



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS RESPON SEISMIK BANGUNAN BERTINGKAT  
DENGAN *TRANSFER BEAM* DARI KOMBINASI RANGKA  
BAJA DAN SISTEM PRATEGANG LUAR**

**SKRIPSI**

**DIAN EVELINA SEFRIYANTY  
0806329092**

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

1133/FT.01/SKRIP/07/2012



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS RESPON SEISMIK BANGUNAN BERTINGKAT  
DENGAN *TRANSFER BEAM* DARI KOMBINASI RANGKA  
BAJA DAN SISTEM PRATEGANG LUAR**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**DIAN EVELINA SEFRIYANTY  
0806329092**

**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 : Dian Evelina Sefriyanty**

**NPM : 0806329092**

**Tanda Tangan : **

**Tanggal : 27 Juni 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Dian Evelina Sefriyanty  
NPM : 0806329092  
Program Studi : Teknik Sipil  
JudulSkripsi : Analisis Respon Seismik Bangunan Bertingkat dengan *Transfer Beam* dari Kombinasi Rangka Baja dan Sistem Prategang Luar

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 : Ir. Sjahril A. Rahim, M.Eng



Penguji : Mulia Orientilize, ST, M.Eng



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 27 Juni 2012

## KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur Penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus, karena atas berkat dan perlindungan-Nya,serta kasih setiaNya, Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi Penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Bapak Dr. Ir. Yuskar Lase, DEA. selaku dosen pembimbing yang telah 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) Orang tua dan kedua abang yang telah memberikan bantuan dukungan moral dan material;
- (4) Seluruh staf pengajar dan karyawan Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia atas pengajaran dan segala bantuannya selama saya kuliah;
- (5) Garlan Ramadhan, atas bantuan dan pengajaran dalam pemodelan dengan program E-TABS;
- (6) Martina Manurung sebagai teman senasib sepenanggungan dalam proses pengerjaan skripsi ini yang selalu mau berbagi dalam suka dan duka;
- (7) Rizal 'ciscis' Prasetyo, Yusak Moningga, Maisarah Rizky, Wisnu Pratama, Edwin Serano, dan Achmad Damar sebagai teman-teman seperjuangan dalam skripsi. Terima kasih atas pengetahuan, diskusi, dan kerjasama dalam pengerjaan skripsi ini;

- (8) Aftin, Ocha, Ferdinan, Zefanya Team, serta teman-teman lainnya yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah mendukung dan menyemangati Penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini;
- (9) Seluruh sahabat Teknik Sipil dan Lingkungan 2008, khususnya Hilda Ucup, Jennyvera, Desy, Inal, Iyang, Crystin, Andre yang telah memberikan bantuan selama masa perkuliahan dan pengerjaan skripsi;
- (10) Mba Dian sebagai staff administrasi Departemen Teknik Sipil FT UI.

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

Depok, 27 Juni 2012

Penulis

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

---

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

Nama : Dian Evelina Sefriyanty  
NPM : 0806329092  
Program Studi : Teknik Sipil  
Departemen : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

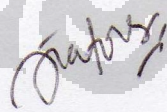
demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**ANALISIS RESPON SEISMIK BANGUNAN BERTINGKAT DENGAN  
TRANSFER BEAM DARI KOMBINASI RANGKA BAJA DAN SISTEM  
PRATEGANG LUAR**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, 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.

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal : 27 Juni 2012  
Yang menyatakan



(Dian Evelina Sefriyanty)

## ABSTRAK

Nama : Dian Evelina Sefriyanty  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul : Analisis Respon Seismik Bangunan Bertingkat dengan *Transfer Beam* dari Kombinasi Rangka Baja dan Sistem Prategang Luar

Studi ini meneliti tentang bangunan X bertingkat banyak di Jakarta yang dibangun di atas bangunan cagar budaya. Struktur yang terdiri dari struktur rangka baja dan sistem prategang digunakan sebagai balok transfer untuk memindahkan dan meneruskan beban-beban dari lantai-lantai atas ke kolom-kolom pendukung.

Hasil penelitian ini menunjukkan terjadi peningkatan gaya geser, perpindahan, gaya dalam, dan kebutuhan penulangan seiring dengan bertambahnya jumlah lantai. Selanjutnya, dalam variasi jumlah strand pada kabel prategang, karakteristik dinamik dan kebutuhan tulangan yang terjadi relatif sama, namun perpindahan vertikal yang terjadi semakin kecil dengan bertambahnya jumlah strand yang digunakan. Profil baja yang digunakan semakin kecil dengan meningkatnya jumlah strand yang digunakan pada sistem prategang luar.

Kata kunci :

Respon seismik, rangka transfer, sistem prategang luar, kolom pendukung.



## ABSTRACT

Name : Dian Evelina Sefriyanty  
Study Program : Civil Engineering  
Title : Analysis of Seismic Response of Multistory Building with Transfer Beam Consisting of Steel Truss and External Prestressing System

This study examines the multi-storey X-building located in Jakarta, built above heritage building. Structure consisting of steel truss and external prestressing system is used as transfer beam to transfer and allocate loads from upper floors to supporting columns.

This study shows an increase in shear force, displacement, internal forces, and the need for reinforcement as the number of floors increase. Furthermore, variation in the number of strands in prestressed cables gives relatively similar dynamic characteristic and reinforcement need, although vertical displacement that occurs gets smaller with increasing number of strands used. Steel profiles used are increasingly smaller as the number of strands used in external prestressing system increase.

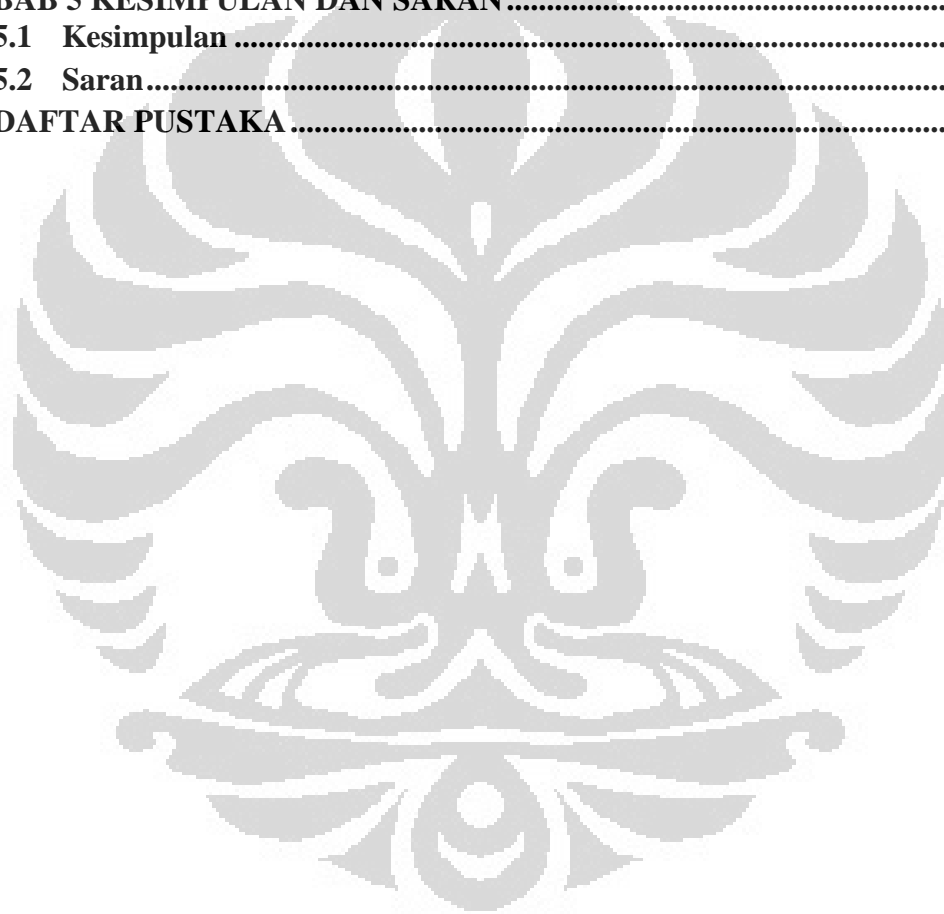
Keywords:

Seismic response, transfer truss, external prestressing system, supporting column.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....</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>
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Tujuan Penulisan.....	3
1.3 Metode Penelitian .....	3
1.4 Ruang Lingkup Pembahasan .....	4
1.5 Hipotesa Awal .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Ketentuan Mengenai Bangunan Cagar Budaya.....	6
2.2 Desain Seismik pada Bangunan Tinggi.....	8
2.2.1 Sistem Struktur Berderajat Kebebasan Banyak (MDOF) .....	8
2.2.2 Analisa Getaran Bebas .....	10
2.2.3 Analisa Getaran Paksa.....	12
2.2.4 Analisis Dinamik Respon Spektrum .....	13
2.3 Sistem Struktur.....	16
2.3.1 Sistem Struktur Penahan Beban Gravitasi.....	17
2.3.2 Sistem Struktur Penahan Beban Lateral .....	17
2.4 Kombinasi Rangka Batang dan Sistem Prategang Luar sebagai Transfer Beam.....	19
2.4.1 Rangka Batang sebagai Transfer Beam.....	20
2.4.2 Sistem Kabel Prategang Luar .....	20
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN DAN PERMODELAN .....</b>	<b>31</b>
3.1 Alur Berpikir .....	31
3.2 Preliminary Design.....	32
3.2.1 Geometri struktur .....	32
3.2.2 Properti material .....	34
3.2.3 Dimensi Komponen Struktur.....	35
3.3 Permodelan Beban dan Struktur .....	37
3.3.1 Pembebanan Struktur .....	37
3.3.2 Modelisasi Struktur .....	46
3.4 Variasi Parameter yang Dianalisis .....	48
3.4.1 Variasi Tinggi Bangunan (Jumlah Lantai) .....	48

3.4.2 Variasi Jumlah Kabel Prategang .....	50
<b>BAB 4 HASIL DAN ANALISIS .....</b>	<b>53</b>
<b>4.1 Analisis Variasi Jumlah Tingkat.....</b>	<b>54</b>
4.1.1 Karakteristik Dinamik Model Struktur.....	54
4.1.2 Respon Seismik Bangunan .....	56
4.1.3 Analisis Sistem Transfer .....	60
4.1.4 Rasio Kebutuhan Tulangan Struktur .....	76
<b>4.2 Analisis Variasi Jumlah Kabel Prategang .....</b>	<b>86</b>
4.2.1 Karakteristik Dinamik Model Struktur.....	86
4.2.2 Respon Seismik Bangunan .....	88
4.2.3 Analisis Sistem Transfer .....	92
4.2.4 Rasio Penulangan dan Rasio Berat Baja Struktur Transfer.....	105
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>114</b>
<b>5.1 Kesimpulan .....</b>	<b>114</b>
<b>5.2 Saran.....</b>	<b>115</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>116</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Variasi dari pin dengan rasio frekuensi modal $\beta_{in}$ , dengan diberikan dua persamaan berbeda untuk 4 nilai redaman .....	15
Gambar 2.2 Komponen Dasar Sistem Prategang Luar .....	22
Gambar 2.3 Tipe-tipe strand pada kabel prategang luar .....	24
Gambar 2.4 Detail penampang strand dengan <i>epoxy-coated</i> .....	24
Gambar 2.5 Angkur tipe A .....	25
Gambar 2.6 Angkur tipe AT .....	25
Gambar 2.7 Angkur tipe TS .....	26
Gambar 2.8 Angkur tipe TT .....	26
Gambar 2.9 Angkur tipe TSK .....	27
Gambar 2.10 <i>Conventional Deviator</i> .....	28
Gambar 2.11 <i>Individual Strand Deviator</i> .....	28
Gambar 3.1 Alur Berpikir Penelitian .....	31
Gambar 3.2 Denah Lantai Dasar .....	32
Gambar 3.3 Denah Lantai 1 dan 2 .....	33
Gambar 3.4 Denah Lantai 3 .....	33
Gambar 3.5 Denah Lantai 5 – 8 .....	34
Gambar 3.6 Dimensi Shearwall .....	36
Gambar 3.7 Bentuk Profil Hollow .....	36
Gambar 3.8 Wilayah Gempa Indonesia .....	39
Gambar 3.9 Spektrum Respon Gempa Wilayah 3 .....	40
Gambar 3.10 Diagram beban-simpangan struktur gedung (Sumber: SNI 03-1726-2002, hal. 41) .....	44
Gambar 3.11 Tampak 3 Dimensi Struktur Bangunan .....	47
Gambar 3.12 Model Transfer Beam Kombinasi Rangka Baja dan Sistem Prategang Luar. ....	48
Gambar 3.13 Variasi I .....	49
Gambar 3.14 Variasi II .....	49
Gambar 3.15 Variasi III .....	50
Gambar 3.16 Variasi Jumlah Kabel Prategang .....	51
Gambar 3.17 Model kabel prategang sebagai beban luar pada join .....	51

Gambar 4.1 Jumlah Pola Getar untuk Pencapaian 90% Partisipasi Massa Pada Variasi Jumlah Lantai .....	55
Gambar 4.2 Partisipasi Massa Pola Getar Pertama.....	55
Gambar 4.3 Distribusi Gaya Geser Tingkat Struktur pada Variasi Jumlah Lantai Akibat Gempa X.....	57
Gambar 4.4 Persentase Gaya Geser Tingkat yang Ditahan Dinding Geser dan Frame Akibat Gempa X .....	57
Gambar 4.5 Distribusi Gaya Geser Tingkat Struktur pada Variasi Jumlah Lantai Akibat Gempa Y.....	58
Gambar 4.6 Persentase Gaya Geser Tingkat yang Ditahan Dinding Geser dan Frame Akibat Gempa Y .....	58
Gambar 4.7 Simpangan Antar Lantai pada Variasi Jumlah Lantai Bangunan akibat Gempa Arah X .....	59
Gambar 4.8 Simpangan Antar Lantai pada Variasi Jumlah Lantai Bangunan akibat Gempa Arah Y .....	59
Gambar 4.9 Beban Gravitasi yang Ditransfer pada Tumpuan Ujung dalam Variasi Jumlah Lantai.....	61
Gambar 4.10 Beban Gravitasi yang Ditransfer pada Tumpuan Tengah dalam Variasi Jumlah Lantai.....	61
Gambar 4.11 Gaya Geser yang Ditransfer pada Tumpuan Ujung dalam Variasi Jumlah Lantai.....	62
Gambar 4.12 Gaya Geser yang Ditransfer pada Tumpuan Tengah dalam Variasi Jumlah Lantai.....	63
Gambar 4.13 <i>Displacement</i> Titik pada Tengah Bentang Struktur Transfer Variasi Jumlah Tingkat (perbandingan dengan struktur tanpa sistem prategang luar) .....	64
Gambar 4.14 <i>Displacement</i> Titik di Tengah Bentang Struktur Transfer pada Variasi Jumlah Tingkat.....	64
Gambar 4.15 <i>Displacement</i> Horisontal Rangka Transfer Arah X dalam Variasi Jumlah Lantai.....	65
Gambar 4.16 <i>Displacement</i> Horisontal Rangka Transfer Arah Y dalam Variasi Jumlah Lantai.....	65
Gambar 4.17 Klasifikasi Jenis Batang .....	66
Gambar 4.18 Gaya Aksial Batang Tegak Rangka Sistem Transfer .....	67
Gambar 4.19 Gaya Aksial Batang Miring Rangka Sistem Transfer .....	68
Gambar 4.20 Gaya Aksial Batang Horizontal Atas Rangka Sistem Transfer .....	68
Gambar 4.21 Gaya Aksial Batang Horizontal Bawah Rangka Sistem Transfer .....	69

Gambar 4.22 Penamaan Kolom Pendukung Sistem Transfer .....	70
Gambar 4.23 Gaya Aksial Kolom Pendukung Lantai 3 dan 1 .....	71
Gambar 4.24 Gaya Geser V2 (Arah X) Kolom Pendukung Lantai 3 dan 1 .....	72
Gambar 4.25 Gaya Geser V3 (Arah Y) Kolom Pendukung Lantai 3 dan 1 .....	73
Gambar 4.26 Gaya Geser Tingkat Struktur Transfer pada Variasi Jumlah Tingkat.....	74
Gambar 4.27 Rasio Kebutuhan Rangka Baja pada Variasi Jumlah Lantai Bangunan .....	75
Gambar 4.28 Persentase Kebutuhan Rangka Baja Bangunan dengan Sistem Prategang Luar Dibandingkan dengan Bangunan Tanpa Sistem Prategang Luar .....	75
Gambar 4.29 Rasio Tulangan Lentur Balok untuk Model Variasi Jumlah Lantai Arah Sumbu X Bangunan .....	76
Gambar 4.30 Rasio Tulangan Lentur Balok untuk Model Variasi Jumlah Lantai Arah Sumbu Y Bangunan .....	77
Gambar 4.31 Perbandingan Ratio Tulangan Lentur Total Balok pada Variasi Jumlah Lantai .....	77
Gambar 4.32 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Balok Arah X pada Variasi Jumlah Lantai .....	78
Gambar 4.33 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Balok Arah Y pada Variasi Jumlah Lantai .....	79
Gambar 4.34 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Total Balok pada Variasi Jumlah Lantai .....	79
Gambar 4.35 Rasio Tulangan Lentur Kolom untuk Model Variasi Jumlah Lantai Bangunan.....	80
Gambar 4.36 Ratio Total Tulangan Lentur Kolom pada Variasi Jumlah Lantai .....	81
Gambar 4.37 Ratio Tulangan Geser Kolom pada Variasi Jumlah Lantai.....	81
Gambar 4.38 Ratio Total Tulangan Geser Kolom pada Variasi Jumlah Lantai.....	82
Gambar 4.39 Rasio Tulangan Lentur Dinding Geser untuk Model Variasi Jumlah Lantai Bangunan .....	83
Gambar 4.40 Rasio Total Tulangan Lentur Dinding Geser untuk Model Variasi Jumlah Lantai Bangunan.....	83
Gambar 4.41 Rasio Tulangan Geser Dinding Geser untuk Model Variasi Jumlah Lantai Bangunan .....	84

Gambar 4.42 Rasio Total Tulangan Geser Dinding Geser untuk Model Variasi Jumlah Lantai Bangunan .....	84
Gambar 4.43 Ratio Kebutuhan Tulangan Longitudinal Total pada Variasi Jumlah Tingkat .....	85
Gambar 4.44 Rasio Kebutuhan Tulangan Transversal Total pada Variasi Jumlah Tingkat .....	86
Gambar 4.45 Jumlah Pola Getar untuk Pencapaian 90% Partisipasi Massa Pada Variasi Jumlah Lantai .....	87
Gambar 4.46 Partisipasi Massa Pola Getar Pertama.....	87
Gambar 4.47 Distribusi Gaya Geser Tingkat Struktur pada Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang Akibat Gempa X.....	89
Gambar 4.48 Persentase Gaya Geser Tingkat yang Ditahan Dinding Geser dan Frame Akibat Gempa X pada Variasi Jumlah Strand.....	89
Gambar 4.49 Distribusi Gaya Geser Tingkat Struktur pada Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang Akibat Gempa Y.....	90
Gambar 4.50 Persentase Gaya Geser Tingkat yang Ditahan Dinding Geser dan Frame Akibat Gempa Y pada Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang .....	90
Gambar 4.51 Simpangan Antar Lantai pada Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang akibat Gempa Arah X.....	91
Gambar 4.52 Simpangan Antar Lantai pada Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang akibat Gempa Arah Y .....	91
Gambar 4.53 Beban Gravitasi yang Ditransfer pada Tumpuan Ujung dalam Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang.....	93
Gambar 4.54 Beban Gravitasi yang Ditransfer pada Tumpuan Tengah dalam Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang.....	93
Gambar 4.55 Gaya Geser yang Ditransfer pada Tumpuan Ujung dalam Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang.....	94
Gambar 4.56 Gaya Geser yang Ditransfer pada Tumpuan Tengah dalam Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang.....	95
Gambar 4.57 <i>Displacement</i> Titik pada Tengah Bentang Struktur Transfer Variasi Jumlah Strand (perbandingan dengan struktur tanpa sistem prategang luar).....	95
Gambar 4.58 <i>Displacement</i> Titik di Tengah Bentang Struktur Transfer pada Variasi Jumlah Strand.....	96
Gambar 4.59 Gaya Aksial Batang Tegak Rangka Sistem Transfer pada Variasi Jumlah Strand.....	97
Gambar 4.60 Gaya Aksial Batang Miring Rangka Sistem Transfer pada Variasi Jumlah Strand.....	98

Gambar 4.61 Gaya Aksial Batang Horizontal Bawah Rangka Sistem Transfer pada Variasi Jumlah Strand .....	98
Gambar 4.62 Gaya Aksial Batang Horizontal Atas Rangka Sistem Transfer pada Variasi Jumlah Strand .....	99
Gambar 4.63 Gaya Dalam Aksial Kolom Pendukung Lantau 3 dan 1 pada Variasi Jumlah Strand.....	100
Gambar 4.64 Gaya Dalam Geser Arah X Kolom Pendukung Lantau 3 dan 1 pada Variasi Jumlah Strand.....	101
Gambar 4.65 Gaya Dalam Geser Arah Y Kolom Pendukung Lantau 3 dan 1 pada Variasi Jumlah Strand.....	102
Gambar 4.66 Gaya Geser Tingkat Kolom Pendukung Struktur Transfer pada Variasi Jumlah Strand .....	103
Gambar 4.67 Rasio Kebutuhan Rangka Baja pada Variasi Jumlah Lantai Bangunan .....	104
Gambar 4.68 Persentase Kebutuhan Rangka Baja Pada Variasi Jumlah Strand Dibandingkan dengan Struktur Tanpa Sistem Prategang.....	104
Gambar 4.69 Rasio Tulangan Lentur Balok untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang Arah Sumbu X Bangunan .....	105
Gambar 4.70 Rasio Tulangan Lentur Balok untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang Arah Sumbu Y Bangunan .....	106
Gambar 4.71 Rasio Tulangan Geser Balok untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang Arah Sumbu X Bangunan .....	106
Gambar 4.72 Rasio Tulangan Geser Balok untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang Arah Sumbu Y Bangunan .....	107
Gambar 4.73 Rasio Total Tulangan Lentur Balok untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang .....	107
Gambar 4.74 Rasio Total Tulangan Geser Balok untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang .....	108
Gambar 4.75 Rasio Tulangan Lentur Kolom untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang .....	108
Gambar 4.76 Rasio Tulangan Geser Kolom untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang Arah Sumbu X Bangunan .....	109
Gambar 4.77 Rasio Tulangan Geser Kolom untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang Arah Sumbu Y Bangunan .....	109



Gambar 4.78 Rasio Total Tulangan Lentur Kolom untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang.....	110
Gambar 4.79 Rasio Total Tulangan Geser Kolom untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang.....	110
Gambar 4.80 Rasio Tulangan Lentur Dinding Geser untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang.....	111
Gambar 4.81 Rasio Tulangan Geser Dinding Geser untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang.....	111
Gambar 4.82 Rasio Total Tulangan Lentur Dinding Geser untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang .....	112
Gambar 4.83 Rasio Total Tulangan Lentur Dinding Geser untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang .....	112
Gambar 4.84 Ratio Kebutuhan Tulangan Longitudinal Total pada Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang.....	113
Gambar 4.85 Ratio Kebutuhan Tulangan Transversal Total pada Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang.....	113



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Properti strand sesuai ASTM 416-06.....	23
Tabel 2.2	Komponen dasar kabel prategang luar.....	23
Tabel 2.3	Jari-jari Minimum Deviator .....	27
Tabel 3.1	Dimensi Profil Rangka Baja .....	37
Tabel 3.2	Koefisien yang mempengaruhi Waktu Getar Alami Bangunan .....	41
Tabel 3.3	Faktor Kuat Lebih Struktur $f_2$ dan Faktor Kuat Lebih Total $f$ yang Terkandung di Dalam Struktur Gedung.....	45
Tabel 3.4	Tabel kombinasi pembebanan.....	45
Tabel 3.5	Faktor Pengali Elemen Struktur Akibat Beban Gempa .....	46
Tabel 4.1	Periode Getar Ragam Pertama dan Sifat Ragam Getar.....	54
Tabel 4.2	Gaya Geser Dasar Struktur untuk Variasi Jumlah Lantai Bangunan .....	56
Tabel 4.3	Beban Gravitasi yang Ditransfer oleh Struktur Transfer pada Variasi Jumlah Lantai.....	60
Tabel 4.4	Gaya Geser yang Ditransfer oleh Struktur Transfer dalam Variasi Jumlah Lantai .....	62
Tabel 4.5	Pengelompokan Batang Rangka Sistem Transfer .....	66
Tabel 4.6	Kombinasi Pembebanan Servis.....	70
Tabel 4.7	Periode Getar Ragam Pertama dan Sifat Ragam Getar.....	86
Tabel 4.8	Gaya Geser Dasar Struktur untuk Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang .....	88
Tabel 4.9	Beban Gravitasi yang Ditransfer oleh Struktur Transfer pada Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang .....	92
Tabel 4.10	Gaya Geser yang Ditransfer oleh Struktur Transfer dalam Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang.....	94

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Pengecekan Karakteristik Dinamik Bangunan 4 Lantai (Model 1)
- Lampiran 2. Pengecekan Karakteristik Dinamik Bangunan 6 Lantai (Model 2)
- Lampiran 3. Pengecekan Karakteristik Dinamik Bangunan 8 Lantai (Model 3A)
- Lampiran 4. Pengecekan Karakteristik Dinamik Bangunan 8 Lantai (Model 3B)
- Lampiran 5. Pengecekan Karakteristik Dinamik Bangunan 8 Lantai (Model 3C)
- Lampiran 6. Gaya Kolom Pendukung
- Lampiran 7A. Gaya Dalam Rangka Transfer Model 1
- Lampiran 7B. Gaya Dalam Rangka Transfer Model 2
- Lampiran 7C. Gaya Dalam Rangka Transfer Model 3A
- Lampiran 7D. Gaya Dalam Rangka Transfer Model 3B
- Lampiran 7E. Gaya Dalam Rangka Transfer Model 3C
- Lampiran 8. Gambar Detail Penulangan Kolom Pendukung



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Kota Jakarta selain merupakan Ibukota negara Indonesia juga merupakan pusat perekonomian negara. Seiring dengan berjalannya waktu, Jakarta sebagai pusat perekonomian semakin berkembang dengan pesatnya. Hal ini dapat dilihat dari semakin banyaknya pembangunan gedung-gedung di Jakarta baik untuk wilayah perkantoran, kawasan hunian atau apartemen, pusat perbelanjaan, dan lain sebagainya.

Salah satu permasalahan yang dapat timbul akibat pembangunan yang dilakukan secara terus-menerus adalah semakin terbatasnya ruang atau lahan yang tersedia. Untuk itu diperlukan sistem tata kota yang apik dan baik agar pembangunan yang terjadi di wilayah Jakarta dapat terkontrol dan tetap menjaga kelestarian lingkungan sekitarnya. Selain itu hal yang perlu diperhatikan adalah wilayah Indonesia merupakan salah satu wilayah yang terletak di atas empat lempeng utama dunia dimana lempeng-lempeng ini bergerak secara relatif dan dapat saling bertumbukan satu sama lain. Pergerakan ini membuat wilayah-wilayah pada perbatasan antarlempeng tersebut menjadi daerah yang rawan terhadap bencana gempa bumi. Berdasarkan hal tersebut, perencanaan dari bangunan-bangunan di Indonesia harus memperhitungkan ketahanan terhadap gempa. Setiap daerah memiliki karakteristik beban gempanya masing-masing sesuai dengan peta wilayah gempa yang telah ditetapkan dalam SNI 03-1726-2002.

Kebutuhan akan tempat untuk melakukan kegiatan sehari-hari baik kegiatan perekonomian dan lain sebagainya memaksa para ahli konstruksi yang bekerja sama dengan ahli tata kota untuk memberikan solusi yang tepat. Salah satu solusi yang telah dilaksanakan adalah dengan membangun ruang ke atas dalam bentuk bangunan bertingkat untuk menghemat lahan yang digunakan.

Meskipun merupakan solusi yang cukup efektif, pembangunan bangunan tinggi pun sedikit banyak mengalami kendala-kendala yang cukup berarti. Salah

satu contohnya adalah adanya bangunan cagar budaya pada lahan yang akan dibangun. Bangunan cagar budaya merupakan bangunan yang dilindungi oleh negara yang keberadaannya harus tetap dijaga dan tidak dapat diganggu gugat. Dengan adanya bangunan purbakala ini pembangunan bangunan tinggi di atasnya merupakan sebuah tantangan bagi dunia konstruksi dimana bangunan bertingkat harus dibangun di atas bangunan lainnya, yaitu bangunan cagar budaya, tanpa mengubah apapun dari bangunan cagar budaya tersebut.

Salah satu solusi untuk pembangunan dengan kasus seperti ini adalah dengan menggunakan *transfer beam*. *Transfer beam* ini akan berperan dalam memindahkan gaya-gaya dari struktur atas ke struktur yang ada di bawahnya. Kolom yang seharusnya ada di lahan yang terhalang oleh bangunan cagar budaya digantikan perannya oleh *transfer beam* yang sudah dapat menahan beban struktur di atasnya dan didistribusikan ke pondasi melalui kolom-kolom yang menumpu *transfer beam* tersebut. Salah satu tipe transfer beam adalah *deep beam* (balok tinggi). 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. Kendala yang terjadi dalam metode konstruksi deep beam ini adalah memerlukan *scaffolding* untuk menahan bekisting. Hal ini tidak memungkinkan untuk dilakukan pada bangunan dengan *herriage building* karena tidak adanya tempat untuk pemasangan *scaffolding*. Oleh karena itu transfer beam dibuat dengan menggunakan rangka baja. Metode konstruksi dalam pemasangan rangka baja sebagai *transfer beam* dirasa lebih memungkinkan untuk kondisi bangunan di atas *herriage building*.

Dalam penelitian ini, penulis tertarik untuk meninjau perilaku struktur bangunan tinggi yang menggunakan *transfer beam* dengan kombinasi rangka baja dan sistem prategang luar yang dikenakan beban gempa sesuai dengan standar yang berlaku di Indonesia untuk perencanaan bangunan tinggi tahan gempa. Digunakan kombinasi sistem prategang luar agar *transfer beam* benar-benar mampu menahan beban-beban yang terjadi tanpa menggunakan profil baja yang sangat besar.

## 1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan skripsi ini adalah menganalisa respon seismik struktur gedung bertingkat secara tiga dimensi dengan transfer beam dari kombinasi rangka baja dan sistem prategang luar, dimana terdapat *heritage building* atau bangunan cagar budaya pada lahan yang akan dibangun. Analisa yang dilakukan akan dibantu dengan program ETABS v9.6.0.

## 1.3 Metode Penelitian

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

a. Penelusuran literatur

Dalam tahapan ini, penulis mempelajari dasar-dasar teori dari analisa dinamik melalui buku-buku, jurnal, atau tugas akhir yang berkaitan dengan analisa respon seismik bangunan bertingkat dan mengenai transfer beam rangka baja, serta sistem prategang luar.

b. *Preliminary design*

Dalam tahapan ini penulis menentukan desain awal dari bangunan yang akan dianalisa yaitu dengan menentukan bentuk bangunan, properti material yang digunakan, estimasi dimensi komponen struktur.

c. Modelisasi struktur dan beban dengan variasi parameter

Dalam tahapan ini sudah mulai digunakan software yang digunakan sebagai penunjang dalam analisa. Modelisasi struktur secara tiga dimensi dibuat dalam bentuk tiga dimensi yang disederhanakan dengan berbagai variasi, yaitu variasi jumlah tingkat dan variasi jumlah *strand* pada sistem prategang luar. Kombinasi pembebanan yang dalam analisa ini untuk setiap variasi parameter juga dibuat pada tahapan ini.

d. Analisa struktur

Pada tahapan ini dilakukan analisa pada modelisasi struktur yang telah dibuat sebelumnya dengan berbagai variasi. Analisa dilakukan untuk setiap kombinasi pembebanan pada setiap variasi model struktur. Hasil dari analisa ini akan diperoleh respon seismik struktur berupa karakteristik dinamik, *displacement*, dan gaya geser tingkat pada struktur.

e. Kesimpulan

Setelah semua keluaran (*output*) dari analisa struktur yang didapatkan maka dapat diambil kesimpulan akhir dari hasil penelitian pada skripsi ini.

#### 1.4 Ruang Lingkup Pembahasan

Pembahasan masalah pada skripsi ini adalah model struktur bangunan tingkat tinggi dengan *transfer beam* yang berupa kombinasi antara rangka baja dan sistem prategang luar. Simulasi yang dilakukan meliputi struktur bangunan dengan sistem tersebut dengan variasi jumlah lantai yaitu 4 lantai, 6 lantai, dan 8 lantai, serta dengan variasi jumlah strand pada sistem prategang luar yang digunakan yaitu 8 strand, 12 strand, dan 16 strand pada masing-masing tendon dengan menggunakan strand berdiameter 15 mm. Seluruh struktur ini dianalisa dengan analisa respon seismik menggunakan analisa respon spektrum yaitu metode 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, permodelan dilakukan dengan mengasumsikan sistem prategang luar bekerja pada kondisi *service*.

#### 1.5 Hipotesa Awal

Bangunan gedung yang dianalisa dalam penelitian ini menggunakan *transfer beam* dengan kombinasi rangka batang dan sistem prategang luar. Dengan demikian diharapkan lendutan yang terjadi pada transfer beam dengan sistem prategang luar ini lebih kecil daripada transfer beam yang hanya menggunakan rangka batang. Selain itu, dengan adanya sistem prategang luar ini diharapkan dimensi profil yang digunakan dapat lebih kecil jika dibandingkan dengan transfer beam yang tanpa menggunakan sistem prategang luar.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

### **Bab 1 Pendahuluan**

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

### **Bab 2 Tinjauan Pustaka**

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

### **Bab 3 Metode Penelitian dan Permodelan**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai alur berpikir dalam penelitian ini, 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 dianalisa dalam skripsi ini.

### **Bab 4 Simulasi dan Analisis**

Pada bab ini akan dilakukan simulasi dan dijelaskan hasil dari analisa respon seismik pada bangunan beserta perilaku struktur bangunan dengan berbagai variasi parameter seperti yang dijabarkan pada bab 3.

### **Bab 5 Kesimpulan dan Saran**

Pada bab ini akan dijabarkan kesimpulan dari analisa yang dilakukan dan telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Selain itu, Penulis juga memberikan saran yang dapat berguna untuk perbaikan penelitian ini di waktu yang akan datang.



## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Ketentuan Mengenai Bangunan Cagar Budaya

Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 1992 tentang Cagar Budaya ada dua definisi benda cagar budaya, 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.

Tolok ukur kriteria sebuah bangunan cagar budaya berdasarkan Peraturan Daerah DKI Jakarta No. 9 Tahun 1999 Bab IV 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 :

- *Pemugaran Bangunan Cagar Budaya Golongan A*
  1. Bangunan dilarang dibongkar dan atau diubah
  2. Apabila kondisi fisik bangunan buruk, roboh, terbakar atau tidak layak tegak dapat dilakukan pembongkaran untuk dibangun kembali sama seperti semula sesuai dengan aslinya.
  3. Pemeliharaan dan perawatan bangunan harus menggunakan bahan yang sama / sejenis atau memiliki karakter yang sama, dengan mempertahankan detail ornamen bangunan yang telah ada
  4. Dalam upaya revitalisasi memungkinkan adanya penyesuaian / perubahan fungsi sesuai rencana kota yang berlaku tanpa mengubah bentuk bangunan aslinya
  5. Di dalam persil atau lahan bangunan cagar budaya memungkinkan adanya bangunan tambahan yang menjadi satu kesatuan yang utuh dengan bangunan utama
- *Pemugaran Bangunan Cagar Budaya Golongan B*
  1. 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

2. Pemeliharaan dan perawatan bangunan harus dilakukan tanpa mengubah pola tampak depan, atap, dan warna, serta dengan mempertahankan detail dan ornamen bangunan yang penting.
  3. Dalam upaya rehabilitasi dan revitalisasi memungkinkan adanya perubahan tata ruang dalam asalkan tidak mengubah struktur utama bangunan
  4. Di dalam persil atau lahan bangunan cagar budaya dimungkinkan adanya bangunan tambahan yang menjadi satu kesatuan yang utuh dengan bangunan utama
- *Pemugaran Bangunan Cagar Budaya Golongan C*
    1. Perubahan bangunan dapat dilakukan dengan tetap mempertahankan pola tampak muka, arsitektur utama dan bentuk atap bangunan
    2. Detail ornamen dan bahan bangunan disesuaikan dengan arsitektur bangunan disekitarnya dalam keserasian lingkungan
    3. 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
    4. Fungsi bangunan dapat diubah sesuai dengan rencana Kota

## 2.2 Desain Seismik pada Bangunan Tinggi

### 2.2.1 Sistem Struktur Berderajat Kebebasan Banyak (MDOF)

Pada umumnya massa dari bangunan yang lebih besar terdistribusi pada struktur dan dapat bergerak ke segala arah. Analisis dari sistem seperti ini biasanya membutuhkan sejumlah koordinat perpindahan dan harus dimodelkan secara sistem *Multi-Degree-Of-Freedom* (MDOF atau Struktur Berderajat Kebebasan Banyak). Dalam suatu struktur yang memiliki redaman, massa, dan kekakuan tertentu, ketika dikenai gaya dinamik akan menimbulkan reaksi berupa gaya inersia ( $f_I$ ) untuk melawan massa sebesar  $f_I = m \cdot \ddot{u}$ , gaya gesek ( $f_S$ ) untuk melawan kekakuan sebesar  $f_S = k \cdot u$ , dan gaya redaman ( $f_D$ ) untuk melawan redaman sebesar  $f_D = c \cdot \dot{u}$ .

Sehingga diperoleh persamaan gerak sistem struktur berderajat kebebasan banyak dalam hal ini portal dua lantai akibat eksitasi gaya dinamis 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

Pada struktur yang tereksitasi oleh percepatan tanah akibat gempa  $p(t) = 0$  sehingga

$$[M](\{\ddot{u}_g\} + \{\ddot{u}\}) + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = 0 \quad (2.2)$$

dengan melakukan penyetaraan ruas kiri akibat pergerakan struktur dan ruas kanan akibat pergerakan tanah, maka didapatkan persamaan

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

$\{\ddot{u}_g\}$  adalah matriks percepatan gempa yang terjadi. Dengan menggunakan hubungan *orthogonality* antara matriks  $\{\ddot{u}_g\}$  dan matriks  $\{u\}$ , maka  $\{\ddot{u}_g\} = \{i\}\ddot{u}_g(t)$ , sehingga

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\{i\}\ddot{u}_g \quad (2.4)$$

dimana  $\{i\}$  adalah matriks identitas yang berperan sebagai *influence factor* dan  $\ddot{u}_g$  adalah percepatan tanah akibat gempa dalam fungsi waktu.

### 2.2.2 Analisa Getaran Bebas

Pada persamaan getaran bebas tak teredam, dengan gaya luar yang bekerja  $\{p(t)\} = 0$  dan  $[C] = 0$ , permasalahan struktur diformulasikan:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{0\} \quad (2.5)$$

Untuk menyelesaikan persamaan tersebut maka diambil persamaan lendutan sebagai berikut:

$$\{u_{n(t)}\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_{n(t)} \quad (2.6)$$

dimana

$\{\phi_n\}$  = vektor fungsi bentuk yang tidak bervariasi terhadap waktu

$q_{n(t)}$  = koordinat modal ke-n yang bervariasi terhadap waktu

Fungsi  $q_{n(t)}$  merupakan fungsi lendutan harmonik sederhana yaitu:

$$q_{n(t)} = A_n \cos(\omega_n t) + B_n \sin(\omega_n t) \quad (2.7)$$

dimana  $A_n$  dan  $B_n$  adalah konstanta integrasi yang dapat dihitung berdasarkan kondisi awal. Dengan mengkombinasikan persamaan (2.6) dan (2.7) serta mensubstitusikannya ke dalam persamaan (2.5), maka akan diperoleh persamaan berikut:

$$[k\phi_n - \omega_n^2 m\phi_n]\{q_{n(t)}\} = 0 \quad (2.8)$$

Persamaan ini dapat diselesaikan untuk menjamin gerakan sistem adalah terpenuhinya persamaan aljabar berikut:

$$k\phi_n = \omega_n^2 m\phi_n \quad (2.9)$$

Persamaan ini disebut permasalahan ini disebut permasalahan matriks nilai eigen yang dapat ditulis kembali sebagai berikut:

$$[\mathbf{k} - \omega_n^2 \mathbf{m}] \phi_n = 0 \quad (2.10)$$

Persamaan ini akan memiliki solusi non-trivial jika

$$\det[\mathbf{k} - \omega_n^2 \mathbf{m}] = 0 \quad (2.11)$$

Persamaan di atas memiliki N akar real dan positif untuk  $\omega_n^2$  karena  $\mathbf{m}$  dan  $\mathbf{k}$  adalah matriks yang simetris dan positif. N akar tersebut menentukan N frekuensi natural getaran bebas. N akar ini disebut juga nilai eigen, nilai karakteristik, atau nilai normal. Ketika frekuensi natural diketahui, dapat diselesaikan vektor ragam getar yang berhubungan dengan frekuensi tersebut. Pada suatu sistem struktur yang bergetar bebas dengan N derajat kebebasan memiliki N frekuensi natural yang disusun dari yang terkecil sampai yang terbesar. Ragam yang pertama dari N ragam ini disebut ragam fundamental dan periode serta frekuensinya masing-masing disebut periode natural fundamental dan frekuensi natural fundamental.

Pada persamaan getaran bebas teredam persamaan struktur diformulasikan:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{0\} \quad (2.12)$$

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:

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

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:

$$M_n \ddot{q}_n + C_n \dot{q}_n + K_n q_n = \{0\} \quad (2.14)$$

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

### 2.2.3 Analisa Getaran Paksa

Persamaan umum dinamik getaran paksa tak teredam:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{P\} \quad (2.15)$$

dengan

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

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

Maka

$$\sum_{n=1}^N \{\phi_n\} \ddot{q}_n(t) [M] + \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_n(t) [K] = \{P\} \quad (2.16)$$

Pada persamaan diatas dilakukan *premultiplying* dengan  $\{\phi_r\}^T$ , sehingga persamaan 2.16 menjadi :

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

Adapun persamaan modal untuk eksistasi gempa dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\ddot{D}_n + \omega_n^2 = \phi_n^T [M] \{\ddot{u}\}_g(t) \quad (2.18)$$

Dengan

$$q_n(t) = \Gamma_n D_n(t) \quad (2.19)$$

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

$$\{u\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_n(t) = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} \Gamma_n D_n(t) \quad (2.20)$$

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

$$[M]\{i\} = \sum_{n=1}^N \Gamma_n [M] \phi_n \quad (2.21)$$

dimana

$$\Gamma_n = \frac{L_n}{M_n} ; L_n = \{\phi_n\}^T [M] \{i\} ; M_n = \{\phi_n\}^T [M] \{\phi_n\} \quad (2.22)$$

maka

$$\{s_n\} = \Gamma_n [M] \phi_n \quad (2.23)$$

Untuk getaran paksa teredam persamaan dinamikanya menjadi :

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{P\} \quad (2.24)$$

Dengan modal analysis yang sama seperti pada penjelasan sebelumnya, didapatkan

$$\sum_{n=1}^N \{\phi_n\} \ddot{q}_n(t) [M] + \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} \dot{q}_n(t) [C] + \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_n(t) [K] = \{P\} \quad (2.25)$$

$$\sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} \{\phi_r\}^T \ddot{q}_n(t) [M] + \sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} \dot{q}_n(t) [C] + \sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_n(t) [K] = \{\phi_r\}^T \{P\} \quad (2.26)$$

Adapun persamaan modal untuk eksistensi gempa dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\ddot{D}_n + 2\zeta\omega_n \dot{D}_n + \omega_n^2 D_n = \phi_n^T [M] \{i\} \ddot{u}_g(t) \quad (2.27)$$

#### 2.2.4 Analisis Dinamik Respon Spektrum

Perancangan struktur biasanya berdasarkan nilai puncak dari gaya dan deformasi selama gempa terjadi. Respons puncak pada sistem struktur berderajat kebebasan banyak dapat dihitung berdasarkan spektrum respons seperti sistem struktur berderajat kebebasan tunggal tetapi hasilnya tidak



eksak (tidak identik seperti hasil analisis riwayat waktu). Namun demikian hasil tersebut cukup akurat untuk aplikasi perancangan struktur.

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:

$$r_{no} = r_n^{st} A_n \quad (2.28)$$

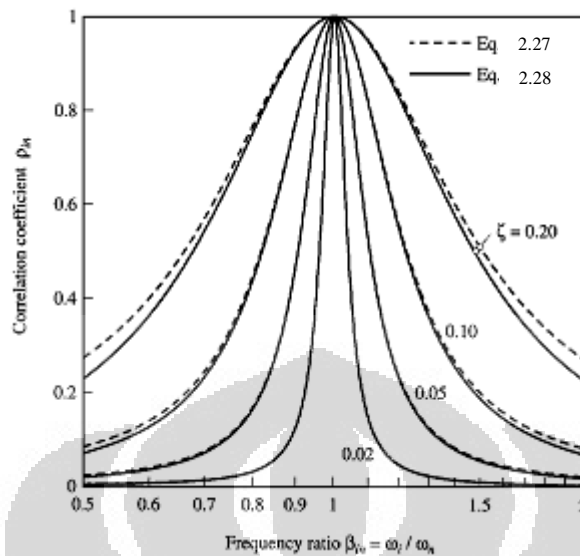
Cara mengkombinasikan respons puncak masing-masing ragam  $r_{no}$  untuk menentukan nilai puncak respons seluruh ragam dapat dilakukan dengan pendekatan aturan kombinasi *Complete Quadratic Combination* (CQC) yang lebih dapat diaplikasikan pada jenis struktur yang beragam karena pendekatan ini menyelesaikan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

$$r_o \approx (\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \rho_{in} r_{io} r_{jo})^{\frac{1}{2}} \quad (2.29)$$

dengan

$$\rho_{in} = \frac{\zeta^2(1+\beta_{in})^2}{(1-\beta_{in})^2+4\zeta^2\beta_{in}}, \text{ untuk struktur dengan redaman kecil} \quad (2.30)$$

$$\rho_{in} = \frac{8\zeta^2(1+\beta_{in})\beta_{in}^{3/2}}{(1-\beta_{in})^2+4\zeta^2\beta_{in}(1+\beta_{in})^2}, \text{ untuk struktur dengan redaman besar} \quad (2.31)$$



Gambar 2.1 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)

Prosedur untuk menghitung respons puncak dari bangunan gedung N lantai dengan denah simetris terhadap dua sumbu utamanya yang saling tegak lurus terhadap pergerakan tanah (gempa) sepanjang sumbu simetri 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. Mengitung 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, baca respons  $D_n$  (deformasi) dan  $A_n$  (*pseudo-acceleration*) dari spektrum respons atau respons desain gempa.
  - Menghitung lendutan lantai dan drift (simpangan antar lantai) berdasarkan persamaan di bawah ini.

$$u_{jn} = \Gamma_n \phi_{jn} D_n \quad (2.32)$$

$$\Delta_{jn} = \Gamma_n (\phi_{jn} - \phi_{j-1,n}) D_n \quad (2.33)$$

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

$$f_{jn} = \Gamma_n m_j \phi_{jn} A_n \quad (2.34)$$

- Menghitung gaya geser lantai, momen guling, dan gaya dalam elemen (momen lentur, lintang, aksial) dengan analisis struktur secara statis akibat gaya lateral statik ekuivalen.
- d. Menentukan dan estimasi nilai puncak setiap respons dengan mengkombinasikan nilai puncak masing-masing ragam berdasarkan aturan SRSS atau CQC.

Dalam analisa respon apektrum, jumlah ragam getar yang ditinjau dalam penjumlahan respon harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa yang digunakan dalam menghasilkan respon total harus mencapai sekurang-kurangnya 90 % (SNI 03 – 1726 – 2002 hal. 29). Oleh karena itu dibutuhkan n buah pola getar untuk mencapai kondisi tersebut.

### 2.3 Sistem Struktur

Bangunan harus mampu menghadapi gaya-gaya vertikal dan gaya-gaya horizontal angin di atas tanah serta gaya-gaya gempa di bawah tanah. Kulit bangunan harus menahan perbedaan suhu, tekanan udara, dan kelembaban antara lingkungan luar dan dalam bangunan. Unsur-unsur struktur bangunan harus tanggap terhadap semua gaya ini. Sistem struktur merupakan penggabungan berbagai elemen struktur secara tiga dimensi yang saling diinterkoneksi, dapat berupa bagian terpisah atau kontinu. Elemen struktur yang dimaksud dapat berupa kolom, balok, pelat, dinding geser, dan bracing.

Fungsi utama dari sistem struktur ini adalah untuk memikul secara efektif dan aman semua beban yang bekerja pada bangunan dan menyalurkannya ke tanah melalui pondasi. Dengan demikian sistem struktur berfungsi untuk :

- Memikul beban vertikal dinamik dan statik
- Memikul beban horizontal akibat angin dan efek gempa
- Menahan tegangan akibat temperature dan susut
- Menahan beban blast eksternal dan internal dan beban impact
- Menahan dan membantu meredam getaran dan efek fatigue

Sistem struktur harus memenuhi beberapa batasan antara lain :

- Harus sesuai dengan persyaratan arsitektural dan pemilik atau keduanya
- Berinteraksi dengan dan memberikan fasilitas penyelesaian system servis seperti heating, ventilasi, dan air conditioning, transport horizontal dan vertical, dan system elektrikal dan mekanikal
- Memberikan fasilitas terhadap ereksi yang sederhana, cepat
- Tahan terhadap api
- Memungkinkan bangunan, pondasi, dan tanah berinteraksi dengan baik
- Ekonomis

### 2.3.1 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.

### 2.3.2 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. Hanya

sambungan geser antara bidang-bidang horizontal (lantai) dan bidang-bidang vertikal dapat meneruskan gaya lateral.

Penyebaran lateral gaya-gaya sepanjang sumbu memanjang bangunan dapat dicapai melalui berbagai cara:

- Melawan secara terus-menerus melalui aksi rangka kaku atau truss.
- Memperkaku trave tertentu dari bangunan dengan rangka kaku atau dinding padat.

Tipe-tipe elemen struktur penahan beban lateral antara lain :

#### 1. Sistem Rangka Pemikul Momen

Moment resisting terdiri dari elemen-elemen horizontal (balok) dan elemen-elemen vertikal (kolom) yang disambung secara kaku satu sama lain dalam bentuk grid bidang yang menahan beban lateral terutama melalui kekakuan lentur dari member. Kekakuan portal tergantung pada dimensi balok dan kolom, serta proporsional terhadap jarak lantai ke lanai dan jarak antar kolom. Sistem ini dibagi menjadi 3 jenis yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa, Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah, Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.

#### 2. Sistem Ganda

Tiga ciri dasar sistem struktur ganda adalah

- Rangka ruang lengkap berupa sistem rangka pemikul momen yang penting berfungsi sebagai pemikul beban gravitasi, pemikul beban lateral.
- Pemikul beban lateral dilakukan oleh dinding struktural dan sistem rangka pemikul momen dimana yang tersebut terakhir ini harus secara tersendiri sanggup memikul sedikitnya 25 % dari beban dasar geser nominal.
- Dinding struktural dan sistem rangka pemikul momen direncanakan untuk menahan beban dasar geser nominal (V) secara proporsional berdasarkan kekakuan relatifnya.

Sistem ganda dapat memberikan hasil baik untuk memperoleh daktilitas dan kekakuan sistem struktur.

#### 3. Dinding Geser

Dinding geser merupakan komponen struktur yang berfungsi untuk meningkatkan struktur dan menahan gaya-gaya lateral. Dua jenis dinding geser, yaitu:

- Dinding geser beton bertulang kantilever, berfungsi untuk memikul beban geser akibat pengaruh gempa yang runtuhnya disebabkan momen lentur (bukan oleh gaya geser) dengan terjadinya sendi plastis pada kaki-kakinya.
- Dinding geser beton bertulang berangkai, berfungsi untuk memikul beban geser yang runtuhnya terjadi dengan sesuatu daktilitas tertentu oleh terjadinya sendi-sendi plastis pada kedua ujung balok-balok perangkai dan pada kaki semua dinding geser.

*Transfer beam* yang merupakan salah satu elemen yang dianalisa dalam penelitian ini merupakan salah satu elemen struktur penahan beban gravitasi dan juga merupakan sistem penahan beban lateral.

#### **2.4 Kombinasi Rangka Batang dan Sistem Prategang Luar sebagai Transfer Beam**

*Transfer beam* didesain untuk mentransfer beban-beban dari kolom di atasnya ke struktur *frame* di bawahnya untuk diteruskan ke pondasi. Transfer beam ini yang akan menahan beban dari struktur di atas *heritage building* karena tidak adanya kolom setinggi dan pada bentang bangunan *heritage*. Berdasarkan SNI 03 – 1726 – 2002 unsur-unsur struktur bangunan gedung yang memiliki kepekaan terhadap beban gravitasi seperti transfer beam pada struktur bangunan tinggi yang memikul gravitasi dari dua atau lebih tingkat di atasnya harus diperhitungkan terhadap komponen vertikal gerakan tanah akibat pengaruh gempa rencana berupa beban gempa vertikal nominal statik ekuivalen yang harus ditinjau bekerja ke atas atau ke bawah yang besarnya harus dihitung sebagai perkalian faktor respons gempa vertikal  $C_v$  dan beban gravitasi, termasuk beban hidup yang sesuai. Pengaruh gempa verikal harus ditinjau bersamaan dengan beban gempa horizontal. Faktor respons gempa vertikal  $C_v$  dapat dihitung menurut persamaan :

$$C_v = \psi A_o I \quad (2.35)$$

dimana

- $\psi$  : bergantung pada wilayah gempa (Tabel 7 SNI 03-1726-2002)  
 $A_0$  : percepatan puncak muka tanah (Tabel 5 SNI 03-1726-2002)  
 $I$  : faktor keutamaan gedung (Tabel 1 SNI 03-1726-2002)

Dengan demikian kombinasi pembebanan dengan pengaruh gempa vertikal adalah sebagai berikut :

$$(1,2 + \psi A_0 I)D + (1 + \psi A_0 I)L \pm E$$

$$(0,9 - \psi A_0 I)D \pm E$$

#### 2.4.1 Rangka Batang sebagai Transfer Beam

Rangka batang merupakan kerangka yang tersusun dari batang-batang yang disambungkan pada ujung-ujungnya untuk membentuk struktur yang tegar. Momen lentur yang cukup besar yang terjadi mengharuskan rangka baja dirancang sebagai portal *rigid*. Desain sebagai rangka batang biasa dirasa kurang tepat karena pasti akan terjadi kegagalan karena sambungan pada rangka batang biasa tidak mampu menahan momen. Sebagai portal *rigid* digunakan sistem sambungan *full moment connection* dimana tidak seperti rangka batang biasa yang hanya menahan gaya aksial, sistem ini juga mampu menahan momen yang terjadi sehingga tidak terjadi kegagalan pada profil yang digunakan. *Full moment connection* merupakan sambungan yang memiliki kapasitas penuh dalam menahan momen. Pada sambungan rigid sudut antara elemen yang disambung dipertahankan sehingga tidak terjadi rotasi.

#### 2.4.2 Sistem Kabel Prategang Luar

Secara umum, penggunaan kabel prategang eksternal pada struktur menurut fungsinya dapat dibagi dua. Pertama adalah kabel prategang eksternal yang digunakan sebagai elemen utama pemikul beban struktur. Fungsi kabel prategang eksternal yang kedua adalah sebagai elemen sekunder untuk memperkuat struktur utama. Contoh aplikasinya adalah kabel prategang yang digunakan pada struktur transfer beam rangka batang. Fungsi kabel prategang

pada transfer beam rangka batang ini adalah untuk meningkatkan kemampuan rangka batang dalam menerima beban dan memperkecil lendutan yang terjadi. Pemberian efek prategang akan mengurangi tegangan besar pada rangka batang, mendistribusikan secara lebih merata tegangan pada elemen rangka batang, mengurangi lendutan secara keseluruhan dan meningkatkan kemampuan struktur untuk menahan beban. Oleh karena itu, pemberian efek prategang pada struktur rangka batang dapat menambah tingkat pelayanan dan umur struktur transfer beam tersebut.

Keuntungan struktur kabel terletak pada fleksibilitas pemakaian dan prapabrikasi pembuatannya, sehingga siap untuk dipasang di tempat konstruksi dan dapat dikerjakan dalam waktu yang singkat. Beberapa aspek penting untuk proses pembangunan struktur kabel meliputi hal-hal sebagai berikut :

- *Form finding*, bentuk geometri struktur kabel
- Hitungan dan sistem pemberian gaya prategang
- Penentuan tipe dan jenis bahan kabel
- Penentuan panjang terpotong kabel dengan tepat
- Perancangan bentuk dan detil pemegang kabel
- Pemilihan pelindung terhadap bahaya korosi
- Proses pabrikasi dan pemasangan

Melalui teknik prategang, kabel sebagai elemen struktur yang tadinya hanya mampu memikul aksial tarik menjadi elemen struktur yang mampu memikul aksial tekan dan mempunyai kekakuan lentur. Sedangkan gaya prategang yang diberikan pada struktur kabel ruang, harus mampu menstabilkan keseluruhan sistem struktur, sehingga untuk setiap kombinasi pembebanan kabel-kabel tetap dalam keadaan tarik.

Besarnya gaya prategang yang diberikan, harus diberikan sedemikian besarnya sehingga kita dapat menghindari adanya kabel dalam keadaan tanpa tegangan tarik (pasif). Hal ini untuk menghindari terjadinya penurunan kekakuan struktur, yang menyebabkan membesarnya deformasi. Transfer gaya prategang pada jaringan kabel, dilakukan dengan memasang kabel utama pada tepi jaringan, di mana kabel utamanya harus dipasang dengan bentuk lengkung. Dengan cara menarik kabel utama ini, maka gaya prategang akan ditransfer pada seluruh

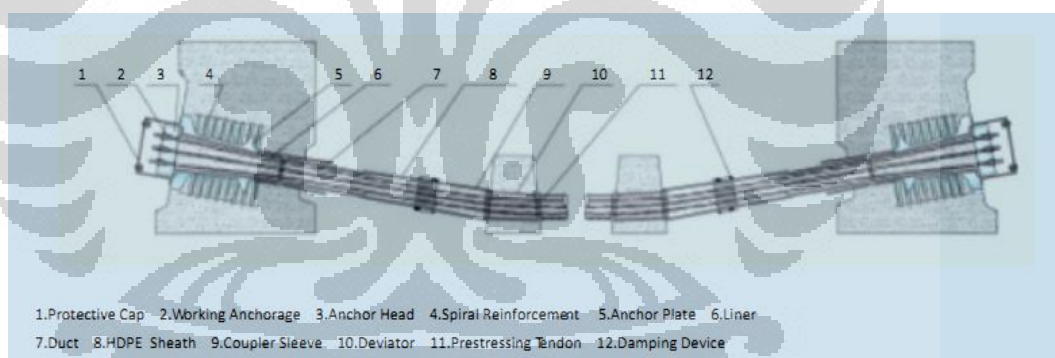


jaringan kabel. Pemberian kabel prategang memberikan efek distribusi gaya aksial yang lebih merata pada rangka batang. Pengurangan gaya aksial terjadi pada sebagian besar elemen rangka batang. Hal ini meningkatkan kemampuan struktur untuk menerima beban yang lebih besar.

Karakteristik dari sistem prategang luar antara lain adalah aman dan handal, dengan anti-korosi yang sangat baik dan kinerja yang *anti-fatigue*. Selain itu, perangkat redaman khusus yang tersedia dalam sistem dapat mengurangi kerusakan yang disebabkan oleh getaran tendon. Karakteristik lainnya adalah nyaman untuk pemeriksaan, pemeliharaan, dan penggantian jika diperlukan.

Komponen dasar dari sistem prategang luar antara lain :

- a. Kabel eksternal, saluran, dan material-material *grouting*
- b. Sistem ankur
- c. *Deviating device*
- d. Sistem anti-korosi
- e. *Damping device*



Gambar 2.2 Komponen Dasar Sistem Prategang Luar

Sumber : OVM Prestressing System (2010)

#### 2.4.2.1 Tipe Kabel/Strand, saluran, dan material-material grouting

##### a. Tipe-tipe Strand

Untaian kawat (strand) untuk sistem prategang umumnya disesuaikan dengan spesifikasi ASTM416 – 06 sebagai berikut :

Tabel 2.1 Properti strand sesuai ASTM 416-06

Section 1.01 tipe strand		13 mm (0.5')	15 mm (0.6')
		ASTM 416-06 Grade 270	ASTM 416-06 Grade 270
Diameter nominal	(mm)	12.70	15.24
Area nominal	(mm <sup>2</sup> )	98.70	140.00
Berat nominal	(kg/m)	0.775	1.102
Kuat leleh	(Mpa)	1675	1676
Kuat tarik	(Mpa)	1860	1860
Min. kuat beban putus	(KN)	183.7	260.7
Modulus Young	(GPa)	Mendekati 195	
Relaksasi setelah 1,000h pada 20° pada 70% beban putus		Max 2.5	

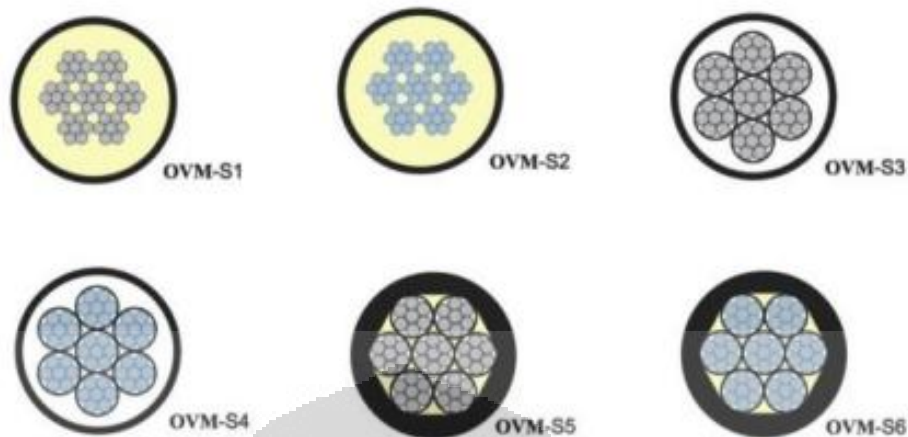
Sumber : ASTM 416-06

Tipe-tipe *strand* antara lain *bare* (polos/sederhana) *strand*, *epoxy-coated strand*, *unbonded strand*, *epoxy-coated unbonded strand*, *unbonded tendon*, dan *epoxy-coated unbonded tendon*, dengan komponen sebagai berikut :

Tabel 2.2 Komponen dasar kabel prategang luar

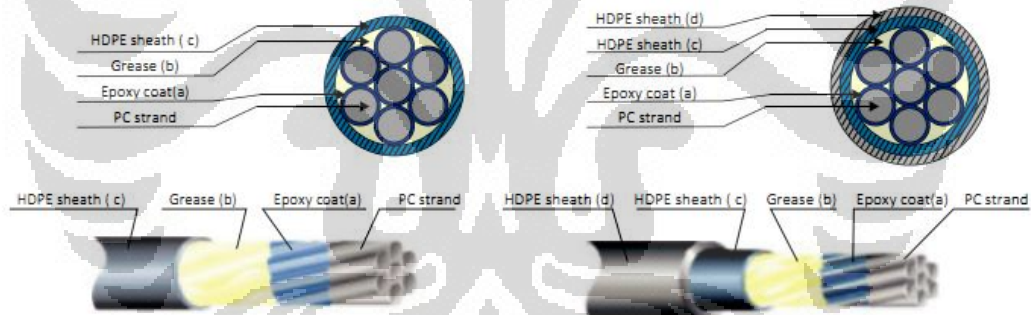
Type	OVM-S1	OVM-S2	OVM-S3	OVM-S4	OVM-S5	OVM-S6
Strand type	<i>Bare strand</i>	<i>epoxy- coated strand</i>	<i>unbonded strand</i>	<i>epoxy- coated unbonded strand</i>	<i>unbonded tendon</i>	<i>epoxy- coated unbonded tendon</i>
Duct	HDPE sheath		HDPE sheath		Hot extrude HDPE	
Grouting	Mortar, epoxy, grease		No grout on free length		No grout on free length	

Sumber : OVM Prestressing System (2010)



Gambar 2.3 Tipe-tipe strand pada kabel prategang luar

Sumber : OVM Prestressing System (2010)



Gambar 2.4 Detail penampang strand dengan *epoxy-coated*

Sumber : OVM Prestressing System (2010)

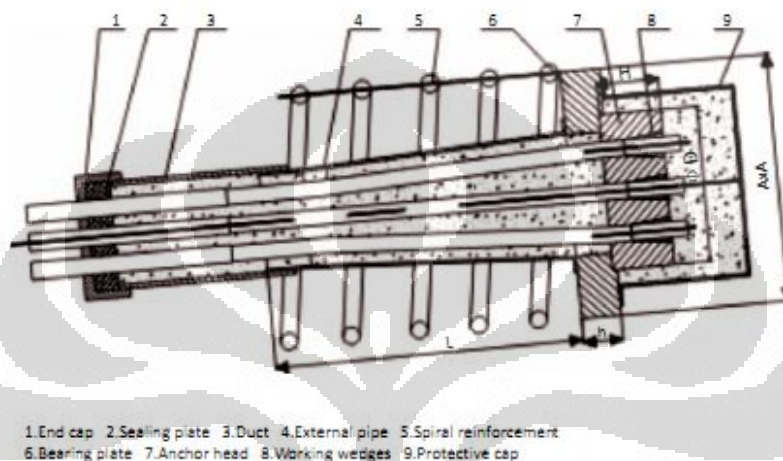
#### 2.4.2.2 Sistem Angkur

Simpangan tegangan (amplitudo tegangan) dari tendon prategang merupakan parameter yang sangat penting untuk mendisain angkur prategang dalam kondisi beban hidup. Tendon eksternal merupakan elemen tunggal yang relatif terhadap struktur secara keseluruhan. Tendon tersebut hanya terhubung dengan beton pada zona angkur dan pemisah di luar struktur. Jadi amplitudo

tegangan pada tendon prategang bergantung pada deformasi struktur secara keseluruhan. Pemberian gaya prategang pada jaringan kabel dilakukan dengan menarik kabel utama pada ujung-ujungnya. Untuk itu diperlukan pengankuran dan penarikan pada kabel utama.

Berikut adalah tipe-tipe ankur pada sistem prategang luar.

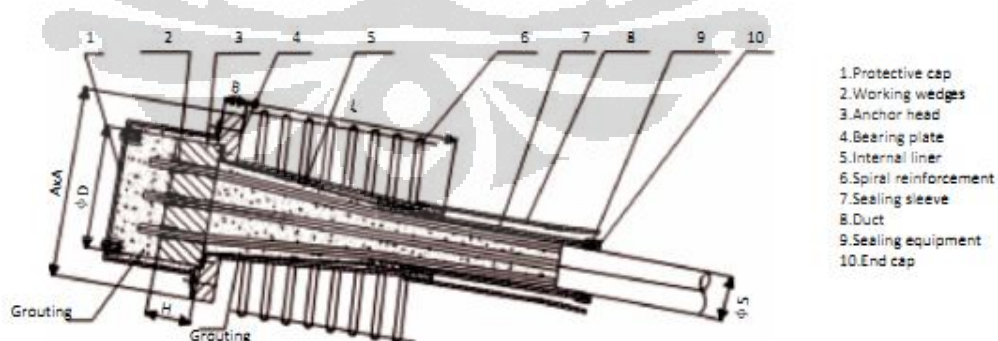
a. Tipe A



Gambar 2.5 Angkur tipe A

Sumber : OVM Prestressing System (2010)

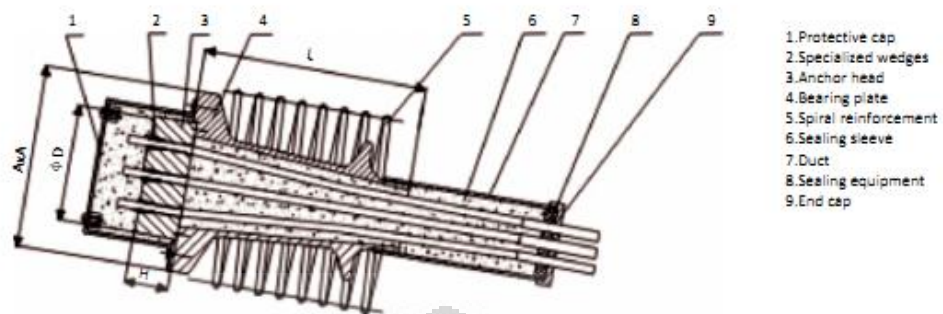
b. Tipe AT



Gambar 2.6 Angkur tipe AT

Sumber : OVM Prestressing System (2010)

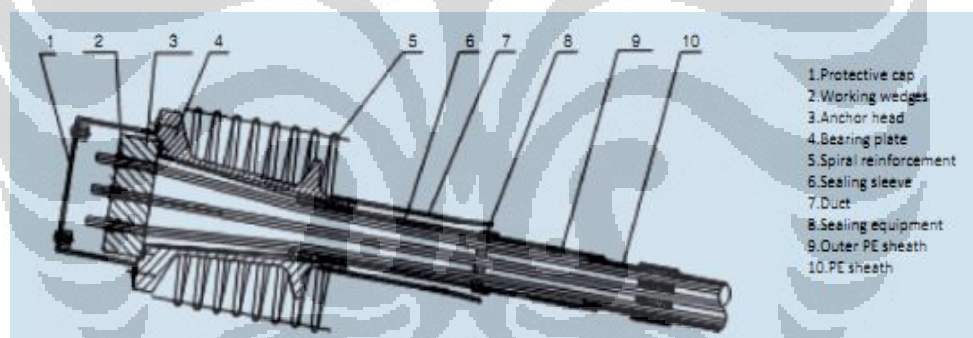
## c. Tipe TS



Gambar 2.7 Angkur tipe TS

Sumber : OVM Prestressing System (2010)

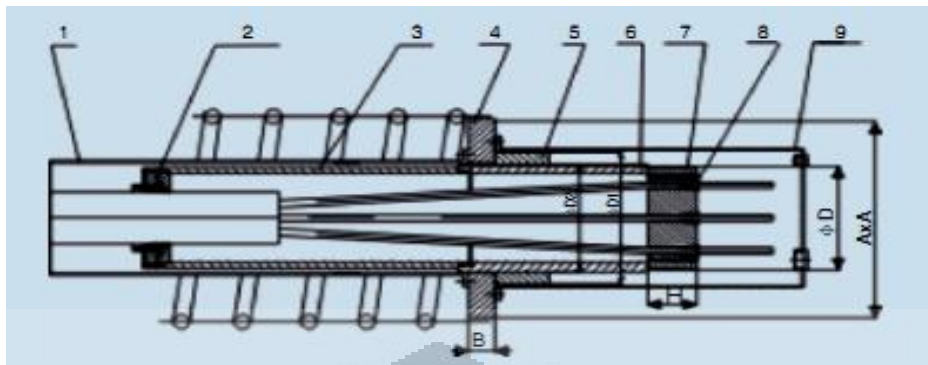
## d. Tipe TT



Gambar 2.8 Angkur tipe TT

Sumber : OVM Prestressing System (2010)

## e. Tipe TSK



Gambar 2.9 Angkur tipe TSK

Sumber : OVM Prestressing System (2010)

2.4.2.3 *Deviating Device*

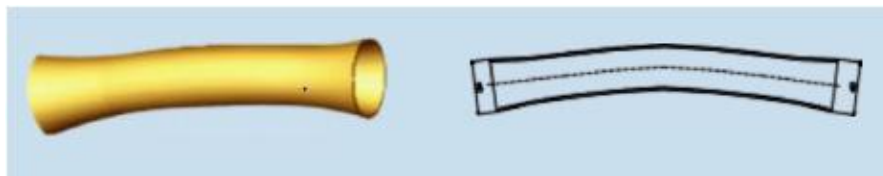
Kondisi tegangan dari strand akan lebih baik dengan meningkatnya jari-jari dari deviator kabel eksternal. Akan tetapi, jari-jari yang besar akan menghasilkan dimensi struktur yang besar dan beban mati yang lebih besar pula. Jadi, dibutuhkan jari-jari yang tepat untuk *essential safety*.

Tabel 2.3 Jari-jari Minimum Deviator

Strand Type	Min Radius(m)
7-φ 15.2	2.0
12-φ 15.2	2.5
19-φ 15.2	3.0
27-φ 15.2	3.5
31-φ 5.2	4

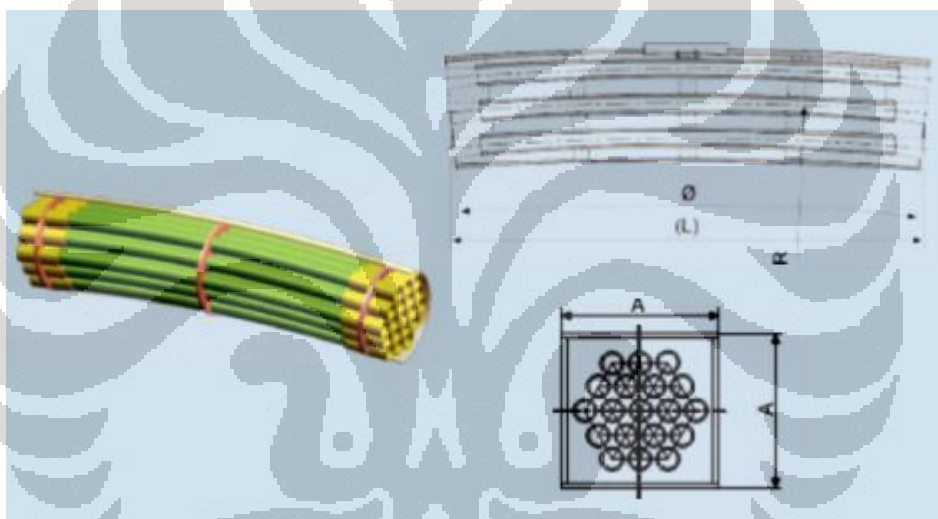
Sumber : OVM Prestressing System (2010)

Ada 2 jenis deviator dalam sistem prategang luar yaitu *conventional deviator* dan *individual strand deviator*.



Gambar 2.10 *Conventional Deviator*

Sumber : OVM Prestressing System (2010)



Gambar 2.11 *Individual Strand Deviator*

Sumber : OVM Prestressing System (2010)

#### 2.4.2.4 Sistem Perlindungan terhadap Korosi

Baja prategang membutuhkan perawatan/perlindungan yang sangat hati-hati terhadap korosi. Untuk sistem prategang eksternal perlindungan korosi dapat dilakukan dengan cara melapisi permukaan strand dengan lapisan pelindung sebagai berikut :

1. Lapisan seng (zing coating) pda sistem perlindungan ini strand dilapisi dengan lapisan galvanis

2. Lapisan polimer, strand dilapisi dengan polimer dimana polimer ini melekat pada strand dengan teknologi fusi.
3. Protective sheating, maksudnya adalah strand dilapisi dengan polypropilene (PP) atau polyethylene (PE), dimana PP/PE tersebut dipres sehingga lapisan tersebut terbentuk mengikuti alur profil strand, kemudian di dalam lapisan tersebut diberi gemuk/grease untuk perlindungan terhadap korosi.

#### 2.4.2.5 Kehilangan Tegangan

##### a. Kehilangan tegangan akibat friksi

Kehilangan tegangan akibat friksi antara baja prategang dengan *ducts* atau salurannya dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu akibat friksi antara baja prategang dengan saluran karena tekanan vertikal bagian lengkungnya dan akibat lengkungan dan permukaan kasar *ducts* yang diformulasikan sebagai:

$$\sigma_{s1} = \sigma_k (1 - e^{-(\mu\theta + Kx)}) \quad (2.36)$$

dimana

- e = Angka logaritma Napierian
- $\mu$  = koefisien friksi antara baja prategang dan duct
- K = koefisien untuk lokal warp dari setiap meter duct.

Kabel prategang luar teletak di luar struktur beton sehingga efek gesekan karena warp dari saluran sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Dengan asumsi  $K = 0$ , maka formula di atas dapat menjadi:

$$\sigma_{s1} = \sigma_k (1 - e^{-\mu\theta}) \quad (2.37)$$

##### b. Kehilangan tegangan akibat relaksasi baja

Relaksasi baja adalah perubahan tegangan baja yang tergantung pada waktu pada suatu regangan yang tetap. Relaksasi baja tergantung pada tingkat tegangan pada baja dan bertambah secara konsisten ketika tegangan pada baja bertambah. Jika baja prategang ditarik hingga mencapai perpanjangan yang konstan dan dijaga tetap pada selang waktu tertentu maka akan terlihat gaya



prategang pada baja tersebut akan berkurang perlahan, besarnya kehilangan tergantung waktu dan suhu.

Kehilangan tegangan akibat relaksasi pada strand yang tegangannya dilepaskan dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\Delta f_R = f_{pi} \frac{\log t}{10} \left( \frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right) \quad (2.38)$$

Dimana  $t$  adalah waktu dalam jam, dengan ketentuan  $\frac{f_{pi}}{f_{py}} \geq 0,55$  dan  $f_{py} \equiv 0,85f_{pu}$  untuk stress-relieved strand dan  $0,9$  untuk strand berelaksasi rendah.  $f_{pi} = 0,82f_{py}$  segera setelah transfer tetapi umumnya  $f_{pi} \equiv 0,7f_{pu}$

c. Kehilangan tegangan akibat pengangkuran

Kehilangan tegangan akibat pengangkuran dapat dihitung dengan rumus

$$\Delta_{pa} = A_t \times \Delta f_{pa} \quad (2.39)$$

Dengan

$$\Delta f_{pa} = \frac{\Delta_a \times E_s}{L} \quad \text{dan} \quad A_t = ns \times A_{st} \quad (2.40)$$

Dimana

$\Delta_a$  = 6 mm

$L$  = panjang balok beton prategang

$E_s$  = modulus elastisitas dari baja prategang

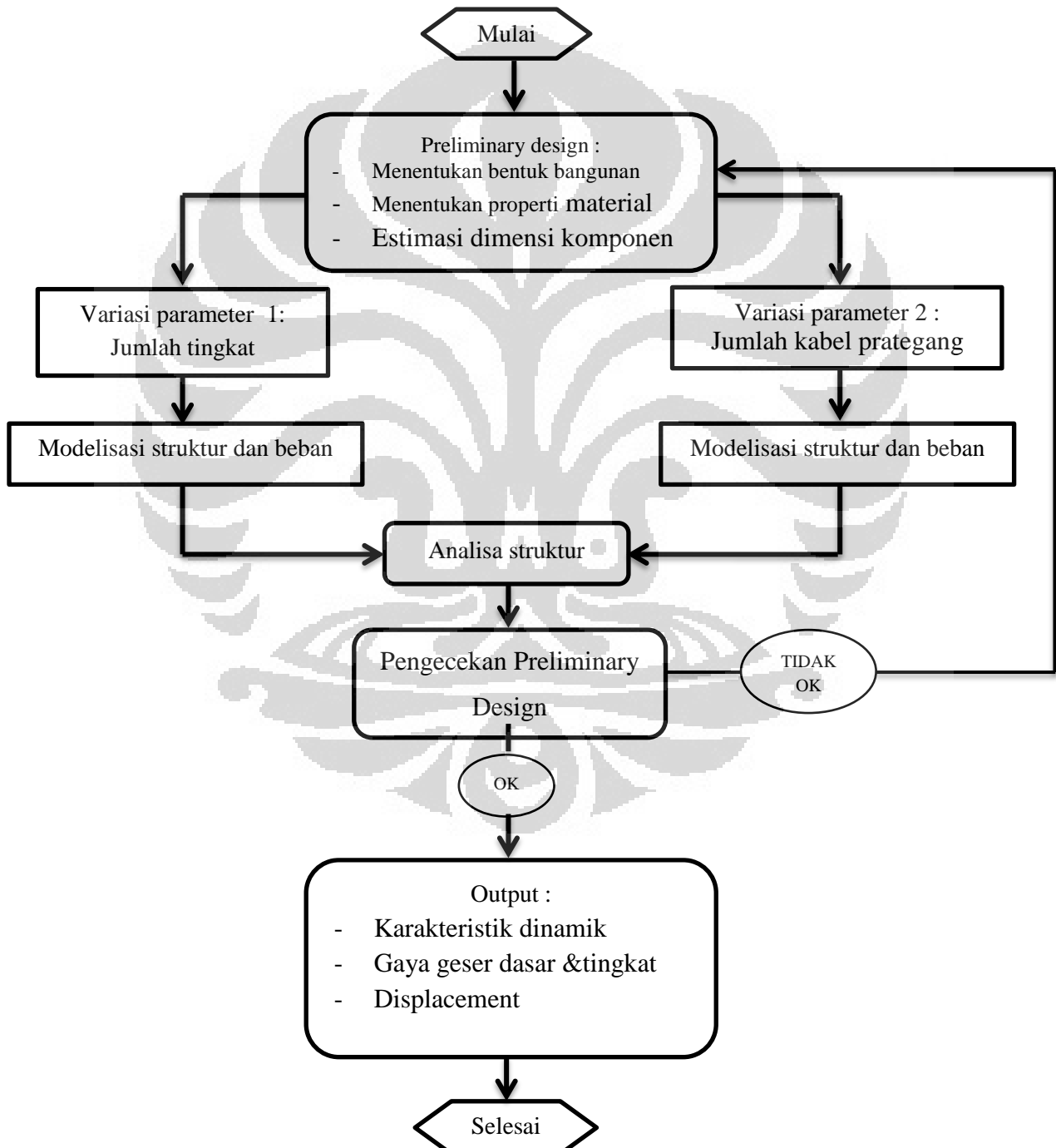
$A_{st}$  = luas penampang satu strand

$N_s$  = jumlah total strand

**BAB 3**  
**METODE PENELITIAN DAN PERMODELAN**

**3.1 Alur Berpikir**

Secara umum, metode penelitian yang dilakukan dalam skripsi ini dapat terlihat dalam diagram berikut ini :



Gambar 3.1 Alur Berpikir Penelitian

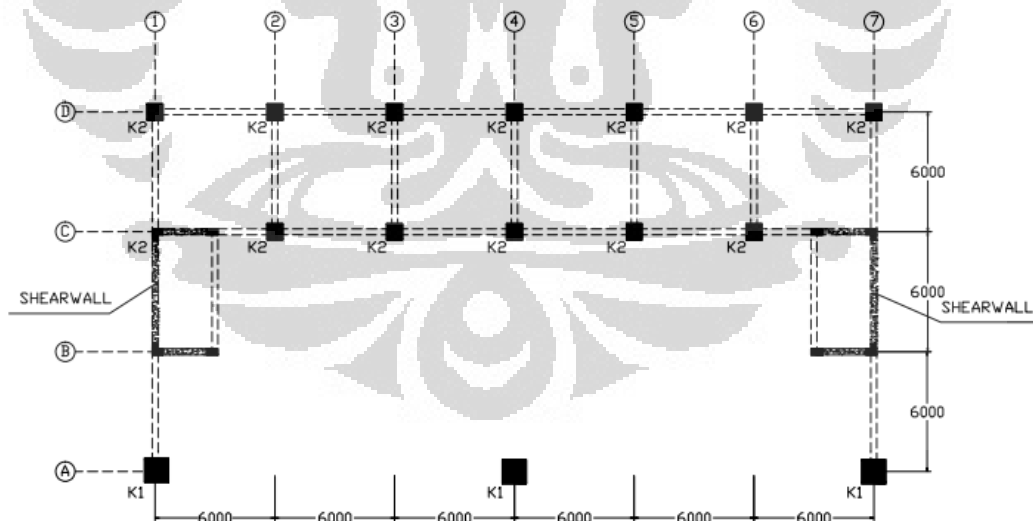
## 3.2 Preliminary Design

### 3.2.1 Geometri struktur

Bangunan yang dimodelkan dalam penelitian ini adalah sebuah bangunan tinggi yang terletak di atas dua buah bangunan lama yang merupakan *heritage building* yang tidak dapat dilakukan pemugaran karena sifatnya dilindungi oleh negara setinggi tiga lantai, kemudian di lantai 4 terdapat transfer beam yang merupakan kombinasi dari rangka baja dan sistem prategang luar. Geometri struktur bangunan ini adalah sebagai berikut :

1. Luas Bangunan :  $18 \times 36 = 648 \text{ m}^2$
2. Jumlah Tingkat : bervariasi 4, 6, dan 8 Tingkat
3. Tinggi Bangunan :
  - Lantai 1 sampai 3 : 4 m
  - Lantai 4 sampai 8 : 3.6 m
4. Jarak antar bentang : 6 m

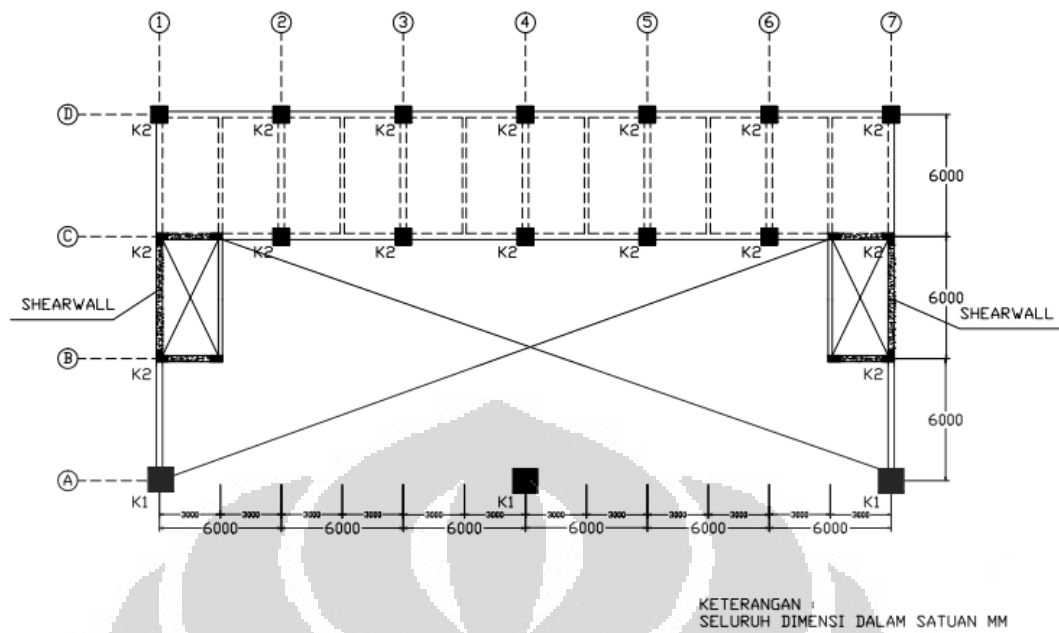
Kejelasan dari letak bangunan lama pada bangunan baru akan diperlihatkan pada gambar denah berikut.



KETERANGAN :  
SELURUH DIMENSI DALAM SATUAN MM

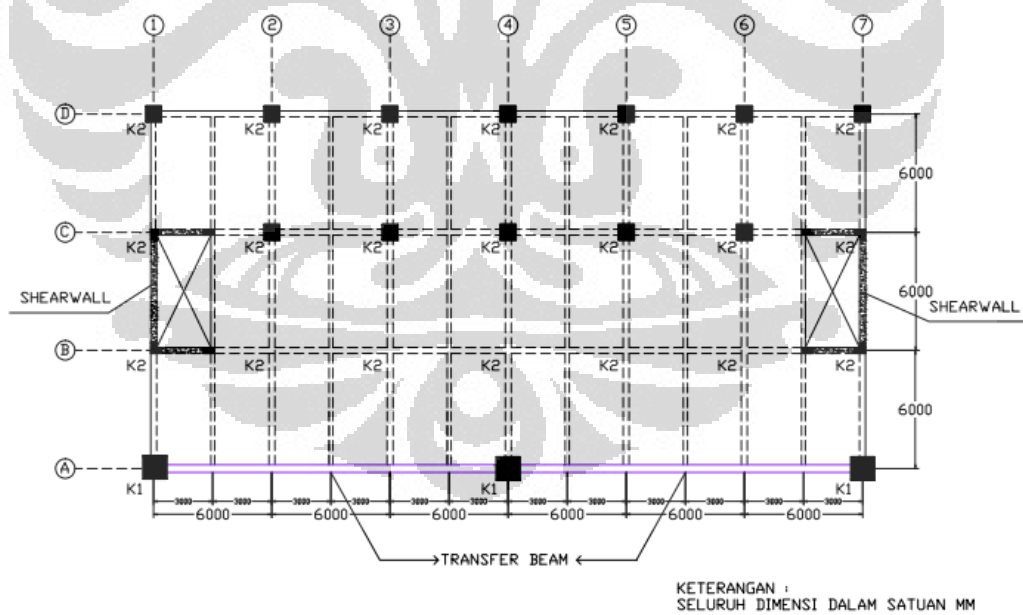
Gambar 3.2 Denah Lantai Dasar

Sumber : Data Olahan Penulis



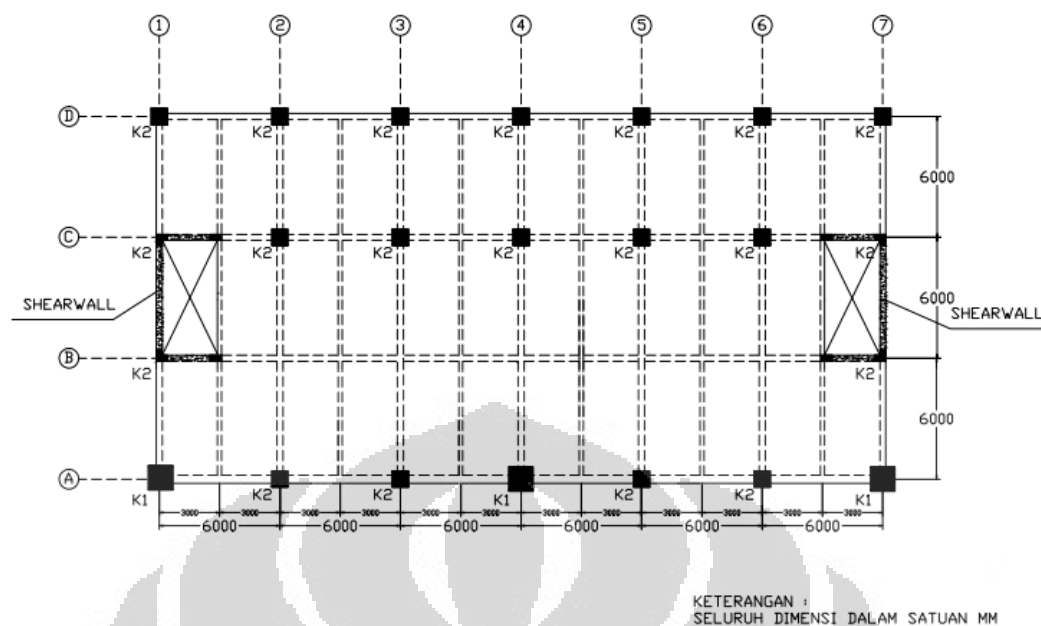
Gambar 3.3 Denah Lantai 1 dan 2

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 3.4 Denah Lantai 3

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 3.5 Denah Lantai 5 – 8

Sumber : Data Olahan Penulis

### 3.2.2 Properti material

Bangunan yang akan dianalisa ini akan dimodelkan secara tiga dimensi, dengan properti material struktur bangunan sebagai berikut:

#### 1. Beton

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

#### 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

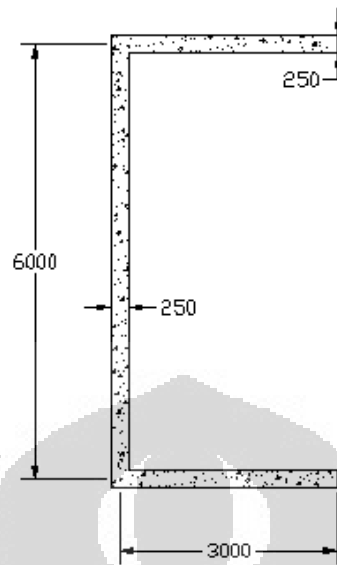
#### 4. Baja Prategang (Strand)

- Tipe : Seven Wires Strand – Low Relaxation
- Diameter nominal : 0,6 inchi (15,2 mm)
- Area nominal : 140 mm<sup>2</sup>

- Berat nominal : 1,1 kg/m
- Kuat leleh : 1670 MPa
- Kuat tarik : 1860 MPa
- Min. kuat beban putus : 260,7 KN
- Modulus Young : mendekati 195 GPa

### 3.2.3 Dimensi Komponen Struktur

1. Dimensi balok anak : 250 x 500 mm<sup>2</sup>
2. Dimensi balok induk
  - B1 : 400 x 600 mm<sup>2</sup>
  - B2 : 400 x 900 mm<sup>2</sup>
3. Dimensi kolom
  - a. Bangunan 4 lantai
    - K1 : 800 x 800 mm<sup>2</sup>
    - K2 : 600 x 600 mm<sup>2</sup>
  - b. Bangunan 6 lantai
    - K1 : 1000 x 1000 mm<sup>2</sup>
    - K2 : 700 x 700 mm<sup>2</sup>
  - c. Bangunan 8 lantai
    - K1 : 1200 x 1200 mm<sup>2</sup>
    - K2 : 800 x 800 mm<sup>2</sup>
4. Tebal pelat : 120 mm
5. Shear wall
  - Tebal : 250 mm
  - Panjang : 6000 mm
  - Lebar : 3000 mm

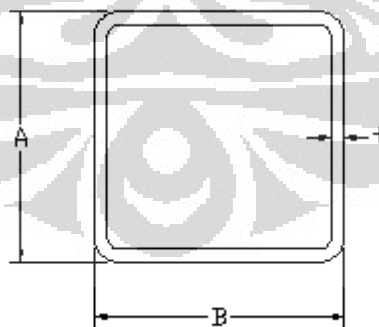


Gambar 3.6 Dimensi Shearwall

Sumber : Data Olahan Penulis

## 6. Rangka Baja

Pada permodelan ini profil rangka baja yang digunakan adalah profil hollow (box) dengan dimensi sebagai berikut:



Gambar 3.7 Bentuk Profil Hollow

Sumber : Data Olahan Penulis

Profil yang digunakan berbeda untuk setiap model bangunan dengan dimensi sebagai berikut :

Tabel 3.1 Dimensi Profil Rangka Baja

Variasi		Dimensi RangkaBaja	Keterangan Batang
Jumlah Lantai (12 Strand diameter 15 mm)	4 Lantai	HSS 350x350x14	Miring
		HSS 350x350x20	Tegak
		HSS 350x350x12	Datar
	6 Lantai	HSS 350x350x14	Miring
		HSS 350x350x12	Tegak
		HSS 350x350x12	Datar
	8 Lantai	HSS 400x400x14	Miring
		HSS 400x400x14	Tegak
		HSS 400x400x12	Datar
Jumlah Strand Kabel Prategang (8 Lantai)	8 Strand	HSS 400x400x14	Miring
		HSS 400x400x18	Tegak
		HSS 400x400x12	Datar
	12 Strand	HSS 400x400x14	Miring
		HSS 400x400x14	Tegak
		HSS 400x400x12	Datar
	16 Strand	HSS 350x350x16	Miring
		HSS 350x350x16	Tegak
		HSS 350x350x12	Datar

Sumber : Data Olahan Penulis

### 3.3 Permodelan Beban dan Struktur

Penulis hendak meneliti bagaimana respon dari bangunan dengan kombinasi rangka baja dan sistem kabel prategang luar sebagai transfer beam. Berbagai data yang cukup mendetail dibutuhkan untuk memodelkan struktur bangunan ini dengan baik.

#### 3.3.1 Pembebanan Struktur

Pembebanan pada struktur didasarkan pada Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung, SKBI-1.3.53.1987. Selain pembebanan



gempa yang akan dijelaskan selanjutnya, pada skripsi ini menggunakan tipe-tipe beban sebagai berikut:

a. Beban mati

Beban mati adalah berat dari seluruh bagian dari struktur yang bersifat tetap. Beban mati terdiri dari berat sendiri dari material struktur yang digunakan dan beban mati tambahan pada struktur seperti berat partisi dan penutup lantai, berat mortar lantai, dan berat ME. Adapun dalam permodelan ini beban mati yang digunakan adalah :

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

b. Beban hidup

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

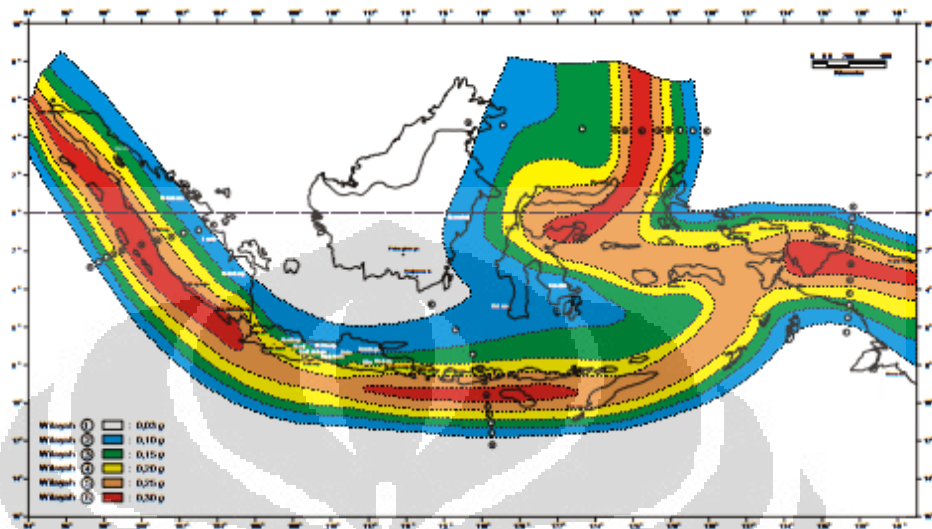
- Lantai perkantoran : 2,5 KN/m<sup>2</sup>
- Lantai atap : 1,0 KN/m<sup>2</sup>
- Tangga : 3,0 KN/m<sup>2</sup>

c. Beban gempa

Pembebanan gempa mengacu pada peraturan pembebanan gempa SNI 03-1726-2002.

- Wilayah gempa dan Faktor Respon Gempa  $C_I$

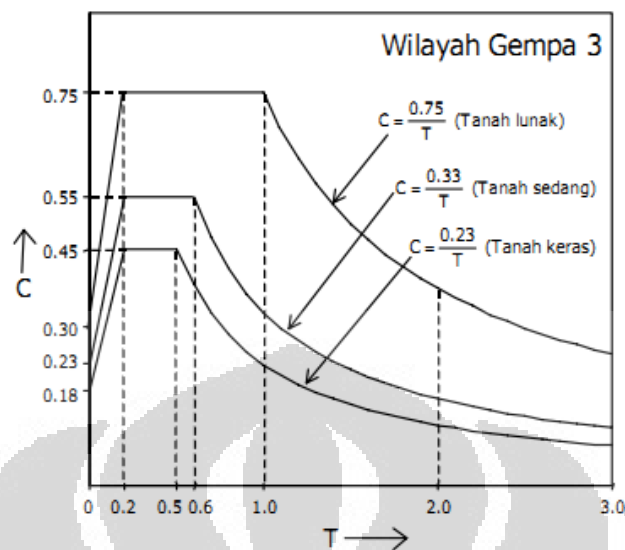
Dalam permodelan ini diasumsikan bangunan terletak pada wilayah gempa zone 3 dengan jenis tanah diasumsikan tanah lunak.



Gambar 3.8 Wilayah Gempa Indonesia

Sumber : SNI 03-1726-2002

Untuk menentukan pengaruh gempa rencana pada struktur bangunan gedung, yaitu berupa gaya geser dasar nominal sebagai respons dinamik ragam pertama pada struktur gedung tidak beraturan dan gaya geser dasar nominal sebagai respons dinamik seluruh ragam yang berpartisipasi pada struktur bangunan gedung tidak beraturan untuk wilayah gempa 3 ditetapkan spektrum respon gempa rencana C-T seperti ditunjukkan dalam gambar 3.9.



Gambar 3.9 Spektrum Respon Gempa Wilayah 3

Sumber : SNI 03-1726-2002

- Faktor keutamaan gedung  $I$

Untuk berbagai kategori gedung bergantung pada tingkat kepentingan gedung pasca gempa, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I$ . Dalam analisa ini gedung yang dimodelkan diperuntukkan sebagai gedung perkantoran. Untuk gedung umum seperti untuk perumahan, perniagaan, dan perkantoran digunakan faktor keutamaan  $I = 1$ .

- Pembatasan Waktu Getar Alami Fundamental

Untuk mencegah penggunaan struktur yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental ( $T_1$ ) dari struktur gedung harus dibatasi, tergantung pada koefisien  $\zeta$  untuk Wilayah Gempa tempat struktur gedung berada dan jumlah tingkatnya ( $n$ ) menurut persamaan berikut.

$$T_1 < \zeta n$$

Dimana koefisien  $\zeta$  ditetapkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 3.2 Koefisien yang mempengaruhi Waktu Getar Alami Bangunan

Wilayah Gempa	$\zeta$
1	0,20
2	0,19
3	0,18
4	0,17
5	0,16
6	0,15

Sumber : SNI 03-1726-2002

- Faktor reduksi  $R$

Pada permodelan ini diasumsikan bangunan menggunakan sistem struktur dengan sistem ganda, yaitu beton bertulang dengan SPRMM beton bertulang, sehingga nilai faktor daktilitas  $\mu_m$  dan faktor reduksi maksimumnya  $R_m$  yang digunakan adalah sebesar 5,5 karena bangunan ini menggunakan sistem prategang luar sebagai salah satu sistem strukturnya.

- Gaya geser dasar

Nilai akhir respon dinamik struktur bangunan gedung terhadap pembebanan gempa nominal dalam suatu arah tertentu tidak boleh diambil kurang dari 80% nilai respon ragam yang pertama.

$$V_{dinamik} \geq 0,80 V_{statik} \quad (3.1)$$

dengan

$$V_{statik} = \frac{C_1 I}{R} W_t \quad (3.2)$$

dimana

$C_1$  : Faktor respons gempa dari spektrum respons gempa rencana

untuk waktu getar alami pertama  $T_1$

$I$  : Faktor keutamaan gedung = 1

$R$  : faktor reduksi gempa = 6,5

$W_t$  : berat total gedung yang juga mencakup beban hidup

$$W_t = W_{DL} + \alpha W_{LL} \quad (3.3)$$

Keterangan :

$W_{DL}$  : beban mati

$W_{LL}$  : beban hidup

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

- Pengaruh gempa vertikal

Unsur-unsur struktur bangunan gedung yang memiliki kepekaan tinggi terhadap beban gravitasi seperti balok transfer pada struktur bangunan gedung tinggi yang memikul beban gravitasi dari dua atau lebih tingkat di atasnya, harus diperhitungkan terhadap komponen vertikal gerakan tanah akibat pengaruh gempa rencana, berupa gempa vertikal nominal statik ekuivalen yang harus ditinjau bekerja ke atas atau ke bawah yang besarnya harus dihitung sebagai perkalian faktor respons gempa vertikal  $C_v$  dan beban gravitasi, termasuk beban hidup yang sesuai.

$$C_v = \psi A_o I \quad (3.4)$$

dimana

$\psi$  : 0,5 (Tabel 6 SNI 03-1726-2003, bergantung pada wilayah gempa gedung berada, ambil wil. 3)

$A_o$  : 0,3g (percepatan puncak muka tanah untuk tanah lunak)

$I$  : faktor keutamaan gedung

- Arah Pembebanan Gempa

Arah gempa terhadap bangunan merupakan arah gerakan yang bebas dan acak yang bekerja pada perletakan bangunan. Arah gerakan ini dapat dinyatakan sebagai dua gerakan translasi yaitu arah x dan y, dan satu gerakan rotasi. Biasanya arah x dan y ini merupakan arah utama bangunan.

Umumnya respon akibat komponen translasi jauh lebih besar dari komponen rotasi sehingga komponen rotasi dapat diabaikan. Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa Rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi dengan efektivitas hanya 30%.

Dengan demikian kombinasi arah gempa yang ditetapkan adalah :

gravitasi  $\pm 100\%$  gempa arah x  $\pm 30\%$  gempa arah y

gravitasi  $\pm 30\%$  gempa arah x  $\pm 100\%$  gempa arah y

- Jumlah pola getar

Jumlah pola getar yang ditinjau dalam penjumlahan respons pola getar menurut metoda ini harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa pola getar efektif 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*). Waktu getar alami dianggap berdekatan apabila selisih nilainya kurang dari 15%. Untuk memenuhi persyaratan  $V$  minimum, maka gaya geser tingkat nominal sepanjang tinggi gedung dalam suatu arah tertentu harus dikalikan nilainya dengan suatu faktor skala, yaitu :

$$Faktor\ Skala = \frac{0,8V_1}{V_t} \geq 1 \quad (3.5)$$

dimana  $V_1$  adalah gaya geser dasar nominal sebagai respons dinamik ragam yang pertama saja dan  $V_t$  adalah gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respons yang telah dilakukan.

- Faktor kuat lebih pada sistem transfer

Struktur transfer pada bangunan gedung merupakan salah satu bagian struktur bangunan yang sangat penting dalam menahan struktur bagian

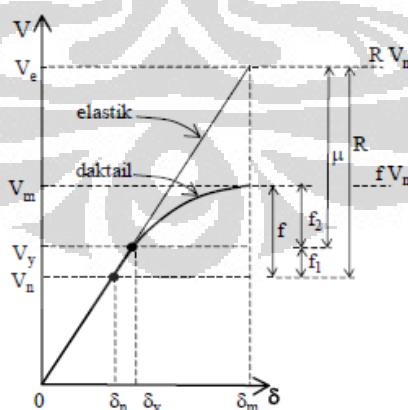
atas dan mentransfer beban dari struktur atas ke kolom pendukung. Oleh karena itu, struktur transfer tidak boleh mengalami kegagalan terlebih dahulu dibandingkan elemen struktur lainnya. Dalam desain bangunan tahan gempa, struktur transfer, sama halnya dengan struktur bawah, harus tetap berperilaku elastis 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 3.10 Diagram beban-simpangan struktur gedung (Sumber: SNI 03-1726-2002, hal. 41)

Sumber : SNI 03-1726-2002

Tabel 3.3 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
	5,0	8,0	1,70	2,7
Daktail penuh	5,3	8,5	1,75	2,8

Sumber : SNI 03-1726-2002

- Kombinasi pembebanan

Kombinasi-kombinasi pembebanan yang digunakan dalam permodelan ini antara lain :

Tabel 3.4 Tabel 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 (Ex + 0,3 Ey)
4	1,2 D+1,0 L + 1,0 (Ex - 0,3 Ey)
5	1,2 D+1,0 L - 1,0 (Ex + 0,3 Ey)
6	1,2 D+1,0 L - 1,0 (Ex - 0,3 Ey)
7	1,2 D+1,0 L + 0,3 (Ex + 1,0 Ey)
8	1,2 D+1,0 L + 0,3 (Ex - 1,0 Ey)
9	1,2 D+1,0 L - 0,3 (Ex + 1,0 Ey)
10	1,2 D+1,0 L - 0,3 (Ex - 1,0 Ey)
11	0,9 D + 1,0 (Ex + 0,3 Ey)
12	0,9 D + 1,0 (Ex - 0,3 Ey)
13	0,9 D - 1,0 (Ex + 0,3 Ey)



Tabel 3.4 (Sambungan)

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	$0,9 D - 0,3 (E_x - 1,0 E_y)$

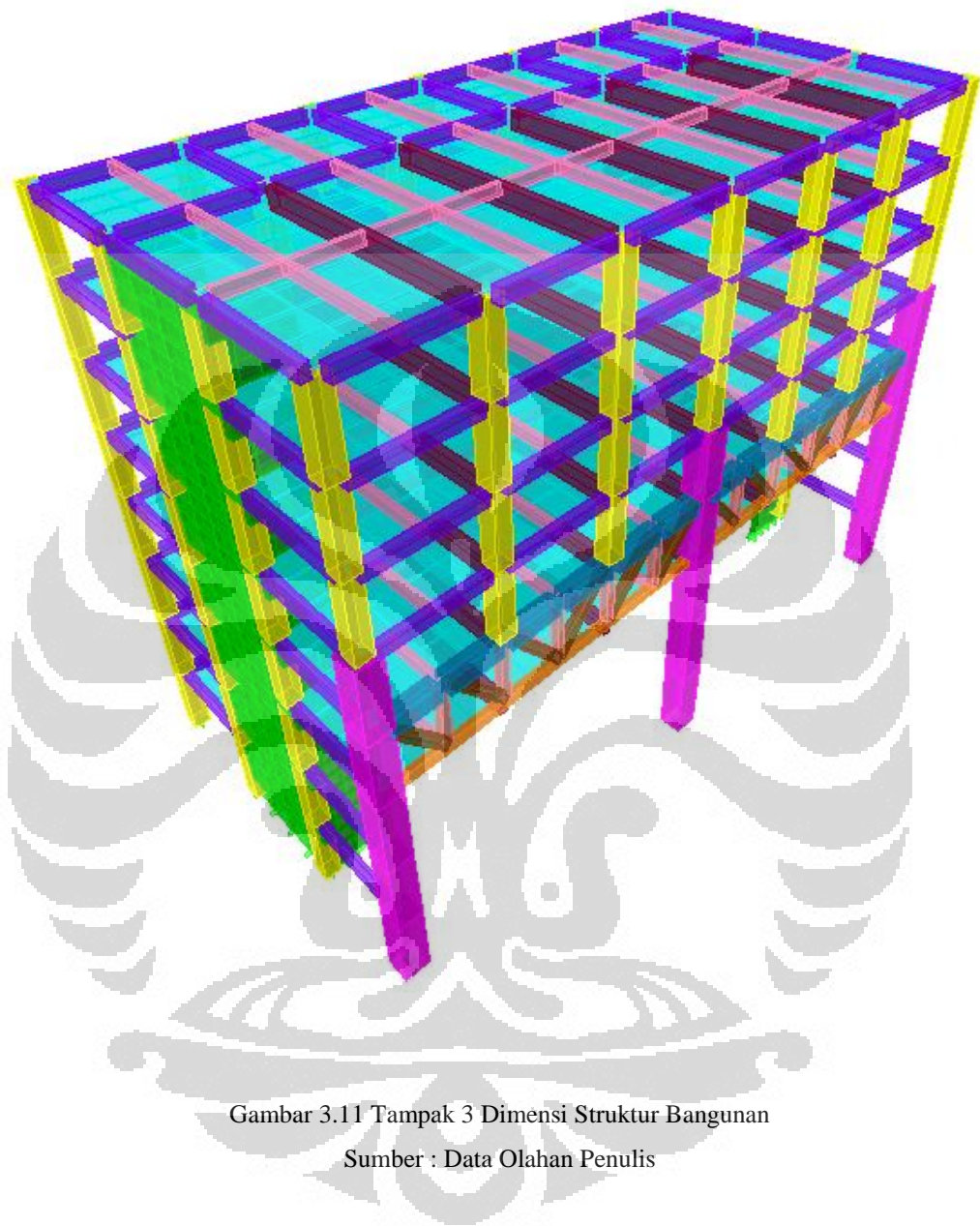
Sumber : Data Olahan Penulis

### 3.3.2 Modelisasi Struktur

Untuk mengantisipasi adanya penurunan kontribusi kekuatan penampang struktur akibat adanya retak penampang karena beban bolak-balik gempa diperlukan faktor pengali. Penurunan kekuatan ini disebabkan oleh sifat menurunnya kekuatan/inersia dari elemen struktur akibat beban gempa. Adapun faktor pengali tersebut adalah :

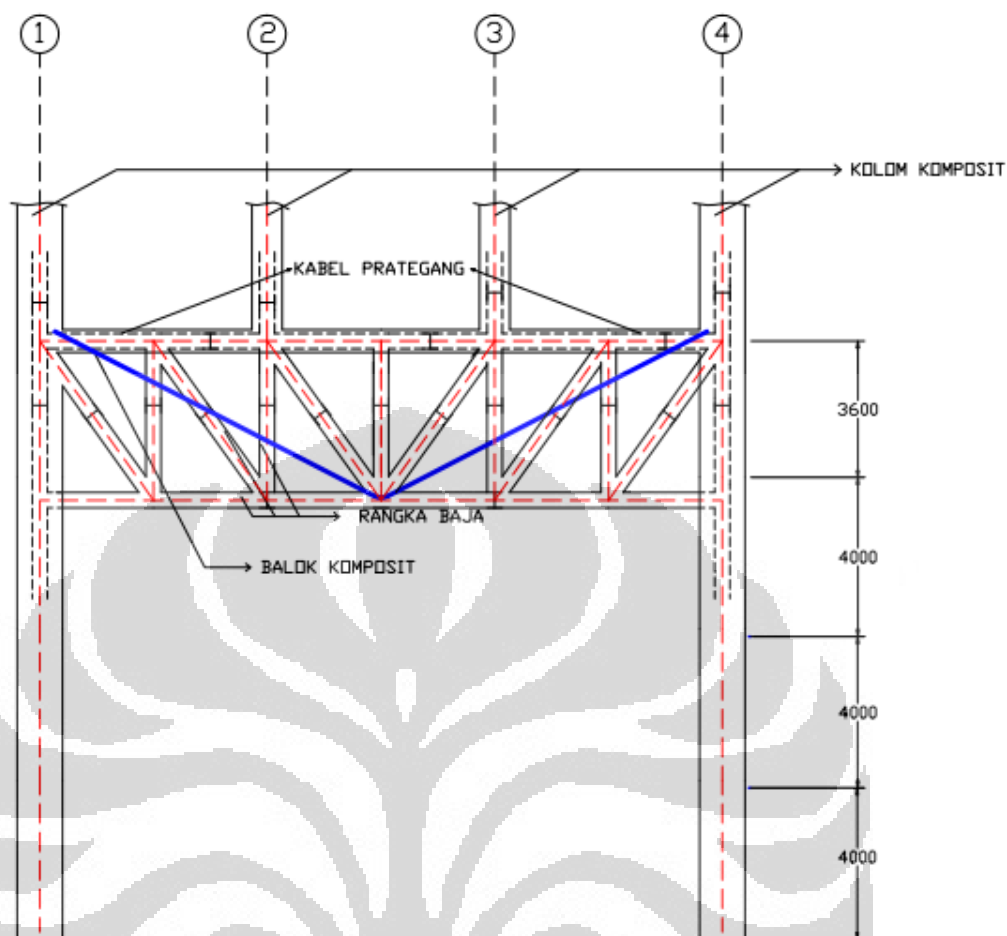
Tabel 3.5 Faktor Pengali Elemen Struktur Akibat Beban Gempa

<b>Elemen Struktur</b>	<b>Faktor Pengali</b>
Kolom	$I_{22} = 0.7$
	$I_{33} = 0.7$
Balok Induk	$I_{22} = 0.35$
	$I_{33} = 0.35$
Balok Anak	$I_{22} = 0.35$
	$I_{33} = 0.35$
Dinding Geser	$I_{22} = 0.7$
	$I_{33} = 0.7$
Pelat Lantai	$I_{22} = 0.25$
	$I_{33} = 0.25$



Gambar 3.11 Tampak 3 Dimensi Struktur Bangunan

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 3.12 Model Transfer Beam Kombinasi Rangka Baja dan Sistem Prategang Luar.

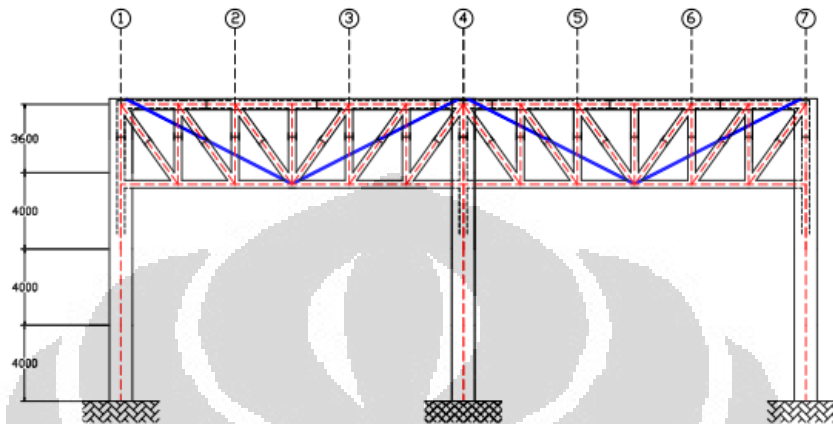
Sumber : Data Olahan Penulis

### 3.4 Variasi Parameter yang Dianalisis

#### 3.4.1 Variasi Tinggi Bangunan (Jumlah Lantai)

Untuk mengetahui perilaku struktur berupa respon seismik struktur dengan adanya transfer beam berupa kombinasi rangka batang dan sistem prategang luar dilakukan variasi terhadap jumlah lantai bangunan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari transfer beam tersebut. Selain itu ingin diketahui pula pengaruh penambahan beban struktur terhadap respon seismik struktur itu sendiri. Adapun variasi tingkat yang digunakan adalah sebagai berikut:

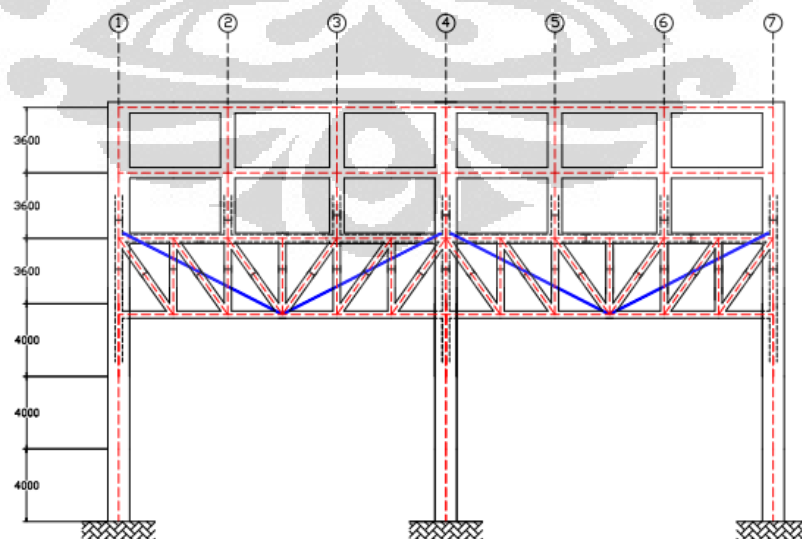
1. Variasi I : variasi dengan 2 lantai yang dipikul transfer beam (selanjutnya disebut dengan Model 1)



Gambar 3.13 Variasi I

Sumber : Data Olahan Penulis

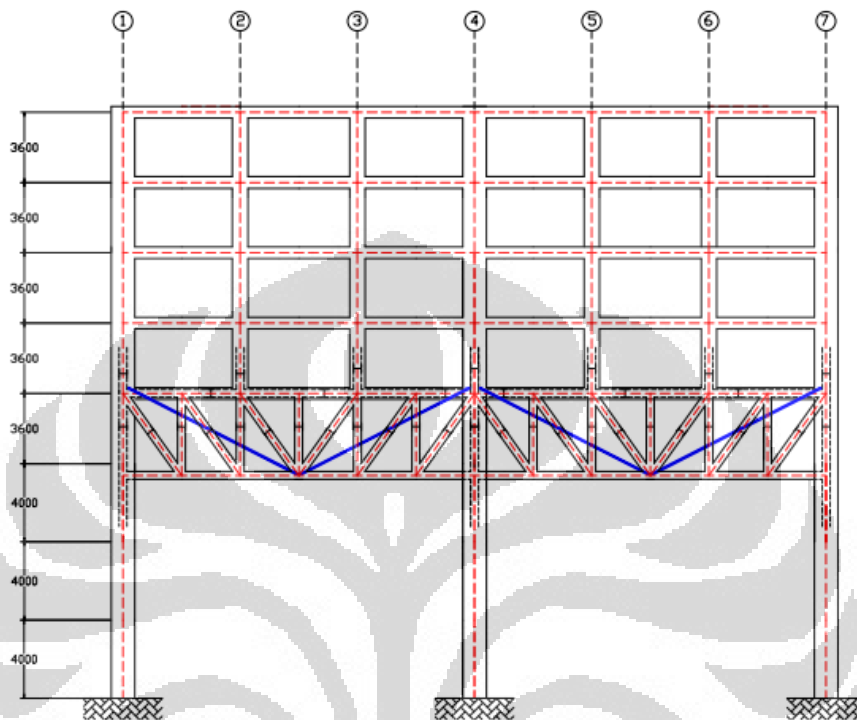
2. Variasi II : variasi dengan 4 lantai yang dipikul transfer beam (selanjutnya disebut Model 2)



Gambar 3.14 Variasi II

Sumber : Data Olahan Penulis

3. Variasi III : variasi dengan 6 lantai yang dipikul transfer beam (selanjutnya disebut model 3A)



Gambar 3.15 Variasi III

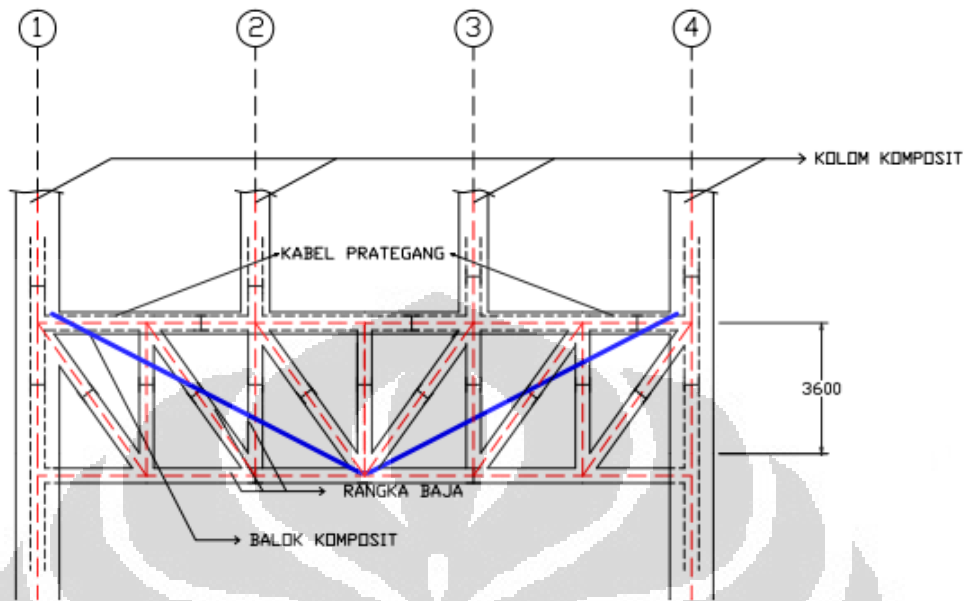
Sumber : Data Olahan Penulis

Pada permodelan variasi jumlah lantai bangunan ini struktur menggunakan sistem prategang luar pada kedua sisi *transfer beam* dengan menggunakan strand berdiameter 15 mm sejumlah 12 strand untuk setiap tendon.

#### 3.4.2 Variasi Jumlah Kabel Prategang

Variasi jumlah kabel prategang dimaksudkan untuk mengetahui seberapa baik pengaruh penambahan jumlah kabel prategang terhadap kekakuan *transfer beam* itu sendiri sehingga tidak terjadi lendutan yang terlalu besar yang dapat membahayakan sistem struktur. Variasi yang dimaksud adalah variasi jumlah *strand* dalam sistem prategang luar pada bangunan 8 lantai. Adapun jumlah *strand* untuk masing-masing pemodelan adalah 8 strand untuk model pertama (selanjutnya disebut Model 3B), 12 strand untuk model kedua (selanjutnya disebut

model 3A), dan 16 strand untuk model ketiga (model 3C). Setiap strand yang digunakan berdiameter 15 mm.

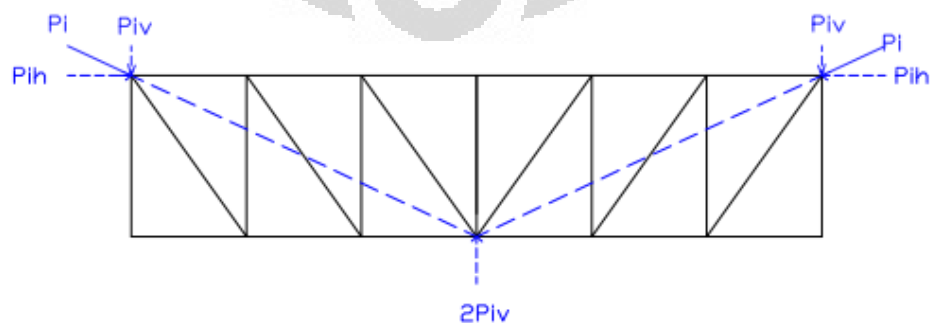


Gambar 3.16 Variasi Jumlah Kabel Prategang

Sumber : Data Olahan Penulis

Dalam permodelan ini kabel prategang dimodelkan dengan diperhitungkan sebagai beban luar yang diberikan pada join pada kondisi *service* sehingga nilainya adalah 60 % UTS (*Ultimate Tensile Strength*), dengan nilai beban ekuivalen ini ditentukan dengan persamaan berikut :

$$UTS = f_u \cdot A \cdot n_{tendon} \cdot n_{strand}$$

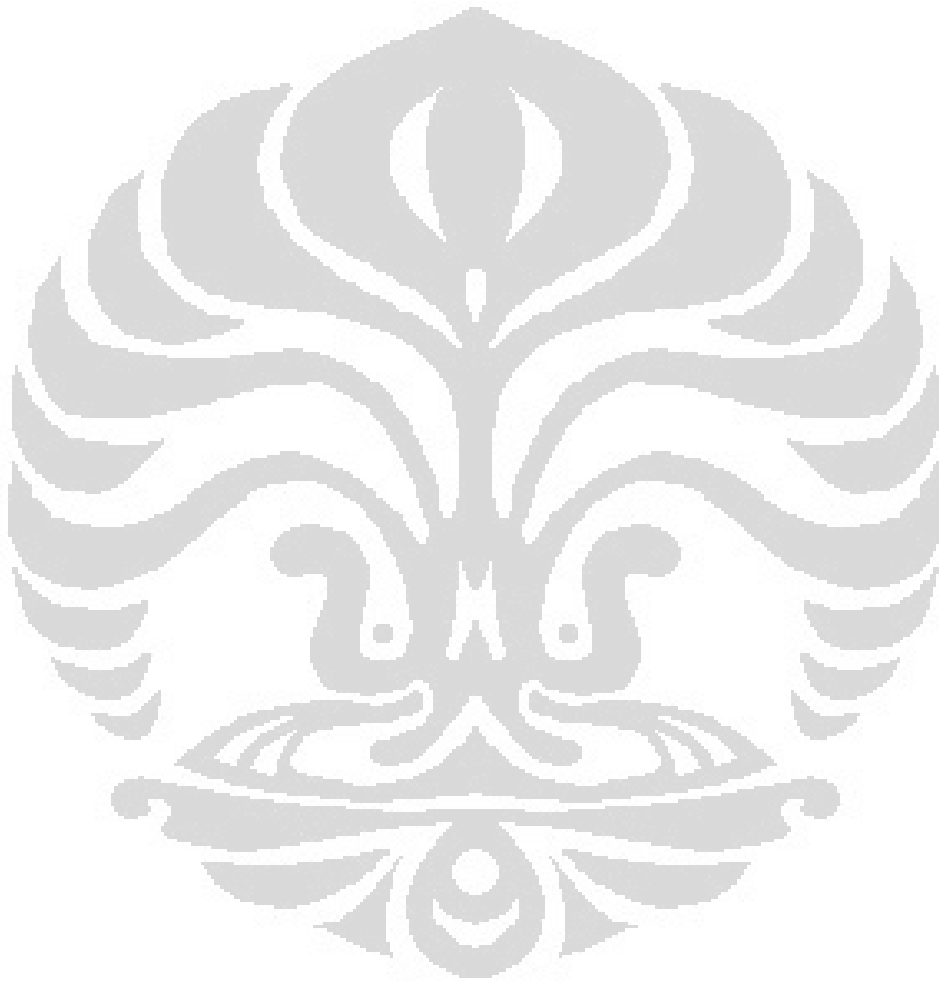


Gambar 3.17 Model kabel prategang sebagai beban luar pada join

Sumber : Data Olahan Penulis

Dari setiap parameter tersebut diharapkan dapat menghasilkan data-data sebagai berikut :

- Pola getar struktur
- Periode getar struktur
- Gaya geser dasar dan tingkat yang terjadi pada struktur
- Perpindahan yang terjadi pada struktur secara keseluruhan
- Perpindahan yang terjadi pada struktur transfer



## BAB 4

### HASIL DAN ANALISIS

Modelisasi dilakukan dengan parameter yang sudah ditentukan di bab sebelumnya dengan menggunakan bantuan program ETABS ver. 9.6.0. Hasil yang didapat kemudian akan di analisis untuk mengetahui pengaruh perencanaan gempa terhadap suatu struktur. Dalam bab ini Penulis akan menjabarkan hasil dan analisa yang dilakukan terhadap beberapa parameter, yaitu :

- Karakteristik dinamik stuktur berupa pola-pola getar pertama, periode getar, dan partisipasi massa.
- Respon seismik bangunan berupa gaya geser dasar struktur, distribusi gaya geser lantai pada struktur, dinding geser, dan *frame*.
- Analisis parameter sistem transfer berupa displacement titik dan gaya-gaya dalam struktur transfer.
- Rasio kebutuhan tulangan pada balok induk, kolom, dan dinding geser.

Dalam analisis variasi jumlah lantai terdapat 3 buah variasi jumlah lantai yakni bangunan dengan 4 lantai (disebut sebagai Model 1), bangunan dengan 6 lantai (disebut sebagai Model 2), dan bangunan dengan 8 lantai (disebut sebagai Model 3A). Pada variasi jumlah lantai bangunan digunakan sepasang kabel prategang dengan 12 jumlah strand pada masing-masing kabel. Selanjutnya, dalam variasi jumlah strand pada kabel prategang luar digunakan, model bangunan 8 lantai dengan 12 strand (Model 3A) akan dibandingkan dengan model bangunan 8 lantai dengan 8 strand (Model 3B) dan dengan model bangunan 8 lantai dengan 16 strand (Model 3C). Pada variasi ini juga digunakan sepasang kabel prategang.

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



## 4.1 Analisis Variasi Jumlah Tingkat

### 4.1.1 Karakteristik Dinamik Model Struktur

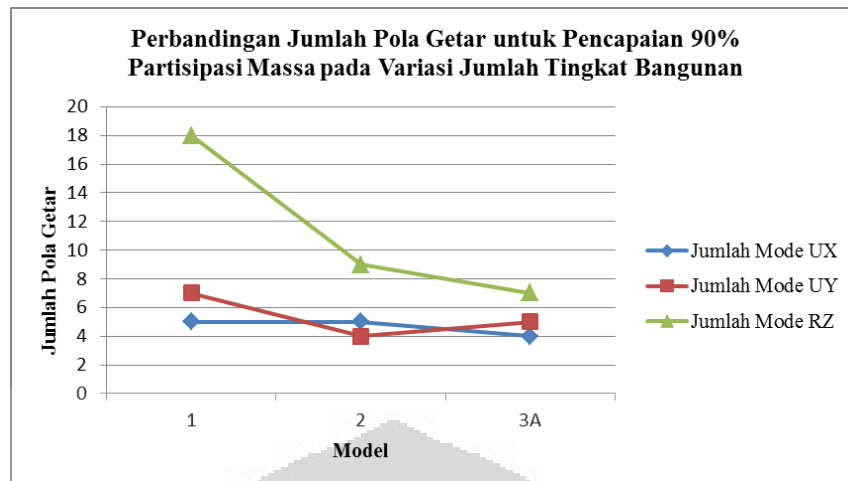
Karakteristik dinamik struktur yang akan ditinjau antara lain pola-pola getar pertama struktur, periode getar dan partisipasi massanya.

Tabel 4.1 Periode Getar Ragam Pertama dan Sifat Ragam Getar

Ragam getar ke-	Periode Getar			Keterangan
	Model 1	Model 2	Model 3A	
1	0.44	0.71	0.99	Translasi arah X
2	0.30	0.48	0.70	Translasi arah Y
3	0.19	0.32	0.48	Rotasi arah Z

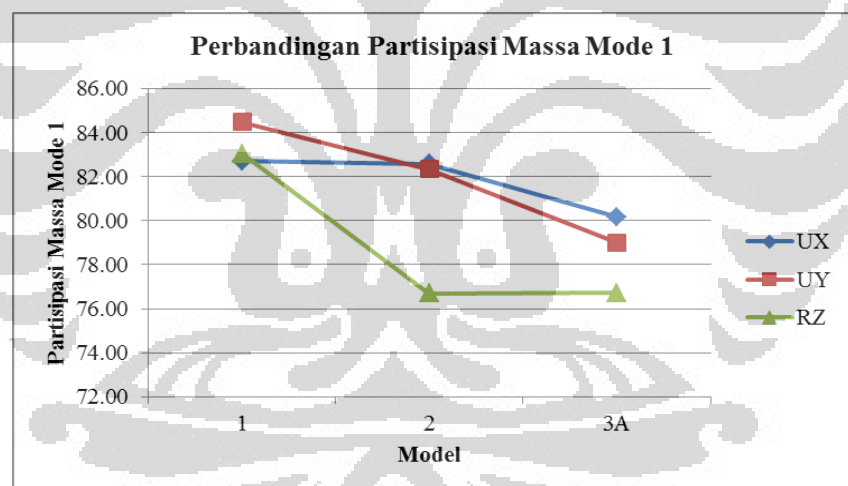
Sumber : Data Olahan Penulis

Dari Tabel 4.1 di atas terlihat bahwa pada variasi jumlah tingkat bangunan terlihat adanya perbedaan periode getar struktur. Hal ini disebabkan oleh perubahan massa dan kekakuan bangunan pada variasi jumlah tingkat. Semakin tinggi bangunan, maka bangunan tersebut akan lebih fleksibel karena periode getarnya yang semakin besar. Selain itu, semakin besar massa bangunan maka semakin besar pula periode getar bangunan.



Gambar 4.1 Jumlah Pola Getar untuk Pencapaian 90% Partisipasi Massa Pada Variasi Jumlah Lantai

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.2 Partisipasi Massa Pola Getar Pertama

Sumber : Data Olahan Penulis

Pada Gambar 4.1 di atas dapat terlihat perbedaan jumlah pola ragam getar yang diperlukan untuk pencapaian 90% partisipasi massa. Untuk bangunan yang lebih kaku dibutuhkan jumlah pola getar yang lebih banyak untuk pencapaian 90% partisipasi massa tersebut. Hal ini disebabkan oleh semakin kaku

bangunan massa yang digetarkan gaya gempa semakin sedikit sehingga dibutuhkan pola getar yang lebih banyak namun semakin kaku bangunan besarnya partisipasi massa yang diberikan oleh pola getar pertama semakin besar. Hal ini terlihat pada Gambar 4.2.

#### 4.1.2 Respon Seismik Bangunan

##### 4.1.2.1 Gaya geser dasar struktur

Gaya geser dasar struktur untuk setiap permodelan terlihat dalam Tabel 4.2. Gaya geser struktur ini dianalisa secara dinamik dan telah memenuhi persyaratan pada pasal 7. 1. 3. SNI 03-1726-2002 yaitu  $V_{dinamik} \geq 0,8 V_{statik}$ .

Tabel 4.2 Gaya Geser Dasar Struktur untuk Variasi Jumlah Lantai Bangunan

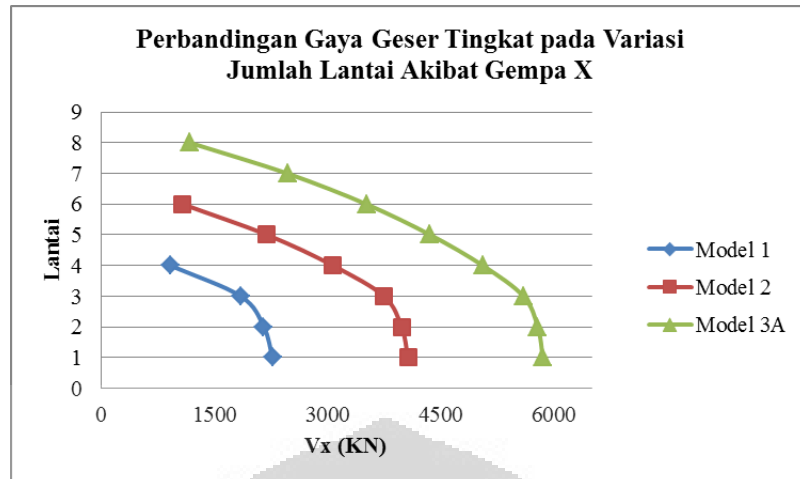
Model	Gaya Geser Dasar	
	V <sub>x</sub> (KN)	V <sub>y</sub> (KN)
Model 1	2271.87	2315.6
Model 2	4066.81	4051.92
Model 3A	5854.5	5783.23

Sumber : Data Olahan Penulis

Dapat dilihat bahwa bangunan 8 lantai memiliki gaya geser dasar dinamik yang paling besar diantara ketiganya. Diketahui bahwa periode getar bangunan arah x dan arah y berada pada rentang periode *pre-dominant* sehingga nilai respon seismik yang dihasilkan ialah sama. Dengan nilai faktor reduksi juga sama oleh karena kesamaan sistem penahan gaya lateral yang dipilih, maka gaya geser dasar bangunan 8 lantai paling besar karena memang massanya lebih besar dibanding massa bangunan 6 dan 4 lantai.

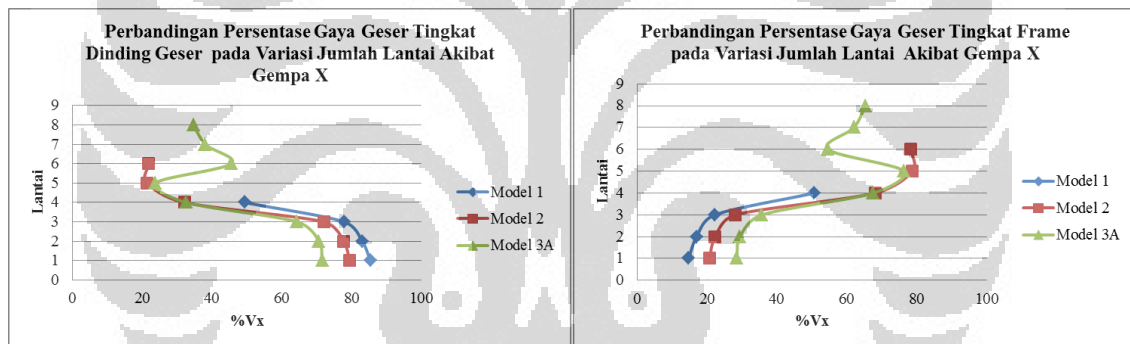
##### 4.1.2.2 Distribusi gaya geser tingkat

Distribusi gaya geser tingkat untuk struktur dengan variasi jumlah lantai akibat gempa arah X dapat dilihat dalam Gambar 4.3. Pada Gambar 4.4. diperlihatkan persentase gaya geser tingkat yang ditahan dinding geser dan frame struktur bangunan tersebut.



Gambar 4.3 Distribusi Gaya Geser Tingkat Struktur pada Variasi Jumlah Lantai Akibat Gempa X

Sumber : Data Olahan Penulis



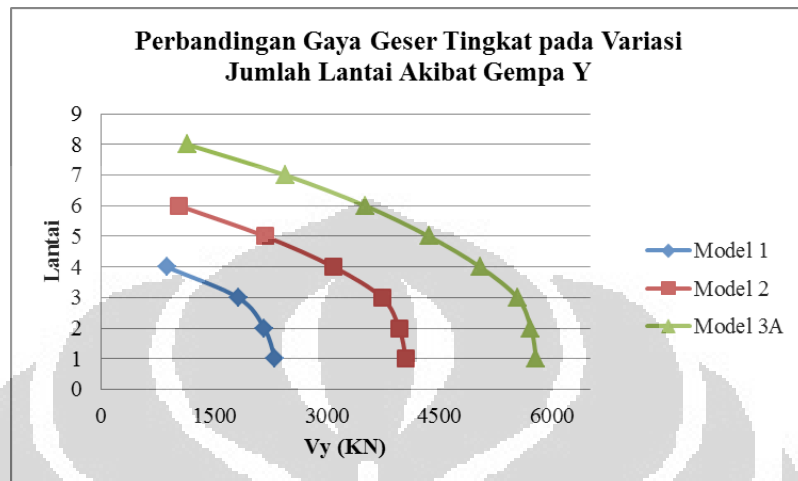
Gambar 4.4 Persentase Gaya Geser Tingkat yang Ditahan Dinding Geser dan Frame Akibat Gempa X

Sumber : Data Olahan Penulis

Dari Gambar 4.4. di atas terlihat ada lonjakan gaya geser tingkat yang ditahan *frame* pada lantai ke 5. Hal ini terkait dengan adanya perubahan dimensi kolom pada as A dari lantai 6 ke lantai 5 dimana kolom pada lantai 5 lebih besar sehingga *frame* menahan gaya geser yang lebih besar.

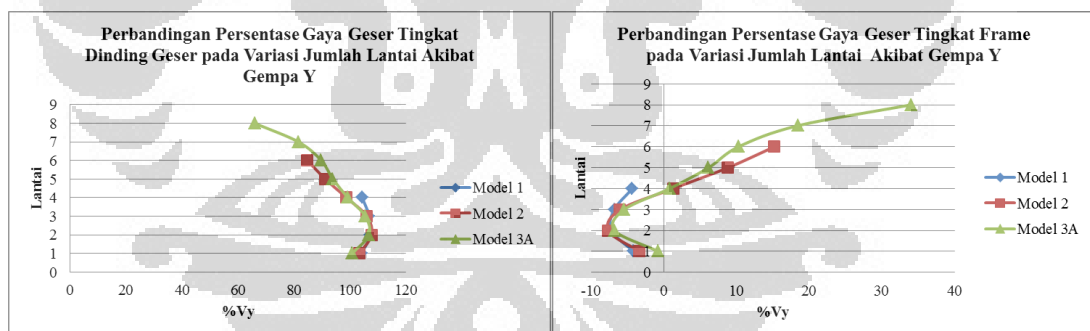
Distribusi gaya geser tingkat untuk struktur dengan variasi jumlah lantai akibat gempa arah Y dapat dilihat dalam Gambar 4.5. Pada Gambar 4.6.

diperlihatkan persentase gaya geser tingkat yang ditahan dinding geser dan frame struktur bangunan tersebut.



Gambar 4.5 Distribusi Gaya Geser Tingkat Struktur pada Variasi Jumlah Lantai Akibat Gempa Y

Sumber : Data Olahan Penulis

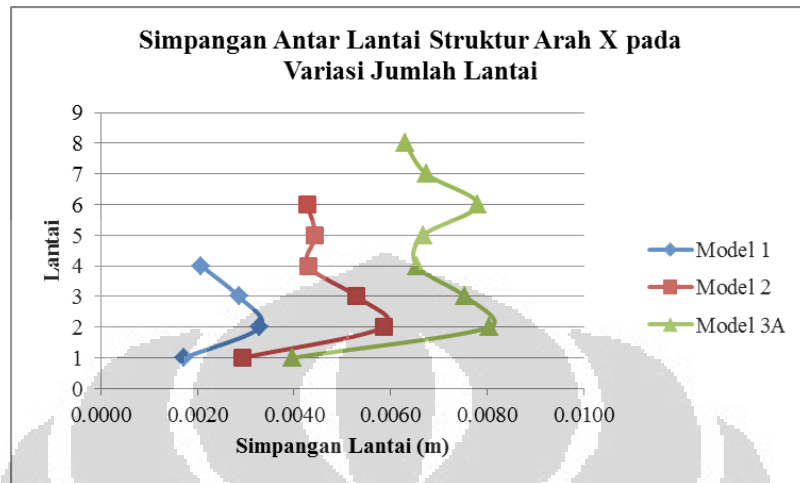


Gambar 4.6 Persentase Gaya Geser Tingkat yang Ditahan Dinding Geser dan Frame Akibat Gempa Y

Sumber : Data Olahan Penulis

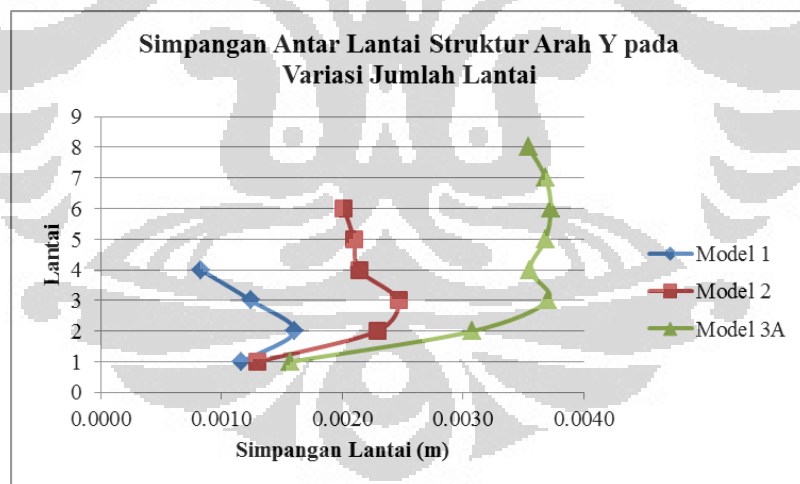
Dari Gambar 4.6. di atas terlihat bahwa dinding geser lebih dominan menahan gaya geser lantai. Hal ini sesuai dengan perencanaan sistem tunggal dalam arah sumbu y.

#### 4.1.2.3 Simpangan Lantai (*Story Drift*)



Gambar 4.7 Simpangan Antar Lantai pada Variasi Jumlah Lantai Bangunan akibat Gempa Arah X

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.8 Simpangan Antar Lantai pada Variasi Jumlah Lantai Bangunan akibat Gempa Arah Y

Sumber : Data Olahan Penulis

Dari Gambar di atas terdapat penurunan besarnya simpangan lantai pada lantai ke 4. Hal ini disebabkan adanya sistem transfer pada lantai tersebut yang menyebabkan struktur lebih kaku pada lantai tersebut sehingga simpangan yang

terjadi lebih kecil. Pada lantai ke 3 simpangan yang terjadi mengalami peningkatan dengan adanya perbedaan elevasi antara lantai dasar hingga lantai 3 dengan lantai 4 dan seterusnya. Elevasi lantai 3 yang lebih tinggi mengakibatkan simpangan yang terjadi pun lebih besar.

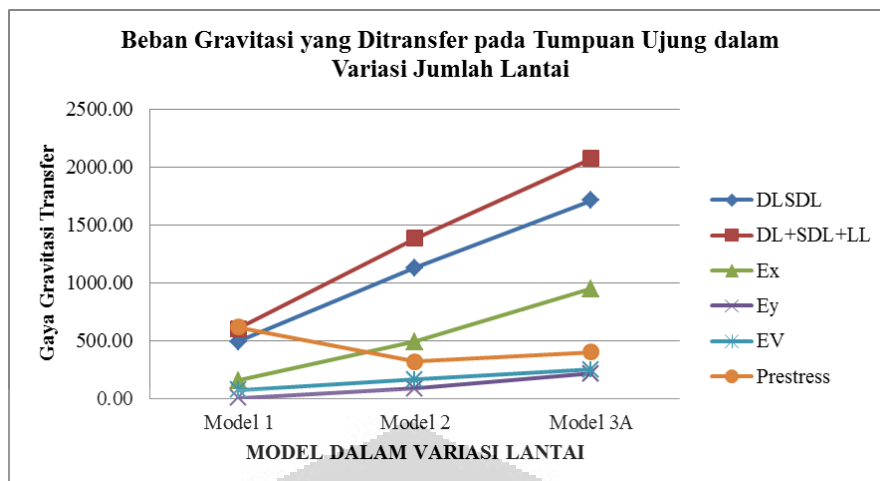
#### 4.1.3 Analisis Sistem Transfer

##### 4.1.3.1 Kinerja Sistem Transfer

Tabel 4.3 Beban Gravitasi yang Ditransfer oleh Struktur Transfer pada Variasi Jumlah Lantai

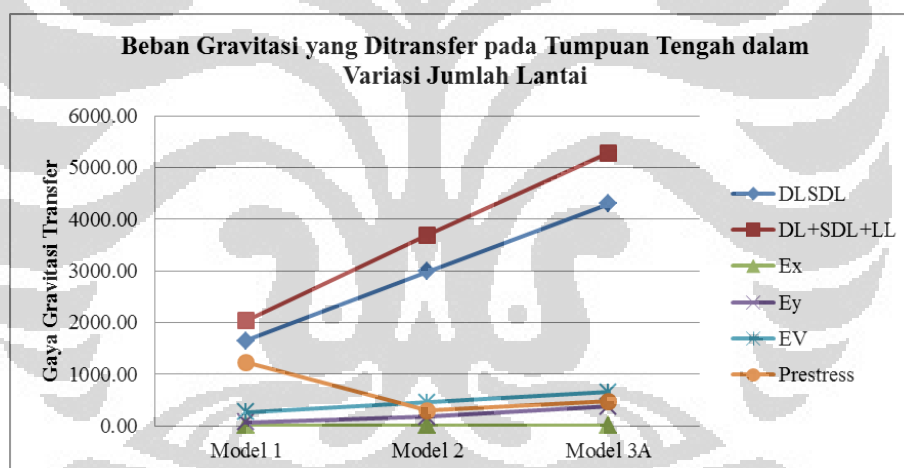
<b>BEBAN GRAVITASI STRUKTUR TRANSFER (SATUAN KN)</b>			
Tumpuan Ujung Struktur Transfer			
<b>Beban</b>	Model 1	Model 2	Model 3A
DLSDL	492.94	1132.22	1712.40
DL+SDL+LL	605.58	1382.38	2073.26
Ex	158.70	495.37	948.56
Ey	8.77	87.67	218.47
Ev	74.27	165.37	250.67
Prestress	616.41	319.80	404.80
Tumpuan Tengah Struktur Transfer			
<b>Beban</b>	Model 1	Model 2	Model 3A
DLSDL	1647.72	2983.33	4296.97
DL+SDL+LL	2031.89	3696.77	5278.26
Ex	0.61	1.04	0.74
Ey	66.72	170.70	372.12
Ev	259.95	454.20	647.89
Prestress	1225.15	292.52	476.8

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.9 Beban Gravitasi yang Ditransfer pada Tumpuan Ujung dalam Variasi Jumlah Lantai

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.10 Beban Gravitasi yang Ditransfer pada Tumpuan Tengah dalam Variasi Jumlah Lantai

Sumber : Data Olahan Penulis

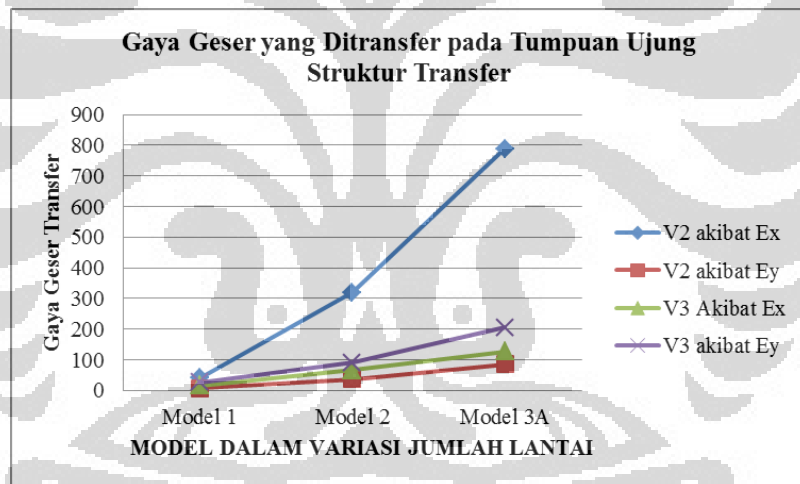
Berdasarkan grafik dan tabel di atas, diketahui bahwa besarnya beban yang ditransfer oleh struktur transfer, baik beban gravitasi, lebih besar pada model 3A yakni dengan jumlah lantai terbanyak. Hal ini disebabkan oleh adanya peningkatan beban gempa dan beban gravitasi yang sebanding dengan peningkatan jumlah lantainya. Pada tumpuan tengah nilai beban gravitasi lebih besar karena tumpuan tengah menerima beban dari kedua bentang struktur transfer.



Tabel 4.4 Gaya Geser yang Ditransfer oleh Struktur Transfer dalam Variasi Jumlah Lantai

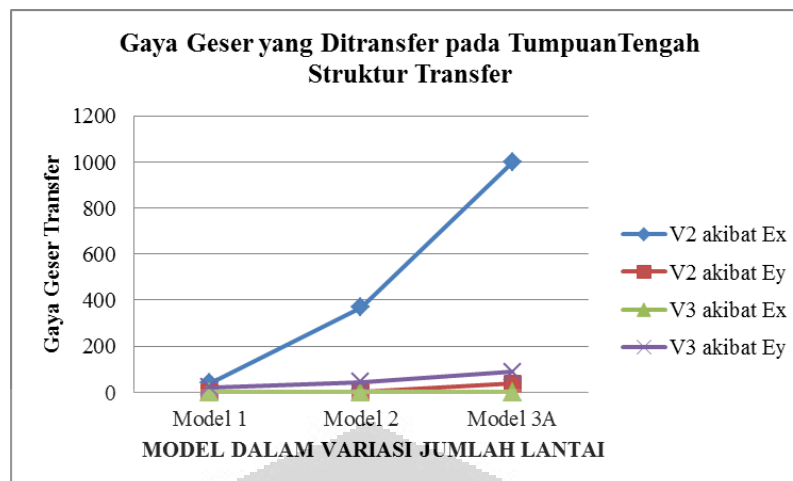
<b>GAYA GESER STRUKTUR TRANSFER (SATUAN KN)</b>						
Tumpuan Ujung Struktur Transfer						
Beban	Geser Arah X (V2)			Geser Arah Y (V3)		
	Model 1	Model 2	Model 3A	Model 1	Model 2	Model 3A
Ex	39.59	319.04	788.56	15.74	65.78	127.78
Ey	7.32	37.20	84.92	27	89.64	205.26
Tumpuan Tengah Struktur Transfer						
Beban	Geser Arah X (V2)			Geser Arah Y (V3)		
	Model 1	Model 2	Model 3A	Model 1	Model 2	Model 3A
Ex	40.29	368.91	998.85	0.02	0.12	0.08
Ey	1.15	12..44	36.69	22.06	43.62	88.70

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.11 Gaya Geser yang Ditransfer pada Tumpuan Ujung dalam Variasi Jumlah Lantai

Sumber : Data Olahan Penulis



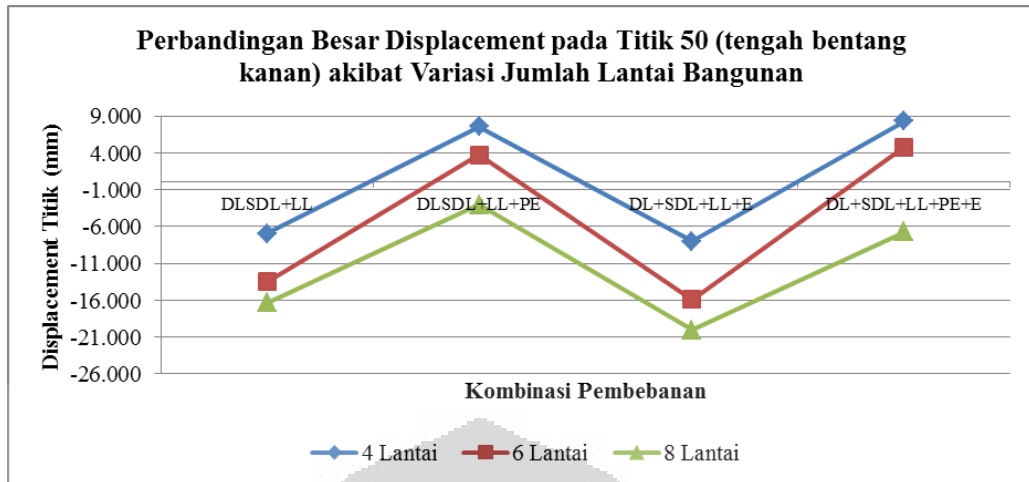
Gambar 4.12 Gaya Geser yang Ditransfer pada Tumpuan Tengah dalam Variasi Jumlah Lantai

Sumber : Data Olahan Penulis

Dari Tabel 4.4, Gambar 4.11 dan 4.12 terlihat bahwa peningkatan jumlah lantai menyebabkan gaya geser yang ditahan sistem transfer meningkat pula, sama seperti peningkatan gaya geser dasar struktur dengan adanya peningkatan jumlah lantai bangunan. Terlihat pula bahwa nilai gaya geser yang ditransfer jauh lebih besar pada gaya geser arah x (V2) akibat gempa arah x. Hal ini disebabkan oleh sistem transfer yang berada pada arah sumbu x bangunan.

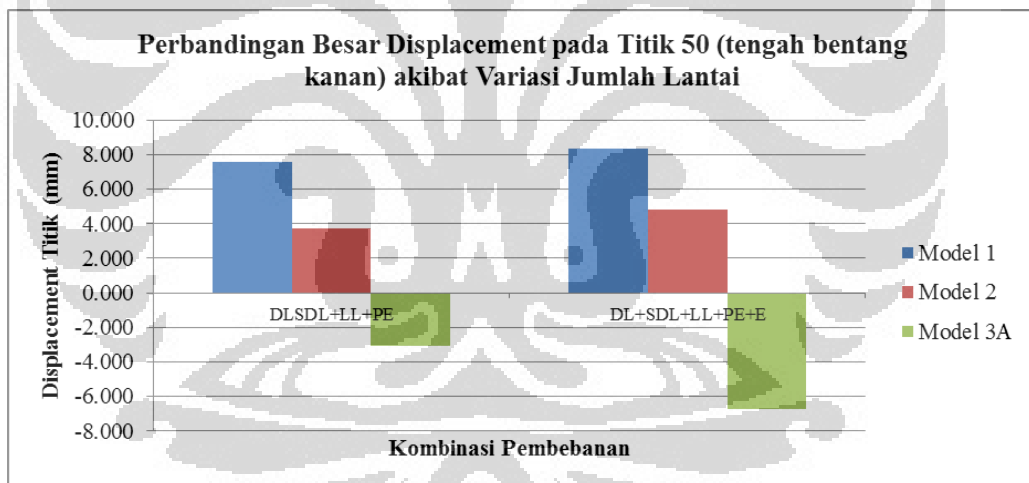
#### 4.1.3.2 *Displacement* titik pada sistem transfer

Dari gambar 4.13 menunjukkan nilai perpindahan vertikal titik pada tengah bentang struktur transfer. Terlihat bahwa semakin tinggi bangunan yang mengakibatkan semakin besarnya berat bangunan akan menyebabkan perpindahan titik pada tengah bentang semakin besar. Dengan pemberian perkuatan tambahan berupa sistem prategang luar dapat meningkatkan kinerja struktur. Hal ini terlihat pada gambar tersebut dimana struktur yang menggunakan sistem prategang luar memiliki displacement yang lebih kecil dari struktur tanpa menggunakan sistem prategang luar.



Gambar 4.13 Displacement Titik pada Tengah Bentang Struktur Transfer Variasi Jumlah Tingkat (perbandingan dengan struktur tanpa sistem prategang luar)

Sumber : Data Olahan Penulis

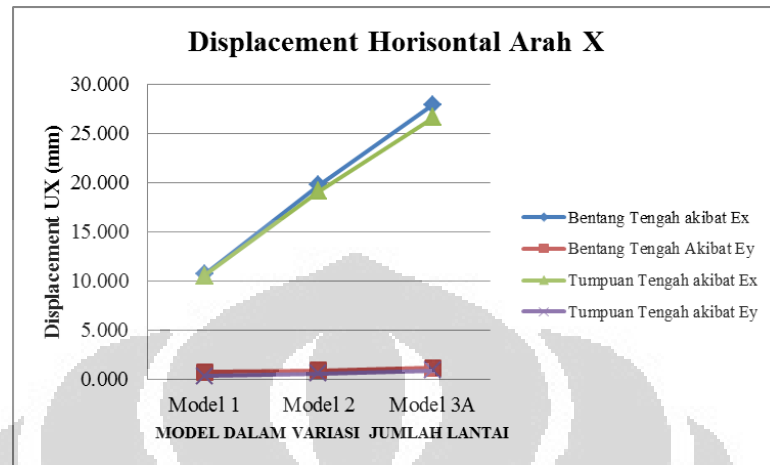


Gambar 4.14 Displacement Titik di Tengah Bentang Struktur Transfer pada Variasi Jumlah Tingkat

Sumber : Data Olahan Penulis

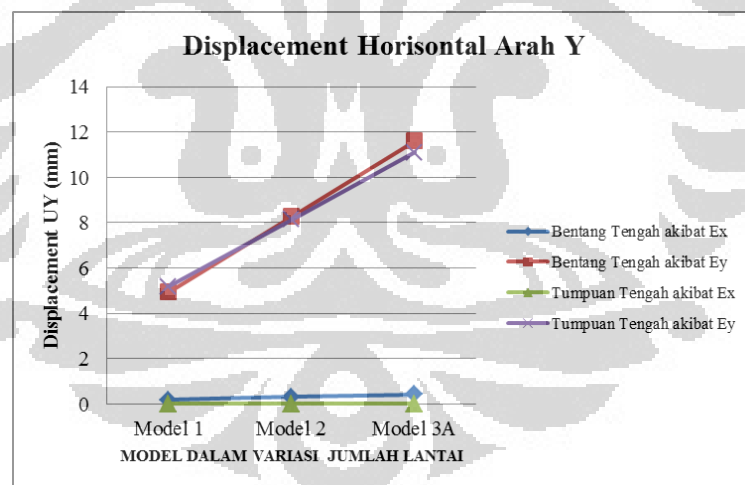
Pada arah horizontal, perpindahan lebih besar merupakan perpindahan akibat pengaruh dari gaya gempa arah x. Sama seperti peninjauan struktur secara keseluruhan, hal ini disebabkan oleh struktur yang lebih kaku pada arah y karena adanya dinding geser pada arah sumbu y bangunan. Begitu pula dengan peningkatan jumlah lantai bangunan juga menyebabkan peningkatan displacement

yang terjadi pada struktur transfer. Hal ini terlihat pada gambar 4.14 dan gambar 4.15.



Gambar 4.15 *Displacement* Horizontal Rangka Transfer Arah X dalam Variasi Jumlah Lantai

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.16 *Displacement* Horizontal Rangka Transfer Arah Y dalam Variasi Jumlah Lantai

Sumber : Data Olahan Penulis

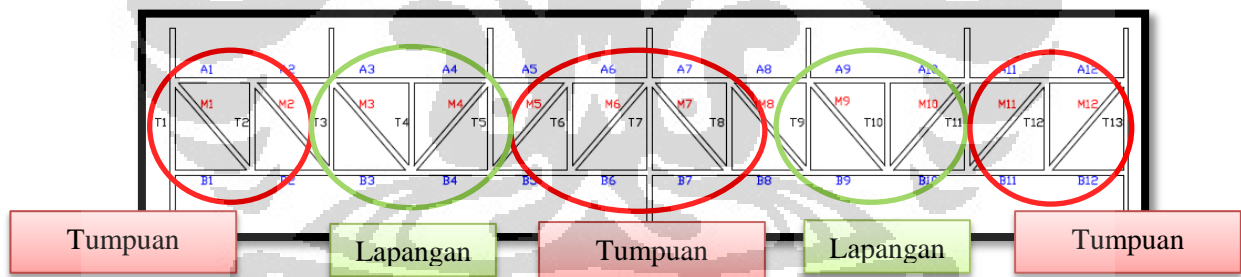
#### 4.1.3.3 Gaya dalam aksial pada rangka sistem transfer

Pengelompokan batang rangka sistem transfer dapat dilihat pada gambar 4.16. Adapun pengelompokan tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 4.5 Pengelompokan Batang Rangka Sistem Transfer

Jenis Batang	Tumpuan Ujung	Lapangan	Tumpuan Tengah
Tegak	T1, T2, T12, T13	T3, T4, T5, T9, T10, T11	T6, T7, T8
Miring	M1, M2, M11, M12	M3, M4, M9, M10	M5, M6, M7, M8
Horizontal Atas	A1, A2, A11, A12	A3, A4, A9, A10	A5, A6, A7, A8
Horizontal Bawah	B1, B2, B11, B12	B3, B4, B9, B10	B5, B6, B7, B8

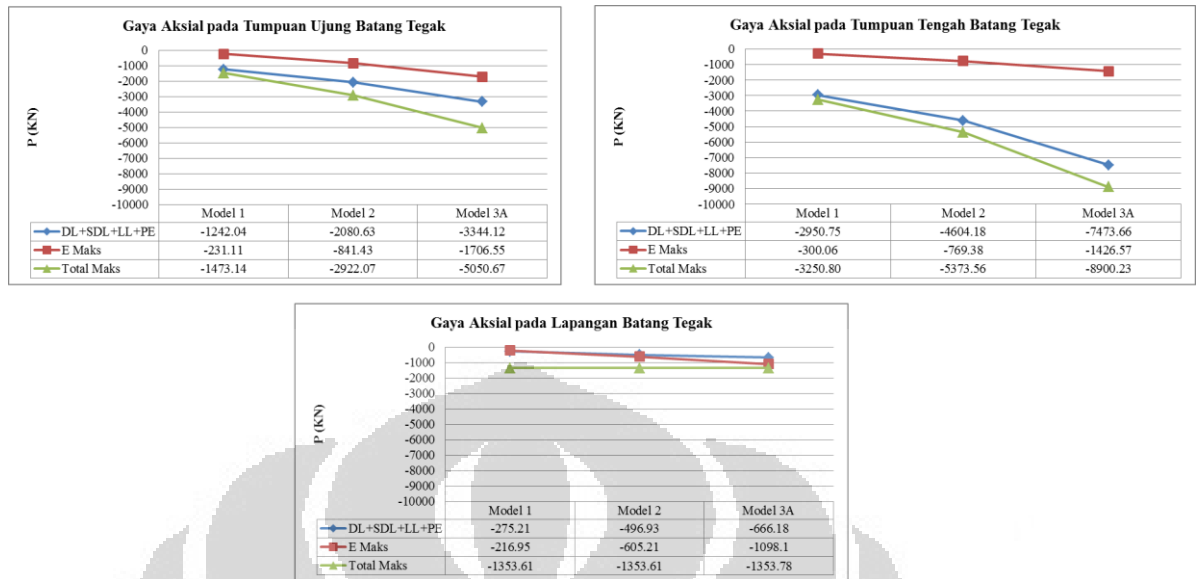
Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.17 Klasifikasi Jenis Batang

Sumber : Data Olahan Penulis

Gaya-gaya yang dianggap mewakili adalah gaya-gaya maksimum yang terjadi pada batang masing-masing kelompok. Hasil pengamatan gaya dalam yang ditampilkan adalah gaya dalam aksial dan geser pada batang tegak, miring, horizontal atas, dan horizontal bawah yang tertera pada gambar berikut:

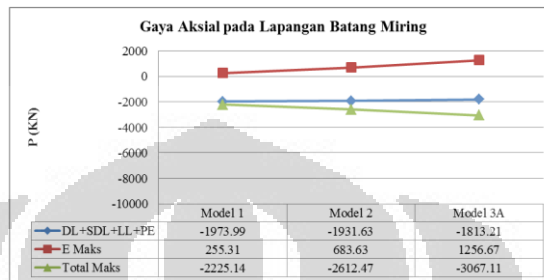
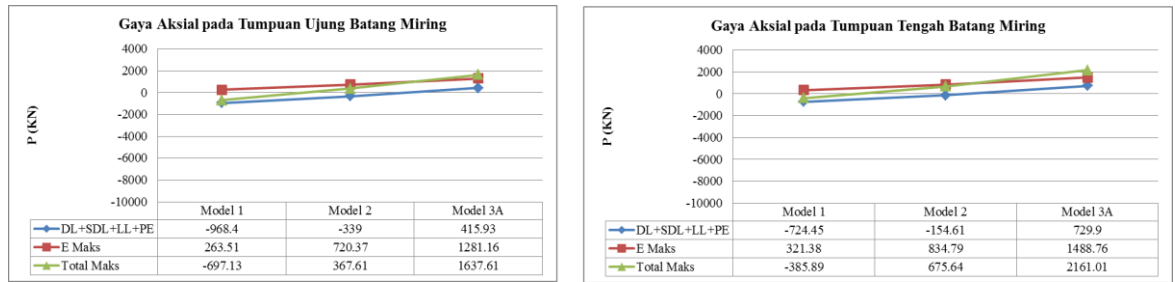


Gambar 4.18 Gaya Aksial Batang Tegak Rangka Sistem Transfer

Sumber : Data Olahan Penulis

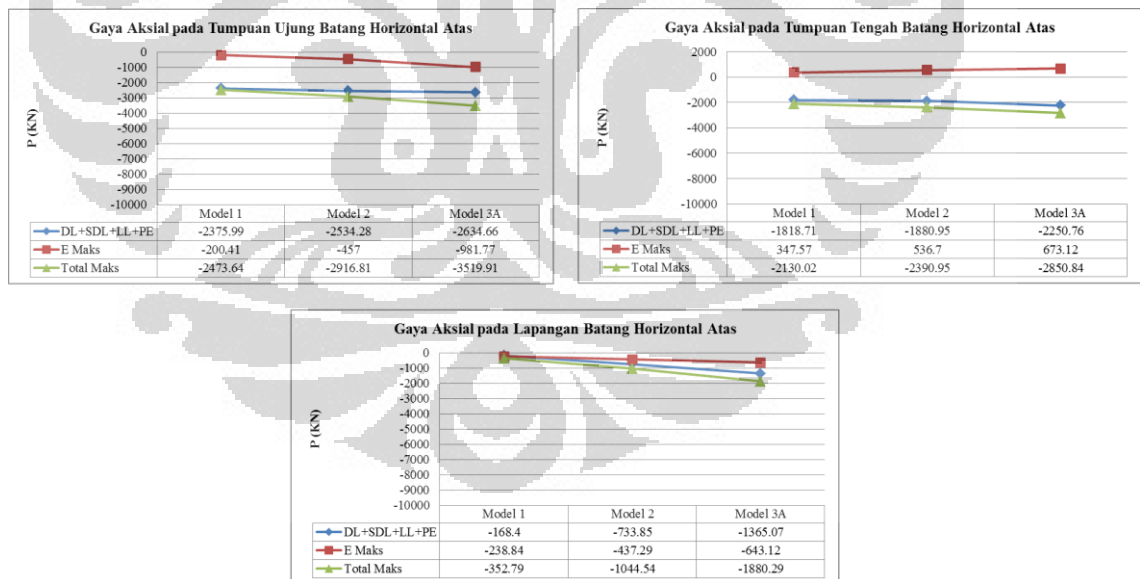
Dari gambar 4.18 di atas untuk seluruh model terlihat bahwa gaya aksial pada batang tegak yang terletak di tumpuan ujung dan tengah lebih besar diakibatkan oleh beban gravitasi yang terdiri dari beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, dan gaya prestress, sedangkan pada batang tegak di bagian lapangan terlihat lebih besar akibat gaya gempa.

Pada gambar 4.19 untuk model 1 pada batang miring bagian tumpuan dan lapangan gaya aksial lebih dominan diakibatkan oleh beban gravitasi. Untuk model 2 dan 3 pada batang miring bagian tumpuan gaya aksial lebih dominan terjadi akibat beban gempa, sedangkan pada bagian lapangan gaya aksial lebih dominan akibat gaya gravitasi.



Gambar 4.19 Gaya Aksial Batang Miring Rangka Sistem Transfer

Sumber : Data Olahan Penulis

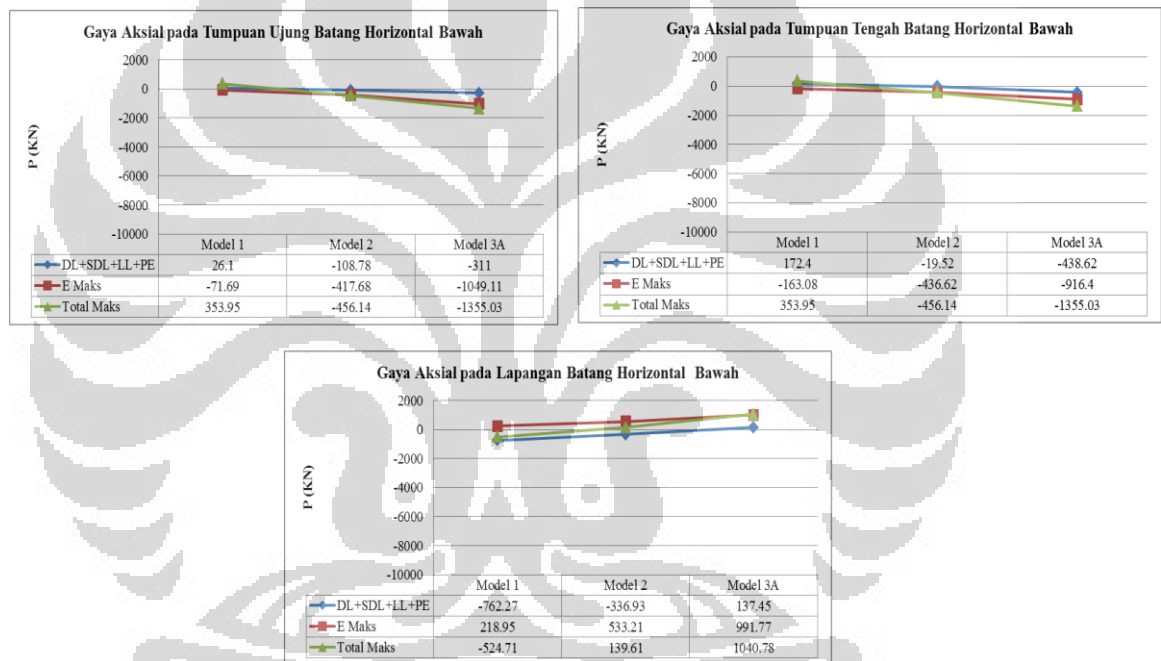


Gambar 4.20 Gaya Aksial Batang Horizontal Atas Rangka Sistem Transfer

Sumber : Data Olahan Penulis

Pada gambar 4.20 untuk model 1 pada batang horizontal atas lapangan gaya aksial lebih dominan diakibatkan oleh beban gempa, sedangkan untuk bagian tumpuan gaya aksial dominan diakibatkan oleh beban gravitasi. Begitu pula Untuk model 2 dan 3 pada batang miring bagian tumpuan gaya aksial lebih dominan terjadi akibat beban gravitasi pada seluruh bagian.

Pada gambar 4.21 beban gravitasi lebih dominan pada tumpuan tengah dan lapangan model 1, sedangkan beban gempa dominan pada tumpuan ujung seluruh model, tumpuan tengah dan bagian lapangan model 2 dan 3.

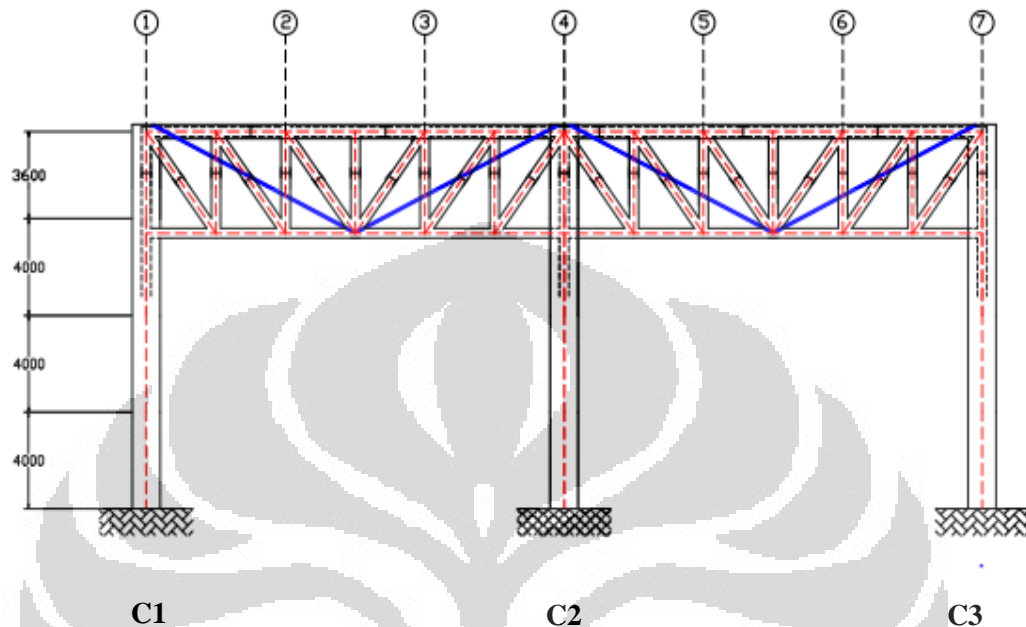


Gambar 4.21 Gaya Aksial Batang Horizontal Bawah Rangka Sistem Transfer

Sumber : Data Olahan Penulis



#### 4.1.3.4 Gaya dalam aksial dan geser kolom pendukung



Gambar 4.22 Penamaan Kolom Pendukung Sistem Transfer

Sumber : Data Olahan Penulis

Penamaan kolom pendukung dalam permodelan ini terlihat dalam gambar 4.21. Selanjutnya gaya-gaya aksial dan geser akan ditinjau pada lantai 3 yang berada tepat di bawah rangka sistem transfer dan pada kolom lantai 1 pada dasar bangunan. Gaya dalam aksial dan geser pada kolom pendukung dianalisis berdasarkan kombinasi pembebanan *service* sebagai berikut :

Tabel 4.6 Kombinasi Pembebanan Servis

1	DL + LL
2	(DL + LL + E)maks
3	DL + LL + PE
4	(DL + LL + PE + E)maks

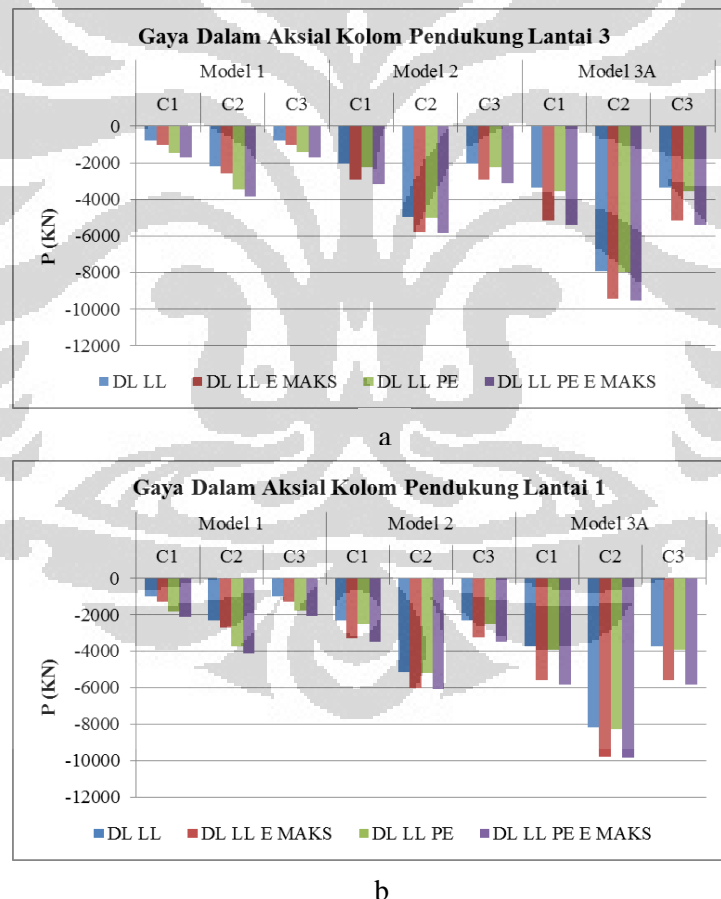
Keterangan :  
E terdiri dari 4 kombinasi yaitu :

Tabel 4.6. (Sambungan)

$E1 = Ev1 + Ex + 0,3 Ey$ $E2 = Ev1 + 0,3 Ex + Ey$ $E3 = Ev2 + Ex + 0,3 Ey$ $E4 = Ev2 + 0,3 Ex + Ey$ Kombinasi (DL + LL + E)maks adalah nilai maksimum kombinasi DL+LL dengan keempat nilai E Kombinasi (DL + LL + PE + E)maks adalah nilai maksimum kombinasi DL+LL dengan keempat nilai E
---

Sumber : Data Olahan Penulis

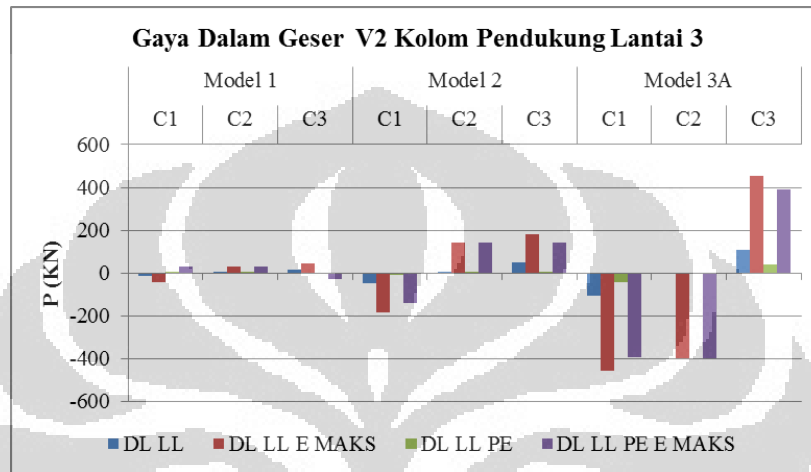
Gaya dalam aksial dan geser kolom pendukung struktur transfer terlihat pada gambar-gambar berikut :



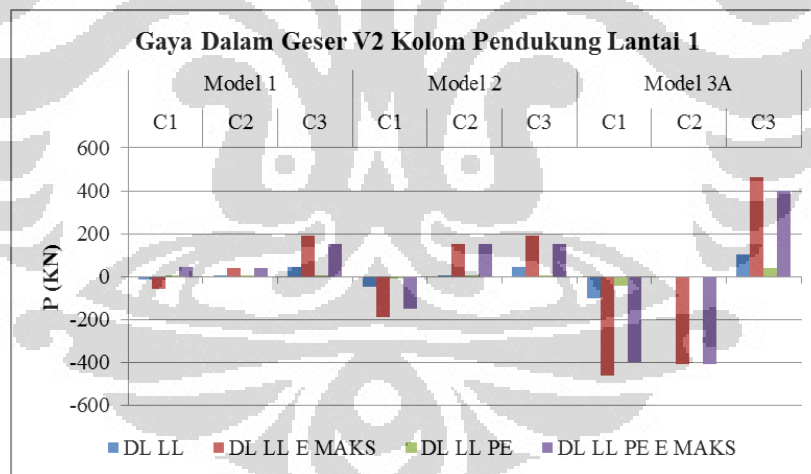
Gambar 4.23 Gaya Aksial Kolom Pendukung Lantai 3 dan 1

Sumber : Data Olahan Penulis

Berdasarkan grafik 4.23 di atas terlihat bahwa dengan meningkatnya jumlah beban gravitasi yang dipikul struktur terjadi peningkatan gaya dalam aksial yang diterima kolom pendukung. Pada struktur 8 lantai dengan jumlah beban gravitasi yang lebih besar gaya dalam aksial yang terjadi lebih besar daripada gaya dalam aksial pada kolom pendukung struktur 6 lantai dan 4 lantai.



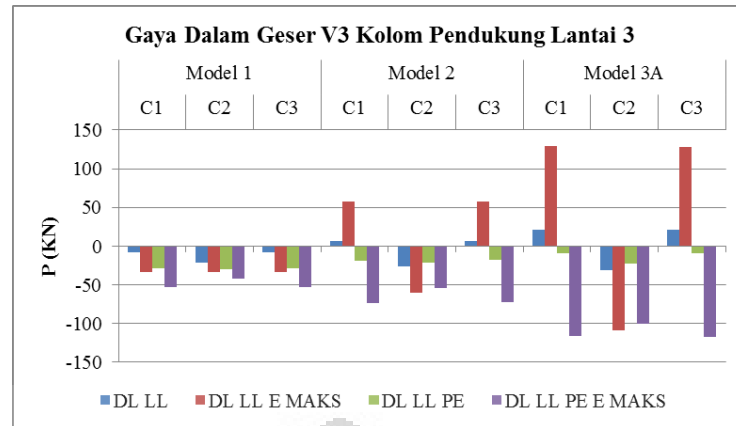
a



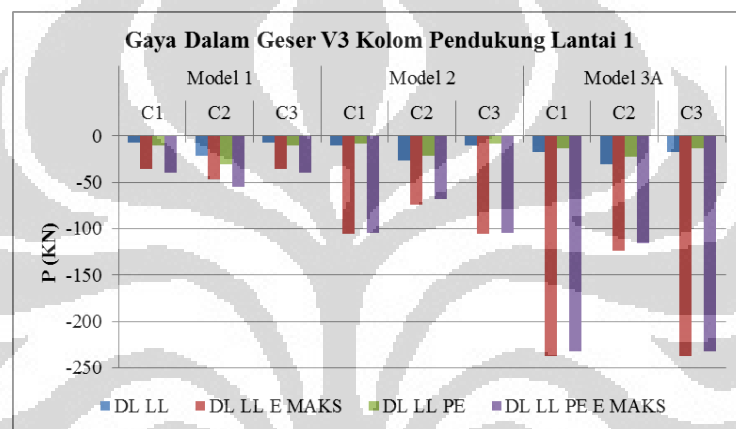
b

Gambar 4.24 Gaya Geser V2 (Arah X) Kolom Pendukung Lantai 3 dan 1

Sumber : Data Olahan Penulis



a



b

Gambar 4.25 Gaya Geser V3 (Arah Y) Kolom Pendukung Lantai 3 dan 1

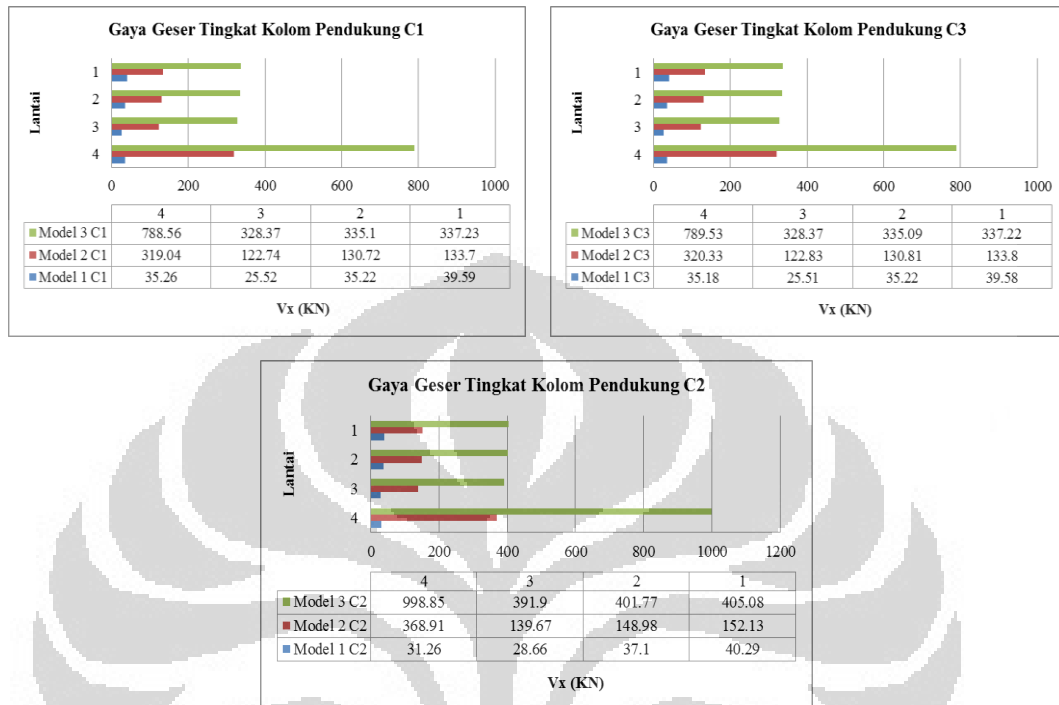
Sumber : Data Olahan Penulis

Pada gambar 4.24 dan 4.25 terlihat bahwa gaya geser pada kolom pendukung pada bangunan dipengaruhi secara dominan oleh adanya gaya gempa. Terlihat pada bangunan 8 lantai gaya geser yang terjadi lebih besar daripada pada bangunan-bangunan yang lebih rendah (6 lantai dan 4 lantai). Hal ini disebabkan gaya geser struktur bersifat ekuivalen dengan berat bangunan. Semakin besar berat bangunan maka akan semakin besar pula gaya gesernya.

#### 4.1.3.5 Gaya geser tingkat struktur transfer

Gaya geser tingkat struktur transfer diambil dari nilai gaya geser pada kolom-kolom pendukung yang disebabkan oleh beban gempa yang dikerjakan pada struktur. Dalam analisa ini ditampilkan gaya geser tingkat struktur transfer

akibat gempa arah x saja karena struktur transfer tersebut berada pada arah sumbu x bangunan.

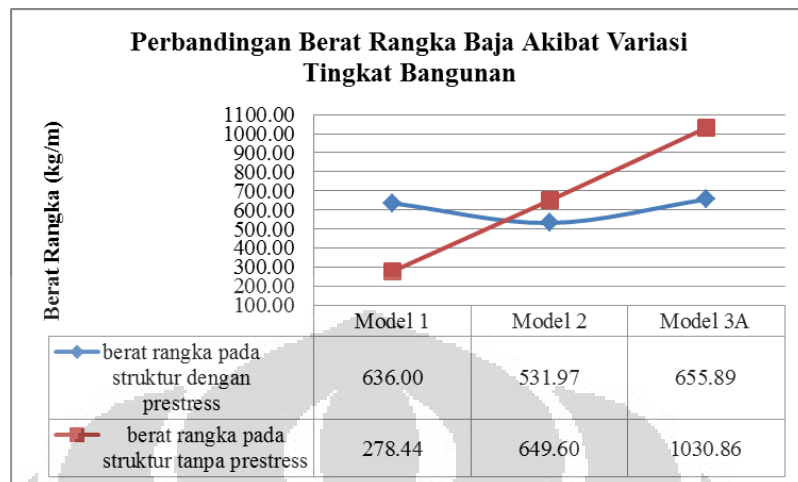


Gambar 4.26 Gaya Geser Tingkat Struktur Transfer pada Variasi Jumlah Tingkat

Sumber : Data Olahan Penulis

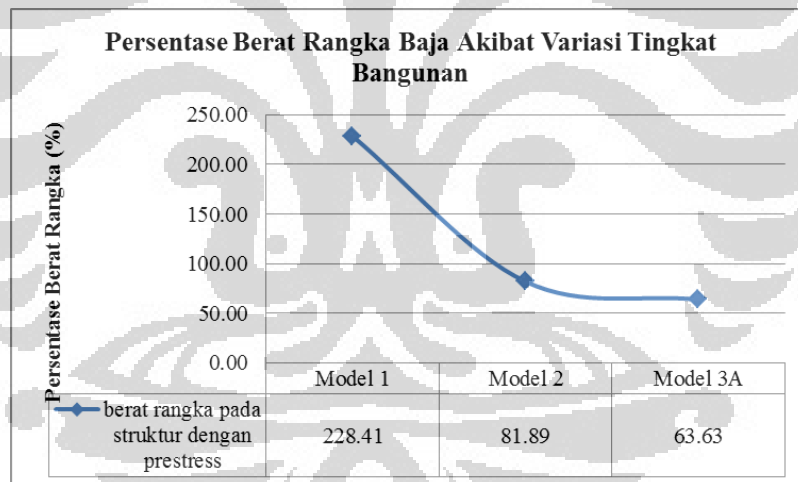
Dari gambar di atas terlihat bahwa ada kemiripan nilai gaya geser pada kolom C1 dan C3 karena keduanya merupakan kolom bagian tumpuan ujung. Nilai terbesar terjadi pada kolom pada bagian tumpuan tengah. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya nilai gaya geser, baik struktur secara keseluruhan maupun pada struktur transfer, akan meningkat seiring dengan meningkatnya berat total bangunan. Hal ini juga dapat dilihat pada gambar di atas.

#### 4.1.3.6 Rasio kebutuhan rangka baja struktur transfer



Gambar 4.27 Rasio Kebutuhan Rangka Baja pada Variasi Jumlah Lantai Bangunan

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.28 Persentase Kebutuhan Rangka Baja Bangunan dengan Sistem Prategang Luar

Dibandingkan dengan Bangunan Tanpa Sistem Prategang Luar

Sumber : Data Olahan Penulis

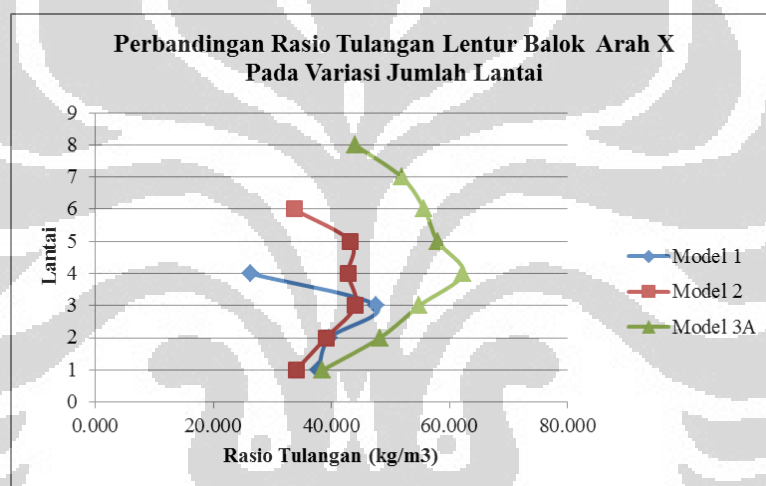
Dari gambar di atas terlihat bahwa nilai kebutuhan berat baja untuk struktur transfer cenderung meningkat dengan adanya penambahan jumlah lantai bangunan. Adanya tambahan kekuatan dari sistem prategang luar tidak selamanya dapat memperkecil kebutuhan rangka baja pada sistem transfer, khususnya pada

bangunan pendek. Hal ini terlihat dari grafik tersebut dimana berat baja yang dibutuhkan untuk sistem transfer pada struktur 4 lantai lebih besar dibandingkan dengan berat baja yang dibutuhkan pada bangunan 4 lantai tanpa menggunakan sistem prategang luar. Hal ini menunjukkan bahwa profil yang digunakan pada bangunan 4 lantai dengan sistem prategang luar lebih besar dari profil bangunan 4 lantai tanpa sistem prategang luar.

#### 4.1.4 Rasio Kebutuhan Tulangan Struktur

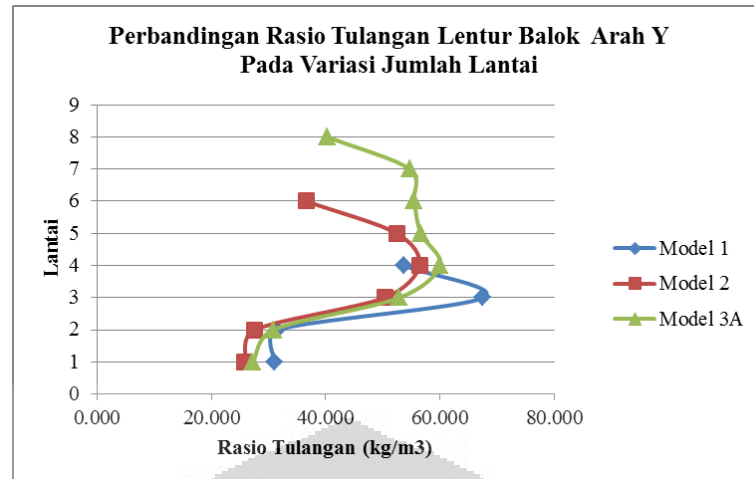
##### 4.1.4.1 Rasio kebutuhan tulangan

###### a. Rasio kebutuhan tulangan balok



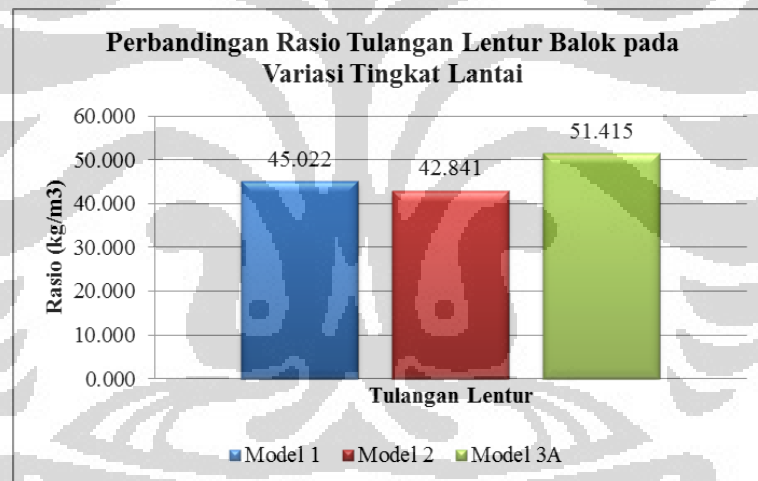
Gambar 4.29 Rasio Tulangan Lentur Balok untuk Model Variasi Jumlah Lantai Arah Sumbu X Bangunan

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.30 Rasio Tulangan Lentur Balok untuk Model Variasi Jumlah Lantai Arah Sumbu Y

Bangunan  
Sumber : Data Olahan Penulis



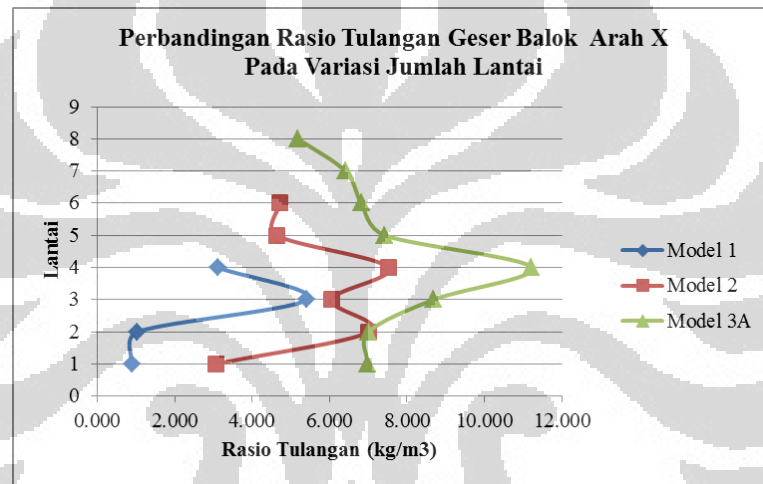
Gambar 4.31 Perbandingan Ratio Tulangan Lentur Total Balok pada Variasi Jumlah Lantai

Sumber : Data Olahan Penulis

Dari Gambar 4.28, 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.

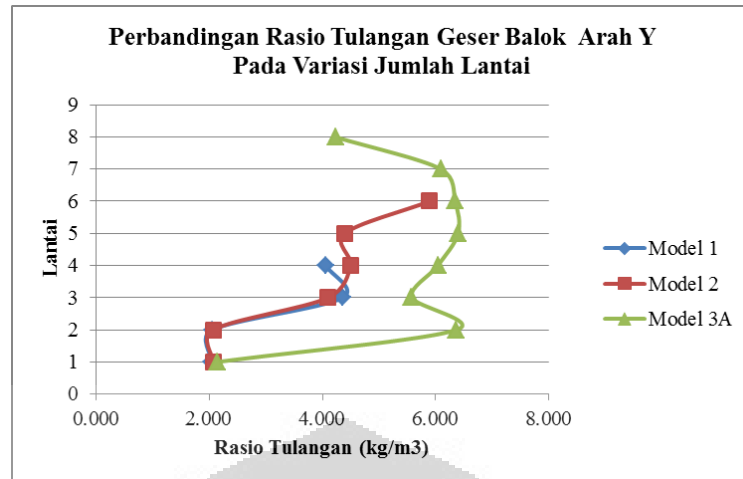


Berdasarkan Gambar 4.30, diketahui bahwa semakin meningkat jumlah lantai maka kebutuhan tulangan lentur juga akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh semakin besarnya beban gravitasi yang ditahan oleh struktur sehingga memeperbesar gaya-gaya dalam yang terdapat pada balok-balok, terutama gaya dalam momen lentur. Kenaikan momen lentur menyebabkan kenaikan jumlah tulangan longitudinal. Akan tetapi pada model 2, tulangan lentur yang dibutuhkan lebih kecil dibandingkan dengan model 1. Hal ini disebabkan oleh digunakannya profil yang lebih besar pada sistem transfer namun dimensi balok yang digunakan lebih kecil pada struktur transfer tersebut.



Gambar 4.32 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Balok Arah X pada Variasi Jumlah Lantai

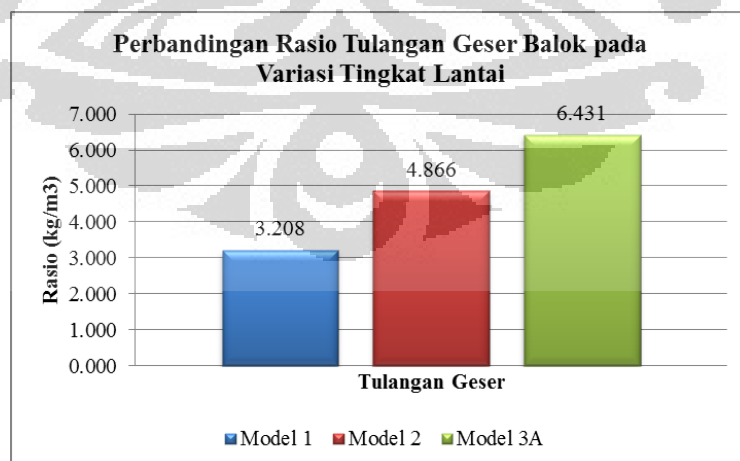
Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.33 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Balok Arah Y pada Variasi Jumlah Lantai

Sumber : Data Olahan Penulis

Dari Gambar 4.31 dan Gambar 4.32 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, dinding geser 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 lebih besar sehingga kebutuhan tulangan geser menjadi lebih besar.

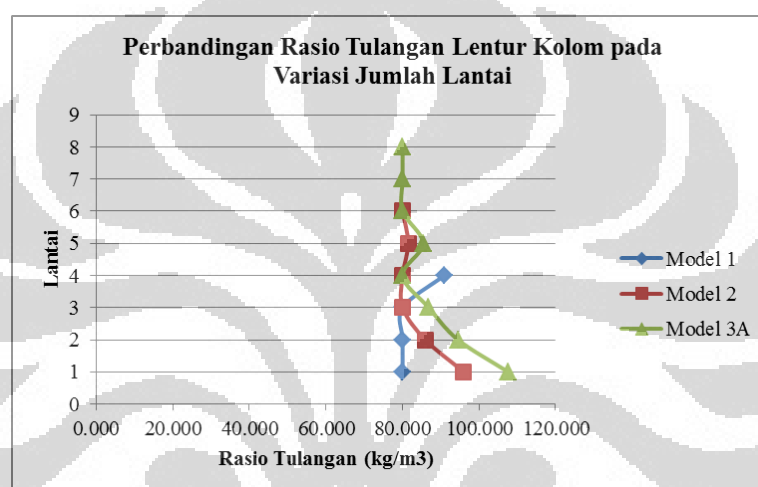


Gambar 4.34 Perbandingan Ratio Tulangan Geser Total Balok pada Variasi Jumlah Lantai

Sumber : Data Olahan Penulis

Dari gambar 4.33. dapat disimpulkan bahwa kebutuhan tulangan geser meningkat seiring dengan peningkatan jumlah lantai. Peningkatan jumlah lantai menyebabkan gaya-gaya dalam yang terjadi pada struktur termasuk gaya aksial, geser dan momen menjadi lebih besar sehingga jumlah tulangan yang dibutuhkan lebih besar.

b. Rasio kebutuhan tulangan kolom

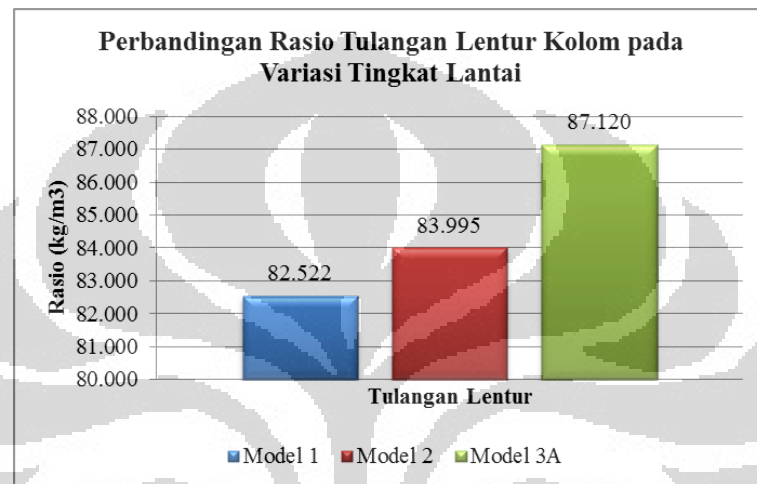


Gambar 4.35 Rasio Tulangan Lentur Kolom untuk Model Variasi Jumlah Lantai Bangunan

Sumber : Data Olahan Penulis

Adapun berdasarkan Gambar 4.34, pada lantai di atas struktur transfer, tidak terjadi perbedaan ratio kebutuhan tulangan yang signifikan untuk setiap model karena sebagian besar hasil *output* penulangan kolom dari program ETABS merupakan penulangan longitudinal minimum ( $\rho = 0,01$ ). Pada lantai 5 model 3A, terjadi lonjakan kebutuhan tulangan lentur. Seperti yang telah dibahas pada bagian respon seismik bangunan, pada lantai 5 model 3A, persentase besarnya gaya geser tingkat yang masuk pada bagian *frame* merupakan persentase gaya geser maksimum dalam bangunan ini sehingga ekuivalen beban aksial gravitasi dan momen lentur akibat gempa pada lantai itu menjadi lebih besar yang

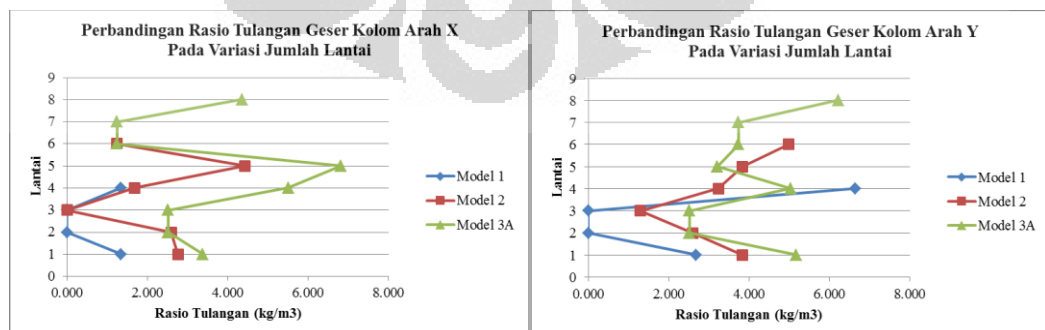
menyebabkan kebutuhan tulangan meningkat. Pada lantai di bawah struktur transfer, terjadi kenaikan kebutuhan penulangan lentur karena kolom-kolom pendukung sebagai bagian dari sistem transfer yang terdapat pada ketiga model tersebut didesain setelah dikenai faktor kuat lebih gempa untuk mencegah keruntuhan terlebih dahulu pada struktur bawah yang menyebabkan beban aksial dan momen meningkat.



Gambar 4.36 Ratio Total Tulangan Lentur Kolom pada Variasi Jumlah Lantai

Sumber : Data Olahan Penulis

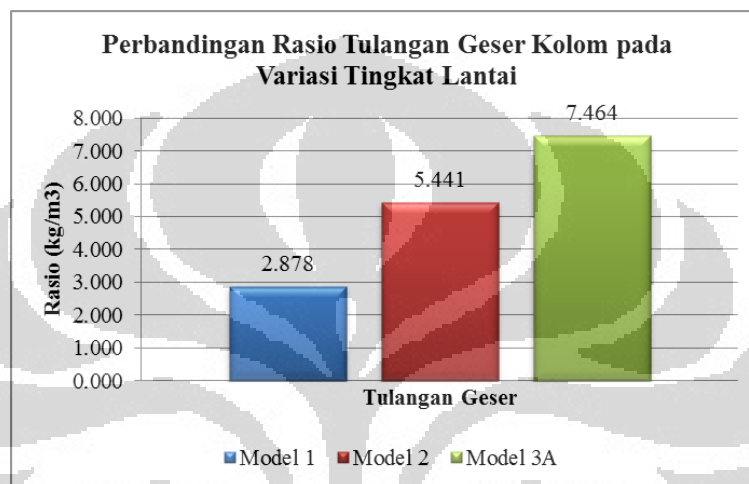
Sama seperti halnya pada penulangan balok, penulangan lentur kolom meningkat seiring pertambahan jumlah lantai. Hal ini terlihat pada Gambar 4.34.



Gambar 4.37 Ratio Tulangan Geser Kolom pada Variasi Jumlah Lantai

Sumber : Data Olahan Penulis

Dari gambar 4.36. terlihat bahwa pada arah sumbu x bangunan jumlah tulangan geser meningkat pada lantai 5. Hal ini disebabkan karena peningkatan gaya geser yang ditahan *frame* akibat adanya perbedaan dimensi kolom (dimensi kolom lantai 5 lebih besar dari dimensi kolom lantai 4). Meningkatnya gaya geser pada *frame* tersebut menyebabkan peningkatan jumlah tulangan geser yang dibutuhkan pada kolom tersebut.

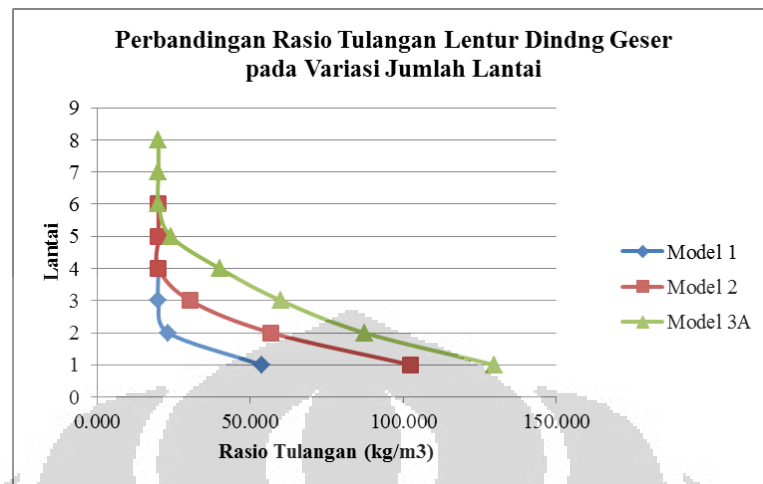


Gambar 4.38 Ratio Total Tulangan Geser Kolom pada Variasi Jumlah Lantai

Sumber : Data Olahan Penulis

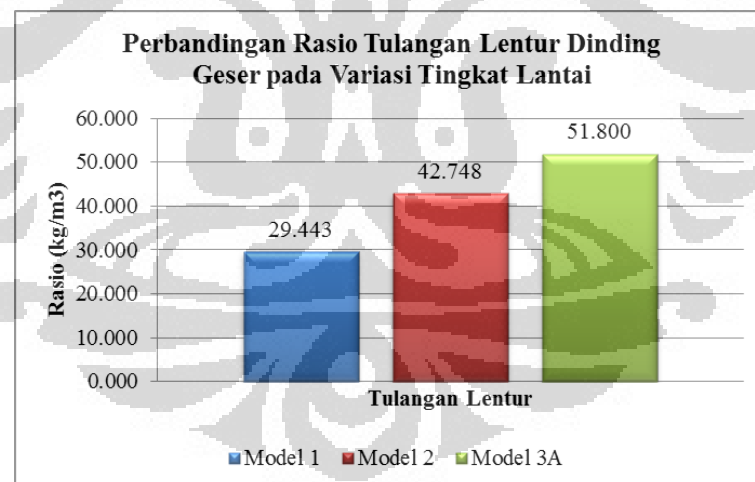
Gambar 4.37. menunjukkan bahwa peningkatan gaya-gaya dalam pada struktur menyebabkan kebutuhan tulangan geser bangunan meningkat juga. Peningkatan gaya dalam yang dimaksud merupakan pengaruh dari peningkatan beban yang masuk ke dalam struktur karena massa bangunan yang meningkat seiring dengan peningkatan jumlah lantai bangunan.

c. Rasio kebutuhan tulangan dinding geser



Gambar 4.39 Rasio Tulangan Lentur Dinding Geser untuk Model Variasi Jumlah Lantai Bangunan

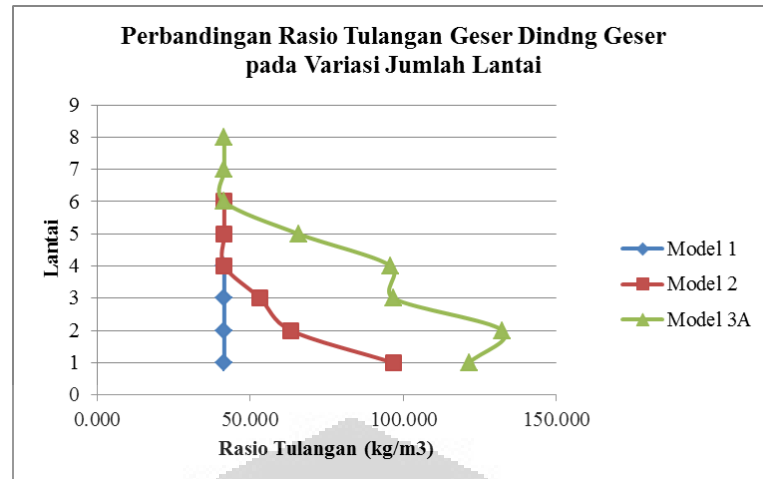
Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.40 Rasio Total Tulangan Lentur Dinding Geser untuk Model Variasi Jumlah Lantai

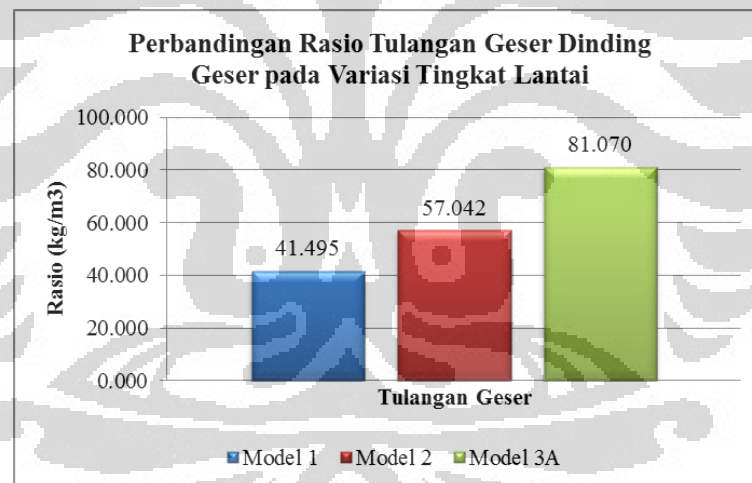
Bangunan

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.41 Rasio Tulangan Geser Dinding Geser untuk Model Variasi Jumlah Lantai Bangunan

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.42 Rasio Total Tulangan Geser Dinding Geser untuk Model Variasi Jumlah Lantai Bangunan

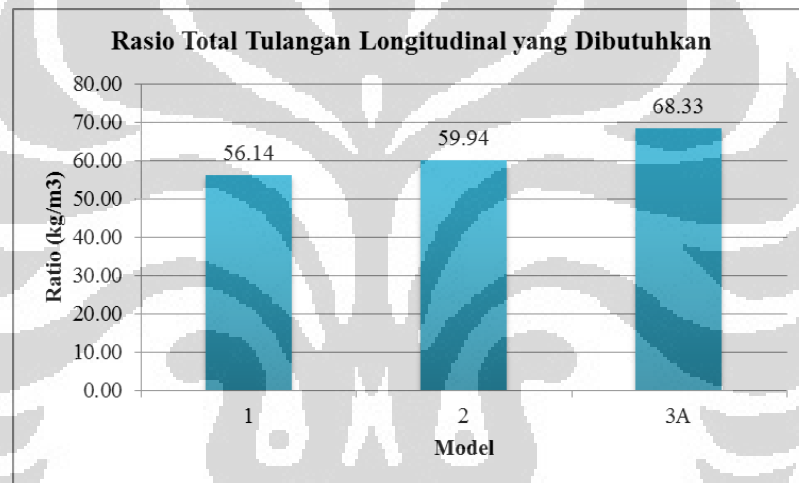
Sumber : Data Olahan Penulis

Berdasarkan Gambar 4.38 dan Gambar 4.40, penulangan lentur dan geser pada dinding geser juga meningkat seiring bertambahnya jumlah lantai. Dari gambar 4.39 dan 4.41, 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 4.41, 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.

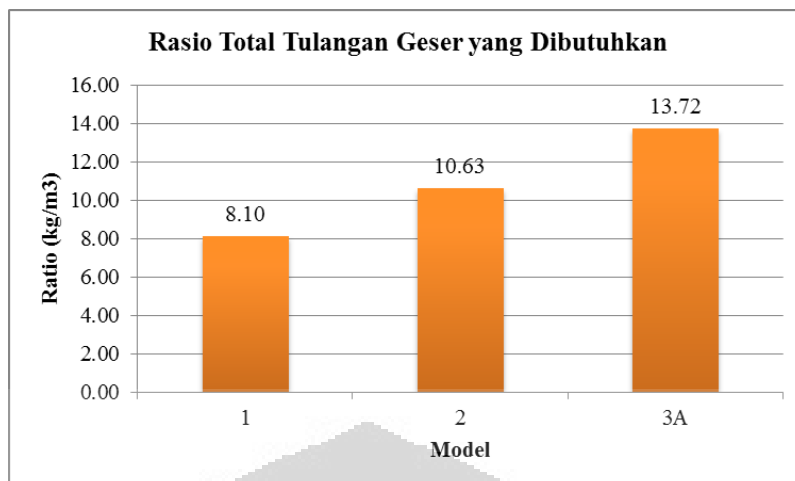
d. Rasio total kebutuhan tulangan pada struktur



Gambar 4.43 Ratio Kebutuhan Tulangan Longitudinal Total pada Variasi Jumlah Tingkat

Sumber : Data Olahan Penulis





Gambar 4.44 Rasio Kebutuhan Tulangan Transversal Total pada Variasi Jumlah Tingkat

Sumber : Data Olahan Penulis

Dari gambar di atas dapat disimpulkan bahwa kebutuhan tulangan semakin meningkat dengan meningkatnya jumlah lantai bangunan.

## 4.2 Analisis Variasi Jumlah Kabel Prategang

### 4.2.1 Karakteristik Dinamik Model Struktur

Karakteristik dinamik struktur yang akan ditinjau antara lain pola-pola getar pertama struktur, periode getar dan partisipasi massanya.

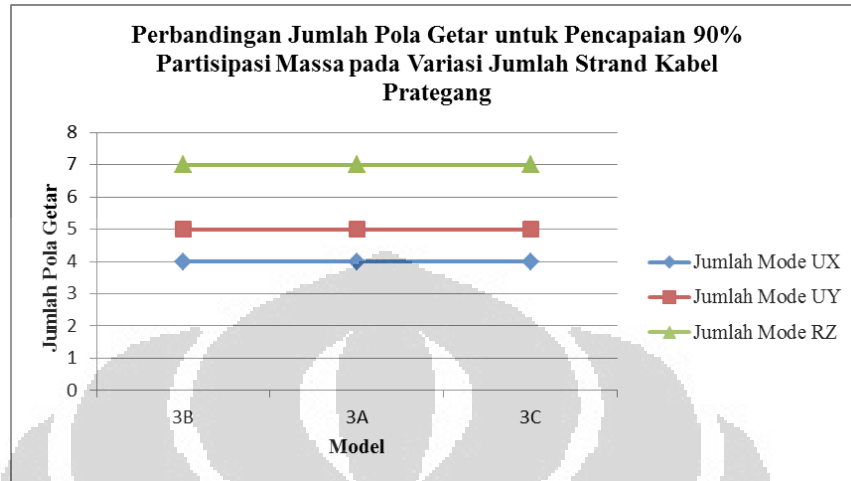
Tabel 4.7 Periode Getar Ragam Pertama dan Sifat Ragam Getar

Ragam getar ke-	Periode Getar			Keterangan
	Model 3A	Model 3B	Model 3C	
1	0.99	0.99	0.99	Translasi arah X
2	0.70	0.70	0.70	Translasi arah Y
3	0.48	0.48	0.48	Rotasi arah Z

Sumber : Data Olahan Penulis

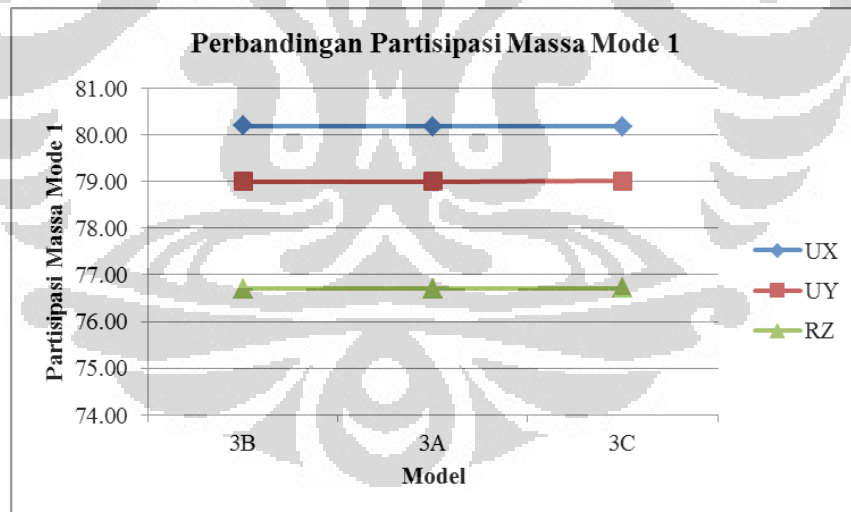
Dari Tabel 4.7 di atas terlihat bahwa pada variasi jumlah strand yang digunakan pada sistem prategang luar tidak terlihat adanya perbedaan periode getar struktur. Hal ini disebabkan oleh permodelan yang dilakukan dengan memisalkan sebagai beban terpusat ekuivalen sehingga tidak merubah massa dan kekakuan bangunan. Oleh karena itu jumlah pola ragam getar dan partisipasi

massa yang diberikan pola-pola getar pertama relatif sama seperti terlihat pada gambar 4.44 dan gambar 4.45.



Gambar 4.45 Jumlah Pola Getar untuk Pencapaian 90% Partisipasi Massa Pada Variasi Jumlah Lantai

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.46 Partisipasi Massa Pola Getar Pertama

Sumber : Data Olahan Penulis

## 4.2.2 Respon Seismik Bangunan

### 4.2.2.1 Gaya geser dasar struktur

Gaya geser dasar struktur untuk setiap permodelan terlihat dalam Tabel 4.8. Gaya geser struktur ini dianalisa secara dinamik dan telah memenuhi persyaratan pada pasal 7. 1. 3. SNI 03-1726-2002 yaitu  $V_{dinamik} \geq 0,8 V_{statik}$ . Gaya geser yang terjadi pada variasi ini relatif sama karena massa dan kekakuan bangunan relatif sama.

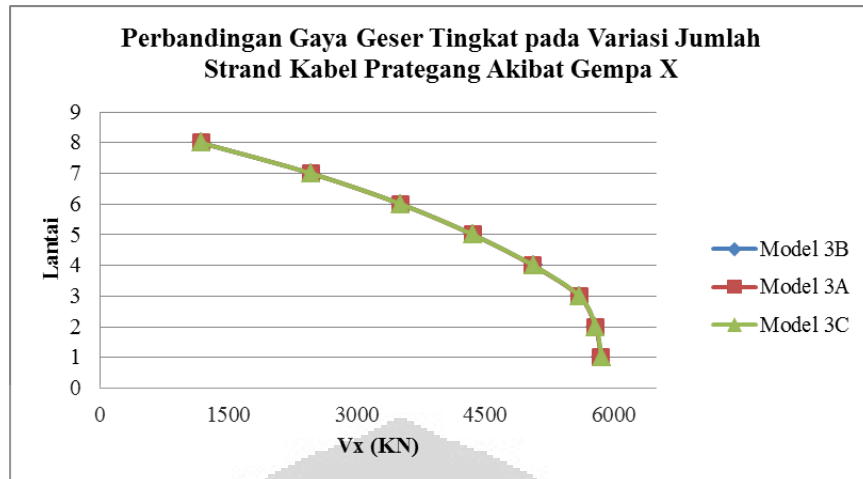
Tabel 4.8 Gaya Geser Dasar Struktur untuk Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang

Model	Gaya Geser Dasar	
	V <sub>x</sub> (KN)	V <sub>y</sub> (KN)
Model 3B	5857.17	5785.41
Model 3A	5854.5	5783.23
Model 3C	5859.75	5789.36

Sumber : Data Olahan Penulis

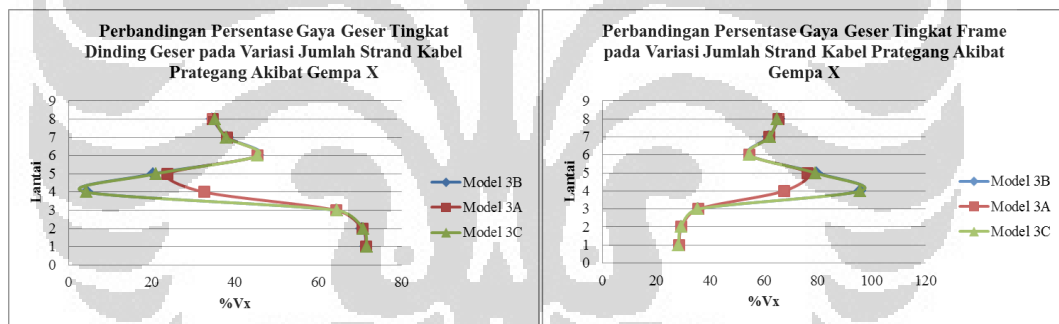
### 4.2.2.2 Distribusi gaya geser tingkat

Distribusi gaya geser tingkat untuk struktur dengan variasi jumlah strand kabel prategang akibat gempa arah X dapat dilihat dalam Gambar 4.46. Pada Gambar 4.47. diperlihatkan persentase gaya geser tingkat yang ditahan dinding geser dan frame struktur bangunan tersebut. Distribusi gaya geser tingkat untuk struktur dengan variasi jumlah strand kabel prategang akibat gempa arah Y dapat dilihat dalam Gambar 4.48. Pada Gambar 4.49. diperlihatkan persentase gaya geser tingkat yang ditahan dinding geser dan frame struktur bangunan tersebut. Karena karakteristik dinamik yang relatif sama terjadi pada variasi permodelan ini maka karakteristik respon seismik ketiga model ini pun relatif sama.



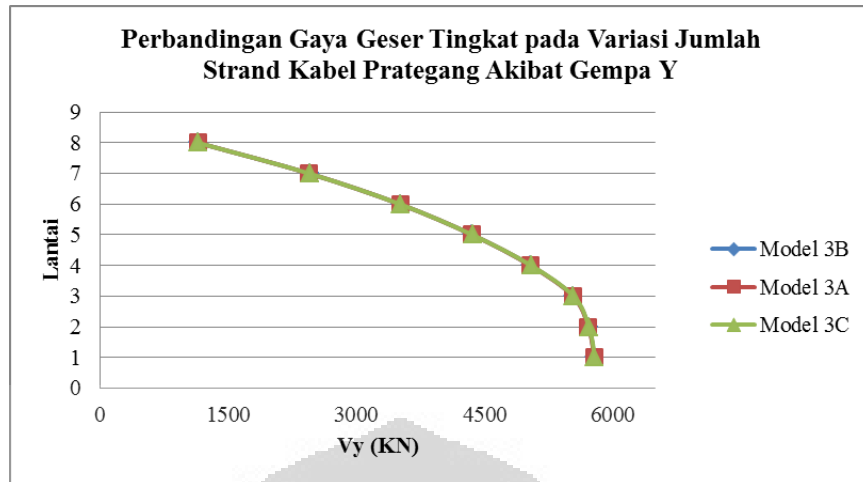
Gambar 4.47 Distribusi Gaya Geser Tingkat Struktur pada Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang Akibat Gempa X

Sumber : Data Olahan Penulis



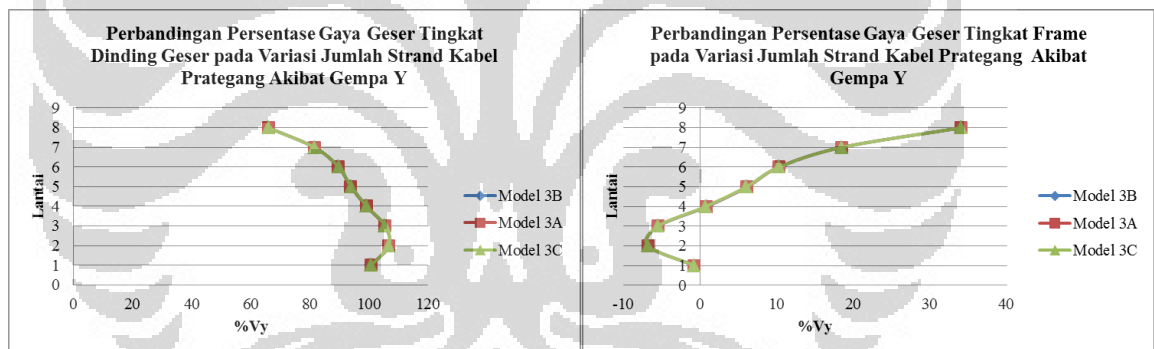
Gambar 4.48 Persentase Gaya Geser Tingkat yang Ditahan Dinding Geser dan Frame Akibat Gempa X pada Variasi Jumlah Strand

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.49 Distribusi Gaya Geser Tingkat Struktur pada Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang Akibat Gempa Y

Sumber : Data Olahan Penulis

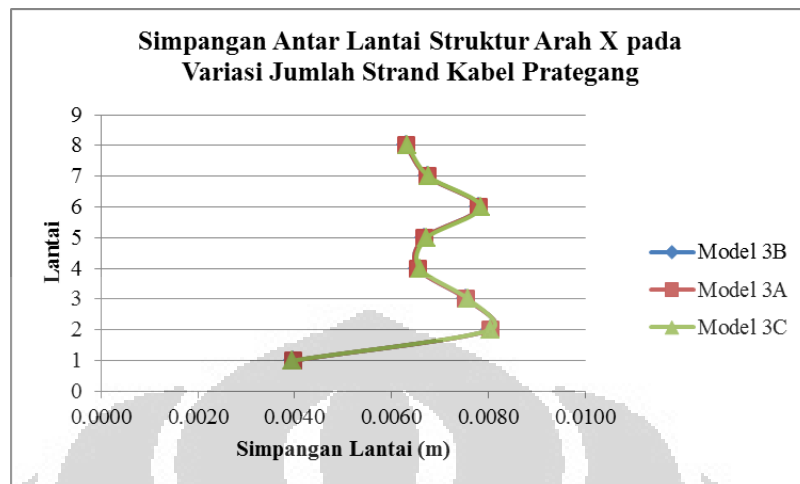


Gambar 4.50 Persentase Gaya Geser Tingkat yang Ditahan Dinding Geser dan Frame Akibat Gempa Y pada Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang

Sumber : Data Olahan Penulis

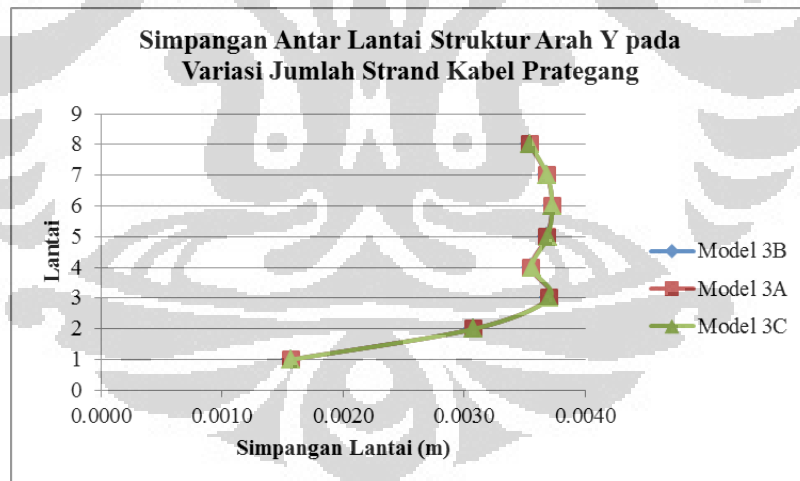
### 4.2.2.3 Simpangan Lantai (*Story Drift*)

#### 4.2.2.4



Gambar 4.51 Simpangan Antar Lantai pada Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang akibat Gempa Arah X

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.52 Simpangan Antar Lantai pada Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang akibat Gempa Arah Y

Sumber : Data Olahan Penulis

Dari Gambar di atas terlihat bahwa bentuk dan besarnya simpangan antar lantai pada variasi ini relatif sama. Hal ini semakin menunjukkan bahwa bangunan ini memiliki karakteristik dinamik yang sama.

#### 4.2.3 Analisis Sistem Transfer

##### 4.2.3.1 Kinerja Sistem Transfer

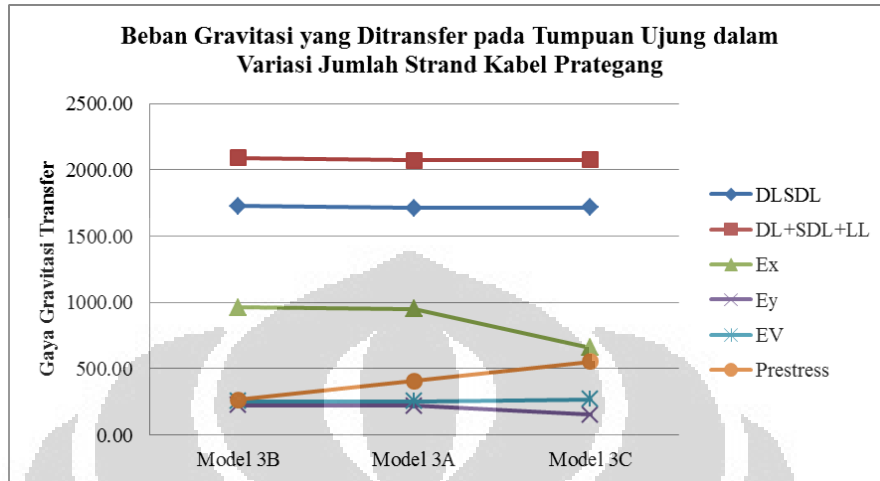
Tabel 4.9 Beban Gravitasi yang Ditransfer oleh Struktur Transfer pada Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang

<b>BEBAN GRAVITASI STRUKTUR TRANSFER (SATUAN KN)</b>			
Tumpuan Ujung Struktur Transfer			
<b>Beban</b>	Model 3B	Model 3A	Model 3C
DLSDL	1725.91	1712.40	1714.94
DL+SDL+LL	2089.15	2073.26	2073.94
Ex	961.24	948.56	656.44
Ey	220.14	218.47	151.80
EV	252.71	250.67	266.30
Prestress	263.43	404.80	550.87
Tumpuan Tengah Struktur Transfer			
<b>Beban</b>	Model 3B	Model 3A	Model 3C
DLSDL	4344.58	4296.97	4286.67
DL+SDL+LL	5335.00	5278.26	5260.00
Ex	0.82	0.74	0.56
Ey	377.04	372.12	258.20
EV	655.06	647.89	646.27
Prestress	296.74	476.8	845.94

Sumber : Data Olahan Penulis

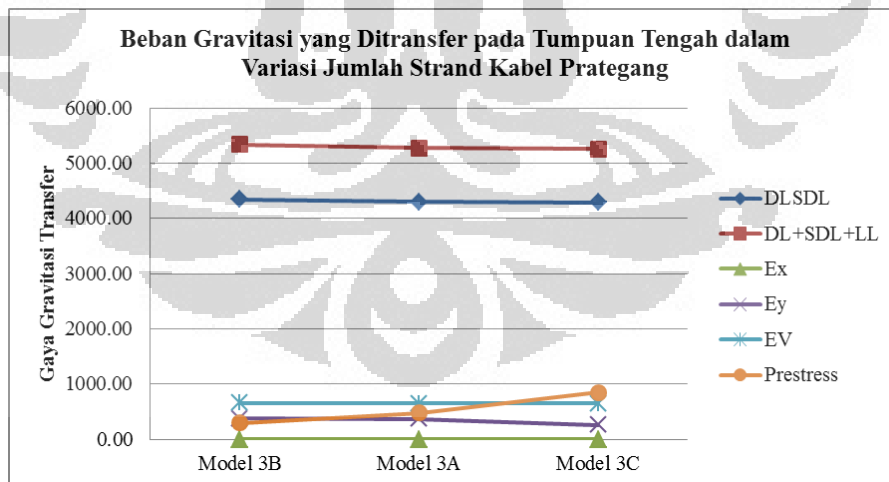
Berdasarkan tabel di atas, diketahui bahwa bertambahnya jumlah strand yang digunakan dapat menyebabkan beban gravitasi yang ditahan struktur transfer cenderung mengalami penurunan. Hal ini dapat digambarkan pada gambar 4.52 dan gambar 4.53. Pada grafik tersebut terlihat peningkatan beban gravitasi yang ditahan oleh prestress seiring dengan bertambahnya jumlah strand yang digunakan

pada struktur. Hal ini kemudian berpengaruh pada nilai beban gravitasi yang ditahan sistem struktur transfer.



Gambar 4.53 Beban Gravitasi yang Ditransfer pada Tumpuan Ujung dalam Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.54 Beban Gravitasi yang Ditransfer pada Tumpuan Tengah dalam Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang

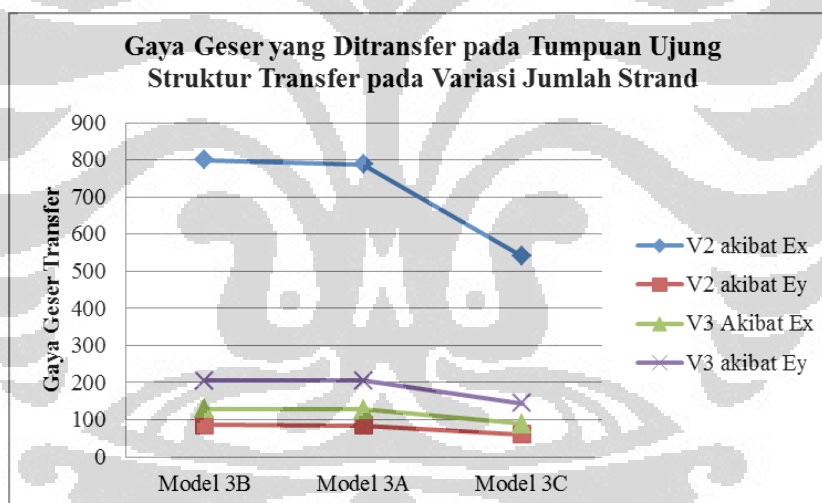
Sumber : Data Olahan Penulis



Tabel 4.10 Gaya Geser yang Ditransfer oleh Struktur Transfer dalam Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang

<b>GAYA GESER TRANSFER (SATUAN KN)</b>						
Tumpuan Ujung Struktur Transfer						
Beban	Geser Arah X (V2)			Geser Arah Y (V3)		
	Model 3B	Model 3A	Model 3C	Model 3B	Model 3A	Model 3C
Ex	799.28	788.56	540.16	129.41	127.78	88.15
Ey	85.73	84.92	60.60	205.29	205.26	143.87
Tumpuan Tengah Struktur Transfer						
Beban	Geser Arah X (V2)			Geser Arah Y (V3)		
	Model 3B	Model 3A	Model 3C	Model 3B	Model 3A	Model 3C
Ex	1013.49	998.85	700.00	0.13	0.08	0.09
Ey	37.27	36.69	25.94	88.88	88.70	62.04

Sumber : Data Olahan Penulis

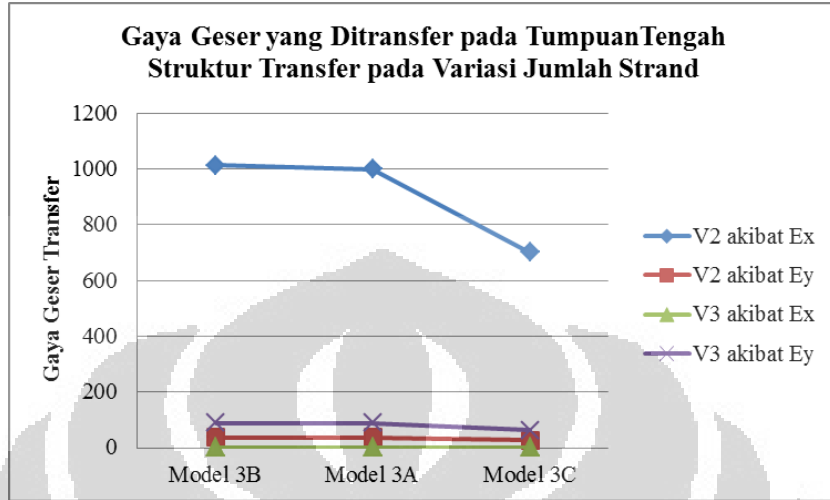


Gambar 4.55 Gaya Geser yang Ditransfer pada Tumpuan Ujung dalam Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang

Sumber : Data Olahan Penulis

Dari Tabel 4.10, Gambar 4.54 dan 4.55 terlihat bahwa peningkatan jumlah strand yang digunakan gaya geser yang ditransfer oleh struktur cenderung menurun. Terlihat pula bahwa nilai gaya geser yang ditransfer jauh lebih besar

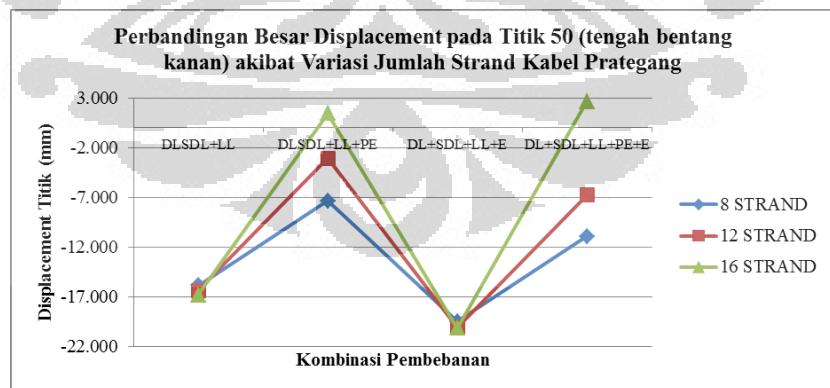
pada gaya geser arah x ( $V_2$ ) akibat gempa arah x. Hal ini disebabkan oleh sistem transfer yang berada pada arah sumbu x bangunan.



Gambar 4.56 Gaya Geser yang Dittransfer pada Tumpuan Tengah dalam Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang

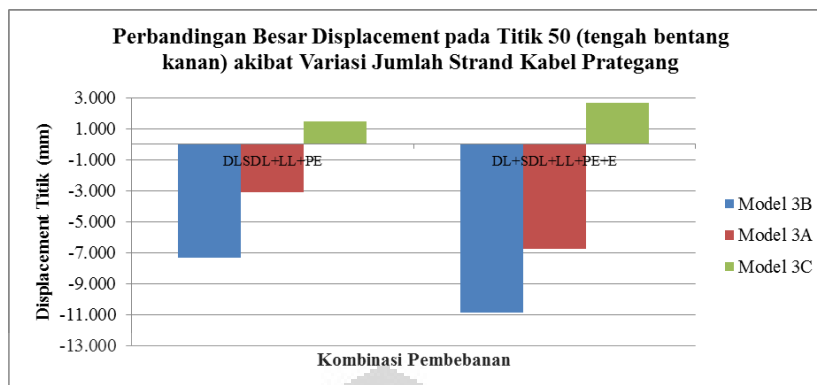
Sumber : Data Olahan Penulis

4.2.3.2 Displacement titik tengah bentang



Gambar 4.57 Displacement Titik pada Tengah Bentang Struktur Transfer Variasi Jumlah Strand (perbandingan dengan struktur tanpa sistem prategang luar)

Sumber : Data Olahan Penulis



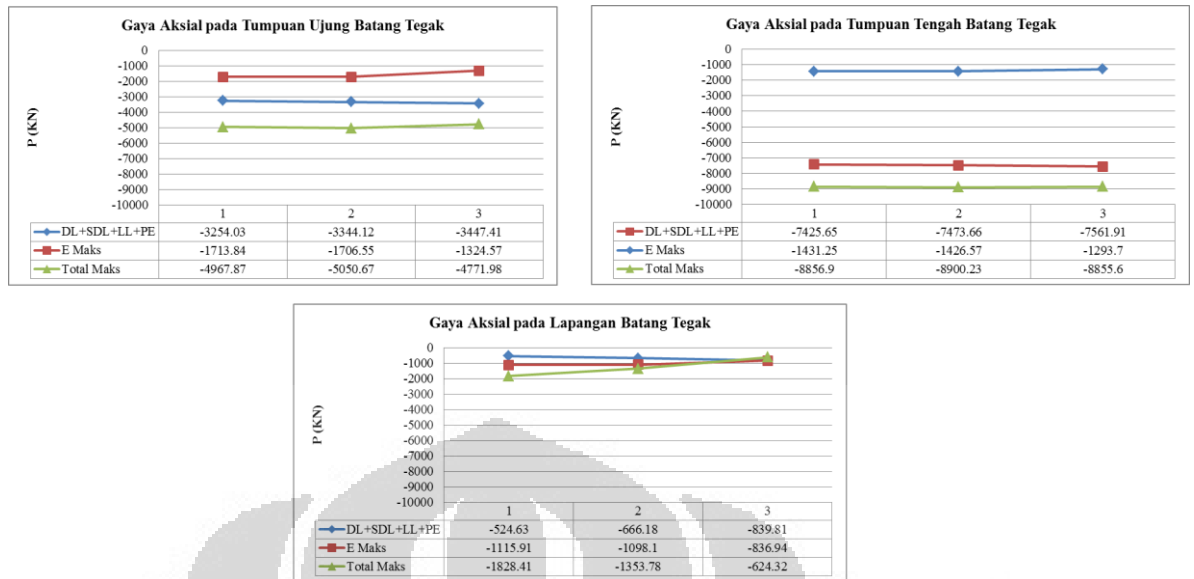
Gambar 4.58 Displacement Titik di Tengah Bentang Struktur Transfer pada Variasi Jumlah Strand

Sumber : Data Olahan Penulis

Dari gambar di atas terlihat bahwa nilai perpindahan titik pada tengah bentang struktur transfer. Terlihat bahwa semakin banyak jumlah strand yang digunakan dalam sistem prategang luar akan menambah kekuatan struktur tersebut. Hal ini terlihat dari nilai displacement yang semakin kecil dengan adanya penambahan jumlah strand pada sistem prategang luar.

#### 4.2.3.3 Gaya dalam aksial pada rangka sistem transfer

Pengelompokan batang dan penamaan batang pada variasi ini sama dengan penamaan dan pengelompokan batang pada variasi jumlah lantai. Gaya aksial yang terjadi adalah sebagai berikut :

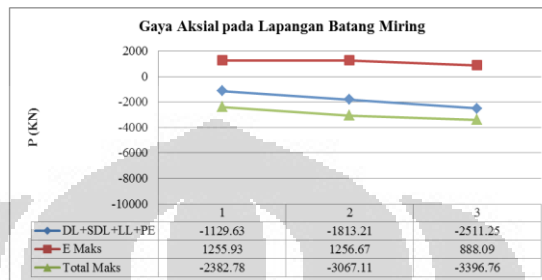
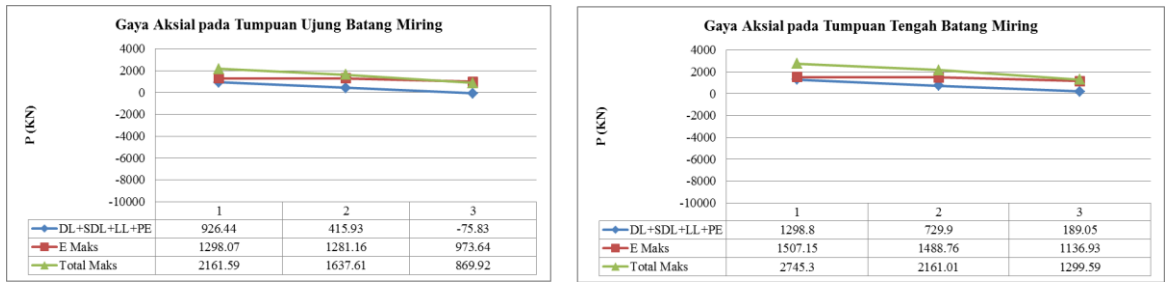


Gambar 4.59 Gaya Aksial Batang Tegak Rangka Sistem Transfer pada Variasi Jumlah Strand

Sumber : Data Olahan Penulis

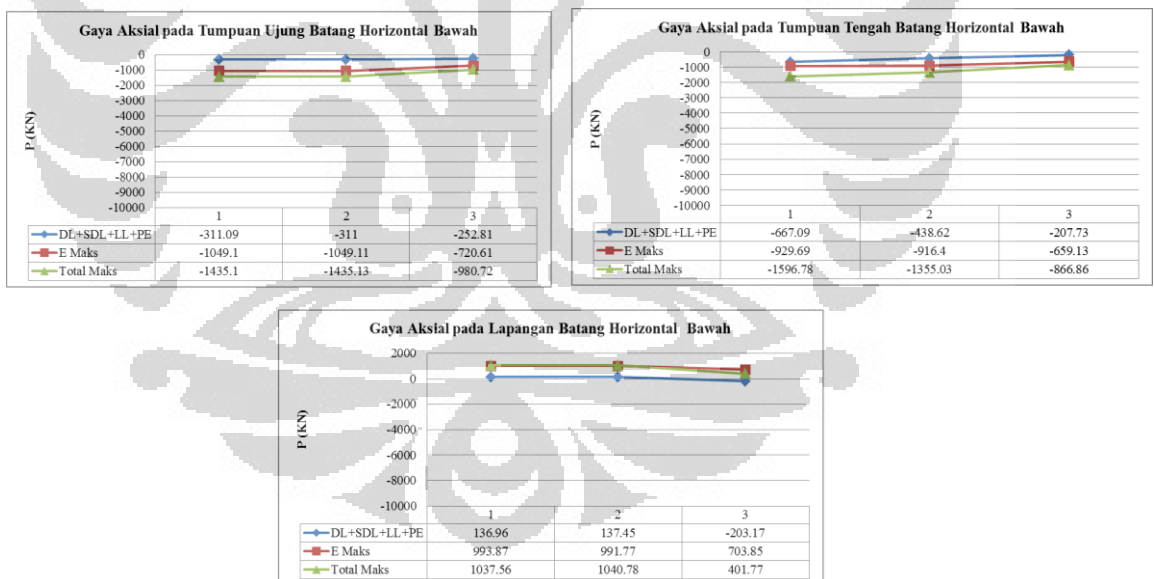
Dari gambar 4.57 di atas untuk seluruh model terlihat bahwa gaya aksial pada batang tegak yang terletak di tumpuan ujung dan tengah lebih besar diakibatkan oleh beban gravitasi yang terdiri dari beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, dan gaya prestress, sedangkan pada batang tegak di bagian lapangan terlihat lebih besar akibat gaya gempa.

Pada gambar 4.58 terlihat bahwa batang miring bagian tumpuan untuk semua model gaya aksial lebih dominan diakibatkan oleh beban gempa. Untuk bagian lapangan, model 2 dan 3 gaya aksial lebih dominan terjadi akibat beban gravitasi, sedangkan pada model 1 lebih dominan akibat beban gempa.



Gambar 4.60 Gaya Aksial Batang Miring Rangka Sistem Transfer pada Variasi Jumlah Strand

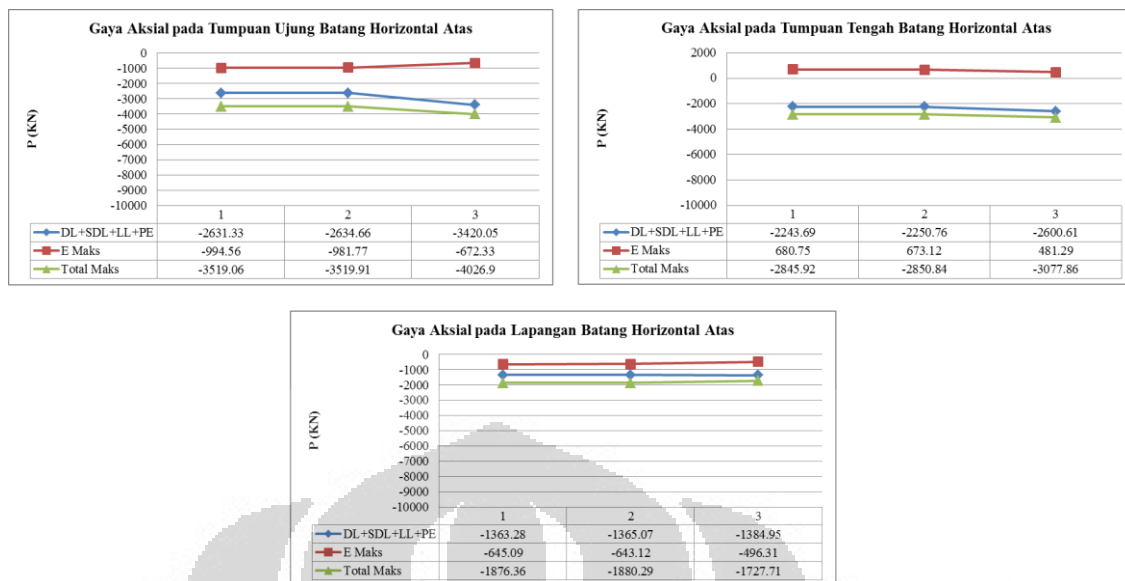
Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.61 Gaya Aksial Batang Horizontal Bawah Rangka Sistem Transfer pada Variasi Jumlah

Strand

Sumber : Data Olahan Penulis

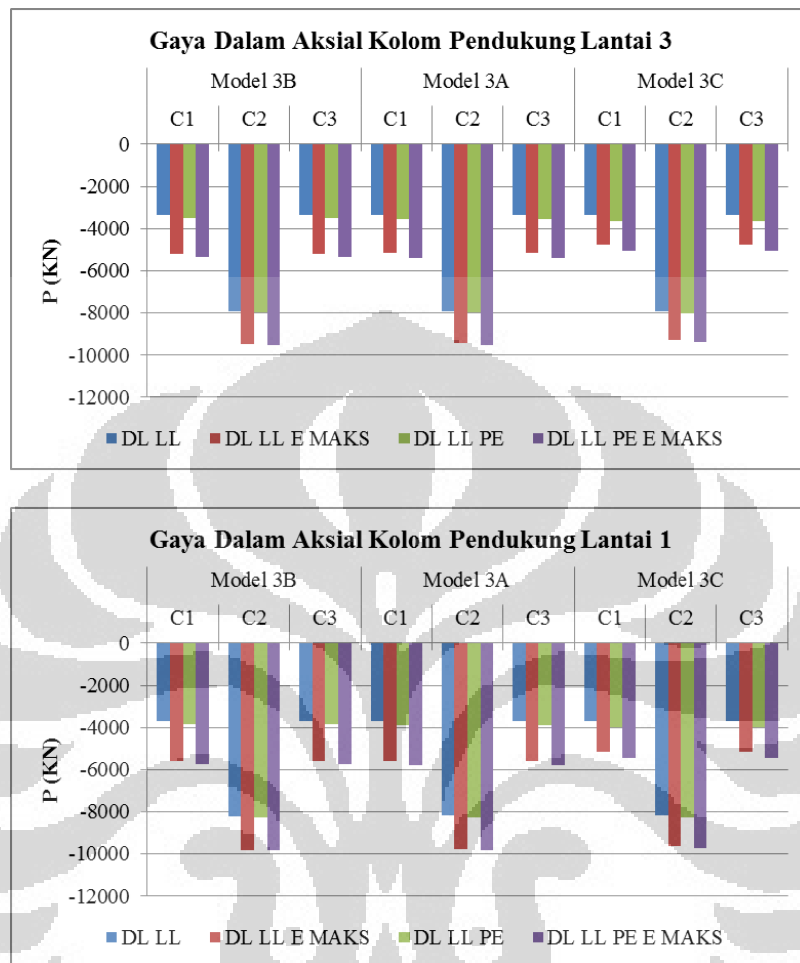


Gambar 4.62 Gaya Aksial Batang Horizontal Atas Rangka Sistem Transfer pada Variasi Jumlah Strand

Sumber : Data Olahan Penulis

Pada batang horizontal bawah seperti terlihat pada gambar 4.60 seluruh model terlihat bahwa gaya aksial, baik yang terletak di tumpuan maupun lapangan, lebih besar diakibatkan oleh beban gempa yang bekerja pada struktur. Sebaliknya pada gambar 4.61 terlihat bahwa batang horizontal atas gaya aksial lebih dominan diakibatkan oleh beban gravitasi.

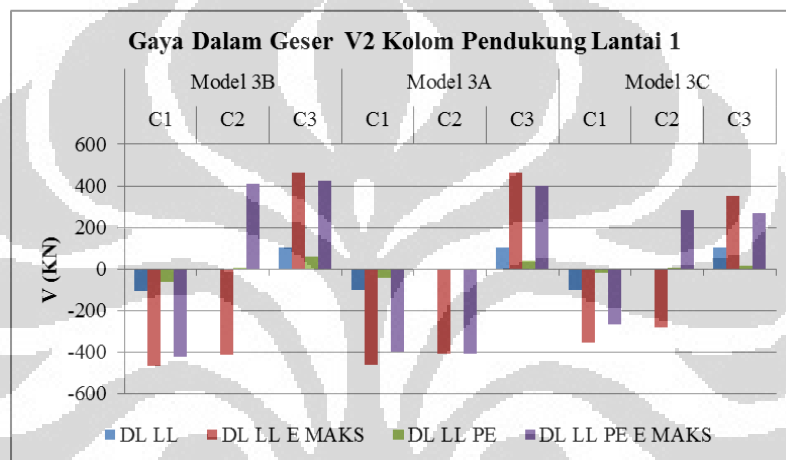
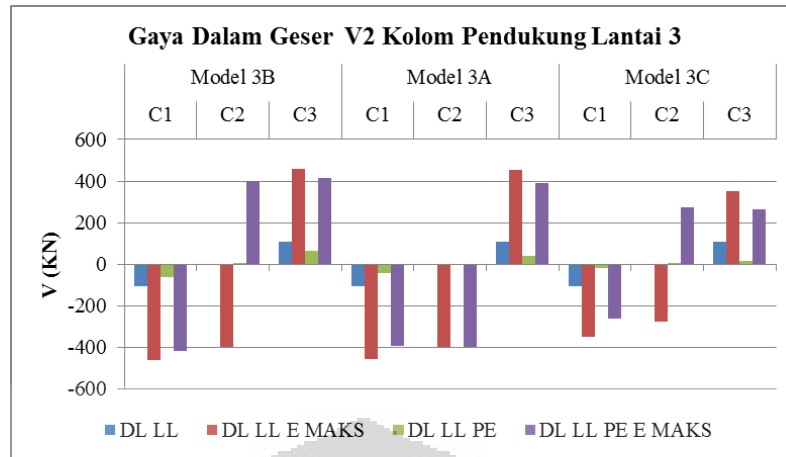
#### 4.2.3.4 Gaya dalam aksial dan geser kolom pendukung



Gambar 4.63 Gaya Dalam Aksial Kolom Pendukung Lantai 3 dan 1 pada Variasi Jumlah Strand

Sumber : Data Olahan Penulis

Berdasarkan grafik 4.62 di atas terlihat bahwa dengan meningkatnya jumlah strand yang digunakan pada sistem prategang luar yang dimodelkan sebagai ekuivalen tidak terjadi peningkatan gaya dalam aksial yang diterima kolom pendukung secara signifikan. Hal ini karena beban-beban gravitasi yang diterima kolom pendukung sama besarnya pada variasi jumlah strand ini sehingga tidak menambah gaya aksial pada kolom.

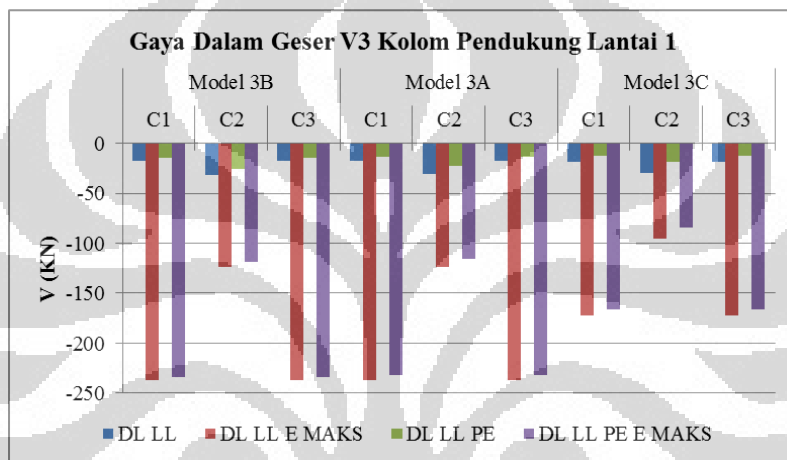
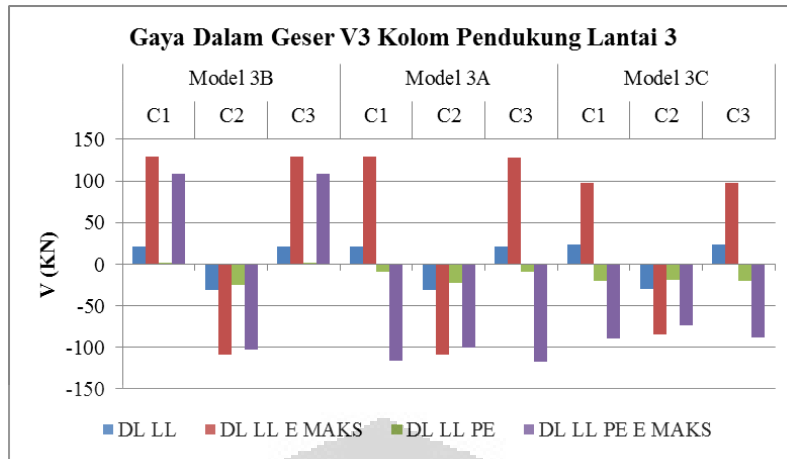


Gambar 4.64 Gaya Dalam Geser Arah X Kolom Pendukung Lantai 3 dan 1 pada Variasi Jumlah Strand

Sumber : Data Olahan Penulis

Pada gambar 4.63 dan 4.64 terlihat bahwa gaya geser kolom pendukung pada model 3 mengalami penurunan.



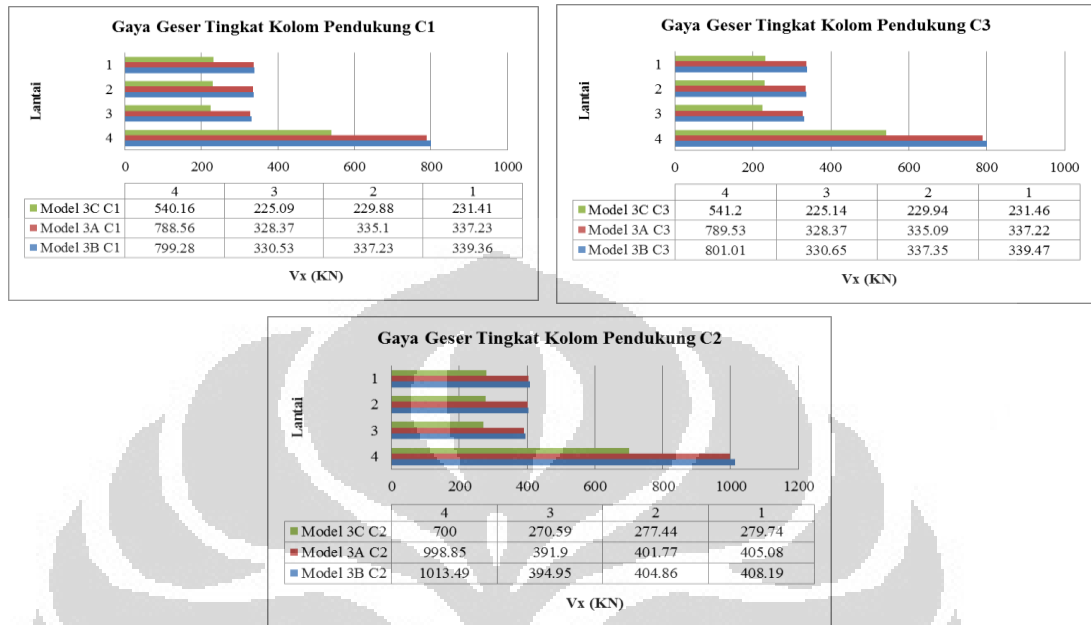


Gambar 4.65 Gaya Dalam Geser Arah Y Kolom Pendukung Lantai 3 dan 1 pada Variasi Jumlah

Strand

Sumber : Data Olahan Penulis

#### 4.2.3.5 Gaya geser tingkat struktur transfer

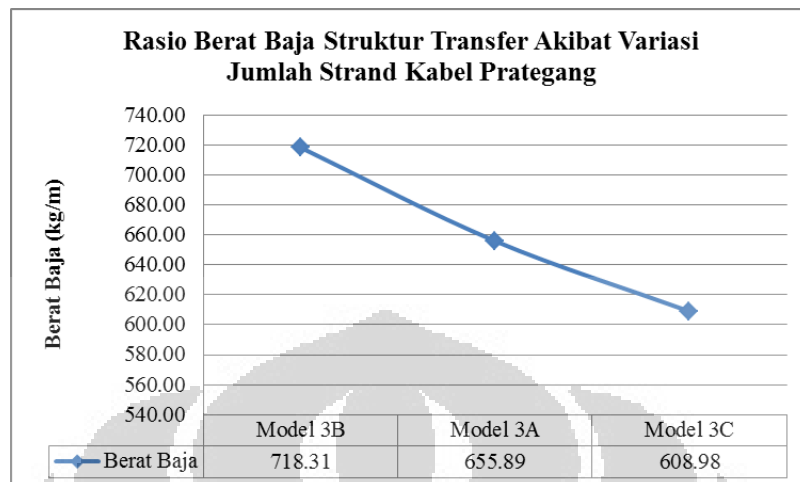


Gambar 4.66 Gaya Geser Tingkat Kolom Pendukung Struktur Transfer pada Variasi Jumlah Strand

Sumber : Data Olahan Penulis

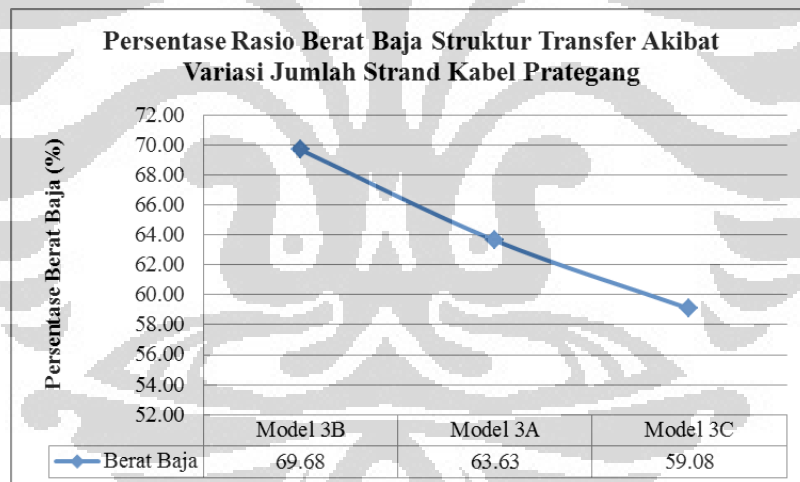
Dari gambar di atas terlihat bahwa ada kemiripan nilai gaya geser pada kolom C1 dan C3 karena keduanya merupakan kolom bagian tumpuan ujung. Nilai terbesar terjadi pada kolom pada bagian tumpuan tengah. Ternyata penambahan jumlah strand sistem prategang luar menyebabkan peningkatan gaya geser yang masuk ke dalam sistem struktur transfer ini. Hal ini disebabkan oleh permodelan sistem prategang luar sebagai beban terpusat ekuivalen sehingga gaya yang geser yang terjadi pun bertambah.

#### 4.2.3.6 Rasio berat baja struktur transfer



Gambar 4.67 Rasio Kebutuhan Rangka Baja pada Variasi Jumlah Lantai Bangunan

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.68 Persentase Kebutuhan Rangka Baja Pada Variasi Jumlah Strand Dibandingkan dengan Struktur Tanpa Sistem Prategang

Sumber : Data Olahan Penulis

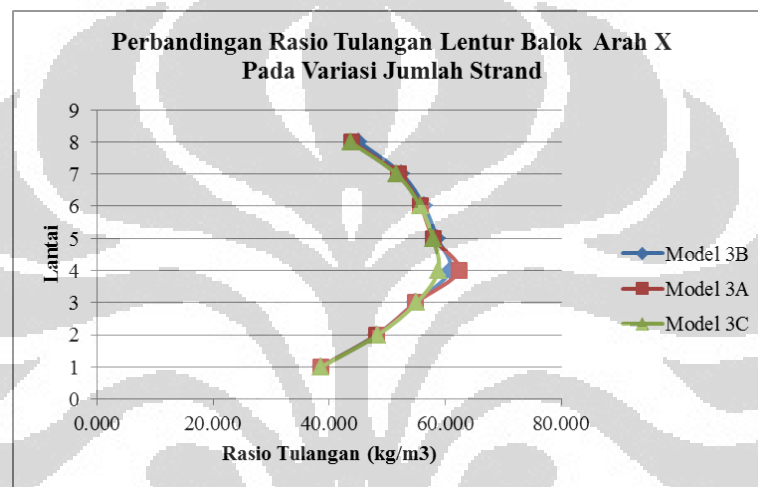
Dari gambar di atas terlihat bahwa nilai kebutuhan berat baja dari struktur transfer semakin berkurang dengan adanya penambahan strand dari sistem prategang luar. Dari hasil ini dapat dikatakan bahwa penambahan jumlah strand pada sistem prategang luar dapat meningkatkan efektifitas penggunaan profil rangka baja untuk sistem transfer itu sendiri yaitu dapat digunakannya profil

baja dengan penampang yang lebih kecil. Hal ini juga terlihat pada gambar 4.68 yang menunjukkan persentasi kebutuhan profil pada struktur dibandingkan dengan kebutuhan profil pada bangunan tanpa menggunakan sistem prategang luar.

#### 4.2.4 Rasio Penulangan dan Rasio Berat Baja Struktur Transfer

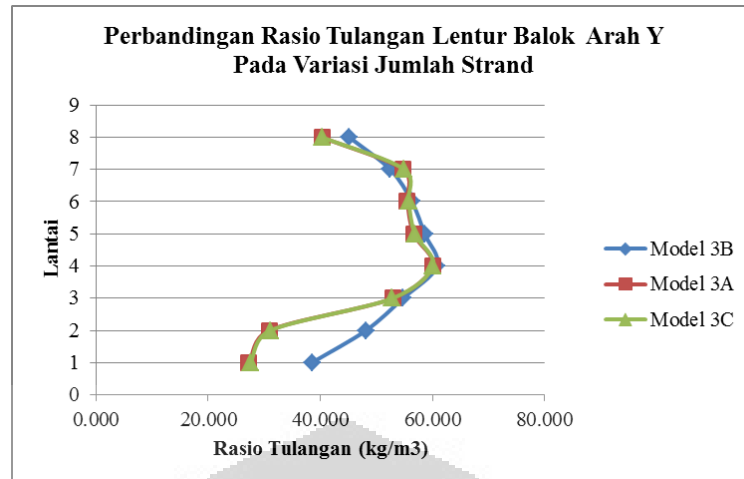
##### 4.2.4.1 Rasio kebutuhan tulangan

###### a. Rasio kebutuhan tulangan balok



Gambar 4.69 Rasio Tulangan Lentur Balok untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang Arah Sumbu X Bangunan

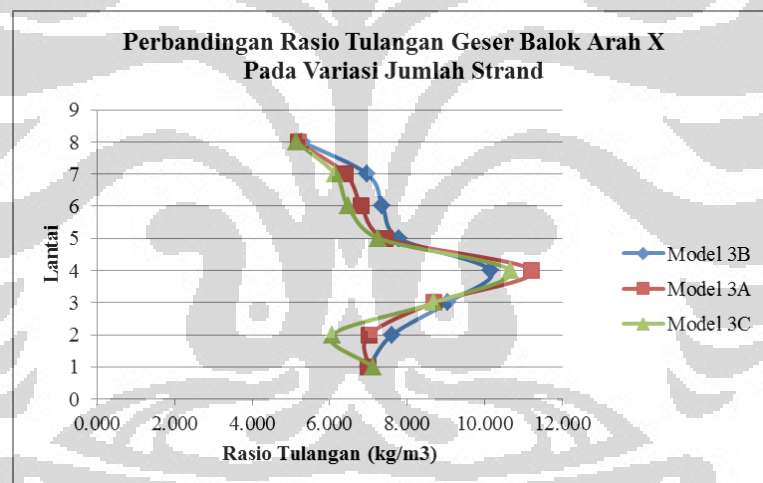
Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.70 Rasio Tulangan Lentur Balok untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang

Arah Sumbu Y Bangunan

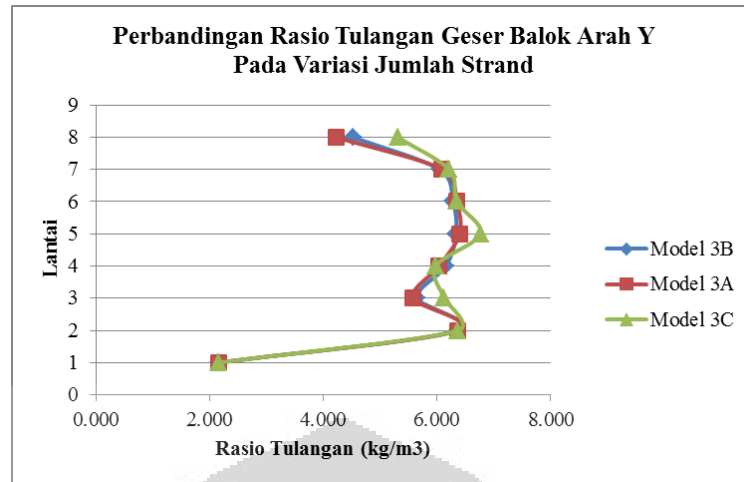
Sumber : Data Olahan Penulis



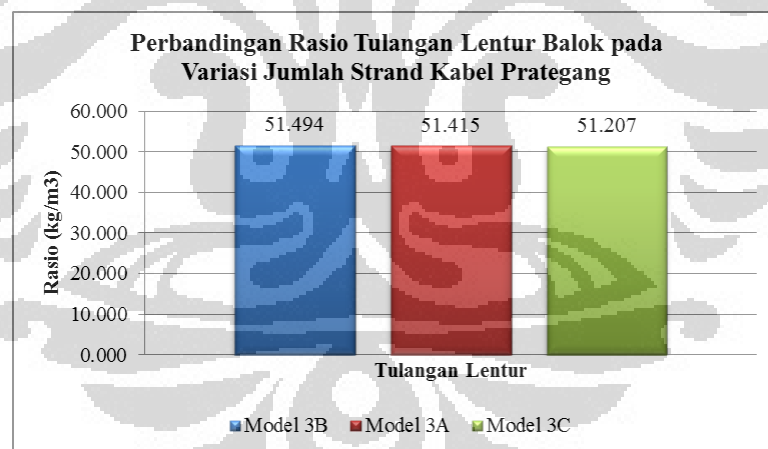
Gambar 4.71 Rasio Tulangan Geser Balok untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang

Arah Sumbu X Bangunan

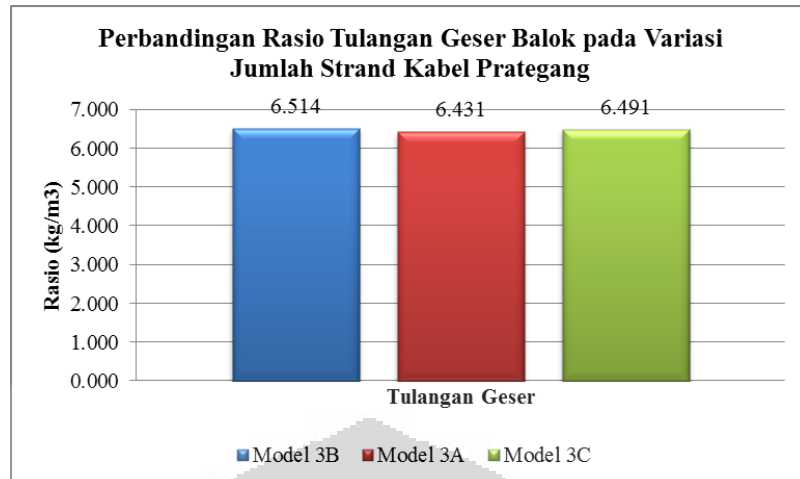
Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.72 Rasio Tulangan Geser Balok untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang  
Arah Sumbu Y Bangunan  
Sumber : Data Olahan Penulis



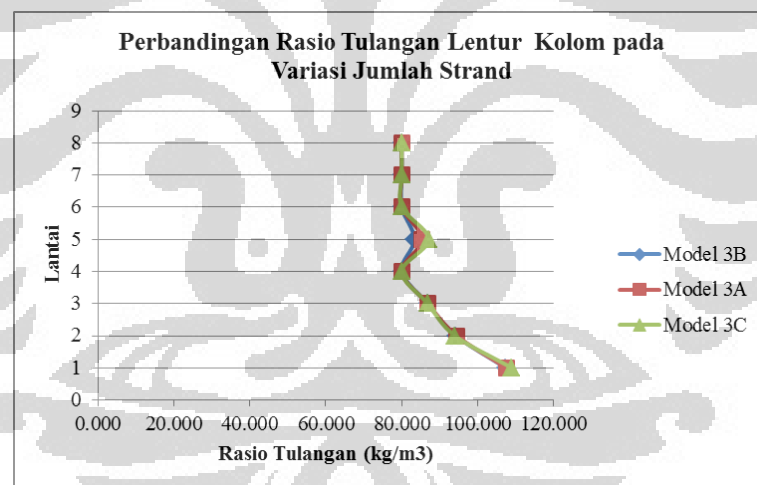
Gambar 4.73 Rasio Total Tulangan Lentur Balok untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel  
Prategang  
Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.74 Rasio Total Tulangan Geser Balok untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang

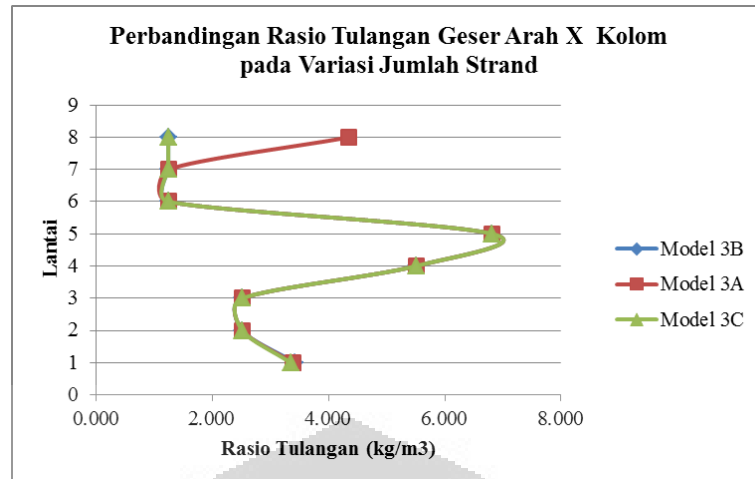
Sumber : Data Olahan Penulis

b. Rasio kebutuhan tulangan kolom



Gambar 4.75 Rasio Tulangan Lentur Kolom untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang

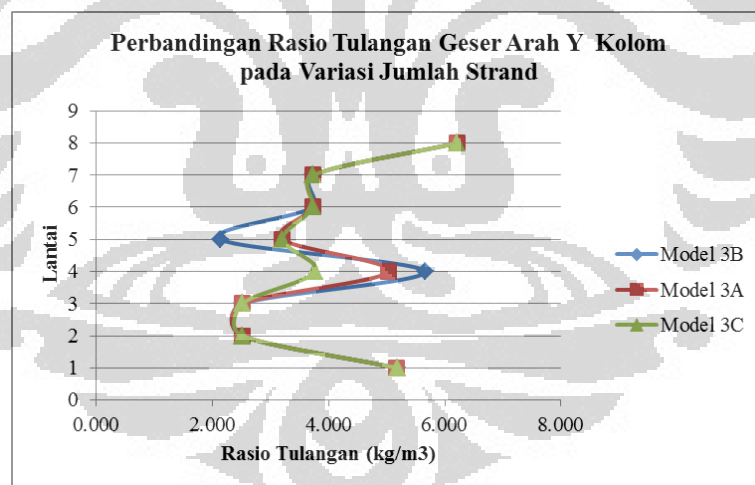
Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.76 Rasio Tulangan Geser Kolom untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang

Arah Sumbu X Bangunan

Sumber : Data Olahan Penulis

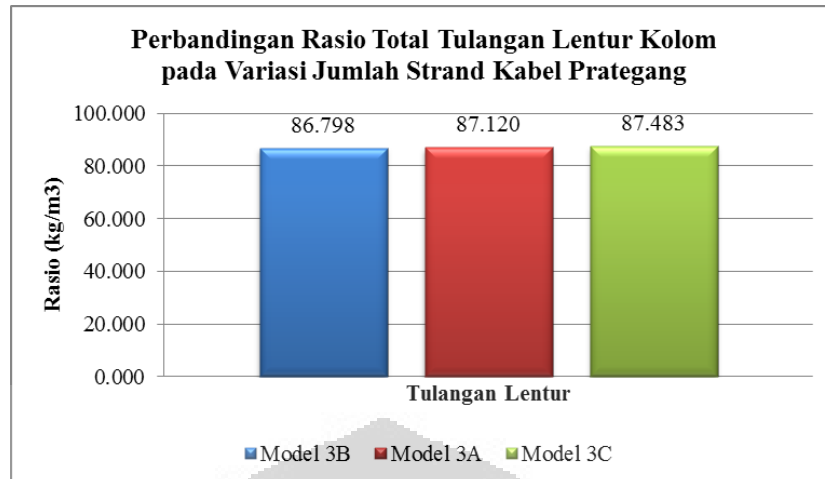


Gambar 4.77 Rasio Tulangan Geser Kolom untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang

Arah Sumbu Y Bangunan

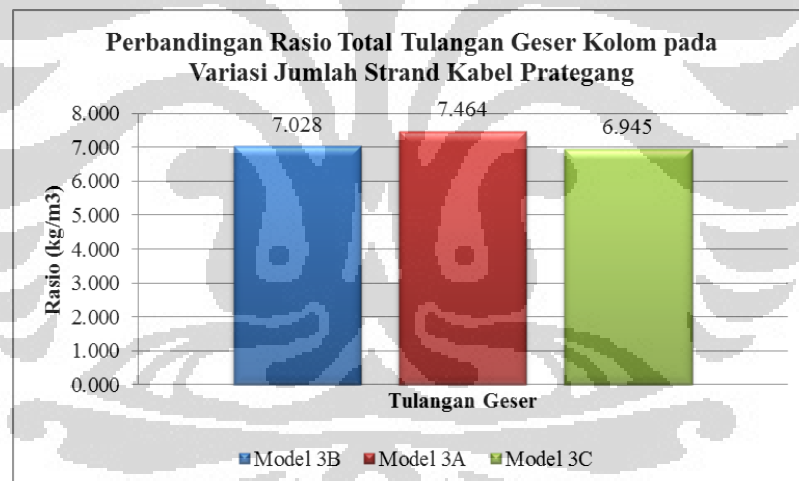
Sumber : Data Olahan Penulis





Gambar 4.78 Rasio Total Tulangan Lentur Kolom untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang

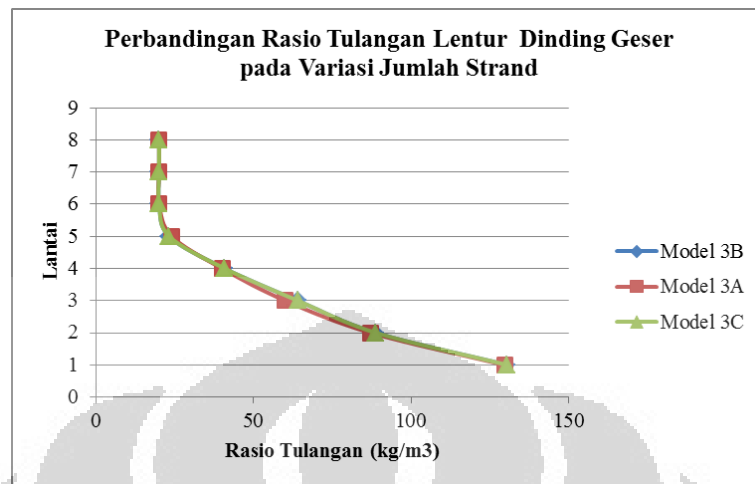
Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.79 Rasio Total Tulangan Geser Kolom untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang

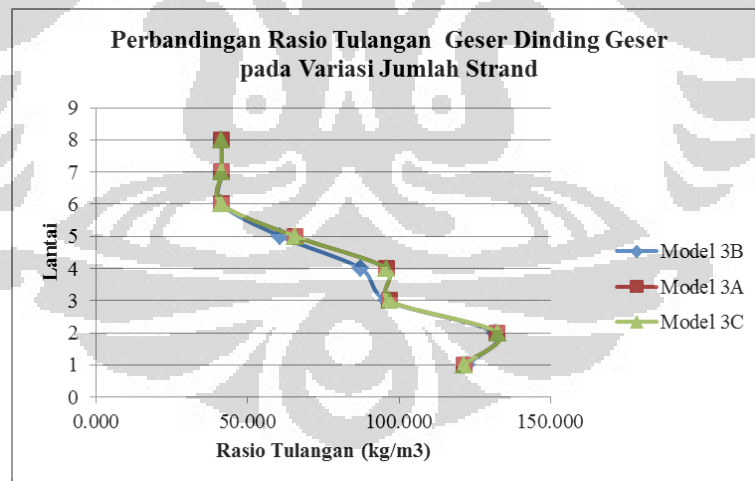
Sumber : Data Olahan Penulis

c. Rasio kebutuhan tulangan dinding geser



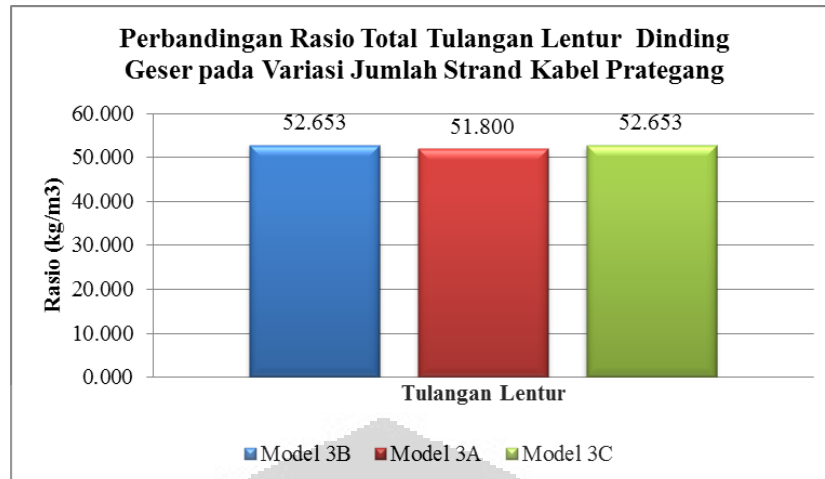
Gambar 4.80 Rasio Tulangan Lentur Dinding Geser untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang

Sumber : Data Olahan Penulis



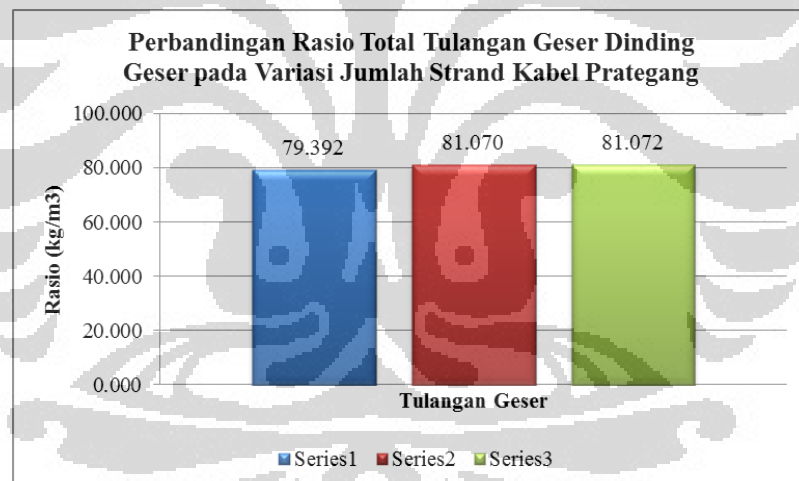
Gambar 4.81 Rasio Tulangan Geser Dinding Geser untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.82 Rasio Total Tulangan Lentur Dinding Geser untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang

Sumber : Data Olahan Penulis

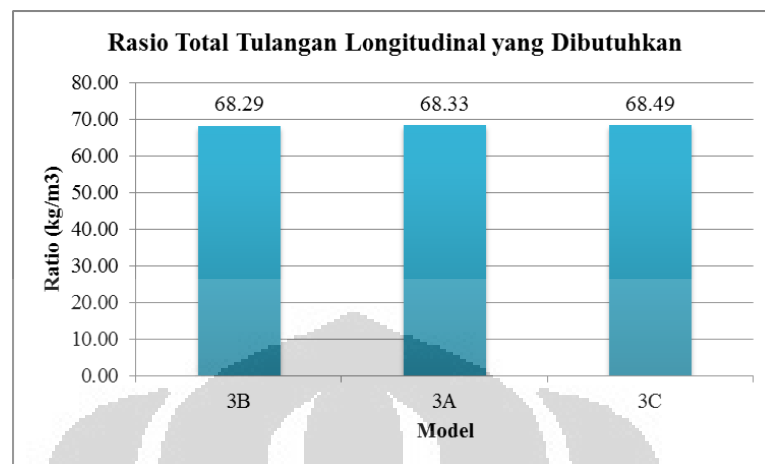


Gambar 4.83 Rasio Total Tulangan Lentur Dinding Geser untuk Model Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang

Sumber : Data Olahan Penulis

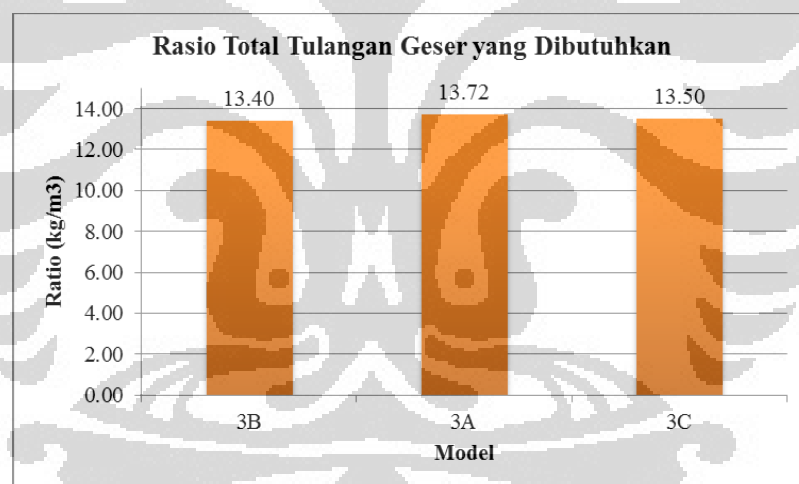
Dari hasil kebutuhan tulangan yang dihasilkan baik pada balok induk, kolom, dan shearwall menunjukkan bahwa pada variasi jumlah strand kabel prategang ratio yang dihasilkan untuk ketiga permodelan tersebut menunjukkan nilai yang relatif sama. Hal tersebut berhubungan dengan karakteristik dinamik struktur yang relatif sama pada ketiga permodelan dimana gaya geser yang sama menyebabkan kebutuhan tulangan yang relatif sama.

d. Rasio total kebutuhan pada struktur



Gambar 4.84 Ratio Kebutuhan Tulangan Longitudinal Total pada Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang

Sumber : Data Olahan Penulis



Gambar 4.85 Ratio Kebutuhan Tulangan Transversal Total pada Variasi Jumlah Strand Kabel Prategang

Sumber : Data Olahan Penulis

Dari gambar di atas dapat disimpulkan bahwa kebutuhan tulangan pada bangunan yang sama namun dengan jumlah strand kabel prategang yang berbeda tidak mengalami perubahan yang signifikan.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal berikut :

1. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan terhadap pengaruh beban gempa baik gempa horizontal maupun gempa vertikal pada struktur yang dianalisa. Dari hasil yang telah didapat struktur mampu menahan beban gempa tersebut. Selain itu, untuk menjamin bahwa struktur transfer tidak mengalami keruntuhan terlebih dahulu, struktur transfer didesain dengan memperhitungkan faktor kuat lebih gempa  $f_2$ . Dari hasil penelitian tersebut struktur transfer mampu menahan gaya gempa yang telah dikalikan faktor kuat lebih  $f_2$ .
2. Pada permodelan dengan variasi jumlah tingkat terdapat perbedaan periode getar alami untuk masing-masing bangunan. Bangunan dengan massa yang lebih kecil periode getarnya lebih kecil, sebaliknya bangunan dengan massa bangunan yang lebih besar periode getar alami bangunan pun semakin besar. Untuk bangunan dengan jumlah tingkat yang lebih banyak memiliki periode yang lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa bangunan yang lebih tinggi lebih fleksibel.
3. Pada variasi jumlah strand pada kabel prategang yang dimodelkan sebagai beban karakteristik dinamik yang ditunjukkan masing-masing bangunan relatif sama karena massa dan kekakuan bangunan relatif sama sehingga perilaku dinamikanya sama.
4. *Displacement* yang terjadi pada bangunan dengan jumlah tingkat yang lebih banyak lebih besar dibandingkan dengan bangunan dengan jumlah tingkat yang lebih sedikit. Selain itu dengan adanya perkuatan berupa sistem prategang luar displacement vertikal yang terjadi akan semakin kecil. Semakin besar perkuatan yang diberikan maka displacement vertikal yang terjadi pada struktur akan semakin kecil.

5. Peningkatan gaya geser, gaya dalam, dan *displacement* berbanding lurus dengan peningkatan jumlah lantainya.
6. Gaya-gaya yang ditransfer semakin meningkat seiring dengan penambahan jumlah lantai akibat terjadinya kenaikan beban.
7. Dari variasi jumlah lantai, diketahui bahwa semakin tinggi jumlah lantainya, maka kebutuhan akan tulangan juga semakin tinggi. Rasio tulangan yang dibutuhkan akan meningkat pada struktur dengan gaya geser dasar yang lebih besar. Pada variasi jumlah strand kabel prategang kebutuhan tulangan dapat disimpulkan relatif sama. Rasio tulangan yang dibutuhkan sebanding dengan peningkatan gaya geser dasar struktur.
8. Penggunaan sistem prategang luar dengan jumlah strand yang lebih banyak ditinjau pada bangunan dengan massa dan kekakuan yang sama dapat meningkatkan efektifitas penggunaan profil baja pada sistem transfer. Hal ini terlihat dari dimensi profil baja yang semakin kecil yang dibutuhkan pada struktur dengan jumlah strand pada sistem prategang luarnya lebih banyak.
9. Penggunaan sistem prategang luar tidak selamanya dapat meningkatkan efektifitas penggunaan profil baja pada sistem transfer, khususnya pada bangunan bertingkat rendah. Hal ini terlihat dari kebutuhan profil rangka baja yang lebih banyak pada bangunan 4 lantai dibandingkan dengan profil yang dibutuhkan pada bangunan 6 lantai.

## 5.2 Saran

1. Dari penelitian yang telah dilakukan maka sebaiknya penggunaan sistem prategang pada struktur dipertimbangkan dengan baik karena tidak selalu efektif dalam penggunaannya, misalnya pada bangunan bertingkat rendah. Diperlukan perhitungan yang matang agar penggunaan sistem prategang ini dapat menguntungkan dan meningkatkan kinerja struktur.
2. Untuk lebih mengetahui perilaku sistem prategang lebih baik lagi sebaiknya dalam melakukan permodelan sistem prategang luar ini dimodelkan sebagai elemen kabel.
3. Untuk mengetahui kinerja struktur transfer pada gaya gempa yang cukup besar sebaiknya dilakukan analisis secara non-linear.

## DAFTAR PUSTAKA

- AISC Manual of Steel Construction LRFD Design.
- Chopra, Anil.K. *Dynamics of Structures 2<sup>nd</sup> Edition*. 2000. New Jersey: Prantice Hall.
- Guangxi Liugong Group Co.,LTD. *OVM Prestressing System*. January 2<sup>nd</sup>, 2012.  
<http://www.ovmchina.com>
- Li, J.H., Su, R.K.L. and Chandler, A.M. 2003. *Assessment of Low-rise Building with Transfer Beam under Seismic Forces*. *Engineering Structures* 25(12), p.1537-1549.
- Naeim, Farzad. *The Seismic Design Handbook*.. 2000. California: ICC.
- Paulay, T. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*.USA: John Willey and Sons.
- SNI-03-1726-2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*.
- SNI-03-1729-2002. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*.
- SNI-03-2847-2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*.
- Universitas Indonesia (2008). *Pengantar penulisan ilmiah*.



# LAMPIRAN



## Lampiran 1. Pengecekan Karakteristik Dinamik Bangunan 4 Lantai (Model 1)

## a. Periode Getar

Mode	Period	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	0.44	82.70	0.00	0.29	82.70	0.00	0.29
2	0.30	0.00	84.47	0.00	82.70	84.47	0.29
3	0.19	0.19	0.00	82.76	82.88	84.47	83.05
4	0.16	0.00	4.40	0.00	82.88	88.86	83.05
5	0.11	10.48	0.00	0.00	93.36	88.86	83.05
6	0.11	0.00	1.12	0.00	93.36	89.99	83.05
7	0.09	0.00	0.05	0.00	93.36	90.04	83.05
8	0.09	0.89	0.00	0.03	94.25	90.04	83.09
9	0.08	0.39	0.00	5.56	94.64	90.04	88.65
10	0.08	0.00	0.78	0.00	94.64	90.82	88.65
11	0.08	0.00	3.77	0.00	94.64	94.58	88.65
12	0.07	0.19	0.00	0.05	94.83	94.58	88.70
13	0.07	0.00	0.14	0.00	94.83	94.72	88.70
14	0.07	0.89	0.00	0.00	95.72	94.72	88.70
15	0.07	0.89	0.00	0.97	96.61	94.72	89.67
16	0.07	0.00	0.02	0.00	96.61	94.74	89.67
17	0.06	0.65	0.00	0.12	97.26	94.74	89.79
18	0.06	0.01	0.00	0.36	97.27	94.74	90.15
19	0.06	0.05	0.00	0.09	97.32	94.74	90.23
20	0.06	0.00	1.79	0.00	97.32	96.52	90.23

Pembatasan :

$$T_1 < \zeta_n$$

**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

$$T_1 = 4 \cdot 0.18 = 0,72 \text{ (Memenuhi)}$$

## Lampiran 1. (lanjutan)

## b. Kinerja Struktur berdasarkan batas ultimate dan batas layan

Menurut SNI 03-1726-2002 pasal 8.1.2, untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan, simpangan antar tingkat yang dihitung tidak boleh melebihi  $R \times 0,03 \times$  tinggi tingkat yang ditinjau atau 30 mm, bergantung mana yang nilainya terkecil.

$$\Delta_i < 0,03/R \times h_i$$

Dimana :

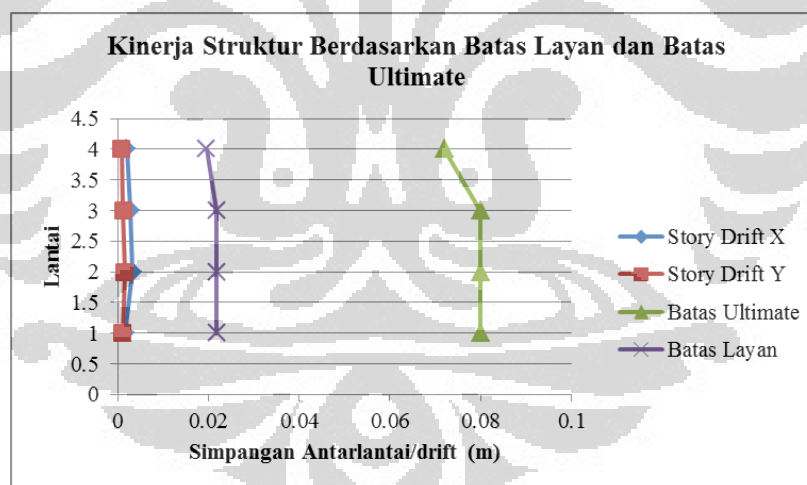
H = tinggi tingkat yang bersangkutan

R = reduksi gempa

Atau 30 mm.

Sedangkan untuk memenuhi kinerja batas ultimate gedung, simpangan antar tingkat yang dihitung tidak boleh melebihi  $0,02 \times$  tinggi tingkat yang ditinjau.

$$\Delta_i < 0,02 \times h_i$$



## Lampiran 1. (lanjutan)

c. Gaya Geser Struktur ( $V_{dinamik} \geq 0,8 V_{statik}$ )

GAYA GESER TINGKAT							Vd>0.8Vs
STORY	Vx			Vy			
	VStatik	0.8 VStatik	VDinamik	VStatik	0.8 VStatik	VDinamik	
STORY4	1050.446	840.357	922.2	1050.446	840.357	875.46	OK
STORY3	2033.520	1626.816	1850.98	2033.520	1626.816	1821.77	OK
STORY2	2337.988	1870.391	2155.62	2337.988	1870.391	2168.93	OK
STORY1	2490.222	1992.178	2271.87	2490.222	1992.178	2315.6	OK
BASE	2490.222	1992.178	2271.87	2490.222	1992.178	2315.6	OK



## Lampiran 2. Pengecekan Karakteristik Dinamik Bangunan 6 Lantai (Model 2)

## a. Periode Getar

Mode	Period	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	0.71	82.58	0.00	0.14	82.58	0.00	0.14
2	0.48	0.00	82.33	0.00	82.58	82.33	0.14
3	0.32	0.01	0.00	80.03	82.58	82.33	80.17
4	0.18	0.00	9.30	0.00	82.58	91.62	80.17
5	0.18	10.22	0.00	0.13	92.81	91.62	80.31
6	0.13	0.00	1.09	0.00	92.81	92.72	80.31
7	0.10	2.02	0.00	5.38	94.83	92.72	85.69
8	0.10	0.00	0.31	0.00	94.83	93.02	85.69
9	0.10	0.72	0.00	5.99	95.55	93.02	91.68
10	0.09	0.00	1.28	0.00	95.55	94.30	91.68
11	0.08	1.02	0.00	0.18	96.57	94.30	91.86
12	0.08	0.07	0.00	0.78	96.64	94.30	92.64

Pembatasan :

$$T_1 < \zeta n$$

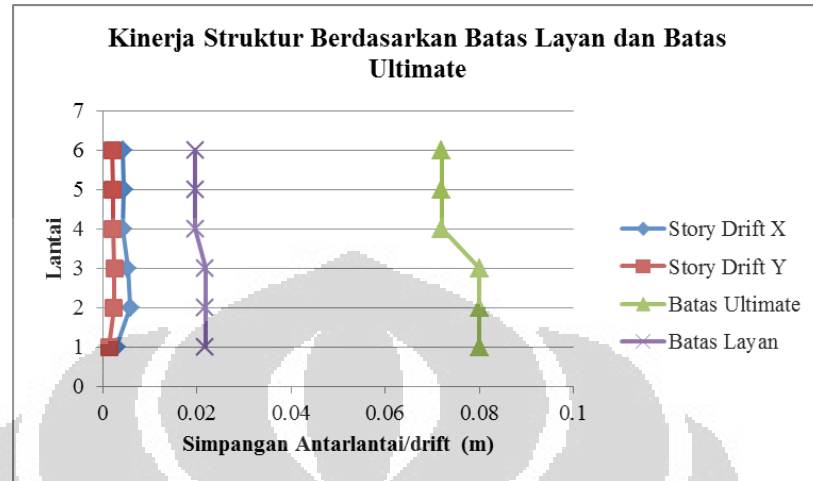
**Tabel 8** Koefisien  $\zeta$  yang membatasi waktu getar alami Fundamental struktur gedung

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

$$T_1 = 6 \cdot 0.18 = 1,08 \text{ (Memenuhi)}$$

## Lampiran 2. (lanjutan)

## b. Kinerja Struktur berdasarkan batas ultimate dan batas layan

c. Gaya Geser Struktur ( $V_{dinamik} \geq 0,8 V_{statik}$ )

GAYA GESER TINGKAT							Vd>0.8Vs
STORY	Vx			Vy			
	VStatik	0.8 VStatik	VDinamik	VStatik	0.8 VStatik	VDinamik	
STORY6	1126.778	901.422	1081.83	1126.778	901.422	1035.87	OK
STORY5	2384.793	1907.835	2199.06	2384.793	1907.835	2181.19	OK
STORY4	3422.552	2738.041	3074.07	3422.552	2738.041	3091.3	OK
STORY3	4177.707	3342.166	3747.82	4177.707	3342.166	3733.62	OK
STORY2	4414.845	3531.876	3981.99	4414.845	3531.876	3962.53	OK
STORY1	4533.414	3626.731	4066.81	4533.414	3626.731	4051.92	OK
BASE	4533.414	3626.731	4066.81	4533.414	3626.731	4051.92	OK

Vd = Vdinamik

Vs=Vstatik

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

## a. Periode Getar

Mode	Period	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	0.99	80.18	0.00	0.08	80.18	0.00	0.08
2	0.70	0.00	78.99	0.00	80.18	78.99	0.08
3	0.48	0.01	0.00	76.62	80.18	78.99	76.70
4	0.28	12.01	0.00	0.03	92.20	78.99	76.73
5	0.22	0.00	13.11	0.00	92.20	92.10	76.73
6	0.15	0.00	1.38	0.00	92.20	93.49	76.73
7	0.13	0.78	0.00	14.30	92.98	93.49	91.03
8	0.12	2.74	0.00	0.89	95.72	93.49	91.91
9	0.12	0.00	0.91	0.00	95.72	94.39	91.91
10	0.09	0.78	0.00	0.01	96.50	94.39	91.92
11	0.09	0.00	0.63	0.00	96.50	95.02	91.92
12	0.09	0.00	0.15	0.00	96.50	95.16	91.92

Pembatasan :

$$T_1 < \zeta \cdot n$$

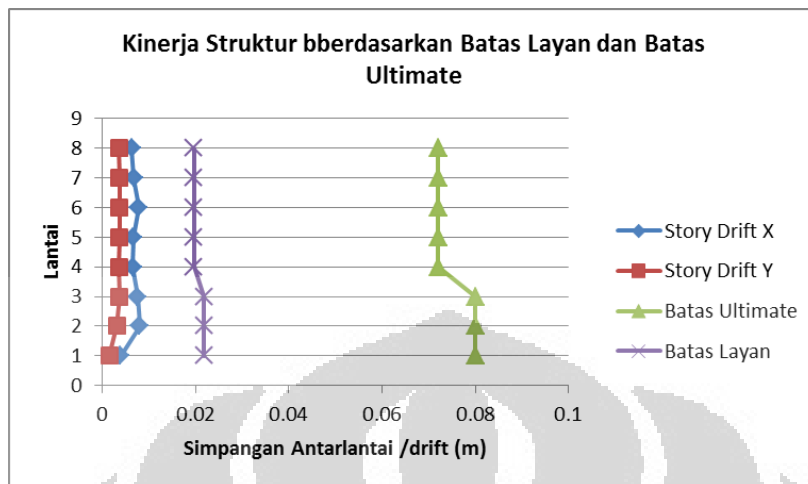
**Tabel 8 Koefisien  $\zeta$  yang membatasi waktu getar alami Fundamental struktur gedung**

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

$$T_1 = 8 \cdot 0.18 = 1,44 \text{ (Memenuhi)}$$

## Lampiran 3. (lanjutan)

## b. Kinerja Struktur berdasarkan batas ultimate dan batas layan

c. Gaya Geser Struktur ( $V_{dinamik} \geq 0,8 V_{statik}$ )

STORY	GAYA GESER TINGKAT						Vd>0.8Vs
	Vx			Vy			
	VStatik	0.8 VStatik	VDinamik	VStatik	0.8 VStatik	VDinamik	
STORY8	1257.250	1005.800	1179	1257.250	1005.800	1147.79	OK
STORY7	2685.609	2148.487	2471.18	2685.609	2148.487	2449.97	OK
STORY6	3919.192	3135.353	3516.41	3919.192	3135.353	3510.45	OK
STORY5	4971.112	3976.890	4361.8	4971.112	3976.890	4356.12	OK
STORY4	5852.935	4682.348	5060.22	5852.935	4682.348	5039.47	OK
STORY3	6488.030	5190.424	5596.99	6488.030	5190.424	5532.4	OK
STORY2	6689.141	5351.313	5787.85	6689.141	5351.313	5714.68	OK
STORY1	6789.696	5431.757	5854.5	6789.696	5431.757	5783.23	OK
BASE	6789.696	5431.757	5854.5	6789.696	5431.757	5783.23	OK

Keterangan :

Vd =VDinamik

Vs=Vstatik

## Lampiran 4. Pengecekan Karakteristik Dinamik Bangunan 8 Lantai (Model 3B)

## a. Periode Getar

Mode	Period	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	0.99	80.19	0.00	0.07	80.19	0.00	0.07
2	0.70	0.00	79.00	0.00	80.19	79.00	0.07
3	0.48	0.01	0.00	76.63	80.19	79.00	76.70
4	0.28	12.01	0.00	0.03	92.21	79.00	76.73
5	0.22	0.00	13.11	0.00	92.21	92.11	76.73
6	0.15	0.00	1.38	0.00	92.21	93.49	76.73
7	0.13	0.77	0.00	14.33	92.98	93.49	91.06
8	0.12	2.74	0.00	0.86	95.72	93.49	91.92
9	0.12	0.00	0.91	0.00	95.72	94.40	91.92
10	0.09	0.78	0.00	0.01	96.51	94.40	91.93
11	0.09	0.00	0.62	0.00	96.51	95.02	91.93
12	0.09	0.00	0.15	0.00	96.51	95.17	91.93

Pembatasan :

$$T_1 < \zeta n$$

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

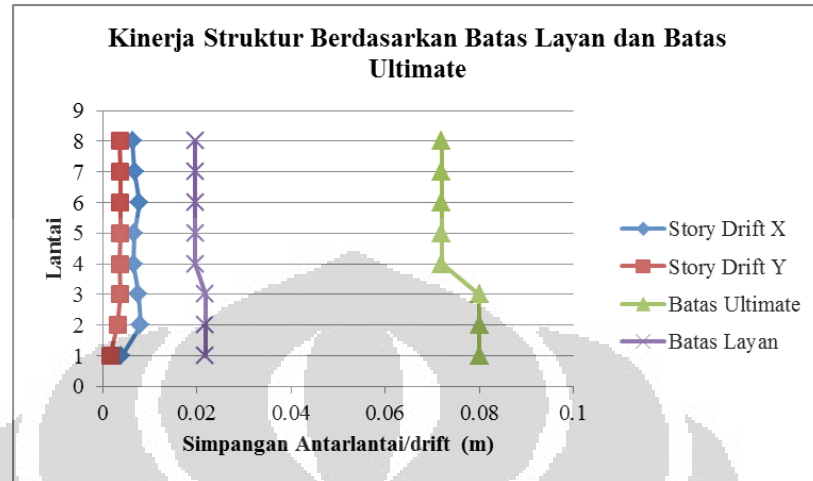
Wilayah Gempa	$\zeta$
1	0.20
2	0.19
3	0.18
4	0.17
5	0.16
6	0.15

$$T_1 = 8 \cdot 0.18 = 1,44 \text{ (Memenuhi)}$$



## Lampiran 3. (lanjutan)

## b. Kinerja Struktur berdasarkan batas ultimate dan batas layan

c. Gaya Geser Struktur ( $V_{dinamik} \geq 0,8 V_{statik}$ )

GAYA GESER TINGKAT							Vd>0.8Vs
STORY	Vx			Vy			
	VStatik	0.8 VStatik	VDinamik	VStatik	0.8 VStatik	VDinamik	
STORY8	1257.25	1005.80	1179.28	1257.25	1005.80	1147.93	OK
STORY7	2685.61	2148.49	2471.71	2685.61	2148.49	2450.30	OK
STORY6	3919.19	3135.35	3516.98	3919.19	3135.35	3510.95	OK
STORY5	4971.11	3976.89	4362.14	4971.11	3976.89	4356.70	OK
STORY4	5852.93	4682.35	5061.12	5852.93	4682.35	5040.63	OK
STORY3	6488.03	5190.42	5599.26	6488.03	5190.42	5534.38	OK
STORY2	6689.14	5351.31	5790.41	6689.14	5351.31	5716.81	OK
STORY1	6789.70	5431.76	5857.17	6789.70	5431.76	5785.41	OK
BASE	6789.70	5431.76	5857.17	6789.70	5431.76	5785.41	OK

Vd = Vdinamik

Vs=Vstatik

## Lampiran 5. Pengecekan Karakteristik Dinamik Bangunan 8 Lantai (Model 3C)

## a. Periode Getar

Mode	Period	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	0.99	80.17	0.00	0.08	80.17	0.00	0.08
2	0.70	0.00	79.01	0.00	80.17	79.01	0.08
3	0.48	0.01	0.00	76.63	80.19	79.01	76.71
4	0.28	12.00	0.00	0.03	92.19	79.01	76.74
5	0.22	0.00	13.09	0.00	92.19	92.10	76.74
6	0.15	0.00	1.37	0.00	92.19	93.47	76.74
7	0.13	0.77	0.00	14.31	92.96	93.47	91.04
8	0.12	2.75	0.00	0.86	95.72	93.47	91.91
9	0.12	0.00	0.91	0.00	95.72	94.38	91.91
10	0.09	0.78	0.00	0.01	96.50	94.38	91.92
11	0.09	0.00	0.65	0.00	96.50	95.03	91.92
12	0.09	0.00	0.14	0.00	96.50	95.17	91.92

Pembatasan :

$$T_1 < \zeta n$$

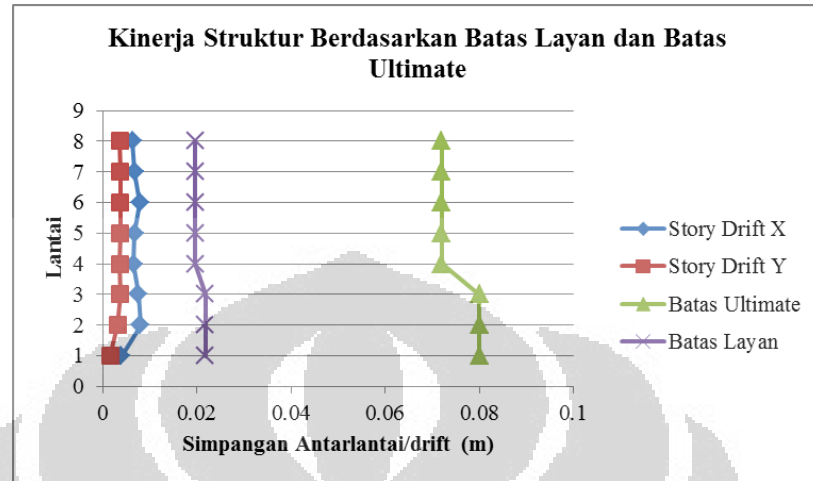
**Tabel 8 Koefisien  $\zeta$  yang membatasi waktu getar alami Fundamental struktur gedung**

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

$$T_1 = 8 \cdot 0.18 = 1,44 \text{ (Memenuhi)}$$

## Lampiran 5. (lanjutan)

## b. Kinerja Struktur berdasarkan batas ultimate dan batas layan

c. Gaya Geser Struktur ( $V_{dinamik} \geq 0,8 V_{statik}$ )

GAYA GESER TINGKAT							Vd>0.8Vs
STORY	V <sub>x</sub>			V <sub>y</sub>			
	V <sub>Statik</sub>	0.8 V <sub>Statik</sub>	V <sub>Dinamik</sub>	V <sub>Statik</sub>	0.8 V <sub>Statik</sub>	V <sub>Dinamik</sub>	
STORY8	1257.250	1005.800	1179.07	1257.250	1005.800	1147.84	OK
STORY7	2685.609	2148.487	2471.51	2685.609	2148.487	2450.33	OK
STORY6	3919.192	3135.353	3517.21	3919.192	3135.353	3511.31	OK
STORY5	4971.112	3976.890	4363.22	4971.112	3976.890	4357.43	OK
STORY4	5852.935	4682.348	5066.77	5852.935	4682.348	5046.06	OK
STORY3	6488.030	5190.424	5602.71	6488.030	5190.424	5538.7	OK
STORY2	6689.141	5351.313	5793.24	6689.141	5351.313	5720.87	OK
STORY1	6789.696	5431.757	5859.75	6789.696	5431.757	5789.36	OK
BASE	6789.696	5431.757	5859.75	6789.696	5431.757	5789.36	OK

V<sub>d</sub> = V<sub>dinamik</sub>V<sub>s</sub> = V<sub>statik</sub>

## Lampiran 6. Gaya Kolom Pendukung

## a. Model 1

Model 1					
Kolom	Story	Beban	P	V2	V3
C1	3	DL LL	-778.86	-14.67	-8.13
		E MAKS	-266.33	-28.59	-25.12
		DL LL E MAKS	-1045.19	-43.26	-33.26
		PE	-667.64	15.46	-20.39
		DL LL PE	-1446.5	0.79	-28.52
		DL LL PE E MAKS	-1712.83	29.26	-53.64
	1	DL LL	-986.62	-12.71	-6.7
		E MAKS	-301.97	-43.44	-29.08
		DL LL E MAKS	-1270.59	-56.15	-35.78
		PE	-820.9	13.5	-3.71
		DL LL PE	-1789.52	0.79	-10.41
		DL LL PE E MAKS	-2091.49	44.12	-39.49
C2	3	DL LL	-2200.65	0.02	-21.68
		E MAKS	-356.66	-29	-11.62
		DL LL E MAKS	-2557.31	29.03	-33.31
		PE	-1271.86	0.08	-8.51
		DL LL PE	-3472.51	0.1	-30.19
		DL LL PE E MAKS	-3829.17	29.11	-41.81
	1	DL LL	-2321.2	0.02	-21.68
		E MAKS	-374.74	-40.64	-24.68
		DL LL E MAKS	-2695.94	40.66	-46.37
		PE	-1392.4	0.08	-8.51
		DL LL PE	-3713.6	0.1	-30.19
		DL LL PE E MAKS	-4088.34	40.74	-54.87
C3	3	DL LL	-771.76	14.42	-8.14
		E MAKS	-265.59	28.55	-25.12
		DL LL E MAKS	-1037.34	42.96	-33.26
		PE	-658.07	-15.65	-20.22
		DL LL PE	-1429.83	-1.23	-28.36
		DL LL PE E MAKS	-1695.41	-29.65	-53.48
	1	DL LL	-961.6	12.5	-6.72
		E MAKS	-301.01	43.4	-29.11
		DL LL E MAKS	-1262.61	55.89	-35.83
		PE	-811.43	-13.65	-3.74
		DL LL PE	-1773.03	-1.15	-10.46
		DL LL PE E MAKS	-2074.04	-44.44	-39.56

## Lampiran 6. (lanjutan)

## b. Model 2

Model 2						
Kolom	Story	Beban	P	V2	V3	
C1	3	DL LL	-2036.65	-49.44	6.84	
		E MAKS	-904.85	-132.54	50.35	
		DL LL E MAKS	-2941.51	-181.99	57.2	
		PE	-203.26	41.6	-25.52	
		DL LL PE	-2239.92	-7.85	-18.68	
		DL LL PE E MAKS	-3144.77	-140.39	-73.61	
	1	DL LL	-2294.63	-46.06	-10.5	
		E MAKS	-960.73	-144.13	-95.38	
		DL LL E MAKS	-3255.36	-190.19	-105.87	
		PE	-201.83	38.77	1.96	
		DL LL PE	-2496.46	-7.29	-8.54	
		DL LL PE E MAKS	-3457.19	-151.42	-103.92	
	C2	3	DL LL	-4960.93	0.02	-26.78
			E MAKS	-852.76	141.05	-33.5
DL LL E MAKS			-5813.69	141.07	-60.28	
PE			-30.26	0.13	5.42	
DL LL PE			-4991.19	0.14	-21.36	
DL LL PE E MAKS			-5843.95	141.19	-54.86	
1		DL LL	-5149.29	0.02	-26.78	
		E MAKS	-881.01	153.51	-46.95	
		DL LL E MAKS	-6030.3	153.52	-73.73	
		PE	-30.26	0.13	5.42	
		DL LL PE	-5179.54	0.14	-21.36	
		DL LL PE E MAKS	-6060.55	153.65	-68.31	
C3		3	DL LL	-2034.96	49.29	6.96
			E MAKS	-903.81	132.6	50.26
	DL LL E MAKS		-2938.77	181.89	57.23	
	PE		-200.47	-41.37	-25.16	
	DL LL PE		-2235.42	7.92	-18.19	
	DL LL PE E MAKS		-3139.24	140.52	-73.08	
	1	DL LL	-2292.95	45.92	-10.51	
		E MAKS	-959.72	144.19	-95.42	
		DL LL E MAKS	-3252.67	190.11	-105.93	
		PE	-199.05	-38.56	1.93	
		DL LL PE	-2492	7.36	-8.58	
		DL LL PE E MAKS	-3451.72	151.55	-104	

## Lampiran 6. (lanjutan)

## c. Model 3A

Model 3A					
Kolom	Story	Beban	P	V2	V3
C1	3	DL LL	-3356.31	-106.26	21.47
		E MAKS	-1819.73	-349.78	107.41
		DL LL E MAKS	-5176.04	-456.04	128.88
		PE	-216.53	64.57	-31.17
		DL LL PE	-3572.84	-41.69	-9.7
		DL LL PE E MAKS	-5392.57	-391.47	-116.92
	1	DL LL	-3698.04	-102.39	-17.65
		E MAKS	-1897.03	-359.06	-219.27
		DL LL E MAKS	-5595.07	-461.45	-236.92
		PE	-215.18	62.18	4.48
		DL LL PE	-3913.22	-40.21	-13.17
		DL LL PE E MAKS	-5810.25	-399.27	-232.44
C2	3	DL LL	-7906.72	-0.04	-30.93
		E MAKS	-1547.9	-395.97	69.99
		DL LL E MAKS	-9454.62	-396.01	-108.55
		PE	-72.3	0.02	8.33
		DL LL PE	-7979.02	-0.02	-22.6
		DL LL PE E MAKS	-9526.92	-395.99	-100.21
	1	DL LL	-8177.94	-0.04	-30.93
		E MAKS	-1588.58	-409.15	-92.52
		DL LL E MAKS	-9766.53	-409.19	-123.46
		PE	-72.3	0.02	8.33
		DL LL PE	-8250.24	-0.02	-22.6
		DL LL PE E MAKS	-9828.83	-409.17	-115.12
C3	3	DL LL	-3357.01	106.33	21.27
		E MAKS	-1819.37	349.73	107.34
		DL LL E MAKS	-5176.38	456.06	128.61
		PE	-215.7	64.62	-31.12
		DL LL PE	-3572.71	41.71	-9.85
		DL LL PE E MAKS	-5392.08	391.44	-117
	1	DL LL	-3698.74	102.46	-17.64
		E MAKS	-1896.72	359.01	-219.34
		DL LL E MAKS	-5595.46	461.47	-236.98
		PE	-214.36	-62.23	4.47
		DL LL PE	-3913.1	40.23	-13.17
		DL LL PE E MAKS	-5809.81	399.24	-232.51

## Lampiran 6. (lanjutan)

## d. Model 3B

Model 3B							
Kolom	Story	Beban	P	V2	V3		
C1	3	DL LL	-3362.96	-107.87	21.33		
		E MAKS	-1831.88	-352.21	108.34		
		DL LL E MAKS	-5194.84	-460.07	129.68		
		PE	-143.55	44.13	-21.19		
		DL LL PE	-3506.51	-63.73	0.14		
		DL LL PE E MAKS	-5338.39	-415.94	108.49		
		DL LL	-3704.59	-103.94	-17.57		
	1	E MAKS	-1909.22	-361.44	-219.35		
		DL LL E MAKS	-5613.8	-465.37	-236.92		
		PE	-142.68	42.5	3.01		
		DL LL PE	-3847.27	-61.43	-14.55		
		DL LL PE E MAKS	-5756.48	-422.87	-233.91		
		C2	3	DL LL	-7941.62	-0.04	-31.21
				E MAKS	-1556.1	-399.05	-77.84
DL LL E MAKS	-9497.71			-399.09	-109.05		
PE	-39.35			0.12	5.54		
DL LL PE	-7980.97			0.08	-25.67		
DL LL PE E MAKS	-9537.06			399.11	-103.51		
DL LL	-8212.84			-0.04	-31.21		
1	E MAKS		-1596.78	-412.29	-92.74		
	DL LL E MAKS		-9809.62	-412.33	-123.95		
	PE		-39.35	0.12	5.54		
	DL LL PE		-8252.19	0.08	-25.67		
	DL LL PE E MAKS		-9848.97	412.35	-118.41		
	C3		3	DL LL	-3362.43	107.56	21.34
				E MAKS	-1831.23	352.21	108.22
DL LL E MAKS		-5193.66		459.77	129.56		
PE		-142.3		-43.78	-20.91		
DL LL PE		-3504.73		63.77	0.42		
DL LL PE E MAKS		-5335.96		415.98	108.65		
DL LL		-3704.07		103.64	-17.56		
1		E MAKS	-1908.61	361.45	-219.45		
		DL LL E MAKS	-5612.68	465.09	-237.01		
		PE	-141.44	-42.17	2.98		
		DL LL PE	-3845.5	61.48	-14.58		
		DL LL PE E MAKS	-5754.11	422.92	-234.03		

## Lampiran 6. (lanjutan)

## e. Model 3C

Model 3C							
Kolom	Story	Beban	P	V2	V3		
C1	3	DL LL	-3356.1	-106.64	23.13		
		E MAKS	-1403.4	-244.33	74.71		
		DL LL E MAKS	-4768.52	-350.97	97.84		
		PE	-292.29	88.51	-43.42		
		DL LL PE	-3657.42	-18.13	-20.29		
		DL LL PE E MAKS	-5060.82	-262.46	-89.02		
	1	DL LL	-3706.94	-102.73	-17.93		
		E MAKS	-1472.85	-250.82	-154.35		
		DL LL E MAKS	-5179.79	-353.55	-172.28		
		PE	-290.46	85.21	6.2		
		DL LL PE	-3997.39	-17.52	-11.73		
		DL LL PE E MAKS	-5470.25	-268.33	-166.08		
		C2	3	DL LL	-7906.16	-0.04	-29.59
				E MAKS	-1394.58	-273.41	-55.25
DL LL E MAKS	-9300.75			-273.44	-84.84		
PE	-108.23			0.19	11.12		
DL LL PE	-8014.4			0.16	-18.46		
DL LL PE E MAKS	-9408.98			273.55	-73.71		
1	DL LL		-8177.39	-0.04	-29.59		
	E MAKS		-1435.27	-282.56	-65.69		
	DL LL E MAKS		-9612.66	-282.59	-95.27		
	PE		-108.23	0.19	11.12		
	DL LL PE		-8285.62	0.16	-18.46		
	DL LL PE E MAKS		-9720.89	282.7	-84.15		
	C3		3	DL LL	-3364.61	106.36	23.13
				E MAKS	-1402.94	244.29	74.62
DL LL E MAKS		-4767.55		350.66	97.75		
PE		-289.75		-88.06	-42.92		
DL LL PE		-3654.36		18.3	-19.79		
DL LL PE E MAKS		-5057.31		262.6	-88.44		
1		DL LL	-3706.43	102.46	-17.92		
		E MAKS	-1472.43	250.79	-154.42		
		DL LL E MAKS	-5178.85	353.25	-172.34		
		PE	-287.93	-84.77	6.14		
		DL LL PE	-3994.36	17.69	-11.78		
		DL LL PE E MAKS	-5466.79	268.48	-166.2		



## Lampiran 7A. 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
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	-1490.7	-526.91	-289.08	1945.14	519.62	167.63	-347.18	-464.14	-458.08	-317	-60.14	355.76
LL	-305.6	-96.93	-48.96	171.98	114.77	13.53	-78.37	-101.85	-101.82	-69.29	-11.76	79.42
DLSDL+LL	-1796.3	-623.84	-338.05	935.89	642.12	70.29	-425.54	-565.99	-559.9	-386.28	-71.9	435.18
PE	1324.96	1288.85	1516.17	-1848.4	-1776.6	-2169.4	-1855.3	-2025.3	385.45	558.53	-571.29	-1257.6
DLSDL+LL+PE	-2950.8	-1242	-275.21	-724.45	-968.4	-1974	-1818.7	-2376	-168.4	172.4	26.1	-762.27
EX	162.94	144.71	161.77	211.9	192.69	215.78	89.56	50.45	99.93	79.38	101.51	123.77
EY	62.53	10.97	31.58	43.37	22.46	41.4	306.98	129.69	228.02	124.42	84.47	132.21
EV1	-237.35	-83.4	-45.57	122.33	83.06	26.87	-55.6	-74.2	-73.29	-50.67	-9.55	56.94
EV2	223.6	79.04	43.36	-114.59	-79.1	-25.14	52.08	69.62	68.71	47.55	9.02	-53.36
E maks	-300.06	-231.11	-216.95	321.38	263.51	255.31	347.57	-200.41	-238.84	-163.08	-71.69	218.95
Total maks	-3250.8	-1473.1	-1353.6	-385.89	-697.13	-2225.1	-2130	-2473.6	-352.79	353.95	-454.55	-524.71

## Lampiran 7A. (lanjutan)

GAYA DALAM LINTANG V2												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	0.01	-1.47	-11.96	5.68	1.66	-4.33	23.82	16.6	-9.77	-32.68	-25.74	-5.46
LL	0	-0.22	-2.58	0.32	-0.09	-0.28	3.95	2.56	-1.06	-7.93	-6.3	-1.39
DLSDL+LL	0.01	-1.69	-14.54	4.04	1.56	-4.54	27.76	19.16	10.42	-40.62	-31.33	-6.85
PE	-56.2	-51.22	-61.73	17.87	16.83	2.2	70.65	58.59	-57.17	42.71	-43.25	78.2
DLSDL+LL+PE	-0.06	18.41	2.98	4.61	6.62	-6.97	10.5	13.9	-69.96	6.49	-4.07	84.37
EX	8	35.18	7.02	1.27	1.17	1.1	5.06	4.56	3.45	12.12	12.25	5.7
EY	1.49	7.22	0.73	0.6	0.37	0.75	0.26	0.88	0.58	0.48	1.18	2.09
EV1	0	-0.23	-1.91	0.57	0.25	-0.67	3.75	2.61	1.5	-5.26	-4.14	-0.88
EV2	0	0.22	1.79	-0.56	-0.25	0.65	-3.57	-2.49	-1.47	4.9	3.86	0.82
E maks	10.87	37.2	9.16	-2.37	-2.02	-1.97	-8.21	9.05	-4.9	17.53	16.46	-7.22
Total maks	-10.93	55.61	-52.48	7.14	8.66	-7.59	4.38	5.12	-73.02	-24.56	-44.57	96.93

## Lampiran 7A. (lanjutan)

GAYA DALAM LINTANG V3												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	-193.45	-22.14	-102.15	-11.34	3.82	-20.24	-11.23	-7.3	6.81	-5.05	0.1	-0.7
LL	-42.65	-3.18	-24.56	-3.62	-1.68	3.44	-3.18	-2.09	-0.61	-1.11	0.29	0.3
DLSDL+LL	-236.1	-25.32	-126.71	-15.52	-5.45	18.3	-14.41	-9.4	8.35	-6.16	0.4	-0.39
PE	-31.32	-20.48	-109.17	19.51	14.99	-24.75	0.16	6.38	-7.87	3.54	-19.53	15.7
DLSDL+LL+PE	-363.25	-23.74	-99.63	-22.9	-7.49	-48.92	21.65	14.07	-17.43	-12.73	-10.5	14.99
EX	0.69	15.71	1.41	0.82	1.6	0.97	8.9	6.66	8.65	7.56	7.89	8.78
EY	11.49	6.26	5.16	2.49	1.86	2.54	15.73	11.15	10.63	7.76	10.03	7.09
EV1	-56.356	-3.46	-16.43	-1.95	0.65	-3.21	-1.83	-1.19	1.09	-0.81	0.03	-0.09
EV2	29.02	3.32	15.32	1.79	0.57	3.04	1.68	1.1	-1.02	0.76	-0.02	0.1
E maks	-42.43	-21.08	-19.3	5.15	-3.99	4.94	15.78	-10.27	10.36	11.72	12.56	-11
Total maks	-405.68	-44.82	-254.58	-26.49	-10.03	-47.61	31.2	-1.12	-7.13	15.23	-35.43	9.66

## Lampiran 7A. (lanjutan)

GAYA DALAM MOMEN M2												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	-344.642	-43.322	-189.663	-35.494	13.371	-39.632	12.453	-5.382	1.423	1.791	2.867	0.303
LL	-103.551	-8.431	-56.598	-11.367	-5.878	10.778	3.492	2.204	0.345	1.106	0.649	-0.46
DLSDL+LL	-448.193	-51.753	-246.261	-42.14	-19.174	43.678	15.945	8.02	1.768	5.672	3.459	1.099
PE	-57.834	-38.465	-192.636	53.156	42.79	-44.564	3.527	8.368	1.262	-3.707	-21.57	20.241
DLSDL+LL+PE	-660.567	42.732	-170.654	-59.802	-27.274	-95.437	26.134	9.092	2.931	-16.268	-12.157	24.881
EX	1.241	42.64	2.429	2.582	3.841	1.886	6.701	7.026	8.457	4.901	4.756	9.94
EY	43.236	8.931	9.707	6.63	1.86	4.831	11.845	12.537	12.209	11.085	13.262	9.471
EV1	-56.356	-6.878	-30.996	-5.127	2.271	-6.451	2.025	1.223	0.229	0.735	0.451	0.081
EV2	51.696	6.498	28.449	4.616	1.995	5.945	-1.868	-1.124	-0.213	-0.685	-0.422	-0.045
E maks	-99.61	38.545	-36.252	15.111	-11.082	9.809	-13.321	-10.1	-10.581	-7.744	7.26	-12.701
Total maks	-760.177	-80.789	-474.52	-67.861	-32.687	-92.845	-22.449	-15.906	7.45	-23.826	-43.677	34.203

## Lampiran 7A. (lanjutan)

GAYA DALAM MOMEN M3												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	-0.076	37.164	-22.547	-32.564	-1.957	6.467	19.272	9.318	8.623	-40.182	-29.708	-0.356
LL	-0.015	7.669	-4.985	-2.152	-0.148	1.48	4.76	2.803	1.405	-9.207	-6.667	3.231
DLSDL+LL	-0.089	44.834	-27.533	-13.622	-2.119	8.787	24.032	4.99	10.053	-49.389	-36.375	-1.591
PE	-97.255	-89.24	-113.155	-37.638	-36.101	-16.884	90.741	71.88	-90.239	59.922	58.267	-133.035
DLSDL+LL+PE	-0.339	-28.229	5.348	2.357	-0.918	-20.61	33.927	-31.891	47.855	10.216	24.766	-131.643
EX	14.834	127.64	12.887	2.922	2.464	2.493	6.685	5.817	4.532	19.62	11.926	9.044
EY	4.923	22.213	1.207	1.483	4.253	1.567	0.405	1.593	0.483	0.748	1.383	3.205
EV1	-0.012	5.92	-3.606	-1.817	1.253	1.044	3.105	1.502	1.36	-6.442	-4.756	-0.109
EV2	0.011	-5.575	3.382	1.721	-0.3	-0.97	-2.891	-1.398	-1.296	6.027	4.456	0.053
E maks	41.11	140.283	16.869	4.991	3.793	3.986	-9.249	-9.614	4.375	-26.307	-24.909	10.596
Total maks	-41.634	167.286	-95.149	-3.815	-5.158	-6.775	33.993	-34.385	48.147	22.921	-52.188	-143.751

## Lampiran 7B. 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
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	-3682.61	-1551.52	-813.38	1945.14	1095.2	139.9	-1038.75	-1219.39	-1087.22	-565.63	-449.65	1033.03
LL	-790.08	-279.02	-165.84	314.16	244.56	35.38	-229.02	-260.97	-238.31	-124.97	-98.7	224.07
DLSDL+LL	-4472.68	-1830.53	-979.22	1689.13	1340.91	149.29	-1267.78	-1480.36	-1325.53	-690.6	-548.35	1257.09
PE	1416.87	1296.01	1468.62	-1969.88	-1790.01	-2098.11	-2166.67	-2299.98	-41.05	671.73	-518.41	-1218.64
DLSDL+LL+PE	-4604.18	-2080.63	-496.93	-154.61	-339	-1931.63	-2243.69	-2631.33	-1363.28	-19.52	-311.09	136.96
EX	457.41	558.01	454.78	603.07	544.62	640.8	454.07	891.44	384.67	324.5	1050.22	770.93
EY	181.1	126.3	70.04	100.64	59.73	67.84	501.87	199.47	321.53	101.89	119.22	223.03
EV1	-587.94	-245.28	-129.47	220.38	175.25	22.42	-166.12	-194.65	-173.81	-90.47	-71.89	165.04
EV2	552.39	232.73	122.01	-206.25	-164.45	-20.98	155.81	182.91	163.08	84.84	67.45	-154.95
E maks	-769.38	-841.43	-605.21	834.79	720.37	683.63	672.15	-977.83	-645.09	-436.62	-1049.1	993.87
Total maks	-5373.56	-2922.07	-115.45	675.64	367.61	-2612.47	-2845.92	-3519.06	-1876.36	-456.14	-1435.1	139.61

## Lampiran 7B. (Lanjutan)

GAYA DALAM LINTANG V2												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	-0.22	139.11	-15.19	5.68	4.79	-6.95	103.74	98.17	-23.45	-48.39	-69.26	-15.06
LL	-0.06	31.32	-3.32	0.09	0.6	-0.24	18.8	17.38	-3.32	-11.64	-15.74	-3.76
DLSDL+LL	-0.28	170.43	-18.52	2.74	5.35	-3.8	122.54	115.55	31.05	-60.03	-84.34	-18.82
PE	-68.96	-59.1	-40.12	37.02	33.47	-2.33	200.83	160.85	-222.15	45.65	-47.45	88.41
DLSDL+LL+PE	-1.29	152.04	-2.48	1.78	8.34	-10.29	8.55	-28.5	-256.88	14.78	31.79	83.23
EX	28.12	320.33	2.13	14.12	13.41	4.4	83.45	73.68	154.31	21.93	50.82	34.78
EY	12.44	37.2	0.76	1.82	0.41	1.04	9.32	22.39	9.2	2.41	5.82	3.43
EV1	-0.04	22.28	-2.43	0.4	0.75	-1.09	16.41	15.51	4.54	-7.78	-11.1	-2.43
EV2	0.03	-20.87	2.28	-0.4	-0.71	1.04	-15.56	-14.73	-4.49	7.26	10.39	2.26
E maks	123.07	352.48	4.78	-18.24	-17.05	-5.79	-63.03	101.43	-165.4	30.35	63.93	-38.16
Total maks	-124.43	504.52	-21.57	7.05	13.43	-13.94	-40.41	-129.83	-467.64	45.13	95.72	94.78

## Lampiran 7B. (Lanjutan)

GAYA DALAM LINTANG V3												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	-163.78	-43.91	-50.09	-11.34	4.78	-12.66	-16.82	-12.7	4.62	-6.11	-4.04	-7.27
LL	-52.76	-9.43	-17.65	-4.14	-1.89	4.07	-6	-4.29	-1.26	-1.68	-0.63	-1.18
DLSDL+LL	-216.54	-53.34	-67.75	-15.72	-6.6	14.51	-22.82	-17	5.72	-7.79	-4.68	-8.45
PE	-3.14	-6.54	-16.74	5.37	7.82	-6.29	-3.04	-2.7	-3.07	6.04	-14.77	13.76
DLSDL+LL+PE	-195.7	-26.44	-54.31	-15.38	-7.71	-23.67	26.56	12.15	-7.21	-7.45	-5.82	7.97
EX	0.39	65.92	1.24	1.1	1.66	0.95	21.11	24.38	24.06	9.87	19.71	24.93
EY	33.82	30.22	11.58	6.16	3.14	4.08	45.36	31.83	26.58	7.04	11.57	7.17
EV1	-59.267	-7.01	-8.31	-1.92	0.8	-2.11	-2.79	-2.1	0.74	-0.99	-0.63	-1.14
EV2	24.57	6.59	7.51	1.74	0.71	1.9	2.52	1.91	-0.69	0.92	0.61	1.09
E maks	-60.8	-81.85	-13	7.23	-5.46	4.27	36.82	-38.03	32.61	13.7	25.69	-28.22
Total maks	-256.5	-108.29	-97.29	-19.41	-10.46	-23.99	42.77	-35.4	37.04	15.37	25.27	16.03



## Lampiran 7B. (Lanjutan)

GAYA DALAM MOMEN M2												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	-360.409	-86.966	-111.721	-35.494	16.274	-33.554	21.781	-11.446	5.755	2.91	7.441	-7.615
LL	-115.685	-18.665	-39.364	-12.765	-6.324	11.762	7.821	5.196	1.979	1.626	2.095	-1.053
DLSDL+LL	-476.094	-105.631	-151.085	-48.491	-22.404	42.498	29.601	225.2	7.735	7.592	11.355	-8.41
PE	-6.908	-12.615	-35.622	15.047	21.148	-15.087	2.736	10.241	1.292	-5.804	-15.832	18.091
DLSDL+LL+PE	-474.603	48.545	-99.923	-48.175	-25.003	-61.206	35.955	12.793	9.548	-9.817	-5.007	14.433
EX	0.702	138.732	2.338	3.986	3.842	3.629	17.417	21.427	27.582	7.187	12.542	24.185
EY	80.679	50.833	25.227	18.174	3.14	9.029	31.192	45.029	37.523	10.127	16.056	9.863
EV1	-59.267	-13.885	-18.53	-5.933	2.729	-5.598	3.619	2.472	0.952	0.968	1.483	-1.178
EV2	54.061	13.045	16.758	5.359	2.412	5.033	-3.267	-2.239	-0.863	-0.895	-1.389	1.142
E maks	-139.969	139.963	-28.403	21.969	-15.173	11.92	-36.271	-34.739	-39.564	-9.291	15.934	-28.322
Total maks	-614.572	-195.865	-214.834	-58.901	-31.653	-62.592	-54.519	-32.302	-45.827	-19.108	-20.91	32.929

## Lampiran 7B. (Lanjutan)

GAYA DALAM MOMEN M3												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	-0.087	215.904	-31.262	-32.564	-18.319	14.793	187.531	180.572	42.366	-62.205	-82.964	28.222
LL	0.125	48.646	-6.875	-3.16	-3.745	1.299	41.15	38.789	7.843	-14.281	-18.091	6.366
DLSDL+LL	-0.136	264.55	-38.137	-18.911	-21.991	6.127	228.681	109.83	50.245	-76.486	-101.054	33.606
PE	-108.147	-92.882	-81.179	-98.188	-88.219	-16.758	360.219	282.752	-385.125	67.983	74.538	-159.136
DLSDL+LL+PE	2.283	-354.647	-3.302	-0.122	-17.525	-25.281	43.404	-3.989	230.925	-8.477	-29.008	-119.958
EX	43.745	569.89	14.253	38.355	34.506	19.932	166.492	152.691	366.729	34.792	46.69	56.085
EY	21.511	65.529	1.824	5.032	7.392	2.804	16.443	53.469	20.115	3.674	9.772	7.019
EV1	-0.015	34.575	-4.999	-2.505	1.838	2.38	29.981	28.831	6.712	-9.973	-13.259	4.476
EV2	0.013	-32.386	4.689	2.363	-2.917	-2.219	-28.13	-27.086	-6.358	9.331	12.445	-4.233
E maks	215.452	623.283	19.795	49.438	44.064	23.131	-110.286	-195.025	387.833	-45.714	-91.426	58.871
Total maks	-216.678	709.565	-52.879	-23.925	-40.461	31.126	64.571	-198.612	734.718	-54.192	-120.434	-139.204

## Lampiran 7C. 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
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	-6001.71	-2616.16	-1313.57	1945.14	1579.16	157.49	-970.44	-1354.49	-78.68	-78.46	-367.73	-518.26
LL	-1279.86	-454.56	-273.99	434.51	344.43	46.69	-1072.3	-1223.79	7.72	29.64	-81.79	637.41
DLSDL+LL	-7281.56	-3070.72	-1587.56	2379.65	1924.43	197.94	-2299.8	-1485.3	-6.99	-27.55	-449.52	118.05
PE	1271.06	1165.91	1331.41	-1801.14	-1637.78	-1994.13	-2804.07	-1207.69	-38.52	183.7	-880.7	-2065.9
DLSDL+LL+PE	-7473.66	-3344.12	-666.18	729.9	415.93	-1813.21	-2254.49	-1485.3	-1328.24	-1294.27	-613.43	137.45
EX	838.67	1167.08	842.16	1121.29	990.64	1197.8	751.19	1021.48	-222.67	-43.43	-2237.41	-2159.43
EY	468.45	422.51	155.44	219.15	163.85	113.17	570.8	396.96	-1237.77	-1500.58	207.54	-2668.8
EV1	-957.85	-412.88	-209.37	311.32	252.36	24.95	-303.76	-2598.87	-494.39	-270.21	-58.84	390.16
EV2	900.26	392.42	197.04	-291.77	-237	-23.62	634.93	273.07	245.83	-493.82	67.29	84.9
E maks	-1426.57	-1706.55	-1098.1	1488.76	1281.16	1256.67	924.21	-1880.29	498.13	162.68	561.6	-43.2
Total maks	-8900.23	-5050.67	-1353.78	2161.01	1637.61	-3067.11	-3519.9	-3165.75	-2334.96	460.88	-2331.6	-731.34

## Lampiran 7C. (Lanjutan)

GAYA DALAM LINTANG V2												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	0.1	295.79	-30.12	5.68	7.8	-11.76	86.54	0.24	24.79	-78.34	57.31	-47.41
LL	-0.01	66.22	-6.51	0.68	1.19	-0.82	105.79	0.9	10.46	-24.82	11.72	28.62
DLSDL+LL	0.08	362.01	-36.62	6.36	8.94	-7.58	106.45	1.13	46.1	-10.57	69.76	5.88
PE	-86.8	-74.2	-50.88	40.18	36.18	-3.36	172.91	5.09	222.5	-78.44	39.21	-136.4
DLSDL+LL+PE	-1.62	330.28	-4.3	3.59	11.24	-17.13	183.25	-2.84	199.16	23.27	-116.9	83.26
EX	71.82	789.51	9.35	30.6	27.96	9.09	27.51	188.82	38.34	156.16	-72.99	136.08
EY	36.76	85.02	3.22	4.53	1.14	1.81	31.89	3.24	38.34	-273.87	30.98	-21.02
EV1	0.01	47.35	-4.81	0.88	1.22	-1.85	67.34	0.08	27.58	23.7	9.12	59.81
EV2	-0.01	-44.37	4.52	-0.85	-1.16	1.76	-43.21	-0.04	-6.89	-48.49	-8.6	13.09
E maks	336.4	860.86	15.13	-38.04	-34.41	-11.47	-24.75	166.45	188.25	0.17	118.25	25.48
Total maks	-337.99	1191.13	-19.78	16.37	23.26	-24.99	-156.89	-117.59	240.67	59.73	-276.99	-39.24

## Lampiran 7C. (Lanjutan)

GAYA DALAM LINTANG V3												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	-165.73	-63.55	-55.33	-11.34	4.73	-10.59	-1.04	-6.65	-8.96	-2.45	0.19	-13.81
LL	-52.1	-13.29	-20.41	-4.03	-1.88	3.64	-1.82	-0.9	-0.47	8.96	-0.53	11.78
DLSDL+LL	-217.83	-76.84	-75.73	-15.37	-6.56	12.13	-5.08	-7.55	-0.47	-0.44	-0.35	3.08
PE	-2.38	-5.34	-15.5	4.13	6.12	-4.9	-13.32	-11.13	-2.16	7.81	4.3	-11.57
DLSDL+LL+PE	-189.51	-45.98	-52.78	-14.79	-7.57	-19.75	36.44	17.43	-7.06	4.91	34.84	7.98
EX	0.37	127.98	2.11	2.08	1.76	1.49	48.32	23.98	-4.68	22.01	3.06	-42.5
EY	35.81	58.58	20.67	9.71	4.24	4.89	45.27	7.74	-16.94	21.34	-29.44	-6.07
EV1	-58.934	-10.13	-9.22	-1.88	0.8	-1.78	-1.22	-1.04	-24.82	14.67	0	9.29
EV2	24.86	9.53	8.3	1.7	0.7	1.59	19.66	1	16.05	-16.56	-0.03	1.82
E maks	-63.05	-155.56	-17.51	9.31	-6.68	4.73	8.08	-2.08	30.79	0.52	15.84	-2.71
Total maks	-252.57	-201.54	-108.55	-19.6	-10.6	-21.18	58.67	-39.93	17.03	28.56	9.52	-14.1

## Lampiran 7C. (Lanjutan)

GAYA DALAM MOMEN M2												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	-359.26	-138.47	-127.52	-35.49	17.18	-29.89	8.42	-6.72	-0.43	-2.91	0.22	5.96
LL	-112.10	-28.82	-46.55	-12.57	-6.56	11.01	10.56	0.96	0.35	-15.71	-0.17	1.78
DLSDL+LL	-471.36	-167.29	-174.07	-48.06	-23.59	38.39	4.37	36.06	14.77	-0.43	-0.04	2.85
PE	-5.96	-10.63	-34.07	11.49	16.59	-11.76	24.70	16.12	1.22	3.20	-4.18	29.73
DLSDL+LL+PE	-479.06	65.11	-100.06	-47.08	-25.37	-53.36	31.00	15.57	5.42	6.12	16.60	14.45
EX	0.55	290.21	4.47	7.50	4.21	6.26	52.59	8.04	-3.55	1.63	2.28	16.75
EY	169.48	183.60	48.92	30.14	4.24	11.90	38.07	10.69	-12.05	30.27	0.08	33.08
EV1	-58.93	-22.07	-21.22	-5.89	2.88	-5.01	13.15	0.53	12.05	9.51	0.01	-1.51
EV2	53.89	20.77	19.13	5.32	2.56	4.48	-13.33	-0.49	-12.92	-9.79	-0.02	0.06
E maks	-228.48	323.03	-40.34	29.56	-19.41	14.83	-12.23	-2.48	-21.95	-0.04	-6.15	4.51
Total maks	-707.54	-430.80	-248.25	-60.18	-32.55	-58.80	-59.49	-22.50	-34.17	16.21	20.28	5.39

## Lampiran 7C. (Lanjutan)

GAYA DALAM MOMEN M3												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	0.32	502.04	-62.06	-32.56	-33.11	29.99	18.64	27.63	6.23	101.16	66.77	22.90
LL	0.06	112.22	-13.45	-6.75	-6.91	3.40	105.27	6.60	-3.37	38.81	13.75	4.95
DLSDL+LL	0.35	614.27	-75.51	-39.31	-39.96	18.39	47.46	13.82	8.98	2.82	80.52	23.83
PE	-134.48	-115.41	-102.21	-107.66	-96.30	-21.49	550.10	102.96	193.41	27.43	48.85	11.65
DLSDL+LL+PE	3.17	-622.91	-5.63	-14.30	-32.76	-37.04	370.12	-3.96	-361.77	38.29	-42.88	-120.00
EX	110.60	1406.84	41.64	83.29	72.12	41.03	170.78	226.30	77.13	240.34	117.67	31.74
EY	62.11	138.75	7.25	13.07	11.15	5.47	55.70	6.56	432.68	250.31	1.52	66.09
EV1	0.05	80.36	-9.91	-5.19	5.40	4.82	66.04	4.39	-49.15	18.17	10.63	-3.27
EV2	-0.05	-75.31	9.31	4.89	-5.28	-4.50	-38.37	-4.15	8.38	-49.13	-10.02	-19.45
E maks	589.62	1528.06	53.73	104.52	90.50	47.46	-12.12	-59.64	319.65	182.83	122.47	-55.71
Total maks	-590.74	1829.93	-60.60	-70.49	-86.14	69.51	230.52	-166.66	482.79	-68.52	-349.34	10.99

## Lampiran 7D. 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
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	-6018.03	-2616.41	-1337.91	1945.14	1593.20	169.37	-1047.72	-1238.87	-1087.22	-902.82	-449.65	1033.03
LL	-1282.17	-453.93	-278.61	439.69	346.75	46.26	-230.83	-264.33	-238.31	-196.20	-98.70	224.07
DLSDL+LL	-7300.20	-3070.33	-1616.52	2411.35	1940.71	197.22	-1278.55	-1503.20	-1325.53	-1099.02	-548.35	1257.09
PE	860.46	786.72	903.57	-1213.61	-1100.21	-1324.86	-2166.67	-2299.98	-41.05	432.54	-518.41	-1218.64
DLSDL+LL+PE	-7425.65	-3254.03	-524.63	1298.80	926.44	-1129.63	-2243.69	-2631.33	-1363.28	-667.09	-311.09	136.96
EX	851.34	1174.34	855.27	1135.05	1005.21	1194.88	465.93	907.67	384.67	760.83	1050.22	770.93
EY	470.57	422.56	158.23	222.44	165.35	114.11	504.74	198.56	321.53	100.68	119.22	223.03
EV1	-960.40	-412.89	-213.22	315.54	254.57	26.84	-167.54	-197.73	-173.81	-144.25	-71.89	165.04
EV2	902.70	392.46	200.69	-295.75	-239.09	-25.41	157.16	185.83	163.08	135.42	67.45	-154.95
E maks	-1431.25	-1713.84	-1115.91	1507.15	1298.07	1255.93	680.75	-994.56	-645.09	-929.69	-1049.10	993.87
Total maks	-8856.90	-4967.87	-1828.41	2745.30	2161.59	-2382.78	-2845.92	-3519.06	-1876.36	-1596.78	-1435.10	1037.56



## Lampiran 7D. (Lanjutan)

GAYA DALAM LINTANG V2												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	0.08	300.98	-33.28	5.68	10.18	-11.16	216.88	196.77	-23.45	-93.12	-69.26	-15.06
LL	-0.02	67.29	-7.2	1.32	1.71	-0.75	42.88	37.89	-3.32	-21.35	-15.74	-3.76
DLSDL+LL	0.06	368.26	-40.48	9.91	11.85	-7.15	259.77	234.66	31.05	-114.47	-84.34	-18.82
PE	-65.93	-56.04	-38.66	23.16	20.74	-2.46	162.56	128.7	-222.15	40.1	-47.45	88.41
DLSDL+LL+PE	-1.17	343.31	-4	6.62	12.07	-15.5	-152.78	-209.53	-256.88	74.63	31.79	83.23
EX	82.43	801.01	9.42	27.54	25.23	11.1	210.65	183.22	154.31	56.74	50.82	34.78
EY	37.27	85.73	3.53	3.98	1.4	1.79	31.46	22.36	9.2	7.5	5.82	3.43
EV1	0.01	48.17	-5.32	1.35	1.6	-1.76	34.46	31.22	4.54	-14.93	-11.1	-2.43
EV2	-0.01	-45.15	4.99	-1.29	-1.52	1.67	-32.53	-29.52	-4.49	13.97	10.39	2.26
E maks	341.33	873.18	15.8	-34.02	-30.91	-13.38	-146.48	237.16	-165.4	74.21	63.93	-38.16
Total maks	-342.48	1216.49	-3.37	21.86	26.31	-25.45	-272.88	-446.61	-467.64	148.83	95.72	123.93

## Lampiran 7D. (Lanjutan)

GAYA DALAM LINTANG V3												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	-163.32	-63.4	-62.85	-11.34	4.19	-9.3	-17.21	-13.1	4.62	-8.1	-4.04	-7.27
LL	-51.07	-13.13	-23.14	-3.53	-1.65	3.18	-6.33	-4.59	-1.26	-2.05	-0.63	-1.18
DLSDL+LL	-214.39	-76.53	-86	-13.53	-5.8	10.53	-23.54	-17.69	5.72	-10.15	-4.68	-8.45
PE	-1.65	-3.8	-11.5	2.35	3.54	-2.85	-2.37	-6.01	-3.07	4.29	-14.77	13.76
DLSDL+LL+PE	-194.86	-55.51	-53.55	-13.05	-6.35	-15.9	26.48	4.1	-7.21	-3.31	-5.82	7.97
EX	0.38	129.57	2.53	2.08	1.4	1.47	31.21	36.79	24.06	15.47	19.71	24.93
EY	35.18	58.21	23.39	8.96	3.83	4.44	45.36	31.36	26.58	8.7	11.57	7.17
EV1	-58.053	-10.1	-10.47	-1.66	0.7	-1.56	-2.87	-2.17	0.74	-1.31	-0.63	-1.14
EV2	24.5	9.51	9.43	1.5	0.62	1.39	2.58	1.96	-0.69	1.22	0.61	1.09
E maks	-62.02	-156.98	-19.99	8.71	-5.83	4.36	45.52	-51.88	32.61	19.78	25.69	-28.22
Total maks	-256.88	-212.49	-117.25	-17.53	-9.32	-17.36	47.67	-51.41	37.04	25.58	25.27	25.39

## Lampiran 7D. (Lanjutan)

GAYA DALAM MOMEN M2												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	-354.01	-137.43	-145.01	-35.49	15.51	-26.33	22.77	-11.24	5.76	4.84	7.44	-7.62
LL	-110.05	-28.35	-52.83	-11.01	-5.84	9.67	8.30	5.52	1.98	2.14	2.10	-1.05
DLSDL+LL	-464.06	-165.78	-197.85	-42.31	-21.25	33.73	31.08	225.20	7.74	10.63	11.36	-8.41
PE	-4.25	-7.59	-25.34	6.42	9.49	-6.74	2.66	6.90	1.29	-4.21	-15.83	18.09
DLSDL+LL+PE	-468.57	59.08	-102.16	-41.36	-22.04	-43.36	35.95	9.17	9.55	-3.81	-5.01	14.43
EX	0.57	293.78	5.44	7.48	3.76	6.17	24.97	31.15	27.58	11.21	12.54	24.19
EY	168.67	182.79	55.54	27.81	3.83	10.64	38.33	44.49	37.52	12.91	16.06	9.86
EV1	-58.05	-21.89	-24.13	-5.19	2.59	-4.41	3.79	2.58	0.95	1.37	1.48	-1.18
EV2	53.10	20.62	21.75	4.69	2.31	3.95	-3.42	-2.33	-0.86	-1.27	-1.39	1.14
E maks	-226.79	326.48	-46.20	27.76	-17.01	13.77	-46.08	-46.21	-39.56	-13.27	15.93	-28.32
Total maks	-695.36	-466.61	-269.13	-53.43	-28.47	-48.85	-63.65	-49.09	-45.83	-17.08	-20.91	35.65

## Lampiran 7D. (Lanjutan)

GAYA DALAM MOMEN M3												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	0.29	504.70	-68.16	-32.56	-37.13	28.25	416.71	386.35	42.37	-108.93	-82.96	28.22
LL	0.07	112.70	-14.78	-7.82	-7.77	3.17	91.48	83.02	7.84	-24.26	-18.09	6.37
DLSDL+LL	0.31	617.40	-82.95	-45.25	-44.85	17.04	508.19	109.83	50.25	-133.19	-101.05	33.61
PE	-101.47	-86.67	-76.62	-63.02	-56.15	-14.72	275.16	211.88	-385.13	51.45	74.54	-159.14
DLSDL+LL+PE	2.38	-554.49	-4.93	-26.17	-37.79	-28.97	291.93	-301.57	230.93	-81.69	-29.01	-119.96
EX	125.60	1423.13	46.92	75.23	64.90	44.38	398.46	362.96	366.73	79.18	46.69	56.09
EY	62.70	139.40	7.99	11.66	9.87	5.36	53.93	52.28	20.12	11.58	9.77	7.02
EV1	0.04	80.78	-10.89	-5.97	5.84	4.54	66.62	61.69	6.71	-17.43	-13.26	4.48
EV2	-0.04	-75.71	10.23	5.61	-5.92	-4.24	-62.51	-57.95	-6.36	16.34	12.45	-4.23
E maks	595.67	1544.71	60.21	94.01	81.29	50.51	-253.06	-445.96	387.83	-99.89	-91.43	58.87
Total maks	-596.36	1951.50	-32.10	-86.86	-95.12	73.54	540.99	-747.11	734.72	-181.58	-120.43	-170.48

## Lampiran 7E. Gaya Dalam Rangka Transfer Model 3C

GAYA DALAM AKSIAL												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	-6050.11	-2641.85	-1323.03	1972.13	1607.62	158.86	-1036.01	-1212.33	-1073.3	-853.49	-454.51	977.4
LL	-1284.23	-457.31	-274.82	437.97	348.42	48.58	-226.98	-257.6	-233.67	-184.85	-99.24	210.59
DLSDL+LL	-7334.33	-3099.16	-1597.85	2410.09	1956.76	209.77	-1262.97	-1469.72	-1306.97	-1038.34	-553.74	1187.99
PE	1709.98	1569.53	1809.96	-2417.9	-2201.18	-2693.28	-2894.86	-3087.26	-80.67	831.64	-638.9	-1518.98
DLSDL+LL+PE	-7561.91	-3447.41	-839.81	189.05	-75.83	-2511.25	-2600.61	-3420.05	-1384.95	-207.73	-252.81	-203.17
EX	590.55	819.11	593.3	785.83	693.65	839.04	310.65	600.86	266.21	506.75	696.74	513.83
EY	328.2	295.69	109.61	153.75	115.17	79.78	354.28	142.91	229.14	63.96	76.53	145.33
EV1	-965.31	-416.86	-210.82	315.53	256.81	25.14	-165.61	-193.43	-171.51	-136.34	-72.64	156.09
EV2	907.52	396.28	198.45	-295.82	-241.25	-23.83	155.4	181.85	161	128.02	68.18	-146.61
E maks	-1293.7	-1324.57	-836.94	1136.93	973.64	888.09	481.29	-672.33	-496.31	-659.13	-720.61	703.85
Total maks	-8855.6	-4771.98	-624.32	1299.59	869.92	-3396.76	-3077.86	-4026.9	-1727.71	-866.86	-980.72	401.77

## Lampiran 7E. (Lanjutan)

GAYA DALAM LINTANG V2												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	-0.01	308.05	-21.91	6.21	7.57	-9.71	204.72	189.1	-25.35	-63.81	-52.01	-12.18
LL	-0.04	68.49	-4.72	0.79	1.12	-0.64	39.41	35.54	-3.03	-14.8	-11.98	-3.14
DLSDL+LL	-0.05	376.55	-26.63	6.99	8.64	-6.49	244.14	224.64	34.64	-78.6	-63.41	-15.32
PE	-91.17	-77.88	-50.3	41.83	37.68	-3.27	320.38	254.89	-301.17	53.88	-47.19	84.67
DLSDL+LL+PE	-1.91	315.88	-4.11	2.78	9.84	-14.55	-41.47	-83.23	-338.79	25.25	12.21	82.46
EX	39.59	541.2	4.35	16.88	15.55	5.3	142.46	123.73	106	26.93	25.79	17.59
EY	25.94	60.6	1.63	2.5	0.68	0.98	21.52	14.88	6.61	3.81	2.99	1.73
EV1	0	49.29	-3.5	0.97	1.19	-1.53	32.48	29.96	5.05	-10.24	-8.34	-1.97
EV2	0	-46.21	3.29	-0.93	-1.13	1.46	-30.71	-28.36	-4.98	9.57	7.8	1.83
E maks	235.94	607.63	8.34	-22.54	-20.58	-7.11	-115.98	174.79	-116.92	38.33	35.11	-20.01
Total maks	-237.85	923.5	-25.04	10.55	17.3	-18.68	-131.29	-257.89	-507.31	63.57	47.31	105.57

## Lampiran 7E. (Lanjutan)

GAYA DALAM LINTANG V3												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	-173.15	-65.64	-49.96	-10.81	4.42	-9.93	-17.21	-13.29	4.59	-7.53	-4.5	-7.7
LL	-54.54	-13.86	-18.53	-3.86	-1.79	3.5	-6.32	-4.65	-1.18	-1.95	-0.84	-1.31
DLSDL+LL	-227.69	-79.5	-68.49	-14.66	-6.17	11.73	-23.53	-17.94	5.63	-9.48	-5.33	-9.01
PE	-3.21	-7.03	-19.43	5.21	7.7	-6.09	-4.86	-12.16	-3.51	7.38	-19.04	17.74
DLSDL+LL+PE	-189.07	-37.22	-52.75	-14.03	-7.36	-20.03	29.53	7.98	-7.52	-5.48	-6.84	9.97
EX	0.21	88.23	1.25	1.43	1.02	1.09	22.65	26.26	17.16	8.74	11.19	16.27
EY	26.04	41.88	13.33	6.33	2.75	3.08	33.08	22.76	19.4	5.06	6.68	4.41
EV1	-60.754	-10.47	-8.33	-1.79	0.75	-1.67	-2.87	-2.2	0.73	-1.22	-0.71	-1.21
EV2	25.97	9.85	7.49	1.62	0.66	1.49	2.58	1.99	-0.69	1.13	0.67	1.15
E maks	-54.49	-111.18	-13.56	7.29	-4.71	3.68	33.11	-37.77	23.66	11.62	14.78	-18.81
Total maks	-243.56	-148.4	-101.29	-17.69	-9.45	-20.59	45.77	-40.91	29.2	13.65	13.42	16.42

## Lampiran 7E. (Lanjutan)

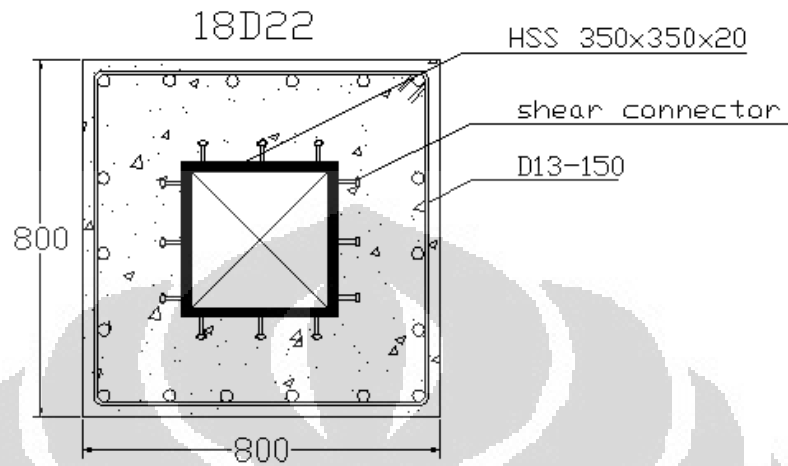
GAYA DALAM MOMEN M2												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	-370.366	-143.162	-115.088	-33.722	15.621	-28.307	23.331	-12.635	5.618	4.121	5.931	-8.081
LL	-115.532	-29.897	-42.263	-11.99	-6.095	10.562	8.502	5.697	1.954	1.933	1.805	-0.632
DLSDL+LL	-485.898	-173.06	-157.351	-45.712	-21.609	36.788	31.833	160.44	7.572	9.442	9.759	-9.131
PE	-7.68	-13.919	-42.784	14.543	20.905	-14.978	5.593	13.96	2.043	-7.067	-20.062	22.061
DLSDL+LL+PE	-495.004	73.897	-101.476	-44.492	-23.762	-54.427	41.913	16.613	10.146	-7.338	-5.865	15.771
EX	0.293	199.537	2.673	4.964	2.4	4.26	18.498	22.614	20.21	6.994	7.719	15.536
EY	119.687	129.984	31.347	19.489	2.75	7.698	27.487	32.773	27.786	7.412	9.03	5.937
EV1	-60.754	-22.82	-19.165	-5.598	2.62	-4.747	3.882	2.67	0.931	1.213	1.274	-1.259
EV2	55.555	21.474	17.263	5.058	2.327	4.246	-3.5	-2.414	-0.843	-1.126	-1.193	1.212
E maks	-180.485	215.584	-31.216	22.686	-13.864	11.307	-33.125	-33.435	-29.402	-8.13	9.857	-18.577
Total maks	-675.489	-291.542	-231.12	-54.846	-29.365	-56.81	-53.754	-36.224	-37.343	-15.469	-15.281	28.988



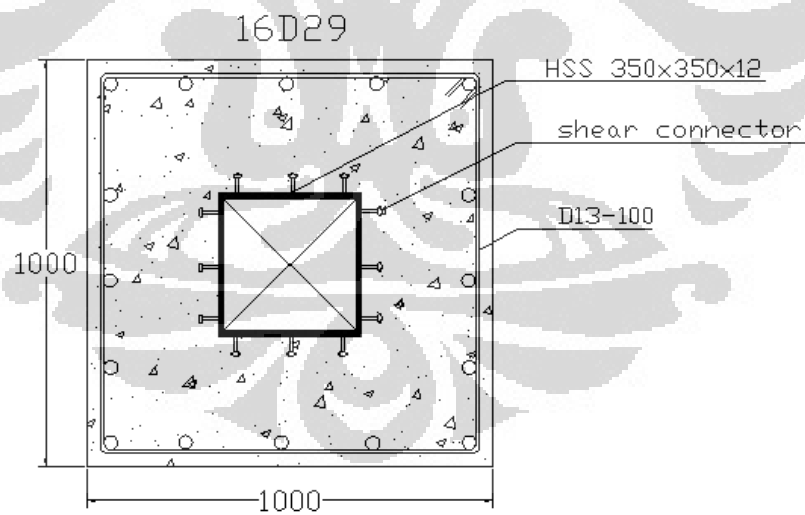
## Lampiran 7E. (Lanjutan)

GAYA DALAM MOMEN M3												
BEBAN	BATANG TEGAK			BATANG MIRING			BATANG DATAR ATAS			BATANG DATAR BAWAH		
	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan	Tumpuan		Lapangan
	Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung		Tengah	Ujung	
DL+SDL	0.247	535.063	-44.908	-27.74	-27.629	22.838	428.861	400.44	44.442	-74.552	-59.267	17.952
LL	0.114	118.615	-9.722	-5.635	-5.645	2.632	93.877	85.886	8.044	-16.573	-12.889	4.89
DLSDL+LL	0.255	653.678	-54.63	-33.375	-33.197	13.887	522.738	82.65	52.522	-91.125	-72.156	21.019
PE	-139.106	-119.208	-100.108	-114.159	-102.155	-21.615	584.05	453.32	-532.513	70.349	73.59	-149.931
DLSDL+LL+PE	3.657	-695.929	-5.482	-5.324	-23.774	-34.385	78.706	-91.267	303.928	-20.742	-4.216	-124.62
EX	60.147	968.74	20.759	46.493	40.534	22.833	288.349	262.81	263.294	38.146	24.978	28.157
EY	44.204	100.063	3.673	7.276	7.445	2.953	39.508	37.833	14.664	5.805	4.896	3.415
EV1	0.037	85.597	-7.174	-4.415	3	3.67	68.554	63.931	7.032	-11.929	-9.47	2.831
EV2	-0.037	-80.259	6.736	4.161	-4.399	-3.426	-64.329	-60.066	-6.67	11.183	8.89	-2.693
E maks	416.962	1083.858	29.033	62.532	54.571	27.365	-210.409	-345.693	283.212	-51.627	-47.77	29.434
Total maks	-418.382	1272.382	-60.181	-37.66	-54.643	42.309	268.011	-436.678	721.9	-72.368	-51.987	-151.266

## Lampiran 8. Gambar Detail Penulangan Kolom Pendukung

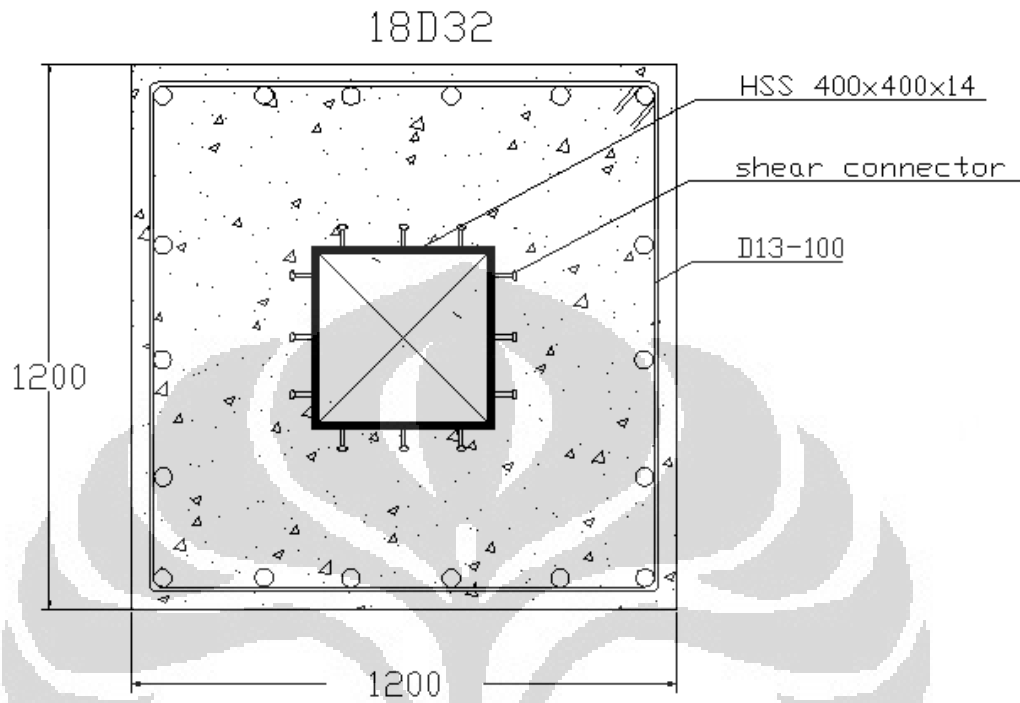


GAMBAR DETAIL KOLOM PENDUKUNG  
DENGAN BAJA HOLLOW PADA  
BANGUNAN 4 LANTAI



GAMBAR DETAIL KOLOM PENDUKUNG  
DENGAN BAJA HOLLOW PADA  
BANGUNAN 6 LANTAI

## Lampiran 8. (Lanjutan)



GAMBAR DETAIL KOLOM PENDUKUNG  
DENGAN BAJA HOLLOW PADA  
BANGUNAN 8 LANTAI