



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI RESPON SEISMIK BANGUNAN BERTINGKAT YANG  
MEMPUNYAI *TRANSFER BEAM* DARI RANGKA BAJA**

**SKRIPSI**

**MARTINA SATYA DARMA MANURUNG  
0806329432**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
JUNI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDY OF SEISMIC RESPONSE OF MULTISTORY  
BUILDING WITH TRANSFER BEAM OF STEEL TRUSS**

**FINAL REPORT**

**MARTINA SATYA DARMA MANURUNG  
0806329432**

**FACULTY OF ENGINEERING  
CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM  
DEPOK  
JUNE 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI RESPON SEISMIK BANGUNAN BERTINGKAT YANG  
MEMPUNYAI *TRANSFER BEAM* DARI RANGKA BAJA**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil**

**MARTINA SATYA DARMA MANURUNG  
0806329432**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
JUNI 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 : Martina Satya Darma Manurung**

**NPM : 0806329432**

**Tanda Tangan : **

**Tanggal : 27 Juni 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Martina Satya Darma Manurung  
NPM : 0806329432  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Studi Respon Seismik Bangunan Bertingkat yang  
Mempunyai *Transfer Beam* dari Rangka Baja

Telah berhasil dipertahankan 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 : Dr. Ir. Yuskar Lase, DEA

(.....)

Penguji 1 : Ir. Sjahril A. Rahim, M.Eng.

(.....)

Penguji 2 : Mulia Orientilize ST, M.Eng.

(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 27 Juni 2012

## KATA PENGANTAR

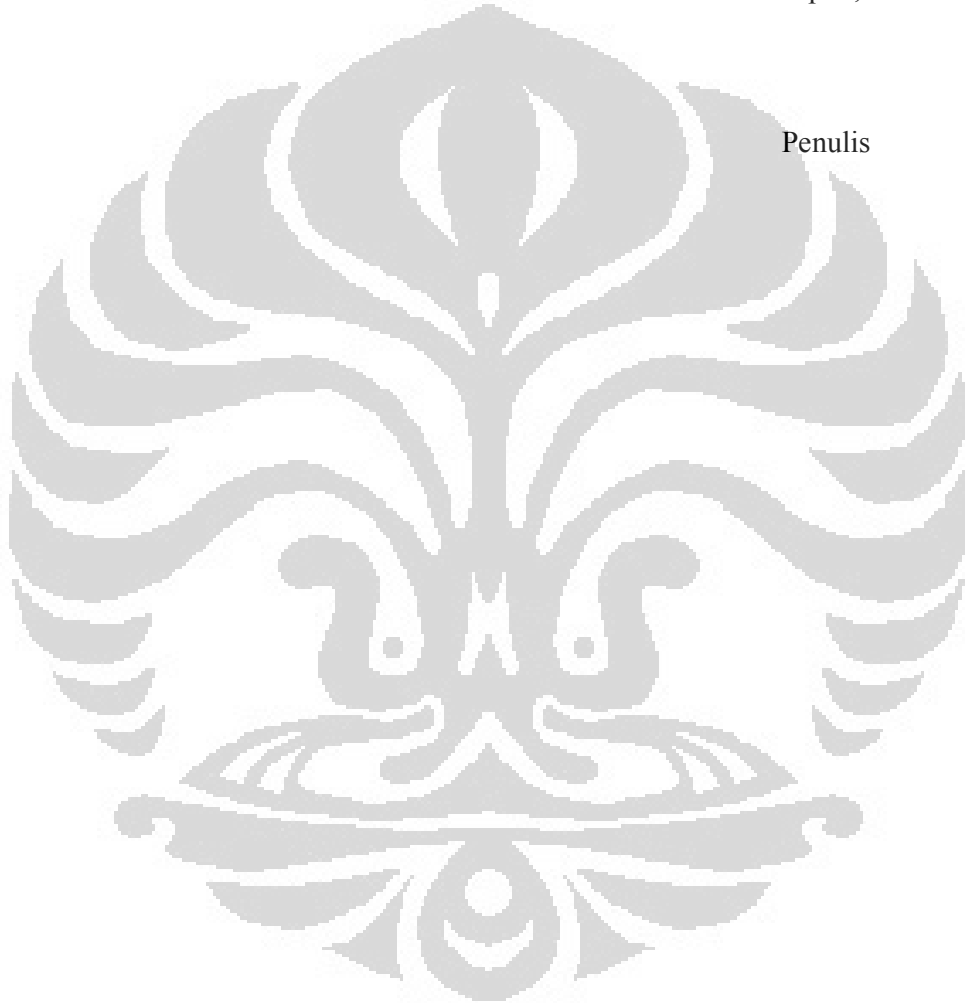
Puji syukur Penulis panjatkan kepada Allah Tri Tunggal, karena atas berkat dan pemeliharaan-Nya, Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Adapun penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil di Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi Penulis untuk menyelesaikannya. Oleh karena itu, Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak atas bantuan dan bimbingan selama penyelesaian skripsi ini, yakni:

1. Bapak Dr. Ir. Yuskar Lase, DEA, selaku dosen pembimbing yang telah banyak menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan Penulis dalam penyusunan skripsi ini;
2. Bapak Ir.Sjahril A.Rahim, M.Eng. dan Ibu Mulia Orientilize, ST, M.Eng. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran tambahan dalam penyempurnaan penelitian ini;
3. Bapak J.Manurung dan Ibu R.Samosir, kedua orang tua Penulis yang senantiasa memberikan dorongan moral dan material;
4. Garlan Ramadhan, atas bantuan dan pengajaran dalam pemodelan dengan program E-TABS;
5. Saudara dan keluarga Penulis yang juga senantiasa memberikan semangat dan dukungan bagi Penulis;
6. Dian Evelina, Wisnu Pratama Putra, Maisarah Rizky, Yusak Moningka, Rizal Prasetyo, Achmad Damar, dan Edwin Serano, teman seperjuangan dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih untuk diskusi, pengetahuan, dan bantuan yang telah kita bagi bersama selama penyusunan skripsi kita;
7. Teman-teman Sipil dan Lingkungan angkatan 2008 yang juga senantiasa mendukung Penulis;
8. Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia, yang telah memfasilitasi segala kepentingan dalam melengkapi penelitian ini.

Akhir kata, semoga Tuhan Yesus Kristus berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 27 Juni 2012

Penulis



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

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

Nama : Martina Satya Darma Manurung  
NPM : 0806329432  
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 tugas akhir saya yang berjudul:

Studi Respon Seismik Bangunan Bertingkat yang Mempunyai *Transfer Beam* dari Rangka Baja

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Depok, 27 Juni 2012

Yang menyatakan,



(Martina Satya Darma Manurung)



## ABSTRAK

Nama : Martina Satya Darma Manurung  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul : Studi Respon Seismik Bangunan Bertingkat yang Mempunyai  
*Transfer Beam* dari Rangka Baja

Penelitian ini membahas tentang bangunan X di Jakarta yakni bangunan gedung bertingkat di atas bangunan cagar budaya. Sesuai dengan peraturan yang ada, bangunan cagar budaya harus dilestarikan. Oleh karena itu, digunakan balok transfer di atas bangunan cagar budaya yang berperan memindahkan dan meneruskan beban ke kolom pendukung. Balok transfer dari rangka baja digunakan untuk mempermudah proses konstruksi. Adapun sistem transfer tidak boleh mengalami kegagalan di awal sehingga harus diperhitungkan terhadap suatu faktor kuat lebih. Karena Indonesia merupakan negara rawan gempa, perlu dilakukan analisis seismik dalam desain bangunan. Dalam peraturan gempa yang berlaku, bangunan dengan balok transfer juga harus diperhitungkan terhadap gempa arah vertikal.

Penelitian ini menunjukkan peningkatan gaya geser, perpindahan, gaya dalam, dan kebutuhan penulangan seiring dengan bertambahnya jumlah lantai. Selanjutnya, dalam variasi sistem sambungan, diketahui bahwa bangunan dengan rangka transfer rigid lebih efektif penggunaannya dibandingkan rangka transfer dengan sambungan sendi. Perbedaan karakteristik dinamik dalam variasi sambungan tidak terlalu signifikan akibat kekakuan kedua bangunan yang hampir sama pula. Adapun desain bangunan bertingkat dengan rangka transfer pada penelitian ini dominan dikontrol oleh beban gravitasi.

Kata kunci:

Rangka transfer, kolom pendukung, respon seismik, gaya dalam, karakteristik dinamik.

## ABSTRACT

Name : Martina Satya Darma Manurung  
Study Program: Civil Engineering  
Title : Study of Seismic Response of Multistory Building with Transfer Beam of Steel Truss

This study discuss about X building in Jakarta that is multistory building above heritage building. According to the applicable regulations, the building of cultural heritage should be preserved. Therefore, transfer beam is used above heritage building which transfers and transmits load to its supporting columns. Transfer beam from steel truss is used to simplify the process of construction. The transfer system should not fail at the beginning so it must be considered againts an over strength factor. As Indonesia is a country that vulnerable to earthquakes, the seismic analysis should be done in the building design. Base on the aplicable regulation of earthquake, the bulding with transfer truss must also be considered to vertical direction of earthquake.

The study shows the enhancement in shear force, displacement, internal forces, and reinforcement requirement along with the increasing number of storey. Furthermore, in variation of connections system, is known that transfer truss with rigid connection is more effective than transfer truss with pinned connection. The differences of dynamic characteristics in the variation of connection are not too significant due to the stiffness of the two buildings are almost same. The design of multistory building with transfer truss in this study is predominantly controlled by gravity loads.

Keywords:

Transfer truss, supporting column, seismic response, internal forces, dynamic characteristics.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang Penulisan .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Tujuan Penulisan.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Metode Penelitian .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Ruang Lingkup Pembahasan .....</b>	<b>4</b>
<b>1.5 Hipotesis Awal .....</b>	<b>5</b>
<b>1.6 Sistematika Penulisan.....</b>	<b>5</b>
<b>BAB 2 STUDI LITERATUR .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Bangunan Purbakala dan Upaya Pelestariannya.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Desain Seismik Bangunan Bertingkat .....</b>	<b>10</b>
2.2.1 Persamaan Dinamik Struktur dengan Sistem MDOF .....	10
2.2.2 Analisis Getaran Bebas .....	11
2.2.3 Analisis Getaran Paksa.....	14
2.2.4 Respon Spektrum.....	16
2.2.5 Respon Seismik Bangunan dan Partisipasi Massa .....	18
<b>2.3 Sistem Struktur Penahan Beban Gravitasi dan Penahan Beban.....</b>	<b>19</b>
2.3.1 Sistem Struktur Penahan Beban Gravitasi .....	20
2.3.2 Sistem Struktur Penahan Beban Lateral.....	20
<b>2.4 Transfer Beam .....</b>	<b>22</b>
2.4.1 Sambungan .....	22
2.4.2 <i>Transfer Beam</i> sebagai Rangka Batang dengan Sambungan Sendi .....	23
2.4.3 <i>Transfer Beam</i> sebagai Portal/Rangka Rigid .....	24
2.4.4 Gaya Gempa Vertikal.....	25
2.4.5 Faktor Kuat Lebih pada Struktur Transfer .....	26
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN DAN PERMODELAN .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Kerangka Berpikir .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2 Properti dan Dimensi Struktur Bangunan .....</b>	<b>28</b>
3.2.1 Properti Material .....	28
3.2.2 Estimasi Dimensi Komponen Struktur.....	28
3.2.3 Gambar Geometri Struktur .....	30

<b>3.3</b>	<b>Permodelan Pembebanan dan Permodelan Struktur .....</b>	<b>33</b>
3.3.1	Pembebanan.....	33
3.3.2	Modelisasi Struktur.....	41
<b>3.4</b>	<b>Variasi sebagai Parameter Analisis .....</b>	<b>42</b>
3.4.1	Variasi Jumlah Lantai .....	42
3.4.2	Variasi Sistem Sambungan Rangka Baja pada <i>Transfer Beam</i> .....	44
<b>3.5</b>	<b>Hasil Preliminary Design .....</b>	<b>47</b>
<b>BAB 4 HASIL DAN ANALISIS .....</b>		<b>48</b>
<b>4.1</b>	<b>Analisis Variasi Jumlah Lantai.....</b>	<b>49</b>
4.1.1	Analisis Karakteristik Dinamik .....	49
4.1.2	Analisis Respon Seismik.....	50
4.1.3	Analisis Sistem Transfer .....	57
4.1.4	Ratio Kebutuhan Penulangan .....	77
<b>4.2</b>	<b>Analisis Variasi Sistem Sambungan .....</b>	<b>85</b>
4.2.1	Analisis Karakteristik Dinamik .....	85
4.2.2	Analisis Respon Seismik.....	87
4.2.3	Analisis Sistem Transfer .....	93
4.2.4	Ratio Kebutuhan Penulangan .....	111
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>117</b>
<b>5.1</b>	<b>Kesimpulan .....</b>	<b>117</b>
<b>5.2</b>	<b>Saran .....</b>	<b>118</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>119</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>		<b>120</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Response Spektrum.....	16
Gambar 2.2 Variasi Dari $\rho$ pindengan Rasio Frekuensi Modal $\beta_n$ , Dengan Diberikan Dua Persamaan Berbeda Untuk 4 Nilai Redaman.....	17
Gambar 2.3 Gambar Perilaku Tiap Sambungan .....	23
Gambar 2.4 Contoh Sambungan Sendi Di Lapangan .....	23
Gambar 2.5 <i>End Plate Connection</i> .....	24
Gambar 2.6 Sambungan Momen Plat Ujung Dengan Atau Tanpa Perkuatan .....	25
Gambar 2.7 Diagram Beban-Simpangan Struktur Gedung .....	26
Gambar 3.1 Kerangka Berpikir.....	27
Gambar 3.2 Potongan Melintang Bangunan .....	30
Gambar 3.3 Tampak Tiga Dimensi Bangunan .....	30
Gambar 3.4 Denah Struktur Lantai Dasar .....	31
Gambar 3.5 Denah Struktur Bangunan Lantai 1 – Lantai 2 .....	31
Gambar 3.6 Denah Struktur Bangunan Lantai 3 Dan Lantai 4 .....	32
Gambar 3.7 Denah Struktur Bangunan Lantai 5 – Lantai 8 .....	32
Gambar 3.8 Pemodelan <i>Transfer Truss</i> .....	33
Gambar 3.9 Wilayah Gempa Indonesia Dengan Periode Ulang 500 Tahun.....	35
Gambar 3.10 Respon Spektrum Gempa Rencana Wilayah Gempa 3.....	36
Gambar 3.11 Variasi Jumlah Lantai I .....	43
Gambar 3.12 Variasi Jumlah Lantai Ii .....	43
Gambar 3.13 Variasi Jumlah Lantai Iii .....	44
Gambar 3.14 Rangka Baja Dengan Sambungan Sendi.....	45
Gambar 3.15 Rangka Baja Dengan Sambungan Rigid .....	45
Gambar 4.1 Jumlah Mode Dengan $M_{mr} \geq 90\%$ .....	49
Gambar 4.2 Partisipasi Massa Mode Pertama .....	49
Gambar 4.3 Diagram Gaya Geser Tingkat Struktur Akibat Gempa Arah X Dalam Variasi Jumlah Lantai.....	50
Gambar 4.4 Gaya Geser Tingkat Struktur Akibat Gempa Ex Dalam Variasi Jumlah Lantai.....	51
Gambar 4.5 Persentase Gaya Geser Tingkat $V_x$ Pada <i>Shear Wall</i> Dan <i>Frame</i> Dalam Variasi Jumlah Lantai .....	51
Gambar 4.6 Gaya Geser Tingkat Struktur Akibat Gempa Arah Y Dalam Variasi Jumlah Lantai.....	52
Gambar 4.7 Gaya Geser Tingkat Struktur $V_y$ Dalam Variasi Jumlah Lantai .....	53
Gambar 4.8 Persentase Gaya Geser $V_y$ Pada <i>Shear Wall</i> Dan <i>Frame</i> Dalam Variasi Jumlah Lantai.....	53
Gambar 4.9 Gaya Geser Tingkat Arah X Pada Sistem Transfer .....	54
Gambar 4.10 Gaya Geser Tingkat Arah Y Pada Sistem Transfer .....	54
Gambar 4.11 <i>Story Drift</i> Dalam Arah X .....	56

Gambar 4.12 <i>Story Drift</i> Arah Y Dalam Variasi Jumlah Lantai .....	56
Gambar 4.13 Beban Gravitasi Yang Ditransfer Pada Tumpuan Ujung Dalam Variasi Jumlah Lantai.....	58
Gambar 4.14 Beban Gravitasi Yang Ditransfer Pada Tumpuan Tengah Dalam Variasi Jumlah Lantai.....	58
Gambar 4.15 Gaya Geser Yang Ditransfer Pada Tumpuan Ujung Dalam Variasi Jumlah Lantai.....	58
Gambar 4.16 Gaya Geser Yang Ditransfer Pada Tumpuan Tengah Struktur Transfer .....	59
Gambar 4.17 Displacement Vertikal Pada Bentang Tengah Rangka Transfer Dalam Variasi .....	60
Gambar 4.18 Displacement Vertikal Pada Tumpuan Tengah Rangka Transfer Dalam Variasi Jumlah Lantai .....	60
Gambar 4.19 <i>Displacement</i> Horisontal Rangka Transfer Arah X Dalam Variasi Jumlah Lantai.....	61
Gambar 4.20 <i>Displacement</i> Horisontal Rangka Transfer Arah Y Dalam Variasi Jumlah Lantai.....	62
Gambar 4.21 Gaya Dalam Aksial Pada Kolom Pendukung Lantai 3 Dalam Variasi Jumlah Lantai.....	63
Gambar 4.22 Gaya Dalam Aksial Pada Kolom Pendukung Lantai 1 Dalam Variasi Jumlah Lantai.....	63
Gambar 4.23 Gaya Geser Arah X Pada Kolom Pendukung Lantai 3 Dalam Variasi Jumlah Lantai.....	64
Gambar 4.24 Gaya Geser Arah Y Pada Kolom Pendukung Lantai 3 Dalam Variasi Jumlah Lantai.....	64
Gambar 4.25 Gaya Geser Arah X Pada Kolom Pendukung Lantai 1 Dalam Variasi Jumlah Lantai.....	65
Gambar 4.26 Penamaan Batang Rangka Transfer .....	66
Gambar 4.27 Gaya Dalam Aksial Batang Tegak Di Bagian Tumpuan Ujung.....	67
Gambar 4.28 Gaya Dalam Aksial Batang Tegak Di Bagian Tumpuan Tengah....	67
Gambar 4.29 Gaya Dalam Aksial Batang Tegak Di Bagian Lapangan.....	67
Gambar 4.30 Gaya Dalam Geser Arah X Pada Batang Tegak Dalam Variasi Jumlah Lantai.....	68
Gambar 4.31 Gaya Dalam Geser Arah Y Pada Batang Tegak Dalam Variasi Jumlah Lantai.....	68
Gambar 4.32 Gaya Dalam Aksial Batang Miring Di Bagian Tumpuan Ujung.....	69
Gambar 4.33 Gaya Dalam Aksial Batang Miring Di Bagian Tumpuan Tengah...	69
Gambar 4.34 Gaya Dalam Aksial Batang Miring Di Bagian Lapangan.....	69
Gambar 4.35 Gaya Geser Arah X Pada Batang Miring Dalam Variasi Jumlah Lantai.....	70
Gambar 4.36 Gaya Geser Arah Y Pada Batang Miring Dalam Variasi Jumlah Lantai.....	70

Gambar 4.37 Gaya Dalam Aksial Batang Horizontal Atas Di Bagian Tumpuan Ujung.....	71
Gambar 4.38 Gaya Dalam Aksial Batang Horizontal Atas Di Bagian Tumpuan Tengah.....	71
Gambar 4.39 Gaya Dalam Aksial Batang Horizontal Atas Di Bagian Lapangan .	71
Gambar 4.40 Gaya Geser Arah X Batang Horizontal Atas Dalam Variasi Jumlah Lantai.....	72
Gambar 4.41 Gaya Geser Arah Y Batang Horizontal Atas Dalam Variasi Jumlah Lantai.....	72
Gambar 4.42 Gaya Dalam Aksial Batang Horizontal Bawah Di Bagian Tumpuan Ujung.....	73
Gambar 4.43 Gaya Dalam Aksial Batang Horizontal Bawah Di Bagian Tumpuan Tengah.....	74
Gambar 4.44 Gaya Dalam Aksial Batang Horizontal Bawah Di Bagian Lapangan .....	74
Gambar 4.45 Gaya Geser Arah X Pada Batang Horizontal Bawah Dalam Variasi Jumlah Lantai.....	75
Gambar 4.46 Gaya Geser Arah Y Pada Batang Horizontal Bawah Dalam Variasi Jumlah Lantai.....	75
Gambar 4.47 Perbandingan Berat Rangka Baja Dalam Variasi Jumlah Lantai ....	76
Gambar 4.48 Perbandingan Ratio Tulangan Lentur Total Balok Pada Variasi Jumlah Lantai.....	77
Gambar 4.49 Perbandingan Rasio Tulangan Lentur Balok Arah X Pada Variasi Jumlah Lantai.....	77
Gambar 4.50 Perbandingan Ratio Tulangan Lentur Balok Arah Y Pada Variasi Jumlah Lantai.....	78
Gambar 4.52 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Balok Arah X Pada Variasi Jumlah Lantai.....	79
Gambar 4.51 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Total Balok Dalam Variasi Lantai.....	79
Gambar 4.53 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Balok Arah Y Pada Variasi Jumlah Lantai.....	80
Gambar 4.54 Perbandingan Ratio Total Tulangan Lentur Kolom Pada Variasi Jumlah Lantai.....	81
Gambar 4.55 Perbandingan Ratio Tulangan Lentur Kolom Pada Variasi Jumlah Lantai.....	81
Gambar 4.56 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Total Kolom Pada Variasi Jumlah Lantai.....	82
Gambar 4.57 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Kolom Pada Variasi Jumlah Lantai.....	82
Gambar 4.58 Perbandingan Ratio Tulangan Lentur Dinding Geser Pada Variasi Jumlah Lantai.....	83

Gambar 4.59 Perbandingan Rasio Tulangan Lentur Dinding Geser Pada Variasi Jumlah Lantai.....	84
Gambar 4.60 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Dinding Geser Pada Variasi Jumlah Lantai.....	84
Gambar 4.61 Perbandingan Ratio Tulangan Geser <i>Shear Wall</i> Pada Variasi Jumlah Lantai.....	84
Gambar 4.62 Jumlah Mode Dengan $M_{mr} \geq 90\%$ .....	86
Gambar 4.63 Partisipasi Massa Mode Pertama Dalam Variasi Sistem Sambungan .....	86
Gambar 4.64 Diagram Gaya Geser Tingkat Struktur Akibat Gempa Arah X Dalam Variasi Sistem Sambungan.....	87
Gambar 4.65 Gaya Geser Tingkat Struktur Akibat Gempa Ex Dalam Variasi Sistem Sambungan.....	87
Gambar 4.66 Persentase Gaya Geser Tingkat $V_x$ Pada <i>Shear Wall</i> Dan <i>Frame</i> Dalam Variasi Sistem Sambungan.....	88
Gambar 4.67 Diagram Gaya Geser Tingkat Struktur Akibat Gempa Arah Y Dalam Variasi Sistem Sambungan.....	89
Gambar 4.68 Gaya Geser Tingkat Struktur $V_y$ Dalam Variasi Sistem Sambungan .....	89
Gambar 4.69 Persentase Gaya Geser $V_y$ Pada <i>Shear Wall</i> Dan <i>Frame</i> Dalam Variasi Sistem Sambungan.....	89
Gambar 4.70 Gaya Geser Tingkat Arah X Pada Sistem Transfer Dalam Variasi Sistem Sambungan.....	90
Gambar 4.71 Gaya Geser Tingkat Arah Y Pada Sistem Transfer Dalam Variasi Sistem Sambungan.....	90
Gambar 4.72 <i>Story Drift</i> Arah X Dalam Variasi Sistem Sambungan.....	92
Gambar 4.73 <i>Story Drift</i> Arah Y Dalam Variasi Sistem Sambungan.....	92
Gambar 4.74 Beban Gravitasi Yang Dittransfer Pada Tumpuan Ujung Dalam Variasi Sistem Sambungan.....	94
Gambar 4.76 Gaya Geser Yang Dittransfer Pada Tumpuan Ujung Dalam Variasi Sistem Sambungan.....	94
Gambar 4.75 Beban Gravitasi Yang Dittransfer Pada Tumpuan Tengah Dalam Variasi Sistem Sambungan.....	94
Gambar 4.77 Gaya Geser Yang Dittransfer Pada Tumpuan Tengah Dalam Variasi Sistem Sambungan.....	95
Gambar 4.78 <i>Displacement</i> Vertikal Pada Bentang Tengah Rangka Transfer Dalam Variasi Sistem Sambungan.....	96
Gambar 4.79 <i>Displacement</i> Vertikal Pada Tumpuan Tengah Rangka Transfer Dalam Variasi Sistem Sambungan.....	96
Gambar 4.80 <i>Displacement</i> Horisontal Rangka Transfer Arah X Dalam Variasi Sistem Sambungan.....	97



Gambar 4.81 <i>Displacement</i> Horizontal Rangka Transfer Arah Y Dalam Variasi Sistem Sambungan.....	97
Gambar 4.82 Gaya Dalam Aksial Pada Kolom Pendukung Lantai 3 Dalam Variasi Sistem Sambungan.....	98
Gambar 4.83 Gaya Dalam Aksial Pada Kolom Pendukung Lantai 1 Dalam Variasi Sistem Sambungan.....	98
Gambar 4.84 Gaya Geser Arah X Pada Kolom Pendukung Lantai 3 Dalam Variasi Sambungan .....	99
Gambar 4.85 Gaya Geser Arah Y Pada Kolom Pendukung Lantai 3 Dalam Variasi Jumlah Sambungan .....	99
Gambar 4.86 Gaya Geser Arah X Pada Kolom Pendukung Lantai 1 Dalam Variasi Sambungan .....	100
Gambar 4.87 Gaya Geser Arah Y Pada Kolom Pendukung Lantai 1 Dalam Variasi Sambungan .....	100
Gambar 4.88 Gaya Aksial Batang Tegak Di Bagian Tumpuan Ujung Dalam Variasi Sistem Sambungan.....	101
Gambar 4.89 Gaya Aksial Batang Tegak Di Bagian Tumpuan Tengah Dalam Variasi Sistem Sambungan.....	101
Gambar 4.90 Gaya Aksial Batang Tegak Di Bagian Lapangan Dalam Variasi Sistem Sambungan.....	102
Gambar 4.91 Gaya Geser Arah X Pada Batang Tegak Dalam Variasi Sistem Sambungan .....	102
Gambar 4.92 Gaya Geser Arah Y Pada Batang Tegak Dalam Variasi Sistem Sambungan .....	103
Gambar 4.93 Gaya Dalam Aksial Batang Miring Di Bagian Tumpuan Ujung Dalam Variasi Sambungan.....	104
Gambar 4.94 Gaya Dalam Aksial Batang Miring Di Bagian Tumpuan Tengah Dalam Variasi Sambungan .....	104
Gambar 4.95 Gaya Dalam Aksial Batang Miring Di Bagian Lapangan Dalam Variasi Sambungan .....	105
Gambar 4.96 Gaya Geser Arah X Pada Batang Miring Dalam Variasi Sambungan .....	105
Gambar 4.97 Gaya Geser Arah Y Pada Batang Miring Dalam Variasi Sambungan .....	106
Gambar 4.98 Gaya Aksial Batang Horizontal Atas Di Bagian Tumpuan Ujung Dalam Variasi Sambungan .....	107
Gambar 4.99 Gaya Aksial Batang Horizontal Atas Di Bagian Tumpuan Tengah Dalam Variasi Sambungan .....	107
Gambar 4.100 Gaya Aksial Batang Horizontal Atas Di Bagian Lapangan Dalam Variasi Sambungan .....	107
Gambar 4.101 Gaya Geser Arah X Batang Horizontal Atas Dalam Variasi Sambungan .....	108

Gambar 4.102 Gaya Geser Arah Y Batang Horizontal Atas Dalam Variasi Sambungan .....	108
Gambar 4.103 Gaya Aksial Batang Horizontal Bawah Di Bagian Tumpuan Ujung Dalam Variasi Sambungan .....	109
Gambar 4.104 Gaya Aksial Batang Horizontal Bawah Di Bagian Tumpuan Tengah Dalam Variasi Sambungan.....	109
Gambar 4.105 Gaya Dalam Aksial Batang Horizontal Bawah Di Bagian Lapangan Dalam Variasi Sambungan .....	109
Gambar 4.106 Gaya Geser Arah X Pada Batang Horizontal Bawah Dalam Variasi Sambungan .....	110
Gambar 4.107 Gaya Geser Arah Y Pada Batang Horizontal Bawah Dalam Variasi Sambungan .....	110
Gambar 4.108 Perbandingan Ratio Tulangan Lentur Total Balok Pada Variasi Sambungan .....	111
Gambar 4.109 Perbandingan Rasio Tulangan Lentur Balok Arah X Pada Variasi Sambungan .....	111
Gambar 4.110 Perbandingan Ratio Tulangan Lentur Balok Arah Y Pada Variasi Sambungan .....	112
Gambar 4.111 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Total Balok Dalam Variasi Sambungan .....	112
Gambar 4.112 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Balok Arah X Pada Variasi Sambungan .....	112
Gambar 4.113 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Balok Arah Y Pada Variasi Sambungan .....	113
Gambar 4.114 Perbandingan Ratio Tulangan Lentur Kolom Pada Variasi Sambungan .....	114
Gambar 4.115 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Total Kolom Pada Variasi Sambungan .....	114
Gambar 4.116 Perbandingan Rasio Tulangan Lentur Dinding Geser Pada Variasi Sambungan .....	115
Gambar 4.117 Perbandingan Ratio Tulangan Geser <i>Shear Wall</i> Pada Variasi Sambungan .....	115

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Faktor Keutamaan I .....	37
Tabel 3.2 Faktor Daktilitas Maksimum, Faktor Reduksi Gempa Maksimum, Faktor Tahanan Lebih Struktur .....	38
Tabel 3.3 Tabel Koefisien $\Psi$ Untuk Menghitung Respons Gempa $C_v$ .....	40
Tabel 3.4 Kombinasi Pembebanan .....	40
Tabel 3.5 Faktor Reduksi Momen Inersia .....	41
Tabel 3.6 Faktor Kuat Lebih Struktur $F_2$ .....	42
Tabel 3.7 Parameter Analisis Untuk Setiap Variasi .....	46
Tabel 3.8 Hasil <i>Preliminary Design</i> .....	47
Tabel 4.1 Periode Getar Mode Pertama .....	49
Tabel 4.2 Gaya Lateral Arah X Pada Sistem Transfer Dalam Variasi Jumlah Lantai .....	54
Tabel 4.3 Gaya Lateral Arah Y Pada Sistem Transfer Dalam Variasi Jumlah Lantai .....	55
Tabel 4.4 Beban Gravitasi Yang Ditransfer Oleh Rangka Transfer Dalam Variasi Jumlah Lantai .....	57
Tabel 4.5 Gaya Geser Yang Ditransfer Oleh Struktur Transfer Dalam Variasi Jumlah Lantai .....	57
Tabel 4.6 Displacement Vertikal Pada Rangka Transfer Dalam Variasi Jumlah Lantai .....	60
Tabel 4.7 <i>Displacement</i> Horizontal Pada Rangka Transfer Dalam Variasi Jumlah Lantai .....	61
Tabel 4.8 Kombinasi Pembebanan <i>Service</i> .....	62
Tabel 4.9 Tabel Periode Getar Struktur Pada Variasi Sistem Sambungan .....	85
Tabel 4.10 Gaya Lateral Arah X Pada Sistem Transfer Dalam Variasi Sistem Sambungan .....	91
Tabel 4.11 Gaya Lateral Arah Y Pada Sistem Transfer Dalam Variasi Sistem Sambungan .....	91
Tabel 4.12 Beban Gravitasi Yang Ditransfer Oleh Struktur Transfer Dalam Variasi Sistem Sambungan .....	93
Tabel 4.13 Gaya Geser Yang Ditransfer Oleh Struktur Transfer Dalam Variasi Sistem Sambungan .....	93

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Analisis Dinamik Bangunan 4 Lantai (Model 1)
- Lampiran 2. Analisis Dinamik Bangunan 6 Lantai (Model 2)
- Lampiran 3. Analisis Dinamik Bangunan 8 Lantai (Model 3A)
- Lampiran 4. Gaya Dalam pada Kolom Pendukung Setiap Model
- Lampiran 5A. Gaya Dalam Rangka Transfer Model 1
- Lampiran 5B. Gaya Dalam Rangka Transfer Model 2
- Lampiran 5C. Gaya Dalam Rangka Transfer Model 3A
- Lampiran 5D. Gaya Dalam Rangka Transfer Model 3B
- Lampiran 6. Ratio Kebutuhan Penulangan Bangunan 4 Lantai
- Lampiran 7. Ratio Kebutuhan Penulangan Bangunan 6 Lantai
- Lampiran 8. Ratio Kebutuhan Penulangan Bangunan 8 Lantai (Model 3A)
- Lampiran 9. Ratio Kebutuhan Penulangan Bangunan 8 Lantai (Model 3B)
- Lampiran 10. Kebutuhan Tambahan Penulangan pada Balok Rangka Transfer
- Lampiran 11. Gambar Detail Penulangan Kolom dan Balok pada Rangka Transfer

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Penulisan

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki tingkat pertumbuhan penduduk yang tinggi. Pesatnya peningkatan pertumbuhan penduduk tidak disertai dengan penyebaran penduduk yang merata, di mana jumlah penduduk sebagian besar mendiami kota besar terutama di Jakarta. Kepadatan penduduk di Jakarta mengakibatkan tingkat kebutuhan lahan pun semakin tinggi. Tingkat kebutuhan lahan itu mencakup tingkat kebutuhan lahan per orang serta tingkat kebutuhan lahan untuk pembangunan berbagai infrastruktur sebagai penunjang aktivitas manusia.

Untuk memenuhi kebutuhan akan *land-use* tersebut, maka pembangunan tidak lagi ditekankan pada penggunaan luasan arah horizontal, namun lebih ditekankan pada keefektifan penggunaan luasan arah vertikal, yakni bangunan bertingkat. Penggunaan bangunan bertingkat pada masa kini semakin ditingkatkan, sejalan dengan kebutuhan akan bangunan pada kondisi populasi penduduk yang semakin bertambah sementara kondisi lahan semakin sempit.

Pada contoh kasus bangunan X di Jakarta, pembangunan bangunan bertingkat memiliki kendala yakni adanya bangunan lama yang merupakan *heritage building* sebagai peninggalan budaya yang tidak boleh dibongkar bahkan tidak boleh mengalami pemugaran. Pembangunan bangunan bertingkat diatas *heritage building* memberikan tantangan tersendiri, dimana struktur bawah dari bangunan tingkat tinggi terhalangi oleh keberadaan *heritage building*. Pada kondisi tersebut, tidak ada kolom pada wilayah *heritage building*. Oleh karena itu, digunakan *transfer beam* yang berada di atas *heritage building* yang berperan memindahkan dan meneruskan beban yang dipikul ke tumpuan yang ada di bawahnya. Beberapa tipe dari *transfer beam* adalah *deep beam* (balok tinggi) dan rangka baja. MacGregor (1988) mendefinisikan suatu balok dinyatakan sebagai

balok tinggi bila sebagian besar beban yang dipikul dapat diteruskan atau dihubungkan langsung ke tumpuan-tumpuannya melalui batang tekan (*compression strut*) (Steffie Tumilar,1998,hal.21). Dalam metode konstruksinya, balok tinggi harus menggunakan *scaffolding* dan bekisting untuk pengecoran. Penggunaan *deep beam* pada konstruksi ini tidak dapat digunakan akibat metode konstruksi yang sulit untuk dilaksanakan di atas bangunan *heritage building*, terutama dalam pemasangan *scaffolding*. Oleh karena itu, *transfer beam* yang digunakan adalah rangka baja yang memiliki metode konstruksi yang lebih mudah untuk dilaksanakan.

Kegagalan pada rangka baja tergantung pada perilaku sambungan dalam menyalurkan gaya yang bekerja dari suatu batang ke batang lainnya. Rangka baja pada *transfer beam* dapat dimodelkan sebagai rangka batang biasa di mana *joint* pada rangka bersifat pin/sendi yang sambungannya tidak dapat menahan momen. Rangka baja juga dapat dimodelkan sebagai portal yang bersifat rigid, di mana sambungan yang digunakan dapat menahan momen (*full momen resisting connection*).

Indonesia merupakan salah satu negara rawan gempa karena menempati zona tektonik yang sangat aktif. Gempa merupakan kejadian alam yang belum dapat diperhitungkan dan diperkirakan secara akurat, baik kapan dan dimana terjadinya maupun magnitudanya. Oleh karena itu, usaha yang dilakukan pada bangunan sipil adalah melakukan perencanaan bangunan tahan gempa.

*Transfer beam* pada bangunan bertingkat ini dapat dikatakan sebagai bagian yang paling krusial pada bangunan. Penggunaan *transfer beam* menyebabkan struktur gedung tidak beraturan. Sesuai dengan SNI 03-1726-2002, Pasal 4.2.2, gempa rencana struktur gedung tidak beraturan harus ditinjau sebagai pengaruh pembebanan dinamik, salah satunya adalah dengan melakukan analisis berdasarkan analisis respon seismik. Oleh karena itu, Penulis ingin meneliti respon seismik dari bangunan bertingkat yang memiliki *transfer beam* dari rangka baja.

## 1.2 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk melakukan studi terhadap respon seismik struktur bangunan bertingkat secara tiga dimensi yang menggunakan *transfer beam* dari rangka baja, di mana bangunan bertingkat tersebut dibangun di atas sebuah bangunan lama yang merupakan *heritage building*. Analisa yang dilakukan akan dibantu dengan program ETABS.

## 1.3 Metode Penelitian

Penulisan skripsi ini dilakukan melalui tahapan-tahapan kerja sebagai berikut:

### a. Studi literatur

Dalam tahapan ini, Penulis melakukan studi literatur mengenai analisis dinamika struktur melalui buku-buku, jurnal, atau tugas akhir. Analisis dinamika struktur dari sumber yang dicari berkaitan dengan analisis respon seismik bangunan bertingkat. Selain itu, Penulis melakukan studi literatur mengenai *transfer beam* dari rangka baja.

### b. Preliminary design

Dalam tahapan ini, Penulis menentukan desain awal dari bangunan yang akan dianalisis, yakni dengan menentukan bentuk bangunan, properti material yang digunakan, dan estimasi dimensi komponen struktur.

### c. Modelisasi struktur dan beban dengan variasi parameter

Pada tahapan modelisasi struktur, Penulis menggunakan *software* sebagai penunjang dalam analisis. Modelisasi struktur dilakukan dalam bentuk tiga dimensi yang dimodelkan dengan beberapa variasi, yaitu variasi jumlah lantai/ tingkat dan variasi sistem sambungan pada rangka baja. Pada tahapan ini juga dilakukan kombinasi pembebanan untuk setiap variasi yang telah disebutkan di atas.

### d. Input Pemograman

Setelah modelisasi struktur dilakukan, dilakukan *input* pada program dengan modelisasi struktur yang telah dibuat sebelumnya dengan

berbagai variasi. *Input* pemograman dilakukan untuk setiap kombinasi pembebanan pada setiap variasi model struktur.

e. Simulasi dan Analisis

Hasil dari *input* pada program ini akan diperoleh respon seismik struktur berupa karakteristik dinamik, *displacement*, momen guling, partisipasi massa, dan gaya geser tingkat pada struktur. Dari hasil tersebut, maka dilakukan analisis terhadap hasil yang telah didapatkan.

f. Kesimpulan

Dari hasil analisis yang dilakukan, maka Penulis dapat mengambil kesimpulan akhir dari hasil penelitian pada skripsi ini.

#### 1.4 Ruang Lingkup Pembahasan

Pembahasan masalah pada skripsi ini adalah model struktur bangunan bertingkat dengan *transfer beam* dari rangka baja. Simulasi yang dilakukan oleh Penulis yakni meliputi struktur bangunan yang memiliki *transfer beam* dari rangka baja dengan variasi jumlah lantai (yaitu 4 lantai, 6 lantai, dan 8 lantai) serta dengan variasi sistem sambungan dari rangka baja yakni rangka baja dimodelkan sebagai rangka batang dengan sambungan sendi dan rangka baja dimodelkan sebagai portal/rangka rigid. Adapun variasi sistem sambungan dimodelkan hanya pada bangunan 8 lantai. Keseluruhan struktur diteliti dengan analisis respon seismik yang menggunakan analisis CQC (*Complete Quadratic Combination*) dengan asumsi percepatan gempa pada wilayah 3 tanah lunak Indonesia.

Dalam skripsi ini, Penulis tidak meninjau masalah praktis atau kenyataan di lapangan, melainkan hanya menganalisis berdasarkan teori saja. Selain itu, untuk variasi sistem sambungan, Penulis juga tidak melakukan pendetailan sambungan melainkan hanya melihat respon seismik struktur dan kinerja sistem transfer dari kedua sistem sambungan tersebut.



## 1.5 Hipotesis Awal

Bangunan yang akan diteliti merupakan bangunan bertingkat yang menggunakan *transfer beam* dari rangka baja. *Transfer beam* dari rangka baja ini diharapkan mampu memenuhi kebutuhan akan kinerja batas ultimate yang terjadi dan memenuhi daya layan (*servicibility limit*) sesuai dengan yang ditargetkan.

Dalam penelitian ini, digunakan variasi jumlah lantai/tingkat dan variasi sistem rangka baja. Perbedaan jumlah lantai akan menimbulkan dimensi profil yang berbeda-beda di mana semakin banyak jumlah lantai yang dipikul, semakin besar pula profil yang digunakan. Dalam penelitian ini, penambahan profil akan tidak linier terhadap penambahan beban.

## 1.6 Sistematika Penulisan

### BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan dijelaskan mengenai latar belakang, tujuan penulisan, metode penelitian, ruang lingkup pembahasan, dan hipotesis awal pada skripsi ini.

### BAB 2 STUDI LITERATUR

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai uraian singkat teori-teori yang menunjang penelitian pada skripsi ini seperti dasar-dasar analisis dinamik struktur yang meliputi modelisasi dinamik struktur, analisis getaran bebas, analisis getaran paksa, respon spektrum, sistem struktur yang meliputi sistem struktur beban gravitasi dan beban lateral, serta teori-teori dasar mengenai rangka batang sebagai *transfer beam*.

### BAB 3 METODE PENELITIAN DAN PERMODELAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai alur berpikir dalam penelitian ini. Kemudian dijelaskan mengenai data bangunan yang akan dimasukkan berupa estimasi dimensi komponen struktur dan model pembebanan, denah bangunan, serta model bangunan secara tiga dimensi. Selain itu dijabarkan juga variasi parameter yang akan dianalisis dalam skripsi ini.

#### BAB 4 ANALISIS DAN HASIL

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hasil dari analisis dinamik dan hasil analisis efek perilaku struktur yakni dengan meninjau berbagai parameter yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya.

#### BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan diberikan kesimpulan dari hasil analisis yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya. Dalam bab ini juga tercantum saran atau tambahan yang Penulis pikirkan dalam penyempurnaan penelitian ini.



## BAB 2 STUDI LITERATUR

### 2.1 Bangunan Purbakala dan Upaya Pelestariannya

Definisi benda cagar budaya menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 1992 tentang Cagar Budaya ada dua, yaitu:

1. Benda buatan manusia yang bergerak, maupun tidak bergerak yang merupakan kesatuan atau kelompok, atau bagian-bagiannya atau sisa-sisanya, yang berumur sekurang-kurangnya 50 (lima puluh) tahun, atau mewakili masa gaya yang khas dan mewakili masa gaya sekurang-kurangnya 50 (lima puluh) tahun, serta dianggap mempunyai nilai penting bagi sejarah, ilmu pengetahuan, dan kebudayaan.
2. Benda alam yang dianggap mempunyai nilai penting bagi sejarah, ilmu pengetahuan, dan kebudayaan

Berdasarkan Peraturan Daerah DKI Jakarta No. 9 Tahun 1999 Bab IV, dijabarkan tolok ukur kriteria sebuah bangunan cagar budaya adalah sebagai berikut :

1. Tolok ukur nilai sejarah yang dikaitkan dengan peristiwa-peristiwa perjuangan, ketokohan, politik, sosial, budaya yang menjadi simbol nilai kesejarahan pada tingkat nasional dan atau Daerah Khusus Ibukota Jakarta.
2. Tolok ukur umur yang dikaitkan dengan usia sekurang-kurangnya 50 tahun.
3. Tolok ukur keaslian yang dikaitkan dengan keutuhan baik sarana dan prasarana lingkungan maupun struktur, material, tapak bangunan dan bangunan di dalamnya.
4. Tolok ukur *landmark* yang dikaitkan dengan keberadaan sebuah bangunan tunggal monument atau bentang alam yang dijadikan symbol dan wakil dari suatu lingkungan sehingga merupakan tanda atau tengeran lingkungan tersebut.

5. Tolok ukur arsitektur, dikaitkan dengan estetika dan rancangan yang menggambarkan suatu zaman dan gaya tertentu.

Dari kriteria dan tolok ukur di atas lingkungan cagar budaya diklasifikasikan dalam 3 golongan, yakni:

1. Bangunan cagar budaya Golongan A (Utama), yaitu bangunan cagar budaya yang memenuhi 4 (empat) kriteria, dan harus dipertahankan dengan cara preservasi ..
2. Bangunan cagar budaya Golongan B (Madya), yaitu bangunan cagar budaya yang memenuhi 3 (tiga) kriteria dan bangunan cagar budaya ini dapat dilakukan pemugaran dengan cara restorasi/rehabilitasi atau rekonstruksi.
3. Bangunan cagar budaya Golongan C (Pratama), yaitu bangunan cagar budaya yang memenuhi 2 (dua) kriteria dan bangunan cagar budaya ini dapat dilakukan pemugaran dengan cara revitalisasi/adaptasi.

Berdasarkan Perda No. 9 Tahun 1999 Tentang Pelestarian dan Pemanfaatan Lingkungan dan Cagar Budaya, bangunan cagar budaya dari segi arsitektur maupun sejarahnya dibagi dalam 3 (tiga) golongan, yaitu :

1. Pemugaran Bangunan Cagar Budaya Golongan A
  - Bangunan dilarang dibongkar dan atau diubah
  - Apabila kondisi fisik bangunan buruk, roboh, terbakar atau tidak layak tegak dapat dilakukan pembongkaran untuk dibangun kembali sama seperti semula sesuai dengan aslinya.
  - Pemeliharaan dan perawatan bangunan harus menggunakan bahan yang sama / sejenis atau memiliki karakter yang sama, dengan mempertahankan detail ornamen bangunan yang telah ada
  - Dalam upaya revitalisasi memungkinkan adanya penyesuaian / perubahan fungsi sesuai rencana kota yang berlaku tanpa mengubah bentuk bangunan aslinya

- Di dalam persil atau lahan bangunan cagar budaya memungkinkan adanya bangunan tambahan yang menjadi satu kesatuan yang utuh dengan bangunan utama

## 2. Pemugaran Bangunan Cagar Budaya Golongan B

- Bangunan dilarang dibongkar secara sengaja, dan apabila kondisi fisik bangunan buruk, roboh, terbakar atau tidak layak tegak dapat dilakukan pembongkaran untuk dibangun kembali sama seperti semula sesuai dengan aslinya
- Pemeliharaan dan perawatan bangunan harus dilakukan tanpa mengubah pola tampak depan, atap, dan warna, serta dengan mempertahankan detail dan ornamen bangunan yang penting.
- Dalam upaya rehabilitasi dan revitalisasi memungkinkan adanya perubahan tata ruang dalam asalkan tidak mengubah struktur utama bangunan
- Di dalam persil atau lahan bangunan cagar budaya dimungkinkan adanya bangunan tambahan yang menjadi satu kesatuan yang utuh dengan bangunan utama

## 3. Pemugaran Bangunan Cagar Budaya Golongan C

- Perubahan bangunan dapat dilakukan dengan tetap mempertahankan pola tampak muka, arsitektur utama dan bentuk atap bangunan.
- Detail ornamen dan bahan bangunan disesuaikan dengan arsitektur bangunan disekitarnya dalam keserasian lingkungan.
- Penambahan bangunan di dalam perpetakan atau persil hanya dapat dilakukan di belakang bangunan cagar budaya yang harus sesuai dengan arsitektur bangunan cagar budaya dalam keserasian lingkungan.
- Fungsi bangunan dapat diubah sesuai dengan rencana Kota.

## 2.2 Desain Seismik Bangunan Bertingkat

### 1.2.1 Persamaan Dinamik Struktur dengan Sistem MDOF

Formulasi untuk analisis respon gempa mengacu pada sistem dengan variasi gerakan/perpindahan tanah dan sistem inelastik. Oleh sebab itu, persamaan dinamik untuk gempa menggunakan analisis dinamik sistem berderajat kebebasan banyak (*Multi Degree of Freedom*). Oleh karena itu, persamaan dinamik sistem MDOF (*Multi Degree of Freedom*) adalah

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{p(t)\} \quad (2.1)$$

dimana,

$[M]$  = matriks massa, bersifat simetris dan semi definit positif

$\{\ddot{u}\}$  = vektor percepatan struktur

$[C]$  = matriks redaman, bersifat simetris dan semi definit positif

$\{\dot{u}\}$  = vektor kecepatan struktur

$[K]$  = matriks kekakuan bersifat simetris dan definit positif

$\{u\}$  = vektor lendutan/*displacement* struktur

$\{p(t)\}$  = vektor gaya dinamik

Gempa yang terjadi pada struktur bangunan merupakan pengaruh dari gerakan tanah (*ground motion*). Dalam menentukan pembebanan dinamik struktur, gempa yang terjadi dikuantifikasi menjadi beban gempa melalui percepatan gempa akibat pergerakan tanah yang terjadi. Adapun gerakan tanah tersebut dihasilkan oleh adanya gelombang permukaan (*surface wave*) yang merupakan interaksi dari gelombang badan dan permukaan tanah.

Oleh karena itu, persamaan dinamik yang berlaku untuk struktur yang tereksitasi oleh percepatan tanah akibat gempa merupakan gaya inersia bekerja sesuai dengan percepatan total struktur yaitu vektor  $\{i\}$  yang menyatakan pengaruh dari pergerakan tanah terhadap DOF struktur. adalah sebagai berikut:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\{i\}\ddot{u} \quad (2.2)$$

di mana  $\{i\}$  adalah vektor arah gempa sesuai dengan DOF yang ditinjau dan  $\ddot{u}_g$  adalah percepatan tanah akibat gempa.

Dalam menyelesaikan persamaan dinamik, pertama sekali dilakukan modelisasi terhadap massa, redaman, dan kekakuan untuk mendapatkan matriks massa, matriks redaman, dan matriks kekakuan struktur. Dengan menyelesaikan persamaan dinamik, akan didapatkan respon kinematik struktur berupa percepatan, kecepatan, dan lendutan struktur.

### 1.2.2 Analisis Getaran Bebas

Getaran bebas adalah getaran yang terjadi jika sistem berosilasi karena bekerjanya gaya dalam sistem itu sendiri dan jika tidak ada gaya luar yang bekerja pada sistem. Semua sistem yang memiliki massa dan elastisitas dapat mengalami getaran bebas. Suatu struktur dikatakan mengalami getaran bebas apabila struktur tersebut diganggu dari posisi kesetimbangan statisnya kemudian dibiarkan bergetar bebas tanpa gangguan eksitasi dinamis. Getaran bebas pada struktur dengan sistem MDOF dapat diformulasikan dalam persamaan berikut:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = 0 \quad (2.3)$$

#### 1. Getaran bebas tak teredam

Pada persamaan getaran bebas tak teredam, gaya luar yang bekerja  $\{p(t)\} = 0$  dan struktur tidak teredam ( $[C] = 0$ ). Persamaan dinamik getaran bebas tak teredam dirumuskan sebagai berikut:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = 0 \quad (2.4)$$

Dalam struktur dengan sistem MDOF, untuk mendapatkan frekuensi natural struktur, perlu diselesaikan persamaan dinamikanya. Persamaan dinamik struktur untuk getaran bebas tak teredam dapat dideskripsikan dan diselesaikan dalam persamaan matematis berikut:

- Persamaan lendutan

$$\{u_{n(t)}\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_{n(t)} \quad (2.5)$$

di mana,  $\{\phi_n\}$  = vektor pola getar yang tidak bervariasi terhadap waktu

$q_n(t)$  = koordinat modal ke-n yang bervariasi terhadap waktu

- Persamaan variasi perpindahan

Variasi perpindahan dalam fungsi waktu didefinisikan sebagai fungsi gerak harmonik sederhana berikut:

$$q_n(t) = A_n \sin \omega_n(t) + B_n \cos \omega_n(t) \quad (2.6)$$

Sehingga,

$$\{u_n(t)\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} A_n \sin \omega_n \cdot t + B_n \cos \omega_n \cdot t \quad (2.7)$$

Persamaan di atas kemudian disubstitusi ke dalam persamaan (2.4), sehingga didapatkan

$$-\omega_n^2 [M] \{\phi_n\} q_n(t) + [K] \{\phi_n\} q_n(t) = 0 \quad (2.8)$$

$$(-\omega_n^2 [M] + [K]) \{\phi_n\} = 0 \quad (2.9)$$

Persamaan (2.9) merupakan persamaan aljabar yakni persamaan eigen dengan  $\{\phi_n\}$  merupakan vektor eigen, di mana persamaan tersebut akan memiliki solusi non-trivial jika

$$|-\omega_n^2 [M] + [K]| = 0 \quad (2.10)$$

Persamaan di atas memiliki n buah akar real dan positif untuk  $\omega_n^2$  karena  $[M]$  dan  $[K]$  adalah matriks yang simetris dan positif. Adapun n buah akar tersebut merupakan n buah frekuensi natural getaran bebas yang disebut juga nilai eigen, nilai karakteristik, atau nilai normal di mana  $\omega_1 \leq \omega_2 \leq \omega_3 \leq \dots \dots \dots \omega_n$ . Nilai dari setiap n buah frekuensi alami itu kemudian disubstitusi ke dalam persamaan (2.9) sehingga didapatkan n buah vektor independen  $\{\phi_n\}$ .

Persamaan lendutan merupakan fungsi dari pola ragam getar  $\{\phi_n\}$  yang dapat berubah dalam fungsi waktu. Dari n buah  $\{\phi_n\}$  yang telah didapatkan, dapat dicari lendutan yang terjadi, yakni sebagai berikut:



$$\{u\} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ \dots \\ \dots \\ u_n \end{Bmatrix} = q_1(t) \begin{Bmatrix} \phi_{11} \\ \phi_{21} \\ \phi_{31} \\ \dots \\ \dots \\ \phi_{n1} \end{Bmatrix} + q_2(t) \begin{Bmatrix} \phi_{12} \\ \phi_{22} \\ \phi_{32} \\ \dots \\ \dots \\ \phi_{n2} \end{Bmatrix} + q_3(t) \begin{Bmatrix} \phi_{13} \\ \phi_{23} \\ \phi_{33} \\ \dots \\ \dots \\ \phi_{n3} \end{Bmatrix} + \dots + q_n(t) \begin{Bmatrix} \phi_{1n} \\ \phi_{2n} \\ \phi_{3n} \\ \dots \\ \dots \\ \phi_{nn} \end{Bmatrix}$$

$$\{u_n(t)\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_n(t) \quad (2.11)$$

$$\{\ddot{u}_n(t)\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} \ddot{q}_n(t) \quad (2.12)$$

Persamaan (2.12) disubstitusikan ke dalam persamaan awal (2.4), sehingga didapatkan:

$$\sum_{n=1}^N \ddot{q}_n [M] \{\phi_n\} + \sum_{n=1}^N q_n [K] \{\phi_n\} = 0 \quad (2.13)$$

Dilakukan *pre-multiply* Persamaan (2.13) dengan  $\{\phi_r\}^T$  sehingga didapatkan

$$\sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N \ddot{q}_n \{\phi_r\}^T [M] \{\phi_n\} + \sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N q_n \{\phi_r\}^T [K] \{\phi_n\} \quad (2.14)$$

Dari persamaan di atas, diketahui bahwa  $\sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N \ddot{q}_n \{\phi_r\}^T [M] \{\phi_n\}$  dan  $\sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N q_n \{\phi_r\}^T [K] \{\phi_n\}$  hanya akan memiliki nilai jika  $r=n$ . Kondisi di mana  $\{\phi_r\}^T [M] \{\phi_n\} = 0$  jika  $r \neq n$  tersebut dinamakan sebagai pola getar orthogonal. Pada analisis getaran bebas, pola getar yang terjadi harus orthogonal. Persamaan di atas kemudian dapat ditulis dalam bentuk persamaan umum menjadi

$$M_n \ddot{q}_n + K_n q_n = P_n \quad (\text{Uncoupled Differential Equation}) \quad (2.15)$$

Dari persamaan (2.4) dan (2.15) diketahui bahwa persamaan  $\{u_n(t)\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_n(t)$  merupakan *Modal Analysis* yang mengubah persamaan *Coupled Differential Equation* menjadi  $n$  buah *Uncoupled Differential Equation*. Oleh karena itu, suatu persamaan MDOF dapat dibuat seolah-olah merupakan persamaan  $n$  buah SDOF, yakni berupa  $n$  buah *Uncoupled Differential Equation*.

## 2. Getaran bebas teredam

Persamaan dinamik untuk getaran bebas teredam dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{0\} \quad (2.16)$$

Sama halnya dengan persamaan getaran bebas tak teredam, persamaan getaran bebas teredam ini juga menggunakan *Modal Analysis*  $\{u_n(t)\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_n(t)$  sehingga didapatkan persamaan:

$$\sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N \ddot{q}_n \{\phi_r\}^T [M] \{\phi_n\} + \sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N \dot{q}_n \{\phi_r\}^T [C] \{\phi_n\} + \sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N q_n \{\phi_r\}^T [K] \{\phi_n\} = \{0\} \quad (2.17)$$

Pada persamaan  $[M]$  dan  $[K]$ , pola getar yang terjadi harus orthogonal, sama seperti halnya pada analisis getaran bebas di mana  $\{\phi_r\}^T [M] \{\phi_n\} = 0$  jika  $r \neq n$ . Untuk matriks redaman  $[C]$ , terdapat dua kondisi matriks redaman yakni:

- *Classical Damping* jika pola getar pada  $[C]$  juga orthogonal. Adapun untuk *classical damping*, matriks  $[C]$  merupakan diagonal matriks. Oleh karena itu, untuk kondisi ini didapatkan persamaan:

$$M_n \ddot{q}_n + C_n \dot{q}_n + K_n q_n = \{0\} \quad (2.18)$$

- *Non Classical Damping* jika pola getar yang terjadi tidak orthogonal, di mana  $\{\phi_r\}^T [C] \{\phi_n\} \neq 0$  jika  $r \neq n$ .

### 1.2.3 Analisis Getaran Paksa

Persamaan dinamik getaran paksa dapat diformulasikan sebagai berikut:

#### 1. Getaran Paksa Tak Teredam

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{P\} \quad (2.19)$$

dengan *modal analysis*

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

didapatkan

$$\sum_{n=1}^N \{\phi_n\} \ddot{q}_n(t) [M] + \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_n(t) [K] = \{P\} \quad (2.20)$$

Pada persamaan diatas dilakukan *premultiplying* dengan  $\{\phi_r\}^T$ . Sehingga persamaan 2.20 menjadi :

$$\sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} \{\phi_r\}^T \ddot{q}_n(t) [M] + \sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_n(t) [K] = \{\phi_r\}^T \{P\} \quad (2.21)$$

Adapun persamaan modal untuk eksistasi gempa dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\ddot{D}_n + \omega_n^2 = \phi_n^T [M] \{i\} \ddot{u}_g(t) \quad (2.22)$$

Dengan

$$q_n(t) = \Gamma_n D_n(t) \quad (2.23)$$

dari persamaan ini, maka total kontribusi dari mode ke-n pada nilai lendutan adalah

$$\{u\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_n(t) = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} \Gamma_n D_n(t) \quad (2.24)$$

Distribusi spasial dari percepatan gempa efektif didefinisikan sebagai  $\{s\} = [M] \{i\}$ . Distribusi gaya ini dapat diekspansi sebagai jumlah dari distribusi gaya inersia modal  $\{s_n\}$

$$[M] \{i\} = \sum_{n=1}^N \Gamma_n [M] \phi_n \quad (2.25)$$

dimana

$$\Gamma_n = \frac{L_n}{M_n} ; L_n = \{\phi_n\}^T [M] \{i\} ; M_n = \{\phi_n\}^T [M] \{\phi_n\} \quad (2.26)$$

maka

$$\{s_n\} = \Gamma_n [M] \phi_n \quad (2.27)$$

## 2. Getaran Paksa Teredam

$$[M] \{\ddot{u}\} + [C] \{\dot{u}\} + [K] \{u\} = \{P\} \quad (2.28)$$

Dengan modal analysis yang sama seperti pada penjelasan sebelumnya, didapatkan

$$\sum_{n=1}^N \{\phi_n\} \ddot{q}_{n(t)} [M] + \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} \dot{q}_{n(t)} [C] + \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_{n(t)} [K] = \{P\} \quad (2.29)$$

$$\sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} \{\phi_r\}^T \ddot{q}_{n(t)} [M] + \sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} \dot{q}_{n(t)} [C] + \sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_{n(t)} [K] = \{\phi_r\}^T \{P\} \quad (2.30)$$

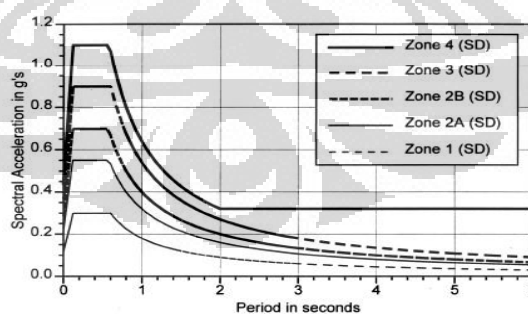
Adapun persamaan modal untuk eksistensi gempa dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\ddot{D}_n + 2\zeta\omega_n\dot{D}_n + \omega_n^2 D_n = \phi_n^T [M] \{i\} \ddot{u}_g(t) \quad (2.31)$$

#### 1.2.4 Respon Spektrum

Perancangan struktur bangunan tahan gempa pada umumnya direncanakan berdasarkan nilai puncak dari gaya dan deformasi selama gempa terjadi. Respons puncak pada sistem struktur berderajat kebebasan banyak dapat dihitung berdasarkan respon spectrum gempa.

Menurut Steven L.Kramer dalam bukunya yang berjudul *Geotechnical Earthquake Engineering*, respon spektrum merupakan respon maksimum dari sistem berderajat kebebasan tunggal (SDOF) yang merupakan fungsi dari frekuensi natural dan rasio redaman dari sistem tersebut. Respon tersebut dapat dalam bentuk percepatan, kecepatan, maupun displacement.



Gambar 0.1 Response Spektrum

Sumber: UBC 1997 Edition

Nilai eksak respons puncak dari suatu sistem struktur berderajat kebebasan banyak pada ragam naturalnya ke.n dapat diperoleh dari spektrum

respons gempa. Besaran respons struktur pada ragam tertentu (ragam ke-n),  $r_n(t)$ , mencapai nilai puncaknya pada waktu yang sama ketika *pseudo-acceleration* ( $A_n(t)$ ) mencapai nilai puncaknya sehingga respons puncak masing-masing ragam ( $r_{no}$ ) dapat dihitung dari persamaan berikut:

$$r_{no} = r_n^{st} A_n \quad (2.32)$$

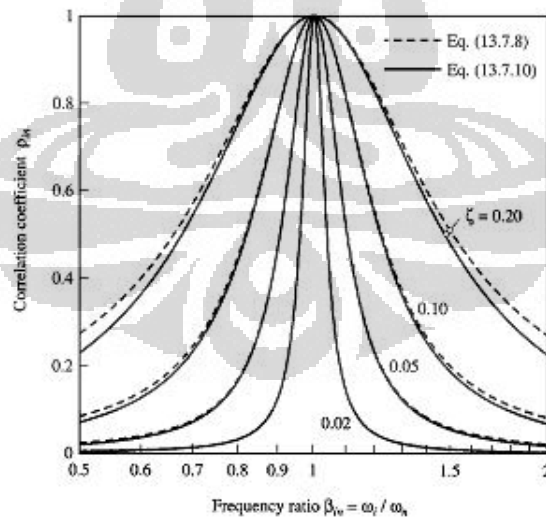
Cara mengkombinasikan respons puncak masing-masing ragam  $r_{no}$  untuk menentukan nilai puncak respons seluruh ragam dapat dilakukan dengan pendekatan aturan kombinasi *Complete Quadratic Combination* (CQC) yang lebih dapat diaplikasikan pada jenis struktur yang beragam karena pendekatan ini menyelesaikan batasan aturan SRSS. Berdasarkan aturan CQC, kombinasi ragam adalah sebagai berikut:

$$r_o \approx \left( \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \rho_{in} r_{io} r_{jo} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.33)$$

dengan

$$\rho_{in} = \frac{\zeta^2(1+\beta_{in})^2}{(1-\beta_{in})^2 + 4\zeta^2\beta_{in}} \quad (\text{Equation 13.7.8, Anil K.Chopra,p.557}) \quad (2.34)$$

$$\rho_{in} = \frac{8\zeta^2(1+\beta_{in})\beta_{in}^{3/2}}{(1-\beta_{in})^2 + 4\zeta^2\beta_{in}(1+\beta_{in})^2} \quad (\text{Equation 13.7.10, Anil K.Chopra,p.558}) \quad (2.35)$$



Gambar 0.2 Variasi dari  $\rho_{in}$  dengan rasio frekuensi modal  $\beta_{in}$ , dengan diberikan dua persamaan berbeda untuk 4 nilai redaman  
Sumber : Dynamics of Structures (Anil K.Chopra, 2003)

### 1.2.5 Respon Seismik Bangunan dan Partisipasi Massa

Respon seismik bangunan antara lain adalah karakteristik dinamik, gaya geser dasar, gaya geser tingkat, dan momen guling. Prosedur untuk menghitung respons puncak dari bangunan gedung n lantai yang dikarakterisasi oleh sebuah spektrum respons atau spektrum desain adalah sebagai berikut:

- a. Mendefinisikan properti struktur (matriks massa, matriks kekakuan lateral, rasio redaman)
- b. Menentukan frekuensi natural ( $\omega_n$ ) atau periode natural ( $T_n$ ) dan ragam getar natural ( $\phi_n$ )
- c. Menghitung respons puncak pada ragam ke.n melalui langkah-langkah sebagai berikut yang diulangi pada seluruh ragam:
  - Berdasarkan periode natural bangunan ( $T_n$ ) dan rasio redamannya, dilakukan pembacaan respons  $D_n$  (deformasi) dan  $A_n$  (*pseudo-acceleration*) tiap pola getar dari grafik spektrum respons atau respons desain gempa.
  - Menghitung lendutan lantai dan drift (simpangan antar lantai) berdasarkan persamaan di bawah ini.

$$u_{jn} = \Gamma_n \phi_{jn} D_n \quad (2.36)$$

$$\Delta_{jn} = \Gamma_n (\phi_{jn} - \phi_{j-1,n}) D_n \quad (2.37)$$

- Menghitung gaya statik ekuivalen pada setiap lantai berdasarkan persamaan di bawah ini.

$$f_{jn} = \Gamma_n m_j \phi_{jn} A_n \quad (2.38)$$

- Menghitung gaya geser lantai, gaya geser dasar, momen guling, dan gaya dalam elemen (momen lentur, lintang, aksial) pada setiap pola getar. Menentukan dan estimasi nilai puncak setiap respons dengan mengkombinasikan nilai puncak masing-masing ragam berdasarkan aturan SRSS atau CQC.

Jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan respons ragam menurut metoda ini harus sedemikian rupa, sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respons total harus mencapai sekurang-kurangnya 90% (SNI 03-1726-2002,hal.29). Oleh karena itu, akan didapatkan n buah pola getar yang memiliki gabungan partisipasi modal massa sesuai dengan ketentuan tersebut.

### 2.3 Sistem Struktur Penahan Beban Gravitasi dan Penahan Beban

#### Lateral

Sistem struktur didefinisikan sebagai sistem kompleks tiga dimensi yang merupakan kombinasi dari elemen struktur tersebut yang saling diinterkoneksi. Sistem struktur memiliki fungsi utama yaitu mampu menahan semua beban-beban yang terdapat pada bangunan secara aman dan efektif dan kemudian mentransfer beban-beban tersebut ke pondasi. Oleh karena itu, sistem struktur harus memenuhi kondisi batas layan, baik *ultimate limit states* (kekuatan struktur hingga mencapai keruntuhan), *servicibility limit states* (deformasi) dan *special limit states* (ketahanan akan beban gempa, beban angin, dsb.).

Dalam SNI 03-1726-2002, sistem struktur gedung terbentuk oleh subsistem-subsistem penahan beban lateral yang arahnya saling tegak lurus dan sejajar dengan sumbu-sumbu utama orthogonal denah struktur gedung secara keseluruhan (13).

Beberapa bagian dari sistem struktur (sub sistem struktur) antara lain:

1. Sistem Lantai
2. Sistem Penahan Beban Vertikal / Beban Gravitasi
3. Sistem Penahan Beban Lateral
4. Sistem Sambungan Struktur
5. Sistem Disipasi Energi

Dasar pemilihan suatu sistem struktur bangunan tinggi adalah harus memenuhi syarat kekuatan dan kekakuan. Sistem struktur pada bangunan tinggi harus mampu menahan gaya lateral dan beban gravitasi yang dapat menyebabkan deformasi geser horizontal dan lentur.

### 1.3.1 Sistem Struktur Penahan Beban Gravitasi

Beban gravitasi merupakan beban yang berasal dari berat beban mati struktur dan beban hidup yang besarnya disesuaikan dengan fungsi bangunan. Struktur lantai merupakan bagian terbesar dari struktur bangunan yang menahan beban gravitasi, yaitu beban sendiri, beban tetap, dan beban hidup. Sistem struktur lantai merupakan kombinasi dari pelat dengan balok induk, atau pelat dengan balok anak. Dalam bangunan yang dianalisa pada skripsi ini, *transfer beam* juga berfungsi sebagai struktur penahan beban gravitasi.

### 1.3.2 Sistem Struktur Penahan Beban Lateral

Struktur bangunan harus memiliki kemampuan untuk menahan berbagai jenis gaya lateral seperti yang disebabkan oleh angin atau gempa. Dengan demikian, suatu jenis pengaku harus disediakan pada arah memanjang dan melintang bangunan. Gaya-gaya lateral disebar melalui lantai yang bertindak sebagai balok horizontal ke bidang-bidang vertikal yang diperkaku. Menurut T.Paulay dalam bukunya yang berjudul *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, tiga jenis sistem struktur penahan beban lateral yang umumnya digunakan pada bangunan adalah:

- Sistem Struktur Rangka (*Structural Frame Systems*)
- Sistem Struktur Dinding (*Structural Wall Systems*)
- Sistem Ganda (*Dual Systems*)

#### 1.3.2.1 Sistem Struktur Rangka

- *Moment Resisting Frame*

*Moment resisting frame* merupakan rangka yang terdiri dari elemen-elemen horizontal (balok) dan elemen-elemen vertikal (kolom) yang disambung satu sama lain dalam bentuk grid bidang yang menahan beban lateral terutama melalui kekakuan lentur dari member. Sambungan balok kolom yang digunakan merupakan sambungan rigid.

- *Braced Frame*

Fungsi utama dari sistem bracing adalah untuk menahan gaya lateral. *Bracing* menjamin stabilitas lateral dari keseluruhan kinerja



rangka. Suatu rangka dapat diklasifikasikan sebagai braced frame bila sistem bracing memiliki tahanan terhadap goyangan akibat beban lateral dimana pengaku tersebut mempunyai kekakuan yang cukup dan dapat secara akurat merespon beban horizontal. Rangka dapat diklasifikasikan sebagai braced frame bila sistem bracing mampu mereduksi geser horizontal lebih dari 80%.

#### 1.3.2.2 Dinding Geser (*Shear Wall*)

Salah satu sistem struktur dinding penahan beban lateral adalah dinding geser (*shear wall*). Secara struktural, dinding geser dapat dianggap sebagai balok kantilever vertikal yang terjepit pada bagian bawahnya baik oleh pondasi ataupun *basement*. Dinding geser berperilaku sebagai balok lentur kantilever yang berfungsi untuk menahan gaya geser, momen dan gaya aksial yang timbul akibat beban gempa. Dinding geser dapat dikategorikan berdasarkan geometrinya, yaitu:

- *Flexural wall* (dinding langsing), yaitu dinding geser yang memiliki rasio  $hw/lw \geq 2$ , di mana desain dikontrol oleh perilaku lentur.
- *Squat wall* (dinding pendek), yaitu dinding geser yang memiliki rasio  $hw/lw \leq 2$ , di mana desain dikontrol oleh perilaku geser.
- *Coupled wall* (dinding geser berantai), yakni di mana momen guling yang terjadi akibat beban gempa ditahan oleh sepasang dinding geser yang dihubungkan oleh balok perangkai (*coupling beam*).

#### 1.3.2.3 Sistem Ganda

Sistem ganda atau *dual systems* merupakan gabungan dari sistem rangka dan dinding geser dalam menahan beban lateral. Menurut T. Paulay, sistem rangka yang berinteraksi dengan dinding dapat menyediakan jumlah energi disipasi yang sangat besar. Selain itu, akibat dari kekakuan yang luas dari dinding, control terhadap drift lantai ketika gempa berlangsung dapat dicapai.

Mengacu pada SNI 03-1726-2002, dalam suatu sistem struktur yang terdiri dari kombinasi dinding geser dan rangka terbuka, beban geser dasar nominal akibat pengaruh gempa rencana yang dipikul oleh rangka terbuka

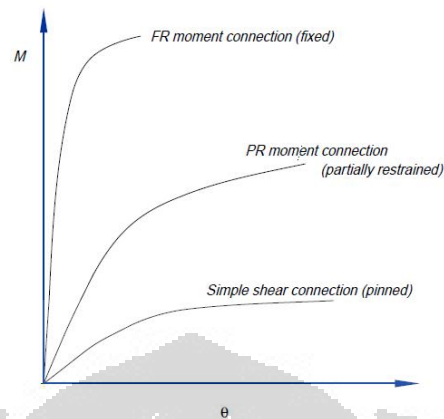
tidak boleh kurang dari 25% dari beban geser yang bekerja dalam arah kerja beban gempa tersebut.

## 2.4 Transfer Beam

### 1.4.1 Sambungan

Menurut *American Institute of Steel Construction (AISC)*, sambungan terdiri dari 3 jenis sambungan, yakni:

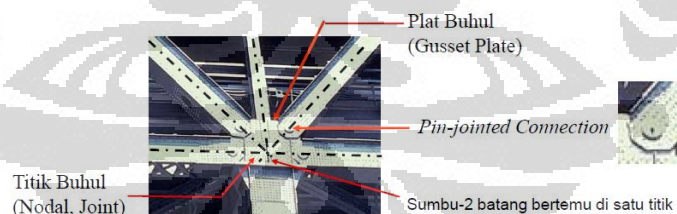
- Sambungan kaku/sambungan rigid (*fully restrained*)  
Sambungan rigid merupakan sambungan yang memiliki kapasitas penuh dalam menahan momen. Pada sambungan rigid, tidak terjadi rotasi di mana dipertahankan sudut di antara elemen yang disambung.
- Sambungan sendi (*pin connected*)  
Sambungan sendi merupakan sambungan fleksibel yang diasumsikan bebas berotasi. Dalam AISC dijelaskan bahwa *pin connection* sebenarnya memiliki tahanan terhadap rotasi, namun tahanan rotasi dalam jumlah kecil tersebut diabaikan dan sambungan diidealisasikan dalam kondisi fleksibel penuh.
- Sambungan semi kaku/semi rigid (*partially restrained*)  
Sambungan semi rigid merupakan sambungan yang dapat menahan momen di mana sudut antar elemen yang disambung dapat berubah.



Gambar 0.3 Gambar perilaku tiap sambungan  
 Sumber: AISC *Manual of Steel Construction* (p.10-8, 2005)

#### 1.4.2 *Transfer Beam* sebagai Rangka Batang dengan Sambungan Sendi

Rangka batang yang digunakan pada *transfer beam* dapat dimodelkan sebagai rangka batang biasa. Rangka batang biasa memiliki *joint* yang bersifat sebagai sendi. Pada joint tersebut, titiknya memperbolehkan elemen strukturnya dapat berotasi secara bebas tetapi tidak dapat bertranslasi ke arah manapun. Dengan demikian, titik tersebut tidak dapat memberikan tahanan momen, tetapi dapat memberikan tahanan gaya pada segala arah.



Gambar 0.4 Contoh Sambungan Sendi di Lapangan  
 Sumber : [www.google.com](http://www.google.com) (Tanggal Akses: 15 Juni 2012)

Adapun salah satu jenis sambungan sendi (*simple connection*) yang dapat digunakan adalah *simple shear connection*. Dalam AISC, beberapa jenis simple shear connection antara lain *double-angle connection*, *single-angle connections*, *single-plate connections*, dan lain sebagainya. Dalam sambungan, salah satu alat

penyambung yang digunakan adalah *High Tensile Bolt* (HTB). Sanci Barus dan Robert Panjaitan dalam jurnalnya mengatakan bahwa alat sambung baut mutu tinggi (High Tensile Bolt) berkekuatan leleh minimal 372 MPa (3720 kg/cm<sup>2</sup>). Alat sambung baut mutu tinggi mampu mengatasi slip antara dua elemen baja yang disambung pada struktur rangka batang yang memikul gaya aksial (Bathoano dan Bateman, 1934). Kekuatan alat sambung baut mutu tinggi ditentukan oleh:

- Dimensi
- Tipe Baut
- Kekuatan Leleh (*Tensile Strength*)
- Panjang ulir dalam elemen pelat
- Putaran untuk tarik awal

#### 1.4.3 *Transfer Beam* sebagai Portal/Rangka Rigid

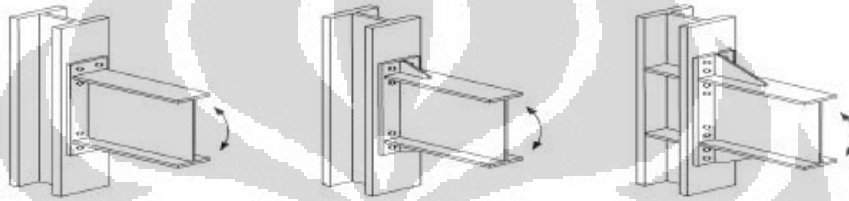
Rangka batang juga dapat dimodelkan sebagai portal/ rangka rigid. Rangka batang yang dimodelkan sebagai portal memiliki *joint* antar elemen rangka yang rigid di mana *joint* dapat memikul beban momen dengan kapasitas penuh dan tidak diperbolehkan terjadinya rotasi dan perubahan sudut pada *joint* tersebut. Adapun salah satu sambungan rigid (*moment resisting connection*) yang dapat digunakan adalah *End Plate Connection* atau sambungan momen plat ujung.



Gambar 0.5 *End Plate Connection*

Sumber : <http://www.steeldetailer.com> (Tanggal Akses: 15 Juni 2012)

Sambungan momen plat ujung terdiri dari plat yang dilas pada ujung balok dan kemudian dibaut ke kolom. Sambungan momen plat ujung dapat dikelompokkan berdasarkan keadaan ujung luarnya yaitu rata (*flush*) atau diperluas (*extended*). Menurut Junaedi Utomo (2008), sambungan momen plat ujung rata bila ujung luar plat rata dengan sayap balok dan semua baut berada di antara kedua sayap balok. Sambungan momen plat ujung yang diperluas adalah sambungan momen plat ujung di mana permukaan ujung plat melampaui sayap balok sehingga memungkinkan adanya baut yang ditempatkan dalam perluasan tersebut.



Gambar 0.6 Sambungan Momen Plat Ujung Dengan atau Tanpa Perkuatan

Sumber: Junaedi Utomo (2008)

#### 1.4.4 Gaya Gempa Vertikal

Menurut SNI 03-1726-2002, suatu balok transfer pada bangunan tinggi yang memikul dua atau lebih tingkat di atasnya, harus diperhitungkan terhadap komponen vertikal gerakan tanah akibat gempa. Beban gempa vertikal tersebut merupakan beban gempa nominal statik ekuivalen yang harus ditinjau bekerja ke atas atau ke bawah dan yang diperhitungkan sebagai perkalian respons gempa vertikal ( $C_v$ ) dan beban gravitasi (termasuk beban hidup yang sesuai).

Faktor respons gempa  $C_v$  memiliki persamaan sebagai berikut:

$$C_v = \Psi A_0 I$$

di mana  $A_0$  adalah percepatan puncak muka tanah,  $I$  adalah faktor keutamaan gedung, dan  $\Psi$  adalah koefisien berdasarkan wilayah gempa

1.4.5 Faktor Kuat Lebih pada Struktur Transfer

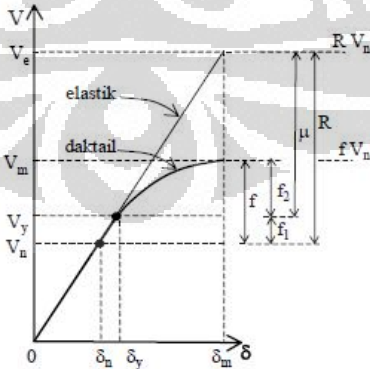
Struktur transfer pada bangunan gedung merupakan salah satu bagian struktur bangunan yang sangat penting dalam menahan struktur bagian atas dan mentransfer beban dari struktur atas ke kolom pendukung. Oleh karena itu, struktur transfer tidak boleh mengalami kegagalan terlebih dahulu dibandingkan elemen struktur lainnya. Dalam desain bangunan tahan gempa, struktur transfer, sama halnya dengan struktur bawah, harus tetap berperilaku elastis pada saat elemen struktur lainnya mengalami sendi plastis.

Dalam SNI 03-1726-2002, struktur transfer layaknya struktur bawah harus dapat memikul pembebanan gempa maksimum akibat pengaruh Gempa Rencana  $V_m$  yang dapat diserap oleh struktur atas dalam kondisi di ambang keruntuhan menurut persamaan:

$$V_m = f_2 \cdot V_y$$

di mana  $V_y$  adalah pembebanan gempa akibat pengaruh Gempa Rencana yang menyebabkan pelelehan pertama di dalam struktur gedung dan  $f_2$  adalah faktor kuat lebih struktur akibat kehiperstatikan struktur gedung yang menyebabkan terjadinya redistribusi gaya-gaya oleh pembentukan sendi plastis yang tidak serempak bersamaan. Faktor kuat lebih struktur  $f_2$  nilainya bergantung pada nilai faktor daktilitas struktur gedung  $\mu$  yang bersangkutan dan ditetapkan menurut persamaan :

$$f_2 = 0,83 + 0,17 \mu$$



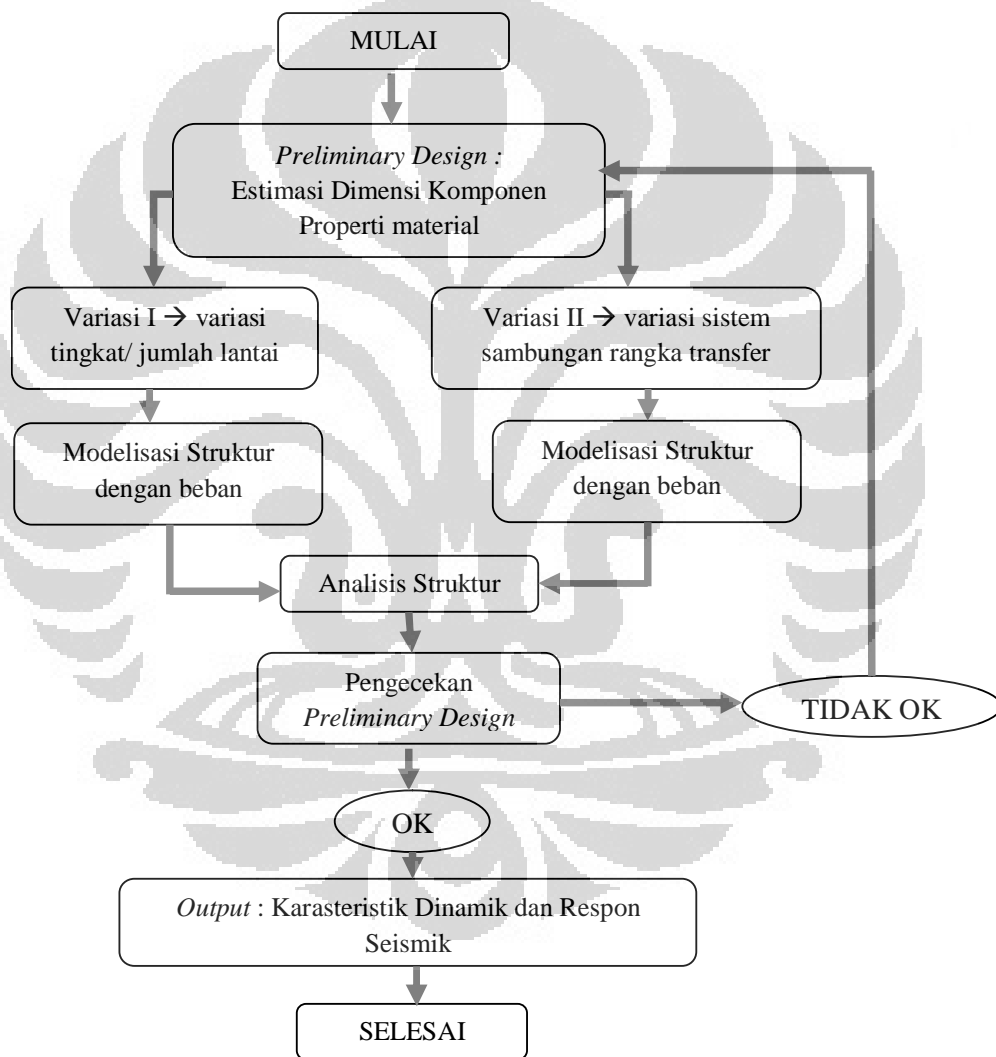
Gambar 0.7 Diagram beban-simpangan struktur gedung

Sumber: SNI 03-1726-2002, hal. 41

**BAB 3**  
**METODOLOGI PENELITIAN DAN PERMODELAN**

**3.1 Kerangka Berpikir**

Secara singkat, metode penelitian yang dilakukan pada pembuatan skripsi ini dapat dinyatakan dalam sebuah kerangka berpikir berikut ini,



Gambar 0.1 Kerangka Berpikir

Sumber : Data Olahan Penulis

### 3.2 Properti dan Dimensi Struktur Bangunan

Sesuai dengan penjelasan pada Bab 1, bangunan yang dimodelkan pada penelitian ini merupakan *high Multistory buiding* yang dibangun di atas sebuah bangunan lama yang merupakan *heritage building* di mana tidak diperbolehkan adanya pemugaran pada bangunan tersebut. Adapun kejelasan dari posisi bangunan baru di atas bangunan lama akan diperlihatkan secara lebih rinci pada gambar denah dan gambar tampak bangunan.

Pada penelitian ini, digunakan sebuah bangunan yang dimodelkan secara tiga dimensi, dengan properti bangunan dan dimensi struktur bangunan sebagai berikut:

#### 1.2.1 Properti Material

##### 1. Beton

- Kekuatan Tekan ( $f_c'$ ) : 33 MPa
- Modulus Elastisitas (E) :  $4700 \sqrt{f_c'} = 27000$  MPa
- Berat Jenis Beton :  $2400 \text{ kg/m}^3$

##### 2. Baja Tulangan

- Tegangan leleh ( $f_y$ ) : 400 MPa

##### 3. Rangka Baja

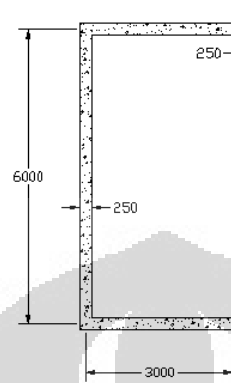
- Jenis baja : BJ 41
- Tegangan putus min. ( $f_u$ ) : 410 MPa
- Tegangan leleh min. ( $f_y$ ) : 250 MPa

#### 1.2.2 Estimasi Dimensi Komponen Struktur

1. Dimensi balok anak :  $250 \times 500 \text{ mm}^2$
2. Dimensi balok induk :  $400 \times 600 \text{ mm}^2$
3. Dimensi kolom
  - Kolom K1 :  $1200 \times 1200 \text{ mm}^2$
  - Kolom K2 :  $800 \times 800 \text{ mm}^2$
4. Tebal pelat : 120 mm



## 5. Shear wall

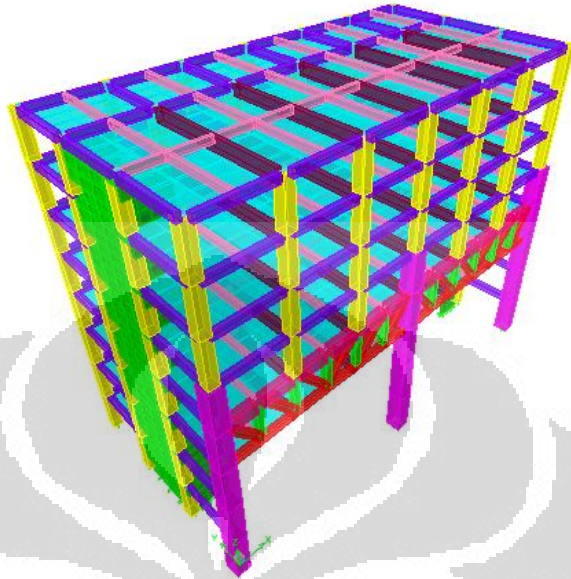


- Tebal : 250 mm
- Panjang : 6000 mm
- Lebar : 3000 mm

## 6. Dimensi Rangka Baja

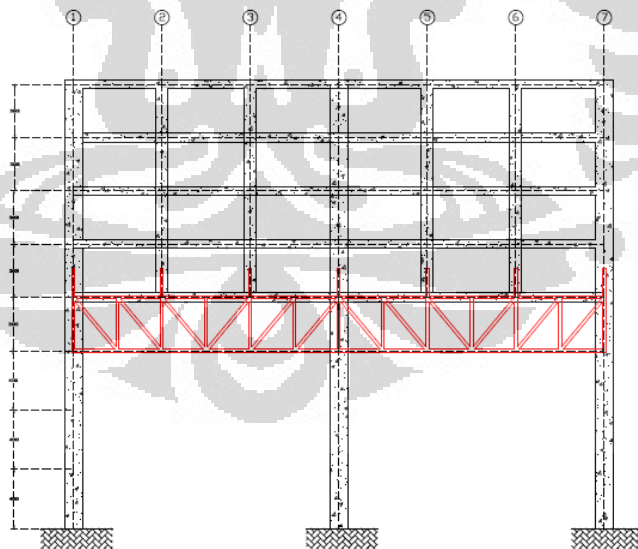
Dalam skripsi ini, rangka baja digunakan sebagai *transfer beam*. Ketika melakukan *preliminary design*, terlebih dahulu dilakukan estimasi profil yang akan digunakan yakni dengan membandingkan dua profil berbeda, antara lain profil H dan profil *hollow*.

### 1.2.3 Gambar Geometri Struktur



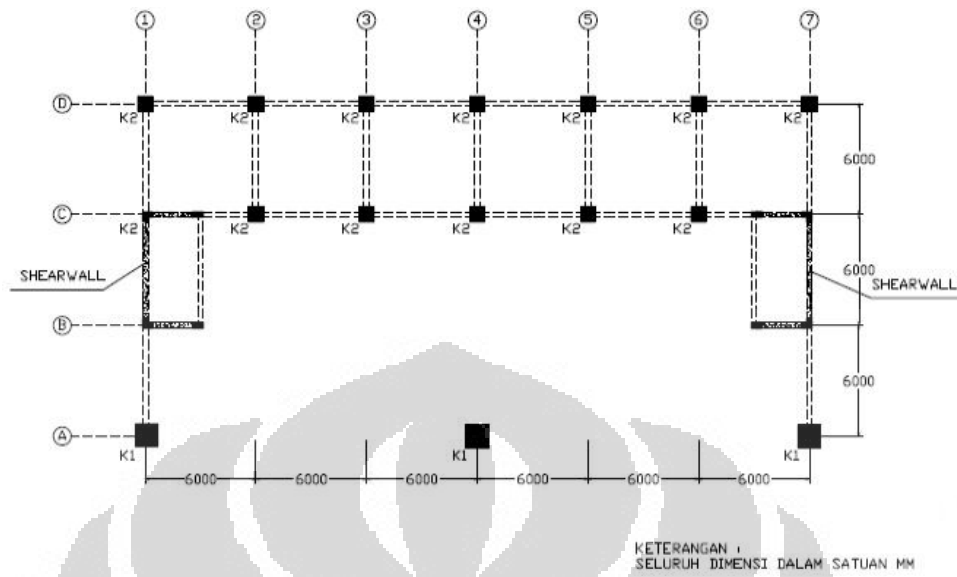
Gambar 0.3 Tampak Tiga Dimensi Bangunan

Sumber : Data Olahan Penulis



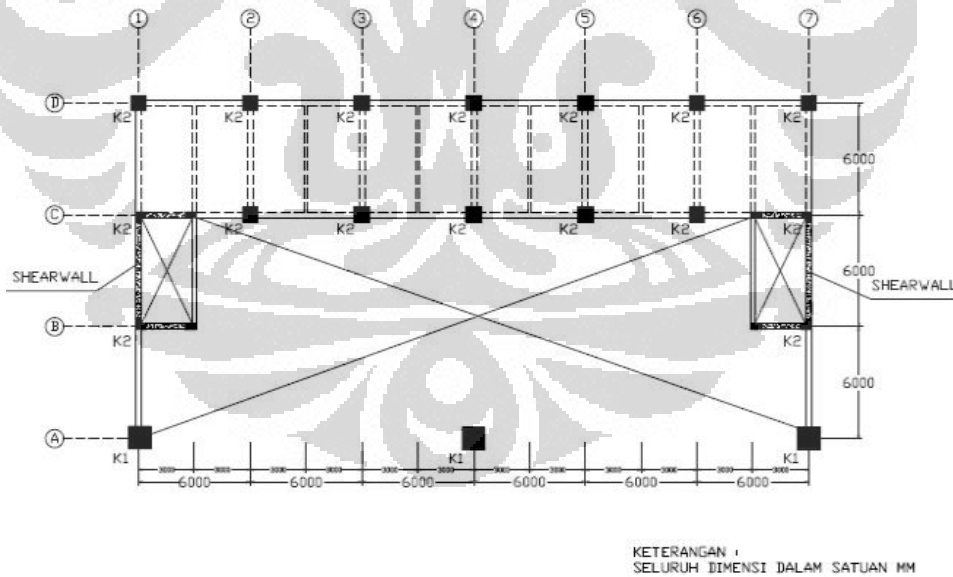
Gambar 0.2 Potongan Melintang Bangunan

Sumber : Data Olahan Penulis



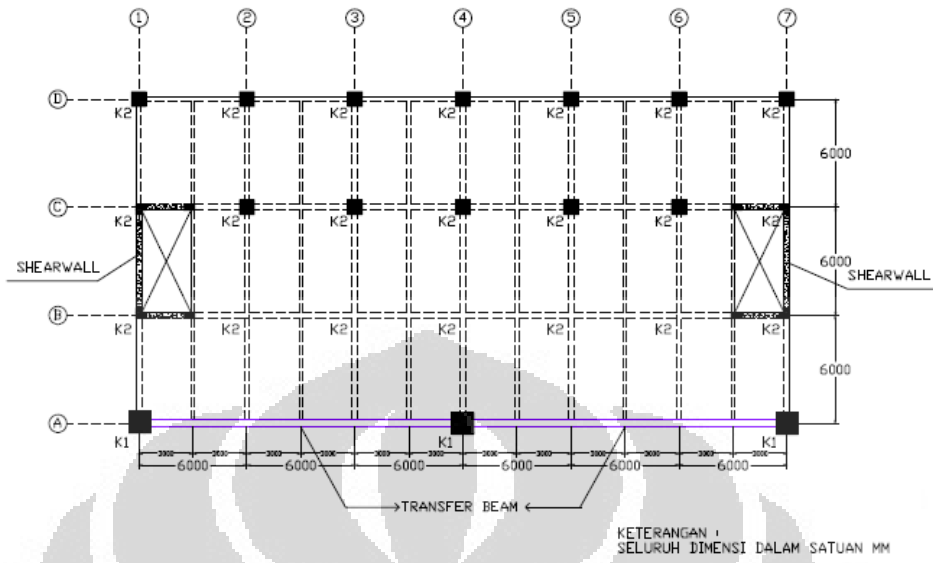
Gambar 0.4 Denah Struktur Lantai Dasar

Sumber : Data Olahan Penulis



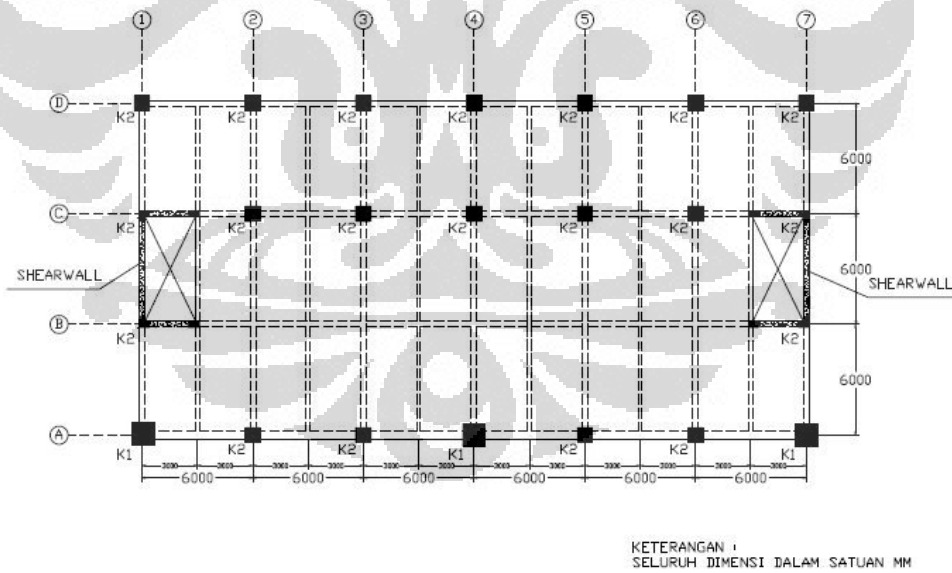
Gambar 0.5 Denah Struktur Bangunan Lantai 1 – Lantai 2

Sumber : Data Olahan Penulis



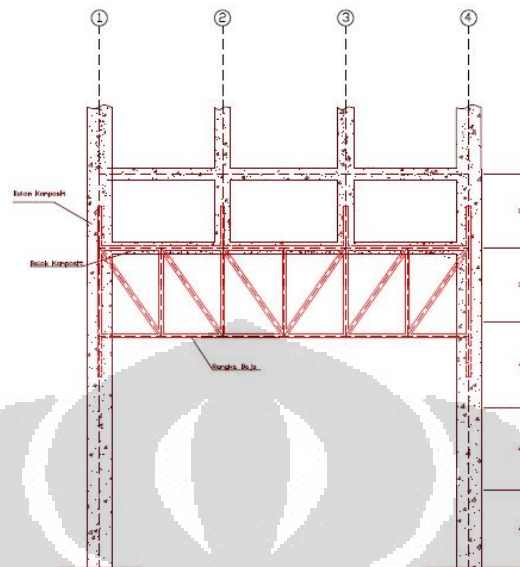
Gambar 0.6 Denah Struktur Bangunan Lantai 3 dan Lantai 4

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.7 Denah Struktur Bangunan Lantai 5 – Lantai 8

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.8 Permodelan *Transfer Truss*

Sumber : Data Olahan Penulis

### 3.3 Permodelan Pembebanan dan Permodelan Struktur

Sesuai dengan tujuan penulisan skripsi ini, Penulis hendak melakukan studi respon seismik bangunan tinggi akibat penggunaan *transfer beam* dari rangka baja. Oleh karena itu, pemodelan struktur yang rinci sangat dibutuhkan dalam pelaksanaan penelitian ini, terutama pada bagian *transfer beam* yang merupakan bagian paling krusial pada bangunan tersebut.

#### 1.3.1 Pembebanan

Pembebanan yang digunakan berdasarkan pada Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung, SKBI-1.3.53.1987. Adapun pembebanan gempa akan dijelaskan pada bagian selanjutnya. Tipe beban yang digunakan selain pembebanan gempa antara lain sebagai berikut:

##### 1. Beban mati

Beban mati pada bangunan akan diperhitungkan secara otomatis pada program setelah dilakukan pengisian tiap dimensi dan properti dari struktur pada

program yang digunakan. Adapun beban mati tambahan berupa beban partisi dan penutup lantai, mortar lantai, beban dinding bata dan beban pemasangan elektrikal dan mekanikal. Besarnya beban mati yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Berat Sendiri Struktur

- Beton : Berat Jenis ( $\gamma$ ) = 24 KN/m<sup>3</sup>
- Baja : Berat Jenis ( $\gamma$ ) = 78,5 KN/m<sup>3</sup>

b. Beban mati tambahan

- Mortar dan penutup lantai : 1,1 KN/m<sup>2</sup>
- MEP : 0,3 KN/m<sup>2</sup>
- Dinding Bata : 1,5 KN/m<sup>2</sup>
- Partisi Dalam : 1,0 KN/m<sup>2</sup>

2. Beban hidup

Beban hidup adalah beban yang terjadi akibat penggunaan bangunan di mana beban hidup merupakan beban yang bukan merupakan bagian tetap dalam struktur yang dapat diganti atau terganti selama masa hidup struktur bangunan tersebut. Sesuai dengan penggunaan bangunan, digunakan beban hidup pada lantai perkantoran sebesar 2,5 KN/m<sup>2</sup>, beban hidup pada atap sebesar 1 KN/m<sup>2</sup>, dan beban hidup pada tangga sebesar 3,0 KN/m<sup>2</sup>.

3. Beban Gempa

- *Pembebanan gempa*

Pembebanan gempa mengacu pada peraturan pembebanan gempa SNI 03-1726-2002. Analisis beban gempa yang dilakukan adalah analisis beban gempa dinamik dengan menggunakan analisis ragam spektrum respon. Respon dinamik struktur tersebut didapatkan dari superposisi respon dinamik tiap ragam getar yang didapatkan melalui spektrum respon gempa rencana.

Adapun beban dinamik yang terjadi harus lebih besar atau sama dengan 80% beban statik. Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal  $V$ , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan menurut persamaan berikut :

$$V > 0,8 V_1$$

Beban geser dasar nominal statik ekuivalen  $V_1$  yang terjadi di tingkat dasar dapat dihitung menurut persamaan

$$V_1 = \frac{C_1 I}{R} W_t$$

dengan  $C_1$  adalah nilai Faktor Respons Gempa,  $I$  adalah Faktor Keutamaan,  $R$  adalah faktor reduksi gempa representatif dari struktur gedung yang bersangkutan, sedangkan  $W_t$  adalah berat total gedung yang juga mencakup beban hidup.

$$W_t = W_{DL} + \alpha W_{LL}$$

Keterangan :  $W_{DL}$  : beban mati

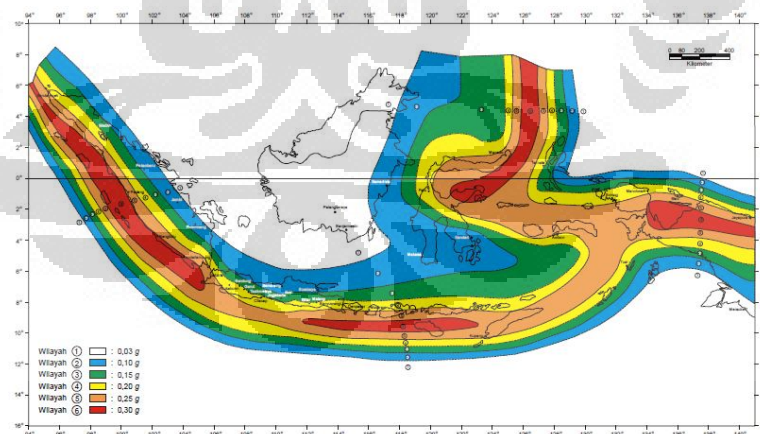
$W_{LL}$  : beban hidup

$\alpha$  : faktor reduksi beban hidup (untuk perkantoran  $\alpha=0,3$ )

a. Faktor Respon Gempa ( $C_1$ )

Adapun kondisi yang diketahui :

- Berdasarkan daya dukung tanah : tergolong tanah lunak
- Wilayah Gempa



Gambar 0.9 Wilayah Gempa Indonesia dengan periode ulang 500 tahun

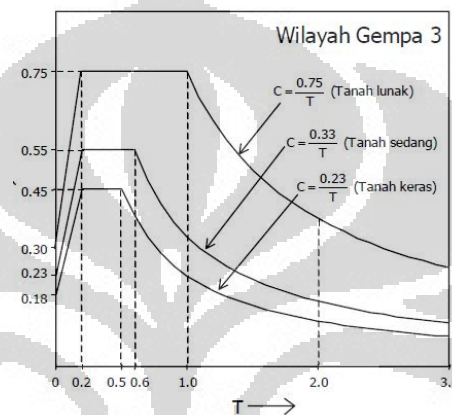
Sumber : SNI 03-1726-2002

Dari gambar di atas, dapat diketahui bahwa wilayah Jakarta dan sekitarnya merupakan Wilayah Gempa 3.

- T adalah waktu getar alami fundamental dalam hal ini akan digunakan rumus empirik untuk perhitungan waktu getar alami

$$T = 0,061 H^{0,75}$$

(H adalah tinggi bangunan dalam m) pada rangka beton



Gambar 0.10 Respon Spektrum Gempa Rencana Wilayah Gempa 3

Sumber : SNI 03-1726-2002

Dalam penulisan skripsi ini, salah satu variasi yang digunakan adalah variasi tingkat. Adanya variasi jumlah lantai tersebut menyebabkan variasi terhadap nilai T pula.

#### b. Faktor Keutamaan (I)

Untuk berbagai kategori gedung, faktor keutamaan gedung bergantung pada probabilitas terjadinya keruntuhan struktur gedung selama umur gedung dan umur gedung tersebut yang diharapkan.

Pengaruh Gempa Rencana terhadap probabilitas tersebut harus dikalikan dengan suatu Faktor Keutamaan I, yakni menurut persamaan  $I = I_1 I_2$ , di mana  $I_1$  adalah Faktor Keutamaan untuk menyesuaikan perioda ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa itu



selama umur gedung, sedangkan  $I_2$  adalah Faktor Keutamaan untuk menyesuaikan perioda ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian umur gedung tersebut. Faktor-faktor Keutamaan  $I_1$ ,  $I_2$  dan  $I$  ditetapkan menurut tabel berikut:

Tabel 0.1 Faktor Keutamaan I

Kategori Gedung	Faktor keutamaan		
	$I_1$	$I_2$	$I$
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran	1,0	1,0	<b>1,0</b>
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5

Berdasarkan tabel di atas, untuk gedung perkantoran diperoleh nilai  $I = 1,0$

### c. Faktor Reduksi Gempa (R)

Apabila  $V_n$  merupakan beban nominal akibat beban gempa rencana, maka berlaku hubungan

$$V_n = \frac{V_y}{f} = \frac{V_e}{R}$$

di mana  $f$  adalah faktor kuat lebih beban dan bahan yang terkandung di dalam struktur gedung dan  $R$  merupakan sebuah faktor reduksi.

Faktor reduksi gempa  $R$  adalah rasio antara gempa maksimum akibat pengaruh beban gempa rencana pada gedung struktur elastis penuh dan beban gempa nominal akibat beban gempa rencana pada struktur gedung daktail, bergantung pada faktor daktilitas struktur gedung tersebut.

Tabel 0.2 Faktor daktilitas maksimum, faktor reduksi gempa maksimum, faktor tahanan lebih struktur

Sistem struktur	Uraian Sistem Pemikul Beban	$\mu_m$	R	f
Sistem ganda Terdiri dari: 1. rangka ruang yang memikul semua beban gravitasi 2. pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen	1. Dinding Geser			
	a. Beton bertulang SRPMK beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	b. Beton bertulang dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
	c. Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang	4,0	6,5	2,8
	2. RBE Baja			
	a. Dengan SRPMK baja	5,2	8,5	2,8
	b. Dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
	3. Rangka bresing biasa			
	a. Baja dengan SRPMK baja	4,0	6,5	2,8
	b. Baja dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
	c. Beton bertulang dengan SRPMK beton bertulang (tidak untuk wilayah 5&6)	4,0	6,5	2,8
	d. Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang (tidak untuk wilayah 5&6)	2,6	4,2	2,8
	4. Rangka bresing konsentrik khusus			
	a. Baja dengan SRPMK baja	4,6	7,5	2,8
	b. Baja dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8

Adapun faktor reduksi gempa yang digunakan merupakan sistem ganda berupa beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang. Sehingga besarnya reduksi gempa adalah sebesar 6,5. Akan tetapi, untuk melihat perilaku akibat pembebanan gempa yang sama dalam setiap model pada

variasi jumlah lantai dan variasi sambungan, digunakan R sebesar 5,5 baik dalam arah x maupun arah y.

- *Pola Getar (Shape Mode)*

Perhitungan respons dinamik struktur gedung tidak beraturan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana, dapat dilakukan dengan metoda analisis ragam spektrum respons. Menurut SNI 03-1726-2002 Pasal 7.2.1, jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan respon ragam menurut metoda ini harus sedemikian rupa, sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respons total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%.

Penjumlahan pola getar untuk struktur gedung tidak beraturan yang memiliki waktu-waktu getar alami yang berdekatan, harus dilakukan dengan metoda kombinasi Kuadratik Lengkap (Complete Quadratic Combination atau CQC).

- *Pengaruh gempa vertikal*

Menurut SNI 03-1726-2002, suatu balok transfer pada bangunan tinggi yang memikul dua atau lebih tingkat di atasnya, harus diperhitungkan terhadap komponen vertikal gerakan tanah akibat gempa. Beban gempa vertikal tersebut merupakan beban gempa nominal statik ekuivalen yang harus ditinjau bekerja ke atas atau ke bawah dan yang diperhitungkan sebagai perkalian respons gempa vertikal ( $C_v$ ) dan beban gravitasi (termasuk beban hidup yang sesuai).

Faktor respons gempa  $C_v$  memiliki persamaan sebagai berikut

$$C_v = \Psi A_0 I$$

di mana  $A_0$  adalah percepatan puncak muka tanah,  $I$  adalah faktor keutamaan gedung, dan  $\Psi$  adalah koefisien berdasarkan wilayah gempa

Tabel 0.3 Tabel Koefisien  $\Psi$  untuk menghitung respons gempa  $C_v$ 

Wilayah Gempa	$\Psi$
Wilayah Gempa 1	0,5
Wilayah Gempa 2	0,5
Wilayah Gempa 3	0,5
Wilayah Gempa 4	0,6
Wilayah Gempa 5	0,7
Wilayah Gempa 6	0,8

Arah gempa pada bangunan merupakan arah yang bebas dan acak. Arah gerakan gempa ini dapat dinyatakan sebagai dua gerakan yaitu gerakan translasi (arah x dan y) serta suatu gerakan rotasi. Adapun gerakan translasi yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan komponen rotasi, sehingga komponen rotasi dapat diabaikan. Kombinasi beban gempa arah x dan arah y dikombinasikan dengan aturan 100/30, yakni:

- Beban gravitasi  $\pm 100\% E_x \pm 30\% E_y$
- Beban gravitasi  $\pm 30\% E_x \pm 100\% E_y$

Kombinasi pembebanan yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 0.4 Kombinasi Pembebanan

No	Kombinasi Beban
1	1,4 D
2	1,2 D + 1,6 L
3	1,2 D + 1,0 L + 1,0 $E_x$ + 0,3 $E_y$
4	1,2 D + 1,0 L + 1,0 $E_x$ - 0,3 $E_y$
5	1,2 D + 1,0 L - 1,0 $E_x$ - 0,3 $E_y$
6	1,2 D + 1,0 L - 1,0 $E_x$ + 0,3 $E_y$
7	1,2 D + 1,0 L + 0,3 $E_x$ + 1,0 $E_y$
8	1,2 D + 1,0 L + 0,3 $E_x$ - 1,0 $E_y$
9	1,2 D + 1,0 L - 0,3 $E_x$ - 1,0 $E_y$
10	1,2 D + 1,0 L - 0,3 $E_x$ + 1,0 $E_y$
11	0,9 D + 1,0 $E_x$ + 0,3 $E_y$
12	0,9 D + 1,0 $E_x$ - 0,3 $E_y$

13	$0,9 D - 1,0 E_x - 0,3 E_y$
14	$0,9 D - 1,0 E_x + 0,3 E_y$
15	$0,9 D + 0,3 E_x + 1,0 E_y$
16	$0,9 D + 0,3 E_x - 1,0 E_y$
17	$0,9 D - 0,3 E_x - 1,0 E_y$
18	$0,9 D - 0,3 E_x + 1,0 E_y$

### 1.3.2 Modelisasi Struktur

Ketika suatu struktur bangunan dikenai beban bolak-balik berupa beban gempa, penampang struktur tersebut akan mengalami retak. Keretakan tersebut menimbulkan penurunan kekuatan pada struktur. Oleh karena itu, diperlukan adanya suatu faktor reduksi (*reduction factor*) dalam mengatasi penurunan kekuatan struktur tersebut. Adapun faktor reduksi tersebut adalah faktor reduksi momen inersia akibat beban gempa yang dinyatakan dalam tabel berikut:

Tabel 0.5 Faktor Reduksi Momen Inersia

Elemen Struktur	<i>Reduction Factor</i>
Balok Induk	$I_{22} = 0,35$
	$I_{33} = 0,35$
Balok Anak	$I_{22} = 0,35$
	$I_{33} = 0,35$
Kolom	$I_{22} = 0,70$
	$I_{33} = 0,70$
Pelat Lantai	$I = 0,35$

Hal-hal khusus dalam modelisasi struktur ini adalah sebagai berikut:

1. Seperti pada pembahasan dalam bab sebelumnya, pemodelan struktur untuk struktur transfer harus menggunakan faktor kuat lebih  $f_2$ . Berdasarkan SNI 03-1726-2002, faktor kuat lebih yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 0.6 Faktor Kuat Lebih Struktur  $f_2$ **Tabel 9 Faktor kuat lebih struktur  $f_2$  dan faktor kuat lebih total  $f$  yang terkandung di dalam struktur gedung**

Taraf kinerja struktur	$\mu$	R pers.(6)	$f_2$ pers.(37)	$f$ pers.(39)
Elastik penuh	1,0	1,6	1,00	1,6
Daktail parsial	1,5	2,4	1,09	1,7
	2,0	3,2	1,17	1,9
	2,5	4,0	1,26	2,0
	3,0	4,8	1,35	2,2
	3,5	5,6	1,44	2,3
	4,0	6,4	1,51	2,4
	4,5	7,2	1,61	2,6
Daktail penuh	5,3	8,5	1,75	2,8

- Agar mendapatkan efek gaya aksial khususnya pada bagian balok pada rangka transfer, pelat lantai dimodelkan sebagai elemen *shell* dengan *semi-rigid diaphragm*.

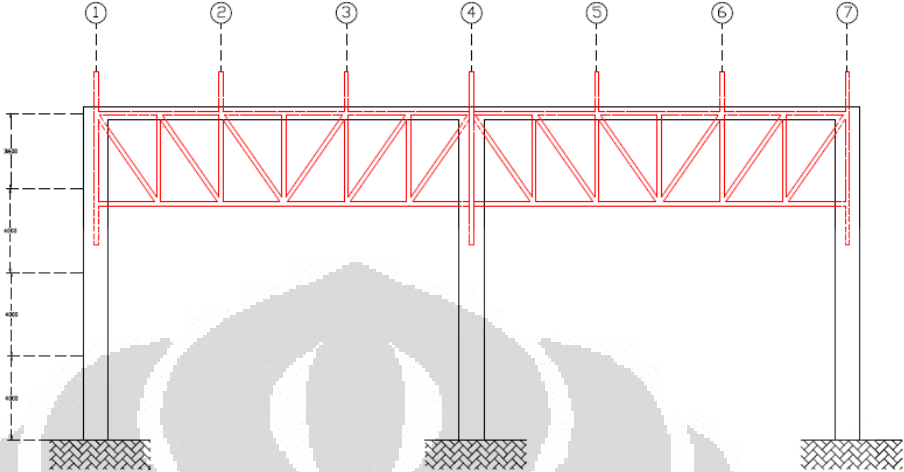
### 3.4 Variasi sebagai Parameter Analisis

#### 1.4.1 Variasi Jumlah Lantai

Untuk mengetahui respon seismik yang terjadi akibat penggunaan rangka baja sebagai *transfer beam* secara lebih mendalam, dilakukan variasi terhadap jumlah lantai di atas *transfer beam* di mana diperlihatkan kinerja *transfer beam* dalam mentransfer beban yang berada di atasnya. Selain itu, tujuan dari penggunaan variasi jumlah lantai ini adalah untuk mengetahui bagaimana respon seismik yang terjadi untuk setiap penambahan lantai. Adapun variasi tingkat yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Variasi I : variasi dengan 2 lantai yang dipikul
- Variasi II : variasi dengan 4 lantai yang dipikul
- Variasi III : variasi dengan 6 lantai yang dipikul

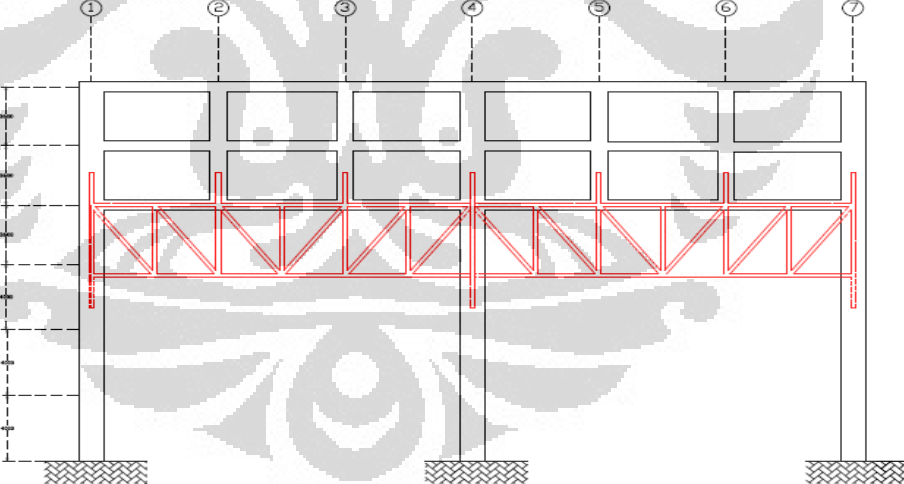
- Variasi Tingkat I



Gambar 0.11 Variasi Jumlah Lantai I

Sumber : Data Olahan Penulis

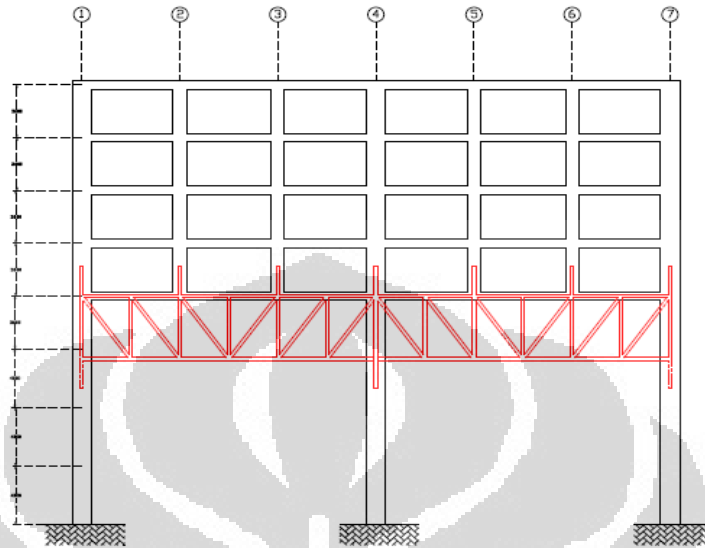
- Variasi Tingkat II



Gambar 0.12 Variasi Jumlah Lantai II

Sumber : Data Olahan Penulis

- Variasi Tingkat III



Gambar Variasi Tingkat III

Gambar 0.13 Variasi Jumlah Lantai III

Sumber : Data Olahan Penulis

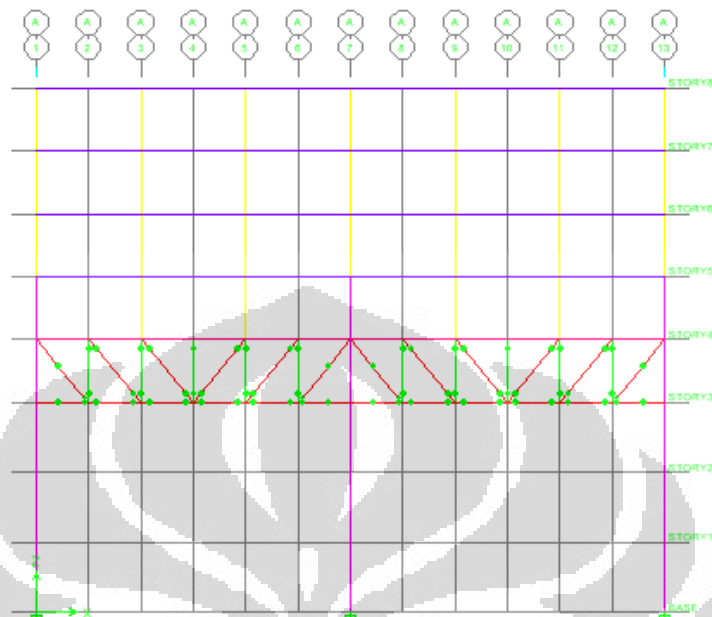
#### 1.4.2 Variasi Sistem Sambungan Rangka Baja pada *Transfer Beam*

Salah satu variasi yang digunakan adalah variasi sistem rangka baja pada *transfer beam*. Rangka baja dapat dimodelkan sebagai rangka batang biasa dan sebagai portal/rangka rigid. Penulis ingin menganalisis perbandingan antara dimensi profil rangka baja sebagai rangka batang biasa dengan dimensi profil rangka baja sebagai portal/rangka rigid. Selain itu, Penulis ingin menganalisis efek perilaku dari kedua sistem sambungan tersebut.

Berikut ini merupakan pemodelan kedua sistem sambungan dengan bantuan program ETABS.



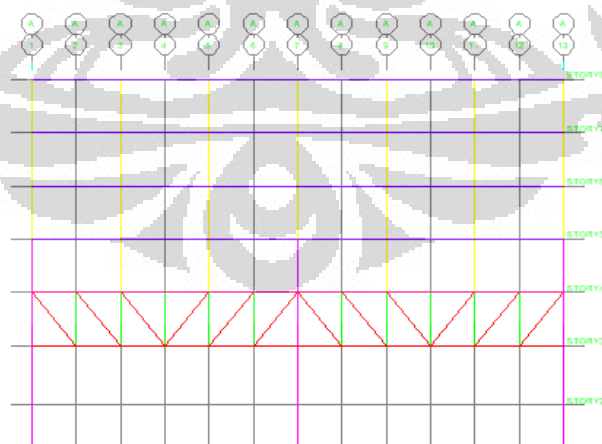
- Rangka Baja dengan Sambungan Sendi



Gambar 0.14 Rangka Baja dengan Sambungan Sendi

Sumber : Data Olahan Penulis

- Rangka Baja dengan Sambungan Rigid



Gambar 0.15 Rangka Baja dengan Sambungan Rigid

Sumber : Data Olahan Penulis

Tabel 0.7 Parameter Analisis untuk setiap Variasi

Parameter	Variasi Tingkat			Variasi Sistem Sambungan	
	8 Lantai	6 Lantai	4 Lantai	Rigid	Sendi
Karakteristik Dinamik:					
1. Periode Getar	√	√	√	√	√
2. Partisipasi Massa	√	√	√	√	√
Respon Seismik					
1. Gaya Geser Tingkat Struktur	√	√	√	√	√
2. Persentase Gaya Geser Tingkat Shear Wall	√	√	√	√	√
3. Persentase Gaya Geser Tingkat Frame	√	√	√	√	√
4. Gaya Geser Tingkat Sistem Transfer	√	√	√	√	√
5. Story Drift	√	√	√	√	√
Sistem Transfer					
1. Kinerja Sistem Transfer	√	√	√	√	√
2. Displacement pada Sistem Transfer	√	√	√	√	√
3. Gaya Dalam Aksial dan Geser pada Rangka Transfer	√	√	√	√	√
4. Gaya Dalam Aksial dan Geser pada Kolom Pendukung	√	√	√	√	√
5. Perbandingan kebutuhan rangka baja	√	√	√	-	-
Ratio Kebutuhan Tulangan					
1. Ratio Kebutuhan Tulangan Balok	√	√	√	√	√
2. Ratio Kebutuhan Tulangan Kolom	√	√	√	√	√
3. Ratio Kebutuhan Tulangan Shear Wall	√	√	√	√	√

### 3.5 Hasil Preliminary Design

Tabel 0.8 Hasil *Preliminary Design*

Variasi		Dimensi Struktur		
Tingkat	Model 3A (M3A)	Kolom	1200x1200	
			800x800	
		Balok	400x600	
			400x900	
		Balok B3	800x800	
		Tebal Pelat	120	
		Rangka Baja		
		Miring	HSS 500x500x16	
		Tegak	HSS 500x500x20	
		Datar	HSS 500x500x16	
		Model 2 (M2)	Kolom	1000x1000
				700x700
	Balok		400x600	
			400x900	
	Balok B3		700x700	
	Tebal Pelat		120	
	Rangka Baja			
	Miring		HSS 400x400x12	
	Tegak		HSS 400x400x16	
	Datar		HSS 400x400x12	
	Model 1 (M1)		Kolom	800x800
				600x600
		Balok	400x600	
			400x900	
Balok B3		500x500		
Tebal Pelat		120		
Rangka Baja				
Miring		HSS 250x250x 8		
Tegak		HSS 250x250x12		
Datar		HSS 250x250x 8		

Keterangan: Balok B3 merupakan balok yang merupakan batang datar atas pada rangka transfer.

Adapun untuk variasi sambungan, kedua model (Model 3A dan Model 3B) dianalisis dengan menggunakan profil yang sama.

## BAB 4

### HASIL DAN ANALISIS

Setelah semua data dimasukkan dan Program E-TABS dijalankan, maka dilakukan analisis terhadap hasil yang didapatkan, Hasil yang akan ditinjau dalam analisis ini adalah sebagai berikut,

- Karakteristik dinamik struktur, yaitu periode getar alami dan partisipasi massa
- Respon seismik bangunan yakni berupa gaya geser tingkat pada struktur, shear wall, frame, dan struktur transfer. Selain itu dilakukan analisis terhadap *story drift* struktur akibat gempa.
- Parameter sistem transfer yakni berupa displacement dan gaya-gaya dalam pada *transfer truss* dan kolom pendukung
- Ratio kebutuhan tulangan longitudinal dan transversal pada balok induk, kolom, dan *shear wall*

Adapun setiap model bangunan sudah memenuhi kondisi batas ultimate dan batas layan.

Dalam analisis variasi jumlah lantai terdapat 3 buah variasi jumlah lantai yakni bangunan dengan 4 lantai (disebut sebagai Model 1 – M1), bangunan dengan 6 lantai (disebut sebagai Model 2-M2), dan bangunan dengan 8 lantai (disebut sebagai Model 3A –M3A). Selanjutnya, dalam variasi sistem sambungan, model bangunan 8 lantai (Model 3A – M3A) akan dibandingkan dengan model bangunan 8 lantai dengan sambungan rangka berupa sendi (disebut sebagai Model 3B – M3B).

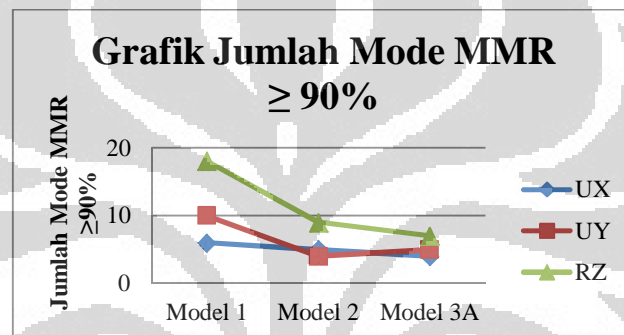
Adapun setiap model sudah memenuhi standar dan persyaratan yang terdapat pada peraturan gempa SNI 03-1726-2002 seperti yang tertera dalam data terlampir.

## 1.1 Analisis Variasi Jumlah Lantai

### 1.1.1 Analisis Karakteristik Dinamik

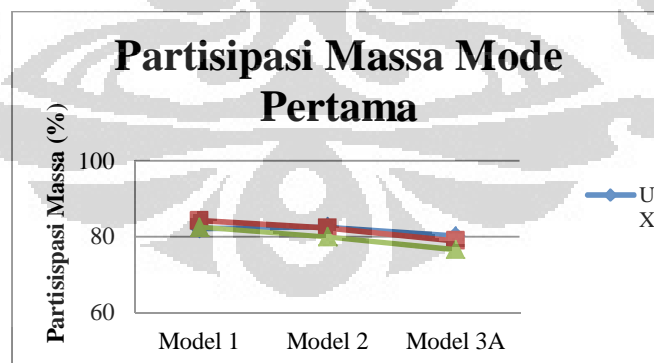
Tabel 0.1 Periode Getar Mode Pertama

MODEL	Periode Getar Mode Pertama		
	UX	UY	RZ
Model 1	0.452	0.300	0.189
Model 2	0.712	0.481	0.324
Model 3A	0.976	0.695	0.479



Gambar 0.1 Jumlah Mode dengan MMR  $\geq 90\%$

Sumber: Data Olahan Penulis



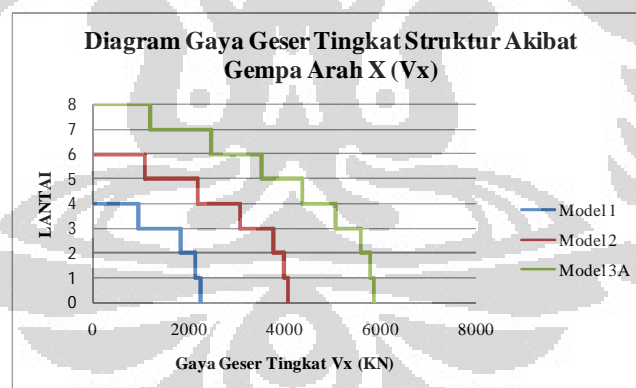
Gambar 0.2 Partisipasi Massa Mode Pertama

Sumber: Data Olahan Penulis

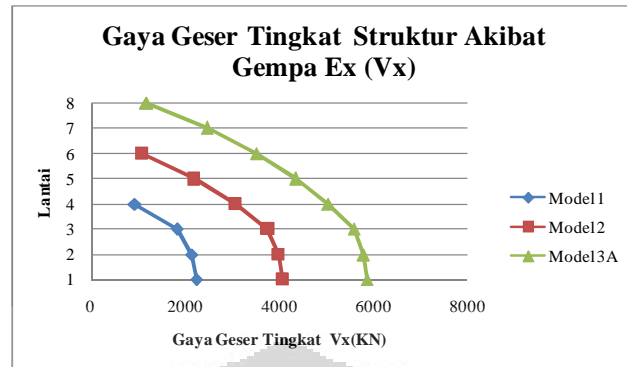
Dari Tabel 4.1, terlihat kenaikan periode getar pada Model 3A. Hal ini menunjukkan, semakin tinggi jumlah tingkat suatu bangunan maka semakin fleksibel juga bangunan tersebut. Selain itu, peningkatan periode getar juga dipengaruhi oleh peningkatan massa bangunan. Berdasarkan Gambar 4.1, terjadi kenaikan jumlah mode dari Model 1 dibandingkan dengan Model 2 dan Model 3A. Hal ini menunjukkan semakin kaku suatu bangunan maka jumlah mode yang dibutuhkan untuk mencapai 90% partisipasi massa juga akan semakin banyak. Semakin kaku suatu bangunan maka semakin kecil pula massa yang dapat digetarkan oleh bangunan tersebut. Dari Gambar 4.2, untuk UX dan RZ, terjadi kenaikan partisipasi massa dari Model 3A terhadap Model 2 dan Model 1. Hal ini menunjukkan semakin kaku suatu bangunan, maka partisipasi massa untuk mode pertamanya juga akan semakin besar.

### 1.1.2 Analisis Respon Seismik

#### 1.1.2.1 Analisis Perbandingan Gaya Geser Tingkat Akibat Gempa Arah X ( $V_x$ )

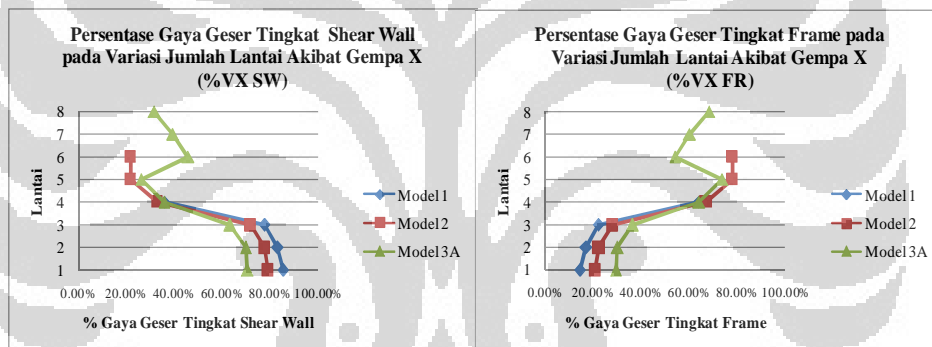


Gambar 0.3 Diagram Gaya Geser Tingkat Struktur Akibat Gempa Arah X dalam Variasi Jumlah Lantai  
Sumber: Data Olahan Penulis



Gambar 0.4 Gaya Geser Tingkat Struktur Akibat Gempa Ex dalam Variasi Jumlah Lantai

Sumber: Data Olahan Penulis



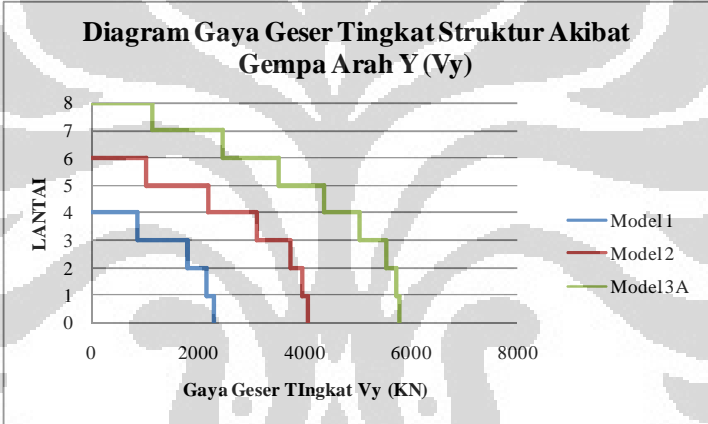
Gambar 0.5 Persentase Gaya Geser Tingkat Vx pada *Shear Wall* dan *Frame* dalam Variasi Jumlah Lantai

Sumber: Data Olahan Penulis

Gaya geser akibat beban lateral pada bangunan berbanding lurus dengan massa dan koefisien respon seismik. Selain itu, gaya geser juga berkaitan dengan periode getar dan faktor reduksi gaya gempa yang dimiliki bangunan. Berdasarkan Gambar 4.3 dan Gambar 4.4, diketahui bahwa terjadi peningkatan gaya geser tingkat seiring dengan peningkatan jumlah lantai. Adapun peningkatan jumlah lantai menyebabkan bertambahnya massa bangunan. Pertambahan massa bangunan memperbesar gaya gempa yang terjadi pada bangunan itu.

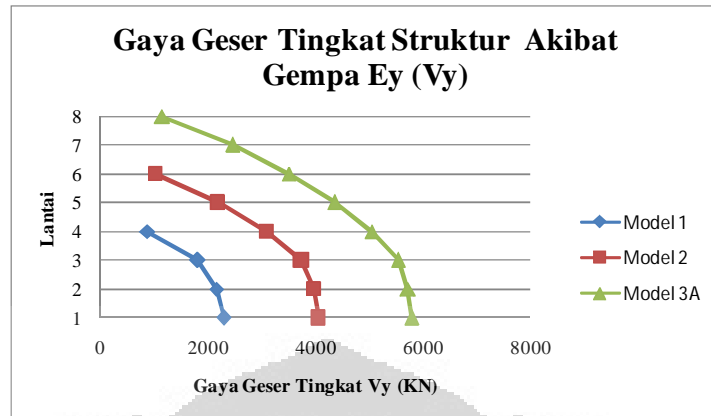
Dari Gambar 4.5 diketahui bahwa pada lantai 1 hingga lantai 3, gaya geser lebih dominan ditahan oleh *shear wall* karena *shear wall* lebih kaku pada lantai tersebut . Adapun gaya geser akan dominan ditahan oleh elemen struktur yang lebih kaku. Struktur *frame* pada lantai 1 hingga lantai 3 lebih fleksibel karena terdapat bagian struktur yang kosong di mana terdapat *heritage buiding*. Namun, pada lantai berikutnya, gaya geser dominan ditahan oleh *frame* karena kekakuan *frame* lebih besar dibandingkan kekakuan *shearwall* pada lantai-lantai itu.

1.1.2.2 Analisis Perbandingan Gaya Geser Tingkat Akibat Gempa Arah Y



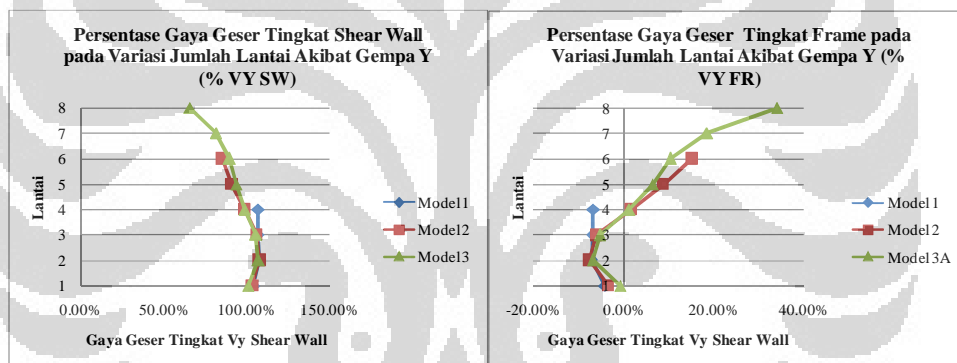
Gambar 0.6 Gaya Geser Tingkat Struktur Akibat Gempa Arah Y dalam Variasi Jumlah Lantai  
Sumber: Data Olahan Penulis





Gambar 0.7 Gaya Geser Tingkat Struktur  $V_y$  dalam Variasi Jumlah Lantai

Sumber: Data Olahan Penulis

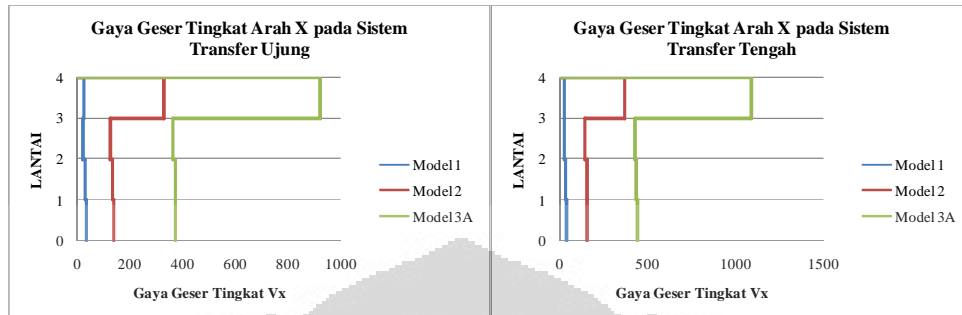


Gambar 0.8 Persentase Gaya Geser  $V_y$  pada *Shear Wall* dan *Frame* dalam Variasi Jumlah Lantai

Sumber: Data Olahan Penulis

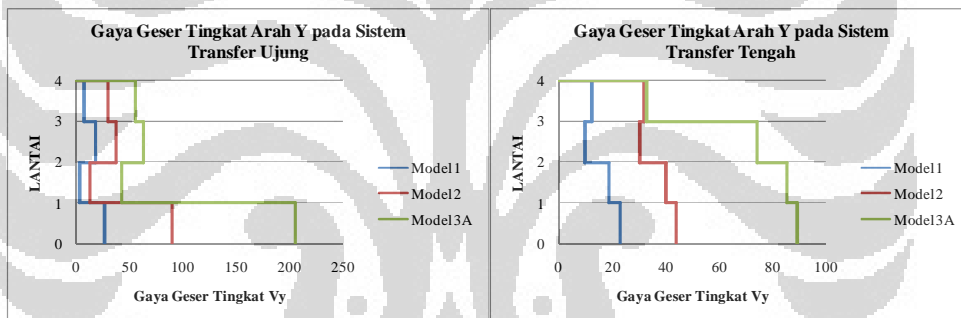
Berdasarkan Gambar 4.6 dan Gambar 4.7, juga diketahui bahwa terjadi peningkatan gaya geser tingkat seiring dengan peningkatan jumlah lantai. Dari Gambar 4.8, terlihat bahwa gaya geser dominan ditahan oleh *shear wall* untuk setiap lantainya. Hal ini menunjukkan bahwa, pada arah Y, *shear wall* lebih kaku dibandingkan struktur *frame*. Pada Model 1, gaya geser sepenuhnya ditahan oleh *shear wall*. Hal ini menunjukkan bahwa pada model tersebut *shear wall* sangat kaku sehingga seluruh gaya geser masuk ke dalam *shear wall*.

1.1.2.3 Analisis Perbandingan Gaya Geser Tingkat pada Struktur Transfer



Gambar 0.9 Gaya Geser Tingkat Arah X pada Sistem Transfer

Sumber: Data Olahan Penulis



Gambar 0.10 Gaya Geser Tingkat Arah Y pada Sistem Transfer

Sumber: Data Olahan Penulis

Tabel 0.2 Gaya Lateral Arah X pada Sistem Transfer dalam Variasi Jumlah Lantai

GAYA LATERAL SISTEM TRANSFER VX									
Lantai	Sistem Transfer Ujung Kiri			Sistem Transfer Tengah			Sistem Transfer Ujung Kanan		
	Model 1	Model 2	Model 3A	Model 1	Model 2	Model 3A	Model 1	Model 2	Model 3A
4	27.52	57.99	300.2	23.27	-50.17	87.23	27.38	57.78	299.74
3	-5.7	-200.09	-553.29	1.41	-225.12	-663	-5.58	-201.43	-555.9
2	9.3	7.97	6.22	7.8	9.44	10.34	9.3	7.96	6.22
1	4.2	2.94	1.92	2.94	3.21	3.52	4.21	2.95	1.92

Tabel 0.3 Gaya Lateral Arah Y pada Sistem Transfer dalam Variasi Jumlah Lantai

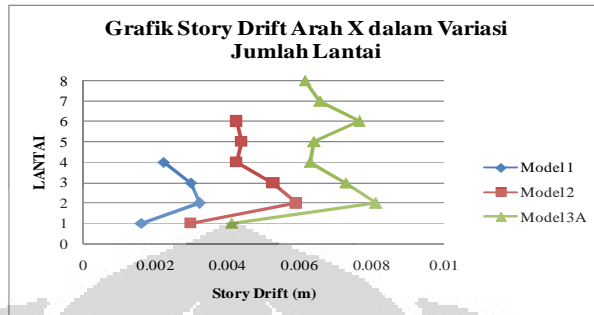
GAYA LATERAL SISTEM TRANSFER VY									
Lantai	Sistem Transfer Ujung Kiri			Sistem Transfer Tengah			Sistem Transfer Ujung Kanan		
	Model 1	Model 2	Model 3A	Model 1	Model 2	Model 3A	Model 1	Model 2	Model 3A
4	6.9	1.37	-13.1	12.34	-4.32	-46.85	6.96	1.84	-12.37
3	11.42	8.28	8.45	-2.58	-1.4	41.25	11.36	7.83	7.77
2	-15.74	-25.03	-20.95	9.08	9.78	10.94	-15.73	-24.89	-20.75
1	24.24	77.34	162.5	3.96	3.64	3.93	24.26	77.35	162.55

Berdasarkan Gambar 4.9, diketahui bahwa terjadi penurunan gaya geser tingkat arah X pada lantai tepat di bawah rangka transfer dan untuk lantai selanjutnya terjadi kenaikan gaya geser tingkat dalam *range* yang kecil. Sementara itu, untuk gaya geser tingkat arah Y, pada bagian ujung terjadi peningkatan gaya geser tingkat di lantai tepat di bawah rangka transfer. Selanjutnya terjadi penurunan gaya geser tingkat di lantai 2 dan terjadi kenaikan gaya geser tingkat yang cukup signifikan pada lantai bawah.

Berdasarkan Gambar 4.10 untuk sistem transfer di bagian tengah, pada Model 1 dan Model 2 terjadi penurunan gaya geser tingkat di lantai 3. Pada Model 3, gaya geser semakin ke bawah semakin meningkat di mana terjadi kenaikan gaya geser yang cukup besar pada lantai 3.

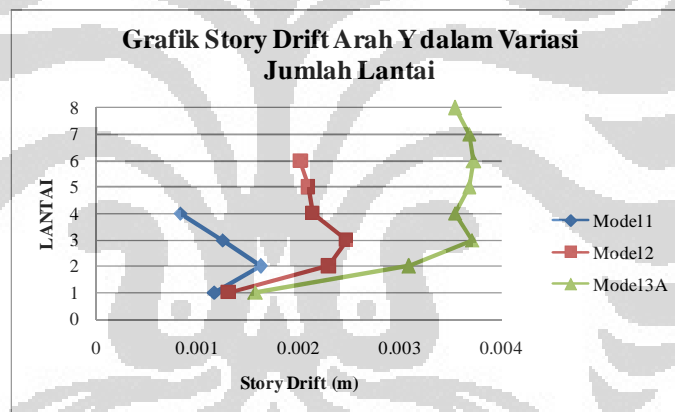
Dari Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 diketahui bahwa gaya geser meningkat seiring dengan penambahan jumlah lantai. Dari tabel juga diketahui bahwa penurunan gaya geser tingkat terjadi akibat gaya lateral yang bekerja pada lantai yang mengalami penurunan tersebut berbeda arah dengan lantai sebelumnya.

#### 1.1.2.4 Analisis Perbandingan *Story Drift* akibat Beban Gempa



Gambar 0.11 *Story Drift* dalam Arah X

Sumber: Data Olahan Penulis



Gambar 0.12 *Story Drift* Arah Y dalam Variasi Jumlah Lantai

Sumber: Data Olahan Penulis

*Drift* pada suatu struktur bangunan dipengaruhi oleh kekakuan bangunan dan besarnya gaya geser yang terjadi. Berdasarkan Gambar 4.11 dan Gambar 4.12, *drift* maksimum terdapat di lantai 2 untuk setiap model *drift* arah X. Sementara itu, pada *drift* arah Y, *drift* maksimum untuk Model 1 terdapat pada lantai 2 dan untuk Model 2 serta Model 3 terdapat pada lantai 3. *Drift* maksimum terjadi pada lantai-lantai tersebut karena terdapat perbedaan ketinggian di mana lantai 1 hingga lantai 3 lebih tinggi dibandingkan lantai di atasnya. Di mana semakin tinggi lantai maka semakin kecil pula kekakuan pada lantai itu.

### 1.1.3 Analisis Sistem Transfer

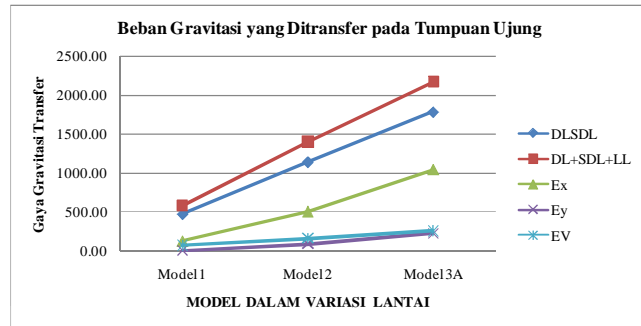
#### 1.1.3.1 Kinerja Sistem Transfer

Tabel 0.4 Beban Gravitasi yang Ditransfer oleh Rangka Transfer dalam Variasi Jumlah Lantai

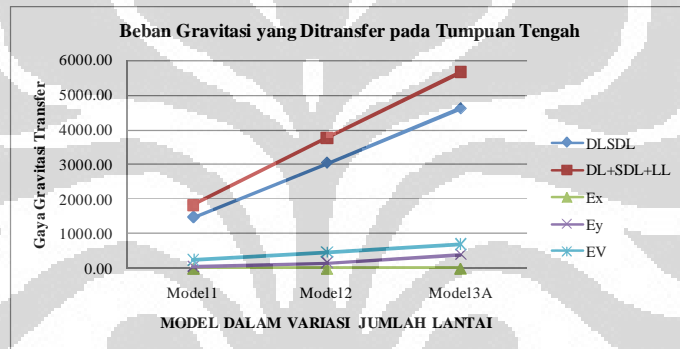
<b>BEBAN GRAVITASI TRANSFER</b>			
<b>TUMPUAN UJUNG STRUKTUR TRANSFER</b>			
<b>Beban</b>	Model 1	Model 2	Model 3A
DLSDL	474.35	1141.77	1784.98
DL+SDL+LL	585.71	1394.59	2160.29
Ex	132.16	509.58	1046.77
Ey	7.91	89.82	227.93
EV	76.16	166.86	261.65
<b>TUMPUAN TENGAH STRUKTUR TRANSFER</b>			
<b>Beban</b>	Model 1	Model 2	Model 3A
DLSDL	1472.74	3036.68	4606.46
DL+SDL+LL	1823.29	3763.75	5652.28
Ex	0.78	1.08	0.95
Ey	54.63	175.23	399.90
EV	236.68	462.44	694.39

Tabel 0.5 Gaya Geser yang Ditransfer oleh Struktur Transfer dalam Variasi Jumlah Lantai

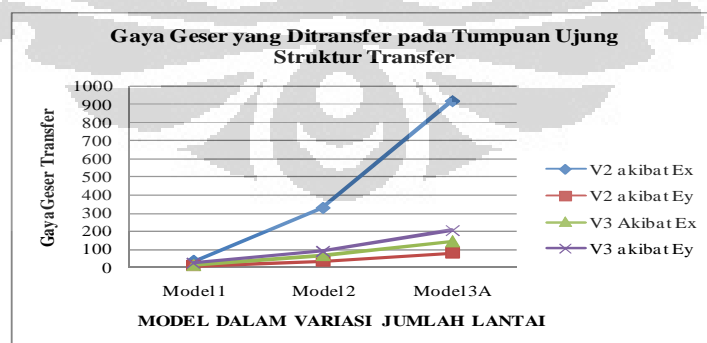
<b>GAYA GESER TRANSFER</b>						
<b>TUMPUAN UJUNG STRUKTUR TRANSFER</b>						
<b>Beban</b>	<b>Geser Arah X (V2)</b>			<b>Geser Arah Y (V3)</b>		
	Model 1	Model 2	Model 3A	Model 1	Model 2	Model 3A
Ex	35.32	327.85	921.25	12.68	67.90	143.48
Ey	9.88	36.01	81.17	26.85	89.63	205.08
<b>TUMPUAN TENGAH STRUKTUR TRANSFER</b>						
<b>Beban</b>	<b>Geser Arah X (V2)</b>			<b>Geser Arah Y (V3)</b>		
	Model 1	Model 2	Model 3A	Model 1	Model 2	Model 3A
Ex	35.42	368.44	1088.13	0.03	0.14	0.16
Ey	1.51	12.30	38.90	22.8	43.77	89.05



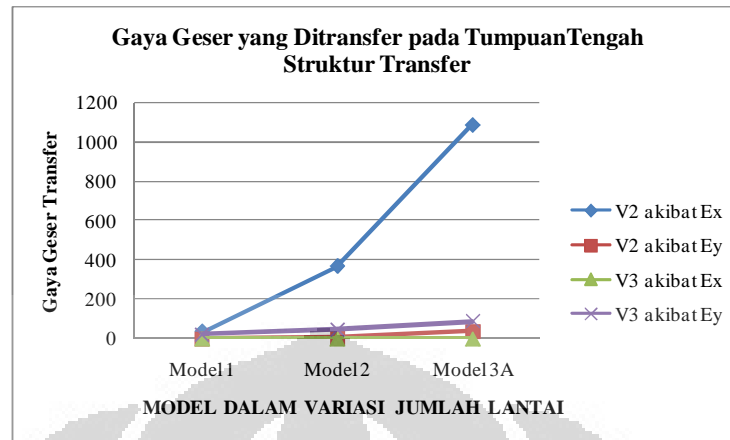
Gambar 0.13 Beban Gravitasi yang Ditransfer pada Tumpuan Ujung dalam Variasi Jumlah Lantai  
 Sumber: Data Olahan Penulis



Gambar 0.14 Beban Gravitasi yang Ditransfer pada Tumpuan Tengah dalam Variasi Jumlah Lantai  
 Sumber: Data Olahan Penulis



Gambar 0.15 Gaya Geser yang Ditransfer pada Tumpuan Ujung dalam Variasi Jumlah Lantai  
 Sumber: Data Olahan Penulis



Gambar 0.16 Gaya Geser yang Ditransfer pada Tumpuan Tengah Struktur Transfer

Sumber: Data Olahan Penulis

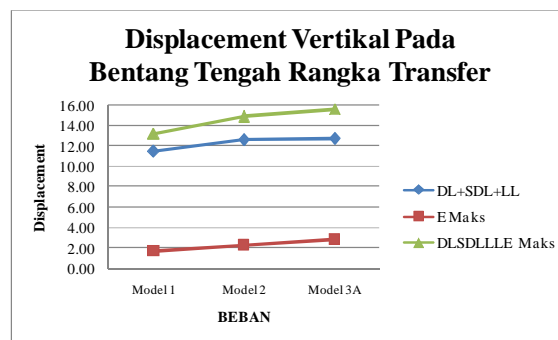
Berdasarkan grafik dan tabel tersebut di atas, diketahui bahwa besarnya beban yang ditransfer oleh struktur transfer, baik beban gravitasi maupun beban geser, lebih besar pada model 3A yakni dengan jumlah lantai terbanyak. Hal ini disebabkan oleh adanya peningkatan beban gempa dan beban gravitasi yang berbanding lurus dengan peningkatan jumlah lantainya. Dari Gambar 4.15 dan Gambar 4.16, terlihat bahwa gaya geser yang terdapat dalam arah Y sangat kecil karena sebagian besar gaya geser masuk ke *shear wall* sebagai akibat dari kekakuan *shear wall* yang lebih besar dibandingkan kekakuan *frame*.

Dari Tabel 4.4 juga diketahui bahwa beban-beban gravitasi yang ditransfer oleh setiap beban yang ada paling banyak ditransfer ke kolom pendukung pada tumpuan tengah karena tumpuan tengah menerima gaya dari kedua sisi rangka transfer.

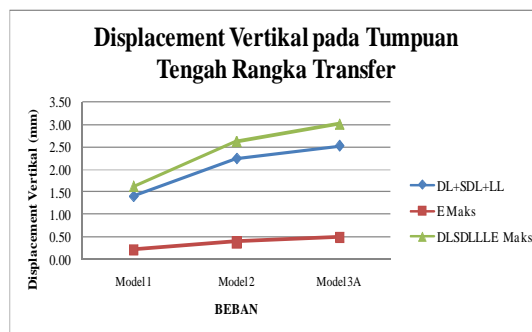
### 1.1.3.2 Displacement pada Rangka Transfer (*Transfer Truss*)

Tabel 0.6 Displacement Vertikal pada Rangka Transfer dalam Variasi Jumlah Lantai

DISPLACEMENT VERTIKAL						
BEBAN	Bentang Tengah Rangka Transfer			Tumpuan Tengah		
	Model 1	Model 2	Model 3A	Model 1	Model 2	Model 3A
DL+SDL+LL	11.46	12.58	12.72	1.40	2.25	2.53
E Maks	1.75	2.27	2.86	0.22	0.39	0.50
DLSDLLLE Maks	13.22	14.86	15.57	1.63	2.63	3.03



Gambar 0.17 Displacement Vertikal pada Bentang Tengah Rangka Transfer dalam Variasi Jumlah Lantai  
Sumber: Data Olahan Penulis



Gambar 0.18 Displacement Vertikal pada Tumpuan Tengah Rangka Transfer dalam Variasi Jumlah Lantai  
Sumber: Data Olahan Penulis

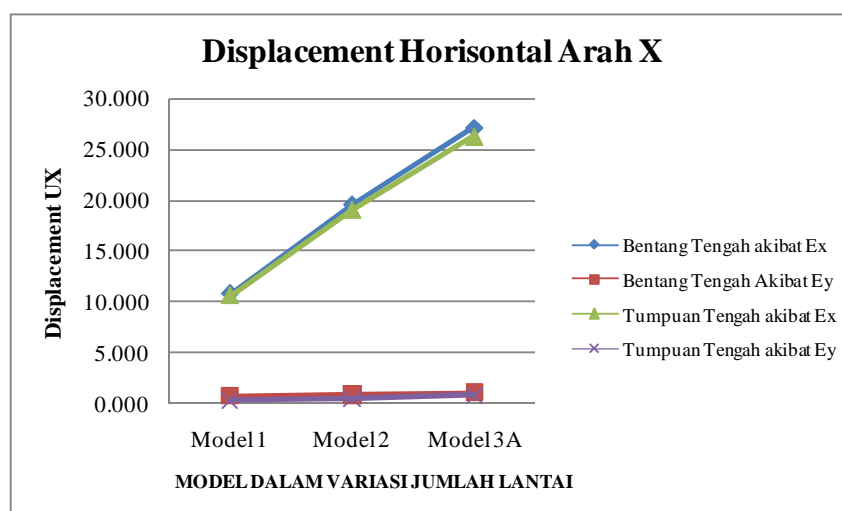


Berdasarkan Tabel 4.6 diketahui bahwa *displacement* vertikal terbesar terjadi di bentang tengah rangka transfer. Dari Gambar 4.17 dan Gambar 4.18 juga terlihat bahwa terjadi peningkatan *displacement* dari model 1 terhadap model 2 dan model 3A. Hal ini terjadi akibat peningkatan gaya yang dibebani struktur karena peningkatan jumlah lantai dimana kenaikan beban sebanding dengan pembesaran *displacement* yang terjadi.

Berdasarkan peraturan SNI 03-1729-2002 Tabel 6.4.1, diketahui bahwa lendutan maksimum adalah sebesar  $L/240$ . Untuk setiap rangka transfernya, diperoleh \batas lendutan maksimum adalah sebesar 75 mm sehingga memenuhi batas lendutan izin.

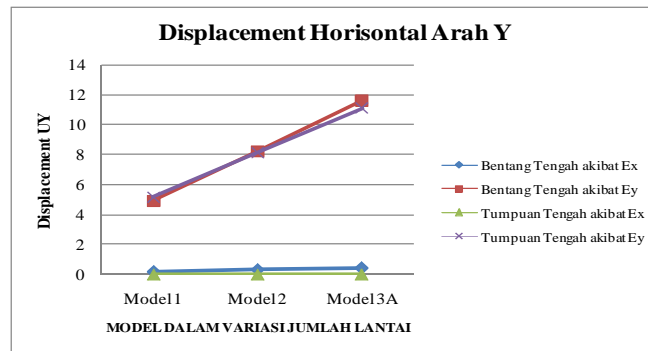
Tabel 0.7 *Displacement* Horizontal pada Rangka Transfer dalam Variasi Jumlah Lantai

DISPLACEMENT HORIZONTAL ARAH X						
BEBAN	Bentang Tengah Struktur Rangka			Tumpuan Tengah		
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 1	Model 2	Model 3
EX	10.799	19.604	27.133	10.629	19.059	26.240
EY	0.800	0.870	1.066	0.329	0.560	0.833
DISPLACEMENT HORIZONTAL ARAH Y						
BEBAN	Bentang Tengah Struktur Rangka			Tumpuan Tengah		
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 1	Model 2	Model 3
EX	0.184	0.307	0.422	0.002	0.004	0.006
EY	4.947	8.264	11.616	5.172	8.145	11.100



Gambar 0.19 *Displacement* Horizontal Rangka Transfer Arah X dalam Variasi Jumlah Lantai

Sumber: Data Olahan Penulis



Gambar 0.20 *Displacement* Horizontal Rangka Transfer Arah Y dalam Variasi Jumlah Lantai  
Sumber: Data Olahan Penulis

Dari Tabel 4.7 menunjukkan bahwa perpindahan horizontal dalam arah X lebih besar dibandingkan perpindahan horizontal dalam arah Y. Hal ini disebabkan karena dalam arah Y, gaya geser hampir seluruhnya ditahan oleh *shear wall* sehingga gaya geser yang masuk dalam rangka transfer pada arah tersebut menjadi kecil. Adapun peningkatan besarnya gaya berbanding lurus dengan *displacement* yang terjadi. Berdasarkan Gambar 4.19 dan Gambar 4.20, diketahui bahwa terjadi peningkatan besarnya perpindahan dari Model 1 terhadap Model 2 dan Model 3A. Hal ini terjadi karena peningkatan gaya geser akibat adanya peningkatan jumlah lantai.

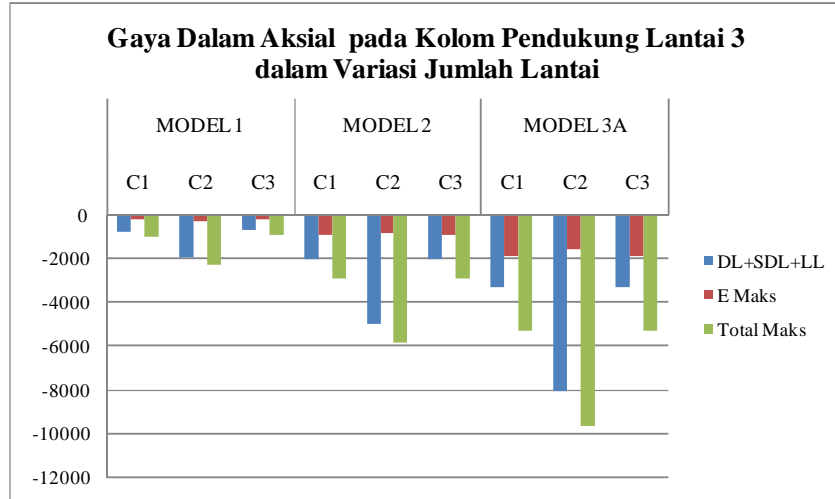
### 1.1.3.3 Gaya Dalam Aksial dan Geser Pada Kolom Pendukung

Gaya dalam aksial dan geser pada kolom pendukung dianalisis berdasarkan kombinasi pembebanan *service*. Adapun kombinasi pembebanan yang ditinjau adalah sebagai berikut:

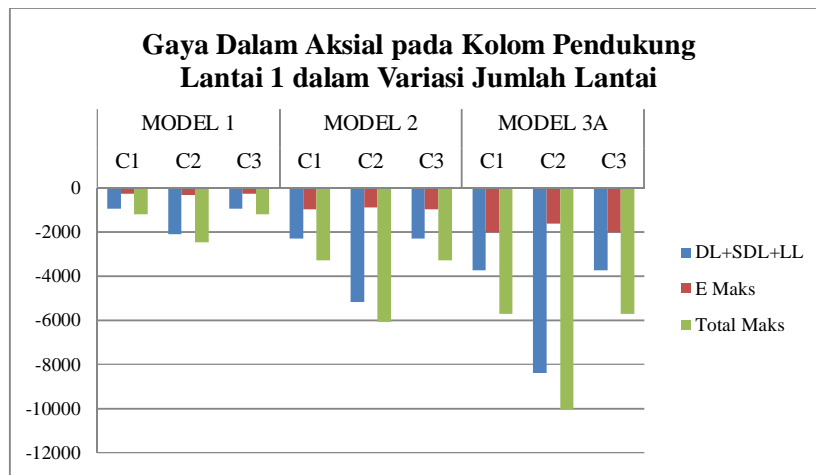
Tabel 0.8 Kombinasi Pembebanan *Service*

KOMBINASI PEMBEBANAN <i>SERVICE</i>			
1	DL + SDL + LL		
2	E	E1:	EV1+EX+0.3EY
		E2:	EV1+0.3EX+EY
		E3:	EV2+EX+0.3EY
		E4:	EV2+0.3EX+EY
3	TOTAL	TOTAL1:	DL+SDL+LL+E1
		TOTAL2:	DL+SDL+LL+E2
		TOTAL3:	DL+SDL+LL+E3
		TOTAL4:	DL+SDL+LL+E4
Keterangan: Kombinasi E dan Total yang ditinjau adalah kombinasi dengan nilai paling maksimum dari keempat kombinasinya			

Gaya dalam aksial dan geser pada kolom pendukung digambarkan dalam grafik berikut:

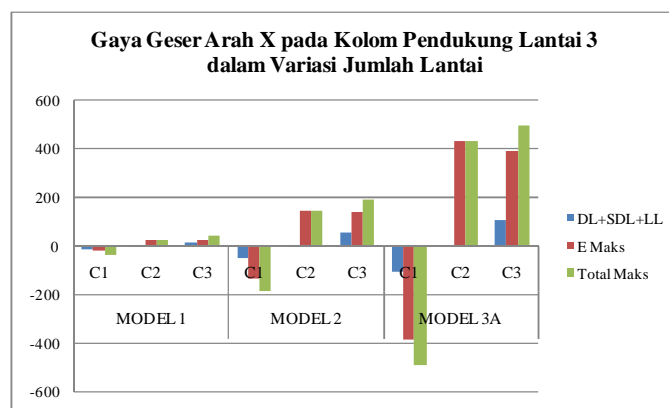


Gambar 0.21 Gaya Dalam Aksial pada Kolom Pendukung Lantai 3 dalam Variasi Jumlah Lantai  
Sumber: Data Olahan Penulis

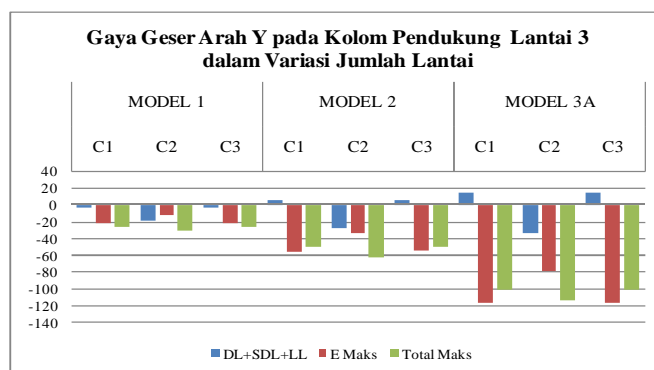


Gambar 0.22 Gaya Dalam Aksial pada Kolom Pendukung Lantai 1 dalam Variasi Jumlah Lantai  
Sumber: Data Olahan Penulis

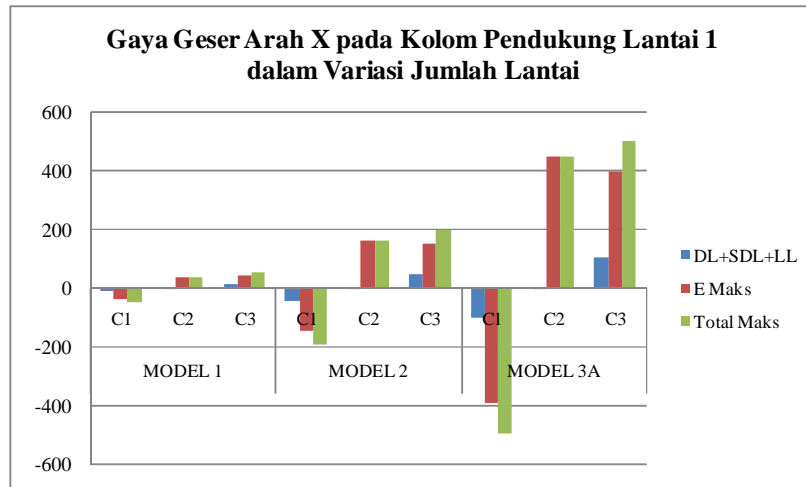
Berdasarkan Gambar 4.21 dan Gambar 4.22, diketahui bahwa terjadi peningkatan gaya dalam aksial seiring dengan peningkatan jumlah lantai bangunan. Gaya aksial pada kolom menggambarkan besarnya beban vertikal yang ditanggung oleh sistem transfer akibat kombinasi pembebanan *service*. Pada bangunan 8 lantai, gaya-gaya aksial kolom menjadi lebih besar karena beban gravitasi pada bangunan tersebut juga lebih besar dikarenakan jumlah lantai yang lebih banyak.



Gambar 0.23 Gaya Geser Arah X pada Kolom Pendukung Lantai 3 dalam Variasi Jumlah Lantai  
Sumber: Data Olahan Penulis



Gambar 0.24 Gaya Geser Arah Y pada Kolom Pendukung Lantai 3 dalam Variasi Jumlah Lantai  
Sumber: Data Olahan Penulis



Gambar 0.25 Gaya Geser Arah X pada Kolom Pendukung Lantai 1 dalam Variasi Jumlah Lantai

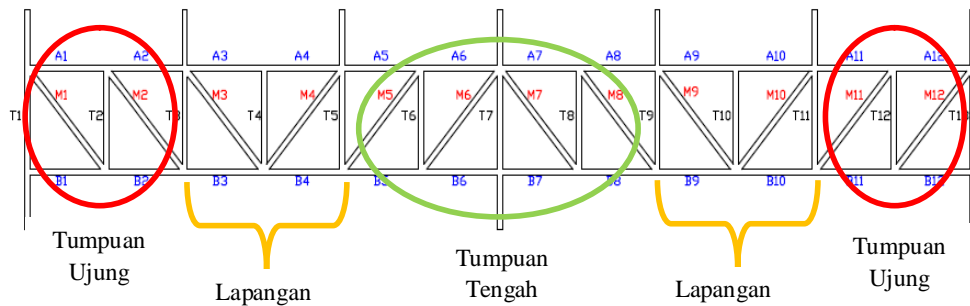
Sumber: Data Olahan Penulis

Gaya geser pada kolom pendukung menggambarkan gaya lateral struktur akibat kombinasi pembebanan *service* yang ditransfer oleh struktur transfer tersebut. Kolom pendukung pada bangunan 8 lantai mengalami gaya dalam geser yang lebih besar. Hal tersebut terjadi karena penambahan jumlah lantai meningkatkan besarnya beban gempa pada struktur.

Perlu diperhatikan pula bahwa gaya geser arah X pada kolom pendukung C1 dan C3 berbeda tanda. Hal ini terjadi akibat arah gaya dalam lintang yang dialami oleh kedua kolom adalah masuk ke bangunan. Oleh karena itu, C1 mengalami lintang negatif, sementara C3 mengalami gaya lintang positif.

### 1.1.3.4 Gaya Dalam Pada Rangka Transfer

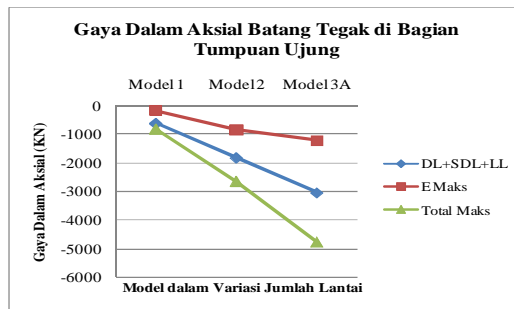
Dalam menganalisis gaya dalam pada rangka transfer, kombinasi pembebanan yang digunakan adalah kombinasi pembebanan service seperti yang tertera dalam Tabel 4.8. Adapun dalam analisis rangka batang ini, dilakukan penyederhanaan analisis yakni dengan meninjau gaya-gaya dalam batang yang memiliki nilai gaya aksial maksimum pada bagian tumpuan ujung, tumpuan tengah, dan lapangan rangka batang. Adapun gaya geser hanya ditinjau akibat pembebanan *service* total.



Gambar 0.26 Penamaan Batang Rangka Transfer

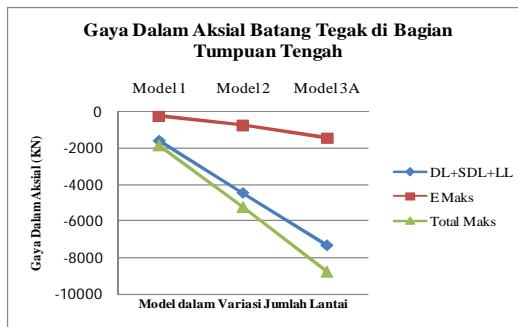
Sumber: Data Olahan Penulis

## 1. Gaya Dalam pada Batang Tegak



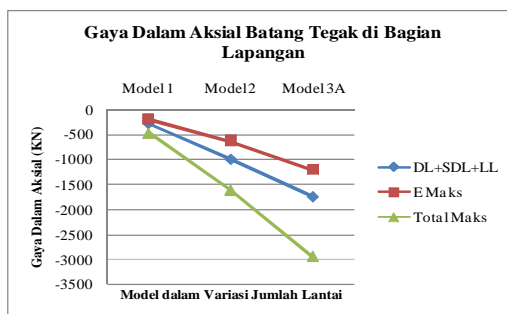
Gambar 0.27 Gaya Dalam Aksial Batang Tegak di Bagian Tumpuan Ujung

Sumber: Data Olahan Penulis



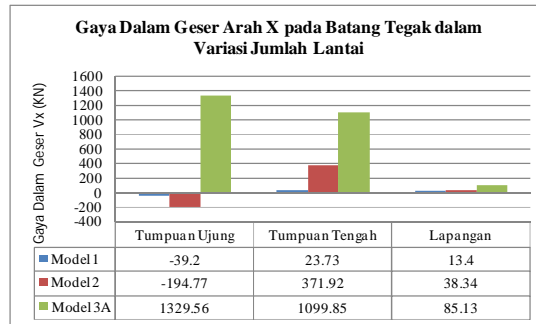
Gambar 0.28 Gaya Dalam Aksial Batang Tegak di Bagian Tumpuan Tengah

Sumber: Data Olahan Penulis

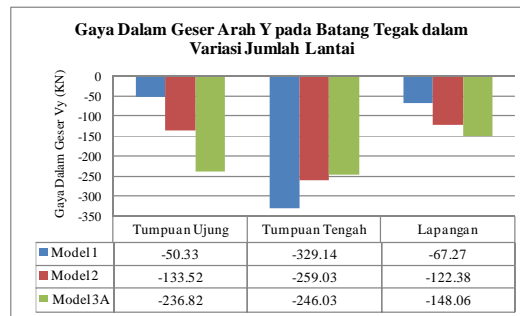


Gambar 0.29 Gaya Dalam Aksial Batang Tegak di Bagian Lapangan

Sumber: Data Olahan Penulis



Gambar 0.30 Gaya Dalam Geser Arah X pada Batang Tegak dalam Variasi Jumlah Lantai  
Sumber: Data Olahan Penulis

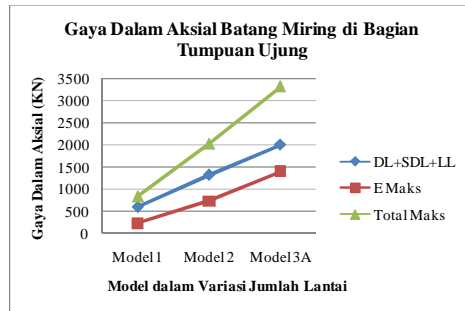


Gambar 0.31 Gaya Dalam Geser Arah Y pada Batang Tegak dalam Variasi Jumlah Lantai  
Sumber: Data Olahan Penulis

Dari keseluruhan gaya aksial dan gaya geser pada batang tegak yang tertera dalam gambar di atas, diketahui bahwa terjadi peningkatan gaya aksial dan gaya geser sejalan dengan peningkatan jumlah lantai. Bertambahnya jumlah lantai mengakibatkan bertambahnya beban gravitasi dan beban gempa pada struktur. Pada Gambar 2.10, di bagian tumpuan ujung, terdapat perbedaan arah gaya dalam lintang. Hal tersebut terjadi karena batang sebagai letak beban aksial maksimum pada bagian tersebut tidak sama untuk kesemua model, seperti yang tertera dalam lampiran. Pada batang tegak, terlihat bahwa gaya aksial yang terjadi didominasi oleh akibat pembebanan gravitasi yakni total berat sendiri, beban mati tambahan, dan beban hidup.

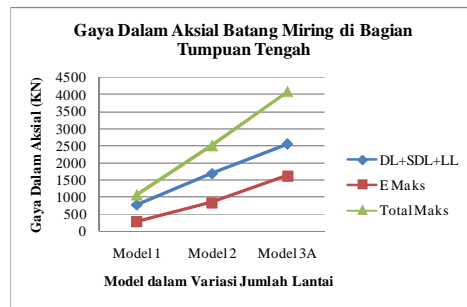


## 2. Gaya Dalam Batang Miring



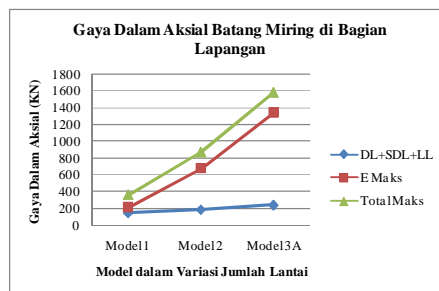
Gambar 0.32 Gaya Dalam Aksial Batang Miring di Bagian Tumpuan Ujung

Sumber: Data Olahan Penulis



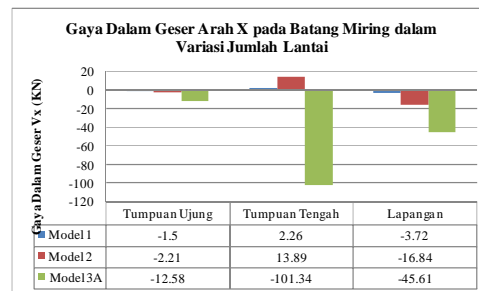
Gambar 0.33 Gaya Dalam Aksial Batang Miring di Bagian Tumpuan Tengah

Sumber: Data Olahan Penulis



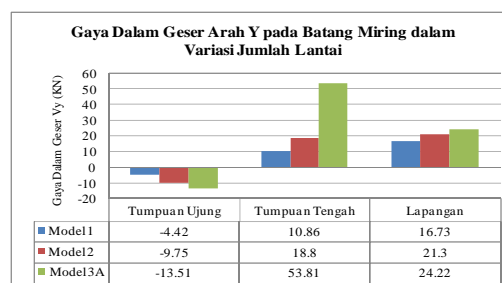
Gambar 0.34 Gaya Dalam Aksial Batang Miring di Bagian Lapangan

Sumber: Data Olahan Penulis



Gambar 0.35 Gaya Geser Arah X pada Batang Miring dalam Variasi Jumlah Lantai

Sumber: Data Olahan Penulis

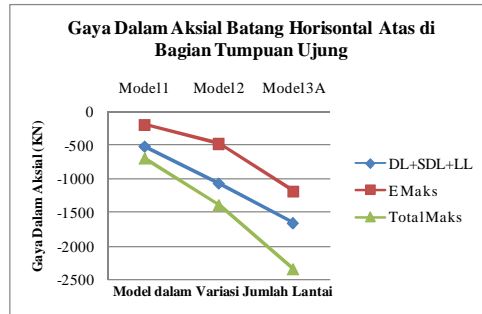


Gambar 0.36 Gaya Geser Arah Y pada Batang Miring dalam Variasi Jumlah Lantai

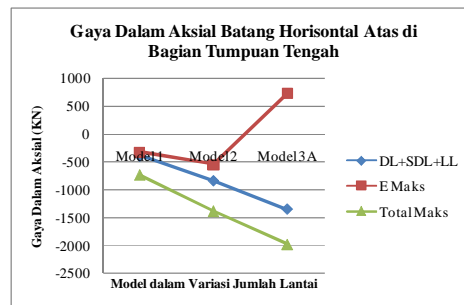
Sumber: Data Olahan Penulis

Dari Gambar 4.32, Gambar 4.33, dan Gambar 4.34, diketahui bahwa terjadi peningkatan gaya aksial tarik pada batang miring sejalan dengan peningkatan jumlah lantai. Bertambahnya jumlah lantai mengakibatkan bertambahnya beban gravitasi dan beban gempa pada struktur. Hal ini juga terlihat pada Gambar 4.35 dan Gambar 4.36 di mana terjadi peningkatan gaya geser seiring peningkatan jumlah lantai. Pada Gambar 4.35, di bagian tumpuan tengah, terdapat perbedaan arah gaya dalam lintang. Hal tersebut terjadi karena batang sebagai letak beban aksial maksimum pada bagian tersebut tidak sama untuk kesemua model, seperti yang tertera dalam lampiran. Dari grafik beban aksial, diketahui bahwa gaya aksial pada batang miring di bagian tumpuan didominasi oleh akibat beban gravitasi. Sementara itu, pada bagian lapangan, gaya aksial didominasi oleh akibat pembebanan gempa.

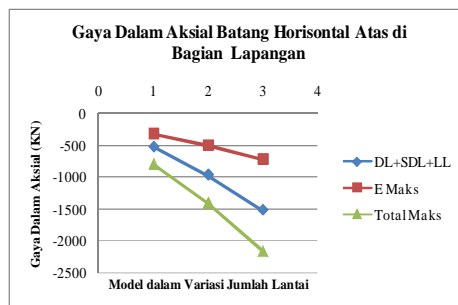
### 3. Gaya Dalam pada Batang Horizontal Atas



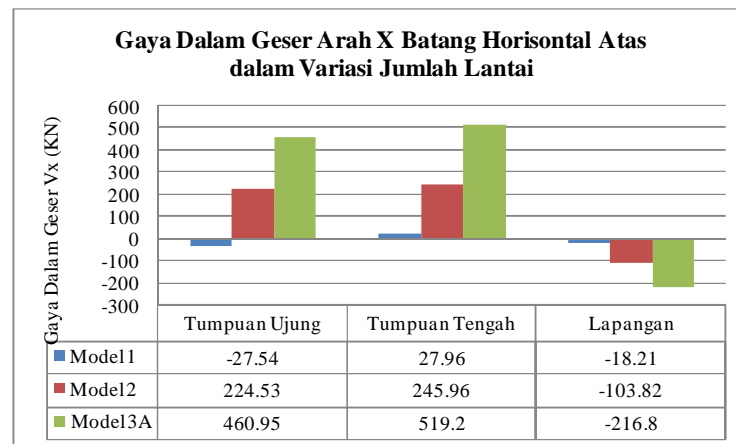
Gambar 0.37 Gaya Dalam Aksial Batang Horizontal Atas di Bagian Tumpuan Ujung  
Sumber: Data Olahan Penulis



Gambar 0.38 Gaya Dalam Aksial Batang Horizontal Atas di Bagian Tumpuan Tengah  
Sumber: Data Olahan Penulis

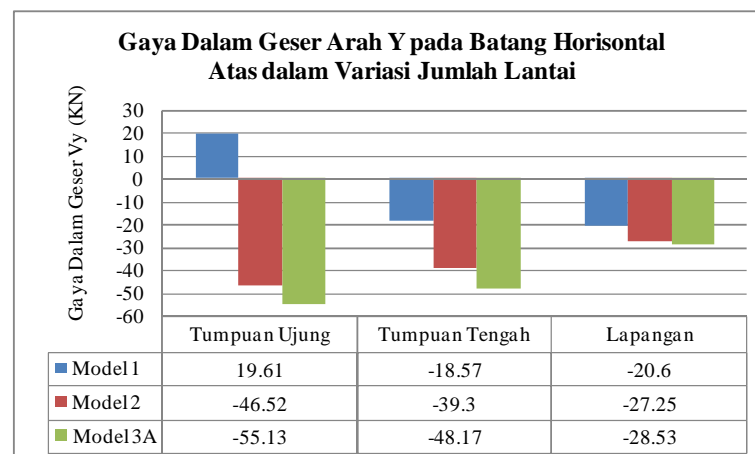


Gambar 0.39 Gaya Dalam Aksial Batang Horizontal Atas di Bagian Lapangan  
Sumber: Data Olahan Penulis



Gambar 0.40 Gaya Geser Arah X Batang Horizontal Atas dalam Variasi Jumlah Lantai

Sumber: Data Olahan Penulis



Gambar 0.41 Gaya Geser Arah Y Batang Horizontal Atas dalam Variasi Jumlah Lantai

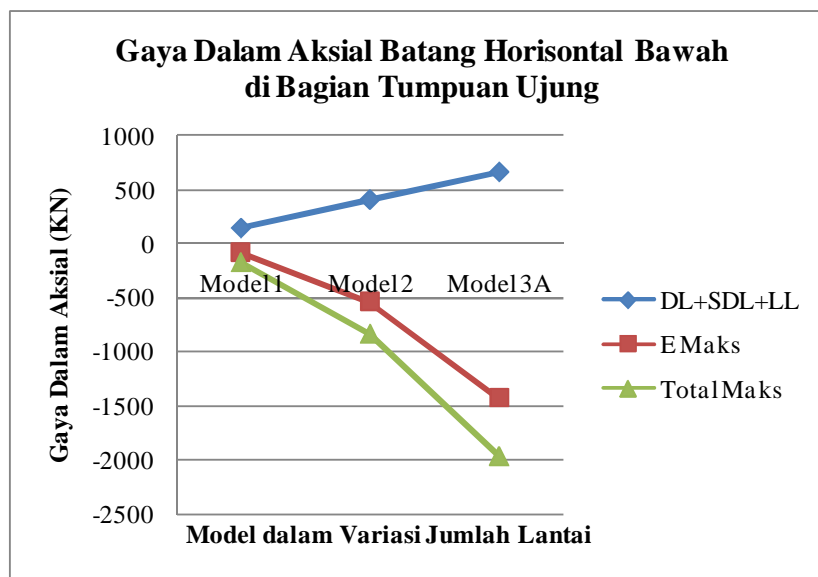
Sumber: Data Olahan Penulis

Dari keseluruhan gaya aksial dan gaya geser pada batang horizontal atas yang tertera dalam gambar di atas, diketahui bahwa terjadi peningkatan gaya aksial dan gaya geser sejalan dengan peningkatan jumlah lantai. Bertambahnya jumlah lantai mengakibatkan bertambahnya beban gravitasi dan beban gempa pada struktur. Pada Gambar 4.41, di bagian tumpuan ujung, terdapat perbedaan arah gaya dalam lintang. Hal tersebut terjadi karena batang sebagai letak beban

aksial maksimum pada bagian tersebut tidak sama untuk semua model, seperti yang tertera dalam lampiran.

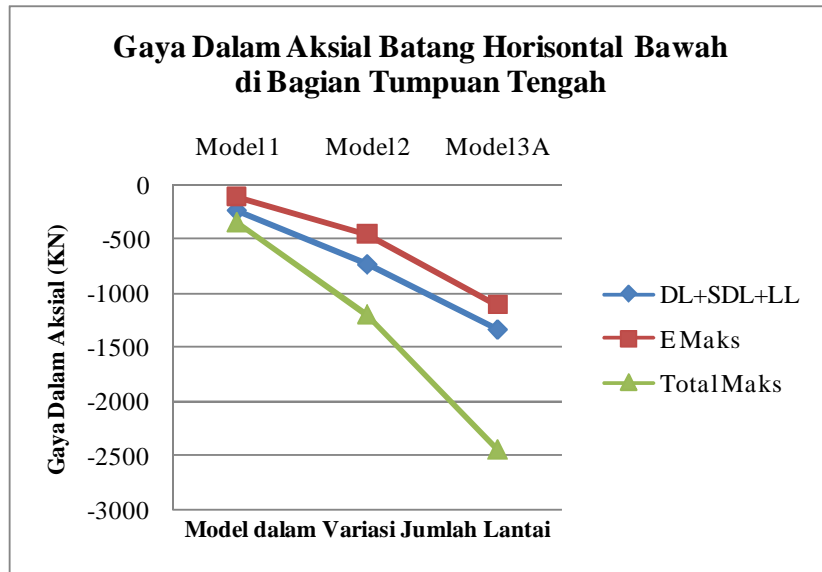
Sementara itu, arah gaya lintang belum tentu sama untuk semua batang-batang yang menjadi letak gaya aksial maksimum di setiap model. Demikian halnya dengan gaya aksial di bagian tumpuan tengah, seperti tertera dalam Gambar 4.38, gaya aksial akibat pembebanan gempa untuk Model 3A berbeda arah dengan kedua model lainnya karena gaya aksial maksimum pada Model 3A terdapat pada batang A7 yang mengalami gaya aksial positif. Pada batang horizontal atas diketahui bahwa gaya aksial yang terjadi didominasi oleh akibat pembebanan gravitasi yakni total berat sendiri, beban mati tambahan, dan beban hidup.

#### 4. Gaya Dalam pada Batang Horizontal Bawah



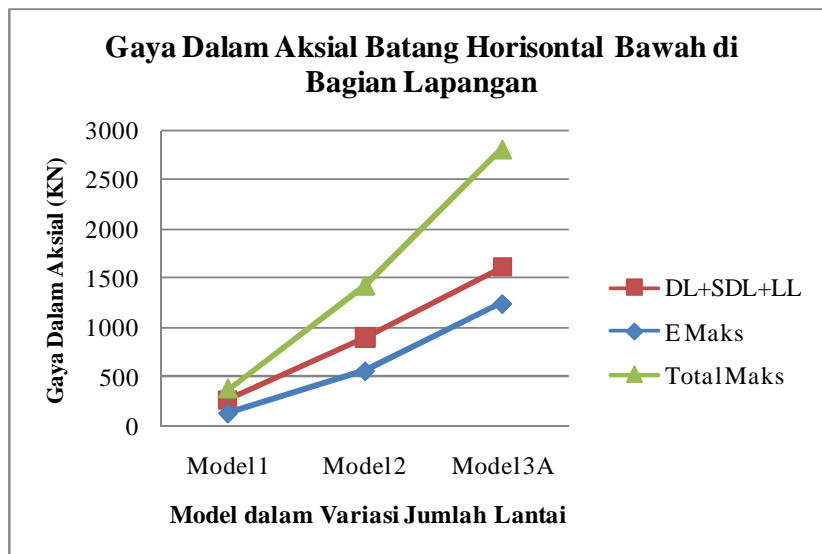
Gambar 0.42 Gaya Dalam Aksial Batang Horizontal Bawah di Bagian Tumpuan Ujung

Sumber : Data Olahan Penulis



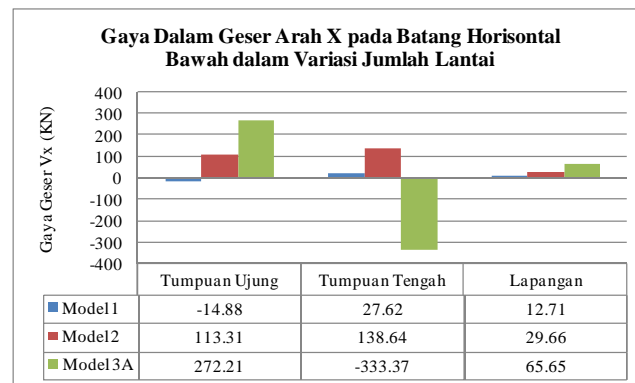
Gambar 0.43 Gaya Dalam Aksial Batang Horizontal Bawah di Bagian Tumpuan Tengah

Sumber : Data Olahan Penulis



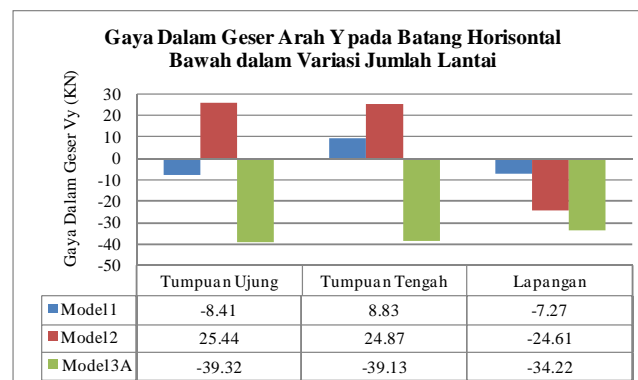
Gambar 0.44 Gaya Dalam Aksial Batang Horizontal Bawah di Bagian Lapangan

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.45 Gaya Geser Arah X pada Batang Horizontal Bawah dalam Variasi Jumlah Lantai

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.46 Gaya Geser Arah Y pada Batang Horizontal Bawah dalam Variasi Jumlah Lantai

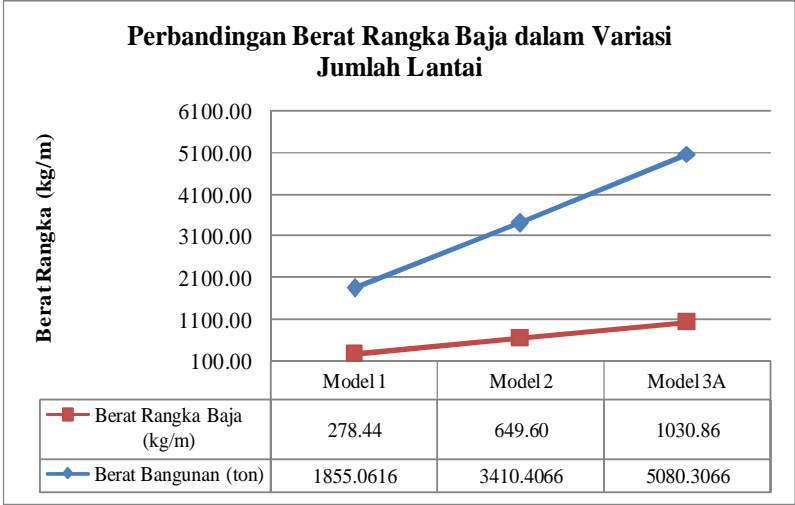
Sumber : Data Olahan Penulis

Dari keseluruhan gaya aksial dan gaya geser pada batang horizontal bawah yang tertera dalam gambar di atas, diketahui bahwa terjadi peningkatan gaya aksial dan gaya geser sejalan dengan peningkatan jumlah lantai. Bertambahnya jumlah lantai mengakibatkan bertambahnya beban gravitasi dan beban gempa pada struktur. Pada Gambar 4.41, di bagian tumpuan ujung, terdapat perbedaan arah gaya dalam lintang. Hal tersebut terjadi karena batang sebagai letak beban aksial maksimum pada bagian tersebut tidak sama untuk semua model, seperti yang tertera dalam lampiran. Sementara itu, arah gaya lintang

belum tentu sama untuk semua batang-batang yang menjadi letak gaya aksial maksimum.

Gaya aksial di bagian tumpuan ujung akibat pembebanan gravitasi untuk semua model merupakan gaya aksial positif karena gaya aksial maksimum pada tumpuan ujung untuk semua model terdapat pada batang B2 yang mengalami gaya aksial positif. Sementara itu, gaya aksial maksimum akibat pembebanan gempa dan pembebanan *service* total terdapat pada batang B12 yang merupakan batang dengan gaya aksial negatif. Pada batang horizontal bawah diketahui bahwa gaya aksial yang terjadi didominasi oleh akibat pembebanan gravitasi, kecuali untuk tumpuan ujung di mana gaya aksial yang terjadi didominasi oleh pembebanan gempa

1.1.3.5 Perhitungan Kebutuhan Rangka Baja Tiap Model



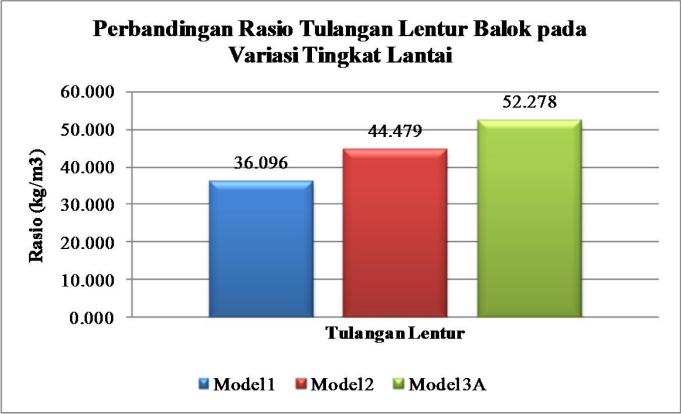
Gambar 0.47 Perbandingan Berat Rangka Baja dalam Variasi Jumlah Lantai  
Sumber : Data Olahan Penulis

Dari Gambar 4.45 diketahui bahwa semakin banyak jumlah lantai bangunan maka kebutuhan profil rangka baja juga semakin meningkat.

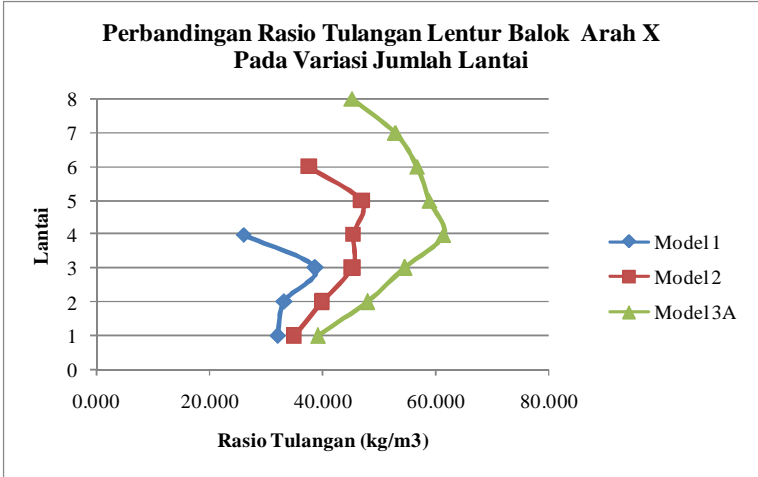


1.1.4 Ratio Kebutuhan Penulangan

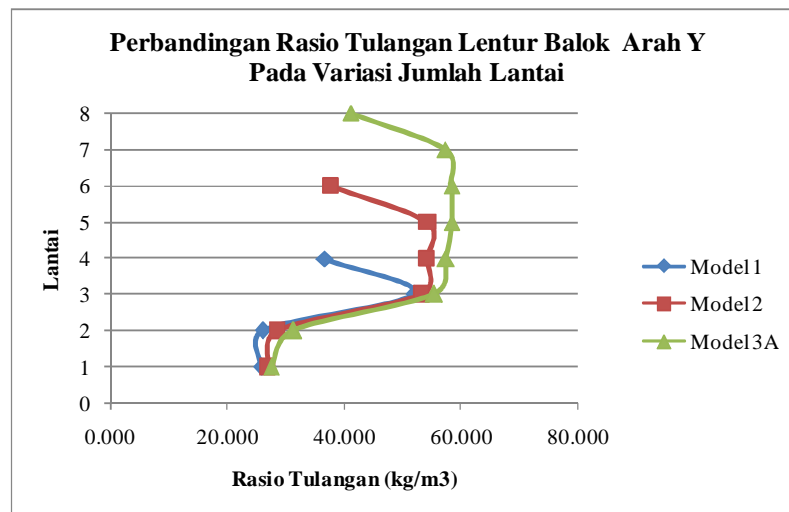
1.1.4.1 Ratio Kebutuhan Penulangan Balok



Gambar 0.48 Perbandingan Ratio Tulangan Lentur Total Balok pada Variasi Jumlah Lantai  
Sumber : Data Olahan Penulis



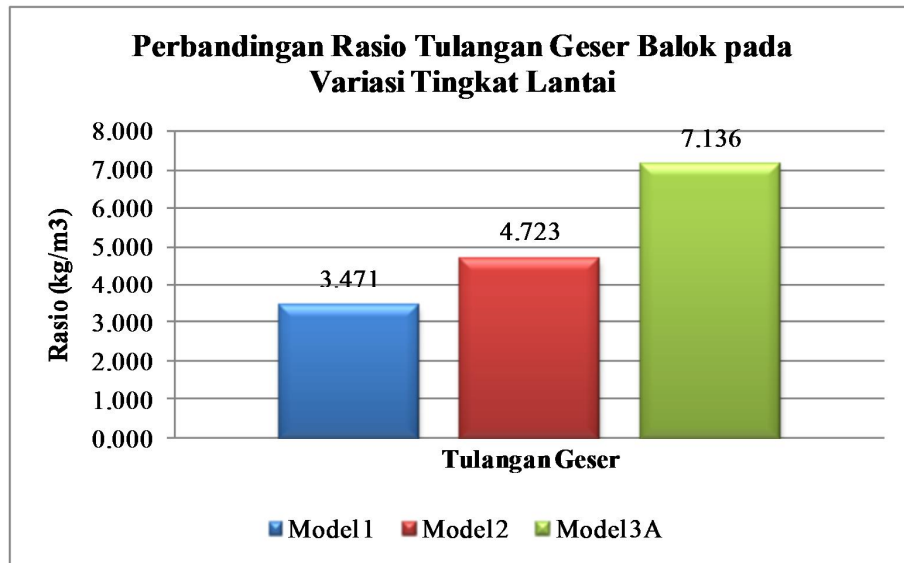
Gambar 0.49 Perbandingan Rasio Tulangan Lentur Balok Arah X pada Variasi Jumlah Lantai  
Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.50 Perbandingan Ratio Tulangan Lentur Balok Arah Y pada Variasi  
Jumlah Lantai  
Sumber : Data Olahan Penulis

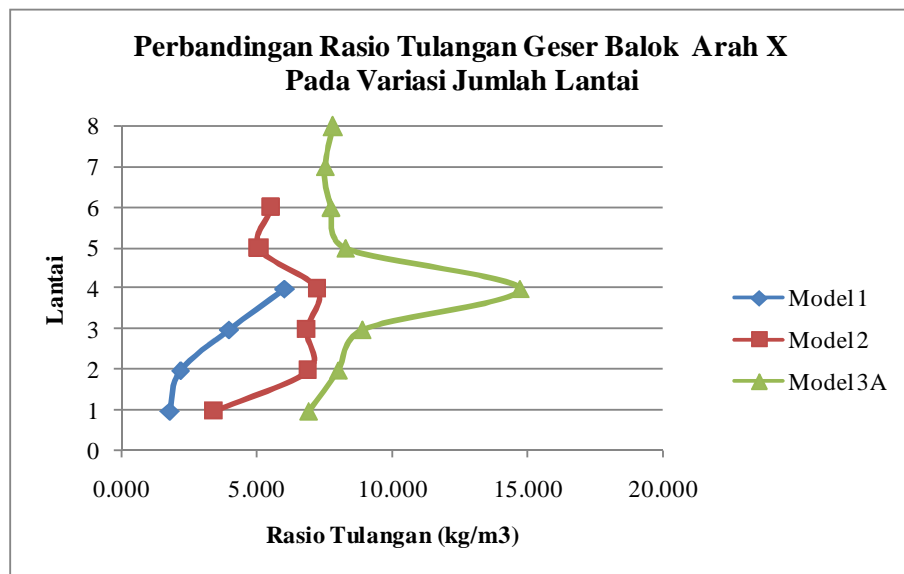
Berdasarkan Gambar 4.49, diketahui bahwa semakin meningkat jumlah lantai maka kebutuhan tulangan lentur juga akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh semakin besarnya beban gravitasi yang ditahan oleh struktur sehingga memeperbesar gaya-gaya dalam yang terdapat pada balok-balok, terutama gaya dalam momen lentur. Kenaikan momen lentur menyebabkan kenaikan jumlah tulangan longitudinal.

Dari Gambar 4.50, dapat dilihat bahwa pada Model 3A, terdapat lonjakan kenaikan kebutuhan tulangan lentur pada lantai 4. Sementara itu, pada Model 2 dan Model 1, kebutuhan tulangan terbesar masing-masing terdapat pada lantai 5 dan lantai 3.



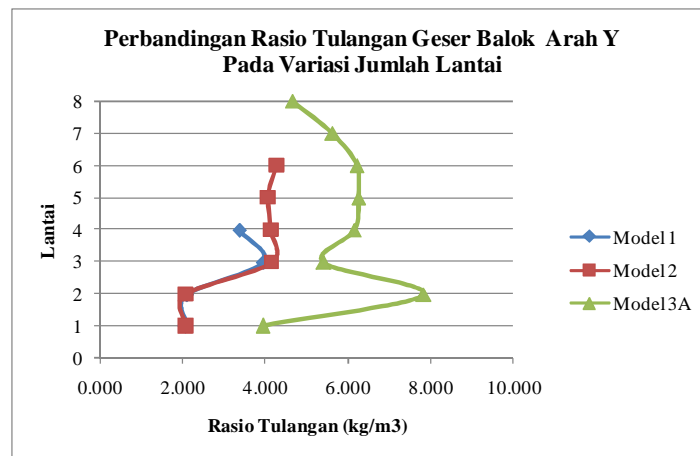
Gambar 0.51 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Total Balok dalam Variasi Lantai

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.52 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Balok Arah X pada Variasi Jumlah Lantai

Sumber : Data Olahan Penulis

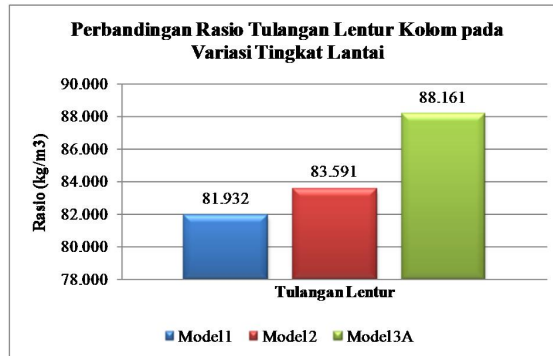


Gambar 0.53 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Balok Arah Y pada Variasi Jumlah Lantai  
Sumber : Data Olahan Penulis

Berdasarkan Gambar 4.51, juga diketahui bahwa peningkatan jumlah lantai mengakibatkan meningkatnya kebutuhan akan tulangan geser akibat beban lateral yang semakin besar pula. Berdasarkan Gambar 4.52, terjadi lonjakan kebutuhan tulangan geser pada lantai 4 untuk semua model. Hal ini disebabkan karena pada lantai tersebut terdapat struktur transfer, di mana penulangan balok pada struktur transfer tersebut dianalisis setelah beban gempa diberikan faktor kuat lebih. Kenaikan beban gempa ini mengakibatkan kebutuhan tulangan geser pada balok rangka transfer tersebut juga semakin besar.

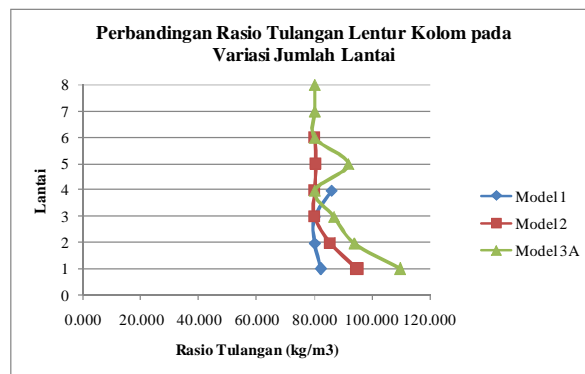
Selain itu, dari Gambar 4.52 dan Gambar 4.53 dapat dilihat juga bahwa untuk setiap model, kebutuhan tulangan geser pada balok arah X lebih besar daripada kebutuhan tulangan geser pada balok arah Y. Hal ini disebabkan karena pada arah Y, *shear wall* cukup kaku untuk menahan hampir semua gaya geser yang terdapat dalam arah itu, sehingga gaya geser yang masuk pada struktur *frame* arah Y menjadi lebih sedikit. Sementara itu, pada arah X, persentase gaya geser yang masuk jauh lebih besar sehingga kebutuhan tulangan geser menjadi lebih besar.

### 1.1.4.2 Ratio Kebutuhan Penulangan pada Kolom



Gambar 0.54 Perbandingan Ratio Total Tulangan Lentur Kolom pada Variasi Jumlah Lantai

Sumber : Data Olahan Penulis

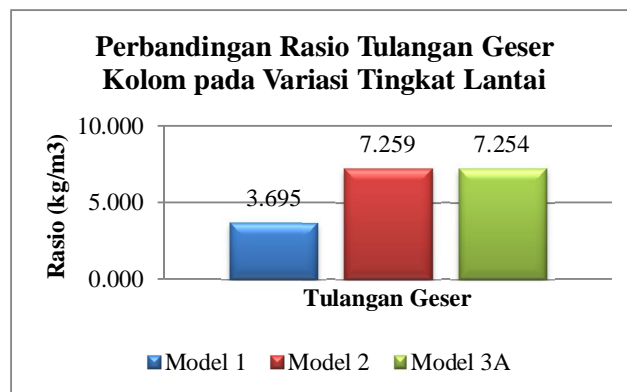


Gambar 0.55 Perbandingan Ratio Tulangan Lentur Kolom pada Variasi Jumlah Lantai

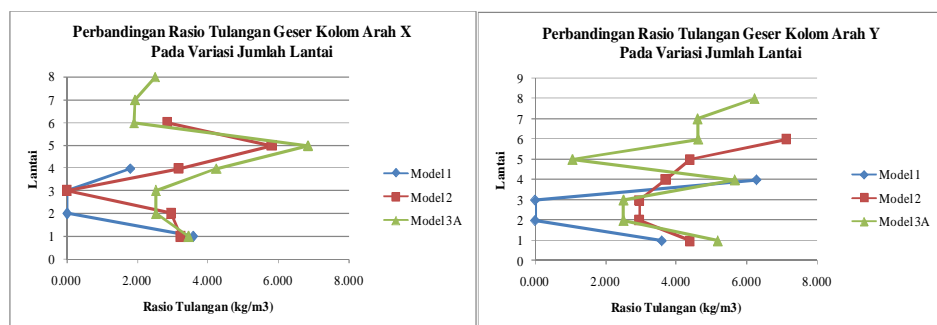
Sumber : Data Olahan Penulis

Sama seperti halnya pada penulangan balok, penulangan lentur kolom meningkat seiring pertambahan jumlah lantai. Hal ini terlihat pada Gambar 4.54. Adapun berdasarkan Gambar 4.55, pada lantai di atas struktur transfer, tidak terjadi perbedaan ratio kebutuhan tulangan yang signifikan untuk setiap model karena sebagian besar penulangan kolom merupakan penulangan longitudinal minimum ( $\rho = 0,01$ ). Namun, pada lantai 5 model 3A, terjadi lonjakan kebutuhan tulangan lentur. Seperti pada pembahasan sebelumnya, pada lantai 5 model 3A, persentase besarnya gaya geser tingkat yang masuk pada bagian *frame* merupakan

persentase maksimum dalam bangunan model 3A. Hal ini menyebabkan ekivalen beban aksial gravitasi dan momen lentur akibat gempa pada lantai itu menjadi lebih besar yang menyebabkan kebutuhan tulangan meningkat. Pada lantai di bawah struktur transfer, terjadi kenaikan kebutuhan penulangan lentur. Hal tersebut terjadi sebagai akibat dari peningkatan gaya dalam aksial dan momen pada setiap penurunan elevasi kolom. Selain itu, pada lantai 1 hingga 3, kolom-kolom pendukung sebagai bagian dari sistem transfer yang terdapat pada ketiga model tersebut didesain setelah dikenai faktor kuat lebih gempa yang menyebabkan beban aksial dan momen meningkat.



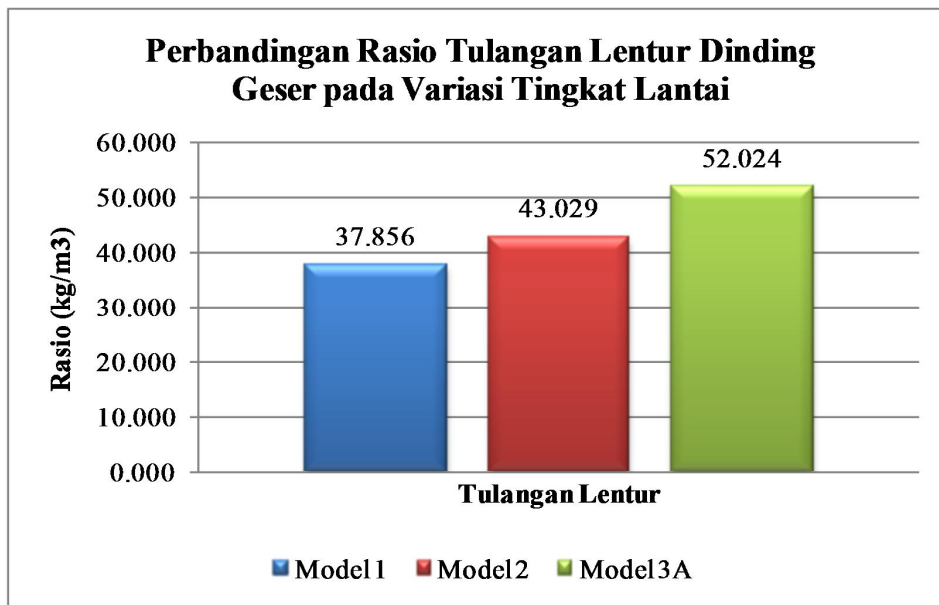
Gambar 0.56 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Total Kolom pada Variasi Jumlah Lantai  
Sumber : Data Olahan Penulis



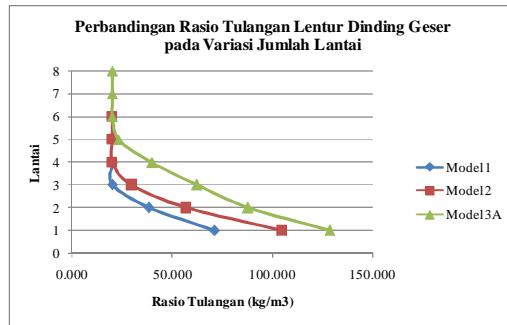
Gambar 0.57 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Kolom pada Variasi Jumlah Lantai  
Sumber : Data Olahan Penulis

Berdasarkan Gambar 4.56, diketahui bahwa ratio kebutuhan tulangan geser total pada Model 2 lebih besar dibandingkan dengan Model 3. Dari Gambar 4.57, terlihat bahwa untuk Model 1 (Lantai 2 dan 3) kebutuhan tulangan geser adalah nol. Hal serupa juga terdapat pada Model 2 lantai 3 untuk tulangan geser arah X. Hal tersebut terjadi karena profil kolom cukup mampu menahan beban geser sehingga tidak diperlukan tulangan geser. Pada skripsi ini, seperti yang telah dijelaskan dalam pembahasan di bab sebelumnya, kebutuhan tulangan hanya didasarkan pada keluaran eksak dari E-TABS tanpa memperhitungkan realita di lapangan.

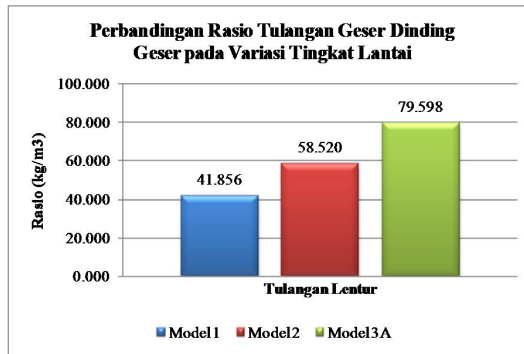
#### 1.1.4.3 Ratio Kebutuhan Penulangan pada *Shear Wall*



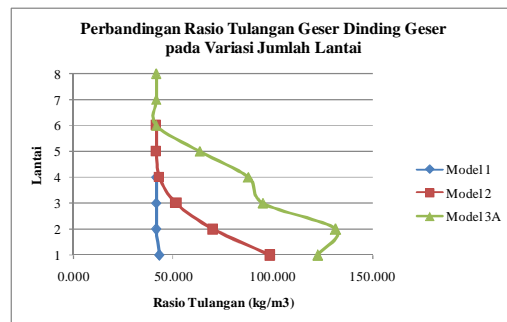
Gambar 0.58 Perbandingan Ratio Tulangan Lentur Dinding Geser pada Variasi Jumlah Lantai  
Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.59 Perbandingan Rasio Tulangan Lentur Dinding Geser pada Variasi Jumlah Lantai  
 Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.60 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Dinding Geser pada Variasi Jumlah Lantai  
 Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.61 Perbandingan Ratio Tulangan Geser *Shear Wall* pada Variasi Jumlah Lantai  
 Sumber : Data Olahan Penulis



Berdasarkan Gambar 4.58 dan Gambar 4.59, penulangan lentur dan geser pada dinding geser juga meningkat seiring bertambahnya jumlah lantai. Dari gambar 4.60, dapat dilihat bahwa kebutuhan tulangan lentur semakin ke lantai bawah akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh terjadinya peningkatan gaya dalam yang terjadi berupa momen guling dan aksial pada setiap elevasi lantai yang lebih rendah.

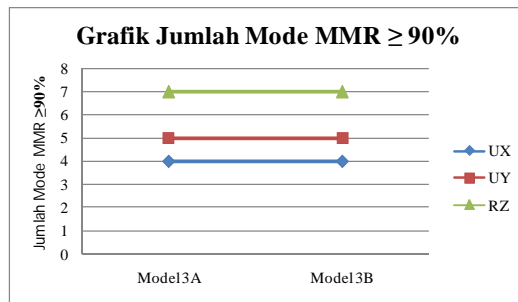
Ditinjau dari Gambar 4.61, terjadi perbedaan grafik kebutuhan penulangan geser untuk setiap model. Kebutuhan tersebut bergantung pada besarnya gaya geser yang ditanggung oleh *shear wall* di setiap lantai. Hal ini dapat dikorelasikan dengan persentase gaya geser tingkat yang masuk pada *shear wall* di mana persentase gaya geser tingkat yang masuk berbanding lurus dengan kebutuhan penulangan gesernya.

## 1.2 Analisis Variasi Sistem Sambungan

### 1.2.1 Analisis Karakteristik Dinamik

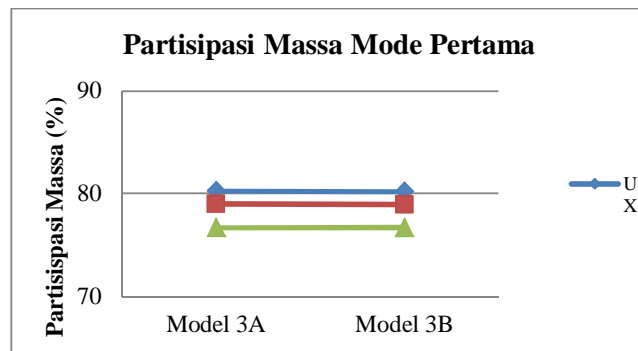
Tabel 0.9 Tabel Periode Getar Struktur pada Variasi Sistem Sambungan

Mode	Period	
	MODEL 3A	MODEL 3B
1	0.9758	0.9823
2	0.6949	0.6963
3	0.4792	0.4800
4	0.2796	0.2800
5	0.2167	0.2170
6	0.1508	0.1517
7	0.1347	0.1348
8	0.1201	0.1204
9	0.1174	0.1186
10	0.0927	0.0928
11	0.0917	0.0918
12	0.0886	0.0888



Gambar 0.62 Jumlah Mode dengan MMR  $\geq 90\%$

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.63 Partisipasi Massa Mode Pertama dalam Variasi Sistem Sambungan

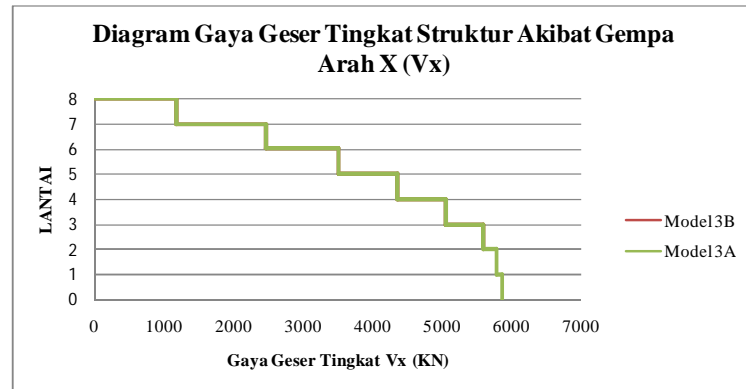
Sumber : Data Olahan Penulis

Dari Tabel 4.9, terlihat kenaikan periode getar pada Model 3B. Hal ini menunjukkan penggunaan sistem sambungan sendi pada rangka transfer membuat semakin fleksibel juga bangunan tersebut. Namun peningkatan yang terjadi hanya dalam skala yang sangat kecil dengan persentase selisih periode getar pertama sebesar 0,663%. Hal ini terjadi karena pada bagian rangka transfer, sistem sambungan pada rangka tersebut tidak sepenuhnya merupakan sambungan sendi.

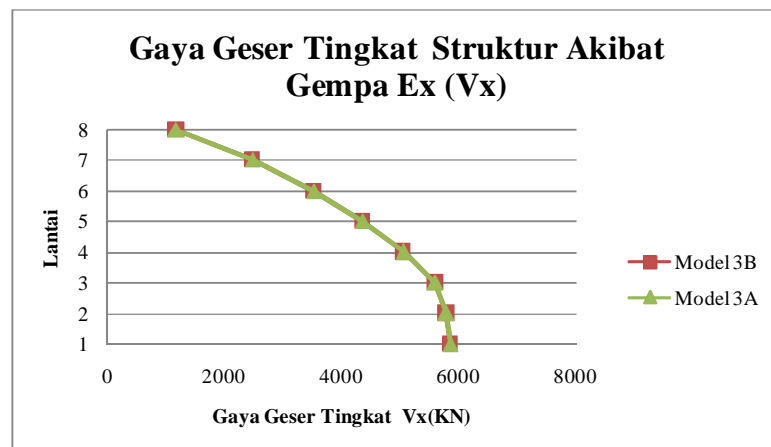
Dari Gambar 4.62 terlihat bahwa jumlah mode yang dibutuhkan kedua model untuk mencapai 90% partisipasi massa adalah sama. Selain itu, pada Gambar 4.61, terlihat bahwa partisipasi massa mode pertama untuk kedua model hampir membentuk garis lurus yang menunjukkan nilai yang berdekatan.

## 1.2.2 Analisis Respon Seismik

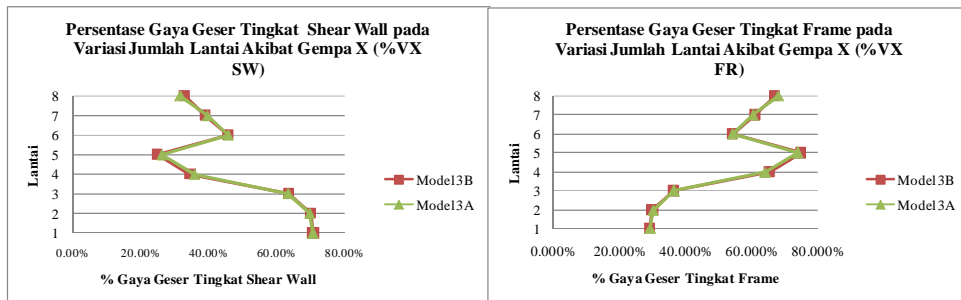
### 1.2.2.1 Analisis Perbandingan Gaya Geser Tingkat Akibat Gempa Arah X ( $V_x$ )



Gambar 0.64 Diagram Gaya Geser Tingkat Struktur Akibat Gempa Arah X dalam Variasi Sistem Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.65 Gaya Geser Tingkat Struktur Akibat Gempa Ex dalam Variasi Sistem Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis

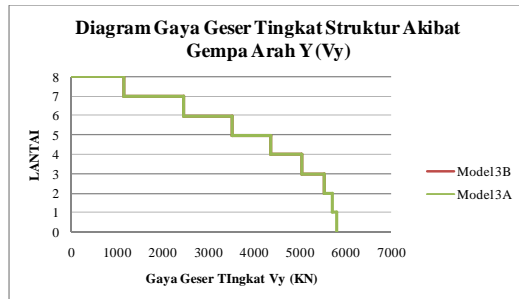


Gambar 0.66 Persentase Gaya Geser Tingkat Vx pada *Shear Wall* dan *Frame* dalam Variasi Sistem Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis

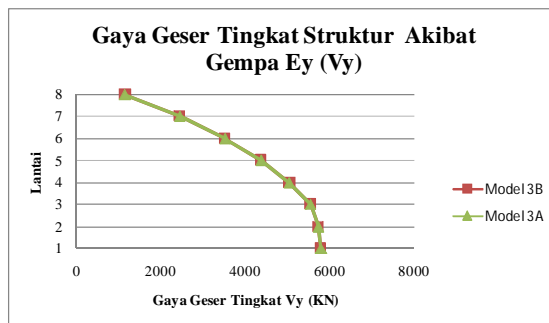
Gaya geser dasar bangunan berbanding lurus dengan massa dan koefisien respon seismik. Selain itu, gaya geser juga berkaitan dengan periode getar dan faktor reduksi gaya gempa yang dimiliki bangunan. Berdasarkan Gambar 4.62 dan Gambar 4.63, diketahui bahwa terjadi gaya geser tingkat Model 3B dan Model 3A hampir sama. Hal ini dipengaruhi oleh periode getar kedua model yang hampir sehingga gaya geser yang dihasilkan hampir sama. Dari gaya geser dasar, diketahui bahwa gaya geser Model 3A sedikit lebih besar dibandingkan gaya geser Model 3B. Hal ini menunjukkan Model 3A lebih kaku dari Model 3B.

Dari Gambar 4.64 diketahui bahwa terjadi ketidakberaturan penyebaran gaya geser tingkat pada *shear wall* dan *frame*. Adapun lantai 1 hingga lantai 3 dominan ditahan oleh *shear wall*. Namun, pada lantai 4 dan lantai 5, gaya geser dominan ditahan oleh *frame* karena kekakuan *frame* lebih besar dibandingkan kekakuan *shearwall* pada lantai itu. Pembesaran kekakuan frame tersebut terjadi akibat adanya tambahan kekakuan dari *transfer structure* di lantai 4.

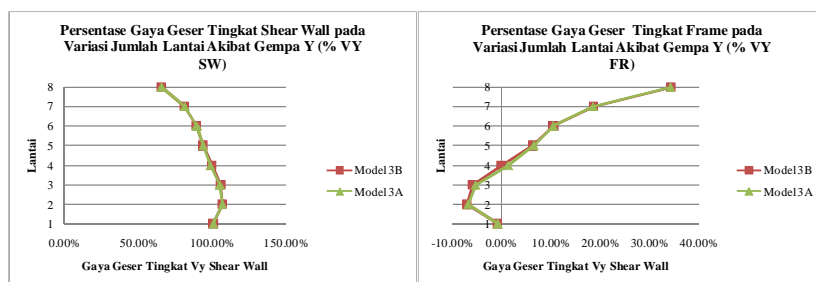
1.2.2.2 Analisis Perbandingan Gaya Geser Tingkat Akibat Gempa Arah Y



Gambar 0.67 Diagram Gaya Geser Tingkat Struktur Akibat Gempa Arah Y dalam Variasi Sistem Sambungan  
 Sumber : Data Olahan Penulis



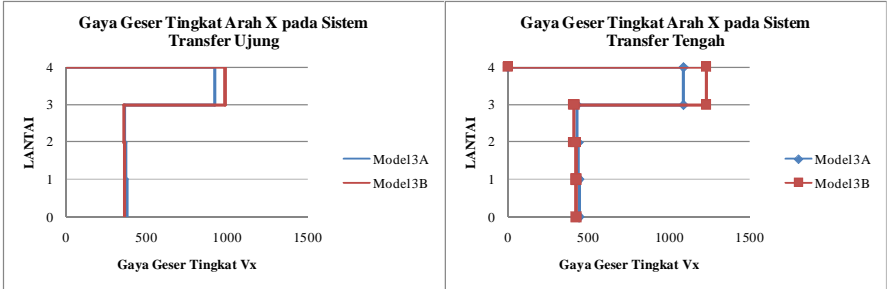
Gambar 0.68 Gaya Geser Tingkat Struktur  $V_y$  dalam Variasi Sistem Sambungan  
 Sumber : Data Olahan Penulis



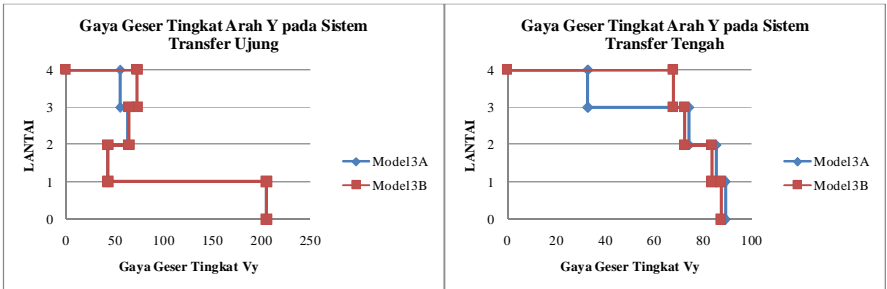
Gambar 0.69 Persentase Gaya Geser  $V_y$  pada *Shear Wall* dan *Frame* dalam Variasi Sistem Sambungan  
 Sumber : Data Olahan Penulis

Berdasarkan Gambar 4.67 dan Gambar 4.68, diketahui bahwa Model 3A dan Model 3B memiliki gaya geser tingkat yang hampir sama. Hal tersebut terjadi karena nilai periode getar bangunan yang berdekatan. Dengan berat bangunan yang sama dan besarnya kekakuan bangunan yang berdekatan maka didapatkan gaya geser akibat gempa yang identik pula. Dari Gambar 4.69, terlihat bahwa gaya geser dominan ditahan oleh *shear wall* untuk setiap lantainya. Hal ini menunjukkan bahwa *shear wall* lebih kaku pada arah Y.

1.2.2.3 Analisis Gaya Geser Tingkat Struktur Transfer



Gambar 0.70 Gaya Geser Tingkat Arah X pada Sistem Transfer dalam Variasi Sistem Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.71 Gaya Geser Tingkat Arah Y pada Sistem Transfer dalam Variasi Sistem Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis

Tabel 0.10 Gaya Lateral Arah X pada Sistem Transfer dalam Variasi Sistem Sambungan

GAYA LATERAL SISTEM TRANSFER VX						
Lantai	ST Ujung Kiri		ST Tengah		ST Ujung Kanan	
	Model 3A	Model 3B	Model 3A	Model 3B	Model 3A	Model 3B
4	300.2	366.44	87.23	237.23	299.74	365.78
3	-553.29	-631.2	-663	-819.98	-555.9	-632.14
2	6.22	6.27	10.34	10.15	6.22	6.27
1	1.92	1.96	3.52	3.43	1.92	1.95

Tabel 0.11 Gaya Lateral Arah Y pada Sistem Trasfer dalam Variasi Sistem Sambungan

GAYA LATERAL SISTEM TRANSFER VY						
Lantai	ST Ujung Kiri		ST Tengah		ST Ujung Kanan	
	Model 3A	Model 3B	Model 3A	Model 3B	Model 3A	Model 3B
4	-13.1	6.42	-46.85	-4.11	-12.37	6.03
3	8.45	-8.69	41.25	4.65	7.77	-8.54
2	-20.95	-21.46	10.94	10.94	-20.75	-21.44
1	162.5	162.45	3.93	3.94	162.55	162.48

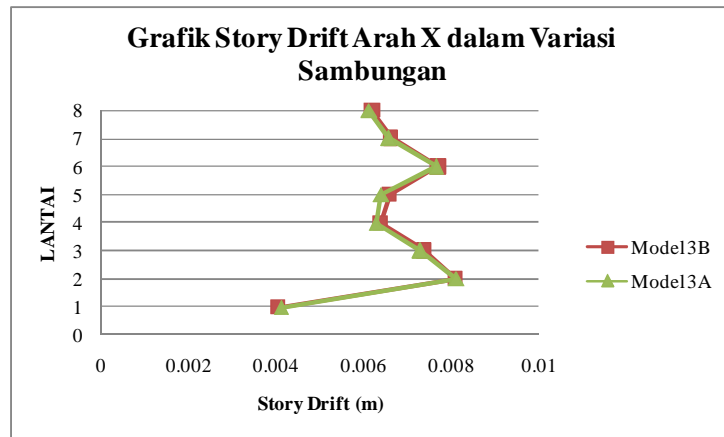
Berdasarkan Gambar 4.70, diketahui bahwa terjadi penurunan gaya geser tingkat arah X pada lantai tepat di bawah rangka transfer dan untuk lantai selanjutnya terjadi kenaikan gaya geser tingkat dalam *range* yang kecil. Sementara itu, untuk gaya geser tingkat arah Y pada bagian ujung, terjadi perbedaan mekanisme gaya geser tingkat pada kedua model dimana Model 3A terjadi peningkatan gaya geser tingkat di lantai tepat di bawah rangka transfer dan selanjutnya terjadi penurunan gaya geser tingkat di lantai 2. Sementara itu, pada Model 3B, penurunan gaya geser tingkat terjadi pada lantai 2 dan lantai 3. Adapun untuk kedua model, terjadi kenaikan gaya geser tingkat yang cukup signifikan pada lantai bawah.

Berdasarkan Gambar 4.10 untuk sistem transfer di bagian tengah, pada kedua model, gaya geser semakin ke bawah semakin meningkat. Dari Tabel 4.10 diketahui bahwa gaya lateral arah X yang masuk pada Model 3B, dengan besar gempa yang sama, lebih besar dibandingkan dengan Model 3A. Maka, dapat disimpulkan bahwa Model 3B akan lebih dahulu mengalami kegagalan dibandingkan dengan Model 3A jika diberikan besar gempa yang sama.

Dari Tabel 4.11 diketahui bahwa besarnya gaya lateral pada lantai 1 dan 2 untuk kedua model cukup identik sementara itu terdapat perbedaan yang cukup

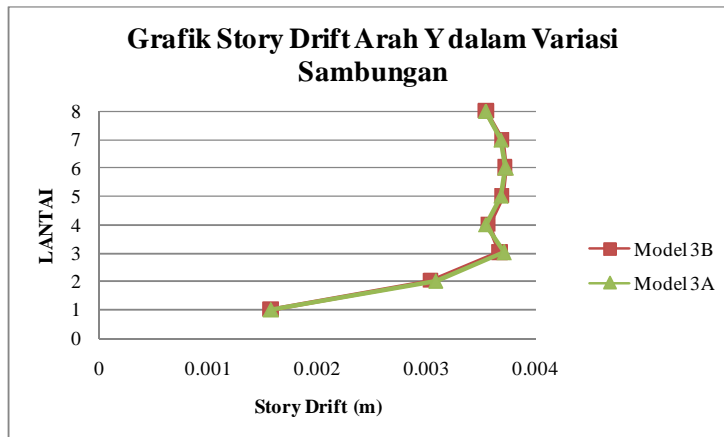
signifikan pada lantai 3 dan lantai 4. Hal tersebut terjadi karena adanya perbedaan sistem sambungan pada rangka transfer yang membuat respon seismic dari kedua model juga berbeda.

1.2.2.4 Analisis Perbandingan *Story Drift* akibat Beban Gempa



Gambar 0.72 *Story Drift* Arah X dalam Variasi Sistem Sambungan

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.73 *Story Drift* Arah Y dalam Variasi Sistem Sambungan

Sumber : Data Olahan Penulis



Berdasarkan Gambar 4.72 dan Gambar 4.73 diketahui bahwa drift dari kedua model memiliki nilai yang hampir sama. Hal tersebut terjadi karena gaya geser tingkat dari kedua model hampir sama. Selain itu, kekakuan kedua model juga identik akibat ukuran profil yang sama.

### 1.2.3 Analisis Sistem Transfer

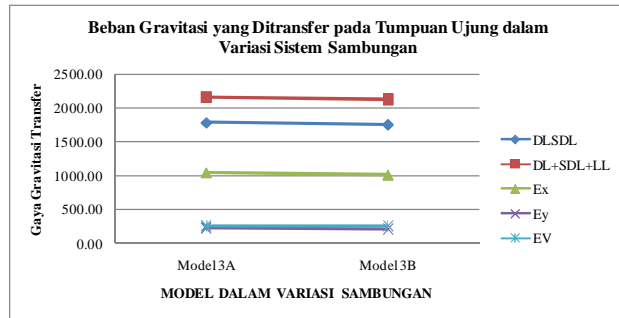
#### 1.2.3.1 Gaya yang Ditransfer oleh Sistem Transfer

Tabel 0.12 Beban Gravitasi yang Ditransfer oleh Struktur Transfer dalam Variasi Sistem Sambungan

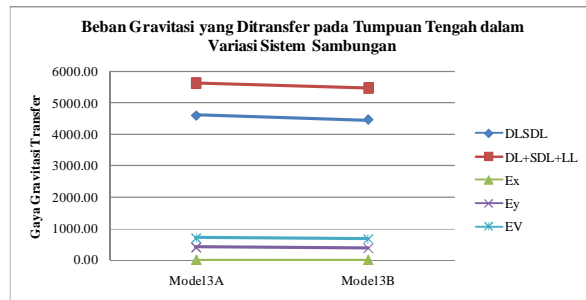
<b>BEBAN GRAVITASI TRANSFER</b>		
<b>Tumpuan Ujung Struktur Transfer</b>		
<b>Beban</b>	Model 3A	Model 3B
DLSDL	1784.98	1756.87
DL+SDL+LL	2160.29	2123.14
Ex	1046.77	1011.86
Ey	227.93	213.55
EV	261.65	257.05
<b>Tumpuan Tengah Struktur Transfer</b>		
<b>Beban</b>	Model 3A	Model 3B
DLSDL	4606.46	4469.59
DL+SDL+LL	5652.28	5475.53
Ex	0.95	0.79
Ey	399.90	368.66
EV	694.39	672.57

Tabel 0.13 Gaya Geser yang Ditransfer oleh Struktur Transfer dalam Variasi Sistem Sambungan

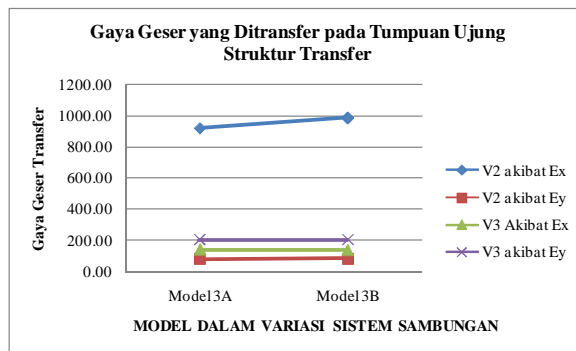
<b>GAYA GESER TRANSFER</b>				
<b>TUMPUAN UJUNG STRUKTUR TRANSFER</b>				
<b>Beban</b>	<b>Geser Arah X (V2)</b>		<b>Geser Arah Y (V3)</b>	
	Model 3A	Model 3B	Model 3A	Model 3B
Ex	921.25	988.86	143.48	137.43
Ey	81.17	84.34	205.08	205.23
<b>TUMPUAN TENGAH STRUKTUR TRANSFER</b>				
<b>Beban</b>	<b>Geser Arah X (V2)</b>		<b>Geser Arah Y (V3)</b>	
	Model 3A	Model 3B	Model 3A	Model 3B
Ex	1088.13	1230.83	0.16	0.11
Ey	38.90	43.89	89.05	87.35



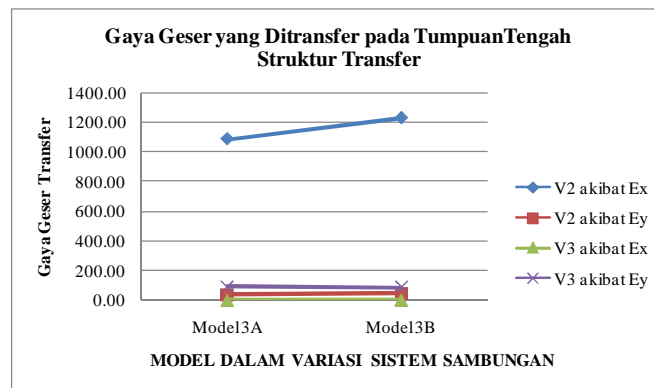
Gambar 0.74 Beban Gravitasi yang Ditransfer pada Tumpuan Ujung dalam Variasi Sistem Sambungan  
 Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.75 Beban Gravitasi yang Ditransfer pada Tumpuan Tengah dalam Variasi Sistem Sambungan  
 Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.76 Gaya Geser yang Ditransfer pada Tumpuan Ujung dalam Variasi Sistem Sambungan  
 Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.77 Gaya Geser yang Ditransfer pada Tumpuan Tengah dalam Variasi Sistem Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis

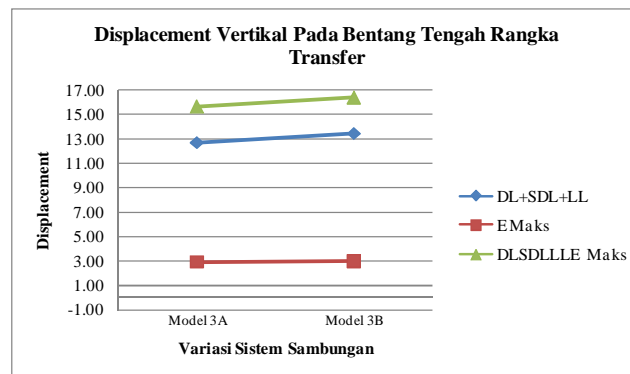
Berdasarkan Gambar 4.74 dan Gambar 4.75 diketahui bahwa gaya gravitasi yang ditransfer oleh Model 3A lebih besar dibandingkan dengan Model 3B. Hal ini menunjukkan bahwa Model 3A lebih efisien dalam mentransfer gaya gravitasi dibandingkan dengan Model 3B.

Pada Gambar 4.76 dan Gambar 4.77 diketahui bahwa gaya geser yang ditransfer pada Model 3B lebih besar dari Model 3A. Hal tersebut terjadi karena pada sistem transfer beban yang diterima oleh Model 3B lebih besar dibandingkan dengan Model 3A. Namun, perbedaan gaya geser transfer yang cukup signifikan hanyalah terdapat pada gaya geser arah X akibat gempa X. Sementara itu, gaya geser yang di transfer pada arah Y hanya memiliki perbedaan yang kecil.

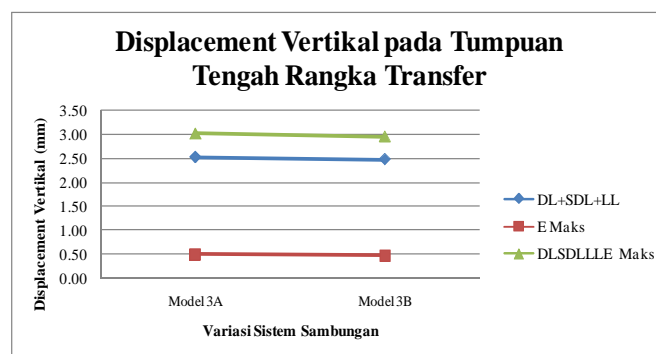
### 1.2.3.2 Displacement pada Rangka Transfer (*Transfer Truss*)

Tabel 0.14 Displacement Vertikal pada Rangka Transfer dalam Variasi Sistem Sambungan

DISPLACEMENT VERTIKAL				
BEBAN	Bentang Tengah ST		Tumpuan Tengah	
	Model 3A	Model 3B	Model 3A	Model 3B
DL+SDL+LL	12.72	13.40	2.53	2.48
E Maks	2.86	2.94	0.50	0.48
DLSDLLLE Maks	15.57	16.34	3.03	2.96

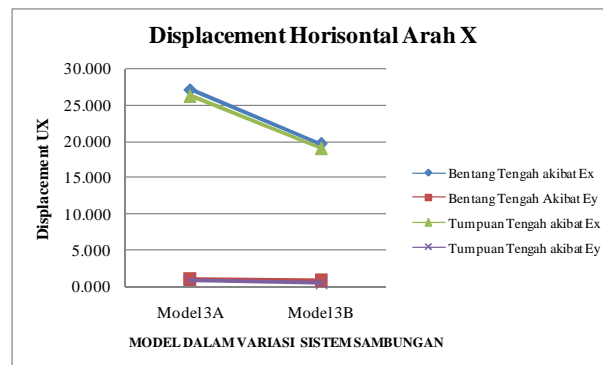


Gambar 0.78 *Displacement* Vertikal pada Bentang Tengah Rangka Transfer dalam Variasi Sistem Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis

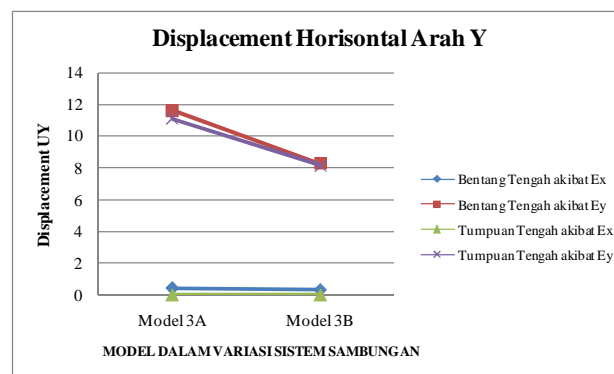


Gambar 0.79 *Displacement* Vertikal pada Tumpuan Tengah Rangka Transfer dalam Variasi Sistem Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis

Berdasarkan Tabel 4.6 diketahui bahwa *displacement* vertikal terbesar terjadi di bentang tengah rangka transfer. Dari Gambar 4.78 diketahui bahwa pada bagian bentang tengah rangka transfer, *displacement* vertikal terbesar terdapat pada Model 3B. Sementara itu, pada bagian tumpuan tengah rangka transfer, *displacement* vertikal terbesar terjadi pada Model 3A namun dalam *range* perbedaan yang kecil. Adapun *displacement* pada tumpuan jauh lebih kecil dari pada bentang tengah rangka transfer. Dengan demikian, dari hasil yang telah didapatkan, diketahui bahwa Model 3A lebih efisien jika ditinjau dari besarnya *displacement* vertikal yang terjadi.



Gambar 0.80 *Displacement* Horizontal Rangka Transfer Arah X dalam Variasi Sistem Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis

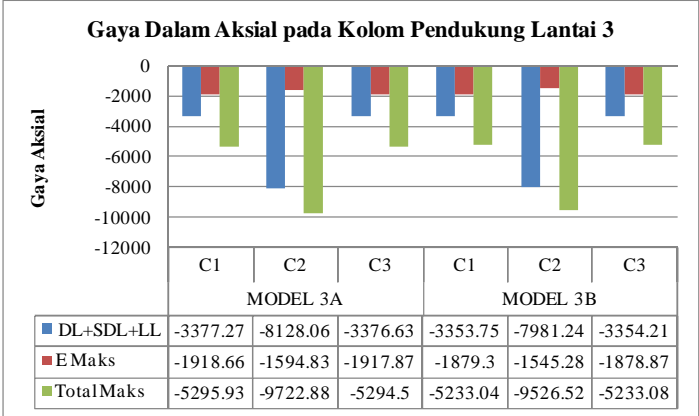


Gambar 0.81 *Displacement* Horizontal Rangka Transfer Arah Y dalam Variasi Sistem Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis

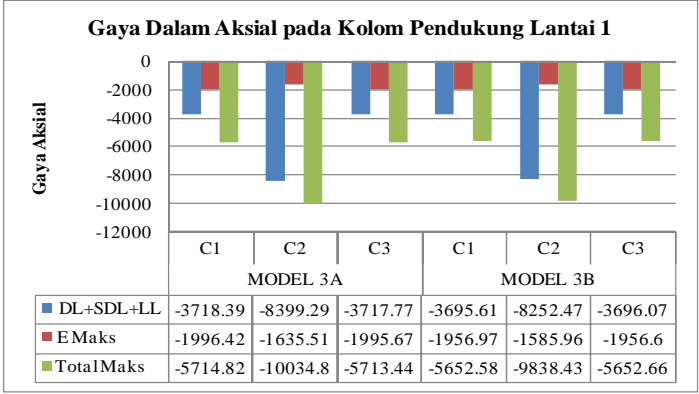
Dari Tabel 4.7 menunjukkan bahwa perpindahan horizontal dalam arah X lebih besar dibandingkan perpindahan horizontal dalam arah Y. Hal ini disebabkan karena dalam arah Y, gaya geser hampir seluruhnya ditahan oleh *shear wall* sehingga gaya geser yang masuk dalam rangka transfer pada arah tersebut menjadi kecil. Berdasarkan Gambar 4.80 dan Gambar 4.81, diketahui bahwa *displacement* horizontal pada Model 3A lebih besar dibandingkan dengan Model 3B.

1.2.3.3 Gaya Dalam Aksial dan Geser Pada Kolom Pendukung

Gaya dalam aksial dan geser pada kolom pendukung dianalisis berdasarkan kombinasi pembebanan *service*. Gaya dalam aksial dan geser pada kolom pendukung digambarkan dalam grafik berikut:

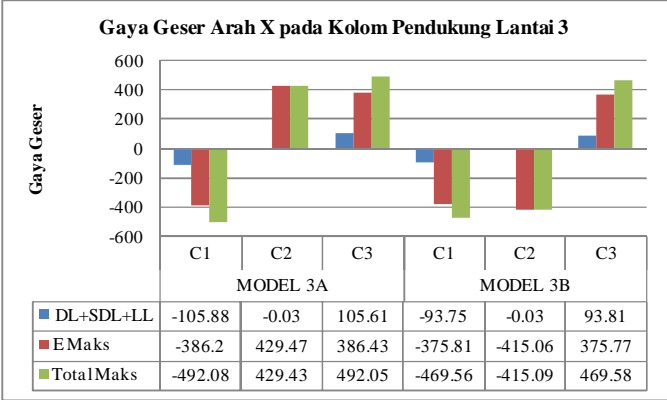


Gambar 0.82 Gaya Dalam Aksial pada Kolom Pendukung Lantai 3 dalam Variasi Sistem Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis

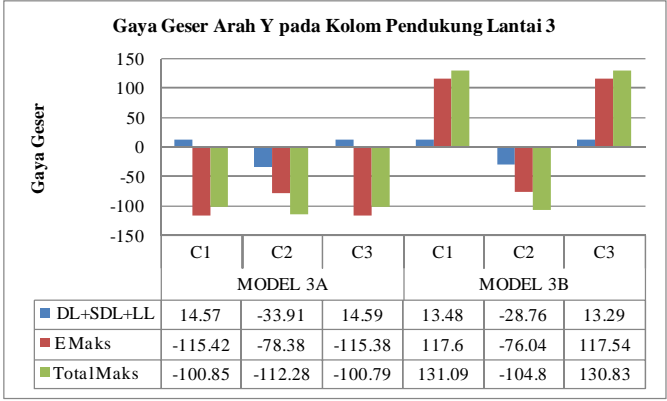


Gambar 0.83 Gaya Dalam Aksial pada Kolom Pendukung Lantai 1 dalam Variasi Sistem Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis

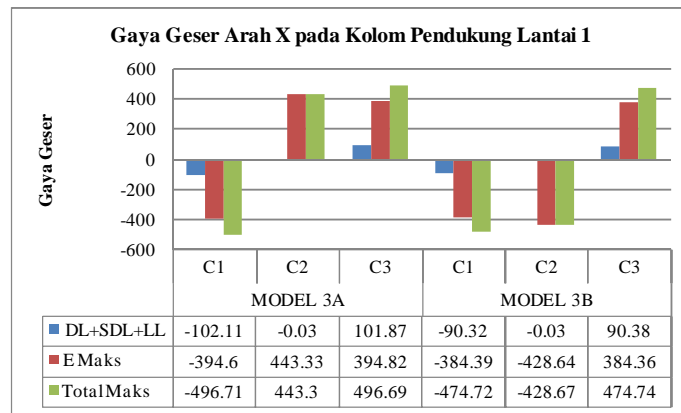
Berdasarkan Gambar 4.82 dan Gambar 4.83, diketahui bahwa gaya aksial pada Model 3A lebih besar dibandingkan dengan Model 3B. Adapun gaya aksial semakin meningkat di saat elevasi bangunan semakin ke bawah.



Gambar 0.84 Gaya Geser Arah X pada Kolom Pendukung Lantai 3 dalam Variasi Sambungan  
 Sumber : Data Olahan Penulis

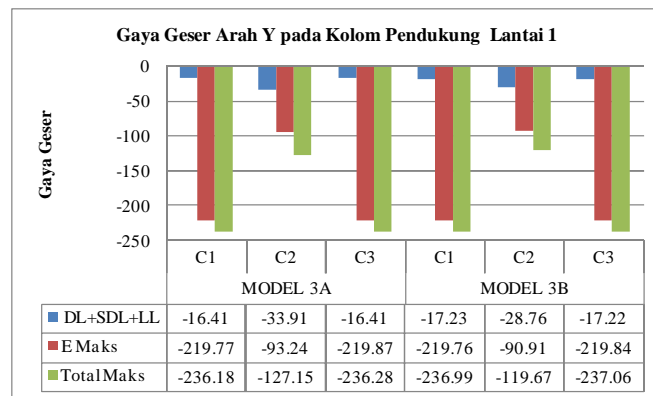


Gambar 0.85 Gaya Geser Arah Y pada Kolom Pendukung Lantai 3 dalam Variasi Jumlah Sambungan  
 Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.86 Gaya Geser Arah X pada Kolom Pendukung Lantai 1 dalam Variasi Sambungan

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.87 Gaya Geser Arah Y pada Kolom Pendukung Lantai 1 dalam Variasi Sambungan

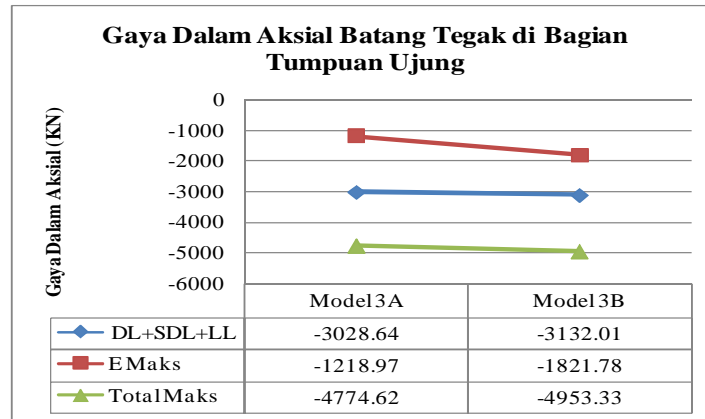
Sumber : Data Olahan Penulis

Gaya geser pada kolom pendukung menggambarkan gaya lateral struktur akibat kombinasi pembebanan *service* yang ditransfer oleh struktur transfer tersebut. Dari grafik-grafik gaya geser kolom pendukung di atas, diketahui bahwa gaya geser yang terjadi antara Model 3A dan Model 3B memiliki nilai yang hampir sama terutama pada gaya geser arah Y di bagian tumpuan ujung.

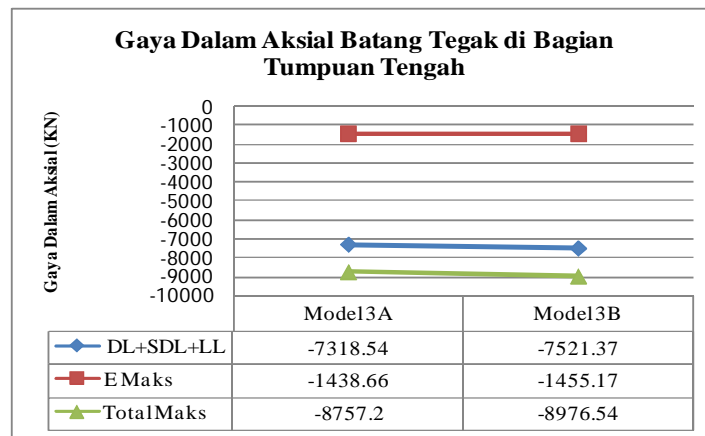


### 1.2.3.4 Gaya Dalam Pada Rangka Transfer

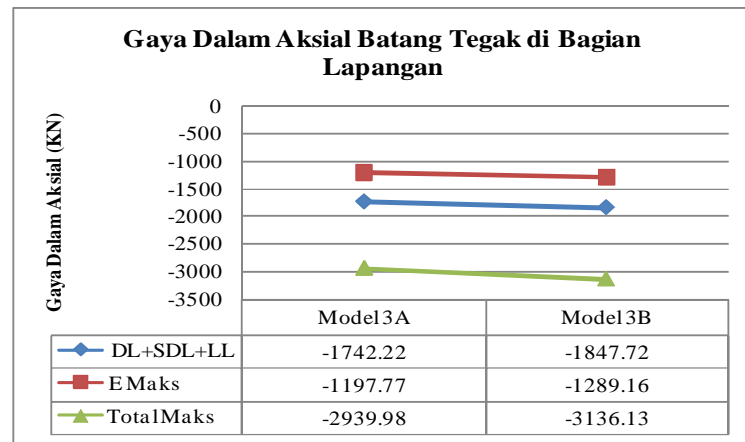
#### 1. Batang Tegak



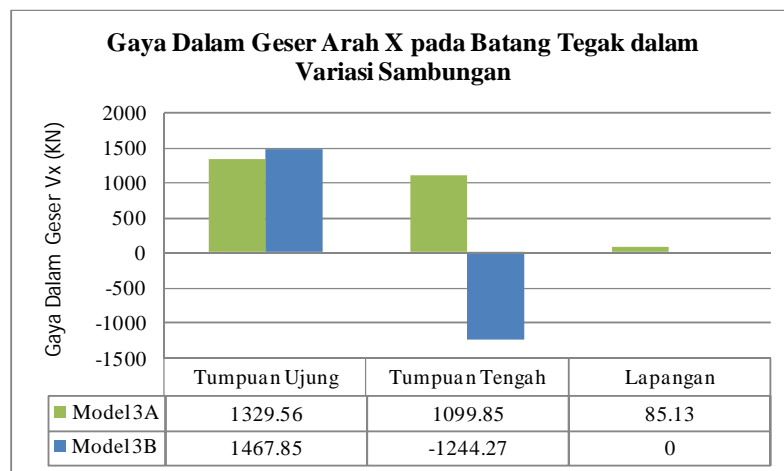
Gambar 0.88 Gaya Aksial Batang Tegak di Bagian Tumpuan Ujung dalam Variasi Sistem Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis



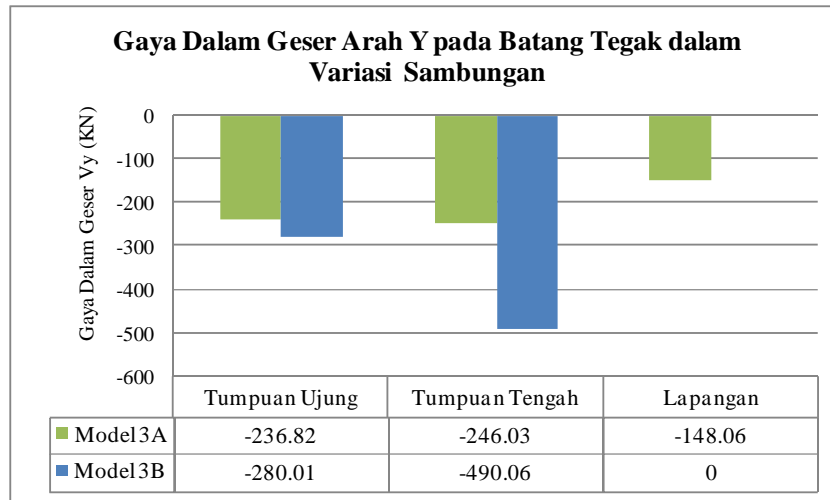
Gambar 0.89 Gaya Aksial Batang Tegak di Bagian Tumpuan Tengah dalam Variasi Sistem Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.90 Gaya Aksial Batang Tegak di Bagian Lapangan dalam Variasi Sistem Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.91 Gaya Geser Arah X pada Batang Tegak dalam Variasi Sistem Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis



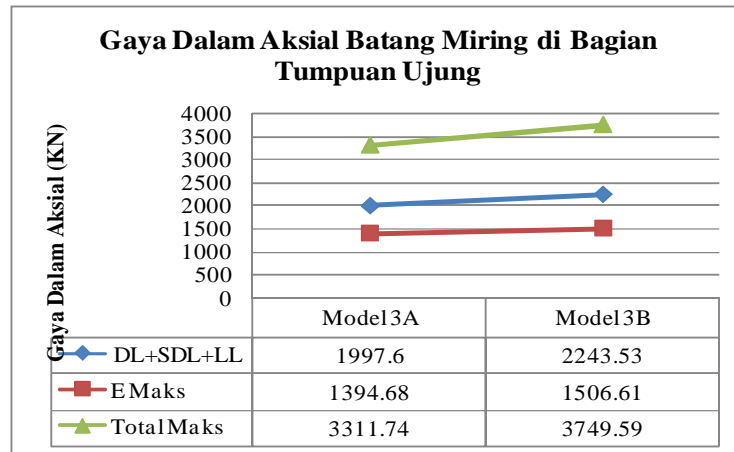
Gambar 0.92 Gaya Geser Arah Y pada Batang Tegak dalam Variasi Sistem Sambungan

Sumber : Data Olahan Penulis

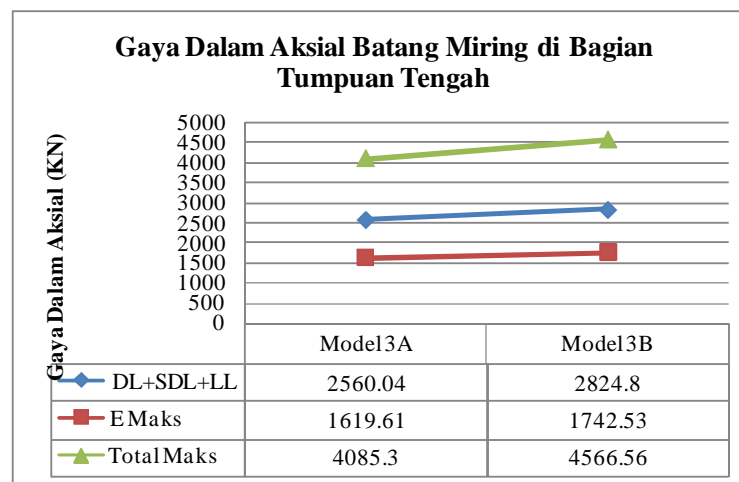
Dari keseluruhan gaya aksial dan gaya geser pada batang tegak yang tertera dalam gambar di atas, diketahui bahwa gaya aksial pada Model 3B lebih besar dibandingkan Model 3A. Pada Gambar 4.90, di bagian tumpuan tengah, terdapat perbedaan arah gaya dalam lintang. Hal tersebut terjadi karena batang sebagai letak beban aksial maksimum pada bagian tersebut tidak sama untuk kesemua model, seperti yang tertera dalam lampiran. Adapun gaya geser di bagian lapangan Model 3B bernilai nol akibat sambungan sendi pada batang.

Pada batang tegak, terlihat bahwa gaya aksial yang terjadi didominasi oleh akibat pembebanan gravitasi yakni total berat sendiri, beban mati tambahan, dan beban hidup.

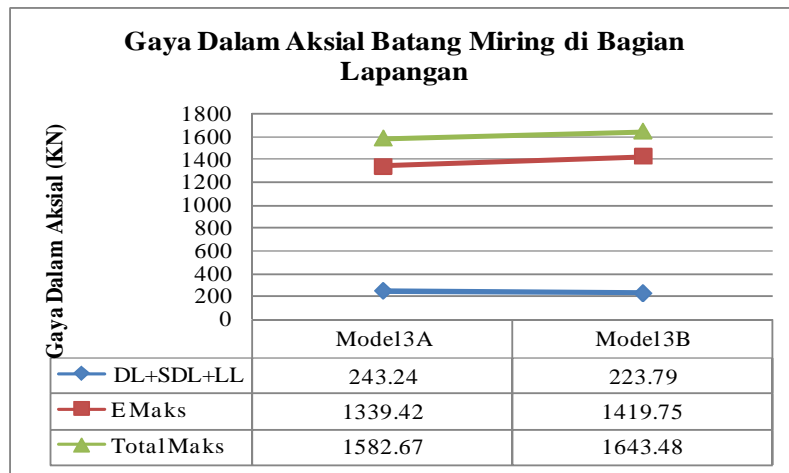
## 2. Gaya Dalam Batang Miring



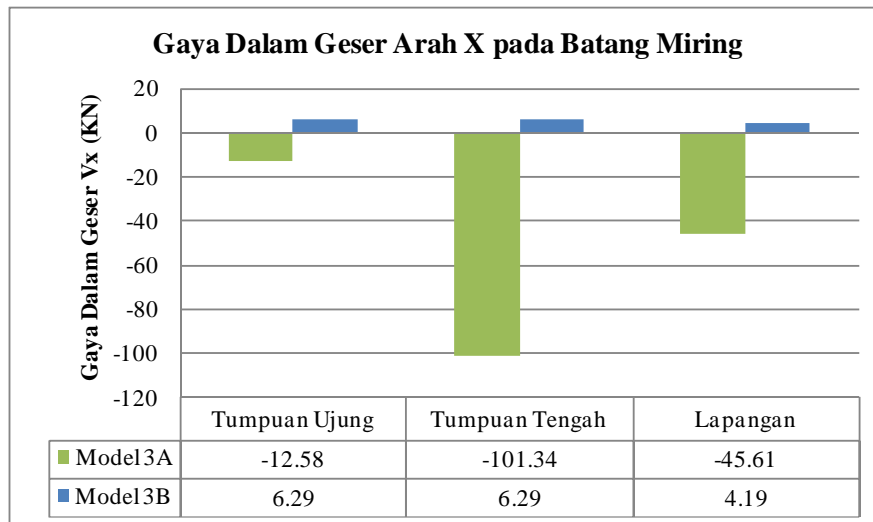
Gambar 0.93 Gaya Dalam Aksial Batang Miring di Bagian Tumpuan Ujung dalam Variasi Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis



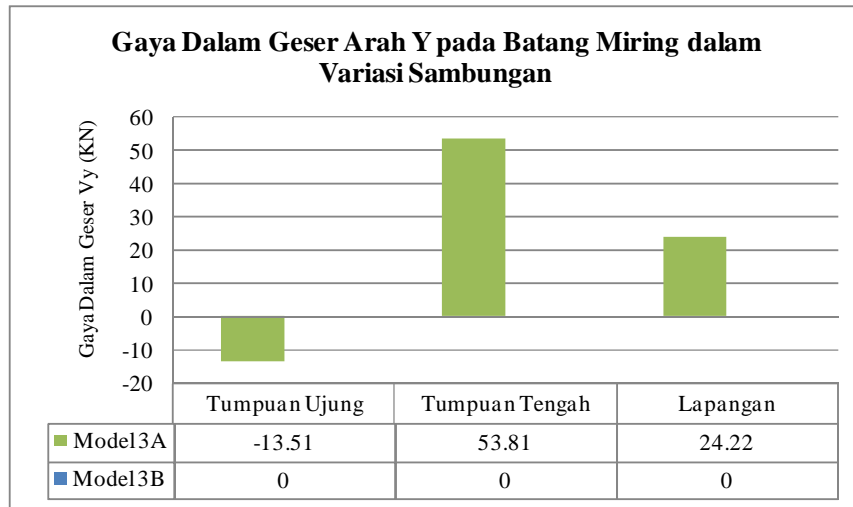
Gambar 0.94 Gaya Dalam Aksial Batang Miring di Bagian Tumpuan Tengah dalam Variasi Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.95 Gaya Dalam Aksial Batang Miring di Bagian Lapangan dalam Variasi Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.96 Gaya Geser Arah X pada Batang Miring dalam Variasi Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis

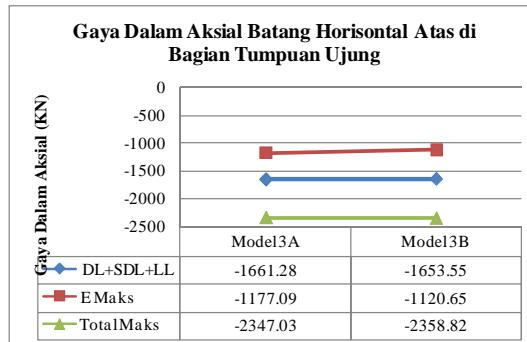


Gambar 0.97 Gaya Geser Arah Y pada Batang Miring dalam Variasi Sambungan

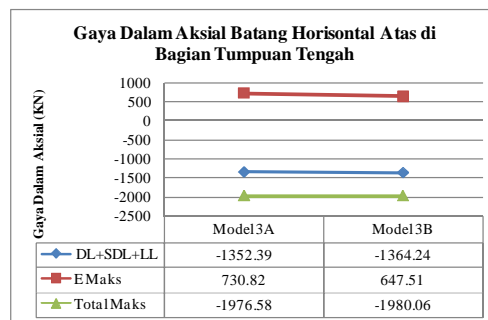
Sumber : Data Olahan Penulis

Dari Gambar 4.32, Gambar 4.33, dan Gambar 4.34, diketahui bahwa gaya aksial pada Model 3B lebih besar dibandingkan dengan Model 3A. Hal ini juga terlihat pada Gambar 4.35 dan Gambar 4.36 di mana terjadi peningkatan gaya geser seiring peningkatan jumlah lantai. Pada Gambar 4.95 terdapat perbedaan arah gaya dalam lintang. Hal tersebut terjadi karena batang sebagai letak beban aksial maksimum pada bagian tersebut tidak sama untuk semua model, seperti yang tertera dalam lampiran. Dari Gambar 4.96 juga diketahui bahwa geser arah Y pada Model 3B adalah nol karena rangka batangnya merupakan sambungan sendi. Adapun pada Gambar 4.95, terdapat gaya geser arah X pada bagian lapangan model 3B akibat pengaruh dari berat sendiri batang tersebut.

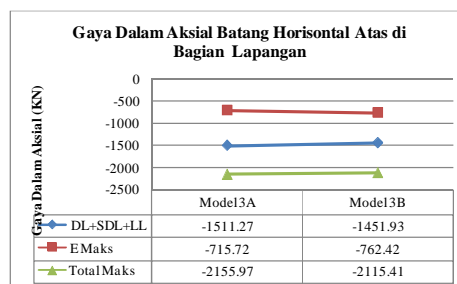
### 3. Gaya Dalam pada Batang Horizontal Atas



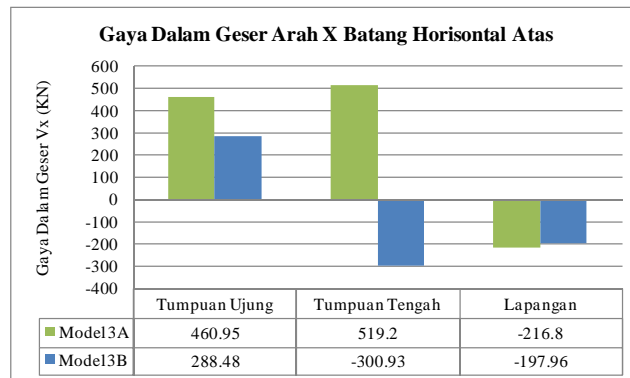
Gambar 0.98 Gaya Aksial Batang Horizontal Atas di Bagian Tumpuan Ujung dalam Variasi Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis



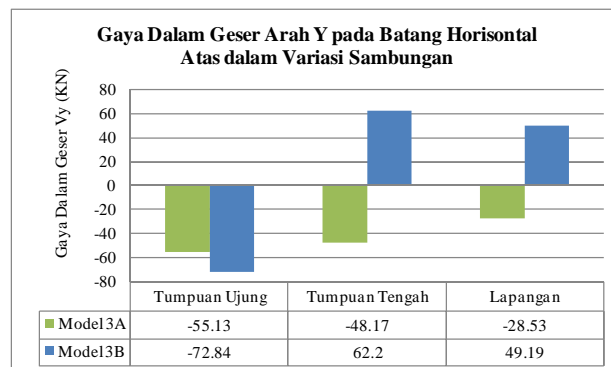
Gambar 0.99 Gaya Aksial Batang Horizontal Atas di Bagian Tumpuan Tengah dalam Variasi Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.100 Gaya Aksial Batang Horizontal Atas di Bagian Lapangan dalam Variasi Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.101 Gaya Geser Arah X Batang Horizontal Atas dalam Variasi Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis

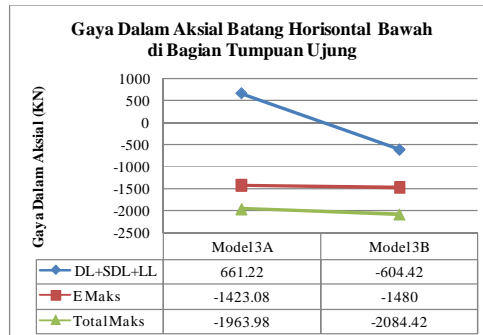


Gambar 0.102 Gaya Geser Arah Y Batang Horizontal Atas dalam Variasi Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis

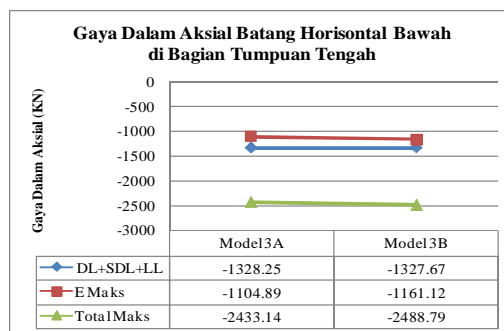
Dari keseluruhan gaya aksial pada batang horizontal atas yang tertera dalam gambar di atas, diketahui bahwa gaya aksial paling besar adalah Model 3B, kecuali untuk tumpuan ujung. Dari Gambar 4.100 dan 4.101, diketahui bahwa gaya geser arah X Model 3A lebih besar dibandingkan dengan Model 3B. Sementara itu, gaya geser arah Y Model 3B lebih besar dari Model 3A.



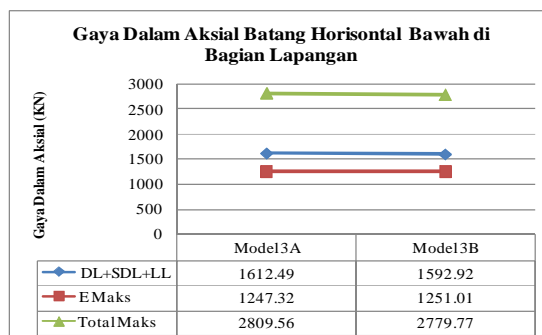
#### 4. Gaya Dalam pada Batang Horizontal Bawah



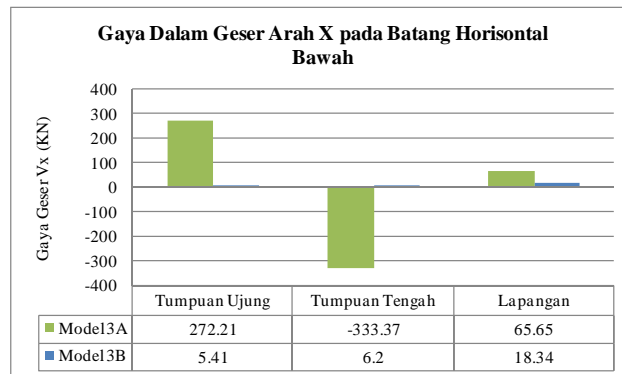
Gambar 0.103 Gaya Aksial Batang Horizontal Bawah di Bagian Tumpuan Ujung dalam Variasi Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis



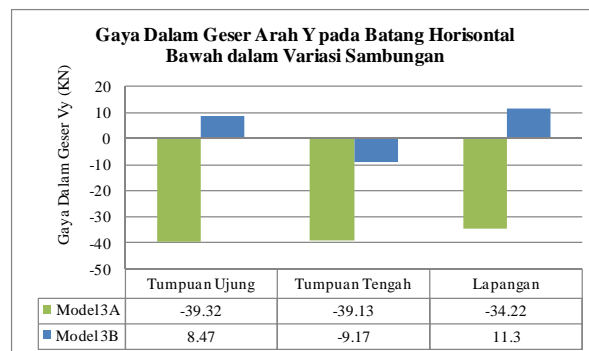
Gambar 0.104 Gaya Aksial Batang Horizontal Bawah di Bagian Tumpuan Tengah dalam Variasi Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.105 Gaya Dalam Aksial Batang Horizontal Bawah di Bagian Lapangan dalam Variasi Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.106 Gaya Geser Arah X pada Batang Horizontal Bawah dalam Variasi Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis

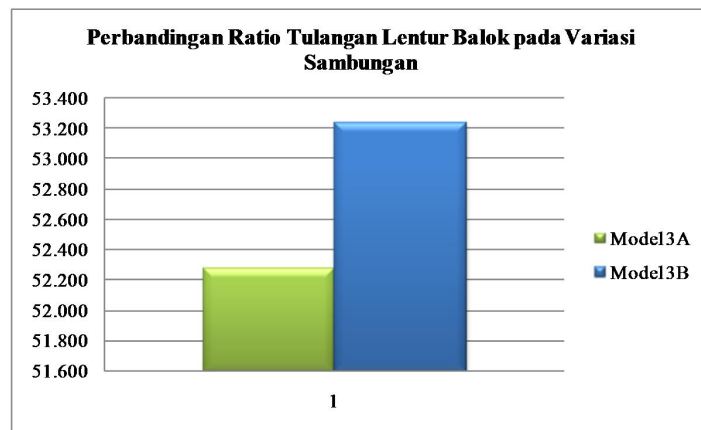


Gambar 0.107 Gaya Geser Arah Y pada Batang Horizontal Bawah dalam Variasi Sambungan  
Sumber : Data Olahan Penulis

Dari keseluruhan gaya aksial yang terjadi pada batang horizontal bawah seperti tertera dalam gambar di atas, diketahui bahwa gaya aksial akibat beban gravitasi lebih besar pada Model 3A. Namun gaya aksial akibat pembebanan gempa lebih besar pada Model 3B. Dari Gambar 4.105 dan Gambar 4.106 diketahui bahwa gaya geser pada batang horizontal bawah pada Model 3A lebih besar dibandingkan dengan Model 3B.

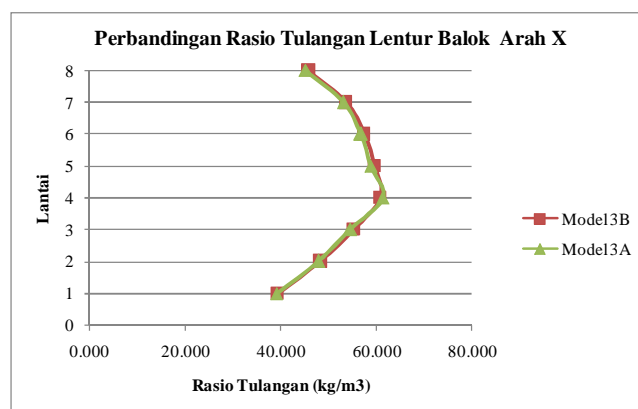
## 1.2.4 Ratio Kebutuhan Penulangan

### 1.2.4.1 Ratio Kebutuhan Penulangan Balok



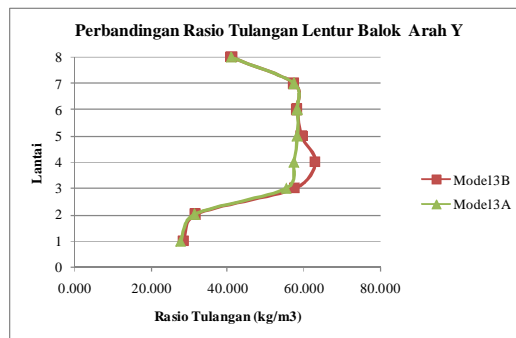
Gambar 0.108 Perbandingan Ratio Tulangan Lentur Total Balok pada Variasi Sambungan

Sumber : Data Olahan Penulis

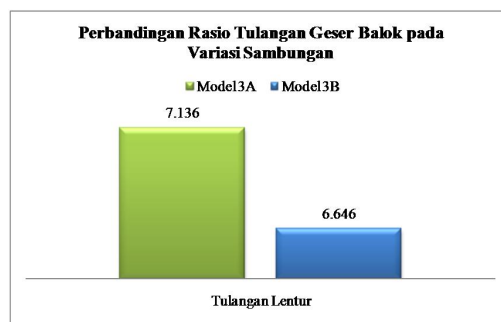


Gambar 0.109 Perbandingan Rasio Tulangan Lentur Balok Arah X pada Variasi Sambungan

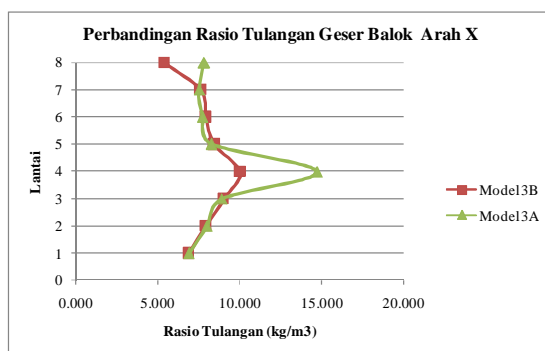
Sumber : Data Olahan Penulis



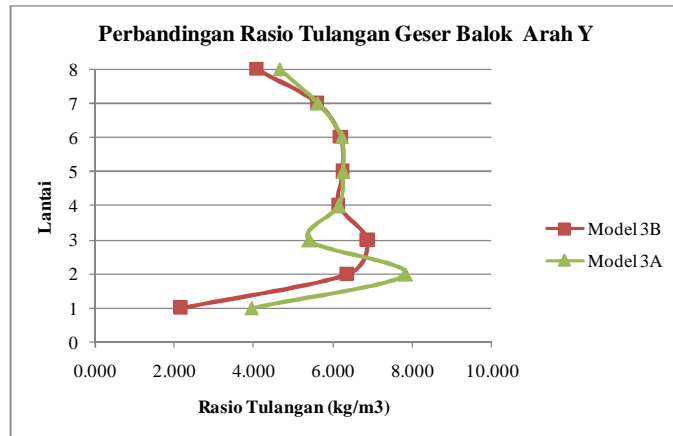
Gambar 0.110 Perbandingan Ratio Tulangan Lentur Balok Arah Y pada Variasi Sambungan  
 Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.111 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Total Balok dalam Variasi Sambungan  
 Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.112 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Balok Arah X pada Variasi Sambungan  
 Sumber : Data Olahan Penulis

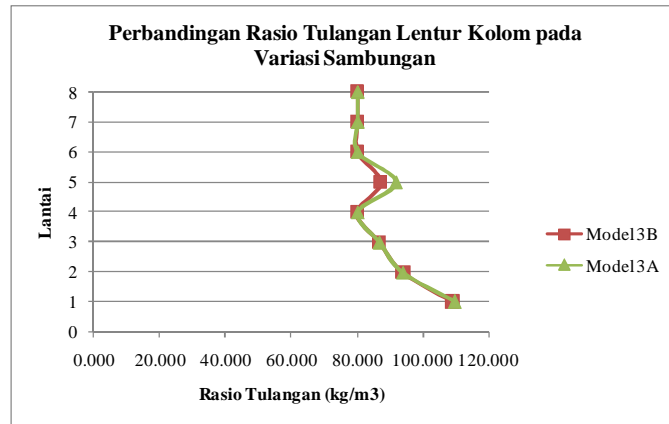


Gambar 0.113 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Balok Arah Y pada Variasi Sambungan

Sumber : Data Olahan Penulis

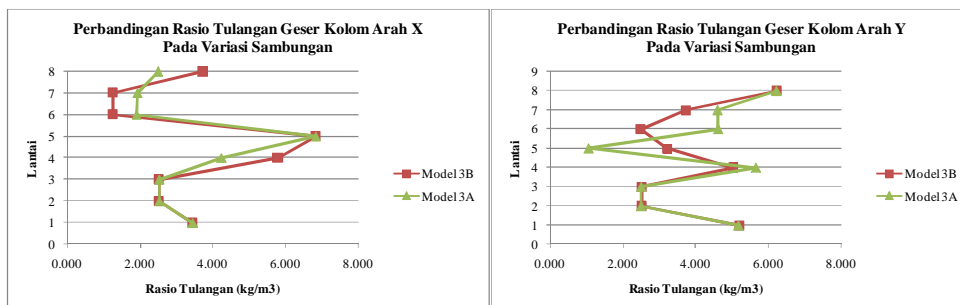
Dari hasil penulangan lentur balok seperti yang tertera pada grafik-grafik di atas, diketahui bahwa Model 3B membutuhkan lebih banyak tulangan lentur. Sementara itu, Model 3A membutuhkan lebih banyak tulangan geser. Hal ini terjadi karena gaya geser yang bekerja pada struktur Model 3A lebih besar dibandingkan Model 3B karena Model 3A lebih kaku dibandingkan dengan Model 3B.

### 1.2.4.2 Ratio Kebutuhan Penulangan pada Kolom



Gambar 0.114 Perbandingan Ratio Tulangan Lentur Kolom pada Variasi Sambungan

Sumber : Data Olahan Penulis

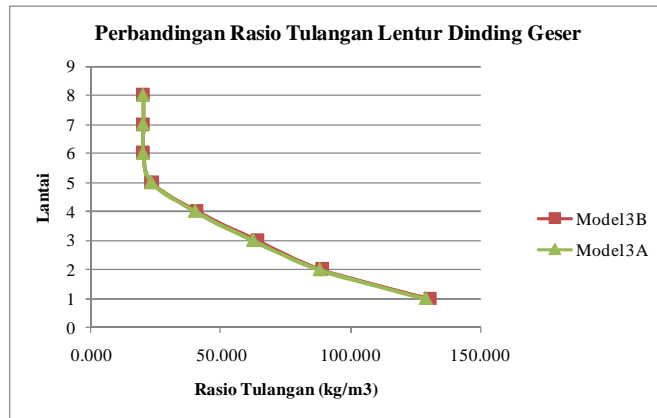


Gambar 0.115 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Total Kolom pada Variasi Sambungan

Sumber : Data Olahan Penulis

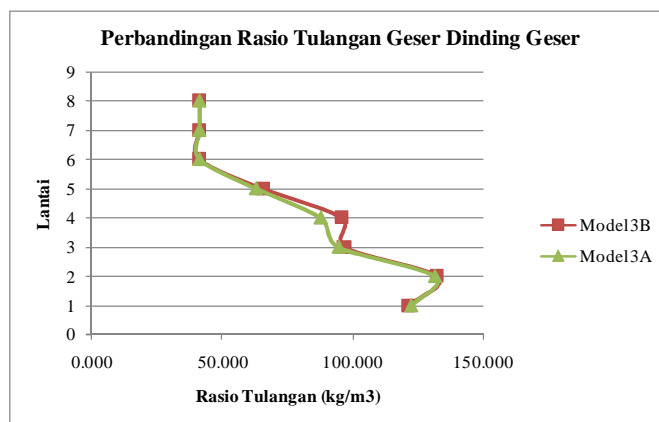
Berdasarkan gambar diatas diketahui bahwa ratio kebutuhan tulangan lentur antara Model 3A dan Model 3B hampir sama. Hal tersebut terjadi karan pembebanan gravitasi yang sama akibat kesamaan profil serta pembebanan gempa yang identik. Adapun ratio tulangan geser kolom diambil secara langsung dari data eksak program sehingga yang tertera dalam grafik adalah tulangan geser perlu pada kolom.

### 1.2.4.3 Ratio Kebutuhan Penulangan pada *Shear Wall*



Gambar 0.116 Perbandingan Rasio Tulangan Lentur Dinding Geser pada Variasi Sambungan

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 0.117 Perbandingan Ratio Tulangan Geser *Shear Wall* pada Variasi Sambungan

Sumber : Data Olahan Penulis

Dari grafik penulangan pada dinding geser, baik penulangan lentur maupun penulangan geser, diketahui bahwa kebutuhan tulangan geser untuk

kedua model hampir sama. Hal ini disebabkan oleh gaya geser akibat pembebanan gempa untuk kedua model hampir sama.

Dari keseluruhan analisis yang dilakukan, maka dapat diberikan beberapa rangkuman hasil analisis yakni sebagai berikut:

1. Peningkatan gaya geser, gaya dalam, dan *displacement* berbanding lurus dengan peningkatan jumlah lantainya.
2. Dari variasi jumlah lantai, diketahui bahwa semakin tinggi jumlah lantainya, maka kebutuhan akan tulangan lentur dan tulangan geser juga semakin tinggi.
3. Dari hasil yang didapatkan, diketahui bahwa pada keseluruhan model, beban gravitasi menjadi kontrol dalam desain bangunan. Hal ini terbukti dari peran terbesar gaya gravitasi pada gaya-gaya dalam batang. Selain itu, pada setiap model diketahui bahwa ada beberapa lantai yang tidak membutuhkan tulangan geser kolom dan ratio penulangan geser perlu yang cukup kecil. Terlebih lagi, kolom di bawah struktur transfer tidak membutuhkan tulangan geser. Hal ini membuktikan bahwa kolom di bawah struktur transfer menahan beban gravitasi dan cukup mampu dan kaku dalam menahan beban seismik. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Li dkk. (2003). Di mana Li dkk. menyatakan bahwa untuk bangunan tingkat rendah dengan kolom-kolom ujung yang mendukung *transfer beam*, beban gravitasi biasanya mengontrol desain bangunan.
4. Dari hasil analisis untuk variasi sistem sambungan, dapat disimpulkan bahwa bangunan dengan rangka transfer rigid lebih efisien dibandingkan dengan bangunan rangka transfer sendi. Di mana dari hasil analisis yang telah dilakukan, diketahui bahwa rangka rigid mampu mentransfer lebih banyak beban gravitasi dan memiliki *displacement* vertikal yang lebih kecil. Selain itu, dari gaya lateral pada kolom pendukung diketahui pula bahwa dengan beban gempa yang sama, model dengan sambungan sendi lebih dahulu mengalami kegagalan dibandingkan dengan model sambungan rigid.



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 1.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan-kesimpulan sebagai berikut:

1. Transfer beam , layaknya struktur bawah, tidak boleh mengalami kegagalan di awal sehingga perlu diperhitungkan terhadap suatu faktor lebih  $f_2$  yang nilainya disesuaikan dengan peraturan SNI-03-1726-2002. Selain itu, berdasarkan peraturan yang sama, bangunan dengan sistem transfer harus diperhitungkan terhadap pengaruh gempa vertikal.
2. Peningkatan gaya geser, *displacement*, gaya dalam, dan kebutuhan penulangan berbanding lurus dengan peningkatan jumlah lantainya.
3. Gaya-gaya yang ditransfer semakin meningkat seiring dengan penambahan jumlah lantai akibat terjadinya kenaikan beban.
4. Bangunan dengan rangka transfer rigid lebih efisien dibandingkan dengan bangunan rangka transfer sendi. Di mana rangka rigid mampu mentransfer beban gravitasi yang lebih besar, sementara *displacement* vertikal yang terjadi lebih kecil. Selain itu, jika kedua bangunan dikenai percepatan gempa yang sama, bangunan dengan sambungan sendi akan mengalami kegagalan lebih awal dibandingkan dengan bangunan dengan sambungan rigid.
5. Perbedaan karakteristik dinamik dalam variasi sambungan tidak terlalu signifikan akibat kekakuan kedua bangunan yang hampir sama yakni dengan persentase selisih periode getar pertama sebesar 0,663%.
6. Ratio kebutuhan penulangan dalam variasi sambungan dapat dikatakan identik akibat gaya-gaya dalam pada kedua struktur bangunan tidak jauh berbeda.
7. Pada keseluruhan model, beban gravitasi menjadi kontrol dalam desain bangunan (*gravity load dominated*). Di mana kolom di bawah struktur transfer mampu menahan beban gravitasi dan cukup kuat dalam menahan beban seismik yang dikenai pada bangunan tersebut.

8. Gaya-gaya dalam pada rangka batang dominan dipengaruhi oleh beban gravitasi

## **1.2 Saran**

Dalam penelitian ini, bangunan diteliti dengan menggunakan analisis respon spektrum. Untuk penelitian yang menggunakan gempa besar, akan lebih baik jika struktur dimodelkan dalam kondisi inelastis. Sebagai penelitian tambahan, penelitian ini juga dapat dilanjutkan dengan melakukan analisis untuk bangunan yang lebih tinggi, untuk mengetahui apakah struktur transfer tersebut dominan dikontrol oleh beban gravitasi atau beban seismik.

## DAFTAR PUSTAKA

- AISC Manual of Steel Construction LRFD Design.2005
- Chopra, Anil.K. *Dynamics of Structures 2<sup>nd</sup> Edition*. 2000. New Jersey: Prantice Hall.
- Li, J.H., Su, R.K.L. and Chandler, A.M. 2003. *Assessment of Low-Multistory Building with Transfer Beam under Seismic Forces*. *Engineering Structures* 25(12), p.1537-1549.
- Paulay, T. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*.USA: John Willey and Sons.
- MacGregor, James.G. 1988.*Reinforced Concrete : Mechanics and Design*.
- Naeim, Farzad. *The Seismic Design Handbook*.. 2000. California: ICC.
- Peraturan Daerah DKI Jakarta No.9 Tahun 1999. *Pelestarian dan Pemanfaatan Lingkungan dan Cagar Budaya*.
- SNI-03-1726-2002. *StandarPerencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*.
- SNI-03-2847-2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*.
- SNI-03-1729-2002. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*.
- Tumilar, Stefi. 2009. *Petunjuk Perancangan Struktur Berdasarkan Ketentuan ASCE-05, IBC-2009, dan ACI 318-08*. Jakarta : HAKI
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 1992. *Bangunan Cagar Budaya*.
- Utomo, Junaedi. 2008. *Sambungan Momen Seismik Plat Ujung pada SRPMK dengan Kolom Dalam*. Konferensi Nasional Teknik Sipil 2. Yogyakarta.

## Lampiran 1. Analisis Dinamik Bangunan 4 Lantai (Model 1)

## a. Pengecekan Batasan Periode Fundamental

PERIODE GETAR DAN PARTISIPASI MASSA							
Mode	Period	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	0.452348	82.1757	0	0.3211	82.1757	0	0.3211
2	0.299505	0	84.2772	0	82.1757	84.2772	0.3211
3	0.188914	0.242	0	82.5502	82.4178	84.2772	82.8713
4	0.158492	0	4.182	0.0001	82.4178	88.4592	82.8714
5	0.114282	0.0002	1.4502	0	82.418	89.9094	82.8714
6	0.11292	11.0194	0	0.0064	93.4373	89.9094	82.8778
7	0.096843	0.7744	0	0.0958	94.2118	89.9094	82.9736
8	0.096393	0	0.0428	0	94.2118	89.9522	82.9736
9	0.084619	0.3822	0	5.5078	94.594	89.9522	88.4814
10	0.081273	0	0.556	0	94.594	90.5082	88.4814
11	0.079373	0	4.0304	0	94.594	94.5386	88.4814
12	0.076643	0.1067	0	0.0901	94.7006	94.5386	88.5715
13	0.072077	0	0.1233	0	94.7006	94.6619	88.5715
14	0.070156	0.7966	0	0.0041	95.4972	94.6619	88.5757
15	0.068093	0.9478	0	1.0383	96.445	94.6619	89.6139
16	0.066007	0	0.026	0	96.4451	94.688	89.6139
17	0.06501	0.7933	0	0.1261	97.2384	94.688	89.74
18	0.061276	0.0003	0	0.3656	97.2387	94.688	90.1056

Tabel 8 Koefisien  $\zeta$  yang membatasi waktu getar alami Fundamental struktur gedung

Wilayah Gempa	$\zeta$
1	0.20
2	0.19
3	0.18
4	0.17
5	0.16
6	0.15

Batasan Periode Fundamental ( $T$ ) =  $\zeta \cdot N = 0,18 \cdot 4 = 0,72$ .....MEMENUHI

## b. Pengecekan Kinerja Struktur Gedung (SNI 03-1726-2002 Pasal 8)

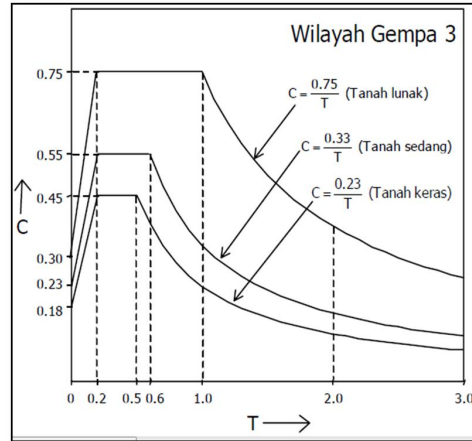
Pemeriksaan Kinerja Struktur Gedung					
STORY	DriftX(m)	DriftY(m)	BU (m)	BL (m)	Ket.
STORY 4	0.002221	0.000828	0.072	0.0196364	Memenuhi
STORY 3	0.002968	0.001244	0.08	0.0218182	Memenuhi
STORY 2	0.003212	0.00162	0.08	0.0218182	Memenuhi
STORY 1	0.001616	0.001168	0.08	0.0218182	Memenuhi
Keterangan: BU = Batas Ultimit BL = Batas Layan					

## Lampiran 1. (Lanjutan)

## c. Pengecekan terhadap Gaya Geser Statik

ANALISIS STATIK	
T	
Tx (Mode1)	0.452348
Ty (Mode2)	0.299505

C1	Tanah Lunak
C1x	0.75
C1y	0.75
I	1
R	5.5
Wt (KN)	18198.1543
V1x (KN)	2481.566495
V1y (KN)	2481.566495
0.8V1x	1985.253196
0.8V1y	1985.253196



STORY	GAYA GESER TINGKAT						Vd > 0.8Vs
	Vx			Vy			
	VStatik	0.8 VStatik	VDinamik	VStatik	0.8 VStatik	VDinamik	
STORY4	1051.638	841.311	933.44	1051.638	841.311	873.88	OK
STORY3	2024.769	1619.815	1838.53	2024.769	1619.815	1810.56	OK
STORY2	2329.301	1863.440	2137.41	2329.301	1863.440	2157.1	OK
STORY1	2481.566	1985.253	2251.76	2481.566	1985.253	2302.75	OK
BASE	2481.566	1985.253	2251.76	2481.566	1985.253	2302.75	OK

Keterangan: Vd = V dinamik Vs = V statik

## Lampiran 2. Analisis Dinamik Bangunan 6 Lantai (Model 2)

## a. Pengecekan Batasan Periode Fundamental

PERIODE GETAR DAN PARTISIPASI MASSA							
Mode	Period	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	0.711879	82.6678	0	0.1325	82.6678	0	0.1325
2	0.481333	0	82.3515	0	82.6678	82.3515	0.1325
3	0.323902	0.0027	0	80.0689	82.6705	82.3515	80.2013
4	0.181283	0	9.3003	0	82.6705	91.6519	80.2013
5	0.178522	10.1437	0	0.1457	92.8142	91.6519	80.347
6	0.134041	0	1.0998	0	92.8142	92.7516	80.347
7	0.104788	2.0256	0	5.3531	94.8399	92.7516	85.7001
8	0.101394	0	0.2841	0	94.8399	93.0358	85.7001
9	0.096411	0.7231	0	6.0116	95.563	93.0358	91.7117
10	0.085662	0	1.2741	0	95.563	94.3099	91.7117
11	0.079389	0.9696	0	0.2678	96.5326	94.3099	91.9795
12	0.0765	0.1207	0	0.6653	96.6533	94.3099	92.6448

Tabel 8 Koefisien  $\zeta$  yang membatasi waktu getar alami Fundamental struktur gedung

Wilayah Gempa	$\zeta$
1	0.20
2	0.19
3	0.18
4	0.17
5	0.16
6	0.15

Batasan Periode Fundamental ( $T$ ) =  $\zeta \cdot N = 0,18 \cdot 6 = 1,08$ .....MEMENUHI

## b. Pengecekan Kinerja Struktur Gedung (SNI 03-1726-2002 Pasal 8)

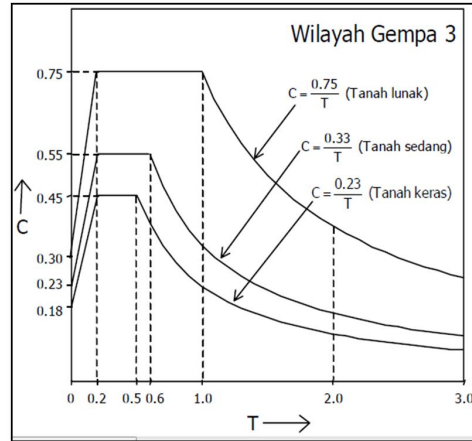
Pemeriksaan Kinerja Struktur Gedung					
STORY	DriftX(m)	DriftY(m)	BU (m)	BL (m)	Ket.
STORY 6	0.004252	0.002012	0.072	0.01964	Memenuhi
STORY 5	0.004388	0.002092	0.072	0.01964	Memenuhi
STORY 4	0.004244	0.002131	0.072	0.01964	Memenuhi
STORY 3	0.00526	0.002468	0.08	0.02182	Memenuhi
STORY 2	0.005884	0.002292	0.08	0.02182	Memenuhi
STORY 1	0.002972	0.001304	0.08	0.02182	Memenuhi
Keterangan: BU = Batas Ultimit BL = Batas Layan					

## Lampiran 2. (Lanjutan)

## c. Pengecekan terhadap Gaya Geser Statik

ANALISIS STATIK	
T	
Tx (Mode1)	0.711879
Ty (Mode2)	0.481333

C1	Tanah Lunak
C1x	0.75
C1y	0.75
I	1
R	5.5
Wt (KN)	33456.08875
V1x (KN)	4562.19392
V1y (KN)	4562.19392
0.8V1x	3649.755136
0.8V1y	3649.755136



STORY	GAYA GESER TINGKAT						Vd>0.8Vs
	Vx			Vy			
	VStatik	0.8 VStatik	VDinamik	VStatik	0.8 VStatik	VDinamik	
STORY6	1162.420	929.936	1081.46	2416.857	1933.486	1036.43	OK
STORY5	2416.857	1933.486	2198.53	2416.857	1933.486	2181.98	OK
STORY4	3452.546	2762.037	3074.91	3452.546	2762.037	3092.26	OK
STORY3	4207.499	3365.999	3753.06	4207.499	3365.999	3736.93	OK
STORY2	4443.962	3555.170	3988.24	4443.962	3555.170	3966.27	OK
STORY1	4562.194	3649.755	4073.41	4562.194	3649.755	4055.83	OK
BASE	4562.194	3649.755	4073.41	4562.194	3649.755	4055.83	OK

Keterangan: Vd = V dinamik Vs = V statik

## Lampiran 3. Analisis Dinamik Bangunan 8 Lantai (Model 3A)

## a. Pengecekan Batasan Periode Fundamental

PERIODE GETAR DAN PARTISIPASI MASSA							
Mode	Period	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	0.975764	80.2613	0	0.0418	80.2613	0	0.0418
2	0.694857	0	78.98	0	80.2613	78.98	0.0419
3	0.479233	0.0003	0	76.6691	80.2616	78.98	76.711
4	0.279632	12.0279	0	0.0294	92.2895	78.98	76.7404
5	0.216715	0	13.1629	0	92.2895	92.1429	76.7404
6	0.150758	0	1.4165	0	92.2895	93.5595	76.7404
7	0.134742	0.7378	0	14.4534	93.0273	93.5595	91.1938
8	0.120139	2.7122	0	0.7712	95.7394	93.5595	91.965
9	0.117448	0	0.8969	0.0001	95.7395	94.4564	91.965
10	0.092652	0.8	0	0.0135	96.5395	94.4564	91.9785
11	0.091718	0	0.5529	0.0001	96.5395	95.0093	91.9785
12	0.088642	0	0.1587	0.0001	96.5395	95.168	91.9786

Tabel 8 Koefisien  $\zeta$  yang membatasi waktu getar alami Fundamental struktur gedung

Wilayah Gempa	$\zeta$
1	0.20
2	0.19
3	0.18
4	0.17
5	0.16
6	0.15

Batasan Periode Fundamental ( $T$ ) =  $\zeta \cdot N = 0,18 \cdot 8 = 1,44 \dots \dots \dots$  MEMENUHI

## b. Pengecekan Kinerja Struktur Gedung (SNI 03-1726-2002 Pasal 8)

Pemeriksaan Kinerja Struktur Gedung					
STORY	DriftX(m)	DriftY(m)	BU (m)	BL (m)	Ket.
STORY 8	0.006124	0.003535	0.072	0.0196	Memenuhi
STORY 7	0.006566	0.003676	0.072	0.0196	Memenuhi
STORY 6	0.007643	0.003726	0.072	0.0196	Memenuhi
STORY 5	0.00639	0.003676	0.072	0.0196	Memenuhi
STORY 4	0.006282	0.003535	0.072	0.0196	Memenuhi
STORY 3	0.007284	0.0037	0.08	0.0218	Memenuhi
STORY 2	0.008108	0.00308	0.08	0.0218	Memenuhi
STORY 1	0.0041	0.001568	0.08	0.0218	Memenuhi
Keterangan: BU = Batas Ultimit BL = Batas Layan					

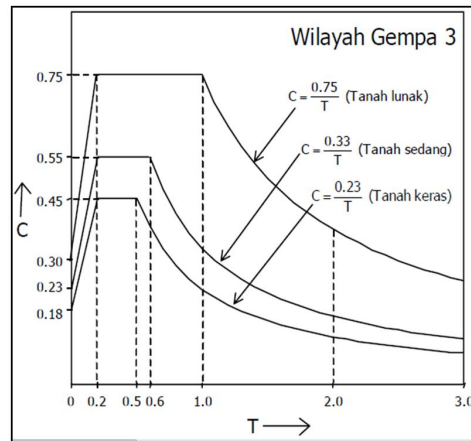


## Lampiran3. (Lanjutan)

## c. Pengecekan terhadap Gaya Geser Statik

T	
Tx (Mode1)	0.975764
Ty (Mode2)	0.694857

C1	Tanah Lunak
C1x	0.75
C1y	0.75
I	1
R	5.5
Wt (KN)	49837.80775
V1x (KN)	6796.064693
V1y (KN)	6796.064693
0.8V1x	5436.851754
0.8V1y	5436.851754



STORY	GAYA GESER TINGKAT						Vd>0.8Vs
	Vx			Vy			
	VStatik	0.8 VStatik	VDinamik	VStatik	0.8 VStatik	VDinamik	
STORY8	1257.817	1006.253	1180.92	1257.817	1006.253	1148.91	OK
STORY7	2686.820	2149.456	2474.47	2686.820	2149.456	2451.75	OK
STORY6	3920.959	3136.767	3519.14	3920.959	3136.767	3512.2	OK
STORY5	4973.353	3978.683	4361.78	4973.353	3978.683	4357.71	OK
STORY4	5852.113	4681.690	5056	5852.113	4681.690	5037.86	OK
STORY3	6494.263	5195.410	5604.47	6494.263	5195.410	5536.34	OK
STORY2	6695.464	5356.371	5798.23	6695.464	5356.371	5719.15	OK
STORY1	6796.065	5436.852	5866.02	6796.065	5436.852	5787.97	OK
BASE	6796.065	5436.852	5866.02	6796.065	5436.852	5787.97	OK

Keterangan: Vd = Vdinamik Vs = V statik

## Lampiran 4. Gaya Dalam pada Kolom Pendukung Setiap Model

KOLOM	LANTAI	BEBAN	Model 1			Model 2			Model 3A			Model 3B		
			P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3	P	V2	V3
C1	4	DL	-394.1	-4.5	-18.87	-1124.29	94.81	-27.2	-1894.21	199.87	-38.22	-1958.53	236.9	-56.38
		SDL	-123.34	-1.93	-8.25	-411.61	37.46	-14.55	-688.05	79.61	-18.58	-711.83	93.6	-28.29
		DL+SDL	-517.44	-6.43	-27.12	-1535.9	132.27	-41.75	-2582.27	279.48	-56.8	-2670.36	330.5	-84.67
		LL	-97.18	-1.28	-4.21	-276.27	29.97	-8.69	-446.37	62.67	-11.35	-461.19	71.25	-22.56
		DLSDL+LL	-614.62	-7.71	-31.33	-1812.17	162.23	-50.44	-3028.64	342.15	-68.15	-3131.55	401.75	-107.24
		EV1	-81.99	-1.02	-4.26	-242.82	21.19	-6.65	-407.43	44.74	-9.03	-421.31	52.78	-13.72
		EV2	77.62	0.96	4.07	230.38	-19.84	6.26	387.34	-41.92	8.52	400.55	-49.58	12.7
		EX	125.57	27.52	12.68	559.23	326.38	67.72	1212.12	918.31	143.13	1275.04	987.9	137.2
		EY	8.91	9.84	6.9	127.35	35.96	29	421.46	81.17	55	418.12	84.74	72.87
		E MAKS	-210.23	-31.5	-19	-840.25	-315.98	-83.08	-1745.98	-897.92	-168.67	-1821.78	1066.11	-172.78
	TOTAL MAKS	-824.86	-39.2	-50.33	-2652.42	-153.74	-133.52	-4774.62	-555.77	-236.82	-4953.33	1467.85	-280.01	
	3	DL	-494.04	-8.32	0.2	-1287.74	-29.13	5.19	-2146.76	-61.7	11.06	-2135.7	-54.87	10.54
		SDL	-153.6	-3.23	-3.93	-453.59	-11.84	-1.36	-747.93	-24.74	0.69	-742.27	-21.91	0.4
		DL+SDL	-647.63	-11.54	-3.73	-1741.33	-40.97	3.83	-2894.69	-86.44	11.75	-2877.97	-76.78	10.94
		LL	-111.36	-2.86	-0.18	-299.21	-9.53	1.48	-482.58	-19.43	2.82	-475.78	-16.96	2.54
		DLSDL+LL	-759	-14.4	-3.92	-2040.54	-50.51	5.32	-3377.27	-105.88	14.57	-3353.75	-93.75	13.48
		EV1	-102.16	-1.86	-0.57	-274.66	-6.57	0.64	-455.92	-13.84	1.89	-453.11	-12.28	1.76
		EV2	97.14	1.73	0.56	261.2	6.15	-0.57	434.2	12.97	-1.76	431.7	11.52	-1.64
		EX	131.89	21.82	10.97	597.99	126.29	44.73	1320.85	365.02	98.28	1287.98	356.7	96.59
		EY	7.91	4.79	18.32	153.58	10.98	37.28	472.97	24.48	63.45	460.69	22.75	64.18
		E MAKS	-236.42	-25.11	-22.18	-918.72	-136.16	-55.27	-1918.66	-386.2	-115.42	-1879.3	-375.81	117.6
	TOTAL MAKS	-995.41	-39.51	-26.09	-2959.27	-186.67	-49.95	-5295.93	-492.08	-100.85	-5233.04	-469.56	131.09	
	2	DL	-571.18	-7.47	-5.6	-1398.66	-27.72	-5.64	-2299.35	-60.13	-4.89	-2288.53	-53.44	-5.05
		SDL	-171.53	-2.89	-4.94	-471.4	-11.27	-5.08	-765.79	-24.12	-4.79	-760.24	-21.34	-4.87
		DL+SDL	-742.72	-10.36	-10.54	-1870.06	-38.99	-10.73	-3065.14	-84.25	-9.68	-3048.77	-74.78	-9.92
		LL	-111.34	-2.56	-0.15	-299.1	-9.08	-0.29	-482.52	-18.96	-0.19	-475.84	-16.53	-0.3
		DLSDL+LL	-854.06	-12.92	-10.69	-2169.16	-48.07	-11.02	-3547.65	-103.21	-9.87	-3524.61	-91.32	-10.22
		EV1	-116.42	-1.67	-1.59	-293.97	-6.26	-1.62	-481.48	-13.49	-1.46	-478.73	-11.96	-1.5
		EV2	111.41	1.55	1.58	280.51	5.85	1.61	459.77	12.64	1.45	457.32	11.22	1.49
		EX	133.73	31.12	3.61	601.51	134.26	9.11	1326.45	371.24	12.17	1293.45	362.97	11.55
		EY	15.83	6.79	2.58	174.56	12.63	12.25	506.24	26.11	42.5	494.09	24.52	42.72
		E MAKS	-254.9	-34.82	-5.98	-947.85	-144.3	-16.61	-1959.81	-392.56	-47.61	-1920.4	-382.29	-47.69
	TOTAL MAKS	-1108.95	-47.74	-16.67	-3117.01	-192.37	-27.62	-5507.46	-495.77	-57.48	-5445.01	-473.61	-57.91	
	1	DL	-648.55	-7.18	-3.64	-1509.87	-27.16	-6.08	-2452.1	-59.49	-10.33	-2441.41	-52.86	-10.73
		SDL	-189.54	-2.77	-3.09	-489.38	-11.04	-3.79	-783.78	-23.86	-4.93	-778.29	-21.11	-5.13
		DL+SDL	-838.09	-9.95	-6.73	-1999.25	-38.19	-9.87	-3235.88	-83.36	-15.27	-3219.71	-73.97	-15.86
LL		-111.36	-2.45	-0.09	-299.08	-8.9	-0.44	-482.51	-18.76	-1.15	-475.9	-16.36	-1.37	
DLSDL+LL		-949.45	-12.4	-6.82	-2298.32	-47.09	-10.31	-3718.39	-102.11	-16.41	-3695.61	-90.32	-17.23	
EV1		-130.72	-1.6	-1.01	-313.35	-6.13	-1.5	-507.1	-13.35	-2.34	-504.37	-11.83	-2.44	
EV2		125.71	1.49	1.01	299.89	5.73	1.48	485.38	12.5	2.29	482.96	11.09	2.38	
EX		135.39	35.32	3.63	604.5	137.2	14.26	1330.78	373.16	41.44	1297.68	364.93	40.52	
EY		22.72	9.31	26.82	189.3	14.32	89.59	528.49	26.96	205	516.41	25.46	205.17	
E MAKS		-272.93	-39.72	-28.93	-974.63	-147.63	-95.37	-1996.42	-394.6	-219.77	-1956.97	-384.39	-219.76	
TOTAL MAKS	-1222.38	-52.13	-35.74	-3272.95	-194.72	-105.68	-5714.82	-496.71	-236.18	-5652.58	-474.72	-236.99		

## Lampiran 4. (Lanjutan)

C2	4	DL	-1000.87	0.01	-172.95	-2654.21	-0.13	-106.12	-4360.58	0.04	-100.41	-4490.94	-0.14	-190.9
		SDL	-334.22	0	-57.22	-1015.58	-0.05	-46.98	-1673.54	0.01	-43.8	-1720.09	-0.06	-89.31
		DL+SDL	-1335.1	0.01	-230.18	-3669.8	-0.18	-153.1	-6034.12	0.05	-144.21	-6211.03	-0.2	-280.21
		LL	-274.45	0	-49.84	-789.34	-0.05	-48.97	-1284.42	-0.01	-45.19	-1310.34	-0.04	-95.66
		DLSDL+LL	-1609.55	0.01	-280.02	-4459.13	-0.24	-202.07	-7318.54	0.04	-189.39	-7521.37	-0.24	-375.87
		EV1	-212.61	0	-36.77	-585.99	-0.03	-25.17	-962.92	0.01	-23.66	-990.62	-0.03	-46.34
		EV2	200.26	0	34.53	550.47	0.03	22.96	905.12	-0.01	21.63	931.65	0.03	42.03
		EX	0.76	23.27	0.03	1.1	368.44	0.14	0.95	1088.13	0.16	0.9	1230.83	0.11
		EY	49.77	1.51	12.34	183.25	12.3	31.75	475.46	38.9	32.93	464.28	43.89	67.82
		E MAKS	-262.61	-23.72	-49.12	-769.57	-372.16	-56.96	-1438.66	-1099.79	-56.64	-1455.17	-1244.03	-114.19
		TOTAL MAKS	-1872.16	23.73	-329.14	-5228.7	371.86	-259.03	-8757.2	1099.85	-246.03	-8976.54	-1244.27	-490.06
	3	DL	-1232.65	0.02	-8.09	-2998.36	0.01	-14.35	-4876.69	-0.02	-17.21	-4800.22	-0.02	-14.69
		SDL	-408.85	0	-4.92	-1121.25	0	-6.68	-1829.41	-0.01	-8.08	-1794.31	-0.01	-6.85
		DL+SDL	-1641.5	0.02	-13.01	-4119.61	0.01	-21.03	-6706.09	-0.03	-25.29	-6594.53	-0.02	-21.54
		LL	-350.55	0	-5.63	-888.7	0.01	-6.99	-1421.96	0	-8.62	-1386.71	-0.01	-7.22
		DLSDL+LL	-1992.04	0.03	-18.64	-5008.31	0.01	-28.03	-8128.06	-0.03	-33.91	-7981.24	-0.03	-28.76
		EV1	-262	0	-2.2	-657.93	0	-3.47	-1069.9	0	-4.18	-1051.58	0	-3.56
		EV2	246.22	0	1.95	617.94	0	3.16	1005.91	0	3.79	989.18	0	3.23
		EX	0.78	24.68	0.02	1.17	143.32	0.02	1.03	425.13	0.04	0.92	410.85	0.02
		EY	54.63	1.12	9.76	204.41	4.67	30.35	524.61	14.48	74.18	493.42	14.03	72.47
		E MAKS	-316.86	25.02	-11.98	-862.69	144.72	-33.83	-1594.83	429.47	-78.38	-1545.28	-415.06	-76.04
		TOTAL MAKS	-2308.9	25.05	-30.62	-5871.01	144.74	-61.85	-9722.88	429.43	-112.28	-9526.52	-415.09	-104.8
	2	DL	-1292.92	0.02	-8.09	-3092.54	0.01	-14.35	-5012.3	-0.02	-17.21	-4935.83	-0.02	-14.69
		SDL	-408.85	0	-4.92	-1121.25	0	-6.68	-1829.41	-0.01	-8.08	-1794.31	-0.01	-6.85
		DL+SDL	-1701.77	0.02	-13.01	-4213.79	0.01	-21.03	-6841.71	-0.03	-25.29	-6730.14	-0.02	-21.54
		LL	-350.55	0	-5.63	-888.7	0.01	-6.99	-1421.96	0	-8.62	-1386.71	-0.01	-7.22
		DLSDL+LL	-2052.32	0.03	-18.64	-5102.49	0.01	-28.03	-8263.67	-0.03	-33.91	-8116.85	-0.03	-28.76
		EV1	-271.04	0	-2.2	-672.06	0	-3.47	-1090.24	0	-4.18	-1071.92	0	-3.56
		EV2	255.27	0	1.95	632.07	0	3.16	1026.26	0	3.79	1009.52	0	3.23
		EX	0.78	32.48	0.01	1.17	152.76	0.02	1.03	435.47	0.05	0.92	421	0.03
		EY	54.63	1.11	18.84	204.41	4.67	40.13	524.61	14.49	85.12	493.42	14.04	83.41
		E MAKS	-325.9	32.81	-21.05	-876.82	154.16	-43.61	-1615.17	439.82	-89.31	-1565.62	-425.22	-86.98
		TOTAL MAKS	-2378.21	32.84	-39.69	-5979.31	154.18	-71.63	-9878.84	439.78	-123.22	-9682.47	-425.24	-115.74
1	DL	-1353.19	0.02	-8.09	-3186.71	0.01	-14.35	-5147.91	-0.02	-17.21	-5071.44	-0.02	-14.69	
	SDL	-408.85	0	-4.92	-1121.25	0	-6.68	-1829.41	-0.01	-8.08	-1794.31	-0.01	-6.85	
	DL+SDL	-1762.04	0.02	-13.01	-4307.96	0.01	-21.03	-6977.32	-0.03	-25.29	-6865.76	-0.02	-21.54	
	LL	-350.55	0	-5.63	-888.7	0.01	-6.99	-1421.96	0	-8.62	1386.71	0.01	7.22	
	DLSDL+LL	-2112.59	0.03	-18.64	-5196.67	0.01	-28.03	-8399.29	-0.03	-33.91	-8252.47	-0.03	-28.76	
	EV1	-280.08	0	-2.2	-686.19	0	-3.47	-1110.59	0	-4.18	-1092.27	0	-3.56	
	EV2	264.31	0	1.95	646.19	0	3.16	1046.6	0	3.79	1029.86	0	3.23	
	EX	0.78	35.42	0.02	1.17	155.97	0.03	1.03	438.99	0.05	0.92	424.43	0.03	
	EY	54.63	1.12	22.8	204.41	4.67	43.77	524.61	14.49	89.05	493.42	14.04	87.35	
	E MAKS	-334.94	35.76	-25.01	-890.95	157.38	-47.25	-1635.51	443.33	-93.24	-1585.96	-428.64	-90.91	
	TOTAL MAKS	-2447.53	35.78	-43.65	-6087.61	157.39	-75.28	-10034.8	443.3	-127.15	-9838.43	-428.67	-119.67	

## Lampiran 4. (Lanjutan)

C3	4	DL	-389.27	4.7	-19.09	-1123.66	-94.75	-27.49	-1894	-199.51	-38.39	-1958.81	-237.75	-56.21
		SDL	-121.94	2.01	-8.3	-411.19	-37.4	-14.67	-687.94	-79.46	-18.66	-711.95	-93.96	-28.22
		DL+SDL	-511.21	6.71	-27.39	-1534.85	-132.15	-42.16	-2581.94	-278.96	-57.04	-2670.76	-331.71	-84.43
		LL	-96.15	1.34	-4.25	-275.63	-29.86	-8.84	-446.12	-62.51	-11.49	-461.25	-71.55	-22.47
		DLSDL+LL	-607.36	8.05	-31.64	-1810.47	-162.01	-50.99	-3028.06	-341.47	-68.54	-3132.01	-403.26	-106.89
		EV1	-81.01	1.07	-4.3	-242.63	-21.17	-6.72	-407.37	-44.66	-9.07	-421.37	-52.98	-13.68
		EV2	76.68	-1.01	4.11	230.23	19.82	6.32	387.29	41.84	8.56	400.61	49.76	12.66
		EX	125.87	27.38	12.62	558.93	327.85	67.9	1212.16	921.25	143.48	1275.05	988.86	137.43
		EY	9.2	9.88	6.96	125.8	36.01	29.34	419.13	80.96	55.51	416.37	84.34	72.73
		E MAKS	-209.64	31.41	-19.01	-839.3	317.49	-83.42	-1745.27	900.88	-169.2	-1821.33	-1067.14	-172.92
		TOTAL MAKS	-817	39.46	-50.64	-2649.78	155.48	-134.41	-4773.33	559.41	-237.74	-4953.34	-1470.39	-279.82
	3	DL	-489.13	8.12	0.2	-1287.1	29.06	5.26	-2146.52	61.56	11.05	-2135.98	54.91	10.44
		SDL	-152.18	3.16	-3.95	-453.15	11.8	-1.34	-747.8	24.68	0.69	-742.39	21.93	0.36
		DL+SDL	-641.31	11.29	-3.76	-1740.25	40.85	3.93	-2894.32	86.24	11.75	-2878.37	76.84	10.79
		LL	-110.31	2.81	-0.19	-298.54	9.48	1.52	-482.31	19.37	2.84	-475.84	16.98	2.5
		DLSDL+LL	-751.62	14.1	-3.94	-2038.8	50.34	5.45	-3376.63	105.61	14.59	-3354.21	93.81	13.29
		EV1	-101.16	1.82	-0.57	-274.47	6.55	0.66	-455.85	13.81	1.89	-453.17	12.29	1.73
		EV2	96.2	-1.69	0.56	261.04	-6.13	-0.59	434.15	-12.94	-1.76	431.76	-11.53	-1.62
		EX	132.16	21.8	10.94	597.59	126.42	44.7	1320.87	365.35	98.29	1288.02	356.72	96.55
		EY	7.4	4.79	18.32	151.83	10.91	37.17	470.47	24.24	63.28	458.96	22.55	64.19
		E MAKS	-235.54	25.06	-22.17	-917.61	136.25	-55.2	-1917.87	386.43	-115.38	-1878.87	375.77	117.54
		TOTAL MAKS	-987.16	39.16	-26.11	-2956.41	186.58	-49.75	-5294.5	492.05	-100.79	-5233.08	469.58	130.83
	2	DL	-566.31	7.3	-5.62	-1398.02	27.65	-5.65	-2299.12	60	-4.88	-2288.81	53.48	-5.04
		SDL	-170.13	2.84	-4.95	-470.97	11.23	-5.09	-765.66	24.06	-4.78	-760.36	21.36	-4.87
		DL+SDL	-736.44	10.14	-10.57	-1868.99	38.88	-10.73	-3064.78	84.06	-9.66	-3049.17	74.83	-9.91
		LL	-110.3	2.52	-0.15	-298.44	9.03	-0.29	-482.25	18.89	-0.19	-475.89	16.54	-0.3
		DLSDL+LL	-846.74	12.65	-10.72	-2167.42	47.91	-11.03	-3547.02	102.96	-9.85	-3525.07	91.38	-10.2
		EV1	-115.43	1.63	-1.59	-293.78	6.24	-1.62	-481.42	13.46	-1.46	-478.79	11.97	-1.5
		EV2	110.47	-1.52	1.59	280.35	-5.83	1.61	459.72	-12.61	1.45	457.38	-11.23	1.49
		EX	133.97	31.1	3.6	601.14	134.38	9.12	1326.5	371.57	12.2	1293.51	362.99	11.56
		EY	15.22	6.79	2.59	172.83	12.54	12.28	503.76	25.87	42.53	492.38	24.32	42.75
		E MAKS	-253.97	34.77	-5.97	-946.76	144.38	-16.64	-1959.04	392.79	-47.65	-1920.01	382.25	-47.72
		TOTAL MAKS	-1100.7	47.43	-16.69	-3114.18	192.29	-27.67	-5506.07	495.74	-57.5	-5445.08	473.63	-57.92
1	DL	-643.69	7.02	-3.66	-1509.23	27.09	-6.09	-2451.87	59.36	-10.33	-2441.69	52.89	-10.73	
	SDL	-188.14	2.72	-3.1	-488.94	11	-3.79	-783.65	23.81	-4.93	-778.42	21.13	-5.13	
	DL+SDL	-831.83	9.74	-6.76	-1998.17	38.09	-9.88	-3235.52	83.17	-15.26	-3220.11	74.02	-15.85	
	LL	-110.32	2.41	-0.09	-298.42	8.85	-0.44	-482.24	18.7	-1.15	-475.96	16.37	-1.36	
	DLSDL+LL	-942.16	12.16	-6.84	-2296.59	46.94	-10.32	-3717.77	101.87	-16.41	-3696.07	90.38	-17.22	
	EV1	-129.74	1.57	-1.02	-313.15	6.11	-1.5	-507.03	13.32	-2.34	-504.43	11.84	-2.44	
	EV2	124.78	-1.46	1.01	299.73	-5.71	1.48	485.33	-12.48	2.29	483.02	-11.1	2.38	
	EX	135.62	35.31	3.63	604.13	137.33	14.29	1330.84	373.49	41.52	1297.75	364.94	40.59	
	EY	22.12	9.31	26.85	187.57	14.25	89.63	526.02	26.73	205.08	514.71	25.26	205.23	
	E MAKS	-272	39.67	-28.95	-973.55	147.71	-95.42	-1995.67	394.82	-219.87	-1956.6	384.36	-219.84	
	TOTAL MAKS	-1214.16	51.83	-35.79	-3270.15	194.65	-105.74	-5713.44	496.69	-236.28	-5652.66	474.74	-237.06	

## Lampiran 5A. Gaya Dalam Rangka Transfer Model 1

GAYA DALAM AKSIAL												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	-394.1	-1000.87	-183.32	363.24	465.78	85.99	-312.33	-232.76	-309.08	88.77	-144.19	161.22
SDL	-123.34	-334.22	-56.97	132.07	172.47	34.58	-111.7	-83.62	-112.5	33.92	-52.3	58.65
DL+SDL	-517.44	-1335.1	-240.28	495.31	638.25	120.57	-424.03	-316.38	-421.58	122.69	-196.45	219.87
LL	-97.18	-274.45	-40.08	110.96	146.53	28.7	-94.79	-72.03	-95.91	28.59	-43.76	50.15
DLSDL+LL	-614.62	-1609.55	-280.36	606.27	784.78	149.27	-518.82	-388.41	-517.48	151.28	-240.22	270.02
EV1	-81.99	-212.61	-37.85	79.29	102.33	19.38	-67.87	-50.7	-67.55	19.69	-31.44	35.24
EV2	77.62	200.26	36.04	-74.3	-95.74	-18.09	63.6	47.46	63.24	-18.4	29.47	-32.98
EX	120.39	134.33	137.99	166.29	180.58	184.19	44.2	75.22	83.68	72.75	51.98	83.57
EY	16.27	49.77	25.27	25.36	34.81	34.03	135.24	309.14	236.02	72.9	74.79	80.24
E MAKS	-178.62	-262.61	-183.41	236.9	284.9	213.77	-197.3	-330.87	-321.59	105.32	-110.99	139.38
TOTAL MAKS	-824.86	-1872.16	-463.78	843.18	1069.69	363.04	-702.69	-732.61	-790.09	230.18	-351.2	384.87

## Lampiran 5A. (Lanjutan)

GAYA DALAM LINTANG V2												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	-4.5	0.01	4.91	-0.98	1.3	-1.9	-12.82	13.79	10.19	-6.41	11.26	3.71
SDL	-1.93	0	1.78	-0.01	0.13	-0.33	-4.77	4.85	-3.36	-2.49	-4.79	2.3
DL+SDL	-6.43	0.01	6.69	-0.99	1.43	-2.23	-17.59	18.64	13.3	-8.9	16.05	6.01
LL	-1.28	0	1.48	0	0.1	-0.27	-2.41	2.28	-1.02	-2.24	4.34	2.56
DLSDL+LL	-7.71	0.01	8.18	-0.99	1.53	-2.51	-20	20.92	13.99	-11.14	20.39	8.57
EV1	-1.02	0	1.07	-0.15	0.22	-0.35	-2.75	2.9	2.03	-1.44	2.6	1.02
EV2	0.96	0	-1	0.15	-0.21	0.34	2.64	-2.8	-1.99	1.34	-2.41	-0.9
EX	4.42	4.79	4.07	1.18	1.11	0.79	3.13	3.86	1.62	2.33	4.56	2.54
EY	0.84	1.51	0.26	0.15	0.18	0.25	0.42	0.85	0.58	0.58	0.28	0.83
E MAKS	-6.58	23.72	5.22	-0.52	0.73	-1.22	-7.55	-6.95	-3.86	-3.74	7.23	4.14
TOTAL MAKS	-39.2	23.73	13.4	-1.5	2.26	-3.72	-27.54	27.96	-18.21	-14.88	27.62	12.71

## Lampiran 5A. (Lanjutan)

GAYA DALAM LINTANG V3												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	-18.87	-172.95	-34.1	-1.27	4.35	8.15	4.1	-5.21	4.48	-1.88	2	-1.28
SDL	-8.25	-57.22	-12.16	-0.91	2.21	2.99	1.59	-2.01	1.64	-0.58	-0.74	-0.4
DL+SDL	-27.12	-230.18	-46.26	-2.18	6.56	11.14	5.69	-7.22	6.12	-2.46	2.73	-1.68
LL	-4.21	-49.84	-11.34	-1	2.3	2.73	1.46	-1.86	1.48	-0.45	0.66	-0.3
DLSDL+LL	-31.33	-280.02	-57.61	-3.18	8.85	13.88	7.15	-9.08	7.6	-2.91	3.39	-1.98
EV1	-4.26	-36.77	-7.45	-0.37	1.09	1.79	0.92	-1.17	0.98	-0.39	0.44	-0.27
EV2	4.07	34.53	6.94	0.33	-0.98	-1.67	-0.85	1.08	-0.92	0.37	-0.41	0.25
EX	2.22	0.24	0.46	0.85	0.3	0.27	8.82	8.13	8.41	4.7	2.74	4.14
EY	2.2	12.34	2.07	0.93	0.83	0.98	11.89	14.15	11.67	4.01	4.18	2.99
E MAKS	-4.46	-49.12	-9.66	-1.25	2.01	2.86	14.87	12.5	-14.93	-6.2	5.44	-5.29
TOTAL MAKS	-50.33	-329.14	-67.27	-4.42	10.86	16.73	19.61	-18.57	-20.6	-8.41	8.83	-7.27

## Lampiran 5A. (Lanjutan)

GAYA DALAM MOMEN M2												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	-35.8	-286.894	-61.378	-4.077	12.103	-21.139	3.926	5.848	4.189	-1.442	1.645	-1.31
SDL	-19.119	-118.847	-25.126	-2.944	6.683	7.67	1.561	2.248	1.55	-0.397	-0.231	-0.369
DL+SDL	-54.92	-405.741	-86.504	-7.021	18.785	-27.473	5.487	8.096	5.739	-1.816	2.285	-1.679
LL	-11.063	-118.764	-25.268	-3.245	7.165	7.737	1.473	2.085	1.418	-0.346	0.587	-0.25
DLSDL+LL	-65.983	-524.505	-111.773	-10.265	25.951	-32.544	6.96	10.182	7.157	-2.053	2.872	-1.929
EVI	-8.736	-66.206	-14.113	-1.199	3.14	-4.349	0.889	1.308	0.925	0.301	0.369	-0.263
EV2	8.238	60.861	12.976	1.053	-2.818	4.121	-0.823	-1.214	-0.861	-0.282	-0.343	0.252
EX	4.082	0.39	0.73	2.01	0.963	0.899	9.114	8.78	9.042	5.058	2.472	4.561
EY	4.072	46.767	3.937	2.524	2.189	2.49	13.988	13.778	14.073	5.225	3.969	4.061
E MAKS	-8.541	-112.995	-18.268	-3.374	5.087	-7.109	-17.082	-15.976	17.567	6.956	-4.646	-6.017
TOTAL MAKS	-111.719	-637.5	-130.041	-13.639	31.037	-39.653	-22.545	21.86	23.585	8.509	-5.501	-7.946



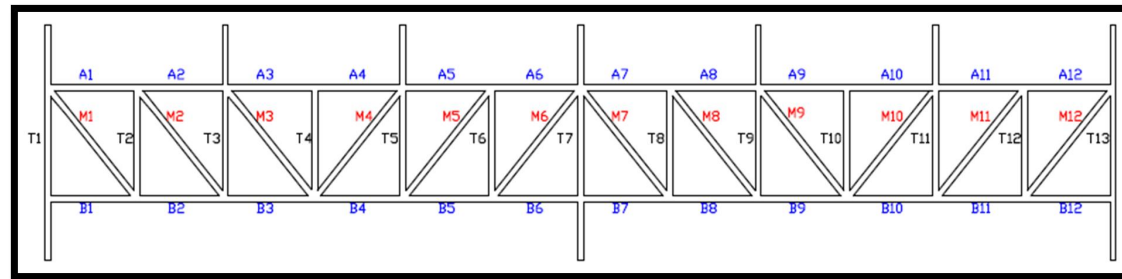
## Lampiran 5A. (Lanjutan)

GAYA DALAM MOMEN M3												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	50.611	-0.148	8.652	-1.623	-3.367	2.758	12.799	15.661	10.304	-6.794	-13.253	4.284
SDL	18.519	-0.017	3.187	-0.271	-0.965	1.185	4.826	5.605	3.561	-2.509	-5.131	2.373
DL+SDL	69.13	-0.166	11.839	-1.894	-4.332	3.942	17.626	21.266	13.865	-9.303	-18.388	6.652
LL	14.515	-0.028	2.682	-0.225	-0.802	0.971	4.849	4.981	2.245	-2.172	-4.445	2.39
DLSDL+LL	83.644	-0.194	14.521	-2.11	-5.133	4.913	21.794	25.691	16.11	-11.475	-22.833	9.041
EV1	11.023	-0.026	1.897	-0.294	-0.686	0.635	2.821	3.389	2.181	-1.493	-2.958	1.105
EV2	-10.369	0.025	-1.776	0.284	0.65	0.338	-2.644	-3.19	-2.08	1.395	2.758	-0.998
EX	7.293	7.977	7.026	2.843	2.969	2.063	4.169	6.455	2.439	3.412	7.067	3.961
EY	1.308	5.43	0.482	0.398	0.425	0.589	1.142	1.239	1.031	1.007	0.351	1.282
E MAKS	-10.803	-115.751	9.067	-1.439	-1.775	2.873	10.866	9.958	3.266	-5.207	-10.129	4.9
TOTAL MAKS	189.176	-115.922	23.589	-3.549	-6.755	7.786	31.644	34.21	21.121	-16.682	-32.962	10.327

## Lampiran 5A. (Lanjutan)

GAYA DALAM TORSI												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	6.785	-0.077	-0.217	-0.431	1.117	-1.229	-5.255	8.995	-8.113	-2.452	4.267	-1.322
SDL	2.823	-0.018	-0.061	-0.409	0.92	0.393	-0.901	2.145	-2.502	-1.112	-2.64	-1.223
DL+SDL	9.608	-0.095	-0.279	-0.84	2.036	-0.836	-6.156	11.14	-10.615	-3.564	6.909	-2.545
LL	2.561	-0.015	-0.039	-0.477	1.098	0.791	-0.506	1.611	-1.545	-1.283	2.865	-1.301
DLSDL+LL	12.169	-0.11	-0.318	-1.317	3.135	-0.045	-6.662	12.751	-12.16	-4.847	9.774	-3.846
EV1	1.556	-0.015	-0.044	-0.147	0.355	-0.09	-0.946	1.743	-1.662	-0.592	1.165	-0.44
EV2	-1.441	0.014	0.042	0.126	-0.305	0.125	0.923	-1.671	1.592	0.535	-1.036	0.382
EX	0.336	0.235	0.475	0.318	0.202	0.124	0.657	0.158	0.538	0.222	0.074	0.666
EY	0.246	5.226	0.181	0.263	0.129	0.106	0.702	0.362	0.299	0.266	0.458	0.336
E MAKS	0.486	-9.718	-0.573	-0.483	0.538	0.281	-1.409	-2.461	-1.584	-0.925	1.639	-1.061
TOTAL MAKS	23.922	-9.829	-0.891	-1.8	3.672	-0.29	-8.072	15.163	-8.504	-5.773	11.413	-4.906

Lampiran 5A. (Lanjutan)



LOKASI		BATANG	Lokasi Aksial Maksimum						
			Gravitasi	EV1	EV2	EX	EY	EMAKS	TOTAL
Tumpuan	Ujung	Tegak	<b>T1</b>	<b>T1</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T2</b>	<b>T2</b>	<b>T1</b>
		Datar Bawah	<b>B2</b>	<b>B2</b>	<b>B2</b>	<b>B2</b>	<b>B2</b>	<b>B2</b>	<b>B2</b>
		Datar Atas	<b>A2</b>	<b>A2</b>	<b>A2</b>	<b>A11</b>	<b>A11</b>	<b>A2</b>	<b>A2</b>
		Miring	<b>M1</b>	<b>M1</b>	<b>M1</b>	<b>M11</b>	<b>M11</b>	<b>M1</b>	<b>M1</b>
	Tengah	Tegak	<b>T7</b>	<b>T7</b>	<b>T7</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T7</b>	<b>T7</b>
		Datar Bawah	<b>B6</b>	<b>B6</b>	<b>B6</b>	<b>B6</b>	<b>B7</b>	<b>B6</b>	<b>B6</b>
		Datar Atas	<b>A5</b>	<b>A5</b>	<b>A5</b>	<b>A8</b>	<b>A7</b>	<b>A8</b>	<b>A5</b>
Miring	<b>M6</b>	<b>M6</b>	<b>M6</b>	<b>M5</b>	<b>M6</b>	<b>M6</b>	<b>M6</b>		
Lapangan	Tegak	<b>T5</b>	<b>T5</b>	<b>T5</b>	<b>T5</b>	<b>T5</b>	<b>T5</b>	<b>T5</b>	
	Datar Bawah	<b>B3</b>	<b>B3</b>	<b>B3</b>	<b>B10</b>	<b>B3</b>	<b>B3</b>	<b>B3</b>	
	Datar Atas	<b>A3</b>	<b>A3</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>A9</b>	<b>A4</b>	<b>A4</b>	
	Miring	<b>M4</b>	<b>M4</b>	<b>M4</b>	<b>M4</b>	<b>M4</b>	<b>M4</b>	<b>M4</b>	

## Lampiran 5B. Gaya Dalam Rangka Transfer Model 2

GAYA DALAM AKSIAL												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	-1124.29	-2654.21	-594.76	771.56	976.71	105.03	-631.51	-491.11	-561.33	235.24	-428.54	528.74
SDL	-411.61	-1015.58	-230.32	312.56	399.5	48.55	-246.91	-192.74	-223.95	97.91	-172.66	211.13
DL+SDL	-1535.9	-3669.8	-825.08	1084.12	1376.2	153.58	-878.43	-683.84	-785.29	333.15	-601.2	739.87
LL	-276.27	-789.34	-168.17	242.25	315.29	35.26	-192.89	-153.73	-176.86	75.98	-133.07	165.17
DLSL+LL	-1812.17	-4459.13	-993.26	1326.37	1691.5	188.84	-1071.32	-837.57	-962.14	409.13	-734.27	905.05
EV1	-242.82	-585.99	-131.33	173.52	220.62	24.62	-140.44	-109.49	-125.75	53.39	-96.17	118.41
EV2	230.38	550.47	123.76	-162.62	-206.43	-23.04	131.76	102.58	117.79	-49.97	90.18	-110.98
EX	558.93	462.55	460.85	552.36	611.12	636.37	396.58	187.99	228.53	479	339.45	401.45
EY	125.8	183.25	71.15	59.29	102.82	67.91	200.38	445.54	318.28	124.78	112.58	164.43
E MAKS	-840.25	-769.57	-613.48	726.52	843.96	681.37	-476.72	-541.31	-504.06	-533.2	-459.65	565.59
TOTAL MAKS	-2652.42	-5228.7	-1606.42	2026.72	2518.68	870.21	-1397.04	-1381.3	-1400.48	-830.25	-1193.91	1427.67

## Lampiran 5B. (Lanjutan)

GAYA DALAM LINTANG V2												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	94.81	-0.13	-17.85	1.4	4.11	-5.93	-74.39	79.69	8.97	-31.27	-52.55	4.65
SDL	37.46	-0.05	-7.18	1.47	0.81	-1.41	-32.01	34.49	-12.59	-11.84	-21.72	1.84
DL+SDL	132.27	-0.18	-25.03	2.87	4.91	-7.34	-106.41	114.18	14.64	-43.11	-74.28	6.49
LL	29.97	-0.05	-5.51	1.17	0.62	-1.1	-19.79	21.76	-5.06	-9.46	-17.55	2.23
DLSDL+LL	162.23	-0.24	-30.54	4.04	5.54	-8.44	-126.2	135.94	14	-52.57	-91.82	8.72
EV1	21.19	-0.03	-4	0.48	0.77	-1.15	-16.85	18.11	2.17	-6.89	-11.93	1.07
EV2	-19.84	0.03	3.75	-0.43	-0.74	1.1	15.96	-17.13	-2.2	6.47	11.14	-0.97
EX	327.85	44.55	3.49	13.38	14.41	6.87	77.61	89.9	69.53	15.46	33.85	19.38
EY	36.01	12.3	1.2	1.08	0.73	1.26	6.53	9.4	4.16	1.81	3.62	3.26
E MAKS	-357	372.16	7.85	-16.85	8.36	-8.4	105.37	-109.98	-74.7	43.5	46.84	20.94
TOTAL MAKS	-194.77	371.92	38.34	16.29	13.89	-16.84	224.53	245.96	-103.82	113.31	138.64	29.66

## Lampiran 5B. (Lanjutan)

GAYA DALAM LINTANG V3												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	-27.2	-106.12	-47.92	-2.57	6.47	7.39	7.56	-10.68	3.67	-4.68	-4.56	-3.37
SDL	-14.55	-46.98	-22.1	-1.52	3.29	3.65	3.63	-5.29	1.35	-1.77	-1.91	-1.15
DL+SDL	-41.75	-153.1	-70.03	-4.09	9.76	11.05	11.19	-15.97	5.02	-6.45	-6.46	-4.52
LL	-8.69	-48.97	-24.49	-1.59	3.46	4.07	3.74	-5.7	1.15	-1.29	-1.72	-0.66
DLSDL+LL	-50.44	-202.07	-94.51	-5.68	13.22	15.11	14.93	-21.67	6.16	-7.74	-8.19	-5.18
EV1	-6.65	-25.17	-11.61	-0.68	1.62	1.84	1.85	-2.65	0.8	-1.03	-1.05	-0.71
EV2	6.26	22.96	10.5	0.61	-1.46	-1.66	-1.68	2.39	-0.75	0.97	0.97	0.68
EX	67.9	0.56	1.92	1.71	1.15	0.92	23.63	16.39	17.32	20.5	12.18	16.87
EY	29.34	31.75	16	5.92	3.62	4.07	26.6	28.9	22.59	10.86	11.74	6.71
E MAKS	-83.08	-56.96	-28.15	8.53	5.58	6.19	-48.99	27.72	-27.77	23.67	16.73	-19.43
TOTAL MAKS	-133.52	-259.03	-122.38	-9.75	18.8	21.3	-46.52	-39.3	-27.25	25.44	24.87	-24.61

## Lampiran 5B. (Lanjutan)

GAYA DALAM MOMEN M2												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	-54.042	-237.203	-106.663	-9.309	19.964	-15.503	8.396	13.297	3.21	-2.926	4.619	-3.109
SDL	-28.392	-105.405	-49.495	-5.297	10.188	9.711	4.106	6.612	1.43	-0.969	1.981	-1.067
DL+SDL	-82.433	-342.608	-156.159	-14.606	30.152	-22.908	12.503	19.909	4.367	-3.895	6.6	-3.978
LL	-17.254	-109.48	-54.679	-5.536	10.683	10.689	4.324	7.168	1.504	-1.153	1.751	-1.01
DLSDL+LL	-99.687	-452.088	-210.838	-20.142	40.835	-31.27	16.827	27.077	5.55	-4.377	8.351	-4.186
EV1	-13.141	-56.318	-25.884	-2.44	5.004	-3.813	2.07	3.309	0.7	0.933	1.069	-0.603
EV2	12.365	51.391	23.424	2.191	-4.523	3.436	-1.875	-2.986	-0.655	-0.868	-0.99	0.597
EX	142.985	1.092	3.679	4.037	4.224	3.641	20.413	17.712	18.753	21.583	8.055	17.384
EY	49.335	79.028	34.722	16.197	10.081	10.624	34.442	30.197	29.16	14.826	10.64	8.978
E MAKS	-170.586	-135.367	-61.669	24.095	13.237	-15.507	-48.547	-36.003	34.753	20.907	-12.215	-20.435
TOTAL MAKS	-270.273	-587.456	-272.163	-29.51	53.644	-46.777	-54.531	44.109	34.03	27.075	-13.893	-24.563

## Lampiran 5B. (Lanjutan)

GAYA DALAM MOMEN M3												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	137.685	-0.056	-36.486	-19	-16.983	11.801	130.632	133.967	13.556	-37.168	-66.612	14.064
SDL	54.474	-0.024	-14.724	-6.978	-6.267	5.197	48.161	50.278	7.177	-14.089	-27.241	6.243
DL+SDL	192.159	-0.08	-51.21	-25.978	-23.25	16.999	178.793	184.245	20.654	-51.257	-93.853	20.305
LL	43.671	-0.044	-11.317	-5.499	-4.901	4.078	38.856	40.749	4.975	-11.118	-21.513	5.373
DLSDL+LL	235.83	-0.124	-62.527	-31.477	-28.15	21.077	217.649	224.994	24.915	-62.375	-115.365	25.678
EV1	30.789	-0.014	-8.191	-4.144	-3.708	2.733	28.568	29.47	3.285	-8.189	-15.046	3.288
EV2	-28.824	0.012	7.681	3.897	3.487	1.071	-26.819	-27.637	-3.098	7.689	14.078	-3.046
EX	576.413	69.687	25.43	33.996	38.611	27.177	147.123	181.469	152.003	27.905	51.242	30.241
EY	62.167	20.838	2.933	3.486	1.845	3.41	15.141	15.287	7.848	3.043	4.972	5.66
E MAKS	624.878	-639.323	34.496	43.302	-33.697	30.933	-186.786	215.187	158.491	-63.841	-67.777	32.383
TOTAL MAKS	860.708	-639.447	96.991	-63.597	-61.848	52.01	405.036	440.256	190.507	-148.22	-183.109	45.042



## Lampiran 5B. (Lanjutan)

GAYA DALAM TORSI												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	12.215	-0.054	0.464	-0.653	2.547	1.14	-2.018	3.161	-10.438	-8.099	-6.215	0.954
SDL	5.34	-0.024	0.096	-0.506	1.407	0.712	-0.341	0.855	-5.904	-3.473	-3.585	-0.152
DL+SDL	17.555	-0.078	0.56	-1.159	3.954	1.851	-2.359	4.017	-16.342	-11.573	-9.801	0.802
LL	4.505	-0.032	-0.084	-0.658	1.549	0.721	-0.401	1.011	-6.076	-3.962	-3.829	0.265
DLSDL+LL	22.06	-0.11	0.476	-1.817	5.502	2.572	-2.76	5.028	-22.418	-15.535	-13.63	1.067
EV1	2.836	-0.013	0.08	-0.203	0.663	0.31	-0.372	0.648	-2.725	-1.914	-1.642	0.132
EV2	-2.633	0.012	-0.084	0.174	-0.593	-0.278	0.354	-0.603	2.451	1.736	1.47	-0.12
EX	16.818	1.187	3.034	2.343	1.235	0.816	1.786	0.669	1.316	1.566	0.335	3.584
EY	25.562	11.575	0.809	3.077	1.376	0.881	1.743	1.478	1.183	3.658	2.498	4.612
E MAKS	33.341	-19.806	-3.361	4.56	2.36	1.436	5.239	-3.269	-1.189	6.069	4.234	-4.97
TOTAL MAKS	55.401	-19.916	-3.866	-4.476	7.862	1.168	9.405	8.247	3.482	15.616	17.888	-3.903

## Lampiran 5B. (Lanjutan)

LOKASI		BATANG	Lokasi Aksial Maksimum						
			Gravitasi	EV1	EV2	EX	EY	EMAKS	TOTAL
Tumpuan	Ujung	Tegak	<b>T1</b>	<b>T1</b>	<b>T1</b>	<b>T1</b>	<b>T1</b>	<b>T1</b>	<b>T1</b>
		Datar Bawah	<b>B2</b>	<b>B2</b>	<b>B2</b>	<b>B2</b>	<b>B2</b>	<b>B12</b>	<b>B12</b>
		Datar Atas	<b>A2</b>	<b>A2</b>	<b>A2</b>	<b>A12</b>	<b>A11</b>	<b>A12</b>	<b>A11</b>
		Miring	<b>M1</b>	<b>M1</b>	<b>M1</b>	<b>M11</b>	<b>M11</b>	<b>M1</b>	<b>M1</b>
	Tengah	Tegak	<b>T7</b>	<b>T7</b>	<b>T7</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T7</b>	<b>T7</b>
		Datar Bawah	<b>B7</b>	<b>B7</b>	<b>B7</b>	<b>B6</b>	<b>B7</b>	<b>B6</b>	<b>B6</b>
		Datar Atas	<b>A5</b>	<b>A5</b>	<b>A5</b>	<b>A8</b>	<b>A7</b>	<b>A8</b>	<b>A5</b>
		Miring	<b>M6</b>	<b>M6</b>	<b>M6</b>	<b>M5</b>	<b>M6</b>	<b>M6</b>	<b>M6</b>
Lapangan	Tegak	<b>T9</b>	<b>T9</b>	<b>T9</b>	<b>T5</b>	<b>T5</b>	<b>T5</b>	<b>T5</b>	
	Datar Bawah	<b>B3</b>	<b>B3</b>	<b>B3</b>	<b>B10</b>	<b>B3</b>	<b>B3</b>	<b>B3</b>	
	Datar Atas	<b>A3</b>	<b>A3</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>A9</b>	<b>A4</b>	<b>A4</b>	
	Miring	<b>M4</b>	<b>M4</b>	<b>M4</b>	<b>M4</b>	<b>M4</b>	<b>M4</b>	<b>M4</b>	

## Lampiran 5C. Gaya Dalam Rangka Transfer Model 3A

GAYA DALAM AKSIAL												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	-1894.21	-4360.58	-1032.79	1174.05	1493.51	146.09	-984.02	-794.32	-888.53	386.77	-781.03	948.09
SDL	-688.05	-1673.54	-408.33	467.2	600.82	58.33	-384.71	-313.04	-351.2	156.14	-311.42	376.63
DL+SDL	-2582.27	-6034.12	-1441.12	1641.25	2094.33	204.42	-1368.73	-1107.37	-1239.73	542.91	-1092.45	1324.71
LL	-446.37	-1284.42	-301.1	356.35	465.72	38.83	-292.55	-245.02	-271.54	118.31	-235.8	287.78
DLSL+LL	-3028.64	-7318.54	-1742.22	1997.6	2560.04	243.24	-1661.28	-1352.39	-1511.27	661.22	-1328.25	1612.49
EV1	-407.43	-962.92	-229.72	262.22	335.11	32.41	-218.47	-177.13	-198.18	86.76	-174.48	211.66
EV2	387.34	905.12	216.17	-246.19	-314.15	-30.66	205.31	166.11	185.96	-81.44	163.87	-198.71
EX	1212.16	915.52	917.35	1101.12	1225.2	1271.14	1083.44	529.98	436.7	1330.49	898.09	947.41
EY	419.13	475.46	169.01	171.96	237.14	119.57	182.17	494.62	299.77	191.69	140	292.45
E MAKS	-1218.97	-1438.66	-1197.77	1394.68	1619.61	1339.42	-1177.09	730.82	-715.72	-1423.08	-1104.89	1247.32
TOTAL MAKS	-4774.62	-8757.2	-2939.98	3311.74	4085.3	1582.67	-2347.03	-1976.58	-2155.97	-1963.98	-2433.14	2809.56

## Lampiran 5C. (Lanjutan)

GAYA DALAM LINTANG V2												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	199.87	0.04	40.35	4.35	7.22	-12.89	135.59	154.89	15.93	-70.32	-117.41	4.27
SDL	79.61	0.01	16.15	3.2	1.44	-3.63	56.13	64.39	-9.84	-26.65	-47.05	1.04
DL+SDL	279.48	0.05	56.5	7.56	8.66	-16.52	191.72	219.28	23.84	-96.98	-164.46	5.31
LL	62.67	-0.01	12.19	2.55	1.1	-2.8	37.81	44.45	-3.59	-20.58	-36.86	1.5
DLSDL+LL	342.15	0.04	68.69	10.1	9.75	-19.32	229.54	263.73	24.68	-117.56	-201.33	6.82
EV1	44.74	0.01	9.02	1.25	1.35	-2.6	30.46	34.89	3.61	-15.47	-26.33	0.86
EV2	-41.92	-0.01	-8.47	-1.13	-1.3	2.48	-28.76	-32.89	-3.58	14.55	24.67	-0.8
EX	921.25	122.27	5.88	37.07	40.28	22.72	185.95	213.69	162.46	101.35	101.21	57.13
EY	80.96	38.9	5.14	4.07	5.55	3.23	22.34	29.28	8.23	9.11	12.15	7.06
E MAKS	987.41	1099.81	16.44	-22.68	-48.89	-26.29	235.32	-269.67	-171.02	-88.29	-132.05	58.84
TOTAL MAKS	1329.56	1099.85	85.13	-12.58	-101.34	-45.61	460.95	519.2	-216.8	272.21	-333.37	65.65

## Lampiran 5C. (Lanjutan)

GAYA DALAM LINTANG V3												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	-38.22	-100.41	-53.66	-3.29	-7.69	7.48	-9.64	-12.95	2.92	-4.93	-5.63	-3.22
SDL	-18.58	-43.8	-25.07	-1.85	-3.83	3.82	-4.66	-6.44	1.11	-1.87	-2.2	-1.05
DL+SDL	-56.8	-144.21	-78.73	-5.14	-11.52	11.3	-14.3	-19.39	4.03	-6.8	-7.83	-4.27
LL	-11.35	-45.19	-28.22	-1.91	-4	4.45	-4.97	-7.03	0.97	-1.2	-1.88	-0.55
DLSDL+LL	-68.15	-189.39	-106.95	-7.05	-15.52	15.75	-19.27	-26.42	5	-8.01	-9.71	-4.82
EV1	-9.03	-23.66	-13.08	-0.86	-1.91	1.9	-2.37	-3.23	0.65	-1.07	-1.26	-0.66
EV2	8.52	21.63	11.81	0.77	1.73	-1.7	2.15	2.91	-0.6	1.02	1.17	0.64
EX	143.48	0.72	3.68	1.82	2.25	1.27	11.81	20.77	23.47	28.34	23.36	26.45
EY	55.51	32.93	26.92	11.18	10.36	6.19	30.06	32.58	24.16	16.57	12.88	8.68
E MAKS	-168.67	-56.64	-41.1	-6.46	15.71	8.47	-52.38	41.36	-30.96	-38.85	-29.42	-29.4
TOTAL MAKS	-236.82	-246.03	-148.06	-13.51	53.81	24.22	-55.13	-48.17	-28.53	-39.32	-39.13	-34.22

## Lampiran 5C. (Lanjutan)

GAYA DALAM MOMEN M2												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	-81.003	-225.204	-122.937	-13.736	-24.349	-14.644	11.126	16.371	4.646	-3.167	7.18	-5.974
SDL	-38.028	-98.561	-57.34	-7.25	-12.147	10.455	5.384	8.096	2.299	-1.666	2.981	-2.821
DL+SDL	-119.031	-323.765	-180.277	-20.986	-36.497	-22.09	16.51	24.467	6.946	-4.376	10.161	-8.795
LL	-23.876	-101.259	-63.956	-7.378	-12.597	11.78	5.789	8.816	2.288	-2.828	2.506	-2.594
DLSDL+LL	-142.907	-425.024	-244.233	-28.364	-49.093	-31.183	22.299	33.283	9.234	-7.02	12.667	-11.39
EV1	-18.929	-53.121	-29.92	-3.48	-6.041	-3.723	2.737	4.067	1.145	1.202	1.637	-1.436
EV2	17.855	48.565	27.042	3.148	5.475	3.314	-2.477	-3.67	-1.042	-1.123	-1.524	1.319
EX	327.605	1.083	8.031	6.409	9.261	9.396	7.526	22.129	24.863	17.369	15.355	26.683
EY	176.316	163.834	64.805	33.988	32.481	16.597	40.963	35.061	33.021	25.376	20.463	12.424
E MAKS	-398.641	-216.995	-97.134	-15.462	49.799	-23.139	-51.935	-41.782	40.176	34.967	18.342	-30.526
TOTAL MAKS	-541.549	-642.019	-341.367	-43.756	167.867	-54.322	-63.827	52.942	36.966	49.949	30.171	-34.332

## Lampiran 5C. (Lanjutan)

GAYA DALAM MOMEN M3												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	292.646	0.026	84.912	-44.875	-39.436	30.955	228.746	249.095	22.943	-82.767	-146.355	32.349
SDL	116.618	0.017	34.071	-16.775	-14.707	13.367	88.281	97.523	10.406	-31.818	-58.726	13.368
DL+SDL	409.264	0.043	118.983	-61.65	-54.143	44.322	317.027	346.618	33.349	-114.584	-205.081	45.717
LL	92.183	0.013	25.734	-13.046	-11.297	10.408	68.15	76.009	6.407	-24.482	-45.392	10.696
DLSDL+LL	501.448	0.088	144.717	-74.696	-65.439	54.73	385.176	422.627	39.756	-139.066	-250.473	56.412
EV1	65.538	0.008	19.005	-9.835	-8.63	7.117	50.621	55.413	5.291	-18.289	-32.805	7.339
EV2	-61.39	-0.006	-17.847	9.248	8.121	2.399	-47.554	-51.993	-5.002	17.188	30.762	-6.858
EX	1598.913	195.054	70.664	89.173	105.487	91.155	154.306	397.094	330.638	157.553	154.567	93.298
EY	122.933	63.047	12.631	12.974	15.668	9.623	43.989	43.445	16.613	16.016	19.405	14.7
E MAKS	1699.059	-1853.789	93.459	-112.482	129.742	101.159	-387.935	-429.431	345.298	-186.641	-193.563	98.989
TOTAL MAKS	2200.507	-1853.589	238.176	-187.178	279.269	155.889	794.594	887.569	420.234	-366.636	-444.036	135.593

## Lampiran 5C. (Lanjutan)

GAYA DALAM TORSI												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	20.499	-0.053	-1.299	-0.463	-2.739	1.779	3.891	3.318	-10.429	-12.44	-7.382	1.986
SDL	8.753	-0.026	-0.392	-0.465	-1.549	0.93	1.397	1.182	-5.737	-5.313	-4.199	0.308
DL+SDL	29.252	-0.079	-1.69	-0.928	-4.288	2.708	5.289	4.5	-16.166	-17.753	-11.581	2.294
LL	7.354	-0.038	-0.052	-0.69	-1.749	0.841	1.69	1.415	-5.787	-5.885	-4.473	0.997
DLS+LL	36.606	-0.118	-1.743	-1.618	-6.037	3.549	6.979	5.915	-21.953	-23.638	-16.054	3.291
EV1	4.719	-0.014	-0.256	-0.17	-0.722	0.444	0.869	0.739	-2.685	-2.928	-1.938	0.389
EV2	-4.388	0.012	0.254	0.139	0.643	-0.406	-0.793	-0.675	2.425	2.663	1.737	-0.344
EX	37.634	3.099	8.518	4.945	2.798	2.091	3.073	2.668	3.145	7.521	0.955	8.209
EY	56.813	34.921	2.749	6.943	5.572	3.092	3.707	5.042	3.38	9.872	10.829	10.307
E MAKS	72.696	-51.472	-9.599	-6.135	8.113	4.163	10.244	-6.943	-3.362	11.303	-7.742	-11.598
TOTAL MAKS	109.302	-51.59	-11.342	-7.753	22.026	-0.576	13.189	10.927	1.449	24.455	-23.797	-8.307



## Lampiran 5C. (Lanjutan)

LOKASI		BATANG	Lokasi Aksial Maksimum						
			Gravitasi	EV1	EV2	EX	EY	EMAKS	TOTAL
Tumpuan	Ujung	Tegak	<b>T1</b>	<b>T1</b>	<b>T1</b>	<b>T1</b>	<b>T1</b>	<b>T1</b>	<b>T1</b>
		Datar Bawah	<b>B2</b>	<b>B2</b>	<b>B2</b>	<b>B12</b>	<b>B2</b>	<b>B12</b>	<b>B12</b>
		Datar Atas	<b>A11</b>	<b>A11</b>	<b>A11</b>	<b>A12</b>	<b>A11</b>	<b>A12</b>	<b>A11</b>
		Miring	<b>M1</b>	<b>M1</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M13</b>	<b>M1</b>	<b>M1</b>
	Tengah	Tegak	<b>T7</b>	<b>T7</b>	<b>T7</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T7</b>	<b>T7</b>
		Datar Bawah	<b>B7</b>	<b>B7</b>	<b>B7</b>	<b>B7</b>	<b>B6</b>	<b>B7</b>	<b>B7</b>
		Datar Atas	<b>A5</b>	<b>A5</b>	<b>A5</b>	<b>A7</b>	<b>A6</b>	<b>A7</b>	<b>A5</b>
		Miring	<b>M7</b>	<b>M7</b>	<b>M7</b>	<b>M5</b>	<b>M5</b>	<b>M5</b>	<b>M5</b>
Lapangan	Tegak	<b>T5</b>	<b>T5</b>	<b>T5</b>	<b>T5</b>	<b>T5</b>	<b>T5</b>	<b>T5</b>	
	Datar Bawah	<b>B3</b>	<b>B3</b>	<b>B3</b>	<b>B10</b>	<b>B3</b>	<b>B3</b>	<b>B3</b>	
	Datar Atas	<b>A3</b>	<b>A3</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>A9</b>	<b>A4</b>	<b>A4</b>	
	Miring	<b>M4</b>	<b>M4</b>	<b>M4</b>	<b>M4</b>	<b>M4</b>	<b>M4</b>	<b>M4</b>	

## Lampiran 5D. Gaya Dalam Rangka Transfer Model 3B

GAYA DALAM AKSIAL												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	-1958.81	-4490.94	-1095.71	1322.19	1654.36	137.38	-984.24	-806.99	-859.6	-354.93	-782.58	941.09
SDL	-711.95	-1720.09	-433.35	524.72	662.75	53.89	-382.74	-315.44	-337.2	-140.9	-311.48	371.77
DL+SDL	-2670.76	-6211.03	-1529.06	1846.9	2317.11	191.27	-1366.98	-1122.43	-1196.8	-495.82	-1094.06	1312.86
LL	-461.25	-1310.34	-318.66	396.62	507.69	42.83	-286.57	-241.81	-255.13	-108.6	-233.61	280.06
DLSDL+LL	-3132.01	-7521.37	-1847.72	2243.53	2824.8	223.79	-1653.55	-1364.24	-1451.93	-604.42	-1327.67	1592.92
EV1	-421.37	-990.62	-243.7	294.88	370.41	30.15	-217.94	-179.25	-191	-79.26	-174.62	209.53
EV2	400.61	931.65	229.36	-277.04	-347.57	-28.69	205.05	168.37	179.52	74.37	164.11	-196.93
EX	1275.05	1004.26	992.67	1155.1	1300.91	1360.6	1016.38	454.51	489.94	1376.49	952.4	965
EY	416.37	464.28	176.3	189.01	240.95	117.21	194.88	477.65	314.06	177.3	140.61	283.02
E MAKS	-1821.78	-1455.17	-1289.16	1506.61	1742.53	1419.75	-1120.65	647.51	-762.42	-1480	-1161.12	1251.01
TOTAL MAKS	-4953.33	-8976.54	-3136.13	3749.59	4566.56	1643.48	-2358.82	-1980.06	-2115.41	-2084.42	-2488.79	2779.77

## Lampiran 5D. (Lanjutan)

GAYA DALAM LINTANG V2												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	-237.75	-0.14	0	5.47	5.47	3.65	-74.5	-73.81	-16.97	2.77	3.1	9.03
SDL	-93.96	-0.06	0	0	0	0	-31.5	-31.55	-8.58	0.36	0.51	3.31
DL+SDL	-331.71	-0.2	0	5.47	5.47	3.65	-106	-105.36	-25.55	3.13	3.61	12.33
LL	-71.55	-0.04	0	0	0	0	-19.12	-19.22	-1.74	0.27	0.39	3.36
DLSDL+LL	-403.26	-0.24	0	5.47	5.47	3.65	-125.12	-124.57	-27.29	3.4	4	15.69
EV1	-52.98	-0.03	0	0.82	0.82	0.55	-16.76	-16.67	-3.91	0.48	0.56	2
EV2	49.76	0.03	0	-0.82	-0.82	-0.55	15.9	15.8	3.83	-0.47	-0.54	-1.85
EX	988.86	0	0	0	0	0	121.85	143.82	135.63	1.48	1.57	0.63
EY	84.34	43.89	0	0	0	0	14.14	17.54	9.74	0.51	0.31	0.05
E MAKS	1066.11	-1244.03	0	0.82	0.82	0.55	156.21	-180.96	-145.26	2.01	2.2	-2.65
TOTAL MAKS	1467.85	-1244.27	0	6.29	6.29	4.19	288.48	-300.93	-197.96	5.41	6.2	18.34

## Lampiran 5D. (Lanjutan)

GAYA DALAM LINTANG V3												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	-56.21	-190.9	0	0	0	0	14.17	11.15	-2.47	1.29	-0.82	1.47
SDL	-28.22	-89.31	0	0	0	0	6.67	5.61	-1.06	0.35	-0.53	0.54
DL+SDL	-84.43	-280.21	0	0	0	0	20.83	16.76	-3.53	1.64	-1.35	2.01
LL	-22.47	-95.66	0	0	0	0	7.25	6.51	-0.57	0.04	-0.73	0.34
DLS+LL	-106.89	-375.87	0	0	0	0	28.08	23.27	-4.1	1.68	-2.08	2.35
EV1	-13.68	-46.34	0	0	0	0	3.45	2.81	-0.56	0.25	-0.24	0.32
EV2	12.66	42.03	0	0	0	0	-3.13	-2.51	0.53	-0.25	0.2	-0.3
EX	137.43	0	0	0	0	0	33.45	28.75	22.64	5.53	6.52	8.29
EY	72.73	67.82	0	0	0	0	36.35	32.21	29.53	2.54	2.32	2.7
E MAKS	-172.78	-114.19	0	0	0	0	-62.74	42.9	37.74	6.78	-7.09	-8.95
TOTAL MAKS	-280.01	-490.06	0	0	0	0	-72.84	62.2	49.19	8.47	-9.17	11.3

## Lampiran 5D. (Lanjutan)

GAYA DALAM MOMEN M2												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	-113.329	-385.218	0	0	0	0	-14.111	-12.219	3.691	-1.937	1.226	-2.205
SDL	-55.048	-178.365	0	0	0	0	-6.994	-6.343	1.762	-0.524	0.8	-0.809
DL+SDL	-168.376	-563.583	0	0	0	0	-21.105	-18.562	5.453	-2.461	2.026	-3.013
LL	-43.324	-188.912	0	0	0	0	-8.004	-7.527	1.641	-0.065	1.091	-0.76
DLSDL+LL	-211.701	-752.495	0	0	0	0	-29.109	-26.088	6.862	-2.526	3.118	-3.524
EV1	-27.206	-93.038	0	0	0	0	-3.526	-3.123	0.881	-0.372	0.353	-0.475
EV2	25.256	84.537	0	0	0	0	3.166	2.784	-0.818	0.369	-0.304	0.452
EX	314.409	0	0	0	0	0	26.296	21.791	24.171	8.289	9.775	12.435
EY	207.076	205.173	0	0	0	0	48.986	33.751	39.085	3.803	3.487	4.044
E MAKS	-403.441	-298.324	0	0	0	0	61.158	41.552	-47.654	-10.177	10.641	-13.432
TOTAL MAKS	-615.808	-1050.818	0	0	0	0	-85.986	-76.964	-58.192	-12.703	13.758	-16.943

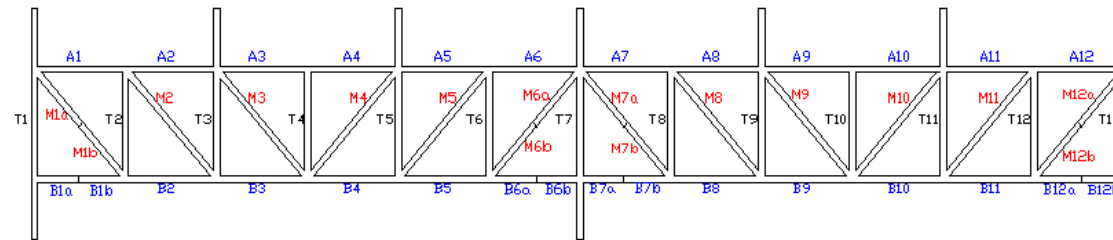
## Lampiran 5D. (Lanjutan)

GAYA DALAM MOMEN M3												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	-381.119	0.489	0	-8.546	-8.546	4.273	200.824	200.09	21.994	-1.416	-1.921	10.805
SDL	-149.802	0.2	0	0	0	0	76.545	77.291	10.07	-0.541	-0.76	4.96
DL+SDL	-530.92	0.689	0	-8.546	-8.546	4.273	277.37	277.381	32.064	-1.957	-2.68	15.765
LL	-113.729	0.145	0	0	0	0	58.878	60.051	5.916	-0.408	-0.584	5.035
DLSDL+LL	-644.649	0.834	0	-8.546	-8.546	4.273	336.248	337.432	37.98	-2.365	-3.264	20.8
EV1	-84.756	0.11	0	-1.282	-1.282	0.641	44.255	44.309	5.076	-0.312	-0.428	2.591
EV2	79.638	-0.103	0	0	0	-0.641	-41.605	-41.607	-4.81	0.294	0.402	-2.365
EX	1729.153	0	0	0	0	0	324.625	360.326	368.24	2.218	2.359	0.952
EY	131.94	73.333	0	0	0	0	42.076	40.219	20.894	0.764	0.463	0.069
E MAKS	1853.527	2142.188	0	-1.282	-1.282	0.641	-390.316	-433.357	386.347	-2.598	-2.89	3.561
TOTAL MAKS	2497.644	2142.363	0	-9.828	-9.828	4.914	753.159	805.82	477.542	-4.962	-6.155	24.362

## Lampiran 5D. (Lanjutan)

GAYA DALAM TORSI												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah		Ujung	Tengah	
DL	-14.315	0.031	11.818	10.033	-22.021	-29.212	4.118	21.057	30.688	34.219	63.544	24.776
SDL	-5.655	0.013	5.029	5.717	-11.308	-14.651	4.383	12.105	16.839	18.162	32.046	13.562
DL+SDL	-19.97	0.044	16.847	15.75	-33.329	-43.862	8.501	33.162	47.527	52.381	95.59	38.337
LL	-3.999	0.011	4.661	6.868	-12.531	17.17	5.01	12.835	17.767	20.839	34.941	13.523
DLSL+LL	-23.969	0.054	21.508	22.618	-45.86	-60.062	13.51	45.998	65.294	73.22	130.531	51.86
EV1	-3.175	0.007	2.737	2.672	-5.563	-7.308	1.501	5.552	7.929	8.795	15.911	6.359
EV2	2.995	-0.007	-2.527	-2.362	4.999	6.579	-1.007	-4.974	-7.129	-7.857	-14.338	-5.751
EX	35.12	11.225	20.437	8.877	4.602	9.656	12.537	2.621	3.586	16.123	1.807	12.762
EY	61.888	37.632	8.054	14.057	17.63	17.33	16.335	18.31	8.825	23.04	26.323	9.835
E MAKS	75.708	48.853	-25.587	-19.391	18.232	25.797	41.582	-29.699	15.658	52.724	44.962	-22.019
TOTAL MAKS	99.562	48.907	47.092	-42.002	64.099	85.866	-34.861	59.38	63.533	125.944	175.493	73.846

## Lampiran 5D. (Lanjutan)



LOKASI		BATANG	Lokasi Aksial Maksimum						
			Gravitasi	EV1	EV2	EX	EY	E MAKS	TOTAL MAKS
Tumpuan	Ujung	Tegak	<b>T13</b>	<b>T13</b>	<b>T13</b>	<b>T1</b>	<b>T1</b>	<b>T1</b>	<b>T13</b>
		Datar Bawah	<b>B12a</b>	<b>B12a</b>	<b>B12a</b>	<b>B1b</b>	<b>B2</b>	<b>B12a</b>	<b>B12a</b>
		Datar Atas	<b>A2</b>	<b>A2</b>	<b>A2</b>	<b>A12</b>	<b>A11</b>	<b>A12</b>	<b>A11</b>
		Miring	<b>M12a</b>	<b>M12a</b>	<b>M12a</b>	<b>M1a,M1b</b>	<b>M1a,M1b</b>	<b>M1a</b>	<b>M1a</b>
	Tengah	Tegak	<b>T7</b>	<b>T7</b>	<b>T7</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T7</b>	<b>T7</b>
		Datar Bawah	<b>B6a</b>	<b>B6a</b>	<b>B6a</b>	<b>B6a</b>	<b>B5</b>	<b>B6a</b>	<b>B6a</b>
		Datar Atas	<b>A8</b>	<b>A8</b>	<b>A8</b>	<b>A7</b>	<b>A7</b>	<b>A7</b>	<b>A8</b>
		Miring	<b>M7a</b>	<b>M7a</b>	<b>M7a</b>	<b>M6a,M6b</b>	<b>M5</b>	<b>M6a</b>	<b>M6a</b>
Lapangan	Tegak	<b>T9</b>	<b>T9</b>	<b>T9</b>	<b>T5</b>	<b>T5</b>	<b>T5</b>	<b>T9</b>	
	Datar Bawah	<b>B10</b>	<b>B10</b>	<b>B10</b>	<b>B10</b>	<b>B3</b>	<b>B3</b>	<b>B10</b>	
	Datar Atas	<b>A10</b>	<b>A10</b>	<b>A10</b>	<b>A4</b>	<b>A4</b>	<b>A4</b>	<b>A4</b>	
	Miring	<b>M9</b>	<b>M9</b>	<b>M9</b>	<b>M10</b>	<b>M4</b>	<b>M4</b>	<b>M4</b>	



Lampiran 6. Ratio Kebutuhan Penulangan Bangunan 4 Lantai

VARIASI TINGKAT I										
Lantai	Penulangan Lentur Balok Arah X					Penulangan Lentur Balok Arah Y				
	Vbeton	Vol(mm <sup>3</sup> )	Vol(m <sup>3</sup> )	Berat(kg)	Ratio	Vbeton	Vol(mm <sup>3</sup> )	Vol(m <sup>3</sup> )	Berat(kg)	Ratio
4	24.03	78188250	0.0781883	625.6654	26.0368458	37.44	171867000	0.171867	1375.2864	36.733077
3	15.84	76594500	0.0765945	612.9122	38.6939492	34.56	224424000	0.224424	1795.8495	51.963239
2	15.84	65913000	0.065913	527.4384	33.2978775	12.96	42256500	0.042257	338.13815	26.090907
1	15.84	63565500	0.0635655	508.6536	32.1119693	12.96	41647500	0.041648	333.26491	25.714885

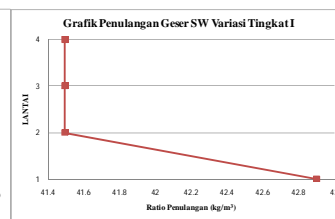
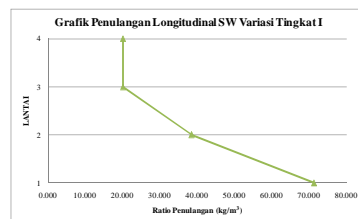
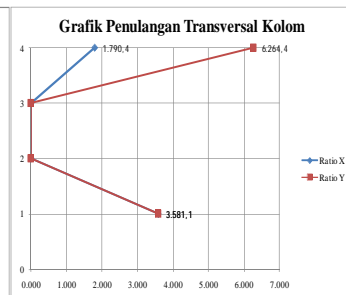
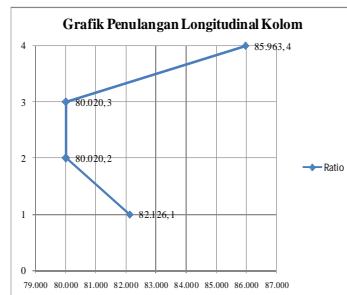
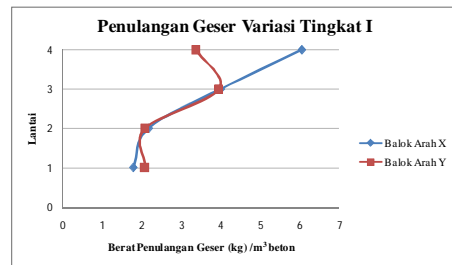
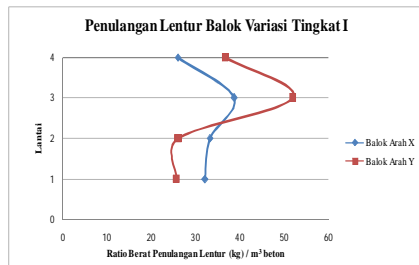
Ratio = Berat Tulangan / Vol beton (kg/m<sup>3</sup>)

VARIASI TINGKAT I										
Lantai	Penulangan Geser Balok Arah X					Penulangan Geser Balok Arah Y				
	Vbeton	Vol(mm <sup>3</sup> )	Vol(m <sup>3</sup> )	Berat(kg)	Ratio	Vbeton	Vol(mm <sup>3</sup> )	Vol(m <sup>3</sup> )	Berat(kg)	Ratio
4	24.03	18177525	0.018177525	145.4573	6.05315	37.44	15801300	0.0158013	126.442615	3.3772066
3	15.84	7897500	0.0078975	63.1961	3.98965	34.56	17049600	0.0170496	136.43156	3.9476724
2	15.84	4294800	0.0042948	34.36716	2.16964	12.96	3378600	0.0033786	27.0356881	2.086087
1	15.84	3552300	0.0035523	28.42564	1.79455	12.96	3366000	0.003366	26.9348624	2.0783073

Ratio = Berat Tulangan / Vol beton (kg/m<sup>3</sup>)

Penulangan Longitudinal Kolom					Penulangan Transversal Kolom							
Lantai	Vol.Beton	Vol.Tulangan	Berat(kg)	Ratio	Lantai	Vol.Beton	Vol.Tul X	Vol.Tul Y	Berat X	Berat Y	Ratio X	Ratio Y
4	27.648	0.2970108	2376.692	85.96253	4	27.648	0.006	0.022	49.503	173.190	1.790	6.264
3	30.72	0.3072	2458.226	80.02039	3	30.72	0	0	0	0	0	0
2	30.72	0.3072	2458.226	80.02039	2	30.72	0	0	0	0	0	0
1	30.72	0.315284	2522.915	82.12613	1	30.72	0.014	0.014	110.006	110.006	3.581	3.581

PENULANGAN LENTUR SW			PENULANGAN GESER SW		
Lantai	Pier Kiri	Pier Kanan	Lantai	Pier Kiri	Pier Kanan
4	20.0051	20.0050968	4	41.4953	41.4952951
3	20.0051	20.0050968	3	41.4953	41.4952951
2	38.40979	37.6095821	2	41.4953	41.4952951
1	71.21814	71.2181448	1	42.90192	42.9019152



Lampiran 7. Ratio Kebutuhan Penulangan Bangunan 6 Lantai

Lantai	Penulangan Lentur Balok Arah X					Penulangan Lentur Balok Arah Y				
	Vbeton	Vol(mm <sup>3</sup> )	Vol(m <sup>3</sup> )	Berat(kg)	Ratio	Vbeton	Vol(mm <sup>3</sup> )	Vol(m <sup>3</sup> )	Berat(kg)	Ratio
6	25.92	122014500	0.1220145	976.3648	37.668	37.44	176395500	0.176396	1411.5236	37.701
5	24.48	143535750	0.1435358	1148.579	46.919	34.56	234618000	0.234618	1877.4223	54.324
4	27.71172	157654500	0.1576545	1261.557	45.524	34.56	233995500	0.233996	1872.4411	54.179
3	15.84	89765250	0.0897653	718.305	45.348	34.56	230431500	0.230432	1843.9218	53.354
2	15.84	79138500	0.0791385	633.2693	39.979	12.96	46269000	0.046269	370.24633	28.568
1	15.84	69282750	0.0692828	554.4032	35.000	12.96	43717500	0.043718	349.82913	26.993

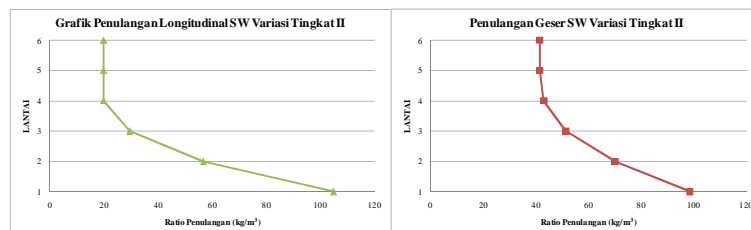
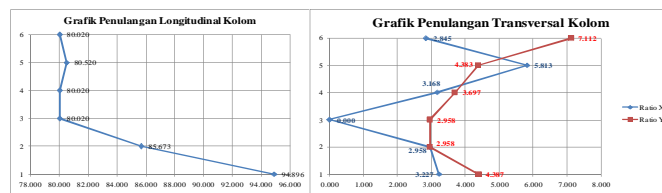
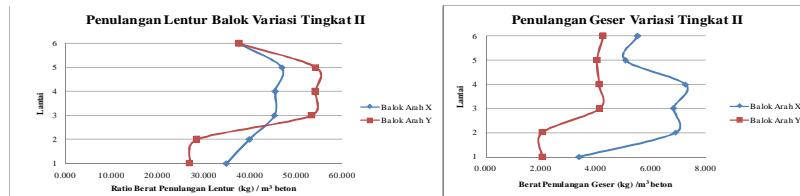
Ratio = Berat Tulangan / Vol beton (kg/m<sup>3</sup>)

Lantai	Penulangan Geser Balok Arah X					Penulangan Geser Balok Arah Y				
	Vbeton	Vol(mm <sup>3</sup> )	Vol(m <sup>3</sup> )	Berat(kg)	Ratio	Vbeton	Vol(mm <sup>3</sup> )	Vol(m <sup>3</sup> )	Berat(kg)	Ratio
6	25.92	17919000	0.0179	143.3885	5.532	37.44	19992600	0.0199926	159.98156	4.273
5	24.48	15569100	0.0156	124.5845	5.089	34.56	17542800	0.0175428	140.378165	4.062
4	27.71172	25203300	0.0252	201.6778	7.278	34.56	17880300	0.0178803	143.078853	4.140
3	15.84	13552650	0.0136	108.4488	6.847	34.56	17932500	0.0179325	143.49656	4.152
2	15.84	13683600	0.0137	109.4967	6.913	12.96	3355200	0.0033552	26.8484404	2.072
1	15.84	6750000	0.0068	54.01376	3.410	12.96	3349800	0.0033498	26.8052294	2.068

Ratio = Berat Tulangan / Vol beton (kg/m<sup>3</sup>)

PENULANGAN LONGITUDINAL KOLOM					PENULANGAN TRANSVERSAL KOLOM							
Lantai	Vol.Beton	Vol.Tulang	Berat(kg)	Ratio	Lantai	Vol.Beton	Vol.Tul X	Berat X	Berat Y	Ratio X	Ratio Y	
6	40.572	0.40572	3246.587	80.02039	6	40.572	0.014423	0.036058	115.4137	288.5343	2.845	7.112
5	46.08	0.4636764	3710.357	80.51989	5	46.08	0.033477	0.02524	267.8852	201.974	5.813	4.383
4	39.024	0.39024	3122.716	80.02039	4	39.024	0.015448	0.018029	123.6181	144.2672	3.168	3.697
3	43.36	0.4336	3469.684	80.02039	3	43.36	0	0.016026	0	128.2375	0.000	2.958
2	43.36	0.464232	3714.802	85.67349	2	43.36	0.016026	0.016026	128.2375	128.2375	2.958	2.958
1	43.36	0.514204	4114.68	94.89576	1	43.36	0.017485	0.02377	139.914	190.2053	3.227	4.387

TULANGAN LENTUR SW			TULANGAN GESER SW		
Lantai	Pier Kiri	Pier Kanan	Lantai	Pier Kiri	Pier Kanan
6	20.005	20.005	6	41.495	41.495
5	20.005	20.005	5	41.495	41.495
4	20.005	20.005	4	42.621	43.043
3	29.608	29.608	3	51.342	51.482
2	56.814	56.814	2	69.909	70.050
1	104.027	104.827	1	98.604	98.604



Lampiran 8. Ratio Kebutuhan Penulangan Bangunan 8 Lantai (Model 3A)

Lantai	Penulangan Lentur Balok Arah X					Penulangan Lentur Balok Arah Y				
	Vbeton	Vol(mm <sup>3</sup> )	Vol(m <sup>3</sup> )	Berat(kg)	Ratio	Vbeton	Vol(mm <sup>3</sup> )	Vol(m <sup>3</sup> )	Berat(kg)	Ratio
8	25.92	146647500	0.1466475	1173.479	45.2731086	37.44	191863500	0.191864	1535.2992	41.006922
7	24.48	162130500	0.1621305	1297.375	52.997326	34.56	247989000	0.247989	1984.4176	57.41949
6	24.48	173535000	0.173535	1388.634	56.7252366	34.56	251794500	0.251795	2014.8693	58.300618
5	24.48	179858250	0.1798583	1439.233	58.7921848	34.56	251787000	0.251787	2014.8093	58.298881
4	29.87136	228978000	0.228978	1832.291	61.3393841	34.56	248020500	0.248021	1984.6696	57.426784
3	15.84	107920500	0.1079205	863.584	54.5191933	34.56	239469000	0.239469	1916.2402	55.446765
2	15.84	94827000	0.094827	758.8093	47.9046292	12.96	50712000	0.050712	405.79939	31.311681
1	15.84	77382750	0.0773828	619.2198	39.0921568	12.96	44656500	0.044657	357.34304	27.572766

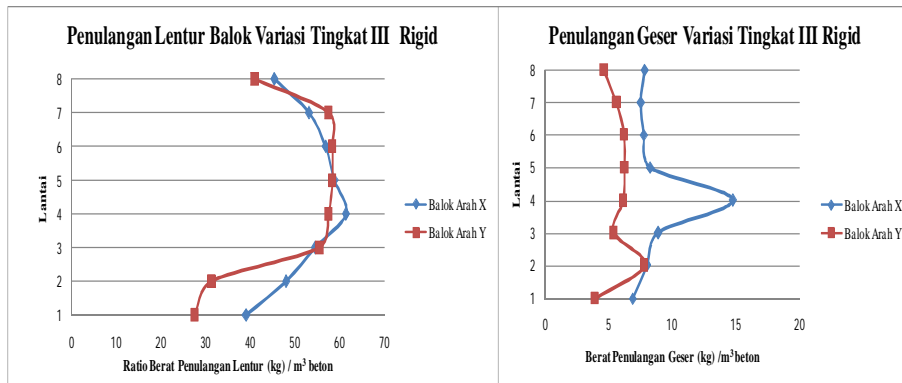
Ratio = Berat Tulangan / Vol beton (kg/m<sup>3</sup>)

Lantai	Penulangan Geser Balok Arah X					Penulangan Geser Balok Arah Y				
	Vbeton	Vol(mm <sup>3</sup> )	Vol(m <sup>3</sup> )	Berat(kg)	Ratio	Vbeton	Vol(mm <sup>3</sup> )	Vol(m <sup>3</sup> )	Berat(kg)	Ratio
8	25.92	25378200	0.025	203.0773	7.83477	37.44	21708000	0.021708	173.708257	4.6396436
7	24.48	23000400	0.023	184.0501	7.51839	34.56	24291900	0.0242919	194.384725	5.624558
6	24.48	23701500	0.024	189.6603	7.74756	34.56	26781300	0.0267813	214.305	6.2009549
5	24.48	25322400	0.025	202.6308	8.2774	34.56	26983800	0.0269838	215.925413	6.2478418
4	29.87136	54988350	0.055	440.0189	14.7305	34.56	26551800	0.0265518	212.468532	6.1478163
3	15.84	17601750	0.018	140.8499	8.89204	34.56	23386500	0.0233865	187.139679	5.4149213
2	15.84	15833250	0.016	126.6983	7.99863	12.96	12684600	0.0126846	101.502661	7.8319954
1	15.84	13649400	0.014	109.223	6.89539	12.96	6381000	0.006381	51.0610092	3.9398927

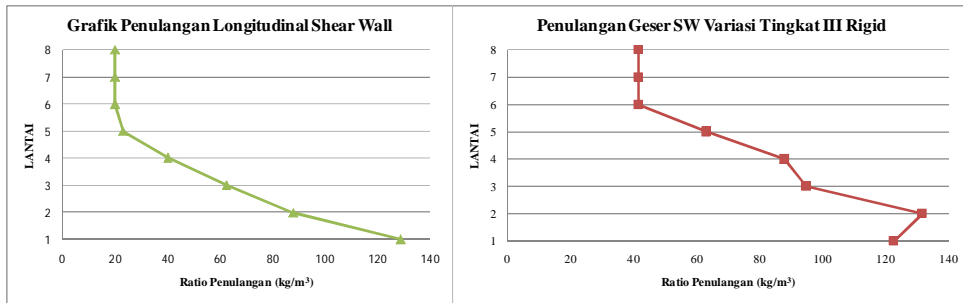
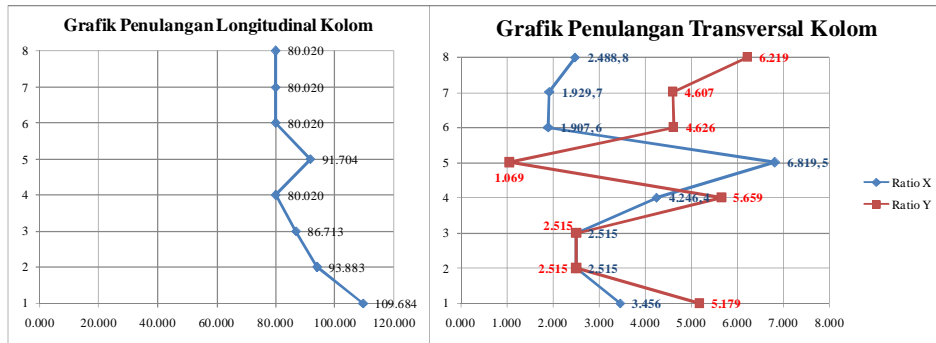
Ratio = Berat Tulangan / Vol beton (kg/m<sup>3</sup>)

PENULANGAN LONGITUDINAL KOLOM					PENULANGAN TRANSVERSAL KOLOM							
Lantai	Vol.Beton	Vol.Tulang	Berat(kg)	Ratio	Lantai	Vol.Beton	Vol.Tul X	Vol.Tul Y	Berat X	Berat Y	Ratio X	Ratio Y
8	52.992	0.52992	4240.44	80.02039	8	52.992	0.016474	0.041184	131.8224	329.556	2.488	6.219
7	52.992	0.52992	4240.44	80.02039	7	52.992	0.012776	0.030511	102.2315	244.148	1.929	4.607
6	52.992	0.52992	4240.44	80.02039	6	52.992	0.012626	0.030637	101.0331	245.162	1.907	4.626
5	61.632	0.7063092	5651.914	91.70421	5	61.632	0.052523	0.008237	420.2876	65.91119	6.819	1.069
4	52.416	0.52416	4194.349	80.02039	4	52.416	0.027812	0.037066	222.554	296.6004	4.246	5.659
3	58.24	0.631108	5050.151	86.71275	3	58.24	0.018304	0.018304	146.4693	146.4693	2.515	2.515
2	58.24	0.683296	5467.761	93.88326	2	58.24	0.018304	0.018304	146.4693	146.4693	2.515	2.515
1	58.24	0.798296	6387.996	109.684	1	58.24	0.025152	0.037696	201.2673	301.6449	3.456	5.179

TULANGAN LENTUR SW			TULANGAN GESER SW		
Lantai	Pier Kiri	Pier Kanan	Lantai	Pier Kiri	Pier Kanan
8	20.005	20.005	8	41.495	41.495
7	20.005	20.005	7	41.495	41.495
6	20.005	20.005	6	41.495	41.495
5	23.206	23.206	5	63.157	63.157
4	40.010	40.010	4	87.773	87.914
3	62.416	62.416	3	94.806	94.806
2	87.222	88.022	2	131.660	131.660
1	112.829	128.833	1	122.517	122.517



Lampiran 8. (Lanjutan)



## Lampiran 9. Ratio Kebutuhan Penulangan Bangunan 8 Lantai (Model 3B)

Lantai	Penulangan Lentur Balok Arah X					Penulangan Lentur Balok Arah Y				
	Vbeton	Vol(mm <sup>3</sup> )	Vol(m <sup>3</sup> )	Berat(kg)	Ratio	Vbeton	Vol(mm <sup>3</sup> )	Vol(m <sup>3</sup> )	Berat(kg)	Ratio
8	25.92	148315500	0.1483155	1186.826	45.7880546	37.44	192313500	0.192314	1538.9001	41.1031
7	24.48	164013000	0.164013	1312.438	53.6126789	34.56	248175000	0.248175	1985.906	57.462557
6	24.48	175666500	0.1756665	1405.69	57.4219827	34.56	251793000	0.251793	2014.8573	58.30027
5	24.48	182190000	0.18219	1457.891	59.5543888	34.56	257278500	0.257279	2058.7525	59.570386
4	29.87136	226938750	0.2269388	1815.973	60.7931031	34.56	272152500	0.272153	2177.7748	63.014318
3	15.84	109272750	0.1092728	874.4048	55.2023219	34.56	248832000	0.248832	1991.1633	57.614679
2	15.84	95445750	0.0954458	763.7606	48.2172089	12.96	51237000	0.051237	410.00046	31.635838
1	15.84	77732250	0.0777323	622.0165	39.2687169	12.96	46033500	0.046034	368.36185	28.422982

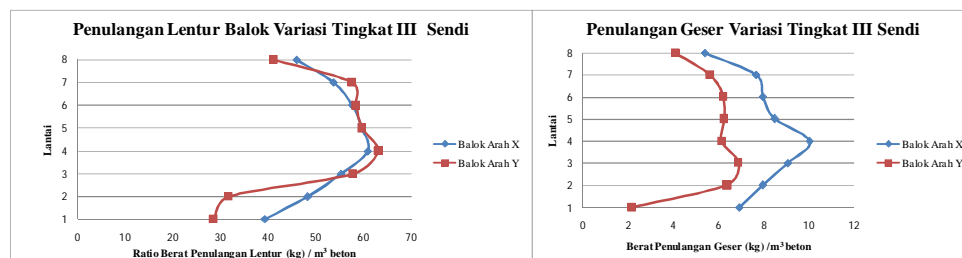
Ratio = Berat Tulangan / Vol beton (kg/m<sup>3</sup>)

Lantai	Penulangan Geser Balok Arah X					Penulangan Geser Balok Arah Y				
	Vbeton	Vol(mm <sup>3</sup> )	Vol(m <sup>3</sup> )	Berat(kg)	Ratio	Vbeton	Vol(mm <sup>3</sup> )	Vol(m <sup>3</sup> )	Berat(kg)	Ratio
8	25.92	17433900	0.017	139.5067	5.3822	37.44	19098000	0.019098	152.822936	4.0818092
7	24.48	23388300	0.023	187.1541	7.64518	34.56	24243300	0.0242433	193.995826	5.6133051
6	24.48	24345450	0.024	194.8132	7.95806	34.56	26762400	0.0267624	214.153761	6.1965787
5	24.48	25900650	0.026	207.258	8.46642	34.56	27000000	0.027	216.055046	6.2515928
4	29.87136	37440750	0.037	299.6023	10.0298	34.56	26513100	0.0265131	212.158853	6.1388557
3	15.84	17930250	0.018	143.4786	9.05799	34.56	29681100	0.0296811	237.509312	6.8723759
2	15.84	15726150	0.016	125.8413	7.94452	12.96	10310400	0.0103104	82.5042202	6.3660664
1	15.84	13675950	0.014	109.4355	6.90881	12.96	3486600	0.0034866	27.8999083	2.1527707

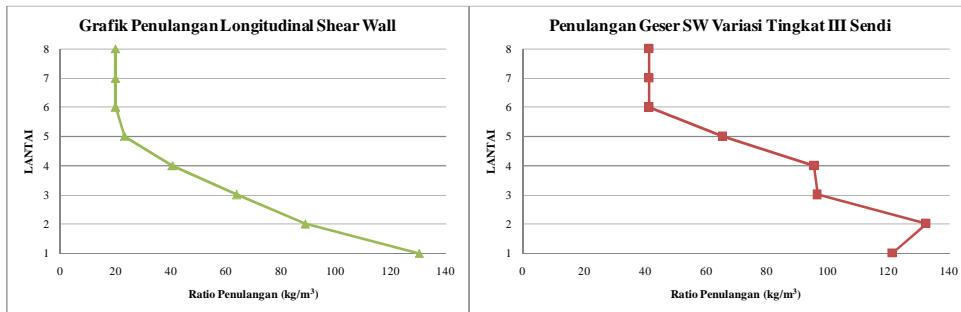
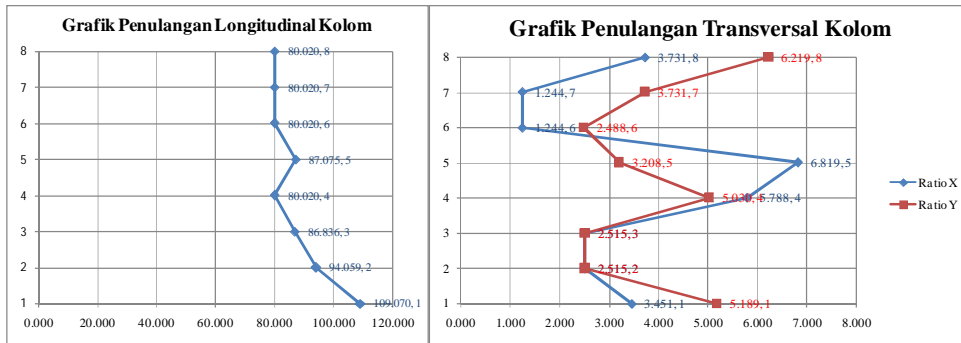
Ratio = Berat Tulangan / Vol beton (kg/m<sup>3</sup>)

Lantai	Penulangan Transversal Kolom				Penulangan Longitudinal Kolom							
	Vol.Beton	Vol.Tulangan	Berat(kg)	Ratio	Vol.Beton	Vol.Tul X	Vol.Tul Y	Berat X	Berat Y	Ratio X	Ratio Y	
8	52.992	0.52992	4240.44	80.02039	52.992	0.02471	0.041184	197.7336	329.556	3.731	6.219	
7	52.992	0.52992	4240.44	80.02039	52.992	0.008237	0.02471	65.91119	197.7336	1.244	3.731	
6	52.992	0.52992	4240.44	80.02039	52.992	0.008237	0.016474	65.91119	131.8224	1.244	2.488	
5	61.632	0.670658	5366.634	87.07546	61.632	0.052523	0.02471	420.2876	197.7336	6.819	3.208	
4	52.416	0.52416	4194.349	80.02039	52.416	0.037915	0.032947	303.3989	263.6448	5.788	5.030	
3	58.24	0.632008	5057.352	86.83641	58.24	0.018304	0.018304	146.4693	146.4693	2.515	2.515	
2	58.24	0.684576	5478.004	94.05913	58.24	0.018304	0.018304	146.4693	146.4693	2.515	2.515	
1	58.24	0.793824	6352.21	109.0695	58.24	0.025114	0.037766	200.96	302.2082	3.451	5.189	

TULANGAN GESER			TULANGAN GESER		
Lantai	Pier Kiri	Pier Kanan	Lantai	Pier Kiri	Pier Kanan
8	20.005	20.005	8	41.495	41.495
7	20.005	20.005	7	41.495	41.495
6	20.005	20.005	6	41.495	41.495
5	23.206	23.206	5	65.689	65.689
4	40.810	40.810	4	95.931	95.791
3	64.016	64.016	3	96.775	96.775
2	88.823	88.823	2	132.363	132.504
1	114.429	130.433	1	121.391	121.391



Lampiran 9. (Lanjutan)



## Lampiran 10. Kebutuhan Tambahan Penulangan pada Balok Rangka Transfer

BANGUNAN 4 LANTAI (MODEL 1)							
BALOK	L(m)	Vol (mm <sup>3</sup> )	Aperlu (mm <sup>2</sup> )	A. HSS	A.ekivalen	A Tambahan	
As A Lt.4	Balok 1-2	3	1747500	582.5	7744	4840	-4257.5
	Balok 2-3	3	946500	315.5	7744	4840	-4524.5
	Balok 3-4	3	607500	202.5	7744	4840	-4637.5
	Balok 4-5	3	628500	209.5	7744	4840	-4630.5
	Balok 5-6	3	1077000	359	7744	4840	-4481
	Balok 6-7	3	2457750	819.25	7744	4840	-4020.75
	Balok 7-8	3	2451000	817	7744	4840	-4023
	Balok 8-9	3	1071000	357	7744	4840	-4483
	Balok 9-10	3	620250	206.75	7744	4840	-4633.25
	Balok 10-11	3	718500	239.5	7744	4840	-4600.5
	Balok 11-12	3	624750	208.25	7744	4840	-4631.75
	Balok 12-13	3	1758000	586	7744	4840	-4254

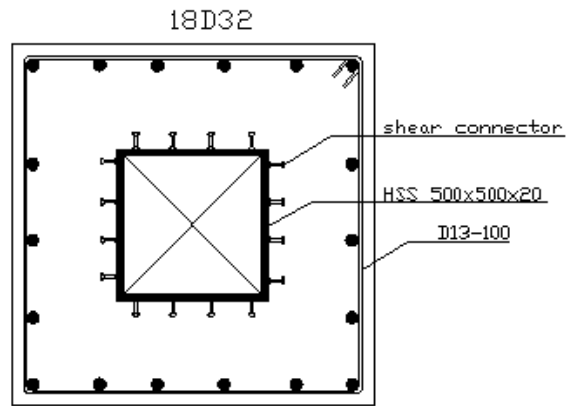
BANGUNAN 6 LANTAI (MODEL 2)							
BALOK	L(m)	Vol (mm <sup>3</sup> )	Aperlu (mm <sup>2</sup> )	A. HSS	A.ekivalen	A Tambahan	
As A Lt.4	Balok 1-2	3	6671250	2223.75	18624	11640	-9416.25
	Balok 2-3	3	6390000	2130	18624	11640	-9510
	Balok 3-4	3	3783750	1261.25	18624	11640	-10378.75
	Balok 4-5	3	4080750	1360.25	18624	11640	-10279.75
	Balok 5-6	3	6729750	2243.25	18624	11640	-9396.75
	Balok 6-7	3	7743000	2581	18624	11640	-9059
	Balok 7-8	3	7738500	2579.5	18624	11640	-9060.5
	Balok 8-9	3	6724500	2241.5	18624	11640	-9398.5
	Balok 9-10	3	4086000	1362	18624	11640	-10278
	Balok 10-11	3	3826500	1275.5	18624	11640	-10364.5
	Balok 11-12	3	6351000	2117	18624	11640	-9523
	Balok 12-13	3	6679500	2226.5	18624	11640	-9413.5

BANGUNAN LANTAI DENGAN RIGID CONNECTION TRANSFER TRUSS (MODEL 3A)							
BALOK	L(m)	Vol (mm <sup>3</sup> )	Aperlu (mm <sup>2</sup> )	A. HSS	A.ekivalen	A Tambahan	
As A Lt.4	Balok 1-2	3	11342250	3780.75	30976	19360	-15579.25
	Balok 2-3	3	10896000	3632	30976	19360	-15728
	Balok 3-4	3	7107750	2369.25	30976	19360	-16990.75
	Balok 4-5	3	7452000	2484	30976	19360	-16876
	Balok 5-6	3	12019500	4006.5	30976	19360	-15353.5
	Balok 6-7	3	12666000	4222	30976	19360	-15138
	Balok 7-8	3	12665250	4221.75	30976	19360	-15138.25
	Balok 8-9	3	12022500	4007.5	30976	19360	-15352.5
	Balok 9-10	3	7467750	2489.25	30976	19360	-16870.75
	Balok 10-11	3	7359000	2453	30976	19360	-16907
	Balok 11-12	3	10894500	3631.5	30976	19360	-15728.5
	Balok 12-13	3	11350500	3783.5	30976	19360	-15576.5

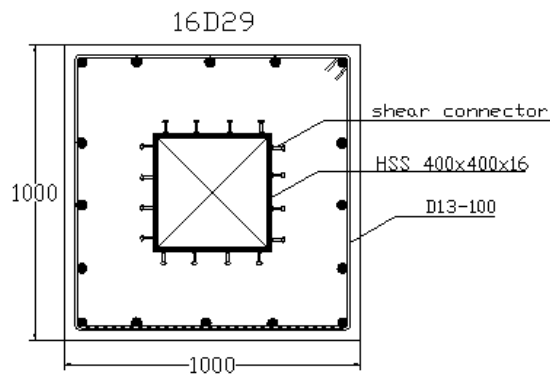
BANGUNAN 8 LANTAI DENGAN PINNED CONNECTION TRANSFER TRUSS (MODEL 3B)							
BALOK	L(m)	Vol (mm <sup>3</sup> )	Aperlu (mm <sup>2</sup> )	A. HSS	A.ekivalen	A Tambahan	
As A Lt.4	Balok 1-2	3	10197000	3399	30976	19360	-15961
	Balok 2-3	3	10094250	3364.75	30976	19360	-15995.25
	Balok 3-4	3	8574750	2858.25	30976	19360	-16501.75
	Balok 4-5	3	8767500	2922.5	30976	19360	-16437.5
	Balok 5-6	3	11022750	3674.25	30976	19360	-15685.75
	Balok 6-7	3	11427750	3809.25	30976	19360	-15550.75
	Balok 7-8	3	11425500	3808.5	30976	19360	-15551.5
	Balok 8-9	3	11019000	3673	30976	19360	-15687
	Balok 9-10	3	8773500	2924.5	30976	19360	-16435.5
	Balok 10-11	3	8559000	2853	30976	19360	-16507
	Balok 11-12	3	10071750	3357.25	30976	19360	-16002.75
	Balok 12-13	3	10205250	3401.75	30976	19360	-15958.25

Dari tabel di atas, diketahui bahwa untuk keseluruhan model tidak diperlukan adanya tulangan tambahan.

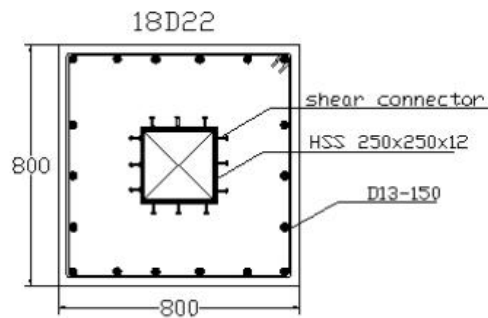
Lampiran 11. Gambar Detail Penulangan Kolom pada Rangka Transfer



Gambar Detail Kolom Pendukung dengan Baja Hollow pada Bangunan 8 Lantai



Gambar Detail Kolom Pendukung dengan Baja Hollow pada Bangunan 6 Lantai



Gambar Detail Kolom Pendukung dengan Baja Hollow pada Bangunan 4 Lantai

Sumber: Data Olahan Penulis