

**ANALISA PERILAKU BANGUNAN TIDAK BERATURAN
HORIZONTAL DENGAN VARIASI DIMENSI KOLOM
TERHADAP GEMPA**



Nadia Rahma Pramesti

5415134224

Skripsi Ini Ditulis Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Dalam Memperoleh Gelar Sarjana

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK BANGUNAN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
2018**

ABSTRAK

Nadia Rahma Pramesti, *Analisa Perilaku Bangunan Tidak Beraturan Horizontal Dengan Variasi Dimensi Kolom Terhadap Gempa*. Skripsi. Jakarta, Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, 2017. Dosen Pembimbing: Drs. Prihantono, M.Eng dan Dr. Gina Bachtiar, MT.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku bangunan terhadap beban gempa dengan menggunakan variasi perubahan dimensi kolom menjadi lebih kecil pada bangunan tidak beraturan secara horizontal system non paralel.

Objek penelitian ini menggunakan Wisma Cipinang Indah yang merupakan bangunan yang memiliki ketidakberaturan horizontal system non paralel yaitu ketidakberaturan posisi *corewall* yang tidak berada di pusat massa bangunan dan bentuk *corewall* yang miring. Perilaku struktur bangunan menghasilkan respon struktur berupa 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 pengecilan dimensi kolom pada bangunan yang tidak beraturan horizontal system non paralel menurunkan kekakuan bangunan sehingga memperkecil gaya dalam struktur, memperbesar periode getar struktur, memperkecil gaya geser dasar, memperbesar simpangan total dan simpangan antar tingkat. Selain itu, bangunan ketidakberaturan system non paralel juga menyebabkan perbedaan simpangan total rata-rata yang besar terhadap perilaku bangunan dari arah sumbu X dan sumbu Y sebesar 104,05%. Oleh karena itu, bangunan dengan variasi pengecilan dimensi kolom *dengan ketidakberaturan system non paralel akan* menurunkan ketahanan bangunan terhadap beban gempa dan menghasilkan perilaku bangunan yang mempunyai perbedaan ketahanan bangunan yang sangat besar dari sumbu X dan sumbu Y.

Kata kunci : Perubahan dimensi kolom, ketidakberaturan horizontal *system non parallel*, analisis dinamis respons spektrum, gaya geser dasar, periode getar struktur, simpangan, simpangan antar tingkat.

ABSTRACT

Nadia Rahma Pramesti, *Seismic Analysis of Horizontal Irregularities Building Behavior by Applying Column Dimention Variation. A Thesis. Building Engineering Education Study Program, Faculty of Engineering, State University of Jakarta, 2017. Supervisors: Prihantono, M.Eng and Dr. Gina Bachtiar, MT.*

The purpose of this research was to analyze buildings behavior due to the earthquake loads by applying column dimention variation into smaller columns in system non parallel horizontal irregularities building.

The building case in this research used Wisma Cipinang Indah that has horizontal irregularities of non-parallel system that has irregular corewall position which not in center of the building mass and has oblique corewall. The behavior of building structure results the response such as 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 reduction of column dimention in horizontal irregularities of non-parallel system 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. In addition, non parallel system irregularities buildings also caused a significant difference in total average on the building behavior of the X-axis and Y-axes by 104.05%. Therefore, buildings by applying column dimention variation with non parallel system irregularities will decrease the building's resistance to earthquake loads and result in building behavior that has very large building resistance differences from X axis and Y axis.

Keywords : *column dimention variation, horizontal irregularities of non-parallel system, dynamic analysis response spectrum, base shear, fundamental period, displacement, story drift.*

HALAMAN PENGESAHAN

Nama Dosen	Tanda Tangan	Tanggal
Drs. Prihantono, M.Eng (Dosen Pembimbing I)		13 / 02 2018
Dr. Gina Bachtiar, M.T (Dosen Pembimbing II)		9 / 02 - 2018

PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

Nama Dosen	Tanda Tangan	Tanggal
R. Eka Murtinugraha, M.Pd (Ketua Penguji I)		9 / 02 2018
Sittati Musalamah, M.T (Penguji I)		13 / 02 2018
Anisah, M.T (Penguji II)		12 / 02 2018

Tanggal Lulus : 1 Februari 2018

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis 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 yang diberikan oleh dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau di publikasikan 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 skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, Februari 2018



KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim

Segala puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia dan hidayah-Nya, sehingga penulis diberikan kesehatan serta kemudahan dalam menyusun dan menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisa Perilaku Bangunan Tidak Beraturan Horizontal Dengan Variasi Dimensi Kolom Terhadap Gempa.”

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.

Penulis menyadari benar bahwa penyusunan karya tulis skripsi ini tidak lepas dari adanya bantuan dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan dan mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prasetyo Adi, SE dan Samini, SE, selaku orangtua yang selalu mendoakan anak-anaknya agar menjadi seseorang yang berhasil.
2. Drs. Prihantono, M. Eng selaku Dosen Pembimbing I yang telah membantu, dan membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan penyusunan karya tulis skripsi ini.
3. Dr. Gina Bachtiar, MT selaku Dosen Pembimbing II yang membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan penyusunan karya tulis skripsi ini.
4. Ririt Aprillin S, M. Sc. Eng yang sudah memberikan pengetahuan bidang skripsi yang penulis ambil dan saran-saran yang sangat bermanfaat pada penyusunan karya tulis skripsi ini.
5. R. Eka Murtinugraha, M. selaku Ketua Penguji, Sittati Musalamah, MT selaku Dosen Penguji I, dan Anisah, MT selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan banyak saran dalam penyusunan karya tulis skripsi ini,
6. Adityo Rahman dan keluarganya. Sahabat terbaik yang telah memberikan dukungan yang sangat luar biasa dalam penyelesaian karya tulis skripsi ini.

7. Adik-adikku, Kalis Satrio Egananto dan Della Erinna Pritarani yang selalu mendukung kakak.
8. Teman-teman satu jurusan, teman satu kelas S1 Pendidikan Teknik Bangunan B khususnya; Karina Anggia Mustokoweni, Shinta Desiyani, Masnawari Rahmadani, Bella Junita dan Dian Yuristia yang telah memberikan dukungan untuk dapat menyelesaikan karya tulis skripsi ini.

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, Desember 2017

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	5
1.3 Pembatasan Masalah	5
1.4 Rumusan Masalah	7
1.5 Tujuan Penelitian.....	7
1.6 Kegunaan Hasil Penelitian	8
BAB II KERANGKA TEORETIK DAN KERANGKA BERPIKIR.....	9
2.1 Landasan Teori	9
2.1.1 Perilaku Bangunan Ketika Terjadi Gempa.....	10
2.1.2 Sistem Struktur Bangunan	12
2.1.3 Struktur Bangunan Tidak Beraturan.....	17
2.1.4 Struktur Kolom	25
2.1.4.1 Jenis Kolom.....	26
2.1.4.2 Kapasitas Kolom.....	30
2.1.4.3 Kolom Pendek.....	31
2.1.4.4 Kolom Langsing.....	32
2.1.5 Pemodelan Struktur dan Beban	34
2.1.5.1 Teori Pembebanan Struktur.....	34
2.1.5.2 Parameter Perilaku Bangunan Tahan Gempa.....	40
2.1.5.3 Metode Analisis Respon Spektrum.....	44
2.1.6 Prinsip Dasar Penggunaan Program ETABS.....	50
2.2 Penelitian yang Relevan	51
2.3 Kerangka Konseptual	55
2.4 Hipotesis Penelitian.....	57
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	58
3.1 Tujuan Penelitian.....	58
3.2 Waktu dan Objek Penelitian.....	58
3.3 Data Teknis Struktur.....	58
3.3.1 Dimensi Plat Lantai	59

3.3.2 Dimensi Balok	60
3.3.3 Dimensi Kolom.....	61
3.3.4 Dimensi <i>Core Wall</i>	62
3.3.5 Dimensi Tangga.....	63
3.3.6 Gambar Objek Penelitian.....	63
3.3.7 Deskripsi Ketidakberaturan Bangunan	65
3.4 Variasi Pemodelan Struktur.....	67
3.5 Pembebanan Struktur.....	69
3.5.1 Beban Mati	69
3.5.2 Beban Hidup	70
3.5.3 Beban Gempa	71
3.5.4 Kombinasi Pembebanan	73
3.6 Metodologi Penelitian	76
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	78
4.1 Hasil Penelitian	78
4.1.1 Kapasitas Kolom.....	78
4.1.2 <i>Base Shear</i>	83
4.1.3 <i>Displacement</i>	85
4.1.4 <i>Story Drift</i>	86
4.2 Pembahasan	88
4.2.1 Kapasitas Kolom.....	88
4.2.2 <i>Base Shear</i>	94
4.2.3 <i>Displacement</i>	98
4.2.4 <i>Story Drift</i>	106
4.3 Analisis Keseluruhan.....	110
4.4 Keterbatasan Penelitian	113
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	114
5.1 Kesimpulan.....	114
5.2 Saran	115
DAFTAR PUSTAKA	116
LAMPIRAN	119

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Faktor Reduksi Kekuatan Struktur Beton Bertulang	37
Tabel 2. 2 Simpangan antar lantai ijin $\Delta_a^{a,b}$	43
Tabel 2. 3 Klasifikasi Situs	46
Tabel 2. 4 Koefisien Situs, F_a	47
Tabel 2. 5 Koefisien Situs, F_v	47
Tabel 2. 6 Variasi Pemodelan	53
Tabel 3. 1 Pelat Lantai	59
Tabel 3. 2 Dimensi Balok Konvensional	60
Tabel 3. 3 Dimensi Balok <i>Post Tensioned</i>	61
Tabel 3. 4 Dimensi Kolom	61
Tabel 3. 5 Tipe <i>Corewall</i> W2 dan W3	62
Tabel 3. 6 Koordinat Posisi <i>Corewall</i>	66
Tabel 3. 7 Variasi Pemodelan Struktur	68
Tabel 3. 8 Reduksi Beban Hidup	70
Tabel 3. 9 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan ..	74
Tabel 4. 1 Nilai <i>Base Shear</i> Sebelum Terkoreksi	84
Tabel 4. 2 Nilai Faktor Skala Terkoreksi	84
Tabel 4. 3 Nilai <i>Base Shear</i> Setelah Terkoreksi	85
Tabel 4. 4 Tabel <i>Displacement</i> Arah X	86
Tabel 4. 5 Tabel <i>Displacement</i> Arah Y	86
Tabel 4. 6 Tabel <i>Story Drift</i> Arah X	87
Tabel 4. 7 Tabel <i>Story Drift</i> Arah Y	87
Tabel 4. 8 Berat Struktur Masing-masing Pemodelan	96
Tabel 4. 9 Simpangan izin bangunan	106

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Denah Wisma Cipinang Indah Lantai Ground	3
Gambar 2. 1 Perilaku Bangunan Ketika Terjadi Gempa.....	11
Gambar 2. 2 Beberapa Bentuk Alternatif dari Model Matematis SDOF	12
Gambar 2. 3 Perilaku Sistem Gabungan Penahan Gaya Lateral	13
Gambar 2. 4 Ketidakberaturan Torsi.....	18
Gambar 2. 5 Ketidakberaturan Sudut Dalam	19
Gambar 2. 6 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma.....	20
Gambar 2. 7 Ketidakberaturan Pergeseran Melintang Terhadap Bidang	20
Gambar 2. 8 Ketidakberaturan Sistem Nonparalel	21
Gambar 2. 9 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak	22
Gambar 2. 10 Ketidakberaturan Berat	22
Gambar 2. 11 Ketidakberaturan Geometri Vertikal.....	23
Gambar 2. 12 Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal	24
Gambar 2. 13 Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat	25
Gambar 2. 14 Jenis Kolom.....	27
Gambar 2. 15 Diagram Interaksi P-M dari Suatu Penampang Kolom.....	28
Gambar 2. 16 Perilaku Kolom Saat Mendapat Gaya Lateral Gempa	30
Gambar 2. 17 Perilaku Kolom yang dibebani.....	32
Gambar 2. 18 Penentuan Simpangan Antar Lantai	42
Gambar 2. 19 Defleksi Lateral	43
Gambar 2. 20 Parameter Respon Spektrum Periode Pendek (S_s)	45
Gambar 2. 21 Parameter Respon Spektrum Periode 1 Detik (S_1).....	45
Gambar 2. 22 Spektrum Respon Desain	50
Gambar 3. 1 Dimensi <i>Core Wall</i> Tipe 2 dan Tipe 3	62
Gambar 3. 2 Dimensi Tangga	63
Gambar 3. 3 Tampak Samping.....	63
Gambar 3. 4 Potongan Gedung	64
Gambar 3. 5 Denah Basement.....	64
Gambar 3. 6 Denah <i>Ground Floor</i> Sampai Dengan Lantai Atap	65
Gambar 3. 7 Ketidakberaturan Sudut Dalam Bangunan	66
Gambar 3. 8 Ketidakberaturan Horizontal Posisi <i>Corewall</i>	67
Gambar 3. 9 Letak Kolom K1 dan K2 pada Denah	68
Gambar 3. 10 Kurva Respon Spektrum	73
Gambar 3. 11 Diagram Alur Penelitian.....	76
Gambar 3. 12 Diagram Alur Pemodelan Struktur.....	77
Gambar 4. 1 Diagram Interaksi Kolom <i>Type K1</i> (Eksisting).....	79
Gambar 4. 2 Diagram Interaksi Kolom <i>Type K2</i> (Eksisting).....	80
Gambar 4. 3 Diagram Interaksi Kolom <i>Type K1</i> (Variasi 1).....	80
Gambar 4. 4 Diagram Interaksi Kolom <i>Type K2</i> (Variasi 1).....	81
Gambar 4. 5 Diagram Interaksi Kolom <i>Type K1</i> (Variasi 2).....	81
Gambar 4. 6 Diagram Interaksi Kolom <i>Type K2</i> (Variasi 2).....	82
Gambar 4. 7 Diagram Interaksi Kolom <i>Type K1</i> (Variasi 3).....	82
Gambar 4. 8 Diagram Interaksi Kolom <i>Type K2</i> (Variasi 3).....	83
Gambar 4. 9 Gaya Aksial Kolom K1	89

Gambar 4. 10 Gaya Aksial Kolom K2	90
Gambar 4. 11 Kekakuan Kolom Lantai <i>Ground</i>	91
Gambar 4. 12 Momen Kolom K1	92
Gambar 4. 13 Momen Kolom K2	93
Gambar 4. 14 <i>Base Shear</i> dari Arah X.....	94
Gambar 4. 15 <i>Base Shear</i> dari Arah Y.....	95
Gambar 4. 16 Periode Getar Struktur.....	97
Gambar 4. 17 Perbandingan <i>Displacement</i> Arah X.....	99
Gambar 4. 18 Grafik <i>Displacement</i> Arah X Seluruh Variasi.....	99
Gambar 4. 19 Perbandingan <i>Displacement</i> Arah Y	100
Gambar 4. 20 Grafik <i>Displacement</i> Arah Y Seluruh Variasi.....	101
Gambar 4. 21 <i>Displacement</i> Eksisting Arah Sumbu X dan Sumbu Y.....	102
Gambar 4. 22 <i>Displacement</i> Variasi 1 Arah Sumbu X dan Sumbu Y	103
Gambar 4. 23 <i>Displacement</i> Variasi 2 Arah Sumbu X dan Sumbu Y	103
Gambar 4. 24 <i>Displacement</i> Variasi 3 Arah Sumbu X dan Sumbu Y	104
Gambar 4. 25 Simpangan Ijin Arah X	106
Gambar 4. 26 Simpangan Ijin Arah Y	106
Gambar 4. 27 Story Drift Arah X.....	107
Gambar 4. 28 Story Drift Arah Y.....	108
Gambar 4. 29 Hubungan <i>Base Shear</i> dengan <i>Displacement</i>	110
Gambar 4. 30 Hubungan <i>Base Shear</i> dengan Periode	111

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Evaluasi Nilai <i>Base Shear</i> dan Faktor Skala Terkoreksi.....	119
Lampiran 2. Batas Simpangan Antar Lantai Tingkat.....	125
Lampiran 3. Gaya Momen dan Aksial K1 dan K2.....	126
Lampiran 4. Gambar Kerja Objek Penelitian.....	128
Lampiran 5. Modul Pembuatan Model Bangunan dengan Software ETABS ..	143
Lampiran 6. Kekakuan Kolom.....	167
Lampiran 7. Surat Menyurat	170

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

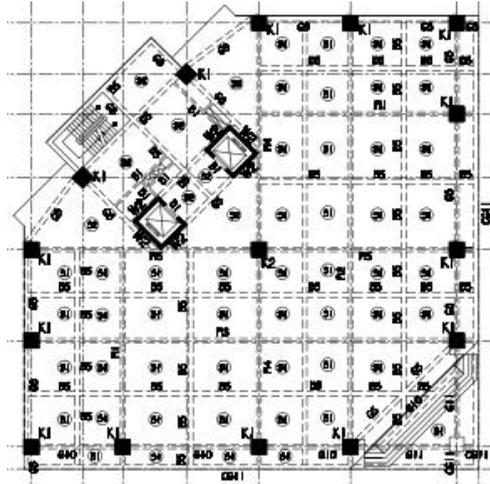
Banyaknya pembangunan gedung di Indonesia membuat perkembangan gedung di Indonesia semakin beragam. Kebutuhan akan fungsi lahan yang semakin sempit, berpengaruh pada bentuk bangunan yang cenderung tidak beraturan. Ketidakberaturan penempatan tata letak ruang pada denah bangunan seringkali tidak dapat dihindari. Tuntutan untuk membangun bangunan yang sesuai dengan keinginan dan kenyamanan pengguna menyebabkan bangunan tersebut mempunyai bentuk yang tidak beraturan, salah satunya adalah bangunan yang memiliki ketidakberaturan secara horizontal sistem *nonparalel*. Menurut SNI 03-1726:2012, ketidakberaturan horizontal sistem *nonparalel* yaitu bangunan yang jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak simetris terhadap sumbu-sumbu orthogonal utama sistem penahan gaya gempa. Bangunan ketidakberaturan tersebut mempunyai respon bangunan yang berbeda terhadap gaya gempa dibandingkan dengan bangunan yang beraturan.

Bangunan dengan bentuk beraturan, sederhana, dan simetris akan berperilaku lebih baik terhadap gempa dibandingkan dengan bangunan yang tidak beraturan (Paulay, 1992). Bentuk gedung yang tidak beraturan akan menjadi lebih tidak stabil dibandingkan dengan bangunan beraturan. Ketidakberaturan tersebut yang dapat mempengaruhi kekakuan bangunan dalam menahan beban gempa. Salah satu indikator untuk melihat respon gempa adalah simpangan

(*displacement*). Simpangan yang dihasilkan dari bangunan yang tidak beraturan lebih besar, sehingga bangunan tersebut memiliki kekuatan yang lebih rendah terhadap beban gempa. (Purba, 2014).

Wisma Cipinang Indah adalah salah satu bangunan di Duren Sawit, Jakarta Timur yang mempunyai bentuk bangunan yang tidak beraturan. Wisma Cipinang Indah dipilih sebagai studi kasus penelitian ini karena memiliki ketidakberaturan horizontal system nonparallel pada tata letak ruangnya. *Corewall* pada bangunan ini tidak diletakkan dipusat massa bangunan seperti Gambar 1.1. *Corewall* yang ditempatkan dipusat massa bangunan dikarenakan oleh kebutuhan ruang lantai yang lebih luas. Wisma Cipinang Indah yang mempunyai fungsi bangunan sebagai perkantoran yang menuntut ruangan lebih luas untuk disewakan. Kebutuhan ruangan diantaranya digunakan untuk parkir kendaraan, ruangan perkantoran, *showroom*, *restaurant*, *coffeeshop*, dan sebagainya.

Selain itu, Wisma Cipinang Indah dipilih karena mempunyai denah ruang yang tidak beraturan tetapi mempunyai denah yang hampir sama (*typical*) pada setiap lantainya. Dengan hal itu diharapkan analisa yang akan diperoleh akibat ketidakberaturan horizontal akan lebih tampak dan jelas perilaku bangunan yang akan didapatkan.



Gambar 1. 1 Denah Wisma Cipinang Indah Lantai Ground

(Sumber: Proyek Wisma Cipinang Indah)

Corewall yang menjadi inti dari sebuah bangunan mempunyai peranan penting dalam kekakuan bangunan. Pada bangunan bertingkat, penempatan letak *corewall* sebagai inti bangunan akan memberikan pengaruh pada bangunan (Juwana, 2005). *Corewall* merupakan dinding geser untuk menahan gaya gempa yang terletak di wilayah dalam gedung dan biasanya digunakan untuk transportasi vertikal (Majore, 2015). Peranan penempatan *corewall* tersebut menjadi penting dikarenakan beban gempa merupakan gaya inersia yang bekerja pada pusat massa bangunan (Indarto, 2013) Penempatan *corewall* yang tidak diletakkan dipusat massa bangunan menyebabkan inti bangunan tidak dapat menopang bangunan secara maksimal.

Untuk meninjau besarnya beban gempa yang terjadi pada struktur bangunan dapat dilihat dari faktor-faktor yang mempengaruhinya. Ada beberapa faktor, diantaranya yaitu massa dan kekakuan struktur, kondisi tanah dan wilayah kegempaan dimana struktur bangunan tersebut didirikan. Massa dari struktur bangunan merupakan faktor yang sangat penting, karena beban gempa merupakan

gaya inersia yang bekerja ada pusat massa, yang besarnya sangat bergantung dari besarnya massa dari struktur tersebut (Indarto, 2013).

Pada penelitian ini, akan meninjau perilaku bangunan terhadap gempa melalui perubahan massa. Massa bangunan dapat diperkecil salah satunya dengan memperkecil dimensi kolom. Perubahan dimensi kolom akan berpengaruh terhadap massa, dan perubahan massa akan berpengaruh terhadap besarnya gaya gempa yang akan diterima oleh bangunan. Dengan adanya perubahan dimensi kolom dan massa bangunan yang semakin kecil, maka diharapkan beban gempa yang akan diterima oleh bangunan akan semakin kecil dan diharapkan kegagalan struktur akibat beban gempa akan semakin kecil.

Dari penelitian sebelumnya, mengenai perilaku bangunan oleh (Khaq, 2016) dilakukan analisis bangunan variasi dimensi kolom. Pada penelitian tersebut, digunakan bangunan yang mempunyai letak corewall di pusat massa bangunan. Oleh karena itu, analisis perilaku struktur bangunan tidak beraturan horizontal sistem *nonparallel* dengan variasi dimensi kolom akibat gempa perlu dilakukan. Penelitian ini menggunakan metode respon spektrum karena berdasarkan SNI 03-1726-2012 analisis dengan metode dinamis seperti ragam respon spektrum dapat diterapkan untuk menganalisis bangunan yang tidak beraturan. Pemodelan struktur pada penelitian ini menggunakan bantuan program komputer ETABS v.9.7.4.

1.2 Identifikasi Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi dimensi kolom pada perilaku struktur bangunan ketidakberaturan horizontal *system nonparallel* terhadap beban gempa?
2. Bagaimana perbedaan perilaku struktur bangunan ketidakberaturan horizontal *system nonparallel* dengan variasi dimensi kolom terhadap beban gempa?
3. Apakah variasi dimensi kolom yang direncanakan masih dalam batas aman?
4. Berapa besarnya gaya geser dasar (*base shear*), perpindahan tingkat (*story displacement*) dan simpangan antar tingkat (*story drift*) yang ditimbulkan akibat variasi dimensi kolom?

1.3 Pembatasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan masalah sebagai berikut:

1. Bangunan yang akan dianalisis adalah bangunan perkantoran yang tidak simetris (asimetris). Bangunan ini yang mempunyai 8 lantai dan 1 basement (Wisma Cipinang Indah-Jakarta).
2. Struktur bangunan ini merupakan struktur beton bertulang dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dengan pengaku berupa *corewall*.

3. Menggunakan beton dengan kuat tekan beton (f_c') sebesar 35 MPa dan tulangan baja dengan tegangan leleh baja (f_y) sebesar 40 MPa sesuai pada kondisi eksisting.
4. Peraturan gempa yang digunakan yaitu Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726-2012).
5. Peraturan struktur yang digunakan yaitu Standar Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung Beton Bertulang (SNI 03-2847-2013).
6. Peraturan pembebanan berdasarkan Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (SNI 1727-2013).
7. Pemodelan dan analisa struktur dilakukan dengan *software* ETABS v.9.7.4
8. Metode analisis yang digunakan adalah Analisis Ragam Respons Spektrum.
9. Parameter respon struktur yang di hitung berupa gaya geser dasar (*base shear*), perpindahan tingkat (*story displacement*), dan simpangan antar tingkat (*story drift*).
10. Kombinasi pembebanan yang diberikan berdasarkan SNI 1726-2012.
11. Tidak memasukan beban lateral yang disebabkan oleh angin.
12. Variasi desain kolom berbentuk persegi.
13. Nilai ketebalan plat kantilever diambil sebagai nilai rata-rata
14. Plat dianggap tidak berkontribusi dalam menahan gaya lateral
15. Tidak mendisain struktur pondasi.
16. Sudut bangunan yang melengkung dijadikan lurus.
17. Balok metode *post tensioned* diabaikan karena adanya keterbatasan peneliti untuk menginput tulangan pada balok *post tensioned*.

1.4 Rumusan Masalah

Dari identifikasi masalah dan pembatasan masalah, maka dapat dirumuskan sebagai berikut “Bagaimana perilaku struktur bangunan tidak beraturan secara horizontal sistem *nonparallel* dengan diberikan perubahan variasi dimensi kolom dalam menahan gaya lateral gempa?”

1.5 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan perumusan masalah tersebut, penelitian ini diharapkan bertujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh variasi dimensi kolom pada perilaku struktur bangunan ketidakberaturan horizontal *system nonparallel* terhadap beban gempa.
2. Mengetahui perbedaan perilaku struktur bangunan ketidakberaturan horizontal *system nonparallel* dengan variasi dimensi kolom terhadap beban gempa.
3. Mengetahui batas maksimum yang diizinkan melalui kapasitas kolom dari variasi dimensi kolom pada bangunan ketidakberaturan horizontal *system nonparallel*.
4. Mengetahui besarnya gaya geser dasar (*base shear*), perpindahan tingkat (*story displacement*) dan simpangan antar tingkat (*story drift*) yang ditimbulkan akibat variasi dimensi kolom.

1.6 Kegunaan Hasil Penelitian

1. Kegunaan teoritis penelitian ini diharapkan dapat mengetahui respon bangunan terhadap gempa dengan perubahan dimensi kolom pada bangunan tidak beraturan secara horizontal dan dapat dijadikan acuan untuk perencanaan gedung selanjutnya.
2. Kegunaan praktis penelitian ini diharapkan dapat menemukan gambaran variasi dimensi kolom terhadap gempa pada bangunan tidak beraturan horizontal *system nonparalel*.

BAB II

KERANGKA TEORETIK DAN KERANGKA BERPIKIR

2.1 Landasan Teori

Bumi yang kita pijak merupakan suatu lapisan terluar dari bumi yang disebut dengan kerak bumi. Kerak bumi ini bersifat keras, getas, mudah patah dan “terapung” di atas batuan yang relatif tidak kaku yang sering disebut dengan mantel. Kerak bumi ini juga pecah menjadi 10 buah pecahan yang kita sebut dengan lempeng dan saling bergerak. Ada yang bergerak saling menjauhi, ada yang bergerak saling mendekat sehingga bisa terjadi tumbukan antar lempeng, dan ada yang saling bergeser. Umumnya pergerakan lempeng ini sangat lambat hanya beberapa centimeter dalam waktu 1 tahun. Akan tetapi, jika pergerakan ini macet dan saling mengunci sehingga terjadi pengumpulan energi yang berlangsung secara terus-menerus sampai suatu saat batuan ini tidak mampu menahan dorongan ini, maka akan terjadi pelepasan energi secara tiba-tiba yang kita sebut gempa bumi (Prasetya, 2006).

Gempa bumi adalah pergeseran tiba-tiba dari lapisan tanah di bawah permukaan bumi, Ketika pergeseran ini terjadi, maka timbul getaran yang disebut dengan gelombang seismik. Gelombang ini menjalar ke segala arah menjauhi pusat gempa (hipesenter), namun beberapa hanya bisa tercatat *seismograph*, dan beberapa ada yang sampai ke permukaan bumi dan dirasakan manusia. Getaran yang sampai ke permukaan bumi ini bias bersifat merusak dan sangat tergantung dengan kekuatan sumber gempa bumi, kedalamannya dari permukaan tanah dan tidak kalah pentingnya adalah mutu bangunan yang dilewati oleh gelombang

seismik ini. Jika mutu bangunannya sangat rapuh akan mudah runtuh dan mengakibatkan banyaknya korban jiwa (Prasetya, 2006). Berikut akan dipaparkan teori-teori yang dapat memperkuat penelitian ini.

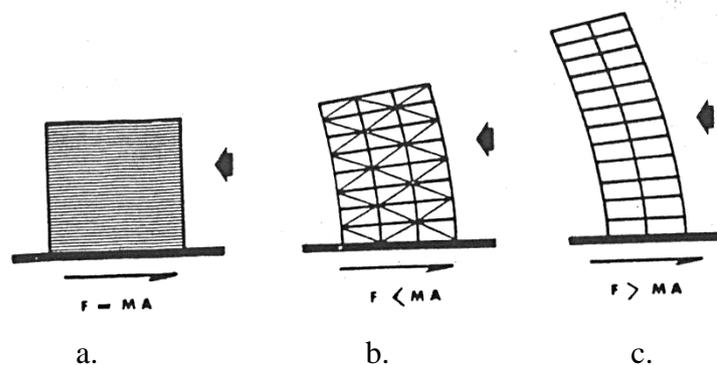
2.1.1 Perilaku Bangunan Ketika Terjadi Gempa

Selama gempa bumi, bangunan akan mengalami gerakan vertikal (gaya gravitasi) dan gerakan horizontal (gaya gempa) yang vakan timbul di titik-titik pada massa struktur. Biasanya, bangunan direncanakan terhadap gaya gravitasi dengan faktor keamanan yang memadai. Oleh karena itu, struktur bangunan jarang sekali runtuh akibat gaya gravitasi. Sebaliknya, gaya gempa menyerang titik-titik lemah pada struktur yang kekuatannya tidak memadai dan akan langsung menyebabkan keruntuhan atau kegagalan (*failure*) (Muto, 1993).

Pondasi adalah titik singgung antara bangunan dengan tanah, maka gerak dari gelombang gempa bekerja pada bangunan dengan menggetarkan pondasi (menggoyangkan pondasi secara bolak-balik). Massa bangunan menahan gelombang gempa membuat adanya gaya inersia pada seluruh struktur. Besarnya gaya inersia pada Gambar 2.1.a., bergantung pada massa bangunan (m), percepatan permukaan (a) dan sifat struktur itu sendiri. Apabila bangunan dan pondasinya kaku, maka percepatannya akan sama dengan permukaan, yaitu menurut Hukum Newton II yaitu $F = m \times a$ (Schueller, 2001).

Tetapi dalam kenyataannya bangunan dan pondasinya tidaklah kaku. Untuk struktur yang hanya mengalami sedikit perubahan bentuk dan menyerap sebagian energi, maka besarnya gaya gempa pada bangunan tersebut akan kurang dari masa dikali percepatannya seperti pada Gambar 2.1.b. Untuk bangunan yang sangat

fleksibel, yang mempunyai waktu getar alamiah yang mendekati waktu getar gelombang permukaan, bangunan tersebut dapat mengalami gaya gempa yang jauh lebih besar pada Gambar 2.1.c. Gerakan yang lebih besar tersebut terjadi karena adanya gerak permukaan yang berulang-ulang (Schueller, 2001).



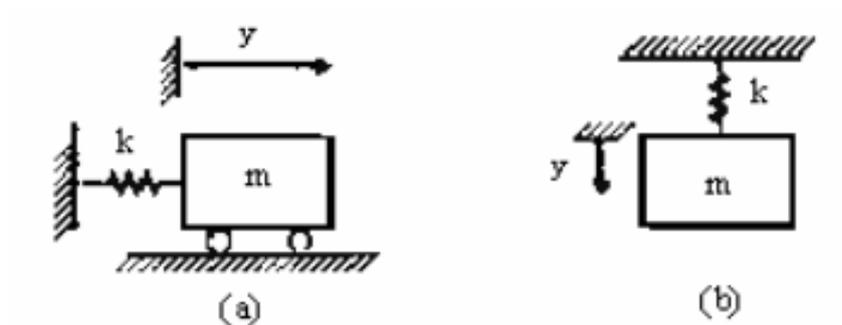
Gambar 2. 1 Perilaku Bangunan Ketika Terjadi Gempa

(Sumber: Schueller, 2011)

Gempa bumi merambat dalam bentuk gelombang yang apabila sampai ke permukaan bumi, menyebabkan terjadinya getaran yang berpengaruh pada bangunan yang ada di permukaan. Hal inilah yang akan menimbulkan gaya-gaya yang bekerja pada struktur bangunan karena struktur lebih cenderung memiliki sifat mempertahankan diri dari gerakan (Schodek, 1998).

Struktur bangunan dalam proses perhitungan dapat disederhanakan dengan mengidealisasikan bangunan tersebut sebagai sistem dengan derajat kebebasan tunggal atau *Single Degree of freedom* (SDOF). Dalam sistem derajat kebebasan tunggal atau SDOF respon struktur yang terjadi akibat beban dinamik diasumsikan searah horizontal. Untuk mendapatkan respon yang terjadi disebabkan oleh beban dinamik seperti perpindahan, kecepatan dan percepatan maksimum dapat digunakan konsep respons struktur (Suryanita & Sarfika, 2007). Secara sederhana

model matematis sistem derajat kebebasan tunggal (SDOF) dapat dilihat seperti Gambar 2.2 berikut ini.



Gambar 2. 2 Beberapa Bentuk Alternatif dari Model Matematis SDOF (a) Massa Sistem yang Bergerak Horizontal dan (b) Massa system yang bergerak vertikal

(Sumber: Suryanita & Sarfika, 2007)

Bersamaan gerak sistem derajat kebebasan tunggal menghasilkan gaya luar, F berdasarkan kesetimbangan dinamis *free-body* :

$$m \cdot \ddot{u} + c \cdot \dot{u} + k \cdot u = F \quad (2.1)$$

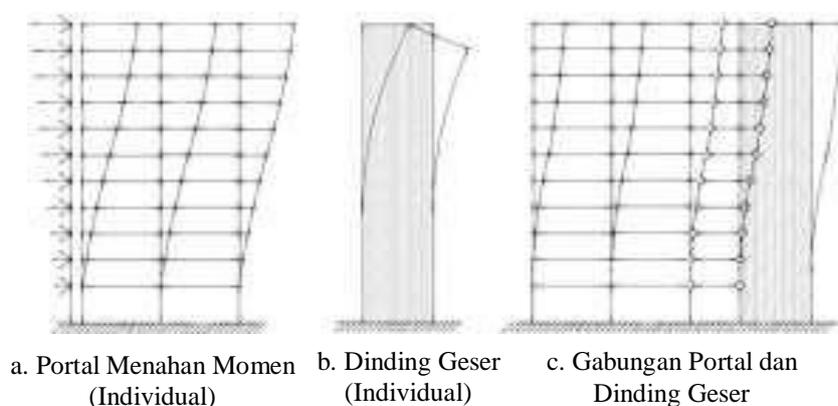
dimana m , c dan k masing-masing merupakan massa sistem, konstanta redaman, dan konstanta pegas, sedangkan \ddot{u} , \dot{u} dan u merupakan percepatan, kecepatan dan perpindahan pada sistem (Suryanita & Sarfika, 2007).

2.1.2 Sistem Struktur Bangunan

Sistem struktur dibagi menjadi dua bagian yaitu sistem vertikal dan sistem horisontal. Sistem vertikal mencakup sistem struktur lateral yang dapat meningkatkan nilai kekakuan dan kekuatan komponen vertikal. Sedangkan sistem horisontal mencakup pengaku-pengaku horisontal atau *horizontal bracing*

berupa lantai dan sistem *deck framing* yang biasa disebut dengan diafragma horisontal (Majore, 2015).

Untuk meningkatkan kekakuan lateral, sistem struktur horizontal (penahan beban lateral) yang biasa digunakan antara lain: portal penahan momen (*Momen-Resisting Frames*), rangka pengaku (*Braced Frames*), dan dinding geser (*shear wall*). Portal penahan momen terdiri dari komponen (subsistem) horizontal berupa balok dan komponen vertikal yang berupa kolom yang dihubungkan secara kaku (*rigid joints*). Kekuatan portal tergantung pada dimensi balok dan kolom, serta proporsional terhadap jarak lantai ke lantai dan jarak kolom ke kolom. Rangka pengaku (*braced frame*) terdiri dari balok dan kolom yang ditambahkan pengaku diagonal. Adanya pengaku diagonal ini akan berpengaruh pada fleksibilitas perpanjangan/perpendekan lantai (simpangan) di mana pengaku tersebut ditempatkan. Rangka pengaku banyak digunakan pada bangunan tinggi yang menggunakan struktur baja. Dinding geser (*shear wall*) didefinisikan sebagai komponen struktur vertikal yang relative sangat kaku. Dinding geser pada umumnya hanya boleh mempunyai bukaan sedikit (sekitar 5%) agar tidak mengurangi kekakuannya (Juwana, 2005).



Gambar 2. 3 Perilaku Sistem Gabungan Penahan Gaya Lateral
(Sumber: Juwana, 2005)

Dalam SNI 1726:2012, telah ditentukan sistem dan sub-sistem dari struktur gedung terdapat 7 klasifikasi. Klasifikasi sistem dan sub sistemnya yaitu; (1) sistem dinding penumpu, (2) sistem ganda, (3) sistem interaksi dinding geser dan rangka, (4) sistem kolom kantilever, (5) sistem rangka gedung, (6) sistem rangka pemikul momen, dan (7) struktur tipe bandul terbalik. Klasifikasi ini digolongkan berdasarkan penggunaan sistem pada struktur gedung. Berikut penjelasan sistem dan sub-sistem pada struktur gedung

1. Sistem Dinding Penumpu

Sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Sistem dinding penumpu ini hanya menggunakan satu buah sistem untuk setiap beban yang dipikul Sistem ini beban gravitasinya dipikul oleh dinding penumpu dan sistem bresing. Sedangkan beban lateral akibat gaya gempa dipikul oleh dinding geser atau rangka bresing (SNI 1726:2012).

2. Sistem Ganda

Sistem struktur dengan rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh sistem rangka pemikul momen dan dinding geser. Selain itu, gaya gempa pada sistem ini juga bisa dipikul oleh rangka pemikul momen dan rangka bresing. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral yang bekerja. Kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral gempa, dengan memperhatikan interaksi keduanya (SNI 1726:2012).

3. Sistem Interaksi Dinding Geser dan Rangka

Sistem struktur ini menggunakan kombinasi dinding geser dan sistem rangka beton bertulang biasa. Penggunaan beton bertulang dalam konstruksi gedung sudah umum dilakukan. Salah satu kekurangannya adalah bervariasinya kuat tekan beton yang sangat dipengaruhi oleh jenis, kualitas, dan komposisi material pembentuknya (agregat, semen dan air), serta cara pengerjaannya. Oleh sebab itu, kontrol kualitas beton biasanya cukup ketat baik dalam proses pengadukannya, pengecorannya serta perawatan setelah dicor (SNI 1726:2012).

4. Sistem Kolom Kantilever

Sistem struktur penahan gaya gempa, di mana gaya lateral yang diakibatkan oleh gempa disalurkan ke kolom. Kolom berperilaku sebagai kolom kantilever yang terjepit di bagian dasar gedung. Kolom kantilever adalah kolom yang salah satu tumpuannya adalah jepit, sementara ujung yang lain bebas. Pada sistem ini, kolom harus dirancang kuat dalam menahan gaya gempa, karena kolom merupakan satu-satunya penahan gaya gempa (SNI 1726:2012).

5. Sistem Rangka Gedung

Sistem struktur dengan rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Sistem rangka ruang adalah pengembangan dari sistem struktur rangka batang dengan penambahan rangka batang ke arah tiga dimensi. Struktur rangka ruang adalah komposisi dari batang-batang yang masing-masing berdiri sendiri, memikul gaya tekan atau gaya tarik yang sentris dan dikaitkan satu sama lain dengan sistem tiga dimensi atau ruang. Pada sistem rangka gedung, beban lateral

yang diakibatkan oleh gempa dipikul dinding geser ataupun oleh rangka *bresing* (SNI 1726:2012).

6. Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem Rangka Pemikul Momen (*Moment Resisting Frame*) ini terbagi menjadi 3, yaitu SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa), SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah), dan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus). SRPMB merupakan sistem yang memiliki deformasi inelastik dan tingkat daktilitas yang paling kecil tapi memiliki kekuatan yang besar. SRPMM adalah suatu metode perencanaan struktur sistem rangka pemikul momen yang menitik beratkan kewaspadaannya terhadap kegagalan struktur akibat keruntuhan geser. SRPMB adalah komponen struktur yang mampu memikul gaya akibat beban gempa dan direncanakan untuk memikul lentur (SNI 1726:2012).

7. Struktur Tipe Bandul Terbalik

Suatu struktur kantilever langsing yang lebih dari 50% massa strukturnya terpusat di puncak struktur, dan stabilitas puncak strukturnya ditentukan oleh kekangan rotasi terhadap puncak elemen kantilever. Kolom pendukung pada sistem ini harus didesain terhadap momen lentur yang dihitung didasar kolom yang ditentukan dengan menggunakan prosedur yang terdapat pada SNI 1726:2012 point 7.8. Kolom pendukung harus bervariasi secara seragam hingga momen di puncak yang besarnya sama dengan setengah momen lentur yang dihitung di dasar kolom (SNI 1726:2012).

Tujuan dari desain bangunan tahan gempa adalah mencegah terjadinya kegagalan struktur dan terjadinya korban jiwa, dengan 3 kriteria standar yaitu:

- a. Tidak terjadi kerusakan sama sekali pada gempa ringan
- b. Ketika terjadi gempa sedang, diizinkan terjadi kerusakan arsitektural tanpa adanya kerusakan struktural.
- c. Diizinkan terjadinya kerusakan struktural maupun non-struktural pada gempa kuat, namun kerusakan yang terjadi tidak sampai menyebabkan bangunan runtuh (Juwana, 2005).

2.1.3 Struktur Bangunan Tidak Beraturan

Menurut SNI 1726:2012, struktur gedung dapat diklasifikasikan sebagai bangunan beraturan dan tidak beraturan. Kriteria ini harus berdasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur bangunan gedung.

2.1.3.1 Ketidakberaturan Horizontal

Struktur bangunan gedung dapat mempunyai satu atau lebih ketidakberaturan horizontal jika memenuhi syarat-syarat yang akan dijelaskan. Ketidakberaturan horizontal menurut SNI 1726:2012 dapat diklasifikasi sebagai berikut.

1. Ketidakberaturan Torsi

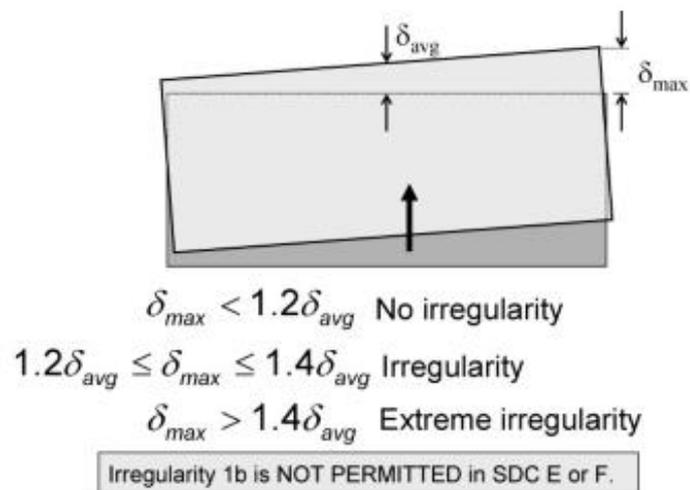
Ketidakteraturan torsi menurut SNI terdapat dua buah klasifikasi ketidakberaturan torsi berdasarkan simpangan antar lantai tingkatnya, yaitu ketidakberaturan torsi, dan ketidakberaturan torsi berlebihan.

a. Ketidakberaturan Torsi

Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragmanya kaku atau setengah kaku.

b. Ketidakberaturan Torsi Berlebihan

Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratkan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragmanya kaku atau setengah kaku.

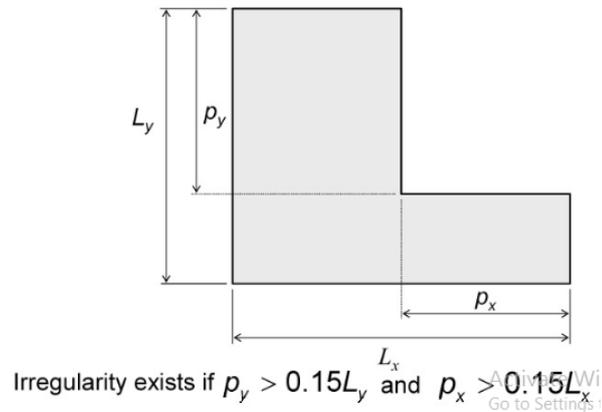


Gambar 2. 4 Ketidakberaturan Torsi

(Sumber: Indarto, 2013)

2. Ketidakberaturan Sudut Dalam

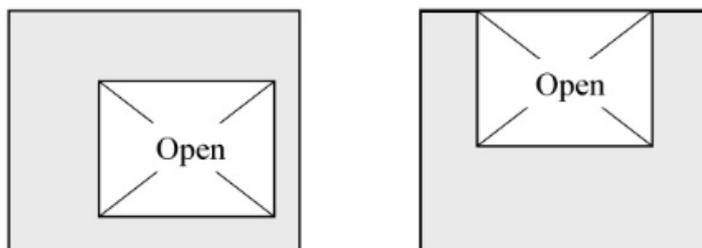
Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan.



Gambar 2. 5 Ketidakberaturan Sudut Dalam
(Sumber: Indarto, 2013)

3. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 persen daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 persen dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.

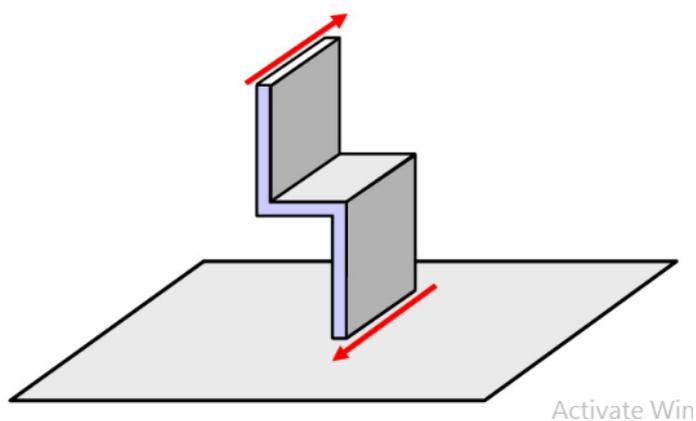


Gambar 2. 6 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

(Sumber: Indarto, 2013)

4. Ketidakberaturan Pergeseran Melintang Terhadap Bidang

Ketidakteraturan pergeseran melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.

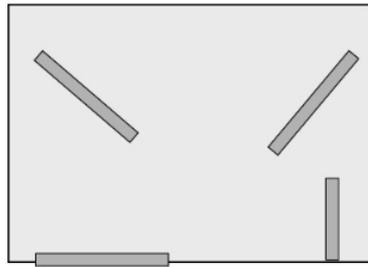


Gambar 2. 7 Ketidakberaturan Pergeseran Melintang Terhadap Bidang

(Sumber: Indarto, 2013)

5. Ketidakberaturan Sistem Nonparalel

Ketidakteraturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu orthogonal utama sistem penahan gaya gempa.



Gambar 2. 8 Ketidakberaturan Sistem Nonparalel

(Sumber: Indarto, 2013)

2.1.3.2 Ketidakberaturan Vertikal

Struktur bangunan gedung dapat mempunyai satu atau lebih ketidakberaturan vertikal jika memenuhi syarat-syarat yang akan dijelaskan. Ketidakberaturan vertikal menurut SNI 1726:2012 dapat diklasifikasi sebagai berikut.

1. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

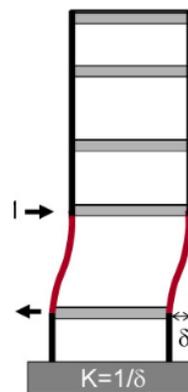
Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak menurut SNI terdapat dua buah klasifikasi kekakuan lateralnya, yaitu ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak dan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan.

a. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.

b. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan

Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 60 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.

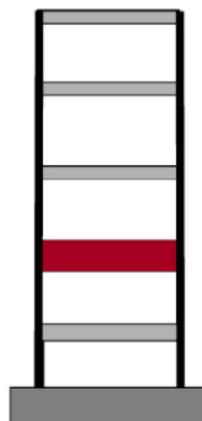


Gambar 2. 9 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

(Sumber: Indarto, 2013)

2. Ketidakberaturan Berat (Massa)

Ketidakberaturan berat (massa) didefinisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150 persen massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.

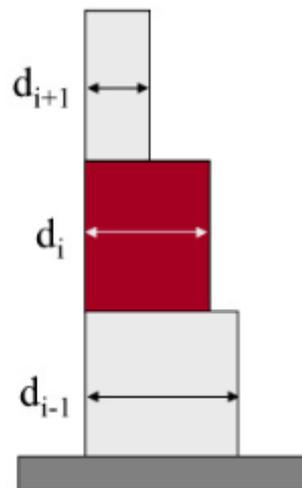


Gambar 2. 10 Ketidakberaturan Berat

(Sumber: Indarto, 2013)

3. Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Ketidakberaturan geometri vertikal didefinisikan ada jika dimensi horisontal system penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130 persen dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya.

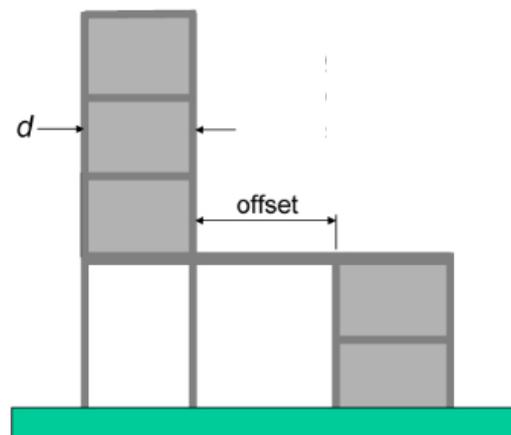


Gambar 2. 11 Ketidakberaturan Geometri Vertikal

(Sumber: Indarto, 2013)

4. Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal

Diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal didefinisikan ada jika pegeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya.



Gambar 2. 12 Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal

(Sumber: Indarto, 2013)

5. Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat

Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat menurut SNI terdapat dua buah klasifikasi kekakuan lateralnya, yaitu diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat dan diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebihan.

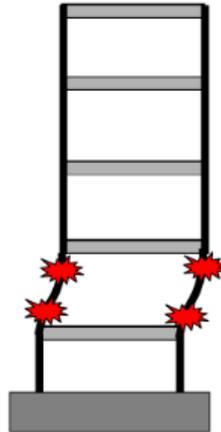
a. Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat

Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.

b. Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat yang Berlebihan

Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebihan didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65 persen kuat lateral tingkat

di atasnya. Kuat tingkat adalah kuat total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.



Gambar 2. 13 Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat

(Sumber: Indarto, 2013)

2.1.4 Struktur Kolom

Menurut SNI SNI 2847:2013, Kolom (*Column*) adalah komponen struktur yang digunakan terutama untuk menumpu beban tekan aksial. Sedangkan menurut Istimawan Dipohusodo, kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil yang menempati posisi penting dalam sistem struktur bangunan.

Kegagalan kolom akan berakibat langsung pada runtuhnya komponen struktur lain yang berhubungan dengannya, atau bahkan merupakan batas runtuh total keseluruhan bangunan. Pada umumnya kegagalan atau keruntuhan komponen tekan tidak diawali dengan tanda peringatan yang jelas dan bersifat mendadak. Oleh Karena itu, dalam merencanakan struktur kolom harus

memperhitungkan secara cermat dengan memberikan cadangan kekuatan lebih tinggi daripada komponen struktur lainnya (Dipohusodo, 1999)

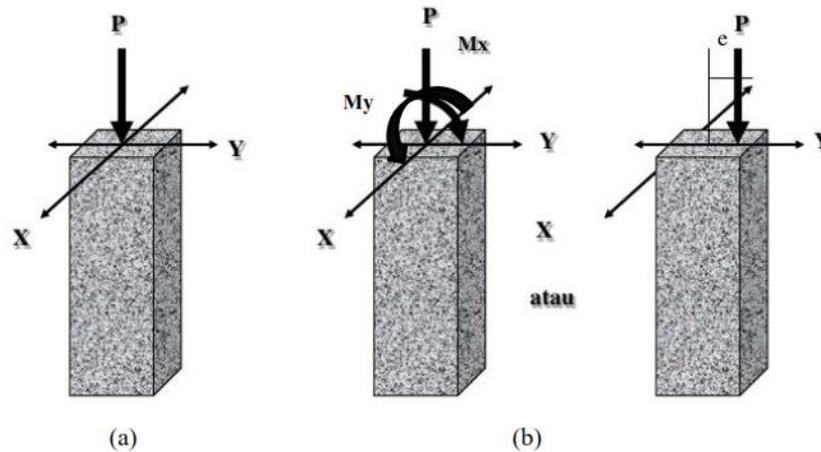
Kolom merupakan komponen struktur yang sangat penting dalam menjamin suatu struktur tidak mengalami keruntuhan total (collapse). Dalam mendesain struktur tahan gempa, kolom harus memiliki kekuatan yang cukup dan memadai untuk berperilaku duktail dalam menyerap energi gempa (Sudarsana, 2010).

Menurut SNI 2847:2013, Kolom harus dirancang untuk menahan gaya aksial dari beban terfaktor pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada satu bentang lantai atau atap bersebelahan yang ditinjau. Kondisi pembebanan yang memberikan rasio momen maksimum terhadap beban aksial harus juga ditinjau.

2.1.4.1 Jenis Kolom

Kolom adalah elemen struktur yang menerima kombinasi beban *axial* dan lentur (momen). Beban aksial yang terjadi berupa tekan, meskipun pada beberapa kasus, kolom bisa menerima beban aksial tarik. Dan umumnya terletak vertikal pada bangunan. Biasanya kolom menerima beban momen baik pada satu atau kedua sumbu pada potongan melintang dan momen ini dapat menghasilkan tegangan tarik pada sebagian potongan melintang tersebut. (Anonim, Srtuktur Beton, 2013).

Secara umum, kolom akan menerima beban seperti yang disajikan dalam gambar berikut:



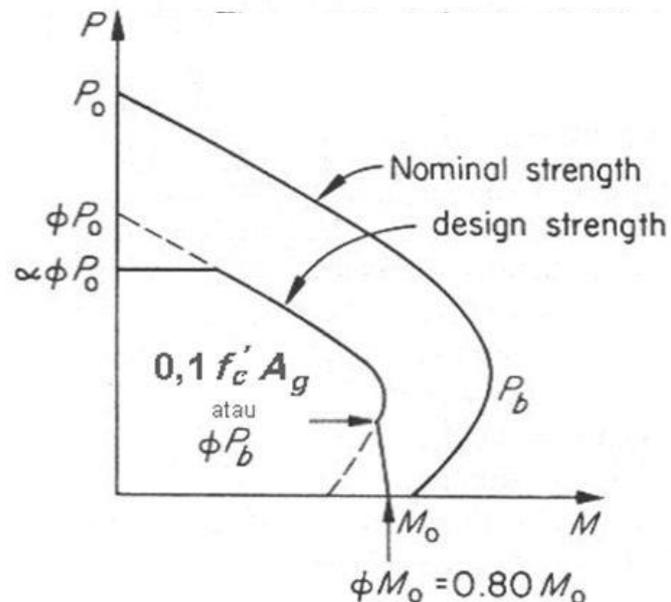
Gambar 2. 14 Jenis Kolom (a) Kolom Sentris, (b) Kolom eksentris

(Sumber : <https://www.slideshare.net/sahnihilhami/>)

Apabila beban aksial (P) bergeser dari sumbu kolom, maka timbul eksentrisitas beban pada penampang kolom, sehingga kolom harus memikul kombinasi pembebanan aksial dan momen. Berdasarkan beban yang dipikulnya, kolom dapat digolongkan menjadi dua yaitu kolom pemikul beban aksial dan pemikul beban lateral.

Kapasitas penampang beton bertulang untuk menahan kombinasi gaya aksial dan momen lentur dapat digambarkan dalam suatu bentuk kurva interaksi antara kedua gaya tersebut, disebut diagram interaksi $P - M$ kolom. Diagram interaksi ini dapat dibagi menjadi dua daerah, yaitu daerah yang ditentukan oleh keruntuhan tarik dan daerah yang ditentukan oleh keruntuhan tekan, dengan pembatasnya adalah titik seimbang (*balanced*). Setiap titik dalam kurva tersebut menunjukkan kombinasi kekuatan gaya nominal P_n dan momen nominal M_n yang sesuai dengan lokasi sumbu netralnya (Nawy, 1998). Plot dari momen dan gaya aksial dihitung dari mekanika struktur kolom. Bila berada di luar diagram maka kolom tidak mampu dan harus dicari dimensi lain, dan bila berada di dalam kolom

dekat dengan diagram maka kolom mampu, tapi bila masuk namun terlalu jauh dari diagram maka kolom terlalu besar/boros (Anonim, Struktur Kolom, 2013).



Gambar 2. 15 Diagram Interaksi P-M dari Suatu Penampang Kolom

(Sumber : www.ilmutekniksipil.com, 2013)

1) Kolom Pemikul Beban Aksial

Dilihat dari segi perencanaan, sebuah kolom yang mempunyai sendi pada setiap ujung dari komponen struktur tekan merupakan contoh yang paling mudah ditinjau, karena pada dasarnya kolom ini hanya mengalami gaya-gaya normal (aksial). Dengan demikian sebuah 'komponen struktur (kolom) yang mendapat beban tekan sentris (Kusuma G. , 1993).

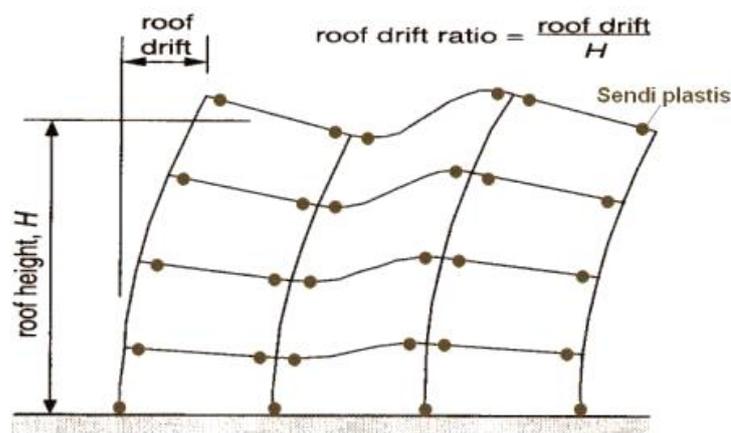
Tulangan lateral atau sengkang diperlukan untuk mencegah terkelupasnya (*spalling*) penutup beton dan terjadinya tekuk local (*local buckling*) pada batang-batang longitudinal akibat beban aksial. Sehingga sengkang sangat efektif untuk meningkatkan kekuatan dan memperlambat proses keruntuhan kolom beton terkekang agar menjadi lebih daktail. Tulangan lateral yang biasa digunakan

adalah tulangan dalam bentuk pengikat (*ties*) yang didistribusikan sepanjang ketinggian kolom pada interval yang ditentukan. Semakin pendek atau rapat jarak sengkang pada kolom, maka semakin besar pula kekuatan kolom tersebut dalam memikul beban aksial (Insani, Tjaronge, & Tanijaya.).

2) Kolom Pemikul Beban Lateral

Kolom yang hanya memikul beban aksial saja, hampir tidak pernah digunakan dalam struktur beton bertulang. Pada saat pelaksanaan struktur kolom, sebenarnya sangat kompleks karena sendi-sendi harus memenuhi syarat yang sangat ketat. Pada struktur sederhana, kolom sering merupakan bagian dari struktural rangka. Bila pada kolom bagian atas dan bawah berhubungan kaku dengan komponen horizontal (balok), maka tegangan yang bekerja pada kolom selain tegangan aksial mungkin juga terdiri dari tegangan yang bekerja pada kolom, selain aksial mungkin juga terdiri dari tegangan yang disebabkan oleh momen lentur. Hal ini dapat dikatakan dengan sebuah ‘komponen struktur (kolom) yang mendapat beban tekan eksentris’ (Kusuma G. , 1993).

Selain momen yang terjadi akibat adanya eksentrisitas, momen juga bisa diakibatkan oleh gaya lateral, yaitu diantaranya beban angin dan beban gempa. Konsep perencanaan desain kolom kuat balok lemah atau yang lebih dikenal dengan istilah *strong column weak beam concept* adalah salah satu desain struktur dengan cara membuat sistem struktur yang fleksibel yang mampu berdeformasi dan memiliki daktilitas yang tinggi saat terjadi gempa (Riza, 2014).



Gambar 2. 16 Perilaku Kolom Saat Mendapat Gaya Lateral Gempa

(Sumber: <http://www.perencanaanstruktur.com>)

2.1.4.2 Kapasitas Kolom

Menurut SNI 2847:2013 Kapasitas suatu kolom yang mengalami beban aksial murni (*Axial Load only*) terjadi apabila kolom hanya menahan beban sentris pada penampangnya (tanpa eksentrisitas). Pada kondisi ini gaya luar bisa ditahan oleh penampang kolom tidak boleh lebih besar dari persamaan berikut:

Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan spiral menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\phi P_{n(maks)} = 0,85\phi [0,85f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st}f_y]; \quad (2.2)$$

Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan pengikat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\phi P_{n(maks)} = 0,85\phi [0,85f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st}f_y]; \quad (2.3)$$

Keterangan :

f'_c = Kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa),

A_g = Luas penampang kolom,

A_{st} = Luas tulangan total,

f = Kuat tarik tulangan baja yang diijinkan (MPa).

Selain itu, SNI 2837:2013 juga menjelaskan pada bahwa komponen struktur yang dibebani aksial tekan harus didesain terhadap momen maksimum yang mungkin menyertai beban aksial. Beban aksial terfaktor P dengan eksentrisitas yang ada tidak boleh melampaui nilai dari Persamaan 2.2 dan Persamaan 2.3. Momen terfaktor maksimum harus diperbesar untuk memperhitungkan pengaruh kelangsingan.

2.1.4.3 Kolom Pendek

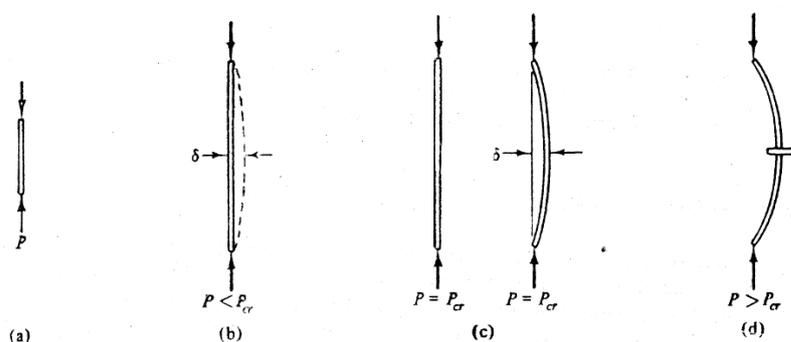
Kolom pendek adalah jenis kolom yang kegagalannya berupa kegagalan material (ditentukan oleh kekuatan material) (Schodek, 1998). Sedangkan menurut (Muin, 2011), kolom pendek adalah kolom dimana masalah tekuk tidak perlu menjadi perhatian dalam merencanakan kolom karena pengaruhnya cukup kecil.

Elemen struktur kolom yang mempunyai nilai perbandingan antara panjangnya dengan dimensi penampang melintang relatif kecil disebut dengan kolom pendek. Kapasitas pikul-beban kolom pendek tidak bergantung pada panjang kolom. Apabila mengalami beban berlebihan, kolom pendek umumnya akan gagal karena hancurnya material. Dengan demikian, kapasitas pikul-beban batas tergantung pada kekuatan material yang digunakan. Hal inilah yang membuat kolom pendek relatif lebih mudah untuk dianalisis. Apabila beban yang bekerja bertitik tangkap tepat pada pusat berat penampang elemen, maka $f = F/A$ yang akan timbul adalah tegangan tekan merata yang besarnya. Kegagalan yang terjadi apabila tegangan langsung actual ini melebihi tegangan hancur material ($f_a \geq F_y$) (Schodek, 1998).

2.1.4.4 Kolom Langsing

Kolom panjang (kolom langsing) adalah kolom yang kegagalannya ditentukan oleh tekuk (*buckling*), jadi kegagalannya dikarenakan ketidakstabilan, bukan karena kekuatan. Pada kolom panjang, dimensi dalam arah memanjang jauh lebih besar dibandingkan dengan dimensi arah lateral. Karena ada potensi menekuk pada jenis kolom ini, maka kapasitas pikul-bebannya menjadi lebih kecil (Schodek, 1998).

Elemen struktur tekan yang semakin panjang akan semakin langsing yang disebabkan oleh proporsinya. Perilaku kolom langsing akan mengalami beban tekan sangat berbeda dengan perilaku kolom pendek (Schodek, 1998). Semakin langsing atau semakin panjang suatu kolom, maka efek kelangsingan tidak dapat diabaikan karena rasio kelangsingan terus bertambah besar dan kekuatan penampangnya akan berkurang bersamaan dengan timbulnya masalah tekuk yang dihadapi. Keruntuhan kolom langsing lebih ditentukan oleh kegagalan tekuk lateral daripada kuat lentur penampangnya (Insani, Tjaronge, & Tanijaya.).



Gambar 2. 17 Perilaku Kolom yang dibebani

(Sumber : Schodek, 1998)

Pada Gambar 2.20, Apabila bebannya kecil, elemen masih dapat mempertahankan bentuk liniernya, begitu pula apabila bebannya bertambah. Pada

saat mencapai taraf tertentu, elemen tersebut tiba-tiba tidak stabil dan berubah bentuk seperti tergambar. Hal inilah yang disebut dengan fenomena tekuk (*buckling*). Apabila suatu elemen struktur (kolom), telah menekuk maka kolom tersebut tidak mempunyai kemampuan lagi untuk menerima beban tambahan. Sedikit saja penambahan beban sudah dapat menyebabkan elemen tersebut runtuh. Dengan demikian, kapasitas pikul-beban untuk elemen struktur kolom itu adalah besar beban yang menyebabkan kolom tersebut mengalami tekuk awal. Struktur yang telah mengalami tekuk tidak mempunyai kemampuan layan lagi (Schodek, 1998).

Menurut SNI 2847:2013, pengaruh kelangsingan boleh diabaikan dalam kasus-kasus berikut:

(a) untuk komponen struktur tekan yang tidak dibresing (*braced*) terhadap goyangan menyamping:

$$\frac{k l_u}{r} \leq 22 \quad (2.4)$$

(b) untuk komponen struktur tekan yang dibresing (*braced*) terhadap goyangan menyamping:

$$\frac{k l_u}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40 \quad (2.5)$$

Keterangan :

- k = faktor panjang efektif untuk komponen struktur tekan,
- l_u = panjang tak tertumpu komponen struktur tekan, harus diambil sebagai jarak bersih antara slab lantai, balok, atau komponen struktur lainnya yang mampu menyediakan tumpuan lateral dalam arah yang ditinjau. Satuannya mm,
- r = radius girasi penampang komponen struktur tekan, boleh diambil sama dengan 0,30 kali dimensi keseluruhan dalam arah stabilitas yang ditinjau untuk komponen struktur tekan persegi dan 0,25 kali diameter untuk komponen struktur tekan bulat. Untuk bentuk penampang lainnya, r boleh dihitung untuk penampang beton bruto, satuannya mm.

- M_1 = momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada komponen struktur tekan, diambil sebagai positif jika komponen struktur dibengkokkan dalam kurvatur tunggal, dan negatif jika dibengkokkan dalam kurvatur ganda, N·mm,
- M_2 = momen ujung terfaktor yang lebih besar pada komponen struktur tekan. Jika pembebanan transversal terjadi di antara tumpuan, M_2 diambil sebagai momen terbesar yang terjadi dalam komponen struktur. Nilai M_2 selalu positif, N·mm,

dimana $\frac{M_1}{M_2}$ adalah positif jika kolom dibengkokkan dalam kurvatur tunggal, dan negatif jika komponen struktur dibengkokkan dalam kurvatur ganda. Diizinkan untuk memperhitungkan komponen struktur tekan yang dibresing (*braced*) terhadap goyangan menyamping bila elemen bresing (*bracing*) mempunyai kekakuan total, pergerakan lateral tahanan dari tingkat tersebut, sebesar paling sedikit 12 kali kekakuan bruto kolom dalam suatu tingkat.

2.1.5 Pemodelan Struktur dan Beban

Dalam melakukan analisis desain suatu struktur, diperlukan adanya gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur (Schodek, 1998). Oleh karena itu, berikut akan dibahas mengenai teori pembebanan struktur, parameter perilaku bangunan tahan gempa, dan metode analisis respon spektrum.

2.1.5.1 Teori Pembebanan Struktur

Beban dapat dikelompokkan ke dalam dua kelompok utama bergantung pada gaya gravitasi yang bekerja pada suatu bangunan, yaitu statis dan dinamis. Beban dinamis adalah gaya yang bersifat sementara, beban ini berubah menurut perubahan waktu dan musim, atau menurut fungsi ruangan di dalam suatu struktur

(Schueller, 2001). Sedangkan beban statis adalah gaya yang bekerja secara perlahan-lahan pada struktur dan mempunyai karakter *steady-state*. Deformasi (Schodek, 1998)

1) Beban Mati

Beban mati dapat dinyatakan sebagai gaya statis yang disebabkan oleh berat setiap unsur di dalam struktur. Gaya-gaya yang menghasilkan beban mati terdiri dari berat unsur pendukung beban dari bangunan, lantai, penyelesaian langit-langit, dinding partisi tetap, penyelesaian fasade, tangka simpan, sistem distribusi mekanis, dan seterusnya (Schueller, 2001). Menurut (Juwana, 2005), beban mati adalah berat dari semua bagian suatu struktur bangunan yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, mesin-mesin serta peralatan tetap (*fixed equipment*) yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari bangunan itu.

Menurut SNI 1727:2013, Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran.

Metode untuk menghitung beban mati suatu elemen didasarkan atas peninjauan berat satuan material yang terlibat dan berdasarkan volume elemen tersebut. Berat satuan (*unit weight*) material secara empiris ditentukan dan telah banyak dicantumkan tabelnya dalam berbagai sumber untuk memudahkan perhitungan beban mati (Schodek, 1998).

Menentukan berat bahan-bahan, yaitu beban mati struktur tidaklah mudah. Penaksiran beban mati dapat meleset 15 sampai 20 persen atau lebih karena

adanya berbagai masalah dalam membuat suatu analisis yang tepat mengenai beban. Pada tahap rancangan awal tidaklah mungkin bagi seorang analis struktur untuk memperkirakan berat bangunan yang telah dipilih dengan tepat (Schueller, 2001).

2) Beban Hidup

Beban hidup adalah beban-beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk kurun suatu waktu yang diberikan. Meskipun dapat berpindah-pindah, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja secara perlahan-lahan pada struktur. Beban penggunaan (*occupancy load*) adalah beban hidup. Yang termasuk ke dalam beban penggunaan adalah berat manusia, perabot, material yang disimpan, dan sebagainya. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat berpindah atau bergerak (Schodek, 1998).

Beban hidup berbeda dengan beban mati karena sifatnya yang berubah-ubah dan sulit untuk diperkirakan. Perubahan beban hidup terjadi tidak hanya sepanjang waktu, tetapi juga sebagai fungsi tempat. Perubahan ini bisa berjangka pendek ataupun panjang sehingga hampir mustahil untuk memperkirakan beban-beban hidup secara statis.

Untuk memperhitungkan peluang terjadinya beban hidup yang sewaktu-waktu dapat berubah-ubah, maka beban hidup dapat dikalikan dengan suatu koefisien reduksi. Koefisien reduksi ini dilihat dari jumlah lantai yang dipikul seperti pada tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2. 1 Faktor Reduksi Kekuatan Struktur Beton Bertulang

Jumlah Lantai yang Dipikul	Koefisien Reduksi yang Dikalikan Beban Hidup
1	1,00
2	1,00
3	0,90
4	0,80
5	0,70
6	0,60
7	0,50
8 dan lebih	0,40

(Sumber : SNI 03-1727-1989)

3) Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada bangunan atau bagian bangunan yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Ketika pengaruh gempa pada struktur bangunan ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya didalam struktur tersebut yang terjadi oleh pergerakan tanah akibat gempa tersebut (Juwana, 2005).

4) Kombinasi Pembebanan

Bangunan tinggi akan menghadapi berbagai beban sepanjang usia bangunan tersebut, dan banyak diantaranya yang bekerja bersamaan. Efek beban harus digabung apabila beban bekerja pada garis kerja yang sama dan harus dijumlahkan. Keadaan ini membuat kita harus merancang struktur yang mempertimbangkan semua kemungkinan kombinasi pembebanan.

Kemungkinan terjadinya beban kombinasi harus dievaluasi secara statistik dan diprediksi akibatnya. Apabila penentuan aksi beban dilakukan lebih tepat, maka faktor keamanan yang dibuat untuk mencegah hal-hal yang tidak diketahui dapat dikurangi. Kombinasi beban yang efektif disyaratkan dalam peraturan (Schueller, 2001).

Peraturan beban di Indonesia yaitu SNI 1727:2013 tentang Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. Menurut SNI 03-2847-2013 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, kombinasi beban terfaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

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

Keterangan:

- U = Kuat Perlu
- D = Beban Mati
- L = Beban Hidup
- E = Beban Gempa
- Lr = Beban Hidup Atap
- R = Beban Hujan

Beban yang tercantum di sini harus dianggap bekerja dalam kombinasi berikut; mana saja yang menghasilkan efek yang paling tidak baik di dalam bangunan gedung, fondasi, atau komponen struktural yang diperhitungkan. Efek dari satu atau lebih beban yang tidak bekerja harus dipertimbangkan. Pengaruh

beban gempa, (E) menurut SNI 1726:2012, harus ditentukan sesuai dengan berikut ini:

1. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 3 harus ditentukan sesuai dengan persamaan :

$$E = E_h + E_v \quad (2.6)$$

2. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 4 harus ditentukan sesuai dengan persamaan :

$$E = E_h - E_v \quad (2.7)$$

Pengaruh beban gempa horizontal, E_h , harus ditentukan sesuai dengan persamaan

$$E_h = \rho Q_E \quad (2.8)$$

Pengaruh beban vertikal, E_v , harus ditentukan sesuai dengan persamaan

$$E_v = 0.2S_{DS}D \quad (2.9)$$

Keterangan :

- E = pengaruh beban gempa
- E_h = pengaruh beban gempa horizontal
- E_v = pengaruh beban gempa vertikal
- Q_E = pengaruh gaya gempa horizontal dari V atau F_p
- ρ = faktor redudansi
- S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek
- D = pengaruh beban mati

Sehingga kombinasi pembebanan yang digunakan menjadi :

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

6. $1,2 D + 1,0 L - 0,3 (\rho Q_{Ex} + 0,2 S_{DS} D) - 1,0 (\rho Q_{Ey} + 0,2 S_{DS} D)$
7. $1,2 D + 1,0 L + 1,0 (\rho Q_{Ex} + 0,2 S_{DS} D) + 0,3 (\rho Q_{Ey} + 0,2 S_{DS} D)$
8. $1,2 D + 1,0 L + 1,0 (\rho Q_{Ex} + 0,2 S_{DS} D) - 0,3 (\rho Q_{Ey} + 0,2 S_{DS} D)$
9. $1,2 D + 1,0 L - 1,0 (\rho Q_{Ex} + 0,2 S_{DS} D) + 0,3 (\rho Q_{Ey} + 0,2 S_{DS} D)$
10. $1,2 D + 1,0 L - 1,0 (\rho Q_{Ex} + 0,2 S_{DS} D) - 0,3 (\rho Q_{Ey} + 0,2 S_{DS} D)$
11. $0,9 D + 0,3 (\rho Q_{Ex} - 0,2 S_{DS} D) + 1,0 (\rho Q_{Ey} - 0,2 S_{DS} D)$
12. $0,9 D + 0,3 (\rho Q_{Ex} - 0,2 S_{DS} D) - 1,0 (\rho Q_{Ey} - 0,2 S_{DS} D)$
13. $0,9 D - 0,3 (\rho Q_{Ex} - 0,2 S_{DS} D) + 1,0 (\rho Q_{Ey} - 0,2 S_{DS} D)$
14. $0,9 D - 0,3 (\rho Q_{Ex} - 0,2 S_{DS} D) - 1,0 (\rho Q_{Ey} - 0,2 S_{DS} D)$
15. $0,9 D + 1,0 (\rho Q_{Ex} - 0,2 S_{DS} D) + 0,3 (\rho Q_{Ey} - 0,2 S_{DS} D)$
16. $0,9 D + 1,0 (\rho Q_{Ex} - 0,2 S_{DS} D) - 0,3 (\rho Q_{Ey} - 0,2 S_{DS} D)$
17. $0,9 D - 1,0 (\rho Q_{Ex} - 0,2 S_{DS} D) + 0,3 (\rho Q_{Ey} - 0,2 S_{DS} D)$
18. $0,9 D - 1,0 (\rho Q_{Ex} - 0,2 S_{DS} D) - 0,3 (\rho Q_{Ey} - 0,2 S_{DS} D)$

2.1.5.2 Parameter Perilaku Bangunan Tahan Gempa

Seperti pada pembatasan masalah yang telah dikemukakan, parameter respon struktur yang di hitung berupa gaya geser dasar (base shear), perpindahan tingkat (story displacement), dan simpangan antar tingkat (story drift).

1) Gaya geser dasar (*base shear*)

Gaya geser dasar merupakan penyederhanaan getaran gempa bumi yang bekerja pada dasar bangunan. Gaya geser dasar selanjutnya digunakan sebagai gaya gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur

bangunan gedung. Gaya geser dasar pada struktur gedung beraturan dapat ditentukan dengan metode statik ekuivalen, sedangkan untuk struktur gedung tidak beraturan ditinjau dengan metode dinamik (Cornelis, Bunganaen, & Umu Tay, 2014).

Gaya geser dasar akan didistribusikan secara vertikal sepanjang tinggi struktur sebagai gaya horizontal tingkat yang bekerja pada masing-masing tingkat bangunan. Dengan menjumlahkan gaya horizontal pada tingkat-tingkat yang ditinjau dapat diketahui gaya geser tingkat yaitu gaya geser yang terjadi pada dasar tingkat yang ditinjau. Akibat dari gaya yang terjadi pada tingkat-tingkat tersebut maka akan mengakibatkan terjadinya perpindahan dan simpangan pada tingkat-tingkat tersebut (Cornelis, Bunganaen, & Umu Tay, 2014).

Gaya geser dasar menurut SNI 1726:2012 adalah gaya geser atau lateral total yang terjadi pada tingkat dasar. Geser dasar seismik (V), pada pasal 7.8.1 harus sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \times W \quad (2.10)$$

Di mana

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.11)$$

Keterangan:

C_s = Koefisien respons seismik

W = Berat seismik efektif

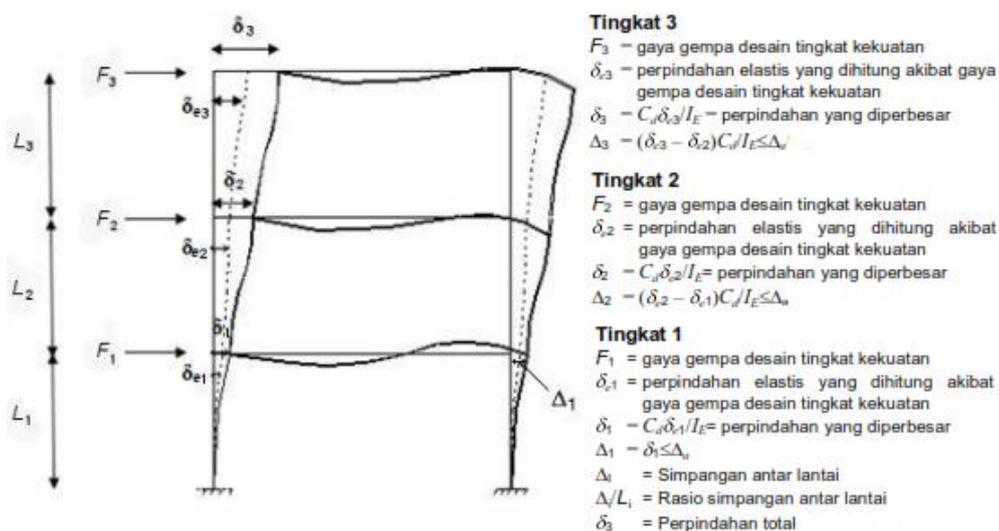
S_{DS} = Parameter percepatan spectrum respon desain dalam rentang perioda pendek

R = Faktor modifikasi respon

I_e = Faktor Keutamaan Gempa

2) Perpindahan tingkat (*story displacement*)

Displacement adalah simpangan suatu lantai yang diukur dari dasar lantai. Besarnya simpangan harus dipertimbangkan sesuai dengan peraturan yang berlaku, yaitu kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit (Kuncoro, 2010). Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.8.6, penentuan simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau sesuai pada Gambar 2.21



Gambar 2. 18 Penentuan Simpangan Antar Lantai

(Sumber : SNI 1726:2012)

Menurut SNI 1726:2012, bagi struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C,D,E atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal torsi, simpangan antar lantai 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. Simpangan dinyatakan dalam bentuk drift indeks.

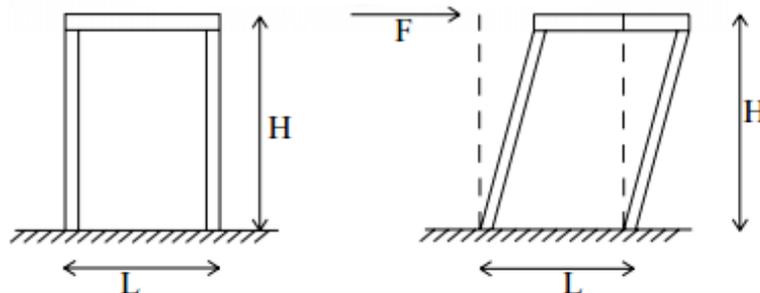
Drift indeks dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$DriftIndeks = \frac{\Delta}{H} \quad (2.12)$$

Dengan :

Δ = besar defleksi maksimum yang terjadi

h = ketinggian struk



Gambar 2. 19 Defleksi Lateral

(Sumber : Kuncoro, 2010)

Menurut SNI 1726: 2012 pasal 7.12.1, simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antara lantai tingkat ijin (Δ_a) untuk semua tingkat seperti didapatkan dari Tabel 2.3 untuk semua tingkat.

Tabel 2. 2 Simpangan antar lantai ijin $\Delta_a^{a,b}$

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistim dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai 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)

3) Simpangan antar tingkat (*story drift*)

Respons struktur bangunan saat terjadi gempa dapat dilihat dengan adanya simpangan antar tingkat (*story drift*) pada bangunan. Simpangan *drift* adalah simpangan suatu lantai yang diukur dari dasar lantai di bawahnya.

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.8.6, penentuan defleksi di dasar tingkat (δ_x) boleh ditinjau Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung berdasarkan proyeksi vertikal dan pusat massa di tingkat atasnya. sesuai pada Gambar 2.21. Defleksi pusat massa di tingkat (δ_x) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.13)$$

Keterangan:

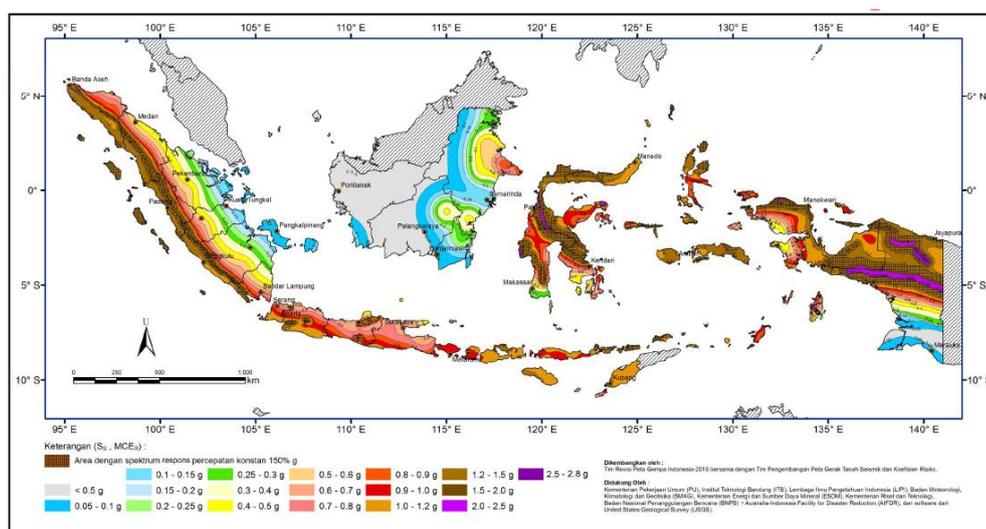
C_d	= faktor amplikasi defleksi
δ_{xe}	= defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada analisis elastis
I_e	= faktor keutamaan gempa

2.1.5.3 Metode Analisis Respon Spektrum

1) Parameter Percepatan Gempa

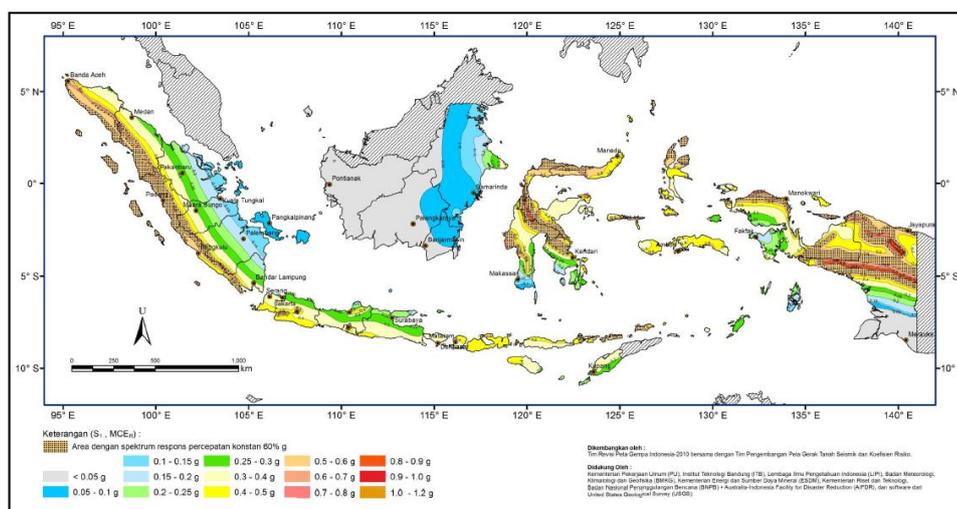
Terdapat 2 buah parameter percepatan gempa yaitu parameter percepatan batuan dasar pada perioda pendek (S_s) dan parameter percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik (S_1). Parameter percepatan batuan dasar perioda pendek dan perioda 1 detik ini harus ditetapkan masing-masing dari respon spectral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik. Peta gerak seismik dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi yang

digunakan berdasarkan SNI 1726:2012 dengan kemungkinan 2 persen telampau dalam 50 tahun (MCE_R 2 persen dalam 50 tahun). Besarnya nilai (S_s) didapat dilihat dari peta zonasi gempa Indonesia untuk parameter periode pendek pada gambar berikut ini.



Gambar 2. 20 Parameter Respon Spektrum Periode Pendek (S_s)
(Sumber : SNI 1726-2012)

Besarnya nilai (S_1) didapat dilihat dari peta zonasi gempa Indonesia untuk parameter periode pendek pada gambar berikut ini.



Gambar 2. 21 Parameter Respon Spektrum Periode 1 Detik (S_1)
(Sumber : SNI 1726-2012)

Pada penelitian ini digunakan parameter percepatan batuan dasar pada perioda pendek (S_s) dan parameter percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik (S_1) berdasarkan software yang telah disediakan Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman – Kementrian Pekerjaan Umum. Hasil yang didapatkan dilihat berdasarkan koordinat lintang dan bujur lokasi Wisma Cipinang Indah.

2) Kelas Situs

Kelas situs adalah klasifikasi situs yang dilakukan berdasarkan kondisi tanah lapisan 30 meter dari permukaan tanah. Kelas situs ini diklasifikasikan menjadi 6 buah kelas situs, yaitu kelas situs SA, SB, SC, SD, SE, dan SF. Klasifikasi kelas situs menurut SNI 1726:2012, ditetapkan sesuai tabel berikut ini.

Tabel 2. 3 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: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3m$) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5m$ dengan $PI > 75$)		

	Lapisan lempung lunak dengan ketebalan $H > 35\text{m}$ dengan $S_u < 50 \text{ kPa}$.
--	---

Catatan :

N/A = Tidak dapat dipakai

(Sumber : SNI 1728-2012)

3) Faktor Amplikasi Seismik dan Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum

Faktor amplikasi seismik diperlukan untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah. Faktor amplifikasi seismik yang digunakan yaitu faktor amplikasi seismik pada peioda 0,2 detik dan perioda 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). Berikut adalah tabel faktor amplikasi (F_a dan F_v) berdasarkan koefisien kelas situs.

Tabel 2. 4 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. 5 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				

Catatan:

(a) Untuk nilai-nilai antara *SI* dapat dilakukan interpolasi linier

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

Sumber : SNI 1726-2012

Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini.

$$S_{MS} = F_a \times S_S \quad (2.14)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (2.15)$$

Keterangan :

F_a = Percepatan pada getaran perioda pendek

F_v = Percepatan pada getaran perioda 1 detik

S_S = Parameter respons spektrum percepatan gempa *MCE_R* terpetakan untuk perioda pendek

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa *MCE_R* terpetakan untuk perioda 1,0 detik

4) Parameter Spektrum Respon

Menentukan parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek (S_{DS}) dan untuk perioda 1 detik (S_{D1}), dengan persamaan:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} (F_a \times S_S) \quad (2.16)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} (F_v \times S_1) \quad (2.17)$$

Keterangan :

S_{DS} = Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek

- S_{D1} = Parameter percepatan spektral desain untuk perioda 1 detik
 S_{MS} = Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek
 S_{M1} = Parameter spektrum respons percepatan pada perioda 1 detik

5) Spektrum Respons Desain 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 2.23 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

- 1) Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a harus diambil dari persamaan

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.18)$$

- 2) Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s . ($T_0 \leq T \leq T_s$),

$$S_a = S_{DS} \quad (2.19)$$

- 3) Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain S_a diambil berdasarkan persamaan

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.20)$$

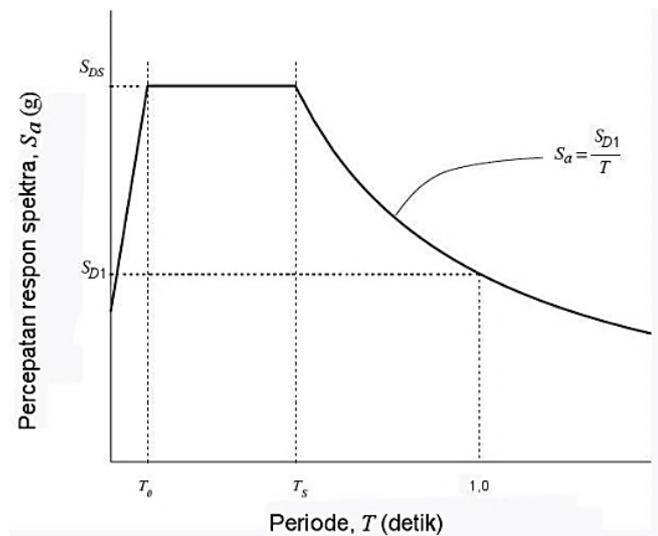
Dengan menggunakan T_0 dan T_s sebagai berikut :

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.21)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.22)$$

Keterangan :

- S_{DS} = Parameter percepatan spectral desain untuk perioda pendek
 S_{D1} = Parameter percepatan spectral desain untuk perioda 1 detik
 T = Perioda getar Fundamental Struktur



Gambar 2. 22 Spektrum Respon Desain

(Sumber : SNI 1726:2012)

2.1.6 Prinsip Dasar Penggunaan Program ETABS

ETABS (*Extended Three-Dimensional Analysis Building System*) adalah suatu program khusus analisa struktural berdasarkan metode elemen hingga dengan tujuan khusus untuk analisa dan desain sistem bangunan struktural. Dengan pemakaian yang sederhana, penggunaan metode numerik dan perencanaan, dengan menggunakan kode desain internasional dapat memudahkan pemakaian dalam perancangan suatu bangunan dua dimensi sederhana atau menampilkan analisa dinamik yang kompleks. ETABS bekerja dengan menghubungkan data-data yang ada. Konsep dasarnya, perancangan hanya membuat model yang terdiri dari sistem lantai, sistem rangka vertikal dan horizontal untuk menganalisa dan mendesain keseluruhan bangunan. Semua yang dibutuhkan telah digabungkan dalam suatu sistem analisa dan desain. Apabila terjadi perubahan data dari suatu bagian maka secara otomatis program akan memperbaikinya saat itu juga. (Computer and Structures Inc, 2007).

Dalam setiap perencanaan dalam program ETABS, kita dapat menggunakan kode desain apapun yang tersedia dalam program. Kita tidak dapat mendesain beberapa bagian struktur dengan kode yang berbeda-beda dalam satu siklus perhitungan. Penggunaan kode yang berbeda dapat dilakukan untuk perhitungan desain yang berbeda tanpa melakukan perhitungan ulang. Setiap satuan yang tersedia dapat digunakan sebagai data masukan dalam mendesain. Program ETABS juga membuat desain standar untuk kombinasi pembebanan yang sudah terprogram di dalamnya, tapi dapat juga digunakan kombinasi beban kita sendiri bahkan kita dapat menghapus kombinasi beban yang sudah terprogram (Majore, 2015).

2.2 Penelitian yang Relevan

Terdapat beberapa penelitian yang terkait dengan pengaruh perubahan posisi dinding geser dengan penelitian ini, antara lain :

1. Ginanjar Khaq (2016) dari Universitas Negeri Jakarta dalam skripsi “Studi Perilaku Struktur Bangunan dengan Variasi Dimensi Kolom”.

Penelitian ini dilakukan pada gedung Satrio Tower yang merupakan bangunan beton bertulang. Bangunan ini mempunyai 28 lantai dan 3 *basement*. Bangunan ini mempunyai ketinggian antar lantai yang tidak seragam, namun memiliki dimensi kolom yang seragam. Kolom pada bangunan ini berada di sisi-sisi bangunan, dan menggunakan *corewall* di tengah bangunan. Dimensi kolom pada bangunan ini berubah secara berurutan dari basement s.d Lantai 6, Lantai 7 s.d Lantai 17, dan Lantai 18 s.d Lantai 27. Pemodelan yang digunakan menggunakan 5 variasi pemodelan

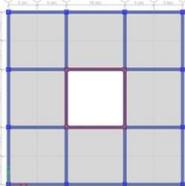
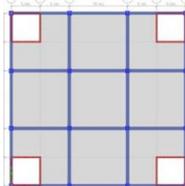
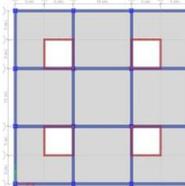
dianalisa dan 1 buah pemodelan eksisting. Variasi 1 menggunakan dimensi kolom 1200×1200 , 1000×1000 , dan 700×700 . Variasi 2 menggunakan dimensi kolom 1200×1200 , 950×950 , dan 750×750 . Variasi 3 menggunakan dimensi kolom 1200×1200 , 900×900 , dan 700×700 . Variasi 4 menggunakan dimensi kolom 1100×1100 , 950×950 , dan 750×750 . Variasi 5 menggunakan dimensi kolom 1100×1100 , 900×900 , dan 700×700 . Dan dimensi kolom eksisting sebesar 1200×1200 , 1000×1000 , dan 800×800 . Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku struktur bangunan tinggi dengan diberikan perubahan variasi dimensi kolom dalam menahan gaya gempa. Penelitian ini menggunakan peraturan standar ketahanan gempa SNI 1726 – 2012.

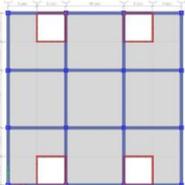
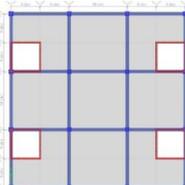
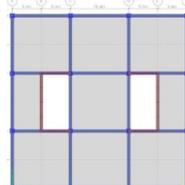
Hasil dari penelitian ini adalah variasi dimensi kolom yang semakin kecil mengakibatkan massa struktur bangunan akan semakin kecil, hal itu mengakibatkan nilai *base shear* bangunan akan semakin kecil. Denah bangunan juga ikut berpengaruh terhadap base shear yang diterima bangunan. *Base shear* variasi 1 mengalami penurunan sebesar 0,9655%, variasi 2 sebesar 1,031%, variasi 3 sebesar 2,09%, variasi 4 sebesar 2,0968%, dan variasi 5 sebesar 3,2378% terhadap kondisi eksisting.

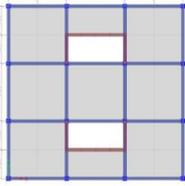
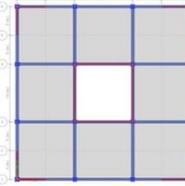
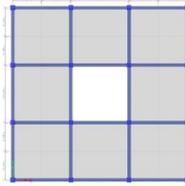
2. Braien Octavianus Majore, Steenie E. Wallah, dan Servie O. Dapas (2015) dari Universitas Sam Ratulangi Manado dalam jurnal Studi Perbandingan Respons Dinamik Bangunan Bertingkat Banyak dengan Variasi Tata Letak Dinding Geser.

Penelitian ini dilakukan pada gedung berlantai dengan jumlah lantai 27 lantai dengan tinggi antar lantai setinggi 4 meter, menggunakan dimensi kolom 700 mm × 700 mm sedangkan dimensi balok 500 mm × 800 mm dan tebal pelat 120 mm. Terdapat sembilan model perletakan dinding geser pada penelitian ini akan digambarkan pada gambar berikut.

Tabel 2. 6 Variasi Pemodelan

Variasi	Model A	Model B	Model C
Gambar			
Tebal Shear Wall (m)	0,5	0,25	0,25
Berat Total Bangunan (kgf)	17827200	17827200	17827200

Variasi	Model D	Model E	Model F
Gambar			
Tebal Shear Wall (m)	0,25	0,25	0,25
Berat Total Bangunan (kgf)	17827200	17827200	17827200

Variasi	Model G	Model H	Model I
Gambar			
Tebal Shear Wall (m)	0,25	0,25	-
Berat Total Bangunan (kgf)	17827200	17827200	13027200

(Sumber : Majore, 2015)

Model H adalah gabungan dari dua sistem shearwall yang ada pada model-model sebelumnya. Sedangkan model I terdiri dari sistem pemikul momen tanpa menggunakan dinding geser atau *shearwall*. Penelitian ini

menggunakan dua buah analisa pembebanan gempa yaitu menggunakan Respons Spektrum untuk beban gempa dinamis dan *Equivalent Static Load* untuk beban gempa statis. Hasil dari penelitian yaitu model A menghasilkan nilai simpangan maksimum paling kecil dari seluruh pemodelan, yaitu sebesar 122,4 mm untuk beban gempa statis, dan 62,4 mm untuk beban gempa dinamis.

3. Santi Mudjihastuti (2007) dari Universitas Muhammadiyah Malang dalam jurnal yang berjudul “Perubahan Karakteristik Dinamik Portal Bertingkat dengan Variasi Dimensi Kolom”

Analisa perhitungan untuk mendapatkan nilai (frekuensi alami) dan (normal mode), digunakan metode stodola. Dengan bantuan program komputer STAAD Pro 2004.

Hasil dari penelitian tersebut yaitu dilihat dari nilai simpangan terkecil. Nilai ideal pada simpangan (x) terkecil terjadi pada portal III dengan kebutuhan tulangan 16D25 = $(x)=1.472$ mm. Maka, semakin langsing dimensi kolom yang dipakai simpangan yang terjadi pada struktur semakin kecil artinya semakin kecil simpangan yang terjadi berarti struktur tidak rusak karena gempa kecil atau sedang, tapi saat dilanda gempa kuat struktur tersebut mampu berlaku daktail.

3. Rolita Sitorus (1996) dari Universitas Indonesia dalam skripsi yang berjudul “Efek Perubahan Massa dan Kekakuan Terhadap Respons Struktur Bangunan ditinjau dengan Analisa Statik Ekiivalen dan Analisa Dinamik Berdasarkan

Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung SKB 101.3.53.1987”.

Penelitian ini menggunakan bangunan perkantoran 5 lantai dengan ketinggian antar lantai 3,6 m. Pada penelitian ini dilakukan perubahan massa yang dimulai dari penambahan massa di lantai 1 sampai lantai 4 sebesar 10% - 30% sedangkan penambahan massa pada lantai atap dari 31% - 74%. Selain itu dilakukan perubahan kekakuan bangunan dengan merubah nilai dari mutu beton yaitu nilai elastisitas (E) pada tiap lantai. Perubahan yang terjadi yaitu pada lantai 1 sampai lantai 4 sebesar 10% - 41%, sementara perubahan pada lantai atap sebesar 2% - 8,2%. Metode yang digunakan adalah analisis statik ekuivalen dan analisis respons spektrum berdasarkan peraturan gempa PPKGURG 1987. Penelitian ini menggunakan program SAP 90.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah dengan efek perilaku struktur dari penambahan massa lebih besar dari efek penambahan kekakuan. Dengan penambahan massa akan menghasilkan nilai *displacement* yang lebih besar daripada penambahan kekakuan.

2.3 Kerangka Konseptual

Banyaknya pembangunan gedung di Indonesia membuat perkembangan gedung di Indonesia semakin beragam. Kebutuhan akan fungsi lahan yang semakin sempit, berpengaruh pada bentuk bangunan yang cenderung tidak beraturan. Tuntutan untuk membangun bangunan yang sesuai dengan keinginan dan kenyamanan pengguna menyebabkan bangunan tersebut mempunyai bentuk

yang tidak beraturan, salah satunya adalah bangunan yang memiliki ketidakberaturan secara horizontal sistem *nonparallel*. Bangunan dengan ketidakberaturan secara horizontal sistem *nonparallel* ini terjadi karena elemen penahan gaya lateral vertikal seperti *corewall*, tidak simetris terhadap sumbu-sumbu orthogonal utama sistem penahan gaya gempa.

Bangunan ketidakberaturan tersebut mempunyai respon bangunan yang berbeda terhadap gaya gempa dibandingkan dengan bangunan yang beraturan. Bangunan dengan bentuk beraturan, sederhana, dan simetris akan berperilaku lebih baik terhadap gempa dibandingkan dengan bangunan yang tidak beraturan. Bentuk gedung yang tidak beraturan akan menjadi lebih tidak stabil dibandingkan dengan bangunan beraturan. Ketidakberaturan tersebut yang dapat mempengaruhi kekakuan bangunan dalam menahan beban gempa.

Akibat penahan gaya lateral vertikal seperti *corewall* yang tidak simetris dan tidak diletakkan dipusat massa bangunan dapat menyebabkan ketidakberturan dan inti bangunan tidak dapat menopang bangunan secara maksimal. *Corewall* yang ideal adalah yang diletakkan di pusat masa bangunan. Posisi *corewall* berpengaruh pada kekuatan bangunan. Semakin mendekat ke pusat masa, simpangan akan mejadi semakin kecil, dan kekuatan dinding geser dalam menerima beban aksial juga akan semakin besar.

Untuk meninjau besarnya beban gempa yang terjadi pada struktur bangunan dapat dilihat dari faktor-faktor yang mempengaruhinya. Ada beberapa faktor, diantaranya yaitu massa dan kekakuan struktur, kondisi tanah dan wilayah kegempaan dimana struktur bangunan tersebut didirikan. Massa dari struktur bangunan merupakan faktor yang sangat penting, karena beban gempa merupakan

gaya inersia yang bekerja ada pusat massa, yang besarnya sangat bergantung dari besarnya massa dari struktur tersebut.

. Massa bangunan dapat diperkecil salah satunya dengan memperkecil dimensi kolom. Perubahan dimensi kolom akan berpengaruh terhadap massa, dan perubahan massa akan berpengaruh terhadap besarnya gaya gempa yang akan diterima oleh bangunan. Dengan adanya perubahan dimensi kolom dan massa bangunan yang semakin kecil, maka kegagalan struktur akibat beban gempa akan semakin kecil. Oleh karena itu, analisis perilaku struktur bangunan tidak beraturan secara horizontal sistem *nonparallel* dengan diberikan perubahan variasi dimensi kolom dalam menahan gaya lateral gempa perlu dilakukan.

2.4 Hipotesis Penelitian

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

Diduga bahwa dengan adanya perubahan dimensi kolom yang semakin kecil, maka bangunan ketidakberaturan horizontal *system nonparallel* mempunyai kemampuan yang lebih baik dalam menerima beban gempa.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku bangunan terhadap gempa dengan perubahan dimensi kolom pada bangunan tidak beraturan secara horizontal yaitu perilaku bangunan terhadap gaya lateral akibat gempa yang diukur dengan gaya geser dasar (*base shear*), perpindahan tingkat (*story displacement*) dan simpangan antar tingkat (*story drift*).

3.2 Waktu dan Objek Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September sampai Oktober 2017. Objek penelitian akan diteliti adalah Wisma Cipinang Indah yang berlokasi Jalan Tarum Barat/Kalimalang, Kelurahan Pondok Bambu, Kecamatan Duren Sawit, Jakarta Timur. Letak koordinat Wisma Cipinang Indah berada di 6.239217° Lintang Selatan, dan 106.893534° Bujur Timur.

3.3 Data Teknis Struktur

Objek Penelitian	: Wisma Cipinang Indah
Lokasi	: Cipinang Indah - Kalimalang, Jakarta Timur
Koordinat	: 6.239217° LS, 106.893534° BT
Fungsi Bangunan	: Perkantoran
Jenis Konstruksi	: Struktur Beton Bertulang

Sistem Struktur	: Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SPRMK)
Jenis Tanah	: Sedang
Luas Lantai Bangunan	: 6.883 m ²
Luas Lahan	: 4.040 m ²
Jumlah Lantai	: 8 lantai dan 1 <i>basement</i> (Lantai terdiri dari <i>Basement, Ground, Lt.1, Lt.2, Lt.3, Lt.5, Lt.6, Lt.7, Lt8, dan Lantai Atap</i>)
Tinggi Bangunan	: 41,05 m
Mutu Beton	: 35 MPa
Mutu Tulangan	: 400 MPa
Elastisitas Beton	: $4700\sqrt{f'c}$
Elastisitas baja	: 200000 MPa
Berat jenis beton bertulang	: 24 kN/m ³

3.3.1 Dimensi Plat Lantai

Plat yang digunakan pada *Basement* Wisma Cipinang Indah adalah plat beton konvensional dengan ketebalan sebesar 200 mm. Sedangkan plat yang digunakan pada setiap lantai wisma adalah plat komposit dengan tambahan *wiremesh* dan *metal deck*. Plat mempunyai ketebalan 120 mm. Selimut beton yang digunakan pada plat lantai yaitu 20 mm. Pada bagian terluar terdapat pelat jepit yang menggunakan beton konvensional yang mempunyai perbedaan ketebalan. Berikut detail pelat lantai Wisma Cipinang Indah.

Tabel 3. 1 Pelat Lantai

Tipe Pelat	Metode	Letak Pelat	Tulangan	Ketebalan
S1	Komposit	Ground s.d roof	M7-150	120 mm
S2	Konvensional	Ground s.d roof	M7-150	120 mm
S3	Konvensional	Basement	D13-150	200 mm
S4	Konvensional	Ground s.d roof	D10-150	120 mm s.d 200 mm

S5	Konvensional	Ground s.d roof	D10-150	150 mm s.d 250 mm
----	--------------	-----------------	---------	----------------------

3.3.2 Dimensi Balok

Balok yang digunakan adalah balok beton bertulang. Selimut beton yang digunakan pada balok yaitu 20 mm. Terdapat variasi jumlah tulangan pokok dan tulangan sengkang pada balok. Berikut adalah rincian tipe balok yang digunakan dalam pembangunan Wisma Cipinang Indah :

1. Balok Konvensional

Tabel 3. 2 Dimensi Balok Konvensional

Lantai	Tipe Balok	Dimensi Balok (mm)
<i>Basement</i>	TB1	400 × 800
	TB2	300 × 700
	TB3	300 × 700
	TB1A	300 × 600
	TB2A	300 × 500
<i>Ground s.d. Lantai 2</i>	G5	300 × 700
	G8	300 × 700
	G9	300 × 700
	G10	300 × 700
	B1	200 × 500
	B5	300 × 700
<i>Lantai 3 s.d. Lantai 5</i>	G5	300 × 700
	G6	300 × 700
	G7	300 × 700
	G8	300 × 700
	G9	300 × 700
	B1	200 × 500
	B5	300 × 700
<i>Lantai 6 s.d. Lantai Atap</i>	G4	300 × 700
	G5	300 × 700
	G6	300 × 700
	G7	300 × 700
	G8	300 × 700
	G9	300 × 700

	G10	300 × 700
	B1	200 × 500
	B5	300 × 700

2. Balok *Post Tensioned*

Balok pra-tegang dengan Metode *Post-tensioned Prestressed Concrete*. Metode ini adalah metode penarikan kabel tendon pada beton saat beton dirasa cukup keras. Balok pra-tegang digunakan untuk memberikan gaya konsentris pada balok agar mengurangi tegangan tarik potensial akibat pemberian beban yang bekerja. Baik balok konvensional maupun balok pra-tegang menggunakan mutu beton $f'c$ 35 Mpa Balok ini terdapat diseluruh lantai selain lantai basement.

Tabel 3. 3 Dimensi Balok *Post Tensioned*

Lantai	Tipe Balok	Dimensi Balok (mm)
Lantai <i>Ground</i> s.d.	PC1	400 × 700
Lantai Atap	PC2	400 × 700
	PC3	400 × 700
	PC4	500 × 800
	PC5	500 × 800

3.3.3 Dimensi Kolom

Dimensi kolom *basement* yang dirancang oleh pihak perencana berbentuk persegi. Balok yang digunakan adalah balok beton bertulang. Selimut beton yang digunakan pada kolom yaitu 45 mm. Terdapat 2 buah tipe kolom, yaitu Kolom 1 dan Kolom 2. Untuk lebih detail terkait dengan ukurannya, berikut adalah rincian tipe kolom yang digunakan pada Wisma Cipinang Indah :

Tabel 3. 4 Dimensi Kolom

Nama Kolom	Dimensi (mm)	Untuk Lantai	Tulangan Pokok (mm)	Sengkang (mm)
K1	1000 × 1000	Basement s.d Lt.2	24 D25	D10 - 100

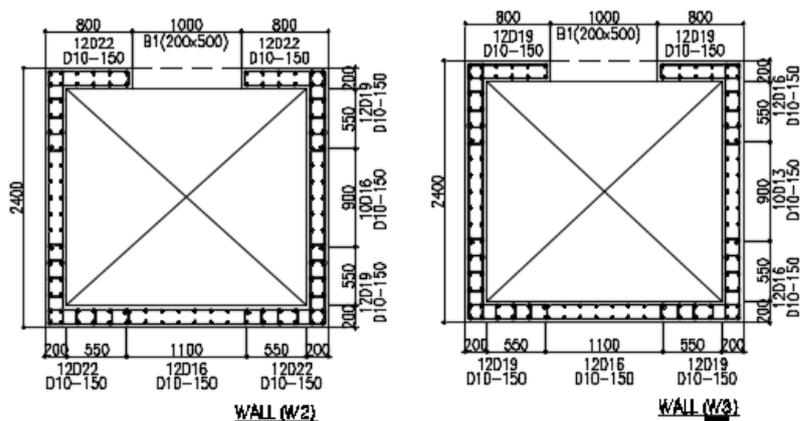
	900 × 900	Lt.3	20 D25	D10 - 100
	900 × 900	Lt.5, s.d Lt.7	20 D25	D10 - 150
	800 × 800	Lt.8	16 D25	D10 - 150
K2	1250 × 1250	Basement s.d Lt.2	32 D25	D10 - 100
	1000 × 1000	Lt.3	24 D25	D10 - 100
	1000 × 1000	Lt.5, s.d Lt.7	24 D25	D10 - 160
	800 × 800	Lt.7 dan Lt.8	16 D25	D10 - 160

3.3.4 Dimensi Core Wall

Terdapat 2 buah lift yang identik pada proyek Wisma Cipinang Indah. 2 buah tipe *Corewall* tersebut mempunyai dimensi yang sama tetapi berbeda secara penulangannya seperti pada Gambar 3.1 berikut. Mutu beton untuk semua jenis *core wall* adalah $f'c$ 35 MPa. Kedua jenis *core wall* yang digunakan berbentuk persegi panjang dengan ukuran panjang 2,4 meter dan lebar 2,6 meter. Selimut beton yang digunakan pada seluruh jenis *corewall* yaitu 30 mm dan ketebalan *corewall* yang digunakan yaitu 200 mm..

Tabel 3. 5 Tipe Corewall W2 dan W3

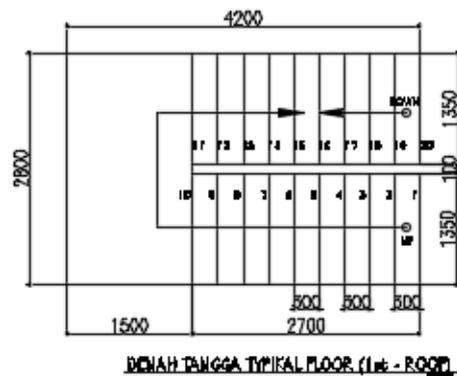
Nama Core Wall	Untuk Lantai
W2	Lt.Basement s.d Lt.3
W3	Lt.5 s.d Lt.8



Gambar 3. 1 Dimensi Core Wall Tipe 2 dan Tipe 3

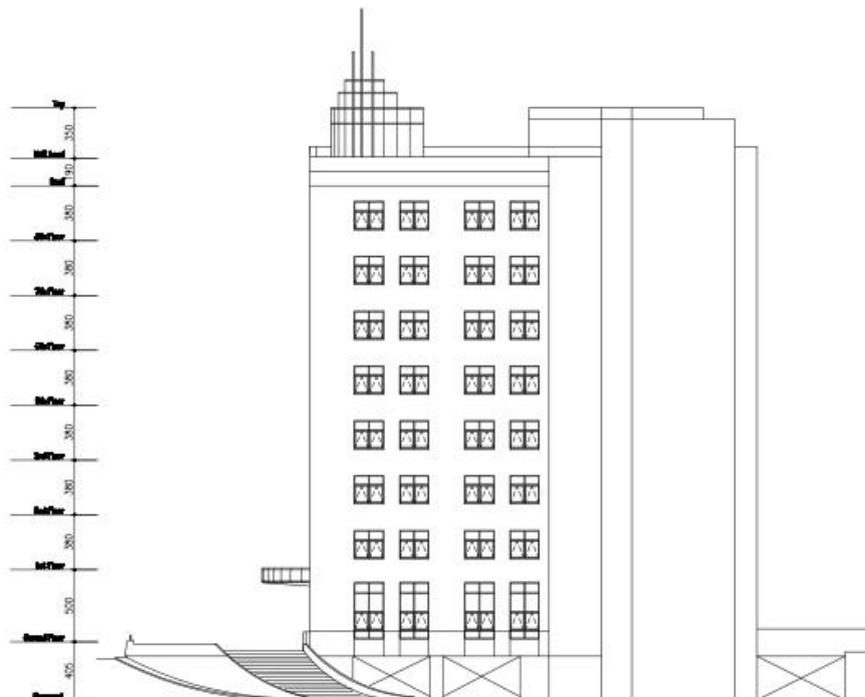
3.3.5 Dimensi Tangga

Pada Wisma Cipinang Indah, jenis tangga yang digunakan adalah tangga beton bertulang dimulai dari lantai *basement* sampai *Roof Floor*. Semua tangga berbentuk U diletakkan di sisi belakang bangunan menggunakan mutu beton f_c' 35 MPa. Ketebalan pelat tangga yang digunakan yaitu 18cm.



Gambar 3. 2 Dimensi Tangga

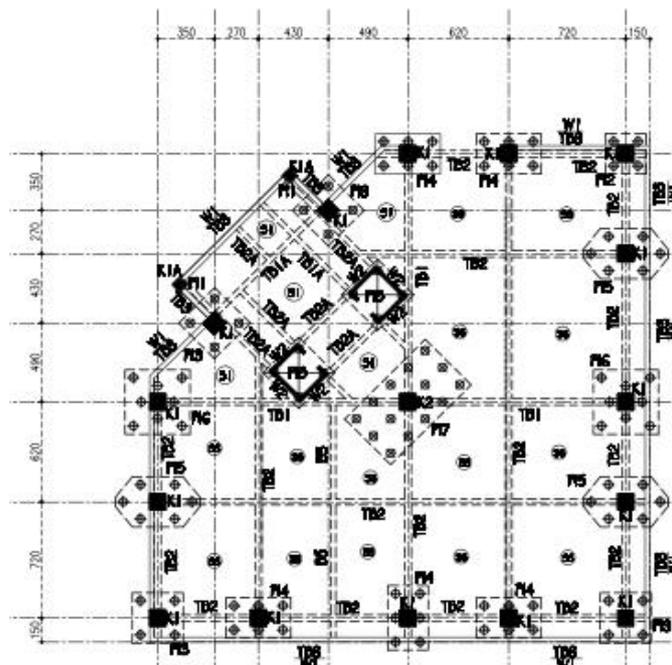
3.3.6 Gambar Objek Penelitian



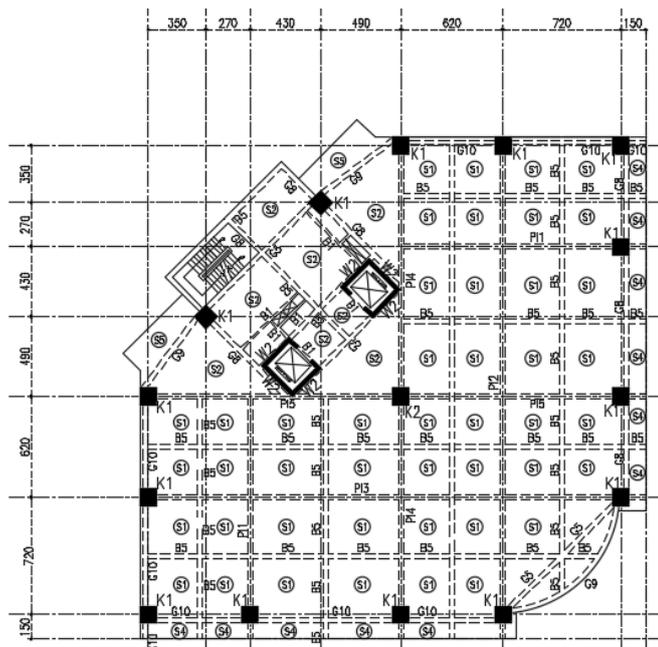
Gambar 3. 3 Tampak Samping



Gambar 3. 4 Potongan Gedung



Gambar 3. 5 Denah Basement



Gambar 3. 6 Denah *Ground Floor* Sampai Dengan Lantai Atap

3.3.7 Deskripsi Ketidakberaturan Bangunan

1. Ketidakberaturan Horizontal Sudut Dalam

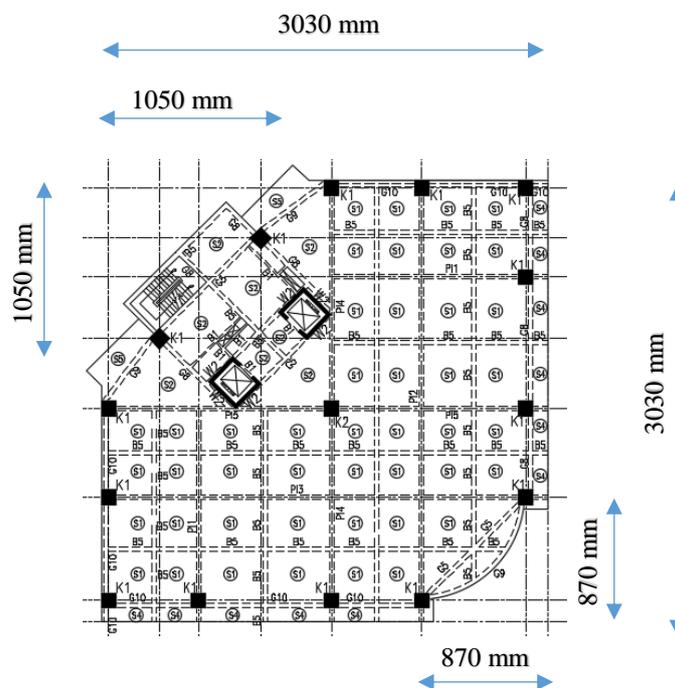
. Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan. Wisma Cipinang Indah memiliki 2 buah coakan yang panjang coakannya sama dari arah sumbu X dan sumbu Y. Coakan yang ada sebesar 11, 85% dan 8,24%. Perhitungan ketidakberaturan sudut dalam diambil dari coakan terbesar seperti pada perhitungan dan Gambar 3.7 dibawah ini.

$$\rho_x > 0,15 l_x$$

$$1050 > 0,15 (3030)$$

$$1050 > 454,5$$

Hal ini menunjukkan bahwa Wisma Cipinang Indah termasuk bangunan yang memiliki ketidakberaturan sudut dalam.



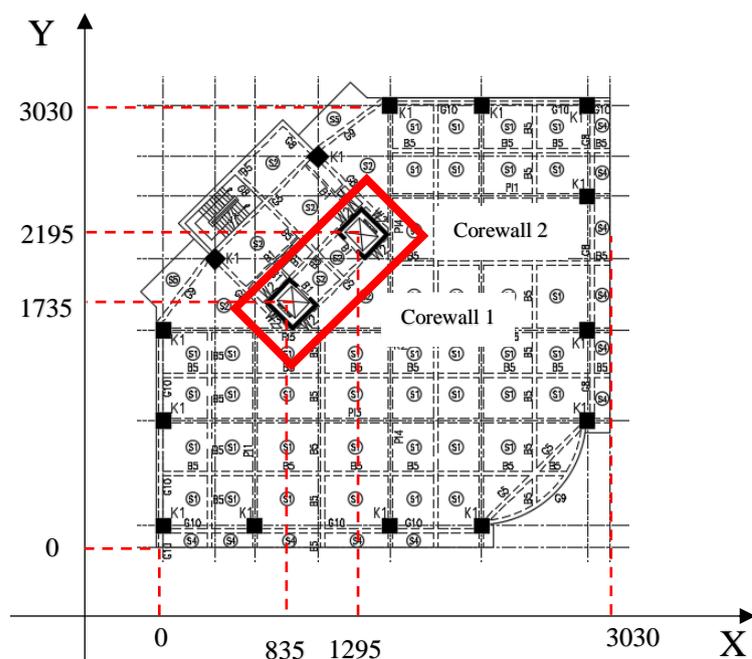
Gambar 3. 7 Ketidakberaturan Sudut Dalam Bangunan

2. Ketidakberaturan Horizontal Sistem Nonparalel

Bangunan yang mempunyai inti bangunan dan *corewall* yang diletakan secara asimetris memiliki ketidakberaturan horizontal. Bangunan ketidakberaturan horizontal ini termasuk ketidakberaturan sistem *nonparalel*. Ketidakberaturan sistem *nonparalel* didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak simetris terhadap sumbu-sumbu orthogonal utama sistem penahan gaya gempa. Koordinat posisi *corewall* yang akan dianalisis dijabarkan pada Tabel 3.6, dan Gambar 3.8 berikut ini.

Tabel 3. 6 Koordinat Posisi Corewall

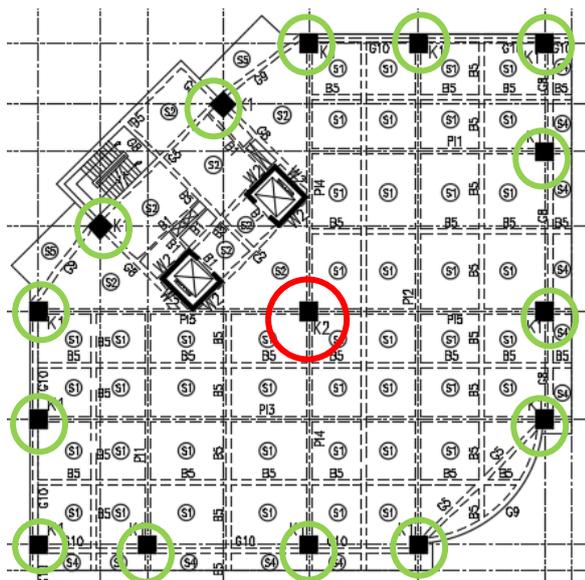
Jenis	Koordinat (mm)	
	X	Y
Corewall 1	835	1735
Corewall 2	1295	2195



Gambar 3. 8 Ketidakberaturan Horizontal Posisi Corewall

3.4 Variasi Pemodelan Struktur

Variasi pemodelan yang digunakan pada penelitian ini adalah perubahan dimensi kolom. Seperti yang telah diketahui, terdapat dua jenis kolom pada Wisma Cipinang Indah yaitu tipe K1 dan tipe K2. Letak kolom tipe K1 ditandai dengan lingkaran berwarna hijau, sedangkan letak kolom tipe K2 ditandai dengan lingkaran berwarna merah seperti Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Letak Kolom K1 dan K2 pada Denah

Pada penelitian ini digunakan 5 tipe variasi bangunan dengan merubah ukuran dimensi kolom. Besar perubahan dimensi dilakukan berdasarkan penelitian yang sebelumnya dimana pengecilan dimensi kolom maksimal yang diberikan sebesar 150 mm pada setiap sisinya. Pengecilan dimensi kolom tersebut dibuat merata dari variasi ke variasi lainnya dengan penurunan angka 50 mm seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. 7 Variasi Pemodelan Struktur

Jenis Kolom	Pemodelan	Dimensi Kolom (mm)			Lokasi kolom
		Basement s.d Lt.3	Lt.5, s.d Lt.7	Lt.8	
K1	Eksisting	1000 × 1000	900 × 900	800 × 800	Disisi terluar bangunan
	Variasi 1	950 × 950	850 × 850	750 × 750	
	Variasi 2	900 × 900	800 × 800	700 × 700	
	Variasi 3	850 × 850	750 × 750	650 × 650	
K2	Eksisting	1250 × 1250	1000 × 1000	800 × 800	Dipusat bangunan
	Variasi 1	1200 × 1200	950 × 950	750 × 750	
	Variasi 2	1150 × 1150	900 × 900	700 × 700	
	Variasi 3	1100 × 1100	850 × 850	650 × 650	

3.5 Pembebanan Struktur

Pembebanan Struktur yang direncanakan untuk beban hidup dan beban mati sesuai dengan SNI 1727-2013 dan SNI 03-1727-1989. Pembebanan gempa berdasarkan SNI 1726-2012.

3.5.1 Beban Mati

Beban mati dihitung berdasarkan adanya beban yang ada pada setiap lantainya. Berikut adalah perhitungan beban mati pada setiap lantainya.

1. Pada lantai *basement*, dinding *basement* dibebani beban tanah setinggi 4,05 m. Beban yang digunakan yaitu urugan tanah merah yang mempunyai berat jenis $17,0 \text{ kN/m}^3$.

$$\begin{aligned} \text{Maka beban tanah yaitu:} &= 4,05 \text{ m} \times 17,0 \text{ kN/m}^3 \\ &= 68,85 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

2. Beban mati pada lantai *ground* sampai lantai 8

Berat spesi (4,5 cm)	$= 4,5 \text{ cm} \times 0,21 \text{ kN/m}^2 = 0,945 \text{ kN/m}^2$
Finishing Keramik Lantai (0,5cm)	$= 5 \text{ cm} \times 0,15 \text{ kN/m}^2 = 0,075 \text{ kN/m}^2$
Mekanikal Elektrikal	$= 0,250 \text{ kN/m}^2$
Plafond	$= 0,180 \text{ kN/m}^2 +$
<hr/>	
Total Beban Mati	$= 1,45 \text{ kN/m}^2$

3. Beban mati pada lantai atap

Berat spesi (3 cm)	$= 3 \text{ cm} \times 0,21 \text{ kN/m}^2 = 0,63 \text{ kN/m}^2$
Waterproff (1 cm)	$= 1 \text{ cm} \times 0,14 \text{ kN/m}^2 = 0,14 \text{ kN/m}^2$
Mekanikal Elektrikal	$= 0,25 \text{ kN/m}^2$
Plafond	$= 0,18 \text{ kN/m}^2 +$
<hr/>	
Total beban mati	$= 1,48 \text{ kN/m}^2$

Pada atap bangunan terdapat tangki air dengan dimensi $2 \times 3 \times 2$ meter yang dapat menampung air sebesar 12m^3 . Beban ini merupakan beban yang diletakan pada lantai atap.

$$\text{Beban Tangki Air (12m}^3) = 12000 \text{ kg} = 117,68 \text{ kN}$$

$$\text{Luas Alas Tangki Air} = 2 \times 3 = 6\text{m}^2$$

$$\text{Maka beban merata pada tangki air yaitu } 117,68 \text{ kN} : 6\text{m}^2 = 19,613 \text{ kN/m}^2$$

3.5.2 Beban Hidup

Beban hidup diambil berdasarkan SNI 03-1727-2013. Beban hidup dibedakan menjadi 4 jenis, yaitu beban hidup pada lantai *basement*, lantai bangunan, lantai atap, dan tangga dengan rincian sebagai berikut:

1) Pada lantai *ground* sampai lantai 8

$$\text{Beban hidup perkantoran} = 2,4 \text{ kN/m}^2$$

2) Pada lantai atap

$$\text{Beban hidup atap} = 0,96 \text{ kN/m}^2$$

3) Tangga

$$\text{Beban hidup tangga} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

Untuk memperhitungkan peluang terjadinya beban hidup yang sewaktu-waktu dapat berubah-ubah, maka beban hidup dapat dikalikan dengan suatu koefisien reduksi. Koefisien reduksi ini sesuai dengan SNI 03-1727-1989, dilihat dari jumlah lantai yang dipikul seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 3. 8 Reduksi Beban Hidup

Lantai	Beban Hidup (kN/m ²)	Koefisien Reduksi yang Dikalikan Beban Hidup	Beban Hidup Tereduksi (kN/m ²)
<i>Ground</i>	2,40	1,00	2,40
1	2,40	1,00	2,40
2	2,40	0,90	2,16

3	2,40	0,80	1,92
5	2,40	0,70	1,68
6	2,40	0,60	1,44
7, dan 8	2,40	0,50	1,20
Lantai Atap	0,96	0,40	0,384

3.5.3 Beban Gempa

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

1. Kategori struktur bangunan dilihat dari Tabel 1 SNI 1726-2012. Wisma Cipinang Indah yang termasuk dalam bangunan perkantoran dikategorikan sebagai bangunan risiko II.
2. Faktor keutamaan gempa (I_e) dilihat dari Tabel 2 SNI 1726-2012. Bangunan kategori risiko II mempunyai faktor Keutamaan gempa (I_e) sebesar 1,0.
3. Parameter percepatan S_s dan S_1 Berdasarkan pada peta parameter respon spektrum pada Gambar 2.23 dan Gambar 2.24 dengan aplikasi desain spectra Indonesia yang dikeluarkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, Kementerian Pekerjaan Umum. Dilihat dari lokasi koordinat yang telah ditentukan, Wisma Cipinang Indah yang berlokasi di Jakarta Timur, mempunyai nilai S_s sebesar 0,686 g dan S_1 sebesar 0,299 g.
4. Koefisien Situs (F_a) Wisma Cipinang Indah didapatkan dari interpolasi linier menurut Tabel 2.5 untuk kelas situs SD yaitu 1,252. Sedangkan Koefisien situs (F_v) didapatkan dari interpolasi linier menurut Tabel 2.6 untuk kelas situs SD yaitu 1,802.
5. Parameter percepatan respon spektral MCE pada perioda pendek (S_{MS}) menggunakan persamaan 2.14

$$S_{MS} = F_a S_s$$

$$S_{MS} = 1,252 \times 0,686 \text{ g} = 0,858 \text{ g}$$

Sedangkan parameter percepatan respon spektral MCE_R pada perioda panjang (S_{M1}) menggunakan persamaan 2.15

$$S_{M1} = F_v S_1$$

$$S_{M1} = 1,802 \times 0,299 \text{ g} = 0,539 \text{ g}$$

6. Parameter percepatan respons spektral pada perioda pendek (S_{DS}) menggunakan persamaan 2.16

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,858 = 0,572$$

Parameter percepatan respons spektral perioda 1 detik (S_{D1}) menggunakan persamaan 2.17. $S_{DS} = 2/3 S_{MS}$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,539 = 0,359$$

7. Menghitung Parameter-parameter respons spektrum desain. Parameter-parameter respons spektrum desain dihitung menggunakan persamaan 2.21 dan 2.22.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \frac{0,359}{0,572} = 0,126 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,359}{0,572} = 0,628 \text{ detik}$$

8. Kurva Respon Spektrum Desain

- Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, harus diambil dari persamaan 2.18.

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

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{0,126} \right)$$

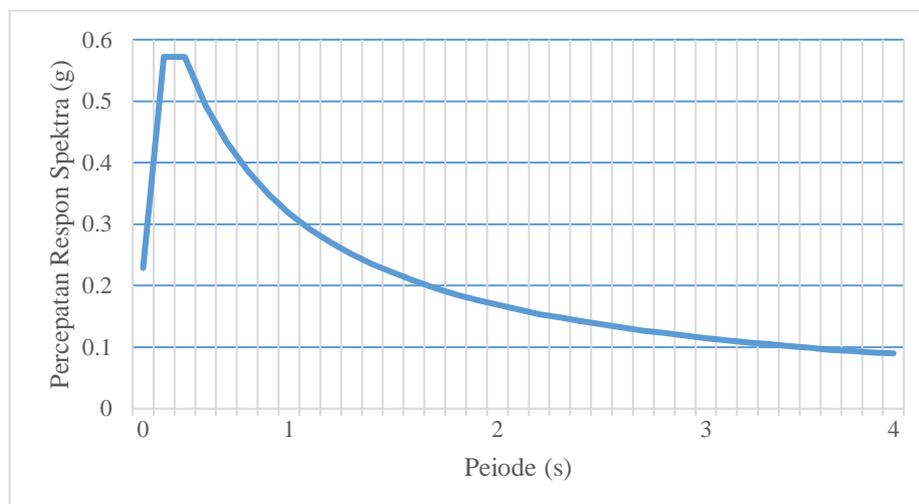
- Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s . ($T_0 \leq T \leq T_s$),

$$S_a = S_{DS} = 0,572$$

- Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain S_a diambil berdasarkan persamaan

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0,359}{T}$$

Sehingga didapatkan kurva respon spektrum seperti berikut ini.



Gambar 3. 10 Kurva Respon Spektrum

3.5.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI dan besarnya redundansi (ρ) harus dikenakan pada sistem penahan gaya gempa dalam masing-masing kedua arah ortogonal untuk semua struktur, besarnya redundansi sebesar 1,0 atau 1,3.

Besarnya nilai redundansi (ρ) dilihat dari nilai S_{DS} . Nilai S_{DS} yang didapatkan dari perhitungan beban gempa yaitu 0,572.

Kategori desain seismik pada bangunan dilihat dari nilai S_{DS} . Wisma Cipinang Indah mempunyai kategori II dengan nilai S_{DS} sebesar 0,572. Maka termasuk kategori desain seismik D sesuai dengan tabel berikut ini.

Tabel 3. 9 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada perioda pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} \leq 0,167$	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)

Faktor redundansi (ρ) untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismic D, E, atau F harus sama dengan 1,3. Dengan mensubstitusikan nilai S_{DS} dan nilai redundansi (ρ) ke dalam persamaan pada kombinasi pembebanan, maka akan diperoleh kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 1726:2012 seperti berikut:

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 L
3. 1,35 D + 1,0 L + 0,39 Q_{Ex} + 1,3 Q_{Ey}
4. 1,12D + 1,0 L + 0,39 Q_{Ex} - 1,3 Q_{Ey}
5. 1,28 D + 1,0 L - 0,39 Q_{Ex} + 1,3 Q_{Ey}
6. 1,05 D + 1,0 L - 0,39 Q_{Ex} - 1,3 Q_{Ey}
7. 1,35 D + 1,0 L + 1,3 Q_{Ex} + 0,39 Q_{Ey}

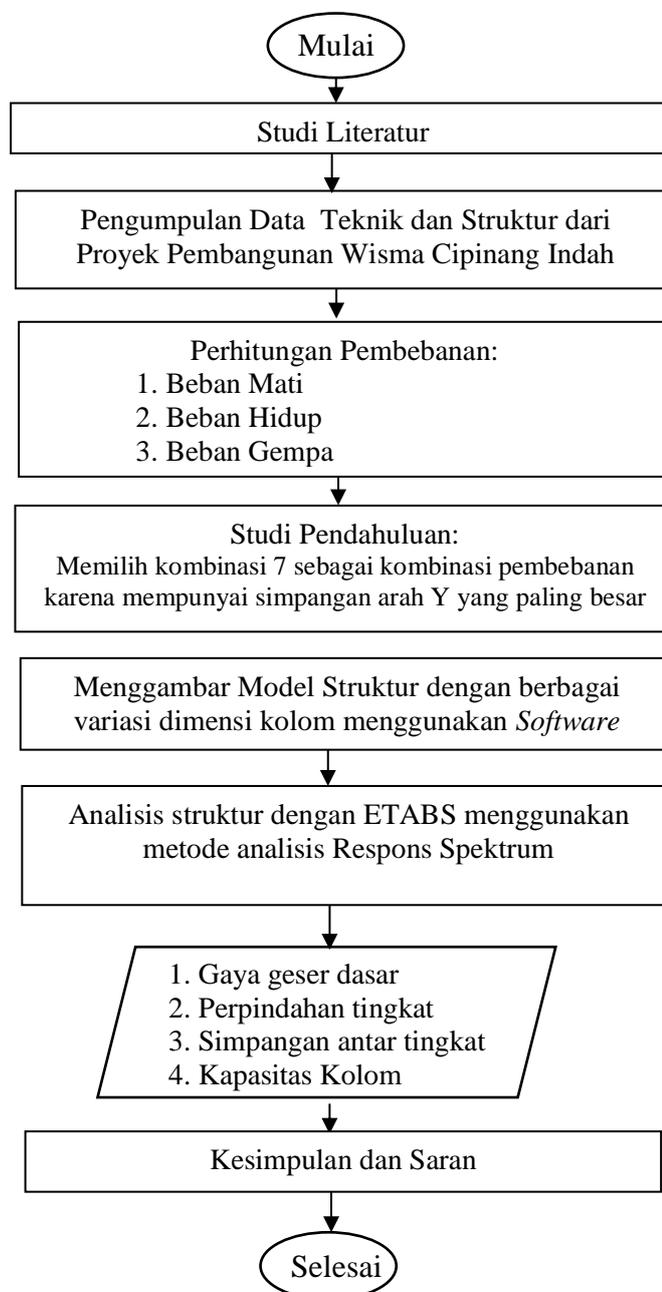
8. $1,28 D + 1,0 L + 1,3 Q_{Ex} - 0,39 Q_{Ey}$
9. $1,12 D + 1,0 L - 1,3 Q_{Ex} + 0,39 Q_{Ey}$
10. $1,05 D + 1,0 L - 1,3 Q_{Ex} - 0,39 Q_{Ey}$
11. $0,75 D + 0,39 Q_{Ex} + 1,3 Q_{Ey}$
12. $0,98 D + 0,39 Q_{Ex} - 1,3 Q_{Ey}$
13. $0,82 D - 0,39 Q_{Ex} + 1,3 Q_{Ey}$
14. $1,05 D - 0,39 Q_{Ex} - 1,3 Q_{Ey}$
15. $0,75 D + 1,3 Q_{Ex} + 0,39 Q_{Ey}$
16. $0,98 D + 1,3 Q_{Ex} - 0,39 Q_{Ey}$
17. $0,82 D - 1,3 Q_{Ex} + 0,39 Q_{Ey}$
18. $1,05 D - 1,3 Q_{Ex} - 0,39 Q_{Ey}$

Penelitian ini dicobakan dengan 18 kombinasi pembebanan. Dari seluruh kombinasi pembebanan, menghasilkan simpangan terbesar pada kombinasi 3 dan kombinasi 7. Kombinasi 3 merupakan kombinasi pembebanan paling besar terhadap sumbu X, sedangkan kombinasi 7 merupakan kombinasi pembebanan paling besar terhadap sumbu Y.

Kombinasi 7 dipilih sebagai kombinasi pembebanan karena mempunyai simpangan tertinggi pada sumbu Y. Sumbu Y pada bangunan ini merupakan arah kritis bangunan yang mana nilai simpangan pada arah sumbu Y lebih besar dibandingkan sumbu X. Kombinasi 7 yaitu $1,35 D + 1,0 L + 1,3 Q_{Ex} + 0,39 Q_{Ey}$, merupakan kombinasi pembebanan yang terdiri dari beban mati, beban hidup, beban gempa arah X dan beban gempa arah Y.

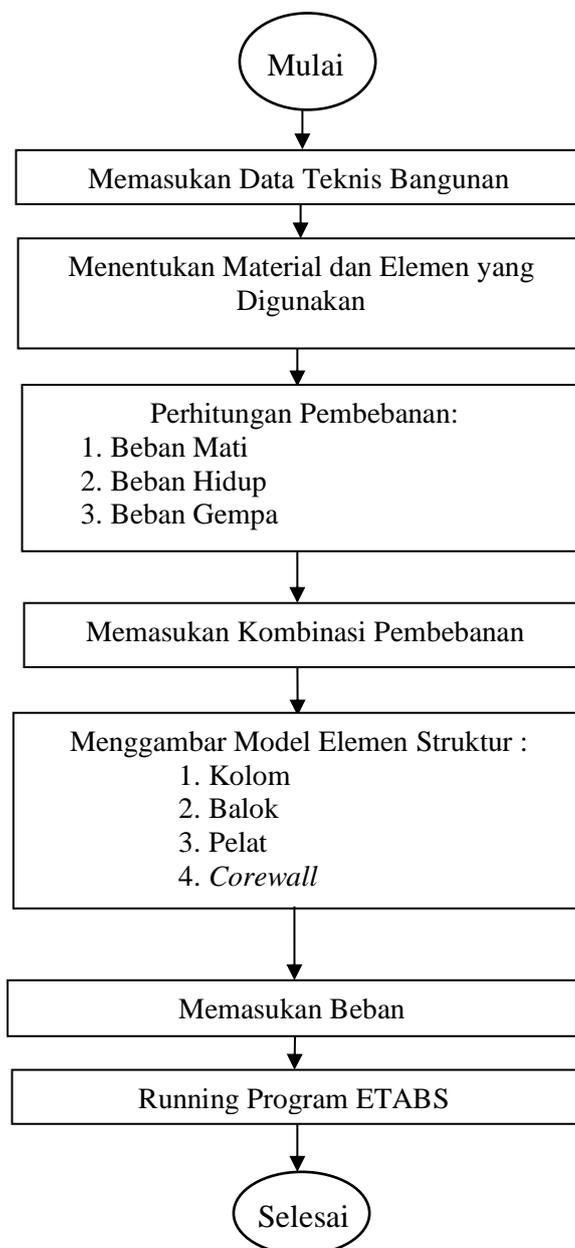
3.6 Metodologi Penelitian

Analisa yang digunakan berdasarkan pada Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung menurut SNI 1726-2012. Berikut adalah diagram alur penelitian pada gambar berikut ini.



Gambar 3. 11 Diagram Alur Penelitian

Pada tahap menggambar Model Struktur dengan berbagai variasi menggunakan *Software* ETABS, yang menggunakan metode analisis Respon Spektrum mempunyai beberapa tahap penelian. Tahap-tahap penelitian ini akan dijelaskan pada diagram alur pemodelan struktur pada Gambar 3.11.



Gambar 3. 12 Diagram Alur Pemodelan Struktur

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Setelah dilakukan proses analisa perilaku struktur bangunan terhadap beban gempa menggunakan program ETABS, maka didapatkan hasil keluaran yang menunjukkan respon bangunan dari semua model berdasarkan variasi dimensi kolomnya. Hasil analisa berupa kapasitas kolom, periode getar struktur, *base shear*, *displacement*, dan *story drift*.

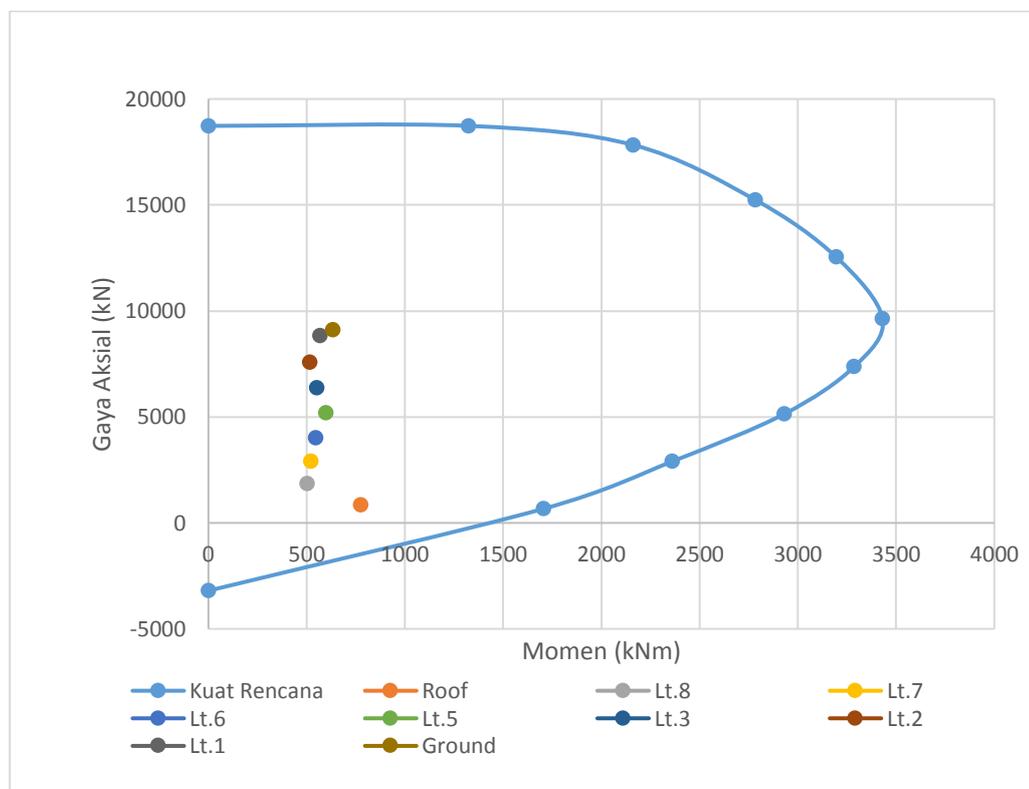
4.1.1 Kapasitas Kolom

Kolom sebagai elemen struktur vertikal menerima gaya aksial dan momen. Kapasitas kolom akan menggambarkan kemampuan kolom beton bertulang untuk menahan kombinasi gaya aksial dan momen lentur yang digambarkan dalam suatu bentuk kurva interaksi. Bila berada di luar diagram maka kolom tidak mampu menahan gaya-gaya tersebut, dan bila berada di dalam kolom dekat dengan diagram maka kolom mampu, tapi bila masuk namun terlalu jauh dari diagram maka kolom terlalu besar atau boros. Oleh karena itu, pembahasan kapasitas penampang kolom ini bertujuan untuk mengetahui apakah dimensi kolom tersebut layak untuk digunakan dalam analisis dari berbagai macam variasi pemodelan.

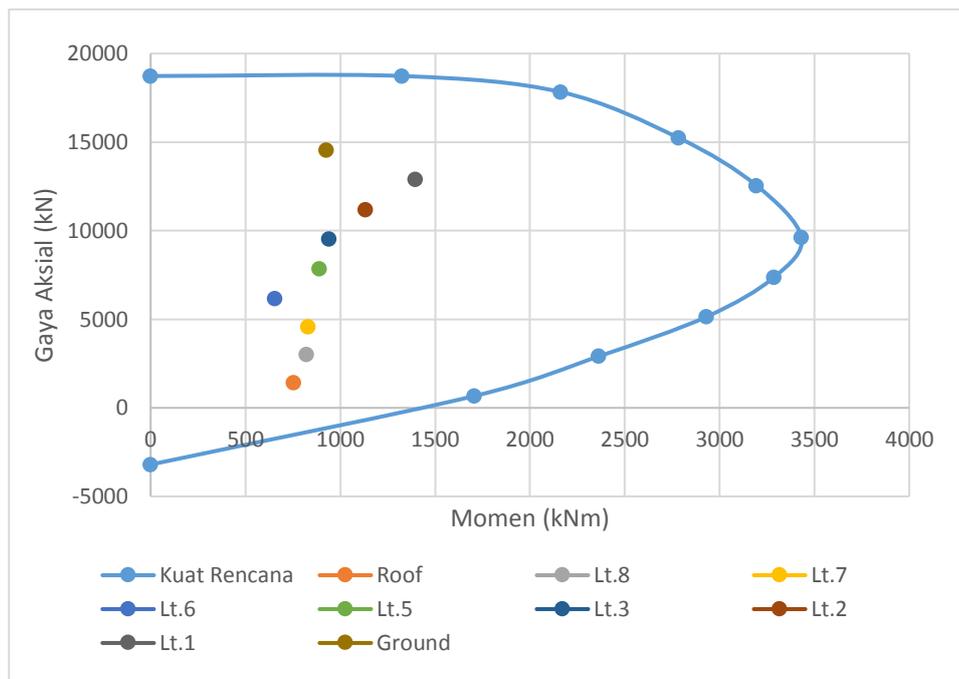
Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, pada penelitian ini digunakan 2 jenis kolom yaitu kolom K1 dan kolom K2. Perbedaan kolom K1 dan kolom K2 dibedakan berdasarkan ukurannya dan letaknya berdasarkan Gambar

3.9. Kolom yang digunakan merupakan kolom K1 dan K2 yang mempunyai gaya aksial terbesar pada setiap lantainya. Berikut adalah kondisi kolom dalam memikul beban aksial dan momen pada setiap lantai di semua variasi bangunan.

1. Eksisting

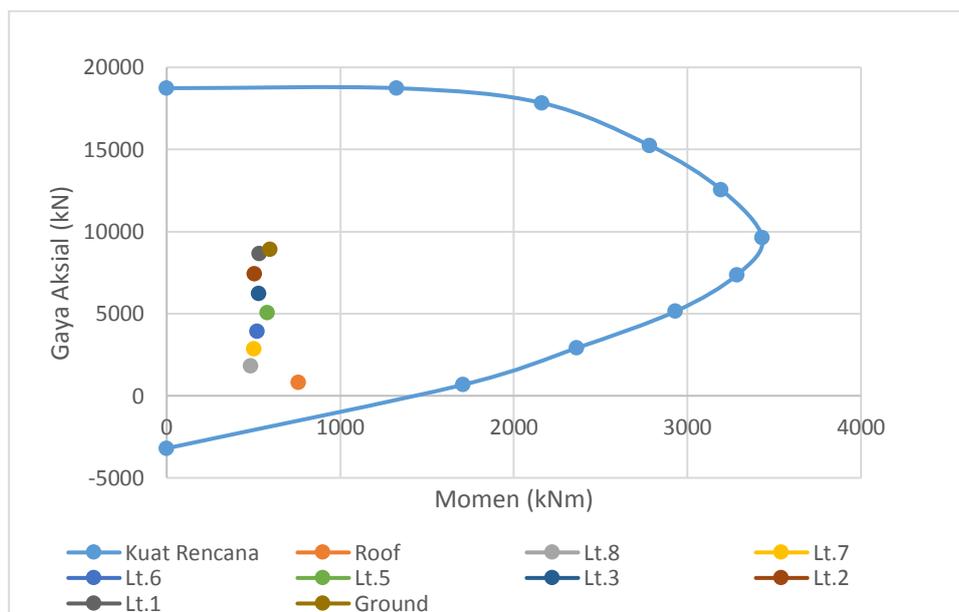


Gambar 4. 1 Diagram Interaksi Kolom Type K1 (Eksisting)

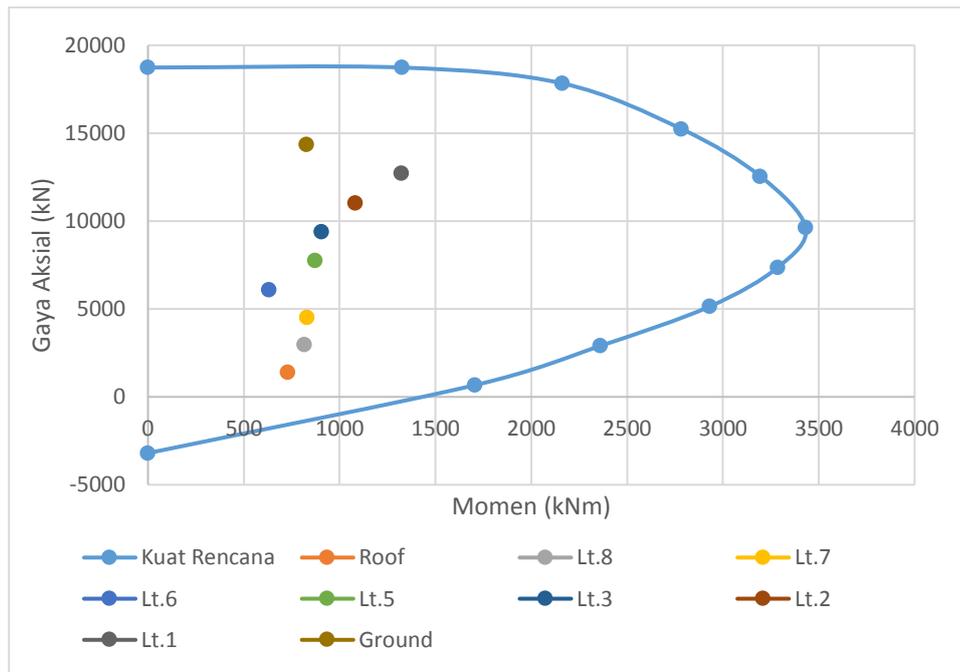


Gambar 4. 2 Diagram Interaksi Kolom *Type K2* (Eksisting)

2. Variasi 1

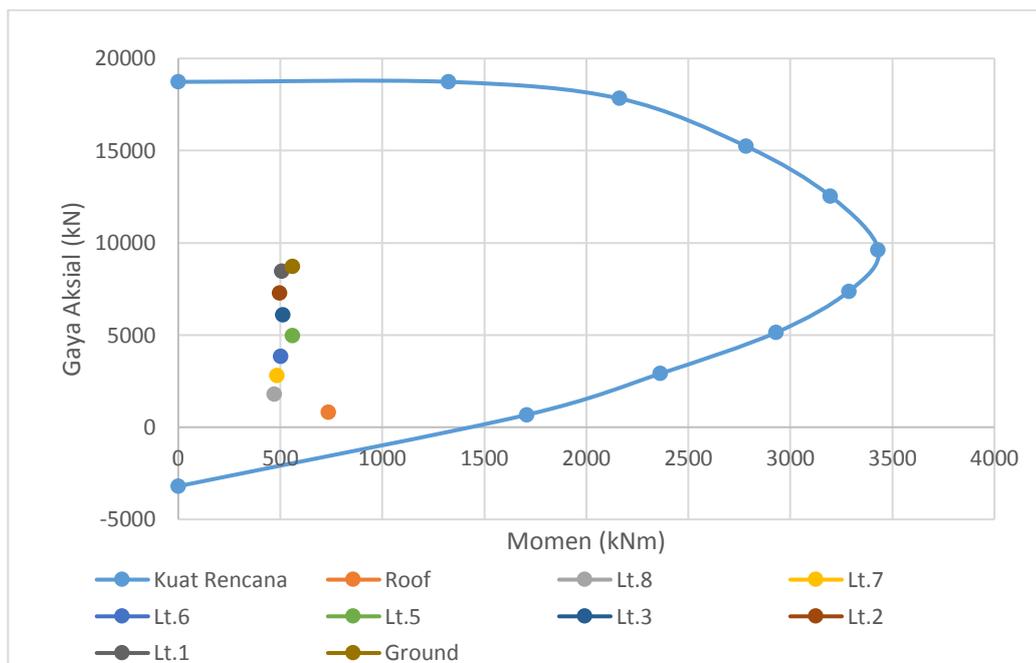


Gambar 4. 3 Diagram Interaksi Kolom *Type K1* (Variasi 1)

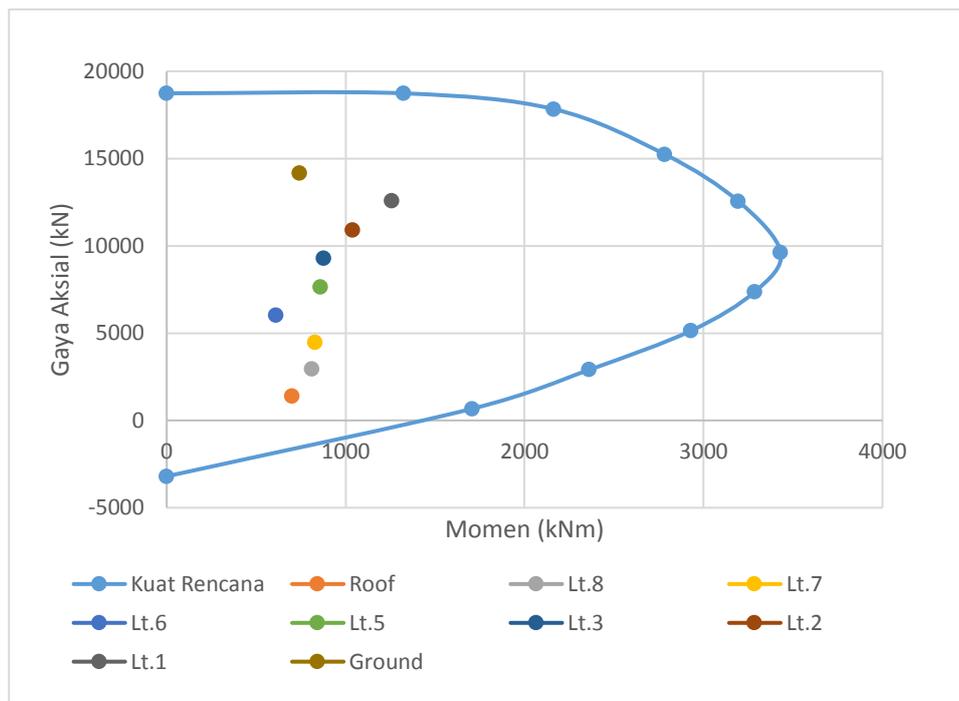


Gambar 4. 4 Diagram Interaksi Kolom *Type K2* (Variasi 1)

3. Variasi 2

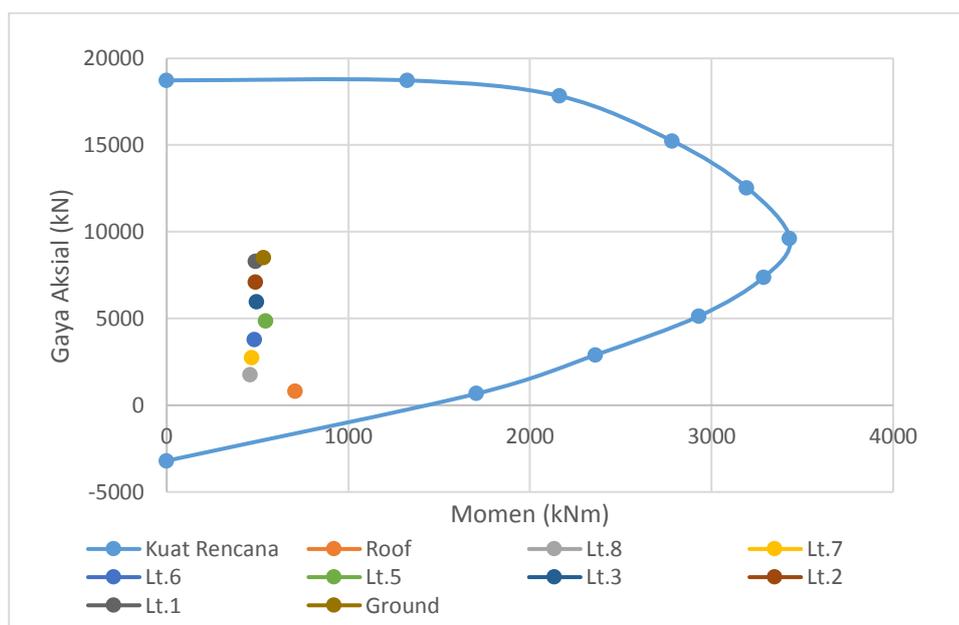


Gambar 4. 5 Diagram Interaksi Kolom *Type K1* (Variasi 2)

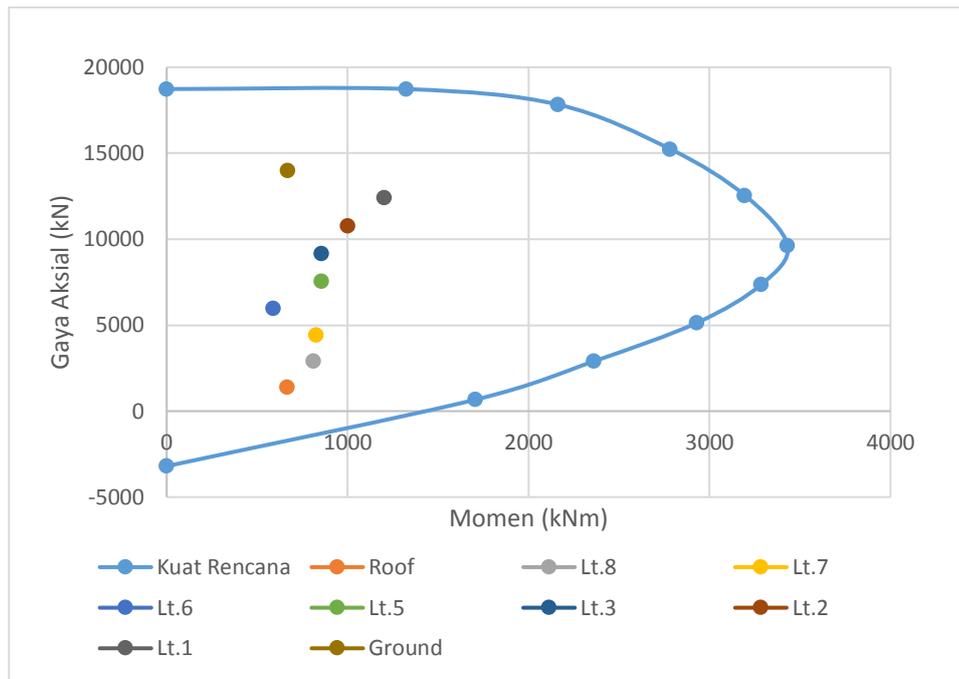


Gambar 4. 6 Diagram Interaksi Kolom Type K2 (Variasi 2)

4. Variasi 3



Gambar 4. 7 Diagram Interaksi Kolom Type K1 (Variasi 3)



Gambar 4. 8 Diagram Interaksi Kolom *Type K2* (Variasi 3)

4.1.2 *Base Shear*

Berdasarkan hasil analisa program ETABS, maka didapatkan nilai *base shear* dengan berbagai variasi pengecilan dimensi kolom. Respon struktur bangunan *base shear* diambil dari hasil analisis program ETABS yang dilihat dari mode 1. Mode 1 dipilih karena mode yang merupakan bentuk bangunan pertama kali saat bangunan menerima gaya gempa dari dasar (*base shear*). Selain itu, mode 1 dipilih karena untuk mencegah adanya bentuk puntiran (rotasi) pada gedung yang terdapat pada mode-mode yang lainnya. Berikut adalah tabel perbandingan nilai *base shear* sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Nilai *Base Shear* Sebelum Terkoreksi

Variasi	Base Shear		Berat Struktur (kN)	Periode (s)
	Arah X (kN)	Arah Y (kN)		
Eksisting	206.16	425.41	63456.11	0.915625
Variasi 1	203.82	418.18	62328.78	0.925558
Variasi 2	201.53	410.57	61266.10	0.937608
Variasi 3	199.19	402.25	60268.08	0.952567

Pada penelitian ini menggunakan analisis respon dinamis yang menyebabkan hasil *base shear* membutuhkan koreksi dari hasil perhitungan gaya geser dasar (*base shear*) statik ekuivalen. Berdasarkan peraturan SNI 03-1726-2012 nilainya tidak boleh kurang dari 85% gaya geser dasar yang dihitung dengan menggunakan statik ekuivalen. Jika nilai *base shear* tidak memenuhi persyaratan tersebut, maka faktor skala perlu untuk dikoreksi berdasarkan ordinat ragam spektrumnya. Berdasarkan hasil yang telah didapatkan, seluruh pemodelan masih lebih kecil dari syarat yang ditentukan. Oleh karena itu, gaya geser dasar yang didapatkan perlu dievaluasi pada setiap kondisi bangunan. Perhitungan secara rinci dilampirkan pada Lampiran 1, dan berikut adalah faktor terkoreksi sebelum dan sesudah terkoreksi.

Tabel 4. 2 Nilai Faktor Skala Terkoreksi

Variasi	Kasus	Arah	Faktor Skala Awal	Faktor Skala Terkoreksi
Eksisting	RSPX	U1	1.2263	15.73306
		U2	0.3679	4.71992
	RSPY	U1	0.3679	2.28734
		U2	1.2263	7.62447
Variasi 1	RSPX	U1	1.2263	15.46323
		U2	0.3679	4.63896
	RSPY	U1	0.3679	2.26102
		U2	1.2263	7.53674

Variasi 2	RSPX	U1	1.2263	15.17474
		U2	0.3679	4.55242
	RSPY	U1	0.3679	2.23457
		U2	1.2263	7.44858
Variasi 3	RSPX	U1	1.2263	14.86573
		U2	0.3679	4.45972
	RSPY	U1	0.3679	2.20840
		U2	1.2263	7.36135

Setelah dihitung dan didapatkan nilai faktor skala terkoreksi pada masing-masing variasi bangunan, selanjutnya nilai faktor skala terkoreksi diinput kedalam *software* ETABS untuk arah RSPX dan RSPY sesuai dengan nilai yang telah didapatkan. Setelah itu, dilakukan *run analysis* kembali dan akan mendapatkan nilai *base shear* yang sesuai dan telah memenuhi standar. Berikut adalah nilai *base shear* setelah terkoreksi.

Tabel 4. 3 Nilai *Base Shear* Setelah Terkoreksi

Variasi	Base Shear		Berat Struktur (kN)	Periode (s)
	Arah X (kN)	Arah Y (kN)		
Eksisting	2645.07	2671.84	63456.11	0.915625
Variasi 1	2576.85	2571.81	62328.78	0.925558
Variasi 2	2498.63	2494.90	61266.10	0.937608
Variasi 3	2420.77	2427.91	60268.08	0.952567

4.1.3 *Displacement*

Displacement (simpangan) yang terjadi pada setiap kondisi variasi bangunan ditinjau dari kedua arah yaitu arah X dan arah Y. Nilai *displacement* diambil dari salah satu titik yang mempunyai kolom menerus dari lantai *basement* hingga lantai *roof* (atap), dan titik yang mempunyai nilai *displacement* terbesar sebagai sampel untuk melihat perlakuan bangunan. Berikut adalah nilai *displacement* dari masing-masing variasi pemodelan untuk arah X dan arah Y.

Tabel 4. 4 Tabel Displacement Arah X

Lantai	Nilai Simpangan Arah X (mm)			
	Eksisting	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
Atap	65.6353	65.9754	66.4813	67.5514
Lantai 8	61.4352	61.7274	62.1236	62.9804
Lantai 7	55.608	55.8656	56.1883	56.8948
Lantai 6	48.6097	48.8649	49.1491	49.7333
Lantai 5	40.3082	40.5725	40.8368	41.3173
Lantai 3	31.2033	31.536	31.8702	32.3715
Lantai 2	21.3669	21.712	22.0728	22.5634
Lantai 1	11.5797	11.8244	12.1001	12.4741
Ground	1.771	1.7212	1.668	1.6192
Basement	0	0	0	0

Tabel 4. 5 Tabel Displacement Arah Y

Lantai	Nilai Simpangan Arah Y (mm)			
	Eksisting	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
Atap	135.2044	135.2431	135.2541	136.3029
Lantai 8	126.5675	126.7163	126.9623	128.0055
Lantai 7	115.2892	115.5384	115.8308	116.7952
Lantai 6	100.7175	101.0448	101.3682	102.2262
Lantai 5	83.1582	83.5599	83.9185	84.6631
Lantai 3	64.0037	64.6013	65.1756	66.0556
Lantai 2	43.5260	44.2151	44.9156	45.8519
Lantai 1	22.9458	23.5124	24.1331	24.9354
Ground	1.6739	1.5687	1.4616	1.3598
Basement	0	0	0	0

4.1.4 Story Drift

Story drift adalah simpangan antar lantai yang diukur dari dasar lantai dibawahnya. Nilai dari *story drift* diambil dari nilai *displacement* antar lantai yang telah didapatkan pada sub bab sebelumnya. Berikut ini adalah nilai *story drift* yang terjadi pada setiap kondisi variasi bangunan arah X dan arah Y.

Tabel 4. 6 Tabel *Story Drift* Arah X

Lantai	Story Drift Arah X (mm)			
	Eksisting	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
Atap	4.2001	4.248	4.3577	4.5710
Lantai 8	5.8272	5.8618	5.9353	6.0856
Lantai 7	6.9983	7.0007	7.0392	7.1615
Lantai 6	8.3015	8.2924	8.3123	8.4160
Lantai 5	9.1049	9.0365	8.9666	8.9458
Lantai 3	9.8364	9.824	9.7974	9.8081
Lantai 2	9.7872	9.8876	9.9727	10.0893
Lantai 1	9.8087	10.1032	10.4321	10.8549
Ground	1.771	1.7212	1.668	1.6192
Basement	0	0	0	0

Tabel 4. 7 Tabel *Story Drift* Arah Y

Lantai	Story Drift Arah Y (mm)			
	Eksisting	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
Atap	8.6369	8.5268	8.2918	8.2974
Lantai 8	11.2783	11.1779	11.1315	11.2103
Lantai 7	14.5717	14.4936	14.4626	14.569
Lantai 6	17.5593	17.4849	17.4497	17.5631
Lantai 5	19.1545	18.9586	18.7429	18.6075
Lantai 3	20.4777	20.3862	20.2600	20.2037
Lantai 2	20.5802	20.7027	20.7825	20.9165
Lantai 1	21.2719	21.9437	22.6715	23.5756
Ground	1.6739	1.5687	1.4616	1.3598
Basement	0	0	0	0

4.2 Pembahasan

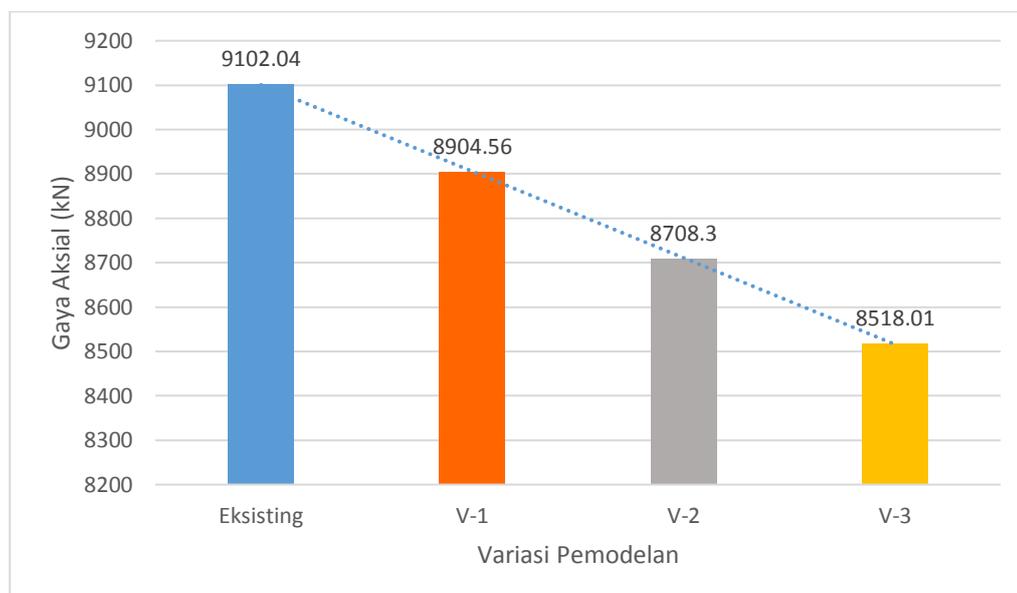
4.2.1 Kapasitas Kolom

Kolom sebagai elemen struktur vertical harus direncanakan untuk memikul beban aksial yang bekerja pada semua lantai dan momen maksimum. Kapasitas kolom akan menggambarkan kemampuan kolom beton bertulang untuk menahan kombinasi gaya aksial dan momen lentur yang digambarkan dalam suatu bentuk kurva interaksi. Apabila titik interaksi P-M (Gaya aksial-Momen) semakin mendekati garis kapasitas kolom maka terjadi pembesaran nilai aksial dan atau momen kolom. Dan apabila titik interaksi melewati garis kapasitas kolom maka kolom tersebut tidak mampu untuk menahan gaya aksial dan momen yang ada sehingga kolom dapat mengalami keruntuhan.

Berdasarkan diagram interaksi kolom pada sub bab 4.1.1, kondisi kolom dari lantai *basement* sampai dengan lantai atap masih mampu menerima semua variasi bangunan karena hasil analisis dari seluruh kolom masih berada di dalam garis kuat rencana (pada sub bab 4.1.1). Kemampuan kolom menerima beban aksial dan momen pada bangunan yang akan dianalisis, menjelaskan bahwa semua dimensi kolom layak untuk dianalisis berdasarkan parameter *base shear*, *displacement*, dan *story drift*. Hasil analisis membuktikan bahwa variasi dimensi kolom yang diberikan pada penelitian ini tidak mengakibatkan keruntuhan pada beton, kegagalan akan dimulai pada tulangan baja terlebih dahulu akibat gaya tarik, sehingga beton pada kolom masih kuat.

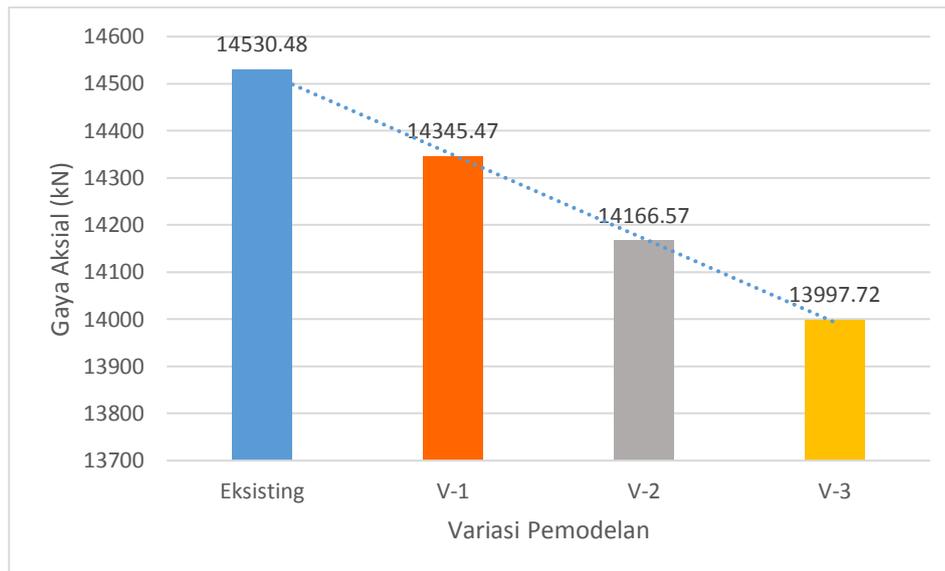
Hasil analisis terhadap nilai aksial dan momen pada kolom yang sudah disajikan pada sub-bab 4.1.1 terdapat pada Lampiran.3. Kemudian hasil analisis terhadap nilai aksial kolom diambil pada lantai *ground* pada jenis kolom K1

ditunjukkan pada Gambar 4.9, dan nilai aksial kolom lantai *ground* pada jenis kolom K2 ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 9 Gaya Aksial Kolom K1

Hasil analisis terhadap nilai aksial kolom K1 menggambarkan bahwa eksisting menghasilkan nilai aksial yang terbesar diantara variasi lainnya. Sedangkan variasi 3 menghasilkan nilai aksial yang paling rendah diantara eksisting dan variasi pemodelan lainnya. Eksisting mengalami penurunan nilai gaya aksial terhadap variasi 1 sebesar 2,170%, variasi 2 sebesar 4,326%, dan variasi 3 sebesar 6,416%.



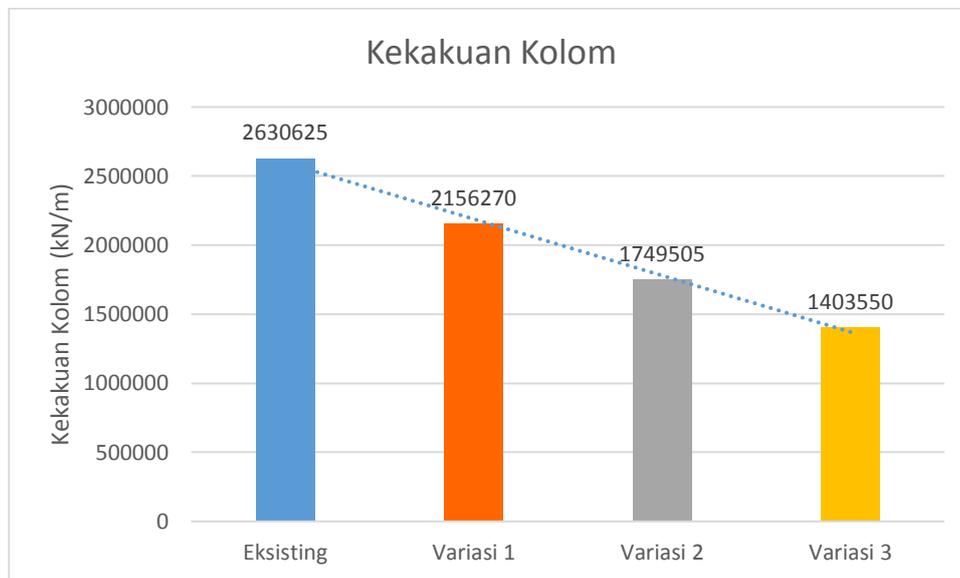
Gambar 4. 10 Gaya Aksial Kolom K2

Hasil analisis terhadap nilai aksial kolom K2 menunjukkan penurunan nilai aksial yang serupa dengan nilai aksial kolom K1. Hasil analisis menggambarkan bahwa eksisting menghasilkan nilai aksial yang terbesar diantara variasi lainnya. Sedangkan variasi 3 menghasilkan nilai aksial yang paling rendah diantara eksisting dan variasi pemodelan lainnya. Eksisting mengalami penurunan nilai gaya aksial terhadap variasi 1 sebesar 1,273%, variasi 2 sebesar 2,504%, dan variasi 3 sebesar 3,667%.

Gaya aksial yang dapat diterima kolom dipengaruhi oleh kuat tekan beton, luas penampang kolom, luas tulangan total, dan kuat tarik tulangan baja. Penurunan gaya aksial pada kolom K1 dan kolom K2 disebabkan karena adanya perubahan dimensi kolom yang semakin kecil.

Selain itu, penurunan gaya aksial juga disebabkan oleh kekakuan kolom. Kekakuan merupakan salah satu kriteria penting yang harus dimiliki oleh suatu bangunan. Kekakuan yang baik akan membatasi pergerakan struktur akibat

memikul gaya gravitasi dan gaya lateral. Besarnya kekakuan kolom dipengaruhi oleh modulus elatisitas bahan, ketinggian kolom, dan dimensi kolom. Semakin kecil sebuah dimensi kolom maka kekakuan kolom semakin berkurang. Nilai kekakuan kolom pada lantai ground akan ditunjukkan pada gambar berikut ini.

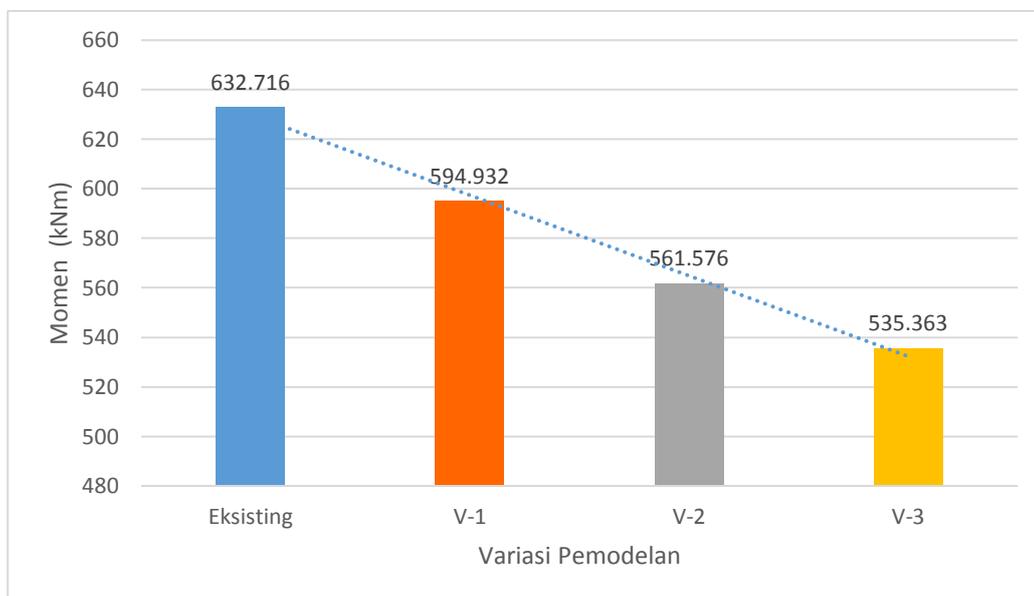


Gambar 4. 11 Kekakuan Kolom Lantai *Ground*

Nilai kekakuan kolom terbesar dimiliki oleh bangunan eksisting. Jika dibandingkan dengan variasi lainnya, kekakuan kolom pada eksisting mengalami penurunan nilai terhadap variasi 1 sebesar 18,032%, variasi 2 sebesar 33,494%, dan variasi 3 sebesar 46,645%. Penurunan gaya aksial terbesar yang terjadi pada variasi 3 pada kolom K1 maupun kolom K2 bisa terjadi karena adanya perlakuan pengecilan kolom yang paling besar dari seluruh variasi pemodelan. Perubahan dimensi kolom akan menyebabkan gaya inersia kolom akan semakin kecil dan akan menyebabkan penurunan nilai pada kekakuan kolom.

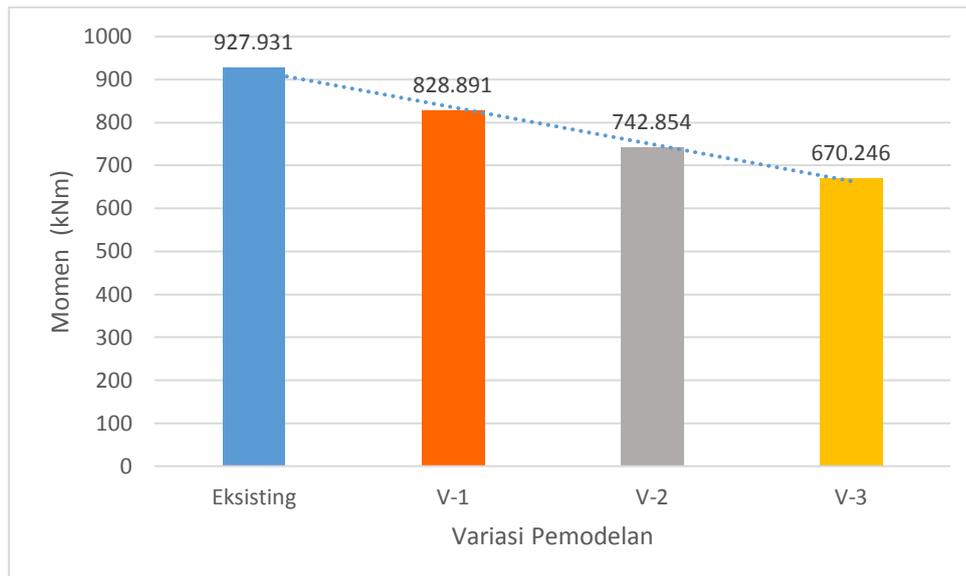
Hasil analisis terhadap momen kolom juga menghasilkan pola penurunan yang sama seperti nilai aksial kolom. Hasil analisis terhadap nilai momen kolom

juga dipilih pada lantai *ground* untuk jenis kolom K1 ditunjukkan pada Gambar 4.12, dan nilai momen kolom lantai *ground* pada jenis kolom K2 ditunjukkan pada Gambar 4.13 dibawah ini.



Gambar 4. 12 Momen Kolom K1

Hasil analisis menggambarkan bahwa eksisting menghasilkan momen yang terbesar diantara variasi lainnya. Sedangkan variasi 3 menghasilkan momen yang paling rendah diantara eksisting dan variasi pemodelan lainnya. Eksisting mengalami penurunan nilai momen terhadap variasi 1 sebesar 5,972%, variasi 2 sebesar 11,244%, dan variasi 3 sebesar 15,387%.



Gambar 4. 13 Momen Kolom K2

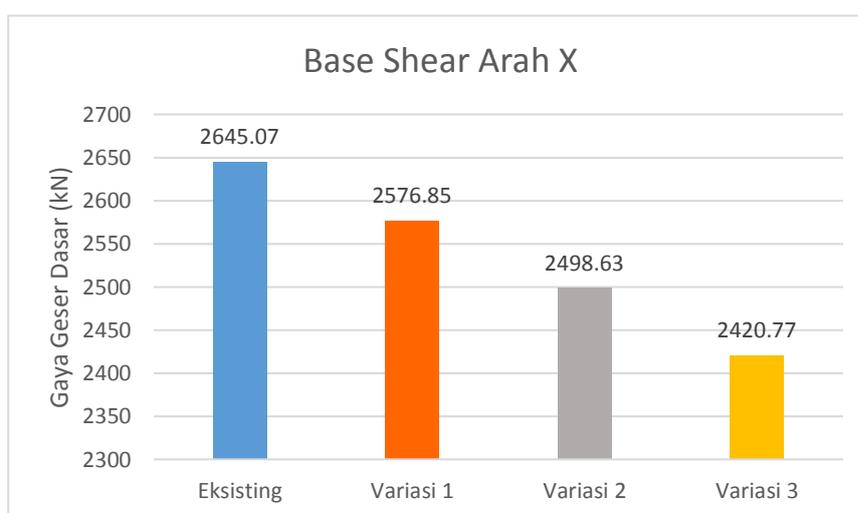
Hasil analisis terhadap momen kolom K2 menunjukkan penurunan momen yang serupa dengan nilai aksial kolom K1. Hasil analisis menggambarkan bahwa eksisting menghasilkan momen yang terbesar diantara variasi lainnya. Sedangkan variasi 3 menghasilkan momen yang paling rendah diantara eksisting dan variasi pemodelan lainnya. Eksisting mengalami penurunan nilai momen terhadap variasi 1 sebesar 10,673%, variasi 2 sebesar 19,945%, dan variasi 3 sebesar 27,770%.

Momen yang dapat diterima oleh kolom besarnya dipengaruhi oleh kapasitas kolom dalam menerima gaya aksial dan eksentrisitas suatu kolom. Penurunan gaya aksial akan menyebabkan menurunnya nilai momen. Oleh karena itu, penurunan momen pada kolom K1 dan kolom K2 disebabkan karena adanya penurunan kapasitas kolom dalam menerima gaya aksial yang disebabkan oleh perubahan dimensi kolom yang semakin kecil. Penurunan momen terbesar yang terjadi pada variasi 3 pada kolom K1 maupun kolom K2 bisa terjadi karena adanya perlakuan pengecilan kolom paling besar dari seluruh variasi pemodelan.

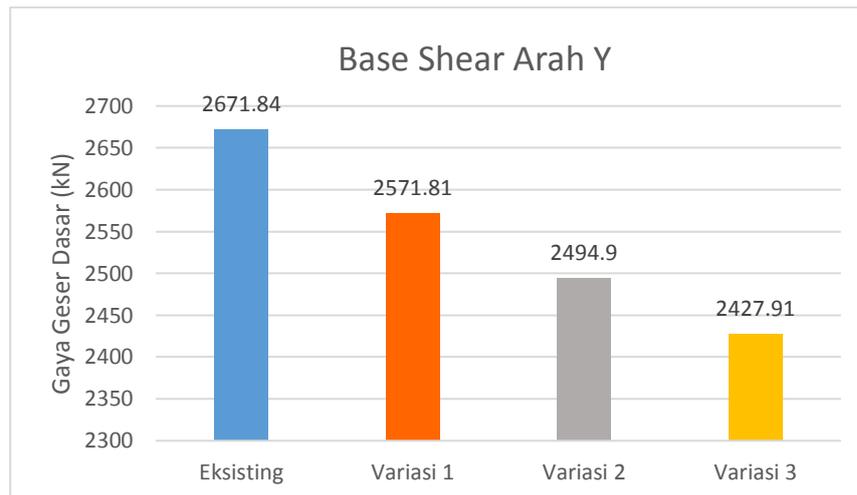
4.2.2 Base Shear

Gaya geser dasar (*base shear*) adalah gaya geser atau lateral yang terjadi pada tingkat dasar. Dalam kasus ini gaya lateral disebabkan adanya gempa yang terjadi akibat pergerakan tanah. Getaran tanah akibat gempa menimbulkan getaran pada bangunan bertingkat yang dapat disederhanakan sebagai gaya geser yang bekerja pada dasar bangunan. Besarnya nilai *base shear* yang dihasilkan pada suatu bangunan dipengaruhi oleh faktor seperti kondisi tanah, dan tingkat daktilitas pada elemen struktur bangunan, massa bangunan struktur, dan periode getar alami suatu bangunan.

Jika dibandingkan mengenai hasil analisis *base shear* dari arah X dan dari arah Y akan terlihat perubahan nilai yang tidak terlalu signifikan. Akan tetapi, nilai *base shear* secara konstan menurun disertai dengan pengecilan dimensi kolom yang perlakuan pada variasi 1, variasi 2, dan variasi 3 seperti pada Gambar 4.14, dan Gambar 4.15 dibawah ini.



Gambar 4. 14 Base Shear dari Arah X



Gambar 4. 15 Base Shear dari Arah Y

Penurunan *base shear* pada arah X bangunan terjadi pada eksisting terhadap variasi 1 sebesar 2,579%, variasi 2 sebesar 5,536%, dan variasi 3 sebesar 8,480%. Penurunan *base shear* pada arah Y bangunan terjadi pada eksisting terhadap variasi 1 sebesar 3,744%, variasi 2 sebesar 6,622%, dan variasi 3 sebesar 9,129%.

Nilai *base shear* terbesar pada sumbu X dan sumbu Y terdapat pada bangunan eksisting. Sedangkan nilai *base shear* terendah yang ditinjau dari kedua sumbu X, maupun sumbu Y terdapat pada bangunan variasi 3. Berdasarkan grafik tersebut, bangunan yang mempunyai dimensi kolom terkecil mempunyai nilai *base shear* paling kecil. Hal itu menyebabkan gaya gempa yang diterima pertama kali pada dasar bangunan akan semakin kecil, sehingga resiko bangunan terkena dampak gempa menjadi lebih kecil. Hal lain yang mempengaruhi besarnya *base shear* yaitu massa bangunan. Berikut adalah perbandingan massa struktur bangunan setiap variasinya.

Tabel 4. 8 Berat Struktur Masing-masing Pemodelan

Variasi	Massa Struktur (kN)
Eksisting	63456.11
Variasi 1	62328.78
Variasi 2	61266.10
Variasi 3	60268.08

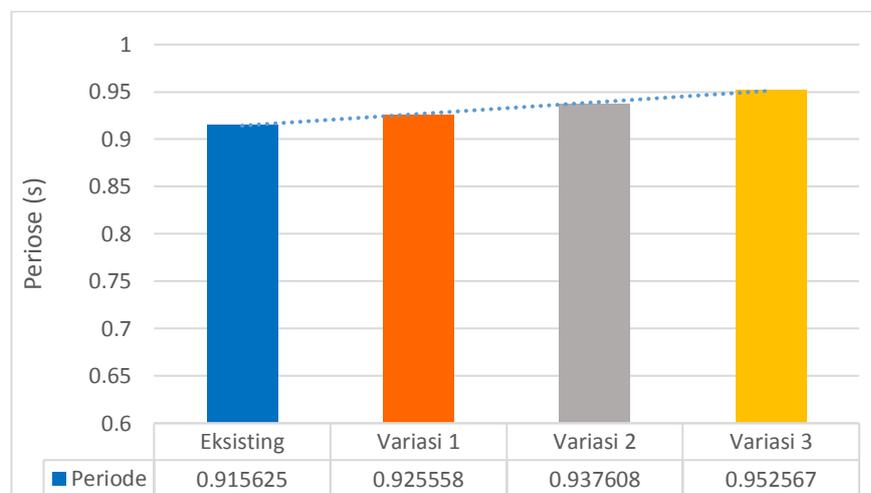
Berdasarkan tabel tersebut, besarnya massa bangunan disajikan secara berurutan dari yang terbesar hingga yang terkecil. Rata-rata penurunan massa bangunan sebesar 1,7% akibat pengecilan dimensi kolom sebesar 50 mm pada setiap sisi-sisi kolomnya secara berturut-turut. Bangunan eksisting memiliki massa bangunan terbesar, sedangkan variasi 3 memiliki massa bangunan terkecil. Perbedaan massa struktur tersebut dikarenakan bangunan eksisting mempunyai dimensi kolom yang besar sehingga massa bangunan juga semakin besar.

Jika dibandingkan massa struktur terhadap *base shear*, maka hal tersebut tidak sejalan dengan pernyataan semakin besar massa bangunan maka beban gempa yang akan diterima bangunan akan semakin kecil dan kegagalan struktur akibat beban gempa akan semakin kecil. Hasil dari penelitian ini menyebutkan bahwa semakin besar massa bangunan maka semakin besar nilai *base shear* nya. Hal tersebut terjadi karena ada faktor lain yang mempengaruhi nilai *base shear*, yaitu kekakuan struktur.

Kekakuan kolom pada bangunan eksisting memiliki nilai yang terbesar (ditunjukkan pada Gambar 4.11). Kekakuan yang besar pada bangunan eksisting menyebabkan bangunan mampu menahan gaya lateral yang lebih kuat dan menyebabkan nilai *base shear* semakin tinggi.

Selain dari faktor massa dan kekakuan struktur, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya periode juga dapat mempengaruhi nilai *base shear*. *Base shear* merupakan penyederhanaan dari gaya gempa yang bekerja pada dasar bangunan. Gaya gempa menghasilkan getaran yang berdampak langsung pada getaran pada bangunan. Oleh karena itu, nilai *base shear* bangunan dipengaruhi oleh periode getar alami bangunan.

Periode getar struktur adalah waktu yang diperlukan suatu bangunan kembali ke posisi semula setelah menerima gaya gempa. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dengan menggunakan *software* ETABS, menghasilkan nilai periode seperti pada grafik berikut ini.



Gambar 4. 16 Periode Getar Struktur

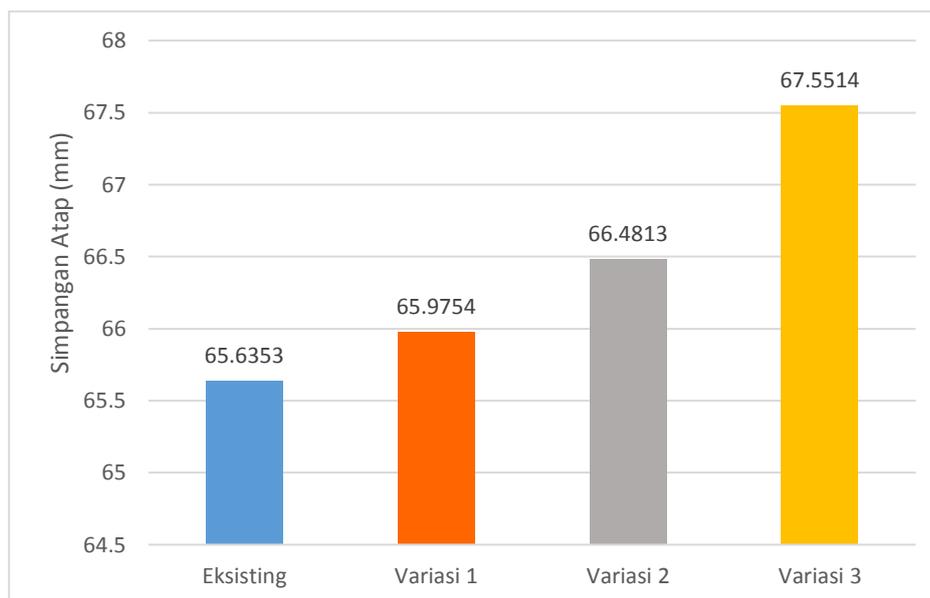
Bangunan eksisting mempunyai nilai getaran alami yang paling kecil dibandingkan dengan ketiga variasi lainnya. Variasi bangunan 3, variasi 2, dan variasi 1, menghasilkan periode getar struktur yang lebih besar secara berturut-turut bila dibandingkan dengan periode bangunan eksisting. Hal ini disebabkan oleh nilai *base shear* variasi pemodelan 1, variasi 2, dan variasi 3 lebih kecil dibandingkan bangunan eksisting.

Periode pada kondisi eksisting mengalami kenaikan terhadap variasi 1 sebesar 1,085%, variasi 2 sebesar 1,302%, dan variasi 3 sebesar 1,595%. Hasil analisis membuktikan bahwa, semakin langsing dimensi kolom pada bangunan maka periode getar struktur juga semakin panjang berdasarkan kondisi variasi 3. Kolom pada bangunan eksisting memiliki kekakuan yang lebih baik karena tidak ada pengecilan dimensi kolom dan merupakan variasi dengan ukuran dimensi kolom terbesar diantara variasi-variasi yang lainnya. Oleh sebab itu, periode pada kondisi eksisting mempunyai panjang periode yang terkecil.

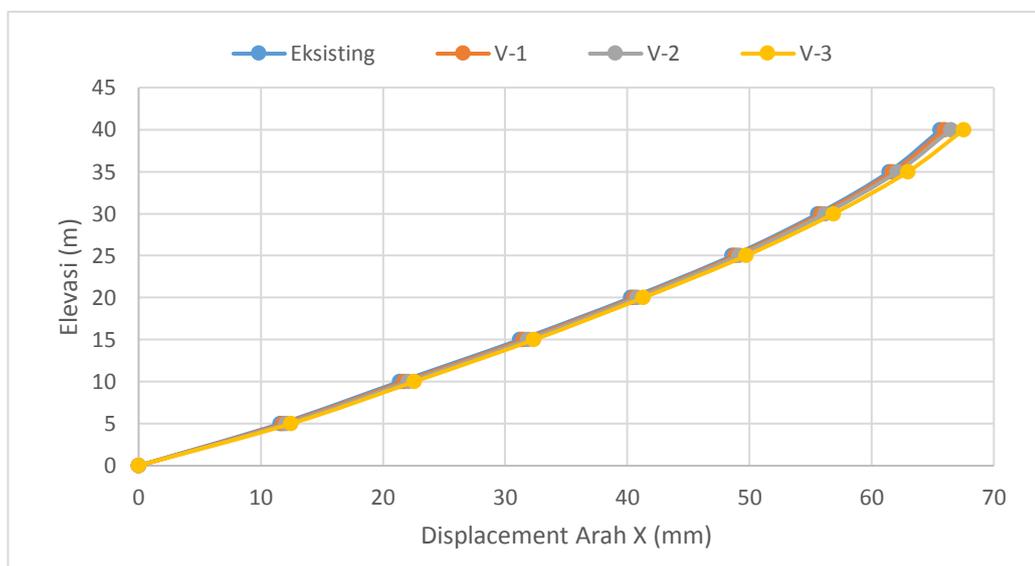
4.2.3 Displacement

Displacement adalah simpangan suatu lantai yang diukur dari lantai dasar bangunan. Hasil analisis dari *displacement* merupakan salah satu tolak ukur yang dapat meninjau kekakuan struktur pada bangunan. Nilai *displacement* (simpangan) yang kecil menunjukkan bangunan tersebut mempunyai kekakuan yang besar. Sedangkan apabila bangunan tersebut mempunyai simpangan yang besar, maka kekakuan bangunan tersebut kecil. Ada beberapa hal yang mempengaruhi besarnya nilai *displacement*, diantaranya kekakuan struktur, kondisi tanah, ketinggian bangunan, dan letak dinding geser.

Perbandingan hasil analisis nilai *displacement* yang berada di lantai atap bangunan pada arah X dapat dilihat pada Gambar 4.17. Sedangkan grafik hasil analisis *displacement* arah X seluruh variasi pemodelan ditunjukkan pada Gambar 4.18.



Gambar 4. 17 Perbandingan *Displacement* Arah X

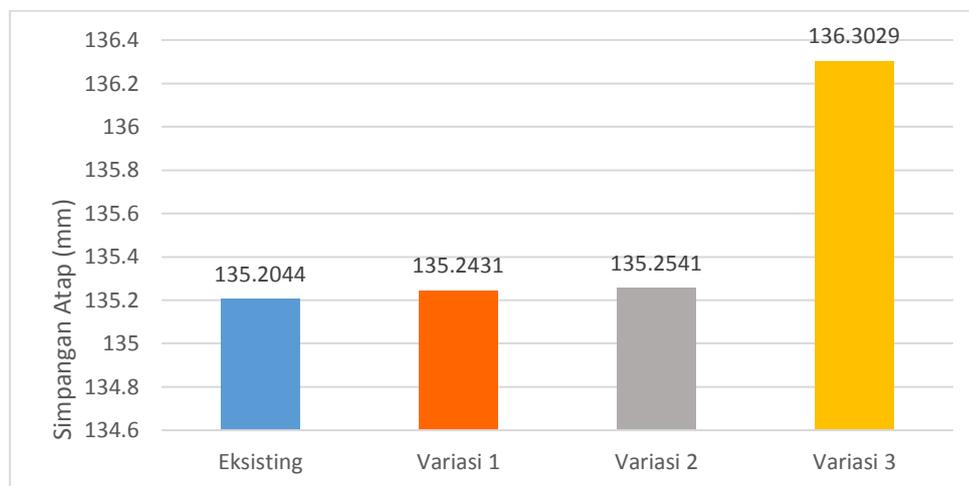


Gambar 4. 18 Grafik *Displacement* Arah X Seluruh Variasi

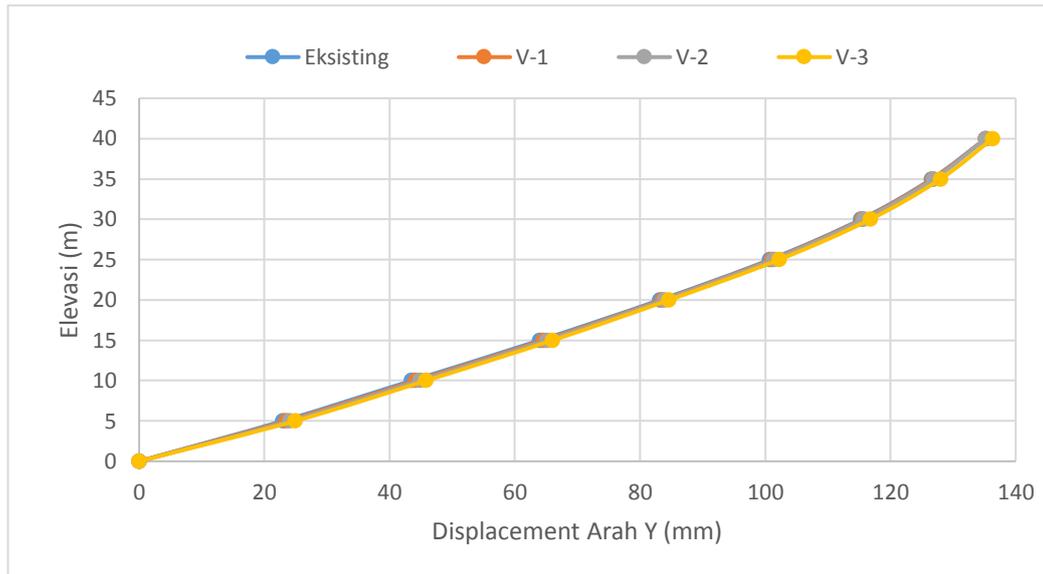
Grafik *displacement* arah X pada Gambar 4.18 menunjukkan pola simpangan yang sama. Jika ditinjau dari Gambar 4.17, nilai *displacement* untuk arah X dari semua variasi menunjukkan bahwa adanya pengecilan dimensi kolom

dapat meningkatkan nilai *displacement*. Kenaikan nilai *displacement* pada arah X bangunan terjadi pada eksisting terhadap variasi 1 sebesar 0,518%, variasi 2 sebesar 1,289%, dan variasi 3 sebesar 2,919%.

Perbandingan hasil analisis nilai *displacement* yang berada di lantai atap bangunan pada arah Y dapat dilihat pada Gambar 4.19. Sedangkan grafik hasil analisis *displacement* arah Y seluruh variasi pemodelan ditunjukkan pada Gambar 4.20.



Gambar 4. 19 Perbandingan *Displacement* Arah Y



Gambar 4. 20 Grafik *Displacement* Arah Y Seluruh Variasi

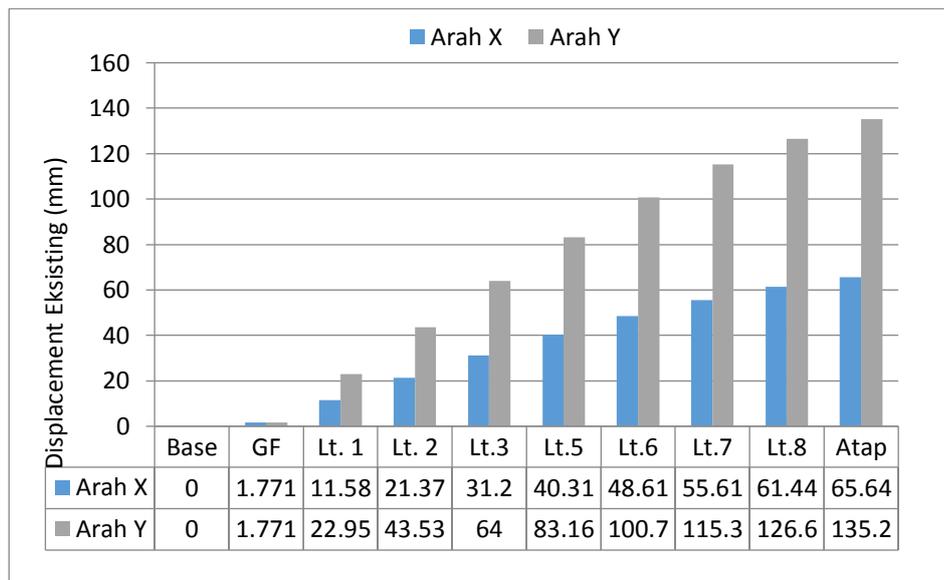
Grafik *displacement* arah Y pada Gambar 4.20 menunjukkan pola simpangan yang sama. Jika ditinjau dari Gambar 4.19, nilai *displacement* untuk arah Y dari semua variasi menunjukkan bahwa adanya pengecilan dimensi kolom dapat meningkatkan nilai *displacement*. Dapat terlihat dengan kenaikan nilai *displacement* secara berturut-turut pada arah Y bangunan terjadi pada eksisting terhadap variasi 1 sebesar 0,029%, variasi 2 sebesar 0,037%, dan variasi 3 sebesar 0,812%.

Dari tinjauan perbandingan nilai simpangan atap dari arah X dan arah Y, adanya pengecilan dimensi kolom dapat meningkatkan nilai *displacement*. Kecenderungan peningkatan nilai *displacement* menjadi semakin meningkat dari eksisting ke variasi lainnya. Hal ini sejalan dengan kekakuan kolom yang ditunjukkan pada Gambar 4.11. Pengecilan dimensi kolom akan menyebabkan gaya inersia pada kolom semakin kecil, dan akan menyebabkan kekakuan kolom juga akan semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa adanya pengecilan dimensi

kolom dapat menyebabkan kekakuan struktur berkurang dan nilai simpangan juga akan semakin besar.

Untuk mengetahui seberapa besar perbedaan nilai *displacement* yang terjadi pada setiap tingkat yang ditinjau dari arah X dan Y, maka dilakukan analisis pada bangunan eksisting, variasi 1, variasi 2, dan variasi 3 berikut ini.

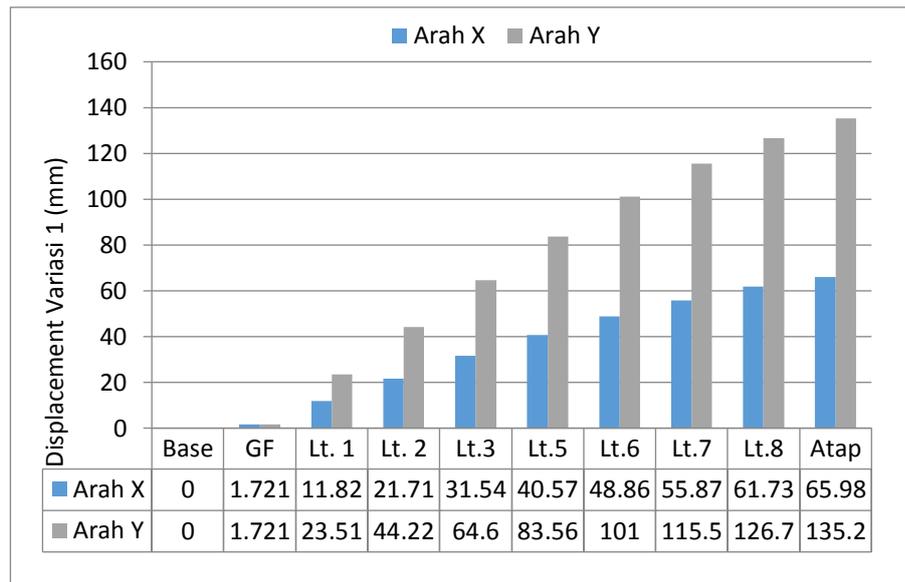
1. Eksisting



Gambar 4. 21 Displacement Eksisting Arah Sumbu X dan Sumbu Y

Displacement pada arah Y di pemodelan eksisting memiliki nilai yang lebih besar dari nilai *displacement* arah X. Jika diambil dari nilai *displacement* lantai tertinggi (lantai atap) bangunan, kenaikan yang terjadi sebesar 105,99%.

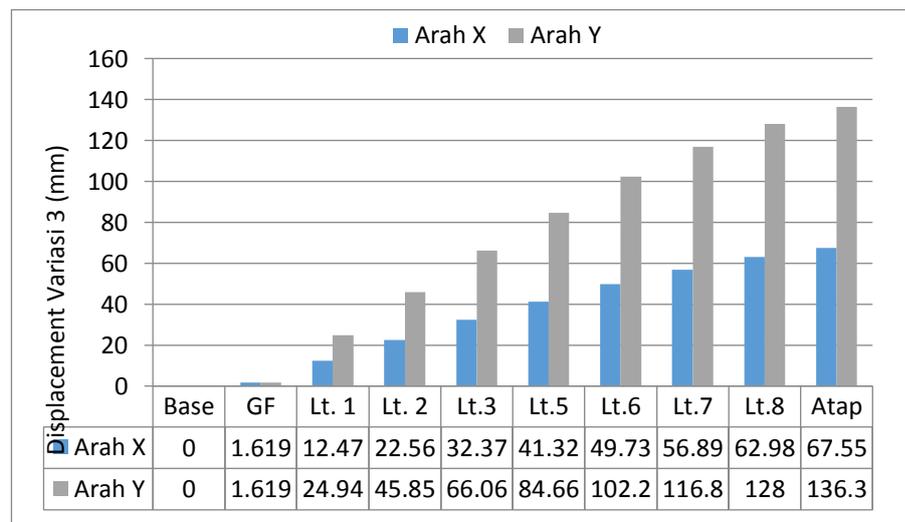
2. Variasi 1



Gambar 4. 22 Displacement Variasi 1 Arah Sumbu X dan Sumbu Y

Displacement pada arah Y di pemodelan eksisting memiliki nilai yang lebih besar dari nilai *displacement* arah X. Jika diambil dari nilai *displacement* lantai tertinggi (lantai atap) bangunan, kenaikan yang terjadi sebesar 104,99%.

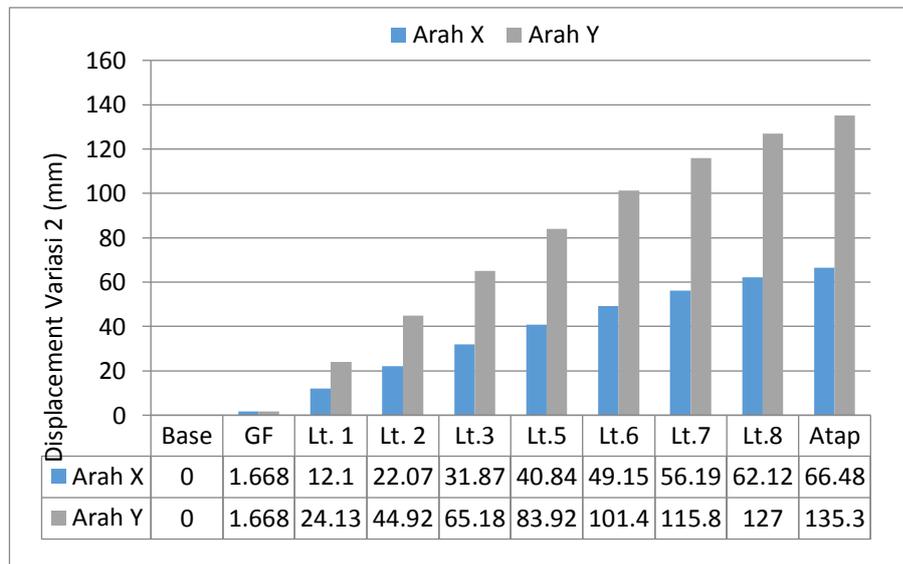
3. Variasi 2



Gambar 4. 23 Displacement Variasi 2 Arah Sumbu X dan Sumbu Y

Displacement pada arah Y variasi 2 memiliki nilai yang lebih besar dari nilai *displacement* arah X. Jika diambil dari nilai *displacement* lantai tertinggi (lantai atap) bangunan, kenaikan yang terjadi sebesar 103,45%.

4. Variasi 3



Gambar 4. 24 Displacement Variasi 3 Arah Sumbu X dan Sumbu Y

Displacement pada arah Y variasi 3 memiliki nilai yang lebih besar dari nilai *displacement* arah X. Jika diambil dari nilai *displacement* lantai tertinggi (lantai atap) bangunan, kenaikan yang terjadi sebesar 101,78%.

Berdasarkan data dari semua variasi, rata-rata nilai *displacement* arah Y lebih besar 104,05% dari nilai *displacement* arah X. Oleh karena itu, sumbu Y sebagai sumbu lemah bangunan terhadap gempa disebabkan oleh bangunan yang dijadikan objek penelitian mempunyai bentuk yang tidak simetris horizontal secara sempurna.

Hasil analisis *displacement* akan mempengaruhi kekakuan bangunan. Semakin kaku di salah satu arah maka semakin kecil nilai *displacement* yang akan terjadi. Pada kasus penelitian ini, nilai *displacement* lebih besar sumbu Y. Sehingga bangunan lebih siap menahan gempa dari arah X dan menghasilkan nilai *displacement* yang kecil bila dibandingkan dengan arah Y.

Selain itu, ketidakberaturan horizontal sistem nonparalel menyebabkan bangunan menjadi tidak stabil sehingga mempunyai perbedaan simpangan yang terpaut jauh antara sumbu X dengan sumbu Y. Besarnya selisih nilai antara arah X dan arah Y disebabkan oleh posisi *corewall* diletakan secara asimetris.

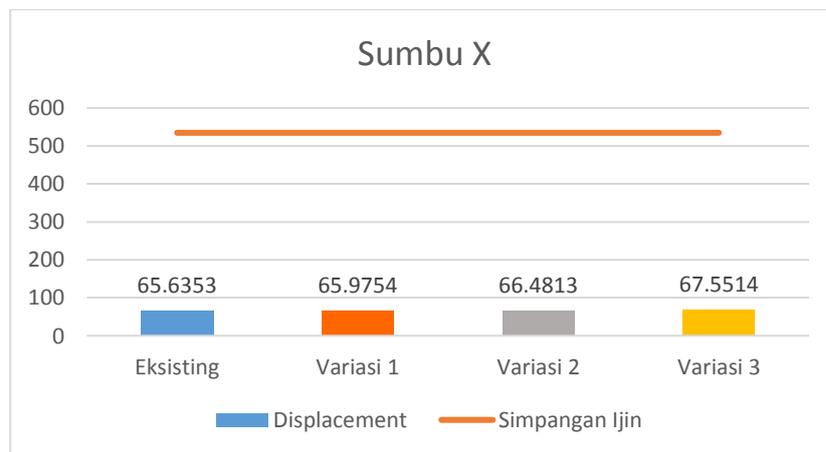
Seperti yang sudah dijelaskan pada bab 3.3.7.1, *corewall* yang merupakan inti bangunan pada objek penelitian ini, diletakan pada posisi arah Y lebih jauh dari titik nol (*origin*) dibandingkan dengan sumbu X yang lebih dekat dengan titik nol koordinat bangunan. Oleh sebab itu, hasil yang dikeluarkan pada sistem komputer ETABS menghasilkan nilai *displacement* yang lebih besar pada sumbu Y. Artinya, *corewall* yang ditempatkan tidak simetris menyebabkan kemampuan bangunan dalam menahan gaya gempa pada arah Y lebih kecil dibandingkan dengan kemampuan dari arah X.

Sesuai dengan SNI 1726-2012, nilai simpangan untuk semua variasi pemodelan arah X dan arah Y yang didapat tidak boleh melebihi nilai simpangan ijin yang ditinjau, dimana besarnya *displacement* yang ditinjau tidak boleh melampaui 0,015 dikali dengan tinggi bangunan. Hal ini dilakukan untuk menghindari bahaya simpangan yang berlebihan sehingga dapat menyebabkan keruntuhan pada bangunan. Berdasarkan hasil dari nilai simpangan untuk semua

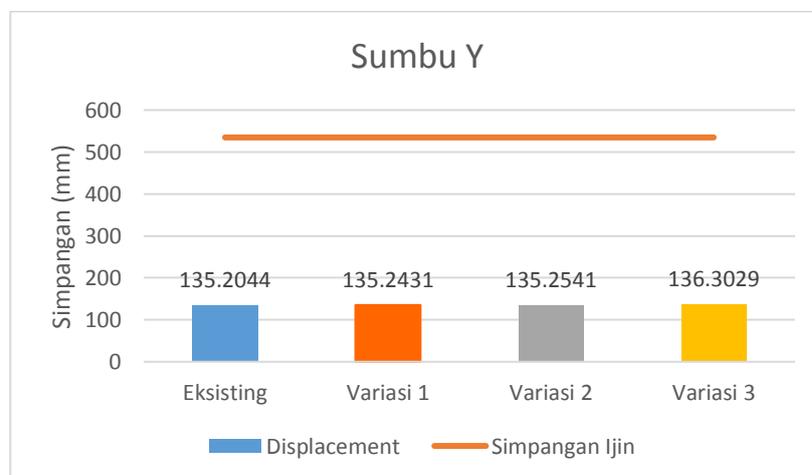
variasi pemodelan arah X dan arah Y masih dalam kategori aman sesuai dengan SNI 1726-2012. Berikut penjabaran nilai *displacement* terhadap simpangan ijin.

Tabel 4. 9 Simpangan izin bangunan

Kondisi Bangunan	Simpangan Ijin (mm)	Simpangan Arah X	Simpangan Arah Y	Keterangan	
				X	Y
Eksisting	534,75	65.6353	135.2044	Aman	Aman
Variasi 1	534,75	65.9754	135.2431	Aman	Aman
Variasi 2	534,75	66.4813	135.2541	Aman	Aman
Variasi 3	534,75	67.5514	136.3029	Aman	Aman



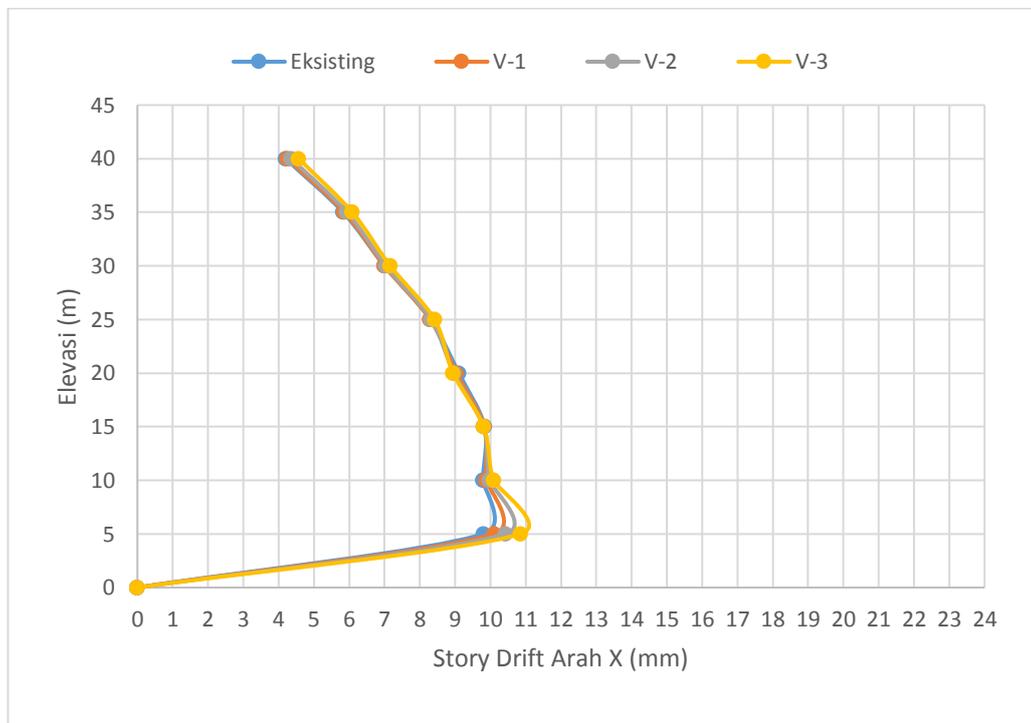
Gambar 4. 25 Simpangan Ijin Arah X



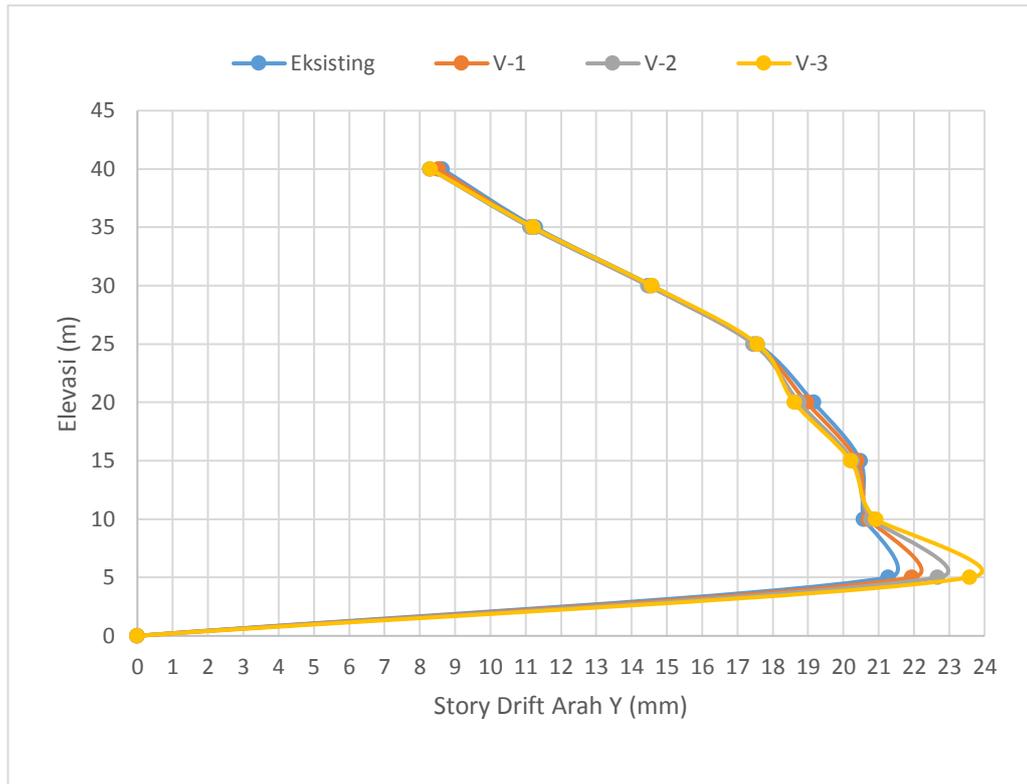
Gambar 4. 26 Simpangan Ijin Arah Y

4.2.4 Story Drift

Story drift adalah simpangan antar lantai yang diukur dari dasar lantai dibawahnya. Sama seperti *displacement*, hasil analisis dari *story drift* juga dapat dijadikan sebagai parameter untuk mengukur kekakuan struktur bangunan, namun dilihat dari setiap lantai pada bangunan tersebut. *Story drift* diukur untuk mengetahui keamanan bangunan terhadap kemungkinan terjadinya keruntuhan disetiap lantainya. Hasil nilai *story drift* untuk setiap kondisi bangunan akan dijabarkan pada Gambar 4.27 sebagai penggambaran arah X, dan Gambar 4.28 sebagai penggambaran arah Y berikut ini.



Gambar 4. 27 Story Drift Arah X



Gambar 4. 28 Story Drift Arah Y

Berdasarkan kedua grafik tersebut, nilai *story drift* bangunan eksisting menghasilkan nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan variasi pemodelan yang lain. Secara berurutan nilai *story drift* variasi 1, variasi 2, dan variasi 3 membesar. Terdapat persamaan lantai bangunan yang memiliki nilai *Story drift* terbesar pada sumbu X dengan sumbu Y, yaitu pada lantai *ground*. Dengan nilai *story drift* terbesar pada sumbu X 10,4 mm dan sumbu Y sebesar 22,6 mm. Perbedaan tersebut dikarenakan posisi *corewall* yang tidak simetris dan tidak beraturan system nonparallel, yang mana *corewall* pada arah Y lebih menjauhi titik nol pada koordinat, dibandingkan dengan arah X.

Letak perubahan nilai *drift* dari arah sumbu X dengan sumbu Y hampir sama, yang berbeda hanya besar nilai *drift* yang mana sumbu Y lebih besar dari

sumbu X. Oleh karena itu, analisis *drift* mengenai perubahan nilai ditinjau dari sumbu X dan sumbu Y.

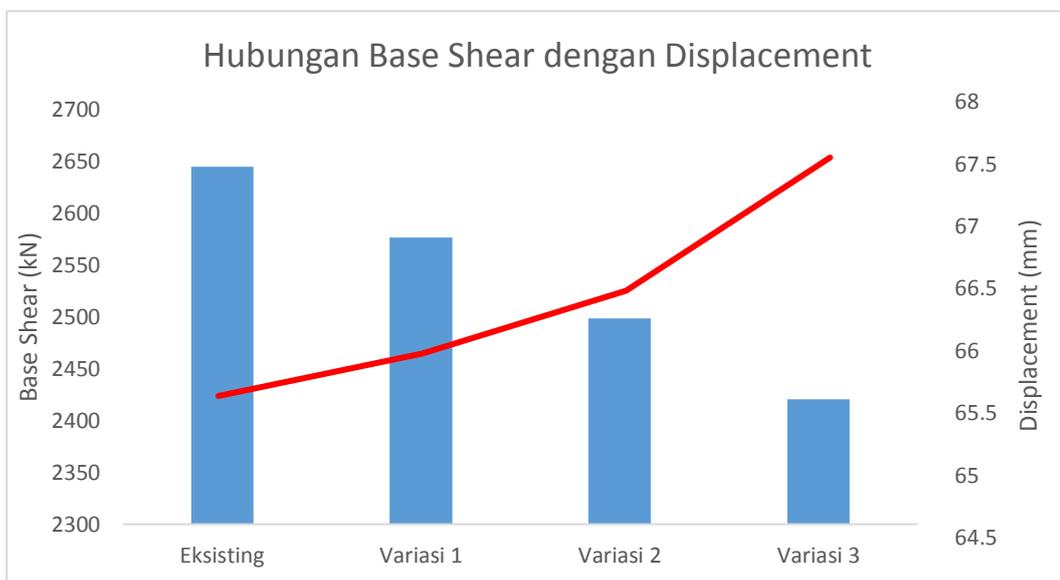
Nilai *drift* pada lantai basement merupakan nilai *drift* yang paling kecil. Hal itu disebabkan karena kondisi bangunan terdapat dinding penahan tanah yang mengelilingi sisi terluar bangunan. Dinding penahan tanah tersebut dapat meningkatkan kekakuan lantai sehingga nilai *drift* menjadi kecil. Gaya-gaya gempa yang terjadi pada lantai tersebut tersalurkan lebih baik dari sumbu x dan sumbu y dibandingkan lantai tingkat yang lainnya.

Hasil analisis *drift* pada lantai *ground* meningkat tajam. Hal itu disebabkan karena pada lantai *ground* mempunyai perbedaan ketinggian antar lantai yang terbesar. Hal ini pula yang menyebabkan ketidakberaturan vertikal *soft story*. Ketidakberaturan *soft story* dapat menurunkan kekakuan lantai sehingga nilai *drift* menjadi besar. Kemudian, hasil analisis *drift* selanjutnya adalah terjadi penurunan nilai *drift* secara linier pada lantai 1 sampai dengan lantai 8 menjadi semakin kecil.

Sesuai dengan SNI 1726-2012, nilai *drift* yang didapat tidak boleh melebihi *drift* limit yang ditinjau, dimana besarnya *story drift* yang ditinjau tidak boleh melampaui 0,02 dikali dengan tinggi tingkat. Hal ini dilakukan untuk menghindari bahaya keruntuhan pada struktur bangunan. Berdasarkan hasil kontrol *drift* yang dilakukan pada Lampiran.2, nilai *story drift* untuk semua variasi pada arah X dan arah Y dinyatakan aman.

4.3 Analisis Keseluruhan

Perubahan dimensi kolom tentu akan berpengaruh terhadap perilaku struktur yang berbeda terhadap gempa. Perilaku yang paling dapat terlihat adalah kekakuan kolom yang semakin menurun seiring dengan pengecilan dimensi kolom. Hal ini terlihat dari hasil analisis dari berbagai parameter respon bangunan terhadap gempa. Dari analisis didapatkan hasil yang sejalan, yaitu pengecilan dimensi kolom akan mengakibatkan kekakuan bangunan semakin menurun berdasarkan parameter *base shear*, *displacement*, *periode*, yang ditunjukkan pada gambar berikut.

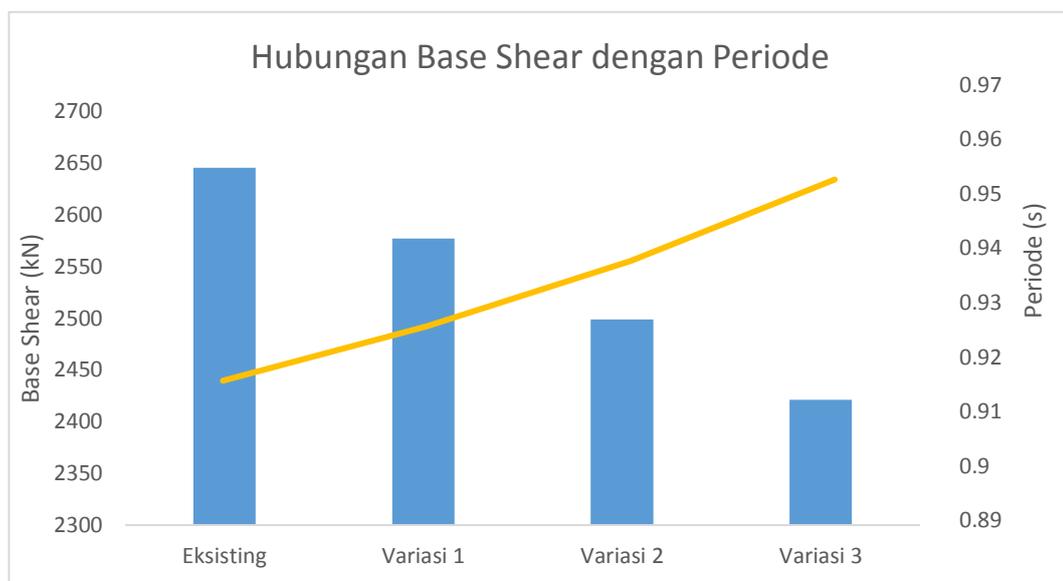


Gambar 4. 29 Hubungan *Base Shear* dengan *Displacement*

Berdasarkan grafik diatas, menunjukkan bahwa nilai *base shear* bertolak belakang dengan nilai *displacement*. Semakin kecil nilai *base shear*, maka akan semakin besar nilai *displacement*, dan juga sebaliknya. Oleh karena itu, base shear yang besar menunjukkan kinerja bangunan yang lebih baik dalam menahan gaya

gempa karena semakin besar nilai simpangan maka semakin berkurang kekakuan bangunan. Hal itu sejalan dengan berkurangnya massa yang ditunjukkan pada variasi ke 3 yaitu nilai *base shear* yang kecil mempunyai kekakuan yang kecil ditunjukkan dengan nilai *displacement* yang besar.

Selain itu, periode getar struktur juga mempengaruhi besar kecilnya nilai *base shear*. Grafik berikut menunjukkan bagaimana hubungan *base shear* dengan periode struktur yang dihasilkan pada semua variasi bangunan.



Gambar 4. 30 Hubungan *Base Shear* dengan Periode

Jika ditinjau dari kedua grafik, bangunan eksisting memiliki kinerja yang paling baik menerima beban gempa. Hal ini bisa dilihat dari nilai *base shear* bangunan eksisting yang mempunyai nilai tertinggi, simpangan yang paling terendah, dan periode yang paling rendah dibandingkan dengan variasi 1, variasi 2, dan variasi 3. Tingginya nilai *base shear* pada bangunan eksisting menghasilkan nilai simpangan yang kecil yang menyebabkan kekakuan bangunan menjadi lebih kuat dan kaku dibandingkan ketiga variasi lainnya.

Berat struktur bangunan juga mempengaruhi kekakuan. Bangunan eksisting mempunyai massa yang paling besar. Dimana bangunan eksisting tidak diberlakukan pengecilan dimensi kolom seperti pada variasi lainnya. Sehingga kekakuan pada bangunan yang memiliki massa bangunan terbesar menjadi lebih kuat.

Jika dilihat dari hasil *story drift*, nilainya berbanding lurus dengan nilai *displacement*. Hasil yang didapatkan yaitu semakin besar nilai *displacement*, maka simpangan antar lantai (*story drift*) akan semakin besar. Sebaliknya, semakin kecil nilai *displacement*, maka *story drift* akan semakin kecil. Nilai *story drift* dengan *displacement* yang saling berbanding lurus dikarenakan bangunan yang mempunyai kekakuan yang rendah akan menyebabkan simpangan dan simpangan antar tingkat semakin membesar nilainya.

Setelah ditinjau dari berbagai parameter, dapat ditarik kesimpulan bahwa perubahan dimensi kolom menjadi lebih kecil akan menurunkan kinerja bangunan. Meskipun demikian, penurunan kinerja bangunan masih dalam batas aman dari SNI 1726-2012.

Oleh karena itu, dugaan sementara yang menyebutkan bahwa dengan adanya perubahan dimensi kolom yang semakin kecil, maka bangunan ketidakberaturan horizontal *system nonparallel* mempunyai kemampuan yang lebih baik dalam menerima beban gempa yaitu salah. Hal tersebut disebabkan karena untuk meninjau besarnya beban gempa yang terjadi pada struktur bangunan juga harus dilihat dari kekakuan strukturnya. Sedangkan pada penelitian ini hanya fokus meninjau perubahan massa bangunan.

Perubahan dimensi kolom memang akan berpengaruh terhadap massa dan besarnya gaya gempa yang akan diterima oleh bangunan, akan tetapi semakin diperkecil dimensi kolom bangunan maka yang akan terjadi adalah kekakuan bangunan akan semakin kecil.

4.4 Keterbatasan Penelitian

Keterbatasan masalah yang dimiliki oleh penelitian ini yaitu masih terdapat beberapa elemen struktur balok yang mengalami *overstressed*. Penelitian ini tidak dilakukan *re-design* pada balok yang mengalami *overstressed* tersebut. Hal ini diakibatkan karena terdapat balok *prestressed* jenis *post tension* yang tidak dimasukkan ke dalam analisis.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pemodelan dengan variasi dimensi kolom pada bangunan yang mempunyai ketidakberaturan sistem nonparalel, dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Variasi dimensi kolom pada perilaku struktur bangunan dengan ketidakberaturan horizontal *system nonparallel* akan mempengaruhi perilaku bangunan terhadap gempa yaitu menurunkan kekakuan bangunan. Penurunan kekakuan bangunan dilihat dari hasil parameter seperti dapat memperkecil gaya aksial pada struktur, memperbesar periode getar struktur, memperkecil nilai *base shear*, dan memperbesar nilai *displacement*.
2. Perbedaan perilaku struktur bangunan tidak beraturan system non paralel yang telah divariasikan dimensi kolomnya menunjukkan pengurangan massa pada bangunan akan menyebabkan kekakuan bangunan semakin kecil. Hal tersebut dibuktikan dengan bangunan eksisting sebagai variasi yang tidak mengalami pengurangan dimensi kolom sehingga tidak berkurang massa bangunannya mempunyai kekakuan bangunan yang lebih besar jika dibandingkan dengan variasi pemodelan yang lain. Hal tersebut ditinjau berdasarkan parameter *base shear*, *periode displacement*, dan *story drift*.

3. Variasi pengecilan dimensi kolom yang direncanakan masih dalam batas aman sesuai dengan simpangan ijin dan batas aman *drift* dari SNI 1726-2012 yang ditinjau dari parameter *displacement* dan *story drift* nya.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, maka saran yang dapat diberikan antara lain :

1. Untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih optimal sebaiknya melakukan *re-design* terhadap elemen struktur balok yang mengalami *overstressed*.
2. Perlu dilakukan analisis mengenai komposisi yang tepat antara perubahan massa dengan perubahan kekakuan struktur bangunan.
3. Perlu dilakukan analisis pada kondisi bangunan yang lebih tinggi, dengan posisi dinding geser atau *core wall* tidak berada dipusat masa dengan mempertimbangkan letak lantai secara vertical dimana kolom akan diperkecil dimensinya.
4. Perlu dilakukan analisis pada kondisi bangunan dengan ketidakberaturan vertikal.
5. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk wilayah gempa yang beragam.
6. Perlu dilakukan analisis dengan metode yang berbeda seperti metode *time history* untuk dapat membandingkan hasil analisis yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2013). Struktur Beton. <http://www.ilmutekniksipil.com/struktur-beton/struktur-kolom>. Diakses 8 April 2013 Pukul10:06.
- Anonim. (2013). Struktur Kolom. <https://www.ilmutekniksipil.com/struktur-beton/struktur-kolom>. Diakses tanggal 14 Oktober 2017.
- Astuti, P. (2004). *Perilaku Struktur Gedung 18 Lantai dengan Dinding Geser Sebagai Penahan Gaya Gempa (Studi Kasus Apartemen Dan Kondotel Mataram City Yogyakarta)*. [SKRIPSI]. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Badan Standarisasi Nasional. (1989). *Pembebanan untuk Rumah dan Gedung SNI 03-1727-1989*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). *Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain SNI 1727:2013*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung SNI 2847:2013*. Jakarta.
- Computer and Structures Inc. (2007). *Manual For Analysis & Design Using ETABS*. Dubai: Atkins.
- Cornelis, R., Bunganaen, W., & Umbu Tay, 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 Vol. III, No. 2*, 205-216.
- Departemen Pekerjaan Umum Ditjen Cipta Karya. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*. Bandung.
- Dipohusodo, I. (1999). *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Hasan, A., & Astira, I. F. (2013). Analisis Perbandingan Simpangan Lateral Bangunan Tinggi dengan Variasi Bentuk dan Posisi Dinding Geser Studi Kasus: Proyek Apartemen The Royal Sprighill Residences. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, Vol.1 No.1.
- Indarto, H. (2013). *Aplikasi SNI Gempa 1726:2012 for Dummies*. Semarang: Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang.

- Insani, S. N., Tjaronge, W., & Tanijaya., J. (n.d.). Pengaruh Jarak Sengkang dengan Variasi Kuat Tekan pada Kolom.
- Juwana, J. S. (2005). *Panduan Sistem Bangunan Tinggi untuk Arsitek dan Praktisi Bangunan*. Jakarta: Erlangga.
- Khaq, G. (2016). *Studi perilaku struktur bangunan dengan variasi dimensi kolom akibat beban gempa :Studi kasus Satrio Tower Jakarta*. Jakarta: Prodi Pendidikan Teknik Bangunan Jurusan Teknik Sipil FT UNJ.
- Kuncoro, W. T. (2010). *Perubahan Nilai Simpangan Horizontal Bangunan Bertingkat Setelah Pemasangan Dinding Geser pada Tiap Sudutnya. [SKRIPSI]*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Kusuma, G. (1993). *Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Kusuma, V. A. (2010). *Evaluasi Sisa Material pada Proyek Gedung Pendidikan dan Laboratorium 8 Lantai Fakultas Kedokteran UNS Tahap 1. [SKRIPSI]*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Majore, B. O. (2015). Studi Perbandingan Respon Dinamik Bangunan Bertingkat Banyak dengan Variasi Tata Letak Dinding Geser. *Jurnal Sipil Statik Vol.3 No.6 ISSN: 2337-6732*, 435-446.
- Muin, R. B. (2011). Jenis-jenis Kolom Beton Bertulang. <http://www.ilmusipil.com/jenis-jenis-kolom-beton-bertulang>. Diakses 7 April 2015.
- Muto, K. (1993). *Analisis Perancangan Gedung Tahan Gempa*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Nawy, E. G. (1998). *Beton Bertulang : Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: PT. Refika Aditama.
- Paulay, T. P. (1992). *Seismic Design Of Reinforced Concrete And Masonry Building*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Prasetya, T. (2006). *Gempa Bumi*. Yogyakarta: Gitanagari.
- Purba, H. L. (2014). Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Beraturan dan Tidak Beraturan Horizontal Sesuai SNI 03-1726-2002. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, Vol. 2 No.4 Hal 710-717.

- Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman, K. (http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/). Desain Spektra Indonesia. Diakses pada tanggal 25 April 2017.
- Riza, M. M. (2014). Konsep Desain Strong Column Weak Beam. <http://www.perencanaanstruktur.com/2014/08/konsep-desain-strong-column-weak-beam.html>. Diakses pada tanggal 17 April 2017.
- Saryudi, M. (2016). Pengaruh Core terhadap Kinerja Seismik Gedung Bertingkat. *Teknik Sipil Itenas Vol.2 No.1*, 1.
- Schodek, D. L. (1998). *Struktur*. Refika Aditama.
- Schueller, W. (2001). *Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi*. Bandung: Refika Aditama.
- Setiawan, S. R. (2017). Infrastruktur Lebih Baik, Pertumbuhan Ekonomi Indonesia Bisa Lebih Tinggi. <http://ekonomi.kompas.com/read/2017/10/03/183000526/infrastruktur-lebih-baik-pertumbuhan-ekonomi-indonesia-bisa-lebih-tinggi>. Diakses (14 Oktober 2017).
- Sudarsana, I. K. (2010). Analisis Pengaruh Konfigurasi Tulangan Terhadap Kekuatan dan Daktilitas Kolom Beton Bertulang. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Vol. 14, No.1*, 57–68.
- Suryanita, R., & Sarfika, H. (2007). Respond Struktur SDOF Akibat Beban Sinusoidal dengan Metode Integral Duhamel. *Jurnal Teknik Sipil Volume 7 No. 3*, 266 – 278.
- Widodo. (2000). *Respons Dinamik Struktur Elastik*. Yogyakarta: UII Press.

LAMPIRAN

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

Berikut ini adalah perbandingan *base shear* yang terjadi pada setiap kondisi bangunan.

Variasi	Base Shear	
	Arah X (kN)	Arah Y (kN)
Eksisting	206.16	425.41
Variasi 1	203.82	418.18
Variasi 2	201.53	410.57
Variasi 3	199.19	402.25

Nilai akhir *base shear* akibat analisis respons spectrum tidak boleh kurang dari 85% dari nilai *base shear* akibat pembebanan gempa nominal, maka perlu di evaluasi lebih lanjut pada setiap kondisi bangunan.

Setiap kondisi variasi bangunan memiliki nilai yang sama diantaranya parameter percepatan respon spectral periode panjang (S_{D1}) sebesar 0,3592, koefisien modifikasi respons (R) yaitu 8, faktor keutamaan gempa (I) sebesar 1, dan faktor skala (FS) yaitu 1,2263. Berikut ini adalah perhitungannya

a. Eksisting

Dengan,

$$T = 0,915625 \text{ detik}$$

$$W_t = 63456,11 \text{ kN}$$

Maka :

$$V_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} W_t = \frac{0,3592}{0,915625\left(\frac{8}{1}\right)} 63456,11 = 3111,731897 \text{ kN}$$

$$V \geq 0,85 V_s$$

$$V_x : 206,16 \text{ kN} \leq 2644,97211 \text{ kN}$$

$$V_y : 425,41 \text{ kN} \leq 2644,97211 \text{ kN}$$

Kedua arah *base shear* tidak memenuhi syarat, maka perlu diskalakan kembali menjadi:

$$FS = g \frac{I}{R} = 9,81 \times \frac{1}{8} = 1,2263$$

$$RSPX \text{ Arah U1} = \frac{0,85V_s}{V} \times FS = \frac{2644,97211}{206,16} \times 1,2263 = 15,733068$$

$$RSPX \text{ Arah U2} = 30\% \times RSPX \text{ arah U1} = 4,71992$$

$$RSPY \text{ Arah U2} = \frac{0,85V_s}{V} \times FS = \frac{2644,97211}{425,41} \times 1,2263 = 7,62447827$$

$$RSPY \text{ Arah U1} = 30\% \times RSPY \text{ arah U2} = 2,287343$$

Berdasarkan perhitungan sebelumnya, maka dapat disimpulkan nilai faktor skala yang akan digunakan seperti di dalam tabel berikut ini.

Kasus	Arah	Faktor Skala Awal	Faktor Skala Terkoreksi
RSPX	U1	1.2263	15.73306
	U2	0.3679	4.71992
RSPY	U1	0.3679	2.28734
	U2	1.2263	7.62447

Berdasarkan faktor skala yang sudah terkoreksi di dapatkan gaya geser dasar arah X sebesar 2645,07 kN dan arah Y sebesar 2671,84 kN.

b. Variasi 1

Dengan,

$$T = 0,925558 \text{ detik}$$

$$W_t = 62328,78 \text{ kN}$$

Maka :

$$V_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} W_t = \frac{0,3592}{0,925558\left(\frac{8}{1}\right)} 62328,78 = 3023,648677 \text{ kN}$$

$$V \geq 0,85 V_s$$

$$V_x : 203,82 \text{ kN} \leq 2570,101375 \text{ kN}$$

$$V_y : 418,18 \text{ kN} \leq 2570,101375 \text{ kN}$$

Kedua arah *base shear* tidak memenuhi syarat, maka perlu diskalakan kembali menjadi:

$$FS = g \frac{I}{R} = 9,81 \times \frac{1}{8} = 1,2263$$

$$RSPX \text{ Arah U1} = \frac{0,85V_s}{V} \times FS = \frac{2570,10138}{203,82} \times 1,2263 = 15,4632289$$

$$RSPX \text{ Arah U2} = 30\% \times RSPX \text{ arah U1} = 4,638969$$

$$RSPY \text{ Arah U2} = \frac{0,85V_s}{V} \times FS = \frac{2570,10138}{418,18} \times 1,2263 = 7,53674331$$

$$RSPY \text{ Arah U1} = 30\% \times RSPY \text{ arah U2} = 2,261023$$

Berdasarkan perhitungan sebelumnya, maka dapat disimpulkan nilai faktor skala yang akan digunakan seperti di dalam table berikut ini.

Kasus	Arah	Faktor Skala Awal	Faktor Skala Terkoreksi
RSPX	U1	1.2263	15.46323
	U2	0.3679	4.63896
RSPY	U1	0.3679	2.26102
	U2	1.2263	7.53674

Berdasarkan faktor skala yang sudah terkoreksi di dapatkan gaya geser dasar arah X sebesar 2576,85 kN dan arah Y sebesar 2571,81 kN.

c. Variasi 2

Dengan,

$$T = 0,937608 \text{ detik}$$

$$W_t = 61266,1 \text{ kN}$$

Maka :

$$V_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} W_t = \frac{0,3592}{0,937608\left(\frac{8}{1}\right)} 61266,1 = 2933,89986 \text{ kN}$$

$$V \geq 0,85 V_s$$

$$V_x : 201,53 \text{ kN} \leq 2493,814881 \text{ kN}$$

$$V_y : 410,57 \text{ kN} \leq 2493,814881 \text{ kN}$$

Kedua arah *base shear* tidak memenuhi syarat, maka perlu diskalakan kembali menjadi:

$$FS = g \frac{I}{R} = 9,81 \times \frac{1}{8} = 1,2263$$

$$RSPX \text{ Arah U1} = \frac{0,85V_s}{V} \times FS = \frac{2493,81488}{201,53} \times 1,2263 = 15,1747392$$

$$RSPX \text{ Arah U2} = 30\% \times RSPX \text{ arah U1} = 4,552422$$

$$RSPY \text{ Arah U2} = \frac{0,85V_s}{V} \times FS = \frac{2493,81488}{410,57} \times 1,2263 = 7,44858414$$

$$RSPY \text{ Arah U1} = 30\% \times RSPY \text{ arah U2} = 2,234575$$

Berdasarkan perhitungan sebelumnya, maka dapat disimpulkan nilai faktor skala yang akan digunakan seperti di dalam table berikut ini.

Kasus	Arah	Faktor Skala Awal	Faktor Skala Terkoreksi
RSPX	U1	1.2263	15.17474
	U2	0.3679	4.55242

RSPY	U1	0.3679	2.23457
	U2	1.2263	7.44858

Berdasarkan faktor skala yang sudah terkoreksi di dapatkan gaya geser dasar arah X sebesar 2498,63 kN dan arah Y sebesar 2494,9 kN.

d. Variasi 3

Dengan,

$$T = 0,952567 \text{ detik}$$

$$W_t = 60268,08 \text{ kN}$$

Maka :

$$V_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} W_t = \frac{0,3592}{0,0,952567\left(\frac{8}{1}\right)} 60268,08 = 2840,783685 \text{ kN}$$

$$V \geq 0,85 V_s$$

$$V_x : 199,19 \text{ kN} \leq 2414,666132 \text{ kN}$$

$$V_y : 402,25 \text{ kN} \leq 2414,666132 \text{ kN}$$

Kedua arah *base shear* tidak memenuhi syarat, maka perlu diskalakan kembali menjadi:

$$FS = g \frac{I}{R} = 9,81 \times \frac{1}{8} = 1,2263$$

$$RSPX \text{ Arah } U1 = \frac{0,85V_s}{V} \times FS = \frac{2414,66613}{199,19} \times 1,2263 = 14,8657316$$

$$RSPX \text{ Arah } U2 = 30\% \times RSPX \text{ arah } U1 = 4,459719$$

$$RSPY \text{ Arah } U2 = \frac{0,85V_s}{V} \times FS = \frac{2414,66613}{402,25} \times 1,2263 = 7,36135507$$

$$RSPY \text{ Arah } U1 = 30\% \times RSPY \text{ arah } U2 = 2,208407$$

Berdasarkan perhitungan sebelumnya, maka dapat disimpulkan nilai faktor skala yang akan digunakan seperti di dalam table berikut ini.

Kasus	Arah	Faktor Skala Awal	Faktor Skala Terkoreksi
RSPX	U1	1.2263	14.86573
	U2	0.3679	4.45972
RSPY	U1	0.3679	2.20840
	U2	1.2263	7.36135

Berdasarkan faktor skala yang sudah terkoreksi di dapatkan gaya geser dasar arah X sebesar 2420,77 kN dan arah Y sebesar 2427,91 kN.

Lampiran 3. Gaya Momen dan Aksial K1 (Kolom C25) dan K2 (Kolom C27)

1. Gaya Aksial dan Momen Kolom K1

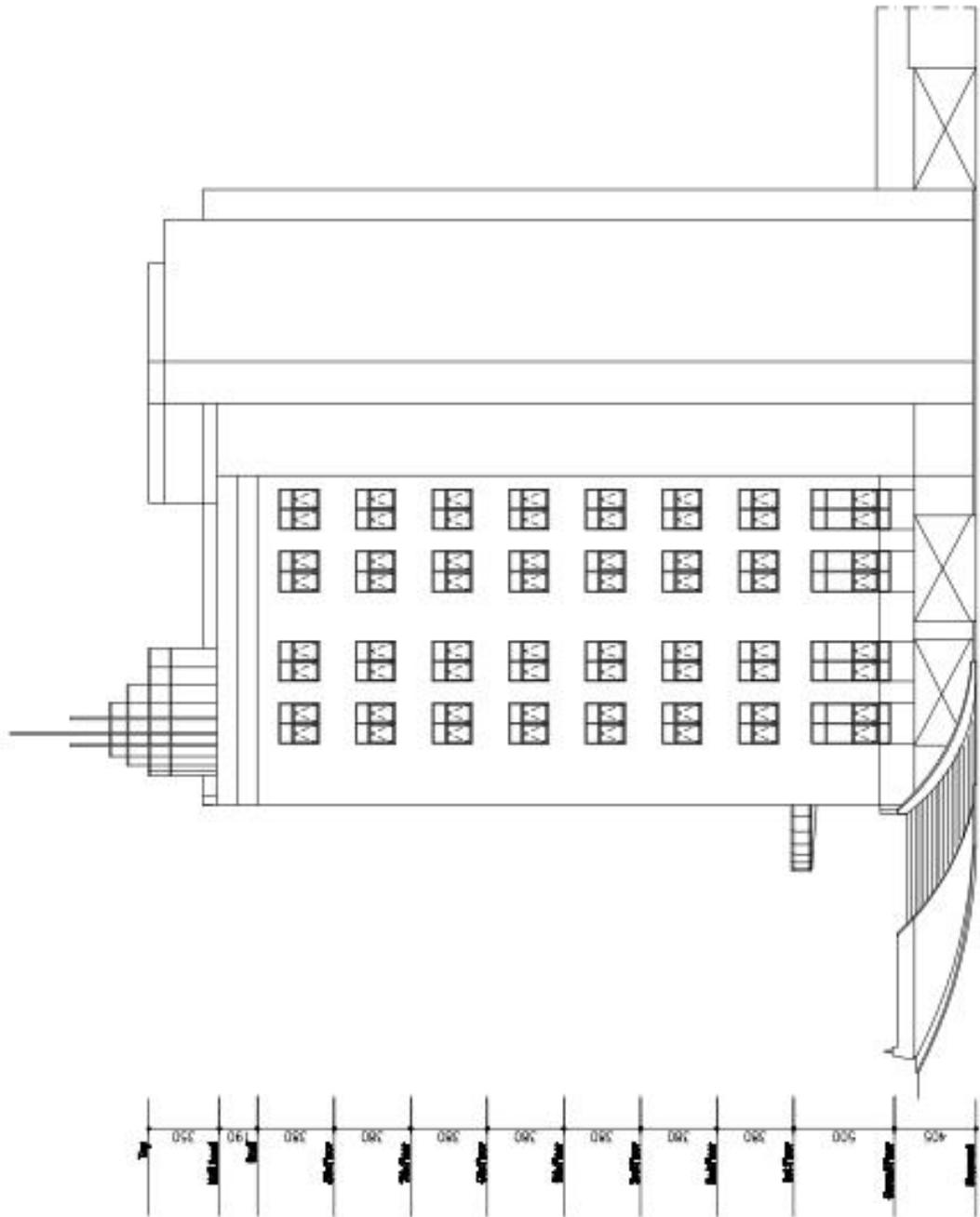
Lantai	Gaya Aksial K1			
	Eksisting	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
Roof	844.61	826.03	808.74	792.97
Lt.8	1860.14	1820.47	1782.65	1747.27
Lt.7	2919.77	2857.78	2797.9	2741.27
Lt.6	4020.88	3935.08	3851.36	3771.55
Lt.5	5187.5	5075.08	4964.36	4858.07
Lt.3	6380.62	6241.99	6104.42	5971.65
Lt.2	7589.48	7426.59	7263.75	7105.68
Lt.1	8833.63	8648.08	8461.73	8280.09
Ground	9102.04	8904.56	8708.3	8518.01

Lantai	Momen K1			
	Eksisting	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
Roof	776.974	758.883	736.53	708.712
Lt.8	501.802	483.927	470.301	461.703
Lt.7	522.764	502.712	484.606	468.376
Lt.6	546.765	523.675	502.617	483.918
Lt.5	599.157	579.55	561.615	545.964
Lt.3	550.862	532.319	514.259	497.22
Lt.2	517.454	506.429	497.447	489.266
Lt.1	569.324	535.616	507.663	488.959
Ground	632.716	594.932	561.576	535.363

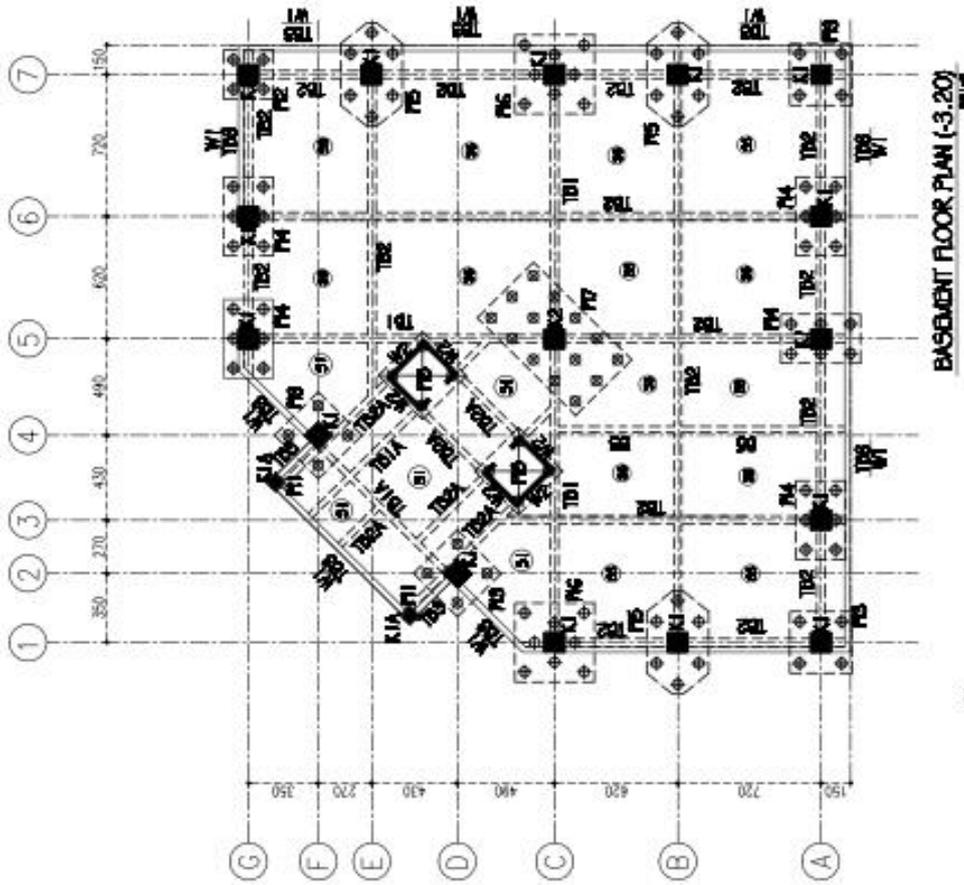
2. Gaya Aksial dan Momen Kolom K2

Lantai	Gaya Aksial K2			
	Eksisting	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
Roof	1413.98	1402.83	1394.17	1389.01
Lt.8	3001.54	2969.39	2940.41	2916.2
Lt.7	4584.72	4531.4	4481.64	4437.45
Lt.6	6172.17	6098.48	6028.95	5966.12
Lt.5	7843.38	7745.55	7652	7565.64
Lt.3	9512.73	9391.15	9273.87	9164.02
Lt.2	11180.79	11037.27	10898.21	10767.01
Lt.1	12902.13	12734.18	12571.34	12417.3
Ground	14530.48	14345.47	14166.57	13997.72

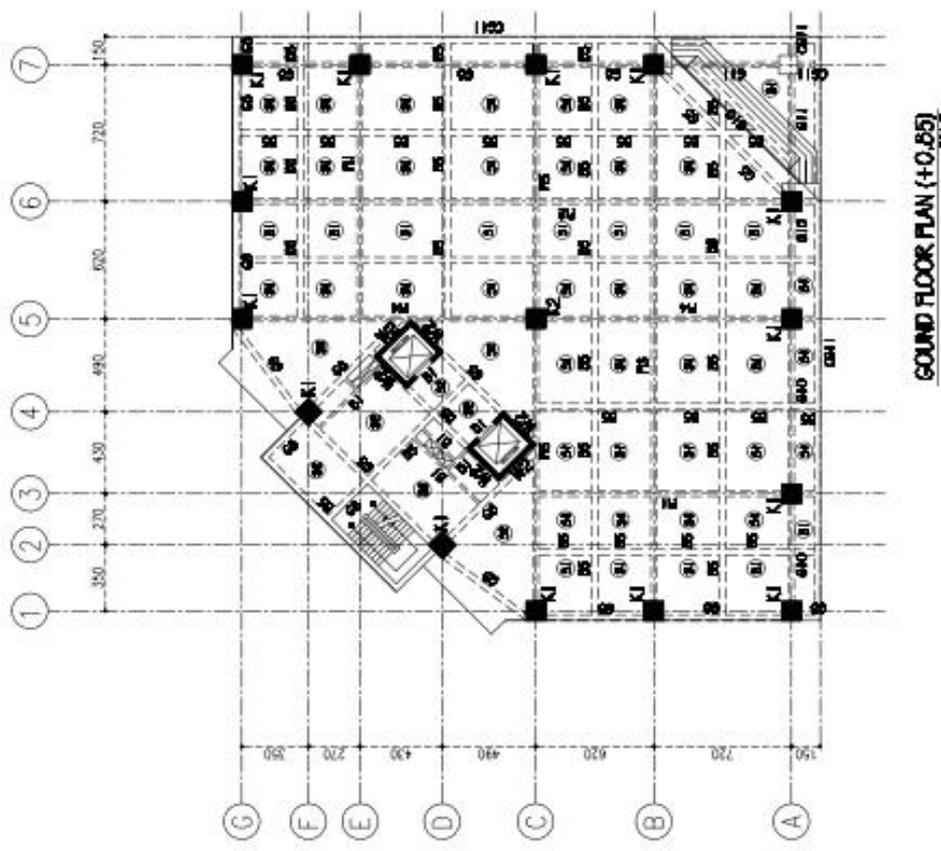
Lantai	Momen K2			
	Eksisting	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
Roof	753.712	730.925	702.268	667.209
Lt.8	822.212	816.087	812.763	812.906
Lt.7	831.772	830.586	829.195	827.628
Lt.6	656.016	632.439	610.567	591.102
Lt.5	890.074	873.445	861.547	856.49
Lt.3	941.824	907.3	878.207	855.769
Lt.2	1133.099	1084.091	1040.049	1002.972
Lt.1	1396.287	1324.43	1259.211	1203.139
Ground	927.931	828.891	742.854	670.246



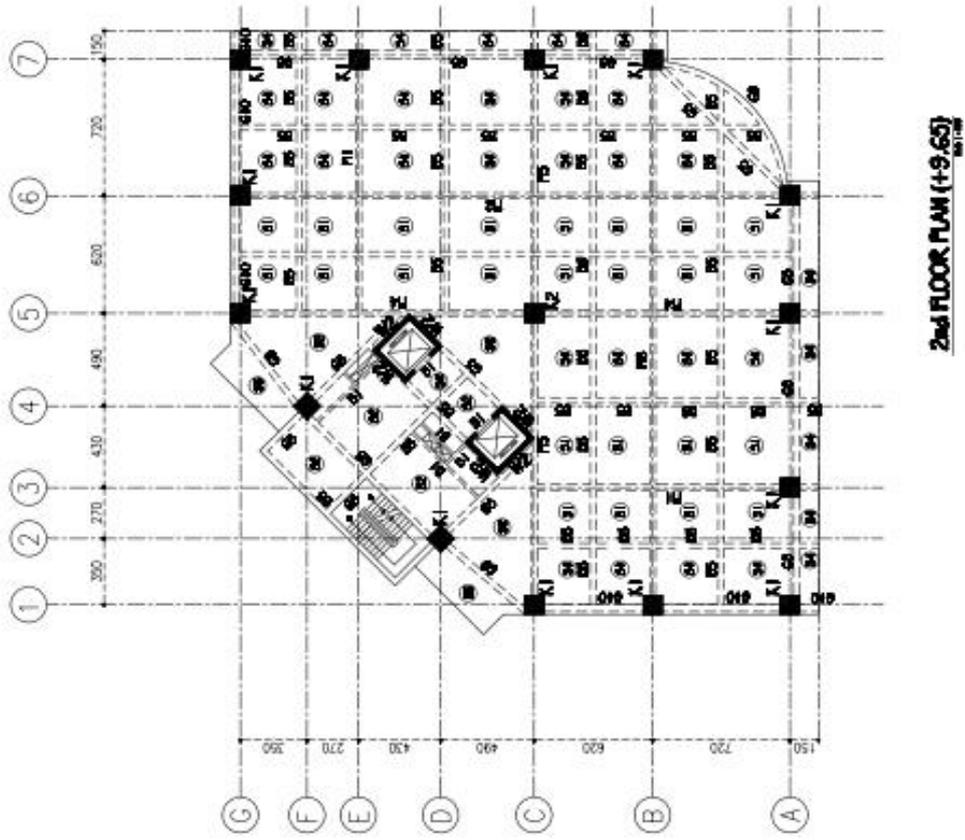
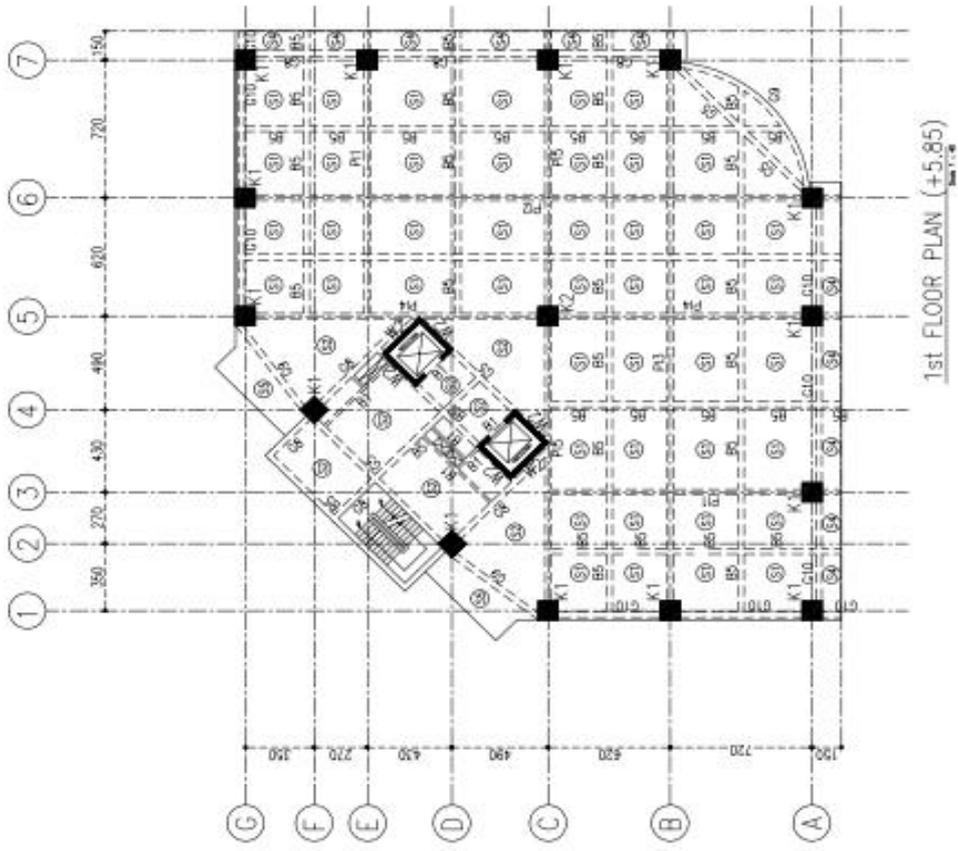
TAMPAK SAMBUNG
1
A300

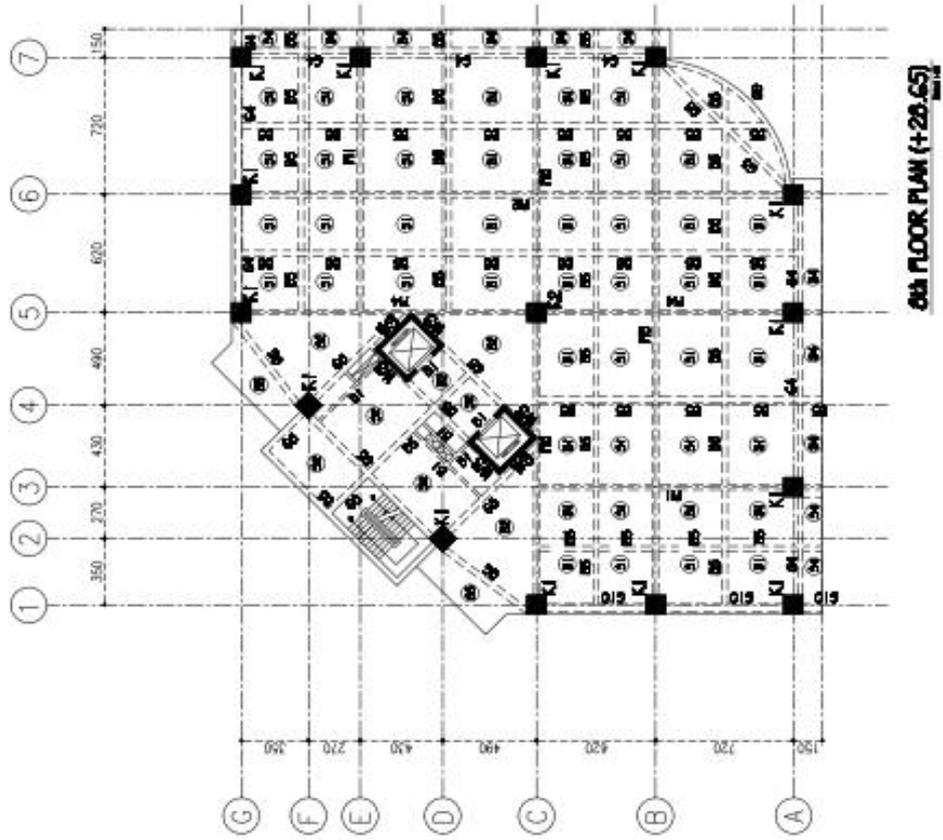


BASMENT FLOOR PLAN (-3.20)

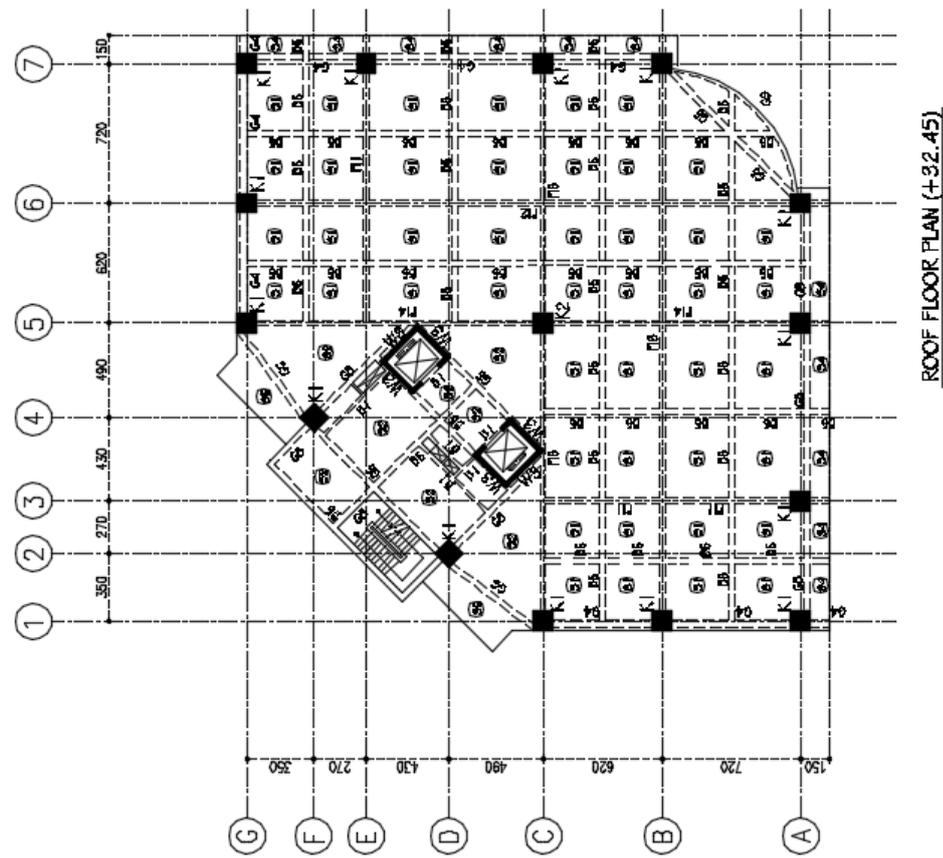


GROUND FLOOR PLAN (+0.85)



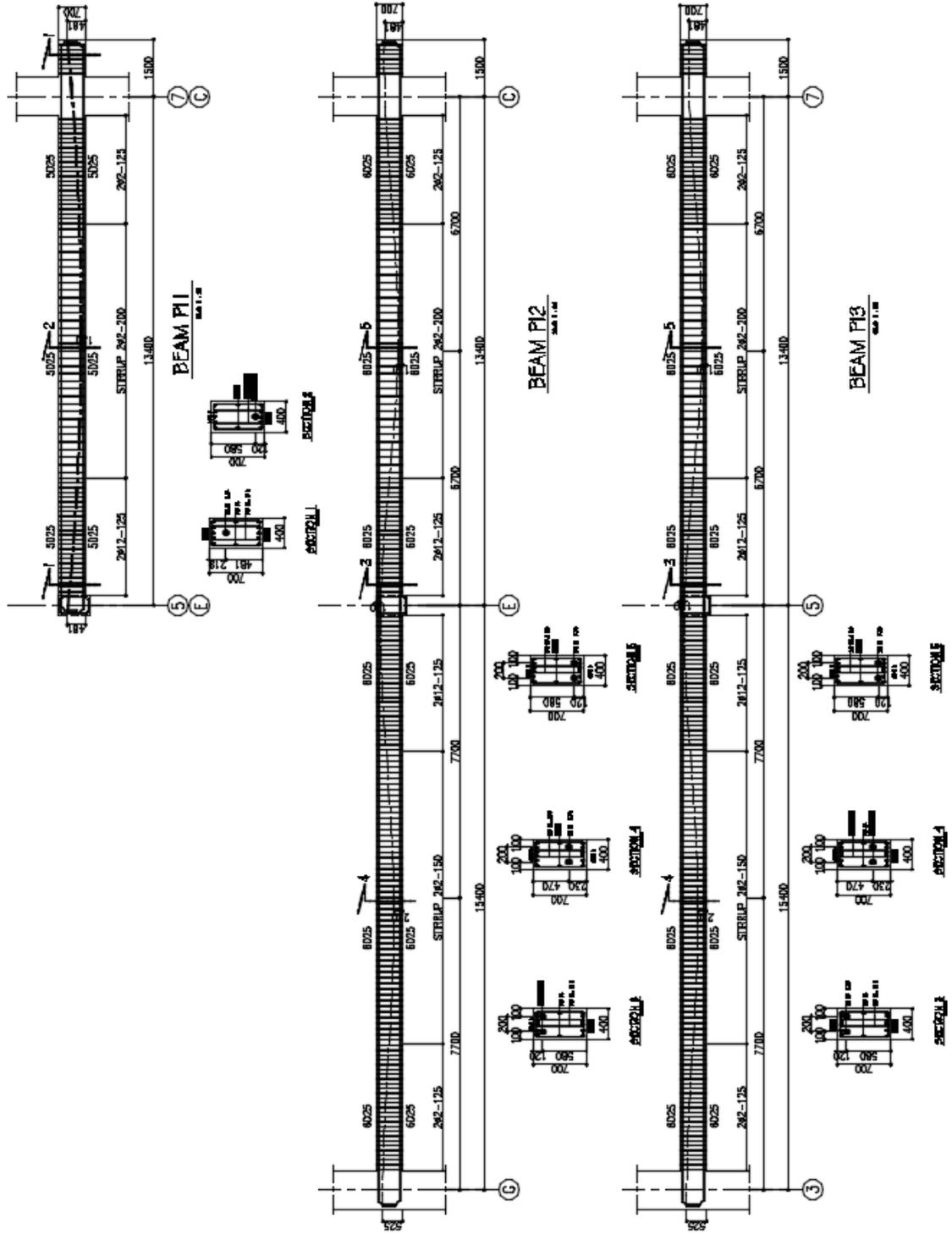


0th FLOOR PLAN (+20.65)

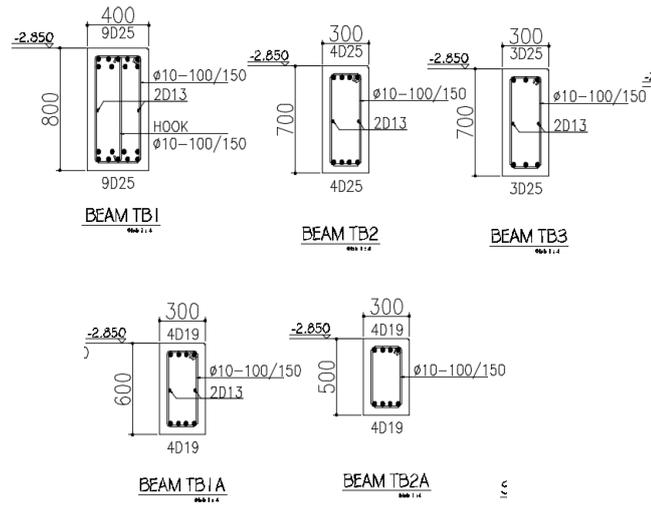


ROOF FLOOR PLAN (+32.45)

Balok Post-Tensioned



Balok Basement



Kolom

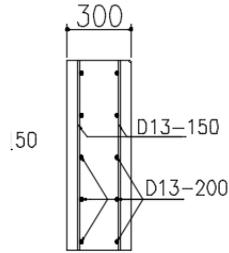
TYPE	(1000x1000)	(900x900)	(900x900)	(800x800)
K1				
TUL. UTAMA	2-4D25	2-4D25	2-4D25	1-4D25
SEKELANG	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-150	Ø10-150
HOOKS	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-150	Ø10-150
POS. LANTAI	LT. BASEMENT 5D LT. 5	LT. 5 5D LT. 5	LT. 5 5D LT. 7	LT. 7 5D LT. ROOF

TYPE	(1250x1250)	(1000x1000)	(1000x1000)	(1000x1000)	(800x800)
K2					
TUL. UTAMA	2-4D25	2-4D25	2-4D25	2-4D25	1-4D25
SEKELANG	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-150	Ø10-150
HOOKS	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-150	Ø10-150
POS. LANTAI	LT. BASEMENT 5D LT. 5	LT. 5 5D LT. 4	LT. 4 5D LT. 5	LT. 5 5D LT. 7	LT. 7 5D LT. ROOF

TYPE	(450x450)
K1A	
TUL. UTAMA	1-4D19
SEKELANG	Ø10-100
HOOKS	Ø10-100
POS. LANTAI	LT. BASEMENT

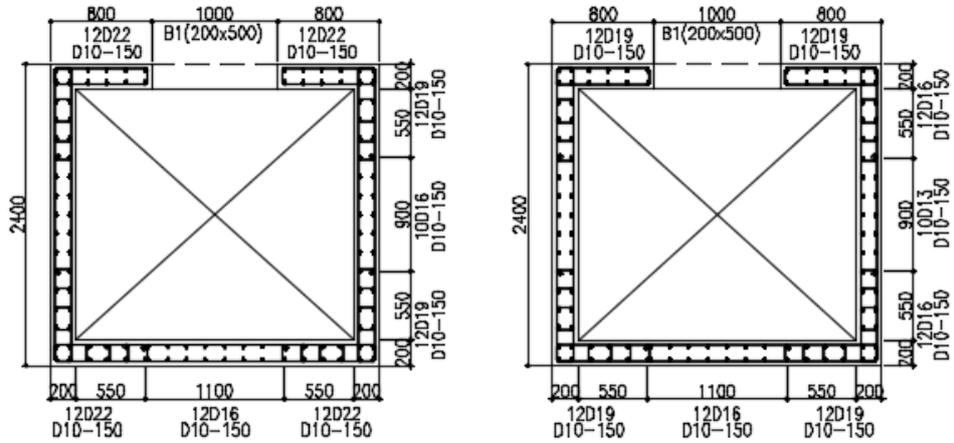
TYPE	(200x300)
KL1	
TUL. UTAMA	4D22
SEKELANG	Ø10-100
HOOKS	Ø10-100
POS. LANTAI	LT. BASEMENT 5D LT. ROOF

Potongan Dinding Penahan Tanah



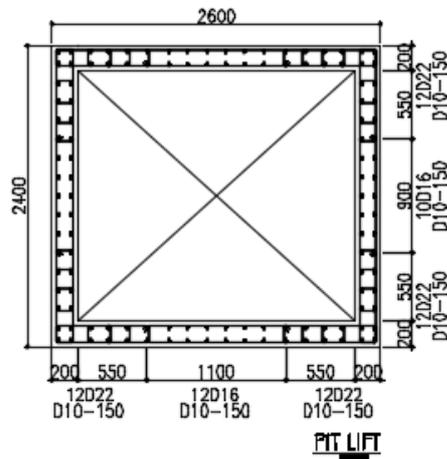
SECTION WALL (W1)
Scale 1:4

Potongan Corewall



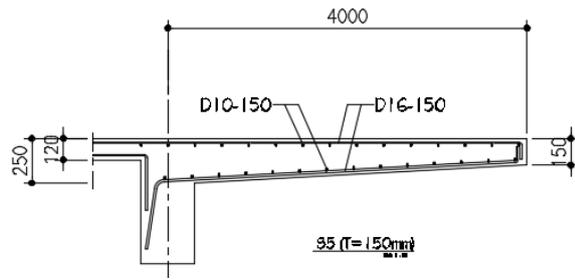
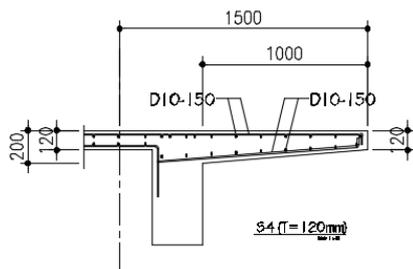
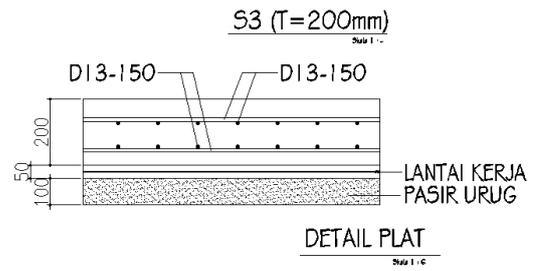
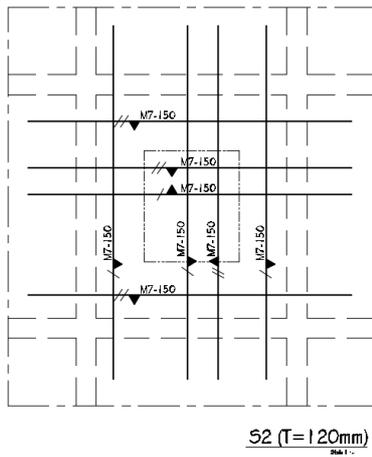
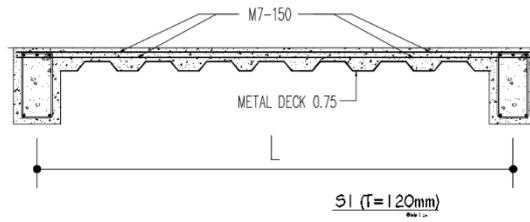
WALL (W2)

WALL (W3)



PIT LIFT

Pelat Lantai



Lampiran 5. Modul Pembuatan Model Bangunan dengan Software ETABS versi 9.7.4

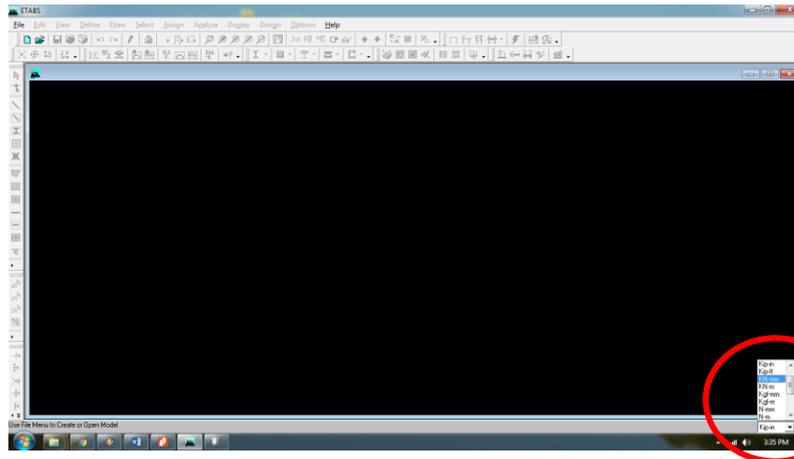
MODUL PEMBUATAN MODEL BANGUNAN DENGAN *SOFTWARE* ETABS VERSI 9.7.4

Model Bangunan yang digunakan adalah bangunan Wisma Cipinang Indah yang terletak di Jalan Tarum Barat/Kalimalang, Kelurahan Pondok Bambu, Kecamatan Duren Sawit, Jakarta Timur. Adapun keterbatasan penulis dalam membuat pemodelan sebagai berikut :

1. Tidak memasukan konfigurasi tulangan balok, plat, dan dinding. Pada ETABS hanya menyediakan konfigurasi tulangan pada kolom dan tidak bisa memasukan pengaturan tulangan pada balok, plat dan dinding.
2. Mempertimbangkan beban tanah pada *basement* dengan meng-*input* beban tanah sebagai beban merata karena keterbatasan *software* ETABS.
3. Hanya memasukan ketebalan struktur plat yang seragam karena keterbatasan *software* ETABS. Apabila terdapat perbedaan ketebalan plat, maka diambil rata-rata ketebalan plat tersebut.
4. Mengabaikan system *prestressed* pada balok dikarenakan pemahaman penulis yang tidak cukup untuk menganalisis balok tersebut. Oleh karena itu, balok yang digunakan menggunakan struktur balok konvensional dan fokus pada perubahan perilaku struktur akibat gaya gempa.

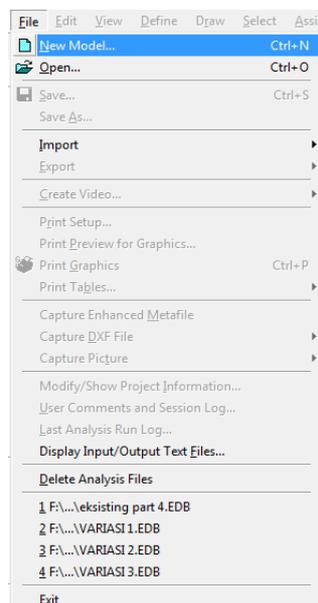
Sedangkan untuk tahapan dalam membuat model untuk lebih detailnya akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Langkah awal untuk membuat pemodelan dari *software* ETABS adalah dengan menentukan satuan yang digunakan dalam meng-*input* data sesuai kebutuhan. Satuan yang biasa digunakan adalah kN-m (kilonewton – meter) atau kN-mm (kilnewton – milimeter).

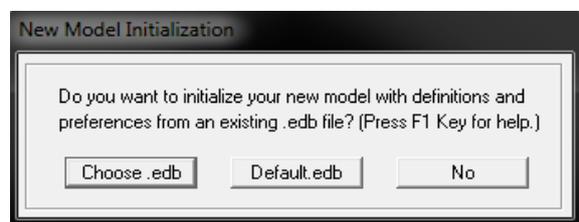


Tampilan Awal ETABS

- Setelah itu, untuk memulainya memodelkan bangunan pilih **File**, kemudian pilih **new model**. Setelah itu, akan muncul *pop up* (*New Model Initialization*), kemudian pilih **No** untuk membuat model baru tanpa mengambil file ETABS yang sudah ada pada komputer lainnya.



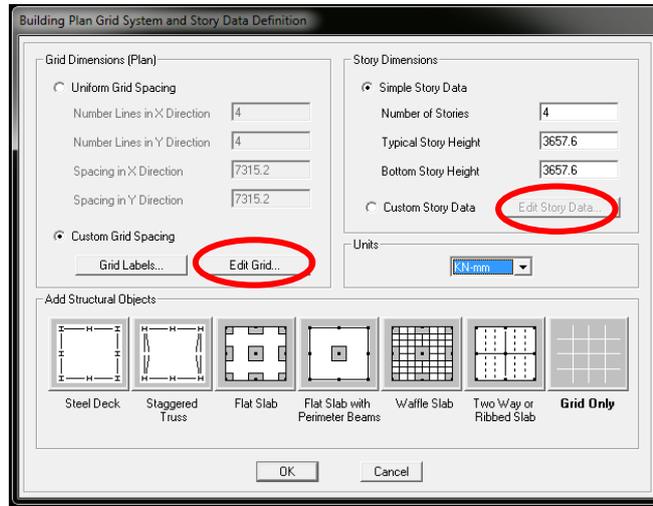
Menu File



New Model Initialization

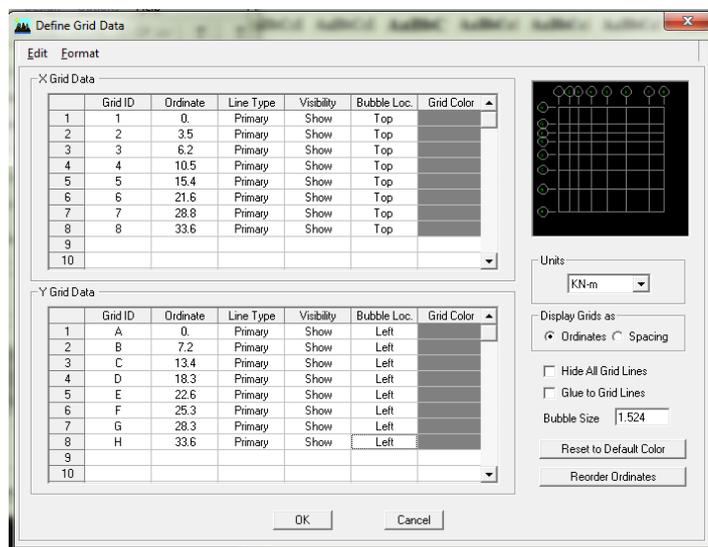
Pilihan lainnya yaitu **Choose.edb** dipilih jika ingin membuat model baru dengan definisi dan preferinsinya mengambil dari file ETABS yang sudah ada pada computer, dan **Default.edb** dipilih jika ingin membuat model baru dengan definisi dan preferinsinya dimulai dengan default yang sudah *built-in* didalam ETABS.

3. Setelah mengklik *No* pada kotak dialog *New Model Initialization*, kemudian akan muncul kotak dialog “*Building Plan Grid System and Story Definition*” lalu pilih *Grid only* pada *structural object*.



Building Plan Grid System and Story Data Definition

Lalu aktifkan *Custom Grid Spacing* dan klik *Edit Grid*, maka akan muncul kotak dialog *Define Grid Data*. Kemudian masukan jarak-jarak sumbu acuan yang searah sumbu X maupun sumbu Y. Dalam proses memasukan data jarak harus diperhatikan satuan yang digunakan agar data yang dimasukan sesuai. Setelah semua data telah dimasukan lalu Klik **OK**.



Define Grid Data

Kemudian aktifkan *Custom Story Data* dan klik *Edit Story Data*, maka akan muncul kotak dialog Story Data. Masukkan semua data ketinggian setiap lantai.

	Label	Height	Elevation	Master Story	Similar To	Splice Point	Splice Height
10	LT. ROOF	3.8	35.65	Yes		No	0.
9	LT. 8	3.8	31.85	Yes		No	0.
8	LT. 7	3.8	28.05	No	LT. 8	No	0.
7	LT. 6	3.8	24.25	No	LT. 8	No	0.
6	LT. 5	3.8	20.45	Yes		No	0.
5	LT. 3	3.8	16.65	Yes		No	0.
4	LT. 2	3.8	12.85	No	NONE	No	0.
3	LANTAI 1	5.	3.05	No	NONE	No	0.
2	GROUND	4.05	4.05	No	NONE	No	0.
1	BASE		0.				

Reset Selected Rows:

Height:

Master Story:

Similar To:

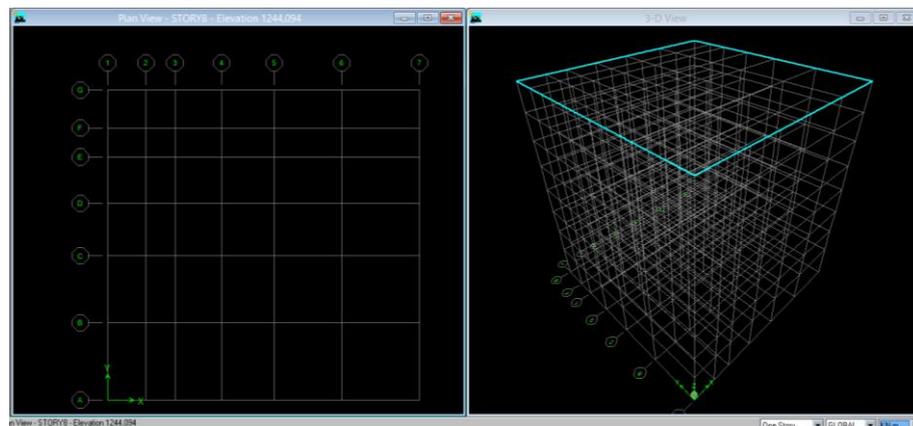
Splice Point:

Splice Height:

Units:

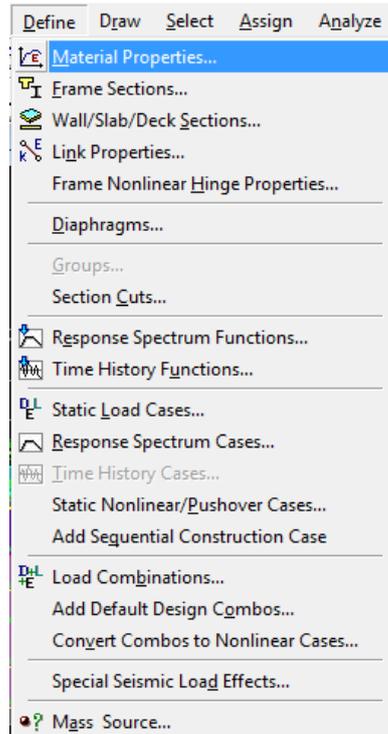
Story Data

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



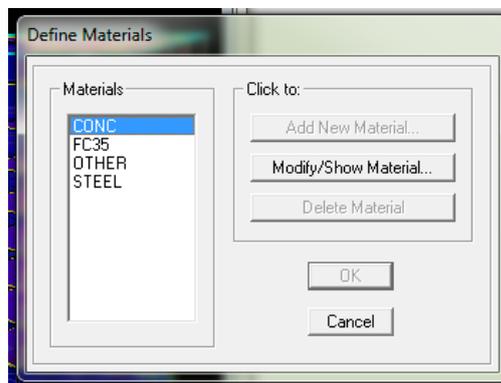
Grid Model Struktur

4. Kemudian setelah terbetuk grid model strukturnya, langkah selanjutnya adalah menentukan *Material Properties* sesuai dengan data perencanaan dengan cara mengeklik *Define*, kemudian pilihlah *Material Properties*.



Langkah untuk Menetapkan *Material Properties*

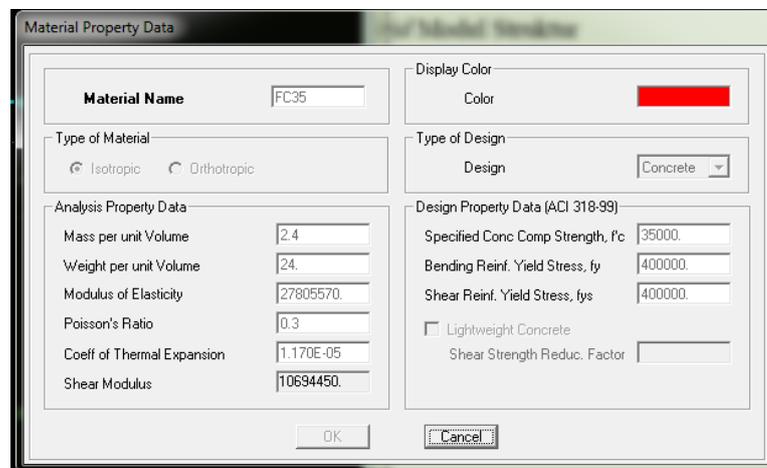
Setelah kita pilih *Material Properties*, maka akan muncul kotak dialog *Define Materials*. Kemudian untuk memasukkan material baru maka pilih *Add New Material* dan selanjutnya masukan data material yang akan digunakan.



Kotak Dialog *Define Materials*

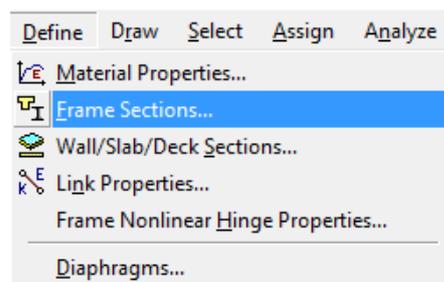
Setelah mengeklik **Add New Material**, maka akan muncul kotak dialog **Material Property Data**. Material yang akan digunakan adalah beton sehingga pada kolom *type of design* dipilih **concrete**. Setelah itu, masukan data material beton sesuai design seperti mutu beton (f^c), mutu baja tulangan (f_y), dan mutu baja tulangan geser (f_{ys}).

Kemudian masukan **Material Property Data** yang lainnya seperti **mass per unit volume** sebesar $2,4 \text{ kN/m}^3$, sedangkan **weight per unit volume** sebesar 24 kN/m^3 . Kemudian data **Modulus Elastisitas** dapat dihitung berdasarkan rumus $4700\sqrt{f^c}$. Ketiga data tersebut merupakan data *default*. Setelah data selesai, maka klik **OK**.



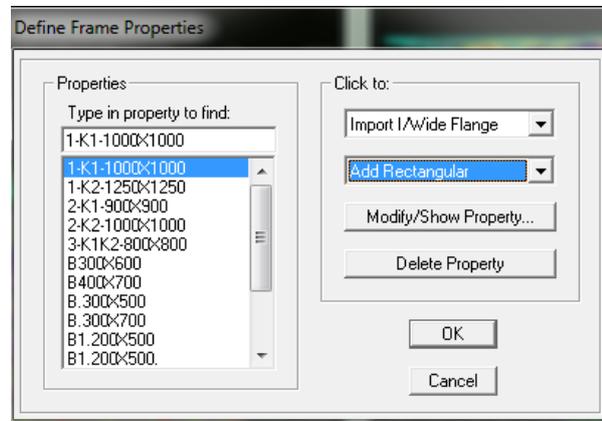
Material Property Data

5. Kemudian menetapkan dimensi pada struktur seperti balok dan kolom dengan cara mengeklik **Define**, kemudian klik **Frame Section**.



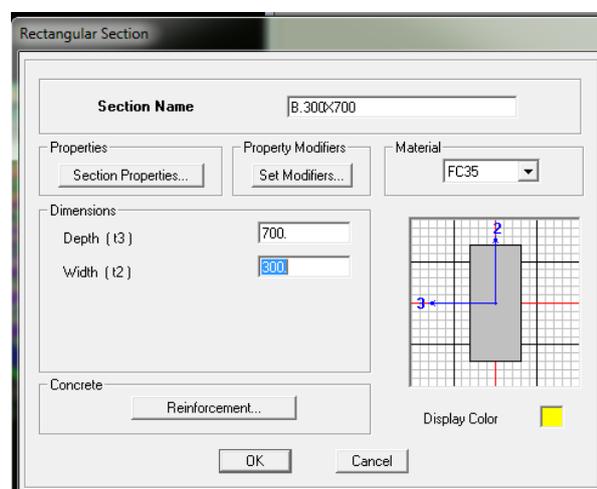
Langkah untuk Menetapkan Dimensi Struktur

Setelah mengklik *Frame section*, Setelah itu akan muncul kotak dialog *Define Frame Properties*. Untuk menambahkan *frame* pada struktur, dipilih berdasarkan bentuk *frame* (batang struktur) nya. Karena *frame* yang akan digunakan berbentuk persegi, maka pilih *Add Rectangular*.



Kotak Dialog *Define Frame Properties*

Setelah itu, akan muncul kotak dialog *Rectangular Section*. Pada kotak dialog tersebut beri nama batang struktur di kolom *Section Name*. Kemudian masukan ukuran tinggi (*Depth*) dan ukuran lebar (*Width*) pada kolom yang tersedia serta pilih jenis material pada kolom *Material*.



Kotak Dialog *Rectangular Section*

Untuk memasukkan tulangan pada *frame* yang sudah dibuat tersebut, klik **Reinforcement** pada kotak dialog *rectangular section*. Hal ini juga digunakan untuk menentukan jenis *frame* yaitu sebagai balok atau sebagai kolom. Apabila *frame* yang dipilih adalah balok, maka pilih *design type beam*, maka akan muncul kotak dialog seperti dibawah ini.

Reinforcement Data		
Design Type		
<input type="radio"/> Column	<input checked="" type="radio"/> Beam	
Concrete Cover to Rebar Center		
Top	30.	
Bottom	30.	
Reinforcement Overrides for Ductile Beams		
	Left	Right
Top	0.	0.
Bottom	0.	0.
OK		Cancel

Reinforcement Data Beam

Setelah muncul kotak dialog *Reinforcement Data Beam* maka masukan selimut beton balok pada *Concrete Cover to Rebar Center*. Apabila *frame* yang dipilih adalah kolom, maka pilih *design type column*, maka akan muncul kotak dialog seperti dibawah ini.

Reinforcement Data Column

Pada kotak dialog kolom, maka harus dipilih jenis tulangan yang akan digunakan yaitu spiral atau tulangan tegak. Pemilihan konfigurasi tulangan kolom dapat ditentukan dengan mengklik *Configuration of Reinforcement*. Pilih **Rectangular** untuk memilih tulangan sengkang persegi, dan **Circular** untuk memilih tulangan sengkang spiral. Kemudian masukan data selimut beton pada **Rectangular reinforcement-Cover to Rebar Center**. Selain itu, masukan pula data jumlah dan ukuran tulangan yang digunakan. Kemudian klik OK.

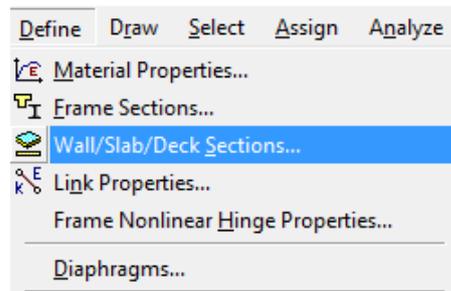
Setelah mengklik OK, maka akan masuk kembali pada kotak dialog *Rectangular Section*. Setelah itu komponen struktur tersebut harus diubah sesuai dengan syarat SNI dengan cara mengklik **Set Modifier** kemudian ubah nilai *Property Modifier* sesuai dengan jenis *frame*-nya.

Frame Kolom : ubah *moment of inertia about 2, and 3 axis* menjadi 0,7

Frame Balok : ubah *moment of inertia about 2, and 3 axis* menjadi 0,35

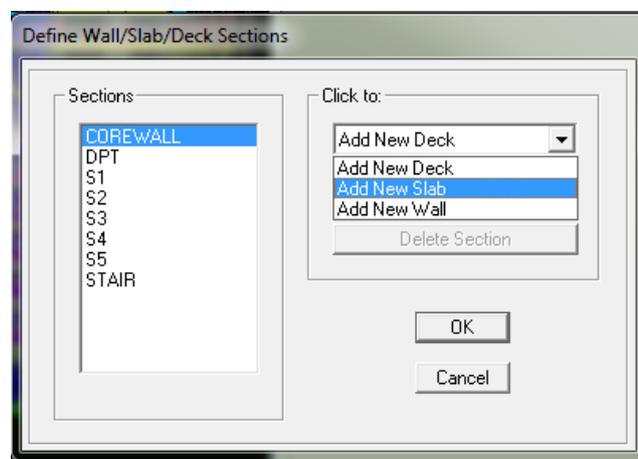
Kemudian pilih OK.

6. Tetapkan komponen pelat dan dinding dengan cara mengklik **Define**, kemudian pilih **Wall/Slab/Deck Section** seperti gambar dibawah ini.



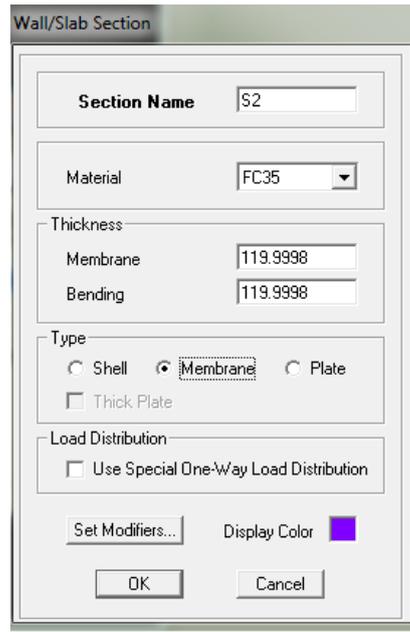
Langkah untuk Menetapkan Dinding dan Plat

Setelah itu, akan muncul kotak dialog *Define Wall/Slab/Deck Section*. Untuk menetapkan ukuran pelat baru sesuai dengan perencanaan pilih *Add New Slab*. Kemudian klik **OK**.



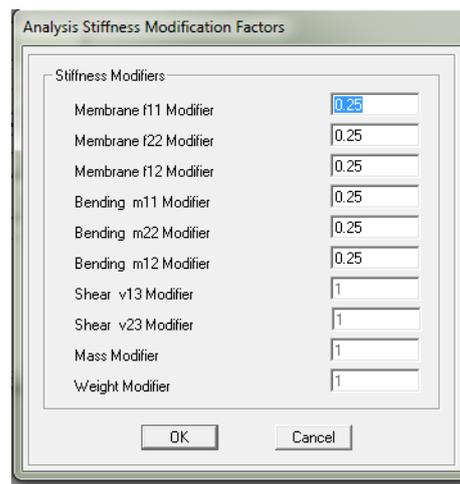
Kotak Dialog *Define Wall/Slab/Deck Section*

Setelah klik OK, maka akan tampil Kotak Dialog *Wall/Slab/Deck Section*, Beri nama plat pada kolom *Section Name*, pilih jenis material, dan masukan ketebalan plat pada kolom *Thicness*. Untuk tipe profil gunakan *Membrane*.



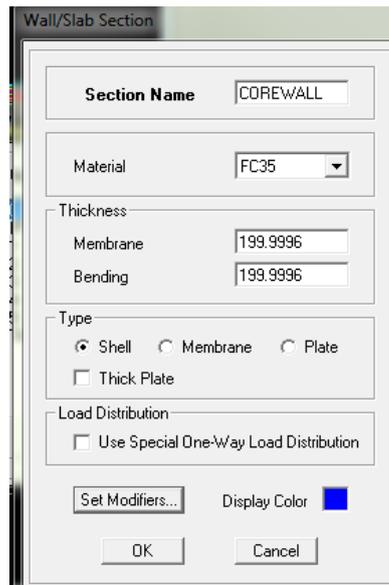
Kotak Dialog *Wall/Slab/Deck Section*

Kemudian ubah kekakuan plat sesuai dengan SNI dengan cara mengeklik *Set Modifier*, kemudian rubah nilai dari *Membrane f_{11}, f_{22}, f_{12}* , dan *Bending m_{11}, m_{22}, m_{12}* menjadi 0,25. Kemudian klik OK.

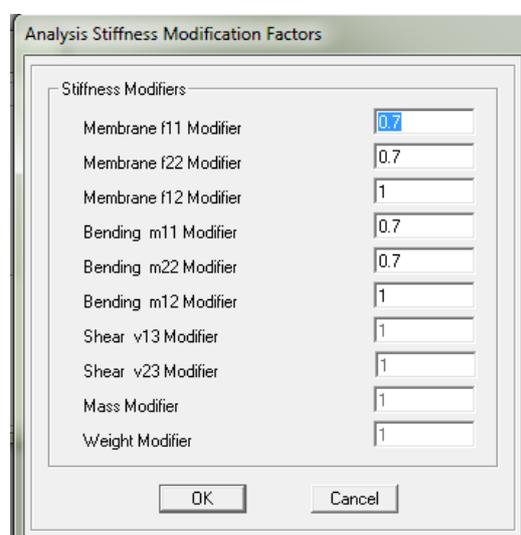


Set Modifier Pelat

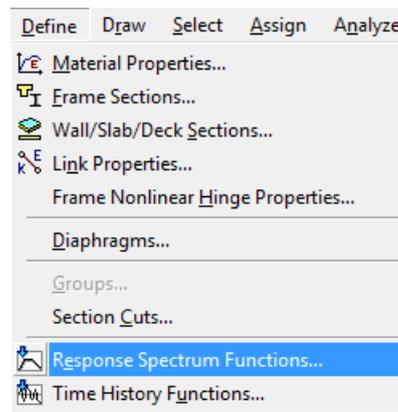
Untuk membuat komponen dinding (*wall*), pilih *Add New Wall* pada kotak dialog *Define Wall/Slab/Deck Section*. Kemudian akan muncul kotak dialog *Wall/Slab Section* seperti gambar dibawah ini.

Kotak Dialog *Wall/Slab Section*

Seperti pelat tadi, ubah *Section Name*, ubah *Material*, ubah ketebalan dinding (*Thickness*), dan untuk tipe profil berupa *Shell*. Sama seperti pelat, kekakuan dinding harus diubah sesuai dengan SNI dengan cara mengklik *Set Modifier*, kemudian ubah nilai dari *Membrane f_{11}, f_{22}* , dan *Bending m_{11}, m_{22}* menjadi 0,70 seperti pada gambar dibawah ini. Kemudian klik OK.

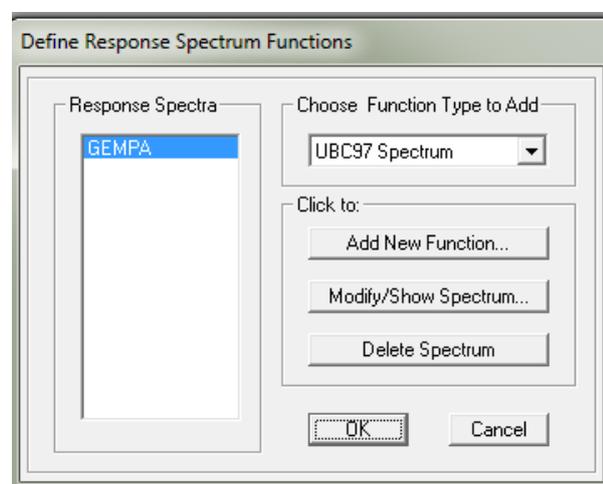
*Set Modifier Dinding*

7. Setelah menetapkan bahan untuk membuat *frame*, membuat *frame* seperti balok dan kolom, serta menetapkan pelat dan dinding, langkah selanjutnya adalah menetapkan Respon Spektrum sebagai beban gempa dengan cara klik **Define**, kemudian klik **Response Spectrum Function** seperti gambar dibawah ini.



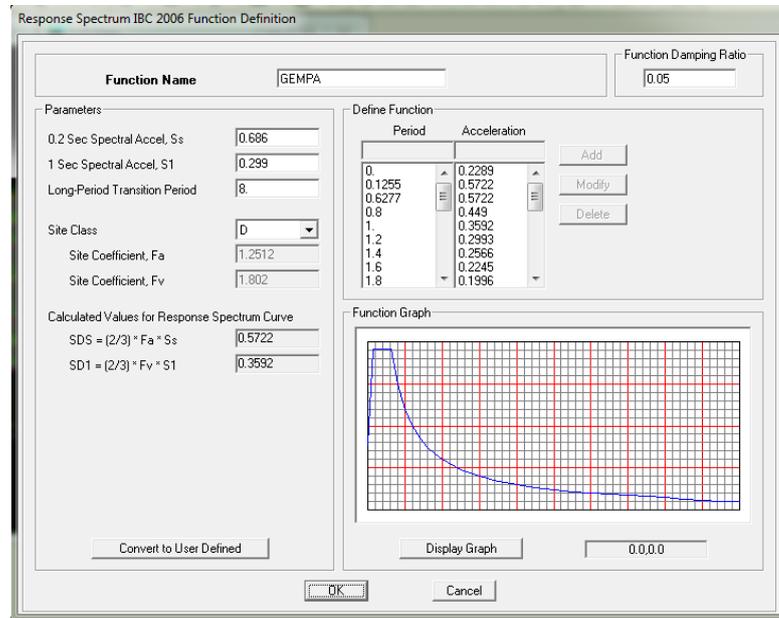
Langkah untuk Menetapkan Respon Spektrum

Setelah itu, akan muncul kotak dialog *Define Response Spectrum Function* seperti gambar dibawah ini. klik **Add User Spectrum** karena tipe gempa wilayah Indonesia tidak tersedia pada ETABS.



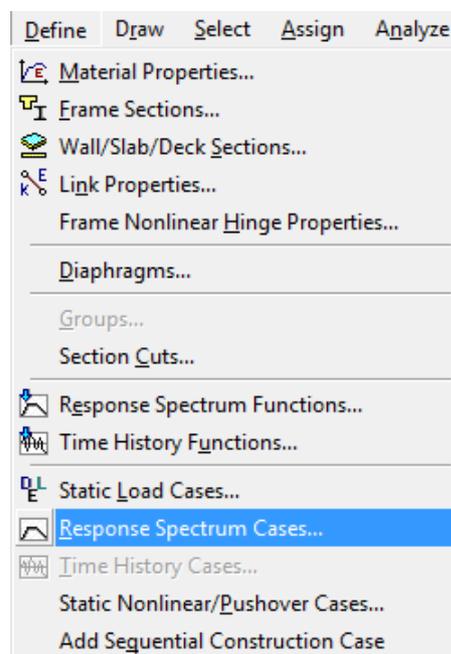
Kotak Dialog *Define Response Spectrum Function*

Kemudian Akan muncul Kemudian input data *Period* dan *Acceleration* (percepatan gempa) sesuai dengan perhitungan wilayah gempa pada kotak dialog *Response Spectrum Function Definition*.



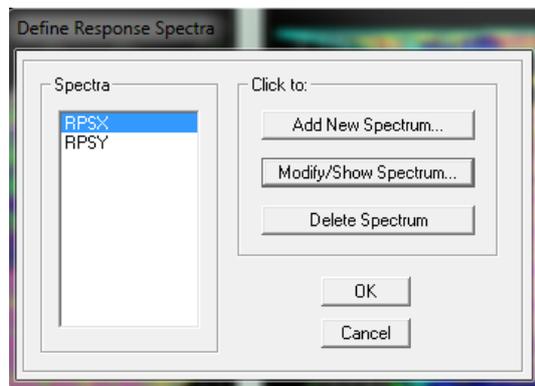
Kotak Dialog *Response Spectrum Function Definition*.

8. Langkah berikutnya adalah menentukan spektrum gempa dengan cara mengklik *Define*, kemudian klik *Response Spectrum Cases*.

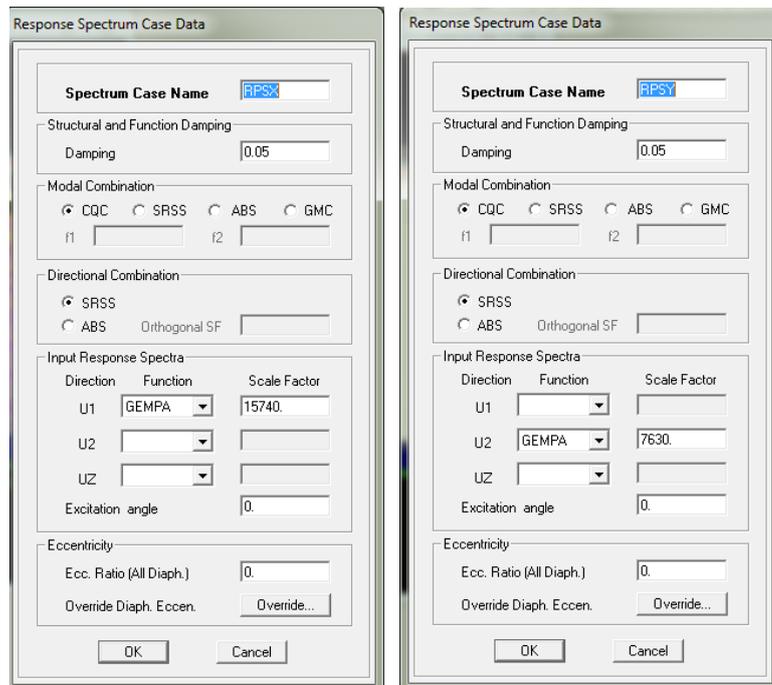


Langkah untuk Menentukan Spektrum Gempa

Kemudian akan muncul kotak dialog *Define Response Spektra* seperti pada gambar dibawah ini, kemudian klik **Add New Spectrum**, lalu masukan data pada *Spectrum Case Name* dengan nama RSPX dan RSPY. Kemudian masukan *Response Spectrum* untuk arah X di RSPX dan isikan pada kotak U1, dan untuk arah Y di RSPY dan isikan pada kotak U2.

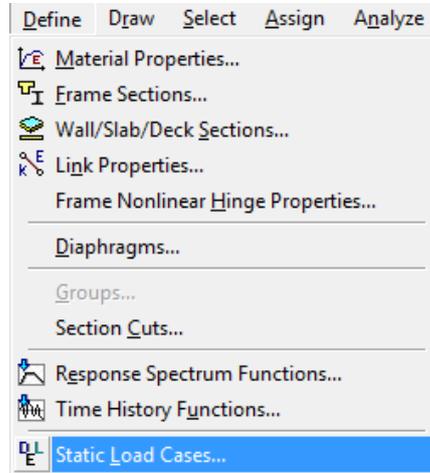


Kotak Dialog *Define Response Spektra*



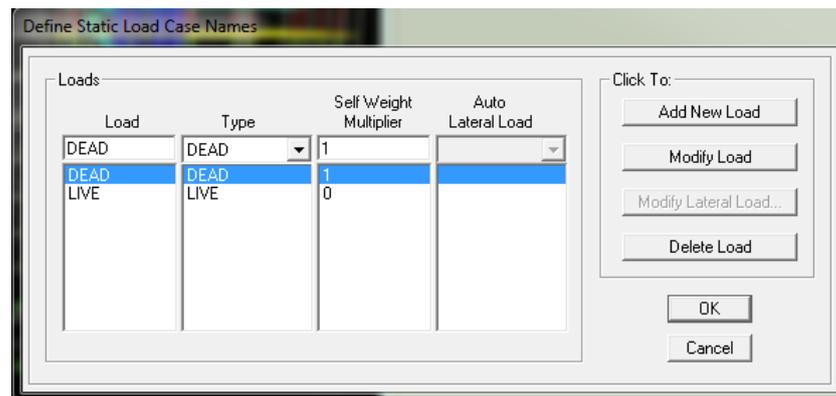
Response Spectrume Case Data RSPX dan RSPY

9. Kemudian menetapkan beban yang bekerja pada bangunan dengan cara mengklik *Define*, kemudian mengklik *Static Load Case* seperti pada gambar berikut ini.



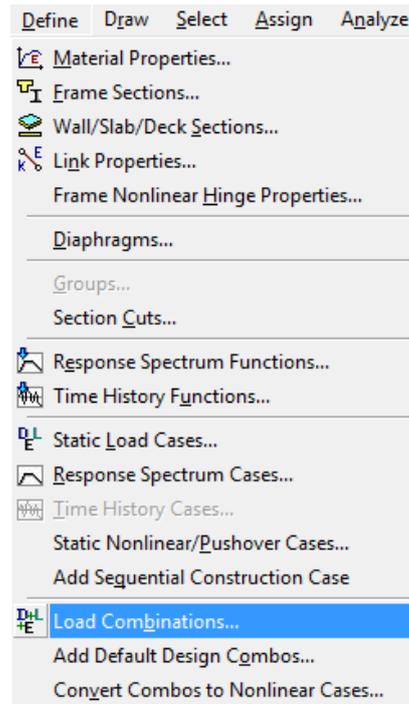
Langkah untuk Menentukan *Load Case*

Setelah itu, akan muncul kotak dialog *Define Static Load Case Names*. Kemudian input jenis-jenis beban yang akan digunakan pada proses analisis seperti pada gambar dibawah ini.



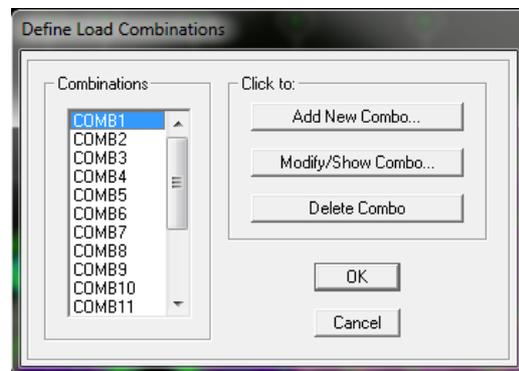
Kotak Dialog *Define Static Load Case Name*

10. Langkah selajutnya adalah menentukan kombinasi pembebanan dengan cara mengklik *Define*, kemudian klik *Load Combination*

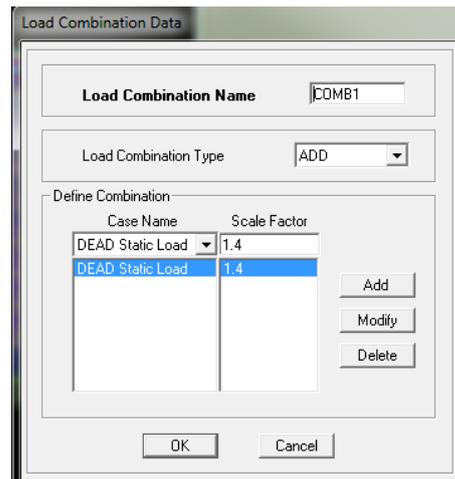


Langkah untuk Menentukan Kombinasi Pembebanan

Setelah itu, akan muncul kotak dialog *Define Load Combintion*, kemudian klik **Add New Combo**, kemudian akan muncul kotak dialog *Load Combination Data*. Kemudian masukan factor skala setiap jenis beban pada masing-masing kombinasi pembebanan yang telah dihitung sebelumnya berdasarkan SNI.

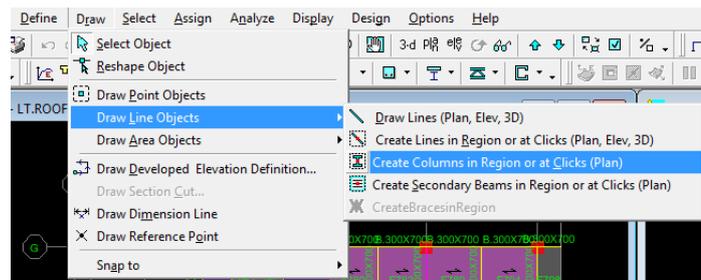


Kotak Dialog *Define Load Combintion*



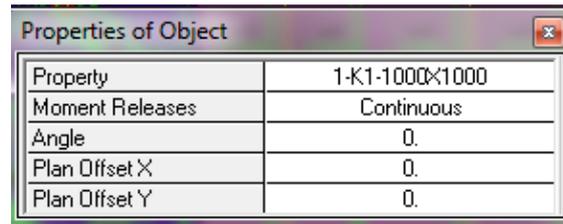
Kotak Dialog *Load Combintion Data*

11. Setelah menetapkan seluruh material, pembebanan, dan lainnya, langkah berikutnya adalah menggambar pada software ETABS. Cara untuk menggambar kolom dilakukan dengan cara mengeklik **Draw**, kemudian klik **Draw Line Object**, Lalu mengeklik **Create Columns in Regions or at Click**.



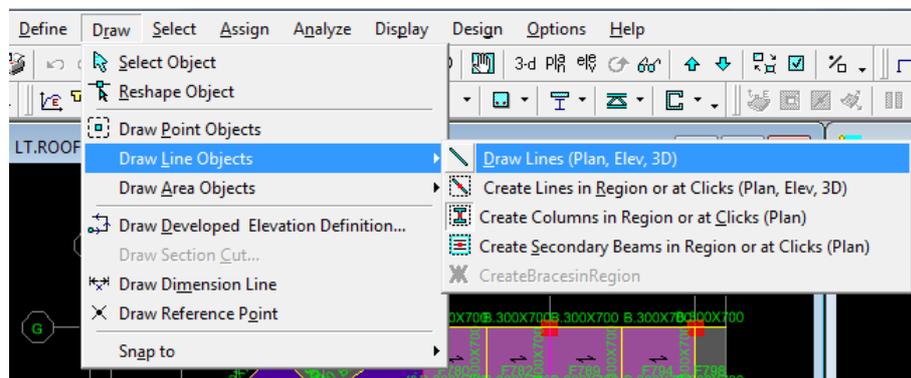
Langkah untuk Menggambar Kolom

Kemudian akan muncul Kotak Dialog *Properties of Object* untuk memberitahukan dan memberi pilihan dimensi kolom yang akan digunakan untuk menggambar pada ETABS. Setelah itu, cara menggambaranya dengan mengeklik satu kali pada titik grid sesuai dengan posisi kolom yang direncanakan.



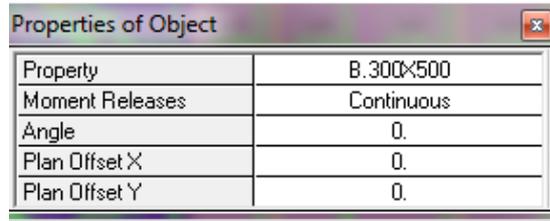
Kotak Dialog *Properties of Object*

12. Hal yang harus kita gambar selanjutnya adalah menggambar balok. Cara untuk menggambar balok dilakukan dengan cara mengeklik **Draw**, kemudian klik **Draw Line Object**, Lalu mengeklik **Create Lines (Plan, Elev, 3D)**



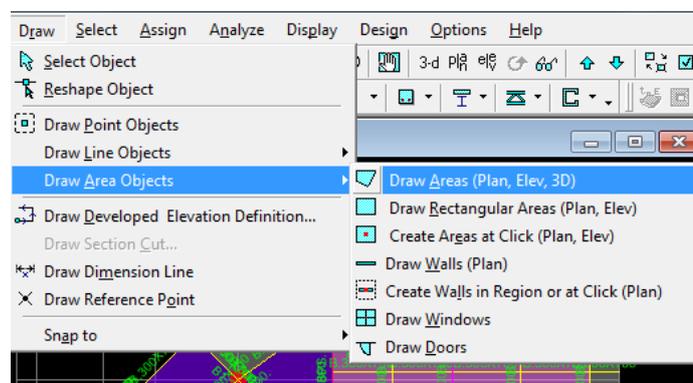
Langkah untuk Menggambar Balok

Kemudian akan muncul Kotak Dialog *Properties of Object* untuk memberitahukan dan memberi pilihan dimensi balok yang akan digunakan untuk menggambar pada ETABS. Balok digambar dengan menggambar balok pada garis-garis *grid* yang telah dibuat sebelumnya. Cara menggambarinya yaitu dengan klik satu kali pada titik ujung awal balok, kemudian diklik lagi pada ujung akhir balok sesuai yang telah direncanakan.



Kotak Dialog *Properties of Object*

13. Setelah menggambar kolom dan balok, maka langkah selanjutnya adalah menggambar pelat lantai. Cara untuk menggambar pelat lantai adalah dengan mengklik menu **Draw**, kemudian klik **Draw Area Object**. Setelah itu, anda tentukan tipe plat sesuai yang anda butuhkan. Kemudian gambarkan pelat lantai sesuai gambar perencanaan.

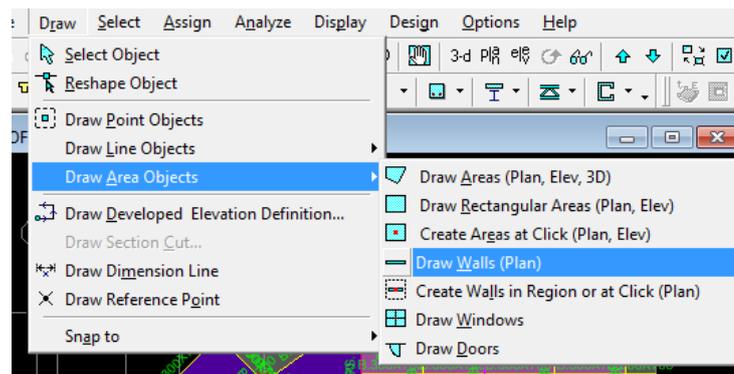


Langkah untuk Menggambar Pelat Lantai

Ada beberapa jenis cara untuk menggambar pelat lantai diantaranya:

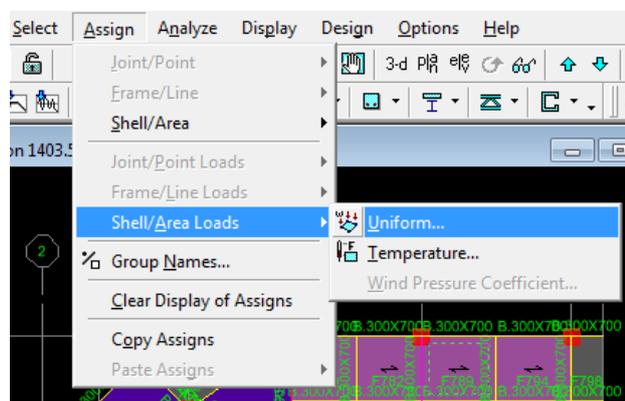
1. *Draw Area* : biasanya digunakan untuk menggambar bentuk pelat yang tidak beraturan bentuknya. Cara penggunaannya klik satu kali pada semua ujung lokasi plat.
2. *Draw Rectangular Areas* : digunakan untuk pelat yang berbentuk persegi empat. Cara pemakaiannya yaitu klik pada titik ujung lokasi pelat, kemudian pindahkan mouse dengan tetap ditekan pada titik ujung pelat yang lain dan lepaskan mouse.
3. *Create Areas at Click* : cara penggambarannya tinggal klik pada lokasi pelat yang akan digambar biasanya disesuaikan dengan grid yang telah dibuat sebelumnya.

14. Setelah menggambar kolom, balok, dan pelat lantai, maka langkah selanjutnya adalah menggambar dinding struktural. Cara untuk menggambar dinding struktural adalah dengan mengeklik menu **Draw**, kemudian klik **Draw Walls (Plan)**. Setelah itu, anda tentukan tipe wall sesuai yang anda telah buat. Kemudian gambarkan wall pada grid yang telah dibuat sesuai gambar perencanaan.



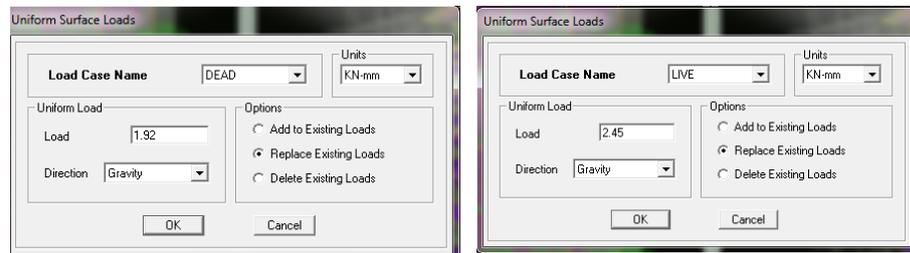
Langkah untuk Menggambar Dinding Struktural

15. Setelah semua selesai digambar pada program ETABS, langkah selanjutnya adalah memasukan beban mati dan beban hidup. Untuk meng-input-nya dengan cara mengeklik **Assign**, kemudian klik **Shell/Area Loads**, kemudian pilih **Uniform** seperti pada gambar dibawah ini.



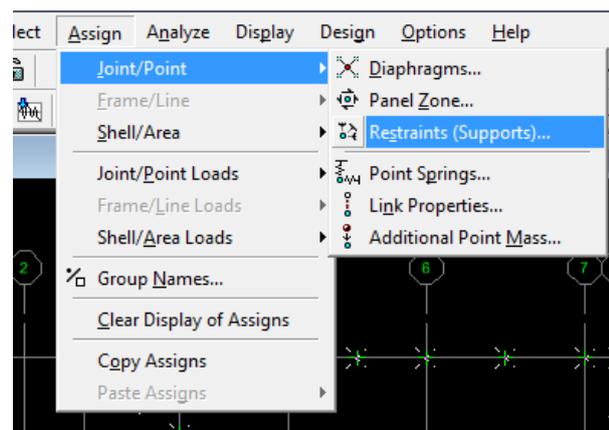
Langkah untuk Assign Shell/Area Load

Setelah diklik, maka akan muncul kotak dialog *Uniform Surface Load*. Pilih *Load Case Name* untuk mengubah beban yang akan di-input. Untuk memasukan beban mati, maka pilih *Dead*, sedangkan untuk beban hidup dengan memilih *Live*. Setelah itu, masukan nilai beban pada kotak *Load* dengan memperhatikan satuan yang digunakan. Kemudian klik OK.



Kotak Dialog *Uniform Surface Load*

16. Kemudian langkah berikutnya adalah merubah jenis perletakan yang ada dibawah struktur. Cara untuk merubahnya dengan men-*select* semua titik-titik yang berada pada lantai *base*, kemudian klik menu *Assign*, klik *Joint/Point*, kemudian klik *Restraints/Support*.



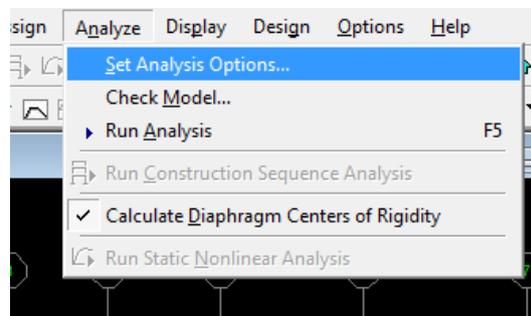
Langkah untuk Memberi Perletakan

Setelah itu, akan muncul kotak dialog *Assign Restraints*, kemudian pilih jenis support yang akan digunakan lalu klik OK untuk keluar.



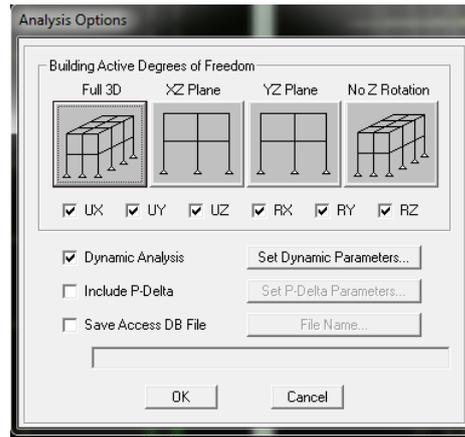
Kotak Dialog *Assign Restraints*

17. Setelah semua pemodelan setiap elemen struktur selesai langkah selanjutnya adalah proses analisis. Namun sebelum melakukannya klik menu *Analyze*, kemudian klik menu *Set Analysis Option* seperti pada gambar berikut.



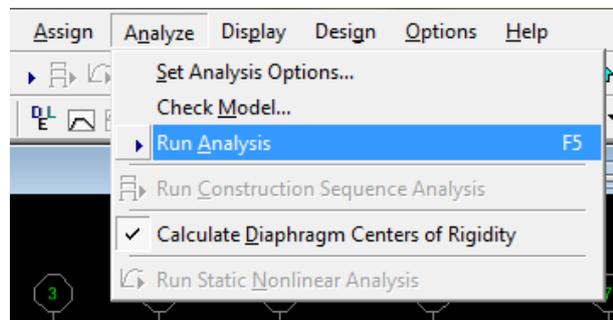
Langkah untuk Merubah Pengaturan Analisis

Setelah itu akan muncul kotak dialog *Analysis Option* pilih **Full 3D** pada Building Active of Freedom dan klik *checklist* pada **Dynamic Analysis** lalu klik OK.



Kotak Dialog *Analysis Options*

18. Langkah terakhir yaitu analisis. Cara untuk menganalisis bangunan yang sudah Digambar sebelumnya yaitu dengan mengeklik *Analysis* lalu ***Run Analysis***.



Langkah untuk *Run Analysis*

Lampiran 6. Kekakuan Kolom

Kekakuan kolom yang dihitung adalah kekakuan kolom pada lantai *ground* karena data yang dianalisis menggunakan momen dan gaya aksial pada lantai *ground*. Terdapat 14 buah kolom tipe K1, dan 1 buah kolom K2. Masing-masing variasi dihitung kekakuan kolom total dari setiap lantai *ground*.

Eksisting

Elastisitas beton (E) : 20000000 kN/m²

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

Tinggi kolom (l) : 5000 m

Inersia Kolom (I)

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

$$\frac{1}{12} \times 1 \times 1^3 = 0,0833 \text{ m}^4$$

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

$$\frac{1}{12} \times 1,25 \times 1,25^3 = 0,2023 \text{ m}^4$$

Kekakuan Kolom (k)

$$k_1 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,0833}{5^3} = 160000 \text{ kN/m}$$

$$k_2 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,2023}{5^3} = 390625 \text{ kN/m}$$

Total kekakuan kolom : $14(160000) + 390625 = 2630625 \text{ kN/m}$

Variasi 1

Elastisitas beton (E) : 20000000 kN/m²

Dimensi kolom : K1 : 950 x 950
K2 : 1200 x 1200

Tinggi kolom (l) : 5,0 m

Inersia Kolom (I)

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

$$\frac{1}{12} \times 0,95 \times 0,95^3 = 0,0679 \text{ m}^4$$

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

$$\frac{1}{12} \times 1,2 \times 1,2^3 = 0,1728 \text{ m}^4$$

Kekakuan Kolom (k)

$$k_1 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,0679}{5^3} = 130321 \text{ kN/m}$$

$$k_2 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,1728}{5^3} = 331776 \text{ kN/m}$$

Total kekakuan kolom : $14(130321) + 331776 = 2156270 \text{ kN/m}$

Variasi 2

Elastisitas beton (E) : 20000000 kN/m²

Dimensi kolom : K1 : 900 x 900
K2 : 1150 x 1150

Tinggi kolom (l) : 5,0 m

Inersia Kolom (I)

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

$$\frac{1}{12} \times 0,9 \times 0,9^3 = 0,0547 \text{ m}^4$$

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

$$\frac{1}{12} \times 1,15 \times 1,15^3 = 0,1458 \text{ m}^4$$

Kekakuan Kolom (k)

$$k_1 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,0547}{5^3} = 104976 \text{ kN/m}$$

$$k_2 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,1458}{5^3} = 279841 \text{ kN/m}$$

Total kekakuan kolom : $14(104976) + 279841 = 1749505 \text{ kN/m}$

Variasi 3

Elastisitas beton (E) : 20000000 kN/m^2

Dimensi kolom : K1 : 850×850

K2 : 1100×1100

Tinggi kolom (l) : $5,0 \text{ m}$

Inersia Kolom (I)

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

$$\frac{1}{12} \times 0,85 \times 0,85^3 = 0,0435 \text{ m}^4$$

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

$$\frac{1}{12} \times 1,1 \times 1,1^3 = 0,1220 \text{ m}^4$$

Kekakuan Kolom (k)

$$k_1 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,0435}{5^3} = 83521 \text{ kN/m}$$

$$k_2 : \frac{12 EI}{l^3} = \frac{12 \cdot 20000000 \cdot 0,1220}{5^3} = 234256 \text{ kN/m}$$

Total kekakuan kolom : $14 (83521) + 234256 = 1403550 \text{ kN/m}$

Lampiran 7. Surat Menyurat



*Building
Future
Leaders*

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

Kampus Universitas Negeri Jakarta, Jalan Rawamangun Muka, Jakarta 13220
Telepon/Faximile : Rektor : (021) 4893854, PRI : 4895130, PR II : 4893918, PR III : 4892926, PR IV : 4893682
BUK : 4750930, BAKHUM : 4759081, BK : 4752180
Bagian UHT : Telepon. 4893726, Bagian Keuangan : 4892414, Bagian Kepegawaian : 4890536, Bagian Humas : 48984
Laman : www.unj.ac.id

Nomor : 2029/UN39.12/KM/2017
Lamp. : -
Hal : Permohonan Izin Mengadakan Penelitian
untuk Penulisan Skripsi

4 April 2017

Yth. Manager Teknik Perencana
PT. Inti Utama Dharma, RE
Jl. Cipinang Indah Raya Kav 1 BZ
Jakarta Timur 13420

Kami mohon kesediaan Saudara untuk dapat menerima Mahasiswa Universitas Negeri Jakarta :

Nama : **Nadia Rahma Pramesti**
Nomor Registrasi : 5415134224
Program Studi : Pendidikan Teknik Bangunan
Fakultas : Teknik Universitas Negeri Jakarta
No. Telp/HP : 085772975499

Dengan ini kami mohon diberikan ijin mahasiswa tersebut, untuk dapat mengadakan penelitian guna mendapatkan data yang diperlukan dalam rangka penulisan skripsi dengan judul :

"Studi Perilaku Posisi Corewall Terhadap Dimensi Kolam Pada Wisma Cipinang Indah"

Atas perhatian dan kerjasama Saudara, kami sampaikan terima kasih.

Kepala Biro Akademik, Kemahasiswaan,
dan Hubungan Masyarakat



Woro Sasmoyo, SH
NIP. 19630403 198510 2 001

Tembusan :

1. Dekan Fakultas Teknik
2. Koordinator Prodi Pendidikan Teknik Bangunan

RIWAYAT PENULIS



Nadia Rahma Pramesti lahir di Boyolali pada tanggal 23 Juli 1995, anak pertama dari 3 Bersaudara yang terlahir dari pasangan Prasetyo Adi dan Samini. Pendidikan yang telah diselesaikan mulai dari SD Negeri Bahagia 06 Kabupaten Bekasi selama 6 tahun (2001-2007), SMP Negeri 5 Kota Bekasi selama 3 tahun (2007-2013). Dan SMA Negeri 21 Jakarta selama 3 Tahun (2010-2013). Pada tahun 2013, melanjutkan jenjang Pendidikan Strata 1 pada program studi Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Teknik di Universitas Negeri Jakarta.

Selama melaksanakan Pendidikan di Universitas Negeri Jakarta, Penulis aktif melakukan perlombaan penulisan ilmiah pada tingkat nasional. Penulis berhasil memperoleh prestasi yaitu menjadi kelompok Program Kreativitas Mahasiswa Kewirausahaan (PKM-K) yang didanai oleh Direktorat Pendidikan Tinggi (DIKTI) tahun anggaran 2013. Kemudian menjadi finalis 8 besar perlombaan nasional kewirausahaan berbasis lingkungan yang diadakan oleh PT.Pertamina dalam Pertamina Youth Eco-preneur pada bulan April 2015.

Penulis juga mengikuti kegiatan Praktek Keterampilan Mengajar (PKM) pada tahun ajaran 2016/2017 yang bertempat di SMK Negeri 56 Jakarta. Kemudian penulis juga mengikuti kegiatan Praktek Kerja Lapangan (PKL) pada semester 7 yang bertempat di Proyek Wisma Cipinang Indah dibawah kontraktor PT. Prima Cipta Karya. Selama mengikuti perkuliahan, penulis aktif dalam beberapa organisasi kampus yaitu Himpunan Mahasiswa (HIMA) Teknik Sipil, dan Forum Studi Islam (FSI) Al Biruni.

Penulis menyelesaikan masa perkuliahan dengan mengambil skripsi struktur yang berjudul “Analisa Perilaku Bangunan Tidak Beraturan Horizontal Dengan Variasi Dimensi Kolom Terhadap Gempa”.

Email : nadiarahmapramesti@gmail.com