



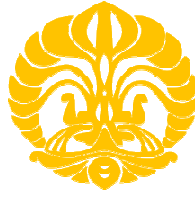
UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PERILAKU SISTEM STRUKTUR *STAGGERED TRUSS*
BAJA TERHADAP EFEK GEMPA**

SKRIPSI

**NABILA INAL APRILIA
0806315742**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PERILAKU SISTEM STRUKTUR *STAGGERED TRUSS*
BAJA TERHADAP EFEK GEMPA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**NABILA INAL APRILIA
0806315742**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Nabila Inal Aprilia

NPM : 0806315742

Tanda Tangan : 

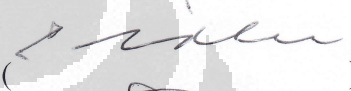
Tanggal : 2 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Nabila Inal Aprilia
NPM : 0806315742
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Sripsi : Studi Perilaku Sistem Struktur *Staggered Truss*
Baja Terhadap Efek Gempa

Telah berhasil diujikan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Sjahril A. Rahim, M.Eng. ()

Penguji : Ir. Essy Arijoeni, Ph.D. ()

Penguji : Dr.-Ing. Ir. Henki W. Ashadi. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 2 Juli 2012

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Fakultas Teknik Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan yang diberikan oleh berbagai pihak yang telah membantu dari masa perkuliahan hingga proses penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya ingin mengucapkan terimakasih kepada:

- 1) Ir. Sjahril A. Rahim, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga serta pemikirannya untuk mengarahkan dan membantu saya dalam pembuatan skripsi ini.
- 2) Orang tua saya Budiono dan Sri Wahyuningsih, kakak saya Bondan Al-Ilham serta adik saya Diah Pangestu yang dengan tulus ikhlas selalu memberikan dukungan moral, doa, dan material selama ini.
- 3) Seluruh staf pengajar dan karyawan Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia atas pengajaran dan bantuannya selama masa perkuliahan.
- 4) Ferry Setiawan dan Tirta Halim yang telah bersedia meluangkan waktu untuk berbagi pengetahuan dan wawasan sehubungan dengan *staggered truss framing system* selama masa pembuatan skripsi ini.
- 5) Seluruh teman-teman seperjuangan satu bimbingan yaitu Mirna Fauziah, Aini Rengganis, Indah Hening, Fatchurrohman, Abdul Aziz, Muhammad Ardimas, Riki, Nico Oktora, Rahmat Rifki, Indra Kusuma, Iezal, Ryan Rahmat, dan lainnya yang dengan suka rela saling menyemangati dan selalu berbagi dalam suka dan duka selama masa pembuatan skripsi ini. Semoga kita sukses bersama untuk masa depan yang cerah.
- 6) Dian Evelina dan Fitryan Anggrasari, sesama pejuang perempuan yang senasib sepenanggungan yang telah dengan senang hati berbagi canda dan tawa, serta berkeluh kesah menghadapi lika-liku hidup sebagai mahasiswa selama masa kuliah.

- 7) Teman-teman kekhususan struktur program *fast track* yaitu Gabby Rizkiyana, Achmad Damar, Rizal Prasetyo, dan lainnya yang telah berusaha bersama-sama menjalani masa-masa perkuliahan dengan penuh semangat.
- 8) Seluruh teman-teman sipil lingkungan 2008 yaitu Hilda Jusuf, Jenny Vera, Maisarah Rizky, Martina Manurung, Desy Rahayu, dan lainnya yang telah memberikan bantuan dan dukungan, serta mengukir kenangan-kenangan indah yang tak akan terlupakan selama masa perkuliahan dan pembuatan skripsi ini.
- 9) Nuraziz Handika dan Pringga Satria Panji selaku senior yang telah bersedia membantu demi terselesaikannya skripsi ini.
- 10) Avokanti Nur A, Dwi Indah S, dan Nur Fatina R. sahabat-sahabat iye yang selama ini bersama-sama menjalani kehidupan di “*wisma chu-cho*” dengan sepenuh hati memberikan dukungan moral dan doa, bersenda gurau, dan berbagi dalam senang maupun lapang. Semoga seluruh pengalaman yang telah kita alami dapat menjadikan kita lebih bijaksana, dewasa dan tegar menjadi seorang perempuan.
- 11) Marifah Puji H, sahabat yang selalu bersedia mendengar keluh kesah dan menguatkan hati bila letih dan jenuh melanda, serta berbagi cerita dengan riang gembira. Semoga kita bersama-sama menjadi lebih dewasa dan dapat sukses di masa depan.

Akhir kata, saya berharap agar Allah SWT dapat membalas kebaikan dari semua pihak yang telah membantu dalam proses pembuatan skripsi ini, semoga skripsi ini dapat menjadi sebuah karya yang berguna bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 2 Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nabila Inal Aprilia
NPM : 0806315742
Program studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Studi Perilaku Sistem Struktur *Staggered Truss* Baja
Terhadap Efek Gempa**

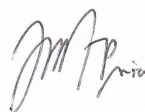
Bersama dengan perangkat lainnya. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmediakan/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 2 Juli 2012

Yang Menyatakan



(Nabila Inal Aprilia)

ABSTRAK

Nama : Nabila Inal Aprilia
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Studi Perilaku Sistem Struktur *Staggered Truss* Baja Terhadap Efek Gempa

Pada tahun 1960, MIT menemukan sistem struktur yang efisien untuk tipe bangunan seperti hotel dan apartemen yaitu sistem struktur *staggered truss*. Studi awal mengenai karakteristik dinamik sistem ini terhadap beban gempa di Indonesia perlu dilakukan sebagai dasar referensi pemilihan sistem struktur ini untuk hotel dan apartemen di Indonesia. Objek penelitian terdiri dari tiga variasi ketinggian gedung yang berada di Jakarta dimana dimodelkan dengan menggunakan perangkat lunak ETABS. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sistem struktur ini cukup fleksibel berdasarkan ketentuan periode getar RSNI-03-1726-2010. Sistem struktur ini akan memiliki pola ragam getar yang cukup baik setelah ketentuan gaya geser dasar dan simpangan antar tingkat RSNI-03-1726-2010 terpenuhi. Simpangan antar tingkat yang dialami bangunan memberikan bentuk grafik menyerupai “zig-zag” dikarenakan terdapatnya *staggered truss* atau rangka batang yang berselang seling setiap story.

Kata Kunci:

Staggered truss, rangka batang, RSNI-03-1726-2010, *story drift*

ABSTRACT

Name : Nabila Inal Aprilia
Study Program : Civil Engineering
Title : Study of Steel Staggered Truss Structure System Behaviour Towards The Effect of Earthquake

In 1960, MIT found the economically efficient structure system for buildings such as hotel and apartment, which is called staggered truss structure system. Study of the dynamic characteristics for this structure system towards earthquake is needed as a further reference for choosing this system for hotel and apartment in Indonesia. Object of this research consist of three building height variations which are located in Jakarta that are modelled using ETABS software. The result shows that this structure system is flexible based on the requirements of fundamental period in RSNI-03-1726-2010. This structure system will have acceptable mode shape after the requirements of base shear and story drift in RSNI-03-1726-2010 is fulfilled. This structure system gives chart of story drift close to zig-zag shaped curve caused by staggered truss placement in each story.

Key words:

Staggered truss, *truss*, RSNI-03-1726-2010, *story drift*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 DASAR TEORI.....	7
2.1 Material Baja Sebagai Material Struktur	7
2.1.1 Proses Desain	7
2.1.2 <i>Structural Steel Member</i>	8
2.1.3 Keruntuhan Material Baja	9
2.1.4 Desain Elemen Struktur Baja	10
2.2 <i>Staggered Truss System</i>	15
2.2.1 Dasar Teori <i>Staggered-Truss System</i>	15
2.2.2 Komponen-Komponen Sistem Struktur <i>Staggered Truss</i>	17
2.3 Beban Gempa	22
2.3.1 <i>Response History Analysis</i>	23
2.3.2 <i>Response Spectrum Analysis</i>	25
2.3.3 RSNi-03-1726-2010	27
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	33
3.1 Prosedur Perancangan.....	33
3.2 Data Struktur Gedung	35
3.2.1 <i>Lay Out</i> dan Lokasi Bangunan	35
3.2.2 Properti Material.....	39
3.3 Variasi Pemodelan	40
3.4 Pembebanan Struktur.....	43
3.5 Kombinasi Beban.....	45
3.6 Modelisasi Sistem Struktur <i>Staggerred Truss</i>	46
BAB 4 HASIL PENELITIAN	48
4.1 Hasil Variasi 6 Lantai	48
4.1.1 Massa Efektif Bangunan.....	48
4.1.2 Pola Ragam Getar	48

4.1.3	Gaya Geser Akibat Gempa	50
4.2.4	Story Drift.....	55
4.2	Hasil Varian 12 Lantai.....	57
4.2.1	Massa Efektif dan Eksentrisitas.....	57
4.2.2	Pola Ragam Getar	57
4.2.3	Gaya Geser Dasar dan Tingkat	58
4.2.4	Story Drift.....	64
4.3	Hasil Variasi 21 Lantai	67
4.3.1	Massa Efektif Bangunan.....	67
4.3.2	Pola Ragam Getar	67
4.3.3	Gaya Geser Dasar dan Gaya Geser Tingkat	68
4.3.4	Story Drift.....	75
BAB 5	ANALISIS HASIL PENELITIAN	78
5.1	Profil Penampang.....	78
5.2	Pola Ragam Getar	79
5.3	Gaya Geser dan Momen Guling	87
5.4	Simpangan Antar Tingkat.....	89
BAB 6	KESIMPULAN DAN SARAN	107
6.1	Kesimpulan	107
6.2	Saran.....	108
	DAFTAR ACUAN	109
	DAFTAR PUSTAKA	110
	LAMPIRAN.....	112

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Koefisien Situs F_a	29
Tabel 2. 2 Koefisien Situs F_v	29
Tabel 2. 3 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t Dan X	30
Tabel 2. 4 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung.....	30
Tabel 2. 5 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Struktur Lainnya Untuk Beban Gempa.....	31
Tabel 2. 6 Faktor Keutamaan Gempa	31
Tabel 2. 7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter	31
Tabel 2. 8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter	32
Tabel 3. 1 Geometri Bangunan	36
Tabel 3. 2 Material pada Elemen Struktur	39
Tabel 3. 3 Properti Material Utama	39
Tabel 3. 4 Kombinasi Pembebanan.....	46
Tabel 4. 1 <i>Centre Mass Rigidity</i> Varian 6 Lantai.....	48
Tabel 4. 2 <i>Modal Participating Mass Ratio</i> Varian 6 Lantai.....	49
Tabel 4. 3 Pengecekan Gaya Geser Dasar Varian 6 Lantai	51
Tabel 4. 4 Perhitungan Gaya Lateral dan Gaya Geser Tingkat Arah X Varian 6 Lantai	51
Tabel 4. 5 Perhitungan Gaya Lateral dan Geser Tingkat Arah Y Varian 6 Lantai	51
Tabel 4. 6 Hasil Gaya Lateral dan Gaya Geser Tingkat Dinamik Arah X Varian 6 Lantai	52
Tabel 4. 7 Hasil Gaya Lateral dan Gaya Geser Tingkat Dinamik Arah Y Varian 6 Lantai	52
Tabel 4. 8 Momen Guling Gempa EX (M_y) dan Gempa EY (M_x) Varian 6 Lantai	54
Tabel 4. 9 Pengecekan Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Arah X Varian 6 Lantai	55
Tabel 4. 10 Pengecekan Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Arah Y Varian 6 Lantai.....	55
Tabel 4. 11 <i>Centre Mass Rigidity</i> Varian 12 Lantai.....	57
Tabel 4. 12 <i>Modal Participating Mass Ratio</i> Varian 12 Lantai.....	58
Tabel 4. 13 Pengecekan Gaya Geser Dasar Varian 12 Lantai	60
Tabel 4. 14 Perhitungan Gaya Lateral dan Gaya Geser Tingkat Arah X Varian 12 Lantai.....	60
Tabel 4. 15 Perhitungan Gaya Lateral dan Geser Tingkat Arah Y Varian 12 Lantai.....	60
Tabel 4. 16 Hasil Gaya Lateral dan Gaya Geser Tingkat Dinamik Arah X Varian 12 Lantai.....	61
Tabel 4. 17 Hasil Gaya Lateral dan Gaya Geser Tingkat Dinamik Arah Y Varian 12 Lantai.....	61
Tabel 4. 18 Momen Guling Gempa EX (M_y) dan Gempa EY (M_x) Varian 12 Lantai.....	63
Tabel 4. 19 Pengecekan Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Arah X Varian 12 Lantai.....	64

Tabel 4. 20 Pengecekan Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Arah Y 12 Lantai.....	66
Tabel 4. 21 <i>Centre Mass Rigidity</i> Varian 21 Lantai.....	67
Tabel 4. 22 <i>Modal Participating Mass Ratio</i> Varian 21 Lantai.....	68
Tabel 4. 23 Pengecekan Gaya Geser Dasar Varian 21 Lantai	70
Tabel 4. 24 Perhitungan Gaya Geser Statik Ekivalen Arah X Varian 21 Lantai .	70
Tabel 4. 25 Perhitungan Gaya Geser Statik Ekivalen Arah Y Varian 21 Lantai .	71
Tabel 4. 26 Hasil Gaya Lateral dan Gaya Geser Tingkat Dinamik Arah X Varian 21 Lantai.....	72
Tabel 4. 27 Hasil Gaya Lateral dan Gaya Geser Tingkat Dinamik Arah Y Varian 21 Lantai.....	73
Tabel 4. 28 Momen Guling Gempa EX (My) dan Gempa EY (Mx) Varian 21 Lantai.....	74
Tabel 4. 29 Pengecekan Simpangan Antar Tingkat Gempa Arah X Varian 21 Lantai.....	75
Tabel 4. 30 Pengecekan Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Arah Y 21 Lantai.....	76
Tabel 5. 1 Profil Penampang Seluruh Variasi.....	78
Tabel 5. 2 Periode Getar Awal Seluruh Variasi Ketinggian	82
Tabel 5. 3 Periode Getar Akhir Seluruh Variasi Ketinggian	83
Tabel 5. 4 Modal Participating Mass Ratio Awal Varian 6 Lantai.....	83
Tabel 5. 5 Modal Participating Mass Ratio Akhir Varian 6 Lantai	83
Tabel 5. 6 Modal Participating Mass Ratio Awal Varian 12 Lantai.....	83
Tabel 5. 7 Modal Participating Mass Ratio Akhir Varian 12 Lantai	83
Tabel 5. 8 Modal Participating Mass Ratio Awal Varian 21 Lantai.....	83
Tabel 5. 9 Modal Participating Mass Ratio Akhir Varian 21 Lantai	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Sistem <i>Staggered-Truss</i>	2
Gambar 1. 2 Metodologi Penelitian	5
Gambar 2. 1 Staggered-truss System	15
Gambar 2. 2 Sistem Balok Kantilever Double Planar Braced Frame	16
Gambar 2. 3 Sumbu Kolom Eksterior.....	17
Gambar 2. 4 Penyaluran Beban Lateral	18
Gambar 2. 5 Sistem Lantai <i>Staggered-Truss System</i>	19
Gambar 2. 6 Penyaluran Beban pada Kolom dari <i>Trusses</i>	20
Gambar 2. 7 Penyaluran Beban pada <i>Trusses</i>	21
Gambar 2. 8 Peta Wilayah Gempa Periode $T = 0,2$ detik.....	28
Gambar 2. 9 Peta Wilayah Gempa Periode $T = 1$ detik.....	29
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	34
Gambar 3. 2 Tampak 3 D Bangunan.....	35
Gambar 3. 3 Denah Lantai Genap.....	36
Gambar 3. 4 Denah Lantai Ganjil	37
Gambar 3. 5 Tampak Melintang 1 (Truss Tipe 1)	38
Gambar 3. 6 Tampak Melintang 2 (Truss Tipe 2)	38
Gambar 3. 7 Tampak Memanjang.....	39
Gambar 3. 8 Variasi 6 Lantai	40
Gambar 3. 9 Variasi 12 Lantai	41
Gambar 3. 10 Variasi 21 Lantai	42
Gambar 3. 11 Spektrum Respon Desain untuk Jakarta Tanah Lunak.....	45
Gambar 4. 1 Grafik Gaya Gempa Lateral Statik Ekuivalen Varian 6 Lantai	52
Gambar 4. 2 Grafik Gaya Gempa Dinamik Varian 6 Lantai	53
Gambar 4. 3 Grafik Gaya Geser Tingkat Gempa Arah X Varian 6 Lantai.....	53
Gambar 4. 4 Grafik Gaya Geser Tingkat Gempa Arah Y Varian 6 Lantai.....	54
Gambar 4. 5 Grafik Momen Guling Akibat Gaya Gempa Varian 6 Lantai.....	54
Gambar 4. 6 Grafik Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Arah X Varian 6 Lantai	56
Gambar 4. 7 Grafik Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Arah Y Varian 6 Lantai	56
Gambar 4. 8 Grafik Gaya Gempa Lateral Statik Ekuivalen Varian 12 Lantai	61
Gambar 4. 9 Grafik Gaya Gempa Dinamik Varian 12 Lantai	62
Gambar 4. 10 Grafik Gaya Geser Tingkat Gempa Arah X Varian 12 Lantai.....	62
Gambar 4. 11 Grafik Gaya Geser Tingkat Gempa Arah Y Varian 12 Lantai.....	63
Gambar 4. 12 Grafik Momen Guling Akibat Gaya Gempa.....	64
Gambar 4. 13 Grafik Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Arah X Varian 12 Lantai.....	65
Gambar 4. 14 Grafik Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Arah Y Varian 12 Lantai.....	65
Gambar 4. 15 Grafik Gaya Gempa Lateral Statik Ekuivalen Varian 21 Lantai	71
Gambar 4. 16 Grafik Gaya Gempa Dinamik Varian 21 Lantai	72
Gambar 4. 17 Grafik Gaya Geser Tingkat Gempa Arah X Varian 21 Lantai.....	73
Gambar 4. 18 Grafik Gaya Geser Tingkat Gempa Arah Y Varian 21 Lantai.....	74
Gambar 4. 19 Grafik Momen Guling Akibat Gaya Gempa Varian 21 Lantai.....	75

Gambar 4. 20 Grafik Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Arah X Varian 21 Lantai.....	76
Gambar 4. 21 Grafik Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Arah Y Varian 21 Lantai.....	77
Gambar 5. 1 Pola Ragam Getar Pertama Model Awal	80
Gambar 5. 2 Pola Ragam Getar Kedua Model Awal	80
Gambar 5. 3 Pola Ragam Getar Ketiga Model Awal.....	81
Gambar 5. 4 Pola Ragam Getar Keempat Model Awal.....	81
Gambar 5. 5 Tampak Memanjang Pola Ragam Pertama Translasi Arah Y.....	84
Gambar 5. 6 Tampak Plan Pola Ragam Pertama Translasi Arah Y	84
Gambar 5. 7 Tampak Elevasi Melintang Pola Ragam Kedua Translasi Arah X..	85
Gambar 5. 8 Tampak Plan Pola Getar Kedua Translasi Arah X.....	85
Gambar 5. 9 Tampak 3-D Pola Ragam Ketiga Rotasi Arah Z.....	86
Gambar 5. 10 Tampak Plan Pola Ragam Ketiga Rotasi Arah Z.....	86
Gambar 5. 11 Gaya Geser Tingkat Seluruh Variasi Gempa EX.....	87
Gambar 5. 12 Gaya Geser Tingkat Seluruh Variasi Gempa EY.....	88
Gambar 5. 13 Momen Guling Arah Y Gempa EX Seluruh Variasi.....	88
Gambar 5. 14 Momen Guling Arah X Gempa EY Seluruh Variasi.....	89
Gambar 5. 15 <i>Story Drift</i> Arah Y Gempa EY Seluruh Variasi.....	90
Gambar 5. 16 Gaya Dalam Lintang Gempa EY Kolom C14 Varian 6 Lantai.....	91
Gambar 5. 17 <i>Story Drift</i> Arah Y Gempa EY Point 14 Varian 6 Lantai	91
Gambar 5. 18 Gaya Geser dan <i>Story Drift</i> Arah Y Gempa EY Varian 6 Lantai..	92
Gambar 5. 19 Gaya Dalam Lintang Gempa EY Kolom C14 Varian 12 Lantai....	93
Gambar 5. 20 <i>Story Drift</i> Arah Y Gempa EY Point 14 Varian 12 Lantai	93
Gambar 5. 21 Gaya Geser dan <i>Story Drift</i> Arah Y Gempa EY Varian 12 Lantai	94
Gambar 5. 22 Gaya Dalam Lintang Gempa EY Kolom C14 Varian 21 Lantai....	95
Gambar 5. 23 <i>Story Drift</i> Arah Y Akibat Gempa EY Varian 21 Lantai.....	96
Gambar 5. 24 Gaya Geser dan <i>Story Drift</i> Arah Y Gempa EY Varian 21 Lantai	97
Gambar 5. 25 <i>Story Drift</i> Arah X Akibat Gempa EY Seluruh Variasi.....	98
Gambar 5. 26 <i>Story Drift</i> Arah X Akibat Gempa EX Seluruh Variasi.....	99
Gambar 5. 27 Gaya Dalam Lintang Gempa EX Kolom C14 Varian 6 Lantai....	100
Gambar 5. 28 <i>Story Drift</i> Arah X Akibat Gempa EX Varian 6 Lantai.....	100
Gambar 5. 29 Gaya Geser dan <i>Story Drift</i> Arah X Gempa EX Varian 6 Lantai	101
Gambar 5. 30 Gaya Dalam Lintang Gempa EX Kolom C14 Varian 12 Lantai..	101
Gambar 5. 31 <i>Story Drift</i> Arah X Akibat Gempa EX Varian 12 Lantai.....	102
Gambar 5. 32 Gaya Geser & <i>Story Drift</i> Arah X Gempa EX Varian 12 Lantai.	102
Gambar 5. 33 Gaya Dalam Lintang Gempa EX Kolom C14 Varian 21 Lantai..	103
Gambar 5. 34 <i>Story Drift</i> Arah X Akibat Gempa EX Varian 21 Lantai.....	104
Gambar 5. 35 Gaya Geser & <i>Story Drift</i> Arah X Gempa EX Varian 21 Lantai.	105
Gambar 5. 36 <i>Story Drift</i> Arah Y Akibat Gempa EX Seluruh Variasi.....	106
Gambar 6. 1 Vierendeel Truss Pada Staggered Truss.....	108

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Pemodelan Sistem Struktur <i>Staggered Truss</i> Baja.....	112
Lampiran 2 : Sambungan Pada Sistem Struktur <i>Staggered Truss</i>	121



BAB 1

PENDAHULUAN

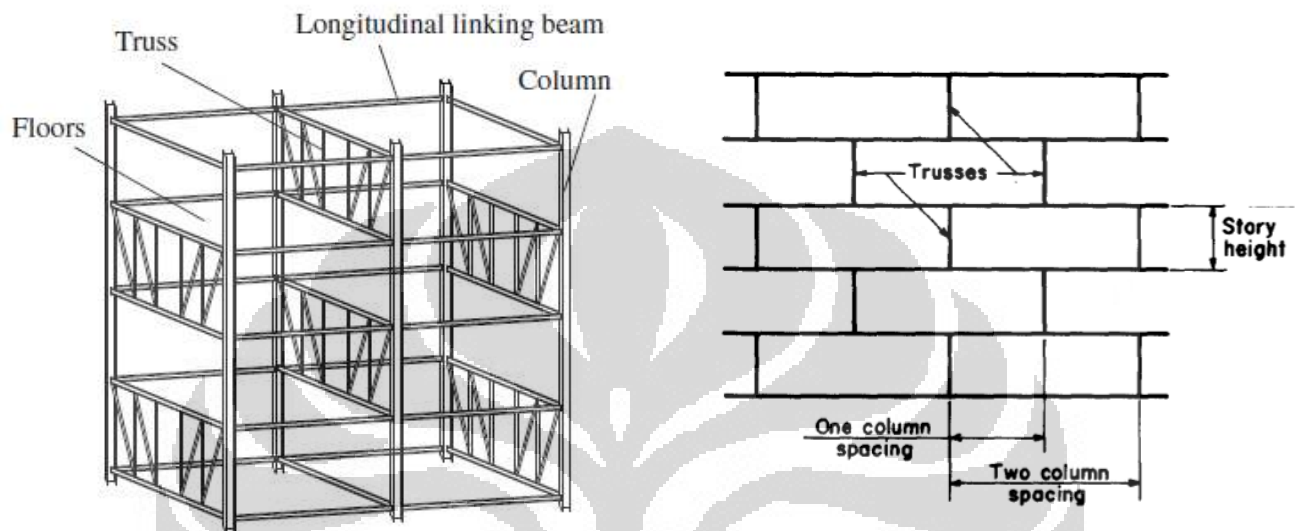
1.1 Latar Belakang

Sekarang ini pertumbuhan sektor properti seperti hotel dan apartemen berkembang sangat pesat di kota-kota besar di Indonesia. Kebanyakan hotel dan apartemen yang telah dibangun merupakan bangunan tingkat sedang dan tingkat tinggi. Baik hotel maupun apartemen memiliki karakteristik bangunan yang sama dimana pada umumnya terdiri dari banyak unit-unit ruangan, tinggi per lantai bangunan yang rendah, struktur bangunan yang tinggi dan tidak begitu lebar. Penelitian yang bertujuan mengembangkan sistem struktur yang ekonomis untuk pembangunan dengan tipe bangunan seperti itu telah dilakukan oleh *Massachusetts Institute of Technology* pada tahun 1960-an yang didukung oleh *U.S Steel Corporation*. Sistem struktur baja *staggred truss* merupakan hasil yang telah dikembangkan oleh departemen arsitektur dan teknik sipil di *MIT*.

Sistem *staggered truss* adalah sistem struktur dimana *high trusses* dibentangkan pada arah melintang di antara dua kolom eksterior setiap lantai. Fleksibilitas dihasilkan dari penempatan *high trusses* ini secara bergantian atau selang-seling pada tiap lantai berikutnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar.1.1. Di Amerika, sistem ini telah digunakan untuk bangunan bertingkat dengan jumlah tingkat 30 - 40 lantai. Sistem *staggered truss* ini pertama kali digunakan pada pembangunan hunian di *St.Paul, Minnesota*, yang selesai pada tahun 1967. Setelah itu banyak pembangunan hotel, apartemen bahkan gedung perkantoran yang memiliki karakteristik bangunan yang sama dibangun pula dengan konsep *staggered truss* (Bungale S. Taranath, 427).

Staggered-truss system merupakan sistem yang efisien digunakan pada bangunan seperti hotel, apartemen, motel, dsb. Rangka diagonal dapat dihilangkan untuk menyediakan lokasi sebagai koridor bagi penghuni. Selain itu keberadaan kolom interior tidak lagi dibutuhkan karena rangka hanya didukung oleh kolom-kolom eksterior sehingga menyediakan lebih banyak area bebas kolom. Karena rangka batang diletakkan segara bergantian tiap lantainya, *two-bay-wide* area bebas kolom dapat dibuat pada arah longitudinal. Penggunaan yang paling

ekonomis dalam pemasangan *staggered-truss* dapat dicapai dengan penempatan rangka-rangka diantara unit-unit ruang atau kamar yang diinginkan. Selain itu penelitian MIT juga menunjukkan sistem *staggered truss* ini mengurangi konsumsi baja sampai 40% daripada penggunaan *braced frame* pada struktur bangunan yang tipikal (X. Zhou et al, 1344).



Gambar 1.1 Sistem *Staggered-Truss*

Sumber : Scalzi (1971)

Beberapa literatur menjelaskan bahwa sistem *staggered truss* ini mempunyai kekakuan lateral yang cukup besar untuk menahan gaya lateral seperti angin dan gempa sehingga menghasilkan *lateral displacement* yang terkontrol (X. Zhou et al, 1343; AISC Design Guide, 1). Pada kenyataannya sistem *staggered truss* ini masih jarang diterapkan di Indonesia yang merupakan daerah rawan gempa, sehingga diperlukan studi terhadap perilaku struktur tersebut akibat beban gempa apabila diterapkan pada daerah gempa seperti Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Penerapan *staggered truss system* di Indonesia masih jarang, sehingga dilakukan studi awal mengenai karakteristik sistem ini terhadap beban gravitasi dan gempa apabila diterapkan pada wilayah daerah gempa seperti Indonesia sebagai dasar referensi pemilihan *staggered truss system* untuk pembangunan hotel dan apartemen di Indonesia. Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan

sebelumnya, maka rumusan masalah yang akan dijawab dalam studi ini adalah sebagai berikut;

1. Bagaimana pengaruh beban lateral gempa terhadap perilaku sistem struktur *staggered truss*.
2. Bagaimana pengaruh ketinggian struktur terhadap perilaku sistem struktur *staggered truss* tersebut.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sesuai dengan rumusan masalah yang telah disebutkan di atas adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui perilaku sistem struktur *staggered truss* terhadap beban gravitasi dan beban gempa.
2. Untuk mengetahui pengaruh jumlah lantai dalam sistem struktur *staggered truss* terkait perilaku yang ditinjau.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

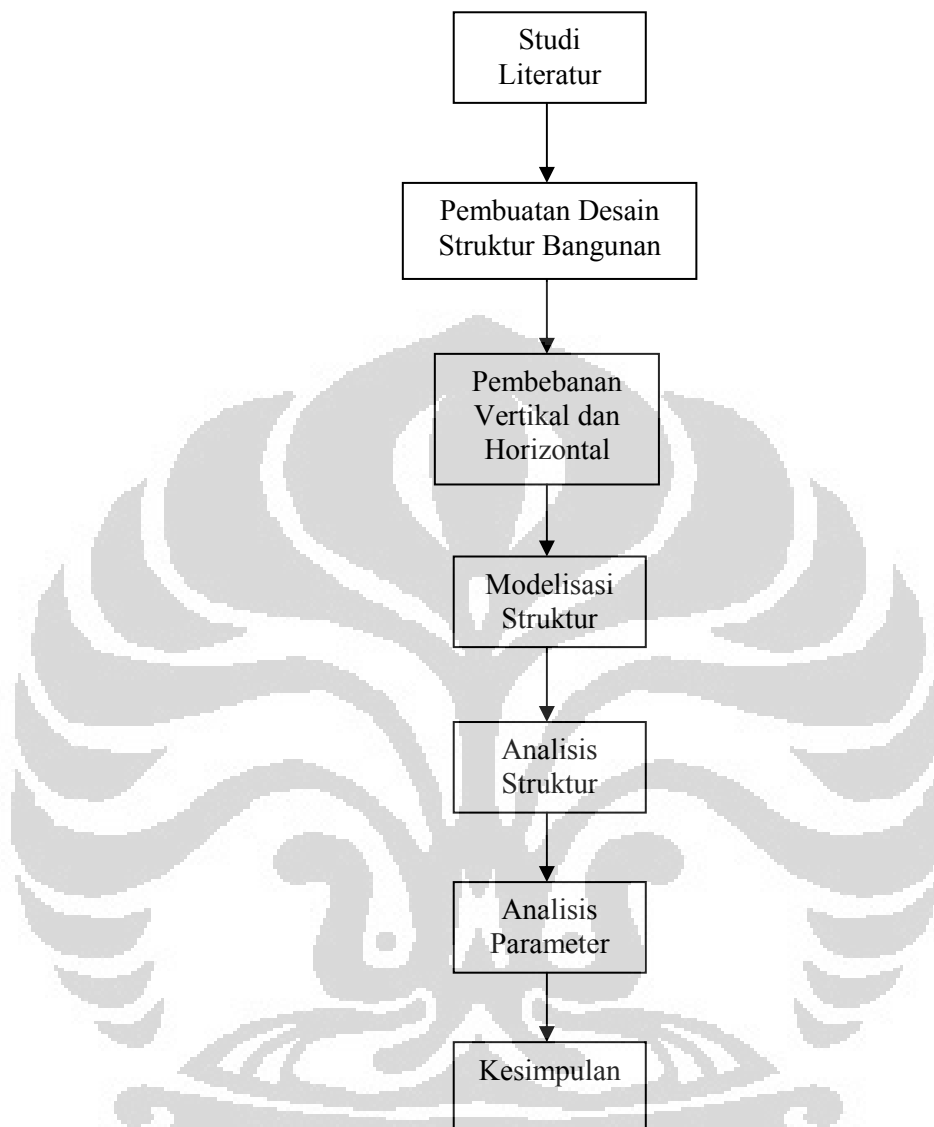
1. Pembebanan yang dilakukan adalah pembebanan gravitasi dan pembebanan lateral. Beban gravitasi disini meliputi beban mati dan beban hidup, sedangkan beban lateral yang dianalisis adalah beban gempa.
2. Bangunan gedung bertingkat yang berlokasi di Jakarta yang merupakan wilayah gempa dengan jenis tanah lunak. Gedung berfungsi sebagai bangunan hotel.
3. Analisis struktur yang dilakukan dibatasi pada elemen struktur atas, tidak termasuk pondasi dengan bantuan perangkat lunak ETABS V9.7.0.
4. Analisis respon gempa dilakukan dengan analisis respon spektrum secara 3 dimensi dengan bantuan perangkat lunak ETABS V9.7.0.
5. Peraturan-peraturan yang digunakan adalah:
 - a. Departemen Pekerjaan Umum, SNI 03-1726-2002 “Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung”.
 - b. Departemen Pekerjaan Umum, SNI 03-1729-2002 “Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung”.

- c. Departemen Pekerjaan Umum, SKBI-1.3.53.1987 “Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung”, 1987.
- d. AISC, *Steel Design Guide “Staggered Truss Framing Systems”*, 2003.
- e. AISC 303-05, “*Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges*”, 2005.
- f. AISC 341-05, “*Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*”, 2005.
- g. AISC 360-05, “*Specification for Structural Steel Building*”, 2005.
- h. ASCE 7-10, “*Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*”, 2010.
- i. ACI, “*Building Code Requirements for Structural Concrete*”, 2008.

1.5 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah dalam pengerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan studi literatur terkait dengan sistem struktur *staggered trus*.
2. Membuat desain bangunan dengan sistem struktur *staggered trus*.
3. Menentukan variasi pemodelan dalam desain bangunan.
4. Menentukan pembebanan yang diberikan pada struktur.
5. Melakukan pemodelan struktur dengan *software*.
6. Menganalisis parameter yang telah dihasilkan.
7. Membuat kesimpulan dari analisis yang telah dilakukan terkait dengan tujuan penelitian.



Gambar 1.2 Metodologi Penelitian

Sumber: Olahan Sendiri

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- **BAB I : PENDAHULUAN**

Dalam bab ini diuraikan mengenai latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah yang ditinjau, serta sistematika penulisan laporan penelitian.

- **BAB II : DASAR TEORI**

Bab ini berisi tentang dasar-dasar teori yang digunakan dalam penelitian mencakup material baja sebagai material struktur, sistem struktur *staggered truss*, dan penjelasan mengenai beban gempa.

- **BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

Bagian ini menjelaskan tentang prosedur perancangan, modelisasi struktur, variasi pemodelan struktur, serta pembebanan struktur.

- **BAB IV : HASIL PENELITIAN**

Bagian ini menguraikan tentang hasil-hasil dari pengolahan data yang telah dilakukan.

- **BAB V : ANALISIS HASIL PENELITIAN**

Bagian ini berisi analisis terhadap hasil penelitian yang dilakukan yang telah diolah sebelumnya.

- **BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN**

Bagian ini berisi kesimpulan dan saran yang terkait dengan penelitian yang telah dilakukan.

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Material Baja Sebagai Material Struktur

Baja adalah material bangunan yang digunakan oleh berbagai jenis bangunan dalam industri konstruksi. Baja memiliki banyak keunggulan dibandingkan oleh material bangunan lainnya yang berupa beton, kayu, plastik atau material terbarukan lainnya. Baja merupakan salah satu material bangunan yang ramah lingkungan dimana baja dapat didaur ulang 100%. Baja tidak seperti kayu, baja tidak mengalami *warp* atau *twist* dan tidak mengembang dan menyusut karena cuaca. Tidak seperti beton, baja tidak membutuhkan waktu untuk *curing* untuk mencapai kekuatannya. Baja memiliki kekuatan yang lebih besar dengan berat yang lebih ringan, memiliki penampilan yang menarik, dapat dipasang dalam berbagai kondisi cuaca, daya tahannya telah teruji dan memiliki *low life cycle costs* (Gary S.Berman, 8). Keunggulan inilah yang membuat baja sebagai salah satu material bangunan yang diminati.

2.1.1 Proses Desain [1]

Desain material struktural baja telah berkembang selama ini, evolusi desain baja membawa kita dari teori *the stiffer the structure better* menuju *teori flexibility and ductility is key* (Gary S.Berman, 9). Robert Englekirik dalam bukunya menjelaskan desain struktur baja dimulai dengan *Conceptual Design Phase* yang bertujuan menciptakan sistem struktur yang ekonomis dan dapat melaksanakan fungsinya dengan benar berdasarkan gambar arsitek yang telah tersedia. Pertama adalah menentukan sistem struktur dari bangunan yang akan dibangun, kemudian menentukan susunan elemen-elemen pembentuk sistem struktur tersebut. Hal-hal yang perlu dijawab dalam fase ini seperti; Dimana saja lokasi kolom? Jarak antar balok? Sistem lantai seperti apa yang dipilih? *Bracing* seperti apa yang akan digunakan? Dimana *bracing* akan diletakkan?. Komponen-komponen tersebut terdiri dari *main member*, *secondary member*, dan *connectors*.

Main member merupakan bagian utama dalam sistem struktur yaitu balok, kolom, rangka dan girder. Main member adalah kerangka dari *framework* dan bagian utama yang memikul beban yang diberi oleh struktur. Secara

sederhana, main member merupakan elemen utama struktur pendukung bangunan tersebut. *Secondary member* dapat terdiri dari bracing, tangga, dan decking, *secondary structural* didesain untuk memikul beban-beban khusus. *Connectors* atau sambungan adalah joint atau *nodes* dari elemen struktur yang digunakan untuk menyalurkan gaya-gaya antara elemen-elemen struktur, dimana harus dipastikan sambungan ini dapat memikul *cumulative stresses* pada *nodes* baik tegangan tarik, tekan momen lentur, maupun torsi.

Fase berikutnya adalah *Design Development Phase* yaitu mengoptimasi rencana keseluruhan sistem struktur yang digunakan. Pengembangan melalui alternatif pilihan dilakukan untuk menghasilkan keseluruhan sistem struktur yang optimum.

Fase selanjutnya adalah *Construction Documentation* yang terdiri dari tiga produk yaitu, *design plans, design calculations, specifications*. *Design plans* terdiri dari serangkaian gambar yang dikembangkan oleh engineer dengan detail-detail yang dibutuhkan yang juga digunakan untuk persiapan fabrikasi material baja yang dibutuhkan. *Design calculations* dipersiapkan untuk sebagai salah satu acuan dalam proses pengambilan keputusan. *Structural Specifications* dibuat sebagai dokumen pelengkap gambar-gambar *structural* baja.

2.1.2 *Structural Steel Member* [2]

Baja struktural sebagian besar komponennya merupakan besi yang kemudian dikombinasikan dengan mineral-mineral lainnya dalam proporsi yang disesuaikan untuk mendapatkan campuran yang memiliki karakteristik yang diinginkan. Lebih dari 200 tipe baja tersedia saat ini. Industri konstruksi telah membuat berbagai bentuk material baja struktural yang secara efektif dapat mengakomodasi kebutuhan-kebutuhan dalam bangunan. Kebanyakan bentuk-bentuk baja struktural tersebut dihasilkan melalui proses *hot-rolled*, dimana kekuatan dari baja juga dipengaruhi oleh jumlah *rolling* yang dibutuhkan untuk membentuk suatu bentuk tertentu. Semakin banyak waktu yang dibutuhkan suatu material baja dalam proses *rolling* untuk mengurangi ketebalan yang diinginkan, maka semakin kuat material tersebut.

Terdapat berbagai macam bentuk-bentuk material baja yang ada di pasaran saat ini, mulai dari *I-shape, W-shape, S-shape, M-shape, T-shape, L-*

shape, C-shape, Tube, dan Pipe. Berbagai bentuk penampang ini dihasilkan dari pengembangan-pengembangan terhadap proses pembentukan penampang-penampang tersebut. Banyak hal yang menjadi pertimbangan seperti daerah-daerah penampang yang kurang efisien dalam menahan momen sehingga dikurangi luasnya dan dimensi-dimensi penampang yang dibuat bersesuaian agar mudah dalam peenyambungan.

2.1.3 Keruntuhan Material Baja [3]

Ketika elemen struktur dibebani, respon struktur tidak hanya ditentukan oleh karakteristik material itu sendiri tetapi juga oleh kondisi lingkungan dan cara pembebanan yang dilakukan. Terdapat banyak tipe kegagalan material, kegagalan-kegagalan tersebut dapat dikategorikan sebagai berikut:

a) *Failure by excessive elastic deflection*

Beban maksimum yang diberikan pada elemen struktur dapat menyebabkan elemen tersebut mengalami lendutan yang melampaui batas lendutan elastis yang diijinkan sehingga tidak dapat lagi memenuhi fungsinya. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi lendutan yang terjadi dalam suatu elemen struktur adalah dengan mengubah bentuk atau memperbesar dimensi penampang elemen struktur bukan dengan menjadikan elemen struktur tersebut menjadi lebih kaku.

b) *Failure by general yielding*

Kelelahan adalah deformasi dari suatu bagian elemen struktur yang dapat pula disebabkan oleh pembebanan yang melewati kapasitas lelehnya.

c) *Failure by fracture*

Patah merupakan salah satu jenis kegagalan yang membuat elemen struktur tidak lagi dapat menjalankan fungsinya. Mekanisme terjadinya patah yang mungkin dalam elemen baja adalah dalam kategori sebagai berikut : 1). *Fracture of flawed member* dimana sebuah elemen struktur yang terbuat dari material yang daktail seperti baja, jarang mengalami kegagalan *fracture*. Kegagalan *fracture* lebih dahulu terjadi bila terdapat cacat (*flaws*) dalam material daktail tersebut atau kondisi temperatur yang *ekstrem*. 2). *Progressive fracture (fatigue)* dapat terjadi apabila elemen struktur diberi pembebanan static yang berulang-ulang, maka

tegangan hasil dari perulangan beban dapat saja lebih besar dari suatu nilai tertentu maka elemen struktur dapat dikatakan *fatigue*.

d) *Failure by instability (buckling)*

Tekuk dapat terjadi khususnya pada elemen yang memiliki rasio kelangsingan tertentu akibat beban aksial tekan yang melewati batas kritis tekuk material tersebut. Tekuk dapat terjadi dalam arah bidang atau luar bidang (*in plane or out plane*).

2.1.4 Desain Elemen Struktur Baja [4]

2.1.4.1 Desain Baja Sebagai Tension Member

Desain untuk elemen tarik meliputi menemukan *gross and net area* yang sesuai. Jika elemen tersebut disambung dengan sambungan baut, pemilihan penampang mempertimbangkan pula luas yang hilang akibat lubang baut. Persyaratan untuk elemen tarik dengan aturan *LRFD* adalah sebagai berikut:

$$P_u \leq \phi_t P_n$$

Dimana P_u adalah jumlah dari beban terfaktor. Kemudian persyaratan untuk mencegah dari kegagalan leleh adalah:

$$0.9F_y A_g \geq P_u$$

Persyaratan untuk memastikan *fracture* tidak terjadi adalah:

$$0.75F_u A_e \geq P_u$$

Kegagalan lain yang dapat terjadi adalah kegagalan *block shear* yang dihindari dengan persyaratan di bawah ini :

$$R_n = 0.6F_u A_{nv} + U_{bs}F_u A_{nt} \leq 0.6F_y A_{gv} + U_{bs}F_u A_{nt}$$

Hal lain yang harus diperhatikan pula adalah *slenderness* atau kelangsingan. Kelangsingan biasanya dinyatakan dalam *slenderness ratio* dimana pembatasan rasio tersebut adalah:

$$r \leq \frac{L}{300}$$

2.1.4.2 Desain Baja Sebagai Compression Member

Elemen tekan merupakan elemen struktur yang mengalami gaya aksial tekan dimana gaya bekerja pada sumbu centroid dalam arah longitudinal penampang elemen tersebut. Hal yang perlu dipertimbangkan adalah *critical*

buckling load yaitu besar gaya dimana apabila gaya tersebut dialami oleh elemen tekan (biasanya merupakan elemen kolom) maka elemen akan mulai mengalami tekuk elastis. Persyaratan dalam desain pun memperhitungkan tegangan akibat gaya ini.

$$\phi_c F_{cr} A_g \geq P_u$$

$$F_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

Pertimbangan lain adalah *local stability* dimana tekuk lokal akan terjadi pada sebagian kecil elemen dari elemen struktur tekan. Oleh karena itu *width-thickness ratio* dibatasi untuk bagian penampang yang berbeda-beda. Misal untuk bagian sayap atau *flanges* penampang *I* dan *H* memiliki persyaratan menghindari *flange local buckling* sebagai berikut:

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$\frac{b_f}{2t_f} = 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Bagian badan atau *web* dari penampang *I* dan *H* memiliki persyaratan menghindari *web local buckling* sebagai berikut:

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$\frac{h}{t_w} = 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Dalam kondisi-kondisi tertentu desain elemen tekan dapat pula memerlukan pertimbangan mengenai *torsional buckling* atau *flexural-torsional buckling*.

2.1.4.3 Desain Baja Sebagai Elemen Balok

Elemen balok merupakan elemen struktur yang umumnya mengalami beban momen lentur. Dalam desain penampang yang digunakan biasanya adalah penampang *W*-, *S*-, dan *M*-shapes. Hal pertama yang perlu diperhatikan dalam desain elemen momen lentur adalah klasifikasi penampang yaitu *compact*, *non compact*, atau *slender*. Dimana λ adalah *width-thickness ratio*, λ_p adalah batas atas untuk kategori kompak, λ_r adalah batas atas kategori non-kompak. Klasifikasi penampang sebagai berikut:

- Jika $\lambda \leq \lambda_p$ dan bagian *flange* tersambung secara langsung dengan bagian *web*, maka penampang kompak.
- Jika $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$, penampang non-kompak
- Jika $\lambda > \lambda_r$, penampang langsing.

Kategori tersebut berdasarkan dari perbandingan tertentu dari nilai λ untuk bagian *web* dan *flanges*. Misal, bagian *web* kompak, sedangkan bagian *flanges* non-kompak maka penampang tersebut non-kompak. Setelah diketahui kategori penampang, maka desain dilakukan berdasarkan kategori tersebut. Hal perlu dipertimbangkan dalam desain penampang kompak adalah terjadinya *lateral torsional buckling (LTB)* sehingga kekuatan penampang kompak memperhitungkan kondisi tersebut.

$$L_p = 1.76r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Jika $L_b \leq L_p$ maka tidak terjadi *LTB*

$$M_n = M_p$$

Jika $L_p < L_b \leq L_r$, maka terjadi inelastic *LTB*

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

Jika $L_b > L_r$, maka terjadi elastic *LTB*

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p$$

Dimana

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{J_c}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2}$$

Kebanyakan penampang-penampang *W*-, *M*-, *S*-, *C*- *shapes* merupakan penampang kompak. Hanya beberapa yang merupakan penampang non-kompak, hal ini biasanya disebabkan oleh bagian *flanges* yang non-kompak. Desain penampang non-kompak pada bagian *flanges* selain mempertimbangkan *LTB* maka juga harus memperhitungkan *flange local buckling (FLB)* dalam desain kekuatannya. Kuat nominal dengan pengaruh *flange local buckling* adalah sebagai berikut:

Jika $\lambda \leq \lambda_p$ maka tidak terjadi *FLB*

Jika $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ maka terjadi *FLB*

$$M_n = M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right)$$

Kuat nominal penampang non-kompak karena pengaruh *lateral torsional buckling* adalah sebagai berikut :

$$L_p = 1.76r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Jika $L_b \leq L_p$ maka tidak terjadi *LTB*

Jika $L_p < L_b \leq L_r$ maka terjadi *inelastic LTB*

$$M_p = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

Jika $L_b > L_r$ maka terjadi *elastic LTB*

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p$$

Dimana

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{Jc}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2}$$

Selain mengalami beban momen lentur, elemen balok juga dapat mengalami beban geser. Pada penampang *W-shape*, kuat nominal geser dibatasi oleh kelelahan bagian *web*. Oleh karena itu kuat nominal geser adalah :

$$V_n = 0.6F_y A_w$$

Kegagalan pada *web* yaitu *web local buckling* dimungkinkan terjadi maka *width-thickness ratio* dibatasi, misal untuk *hot-rolled I* adalah :

$$\frac{h}{t_w} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Hal lain yang perlu diperhatikan dalam desain elemen balok adalah mengenai kondisi *serviceability* juga harus dipenuhi. Kondisi layan ini harus tercapai agar tidak terjadi ketidaknyamanan yang dirasakan penggunaan struktur tersebut. Untuk balok sederhana di atas dua perletakan yang dibebani dengan beban terbagi rata memiliki lendutan maksimum sebesar :

$$\Delta = \frac{5}{384} \frac{wL^4}{EI}$$

2.1.4.4 Desain Baja Sebagai Elemen Balok-Kolom

Pada beberapa kasus, penyederhanaan desain balok sebagai elemen murni pemikul momen lentur dan kolom sebagai elemen murni aksial tekan tidak dapat dilakukan. Oleh karena itu terdapat desain elemen balok-kolom dimana memperhitungkan pengaruh kedua desain elemen momen lentur dan aksial tekan. Rumus interaksi dibutuhkan untuk mempertimbangkan bahwa terdapat pengaruh jenis beban lain yang akan dipikul oleh elemen struktur tersebut selain beban utama yang dipikulnya. Rumus interaksi pada desain *LRFD* elemen balok-kolom adalah sebagai berikut:

Kondisi 1 :

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} \geq 0.2$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1.0$$

Kondisi 2 :

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} < 0.2$$

$$\frac{P_u}{2\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1.0$$

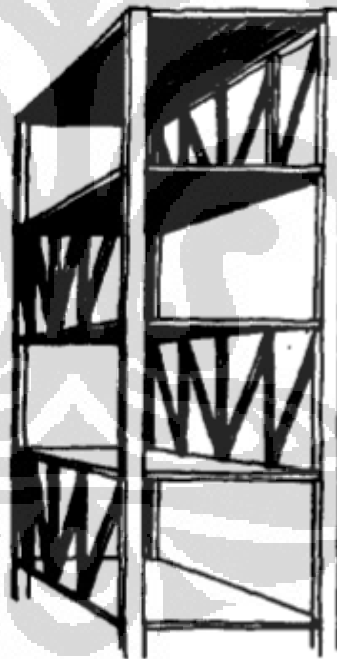
Hal lain yang dipertimbangkan dalam desain elemen balok-kolom adalah adanya momen amplifikasi. Kondisi ini adalah dimana pengaruh beban aksial dapat membeikan momen sekunder kepada elemen struktur akibat pengaruh interaksi antara momen lentur dan aksial. Momen ini dapat diperhitungkan dalam desain dengan *moment amplification method*, dimana momen lentur maksimum didapat dari cara *first order analysis* kemudian dikalikan dengan *moment amplification factor* untuk memperoleh besarnya momen sekunder. Dimana *amplification factor* dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{1}{1 - \left(\frac{P_u}{P_e} \right)}$$

Rangka batang tepi atas yang dibebani dengan beban di antara *joint* harus didesain sebagai elemen balok-kolom karena *open web steel joist* harus menopang beban gravitasi yang terdistribusi pada batang tepi atas. Untuk menghitung beban tersebut, rangka dapat dimodelkan sebagai elemen balok menerus yang memiliki sambungan *pin connected members*. Beban aksial dan momen lentur dapat diperoleh dari analisis struktur metode kekakuan, sehingga momen lentur dan reaksi dapat diketahui dengan memperlakukan rangka batang tepi atas sebagai balok menerus.

2.2 *Staggered Truss System*

Sistem staggered truss terdiri atas serangkaian rangka batang tersusun yang membentang keseluruhan lebar antara dua baris kolom eksterior dan diatur dalam pola bergantian pada garis kolom yang berdekatan.



Gambar 2.1 Staggered-truss System

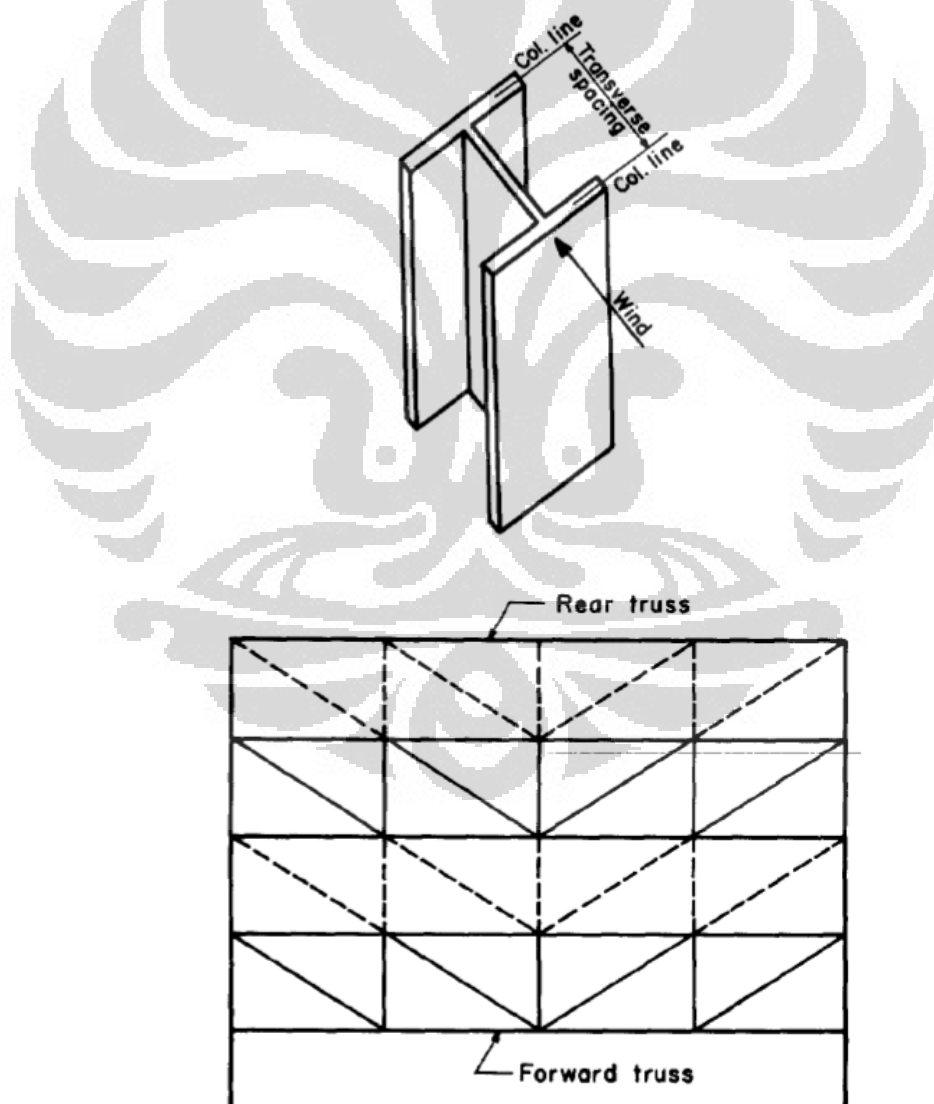
Sumber : Scalzi (1971)

2.2.1 *Dasar Teori Staggered-Truss System* [5]

Konsep dasar dari sistem *staggered truss* ini adalah keseluruhan rangka (*frame*) berperilaku sebagai balok kantilever ketika diberikan beban lateral. Dalam konteks ini, semua kolom ditempatkan pada lokasi dinding eksterior gedung dan

berfungsi sebagai bagian sayap (*flanges*) dari balok kantilever tersebut, sedangkan rangka batang yang membentang secara melintang sepanjang lebar antara dua kolom yang berseberangan berfungsi sebagai bagian badan (*web*) dari balok kantilever.

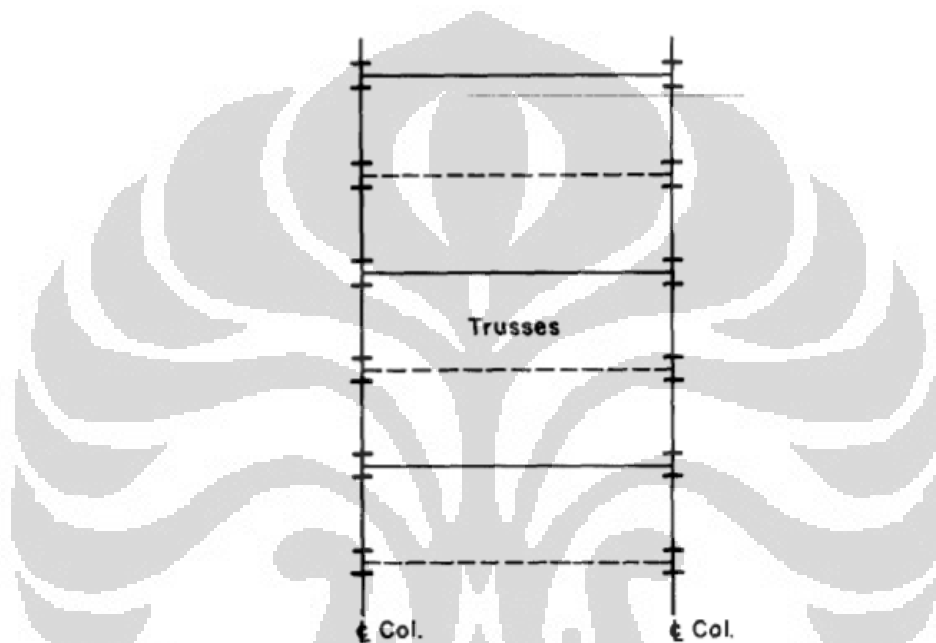
Sistem lantai membentang dari tepi atas salah satu rangka batang ke tepi bawah truss lain yang berdekatan. Oleh karena itu, struktur lantai menjadi komponen utama dari kerangka struktur yang berperan sebagai suatu *diaphragm* yang menyalurkan gaya geser lateral dari suatu garis kolom ke garis kolom lainnya, memungkinkan struktur berperilaku sebagai *single braced frame*, meskipun rangka batang terletak pada dua bidang yang sejajar .



Gambar 2.2 Sistem Balok Kantilever (atas) Double Planar Braced Frame (bawah)

Sumber : Scalzi (1971)

Aksi kantilever dari sistem *truss double planar* terhadap beban lateral mengurangi momen lentur yang terjadi pada kolom. Oleh karena itu, dalam desain biasanya kolom didesain hanya terhadap gaya aksial dan bagian web kolom diorientasikan tegak lurus terhadap rangka batang, sehingga tekuk lokal karena hubungan dengan ujung tepi rangka batang dapat diabaikan. Diperhatikan pula, orientasi sumbu kuat dari penampang melintang kolom juga harus tersedia untuk kerangka sistem portal dalam arah longitudinal gedung.



Gambar 2.3 Sumbu Kolom Eksterior

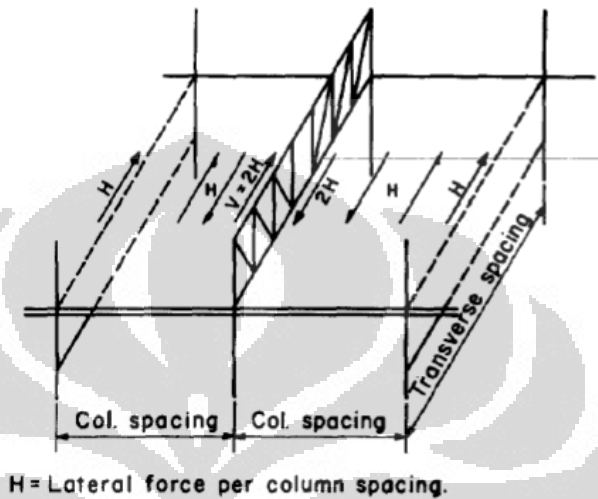
Sumber : Scalzi (1971)

2.2.2 Komponen-Komponen Sistem Struktur *Staggered Truss*

2.2.2.1 Sistem Lantai

Sebagaimana pada sistem struktur lainnya, sistem lantai pada sistem staggered truss harus memenuhi dua persyaratan ; (i) mengumpulkan dan meneruskan beban gravitasi menuju elemen vertikal dan (ii) menahan beban lateral sebagai diafragma geser dan menyediakan alur menerus untuk menyalurkan beban lateral dari tepi bawah rangka batang menuju tepi atas rangka batang dibawahnya yang berdekatan (Bungale S.Taranath, 431). Pelat lantai membentang dari tepi atas salah satu *truss* ke tepi bawah *truss* lain yang

bersebelahan. Beban lateral yang ekuivalen pada setiap rangka batang adalah sama dengan beban lateral yang bekerja sepanjang *two-bays*. Jadi, panel lantai pada tiap sisi samping rangka batang harus menyalurkan setengah dari beban lateral rangka batang menuju rangka batang dibawahnya yang berdekatan (Bungale S.Taranath, 433).



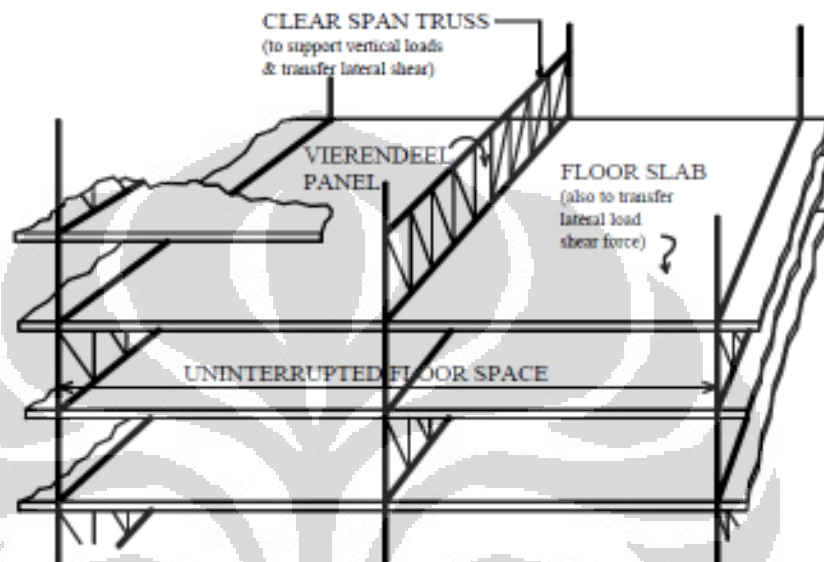
Gambar 2.4 Penyaluran Beban Lateral

Sumber : Scalzi (1971)

Sistem lantai berfungsi sebagai balok tinggi (*deep-beam*) yang menahan geser sebidang dan momen lentur. Momen lentur dapat ditahan oleh lantai atau aksi *flanges* pada dinding eksterior. Sistem lantai dapat dianggap balok menerus untuk gaya sebidang (*in-planes*). Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, sistem lantai harus berfungsi sebagai diafragma geser yang menahan gaya lateral, sehingga sistem sambungan antara pelat harus bersifat rigid dengan cara pengelasan dan mampu menyalurkan gaya geser yang timbul (John.B. Scalzi, 140).

Sistem lantai yang digunakan untuk staggered truss pada umumnya menggunakan *precast concrete planks*, *long-span composite steel decks*, *open-web joist system* atau sistem lantai lain yang masih memenuhi persyaratan struktural dan arsitektural (Bungale S.Taranath, 431). Meskipun berbagai sistem lantai dapat digunakan untuk sistem ini, namun secara ekonomis dipakai sistem lantai *precast concrete planks* atau *long span composite metal deck* dengan penambahan *topping* yang dicetak dan dicor di tempat. Tebal *precast plank* yang

dapat digunakan adalah sebagai berikut; bentang sampai 9,15 meter membutuhkan tebal pelat 203 mm, sedangkan bentang yang kurang dari 7,3 meter membutuhkan tebal 152 mm (AISC Design Guide, 1).



Gambar 2. 5 Sistem Lantai *Staggered-Truss System*

Sumber : Del Savio (2005)

2.2.2.2 Kolom [6]

Fungsi kolom pada *staggered truss* sama dengan fungsi kolom pada sistem struktur umumnya, yaitu untuk mendukung beban gravitasi total dan beban lateral pada arah transversal dan longitudinal dari sistem struktur. Beban gravitasi didistribusikan ke kolom dengan cara umum yang dilakukan yaitu berdasarkan perbandingan luas lantai, yang menerima sejumlah beban reduksi sesuai dengan peraturan yang ada. Beban gravitasi dipertimbangkan sebagai gaya aksial langsung yang bekerja pada kolom, akibat hubungan truss pada badan kolom.

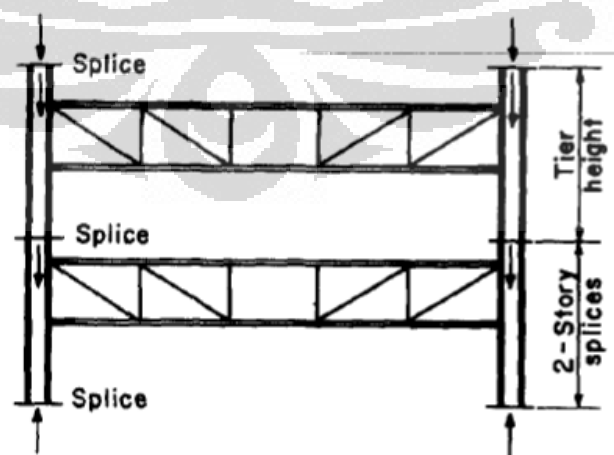
Pada sistem *staggered truss* beban lateral diambil alih oleh lantai, yang beraksi sebagai diafragma, kemudian rangka batang diagonal beraksi sebagai *vertical braces*. Oleh karena itu, beban lateral disalurkan sebagai beban langsung pada kolom. Tidak ada gaya geser yang menghasilkan momen lentur pada kolom dalam arah transversal bangunan. Gaya gempa atau lateral pada gedung

menghasilkan beban langsung pada kolom sebagai hasil dari aksi sistem *double planar truss*.

Beban kolom dihitung dari momen lentur, M , pada setiap level Z , dari ujung dan dapat dirumuskan sebagai $M = \frac{1}{2} W$, dimana W adalah beban angin atau lateral seragam per kaki ketinggian gedung. Untuk beban angin atau lateral lainnya perhitungan pembanding perlu dibuat. Perhitungan beban angin pada kolom berdasarkan aksi balok kantilever yang diekspresikan sebagai $P = M/D$ dimana P adalah beban aksial kolom, M adalah momen lentur, D adalah lebar dalam arah transversal gedung.

Aspek lain yang perlu dipertimbangkan dalam desain *staggered truss* ini meliputi pengaruh dari defleksi rangka batang yang mengakibatkan kelebihan momen lentur pada sumbu lemah. Gaya tekan pada rangka batang tepi atas dan elongasi dari rangka batang tepi bawah dapat menghasilkan momen lentur. Apabila tidak dilakukan alternatif untuk mengantisipasi hal tersebut, maka desain pada kolom harus mempertimbangkan momen lentur yang harus dipikul kolom.

Cara pemilihan penampang kolom sama dengan desain kolom baja pada umumnya, yaitu berdasarkan pertimbangan beban aksial dan perilaku momen dalam arah aksial dan perilaku momen dalam arah longitudinal dan transversal dari gedung. Penelitian menunjukkan bahwa kolom bagian tengah menerima 90 % beban aksial dan momen dari hubungan tepi atas truss. Selanjutnya untuk desain diasumsikan semua beban kolom bekerja pada hubungan tepi atas truss ke kolom.

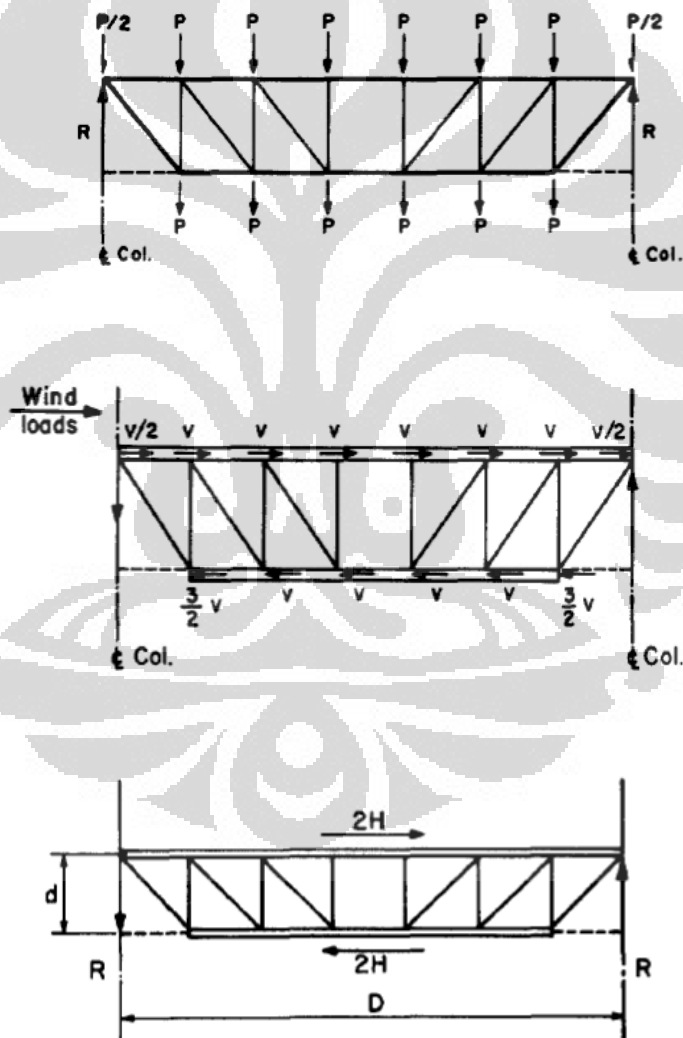


Gambar 2.6 Penyaluran Beban pada Kolom dari *Trusses*

Sumber : Scalzi (1971)

2.2.2.3 Rangka Batang [7]

Persyaratan umum untuk rangka batang tersusun setinggi tingkat (*the story deep trusses*) adalah membentang dalam arah transversal dari dimensi gedung, menopang beban gravitasi secara langsung dan menyediakan ketahanan yang cukup untuk beban lateral. Beban gravitasi dari sistem lantai dimodelkan sebagai beban terpusat pada joint panel dari tepi atas dan bawah truss. Keseluruhan beban lateral disalurkan melalui sistem lantai sebagai aksi diafragma dan melalui rangka batang sebagai tegangan langsung.



Gambar 2.7 Penyaluran Beban pada Trusses

Sumber : Scalzi (1971)

Momen lentur hanya terjadi pada tepi rangka batang yang berada pada bukaan koridor atau tempat lain dimana rangka diagonal dihilangkan (*Vierendeel truss*). Secara longitudinal, beban lateral dapat dipikul oleh sistem *bracing* pada umumnya seperti *braced frames* dan *core shear walls*. Pada arah transversal, pada bagian atap dan lantai dasar biasanya diberi *posts* dan *hangers* untuk mendukung kedua level ini. Pada bagian lantai terbawah beban lateral beban lateral dapat disalurkan ke pondasi melalui diagonal *bracing*.

Agar ekonomis untuk produksi massal, truss seluruh gedung seharusnya identik dalam bentuk dan jenis elemen, serta desain yang berselang seling harus dapat mengakomodasikan perbedaan yang sedikit dalam dimensi elemen. Desain dan fabrikasi yang ekonomis tentang diagonal *truss* ditunjukkan oleh *Pratt truss* yang diagonal-diagonalnya mengabaikan adanya koridor. Saat ini *Pratt truss* dipandang sebagai jenis diagonal *truss* yang paling efisien digunakan dalam sistem *staggered truss* jika dipadukan dengan *Vierendeel truss*. *Vierendeel truss* adalah desain *truss* dengan panel berlubang, juga merupakan pilihan pertama sebagai *truss* yang paling efisien digunakan dalam sistem *staggered truss*. Bagaimanapun, sang desainer harus mengevaluasi keekonomisan dari berbagai sistem *truss* yang digunakan untuk desain, khususnya sebelum membuat keputusan pemilihan akhir.

Ukuran elemen ditentukan berdasarkan asumsi hubungan pin rangka batang sederhana (*pin-connected trusses simply*) yang didukung pada kedua ujung dan penyesuaian adanya tekuk lokal. Analisis awal akibat beban gravitasi umumnya menggunakan profil baja W10, tebal pelat 8 inch dan ketinggian truss adalah 8' – 10" atau 265 cm. Bagian tepi (atas dan bawah) atau *chord* dari *truss* seharusnya disesuaikan dengan lebar minimum sayap (*flanges*), dengan tujuan untuk mendapatkan dinding dengan ketebalan minimum dan cukup untuk menyediakan dudukan bagi sistem lantai. Truss harus menyediakan suatu bukaan (*Vierendeel truss*) dekat pusat bentang untuk koridor dengan perbandingan lebar dan ketinggian yang cukup.

2.3 Beban Gempa [8]

Perhitungan mengenai pengaruh gempa terhadap bangunan dilakukan dengan pemodelan bangunan sebagai massa tergumpal. Dimana pemodelan ini

dalam analisis respon struktur gempa terhadap struktur dapat dibedakan menjadi dua metode perhitungan, yaitu :

1. *Response History Analysis (RHA)* yang menghasilkan fungsi struktur terhadap waktu sebagai respon gempa.
2. *Response Spectrum Analysis (RSA)* yang merupakan estimasi respon puncak struktur terhadap gempa.

2.3.1 *Response History Analysis*

Analisis dinamik riwayat waktu adalah analisis dengan memberlakukan riwayat waktu beban dinamik pada model struktur. Untuk analisis struktur terhadap gempa, suatu model struktur dikenakan riwayat percepatan gempa yang didapat dari hasil pencatatan rekaman gempa atau rekaman gempa tiruan. Analisis ini dapat diterapkan untuk struktur linear (analisis elastik) maupun struktur non-linear (analisis inelastik). Namun umumnya analisis ini digunakan untuk struktur non linear. Persamaan dinamik yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p_{eff}(t)$$

$$p_{eff}(t) = -m\ddot{u}_g(t)$$

Dimana adalah ι vektor pengaruh yang ditentukan oleh *DOF* yang ditinjau. *Displacement* u dari sistem sebanyak N -*DOF* dapat dinyatakan sebagai superposisi dari kontribusi modal :

$$u(t) = \sum_{n=1}^N \phi_n q_n(t)$$

Distribusi spasial dari gaya gempa efektif $p_{eff}(t)$ dinyatakan sebagai

$$s = m\iota$$

Distribusi gaya tersebut dapat dinyatakan sebagai penjumlahan dari distribusi gaya-gaya modal inersia s_n dimana independen terhadap normalisasi moda.

$$m\iota = \sum_{n=1}^N \Gamma_n m \phi_n$$

Dimana

$$\Gamma_n = \frac{L_n}{M_n}$$

$$L_n = \phi_n^T m u$$

$$M_n = \phi_n^T m \phi_n$$

Kontribusi moda ke-n terhadap vektor pengaruh $m u$ adalah sebagai berikut :

$$S_n = \Gamma_n m \phi_n$$

Persamaan modal dari pembebanan gempa adalah sebagai berikut:

$$\ddot{q}_n + 2\zeta_n \omega_n \dot{q}_n + \omega_n^2 q_n = -\Gamma_n \ddot{u}_g(t)$$

Persamaan *SDF* untuk moda ke-n adalah:

$$\ddot{D}_n + 2\zeta_n \omega_n \dot{D}_n + \omega_n^2 D_n = -\ddot{u}_g(t)$$

Dimana

$$q_n(t) = \Gamma_n D_n(t)$$

Respon modal untuk kontribusi perpindahan moda ke-n adalah sebagai berikut :

$$u_n(t) = \phi_n q_n(t) = \Gamma_n \phi_n D_n(t)$$

Prosedur analisis secara statik yaitu dengan prinsip gaya statik ekuivalen menghasilkan gaya statik ekuivalen, respon modal statik dan perpindahan respon modal sebagai berikut :

$$f_n(t) = s_n A_n(t)$$

$$A_n(t) = \omega_n^2 D_n(t)$$

$$r_n(t) = r_n^{st} A_n(t)$$

$$u_n(t) = \frac{\Gamma_n}{\omega_n^2} \phi_n A_n(t)$$

Kontribusi respon dari semua moda yang dikombinasikan memberikan respon total dari struktur terhadap gempa dimana perpindahan nodal dan respon statik adalah sebagai berikut :

$$u(t) = \sum_{n=1}^N u_n(t) = \sum_{n=1}^N \Gamma_n \phi_n D_n(t)$$

$$r(t) = \sum_{n=1}^N r_n(t) = \sum_{n=1}^N r_n^{st} A_n(t)$$

Kontribusi dari moda-moda ke-n terhadap respon dinamik didapat dari mengalikan hasil dari dua analisis : 1) Analisis statik dari struktur dengan gaya

statik yang diberikan sn. 2) Analisis dinamik dari moda ke-n dalam sistem *SDF* oleh pergerakan gempa $\ddot{u}_g(t)$.

2.3.2 *Response Spectrum Analysis*

Prosedur *Response History Analysis* menghasilkan respon struktur $r(t)$ sebagai fungsi waktu, tetapi biasanya desain struktur membutuhkan nilai-nilai respon yang maksimum selama gempa berlangsung. Hal inilah yang dianalisis dalam *Response Spectrum Analysis* yang merupakan estimasi respon puncak struktur selama terjadi gempa tanpa adanya analisis riwayat waktu dari struktur.

Nilai puncak r_{no} dari moda kontribusi ke-n $r_n(t)$ terhadap respon $r(t)$ dapat diperoleh dari respon spektrum gempa. Misal, nilai puncak dari $A_n(t)$ terdapat dalam spektrum *pseudo-acceleration* sebagai nilai dari $A(T_n, \zeta_n)$ dinyatakan sebagai A_n .

$$r_{no} = r_n^{st} A_n$$

Semua nilai respon $r_n(t)$ moda ke-n tertentu, mencapai nilai puncaknya pada waktu sesaat yang sama dengan $A_n(t)$ mencapai puncaknya. Metode untuk menentukan nilai maksimum r_o dari r_{no} dapat dilakukan dengan berbagai cara. Berbagai cara kombinasi diantaranya adalah sebagai berikut :

1. *Absolute Sum (ABSSUM)*

Metode ini mengasumsi semua puncak modal terjadi pada waktu yang sama dan merupakan penjumlahan nilai mutlak respon masing-masing ragam. Metode ini memberikan nilai puncak respon pada batas atas dimana sangat konservatif sehingga metode ini tidak populer dipakai dalam desain.

$$r_o \leq \sum_{n=1}^N |r_{no}|$$

2. *Square Root of the Sum of the Square (SRSS)*

Kombinasi dengan mengambil akar dari jumlah kuadrat masing-masing respon modal. Cara ini memberikan hasil yang baik jika perbedaan frekuensi getar alami semua ragam getar cukup besar.

$$r_o \simeq \left(\sum_{n=1}^N r_{no}^2 \right)^{1/2}$$

3. Complete Quadratic Combination (CQC)

Pada metode CQC ini diperhitungkan pula pengaruh antara moda satu dengan moda lainnya dan terdapat rumusan mengenai koefisien korelasi ρ_{in} seperti terlihat pada rumusan di bawah ini.

$$r_o \simeq \left(\sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^N \rho_{in} r_{io} r_{no} \right)^{1/2}$$

$$r_o \simeq \left(\sum_{n=1}^N r_{no}^2 + \underbrace{\sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^N \rho_{in} r_{io} r_{no}}_{i \neq n} \right)^{1/2}$$

Koefisien korelasi merupakan nilai antara 0 sampai dengan 1 dimana rumusan koefisien tersebut sebagai berikut menurut *N.M. Newmark* dan *E. Rosenblueth*, dengan s sebagai durasi dari fase terkuat dari beban gempa.

$$\rho_{in} = \frac{1}{1 + \epsilon_{in}^2}$$

$$\epsilon_{in} = \frac{\omega_i \sqrt{1 - \zeta_i^2} - \omega_n \sqrt{1 - \zeta_n^2}}{\zeta'_i \omega_i + \zeta'_i \omega_n}$$

$$\zeta'_n = \zeta_n + \frac{2}{\omega_n s}$$

Jika sistem memiliki *damping ratio* yang sama maka dapat disederhanakan sebagai berikut:

$$\rho_{in} = \frac{\zeta^2 (1 + \beta_{in})^2}{(1 - \beta_{in})^2 + 4\zeta^2 \beta_{in}}$$

Perhitungan *Der Kiureghian* untuk sistem yang memiliki damping ratio yang sama adalah sebagai berikut dimana $\beta_{in} = \omega_i / \omega_n$.

$$\rho_{in} = \frac{8\zeta^2 (1 + \beta_{in}) \beta_{in}^{3/2}}{(1 - \beta_{in}^2)^2 + 4\zeta^2 \beta_{in} (1 + \beta_{in})^2}$$

Bagaimanapun juga, *RSA* tetap termasuk prosedur analisis dinamik karena ia menggunakan properti getaran seperti frekuensi alami, moda

alami, dan rasio redaman modal dari struktur dan karakteristik dinamik dari beban gempa yang terjadi melalui respon spektrum.

2.3.3 RSNI-03-1726-2010

Beban gempa yang diberikan pada struktur disesuaikan dengan RSNI-03-1726-2011 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung. Terdapat beberapa kriteria dalam menentukan beban gempa:

- Wilayah Gempa dan Respon Spektrum

Peta wilayah gempa terbagi menjadi dua yaitu peta wilayah untuk periode $T = 1$ detik dan $T = 0,2$ detik. Bangunan yang akan dianalisis ini terletak pada wilayah DKI Jakarta. Sedangkan untuk grafik respon spektrum tidak disediakan pada RSNI 03-1726-2011, respon spektrum akan dibuat dengan parameter-parameter gempa yang akan ditentukan berdasarkan bangunan yang akan dianalisis. Langkah-langkah dalam mendesain respon spektrum adalah sebagai berikut:

1. Menentukan S_S (di dapat dari peta gempa dengan periode ulang 2500 tahun dan $T = 0,2$ detik) dan S_1 (di dapat dari peta gempa dengan periode ulang 2500 tahun dan $T = 1$ detik).
2. Menentukan koefisien situs dengan tabel 4 dan 5 pada RSNI 03-1726-2011 (pasal 6.2), maka di dapat F_a dan F_v .
3. Menentukan nilai S_{MS} dan S_{M1} (parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek dan perioda 1 detik) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_S$$

$$S_{M1} = F_v S_1$$

4. Menghitung parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, S_{DS} dan perioda 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS}$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{M1}$$

5. Spektrum respons desain

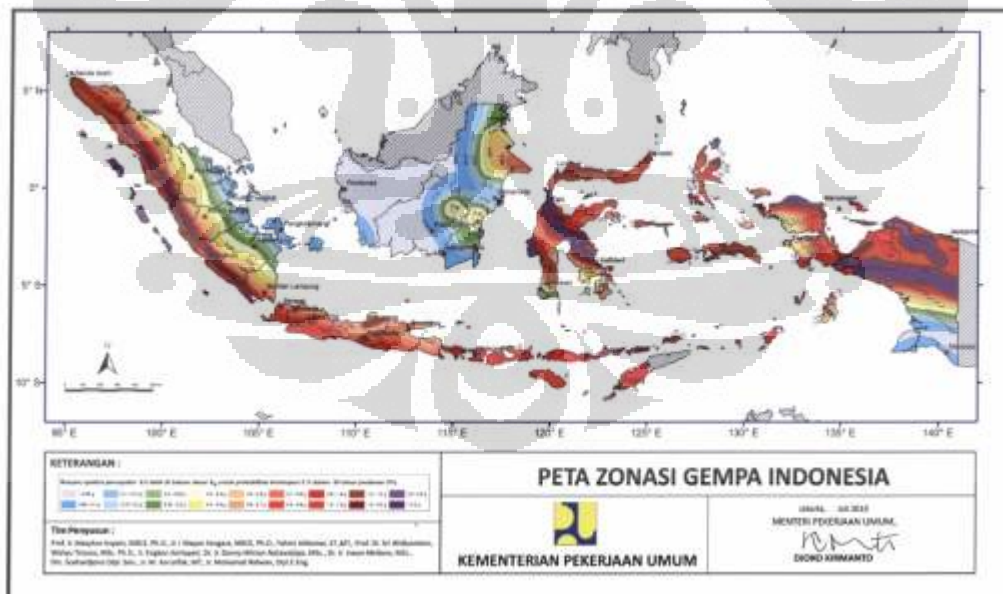
- o Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan:

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

- o Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS}
- o Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

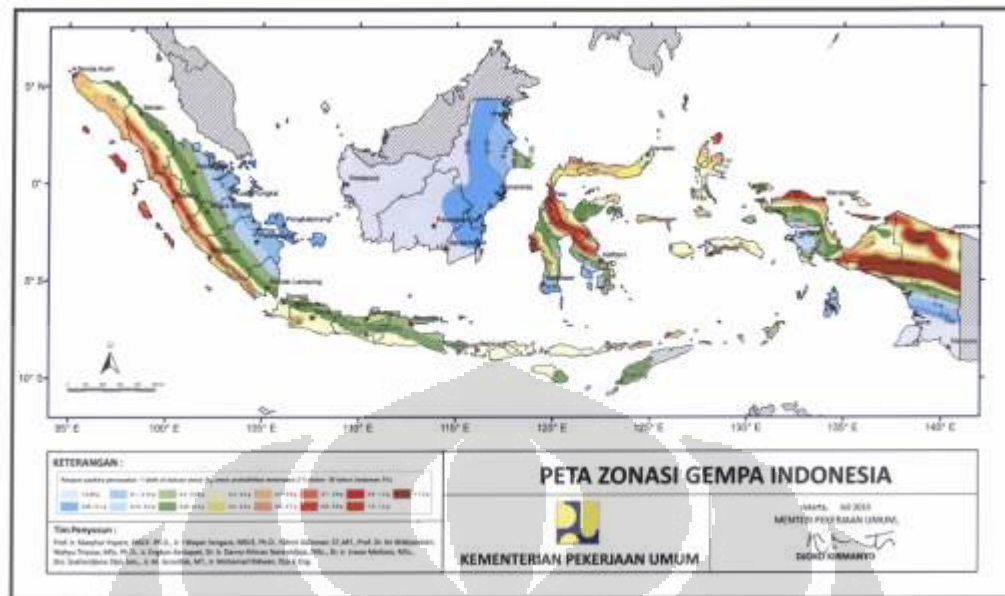
$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

- o S_{DS} adalah parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek, S_{D1} adalah parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik, T adalah perioda getar fundamental struktur



Gambar 2. 8 Peta Wilayah Gempa Peride $T = 0,2$ detik

Sumber : RSNI-03-1726-2010



Gambar 2. 9 Peta Wilayah Gempa Periode T = 1 detik

Sumber : RSNI-03-1726-2010

Tabel 2. 1 Koefisien Situs F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakann pada periode pendek, T = 0,2 detik				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	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 : RSNI 03-1726-2010

Tabel 2. 2 Koefisien Situs F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakann pada periode pendek, T = 1 detik				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS^b				

Sumber : RSNI 03-1726-2010

- Waktu Getar Alami Fundamental

Waktu getar harus diperoleh dengan menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Periode fundamental, T , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dan periode fundamental pendekatan (T_a). Sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan periode fundamental, T , diijinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan, T_a , yang dihitung sesuai dengan persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x$$

Dimana : h_n = ketinggian struktur di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur.

Tabel 2. 3 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t Dan X

Tipe struktur	C_t	X
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber : RSNi 03-1726-2010

Tabel 2. 4 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung

Parameter percepatan respons spektral	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber : RSNi 03-1726-2010

- Kategori Gedung

Kategori risiko gedung dan faktor keutamaan bangunan menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan struktur bangunan gedung. Kategori risiko gedung yang akan dianalisis termasuk kategori resiko I, sedangkan untuk faktor keutamaan gedung termasuk dalam faktor keutamaan gedung sebesar 1.

Tabel 2. 5 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Struktur Lainnya Untuk Beban Gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dengan risiko rendah terhadap jiwa manusia	I
Semua gedung lain	II
Gedung dengan risiko tinggi terhadap jiwa manusia	III
Gedung yang ditujukan untuk fasilitas penting	IV

Sumber : RSNI 03-1726-2010

Tabel 2. 6 Faktor Keutamaan Gempa

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

Sumber : RSNI 03-1726-2010

- Kategori Desain Gempa

Struktur harus memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti pasal ini. Perhitungan perancangan besarnya gaya gempa rencana untuk desain dan analisis perhitungan dinyatakan oleh besarnya gaya geser dasar, ketentuan mengenai syarat kekuatan dan pendetailan tulangan serta fleksibilitas ketidakberaturan bentuk hubungan dan limitasi tinggi tidak lagi ditentukan oleh peta *zoning* gempa sebagaimana halnya yang telah ditetapkan dalam SNI 03-1726-2002. Pada RSNI 03-1726-2010, ketentuan mengenai hal tersebut di atas telah tergantikan oleh kriteria perancangan baru yang disebut Kategori Desain Gempa (*Seismic Design Category*) dan dikaitkan dengan Kategori Hunian.

Tabel 2. 7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} \leq 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} \leq 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} \leq 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber : RSNI 03-1726-2010

Tabel 2. 8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

Nilai S_1	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} \leq 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} \leq 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} \leq 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber : RSNI 03-1726-2010

- Gaya Geser Dasar Gempa dan Beban Lateral Gempa

Gaya dasar seismik, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W$$

C_s adalah koefisien respons seismic dan W adalah berat seismik efektif. Gaya gempa lateral yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx} V$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

C_{vx} adalah faktor distribusi vertical dan V adalah gaya lateral desain total, w_i dan w_x adalah bagian berat seismik efektif total struktur yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat I atau x , h_i dan h_x adalah tinggi dari dasar sampai tingkat I atau x , k adalah eksponen yang terkait dengan periode struktur. Gaya tingkat desain gempa di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=x}^N F_i$$

Dimana F_i adalah bagian dari gaya geser dasar seismik yang timbul di tingkat i .

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Prosedur Perancangan

Metode penelitian yang akan dilakukan pada penelitian ini secara umum telah diperlihatkan pada metode penelitian di bagian awal laporan, sedangkan untuk lebih mendetail prosedur perancangan diperlihatkan dalam bagan berikut:

1. Penentuan Variasi dan Desain Awal

Desain awal merupakan langkah menentukan denah struktur, jenis sistem struktur seperti apa yang akan dirancang, sehingga dapat diketahui elemen-elemen struktur apa saja yang akan dianalisis untuk mewujudkan karakteristik sistem struktur tersebut. Variasi terhadap bangunan yang akan diteliti juga ditentukan untuk melihat pengaruh variasi tersebut dalam sistem struktur.

2. Modelisasi Struktur

Desain awal yang telah dibuat kemudian dimodelkan dengan bantuan penggunaan perangkat lunak. Dalam pemodelan beban-beban diberikan pada struktur sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Pemodelan ini dilakukan untuk mempermudah analisis yang akan dilakukan terhadap struktur. Perlu diperhatikan pula *boundary conditions* yang diberikan pada pemodelan yang akan dilakukan.

3. Analisis Struktur

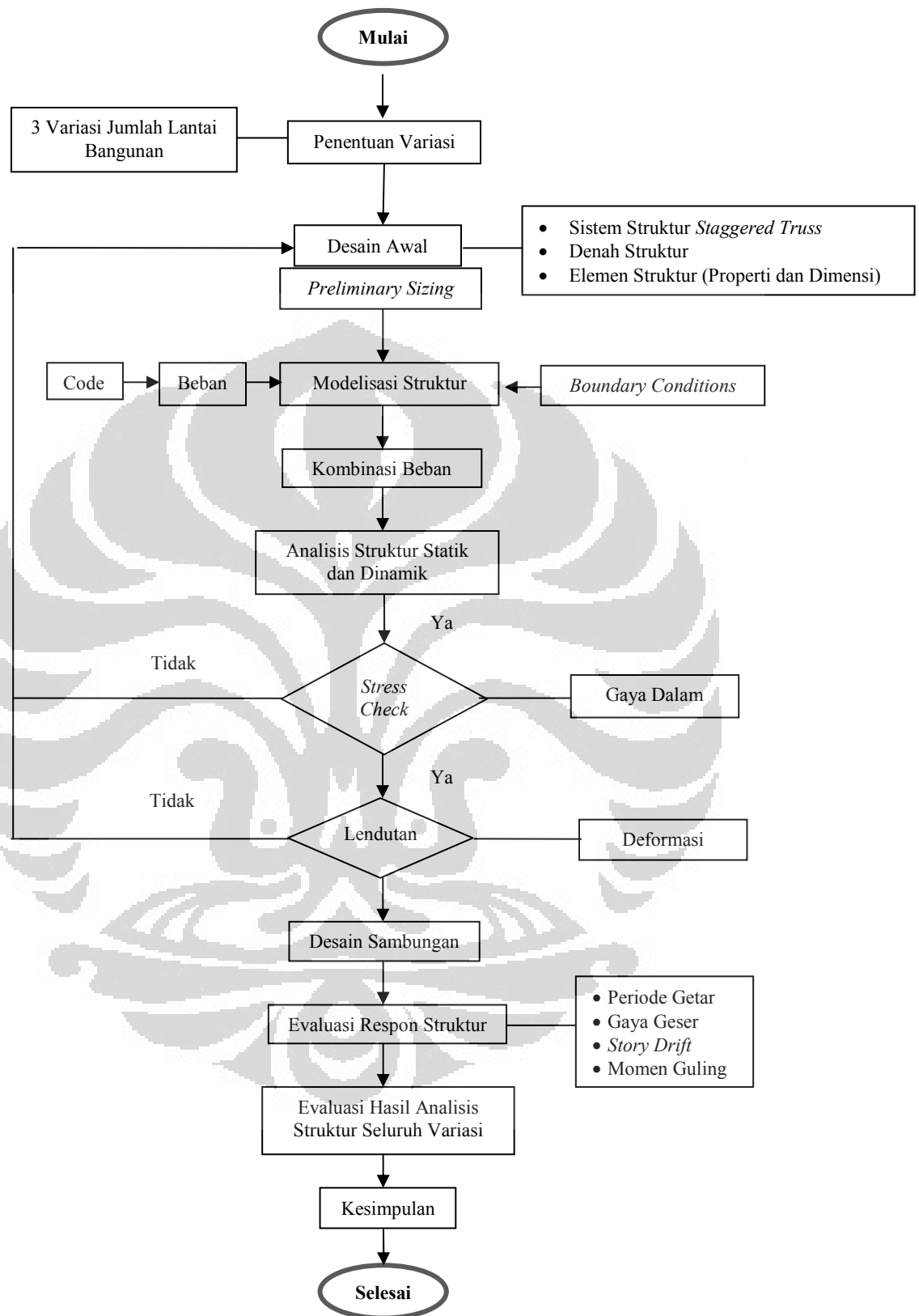
Analisis struktur dilakukan untuk mengetahui apakah struktur yang dirancang memenuhi persyaratan untuk menahan beban yang direncanakan atau tidak.

4. Evaluasi

Jika desain telah memenuhi ketentuan yang disyaratkan, maka dapat dilakukan analisis berikutnya dengan mengamati parameter respon struktur yang telah ditentukan dari keseluruhan variasi.

5. Kesimpulan

Tahap terakhir adalah pembuatan kesimpulan terhadap proses yang telah dilakukan yang terkait perilaku sistem struktur oleh beban gempa.



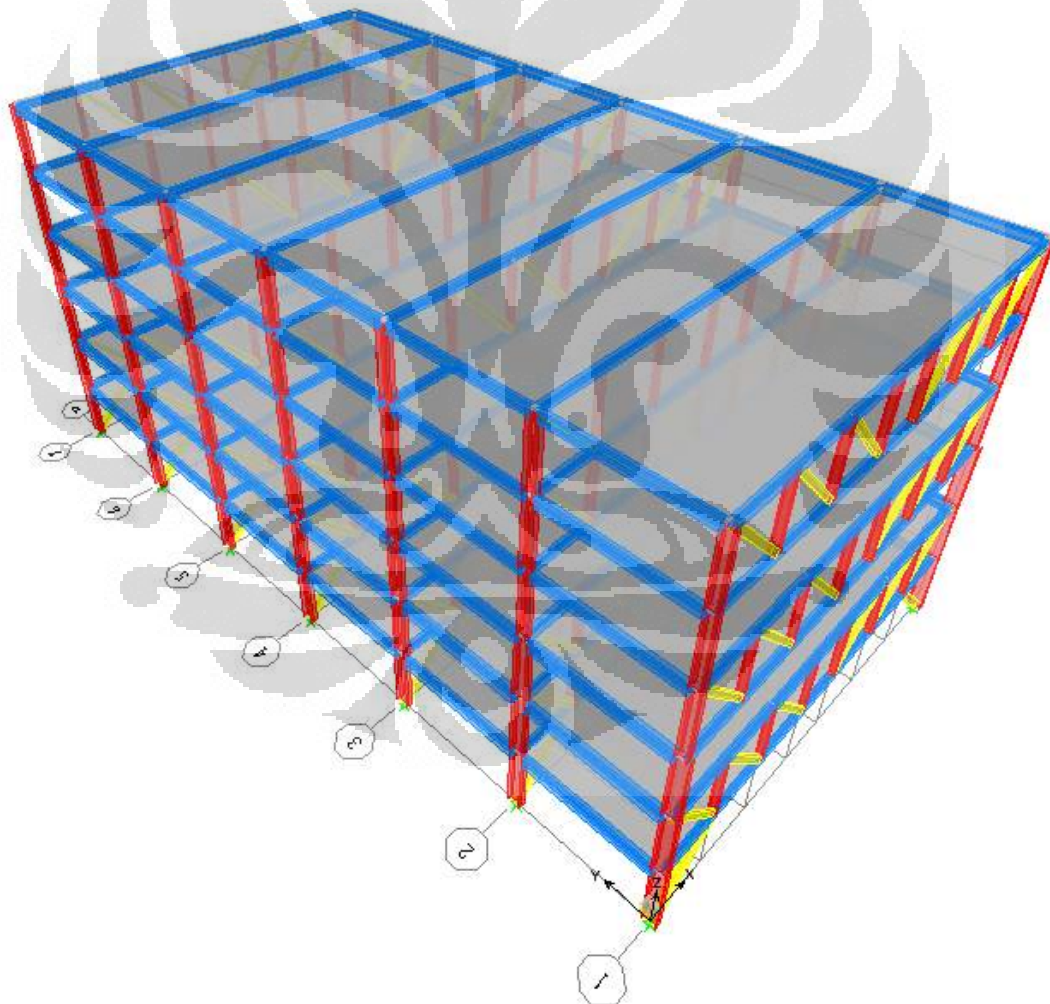
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Sumber : Olahan Sendiri

3.2 Data Struktur Gedung

3.2.1 Lay Out dan Lokasi Bangunan

Bangunan yang akan dibangun merupakan gedung hunian atau tempat tinggal berupa hotel yang memiliki *lay out* seperti di bawah ini dengan luas 684 m². Bangunan memiliki lebar sebesar 19 meter dan panjang 36 meter. *Staggered truss* dipasang pada arah melintang atau arah x bangunan. Jarak antara *staggered truss* adalah 12 meter. *Vierendeel Panel* digunakan sebagai koridor dengan lebar 2,2 meter. Geometri bangunan dan sistem struktur *staggered truss* terdiri dari rangka baja yang berselang seling terlihat dari denah di bawah ini. Bangunan ini berada di daerah DKI Jakarta dengan klasifikasi situs tanah lunak.



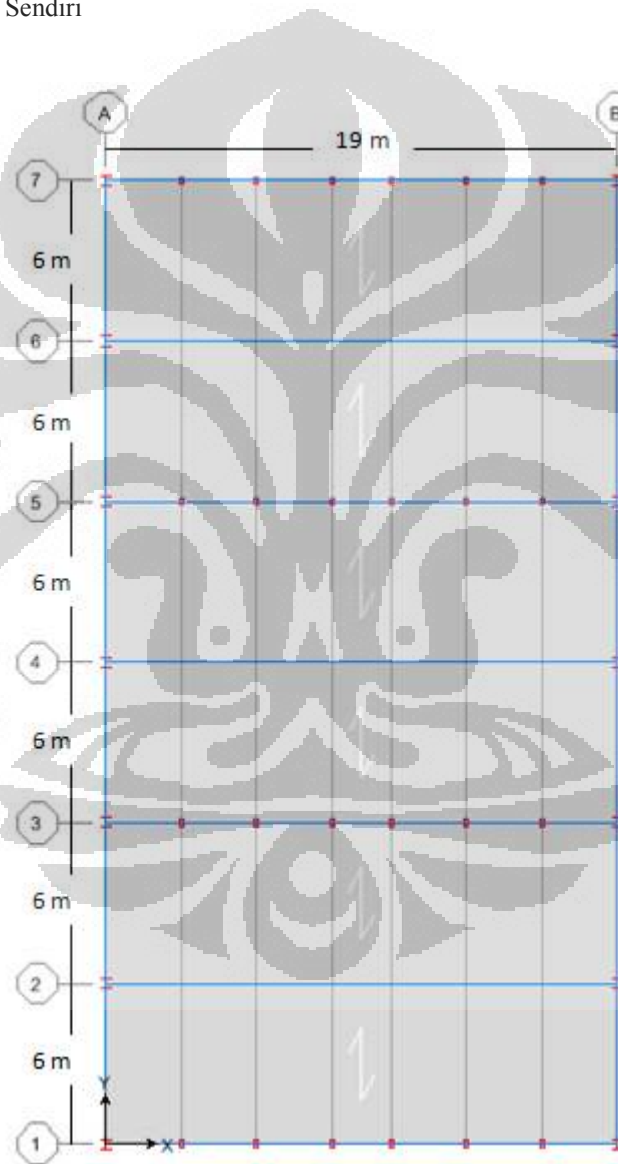
Gambar 3.2 Tampak 3 D Bangunan

Sumber : Olahan Sendiri

Tabel 3.1 Geometri Bangunan

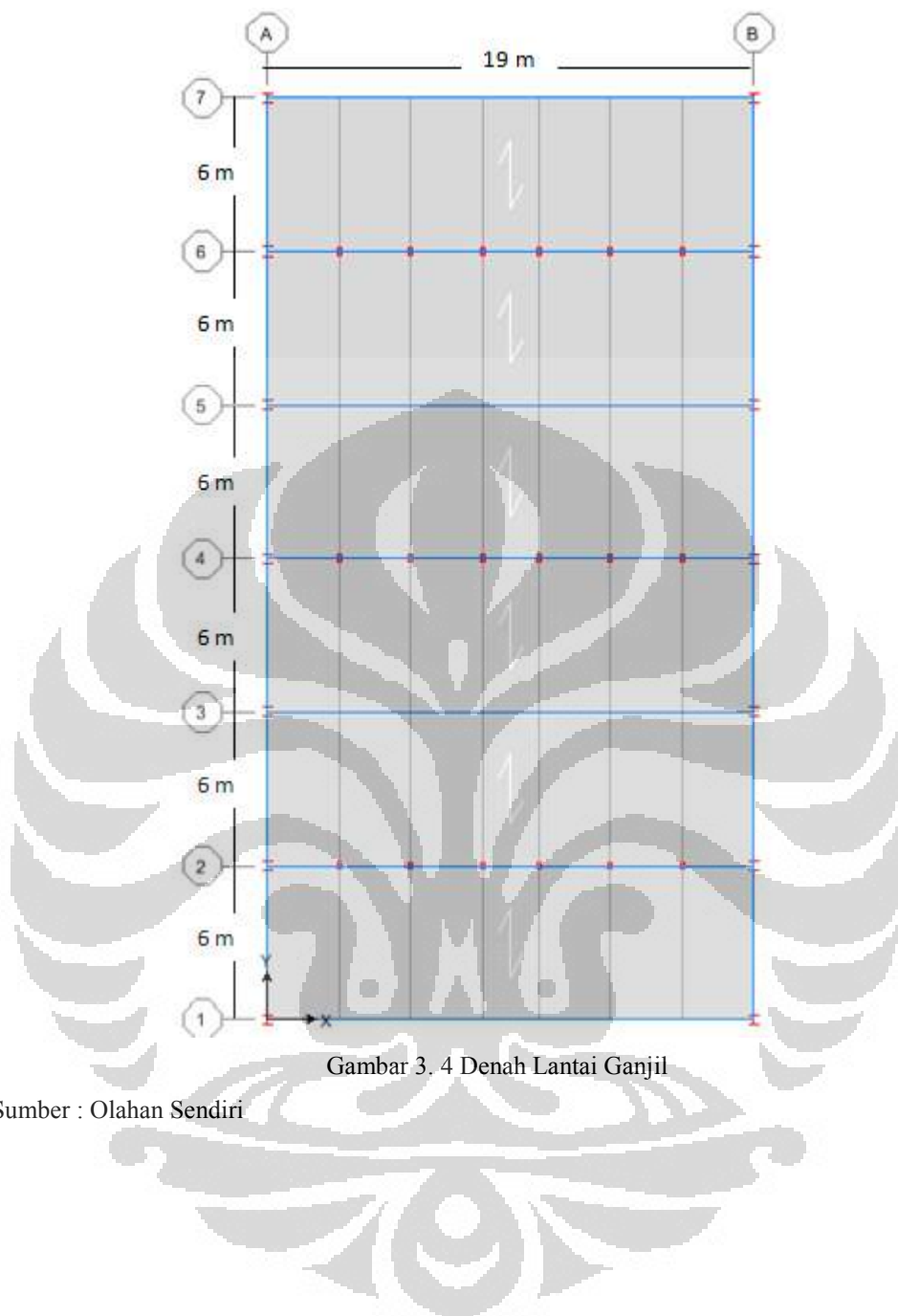
Geometri Bangunan	
Luas lantai bangunan	684 m ²
Jarak Antar Kolom (Arah Y)	6 m
Lebar bangunan (Arah X)	19 m
Panjang bangunan	36 m
Tinggi per lantai	3 m
Jumlah lantai	Variasi
Tinggi bangunan	Variasi

Sumber: Olahan Sendiri



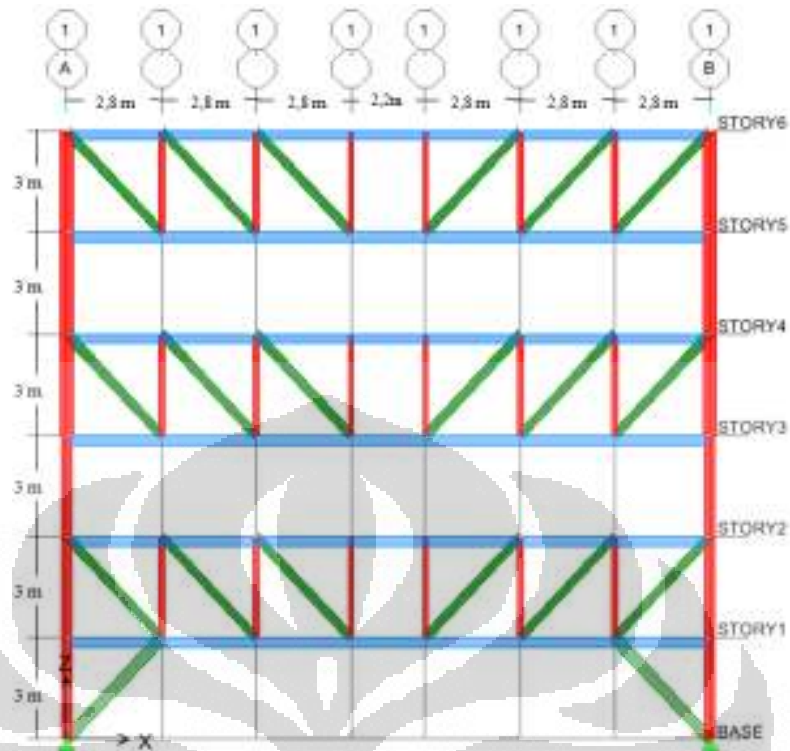
Gambar 3. 3 Denah Lantai Genap

Sumber : Olahan Sendiri



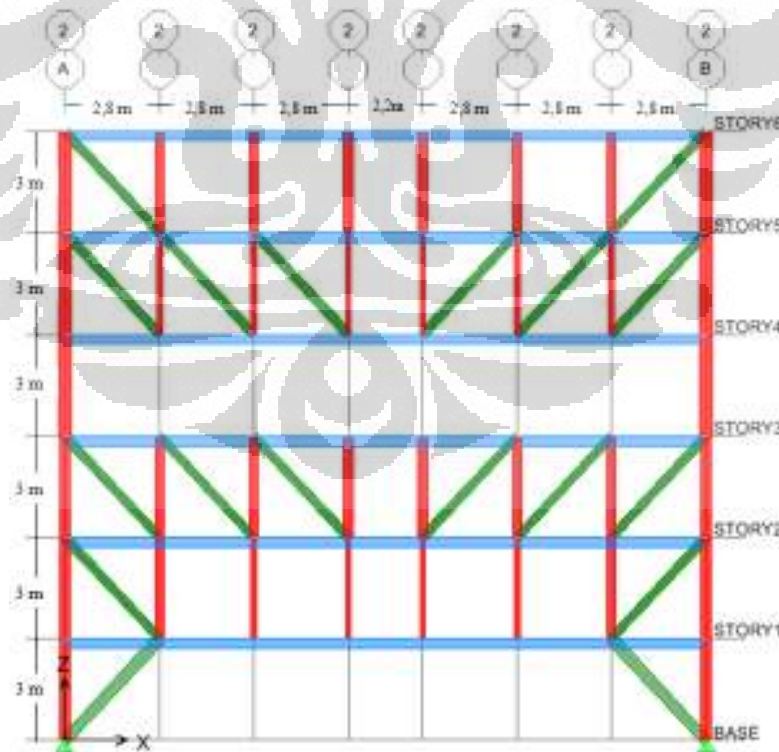
Gambar 3. 4 Denah Lantai Ganjil

Sumber : Olahan Sendiri



Gambar 3. 5 Tampak Melintang 1 (Truss Tipe 1)

Sumber : Olahan Sendiri



Gambar 3. 6 Tampak Melintang 2 (Truss Tipe 2)

Sumber : Olahan Sendiri



Gambar 3. 7 Tampak Memanjang

Sumber : Olahan Sendiri

3.2.2 Properti Material

Material utama yang digunakan adalah material baja dan beton. Properti material yang digunakan dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 3.2 Material pada Elemen Struktur

Elemen/Properti	Strength (ksi)		Section
	F_y	F_u	
Kolom, Balok dan Batang Tepi	$F_y = 50$	$F_u = 65$	Wide Flange
Batang Diagonal Dan Batang Vertikal	$F_y = 50$	$F_u = 65$	Hollow Structural Section
Pelat Lantai Lantai	$F_c' = 4$		Precast Plank Concrete $t = 10$ inch

Sumber : Olahan Sendiri

Properti untuk masing-masing material adalah sebagai berikut:

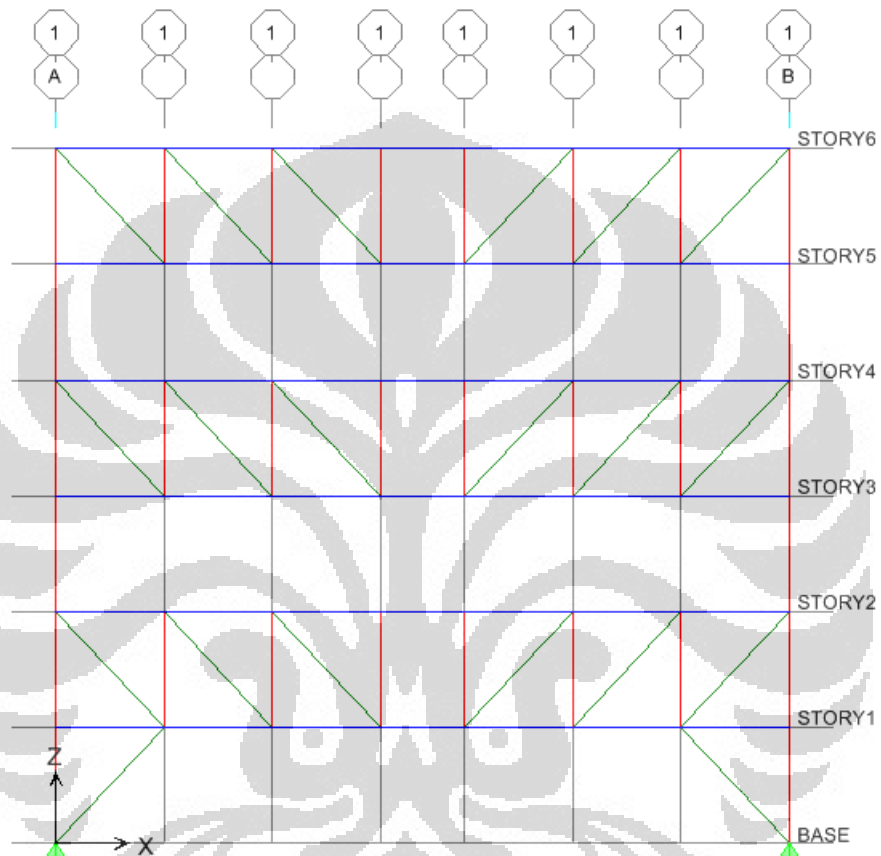
Tabel 3.3 Properti Material Utama

Material	Modulus Elasticity	Shear Modulus	Weight/Volume
Steel A572	29000 ksi	11153,8 ksi	$2,863 \cdot 10^{-4}$ kip/in ³
Concrete 4000psi	3605 ksi	1502,1 ksi	$8,681 \cdot 10^{-5}$ kip/in ³

Sumber : OlahanSendiri

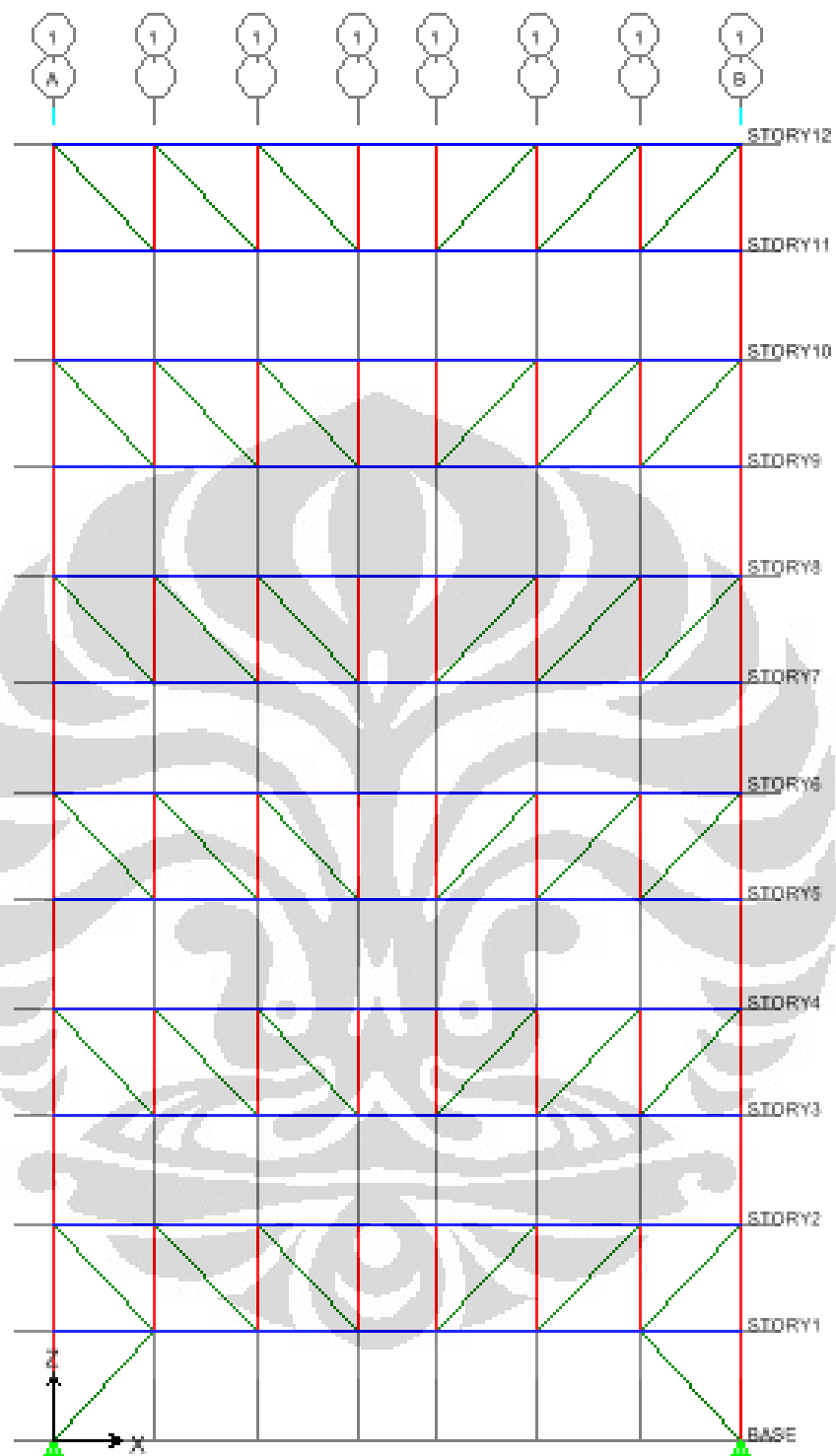
3.3 Variasi Pemodelan

Variasi dilakukan pada jumlah lantai dari bangunan yang berfungsi sebagai hotel tersebut yaitu : 6 lantai, 12 lantai dan 21 lantai dengan tinggi total setiap variasi adalah 18 meter, 36 meter dan 63 meter. Variasi terlihat dari gambar di bawah ini :



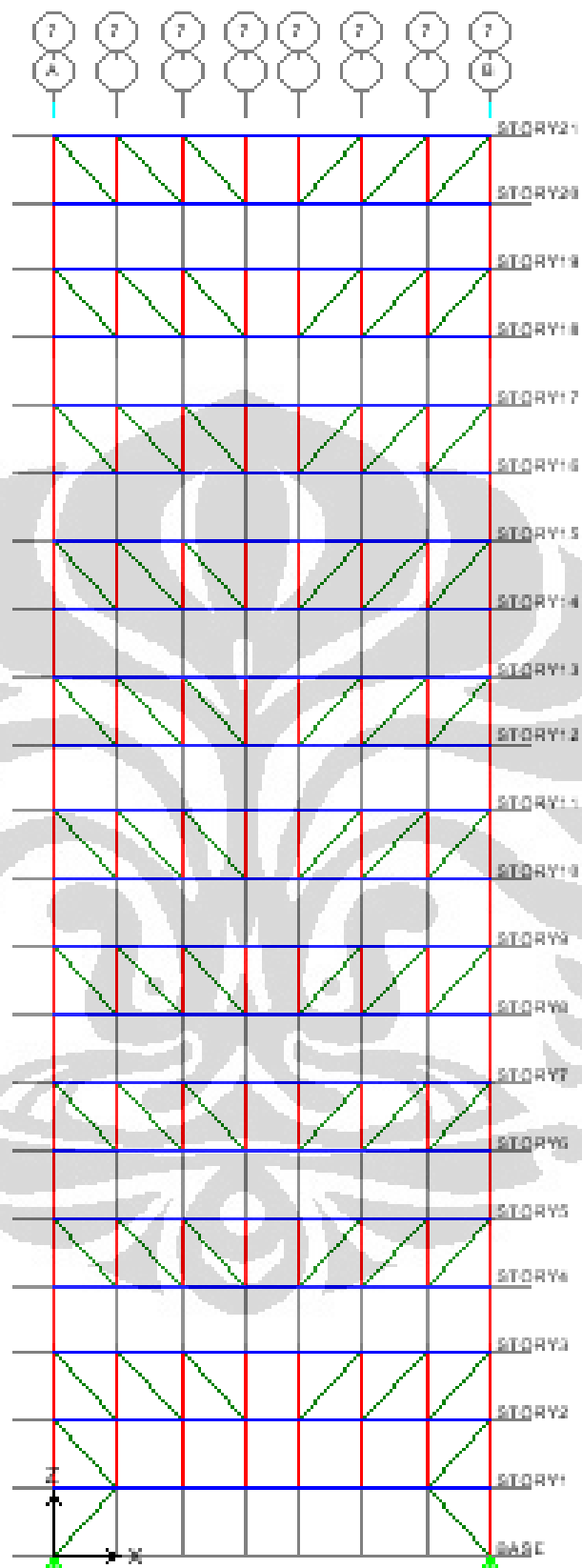
Gambar 3. 8 Variasi 6 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri



Gambar 3. 9 Variasi 12 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri



Gambar 3. 10 Variasi 21 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri

3.4 Pembebanan Struktur

Pembebanan pada struktur gedung ini didasarkan pada Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung, SKBI-1.3.53.1987. Jenis-jenis beban yang akan diberikan ditentukan sebagai berikut :

a. Beban Mati

Beban mati adalah berat dari seluruh bagian dari struktur yang bersifat tetap. Beban mati terdiri dari berat sendiri dari material struktur yang digunakan dan beban mati tambahan pada struktur seperti, berat dinding, berat plafon, penutup lantai, dan berat utilitas *ME*. Beban mati tersebut meliputi:

- Berat sendiri struktur
 - Beton : $\gamma = 2400$ kg/m³
 - Baja : $\gamma = 7850$ kg/m³
- Berat komponen gedung lain
 - Penutup lantai : 50 kg/m²
 - Dinding bata : 300 kg/m²
 - Plafon : 100 kg/m²
 - Utilitas *ME* : 100 kg/m²

b. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan struktur gedung, baik akibat beban yang berasal dari orang maupun barang yang dapat berpindah, atau mesin dan peralatan serta komponen yang tidak merupakan bagian yang tetap dalam struktur yang dapat diganti selama masa hidup dari struktur gedung tersebut. Adapun beban hidup yang digunakan dalam permodelan ini adalah :

- Lantai hotel : 250 kg/m²
- Lantai atap : 100 kg/m²

c. Beban Gempa

- Penentuan respons spektrum gempa yang akan digunakan dengan langkah-langkah sebagai berikut :
 1. Berdasarkan peta gempa, wilayah Jakarta memiliki nilai $S_s = 0,6$ dan $S_I = 0,25$

2. Berdasarkan tabel koefisien situs untuk tanah lunak S_E diperoleh nilai $F_a = 1,5$ dan $F_v = 3$.
3. Parameter spektrum respons percepatan diperoleh berdasarkan rumusan:

$$S_{MS} = F_a S_S = 0,9$$

$$S_{MI} = F_v S_I = 0,75$$

4. Parameter percepatan spektral desain diperoleh sebagai berikut:

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS} = 0,6$$

$$S_{DI} = 2/3 S_{MI} = 0,5$$

5. Spektrum respons desain didapatkan berupa grafik sebagai berikut dimana:

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{DI}}{S_{DS}} = 0,167 \text{sekon}$$

$$T_s = \frac{S_{DI}}{S_{DS}} = 0,833 \text{sekon}$$

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

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

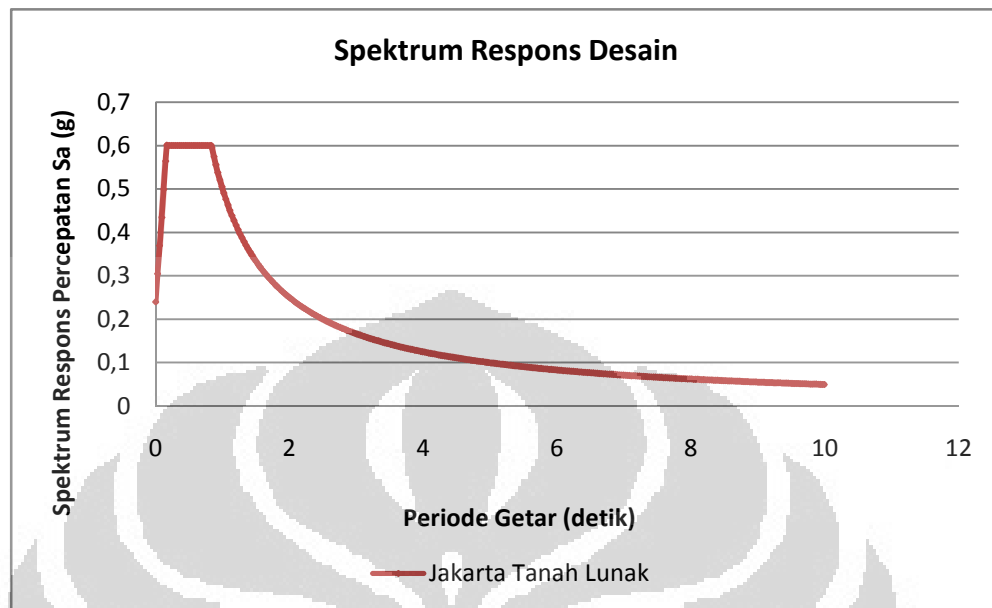
- Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS}
- Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{DI}}{T}$$

- Penentuan kategori gedung dan kategori desain gempa.

Kategori resiko gedung termasuk ke dalam kategori resiko 1 dengan jenis pemanfaatan gedung dengan resiko rendah terhadap jiwa manusia. Berdasarkan kategori resiko sebesar 1 maka diketahui faktor keutamaan bangunan I adalah sebesar 1. Kategori desain gempa didasarkan pada nilai S_{DS} sebesar 0,6 dan nilai S_{DI} sebesar 0,25

dengan kategori resiko 1 sehingga ditentukan bahwa kategori desain gempa adalah kategori desain D.



Gambar 3. 11 Spektrum Respon Desain untuk Jakarta Tanah Lunak

Sumber : Olahan Sendiri

- Penentuan tipe sistem struktur penahan gaya lateral

Dalam penelitian ini, penentuan besar koefisien modifikasi respon R didasarkan pada *Design Guide Framing System* yang menentukan nilai R sebesar 4,5 untuk daerah gempa sedang (*moderate seismic activity*) yang dinyatakan dalam pedoman tersebut bersesuaian dengan *ordinary moment frame*.

3.5 Kombinasi Beban

Kombinasi pembebanan yang akan dilakukan berjumlah total 18 kombinasi pembebanan untuk menganalisis bangunan hotel ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini. Dimana kombinasi pembebanan tersebut disesuaikan dengan kombinasi menurut RSNi 03-1726-2010 yang berasal dari empat kombinasi pembebanan dasar yaitu :

- $1,4 D$ (kombinasi beban 1)
- $1,2 D + 1,6 L$ (kombinasi beban 2)
- $1,2 D + 1,0 L + 1,0 E$ (kombinasi beban 5)
- $0,9 D + 1,0 E$ (kombinasi beban 7)

Dimana pengaruh beban gempa E ditentukan dalam pasal 7.4.2, untuk penggunaan dalam kombinasi beban 5 digunakan $E = E_h + E_v$, sedangkan untuk kombinasi beban 7 digunakan $E = E_h - E_v$. Pengaruh beban seismik horisontal E_h ditentukan $E_h = \rho \cdot Q_E$. Faktor redundansi dipilih sebesar 1,3 disesuaikan dengan kategori desain gedung D dan Q_E merupakan beban gempa yang dipertimbangkan pengaruh orthogonalitasnya yaitu $(\pm 0,3 E_x \pm 1,0 E_y)$ atau $(\pm 1,0 E_x \pm 0,3 E_y)$. Sedangkan pengaruh beban seismik vertikal $E_v = 0,2 \cdot S_{DS} D$ dimana D adalah beban mati.

Tabel 3.4 Kombinasi Pembebanan

Beban	Kombinasi Pembebanan
Beban Mati	1,4 D
Beban Hidup	1,2 D + 1,6 L
Beban Mati	1,36 D + 1,0 L \pm 1,3 Ex \pm 0,39 Ey
Beban Hidup	1,36 D + 1,0 L \pm 0,39 Ex \pm 1,3 Ey
Beban Gempa	0,74 D + 1,3 Ex + 0,39 Ey 0,82 D + 1,3 Ex - 0,39 Ey 0,98 D - 1,3 Ex + 0,39 Ey 1,06 D - 1,3 Ex - 0,39 Ey 0,74 D + 0,39 Ex + 1,3 Ey 0,82 D + 0,39 Ex - 1,3 Ey 0,98 D - 0,39 Ex + 1,3 Ey 1,06 D - 0,39 Ex - 1,3 Ey

Sumber : Olahan Sendiri

3.6 Modelisasi Sistem Struktur *Staggered Truss*

Hal-hal penting yang perlu diperhatikan dalam pemodelan sistem struktur staggered truss adalah sebagai berikut:

- Pemodelan elemen struktur yang dilakukan menggunakan *template* yang tersedia pada ETABS V9.7.0 dan hal tersebut dicek kembali dan disesuaikan dengan desain yang akan dibuat.
 - Rangka batang diagonal dan vertikal dimodelkan sebagai *line element* dengan perletakan sendi karena didesain tidak menerima gaya momen. Batang tepi atas dan bawah dimodelkan sebagai *line element* yang *continuous* kecuali pada ujung –ujung dekat kolom dimodelkan sebagai sendi agar kolom tidak menerima gaya momen yang besar akibat lendutan dan deformasi aksial batang tepi atau *chord*.

- Kolom dan balok dimodelkan sebagai *line element* yang *continuous*. Sumbu kuat kolom dimodelkan dalam arah memanjang atau arah y bangunan agar kolom dapat berkontribusi lebih dalam menahan beban lateral gempa arah y karena dalam arah x beban lateral gempa telah ditahan oleh *staggered truss*. Selain itu perletakan kolom dimodelkan sendi.
- Pelat lantai dimodelkan sebagai element *membrane* dan pelat satu arah. Asumsi *rigid diaphragm* tidak digunakan karena perbandingan lebar dan panjang pelat yang besar.
- Pemodelan terkait dengan sistem struktur sebagai penahan beban lateral adalah sebagai berikut
 - Tipe frame dipilih sebagai *Ordinary Moment Frame* disesuaikan dengan *Staggered Truss Framing Systems Design Guide* (AISC 14) dimana memiliki faktor modifikasi respon gempa R sebesar 4,5 di daerah *moderate seismic activity*.
 - Nilai keutamaan bangunan sesuai dengan fungsi sebagai hotel digunakan sebesar 1.

BAB 4

HASIL PENELITIAN

Parameter hasil yang akan dianalisis merupakan output berupa karakteristik dinamik bangunan seperti periode getar bangunan, gaya geser dasar dan gaya geser tingkat bangunan, dan *story drift*. Analisis terhadap hasil tersebut akan dilakukan berdasarkan RSNI 03-1726-2010.

4.1 Hasil Variasi 6 Lantai

4.1.1 Massa Efektif Bangunan

Massa efektif setiap lantai serta data mengenai koordinat pusat massa dan pusat kekakuan dapat dilihat pada tabel dibawah ini. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa tidak terjadi eksentrisitas karena titik pusat massa dan kekakuan memiliki koordinat titik yang sama sehingga rasio eksentrisitas rencana sebesar 0,05 dapat digunakan.

Tabel 4. 1 *Centre Mass Rigidity* Varian 6 Lantai

Story Ke-	MassX (ton)	MassY (ton)	XCM (m)	YCM (m)	XCR (m)	YCR (m)
STORY6	572,4668	572,4668	9,5	18	9,5	18
STORY5	866,564	866,564	9,5	18	9,5	18
STORY4	864,7282	864,7282	9,5	18	9,5	18
STORY3	883,5807	883,5807	9,5	18	9,5	18
STORY2	889,0102	889,0102	9,5	18	9,5	18
STORY1	886,5427	886,5427	9,5	18	9,5	18

Sumber : Output ETABS V9.7.0

4.1.2 Pola Ragam Getar

Partisipasi massa dalam 12 pola ragam yang digunakan dirangkum pada tabel di bawah ini. Berdasarkan RSNI 03-1726-2010 Pasal 7.9.1 Analisis spektrum respons ragam harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horisontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

Tabel 4. 2 Modal Participating Mass Ratio Varian 6 Lantai

Mode	Period (s)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	1,516967	0	81,0836	0	0	81,0836	0
2	0,711765	90,3198	0	0	90,3198	81,0836	0
3	0,687148	0	0	88,7232	90,3198	81,0836	88,7232
4	0,559895	0	13,734	0	90,3198	94,8176	88,7232
5	0,258655	0	2,6888	0	90,3198	97,5064	88,7232
6	0,241949	0	0	7,3817	90,3198	97,5064	96,105
7	0,239324	6,2414	0	0	96,5612	97,5064	96,105
8	0,158686	0	1,5252	0	96,5612	99,0316	96,105
9	0,154521	0	0	0	96,5612	99,0316	96,105
10	0,1327	0	0	0	96,5612	99,0316	96,105
11	0,131028	0,7008	0	0	97,262	99,0316	96,105
12	0,129511	0	0	2,6491	97,262	99,0316	98,7541

Sumber : Output ETABS V9.7.0

Tabel di atas ini memperlihatkan bahwa partisipasi massa 90 persen telah tercapai pada pola ragam getar ke-6. Partisipasi massa arah x sebesar 90,32 % (SumUX-7), arah y sebesar 97,51 % (SumUY-7), dan arah z sebesar 96,11 % (SumUZ-7). Pola ragam getar pertama dan kedua adalah translasi arah sumbu y dan x kemudian pola ragam ketiga adalah rotasi arah sumbu z. Hal ini memperlihatkan perilaku struktur sudah cukup baik.

Periode getar arah y $T_y = 1,517$ detik dan untuk arah x sebesar $T_x = 0,712$ detik. Berdasarkan RSNi-03-1726-2010 Pasal 7.8.2 periode getar bangunan ditentukan berdasarkan nilai tertentu dengan ketentuan sebagai berikut dengan T_c adalah periode getar diperoleh dari ETABS V9.7.0:

- $T_c > C_u \cdot T_a$ maka $T = C_u \cdot T_a$
- $T_a < T_c < C_u \cdot T_a$ maka $T = T_c$
- $T_c < T_a$ maka $T = T_a$

Dimana T_a adalah periode getar pendekatan dapat dihitung sebagai berikut :

Pengecekan untuk arah x

$C_{tx} = 0,0488$ dan $x = 0,75$ untuk sistem struktur lainnya

$C_u = 1,4$ untuk $S_{DI} \geq 0,4$

Dimana h_n adalah ketinggian struktur, di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, $h_n = 3 \times 6 = 18$ m

$T_a = C_t h_n^x = 0,426$ detik

$C_u T_a = 0,597$ detik

Karena sehingga $T_x = 0,712$ detik, $T_c > C_u \cdot T_a$ sehingga digunakan $T_x = 0,597$ detik

Pengecekan untuk arah y

$C_{ty} = 0,0724$ dan $x = 0,8$ untuk rangka baja pemikul momen

$$T_a = C_t h_n^x = 0,731 \text{ detik}$$

$$C_u T_a = 1,023 \text{ detik}$$

Karena sehingga $T_y = 1,517$ detik, $T_c > C_u T_a$ sehingga digunakan $T_y = 1,023$ detik

4.1.3 Gaya Geser Akibat Gempa

Berdasarkan RSNI 03-1726-2010 Pasal 7.9.4.1 kombinasi respons untuk geser dasar ragam tidak boleh kurang dari 85 % geser dasar yang dihitung menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen. Perhitungan gaya geser dasar lateral ekuivalen adalah sebagai berikut :

Pengecekan untuk arah x

- Koefisien respon seismik C_s ditentukan sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = 0,133$$

- C_s tidak perlu melebihi nilai sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = 0,186$$

Maka diambil $C_s = 0,133$

- Gaya geser dasar lateral ekuivalen ditentukan sebagai berikut :

W_t = massa efektif total = 4962 ton

$$V_x = C_s W_t = 6491,5 \text{ KN}$$

$$0,85 \cdot V_x = 5517,7 \text{ KN}$$

Gaya geser yang diperoleh dalam analisis dinamik respon spektrum sebesar $V_x = 5880 \text{ KN}$ dimana $V_{\text{dinamik}} > 0,85 \cdot V_{\text{statik}}$ sehingga telah memenuhi persyaratan.

Pengecekan untuk arah y

- Koefisien respon seismik C_s ditentukan sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = 0,133$$

- C_s tidak perlu melebihi nilai sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = 0,109$$

Maka diambil $C_s = 0,109$

- Gaya geser dasar lateral ekuivalen ditentukan sebagai berikut :

$$V_y = C_s W_t = 5285,4 \text{ KN}$$

$$0,85 \cdot V_y = 4492,6 \text{ KN}$$

Gaya geser yang diperoleh dalam analisis dinamik respon spektrum sebesar $V_y = 4505,7 \text{ KN}$ dimana $V_{\text{dinamik}} > 0,85 \cdot V_{\text{statik}}$ sehingga telah memenuhi persyaratan.

Tabel 4. 3 Pengecekan Gaya Geser Dasar Varian 6 Lantai

Arah	Vdinamik (KN)	0,85 Vstatik (KN)	Vdinamik > 0,85. V statik
Vbx	5880	5517,744	OK
Vby	4505,68	4492,579	OK

Sumber : Olahan Sendiri

Perhitungan gaya geser tingkat ekuivalen sesuai ketentuan sebagai berikut :

$$F_x = C_{VX} V \quad C_{VX} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

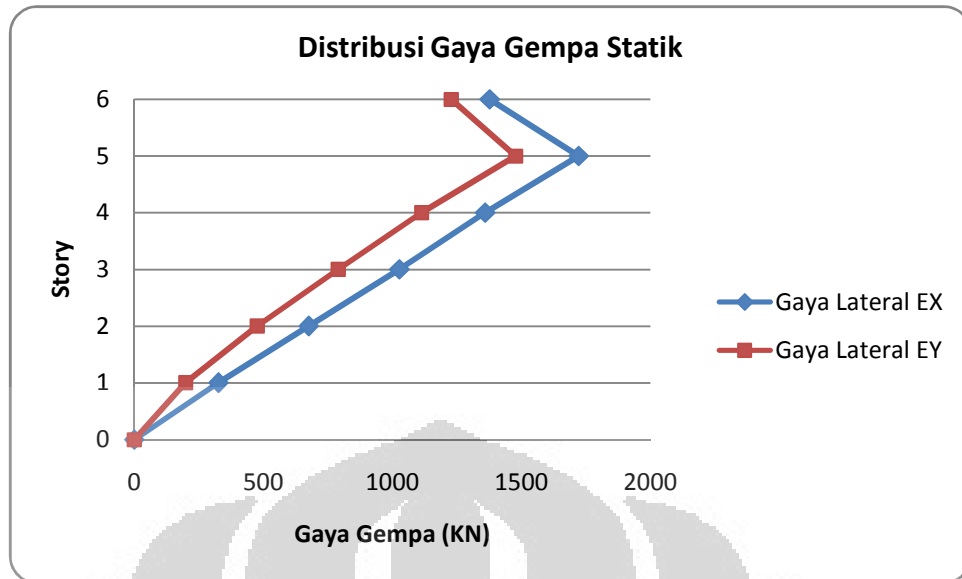
Tabel 4. 4 Perhitungan Gaya Lateral dan Gaya Geser Tingkat Arah X Varian 6 Lantai

Story	Wi (ton)	hi (m)	K	Wih ^k	Fix (KN)	Vix (KN)	0,85. Vix (KN)
6	572,4668	18	1,048519	11855,71	1377,837	1377,837	1171,162
5	866,564	15	1,048519	14823,64	1722,762	3100,599	2635,509
4	864,7282	12	1,048519	11706,36	1360,48	4461,079	3791,917
3	883,5807	9	1,048519	8846,832	1028,154	5489,233	4665,848
2	889,0102	6	1,048519	5818,53	676,2131	6165,446	5240,629
1	886,5427	3	1,048519	2805,243	326,0174	6491,464	5517,744
			Total	55856,32			

Sumber : Olahan Sendiri

Tabel 4. 5 Perhitungan Gaya Lateral dan Geser Tingkat Arah Y Varian 6 Lantai

Story	Wi (ton)	hi (m)	K	Wih ^k	Fiy (KN)	Viy (KN)	0,85. Viy (KN)
6	572,4668	18	1,261746	21957,64	1228,665	1228,665	1044,365
5	866,564	15	1,261746	26407,62	1477,669	2706,333	2300,383
4	864,7282	12	1,261746	19885,31	1112,705	3819,038	3246,183
3	883,5807	9	1,261746	14133,77	790,8712	4609,91	3918,423
2	889,0102	6	1,261746	8525,819	477,0719	5086,982	4323,934
1	886,5427	3	1,261746	3545,729	198,4053	5285,387	4492,579
			Total	94455,89			



Gambar 4. 1 Grafik Gaya Gempa Lateral Statik Ekuivalen Varian 6 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri

Tabel 4. 6 Hasil Gaya Lateral dan Gaya Geser Tingkat Dinamik Arah X Varian 6 Lantai

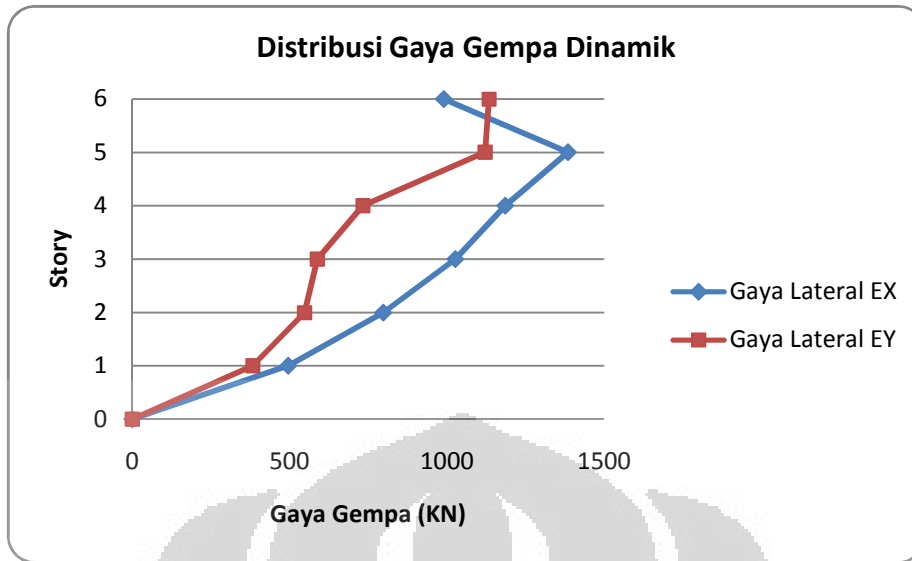
Story	Vix(KN)	Fix (KN)
6	989,8	989,8
5	2374,96	1385,16
4	3560,5	1185,54
3	4586,87	1026,37
2	5384,54	797,67
1	5880	495,46

Sumber : Output ETABS V9.7.0

Tabel 4. 7 Hasil Gaya Lateral dan Gaya Geser Tingkat Dinamik Arah Y Varian 6 Lantai

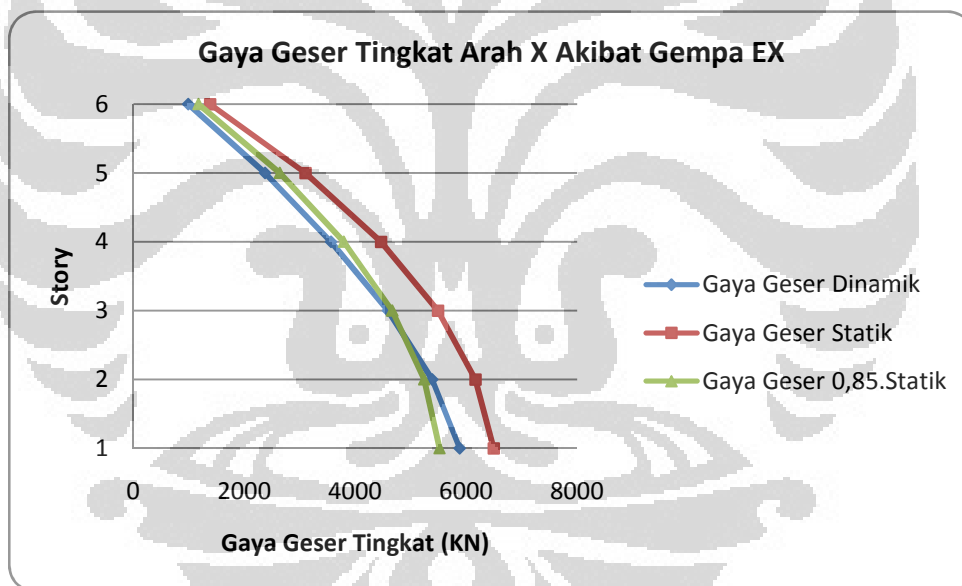
Story	Viy (KN)	Fiy (KN)
6	1133,16	1133,16
5	2254,76	1121,6
4	2987,18	732,42
3	3575,4	588,22
2	4123,29	547,89
1	4505,68	382,39

Sumber : Output ETABS V9.7.0



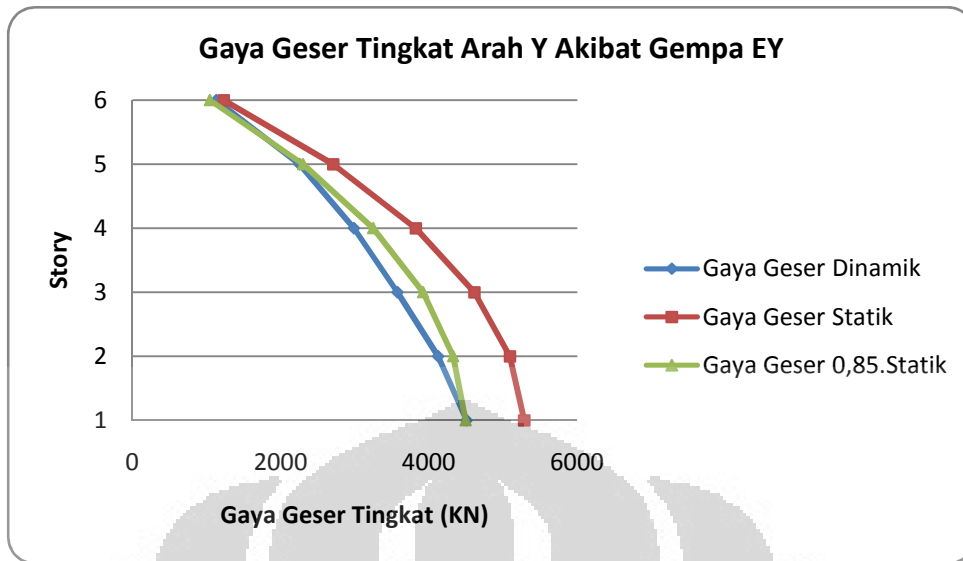
Gambar 4. 2 Grafik Gaya Gempa Dinamik Varian 6 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri



Gambar 4. 3 Grafik Gaya Geser Tingkat Gempa Arah X Varian 6 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri



Gambar 4. 4 Grafik Gaya Geser Tingkat Gempa Arah Y Varian 6 Lantai

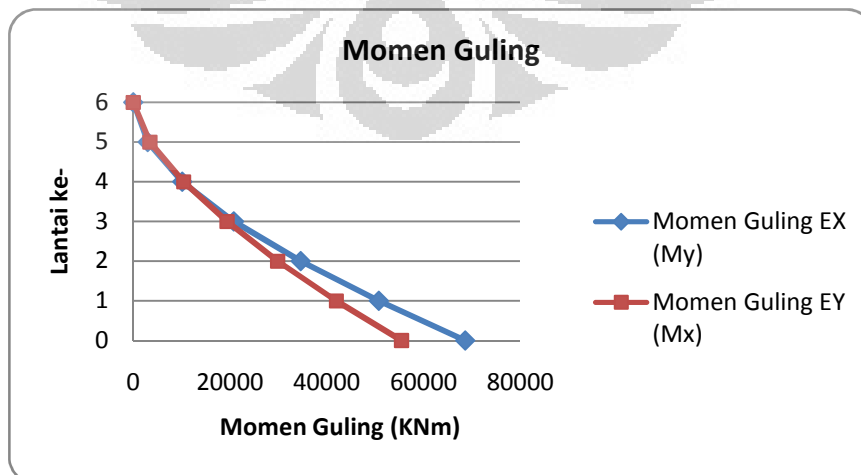
Sumber : Olahan Sendiri

Besar momen guling yang dihasilkan analisis respons spektrum dinamik dapat dilihat pada tabel dan grafik di bawah ini :

Tabel 4. 8 Momen Guling Gempa EX (My) dan Gempa EY (Mx) Varian 6 Lantai

Story	My (KNm)	Mx (KNm)
6	0,34	0,093
5	2967,912	3473,902
4	10122,45	10371,44
3	20806,39	19403,2
2	34595,58	29870,36
1	50776,81	41940,91
Base	68644,11	55466,58

Sumber : Output ETABS V9.7.0



Gambar 4. 5 Grafik Momen Guling Akibat Gaya Gempa Varian 6 Lantai

4.2.4 Story Drift

Berdasarkan RSNI 03-1726-2010 Pasal 7.12.1 simpangan antar tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin yang besarnya ditetapkan berdasarkan sistem struktur gedung yang digunakan. Dalam penelitian ini dipilih sistem struktur kategori pertama dengan kategori resiko 1 sehingga batasan simpangan antar lantai adalah sebagai berikut :

$$\Delta_{ijin} = 0,025h_{sx} = 0,025.3000 = 75 \text{ mm}$$

Perpindahan yang diperoleh dari ETABS V9.7.0 harus diperbesar dengan mengalikannya dengan faktor pembesaran defleksi C_d . Besar C_d disesuaikan dengan koefisien modifikasi respons R sebesar 4,5 sehingga C_d yang digunakan sebesar 4.

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

Tabel 4. 9 Pengecekan Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Arah X Varian 6 Lantai

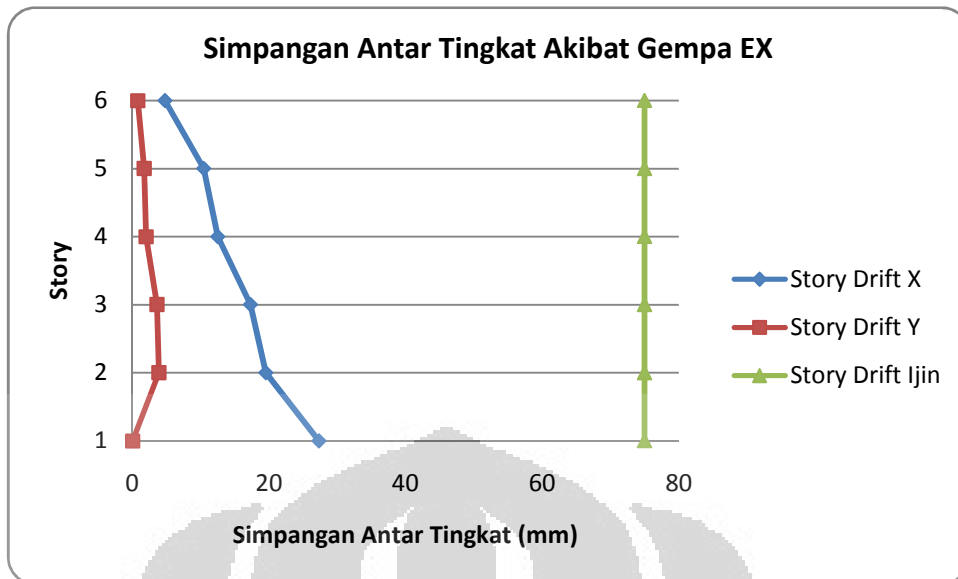
Story	Drift X (mm)	Drift Y (mm)	Cd.Δx (mm)	Cd.Δy (mm)	Δijin (mm)	Syarat
6	1,2	0,204	4,8	0,816	75	Ok
5	2,61	0,438	10,44	1,752	75	Ok
4	3,135	0,51	12,54	2,04	75	Ok
3	4,329	0,906	17,316	3,624	75	Ok
2	4,89	0,972	19,56	3,888	75	Ok
1	6,837	0,018	27,348	0,072	75	Ok

Sumber : Olahan Sendiri

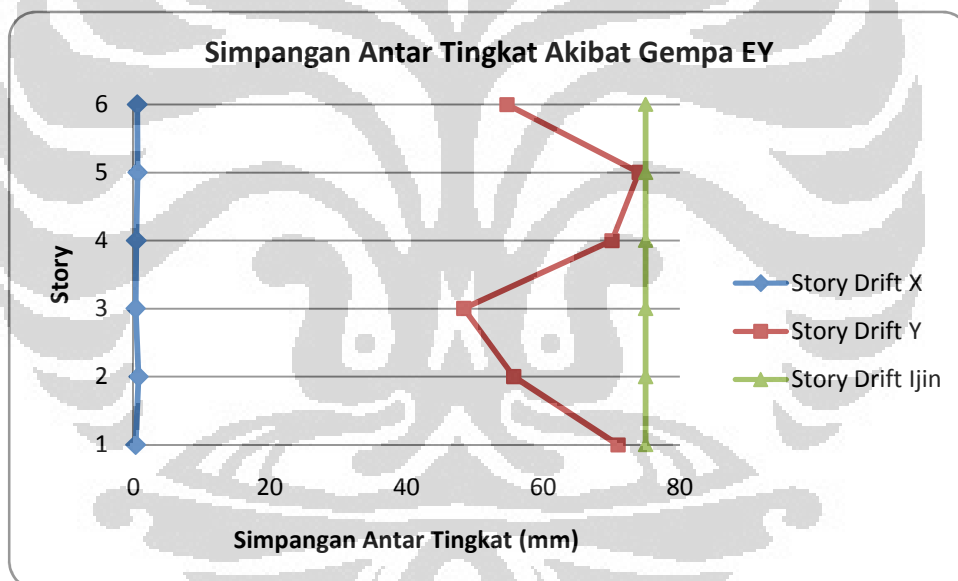
Tabel 4. 10 Pengecekan Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Arah Y Varian 6 Lantai

Story	Drift X (mm)	Drift Y (mm)	Cd.Δx (mm)	Cd.Δy (mm)	Δijin (mm)	Syarat
6	0,144	13,68	0,576	54,72	75	Ok
5	0,15	18,498	0,6	73,992	75	Ok
4	0,111	17,517	0,444	70,068	75	Ok
3	0,078	12,093	0,312	48,372	75	Ok
2	0,189	13,92	0,756	55,68	75	Ok
1	0,087	17,742	0,348	70,968	75	Ok

Sumber : Olahan Sendiri



Gambar 4. 6 Grafik Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Arah X Varian 6 Lantai
Sumber : Olahan Sendiri



Gambar 4. 7 Grafik Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Arah Y Varian 6 Lantai
Sumber : Olahan Sendiri

4.2 Hasil Varian 12 Lantai

4.2.1 Massa Efektif dan Eksentrisitas

Massa efektif setiap lantai serta data mengenai koordinat pusat massa dan pusat kekakuan dapat dilihat pada tabel dibawah ini. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa tidak terjadi eksentrisitas karena titik pusat massa dan kekakuan memiliki koordinat titik yang sama sehingga rasio eksentrisitas rencana 0,05 dapat digunakan.

Tabel 4. 11 *Centre Mass Rigidity* Varian 12 Lantai

Story	MassX (ton)	MassY (ton)	XCM (m)	YCM (m)	XCR (m)	YCR (m)
STORY12	572,4781	572,4781	9,5	18	9,5	18
STORY11	865,5383	865,5383	9,5	18	9,5	18
STORY10	863,5221	863,5221	9,5	18	9,5	18
STORY9	869,3269	869,3269	9,5	18	9,5	18
STORY8	872,3698	872,3698	9,5	18	9,5	18
STORY7	872,4047	872,4047	9,5	18	9,5	18
STORY6	876,5565	876,5565	9,5	18	9,5	18
STORY5	878,1672	878,1672	9,5	18	9,5	18
STORY4	878,1273	878,1273	9,5	18	9,5	18
STORY3	889,5921	889,5921	9,5	18	9,5	18
STORY2	894,0658	894,0658	9,5	18	9,5	18
STORY1	890,3205	890,3205	9,5	18	9,5	18

Sumber : Output ETABS V9.7.0

4.2.2 Pola Ragam Getar

Partisipasi massa dalam 12 pola ragam yang digunakan dirangkum pada tabel di bawah ini. Tabel di bawah ini memperlihatkan bahwa partisipasi massa 90 persen telah tercapai pada pola ragam getar ke-7. Partisipasi massa arah x sebesar 94,71 % (SumUX-7), arah y sebesar 95,57% (SumUY-7), dan arah z sebesar 93,79 % (SumUZ-7). Pola ragam getar pertama dan kedua adalah translasi arah sumbu y dan sumbu x kemudian pola ragam ketiga adalah rotasi arah sumbu z. Hal ini memperlihatkan perilaku yang cukup baik. Periode getar arah y sebesar $T_y = 2,929$ detik dan untuk arah x sebesar $T_x = 1,268$ detik.

Tabel 4. 12 Modal Participating Mass Ratio Varian 12 Lantai

Mode	Period (s)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	2,929179	0	78,3176	0	0	78,3176	0
2	1,268221	82,8153	0	0	82,8153	78,3176	0
3	1,258869	0	0	81,6984	82,8153	78,3176	81,6984
4	1,028564	0	12,6856	0	82,8153	91,0032	81,6984
5	0,577895	0	4,5658	0	82,8153	95,569	81,6984
6	0,453133	11,8993	0	0	94,7146	95,569	81,6984
7	0,448245	0	0	12,0979	94,7146	95,569	93,7963
8	0,360871	0	1,8508	0	94,7146	97,4197	93,7963
9	0,262053	0	0	3,0234	94,7146	97,4197	96,8197
10	0,261332	2,5628	0	0	97,2774	97,4197	96,8197
11	0,243863	0	0,8672	0	97,2774	98,287	96,8197
12	0,185225	0	0	1,0423	97,2774	98,287	97,862

Sumber : Output ETABS V9.7.0

Berdasarkan RSNI 03-1726-2010 dilakukan pengecekan periode getar sebagai berikut:

Pengecekan untuk arah x

$C_{tx} = 0,0488$ dan $x = 0,75$ untuk sistem struktur lainnya

$C_u = 1,4$ untuk $S_{DI} \geq 0,4$

Dimana h_n adalah ketinggian struktur, di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, $h_n = 3 \times 12 = 36$ m

$Ta = C_t h_n^x = 0,72$ detik

$C_u Ta = 1,004$ detik

Karena sehingga $T_x = 1,268$ detik, $T_c > C_u Ta$ sehingga digunakan $T_x = 1,004$ detik

Pengecekan untuk arah y

$C_{ty} = 0,0724$ dan $x = 0,8$ untuk rangka baja pemikul momen

$Ta = C_t h_n^x = 1,27$ detik

$C_u Ta = 1,782$ detik

Karena sehingga $T_y = 2,929$ detik, $T_c > C_u Ta$ sehingga digunakan $T_y = 1,782$ detik

4.2.3 Gaya Geser Dasar dan Tingkat

Pengecekan gaya geser berdasarkan analisis respon spektrum dengan gaya geser dasar lateral ekuivalen adalah sebagai berikut :

Pengecekan untuk arah x

- Koefisien respon seismik C_s ditentukan sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = 0,133$$

- C_s tidak perlu melebihi nilai sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = 0,111$$

Maka diambil $C_s = 0,111$

- Gaya geser dasar lateral ekuivalen ditentukan sebagai berikut :

$$W_t = \text{massa efektif total} = 10222,47 \text{ ton}$$

$$V_x = C_s W_t = 11097,05 \text{ KN}$$

$$0,85 \cdot V_x = 9432,49 \text{ KN}$$

Gaya geser yang diperoleh dalam analisis dinamik respon spektrum sebesar $V_x = 9459,21 \text{ KN}$ dimana $V_{\text{dinamik}} > 0,85 \cdot V_{\text{statis}}$ sehingga telah memenuhi persyaratan.

Pengecekan untuk arah y

- Koefisien respon seismik C_s ditentukan sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = 0,133$$

- C_s tidak perlu melebihi nilai sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = 0,062$$

Maka diambil $C_s = 0,062$

- Gaya geser dasar lateral ekuivalen ditentukan sebagai berikut :

$$V_y = C_s W_t = 6252,79 \text{ KN}$$

$$0,85 \cdot V_y = 5314,87 \text{ KN}$$

Gaya geser yang diperoleh dalam analisis dinamik respon spektrum sebesar $V_y = 5316,46 \text{ KN}$ dimana $V_{\text{dinamik}} > 0,85 \cdot V_{\text{statis}}$ sehingga telah memenuhi persyaratan.

Tabel 4. 13 Pengecekan Gaya Geser Dasar Varian 12 Lantai

Arah	Vdinamik (KN)	0,85 Vstatik (KN)	Vdinamik > 0,85 Vstatik
Vbx	9459,21	9432,493	OK
Vby	5316,46	5314,87	OK

Sumber : Olahan Sendiri

Perhitungan gaya geser tingkat ekivalen sesuai ketentuan sebagai berikut :

$$F_x = C_{VX}V \quad C_{VX} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Tabel 4. 14 Perhitungan Gaya Lateral dan Gaya Geser Tingkat Arah X Varian 12 Lantai

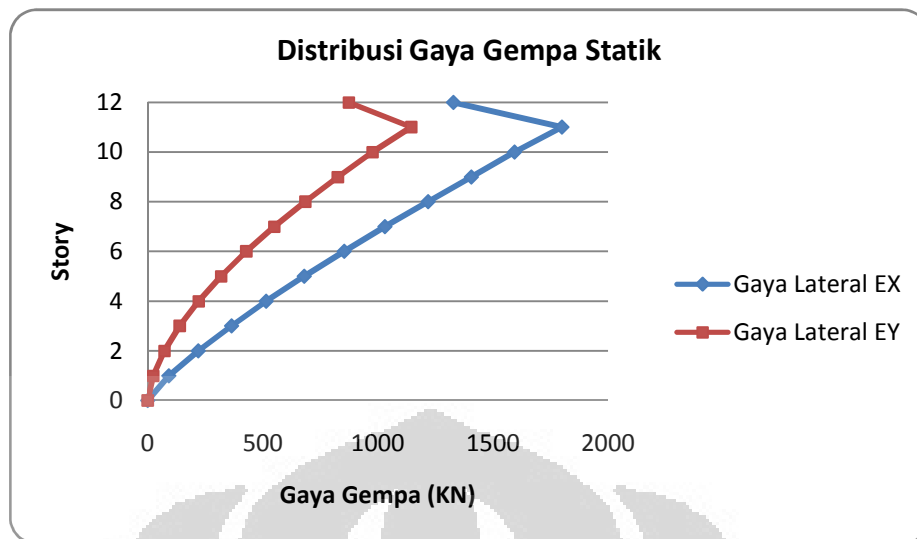
Story	Wi (ton)	hi (m)	k	Wih ^k	Fix (KN)	Vix (KN)	0,85. Vix (KN)
12	572,4781	36	1,252047	50853,8	1327,262	1327,262	1128,172
11	865,5383	33	1,252047	68950,55	1799,579	3126,84	2657,814
10	863,5221	30	1,252047	61051,92	1593,428	4720,268	4012,228
9	869,3269	27	1,252047	53866,46	1405,891	6126,159	5207,235
8	872,3698	24	1,252047	46643,44	1217,373	7343,532	6242,002
7	872,4047	21	1,252047	39463,83	1029,988	8373,521	7117,492
6	876,5565	18	1,252047	32691,93	853,245	9226,766	7842,751
5	878,1672	15	1,252047	26067,49	680,35	9907,115	8421,048
4	878,1273	12	1,252047	19712,58	514,4897	10421,61	8858,364
3	889,5921	9	1,252047	13929,89	363,564	10785,17	9167,394
2	894,0658	6	1,252047	8426,588	219,9302	11005,1	9354,334
1	890,3205	3	1,252047	3523,099	91,95131	11097,05	9432,493
Total				425181,6			

Sumber : Olahan Sendiri

Tabel 4. 15 Perhitungan Gaya Lateral dan Geser Tingkat Arah Y Varian 12 Lantai

Story	Wi (ton)	hi (m)	k	Wih ^k	Fiy (KN)	Viy (KN)	0,85. Viy (KN)
12	572,4781	36	1,641002	204952,9	872,5717	872,5717	741,6859
11	865,5383	33	1,641002	268639,9	1143,714	2016,286	1713,843
10	863,5221	30	1,641002	229209,3	975,8411	2992,127	2543,308
9	869,3269	27	1,641002	194112,6	826,4197	3818,546	3245,765
8	872,3698	24	1,641002	160557,2	683,5602	4502,107	3826,791
7	872,4047	21	1,641002	128968,1	549,072	5051,179	4293,502
6	876,5565	18	1,641002	100620	428,3822	5479,561	4657,627
5	878,1672	15	1,641002	74738,63	318,1941	5797,755	4928,092
4	878,1273	12	1,641002	51819,82	220,619	6018,374	5115,618
3	889,5921	9	1,641002	32741,96	139,3964	6157,77	5234,105
2	894,0658	6	1,641002	16916,76	72,02182	6229,792	5295,323
1	890,3205	3	1,641002	5401,361	22,99589	6252,788	5314,87
Total				1468679			

Sumber : Olahan Sendiri



Gambar 4. 8 Grafik Gaya Gempa Lateral Statik Ekuivalen Varian 12 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri

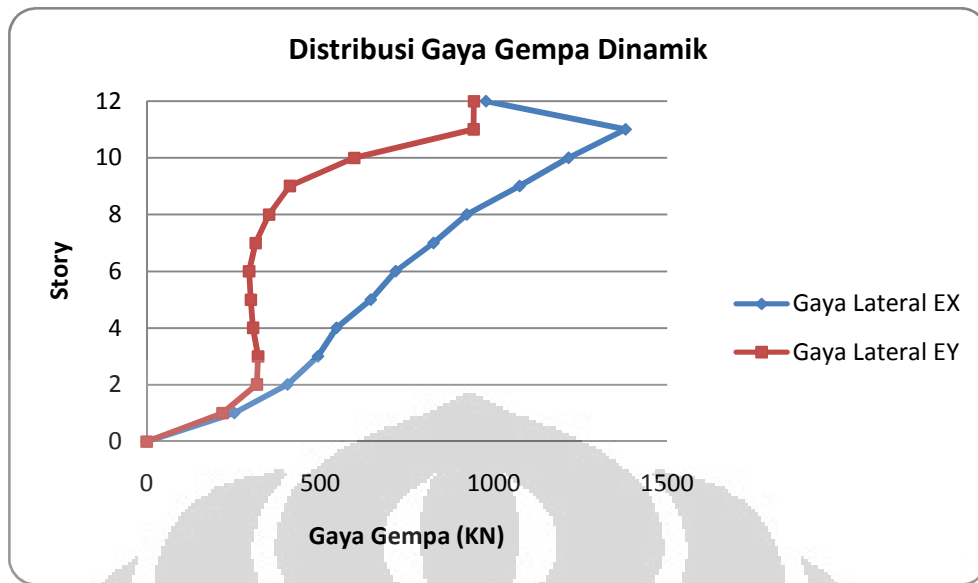
Tabel 4. 16 Hasil Gaya Lateral dan Gaya Geser Tingkat Dinamik Arah X Varian 12 Lantai

Story	Vix (KN)	Fix (KN)
12	977,97	977,97
11	2358,41	1380,44
10	3574,5	1216,09
9	4648,86	1074,36
8	5571,32	922,46
7	6397,64	826,32
6	7115,48	717,84
5	7760,94	645,46
4	8308,02	547,08
3	8801,55	493,53
2	9206,91	405,36
1	9459,21	252,3

Sumber : Output ETABS V9.7.0

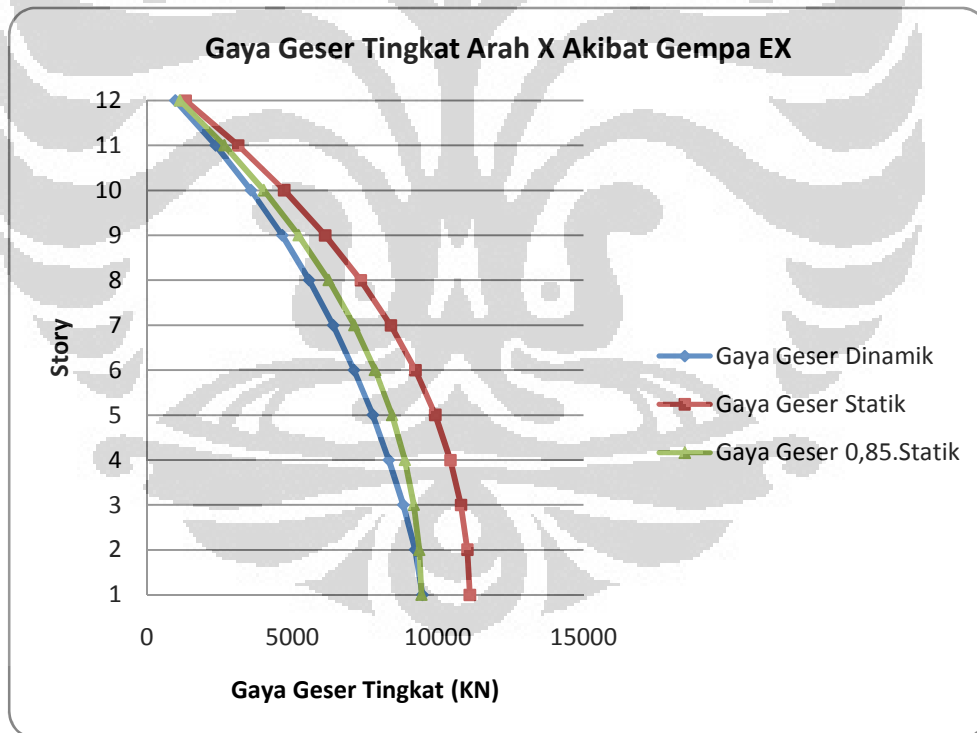
Tabel 4. 17 Hasil Gaya Lateral dan Gaya Geser Tingkat Dinamik Arah Y Varian 12 Lantai

Story	Viy (KN)	Fiy (KN)
12	942,74	942,74
11	1884,2	941,46
10	2481,58	597,38
9	2893,42	411,84
8	3245,25	351,83
7	3558,41	313,16
6	3853,72	295,31
5	4153,41	299,69
4	4459,31	305,9
3	4780,43	321,12
2	5097,5	317,07
1	5316,46	218,96



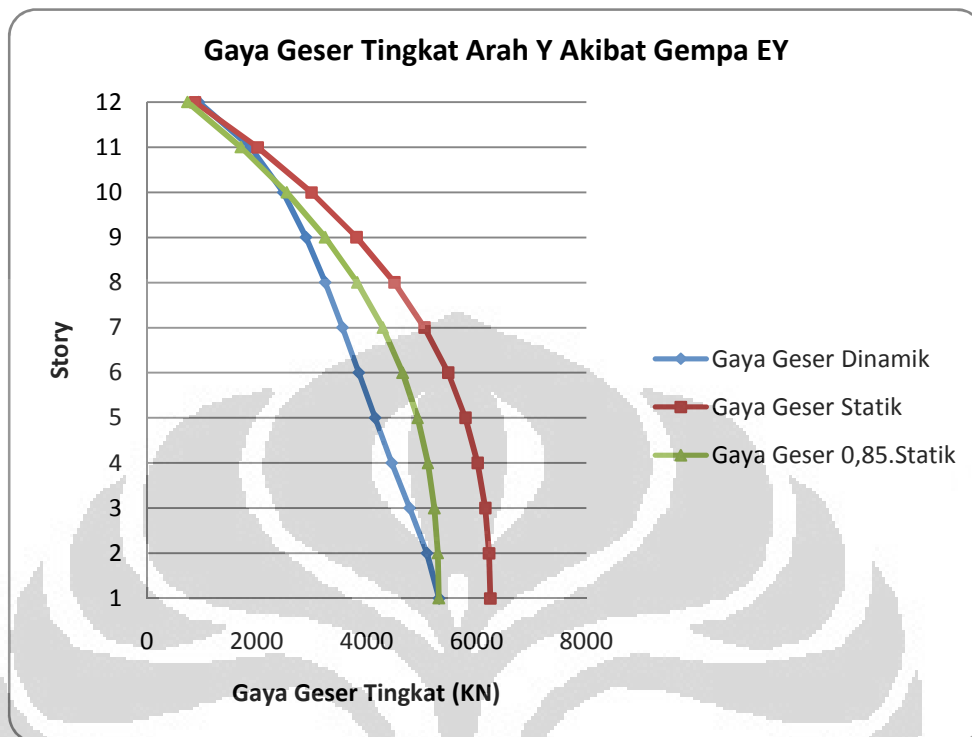
Gambar 4. 9 Grafik Gaya Gempa Dinamik Varian 12 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri



Gambar 4. 10 Grafik Gaya Geser Tingkat Gempa Arah X Varian 12 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri



Gambar 4. 11 Grafik Gaya Geser Tingkat Gempa Arah Y Varian 12 Lantai

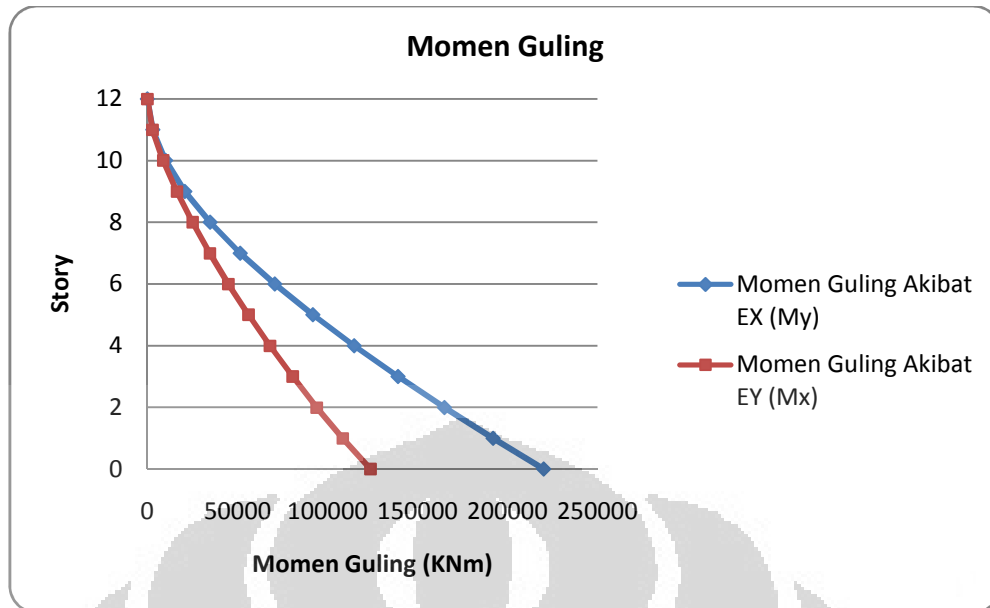
Sumber : Olahan Sendiri

Besar momen guling yang dihasilkan analisis respons spektrum dinamik dapat dilihat pada tabel dan grafik di bawah ini :

Tabel 4. 18 Momen Guling Gempa EX (My) dan Gempa EY (Mx) Varian 12 Lantai

Story	My (KNm)	Mx (KNm)
12	27,57	0,529
11	2959,295	2890,289
10	10049,93	8695,192
9	20824,16	16280,93
8	34836,43	24953,28
7	51545,47	34576,12
6	70674,28	45023,06
5	91810,07	56205,13
4	114816,9	68131,67
3	139246,9	80748,82
2	165032,7	94083
1	192072,9	108418,2
Base	220178	123947,3

Sumber : Output ETABS V9.7.0



Gambar 4. 12 Grafik Momen Guling Akibat Gaya Gempa

Sumber : Olahan Sendiri

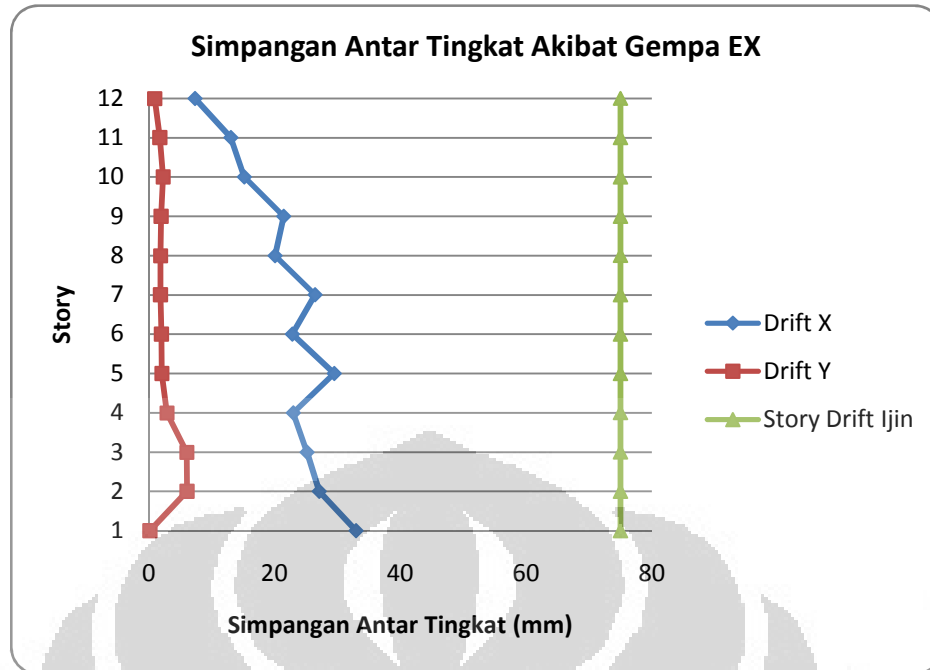
4.2.4 Story Drift

Pengecekan simpangan antara lantai untuk varian 12 lantai dapat diperlihatkan oleh tabel dan grafik di bawah ini :

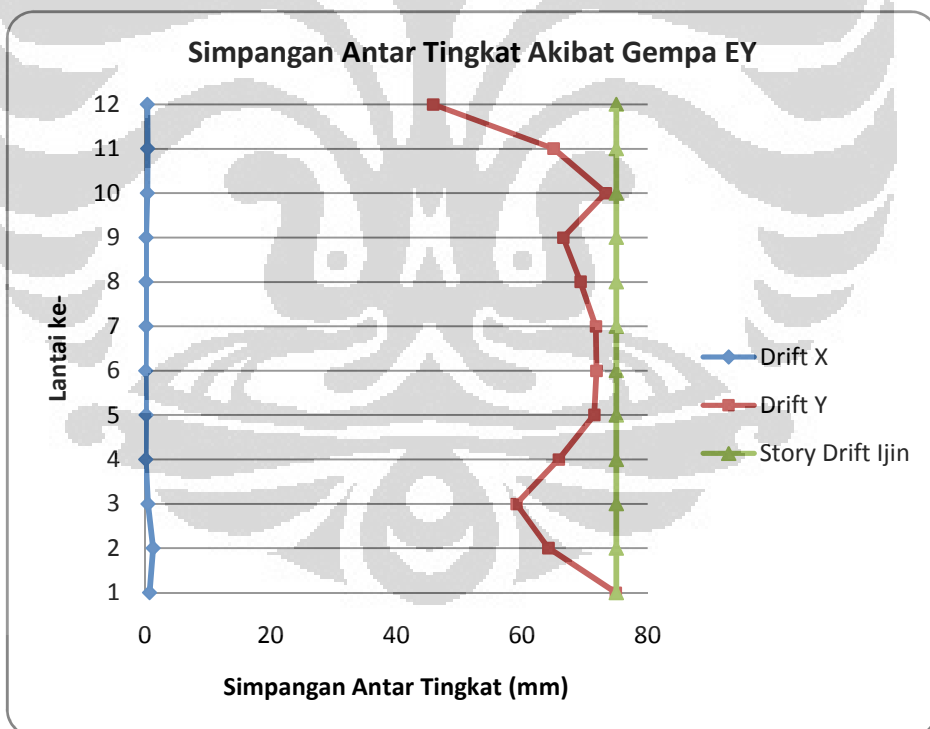
Tabel 4. 19 Pengecekan Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Arah X Varian 12 Lantai

Story	Drift X (mm)	Drift Y (mm)	Cd. Δ x (mm)	Cd. Δ y (mm)	Δ ijin (mm)	Syarat
12	1,83	0,228	7,32	0,912	75	Ok
11	3,261	0,435	13,044	1,74	75	Ok
10	3,792	0,552	15,168	2,208	75	Ok
9	5,361	0,483	21,444	1,932	75	Ok
8	5,01	0,45	20,04	1,8	75	Ok
7	6,6	0,456	26,4	1,824	75	Ok
6	5,7	0,495	22,8	1,98	75	Ok
5	7,374	0,501	29,496	2,004	75	Ok
4	5,742	0,708	22,968	2,832	75	Ok
3	6,282	1,494	25,128	5,976	75	Ok
2	6,774	1,518	27,096	6,072	75	Ok
1	8,235	0,036	32,94	0,144	75	Ok

Sumber : Olahan Sendiri



Gambar 4. 13 Grafik Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Arah X Varian 12 Lantai
Sumber : Olahan Sendiri

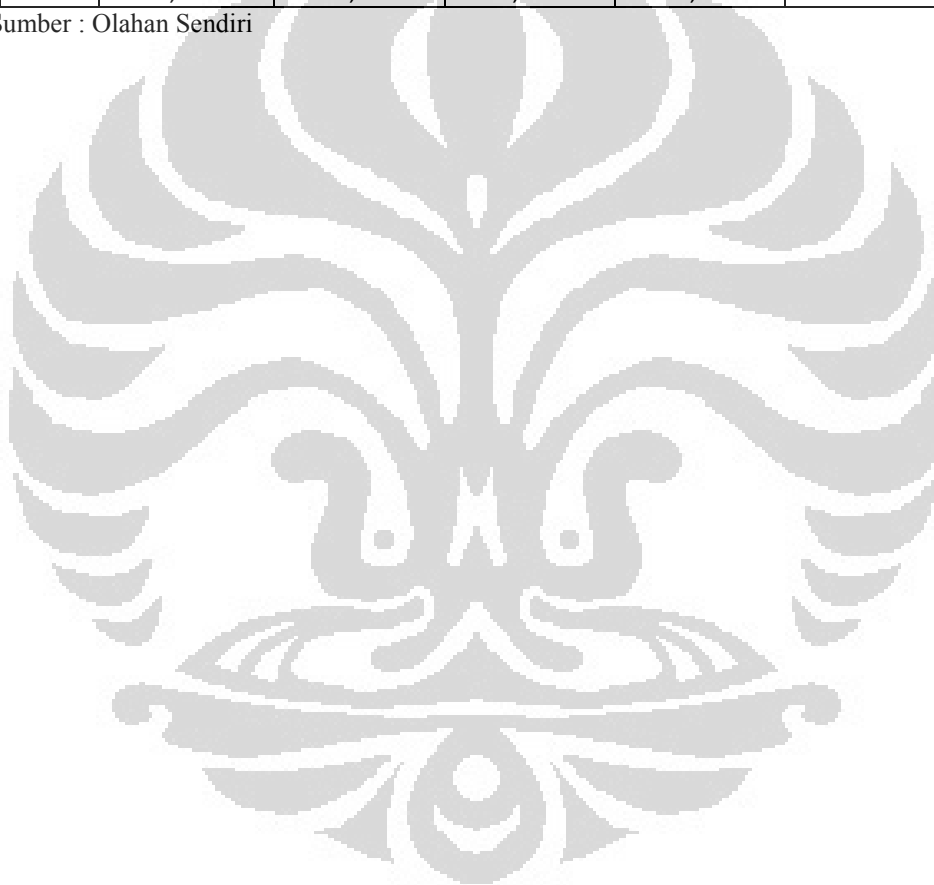


Gambar 4. 14 Grafik Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Arah Y Varian 12 Lantai
Sumber : Olahan Sendiri

Tabel 4. 20 Pengecekan Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Arah Y 12 Lantai

Story	Drfit X (mm)	Drift Y (mm)	Cd. Δ x (mm)	Cd. Δ y (mm)	Δ ijin (mm)	Syarat
12	0,102	11,472	0,408	45,888	75	Ok
11	0,117	16,26	0,468	65,04	75	Ok
10	0,105	18,333	0,42	73,332	75	Ok
9	0,054	16,632	0,216	66,528	75	Ok
8	0,054	17,325	0,216	69,3	75	Ok
7	0,054	17,937	0,216	71,748	75	Ok
6	0,042	17,967	0,168	71,868	75	Ok
5	0,048	17,871	0,192	71,484	75	Ok
4	0,039	16,455	0,156	65,82	75	Ok
3	0,123	14,775	0,492	59,1	75	Ok
2	0,333	16,056	1,332	64,224	75	Ok
1	0,183	18,726	0,732	74,904	75	Ok

Sumber : Olahan Sendiri



4.3 Hasil Variasi 21 Lantai

4.3.1 Massa Efektif Bangunan

Massa efektif setiap lantai serta data mengenai koordinat pusat massa dan pusat kekakuan dapat dilihat pada tabel dibawah ini. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa tidak terjadi eksentrisitas karena titik pusat massa dan kekakuan memiliki koordinat titik yang sama sehingga rasio eksentrisitas rencana 0,05 dapat digunakan.

Tabel 4. 21 *Centre Mass Rigidity* Varian 21 Lantai

Story	MassX (ton)	MassY (ton)	XCM (m)	YCM (m)	XCR (m)	YCR (m)
STORY21	569,6301	569,6301	9,5	18	9,5	18
STORY20	862,9987	862,9987	9,5	18	9,5	18
STORY19	860,9146	860,9146	9,5	18	9,5	18
STORY18	869,1033	869,1033	9,5	18	9,5	18
STORY17	871,7516	871,7516	9,5	18	9,5	18
STORY16	871,8096	871,8096	9,5	18	9,5	18
STORY15	873,8207	873,8207	9,5	18	9,5	18
STORY14	875,2478	875,2478	9,5	18	9,5	18
STORY13	875,1898	875,1898	9,5	18	9,5	18
STORY12	882,1178	882,1178	9,5	18	9,5	18
STORY11	886,0956	886,0956	9,5	18	9,5	18
STORY10	886,1613	886,1613	9,5	18	9,5	18
STORY9	889,2105	889,2105	9,5	18	9,5	18
STORY8	890,2381	890,2381	9,5	18	9,5	18
STORY7	890,1657	890,1657	9,5	18	9,5	18
STORY6	893,2784	893,2784	9,5	18	9,5	18
STORY5	896,3899	896,3899	9,5	18	9,5	18
STORY4	896,4623	896,4623	9,5	18	9,5	18
STORY3	912,4844	912,4844	9,5	18	9,5	18
STORY2	918,849	918,849	9,5	18	9,5	18
STORY1	910,9735	910,9735	9,5	18	9,5	18

Sumber : Output ETABS V9.7.0

4.3.2 Pola Ragam Getar

Partisipasi massa dalam 12 pola ragam yang digunakan dirangkum pada tabel di bawah ini. Tabel di bawah ini memperlihatkan bahwa partisipasi massa 90 persen telah tercapai pada pola ragam getar ke-7. Partisipasi massa arah x sebesar 90,59 % (SumUX-7), arah y sebesar 93,27% (SumUY-7), dan arah z sebesar 90,47 % (SumUZ-7). Pola ragam getar pertama dan kedua adalah translasi arah sumbu y dan sumbu x kemudian pola ragam ketiga adalah rotasi arah sumbu z. Hal ini memperlihatkan perilaku yang cukup baik.

Tabel 4. 22 Modal Participating Mass Ratio Varian 21 Lantai

Mode	Period (s)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	4,473771	0	75,8497	0	0	75,8497	0
2	2,112531	76,3241	0	0	76,3241	75,8497	0
3	2,054807	0	0	77,1247	76,3241	75,8497	77,1247
4	1,685274	0	13,05	0	76,3241	88,8997	77,1247
5	0,951505	0	4,3672	0	76,3241	93,2669	77,1247
6	0,737625	14,2632	0	0	90,5874	93,2669	77,1247
7	0,734074	0	0	13,3432	90,5874	93,2669	90,4679
8	0,614851	0	2,216	0	90,5874	95,4829	90,4679
9	0,431029	0	1,3877	0	90,5874	96,8706	90,4679
10	0,421202	0	0	4,4533	90,5874	96,8706	94,9212
11	0,420734	4,6871	0	0	95,2745	96,8706	94,9212
12	0,315947	0	0,8465	0	95,2745	97,7171	94,9212

Sumber : Output ETABS V9.7.0

Periode getar arah y sebesar $T_y = 4,474$ detik dan untuk arah x sebesar $T_x = 2,113$ detik. Dimana T_a adalah periode getar pendekatan dapat dihitung sebagai berikut :

Pengecekan untuk arah x

$C_{ix} = 0,0488$ dan $\alpha = 0,75$ untuk sistem struktur lainnya

$C_u = 1,4$ untuk $S_{DI} \geq 0,4$

Dimana h_n adalah ketinggian struktur, di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, $h_n = 3 \times 21 = 63$ m

$T_a = C_t h_n^\alpha = 1,09$ detik

$C_u T_a = 1,53$ detik

Karena sehingga $T_x = 2,113$ detik, $T_c > C_u T_a$ sehingga digunakan $T_x = 1,53$ detik

Pengecekan untuk arah y

$C_{iy} = 0,0724$ dan $\alpha = 0,8$ untuk rangka baja pemikul momen

$T_a = C_t h_n^\alpha = 1,99$ detik

$C_u T_a = 2,79$ detik

Karena sehingga $T_y = 4,474$ detik, $T_c > C_u T_a$ sehingga digunakan $T_y = 1,99$ detik

4.3.3 Gaya Geser Dasar dan Gaya Geser Tingkat

Berdasarkan RSNI 03-1726-2010 Pasal 7.9.4.1 kombinasi respons untuk geser dasar ragam tidak boleh kurang dari 85 % geser dasar yang dihitung menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen. Perhitungan gaya geser dasar lateral ekuivalen adalah sebagai berikut :

Pengecekan untuk arah x

- Koefisien respon seismik C_s ditentukan sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{T_e}\right)} = 0,133$$

- C_s tidak perlu melebihi nilai sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{T_e}\right)} = 0,073$$

Maka diambil $C_s = 0,073$

- Gaya geser dasar lateral ekuivalen ditentukan sebagai berikut :

W_t = massa efektif total bangunan = 18282,89 ton

$$V_x = C_s W_t = 13044,2 \text{ KN}$$

$$0,85 \cdot V_x = 11087,59 \text{ KN}$$

Gaya geser yang diperoleh dalam analisis dinamik respon spektrum sebesar $V_x = 11105,69 \text{ KN}$ dimana $V_{\text{dinamik}} > 0,85 \cdot V_{\text{statis}}$ sehingga telah memenuhi persyaratan.

Pengecekan untuk arah y

- Koefisien respon seismik C_s ditentukan sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{T_e}\right)} = 0,133$$

- C_s tidak perlu melebihi nilai sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{T_e}\right)} = 0,04$$

Maka diambil $C_s = 0,04$

- Gaya geser dasar lateral ekuivalen ditentukan sebagai berikut :

$$V_y = C_s W_t = 7147,14 \text{ KN}$$

$$0,85 \cdot V_y = 6075,07 \text{ KN}$$

Gaya geser yang diperoleh dalam analisis dinamik respon spektrum sebesar $V_y = 6097,21 \text{ KN}$ dimana $V_{\text{dinamik}} > 0,85 \cdot V_{\text{statis}}$ sehingga telah memenuhi persyaratan.

Tabel 4. 23 Pengecekan Gaya Geser Dasar Varian 21 Lantai

Arah	Vdinamik (KN)	0,85 Vstatik (KN)	Vdinamik > 0,85 Vstatik
Vbx	11105,69	11087,59	OK
Vby	6097,21	6075,07	OK

Sumber : Olahan Sendiri

Perhitungan gaya geser tingkat ekuivalen sesuai ketentuan sebagai berikut :

$$F_x = C_{VX}V \quad C_{VX} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Tabel 4. 24 Perhitungan Gaya Geser Statik Ekuivalen Arah X Varian 21 Lantai

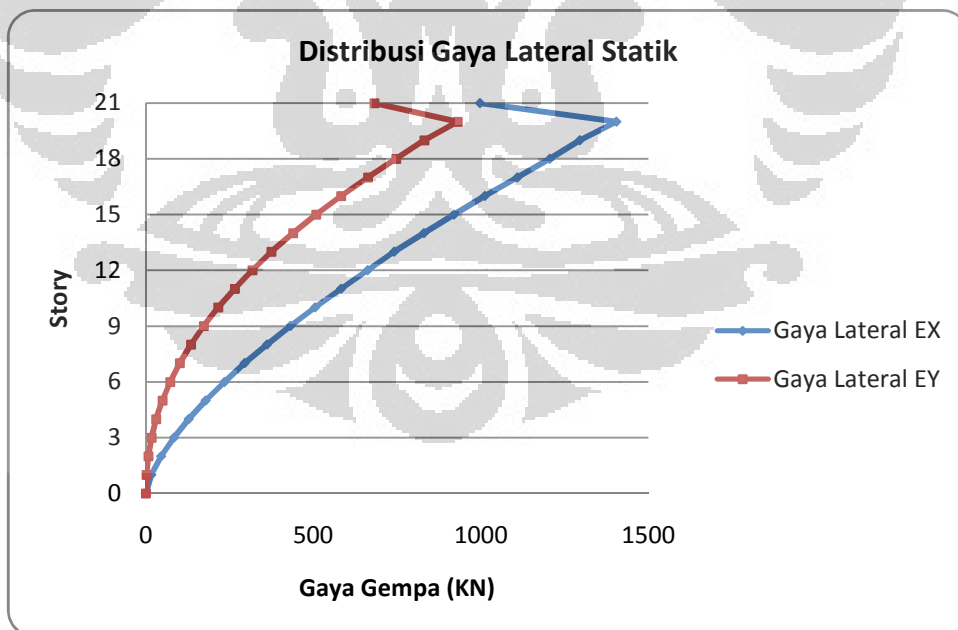
Story	Wi (ton)	hi (m)	k	Wihi ^k	Fix (KN)	Vix (KN)	0,85. Vix (KN)
21	569,6301	63	1,513877	301698,2	997,9796	997,9796	848,2827
20	862,9987	60	1,513877	424533,5	1404,303	2402,283	2041,94
19	860,9146	57	1,513877	391866,5	1296,245	3698,528	3143,749
18	869,1033	54	1,513877	364503,7	1205,732	4904,26	4168,621
17	871,7516	51	1,513877	335307,7	1109,156	6013,416	5111,404
16	871,8096	48	1,513877	305924	1011,958	7025,374	5971,568
15	873,8207	45	1,513877	278088	919,8801	7945,254	6753,466
14	875,2478	42	1,513877	250917,1	830,0023	8775,257	7458,968
13	875,1898	39	1,513877	224273,5	741,8684	9517,125	8089,556
12	882,1178	36	1,513877	200251,9	662,4082	10179,53	8652,603
11	886,0956	33	1,513877	176328,9	583,2738	10762,81	9148,386
10	886,1613	30	1,513877	152648,4	504,9417	11267,75	9577,587
9	889,2105	27	1,513877	130590,9	431,9782	11699,73	9944,768
8	890,2381	24	1,513877	109389,6	361,8469	12061,57	10252,34
7	890,1657	21	1,513877	89360,97	295,5948	12357,17	10503,59
6	893,2784	18	1,513877	71009,21	234,8895	12592,06	10703,25
5	896,3899	15	1,513877	54069,72	178,8558	12770,91	10855,28
4	896,4623	12	1,513877	38572,64	127,5934	12898,51	10963,73
3	912,4844	9	1,513877	25399,84	84,01947	12982,53	11035,15
2	918,849	6	1,513877	13844,24	45,79501	13028,32	11074,07
1	910,9735	3	1,513877	4806,274	15,89855	13044,22	11087,59
			Total	3943385			

Sumber : Olahan Sendiri

Tabel 4. 25 Perhitungan Gaya Geser Statik Ekuivalen Arah Y Varian 21 Lantai

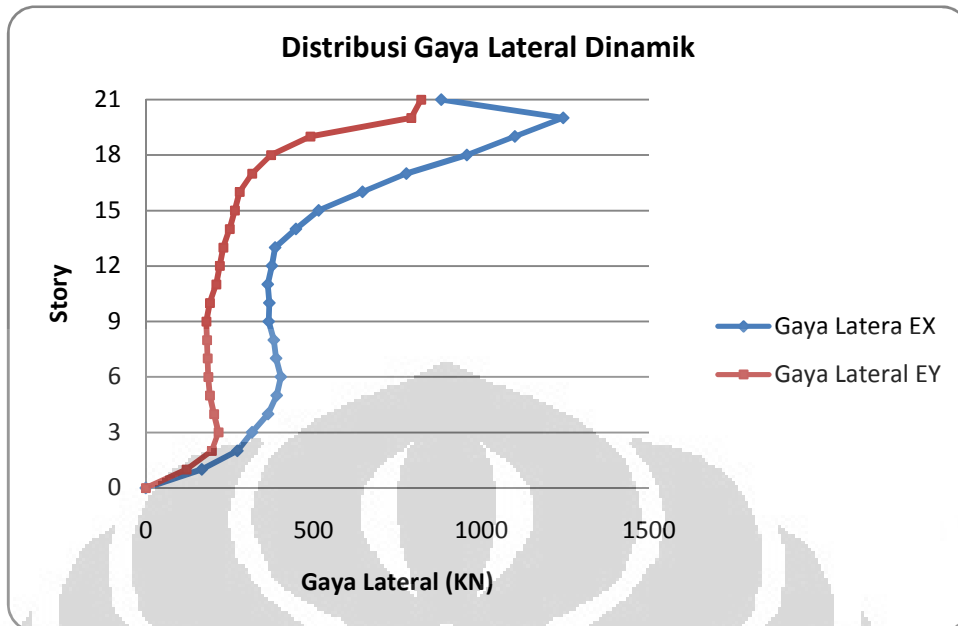
Story	Wi (ton)	hi (m)	k	Wihi ^k	Fiy (KN)	Viy (KN)	0,85. Viy (KN)
21	569,6301	63	2,144149	4108150	681,978	681,978	579,6813
20	862,9987	60	2,144149	5605709	930,5818	1612,56	1370,676
19	860,9146	57	2,144149	5009756	831,65	2444,21	2077,578
18	869,1033	54	2,144149	4503819	747,6614	3191,871	2713,09
17	871,7516	51	2,144149	3996473	663,4388	3855,31	3277,013
16	871,8096	48	2,144149	3509559	582,6082	4437,918	3772,23
15	873,8207	45	2,144149	3063060	508,4866	4946,405	4204,444
14	875,2478	42	2,144149	2646175	439,2812	5385,686	4577,833
13	875,1898	39	2,144149	2257257	374,7185	5760,404	4896,344
12	882,1178	36	2,144149	1916330	318,1225	6078,527	5166,748
11	886,0956	33	2,144149	1597350	265,1698	6343,697	5392,142
10	886,1613	30	2,144149	1302207	216,1744	6559,871	5575,89
9	889,2105	27	2,144149	1042464	173,0554	6732,926	5722,987
8	890,2381	24	2,144149	810744,6	134,5885	6867,515	5837,388
7	890,1657	21	2,144149	608843,1	101,0717	6968,587	5923,299
6	893,2784	18	2,144149	439013,2	72,87886	7041,465	5985,246
5	896,3899	15	2,144149	297996,6	49,46925	7090,935	6027,295
4	896,4623	12	2,144149	184695,8	30,66062	7121,595	6053,356
3	912,4844	9	2,144149	101452,6	16,84175	7138,437	6067,672
2	918,849	6	2,144149	42826,84	7,109516	7145,547	6073,715
1	910,9735	3	2,144149	9605,602	1,594588	7147,141	6075,07
Total				43053488			

Sumber : Olahan Sendiri



Gambar 4. 15 Grafik Gaya Gempa Lateral Statik Ekuivalen Varian 21 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri



Gambar 4. 16 Grafik Gaya Gempa Dinamik Varian 21 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri

Tabel 4. 26 Hasil Gaya Lateral dan Gaya Geser Tingkat Dinamik Arah X Varian 21 Lantai

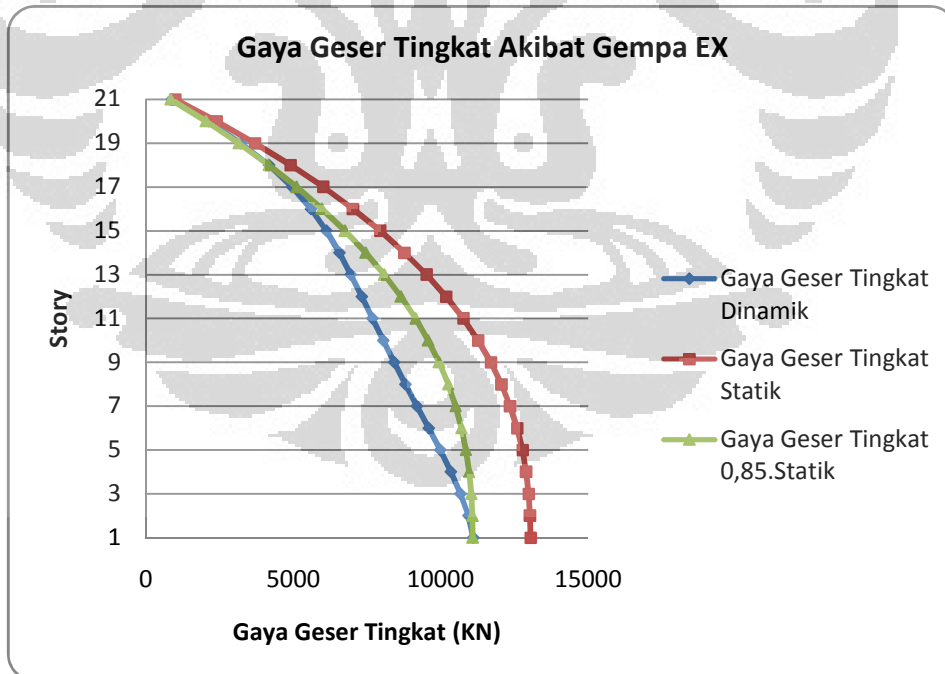
Story	Vix (KN)	Fix (KN)
21	880,07	880,07
20	2124,06	1243,99
19	3223,52	1099,46
18	4180,08	956,56
17	4956,78	776,7
16	5602,14	645,36
15	6117,08	514,94
14	6564,51	447,43
13	6949,93	385,42
12	7325,73	375,8
11	7688,98	363,25
10	8056,75	367,77
9	8422,53	365,78
8	8804,38	381,85
7	9192,68	388,3
6	9595,57	402,89
5	9985,25	389,68
4	10349,28	364,03
3	10665,75	316,47
2	10938,43	272,68
1	11105,68	167,25

Sumber : Output ETABS V9.7.0

Tabel 4. 27 Hasil Gaya Lateral dan Gaya Geser Tingkat Dinamik Arah Y Varian 21 Lantai

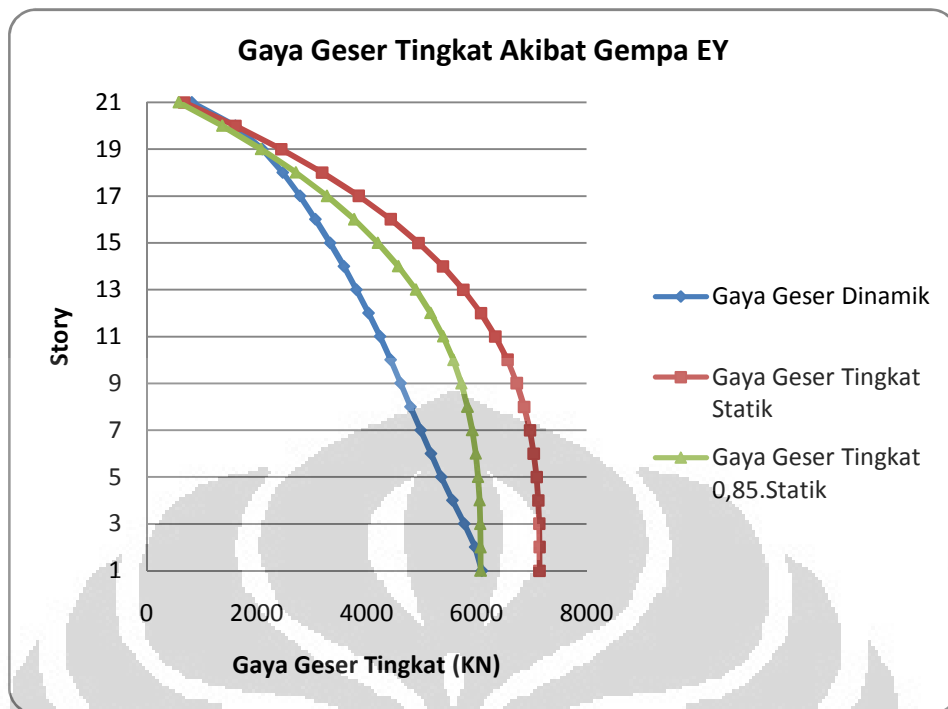
Story	Viy (KN)	Fiy (KN)
21	820,61	820,61
20	1611,1	790,49
19	2101,16	490,06
18	2473,98	372,82
17	2790,8	316,82
16	3069,89	279,09
15	3334,91	265,02
14	3584,85	249,94
13	3815,61	230,76
12	4036,22	220,61
11	4245,54	209,32
10	4436,53	190,99
9	4617,07	180,54
8	4798,67	181,6
7	4982,96	184,29
6	5168,45	185,49
5	5359,29	190,84
4	5562,54	203,25
3	5778,96	216,42
2	5975,78	196,82
1	6097,21	121,43

Sumber : Output ETABS V9.7.0



Gambar 4. 17 Grafik Gaya Geser Tingkat Gempa Arah X Varian 21 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri



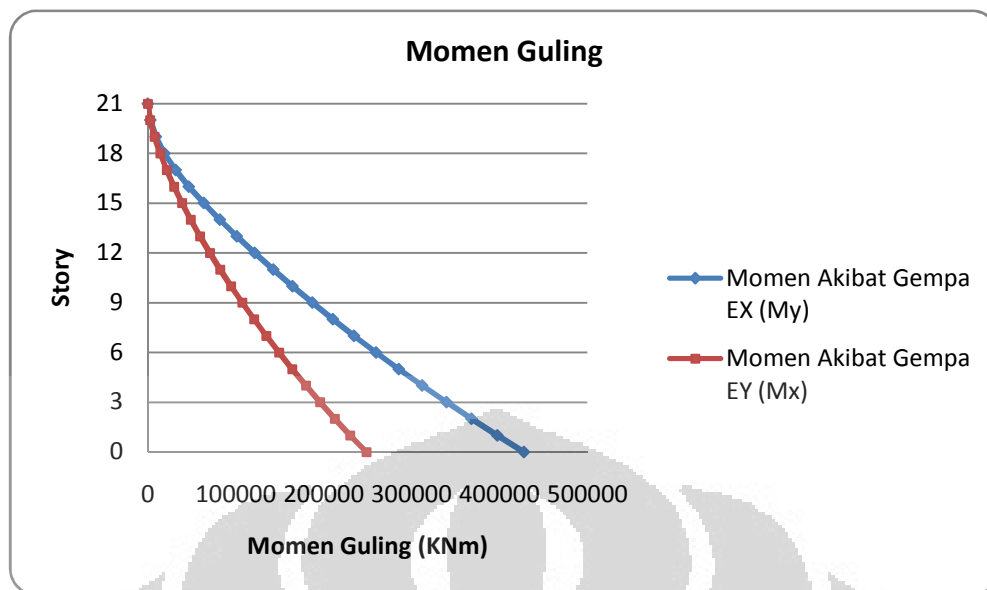
Gambar 4. 18 Grafik Gaya Geser Tingkat Gempa Arah Y Varian 21 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri

Tabel 4. 28 Momen Guling Gempa EX (My) dan Gempa EY (Mx) Varian 21 Lantai

Story	Miy (KNm)	Mix (KNm)
21	71,841	1,423
20	2702,221	2536,447
19	9119,691	7558,984
18	18877,32	14041,66
17	31558,42	21510,31
16	46554,41	29864,24
15	63491,16	38978,73
14	81813,48	48764,13
13	101345,4	59259,34
12	121657,3	70407,86
11	142796,6	82157,03
10	164601,6	94520,63
9	187204,6	107439
8	210464,6	120839,4
7	234593,6	134767,4
6	259468,5	149216,3
5	285342,7	164185,4
4	312057,3	179717,1
3	339640,5	195833,7
2	368005,3	212591,7
1	397438,8	230106,1
Base	427946,6	248477,5

Sumber : Output ETABS V9.7.0



Gambar 4. 19 Grafik Momen Guling Akibat Gaya Gempa Variasi 21 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri

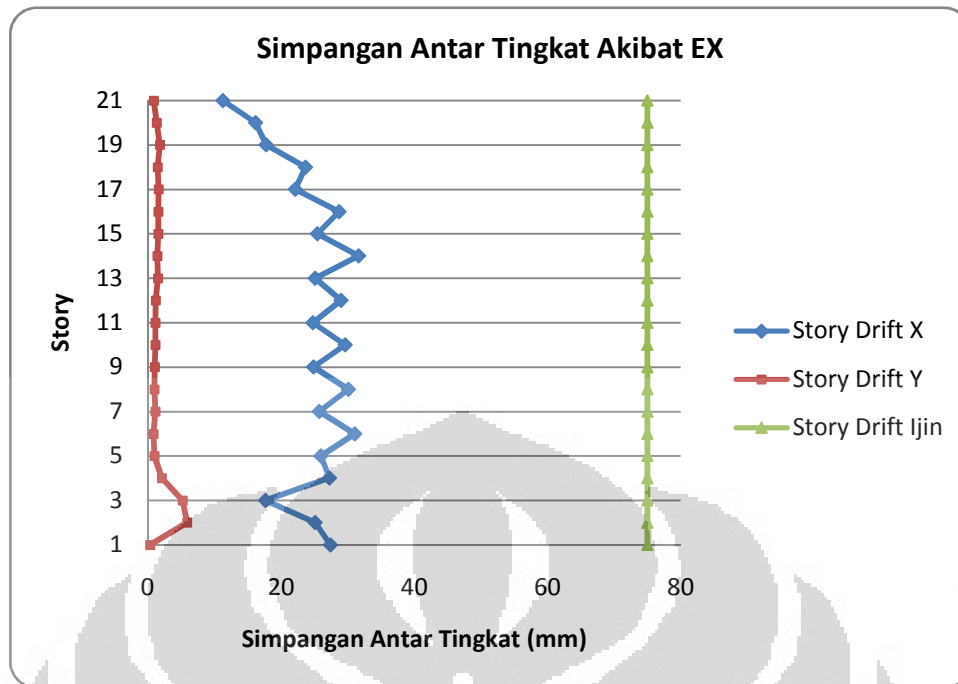
4.3.4 Story Drift

Pengecekan simpangan antara lantai untuk varian 12 lantai dapat diperlihatkan oleh tabel dan grafik di bawah ini :

Tabel 4. 29 Pengecekan Simpangan Antar Tingkat Gempa Arah X Variasi 21 Lantai

Story	Drift X (mm)	Drift Y (mm)	Cd.Δx (mm)	Cd.Δy (mm)	Δijin (mm)	Syarat
21	2,817	0,225	11,268	0,9	75	Ok
20	4,05	0,339	16,2	1,356	75	Ok
19	4,443	0,456	17,772	1,824	75	Ok
18	5,922	0,372	23,688	1,488	75	Ok
17	5,535	0,408	22,14	1,632	75	Ok
16	7,185	0,393	28,74	1,572	75	Ok
15	6,366	0,39	25,464	1,56	75	Ok
14	7,911	0,36	31,644	1,44	75	Ok
13	6,279	0,384	25,116	1,536	75	Ok
12	7,251	0,303	29,004	1,212	75	Ok
11	6,192	0,291	24,768	1,164	75	Ok
10	7,416	0,282	29,664	1,128	75	Ok
9	6,222	0,267	24,888	1,068	75	Ok
8	7,536	0,255	30,144	1,02	75	Ok
7	6,435	0,285	25,74	1,14	75	Ok
6	7,776	0,219	31,104	0,876	75	Ok
5	6,498	0,249	25,992	0,996	75	Ok
4	6,822	0,528	27,288	2,112	75	Ok
3	4,422	1,305	17,688	5,22	75	Ok
2	6,285	1,476	25,14	5,904	75	Ok
1	6,852	0,087	27,408	0,348	75	Ok

Sumber : Olahan Sendiri



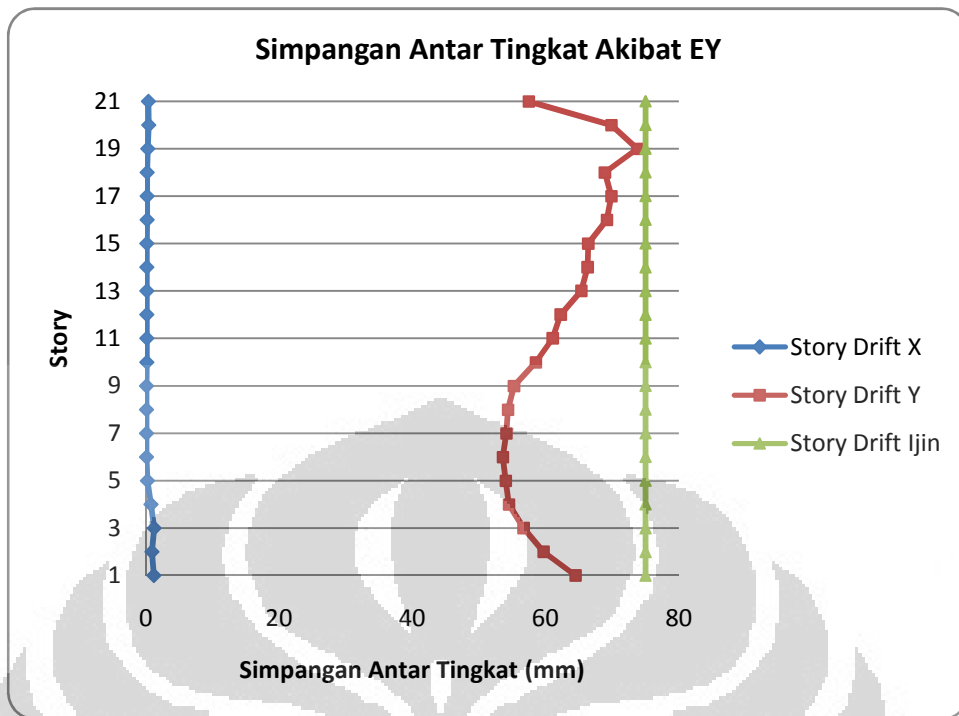
Gambar 4. 20 Grafik Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Arah X Varian 21 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri

Tabel 4. 30 Pengecekan Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Arah Y 21 Lantai

Story	Drift X (mm)	Drift Y (mm)	Cd. Δx (mm)	Cd. Δy (mm)	Δ ijin (mm)	Syarat
21	0,09	14,367	0,36	57,468	75	Ok
20	0,108	17,466	0,432	69,864	75	Ok
19	0,075	18,438	0,3	73,752	75	Ok
18	0,048	17,229	0,192	68,916	75	Ok
17	0,048	17,466	0,192	69,864	75	Ok
16	0,042	17,295	0,168	69,18	75	Ok
15	0,039	16,605	0,156	66,42	75	Ok
14	0,039	16,581	0,156	66,324	75	Ok
13	0,036	16,338	0,144	65,352	75	Ok
12	0,03	15,573	0,12	62,292	75	Ok
11	0,03	15,27	0,12	61,08	75	Ok
10	0,03	14,631	0,12	58,524	75	Ok
9	0,021	13,818	0,084	55,272	75	Ok
8	0,021	13,587	0,084	54,348	75	Ok
7	0,024	13,527	0,096	54,108	75	Ok
6	0,027	13,389	0,108	53,556	75	Ok
5	0,054	13,503	0,216	54,012	75	Ok
4	0,186	13,62	0,744	54,48	75	Ok
3	0,312	14,178	1,248	56,712	75	Ok
2	0,225	14,919	0,9	59,676	75	Ok
1	0,297	16,116	1,188	64,464	75	Ok

Sumber : Olahan Sendiri



Gambar 4. 21 Grafik Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Arah Y Varian 21 Lantai
 Sumber : Olahan Sendiri

BAB 5

ANALISIS HASIL PENELITIAN

5.1 Profil Penampang

Berdasarkan analisis struktur yang dilakukan dengan bantuan peraangkat lunak ETABS V9.7.0 diperoleh dimensi profil penampang sebagai berikut:

Tabel 5. 1 Profil Penampang Seluruh Variasi

Elemen	Story	Profil 21 Lantai	Profil 12 Lantai	Profil 6 Lantai
Balok	19-21	W 14 X 43		
	16-18	W 16 X 67		
	13-15	W 18 X 76		
	10-12	W 18 X 86	W 14 X 74	
	7-9	W 21 X 93	W 18 X 71	
	4-6	W 21 X 93	W 18 X 76	W 14 x 68
	1-3	W 21 X 111	W 21 X 122	W 18 X 158
Kolom	19-21	W 24 X 131		
	16-18	W 24 X 217		
	13-15	W 30 X 261		
	10-12	W 30 X 391	W 18 X 130	
	7-9	W 33 X 424	W 24 X 229	
	4-6	W 36 X 527	W 24 X 279	W 14 X 193
	1-3	W 36 X 527	W 27 X 307	W 24 X 250
Chord	19-21	W 10 X 60		
	16-18	W 10 X 77		
	13-15	W 10 X 77		
	10-12	W 12 X 87	W 10 X 60	
	7-9	W 12 X 96	W 10 X 77	
	4-6	W 12 X 96	W 10 X 88	W 10 X 60
	1-3	W 18 X 143	W 12 X 106	W 10 X 100
Truss Member 1	3-21	HSS 10 X 10 X .500	HSS 10 X 6 X .625	HSS 10 X 6 X .500
	1-2	HSS 14 X 14 X .625	HSS 10 X 10 X .500	HSS 10 X 6 X .625
Truss Member 2	3-21	HSS 10 X 10 X .500	HSS 10 X 6 X .625	HSS 10 X 6 X .500
	1-2	HSS 12 X 12 X .500	HSS 12 X 12 X .625	HSS 10 X 10 X .500
Post	-	HSS 10 X 6 X .250	HSS 10 X 6 X .250	HSS 10 X 6 X .250
Hanger	1	HSS 10 X 6 X .250	HSS 10 X 6 X .250	HSS 10 X 6 X .250
Bresing	Base	W 12 X 106	W 12 x 96	W 12 X 65
Massa Total Elemen Baja		1277,74 ton	628,67 ton	311,56 ton
		1,87 ton/m2	0,92 ton/m2	0,46 ton/m2

Sumber : Output ETABS V9.7.0

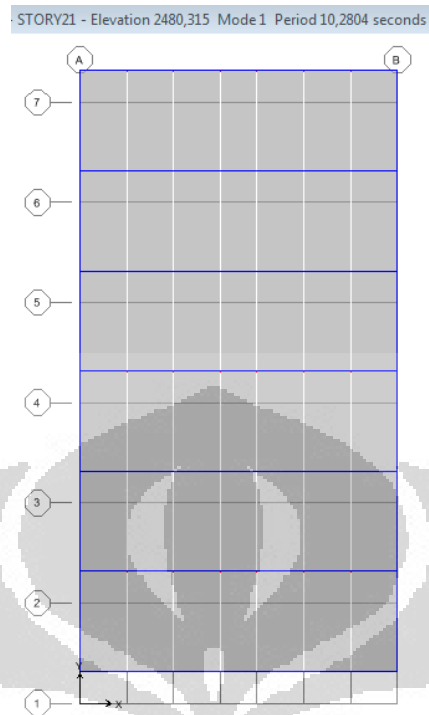
Tabel di atas memperlihatkan bahwa untuk seluruh variasi dibutuhkan profil kolom dan balok yang cukup besar. Hal ini dikarenakan tidak adanya kolom interior dan balok interior sehingga beban yang ditanggung oleh balok dan kolom perimeter arah memanjang bangunan cukup besar. Selain itu, hal tersebut juga dikarenakan oleh ketentuan untuk memenuhi persyaratan simpangan antar lantai berdasarkan RSNI-03-1726-2010 sehingga dimensi profil penampang harus diperbesar lagi.

Profil elemen rangka batang disamakan untuk batang diagonal maupun vertikal dan dibedakan untuk truss tipe 1 dan tipe 2. Profil elemen rangka batang sebaiknya disamakan untuk setiap ketinggian karena akan mempermudah fabrikasi yang dilakukan tetapi dalam penelitian penulis membedakannya menjadi dua yaitu elemen rangka batang untuk story bawah (story 1,2) dan elemen truss untuk tingkat selanjutnya. Hal ini dikarenakan ketika semua profil truss untuk semua ketinggian disamakan, profil penampang pada lantai-lantai tersebut sering mengalami kegagalan, sedangkan untuk ketinggian lainnya masih dapat menahan beban.

5.2 Pola Ragam Getar

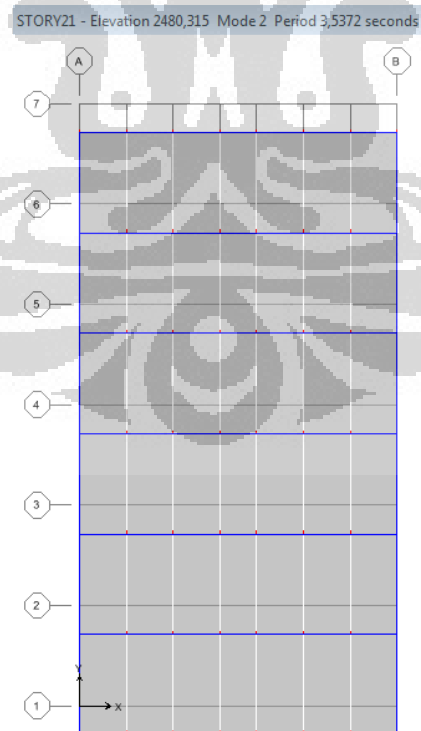
Seluruh variasi ketinggian yaitu 6 lantai, 12 lantai dan 21 lantai telah memenuhi ketentuan partisipasi massa untuk penjumlahan respon ragam yang ada dalam RSNI 03-1726-2010 tanpa menambah pola ragam getar bangunan berdasarkan hasil yang telah ditampilkan sebelumnya.

Hal lain yang perlu diperhatikan dalam sistem struktur *staggered truss* ini adalah periode getar dan pola ragam getar yang dialami bangunan. Pada awalnya sebelum pengecekan karakteristik dinamik dilakukan pola ragam getar fundamental yang dialami bangunan yaitu pola ragam pertama dan kedua adalah translasi arah y, pola ragam ketiga adalah torsi arah z kemudian keempat translasi arah x. Pola ragam tersebut ditunjukkan pula oleh *modal participating mass ratio* awal pada bangunan yang diteliti dimana dapat dilihat pada tabel di bawah ini. Hal tersebut memperlihatkan bahwa sistem struktur ini sangat fleksibel dalam arah memanjang bangunan atau arah y.



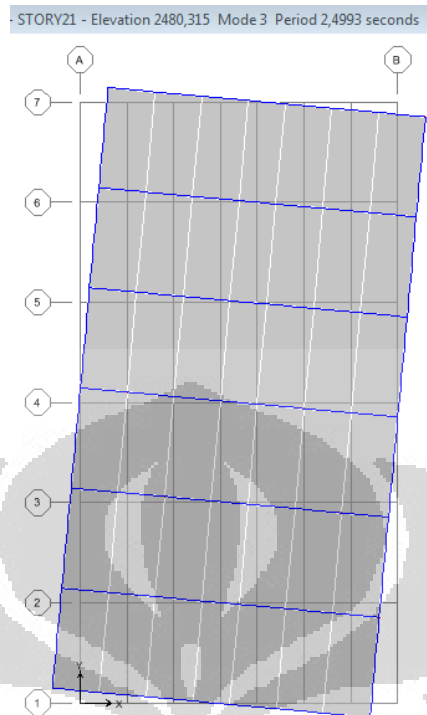
Gambar 5. 1 Pola Ragam Getar Pertama Model Awal

Sumber : Output ETABS V9.7.0



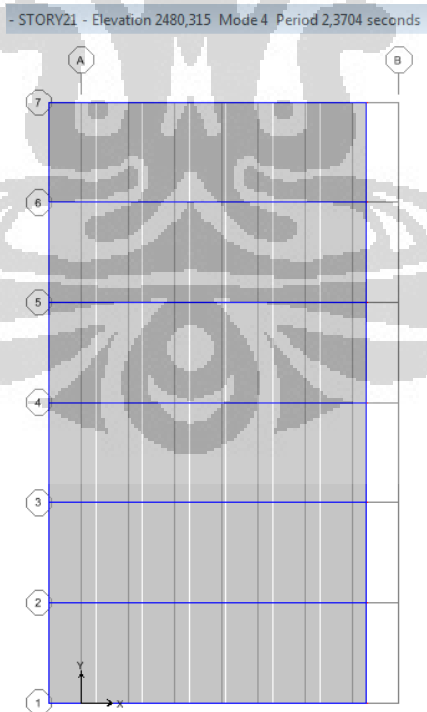
Gambar 5. 2 Pola Ragam Getar Kedua Model Awal

Sumber : Output ETABS V9.7.0



Gambar 5. 3 Pola Ragam Getar Ketiga Model Awal

Sumber : Output ETABS V9.7.0



Gambar 5. 4 Pola Ragam Getar Keempat Model Awal

Sumber : Output ETABS V9.7.0

Selain itu, periode getar yang dimiliki bangunan sebelum pengecekan karakteristik dinamik dilakukan mempunyai nilai yang cukup besar terutama pada arah memanjang bangunan atau arah y, dimana sistem penahan beban lateral adalah sistem rangka baja pemikul momen. Hal ini terjadi pada seluruh variasi ketinggian, untuk varian 6 lantai $T_{y\text{ awal}} = \pm 3$ detik, untuk varian 12 lantai $T_{y\text{ awal}} = \pm 7$ detik, sedangkan untuk varian 21 lantai $T_{y\text{ awal}} = \pm 11$ detik.

Pengecekan kemudian dilakukan terhadap bangunan meliputi periode getar, gaya geser dasar dan *story drift* bangunan. Pengecekan tersebut dilakukan berulang kali untuk memenuhi persyaratan gaya geser dasar dan *story drift*. Pengecekan berulang kali yang dilakukan untuk memenuhi persyaratan gaya geser dasar dan *story drift* berakibat pada mengecilnya periode getar bangunan dimana kekakuan struktur bertambah dan memperbaiki pola ragam getar bangunan akibat perubahan kekakuan yang dilakukan.

Walaupun periode getar seluruh variasi mengecil setelah penyesuaian dilakukan, periode-periode getar tersebut baik pada arah melintang atau arah x dan arah memanjang atau arah y masih melampaui batas maksimum periode getar bangunan sebesar $C_u T_a$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa struktur ini merupakan struktur yang cukup fleksibel berdasarkan ketentuan RSNI-03-1726. Periode getar setelah pengecekan karakteristik dinamik dilakukan dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Pengecekan terhadap simpangan antar tingkat menghasilkan perilaku pola ragam getar yang lebih baik dibandingkan pola ragam getar bangunan sebelumnya. Pola ragam getar pertama adalah translasi arah y, kedua adalah translasi arah x dan ketiga adalah rotasi arah y. Hal ini dialami oleh seluruh variasi jumlah lantai.

Tabel 5. 2 Periode Getar Awal Seluruh Variasi Ketinggian

Arah	6 Lantai	12 Lantai	21 Lantai
Tx (detik)	0,858	2,297	3.536
Ty (detik)	2,777	7,305	10,279

Sumber : Output ETABS V9.7.0

Tabel 5. 3 Periode Getar Akhir Seluruh Variasi Ketinggian

Arah	6 Lantai	12 Lantai	21 Lantai
Tx (detik)	0,711765	1,268221	2,112531
Ty (detik)	1,516967	2,929179	4,473771

Sumber : Output ETABS V9.7.0

Tabel 5. 4 Modal Participating Mass Ratio Awal Varian 6 Lantai

Mode	Period	UX	UY	RZ
1	2,777102	0	87,7165	0
2	0,85875	0	8,3025	0
3	0,719936	0	0	88,1045
4	0,701497	89,3771	0	0

Sumber : Output ETABS V9.7.0

Tabel 5. 5 Modal Participating Mass Ratio Akhir Varian 6 Lantai

Mode	Period (s)	UX	UY	RZ
1	1,516967	0	81,0836	0
2	0,711765	90,3198	0	0
3	0,687148	0	0	88,7232

Sumber : Output ETABS V9.7.0

Tabel 5. 6 Modal Participating Mass Ratio Awal Varian 12 Lantai

Mode	Period	UX	UY	RZ
1	7,305316	0	80,9804	0
2	2,297439	0	11,1596	0
3	1,385296	0	0	84,4091
4	1,309123	85,602	0	0

Sumber : Output ETABS V9.7.0

Tabel 5. 7 Modal Participating Mass Ratio Akhir Varian 12 Lantai

Mode	Period (s)	UX	UY	RZ
1	2,929179	0	78,3176	0
2	1,268221	82,8153	0	0
3	1,258869	0	0	81,6984

Sumber : Output ETABS V9.7.0

Tabel 5. 8 Modal Participating Mass Ratio Awal Varian 21 Lantai

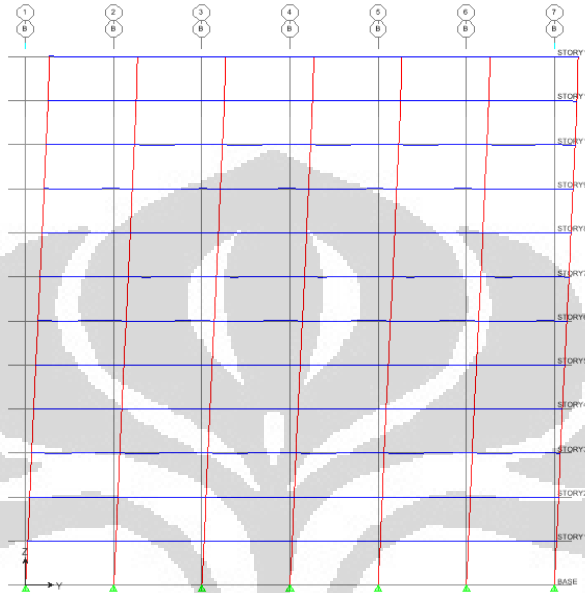
Mode	Period	UX	UY	RZ
1	10,2796	0	79,3917	0
2	3,536887	0	10,9928	0
3	2,406704	0	0	78,5771
4	2,287833	78,4949	0	0

Sumber : Output ETABS V9.7.0

Tabel 5. 9 Modal Participating Mass Ratio Akhir Varian 21 Lantai

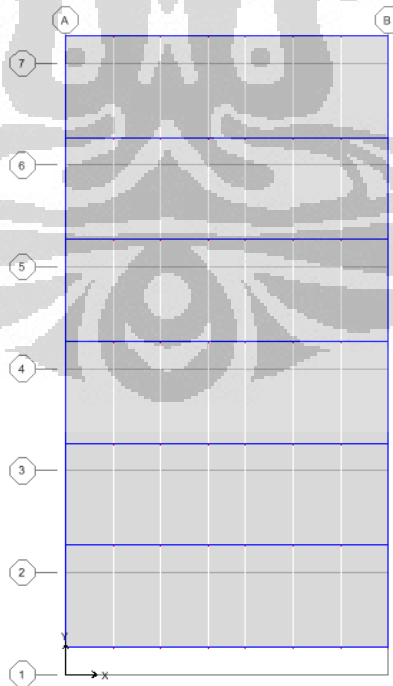
Mode	Period (s)	UX	UY	RZ
1	4,473771	0	75,8497	0
2	2,112531	76,3241	0	0
3	2,054807	0	0	77,1247

Sumber : Output ETABS V9.7.0



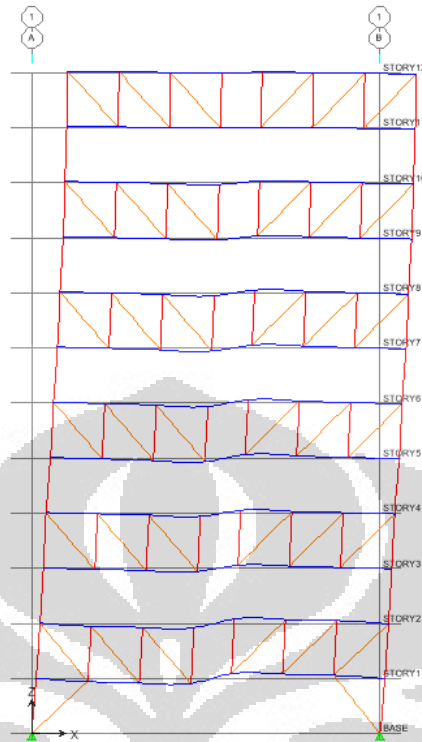
Gambar 5. 5 Tampak Elevasi Memanjang Pola Ragam Pertama Translasi Arah Y

Sumber : Output ETABS V9.7.0



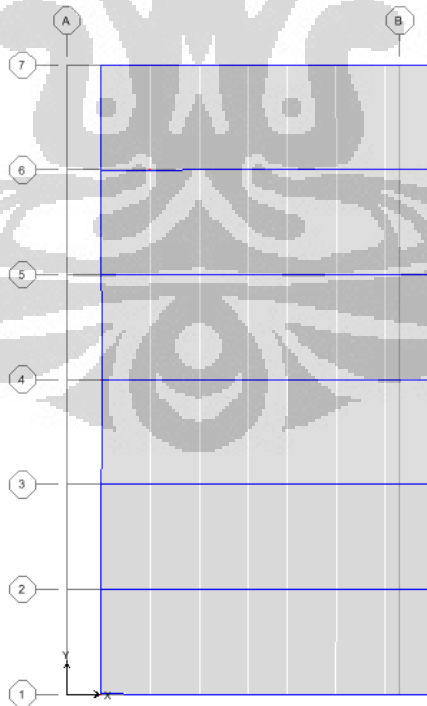
Gambar 5. 6 Tampak Plan Pola Ragam Pertama Translasi Arah Y

Sumber : Output ETABS V9.7.0



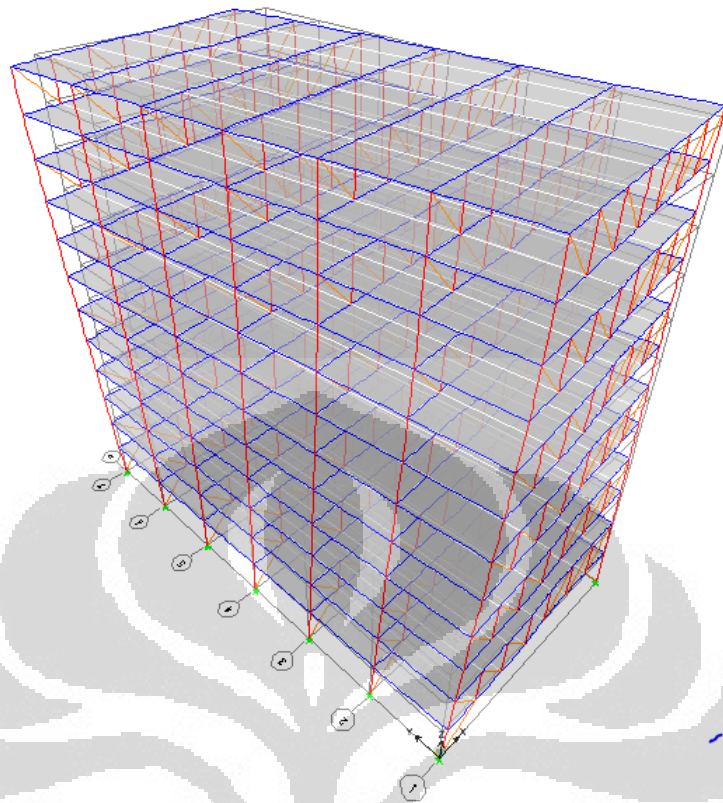
Gambar 5. 7 Tampak Elevasi Melintang Pola Ragam Kedua Translasi Arah X

Sumber : Output ETABS V9.7.0



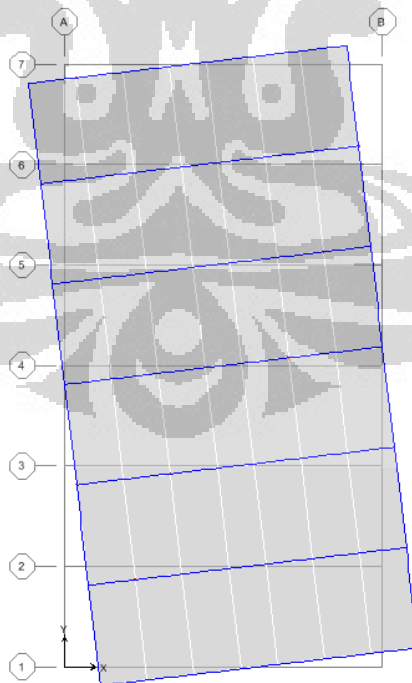
Gambar 5. 8 Tampak Plan Pola Getar Kedua Translasi Arah X

Sumber : Output ETABS V9.7.0



Gambar 5. 9 Tampak 3-D Pola Ragam Ketiga Rotasi Arah Z

Sumber : Output ETABS V9.7.0

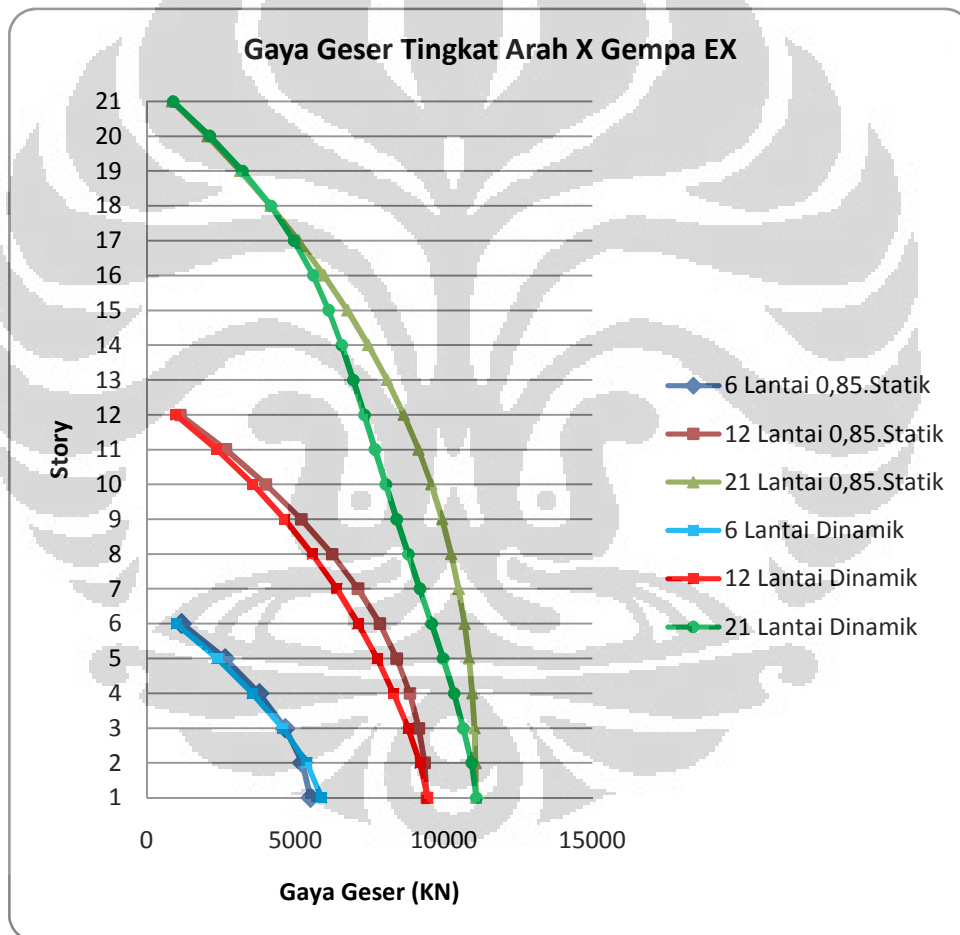


Gambar 5. 10 Tampak Plan Pola Ragam Ketiga Rotasi Arah Z

Sumber : Output ETABS V9.7.0

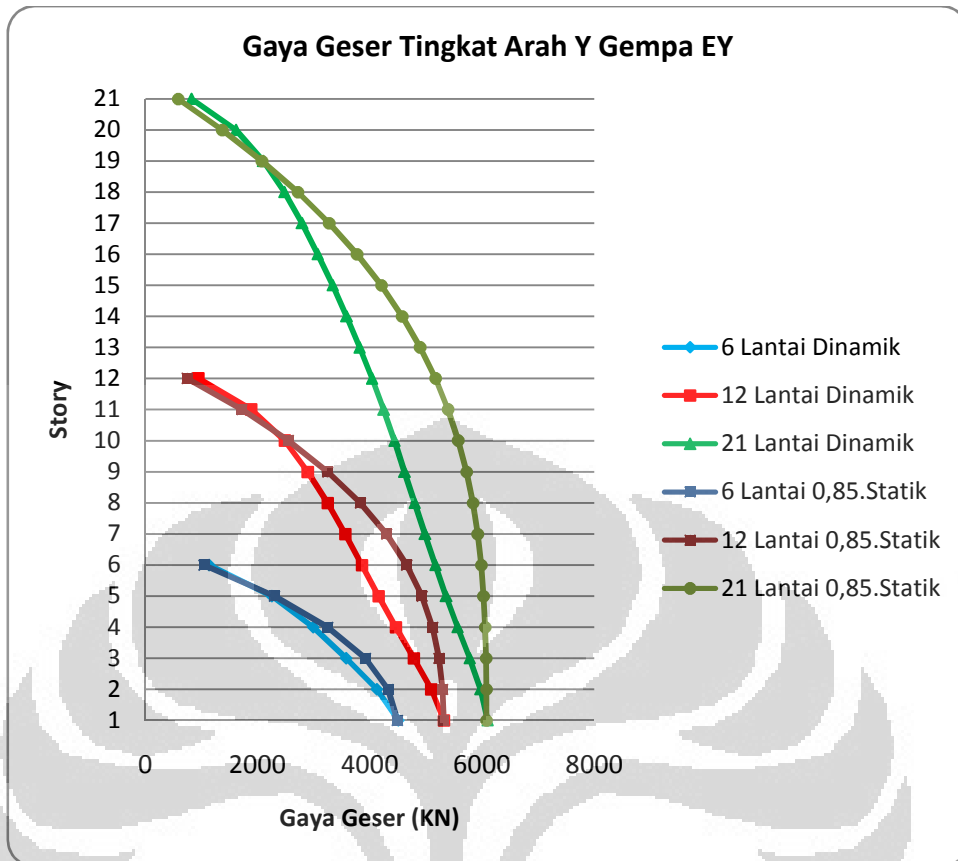
5.3 Gaya Geser dan Momen Guling

Berdasarkan hasil yang diperoleh, gaya geser dasar seluruh variasi telah memenuhi persyaratan yang ada. Selain itu gaya geser tingkat dengan jelas menunjukkan gaya geser yang semakin besar dengan bertambahnya tingkat bangunan. Momen guling bangunan akibat beban gempa memiliki bentuk grafik momen guling pada umumnya yaitu melengkung dimana semakin bertambahnya tingkat momen guling yang terjadi semakin besar. Pada sistem struktur *staggered truss* ini beban vertikal terkonsentrasi hanya pada kolom-kolom eksterior sehingga diharapkan dapat mengimbangi *overtuning moment* karena gempa.



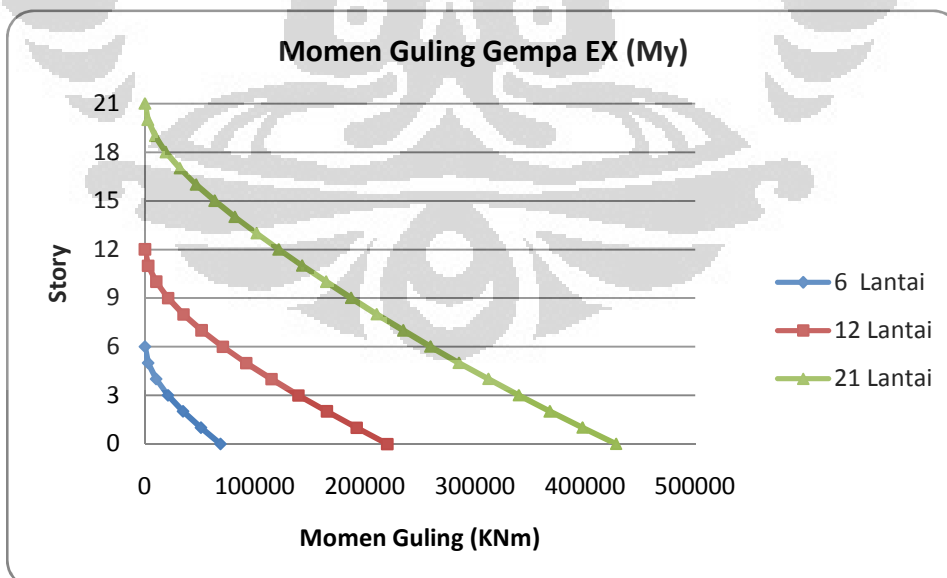
Gambar 5. 11 Gaya Geser Tingkat Seluruh Variasi Gempa EX

Sumber : Olahan Sendiri



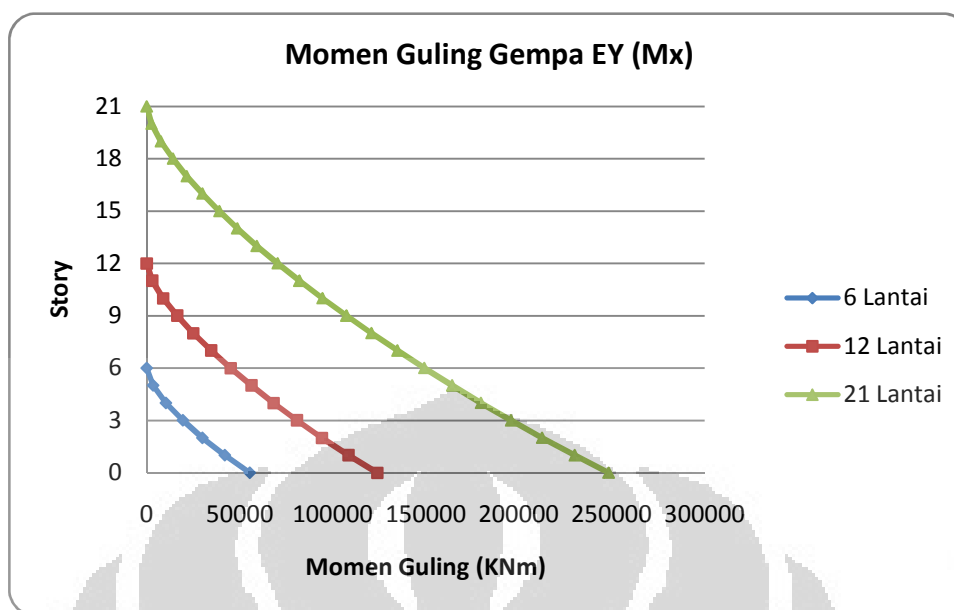
Gambar 5. 12 Gaya Geser Tingkat Seluruh Variasi Gempa EY

Sumber : Olahan Sendiri



Gambar 5. 13 Momen Guling Arah Y Gempa EX Seluruh Variasi

Sumber : Olahan Sendiri

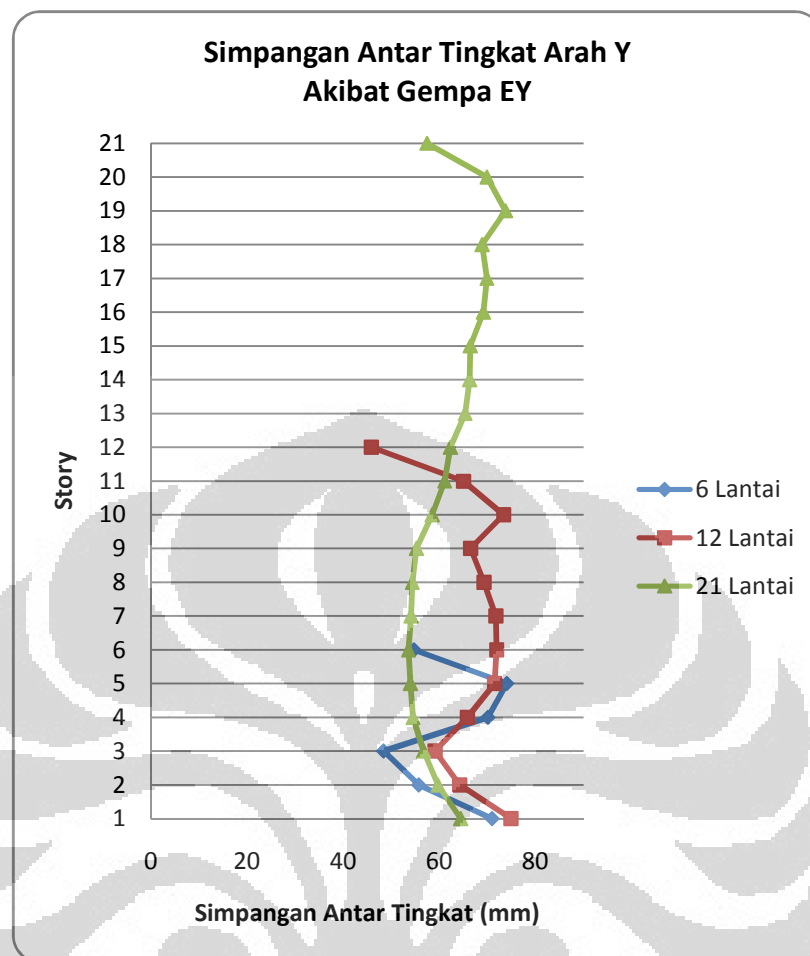


Gambar 5. 14 Momen Guling Arah X Gempa EY Seluruh Variasi

Sumber : Olahan Sendiri

5.4 Simpangan Antar Tingkat

Berikut ini diperlihatkan simpangan antar tingkat maksimum yang diperoleh pada masing-masing arah akibat beban gempa. Grafik simpangan antar tingkat arah y akibat gempa EY menunjukkan bahwa untuk ketinggian 6 lantai, pada story 1 mengalami *story drift* yang besar kemudian mengecil untuk story-story selanjutnya lalu kembali membesar pada story 4 dan 5 kemudian mengecil pada story 6. Hal serupa terjadi pada ketinggian 12 lantai dimana pada story 1 memiliki *story drift* yang besar kemudian mengecil pada story 2 dan 3 lalu nilainya membesar sampai pada story 7 selanjutnya mengecil sampai pada story 12, kecuali pada story 10 dimana nilai simpangan membesar dibanding simpangan pada story sebelumnya. Pada ketinggian 21 lantai juga terjadi simpangan antar tingkat yang besar pada story 1, kemudian nilainya mengecil sampai pada story 6 lalu semakin membesar nilainya sampai pada story 17, selanjutnya mengecil sampai pada *top story*, kecuali pada story 19 dimana nilai simpangan membesar dibanding story sebelumnya.



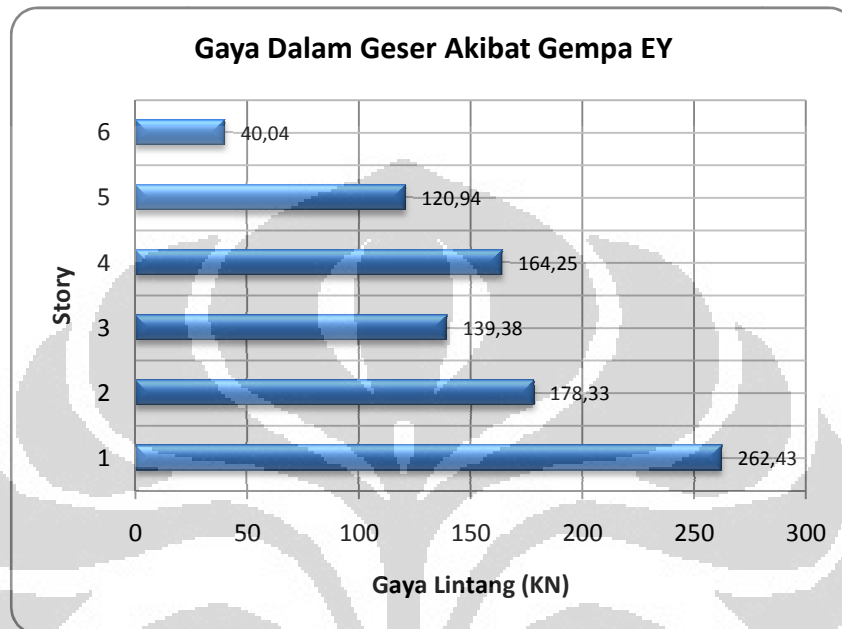
Gambar 5.15 *Story Drift* Arah Y Gempa EY Seluruh Variasi

Sumber : Olahan Sendiri

Hasil *story drift* maksimum untuk keseluruhan variasi yang diperlihatkan oleh grafik di atas menunjukkan bahwa *story drift* yang terjadi cukup besar dimana *story drift* tersebut merupakan hasil dari penyesuaian yang dilakukan untuk memenuhi persyaratan pengecekan *story drift* berdasarkan RSNI-03-1726-2010 yang pada awalnya seluruh variasi ketinggian tidak memenuhi simpangan anatar tingkat yang disyaratkan.

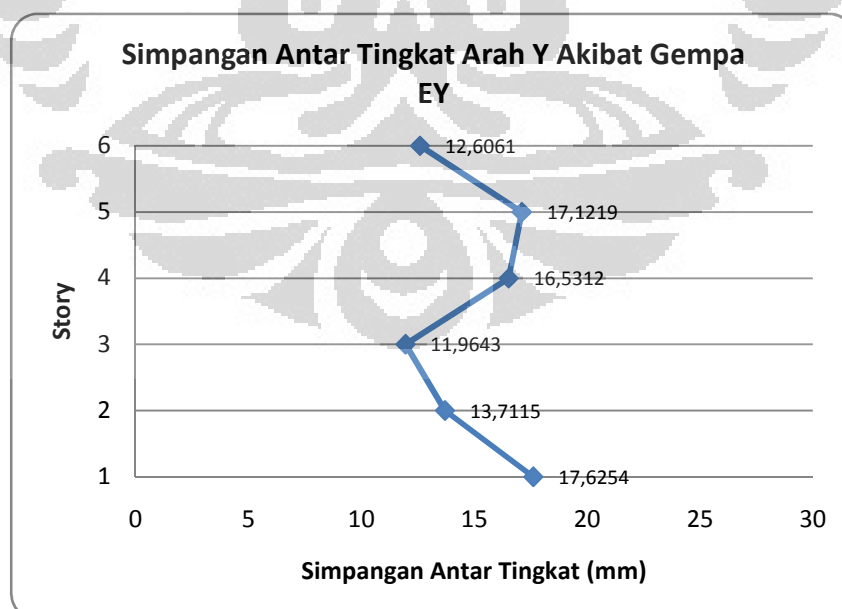
Untuk mempermudah analisis dilakukan studi kasus terhadap salah satu elemen struktur kolom yaitu kolom dengan *line label* C14. Berdasarkan diagram gaya dalam lintang pada kolom C14 dan grafik *story drift* pada point 14 untuk varian 6 lantai ditunjukkan bahwa keduanya memiliki bentuk grafik yang menyerupai satu sama lain sehingga dapat diketahui bahwa simpangan antar tingkat yang terjadi dipengaruhi oleh gaya dalam yang terjadi pada elemen

struktur kolom dimana hal ini terkait dengan beban gempa yang harus ditahan bangunan dimana dipengaruhi oleh massa bangunan dan periode getar serta hal lain yang mempengaruhi gaya dalam elemen struktur kolom seperti defleksi rangka batang dan pengaruh P-Delta.



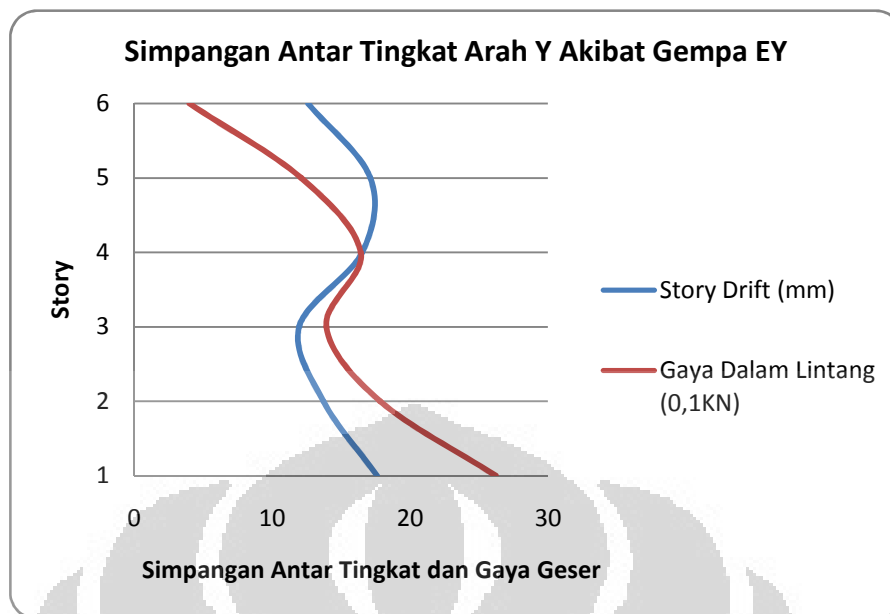
Gambar 5. 16 Gaya Dalam Lintang Gempa EY Pada Kolom C14 Varian 6 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri



Gambar 5. 17 *Story Drift* Arah Y Gempa EY Point 14 Varian 6 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri

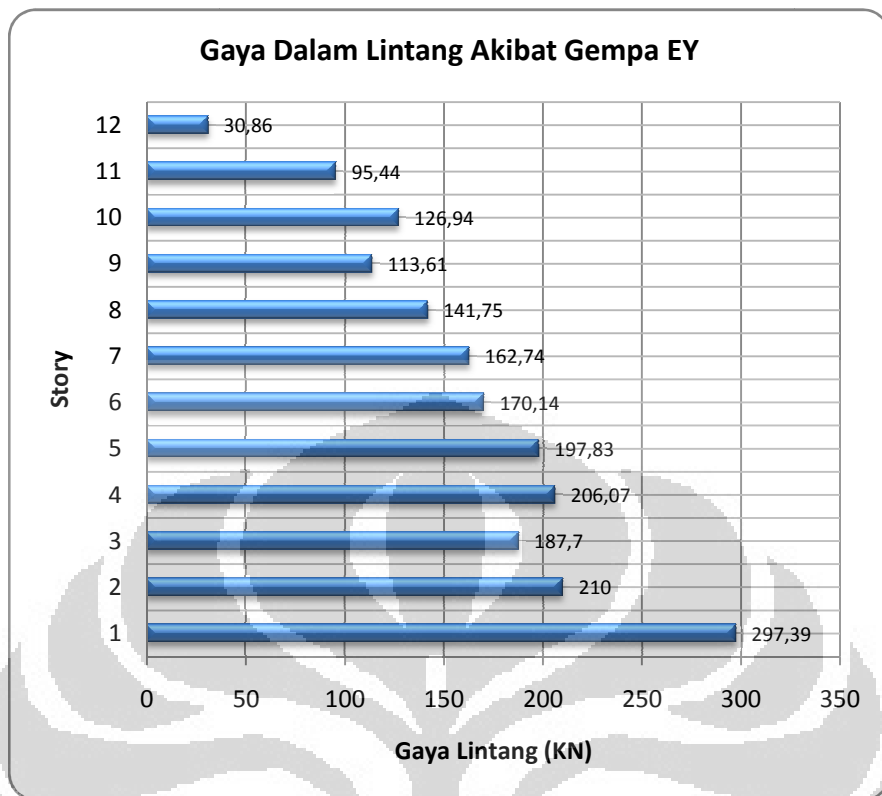


Gambar 5. 18 Gaya Geser dan Story Drift Arah Y Gempa EY Varian 6 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri

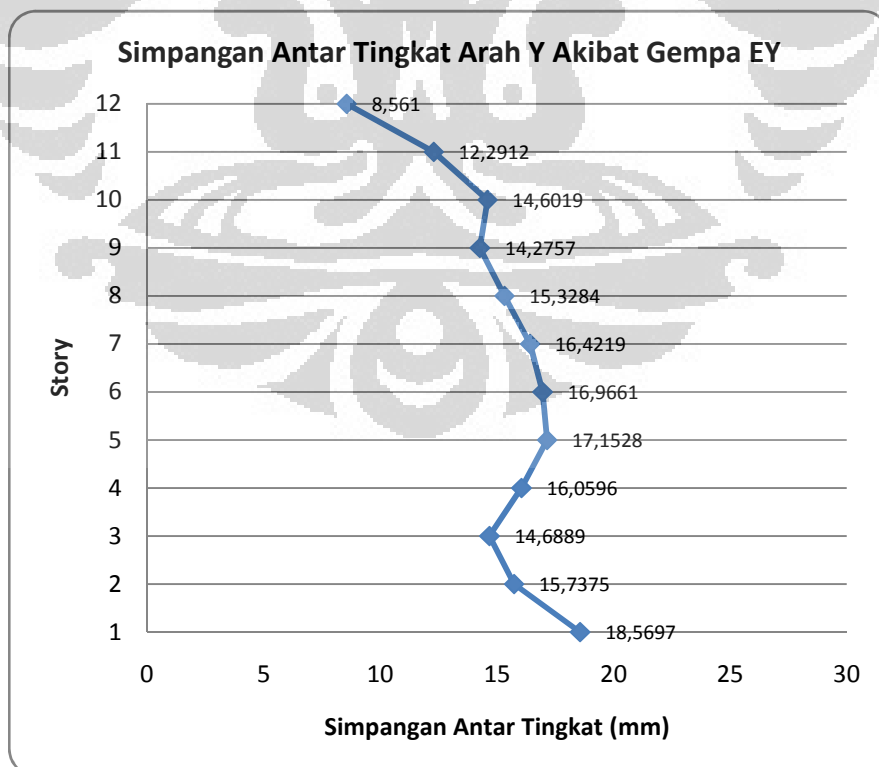
Selain itu diketahui pula bahwa simpangan antar tingkat yang terjadi dipengaruhi oleh kekakuan elemen struktur tersebut yang terkait oleh besaran modulus elastisitas dan dimensi penampang. Dalam penelitian ini dimensi penampang yang digunakan diperoleh dari proses penyesuaian untuk memenuhi pengecekan persyaratan simpangan antar tingkat yang dilakukan secara coba-coba dengan pembagian dimensi yang tipikal setiap 3 story. Seluruh pengaruh akibat faktor-faktor yang telah dikemukakan tersebut pada akhirnya memberi bentuk simpangan antar tingkat seperti yang diperlihatkan pada grafik untuk masing-masing varian.

Pengaruh gaya dalam terhadap simpangan antar tingkat juga terlihat pada varian 12 lantai dan 21 lantai seperti yang dapat dilihat pada hasil diagram gaya dalam lintang dan grafik simpangan antar tingkat di bawah ini dimana simpangan antar tingkat pada titik yang ditinjau yang terjadi dipengaruhi oleh gaya dalam yang terjadi pada kolom yang bersesuaian dengan titik yang ditinjau dimana bergantung dari berbagai hal seperti yang telah disebutkan di atas.

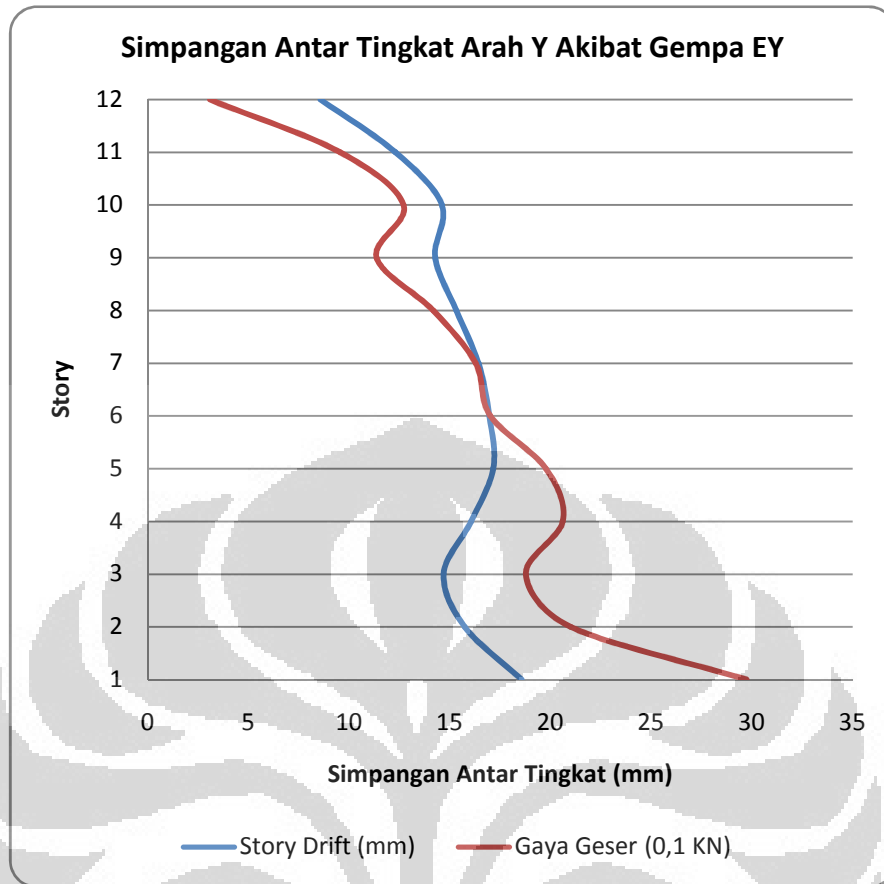


Gambar 5. 19 Gaya Dalam Lintang Gempa EY Pada Kolom C14 Varian 12 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri

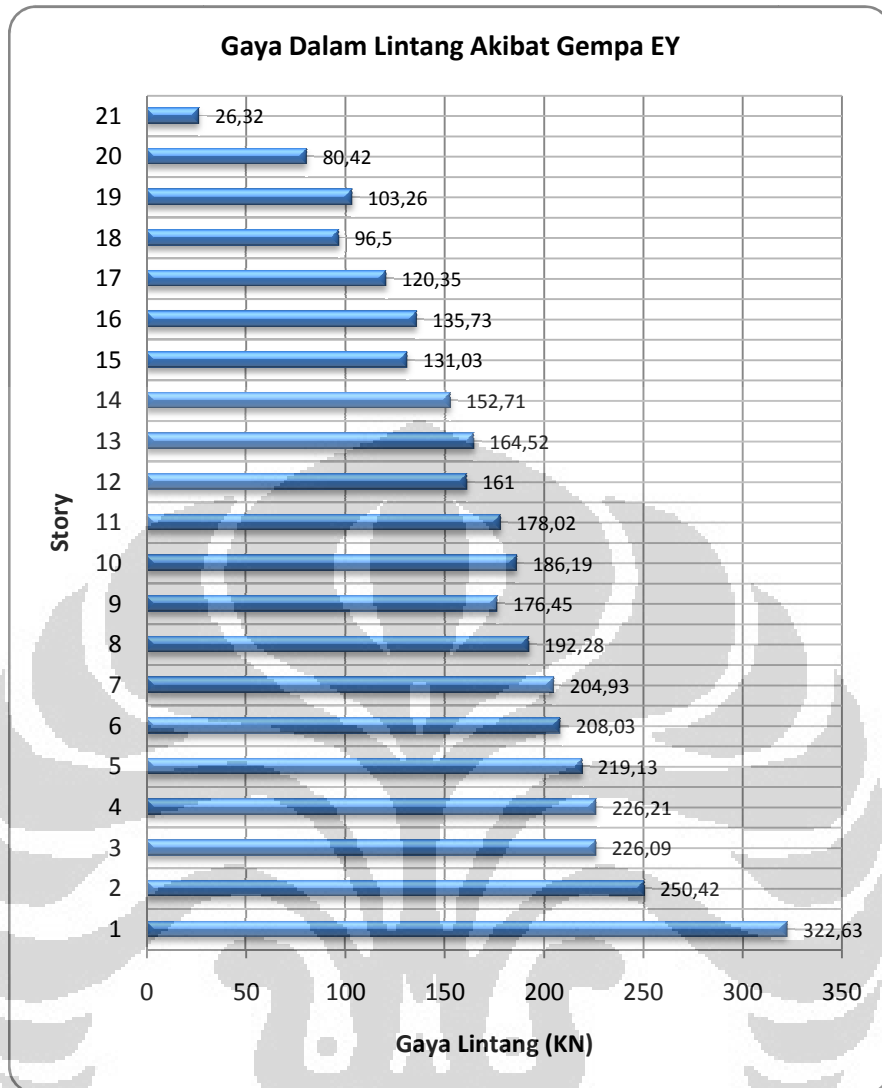


Gambar 5. 20 Story Drift Arah Y Gempa EY Point 14 Varian 12 Lantai



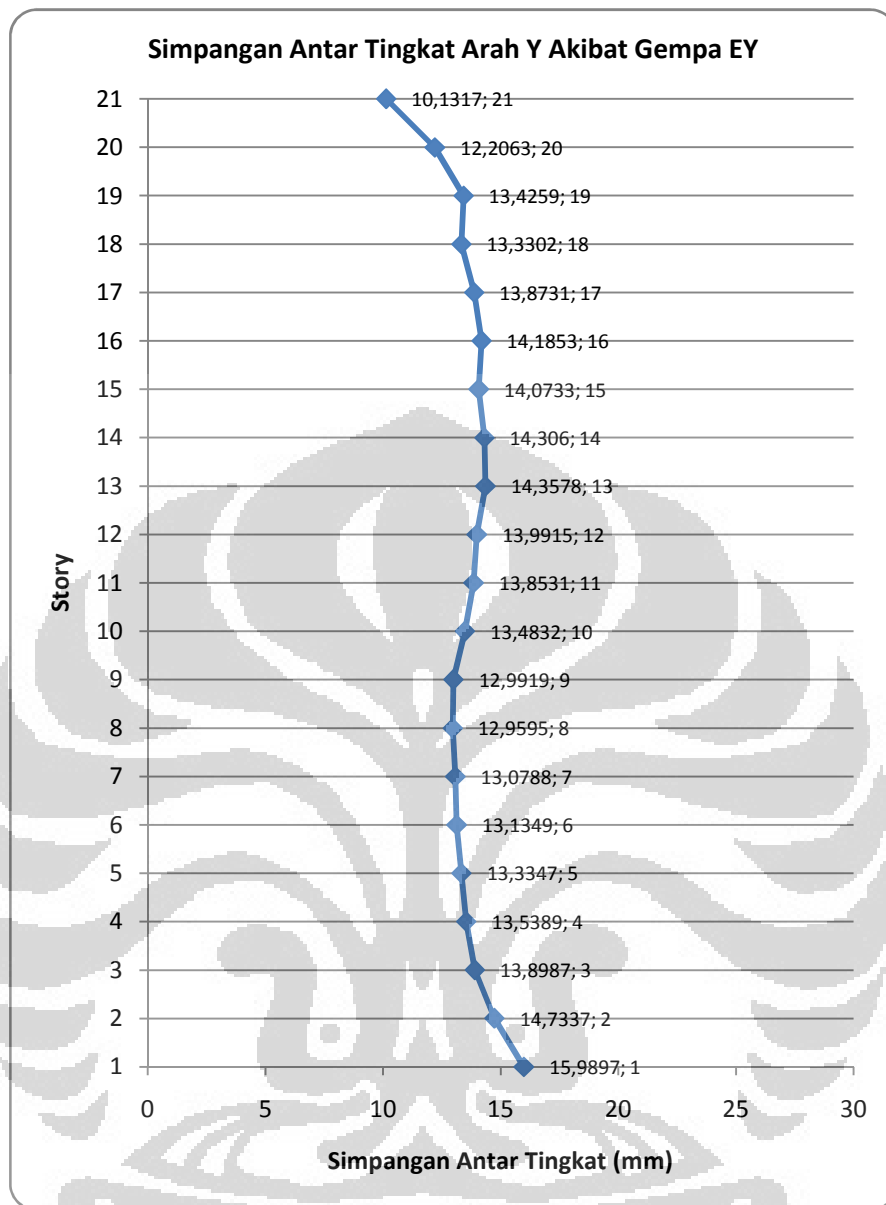
Gambar 5. 21 Gaya Geser dan Story Drift Arah Y Gempa EY Variasi 12 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri



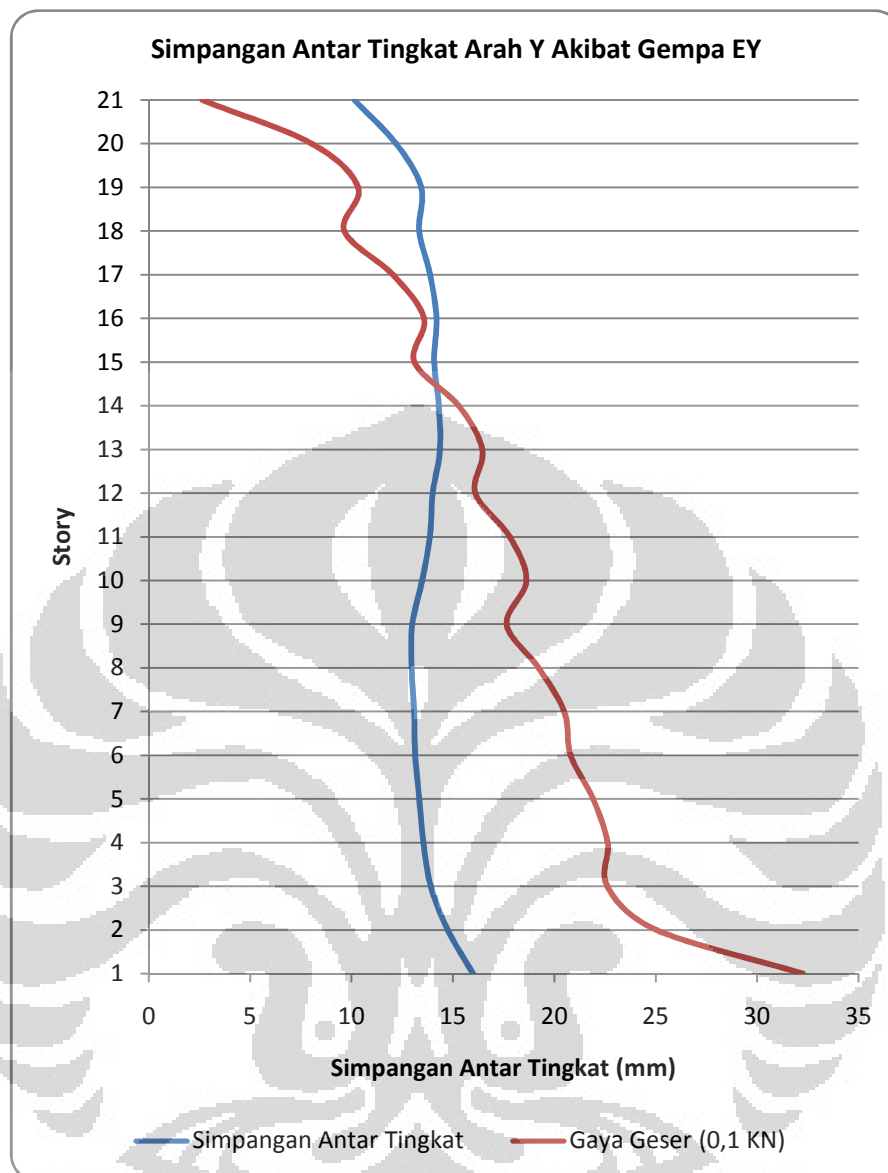
Gambar 5. 22 Gaya Dalam Lintang Gempa EY Pada Kolom C14 Varian 21 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri



Gambar 5. 23 Story Drift Arah Y Akibat Gempa EY Varian 21 Lantai

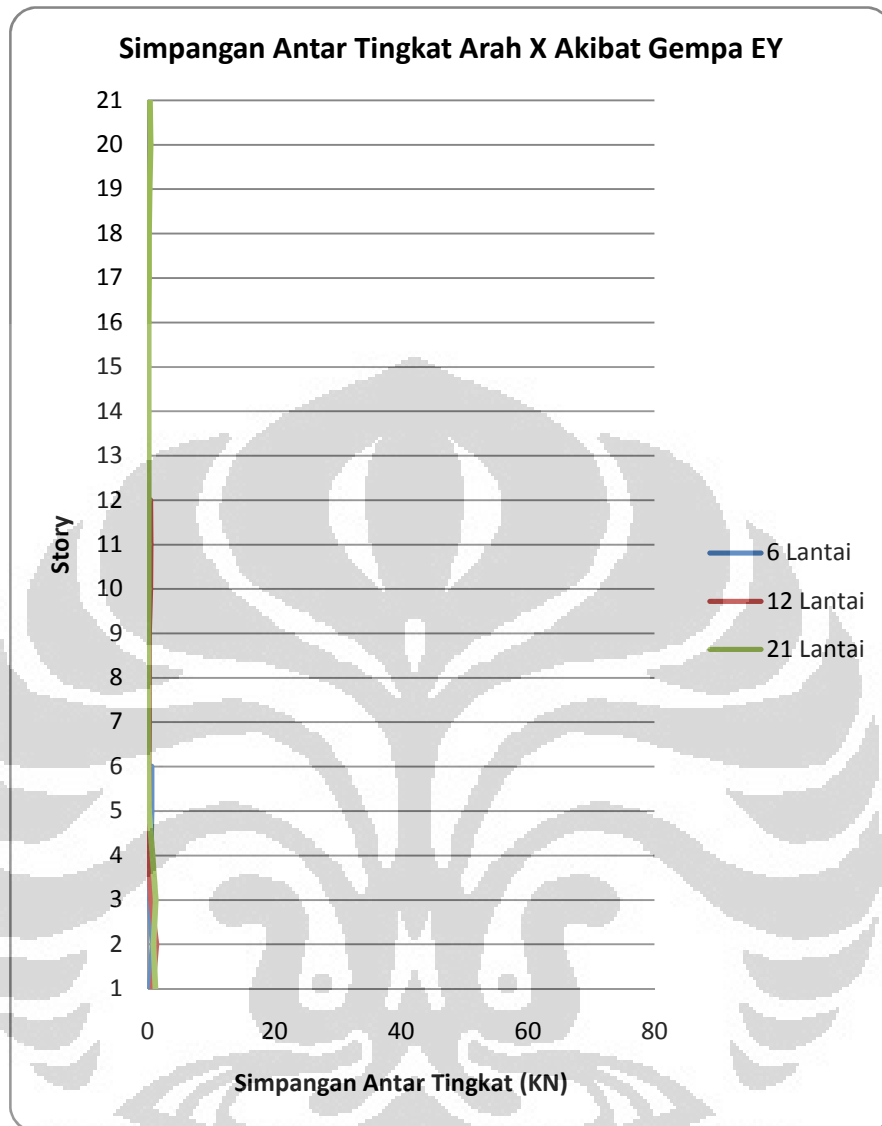
Sumber : Olahan Sendiri



Gambar 5. 24 Gaya Geser dan Story Drift Arah Y Gempa EY Varian 21 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri

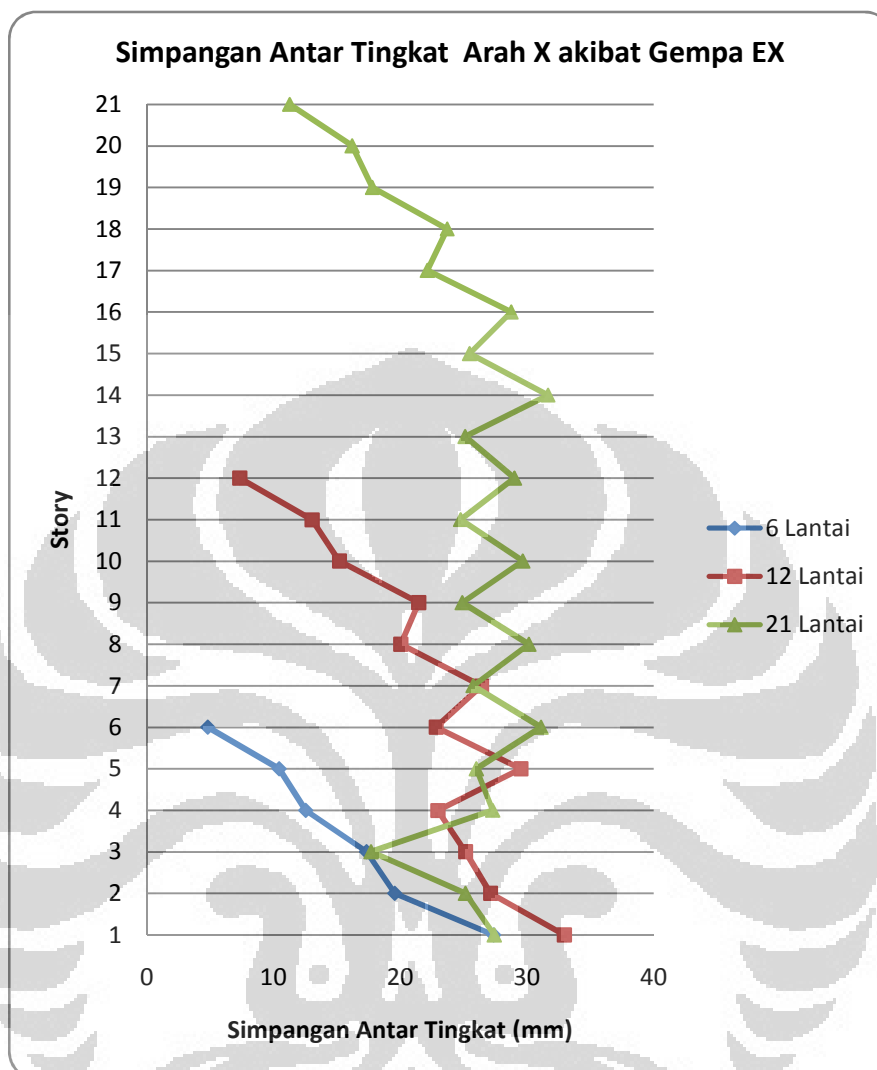
Simpangan antar tingkat arah x akibat gempa EY diperlihatkan pada grafik di bawah ini. Grafik tersebut menginformasikan bahwa simpangan antar tingkat yang terjadi sangat kecil dibandingkan dengan simpangan antar tingkat pada arah y akibat gempa EY. Grafik tersebut juga memperlihatkan bahwa untuk story 2,3,4 mengalami *story drift* yang lebih besar dibandingkan dengan story-story lainnya. Hal ini dapat memicu terjadinya *soft story* tetapi hal tersebut dapat diabaikan karena nilainya yang sangat kecil dibandingkan simpangan antar tingkat arah y akibat gempa EY.



Gambar 5. 25 Story Drift Arah X Akibat Gempa EY Seluruh Variasi

Sumber : Olahan Sendiri

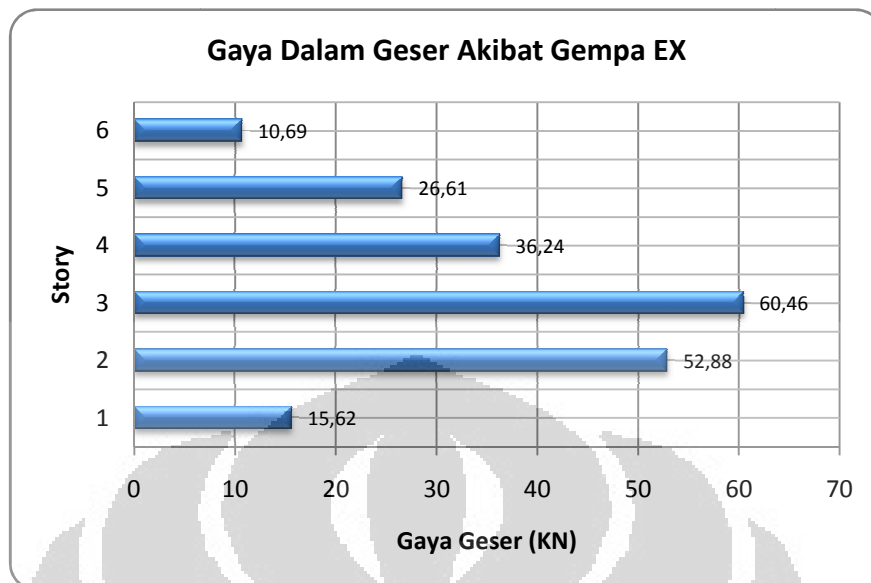
Selanjutnya untuk simpangan antar tingkat arah x akibat gempa EX ditunjukkan pada grafik di bawah ini. Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa bentuk grafik simpangan antar tingkat arah x akibat gempa EX memiliki bentuk menyerupai zig-zag. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan kekakuan lateral yang dimiliki sistem struktur dalam arah melintang atau arah x pada setiap story yang diakibatkan oleh jumlah truss yang berbeda dimana diletakkan secara *staggered* atau selang-seling pada setiap story.



Gambar 5. 26 Story Drift Arah X Akibat Gempa EX Seluruh Variasi

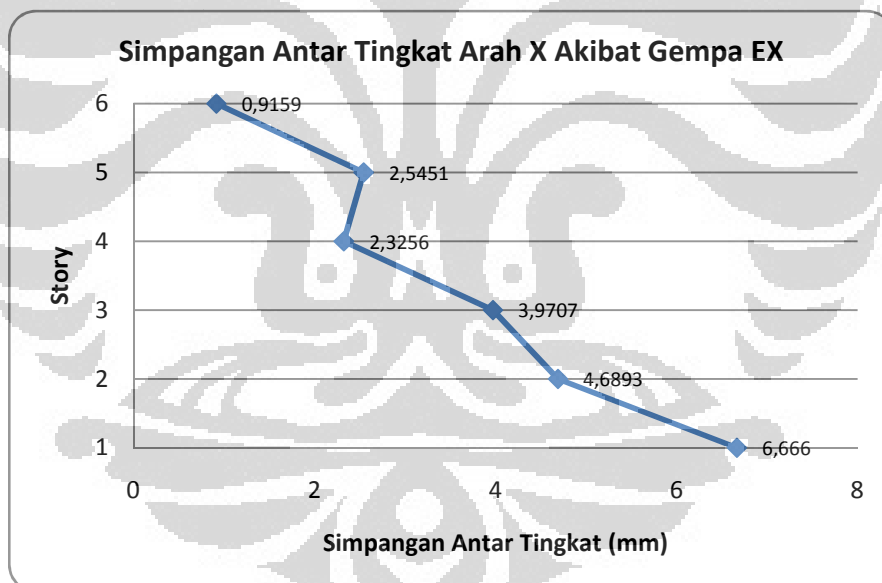
Sumber : Olahan Sendiri

Untuk mempermudah analisis dilakukan studi kasus pula terhadap salah satu elemen struktur kolom yaitu kolom dengan *line label* C14. Di bawah ini diperlihatkan gaya dalam lintang kolom yang terjadi akibat gempa EX untuk masing-masing variasi. Berdasarkan diagram gaya dalam lintang pada kolom C14 dan grafik story drift pada point 14 untuk seluruh variasi ditunjukkan bahwa simpangan antar tingkat yang terjadi tidak memiliki korelasi dengan gaya dalam yang terjadi. Hal ini menunjukkan bahwa lokasi simpangan antar tingkat yang terjadi lebih di pengaruhi perbedaan kekakuan lateral yang terjadi akibat rangka batang yang ditempatkan berselang-seling dengan jumlah yang berbeda tiap story.



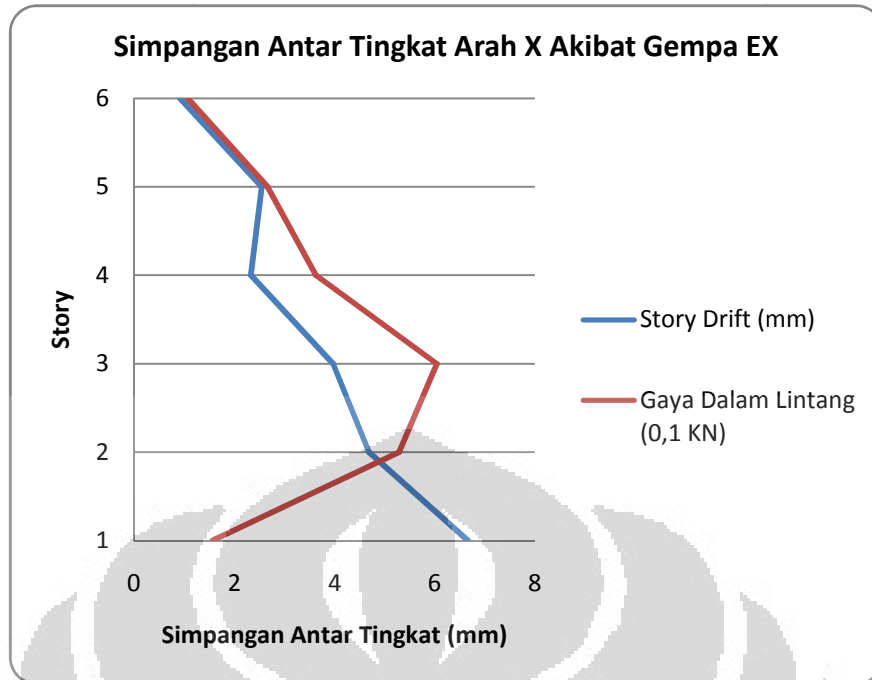
Gambar 5. 27 Gaya Dalam Lintang Gempa EX Pada Kolom C14 Varian 6 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri



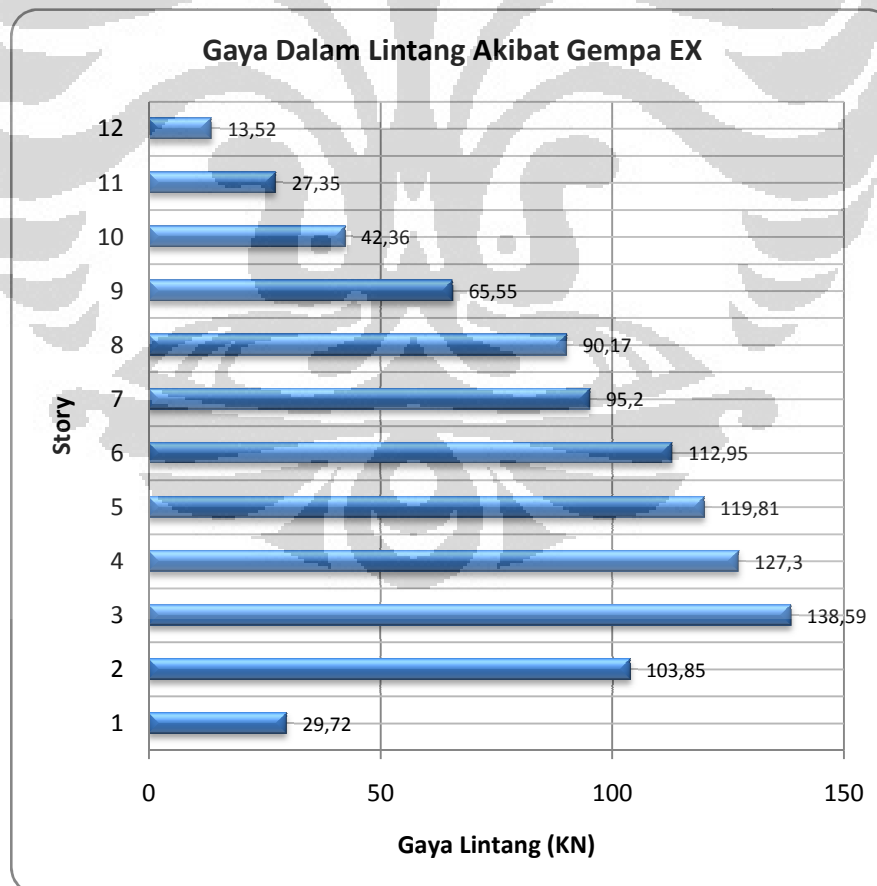
Gambar 5. 28 Story Drift Arah X Akibat Gempa EX Varian 6 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri



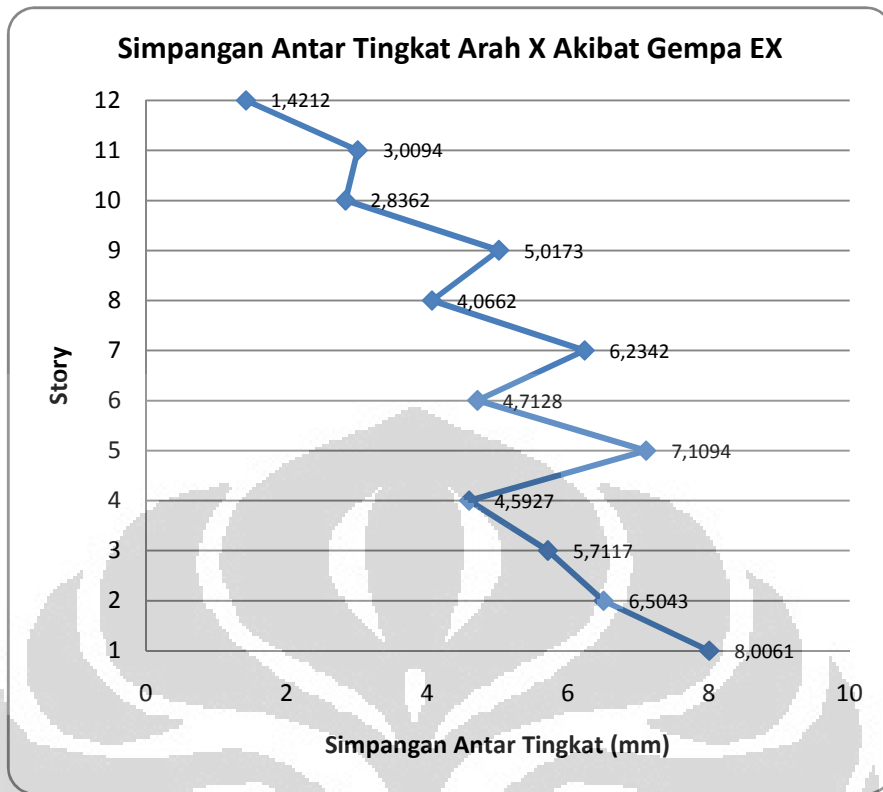
Gambar 5. 29 Gaya Geser dan Story Drift Arah X Gempa EX Varian 6 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri



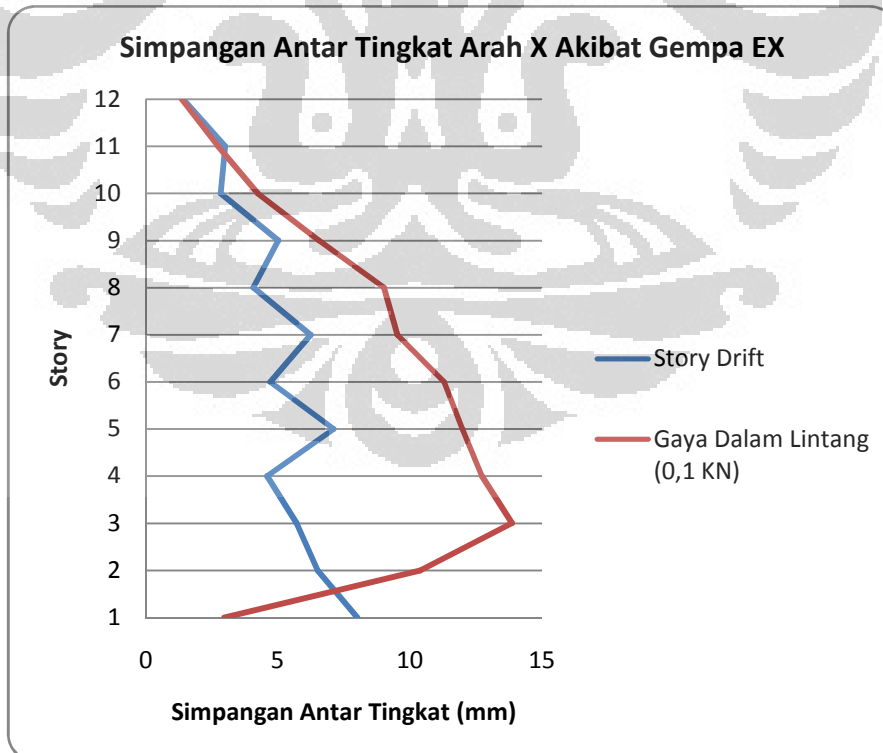
Gambar 5. 30 Gaya Dalam Lintang Gempa EX Pada Kolom C14 Varian 12 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri



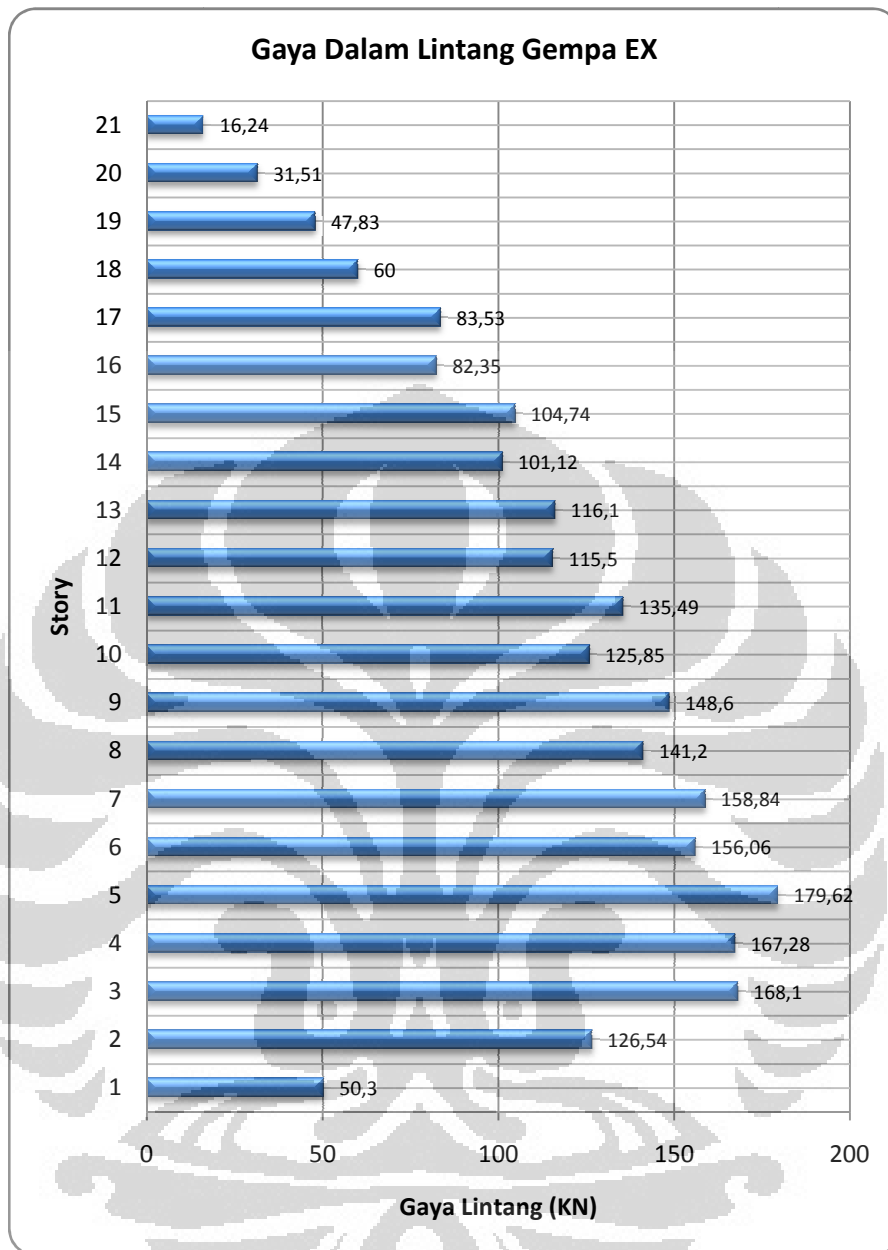
Gambar 5. 31 Story Drift Arah X Akibat Gempa EX Varian 12 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri



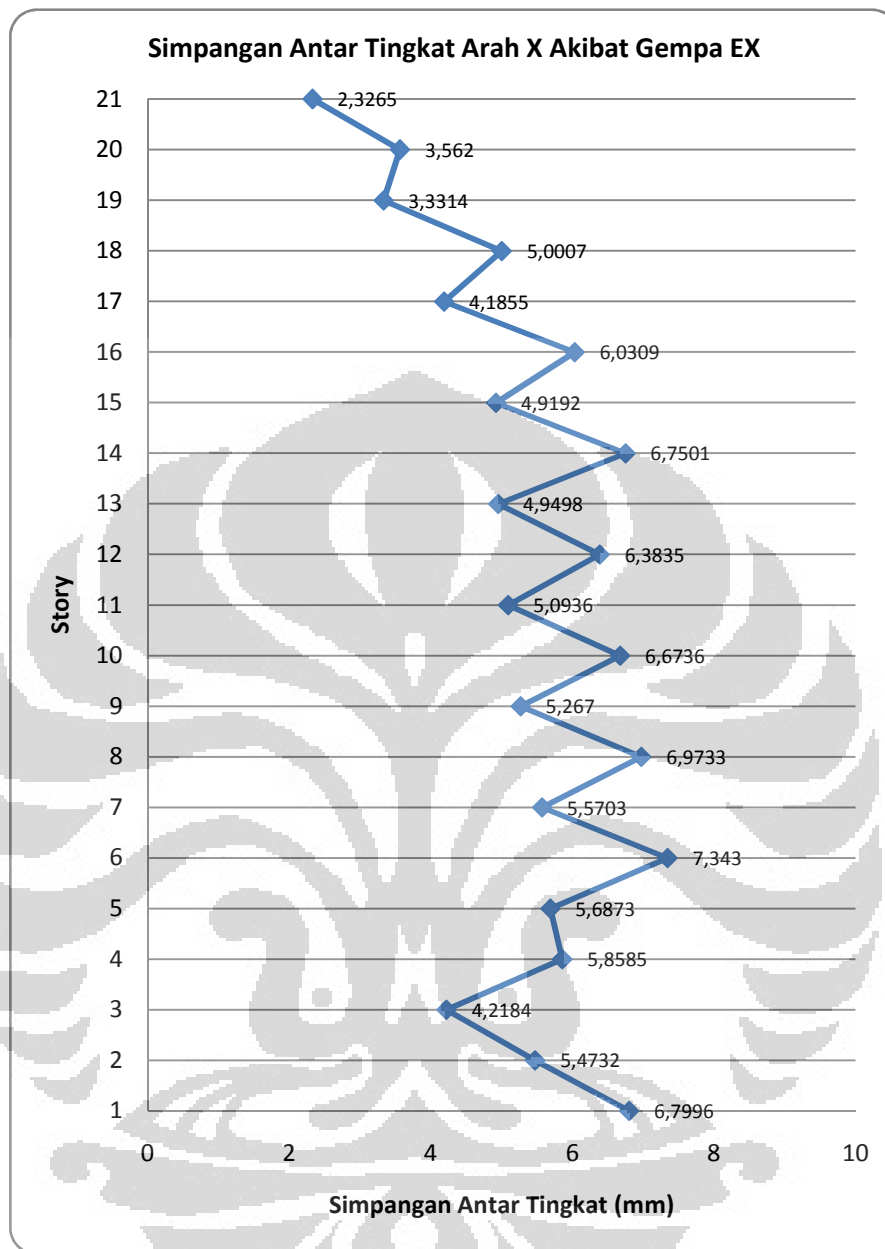
Gambar 5. 32 Gaya Geser dan Story Drift Arah X Gempa EX Varian 12 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri



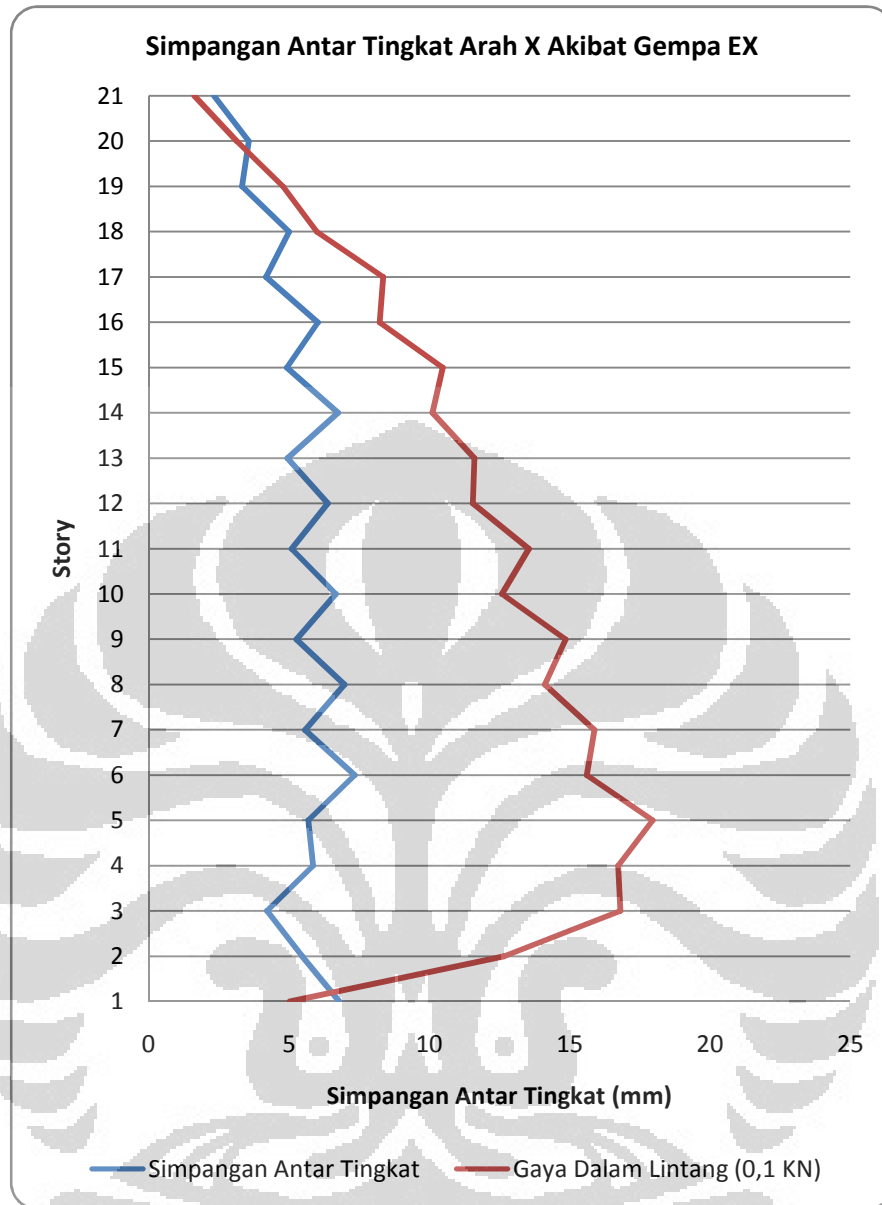
Gambar 5. 33 Gaya Dalam Lintang Gempa EX Pada Kolom C14 Varian 21 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri



Gambar 5. 34 Story Drift Arah X Akibat Gempa EX Varian 21 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri

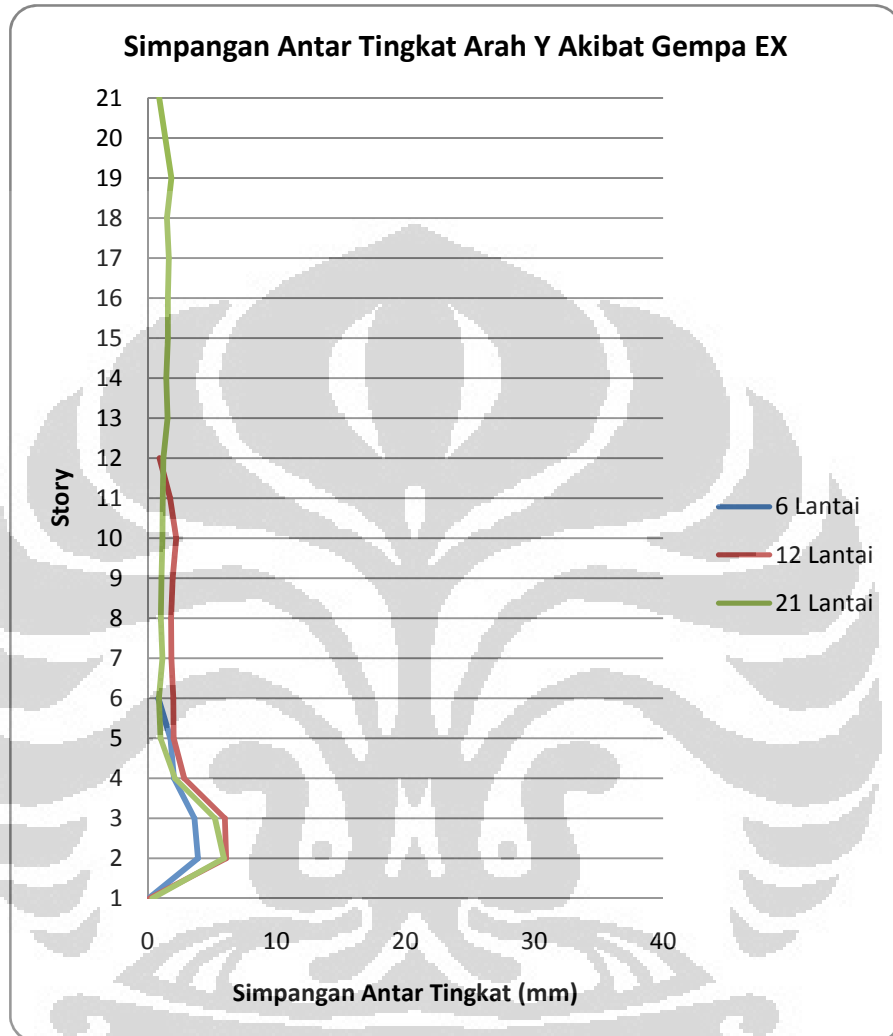


Gambar 5. 35 Gaya Geser dan Story Drift Arah X Gempa EX Varian 21 Lantai

Sumber : Olahan Sendiri

Kemudian untuk simpangan antar tingkat arah y akibat gempa EX diperlihatkan pada grafik di bawah ini dimana menunjukkan bahwa *story drift* yang terjadi termasuk kecil bila dibandingkan dengan *story drift* arah x. Selain itu diketahui pula dari grafik bahwa pada story 2,3,4 mengalami story drift yang lebih besar dibandingkan story lainnya. Hal ini dapat mengindikasikan terjadinya soft story pada bangunan. Dimana dapat terjadi kegagalan lokal pada story tersebut yang dapat memicu kegagalan global pada struktur sehingga hal ini harus dihindari. Hal ini dapat disebabkan oleh tidak adanya truss pada ground floor

bangunan sehingga simpangan yang terjadi lebih besar. Tetapi *story drift* yang terjadi pada arah memanjang ini cukup kecil dibandingkan dengan arah melintang sehingga dapat diabaikan jika nilainya cukup kecil.



Gambar 5. 36 Story Drift Arah Y Akibat Gempa EX Seluruh Variasi

Sumber : Olahan Sendiri

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dalam penelitian “Studi Perilaku Sistem Struktur *Staggered Truss* Baja Terhadap Efek Gempa” ini adalah sebagai berikut :

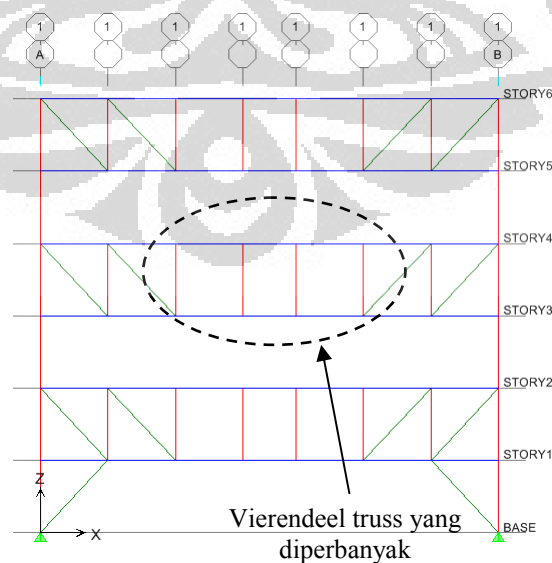
- Berdasarkan berbagai asumsi lokasi, geometri serta pemodelan yang telah dilakukan dalam penelitian ini diketahui bahwa sistem struktur *staggered truss* ini tidak dapat mencapai ketinggian pemodelan 30 lantai yang pada awalnya menjadi salah satu variasi model penelitian. Hal ini dikarenakan tidak adanya dimensi profil penampang standar (sesuai yang disediakan oleh peraturan) yang dapat menahan beban yang diberikan. Sehingga disimpulkan bahwa perlu perencanaan dimensi ulang yang lebih efisien terhadap dimensi profil penampang yang digunakan untuk ketinggian tersebut atau diperlukan desain dimensi profil penampang yang dibuat sendiri yang disesuaikan dengan kebutuhan. Maka berdasarkan penelitian ini dengan dimensi profil penampang standar yang tersedia, sistem struktur *staggered truss* ini dapat didesain untuk jumlah lantai sebanyak 6 sampai 21 lantai.
- Profil penampang yang dibutuhkan untuk kolom dan balok perimeter cukup besar karena tidak adanya kolom interior. Selain itu dikarenakan pula oleh pembesaran dimensi yang diperlukan untuk memenuhi ketentuan simpangan antar tingkat yang ditetapkan oleh RSNI-03-1726-2010.
- Berdasarkan periode getar yang dihasilkan untuk seluruh variasi yang melebihi $C_u.T_a$, disimpulkan bahwa sistem struktur ini cukup fleksibel berdasarkan RSNI 03-1726-2010. Sedangkan terkait pola ragam getar, sistem struktur ini akan memiliki pola ragam getar yang cukup baik setelah dilakukan pengecekan gaya geser dasar dan *story drift* berdasarkan RSNI-03-1726. Karakteristik dinamik seperti periode getar, gaya geser dan simpangan antar tingkat meningkat seiring dengan bertambahnya ketinggian total bangunan.

- Perbedaan yang cukup jelas dari sistem struktur ini dibandingkan sistem struktur lain adalah karakteristik simpangan antar lantai yang dialami bangunan dimana terlihat bahwa terdapatnya *staggered truss* atau rangka batang yang berselang seling setiap story memberikan bentuk grafik *story drift* menyerupai “zig-zag” karena perbedaan kekakuan lateral yang terjadi. Selain itu, secara keseluruhan pemberian *staggered truss* menghasilkan simpangan antar tingkat yang kecil dalam arah bangunan yang dipasang rangka batang.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat masukan yang dapat dipertimbangkan untuk diterapkan pada penelitian lain yang terkait:

- Sistem struktur dalam arah memanjang bangunan yang cukup fleksibel dapat diperkaku dengan pemberian bresing atau dinding geser pada arah tersebut agar dimensi profil penampang balok dan kolom perimeter yang dibutuhkan tidak terlalu besar.
- Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan untuk mempelajari sistem struktur *staggered truss* dimana jumlah bukaan atau opening pada *vierendeel truss* diperbanyak menjadi dua atau tiga bukaan terkait dengan kemampuan disipasi energi dari sistem struktur tersebut.



Gambar 6. 1 *Vierendeel Truss* Pada *Staggered Truss*

DAFTAR ACUAN

- [1] Englekirk, Robert. *Steel Structures* (hal 9-12). USA: John Wiley & Sons. 2004
- [2] Englekirk, Robert. *Steel Structures* (hal 22-26). USA: John Wiley & Sons. 2004
- [3] Boresi, Shmidt. *Advanced Mechanics of Materials* (hal 19-22). Singapore: John Wiley & Sons. 2003
- [4] Segui, Wiiliam.T. *Steel Design* (hal 36-330). Toronto: Thomson. 2007
- [5] Scalzi, John.B. “*The Staggered Truss System-Structural Considerations.*” Engineering Journal AISC (1971). hal 138-139.
- [6] Scalzi, John.B. “*The Staggered Truss System-Structural Considerations.*” Engineering Journal AISC (1971). hal 141-142.
- [7] Scalzi, John.B. “*The Staggered Truss System-Structural Considerations.*” Engineering Journal AISC (1971). hal 140-141.
- [8] K. Chopra, Anil. *Dynamics of Structure* (hal 468-471). Singapore: Prentice-Hall. 1997

DAFTAR PUSTAKA

- AISC, “*Steel Design Guide Staggered Truss Framing Systems*”, 2003.
- AISC 341-05, “*Seismic Provisions for Structural Steel Building*”, 2005.
- AISC 303-05, “*Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges*”, 2005.
- AISC 360-05, “*Specification for Structural Steel Buildings*”, 2005.
- AISC, “*Steel Construction Manual 13th*”, 2005.
- ASCE 7-10, “*Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*”, 2010
- Boresi, Schmidt. 2003. “*Advanced Mechanics of Material*”, Singapore: John Wiley & Sons
- Cohen, Michael P. “*Design Solutions Utilizing the Staggered-Steel Truss System*”, 1986. Engineering Journal/AISC.
- Del Savio, Alexandre Almeida. & Martha, Luiz Fernando. & Lopes de Andrade, Sebastiao Arthur. “*Structural Modelling of Vierendeel Beams with Semi-Rigid Joints*”, 2005. Proceedings of the XXVI Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering.
- Departemen Pekerjaan Umum, SNI 03-1726-2002 “Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung”.
- Departemen Pekerjaan Umum, SNI 03-1729-2002 “Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung”.
- Departemen Pekerjaan Umum, RSNI 03-1729-2011 “Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung”.
- Englekirk, Robert. 1994. “*Steel Structure*”. USA: John Wiley & Sons.
- K. Chopra, Anil. 1997. “*Dynamics of Structure*”. Singapore: Prentice-Hall
- Scalzi, John B. “*The Staggered Truss System-Structural Considerations*”, 1971. Engineering Journal/AISC
- S.Taranath, Bungale. 1997. ”*Steel, Concrete, Composite Design of Tall Buildings*”. New York: McGraw-Hill.
- Schueller, Wolfgang. 2001. ”Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi (terjemahan)”. Bandung: Refika

Stafford Smith, Bryan. 1991. *“Tall Building Structures”*. Singapore: John Wiley & Sons.

Halim, Tirta. 2008. *“Analisis dan Desain Struktur Gedung Baja Menggunakan Staggered Truss Framing System”*. Bandung: Universitas Katolik Parahyangan.

T.Segui, William. 2007. *“Steel Design”*, Toronto: Thomson.

Universitas Indonesia, *“Pengantar Penulisan Ilmiah”*, 2008.

Wijaya, Geraldie Lukman. *“Studi Perbandingan Gaya Gempa Pada Bangunan Tingkat Rendah Di Jakarta Berdasarkan SNI 03-1726-1989, SNI 03-1726-2002, dan SNI 03-1726-2011”*. Depok: Universitas Indonesia.

Zhou, Xuhong. & He, Yongjun. & Xu, Lei. & Zhou, Qishi. *“Experimental Study and Numerical Analyses on Seismic Behaviors of Staggered Truss System under Low Cyclic Loading”*, 2009. www.elsevier.com

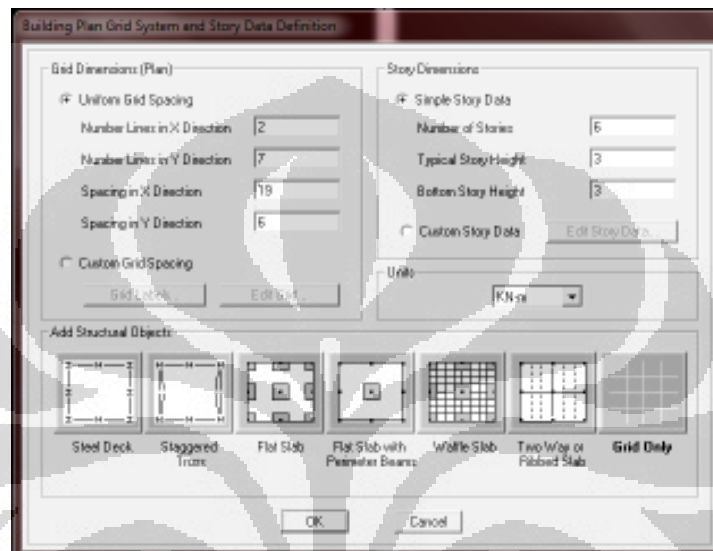


LAMPIRAN

Lampiran 1 : Pemodelan Sistem Struktur *Staggered Truss* Baja

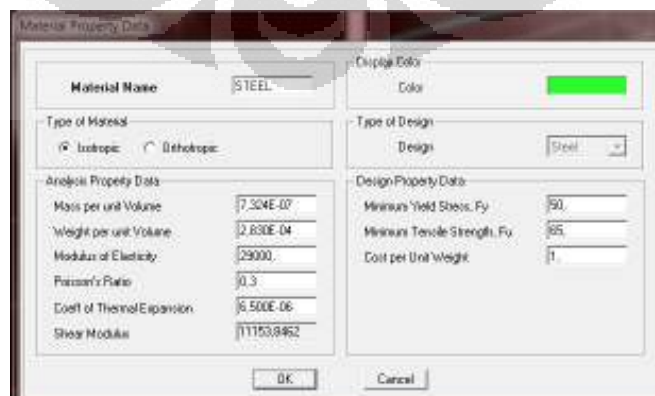
Tahapan dalam pemodelan bangunan ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan *grid* bangunan untuk mempermudah melakukan pemodelan geometri bangunan. Dalam penelitian ini, digunakan *template* pemodelan *staggered truss* yang tersedia dalam menu ETABS V9.7.0.



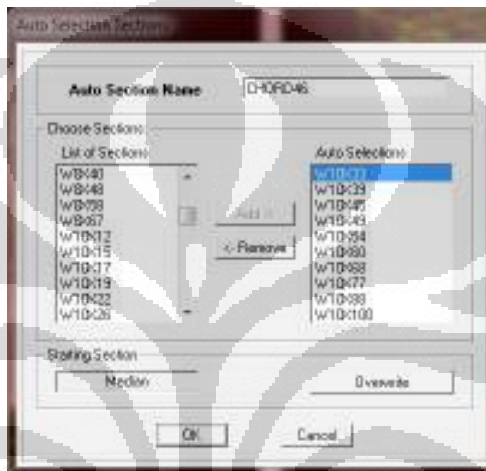
Gambar A1. 1 Input Grid pada ETABS V9.7.0

2. Menentukan properti material baja dan beton yang akan digunakan. Dalam penelitian ini, digunakan satuan properti material dalam satuan *English* karena dalam pemodelan yang akan digunakan dimensi-dimensi penampang standar yang tersedia dalam ETABS V9.7.0. Properti material yang digunakan mengikuti petunjuk *Staggered Truss Framing Systems Design Guide* (AISC 14).



Gambar A1. 2 Input Properti Material pada ETABS V9.7.0

3. Menginput dimensi-dimensi penampang yang akan digunakan dalam desain untuk elemen struktur *beam*, *column*, *chord*, rangka batang diagonal dan rangka batang vertikal bangunan. Elemen balok, kolom, batang tepi atas dan bawah, serta bresing menggunakan jenis penampang *Wide Flange*, sedangkan untuk rangka batang diagonal dan vertikal menggunakan jenis penampang *Hollow Structural Sections*. Pada awalnya dilakukan *auto-select* terhadap beberapa dimensi penampang yang diinput untuk mendapatkan *preliminary* desain penampang.



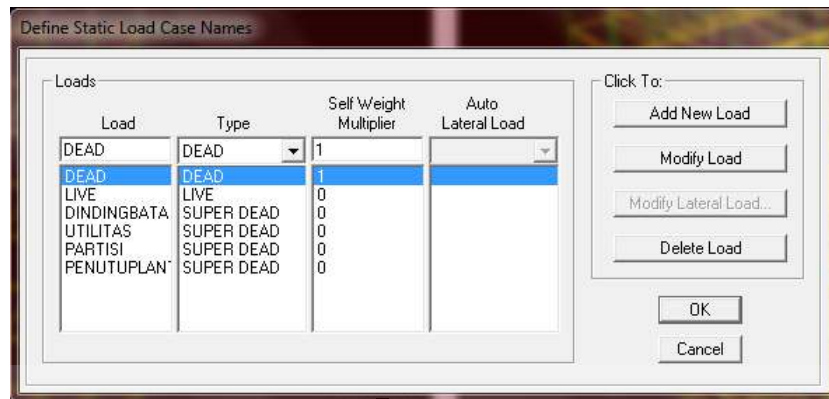
Gambar A1. 3 Input Dimensi Penampang

4. Menginput data pelat lantai seperti tebal pelat lantai yang digunakan.



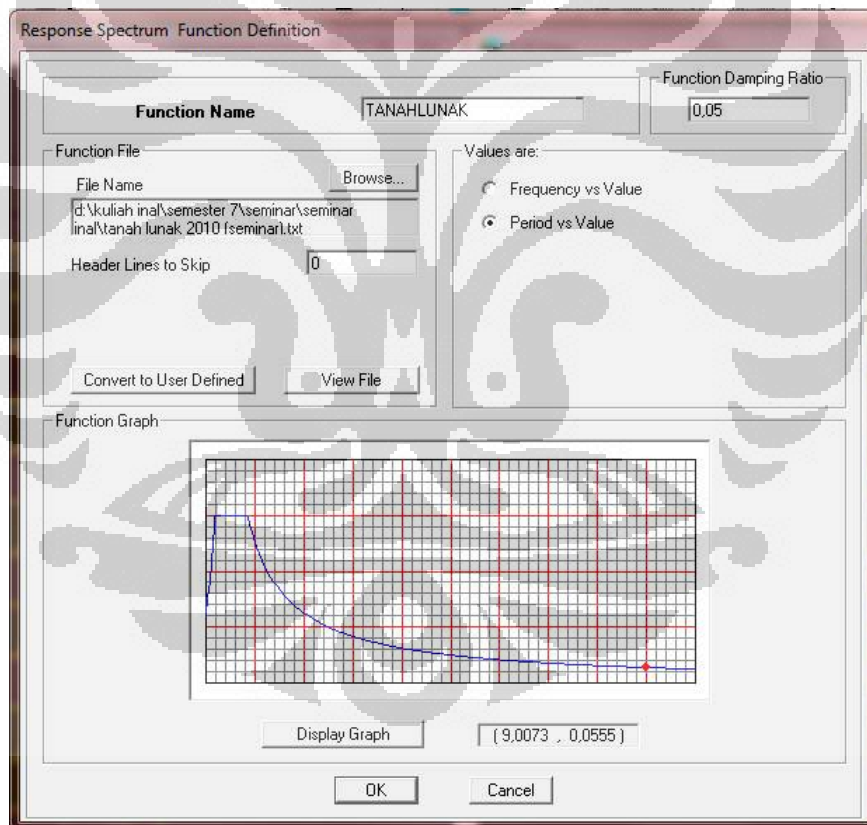
Gambar A1. 4 Input Data Pelat Lantai

5. Menentukan *static load case* sesuai dengan jenis pembebanan yang diberikan.



Gambar A1. 5 Input Static Load Cases

6. Beban gempa diberikan dengan analisis respon spektrum yang telah dibuat sebelumnya dengan menginput *scale factor* sebesar $(I \times g) / R$ dan mengasumsikan rasio eksentrisitas awal sebesar 0,05.

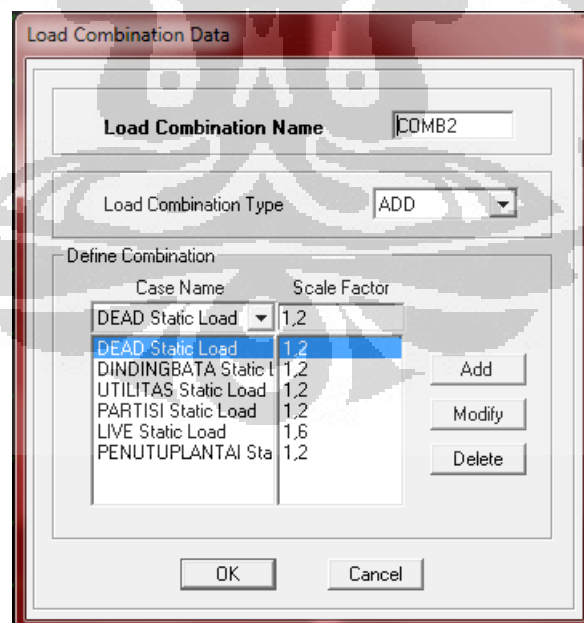


Gambar A1. 6 Input Respons Spectrum Function

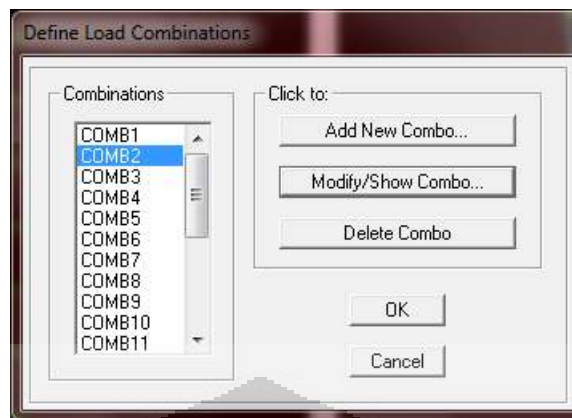


Gambar A1. 7 Input Respons Spectrum Cases

7. Menentukan kombinasi pembebanan sesuai dengan RSNI 03-1726-2010.

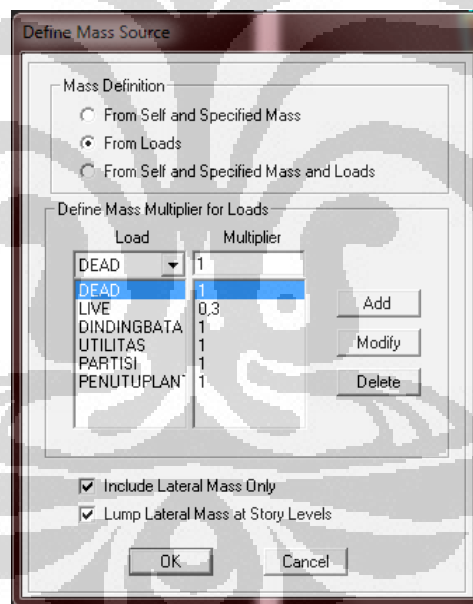


Gambar A1. 8 Input Scale Factor Kombinasi Beban



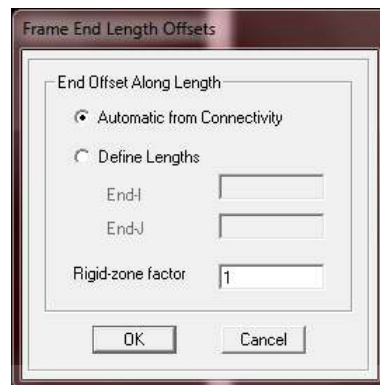
Gambar A1. 9 Input Kombinasi Beban

8. Menginput berat efektif yang diperlukan dalam peninjauan gempa sebesar $W_{(D+SDL)} + \alpha W_{(L)}$. Nilai α diambil sebesar 0,3 sesuai dengan persyaratan RSNI-03-1726 dengan minimal 25 % pengaruh beban hidup.



Gambar A1. 10 Input Mass Source

9. Menentukan *rigid zone factor* sebesar 1 dimana elemen struktur baja dianggap rigid, serta menentukan tipe panel zone antara balok dan kolom.
10. Menginput pembebanan *static load cases* pada elemen-elemen struktur yang dikehendaki dan menginput besar beban yang telah ditentukan sebelumnya.

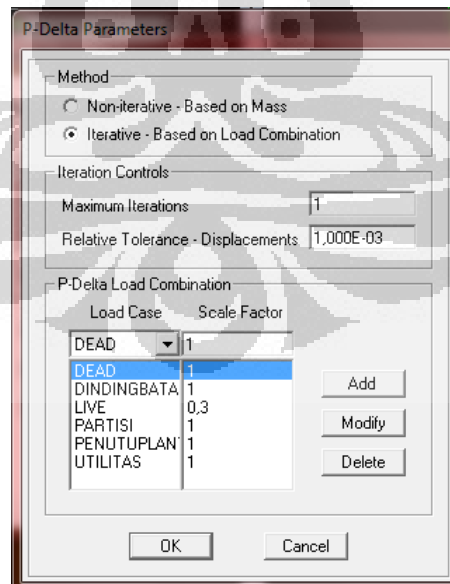


Gambar A1. 11 Input Rigid Zone Factor



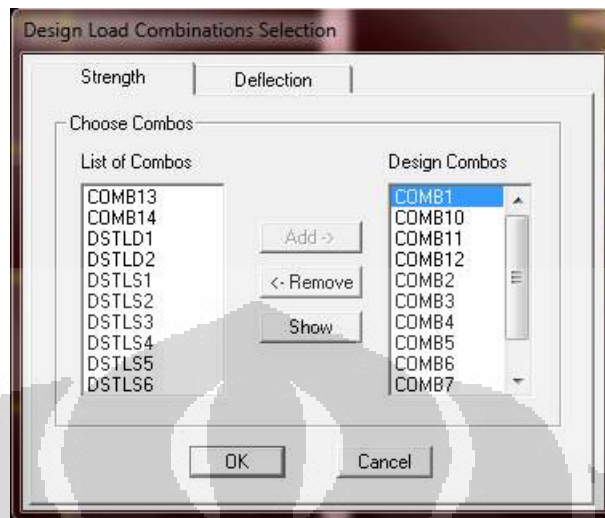
Gambar A1. 12 Input Besar Pembebanan

11. Mempertimbangkan pengaruh P-Delta dalam desain yang dilakukan.

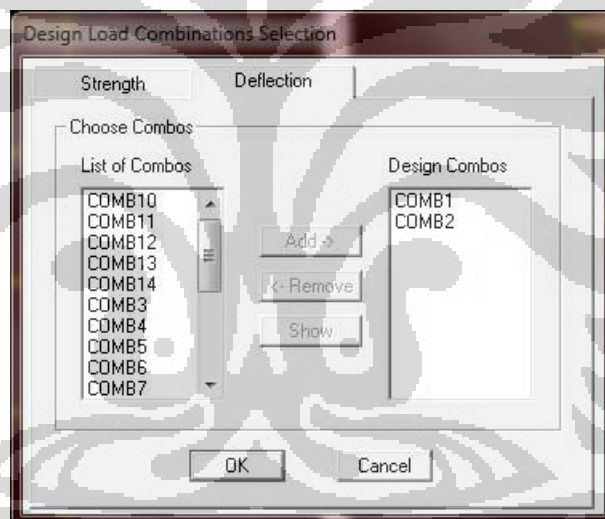


Gambar A1. 13 Input P-Delta Parameters

12. Menginput kombinasi beban yang telah ditentukan sebelumnya dalam pilihan design combo.

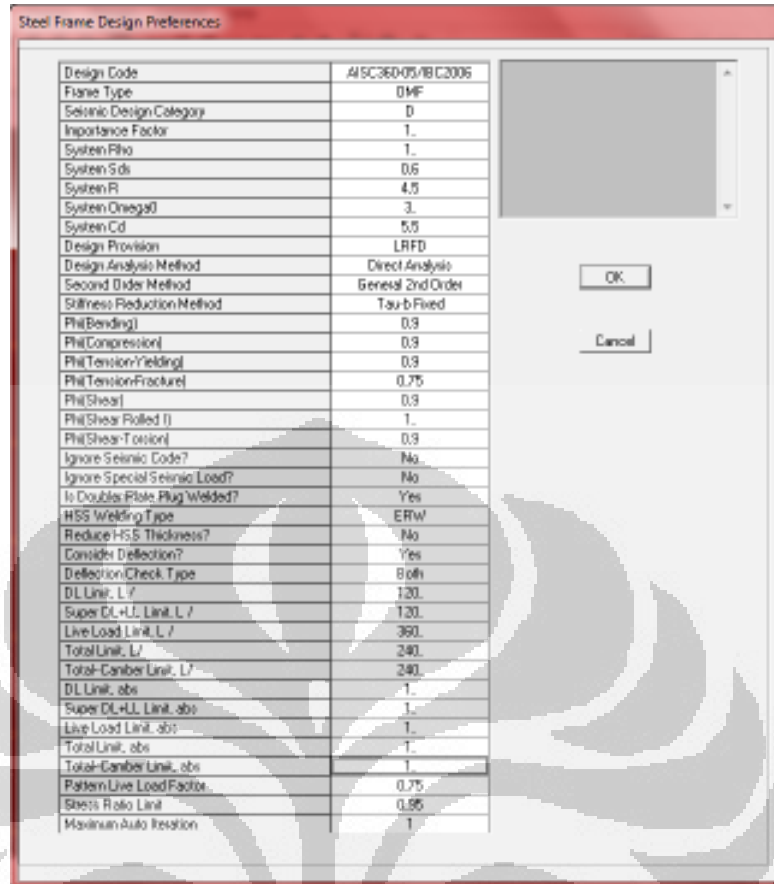


Gambar A1. 14 Input Design Combo Strength

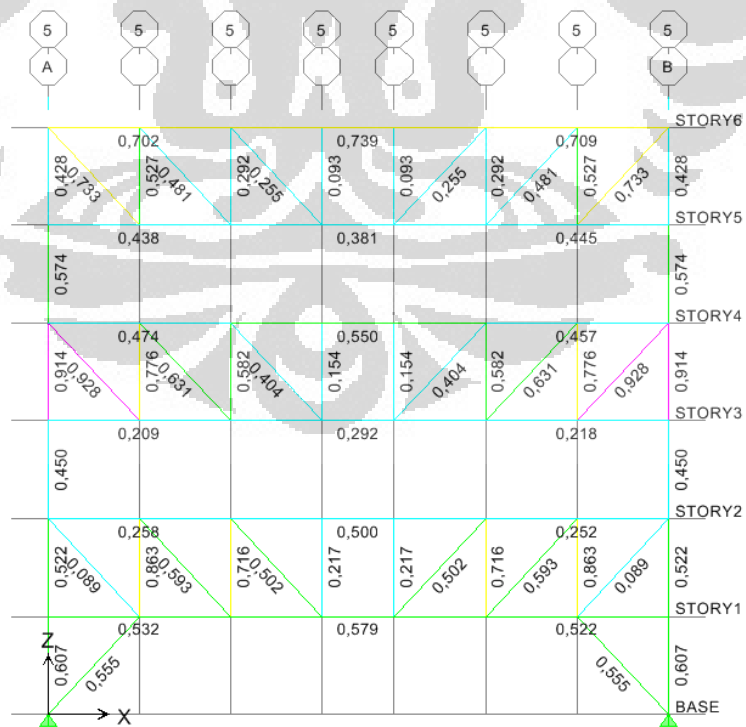


Gambar A1. 15 Input Design Combo Deflection

13. Menyesuaikan preferences yang akan digunakan dalam analisis desain, seperti menggunakan acuan desain AISC 360-05 dan variabel lain yang terkait.
14. Melakukan running terhadap struktur yang telah dirancang dan dibebani, kemudian dilakukan *revise overwrites* untuk *unbraced length ratio minor* batang tepi atas dan bawah sebesar 0,1 karena pengekangan oleh pelat lantai. stress check untuk mendapatkan dimensi penampang yang cocok. Berdasarkan hasil ini penyamaan dimensi penampang dilakukan setiap 3 lantai.



Gambar A1. 16 Input Design Combo Deflection



Gambar A1. 17 Hasil Stress Check pada ETABS V9.7.0

Steel Frame Design Overwrites for (AISC360-05/IBC2006)

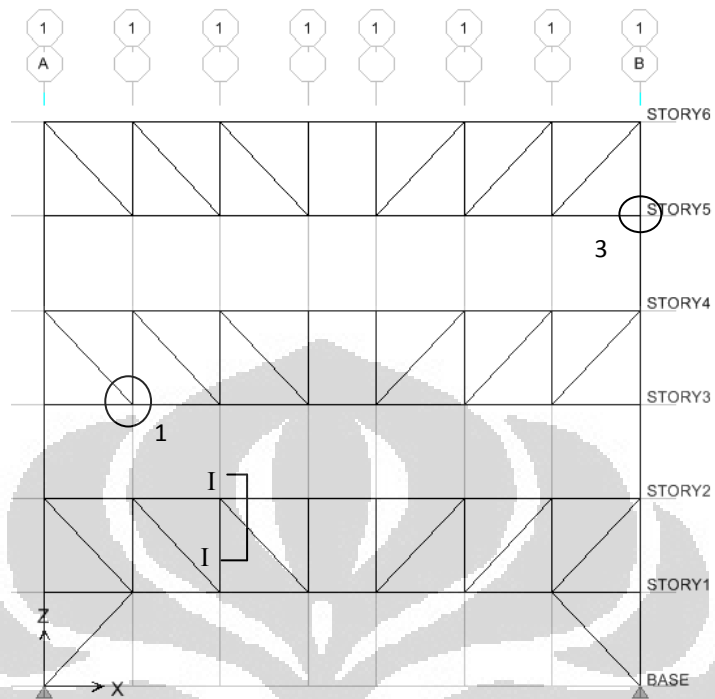
<input type="checkbox"/>	Current Design Section	
<input type="checkbox"/>	Frame Type	
<input type="checkbox"/>	Deflection Check Type	
<input type="checkbox"/>	DL Limit, L /	
<input type="checkbox"/>	Super DL+LL Limit, L /	
<input type="checkbox"/>	Live Load Limit, L /	
<input type="checkbox"/>	Total Limit, L /	
<input type="checkbox"/>	Total-Camber Limit, L /	
<input type="checkbox"/>	DL Limit, abs	
<input type="checkbox"/>	Super DL+LL Limit, abs	
<input type="checkbox"/>	Live Load Limit, abs	
<input type="checkbox"/>	Total Limit, abs	
<input type="checkbox"/>	Total-Camber Limit, abs	
<input type="checkbox"/>	Specified Camber	
<input checked="" type="checkbox"/>	Live Load Reduction Factor	0,5
<input type="checkbox"/>	Net Area to Total Area Ratio	
<input type="checkbox"/>	Unbraced Length Ratio(Major)	
<input checked="" type="checkbox"/>	Unbraced Length Ratio (Minor)	0,1
<input type="checkbox"/>	Unbraced Length Ratio (LTB)	
<input type="checkbox"/>	Effective Length Factor (K, Major)	
<input type="checkbox"/>	Effective Length Factor (K, Minor)	
<input type="checkbox"/>	Effective Length Factor (K, Major Braced)	
<input type="checkbox"/>	Effective Length Factor (K, Minor Braced)	
<input type="checkbox"/>	Effective Length Factor (K, LTB)	
<input type="checkbox"/>	Moment Coefficient (Cm Major)	
<input type="checkbox"/>	Moment Coefficient (Cm Minor)	
<input type="checkbox"/>	Bending Coefficient (Cb)	
<input type="checkbox"/>	NonSway Moment Factor (B1 Major)	
<input type="checkbox"/>	NonSway Moment Factor (B1 Minor)	
<input type="checkbox"/>	Sway Moment Factor (B2 Major)	
<input type="checkbox"/>	Sway Moment Factor (B2 Minor)	
<input type="checkbox"/>	Yield stress, Fy	
<input type="checkbox"/>	HSS Welding Type	ERW
<input type="checkbox"/>	Reduce HSS Thickness?	No
<input type="checkbox"/>	Overstrength factor, Ry	
<input type="checkbox"/>	Nominal Compressive Capacity, Pnc	
<input type="checkbox"/>	Nominal Tensile Capacity, Pnt	
<input type="checkbox"/>	Nominal Major Bending Capacity, Mn3	
<input type="checkbox"/>	Nominal Minor Bending Capacity, Mn2	
<input type="checkbox"/>	Nominal Major Shear Capacity, Vn2	
<input type="checkbox"/>	Nominal Minor Shear Capacity, Vn3	

OK

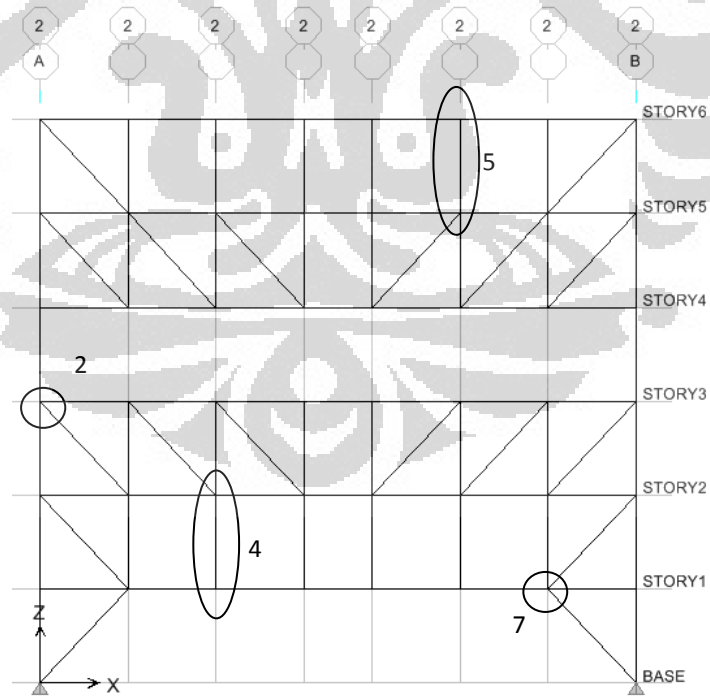
Cancel

Gambar A1. 18 Input Revise Overwrites

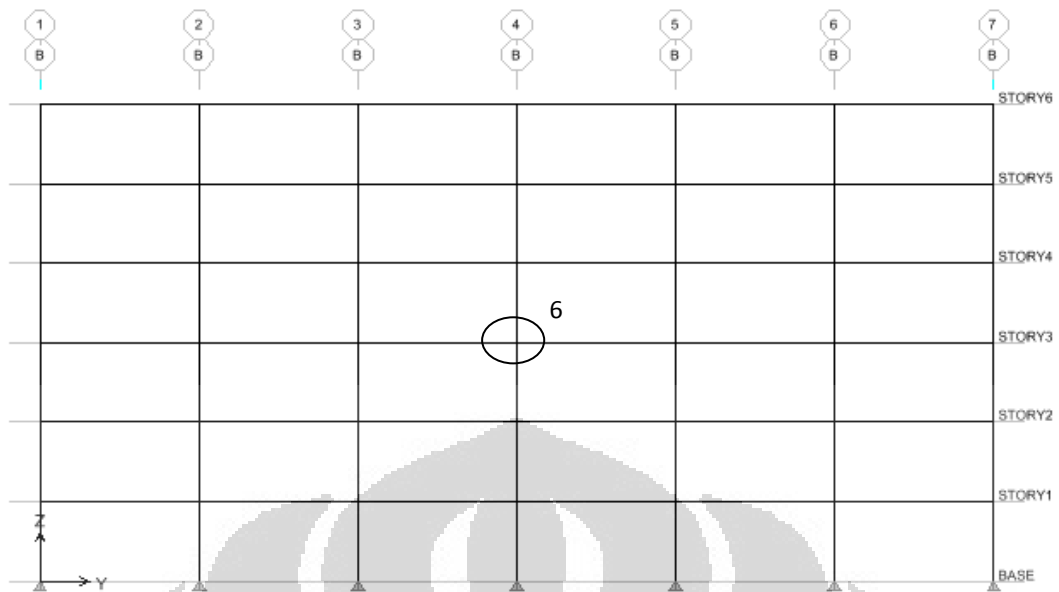
Lampiran 2 : Sambungan Rencana Pada Sistem Struktur *Staggered Truss*



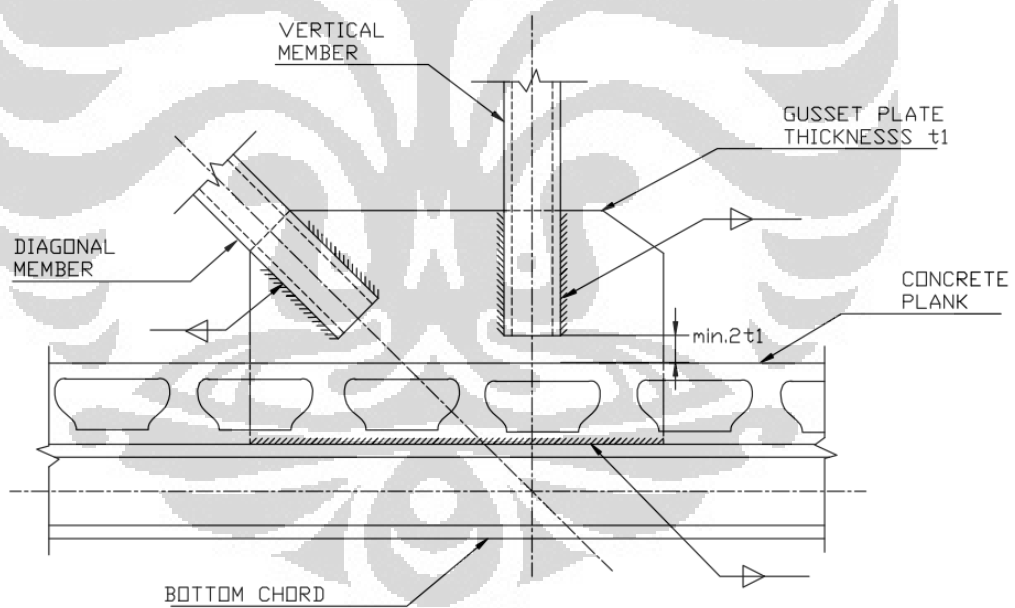
Gambar A2. 1 Tampak Melintang 1



Gambar A2. 2 Tampak Melintang 2

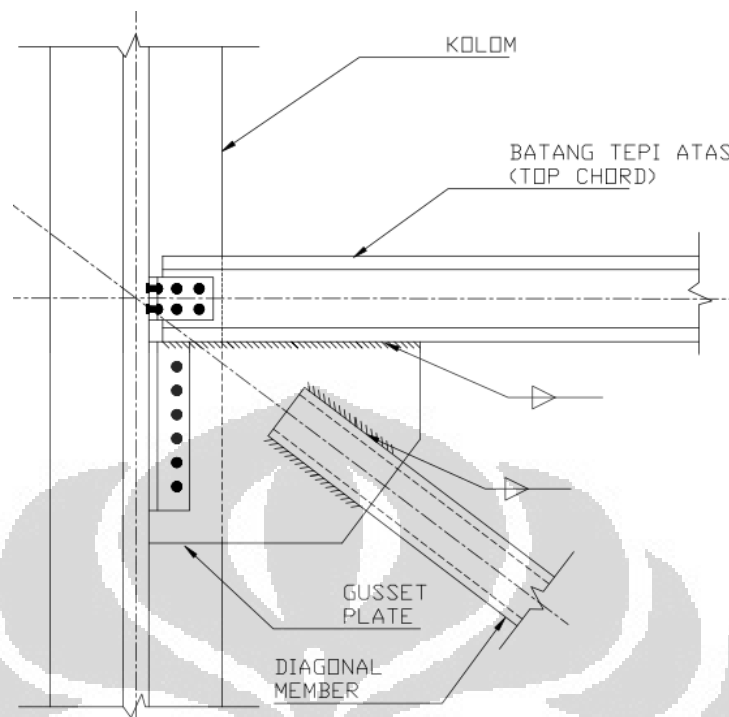


Gambar A2. 3 Tampak Memanjang



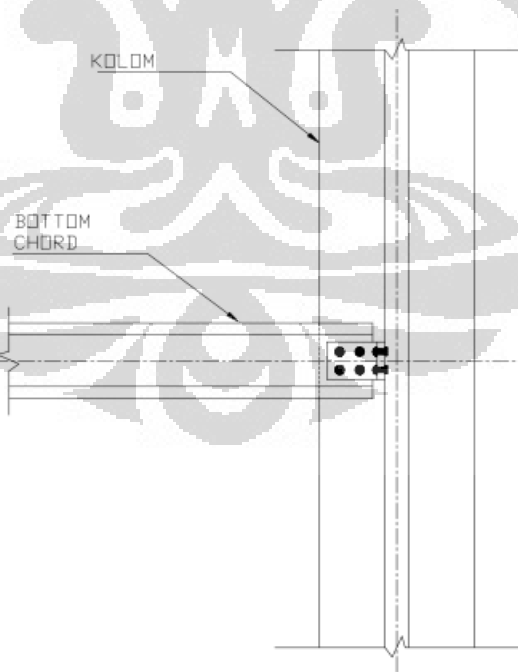
Gambar A2. 4 Sambungan Detail 1

Sumber : Staggered Truss Framing System AISC Design Guide, 2004



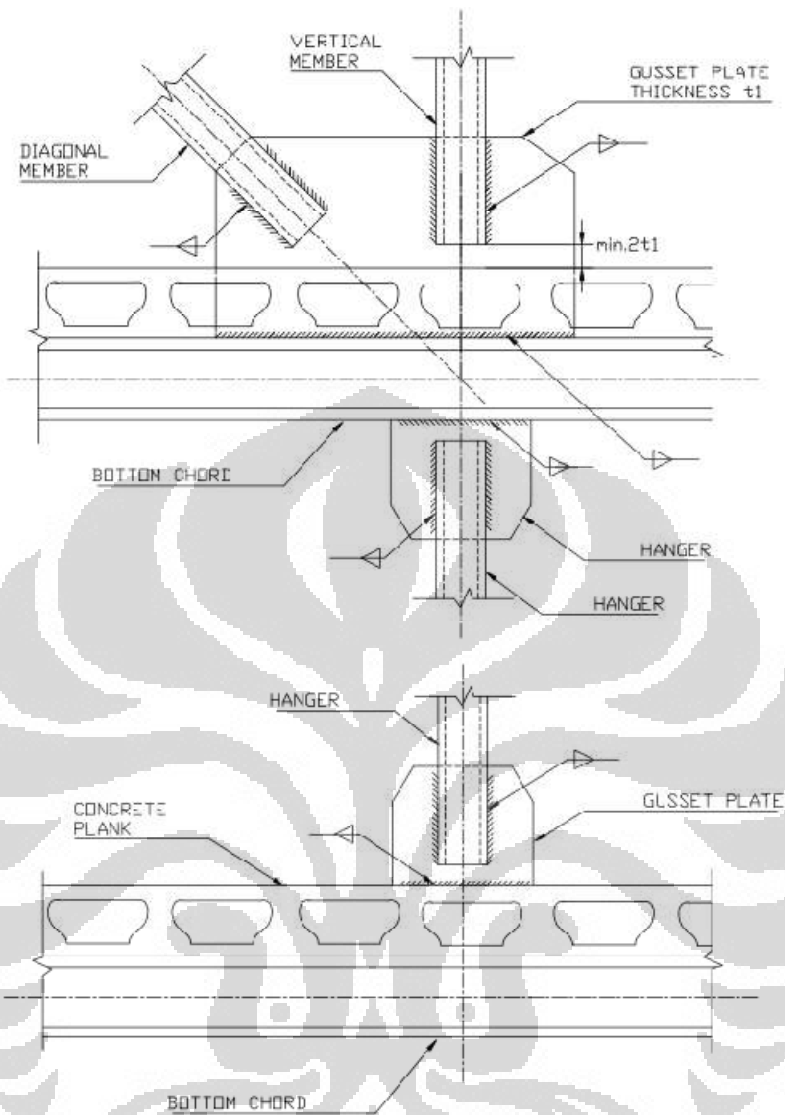
Gambar A2. 5 Sambungan Detail 2

Sumber : Staggered Truss Framing System AISC Design Guide, 2004



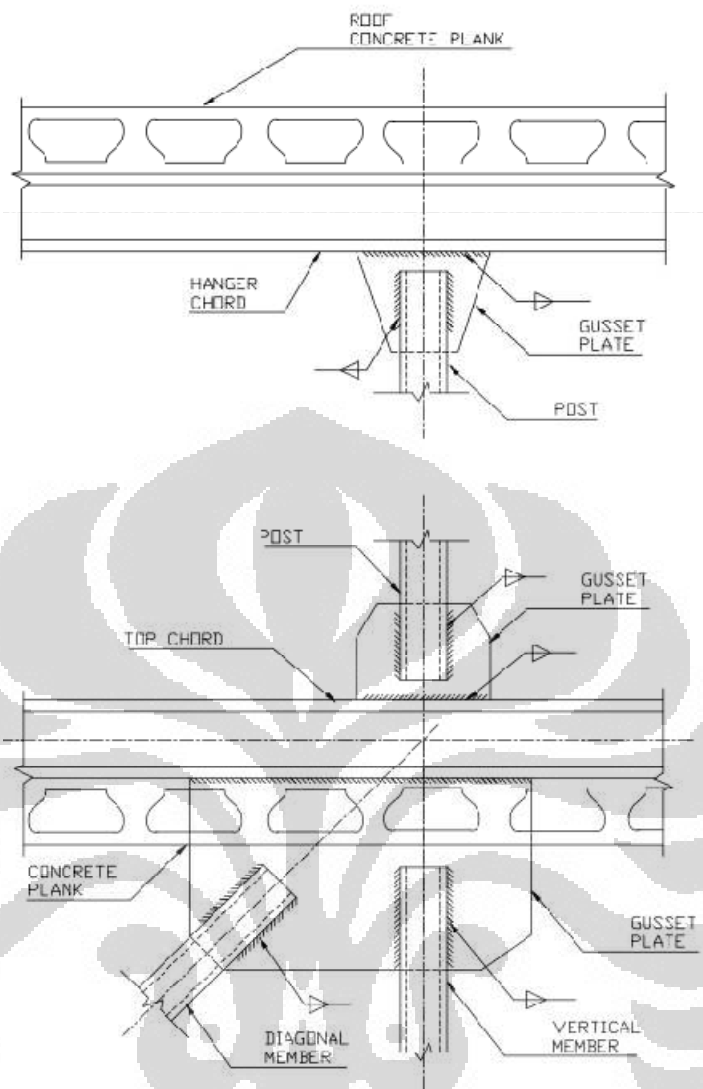
Gambar A2. 6 Sambungan Detail 3

Sumber : Tirta Halim (2004)



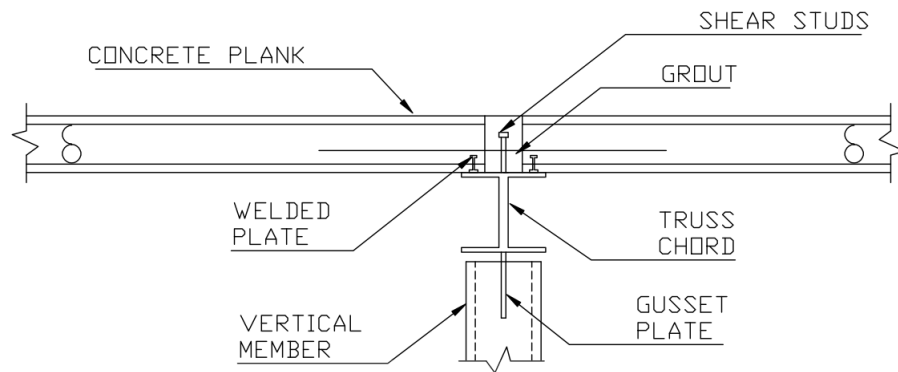
Gambar A2. 7 Sambungan Detail 4

Sumber : Tirta Halim (2004)



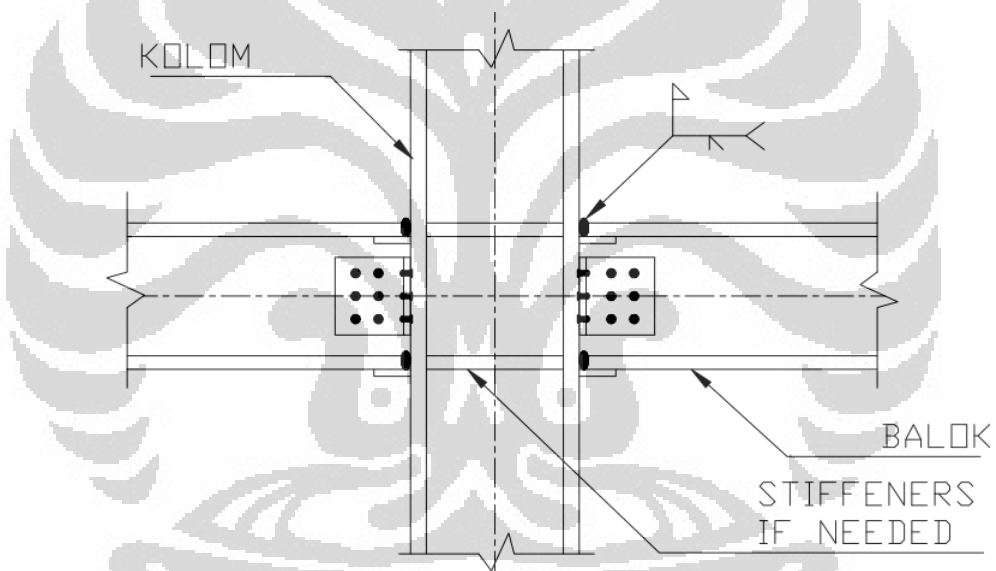
Gambar A2. 8 Sambungan Detail 5

Sumber : Tirta Halim (2004)



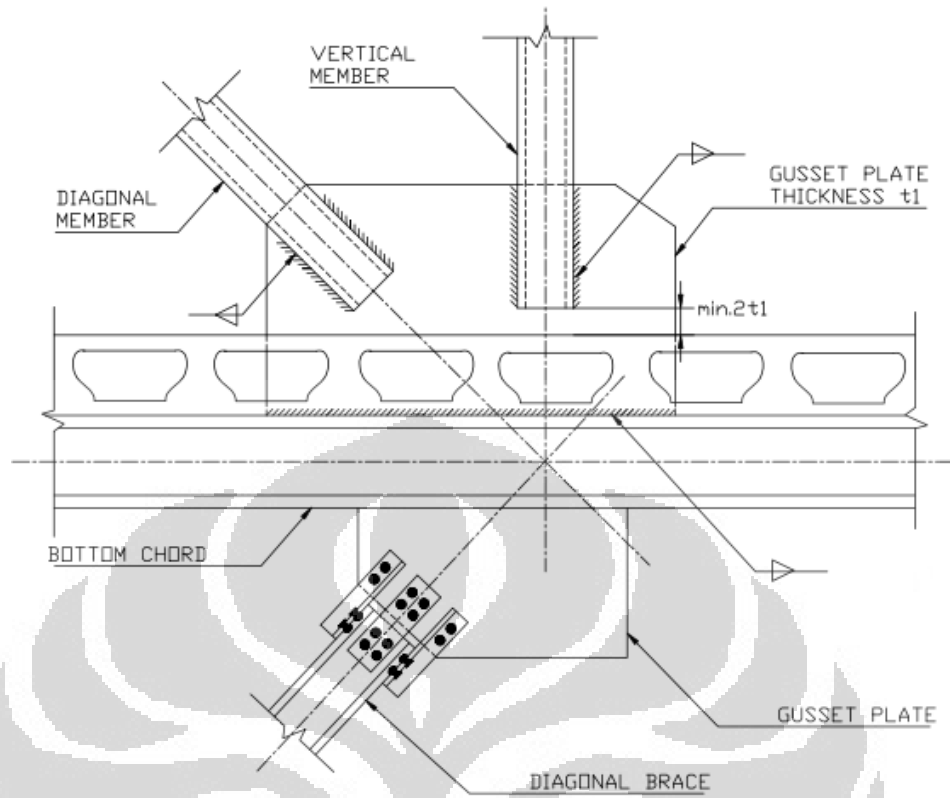
Gambar A2. 9 Sambungan Detail Potongan I-I

Sumber : Sumber : Staggered Truss Framing System AISC Design Guide, 2004



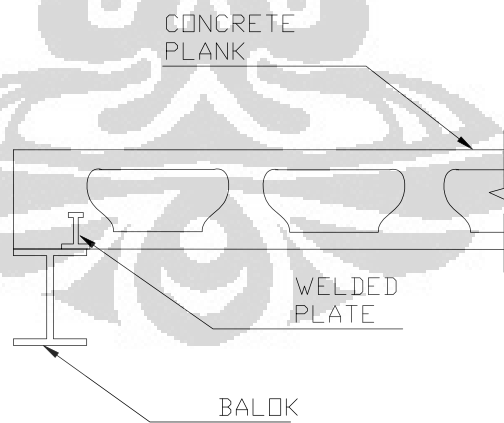
Gambar A2. 10 Sambungan Detail 6

Sumber : Staggered Truss Framing System AISC Design Guide, 2004



Gambar A2. 11 Sambungan Detail 7

Sumber : Tirta Halim (2004)

Gambar A2. 12 Sambungan Balok Perimeter dan *Concrete Plank*

Sumber : Staggered Truss Framing System AISC Design Guide, 2004