13. BSN (2019) Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726: 2019, Jakarta: Standar Nasional Indonesia.
- Duggal, S. K. (2007) Earthquake resistant design of structures. Oxford university press New Delhi.
- 15. Earthquake Research Departement (2007) *Turkish Earthquake Code (TEC)*. General Directorate of Minister Affairs.
- 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.
- Fares, A. M. (2019) 'The Effect of Shear Wall Positions on the Seismic Response of Frame-Wall Structures', *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 13(3), pp. 190–194.
- 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 (2015) Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: Supporting Documentation-FEMA 155. Washington DC: Federal Emergency Management Agency (FEMA).
- Habib, F. (2012) Direction factor, CSI Knowledge base. Available at: https://wiki.csiamerica.com/display/etabs/Direction+factor (Accessed: 7 November 2020).
- Kewalramani, M. A. and Syed, Z. I. (2018) 'Seismic Analysis of Torsional Irregularity in Multi-Storey Symmetric and Asymmetric Buildings', *Eurasian Journal of Analytical Chemistry*, 13(3).
- 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.
- 23. Madutujuh, N. (2020) Perencanaan Gedung Bertingkat dengan Program SANSPRO. Jakarta.
- 24. Mulia, R. (2016) *PERIODE GETAR STRUKTUR, MENGAPA BEGITU PENTING, BAGIAN I – GEMPA, Weblog.* Available at: https://rezkymulia.wordpress.com/2013/03/27/periode-getar-struktur-mengapa-begitupenting-bagian-i-gempa/ (Accessed: 22 July 2020).

- 25. Murty, C. V. R. *et al.* (2012) *Some Concepts in Earthquake Behaviour of Buildings*. Gujarat: Gujarat State Disaster Management Authority Government of Gujarat.
- 26. Nasution, S. (1995) Metode research (penelitian ilmiah): usul tesis, desain penelitian, hipotesis, validitas, sampling, populasi, observasi, wawancara, angket. Jakarta: Bumi Aksara.
- 27. Nawy, E. G., Surjaman, T. and Suryoatmono, B. (1990) *Beton Bertulang: Suatu Pendekatan Dasar*. PT. Eresco, Bandung.
- 28. Neuman, L. W. (2014) *Social research methods: Qualitative and quantitative approaches.* 7th edn. London: Pearson Education Limited. doi: 10.1234/12345678.
- 29. NZSEE (2006) Assessment and Improvement of the Structural Performance of Buildings in Earthquakes. Wellington: New Zealand Society for Earthquake Engineering (NZSEE).
- 30. Okada, T. et al. (eds) (2005) Guidelines for Seismic Retrofit of Existing Reinforced Concrete Buildings. Tokyo: The Japan Building Disaster Prevention Association (JBDPA).
- 31. Ondrej (2019) *Modal Analysis*, *CSI Knowledge base*. Available at: https://wiki.csiamerica.com/display/kb/Modal+analysis (Accessed: 7 November 2020).
- Özmen, C. and Ünay, A. I. (2007) 'Commonly encountered seismic design faults due to the architectural design of residential buildings in Turkey', *Building and Environment*, 42(3), pp. 1406–1416. doi: 10.1016/j.buildenv.2005.09.029.
- Paulay, T. and Priestley, M. (1992) Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings. Canada: John Wiley & Sons.
- 34. Powale, S. A. and Pathak, N. J. (2019) 'A comparative study of torsional effect of earthquake on "l"and"s" shaped high rise buildings', *International Journal of Scientific* and Technology Research, 8(8), pp. 1355–1359.
- 35. Ravikumar *et al.* (2012) 'Effect of Irregular Configurations on Seismic Vulnerability of RC Buildings', *Architecture Research*, p. 20 to 26. doi: 10.5923/j.arch.20120203.01.
- 36. Schueller, W. (1989) Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi. Bandung: PT Eresco.
- Tarigan, J. (2007) 'Kajian Struktur Bangunan Di Kota Medan Terhadap Gaya Gempa Di Masa Yang Akan Datang'.
- 38. Teddy, L. *et al.* (2017) 'The effect of earthquake on architecture geometry with nonparallel system irregularity configuration', in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, p. 12004.
- 39. Teddy, L. *et al.* (2018a) 'Simplified Vulnerabiltiy Analysis (SVA) Preliminary Design of the Frame Structure in the Architectural DesignProcess', *Indian Journal of Science and*
*Technology*, 11(May), pp. 1–13. doi: 10.17485/ijst/2018/v11i20/121768.

- 40. Teddy, L. *et al.* (2018b) 'The Soft Story Challenge to Architectural Design in Earthquake-Prone Areas', *Jurnal Kejuruteraan*, 30(2), pp. 141–151.
- 41. Teddy, L. *et al.* (2020) 'Method of Buildings Structural Vulnerability and Geometry Form Designs Evaluation Towards Earthquakes With The SVA Architectural Design', *Journal of Architectural Design and Urbanism*. Department of Architecture, Faculty of Engineering, Universitas Diponegoro, 2(2), pp. 53–66.
- 42. Teddy, L., Adiyanto, J. and Hidayat, H. (2020) 'Identifikasi Perilaku Transformasi Geometris Bangunan Dalam Proses Disain Bangunan Terhadap Gempa', in *Prosiding Applicable Innovation of Engineering and Science Research*, pp. 293–298.
- 43. Tjokrodimuljo, K. (1997) Teknik Gempa. Yogyakarta: Penerbit Nafiri.
- 44. Vithal, G. U. (2017) 'Effect of Shear Wall on Sesmic Behavior of Unsymmetrical Reinforced Concrete Structure', *International Journal of Research and Scientific Innovation (IJRSI) Volume IV, Issue X*, IV(X), pp. 61–81.
- 45. Yin, R. (2013) *Studi Kasus Desain dan Metode*, *PT Raja Grafindo Persada*. Translated by M. D. Mudzakir. Jakarta: .
- 46. Zhang, Y. and Mueller, C. (2017) 'Shear wall layout optimization for conceptual design of tall buildings', *Engineering Structures*. Elsevier Ltd, 140, pp. 225–240. doi: 10.1016/j.engstruct.2017.02.059.

# PAPER • OPEN ACCESS

# The study of shear wall uses in buildings during the architecture design process

To cite this article: Livian Teddy et al 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 907 012002

View the article online for updates and enhancements.

# You may also like

- <u>Novel Techniques for Seismic</u> <u>Performance of High Rise Structures in</u> 21<sup>st</sup> <u>Century: State-Of-The Art Review</u> R Patil, A Naringe and J S Kalyana Rama
- <u>Study on lateral-force resistance</u> performance of cross-slanted corrugated steel plate shear wall Lv Lu-Jing, Peng Xiao-Tong and Yang Tao-Chun
- Experimental research on resilient performances of Fe-based SMA-reinforced concrete shear walls S Yan, M Y Lin, Z F Xiao et al.

The Electrochemical Society

# 241st ECS Meeting

May 29 – June 2, 2022 Vancouver • BC • Canada Abstract submission deadline: **Dec 3, 2021** 

Connect. Engage. Champion. Empower. Acclerate. We move science forward



This content was downloaded from IP address 180.242.12.114 on 14/11/2021 at 08:58

# The study of shear wall uses in buildings during the architecture design process

## Livian Teddy<sup>1,2</sup>, Husnul Hidayat<sup>1</sup> and Dessa Andriyali A<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Architecture, Engineering Faculty, Sriwijaya University, Palembang, Indonesia

<sup>2</sup> Corresponding author: livianteddy@gmail.com

Abstract. In Indonesia, an earthquake-prone area, building designs must be earthquake resistant, and using shear walls is one of the ways to make buildings more earthquake resistant. However, determining the requirements and optimal position of shear walls is difficult. Miscalculating in their positioning can cause torsion and other unpredictable behavior. Previous studies were done to know shear walls' optimal areas and positioning. The first way was trial and error, but this method was ineffective and took a long time. The second way, MATLAB programming, is actually very effective since the needs and orientation of the walls can be determined precisely. Nevertheless, not all structural engineers and architects master the programming language. This study, therefore, proposes relatively simple formulas and procedures to determine the optimal area and positioning of shear walls for architects preliminary design during architecture design process. The accuracy test for the formulas and procedures was carried out using ETABS simulation experiments on 10 building models with various irregular categories. The result showed the formulas and procedures proposed in this study were quite accurate in calculating the needs and position of shear walls. Optimal conditions, furthermore, were quite easy to achieve in symmetrical geometric compositions (1 or 2 axes) while organic or random geometric compositions were quite difficult to achieve. When the use of shear walls achieves optimal condition, the strength and stiffness of a building are increased, and the distribution of its strength and stiffness is relatively even, hence anticipating deformation behavior and reducing building eccentricity.

#### **1. Introduction**

In earthquake-prone countries like Indonesia, buildings must be designed to withstand earthquakes. The process of designing earthquake-resistant buildings should be started from the architecture design process by considering the geometric aspects of buildings which eventually affect buildings' structural behavior in carrying lateral earthquake loads [1].

Buildings with regular geometry configurations are relatively more resistant to earthquakes than buildings with irregular geometric configurations when facing earthquakes, particularly the strong ones [2]. The demand for buildings due to population growth and limited locations in big cities eventually causes the occurrence of buildings with irregular configurations [3]. Irregularities in buildings can trigger torsion due to the eccentricity between the center of mass and the center of rigidity. Shear walls are generally used to decrease torsional effects on buildings, and these walls also stiffen and reduce the deformation due to earthquake loads [4]. However, the efficiency of using shear walls heavily depends on their positioning. Getting the optimal shear walls' positions is very difficult, and if these walls are incorrectly placed, it can even trigger greater torsion [5]. To obtain guidance for

Content from this work may be used under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 licence. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI. Published under licence by IOP Publishing Ltd 1

the optimal position of the shear walls, several researchers [4–6] conducted trial-and-error simulations with ETABS. This first method was conducted by varying the placement of shear walls in several geometric configurations of irregular buildings, and the results were compared to find out the most optimum position. The optimization, nonetheless, could not be applied to other irregular configurations and the required shear wall areas were also unknown. Several other researchers [7–10] used software such as MATLAB to immediately obtain the optimum position and orientation and the required areas. This method is actually practical, yet not all architects understand this kind of complex matrix programming software.

In order to overcome this obstacle, this study proposes relatively simple formulas and shear wall positioning procedures to obtain the preliminary shear walls' areas and optimal positions. 10 building models with various categories of irregularities were used to test the procedure. The first stage of this simulation was 5 irregular building models without shear walls were analyzed using the ETABS to get the outputs, namely fundamental period, mode, participating ratio, and eccentricity. Based on these outputs, a simple calculation of the shear wall areas was conducted using the proposed shear wall positioning formulas and procedure. The next step is the addition of shear walls to each building models with shear walls were then analyzed again to find fundamental period, modes, participating ratios, and eccentricity as the outputs. The outputs, both before and after applying shear walls, were compared to determine the accuracy, strengths, and weaknesses of the proposed formulas and procedure. Guidance for architect's preliminary design during architecture design process was then made as the reference in designing buildings' geometry with irregular configurations and in using shear walls to earthquakes.

## 2. Research methods and models

#### 2.1. Research methods

This research is an experimental simulation study that aims to test the proposed mathematical models and procedures with ETAB's modal analysis and structure analysis software. Such 'testing theory' process is commonly conducted in the field of engineering [11].

The sampling technique employed in the selection of the simulation model was purposive sampling. According to Nasution [12], in purposive sampling, samples are carefully selected so that they are relevant to the research design. Thus, in this research, those 5 simulation models were considered to have relatively varied geometric configurations, so they were able to describe the real irregular geometric configurations.

#### 2.2. Models

The building modules used were  $5\times 5$  m. There were 10 building models simulated in the study, namely 5 irregular building models without shear walls (Figures 1 to 5) and five irregular building models with the shear walls (Figures 1A to 5A). The structural properties of each model can be seen in Table 1.

Models 1 to 5 (Figures 1, 3, 5, 7, and 9) used the moment resisting frame structure, while models 1A to 5A (Figures 2, 4, 6, 8, and 10) used the dual system structure with moment resisting frames and shear walls. The simulated earthquake zone was with Ss = 1.5g and S1 = 0.6g while the building, functioning as an office, had the assumed dead load = 400 kg/m<sup>2</sup> and the assumed live load = 250 kg/m<sup>2</sup>. Geometrical data, structural properties, and building loads were input into ETABS, and structure analysis and modal analysis were carried out to get the outputs that consist of Period (T), Shape Mode Translation (Ux, Uy), Rotation (Rz), and Centers of Mass and Rigidity.

Period (T) is the fundamental period of a building structure that is used to measure the stiffness level [13]. A building is considered to be rigid if T < Tmax while it is considered flexible if T > Tmax. The definition of Tmax is the maximum period allowed in a building based on the values of Ss and S1, the type of structure, and the height of the building.

	Numbor		Dimonsion	The thickness	The thickness	Grade		
Models	of floors (height-m)	Dimension beam (cm)	column (cm)	of stories plate (cm)	of shear wall (cm)	Concrete (kg/cm <sup>2</sup> )	Reinforcement (kg/cm <sup>2</sup> )	Stirrup (kg/cm <sup>2</sup> )
1 & 1A	10 (40 m)	25×40	60×60	12	25	300	4000	2400
2 & 2A	10 (40 m)	25×40	60×60	12	25	300	4000	2400
3 & 3A	7 (28 m)	25×50, 30×60	D 65	12	25	300	4000	2400
4 & 4A	10 (40 m)	25×40	60×60	12	25	300	4000	2400
5 & 5A	10 (40 m)	25×40	60×60	12	25	300	4000	2400

Figure 1. Model 1.	Figure 2. Model 1A.
Figure 3. Model 2.	Figure 4. Model 2A.
Figure 5. Model 3.	Figure 6. Model 3A.



Shape mode (Ux, Uy, and Rz) is the variation of deformations that may occur in a building. Shape mode measures buildings' regularity level. Buildings with mode 1 = translation, mode 2 = translation and mode 3 = rotation can be categorized as regular buildings [14]. When the value of mode 1 to mode 3 is between 0 and 1, which means when it gets closer to 1, translation towards the X-axis and Y-axis and rotation of the Z-axis are dominant.

Centers of mass and rigidity are used to measure the potential level of torsion in a building. Torsion is caused by the eccentricity between the center of mass and the center of rigidity or, in other words, the center of mass does not coincide with the center of rigidity [15]. Eccentricity occurs due to the irregular geometric configuration. Based on the Simplified Vulnerability Analysis (SVA) of Architectural Design [16]; the eccentricity ratio  $e_{ri} \leq 0.1$  means potential for small torsion, the eccentricity ratio  $0.1 < e_{ri} < 0.3$  means potential for medium torsion, and the eccentricity ratio  $e_{ri} \geq 0.3$  means potential for large torsion.

#### 3. The proposed formulas and procedure

There are several steps to take in designing shear walls position in the building: As the first step, determine the required shear wall area using the formulas below [17].

$$A_{SW} \ge 0.0012 \sum A_{pi} \tag{1}$$

where,

 $A_{SW}$  = The minimum shear wall area per floor  $\sum A_{pi}$  = The gross cumulative area of floors

For the second step, determine the distribution of shear walls on the building's floors. The positioning and orientation of the shear walls must consider:

• The balance of the plan and position of shear walls in order to avoid the potential for the next greater torsion.

• The relatively equal stiffness between the X- and Y- axes of the plan. The weak axis gets more wall area orientation than the strong axis, so both axes have the relatively same stiffness (see Figure 11).

$$A_{SW-X} = \frac{Y}{(X+Y)} \cdot A_{SW}$$
(2)

$$A_{SW-Y} = \frac{X}{(X+Y)} \cdot A_{SW}$$
(3)

where,

 $A_{SW}$  = The minimum shear wall area per floor

 $A_{SWX}$  = The shear wall area of the X-axis

 $A_{SWY}$  = The shear wall area of the Y-axis

Y & X = The building dimension towards X- and Y-axes



For the third step, simplify the complex plan (Figure 12) by dividing it into several blocks of rectangular plans so that they can also be analyzed using the previous second step.



• With the formulas below, calculate the proportional shear wall area of each block. Blocks with larger plans also have larger shear walls and vice versa:

$$A_{SW-A} = \frac{L_A}{(L_A + L_B + L_C)} \cdot A_{SW}$$
(4)

$$A_{SW-B} = \frac{L_B}{(L_A + L_B + L_C)} . A_{SW}$$
(5)

$$A_{SW-C} = \frac{L_C}{(L_A + L_B + L_C)} A_{SW}$$
(6)

where,

 $A_{SW-A}$ ,  $A_{SW-B}$ ,  $A_{SW-C}$  = The shear wall areas in A, B, and C blocks.

- $L_{A,L_B,L_C}$  = The areas of blocks A, B, and C.
- After the shear wall area of each block is found, determine this shear wall area on each X- and Y- axes based on formulas 2 and 3:

Blok A 
$$\rightarrow A_{SW-AX} = \frac{Y1}{(Y1+X1)} A_{SW-A}$$
 (7)

$$A_{SW-AY} = \frac{X1}{(Y1+X1)} A_{SW-A}$$
(8)

Blok 
$$B \rightarrow A_{SW-BX} = \frac{Y}{(Y+X2)} \cdot A_{SW-B}$$
 (9)

$$A_{SW-BY} = \frac{X2}{(Y+X2)} A_{SW-B}$$
(10)

Blok C 
$$\rightarrow A_{SW-CX} = \frac{Y3}{(Y3 + X3)} A_{SW-C}$$
 (11)

$$A_{SW-CY} = \frac{X3}{(Y3+X3)} A_{SW-C}$$
(12)

where,

 $A_{SW-AX}$ ,  $A_{SW-BX}$ ,  $A_{SW-CX}$  = Shear wall areas on the X-axis of blocks A, B, and C

 $A_{SW-AY}$ ,  $A_{SW-BY}$ ,  $A_{SW-CY}$  = Shear wall areas on the Y-axis blocks A, B, and C

In the fourth step, for the complex plan where the buildings have significantly different heights, separately calculate the shear wall areas of each mass block that have different heights according to steps 2 or 3 based on the mass composition and the heights.

In the fifth step, to find out the number and length of shear walls, divide the shear wall areas from formulas 2, 3, and 7 to 12 on each X- and Y- axes by the number of shear walls that will be distributed to each axis. Furthermore, to determine the length, the aforementioned shear wall areas are divided by the shear wall thickness (t min = 25 cm). There are several ideal distributions of shear wall locations [18–21], namely on the corners of the building (Figure 13a), along the sides of the building if > 30 m (Figure 13b), at the intersection of building masses (Figure 13c) and at the core of the building (Figure 13d). All of these locations can increase the structural rigidity and strength and reduce torsion, and they can also be installed either separately or together.

IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 907 (2021) 012002 do

doi:10.1088/1755-1315/907/1/012002



#### 4. Results and discussions

#### 4.1. Models 1 and 1A

Model 1 (Figure 1) was installed with shear walls and became model 1A (Figure 14). For the calculation of shear walls, the building mass was divided into mass A and mass B. With formulas 1 to 12, it was found that the need of mass A for shear walls was  $6 \odot 5$  m on the X-axis and  $2 \odot 2.4$  m and  $6 \odot 5$  m on the Y-axis. The need of mass B for shear walls, on the other hand, was  $6 \odot 5$  m on the X-axis and  $2 \odot 5$  m on the Y-axis.

The addition of shear walls also increased the building's stiffness by reducing the fundamental period of model 1. Before using shear walls, its fundamental period was 1.921 seconds (Table 2a), and after using shear walls, its fundamental period was 1.008 seconds (Table 2b). This period is also still below the required Tmax = 1.09 seconds.

Based on the shape mode in model 1, modes 1 and 2 had the same translation value and were not dominant while mode -3 was rotation and dominant (Table 2a). This means that the occurring translation on both Y- and X- axes is not uniform or there is a diagonal translation. Thus, model 1 can be categorized as an irregular building. In order to improve its deformation behavior, shear walls were placed in model 1A on the building's corners, on the building's sides, and at the intersection of mass A and mass B. The deformation behavior, then, significantly improved in which modes 1 and 2 = translation and dominant and mode 3 = rotation and dominant (Table 2b). Model 1A, hence, can be categorized as a regular building.



a). Model 1 b). Model 1A									
Mode	Period (s)	UX	UY	RZ	Mode	Period (s)	UX	UY	RZ
1	1.921	0.418	0.418	0.164	1	1.008	0.941	0.006	0.053
2	1.908	0.500	0.500	0	2	0.939	0.009	0.988	0.003
3	1,842	0.083	0.083	0.835	3	0.752	0.005	0.006	0.944

 Table 2. Modal direction factors of Models 1 and 1A.

Storios	Mod	lel 1	Mod	el 1A
Stories	e <sub>rx</sub>	e <sub>ry</sub>	e <sub>rx</sub>	e <sub>ry</sub>
Storey10	0.013	0.013	0.016	0.062
Storey9	0.013	0.013	0.018	0.063
Storey8	0.012	0.012	0.020	0.066
Storey7	0.011	0.011	0.022	0.071
<b>Storey6</b>	0.011	0.011	0.025	0.076
Storey5	0.010	0.010	0.028	0.082
Storey4	0.009	0.009	0.034	0.088
Storey3	0.008	0.008	0.041	0.094
Storey2	0.006	0.006	0.051	0.098
Storey1	0.002	0.002	0.059	0.093

**Table 3.** Eccentricity ratios of Models 1 and 1A.

The eccentricity ratio of model 1 was  $e_{rx}$  and  $e_{ry} < 0.1$  which means that the potential for rotation is small. After the addition of shear walls, the eccentricity ratio of model 1A was  $e_{rx}$  and  $e_{ry} < 0.1$  or, in other words, the positioning of shear walls was optimal. When the positioning is optimal, it does not cause excessive eccentricity which may cause torsional irregularity configurations [22]. Besides, the main problem of model 1A was the formation of the re-entrant corner irregularity configuration [22]. This condition actually can cause the concentration of forces at the intersection of mass A and mass B, but the presence of shear walls at the intersection can also increase the capacity of the structures to encounter that force concentration.

#### 4.2. Models 2 and 2A

Model 2A (Figure 15) was actually model 2 (Figure 3) after the shear walls, and core walls were installed. Model 2 was categorized as a very slender building because the ratio of its height (H) to its width (D) = 40/10 = 4. Meanwhile, the ideal slenderness ratio to reduce building flexibility is H/D < 2 [23]. In order to significantly increase the stiffness of the 2A model, 2 ©  $2.5 \times 5$  m of core walls (formulas 1 to 6) were installed at the ends of the building wings in the X- and Y- axes together with 2 © 2 m shear walls towards the X-axis at the intersection of masses A and B. Before the installation of shear walls, the fundamental period (T) of model 2 = 1.942 seconds (Table 4a), and it was then decreased as many as 1.151 seconds after the installation of core walls and shear walls in model 2A (Table 4b). With the fundamental period (T) of the 2A model  $\approx 1.09$  seconds (T max), it means the stiffness of the model 2A already possesses the required capacity to resist strong earthquakes.

Model 2 had the shape mode, namely mode 1 = translation towards the Y- axis and dominant, mode 2 = rotation towards the Z- axis and dominant, and mode 3 = translation towards the –X axis and dominant; this means that model 2 is categorized as an irregular building, so its deformation behavior needs to be corrected. After shear walls and core walls were installed in model 2A, the deformation behavior improved and it became a regular building where mode 1 = translation towards the X-axis

and dominant, mode 2 = translation towards the Y- axis and dominant, and mode 3 = rotation towards the -Z axis and dominant.

The eccentricity ratios of models 2 and 2A = 0 (Table 5), so the potential for torsion is relatively small. The use of shear walls in model 2A prevents the formation of torsional irregularity and reentrant corner irregularity configurations.



Figure 15. Model 2A (after shear walls were installed: a) the plan, b) 3D.

a). Model 2 b). Model 2A									
Mode	Period (s)	UX	UY	RZ	Mode	Period (s)	UX	UY	RZ
1	1.942	0	1	0	1	1.151	1	0	0
2	1.817	0	0	1	2	0.955	0	1	0
3	1.813	1	0	0	3	0.655	0	0	1

**Table 4.** Modal direction factors of Models 2 and 2A.

Storiog	Mod	lel 2	Model 2A			
Stories	e <sub>rx</sub>	e <sub>ry</sub>	e <sub>rx</sub>	e <sub>ry</sub>		
Storey10	0.000	0.000	0.000	0.000		
Storey9	0.000	0.000	0.000	0.000		
Storey8	0.000	0.000	0.000	0.000		
Storey7	0.000	0.000	0.000	0.000		
Storey6	0.000	0.000	0.000	0.000		
Storey5	0.000	0.000	0.000	0.000		
Storey4	0.000	0.000	0.000	0.000		
Storey3	0.000	0.000	0.000	0.000		
Storey2	0.000	0.000	0.000	0.000		
Storey1	0.000	0.000	0.000	0.000		

Table 5. Eccentricity ratios of the Models 2 and 2A.

#### 4.3. Models 3 and 3A

Model 3 needed shear walls to improve its performance, and model 3A (Figure 16) was the model where shear walls had been installed. From formulas 1 to 3, it was found that model 3 needed 4 4.2–5 m of shear walls.



Figure 16. Model 3A (after shear walls were installed): a) the plan, b) 3D.

a). Model 3 b). Model 3A									
Mode	Period (s)	UX	UY	RZ	Mode	Period (s)	UX	UY	RZ
1	1.099	0.021	0.940	0.04	1	0.690	0.701	0.299	0
2	1.049	0.001	0.042	0.958	2	0.569	0.299	0.701	0
3	1.029	0.979	0.019	0.003	3	0.398	0	0	1

 Table 6. Modal direction factors of Models 3 and 3A.

Staniag	Moo	del 3	Model 3A			
Stories	e <sub>rx</sub>	e <sub>ry</sub>	e <sub>rx</sub>	e <sub>ry</sub>		
Storey7	0.004	0.006	0.004	0.020		
<b>Storey6</b>	0.003	0.006	0.004	0.023		
Storey5	0.003	0.005	0.005	0.029		
Storey4	0.003	0.005	0.006	0.036		
Storey3	0.003	0.005	0.006	0.043		
Storey2	0.003	0.004	0.005	0.048		
Storey1	0.002	0.002	0.002	0.044		

**Table 7.** Eccentricity ratios of Models 3 and 3A.

The fundamental period (T) the model 3 before the installation of shear walls was 1.099 seconds (Table 6a), and after shear walls installation (the model 3A), its fundamental period (T) was 0.69 seconds (Table 6b); it means it is less than T max (0.83 seconds). Installing the shear walls, thus, significantly increased the building's stiffness in overcoming potential strong earthquakes.

The mode shape of model 3 is categorized as an irregular building because mode 1 = translation, mode 2 = rotation, and mode 3 = translation (Table 6a). After shear walls installation at the ends of the building wings, the performance of the 3A model improved where modes 1 and 2 = translation, mode 3 = rotation and all of these modes were quite dominant (Table 6b).

**IOP** Publishing

That the entire eccentricity ratio of models 3 and 3A  $e_{rx}$  and  $e_{ry}$  is less than < 0.1 (Table 7) means that the potential for torsional irregularity configuration in model 3A is not a crucial problem for this organic-shaped building. However, the potential for the formation of non-parallel system irregularity configurations [22] in model 3A must be considered since the installation of shear walls does not simply eliminate the potential for torsion and excessive stress that can cause unexpected local damage [24].

#### 4.4. Models 4 and 4A

Model 4 (Figure 7) had masses with different heights. The deformation behavior of model 4, actually, was still quite good, but there was translation and rotation that were not dominant enough (Table 8a). Therefore, it was necessary to install shear walls as in model 4A (Figure 17) to improve the deformation behavior. For the calculation of its shear wall mass, mass A and mass B were divided in which only mass A became the focus while mass B was not really considered because it was relatively small. Based on formulas 1 to 3 for mass A, the results showed that the shear walls were 4 © 5 m towards the X-axis and 6 © 5 m towards the Y-axis.

The fundamental period (T) of model 4 = 1.832 seconds (Table 8a) and after the shear walls were installed, its fundamental period (model 4A) = 1.151 seconds (Table 8b); hence T of model 4A  $\approx 1.09$  seconds (Tmax). This means the stiffness of the 4A model meets the prerequisite earthquake resistance.

Model 4 was actually categorized as a fairly regular building since mode 1 was translation, mode 2 was translation, and mode 3 was rotation, but mode 1 and mode 3 were not dominant enough (Table 8a). In this model, mode 1 translation was mixed with rotation, and Mode 3 rotation was mixed with translation. This condition indicates that the performance of the deformation behavior can still be improved. After shear walls were installed at the ends of the building's wings, on the sides of mass A, and at the intersection of mass A and mass B; the performance of the deformation behavior improved in which mode 1 translation towards the X-axis and dominant, mode 2 translation towards the Y-axis and dominant, and mode 3 rotation towards the Z-axis and dominant (Table 8b).

The potential rotation in model 4 towards X-axis was relatively small ( $e_{rx} < 0.1$ ) but the potential rotation towards the Y-axis was categorized as medium ( $0.1 < e_{ry} < 0.3$ ) from the stories 6 to 10 (Table 9). After the shear walls were installed in model 4A, the potential rotation towards the X-axis was kept small ( $e_{rx} < 0.1$ ) while the eccentricity towards the Y-axis ( $e_{ry} < 0.1$ ) on the stories 6 to 10 could be reduced so that the potential rotation was relatively small (Table 9). Therefore, the potential torsion in the vertical geometric configuration [22] with a symmetrical composition and the re-entrant corner irregularity configuration in model 4A can be controlled by the shear walls.



Figure 17. Model 4A (after shear walls were installed): a) the plan, b) 3D.

		1 46/10	011110.000						
a). Model 4 b). Model 4A									
Mode	Period	UV	ΙW	D7	Mode	Period	UV	<b>T</b> INZ	D7
	<b>(s)</b>	UA	UI	KZ		<b>(s)</b>	UA	UI	KZ
1	1.832	0.657	0	0.343	1	1.151	1	0	0
2	1.777	0	1	0	2	0.841	0	1	0
3	1.593	0.355	0	0.645	3	0.629	0.032	0	0.989

Table 8. Modal direction factors of Models 4 and 4A.

Stories	Mo	del 4	Mod	lel 4A
	e <sub>rx</sub>	e <sub>ry</sub>	e <sub>rx</sub>	e <sub>ry</sub>
Storey10	0	0.136	0	0.058
Storey9	0	0.160	0	0.073
Storey8	0	0.188	0	0.085
Storey7	0	0.218	0	0.094
Storey6	0	0.190	0	0.055
Storey5	0	0.076	0	0.005
Storey4	0	0.062	0	0.012
Storey3	0	0.053	0	0.027
Storey2	0	0.047	0	0.040
Storey1	0	0.044	0	0.044

Table 9. Eccentricity ratios of Models 4 and 4A.

#### 4.5. Models 5 and 5A

The deformation behavior in model 5 (Figure 9) can be categorized as the regular building, but its rotation mode is not dominant enough. In order to fix this, the mass of model 5A (Figure 18a) was divided based on the height difference, but the calculation of its shear walls only focused on masses A and B while mass C was not considered because it was relatively small. With formulas 1 to 3, the obtained results were 2 © 5 m of shear walls towards the X-axis for mass A, 4 © 5 m of shear walls towards the Y-axis for mass B (Figure 18).

The fundamental period (T) of model 5 = 1.562 seconds (Table 10a), and then its stiffness increased after shear walls were installed in which its fundamental period (T) = 1.039 seconds (Table 10b). This period is still below Tmax = 1.09 seconds, so the stiffness of the 5A model is still in accordance with the required standard for strong earthquake resistance.

Model 5 was with mode 1 = translation towards the X- axis and dominant, mode 2 = translation towards the Y-axis and dominant, and mode 3 = rotation towards the Z-axis and less dominant (Table 10a). This model actually can be categorized as a regular building, but the weakness is that mode 3 was not dominant enough, and it was a challenge whether the deformation behavior could be corrected like the previous models. After two shear walls were installed at the ends of mass A, at the intersection of masses A and B, at wingtips of mass B building, and 4 shear walls were installed at the intersection behavior became mode 1 = translation towards the Y-axis and dominant, mode 2 = translation towards the X-axis and dominant, and mode 3 = rotation and quite dominant (Table 10b).



Figure 18. Model 5A (after shear walls were installed): a) The Plan, b) 3D.

a). Mode	el 5				b). Mode	el 5A			
Mode	Period (s)	UX	UY	RZ	Mode	Period (s)	UX	UY	RZ
1	1.562	0.814	0.019	0.167	1	1.039	0.014	0.929	0.056
2	1.385	0.008	0.989	0.003	2	0.817	0.979	0.004	0.018
3	1.019	0.359	0.053	0.588	3	0.592	0.14	0.155	0.705

 Table 10. Modal direction factors of Models 5 and 5A.

		•		
Stories -	Model 5		Model 5A	
	e <sub>rx</sub>	e <sub>ry</sub>	e <sub>rx</sub>	e <sub>ry</sub>
Storey10	0.021	0.061	0.043	0.035
Storey9	0.033	0.097	0.067	0.007
Storey8	0.056	0.168	0.125	0.054
Storey7	0.034	0.166	0.164	0.059
<b>Storey6</b>	0.001	0.130	0.132	0.016
Storey5	0.026	0.123	0.102	0.004
Storey4	0.058	0.135	0.045	0.016
Storey3	0.068	0.127	0.016	0.021
Storey2	0.057	0.104	0.021	0.013
Storey1	0.048	0.087	0.058	0.035

Table 11. Eccentricity ratios of Models 5 and 5A.

Model 5 had vertical geometric irregularity configurations because it had several masses with different heights. It can be seen in Table 11 that the vertical geometric irregularity configurations with random composition caused eccentricity towards the Y-axis direction from stories 2 to 8 in the medium category ( $0.1 < e_{ry} < 0.3$ ), and such conditions can create significant potential torsion. It turned out that after the shear walls were installed in model 5A, the eccentricity with the medium category

 $(0.1 < e_{rx} < 0.3)$  still occurred towards the X-axis from stories 5 to 8. This condition means that the formation of torsional irregularities in models 5 and 5A is caused by vertical geometric irregularity configurations with random compositions, and such problem is not easy to control. The installation of shear walls in the 5A model only controls the formation of the re-entrant corner irregularity configurations.

## 5. Conclusions

From the calculation of all formulas, guidance about shear wall requirements and the steps for shear wall installation in models 1A to 5A can be made as follows:

- The formulas 1 to 12 and steps 1 to 5 are quite accurate in calculating the areas and locations of shear walls.
- Optimum installation of shear walls in buildings can be achieved when the strength and stiffness are increased, the distribution of strength and stiffness is relatively even, the deformation behavior can be anticipated, and the eccentricity can be reduced.
- Installation of shear walls can optimally fix torsional irregularity and re-entrant corner irregularity configurations.
- Installation of shear walls in vertical geometric irregularities can only optimize building irregularity with symmetrical geometric compositions (1 or 2 axes) while building irregularity with random geometric compositions is quite difficult to control its eccentricity.
- Shear wall installation in the configuration of non-parallel system irregularity is quite difficult to achieve optimal conditions. This action can only solve problems related to strength, stiffness, deformation behavior, and eccentricity, whereas the distribution of strength and stiffness is quite difficult to control when the shape of a building is organic and random.
- If the addition of shear walls only causes an insignificant reduction of the fundamental period, consider using the combination of core walls and shear walls.
- The building's predetermined areas and core positions can be assumed as part of the structural column. After structure and modal analyses with ETABS were carried out and the building was evidently categorized as an irregular building, shear walls can be added to fix its irregularity by applying those 12 formulas and 5 steps.

# Acknowledgments

This research was fully supported by Sriwijaya University PNPB funding through the SAINSTEK scheme. Researchers would like to express their gratitude to Sriwijaya University that made this important research feasible and effective.

#### References

- Banginwar R S, Vyawahare M R and Modani P O 2012 Effect of plans configurations on the seismic behavior of the structure by response spectrum method *Int. J. Eng. Res. Appl.* 2 1439–43
- [2] Tarigan J 2007 Kajian Struktur Bangunan Di Kota Medan Terhadap Gaya Gempa Di Masa Yang Akan Datang (Indonesian)
- [3] Ravikumar, Narayan K S B, B V S and Reddy D V 2012 Effect of Irregular Configurations on Seismic Vulnerability of RC Buildings *Architecture Research* **2** 20-26
- [4] Kewalramani M A and Syed Z I 2018 Seismic Analysis of Torsional Irregularity in Multi-Storey Symmetric and Asymmetric Buildings *Eurasian J. Anal. Chem.* **13** 3
- [5] Banerjee R and Srivastava J B 2020 Defining Optimum Location of Shear Wall in an Irregular Building by Considering Torsion *Int. J. Eng. Adv. Technol.* **9** 4 2247–51
- [6] Powale S A and Pathak N J 2019 A comparative study of torsional effect of earthquake on "L" and "S" shaped high rise buildings *Int. J. Sci. Technol. Res.* **8** 8 1355–9
- [7] Botis M F and Cerbu C 2020 A Method for Reducing of the Overall Torsion for Reinforced Concrete Multi-Storey Irregular Structures *Appl. Sci.* **10** (16) 5555

- [8] Basu D and Jain S K 2007 Alternative method to locate center of rigidity in asymmetric buildings *Earthq. Eng. Struct. Dyn.* **36** (7) 965–73
- [9] Botiş M F, Cerbu C and Shi H 2018 Study on the reduction of the general / overall torsion on multi – story, rectangular, reinforced concrete structures *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 399 12005
- [10] Zhang Y and Mueller C 2017 Shear wall layout optimization for conceptual design of tall buildings Eng Struct 140 225–40
- [11] Allen M P and Tildesley D J 2017 *Computer simulation of liquids* (England: Oxford University Press)
- [12] Nasution S 1995 Metode research (penelitian ilmiah): usul tesis, desain penelitian, hipotesis, validitas, sampling, populasi, observasi, wawancara, angket (Jakarta: Bumi Aksara)
- [13] Budiono B and Supriatna L 2011 *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726-2012* (Bandung: Penerbit ITB)
- [14] Murty C V R, Goswami R, Vijayanarayanan A R and Mehta V V 2012 Some Concepts in Earthquake Behavior of Buildings (Gujarat: Gujarat State Disaster Management Authority Government of Gujarat)
- [15] Tjokrodimuljo K 1997 Teknik Gempa (Yogyakarta: Penerbit Nafiri)
- [16] Teddy L, Hardiman G, Nuroji and Tudjono S 2018 Simplified Vulnerability Analysis (SVA) Preliminary Design of the Frame Structure in the Architectural Design Process Indian J. Sci. Technol. 11 (May) 1–13
- [17] Ersoy U 2013 A Simple Approach for Preliminary Design of Reinforced Concrete Structures to be Built in Seismic Regions *Tenik Dergi* 24 (4) 6559–74
- [18] Vithal G U 2017 Effect of Shear Wall on Sesmic Behavior of Unsymmetrical Reinforced Concrete Structure Int. J. Res. Sci. Innov. IV (X) 61–81
- [19] Ali S E and Aquil M M U 2014 Study of Strength of RC Shear Wall at Different Location on Multi-Storied Residential Building J. Eng. Res. Appl. 4 (9) 134–41
- [20] Duggal S K Earthquake resistant design of structures. Oxford university press New Delhi 2007
- [21] Fares A M 2019 The Effect of Shear Wall Positions on the Seismic Response of Frame-Wall Structures Int. J. Civ. Environ. Eng. 13 (3) 190–4
- [22] FEMA 2007 NEHRP Recommended Provisions for New Buildings and Other Structures: Training and Instructional Materials-FEMA 451B (Washington DC: Federal Emergency Management Agency)
- [23] Madutujuh N 2020 Perencanaan Gedung Bertingkat dengan Program SANSPRO (Jakarta)
- [24] Arnold C 2006 Seismic Issues In Architectural Design. In: Designing For Earthquakes A Manual For Architects - FEMA 454 (California: Engineering Research Institute)