

**ANALISIS PERILAKU STRUKTUR BANGUNAN TERHADAP
BEBAN GEMPA PADA BANGUNAN *SOFT SECOND STORY*
DENGAN VARIASI KETINGGIAN KOLOM**



DIAN YURISTIA

5415134202

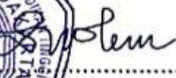
**Skripsi Ini Ditulis Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Dalam Memperoleh Gelar Sarjana**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK BANGUNAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
2017**

HALAMAN PENGESAHAN

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Ririt Aprilin S, M,Sc. Eng (Dosen Pembimbing I)		16 Agustus 2017
R. Eka Murtinugraha, M. Pd. (Dosen Pembimbing II)		21/8-2017

PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Sittati Musalamah, MT (Ketua Sidang)		21/08 2017
Drs. Prihantono, M.Eng (Penguji I)		21/08-17
Dr. Gina Bachtiar, MT (Penguji II)		21/08-2017

Tanggal Lulus : 7 Agustus 2017

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis skripsi saya ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan 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 dipublikasikan 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 dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, 7 Agustus 2017

Yang Membuat Pernyataan



Dian Yuristia
5415134202

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia dan hidayah-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Perilaku Struktur Bangunan Terhadap Beban Gempa pada Bangunan *Soft Second Story* Dengan Variasi Ketinggian Kolom.”

Skripsi ini disusun dalam rangka menyelesaikan studi strata satu (S1) yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pendidikan pada Prodi Pendidikan Teknik Bangunan Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan dukungan dan bantuan baik moril maupun spiritual dari banyak pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. R. Eka Murtinugraha, M. Pd sebagai Ketua Program Studi S1 Pendidikan Teknik Bangunan Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta, serta sebagai dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan nasehatnya sampai terselesaikannya skripsi ini.
2. Ririt Aprilin S, M. Sc. Eng sebagai dosen pembimbing I yang telah membantu secara sepenuhnya terhadap penyelesaian skripsi ini.
3. Drs. Doddy Rochadi, M. Pd sebagai penasehat akademik.
4. Sittati Musalamah, MT sebagai ketua penguji skripsi.
5. Drs. Prihantono, M. Eng sebagai dosen penguji I.
6. Dr. Gina Bachtiar, MT sebagai dosen penguji II.
7. Mama dan papa yang selalu memberikan doa dan dukungan secara terus-menerus serta adik-adik yang selalu memberikan semangat agar bisa membawa prestasi ke rumah.
8. Staf UNJ dan rekan mahasiswa S1 Pendidikan Teknik Bangunan 2013.
9. Teman – teman yang ikut mendukung terselesaikannya skripsi ini yaitu Krisna Setiawan, Ginanjar Khaq, Nadia Rahma P., Masnawari Rahmadani, Tri Handayani, Evi Puspita S., Doni Setiawan, dan Rizqiana Putri.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih belum sempurna dan masih terdapat kekurangan karena keterbatasan pengetahuan dari penulis. Oleh karena itu saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini.

Akhir kata semoga atas kesediaan semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini, selalu mendapatkan rahmat dan karunia dari Allah SWT. Penulis berharap agar hasil dari tulisan ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Jakarta, Juli 2017

Penulis

ABSTRAK

Dian Yuristia, *Analisis Perilaku Struktur Bangunan Terhadap Beban Gempa Pada Bangunan Soft Second Story Dengan Variasi Ketinggian Kolom*. Skripsi. Jakarta, Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, 2017. Dosen Pembimbing : Ririt Aprilin S, M. Sc. Eng dan R. Eka Murtinugraha, M.Pd.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku struktur bangunan terhadap beban gempa pada bangunan *soft second story* dengan variasi ketinggian kolom. Bangunan yang dijadikan studi memiliki ketidakberaturan vertikal *soft story* pada tingkat kedua sehingga dianalisis perilakunya terhadap beban gempa dengan memberikan variasi penambahan ketinggian kolom pada tingkat kedua bangunan.

Perilaku struktur bangunan menghasilkan respon struktur berupa gaya dalam pada kolom dan balok, gaya geser dasar, periode getar struktur, simpangan total dan simpangan antar tingkat. Analisis terhadap beban gempa menggunakan analisis dinamis respons spektrum berdasarkan SNI 1726:2012 dengan bantuan *software* ETABS versi 9.7.4.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan ketinggian kolom pada *soft second story* menurunkan kekakuan bangunan sehingga memperkecil gaya dalam struktur, memperbesar periode getar struktur, memperkecil gaya geser dasar, memperbesar simpangan total dan simpangan antar tingkat. Oleh karena itu, bangunan *soft second story* menurunkan ketahanan bangunan terhadap beban gempa dengan menghasilkan perilaku bangunan yang mendekati keruntuhan.

Kata kunci : Ketidakberaturan vertikal *soft story*, analisis dinamis respons spektrum, gaya geser dasar, periode getar struktur, simpangan antar tingkat.

ABSTRACT

Dian Yuristia, *Seismic Analysis of Building Behavior on Soft Second Story Building by Applying Column Height Variation. A Thesis. Building Engineering Education Study Program, Faculty of Engineering, State University of Jakarta, 2016. Supervisors: Ririt Aprilin S, M.Sc.Eng and R. Eka Murtinugraha, M.Pd.*

The purpose of this research was to analyze soft second story building behavior due to the earthquake load by applying column height variation. The building case has a vertical irregularity soft story on the second level so the behavior during the earthquake was analyzed by heighten the columns at the second level of the building.

The behavior of building structure results the response such as internal forces in columns and beams, base shear, fundamental period, displacement and story drift. The seismic analysis is using dynamic analysis response spectrum based on SNI 1726: 2012 and carried out using software ETABS version 9.7.4.

The results of this research indicates that the increase of column height in soft second story building reduces the building stiffness. So it decreases the building forces, extending the fundamental period, decreasing the base shear, increasing the displacement and the story drift. It can be concluded that the soft second story building reduces the building resistance of earthquake load by produces the behavior approaches the collapse.

Keywords : *Vertical irregularity soft story, dynamic analysis response spectrum, base shear, fundamental period, story drift.*

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah	5
1.4 Perumusan Masalah.....	7
1.5 Tujuan Penelitian.....	7
1.6 Kegunaan Penelitian.....	8
BAB II.....	9
KAJIAN PUSTAKA.....	9
2.1 Landasan Teori.....	9
2.1.1 Struktur Bangunan.....	9
2.1.2 Ketidakberaturan Vertikal	10
2.1.3 Aspek Desain Bangunan Terhadap Gempa.....	17
2.1.4 Analisis Beban Gempa dengan Program ETABS	37
2.2. Penelitian yang Relevan	39
2.3 Kerangka Konseptual	41
2.4 Hipotesis Penelitian	42
BAB 3	43
METODOLOGI PENELITIAN.....	43
3.1 Tempat, Waktu dan Subjek Penelitian	43
3.2 Data - Data Penelitian.....	43
3.2.1 Data Teknis Struktur	43
3.2.2 Dimensi Struktur Eksisting	44
3.2.3 Detail Struktur <i>Soft Second Story</i>	46
3.2.4 Variasi Penelitian	47
3.2.5 Pemilihan Struktur Analisis.....	48

3.3. Pembebanan Struktur	50
3.3.1 Beban Hidup.....	50
3.3.2 Beban Mati	50
3.3.3 Beban Gempa	51
3.3.4 Kombinasi Pembebanan	53
3.4 Teknik Analisis Data	55
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	55
BAB IV	57
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	57
4.1 Hasil Penelitian.....	57
4.1.1 Kekakuan Kolom.....	57
4.1.2 <i>Displacement</i>	59
4.1.3 <i>Story Drift</i>	60
4.1.4 Periode Getar Struktur.....	61
4.1.5 <i>Base Shear</i>	62
4.1.6 Aksial dan Momen Kolom	62
4.1.7 Momen Balok	63
4.2 Pembahasan	64
4.2.1 Kekakuan Kolom.....	64
4.2.2 <i>Displacement</i>	65
4.2.3 <i>Story Drift</i>	72
4.2.4 Periode Getar Struktur.....	78
4.2.5 <i>Base Shear</i>	79
4.2.6 Aksial dan Momen Kolom	80
4.2.7 Momen Balok	83
4.2.8 Pembahasan Keseluruhan.....	85
4.3 Keterbatasan Penelitian	89
BAB V.....	90
KESIMPULAN DAN SARAN.....	90
5.1 Kesimpulan.....	91
5.2 Saran.....	91
DAFTAR PUSTAKA	93
DAFTAR NOTASI.....	95
LAMPIRAN.....	96

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Variasi ketinggian kolom <i>ground floor</i>	7
Tabel 2.1	Simpangan antar tingkat izin (Δ_a).....	23
Tabel 2.2	Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung	26
Tabel 2.3	Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x	26
Tabel 2.4	Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa	27
Tabel 2.5	Faktor keutamaan gempa.....	28
Tabel 2.6	Kategori desain seismik berdasarkan S_{DS}	29
Tabel 2.7	Kategori desain seismik berdasarkan S_{DI}	29
Tabel 2.8	Faktor R , C_d , dan Ω_o untuk sistem penahan gaya gempa	30
Tabel 2.9	Prosedur analisis yang boleh digunakan	31
Tabel 2.10	Klasifikasi situs	34
Tabel 2.11	Koefisien situs, F_a	35
Tabel 2.12	Koefisien situs, F_v	35
Tabel 3.1	Tipe dan dimensi balok struktur	44
Tabel 3.2	Tipe dan dimensi kolom struktur	45
Tabel 3.3	Tipe dan dimensi plat tingkat	45
Tabel 3.4	Tipe dan dimensi dinding geser	46
Tabel 3.5	Variasi ketinggian kolom <i>ground floor</i>	47
Tabel 4.1	Kekakuan Kolom.....	60
Tabel 4.2	Periode Getar Struktur	63
Tabel 4.3	Periode Getar Struktur	64
Tabel 4.4	Simpangan Ijin Bangunan	73
Tabel 4.5	Eksentrisitas Kolom	84
Tabel 4.6	Data Tulangan Terpakai Balok B272	86
Tabel 4.7	Perbedaan Tulangan Pokok Balok B272	87
Tabel 4.8	Persentase Perubahan Nilai Respon Struktur	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Kasus Keruntuhan Bangunan Akibat <i>Soft Story</i>	2
Gambar 1.2	Potongan Horizontal <i>Ground Floor</i> Wisma Cipinang Indah	3
Gambar 2.1	Loncatan ketinggian bangunan.....	11
Gambar 2.2	Kekakuan Kolom yang Lemah.....	12
Gambar 2.3	Diskontinuitas jumlah kolom pada Tingkat Bangunan	12
Gambar 2.4	Bukaan pada Tingkat Bangunan.....	12
Gambar 2.5	Diskontinuitas Dinding Pengisi pada Tingkat Bangunan.....	13
Gambar 2.6	<i>Layout Soft Second Story</i>	13
Gambar 2.7	Ketidakteraturan <i>Soft Story</i>	14
Gambar 2.8	Ketidakteraturan <i>Soft Story</i> Berlebihan	14
Gambar 2.9	Efek $P - \Delta$ yang Menyebabkan Deformasi Berlebihan pada Bangunan <i>Soft Story</i>	15
Gambar 2.10	Contoh Bangunan dengan Ketidakteraturan Massa.....	16
Gambar 2.11	Tampilan Bangunan dengan Ketidakteraturan Geometri Vertikal	16
Gambar 2.12	Tampilan Bangunan dengan Penahan Gaya Lateral yang Diskontinu.....	17
Gambar 2.13	Tampilan Bangunan dengan Diskontinuitas Kuat Lateral Tingkat.....	17
Gambar 2.14	(a) Gerakan Tanah yang Mungkin (b) Ragam Getaran yang Khas	19
Gambar 2.15	Respon Bangunan Kaku dan Bangunan Fleksibel Terhadap Gempa.....	20
Gambar 2.16	Penentuan Simpangan Antar Tingkat.....	21
Gambar 2.17	Gaya Horizontal pada Tingkat Bangunan	24
Gambar 2.18	Getaran Bebas dan Amplitudo dari Struktur	25
Gambar 2.19	Peta Respon Spektra Percepatan 0.2 Detik (S_5) di Batuan Dasar (S_B) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 tahun....	32
Gambar 2.20	Peta Respon Spektra Percepatan 1.0 Detik (S_1) di Batuan Dasar (S_B) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun.....	33
Gambar 2.21	Ragam Respons Spektrum.....	37
Gambar 2.22	<i>Response Spectrum Function Definition</i>	38
Gambar 2.23	<i>Response Spektrum Case Data</i>	39
Gambar 3.1	Detail Tangga untuk Tingkat Ground dan Tingkat Tipikal Struktur	46
Gambar 3.2	<i>Soft Second Story</i> pada tingkat <i>Ground Floor</i>	47
Gambar 3.3	Letak Kolom C24 Pada Potongan <i>Ground Floor</i>	49
Gambar 3.4	Letak Balok B272 Pada Bangunan.....	49
Gambar 3.5	Desain Respons Spektrum Hitung.....	53
Gambar 3.6	Diagram Alir Penelitian	56
Gambar 4.1	Nilai <i>Displacement</i> arah X Eksisting Berdasarkan Kombinasi Pembebanan	57
Gambar 4.2	Grafik <i>Displacement</i> Arah X Seluruh Variasi	59
Gambar 4.3	Grafik <i>Displacement</i> Arah Y Seluruh Variasi.....	59

Gambar 4.4	Grafik <i>Story Drift</i> Arah X Bangunan Variasi	60
Gambar 4.5	Grafik <i>Story Drift</i> Arah Y Bangunan Variasi	61
Gambar 4.6	Diagram Interaksi Kolom	63
Gambar 4.7	Momen Balok Pada Variasi Bangunan	64
Gambar 4.8	Grafik Kekakuan Kolom	65
Gambar 4.9	<i>Displacement</i> Arah X Seluruh Variasi	66
Gambar 4.10	<i>Displacement</i> Arah Y Seluruh Variasi	66
Gambar 4.11	<i>Displacement</i> Arah X dan Y Eksisting.....	67
Gambar 4.12	<i>Displacement</i> Arah X dan Y Variasi 1	68
Gambar 4.13	<i>Displacement</i> Arah X dan Y Variasi 2	68
Gambar 4.14	<i>Displacement</i> Arah X dan Y Variasi 3	69
Gambar 4.15	<i>Displacement</i> Arah X dan Y Variasi 4	70
Gambar 4.16	<i>Displacement</i> Arah X dan Y Variasi 5	70
Gambar 4.17	<i>Story Drift</i> Eksisting	73
Gambar 4.23	<i>Story Drift</i> Variasi 1	74
Gambar 4.24	<i>Story Drift</i> Variasi 2	75
Gambar 4.25	<i>Story Drift</i> Variasi 3	76
Gambar 4.26	<i>Story Drift</i> Variasi 4	77
Gambar 4.27	<i>Story Drift</i> Variasi 5	78
Gambar 4.23	Periode Getar Struktur	79
Gambar 4.24	<i>Base Shear</i>	80
Gambar 4.25	Aksial Kolom	81
Gambar 4.26	Momen Kolom	81
Gambar 4.27	Momen Balok	84
Gambar 4.28	Hubungan Kekakuan Terhadap Momen Kolom	87
Gambar 4.29	Hubungan Periode Getar Struktur Terhadap <i>Base Shear</i>	88
Gambar 4.30	Hubungan <i>Base Shear</i> terhadap <i>Displacement</i> Arah Y	89

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era urbanisasi saat ini, pembangunan gedung bertingkat di Indonesia semakin berkembang. Kebutuhan akan lahan yang semakin sulit diperoleh berpengaruh pada bentuk bangunan yang cenderung tidak beraturan. Bangunan dengan bentuk tidak beraturan mempengaruhi perilaku bangunan terhadap gempa. Menurut Paulay dan Priestley (1992), bangunan dengan bentuk beraturan, sederhana, dan simetris akan berperilaku lebih baik terhadap gempa dibandingkan dengan bangunan yang tidak beraturan. Perilaku yang dimaksud adalah respon bangunan terhadap beban gempa, salah satunya berupa simpangan yang dihasilkan dari bangunan tersebut. Oleh karena itu, bangunan tidak beraturan memiliki ketahanan yang lebih rendah terhadap beban gempa, sehingga dibutuhkan pemilihan konfigurasi struktur bangunan tahan gempa.

Ketidakteraturan pada konfigurasi bangunan seringkali tidak dapat dihindari, salah satunya pada bangunan *soft story*. Bangunan *soft story* ditandai dengan adanya ketidakberaturan vertikal, khususnya berupa ketidakberaturan *soft story*. Ketidakteraturan *soft story* dikenal sebagai tingkat lemah, dimana salah satu tingkat memiliki kekakuan atau kekuatan terhadap gempa lebih lemah diantara tingkat lainnya. Hal ini disebabkan karena adanya tingkat dengan bukaan besar, tingkat dengan kolom yang diskontinu, dan tingkat yang memiliki ketinggian kolom yang tidak seragam. Di tren modern saat ini, banyak bangunan yang memiliki ketinggian kolom pada *ground floor* yang lebih tinggi daripada tingkat tipikal diatas atau dibawahnya. Hal ini dilakukan karena permintaan arsitek yang

menginginkan agar *ground floor* sebagai ruangan lobi terlihat luas, besar, dan megah. Selain itu juga, kebutuhan *ground floor* yang lebih luas digunakan untuk tujuan sosial dan fungsional seperti parkir kendaraan, *retail room*, *showroom*, ruang pertemuan, dan aula perbankan.

Berdasarkan SNI 1726-2012, ketidakberaturan *soft story* didefinisikan sebagai suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Artinya, ketidakberaturan *soft story* dapat menurunkan kekuatan lateral pada tingkat bangunan khususnya pada kasus ketinggian kolom *ground floor* sehingga kolom menjadi lebih lemah dalam memikul beban lateral gempa dan menyebabkan keruntuhan. Keruntuhan ini dapat membuat seluruh bangunan jatuh dan kejadian ini sangat berakibat fatal yaitu bangunan tidak dapat digunakan kembali (Tosari, Hunggurami, & Pah, 2016).

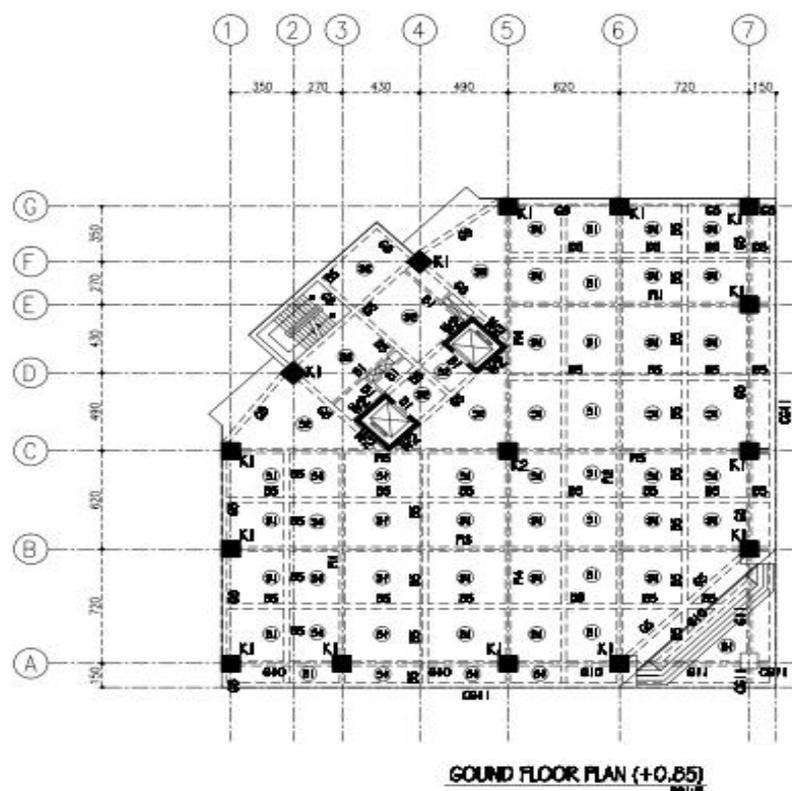


Sumber : (Halde & Deshmukh, 2016)

Gambar 1.1 Kasus Keruntuhan Bangunan Akibat Ketidakberaturan *Soft Story*

Dari sekian banyak bangunan *soft story* di Jakarta seperti *Bassura City Mall*, *Grand Kamala Lagoon*, dan *Emerald Tower*, Wisma Cipinang Indah dipilih sebagai studi kasus pada penelitian ini. Wisma Cipinang Indah memiliki

ketidakberaturan *soft story* pada *ground floor*. *Ground floor* pada struktur ini terletak pada tingkat kedua setelah *basement*, sehingga struktur bangunan disebut dengan *soft second story*. Selain memiliki ketidakberaturan *soft story*, Wisma Cipinang Indah juga mempunyai coakan pada denah bangunan yang ditunjukkan pada gambar 1.2. Berdasarkan hasil perhitungan, Wisma Cipinang Indah mempunyai coakan sebesar 11 % dan 4,6 % sehingga perilaku struktur diperkirakan akan menjadi lebih kompleks dalam menahan beban lateral gempa.



Gambar 1.2 Potongan Horizontal *Ground Floor* Wisma Cipinang Indah

Penelitian terdahulu menyebutkan bahwa bangunan tidak beraturan mengakibatkan struktur mengalami simpangan yang lebih besar dibandingkan struktur beraturan (Manalip, 2015). Dari beberapa penelitian bangunan *soft story*, salah satu penelitian yang dilakukan oleh Hizkia, dkk tahun 2014, dilakukan

analisis bangunan *soft first story* dengan interval 1 m untuk variasi ketinggian kolom pada tingkat pertama bangunan. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa setiap penambahan 1 m pada *soft first story*, simpangan yang terjadi rata-rata mencapai 12 %.

Berdasarkan hal tersebut, analisis besar simpangan pada bangunan *soft second story* dengan interval ketinggian kolom diatas 1 m pada *ground floor* perlu dilakukan. Selain itu juga, perbandingan antara bangunan *soft second story* dengan bangunan yang ketinggiannya seragam atau *non soft story* perlu dilakukan untuk mengetahui apakah terjadi perbedaan simpangan dari kedua bangunan tersebut. Oleh karena itu, perilaku struktur bangunan terekstrim dapat diketahui dengan memberikan variasi ketinggian kolom maksimum pada *ground floor*.

Perilaku struktur bangunan selain menghasilkan simpangan pada bangunan juga menghasilkan gaya dalam pada struktur. Gaya dalam pada struktur ditinjau untuk mengetahui kapasitas struktur dalam menahan gaya gempa, beberapa diantaranya yaitu aksial kolom, momen kolom, dan momen balok. Ketiga parameter tersebut ditinjau agar dideteksi struktur mana yang pertama kali mengalami kegagalan, sehingga apakah prinsip balok lemah kolom kuat sesuai pada hasil analisis gaya dalam pada struktur.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, masalah yang diteliti adalah sebagai berikut :

- a. Apakah ketidakberaturan *soft story* mempengaruhi perilaku struktur bangunan terhadap beban gempa?

- b. Bagaimana pengaruh variasi ketinggian kolom pada perilaku struktur bangunan *soft second story* terhadap beban gempa?
- c. Bagaimana perbedaan perilaku struktur bangunan *soft second story* dengan variasi ketinggian kolom terhadap beban gempa?
- d. Bagaimana perbedaan perilaku struktur bangunan *soft second story* dan struktur bangunan *non soft story* terhadap beban gempa?
- e. Apakah variasi ketinggian kolom yang direncanakan pada *ground floor* masih dalam batas aman?

1.3 Pembatasan Masalah

Untuk mencapai tujuan pembahasan, identifikasi permasalahan diperjelas dengan batasan-batasan sebagai berikut :

- a. Studi kasus adalah proyek gedung Wisma Cipinang Indah di Kalimalang Jakarta Timur yang berfungsi sebagai kantor dengan jumlah tingkat 9 tingkat.
- b. Gedung direncanakan sesuai perencanaan awal gedung yaitu *ground floor* sebagai *soft story* dengan tinggi 5 m dan tingkat lainnya masing-masing 3,8 m serta *basement* setinggi 4,05 m.
- c. Struktur gedung merupakan gedung beton bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) menggunakan pengaku dinding geser.
- d. Material yang digunakan memiliki kuat tekan beton (f_c') sebesar 35 MPa dan tegangan leleh baja (f_y) sebesar 400 Mpa.
- e. Pemodelan dan analisa struktur menggunakan *software* ETABS v.9.7.4 dan ditinjau dari tiga dimensi.
- f. Analisa menggunakan analisa dinamik ragam respons spektrum

- g. Pembebanan yang diberikan yaitu beban mati (*Dead Load*) dan beban hidup (*Live Load*) sesuai SNI 1727-2013, serta beban gempa (*Earthquake Load*) sesuai SNI 1726-2012.
- h. Parameter yang di tinjau adalah gaya dalam pada struktur (aksial kolom, momen kolom, dan momen balok), periode getar struktur, gaya geser dasar (*base shear*), simpangan total bangunan (*displacement*), dan simpangan antar tingkat (*story drift*).
- i. Sistem *prestressed* jenis *post tension* yang digunakan pada balok beton bertulang diabaikan karena keterbatasan peneliti.
- j. Pembebanan akibat angin diabaikan karena tidak terlalu berpengaruh terhadap bangunan.
- k. Beban air pada dinding *basement* diabaikan karena keterbatasan data pada struktur.
- l. Besar ketebalan plat kantilever diambil sebagai nilai rata-rata.
- m. Penelitian tidak menggunakan perkuatan kolom sebagai solusi adanya variasi ketinggian kolom.
- n. Analisis ketidakberaturan konfigurasi bangunan dibatasi pada ketidakberaturan konfigurasi vertikal jenis *soft story*.
- o. Variasi ketinggian kolom dibatasi sampai ketinggian 8 m dan ketinggian kolom maksimum dibatasi sampai ketinggian 16 m yang ditunjukkan pada tabel 1.1.

Tabel 1.1 Variasi Ketinggian Kolom *Ground Floor*

No.	<i>Ground Floor</i>	Ketinggian
1	Eksisting	5 m
2	Variasi 1 (<i>non soft story</i>)	3,8 m
3	Variasi 2	6,5 m
4	Variasi 3	7,5 m
5	Variasi 4	8 m
6	Variasi 5	16 m

1.4 Perumusan Masalah

Dari identifikasi masalah, dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini adalah : “Bagaimana perilaku struktur bangunan terhadap beban gempa pada bangunan *soft second story* dengan variasi ketinggian kolom?”

1.5 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan perumusan masalah diatas, adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah :

- a. Mengetahui pengaruh ketidakberaturan *soft story* terhadap perilaku struktur bangunan terhadap beban gempa.
- b. Mengetahui pengaruh variasi ketinggian kolom pada perilaku struktur bangunan *soft second story* terhadap beban gempa.
- c. Mengetahui perbedaan perilaku struktur bangunan *soft second story* dengan variasi ketinggian kolom terhadap beban gempa.
- d. Mengetahui perbedaan perilaku struktur bangunan *soft second story* dan struktur bangunan *non soft story* terhadap beban gempa.

- e. Mengetahui batas simpangan maksimum yang diizinkan melalui variasi ketinggian kolom pada bangunan *soft second story*.

1.6 Kegunaan Penelitian

Kegunaan dari penelitian ini adalah :

- a. Kegunaan praktis dari penelitian ini adalah memberikan gambaran perilaku bangunan *soft second story* dalam merespon beban gempa dengan diberikan variasi ketinggian kolom pada *ground floor*.
- b. Mengetahui seberapa besar beban gempa yang mampu ditahan oleh bangunan sehingga dapat diketahui apakah bangunan tersebut mampu menahan beban gempa berdasarkan spektrum gempa pada wilayah bangunan tersebut.
- c. Memberikan informasi di bidang teknik sipil dan menjadi masukan untuk penelitian relevan selanjutnya.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Struktur Bangunan

Struktur bangunan adalah bagian dari sebuah sistem bangunan yang bekerja untuk menyalurkan beban yang diakibatkan oleh adanya bangunan di atas tanah (Schodeck, 1998). Struktur bangunan sebagai kesatuan elemen berfungsi untuk memberikan kekuatan dan kekakuan pada sistem bangunan agar tidak mengalami keruntuhan salah satunya akibat beban gempa. Struktur bangunan harus didesain untuk menahan beban gravitasi berupa beban mati dan beban hidup, sedangkan beban horizontal didesain berupa beban gempa (Smith & Coull, 1991).

Menurut Muto tahun 1987, selama terjadi gempa bumi bangunan mengalami gerakan vertikal dan gerakan horisontal. Gaya inersia atau gaya gempa, baik dalam arah vertikal maupun horizontal akan timbul di titik-titik pada massa struktur. Dari kedua gaya ini, gaya gempa dalam arah vertikal hanya sedikit mengubah gaya gravitasi yang bekerja pada struktur, sedangkan struktur biasanya direncanakan terhadap gaya vertikal dengan faktor keamanan yang memadai. Oleh karena itu, struktur umumnya jarang sekali runtuh akibat gaya gempa vertikal. Sebaliknya, gaya gempa horisontal menyerang titik-titik lemah pada struktur yang kekuatannya tidak memadai sehingga menyebabkan keruntuhan. Oleh karena itu, perancangan struktur tahan gempa adalah meningkatkan kekuatan struktur bangunan terhadap arah horisontal berupa beban lateral gempa.

Kinerja struktur dalam menahan beban gempa dirancang oleh perancang struktur, sedangkan arsitek sebagai perancang desain bangunan berperan

menghasilkan konfigurasi bangunan. Ketidakberaturan dalam konfigurasi bangunan harus dipertimbangkan dalam perencanaan, sebab ketidakberaturan bangunan mempengaruhi kekuatan dan kekakuan struktur dalam menahan gempa.

2.1.2 Ketidakberaturan Vertikal

Struktur bangunan tahan gempa dirancang mampu menerima beban gempa yang direncanakan terjadi dalam kurun waktu tertentu. Bentuk ideal dari struktur bangunan tahan gempa memiliki konfigurasi dengan kekuatan dan kekakuan yang cukup besar terhadap pengaruh momen puntir yang diakibatkan oleh gempa (Riza, 2006). Konfigurasi bangunan adalah sesuatu yang berhubungan dengan bentuk, ukuran, macam, penempatan struktur utama bangunan, serta macam dan penempatan bagian pengisi.

Salah satu langkah penting dalam perancangan struktur bangunan tahan gempa adalah pemilihan konfigurasi bangunan, yaitu distribusi massa dan kekakuan pada bangunan serta pemilihan *load paths* gaya inersia untuk mencapai tanah (Sadero, 2011). Penyaluran gaya inersia ini dipengaruhi oleh beraturan atau tidaknya konfigurasi suatu bangunan. Bangunan beraturan memastikan penyaluran gaya inersia diteruskan langsung sependek mungkin ke pondasi sewaktu menerima guncangan gempa. Sedangkan bangunan tidak beraturan memiliki ketidaklancaran dalam penyaluran gaya inersia. Gaya inersia akan dipaksa melompat-lompat ke berbagai tempat, dimana semakin lama gaya inersia tertahan pada bangunan maka semakin besar kerusakan yang diakibatkannya (Contessa, 2008).

Oleh karena itu, bangunan dengan konfigurasi tidak beraturan (*irregular*) lebih rentan mengalami kerusakan dibandingkan dengan bangunan yang memiliki konfigurasi bangunan beraturan (*regular*) ketika diserang oleh beban gempa

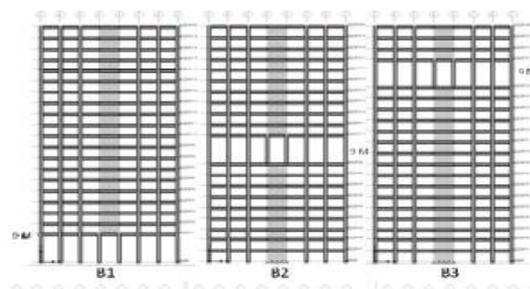
(Fakhrurrazy, Manalip, & Windah, 2015). SNI 1726:2012 mengklasifikasikan struktur bangunan menjadi bangunan beraturan dan bangunan tidak beraturan berdasarkan pada konfigurasi vertikal dan horisontal dari struktur bangunan gedung. Pada penelitian ini ketidakberaturan dibatasi pada konfigurasi vertikal sebagai pembahasan teori.

Struktur bangunan gedung yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang tertulis dibawah ini harus dianggap mempunyai ketidakberaturan vertikal. Ketidakberaturan secara vertikal adalah perubahan secara tiba-tiba pada geometri, kekuatan, atau kekakuan struktur dari tingkat ke tingkat (Sadero, 2011). Perubahan ini mengakibatkan keruntuhan pada bagian bangunan dengan tingkat kekakuan rendah. Berdasarkan peraturan SNI 1726:2012, ketidakberaturan vertikal dikategorikan sebagai berikut.

a. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak

Ketidakteraturan kekakuan tingkat lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang lemah (*soft story*), dimana kekuatan dan kekakuan lateral pada suatu tingkat berubah secara mendadak pada arah vertikal bangunan. Perubahan kekuatan dan kekakuan terhadap beban lateral ini disebabkan oleh beberapa bentuk konfigurasi struktur yaitu :

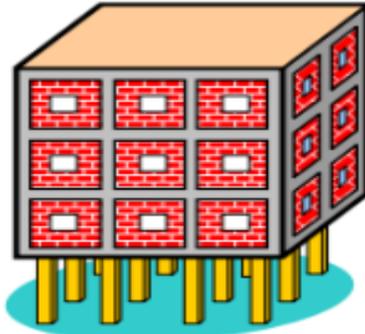
1) Ketinggian bangunan yang tidak seragam pada tingkat bangunan tertentu



Sumber : Jurnal Teknik Sipil Vol. 23 No.2

Gambar 2.1 Loncatan ketinggian bangunan

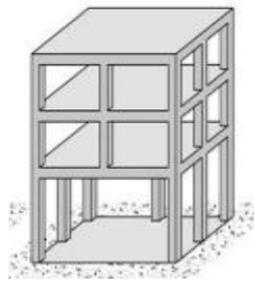
- 2) Adanya kolom yang menerima beban relatif lebih kuat dari struktur di atasnya sehingga kekakuan kolom menjadi lemah.



Sumber : Jurnal IJESC Volume 6 No.4

Gambar 2.2 Kekakuan Kolom yang Lemah

- 3) Adanya diskontinuitas jumlah kolom pada suatu tingkat ke tingkat lainnya



Sumber : *International Journal of Science Volume 5*

Gambar 2.3 Diskontinuitas Jumlah Kolom pada Tingkat Bangunan

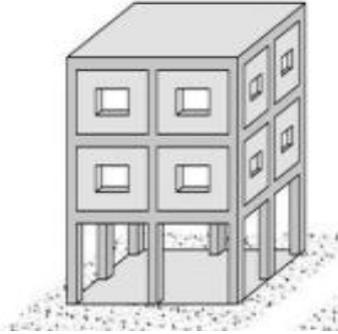
- 4) Adanya ruang terbuka atau bukaan pada tingkat bangunan yang lebih luas daripada tingkat di atas atau dibawahnya



Sumber : *Jurnal IOP Publishing Ltd 17*

Gambar 2.4 Bukaan pada Tingkat Bangunan

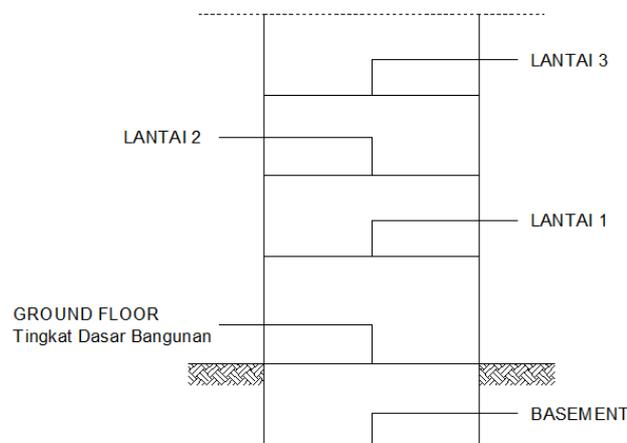
- 5) Terputusnya dinding-dinding struktural, dinding beton pengisi rangka dan tembok yang tidak menerus sampai ke sistem pondasi.



Sumber : *International Journal of Science Volume 5*

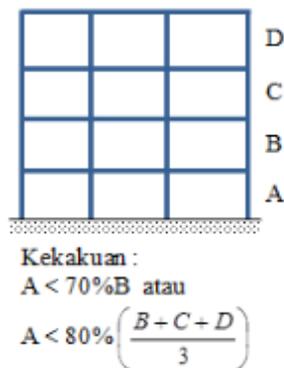
Gambar 2.5 Diskontinuitas Dinding Pengisi pada Tingkat Bangunan

Penelitian ini membatasi untuk menganalisis ketidakberaturan *soft story* pada *ground floor* berdasarkan kebutuhan ruangan yang lebih luas pada *ground floor* sebagai ruangan lobi, parkir kendaraan, *retail room*, *showroom*, ruang pertemuan, dan aula perbankan. *Ground floor* pada struktur ini memiliki ketinggian kolom yang lebih besar dibandingkan ketinggian kolom tipikal diatas dan dibawahnya, sehingga termasuk dalam tipe ketidakberaturan *soft story*. *Ground floor* pada bangunan ini terletak pada tingkat kedua setelah tingkat *basement* sehingga disebut dengan bangunan *soft second story*.



Gambar 2.6 *Layout* Bangunan *Soft Second Story*

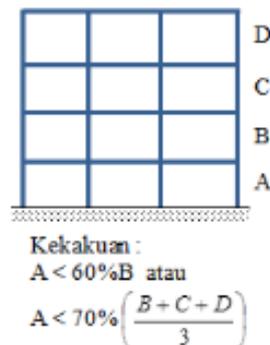
SNI menetapkan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak atau *soft story* terjadi jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat diatas atau dibawahnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat diatas atau dibawahnya.



Sumber : Universitas Pembangunan Jaya TSP 302 No.14

Gambar 2.7 Ketidakberaturan *Soft Story*

Sedangkan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan atau *extreme soft story* terjadi jika kekakuan lateral suatu tingkat kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat diatas atau dibawahnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat diatas atau dibawahnya.

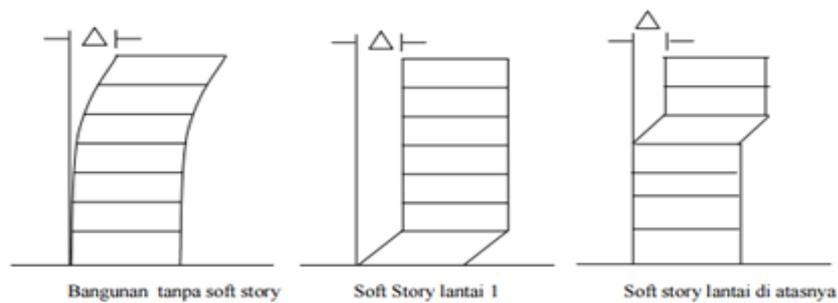


Sumber : Universitas Pembangunan Jaya TSP 302 No.14

Gambar 2.8 Ketidakberaturan *Soft Story* Berlebihan

Distribusi kekakuan dan kekuatan struktur yang tidak seragam menyebabkan terjadinya keruntuhan tingkat lunak atau *soft story mechanism* pada tingkat bangunan dengan kekakuan rendah. Fenomena ini dapat dideteksi dengan

terjadinya deformasi yang berlebihan pada tingkat tersebut. Kombinasi antara beban lateral dan beban gravitasi dengan kekakuan lateral yang rendah dapat menghasilkan efek pembesaran deformasi $P-\Delta$, dimana simpangan lateral (Δ) yang sangat besar terjadi pada kolom sehingga gaya aksial desak (P) dari kolom atas menjadi eksentris terhadap sumbu kolom dan mengakibatkan momen eksentris yang besar (Budiono & Wicaksono, 2016).

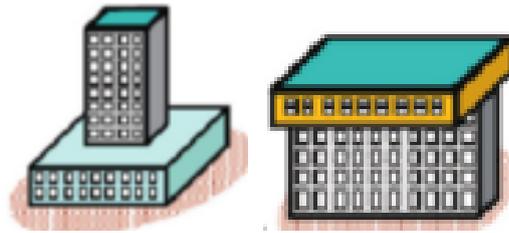


Sumber : Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol.1 No.1

Gambar 2.9 Efek $P-\Delta$ yang Menyebabkan Deformasi Berlebihan pada Bangunan Soft Story

b. Ketidakberaturan berat (massa)

Ketidakberaturan ini didefinisikan ada jika massa efektif suatu tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat yang ada di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari tingkat di bawahnya tidak perlu ditinjau. Persyaratan ketidakberaturan massa tidak berlaku bila deformasi antar tingkat atau *drift ratio* kurang dari 1,3 kali *drift ratio* tingkat di atasnya. Berbagai tipe tampilan gedung yang memiliki ketidakberaturan massa seperti pada gambar berikut (Indarto, Cahyo, & Adi Putra, 2013).

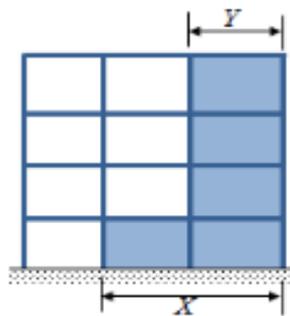


Sumber : Buku Merancang Rumah di Area Gempa

Gambar 2.10 Contoh Bangunan dengan Ketidakberaturan Massa

c. Ketidakberaturan geometri vertikal

Didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130% dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa tingkat didekatnya.



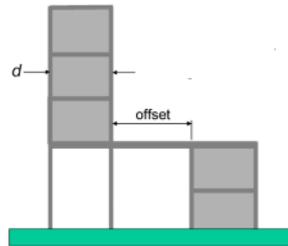
Dimensi $X > 130\%Y$

Sumber : Universitas Pembangunan Jaya TSP 302 No.14

Gambar 2.11 Tampilan Bangunan dengan Ketidakberaturan Geometri Vertikal

d. Diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal

Didefinisikan ada jika terdapat pergeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya.

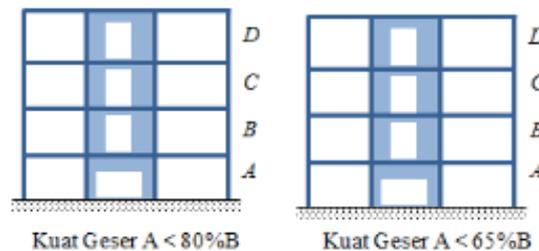


Sumber : Aplikasi SNI Gempa 2012 for Dummies

Gambar 2.12 Tampilan Bangunan dengan Penahan Gaya Lateral yang Diskontinu

e. Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat

Didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80% kuat lateral tingkat di atasnya. Sedangkan diskontinuitas kuat lateral tingkat berlebihan terjadi jika kuat lateral tingkat kurang dari 65% kuat lateral tingkat di atasnya dan ketidakberaturan dengan tingkat berlebihan ini tidak boleh melebihi dua tingkat atau ketinggian 9 m. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau (Indarto, Cahyo, & Adi Putra, 2013).



Sumber : Universitas Pembangunan Jaya TSP 302 No.14

Gambar 2.13 Tampilan Bangunan dengan Diskontinuitas Kuat Lateral Tingkat

2.1.3 Aspek Desain Bangunan Terhadap Gempa

1. Beban Gempa

Gempa adalah fenomena getaran yang diakibatkan oleh benturan atau pergesekan lempeng tektonik (*plate tectonic*) bumi yang terjadi di daerah patahan (*fault zone*). Gempa terjadi jika tekanan pada lapisan batuan yang disebabkan oleh

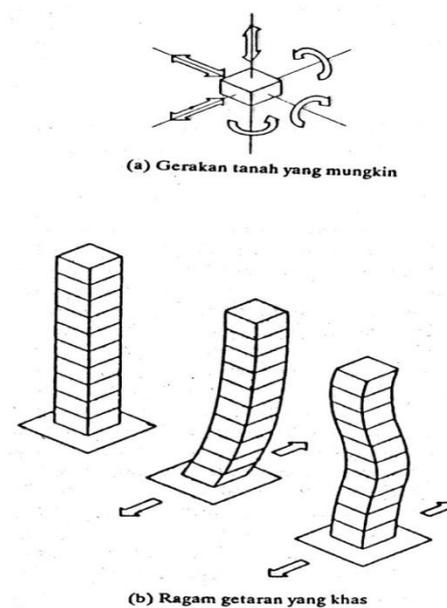
pergerakan lempeng tektonik bumi, melebihi kekuatan dari batuan tersebut sehingga lapisan batuan akan pecah di sepanjang bidang-bidang patahan. Jika rekahan ini sampai ke permukaan bumi, maka akan terlihat sebagai garis atau zona patahan. Jika terjadi pergerakan vertikal pada zona patahan di dasar lautan, maka hal ini dapat menimbulkan gelombang pasang yang hebat yang sering disebut sebagai tsunami (Indarto, Cahyo, & Adi Putra, 2013).

Pada saat bangunan bergetar akibat pengaruh dari gelombang gempa, maka akan timbul gaya-gaya pada bangunan karena adanya kecenderungan dari massa bangunan untuk mempertahankan posisinya dari pengaruh gerakan tanah. Beban gempa yang terjadi pada struktur bangunan merupakan gaya inersia. Pada saat terjadi gempa, gerakan tanah berperilaku tiga dimensi, ini berarti bahwa gaya inersia yang terjadi pada struktur akan bekerja ke segala arah, baik arah horisontal maupun arah vertikal secara bersamaan. Besarnya beban gempa yang terjadi pada struktur bangunan tergantung dari beberapa faktor yaitu massa dan kekakuan struktur, waktu getar alami dan pengaruh redaman dari struktur, kondisi tanah, jenis pondasi, dan wilayah kegempaan dimana struktur bangunan tersebut didirikan. Massa dari struktur bangunan merupakan faktor yang sangat penting, karena beban gempa merupakan gaya inersia yang besarnya sangat tergantung dari besarnya massa dari struktur. (Indarto, Cahyo, & Adi Putra, 2013)

2. Perilaku Struktur Bangunan Terhadap Gempa

Menurut Schodeck tahun 1998, perilaku struktur yang mengalami gempa bumi diilustrasikan dalam gambar 2.14. Percepatan tanah dasar menyebabkan semua tingkat bergerak pada arah yang sama, atau dapat pula massa masing-masing tingkat mempunyai percepatan yang berbeda pada berbagai arah. Karena adanya

gaya inersia, massa bagian atas gedung mengalami translasi tidak sama dengan translasi dasar gedung. Massa atas gedung mengalami translasi hingga melewati sumbu vertikal. Apabila selama proses ini gerakan tanah berubah sedemikian rupa sehingga percepatan dan translasi bolak balik, dapat terjadi deformasi yang sangat rumit diakibatkan gaya inersia pada massa gedung yang cenderung meneruskan gerakan yang telah terjadi, sementara pada saat bersamaan gerakan dalam arah berlawanan juga baru mulai terjadi.



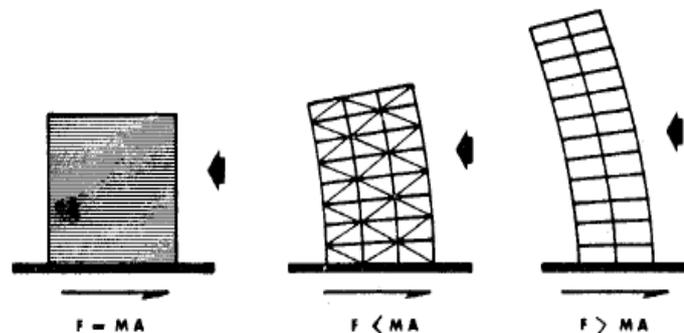
Sumber : (Schodek, 1998)

Gambar 2.14 (a) Gerakan Tanah yang Mungkin (b) Ragam Getaran yang Khas

Besarnya gaya inersia bergantung pada massa bangunan (m), percepatan gempa (a) dan sifat struktur sehingga bangunan harus diberikan kekakuan yang cukup agar gaya inersia yang terjadi tidak besar dan simpangan antar tingkat bangunan masih berada pada batas yang dizinkan. Apabila kekakuan bangunan sangat kecil maka pada saat tanah bergerak akibat gempa, bangunan akan

mengalami gerakan bolak-balik secara fleksibel atau yang dikenal dengan istilah struktur elastis. (Ismanto, 2009).

Apabila bangunan dan pondasinya kaku, maka percepatannya akan sama dengan permukaan sesuai dengan rumus Newton, $F = M.A$. Dalam kenyataannya hal ini tidaklah demikian, karena struktur bangunan dianggap berlaku elastis ketika dibebani beban lateral. Ketika terjadi gempa kuat, bangunan akan berubah bentuk sebagian secara tak elastis. Untuk struktur yang hanya sedikit berubah bentuk, artinya menyerap sebagian energi, besar gaya inersia akan kurang dari massa bangunan kali percepatannya $F < M.A$ (Gbr.2.15). Sedangkan struktur fleksibel, yang memiliki waktu getar alamiah lebih lama dibandingkan dengan bangunan yang lebih kaku, maka ia akan mengalami gaya yang lebih sedikit. Akan tetapi, struktur yang sangat fleksibel memiliki waktu getar alamiah mendekati waktu getar gelombang permukaan sehingga dapat mengalami gaya inersia yang jauh lebih besar akibat gerak permukaan yang berulang-ulang $F > M.A$ (Gbr.2.15). Struktur yang sangat fleksibel dapat melentur cukup besar sehingga menyebabkan kerusakan nonstruktur dan ketidaknyamanan psikologis para penghuni (Schueller, 1989).



Gambar 2.15 Respon Bangunan Kaku dan Bangunan Fleksibel Terhadap Gempa

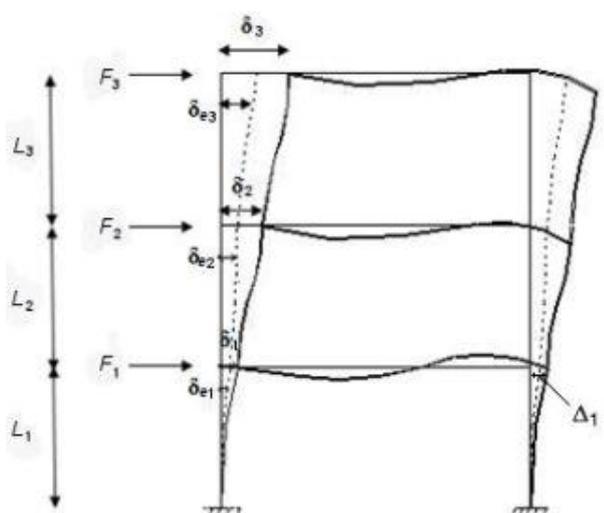
3. Respon Struktur Bangunan Terhadap Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2012, respon struktur bangunan terhadap gempa diwujudkan dalam :

a. Simpangan Antar Tingkat

Simpangan dapat diukur dari dua jenis berdasarkan SNI 1726:2012 yaitu *displacement* dan *story drift*. *Displacement* adalah simpangan suatu tingkat yang diukur dari dasar tingkat bangunan sedangkan *story drift* adalah simpangan suatu tingkat yang diukur dari dasar tingkat di bawahnya.

Penentuan simpangan antar tingkat tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau sesuai pada gambar 2.16. 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.



Sumber : SNI 1726:2012

Gambar 2.16 Penentuan Simpangan Antar Tingkat

Tingkat 1

F_1 = gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_{e1} = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

$\delta_1 = C_d \delta_{e1}/I_E =$ perpindahan yang diperbesar

$\Delta_1 = \delta_1 \leq \Delta_a$

Tingkat 2

$F_2 =$ gaya gempa desain tingkat kekuatan

$\delta_{e2} =$ perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

$\delta_2 = C_d \delta_{e2}/I_E =$ perpindahan yang diperbesar

$\Delta_2 = (\delta_{e2} - \delta_{e1})C_d/I_E \leq \Delta_a$

Tingkat 3

$F_3 =$ gaya gempa desain tingkat kekuatan

$\delta_{e3} =$ perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

$\delta_3 = C_d \delta_{e3}/I_E =$ perpindahan yang diperbesar

$\Delta_3 = (\delta_{e3} - \delta_{e2})C_d/I_E \leq \Delta_a$

Keterangan :

$\Delta_1 =$ simpangan antar tingkat

$\Delta_1/L_i =$ rasio simpangan antar tingkat

$\delta_3 =$ perpindahan total

Bagi struktur dengan ketidakberaturan tingkat lunak yang dirancang untuk kategori desain seismik C,D,E atau F, simpangan antar tingkat desain Δ , harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik-titik atas dan di bawah tingkat yang letaknya segaris secara vertikal di sepanjang salah satu bagian tepi struktur. Defleksi pusat massa di tingkat (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$C_d =$ faktor amplikasi defleksi dalam tabel 2.8

$\delta_{xe} =$ defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada analisis elastis

$I_e =$ faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan tabel 2.4

Menurut SNI 1726-2012, simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat tingkat ijin (Δ_a) seperti yang terlihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.1 Simpangan Antar Tingkat Izin (Δ_a)

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur selian dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistim dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat tingkat.	$0.025h_{sx}$	$0.020h_{sx}$	$0.015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever atau batu bata	$0.010h_{sx}$	$0.010h_{sx}$	$0.010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0.070h_{sx}$	$0.070h_{sx}$	$0.007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0.020h_{sx}$	$0.015h_{sx}$	$0.010h_{sx}$

Sumber : SNI 1726:2012

b. Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Gaya geser dasar atau *base shear* adalah gaya lateral yang terjadi pada tingkat dasar bangunan akibat pergerakan tanah. Gaya geser dasar merupakan penyederhanaan dari getaran gempa bumi yang bekerja pada dasar bangunan dan selanjutnya digunakan sebagai gaya gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung (Cornelis, Bunganaen, & Umbu, 2014).

Pada bangunan gedung bertingkat, massa dari struktur dianggap terpusat pada tingkat-tingkat dari bangunan, dengan demikian gaya geser dasar akan terdistribusi pada setiap tingkat tingkat sebagai gaya horizontal yang bekerja pada masing-masing tingkat bangunan. Akibat dari adanya gaya horizontal mengakibatkan terjadinya perpindahan dan simpangan antar tingkat (Indarto, Cahyo, & Adi Putra, 2013).

Besarnya gaya geser dasar V yang bekerja pada dasar bangunan, dinyatakan sebagai berikut :

$$V = C_s \cdot W = \frac{S_{DS} \cdot I_e}{R} \cdot W \quad (2.2)$$

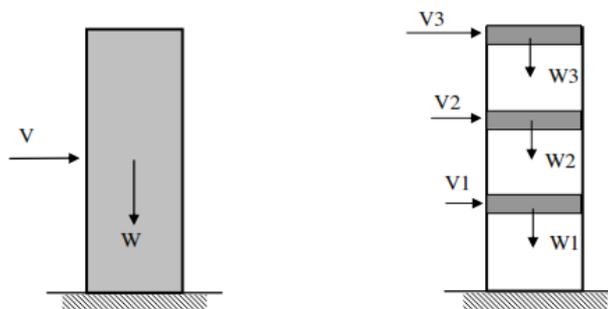
dengan,

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

I_e = Faktor Keutamaan Gempa

R = Koefisien Modifikasi Respons

W = Beban Efektif Seismik (kN)



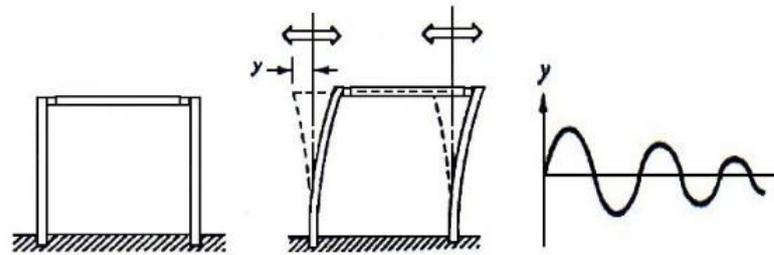
Sumber : Aplikasi SNI 1726:2012 for Dummies

Gambar 2.17 Gaya Horizontal pada Tingkat Bangunan

c. Periode Getar Alami Struktur (T)

Salah satu aspek penting dalam meninjau perilaku struktur bangunan yang bergetar akibat gempa adalah waktu getar alami struktur. Perhatikanlah struktur sederhana yang diilustrasikan pada gambar 2.18. Jika pada puncak dari struktur diberikan perpindahan horisontal dan kemudian dilepaskan, maka bagian atas dari struktur akan bergetar atau berosilasi bolak-balik dengan amplitudo yang semakin mengecil sampai akhirnya struktur kembali pada kondisi diam. Gerakan dari getaran struktur ini tidak acak sama sekali, tetapi teratur. Getaran seperti ini disebut sebagai getaran harmonis, karena pola getaran berubah secara sinusoidal terhadap waktu (Indarto, Cahyo, & Adi Putra, 2013).

Waktu yang diperlukan getaran untuk melakukan satu siklus bolak-balik lengkap disebut waktu getar alami (T), sedangkan frekuensi getaran (f) didefinisikan sebagai banyaknya siklus yang terjadi untuk satu satuan waktu. Hubungan antara waktu getar dan frekuensi getar dinyatakan dalam bentuk persamaan : $f = 1/T$.



Sumber : Aplikasi SNI 1726:2012 for Dummies

Gambar 2.18 Getaran Bebas dan Amplitudo dari Struktur

Besarnya periode getaran 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 yang 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. Struktur seperti ini mempunyai waktu getar alami yang pendek (Indarto, Cahyo, & Adi Putra, 2013).

Berdasarkan SNI 1726:2012, Periode fundamental atau periode getar alami struktur (T) tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari tabel 2.2 dan periode fundamental pendekatan (T_a). Diiijinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan (T_a) untuk menentukan periode fundamental struktur (T) sebagai berikut :

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (2.3)$$

Dengan h_n adalah ketinggian struktur (m) di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari tabel 2.3.

Tabel 2.2 Koefisien untuk Batas Atas pada Perioda yang Dihitung

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

Sumber : SNI 1726:2012

Tabel 2.3 Nilai Parameter perioda 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 defleksi jika dikenal gaya gempa :		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja 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

Sebagai alternatif, diijinkan untuk menentukan perioda fundamental pendekatan T_a dalam detik dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat di mana sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m.

$$T_a = 0,1N I \quad (2.4)$$

dengan, N = jumlah tingkat

Perioda fundamental struktur (T) yang digunakan :

Jika $T_c > C_u T_a$ gunakan $T = C_u T_a$

Jika $T_a < T_c < C_u T_a$ gunakan $T = T_c$

Jika $T_c < T_a$ gunakan $T = T_a$

dengan,

T_c = Periode fundamental struktur yang diperoleh dari program analisis struktur.

4. Parameter Analisis Beban Seismik

Dibawah ini parameter-parameter yang ditinjau dalam analisis beban seismik berdasarkan SNI 1726:2012, antara lain :

a. Kategori Resiko Struktur Bangunan (I-IV) dan Faktor Keutamaan (I_e)

Kategori risiko bangunan dibagi menjadi 4 kategori berdasarkan fungsi bangunannya. Semakin kompleks fungsinya maka akan semakin berisiko suatu bangunan jika terkena gempa. Berikut ini berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung.

Tabel 2.4 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori 1 risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/mall - Bangunan industri	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan UGD - Fasilitas penitipan anak	III

- Penjara - Bangunan untuk orang jompo	
Gedung dan non gedung yang ditunjukan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan UGD - 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	IV

Sumber : SNI 1726:2012

Tabel 2.5 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber: SNI 1726-2012

b. Kategori desain seismik

Struktur bangunan harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik berdasarkan dengan kategori risiko bangunan. Struktur dengan kategori resiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respons spektral 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 risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral 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 berdasarkan respons spektral percepatan desainnya, S_{DS} an S_{D1} ditentukan sebagai berikut :

Tabel 2.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{DS}

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
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 1726-2012

Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{D1}

Nilai S_{D1}	Kategori resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,50$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 1726-2012

c. Pemilihan sistem struktur dan parameter sistem (R , C_d , dan Ω_o)

SNI 1726:2012 menetapkan berbagai macam tipe sistem penahan gaya gempa lateral dan elemen vertikal, diantaranya pada tabel 2.8. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur. Koefisien modifikasi respons yang sesuai R , faktor kuat lebih sistem Ω_o , dan koefisien amplifikasi defleksi C_d , harus dikenakan pada setiap sistem dan digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar tingkat tingkat desain.

Kondisi bangunan dalam penelitian ini ditetapkan sebagai rangka beton bertulang dengan dinding geser yang sistem strukturnya ditentukan pada tabel berikut :

Tabel 2.8 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons R	Faktor kuat lebih sistem Ω_0	Faktor pembesaran defleksi C_d	Batasan sistem struktur dan Batasan tinggi struktur h_n (m)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5/2	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	2 1/2	4 1/2	TB	TB	TI	TI	TI
3. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2 1/2	TB	TB	TI	TI	TI
4. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5 1/2	TB	TB	TB	TB	TI
5. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5 1/2	TB	TB	48	30	TI
6. Rangka baja pemikul momen menengah	4 1/2	3	4	TB	TB	10	TI	TI
7. Rangka baja pemikul momen biasa	3 1/2	3	3	TB	TB	TI	TI	TI

Sumber : SNI 1726:2012 dengan TB : Tidak dibatasi dan TI : Tidak diijinkan

5. Prosedur Analisis Dinamis Ragam Respons Spektrum

Prosedur analisis perencanaan struktur bangunan gedung berdasarkan SNI 1726:2012 dalam menahan gaya gempa dapat dihitung menggunakan analisis statik ekuivalen, analisis dinamik ragam respons spektrum, dan prosedur riwayat respons seismik atau *time history*. Menurut Pawirodikromo, W. (2012), analisis dinamik *time history* merupakan metode yang paling akurat, tetapi memerlukan

hitungan yang banyak dan waktu yang lama. Sedangkan analisis statik ekuivalen masih dapat digunakan pada bangunan *multi-storey* namun lebih akurat dianalisis secara dinamik yaitu ragam spektrum respons. Ragam spektrum respons bersifat pendekatan, karena respon struktur yang diperoleh bukan nyata-nyata oleh beban gempa tertentu, melainkan berdasarkan pada respon spektrum (yang merupakan produk akhir dari beberapa gempa). SNI 1726:2012 menetapkan prosedur analisis yang boleh digunakan untuk struktur bangunan berdasarkan kategori resiko, perioda fundamental, dan ketidakberaturan struktur yaitu sebagai berikut :

Tabel 2.9 Prosedur Analisis yang Boleh Digunakan

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis statik ekuivalen	Analisis Ragam Respon Spektrum	Analisis riwayat respon seismik
B, C	Bangunan dengan kategori risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan kategori risiko I atau II, dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
	Semua struktur lainnya	I	I	I
	Bangunan dengan kategori risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan kategori risiko 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 $T < 3,5T_s$ dan mempunyai hanya	I	I	I

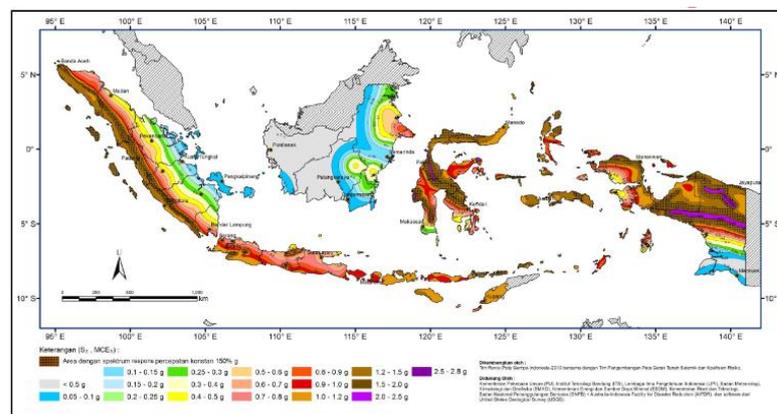
	ketidakberaturan horizontal tipe 2, 3, 4, atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a, atau 5b			
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

Catatan: I; Dijinkan, TI; Tidak Dijinkan
(Sumber: SNI 1726-2012)

Dibawah ini merupakan prosedur analisis beban seismik ragam respons spektrum antara lain :

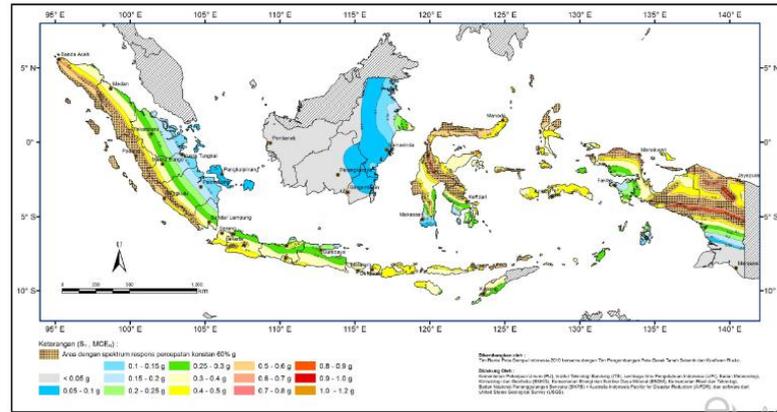
a. Menentukan Parameter Percepatan Gempa (S_s , S_I)

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_I (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R , 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi.



Sumber : SNI 1726:2012

Gambar 2.19 Peta Respon Spektra Percepatan 0.2 Detik (S_s) di Batuan Dasar (S_B) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 tahun



Sumber : SNI 1726:2012

Gambar 2.20 Peta Respon Spektra Percepatan 1.0 Detik (S_1) di Batuan Dasar (S_B) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun

b. Menentukan kelas situs (SA-SF)

Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan tabel 2.10 berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwenang atau ahli desain geoteknik bersertifikat, dengan minimal mengukur secara independen dua dari tiga parameter tanah yang tercantum dalam tabel 2.10. Dalam hal ini, kelas situs dengan kondisi yang lebih buruk harus diberlakukan. Apabila tidak tersedia data tanah yang spesifik pada situs sampai kedalaman 30 m, maka sifat-sifat tanah harus diestimasi oleh seorang ahli geoteknik yang memiliki sertifikat/ijin keahlian yang menyiapkan laporan penyelidikan tanah berdasarkan kondisi geotekniknya. Penetapan kelas situs SA dan

kelas situs *SB* tidak diperkenankan jika terdapat lebih dari 3 m lapisan tanah antara dasar telapak atau rakit fondasi dan permukaan batuan dasar.

Tabel 2.10 Klasifikasi 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 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras)	350 sampai 750	>50	>100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dari karakteristik 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)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah 2. Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) 3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan $PI > 75$) Lapisan lempung lunak dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa.		

Sumber : SNI 1728-2012

Catatan :

N/A = Tidak dapat dipakai

Keterangan:

V_s = Total gaya geser lateral seismik rencana

N = Tahanan penetrasi standar

S_u = Kuat geser nilair

- c. Menentukan Koefisien-koefisien situs dan paramater-parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER)

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada peioda 0,2 detik dan peioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi getaran terkait percepatan pada

getaran perioda pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan pada getaran perioda 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{MI}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini.

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.5)$$

$$S_{MI} = F_v S_I \quad (2.6)$$

Dengan,

S_s = parameter respons spektrum percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda pendek

S_I = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda 1,0 detik

F_a = Percepatan pada getaran perioda pendek

F_v = Percepatan pada getaran perioda 1 detik

Tabel 2.11 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda 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				

Sumber : SNI 1726-2012

Tabel 2.12 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda 1 detik, S_I				
	$S_I \leq 0.1$	$S_I = 0.2$	$S_I = 0.3$	$S_I = 0.4$	$S_I \geq 0.5$
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				

Sumber : SNI 1726-2012

Catatan:

(a) Untuk nilai-nilai antara S_I dapat dilakukan interpolasi linier

(b) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

d. Menentukan percepatan spektral desain

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, S_{DS} dan pada perioda 1 detik S_{D1} ditentukan sebagai berikut :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.7)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.8)$$

e. Menentukan Spektrum Respons Desain

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara dan prosedur gerak tanah dari spesifik situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu gambar 2.21 dan mengikuti ketentuan di bawah ini:

1) Untuk perioda yang lebih kecil dari T_o ,spektrum respons percepatan desain, S_a harus diambil dari persamaan

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_o}) \quad (2.9)$$

2) Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_o dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain S_a sama dengan S_{DS}

3) Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_o dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain S_a diambil berdasarkan persamaan

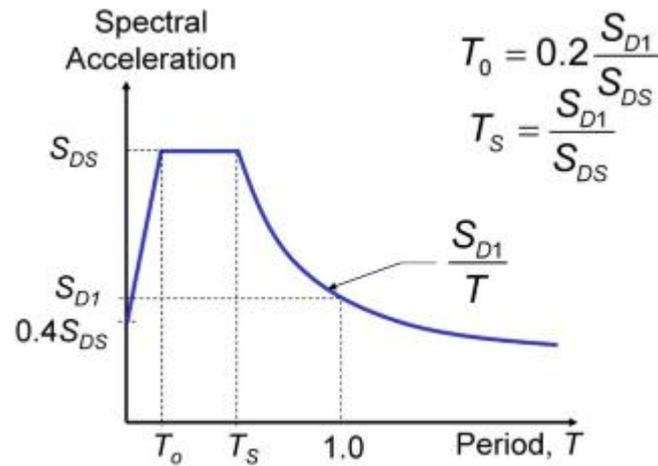
$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.10)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek

S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik

T = perioda getar fundamental struktur



Sumber : Aplikasi SNI 1726:2012 for Dummies

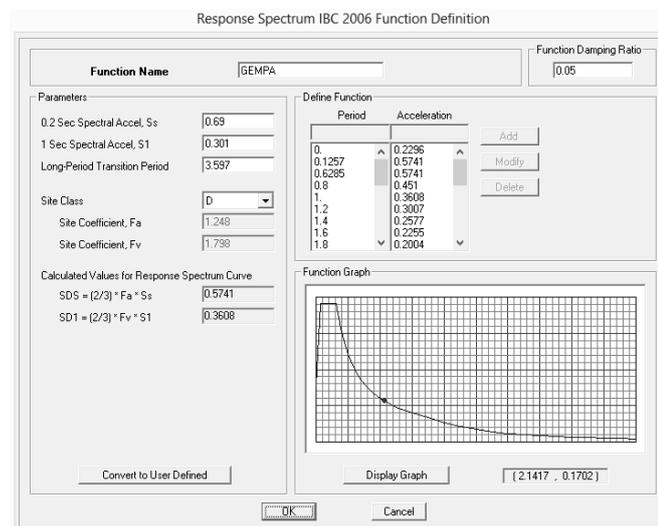
Gambar 2.21 Ragam Respons Spektrum

2.1.4 Analisis Beban Gempa dengan Program ETABS

Program ETABS merupakan program analisis struktur yang dikembangkan oleh perusahaan *software Computers and Structures, Incorporated* (CSI) yang berlokasi di Berkeley, California, Amerika Serikat. Selain program analisis struktur ETABS ada beberapa program yang dikembangkan oleh CSI diantaranya program SAP dan program SAFE. Program ETABS digunakan secara spesialis untuk analisis struktur *high rise building* seperti bangunan perkantoran, apartemen, rumah sakit, dll. Program ETABS secara khusus difungsikan untuk menganalisis lima perencanaan struktur yaitu analisis frame baja, analisis frame beton, analisis balok komposit, analisis baja rangka batang, dan analisis dinding geser. Oleh karena itu penggunaan program ETABS sangat tepat untuk menganalisis struktur bangunan tinggi dan telah teruji aplikasinya di lapangan berdasarkan ketepatan dari output yang dihasilkan dan waktu yang cepat dalam menganalisisnya (Suryanto, 2014).

Pemodelan struktur bangunan terhadap beban gempa dilakukan dengan program ETABS v9.7.4 menggunakan analisis dinamik ragam respons spektrum. Adapun prosedur dalam menginput ragam respons spektrum kedalam ETABS adalah :

- Menentukan respons spektrum dengan menghitung parameter-parameter analisis beban seismik beberapa diantaranya S_{D1} , S_{DS} , T , T_0 dan S_a
- Memasukkan periode dan akselerasi gempa pada kotak dialog *response spectrum function definition*



Gambar 2.22 Response Spectrum Function Definition

- Menentukan spektrum pada *response spectrum case data* untuk membuat pengaturan respon spektrum untuk arah X dan Y



Gambar 2.23 Response Spektrum Case Data

- d. Menentukan kombinasi pembebanan berdasarkan parameter SDS yang dihitung dan nilai redundansi (ρ) ke dalam persamaan kombinasi pembebanan.

2.2. Penelitian yang Relevan

Hasil penelelitian terdahulu yang relevan dengan tema penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Jurnal sipil statik vol.2 no.4 dengan judul : “Analisis *Pushover* pada Bangunan dengan *Soft First Story*” oleh Hizkia Yehezkiel Mamesh, Steenie E. Wallah, Reky Stenly Windah. Penelitian ini menganalisis bangunan *soft story* dengan variasi ketinggian pada tingkat dasar bangunan menggunakan analisis *pushover* untuk mengetahui besar gaya geser dasar maksimum serta besar simpangan maksimum struktur sebelum mencapai keruntuhan. Tipe struktur bangunan dimodelkan sebagai kantor 10 tingkat dengan variasi ketinggian tingkat dasar 5 m untuk *non soft story*, 6 m untuk *soft first story 1*, dan 7 m untuk *soft first story 2*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gaya geser dan simpangan

maksimum terjadi pada gedung *non soft story* sebesar 2334 ton dan 0,34 m. Sedangkan gaya geser dan simpangan minimum terjadi pada gedung *soft story* 2 sebesar 1359 ton dan 0,26 m. Artinya, bangunan *non soft story* dengan konfigurasi tidak beraturan terbesar memiliki ketahanan terhadap gempa lebih rendah dibandingkan dengan bangunan beraturan atau *non soft story*.

- b. Jurnal dari konferensi nasional teknik sipil 7 dengan judul : “Efek *Soft Storey* pada Respon Dinamik Struktur Gedung Beton Bertulang Tingkat Tinggi” oleh Antonius dan Aref Widhianto. Penelitian ini membandingkan 2 desain struktur yaitu sistem struktur *soft story* dan *non soft story* di dalam desain bangunan tingkat tinggi. Analisis yang digunakan yaitu analisis dinamik ragam respon spektrum, dimana digunakan metoda modal analisis untuk mengetahui modulus getar antar tingkat. Bangunan dimodelkan bertingkat 20 tingkat dengan *soft story* pada tingkat 6 dan 7. Hasil penelitian ditunjukkan dengan grafik yang menghasilkan loncatan gaya geser yang signifikan pada tingkat 6 dan 7 bangunan *soft story*, dimana gaya geser menjadi lebih rendah dibandingkan gaya geser di daerah yang sama untuk struktur *non soft-storey*. Hal ini menunjukkan perubahan gaya geser secara tiba-tiba pada kolom *soft storey* memicu lebih cepatnya deformasi struktur secara keseluruhan. Sedangkan modulus getar yang terjadi pada struktur gedung dengan *soft storey* mengindikasikan perilaku struktur menjadi tidak beraturan dimana respon bolak balik terjadi secara ekstrim pada setiap perpindahan modulus getar. Artinya, perilaku ekstrim pada bangunan *non soft story* dapat menimbulkan torsi yang berlebihan dan mempercepat penurunan kekakuan pada struktur.

c. Jurnal dari *International Journal of Engineering Technology and Computer Research* volume 3 no. 4 dengan judul : “*Seismic Response of Soft Storey on High Rise Building Frame*” oleh Singh Shailendra dan Vasaikar Hemant Babulal. Penelitian ini memodelkan struktur gedung beton bertulang 20 tingkat dengan *soft story* dengan dimensi struktur yang tipikal di semua tingkat. Penelitian ini membandingkan hasil analisis *soft story* pada tingkat yang berbeda mencapai 20 variasi *soft story* yaitu dari *soft first story* sampai *soft twenty story* dengan analisis dinamis respon spektrum. Hasil penelitian menunjukkan simpangan maksimum terjadi pada *soft story* di tingkat 14 dan simpangan minimum terjadi pada *soft story* di tingkat pertama dengan perbedaan simpangan sebesar 25%. Sedangkan rata-rata semua tingkat lainnya yang diberikan *soft story* memiliki perbedaan simpangan mencapai 6%. Disimpulkan bahwa dalam penelitian ini perilaku *soft story* di tingkat 14 lebih signifikan dibandingkan *soft story* di tingkat tingkat lainnya sehingga memerlukan analisis lebih lanjut mengenai perilaku struktur *soft story* yang tidak terprediksi perilakunya.

2.3 Kerangka Konseptual

Perilaku bangunan selama terjadi gempa bumi sangat tergantung dari konfigurasi bangunan secara keseluruhan, ukuran, serta mekanisme penyaluran gaya gempa menuju tanah. Struktur bangunan dengan bentuk yang tidak beraturan baik dari arah horisontal maupun vertikal memiliki kapasitas ketahanan terhadap gempa lebih buruk sehingga bangunan tidak beraturan lebih rentan mengalami keruntuhan akibat merespon beban gempa.

Dikarenakan kebutuhan sosial dan fungsional untuk menciptakan sebuah ruangan yang luas dan megah pada *ground floor*, menyebabkan terjadinya ketidakteraturan pada tingkat kedua bangunan yang disebut dengan bangunan *soft second story*. Padahal, hal tersebut kemungkinan menyebabkan terjadinya pengurangan kekuatan dan kekakuan kolom pada tingkat bangunan sehingga sangat berbahaya terhadap beban gempa. Banyak penelitian mengungkapkan bahwa kasus keruntuhan akibat ketidakberaturan *soft story* adalah kasus yang sering ditemui dari runtuh-runtuhan bangunan akibat gempa yang terjadi dimuka bumi dan di negara manapun.

Dengan adanya resiko kegagalan struktur, maka analisis terhadap perilaku struktur bangunan *soft second story* dengan variasi ketinggian kolom pada *ground floor* perlu dipelajari lebih dalam untuk mengetahui seberapa besar ketinggian yang aman pada tingkat bangunan sehingga dapat menjadi awal studi ketika merencanakan bangunan dengan kriteria tersebut di masa yang akan datang. Analisis pada penelitian ini tidak memperhitungkan perkuatan kolom pada tingkat bangunan, sebab terdapat keterbatasan dalam menganalisis struktur secara kompleks dengan perkuatan kolom.

2.4 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan landasan teori dan kerangka konseptual di atas dapat dirumuskan hipotesis sebagai berikut :

Diduga terjadi kegagalan struktur pada struktur bangunan dengan ketinggian kolom maksimum yang direncanakan pada *ground floor*.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat, Waktu dan Subjek Penelitian

Penelitian ini mengambil subjek penelitian pada struktur bangunan Wisma Cipinang Indah yang memiliki 9 tingkat dan berlokasi di Jakarta Timur. Penelitian ini akan dilaksanakan 2 bulan terhitung sejak bulan Mei sampai Juni 2017.

3.2 Data - Data Penelitian

Adapun data-data penelitian yang digunakan dalam analisis adalah sebagai berikut :

3.2.1 Data Teknis Struktur

- a. Lokasi bangunan : Kota Jakarta Timur
- b. Fungsi bangunan : Perkantoran
- c. Konstruksi bangunan : Struktur beton bertulang
- d. Sistem struktur : Sistem rangka pemikul momen khusus dengan pengaku dinding geser
- e. Jenis tanah : SD (Tanah Sedang)
- f. Jumlah tingkat : 8 tingkat dan 1 *basement*
- g. Ketinggian Struktur : 41,05 m
- h. Ketinggian antar tingkat :
 - *Basement – Ground Floor* : 4,05 m
 - *Ground Floor – Lt.1* : 5 m
 - Lt. 1 – Lt. 8 : 3,8 m

i. Spesifikasi material :

1) Beton Bertulang

- Mutu beton (f_c') : 35 MPa
- Elastisitas beton : $4700\sqrt{f_c'}$
- Berat jenis beton : 24 kN/m³
- Selimut beton :
- Balok : 30 mm
- Kolom : 45 mm
- Plat : 20 mm
- Dinding geser : 30 mm

2) Baja Tulangan

- Mutu baja (f_y) : 400 MPa
- Elastisitas baja : 200000 MPa

3) *Metal Deck*

- Mutu *deck* (f_u) : 570 Mpa

4) Dinding Penahan Tanah

- Tebal : 300 mm

3.2.2 Dimensi Struktur Eksisting

Berikut ini adalah detail dari elemen struktur bangunan :

a. Dimensi balok

Tabel 3.1 Tipe dan Dimensi Balok Struktur

Type	Dimensi (mm)	Untuk Tingkat	Type	Dimensi (mm)	Untuk Tingkat
PC1	400 × 700	<i>Basement s.d Roof</i>	G4	300 × 700	<i>Lt. 6 s.d Roof</i>
PC2	400 × 700	<i>Basement s.d Roof</i>	G5	300 × 700	<i>Ground s.d Roof</i>
PC3	400 × 700	<i>Basement s.d Roof</i>	G6	300 × 700	<i>Lt. 3 s.d Roof</i>
PC4	500 × 800	<i>Basement s.d Roof</i>	G7	300 × 700	<i>Lt. 3 s.d Lt.5</i>

Tipe	Dimensi (mm)	Untuk Tingkat	Tipe	Dimensi (mm)	Untuk Tingkat
PC5	500 × 800	<i>Basement s.d Roof</i>	TB1	400 × 800	<i>Basement</i>
G8	300 × 700	<i>Ground s.d Roof</i>	TB2	300 × 700	<i>Basement</i>
G9	300 × 700	<i>Ground s.d Lt.2</i>	TB3	300 × 700	<i>Basement</i>
G10	300 × 700	<i>Ground s.d Lt. 6</i>	TB1A	300 × 600	<i>Basement</i>
G11	300 × 700	<i>Ground</i>	TB2A	300 × 500	<i>Basement</i>
B5	300 × 700	<i>Ground s.d Roof</i>	B1	200 × 500	<i>Ground s.d Roof</i>

b. Dimensi kolom

Dimensi kolom mengalami pengecilan dari tingkat *basement* sampai tingkat atap yang ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Tipe dan Dimensi Kolom Struktur

Tipe Kolom	Dimensi (mm)	Untuk Tingkat	Tulangan Pokok (mm)	Sengkang (mm)
K1	1000 × 1000	<i>Basement s.d Lt.3</i>	24 D25	D10 – 100
	900 × 900	<i>Lt.5 s.d Lt.7</i>	20 D25	D10 – 100
	800 × 800	<i>Lt.8 s.d Lt.Roof</i>	16 D25	D10 – 150
K2	1250 × 1250	<i>Basement s.d Lt.3</i>	32 D25	D10 – 100
	1000 × 1000	<i>Lt.5 s.d Lt.7</i>	24 D25	D10 – 100
	800 × 800	<i>Lt.8 s.d Lt.Roof</i>	16 D25	D10 – 160

c. Dimensi plat tingkat

Tabel 3.3 Tipe dan Dimensi Plat Tingkat

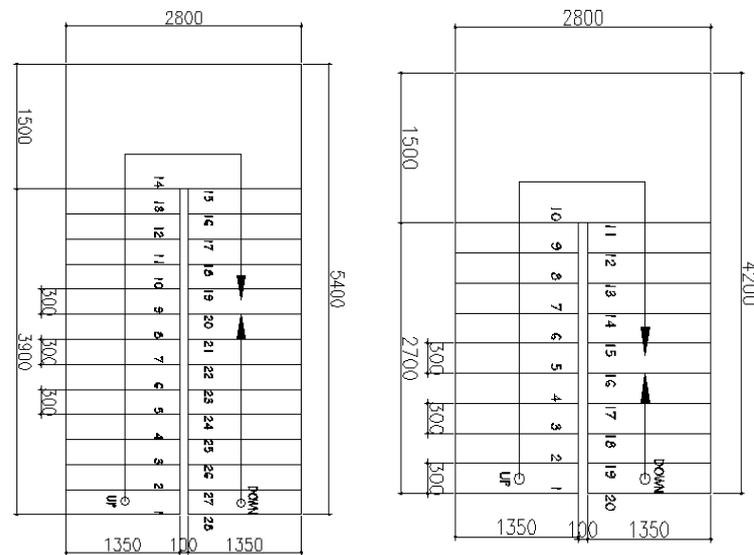
Tipe	Tebal Plat (mm)	Untuk Tingkat
S1	120	<i>Basement s.d Roof</i>
S2	120	<i>Ground s.d Roof</i>
S3	200	<i>Basement</i>
S4	120	<i>Basement s.d Roof</i>
S5	150	<i>Basement s.d Roof</i>

d. Dinding geser

Tabel 3.4 Tipe dan Dimensi Dinding Geser

Tipe Wall	Untuk Tingkat	Dimensi (mm)	Untuk Tingkat
W2	Ground Floor s.d Lt.3	200	Basement s.d Lt.3
W3	Lt.5 s.d Lt.8	200	Lt.3 s.d Roof

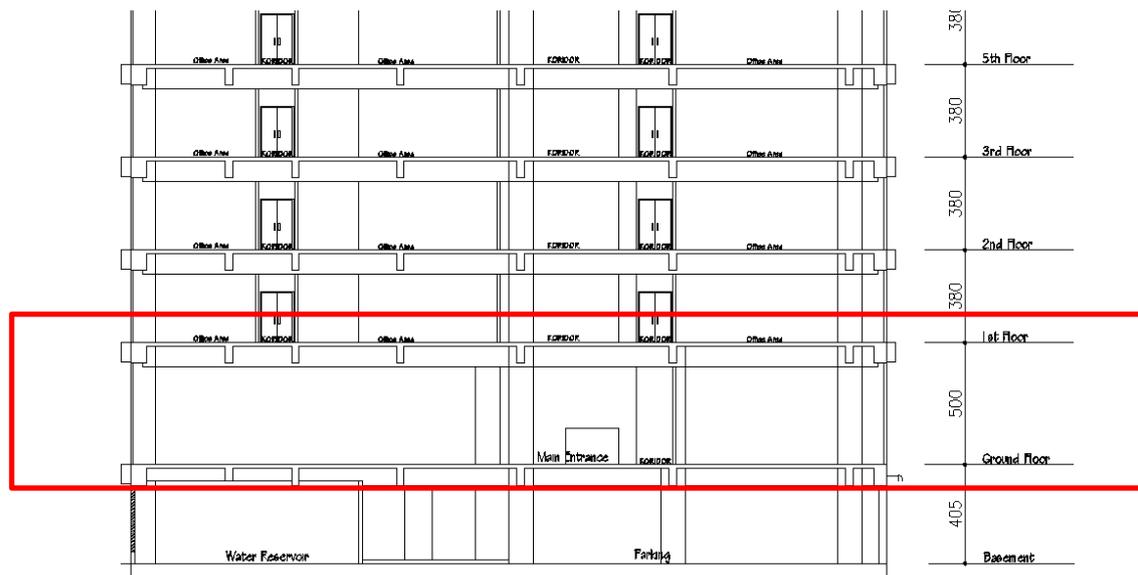
e. Dimensi tangga



Gambar 3.1 Detail Tangga untuk Tingkat *Ground* dan Tingkat Tipikal Struktur

3.2.3 Detail Struktur *Soft Second Story*

Bangunan dengan *soft second story* atau tingkat lemah kedua adalah bangunan yang memiliki ketidakberaturan *soft story* pada tingkat kedua bangunan. Pada penelitian ini, analisis dilakukan pada tingkat kedua bangunan yaitu *ground floor*. *Ground floor* terletak di tingkat kedua setelah tingkat *basement* yang ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 *Soft Second Story* pada tingkat *Ground Floor*

3.2.4 Variasi Penelitian

Adapun alasan pemilihan konstanta untuk variasi ketinggian kolom adalah salah satu penelitian yang dilakukan oleh Hizkia, dkk tahun 2014, dilakukan analisis bangunan *soft first story* dengan interval 1 m untuk variasi ketinggian kolom pada tingkat pertama bangunan. Hasil penelitian didapatkan bahwa setiap penambahan 1 m pada *soft first story*, simpangan yang terjadi rata-rata mencapai 12 %. Oleh karena itu, analisis besar simpangan pada bangunan *soft second story* dengan interval ketinggian kolom diatas 1 m perlu dilakukan dan juga dilakukan perbandingan besar simpangan antara bangunan *soft first story* dengan bangunan *non soft story*. Variasi ketinggian kolom pada bangunan *soft second story* ditunjukkan pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Variasi Ketinggian Kolom *Ground Floor*

No.	<i>Ground Floor</i>	Ketinggian
1	Eksisting	5 m
2	Variasi 1 (<i>non soft story</i>)	3,8 m

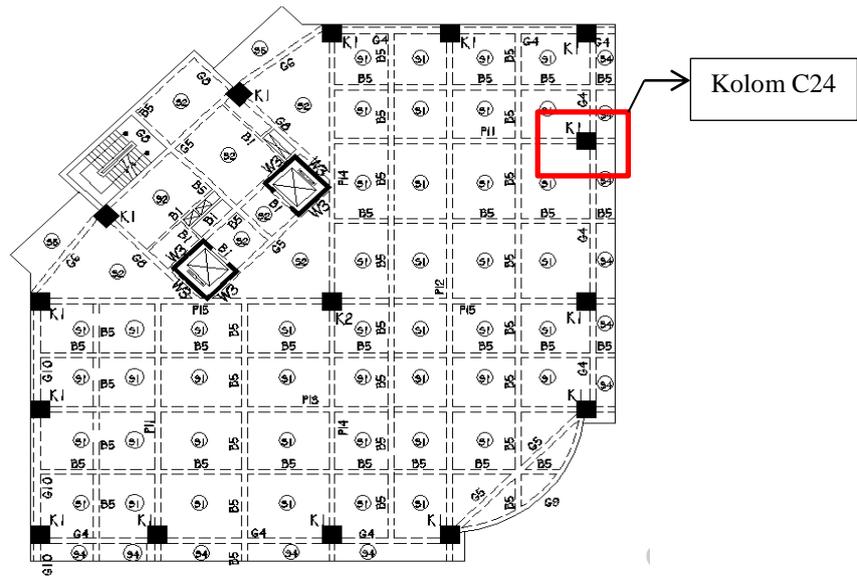
No.	<i>Ground Floor</i>	Ketinggian
3	Variasi 2	6,5 m
4	Variasi 3	7,5 m
5	Variasi 4	8 m
6	Variasi 5	16 m

3.2.5 Pemilihan Struktur Analisis

Analisis terhadap perilaku struktur bangunan *soft second story* meninjau gaya dalam pada struktur yaitu kapasitas kolom dan momen balok. Berikut ini pemilihan struktur untuk dianalisis besar gaya dalamnya pada bangunan.

a. Kapasitas kolom

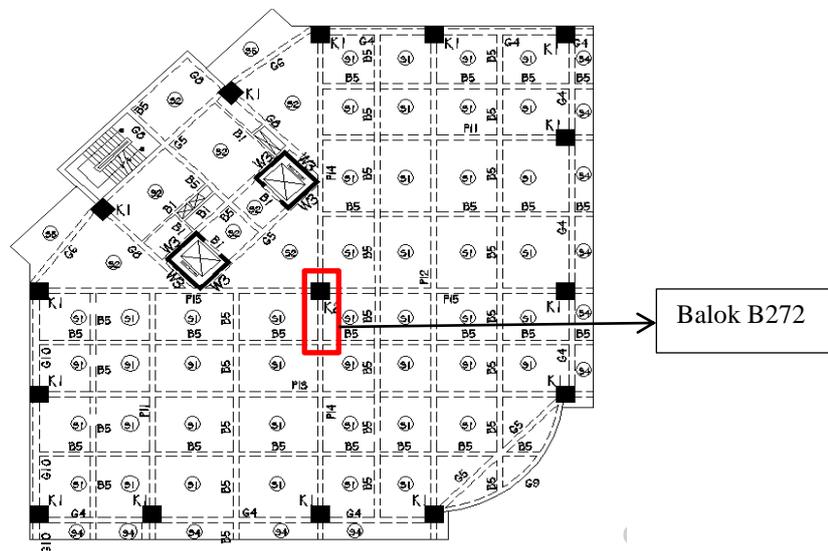
Setelah proses input data struktur yang mencakup struktur eksisting dan 5 variasi dengan penambahan ketinggian pada kolom *ground floor* selesai, maka proses selanjutnya adalah pemeriksaan keadaan kolom dalam menerima setiap jenis pembebanan untuk mengetahui apakah kolom tersebut dapat memikul beban aksial dan momen dengan kombinasi pembebanan maksimum di semua variasi bangunan. Kolom yang dianalisis untuk seluruh variasi adalah kolom C24 pada *ground floor* dengan dimensi kolom 1000 x 1000 yang ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Letak Kolom C24 Pada Potongan *Ground Floor*

b. Momen balok

Balok B272 dengan momen terbesar dianalisis pada seluruh variasi mulai dari *basement* sampai *roof floor* untuk dapat dianalisis besar nilai momen pada balok dalam merespon pembebanan maksimum.



Gambar 3.4 Letak Balok B272 Pada Bangunan

3.3. Pembebanan Struktur

Pada model struktur akan diberikan kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1727:2013 yang terdiri dari beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi berupa beban mati dan beban hidup, sedangkan beban lateral berupa beban gempa. Adapun rincian pembebanan pada struktur sebagai berikut :

3.3.1 Beban Hidup

Adapun beban hidup pada struktur yang berfungsi sebagai perkantoran berdasarkan SNI 1727:2013 sebagai berikut :

a. <i>Basement</i> (beban parkir)	: 1,92 kN/m ²
b. <i>Ground floor</i> – Tingkat 8	: 2,4 kN/m ²
c. <i>Roof floor</i>	: 0,96 kN/m ²
d. Tangga	: 4,79 kN/m ²

3.3.2 Beban Mati

a. Pada tingkat *basement*

Adukan semen (t = 3 cm)	: 0,63 kN/m ²
Mekanikal dan elektrik	: 0,25 kN/m ²
Berat sendiri plat (t = 20 cm)	: 4,8 kN/m ² +
	5,68 kN/m ²

Pada dinding *basement*

Beban tanah

- Bj tanah	: 17 kN/m ³
- Kedalaman <i>basement</i>	: 4,05 m
- 17 kN/m ³ × 4,05 m	: 68,85 kN/m ²

b. Pada tingkat *ground* sampai tingkat 8

Adukan semen (t = 3 cm)	: 0,63 kN/m ²
Berat sendiri plat (t = 12 cm)	: 2,88 kN/m ²
Penutup tingkat	: 0,24 kN/m ²
Plafond + penggantung	: 0,18 kN/m ²
Mekanikal dan elektrik	: 0,25 kN/m ² +
	<hr/>
	4,18 kN/m ²

c. Pada tingkat atap

Adukan semen (t = 3 cm)	: 0,63 kN/m ²
Berat sendiri plat (t = 12 cm)	: 2,88 kN/m ²
Plafond + penggantung	: 0,18 kN/m ²
<i>Waterproof</i> (t = 3mm)	: 0,042 kN/m ²
Mekanikal dan elektrik	: 0,25 kN/m ² +
	<hr/>
	3,98 kN/m ²

3.3.3 Beban Gempa

Beban gempa direncanakan dengan prosedur ragam respons spektrum berdasarkan SNI 1726:2012 dengan rincian sebagai berikut :

c. Menentukan Parameter Percepatan Gempa (S_s , S_I)

Untuk daerah Jakarta, parameter S_s adalah 0,7 g dan S_I adalah 0,3 g berdasarkan gambar 2.19 dan 2.20

d. Menentukan kelas situs (SA-SF)

Berdasarkan perhitungan untuk mencari nilai N pada tabel klasifikasi situs 2.10, lokasi Wisma Cipinang Indah terletak pada kelas situs SD (tanah sedang) karena memiliki nilai $N > 15$.

e. Menentukan S_{MS} dan S_{MI}

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a S_s \\ &= 1,24 \cdot 0,7 = 0,868 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{MI} &= F_v S_I \\ &= 1,8 \cdot 0,3 = 0,54 \end{aligned}$$

f. Menentukan S_{DS} dan S_{D1}

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} S_{MS} \\ &= \frac{2}{3} \cdot 0,868 = 0,578 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{D1} &= \frac{2}{3} S_{MI} \\ &= \frac{2}{3} \cdot 0,54 = 0,36 \end{aligned}$$

g. Menghitung parameter-parameter respons spektrum desain

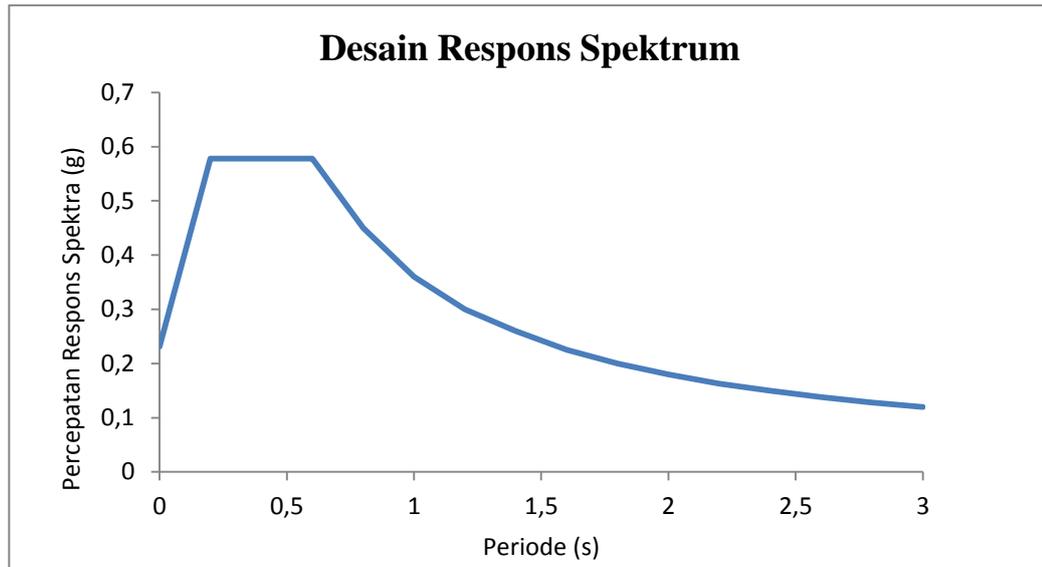
$$\begin{aligned} T_0 &= 0,2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ &= 0,2 \cdot \frac{0,36}{0,578} = 0,124 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ &= \frac{0,36}{0,578} = 0,622 \end{aligned}$$

Menghitung percepatan respons spektral (S_a)

- Untuk $T \leq T_0$: $S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0})$
 $S_a = 0,578 (0,4 + 0,6 \frac{T}{0,124})$
- Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$: $S_a = S_{DS} = 0,578$
- Untuk $T > T_s$: $S_a = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0,36}{T}$

Sehingga kurva respons spektrum akan menjadi seperti berikut ini :



Gambar 3.5 Desain Respons Spektrum Hitung

3.3.4 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 1726:2012 pengaruh beban gempa E pada pembebanan harus dianggap efektif 100% dan terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama dengan efektifitas 30%, sehingga kombinasi pembebanan menjadi berikut ini :

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 L
3. $1,2 D + 1,0 L \pm 0,3 (\rho Q_{Ex} + 0.2S_{DS}D) \pm 1,0 (\rho Q_{Ey} + 0.2S_{DS}D)$
4. $1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 (\rho Q_{Ex} + 0.2S_{DS}D) \pm 0,3 (\rho Q_{Ey} + 0.2S_{DS}D)$
5. $0,9 D \pm 0,3 (\rho Q_{Ex} - 0.2S_{DS}D) \pm 1,0 (\rho Q_{Ey} - 0.2S_{DS}D)$
6. $0,9 D \pm 1,0 (\rho Q_{Ex} - 0.2S_{DS}D) \pm 0,3 (\rho Q_{Ey} - 0.2S_{DS}D)$

Nilai parameter percepatan spektral desain pada perioda pendek (S_{DS}) adalah 0,578. Berdasarkan Tabel 2.6, karena nilai $S_{DS} > 0,50$ maka gedung ini termasuk kategori desain seismik D dan memiliki faktor redundansi (ρ) sebesar 1,3. Dengan mensubstitusikan nilai S_{DS} dan nilai redundansi (ρ) ke dalam persamaan pada

kombinasi pembebanan, maka akan diperoleh kombinasi pembebanan seperti berikut :

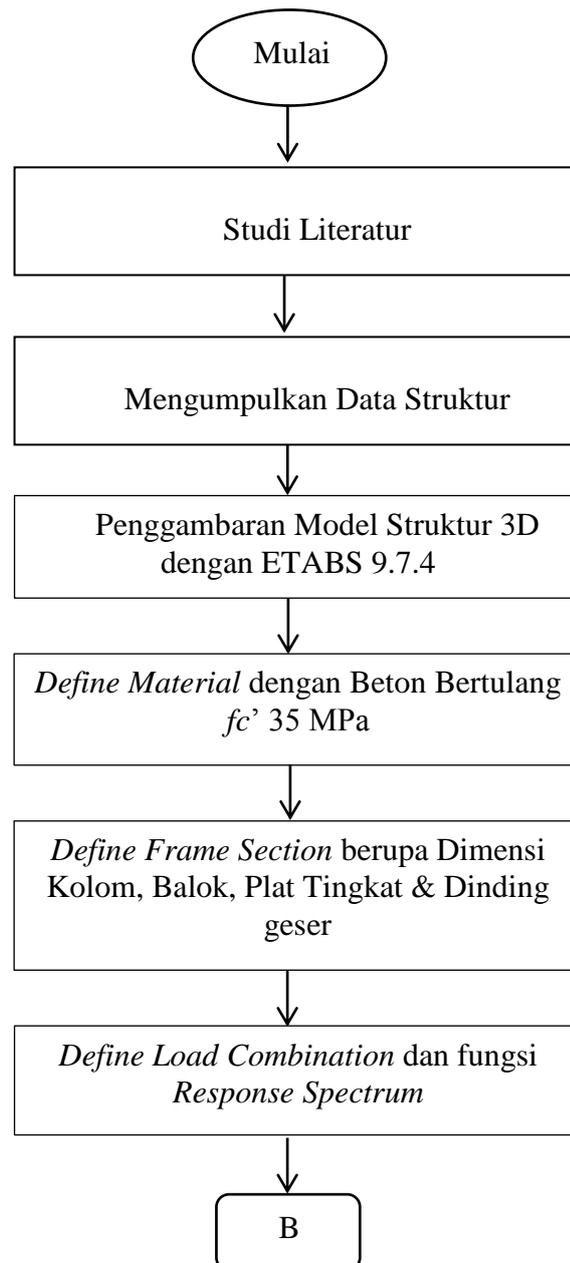
- a. 1,4 D
- b. 1,2 D + 1,6 L
- c. 1,35 D + 1,3 Q_{Ex} + 0,39 Q_{Ey} + 1,0 L
- d. 1,28 D + 1,3 Q_{Ex} - 0,39 Q_{Ey} + 1,0 L
- e. 1,12 D - 1,3 Q_{Ex} + 0,39 Q_{Ey} + 1,0 L
- f. 1,05 D - 1,3 Q_{Ex} - 0,39 Q_{Ey} + 1,0 L
- g. 1,35 D + 0,39 Q_{Ex} + 1,3 Q_{Ey} + 1,0 L
- h. 1,28 D + 0,39 Q_{Ex} - 1,3 Q_{Ey} + 1,0 L
- i. 1,12 D - 0,39 Q_{Ex} + 1,3 Q_{Ey} + 1,0 L
- j. 1,05 D - 0,39 Q_{Ex} - 1,3 Q_{Ey} + 1,0 L
- k. 0,75 D + 1,3 Q_{Ex} + 0,39 Q_{Ey}
- l. 0,82 D + 1,3 Q_{Ex} - 0,39 Q_{Ey}
- m. 0,98 D - 1,3 Q_{Ex} + 0,39 Q_{Ey}
- n. 1,05 D - 1,3 Q_{Ex} - 0,39 Q_{Ey}
- o. 0,75 D + 0,39 Q_{Ex} + 1,3 Q_{Ey}
- p. 0,82 D + 0,39 Q_{Ex} - 1,3 Q_{Ey}
- q. 0,98 D - 0,39 Q_{Ex} + 1,3 Q_{Ey}
- r. 1,05 D - 0,39 Q_{Ex} - 1,3 Q_{Ey}

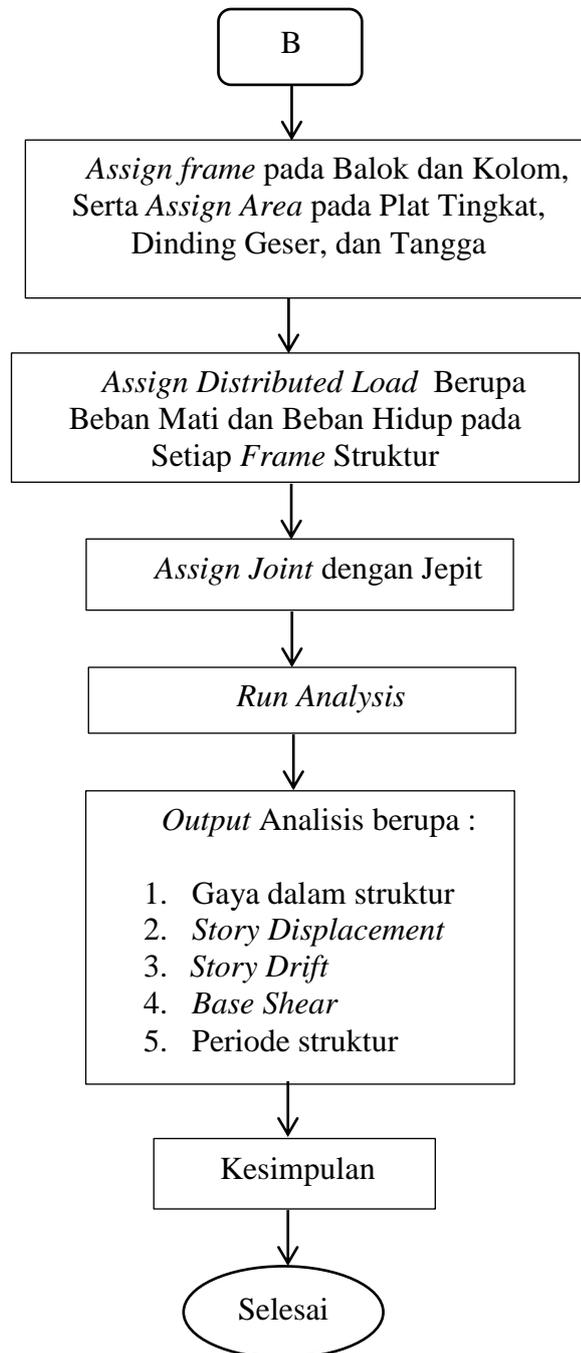
Maka 18 kombinasi pembebanan tersebut akan digunakan untuk mengetahui perilaku struktur bangunan.

3.4 Teknik Analisis Data

Penelitian ini mendeskripsikan teknik analisis meliputi analisis data dengan deskriptif. Analisis data dengan statistik deskriptif dapat disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

3.5 Diagram Alir Penelitian





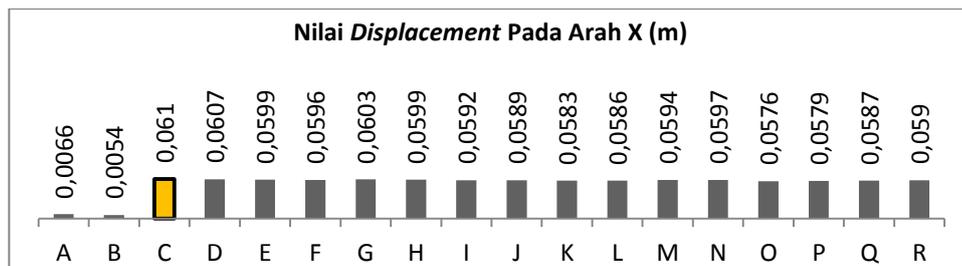
Gambar 3.6 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Analisis perilaku struktur bangunan terhadap beban gempa menghasilkan respon struktur berupa kapasitas kolom, momen balok, periode getar struktur, *base shear*, *displacement*, dan *story drift*. Hasil analisis menunjukkan bahwa perbedaan ketinggian kolom *ground floor* antar variasi yang tidak lebih dari 35%, menghasilkan pola kenaikan dan penurunan yang sama terhadap seluruh respon struktur. Respon struktur bangunan diambil dari mode 1 yang merupakan hasil keluaran analisis perangkat lunak ETABS. Seluruh hasil analisis pada variasi penelitian menunjukkan kombinasi pembebanan $C : 1,35 D + 1,3 Q_{Ex} + 0,39 Q_{Ey} + 1,0 L$ menghasilkan nilai yang signifikan terhadap semua respon struktur sehingga kombinasi C digunakan sebagai tolak ukur *run analysis* ETABS. Berikut ini merupakan respon struktur untuk membuktikan bahwa kombinasi C menghasilkan nilai tertinggi, salah satunya pada nilai *displacement* eksisting.



Gambar 4.1 Nilai Displacement arah X Eksisting Berdasarkan Kombinasi Pembebanan

4.1.1 Kekakuan Kolom

Bangunan *soft story* didefinisikan sebagai bangunan dengan suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya. Kekakuan kolom berkontribusi besar terhadap kekakuan lateral tingkat

yang harus dihitung untuk mengetahui apakah sebuah bangunan dikategorikan sebagai bangunan *soft story* atau bangunan *non soft story*. Oleh karena itu, perbandingan kekakuan kolom *ground floor* sebagai tingkat *soft second story* dihitung terhadap tingkat di atasnya yaitu lantai 1 dengan hasil sebagai berikut.

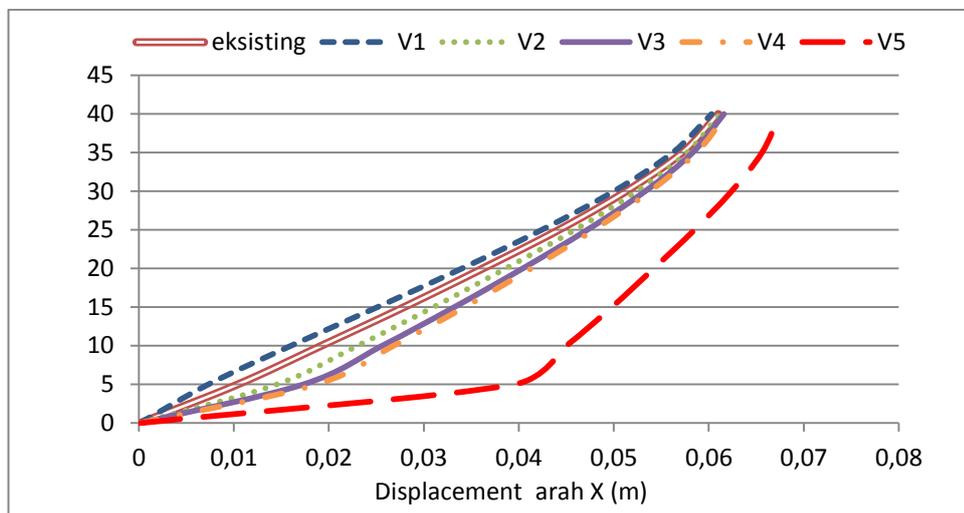
Tabel 4.1 Kekakuan Kolom

	Kekakuan <i>Basement</i> (kN/m)	Kekakuan <i>Ground Floor</i> (kN/m)	Kekakuan Lantai 1 (kN/m)	70% Kekakuan Lantai 1 (kN/m)	Kategori Bangunan
Eksisting	4802979	2552500	5814669	4070268	<i>Soft Second Story</i>
Variasi 1	5814669	5814669	5814669	4070268	<i>Non Soft Story</i>
Variasi 2	4802979	1161812	5814669	4070268	<i>Soft Second Story</i>
Variasi 3	4802979	756296,3	5814669	4070268	<i>Soft Second Story</i>
Variasi 4	4802979	623168,9	5814669	4070268	<i>Soft Second Story</i>
Variasi 5	4802979	77896,12	5814669	4070268	<i>Soft Second Story</i>

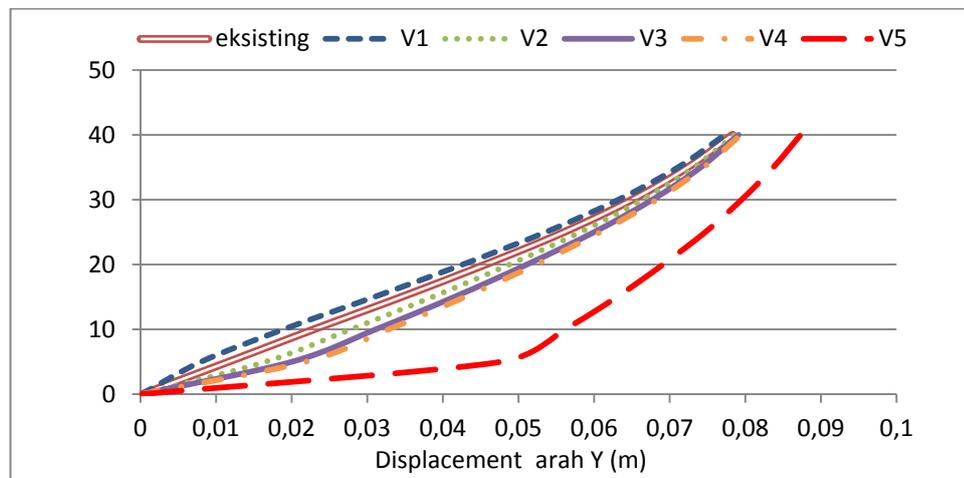
Hasil perhitungan kekakuan tingkat pada tabel 4.1 membuktikan bahwa bangunan eksisting, variasi 2, variasi 3, variasi 4, dan variasi 5 merupakan bangunan *soft second story*, sedangkan variasi 1 merupakan bangunan *non soft story*. Selain itu kekakuan kolom *ground floor* juga lebih kecil daripada kekakuan kolom *basement* pada eksisting. Oleh karena itu dapat dipastikan ketidakberaturan *soft story* terjadi pada tingkat dengan kekakuan lemah yaitu *ground floor*. Analisis terhadap bangunan *non soft story* atau bangunan tanpa ketidakberaturan vertikal pada variasi 1 dilakukan sebagai tolak ukur terhadap perubahan respon struktur *soft second story*.

4.1.2 Displacement

Displacement adalah simpangan suatu tingkat yang diukur dari dasar tingkat bangunan. *Displacement* maksimum terjadi pada *roof floor*, dimana variasi 5 menghasilkan *displacement* terbesar dan variasi 1 menghasilkan *displacement* terkecil pada arah X dan Y bangunan. Diantara kedua bangunan nilai *displacement* arah Y lebih besar daripada *displacement* arah X sehingga dipastikan struktur bangunan masih memiliki ketidakberaturan pada arah horizontal karena adanya coakan sebesar 11 % dan 4,6 %.



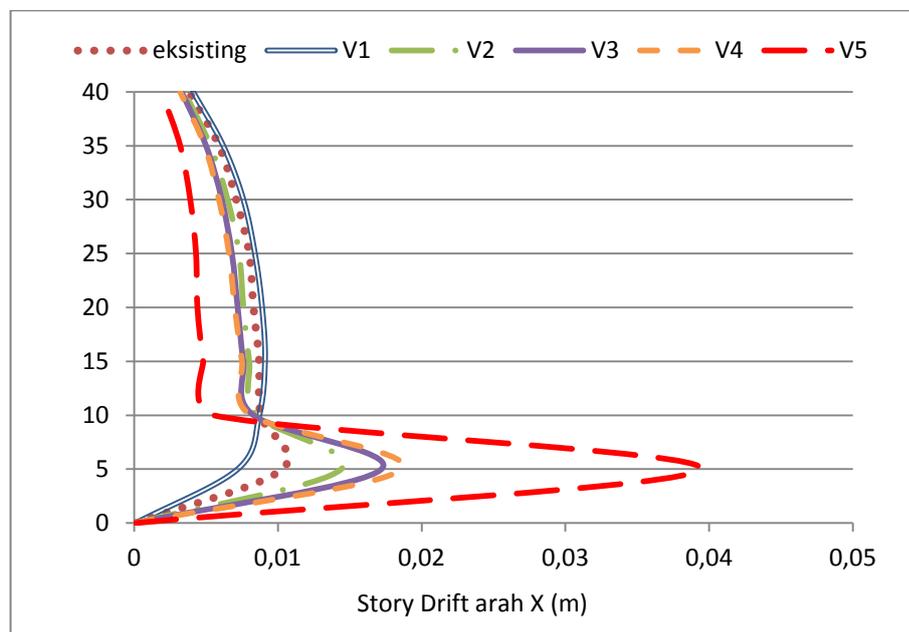
Gambar 4.2 Grafik *Displacement* Arah X Seluruh Variasi



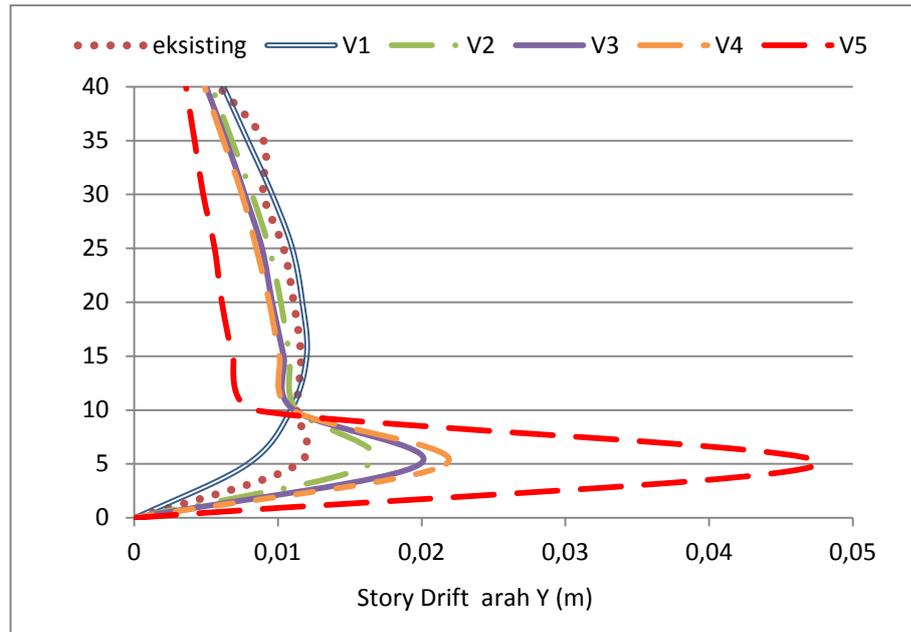
Gambar 4.3 Grafik *Displacement* Arah Y Seluruh Variasi

4.1.3 Story Drift

Story drift atau simpangan antar tingkat adalah simpangan suatu tingkat yang diukur dari dasar tingkat di bawahnya. Nilai *story drift* didapatkan dari nilai *displacement*, dimana semakin besar nilai *displacement* maka semakin besar nilai *story drift*. Hasil analisis *displacement* pada arah X dan Y bangunan menunjukkan bahwa variasi 1 sebagai bangunan *non soft story* menghasilkan simpangan antar tingkat yang stabil dibandingkan variasi lainnya. Kemudian terjadi pembesaran simpangan pada ketinggian *ground floor* pada eksisting dan variasi 2,3, dan 4. Hal ini membuktikan bahwa ketidakberaturan *soft second story* pada *groud floor* berkontribusi memberikan nilai simpangan terbesar. Berikut ini adalah *story drift* yang dihasilkan dari setiap variasi bangunan pada arah X dan Y bangunan.



Gambar 4.4 Grafik Story Drift Arah X Bangunan Variasi



Gambar 4.5 Grafik *Story Drift* Arah Y Bangunan Variasi

4.1.4 Periode Getar Struktur

Periode getar struktur adalah waktu yang diperlukan struktur untuk bergetar dalam satu siklus bolak balik akibat gerakan tanah. Pada tabel 4.2 menunjukkan bahwa periode getar struktur terkecil terjadi pada variasi 1, dimana variasi 1 adalah bangunan *non soft story*. Sedangkan pada variasi 5 menghasilkan periode getar terbesar dengan ketidakberaturan *soft second story* tertinggi sehingga dapat dipastikan semakin besar ketidakberaturan pada bangunan maka periode getar struktur semakin panjang.

Tabel 4.2 Periode Getar Struktur

	Periode Getar Struktur (s)
Eksisting	0,912
Variasi 1	0,878
Variasi 2	0,965
Variasi 3	0,999

	Periode Getar Struktur (s)
Variasi 4	1,017
Variasi 5	1,286

4.1.5 Base Shear

Gaya geser dasar (*base shear*) adalah penyederhanaan dari gempa bumi yang bekerja pada dasar bangunan akibat getaran tanah. Nilai *base shear* terbesar terjadi pada variasi 1 dan nilai *base shear* terkecil terjadi pada variasi 5. Ketidakberaturan bangunan mempengaruhi besarnya nilai *base shear* bangunan, karena variasi 5 adalah variasi dengan ketidakberaturan tertinggi. Besar nilai *base shear* pada seluruh variasi ditunjukkan pada tabel berikut.

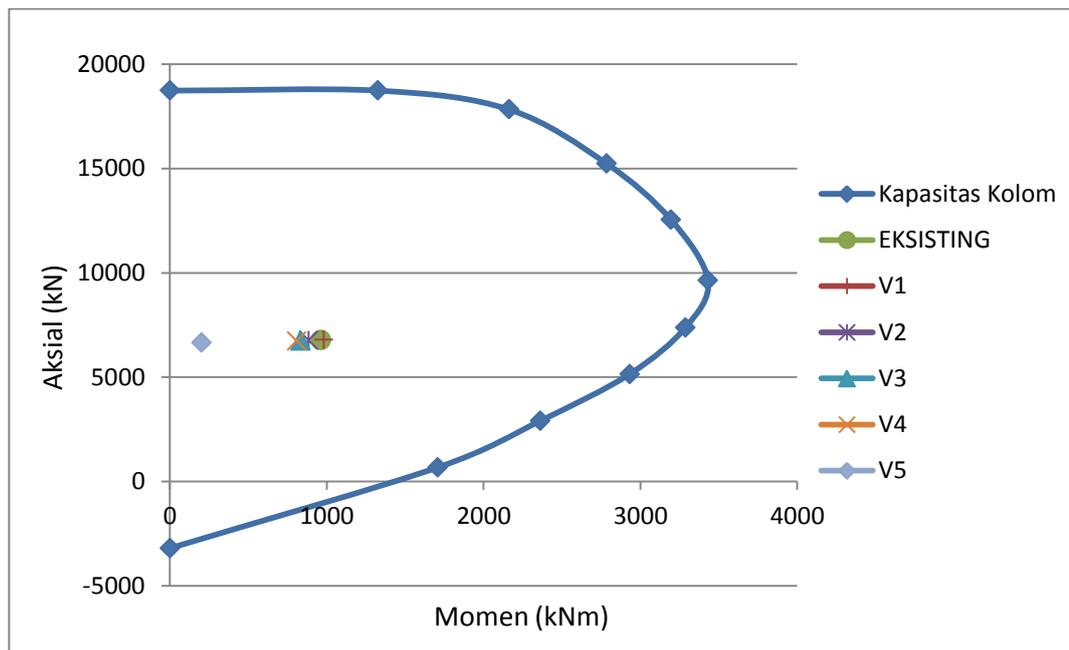
Tabel 4.3 Base Shear

	Gaya Geser Dasar (kN)
Eksisting	2665,88
Variasi 1	2725,6
Variasi 2	2543,34
Variasi 3	2472,37
Variasi 4	2437,69
Variasi 5	2059,71

4.1.6 Aksial dan Momen Kolom

Kombinasi pembebanan menghasilkan aksial dan momen yang harus dipikul oleh kolom. Kolom sebagai elemen struktur vertikal menerima aksial lebih besar daripada momen. Semakin titik interaksi P-M mendekati garis kapasitas kolom maka terjadi pembesaran nilai aksial atau momen kolom sampai akhirnya kolom mencapai keruntuhan.

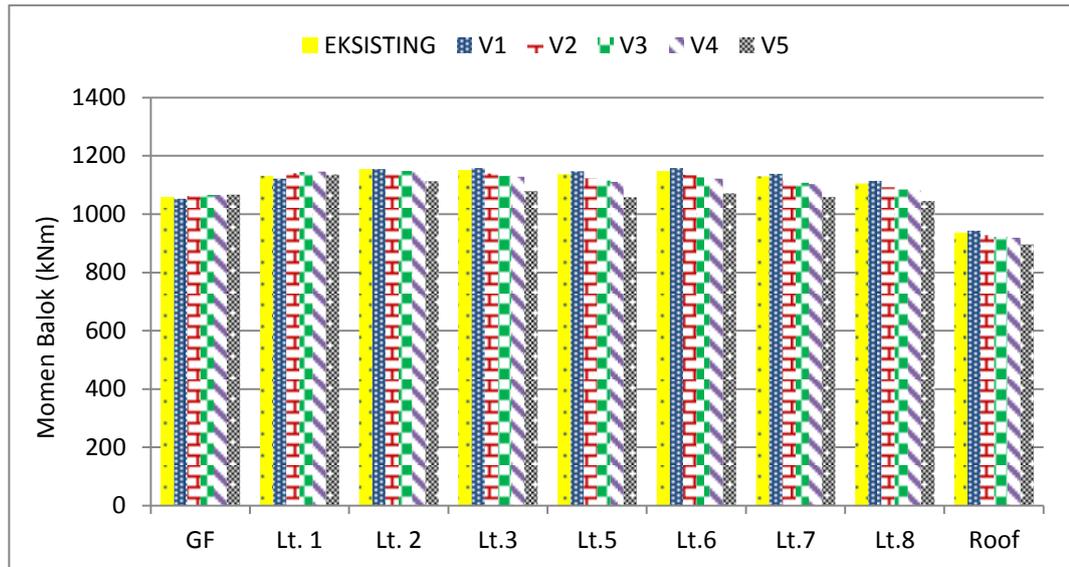
Berdasarkan diagram interaksi kolom pada gambar 4.6, kondisi kolom pada *ground floor* pada semua variasi masih mampu menerima kombinasi pembebanan maksimum. Hal tersebut dilihat dari letak titik kombinasi C yang masih berada di dalam garis kapasitas kolom. Hasil analisis membuktikan bahwa kolom yang diberikan ketidakberaturan *soft second story* masih dalam kondisi aman, dimana balok mengalami pelelehan terlebih dahulu sebelum kolom yang leleh.



Gambar 4.6 Diagram Interaksi Kolom

4.1.7 Momen Balok

Pada gambar 4.7 ditunjukkan hasil analisis momen balok pada seluruh variasi bangunan. Terlihat bahwa besar momen balok pada seluruh variasi tidak jauh berbeda perbedaannya. Variasi 5 mengalami penyimpangan yang relatif besar terhadap ke lima variasi karena variasi 5 merupakan variasi dengan perbedaan tertinggi terhadap variasi 1. Momen balok pada ketinggian *roof floor* mengalami penurunan pada semua variasi karena pembebanan pada *roof floor* adalah pembebanan yang paling terkecil diantara tingkat lainnya.



Gambar 4.7 Momen Balok Pada Variasi Bangunan

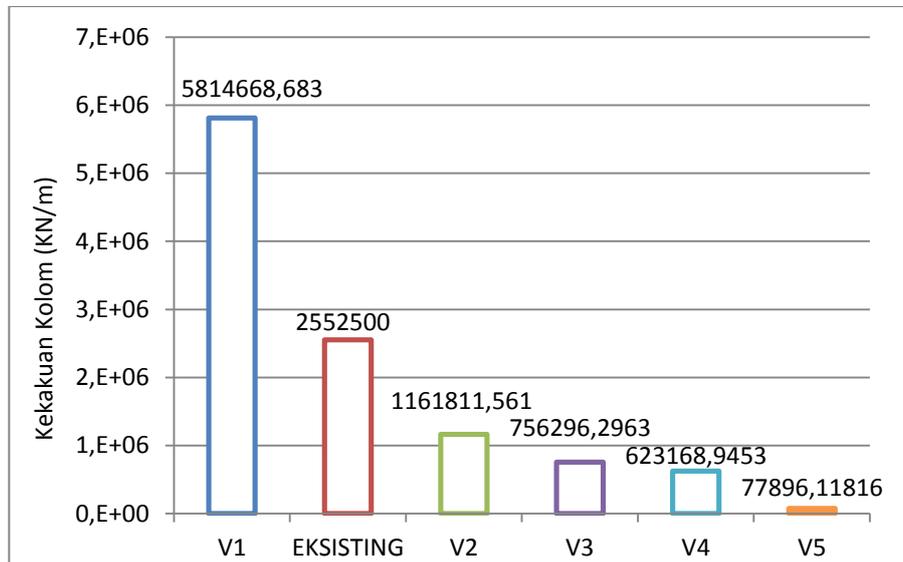
4.2 Pembahasan

Pembahasan merupakan penjabaran lebih lanjut mengenai *displacement*, *story drift*, periode getar struktur, base shear, aksial dan momen kolom, serta momen balok.

4.2.1 Kekakuan Kolom

Besarnya kekakuan kolom dipengaruhi oleh modulus elastisitas bahan, ketinggian kolom, dan dimensi kolom. Semakin tinggi sebuah kolom maka kekakuan kolom semakin berkurang. Kondisi ini dibuktikan pada gambar 4.8, dimana penambahan variasi ketinggian kolom pada *ground floor* dengan dimensi kolom yang tetap menghasilkan kekakuan tingkat yang semakin berkurang. Penurunan kekakuan tingkat *ground floor* eksisting terhadap variasi 1 sebesar 56,1%, variasi 2 sebesar 80,01%, variasi 3 sebesar 86,99%, variasi 4 sebesar 89,28%, dan variasi 5 sebesar 98,66%. Rata-rata penurunan kekakuan ke lima variasi bangunan *soft second story* mencapai 82%, sehingga *soft second story*

merupakan bentuk ketidakberaturan yang menurunkan kekakuan tingkat secara signifikan.

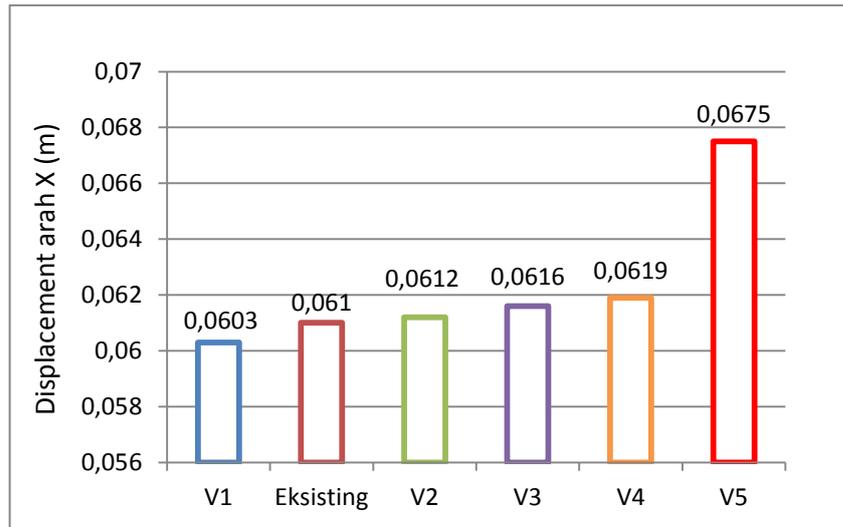


Gambar 4.8 Grafik Kekakuan Kolom

4.2.2 Displacement

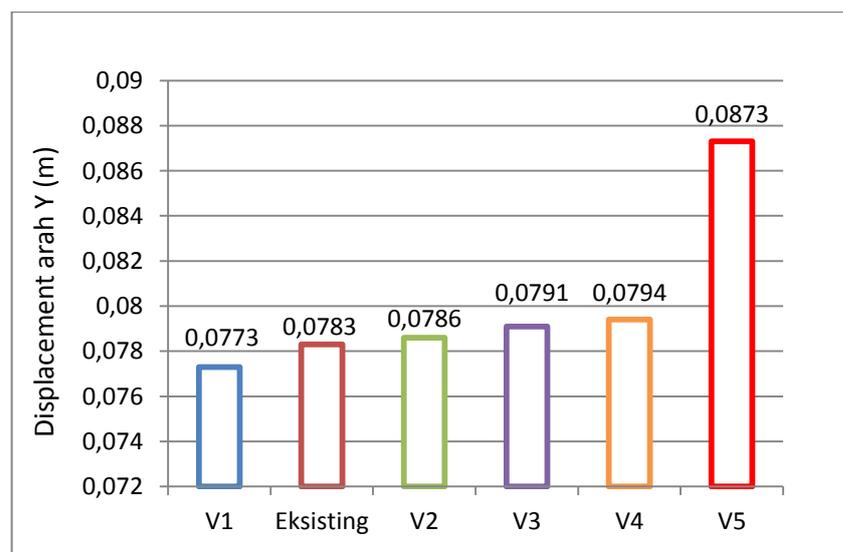
Penelitian terdahulu menyebutkan bahwa struktur bangunan tidak beraturan mengakibatkan struktur mengalami *displacement* yang lebih besar dibandingkan struktur beraturan. Pada penelitian ini, struktur bangunan *soft second story* diberikan variasi ketinggian kolom pada *ground floor*.

Perbandingan hasil analisis nilai *displacement* pada arah X bangunan ditunjukkan pada gambar 4.9. Terlihat bahwa variasi 5 menghasilkan *displacement* terbesar dan variasi 1 menghasilkan *displacement* terkecil pada arah X bangunan. *Displacement* eksisting mengalami peningkatan terhadap variasi 1 sebesar 1,16%, variasi 2 sebesar 1,49%, variasi 3 sebesar 2,15%, variasi 4 sebesar 2,65%, dan variasi 5 sebesar 11,94%.



Gambar 4.9 Displacement Arah X Seluruh Variasi

Perbandingan *displacement* untuk arah Y bangunan juga menunjukkan bahwa terjadi kenaikan nilai *displacement* yang konsisten seperti arah pada X, dimana variasi 1 menghasilkan *displacement* terkecil dan variasi 5 menghasilkan *displacement* terbesar. Kenaikan nilai *displacement* eksisting terhadap variasi 1 sebesar 1,29%, variasi 2 sebesar 1,68%, variasi 3 sebesar 2,32%, variasi 4 sebesar 2,71%, dan variasi 5 sebesar 12,93%.

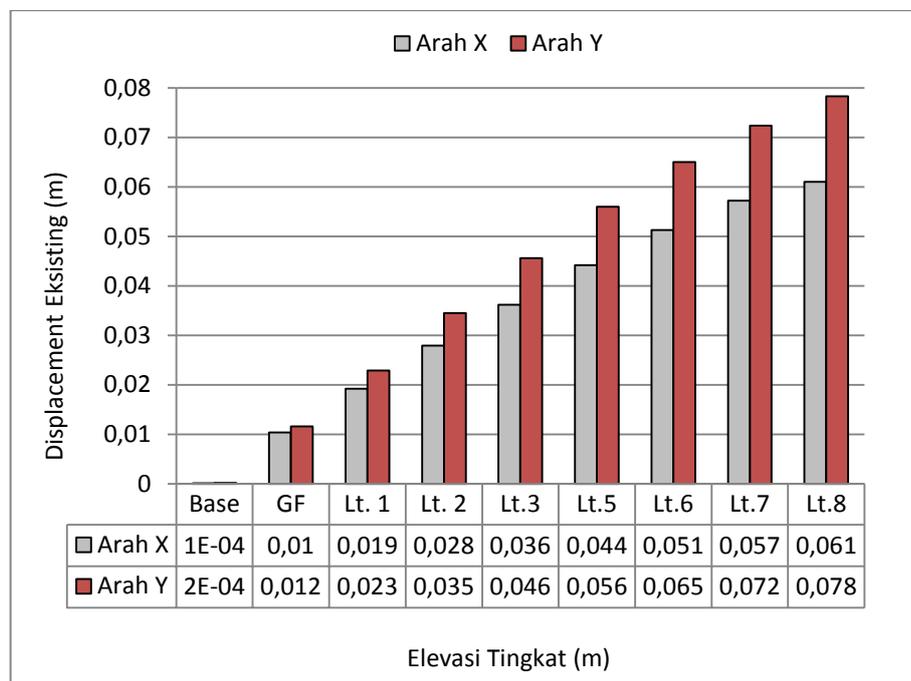


Gambar 4.10 Displacement Arah Y Seluruh Variasi

Kemudian dilakukan penjabaran analisis terhadap *displacement* setiap variasi untuk mengetahui berapa besar perbedaan *displacement* yang terjadi pada setiap tingkat arah X dan Y bangunan.

1. Eksisting

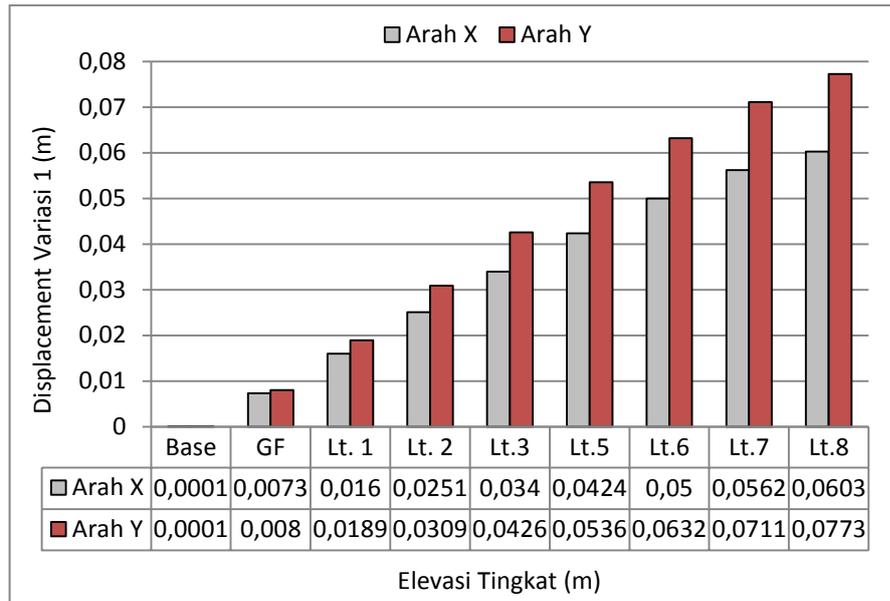
Pada bangunan eksisting sebagai bangunan *soft story*, *displacement* arah Y mengalami kenaikan sebesar 28,36% dari *displacement* arah X berdasarkan nilai *displacement* maksimum pada *roof floor*.



Gambar 4.11 *Displacement* Arah X dan Y Eksisting

2. Variasi 1

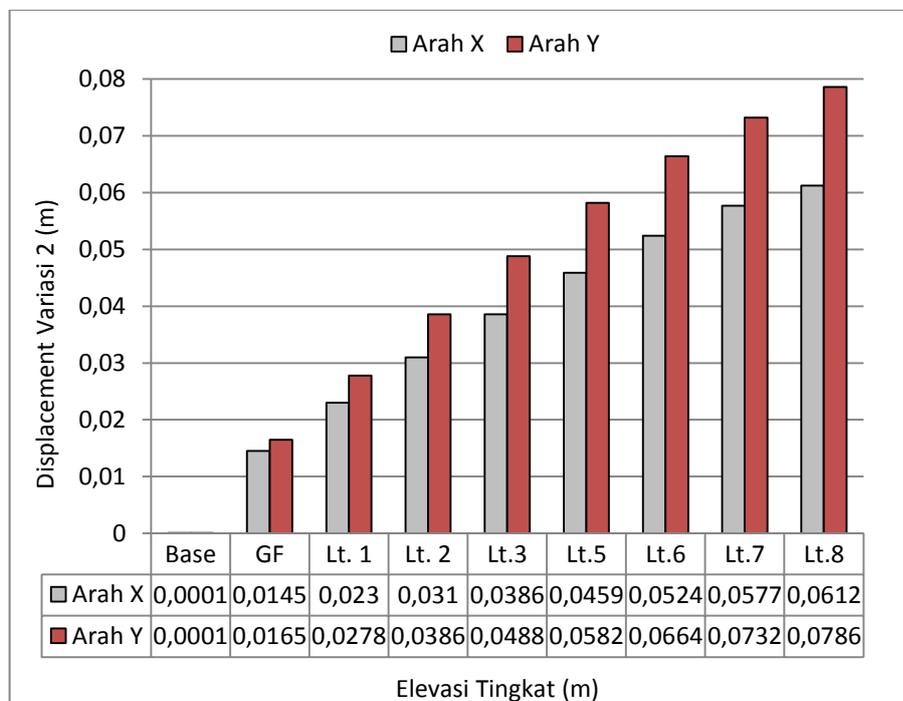
Displacement arah Y pada variasi 1 sebagai bangunan *non soft story* juga mengalami kenaikan sebesar 28,19% dari *displacement* X berdasarkan nilai *displacement* maksimum pada *roof floor*.



Gambar 4.12 Displacement Arah X dan Y Variasi 1

3. Variasi 2

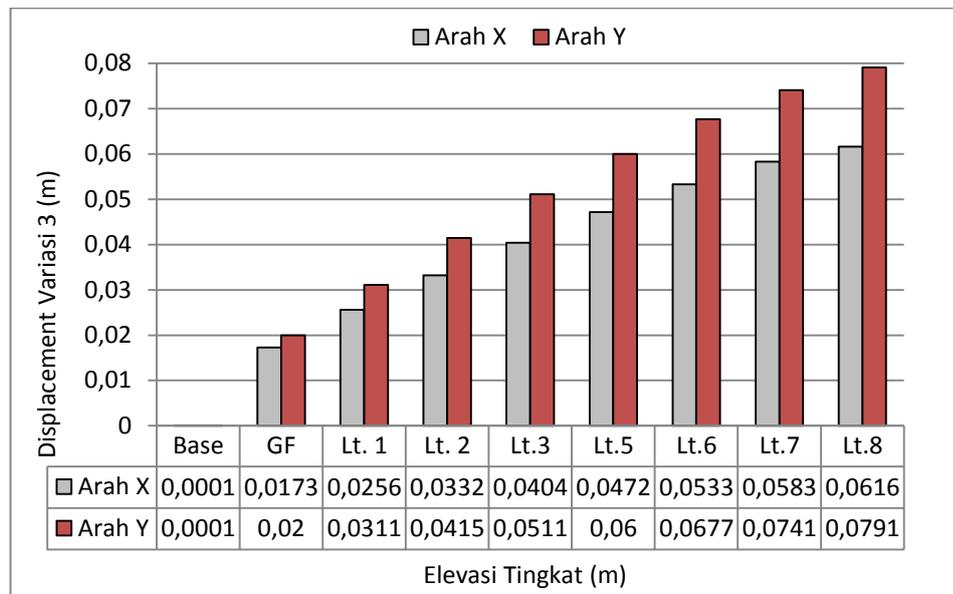
Pada variasi 2 sebagai bangunan *soft story*, *displacement* pada arah Y mengalami kenaikan sebesar 29,51 % dari *displacement* X berdasarkan nilai *displacement* maksimum pada lantai atap.



Gambar 4.13 Displacement Arah X dan Y Variasi 2

4. Variasi 3

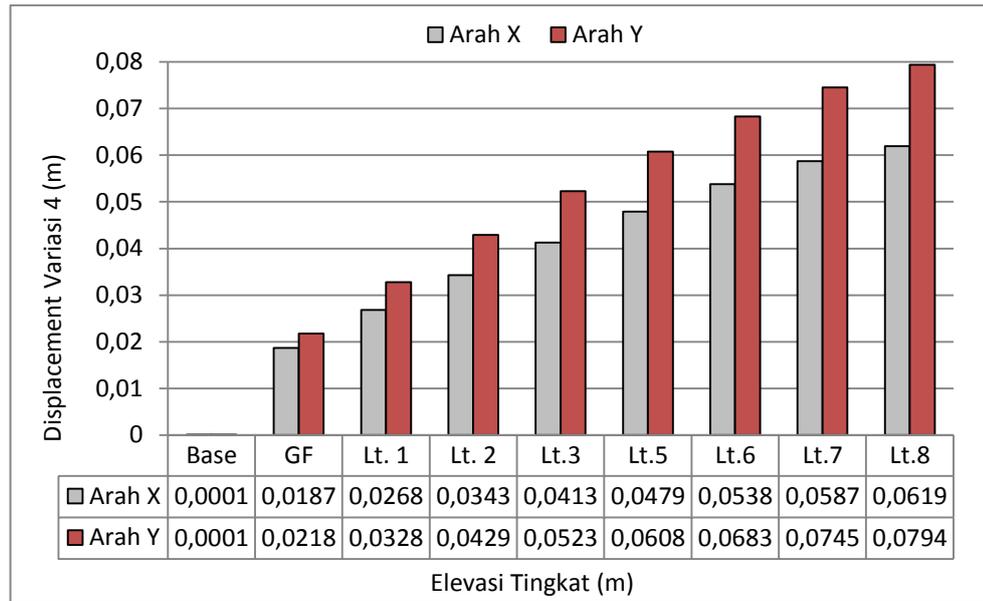
Pada variasi 3 sebagai bangunan *non soft story* menghasilkan *displacement* pada arah Y yang lebih besar sebesar 28,4 % dari *displacement* X berdasarkan nilai *displacement* maksimum pada *roof floor*.



Gambar 4.14 Displacement Arah X dan Y Variasi 3

5. Variasi 4

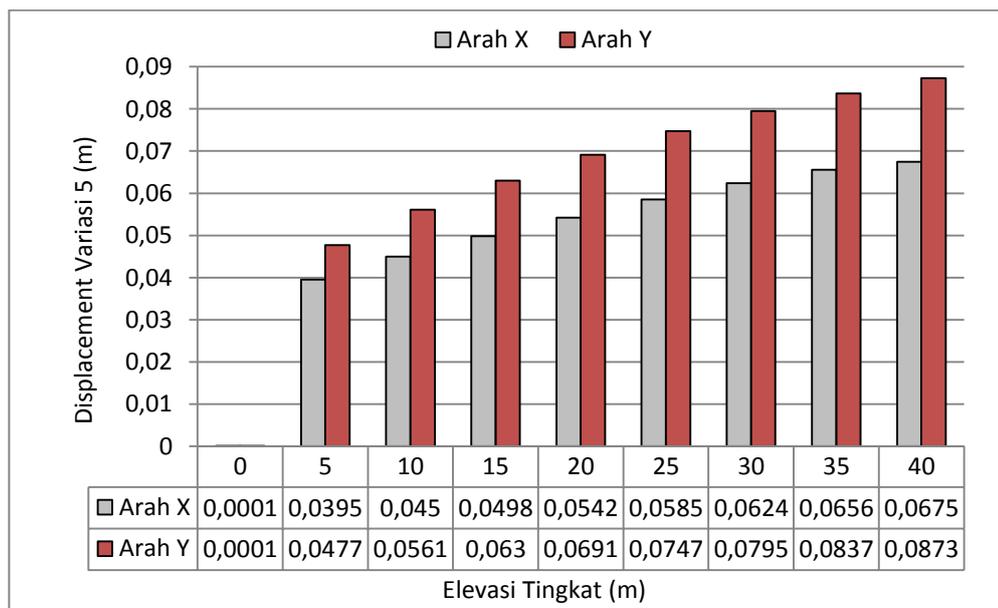
Variasi 4 sebagai bangunan *soft story* juga menghasilkan *displacement* pada arah Y sebesar 28,27 % lebih besar dari *displacement* X berdasarkan nilai *displacement* maksimum pada *roof floor*.



Gambar 4.15 Displacement Arah X dan Y Variasi 4

6. Variasi 5

Gambar 4.16 menunjukkan variasi 5 sebagai bangunan *soft story* dengan ketidakberaturan terbesar menghasilkan *displacement* pada arah Y sebesar 29,33% lebih besar dari *displacement* X berdasarkan nilai *displacement* maksimum pada *roof floor*.



Gambar 4.16 Displacement Arah X dan Y Variasi 5.

Berdasarkan data semua variasi, rata-rata nilai *displacement* arah Y lebih besar 28% dari nilai *displacement* arah X bangunan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa arah Y adalah sumbu lemah bangunan terhadap gempa karena struktur bangunan tidak simetris sempurna dengan adanya coakan pada arah X dan Y bangunan. *Displacement* bangunan dengan pembesaran defleksi struktur dihitung untuk memastikan struktur masih dalam batas aman simpangan ijin yang ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Simpangan Ijin Bangunan

	Simpangan Ijin	Simpangan Arah X	Simpangan Arah Y	Keterangan	
				X	Y
Eksisting	0,526	0,335	0,430	Aman	Aman
Variasi 1	0,526	0,331	0,425	Aman	Aman
Variasi 2	0,526	0,335	0,434	Aman	Aman
Variasi 3	0,526	0,338	0,435	Aman	Aman
Variasi 4	0,526	0,340	0,436	Aman	Aman
Variasi 5	0,526	0,371	0,481	Aman	Aman

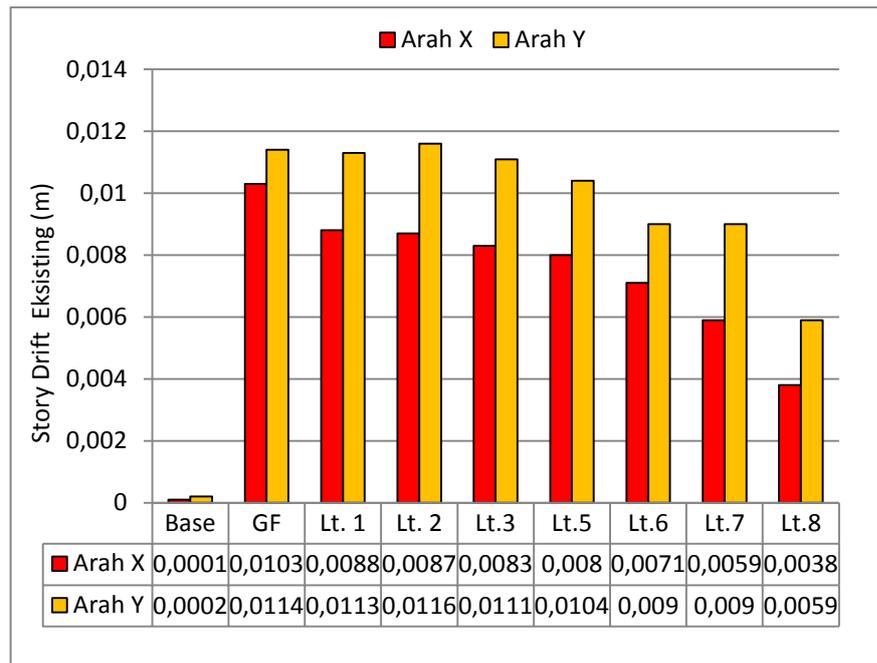
Bangunan *soft second story* yaitu eksisting, variasi 2, variasi 3, variasi 4 dan variasi 5 masih memiliki simpangan yang diizinkan. Tetapi perlu diperhatikan bahwa lonjakan ketinggian kolom *ground floor* pada variasi 5 tidak dianjurkan, karena hal tersebut akan menyebabkan kegagalan tekuk dan torsi pada kolom yang sangat berbahaya terhadap keseluruhan bangunan.

4.2.3 *Story Drift*

Besar nilai *story drift* atau simpangan antar tingkat dipengaruhi oleh ketinggian antar tingkat bangunan. Adanya ketidakberaturan vertikal pada tingkat bangunan menyebabkan adanya perubahan nilai *story drift* pada tingkat tersebut. Perubahan besar pada nilai *story drift* menunjukkan bahwa terjadi peningkatan atau penurunan simpangan yang besar pada suatu tingkat ke tingkat lainnya. Analisis terhadap *story drift* pada setiap variasi akan dijabarkan untuk mengetahui pengaruh penambahan ketinggian pada *ground floor* terhadap simpangan tingkat bangunan. Analisis terhadap besarnya *story drift* pada setiap variasi akan dijabarkan untuk mengetahui pengaruh penambahan ketinggian pada *ground floor* terhadap simpangan antar tingkat.

1. Eksisting

Pada arah X bangunan eksisting, *drift* tertinggi terjadi pada ketinggian *ground floor* dengan peningkatan terhadap *drift basement* sebesar 10,2 mm. Kemudian mulai terjadi penurunan *drift* pada ketinggian lantai 1 sampai ketinggian lantai 8 dengan rata-rata penurunan terhadap *drift ground floor* sebesar 3,07 mm.

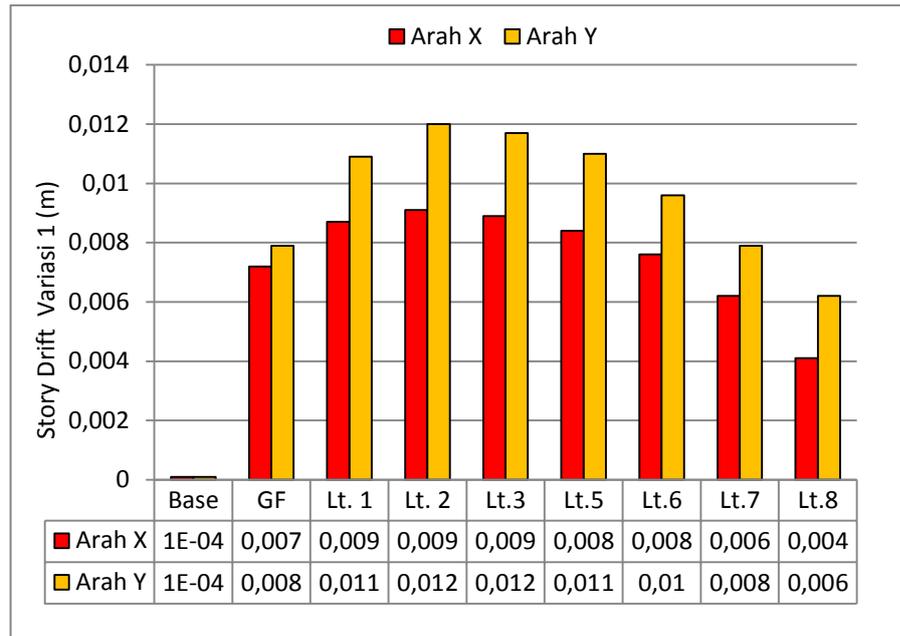


Gambar 4.17 Story Drift Eksisting

Sedangkan pada arah Y bangunan eksisting, *drift* tertinggi terjadi pada ketinggian lantai 2. Perbedaan nilai *drift* lantai 2 dengan *drift ground floor* hanya mencapai 0,2 mm. Lantai 2 mengalami peningkatan nilai *drift* terhadap *basement* sebesar 11,4 mm kemudian mengalami penurunan nilai *drift* pada lantai 3 sampai lantai 8 dengan rata-rata penurunan sebesar 2,5 mm terhadap *drift* lantai 2. Lantai 1 sebagai *drift* tertinggi kedua mengalami peningkatan *drift* terhadap *drift basement* sebesar 11,2 mm.

2. Variasi 1

Peningkatan nilai *drift* pada *ground floor* terhadap *drift basement* arah X bangunan sebesar 7,1 mm dan *drift* lantai 1 sebesar 8,6 mm. Nilai *drift* tertinggi terjadi pada lantai 2 dengan peningkatan *drift* terhadap nilai *drift basement* sebesar 9 mm. Penurunan *drift* terjadi pada lantai 3 sampai lantai 8 dengan rata-rata penurunan terhadap lantai 2 sebesar 2,06 mm.

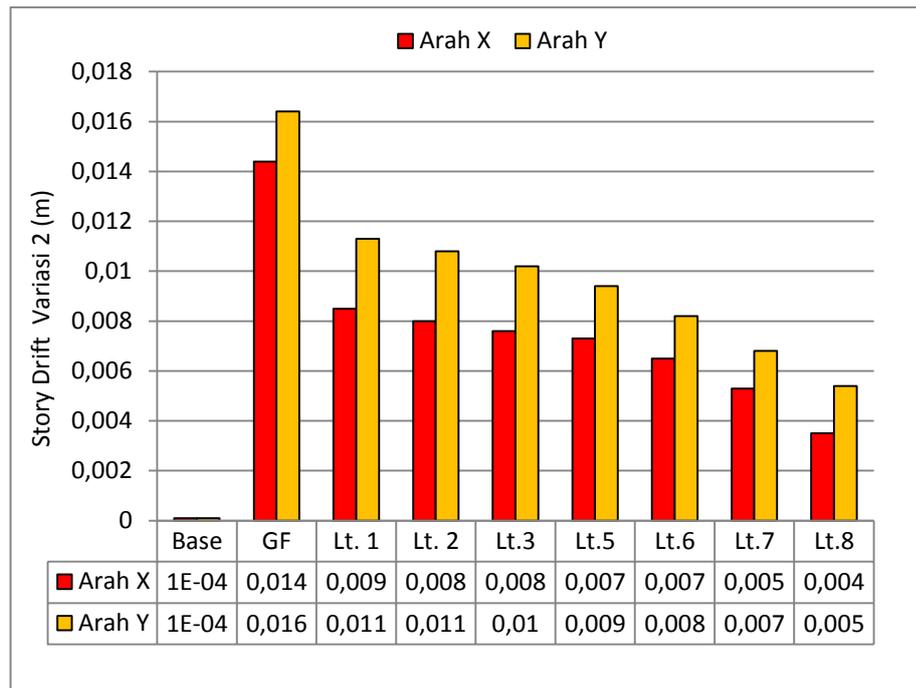


Gambar 4.18 Story Drift Variasi 1

Pada arah Y bangunan variasi 1, nilai *drift ground floor* dan lantai 1 mengalami kenaikan terhadap *drift basement* sebesar 7,8 mm dan 10,8 mm. Nilai *drift* tertinggi juga terjadi pada lantai 2 bangunan dimana peningkatan nilai *drift* terhadap *drift basement* sebesar 11,9 mm. Kemudian pada lantai 3 sampai lantai 8 terjadi penurunan nilai *drift* terhadap lantai 2 dengan rata-rata sebesar 2,72 mm.

3. Variasi 2

Gambar 4.29 menunjukkan nilai *drift* pada arah X bangunan variasi 2. Nilai *drift* tertinggi terjadi pada ketinggian *ground floor*, dimana peningkatan nilai *drift* terhadap *drift basement* sebesar 14,3 mm. Kemudian penurunan nilai *drift* mulai terjadi secara signifikan pada lantai 1 sampai lantai 8 terhadap nilai *drift ground floor* dengan rata-rata penurunan sebesar 7,73 mm.

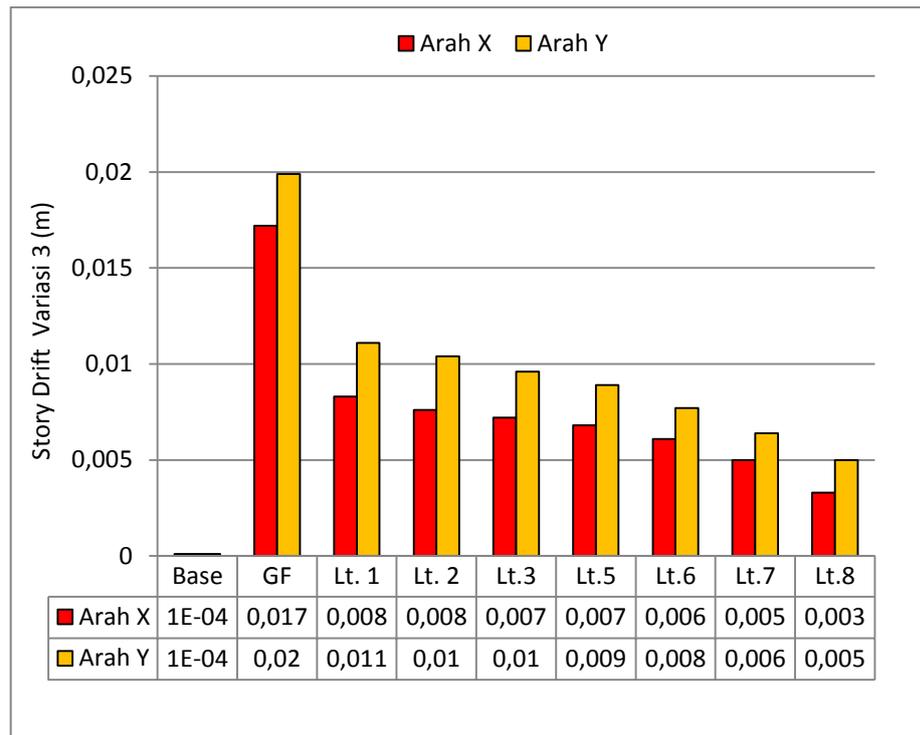


Gambar 4.19 Story Drift Variasi 2

Pada arah Y bangunan variasi 2 juga terjadi peningkatan *drift* tertinggi pada *ground floor* sebesar 16,3 mm terhadap *basement*. Penurunan *drift* juga mulai terjadi pada arah Y, dimana lantai 1 sampai lantai 8 mengalami penurunan secara signifikan dengan rata-rata penurunan terhadap *drift ground floor* sebesar 4,04 mm.

4. Variasi 3

Variasi 3 juga menghasilkan kenaikan nilai *drift* secara signifikan pada ketinggian *ground floor*, dimana kenaikan nilai *drift* terhadap *basement* sebesar 17,1 mm. Kemudian pada lantai 1 terjadi penurunan drastis nilai *drift* sampai lantai 8 dengan rata-rata *drift* sebesar 10,87 mm terhadap *drift ground floor*.

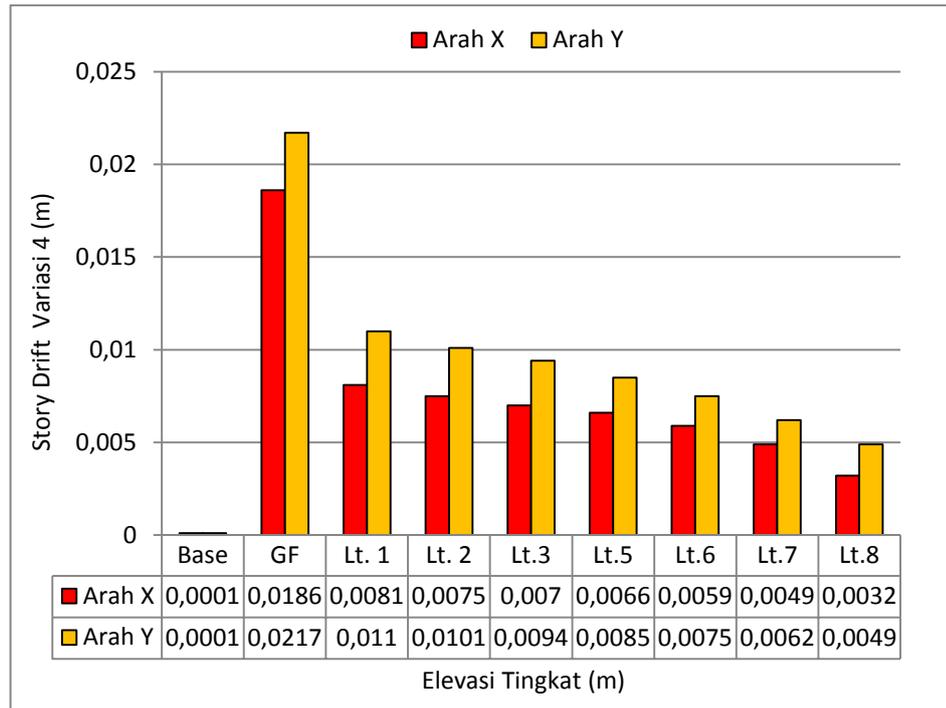


Gambar 4.20 Story Drift Variasi 3

Pada arah Y bangunan nilai *drift* juga konsisten mengikuti nilai *drift* arah X, dimana *drift* tertinggi juga terjadi pada ketinggian *ground floor* dengan peningkatan *drift* sebesar 19,8 mm terhadap drift basement. Lantai 1 sampai lantai 8 selanjutnya juga mengalami penurunan secara signifikan dengan rata-rata sebesar 12,5 mm terhadap *drift ground floor*.

5. Variasi 4

Pada arah X bangunan variasi 4, nilai *drift* semakin mengalami peningkatan signifikan pada ketinggian *ground floor* sebesar 18,5 mm terhadap *basement*. Selanjutnya penurunan *drift* mulai terjadi pada tingkat 1 sampai tingkat 8 dengan rata-rata penurunan sebesar 12,4 mm terhadap *ground floor*.

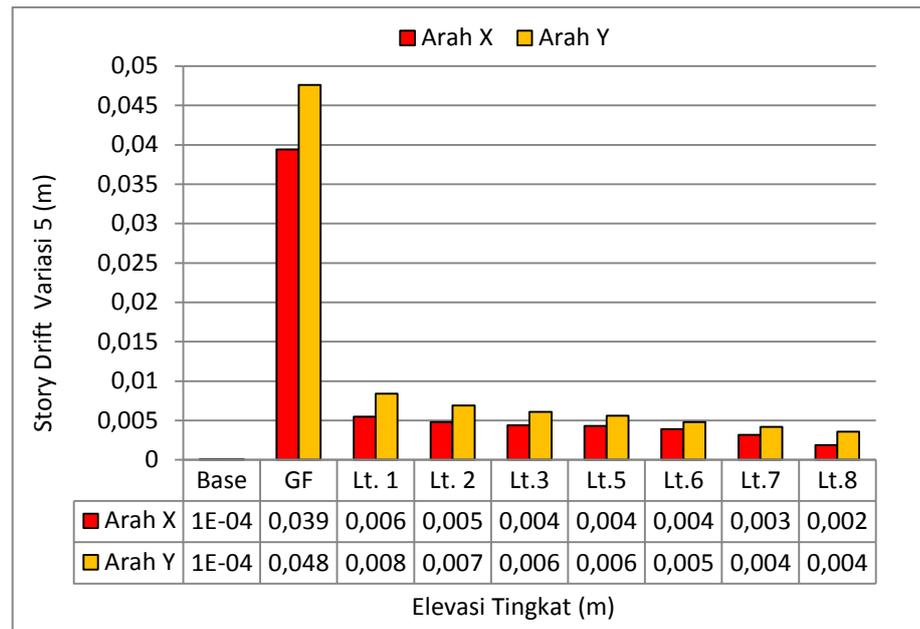


Gambar 4.21 Story Drift Variasi 4

Pada arah Y bangunan variasi 4, *drift* tertinggi juga terjadi pada *ground floor* dimana peningkatan *drift* terhadap *basement* mencapai 21,6 mm. Penurunan *drift* juga terjadi secara drastis pada tingkat 1 sampai tingkat 8 dengan rata-rata penurunan sebesar 13,47 mm terhadap *ground floor*.

6. Variasi 5

Gambar 4.22 menunjukkan perbedaan nilai *drift* pada tingkat bangunan arah X dan Y bangunan. Pada *ground floor* terjadi peningkatan drastis nilai *drift* disebabkan oleh ketinggian *ground floor* mencapai 16 m untuk mengetahui pengaruh penambahan ketinggian tingkat secara signifikan. Peningkatan nilai *drift* terhadap *basement* sebesar 38 mm dan nilai *drift* mulai menurun secara konsisten pada tingkat 1 sampai tingkat 8 dengan rata-rata penurunan nilai *drift* terhadap *ground floor* sebesar 35,9 mm.



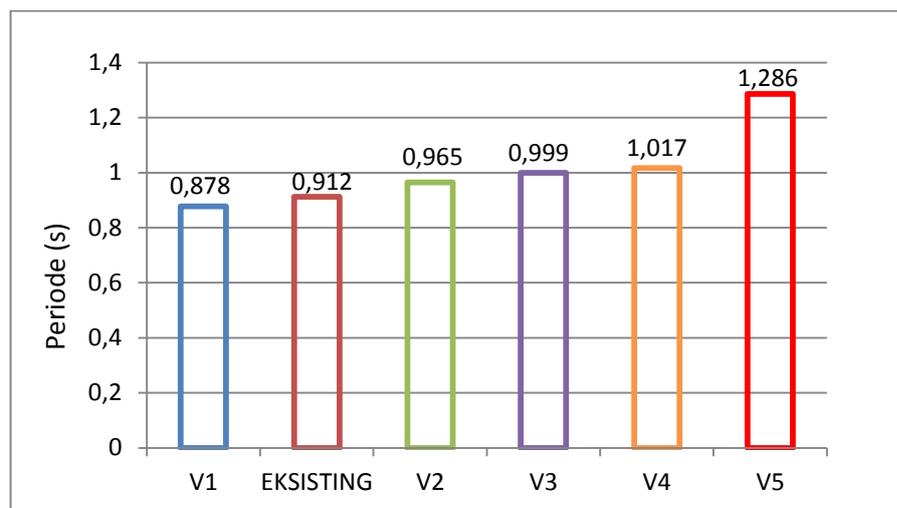
Gambar 4.22 Story Drift Variasi 4

Pada nilai *drift* pada arah Y bangunan juga tidak berbeda pola kenaikannya dengan arah X, *ground floor* sebagai tingkat dengan pemberian simpangan terbesar menghasilkan *drift* sebesar 47 mm terhadap basement. Nilai *drift* dengan rata-rata sebesar 42,65 terhadap *ground floor* pada tingkat 1 sampai tingkat 8 juga menimbulkan penurunan secara drastis akibat ketinggian *ground floor* yang sangat tinggi diantara tingkat lainnya.

4.2.4 Periode Getar Struktur

Kekakuan pada kolom berkontribusi untuk menentukan besar periode struktur bangunan. Jika kolom pada struktur mempunyai kekakuan yang kecil, maka gaya pemulihan yang diperlukan untuk mengembalikan struktur dari keadaan terdefleksi ke posisi yang semula juga relatif kecil akibat beban gempa. Kondisi ini ditunjukkan pada gambar 4.23, dimana besar nilai periode struktur diurutkan dari nilai terkecil ke nilai terbesar. Periode pada kondisi eksisting mengalami kenaikan terhadap variasi 1 sebesar 3,87 %, variasi 2 sebesar 9,91%, variasi 3

sebesar 13,78%, variasi 4 sebesar 15,83%, dan variasi 5 sebesar 46,47%. Hasil analisis membuktikan bahwa, semakin besar ketinggian kolom pada *ground floor* maka periode getar struktur juga semakin panjang berdasarkan kondisi variasi 5. Kolom pada variasi 1 memiliki kekakuan yang lebih baik karena ketinggian bangunan yang tipikal menghasilkan periode getar struktur yang relatif pendek dibandingkan bangunan *soft second story* lainnya.

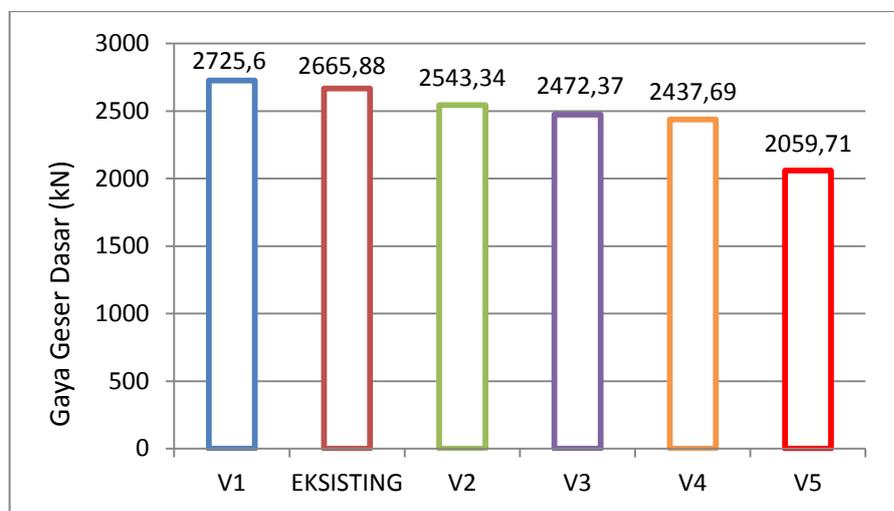


Gambar 4.23 Periode Getar Struktur

4.2.5 Base Shear

Besarnya nilai *base shear* dipengaruhi oleh massa dan kekakuan struktur. Besar nilai *base shear* pada bangunan ditunjukkan pada gambar 4.24, dimana nilai *base shear* variasi 1 menjadi tolak ukur untuk variasi lainnya setelah nilai *base shear* diurutkan dari nilai terkecil ke nilai terbesar. Penurunan *base shear* terjadi pada eksisting terhadap variasi 1 sebesar sebesar 2,19%, variasi 2 sebesar 6,86 %, variasi 3 sebesar 9,29%, dan variasi 4 sebesar 10,56%. Penurunan *base shear* terbesar terjadi pada variasi 5, dimana penambahan 12,2 m pada ketinggian kolom *ground floor* variasi 1 menurunkan *base shear* sebesar 24,43%. Sedangkan penurunan *base shear* di 4 variasi lainnya rata-rata mencapai 7,2% terhadap *base*

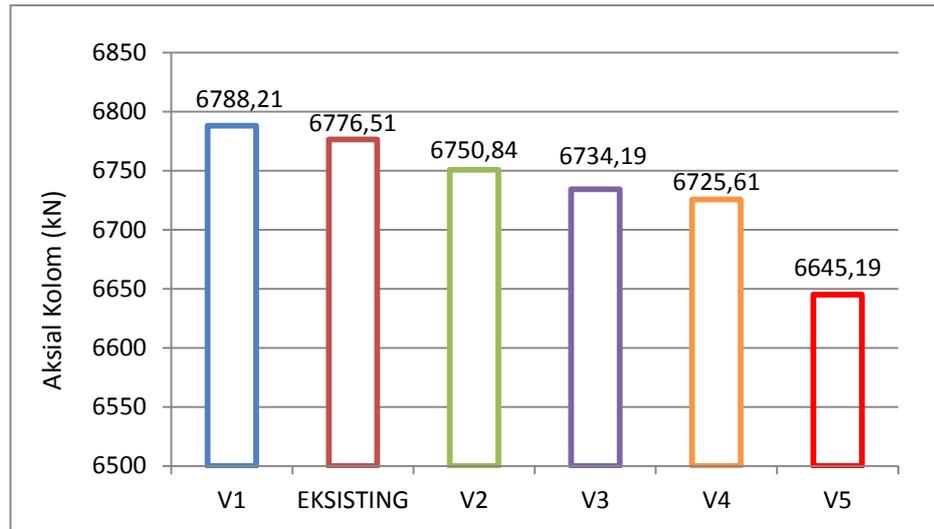
shear variasi 1. Oleh karena itu, semakin bertambah ketidakberaturan bangunan *soft second story*, maka *base shear* semakin kecil.



Gambar 4.24 Base Shear

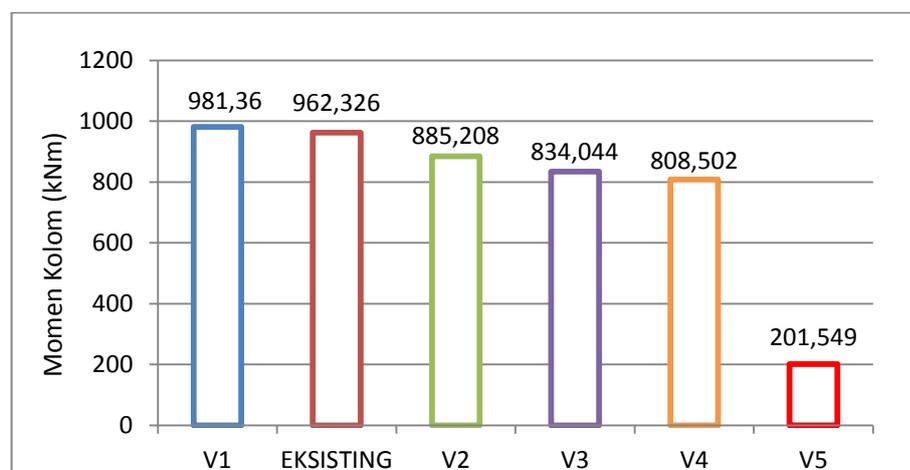
4.2.6 Aksial dan Momen Kolom

Kombinasi pembebanan C digunakan untuk hasil analisis gaya dalam pada struktur karena menghasilkan nilai aksial dan momen kolom paling signifikan. Nilai aksial dan Momen kolom ditinjau pada kolom C24 pada *ground floor* karena kolom tersebut mengalami simpangan paling besar. Hasil analisis terhadap nilai aksial kolom ditunjukkan pada gambar 4.25, dimana variasi 1 menghasilkan nilai aksial terbesar diantara eksisting dan 5 variasi lainnya. Eksisting mengalami penurunan nilai aksial terhadap variasi 1 sebesar 0,17 %, variasi 2 sebesar 0,55%, variasi 3 sebesar 0,79%, variasi 4 sebesar 0,77%,. Variasi 5 dengan ketinggian kolom *soft second story* terbesar menghasilkan penurunan nilai aksial sebesar 2,11%. Disimpulkan bahwa penambahan secara signifikan ketinggian kolom *ground floor* menghasilkan perbedaan nilai aksial yang tidak jauh berbeda, sehingga cenderung tetap.



Gambar 4.25 Aksial Kolom

Hasil analisis terhadap nilai momen kolom seluruh variasi juga menghasilkan pola penurunan yang sama terhadap nilai aksial kolom, yaitu variasi 1 menghasilkan nilai momen kolom terbesar. Penurunan nilai momen kolom eksisting terhadap variasi 1 sebesar 1,93%, variasi 2 sebesar 9,79%, variasi 3 sebesar 15,01%, variasi 4 sebesar 17,61%. Variasi 5 mengalami lonjakan penurunan nilai momen kolom yang drastis terhadap variasi 1, yaitu sebesar 79,46%. Dipastikan bahwa ketinggian kolom *ground floor* yang semakin tinggi menyebabkan turunnya secara signifikan nilai momen kolom.



Gambar 4.26 Momen Kolom

Hubungan aksial dan momen pada kolom ditinjau untuk mengetahui besar eksentrisitas pada kolom. Eksentrisitas gaya e adalah momen lentur M_u dibagi gaya aksialnya P_u . Analisis terhadap kolom perlu ditambahkan eksentrisitas minimal dalam arah tegak lurus sumbu lentur. Berikut ini besar eksentrisitas yang terjadi pada kolom *ground floor* di seluruh variasi.

Tabel 4.5 Eksentrisitas Kolom

	Batas e min $e \leq 0,1h$	Nilai eksentrisitas (m)
Eksisting	0,1	0,142
Variasi 1	0,1	0,144
Variasi 2	0,1	0,131
Variasi 3	0,1	0,123
Variasi 4	0,1	0,121
Variasi 5	0,1	0,031

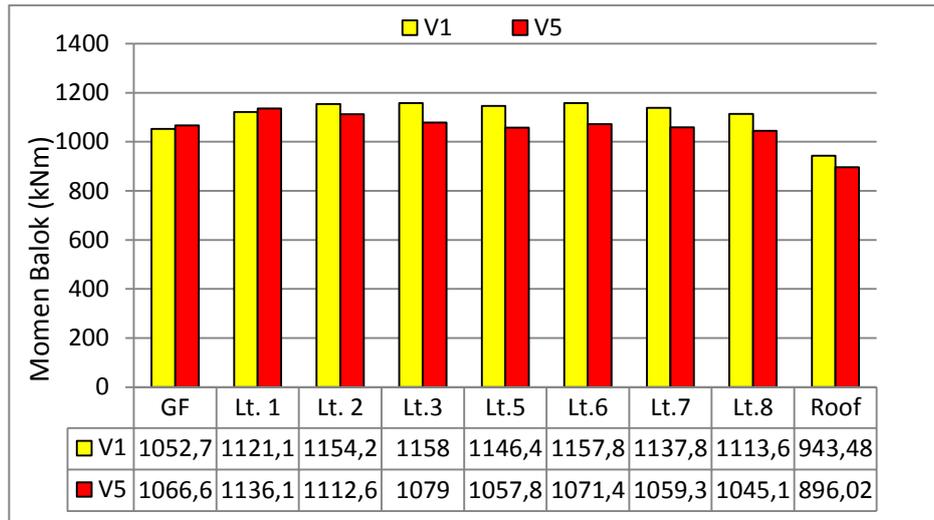
Didapatkan bahwa eksentrisitas pada eksisting, variasi 1, variasi 2, variasi 3 dan variasi 4 melebihi dari batas eksentrisitas maksimum. Keruntuhan tekan akan terjadi karena aksial lebih dominan dari momen lentur dimana beton mencapai kondisi tegangan hancur akibat tekan sebelum baja mencapai kondisi regangan lelehnya. Sedangkan pada variasi 5 eksentrisitas masih dalam batas maksimum karena momen lentur yang terjadi pada variasi 5 mengalami penurunan secara signifikan sehingga menurunkan eksentrisitas pada kolom. Walaupun eksentrisitas aman, kolom *ground floor* variasi 5 dengan ketinggian 16 m dipastikan sebagai kolom langsing akan menerima momen lentur tambahan (momen sekunder) akibat efek $P-\Delta$ dan mengalami deformasi ke arah lateral, dimana P adalah aksial dan Δ

adalah defleksi kolom tertekuk ke arah lateral. Momen sekunder dengan sendirinya akan mengakibatkan efek tekuk pada kolom.

4.2.7 Momen Balok

Balok adalah elemen struktur horizontal yang menerima pembebanan vertikal dan horizontal. Beban vertikal menghasilkan momen positif dan momen negatif pada balok. Momen positif pada lapangan balok menyebabkan tarik, sedangkan momen negatif menyebabkan tekan pada tumpuan balok. Keruntuhan balok umumnya diakibatkan oleh tarik, sehingga beban vertikal berpengaruh pada momen balok. Sedangkan beban horizontal berpengaruh terhadap gaya geser balok. Balok B272 yang berada pada tengah bangunan dianalisis besar nilai momen pada balok dengan kombinasi pembebanan C karena menghasilkan nilai momen paling signifikan.

Perbandingan nilai momen balok pada variasi 5 terhadap momen balok variasi 1 dilakukan untuk mengetahui besar perbedaan momen balok secara jelas. Berdasarkan gambar 4.27, *ground floor* dan lantai 1 pada variasi 5 mengalami kenaikan nilai momen sebesar 1,32% dan 1,33% terhadap nilai momen variasi 1. Kemudian mulai terjadi penurunan dari lantai 2 sampai *roof floor* dengan rata-rata penurunan sebesar 6,61%. Penambahan sebesar 12,2 m pada ketinggian kolom *ground floor* variasi 1 menurunkan momen balok sebesar 4,61% sehingga dapat dipastikan bangunan *soft second story* menghasilkan momen balok lebih kecil daripada bangunan *non soft story* walaupun dengan perbedaan yang tidak signifikan.



Gambar 4.27 Momen Balok

Kesesuaian antara hasil perhitungan penelitian dengan hasil perhitungan yang ada di lapangan dihitung untuk mengetahui validitas penelitian dengan memastikan konfigurasi tulangan salah satunya pada momen balok. Hasil perhitungan penelitian yang menggunakan *software* ETABS dibuktikan dengan kesesuaian jumlah konfigurasi tulangan balok pada balok B272 pada *ground floor* dengan daerah tumpuan dan daerah lapangan sebagai mana terlihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data Tulangan Terpakai Balok B272

PC5 (500 × 800)			
Luas Tulangan Terpakai	Tulangan Utama	Tumpuan	Lapangan
		3434,375 mm ²	3434,375 mm ²
	Sengkang	2Ø2 - 125	2Ø2 - 150
Luas Tulangan Perlu Berdasarkan ETABS	Tulangan Utama	4678,334 mm ²	-
		-	2235,328 mm ²
	Sengkang	2Ø2 - 125	2Ø2 - 150

Interpretasi :

Berdasarkan perhitungan tulangan pokok balok B272 dengan perhitungan aktual lapangan pada Wisma Cipinang Indah, didapatkan perbandingan perbedaan As tulangan sebagai berikut.

Tabel 4.7 Perbedaan Tulangan Pokok Balok B272

Tulangan	Tumpuan	Lapangan
Atas	36,2 %	-
Bawah	-	34,9 %

Berdasarkan perhitungan diatas diketahui bahwa perhitungan ETABS pada daerah tumpuan menghasilkan tulangan lebih banyak sebesar 36,2% atau sebanyak 3 tulangan dari tulangan aktual. Sedangkan pada daerah lapangan perhitungan ETABS menghasilkan tulangan yang lebih sedikit sebesar 34,9% atau sebanyak 2 tulangan dari tulangan aktual. Perbedaan tulangan terjadi dikarenakan sistem balok *prestressed* yang tidak dimodelkan pada ETABS. Selain itu juga keterbatasan data lapangan berupa data pembebanan yang dipakai pada proyek tidak tersedia sehingga perhitungan ETABS yang dihasilkan tidak terlalu spesifik untuk menghitung ulang struktur eksisting.

4.2.8 Pembahasan Keseluruhan

Secara keseluruhan variasi ketinggian kolom pada bangunan *soft second story* mempengaruhi nilai dari respon struktur bangunan. Hasil analisis menghasilkan pola kenaikan dan penurunan yang sama yang ditunjukkan pada kondisi eksisting, variasi 2, variasi 3, dan variasi 4 dengan perbedaan ketinggian kolom antar variasi yang kurang dari 35%. Selebihnya, variasi 5 dengan perbedaan ketinggian 4 kali

lipat terhadap variasi 1 menghasilkan perubahan nilai analisis yang paling drastis terhadap seluruh respon struktur.

Tabel 4.8 Persentase Perubahan Nilai Respon Struktur

	Penambahan Ketinggian	Persentase Perubahan Nilai Respon Struktur					
		Aksial Kolom	Momen Kolom	Periode Getar	Base Shear	Displacement	
						X	Y
Eksisting	1,2 m	-0,17%	-1,93%	3,87%	-2,19%	1,16%	1,29%
Variasi 2	2,7 m	-0,55%	-9,79%	9,91%	-6,86%	1,49%	1,68%
Variasi 3	3,7 m	-0,79%	-15,01%	13,78%	-9,29%	2,15%	2,32%
Variasi 4	4,2 m	-0,77%	-17,61%	15,83%	-10,56%	2,68%	2,71%
Variasi 5	12,2 m	-2,11%	-79,46%	46,47%	-24,43%	11,49%	12,93%

Keterangan :

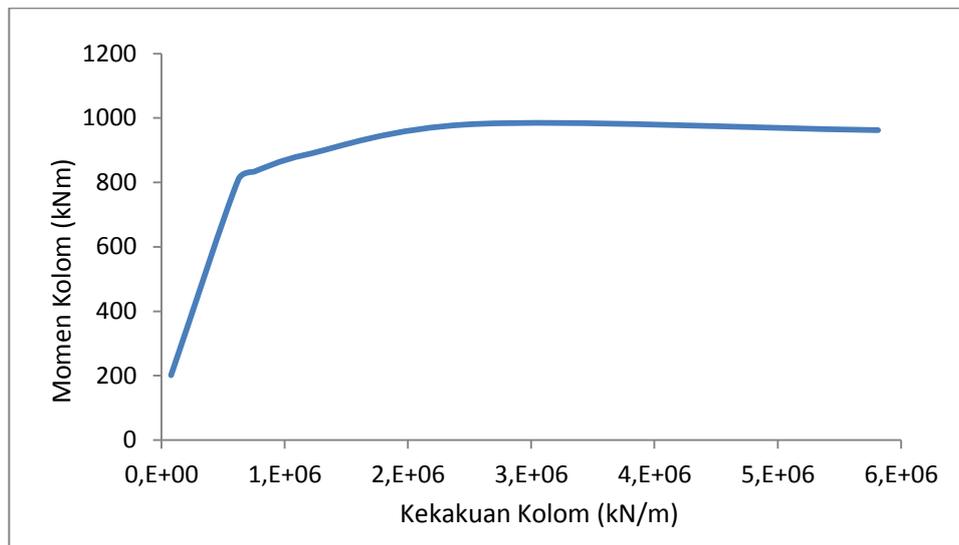
(-) persentase mengalami penurunan

(+) persentase mengalami kenaikan

Bangunan *soft second story* terbukti memiliki kekakuan bangunan dengan penurunan yang cukup besar, khususnya pada kolom *ground floor* yang diberikan penambahan ketinggian kolom secara ekstrim. Walaupun tidak diikuti dengan perubahan dimensi kolom, hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh variasi masih memiliki kapasitas kolom yang aman dari bahaya tekan. Perubahan aksial kolom di tingkat yang ditinjau juga tidak jauh berbeda dikarenakan beban vertikal pada kolom yang masih konsisten pada seluruh variasi.

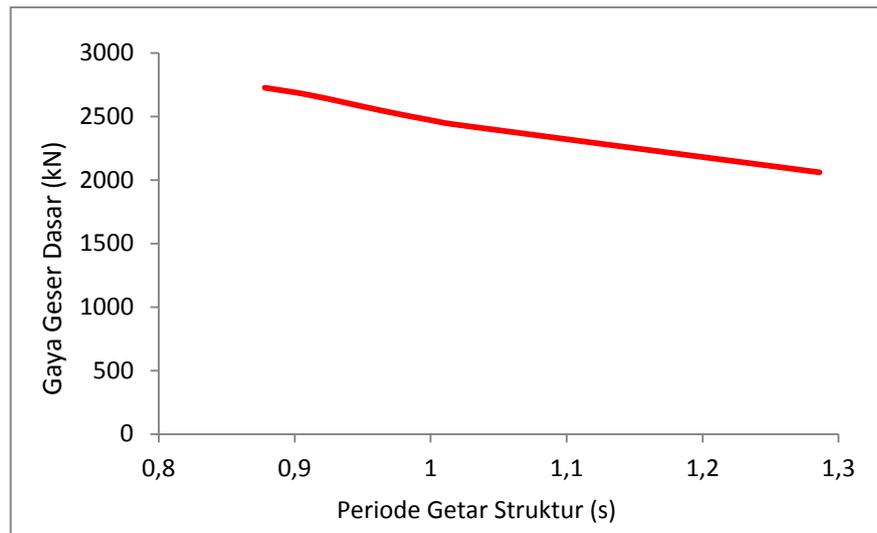
Kekakuan yang rendah pada variasi kolom *ground floor* menyebabkan penurunan nilai momen kolom dan momen balok. Kondisi ini diakibatkan oleh rendahnya kekakuan pada bangunan *soft second story* yang mengurangi kemampuan bangunan dalam menyerap beban lateral gempa, sehingga

menghasilkan momen yang relatif kecil. Selain itu juga, penurunan pada nilai momen kolom memperkecil eksentrisitas kolom sehingga eksentrisitas semakin mengecil pada kolom variasi. Hubungan kekakuan kolom terhadap momen kolom ditunjukkan pada gambar 4.28 sebagai penurunan nilai momen paling signifikan.



Gambar 4.28 Hubungan Kekakuan Terhadap Momen Kolom

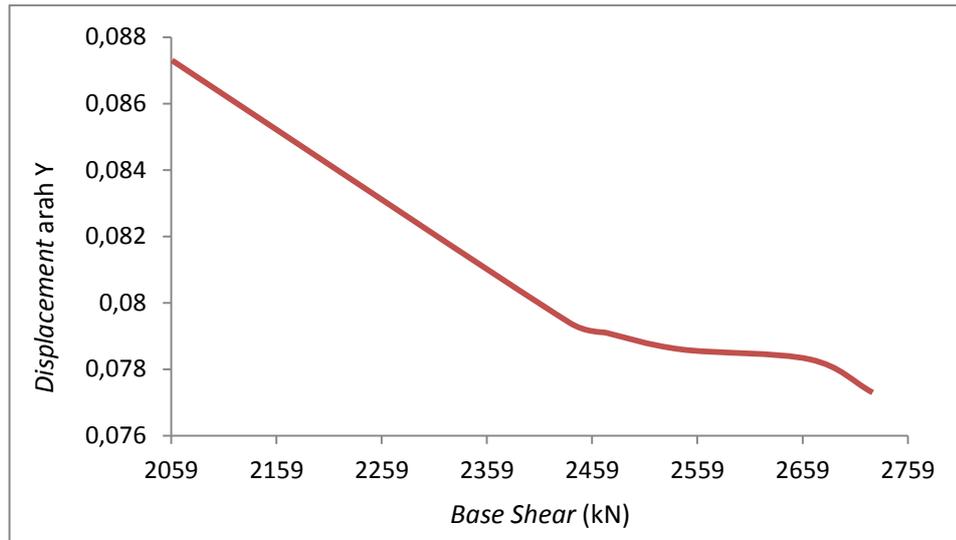
Penurunan kekakuan kolom bangunan *soft second story* juga menyebabkan bangunan menjadi lebih fleksibel dengan menghasilkan periode getar yang lebih panjang. Sedangkan bangunan dengan ketinggian tipikal atau bangunan *non soft story* menghasilkan periode getar terpendek. Besarnya nilai periode getar tersebut mempengaruhi nilai *base shear*, dimana semakin besar nilai periode getar maka nilai *base shear* semakin kecil yang ditunjukkan pada gambar 4.29. Bangunan *soft second story* dengan periode terpanjang memperkecil nilai *base shear* yang ditahan karena massa dan kekakuan bangunan yang tidak *compact* terhadap beban gempa.



Gambar 4.29 Hubungan Periode Getar Struktur Terhadap *Base Shear*

Nilai *displacement* dan *story drift* pada arah Y bangunan lebih besar daripada arah X bangunan. Perbedaan tersebut disebabkan oleh denah struktur yang masih cenderung beraturan dalam arah horizontal tetapi tidak simetris sempurna karena adanya coakan pada arah X dan Y bangunan. Selain itu juga, bangunan *soft second story* yaitu eksisting, variasi 2, variasi 3, variasi 4 dan variasi 5 masih memiliki simpangan yang diizinkan. Tetapi perlu diperhatikan bahwa lonjakan ketinggian kolom *ground floor* pada variasi 5 tidak dianjurkan, karena hal tersebut akan menyebabkan kegagalan tekuk dan torsi pada kolom yang sangat berbahaya terhadap keseluruhan bangunan.

Hubungan besar nilai *base shear* terhadap *displacement* maksimum ditunjukkan pada gambar 4.30, dimana variasi 5 dengan *base shear* terkecil menyebabkan simpangan bangunan menjadi besar. Kondisi ini diakibatkan karena variasi 5 sebagai bangunan *soft second story* tidak cukup mampu menahan beban lateral gempa yang besar, tetapi simpangan yang terjadi menjadi maksimum akibat bangunan yang menjadi lebih fleksibel.



4.30 Hubungan *Base Shear* terhadap *Displacement Arah Y*

4.3 Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memfokuskan untuk menganalisis perilaku struktur bangunan dengan balok yang mengalami pelemahan karena memiliki masalah yaitu beberapa balok pada hasil analisis seluruh variasi mengalami *overstressed*. Hal ini diakibatkan karena balok *prestressed* jenis *post tension* tidak dimasukkan ke dalam analisis.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dalam skripsi ini, disimpulkan bahwa bangunan *soft second story* mempengaruhi perilaku bangunan terhadap gempa yang dijabarkan sebagai berikut.

1. Bangunan *soft second story* menurunkan kekakuan bangunan sehingga memperkecil gaya dalam struktur, memperbesar periode getar struktur, memperkecil *base shear*, dan memperbesar *displacement* dan *story drift*. Oleh karena itu, bangunan *soft second story* memiliki ketahanan terhadap beban gempa lebih rendah daripada bangunan *non soft story*. Semakin besar ketidakberaturan *soft second story* pada bangunan, maka perilaku bangunan semakin besar untuk mendekati keruntuhan akibat beban gempa.
2. Gaya dalam struktur ditinjau untuk mengetahui kegagalan struktur yang akan terjadi akibat gaya gempa. Didapatkan bahwa balok mengalami pelelehan terlebih dahulu sebelum terjadinya keruntuhan kolom, dimana kolom pada *ground floor* akan runtuh akibat tekan. Hal ini masih sesuai dengan prinsip kolom kuat balok lemah walaupun kolom mengalami penambahan ketinggian yang signifikan.
3. Walaupun bangunan *soft second story* memiliki massa bangunan yang lebih besar daripada bangunan *non soft story*, tidak menjamin nilai *base shear* yang terjadi akan ikut membesar. Artinya, massa bukan satu-satunya faktor yang menentukan besarnya nilai *base shear*, tetapi dipengaruhi juga oleh beraturan

atau tidaknya konfigurasi bangunan. Oleh karena itu, *base shear* yang terjadi pada bangunan *soft second story* menurun.

4. Seluruh variasi memiliki *displacement* yang aman, tetapi tidak dianjurkan untuk menambahkan ketinggian kolom dengan berkali - lipat karena harus mempertimbangkan faktor gaya dalam berupa bahaya tekuk dan torsi yang besar serta faktor fungsi dan lokasi bangunan tersebut. *Displacement* variasi bangunan *soft second story* melalui penambahan ketinggian kolom mengalami perubahan *displacement* yang tidak signifikan. Rata-rata perubahan simpangan yang terjadi pada variasi bangunan arah X sebesar 0,4 mm dan arah Y sebesar 0,53 mm. Sedangkan *displacement* maksimum pada seluruh variasi sebesar 0,481 m dengan ketinggian *ground floor* mencapai 16 m, padahal batas simpangan ijin masih sebesar 0,526 m. Dikhawatirkan untuk melampaui batas *displacement* maksimum, penambahan ketinggian kolom menjadi tidak realistis terhadap kondisi lapangan sehingga ketinggian kolom maksimum pada *ground floor* tidak tercapai. Selain itu juga, semakin langsing struktur kolom maka kolom akan mengalami fenomena tekuk dan torsi akibat dari adanya kekakuan kolom yang menurun drastis serta panjang kolom yang tidak stabil. Oleh karena itu, bangunan *soft second story* bisa menjadi sangat berbahaya.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan pada penelitian ini, maka saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Perlu ditinjau dimensi balok yang aman untuk analisis bangunan *soft second story* dengan variasi ketinggian kolom karena keterbatasan penelitian ini yang mengabaikan balok *overstressed*.

2. Dapat dilakukan analisis bangunan *soft story* dengan diskontinuitas kolom dengan mempertahankan ketinggian bangunan.
3. Analisis dengan mendesain ulang dimensi kolom terbaik bisa dilakukan agar ketidakberaturan *soft story* bisa direduksi pengaruhnya terhadap perilaku bangunan.
4. Penambahan kekakuan bangunan menggunakan *bracing*, *base isolator*, dan *outrigger* pada analisis bangunan *soft story* bisa dilakukan sebagai solusi untuk mengatasi ketidakberaturan *soft story*.

DAFTAR PUSTAKA

- Antonius, & Widhianto, A. (2013). Efek soft storey pada respon dinamik struktur gedung beton. 2.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 03-1726-2012. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung, SNI 03-1727-2013. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Bhusnar, D. L., Pise, C., Mohite, D., Pawar, Y., Kadam, S., & Deshmukh, C. (2016). Study of different infill material on the seismic behaviour of multi-storey building with soft storey study of different infill material on the seismic behaviour of multi-storey building with soft storey. 2.
- Budiono, B., & Wicaksono, E. B. (2016). Perilaku struktur bangunan dengan ketidakberaturan vertikal tingkat lunak berlebihan dan massa terhadap beban gempa. *Jurnal Teknik Sipil*, 114.
- Contessa, E. (2008). *Buku Merancang Rumah di Area Gempa*. Jakarta.
- Cornelis, R., Bunganaen, W., & Umbu, B. H. (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*, 207.
- Fakhrurrazy, Manalip, H., & Windah, R. S. (2015). Analisis dinamis bangunan bertingkat banyak dengan variasi persentase coakan pada denah struktur bangunan. *Tekno vol.13*, 10.
- Halde, V. V., & Deshmukh, A. H. (2016). Soft storey effect on structural response of high rise. 2.
- Indarto, H., Cahyo, H. T., & Adi Putra, K. C. (2013). *Aplikasi SNI Gempa 1726:2012 for Dummies*. Semarang: Teknik Sipil UNNES.
- Ismanto, I. (2009). Dasar-dasar Perancangan Bangunan Tahan Gempa untuk Arsitek Desainer. Jakarta: Arsitektur FT UKI.
- Maer, B. W. (2002). *Gempa Bumi, Pengaruhnya Terhadap Tampilan Bangunan*. Surabaya: Universitas Kristen Petra.
- Manalip, H. (2015). Analisis dinamis portal bertingkat banyak multi bentang dengan variasi tingkat (Storey) pada tiap bentang. *Tekno Vol.13*, No.63.

- Muto, K. (1987). *Analisis Perancangan Gedung Tahan Gempa*. Jakarta: Erlangga.
- Paulay, T., & Priestley, M. (1992). *Seismic Design Of Reinforced Concrete And Masonry Building*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Pawirodikromo, W., 2012. *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Riza, M. (2006). *Perencanaan Struktur Gedung Swalayan RAMAI Semarang*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Sadero, A. A. (2011). *Evaluasi dan Perbaikan Struktur Bangunan Eksisting dengan Metode Peningkatan Kinerja Elemen untuk Memenuhi SNI 03-1726-2002 dengan Studi kasus Gedung X Jakarta*. Jakarta: Teknik Sipil Universitas Indonesia.
- Schodeck, D. L. (1998). *Structures*. Refika: PT Refika Aditama.
- Schueller, W. (1989). *Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi*. Bandung: PT Eresco Bandung.
- Shailendra, S., & Babulal, V. H. (2015). *Seismic response of soft storey on high rise building frame*.
- Smith, B. S., & Coull, A. (1991). *Tall Bulding Structures : Analysis and Design*. United States: John Wiley & Sons, Inc.
- Suryanto, B. (2014, Desember 19). *Software ETABS, Software Analisis Struktur Pilihan untuk Struktur Gedung*. Dipetik Maret 25, 2017, dari Cerita Engineer : <http://ceritaengineer.blogspot.co.id/2014/12/software-etabs-software-analisis.html>
- Tamara, M. (2011). *Evaluasi kerusakan bangunan akibat beban gempa*. 2.
- Tosari, D. S., Hunggurami, E., & Pah, J. J. (2016). *Pengaruh dinding pengisi pada tingkat dasar bangunan tingkat tinggi terhadap terjadinya mekanisme soft story*. 2.
- Yehezkiel, H. M., Wallah, S. E., & Windah, R. S. (2014). *Analisis pushover pada bangunan dengan soft first story*. 1.

DAFTAR NOTASI

A_s	= luas tulangan
b	= dimensi lebar
C_d	= faktor amplikasi defleksi
D	= <i>dead Load</i>
E	= elastisitas bahan
e	= eksentrisitas
F	= gaya gempa desain tingkat kekuatan
F_a	= Percepatan pada getaran perioda pendek
f_c'	= kuat tekan beton
F_v	= Percepatan pada getaran perioda 1 detik
f_y	= kuat leleh baja
f_u	= kuat leleh <i>deck</i>
f	= frekuensi
h	= dimensi tinggi
I_e	= faktor keutamaan gempa
I	= inersia
k	= kekakuan
L	= <i>live load</i>
l	= dimensi panjang
M_u	= momen lentur
N	= jumlah tingkat
P_u	= beban aksial
ρ	= faktor redudansistruktur
Q_{EX}	= beban gempa arah X
Q_{EY}	= beban gempa arah Y
R	= faktor modifikasi respons
S_{DS}	= spektrum respons percepatan desain (g)
S_{MS}	= parameter respons spektrum percepatan gempa <i>MCER</i> periode pendek
S_{MI}	= parameter respons spektrum percepatan gempa <i>MCER</i> periode 1 detik
T	= periode getar fundamental struktur
T_c	= periode fundamental struktur hasil program analisis struktur
V	= gaya geser dasar
W	= beban efektif seismik
δ	= perpindahan
Δ	= simpangan antar lantai desain
Δ_a	= simpangan antar lantai yang diizinkan
Ω_o	= faktor kuat lebih sistem

LAMPIRAN

Lampiran 1. Kekakuan Kolom

A. Basement

1. Eksisting

Elastisitas beton (E) : 20000000 kN/m²

Dimensi kolom : K1 : 1000 x 1000

K2 : 1250 x 1250

Tinggi kolom (l) : 4,05 m

Inersia Kolom (I)

$$I_1 : \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$\frac{1}{12} \times 1 \times 1^3 = 0,083 \text{ m}^4$$

$$I_2 : \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$\frac{1}{12} \times 1,25 \times 1,25^3 = 0,162 \text{ m}^4$$

Kekakuan Kolom (k)

$$k_1 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,083}{4,05^3} = 301068,2 \text{ kN/m}$$

$$k_2 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,162}{4,05^3} = 588023,9 \text{ kN/m}$$

Total kekakuan kolom : $14(301068,2) + 588023,9 = 4802979 \text{ kN/m}$

2. Variasi 1 (*non soft story*)

Elastisitas beton (E) : 20000000 kN/m²

Dimensi kolom : K1 : 1000 x 1000

K2 : 1250 x 1250

Tinggi kolom (l) : 3,8 m

Inersia Kolom (I)

$$I_1 : \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$\frac{1}{12} \times 1 \times 1^3 = 0,083 \text{ m}^4$$

$$I_2 : \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$\frac{1}{12} \times 1,25 \times 1,25^3 = 0,162 \text{ m}^4$$

Kekakuan Kolom (k)

$$k_1 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,083}{3,8^3} = 364484,6 \text{ kN/m}$$

$$k_2 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,13}{3,8^3} = 711884 \text{ kN/m}$$

Total kekakuan kolom : $14(364484,6) + 711884 = 5814669 \text{ kN/m}$

B. Ground Floor

1. Eksisting

Elastisitas beton (E) : 20000000 kN/m²

Dimensi kolom : K1 : 1000 x 1000

K2 : 1250 x 1250

Tinggi kolom (l) : 5 m

Inersia Kolom (I)

$$I_1 : \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$\frac{1}{12} \times 1 \times 1^3 = 0,083 \text{ m}^4$$

$$I_2 : \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$\frac{1}{12} \times 1,25 \times 1,25^3 = 0,162 \text{ m}^4$$

Kekakuan Kolom (k)

$$k_1 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,083}{5^3} = 160000 \text{ kN/m}$$

$$k_2 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,13}{5^3} = 312500 \text{ kN/m}$$

Total kekakuan kolom : $14(160000) + 312500 = 2552500 \text{ kN/m}$

2. Variasi 1

Elastisitas beton (E) : 20000000 kN/m²

Dimensi kolom : K1 : 1000 x 1000

K2 : 1250 x 1250

Tinggi kolom (l) : 3,8 m

Inersia Kolom (I)

$$I_1 : \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$\frac{1}{12} \times 1 \times 1^3 = 0,083 \text{ m}^4$$

$$I_2 : \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$\frac{1}{12} \times 1,25 \times 1,25^3 = 0,162 \text{ m}^4$$

Kekakuan Kolom (k)

$$k_1 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,083}{3,8^3} = 364484,6 \text{ kN/m}$$

$$k_2 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,13}{3,8^3} = 711884 \text{ kN/m}$$

Total kekakuan kolom : $14(364484,6) + 711884 = 5814669 \text{ kN/m}$

3. Variasi 2

Elastisitas beton (E) : 20000000 kN/m²

Dimensi kolom : K1 : 1000 x 1000

K2 : 1250 x 1250

Tinggi kolom (l) : 6,5 m

Inersia Kolom (I)

$$I_1 : \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$\frac{1}{12} \times 1 \times 1^3 = 0,083 \text{ m}^4$$

$$I_2 : \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$\frac{1}{12} \times 1,25 \times 1,25^3 = 0,162 \text{ m}^4$$

Kekakuan Kolom (k)

$$k_1 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,083}{6,5^3} = 72826,58 \text{ kN/m}$$

$$k_2 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,13}{6,5^3} = 142239,4 \text{ kN/m}$$

Total kekakuan kolom : $14(72826,58) + 142239,4 = 1161812 \text{ kN/m}$

4. Variasi 3

Elastisitas beton (E) : 20000000 kN/m²

Dimensi kolom : K1 : 1000 x 1000
K2 : 1250 x 1250

Tinggi kolom (l) : 7,5 m

Inersia Kolom (I)

$$I_1 : \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$\frac{1}{12} \times 1 \times 1^3 = 0,083 \text{ m}^4$$

$$I_2 : \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$\frac{1}{12} \times 1,25 \times 1,25^3 = 0,162 \text{ m}^4$$

Kekakuan Kolom (k)

$$k_1 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,083}{7,5^3} = 47407,41 \text{ kN/m}$$

$$k_2 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,13}{7,5^3} = 92592,59 \text{ kN/m}$$

Total kekakuan kolom : $14(47407,41) + 92592,59 = 756296,3 \text{ kN/m}$

5. Variasi 4

Elastisitas beton (E) : 20000000 kN/m²

Dimensi kolom : K1 : 1000 x 1000
K2 : 1250 x 1250

Tinggi kolom (l) : 8 m

Inersia Kolom (I)

$$I_1 : \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$\frac{1}{12} \times 1 \times 1^3 = 0,083 \text{ m}^4$$

$$I_2 : \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$\frac{1}{12} \times 1,25 \times 1,25^3 = 0,162 \text{ m}^4$$

Kekakuan Kolom (k)

$$k_1 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,083}{8^3} = 39062,5 \text{ kN/m}$$

$$k_2 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,13}{8^3} = 76293,95 \text{ kN/m}$$

Total kekakuan kolom : $14(39062,5) + 76293,95 = 623168,9 \text{ kN/m}$

6. Variasi 5

Elastisitas beton (E) : 20000000 kN/m²

Dimensi kolom : K1 : 1000 x 1000

K2 : 1250 x 1250

Tinggi kolom (l) : 16 m

Inersia Kolom (I)

$$I_1 : \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$\frac{1}{12} \times 1 \times 1^3 = 0,083 \text{ m}^4$$

$$I_2 : \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$\frac{1}{12} \times 1,25 \times 1,25^3 = 0,162 \text{ m}^4$$

Kekakuan Kolom (k)

$$k_1 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,083}{16^3} = 68359,38 \text{ kN/m}$$

$$k_2 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,13}{16^3} = 9536,743 \text{ kN/m}$$

Total kekakuan kolom : $14(68359,38) + 9536,743 = 77896,12 \text{ kN/m}$

C. Lantai 1

Elastisitas beton (E) : 20000000 kN/m²

Dimensi kolom : K1 : 1000 x 1000

K2 : 1250 x 1250

Tinggi kolom (l) : 3,8 m

Inersia Kolom (I)

$$I_1 : \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$D. \quad \frac{1}{12} \times 1 \times 1^3 = 0,083 \text{ m}^4$$

$$I_2 : \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$\frac{1}{12} \times 1,25 \times 1,25^3 = 0,162 \text{ m}^4$$

Kekakuan Kolom (k)

$$k_1 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,083}{3,8^3} = 364484,6 \text{ kN/m}$$

$$k_2 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,13}{3,8^3} = 711884 \text{ kN/m}$$

Total kekakuan kolom : $14(364484,6) + 711884 = 5814669 \text{ kN/m}$

Lampiran 2. Eksentrisitas Kolom

Kolom C24

1. Eksisting

Aksial Kolom (P_u) : 6776,51 kN

Momen lentur (M_u) : 962,326 kNm

e izin : 0,1 m

eksentrisitas : $e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{962,326}{6776,51} = 0,142$ m

2. Variasi 1

Aksial Kolom (P_u) : 6788,21 kN

Momen lentur (M_u) : 981,36 kNm

e izin : 0,1 m

eksentrisitas : $e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{981,36}{6788,21} = 0,144$ m

3. Variasi 2

Aksial Kolom (P_u) : 6750,84 kN

Momen lentur (M_u) : 885,208 kN

e izin : 0,1 m

eksentrisitas : $e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{885,208}{6750,84} = 0,131$ m

4. Variasi 3

Aksial Kolom (P_u) : 6734,19 kN

Momen lentur (M_u) : 834,044

e izin : 0,1 m

eksentrisitas : $e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{834,044}{6734,19} = 0,123$ m

5. Variasi 4

Aksial Kolom (P_u) : 6725,61 kN

Momen lentur (M_u) : 808,502

e izin : 0,1 m

eksentrisitas : $e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{808,502}{6725,61} = 0,121$ m

6. Variasi 5

Aksial Kolom (P_u) : 6645,19

Momen lentur (M_u) : 201,549

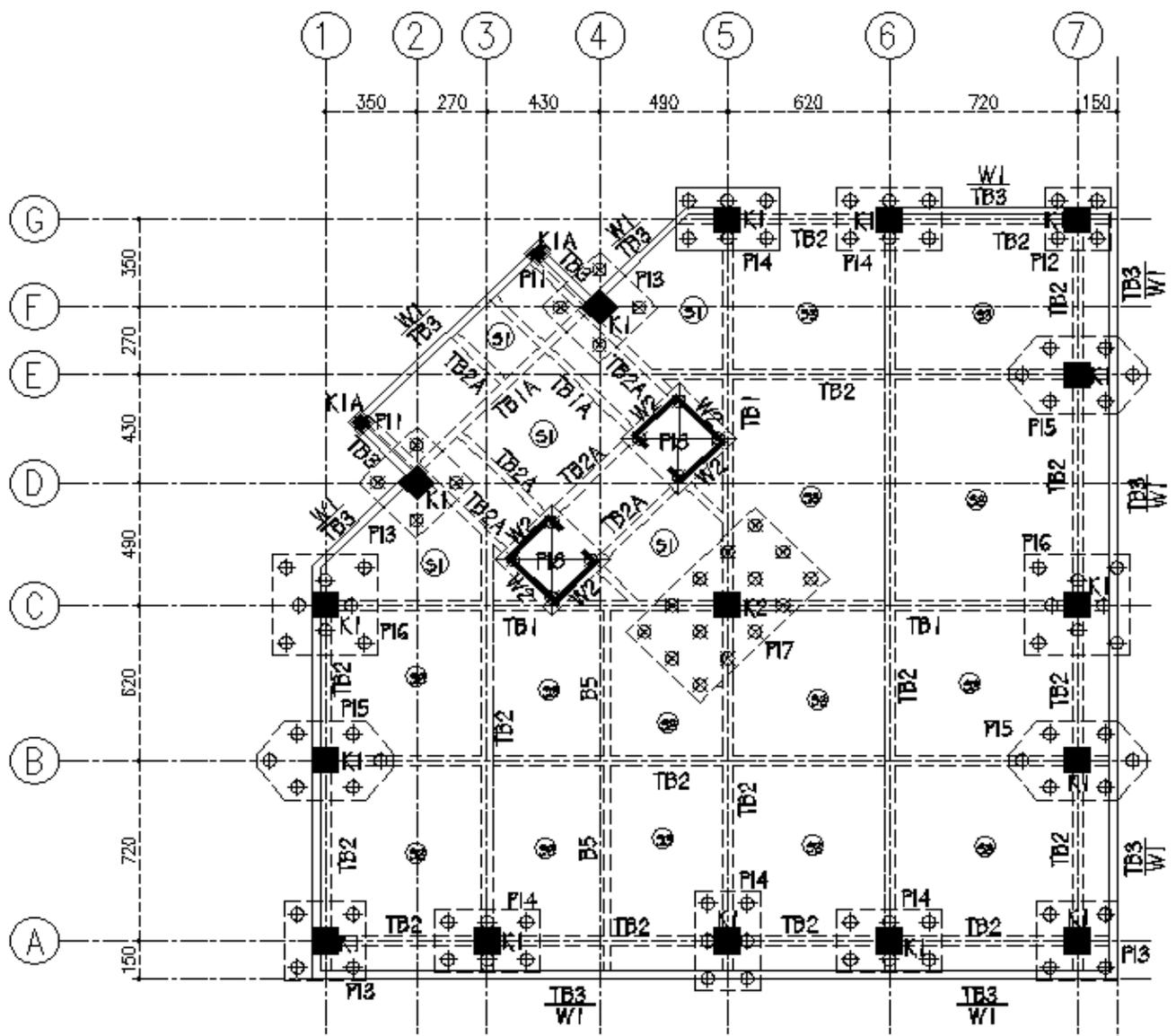
e izin : 0,1 m

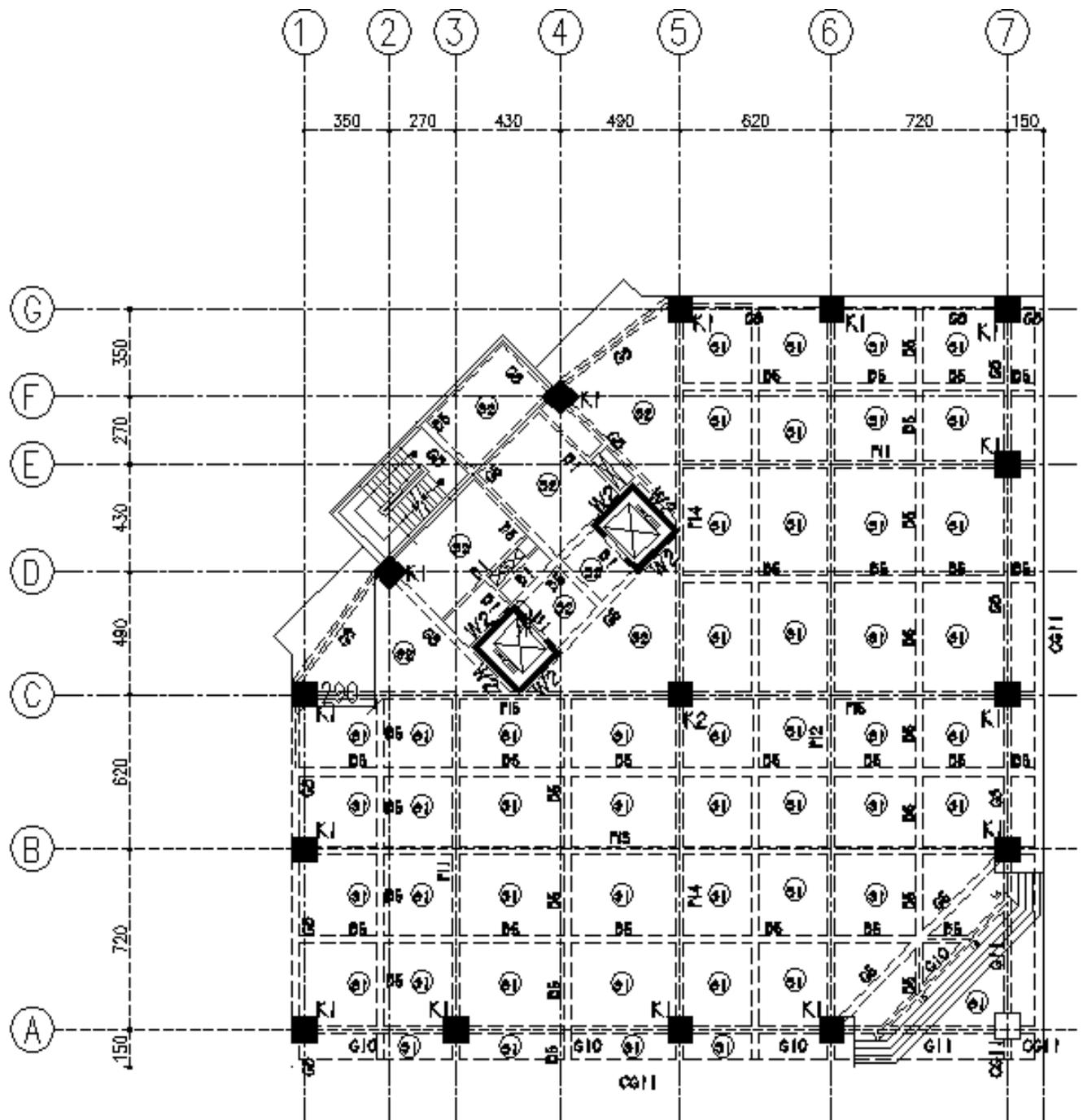
eksentrisitas : $e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{201,549}{6645,19} = 0,031$ m

Lampiran 3. Gambar Struktur

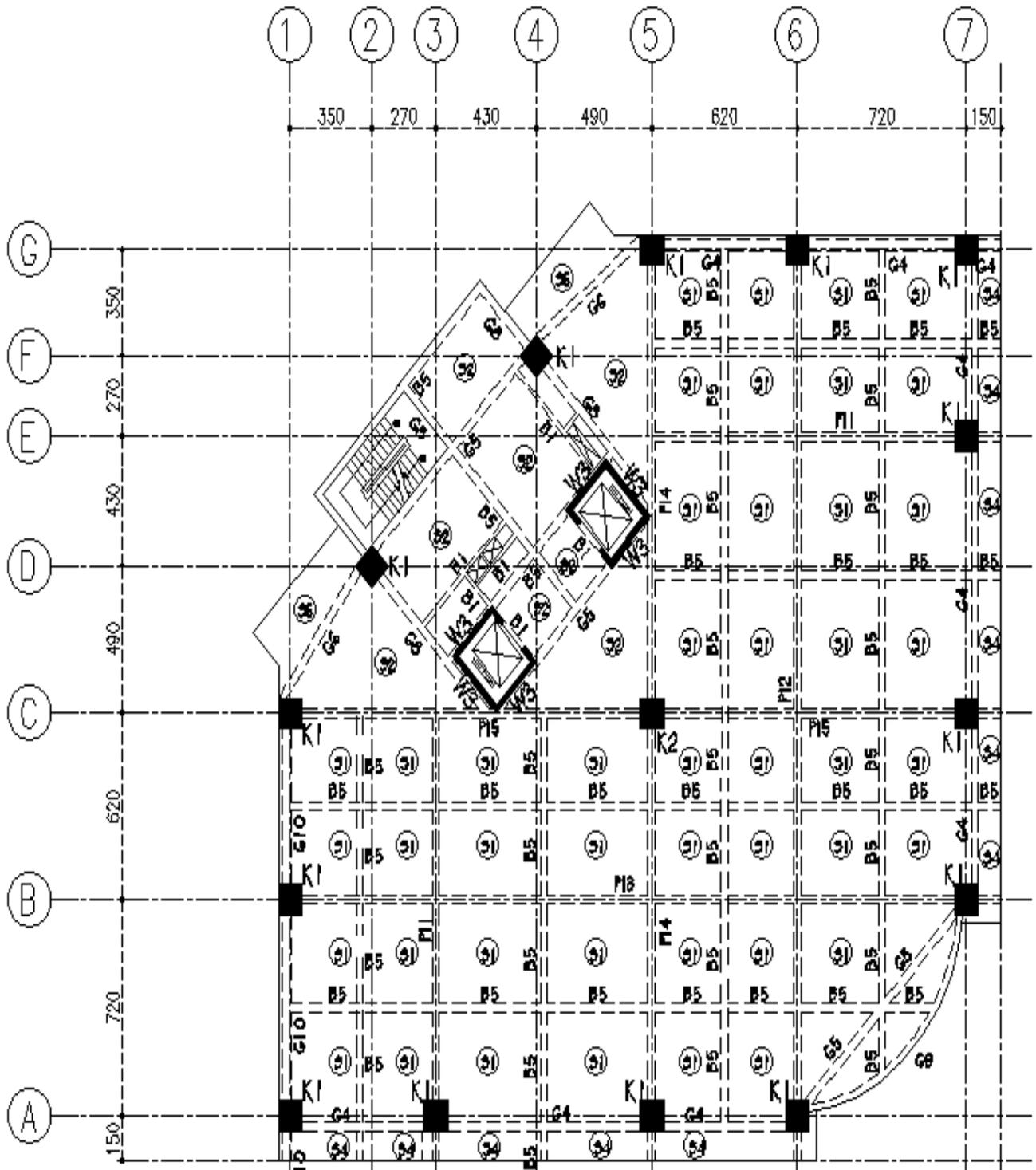
Berikut ini ditunjukkan potongan tingkat dan tampak depan struktur bangunan.

1. Potongan Basement

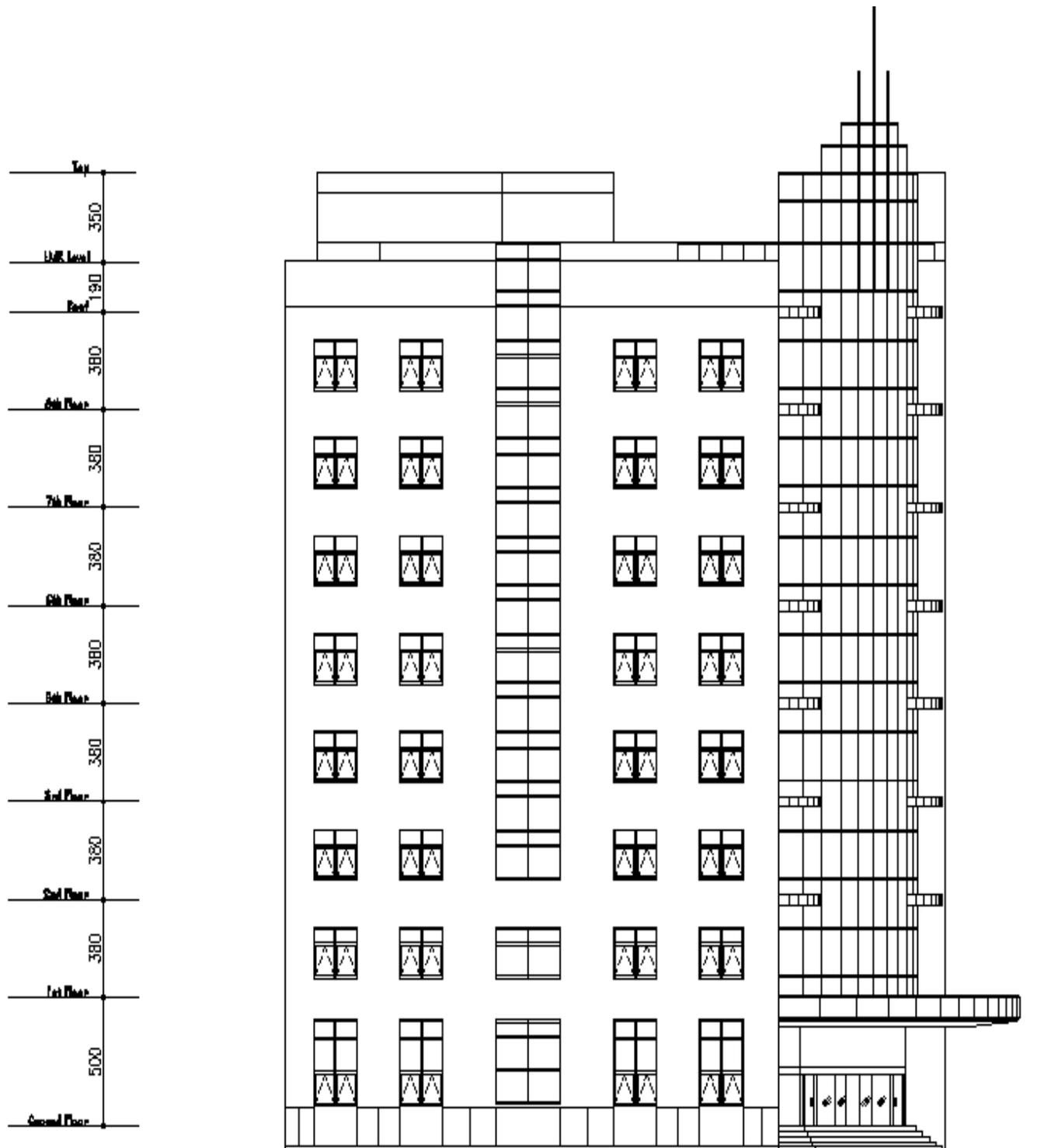


2. Potongan *Ground Floor*

3. Potongan Lantai 1 Sampai *Roof Floor*



4. Tampak Depan Struktur



Lampiran 4. Perhitungan Konfigurasi Tulangan Balok

Balok B272 dengan kombinasi pembebanan C pada *ground floor*

1. Perhitungan Lapangan pada balok B272 (500 × 800)

$$\begin{aligned} \text{Tulangan atas} & : 7D25 \\ \text{As tulangan} & : \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n \\ & : \frac{1}{4} \times 3,14 \times 25^2 \times 7 \\ & : 3434,375 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tulangan bawah} & : 7D25 \\ \text{As tulangan} & : \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n \\ & : \frac{1}{4} \times 3,14 \times 25^2 \times 7 \\ & : 3434,375 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tumpuan

$$\begin{aligned} \text{Tulangan atas} & : 7D25 \\ \text{Tulangan bawah} & : 7D25 \\ \text{Tulangan sengkang} & : \emptyset 2 - 125 \end{aligned}$$

Tulangan lapangan

$$\begin{aligned} \text{Tulangan atas} & : 7D25 \\ \text{Tulangan bawah} & : 7D25 \\ \text{Tulangan sengkang} & : \emptyset 2 - 150 \end{aligned}$$

2. Perhitungan ETABS pada balok 272

Diketahui :

$$\begin{aligned} \text{As tulangan tumpuan} & : 4678,334 \text{ mm}^2 \\ \text{As tulangan lapangan} & : 2235,328 \text{ mm}^2 \\ \text{Dipakai tulangan D25} & \end{aligned}$$

Tulangan atas

$$As \text{ tulangan} : \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n$$

$$n : \frac{4 \cdot As}{\pi \cdot D^2}$$

$$n : \frac{4 \cdot 4678,334}{3,14 \cdot 25^2}$$

$$n : 9,53 \sim 10$$

Tulangan bawah

$$As \text{ tulangan} : \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n$$

$$n : \frac{4 \cdot As}{\pi \cdot D^2}$$

$$n : \frac{4 \cdot 2235,328}{3,14 \cdot 25^2}$$

$$n : 4,55 \sim 5$$

Tulangan sengkang

$$Vu \text{ (beban geser)} : 798,11 \text{ kN}$$

$$Vc \text{ (kuat geser ijin beton)} : 283,691 \text{ kN}$$

$$Vs \text{ (kuat geser ijin tulangan sengkang)} : 514,42 \text{ kN}$$

Dipakai tulangan sengkang $\emptyset 2$ dan tulangan utama D25

$$d : 500 - 30 - 2 - 12,5 = 455,5 \text{ mm}$$

$$Vs \geq Vc$$

$$S_{\min} : \frac{d}{4} : \frac{455,5}{4} : 113,875 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak sengkang sesuai dengan lapangan, yaitu $\emptyset 2 - 125$ untuk daerah tumpuan dan $\emptyset 2 - 150$ untuk daerah lapangan.

Tulangan tumpuan

$$\text{Tulangan atas} : 10D25$$

$$\text{Tulangan bawah} : 5D25$$

$$\text{Tulangan sengkang} : \emptyset 2 - 125$$

Tulangan lapangan

Tulangan atas : 10D25

Tulangan bawah : 5D25

Tulangan sengkang : $\emptyset 2 - 150$

PEDOMAN MODELISASI DAN ANALISIS DINAMIS RESPONS SPEKTRUM MENGGUNAKAN *SOFTWARE* ETABS

Pedoman ini diperuntukkan untuk proses modelisasi struktur bangunan menggunakan *software* ETABS versi apapun. Pedoman dibuat berdasarkan pengalaman peneliti dan bertujuan untuk memudahkan pengerjaan dalam menganalisis beberapa aspek dalam teknik sipil khususnya materi kegempaan.

Sebelum memulai pengerjaan, tentukan batasan penelitian yang tidak bisa dianalisis dalam penggunaan ETABS. Batasan tersebut harus disederhanakan dalam proses modelisasi agar sesuai dengan kondisi aktual struktur bangunan.

1. Keterbatasan *software* ETABS

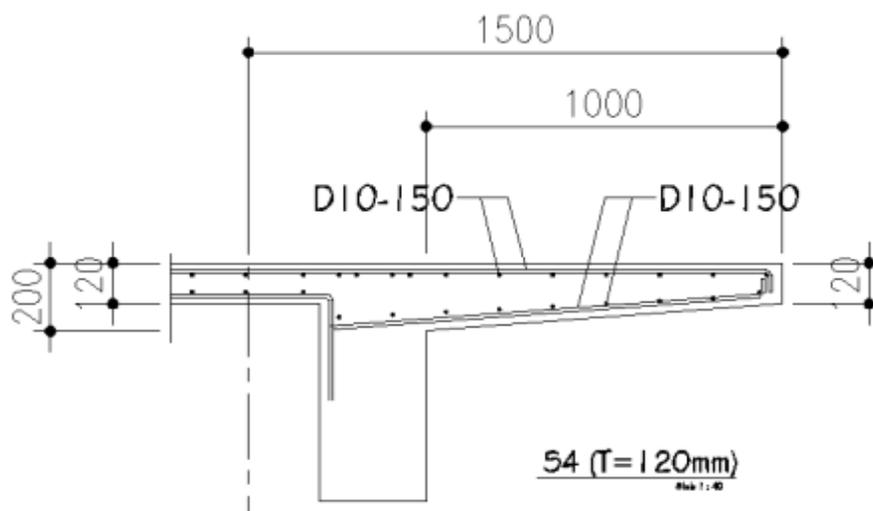
Berikut ini terdapat beberapa batasan dalam proses modelisasi menggunakan ETABS sehingga harus disesuaikan.

a. Tidak bisa memasukkan konfigurasi tulangan balok, plat, dan dinding.

Pada ETABS tidak bisa memasukkan konfigurasi tulangan pada balok, plat, dan dinding. ETABS hanya menyediakan konfigurasi tulangan pada kolom, tetapi ETABS memberikan solusi untuk konfigurasi tulangan balok berupa As luas tulangan pokok dan As luas tulangan geser. Hal ini bisa dimanfaatkan untuk mengetahui kebenaran dari hasil perhitungan ETABS dengan membandingkan konfigurasi tulangan yang dibutuhkan oleh ETABS dengan konfigurasi tulangan aktual yang ada di lapangan. Sedangkan struktur plat dan dinding, ETABS hanya meminta data ketebalan dan faktor kekakuan.

b. Analisis gaya dalam terbatas hanya pada struktur *frame*, yaitu struktur kolom dan balok

Analisis gaya dalam berupa geser, aksial, momen, dan torsi hanya berlaku pada struktur kolom dan balok. ETABS menjadikan struktur kolom dan balok sebagai struktur yang menahan pembebanan keseluruhan, sehingga beban dari plat akan diteruskan pada balok dan kolom. Analisis desain untuk mengetahui apakah struktur mengalami kegagalan juga hanya berlaku pada struktur kolom dan balok. Untuk struktur selain *frame* yaitu plat dan dinding tidak tersedia.



2. Keterbatasan Penelitian

Keterbatasan penelitian diakibatkan oleh adanya keterbatasan peneliti dalam menganalisis salah satu aspek struktur. Keterbatasan tersebut dapat berupa pemahaman yang tidak cukup, pedoman yang tidak memadai, serta keterbatasan waktu penelitian. Berikut ini keterbatasan penelitian yang ada pada penelitian ini.

a. Mengabaikan sistem *prestressed* pada balok

Sistem *prestressed* jenis post tension yang ada pada balok struktur gedung Wisma Cipinang Indah diabaikan karena pemahaman peneliti yang tidak cukup untuk menganalisis balok tersebut. Oleh karena itu, peneliti hanya menggunakan struktur balok konvensional dan fokus terhadap perubahan perilaku struktur bangunan akibat gempa.

b. Mengabaikan balok yang *overstressed*

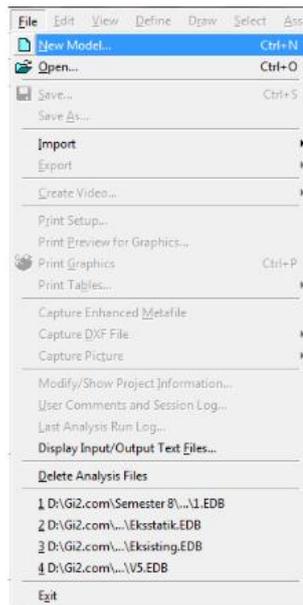
Akibat dari tidak digunakannya sistem *prestressed* pada balok menyebabkan beberapa struktur balok mengalami pelelehan atau *overstressed*. seharusnya masalah ini dapat diatasi dengan mendimensi ulang struktur balok yang aman sesuai dengan hasil perhitungan ETABS. Tetapi langkah tersebut tidak dilakukan pada penelitian ini.

3. Prosedur Modelisasi Struktur

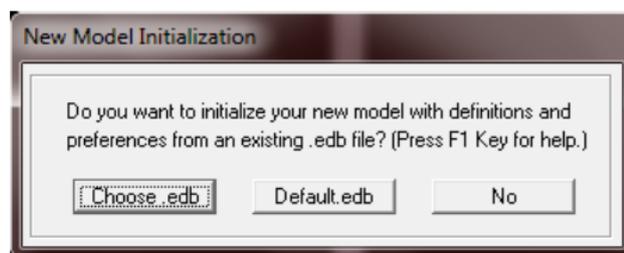
Langkah-langkah permodelan struktur menggunakan ETABS ditunjukkan sebagai berikut.

a. Membuat model.

Membuat model dengan mengklik *New Model* pada *menu toolbar* untuk membuka model kerja bar. Kemudian setelah keluar dialog *New Model* klik *No* untuk meneruskannya.



Menu file



New Model Initialization

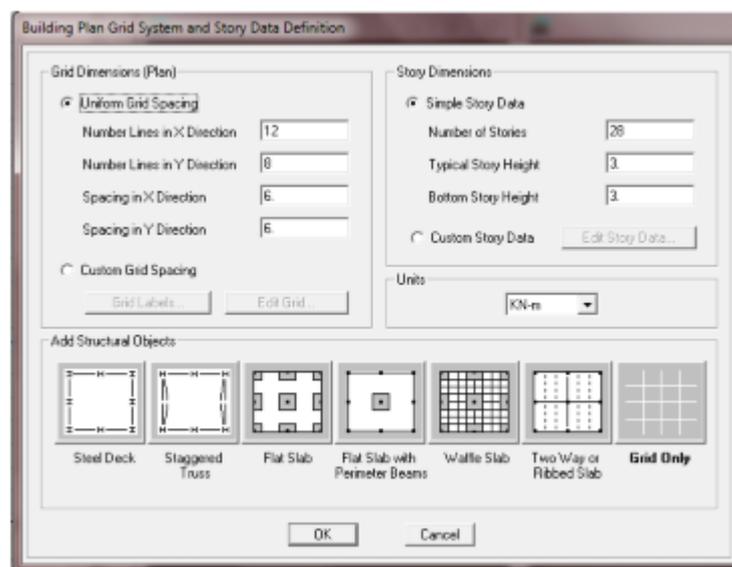
b. Menentukan geometri struktur

Setelah mengklik *No* pada kotak dialog *New Model Initialization* akan muncul kotak dialog *Building Plan Grid System* dan *Story Data Definition*. Setelah itu masukkan data sebagai berikut:

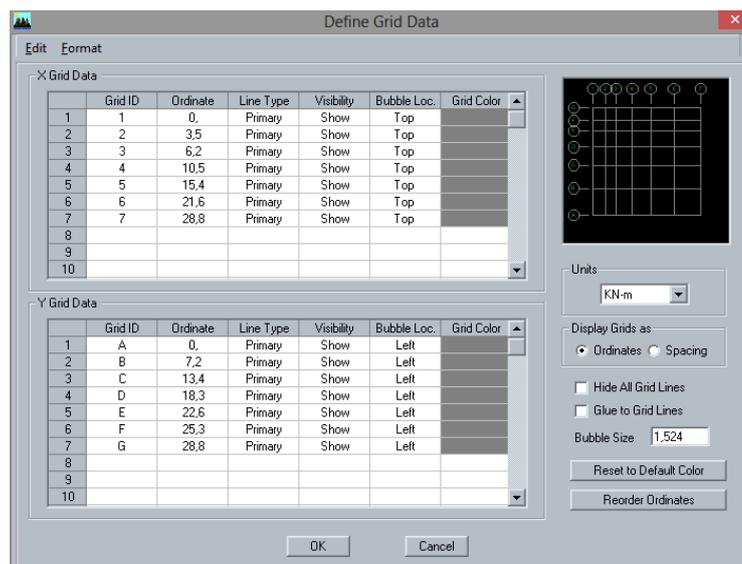
- a. *Number of stories* (jumlah lantai) = 9
- b. *Number lines in X direction* (jumlah garis arah x) = 7

c. *Number lines in Y direction* (jumlah garis arah y) = 7

Setelah dimasukkan data-data tersebut, klik *Custom Grid Spacing* untuk mengedit grid. Kemudian masukkan jarak-jarak sumbu acuan itu yang searah sumbu X maupun sumbu Y. Untuk kotak *Display Grid as*, ada dua pilihan yaitu *Ordinates* untuk menentukan jarak menggunakan metode sumbu koordinat, dan juga *Spacing* untuk menentukan jarak dengan menggunakan metode jarak antar sumbu. Setelah selesai, klik *Custom Story Data* untuk mengedit tinggi antar lantai. Pastikan satuan yang dipilih adalah meter.



Building Plan Grid System and Story Data Definition



Define Grid Data

Story Data

	Label	Height	Elevation	Master Story	Similar To	Splice Point	Splice Heig
32	27	5.	125.1	Yes		No	0.
31	26	4.	120.1	No	27	No	0.
30	25	4.	116.1	No	27	No	0.
29	24	4.	112.1	No	27	No	0.
28	23	4.	108.1	No	27	No	0.
27	22	4.	104.1	No	27	No	0.
26	21	4.	100.1	No	27	No	0.
25	20	4.	96.1	No	27	No	0.
24	19	4.	92.1	No	27	No	0.
23	18	4.	88.1	No	27	No	0.
22	17	5.	84.1	No	27	No	0.
21	16	4.	79.1	No	27	No	0.
20	15	4.	75.1	No	27	No	0.
19	14	4.	71.1	No	27	No	0.
18	13	4.	67.1	No	27	No	0.
17	12	4.	63.1	No	27	No	0.
16	11	4.	59.1	No	27	No	0.

Reset Selected Rows

Height:

Master Story:

Similar To:

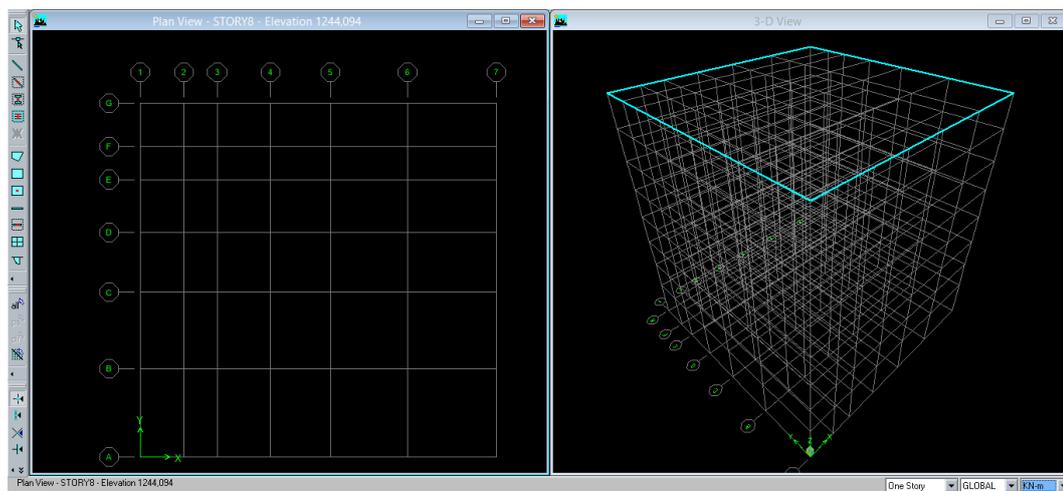
Splice Point:

Splice Height:

Units:

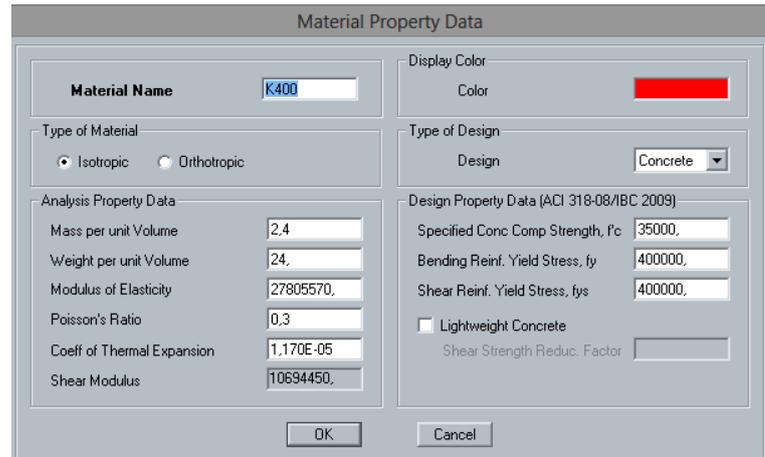
Define Story Data

Setelah tahapan tersebut selesai kemudian pilih *Grid Only* dan klik *OK*, maka akan muncul tampilan gambar sumbu-sumbu yang telah dimasukkan tadi.



c. Menentukan material.

Klik menu *Define – Material Properties*, maka akan muncul kotak dialog *Define Materials*, kemudian klik *Add New Material*. Masukkan data material berupa *Weight per unit volume* 24 kN/m^3 , f_c dan f_y sesuai dengan perencanaan.



The image shows a dialog box titled "Material Property Data". It is divided into several sections:

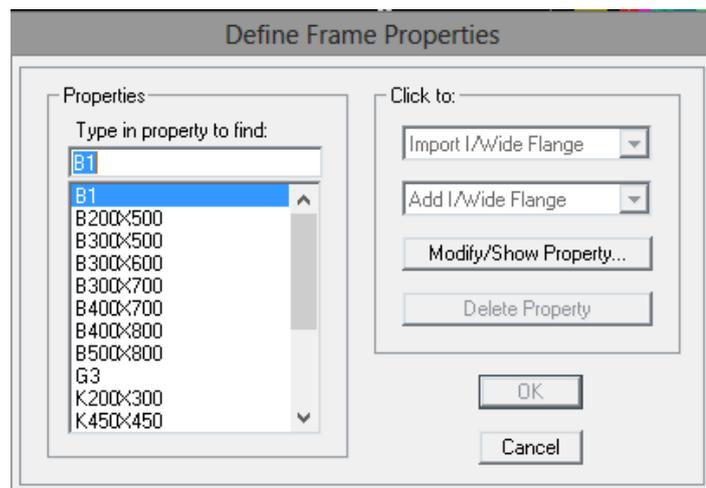
- Material Name:** A text field containing "K400".
- Display Color:** A color selection area showing a red color swatch.
- Type of Material:** Radio buttons for "Isotropic" (selected) and "Orthotropic".
- Type of Design:** A dropdown menu set to "Concrete".
- Analysis Property Data:** A list of input fields:
 - Mass per unit Volume: 2.4
 - Weight per unit Volume: 24.
 - Modulus of Elasticity: 27805570.
 - Poisson's Ratio: 0.3
 - Coeff of Thermal Expansion: 1.170E-05
 - Shear Modulus: 10694450.
- Design Property Data (ACI 318-08/IBC 2009):**
 - Specified Conc Comp Strength, f_c : 35000.
 - Bending Reinf. Yield Stress, f_y : 400000.
 - Shear Reinf. Yield Stress, f_{ys} : 400000.
 - Lightweight Concrete
 - Shear Strength Reduc. Factor: (empty field)

At the bottom, there are "OK" and "Cancel" buttons.

Material Property Data

d. Menentukan dimensi balok dan kolom.

Klik menu *Define – Frame Properties*. Pada kotak dialog *Define Frame Properties* hapus semua *properties* yang sudah ada, agar tidak membingungkan dalam mencari *properties* yang akan dibuat. Kemudian klik *Add Rectangular* karena bentuk balok dan kolom berupa persegi.



The image shows a dialog box titled "Define Frame Properties". It contains the following elements:

- Properties:** A list box with a search field "Type in property to find:" containing "B1". The list includes:
 - B1 (highlighted)
 - B200x500
 - B300x500
 - B300x600
 - B300x700
 - B400x700
 - B400x800
 - B500x800
 - G3
 - K200x300
 - K450x450
- Click to:** A group of buttons:
 - Import I/Wide Flange (dropdown)
 - Add I/Wide Flange (dropdown)
 - Modify/Show Property...
 - Delete Property

At the bottom, there are "OK" and "Cancel" buttons.

Define Frame Properties

Rectangular Section

Section Name: PC1

Properties: Section Properties... Property Modifiers: Set Modifiers... Material: K400

Dimensions:
 Depth (t3): 0,7
 Width (t2): 0,4

Concrete: Reinforcement...

Display Color: [Color Selection]

OK Cancel

Rectangular Section for Beam

Klik *Beam* untuk profil balok pada kotak *Reinforcement Data* untuk struktur balok.

Reinforcement Data

Design Type:
 Column Beam

Concrete Cover to Rebar Center:
 Top: 0,07
 Bottom: 0,07

Reinforcement Overrides for Ductile Beams:
 Left Right
 Top: 0 0
 Bottom: 0 0

OK Cancel

Reinforcement Data for Beam

Rectangular Section

Section Name: K1000x1000

Properties: Section Properties... Property Modifiers: Set Modifiers... Material: FC35

Dimensions:
 Depth (t3): 39,3701
 Width (t2): 39,3701

Concrete: Reinforcement...

Display Color: [Color Selection]

OK Cancel

Rectangular Section for Column

Klik *Column* untuk profil kolom pada kotak *Reinforcement Data* untuk struktur kolom.

Reinforcement Data for Column

Semua properties kolom, balok, pelat, dan dinding geser harus diubah kekakuannya sesuai syarat SNI. Dengan cara klik *Set Modifier* pada kotak dialog *Rectangular Section* kemudian ubah nilai *Property Modifier* sesuai dengan fungsinya, seperti sebagai berikut:

- a. Kolom : moment of inertia about 2 & 3 axis : 0,7
- b. Balok : moment of inertia about 2 & 3 axis : 0,35
- c. Pelat : membrane f11 f22 & f12, Bending m11 m22 & m12 : 0,25
- d. Dinding geser : membrane f11 & f22, Bending m11 & m22 : 0,7
- e. Menentukan dimensi pelat

Menentukan dimensi pelat dengan *Define – Wall/Slab/Deck Section*, lalu klik *Add New Slab* pada kotak dialog. Lalu masukkan data dimensi dan pilih material yang telah dibuat sebelumnya. Tipe profil pelat berupa *Membrane*.

Wall/Slab Section

Section Name: S2

Material: FC35

Thickness:

Membrane: 4.7244

Bending: 4.7244

Type:

Shell Membrane Plate

Thick Plate

Load Distribution:

Use Special One-Way Load Distribution

Set Modifiers... Display Color: [Pink]

OK Cancel

Slab Section

Untuk pelat komposit yang menggunakan *metal deck*, gunakan pilihan *add new deck* untuk mendimensi pelat. *Input* spesifikasi *metal deck* dan ketebalan pelat yang dipakai.

Define Wall/Slab/Deck Sections

Sections:

- COREWALL
- DPT
- FASAD
- S1
- S2
- S3
- S4
- S5
- STAIR

Click to:

Add New Deck

Modify/Show Section...

Delete Section

OK Cancel

Deck Section

Section Name: S1

Type:

Filled Deck Unfilled Deck Solid Slab

Geometry:

Slab Depth (tc): 0.05

Deck Depth (hr): 0.07

Rib Width (wr): 0.156

Rib Spacing (Sr): 0.324

Material:

Slab Material: FC35

Deck Material: [Dropdown]

Deck Shear Thick: [Input]

Composite Deck Studs:

Diameter: 0.016

Height (hs): 0.1

Tensile Strength, Fu: 569999.98

Metal Deck Unit Weight:

Unit Weight/Area: 0.1101

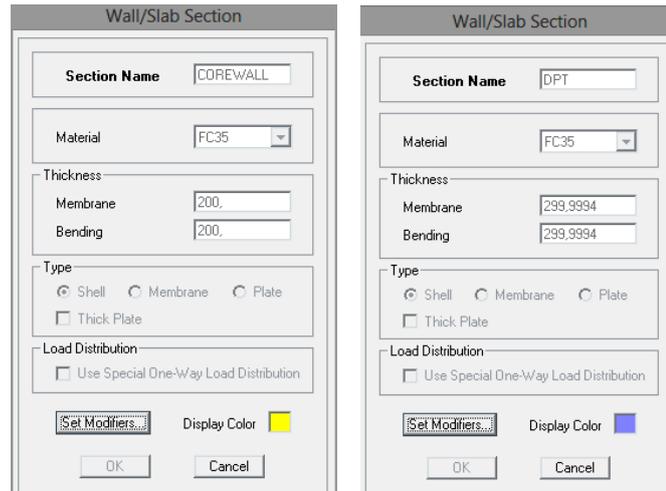
Set Modifiers... Display Color: [Cyan]

OK Cancel

Deck Section

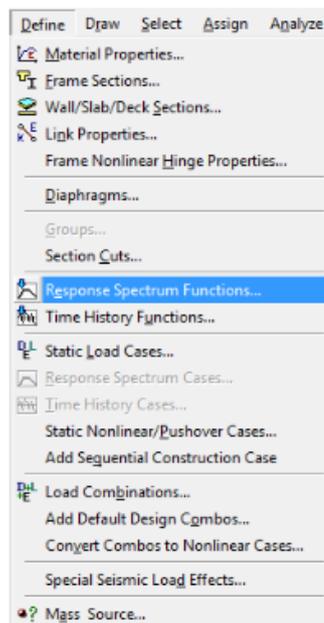
- f. Menentukan dimensi dinding geser dan dinding penahan tanah

Membuat dinding geser dan dinding penahan tanah dengan menggunakan *Define – Wall/Slab/Deck Section*, pilih *Add New Wall* pada kotak dialog. Kemudian masukkan data dimensi dan memilih material yang telah dibuat sebelumnya. Dinding geser dan dinding penahan tanah dianggap sebagai *shell* karena menerima gaya tegak lurus dan sejajar bidang.



Corewall and DPT Section

- g. Menentukan respons spektrum. Karena bangunan didesain agar bisa tahan dari gempa yang sesuai dengan standard SNI maka perlu direncanakan beban gempa. Pertama, klik *Define – Response Spectrum Function*.



Menu Define Response Spectrum Function

Klik *Define – Response Spectrum Function*. Kemudian pilih *Add User Spectrum* karena tipe gempa Indonesia tidak tersedia di ETABS, oleh karena itu harus dibuat secara manual dengan memasukkan *Periode* dan *Acceleration* pada kotak dialog *Response Spectrum Function Definition*.

Response Spectrum IBC 2006 Function Definition

Function Name: GEMPA Function Damping Ratio: 0.05

Parameters:

0.2 Sec Spectral Accel, Ss: 0.69
 1 Sec Spectral Accel, S1: 0.301
 Long-Period Transition Period: 3.597
 Site Class: D
 Site Coefficient, Fa: 1.248
 Site Coefficient, Fv: 1.798

Calculated Values for Response Spectrum Curve:
 $SDS = (2/3) * Fa * Ss$: 0.5741
 $SD1 = (2/3) * Fv * S1$: 0.3608

Define Function:

Period	Acceleration
0	0.2296
0.1257	0.5741
0.6285	0.5741
0.8	0.451
1	0.3608
1.2	0.3007
1.4	0.2577
1.6	0.2255
1.8	0.2004

Function Graph: (2.1417, 0.1702)

Buttons: Convert to User Defined, Display Graph, OK, Cancel

Response Spektrum Fungtion Definition

h. Menentukan spektrum gempa

Menentukan spektrum dengan menggunakan menu *Define – Response Spectrum Case*. Kemudian pada kotak dialog *Define Response Spectra*, klik *Add New Spectrum* untuk membuat pengaturan baru untuk wilayah gempa yang akan dianalisis.

Define Response Spectra

Spectra:

- RSPX
- RSPY

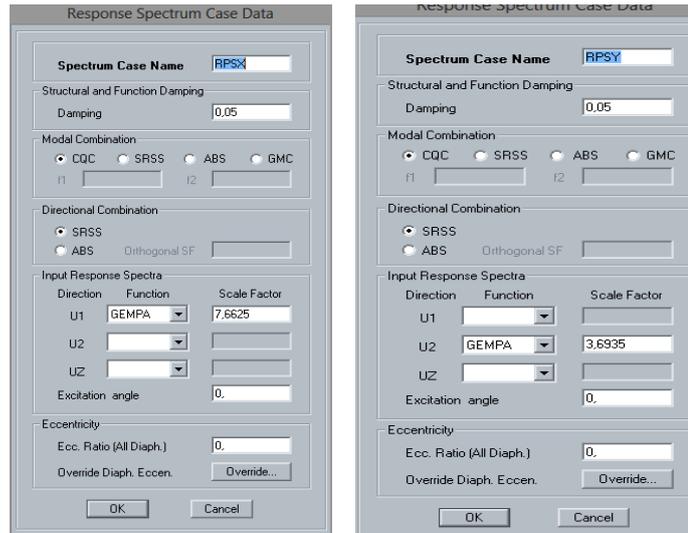
Click to:

Add New Spectrum...
 Modify/Show Spectrum...
 Delete Spectrum

OK
 Cancel

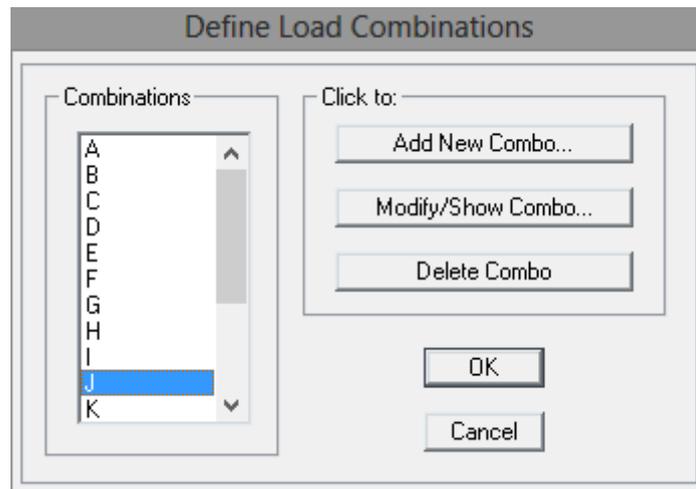
Define Response Spectra

Data yang dimasukkan pada *Response Spectrum Case Data* berupa RSPx dan RSPy. Input Respons Spektrum untuk arah X dan arah Y dengan mengisi *Function* dan *Scale Factor* pada kotak U1 dan U2 sesuai dengan hitungan analisis pembebanan.



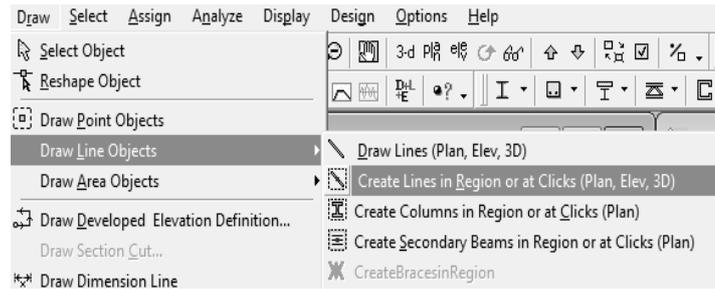
Response Spectrum Case Data

- i. Menentukan kombinasi pembebanan. Klik menu *Define – Load Combination*
Menentukan kombinasi pembebanan dengan menu *Define – Load Combination*. Kemudian muncul kotak dialog *Define Load Combinations*, isi semua kombinasi dengan cara mengklik *Add New Combination*.



Define Load Combination

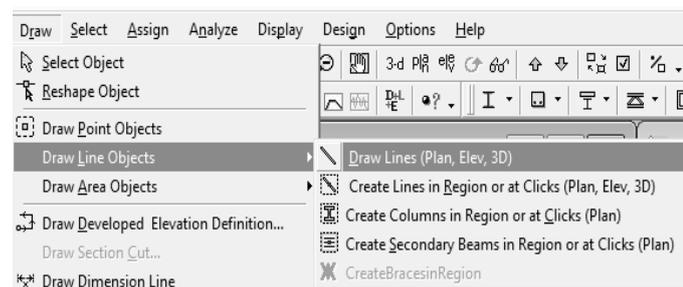
- j. Menggambar kolom
Menggambar kolom dengan menu *Draw – Draw Line Object – Create in Region at Click*. Kemudian arahkan kursor pada kolom sesuai perencanaan.



Draw Column

k. Menggambar balok

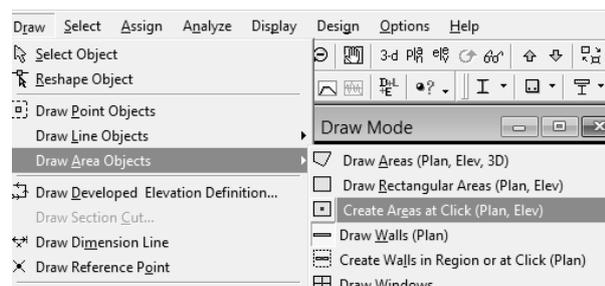
Menggambar balok dengan menggunakan menu *Draw – Draw Line Object – Draw Lines*. Kemudian gambarkan pada garis grid yang telah ada sesuai dengan yang direncanakan. Masalah yang sering terjadi pada penggambaran balok adalah balok menggantung tanpa tumpuan sehingga tidak bisa dianalisis oleh ETABS. Hal ini disebabkan karena penggambaran balok yang tidak presisi pada setiap pertemuan balok dan balok yang tidak diletakkan tepat pada sumbu AS kolom. Perhatian secara detail terhadap setiap hubungan antar balok dan kolom dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya error pada ETABS.



Draw Beam

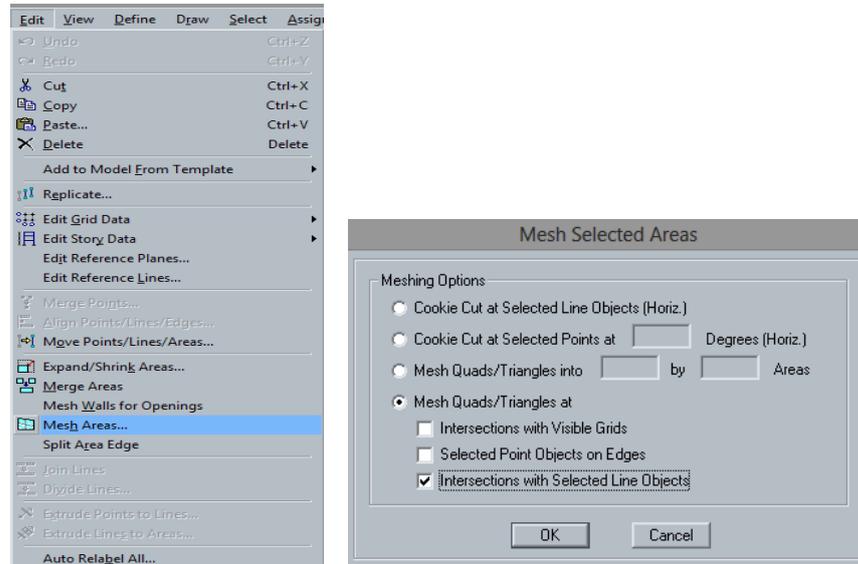
l. Menggambar pelat

Menggambar pelat dengan menggunakan menu *Draw – Draw Area Object – Create Area at Click*. Kemudian pilih properti untuk *Slab*. Gambarkan pada garis grid yang telah ada sesuai dengan yang direncanakan.



Draw Slab

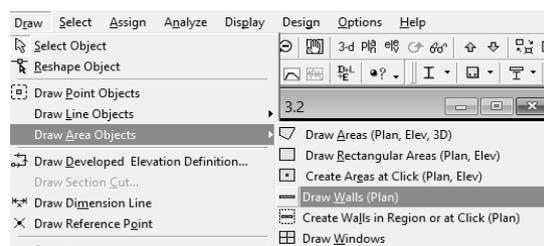
Kesalahan yang sering terjadi pada penggambaran pelat adalah pelat yang menggantung tanpa tumpuan. Hal ini disebabkan karena pelat yang tidak menyatu terhadap pertemuan *frame* balok. Plat yang sudah digambar harus di *mesh area* agar plat menyatu dengan struktur balok dan error pada ETABS bisa dihindari dengan menu *edit – mesh area*.



Mesh Selected Area

m. Menggambar dinding geser dan dinding penahan tanah

Menggambar dinding geser atau dinding penahan tanah dengan menggunakan menu *Draw – Draw Area Object – Draw Walls*. Kemudian isi property sesuai dengan dimensi dinding geser yang digunakan.



Draw Walls

n. Menggambar tumpuan pondasi

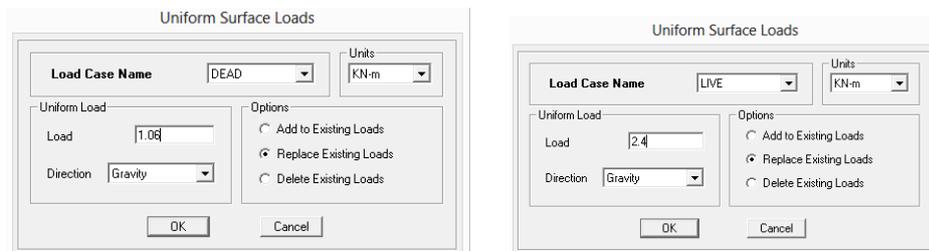
Hal yang perlu dilakukan terlebih dahulu sebelum menggambar tumpuan pondasi adalah mengklik semua pondasi yang ada. Kemudian pilih *Assign Joint/Point – Restraints*. Pada pemodelan struktur semua pondasi dianggap jepit, oleh karena itu beri semua tanda *check* pada *Restraints*.



Assign Restraints

o. *Input* beban mati dan beban hidup pada struktur

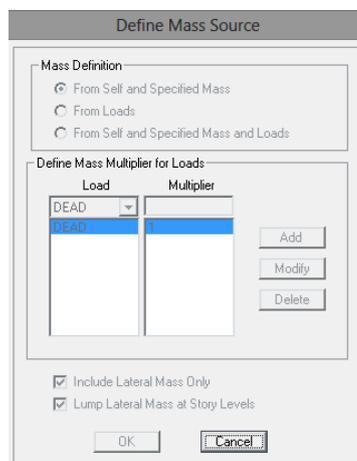
Klik pada plat yang akan dimasukkan beban mati dan juga beban hidup kemudian klik *Assign - Shell/Area Loads* kemudian pilih yang *Uniform* dikarenakan bebannya seragam.



Uniform Surface Loads untuk Beban Mati dan Beban Hidup

p. Menentukan sumber massa

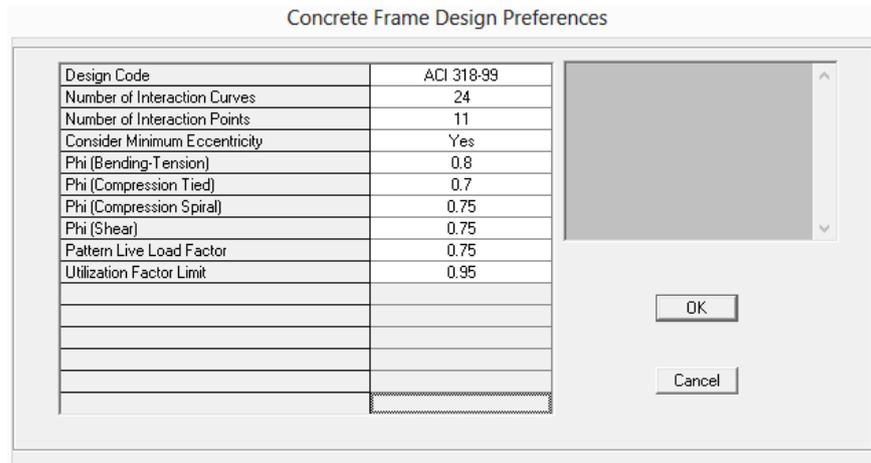
Menentukan sumber massa dengan menggunakan menu *Define – Mass Source*. Kemudian klik *From Load* dan pilih *Mass Definition*, pilih *from self and specified mass* untuk pembebanan berdasarkan beban struktur sendiri dan beban tambahan yang spesifik.



Define Mass Source

q. Menentukan nilai faktor kekuatan

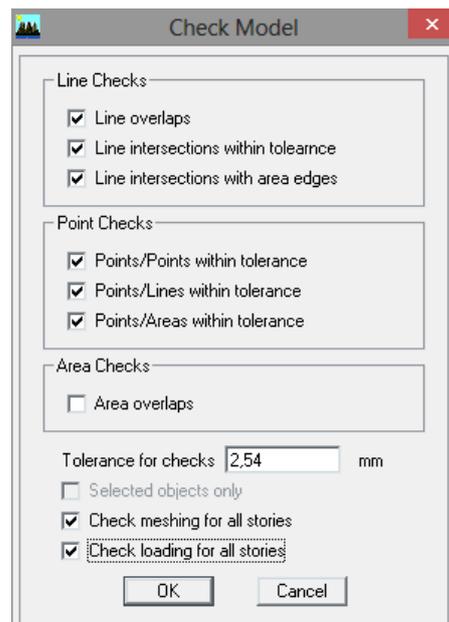
Menentukan nilai kekakuan dengan menggunakan menu Option – Preference – Concrete Frame Design. Ubah design code menjadi ACI 318-99 karena SNI mengadopsi dari peraturan tersebut. Ubah nilai ϕ bending menjadi 0,8 dan ϕ shear menjadi 0,75.



Concrete Frame Design Preference

r. *Check Model Structure*

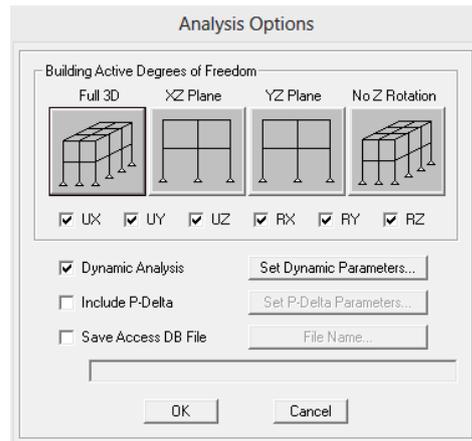
Check model sebelum model struktur dianalisis untuk mengetahui setiap kekurangan dalam permodelan struktur, termasuk kesalahan dalam menggambar dan kesalahan dalam memasukkan beban agar menghindari analisis struktur yang error.



Check Model

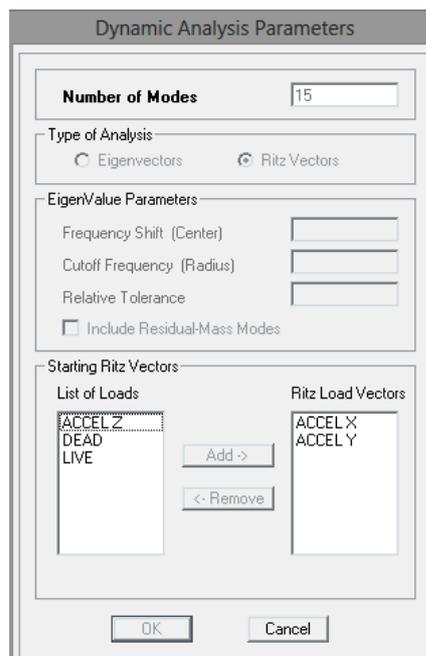
s. Analisis struktur

Setelah semua langkah dalam modelisasi struktur selesai, maka langkah selanjutnya adalah analisis. Klik menu *Analyze – Set Analysis Option*. Pada kotak dialog *Analyze Option*, klik *Check* pada semua *Building Active Degrees of Freedom* dan juga *Check* pada *Dynamic Analysis*.



Analysis Option

Gunakan parameter analisis dinamik menggunakan *ritz vectors* karena perhitungan analisis ini lebih detail dan lebih terjamin kebenarannya dibandingkan dengan *eigenvectors*. Masukkan jumlah mode yang dibutuhkan bangunan untuk mencapai deformasi yang *complete*.



Dynamic Analysis Parameters

t. *Run Analysis Run Log*

Setelah dianalisis, check ulang analisis permodelan untuk mengetahui apakah analisis tersebut layak untuk diperhitungkan. Jika terdapat error pada analisis maka tinjau ulang dimana letak kesalahan yang menyebabkan error pada struktur.

```

APPROXIMATE "EFFECTIVE" BAND WIDTH      =          329
NUMBER OF EQUATION STORAGE BLOCKS        =             1
MAXIMUM BLOCK SIZE (8-BYTE TERMS)        =       2488029
SIZE OF STIFFNESS FILE(S) (BYTES)        =       19.012 MB

NUMBER OF EQUATIONS TO SOLVE              =          7698
NUMBER OF STATIC LOAD CASES               =             5
NUMBER OF ACCELERATION LOADS              =             6
NUMBER OF NONLINEAR DEFORMATION LOADS     =             0

R I T Z   A N A L Y S I S
13:40:30

NUMBER OF STIFFNESS DEGREES OF FREEDOM    =          7698
NUMBER OF MASS DEGREES OF FREEDOM         =          2462
NUMBER OF RITZ MODES SOUGHT               =             15
NUMBER OF STARTING VECTORS                =             2
VECTOR BLOCK SIZE                         =             2
FREQUENCY SHIFT (CENTER) (CYC/TIME)      =       .000000

NUMBER OF RITZ MODES FOUND                =             15
NUMBER OF GENERATION CYCLES PERFORMED     =             8

(STIFFNESS ORTHOGONALITY MEASURE          =       2.22E-16)

```

Run Analysis Run Log

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Dian Yuristia, lahir di Bandar Lampung pada tanggal 19 November 1996 dari pasangan Yudo priyatno, SH dan Pari Purnama, SH sebagai anak pertama dari empat bersaudara. Bertempat tinggal di Perumahan Bilabong Jaya Blok D5 No.8, Langkapura, Bandar Lampung (35155). Riwayat pendidikan formal yang sudah ditempuh peneliti dimulai dari pendidikan di TK Kartika Sari Bandar Lampung (2000-2001), SDN 1 Susunan Baru (2001-2007), SMPN 14 Bandar Lampung (2007-2010), SMAN 10 Bandar Lampung (2010-2013). Akhirnya pada tahun 2013 peneliti melanjutkan pendidikan formal ke jenjang Perguruan Tinggi di Universitas Negeri Jakarta, Fakultas Teknik, Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan. Peneliti diterima sebagai mahasiswi melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswi, peneliti pernah aktif di *English Club* tahun 2015 sebagai *vice president* dan melanjutkan ke Badan Perwakilan Mahasiswa Fakultas Teknik 2015-2016 sebagai sekretaris jenderal sekaligus anggota komisi 1. Peneliti berhasil lulus menjadi sarjana di tahun 2017 dengan skripsi tentang kegemampuan dan mendapatkan predikat *cumlaude*. Peneliti akan melanjutkan pekerjaan sebagai konsultan *engineer* dan membangun perusahaan konsultan teknik di masa yang akan datang.