

**RESPON STRUKTUR BANGUNAN TINGGI DENGAN
VARIASI PENEMPATAN *OUTRIGGER* TERHADAP BEBAN
LATERAL (STUDI KASUS: BANGUNAN TOWER A ST.
MORITZ PANAKUKANG)**



BELLA JUNITA

5415134236

Skripsi Ini Ditulis Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Dalam Memperoleh Gelar Sarjana

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK BANGUNAN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

2018

ABSTRAK

Bella Junita. **Respon Struktur Bangunan Tinggi Dengan Variasi Penempatan Outrigger Terhadap Beban Lateral (Studi Kasus: Bangunan Tower A St. Moritz Panakkukang)**. Skripsi. Jakarta: Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, 2017. Dosen Pembimbing: Drs.Prihantono, ST, M. Eng dan Lenggogeni, MT.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis respon bangunan tinggi terhadap beban lateral dengan menggunakan variasi penempatan *outrigger* pada bangunan tinggi yang tidak beraturan vertikal lantai lunak dan massa.

Objek pada penelitian adalah St. Moritz Panakukang Tower A. merupakan bangunan tinggi yang menggunakan *outrigger* sebagai penahan gaya lateral pada lantai yang memiliki ketidakberaturan vertikal lantai lunak sehingga menyebabkan ketidakberaturan massa. Perilaku struktur bangunan dapat dilihat dari respon struktur berupa gaya geser dasar, periode getar stuktur, simpangan total dan simpangan antar tingkat. Metode analisis terhadap beban gempa menggunakan analisis dinamis respon spektrum berdasarkan SNI 1726:2012 dengan bantuan software ETABS versi 9.7.1.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan variasi penempatan *outrigger* pada bangunan tinggi dengan ketidakberaturan vertikal lantai lunak dan massa mempengaruhi respon stuktur terhadap beban gempa. Penempatan *outrigger* pada lantai lunak dengan ketidakberaturan massa dapat menurunkan nilai *base shear* yang disebabkan oleh membesarnya nilai periode bangunan. Penempatan *outrigger* pada $3/4h$ bangunan menunjukkan respon yang paling baik dimana mampu memperbesar nilai *base shear* dan menurunkan nilai *displacement* pada arah X sebesar 15,08% dan arah Y sebesar 8,21%. Oleh karena itu, penempatan *outrigger* pada bangunan tinggi harus dipertimbangkan dengan baik agar penggunaannya dapat meningkatkan perilaku sruktur.

Kata Kunci: *Outrigger*, Bangunan Tinggi, Ketidakberaturan Lantai Lunak, Ketidakberaturan Massa, Gaya Geser Dasar, Simpangan.

ABSTRACT

Bella Junita. ***Response of High Rise Building Structure With Variation Outrigger Placement Under Seismic Load (Case Study: Tower A of St. Moritz Panakkukang)***. Bachelor Thesis. Building Engineering Education Study Program, Faculty of Engineering, State University of Jakarta, 2018. Supervisors: Prihantono, M. Eng and Lenggogeni, MT.



The purpose of this research was to know high rise buildings response due to the earthquake loads by applying outrigger system variation on soft story irregularities and mass irregularities building.

The building case in this research used St. Moritz Panakkukang Tower A. is a tall building that uses an outrigger as a lateral force retainer on a floor that has soft story vertical irregularities causing mass irregularities. Behavior of building structure can be seen from structure response in the form of base shear force, period of vibration structure, total deviation and inter-level deviation. Analysis method for earthquake load using dynamic analysis of spectrum response based on SNI 1726: 2012 with the help of ETABS software version 9.7.1



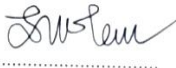

The results of this study indicate that the use of outrigger placement variations in tall buildings with soft floor vertical irregularities and mass affects the structural response to earthquake loads. The placement of the outrigger on the soft floor with mass irregularities may decrease the base shear value caused by the enlarged value of the building period. Outrigger placement at $3/4h$ of the building shows the best response which is able to enlarge the base shear value and decrease the displacement value in X direction by 15,08% and Y direction equal to 8,21%. Therefore, outrigger placement in high buildings should be well considered so that their use can improve the structural behavior.

Keywords: Outrigger, High Rise Building, Soft Floor Irregularities, Mass Irregularities, Base Shear, Displacement.

LEMBAR PENGESAHAN

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Drs. Prihantono, M. Eng (Dosen Pembimbing I)		13/02 2018
Lenggogeni, MT (Dosen Pembimbing II)		13/02 2018

PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
R. Eka Murtinugraha, M. Pd (Ketua Penguji)	 	09/02 2018
Sittati Musalamah, MT (Penguji I)		13/02 2018
Anisah, MT (Penguji II)		12/02 2018

Tanggal Lulus: 01 Februari 2018

HALAMAN PENYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis skripsi saya ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri dengan arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasi orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, Februari 2018

Yang Membuat Pernyataan



Bella Junita

5415134236

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat, karunia serta hidayah-Nya, sehingga penulis diberikan kesehatan dan kemudahan dalam menyelesaikan skripsi dengan judul “Respon Struktur Bangunan Tinggi Dengan Variasi Penempatan *Outrigger* Terhadap Beban Lateral” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Pendidikan.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis mendapatkan banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis yang selalu memberikan doa dan dukungannya.
2. Drs. Prihantono, ST, M. Eng sebagai dosen pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan sepenuhnya sampai skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Lenggogeni, MT sebagai dosen pembimbing metodologi yang telah memberikan bimbingan sampai akhir penulisan skripsi ini.
4. R. Eka Murtinugraha, M. Pd sebagai Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.
5. Sittati Musalamah, MT dan Anisah, MT selaku dosen penguji.
6. Teman-teman seperjuangan program studi pendidikan teknik bangunan B angkatan 2013.
7. Bapak Anton selaku karyawan PT. Pembangunan Perumahan yang telah mengizinkan penulis melakukan penelitian pada Proyek St. Morits Panakkukang.
8. Serta pihak-pihak lain yang membantu penulis menyelesaikan skripsi ini secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih mempunyai banyak kekurangan karena keterbatasan pengetahuan penulis. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Jakarta, Februari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah	5
1.4 Rumusan Masalah	6
1.5 Tujuan Penelitian	6
1.6 Kegunaan Penelitian.....	6
BAB II KAJIAN TEORI	8
2.1 Landasan Teori.....	8
2.1.1 Bangunan Tingkat Tinggi	8
2.1.2 Ketidakberaturan Pada Bangunan	12
2.1.3 Sistem Penahan Gaya Lateral	14
2.1.3.1 Dinding Geser	14
2.1.3.2 Sistem <i>Outrigger</i>	16
2.1.4 Teori Gempa.....	24
2.1.4.1 Perilaku Struktur Akibat Beban Gempa.....	27
2.1.4.2 Kategorisasi Desain Seismik.....	33
2.1.4.3 Metode Analisa Respon Spektrum.....	34
2.1.5 Pembebanan Struktur	41
2.1.6 Software ETABS.....	44
2.2 Penelitian Relevan.....	46
2.3 Kerangka Berpikir	49

	2.4 Hipotesis Penelitian.....	50
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	51
	3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	51
	3.2 Subjek Penelitian.....	51
	3.3 Ketidakberaturan Vertikal Pada Bangunan	54
	3.3.1 Ketidakberaturan Lantai Lunak.....	54
	3.3.2 Ketidakberaturan Massa	56
	3.4 Variasi Pemodelan Struktur	57
	3.5 Pembebanan Struktur	58
	3.5.1 Beban Mati	59
	3.5.2 Beban Hidup.....	59
	3.5.3 BebanGempa	60
	3.5.4 KombinasiPembebanan	62
	3.6 Metodologi Penelitian	64
	3.7 Teknik Analisis Data.....	65
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	66
	4.1 Hasil Penelitian	66
	4.1.1 <i>Base Shear</i>	66
	4.1.2 <i>Displacement</i>	68
	4.1.3 <i>Story Drift</i>	69
	4.2 Pembahasan	70
	4.2.1 Analisa <i>Base Shear</i>	70
	4.2.2 Analisa <i>Displacement</i>	73
	4.2.3 Analisa <i>Story Drift</i>	81
	4.3 Analisa Keseluruhan	84
	4.4 Keterbatasan Penelitian	86
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	88
	5.1 Kesimpulan	88
	5.2 Saran.....	89
	DAFTAR PUSTAKA	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Tampak Atas <i>Outrigger</i>	2
Gambar 1.2	Denah <i>Outrigger</i> Pada Lantai 26	4
Gambar 2.1	Klasifikasi Bangunan Tinggi Material Utama Baja	9
Gambar 2.2	Klasifikasi Bangunan Tinggi Material Utama Beton	9
Gambar 2.3	Sistem-sistem Bangunan Tinggi.....	11
Gambar 2.4	Efek Penggunaan <i>Outrigger</i> pada Bangunan Tinggi	18
Gambar 2.5	<i>Outrigger</i> Pada Bangunan Tingkat Tinggi.....	18
Gambar 2.6	Transfer Gaya dalam Sistem <i>Outrigger Truss</i> Yang Konvensional	19
Gambar 2.7	Bangunan Tingkat Tinggi Dengan <i>Belt Truss</i>	20
Gambar 2.8	(a) Transfer <i>Overturning Moment</i> dari <i>Core</i> ke Diafragma Lantai (b) Transfer Gaya dari Diafragma Lantai ke Kolom Eksterior	21
Gambar 2.9	Reaksi Rangka Inti dengan <i>Belt Truss</i>	22
Gambar 2.10	Lempeng Tektonik di Indonesia.....	26
Gambar 2.11	Perilaku Struktur terhadap Beban Lateral	27
Gambar 2.12	Parameter S_s	36
Gambar 2.13	Parameter S_1	36
Gambar 2.14	Grafik Spektrum Respon Desain	38
Gambar 3.1	Kolom, Balok, dan Pelat lantai <i>Basement 1</i>	51
Gambar 3.2	Variasi Penempatan <i>Outrigger</i> Pada Struktur	58
Gambar 3.3	Kurva Respon Spektrum	62
Gambar 3.4	Displacement Arah X	65
Gambar 3.5	Displacement Arah Y	65
Gambar 3.6	Diagram Alur Penelitian	65
Gambar 3.7	Diagram Alur Pemodelan Struktur	65
Gambar 4.1	Base Shear Arah X dan Arah Y.....	70
Gambar 4.2	Periode Seluruh Pemodelan Struktur	71
Gambar 4.4	Nilai Displacement Maksimum Arah Y	74
Gambar 4.5	Nilai <i>Displacement</i> Tanpa <i>Outrigger</i> Arah X dan Arah Y	75
Gambar 4.6	Nilai <i>Displacement</i> Variasi 1 Pada Arah X dan Arah Y	77
Gambar 4.7	Nilai <i>Displacement</i> Eksisting Pada Arah X dan Arah Y.....	78
Gambar 4.8	Nilai <i>Displacement</i> Variasi 2 Pada Arah X dan Arah Y	79
Gambar 4.9	Nilai <i>Displacement</i> Variasi 3 Pada Arah X dan Arah Y	80
Gambar 4.10	Nilai <i>Story Drift</i> Pada Arah X.....	83
Gambar 4.11	Nilai <i>Story Drift</i> Pada Arah Y	84

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Ketidakberaturan Vertikal pada Bangunan	12
Tabel 2.2	Simpangan Antar Lantai Ijin ($\Delta_a^{a,b}$)	29
Tabel 2.3	Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa.....	29
Tabel 2.4	Faktor Keutamaan Gempa	31
Tabel 2.5	Koefisien Untuk Batas Atas Pada Perioda Yang Dihitung	32
Tabel 2.6	Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan x	33
Tabel 2.7	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Pada Perioda Pendek	33
Tabel 2.8	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Pada Perioda 1 Detik	34
Tabel 2.9	Prosedur Analisis yang boleh digunakan	34
Tabel 2.10	Kelas Situs.....	36
Tabel 2.11	Koefisien situs, F_a	37
Tabel 2.12	Koefisien situs, F_v	37
Tabel 2.13	Faktor Modifikasi Respons	40
Tabel 2.14	Variasi Penempatan <i>Outrigger</i>	48
Tabel 3.1	Dimensi Kolom	52
Tabel 3.2	Dimensi Balok.....	52
Tabel 3.3	Dimensi Pelat	53
Tabel 4.1	Nilai <i>Base Shear</i> Sebelum Terkoreksi	66
Tabel 4.2	Nilai Faktor Skala Setelah Koreksi	67
Tabel 4.3	Nilai <i>Base Shear</i> Setelah Koreksi	68
Tabel 4.4	Nilai <i>Displacement</i> Arah X.....	69
Tabel 4.5	Nilai <i>Displacement</i> Arah Y.....	69
Tabel 4.6	Nilai <i>Story Drift</i> Arah X.....	69
Tabel 4.7	Nilai <i>Story Drift</i> Arah Y.....	69
Tabel 4.8	Massa Struktur Seluruh Pemodelan	72
Tabel 4.9	Kontrol Displacement	80

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Evaluasi Nilai <i>Base Shear</i> dan Perhitungan Faktor Skala Terkoreksi	92
Lampiran 2.	Nilai <i>Displacement</i>	97
Lampiran 3.	Nilai <i>Story Drift</i>	101
Lampiran 4.	Kontrol <i>Story Drift</i>	105
Lampiran 5.	Gambar Proyek	109
Lampiran 6.	Modul Penggunaan ETABS	111
Lampiran 7.	Surat Administrasi	131

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

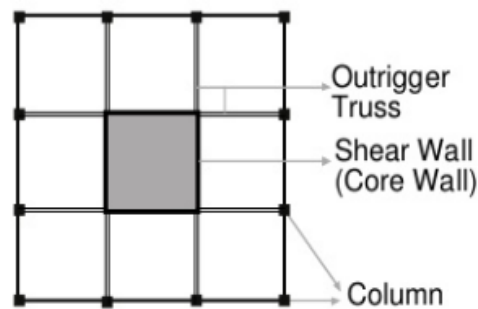
Kemajuan di bidang teknik sipil pada abad ini terlihat dari semakin banyaknya negara-negara yang berlomba membangun bangunan-bangunan tingkat tinggi. Salah satu alasan pembangunan gedung tingkat tinggi ialah keterbatasan lahan. Seperti di kota-kota besar dengan jumlah penduduk yang tinggi maka kebutuhan tempat tinggal akan meningkat namun ketersediaan lahan tidak bertambah. Untuk mengatasi keterbatasan lahan yang tersedia, meninggikan struktur bangunan merupakan salah satu solusi. Semakin banyak lantai maka semakin banyak pula ruang yang tersedia.

Pembangunan bangunan tinggi sangat rentan terhadap bahaya beban lateral seperti beban angin dan gempa bumi. Mengingat bahwa Indonesia merupakan negara dengan aktivitas gempa tektonik yang tinggi karena terletak pada 4 lempeng tektonik utama yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia, Pasifik dan Filipina, maka perlu direncanakan sistem penahan gaya lateral akibat gempa dalam merencanakan bangunan tinggi. Hal ini dilakukan agar gedung yang direncanakan mampu menahan gaya lateral yang terjadi akibat gempa.

Inovasi terus dikembangkan dalam mendesain bangunan tinggi untuk menahan gaya lateral akibat gempa. Pengaku gaya lateral yang lazim digunakan adalah portal penahan momen, dinding geser atau rangka pengaku (*bracing*) (Juwana, 2005). Umumnya sistem penahan gaya lateral yang digunakan adalah dinding geser. Seiring perkembangan zaman, banyak sistem desain penahan gaya

lateral yang digunakan pada bangunan tingkat tinggi. Salah satunya dengan penerapan sistem *outrigger* pada bangunan tinggi.

Outrigger adalah suatu struktur tambahan berbentuk rangka batang berdimensi besar, yang dipasang menghubungkan *core* dengan kolom-kolom eksterior suatu bangunan gedung. Pemakaiannya telah cukup terbukti efektif dalam mengurangi simpangan lateral suatu bangunan tingkat tinggi, khususnya pada bangunan yang memiliki lantai lebih dari 40 lantai (Adhy, 2000). *Outrigger* menghubungkan *corewall* dengan kolom yang terluar pada bangunan seperti pada gambar 1.1.

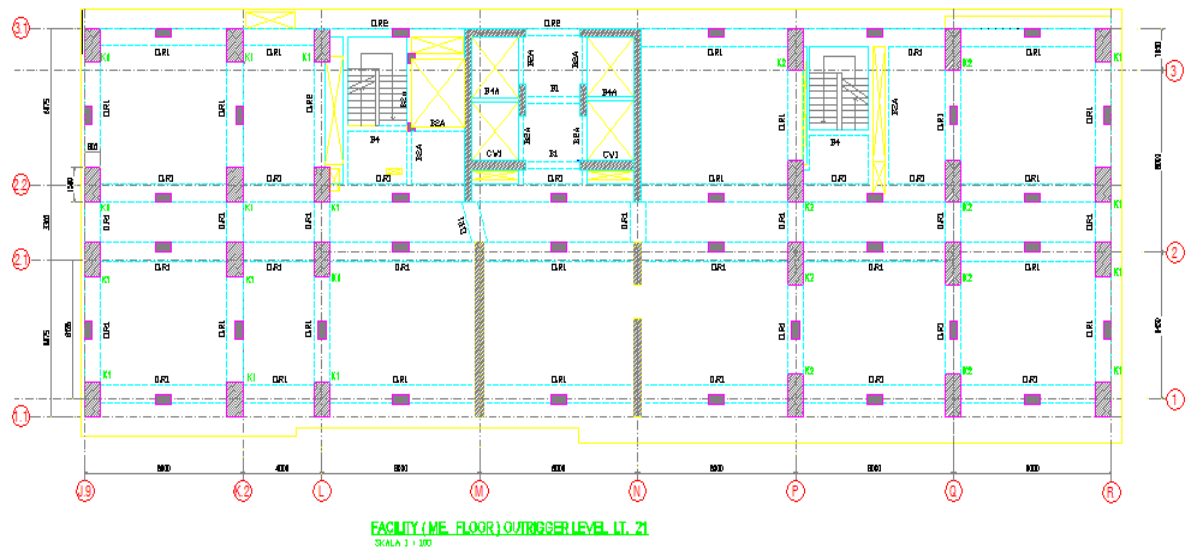


Gambar 1. 1 Tampak Atas Sistem *Outrigger*

Penggunaan *outrigger* dapat menambah kekakuan struktur gedung dimana kekakuan tersebut dapat mengurangi *drift* maksimum struktur dan periode struktur (Syahriar, 2012). *Outrigger* yang digunakan pada bangunan tinggi tidak di pasang di setiap lantai melainkan disesuaikan dengan kebutuhan dan perencanaan. Umumnya *outrigger* dapat dipasang hanya pada satu lantai atau lebih (Angerik, 2009). McNabb dkk (1975) membenarkan penelitian Taranath (1974) mengenai lokasi optimal *outrigger* (0,445h dari atap bangunan untuk satu *outrigger*) dan menunjukkan lokasi optimal untuk dua *outrigger* pada 0,312h dan 0,685h dari atap (Herath, 2009). N. Herath et al (2009) menyatakan bahwa lokasi optimum *outrigger*

gedung 50 lantai dengan konstruksi beton bertulang diberi beban gempa dan dianalisis dengan respon spektrum terletak pada 0,44-0,48 tinggi bangunan dari dasar bangunan. Kesamaan ketiga penelitian diatas adalah gedung yang digunakan sebagai model merupakan gedung beraturan. Pengaruh gaya gempa akan berbeda jika diaplikasikan terhadap bangunan beraturan dan tidak beraturan. Kinerja struktur yang dihasilkan untuk gedung tidakberaturan akan berbeda dengan gedung beraturan untuk intensitas beban gempa yang sama, misalnya jika dibandingkan terhadap simpangan (*displacement*) dan simpangan antar lantai (*drift*) (Purba, 2014).

Salah satu proyek konstruksi bangunan tingkat tinggi di Indonesia yang menggunakan sistem tambahan *outrigger* adalah Proyek St. Moritz Panakukang. Proyek ini merupakan salah satu bangunan tinggi yang terdiri dari 55 lantai menggunakan *shearwall* di sepanjang bangunan dan menggunakan sistem tambahan berupa *outrigger* sebagai penahan gaya lateral pada lantai 26. Penempatan *outrigger* pada proyek ini berdasarkan teori dan hasil penelitian ahli sudah ideal jika didasarkan pada pendapat para ahli mengenai posisi optimum *outrigger* pada bangunan tinggi beraturan sedangkan proyek ini diduga mempunyai ketidakberaturan vertikal. Ketidakberaturan vertikal umumnya ditandai dengan adanya perbedaan tinggi antar lantai struktur, massa bangunan yang berubah serta konfigurasi bangunan. Pada lampiran 3 terlihat perbedaan ketinggian antar lantai bangunan. Pada gambar 1.2 *outrigger* menghubungkan seluruh kolom yang ada pada lantai 26 tidak hanya antara *corewall* dan kolom terluar bangunan. Penempatan *outrigger* tentu mempengaruhi seberapa besar gaya lateral yang ditahan.



Gambar 1. 2 Tampak Atas Sistem *Outrigger* di Lantai 26

Berdasarkan uraian diatas perlu dilakukan analisis terhadap perilaku struktur pada proyek St. Moritz Panakukang bangunan tinggi dengan ketidakberaturan vertikal lantai lunak yang menerima beban gempa dengan variasi penempatan *outrigger*. *Outrigger* akan ditempatkan bervariasi pada lantai-lantai lainnya selain lantai 26 yaitu seperempat dan tiga perempat tinggi bangunan. Diharapkan penelitian ini akan memberikan informasi perilaku struktur yang mempunyai ketidakberaturan vertikal dengan beberapa variasi penempatan *outrigger* terhadap beban gempa. Diharapkan penelitian ini juga akan memberikan saran lokasi optimum untuk *outrigger* pada proyek St. Moritz Panakukang.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas maka identifikasi masalah pada penelitian ini adalah

1. Bagaimana respon struktur Tower A St. Moritz Panakukang dengan *outrigger* pada lantai 26 terhadap beban gempa.

2. Bagaimana perilaku struktur Tower A St. Moritz Panakukang terhadap beban lateral jika *outrigger* pada kondisi eksisting dihilangkan.
3. Bagaimana perilaku struktur dengan ketidakberaturan vertikal lantai lunak dan ketidakberaturan massa terhadap beban gempa jika *outrigger* diletakkan di seperempat tinggi bangunan, tiga perempat tinggi bangunan dan pada atap bangunan.
4. Variasi mana dari tiga variasi penempatan *outrigger* yang mempunyai *displacement* paling kecil pada proyek St. Moritz Panakukang.

1.3 Pembatasan Masalah

Agar penelitian yang akan dilakukan lebih terarah maka dibuat pembatasan masalah antara lain:

1. Bangunan yang ditinjau adalah bangunan tower A pada proyek St. Moritz Panakukang Makassar 55 lantai yang terdiri dari hotel dan apartemen dengan konstruksi beton bertulang.
2. Struktur gedung menggunakan struktur beton bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) *shearwall*.
3. Data yang digunakan merupakan gambar konstruksi proyek St. Moritz Panakukang.
4. Dalam proses Analisa akan terdapat variasi *outrigger* dihilangkan dan tiga variasi penempatan *outrigger* pada bangunan. Variasi 1 penempatan *outrigger* pada $1/2h$ bangunan, variasi 2 penempatan *outrigger* pada $3/4h$ bangunan dan variasi 3 penempatan *outrigger* pada atap bangunan.
5. Panjang *outrigger* yang digunakan berubah pada variasi penempatan *outrigger* $3/4h$ dan atap bangunan mengikuti ketinggian pada masing-masing lantai.

6. Beban lateral yang diperhitungkan hanya beban gempa yang berpedoman pada SNI 1726:2012.
7. Analisa struktur dilakukan dengan pemodelan 3 dimensi menggunakan software ETABS v.9.7.1 dengan model analisis respon spektrum.
8. Respon struktur yang dianalisa ditinjau dari parameter *displacement*, *story drift*, *base shear*.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah dan identifikasi masalah diatas maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah “Bagaimana respon struktur bangunan tinggi yang mempunyai ketidakberaturan vertikal dengan beberapa variasi penempatan *outrigger* pada bangunan Tower A St. Moritz Panakukang terhadap beban gempa ditinjau dari parameter *base shear*, *simpangan* dan *story drift*?”.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui respon struktur pada bangunan Tower A St. Moritz Panakukang yang mempunyai ketidakberaturan vertikal menggunakan beberapa variasi penempatan *outrigger* sebagai penahan gaya gempa dengan parameter *displacement*, *story drift*, *base shear*. Serta mengetahui posisi optimum *outrigger* berdasarkan parameter-parameter tersebut.

1.6 Kegunaan Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk berbagai pihak yang berhubungan dengan dunia Teknik sipil baik secara teoritis maupun praktis. Adapun manfaat yang bisa didapatkan dari penelitian ini antara lain:

1. Kegunaan Teoritis

Penelitian ini diharapkan menambah wawasan dan pengetahuan pembaca dibidang teknik sipil tentang respon struktur pada bangunan tinggi dengan ketidakberaturan vertikal lantai lunak dan ketidakberaturan massa yang menggunakan *outrigger* sebagai penahan gaya lateral akibat gempa.

2. Kegunaan Praktis

Penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai tambahan informasi bagi kalangan masyarakat untuk perencanaan ke depannya bagaimana penempatan *outrigger* dapat mempengaruhi respon struktur bangunan tinggi yang mempunyai ketidakberaturan vertikal terhadap beban gempa.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

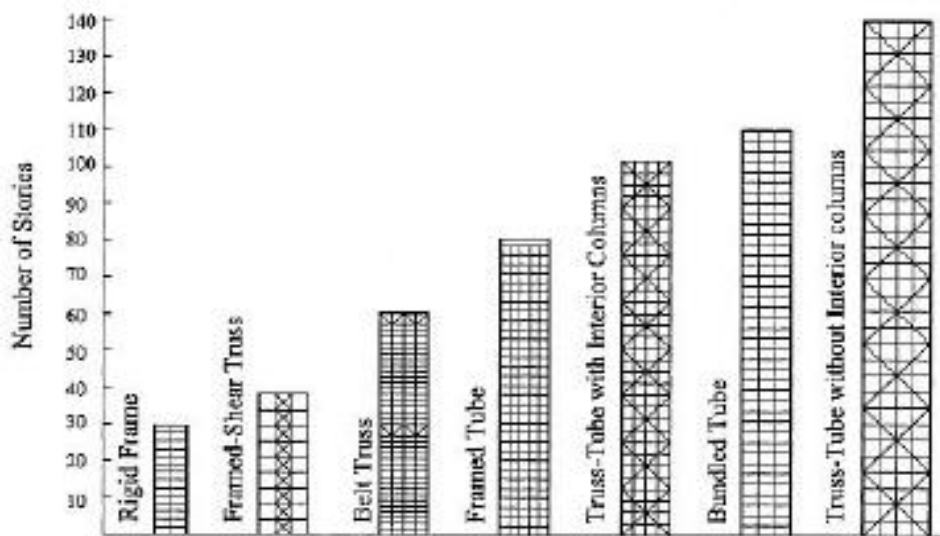
2.1.1 Bangunan Tingkat Tinggi

Bangunan tingkat tinggi didefinisikan sebagai bangunan yang ketinggiannya menciptakan kondisi pada desain, pembangunan dan penggunaanya lebih maksimal daripada bangunan biasa pada waktu dan tempat tertentu. Para insiyur teknik sipil khususnya ahli struktur harus mengetahui dan menyadari pentingnya suatu sistem dari struktur dapat menahan beban yang bekerja secara lateral apabila telah dikategorikan jenis sistem struktural bangunan tingkat tinggi (Angerik, 2009).

Di Indonesia tahun 1970-an dimana stabilitas politik mulai terbentuk dan perekonomian Indonesia bertambah pesat, pembangunan gedung-gedung tinggi bermunculan di Jakarta. Selain Hotel Indonesia yang dibangun Jepang sebagai kompensasi penjajahannya, bermunculan pula gedung tinggi lainnya seperti Wisma Nusantara (30 lantai), Wisma Antara, Hongkong Bank, Hotel Mandarin Hotel Hilton, Ratu Plaza dan lain-lain. Kebanyakan gedung-gedung tinggi dibangun sepanjang poros Thamrin-Sudirman, ditunjang dengan infrastruktur Jakarta yang terus ditata ke arah yang lebih baik (Sukamta, 2010).

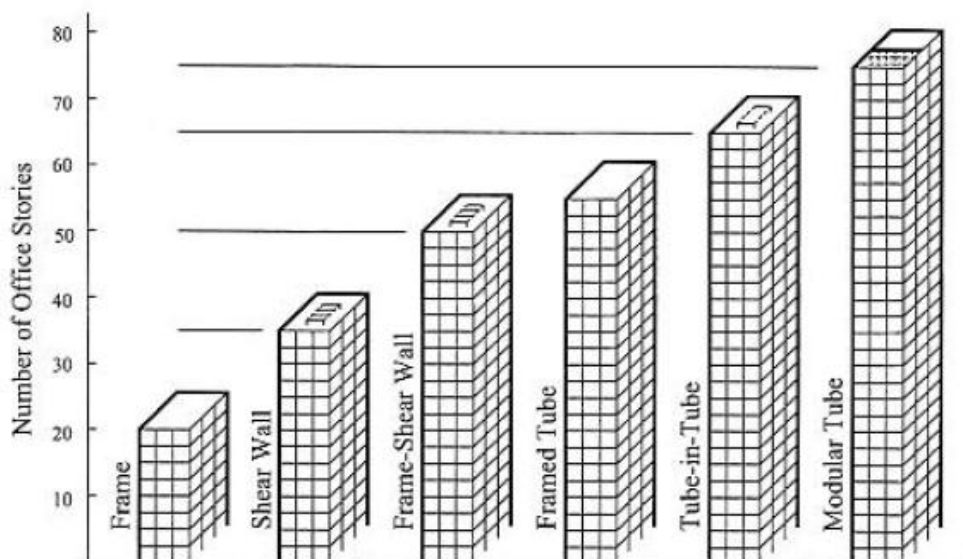
Pada tahun 1965, Fazlur Khan menyadari bahwa hirarki dari sistem struktur dapat dikategorikan dengan tujuan menjadi pendekatan yang efektif untuk penahan beban lateral. Tipe yang pertama merupakan sistem penahan momen yang efisien untuk gedung bertingkat 20 hingga 30 lantai. Tipe berikutnya merupakan generasi dari sistem tubular dengan efisiensi dari kantilever yang tinggi. Tampilan bagian

dari sistem ini terus dimoderenisasi secara periodik dalam jangka waktu tertentu apabila ada sistem baru yang ditemukan dan dikembangkan dalam perencanaan bangunan tingkat tinggi (Angerik, 2009). Fazlur Khan mengklasifikasikan sistem bangunan tingkat tinggi berdasarkan material utama yang digunakan seperti pada gambar 2.1 dengan material utama baja dan gambar 2.2 dengan material utama beton (Ali, 2007) .



Gambar 2. 1 Klasifikasi Bangunan Tinggi Material Utama Baja

(Sumber: Ali, 2007)



Gambar 2. 2 Klasifikasi Bangunan Tinggi Material Utama Beton

(Sumber: Ali, 2007)

Perpaduan dari unsur-unsur struktur dasar seperti kolom, balok, dinding dan plat akan membentuk struktur tulang dari bangunan. Sistem-sistem bangunan tinggi pendukung beban yang lazim dijumpai diantaranya (Schueller, 2001):

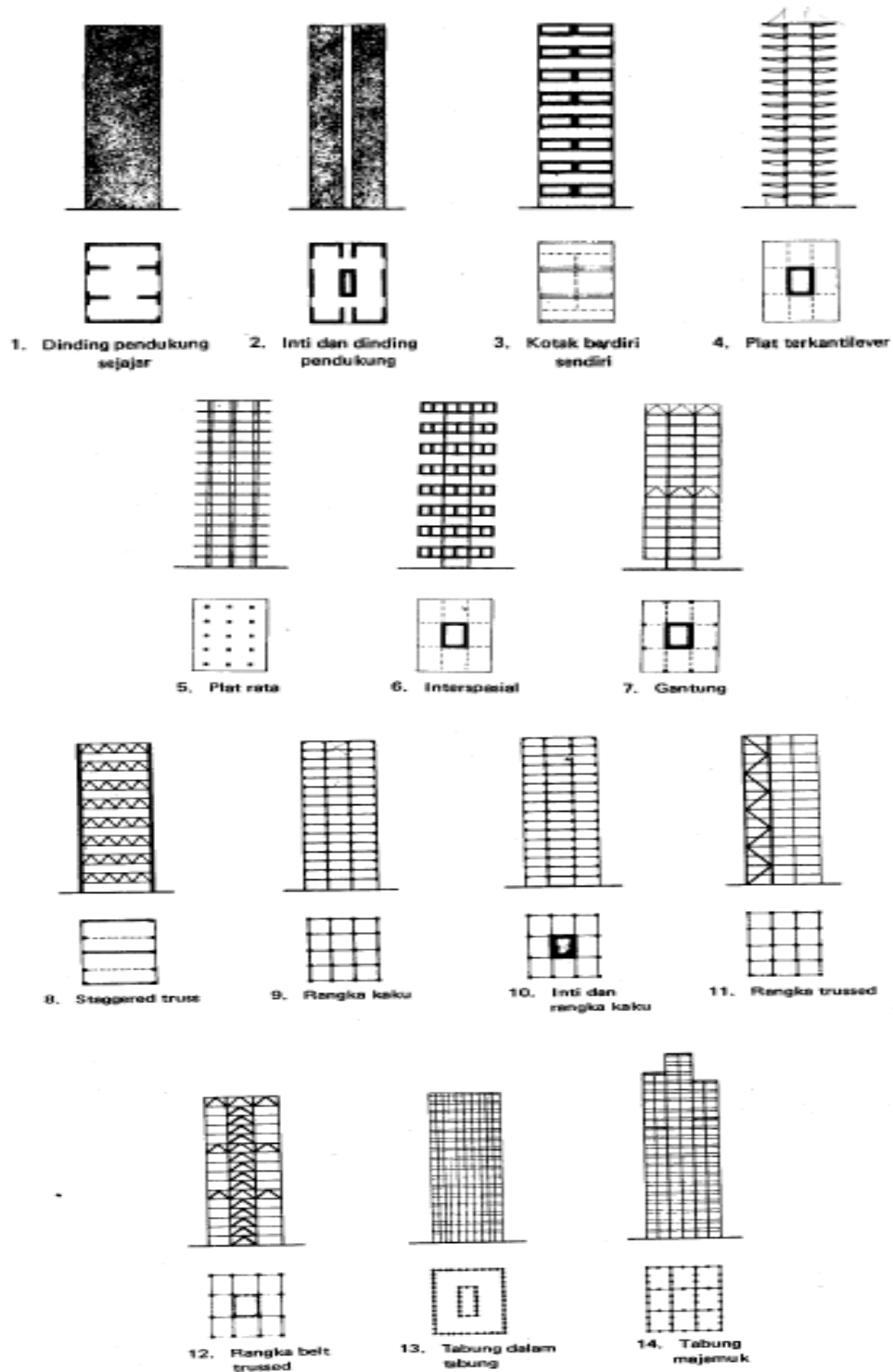
1. Dinding Pendukung Sejajar (*Parallel Bearing Walls*).
2. Inti dan Dinding Pendukung *Fasade* (*Core and Façade Bearing Walls*)
3. Boks Berdiri Sendiri (*Self Supporting Boxes*)
4. Plat Kantilever (*Cantilevered Slab*)
5. Plat Rata (*Flat Slab*)
6. Interparsial (*Interpartial*)
7. Gantung (*Suspension*)
8. Rangka Selang Seling (*Straggered Truss*)
9. Rangka Kaku (*Rigid Truss*)
10. Rangka Kaku dan Inti (*Rigid Frame and Core*)
11. Rangka *Truss* (*Trussed Frame*)
12. Rangka *Belt-Trussed* dan Inti (*Belt-Trussed Frame and Core*)

Belt truss mengikat kolom *fasade* ke inti sehingga meniadakan aksi terpisah rangka dan inti. Pengakuan ini dinamai *cap trussing* apabila berada pada bagian atas bangunan, dan *belt trussing* apabila berada di bagian bawahnya.

13. Tabung Dalam Tabung (*Tube In Tube*)
14. Kumpulan Tabung (*Banded Tube*)

Dalam penelitian ini sistem bangunan tinggi pada proyek St. Moritz Panakkukang adalah rangka kaku dan inti. Rangka kaku beraksi terhadap beban lateral, terutama melalui lentur balok dan kolom. Perilaku demikian berakibat ayunan (*drift*) lateral yang besar pada bangunan dengan ketinggian tertentu. Akan

tetapi, apabila dilengkapi dengan struktur inti, ketahanan lateral akan sangat meningkat karena interaksi inti dan rangka. Sistem inti ini memuat sistem-sistem mekanis dan transportasi vertikal.





Gambar 2. 3 Sistem-sistem Bangunan Tinggi

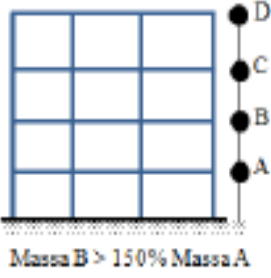
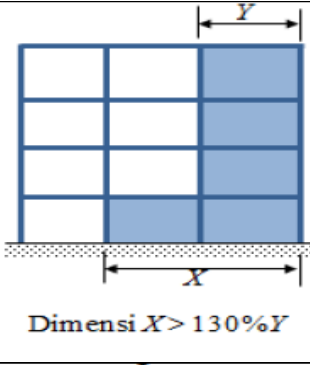
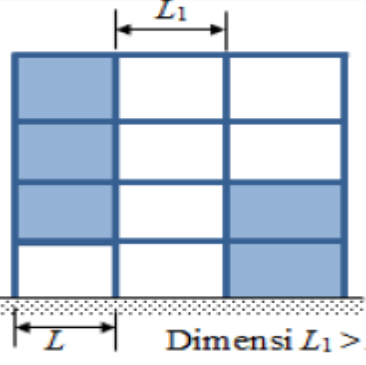
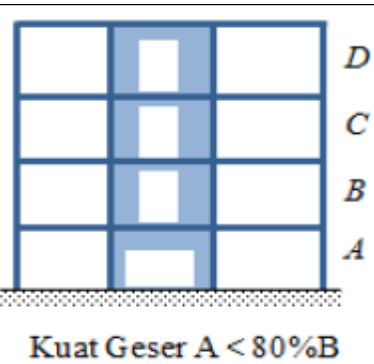
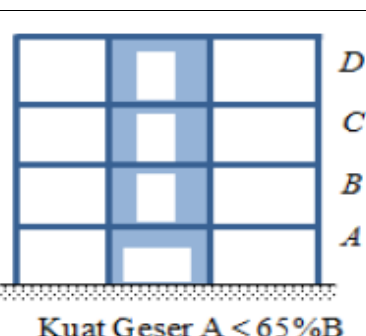
(Sumber: (Schueller, 2001))

2.1.2 Ketidakberaturan Pada Bangunan

Pengaruh gaya gempa akan berbeda jika diaplikasikan terhadap bangunan beraturan dan tidak beraturan. Kinerja struktur yang dihasilkan untuk gedung tidak beraturan akan berbeda dengan gedung beraturan dengan intensitas beban yang sama, misalnya jika dibandingkan terhadap simpangan (*displacement*), simpangan antar lantai (*drift*), dan penulangannya (Purba, 2014). Pada peraturan perencanaan ketahanan gempa SNI 1726 2012 diatur mengenai ketidakberaturan struktur salah satunya yaitu ketidakberaturan vertikal. Menurut SNI 1726 2012, struktur bangunan yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan harus dianggap mempunyai ketidakberaturan vertikal. Tipe tipe ketidakberaturan vertikal pada struktur seperti pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Ketidakberaturan Vertikal pada Bangunan

Tipe	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Ilustrasi
1a	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak, didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	 <p>Kekakuan: $A < 70\%B$ atau $A < 80\% \left(\frac{B + C + D}{3} \right)$</p>
1b	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan, didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tiga lantai di atasnya.	 <p>Kekakuan: $A < 70\%B$ atau $A < 80\% \left(\frac{B + C + D}{3} \right)$</p>

2	Ketidakberaturan Berat (Massa), didefinisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	 <p>Massa B > 150% Massa A</p>
3	Ketidakberaturan Geometri Vertikal, didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa di tingkat di bawahnya.	 <p>Dimensi X > 130% Y</p>
4	Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal, didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya.	 <p>Dimensi $L_1 > L$</p>
5a	Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat, didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80% kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.	 <p>Kuat Geser A < 80% B</p>
5b	Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat Berlebihan, didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65% kuat lateral tingkat di atasnya.	 <p>Kuat Geser A < 65% B</p>

Sumber: Aplikasi SNI 1726:2012 for Dummies

2.1.3 Sistem Penahan Gaya Lateral

Hal yang paling penting pada struktur bangunan tinggi adalah stabilitas dan kemampuan untuk menahan gaya lateral, baik yang disebabkan oleh angin maupun gempa bumi. Beban angin lebih terkait pada dimensi ketinggian bangunan, sedangkan beban gempa lebih terkait pada massa bangunan. Kolom pada bangunan tinggi perlu diperkokoh dengan sistem pengaku untuk dapat menahan gaya lateral, agar deformasi yang terjadi akibat gaya horizontal tidak melampaui ketentuan yang disyaratkan ('P- Δ Effect') (Juwana, 2005).

Inovasi dalam perencanaan sistem penahan gaya lateral untuk bangunan tingkat tinggi terus berkembang. Pengaku gaya lateral yang lazim digunakan adalah portal penahan momen, dinding geser atau rangka pengaku (*bracing*) (Juwana, 2005).

2.1.3.1 Dinding Geser

Dinding geser adalah unsur pengaku vertikal yang dirancang untuk menahan gaya lateral atau gempa yang bekerja pada bangunan (Schueller, 2001). Berdasarkan letak dan fungsinya, dinding geser dapat diklasifikasikan dalam 3 jenis yaitu (Wae, 2013):

- a. *Bearing walls* adalah dinding geser yang mendukung sebagian besar beban gravitasi. Tembok-tembok ini juga menggunakan dinding partisi antar apartemen yang berdekatan.
- b. *Frame walls* adalah dinding geser yang menahan beban lateral, dimana beban gravitasi berasal dari *frame* beton bertulang. Tembok-tembok ini dibangun diantara baris kolom.

- c. *Core walls* adalah dinding geser yang terletak dikawasan ini pusat memiliki fungsi ganda dan dianggap menjadi pilihan paling ekonomis.

Dalam merencanakan dinding geser, perlu diperhatikan bahwa dinding geser yang berfungsi untuk menahan gaya lateral yang besar akibat beban gempa tidak boleh runtuh akibat gaya lateral, karena apabila dinding geser runtuh akibat gaya lateral maka keseluruhan struktur bangunan akan runtuh karena tidak ada elemen struktur yang mampu menahan gaya lateral. Oleh karena itu, dinding geser harus didesain untuk mampu menahan gaya lateral yang mungkin terjadi akibat beban gempa, dimana berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 14.5.3.1, tebal minimum dinding geser (t_d) tidak boleh kurang dari 100mm.

Keruntuhan pada dinding geser disebabkan oleh momen lentur karena terjadinya sendi plastis pada kaki dinding. Semakin tinggi suatu gedung, simpangan horizontal yang terjadi akibat gaya lateral akan semakin besar untuk itu sering digunakan dinding geser pada struktur bangunan tinggi untuk memperkaku struktur sehingga simpangan yang terjadi dapat berkurang. Dinding geser juga berfungsi untuk mereduksi momen yang diterima struktur rangka sehingga dimensi struktur rangka dapat dibuat seefisien mungkin pada struktur bangunan tinggi akibat gaya lateral.

Gaya lateral yang terjadi pada suatu gedung, baik diakibatkan oleh angin maupun gempa akan disebar melalui struktur lantai yang berfungsi sebagai diafragma horizontal yang kemudian akan ditahan oleh dinding geser karena memiliki kekuatan yang besar untuk menahan gaya lateral (Schueller, 2001).

Pada analisis 3 dimensi struktur, dengan adanya pemasangan dinding geser akan menambah kekakuan torsi struktur. Pemasangan dinding geser yang simetris

dan jauh dari pusat massa (berada di sepanjang keliling) dapat menghindari terjadinya mode rotasi pada mode-mode awal struktur yang berbahaya bagi keamanan dan kenyamanan pengguna gedung (Krisnahardi, 2010).

2.1.3.2 Sistem *Outrigger*

Seiring perkembangan zaman banyak sistem dan metode perencanaan sistem penahan gaya lateral yang dapat digunakan untuk bangunan tingkat tinggi salah satunya adalah sistem *outrigger*. Ketika *outrigger* menjadi salah satu bagian dari struktur yang bersatu dengan bangunan tingkat tinggi dalam dua puluh lima tahun terakhir, *outrigger* ternyata mempunyai sejarah dalam pemakaiannya sehari-hari sebagai salah satu unsur struktural. Salah satu pemakaian sistem *outrigger* adalah pada kapal layar yang besar. Kapal layar besar pada masa lalu maupun masa kini didapati telah menggunakan sistem *outrigger* untuk menahan tekanan angin yang bekerja pada layar kapal. Caranya adalah dengan menyesuaikan dengan tonggak layar yang tinggi dan ramping pada kapal sebaik mungkin (Angerik, 2009).

Dalam bangunan tingkat tinggi, *core wall* dapat diidentikan dengan tonggak layar dari kapal dan *outrigger* berperan sebagai alat untuk menggelar layar (*spreader*), sedangkan kolom terluar dari bangunan berperan seperti tali ataupun penyokong layar pada kapal (*stay* ataupun *shroud*) (Angerik, 2009).

a. Perilaku Sistem *Outrigger*

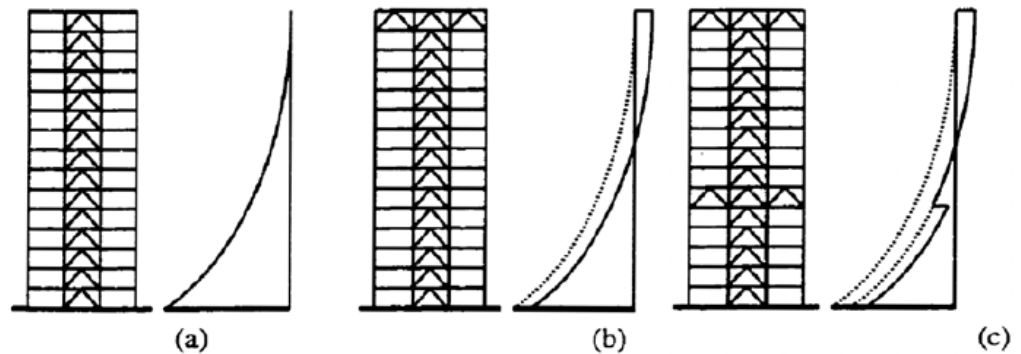
Konsep dari pemakaian *outrigger* telah tersebar luas dewasa ini, apalagi didalam perencanaan bangunan tingkat tinggi. Penggunaan *outrigger* pada bangunan tinggi di luar negeri pada negara maju sudah sangat berkembang. Didalam konsep ini, *outrigger* telah berfungsi sebagai penahan beban lateral yang menghubungkan *core* dengan kolom yang terletak pada bagian terluar bangunan

seperti pada gambar 1.1. *Core* yang dimaksud dapat berupa *shear wall* maupun *braced frame* sesuai perencanaan (Nair, 1998).

Sistem *outrigger* dapat berupa baja maupun beton. *Outrigger* baja yang paling banyak digunakan pada bangunan tingkat tinggi. Untuk beberapa alasan seperti biaya, ketersediaan dan pertimbangan pengerjaan, beberapa bangunan tinggi menggunakan *outrigger* beton. Dalam keadaan tersebut *outrigger* beton menjadi pertimbangan utama. Secara teori, terhadap beban angin sistem *outrigger* harus kaku dan elastis. Pada peristiwa gempa yang besar (periode ulang 475 tahun), sistem harus bisa menghilangkan energi dan mempertahankannya sebagai sistem lateral untuk melindungi bangunan dari keruntuhan. Namun seperti yang diketahui sistem *outrigger* beton sangat *brittle*. Sistem *outrigger* teredam adalah *robustness* karena berfungsi untuk situasi angin dan gempa yang sering terjadi. Namun, kekakuan *outrigger* banyak berkurang karena peredam. Dalam kasus dimana sistem *outrigger* harus kaku terhadap gravitasi maupun lateral tanpa redaman tambahan, sistem *outrigger* teredam mungkin merupakan sistem yang sesuai.

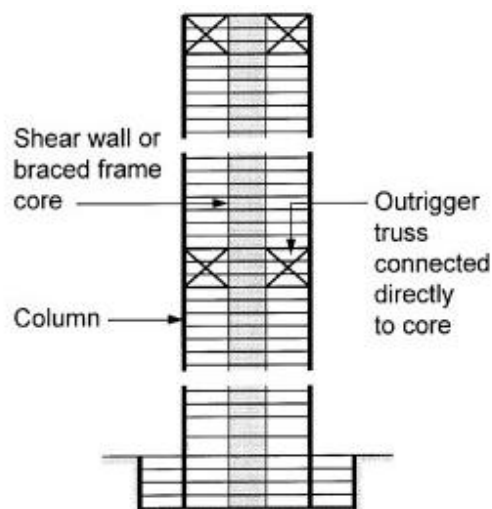
Ketika beban bekerja pada suatu struktur, baik beban angin maupun beban gempa, maka kerusakan struktur dapat diminimalkan. Kerusakan bangunan akibat beban lateral secara konvensional dapat dicegah dengan memperkuat dan memperkaku struktur bangunan terhadap gaya lateral yang bekerja pada struktur tersebut. Kerusakan secara non struktural umumnya disebabkan karena adanya *story drift* (perbedaan simpangan antar tingkat). Usaha untuk memperkecil *story drift* dilakukan dengan memperkaku bangunan dalam arah lateral dengan *outrigger*. Dampak dari penggunaan *outrigger* dapat dilihat pada gambar 2.4. Pada gambar

tersebut, di titik dimana *outrigger* diaplikasikan akan terjadi pengurangan simpangan yang diakibatkan beban gempa.



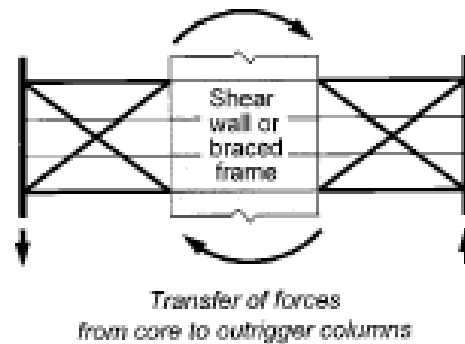
Gambar 2. 4 Efek Penggunaan *Outrigger* pada Bangunan Tinggi
(Sumber: World Conference on Engineering Earthquake, 2008)

Sistem *outrigger* yang digunakan pada bangunan tingkat tinggi tidak dipasang pada setiap lantai bangunan. Pemasangan *outrigger* disesuaikan dengan kebutuhan dan perencanaan dari bangunan. Umumnya *outrigger* pada satu lantai atau lebih pada bangunan. Gambar 2.5 merupakan sebuah bangunan tingkat tinggi yang menggunakan *outrigger truss* sebagai penahan gaya lateral. Bangunan tersebut menggunakan dua set *outrigger* dimana satu set *outrigger* melewati tiga lantai.



Gambar 2. 5 *Outrigger* Pada Bangunan Tingkat Tinggi
(Sumber: Nair, 1998)

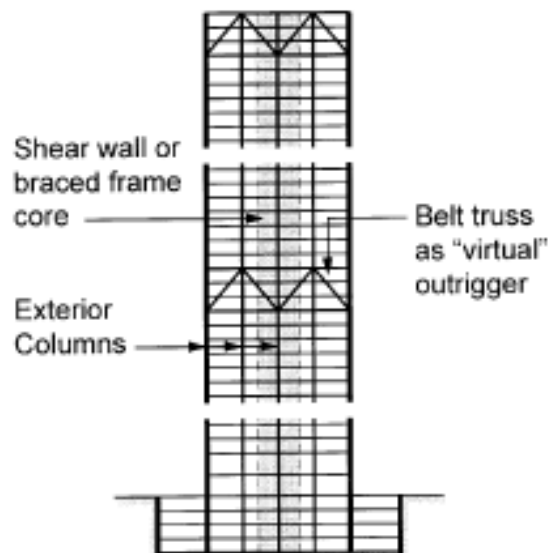
Cara kolom terluar untuk menahan bagian dari perputaran momen yang dihasilkan oleh beban angin maupun beban lainnya pada bangunan di gambarkan pada gambar 2.6. *Outrigger truss* yang terhubung ke *core wall* dan kolom di luar *core*, meregangkan kembali perputaran pada *core* dan mengkonversi bagian dari momen pada *core* menjadi pasangan gaya vertikal pada kolom. Pemendekan dan perpanjangan dari kolom serta deformasi dari *outrigger* dapat menyebabkan beberapa perputaran pada *core*. Dalam perencanaan umum, perputaran terhitung kecil sehingga *core* membalikkannya ke arah bawah *outrigger truss* (Nair, 1998).



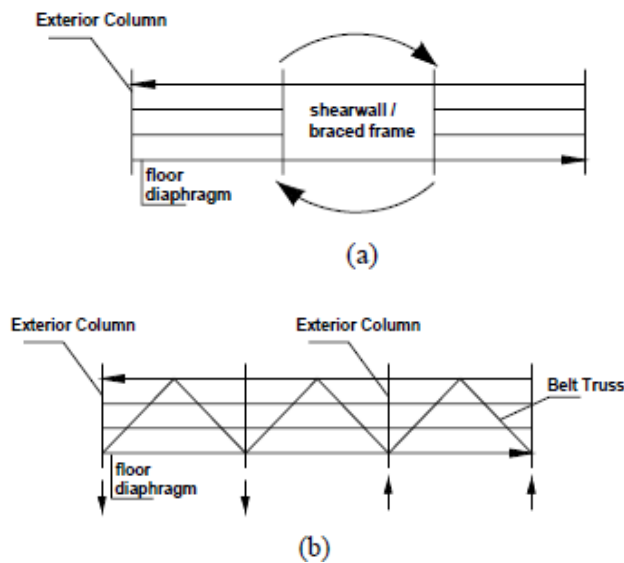
Gambar 2. 6 Transfer Gaya dalam Sistem Outrigger Truss Yang Konvensional
(Sumber: Nair, 1998)

Dalam konsep penggunaan *outrigger truss* yang konvensional, *outrigger truss* terhubung secara langsung dengan *core* dan kolom terluar dari bangunan yang mengkonversi momen pada *core* menjadi pasangan gaya vertikal pada kolom. Dalam perencanaan dan aplikasi di lapangan, *outrigger truss* tidak hanya bisa direncanakan secara independen. Untuk merencanakan suatu bangunan tingkat tinggi yang menggunakan *outrigger truss* dapat juga dikombinasikan dengan sistem struktural lain yang dikenal dengan *belt truss* (Nair, 1998).

Belt truss adalah struktur rangka batang yang ditempatkan pada kolom-kolom eksterior dan mengelilingi gedung di sebelah luar. Nair (1998) memperkenalkan *belt truss* dengan sebutan *virtual outrigger* karena penempatannya yang tidak berada ditengah denah bangunan tetapi tetap mampu berfungsi sebagai *outrigger*. Penempatan *belt truss* pada bangunan tinggi seperti pada gambar 2.7. Sistem *virtual outrigger* mengeliminasi hubungan langsung antara dinding geser dengan kolom-kolom luar yang dilakukan oleh balok-balok *outrigger*. Dasar pemikiran utama dari sistem ini yaitu penggunaan lantai diafragma yang mempunyai kekakuan yang besar pada bidangnya (*in-plane stiffness*) untuk mentransfer momen guling (*overturning moment*) yang dialami *core* akibat gaya lateral menjadi gaya kopel horizontal dari dinding ke struktur rangka batang. Selanjutnya *belt truss* akan menkonversi gaya kopel horizontal pada diafragma lantai menjadi gaya kopel vertikal pada kolom-kolom eksterior (Nair, 1998).



Gambar 2. 7 Bangunan Tingkat Tinggi Dengan *Belt Truss*
(Sumber: Nair, 1998)



Gambar 2. 8 (a) Transfer Overturning Moment dari Core ke Diafragma Lantai (b) Transfer Gaya dari Diafragma Lantai ke Kolom Eksterior

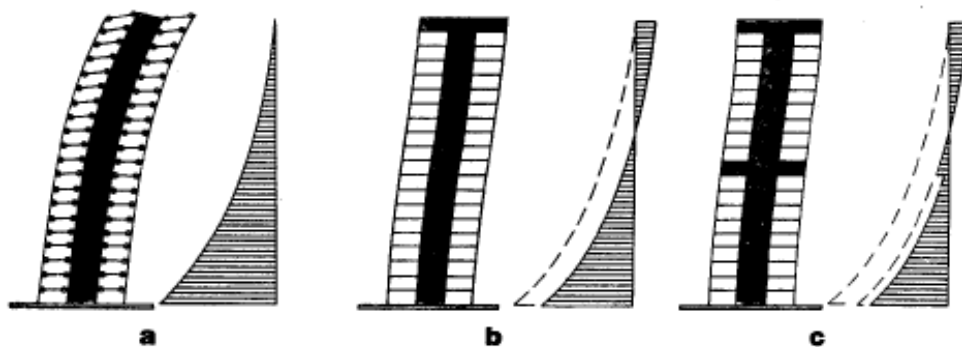
(Sumber: Nair, 1998)

b. Sistem Interaksi Dinding Geser-Rangka Dengan *Belt Truss* Kaku

Rangka diperkaku atau sistem bangunan rangka dan dinding geser menjadi tidak efisien lagi diatas ketinggian 40 lantai karena banyak sekali diperlukan bahan untuk membuat pengaku yang cukup kaku dan kuat. Efisiensi struktur bangunan akan meningkat sebesar 30% dengan menggunakan rangka sabuk atau *belt truss* horizontal untuk mengikat rangka ke inti.

Rangka sabuk diikat secara kaku ke inti dan dihubungkan dengan kolom eksterior. Apabila inti geser melentur, maka *belt truss* berlaku sebagai lengan yang menyalurkan tegangan-tegangan aksial langsung ke kolom luar. Selanjutnya kolom-kolom ini berlaku sebagai strut untuk untuk melawan lendutan dari inti. Artinya, inti mengumpulkan gaya geser horizontal dan rangka sabuk meneruskan gaya geser vertikal dari inti ke rangka fasade. Dengan demikian, bangunan akan berlaku sebagai suatu kesatuan, serupa dengan tabung kantilever.

Reaksi bangunan rangka inti dengan rangka sabuk terhadap pembebanan lateral diberikan pada gambar 2.9. Apabila rangka disendi ke inti suatu struktur (gambar 2.9a), maka inti akan berlaku sebagai kantilever dan bagian atasnya akan bebas berputar. Rangka ini hampir tidak melawan gaya rotasi. Apabila rangka diikat ke inti menggunakan *belt truss* (gambar 2.9b), maka rotasi di bagian atas sistem ini akan ditiadakan karena kolom terluar akan mengikat *belt truss* ke bawah dan tidak akan ada momen lentur pada kolom. Kekakuan parsial yang diberikan di bagian atas sistem ini tercermin pada diagram momenya. Sistem ini tidak lagi berlaku sebagai kantilever murni karena bagian atasnya terikat semikian pula bagian bawahnya. Lendutan yang terjadi berupa kurva S datar dengan momen nol pada titik infleksi. Momen lentur di bagian dasar tidak sebesar pada gambar 2.9a.



Gambar 2. 9 Reaksi Rangka Inti dengan Belt Truss

(Schueller, 2001)

c. Kelebihan Sistem *Outrigger*

Untuk kebanyakan bangunan tingkat tinggi secara umum, jawaban dari permasalahan pada struktur *core* dan sistem tubular adalah daya kerja dari satu atau lebih dari lantai yang dipasang *outrigger*. *Outrigger* menghubungkan *core* pada bangunan dengan kolom terluar pada bangunan dengan sistem *truss* maupun elemen dinding. Sistem *outrigger* dapat dibentuk dengan kombinasi baja, beton,

maupun struktur komposit. Ketika *outrigger* telah dipasang efektif, maka dapat memberikan keuntungan secara struktural dan fungsional bagi keseluruhan perencanaan bangunan, diantaranya (Angerik, 2009):

1. Momen yang berputar pada core dan peningkatan deformasi yang terjadi dapat dikurangi melalui momen yang berputar berlawanan arah yang bekerja pada *core* pada masing-masing persimpangan *outrigger*. Momen ini ditimbulkan dari pasangan gaya pada kolom terluar yang terhubung dengan *outrigger*.
2. Pengurangan yang signifikan dan kemungkinan hilangnya gaya ke atas dan gaya regang melalui kolom dan pondasi.
3. Penempatan jarak kolom terluar tidak didasarkan pada pertimbangan struktural saja dan dapat dengan mudah dikaitkan dengan pertimbangan estetika dan fungsional.
4. *Framing* terluar dapat berupa balok biasa yang sederhana dan *framing* kolom tanpa harus membutuhkan sambungan *frame* yang kaku, mengakibatkan perencanaan lebih ekonomis.

d. Kelemahan Sistem *Outrigger*

Setiap sistem perencanaan tentunya mempunyai kelebihan dan kelaahannya masing-masing. Sistem *outrigger* yang mempunyai beberapa kelebihan juga mempunyai kelemahan. Beberapa kelemahan yang akan timbul akibat penggunaan *outrigger* yaitu (Nair, 1998):

1. Ruang yang termakan akibat pemasangan *outrigger* (terutama bagian yang diagonal), memakan tempat yang cukup banyak pada lantai dimana *outrigger* dipasang. Bahkan pada lantai penyimpanan mesin dan

perlengkapan, keberadaan outrigger merupakan masalah yang paling utama karena tidak tertutup kemungkinan bahwa satu lantai yang menggunakan *outrigger* tidak dapat difungsikan sebagaimana mestinya.

2. Masalah arsitektural dan fungsional dari bangunan tersebut yang dapat menjadi pertimbangan karena pengaruh dari pemasangan *outrigger* yang terhubung dengan *core wall* pada bagian tengah bangunan.
3. Cara untuk menghubungkan *outrigger* dengan *core wall* dapat menjadi suatu hal yang sangat rumit. Tingkat kesulitan akan semakin tinggi apabila sistem *core* yang direncanakan adalah *shear wall* dari beton.
4. Dalam beberapa hal, *core* dan *outrigger* tidak akan memendek secara bersamaan karena pengaruh gaya gravitasi. *Outrigger* haruslah sangat kaku agar dapat berfungsi dengan efektif dan maksimal. *Outrigger* dapat mengalami tegangan yang cukup signifikan ketika mencoba untuk mengontrol perbedaan pemendekan antara batang-batang *outrigger*. Ketelitian yang tinggi dan biaya tambahan juga diperlukan dalam permasalahan ini. Selain itu, penyelesaian beberapa sambungan harus ditunda hingga bangunan hampir mencapai puncak penyelesaian pembangunannya karena lantai bangunan yang menggunakan *outrigger* harus sangat kaku. Semua usaha ini dilakukan untuk mengurangi masalah yang terjadi akibat perbedaan pemendekan.

2.1.4 Teori Gempa

Gempa bumi adalah suatu peristiwa pelepasan energi gelombang *seismic* yang terjadi secara tiba-tiba (Hartuti, 2009). Pelepasan energi ini diakibatkan karena adanya deformasi lempeng tektonik yang terjadi pada kerak bumi.

Menurut proses terjadinya, gempa bumi dapat diklasifikasi menjadi lima (Hartuti, 2009). Berikut ini klasifikasi gempa bumi tersebut.

- a. Gempa tektonik, yaitu gempa yang terjadi akibat adanya tumbukan lempeng-lempeng di lapisan litosfer kulit bumi oleh tenaga tektonik.
- b. Gempa vulkanik, yaitu gempa yang terjadi akibat aktivitas gunung berapi. Oleh karena itu gempa ini hanya dapat dirasakan di sekitar gunung berapi saat akan meletus, saat meletus, dan setelah terjadi letusan.
- c. Gempa runtuh atau longsor, yaitu gempa yang terjadi karena adanyaruntuhan tanah atau batuan. Lereng gunung atau pantai yang curam memiliki energi potensial yang besar untuk runtuh.
- d. Gempa jatuhan, yaitu gempa yang terjadi akibat adanya benda langit yang jatuh ke bumi, misalnya meteor.
- e. Gempa buatan, yaitu gempa yang memang sengaja dibuat oleh manusia. Salah satu contohnya suatu percobaan peledakan nuklir bawah tanah atau laut dapat menimbulkan getara bumi yang dapat tercatat oleh seismograf.

Gempa bumi tektonik adalah jenis gempa yang paling sering dirasakan, terutama di Indonesia. Hal ini terjadi karena dari sebelah barat hingga timur Indonesia dibatasi oleh lempeng yang berbeda. Indonesia merupakan daerah pertemuan 3 lempeng tektonik besar yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia dan lempeng Pasifik. Lempeng Indo-Australia bertabrakan dengan lempeng Eurasia di lepas pantai Sumatera, Jawa dan Nusa Tenggara. Lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik di utara Irian dari Maluku Utara. Beberapa sesar aktif yang terkenal di Indonesia adalah sesar Sumatera, sesar Cimandari di Jawa Barat, sesar Palu-Koro

di Sulawesi, sesar naik Flores, sesar naik Wetar, dan sesar geser Sorong (Bahri, 2016).



Gambar 2. 10 Lempeng Tektonik di Indonesia
(Sumber: Bahri 2016)

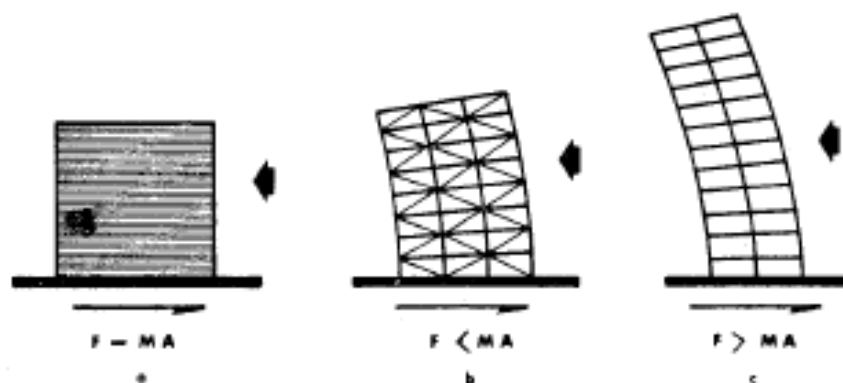
Kondisi lempeng tektonik Indonesia seperti gambar 2.10 menyebabkan kota-kota Indonesia menjadi daerah rawan terjadi gempa bumi. Kota-kota yang rawan gempa bumi diantaranya Nangroe Aceh Darussalam, Sumatera Utara-Simeuleu, Sumatera Barat-Jambi, Bengkulu, Lampung, Banten-Pandeglang, Jawa Barat-Bentar Kawung, Daerah Istimewa Yogyakarta, Lasem, Jawa Timur-Bali, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Kepulauan Aru, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Utara, Sangihe Talaud, Maluku Utara, Maluku Selatan, Kepulauan Burung-Papua Utara, Jayapura, Nabire, Wamena, Kalimantan Timur (Bahri, 2016).

2.1.4.1 Perilaku Struktur Akibat Beban Gempa

Pondasi merupakan titik singgung antara bangunan dengan tanah, maka gerak seismik akan bekerja pada bangunan melalui pondasi. Gerak seismik akan ditahan oleh massa bangunan dengan membangun gaya inersia pada seluruh struktur. Besar gaya inersia (F) bergantung pada massa bangunan (m), percepatan permukaan (a) dan sifat struktur. Apabila bangunan dan pondasinya kaku, maka percepatannya akan sama dengan permukaan, yaitu menurut rumus Newton (Schueller, 2001):

$$F = m \cdot a \quad (2.1)$$

Untuk struktur yang hanya sedikit berubah bentuk (deformasi), artinya menyerap sebagian energi, besar gayanya akan kurang dari massa dikali percepatannya ($F < m \cdot a$) seperti gambar 2.11b. Akan tetapi, struktur yang sangat fleksibel yang mempunyai waktu getar alamiah yang mendekati waktu getar gelombang permukaan, dapat mengalami gaya yang jauh lebih besar yang ditimbulkan oleh gerak permukaan yang berulang-ulang ($F > m \cdot a$) seperti gambar 2.11c (Schueller, 2001).



Gambar 2. 11 Perilaku Struktur terhadap Beban Lateral
(Sumber: Schueller, 1989)

Sebuah struktur yang mendapat beban gempa akan memberikan respon terhadap beban gempa tersebut. Respon yang diberikan struktur bergantung pada kekakuan struktur sehingga pergerakan akibat beban gempa dapat dibatasi. Kekakuan struktur dapat dilihat dari respon struktur berupa simpangan, gaya geser dasar dan periode. Respon struktur pada bangunan yang mendapat beban gempa terlihat dari adanya simpangan antar tingkat pada bangunan. Simpangan terbagi menjadi dua jenis yaitu *displacement* dan *drift*. *Displacement* merupakan simpangan suatu lantai yang diukur dari dasar lantai sedangkan *drift* adalah simpangan lantai yang diukur dari dasar lantai dibawahnya.

1. Simpangan antar lantai

Dalam SNI 03 1726 2012 penentuan simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dan pusat massa di tingkat atasnya. Defleksi pusat massa di tingkat x di pusat massa harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Keterangan:

C_d = faktor pembesaran defleksi
 δ_{xe} = defleksi pada lokasi yang disyaratkan
 I_e = faktor keutamaan

Sesuai SNI 03 1726 2012, nilai simpangan antar tingkat desain (Δ) memiliki syarat nilainya tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a) seperti didapatkan dari tabel 2.1 untuk semua tingkat.

Tabel 2. 2 Simpangan Antar Lantai Ijin ($\Delta_a^{a,b}$)

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	0,025 h_{sx}	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}
Semua struktur lainnya	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}	0,010 h_{sx}

Catatan: h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat x

(Sumber: SNI 1726 2012)

Dalam SNI 1726 2012 kategori resiko bangunan terbagi menjadi empat kategori berdasarkan jenis pemanfaatan gedung dan non gedung. Semakin tinggi kategori resiko maka semakin besar kemungkinan bangunan mengalami kerusakan akibat gempa.

Tabel 2. 3 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gedung penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur kecil lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat pembelanjaan/ mall - Bangunan industry - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat kegalalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:	III

<ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk tidak kedalam kategori resiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori resiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangkai penyimpanan bahan bakar, Menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk kedalam kategori resiko IV.</p>	IV

(Sumber: SNI 1726 2012)

Tabel 2. 4 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber: SNI 1726 2012)

2. Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya simpangan antar lantai adalah gaya geser dasar (*base shear*). Gaya geser dasar adalah pengganti atau penyederhanaan dari getaran yang gempa bumi yang bekerja pada dasar bangunan dan selanjutnya digunakan sebagai gaya gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung. Gaya geser dasar akan didistribusikan secara vertikal sepanjang tinggi sturuktur sebagai gaya horizontal tingkat yang bekerja pada masing-masing tingkat bangunan. Dengan menjumlahkan gaya horizontal pada tingkat-tingkat yang ditinjau dapat diketahui gaya geser tingkat yaitu gaya geser yang terjadi pada dasar tingkat yang ditinjau. Akibat dari gaya yang terjadi pada tingkat-tingkat tersebut maka akan mengakibatkan terjadinya perpindahan dan simpangan pada tingkat-tingkat tersebut (Cornelius, 2014). Gaya geser dasar (V) pada dasar suatu bangunan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$V = C_s \cdot W = \frac{S_{DS} \cdot I_e}{R} \cdot W$$

dengan,

S_{DS} = Spektrum respon percepatan desain (g)

I_e = Faktor keutamaan gempa

R = Koefisien modifikasi respon

W = Beban efektif Seismik (kN)

3. Perioda Getar Alami

Perioda getar alami adalah waktu yang diperlukan getaran untuk melakukan satu siklus bolak-balik lengkap. Besarnya periode yang terjadi pada struktur tergantung pada massa struktur dan kekakuan kolom. Jika kolom pada struktur mempunyai kekakuan yang kecil, maka gaya pemulihan yang diperlukan untuk mengembalikan struktur dari keadaan terdefleksi ke posisi semula juga relatif kecil. Dengan demikian puncak dari struktur akan bergerak bolak-balik secara relatif lebih lambat sampai getaran berhenti sehingga struktur dengan kekakuan kolom yang kecil mempunyai waktu getar alami yang panjang. Sebaliknya struktur dengan kolom yang kaku, akan memberikan gaya pemulihan yang besar sehingga getaran yang terjadi akan berhenti dalam waktu yang relatif singkat sehingga mempunyai waktu getar alami yang pendek.

Berdasarkan SNI 1726-2012, perioda fundamental atau periode getar alami struktur (T) tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk Batasan atas pada perioda yang dihitung (C_u) dari tabel 2.4 dan perioda fundamental pendekatan (T_a). Dijijinkan secara langsung menggunakan perioda bangunan pendekatan (T_a) untuk menentukan perioda fundamental struktur (T) sebagai berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

Dengan h_n adalah ketinggian struktur (m) di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Perioda Yang Dihitung

Parameter percepatan respon spektral desain pada 1 detik, S_{DI}	Koefisien C_u
0,4	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
0,1	1,7

Sumber: SNI 1726-2012

Tabel 2. 6 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari deflrksi jika dikenal gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka naja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI 1726-2012

2.1.4.2 Kategorisasi Desain Seismik

Dalam SNI 1726 2012 kategori desain seismik terbagi menjadi 6 yaitu, A, B, C, D, E, dan F berdasarkan kategori resiko gedung dan non gedung dan respon spektral. Struktur dengan kategori resiko I, II atau III yang berlokasi dimana parameter respons spectral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori resiko IV yang berlokasi dimana parameter respons spectral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori resiko dan parameter respon spektral percepatan desainnya, S_{DS} pada tabel 2.7 dan S_{D1} pada tabel 2.8.

Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,5$	C	D
$0,5 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber: SNI 1726 2012)

Tabel 2.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan pada Periode 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber: SNI 1726 2012)

2.1.4.3 Metode Analisa Respon Spektrum

Dalam SNI 1726 2012 prosedur analisis yang boleh digunakan untuk menganalisis beban gempa dijelaskan dengan tabel 2.9.

Tabel 2.9 Prosedur Analisis yang boleh digunakan

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen	Analisis spektrum respon ragam	Analisis riwayat respons seismik
B,C	Bangunan dengan kategori resiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I
	Bangunan dengan kategori resiko I atau II, dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
	Semua struktur lainnya	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori resiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I
	Bangunan dengan kategori resiko I atau II, dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
	Struktur beraturan dengan $T < 3,5T_s$ dan semua struktur dari konstruksi rangka ringan	I	I	I
	Struktur tidak beraturan dengan $T < 3,5 T_s$ dan mempunyai hanya ketidak beraturan horizontal tipe 2, 3, 4, atau 5 dari tabel 10 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a, atau 5b dari tabel 11	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

CATATAN: I: Dijinkan, TI: Tidak Dijinkan

(Sumber: SNI 1726 2012)

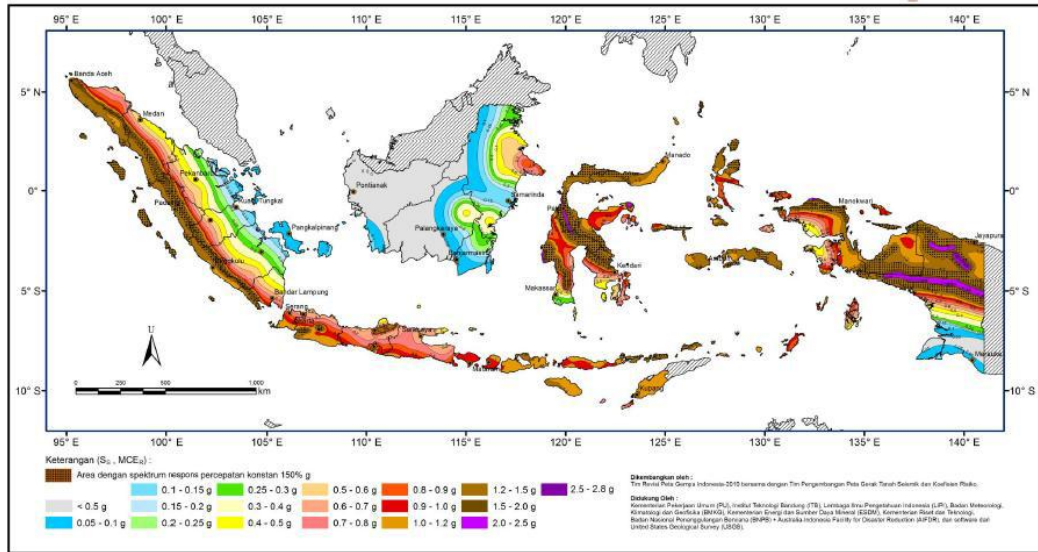
Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis beban gempa pada suatu bangunan adalah metode respon spektrum. Menurut SNI 1726 2012, respon spectrum adalah suatu diagram hubungan antara percepatan respon maksimum suatu sistem satu derajat kebebasan akibat gempa tertentu, sebagai fungsi dari faktor redaman dan waktu getar alami.

Berdasarkan SNI 1726 2012 tahapan mendesain respon spektrum dengan menghitung persamaan-persamaan sesuai periode. Dari parameter S_s yaitu parameter percepatan batuan dasar pada periode pendek dan parameter S_1 yaitu parameter percepatan batuan dasar pada periode 1 detik didapat parameter respon spektrum dengan menggunakan persamaan:

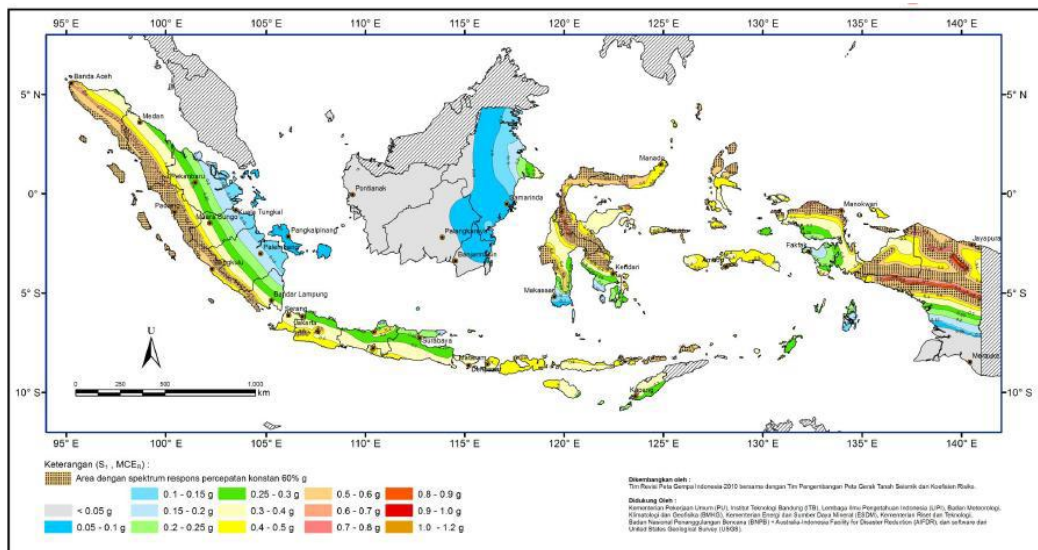
$$SM_s = F_a S_s \quad (2.1)$$

$$SM_1 = F_v S_1 \quad (2.2)$$

Nilai parameter S_s ditentukan dengan melihat peta zonasi gempa Indonesia percepatan batuan dasar periode pendek pada gambar 2.12 dan nilai parameter S_1 dengan melihat peta zonasi gempa Indonesia percepatan batuan dasar periode 1 detik pada gambar 2.13. F_a yaitu faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek dan F_v yaitu faktor amplifikasi getaran terkait percepatan getaran periode 1 detik. Nilai F_a ditentukan oleh kelas situs dan nilai S_a sedangkan nilai F_v ditentukan oleh kelas situs dan S_1 . Kelas situs dapat ditentukan dengan melihat tabel 2.10. Nilai F_a dapat ditentukan berdasarkan tabel 2.11 dan nilai F_v dapat ditentukan berdasarkan tabel 2.12.



Gambar 2. 12 Parameter S_s
(Sumber: SNI 1726 2012)



Gambar 2. 13 Parameter S_1
(Sumber: SNI 1726 2012)

Tabel 2. 10 Kelas Situs

Kelas situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 – 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 – 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 – 350	15 - 50	50 - 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50

	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> • Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifasi, lempung sangat sensitive, tana tersegmentasi lemah • Lempung sangat organic dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$m) • Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plaktisitas $PI > 75$) • Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

(Sumber: SNI 1726 2012)

Tabel 2. 11 Koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

Catatan:

a. Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linear

b. SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

(Sumber: SNI 1726 2012)

Tabel 2. 12 Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_s				
	$S_s \leq 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s = 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5

SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Catatan:

- Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linear
- SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

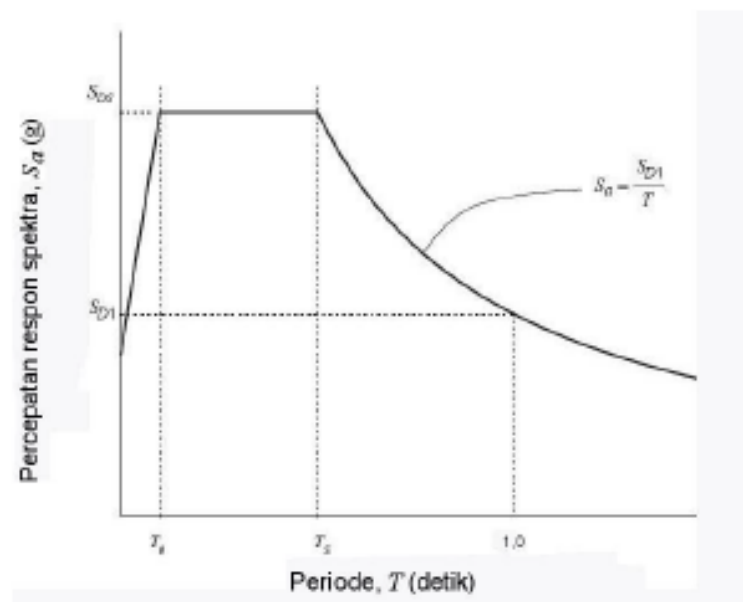
(Sumber: SNI 1726 2012)

Setelah nilai parameter respon spectrum S_{MS} dan S_{M1} dihitung selanjutnya dapat dilakukan perhitungan percepatan spectral desain untuk gempa pendek (S_{DS}) dan percepatan spectral desain gempa periode 1 detik. Perhitungan tersebut dapat dilakukan dengan persamaan berikut:

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

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.4)$$

Perhitungan percepatan spectral desain untuk gempa digunakan untuk menentukan grafik spectrum respons desain. Grafik ini menjelaskan hubungan periode dengan percepatan respon spectra seperti pada gambar 2.14.



Gambar 2. 14 Grafik Spektrum Respons Desain

(Sumber: SNI 1726 2012)

Keterangan:

T = periode getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.5)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.6)$$

Untuk $T < T_0$, S_a dihitung dengan persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.7)$$

Untuk $T_0 \leq T \leq T_S$, S_a dihitung dengan persamaan:

$$S_a = S_{DS} \quad (2.8)$$

Untuk $T > T_S$, S_a dihitung dengan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.9)$$

Apabila kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85% dari geser dasar hitung (V) menggunakan prosedur static ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan 0,85 V/V_t .

Hal yang perlu diperhatikan untuk metode analisis respon spectrum adalah factor skala input pada ETABS. Analisis respon spectrum dilakukan dengan input dari grafik spectrum gempa rencana yang nilai ordinatnya dikalikan factor koreksi.

$$FS = g \left(\frac{I}{R} \right) \quad (2.10)$$

Keterangan:

FS = faktor skala

g = percepatan gravitasi bumi ($9,81\text{m/s}^2$)

I = factor keutamaan gempa

R = koefisien modifikasi respons, lihat tabel 2.10

Tabel 2. 13 Faktor Modifikasi Respons

System Penahan Gaya Seismik	R	C _d	Batasan system struktur dan Batasan tinggi struktur, h _n (m) ^e				
			Kategori desain seismic				
			B	C	D ^d	E ^d	F ^e
Rangka baja pemikul momen khusus	8	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	5,5	TB	TB	48	30	TI
Rangka baja pemikul momen menengah	4,5	4	TB	TB	10	TI	TI
Rangka baja pemikul momen biasa	3,5	3	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	5,5	48	48	30	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI
Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3,5	3,5	10	10	10	10	10

Keterangan:

R = Koefisien modifikasi respons

C_d = Factor pembesar defleksi

TB = Tidak dibatasi

TI = Tidak diijinkan

(Sumber: SNI 1726 2012)

2.1.5 Pembebanan Struktur

Beban merupakan sekelompok gaya yang akan bekerja pada suatu luasan struktur. Beban yang akan dipikul oleh suatu struktur harus direncanakan dengan benar. Kesalahan dalam perencanaan beban atau penerapan beban pada perhitungan akan mengakibatkan kesalahan fatal pada hasil desain bangunan. Beban yang umum direncanakan pada struktur yaitu:

1. Beban Mati

Menurut SNI 1727 2013, beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan structural lainnya serta peralatan layan yang terpasang lain termasuk berat keran. Dalam menentukan beban mati untuk perencanaan, harus digunakan berat bahan dan konstruksi sebenarnya, dengan ketentuan bahwa jika tidak ada informasi yang jelas, nilai yang harus digunakan adalah nilai yang disetujui pihak yang berwenang.

2. Beban Hidup

Dalam SNI 1727 2013, beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban bajir, atau beban mati. Beban hidup meliputi manusia, barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup bangunan. Beban hidup yang digunakan dalam perencanaan bangunan gedung dan struktur lain harus beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung dan

tetapi tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan dalam SNI 1727 2013.

3. Beban Gempa

Beban gempa adalah beban statik ekuivalen yang bekerja pada bangunan atau bagian bangunan yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa, ketika pengaruh gempa pada struktur bangunan ditentukan berdasarkan suatu analisis dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa adalah gaya-gaya dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa. Menurut SNI 1726 2012, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang ditentukan harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama tetapi efektifitasnya 30%.

Dalam perencanaan pembebanan struktur umumnya digunakan kombinasi pembebanan untuk menghitung beban yang akan ditanggung bangunan. Kombinasi pembebanan yang digunakan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, yaitu:

1. $U = 1,4 D$
2. $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
3. $U = 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$
4. $U = 1,2 D + 1,0 W + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
5. $U = 1,2 D + 1,0 E + 1,0 L$
6. $U = 0,9 D + 1,0 W$
7. $U = 0,9 D + 1,0 E$

Pengaruh beban gempa (E) harus ditentukan seperti berikut ini:

- a. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 5 atau kombinasi beban 5 dan 6, E harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$E = Eh + Ev \quad (2.11)$$

- b. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7 atau kombinasi beban 8, E harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$E = Eh - Ev \quad (2.12)$$

Keterangan:

E = pengaruh beban gempa

Eh = pengaruh beban gempa horizontal

Ev = pengaruh beban gempa vertikal

Pengaruh beban gempa horizontal (Eh) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$Eh = \rho Qx \quad (2.13)$$

Keterangan:

Q = pengaruh gaya gempa horizontal dari V atau Fp

P = faktor resudansi

Pengaruh beban gempa vertikal (Ev) harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$Ev = 0,2 S_{DS} D \quad (2.14)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respon desain pada periode pendek

D = beban mati

Sehingga kombinasi pembebanan akan menjadi seperti berikut:

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 D
3. 1,2 D + 1,0 L ± 0,3(ρ Q_{Ex} + 0,2S_{DS}D) ± 1,0 (ρ Q_{Ey} + 0,2S_{DS}D)
4. 1,2 D + 1,0 L ± 1,0(ρ Q_{Ex} + 0,2S_{DS}D) ± 0,3 (ρ Q_{Ey} + 0,2S_{DS}D)

5. $0,9 D \pm 0,3(\rho Q_{Ex} - 0,2S_{DsD}) \pm 1,0 (\rho Q_{Ey} - 0,2S_{DsD})$
6. $0,9 D \pm 1,0(\rho Q_{Ex} - 0,2S_{DsD}) \pm 0,3 (\rho Q_{Ey} - 0,2S_{DsD})$

2.1.6 Software ETABS

Untuk mempermudah analisis perencanaan suatu struktur, para perencana menggunakan alat bantu berupa *software*. *Extended Three-Dimension Analysis Building System* (ETABS) merupakan satu dari beberapa software yang umum digunakan perencana untuk menganalisa struktur. ETABS adalah program analisis struktural dengan tujuan khusus untuk mendesain bangunan dan menganalisis sistem bangunan struktur. Konsep dasar software ini, perancangan hanya membuat model yang terdiri dari sistem lantai, sistem rangka vertikal dan horizontal untuk menganalisis dan mendesain keseluruhan bangunan, apabila terjadi perubahan data dari suatu bagian maka secara otomatis program akan memperbaikinya saat itu juga. ETABS merupakan program analisa struktur yang dikembangkan oleh perusahaan *Software Computers and Structure, Incorporated* (CSI) yang berpusat di Berkeley, California, Amerika Serikat.

ETABS digunakan secara spesifik untuk menganalisis struktur *high rise building* seperti perkantoran, apartemen, hotel dan lain-lain. Program ini secara khusus difungsikan untuk menganalisis perencanaan struktur seperti analisis *frame* baja, analisis *frame* beton, analisis baja komposit, analisis baja rangka batang dan analisis dinding geser.

Dalam penelitian ini program ETABS yang digunakan versi 9.7.1. Secara umum langkah-langkah untuk pemodelan dan analisis struktur dengan software ETABS sebagai berikut:

1. Pada menu *File > New Model > No* selanjutnya muncul kotak dialog “*Building Plan System and Story Definition*” kemudian masukkan data grid dan *story dimension* yang akan membantu pemodelan bangunan setelah itu pilih *grid only*.
2. Input data material yang akan digunakan, menu *Define > Material Properties > Add New Material*.
3. Input data dimensi kolom dan balok, menu *Define > Frame Section*. Untuk pelat dan dinding, menu *Define > Wall/Slab/Deck Section*.
4. Input data respon spektrum sebagai beban gempa, menu *Define > Response Spectrum Function > Add User Spectrum*. Input data pada kotak dialog *Response Spectrum Function Definition*, kelas situs, *Period* dan *Acceleration*.
5. Input data beban statis yang akan diterapkam pada bangunan, menu *Define > Static Load Cases*.
6. Menentukan spektrum gempa. Pilih *Define > Respon Spectrum Case* kemudian muncul *Define Respon Spectra* klik *Add New Spectrum*. RSPX untuk respon arah X dengan *Scale Factor* U1 dan RSPY untuk respon arah Y dengan *Scale Factor* U2.
7. Input kombinasi pembebanan, menu *Define > Load Combination > Add New Combo* kemudian isi *scale factor* setiap jenis beban pada masing-masing kombinasi.
8. Menggambar kolom, menu *Draw > Draw Line Object > Create Column in Region* kemudian pada *Properties of Object* tentukan tipe kolom yang akan digunakan.

9. Menggambar balok, menu *Draw > Draw Line Object > Draw Line* kemudian pada *Properties of Object* tentukan tipe balok yang akan digunakan.
10. Menggambar pelat, menu *Draw > Draw Area Object > Draw Area* kemudian pada *Properties of Object* tentukan tipe plat yang akan digunakan.
11. Menggambar dinding, menu *Draw > Draw Area Object > Draw Walls* kemudian pada *Properties of Object* tentukan tipe dinding yang akan digunakan.
12. Input beban mati dan beban hidup pada pelat, menu *Assign > Shell/Area Loads > Uniform*. Pilih *Load Cases Name* antara *Dead/ Live* disesuaikan dengan jenis beban yang akan diinput.
13. Menentukan jenis perletakan pada bagian dasar struktur dengan cara *Select* semua titik yang ada di story base kemudian pilih menu *Assign > Joint/Point > Restraints/Support >* pilih jenis perletakan yang akan digunakan.
14. Setelah semua komponen struktur selesai digambar selanjutnya proses analisis. Pilih menu *Analyze > Set Analysis Option > Full 3D* pada *Active of Freedom > Checklist* pada *Dynamic Analysis > Ok*. Setelah itu klik menu *Analysis > Run Analysis*.

2.2 Penelitian Relevan

Ada beberapa penelitian yang relevan mengenai lokasi optimum *outrigger* pada bangunan tingkat tinggi beraturan dengan penelitian ini, antara lain:

1. Po Seng Kian dan Frits Torang Siahaan (2001) dari *Department of Civil Engineering Universitas Kristen Petra* dalam jurnal “*The Use of Outrigger and Belt Truss System for High Rise Concrete Buildings*”.

Penelitian ini dilakukan dengan membuat model bangunan tingkat tinggi dengan sistem penahan gaya lateral *shear wall* dan *outrigger*. Model menggunakan analisis 3 dimensi dengan model sebuah gedung 60 lantai. Setiap lantai tipikal dengan ketinggian antar lantai 3,5m. Diasumsikan kolom, balok, *shear wall* dan *outrigger* menggunakan beton. Periode gempa ulang 50 tahun dan kemungkinan 0,63 menggunakan koefisien tekan C_f . Terdapat 5 variasi penempatan *outrigger* yaitu, variasi 1 model struktur tanpa *outrigger*, variasi 2 struktur model dengan satu *outrigger* tipe A, variasi 3 struktur model dengan satu *outrigger* tipe B, variasi 4 struktur model dengan dua *outrigger* tipe A, dan variasi 5 struktur model dengan dua *outrigger* tipe B. Tipe A satu *outrigger* pada satu lantai sedangkan tipe B satu *outrigger* melewati dua lantai. Model dengan dua *outrigger* berarti satu *outrigger* tetap di atap sementara yang lain berubah-ubah untuk mencari lokasi optimum berdasarkan *displacement* terhadap beban gempa. Hasil penelitian untuk satu *outrigger*, lokasi optimum *outrigger* di lantai 36 (0,425 tinggi bangunan dari atas) dengan tipe B variasi 3 mereduksi 14 % *displacement* model tanpa *outrigger*. Untuk dua *outrigger*, lokasi optimum *outrigger* satu di atap dan yang kedua di 0,475 tinggi bangunan dari atas dengan tipe B variasi 5 mereduksi 18,07% *displacement* model tanpa *outrigger*.

2. P. M. B. Raj Kiran Nanduri, B. Suresh, MD. Ihtesham Hussain (2013), dari *Department of Civil Engineering, Adama science and Technology University*,

Adama, Ethiopia dalam jurnal “*Optimum Position Of Outrigger System For High Rise Reinforced Concrete Buildings Under Wind And Earthquake Loadings*”

Penelitian ini menggunakan model bangunan tingkat tinggi 30 lantai tipikal seluas 30,5m x 30,5m dengan tinggi antar lantai 3m dan jarak antar kolom 5,5m. Beban angin dihitung berdasarkan IS 875 (bagian 3) dan beban gempa dihitung berdasarkan IS 1893 (bagian 1):2002 menggunakan model analisis respon spektrum. Model ini dianalisis menggunakan ETABS dengan 9 variasi pada table. Hasil penelitian ini *drift* dapat direduksi 4,8% jika *outrigger* di lantai paling atas dan 5,3% *outrigger* dilantai paling atas dengan *belt truss* ketika dibandingkan dengan *drift* struktur hanya dengan *core wall*. 18,55% dan 23,06% mereduksi *drift* jika *outrigger* dipasang ditengah tinggi bangunan dengan dan tanpa *belt truss*.

Tabel 2. 14 Variasi Penempatan *Outrigger*

Variasi	Lokasi <i>Outrigger</i>	
Variasi 1	-	-
Variasi 2	SOD	-
Variasi 3	SOD	$\frac{3}{4}$ H
Variasi 4	SOD	$\frac{1}{2}$ H
Variasi 5	SOD	$\frac{1}{4}$ H
Variasi 6	SOD + BT	
Variasi 7	SOD + BT	$\frac{3}{4}$ H
Variasi 8	SOD + BT	$\frac{1}{2}$ H
Variasi 9	SOD + BT	$\frac{1}{4}$ H

Catatan: SOD = *Outrigger* di lantai paling atas

BT = *Belt Truss*

- Sreelakshmi S dan Shilpa Sara Kurian (2016) dari *Department of Civil Engineering, SNGCE Kadayiruppu India*, dalam jurnal berjudul “*Study of Outrigger System for High Rise Buildings*”.

Penelitian ini menggunakan model bangunan 40 lantai dengan jarak antar lantai 3m. Beban angin dan beban gempa berdasarkan IS 875 (bagian 3) dan IS 1893-2002 (bagian 1). Analisis menggunakan metode riwayat waktu dengan program ETABS nonlinear 2015. Ada 4 variasi penempatan *outrigger* yaitu, dilantai paling atas, di lantai paling atas dan di seperempat tinggi bangunan, di lantai paling atas dan setengah tinggi bangunan, di lantai paling atas dan tigaperempat tinggi bangunan. Satu *outrigger* meliputi tiga lantai bangunan. Hasil penelitian ini bahwa penempatan *outrigger* pada lantai atas dan tigaperempat tinggi bangunan dapat mereduksi *displacement* 65,49%, *story drift* 78,87% dan gaya geser dasar 60,94%.

2.3 Kerangka Berpikir

Gempa bumi merupakan peristiwa alam yang terjadi akibat lepasnya energi secara tiba-tiba. Pelepasan energi ini diakibatkan karena adanya deformasi lempeng tektonik yang terjadi pada kerak bumi. Indonesia merupakan negara yang terletak diantara beberapa lempeng tektonik yang aktif bergerak sehingga mengakibatkan sering terjadinya gempa bumi. Indonesia sudah seharusnya memiliki kesadaran untuk mengantisipasi keadaan ini. Dampak yang diakibatkan gempa pada bangunan rendah dan bangunan tinggi akan berbeda. Ketika sebuah bangunan menerima beban lateral maka bangunan akan memberikan respon. Respon bangunan yang dapat terlihat berupa getaran. Semakin besar getaran akibat beban lateral maka semakin besar resiko kerusakan yang terjadi pada bangunan. besar getaran bangunan dipengaruhi oleh kekakuan bangunan. Bangunan tinggi lebih beresiko mengalami kerusakan akibat gempa terlebih jika bangunan tinggi tersebut mempunyai ketidakberaturan vertikal. Salah satu bentuk antisipasi yang dapat

dilakukan untuk menambah kekakuan bangunan dengan membuat desain bangunan yang tahan terhadap gempa menggunakan sistem penahan gaya gempa atau beban lateral yaitu sistem *outrigger*.

Outrigger berfungsi sebagai penahan beban lateral yang menghubungkan *core* dengan kolom yang terletak pada bagian terluar yang mengkonversi momen pada *core* menjadi pasangan gaya vertikal pada kolom. Sistem *outrigger* yang digunakan pada bangunan tingkat tinggi tidak dipasang pada setiap lantai bangunan. Pemasangan *outrigger* disesuaikan dengan kebutuhan dan perencanaan dari bangunan. Umumnya *outrigger* ditempatkan pada satu lantai atau lebih pada bangunan agar berfungsi maksimal namun tetap memperhatikan bentuk dan fungsi bangunan.

Berdasarkan kondisi tersebut maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui perilaku struktur bangunan tingkat tinggi dengan ketidakberaturan vertikal yang menggunakan *outrigger* terhadap beban gempa.

2.4 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan kerangka teoritik dan kerangka berpikir diatas dapat dirumuskan hipotesis sebagai berikut:

Diduga terdapat perbedaan respon struktur pada bangunan tingkat tinggi yang mempunyai ketidakberaturan vertikal lantai lunak dan ketidakberaturan massa dengan beberapa variasi penempatan *outrigger* terhadap beban gempa.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

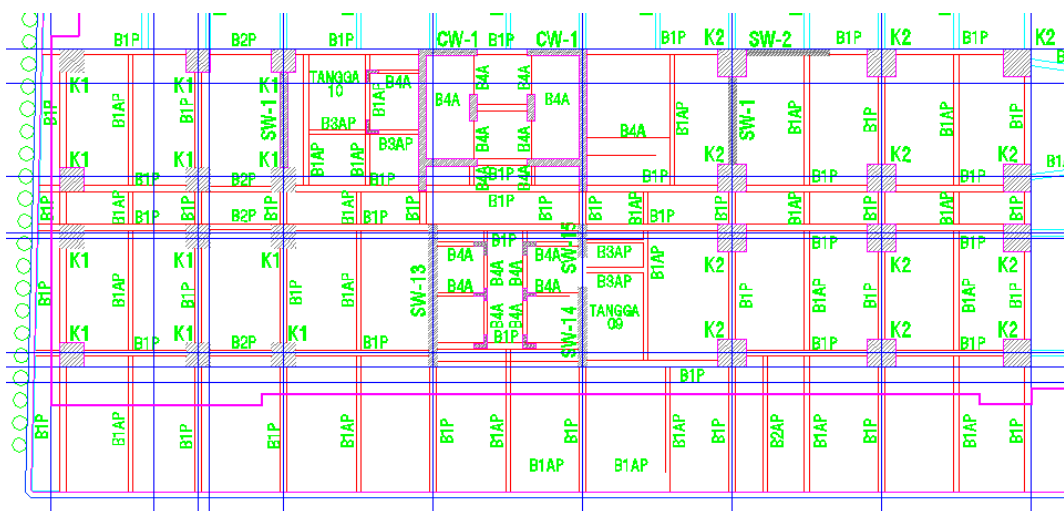
Waktu penelitian dilakukan pada bulan September sampai November 2017. Penelitian dilakukan di Laboratorium Komputer Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.

3.2 Subjek Penelitian

Penelitian ini menggunakan data struktur pada proyek St. Moritz Panakkukang 55 lantai yang berfungsi sebagai hotel dan apartemen. Data-data struktur yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Kolom

Kolom yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari dua jenis kolom pada setiap lantai bangunan yaitu K1 dan K2 seperti pada gambar 3.1. Dimensi kolom K1 dan K2 mempunyai beberapa dimensi seperti pada tabel 3.1 dengan mutu beton K450 ($f_c' = 37,35$ Mpa).



Gambar 3. 1 Kolom, Balok, dan Pelat Lantai Basement 1

Tabel 3. 1 Dimensi Kolom

Letak	Dimensi Kolom (mm)	
	K1	K2
Lantai Basement 2 – <i>Lower ground</i>	1300 x 1300	1500 x 1500
Lantai <i>Ground Floor</i> – Lantai 9	1200 x 1200	1400 x 1400
Lantai 10 - lantai 22	800 x 1500	800 x 1850
Lantai 23 - lantai 31	700 x 1200	700 x 1400
Lantai 32 - lantai 40	550 x 1200	600 x 1400
Lantai 41 - lantai 49	400 x 1200	500 x 1400

2. Balok

Balok yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari balok induk dan balok anak. Balok induk meliputi B1P, B1, B2P, B2, BK, dan B3 sedangkan balok anak meliputi B1AP, B2AP, B2A, B3A, dan B4A. Balok induk dan balok anak tersebut mempunyai dimensi seperti pada tabel 3.2 dengan mutu beton K350 ($f_c' = 29,05$ Mpa). Pada satu lantai bangunan menggunakan beberapa balok anak dan balok induk seperti pada gambar 3.1.

Tabel 3. 2 Dimensi Balok

Letak	Notasi	Dimensi Balok (mm)
Basement 1- Ground Floor	B1P	350 x 800
	B1AP	250 x 700
	B2P	300 x 600
	B3AP	250 x 500
	B4A	200 x 400
<i>Upper ground floor</i> – lantai 9	B1P	350 x 800
	B1AP	250 x 700
	B2P	300 x 600
	B3AP	250 x 500
	B4A	200 x 400
	BP2	600 x 1200
Lantai 10- lantai 49	B1	350 x 800
	B2	300 x 600
	B2A	250 x 600
	B3	300 x 500
	B4A	200 x 400
	BK	600 x 600

3. Pelat

Pelat yang digunakan pada penelitian ini mempunyai beberapa dimensi ketebalan seperti pada tabel 3.3 dan menggunakan mutu beton K350 ($f_c' = 29,05$ Mpa). Pelat yang mempunyai ketebalan sama dibedakan oleh tulangan overstek. Pada sebagian lantai bangunan terdapat dua jenis pelat yang digunakan seperti pada gambar 3.1.

Tabel 3. 3 Dimensi Pelat

Letak	Notasi	Ketebalan (mm)
Basement 1	S3	130
<i>Lower Ground</i>	S4	150
	S6	250
<i>Ground Floor</i> – Lantai 4	S9	130
Lantai 5- lantai 8	S18	130
Lantai 9	S13	150
	S20	130
Lantai 10- atap	S13	150
	S18	130

4. Dinding geser

Dinding geser yang digunakan pada penelitian ini ada enam jenis yaitu CW1, SW1, SW2, SW13, SW14 dan SW15. Semua jenis *hear wall* mempunyai ketebalan yang sama yaitu 400 mm. Perbedaannya adalah pada jumlah dan letak penulangan. Mutu beton yang digunakan untuk *shear wall* K350 ($f_c' = 29,05$ Mpa). Dinding geser CW1 berbentuk huruf C, dinding geser SW1, SW13, S14 dan SW15 berbentuk I arah vertikal sedangkan SW2 berbentuk I arah horizontal seperti pada gambar 3.1.

5. *Outrigger*

Outrigger yang digunakan pada penelitian ini ada dua jenis yaitu OR1 dengan dimensi 800x800 mm dan OR2 dengan dimensi 400x800 mm. Mutu beton yang digunakan K450 ($f_c' = 37,35$ Mpa). *Outrigger* terletak pada lantai

26 jika dihitung dari basement. Adanya *outrigger* pada lantai 26 menyebabkan perubahan massa yang signifikan yang mengindikasikan bangunan ini mempunyai ketidakberaturan vertikal.

3.3 Ketidakberaturan Vertikal Pada Bangunan

Bangunan yang beraturan dan bangunan dengan ketidakberaturan akan mempunyai perilaku yang berbeda ketika menerima gaya gempa. Berdasarkan SNI 1726 2012 ada dua jenis ketidakberaturan pada bangunan yaitu ketidakberaturan vertikal dan ketidakberaturan vertikal. Pada bangunan St. Morits Panakkukang akan ditinjau ketidakberaturan vertikal yang ada pada bangunan tersebut.

3.3.1 Ketidakberaturan Lantai Lunak

Pada bangunan St. Morits Panakkukang mempunyai ketinggian lantai antar tingkat yang beragam. Ketinggian lantai antar tingkat tertinggi pada lantai *Lower Ground* dan *Ground Floor* yaitu 7,00 m sedangkan pada lantai *Upper Ground* ketinggian lantai 5,50 m. Oleh karena itu dilakukan perhitungan untuk memastikan adanya ketidakberaturan lantai lunak atau *soft story* pada lantai tersebut. Perhitungan tersebut dilakukan sebagai berikut:

1. Lantai *Ground Floor* (GF)

$$\text{Modulus Elastisitas, } E = 20000000 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Dimensi kolom 1} = 1200 \text{ mm} \times 1200 \text{ mm}$$

$$\text{Dimensi kolom 2} = 1400 \text{ mm} \times 1400 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi kolom, } l = 7,00 \text{ m}$$

$$\text{Inersia kolom, } I$$

$$I_1 = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 1,2 \cdot 1,2^3 = 0,1728 \text{ m}^4$$

$$I_2 = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 1,4 \cdot 1,4^3 = 0,3201 \text{ m}^4$$

Kekakuan kolom, k

$$k_1 = \frac{12 \cdot E \cdot I}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,1728}{7^3} = 120.909,6 \text{ kN/m}$$

$$k_2 = \frac{12 \cdot E \cdot I}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,3201}{7^3} = 224.000 \text{ kN/m}$$

Total kekakuan kolom

$$k_1 + k_2 = (12.120909,6) + (12.224000) = 4.138.915 \text{ kN/m}$$

2. Lantai *Upper Ground* (UG)

Modulus Elastisitas, E = 20000000 kN/m²

Dimensi kolom 1 = 1200 mm x 1200 mm

Dimensi kolom 2 = 1400 mm x 1400 mm

Tinggi kolom, l = 5,50 m

Inersia kolom, I

$$I_1 = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 1,2 \cdot 1,2^3 = 0,1728 \text{ m}^4$$

$$I_2 = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 1,4 \cdot 1,4^3 = 0,3201 \text{ m}^4$$

Kekakuan kolom, k

$$k_1 = \frac{12 \cdot E \cdot I}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,1728}{5,5^3} = 249.268,2 \text{ kN/m}$$

$$k_2 = \frac{12 \cdot E \cdot I}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,3201}{5,5^3} = 461.800,2 \text{ kN/m}$$

Total kekakuan kolom

$$k_1 + k_2 = (12.249.268,2) + (12.461.800,2) = 8.532.820 \text{ kN/m}$$

Perbandingan kekakuan total kolom pada lantai GF dan UG

$$4.138.915 \text{ kN/m} < 70\%(8.532.820 \text{ kN/m})$$

$$4.138.915 \text{ kN/m} < 5.972.974,3 \text{ kN/m}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas didapatkan bahwa kekakuan total kolom pada *ground floor* kurang dari 70% kekakuan total kolom pada lantai di atasnya yaitu kekakuan total kolom lantai *upper ground* sehingga pada lantai *ground floor* bangunan ini terdapat ketidakberaturan tingkat lunak atau *soft story*. Dengan cara perhitungan yang sama didapatkan bahwa pada lantai 7, lantai 8, lantai 14 dan lantai 26 merupakan lantai *soft story*.

3.3.2 Ketidakberaturan Massa

Sebuah bangunan akan dikatakan memiliki ketidakberaturan massa apabila jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya. Pada bangunan St. Morits Panakkukang yang menggunakan sistem *outrigger* sebagai sistem tambahan penahan gaya lateral pada lantai 26 menyebabkan penambahan massa yang signifikan. Hal ini dikarenakan sistem *outrigger* yang bermaterial beton dan dimensinya yang relatif besar. Untuk memastikan adanya ketidakberaturan massa pada bangunan ini akan dibandingkan massa pada lantai 25 dan massa pada lantai 26 dimana *outrigger* berada.

$$\text{Massa lantai 26} \geq 150\% \text{ massa lantai 25}$$

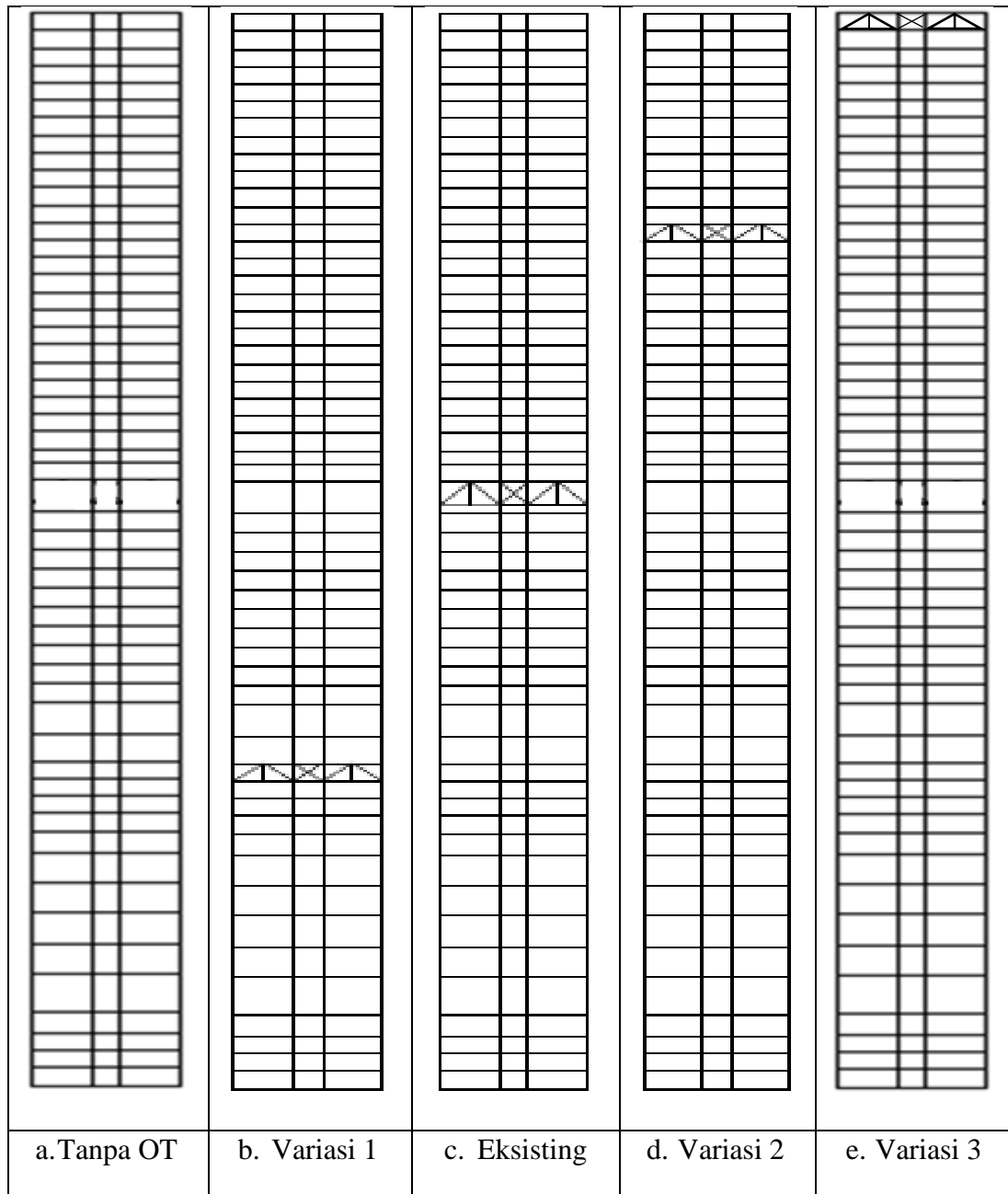
$$30085,87 \text{ kN} \geq 150\% (9074,067 \text{ kN})$$

$$30085,87 \text{ kN} \geq 13611,101 \text{ kN}$$

Dari perbandingan di atas maka dapat disimpulkan bahwa adanya *outrigger* pada lantai 26 sebagai sistem penahan gaya lateral tambahan pada struktur bangunan menyebabkan ketidakberaturan massa.

3.4 Variasi Pemodelan Struktur

Pada penelitian ini akan dilakukan variasi pemodelan struktur sebagai perbandingan dengan memindahkan *Outtrigger* dari lantai 26. Namun sebelum pemindahan letak outrigger akan ada dibuat variasi pemodelan struktur tanpa outrigger sebagai pembanding seberapa perlu penggunaan outrigger pada bangunan St. Morits Panakkukang Tower A. Variasi yang akan diberikan antara lain ialah variasi 1 dimana outrigger diletakkan pada $\frac{1}{4}$ tinggi bangunan (lantai 14), variasi 2 dimana outrigger diletakkan pada $\frac{3}{4}$ tinggi bangunan (lantai 36), dan variasi 3 dimana outrigger diletakkan pada lantai atap bangunan. Variasi-variasi tersebut akan dimodelkan seperti pada gambar 3.3. Penentuan variasi berdasarkan penelitian-penelitian relevan yang memberikan variasi *outrigger* pada $\frac{1}{4}h$ dari dasar bangunan, $\frac{3}{4}h$ dari dasar bangunan dan atap bangunan.



Gambar 3. 2 Variasi Penempatan *Outrigger* Pada Struktur

3.5 Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur yang direncanakan untuk beban mati dan beban hidup berdasarkan SNI 1727-2013 sedangkan untuk beban gempa berdasarkan SNI 1726-2012.

3.5.1 Beban Mati

Beban mati yang dihitung dibedakan berdasarkan fungsi lantai bangunan yaitu lantai basement, lantai hotel dan apartmen dan lantai atap.

a. Lantai Basement

- Adukan semen (tebal 3 cm)	= 0,63 kN/m ²
- Mekanikal dan elektrik	= 0,25 kN/m ²
Total beban mati	= 0,88 kN/m ²

b. Lantai ground sampai lantai 49

- Adukan semen (tebal 3 cm)	= 0,63 kN/m ²
- Keramik	= 0,24 kN/m ²
- Mekanikal dan elektrik	= 0,25 kN/m ²
- Plafond dan penggantung	= 0,18 kN/m ²
Total beban mati	= 1,30 kN/m ²

c. Lantai Atap

- Adukan semen (tebal 3 cm)	= 0,63 kN/m ²
- Mekanikal dan elektrik	= 0,25 kN/m ²
- Water proofing	= 0,14 kN/m ²
- Plafond dan penggantung	= 0,18 kN/m ²
Total beban mati	= 1,20 kN/m ²

3.5.2 Beban Hidup

Beban hidup yang dihitung berdasarkan fungsi lantai bangunan yaitu lantai basement, lantai hotel dan apartemen, lantai atap dan tangga.

a. Lantai *basement*

Beban hidup parkir	= 3,92 kN/m ²
b. Lantai <i>lower ground</i> sampai 49	
Beban hidup hotel	= 1,92 kN/m ²
c. Lantai atap	
Beban hidup lantai atap	= 0,96 kN/m ²
d. Tangga	
Beban hidup tangga	= 2,94 kN/m ²

3.5.3 Beban Gempa

Beban gempa direncanakan berdasarkan prosedur respon spektrum dalam SNI 1726-2012 sebagai berikut:

- a. Kategori resiko struktur bangunan

Bangunan apartemen berdasarkan tabel 2.2 termasuk kategori resiko II.

- b. Faktor keutamaan gempa, I_e

Faktor keutamaan gempa untuk kategori resiko II berdasarkan tabel 2.3 adalah 1,0.

- c. Parameter percepatan terpetakan S_s dan S_1

Pada wilayah Panakkukang dengan kelas situs SC, nilai S_s adalah 0,317g dan nilai S_1 adalah 0,142g.

- d. Koefisien situs untuk desain seismic F_a dan F_v

- Berdasarkan tabel 2.8 faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek dengan kelas situs SC, $F_a = 1,2$
- Berdasarkan tabel 2.9 faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda 1 detik dengan kelas situs SC, $F_v = 1,658$

e. Parameter spektrum respons percepatan S_{MS} dan S_{M1}

$$- S_{MS} = F_a \times S_s = 1,2 \times 0,317 = 0,3804$$

$$- S_{M1} = F_v \times S_1 = 1,658 \times 0,142 = 0,235$$

f. Parameter percepatan spectral desain S_{DS} dan S_{D1}

$$- S_{DS} = 2/3 \times S_{MS} = 2/3 \times 0,3804 = 0,2536$$

$$- S_{D1} = 2/3 \times S_{M1} = 2/3 \times 0,235 = 0,1566$$

g. Kurva respons spektrum desain

Menghitung perioda batas perioda pendek:

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \frac{0,1566}{0,2536} = 0,1235 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,1566}{0,2536} = 0,6175 \text{ detik}$$

Menghitung percepatan respons spectral (S_a):

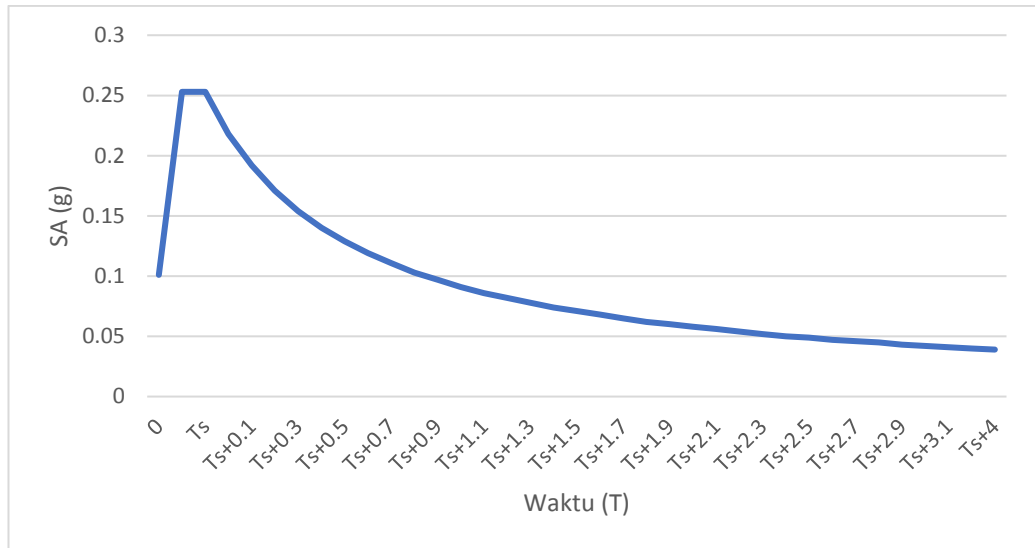
$$- \text{Untuk } T \leq T_0 : S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

$$S_a = 0,2536 \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{0,1235} \right)$$

$$- \text{Untuk } T_0 \leq T \leq T_s : S_a = S_{DS} = 0,2536$$

$$- \text{Untuk } T > T_s : S_a = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0,1566}{T}$$

Sehingga kurva respon spektrum akan menjadi seperti gambar



Gambar 3. 3 Kurva Respon Spektrum

3.5.4 Kombinasi Pembebanan

Nilai S_{DS} adalah 0,2536 sehingga berdasarkan tabel 2.4 termasuk kategori desain seismik B. Nilai S_{DS} disubstitusikan ke persamaan kombinasi pembebanan sehingga didapat persamaan seperti berikut:

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 L
3. 1,266 D + 1,0 L + 0,3 Q_{Ex} + 1,0 Q_{Ey}
4. 1,236 D + 1,0 L - 0,3 Q_{Ex} + 1,0 Q_{Ey}
5. 1,134 D + 1,0 L - 0,3 Q_{Ex} + 1,0 Q_{Ey}
6. 1,164 D + 1,0 L + 0,3 Q_{Ex} - 1,0 Q_{Ey}
7. 1,266 D + 1,0 L + 1,0 Q_{Ex} + 0,3 Q_{Ey}
8. 1,236 D + 1,0 L - 1,0 Q_{Ex} + 0,3 Q_{Ey}
9. 1,134 D + 1,0 L - 1,0 Q_{Ex} + 0,3 Q_{Ey}
10. 1,164 D + 1,0 L + 1,0 Q_{Ex} - 0,3 Q_{Ey}
11. 0,834 D + 0,3 Q_{Ex} + 1,0 Q_{Ey}
12. 0,864 D - 0,3 Q_{Ex} + 1,0 Q_{Ey}

$$13. 0,966 D - 0,3 Q_{Ex} - 1,0 Q_{Ey}$$

$$14. 0,936 D + 0,3 Q_{Ex} - 1,0 Q_{Ey}$$

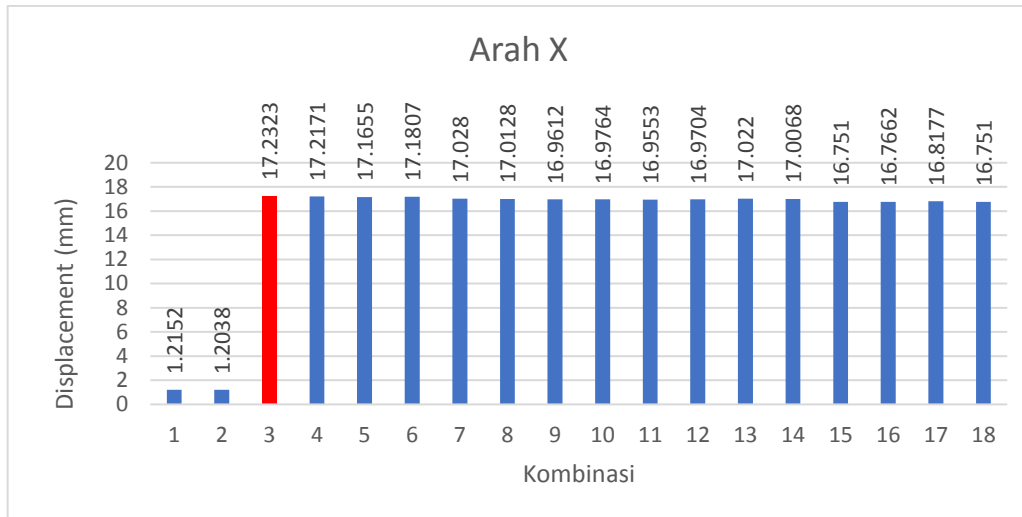
$$15. 0,834 D + 1,0 Q_{Ex} + 0,3 Q_{Ey}$$

$$16. 0,864 D - 1,0 Q_{Ex} + 0,3 Q_{Ey}$$

$$17. 0,966 D - 1,0 Q_{Ex} - 0,3 Q_{Ey}$$

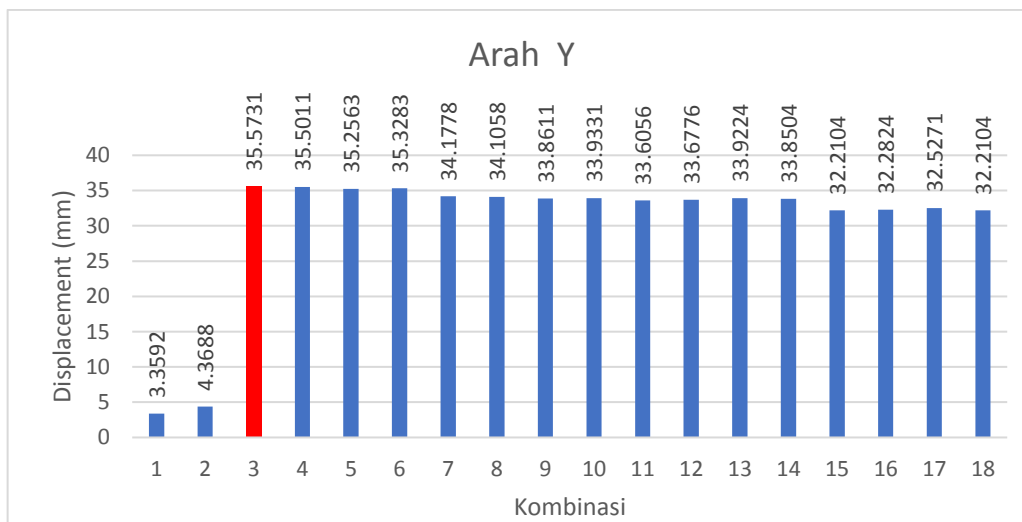
$$18. 0,834 D + 1,0 Q_{Ex} - 0,3 Q_{Ey}$$

Hasil penelitian pendahuluan didapatkan setelah memasukkan 18 kombinasi tersebut dan melakukan *run analysis* pada pemodelan struktur eksisting. *Run analysis* menghasilkan *output* yang menunjukkan respon struktur terhadap pembebanan. Nilai simpangan dari 18 kombinasi pembebanan dapat dilihat pada gambar 4.1 simpangan arah X dan gambar 4.2 nilai simpangan arah Y. Berdasarkan *output run analysis* dengan parameter respon struktur simpangan didapatkan bahwa kombinasi 3 memiliki nilai simpangan terbesar dari arah X maupun arah Y pada pemodelan eksisting. Kombinasi 3 adalah $1,266 D + 1,0 L + 0,3 Q_{Ex} + 1,0 Q_{Ey}$ terdiri dari beban mati, beban hidup, beban gempa arah X, dan beban gempa arah Y. Selanjutnya kombinasi pembebanan 3 juga akan digunakan pada semua variasi pemodelan.



Sumber: Data Hasil Penelitian

Gambar 3. 4 Nilai *Displacement* Arah X

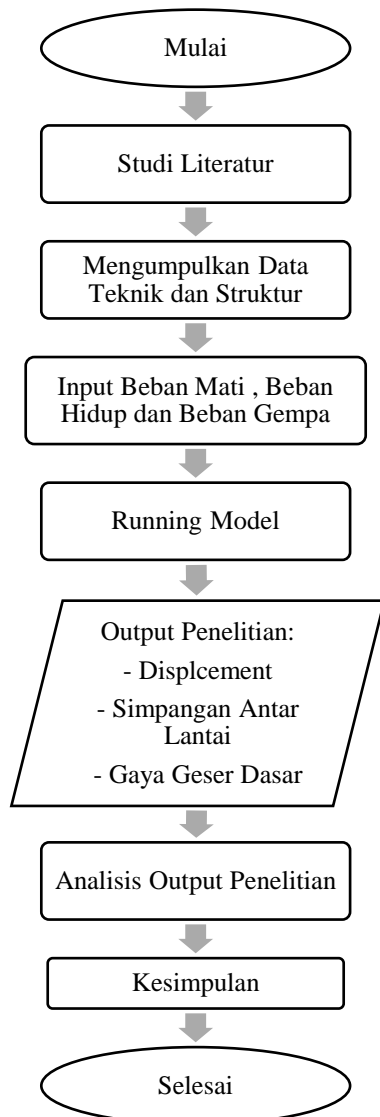


Sumber: Data Hasil Penelitian

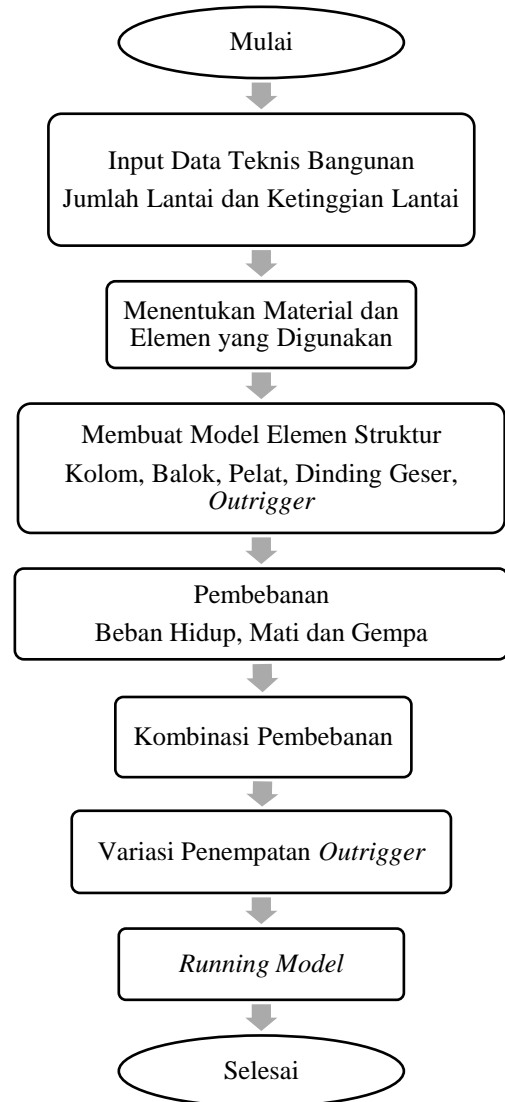
Gambar 3. 5 Nilai *Displacement* Arah Y

3.6 Metodologi Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan dengan alur seperti pada diagram dibawah ini.



Gambar 3. 6 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3. 7 Diagram Alur Pemodelan Struktur

3.6 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif. Analisis deskriptif yaitu mendeskripsikan data hasil penelitian yang didapat dalam bentuk tabel, diagram dan grafik.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Hasil penelitian didapatkan setelah melakukan *run analysis* pada setiap variasi pemodelan struktur dengan kombinasi pembebanan 3 sehingga didapatkan hasil untuk parameter-parameter sebagai berikut.

4.1.1 Base Shear

Output dari proses *run analysis* menggunakan program ETABS berupa nilai *base shear* sebagai salah satu respon struktur akibat beban gempa. Nilai *base shear* yang dilihat pada mode 1 karena mode 1 adalah bentuk pertama dari bangunan setelah bangunan menerima gaya gempa dari dasar. Pengambilan nilai *base shear* dari mode 1 juga untuk menghindari adanya bentuk puntiran atau rotasi pada bangunan yang terdapat pada mode-mode selanjutnya. Nilai *base shear* pada bangunan eksisting dan variasi dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Nilai Base Shear Sebelum Terkoreksi

Model	Base Shear (kN)		Periode (s)	Berat Struktur (kN)
	Arah X	Arah Y		
Tanpa Outrigger	1617.03	1282.44	0.5492	515785.666
Variasi 1	1580.81	1224.59	0.5794	533446.824
Eksisting	1699.25	1411.32	0.5738	533446.824
Variasi 2	1659.42	1315.06	0.5490	530922.275
Variasi 3	1824.96	1461.83	0.5925	530922.275

Sumber: Data Hasil Penelitian

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 nilai *base shear* atau gaya geser dasar tidak boleh kurang dari 85% dari gaya geser dasar yang dihitung menggunakan metode

analisis statik ekuivalen. Jika syarat ini tidak terpenuhi maka faktor skala perlu dikoreksi berdasarkan ordinat ragam spektrumnya. Nilai gaya geser dasar pada tabel 4.1 menggunakan metode analisis respon dinamis sehingga nilai gaya geser dasar tersebut harus sama atau lebih dari 85% nilai gaya geser dasar metode analisis statik ekuivalen. Berdasarkan hasil perhitungan gaya geser dasar metode statik ekuivalen pada lampiran 1, semua pemodelan mempunyai nilai gaya geser dasar yang lebih kecil sehingga faktor skala perlu dikoreksi. Nilai faktor skala sebelum terkoreksi dan setelah koreksi dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Nilai Faktor Skala Setelah Koreksi

Model	Kasus	Arah	Faktor Skala Awal	Faktor Skala Terkoreksi
Tanpa Outrigger	RSPX	U1	1.2263	11.8830
		U2	0.3679	3.5649
	RSPY	U1	0.3679	4.4950
		U2	1.2263	14.9833
Variasi 1	RSPX	U1	1.2263	11.9140
		U2	0.3679	3.5742
	RSPY	U1	0.3679	4.6139
		U2	1.2263	15.3797
Eksisting	RSPX	U1	1.2263	11.1918
		U2	0.3679	3.3575
	RSPY	U1	0.3679	4.0425
		U2	1.2263	13.4751
Variasi 2	RSPX	U1	1.2263	11.9214
		U2	0.3679	3.5764
	RSPY	U1	0.3679	4.5129
		U2	1.2263	15.0431
Variasi 3	RSPX	U1	1.2263	10.0459

		U2	0.3679	3.0138
	RSPY	U1	0.3679	3.7624
		U2	1.2263	12.5414

Faktor skala yang telah terkoreksi diinput pada masing-masing pemodelan struktur dan dilakukan run analysis lagi maka akan didapatkan nilai base shear yang sesuai dengan syarat pada SNI 03-1726-2012. Nilai base shear terkoreksi dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Nilai Base Shear Setelah Koreksi

Model	Base Shear (kN)		Periode (s)	Berat Struktur (kN)
	Arah X	Arah Y		
Tanpa Outrigger	15669.23	15669.25	0.5492	515785.666
Variasi 1	15358.54	15358.17	0.5794	533446.824
Eksisting	15508.13	15508.23	0.5738	533446.824
Variasi 2	16132.13	16132	0.5490	530922.275
Variasi 3	14950.17	14950.14	0.5925	530922.275

Sumber: Data Hasil Penelitian

4.1.2 Displacement

Displacement atau simpangan ditinjau pada arah X dan arah Y untuk setiap pemodelan struktur. Nilai *displacement* diambil dari salah satu titik dimana titik tersebut menerus dari lantai *basement* sampai lantai atap. Titik ini berlaku untuk peninjauan *displacement* pada semua pemodelan. Nilai *displacement* dari seluruh pemodelan dapat dilihat pada tabel 4.4 untuk arah X dan tabel 4.5 untuk arah Y.

Tabel 4. 4 Nilai *Displacement* Arah X

Lantai	<i>Displacement</i> Arah X (mm)				
	Tanpa Outrigger	Variasi 1	Eksisting	Variasi 2	Variasi 3
ATAP	17.4777	17.1712	16.4967	15.1871	17.1148

Sumber: Data Hasil Penelitian

Tabel 4. 5 Nilai *Displacement* Arah Y

Lantai	<i>Displacement</i> Arah Y (mm)				
	Tanpa Outrigger	Variasi 1	Eksisting	Variasi 2	Variasi 3
ATAP	36.5834	36.2874	35.5731	33.8085	34.1801

Sumber: Data Hasil Penelitian

4.1.3 *Story Drift*

Nilai *story drift* diperoleh dari selisih simpangan yang terjadi pada suatu lantai dengan simpangan pada lantai sebelumnya. Berdasarkan nilai *displacement* atau simpangan pada subbab sebelumnya, nilai *story drift* dari semua pemodelan dapat dilihat pada tabel 4.6 untuk arah X dan tabel 4.7 untuk arah Y.

Tabel 4. 6 Nilai *Story Drift* Arah X

Lantai	<i>Story Drift</i> Arah X (mm)				
	Tanpa Outrigger	Variasi 1	Eksisting	Variasi 2	Variasi 3
ATAP	1.0612	0.9509	0.8636	0.5198	0.4491

Sumber: Data Hasil Penelitian

Tabel 4. 7 Nilai *Story Drift* Arah Y

Lantai	<i>Story Drift</i> Arah Y (mm)				
	Tanpa Outrigger	Variasi 1	Eksisting	Variasi 2	Variasi 3
ATAP	2.5782	2.5331	2.643	2.1937	1.5481

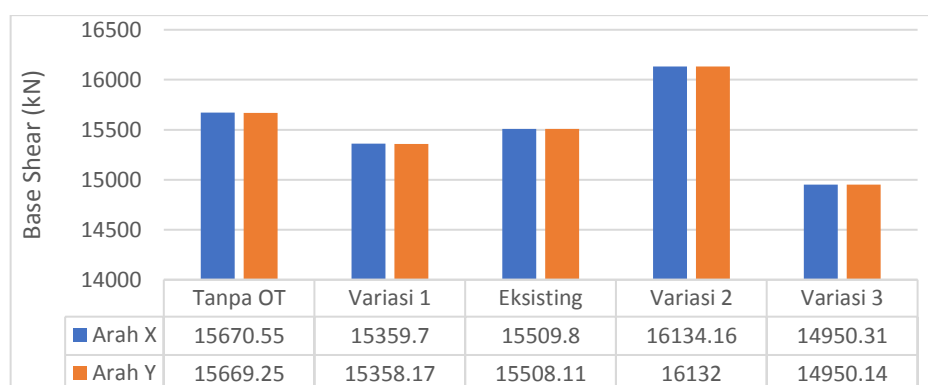
Sumber: Data Hasil Penelitian

4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisa *Base Shear*

Base shear adalah perkiraan besarnya gaya lateral yang akan diterima bangunan dari gerakan tanah akibat gaya gempa. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi nilai *base shear* diantaranya kondisi tanah, potensi aktivitas seismik, tingkat daktilitas yang terkait dengan berbagai konfigurasi struktural, berat struktur dan waktu getar alami struktur saat menerima gaya gempa.

Gambar 4.1 merupakan perbandingan nilai *base shear* dari seluruh pemodelan struktur untuk arah X dan arah Y. Terlihat perbedaan nilai *base shear* pada setiap pemodelan jika dibandingkan dengan pemodelan lainnya.



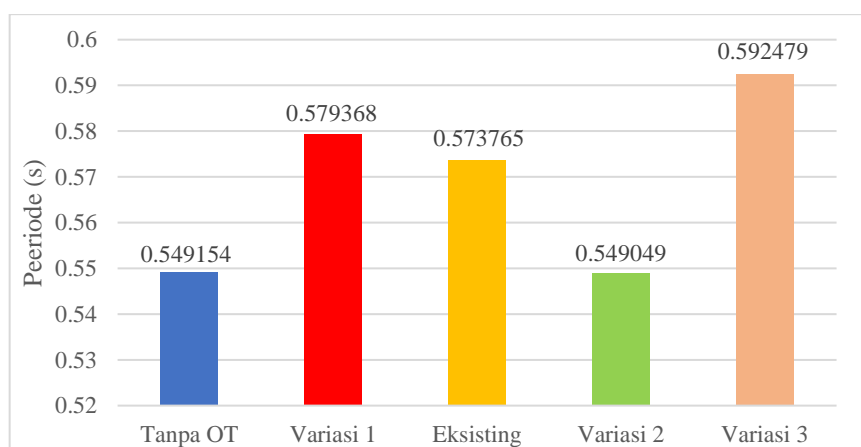
Sumber: Data Hasil Penelitian

Gambar 4. 1 *Base Shear* Arah X dan Arah Y

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa variasi 2 dimana *outrigger* ditempatkan pada $\frac{3}{4}$ h bangunan mempunyai nilai *base shear* arah X dan arah Y terbesar dibandingkan dengan variasi lainnya dan bangunan eksisting. Berdasarkan grafik tersebut penggunaan *outrigger* pada $\frac{3}{4}$ h bangunan menyebabkan kenaikan *base shear* sebesar 4,02% terhadap struktur eksisting dengan *outrigger* pada $\frac{1}{2}$ h bangunan. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai *base shear* diantaranya daktilitas struktur yang berkaitan

dengan konfigurasi struktur. Proyek St. Moritz Panakukang Tower A memiliki denah dengan arah X 3,05 kali arah Y yang mengakibatkan lebih besarnya nilai *base shear* pada arah X.

Selain daktilitas, periode struktur merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi *base shear*. Periode struktur merupakan waktu yang diperlukan untuk struktur kembali ke bentuk semula setelah menerima gaya gempa. Periode dapat dipengaruhi oleh massa dan kekakuan struktur. Semakin kaku sebuah struktur maka periode akan semakin kecil. Berikut adalah grafik dari periode struktur pada semua pemodelan struktur.



Sumber: Data Hasil Penelitian

Gambar 4. 2 Periode Seluruh Pemodelan Struktur

Dari grafik dibawah ini dapat dilihat bahwa variasi 2 yang mempunyai *base shear* terbesar juga mempunyai periode terkecil jika dibandingkan dengan struktur eksisting yang menggunakan *outrigger* pada $\frac{1}{2}$ h bangunan. Sementara variasi 4 mempunyai nilai periode tertinggi mempunyai nilai *base shear* terkecil. Periode variasi 3 menurun 4,3% terhadap periode eksisting sedangkan periode tanpa *outrigger* yang tidak menggunakan *outrigger* menurun 4,28% terhadap periode eksisting. Untuk variasi 2 yang menggunakan *outrigger* pada $\frac{1}{4}$ h bangunan dan

variasi 4 yang menggunakan *outrigger* pada atap bangunan mengalami kenaikan periode 0,97% dan 3,26% secara berturut-turut.

Selain periode ada juga faktor massa yang dapat mempengaruhi nilai *base shear*. Pemindahan letak *outrigger* pada beberapa variasi menyebabkan adanya perbedaan massa bangunan pada pemodelan struktur. Seperti pada variasi 1 yang menghilangkan *outrigger* pada struktur menyebabkan stuktur lebih ringan dibandingkan dengan variasi 2, eksisting, 3 dan 4. Massa variasi 2 sama dengan eksisting karena pada variasi 2 dimana *outrigger* diletakkan pada lantai 9 memiliki tinggi lantai yang cukup untuk merelokasi *outrigger* dengan panjang yang sama seperti panjang *outrigger* eksisting. Sedangkan variasi 2 dan eksisting lebih berat dari pada variasi 3 dan 4, hal ini karena pemindahan *outrigger* pada variasi tersebut tidak merubah tinggi lantai bangunan yang lebih rendah dari tinggi lantai pada variasi 2 dan eksisting. Panjang *outrigger* pada variasi 3 dan 4 yang menyesuaikan dengan tinggi lantai tersebut. Perbedaan massa struktur seluruh pemodelan dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Massa Struktur Seluruh Pemodelan

Model	Berat Struktur (kN)
Tanpa Outrigger	515785.666
Variasi 1	533446.824
Eksisting	533446.824
Variasi 2	530922.275
Variasi 3	530922.275

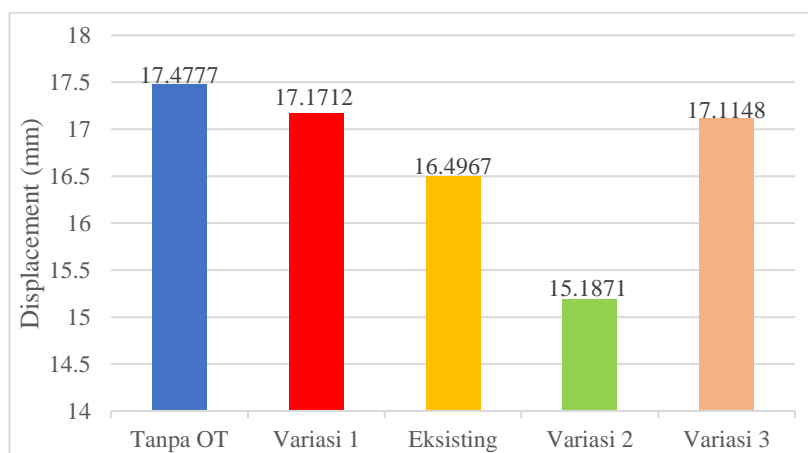
Sumber: Data Hasil Penelitian

Variasi 3 yang mempunyai nilai *base shear* terbesar dan periode terkecil namun dengan massa struktur yang lebih ringan dari pada variasi 2 dan eksisting.

Variasi 1 mempunyai massa struktur paling ringan namun mempunyai *base shear* dan periode yang lebih baik dibandingkan dengan variasi 2, 3, dan 4.

4.2.2 Analisa Displacement

Displacement atau simpangan merupakan nilai simpangan yang terjadi pada suatu lantai bangunan yang diukur dari lantai dasar bangunan itu sendiri. Nilai ini termasuk salah satu parameter kemapuan yang dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kekakuan sebuah struktur bangunan. Semakin kecil nilai simpangan pada bangunan maka semakin besar atau tinggi tingkat kekakuan struktur bangunan. Sebaliknya jika semakin besar nilai *displacement* maka semakin rendah tingkat kekakuan bangunan tersebut. Umumnya nilai maksimum *displacement* terjadi pada lantai atap bangunan. Nilai *displacement* maksimum pada arah X dan arah Y dari seluruh pemodelan struktur dengan beberapa variasi penempatan *outrigger* dan tanpa *outrigger* dapat dilihat pada gambar 4.3 dan 4.4.

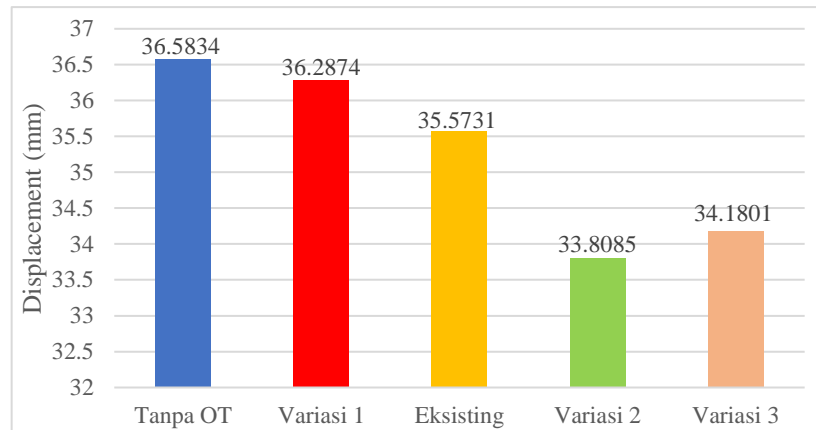


Sumber: Data Hasil Penelitian

Gambar 4. 3 Nilai Displacement Maksimum Arah X

Berdasarkan grafik diatas nilai *displacement* pada arah X pada pemodelan struktur tanpa *outrigger* menunjukkan nilai *displacement* terbesar jika

dibandingkan dengan nilai *displacement* dari pemodelan eksisting dan variasi- variasi pemindahan *outrigger* sementara nilai *displacement* terkecil ditunjukkan oleh variasi 2.



Sumber: Data Hasil Penelitian

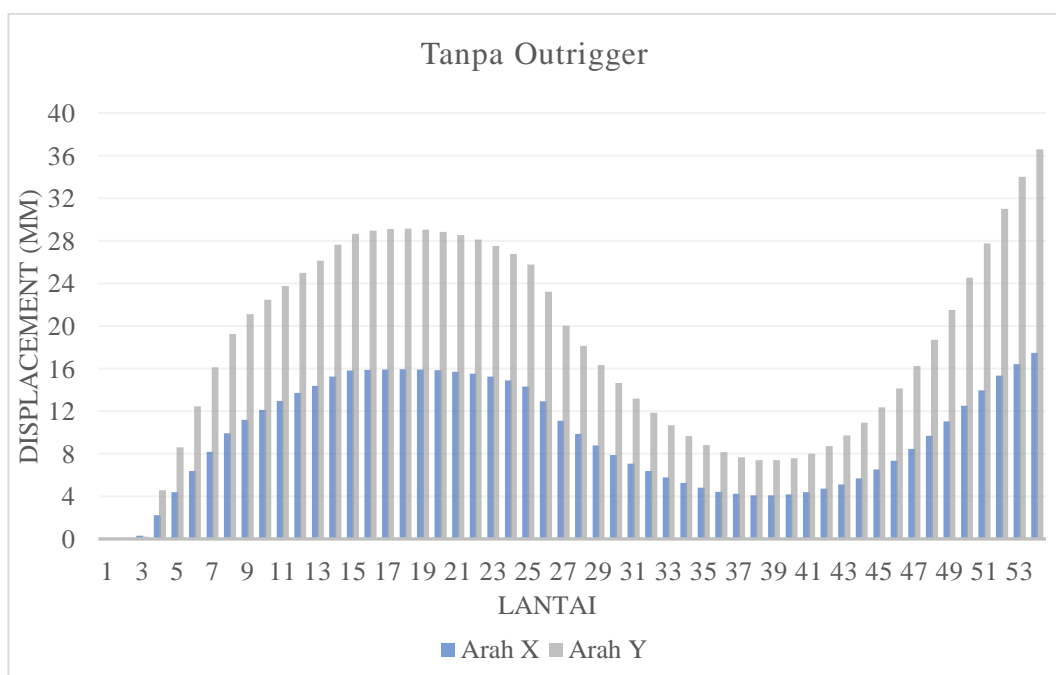
Gambar 4. 4 Nilai *Displacement* Maksimum Arah Y

Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa sama seperti nilai *displacement* pada arah X, nilai *displacement* maksimum pada arah Y terjadi pada variasi pemodelan tanpa *outrigger* yaitu 36,58 mm. Sementara itu nilai *displacement* terkecil ditunjukkan oleh variasi 2 dengan nilai 33,80 mm. Selanjutnya nilai *displacement* pada setiap variasi akan dijabarkan seperti dibawah ini.

1. Tanpa *Outrigger*

Tanpa *Outrigger* merupakan pemodelan struktur yang tidak menggunakan *outrigger* sebagai sistem tambahan penahan gaya lateral. Variasi ini ada sebagai dasar perlu atau tidaknya penggunaan *outrigger* sebagai sistem tambahan penahan gaya lateral pada struktur bangunan Tower A St. Morits Panakkukang. Grafik 4.5 menunjukkan nilai *displacement* pada pemodelan struktur tanpa *outrigger* dimana nilai maksimum *displacement* terdapat di lantai atap sebesar 17,47 mm pada

arah X dan 36,58 mm pada arah Y. Dari hasil tersebut jika dibandingkan dengan model eksisting yang menggunakan *outrigger* terjadi kenaikan nilai *displacement* sebesar 2,84%. Kenaikan nilai *displacement* yang tidak besar tersebut dikarenakan struktur bangunan yang sudah kaku tanpa adanya struktur tambahan sebagai sistem penahan gaya lateral. Hal ini dapat dilihat dari posisi dan jumlah *core wall* dan *shear wall* yang ada pada struktur tersebut. *Core wall* dan *shear wall* yang berada pada inti bangunan dan berjumlah banyak mampu menahan gaya lateral yang diterima bangunan. Secara denah bangunan yang lebih lebar pada arah X, akan terlihat bahwa konfigurasi *core wall* dan *shear wall* yang sejajar arah X akan bekerja dengan baik dalam menahan beban gempa.

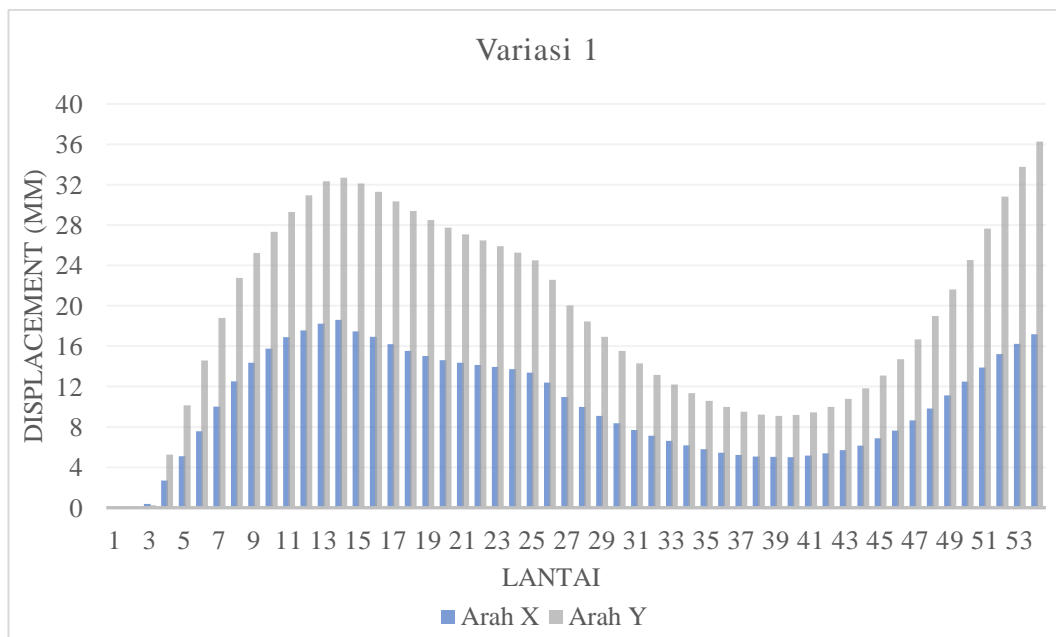


Sumber: Data Hasil Penelitian

Gambar 4. 5 Nilai *Displacement* Tanpa *Outrigger* Arah X dan Arah Y

2. Variasi 1

Variasi 1 merupakan variasi dimana *outrigger* di tempatkan pada lantai 14 atau $\frac{1}{4}$ h bangunan. Pada variasi ini nilai *displacement* juga mengalami penurunan sebesar 1,78% pada arah X sedangkan pada arah Y mengalami penurunan 0,82%. Pada grafik dibawah ini dapat dilihat dampak penggunaan *outrigger* pada lantai 14. Dimana pada lantai selanjutnya yakni lantai 15, lantai 16 dan seterusnya terlihat mengalami penurunan nilai *displacement* pada arah X maupun arah Y. Namun jika diamati dengan teliti nilai *displacement* pada lantai-lantai di bawah lantai 14 lebih besar dibandingkan dengan nilai *displacement* lantai-lantai dibawah lantai 14 pada pemodelan struktur tanpa *outrigger*. Hal ini dipengaruhi oleh adanya *outrigger* yang bermaterial beton dan berjumlah banyak sehingga pada lantai 14 massa menjadi sangat besar. Oleh karena itu pada variasi ini terdapat ketidakberaturan massa yang mempengaruhi perilaku struktur. Meskipun keberadaan *outrigger* dapat menambah kekakuan struktur namun keberadaannya juga menambah ketidakberaturan bangunan.



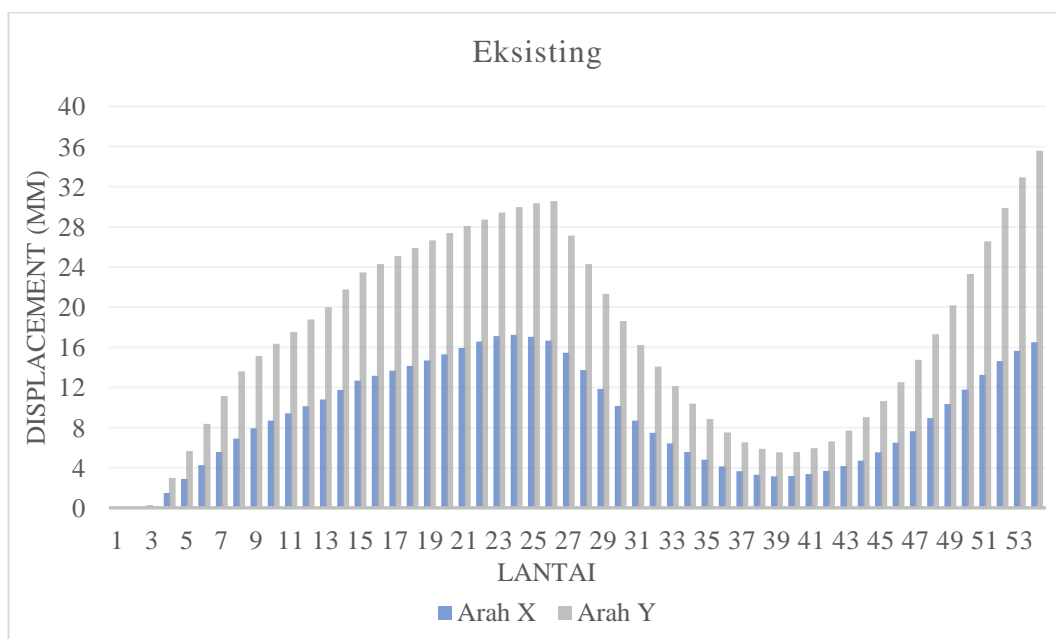
Sumber: Data Hasil Penelitian

Gambar 4. 6 Nilai *Displacement* Variasi 1 Pada Arah X dan Arah Y

3. Eksisting

Merupakan pemodelan struktur bangunan eksisting dimana *outrigger* berada pada lantai 26. Perbandingan nilai *displacement* arah X dan arah Y dapat dilihat pada gambar 4.9. Pada pemodelan ini nilai *displacement* menurun sebesar 5,95% pada arah X dan menurun sebesar 2,84% pada arah Y jika dibandingkan dengan pemodelan struktur tanpa *outrigger*. Namun jika dibandingkan dengan pemodelan pada variasi 1 yang mempunyai massa sama, pemodelan eksisting lebih baik dalam hal menurunkan nilai *displacement*. Hal ini disebabkan *outrigger* pada lantai 26 memiliki lengan ke atap lebih pendek dari pada variasi 1 sehingga kinerja *outrigger* lebih besar pada bangunan. Namun penurunan nilai *displacement* variasi ini juga dinilai tidak signifikan mengingat banyaknya balok *outrigger* yang dipasang untuk menghubungkan seluruh kolom untuk memperkaku bangunan.

Banyaknya balok *outrigger* mengakibatkan kenaikan massa lantai sehingga pada variasi ini juga terdapat ketidakberaturan massa pada bangunan yang mempengaruhi perilaku bangunan terhadap beban gempa.



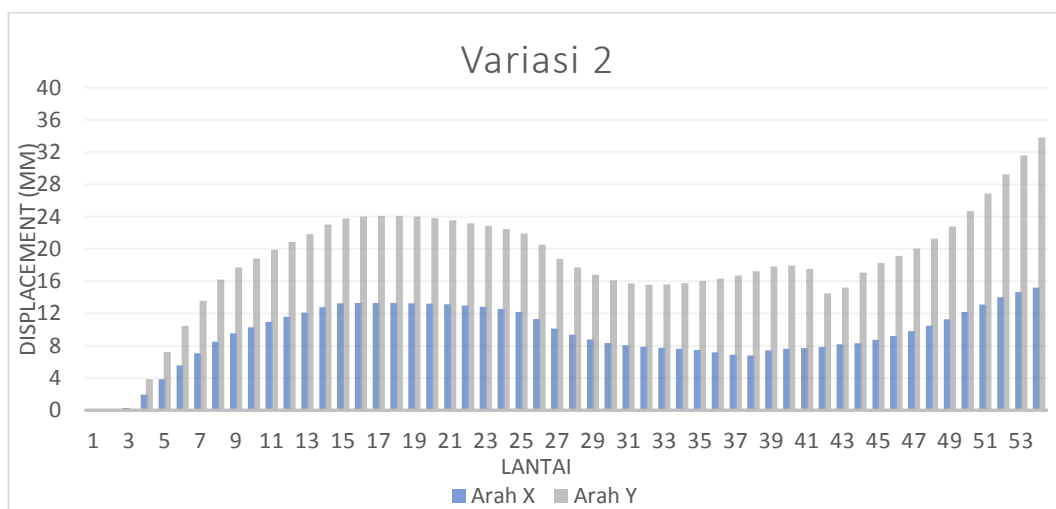
Sumber: Data Hasil Penelitian

Gambar 4. 7 Nilai *Displacement* Eksisting Pada Arah X dan Arah Y

4. Variasi 2

Variasi 2 merupakan variasi yang memindahkan *outrigger* pada $\frac{3}{4}$ h bangunan dari dasar atau lebih tepatnya pada lantai 41. Perbandingan nilai *displacement* arah X dan arah Y dapat dilihat pada gambar 4.8. Pada variasi ini nilai *displacement* pada arah X sebesar 15,18 mm atau turun 15,08% jika dibandingkan dengan nilai *displacement* pada arah X pemodelan tanpa *outrigger*. Pada arah Y nilai *displacement* 33,80 mm juga mengalami penurunan sebesar 8,21% jika dibandingkan dengan nilai *displacement* pemodelan tanpa *outrigger*. Variasi ini menunjukkan nilai *displacement* yang paling kecil dari seluruh variasi penempatan

outrigger dan tanpa *outrigger*. Pada variasi ini *outrigger* terletak pada lantai 36 yang mempunyai tinggi lantai 3,2 m sehingga membuat struktur lebih kaku terbukti dengan nilai *displacement* yang kecil begitu juga dengan periode. Berbeda dengan variasi 1 yang ketinggian lantainya 5,6 m dan eksisting yang ketinggian lantainya 6,0 m. Dengan tinggi kolom yang besar tersebut tentu kekakuan kolom berkurang dan pada variasi 1 dan eksisting *outrigger* berada pada lantai lunak atau *soft story* serta ketidakberaturan massa akibat adanya *outrigger* sehingga kekakuan struktur berkurang.



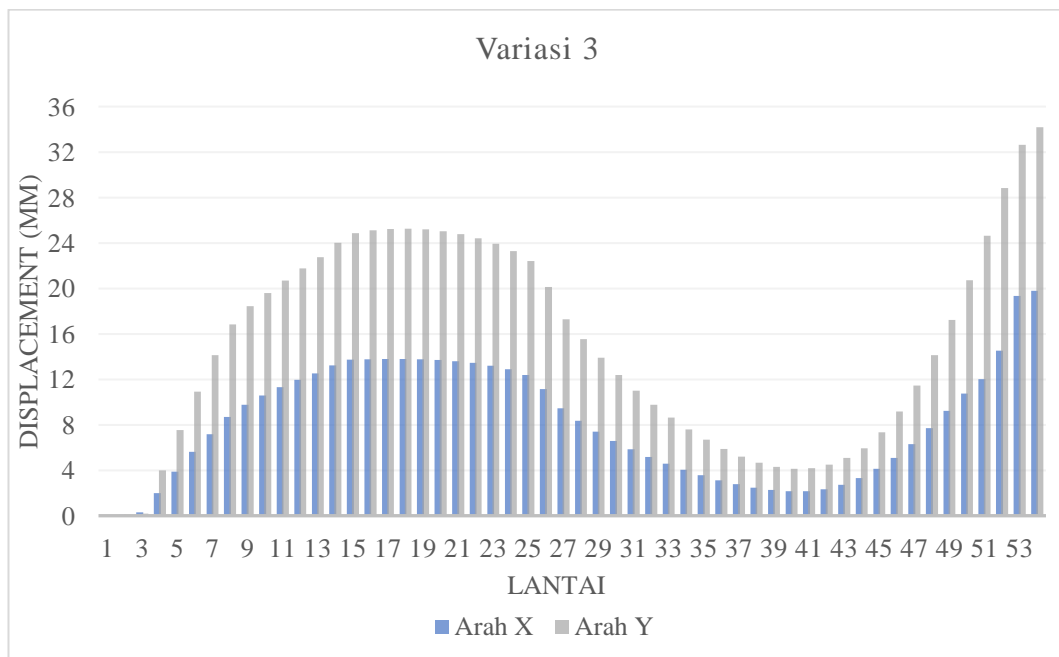
Sumber: Data Hasil Penelitian

Gambar 4. 8 Nilai Displacement Variasi 2 Pada Arah X dan Arah Y

5. Variasi 3

Pada variasi 3 *outrigger* diletakkan pada lantai 55 atau atap bangunan. Pada variasi ini nilai *displacement* pada arah X dan arah Y dapat dilihat pada gambar 4.9. Nilai *displacement* arah X 17,11 mm atau menurun sebesar 2,12% dibandingkan dengan pemodelan tanpa *outrigger*. Sedangkan nilai *displacement* arah Y 34,18 mm atau menurun sebesar 7,03% jika dibandingkan dengan pemodelan struktur tanpa *outrigger*.

Penurunan ini lebih besar dibandingkan dengan variasi 1 dan eksisting. Hal ini disebabkan oleh penempatan *outrigger* pada atap bangunan dan pengukuran nilai *displacement* juga pada atap bangunan sehingga efek penggunaan *outrigger* terlihat. Namun adanya *outrigger* pada lantai atap mengakibatkan adanya ketidakberaturan massa yang mempengaruhi periode bangunan.



Sumber: Data Hasil Penelitian

Gambar 4. 9 Nilai *Displacement* Variasi 3 Pada Arah X dan Arah Y

Nilai *displacement* dari semua pemodelan variasi untuk arah X dan arah Y masih dalam batas aman jika dihitung sebagai defleksi pusat massa. Berdasarkan persamaan tersebut nilai simpangan tidak boleh melebihi batas simpangan ijin seperti pada tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Kontrol Nilai *Displacement*

Model	Simpangan Arah X	Simpangan Arah Y	Simpangan Ijin	Keterangan	
				Arah X	Arah Y
Tanpa OT	96,13	201,21	4062	Aman	Aman
Variasi 1	94,44	199,60	4062	Aman	Aman
Eksisting	90,73	195,65	4062	Aman	Aman

Variasi 2	83,53	185,95	4062	Aman	Aman
Variasi 3	94,13	187,79	4062	Aman	Aman

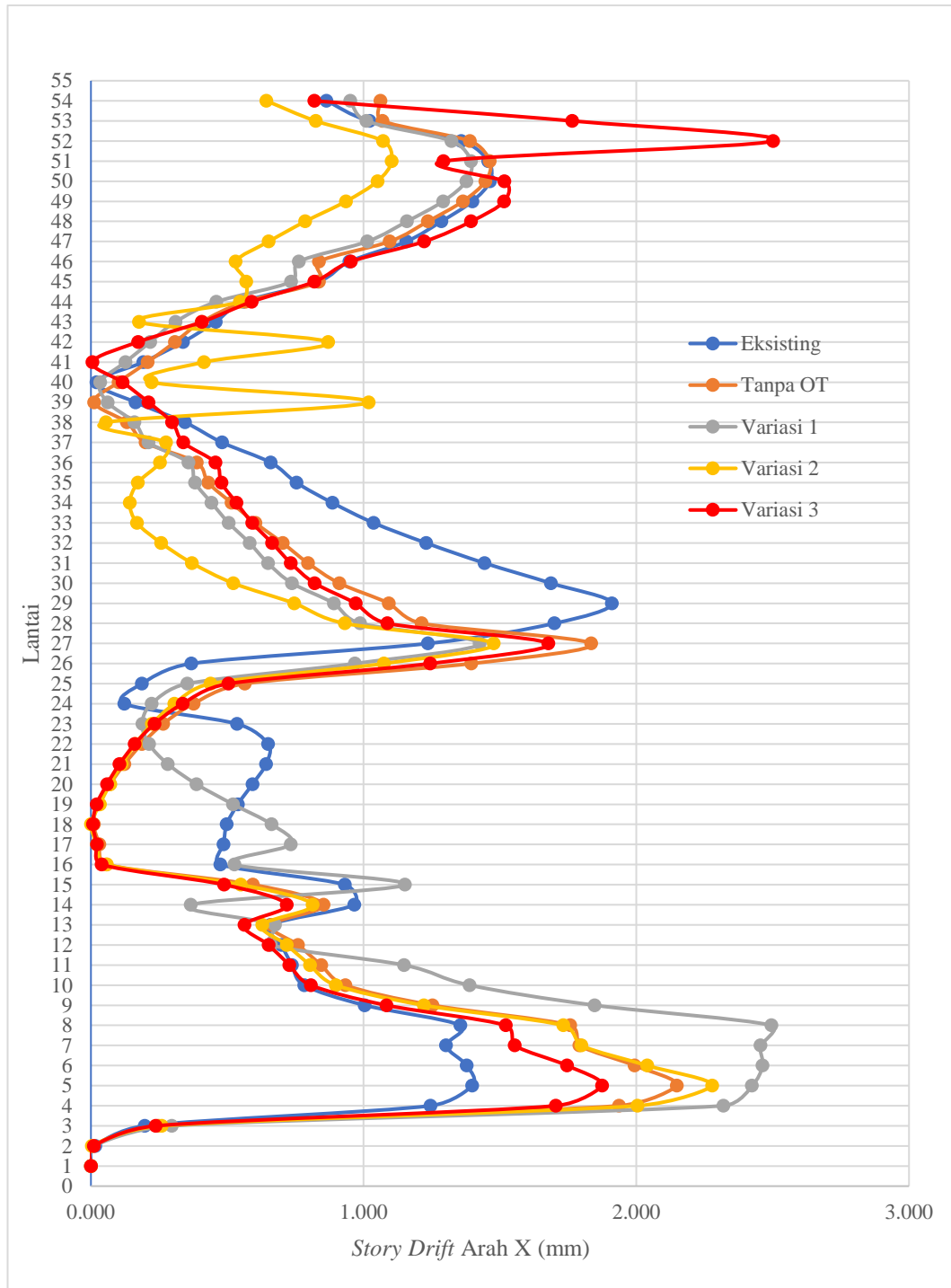
4.2.3 Analisa *Story Drift*

Story drift menunjukkan nilai simpangan yang terjadi pada suatu lantai diukur dari lantai sebelumnya. Nilai ini diperoleh dari selisih nilai simpangan lantai yang ditinjau dengan nilai simpangan lantai sebelumnya. Seperti parameter lainnya nilai *story drift* dapat menunjukkan tingkat kekakuan struktur sebuah bangunan setelah menerima beban gempa. Semakin kecil nilai *story drift* atau simpangan antar tingkat maka semakin tinggi tingkat kekakuan sebuah struktur sebaliknya semakin besar *story drift* maka semakin rendah tingkat kekakuannya. Semakin tinggi tingkat kekakuan struktur sebuah bangunan semakin aman bangunan tersebut dari bahaya keruntuhan struktur yang dapat membahayakan jiwa pengguna bangunan.

Pada gambar 4.10 dan gambar 4.11 merupakan grafik perbandingan nilai *story drift* dari seluruh pemodelan struktur tanpa *outrigger* dan dengan beberapa variasi penempatan *outrigger* pada struktur pada arah X dan arah Y.

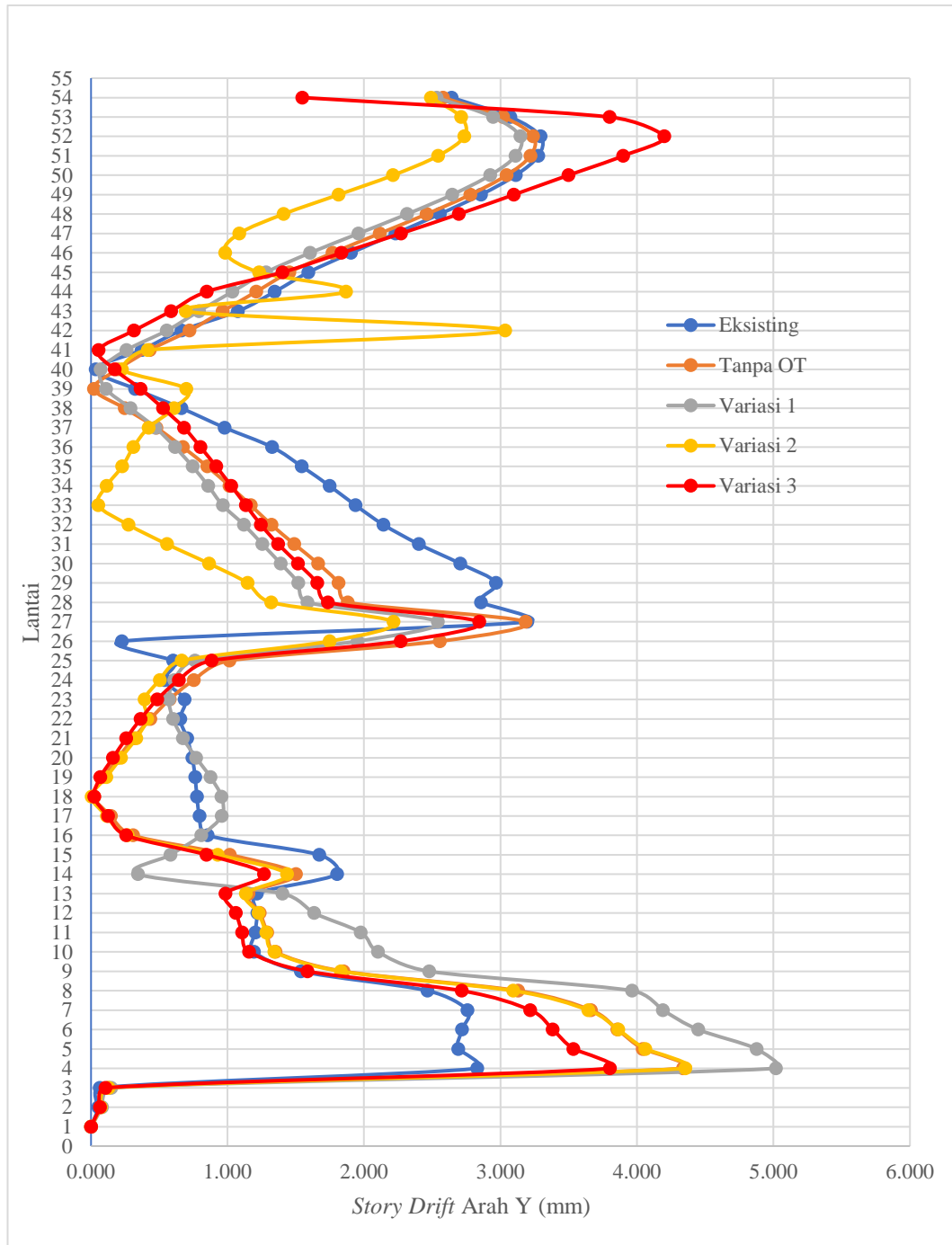
Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa untuk seluruh pemodelan struktur baik tanpa *outrigger*, eksisting maupun struktur dengan variasi pemindahan *outrigger* mengalami kenaikan nilai *story drift* yang sangat besar pada arah X serta arah Y pada lantai 4. Besarnya kenaikan nilai *story drift* pada lantai tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya perbedaan tinggi lantai antar tingkat. Dimana pada lantai ini terdapat perbedaan tinggi lantai dengan lantai sebelumnya dan pengecilan dimensi kolom. Perbedaan tinggi lantai dan pengecilan dimensi kolom dapat menyebabkan perubahan kekakuan pada kolom. Kekakuan kolom

lantai yang lebih tinggi dari kekakuan kolom lantai sebelumnya atau kondisi ini biasa disebut *soft story* yang menyebabkan kenaikan nilai *story drift* yang besar seperti pada grafik tersebut. Oleh karena itu, bangunan ini memiliki ketidakberaturan tingkat lunak atau *soft story*. Dari gambar 4.10 juga terlihat bahwa pada lantai 14 dan 26 juga terjadi kenaikan *story drift* yang besar. Seperti lantai 4, lantai 14 dan 26 merupakan *soft story*. Selain itu lantai 7 dan 8 juga merupakan *soft story*.



Sumber: Data Hasil Penelitian

Gambar 4. 10 Nilai Story Drift Pada Arah X



Sumber: Data Hasil Penelitian

Gambar 4. 11 Nilai Story Drift Pada Arah Y

4.3 Analisa Keseluruhan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan parameter-parameter respon struktur pada semua pemodelan menunjukkan bahwa adanya sistem *outrigger* sebagai sistem tambahan penahan gaya lateral selain *shear wall* pada bangunan

dapat mempengaruhi respon struktur terhadap beban gempa. Hal ini dapat terlihat dari perbedaan parameter uji yang terjadi pada setiap pemodelan.

Berdasarkan analisa pada seluruh pemodelan, penempatan *outrigger* pada bangunan dapat merubah perilaku bangunan. Parameter nilai *base shear* harusnya meningkat setelah adanya *outrigger* sebagai sistem tambahan penahan gaya lateral. Dimana semakin besar nilai *base shear* maka semakin baik kinerja bangunan dalam menahan gaya gempa. Hal ini ditunjukkan oleh penempatan *outrigger* pada $3/4h$ (variasi 2) yang mempunyai nilai *base shear* yang lebih besar dan nilai *story drift* yang kecil daripada pemodelan tanpa *outrigger* dengan penempatan *outrigger* pada lantai yang tipikal dengan lantai disekitarnya. Namun pada pemodelan struktur penempatan *outrigger* pada $1/4h$ (variasi 1), penempatan *outrigger* pada $1/2h$ (eksisting) dan penempatan *outrigger* pada atap (variasi 3) nilai *base shear* diketahui bahwa nilai *base shear* yang menggunakan *outrigger* justru mengalami penurunan.

Penurunan nilai *base shear* dapat dipengaruhi beberapa faktor seperti massa dan periode struktur. Penambahan *outrigger* pada pemodelan variasi 1 dan eksisting di lantai yang mengalami *soft story* menyebabkan adanya ketidakberaturan massa karena banyaknya balok *outrigger* yang bermaterial beton. Penambahan massa pada lantai yang kekakuannya berkurang mengakibatkan membesarnya nilai periode yang juga menyebabkan menurunnya nilai *base shear*.

Sedangkan pada variasi 3 penempatan *outrigger* pada lantai atap juga menyebabkan menurunnya nilai *base shear*. Hal ini disebabkan karena adanya *outrigger* pada lantai atap dengan massa yang sehingga mengakibatkan periode

yang meningkat. Dalam perencanaan struktur bangunan semakin keatas struktur bangunan akan dibuat semakin ringan.

Dari analisa nilai *displacement* seluruh pemodelan dapat disimpulkan bahwa adanya *outrigger* sebagai sistem tambahan penahan gaya lateral dapat mereduksi nilai *displacement* maksimum pada struktur. Penurunan *displacement* terbesar terjadi pada penempatan *outrigger* 3/4h bangunan sebesar 15,08% arah X dan 8,2%1 arah Y. Nilai Rata-rata nilai *displacement* maksimum dari semua pemodelan yang direduksi adalah 4,6%.

Sementara nilai *story drift* berbanding lurus dengan *displacement*, semakin besar *displacement* maka akan semakin besar pula nilai *story drift* atau simpangan antar tingkat. Penempatan *outrigger* pada 3/4h menunjukkan *outrigger* dapat berfungsi optimal sebagai sistem yang meminimalisir nilai *story drift*. Sedangkan penempatan *outrigger* pada 1/4h dan 1/2h yang merupakan *soft story* tidak berfungsi optimal meminimalisir *story drift*. Hal ini terjadi karena penempatan *outrigger* pada *soft story* akan menyebabkan *outrigger* berfungsi memperbaiki kekakuan akibat *soft story* itu sendiri. Namun, nilai *displacement* maksimum dan *story drift* pada semua pemodelan masih dalam batas aman setelah dibandingkan dengan kontrol batas maksimum.

Berdasarkan hasil analisa keseluruhan terlihat bahwa dampak dari penggunaan *outrigger* sangat dipengaruhi oleh penempatan *outrigger* pada bangunan dan massa *outrigger* tersebut. Dalam hal ini letak penempatan *outrigger* sangat mempengaruhi perilaku struktur bangunan saat menahan beban gempa.

4.4 Keterbatasan Penelitian

1. Pada pemodelan eksisting masih terdapat komponen-komponen struktur yang *overstress*.
2. Perbedaan massa *outrigger* pada variasi 1 dan eksisting dengan variasi 2 dan 3 disebabkan adanya perbedaan tinggi lantai antar tingkat sehingga panjang *outrigger* mengikuti tinggi lantai penempatan *outrigger*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian dan analisa data mengenai respon bangunan tinggi yang menggunakan *outrigger* pada proyek ST. Morits Panakukang dan beberapa variasi pemindahan *outrigger* pada pemodelan struktur maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan sistem *outrigger* pada bangunan tinggi yang mempunyai ketidakberaturan lantai lunak dan ketidakberaturan massa dapat mempengaruhi perilaku bangunan terhadap beban gempa. Penempatan *outrigger* pada 1/4h dan 1/2h yang merupakan *soft story* menyebabkan adanya ketidakberaturan massa. Ketidakberaturan massa pada lantai lunak mengakibatkan mengecilnya nilai *base shear*, besarnya periode bangunan, besarnya nilai *displacement* serta *story drift*. Penempatan *outrigger* pada 1/4h dan 1/2h yang merupakan *soft story* tidak berfungsi optimal meminimalisir *story drift*. Hal ini terjadi karena penempatan *outrigger* pada *soft story* akan menyebabkan *outrigger* berfungsi memperbaiki kekakuan akibat *soft story* itu sendiri.
2. Nilai *displacement* maksimum dan *story drift* dari seluruh variasi masih dalam batas aman berdasarkan SNI 1726 2012.
3. Variasi 2 merupakan pemodelan yang menggunakan *outrigger* pada $\frac{3}{4}$ h bangunan menunjukkan perilaku yang paling baik setelah ditinjau dari nilai *base shear*, *displacement* maksimum dan *story drift*.

4. Jika mempertimbangan keefektifan, penggunaan sistem *outrigger* yang digunakan sebagai sistem penahan gaya lateral tambahan pada St. Morits Panakkukang tidak perlu digunakan mengingat adanya *outrigger* hanya mereduksi nilai *displacement* 5,95% pada arah X dan 2,84% pada arah Y. Hal ini terjadi karena bangunan yang sudah kaku yang dapat dilihat dari konfigurasi *core wall* dan *shear wall* pada struktur bangunan ini.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, agar dapat melakukan penelitian serupa dengan lebih baik maka disarankan:

1. Membuat pemodelan struktur dengan teliti sesuai gambar kerja dan pembebanan struktur sesuai fungsi ruang sehingga hasil analisa yang didapatkan mewakili bangunan eksisting.
2. Memberikan perlakuan yang sama pada setiap variasi pemodelan dengan agar lebih mudah untuk dibandingkan satu sama lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhy, A. 2000. *Pemakaian Belt Truss Sebagai Virtual Outrigger Pada Bangunan Tinggi*. Universitas Kristen Petra, Hal 1.
- Ali, M. M. 2007. *Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects*, Architectural Science Review, Hal 208.
- Angerik, V. 2009. *Analisis Respon Beban Angin Pada Bangunan Beton Tingkat Tinggi Yang Menggunakan Sistem Outrigger Truss*. Universitas Sumatera Utara, Hal 10.
- [BSN] Badan Standar Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 03-1726-2012*. Jakarta.
- [BSN] Badan Standar Nasional. 2013. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain SNI 03-1727-2013*. Jakarta.
- Bahri, S. (2016, 24 April 2017). *Pemetaan Wilayah Gempa Bumi di Dunia Serta Zona Gempa Bumi di Indonesia*. Retrieved from <http://vorvit.blogspot.co.id: http://vorvit.blogspot.co.id/2016/02/pemetaan-wilayah-gempa-bumi-di-dunia-serta-zona-gempa-bumi-di-indonesia.html>
- Cornelis, Remigildus. 2014. *Analisis Perbandingan Gaya Geser Tingkat, Gaya Geser Dasar, Perpindahan Tingkat dan Simpangan Antar Tingkat Akibat Beban Gempa Berdasarkan Peraturan Gempa Sni 1726-2002 Dan SNI 1726-2012*. Jurnal Teknik Sipil, Hal 3.
- Hartuti, E. R. 2009. *Buku Pintar Gempa*. Yogyakarta: Diva Press.
- Herath, N. 2009. *Behaviour of Outrigger Beams in High Rise Bulding Under Earthquake Loads*. Australian Earthquake Engineering Society 2009 Conference, Hal 2.
- Khanorkar, A. 2016. *Outrigger and Belt Truss System for Tall Building to Control Deflection: A Review*. Global Reserch and evelopment Journal for Engineering, Vol 1, Hal 12.
- Krisnahardi, W. 2010. *Perencanaan Gedung " Sunter Park View Apartment" Sunter- jakarta Utara*. Jurnal Teknik Sipil, Hal 4.
- Nair, R. S. 1998. *Belt Trusses and Basement as "Virtual" Outrigger for Tall Buildings*. Engineering Journal , Hal 3.
- Pamuda, P., & Lumantarna, B. 2006. *Studi Tentang Daktilitas Struktur Pada Sistem Shearwall Frame Dengan Belt Truss*. Civil Engineering Dimension, Vol. 8, No. 1, Hal 41–46.

- Purba, H. L. 2014. *Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan bertingkat Beraturan dan Ketidakberaturan Horizontal Sesuai SNI 03-1726-2012*. Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, Hal 1.
- Raj, P.M.B. Kiran Nanduri., Suresh, B., & Ihtesham, MD. 2013. *Optimum Positions of Outrigger System for High Rise Reinforced Concrete Buildings Under Wind and Earthquake Loadings*. American Journal of Engineering Research. Vol. 02, No. 08, Hal 76-89.
- Schueller, W. 1989. *High Rise Building Structure*. Bandung: Eresco.
- Seng, PO., & Torang, F. 2001. *The Use of Outrigger And Belt Truss System For High Rise Concrete Buildings*. Dimensi Teknik Sipil, Vol. 3, No. 1, Hal 36-41.
- Sreelekshmi, S., & Sara, SK. 2016. Study of Outrigger System for High Rise Buildings. International Journal of Innovative Research Science, Engineering and Technology, Vol. 7, No. 8, Hal. 14893-14900.
- Sukamta, D. 2010. *Perkembangan dan Kemajuan Konstruksi Bangunan Tinggi dan Besmen Dalam*. Seminar dan Pameran HAKI, Hal 1.
- Syahriar, Y. 2012. *Analisis Perbandingan Efektifitas Struktur Gedung dengan Menggunakan Shearwall dan Kombinasi antara Shearwall-Outrigger*. Jurnal Teknik Pomits, Hal 1.
- Wae, K. (2013, 11 27). *Shear Wall // Pengertian, Jenis dan Fungsinya*. Retrieved from <http://projectmedias.blogspot.co.id/2013/11/shear-wall-pengertian-jenis-dan.html>

**Lampiran 1. Evaluasi Nilai *Base Shear* dan Perhitungan Faktor Skala
Terkoreksi**

a. Tanpa Outrigger

$$V_1 = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{T}\right)} \times W_t = \frac{0,157}{0,5491 \left(\frac{8}{1}\right)} \times 515785,666 = 18434,3356 \text{ kN}$$

$$0,85V_1 = 0,85 \cdot 18434,3356 = 15669,1853 \text{ kN}$$

$$V \geq 0,85 V_1$$

- Arah X : 1617,03 kN \geq 15669,1853 kN.....TIDAK OKE
- Arah Y : 1282,44 kN \geq 15669,1853 kN.....TIDAK OKE

Nilai *base shear* hasil *run analysis* pada arah X maupun arah Y tidak melebihi nilai *base shear* yang dihitung maka faktor skala perlu dikoreksi. Faktor skala awal dikoreksi untuk kasus RSPX dan kasus RSPY melalui perhitungan di bawah ini.

Kasus RSPX

$$\blacksquare U1 = \frac{0,85V_1}{V} \times 1,2263 = \frac{0,85(18434,3356)}{1617,03} \times 1,2263 = 11.8830$$

$$\blacksquare U2 = \frac{0,85V_1}{V} \times 1,2263 = \frac{0,85(18434,3356)}{1617,03} \times 0,3675 = 3.5649$$

Kasus RSPY

$$\blacksquare U1 = \frac{0,85V_1}{V} \times 1,2263 = \frac{0,85(18434,3356)}{1282,44} \times 0,3675 = 4.4950$$

$$\blacksquare U2 = \frac{0,85V_1}{V} \times 1,2263 = \frac{0,85(18434,3356)}{1282,44} \times 1,2263 = 14.9833$$

b. Variasi 1

$$V_1 = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{T}\right)} \times W_t = \frac{0,157}{0,5794 \left(\frac{8}{1}\right)} \times 533446,824 = 18068,51 \text{ kN}$$

$$0,85V_1 = 0,85 \cdot 18068,51 = 15358,232 \text{ kN}$$

$$V \geq 0,85 V_1$$

- Arah X : 1580,81 kN \geq 15358,232 kN.....TIDAK OKE
- Arah Y : 1224,59 kN \geq 15358,232 kN.....TIDAK OKE

Nilai *base shear* hasil *run analysis* pada arah X maupun arah Y tidak memenuhi nilai *base shear* yang dihitung maka faktor skala perlu dikoreksi. Faktor skala awal dikoreksi melalui perhitungan di bawah ini.

Kasus RSPX

$$\blacksquare U1 = \frac{0,85V_1}{V} \times 1,2263 = \frac{0,85(18068,51)}{1580,81} \times 1,2263 = 11.9140$$

$$\blacksquare U2 = \frac{0,85V_1}{V} \times 1,2263 = \frac{0,85(18068,51)}{1580,81} \times 0,3675 = 3.5742$$

Kasus RSPY

$$\blacksquare U1 = \frac{0,85V_1}{V} \times 1,2263 = \frac{0,85(18068,51)}{1224,59} \times 0,3675 = 4.6139$$

$$\blacksquare U2 = \frac{0,85V_1}{V} \times 1,2263 = \frac{0,85(18068,51)}{1224,59} \times 1,2263 = 15.3797$$

c. Eksisting

$$V_1 = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{T}\right)} \times W_t = \frac{0,157}{0,5738 \left(\frac{8}{1}\right)} \times 533446,824 = 18244,82 \text{ kN}$$

$$0,85V_1 = 0,85 \cdot 18244,82 = 15669,1853 \text{ kN}$$

$$V \geq 0,85 V_1$$

- Arah X : 1699,25 kN \geq 15508,12 kN.....TIDAK OKE
- Arah Y : 1411,32 kN \geq 15508,12 kN.....TIDAK OKE

Nilai *base shear* hasil *run analysis* pada arah X maupun arah Y tidak memenuhi nilai *base shear* yang dihitung maka faktor skala perlu dikoreksi. Faktor skala awal dikoreksi melalui perhitungan di bawah ini.

Kasus RSPX

$$\blacksquare U1 = \frac{0,85V_1}{V} \times 1,2263 = \frac{0,85(18244,82)}{1699,25} \times 1,2263 = 11.1918$$

$$\blacksquare U2 = \frac{0,85V_1}{V} \times 1,2263 = \frac{0,85(18244,82)}{1699,25} \times 0,3675 = 3.3575$$

Kasus RSPY

$$\blacksquare U1 = \frac{0,85V_1}{V} \times 1,2263 = \frac{0,85(18244,82)}{1411,32} \times 0,3675 = 4.0425$$

$$\blacksquare U2 = \frac{0,85V_1}{V} \times 1,2263 = \frac{0,85(18244,82)}{1411,32} \times 1,2263 = 13.4751$$

d. Variasi 2

$$V_1 = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I} \right)} \times W_t = \frac{0,157}{0,5490 \left(\frac{8}{1} \right)} \times 530922,275 = 18978,77 \text{ kN}$$

$$0,85V_1 = 0,85.18978,77 = 16131,96 \text{ kN}$$

$$V \geq 0,85 V_1$$

- Arah X : 1659,42 kN \geq 16131,96 kN.....TIDAK OKE
- Arah Y : 1315,06 kN \geq 16131,96 kN.....TIDAK OKE

Nilai *base shear* hasil *run analysis* pada arah X maupun arah Y tidak memenuhi nilai *base shear* yang dihitung maka faktor skala perlu dikoreksi. Faktor skala awal dikoreksi melalui perhitungan di bawah ini.

Kasus RSPX

$$\blacksquare U1 = \frac{0,85V_1}{V} \times 1,2263 = \frac{0,85(18978,77)}{1659,42} \times 1,2263 = 11.9214$$

$$\blacksquare U2 = \frac{0,85V_1}{V} \times 1,2263 = \frac{0,85(18978,77)}{1659,42} \times 0,3675 = 3.5764$$

Kasus RSPY

$$\blacksquare U1 = \frac{0,85V_1}{V} \times 1,2263 = \frac{0,85(18978,77)}{1315,06} \times 0,3675 = 4.5129$$

$$\blacksquare U2 = \frac{0,85V_1}{V} \times 1,2263 = \frac{0,85(18978,77)}{1315,06} \times 1,2263 = 15.0431$$

e. Variasi 3

$$V_1 = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{T}\right)} \times W_t = \frac{0,157}{0,5924 \left(\frac{8}{1}\right)} \times 530922,275 = 17588,36 \text{ kN}$$

$$0,85V_1 = 0,85 \cdot 17588,36 = 14950,11 \text{ kN}$$

$$V \geq 0,85 V_1$$

- Arah X : 1824,96 kN \geq 14950,11 kN.....TIDAK OKE
- Arah Y : 1461,83kN \geq 14950,11 kN.....TIDAK OKE

Nilai *base shear* hasil *run analysis* pada arah X maupun arah Y tidak memenuhi nilai *base shear* yang dihitung maka faktor skala perlu dikoreksi. Faktor skala awal dikoreksi melalui perhitungan di bawah ini.

Kasus RSPX

$$\blacksquare U1 = \frac{0,85V_1}{V} \times 1,2263 = \frac{0,85(17588,36)}{1824,96} \times 1,2263 = 10.0459$$

$$\blacksquare U2 = \frac{0,85V_1}{V} \times 1,2263 = \frac{0,85(17588,36)}{1824,96} \times 0,3675 = 3.0138$$

Kasus RSPY

$$\blacksquare U1 = \frac{0,85V_1}{V} \times 1,2263 = \frac{0,85(17588,36)}{1461,83} \times 0,3675 = 3.7624$$

$$\blacksquare U2 = \frac{0,85V_1}{V} \times 1,2263 = \frac{0,85(17588,36)}{1461,83} \times 1,2263 = 12.5414$$

Lampiran 2. Nilai Displacement

- Arah X

Lantai	<i>Displacement Arah X (mm)</i>				
	Tanpa Outrigger	Variasi 1	Eksisting	Variasi 2	Variasi 3
ATAP	17.4777	17.1712	16.4967	15.1871	17.1148
Lantai 49	16.4165	16.2203	15.6331	14.6673	16.2957
Lantai 48	15.3472	15.2107	14.6113	14.0067	14.5306
Lantai 47	13.9575	13.8883	13.2529	13.1127	12.0287
Lantai 46	12.4952	12.4945	11.7961	12.1808	10.7359
Lantai 45	11.0485	11.1178	10.3329	11.2843	9.2195
Lantai 44	9.6844	9.8262	8.9343	10.4812	7.7042
Lantai 43	8.4489	8.6673	7.6492	9.8013	6.3099
Lantai 42	7.3537	7.6541	6.4928	9.2262	5.0876
Lantai 41	6.5176	6.892	5.5453	8.7423	4.1341
Lantai 40	5.6817	6.1579	4.7123	8.1893	3.3153
Lantai 39	5.1158	5.6984	4.1532	7.6352	2.7263
Lantai 38	4.7098	5.3886	3.696	7.4282	2.3193
Lantai 37	4.4015	5.1709	3.3585	8.2806	2.1467
Lantai 36	4.1938	5.0447	3.1665	7.8701	2.1521
Lantai 35	4.0923	5.0111	3.1463	7.7176	2.2681
Lantai 34	4.104	5.0722	3.3102	6.7757	2.4794
Lantai 33	4.236	5.2318	3.6554	6.882	2.7773
Lantai 32	4.436	5.443	4.1363	7.1863	3.1163
Lantai 31	4.8236	5.801	4.7958	7.4495	3.5732
Lantai 30	5.2539	6.183	5.5498	7.6168	4.0519
Lantai 29	5.7691	6.6253	6.4354	7.7376	4.5856
Lantai 28	6.372	7.1305	7.4723	7.8649	5.1771
Lantai 27	7.0751	7.7122	8.7016	8.0598	5.8414

Lantai 26	7.8713	8.3613	10.1451	8.3473	6.5747
Lantai 25	8.7821	9.0987	11.832	8.7619	7.3951
Lantai 24	9.8744	9.9894	13.7425	9.3689	8.3658
Lantai 23	11.0873	10.9766	15.4419	10.133	9.4527
Lantai 22	12.9213	12.4025	16.6777	11.3333	11.1297
Lantai 21	14.316	13.3706	17.0453	12.1992	12.3733
Lantai 20	14.8801	13.7241	17.2323	12.5632	12.8773
Lantai 19	15.2562	13.9467	17.1098	12.8136	13.2136
Lantai 18	15.5213	14.1351	16.5739	12.9943	13.447
Lantai 17	15.7076	14.3483	15.9242	13.1248	13.6079
Lantai 16	15.8306	14.6303	15.2823	13.2151	13.7125
Lantai 15	15.9007	15.0175	14.6899	13.2711	13.7714
Lantai 14	15.9258	15.5387	14.1512	13.2969	13.7925
Lantai 13	15.9154	16.2014	13.6531	13.2985	13.7852
Lantai 12	15.8844	16.9343	13.1666	13.2842	13.7632
Lantai 11	15.8269	17.4608	12.6924	13.2458	13.724
Lantai 10	15.2332	18.6122	11.7615	12.7805	13.2361
Lantai 9	14.3797	18.2459	10.7959	12.0996	12.5184
Lantai 8	13.7174	17.5715	10.1367	11.5732	11.9554
Lantai 7	12.958	16.9119	9.4381	10.9695	11.3042
Lantai 6	12.1136	15.7641	8.701	10.2937	10.5763
Lantai 5	11.1808	14.3756	7.9191	9.539	9.7696
Lantai 4	9.9284	12.5283	6.9149	8.5158	8.6858
Lantai 3	8.1712	10.0326	5.5602	7.0671	7.1648
Lantai 2	6.3797	7.5771	4.2581	5.5699	5.611
Lantai 1	4.3861	5.1144	2.8798	3.8627	3.865
Lantai UG	2.2376	2.6902	1.482	1.94	1.9905
Lantai GF	0.3008	0.3705	0.2367	0.2769	0.2857
Lantai LG	0.0538	0.0736	0.039	0.0475	0.0482
<i>Basement</i>	0.0596	0.0626	0.0545	0.0571	0.0587

- Arah Y

Lantai	<i>Displacement Arah Y (mm)</i>				
	Tanpa Outrigger	Variasi 1	Eksisting	Variasi 2	Variasi 3
ATAP	36.5834	36.2874	35.5731	33.8085	34.1801
Lantai 49	34.0052	33.7543	32.9301	31.6148	32.632
Lantai 48	30.9852	30.8087	29.8569	29.2533	28.8333
Lantai 47	27.7459	27.6635	26.5636	26.8873	24.6337
Lantai 46	24.5268	24.553	23.2861	24.6982	20.7347
Lantai 45	21.4819	21.6289	20.1747	22.8021	17.2377
Lantai 44	18.7036	18.9827	17.317	21.2573	14.1394
Lantai 43	16.2445	16.6666	14.7614	20.0623	11.4455
Lantai 42	14.1302	14.7066	12.5304	19.1354	9.1749
Lantai 41	12.3602	13.1026	10.6258	18.2553	7.3396
Lantai 40	10.908	11.8207	9.033	17.074	5.9381
Lantai 39	9.6985	10.7855	7.6878	15.2121	5.0905
Lantai 38	8.7347	9.9952	6.6117	14.4894	4.5041
Lantai 37	8.0129	9.4397	5.95	17.4984	4.189
Lantai 36	7.5828	9.1793	5.5789	17.9571	4.1342
Lantai 35	7.3882	9.1084	5.5441	17.8352	4.3072
Lantai 34	7.4103	9.2174	5.8668	17.242	4.6707
Lantai 33	7.6569	9.5068	6.5301	16.7081	5.1978
Lantai 32	8.1354	9.9788	7.5091	16.325	5.8791
Lantai 31	8.8085	10.5948	8.8355	16.0207	6.6812
Lantai 30	9.6596	11.3389	10.3802	15.7706	7.5985
Lantai 29	10.6751	12.1979	12.1285	15.6058	8.6259
Lantai 28	11.8457	13.1632	14.0669	15.5764	9.7613
Lantai 27	13.1673	14.2834	16.21	15.7325	11.0056
Lantai 26	14.6571	15.5386	18.6112	16.1304	12.3768

Lantai 25	16.3203	16.9285	21.3155	16.7945	13.8941
Lantai 24	18.1333	18.4472	24.2825	17.7033	15.5509
Lantai 23	20.015	20.0323	27.1398	18.7602	17.2866
Lantai 22	23.1995	22.5725	30.3367	20.5359	20.1303
Lantai 21	25.7558	24.5247	30.5625	21.9286	22.3995
Lantai 20	26.7699	25.2863	29.9618	22.4552	23.2825
Lantai 19	27.5229	25.8959	29.421	22.8573	23.9257
Lantai 18	28.0979	26.4669	28.7344	23.1695	24.4106
Lantai 17	28.5333	27.068	28.081	23.5196	24.7743
Lantai 16	28.845	27.7413	27.377	23.8065	25.0324
Lantai 15	29.042	28.5119	26.6351	23.9986	25.1933
Lantai 14	29.1294	29.3871	25.872	24.0985	25.2621
Lantai 13	29.1068	30.3426	25.0966	24.1057	25.2388
Lantai 12	28.9614	31.2998	24.3007	24.0123	25.114
Lantai 11	28.6541	32.1076	23.4458	23.7919	24.8565
Lantai 10	27.6376	32.6893	21.7728	23.0245	24.0099
Lantai 9	26.1362	32.3454	19.9706	21.8337	22.7434
Lantai 8	24.9818	30.9426	18.7558	20.8924	21.7582
Lantai 7	23.7451	29.3084	17.5378	19.8739	20.698
Lantai 6	22.4546	27.332	16.3343	18.81	19.591
Lantai 5	21.1026	25.2291	15.1406	17.6997	18.4325
Lantai 4	19.2536	22.7513	13.6034	16.1856	16.8468
Lantai 3	16.1243	18.7865	11.1374	13.5897	14.1306
Lantai 2	12.461	14.5971	8.3793	10.4992	10.9123
Lantai 1	8.6044	10.1488	5.6605	7.2459	7.5297
Lantai UG	4.5615	5.2712	2.9705	3.8459	3.9949
Lantai GF	0.2234	0.2541	0.1402	0.1868	0.1942
Lantai LG	0.0957	0.1052	0.077	0.0843	0.089
<i>Basement</i>	0.0246	0.0238	0.0231	0.0214	0.0243

Lampiran 3. Nilai *Story Drift*

- Arah X

Lantai	<i>Story Drift</i> Arah X (mm)				
	Tanpa Outrigger	Variasi 1	Eksisting	Variasi 2	Variasi 3
ATAP	1.0612	0.9509	0.8636	0.5198	0.4491
Lantai 49	1.0693	1.0096	1.0218	0.6606	5.2667
Lantai 48	1.3897	1.3224	1.3584	0.894	2.5019
Lantai 47	1.4623	1.3938	1.4568	0.9319	1.2928
Lantai 46	1.4467	1.3767	1.4632	0.8965	1.5164
Lantai 45	1.3641	1.2916	1.3986	0.8031	1.5153
Lantai 44	1.2355	1.1589	1.2851	0.6799	1.3943
Lantai 43	1.0952	1.0132	1.1564	0.5751	1.2223
Lantai 42	0.8361	0.7621	0.9475	0.4839	0.9535
Lantai 41	0.8359	0.7341	0.833	0.553	0.8188
Lantai 40	0.5659	0.4595	0.5591	0.5541	0.589
Lantai 39	0.406	0.3098	0.4572	0.207	0.407
Lantai 38	0.3083	0.2177	0.3375	0.8524	0.1726
Lantai 37	0.2077	0.1262	0.192	0.4105	0.0054
Lantai 36	0.1015	0.0336	0.0202	0.1525	0.116
Lantai 35	0.0117	0.0611	0.1639	0.9419	0.2113
Lantai 34	0.132	0.1596	0.3452	0.1063	0.2979
Lantai 33	0.2	0.2112	0.4809	0.3043	0.339
Lantai 32	0.3876	0.358	0.6595	0.2632	0.4569
Lantai 31	0.4303	0.382	0.754	0.1673	0.4787
Lantai 30	0.5152	0.4423	0.8856	0.1208	0.5337
Lantai 29	0.6029	0.5052	1.0369	0.1273	0.5915
Lantai 28	0.7031	0.5817	1.2293	0.1949	0.6643
Lantai 27	0.7962	0.6491	1.4435	0.2875	0.7333

Lantai 26	0.9108	0.7374	1.6869	0.4146	0.8204
Lantai 25	1.0923	0.8907	1.9105	0.607	0.9707
Lantai 24	1.2129	0.9872	1.6994	0.7641	1.0869
Lantai 23	1.834	1.4259	1.2358	1.2003	1.677
Lantai 22	1.3947	0.9681	0.3676	0.8659	1.2436
Lantai 21	0.5641	0.3535	0.187	0.364	0.504
Lantai 20	0.3761	0.2226	0.1225	0.2504	0.3363
Lantai 19	0.2651	0.1884	0.5359	0.1807	0.2334
Lantai 18	0.1863	0.2132	0.6497	0.1305	0.1609
Lantai 17	0.123	0.282	0.6419	0.0903	0.1046
Lantai 16	0.0701	0.3872	0.5924	0.056	0.0589
Lantai 15	0.0251	0.5212	0.5387	0.0258	0.0211
Lantai 14	0.0104	0.6627	0.4981	0.0016	0.0073
Lantai 13	0.031	0.7329	0.4865	0.0143	0.022
Lantai 12	0.0575	0.5265	0.4742	0.0384	0.0392
Lantai 11	0.5937	1.1514	0.9309	0.4653	0.4879
Lantai 10	0.8535	0.3663	0.9656	0.6809	0.7177
Lantai 9	0.6623	0.6744	0.6592	0.5264	0.563
Lantai 8	0.7594	0.6596	0.6986	0.6037	0.6512
Lantai 7	0.8444	1.1478	0.7371	0.6758	0.7279
Lantai 6	0.9328	1.3885	0.7819	0.7547	0.8067
Lantai 5	1.2524	1.8473	1.0042	1.0232	1.0838
Lantai 4	1.7572	2.4957	1.3547	1.4487	1.521
Lantai 3	1.7915	2.4555	1.3021	1.4972	1.5538
Lantai 2	1.9936	2.4627	1.3783	1.7072	1.746
Lantai 1	2.1485	2.4242	1.3978	1.9227	1.8745
Lantai UG	1.9368	2.3197	1.2453	1.6631	1.7048
Lantai GF	0.247	0.2969	0.1977	0.2294	0.2375
Lantai LG	0.0058	0.011	0.0155	0.0096	0.0105
<i>Basement</i>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

- Arah Y

Lantai	Story Drift Arah Y (mm)				
	Tanpa Outrigger	Variasi 1	Eksisting	Variasi 2	Variasi 3
ATAP	2.5782	2.5331	2.643	2.1937	1.5481
Lantai 49	3.02	2.9456	3.0732	2.3615	3.7987
Lantai 48	3.2393	3.1452	3.2933	2.366	4.1996
Lantai 47	3.2191	3.1105	3.2775	2.1891	3.899
Lantai 46	3.0449	2.9241	3.1114	1.8961	3.497
Lantai 45	2.7783	2.6462	2.8577	1.5448	3.0983
Lantai 44	2.4591	2.3161	2.5556	1.195	2.6939
Lantai 43	2.1143	1.96	2.231	0.9269	2.2706
Lantai 42	1.77	1.604	1.9046	0.8801	1.8353
Lantai 41	1.4522	1.2819	1.5928	1.1813	1.4015
Lantai 40	1.2095	1.0352	1.3452	1.8619	0.8476
Lantai 39	0.9638	0.7903	1.0761	0.7227	0.5864
Lantai 38	0.7218	0.5555	0.6617	3.009	0.3151
Lantai 37	0.4301	0.2604	0.3711	0.4587	0.0548
Lantai 36	0.1946	0.0709	0.0348	0.1219	0.173
Lantai 35	0.0221	0.109	0.3227	0.5932	0.3635
Lantai 34	0.2466	0.2894	0.6633	0.5339	0.5271
Lantai 33	0.4785	0.472	0.979	0.3831	0.6813
Lantai 32	0.6731	0.616	1.3264	0.3043	0.8021
Lantai 31	0.8511	0.7441	1.5447	0.2501	0.9173
Lantai 30	1.0155	0.859	1.7483	0.1648	1.0274
Lantai 29	1.1706	0.9653	1.9384	0.0294	1.1354
Lantai 28	1.3216	1.1202	2.1431	0.1561	1.2443
Lantai 27	1.4898	1.2552	2.4012	0.3979	1.3712
Lantai 26	1.6632	1.3899	2.7043	0.6641	1.5173

Lantai 25	1.813	1.5187	2.967	0.9088	1.6568
Lantai 24	1.8817	1.5851	2.8573	1.0569	1.7357
Lantai 23	3.1845	2.5402	3.1969	1.7757	2.8437
Lantai 22	2.5563	1.9522	0.2258	1.3927	2.2692
Lantai 21	1.0141	0.7616	0.6007	0.5266	0.883
Lantai 20	0.753	0.6096	0.5408	0.4021	0.6432
Lantai 19	0.575	0.571	0.6866	0.3122	0.4849
Lantai 18	0.4354	0.6011	0.6534	0.3501	0.3637
Lantai 17	0.3117	0.6733	0.704	0.2869	0.2581
Lantai 16	0.197	0.7706	0.7419	0.1921	0.1609
Lantai 15	0.0874	0.8752	0.7631	0.0999	0.0688
Lantai 14	0.0226	0.9555	0.7754	0.0072	0.0233
Lantai 13	0.1454	0.9572	0.7959	0.0934	0.1248
Lantai 12	0.3073	0.8078	0.8549	0.2204	0.2575
Lantai 11	1.0165	0.5817	1.673	0.7674	0.8466
Lantai 10	1.5014	0.3439	1.8022	1.1908	1.2665
Lantai 9	1.1544	1.4028	1.2148	0.9413	0.9852
Lantai 8	1.2367	1.6342	1.218	1.0185	1.0602
Lantai 7	1.2905	1.9764	1.2035	1.0639	1.107
Lantai 6	1.352	2.1029	1.1937	1.1103	1.1585
Lantai 5	1.849	2.4778	1.5372	1.5141	1.5857
Lantai 4	3.1293	3.9648	2.466	2.5959	2.7162
Lantai 3	3.6633	4.1894	2.7581	3.0905	3.2183
Lantai 2	3.8566	4.4483	2.7188	3.2533	3.3826
Lantai 1	4.0429	4.8776	2.69	3.4	3.5348
Lantai UG	4.3381	5.0171	2.8303	3.6591	3.8007
Lantai GF	0.1277	0.1489	0.0632	0.1025	0.1052
Lantai LG	0.0711	0.0814	0.0539	0.0629	0.0647
<i>Basement</i>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Lampiran 4. Kontrol *Story Drift*

- Pada Arah X

Lantai	<i>Story Drift</i> Arah X (mm)					Tinggi lantai h (mm)	Batas Aman 0,02h (mm)	Ket.
	Tanpa Outrigger	Variasi 1	Eksisting	Variasi 2	Variasi 3			
	ATAP	1.0612	0.9509	0.8636	0.5198	0.4491	3200	
Lt. 49	1.0693	1.0096	1.0218	0.6606	5.2667	3200	64	Aman
Lt. 48	1.3897	1.3224	1.3584	0.894	2.5019	3200	64	Aman
Lt. 47	1.4623	1.3938	1.4568	0.9319	1.2928	3200	64	Aman
Lt. 46	1.4467	1.3767	1.4632	0.8965	1.5164	3200	64	Aman
Lt. 45	1.3641	1.2916	1.3986	0.8031	1.5153	3200	64	Aman
Lt. 44	1.2355	1.1589	1.2851	0.6799	1.3943	3200	64	Aman
Lt. 43	1.0952	1.0132	1.1564	0.5751	1.2223	3200	64	Aman
Lt. 42	0.8361	0.7621	0.9475	0.4839	0.9535	3200	64	Aman
Lt. 41	0.8359	0.7341	0.833	0.553	0.8188	3200	64	Aman
Lt. 40	0.5659	0.4595	0.5591	0.5541	0.589	3200	64	Aman
Lt. 39	0.406	0.3098	0.4572	0.207	0.407	3200	64	Aman
Lt. 38	0.3083	0.2177	0.3375	0.8524	0.1726	3200	64	Aman
Lt. 37	0.2077	0.1262	0.192	0.4105	0.0054	3200	64	Aman
Lt. 36	0.1015	0.0336	0.0202	0.1525	0.116	3200	64	Aman
Lt. 35	0.0117	0.0611	0.1639	0.9419	0.2113	3200	64	Aman
Lt. 34	0.132	0.1596	0.3452	0.1063	0.2979	3200	64	Aman
Lt. 33	0.2	0.2112	0.4809	0.3043	0.339	3200	64	Aman
Lt. 32	0.3876	0.358	0.6595	0.2632	0.4569	3200	64	Aman
Lt. 31	0.4303	0.382	0.754	0.1673	0.4787	3200	64	Aman
Lt. 30	0.5152	0.4423	0.8856	0.1208	0.5337	3200	64	Aman
Lt. 29	0.6029	0.5052	1.0369	0.1273	0.5915	3200	64	Aman
Lt. 28	0.7031	0.5817	1.2293	0.1949	0.6643	3200	64	Aman
Lt. 27	0.7962	0.6491	1.4435	0.2875	0.7333	3200	64	Aman

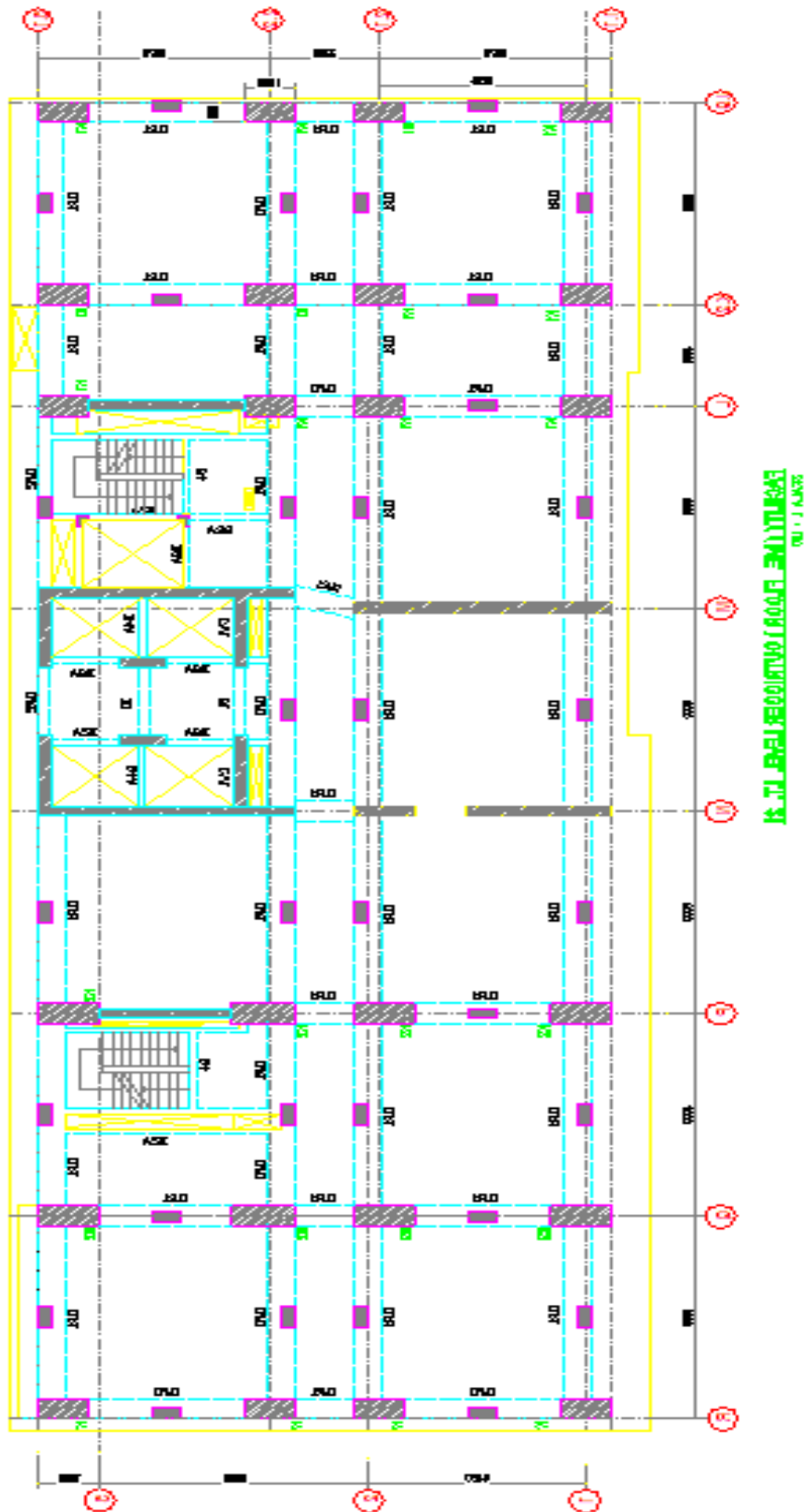
Lt. 26	0.9108	0.7374	1.6869	0.4146	0.8204	3200	64	Aman
Lt. 25	1.0923	0.8907	1.9105	0.607	0.9707	3200	64	Aman
Lt. 24	1.2129	0.9872	1.6994	0.7641	1.0869	3200	64	Aman
Lt. 23	1.834	1.4259	1.2358	1.2003	1.677	5600	112	Aman
Lt. 22	1.3947	0.9681	0.3676	0.8659	1.2436	6000	120	Aman
Lt. 21	0.5641	0.3535	0.187	0.364	0.504	3500	70	Aman
Lt. 20	0.3761	0.2226	0.1225	0.2504	0.3363	3500	70	Aman
Lt. 19	0.2651	0.1884	0.5359	0.1807	0.2334	3500	70	Aman
Lt. 18	0.1863	0.2132	0.6497	0.1305	0.1609	3500	70	Aman
Lt. 17	0.123	0.282	0.6419	0.0903	0.1046	3500	70	Aman
Lt. 16	0.0701	0.3872	0.5924	0.056	0.0589	3500	70	Aman
Lt. 15	0.0251	0.5212	0.5387	0.0258	0.0211	3500	70	Aman
Lt. 14	0.0104	0.6627	0.4981	0.0016	0.0073	3500	70	Aman
Lt. 13	0.031	0.7329	0.4865	0.0143	0.022	3500	70	Aman
Lt. 12	0.0575	0.5265	0.4742	0.0384	0.0392	3500	70	Aman
Lt. 11	0.5937	1.1514	0.9309	0.4653	0.4879	5600	112	Aman
Lt. 10	0.8535	0.3663	0.9656	0.6809	0.7177	5000	100	Aman
Lt. 9	0.6623	0.6744	0.6592	0.5264	0.563	3250	65	Aman
Lt. 8	0.7594	0.6596	0.6986	0.6037	0.6512	3250	65	Aman
Lt. 7	0.8444	1.1478	0.7371	0.6758	0.7279	3250	65	Aman
Lt. 6	0.9328	1.3885	0.7819	0.7547	0.8067	3250	65	Aman
Lt. 5	1.2524	1.8473	1.0042	1.0232	1.0838	4000	80	Aman
Lt. 4	1.7572	2.4957	1.3547	1.4487	1.521	5500	110	Aman
Lt. 3	1.7915	2.4555	1.3021	1.4972	1.5538	5500	110	Aman
Lt. 2	1.9936	2.4627	1.3783	1.7072	1.746	5500	110	Aman
Lt. 1	2.1485	2.4242	1.3978	1.9227	1.8745	5500	110	Aman
Lt. UG	1.9368	2.3197	1.2453	1.6631	1.7048	7000	140	Aman
Lt. GF	0.247	0.2969	0.1977	0.2294	0.2375	7000	140	Aman
Lt. LG	0.0058	0.011	0.0155	0.0096	0.0105	3250	65	Aman
<i>Base 1</i>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3250	65	Aman

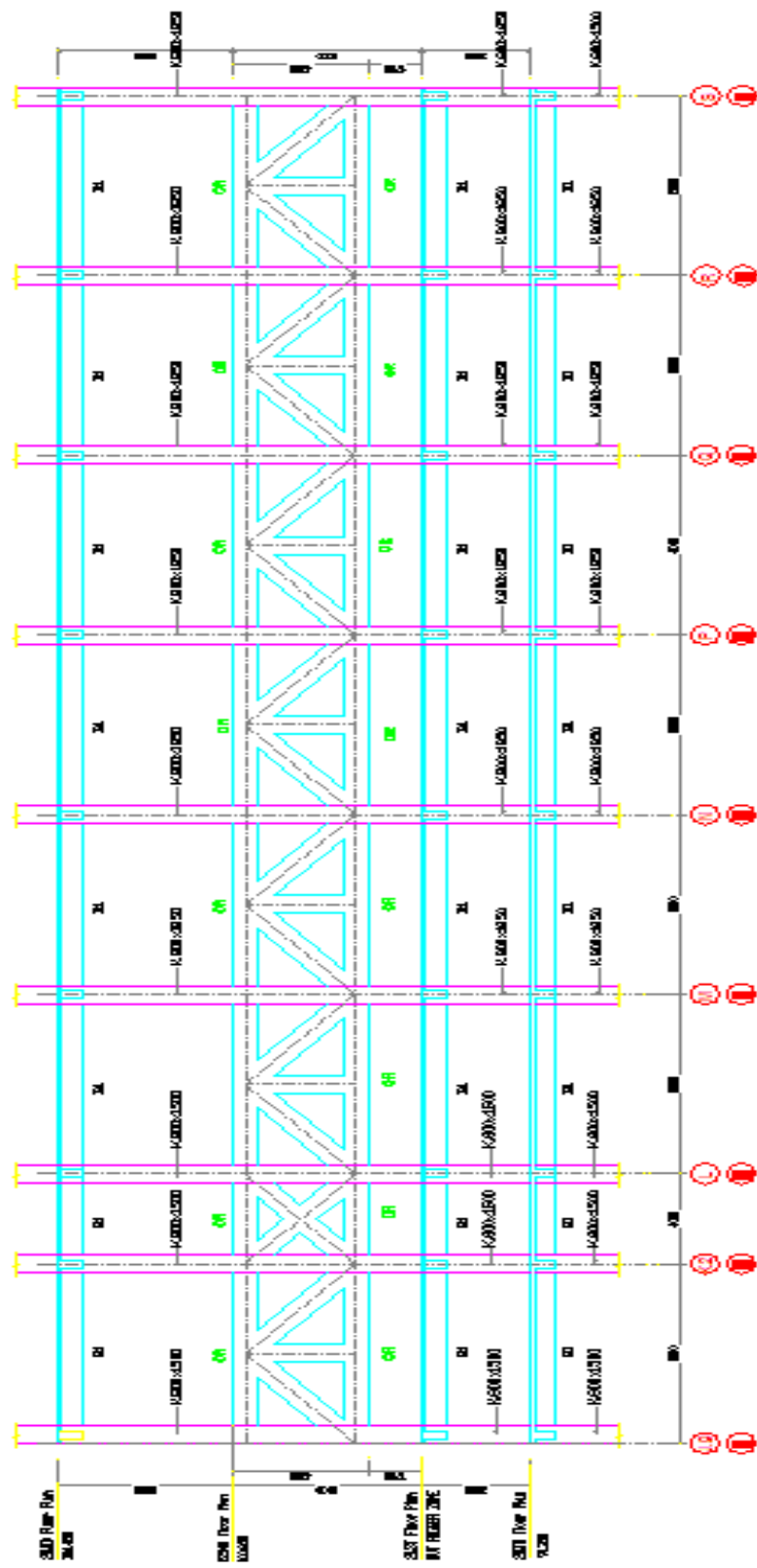
- Pada Arah Y

Lantai	Story Drift Arah Y (mm)					Tinggi lantai h (mm)	Batas Aman 0,02h (mm)	Ket.
	Tanpa Outrigger	Variasi 1	Eksisting	Variasi 2	Variasi 3			
ATAP	2.5782	2.5331	2.643	2.1937	1.5481	3200	64	Aman
Lt. 49	3.02	2.9456	3.0732	2.3615	3.7987	3200	64	Aman
Lt. 48	3.2393	3.1452	3.2933	2.366	4.1996	3200	64	Aman
Lt. 47	3.2191	3.1105	3.2775	2.1891	3.899	3200	64	Aman
Lt. 46	3.0449	2.9241	3.1114	1.8961	3.497	3200	64	Aman
Lt. 45	2.7783	2.6462	2.8577	1.5448	3.0983	3200	64	Aman
Lt. 44	2.4591	2.3161	2.5556	1.195	2.6939	3200	64	Aman
Lt. 43	2.1143	1.96	2.231	0.9269	2.2706	3200	64	Aman
Lt. 42	1.77	1.604	1.9046	0.8801	1.8353	3200	64	Aman
Lt. 41	1.4522	1.2819	1.5928	1.1813	1.4015	3200	64	Aman
Lt. 40	1.2095	1.0352	1.3452	1.8619	0.8476	3200	64	Aman
Lt. 39	0.9638	0.7903	1.0761	0.7227	0.5864	3200	64	Aman
Lt. 38	0.7218	0.5555	0.6617	3.009	0.3151	3200	64	Aman
Lt. 37	0.4301	0.2604	0.3711	0.4587	0.0548	3200	64	Aman
Lt. 36	0.1946	0.0709	0.0348	0.1219	0.173	3200	64	Aman
Lt. 35	0.0221	0.109	0.3227	0.5932	0.3635	3200	64	Aman
Lt. 34	0.2466	0.2894	0.6633	0.5339	0.5271	3200	64	Aman
Lt. 33	0.4785	0.472	0.979	0.3831	0.6813	3200	64	Aman
Lt. 32	0.6731	0.616	1.3264	0.3043	0.8021	3200	64	Aman
Lt. 31	0.8511	0.7441	1.5447	0.2501	0.9173	3200	64	Aman
Lt. 30	1.0155	0.859	1.7483	0.1648	1.0274	3200	64	Aman
Lt. 29	1.1706	0.9653	1.9384	0.0294	1.1354	3200	64	Aman
Lt. 28	1.3216	1.1202	2.1431	0.1561	1.2443	3200	64	Aman
Lt. 27	1.4898	1.2552	2.4012	0.3979	1.3712	3200	64	Aman
Lt. 26	1.6632	1.3899	2.7043	0.6641	1.5173	3200	64	Aman

Lt. 25	1.813	1.5187	2.967	0.9088	1.6568	3200	64	Aman
Lt. 24	1.8817	1.5851	2.8573	1.0569	1.7357	3200	64	Aman
Lt. 23	3.1845	2.5402	3.1969	1.7757	2.8437	5600	112	Aman
Lt. 22	2.5563	1.9522	0.2258	1.3927	2.2692	6000	120	Aman
Lt. 21	1.0141	0.7616	0.6007	0.5266	0.883	3500	70	Aman
Lt. 20	0.753	0.6096	0.5408	0.4021	0.6432	3500	70	Aman
Lt. 19	0.575	0.571	0.6866	0.3122	0.4849	3500	70	Aman
Lt. 18	0.4354	0.6011	0.6534	0.3501	0.3637	3500	70	Aman
Lt. 17	0.3117	0.6733	0.704	0.2869	0.2581	3500	70	Aman
Lt. 16	0.197	0.7706	0.7419	0.1921	0.1609	3500	70	Aman
Lt. 15	0.0874	0.8752	0.7631	0.0999	0.0688	3500	70	Aman
Lt. 14	0.0226	0.9555	0.7754	0.0072	0.0233	3500	70	Aman
Lt. 13	0.1454	0.9572	0.7959	0.0934	0.1248	3500	70	Aman
Lt. 12	0.3073	0.8078	0.8549	0.2204	0.2575	3500	70	Aman
Lt. 11	1.0165	0.5817	1.673	0.7674	0.8466	5600	112	Aman
Lt. 10	1.5014	0.3439	1.8022	1.1908	1.2665	5000	100	Aman
Lt. 9	1.1544	1.4028	1.2148	0.9413	0.9852	3250	65	Aman
Lt. 8	1.2367	1.6342	1.218	1.0185	1.0602	3250	65	Aman
Lt. 7	1.2905	1.9764	1.2035	1.0639	1.107	3250	65	Aman
Lt. 6	1.352	2.1029	1.1937	1.1103	1.1585	3250	65	Aman
Lt. 5	1.849	2.4778	1.5372	1.5141	1.5857	4000	80	Aman
Lt. 4	3.1293	3.9648	2.466	2.5959	2.7162	5500	110	Aman
Lt. 3	3.6633	4.1894	2.7581	3.0905	3.2183	5500	110	Aman
Lt. 2	3.8566	4.4483	2.7188	3.2533	3.3826	5500	110	Aman
Lt. 1	4.0429	4.8776	2.69	3.4	3.5348	5500	110	Aman
Lt. UG	4.3381	5.0171	2.8303	3.6591	3.8007	7000	140	Aman
Lt. GF	0.1277	0.1489	0.0632	0.1025	0.1052	7000	140	Aman
Lt. LG	0.0711	0.0814	0.0539	0.0629	0.0647	3250	65	Aman
<i>Base 1</i>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3250	65	Aman

Lampiran 5. Gambar Proyek



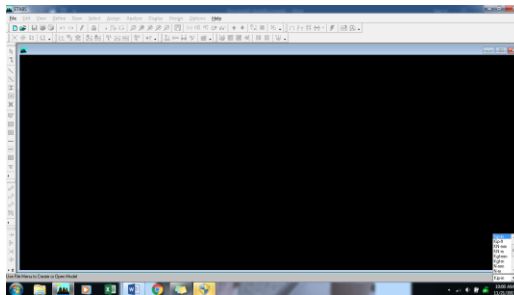


PROJEKSI ARSITEKTUR LINGKUNGAN BANGUNAN
2023/11/28

Lampiran 6. Modul Penggunaan *Software* ETABS

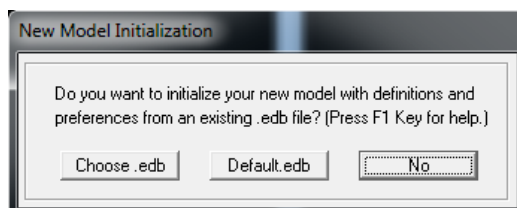
Pada penelitian model yang digunakan adalah bangunan Tower A St. Moritz Panakkukang berlokasi di kota Makassar. Dalam proses pemodelan terdapat beberapa langkah yang dilakukan sebagai berikut:

1. Langkah pertama menentukan satuan yang akan digunakan pada kotak pilihan di pojok kanan bawah tampilan awal ETABS.



Tampilan Awal ETABS

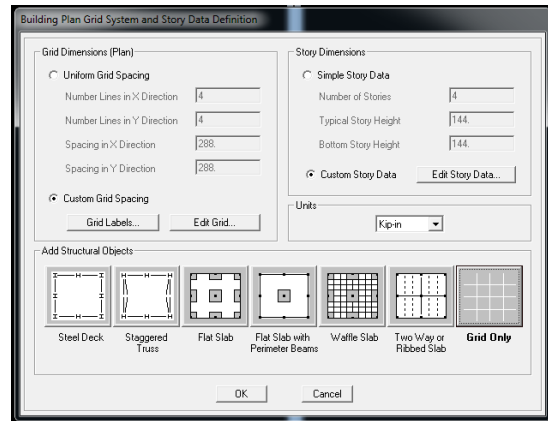
2. Kemudian untuk memulai membuat pemodelan pilih menu *File-New Model* dan akan muncul *pop up New Model Initialization*. Pilih *No* untuk membuat pemodelan baru tanpa mengambil dari file ETABS yang telah ada di komputer. Option lain yang juga dapat dipilih:
 - *Choose.edb* untuk membuat pemodelan baru dengan definisi dan preferensi mengambil dari file ETABS yang ada di komputer.
 - *Default.edb* untuk membuat pemodelan baru dengan definisi dan preferensi yang sudah *built-in* dalam ETABS.



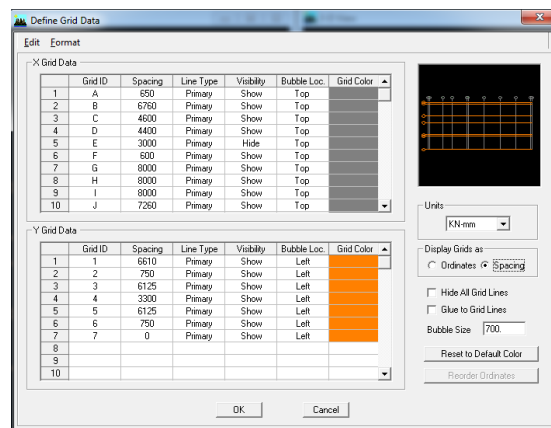
Pop Up New Model Initialization

3. Setelah itu muncul kotak dialog "*Building Plan Grid System and Story Data Definition*". Ada beberapa point yang harus di input pada tahap ini seperti berikut:
 - Pada kotak *Grid Dimention (Plan)*, aktifkan *Custom Grid Spacing* kemudian pilih *Edit Grid*. Selanjutnya muncul kotak dialog *Define Grid Data*, input jarak-jarak sumbu acuan pada arah X maupun Y.

Pada kotak *Display Grid As* ada dua pilihan yaitu *Ordinates* untuk memasukkan jarak berdasarkan sumbu koordinat dan *Spacing* untuk memasukkan jarak berdasarkan jarak dari sumbu ke sumbu. Klik OK dan akan kembali ke kotak dialog.



Building Plan Grid System and Story Data Definition



Define Grid Data

- Pada kotak *Story Dimension*, aktifkan *Custom Story Data* kemudian *Edit Story Data*.

	Label	Height	Elevation	Master Story	Similar To	Splice Point	Splice Hgt
17	LT12	3500	73800	No	LT23	No	0
16	LT11	5000	70100	No	LT23	No	0
15	LT10	5000	64500	Yes		No	0
14	LT9	3250	59500	No	LT10	No	0
13	LT8	3250	56250	No	LT10	No	0
12	LT7	3250	53000	No	LT10	No	0
11	LT6	3250	49750	No	LT10	No	0
10	LT5	4000	46500	No	LT10	No	0
9	LT4	5500	42500	No	LT10	No	0
8	LT3	5500	37000	No	LT10	No	0
7	LT2	5500	31500	No	LT10	No	0
6	LT1	5500	26000	No	LT10	No	0
5	UG	7000	20500	No	LT10	No	0
4	GF	7000	13500	Yes		No	0
3	LG	3250	6500	No	GF	No	0
2	B1	3250	3250	No	GF	No	0
1	BASE		0				

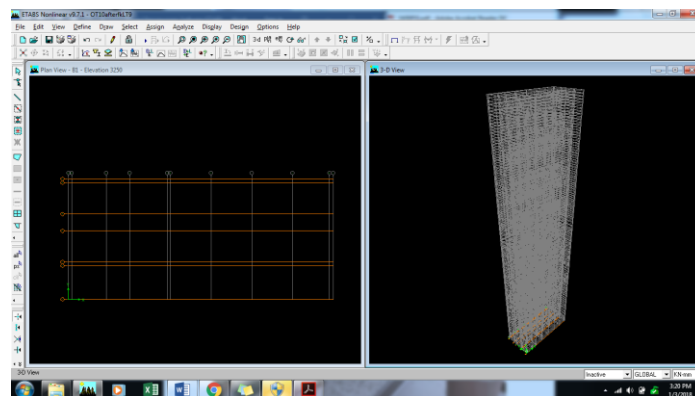
Reset Selected Rows:
 Height: 3200 [Reset]
 Master Story: No [Reset]
 Similar To: NONE [Reset]
 Splice Point: No [Reset]
 Splice Height: 0 [Reset]

Units: Change Units: KN-mm

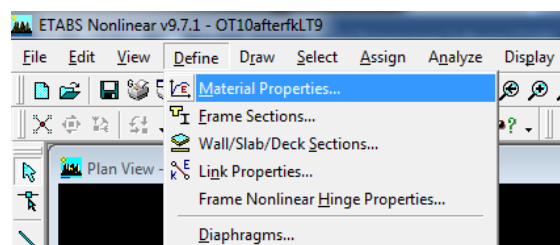
[OK] [Cancel]

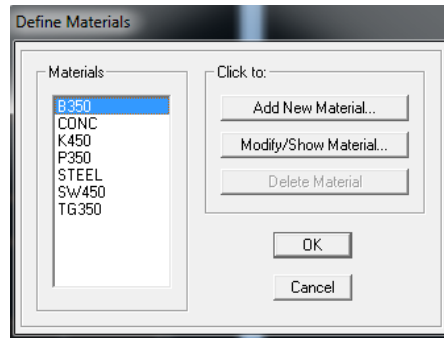
Kotak Dialog *Story Data*

- Pada kotak *Add Structural Object* pilih *Grid Only* kemudian OK. Setelah semua proses pada langkah 3 akan muncul tampilan gambar sumbu-sumbu yang telah dibuat seperti gambar dibawah ini.

*Grid*

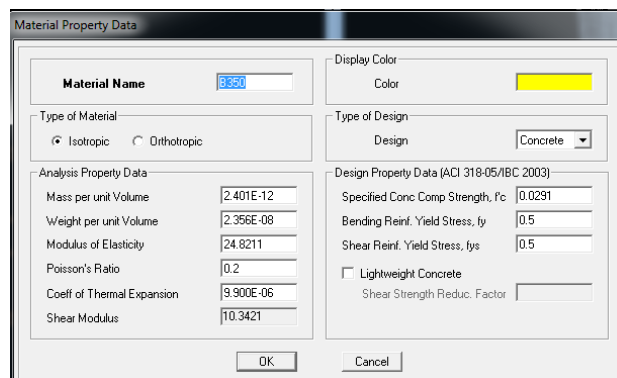
4. Selanjutnya menentukan *material properties* sesuai data perencanaan. Klik menu *Define > Material Properties* kemudian muncul kotak dialog *Define Materials*. Untuk menambahkan material baru klik *Add New Material* dan input data material yang akan digunakan.

Kotak Dialog *Define Material Properties*



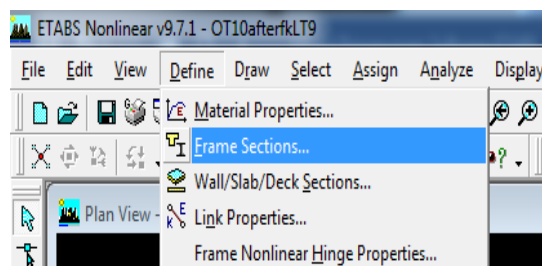
Kotak Dialog *Define Materials*

Kemudian muncul kotak dialog *Material Properties Data*. Material yang digunakan adalah beton maka pada kotak *Type of Design* pilih *Concrete*. Masukkan data material beton sesuai desain seperti f_c , f_y (mutu baja tulangan geser), dan f_{ys} (mutu baja tulangan geser). Untuk *mass per unit volume* dan *weight per unit volume* biasanya defaultnya sudah benar yaitu 24 kN/m^3 . Untuk modulus elastisitas dapat dihitung berdasarkan rumus $4700\sqrt{f_c}$. Setelah itu klik OK untuk mengakhiri.



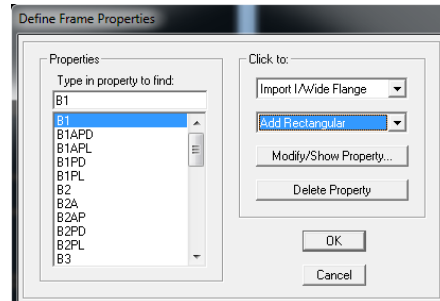
Kotak Dialog *Material Properties Data*

- Setelah itu define dimensi struktur untuk komponen balok dan kolom dapat dengan cara *Define > Frame Section*.



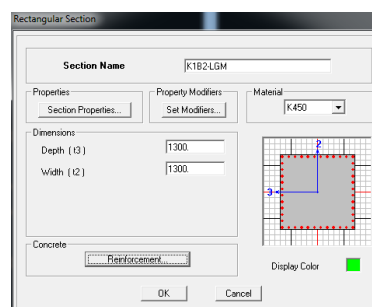
Define Frame Section

- Kemudian muncul kotak dialog *Define Frame Properties*. Untuk membuat komponen struktur baru berpenampang persegi pilih *Add Rectangular*.



Kotak Dialog *Define Frame Properties*

- Setelah itu akan muncul kotak dialog *Rectangular Section*. Masukkan data yang diperlukan seperti jenis material, nama komponen, ukuran tinggi (*depth*) dan lebar (*width*) frame sesuai data perencanaan.



Kotak Dialog *Rectangular Section*

- Untuk memilih jenis *frame* sebagai kolom atau balok, klik kotak *reinforcement* lalu pilih *frame* sebagai kolom atau balok.
- Jika ingin membuat kolom maka akan muncul kotak seperti gambar dibawah. Input jenis tulangan yang digunakan pada kotak *Configuration of Reinforcement*, *Cover to Rebar Center* (selimut beton), *Number of Bars in 3-dir* (jumlah tulangan arah y), *Number of Bars in 2-dir* (jumlah tulangan arah x) dan *Bar Size* (diameter tulangan). Setelah selesai input data klik Ok dan kembali ke kotak dialog *Rectangular Section*.

Reinforcement Data

Design Type
 Column Beam

Configuration of Reinforcement
 Rectangular Circular

Lateral Reinforcement
 Ties Spiral

Rectangular Reinforcement
 Cover to Rebar Center: 40
 Number of Bars in 3-dir: 12
 Number of Bars in 2-dir: 12
 Bar Size: N32
 Corner Bar Size: N32

Check/Design
 Reinforcement to be Checked
 Reinforcement to be Designed

OK Cancel

Reinforcement Data Column

- Jika frame sebagai balok, kotak yang akan muncul seperti gambar dibawah. Input data *Cover to Rebar Center* (selimut beton).

Reinforcement Data

Design Type
 Column Beam

Concrete Cover to Rebar Center
 Top: 25
 Bottom: 25

Reinforcement Overrides for Ductile Beams

	Left	Right
Top	0	0
Bottom	0	0

OK Cancel

Reinforcement Data Beam

- Selanjutnya pada kotak dialog *Rectangular Section* klik *Set Modifier* akan muncul kotak dialog *Analysis Property Modification Factors* dan ubah nilai *Property Modifier* sesuai dengan SNI.
 - Kolom : *moment of inertia about 2 dan 3 axis* = 0,7

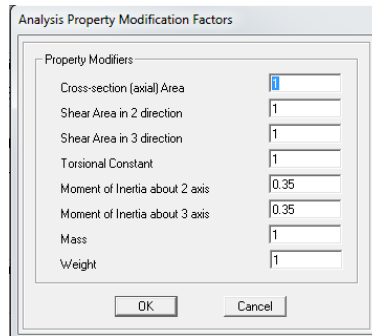
Analysis Property Modification Factors

Property Modifiers

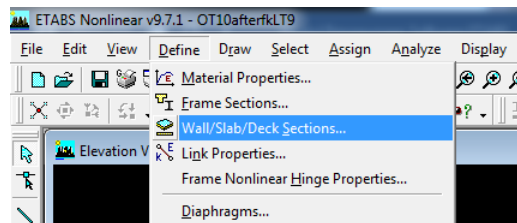
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.7
Moment of Inertia about 3 axis	0.7
Mass	1
Weight	1

OK Cancel

- Balok : *moment of inertia about 2 dan 3 axis* = 0,35

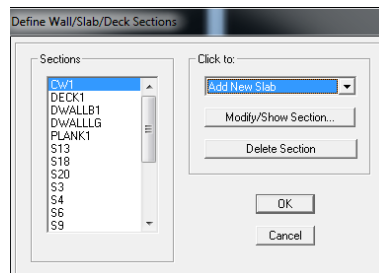


- Kemudian klik OK untuk mengakhiri *define frame section* untuk kolom maupun balok dan ulangi langkah tersebut jika ingin membuat komponen dengan dimensi yang berbeda.
6. Setelah define kolom dan balok selanjutnya define pelat dan dinding dengan cara *Define > Wall/Slab/Deck Section*.

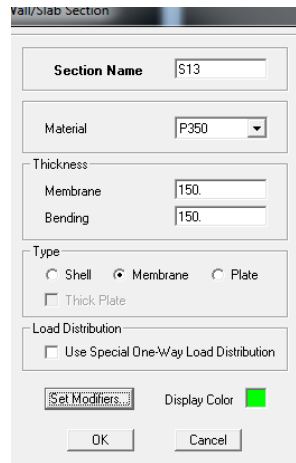


Define Wall/Slab/Deck Section.

- Untuk membuat pelat baru sesuai data perencanaan pilih Add New Slab.

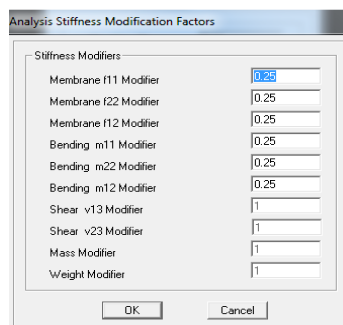


Kemudian akan muncul kotak dialog *Wall/Slab/Deck Properties*. Input nama pelat pada *Section Name*, jenis material pada *Material*, ketebalan pelat pada *Thickness*, dan tipe profile pelat berupa Membrane.



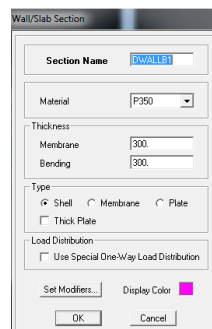
Wall/Slab/Deck Properties

Setelah itu klik Set Modifier untuk mengubah kekakuan pelat sesuai SNI dan akan muncul kotak dialog Analysis Stiffness Modification Factors. Pada kotak Stiffness Modifier ubah Membrane f11, f12, f13 modifier dan Bending m11, m12, m13 Modifier menjadi 0,25.



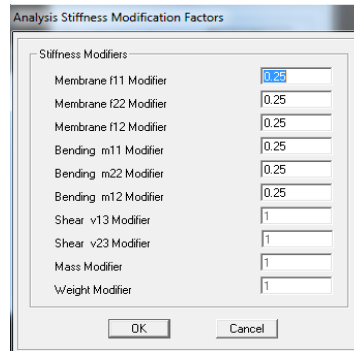
Analysis Property Modification Factors

- Untuk membuat komponen dinding pilih *Add New Wall* pada kotak *Define Wall/Slab/Deck Section*. Beri nama *wall*, pilih material yang digunakan, ketebalan dinding, dan tipe profil berupa *Shell*.



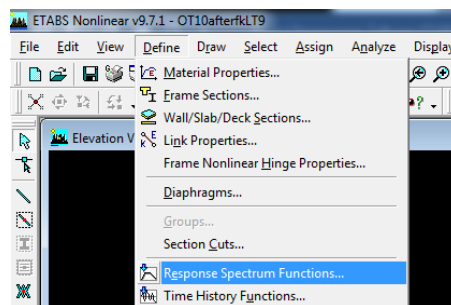
Wall/Slab/Deck Section

Seperti komponen lainnya nilai kekakuan dinding juga harus disesuaikan dengan SNI. Klik *Set Modifier* akan muncul kotak dialog *Analysis Property Modifocation Factors* dan ubah nilai *Membrane f11*, *f12 Modifier* dan *Bending m11*, *m12 Modifier* menjadi 0,7.



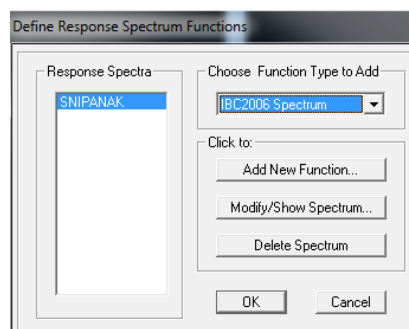
Analysis Property Modifocation Factors

- Selanjutnya *Define* respon spektrum sebagai beban gempa. Klik menu *Define > Response Spectrum Fuctions*.



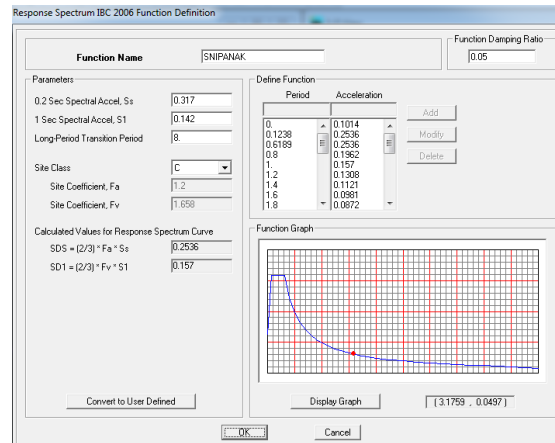
Define Response Spectrum Fuctions

Kemudian muncul kotak dialog *Define Response Spectrum Function*, klik *Add User Spectrum* karena tipe gempa di Indonesia tidak tersedia di *default* ETABS.



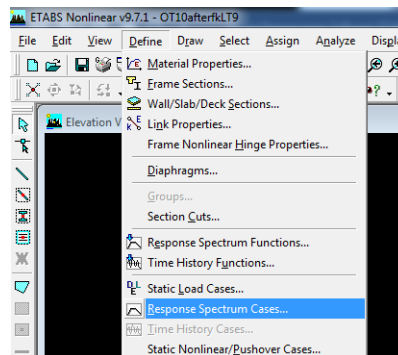
Kotak Dialog *Define Response Spectrum Function*

Input data *Period* dan *Acceleration* (percepatan gempa) pada kotak dialog *Response Spectrum IBC 2006 Function Definition* sesuai dengan perhitungan sebelumnya kemudian klik OK untuk mengakhiri.



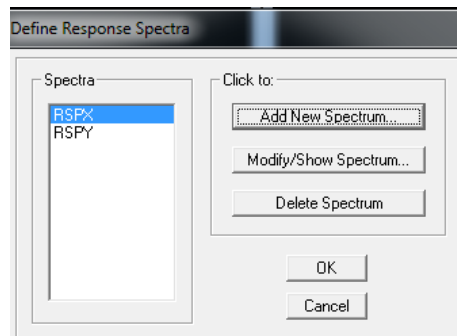
Kotak Dialog *Response Spectrum IBC 2006 Function Definition*

8. Menentukan spektrum gempa dengan klik menu *Define > Response Spectrum Case*.

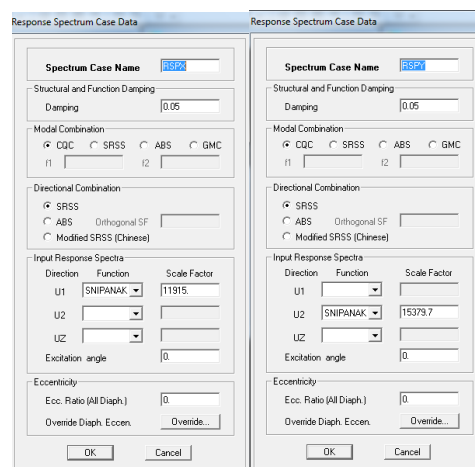


Define Response Spectrum Case

Kemudian muncul kotak dialog *Define Response Spectrum* klik *Add New Spectrum*. Input data pada kotak dialog *Response Spectrum Case Data* seperti *Spectrum Case Name* berupa RSPX dan RSPY. Input *Response Spectrum* untuk arah X isikan *Function* dan *Scale Factor* pada kotak U1 sedangkan untuk arah Y isikan pada kotak U2.

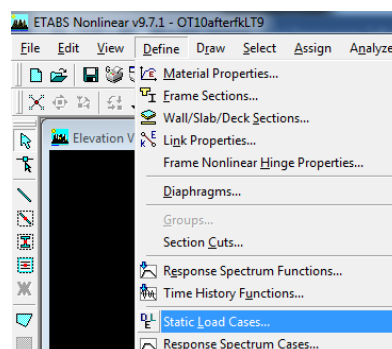


Kotak Dialog *Define Response Spectrum*



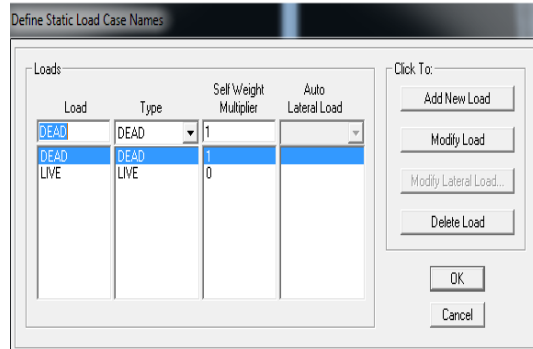
Kotak Dialog *Response Spectrum Case Data*

9. Menentukan beban yang akan bekerja pada bangunan dengan mengklik *Define > Static Load Case*.



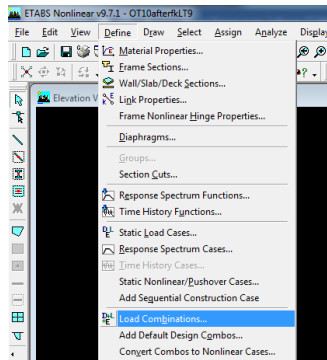
Define > Static Load Case.

Kemudian muncul kotak dialog *Define Static Load Case Names*. Input jenis-jenis beban yang akan diaplikasikan pada bangunan untuk proses analisis pada kotak *type*. Klik *Add New Load* untuk membuat jenis beban yang tidak tersedia pada kotak *type*.



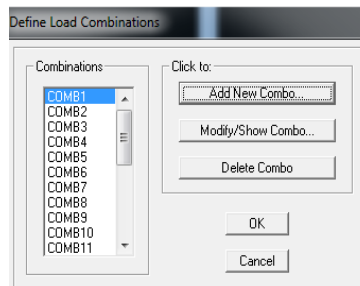
Kotak Dialog *Define Static Load Case Names*

10. Menentukan kombinasi pembebanan dengan mengklik *Define > Load Combination*.

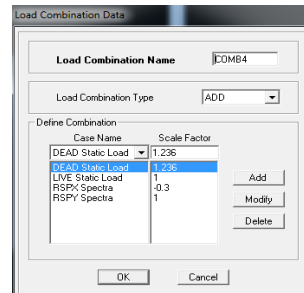


Define Load Combination.

Kemudian muncul kotak dialog *Define Load Combination* setelah itu pilih *Add New Combo*. Selanjutnya muncul kotak dialog *Load Combination Data* masukkan *scale factor* setiap jenis beban pada masing-masing kombinasi yang telah direncanakan.

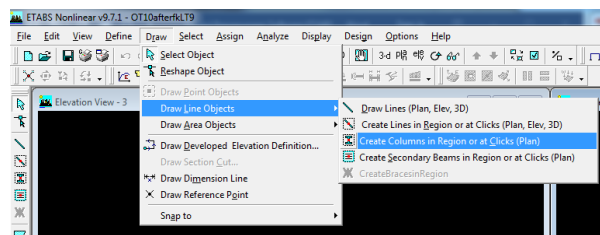


Kotak Dialog *Define Load Combination*



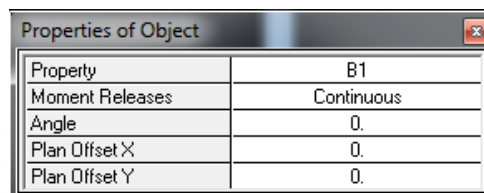
Kotak Dialog *Load Combination Data*

11. Menggambar komponen struktur pada bangunan, dapat dimulai dengan menggambar kolom dengan cara pilih menu menu *Draw > Draw Line Object > Create Columns in Regions or at Click*.



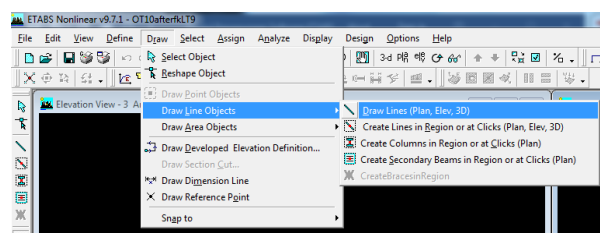
Draw Column

Kemudian muncul kotak *Properties of Object* untuk menentukan dimensi kolom yang akan digunakan dapat dipilih pada *Properties*. Kemudian klik satu kali untuk menempatkan kolom sesuai gambar denah.



Properties of Object

12. Menggambar balok, klik menu *Draw > Draw Line Object > Draw Line*. Kemudian muncul kotak *Properties of Object*, dimensi balok dapat dipilih pada *Properties*. Klik titik awal balok dan klik lagi pada titik akhir balok dengan acuan garis grid yang dibuat sebelumnya.

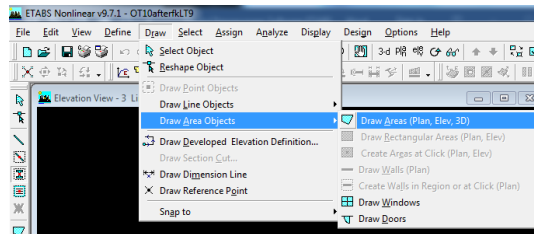


Draw Line

Type of Line	Frame
Property	B1
Moment Releases	Continuous
Plan Offset Normal	0.
Drawing Control Type	None <space bar>

Properties of Object

13. Menggambar pelat, klik menu *Draw > Draw Area Object*. Kemudian muncul kotak *Properties of Object*, dimensi pelat dapat dipilih pada *Properties*. Klik titik titik yang mengelilingi pelat dengan acuan garis grid yang dibuat sebelumnya.

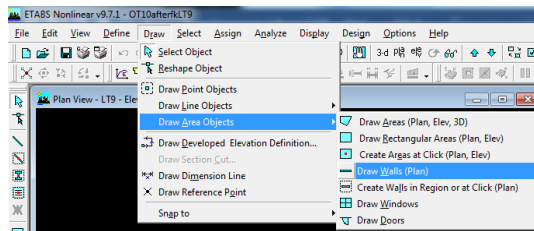


Draw Area Object

Property	WALL1
Local Axis	0.
Drawing Control	None <space bar>

Properties of Object

14. Menggambar dinding atau wall, klik menu *Draw > Draw Area Object > Draw Walls*. Kemudian muncul kotak *Properties of Object*, jenis atau dimensi wall dapat dipilih pada *Properties*. Klik titik awal wall dan klik lagi pada titik akhir wall dengan acuan garis grid yang dibuat sebelumnya.

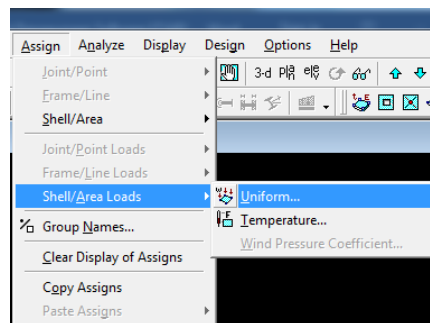


Draw Walls

Properties of Object	
Type of Area	Pier
Property	WALL1
Plan Offset Normal	0
Auto Pier/Spandrel IDs?	No
Drawing Control	None <space bar>

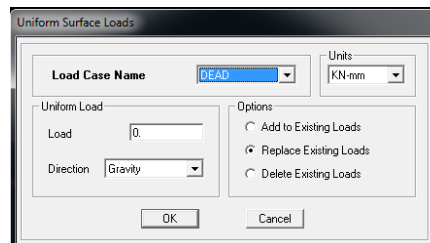
Properties of Object

15. Define beban yaitu beban mati dan beban hidup, Pilih pelat yang akan diberi beban kemudian pilih menu *Assign > Shell/Area Loads > Uniform*.



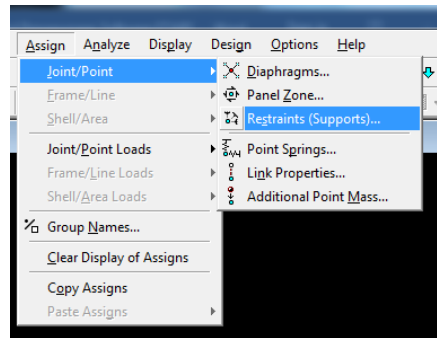
Assign Shell/Area Loads

Setelah itu muncul kotak dialog *Uniform Surface Loads* pilih *Load Case Name* antara *Dead/Live* sesuaikan dengan jenis beban yang kan diinput. Input nilai beban pada kotak *Load* dan perhatikan satuan yang digunakan lalu klik OK untuk mengakhirinya.

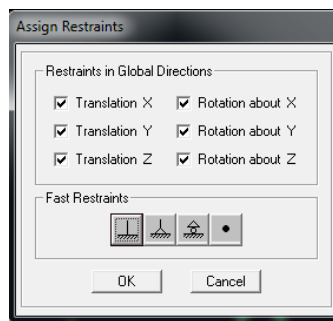


Kotak Dialog *Uniform Surface Loads*

16. Menentukan jenis perletakan pada bagian dasar struktur. Select semua titik pada lantai base kemudian pilih menu *Assign > Joint/Point > Restraint/Support*. Akan muncul kotak dialog *Assign Restraints* pilih jenis support yang akan digunakan lalu klik OK untuk mengakhiri.

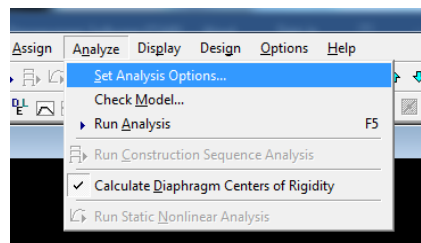


Assign Restraints Support



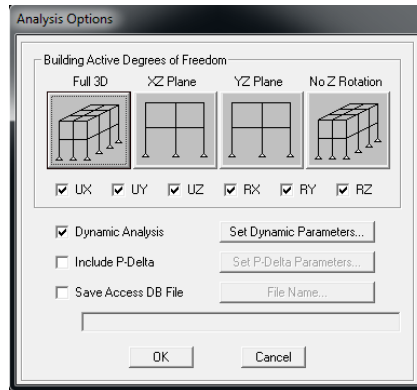
Kotak Dialog Assign Restraints

17. Setelah seluruh langkah pemodelan komponen struktur selesai langkah selanjutnya adalah proses analisis dengan klik menu *Analyze > Set Analysis Options*.

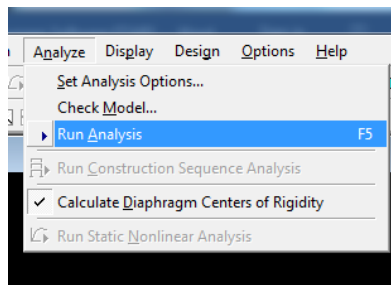


Menu Analyze

Kemudian muncul kotak dialog *Analysis Option* pilih *Full 3D* pada *Building Active of Freedom* dan *checklist* pada *Dynamic Analysis* lalu klik OK. Langkah terakhir pada menu *Analyze* pilih *Run Analysis*.



Kotak Dialog Analysis Option



Menu Analyze

Lampiran 7. Surat Administrasi



Building
Future
Leaders

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK



Certificate ID: 11/01792

Gedung L Kampus A Universitas Negeri Jakarta, Jalan Rawamangun Muka, Jakarta 13220
Telepon : (62-21) 4890046 ext. 213, 4751523, 47864808 Fax. 47864808
Laman: <http://ft.unj.ac.id> email: dekanft@unj.ac.id

No.Dokumen	Edisi	Revisi	Berlaku Efektif	Halaman
QMS-FT/SOP/S5-23/III/2011	01	01	21 Juli 2011	1 dari 1

SURAT TUGAS

No. 046/ST.P/JTS1/2017

Ketua Program Studi S1 Pendidikan Teknik Bangunan Jurusan Teknik Sipil menugaskan kepada Bapak/Ibu dosen berikut:

No	Nama Dosen	NIP	Pembimbing
1	Ririt Aprilin S, M. Sc. Eng	19841207 201012 2 003	Pembimbing I
2	Lenggogeni, MT	19730417 199903 2 001	Pembimbing II

Untuk membimbing skripsi/komprehensif/karya inovatif mahasiswa :

Nama : Bella Junita
No. Registrasi : 5415134236
Program Studi : S1 Pendidikan Teknik Bangunan
Judul/Tema : "Respon Struktur Bangunan Tingkat Tinggi Menggunakan Outrigger Terhadap Beban Lateral".


Lama bimbingan : 3 Maret 2017 s/d 3 Januari 2018

Apabila pada tanggal yang telah ditentukan mahasiswa yang dibimbing belum selesai, maka Bapak/Ibu harus melaporkan kepada Koordinator Penyelesaian Studi Jurusan.

Demikian surat tugas ini kami sampaikan, atas perhatian dan kerja sama dari Bapak/Ibu kami ucapkan terima kasih.

Jakarta, 3 Maret 2017

Koor.Prodi S1
Pendidikan Teknik Bangunan


R. Eka Murtinugraha, M. Pd
NIP. 19670316 200112 1 001

Tembusan:

1. Kaprodi

RIWAYAT HIDUP



Bella Junita lahir di Tanjungpandan pada hari Selasa tanggal 13 Juni 1995, anak ketiga dari empat bersaudara dari pasangan bapak Soewito dan Ibu Harima. Menyelesaikan pendidikan dasar di SDN 21 Tanjungpandan selama 6 tahun (2001-2007), SMP Negeri 3 Tanjungpandan selama 3 tahun (2007-2010), dan SMA Negeri 1 Tanjungpandan selama 3 tahun (2010-2013). Kemudian melanjutkan pendidikan Strata 1 program studi Pendidikan Teknik Bangunan di Universitas Negeri Jakarta melalui jalur SBMPTN. Pada masa perkuliahan penulis telah mengikuti kegiatan Praktek Keterampilan Mengajar (PKM) pada semester 7 di SMKN 35 Jakarta tahun ajaran 2016/2017. Selain PKM, pada semester yang sama penulis juga melakukan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Proyek Midtown Point and Ibis Style Hotel dengan PT. Pembangunan Perumahan sebagai kontraktor utama. Penulis menyelesaikan masa perkuliahan dengan mengambil skripsi berjudul “Respon Struktur Bangunan Tinggi dengan Variasi Penempatan Outrigger Terhadap Beban Lateral (Studi Kasus: Bangunan Tower A St. Moritz Panakukang)”.

Email: bejeh1306@gmail.com