



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**Perbandingan Analisis Bangunan Stadion dengan Pemodelan  
Atap Sebagai Beban dan Sebagai Struktur Rangka Terhadap  
Beban Gempa**

**SKRIPSI**

**EDWIN SERANO**

**0806329136**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**Perbandingan Analisis Bangunan Stadion dengan Pemodelan  
Atap Sebagai Beban dan Sebagai Struktur Rangka Terhadap  
Beban Gempa**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**EDWIN SERANO**

**0806329136**

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



**UNIVERSITY OF INDONESIA**

**A Comparison Study of Stadium Building with Roof Structure  
Modeled As a Load and As a Frame Under Seismic Loads**

**FINAL REPORT**

Submitted as one of the requirement needed to obtain the Engineer Bachelor  
Degree

**EDWIN SERANO**

**0806329136**

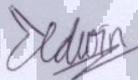
**FACULTY OF ENGINEERING  
CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM  
DEPOK  
JUNE 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Edwin Serano

NPM : 0806329136

Tanda Tangan : 

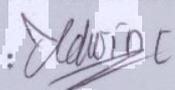
Tanggal : 26 Juni 2012

### STATEMENT OF ORIGINALITY

This final report is the result of my own work,  
and all the sources which is quoted or referred  
I have stated correctly.

Name : Edwin Serano

NPM : 0806329136

Signature : 

Date : 26<sup>th</sup> June, 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Edwin Serano

NPM : 0806329136

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Perbandingan Analisis Bangunan Stadion dengan Pemodelan  
Atap Sebagai Beban dan Sebagai Struktur Rangka Terhadap  
Beban Gempa

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.Ir.Yuskar Lase, DEA

(.....)

Penguji : Mulia Orientilize S.T., M.Eng

(.....)

Penguji : Dr. Ing. Josia Irwan Rastandi

(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 26 Juni 2012

## STATEMENT OF LEGITIMATION

This final report submitted by:

Name : Edwin Serano

NPM : 0806329136

Study Program: Civil Engineering

Title : A Comparison Study of Stadium Building with Roof Structure  
Modeled As a Load and As a Frame Under Seismic Loads

**Has been successfully defended in front of the examiner and was accepted as part of the necessary requirement to obtain Engineer Bachelor Degree in Civil Engineering Program, Engineering Faculty, University of Indonesia.**

### EXAMINERS

Counselor : Dr. Ir. Yuskar Lase, DEA



Examiner : Mulia Orientilize S.T., M.Eng



Examiner : Dr. Ing. Josia Irwan Rastandi



Decided at : Depok

Date : 26<sup>th</sup> June, 2012

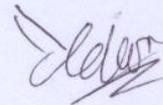
## KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur saya naikkan kepada Tuhan Yesus Kristus, karena hanya atas berkat dan kasih-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Tentunya skripsi ini tidak dapat saya selesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) Dr. Ir. Yuskar Lase, selaku dosen pembimbing yang telah menyumbangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam mengarahkan saya selama pengerjaan skripsi ini;
- 2) Bapak Ramon Copa Manik dan Ibu Adelina Sitompul, kedua orang tua yang terus memberikan dukungan baik moral maupun material;
- 3) Bapak P. Simare-mare dan Ibu P. Manik, sebagai sanak saudara terdekat yang telah banyak membantu dalam studi saya;
- 4) Irma Audryne Laviana, saudari saya yang telah banyak memberi dukungan moral;
- 5) Achmad Damar, Dian Evelina, Maisarah Rizky, Martina Manurung, Rizal Prasetyo, Wisnu Pratama, dan Yushak Moningka, teman-teman seperjuangan yang telah banyak membantu dalam berbagi pengetahuan dan ilmu selama penyusunan skripsi ini;
- 6) Semua teman-teman dari POFTUI; dan
- 7) Semua teman-teman angkatan 2008.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa membalas semua kebaikan dari pihak-pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, 26 Juni 2012



Penulis

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

---

---

Sebagai civitas akademika Universitas Indonesia, Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Edwin Serano

NPM : 0806329135

Program Studi : Teknik Sipil

Departemen : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

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

**Perbandingan Analisis Bangunan Stadion Dengan Pemodelan Atap Sebagai Beban Dan Sebagai Struktur Rangka Terhadap Beban Gempa**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 26 Juni 2011

Yang menyatakan,



(Edwin Serano)

## ABSTRAK

Nama : Edwin Serano

Program Studi: Teknik Sipil

Judul Skripsi : Perbandingan Analisis Bangunan Stadion dengan Pemodelan Atap Sebagai Beban dan Sebagai Struktur Rangka terhadap Beban Gempa

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis dinamik 3D dengan membandingkan pemodelan di mana struktur atap dan tribun disatukan dalam 1 model, dan pada model yang lain hanya struktur tribun saja yang dianalisis, sedangkan struktur atap hanya dimodelkan sebagai beban. Dari hasil simulasi dan analisis menunjukkan bahwa periode getar struktur dan karakteristik dinamik lainnya dari kedua model yang dibandingkan memiliki selisih yang kecil. Gaya – gaya dalam yang terjadi pada kolom pada setiap pemodelan memiliki hasil yang berdekatan, kecuali pada kolom penumpu atap. Sedangkan untuk rasio tulangan, hasil yang mendekati pemodelan utuh adalah pemodelan yang dianalisis secara dinamik, di mana hasil pada analisis statik memberikan hasil yang *underdesign*.

Kata Kunci: bangunan stadion, struktur tribun, pemodelan atap, analisis dinamik 3D

## ABSTRACT

Name : Edwin Serano

Study Program: Civil Engineering

Title : A Comparison Study of Stadium Building With Roof Structure Modeled As a Load and As a Frame Under Seismic Loads

In this study, 3D dynamic analysis will be performed and the models will be compared, one modeled completely as unity, and another will be modeled separately while the roof structure modeled as a load only. From simulation and analysis show that period of vibration and other dynamic characteristics of both models only have a small difference. The internal forces which occur in the column on every model also have an adjacent value, except on roof-bearing column. As for the reinforcement ratio, the model which analyzed with dynamic analysis gives the nearest value, where the result of the static analysis gives results that under design

Keyword: stadium building, tribune structure, roof modeling, 3D dynamic analysis.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>vii</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>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penulisan.....	2
1.3 Pembatasan Masalah.....	2
1.4 Metode Pemecahan Masalah.....	2
1.5 Hipotesis .....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	2
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>4</b>
2.1 Stadion sebagai Tipe Bangunan Gedung .....	4
2.2 Struktur Atap pada Stadion .....	5
2.2.1 Struktur <i>Post and Beam</i> .....	5
2.2.2 Struktur <i>Goal Post</i> .....	6
2.2.3 Struktur Kantilever .....	6
2.2.4 Struktur Cangkang Beton.....	7
2.2.5 Struktur Membran .....	7
2.2.6 Struktur Rangka Ruang.....	8
2.2.7 Konsep Rangka Batang Kantilever.....	9

2.3	Teori Dinamika Struktur .....	9
2.3.1	Derajat Kebebasan.....	9
2.3.2	Sistem Berderajat Kebebasan Banyak ( <i>Multi Degree of Freedom</i> ) 10	
2.3.3	Getaran Bebas Sistem MDOF .....	11
2.3.4	Analisis Respons Spektrum .....	11
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>13</b>
3.1	Alur Berpikir .....	13
3.2	Pemodelan Struktur .....	13
3.2.1	Pembebanan .....	13
3.2.2	Properti Struktur .....	20
3.2.3	Metode dan Variasi Pemodelan.....	22
<b>BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS .....</b>		<b>26</b>
4.1	Karakteristik Dinamik Struktur .....	27
4.1.1	Periode Getar Struktur .....	27
4.1.2	Partisipasi Massa Struktur.....	29
4.2	Reaksi Dasar dan Gaya Geser Tingkat .....	30
4.2.1	Gaya Geser Dasar .....	30
4.2.2	Gaya Geser Tingkat .....	35
4.3	Perpindahan Tiap Tingkat.....	38
4.4	Gaya Dalam Kolom .....	40
4.5	Rasio Tulangan Balok dan Kolom.....	54
4.5.1	Rasio Tulangan Balok.....	54
4.5.2	Rasio Tulangan Kolom.....	64
4.6	Pemodelan Momen Pada Model 2.....	69
4.6.1	Karakteristik Dinamik .....	69
4.6.2	Gaya Dalam.....	73
4.7	Diskusi .....	77
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>80</b>
5.1	Kesimpulan .....	80
5.2	Saran .....	81
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>82</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Denah dan Potongan <i>Colloseum</i> .....	5
Gambar 2.2. Struktur <i>Post and Beam</i> .....	6
Gambar 2.3. Struktur <i>Goal Post</i> .....	6
Gambar 2.4. Struktur Kantilever .....	7
Gambar 2.5. Struktur Cangkang pada Palazetto Dello Sport, Italia .....	7
Gambar 2.6. Struktur Membran pada Stadion Faro, Portugal.....	8
Gambar 2.7. Struktur Rangka Ruang pada Stadion San Siro, Italia .....	9
Gambar 2.8. Kantilever Pada Rangka Batang .....	9
Gambar 2.9. Desain Respon Spektrum .....	12
Gambar 3.1. Wilayah Gempa Indonesia .....	16
Gambar 3.2. Respon Spektrum Gempa Rencana Wilayah Gempa 3 .....	17
Gambar 3.3. Denah Struktur.....	21
Gambar 3.4. Denah Tribun.....	21
Gambar 3.5. Potongan Melintang.....	22
Gambar 3.6. Pemodelan Struktur Dengan Atap (Tampak Samping) .....	23
Gambar 3.7. Pemodelan Struktur Atap .....	23
Gambar 3.8. Pemodelan Struktur Tribun dengan Atap (3D) .....	24
Gambar 3.9. Pemodelan Struktur Tribun tanpa Atap .....	24
Gambar 4.1. Gaya Geser Tingkat Arah X Bentang 22 Meter .....	35
Gambar 4.2. Gaya Geser Tingkat Arah Y Bentang 22 Meter .....	36
Gambar 4.3. Gaya Geser Tingkat Arah X Bentang 26 Meter .....	36
Gambar 4.4. Gaya Geser Tingkat Arah Y Bentang 26 Meter .....	37
Gambar 4.5. Gaya Geser Tingkat Arah X Bentang 30 Meter .....	37
Gambar 4.6. Gaya Geser Tingkat Arah Y Bentang 30 Meter .....	38
Gambar 4.7. Deskripsi Tingkat .....	39
Gambar 4.8. Perpindahan $U_x$ .....	39
Gambar 4.9. Perpindahan $U_y$ .....	40
Gambar 4.10. Gaya Dalam Aksial Untuk Bentang Atap 22 meter.....	41
Gambar 4.11. Gaya Dalam Aksial Untuk Bentang Atap 26 meter.....	41

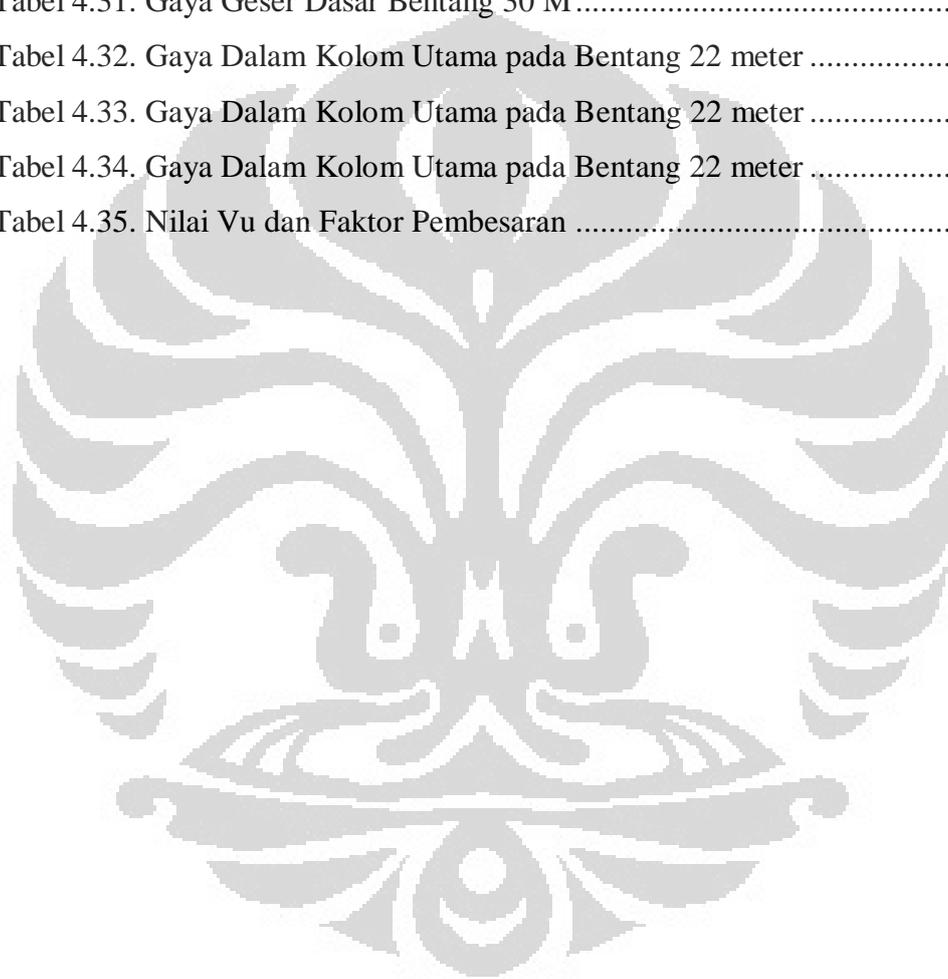
Gambar 4.12. Gaya Dalam Aksial Untuk Bentang Atap 30 meter.....	42
Gambar 4.13. Gaya Dalam V mayor Untuk Bentang Atap 22 meter .....	43
Gambar 4.14. Gaya Dalam V mayor Untuk Bentang Atap 26 meter .....	43
Gambar 4.15. Gaya Dalam V mayor Untuk Bentang Atap 30 meter .....	44
Gambar 4.16. Gaya Dalam V minor Untuk Bentang Atap 22 meter.....	45
Gambar 4.17. Gaya Dalam V minor Untuk Bentang Atap 26 meter .....	45
Gambar 4.18. Gaya Dalam V minor Untuk Bentang Atap 30 meter.....	46
Gambar 4.19. Gaya Dalam Torsi Untuk Bentang Atap 22 meter.....	47
Gambar 4.20. Gaya Dalam Torsi Untuk Bentang Atap 26 meter.....	47
Gambar 4.21. Gaya Dalam Torsi Untuk Bentang Atap 30 meter.....	48
Gambar 4.22. Gaya Dalam Momen Untuk Bentang Atap 22 meter.....	49
Gambar 4.23. Gaya Dalam Momen Untuk Bentang Atap 22 meter.....	49
Gambar 4.24. Gaya Dalam Momen Untuk Bentang Atap 30 meter.....	50
Gambar 4.25 Gaya Dalam Aksial Untuk Bentang Atap 22 meter (Kolom Lain) .	51
Gambar 4.26. Gaya Dalam V mayor Untuk Bentang Atap 22 meter (Kolom Lain) .....	52
Gambar 4.27. Gaya Dalam V minor Untuk Bentang Atap 22 meter (Kolom Lain) .....	52
Gambar 4.28 Gaya Dalam Torsi Untuk Bentang Atap 22 meter (Kolom Lain) ...	53
Gambar 4.29. Gaya Dalam Momen Untuk Bentang Atap 22 meter (Kolom Lain) .....	53
Gambar 4.30. Rasio Tulangan Balok Longitudinal Arah X Bentang 22 M.....	54
Gambar 4.31. Rasio Tulangan Balok Longitudinal Arah Y Bentang 22 M.....	55
Gambar 4.32. Rasio Tulangan Balok Longitudinal Arah X Bentang 26 M.....	55
Gambar 4.33 Rasio Tulangan Balok Longitudinal Arah Y Bentang 26 M.....	56
Gambar 4.34. Rasio Tulangan Balok Longitudinal Arah X Bentang 30 M.....	56
Gambar 4.35. Rasio Tulangan Balok Longitudinal Arah Y Bentang 30 M.....	57
Gambar 4.36. Rasio Tulangan Balok Transversal Arah X Bentang 22 M.....	58
Gambar 4.37. Rasio Tulangan Balok Transversal Arah Y Bentang 22 M.....	58
Gambar 4.38. Rasio Tulangan Balok Transversal Arah X Bentang 26 M.....	59
Gambar 4.39. Rasio Tulangan Balok Transversal Arah Y Bentang 26 M.....	59
Gambar 4.40. Rasio Tulangan Balok Transversal Arah X Bentang 30 M.....	60

Gambar 4.41. Rasio Tulangan Balok Transversal Arah Y Bentang 30 M.....	60
Gambar 4.42. Berat dan Rasio Tulangan Balok Bentang 22 Meter .....	62
Gambar 4.43. Berat dan Rasio Tulangan Balok Bentang 26 Meter .....	62
Gambar 4.44. Berat dan Rasio Tulangan Balok Bentang 30 Meter .....	63
Gambar 4.45. Rasio Tulangan Kolom Longitudinal Bentang 22 M.....	64
Gambar 4.46. Rasio Tulangan Kolom Transversal Bentang 22 M .....	64
Gambar 4.47. Rasio Tulangan Kolom Longitudinal Bentang 26 M.....	65
Gambar 4.48. Rasio Tulangan Kolom Transversal Bentang 26 M .....	65
Gambar 4.49. Rasio Tulangan Kolom Longitudinal Bentang 30 M.....	66
Gambar 4.50. Rasio Tulangan Kolom Transversal Bentang 30 M .....	66
Gambar 4.51. Berat dan Rasio Tulangan Kolom Bentang 22 Meter .....	68
Gambar 4.52. Berat dan Rasio Tulangan Kolom Bentang 26 Meter .....	68
Gambar 4.53. Berat dan Rasio Tulangan Kolom Bentang 30 Meter .....	69
Gambar 4.54. Perpindahan Arah X.....	71
Gambar 4.55. Perpindahan Arah Y.....	71
Gambar 4.56. Gaya Geser Tingkat Arah X.....	72
Gambar 4.57. Gaya Geser Tingkat Arah Y.....	72
Gambar 4.58. Gaya Dalam V Major Bentang Atap 22 M .....	73
Gambar 4.59. Gaya Dalam V Minor Bentang Atap 22 M .....	73
Gambar 4.60. Gaya Dalam Momen Bentang Atap 22 M.....	74
Gambar 4.61. Gaya Dalam V Major Bentang Atap 26 M .....	74
Gambar 4.62. Gaya Dalam V Minor Bentang Atap 26 M .....	75
Gambar 4.63. Gaya Dalam Momen Bentang Atap 26 M.....	75
Gambar 4.64. Gaya Dalam V Major Bentang Atap 30 M .....	76
Gambar 4.65. Gaya Dalam V Minor Bentang Atap 30 M .....	76
Gambar 4.66. Gaya Dalam Momen Bentang Atap 30 M.....	77

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Faktor Keutamaan I untuk berbagai kategori gedung dan bangunan ...	16
Tabel 3.2. Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah untuk masing – masing wilayah gempa Indonesia .....	17
Tabel 3.3. Faktor daktilitas maksimum, faktor reduksi gempa maksimum, faktor tahanan lebih struktur.....	18
Tabel 3.4. Koefisien $\psi$ untuk menghitung respons gempa vertikal $C_v$ .....	19
Tabel 4.1. Periode Getar untuk Bentang Atap 22 Meter.....	27
Tabel 4.2. Periode Getar untuk Bentang Atap 26 Meter.....	27
Tabel 4.3. Periode Getar untuk Bentang Atap 30 Meter.....	27
Tabel 4.4. Nilai $W_t$ dan Perbandingan Terhadap $W_t$ Total Bentang 22 Meter .....	28
Tabel 4.5. Nilai $W_t$ dan Perbandingan Terhadap $W_t$ Total Bentang 26 Meter .....	28
Tabel 4.6. Nilai $W_t$ dan Perbandingan Terhadap $W_t$ Total Bentang 30 Meter .....	28
Tabel 4.7. Mode Yang Diperlukan Untuk Mencapai 90 % Partisipasi Massa.....	29
Tabel 4.8. Gaya Geser Dasar untuk Bentang Atap 22 Meter.....	30
Tabel 4.9. Gaya Geser Dasar untuk Bentang Atap 26 Meter.....	30
Tabel 4.10. Gaya Geser Dasar untuk Bentang Atap 30 Meter.....	30
Tabel 4.11. Reaksi Dasar untuk Bentang Atap 22 Meter.....	31
Tabel 4.12. Reaksi Dasar untuk Bentang Atap 26 Meter.....	31
Tabel 4.13. Reaksi Dasar untuk Bentang Atap 30 Meter.....	32
Tabel 4.14. <i>Input Beban</i> Model 2 untuk Bentang Atap 22 Meter .....	33
Tabel 4.15. <i>Input Beban</i> Model 2 untuk Bentang Atap 26 Meter .....	34
Tabel 4.16. <i>Input Beban</i> Model 2 untuk Bentang Atap 30 Meter .....	34
Tabel 4.17. Reaksi Akibat Ev untuk Bentang Atap 22 Meter.....	34
Tabel 4.18. Reaksi Akibat Ev untuk Bentang Atap 26 Meter.....	34
Tabel 4.19. Reaksi Akibat Ev untuk Bentang Atap 30 Meter.....	35
Tabel 4.20. Berat dan Rasio Tulangan Balok Bentang 22 Meter .....	61
Tabel 4.21. Berat dan Rasio Tulangan Balok Bentang 26 Meter .....	61
Tabel 4.22. Berat dan Rasio Tulangan Balok Bentang 30 Meter .....	61
Tabel 4.23. Berat dan Rasio Tulangan Kolom Bentang 22 Meter .....	67

Tabel 4.24. Berat dan Rasio Tulangan Kolom Bentang 26 Meter .....	67
Tabel 4.25 Berat dan Rasio Tulangan Kolom Bentang 30 Meter .....	67
Tabel 4.26. Periode Getar dan Partisipasi Massa Bentang 22 M .....	70
Tabel 4.27. Periode Getar dan Partisipasi Massa Bentang 26 M .....	70
Tabel 4.28. Periode Getar dan Partisipasi Massa Bentang 30 M .....	70
Tabel 4.29. Gaya Geser Dasar Bentang 22 M.....	70
Tabel 4.30. Gaya Geser Dasar Bentang 26 M.....	70
Tabel 4.31. Gaya Geser Dasar Bentang 30 M.....	71
Tabel 4.32. Gaya Dalam Kolom Utama pada Bentang 22 meter .....	78
Tabel 4.33. Gaya Dalam Kolom Utama pada Bentang 22 meter .....	78
Tabel 4.34. Gaya Dalam Kolom Utama pada Bentang 22 meter .....	79
Tabel 4.35. Nilai Vu dan Faktor Pembesaran .....	79



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Gaya Dalam Aksial dan Horizontal pada Bentang Atap 22 m
- Lampiran 2. Gaya Dalam Horizontal dan Torsi pada Bentang Atap 22 m
- Lampiran 3. Gaya Dalam Momen Bentang 22 m dan Aksial Bentang Atap 26 m
- Lampiran 4. Gaya Dalam Horizontal pada Bentang Atap 26 m
- Lampiran 5. Gaya Dalam Torsi dan Momen pada Bentang Atap 26 m



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Stadion adalah struktur berukuran besar yang dipergunakan untuk kegiatan olahraga di ruang terbuka. Struktur stadion ini terdiri dari lapangan yang dikelilingi oleh struktur yang didesain agar penonton dapat menyaksikan kegiatan yang berlangsung di lapangan baik sambil duduk maupun berdiri. Bangunan stadion olahraga, khususnya stadion sepak bola mempunyai keistimewaan tersendiri dalam proses pembangunannya. Di samping semua aspek yang umumnya terdapat pada bangunan gedung, stadion juga terdapat aspek-aspek tambahan yang sifatnya khusus dan harus mendapatkan perhatian istimewa karena menyangkut standarisasi & regulasi pertandingan yang akan dilaksanakan di stadion tersebut. Sejak dari saat perencanaan, pelaksanaan & pengawasan proyek stadion harus melibatkan induk-induk organisasi olahraga nasional/internasional yang akan memanfaatkan keberadaannya.

Fungsi stadion adalah menyediakan tempat bagi penonton untuk menyaksikan kegiatan yang berlangsung di dalamnya, sehingga stadion harus didesain agar pemandangan ke lapangan tidak terhalangi. Karena hal inilah desain struktur atap stadion menjadi aspek krusial untuk mendapatkan keseimbangan yang optimum antara memastikan setiap penonton dapat menikmati pertandingan tanpa terhalangi, memberikan atmosfer yang baik, dan menjadikan bentuk struktur elegan.

Karena aspek-aspek di atas, dalam konstruksi atap stadion biasanya menggunakan jasa kontraktor spesialis atap baik dalam desain struktur maupun konstruksi di lapangan. Nantinya kontraktor spesialis atap inilah yang mendesain sesuai data – data perencanaan dan menganalisanya sehingga didapat spesifikasi properti – properti dan material yang digunakan dalam pembangunan stadion. Namun dalam tender, penunjukan kontraktor spesialis ini sering kali dilakukan belakangan dan kontrak untuk konstruksi atap tersebut belum pasti sehingga mereka biasanya tidak memberikan detail analisis yang diperlukan konsultan utama dalam menganalisa struktur utama.

Karena hal ini, konsultan utama mengalami kesulitan dalam menganalisa struktur tribun yang seharusnya dianalisa kontinu dengan struktur atapnya, yang mengakibatkan dimensi struktur hasil perhitungan tidak efisien.

Atas dasar itulah, dalam skripsi ini penulis mencoba membandingkan metode pemodelan stadion yaitu dengan membandingkannya sebagai sistem dengan sistem yang menyatu antara struktur atap dan tribun dengan penyederhanaan dari metode tersebut yaitu dengan sistem terpisah. Kedua pemodelan ini akan ditinjau terhadap beban gempa.

### **1.2 Tujuan Penulisan**

Melakukan analisa terhadap pemodelan struktur stadion, yaitu dengan memodelkannya sebagai sistem yang menyatu antara struktur dengan atap dan dengan penyederhanaannya yaitu dengan beban – beban yang bekerja pada struktur atap sebagai beban terpusat pada struktur tribun di bawahnya, kemudian melihat sejauh mana metode penyederhanaan ini dapat diterapkan khususnya terhadap beban gempa.

### **1.3 Pembatasan Masalah**

Pada skripsi ini penulis menganalisa struktur stadion terbatas pada struktur atap dan tribun, di mana struktur atap berupa struktur kantilever dan berlaku sesuai ketentuan – ketentuan di Indonesia.

### **1.4 Metode Pemecahan Masalah**

Pemecahan masalah dilakukan dengan menggunakan program komputer untuk analisis struktur berbasis elemen hingga yaitu SAP2000. Selain itu program tersebut juga digunakan dalam menghitung *output* kebutuhan tulangan.

### **1.5 Hipotesis**

Pemodelan sebagai beban terpusat pada struktur kantilever dapat dilakukan dengan alasan bahwa perbandingan massa dan kekakuan struktur atap yang jauh lebih kecil dari tribune

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Secara keseluruhan, sistematika penulisan dalam skripsi ini adalah:

Bab I Pendahuluan

Berisi tentang latar belakang, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metode pemecahan masalah, hipotesis, serta sistematika penulisan.

## Bab II Tinjauan Pustaka

Berisi konsep tentang filosofi stadion, jenis – jenis struktur atap pada stadion, dan dasar – dasar dinamika struktur.

## Bab III Metodologi Penelitian

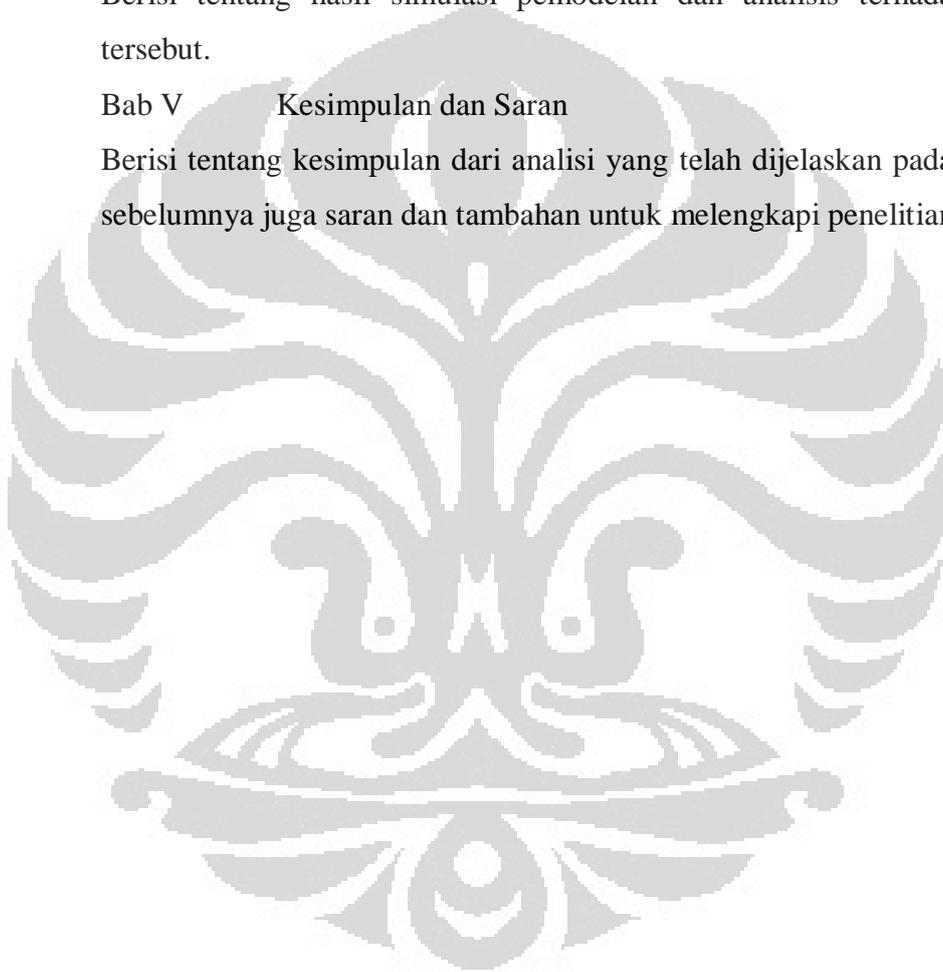
Berisi tentang prosedur penelitian, pemodelan struktur, serta variasi yang akan dilakukan dalam penelitian.

## Bab IV Simulasi dan Analisis

Berisi tentang hasil simulasi pemodelan dan analisis terhadap hasil tersebut.

## Bab V Kesimpulan dan Saran

Berisi tentang kesimpulan dari analisis yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya juga saran dan tambahan untuk melengkapi penelitian ini

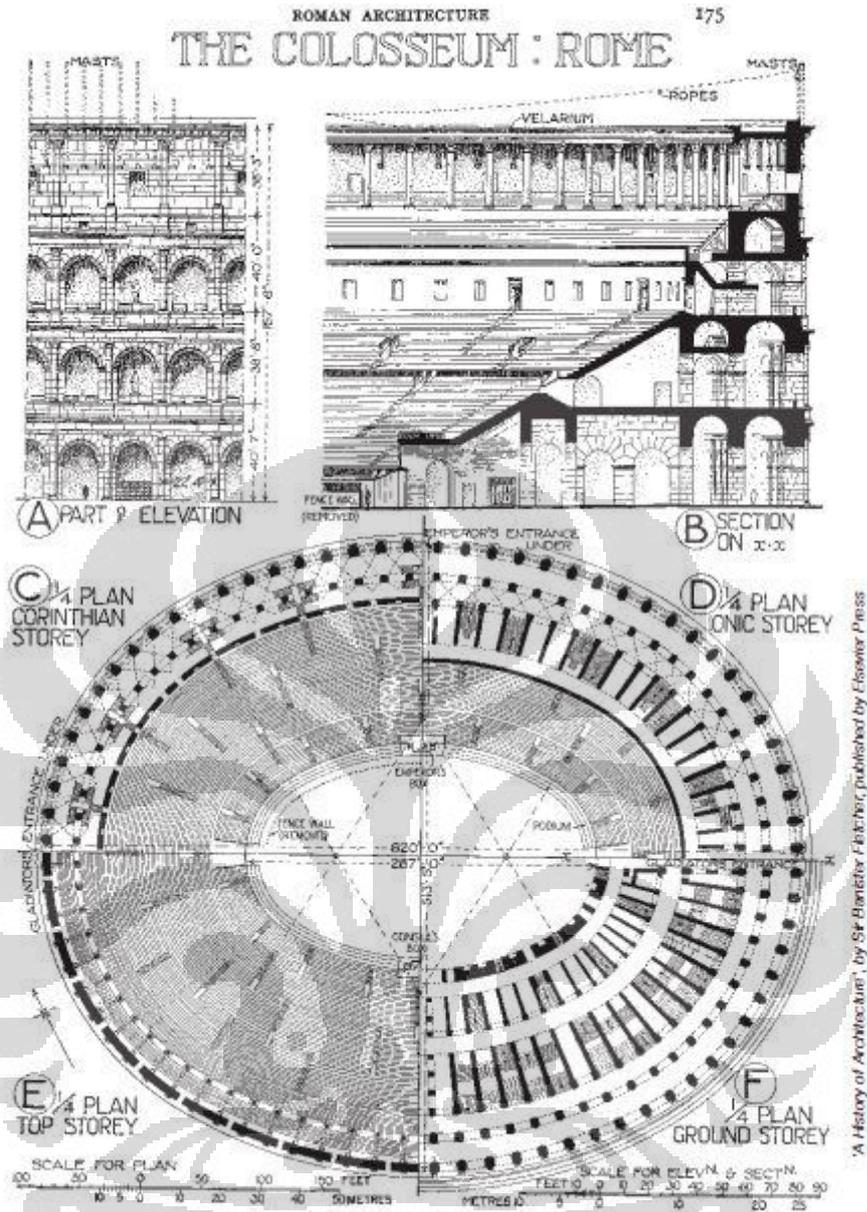


## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Stadion sebagai Tipe Bangunan Gedung

Stadion olahraga pada prinsipnya adalah sebuah panggung untuk menampilkan prestasi heroik. Dari sudut pandang arsitektural, stadion harus mampu mengharmonisasikan antara fungsi dramatis ditambah skala monumental agar mampu menghasilkan suatu struktur yang mencirikan kekhasan negara.

Dilihat dari segi sejarah, stadion pertama yang ada di dunia berasal dari Yunani yang di mana pada awalnya digunakan untuk pacuan kuda dan kegiatan atletik lainnya. Salah satu bangunan stadion bersejarah lainnya adalah *The Flavian Amphitheatre* atau biasa dikenal sebagai *Colosseum*, merupakan bangunan dengan bentuk elips yang berfungsi sebagai tempat mempertontonkan kesadisan dan pembantaian yang dibangun tahun 70 dan selesai 12 tahun setelahnya. Struktur ini memiliki empat tingkat dan mampu menampung 48.000 orang, sebuah kapasitas yang bahkan tidak mampu terlampaui sampai abad ke-20. Setelah itu pada abad pertengahan perkembangan stadion berhenti dan baru bangkit lagi setelah masa revolusi industri, di mana stadion digunakan untuk perheletan Olimpiade. Perkembangan stadion selanjutnya adalah sebagai sarana untuk menonton kegiatan olahraga, di mana kegiatan olahraga tersebut tidak lagi disatukan seperti pada Olimpiade melainkan stadion berfungsi sebagai tempat menonton salah satu jenis olahraga tertentu saja, seperti contohnya stadion sepak bola, stadion rugby, dan sebagainya.



Gambar 2.1. Denah dan Potongan *Colloseum*

(Sumber: Stadia, 2007)

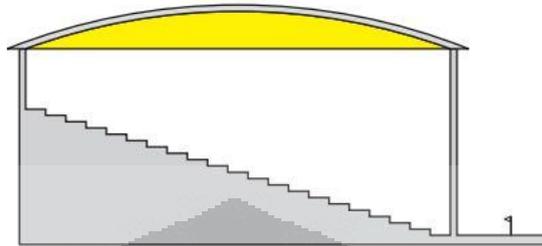
## 2.2 Struktur Atap pada Stadion

Seiring dengan perkembangan zaman, tingkat kompleksitas pada desain struktur atap tentunya makin rumit. Hal ini disebabkan oleh berbagai faktor, seperti faktor biaya maupun estetika. Namun, jenis struktur atap yang umumnya digunakan pada stadion adalah sebagai berikut:

### 2.2.1 Struktur *Post and Beam*

Struktur ini terdiri atas barisan kolom sejajar dengan bubungan yang menunjang balok atau rangka yang menyokong atap. Keuntungan dari jenis ini

adalah sederhana dan murah. Kerugiannya adalah pandangan penonton terhalang karena bentuk struktur ini. Struktur ini banyak digunakan pada awal abad ke 20, namun tidak lagi digunakan karena bentuknya yang menghalangi pandangan.

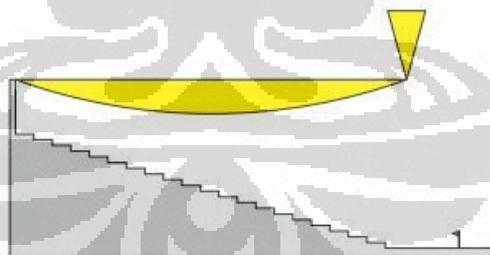


Gambar 2.2. Struktur *Post and Beam*

(Sumber: Stadia, 2007)

### 2.2.2 Struktur *Goal Post*

Struktur ini mirip dengan struktur *Post and Beam* namun tiang – tiangnya hanya terdiri di kedua ujungnya saja dan seluruh panjang atap bertumpu pada sebuah girder. Bentuk ini tentunya terbebas dari halangan pada pandangan ke lapangan. Namun, bentuk ini biasanya hanya terbatas pada stadion berbentuk persegi panjang di mana tribunnnya biasanya terpisah. Selain itu, bentuk ini memerlukan inspeksi dan perawatan yang teratur, mengingat struktur atap yang hanya ditopang oleh sebuah girder.



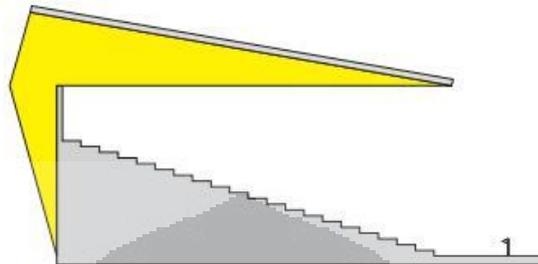
Gambar 2.3. Struktur *Goal Post*

(Sumber: Stadia, 2007)

### 2.2.3 Struktur Kantilever

Pada jenis ini, struktur atap menggantung bebas tanpa tumpuan di satu ujung dan ditahan oleh tumpuan di ujung lainnya. Struktur ini memberikan pandangan tanpa halangan sama seperti sebelumnya. Selain itu juga dapat memiliki bentang yang sangat lebar, dan yang menjadi faktor keterbatasan biasanya adalah biaya, bukan teknologi. Lalu, hal lain yang menjadi perhatian

adalah dibutuhkan perhitungan terhadap momen dari atap dan bagaimana menyeimbangkannya. Untuk hal ini biasanya dilakukan pengangkuran pada di bawah tanah di luar area.



Gambar 2.4. Struktur Kantilever

(Sumber: Stadia, 2007)

#### 2.2.4 Struktur Cangkang Beton

Cangkang struktur dengan permukaan tipis yang melengkung pada satu atau dua arah, yang mendapatkan kekuatan lebih dari bentuk geometri daripada ketebalan atau kekuatan material. Termasuk di dalamnya adalah cangkang dengan bentuk silindrikal, kubah, kerucut, dan hiperbolik dan memberikan bentuk atap yang elegan. Cangkang setebal 75 – 100 mm dapat memiliki bentang 100 m. Keuntungan dari sistem ini adalah memiliki potensi untuk terlihat elegan dari sisi visual. Sedangkan kerugiannya adalah membutuhkan desainer spesialis dan biaya yang sangat tinggi jika menggunakan beton *in situ*.



Gambar 2.5. Struktur Cangkang pada Palazzetto Dello Sport, Italia

(Sumber: [http://en.wikipedia.org/wiki/Palazzetto\\_dello\\_Sport](http://en.wikipedia.org/wiki/Palazzetto_dello_Sport))

#### 2.2.5 Struktur Membran

Struktur ini adalah bagian dari *tension structure* di mana gaya – gaya utama yang ditahan member berasal dari gaya – gaya tarik saja. Struktur *tension*

ini lebih ekonomis secara material dibanding struktur lainnya, namun harus dijaga kestabilannya dan ditahan terhadap segala deformasi yang dapat menimbulkan bagian dari sistem mengalami tekan. Struktur ini terdiri dari kabel berangkai, jaring kabel, dan membran. Struktur membran ini sendiri berfungsi sebagai struktur atap sekaligus penutup atap. Bahan yang digunakan adalah dari bahan fabric di mana yang biasa digunakan adalah bahan *PVC – Coated Polyester Fabric* dan *Teflon – Coated Glass Fibre Fabric*. Secara umum, keuntungan dari struktur *tension* ini adalah dapat diadaptasikan pada berbagai macam *layout* stadion. Di mana untuk kekurangannya adalah membutuhkan perawatan yang lebih sistematis dan intensif daripada struktur lainnya.



Gambar 2.6. Struktur Membran pada Stadion Faro, Portugal

(Sumber: <http://www.worldstadiumdatabase.com/estadio-algarve-stadium-faro-in-portugal.htm>)

#### 2.2.6 Struktur Rangka Ruang

Rangka ruang adalah struktur grid yang berbentuk tiga dimensi dan stabil secara 3 dimensi, tidak seperti rangka atap yang stabil hanya pada bidangnya. Struktur ini biasanya menggunakan material baja. Keuntungannya adalah mampu menangani bentang yang lebar.

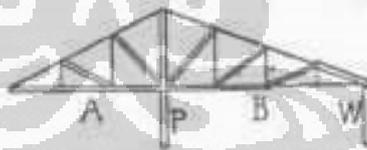


Gambar 2.7. Struktur Rangka Ruang pada Stadion San Siro, Italia

(Sumber: <http://www.nflstadiumguide.com/sansiro.htm>)

### 2.2.7 Konsep Rangka Batang Kantilever

Kata kantilever secara mekanika memiliki makna balok atau gelagar yang dijepit atau ditahan pada satu ujungnya. Pada rangka batang, istilah kantilever ini lazim digunakan untuk menggambarkannya sebagai rangkaian antara lengan proyeksi dengan lengan penyeimbang.



Gambar 2.8. Kantilever Pada Rangka Batang

(Sumber: <http://chestofbooks.com/architecture/Construction-Superintendence/43-Cantilever-Trusses.html>)

Keuntungan dari sistem rangka batang kantilever ini adalah kebebasan tinggi yang lebih besar daripada tipe lainnya, tampak luar yang lebih elegan dan ringan, dan tidak membutuhkan tie rod. Sedangkan kerugiannya adalah bukan merupakan tipe rangka batang yang ekonomis.

## 2.3 Teori Dinamika Struktur

### 2.3.1 Derajat Kebebasan

Derajat kebebasan adalah sejumlah parameter yang independen yang menyatakan posisi suatu sistem saat terjadi deformasi jika diberikan gaya terhadap

posisinya semula. Dalam permasalahan dinamika struktur, modelisasi sistem terdiri dari Sistem Berderajat Kebebasan Tunggal (Single Degree of Freedom System/SDOF) dan Sistem Berderajat Kebebasan Banyak (Multi Degree of Freedom/MDOF).

Pada sistem SDOF perpindahan hanya diperhitungkan dalam kondisi 2 dimensi terhadap satu arah saja yaitu arah horizontal saja. Karena simpangan yang terjadi hanya dalam satu bidang atau dua dimensi, maka simpangan suatu massa pada setiap saat dapat dinyatakan dalam koordinat tunggal. Hal ini tentunya hanya merupakan idealisasi dan penyederhanaan, karena pada faktanya di dunia ini hampir tidak ada struktur SDOF, sehingga untuk pemecahan masalah pada struktur yang lebih rumit, terutama pada struktur stadion yang dibahas pada penelitian ini akan menggunakan analisa dengan pemodelan struktur secara MDOF.

### 2.3.2 Sistem Berderajat Kebebasan Banyak (*Multi Degree of Freedom*)

Dalam memformulasikan persamaan dinamik pada sistem ini, dapat digunakan struktur yang paling sederhana yang dapat mengidealisasikan sistem MDOF yaitu struktur portal dengan 2 tingkat yang diberikan gaya luar pada tiap tingkatnya. Struktur ini menggunakan prinsip shear building, di mana balok dan pelat lantai dianggap rigid atau memiliki kekakuan lentur tak terhingga dan juga beberapa faktor diabaikan, seperti deformasi aksial pada balok dan kolom juga efek gaya aksial pada kekakuan kolom. Meskipun tidak realistis, idealisasi shear frame atau shear building ini dapat mengilustrasikan bagaimana persamaan dinamik untuk sistem MDOF didapatkan.

Sehingga, persamaan dinamik sistem MDOF (*Multi Degree of Freedom*) adalah

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

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

### 2.3.3 Getaran Bebas Sistem MDOF

Getaran bebas berarti pergerakan yang terjadi pada struktur terjadi tanpa adanya campur tangan eksitasi dinamik atau gaya luar. Getaran bebas dimulai dengan perpindahan awal dan/atau dengan memberi kecepatan awal.

Pola getar pada getaran bebas memiliki kondisi (Jika  $\omega_n \neq \omega_r$ ),

$$\phi_n^T k \phi_r = 0 \quad \phi_n^T m \phi_r = 0$$

Sehingga ortogonalitas pada pola getaran bebas memberikan persamaan,

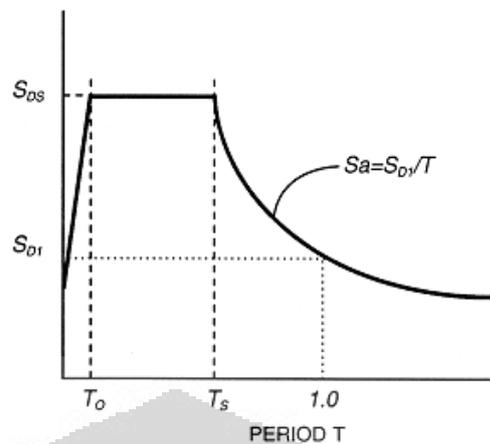
$$Kn = \phi_n^T k \phi_n \quad Mn = \phi_n^T m \phi_n$$

Karena  $m$  dan  $k$  adalah matriks definit positif, maka elemen diagonal pada  $K$  dan  $M$  adalah positif. Kedua nilai ini dihubungkan dengan persamaan,

$$Kn = \omega_n^2 Mn$$

### 2.3.4 Analisis Respons Spektrum

Respons spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur  $T$ , lawan respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Respon-respon maksimum dapat berupa simpangan maksimum (*spectral displacement, SD*) kecepatan maksimum (*spectral velocity, SV*) atau percepatan maksimum (*spectral acceleration, SA*) massa struktur *single degree of freedom (SDOF)*, (Widodo, 2001). Spektrum percepatan akan berhubungan dengan gaya geser maksimum yang bekerja pada dasar struktur. Terdapat dua macam respons spektrum yang ada yaitu respons spektrum elastik dan respons spektrum inelastik. Spektrum elastik adalah suatu spektrum respons spektrum yang didasarkan atas respon elastik suatu struktur, sedangkan spektrum inelastik (juga disebut desain respons spektrum) adalah respon spektrum yang dikalikan dengan suatu faktor skala dari spektrum elastik dengan nilai daktilitas tertentu.



Gambar 2.9. Desain Respon Spektrum

(Sumber: Seismic Design Handbook, 2000)

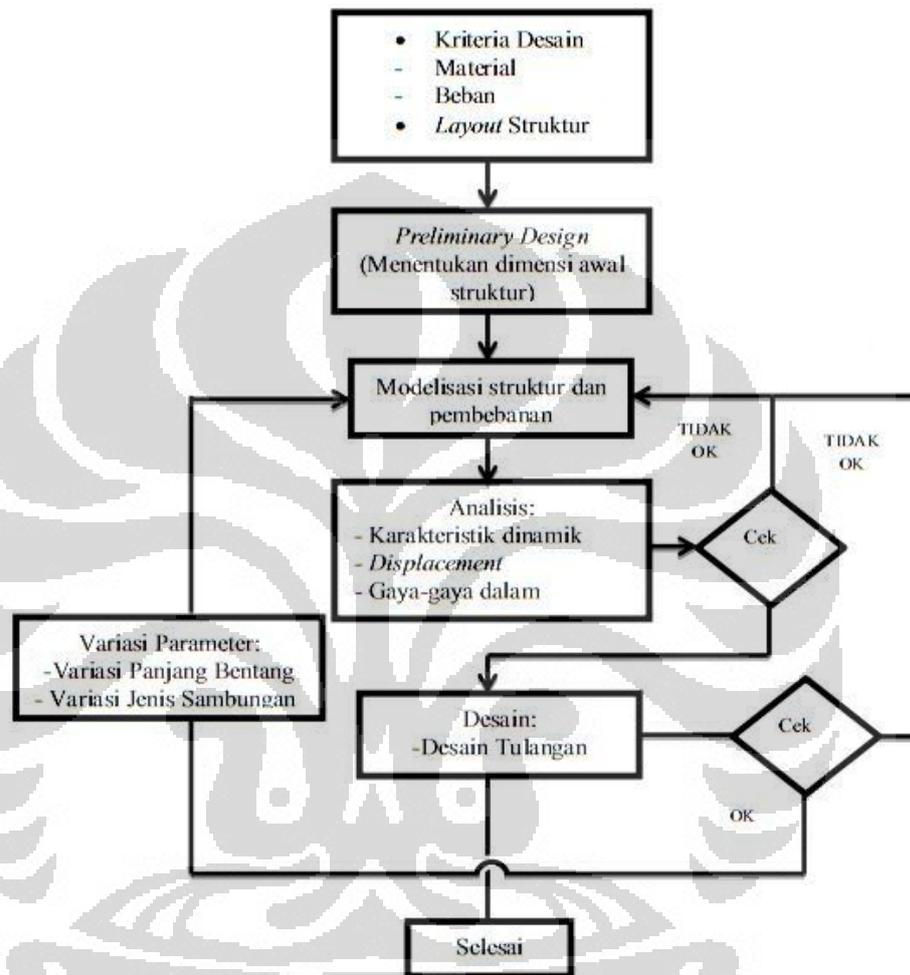
Adapun prosedur penggunaan respons spektrum adalah:

1. Menentukan properti struktur (massa, kekakuan, dan rasio redaman).
2. Menentukan frekuensi alami dan pola getar struktur.
3. Menentukan puncak respons pada moda ke - n:
  - a. Yang bersesuaian dengan perioda alami  $T_n$ ,  $\zeta_n$ ,  $D_n$ , &  $A_n$
  - b. Menentukan lendutan lantai & *story drift*
  - c. Menghitung gaya lateral statik ekuivalen  $f_n$
  - d. Menghitung gaya dalam tiap elemen terhadap  $f_n$
4. Menentukan estimasi nilai puncak respons struktur dengan kombinasi SRSS/CQC.

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN DAN PEMODELAN STRUKTUR

#### 3.1 Alur Berpikir



#### 3.2 Pemodelan Struktur

##### 3.2.1 Pembebanan

Pembebanan berdasar pada Pedoman Perencanaan SKBI – 1.3.53.1987 dan SNI 03-1726-2002 untuk beban gempa. Analisa pembebanan adalah sebagai berikut:

##### c. Beban Mati

Adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, dalam hal ini adalah berat dari komponen – komponen struktur yaitu kolom,

balok, pelat, dan rangka atap. Beban Mati diperhitungkan berdasarkan data-data berikut ini:

Untuk struktur beton (tribun):

1. Berat Jenis Beton Bertulang yang diambil sebagai acuan pembebanan adalah  $2400 \text{ kg/m}^3$
2. Berat Jenis Beton Rabat untuk finishing =  $2200 \text{ kg/m}^3$ .
3. Beban finishing lantai diambil setebal 5 cm =  $110 \text{ kg/m}^2$ .
4. Beban Dinding  $\frac{1}{2}$  Bata =  $250 \text{ kg/m}^2$ .
5. Beban M&E dan plafon diambil sebesar  $25 \text{ kg/m}^2$ .
6. Beban equipment M&E di ruang M&E =  $600 \text{ kg/m}^2$ , kecuali ada ketentuan lain yang lebih berat.

Beban Kursi Penonton (fixed seat) =  $41 \text{ kg/m}^2$

Untuk struktur baja (atap):

1. Berat Jenis Rangka Baja yang diambil sebagai acuan pembebanan adalah  $7800 \text{ kg/m}^3$
2. Berat ball joint, baut, dan hexagon =  $15 \text{ kg/joint}$ .
3. Beban gording primer dan sekunder =  $6 \text{ kg/m}^2$ .
4. Beban Atap Metal =  $6 \text{ kg/m}^2$ .
5. Beban M&E diambil sebesar  $5 \text{ kg/m}^2$ .
6. Beban catwalk =  $100 \text{ kg/m}$
7. Beban lampu spot light =  $60 \text{ kg/titik}$ .
8. Beban talang =  $75 \text{ kg/m}$

d. Beban Hidup

Besarnya beban hidup pada lantai gedung sesuai Pedoman Perencanaan SKBI – 1.3.53.1987 adalah sebesar  $400 \text{ kg/m}^2$ . Selain itu, beban hidup yang bekerja pada atap yaitu beban hujan sebesar  $20 \text{ kg/m}^2$

e. Beban Gempa

Pembebanan gempa mengacu pada peraturan pembebanan gempa SNI 03-1726-2002. Analisis beban gempa yang dilakukan adalah analisis beban gempa dinamik dengan menggunakan analisis ragam spektrum respon.

Adapun beban dinamik yang terjadi harus lebih besar atau sama dengan 80% beban statik. Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya

geser dasar nominal  $V$ , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan menurut persamaan berikut :

$$V > 0,8 V_1$$

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

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

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

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

Keterangan :

$W_{DL}$  : beban mati

$W_{LL}$  : beban hidup

$\alpha$  : faktor reduksi beban hidup (tempat

pertemuan umum  $\alpha=0,5$ )

- Kategori Gedung

Untuk berbagai kategori gedung dan bangunan, bergantung pada probabilitas terjadinya keruntuhan struktur gedung selama umur gedung dan umur gedung tersebut yang diharapkan, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I$  menurut persamaan :

$$I = I_1 + I_2$$

Di mana  $I_1$  adalah faktor keutamaan untuk menyesuaikan periode ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa itu selama umur gedung, sedangkan  $I_2$  adalah faktor keutamaan untuk menyesuaikan periode ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian umur gedung tersebut. Faktor-faktor keutamaan  $I_1$ ,  $I_2$  dan  $I$  ditetapkan menurut tabel di bawah ini:

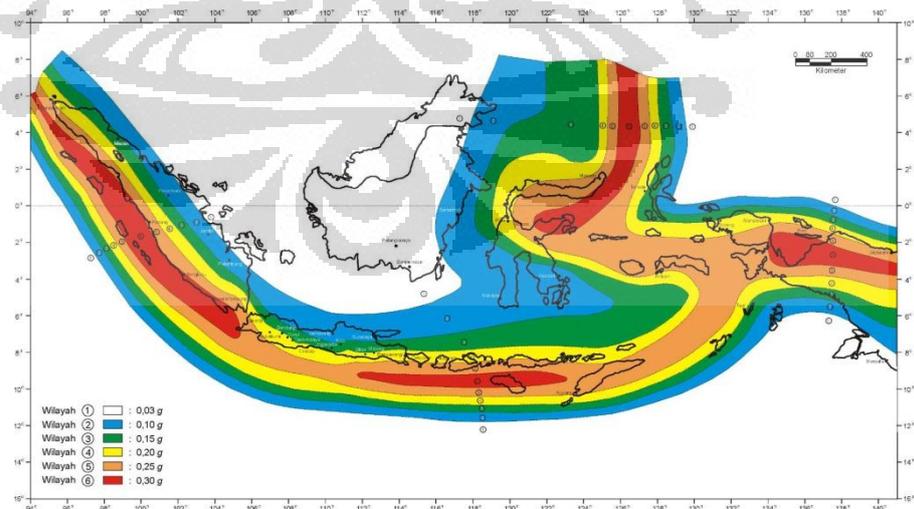
Tabel 3.1. Faktor Keutamaan I untuk berbagai kategori gedung dan bangunan

Kategori Gedung	Faktor Keutamaan		
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
Gedung umum seperti untuk perumahan, perniagaan dan perkantoran	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi.	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5

Sumber: SNI-1726-2002

- Wilayah Gempa dan Struktur Respons

Indonesia ditetapkan terbagi dalam 6 wilayah gempa. Pembagian wilayah gempa ini, didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh gempa rencana dengan perioda ulang 500 tahun, yang nilai rata-ratanya untuk setiap wilayah gempa ditetapkan dalam gambar dan tabel di bawah ini.



Gambar 3.1. Wilayah Gempa Indonesia

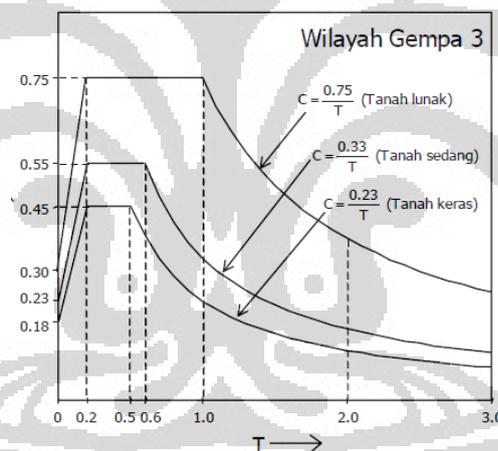
(Sumber: SNI-1726-2002)

Tabel 3.2. Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah untuk masing – masing wilayah gempa Indonesia

Wilayah Gempa	Percepatan puncak batuan dasar ('g')	Percepatan puncak muka tanah $A_o$ ('g')			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,04	0,05	0,08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,20	
3	0,15	0,18	0,23	0,30	
4	0,20	0,24	0,28	0,34	
5	0,25	0,28	0,32	0,36	
6	0,30	0,33	0,36	0,38	

Sumber: SNI-1726-2002

Dalam penulisan penelitian ini struktur yang ditinjau berada di wilayah Jakarta (Wilayah Gempa 3) dengan jenis tanah lunak.



Gambar 3.2. Respon Spektrum Gempa Rencana Wilayah Gempa 3

(Sumber: SNI-1726-2002)

- Faktor Reduksi Gempa

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

Tabel 3.3. Faktor daktilitas maksimum, faktor reduksi gempa maksimum, faktor tahanan lebih struktur

Sistem struktur	Uraian Sistem Pemikul Beban	$\mu_m$	R	f
Sitem Rangka Pemikul Momen	1. Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)			
	a. Baja	5,2	8,5	2,8
	b. Beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	2. Rangka Pemikul Momen Menengah Beton (SRPMM)	3,3	<b>5,5</b>	2,8
	3. Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)			
	a. Baja	2,7	4,5	2,8
	b. Beton bertulang	2,1	3,5	2,8
	4. Rangka Batang Baja Pemikul Momen Khusus (SRBPMK)	4,0	6,5	2,8

Sumber: SNI-1726-2002

Adapun faktor reduksi gempa yang digunakan merupakan sistem rangka pemikul momen beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang. Sehingga besarnya reduksi gempa adalah sebesar 5,5. Sedangkan untuk struktur atap adalah sebesar 4,5.

- Pengaruh Gempa Vertikal

Unsur-unsur struktur gedung yang memiliki kepekaan yang tinggi terhadap beban gravitasi seperti balkon, kanopi dan balok kantilever berbentuk panjang, balok transfer pada struktur gedung tinggi yang memikul beban gravitasi dari dua atau lebih tingkat di atasnya serta balok beton pratekan berbentuk panjang, 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.

Faktor Respons Gempa vertikal  $C_v$  harus dihitung menurut persamaan :

$$C_v = \psi A_o I$$

di mana koefisien  $\psi$  bergantung pada wilayah gempa tempat struktur gedung berada dan ditetapkan menurut tabel 3.3, dan  $A_o$  adalah percepatan puncak muka tanah menurut Tabel 3.2, sedangkan  $I$  adalah Faktor Keutamaan gedung menurut Tabel 3.1.

Tabel 3.4. Koefisien  $\psi$  untuk menghitung respons gempa vertikal  $C_v$

Wilayah gempa	$\psi$
1	0,5
2	0,5
3	0,5
4	0,6
5	0,7
6	0,8

Sumber: SNI-1726-2002

- *Mode Shape*

Perhitungan respons dinamik struktur gedung tidak beraturan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana, dapat dilakukan dengan metoda analisis ragam spektrum respons dengan memakai spektrum respons gempa rencana yang nilai ordinatnya dikalikan faktor koreksi  $I/R$ , di mana  $I$  adalah Faktor Keutamaan menurut Tabel 1, sedangkan  $R$  adalah faktor reduksi gempa representatif dari struktur gedung yang bersangkutan. Dalam hal ini, jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan respons ragam menurut metoda ini harus sedemikian rupa, sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respons total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%.

Penjumlahan respons ragam untuk struktur gedung tidak beraturan yang memiliki waktu-waktu getar alami yang berdekatan, harus dilakukan dengan metoda yang dikenal dengan Kombinasi Kuadrat Lengkap (*Complete Quadratic Combination* atau *CQC*). Waktu getar alami harus dianggap berdekatan, apabila selisih nilainya kurang dari 15%. Dalam penelitian ini menggunakan metode CQC.

d. Kombinasi Pembebanan

Adapun kombinasi pembebanan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1,4 DL

1,2 DL + 1,6 L

$$1,2 DL + 1 LL \pm (Ex \pm 0,3 Ey) + Ev$$

$$1,2 DL + 1 LL \pm (Ey \pm 0,3 Ex) + Ev$$

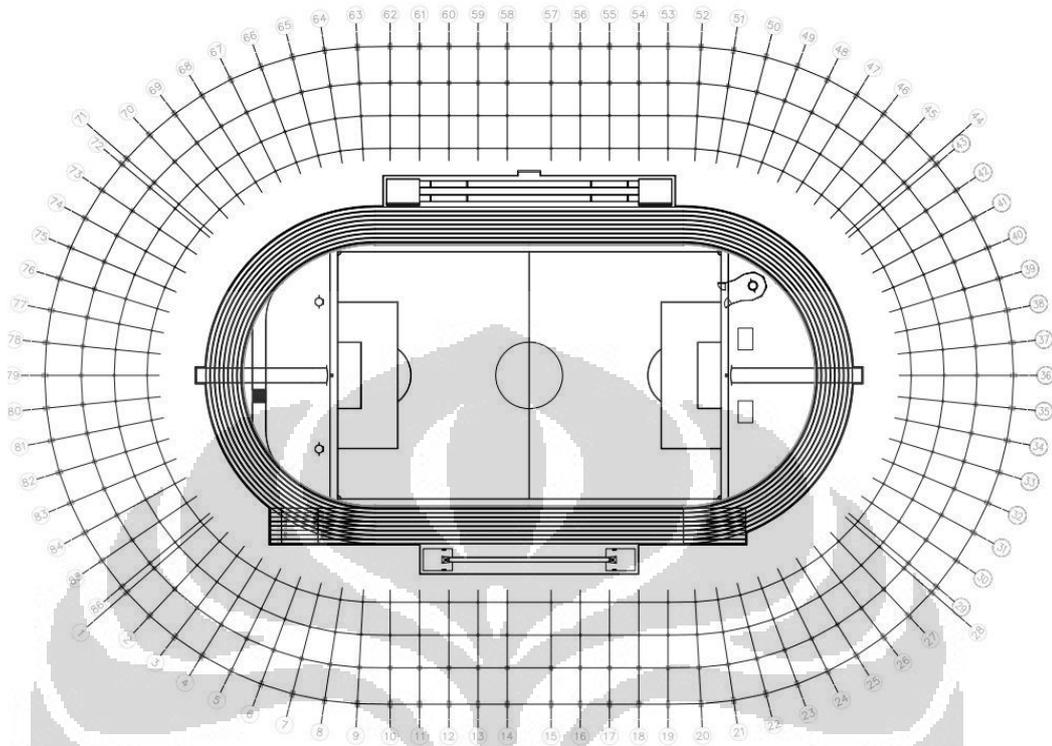
$$0,9 DL \pm (Ex \pm 0,3 Ey) - Ev$$

$$0,9 DL \pm (Ey \pm 0,3 Ex) - Ev$$

### 3.2.2 Properti Struktur

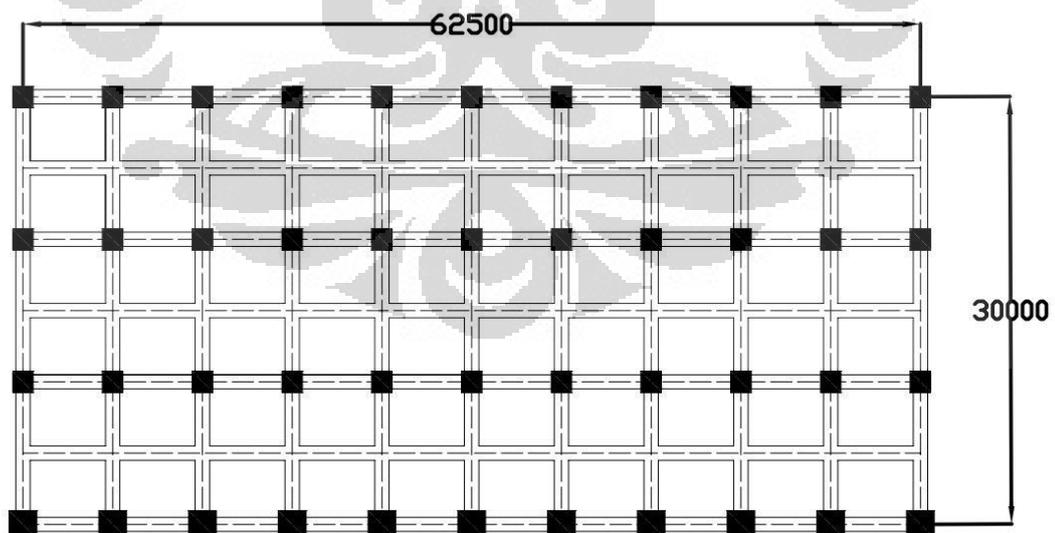
- Tinggi Bangunan : 12 m ( Bangunan Tribun Stadion) + 6 m  
(Kolom Kantilever Atap)
- Jumlah Tingkat : 4 tingkat
- Bentang Atap : 22, 26, dan 30 m
- Kemiringan Atap : 15°
- Jarak antar bentang : 10 m ( bentang terbesar)
- Beton
  - Kekuatan Tekan ( $f_c'$ ) : 35 MPa
  - Modulus Elastisitas ( $E$ ) :  $4700 \sqrt{f_c'} = 4700 \sqrt{35} = 27806$   
MPa
  - Berat Jenis beton :  $2400 \text{ kg}/\text{m}^3$
- Baja Tulangan
  - Tegangan Leleh ( $f_y$ ) : 400 MPa
- Rangka Atap
  - Mutu Baja : BJ 41
  - Tegangan putus min. ( $f_u$ ) : 410 MPa
  - Tegangan leleh min. ( $f_y$ ) : 250 MPa
- Dimensi Struktur :
  - Balok Induk : 80 cm x 40 cm
  - Kolom :
    - 150 cm x 90 cm (Kolom Penopang Atap Kantilever)
    - 90 cm x 90 cm (Kolom Lainnya)
  - Profil Atap :
    - Gording : C 6 x 13
    - Member : Round HSS 5 x 0,125, HSS 7 x 0,125, HSS  
7 x 0,125, HSS 7 x 0,312, HSS 10 x 0,250

- o Penutup Atap : Lysaght Spandek (Berat Jenis =  $6 \text{ kg/m}^2$ )



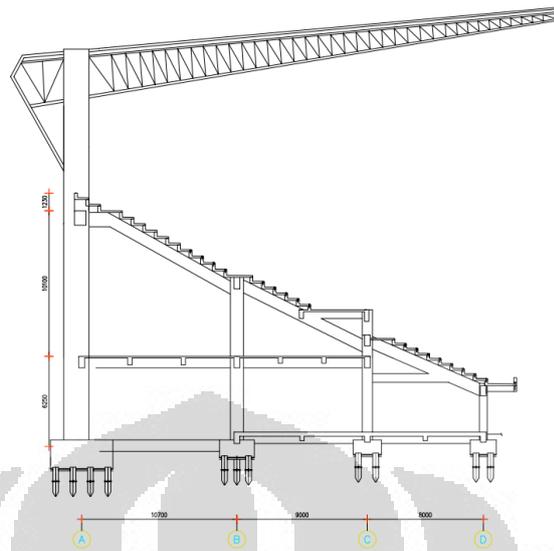
Gambar 3.3. Denah Struktur

(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 3.4. Denah Tribun

(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 3.5. Potongan Melintang

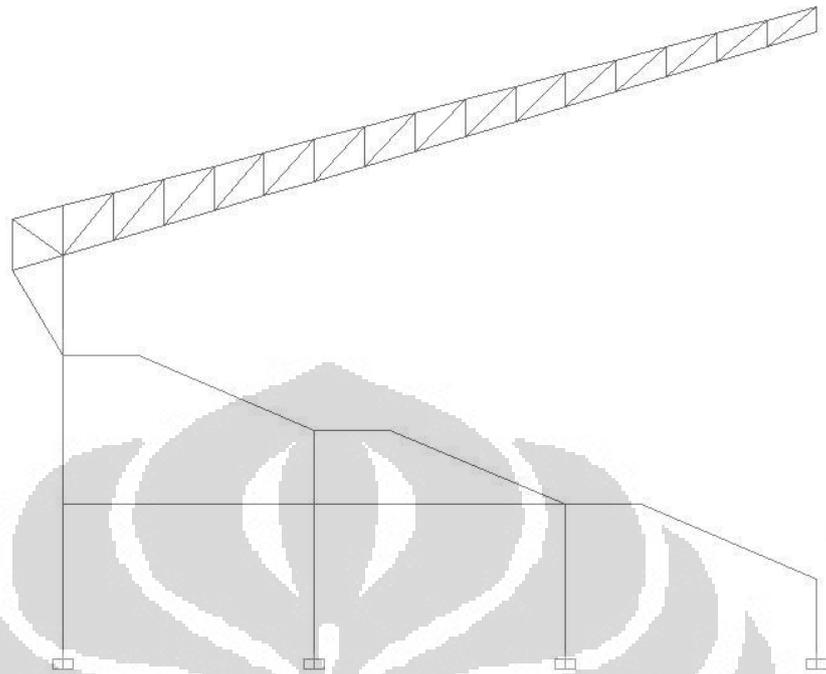
(Sumber: Olahan Penulis)

### 3.2.3 Metode dan Variasi Pemodelan

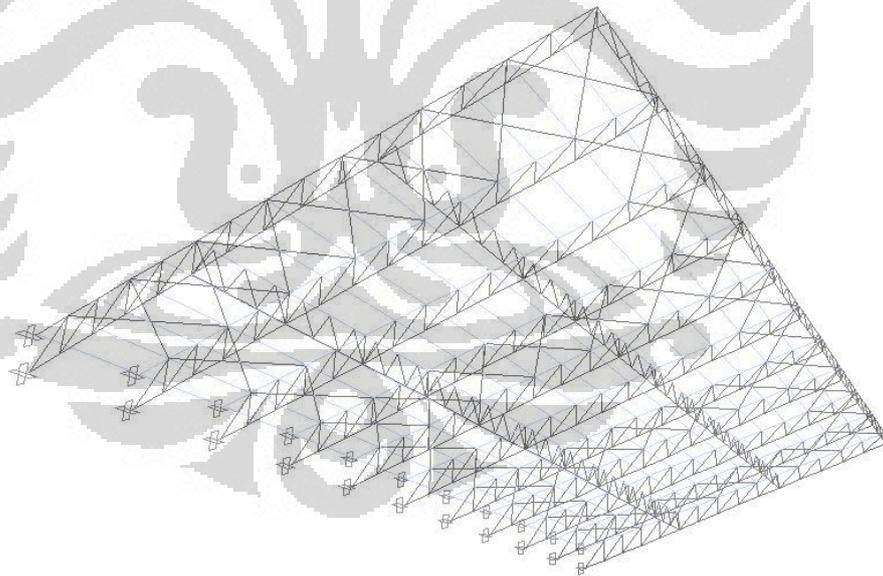
Model struktur dianalisa secara 3D dengan menggunakan software SAP 2000. Pemodelan dibagi menjadi 4 model yaitu:

- Model 1 : Pemodelan dilakukan secara utuh yaitu struktur tribune dan atap dimodelkan sebagai satu kesatuan
- Model 2: Pemodelan hanya dilakukan untuk struktur tribune saja, sedangkan atap dimodelkan sebagai beban di mana atap dan beban yang bekerja pada atap dijadikan beban aksial, horizontal, dan momen yang dihitung secara manual.
- Model 3 : Pemodelan atap dan tribune dilakukan secara terpisah. Rangka atap dimodelkan pada program dan analisis gempa dilakukan melalui analisis respons spektrum lalu reaksi pada perletakkan dimasukkan pada model tribune yang dimodelkan terpisah.
- Model 4 : Pemodelan hanya dilakukan untuk struktur tribune saja, sedangkan atap dimodelkan sebagai beban di mana data beban tersebut diambil dari reaksi pada kolom utama di model 1.

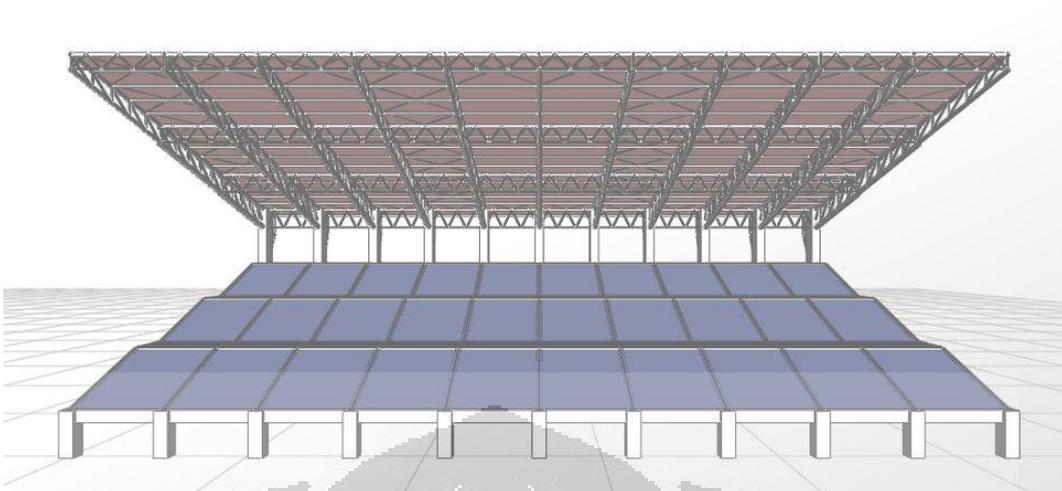
Sedangkan untuk variasi pemodelan, yang divariasikan adalah panjang bentang atap yaitu sepanjang 20 m, 25 m, dan 30.



Gambar 3.6. Pemodelan Struktur Dengan Atap (Tampak Samping)  
(Sumber: Olahan Penulis)

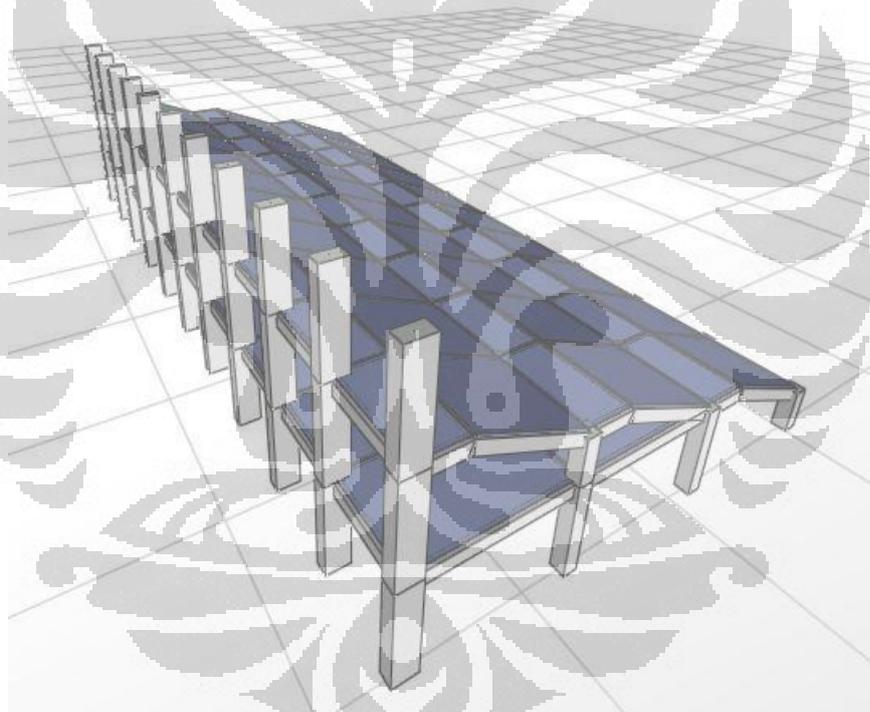


Gambar 3.7. Pemodelan Struktur Atap  
(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 3.8. Pemodelan Struktur Tribun dengan Atap (3D)

(Sumber: Olahan Penulis)

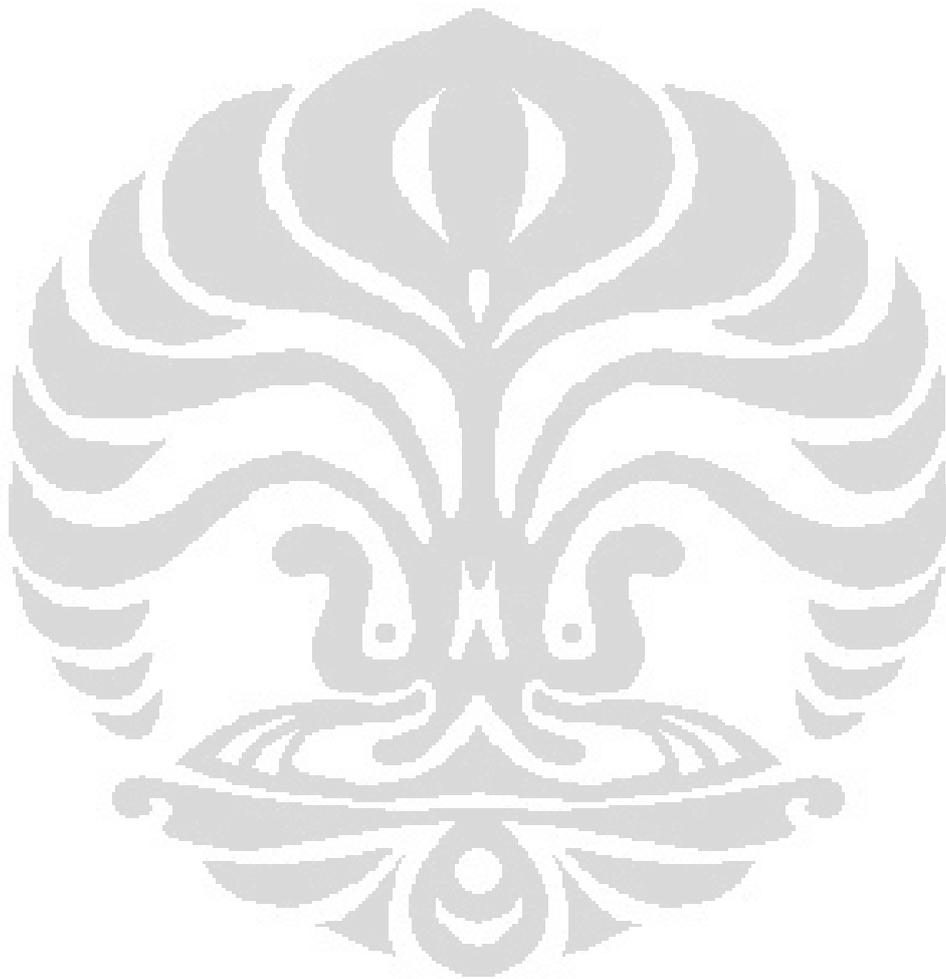


Gambar 3.9. Pemodelan Struktur Tribun tanpa Atap

(Sumber: Olahan Penulis)

Pada struktur atap hubungan antar member adalah rigid untuk member bagian luar dan pinned untuk member bagian dalam. Pada arah Y diberikan pengaku berupa member – member dengan koneksi rigid. Selain itu juga dimodelkan gording, penutup atap sebagai penyalur beban pada atap, dan ikatan angin sehingga angin yang perlu diberikan pada model hanya angin arah tekan

dan hisap saja. Untuk struktur tribune, pelat lantai dimodelkan sebagai elemen shell.



## **BAB 4**

### **SIMULASI DAN ANALISIS**

Setelah semua data dimasukkan dan program SAP2000 dijalankan, selanjutnya akan ditinjau hasil berikut:

- karakteristik dinamik struktur, yaitu periode getar alami dan partisipasi massa.
- perpindahan di tiap tingkat
- reaksi dasar bangunan (gaya geser x dan y, gaya vertikal z, momen guling, serta torsi)
- gaya dalam pada kolom akibat beban angin, beban mati atap, dan gempa
- rasio tulangan pada masing – masing model

Yang pertama akan dibahas adalah keempat macam pemodelan struktur dalam penelitian ini, yaitu:

- Model 1 (M1) : Pemodelan dilakukan secara utuh yaitu struktur tribun dan atap dimodelkan sebagai satu kesatuan
- Model 2 (M2) : Pemodelan hanya dilakukan untuk struktur tribun saja, sedangkan atap dimodelkan sebagai beban di mana atap dan beban yang bekerja pada atap dijadikan beban aksial, horizontal, dan momen yang dihitung secara manual.
- Model 3 (M3) : Pemodelan atap dan tribun dilakukan secara terpisah. Rangka atap dimodelkan pada program dan analisis gempa dilakukan melalui analisis respons spektrum lalu reaksi pada perletakkan dimasukkan pada model tribun yang dimodelkan terpisah.
- Model 4 (M4) : Pemodelan hanya dilakukan untuk struktur tribun saja, sedangkan atap dimodelkan sebagai beban di mana data beban tersebut diambil dari reaksi pada kolom utama di model 1.

Selanjutnya akan dibahas dan dilakukan analisis berdasarkan hasil yang diperoleh dari masing – masing pemodelan tersebut.

#### 4.1 Karakteristik Dinamik Struktur

Pembahasan mengenai karakteristik dinamik struktur hanya akan dibahas untuk M1 dan M2 karena model lainnya menggunakan analisa statik ekuivalen.

##### 4.1.1 Periode Getar Struktur

Berikut adalah periode getar struktur untuk M1 dan M2 beserta variasi panjang bentang atapnya. Periode getar ini adalah periode berdasarkan besaran partisipasi massa dominan untuk tiap model.

Tabel 4.1. Periode Getar untuk Bentang Atap 22 Meter

M1				M2			
Arah	% Partisipasi Massa	Periode Getar (detik)	Mode	Arah	% Partisipasi Massa	Periode Getar (detik)	Mode
Ux	82.09	0.235	34	Ux	72.60	0.256	12
Uy	58.44	0.297	6	Uy	46.03	0.356	1
Rz	48.20	0.235	34	Rz	42.84	0.256	12

Tabel 4.2. Periode Getar untuk Bentang Atap 26 Meter

M1				M2			
Arah	% Partisipasi Massa	Periode Getar (detik)	Mode	Arah	% Partisipasi Massa	Periode Getar (detik)	Mode
Ux	79.38	0.24	34	Ux	70.70	0.259	12
Uy	57.76	0.304	6	Uy	44.68	0.362	1
Rz	46.55	0.24	34	Rz	41.74	0.259	12

Tabel 4.3. Periode Getar untuk Bentang Atap 30 Meter

M1				M2			
Arah	% Partisipasi Massa	Periode Getar (detik)	Mode	Arah	% Partisipasi Massa	Periode Getar (detik)	Mode
Ux	62.14	0.247	36	Ux	68.78	0.263	12
Uy	49.37	0.313	7	Uy	43.50	0.369	1
Rz	36.27	0.247	36	Rz	40.64	0.263	12

Dari besarnya periode struktur pada tiap model dan variasi yang tertera pada tabel 4.1 sampai dengan 4.3, dapat dilihat bahwa besar periode getar alami struktur pada model 1 lebih kecil dari model 2 sehingga dapat disimpulkan bahwa pemodelan dengan memodelkan atap secara utuh membuat struktur lebih kaku.

Namun perbedaan periode getar struktur ini kecil, hanya berkisar 6-8 % untuk arah  $U_x$  dan  $R_z$  dan 15-16 % untuk arah  $U_y$  pada tiap variasi. Hal ini juga membuktikan bahwa dengan memodelkan atap secara utuh akan lebih memperkaku struktur pada arah Y daripada arah X. Selain itu pengaruh variasi panjang bentang juga hanya memberikan efek kecil pada kekakuan struktur di mana bentang yang lebih panjang memberikan periode getar yang lebih besar dari bentang yang lebih pendek namun dengan perbedaan yang sangat kecil. Karena periode getar struktur terkait dengan kekakuan dan juga massa, maka hal ini akan ditinjau lebih lanjut dengan membandingkan berat ( $W_t$ ) atap dan tribun terhadap berat total struktur.

Tabel 4.4. Nilai  $W_t$  dan Perbandingan Terhadap  $W_t$  Total Bentang 22 Meter

	$W_t$ (kN)	% Terhadap Total
Tribun	41001.42	96.12
Atap	1656.728	3.88
Total	42658.15	

Tabel 4.5. Nilai  $W_t$  dan Perbandingan Terhadap  $W_t$  Total Bentang 26 Meter

	$W_t$ (kN)	% Terhadap Total
Tribun	41001.4	95.80
Atap	1796.38	4.20
Total	42797.80	

Tabel 4.6. Nilai  $W_t$  dan Perbandingan Terhadap  $W_t$  Total Bentang 30 Meter

	$W_t$ (kN)	% Terhadap Total
Tribun	41001.4	95.37
Atap	1989.81	4.63
Total	42991.22	

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa besarnya persentasi berat atap terhadap berat total struktur hanya sangatlah kecil terhadap berat total struktur, yaitu di bawah 5 %. Hal membuktikan bahwa pengaruh atap serta perbedaan panjang bentang atap pengaruhnya kecil terhadap periode getar struktur karena

rasio berat atap yang sangat kecil dibandingkan dengan rasio berat struktur tribun. Sedangkan dari segi panjang atap, dapat dilihat dari periode getarnya bahwa kekakuan struktur semakin berkurang. Penyebabnya adalah, makin panjang bentang atap, maka rasio berat tribun semakin berkurang padahal struktur tribunlah yang menyumbangkan kekakuan paling besar.

Sedangkan untuk model 2 sendiri terdapat perbedaan periode getar pada tiap bentang atap padahal yang dimodelkan hanya struktur tribunnya saja. Hal ini disebabkan karena saat memodelkan, massa struktur didefinisikan dari total beban mati, beban mati tambahan, dan beban hidup yang sesuai. Lalu beban mati atap dan beban – beban yang bekerja di atasnya dimodelkan di struktur tribun tersebut yang besarnya bervariasi tergantung panjang bentang atap. Beban – beban ini ikut terdefinisi menjadi massa struktur pada saat melakukan analisis modal. Semakin panjang bentang atap maka semakin besar pula massa total struktur, sedangkan kekakuan struktur tidak berubah. Hal inilah yang menyebabkan periode getar struktur bertambah saat bertambahnya panjang bentang atap yang dimodelkan sebagai beban pada model 2.

#### 4.1.2 Partisipasi Massa Struktur

Berikut adalah tabel berisi mode yang diperlukan pada tiap model dan variasi bentangnya untuk mencapai partisipasi massa 90 % pada arah  $U_x$ ,  $U_y$ , dan  $R_z$ .

Tabel 4.7. Mode Yang Diperlukan Untuk Mencapai 90 % Partisipasi Massa

Model	Bentang Atap	Mode Yang Diperlukan
M1	22	105
	26	115
	30	130
M2	22	75
	26	75
	30	75

Besarnya mode yang diperlukan untuk mencapai partisipasi massa minimal 90 % pada model 1 akan lebih banyak dari model 2, yang besarnya bertambah seiring dengan panjang bentang yaitu 115 mode untuk bentang 22 meter, 110 mode untuk bentang 26 meter, dan 130 mode untuk bentang 30 meter. Hal ini

menunjukkan bahwa selain model 1 lebih kaku, jika dilihat dari periode getarnya. Pada model ini juga terdapat struktur atap yang memiliki massa dan kekakuan yang lebih kecil dari struktur tribun sehingga struktur ataplah yang akan lebih dahulu digetarkan dan karena itulah dibutuhkan mode yang lebih banyak untuk menggetarkan 90 % massa struktur. Sedangkan pengaruh bentang atap sendiri dikarenakan bertambahnya elemen – elemen struktur atap sehingga mode yang diperlukan untuk menggetarkannya pun semakin bertambah.

Sedangkan untuk model 2 sendiri, besarnya mode yang diperlukan untuk mencapai partisipasi massa minimal 90 % sama untuk tiap bentang yaitu 75 mode karena konfigurasi struktur tetap dan massa struktur tribun sendiri sama.

## 4.2 Reaksi Dasar dan Gaya Geser Tingkat

### 4.2.1 Gaya Geser Dasar

Setelah dilakukan analisis respons spektrum pada model 1 dan 2 maka didapat gaya geser dasar dinamik (V).

Tabel 4.8. Gaya Geser Dasar untuk Bentang Atap 22 Meter

M1				M2			
V	Dinamik	Statik	Rasio Dinamik/ Statik	V	Dinamik	Statik	Rasio Dinamik/ Statik
V <sub>x</sub>	4565.30	5817.02	0.785	V <sub>x</sub>	4116.20	5814.07	0.708
V <sub>y</sub>	3528.45	5817.02	0.607	V <sub>y</sub>	3556.58	5814.07	0.612

Tabel 4.9. Gaya Geser Dasar untuk Bentang Atap 26 Meter

M1				M2			
V	Dinamik	Statik	Rasio Dinamik/ Statik	V	Dinamik	Statik	Rasio Dinamik/ Statik
V <sub>x</sub>	4465.34	5839.45	0.765	V <sub>x</sub>	4059.55	5836.04	0.696
V <sub>y</sub>	3555.20	5839.45	0.609	V <sub>y</sub>	3555.29	5836.04	0.609

Tabel 4.10. Gaya Geser Dasar untuk Bentang Atap 30 Meter

M1				M2			
V	Dinamik	Statik	Rasio Dinamik/ Statik	V	Dinamik	Statik	Rasio Dinamik/ Statik
V <sub>x</sub>	3970.13	5862.44	0.677	V <sub>x</sub>	4006.59	5858.33	0.684
V <sub>y</sub>	3231.65	5862.44	0.551	V <sub>y</sub>	3558.38	5858.33	0.607

Dari tabel 4.4 sampai dengan tabel 4.6 dapat dilihat bahwa untuk tiap variasi bentang dan tiap variasi pemodelan, nilai beban gempa dinamik yang diperoleh dari hasil simulasi semuanya tidak memenuhi persyaratan SNI yaitu minimal 80 % gaya geser statik.. Rasio dinamik/statik untuk gaya geser dasar juga semakin menurun seiring dengan bertambahnya bentang atap. Hal ini terkait dengan permasalahan rasio berat struktur tribun yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, di mana rasio berat struktur tribun sendiri makin kecil seiring dengan bertambahnya panjang bentang. Sedangkan untuk reaksi dasar pada tiap model ditampilkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.11. Reaksi Dasar untuk Bentang Atap 22 Meter

Model	Arah Gempa	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN.m)	MY (kN.m)	Torsi Z
M1	EX	4565.296	0.223	757.65	22730.18	26628.4	136962.12
	EY	0.228	3528.45	0.077	30095.21	1.4551	54220.19
M1 (80% Statik)	EX	4795.44	0.43	850.64	25521.29	27399.72	143866.70
	EY	0.58	4803.26	0.20	42465.04	3.89	73630.69
M2	EX	4116.197	0.006433	562.149	16864.45	30920.9	123486.13
	EY	0.007474	3556.578	0.008455	32263.66	0.174	55264.37
M2 (80% Statik)	EX	4675.21	1.08	733.55	22013.82	28896.63	140264.05
	EY	1.36	4675.09	0.58	40882.30	13.94	72657.35
M3	EX	5502.93	0.66	298.51	9149.82	24248.12	181936.49
	EY	64.19	5578.78	158.21	28132.78	255.42	88828.81
M4	EX	6421.23	1.99	163.97	4710.10	28109.09	209464.69
	EY	756.37	5892.62	140.10	20926.67	4178.92	65894.65

Tabel 4.12. Reaksi Dasar untuk Bentang Atap 26 Meter

Model	Arah Gempa	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN.m)	MY (kN.m)	Torsi Z
M1	EX	4465.34	1.03	700.62	21025.62	27599.46	133967.57
	EY	1.03	3555.20	0.44	31089.20	10.60	55252.74
M1 (80% Statik)	EX	4675.21	1.08	733.55	22013.82	28896.63	140264.05
	EY	1.36	4675.09	0.58	40882.30	13.94	72657.35
M2	EX	4059.55	0.00	553.07	16592.21	31116.49	121786.68
	EY	0.01	3555.29	0.01	32291.82	0.13	54847.21
M2 (80% Statik)	EX	4672.49	0.00	636.58	19097.41	35814.66	140174.85
	EY	0.01	4671.65	0.01	42431.45	0.18	72069.23
M3	EX	5484.82	0.37	364.07	11118.27	24407.42	181392.22
	EY	101.62	5577.89	263.36	31291.46	458.35	89939.04
M4	EX	6350.49	3.62	164.70	4722.84	27664.83	207335.53

EY	675.31	5905.76	136.33	21114.35	3687.87	68371.02
----	--------	---------	--------	----------	---------	----------

Tabel 4.13. Reaksi Dasar untuk Bentang Atap 30 Meter

Model	Arah Gempa	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN.m)	MY (kN.m)	Torsi Z
M1	EX	3970.128	23.324	611.212	18302.06	26406.39	119089.9
	EY	23.321	3231.646	8.27	28975.11	160.636	47391.17
M1 (80% Statik)	EX	4692.78	27.57	722.47	21633.47	31212.97	140767.01
	EY	33.86	4692.28	12.01	42071.21	233.24	68810.92
M2	EX	4006.591	0.003934	545.198	16355.96	31280.07	120197.8
	EY	0.013	3558.384	0.014	32354.25	0.1858	54413.11
M2 (80% Statik)	EX	4688.13	0.00	637.94	19138.20	36600.98	140644.08
	EY	0.02	4698.36	0.02	42719.37	0.25	71845.07
M3	EX	5463.11	0.35	440.33	13406.32	24588.46	180740.89
	EY	179.73	5589.87	495.67	38314.77	931.91	92347.37
M4	EX	6413.98	4.69	167.84	4811.37	28050.96	209231.99
	EY	907.18	5929.79	169.94	20238.49	5008.81	61592.04

Untuk reaksi dasar, pada arah translasi perbedaan antara model 1 dan model 2 tidak terlalu signifikan yaitu yang terbesar hanya 2,67 % untuk translasi arah Y pada bentang atap 22 meter. Sedangkan perbedaan arah translasi pada model 3 dan 4 adalah sebesar 14,75 % dan 33,9 % untuk bentang 22 meter pada translasi arah X serta 16,14 % dan 22,68 % pada translasi arah Y. Untuk bentang 26 meter sebesar 17,32 % dan 35,83 % translasi arah X serta 19,31 % dan 26,32 % pada arah Y. Pada bentang 30 meter sebesar 16,42 % dan 36,68 % translasi arah X serta 19,13 % dan 26,37 % pada arah Y.

Sedangkan untuk momen pada model 2, terdapat perbedaan pada sebesar 3,73 % untuk momen X pada bentang 22 meter, 3,79 % untuk bentang 26 meter, dan 1,54 % untuk bentang 30 meter. Untuk momen Y perbedaannya sebesar 8,94 % untuk bentang 22 meter, 23,94 % untuk bentang atap 26 meter, dan 17,26 % untuk bentang 30 meter. Dan untuk torsi Z sebesar 2,5 % pada bentang 22 meter, 0,06 % pada bentang 26 meter, dan 0,09 % pada bentang 30 meter. Hal ini menunjukkan bahwa pemodelan atap secara utuh pada struktur tribun tidak memberikan efek torsi yang besar pada struktur secara. Nilai reaksi torsi yang besar diakibatkan lebih kepada ketidakberaturan struktur yang menimbulkan eksentrisitas pada pusat kekakuan dan pusat massa struktur dan keseluruhan

karena pemodelan atap yang memiliki kekakuan dan massa yang jauh lebih kecil tersebut cenderung tidak berefek kepada eksentrisitas tersebut.

Sedangkan untuk model 3 sendiri memberikan nilai – nilai perbedaan sebesar 33,75 %, 23,46 % , dan 8,93 % untuk Mx pada bentang 22, 26, dan 30 meter, 8,94 %, 15,53 %, dan 21,22 % untuk My dan 26,46 %, 29,32 %, dan 28,4 % untuk torsi Z. Untuk model 4 perbedaannya sebesar 50,72 %, 48,35 %, dan 51,89 % untuk Mx, 5,56 %, 4,26 %, dan 11,09 % untuk My, dan 45,6 %, 47,82 %, dan 48,64 % untuk torsi Z. Perbedaan yang cukup besar khususnya untuk torsi Z jika dibandingkan dengan model 2 yang di bawah 10 %. Hal ini menunjukkan bahwa pemodelan atap secara utuh pada struktur tribun tidak memberikan efek torsi yang besar pada struktur secara keseluruhan. Hal ini disebabkan oleh metode analisis yang berbeda pada kedua model ini yaitu secara statik.

Selain itu, hal lain yang menjadi perhatian adalah adanya reaksi dasar arah Z yang cukup besar pada gempa arah X. Terdapat perbedaan untuk reaksi ini yaitu 13,76 %, 13,22 %, dan 11,7 % pada bentang 22, 26, dan 30 meter. Timbulnya reaksi translasi arah Z ini dikarenakan konfigurasi struktur yang memiliki keasimetrisan cukup besar pada arah X-Z seperti yang dapat dilihat pada model struktur di bab 3.

Pada arah tersebut jumlah kolom tidak sama pada sebelah kiri dan kanan sehingga saat diberikan beban gempa searah sumbu X, elemen tersebut akan memberikan reaksi vertikal.

Sesuai dengan SNI-1726-2002 pasal 4.8, yaitu untuk struktur – struktur yang memiliki kepekaan tinggi terhadap beban gravitasi harus ditinjau terhadap beban gempa vertikal, maka berikut adalah hasil simulasi terhadap beban gempa vertikal (Ev) tersebut dan terkait dengan beban gravitasi ini akan dicantumkan juga besaran beban gravitasi yang diaplikasikan pada tiap – tiap kolom di model 2.

Tabel 4.14. *Input Beban Model 2 untuk Bentang Atap 22 Meter*

Jenis Beban	Gaya Vertikal (kN)	Momen (kN.m)
Rangka Atap	94.82	695.38
Lampu	7.8	78
<i>Catwalk</i>	24	240

Hujan	28.8	288
ME	1.2	12
Penutup atap	8.64	86.4

Tabel 4.15. *Input Beban Model 2 untuk Bentang Atap 26 Meter*

Jenis Beban	Gaya Vertikal (kN)	Momen (kN.m)
Rangka Atap	100.58	871.7
Lampu	9	108
Catwalk	28	392
Hujan	1.4	16.8
ME	1.2	12
Penutup atap	10.08	120.96

Tabel 4.16. *Input Beban Model 2 untuk Bentang Atap 30 Meter*

Jenis Beban	Gaya Vertikal (kN)	Momen (kN.m)
Rangka Atap	106.71	1067.09
Lampu	10.2	142.8
Catwalk	32	448
Hujan	38.4	537.6
ME	1.7	23.8
Penutup atap	11.52	161.28

Tabel 4.17. *Reaksi Akibat Ev untuk Bentang Atap 22 Meter*

Model	FZ (kN)	Momen (kN.m)
M1	6398.722	97339.065
M2	6395.482	96112.5495
M3	7098.716	105892.736
M4	6238.727	103681.515

Tabel 4.18. *Reaksi Akibat Ev untuk Bentang Atap 26 Meter*

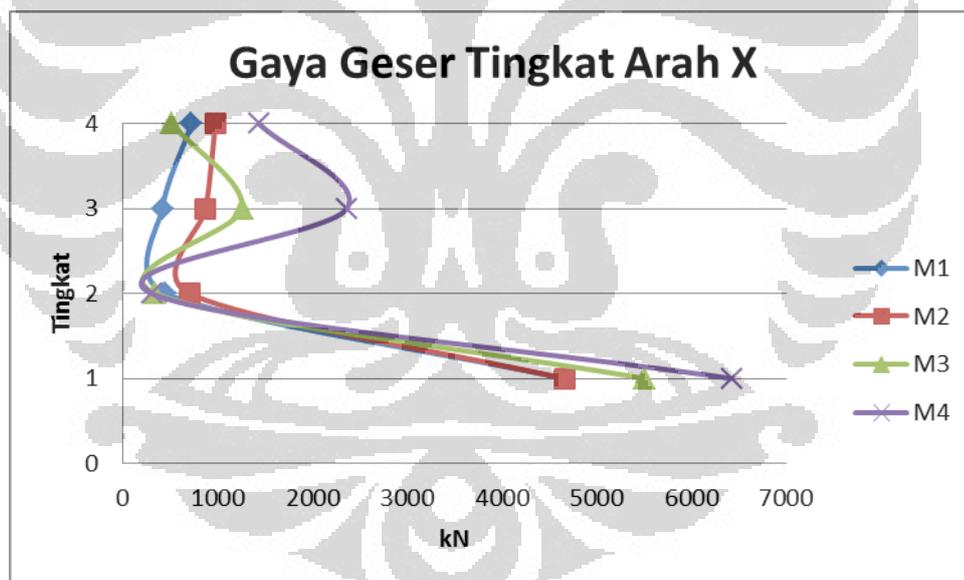
Model	FZ (kN)	Momen (kN.m)
M1	6423.396	98064.8606
M2	6419.649	96706.0785
M3	7392.837	107783.211
M4	6275.889	105156.832

Tabel 4.19. Reaksi Akibat Ev untuk Bentang Atap 30 Meter

Model	FZ (kN)	Momen (kN.m)
M1	6448.684	98909.3252
M2	6444.163	97076.3863
M3	7733.378	109951.902
M4	6323.561	106932.665

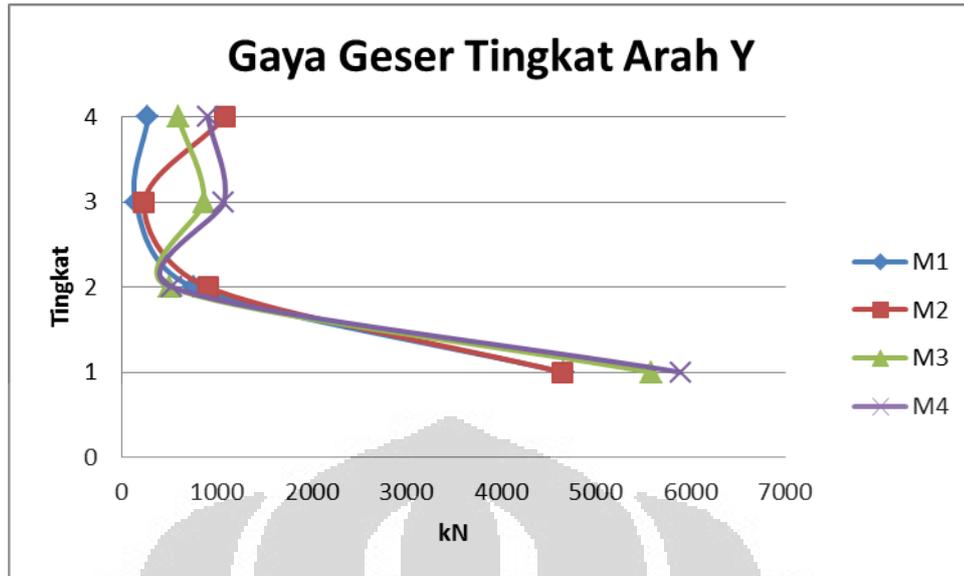
Dari hasil di atas menunjukkan hasil yang berdekatan untuk tiap model. Perbedaan terbesar adalah pada model 3 yaitu sebesar 19,9 % untuk reaksi vertikal dan 11,17 % untuk momen. Selisih yang cukup kecil ini disebabkan oleh komponen – komponen beban yang menjadi kombinasi untuk pembebanan beban vertikal seperti berat sendiri, beban mati tambahan, dan beban hidup (dalam hal ini beban hujan pada atap) telah dimodelkan pada setiap model baik untuk beban vertikal maupun momen.

#### 4.2.2 Gaya Geser Tingkat



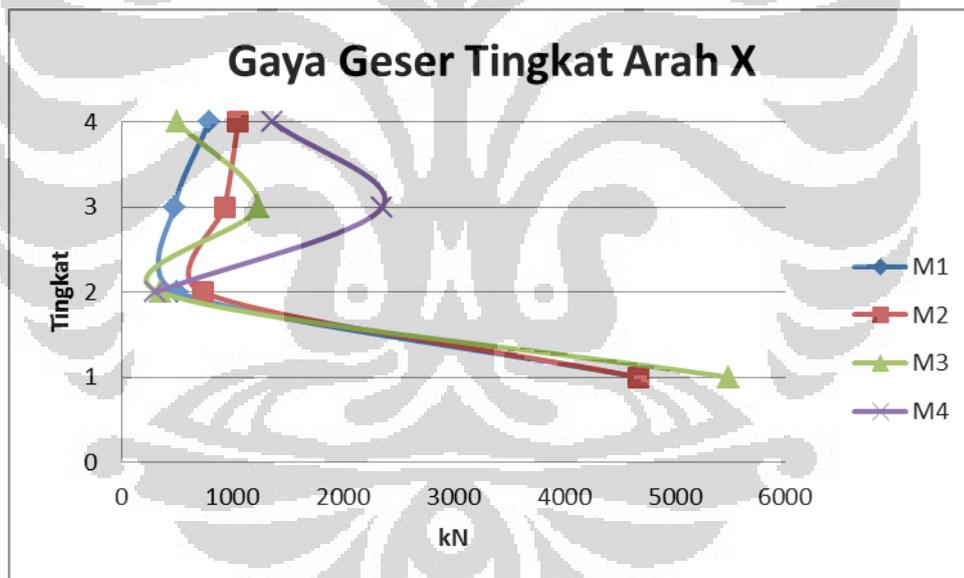
Gambar 4.1. Gaya Geser Tingkat Arah X Bentang 22 Meter

(Sumber: Olahan Penulis)



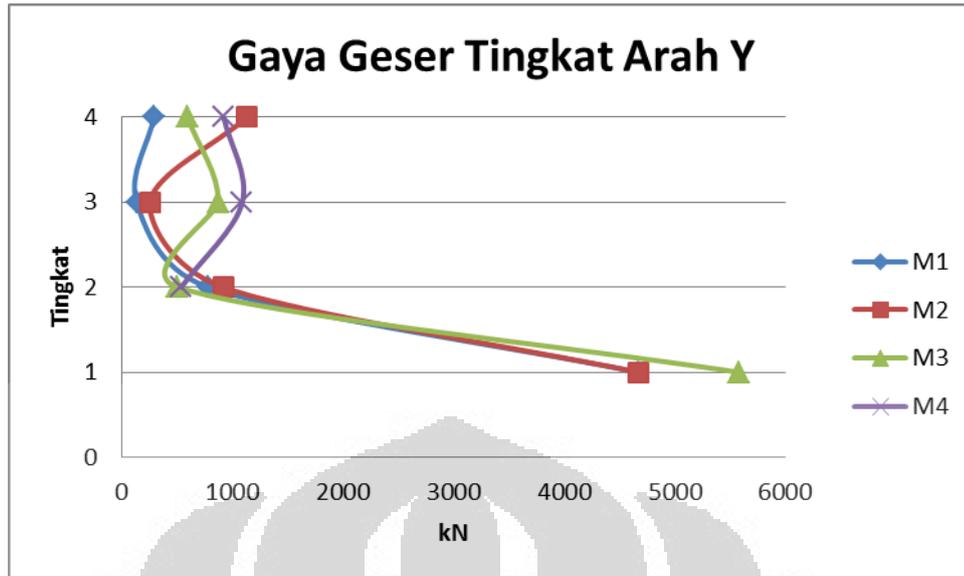
Gambar 4.2. Gaya Geser Tingkat Arah Y Bentang 22 Meter

(Sumber: Olahan Penulis)



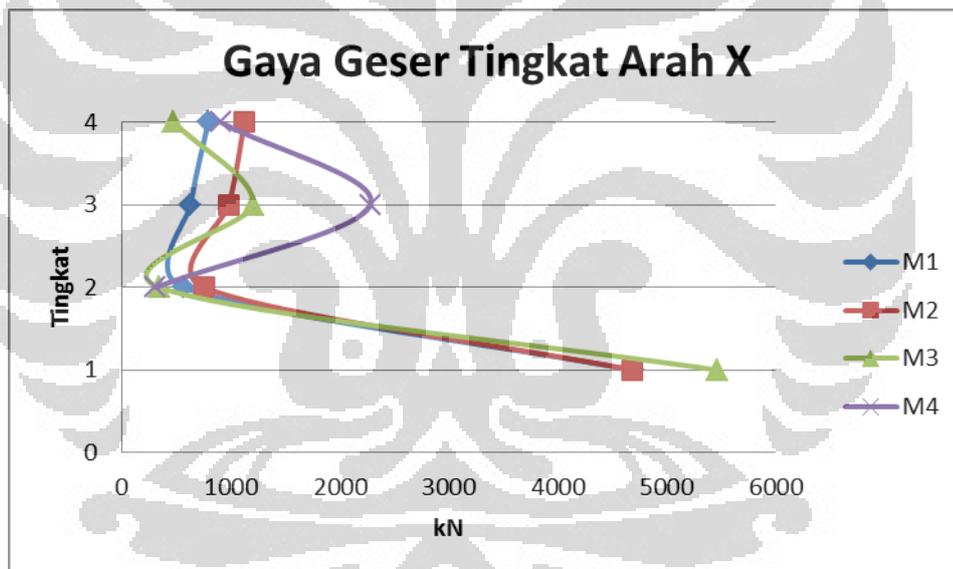
Gambar 4.3. Gaya Geser Tingkat Arah X Bentang 26 Meter

(Sumber: Olahan Penulis)



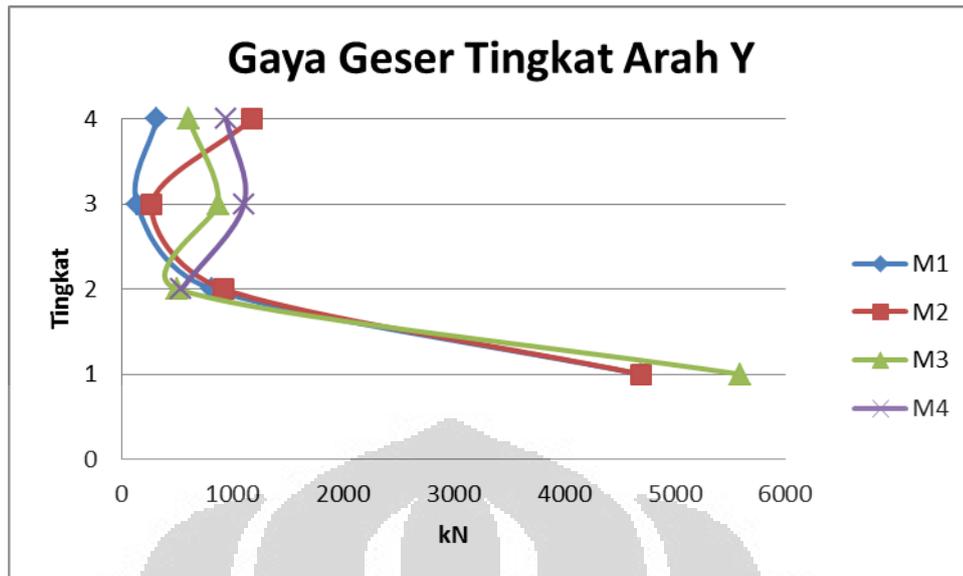
Gambar 4.4. Gaya Geser Tingkat Arah Y Bentang 26 Meter

(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.5. Gaya Geser Tingkat Arah X Bentang 30 Meter

(Sumber: Olahan Penulis)



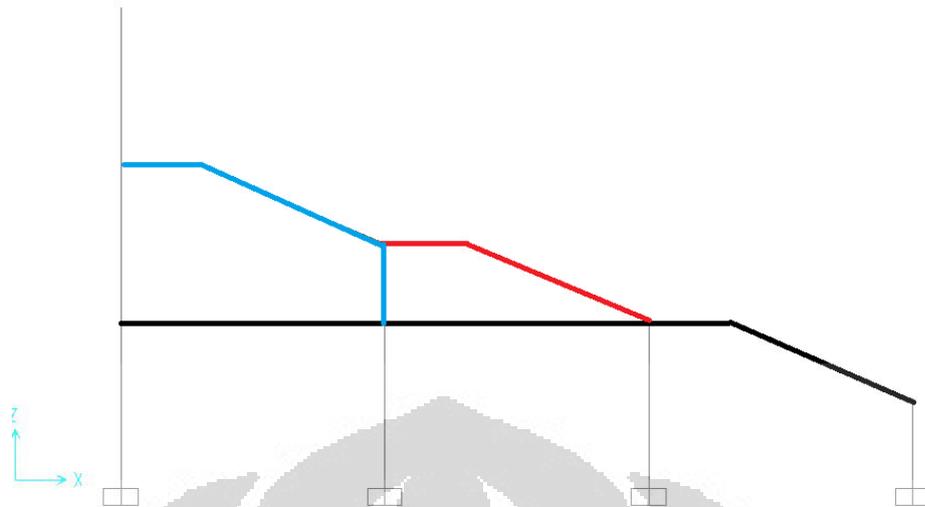
Gambar 4.6. Gaya Geser Tingkat Arah Y Bentang 30 Meter

(Sumber: Olahan Penulis)

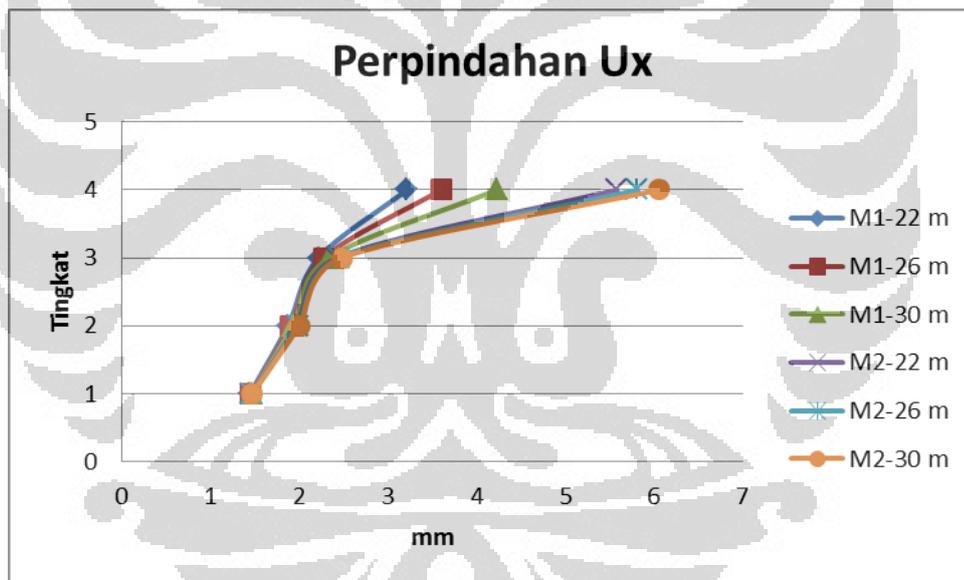
Jika dilihat dari bentuk grafik maka dapat dilihat bahwa bentuk antara model 1-2 dan 3-4 berbeda dikarenakan metode analisis yang berbeda. Sedangkan untuk model 1 & 2 nilainya mengalami perbedaan pada tingkat 3 dan 4. Hal ini disebabkan karena pada model 2 tingkat teratas hanya terdiri dari kolom saja sehingga gaya yang diterima lebih besar.

### 4.3 Perpindahan Tiap Tingkat

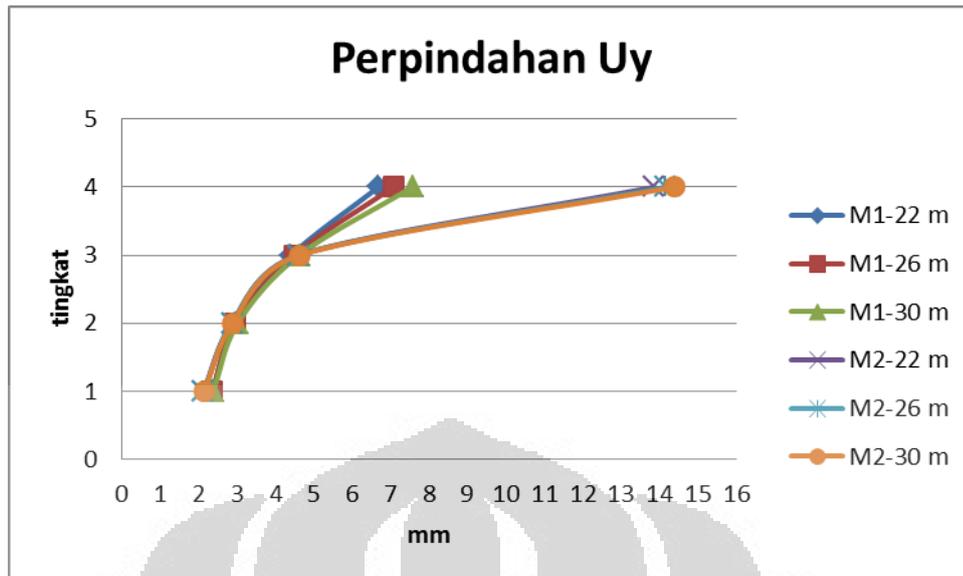
Karena struktur ini memiliki bentuk tidak beraturan di mana terdapat bagian pelat yang miring maka tingkat akan dinamakan menurut gambar di bawah yaitu, garis hitam tebal sebagai tingkat 1, garis merah sebagai tingkat 2, garis biru muda sebagai tingkat 3 dan kolom penumpu atap sebagai tingkat 4.



Gambar 4.7. Deskripsi Tingkat  
(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.8. Perpindahan Ux  
(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.9. Perpindahan Uy

(Sumber: Olahan Penulis)

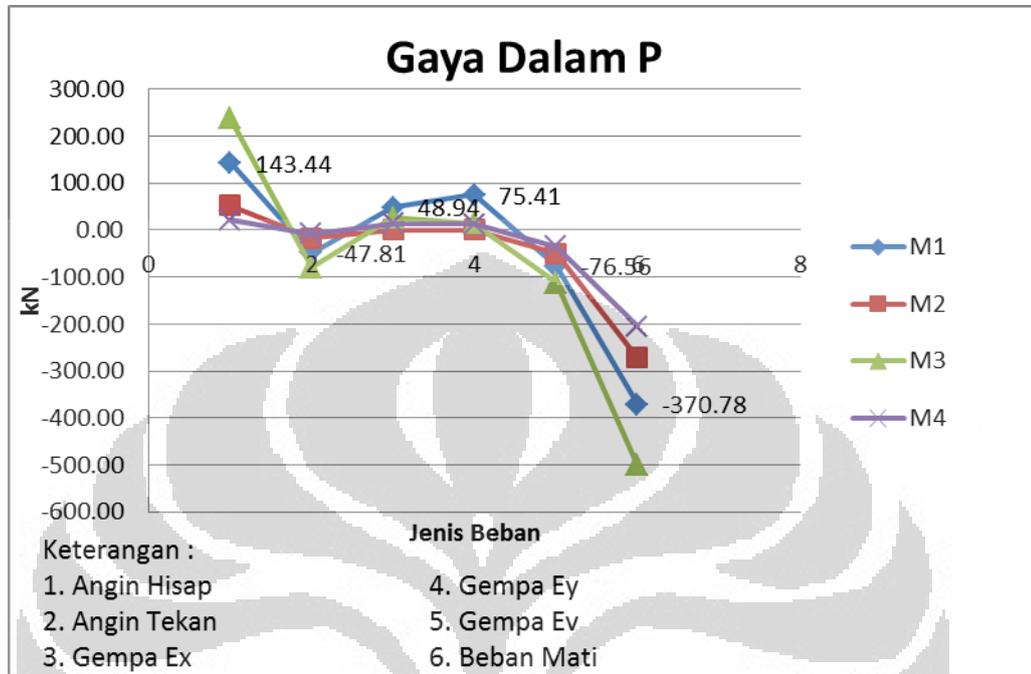
Dapat dilihat dari nilai tersebut baik pada model 1 maupun model 2 memberikan hasil yang berdekatan pada tingkat 1-3. Terdapat perbedaan pada tingkat teratas yaitu model 2 memberikan nilai perpindahan yang lebih besar terutama pada arah y. Hal ini disebabkan karena pada ujung kolom pada tingkat teratas tersebut, kolom – kolom tersebut bergerak bebas karena tidak ada elemen yang mengikatnya berbeda dengan struktur pada model 1 yang terdapat elemen struktur rangka atap.

Nilai perpindahan akibat gempa juga sangat kecil. Hal ini dikarenakan struktur yang sangat kaku karena memiliki dimensi elemen – elemen kolom dan balok yang besar dan juga ketinggian yang relatif pendek dengan luas area yang besar. Selain itu perbedaan nilai perpindahan yang kecil juga menunjukkan bahwa pemodelan model 2, di mana struktur atap hanya dimodelkan sebagai beban dengan tidak memasukkan beban gempa dapat memberikan hasil yang baik dan juga menunjukkan bahwa efek gempa pada struktur atap tidak terlalu signifikan terhadap perpindahan yang dihasilkan pada struktur secara keseluruhan.

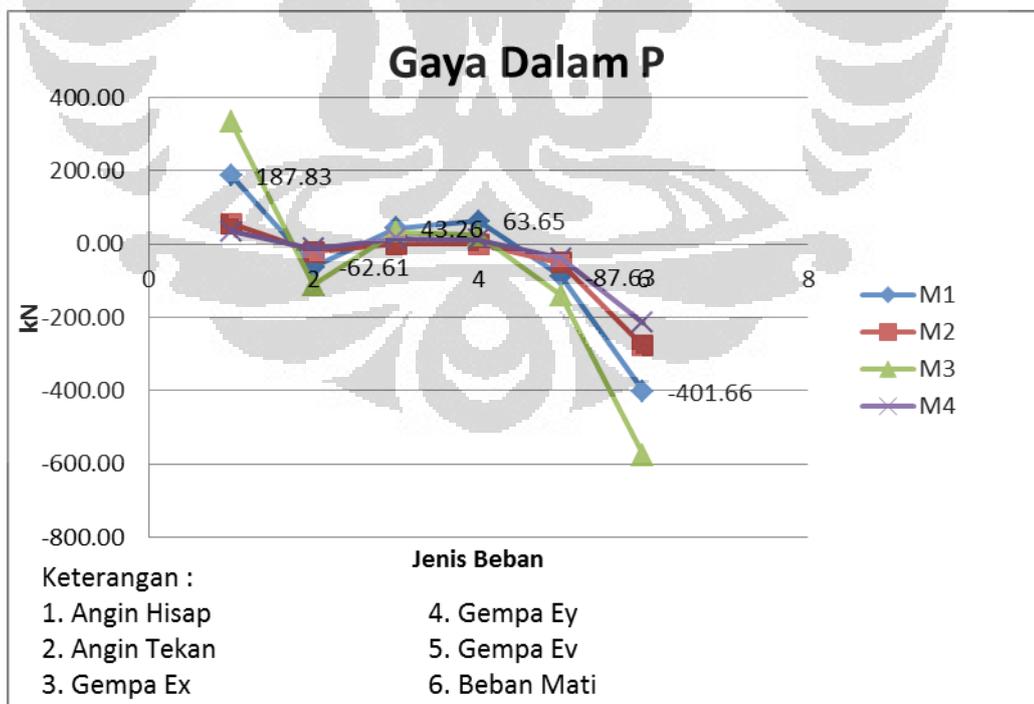
#### 4.4 Gaya Dalam Kolom

Untuk melihat lebih jauh bagaimana efek masing – masing pemodelan, maka akan dibandingkan gaya – gaya dalam pada kolom yaitu gaya dalam aksial,

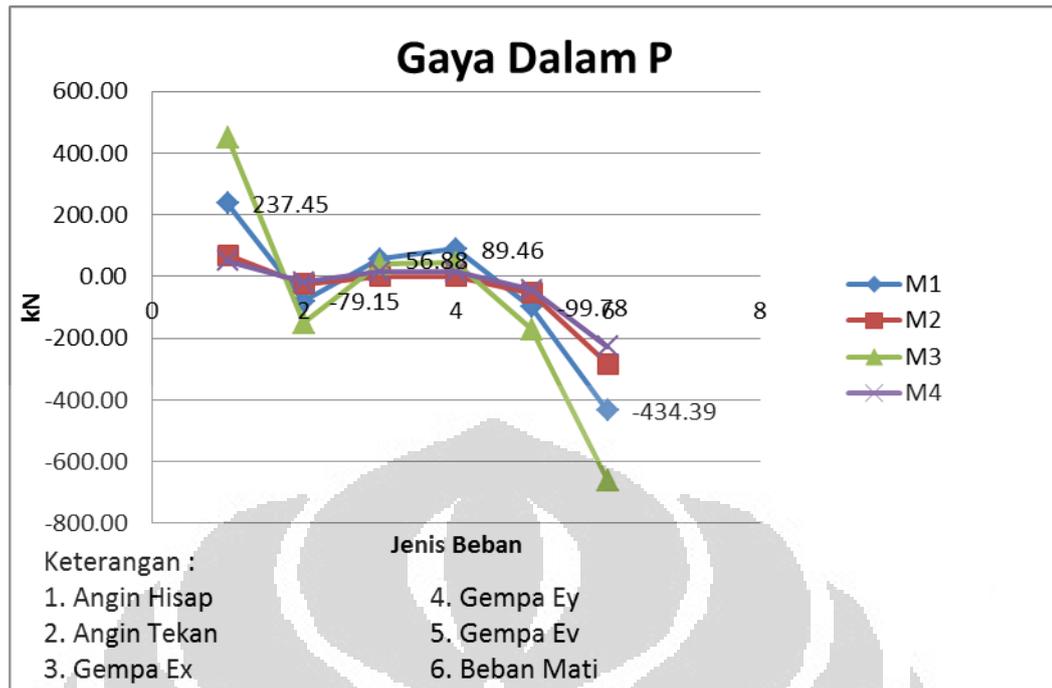
geser minor dan mayor, torsi, dan gaya momen. Nilai gaya – gaya dalam ini diambil pada kolom yang terletak pada portal tengah karena memberikan nilai yang maksimum.



Gambar 4.10. Gaya Dalam Aksial Untuk Bentang Atap 22 meter  
(Sumber: Olahan Penulis)



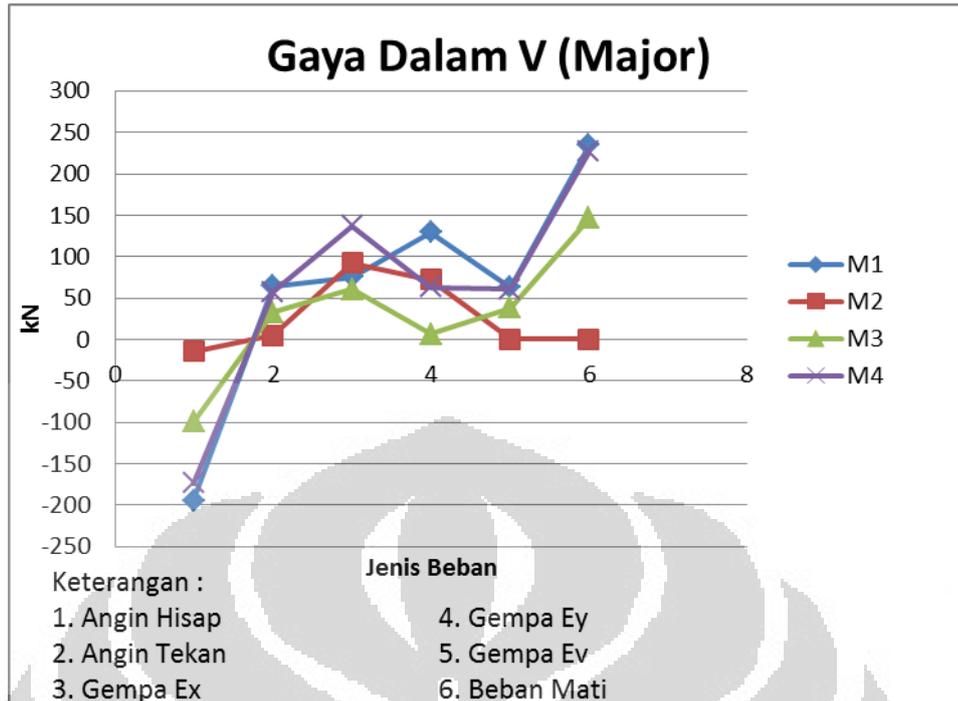
Gambar 4.11. Gaya Dalam Aksial Untuk Bentang Atap 26 meter  
(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.12. Gaya Dalam Aksial Untuk Bentang Atap 30 meter

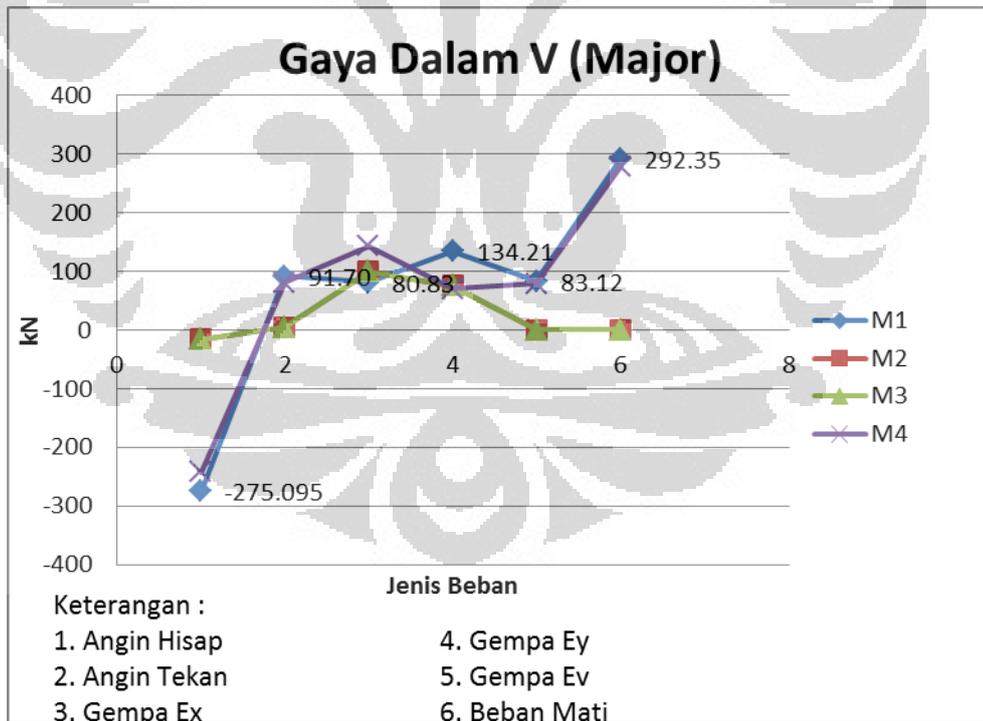
(Sumber: Olahan Penulis)

Untuk gaya dalam aksial terdapat perbedaan yang cukup besar untuk gaya akibat angin hisap, di mana gaya aksial pada model 2 hanya sepertiga dari model 1, sedangkan model 3 besarnya hampir 2 kali lipat dari model 1. Hal tersebut juga terjadi pada gaya dalam akibat beban angin tekan. Sedangkan untuk beban gempa, semuanya berselisih sangat besar terhadap model 1. Yang paling mendekati adalah model 3 dengan selisih 44,9 % untuk gempa Ex dan 81,33 % untuk gempa Ey. Untuk gempa vertikal dan beban mati yang paling mendekati adalah model 2 dengan selisih 35,7 % dan 26,6 %.



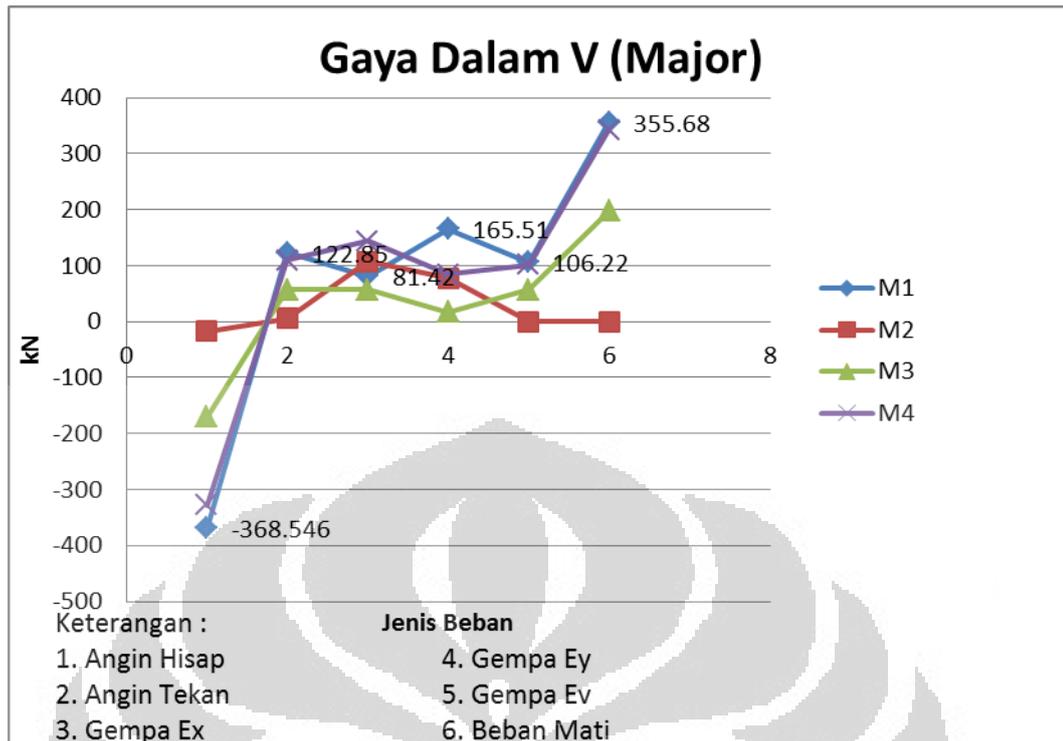
Gambar 4.13. Gaya Dalam V mayor Untuk Bentang Atap 22 meter

(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.14. Gaya Dalam V mayor Untuk Bentang Atap 26 meter

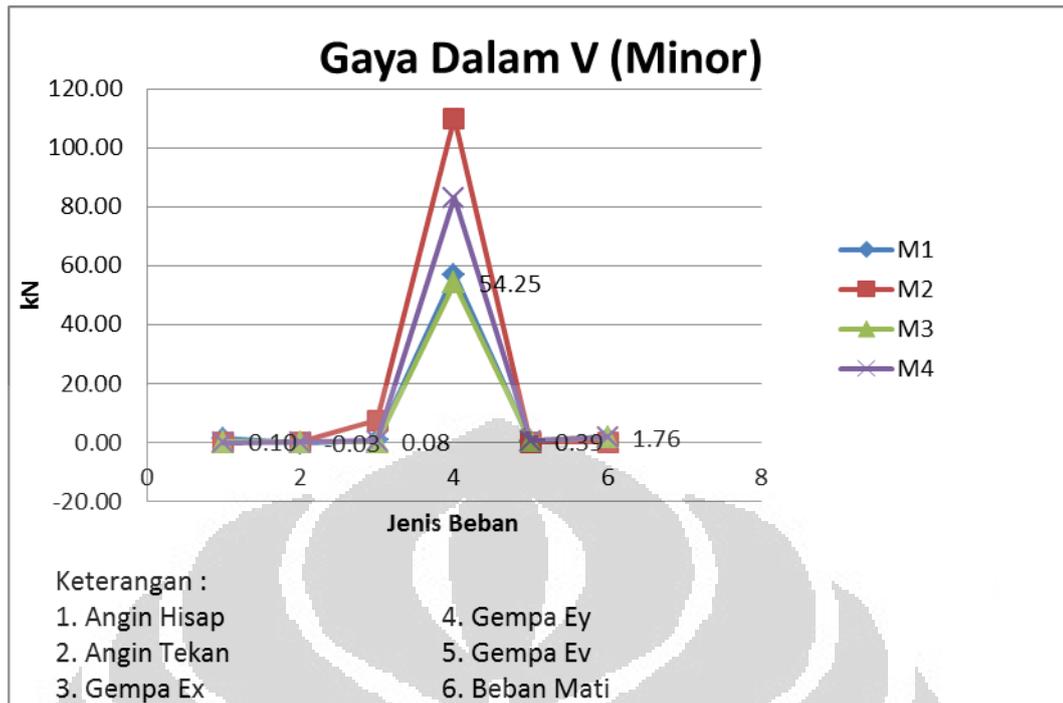
(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.15. Gaya Dalam V mayor Untuk Bentang Atap 30 meter

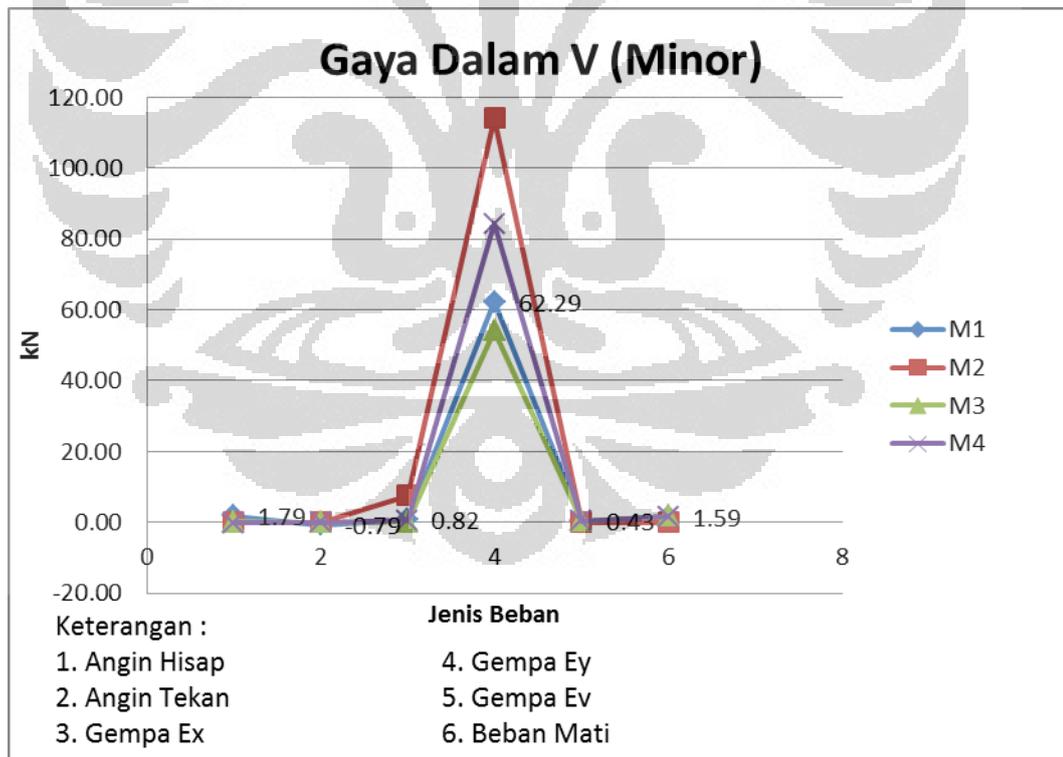
(Sumber: Olahan Penulis)

Untuk gaya dalam V mayor ini model 4 memiliki selisih paling dekat dengan model 1 untuk gaya dalam akibat angin hisap yaitu sebesar 10,99 %. Begitu juga halnya dengan gaya dalam akibat angin tekan yaitu sebesar 10,77 %. Model 4 juga memiliki nilai yang paling dekat dengan model 1 untuk gaya dalam ini akibat beban gempa vertikal dan beban mati yaitu dengan selisih sebesar 4 % untuk gempa vertikal dan 3,62 % untuk beban mati. Untuk beban gempa arah Ex yang paling mendekati adalah model 2 dengan selisih 31,22 %. Sedangkan untuk arah Ey semua memiliki selisih yang jauh. Yang paling mendekati adalah model 4 dengan selisih 48,71 %.



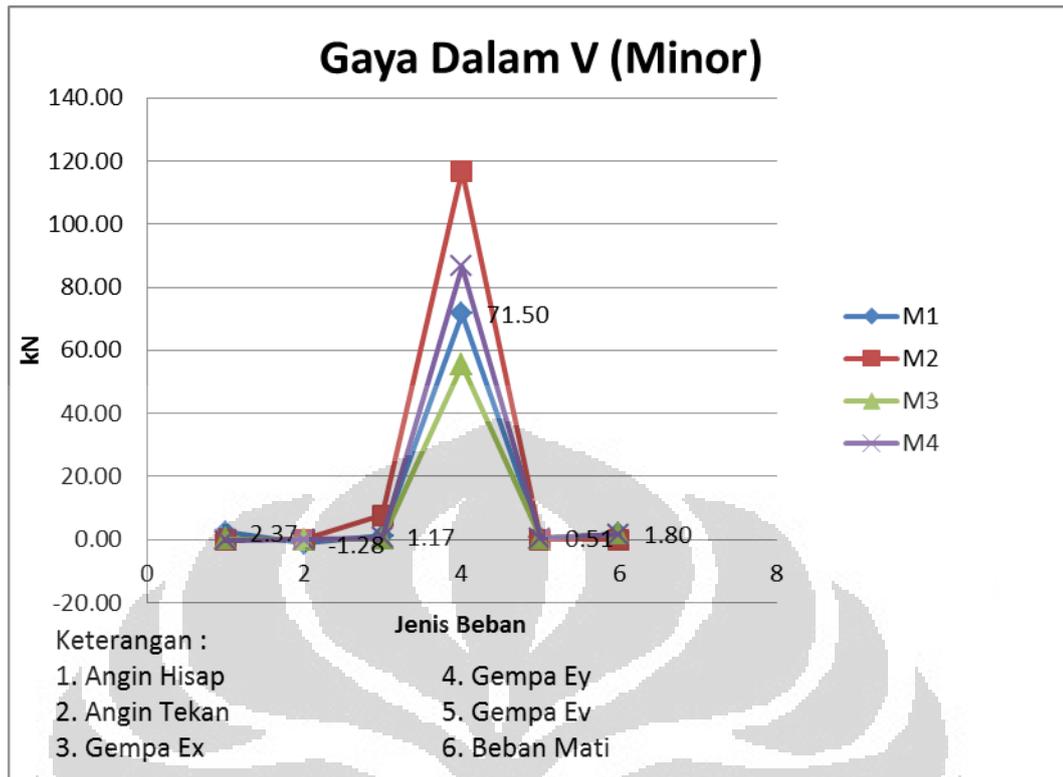
Gambar 4.16. Gaya Dalam V minor Untuk Bentang Atap 22 meter

(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.17. Gaya Dalam V minor Untuk Bentang Atap 26 meter

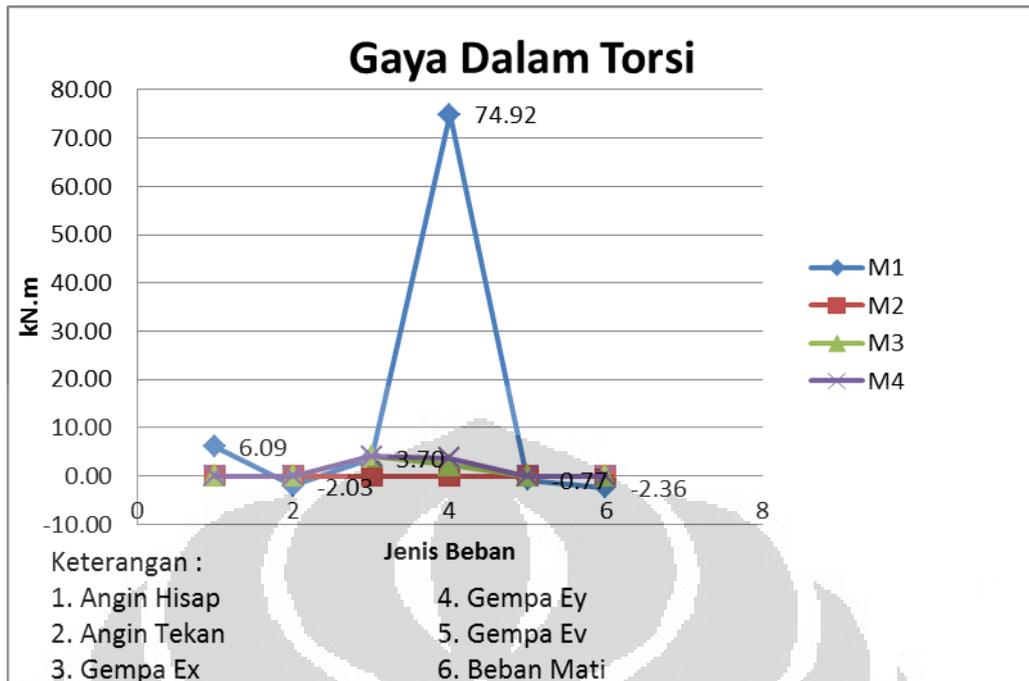
(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.18. Gaya Dalam V minor Untuk Bentang Atap 30 meter

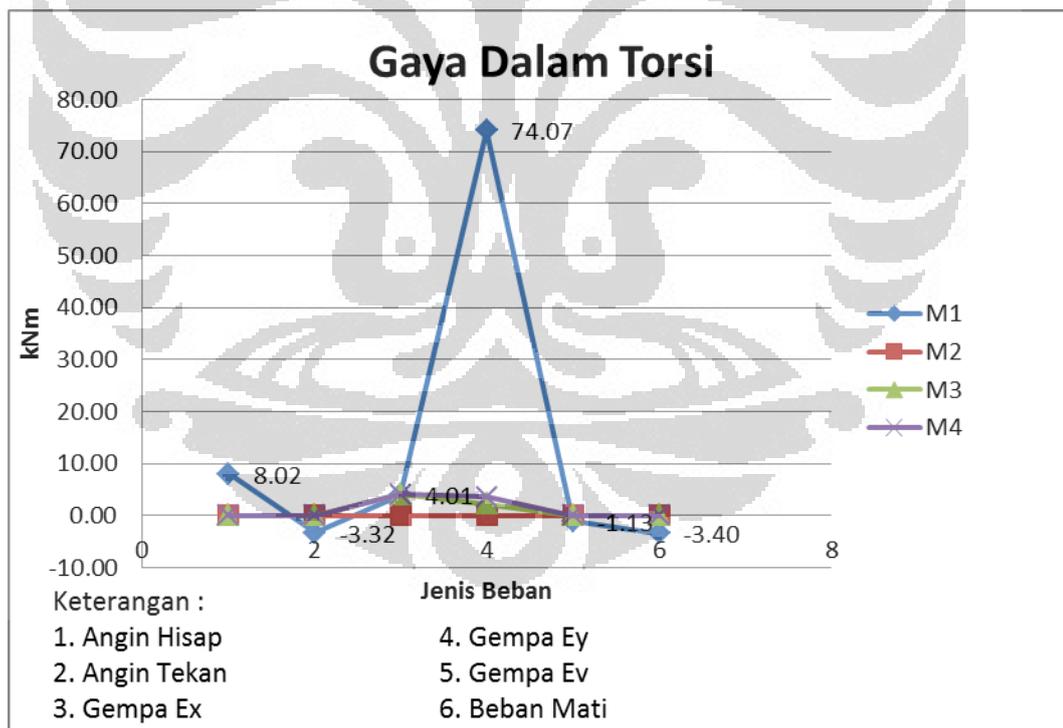
(Sumber: Olahan Penulis)

Gaya dalam V pada arah minor akibat beban – beban yang telah dibahas sangat kecil nilainya. Hanya akibat beban gempa Ey saja yang besar dan nilai yang paling mendekati model 1 adalah model 4 dengan selisih 21,05 %.



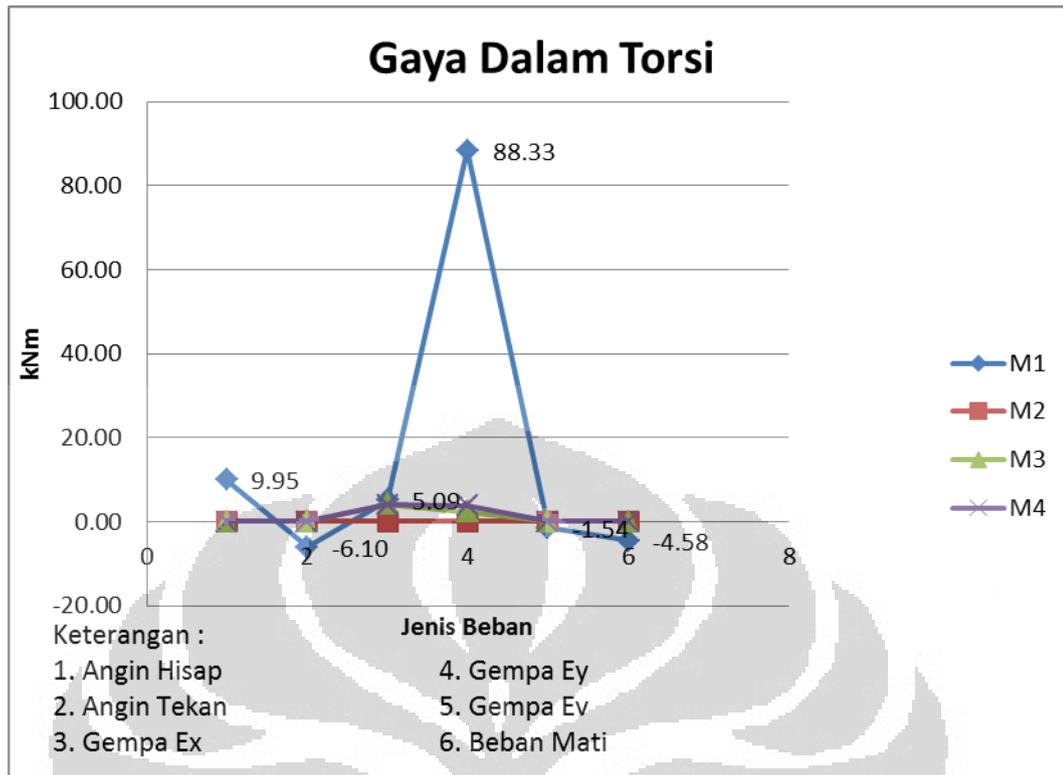
Gambar 4.19. Gaya Dalam Torsi Untuk Bentang Atap 22 meter

(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.20. Gaya Dalam Torsi Untuk Bentang Atap 26 meter

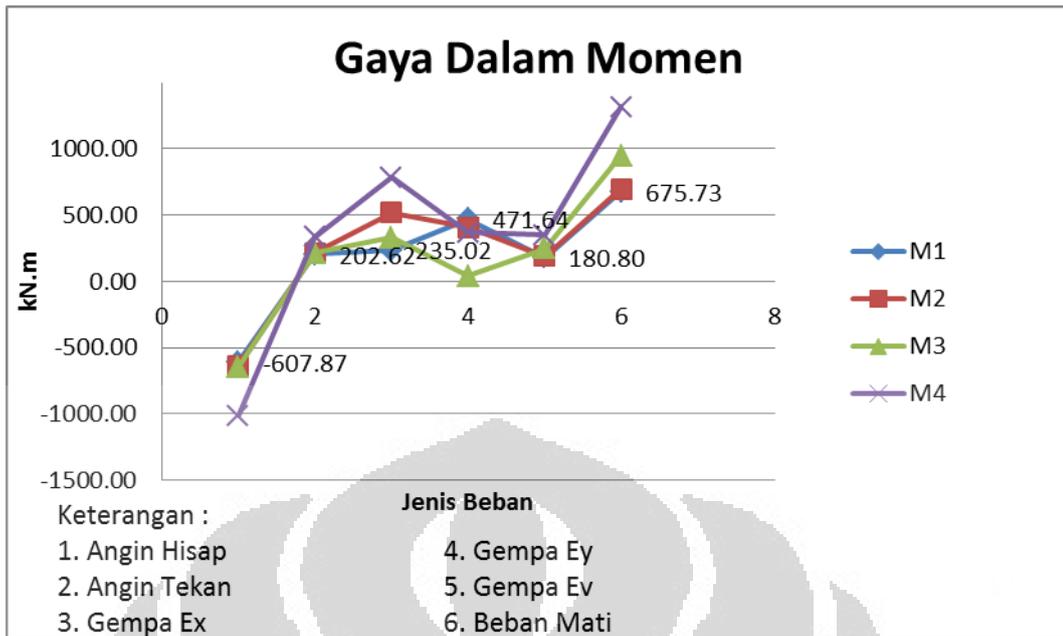
(Sumber: Olahan Penulis)



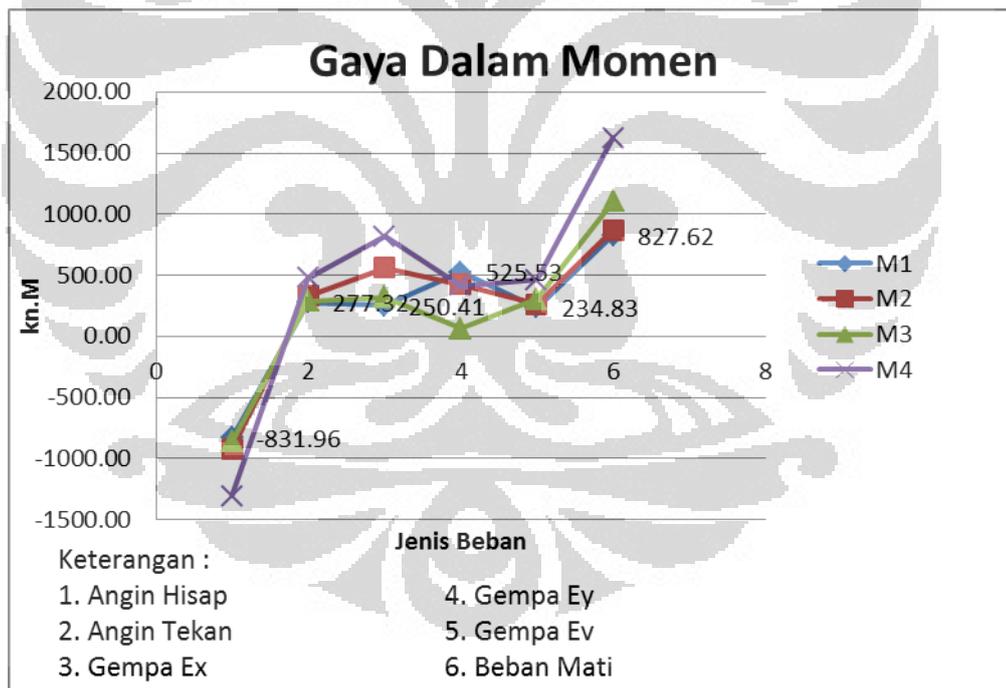
Gambar 4.21. Gaya Dalam Torsi Untuk Bentang Atap 30 meter

(Sumber: Olahan Penulis)

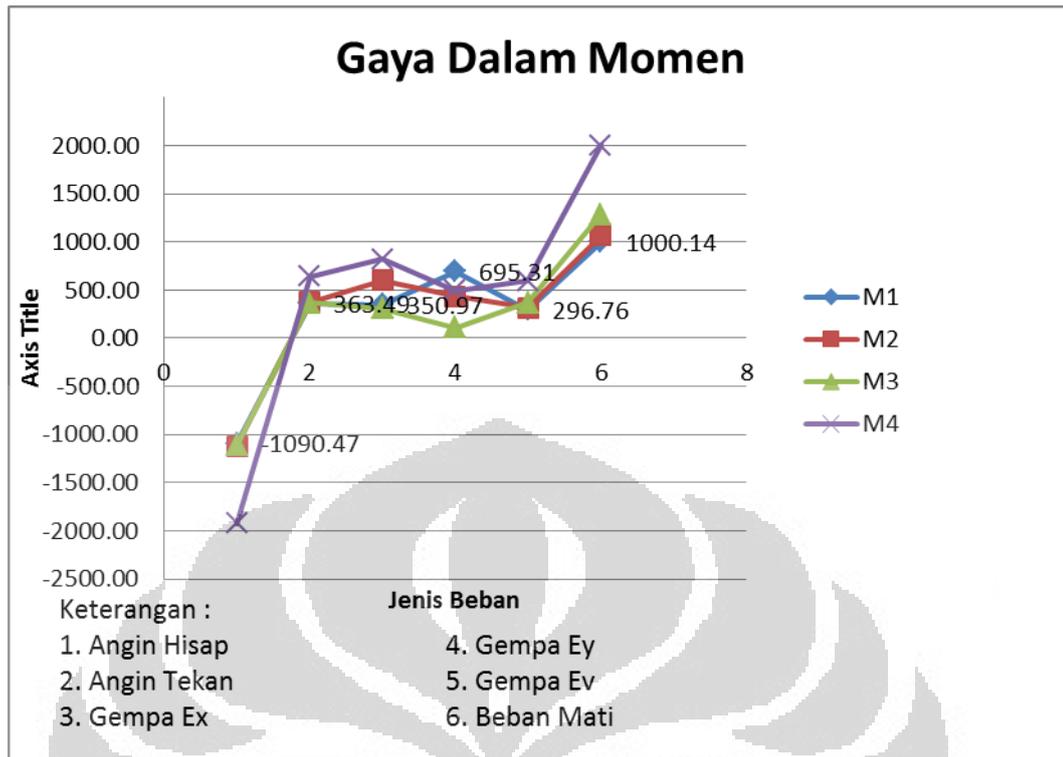
Sama halnya seperti gaya dalam V arah minor, gaya dalam torsi pada model 1 juga memberikan hasil yang kecil, di mana semua model yang lain menghasilkan angka 0 untuk semua jenis beban, kecuali gempa Ex dan Ey. Untuk gempa Ex saja yang memberikan selisih kecil, sedangkan untuk gempa Ey model yang memiliki nilai terdekat nilainya hampir 50 kali lebih kecil dari gaya dalam torsi akibat Ey pada model 1.



Gambar 4.22. Gaya Dalam Momen Untuk Bentang Atap 22 meter  
(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.23. Gaya Dalam Momen Untuk Bentang Atap 22 meter  
(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.24. Gaya Dalam Momen Untuk Bentang Atap 30 meter

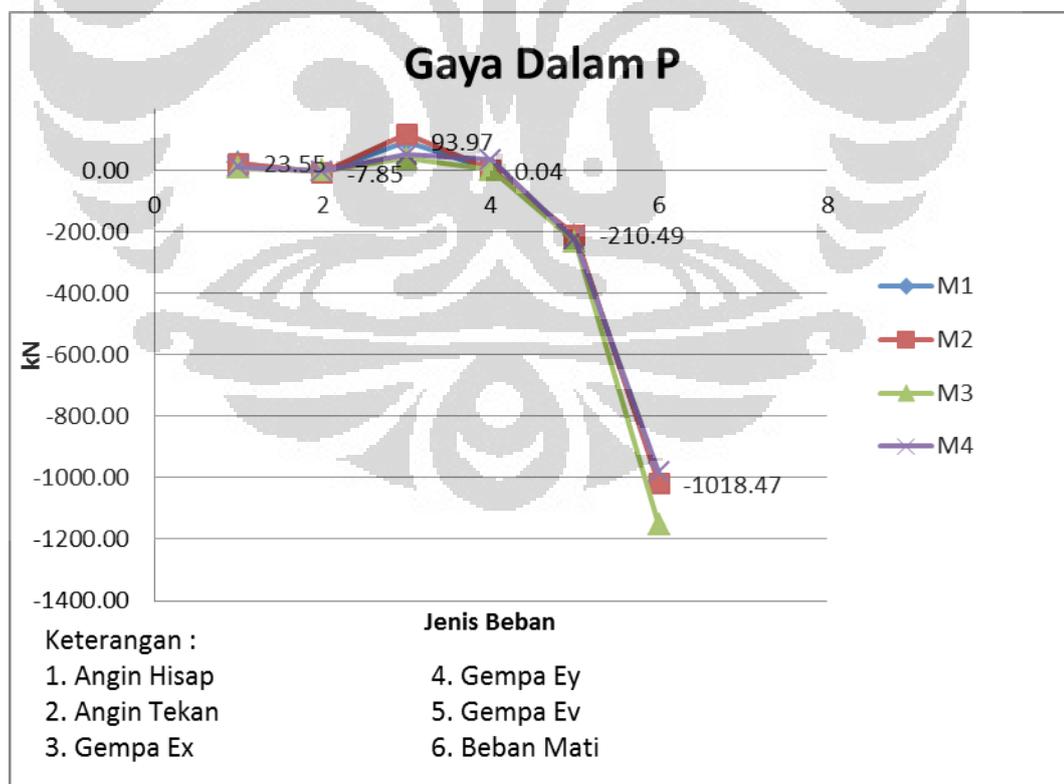
(Sumber: Olahan Penulis)

Gaya dalam momen yang dihasilkan pada kolom penumpu atap akibat gaya angin pada model 1 untuk bentang atap 22 meter memiliki nilai terdekat dengan model 2 dengan selisih 4,76 %. Sama halnya dengan akibat beban gempa Ey, gempa vertikal, dan beban mati pada model 2 juga menghasilkan gaya dalam momen yang paling dekat selisihnya dengan model 1 yaitu sebesar 13,96 % untuk gempa Ey, 4,19 % untuk gempa vertikal sebesar 2,91 %. Momen akibat beban gempa Ex pada bentang ini yang memiliki nilai terdekat dengan model 1 adalah model 3 dengan selisih 40,43 %. Sedangkan untuk bentang atap 26 dan 30 meter yang terdekat adalah model 3 dengan selisih sebesar 3,7 % dan 1,78 % untuk beban angin hisap dan angin tekan, 27,49 % dan 12,72 % untuk beban gempa Ex. Untuk beban lainnya pada kedua bentang ini, yang memiliki nilai terdekat dengan model 1 adalah model 2 yaitu dengan selisih 19,56 % dan 37,38 % akibat gempa Ey, 11,44 % dan 6,74 % akibat gempa vertikal, 5,33 % dan 6,69 % akibat beban mati. Selisih yang cukup kecil ini menandakan bahwa dari segi gaya dalam momen model 2 telah dapat menghasilkan hasil yang baik untuk beban – beban yang ada kecuali untuk beban gempa. Sedangkan untuk gaya dalam lainnya model

ini tidak memberikan hasil yang signifikan terutama untuk torsi. Sedangkan untuk gaya geser pada arah mayor, akibat beban gempa arah X model ini telah memberikan hasil yang baik dengan selisih cukup kecil dengan model 1 namun tidak untuk beban gempa arah Y. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pemodelan struktur atap secara utuh tidak terlalu berpengaruh pada kolom penumpu pada gempa searah sumbu kuat untuk gaya geser mayor namun berpengaruh pada gempa sumbu lemah dan gaya geser minor.

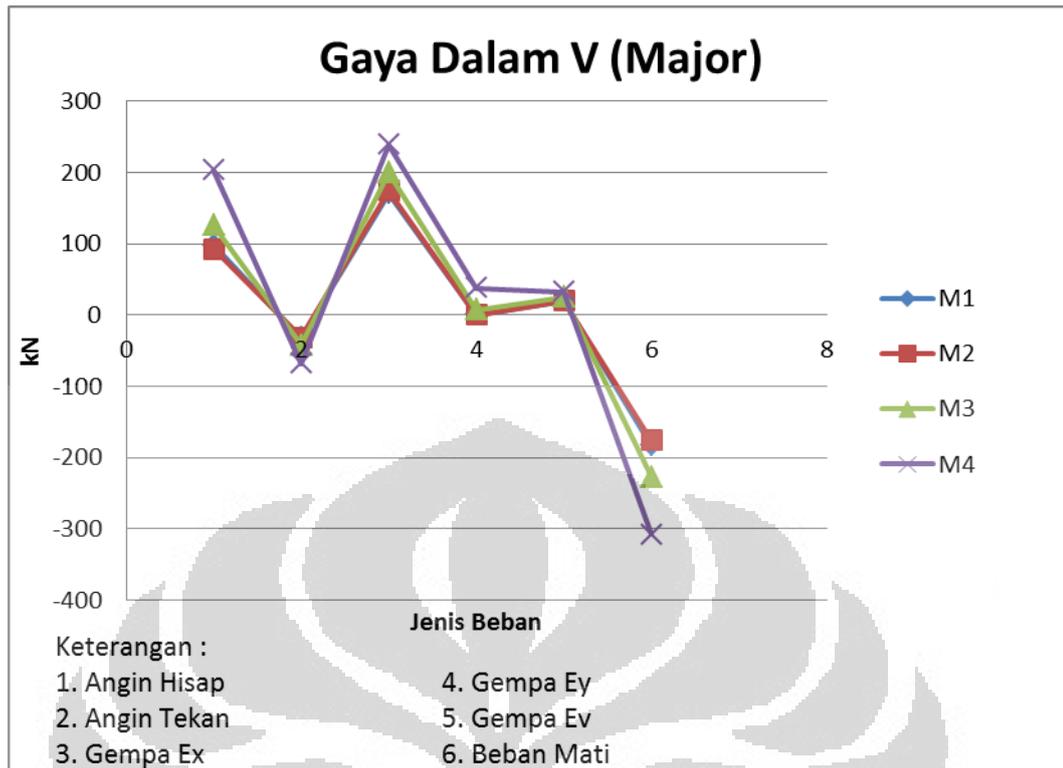
Yang bisa disimpulkan dari bagian ini adalah pemodelan sebagai beban memiliki kelemahan terbesar pada gaya geser akibat beban mati dan juga tentunya gempa vertikal. Hal ini akan ditinjau lebih lanjut pada bagian diskusi.

Efek pemodelan terhadap gaya – gaya dalam tentunya tidak hanya terjadi di kolom penumpu atap saja, untuk melihat hal tersebut akan dijelaskan lewat grafik – grafik di bawah ini. Kolom yang ditinjau adalah kolom – kolom pada portal tengah karena setelah yaitu kolom pada lantai dasar yang ternyata memiliki perbedaan – perbedaan yang signifikan. Grafik yang ditampilkan hanya untuk bentang atap 22 meter saja, sisanya dapat dilihat pada lampiran.

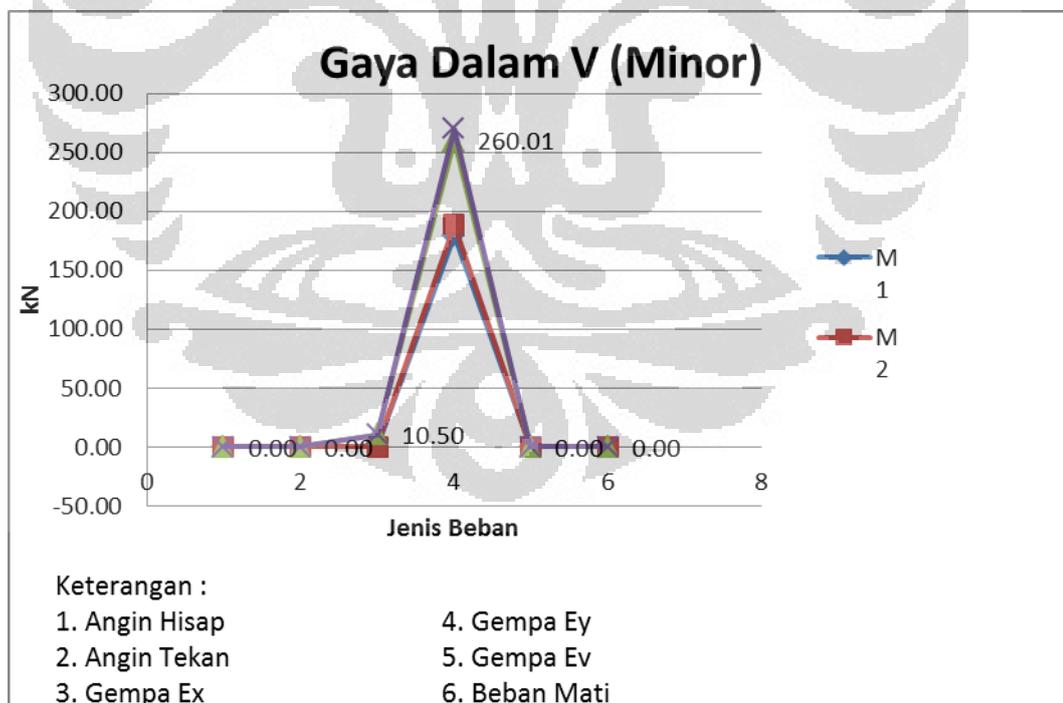


Gambar 4.25 Gaya Dalam Aksial Untuk Bentang Atap 22 meter (Kolom Lain)

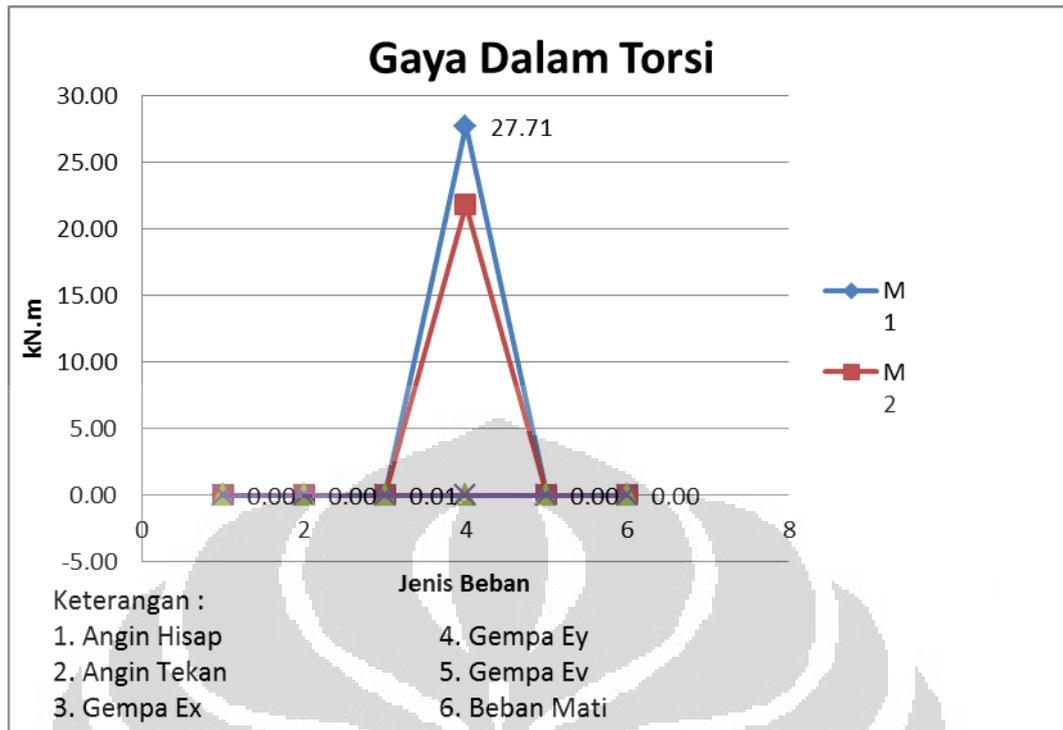
(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.26. Gaya Dalam V mayor Untuk Bentang Atap 22 meter (Kolom Lain)  
(Sumber: Olahan Penulis)

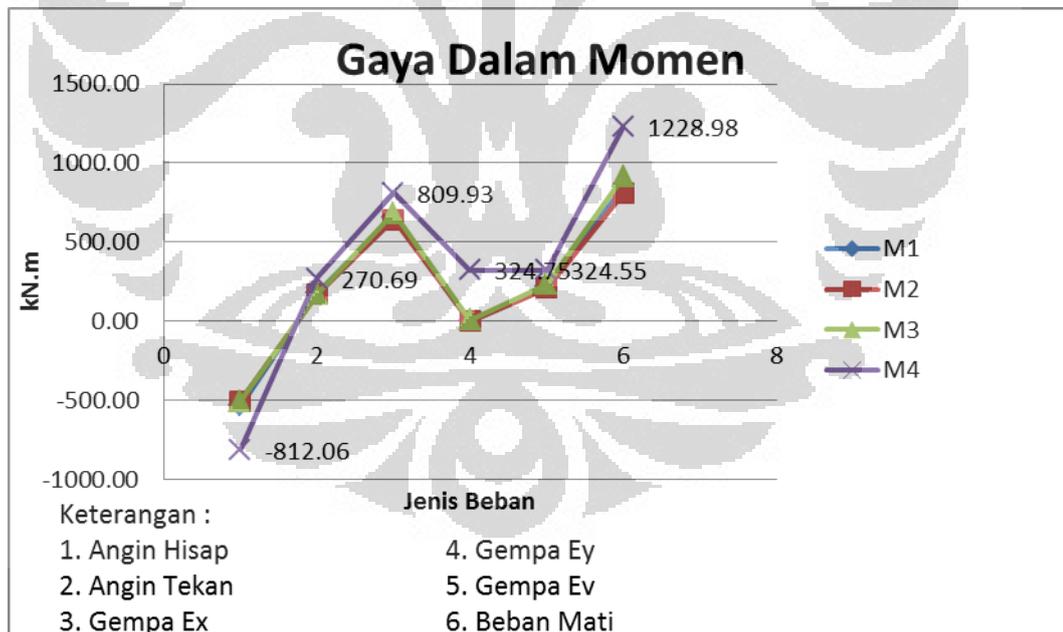


Gambar 4.27. Gaya Dalam V minor Untuk Bentang Atap 22 meter (Kolom Lain)  
(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.28 Gaya Dalam Torsi Untuk Bentang Atap 22 meter (Kolom Lain)

(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.29. Gaya Dalam Momen Untuk Bentang Atap 22 meter (Kolom Lain)

(Sumber: Olahan Penulis)

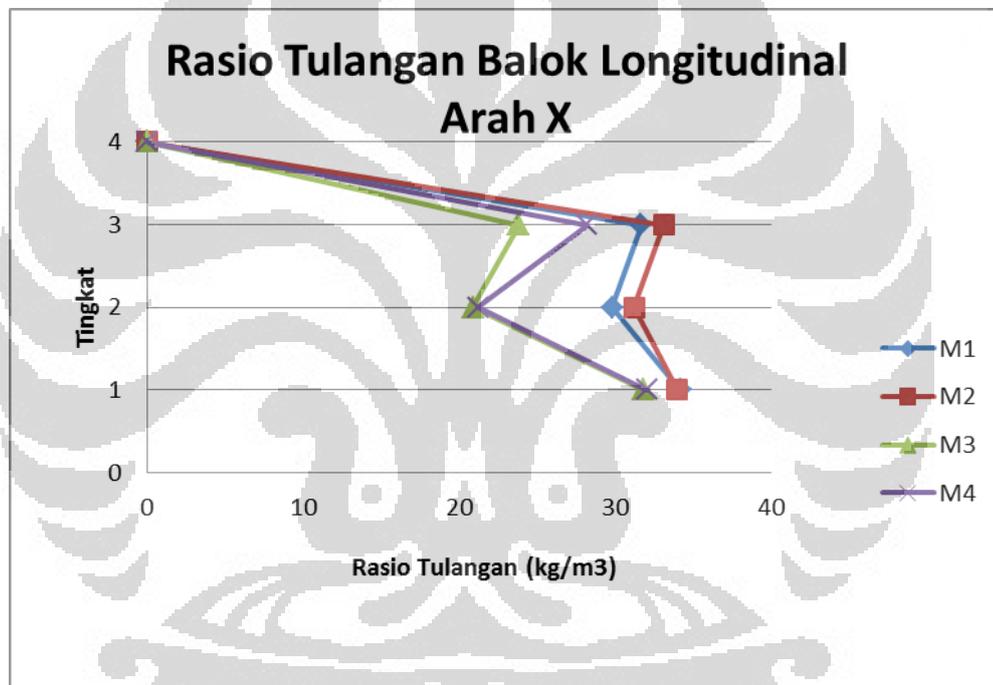
Dari nilai – nilai gaya dalam di atas dapat dilihat bahwa perbedaan – perbedaan antar model tidak besar, terutama untuk model 1 dan 2 di mana hampir

setiap grafiknya hampir berimpit. Hal ini menunjukkan bahwa pemodelan struktur atap hanya berefek pada kolom penumpunya saja.

#### 4.5 Rasio Tulangan Balok dan Kolom

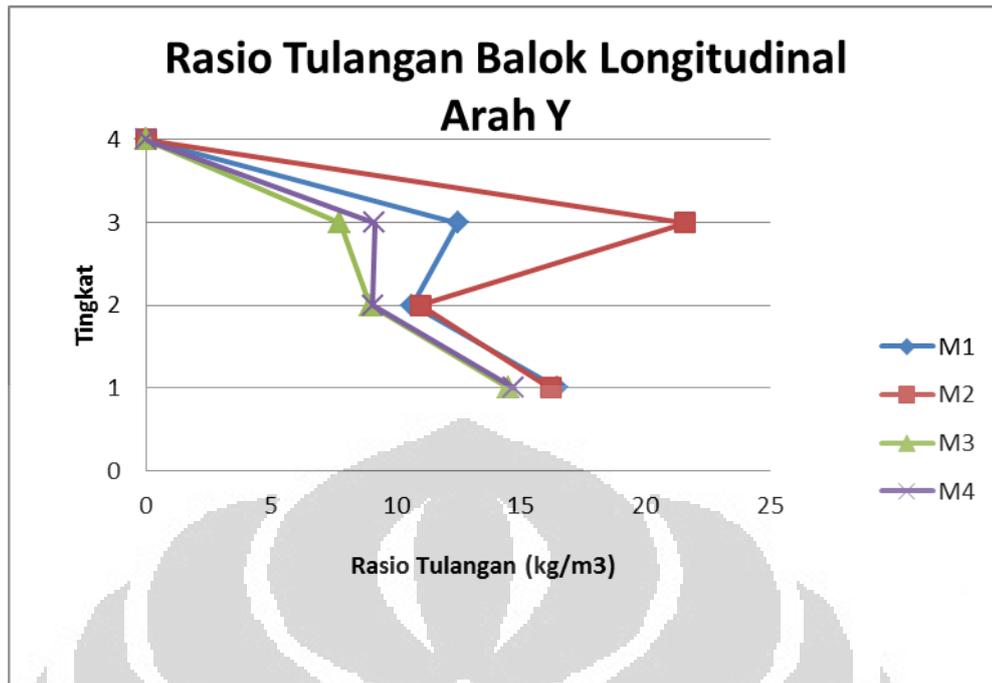
Rasio tulangan ini adalah rasio perbandingan antara banyaknya tulangan yang dibutuhkan pada tiap tingkat dalam kg dengan besar volume beton dalam m<sup>3</sup>. Nilai 0 pada rasio tulangan transversal dikarenakan perhitungan tulangan geser menggunakan bantuan program di mana tidak meninjau segi praktis, artinya nilai 0 di sini menunjukkan bahwa yang diperlukan hanya tulangan geser minimum.

##### 4.5.1 Rasio Tulangan Balok

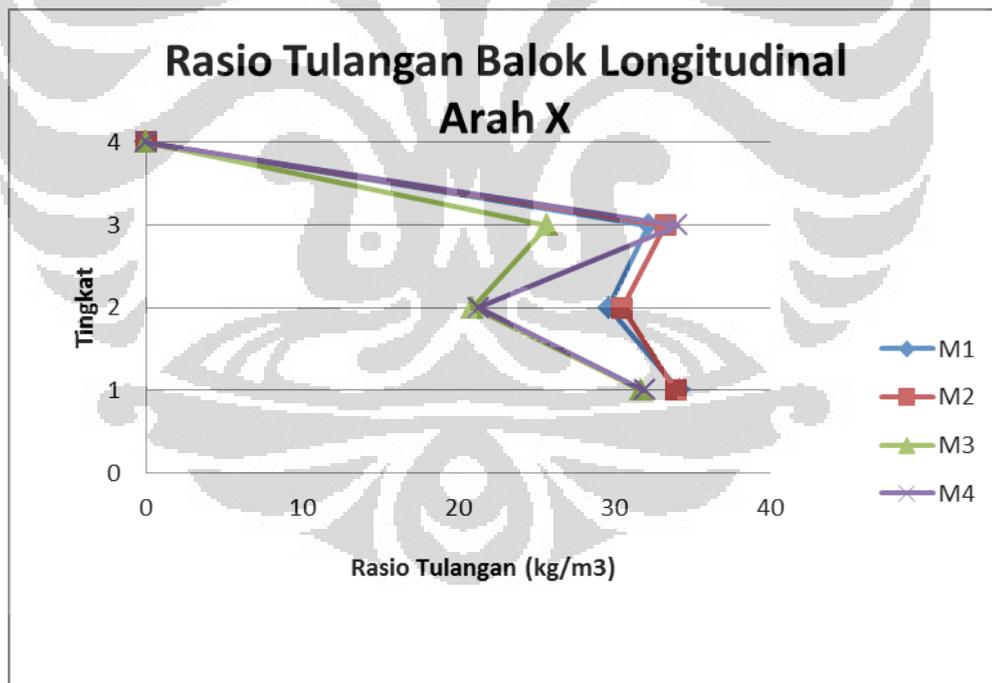


Gambar 4.30. Rasio Tulangan Balok Longitudinal Arah X Bentang 22 M

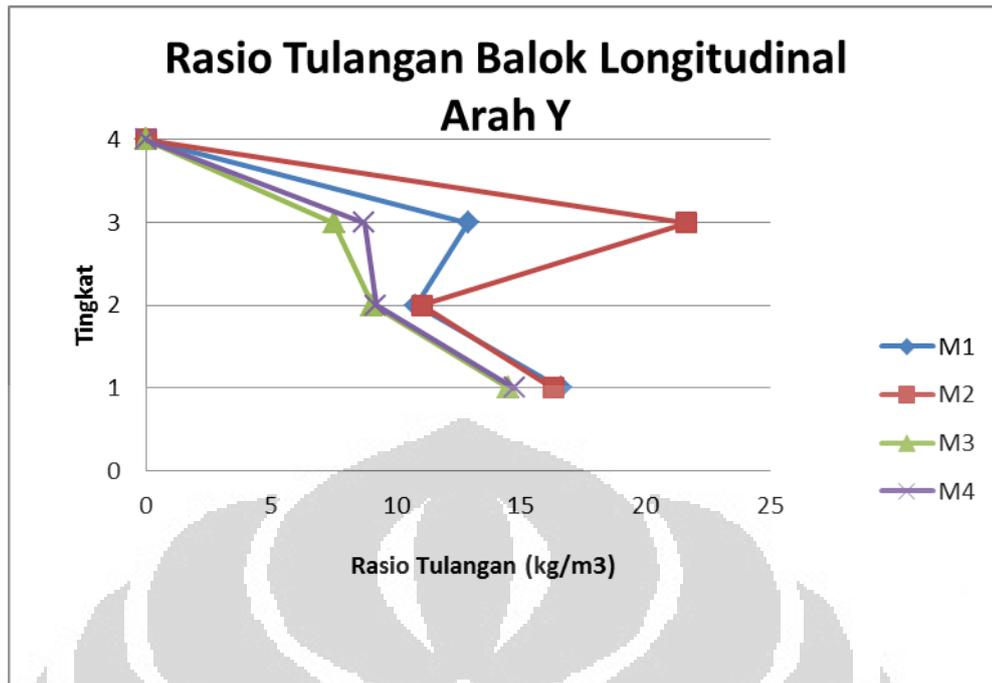
(Sumber: Olahan Penulis)



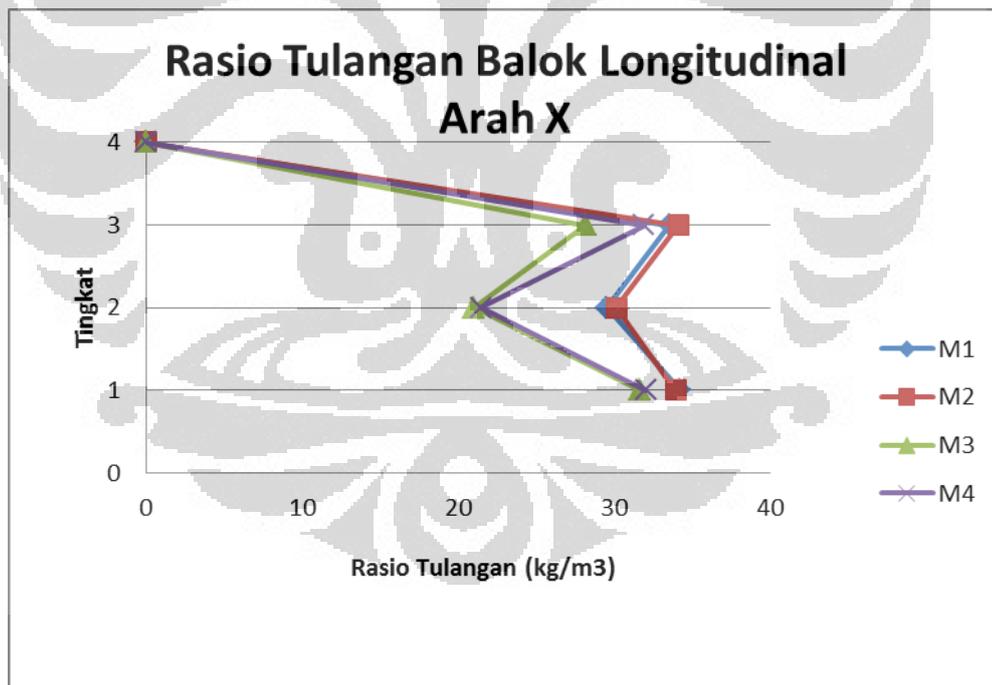
Gambar 4.31. Rasio Tulangan Balok Longitudinal Arah Y Bentang 22 M  
(Sumber: Olahan Penulis)



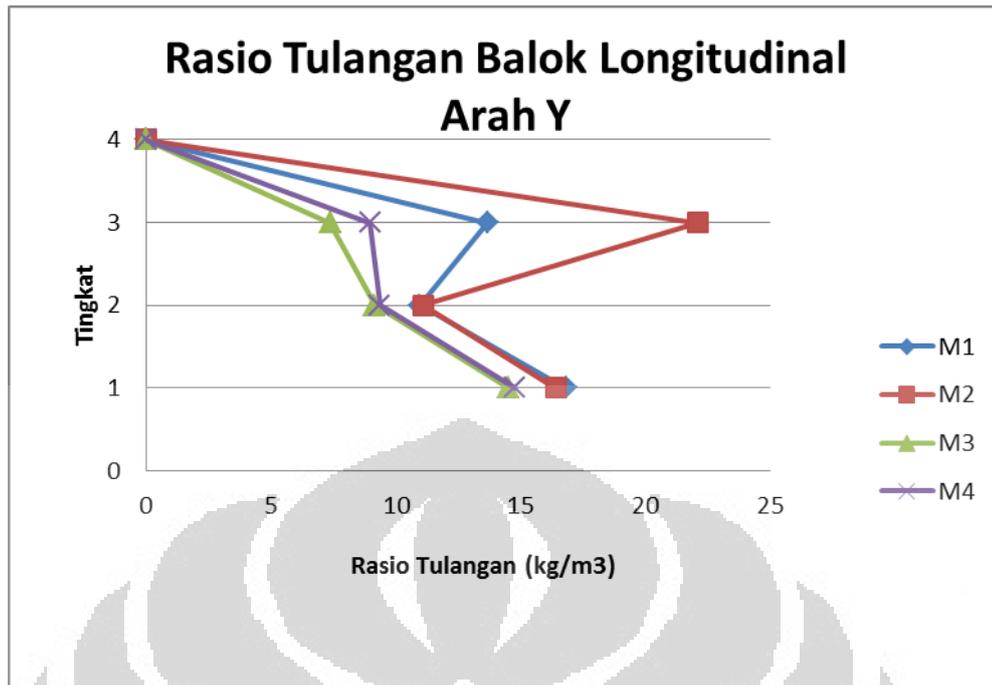
Gambar 4.32. Rasio Tulangan Balok Longitudinal Arah X Bentang 26 M  
(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.33 Rasio Tulangan Balok Longitudinal Arah Y Bentang 26 M  
(Sumber: Olahan Penulis)



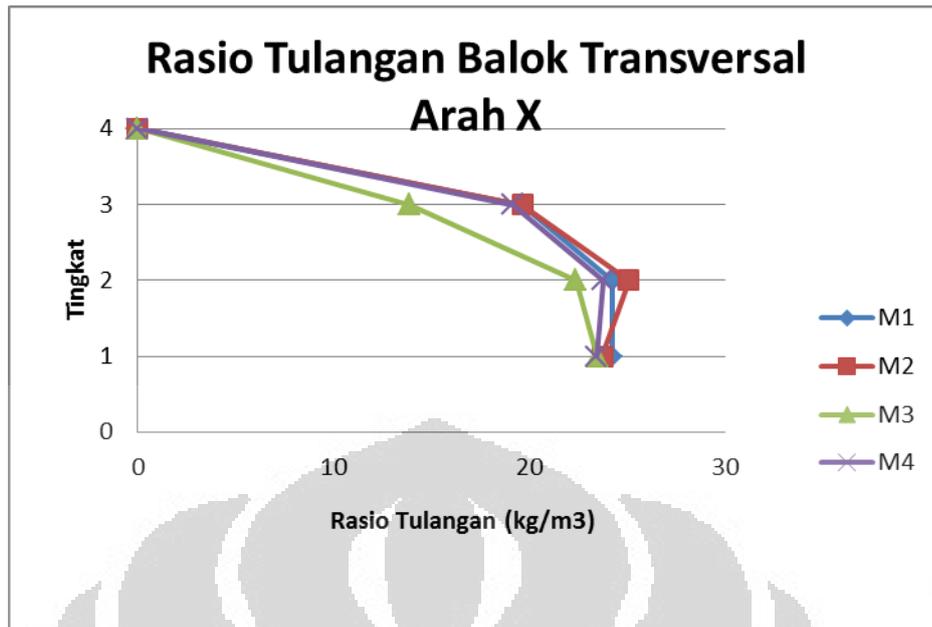
Gambar 4.34. Rasio Tulangan Balok Longitudinal Arah X Bentang 30 M  
(Sumber: Olahan Penulis)



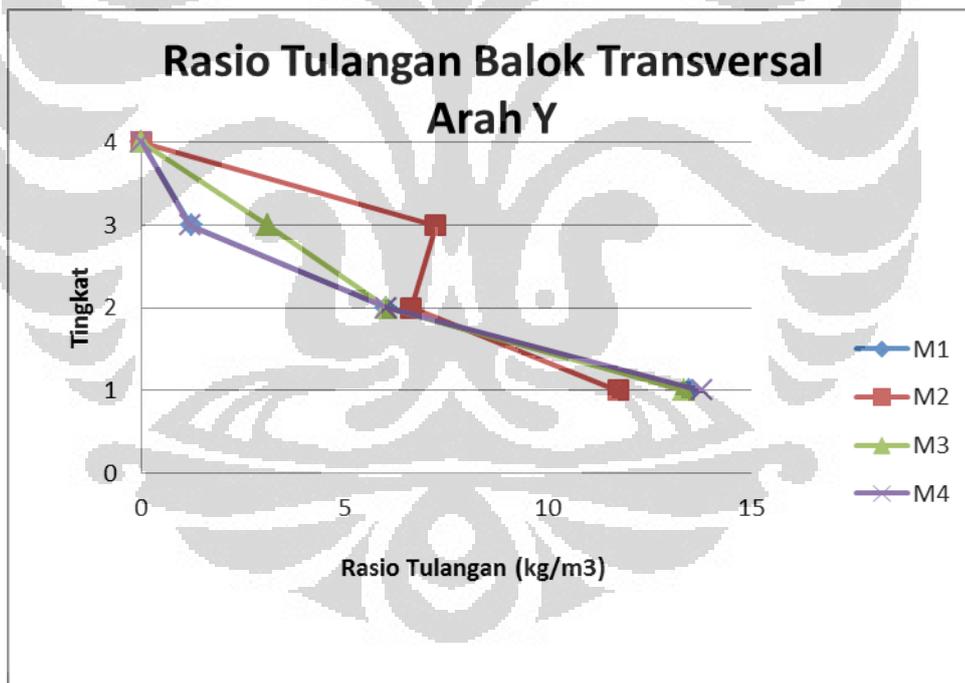
Gambar 4.35. Rasio Tulangan Balok Longitudinal Arah Y Bentang 30 M

(Sumber: Olahan Penulis)

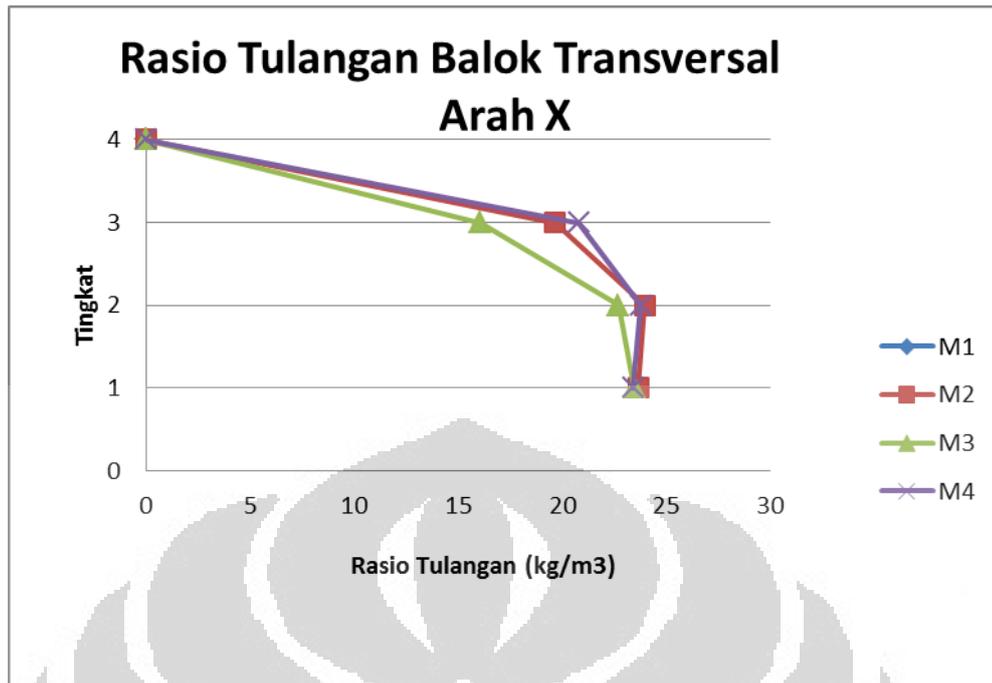
Untuk rasio tulangan balok longitudinal pada arah X model 2 memiliki nilai yang paling mendekati dengan model 1, di mana 2 model lainnya memiliki nilai rasio yang lebih kecil dari model 1. Sedangkan pada arah Y rasio antara model 1 dan 2 sama kecuali untuk tingkat 3 karena pada model 2 kolom menderita gaya lebih besar sehingga balok tingkat 3 menerima gaya yang lebih besar. Nilai 0 pada tingkat 4 karena pada tingkat tersebut tidak terdapat balok.



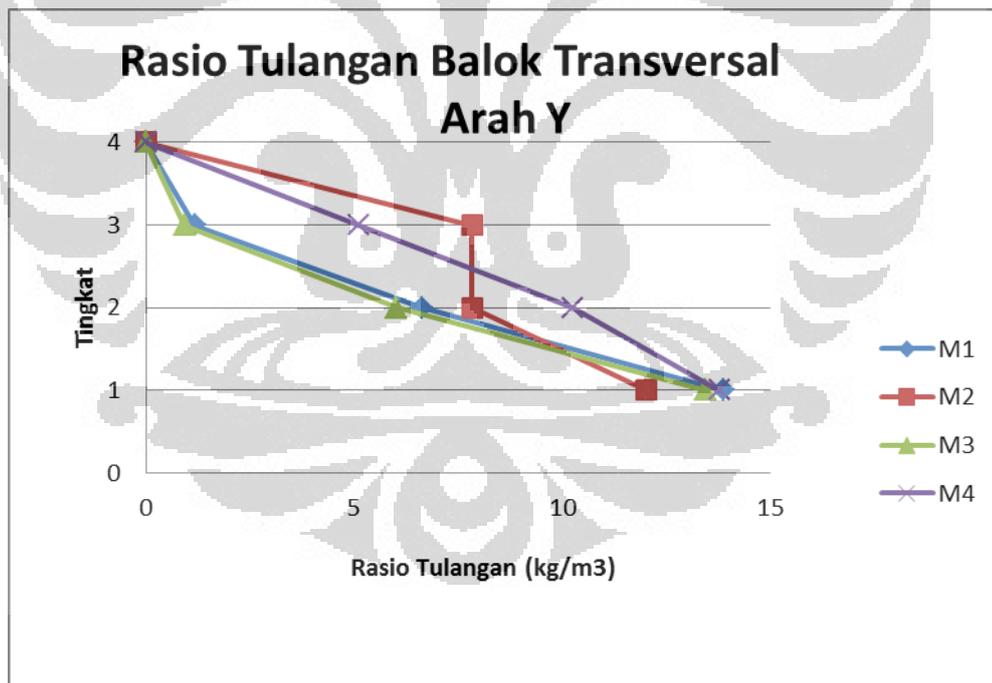
Gambar 4.36. Rasio Tulangan Balok Transversal Arah X Bentang 22 M  
(Sumber: Olahan Penulis)



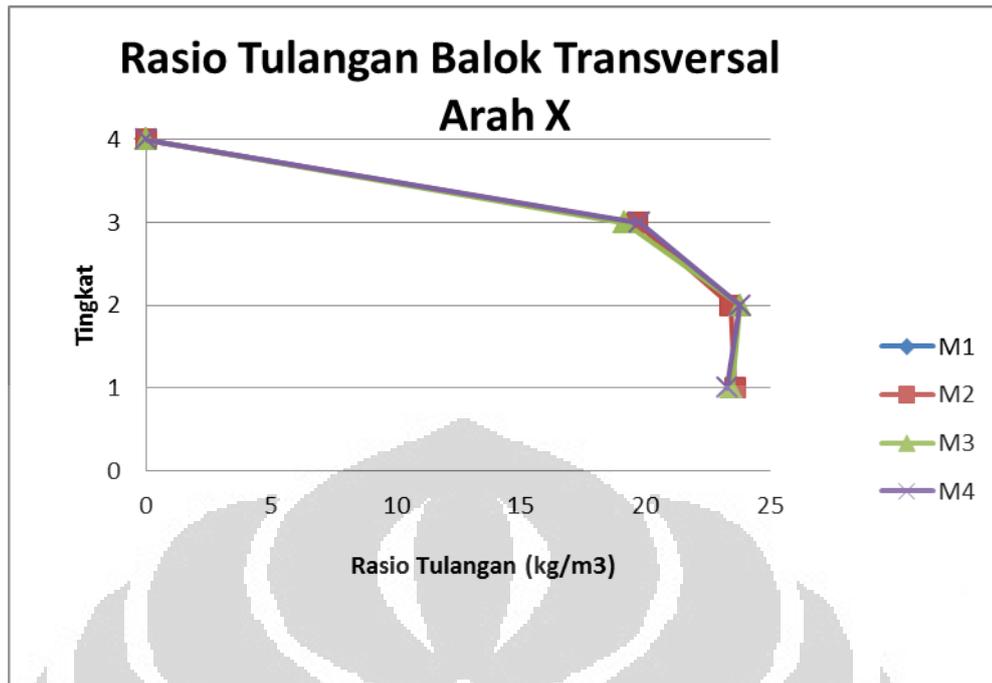
Gambar 4.37. Rasio Tulangan Balok Transversal Arah Y Bentang 22 M  
(Sumber: Olahan Penulis)



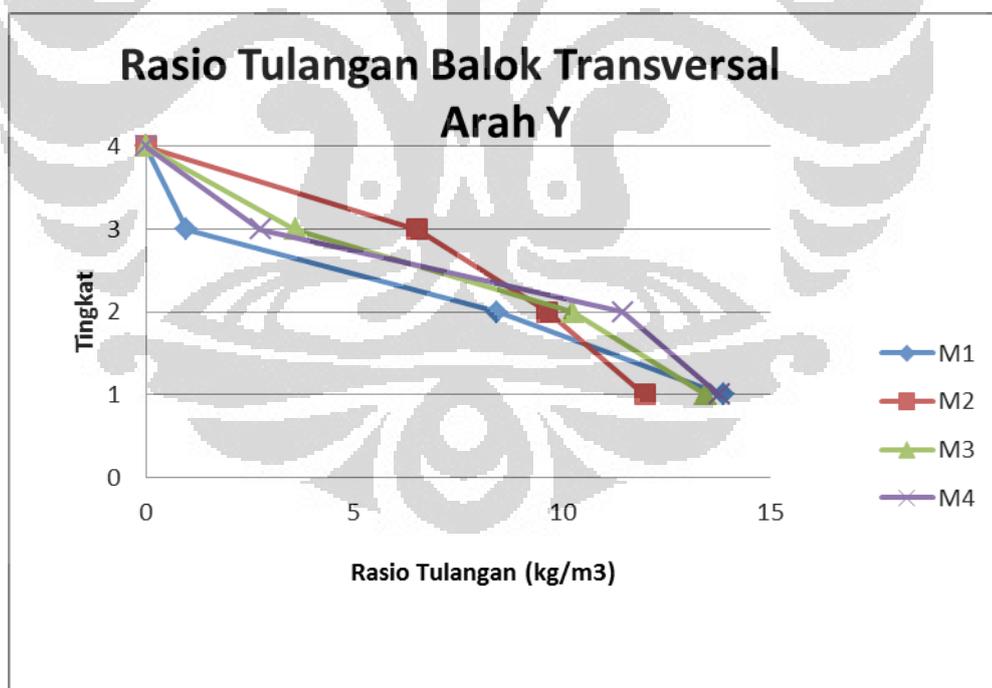
Gambar 4.38. Rasio Tulangan Balok Transversal Arah X Bentang 26 M  
(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.39. Rasio Tulangan Balok Transversal Arah Y Bentang 26 M  
(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.40. Rasio Tulangan Balok Transversal Arah X Bentang 30 M  
(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.41. Rasio Tulangan Balok Transversal Arah Y Bentang 30 M  
(Sumber: Olahan Penulis)

Untuk rasio tulangan transversal tiap model memberikan nilai yang sama untuk tiap model pada tiap bentang di balok arah X. Sedangkan untuk

terdapat perbedaan yang signifikan pada arah Y di mana pada tingkat 3 model 2 memberikan rasio tulangan yang jauh lebih besar. Sedangkan efek panjang bentang atap sendiri tidak terlalu berpengaruh terhadap rasio tulangan balok. Agar dapat terlihat besarnya perbedaan kebutuhan tulangan tiap model untuk tiap bentang maka akan dibandingkan kebutuhan tulangan balok secara keseluruhan untuk tiap model.

Tabel 4.20. Berat dan Rasio Tulangan Balok Bentang 22 Meter

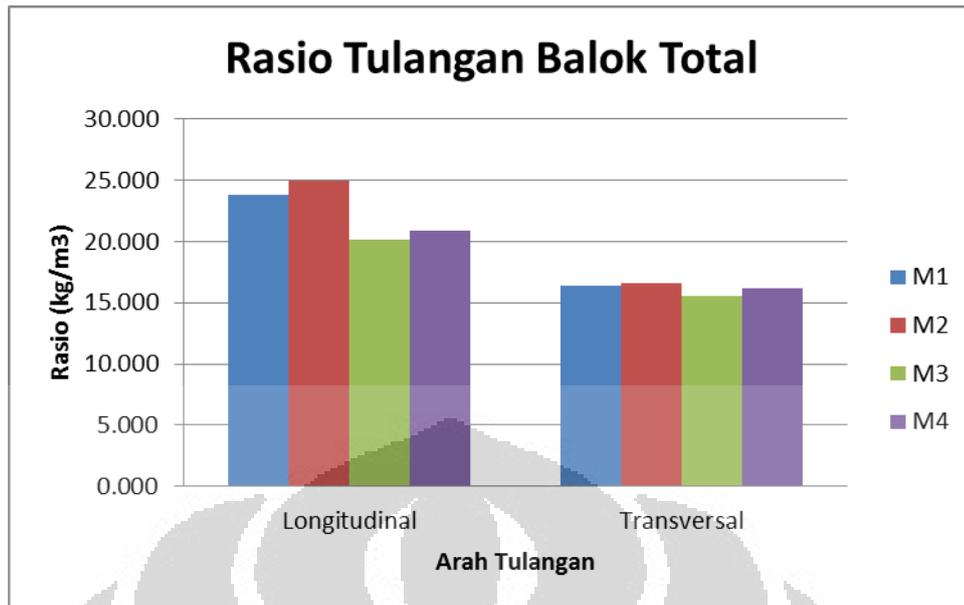
Model	Berat Tulangan (kg)		Rasio Tulangan (kg/m <sup>3</sup> )	
	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
M1	8451.026	5825.285	23.785	16.395
M2	8870.418	5887.992	24.966	16.572
M3	7136.993	5521.001	20.087	15.539
M4	7413.421	5731.839	20.865	16.132

Tabel 4.21. Berat dan Rasio Tulangan Balok Bentang 26 Meter

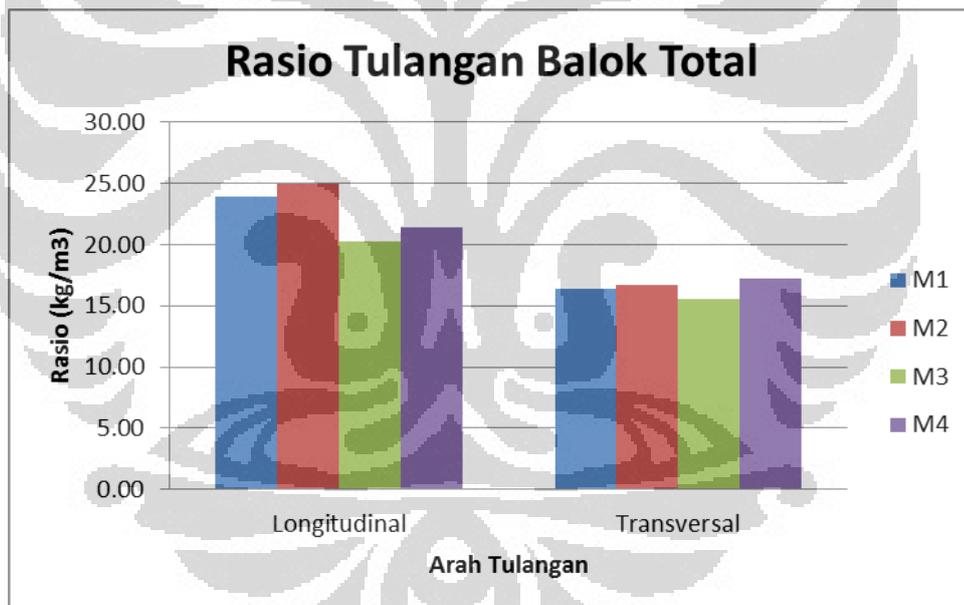
Model	Berat Tulangan (kg)		Rasio Tulangan (kg/m <sup>3</sup> )	
	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
M1	8496.98	5821.03	23.91	16.38
M2	8861.39	5936.48	24.94	16.71
M3	7194.51	5536.61	20.25	15.58
M4	7616.36	6099.94	21.44	17.17

Tabel 4.22. Berat dan Rasio Tulangan Balok Bentang 30 Meter

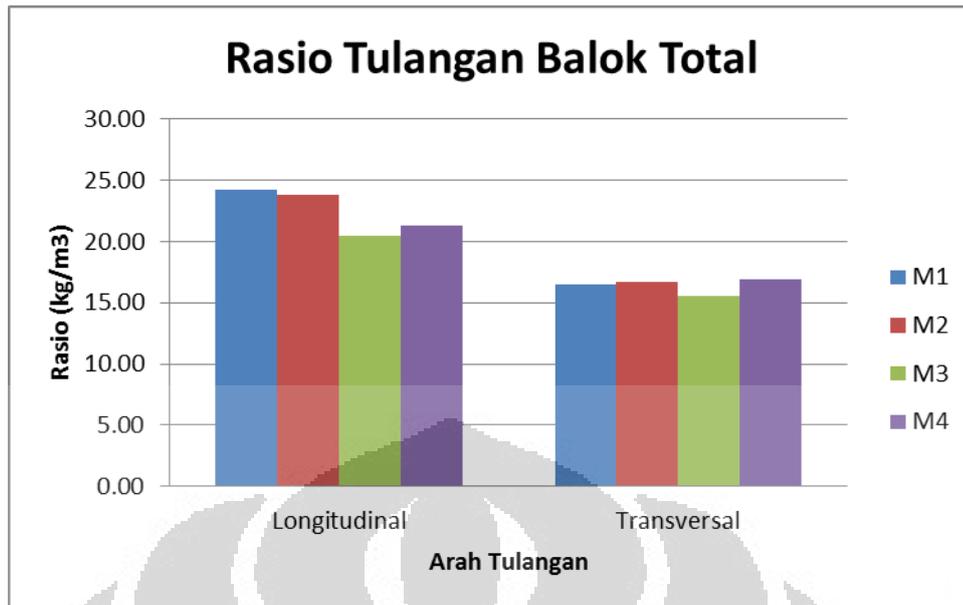
Model	Berat Tulangan (kg)		Rasio Tulangan (kg/m <sup>3</sup> )	
	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
M1	8602.34	5868.59	24.21	16.52
M2	8466.25	5921.89	23.83	16.67
M3	7281.45	5521.00	20.49	15.54
M4	7568.67	6004.88	21.30	16.90



Gambar 4.42. Berat dan Rasio Tulangan Balok Bentang 22 Meter  
(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.43. Berat dan Rasio Tulangan Balok Bentang 26 Meter  
(Sumber: Olahan Penulis)

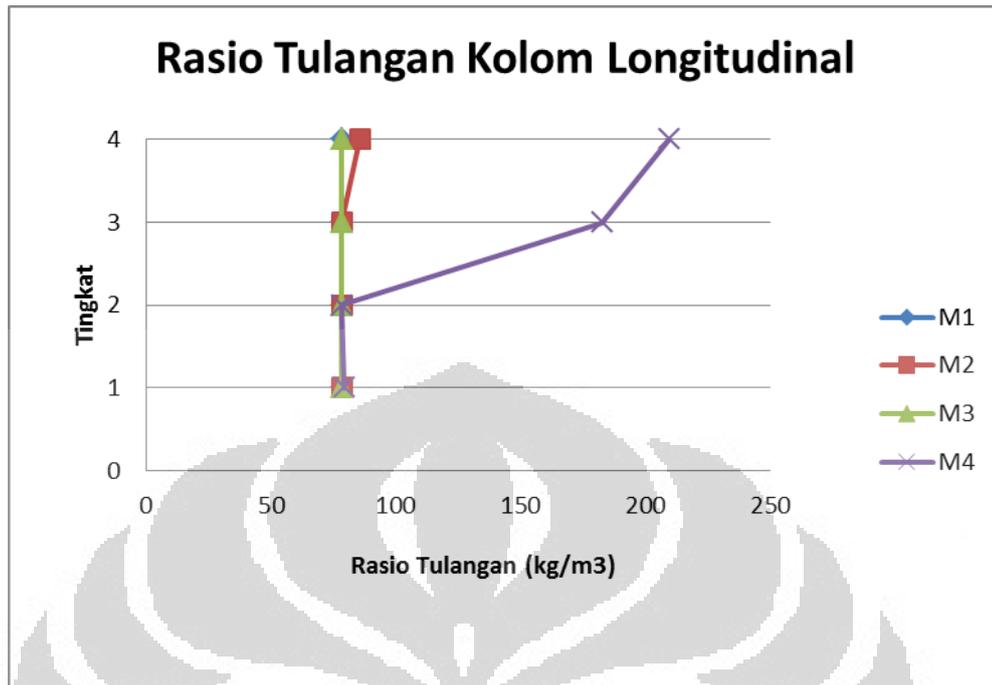


Gambar 4.44. Berat dan Rasio Tulangan Balok Bentang 30 Meter

(Sumber: Olahan Penulis)

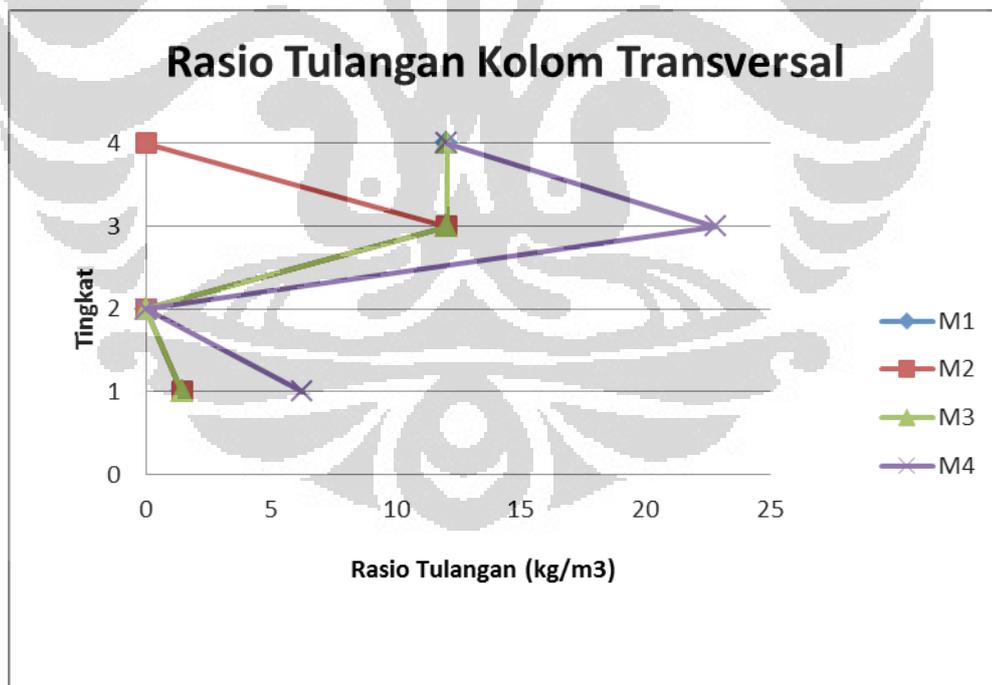
Jika dilihat dari hasil pemodelan pemodelan dengan model 2 hasilnya sudah sangat mendekati. Hal ini menunjukkan bahwa dari segi penulangan balok pemodelan model 2 dapat digunakan karena hasilnya tidak jauh dari model 1. Sementara untuk model 3 memiliki nilai yang lebih kecil dari model 1 baik pada arah longitudinal maupun transversal. Begitu pula dengan model 4 yang lebih kecil pada arah longitudinal. Hal ini menunjukkan bahwa analisa secara statik belum mampu menghasilkan hasil yang baik untuk model struktur yang tidak beraturan seperti ini karena menghasilkan *output* yang *underdesign*.

## 4.5.2 Rasio Tulangan Kolom



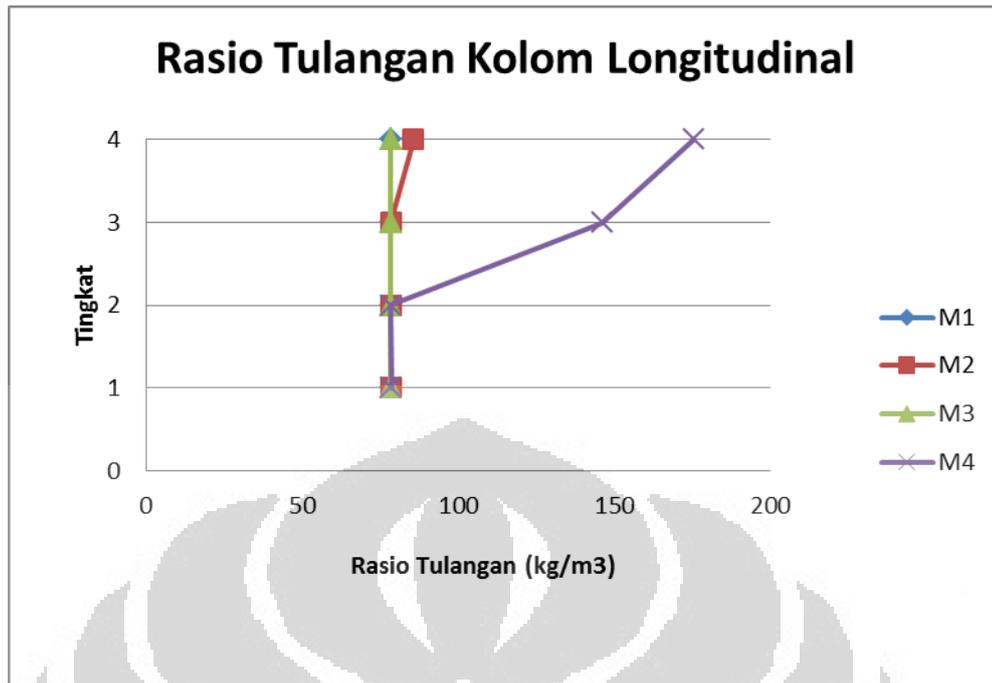
Gambar 4.45. Rasio Tulangan Kolom Longitudinal Bentang 22 M

(Sumber: Olahan Penulis)



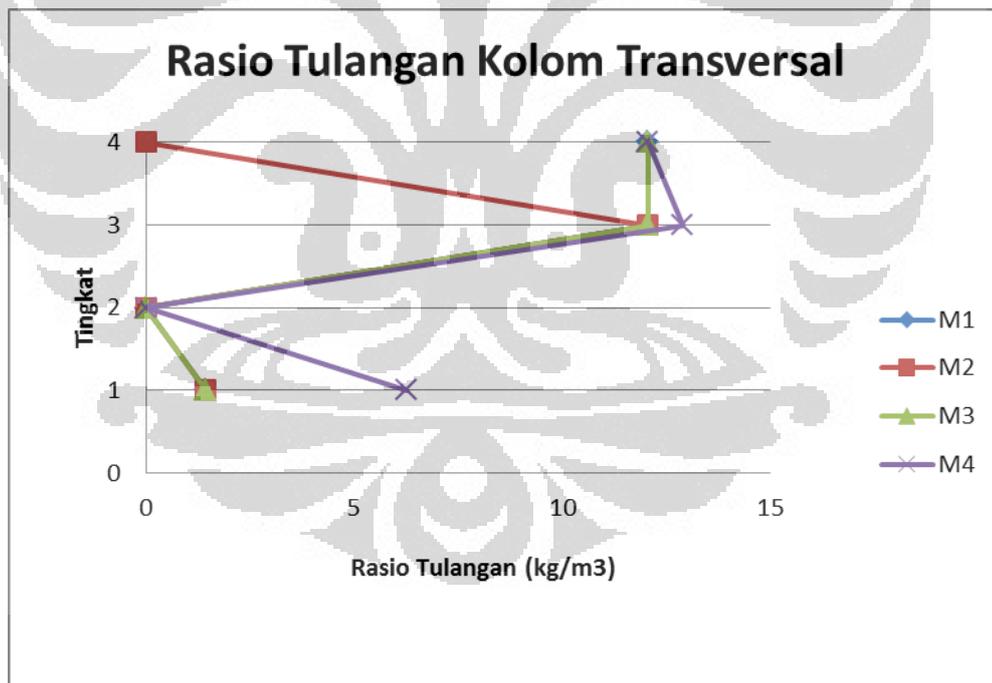
Gambar 4.46. Rasio Tulangan Kolom Transversal Bentang 22 M

(Sumber: Olahan Penulis)



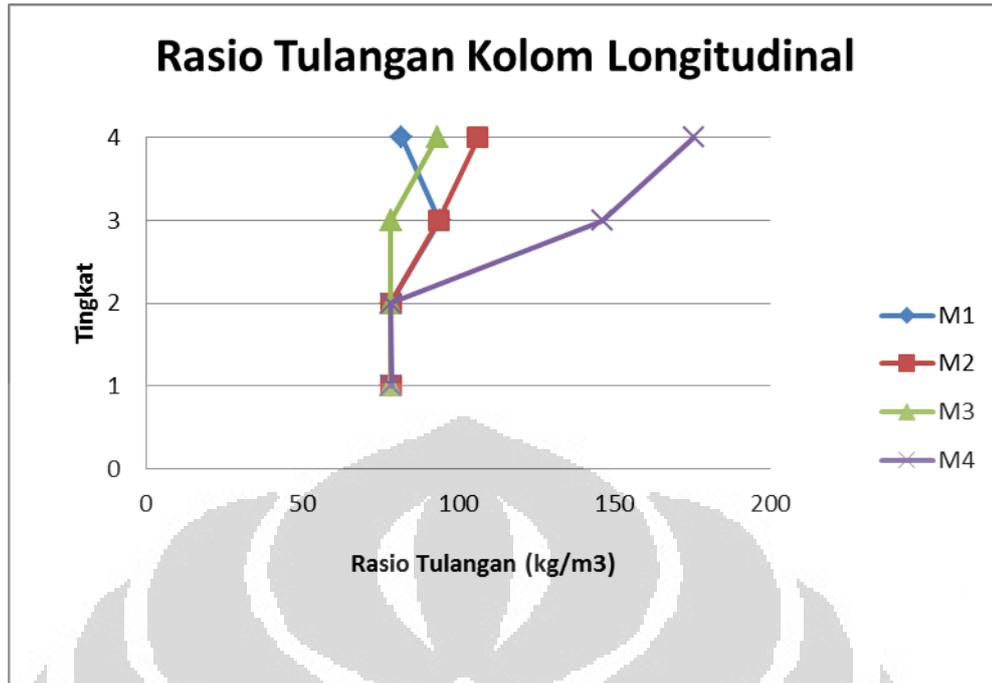
Gambar 4.47. Rasio Tulangan Kolom Longitudinal Bentang 26 M

(Sumber: Olahan Penulis)



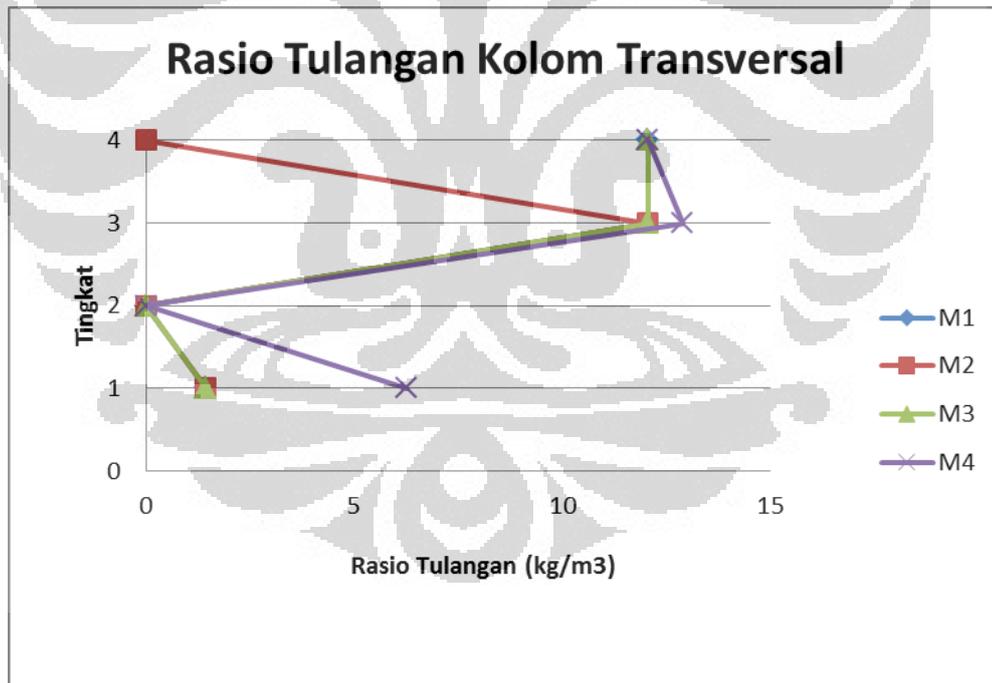
Gambar 4.48. Rasio Tulangan Kolom Transversal Bentang 26 M

(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.49. Rasio Tulangan Kolom Longitudinal Bentang 30 M

(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.50. Rasio Tulangan Kolom Transversal Bentang 30 M

(Sumber: Olahan Penulis)

Nilai rasio tulangan longitudinal hampir sama untuk tiap model kecuali model 4. Nilai rasio ini mengalami peningkatan yang signifikan saat bertambahnya bentang atap. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan bentang

atap memberikan efek yang cukup besar terutama untuk 2 tingkat teratas. Sedangkan untuk tulangan transversal model 3 memberikan nilai yang paling dekat dengan model 1. Hal ini menunjukkan bahwa jika ditinjau dari hasil rasio penulangan ini, praktik sehari – hari di mana memodelkan atap dan tribun secara terpisah sudah cukup tepat. Sedangkan untuk model 2 memberikan hasil yang kurang baik pada kolom penumpu, karena hanya mengeluarkan penulangan geser minimum. Hal ini tentunya menunjukkan bahwa efek gempa yang terjadi pada atap memberikan gaya yang terbesar pada kolom penumpunya. . Agar dapat terlihat besarnya perbedaan kebutuhan tulangan tiap model untuk tiap bentang maka akan dibandingkan kebutuhan tulangan balok secara keseluruhan untuk tiap model.

Tabel 4.23. Berat dan Rasio Tulangan Kolom Bentang 22 Meter

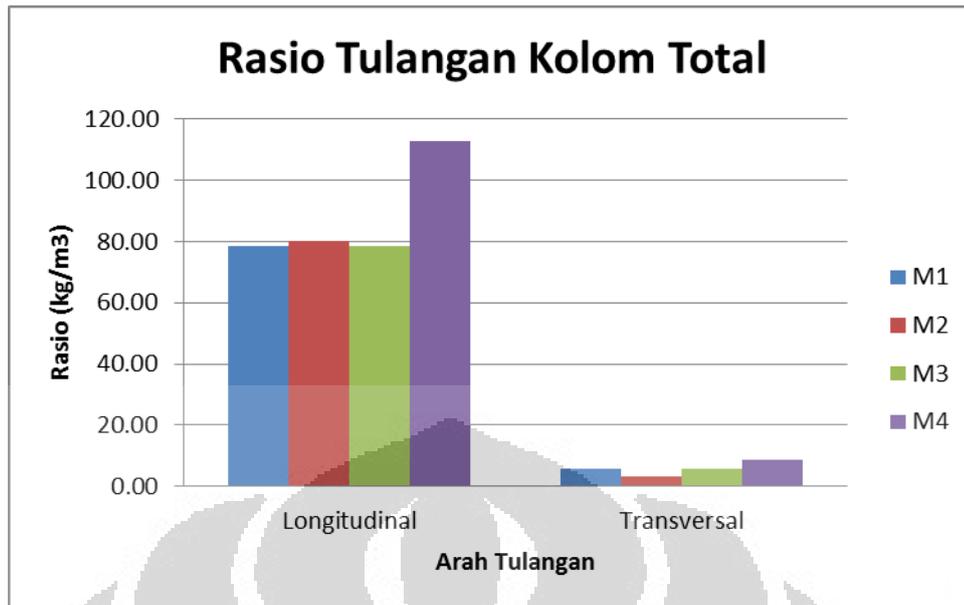
Model	Berat Tulangan (kg)		Rasio Tulangan (kg/m <sup>3</sup> )	
	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
M1	33572.88	2470.25	78.50	5.78
M2	34213.26	1396.23	80.00	3.26
M3	33572.88	2470.25	78.50	5.78
M4	48239.24	3619.72	112.79	8.46

Tabel 4.24. Berat dan Rasio Tulangan Kolom Bentang 26 Meter

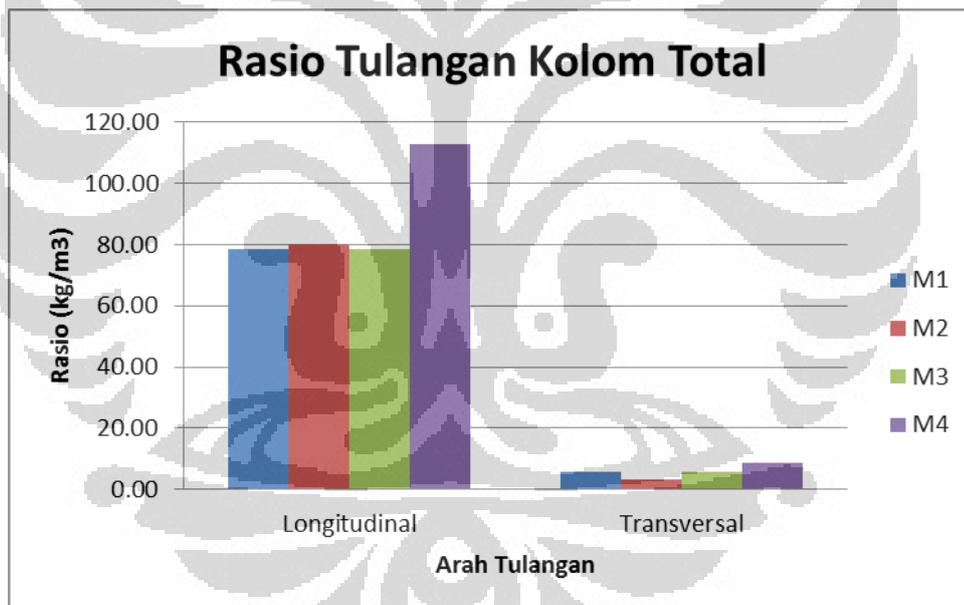
Model	Berat Tulangan (kg)		Rasio Tulangan (kg/m <sup>3</sup> )	
	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
M1	33572.88	2470.25	78.50	5.78
M2	34213.26	1396.23	80.00	3.26
M3	33572.88	2470.25	78.50	5.78
M4	48239.24	3619.72	112.79	8.46

Tabel 4.25 Berat dan Rasio Tulangan Kolom Bentang 30 Meter

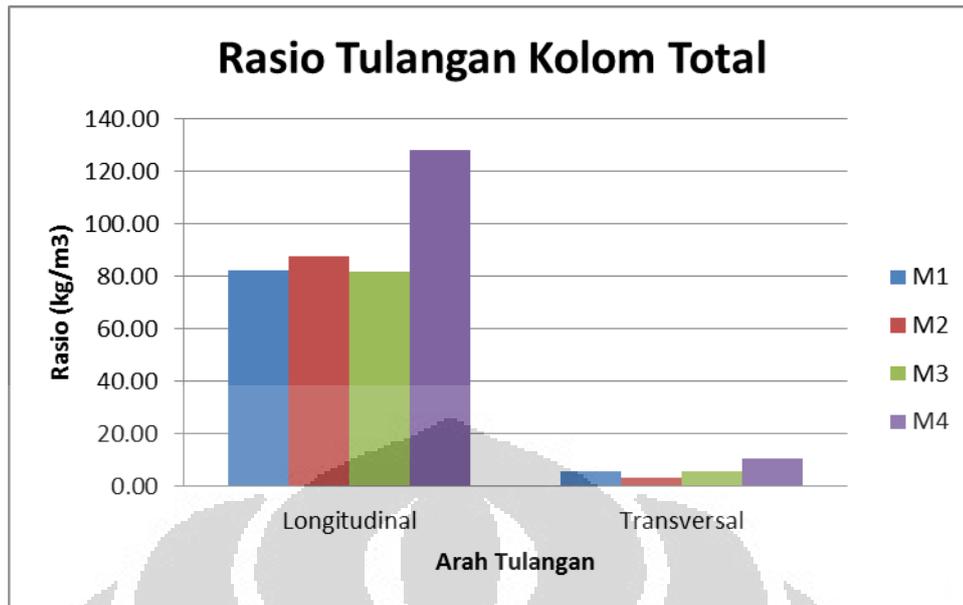
Model	Berat Tulangan (kg)		Rasio Tulangan (kg/m <sup>3</sup> )	
	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
M1	35278.58	2470.25	82.49	5.78
M2	37415.71	1396.23	87.49	3.26
M3	34893.91	2470.25	81.59	5.78
M4	54733.66	4503.20	127.98	10.53



Gambar 4.51. Berat dan Rasio Tulangan Kolom Bentang 22 Meter  
(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.52. Berat dan Rasio Tulangan Kolom Bentang 26 Meter  
(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.53. Berat dan Rasio Tulangan Kolom Bentang 30 Meter  
(Sumber: Olahan Penulis)

Seperti yang telah dibahas sebelumnya untuk penulangan balok model 3 memberikan nilai yang paling mendekati. Sedangkan model 2 mendekati hanya pada arah longitudinalnya saja. Untuk model 4 memberikan hasil yang melenceng cukup jauh dari model 1. Hal ini menunjukkan bahwa analisis secara statik pada struktur tribun stadion menghasilkan *output* tulangan yang jauh lebih besar dari analisis dinamik atau dengan kata lain *overdesign*.

#### 4.6 Pemodelan Momen Pada Model 2

Pada model 2, yaitu pemodelan terpisah di mana struktur atap hanya dijadikan beban saja, eksentrisitas yang timbul dan mengakibatkan momen hanya dimodelkan sebagai beban saja. Karena itu akan dianalisa juga bilamana momen tersebut dimodelkan sebagai massa rotasi dengan parameter pembanding yang sama dengan yang sebelumnya.

##### 4.6.1 Karakteristik Dinamik

Model 2-A adalah model 2 dengan pemodelan momen sebagai beban sedangkan 2-B sebagai massa rotasi.

Tabel 4.26. Periode Getar dan Partisipasi Massa Bentang 22 M

M2-A				M2-B			
Arah	% Partisipasi Massa	Periode Getar	Mode	Arah	% Partisipasi Massa	Periode Getar	Mode
Ux	72.60	0.256	12	Ux	77.48	0.321	5
Uy	46.03	0.356	1	Uy	51.32	0.439	1
Rz	42.84	0.256	12	Rz	45.73	0.321	5

Tabel 4.27. Periode Getar dan Partisipasi Massa Bentang 26 M

Model Utuh				Model Beban			
Arah	% Partisipasi Massa	Periode Getar	Mode	Arah	% Partisipasi Massa	Periode Getar	Mode
Ux	70.70	0.259	12	Ux	76.87	0.324	6
Uy	44.68	0.362	1	Uy	50.27	0.444	1
Rz	41.74	0.259	12	Rz	45.38	0.324	6

Tabel 4.28. Periode Getar dan Partisipasi Massa Bentang 30 M

M2-A				M2-B			
Arah	% Partisipasi Massa	Periode Getar	Mode	Arah	% Partisipasi Massa	Periode Getar	Mode
Ux	68.78	0.263	12	Ux	72.80	0.326	8
Uy	43.50	0.369	1	Uy	49.28	0.449	1
Rz	40.64	0.263	12	Rz	43.00	0.322	8

Tabel 4.29. Gaya Geser Dasar Bentang 22 M

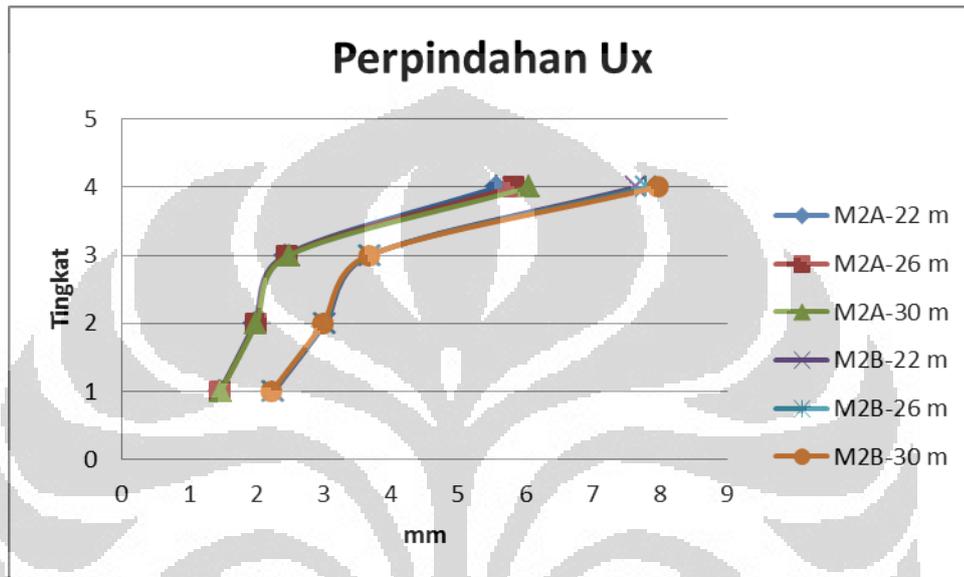
M2-A			M2-B		
V	Dinamik	Statik	V	Dinamik	Statik
Vx	4116.20	5814.07	Vx	7265.28	5814.07
Vy	3556.58	5814.07	Vy	6033.81	5814.07

Tabel 4.30. Gaya Geser Dasar Bentang 26 M

M2-A			M2-B		
V	Dinamik	Statik	V	Dinamik	Statik
Vx	4059.55	5836.04	Vx	7208.24	5836.04
Vy	3555.29	5836.04	Vy	6021.00	5836.04

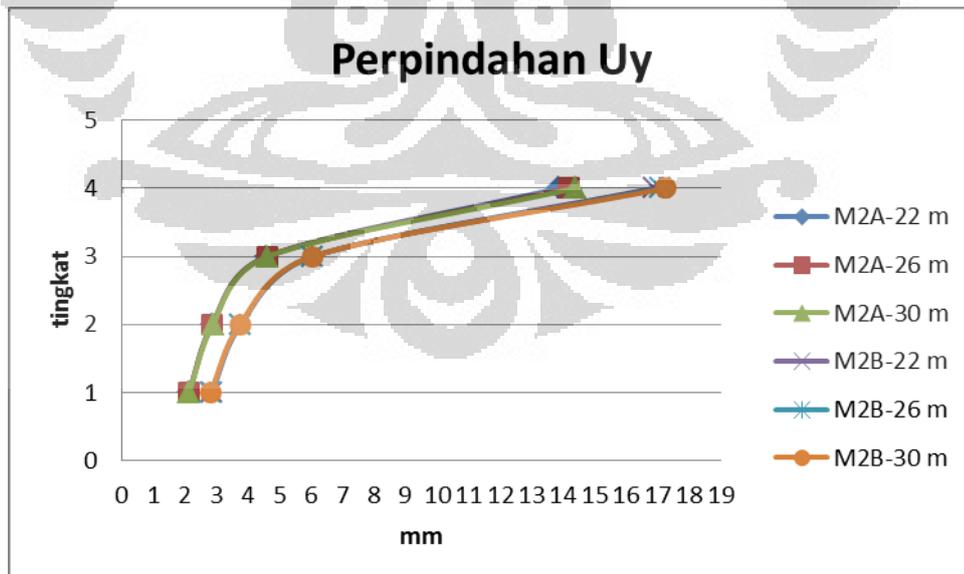
Tabel 4.31. Gaya Geser Dasar Bentang 30 M

M2-A			M2-B		
V	Dinamik	Statik	V	Dinamik	Statik
V <sub>x</sub>	4006.59	5858.33	V <sub>x</sub>	7150.11	5858.33
V <sub>y</sub>	3558.38	5858.33	V <sub>y</sub>	6011.37	5858.33



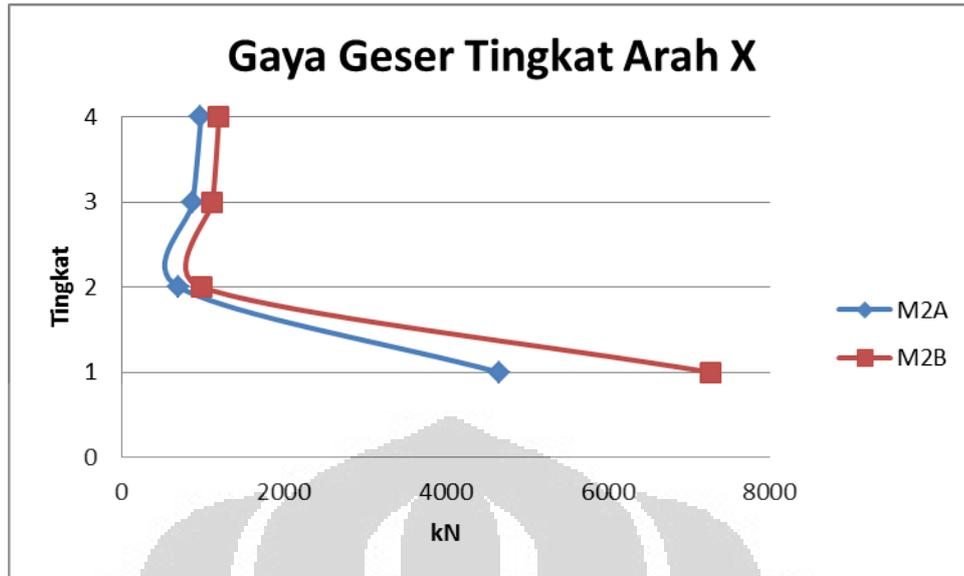
Gambar 4.54. Perpindahan Arah X

(Sumber: Olahan Penulis)



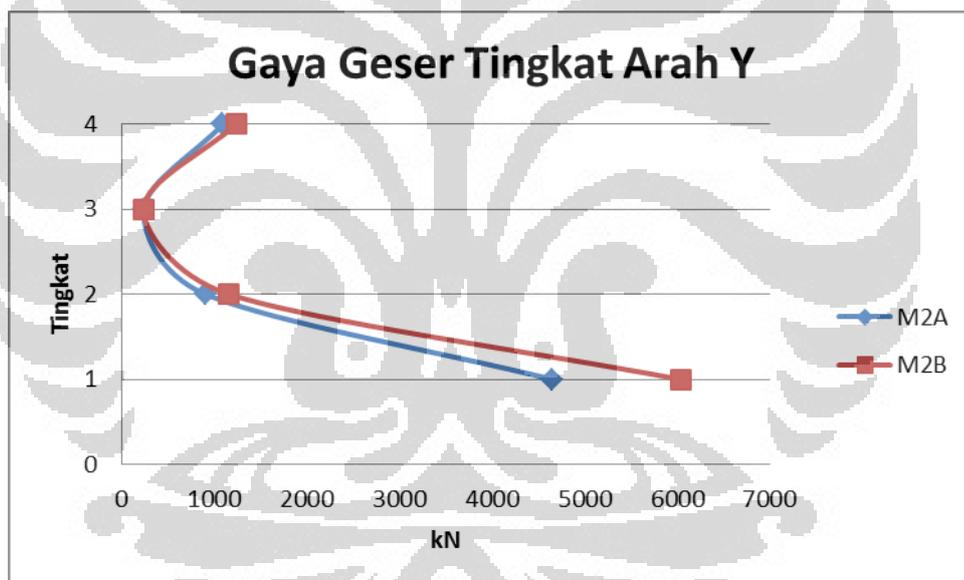
Gambar 4.55. Perpindahan Arah Y

(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.56. Gaya Geser Tingkat Arah X

(Sumber: Olahan Penulis)



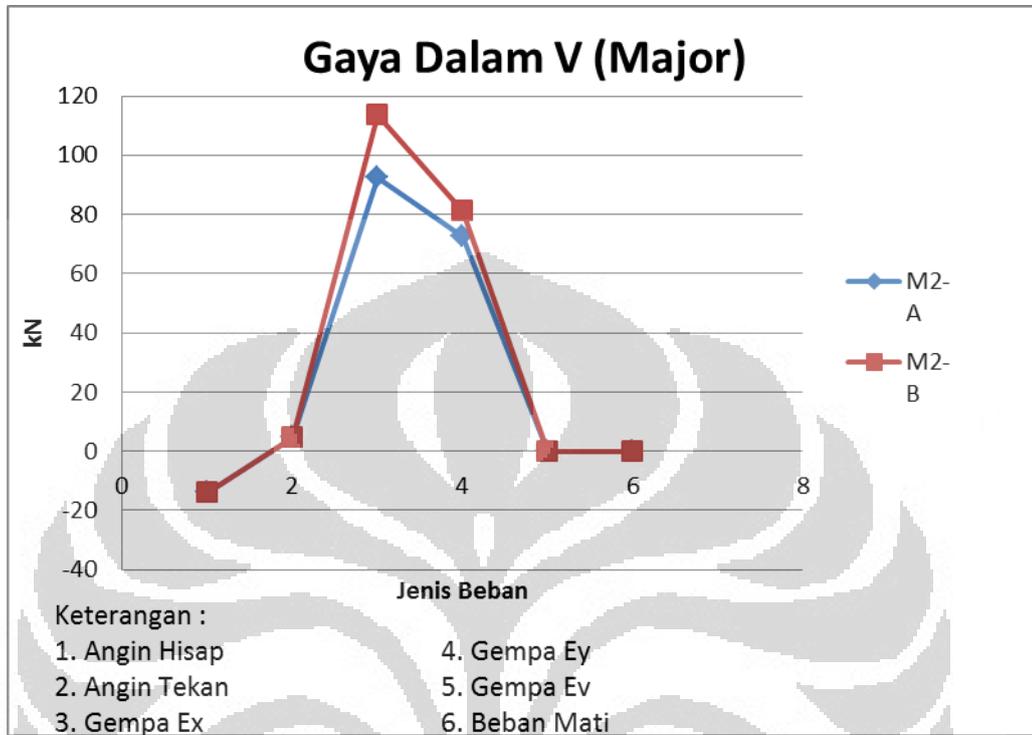
Gambar 4.57. Gaya Geser Tingkat Arah Y

(Sumber: Olahan Penulis)

Dari hasil – hasil di atas dapat dilihat bahwa dengan memodelkan momen sebagai massa rotasi akan mengakibatkan nilai – nilai periode getar, gaya geser dasar, perpindahan, dan juga gaya geser tingkat yang lebih besar daripada pada memodelkannya sebagai beban saja. Hal ini dikarenakan pada saat memodelkan model 2-A *mass source* yang digunakan pada program berasal dari beban, di mana program mendefinisikan beban tersebut yang terjadi pada arah global Z saja

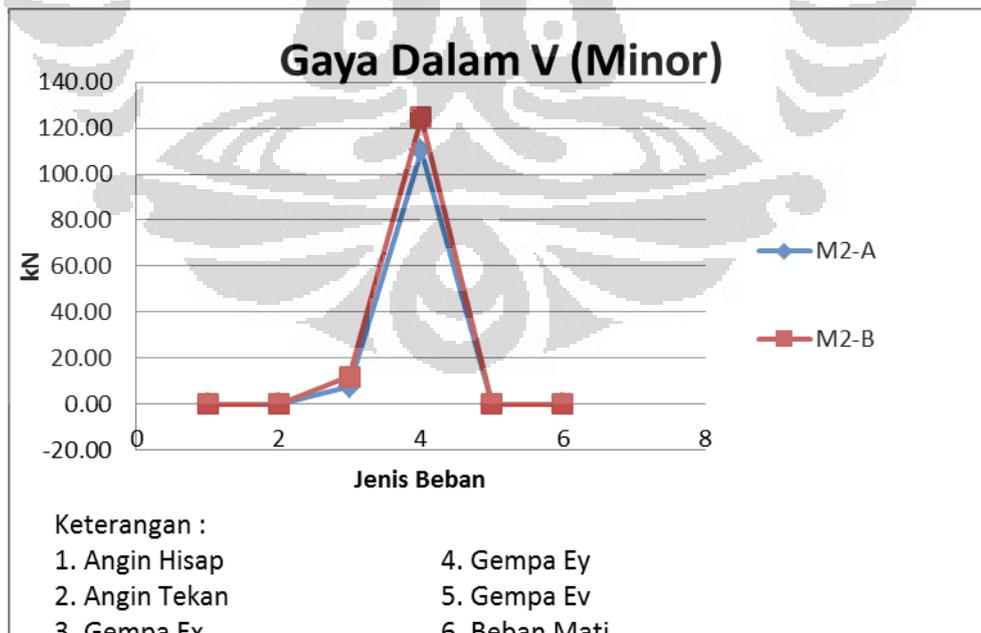
(sumbu vertikal), sedangkan momen yang terjadi pada kolom utama pada arah horizontal.

#### 4.6.2 Gaya Dalam



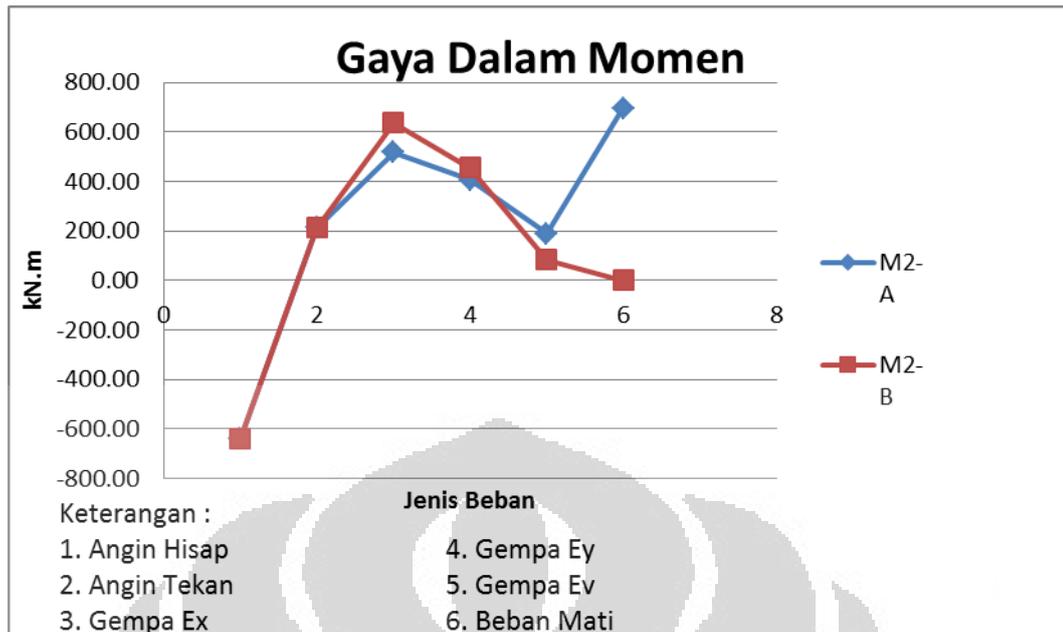
Gambar 4.58. Gaya Dalam V Major Bentang Atap 22 M

(Sumber: Olahan Penulis)



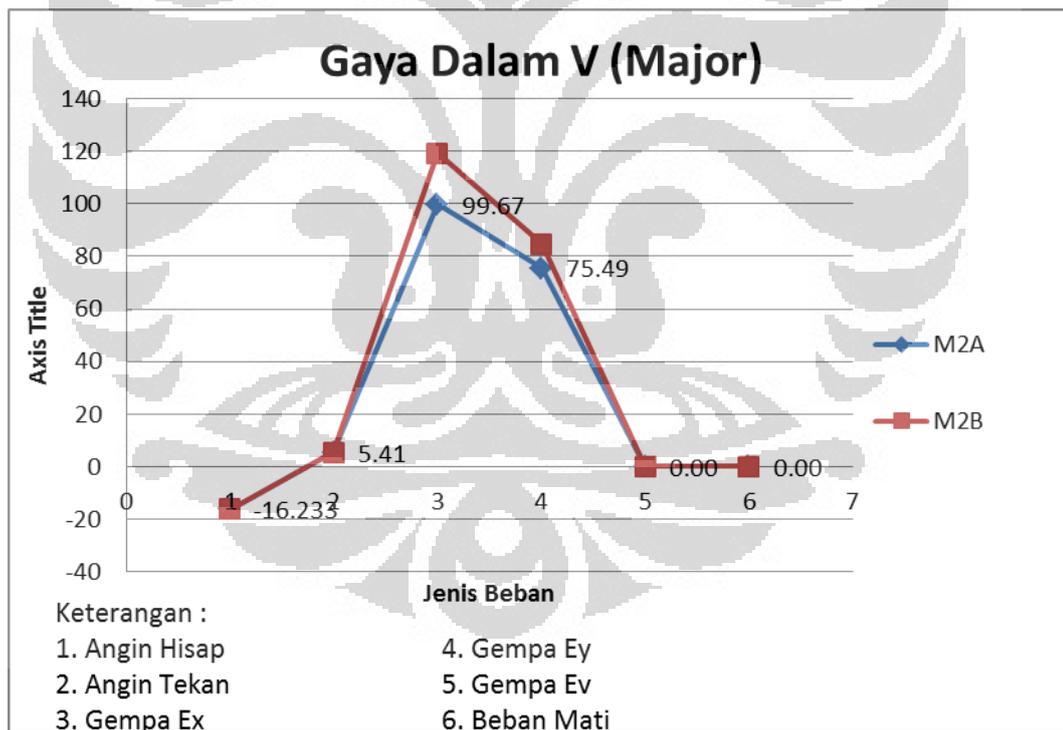
Gambar 4.59. Gaya Dalam V Minor Bentang Atap 22 M

(Sumber: Olahan Penulis)



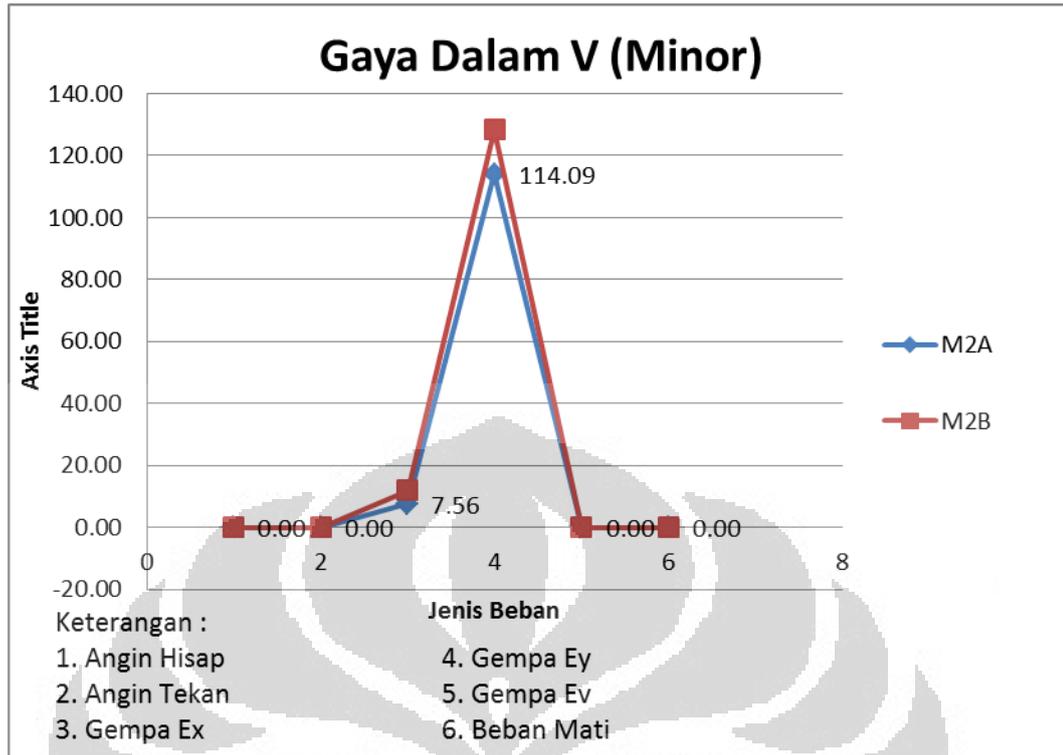
Gambar 4.60. Gaya Dalam Momen Bentang Atap 22 M

(Sumber: Olahan Penulis)



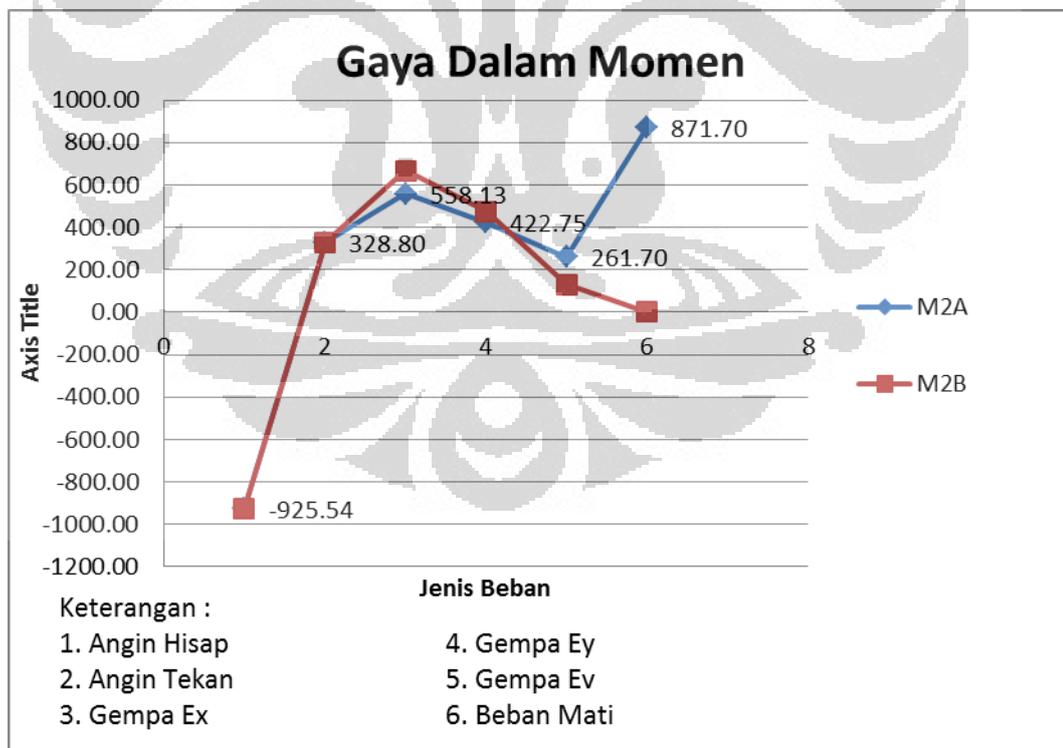
Gambar 4.61. Gaya Dalam V Major Bentang Atap 26 M

(Sumber: Olahan Penulis)



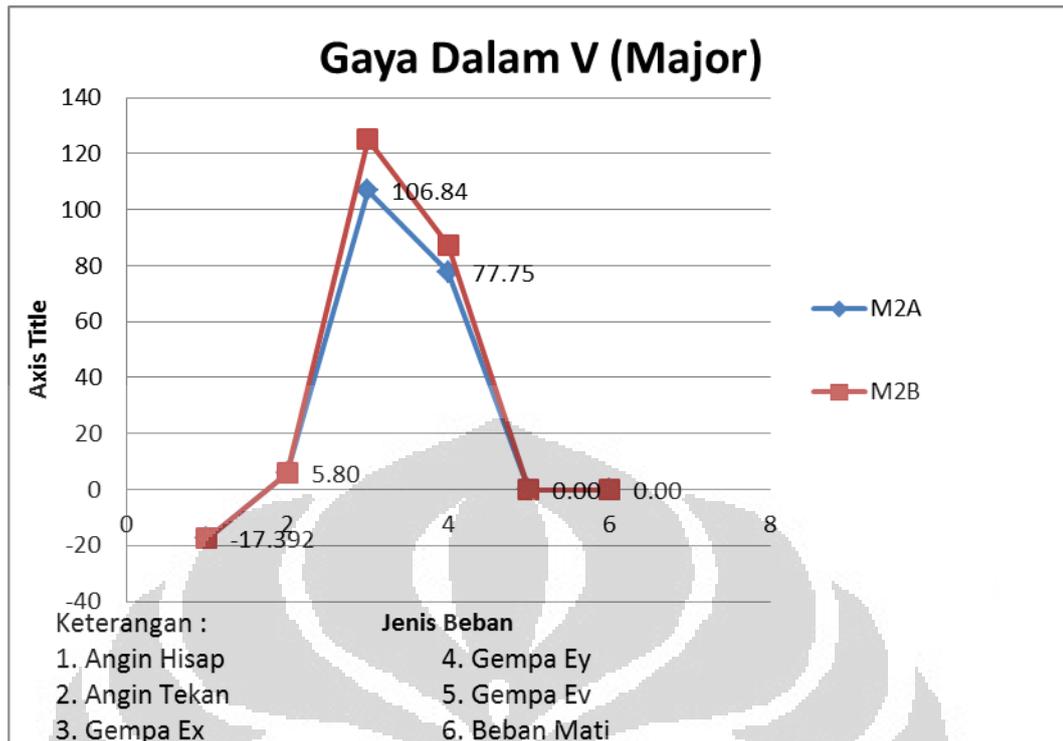
Gambar 4.62. Gaya Dalam V Minor Bentang Atap 26 M

(Sumber: Olahan Penulis)



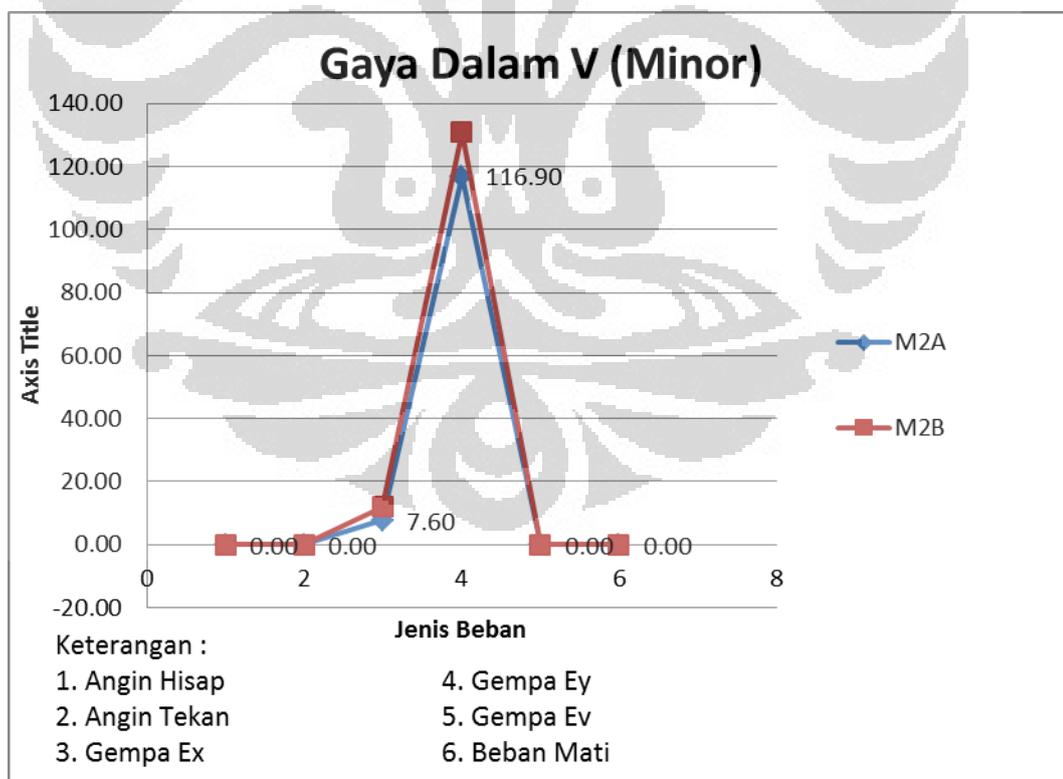
Gambar 4.63. Gaya Dalam Momen Bentang Atap 26 M

(Sumber: Olahan Penulis)



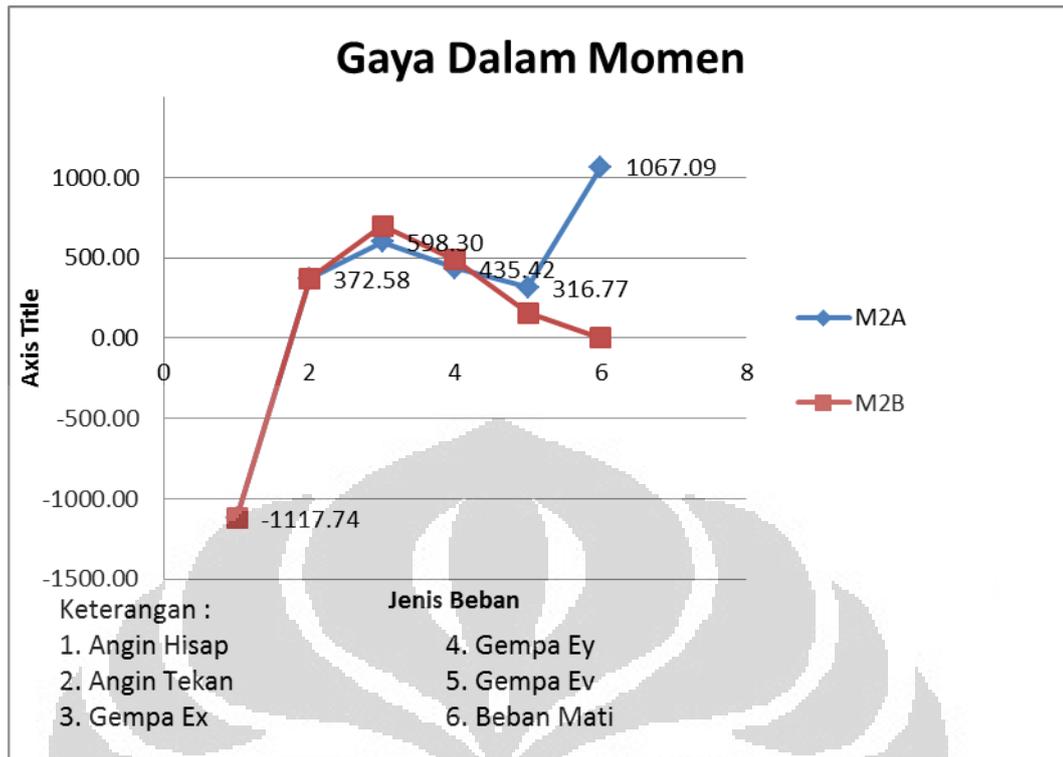
Gambar 4.64. Gaya Dalam V Major Bentang Atap 30 M

(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.65. Gaya Dalam V Minor Bentang Atap 30 M

(Sumber: Olahan Penulis)



Gambar 4.66. Gaya Dalam Momen Bentang Atap 30 M

(Sumber: Olahan Penulis)

Sedangkan untuk gaya dalam, perbedaan paling besar terjadi tentunya terdapat pada gaya dalam momen. Hal ini disebabkan karena nilai momen diganti menjadi massa rotasi.

#### 4.7 Diskusi

Mendapatkan metode desain yang lebih sederhana dengan keluaran yang tidak jauh berbeda dari kondisi ideal adalah pemasalahan utama penelitian ini. Kondisi ideal adalah model 1, di mana untuk mendapatkan hasil yang optimal dan efisien, struktur atap harus dimodelkan secara utuh. Namun hal ini tidak dapat tercapai karena pendesainan atap idealnya dilakukan oleh kontraktor spesialis di mana mereka memiliki kompetensi yang lebih baik dalam hal ini daripada konsultan utama yang mendesain tribun. Tetapi status mereka yang adalah unit sub-kontraktor yang jangka waktu penunjukkannya tentunya jauh setelah penunjukkan konsultan utama. Karena itu diperlukan metode yang dapat digunakan oleh konsultan utama agar bisa mendapat hasil yang efisien dalam memodelkan struktur tribun.

Pemodelan yang dilakukan dengan memodelkan struktur atap sebagai beban telah mampu mengatasi hal ini. Hal tersebut dapat dibuktikan melalui hasil – hasil analisis yang telah dijabarkan pada bab ini. Namun, terdapat kekurangan dari metode ini yaitu terletak pada kolom penumpu atap yang menghasilkan reaksi gaya – gaya dalam dan tulangan geser yang jauh berbeda dari kondisi ideal. Perbedaan yang besar ini terjadi akibat gaya geser akibat beban mati dan gempa vertikal, di mana model 2 tidak menghasilkan gaya geser akibat beban ini. Hal ini tentunya berefek pada output penulangan, di mana model 2 hanya memberikan tulangan geser minimum.

Karena hal itulah penulis akhirnya sampai kepada suatu solusi yaitu memberikan faktor skala untuk memperbesar gaya geser yang terjadi pada kolom penumpu atap sehingga penulangannya dapat mendekati kondisi ideal. Namun hal ini menjadi masalah karena model 2 memberikan nilai 0 pada gaya geser akibat beban mati dan beban gempa vertikal. Oleh karena itu, nilai faktor skala akan diberikan dari nilai  $V$  ultimit yang terjadi pada kolom penumpu atap. Nilai  $V$  ultimit ini merupakan nilai yang diambil berdasarkan kombinasi penulangan geser yang telah dihitung program dan merupakan nilai rata – rata dari setiap kolom.

Tabel 4.32. Gaya Dalam Kolom Utama pada Bentang 22 meter

Jenis Beban	Gaya Dalam $V_{major}$ (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Angin Hisap	194.563	-13.914	-99.195	173.333
Angin Tekan	64.85	4.64	33.07	57.78
Gempa Ex	75.29	92.49	60.65	136.98
Gempa Ey	129.71	72.47	6.59	63.29
Gempa Ev	62.73	0.00	38.24	60.48
Beban Mati	234.57	0.00	146.42	226.65

Tabel 4.33. Gaya Dalam Kolom Utama pada Bentang 22 meter

Jenis Beban	Gaya Dalam $V_{major}$ (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Angin Hisap	134.195	135.106	167.202	131.76
Angin Tekan	-44.73	-48.00	-55.73	-95.81

Gempa Ex	172.65	175.55	199.24	235.44
Gempa Ey	0.15	0.00	11.93	34.10
Gempa Ev	20.58	20.64	27.64	37.69
Beban Mati	-207.40	-201.59	-257.53	-370.46

Tabel 4.34. Gaya Dalam Kolom Utama pada Bentang 22 meter

Jenis Beban	Gaya Dalam Vmajor (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Angin Hisap	368.546	-17.392	169.827	328.054
Angin Tekan	122.85	5.80	56.61	109.35
Gempa Ex	81.42	106.84	57.06	143.36
Gempa Ey	165.51	77.75	16.95	84.88
Gempa Ev	106.22	0.00	56.85	101.67
Beban Mati	355.68	0.00	197.19	342.82

Tabel 4.35. Nilai Vu dan Faktor Pembesaran

	22 Meter		26 Meter		30 Meter	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2
Vu (kN)	358.97	65.50	430.98	106.71	433.02	112.86
Faktor Skala	5.48		4.04		3.84	

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

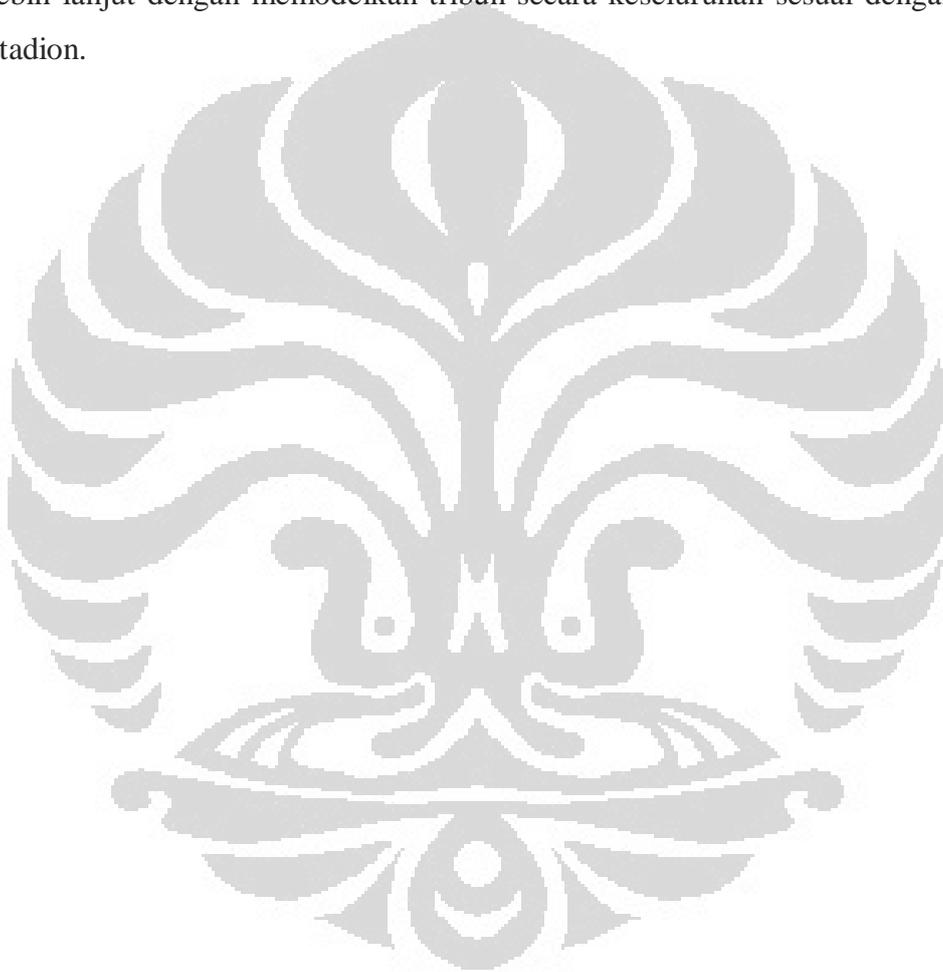
Dari hasil penelitian ini, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemodelan dengan memodelkan atap memberikan nilai reaksi dasar yang mendekati dengan pemodelan utuh, perbedaan terbesar ada pada momen guling arah Y yaitu sebesar 23,94 %
2. Analisis statik ekuivalen terhadap struktur tribun memberikan nilai reaksi dasar yang nilai selisih terbesarnya terdapat pada momen guling arah X sebesar 33,75 % untuk model 3, dan pada model 4 yaitu torsi Z sebesar 48,64 %.
3. Efek gempa vertikal pada reaksi dasar memiliki perbedaan yang sangat kecil. Namun saat memodelkan struktur sebagai beban atau model 2 terdapat perbedaan yang cukup besar pada gaya geser yang ditimbulkan oleh gaya ini.
4. Gaya – gaya dalam yang terjadi pada kolom penumpu atap memiliki perbedaan yang cukup besar pada tiap model, sedangkan pada kolom – kolom lain nilai perbedaan ini cukup kecil. Perbedaan terbesar terjadi saat model dianalisis secara statik yaitu pada model 4 di mana gaya dalam geser dan momennya lebih besar.
5. Hasil analisis tulangan menunjukkan bahwa model 2 sudah mampu memberikan hasil yang baik dengan nilai yang tidak jauh berbeda dengan model 1 pada balok dan kolom longitudinal. Namun, tidak pada tulangan kolom transversal.
6. Dari hasil *output* tulangan pemodelan secara statik baik dengan model 3 atau 4 memberikan hasil yang *underdesign* untuk tulangan balok. Untuk tulangan kolom model 3 memberikan hasil yang lebih baik dari model 4 dengan selisih yang sangat kecil.
7. Pemodelan dengan memodel struktur atap sebagai beban dapat digunakan sebagai acuan dalam mengestimasi hasil desain karena dari analisa yang telah dilakukan telah memberikan hasil yang mendekati hampir pada

semua aspek. Hasil yang memiliki perbedaan terbesar terjadi pada kolom penumpu atap.

## 5.2 Saran

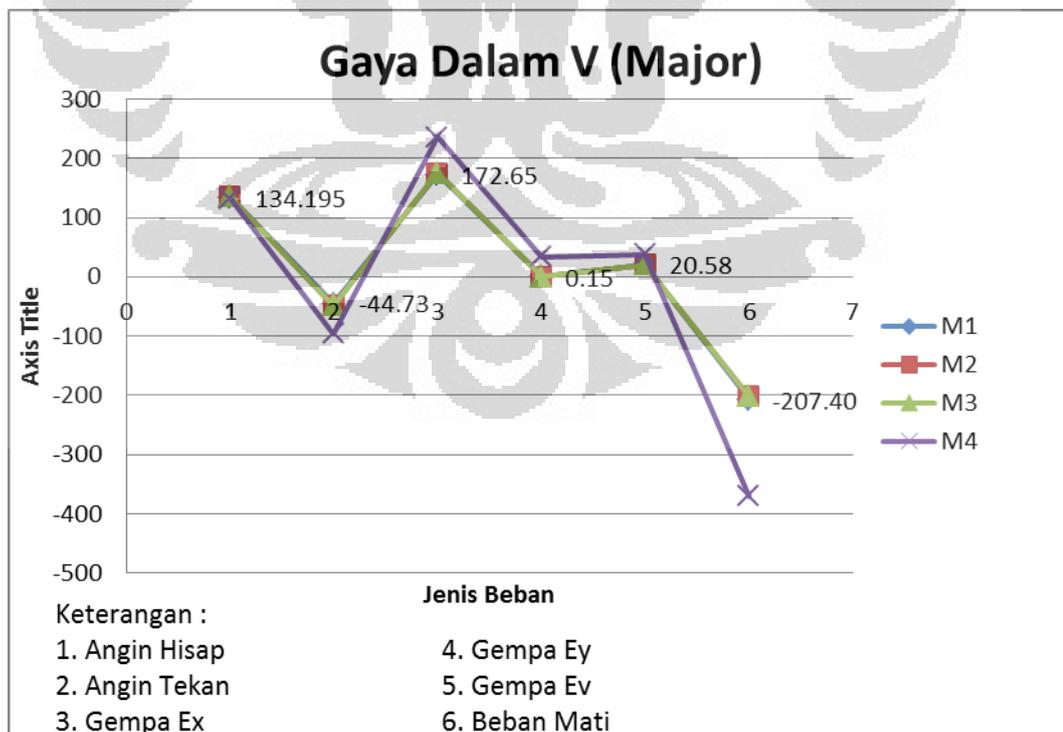
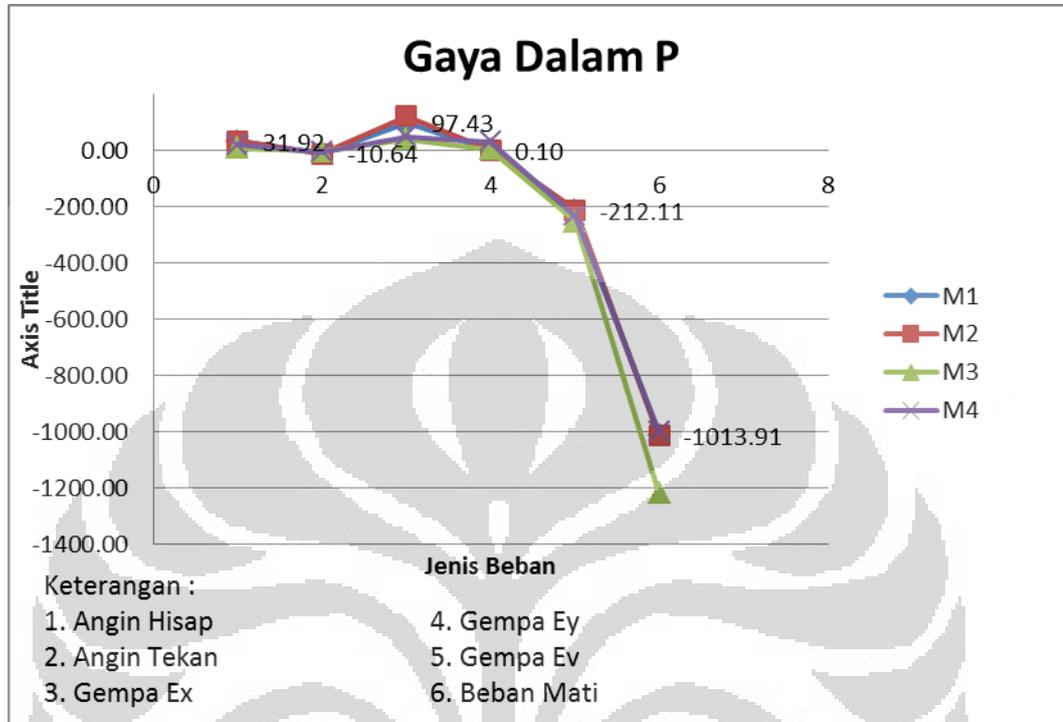
Seperti yang telah disampaikan di atas kekurangan pemodelan sebagai beban terdapat pada kolom penumpu atap terutama untuk tulangan geser. Hal ini dapat diatasi dengan memberikan nilai pengali untuk memperbesar gaya geser ultimit yang terjadi pada kolom utama. Selain itu perlu juga dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memodelkan tribun secara keseluruhan sesuai dengan *layout* stadion.



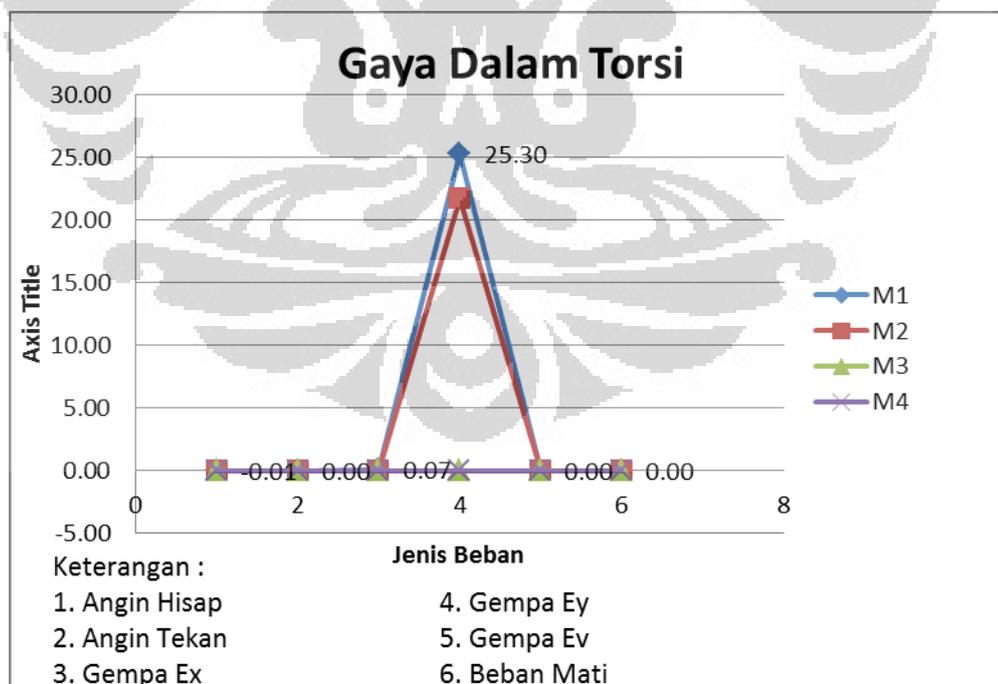
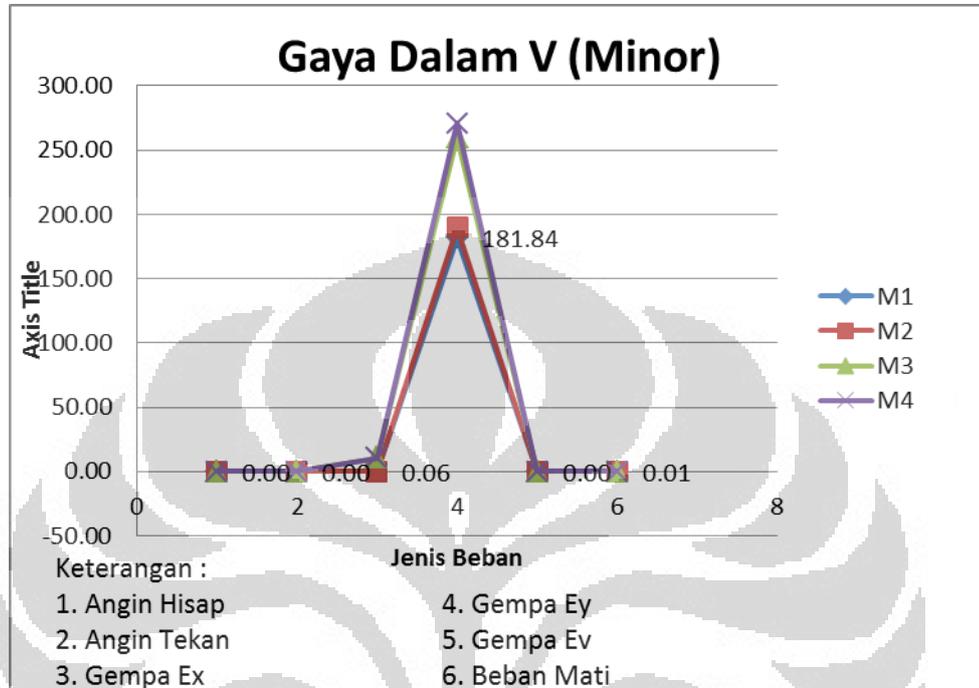
## DAFTAR PUSTAKA

- Chopra, Anil K. (1995). *Dynamics of Structure, Theory and Application to Earthquake Engineering*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc
- Computer and Structures, Inc. (2007). *CSI Analysis Reference Manual for SAP 2000, ETABS, and SAFE*. Berkeley: Author
- Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. (2002). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI – 1726 – 2002)*. Jakarta: Author
- John, Geraint, Rod Sheard, dan Ben Vickery. (2007). *Stadia: A Design and Development Guide 4th Edition*. Oxford: Eisevier Ltd.
- Mandal, Parthasarathi, Tianjian Ji. (2004). Modelling Dynamic Behaviour of a Cantilever Grandstand. *Structure and Building 157, Paper 12976, Issue SB3, pp 173-184*
- Persoon, J., T. Van Hoof. (2008). On the Impact of Roof Geometry on Rain Shelter in Football Stadiums. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1274-1293*
- Watanabe, Tomohiro. (2011). Structural Design of Stadium Roof In Japan and China. *Structural Engineer World Congress 2011, Paper 74*.

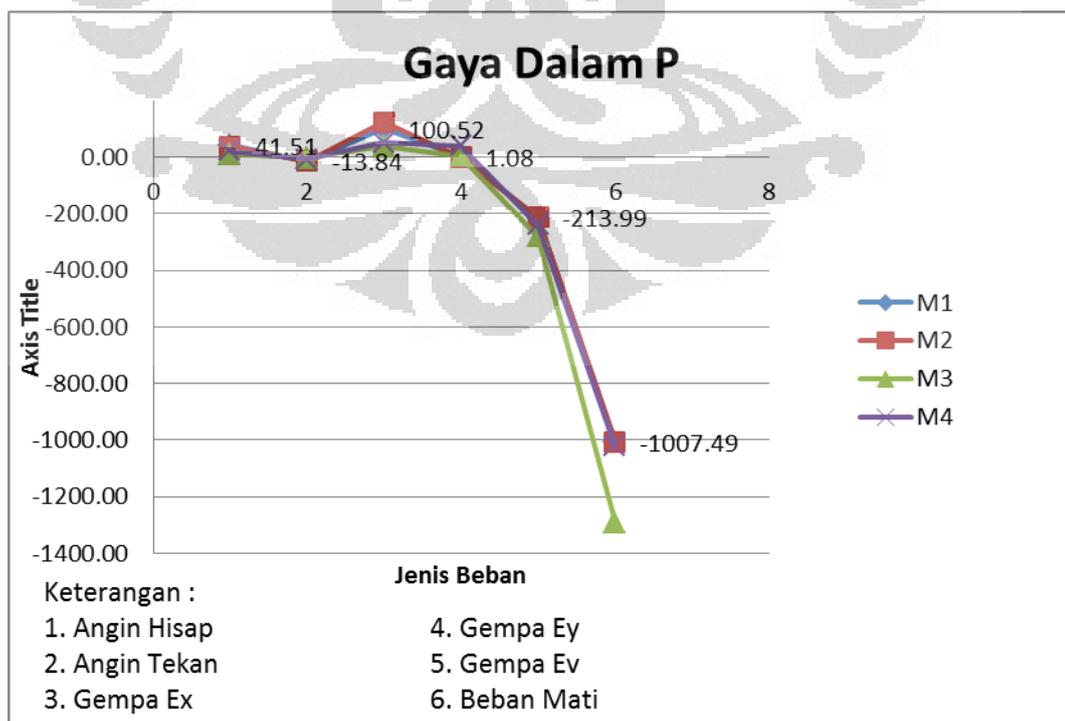
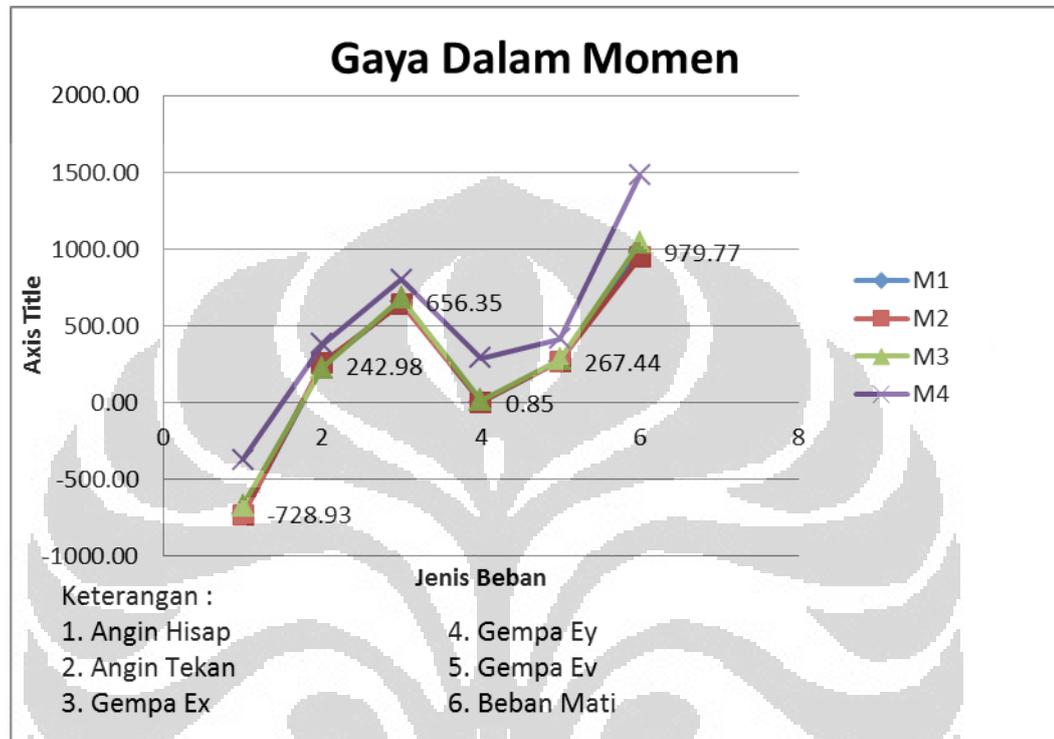
## Lampiran 1. Gaya Dalam Aksial dan Horizontal pada Bentang Atap 22 m



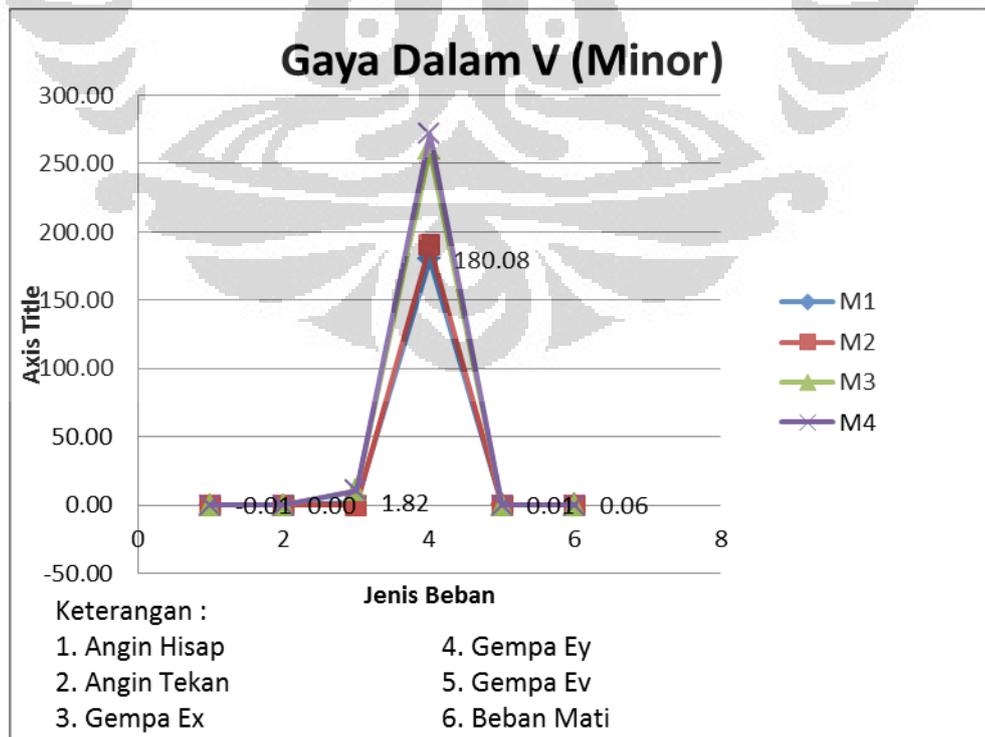
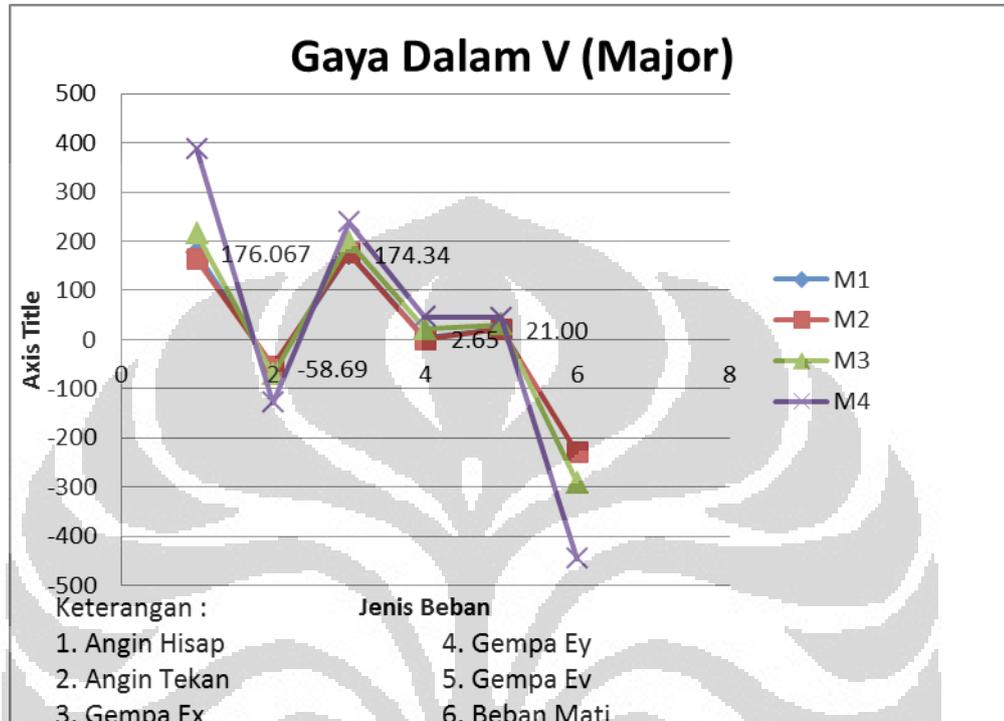
## Lampiran 2. Gaya Dalam Horizontal dan Torsi pada Bentang Atap 22 m



Lampiran 3. Gaya Dalam Momen Bentang 22 m dan Aksial Bentang Atap 26 m



Lampiran 4. Gaya Dalam Horizontal pada Bentang Atap 26 m



Lampiran 5. Gaya Dalam Torsi dan Momen pada Bentang Atap 26 m



