



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA DINAMIK STRUKTUR PODIUM
MULTI TOWER**

SKRIPSI

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

**ELWIN O LIMAN
0403010275**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN STRUKTUR
DEPOK
JULI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Elwin O Liman

NMP : 0403010275

Tanda Tangan :

Tanggal : 10 Juli 2009

ORIGINALITY DECLARATION PAGE

I hereby declare that this thesis is the result of my own research,
and all the sources quoted or referenced have been stated
correctly.

Name : Elwin O Liman

NPM : 0403010275

Signature :



Date : 10 July 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Elwin O Liman
NPM : 0403010275
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisa Dinamik Struktur Podium Multi Tower

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

DEWAN PENGUJI

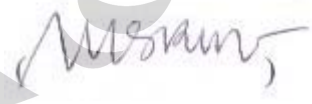
Pembimbing : Dr. -Ing. Josia Irwan Rastandi , S.T., M.T.



Penguji : Ir. Sjahril A Rahim, M.Eng



Penguji : Dr.Ir. Yuskar Lase



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 10 Juli 2009

VALIDATION SHEET

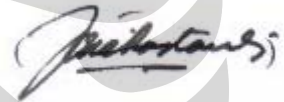
This final assignment is submitted by:

Name : Elwin O Liman
NPM : 0403010275
Study Program : Civil Engineering
Thesis Title : Dynamic Analysis of Podium Multi Tower
Structure

This final assignment has been success examined in front of the examiners team and accepted as partial fulfillment of the requirement for the Degree of Sarjana Teknik on study program of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Indonesia

EXAMINERS TEAM

Advisor I : Dr. -Ing. Josia Irwan Rastandi , S.T., M.T.



Examiner I : Ir. Sjahril A Rahim, M.Eng



Examiner II : Dr.Ir. Yuskar Lase



State on : Depok
Date : July, 10th 2009

KATA PENGANTAR/ UCAPAN TERIMA KASIH

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

1. Dr. -Ing. Josia Irwan Rastandi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tesis ini serta dorongan dan motivasi yang sangat berarti untuk dapat menyelesaikan Skripsi ini sampai akhir;
2. Ir. Sjahril A Rahim, M.Eng selaku dosen penguji yang telah bersedia untuk menguji skripsi ini dan memberikan masukan untuk membuat Skripsi ini menjadi lebih baik.
3. Dr.Ir. Yuskar Lase selaku penguji kedua yang juga telah bersedia meluangkan waktu lebih untuk memberikan berbagai nasihat dan masukan serta turut serta dalam proses pengujian Skripsi ini.
4. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
5. My sister Anita Fung, thank God that I met you, and thank you for your support in my life.
6. Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan Tesis ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 10 Juli 2009



Elwin Omar Liman

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

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

Nama : Elwin O Liman
NPM : 0403010275
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 :

Analisa Dinamik Struktur Podium Multi Tower

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 10 Juli 2009
Yang menyatakan



(Elwin O Liman)

ABSTRAK

Nama : Elwin O Liman
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Analisa Dinamik Struktur Podium Multi Tower

Seringkali dalam analisa suatu struktur podium yang mempunyai beberapa tower, struktur tower dan podium dimodelkan secara terpisah. Struktur tower dianggap terjepit pada lantai atap podium, dan kemudian gaya geser dari tower ini diaplikasikan pada lantai atap podium. Dalam Skripsi ini akan disimulasikan suatu struktur podium yang mempunyai beberapa tower dan dimodelkan secara menyeluruh sebagai satu kesatuan. Dari modelisasi ini akan dilakukan analisa dinamik dan didapatkan arah gaya geser dari tiap tower pada lantai atap podium. Akan dianalisa pula pengaruh ragam getar simetris dan antisimetris terhadap arah gaya geser dari masing-masing tower dan hubungannya dengan massa modal efektif dari model lengkap ini.

Kata kunci : struktur podium dengan beberapa tower, ragam getar simetris & identik, massa modal efektif

ABSTRACT

Name : Elwin O Liman
Course : Structural Engineering/ Civil Engineering
Title : Dynamic Analysis of Podium Multi Tower Structure

In analyzing a podium structure with several towers, it is common to model it separately. The towers are assumed to be fixed at the podium's roof level and the podium itself is modeled as a single structure. For dynamic analysis, the shear forces from the towers are then applied to podium's roof. In this paper, a podium structure with several towers is modeled completely as a unity. From this model, a dynamic analysis will be conducted, and the direction of shear forces from every tower on podium's roof level will be identified. It is also analyzed the effect of symmetric and asymmetric modes to the shear force direction. The correlations between this modes and effective modal mass in this complete model are also discussed.

Keywords : Podium structure with several towers, symmetric and identical modes, effective modal mass

DAFTAR ISI

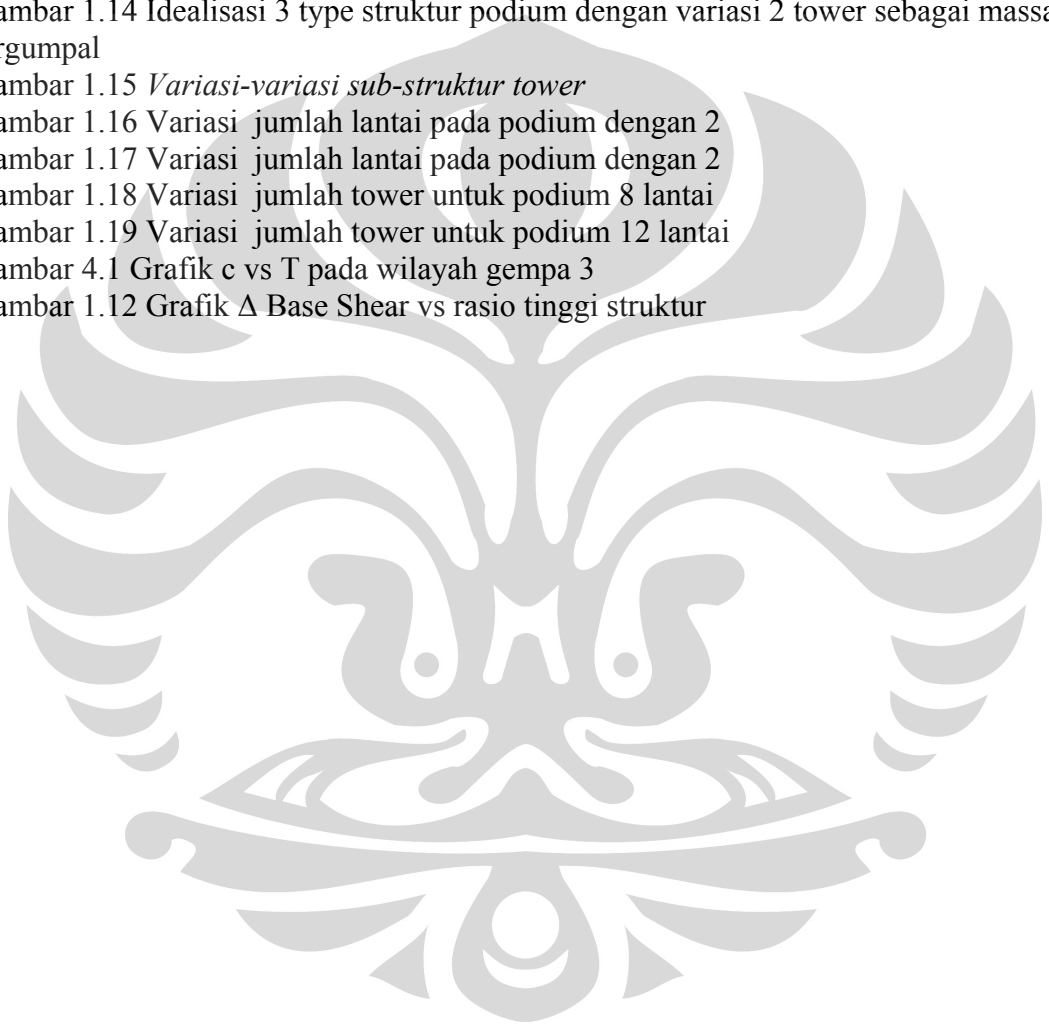
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
ORIGINALITY DECLARATION PAGE	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
VALIDATION SHEET	v
KATA PENGANTAR/ UCAPAN TERIMA KASIH	vi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. PERMASALAHAN	1
1.3. TUJUAN PENULISAN	2
1.4. PEMBATAHAN MASALAH	2
1.5. HIPOTESIS	2
1.6. METODOLOGI	3
1.7. SISTEMATIKA PENULISAN	3
BAB 2. DASAR TEORI	4
2.1. STRUKTUR TAHAN GEMPA	4
2.1.1. <i>Beban Seismic</i>	4
2.1.2. <i>Respon Struktur Terhadap Gempa</i>	4
2.2. TEORI DINAMIKA STRUKTUR	8
2.2.1. <i>Kesetimbangan Dinamik</i>	8
2.2.2. <i>Konsep Massa dan Derajat Kebebasan Dinamik</i>	10
2.2.3. <i>Beban Gempa Sebagai Getaran</i>	11
2.2.3.1. <i>Getaran Bebas</i>	11
2.2.3.2. <i>Respon Beban Dinamik</i>	11
2.2.3.3. <i>Analisa Respon Spektrum</i>	13

2.2.3.4	Struktur MDOF	16
BAB 3.	METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1.	PROSEDUR ANALISA	20
3.2.	MODELISASI STRUKTUR.....	22
BAB 4.	ANALISA MODEL.....	35
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	95
DAFTAR PUSTAKA	97



DAFTAR GAMBAR

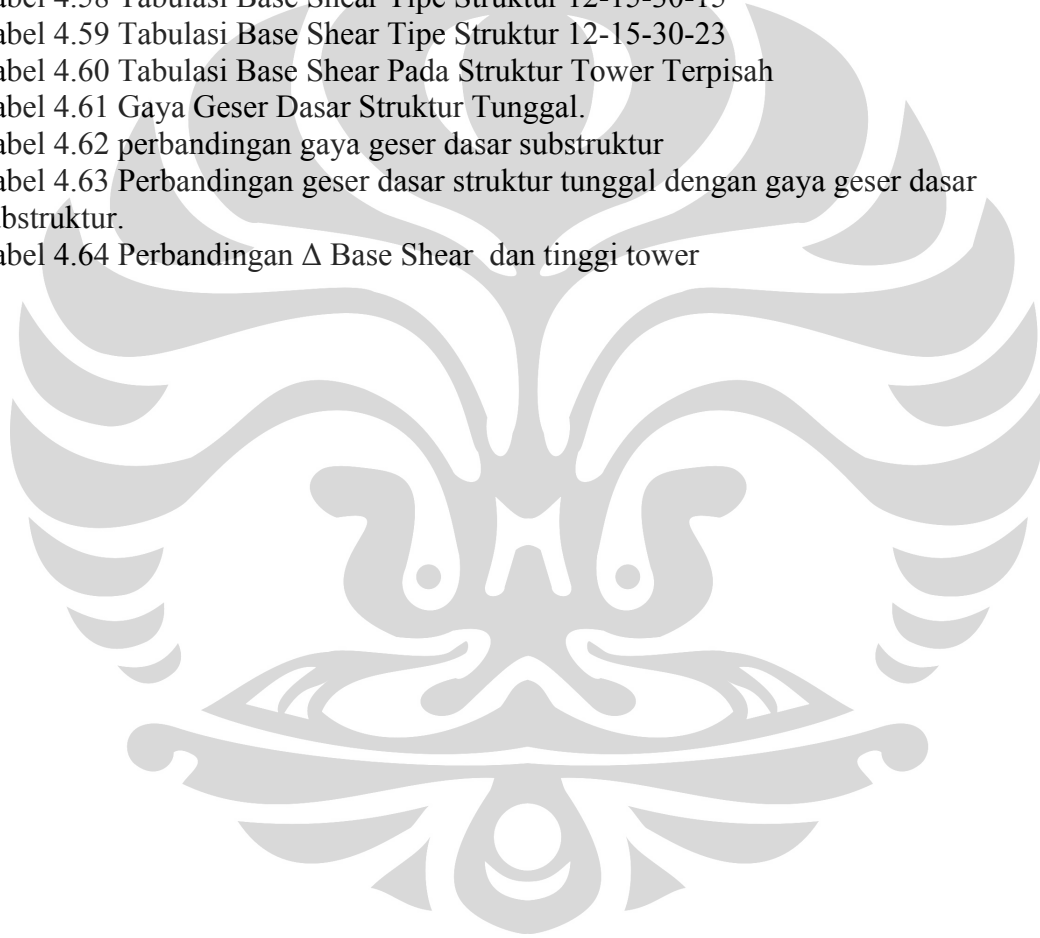
Gambar 1.1 <i>Hubungan Beban-Lendutan</i>	7
Gambar 1.12 <i>Respons Impulse</i>	13
Gambar 1.13 Perhitungan Peralihan Spektrum Respon	14
Gambar 1.1 <i>Alur Pengerjaan Penelitian</i>	21
Gambar 1.12 <i>Pemodelan Struktur Podium Multi Tower</i>	22
Gambar 1.13 <i>Variasi-variasi sub-struktur tower</i>	23
Gambar 1.14 Idealisasi 3 type struktur podium dengan variasi 2 tower sebagai massa tergumpal	24
Gambar 1.15 <i>Variasi-variasi sub-struktur tower</i>	30
Gambar 1.16 Variasi jumlah lantai pada podium dengan 2	31
Gambar 1.17 Variasi jumlah lantai pada podium dengan 2	32
Gambar 1.18 Variasi jumlah tower untuk podium 8 lantai	33
Gambar 1.19 Variasi jumlah tower untuk podium 12 lantai	34
Gambar 4.1 Grafik c vs T pada wilayah gempa 3	36
Gambar 1.12 Grafik Δ Base Shear vs rasio tinggi struktur	94



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Mode Shape Tipe 4-15-15	38
Tabel 4.2 Mode Shape Tipe 4-15-23	40
Tabel 4.3 Mode Shape Tipe 4-15-30	42
Tabel 4.4 Mode Shape Tipe 8-15-15	44
Tabel 4.5 Mode Shape Tipe 8-15-23	46
Tabel 4.6 Mode Shape Tipe 8-15-30	47
Tabel 4.7 Mode Shape Tipe 12-15-15	48
Tabel 4.8 Mode Shape Tipe 12-15-30	49
Tabel 4.9 Mode Shape Tipe 4-15-15-15	51
Tabel 4.10 Mode Shape Tipe 4-15-15-23	53
Tabel 4.11 Mode Shape Tipe 4-15-15-30	54
Tabel 4.12 Mode Shape Tipe 4-15-23-15	55
Tabel 4.13 Mode Shape Tipe 4-15-23-30	56
Tabel 4.14 Mode Shape Tipe 4-15-30-15	58
Tabel 4.15 Mode Shape Tipe 4-15-30-23	59
Tabel 4.16 Mode Shape Tipe 8-15-15-15	61
Tabel 4.17 Mode Shape Tipe 8-15-15-23	62
Tabel 4.18 Mode Shape Tipe 8-15-15-30	63
Tabel 4.19 Mode Shape Tipe 8-15-23-15	64
Tabel 4.20 Mode Shape Tipe 8-15-23-30	65
Tabel 4.21 Mode Shape Tipe 8-15-30-15	66
Tabel 4.22 Mode Shape Tipe 8-15-30-23	67
Tabel 4.23 Mode Shape Tipe 12-15-15-15	68
Tabel 4.24 Mode Shape Tipe 12-15-15-23	69
Tabel 4.25 Mode Shape Tipe 12-15-15-30	70
Tabel 4.26 Mode Shape Tipe 12-15-23-15	71
Tabel 4.27 Mode Shape Tipe 12-15-23-30	72
Tabel 4.28 Mode Shape Tipe 12-15-30-15	73
Tabel 4.29 Mode Shape Tipe 12-15-30-23	74
Tabel 4.30 Mode Shape Sub-Struktur Tower Secara Terpisah	75
Tabel 4.31 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 4-15-15	76
Tabel 4.32 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 4-15-23	77
Tabel 4.33 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 4-15-30	77
Tabel 4.34 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 8-15-15	78
Tabel 4.35 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 8-15-23	79
Tabel 4.36 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 12-15-15	80
Tabel 4.37 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 12-15-23	80
Tabel 4.38 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 12-15-30	80
Tabel 4.39 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 4-15-15-15	82
Tabel 4.40 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 4-15-15-23	82
Tabel 4.41 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 4-15-15-30	82
Tabel 4.42 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 4-15-23-15	83
Tabel 4.43 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 4-15-23-30	83
Tabel 4.44 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 4-15-30-15	84

Tabel 4.45 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 4-15-30-23	84
Tabel 4.46 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 8-15-15-15	85
Tabel 4.47 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 8-15-15-23	85
Tabel 4.48 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 8-15-15-30	86
Tabel 4.49 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 8-15-23-15	86
Tabel 4.50 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 8-15-23-30	86
Tabel 4.51 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 8-15-30-15	87
Tabel 4.52 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 8-15-30-23	87
Tabel 4.53 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 12-15-15-15	88
Tabel 4.54 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 12-15-15-23	88
Tabel 4.55 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 12-15-15-30	88
Tabel 4.56 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 12-15-23-15	89
Tabel 4.57 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 12-15-23-30	89
Tabel 4.58 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 12-15-30-15	90
Tabel 4.59 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 12-15-30-23	90
Tabel 4.60 Tabulasi Base Shear Pada Struktur Tower Terpisah	90
Tabel 4.61 Gaya Geser Dasar Struktur Tunggal.	91
Tabel 4.62 perbandingan gaya geser dasar substruktur	92
Tabel 4.63 Perbandingan geser dasar struktur tunggal dengan gaya geser dasar substruktur.	93
Tabel 4.64 Perbandingan Δ Base Shear dan tinggi tower	94



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Gempa bumi merupakan peristiwa alam yang bersifat acak, sehingga sulit untuk memperkirakan saat akan terjadinya gempa. Setiap saat gempa bumi dapat terjadi hanya saja besarnya bervariasi, mulai dari yang tidak dirasakan sampai gempa yang dapat menghancurkan bangunan dan menimbulkan korban jiwa. Gempa bumi dapat disebabkan oleh berbagai macam hal, misalnya letusan gunung berapi, longsor, ledakan yang besar, dan yang paling sering terjadi adalah akibat pergerakan lempeng tektonik.

Bumi ini terbagi atas beberapa macam lempeng tektonik. Lempeng tektonik ini merupakan lapisan tipis yang berada di atas *Asthenosphere* dan terletak seperti mengapung di atas permukaan air. Oleh karena itu, lempeng tektonik ini dapat bergerak dan saling bertabrakan sehingga mengakibatkan terjadinya gempa. Pergerakan lempeng ini disertai juga oleh pelepasan energi sehingga gempa akan terus terjadi sampai lempeng-lempeng tersebut berada pada kondisi yang stabil.

Indonesia terletak di pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng tektonik Hindia-Australia, lempeng Pasifik, dan lempeng Eurasia. Di Indonesia sendiri terbagi menjadi beberapa wilayah gempa yaitu wilayah 1 sampai 6 seperti yang dijelaskan dalam peraturan gempa SNI 03-1726-2002. Oleh karena itu, gempa bumi sering terjadi seperti yang kita alami beberapa tahun ini dan telah menimbulkan banyak kerugian baik dalam materi maupun korban jiwa. Untuk mengurangi kerugian tersebut kita dapat melakukan berbagai macam tindakan preventif misalnya dengan membuat bangunan yang tahan gempa sesuai dengan peraturan yang berlaku saat ini. Dalam hal ini bangunan yang dimaksudkan akan lebih ditekankan pada bangunan tower. Contoh kasus untuk penelitian ini adalah struktur tower dengan struktur podium multi tower.

1.2. Permasalahan

Dalam penelitian struktur podium multi tower ini kita akan mengamati besarnya gaya geser yang terjadi pada setiap level sesuai dengan partisipasi massanya

masing-masing. Masalah akan timbul terutama pada struktur yang bersifat simetris dimana pada mode-mode awal terdapat mode translasi yang memiliki partisipasi masa sama dengan nol. Hal ini menyebabkan timbulnya pertanyaan dalam perhitungan kekuatan struktur pada kasus semacam ini, karena dengan partisipasi massa yang sangat kecil apakah mungkin gaya-gaya yang dihasilkan dari massa ini juga kecil atau tidak berpengaruh terhadap struktur secara keseluruhan

1.3. Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan ini adalah mencari hubungan atau pengaruh yang jelas dari partisipasi massa yang memiliki nilai nol tersebut terhadap respon yang akan diberikan struktur saat mengalami gaya gempa. Dengan demikian, setelah penelitian ini selesai dilakukan diharapkan kita dapat melakukan perhitungan dalam membangun sebuah struktur semacam ini dengan faktor keamanan yang lebih meyakinkan.

1.4. Pembatasan Masalah

Pembahasan dalam Tugas akhir ini lebih ditujukan untuk melihat pengaruh massa efektif dari sub-sub struktur pada struktur podium multi tower terhadap struktur secara keseluruhan. Dalam hal ini gaya dalam yang akan ditinjau adalah gaya geser pada pertemuan antara sub-struktur tower dan podium dan dilakukan dalam lingkup 2 dimensi.

1.5. Hipotesis

Pada umumnya analisa yang dilakukan terhadap struktur gabungan seperti dalam struktur podium multitower dilakukan dengan memisahkan sub-struktur dan melakukan analisa terhadap masing-masing sub-struktur tersebut. Hal ini disebabkan oleh terjadinya resultan gaya yang akan saling menghilangkan pada dasar tower atau atap podium. Dalam Tugas akhir ini penulis mencoba untuk menunjukkan bahwa resultan gaya yang keil tersebut tidak bisa diabaikan karena masih memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap struktur secara keseluruhan.

1.6. Metodologi

Tahapan-tahapan yang dilakukan penulis dalam melaksanakan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- 1) Studi literatur. Penulis mencari dan mempelajari berbagai macam data mengenai sifat reaksi struktur terhadap gaya gempa, pemodelan struktur, serta membaca peraturan-peraturan yang mendukung penulisan ini.
- 2) Melakukan pemrograman dengan menggunakan program MATLAB. Melakukan variasi data sebagai *input* untuk perbandingan hasil. Dimana variasi yang diberikan adalah jumlah tingkat pada struktur podium dan tower serta variasi jumlah tower yang berdiri di atasnya..
- 3) Memperoleh *output* program MATLAB dan Excel.
- 4) Analisa. Penulis menganalisa dan membandingkan *output* program.

1.7. Sistematika Penulisan

BAB I : Pendahuluan berisi Latar Belakang, Permasalahan, Tujuan penelitian, Pembatasan Masalah, Hipotesis, Metodologi, dan Sistematika Penulisan.

BAB II : Dasar Teori terdiri dari dua bagian, yaitu Teori Dinamika Struktur, dan respon dinamik pada sebuah struktur bangunan.

BAB III : Metodologi penelitian akan membahas bagaimana Modelisasi Struktur yang akan digunakan, Prosedur Analisa, dan Variabel Analisa yang akan digunakan pada penelitian ini.

BAB IV : Analisa mode shape mengenai periode getar, gaya geser dasar baik struktur secara keseluruhan maupun jika dipisah menjadi sub-sub struktur.

BAB V : Penutup, kesimpulan dan saran

BAB 2

DASAR TEORI

2.1. *Struktur Tahan Gempa*

2.1.1. **Beban Seismic**

Bumi terdiri dari berbagai macam lapisan. Dalam teori geologi mengenai tektonik lempengan, permukaan bumi terdiri dari beberapa lempengan batuan tebal (lapisan litosfer) yang mengapung di atas mantel bumi yang berupa cairan. Lempengan-lempengan tektonik baru terus terbentuk di sepanjang lembah yang curam di dasar laut, dimana bahan cair dari interior bumi didorong ke atas dan membentuk tepi lempengan samudera yang menyebabkan continental drift, yaitu lempengan samudera yang didorong terhadap lempengan continental. Pada pertemuan ini, lempengan akan terkunci di tempat tersebut sehingga pergeseran lempengan dapat dicegah. Akan tetapi, tekanan akan terbentuk di sepanjang tepi lempengan sehingga terjadi pelepasan yang mendadak akibat pantulan elastik atau akan terbentuk patahan batuan sehingga menghasilkan pelepasan energi regangan yang mendadak. Peristiwa tersebut mengakibatkan terbentuknya patahan pada kerak bumi bagian atas sepanjang arah tertentu dan juga akan terbentuk sesar. Sebagian energi dalam bentuk gelombang akan dijalarakan ke semua arah. Gerak gelombang inilah yang dikenal sebagai gempa.

Gelombang gempa biasanya berupa percepatan pergerakan permukaan. Selanjutnya struktur yang menerima akan mentransformasi percepatan ini menjadi gaya lateral gempa yang bekerja pada pusat-pusat massa dari struktur tersebut.

2.1.2. **Respon Struktur Terhadap Gempa**

Selama terjadinya gempa bumi akibat pergerakan tanah, bangunan akan mengalami gerakan vertikal, dan horizontal. Gaya inersia atau gaya gempa yang dihasilkan akan bekerja pada pusat massa struktur. Gaya dalam arah vertikal hanya akan berpengaruh kecil terhadap gaya gravitasi, dan biasanya struktur telah didisain dengan faktor keamanan yang memadai, sehingga lebih kuat jika

dibandingkan untuk menahan gaya horizontal. Oleh karena itu, untuk menahan gaya gempa horizontal dilakukan dengan meningkatkan kekuatan struktur.

Konsep dari bangunan tahan gempa terbagi atas beberapa kontrol, yaitu:

1. Serviceability limit state: terkonsentrasi dalam mengontrol atau membatasi terjadinya *displacement* pada besaran gempa tertentu, dan menjaga bangunan tetap berada dalam kondisi elastis. Dalam batas ini beton dan pasangan bata diizinkan untuk terjadi retak yang kecil tetapi tulangnya tidak mencapai leleh dan tidak diizinkan untuk mengalami kehancuran.
2. Damage control limit state: Untuk gempa yang lebih besar, pada bangunan diizinkan terjadinya retak dan kondisi leleh pada tulangnya, namun dalam taraf masih bisa untuk diperbaiki dan gedung dapat digunakan kembali.
3. Survival Limit State: pada gempa yang sangat besar bangunan diizinkan untuk mengalami kerusakan tanpa mengalami keruntuhan. Dalam hal ini kita harus menjaga kemampuan struktur dalam menahan gaya lateral dan gaya gravitasi yang ada selama gempa tersebut berlangsung.

Keruntuhan pada struktur dapat terjadi secara tiba-tiba atau secara lambat (*gradual*). Keruntuhan yang tiba-tiba dapat dihubungkan dengan keruntuhan yang terjadi material yang *brittle*, sedangkan keruntuhan secara lambat berhubungan dengan fase plastis dari material yang elastis ataupun plastis.

Keruntuhan yang tiba-tiba dapat terjadi akibat dua penyebab utama yaitu:

- material dari struktur *brittle*
- struktur kehilangan stabilitasnya.

Untuk mendesain sebuah struktur kita mencoba untuk menghindari material-material yang bersifat *brittle*, tetapi hal ini tidak selalu memungkinkan. Material seperti beton memang memiliki perilaku plastis, namun fase plastisnya sangat kecil jika dibandingkan dengan material yang *duktail* seperti besi sehingga keruntuhannya dapat terjadi secara tiba-tiba. Oleh karena itu, faktor keamanan untuk material semacam ini menjadi besar. Struktur dapat kehilangan stabilitasnya saat gaya dari beban luar melebihi gaya pemulih akibat beban gravitasi (misalnya pada struktur *kantilever*).

Setiap struktur memiliki karakteristik dinamik yang berbeda-beda. Karakteristik ini ditentukan berdasarkan jenis material, dimensi bangunan, tipe

perletakan, dan lain-lain. Beberapa karakteristik yang patut untuk kita amati antara lain:

1. massa (m), ditentukan oleh jenis material pembentuk struktur serta dimensinya.
2. kekakuan lateral (K), bergantung pada elemen-elemen pembentuknya serta modulus elastisitas (E) dari elemen tersebut.
3. redaman (c), merupakan kemampuan struktur untuk meredam gaya eksitasi gempa. Redaman ini sangat dipengaruhi oleh elemen-elemen yang kita anggap bersifat struktural.
4. frekuensi sirkular alami (ω_n) dan frekuensi siklik alami (f_n)

Frekuensi sirkular alami adalah banyaknya getaran yang terjadi selama 1 periode yaitu 2π radian, sedangkan frekuensi siklik alami adalah banyaknya getaran selama periode 1 detik.

Frekuensi sirkular alami dapat dirumuskan : $\omega_n = \sqrt{\frac{K}{M}}$

Dan frekuensi siklik alami adalah : $f_n = \frac{\omega_n}{2\pi}$

5. Periode getar alami (T_n), adalah waktu yang dibutuhkan suatu struktur untuk mengalami satu getaran. Periode getar alami dapat dirumuskan $T_n = \frac{1}{f_n}$
6. Rasio redaman (ξ), merupakan perbandingan nilai redaman alami dengan nilai redaman kritis.

$$\xi = \frac{c}{c_{cr}} = \frac{c}{2\sqrt{K.M}}$$

7. Pola ragam getar atau *mode shape* (Φ), dipengaruhi oleh frekuensi sirkular alami (ω_n), kekakuan, dan massa dari struktur.

Sifat dari struktur juga sangat mempengaruhi desain yang akan dibuat untuk bangunan tahan gempa sehingga dapat mengoptimalkan kekuatan struktur. Sifat-sifat utama dari sebuah struktur antara lain:

1. Kekakuan (*Stiffness*)

menghubungkan antara beban dengan simpangan, terutama untuk kontrol simpangan antar tingkat (*interstory deflection*) dan simpangan maksimum di

puncak struktur. Kekakuan struktur dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan leleh dengan simpangan leleh struktur.

$$K = \frac{S_y}{\Delta_y}$$

K = kekakuan
 S_y = yield strength
 Δ_y = yield displacement

2. Kekuatan (*Strength*)

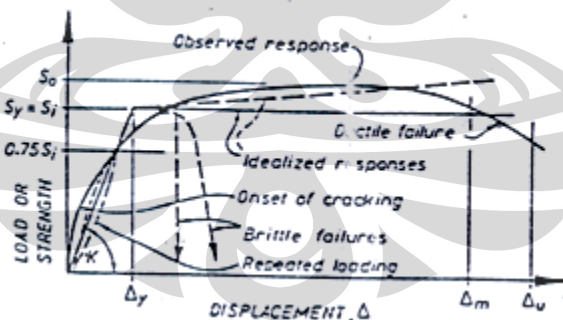
kekuatan sebuah struktur sangat ditentukan oleh tegangan leleh dari material yang digunakan. Beberapa elemen struktur perlu dilindungi supaya tidak terjadi respon dalam tahap inelastik. Oleh karena itu, elemen-elemen ini harus memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan aksi internal yang terjadi akibat respon dinamik pada struktur.

3. Daktilitas

yaitu kemampuan struktur berdeformasi inelastik secara berulang sambil mempertahankan sebagian besar kekuatan atau kekakuan awalnya. Dapat juga didefinisikan sebagai perbandingan simpangan batas dan simpangan leleh

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$$

Daktilitas yang terjadi pada struktur merupakan kemampuan untuk berdeformasi pada saat pemberian gaya maksimum, sehingga perilaku keruntuhan struktur tidak terjadi secara tiba-tiba.



Gambar 2.1 Hubungan Beban-Lendutan

Untuk mendesain bangunan yang tahan gempa kita harus memperhatikan beberapa aspek struktural seperti sistem konfigurasi bangunan, kekakuan, kekuatan dan daktilitas bangunan tersebut.

Beberapa konfigurasi bangunan yang perlu diperhatikan dalam menjaga responnya terhadap gempa antara lain:

1. sederhana, berbentuk kotak biasa sehingga bangunan dengan bentuk yang lebih kompleks seperti bentuk T atau L sebaiknya dihindari atau dipecah-pecah menjadi bentuk yang lebih sederhana.
2. simetris. Untuk menghindari torsional response yang memang sulit diukur, dan untuk menghindari kerusakan yang lebih besar pada saat terjadinya gempa.
3. pondasi yang terintegrasi sebagai penahan beban gravitasi yang harus didistribusikan pada lapisan tanah di bawahnya.
4. sistem penahan gaya lateral dengan kekakuan yang berbeda seperti *wall* dan *frame* diatur sedemikian sehingga pada setiap lantai kekakuan dalam arah lateral tidak bervariasi terlalu besar. Dengan demikian dampak torsi dapat diperkecil.

Selain itu kita juga perlu mengingat bahwa setiap struktur mempunyai kekakuan yang berbeda-beda sehingga periode natural T_n berbeda juga. Oleh karena itu, percepatan yang dialami oleh sebuah struktur tidaklah sama dengan percepatan getaran gempa. Respon dari struktur merupakan interaksi antara percepatan tanah dan karakteristik dinamik struktur.

2.2. *Teori Dinamika Struktur*

Analisa struktur pada beban dinamik berbeda dengan analisa pada beban statik. Saat melakukan analisa dinamik maka istilah dinamik mengacu pada waktu tertentu yang bervariasi (time-varying). Dalam hal ini desain struktur akan menggunakan respon dinamik yang maksimum pada waktu yang bervariasi tersebut. Pada bagian ini diperkenalkan prinsip dinamika struktur terutama pada analisa respon gempa bumi pada struktur, penyederhanaan dalam SDOF (Single Degree of Freedom), serta teknik analisa struktur MDOF (Multi Degree of Freedom).

2.2.1. **Kesetimbangan Dinamik**

Persamaan dasar kesetimbangan statik menggunakan metode peralihan didefinisikan sebagai:

$$p = ku \quad \text{dimana } p = \text{ gaya static}$$

$$k = \text{kekakuan}$$

$$u = \text{peralihan}$$

Jika gaya statis diganti gaya dinamik yang bervariasi terhadap waktu (*time varying*), maka persamaan kesetimbangan statis menjadi kesetimbangan dinamik

$$p(t) = m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) \quad \text{dimana: } p(t) = \text{gaya dinamik}$$

$$c = \text{redaman}$$

Persamaan gerak didasarkan pada hukum gerak Newton II, dimana suatu partikel yang mengalami suatu gaya akan bergerak, sedemikian sehingga diferensiasi momentumnya terhadap waktu adalah sebesar gaya tersebut

$$p(t) = \frac{d}{dt} \left(m \frac{du}{dt} \right)$$

Dimana tingkat perubahan displacement tergantung dari waktu (dv/dt), dan momentum diberikan oleh perkalian massa dan percepatan, sehingga:

$$p(t) = m \frac{d}{dt} \left(\frac{du}{dt} \right) = m\ddot{u}(t)$$

Berdasarkan prinsip d'Alembert, dikatakan bahwa suatu massa akan membentuk suatu gaya inersia yang besarnya proporsional dengan percepatan yang terjadi dan berlawanan dengan arah gaya yang diberikan

Disipasi energi akibat gaya redaman dapat terlihat dari pengamatan terhadap struktur yang mengalami osilasi akibat gaya dinamik, dimana struktur tersebut cenderung akan berkurang amplitudonya menurut waktu saat gaya dinamiknya berhenti bekerja.

Gaya redaman tersebut direpresentasikan dengan gaya redaman *viscous* yang besarnya proporsional dengan kecepatan dikalikan dengan suatu konstanta tertentu yang dikenal sebagai koefisien redaman (c).

$$f_d = c\dot{u}(t)$$

Struktur tetap mengalami beban statik (beban mati dan beban hidup), selain beban dinamik yang terjadi Untuk kondisi elastik maka prinsip superposisi dapat diterapkan, sehingga respon struktur akibat beban statik dan dinamik dapat dihitung terpisah lalu dijumlahkan untuk memperoleh respon total dari struktur $f_s = ku(t)$

2.2.2. Konsep Massa dan Derajat Kebebasan Dinamik

Untuk mendefinisikan gaya inersia maka diperlukan perhitungan percepatan dari semua partikel massa dari struktur serta peralihannya (konsep massa terdistribusi). Meskipun hasil analisisnya lebih baik, namun penyelesaiannya akan memakan waktu

Prosedur analisis dapat disimplifikasi jika massa dari struktur terkonsentrasi/tergumpal (konsep massa tergumpal) pada titik-titik tertentu dari struktur sehingga respon dinamik dari struktur dapat direpresentasikan dengan sejumlah komponen yang mengalami peralihan. Jumlah dari derajat kebebasan dinamik (DOF/Degree of Freedom) tergantung dari jumlah titik-titik massa yang diperhitungkan mengalami peralihan

Struktur yang mengalami peralihan translasional pada massa yang diasumsikan tergumpal dan ikut bertranslasi didefinisikan sebagai:

$$m = \frac{\text{Berat yang terkonsentrasi}}{\text{percepatan gravitasi}} = \frac{w}{g}$$

Sedangkan struktur yang mengalami peralihan rotasional pada massa yang ikut berotasi didefinisikan melalui hukum gerak Newton II yang menyatakan bahwa diferensiasi dari momentum angular (momen dari momentum) terhadap waktu sama dengan besarnya torsi

$$L = r(\dot{m}i(t)) = mr^2 \frac{d\theta}{dt}$$

$$N = \frac{dL}{dt} = I\ddot{\theta}$$

$$I = mr^2$$

Untuk struktur yang rigid maka massa inersia tersebut dapat diperoleh dengan menjumlahkan seluruh partikel massa yang membentuk struktur rigid tersebut, yang dapat diekspresikan dengan persamaan integral berikut

$$I = \int \rho^2 dm$$

dimana: ρ = jarak dari sumbu rotasi ke suatu diferensiasi massa dm
 dm = diferensiasi massa partikel pembentuk struktur

2.2.3. Beban Gempa Sebagai Getaran

2.2.3.1 Getaran Bebas

Getaran bebas terjadi saat suatu struktur beresilasi akibat *inherent forces*, tanpa adanya gaya yang *time dependent* atau gerakan tanah (*ground motion*). *Inherent forces* merupakan gaya yang terjadi karena telah adanya kecepatan dan peralihan pada struktur saat awal fase getaran bebas. Untuk kasus tak teredam, getaran bebas didefinisikan menjadi

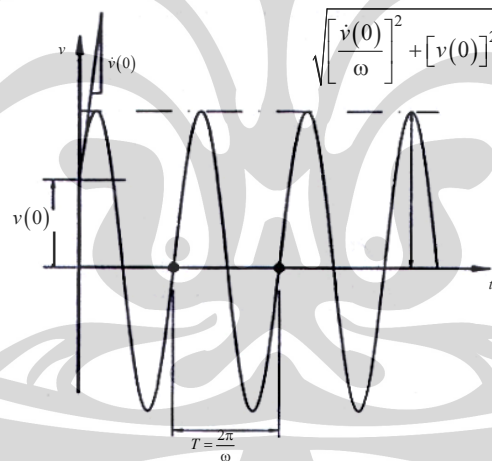
$$m\ddot{u}(t) + ku(t) = 0 \quad (2.1)$$

atau

$$\ddot{u}(t) + \omega^2 u(t) = 0; \text{ dimana } \omega^2 = \frac{k}{m}$$

memiliki solusi umum

$$u(t) = \frac{\dot{u}(0)}{\omega} \sin \omega t + u(0) \cos \omega t \quad (2.2)$$



Untuk kasus teredam memiliki solusi umum

$$u(t) = e^{-\xi\omega t} \left(\left[\dot{u}(0) + u(0)\xi\omega \right] \frac{\sin \omega_d t}{\omega_d} + u(0) \cos \omega_d t \right) \quad (2.3)$$

2.2.3.2 Respon Beban Dinamik

a. Respon Beban Impuls

Impuls merupakan gaya yang dikerjakan dalam waktu yang relatif singkat, dengan hubungan momentum-impuls dirumuskan menjadi

$$I = \int_0^t p(t) dt = m\dot{v}(t)$$

akibat beban impuls yang terjadi sesuai persamaan diatas, maka Impuls akan menyebabkan struktur memiliki kecepatan awal sesuai dengan hubungan momentum-impuls dan impuls tidak menyebabkan adanya peralihan awal pada struktur

$$v(t_1) = 0$$

$$\dot{v}(t_1) = \frac{1}{m} \int_0^{t_1} p(t) dt$$

dengan mensubstitusikan persamaan ini kedalam solusi getaran bebas akan didapatkan

$$v(t-t_1) = \left(\frac{1}{m\omega_0} \int_0^{t_1} p(t) dt \right) \sin \omega(t-t_1) \text{ untuk getaran tanpa redaman}$$

dan

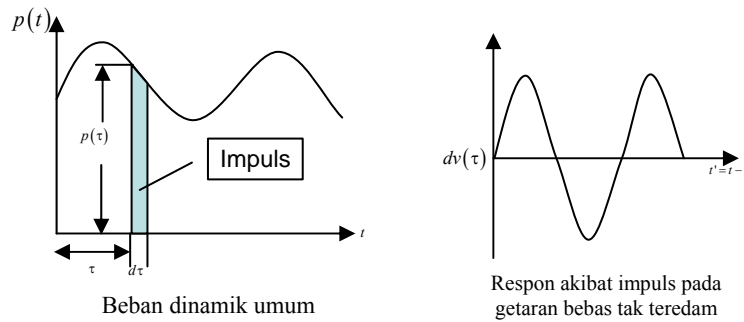
$$v(t-t_1) = \left(\frac{1}{m\omega_d} \int_0^{t_1} p(t) dt \right) e^{-\xi\omega t} \sin \omega_d t \text{ untuk getaran teredam.}$$

b. Respon Beban Dinamik

Beban dinamik umum didefinisikan sebagai beban yang besarnya berubah-ubah (*arbitrary*) menurut fungsi waktu. Untuk mencari respon struktur terhadap beban dinamik tersebut diperlukan superposisi dari respon beban-beban impuls pada diferensiasi waktu (hanya berlaku pada kondisi linear) serta metode numerik untuk penyelesaian integral yang solusinya adalah seperti persamaan berikut:

$$v(t) = \frac{1}{m\omega_0} \int_0^t p(\tau) \sin[\omega(t-\tau)] d\tau ; \text{ untuk kasus tanpa redaman dan}$$

$$v(t) = \frac{1}{m\omega_d} \int_0^t p(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin[\omega_d(t-\tau)] d\tau \text{ untuk kasus teredam.}$$



Gambar 2.22 Respons Impulse

2.2.3.3 Analisa Respon Spektrum

Untuk mengetahui gaya yang terjadi pada struktur akibat gempa, maka kita gunakan persamaan:

$$m\ddot{v} + c\dot{u} + ku = 0 \quad (2.4)$$

membagi persamaan tersebut dengan massa kita peroleh:

$$\ddot{v}(t) = -\frac{c}{m}\dot{u}(t) - \frac{k}{m}u(t)$$

Jika redaman pada persamaan ini dapat diabaikan karena kontribusinya rendah akan didapat bahwa percepatan struktur pada massa yang tergumpal:

$$\ddot{u}(t) = -\frac{k}{m}v(t) \quad \text{atau} \quad \ddot{u}(t) = -\omega^2 v(t)$$

mengalikan percepatan tersebut dengan massa yang bersangkutan akan kita peroleh gaya lateral yang bekerja pada massa tersebut sehingga pada dasar struktur akan memberikan reaksi yang sama (gaya geser dasar) yaitu sebesar:

$$Q(t) = m\omega^2 v(t) \quad (2.6)$$

dan momen guling akan ditentukan berdasarkan persamaan:

$$M(t) = hm\omega^2 v(t) \quad (2.7)$$

Dalam menggunakan analisa respon spectrum, kita menggunakan *spectral displacement* yang didapatkan dari:

$$S_d = v(t)_{\max} \quad (2.8)$$

dimana $v(t) = \frac{1}{m\omega} \int_0^t p(\tau) \sin[\omega(t-\tau)] d\tau$ untuk tanpa redaman

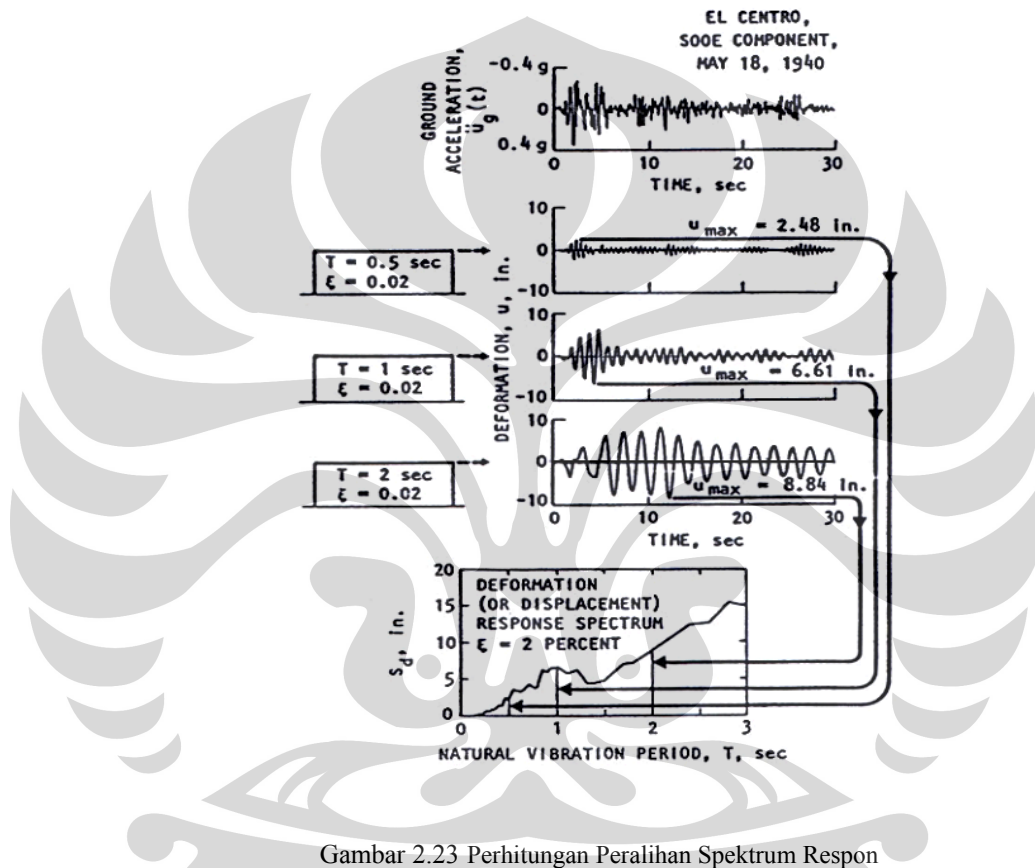
dan $v(t) = \frac{1}{m\omega_d} \int_0^t p(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin[\omega_d(t-\tau)] d\tau$ untuk kasus teredam

sehingga kita peroleh:

$$Q_{\max} = m\omega^2 S_d$$

dan

$$M_{\max} = hm\omega^2 S_d$$



Gambar 2.23 Perhitungan Peralihan Spektrum Respon
(Sumber: Chopra, 1981)

Langkah-langkah pembuatan spektrum respon:

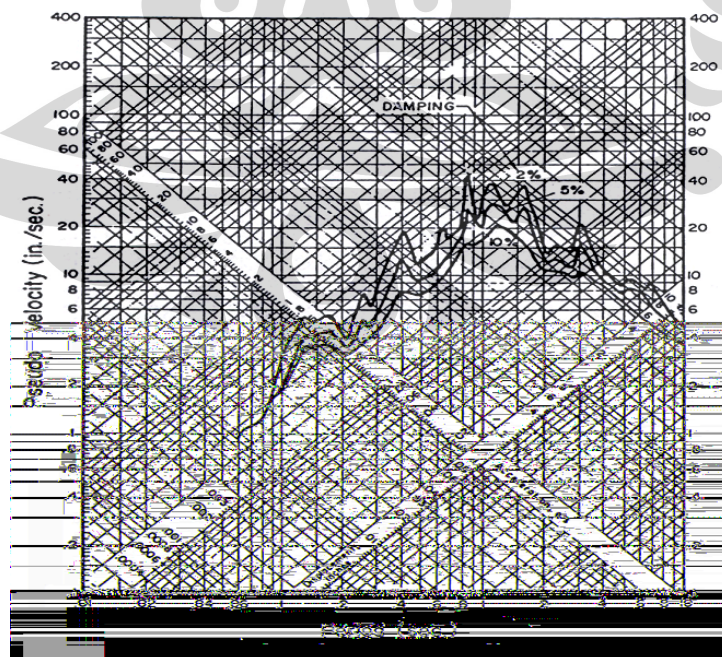
1. Memiliki data percepatan tanah akibat gempa
2. Menentukan redaman (*damping*) yang terjadi
3. Menentukan karakteristik struktur yang digunakan apakah periode/frekuensi
4. Bila perhitungan dilakukan secara numerik, tentukan rentang dimana nilai periode/frekuensi tersebut akan diambil termasuk tentukan inkrementalnya

5. Menghitung respon struktur akibat gempa di tiap waktunya (dengan integral duhamel) pada redaman dan periode/frekuensi tertentu secara numerik
6. Catat nilai S_d (*Spectral Displacement*) atau peralihan yang maksimum. Bila perlu hitung nilai S_{pv} dan S_{pa}
7. Ulangi langkah nomor 4 hingga seluruh rentang periode/frekuensi dihitung
8. Melakukan plot nilai S_d , S_{pv} , dan S_{pa}

Untuk menghitung nilai S_{pv} dan S_{pa} dapat diperoleh dengan menggunakan perumusan $S_{pv} = \omega S_d$ dan $S_{pa} = \omega^2 S_d$

Spektrum respon dari catatan tunggal gempa belumlah memenuhi syarat untuk desain karena hasil catatan gempa menunjukkan bahwa setiap gempa unik dan tidak mungkin ada dua gempa yang sama persis. Oleh karena itu, untuk mendesain spektrum respon seharusnya respon yang ada merupakan gabungan dari gempa yang mungkin terjadi pada suatu tempat, termasuk memperhitungkan gempa jauh dan dekat

Berikut ini merupakan sebuah contoh spectrum desain yang diperoleh pada suatu tempat tertentu.



2.2.3.4 Struktur MDOF

Sistem MDOF adalah sistem dengan sejumlah nodal-nodal peralihan untuk mendeskripsikan peralihan massa struktur pada waktu tertentu. Oleh karena itu massa yang akan diperhitungkan dinyatakan dalam sebuah matriks massa sebagai berikut:

$$\{f_i\} = \begin{pmatrix} m_1 & & & \\ & m_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & m_n \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{Bmatrix} \quad (2.9)$$

sedangkan matriks kekakuannya dapat dituliskan sebagai

$$\{f_s\} = \begin{pmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & & & \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & & \\ & -k_3 & \ddots & & \\ & & & \ddots & -k_n \\ & & & -k_n & k_n \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_{n-1} \\ u_n \end{Bmatrix} \quad (2.10)$$

Persamaan gerak untuk getaran bebas tanpa redaman pada sistem MDOF:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{0\}$$

atau

$$([K] - \omega^2 [M])\{u\} = \{0\}$$

persamaan ini saling terkait satu sama lain atau disebut juga sebagai (coupled equation). Solusi dari persamaan ini akan didapatkan dengan menggunakan nilai eigen dari determinan

$$\det([K] - \omega^2 [M]) = \{0\}$$

Substitusi semua nilai ω kedalam salah satu persamaan sehingga diperoleh perbandingan nilai ω yang akan disebut sebagai pola ragam getar (*mode shapes*).

Pada struktur MDOF teredam persamaan kesetimbangan dinamik struktur dapat dituliskan dalam persamaan

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{P(t)\} \quad (2.11)$$

Dimana persamaan tersebut akan slaing terkait (*coupled equation*) sehingga untuk mendapatkan solusinya kita gunakan ekspansi modal.

Dalam kontribusi modal kita dapat mengekspansi displacement u menjadi:

$$u(t) = \sum_{r=1}^N \phi_r q_r(t) = \Phi q(t)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan ini ke persamaan di atas maka akan didapat *uncoupled equation* dan dengan menggunakan sifat orthogonal dapat disederhanakan menjadi

$$\{\phi_n\}^T [M] \{\phi_r\} \{\ddot{q}_r(t)\} + \{\phi_n\}^T [K] \{\phi_r\} \{q_r(t)\} = \{\phi_n\}^T \{P(t)\}$$

atau

$$M_n \ddot{q}_n + K_n q_n = P_n(t) \quad (2.12)$$

dimana *nilai-nilai* tersebut menjadi suatu besaran skalar.

Sedangkan untuk kasus dengan redaman persamaan tersebut akan menjadi

$$M_n \ddot{q}_n + C_n \dot{q}_n + K_n q_n = P_n(t) \quad (2.13)$$

dengan demikian kita dapatkan bahwa struktur MDOF telah terbagi menjadi beberapa buah struktur SDOF.

Gaya yang bekerja pada struktur $P(t)$ dapat kita jabarkan dengan suatu distribusi spasial yang diwakilkan oleh vektor s dimana

$$P(t) = s \cdot p(t)$$

$$s = \sum_{r=1}^N s_r = \sum_{r=1}^N \Gamma_r m \phi_r$$

bila persamaan ini dikalian ϕ_n^T dan dengan menggunakan sifat orthogonal

pada tiap modena maka akan kita dapatkan bahwa $\Gamma_n = \frac{\phi_n^T \cdot s}{M_n}$ sehingga

pada mode ke-n

$$s_n = \Gamma_n m \phi_n$$

sedangkan untuk gaya pada mode ke-n adalah

$$P_n(t) = \phi_n^T s p(t) = \Gamma_n M_n p(t)$$

Maka kita akan dapatkan persamaan MDOF menjadi

$$\ddot{q}_n + 2\xi\omega_n\dot{q}_n + \omega_n^2 q_n = \Gamma_n p(t) \quad (2.14)$$

Dengan mendefinisikan $q_n(t) = \Gamma_n D_n(t)$ maka kita dapatkan sebuah persamaan baru yang mengacu pada persamaan dasar SDOF sehingga kita mempunyai *N coupled equation* untuk setiap natural mode.

$$\ddot{D}_n + 2\xi\omega_n\dot{D}_n + \omega_n^2 D_n = p(t) \quad (2.15)$$

Dengan melihat bahwa $u(t) = q_n(t) \cdot \phi_n$ dimana q_n = modal coordinate dan ϕ_n = polaragam getar yang tidak bervariasi terhadap waktu, maka nodal displacement yang dapat kita tuliskan sebagai

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

dan gaya ekuivalen

$$f_n(t) = s_n [\omega_n^2 D_n(t)] \text{ atau } f_n(t) = s_n A_n(t)$$

dimana $A_n(t)$ dapat juga disebut sebagai pseudo acceleration response pada mode ke-n

Pada struktur yang dikenai percepatan tanah $\ddot{u}_g(t)$ akan mengalami kesetimbangan dimana

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{P_{eff}(t)\} = -mi\ddot{u}_g(t) \quad (2.16)$$

distribusi spasial untuk gaya gempa efektif ini dapat didefinisikan sebagai $s = mi$ sehingga pada mode ke-n

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

dimana

$$\Gamma_n = \frac{L_n}{M_n} \quad L_n = \phi_n^T mi \quad M_n = \phi_n^T m \phi_n$$

dengan mengacu pada persamaan untuk SDOF maka

$$\ddot{D}_n + 2\xi\omega_n\dot{D}_n + \omega_n^2 D_n = -\ddot{u}_g(t) \quad (2.17)$$

Modal static response dapat dijabarkan sebagai:

Respon	Modal Static Response
V_i	$V_{in}^{st} = \sum_{j=i}^N s_{jn}$
M_i	$M_{in}^{st} = \sum_{j=i}^N (h_j - h_i) s_{jn}$
V_b	$V_{bn}^{st} = \sum_{j=i}^N s_{jn} = \Gamma_n L_n^h \equiv M_n^*$
M_b	$M_{bn}^{st} = \sum_{j=i}^N h_j s_{jn} = \Gamma_n L_n^0 \equiv h_n^* M_n^*$
u_j	$u_{jn}^{st} = \frac{\Gamma_n}{\omega_n^2} \phi_{jn}$
Δ_j	$\Delta_{jn}^{st} = \frac{\Gamma_n}{\omega_n^2} (\phi_{jn} - \phi_{j-1,n})$

Base shear akibat mode ke-n adalah

$$V_{bn}(t) = V_{bn}^{st} A_n(t) = M_n^* A_n(t) \quad (2.18)$$

M_n^* disebut juga sebagai *effective modal mass* atau massa efektif struktur dan base over turning moment

$$M_{bn}(t) = h_n^* V_b(t) \quad (2.19)$$

h_n^* disebut sebagai tinggi efektif struktur (*effective modal height*)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. *Prosedur Analisa*

Penelitian ini merupakan sebuah penelitian simulasi yang menggunakan bantuan program MATLAB. Adapun tahapan yang harus dilakukan pada saat menjalankan penulisan ini adalah:

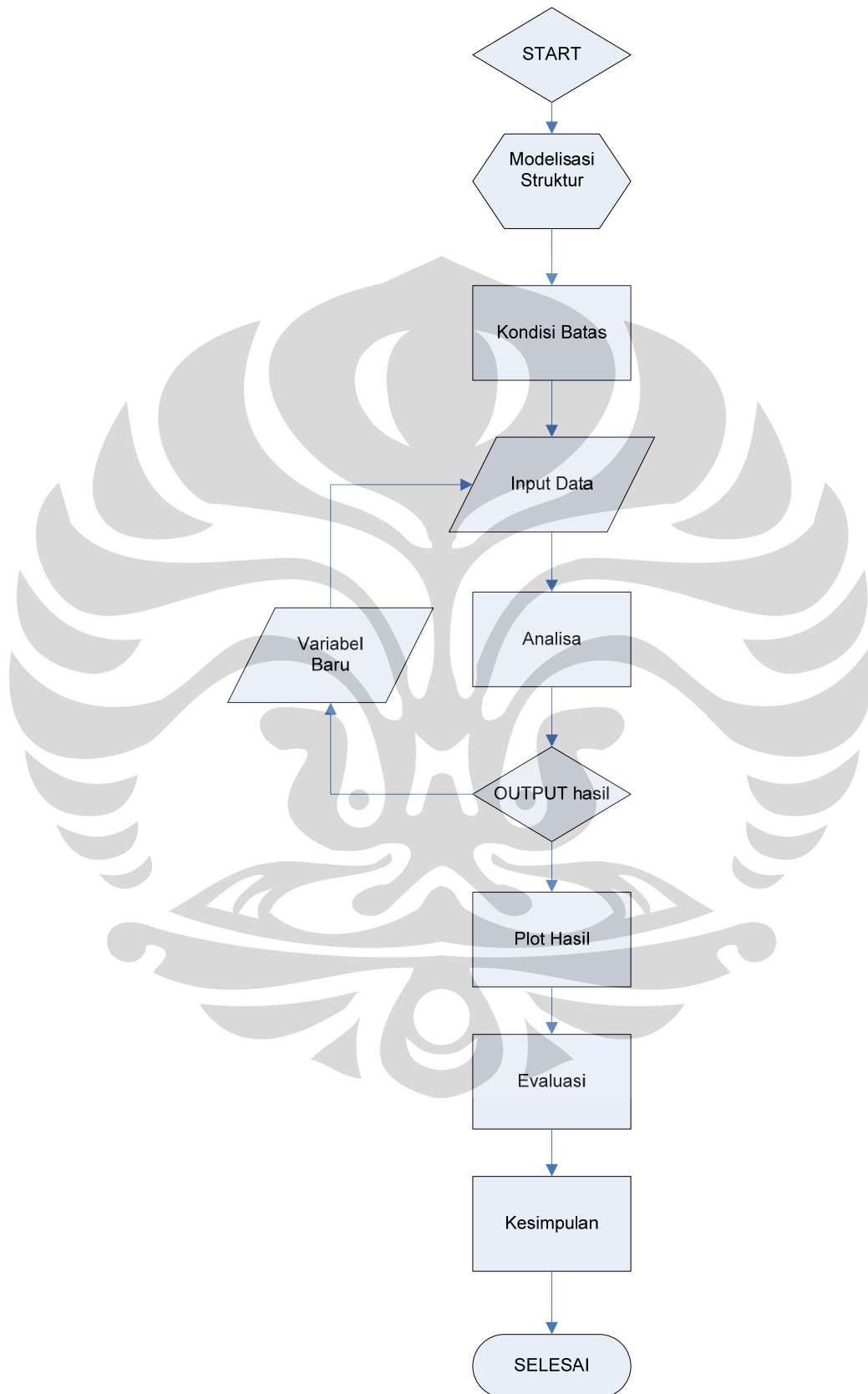
1. Pemodelan Sistem. Untuk menganalisa sebuah struktur podium multi tower terhadap gaya gempa yang diterimanya, maka struktur tersebut dapat dimodelisasikan terhadap beberapa model. Antara lain modelisasi Massa-Pegas-Peredam, dan Modelisasi kantilever. Pemodelan ini akan mempermudah penganalisaan dalam sebuah modelisasi matematika. Hal ini dilakukan untuk mempermudah penganalisaan sehingga dapat dilakukan simulasi dengan bantuan program matematika.

Pada penelitian ini modelisasi yang akan digunakan adalah modelisasi kantilever. Hal ini akan dijelaskan lebih lanjut pada bagian selanjutnya.

2. Buat Program dengan bantuan MATLAB dan menganalisa hasil output dengan Excel. Pembuatan program untuk melakukan simulasi ini dilakukan dengan program MATLAB. Program MATLAB pada dasarnya adalah program untuk melakukan simulasi matematika. Penelitian ini akan membandingkan hasil teoritis yang telah dihitung dengan simulasi kejadian sebenarnya yang menggunakan bantuan program SAP 10.
3. Masukan nilai-nilai yang akan divariasikan. Untuk melakukan penelitian ini, tentu saja diperlukan sebuah hasil perbandingan. Perbandingan ini didapat dari pemvariasian data masukan pada program. Hal yang pertama harus diperhatikan adalah variasi-variasi tersebut harus ada dalam suatu kondisi yang sama, misalnya pada kekakuan, harus memiliki kekakuan yang sama pada elemen yang sama. Variasi data masukan akan dilakukan adalah memberikan beban gempa tertentu dengan periode gempa yang berbeda (Beban Sinusoidal dan Beban Gempa *El-Centro*).

4. Analisa Hasil.

Analisa akan dilakukan dengan urutan cara seperti pada diagram kerja berikut ini:



Gambar 3.1 Alur Pengerjaan Penelitian

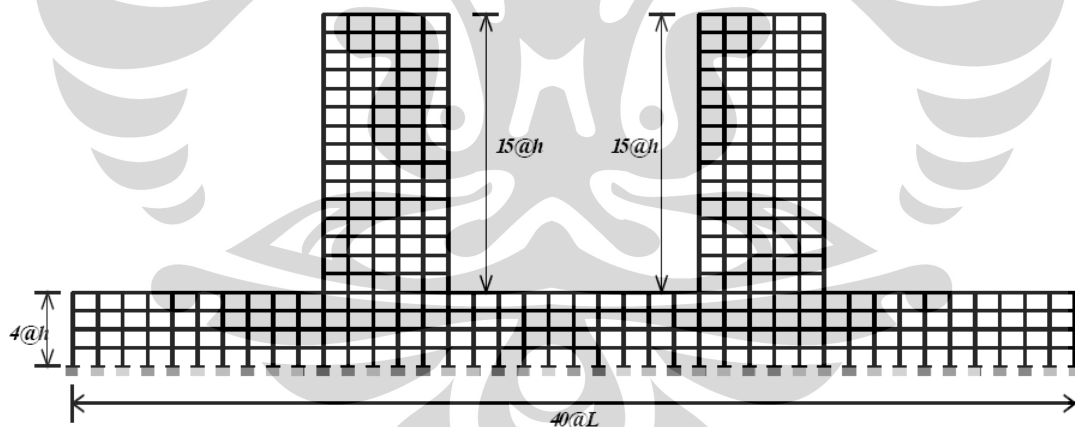
3.2. Modelisasi Struktur

Struktur pada permasalahan ini memiliki minimum dua subsistem, yaitu struktur podium dan struktur tower. Untuk menyederhanakan pemodelan struktur ini akan diasumsikan bahwa gerakan pada struktur akibat gempa yang diterima akan berupa getaran bebas tanpa redaman. Data struktur yang dimasukkan akan dimodelisasi sebagai massa dari benda yang akan digetarkan dan kekakuan pada sistem tersebut.

- Massa M .** Massa dari struktur akan diasumsikan sebagai massa terdistribusi pada setiap level dari tingkat struktur tersebut.
- Kekakuan K .** Kekakuan pada pemodelan ini merupakan kekakuan total dari dua subsistem yang digunakan. Kekakuan pertama adalah kekakuan dari portal. Kekakuan yang kedua adalah kekakuan dari dinding geser.
- Periode Getar alami struktur T_n** yang digunakan dipenelitian ini lebih condong pada hubungannya dengan massa yang digunakan. Hal ini dapat ditunjukkan

$$\text{pada hubungan } T_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Secara umum model struktur yang akan dianalisa adalah seperti pada gambar berikut:

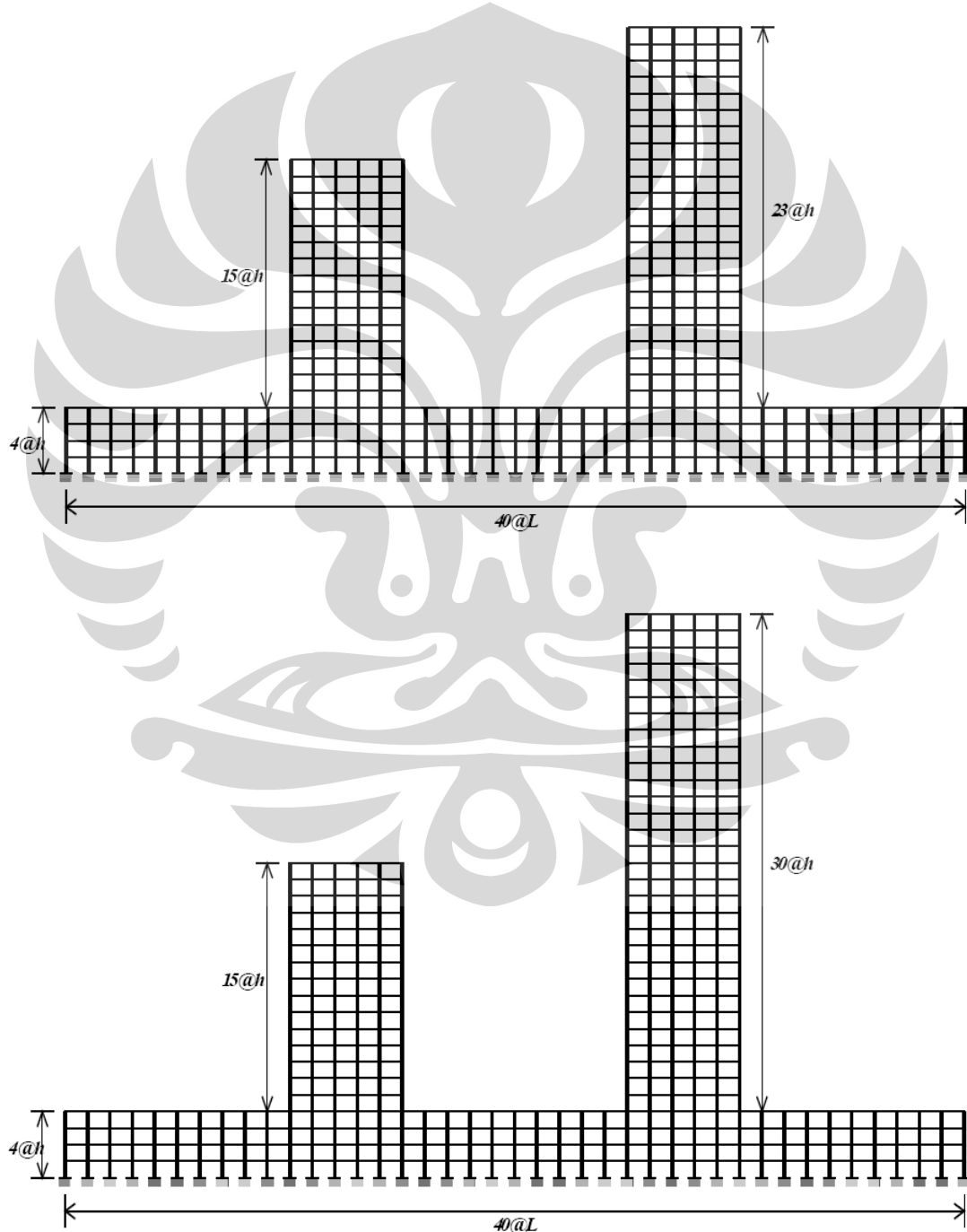


Gambar 3.22 Pemodelan Struktur Podium Multi Tower

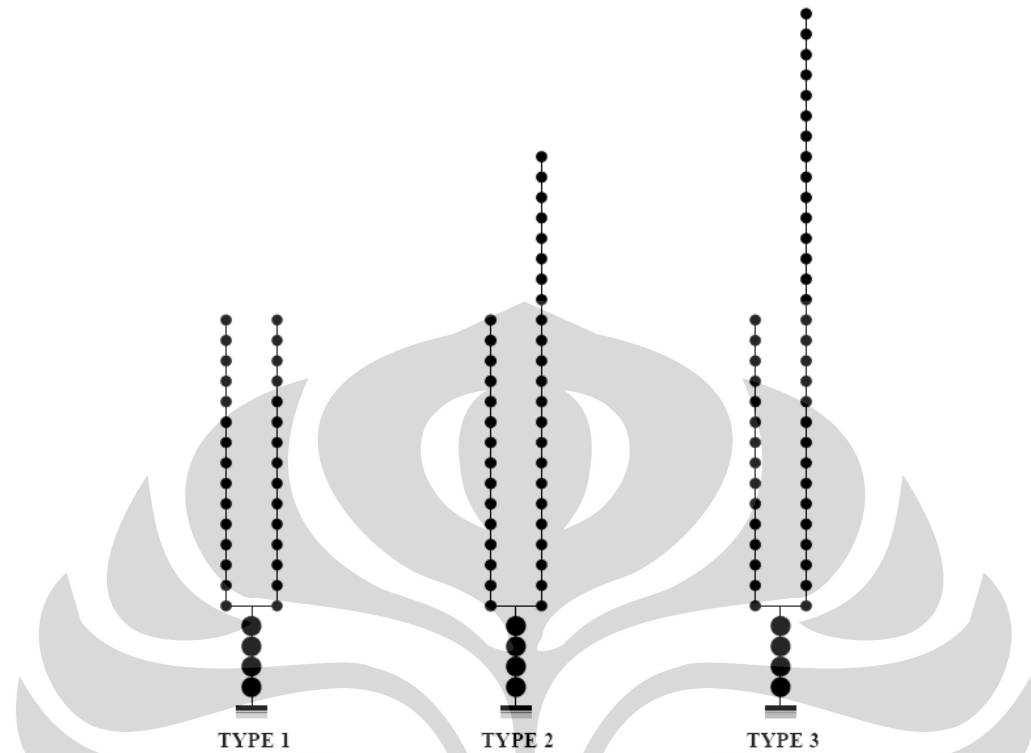
Untuk melihat pengaruh dinamik tower terhadap podium akan disimulasikan suatu struktur bangunan yang dimodelisasi sebagai portal geser yang mewakili podium dengan 2 buah tower. Panjang podium adalah $40L$ dengan jumlah lantai podium sebanyak 4 lantai, dimana ketinggian masing-masing lantai adalah h . Diatas podium terdapat 2 buah tower yang mempunyai 15 lantai dengan ketinggian tingkat masing-masing adalah juga h . Kekakuan balok dianggap tak terhingga, sedangkan

seluruh kolom dianggap memiliki dimensi yang sama, sehingga kekakuan total kolom podium tiap lantainya adalah sebesar $41k$, sedangkan kekakuan total masing-masing tower tiap lantainya adalah sebesar $6k$. Massa podium tiap lantainya adalah $40m$, sedangkan massa masing-masing tower tiap lantainya adalah $5m$

Variasi penelitian yang akan dilakukan adalah dengan menghitung respons struktur secara keseluruhan dan juga secara terpisah sebagai sub-sistem yang terdiri dari tower atau podium saja. Selain itu variasi juga akan dilakukan terhadap perbedaan tinggi bangunan sehingga gaya geser yang dihasilkan akan bervariasi juga.



Gambar 3.23 Variasi-variasi sub-struktur tower



Gambar 3.24 Idealisasi 3 type struktur podium dengan variasi 2 tower sebagai massa tergrup

Kita mengetahui bahwa setiap struktur memiliki pola ragam getar yang unik. Sehingga lendutan yang dialami setiap struktur merupakan gabungan lendutan yang berkaitan dengan mode-nya. Dengan demikian nilai u dapat dinyatakan:

$$\{u\} = \sum_{n=1}^N \{u_n\}$$

Lendutan yang berkaitan dengan mode shape ini dapat kita nyatakan sebagai perkalian suatu konstanta dengan mode shape-nya

$$\{u_n\} = q_n \{\phi_n\}$$

Sehingga persamaan awal dapat dituliskan sebagai

$$\{\phi_n\}^T [M] \{\phi_n\} \ddot{q}_n + \{\phi_n\}^T [C] \{\phi_n\} \dot{q}_n + \{\phi_n\}^T [K] \{\phi_n\} q_n = -\{\phi_n\}^T [M] \{\phi_n\} \{i\} \ddot{u}_g \quad (3.1)$$

Perlu diketahui bahwa $\{\phi_n\}^T [M] \{\phi_n\}$ akan bernilai scalar sehingga:

$$\{\phi_n\}^T [M] \{\phi_n\} = M_n$$

$$\{\phi_n\}^T [C] \{\phi_n\} = C_n$$

$$\{\phi_n\}^T [K] \{\phi_n\} = K_n$$

Bila persamaan tersebut kita bagi dengan M_n maka dapat kita tuliskan

$$\ddot{q}_n + 2\xi\omega_n\dot{q}_n + \omega_n^2 q_n = \Gamma_n p(t) = -\frac{\{\phi_n\}^T [M] \{i\}}{\{\phi_n\}^T [M] \{\phi_n\}} \ddot{u}_g$$

Atau

$$\ddot{q}_n + 2\xi\omega_n\dot{q}_n + \omega_n^2 q_n = \Gamma_n p(t) = -\frac{\{\phi_n\}^T \{s\}}{M_n} \ddot{u}_g \quad (3.2)$$

Dimana s merupakan *spatial distribution* yang didefinisikan sebagai

$$\{s\} = [M] \{i\} = \sum_{n=1}^N \Gamma_n [M] \{\phi_n\}$$

dan

$$\Gamma_n = \frac{\{\phi_n\}^T \{s\}}{M_n}$$

Contoh kasus adalah untuk struktur podium multi tower dengan 4 lantai podium dan 2 tower masing-masing 15 lantai. Struktur tersebut akan memiliki properti struktur sebagai berikut:

Dengan bantuan program MATLAB6 kita dapat menghitung nilai $\{\phi_n\}$ dan Γ_n . Yang menjadi permasalahan dalam kasus ini ialah pada setiap mode genap nilai Γ_n akan sama dengan nol. Sehingga jika kita menghitung partisipasi massa yang ikut bekerja dalam sistem struktur ini juga akan sama dengan nol. Hal ini disebabkan oleh diamnya struktur podium (tanpa lendutan) sedangkan tower kiri dan kanan akan bergerak secara berlawanan.

Kita dapat menyatakan pola ragam getar struktur tersebut sebagai:

$$\{\phi_n\} = \begin{cases} \phi_n^{podium} \\ \phi_n^{tower-left} \\ \phi_n^{tower-right} \end{cases} \text{ sedangkan matriks massa struktur menjadi } [M] = \begin{bmatrix} M^p & 0 & 0 \\ 0 & M^l & 0 \\ 0 & 0 & M^r \end{bmatrix}$$

$$\text{dan kekakuan } [K] = \begin{bmatrix} [K^p] & & \\ & [K^{Tl}] & \\ & & [K^{Tr}] \end{bmatrix}$$

Dan pada mode-mode yang genap akan menjadi seperti berikut:

$$\{\phi_n^{podium}\} = \{0\} \text{ karena pada mode ini podium tidak mengalami lendutan.}$$

$$\text{Sedangkan } \{\phi_n^{tower-left}\} = -\{\phi_n^{tower-right}\}$$

Massa efektif sebuah struktur dapat diartikan sebagai massa yang bekerja atau mengalami percepatan saat terkena gaya (gempa) dan merupakan penjumlahan dari nilai-nilai s_n . Sedangkan nilai s_n dipengaruhi oleh nilai Γ_n . Sehingga pada saat kita menghitung nilai Γ_n akan menjadi seperti berikut:

$$\Gamma_n = \frac{\{\phi_n\}^T \{s\}}{M_n} = \frac{\{\phi_n\}^T [M] \{i\}}{M_n} \text{ dalam hal ini } \{i\} = \{1\} \text{ sehingga untuk suku}$$

$\{\phi_n\}^T [M]$ akan menjadi

$$\begin{cases} \phi_n^{podium} \\ \phi_n^{tower-left} \\ \phi_n^{tower-right} \end{cases}^T \begin{bmatrix} M^p & 0 & 0 \\ 0 & M^l & 0 \\ 0 & 0 & M^r \end{bmatrix} = \{\phi_n^p\} [M^p] + \{\phi_n^l\} [M^l] + \{\phi_n^r\} [M^r] = 0 \quad (3.3)$$

Dengan demikian saat kita akan menghitung massa efektif struktur secara keseluruhan nilainya akan sama dengan nol. Padahal kita ketahui bahwa sebenarnya tower kiri dan kanan mengalami lendutan serta akan menghasilkan base shear dan momen guling. Oleh karena itu penulis ingin menghitung secara terpisah dengan membedakan antara struktur podium, tower kiri dan tower kanan.

Massa efektif struktur (M_n^*) untuk perhitungan terpisah akan didefinisikan seperti berikut:

$$M_n^* = M_n^p + M_n^{tl} + M_n^{tr}$$

Untuk menghitung masing-masing M_n kita juga perlu untuk memecah nilai Γ_n

$$\Gamma_n^p = \{\phi_n^p\}^T [M^p] \{i_p\}$$

menjadi $\Gamma_n^* = \Gamma_n^p + \Gamma_n^{tl} + \Gamma_n^{tr}$ dimana $\Gamma_n^{tl} = \{\phi_n^{tl}\}^T [M^{tl}] \{i_{tl}\}$

$$\Gamma_n^{tr} = \{\phi_n^{tr}\}^T [M^{tr}] \{i_{tr}\}$$

Kemudian untuk mendapatkan massa efektif kita akan menjumlahkan masing-masing s_n yang didapat dari:

$$s_n^p = \{\Gamma_n^p\} [M^p] \{\phi_n^p\}$$

$$s_n^{tl} = \{\Gamma_n^{tl}\} [M^{tl}] \{\phi_n^{tl}\}$$

$$s_n^{tr} = \{\Gamma_n^{tr}\} [M^{tr}] \{\phi_n^{tr}\}$$

Effective Mass Factor (EMF) atau Faktor Massa Efektif (FME) struktur secara keseluruhan untuk tiap modal didefinisikan sebagai prosentase antara M_n^* terhadap total Massa M_T sehingga:

$$EMF_n = \frac{M_n^*}{M_T} \times 100\%$$

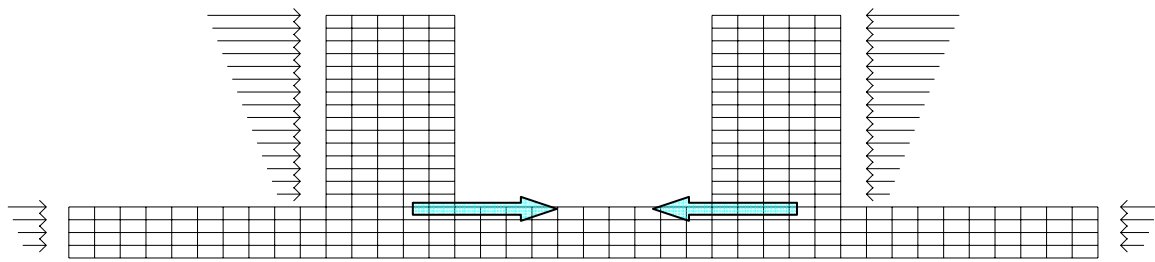
Pada dasarnya sub-struktur podium mempunyai kekakuan yang jauh lebih besar dibandingkan dengan tower, sehingga kekakuan struktur secara keseluruhan lebih didominasi oleh kekakuan tower, begitu pula dengan massanya. Hal ini berpengaruh langsung kepada periode getarnya pula. Periode getar struktur lebih ditentukan oleh periode getar dari sub-struktur tower yang tertinggi atau sub-struktur yang mempunyai kekakuan yang paling kecil. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan

periode getar antara struktur type 1,2 dan 3 serta periode dari masing-masing tower. Nyata bahwa periode fundamental pertama dari struktur podium multi tower mendekati atau berdekatan dengan periode fundamental pertama dari sub-struktur tower yang tertinggi.

Periode dan pola ragam getar dari masing-masing sub-struktur tower akan tampil bergantian dalam periode dan pola ragam getar dari struktur gabungan, sesuai dengan urutan masing-masing nilai frekuensinya dari yang paling kecil atau dari periode getar fundamental yang paling besar. Hal menarik dapat kita lihat pada struktur type 1, karena type 1 mempunyai 2 tower yang kembar, maka akan muncul pola ragam getar yang simetris dari kedua towernya dan juga pola ragam getar yang identik, yang muncul secara bergantian.

Bila kita perhatikan pola ragam getar simetris pada struktur type 1 selalu memberikan nilai partisipasi massa total yang nol. Pada umumnya partisipasi massa yang nol atau nilai yang kecil, dapat diartikan bahwa mode yang bersangkutan memberikan sumbangan yang juga kecil terhadap respons struktur secara keseluruhan. Akan tetapi tidak demikian dalam kasus struktur podium dengan multi tower ini.

Jika kita melihat partisipasi massa dari masing-masing sub-struktur tower, ternyata pada mode yang simetris, seperti pada mode 2, 4, 6 dan 8, dimana EMF-Total nya bernilai 0, EMF pada masing-masing substruktur tower mempunyai nilai yang significant yang tidak bias diabaikan, yaitu berturut-turut 41,81 % , 4,58 % , 1,60 % dan 0,78 %. Jika kita melihat dari persamaan (20) dan (21), massa efektif, M_n^* merupakan fungsi dari pola ragam getar $\{\phi_n\}$. Penjumlahan dari pola ragam getar yang simetris menghasilkan nilai nol, sehingga jika kita menghitung EMF-Total juga akan menghasilkan nilai nol, akan tetapi hal ini tidak berarti bahwa mode yang bersangkutan tidak memberikan kontribusi yang berarti terhadap response struktur. Secara fisik, gaya static ekuivalen seperti misalnya yang disumbangkan dari mode simetris yang pertama (mode 2, struktur type 1) dapat digambarkan seperti pada gambar 5 berikut :



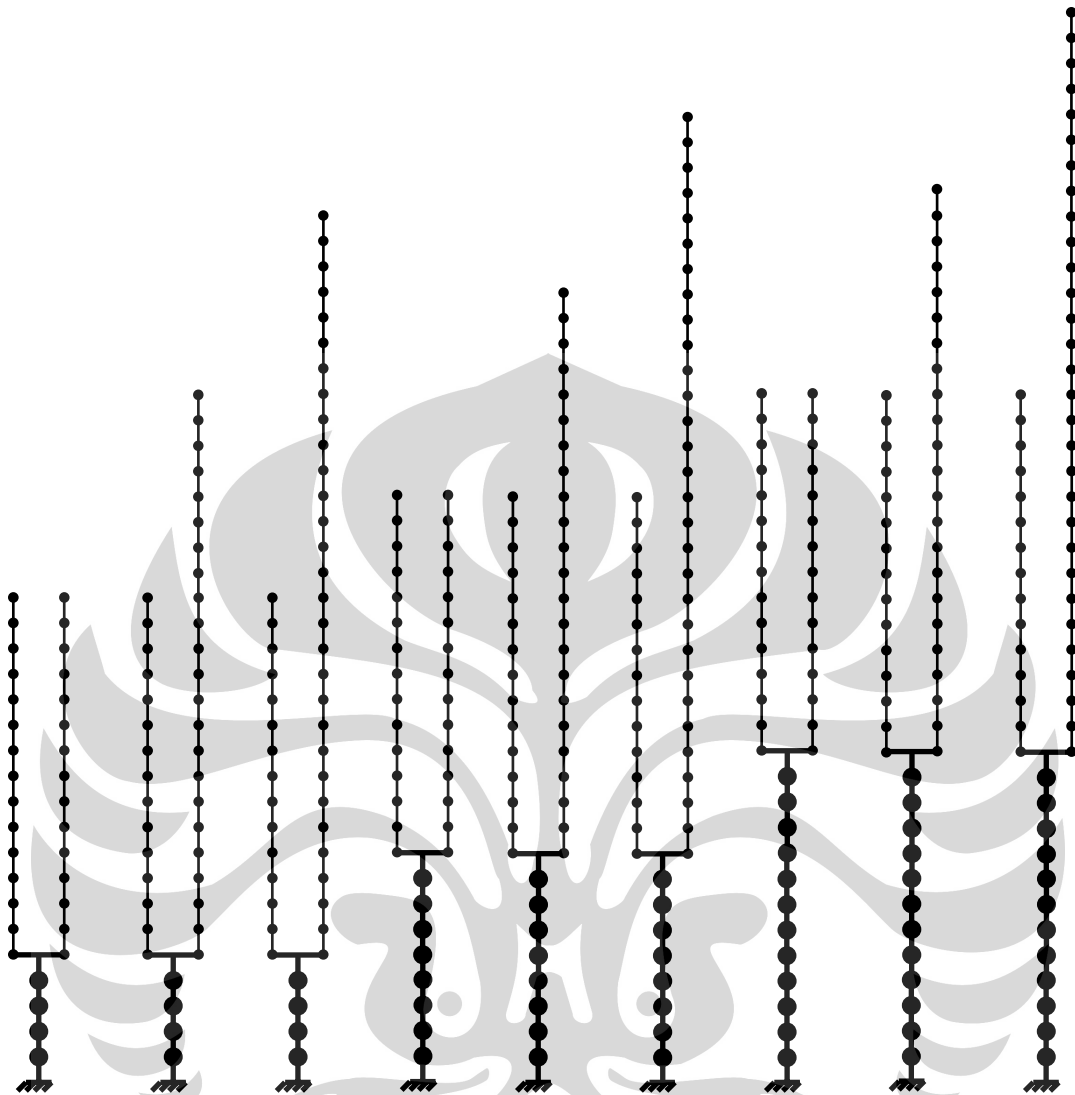
Gambar 3.25 *Variasi-variasi sub-struktur tower*

Dari gambar diatas tampak bahwa pola ragam getar simetris yang muncul pada mode-mode awal walaupun mempunyai EMF yang kecil, akan tetapi mempunyai sumbangan yang cukup berarti pada struktur, dan tidak dapat diabaikan, karena nilai EMF dari sub-strukturnya masih cukup significant untuk diabaikan. Nilai nol disebabkan karena gaya geser yang dihasilkan dari tower kembar tersebut mempunyai besaran yang sama akan tetapi arahnya saling berlawanan.

Bila total massa efektif dikalikan dengan percepatan gempa yang dialami oleh struktur maka akan menghasilkan suatu gaya yang akan disebut sebagai gaya static equivalent, yang besarnya akan menjadi seperti pada gambar. Dengan memisahkan antara stuktur tower baik kiri maupun kanan beserta dengan struktur podiumnya kita akan menganalisa besarnya gaya geser dasar yang akan timbul pada pertemuan antara tower dan podium. Dengan demikian hipotesa penulis mengenai gaya geser ini akan dibahas pada bab 4.

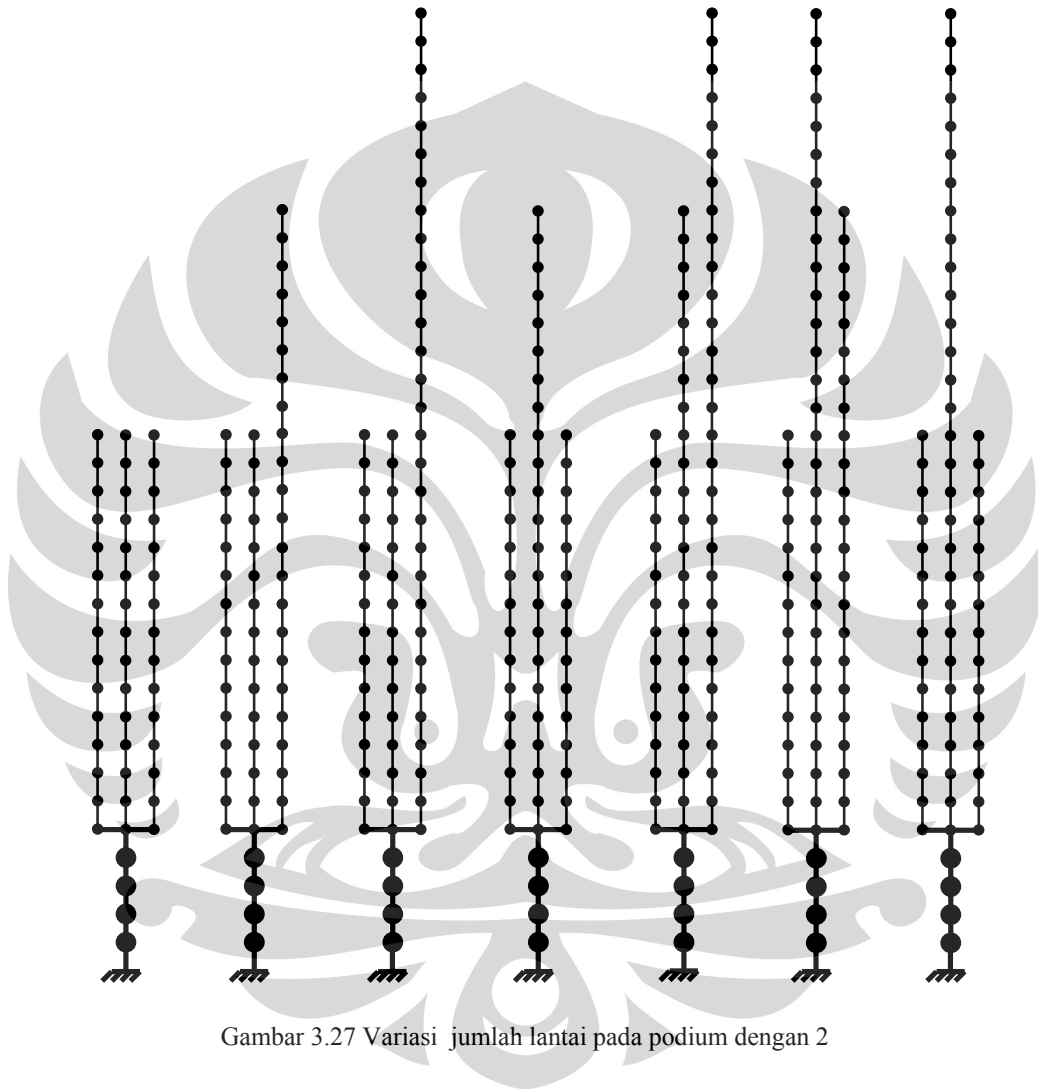
Selain ketiga model tersebut penulis juga akan mencoba memberikan variasi lain terhadap jumlah lantai podium dan jumlah tower. Variasi pada jumlah lantai podium dimaksudkan untuk melihat perilaku atau mode shape yang terjadi bila struktur podium dibuat menjadi lebih tinggi atau lebih lentur. Variasi ini dilakukan dengan menambah kan cumlah lantai podium menjadi 8 lantai dan 12 lantai.

Dengan demikian keseluruhan variasi model untuk struktur podium dengan 2 tower yang dibuat adalah sebagai berikut:



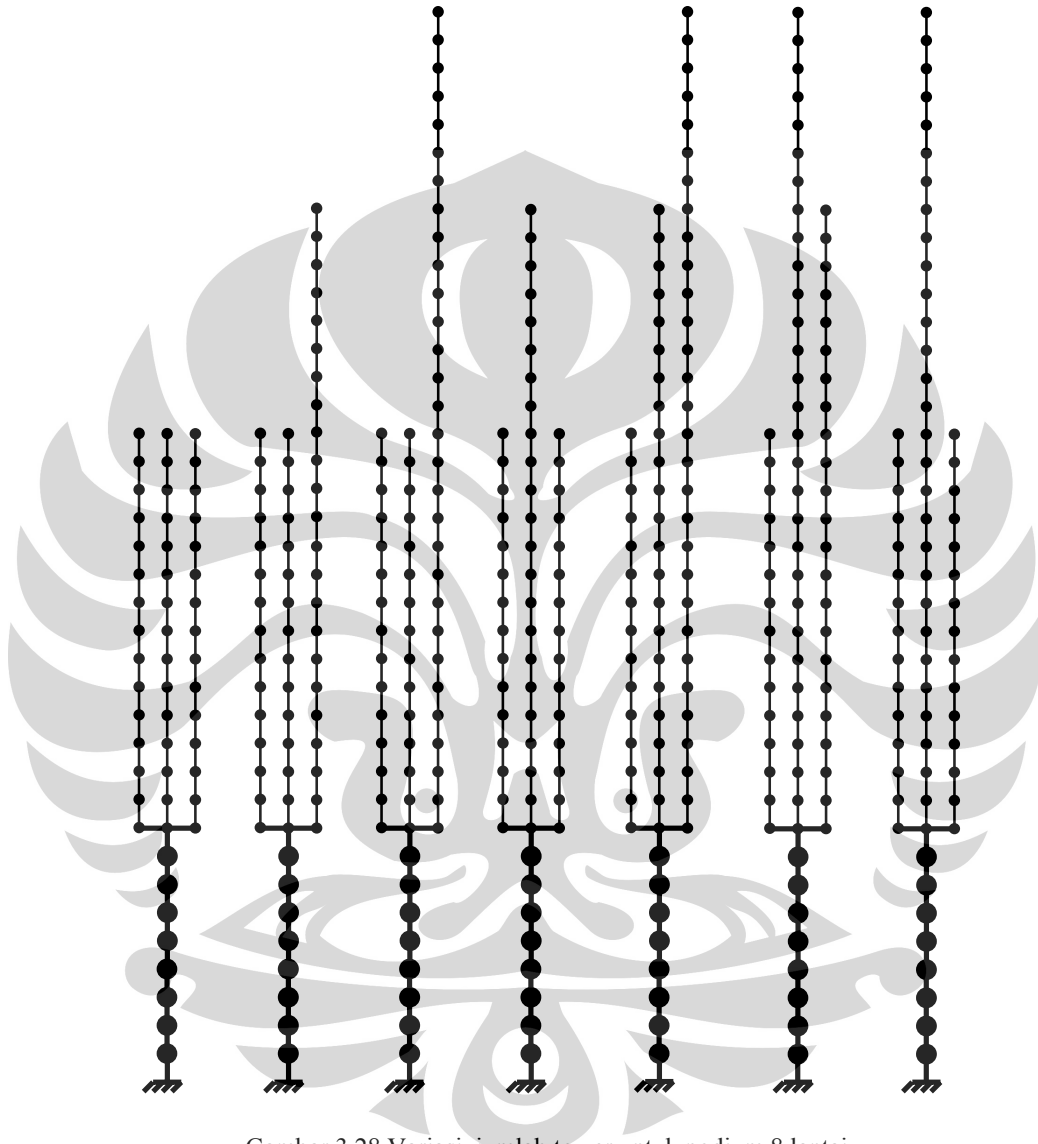
Gambar 3.26 Variasi jumlah lantai pada podium dengan 2

Berikutnya kita akan melakukan variasi terhadap jumlah tower yang berada di atas podium. Hal ini dimaksudkan untuk melihat interaksi tower pada struktur baik yang simetris maupun yang tidak simetris dengan penempatan yang berbeda-beda. Dengan demikian distribusi gaya geser pada dasar tower atau atap podium akan berbeda juga.

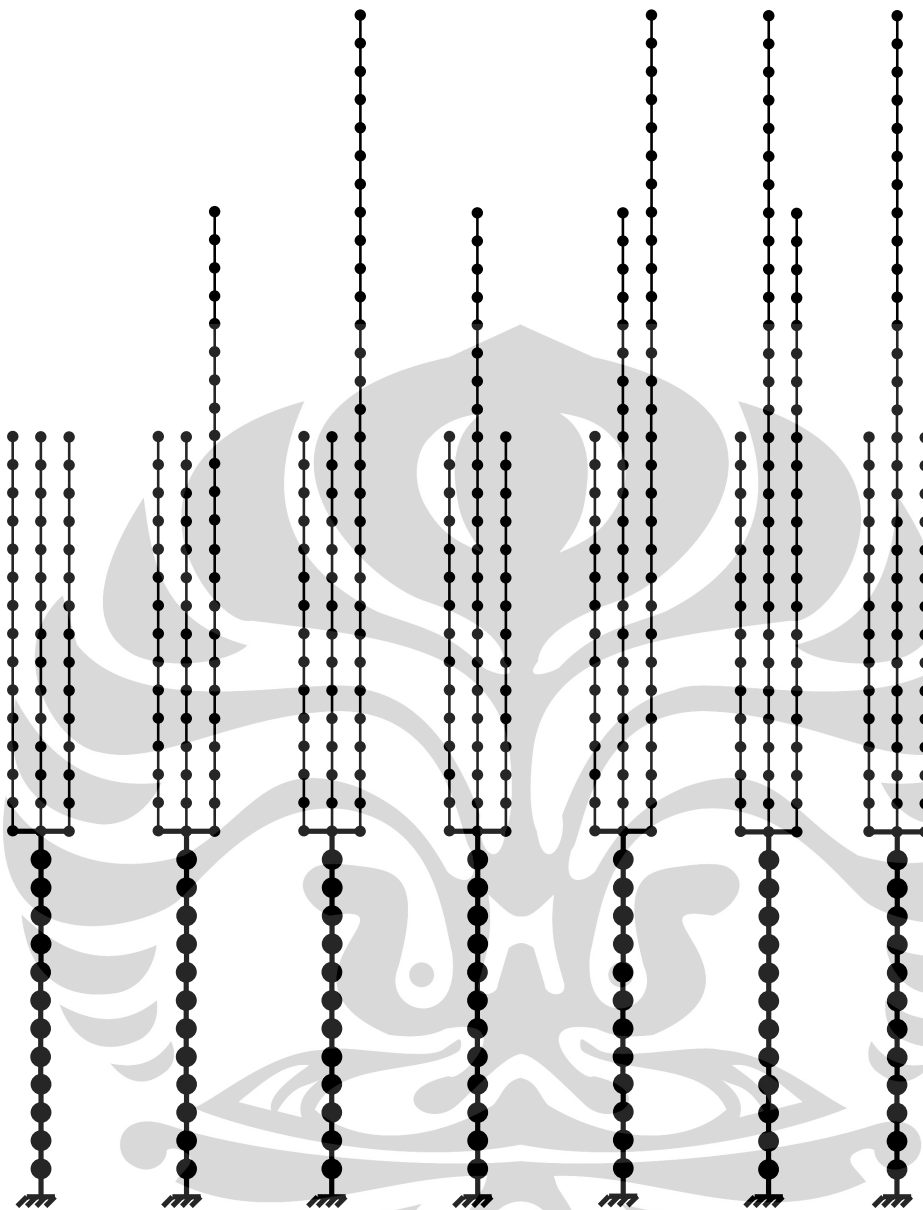


Gambar 3.27 Variasi jumlah lantai pada podium dengan 2

Sama dengan sebelumnya variasi struktur juga dikembangkan pada jumlah lantai podium untuk melihat mode shape dan gaya geser pada struktur yang lebih lentur.



Gambar 3.28 Variasi jumlah tower untuk podium 8 lantai



Gambar 3.29 Variasi jumlah tower untuk podium 12 lantai

Variasi-variasi di atas dibuat untuk melihat bagaimana mode shape yang terbentuk pada setiap struktur yang berbeda baik yang merupakan struktur simetris maupun yang asimetris. Selain mode shape sebaran gaya geser pada atap podium atau pada dasar tower juga akan berubah akibat berubahnya perbandingan kekakuan antara tower dan podium. Seiring dengan bertambahnya jumlah lantai atau tingkat pada struktur podium, maka kekakuan struktur secara keseluruhan akan menjadi lebih lentur. Hal-hal ini akan diamati dan dianalisa pada bab selanjutnya.

BAB 4

ANALISA MODEL

Pada bab ini penulis akan mencoba memaparkan analisa mode shape yang telah dilakukan. Pertama-tama penulis akan mencoba memaparkan asumsi-asumsi yang akan digunakan. Hasil analisa dari tipe struktur bangunan berupa periode, pola ragam getar, dan faktor massa efektif atau Effektive Mass Factor (EMF) untuk struktur secara keseluruhan dan juga sub-sub struktur yang akan dihitung secara terpisah. Selain itu akan ditampilkan juga secara terpisah base shear yang terjadi pada struktur keseluruhan yang akan dibandingkan bila base shear tersebut dihitung pada setiap sub-sub struktur.

Pada dasarnya sub-struktur podium mempunyai nilai kekakuan yang jauh lebih besar dibandingkan dengan towernya. Oleh karena itu kekakuan struktur secara keseluruhan didominasi oleh kekakuan tower, begitu juga dengan massanya. Hal ini akan berpengaruh langsung terhadap periode getarnya juga. Periode getar struktur akan lebih ditentukan oleh periode getar sub-struktur yang tertinggi atau sub struktur yang mempunyai kekakuan paling kecil. Hal ini dapat kita lihat dari periode getarnya dan ternyata periode getar pertama dari struktur podium multi tower berdekatan dengan periode getar pertama dari sub-struktur tower yang tertinggi.

Periode dan pola ragam getar dari masing-masing sub-struktur tower akan tampil bergantian dalam periode dan pola ragam getar dari struktur gabungan, sesuai dengan urutan masing-masing nilai frekuensinya dari yang paling kecil atau periode getar yang paling besar. Hal menarik dapat kita lihat beberapa struktur terdapat 2 tower yang kembar, maka akan muncul pola ragam getar yang simetris dari kedua towernya dan juga pola ragam getar yang identik, yang muncul secara bergantian.

Asumsi-asumsi yang akan digunakan penulis antara lain penulis mencoba menempatkan model struktur podium multi tower ini pada wilayah indonesia zone 3. sehingga akan diambil nilai $\zeta = 0.18$ sesuai dengan peraturan SNI. Namun, kondisi ini

akan sangat sulit dicapai sehingga akan diambil asumsi nilai untuk $T_1=0.15 \times n$ dimana n merupakan jumlah total tingkat struktur.

Bentang dalam arah memanjang dan melintang diasumsikan sama sebesar 8m sehingga untuk perhitungan massa (m) struktur adalah sebagai berikut:

Asumsi tebal pelat ekivalen = 0.3m

Self Weight = $2400\text{kg/m}^3 \times 0.3 = 720 \text{ kg/m}^2$

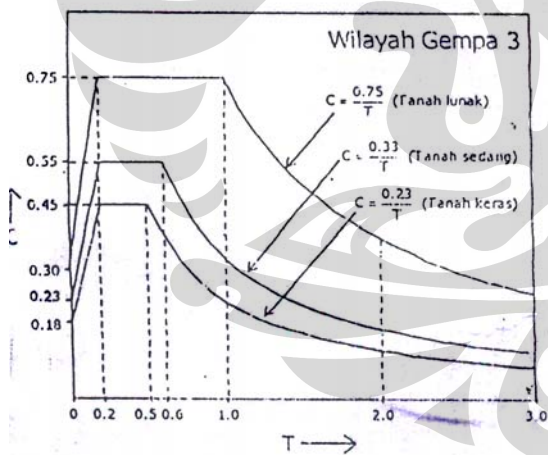
DL = 100 kg/m^2

0.3 LL = $0.3 \times 250 \text{ kg/m}^2 = 75 \text{ kg/m}^2$

Penulis mengambil nilai m sebesar $900 \text{ kg/m}^2 \times 8\text{m} \times 8\text{m} = 576 \text{ kg}$

Pada perhitungan gaya geser dasar penulis mengambil nilai $I = 1$; $R = 8.5$

Nilai C pada tiap mode akan diambil berdasarkan grafik dari SNI setelah memperoleh nilai T. Di sini penulis mengasumsikan bangunan berada pada wilayah Indonesia zone 3 pada kondisi tanah lunak.

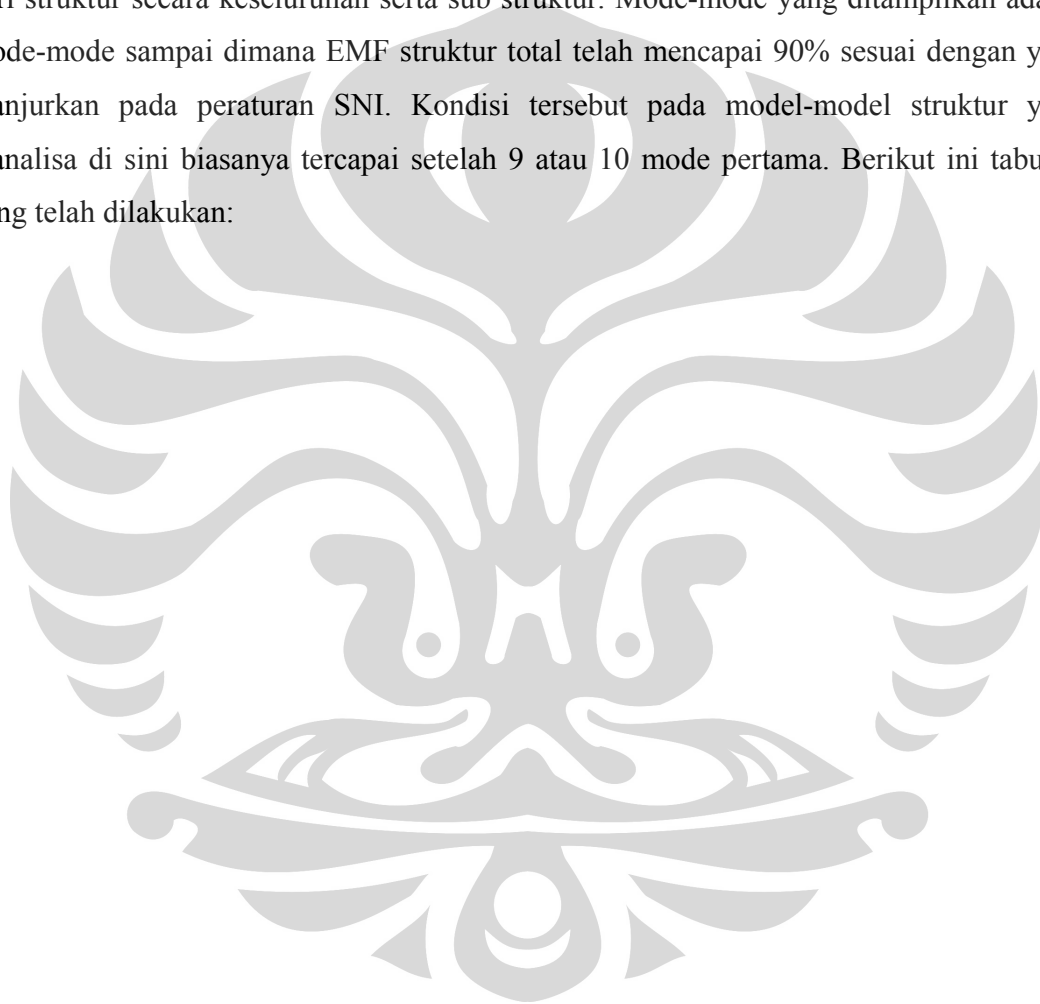


Gambar 4.1 Grafik c vs T pada wilayah gempa 3

Untuk perhitungan periode getar pada mode pertama, akan dipilih tipe struktur 4-15-15-15 sebagai acuan yaitu struktur dengan podium 4 lantai dan 3 tower masing-masing 15 lantai yang berdiri di atasnya. T_1 pada struktur ini akan dihitung dengan $0.15 \times n$ sedangkan pada mode-mode yang lain dan tipe struktur lainnya akan mempunyai nilai

yang sebanding dengan acuan tersebut sesuai dengan koefisiennya masing-masing. Nilai tersebut dipilih berdasarkan acuan pada SNI gempa yang menggunakan nilai 0.18 sebagai batasan maksimal dalam menentukan periode struktur yang berada di wilayah zone 3 Indonesia.

Untuk dapat dilihat lebih jelas, penulis akan mencoba untuk menampilkan tabel mengenai karakteristik dasar struktur yaitu berupa mode-mode shape, periode dan EMF dari struktur secara keseluruhan serta sub struktur. Mode-mode yang ditampilkan adalah mode-mode sampai dimana EMF struktur total telah mencapai 90% sesuai dengan yang dianjurkan pada peraturan SNI. Kondisi tersebut pada model-model struktur yang dianalisa di sini biasanya tercapai setelah 9 atau 10 mode pertama. Berikut ini tabulasi yang telah dilakukan:



Tabel 4.1 Mode Shape Tipe 4-15-15

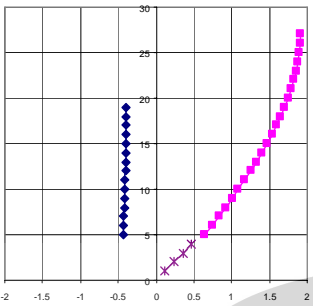
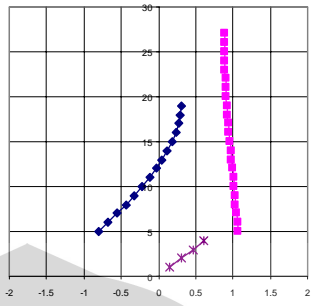
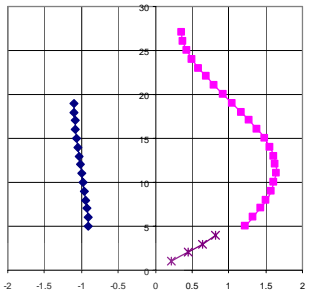
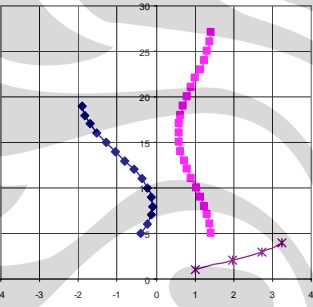
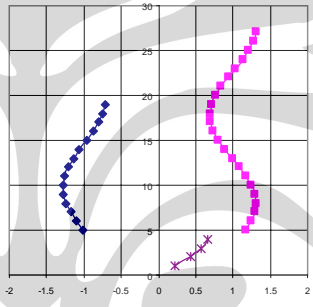
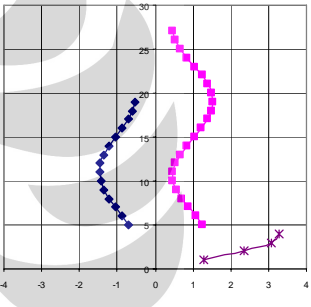
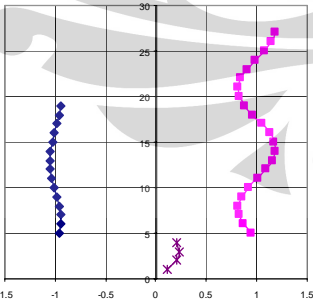
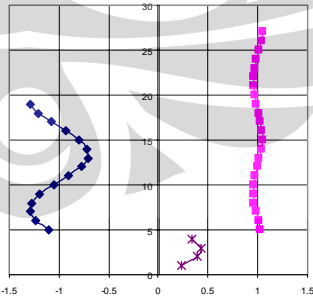
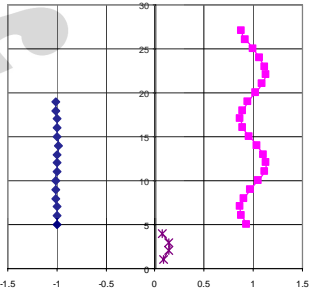
MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	2.743249129	2.538694	0.9833724
EMF TOTAL	52.25549878	0	24.184872
EMF-P	1.037877	0	23.4783
EMF-TWR LEFT	43.61657	41.80778	2.133324
EMF-TWR RIGHT	43.61657	41.80778	2.133324
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.849083	0.7022522	0.512949
EMF TOTAL	0	15.9710279	0
EMF-P	0	46.54903	0
EMF-TWR LEFT	4.582455	0.846284	1.603845
EMF-TWR RIGHT	4.582455	0.846284	1.603845
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.497315	0.370195	0.369695
EMF TOTAL	1.863159	0	0.682269
EMF-P	12.56254	0	5.400523
EMF-TWR LEFT	1.442039	0.783826	0.735228
EMF-TWR RIGHT	1.442039	0.783826	0.735228

Di sini kita melihat bahwa pada mode ke-2 atau mode-mode genap berikutnya didapatkan EMF yang bernilai nol dan kembali naik pada mode 3 atau mode-mode ganjil berikutnya. Pada umumnya untuk perhitungan nilai-nilai EMF akan menghasilkan nilai yang cukup besar pada mode-mode awal. Hal ini menunjukkan seolah-olah terdapat perhitungan EMF yang terabaikan dalam mode-mode genap. Jika kita perhatikan lebih lanjut EMF sub-struktur tower pada mode-mode yang menghasilkan EMF total nol ternyata memiliki nilai yang cukup besar, pada mode ke-2 misalnya, substruktur tower baik kiri maupun kanan memiliki EMF sebesar 41% tetapi memiliki nilai EMF secara total 0%.

Jika kita perhatikan karakteristik struktur di atas struktur tersebut pada mode-mode genap memiliki kecenderungan dimana podium tidak bergerak dan kedua tower tersebut mempunyai nilai pola ragam getar (ϕ) yang sama besar dan berlainan arah (simetris). Hal ini menyebabkan pada saat kita akan menghitung EMF nilai-nilai ϕ ini akan saling meniadakan. Sedangkan pada mode-mode yang mempunyai pergerakan anti-simetris podium dan sub-struktur tower masing-masing akan memiliki nilai EMF yang tidak nol. Selain itu, karena struktur ini hanya memiliki 2 substruktur tower yang memiliki jumlah tingkat yang sama maka pola ragam getar yang simetris dan anti-simetris akan muncul secara bergantian.

Pada struktur yang memiliki 2 tower sama tinggi seperti ini dapat kita lihat bahwa pada masing-masing modenya akan memiliki nilai EMF tower kiri dan kanan yang sama besar. Untuk meneliti lebih jauh mengenai nilai-nilai EMF pada setiap substruktur, maka penulis mencoba untuk melihat variasi model yang lain yaitu jika tingkat salah satu tower diubah menjadi 23 lantai dan 30 lantai.

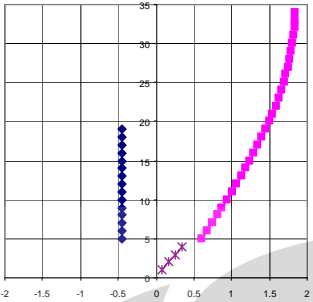
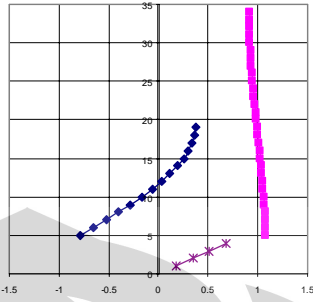
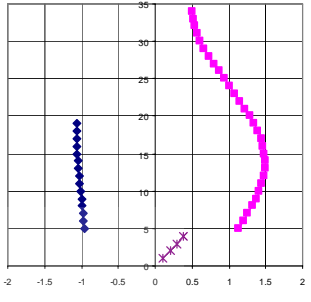
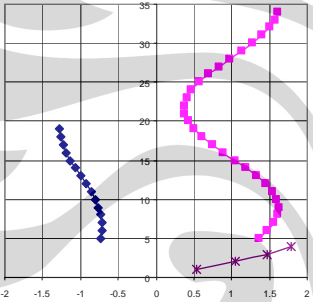
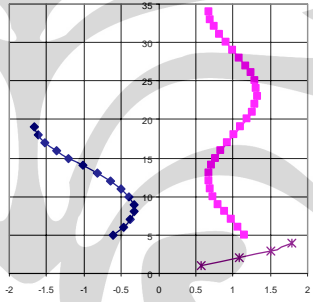
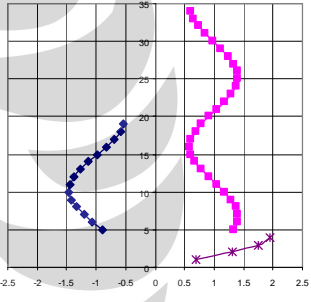
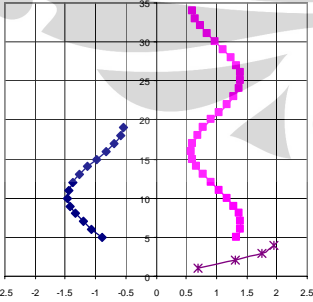
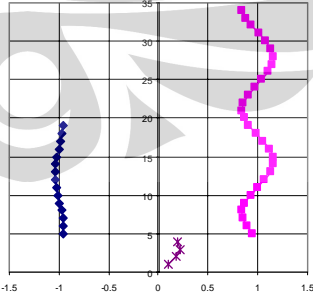
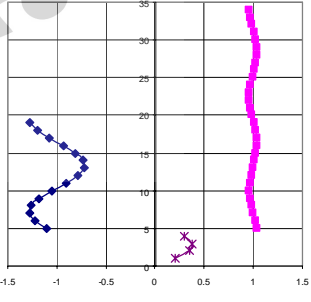
Tabel 4.2 Mode Shape Tipe 4-15-23

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	3.953861	2.635356	1.32935838
EMF TOTAL	34.65486	19.88915	7.4452851
EMF-P	0.183313	0.522746	2.734839
EMF-TWR LEFT	0.551804	84.81775	0.019729
EMF-TWR RIGHT	83.9992	0.260142	8.544177
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.941198	0.8000127	0.696198
EMF TOTAL	16.80379	2.69935644	11.50621
EMF-P	21.4526	5.931349	38.85379
EMF-TWR LEFT	4.274099	2.749448	0.580948
EMF-TWR RIGHT	0.000337	1.775971	0.671558
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.547743	0.50388	0.431937
EMF TOTAL	0.641677	1.073112	0.307702
EMF-P	4.044113	7.982901	2.793028
EMF-TWR LEFT	0.104499	2.934856	0.000882
EMF-TWR RIGHT	1.527453	0.020106	0.959675

Pada model ini terlihat bahwa periode struktur akan bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah tingkat sub-struktur tower menjadi 23 lantai karena sub-struktur tersebut menjadi lebih lentur dibandingkan dengan sub-struktur tower 15 lantai dan akan mempengaruhi periode struktur secara keseluruhan. Kemudian jika kita perhatikan pada model ini nilai EMF total mode-mode genap tidaklah bernilai nol. Pola ragam getar dari kedua sub-struktur tower yang berdiri di atas podium ini tidaklah sama lagi karena jumlah tingkat lantainya dibuat berbeda. Sub-struktur tower yang lebih tinggi akan mendominasi struktur pada mode pertama sedangkan sub-struktur tower yang lain pergerakannya relatif kecil atau cenderung untuk diam dan baru kemudian pada mode berikutnya bergantian dengan sub-struktur tower yang lebih rendah.

Kita juga melihat bahwa pada mode ke-3 kedua sub-struktur tower akan cenderung bergerak secara berlawanan sehingga menghasilkan nilai EMF secara total yang kecil dan berikutnya sama seperti struktur tipe 4-15-15 kedua sub-struktur yang berdiri di atas podium akan bergerak secara bergantian secara simetris dan anti-simetris. Dan pada mode-mode yang lebih tinggi sub-struktur podium akan lebih mendominasi struktur secara keseluruhan. Sebagai perbandingan kita juga akan melihat karakteristik pola ragam getar yang terjadi jika salah satu sub struktur tower kembali ditambahkan menjadi seperti tipe 4-15-30.

Tabel 4.3 Mode Shape Tipe 4-15-30

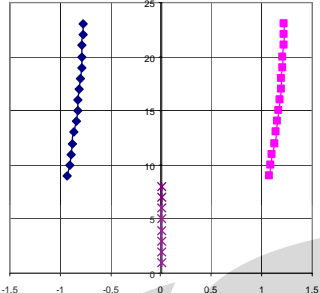
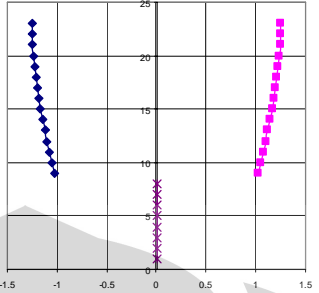
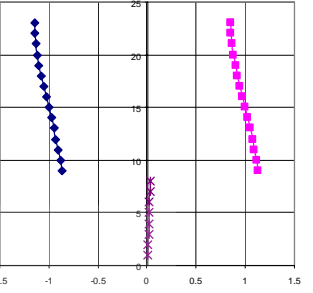
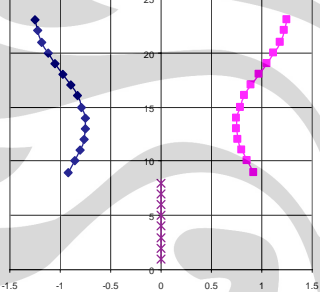
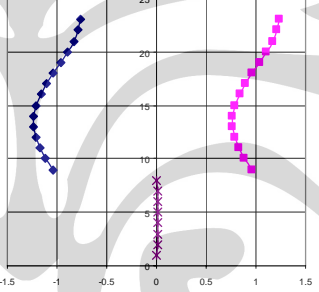
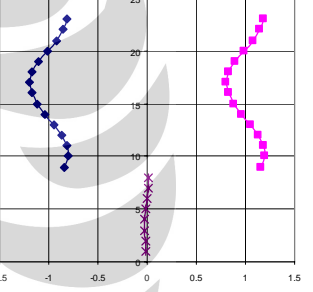
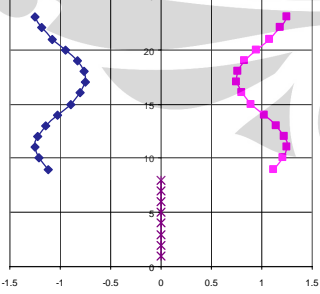
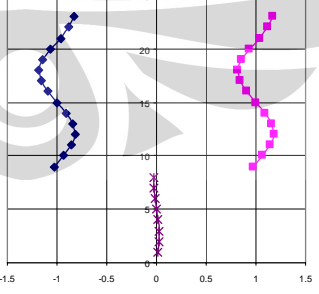
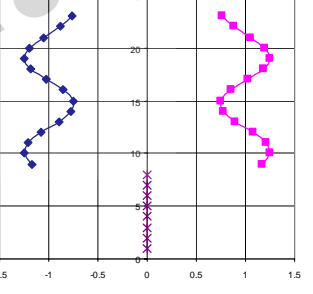
MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	5.095874	2.640881	1.70137763
EMF TOTAL	36.72423	20.31271	5.01468965
EMF-P	0.078011	0.58211	0.796308
EMF-TWR LEFT	0.152221	85.04439	0.21077
EMF-TWR RIGHT	83.62049	0.007744	8.944976
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.050275	0.91348803	0.760964
EMF TOTAL	9.988276	8.01309027	6.835925
EMF-P	9.545006	12.4673	19.36875
EMF-TWR LEFT	0.309914	4.98281	2.075186
EMF-TWR RIGHT	2.187372	0.475991	0.437987
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.678571	0.553909	0.504445
EMF TOTAL	6.789523	0.535263	0.868118
EMF-P	27.17272	3.620677	7.092195
EMF-TWR LEFT	0.218425	0.06325	2.964391
EMF-TWR RIGHT	0.771785	0.942632	0.001643

Setelah kita bandingkan struktur dengan tipe 4 lantai podium 2 tower, dapat kita lihat bahwa jika struktur towernya simetris dalam arti mempunyai jumlah tingkat yang sama yaitu 15 lantai, maka akan muncul mode-mode dimana EMF total dan podium-nya akan sama dengan nol, sedangkan pada mode-mode yang tidak simetris maka nilai EMF total tidak sama dengan nol dan nilai EMF dari kedua sub-struktur tower akan bernilai sama besar.

Pada bangunan dengan salah satu sub-struktur towernya dinaikkan akan terlihat bahwa nilai-nilai EMF masing-masing tower akan mendominasi secara bergantian, selain itu nilai pada EMF podium tidak begitu berpengaruh besar pada mode-mode awal. Hal ini kemungkinan besar disebabkan karena struktur podium tersebut masih terbilang cukup kaku atau masif sehingga jika kita bandingkan dengan EMF tower yang dihitung secara terpisah nilainya akan cukup mendekati.

Berikutnya penulis akan mencoba untuk melihat bentuk-bentuk mode shape yang akan terjadi jika sub-struktur podium ditinggikan, maksudnya adalah untuk melihat perilaku struktur yang terjadi bila struktur tersebut dibuat menjadi lebih lentur, namun dengan jumlah tower yang sama. Dalam hal ini podium akan dinaikkan menjadi 8 dan 12 tingkat. Berikut adalah tabulasi yang dilakukan sebagai perbandingan:

Tabel 4.4 Mode Shape Tipe 8-15-15

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	3.016523	2.538694	1.408745
EMF TOTAL	53.80925	0	34.17163
EMF-P	6.711955	0	61.95433
EMF-TWR LEFT	42.3246	41.8055	0.659748
EMF-TWR RIGHT	42.3246	41.8055	0.659748
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.849083	0.828096	0.547553
EMF TOTAL	0	2.558792	3.165707
EMF-P	0	14.69182	8.475338
EMF-TWR LEFT	4.582206	3.827982	0.608362
EMF-TWR RIGHT	4.582206	3.827982	0.608362
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.512949	0.471198	0.370195
EMF TOTAL	0	2.562753	0
EMF-P	0	1.397413	0
EMF-TWR LEFT	1.603758	0.612801	0.783783
EMF-TWR RIGHT	1.603758	0.612801	0.783783

Setelah kita tambahkan jumlah tingkat pada sub-struktur podium dalam kasus ini menjadi 8 tingkat, dapat kita bandingkan dengan struktur podium 4 lantai yang bersesuaian terlihat bahwa periode pada setiap mode juga akan naik. Pada setiap mode di atas nilai EMF untuk tiap sub-struktur tower tetap sama karena memiliki jumlah lantai yang sama juga. Akan tetapi, sifat-sifat yang ada pada mode-mode baik yang simetris maupun yang tidak simetris masih tetap sama. EMF total yang besar akan muncul pada mode-mode awal secara bergantian dengan mode-mode genap atau mode yang bernilai nol.

EMF total pada mode-mode yang genap tetap bernilai nol karena struktur tersebut masih mempunyai kecenderungan yang sama, yaitu sub-struktur podiumnya cenderung untuk tidak bergerak dan kedua sub-struktur tower memiliki pola ragam getar yang tepat simetris dengan nilai yang sama besar. Yang perlu diingat adalah meskipun nilai EMF total dari struktur tersebut sama dengan nol, nilai-nilai pada sub-strukturinya tidaklah nol dan masih bernilai cukup besar pada mode-mode awal. Artinya sub-struktur ini masih dapat memberikan gaya geser dasar yang pengaruhnya cukup besar bagi struktur secara keseluruhan. Selanjutnya mari kita perhatikan pola ragam getar ketika dilakukan variasi jumlah lantai pada sub-struktur towernya.

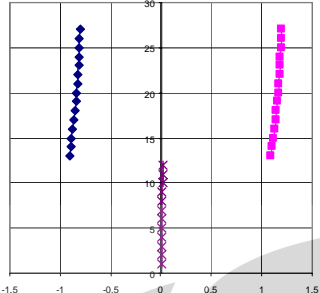
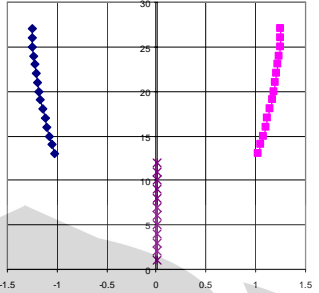
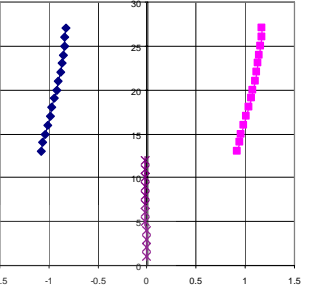
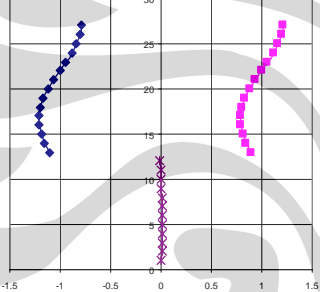
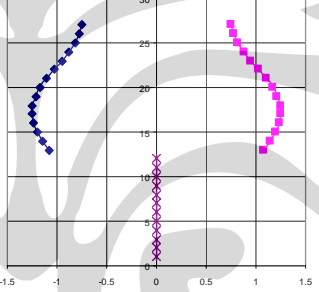
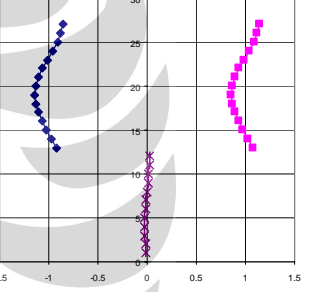
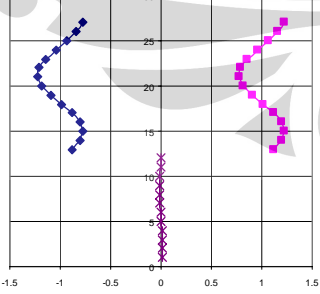
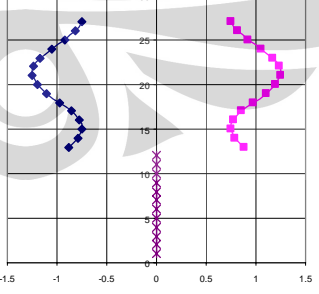
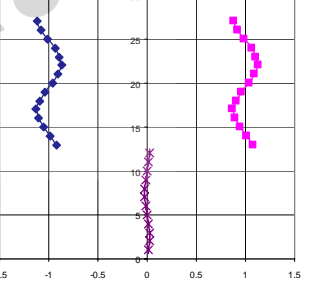
Tabel 4.5 Mode Shape Tipe 8-15-23

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	4.092593	2.751638	1.538095
EMF TOTAL	34.48621	18.86472	28.22808
EMF-P	1.44031	3.60955	42.20156
EMF-TWR LEFT	2.381823	80.7934	1.666798
EMF-TWR RIGHT	83.15326	1.641966	1.94497
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.202233	0.838458	0.769705
EMF TOTAL	7.803187	1.125822	0.766055
EMF-P	24.11318	6.935371	4.96012
EMF-TWR LEFT	0.004933	8.333482	0.021586
EMF-TWR RIGHT	5.593706	0.029955	3.075476
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.566259	0.529686	0.480948
EMF TOTAL	1.481804	1.249661	2.27661
EMF-P	5.22869	2.869656	1.857441
EMF-TWR LEFT	0.070184	1.644206	1.108216
EMF-TWR RIGHT	1.075368	0.317932	0.002894

Tabel 4.6 Mode Shape Tipe 8-15-30

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	5.21399	2.782023	1.778233
EMF TOTAL	32.3247	23.04681	11.31232
EMF-P	0.560234	4.52611	11.18699
EMF-TWR LEFT	0.645232	81.4116	2.397642
EMF-TWR RIGHT	84.20668	0.113096	6.867725
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.377926	0.986144	0.837566
EMF TOTAL	22.42434	1.091151	1.246708
EMF-P	50.37465	5.68208	8.21584
EMF-TWR LEFT	0.35206	0.115635	8.279391
EMF-TWR RIGHT	0.847369	2.994335	0.000546
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.716961	0.568303	0.531968
EMF TOTAL	0.435441	1.070836	1.478144
EMF-P	2.97596	4.114679	3.749911
EMF-TWR LEFT	1.5E-05	0.045817	1.544358
EMF-TWR RIGHT	1.585578	0.703476	0.135203

Tabel 4.7 Mode Shape Tipe 12-15-15

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	3.406436	2.538694	1.796492
EMF TOTAL	63.60318	0	23.84387
EMF-P	19.02383	0	57.88094
EMF-TWR LEFT	36.48483	41.80603	6.487247
EMF-TWR RIGHT	36.48483	41.80603	6.487247
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.888865	0.849083	0.706982
EMF TOTAL	2.994242	0	4.335864
EMF-P	11.5553	0	3.276217
EMF-TWR LEFT	3.211518	4.582264	0.530108
EMF-TWR RIGHT	3.211518	4.582264	0.530108
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.517586	0.512949	0.442
EMF TOTAL	0.722887	0	1.753636
EMF-P	0.009263	0	3.084402
EMF-TWR LEFT	1.233119	1.603778	0.091407
EMF-TWR RIGHT	1.233119	1.603778	0.091407

Tabel 4.8 Mode Shape Tipe 12-15-30

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	5.360426	3.00788	1.993827
EMF TOTAL	33.6346	30.88066	18.64673
EMF-P	2.032888	16.18325	37.76477
EMF-TWR LEFT	1.577825	66.69472	16.04504
EMF-TWR RIGHT	83.43199	0.853439	1.441874
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.586524	1.004866	0.871403
EMF TOTAL	5.554751	0.751101	1.564734
EMF-P	20.53739	4.216739	6.301071
EMF-TWR LEFT	0.45796	0.004507	7.318969
EMF-TWR RIGHT	6.343296	3.052142	0.018056
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.748485	0.68791	0.558576
EMF TOTAL	2.231224	2.045678	0.175537
EMF-P	3.540415	1.165101	0.000277
EMF-TWR LEFT	0.845826	0.158718	0.001995
EMF-TWR RIGHT	0.60491	0.788604	0.939854

Berdasarkan tabulasi di atas maka dapat kita lihat bila struktur dibuat menjadi lebih lentur maka periode bangunan tersebut juga akan naik. Kecenderungan perilaku struktur baik untuk tower simetris maupun anti simetris masih tetap sama nilai EMF total pada struktur yang mempunyai tower yang bersifat simetris masih bernilai nol dan pada tower-tower yang memiliki perbedaan tinggi mode-modenya akan didominasi oleh sub struktur tower secara bergantian.

Pada variasi terhadap jumlah lantai podium ini dapat kita lihat pada mode pertama dari struktur yang memiliki tower kembar dan bergerak ke arah yang sama (anti-simetris) akan memiliki nilai EMF total cukup besar dibandingkan dengan EMF sub-struktur tower-nya. Semakin tinggi jumlah lantai podium, maka EMF total pada struktur semacam ini juga akan semakin besar karena penambahan jumlah lantai podium akan mengakibatkan sub-struktur podium menjadi lebih lentur sehingga massa yang bergerak pada sub-struktur podium ini menjadi lebih besar.

Kontribusi dari sub-struktur podium akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah lantai podium sedangkan EMF untuk sub-struktur tower jika dibandingkan dengan tipe tower yang sama akan cenderung menurun. Untuk analisa lebih lanjut penulis juga akan mencoba melihat variasi yang terjadi jika jumlah tower yang berdiri di atas podium diperbanyak. Dalam hal ini akan dilihat mode shape bila terdapat 3 tower yang berdiri di atas podium. Selain itu kita juga ingin melihat kombinasi gaya geser yang akan terjadi pada level atap podium

Tabel 4.9 Mode Shape Tipe 4-15-15-15

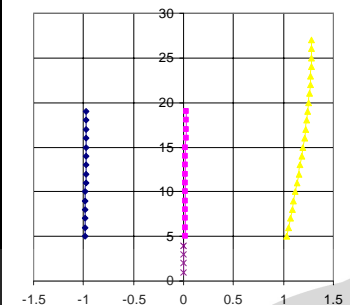
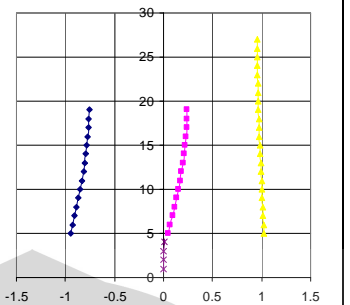
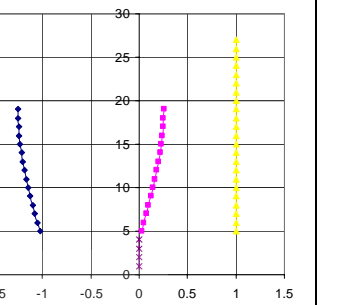
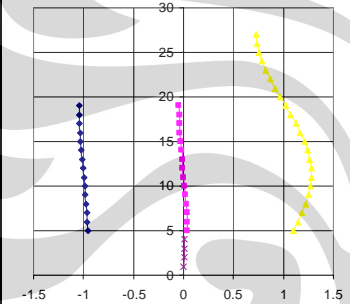
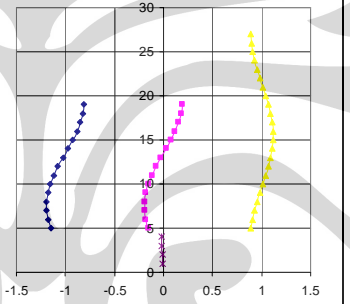
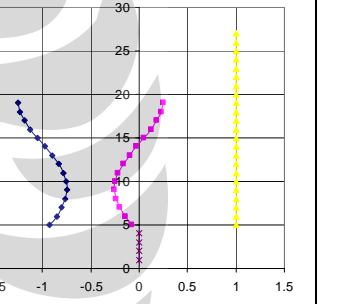
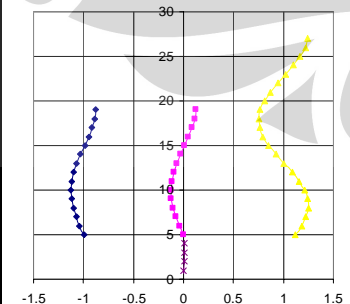
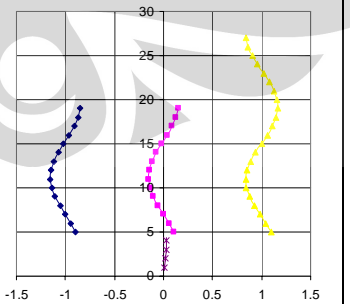
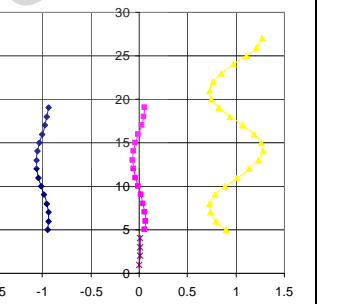
MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	2.85	2.538694	2.538694
EMF TOTAL	63.39728	0	0
EMF-P	1.412501	0	0
EMF-TWR LEFT	29.53563	50.70493	5.039227
EMF-TWR MID	29.53838	30.29539	25.44699
EMF-TWR RIGHT	29.53642	2.613507	53.13222
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.018351	0.849083	0.849083
EMF TOTAL	19.6811	0	0
EMF-P	21.92277	0	0
EMF-TWR LEFT	1.146549	1.742233	4.368762
EMF-TWR MID	1.146656	1.322119	4.786736
EMF-TWR RIGHT	1.14658	6.098392	0.009678
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.689038	0.512949	0.512949
EMF TOTAL	10.31546	0	0
EMF-P	40.92755	0	0
EMF-TWR LEFT	0.474566	0.482066	1.656742
EMF-TWR MID	0.47461	0.590118	1.549028
EMF-TWR RIGHT	0.474578	2.138107	0.001859

Pada struktur podium multi tower dengan tiga tower berdiri di atas podium seperti pada tipe struktur 4-15-15-15 ini masih kita jumpai beberapa mode yang menghasilkan EMF bernilai nol. Bahkan kali ini pengulangan mode shape seperti ini terjadi 2 kali berturut-turut. Jika kita bandingkan dengan model tipe 4-15-15 periode strukturnya tidak jauh berbeda karena kedua model ini mempunyai jumlah tingkat struktur secara total sama besar.

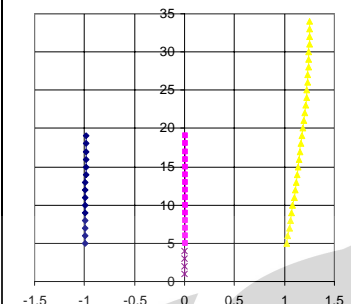
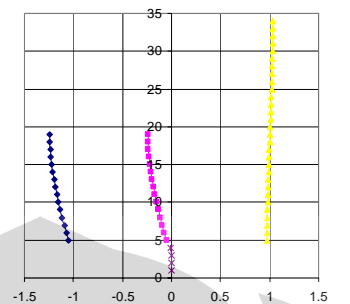
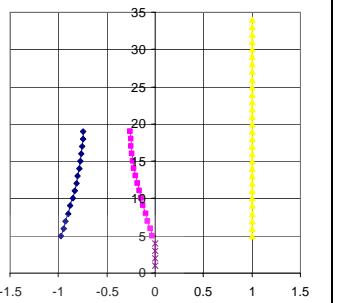
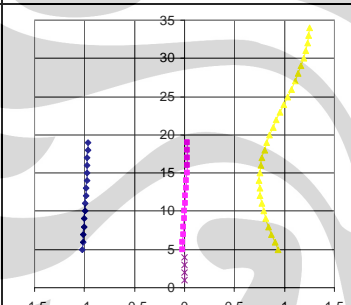
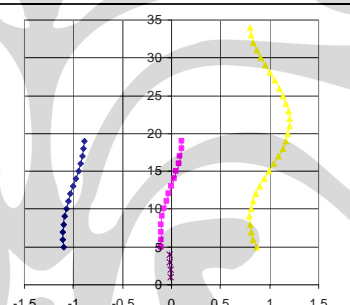
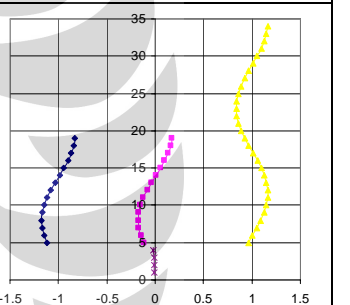
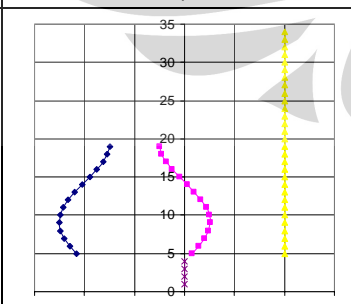
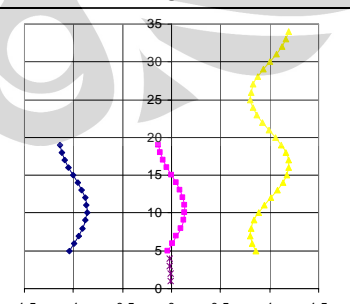
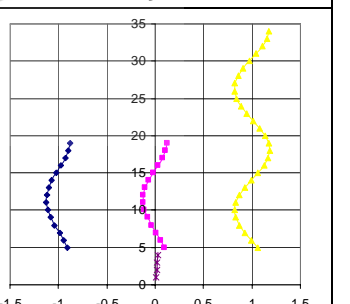
Namun jika kita melihat pergerakan dari mode shapenya, untuk struktur yang memiliki 3 sub-struktur tower yang sama tinggi pola-pola ragam getar yang memiliki kecenderungan untuk bergerak secara simetris akan terjadi dua kali. Yaitu akibat interaksi antara sub-struktur tower tengah dengan sub-struktur tower kiri dan interaksi antara sub-struktur tower tengah dengan sub-struktur tower kanan. Resultan dari pergerakan pola ragam getar ini secara keseluruhan akan saling meniadakan sehingga dapat menghasilkan EMF total yang bernilai nol. Dengan demikian nilai-nilai EMF total yang tidak sama dengan nol hanya akan muncul pada mode-mode yang bentuk pola ragam getar dari ketiga sub-tower tersebut sama persis atau searah.

Berikutnya akan kita perhatikan bentuk-bentuk mode shape dan besarnya EMF yang terjadi jika jumlah tingkatan pada sub-tower yang berdiri di atas podium divariasikan seperti yang ditampilkan pada tabulasi berikut:

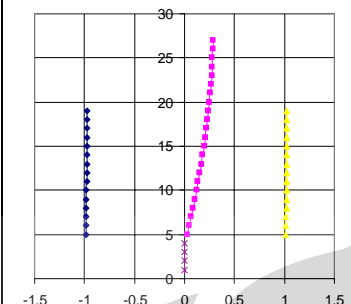
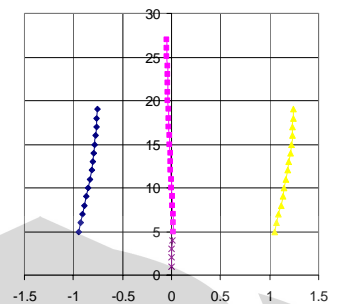
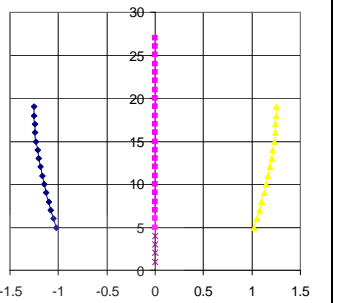
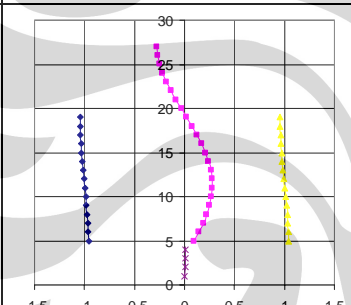
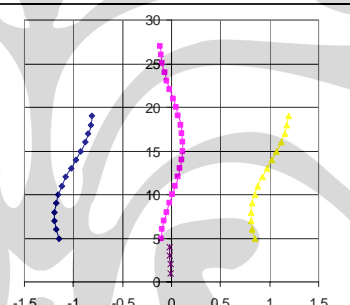
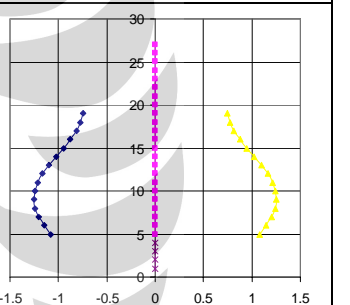
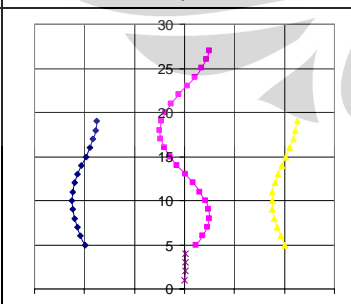
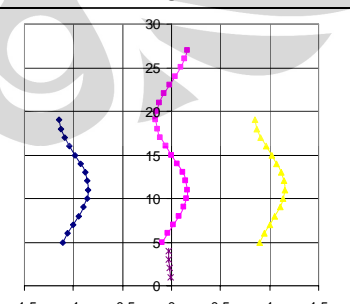
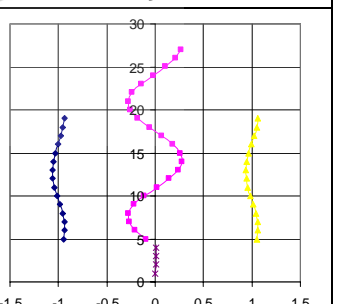
Tabel 4.10 Mode Shape Tipe 4-15-15-23

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	3.963814	2.732538	2.538694
EMF TOTAL	32.69617	31.97823	0
EMF-P	0.217971	0.92857	0
EMF-TWR LEFT	0.651859	42.76608	41.80905
EMF-TWR MID	0.651859	42.76608	41.80905
EMF-TWR RIGHT	83.48745	0.685515	0
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.329358	0.981228	0.849083
EMF TOTAL	5.759871	14.12313	0
EMF-P	2.690696	19.77475	0
EMF-TWR LEFT	0.019296	1.849372	4.582595
EMF-TWR MID	0.019296	1.849372	4.582595
EMF-TWR RIGHT	8.429608	0.047382	0
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.790474	0.685887	0.548985
EMF TOTAL	1.099438	8.169237	0.356729
EMF-P	3.169622	36.26854	2.790782
EMF-TWR LEFT	0.960616	0.376983	0.064549
EMF-TWR MID	0.960616	0.376983	0.064549
EMF-TWR RIGHT	2.246746	0.381406	1.519448

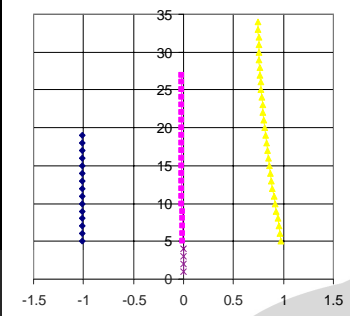
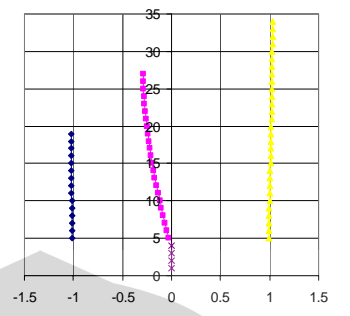
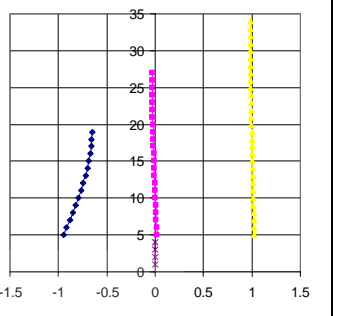
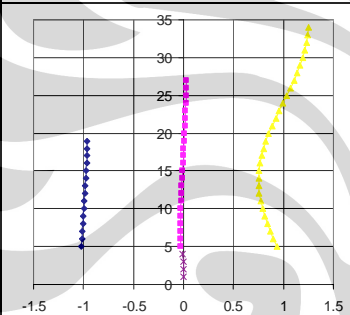
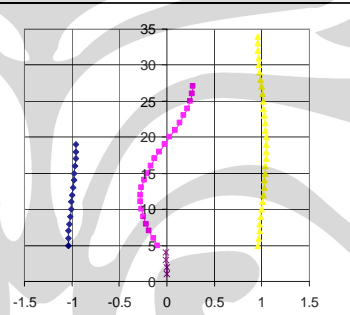
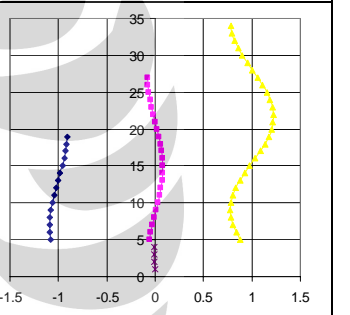
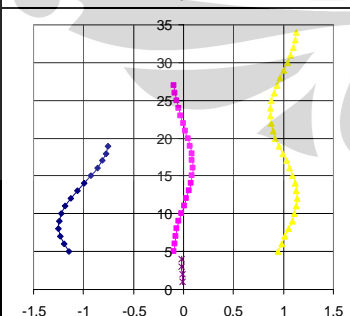
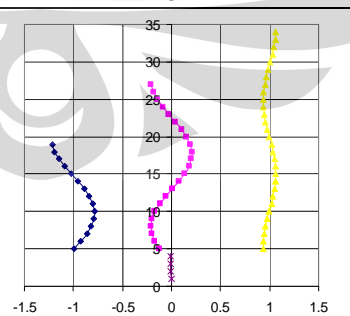
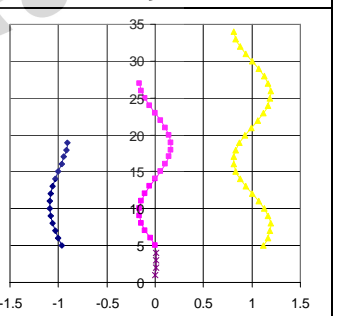
Tabel 4.11 Mode Shape Tipe 4-15-15-30

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	5.1	2.744444	2.538694
EMF TOTAL	32.78009	33.59085	0
EMF-P	0.087048	1.037515	0
EMF-TWR LEFT	0.169595	43.1072	41.80844
EMF-TWR MID	0.169595	43.1072	41.80844
EMF-TWR RIGHT	83.5329	0.035088	0
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.698625	1.063038	0.941761
EMF TOTAL	3.4311	10.31491	5.38
EMF-P	0.686495	11.79273	9.399314
EMF-TWR LEFT	0.178862	0.313625	1.839527
EMF-TWR MID	0.178862	0.313625	1.839527
EMF-TWR RIGHT	8.917966	1.654324	1.044911
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.849083	0.746622	0.673348
EMF TOTAL	0	3.288363	5.535383
EMF-P	0	12.27099	28.02556
EMF-TWR LEFT	4.582528	0.836351	0.180394
EMF-TWR MID	4.582528	0.836351	0.180394
EMF-TWR RIGHT	0	0.72413	0.55676

Tabel 4.12 Mode Shape Tipe 4-15-23-15

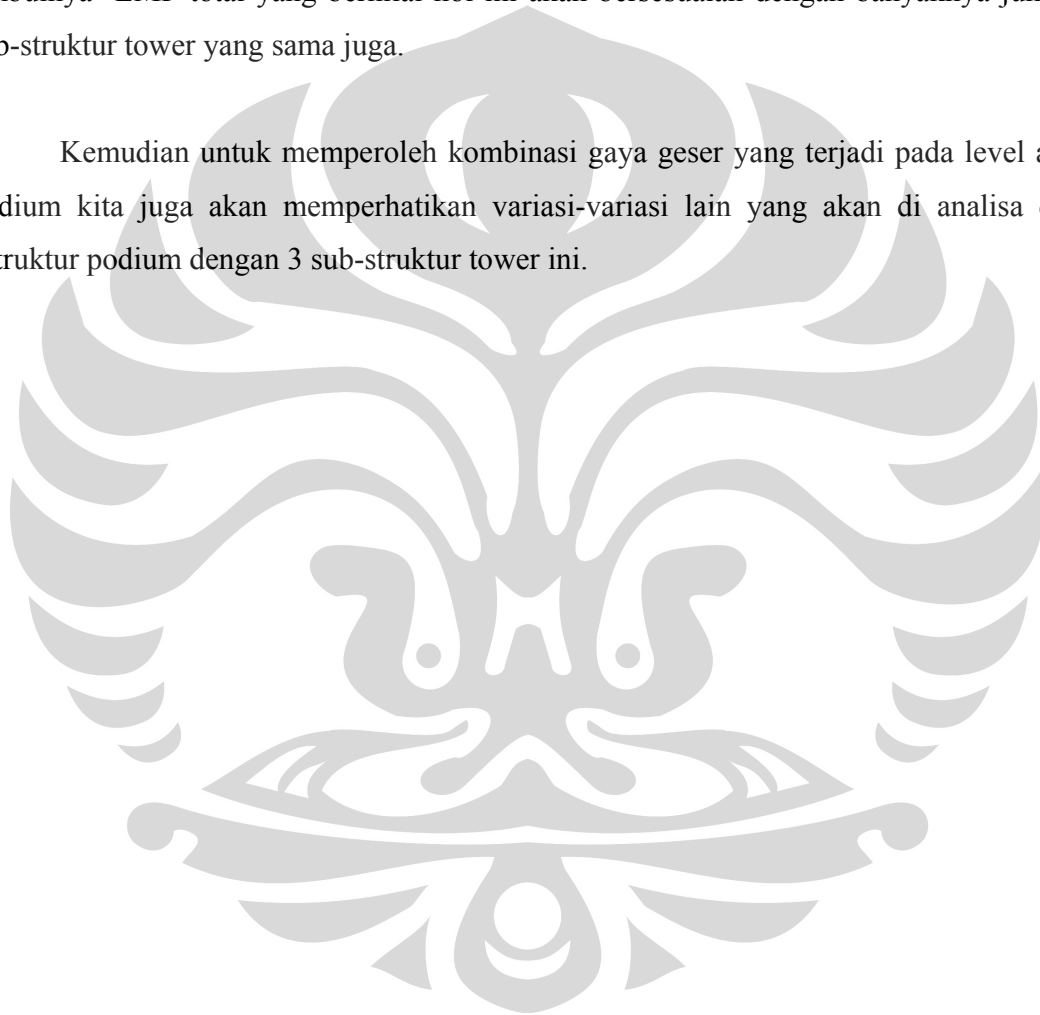
MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	3.963814	2.732538	2.538694
EMF TOTAL	32.69617	31.97823	0
EMF-P	0.217971	0.92857	0
EMF-TWR LEFT	0.651859	42.76608	41.80905
EMF-TWR MID	83.48745	0.685515	0
EMF-TWR RIGHT	0.651859	42.76608	41.80905
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.329358	0.981228	0.849083
EMF TOTAL	5.759871	14.12313	0
EMF-P	2.690696	19.77475	0
EMF-TWR LEFT	0.019296	1.849372	4.582595
EMF-TWR MID	8.429608	0.047382	0
EMF-TWR RIGHT	0.019296	1.849372	4.582595
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.790474	0.685887	0.548985
EMF TOTAL	1.099438	8.169237	0.356729
EMF-P	3.169622	36.26854	2.790782
EMF-TWR LEFT	0.960616	0.376983	0.064549
EMF-TWR MID	2.246746	0.381406	1.519448
EMF-TWR RIGHT	0.960616	0.376983	0.064549

Tabel 4.13 Mode Shape Tipe 4-15-23-30

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	5.104133	3.946429	2.636459
EMF TOTAL	33.07525	20.0134	13.51532
EMF-P	0.094939	0.159895	0.531737
EMF-TWR LEFT	0.184823	0.483504	84.30448
EMF-TWR MID	0.761152	83.16233	0.265481
EMF-TWR RIGHT	83.0586	0.520863	0.00681
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.703218	1.327677	1.044354
EMF TOTAL	4.131212	4.493086	5.56981
EMF-P	0.888776	2.480317	7.370868
EMF-TWR LEFT	0.238654	0.017341	0.260843
EMF-TWR MID	0.016232	8.339213	0.149132
EMF-TWR RIGHT	8.823591	0.036889	2.196147
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.918149	0.801846	0.738134
EMF TOTAL	5.692972	1.804657	1.507059
EMF-P	11.79035	5.8499	6.331451
EMF-TWR LEFT	4.09579	2.935006	0.333625
EMF-TWR MID	0.014931	1.521754	0.913246

Jika kita perhatikan pada struktur dengan tipe 4-15-23-30 selain terdapat nilai periode yang meningkat kita juga melihat bahwa tidak terdapat EMF total yang bernilai nol pada setiap mode nya. Dari sini dapat kita ketahui bahwa banyaknya nilai EMF yang nol pada mode-mode dari masing-masing struktur sangat bergantung pada banyaknya jumlah sub-struktur tower yang memiliki karakteristik yang sama. Selain itu pengulangan timbulnya EMF total yang bernilai nol ini akan bersesuaian dengan banyaknya jumlah sub-struktur tower yang sama juga.

Kemudian untuk memperoleh kombinasi gaya geser yang terjadi pada level atap podium kita juga akan memperhatikan variasi-variasi lain yang akan di analisa dari sutruktur podium dengan 3 sub-struktur tower ini.



Tabel 4.14 Mode Shape Tipe 4-15-30-15

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	5.1	2.744444	2.538694
EMF TOTAL	32.78009	33.59085	0
EMF-P	0.087048	1.037515	0
EMF-TWR LEFT	0.169595	43.1072	41.80844
EMF-TWR MID	83.5329	0.035088	0
EMF-TWR RIGHT	0.169595	43.1072	41.80844
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.698625	1.063038	0.941761
EMF TOTAL	3.4311	10.31491	5.38
EMF-P	0.686495	11.79273	9.399314
EMF-TWR LEFT	0.178862	0.313625	1.839527
EMF-TWR MID	8.917966	1.654324	1.044911
EMF-TWR RIGHT	0.178862	0.313625	1.839527
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.849083	0.746622	0.673348
EMF TOTAL	0	3.288363	5.535383
EMF-P	0	12.27099	28.02556
EMF-TWR LEFT	4.582528	0.836351	0.180394
EMF-TWR MID	0	0.72413	0.55676
EMF-TWR RIGHT	4.582528	0.836351	0.180394

Tabel 4.15 Mode Shape Tipe 4-15-30-23

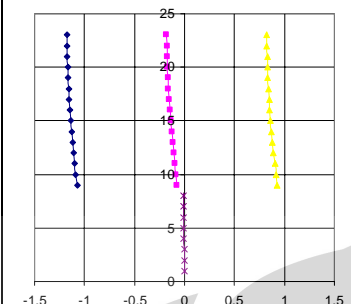
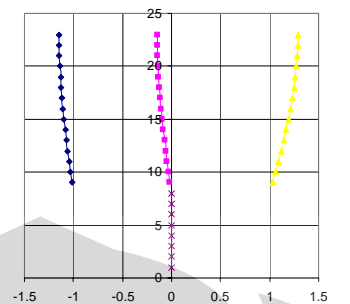
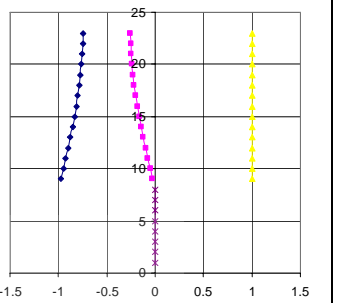
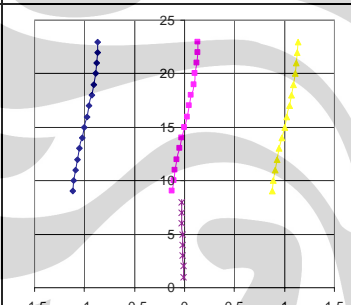
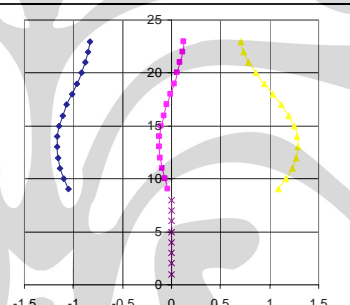
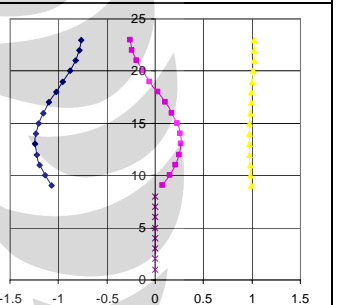
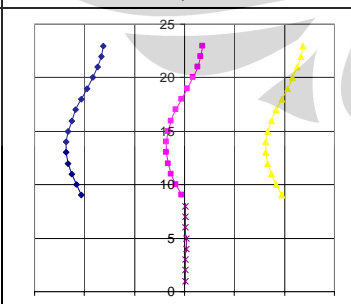
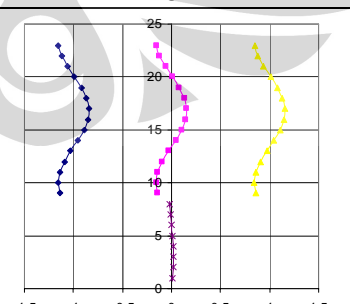
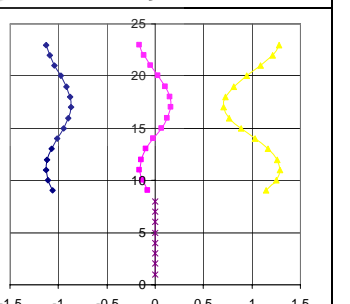
MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	5.104133	3.946429	2.636459
EMF TOTAL	33.07525	20.0134	13.51532
EMF-P	0.094939	0.159895	0.531737
EMF-TWR LEFT	0.184823	0.483504	84.30448
EMF-TWR MID	83.0586	0.520863	0.00681
EMF-TWR RIGHT	0.761152	83.16233	0.265481
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.703218	1.327677	1.044354
EMF TOTAL	4.131212	4.493086	5.56981
EMF-P	0.888776	2.480317	7.370868
EMF-TWR LEFT	0.238654	0.017341	0.260843
EMF-TWR MID	8.823591	0.036889	2.196147
EMF-TWR RIGHT	0.016232	8.339213	0.149132
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.918149	0.801846	0.738134
EMF TOTAL	5.692972	1.804657	1.507059
EMF-P	11.79035	5.8499	6.331451
EMF-TWR LEFT	4.09579	2.935006	0.333625
EMF-TWR MID	0.530394	0.007426	0.787629
EMF-TWR RIGHT	0.014931	1.521754	0.913246

Setelah kita melakukan tabulasi seperti di atas dapat kita lihat bahwa nilai-nilai EMF yang kecil atau bahkan bernilai nol masih tetap terjadi untuk bangunan yang memiliki 2 sub-struktur tower yang sama tinggi dan mempunyai pergerakan mode shape yang simetris. Sub-struktur tower lainnya pada kasus ini cenderung untuk tidak bergerak sehingga dapat menghasilkan EMF total nol.

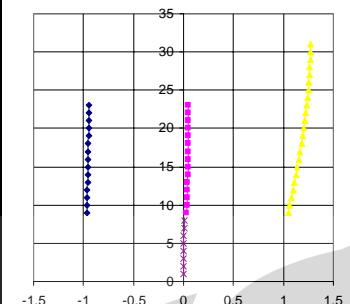
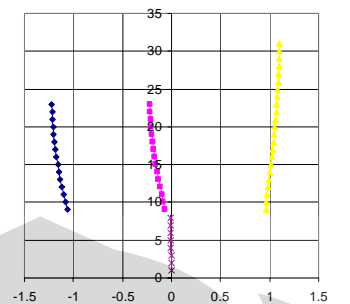
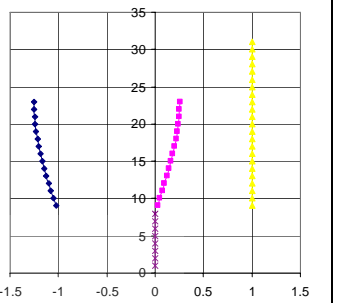
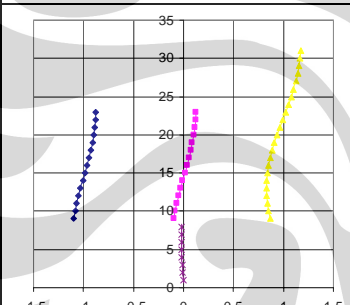
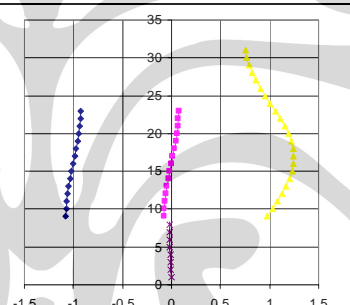
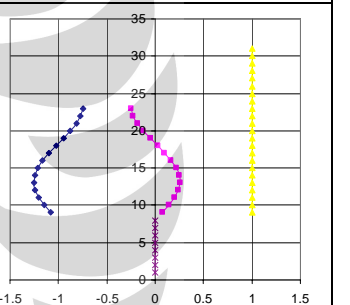
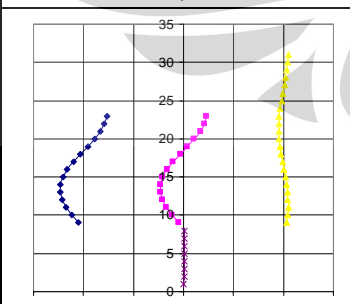
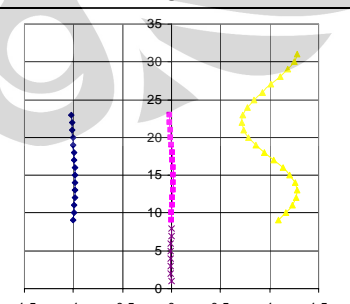
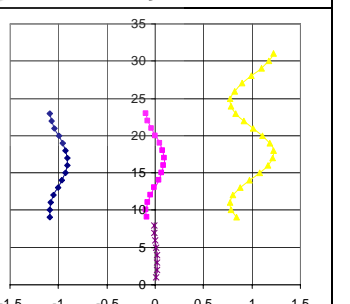
Selain itu kita juga melihat untuk setiap mode pertama periode bangunan benar-benar ditentukan atau didominasi oleh tinggi total yang sama. Oleh karena itu, sub-struktur tower tertinggi akan menentukan periode bangunan pada mode-mode awal meskipun tingkatan sub-struktur tower lainnya dibuat bervariasi. Hal ini dapat kita lihat dari nilai-nilai periode mode pertama untuk stuktur yang memiliki tinggi total yang sama akan menghasilkan nilai periode yang sama juga.

Nilai-nilai EMF terbesar dalam tiap mode untuk setiap sub-struktur terlihat akan muncul juga secara bergantian, dimulai dari sub-struktur yang tertinggi. Hal ini menunjukkan karakteristik modeshape struktur tersebut secara keseluruhan akan sangat tergantung atau didominasi oleh-sub-sub strukturnya secara bergantian pada tiap-tiap mode. Selanjutnya variasi yang sama akan dilakukan juga terhadap bangunan dengan tiga tower seperti ini, yaitu dengan menambahkan jumlah tingkat podium atau dengan kata lain membuat struktur bangunan ini menjadi semakin lentur.

Tabel 4.16 Mode Shape Tipe 8-15-15-15

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	3.234977	2.538694	2.538694
EMF TOTAL	64.70614	0	0
EMF-P	7.513159	0	0
EMF-TWR LEFT	28.52534	13.94558	41.79449
EMF-TWR MID	28.52487	13.92222	41.81717
EMF-TWR RIGHT	28.52616	55.73765	4.27E-06
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.391319	0.849083	0.849083
EMF TOTAL	24.33614	0	0
EMF-P	55.1145	0	0
EMF-TWR LEFT	0.461138	1.999886	4.109318
EMF-TWR MID	0.461131	1.099458	5.008993
EMF-TWR RIGHT	0.461152	6.062682	0.044393
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.821615	0.557291	0.512949
EMF TOTAL	2.959313	2.827674	0
EMF-P	20.00906	9.079017	0
EMF-TWR LEFT	2.354676	0.317707	0.417678
EMF-TWR MID	2.354637	0.317702	0.660666
EMF-TWR RIGHT	2.354744	0.317717	2.129789

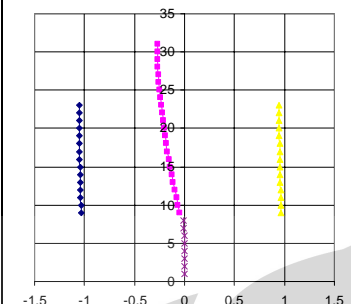
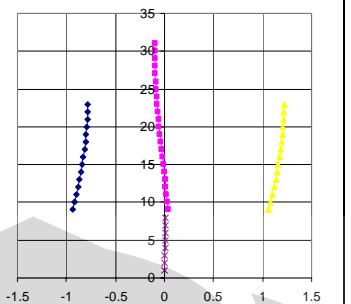
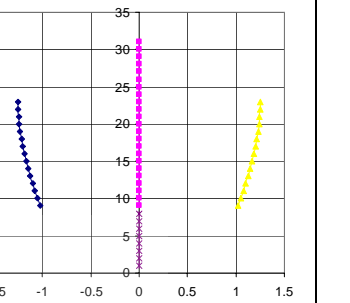
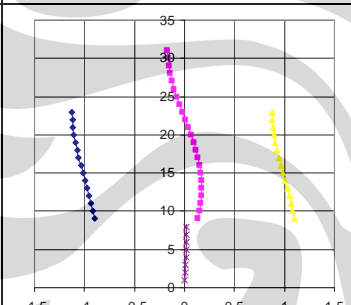
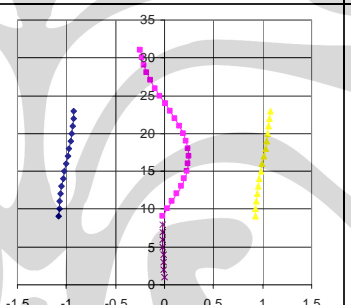
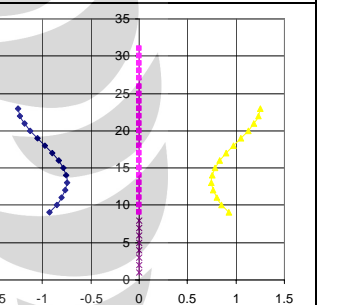
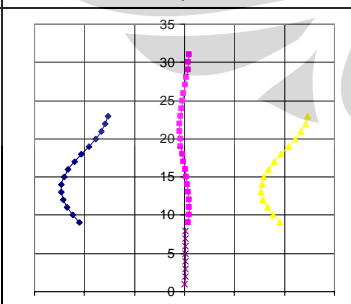
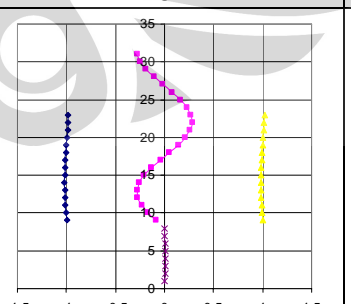
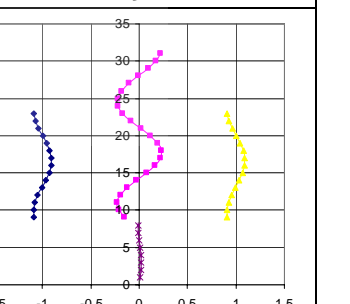
Tabel 4.17 Mode Shape Tipe 8-15-15-23

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	4.138305	2.936364	2.538694
EMF TOTAL	38.65807	26.34148	0
EMF-P	1.862269	4.740046	0
EMF-TWR LEFT	3.004885	38.86794	41.80593
EMF-TWR MID	3.004885	38.86794	41.80593
EMF-TWR RIGHT	80.04405	4.516181	0
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.507539	1.206147	0.849083
EMF TOTAL	19.08492	6.007206	0
EMF-P	36.2899	21.82137	0
EMF-TWR LEFT	1.08423	0.003285	4.582252
EMF-TWR MID	1.08423	0.003285	4.582252
EMF-TWR RIGHT	2.2102	5.554436	0
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.830608	0.770082	0.569897
EMF TOTAL	1.725078	0.730101	1.665138
EMF-P	12.41286	5.431428	6.532096
EMF-TWR LEFT	3.819943	0.017749	0.076748
EMF-TWR MID	3.819943	0.017749	0.076748
EMF-TWR RIGHT	0.059007	3.045814	0.820035

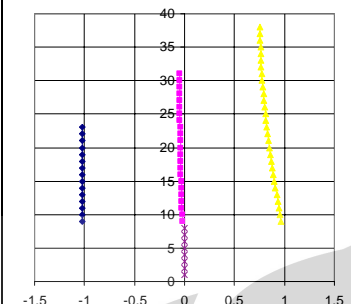
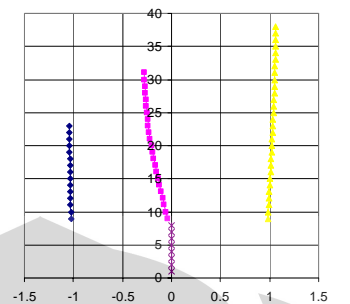
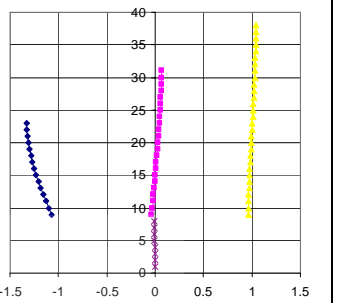
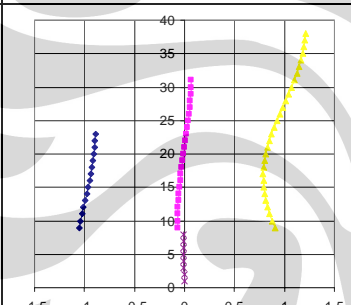
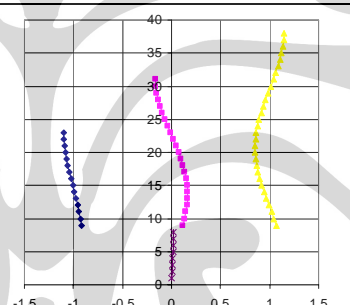
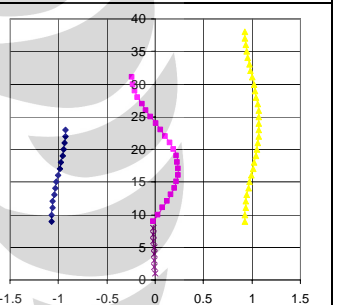
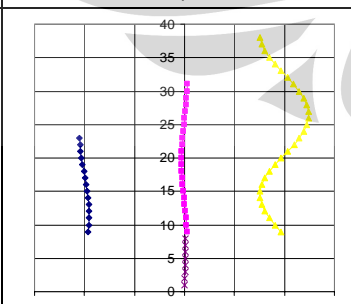
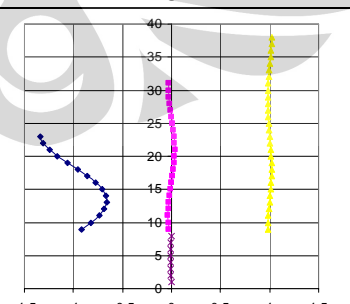
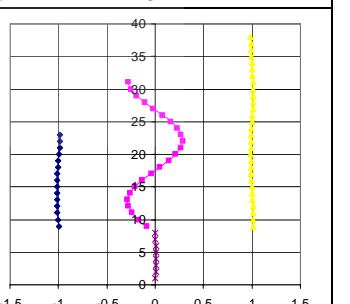
Tabel 4.18 Mode Shape Tipe 8-15-15-30

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	5.231312	2.996432	2.538694
EMF TOTAL	32.3109	34.29871	0
EMF-P	0.658104	6.063699	0
EMF-TWR LEFT	0.753948	40.50618	41.80807
EMF-TWR MID	0.753948	40.50618	41.80807
EMF-TWR RIGHT	83.60768	0.477312	0
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.753968	1.367752	0.98831
EMF TOTAL	6.200403	17.18398	0.728443
EMF-P	7.61803	46.57904	4.402503
EMF-TWR LEFT	1.39104	0.274443	0.082878
EMF-TWR MID	1.39104	0.274443	0.082878
EMF-TWR RIGHT	7.283944	0.640388	3.017355
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.849083	0.829296	0.717287
EMF TOTAL	0	1.90466	0.3814
EMF-P	0	14.54896	2.945414
EMF-TWR LEFT	4.582487	3.786905	2.16E-05
EMF-TWR MID	4.582487	3.786905	2.16E-05
EMF-TWR RIGHT	0	0.000178	1.5834

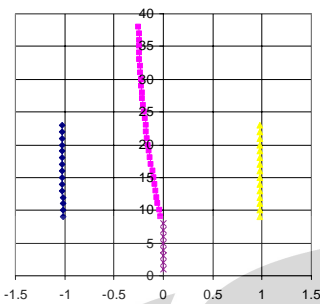
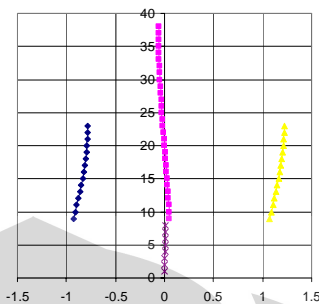
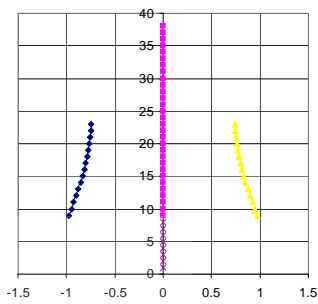
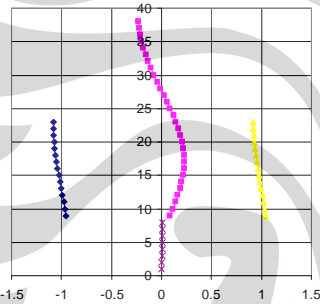
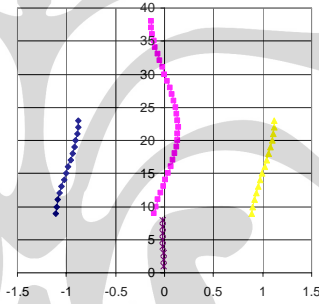
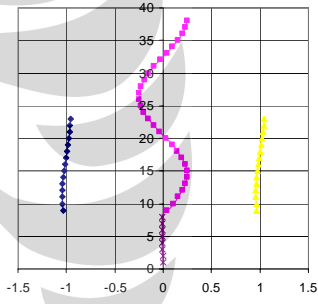
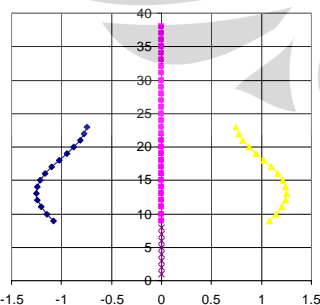
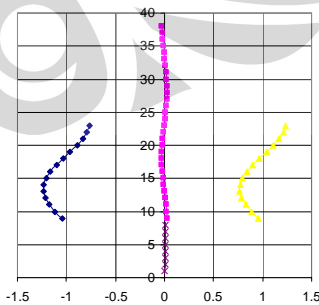
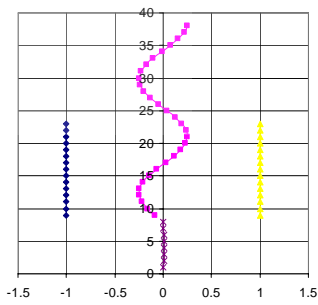
Tabel 4.19 Mode Shape Tipe 8-15-23-15

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	4.138305	2.936364	2.538694
EMF TOTAL	38.65807	26.34148	0
EMF-P	1.862269	4.740046	0
EMF-TWR LEFT	3.004885	38.86794	41.80593
EMF-TWR MID	80.04405	4.516181	0
EMF-TWR RIGHT	3.004885	38.86794	41.80593
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.507539	1.206147	0.849083
EMF TOTAL	19.08492	6.007206	0
EMF-P	36.2899	21.82137	0
EMF-TWR LEFT	1.08423	0.003285	4.582252
EMF-TWR MID	2.2102	5.554436	0
EMF-TWR RIGHT	1.08423	0.003285	4.582252
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.830608	0.770082	0.569897
EMF TOTAL	1.725078	0.730101	1.665138
EMF-P	12.41286	5.431428	6.532096
EMF-TWR LEFT	3.819943	0.017749	0.076748
EMF-TWR MID	0.059007	3.045814	0.820035
EMF-TWR RIGHT	3.819943	0.017749	0.076748

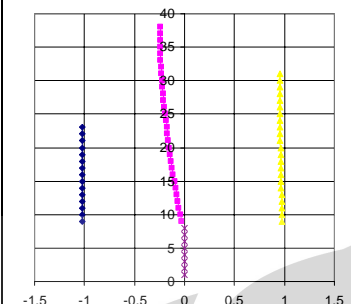
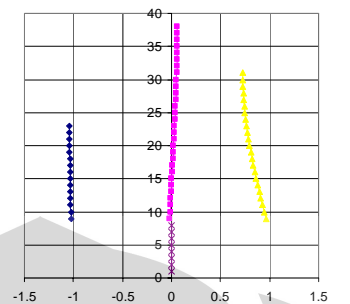
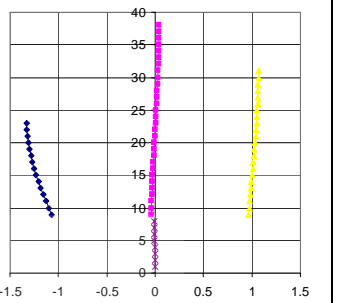
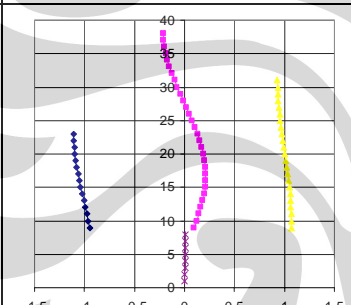
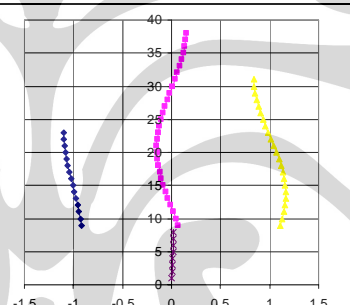
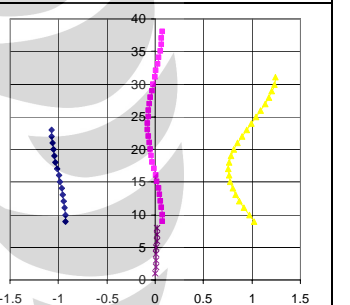
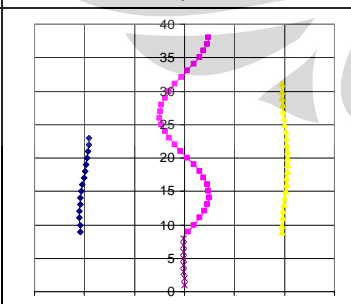
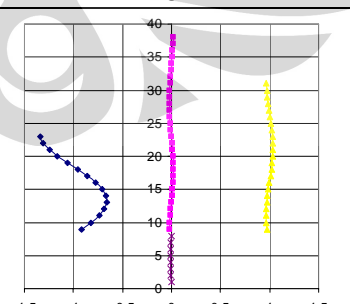
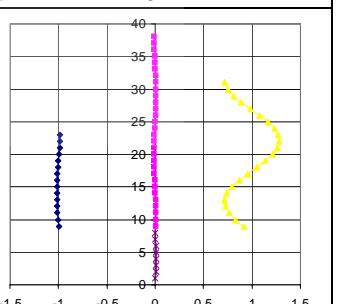
Tabel 4.20 Mode Shape Tipe 8-15-23-30

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	5.257513	4.050482	2.749236
EMF TOTAL	35.68096	16.59148	13.31263
EMF-P	0.760629	0.980382	3.465771
EMF-TWR LEFT	0.866436	1.656747	79.1003
EMF-TWR MID	3.233372	79.78045	1.553638
EMF-TWR RIGHT	81.41913	2.666332	0.069116
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.787316	1.464086	1.207072
EMF TOTAL	9.597869	10.54165	5.012616
EMF-P	11.77819	24.76892	20.50238
EMF-TWR LEFT	2.653669	0.488542	0.002802
EMF-TWR MID	0.028736	2.349899	5.376824
EMF-TWR RIGHT	6.196707	1.707311	0.00574
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.986144	0.838905	0.77027
EMF TOTAL	0.908176	0.874243	0.553153
EMF-P	5.863266	7.043967	4.642036
EMF-TWR LEFT	0.113366	8.287004	0.015361
EMF-TWR MID	0.004018	0.02645	3.077088
EMF-TWR RIGHT	2.958945	0.000488	0.00136

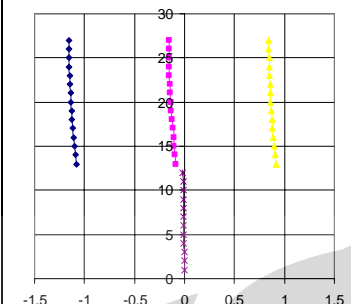
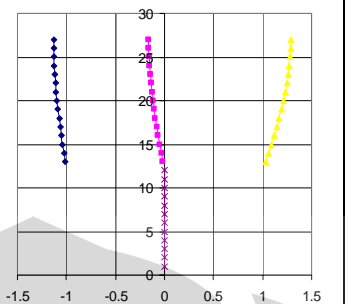
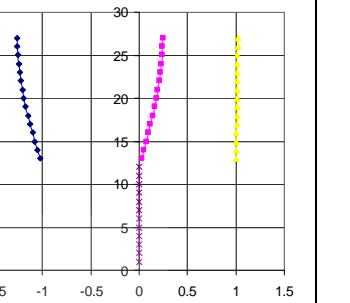
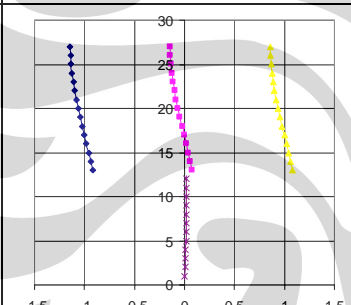
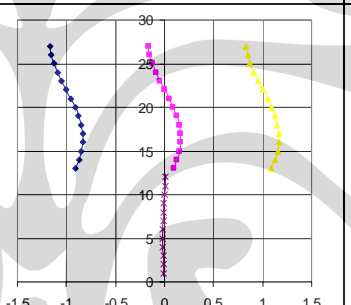
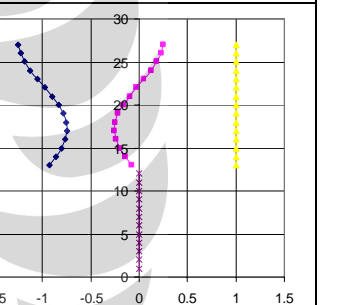
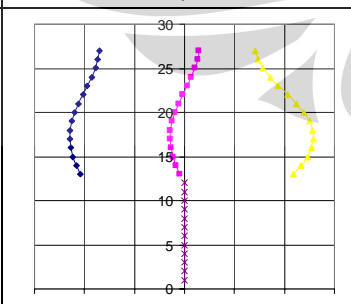
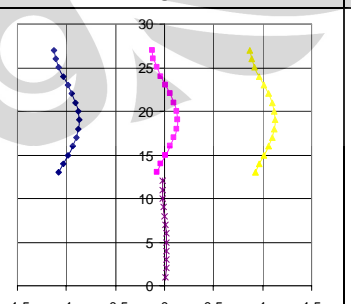
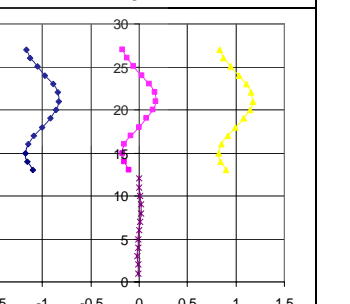
Tabel 4.21 Mode Shape Tipe 8-15-30-15

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	5.231312	2.996432	2.538694
EMF TOTAL	32.3109	34.29871	0
EMF-P	0.658104	6.063699	0
EMF-TWR LEFT	0.753948	40.50618	41.80807
EMF-TWR MID	83.60768	0.477312	0
EMF-TWR RIGHT	0.753948	40.50618	41.80807
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.753968	1.367752	0.98831
EMF TOTAL	6.200403	17.18398	0.728443
EMF-P	7.61803	46.57904	4.402503
EMF-TWR LEFT	1.39104	0.274443	0.082878
EMF-TWR MID	7.283944	0.640388	3.017355
EMF-TWR RIGHT	1.39104	0.274443	0.082878
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.849083	0.829296	0.717287
EMF TOTAL	0	1.90466	0.3814
EMF-P	0	14.54896	2.945414
EMF-TWR LEFT	4.582487	3.786905	2.16E-05
EMF-TWR MID	0	0.000178	1.5834
EMF-TWR RIGHT	4.582487	3.786905	2.16E-05

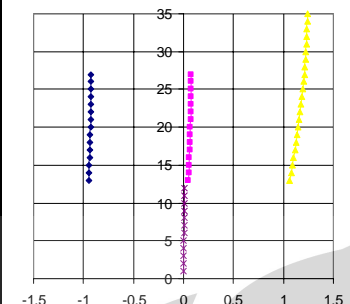
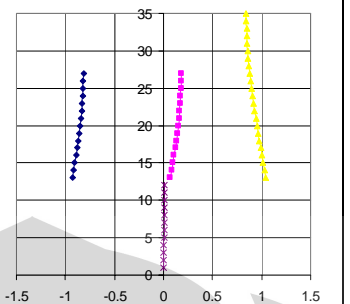
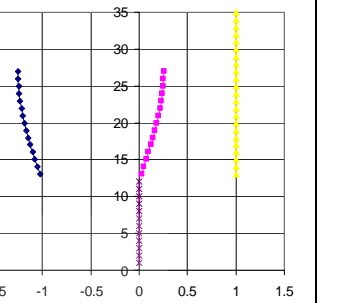
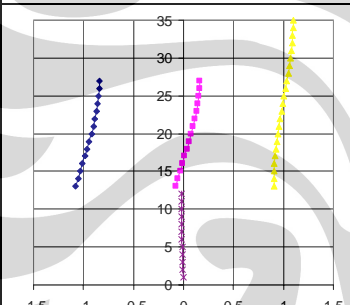
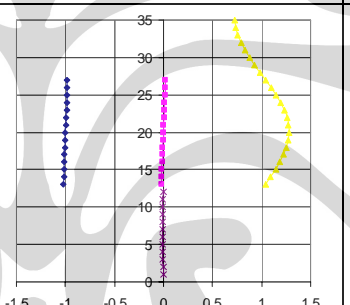
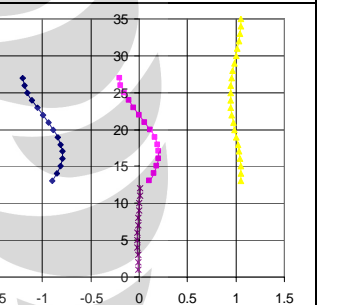
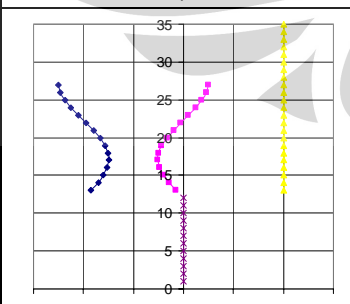
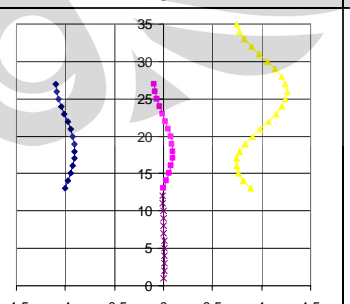
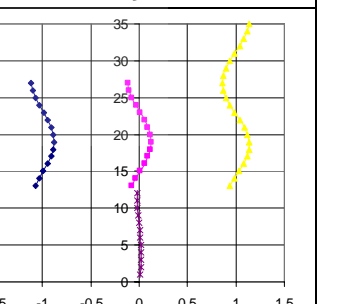
Tabel 4.22 Mode Shape Tipe 8-15-30-23

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	5.257513	4.050482	2.749236
EMF TOTAL	35.68096	16.59148	13.31263
EMF-P	0.760629	0.980382	3.465771
EMF-TWR LEFT	0.866436	1.656747	79.1003
EMF-TWR MID	81.41913	2.666332	0.069116
EMF-TWR RIGHT	3.233372	79.78045	1.553638
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.787316	1.464086	1.207072
EMF TOTAL	9.597869	10.54165	5.012616
EMF-P	11.77819	24.76892	20.50238
EMF-TWR LEFT	2.653669	0.488542	0.002802
EMF-TWR MID	6.196707	1.707311	0.00574
EMF-TWR RIGHT	0.028736	2.349899	5.376824
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.986144	0.838905	0.77027
EMF TOTAL	0.908176	0.874243	0.553153
EMF-P	5.863266	7.043967	4.642036
EMF-TWR LEFT	0.113366	8.287004	0.015361
EMF-TWR MID	2.958945	0.000488	0.00136
EMF-TWR RIGHT	0.004018	0.02645	3.077088

Tabel 4.23 Mode Shape Tipe 12-15-15-15

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	3.234977	2.538694	2.538694
EMF TOTAL	70.4242	0	0
EMF-P	17.87388	0	0
EMF-TWR LEFT	25.11124	11.11288	44.63071
EMF-TWR MID	25.1151	16.96481	38.77464
EMF-TWR RIGHT	25.11413	55.53661	0.205358
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.391319	0.849083	0.849083
EMF TOTAL	18.18961	3.355478	0
EMF-P	56.21806	14.78971	0
EMF-TWR LEFT	3.857745	1.879023	4.568331
EMF-TWR MID	3.858336	1.879311	4.597777
EMF-TWR RIGHT	3.858188	1.879239	6.41E-05
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.821615	0.557291	0.512949
EMF TOTAL	0	3.316716	0.885272
EMF-P	0	2.127356	0.01837
EMF-TWR LEFT	1.542399	0.398533	0.718098
EMF-TWR MID	1.510731	0.398594	0.718208
EMF-TWR RIGHT	6.108885	0.398579	0.718181

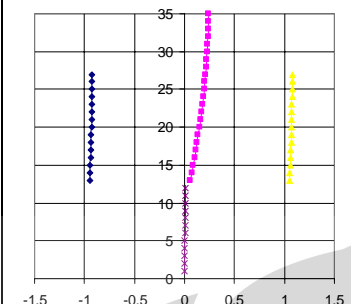
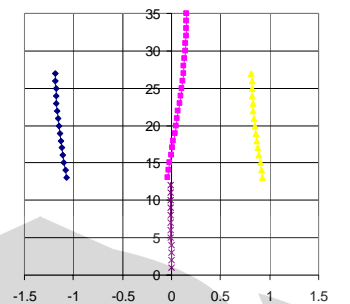
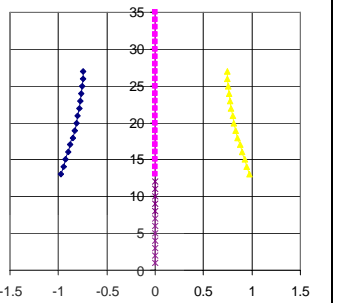
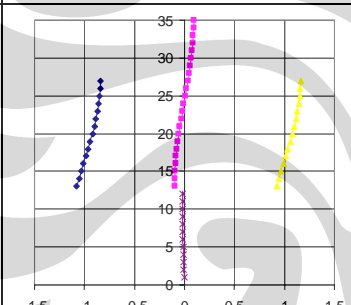
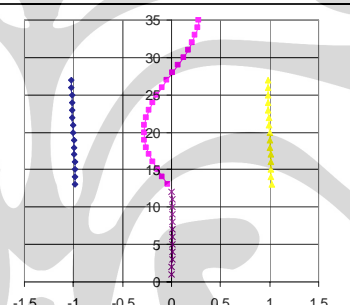
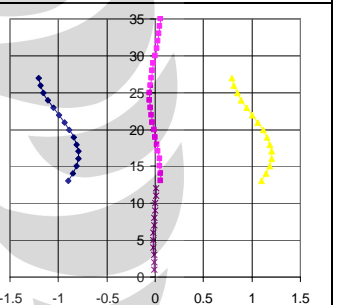
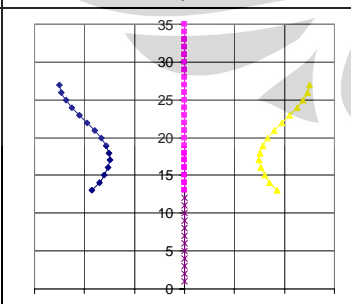
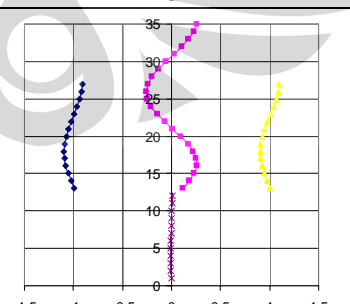
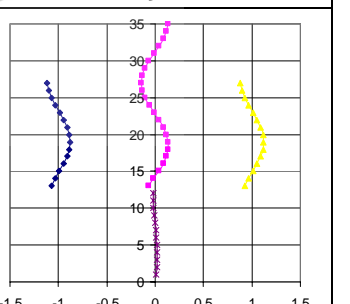
Tabel 4.24 Mode Shape Tipe 12-15-15-23

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	4.413805	3.139831	2.538694
EMF TOTAL	50.23172	20.39939	0
EMF-P	7.090566	10.11736	0
EMF-TWR LEFT	6.913821	29.72382	41.80749
EMF-TWR MID	6.913821	29.72382	41.80749
EMF-TWR RIGHT	69.74744	14.5075	0
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.814607	1.266539	0.894038
EMF TOTAL	17.45445	1.455047	2.687858
EMF-P	50.41552	8.527051	12.00002
EMF-TWR LEFT	6.268392	0.00047	2.930275
EMF-TWR MID	6.268392	0.00047	2.930275
EMF-TWR RIGHT	0.029234	8.182822	0.019633
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.849083	0.786624	0.698669
EMF TOTAL	0	0.47611	2.804059
EMF-P	0	1.088653	1.773729
EMF-TWR LEFT	4.582423	0.550624	0.324409
EMF-TWR MID	4.582423	0.550624	0.324409
EMF-TWR RIGHT	0	2.476321	0.386351

Tabel 4.25 Mode Shape Tipe 12-15-15-30

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	5.411082	3.306299	2.538694
EMF TOTAL	36.57895	35.49085	0
EMF-P	2.475608	15.30998	0
EMF-TWR LEFT	1.903122	33.48855	41.80893
EMF-TWR MID	1.903122	33.48855	41.80893
EMF-TWR RIGHT	81.4703	2.555681	0
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.899427	1.578176	1.005829
EMF TOTAL	11.90216	5.68407	0.74819
EMF-P	31.75911	24.1869	4.582921
EMF-TWR LEFT	7.029956	0.483469	0.007128
EMF-TWR MID	7.029956	0.483469	0.007128
EMF-TWR RIGHT	2.357692	5.654365	3.020492
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.889744	0.849083	0.74231
EMF TOTAL	2.138096	0	1.384557
EMF-P	9.825498	0	1.982644
EMF-TWR LEFT	3.128077	4.582581	0.525268
EMF-TWR MID	3.128077	4.582581	0.525268
EMF-TWR RIGHT	0.052336	0	0.740126

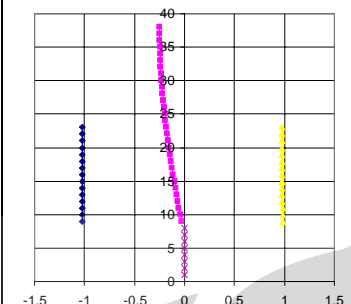
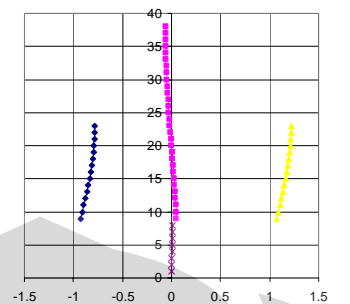
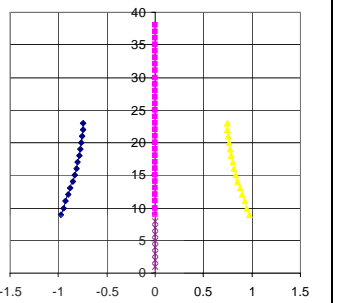
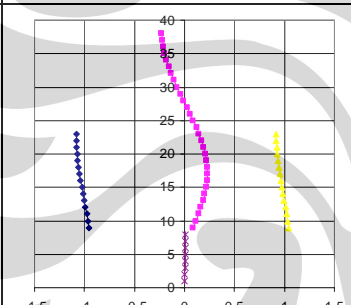
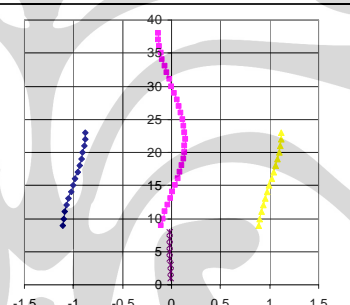
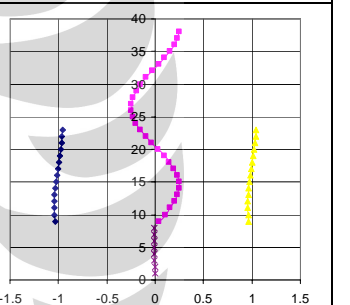
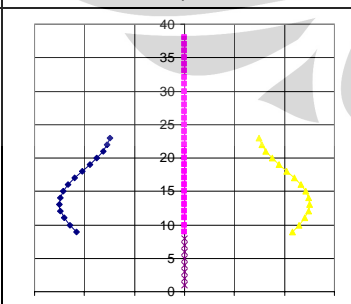
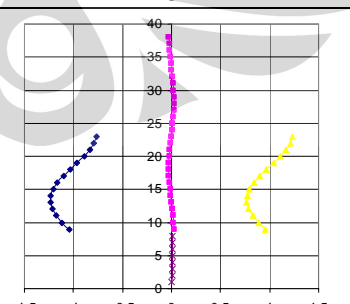
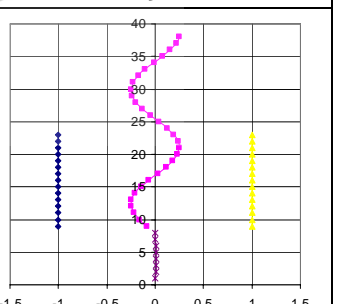
Tabel 4.26 Mode Shape Tipe 12-15-23-15

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	4.413805	3.139831	2.538694
EMF TOTAL	50.23172	20.39939	0
EMF-P	7.090566	10.11736	0
EMF-TWR LEFT	6.913821	29.72382	41.80749
EMF-TWR MID	69.74744	14.5075	0
EMF-TWR RIGHT	6.913821	29.72382	41.80749
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.814607	1.266539	0.894038
EMF TOTAL	17.45445	1.455047	2.687858
EMF-P	50.41552	8.527051	12.00002
EMF-TWR LEFT	6.268392	0.00047	2.930275
EMF-TWR MID	0.029234	8.182822	0.019633
EMF-TWR RIGHT	6.268392	0.00047	2.930275
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.849083	0.786624	0.698669
EMF TOTAL	0	0.47611	2.804059
EMF-P	0	1.088653	1.773729
EMF-TWR LEFT	4.582423	0.550624	0.324409
EMF-TWR MID	0	2.476321	0.386351
EMF-TWR RIGHT	4.582423	0.550624	0.324409

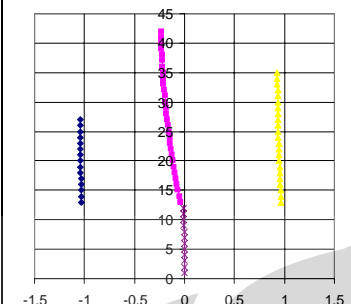
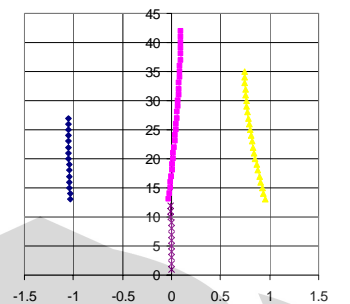
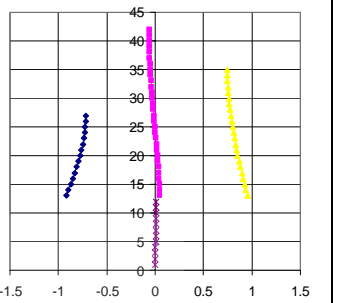
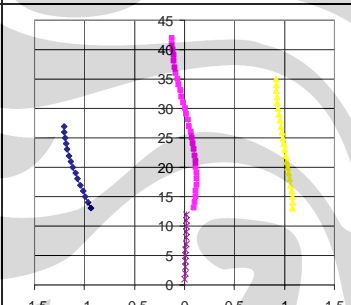
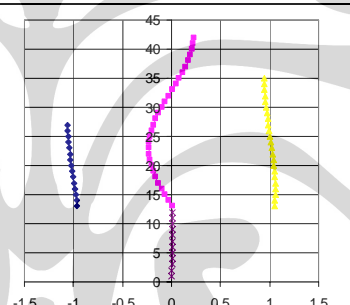
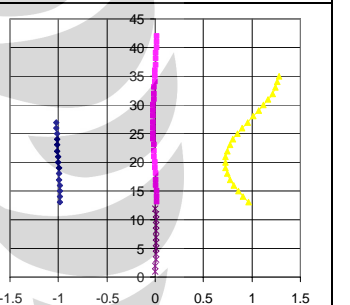
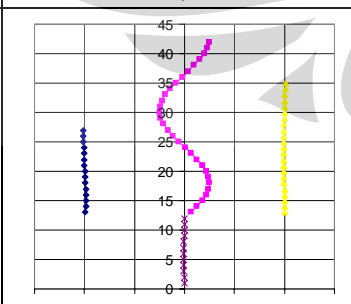
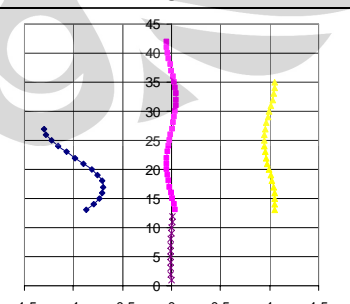
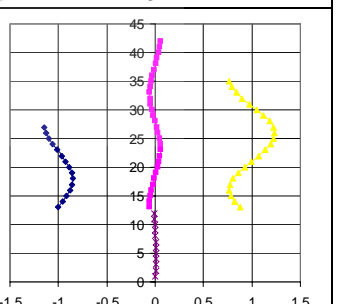
Tabel 4.27 Mode Shape Tipe 12-15-23-30

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	5.467448	4.160172	2.894531
EMF TOTAL	42.18743	14.42026	14.53614
EMF-P	2.881538	2.796587	10.58764
EMF-TWR LEFT	2.19407	3.019332	64.60512
EMF-TWR MID	7.319782	71.44391	5.338772
EMF-TWR RIGHT	76.27482	7.520516	0.321389
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.992566	1.597388	1.266539
EMF TOTAL	14.35096	3.610183	1.332542
EMF-P	35.13531	15.72397	8.596386
EMF-TWR LEFT	14.5229	0.373173	0.000459
EMF-TWR MID	0.055814	0.15895	8.154691
EMF-TWR RIGHT	1.335297	6.595519	0.00093
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.005668	0.875278	0.793362
EMF TOTAL	0.65287	1.530104	0.825942
EMF-P	4.201804	6.951067	2.211942
EMF-TWR LEFT	0.006615	6.664904	1.309424
EMF-TWR MID	0.00069	0.0339	2.011078
EMF-TWR RIGHT	3.03774	0.026464	0.010604

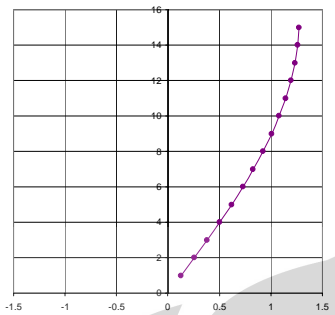
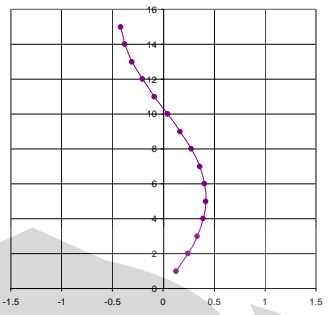
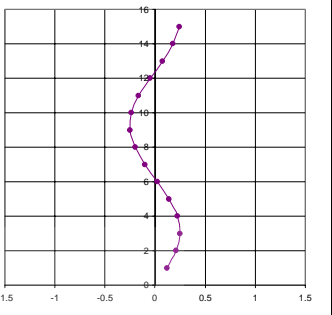
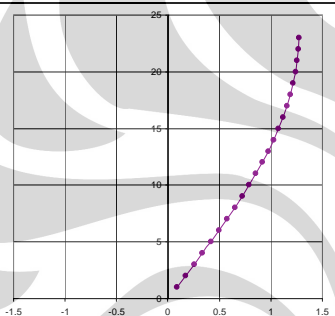
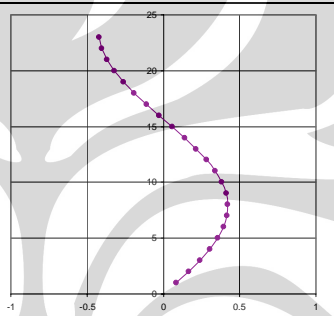
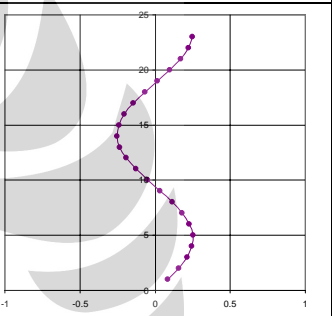
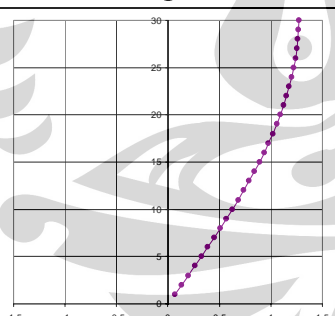
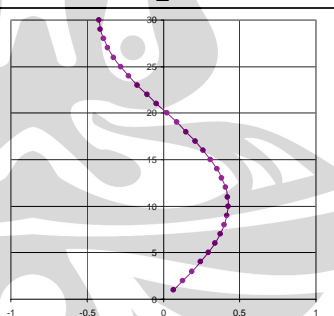
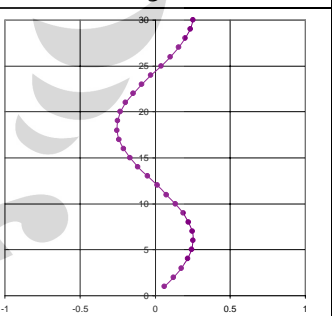
Tabel 4.28 Mode Shape Tipe12-15-30-15

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	5.411082	3.306299	2.538694
EMF TOTAL	32.3109	34.29871	0
EMF-P	2.475608	15.30998	0
EMF-TWR LEFT	1.903122	33.48855	41.80893
EMF-TWR MID	81.4703	2.555681	0
EMF-TWR RIGHT	1.903122	33.48855	41.80893
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.899427	1.578176	1.005829
EMF TOTAL	6.200403	17.18398	0.728443
EMF-P	31.75911	24.1869	4.582921
EMF-TWR LEFT	7.029956	0.483469	0.007128
EMF-TWR MID	2.357692	5.654365	3.020492
EMF-TWR RIGHT	7.029956	0.483469	0.007128
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	0.889744	0.849083	0.74231
EMF TOTAL	0	1.90466	0.3814
EMF-P	9.825498	0	1.982644
EMF-TWR LEFT	3.128077	4.582581	0.525268
EMF-TWR MID	0.052336	0	0.740126
EMF-TWR RIGHT	3.128077	4.582581	0.525268

Tabel 4.29 Mode Shape Tipe 12-15-30-23

MODE	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	5.467448	4.160172	2.894531
EMF TOTAL	42.18743	14.42026	14.53614
EMF-P	2.881538	2.796587	10.58764
EMF-TWR LEFT	2.19407	3.019332	64.60512
EMF-TWR MID	76.27482	7.520516	0.321389
EMF-TWR RIGHT	7.319782	71.44391	5.338772
MODE	4	5	6
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.992566	1.597388	1.266539
EMF TOTAL	14.35096	3.610183	1.332542
EMF-P	35.13531	15.72397	8.596386
EMF-TWR LEFT	14.5229	0.373173	0.000459
EMF-TWR MID	1.335297	6.595519	0.00093
EMF-TWR RIGHT	0.055814	0.15895	8.154691
MODE	7	8	9
MODE SHAPE			
T(SEC)	1.005668	0.875278	0.793362
EMF TOTAL	0.65287	1.530104	0.825942
EMF-P	4.201804	6.951067	2.211942
EMF-TWR LEFT	0.006615	6.664904	1.309424
EMF-TWR MID	3.03774	0.026464	0.010604
EMF-TWR RIGHT	0.00069	0.0339	2.011078

Tabel 4.30 Mode Shape Sub-Struktur Tower Secara Terpisah

Tower 15	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	2.538694075	0.849083	0.5129489
EMF TOTAL	83.61759434	9.163001	3.206388
Tower 23	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	3.847587	1.28436	0.7730118
EMF TOTAL	82.757	9.140296	3.2511376
Tower 30	1	2	3
MODE SHAPE			
T(SEC)	4.994845	1.665829	1.0013514
EMF TOTAL	82.37001	9.122053	3.2595014

Dari tabulasi di atas dapat kita lihat dengan mudah bahwa terdapat kasus-kasus dimana nilai effective mass factor atau EMF dari beberapa mode sangat kecil atau bahkan bernilai nol. Hal ini biasanya terjadi pada mode-mode yang bersifat simetris atau yang mempunyai kecenderungan untuk bergerak secara berlawanan arah. Hal ini akan

mengakibatkan proses perhitungan nilai phi akan saling mengurangi sehingga akhirnya didapatkan EMF yang kecil.

Bila kita perhatikan lebih jauh mode mode dari struktur tower yang dianalisa secara terpisah ini akan muncul atau mendekati mode-mode awal struktur secara keseluruhan yang bersesuaian. Oleh karena itu, selanjutnya kita akan melihat bagaimana perbedaan gaya geser yang terjadi pada level atap podium dengan membandingkan gaya-gaya geser tersebut jika dihitung pada struktur total dan dengan analisa secara terpisah.

Karakteristik gaya geser dasar

Selain bentuk mode shape dan nilai masing-masing EMF dari tiap model struktur penulis juga akan mencoba menampilkan gaya geser dasar baik pada struktur secara keseluruhan maupun sebagai sub-sub struktur. Yang dimaksud dengan struktur total di sini adalah struktur yang dihitung secara utuh tanpa dipisahkan menjadi sub-sub struktur. Kemudian dari setiap hasil gaya geser pada mode-mode yang ada akan dibuat sebuah nilai rata-rata baik untuk tiap sub-struktur maupun struktur secara total. Hasil-hasil ini yang akan kita bandingkan dengan nilai berdasarkan perhitungan sub-struktur secara terpisah. Berikut ini adalah tabulasi gaya geser yang diperoleh:

Tabel 4.31 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 4-15-15

Vbase				
Mode	Podium	Twr left	Twr right	Total
1	6,036.23	118,914.74	118,914.74	588,851.78
2	0.00	123,167.51	123,167.51	0.00
3	380,920.11	16,225.13	16,225.13	760,265.07
4	0.00	34,272.65	34,272.65	0.00
5	742,670.06	6,329.44	6,329.44	493,710.21
6	0.00	11,995.32	11,995.32	0.00
7	200,429.93	10,785.16	10,785.16	57,595.58
8	0.00	5,862.31	5,862.31	0.00
9	86,163.05	5,498.85	5,498.85	21,090.89
10	78,865.66	1,588.58	1,588.58	40,443.24

	Podium	Twr left	Twr right	Total
Vb CQC	912,651.18	224,805.48	224,805.48	1,109,307.03

Tabel 4.32 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 4-15-23

Vbase				
Mode	Podium	Twr left	Twr right	Total
1	739.71	1,043.74	243,606.86	305,892.64
2	3,164.76	240,700.21	1,131.90	263,392.43
3	32,823.08	110.99	73,699.38	195,463.44
4	342,270.57	31,964.91	3.86	586,453.30
5	94,633.12	20,562.43	20,364.39	94,207.72
6	619,902.06	4,344.77	7,700.50	401,567.55
7	64,522.77	781.52	17,514.74	22,394.57
8	127,365.10	21,949.05	230.54	37,451.69
9	44,562.04	6.59	11,004.23	10,738.83
10	43,717.63	11,348.87	0.72	10,694.91

	Podium	Twr left	Twr right	Total
Vb CQC	829,994.90	246,721.82	257,752.34	931,833.70

Tabel 4.33 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 4-15-30

Vbase				
Mode	Podium	Twr left	Twr right	Total
1	244.25	223.38	245,461.03	276,675.69
2	3,516.80	240,816.58	43.86	295,295.00
3	7,467.44	926.40	78,644.25	113,156.71
4	144,998.84	2,206.62	31,153.58	365,110.60
5	198,913.34	37,261.80	7,120.12	307,635.90
6	309,024.55	15,518.39	6,551.64	262,442.54
7	433,535.30	1,633.39	11,544.76	260,661.11
8	57,767.19	472.99	14,100.37	20,549.62
9	113,154.57	22,167.92	24.57	33,328.49
10	46,891.94	80.17	9,670.04	11,936.70

	Podium	Twr left	Twr right	Total
Vb CQC	777,070.76	246,598.73	262,726.57	886,196.77

Berdasarkan tabulasi gaya geser untuk struktur podium 4 lantai dan 2 tower di atas dapat kita lihat bahwa untuk sub-struktur tower yang mempunyai jumlah tingkat yang sama akan memiliki gaya geser sub-struktur yang sama. Hal ini terjadi karena berdasarkan respons spectra yang digunakan yaitu zone 3 wilayah Indonesia, maka sub-struktur tower ini akan mempunyai nilai periode dan C yang sama, dan karena nilai EMFnnya juga sama seperti yang ditunjukkan pada tabulasi mode shape sebelumnya maka akan menghasilkan gaya geser yang sama juga.

Selain itu jika kita lihat nilai-nilai gaya geser yang terjadi antara podium dan sub-struktur tower ternyata nilainya cukup dekat. Kemungkinan besar hal ini disebabkan karena sub-struktur podium mempunyai periode yang relative kecil sehingga menghasilkan nilai C yang besar pada respons spectra yang digunakan, dan juga sub-struktur podium mempunyai massa yang relatif besar jika dibandingkan dengan sub-struktur tower yang berdiri di atasnya. Oleh karena itu nilai-nilai gaya geser yang terjadi secara total akan didominasi oleh sub-struktur podium. Akan tetapi kita juga perlu mengetahui gaya geser yang terjadi pada sub-struktur tower untuk mengetahui besarnya gaya geser yang ada pada level atap podium.

Jika kita bandingkan gaya geser sub-struktur tower dengan struktur tower yang dihitung secara terpisah, nilainya tidak jauh berbeda. Tower yang dianalisa secara terpisah diasumsikan dijepit di atas tanah, sedangkan sub-struktur podium dengan 4 lantai dapat dikatakan sebagai sub-struktur yang kaku sehingga sub-struktur tower di atasnya juga dapat diasumsikan terjepit pada level atap podium. Selanjutnya kita akan melihat pengaruh yang diberikan jika bangunan dengan 2 tower ini dijadikan lebih lentur dengan cara menambah jumlah tingkat podium yang ada menjadi 8 tingkat dan 12 tingkat. Berikut ini dapat kita lihat tabulasi gaya gesernya:

Tabel 4.34 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 8-15-15

Vbase				
Mode	Podium	Twr left	Twr right	Total
1	70,999.97	104,944.42	104,944.42	836,020.24
2	0.00	123,167.51	123,167.51	0.00
3	1,403,314.32	3,502.83	3,502.83	1,136,841.05
4	0.00	34,272.65	34,272.65	0.00
5	468,804.14	28,631.43	28,631.43	119,922.71
6	270,441.17	4,550.25	4,550.25	148,366.96
7	0.00	11,995.32	11,995.32	0.00
8	44,590.32	4,583.45	4,583.45	120,108.36
9	0.00	5,862.31	5,862.31	0.00
10	26.15	5,188.75	5,188.75	19,301.62

	Podium	Twr left	Twr right	Total
Vb CQC	1,531,348.36	193,288.68	193,288.68	1,449,618.95

Tabel 4.35 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 8-15-23

Vbase				
Mode	Podium	Twr left	Twr right	Total
1	11,229.70	4,352.13	232,966.93	428,525.35
2	41,857.43	219,571.26	6,842.05	348,649.19
3	875,499.77	8,103.84	14,499.17	933,313.73
4	639,994.88	30.68	53,348.77	330,075.16
5	221,299.51	62,318.56	343.47	57,253.13
6	158,271.60	161.42	35,263.53	38,957.33
7	166,841.35	524.84	12,330.22	75,356.42
8	91,567.34	12,295.53	3,645.42	63,550.90
9	59,268.76	8,287.34	33.19	115,775.93
10	515.67	21.99	10,458.39	16,815.60
	Podium	Twr left	Twr right	Total
Vb CQC	1,261,720.54	230,280.93	244,973.78	1,219,085.31

Struktur 8-15-30

Vbase				
Mode	Podium	Twr left	Twr right	Total
1	336,933.43	3,428.68	925.47	241,570.09
2	450,225.31	51,914.92	218,848.31	608.07
3	345,734.70	200,748.61	10,083.55	57,768.51
4	884,450.69	1,166,578.56	1,910.77	9,198.43
5	59,301.38	181,315.62	864.78	44,788.57
6	67,755.52	262,168.08	61,917.87	8.17
7	23,665.15	94,963.11	0.11	23,716.70
8	58,197.32	131,299.73	342.64	10,522.42
9	80,333.48	119,659.95	11,549.56	2,022.33
10	92,162.90	53,027.83	8,820.08	423.83
	Podium	Twr left	Twr right	Total
Vb CQC	1,334,081.16	229,600.22	255,877.35	1,187,557.30

Di sini kita melihat bahwa nilai-nilai gaya geser dasar pada podium 8 lantai cenderung lebih besar dibandingkan perhitungan secara total meskipun perbedaannya tidak terlalu jauh. Dalam hal ini kita perlu memperhatikan besarnya massa dan periode yang dijadikan sebagai input dalam menghitung gaya geser tersebut. Dengan menambahkan jumlah tingkatan pada podium berarti kita akan menambah jumlah massa podium yang besar sedangkan secara total hanya sejumlah dari EMF struktur total saja yang akan memberikan pengaruh terhadap gaya geser. Oleh karena itu, kita masih harus melihat lebih jauh mengenai perbandingan massa tersebut.

Tabel 4.36 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 12-15-15

Vbase				
Mode	Podium	Twr left	Twr right	Total
1	1,173,013.09	267,313.78	80,108.70	80,108.70
2	0.00	0.00	123,167.51	123,167.51
3	833,826.61	1,542,176.19	27,008.64	27,008.64
4	188,109.69	553,101.53	24,020.27	24,020.27
5	0.00	0.00	34,272.65	34,272.65
6	272,395.49	156,818.11	3,964.90	3,964.90
7	45,414.52	443.36	9,223.01	9,223.01
8	0.00	0.00	11,995.32	11,995.32
9	110,170.08	147,636.80	683.67	683.67
10	0.00	0.00	5,862.31	5,862.31
	Podium	Twr left	Twr right	Total
Vb CQC	1,700,225.50	170,256.79	170,256.79	1,509,209.22

Tabel 4.37 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 12-15-23

Vbase				
Mode	Podium	Twr left	Twr right	Total
1	646,993.53	61,977.61	9,881.70	207,920.62
2	477,166.10	190,631.62	169,867.91	24,961.49
3	855,514.37	1,334,818.06	50,628.28	28.94
4	86,774.21	323,606.11	2.85	74,290.27
5	136,677.53	379,522.24	51,364.84	389.62
6	63,500.25	106,087.89	7,865.97	26,358.59
7	234,137.89	124,150.32	3,024.56	5,858.89
8	15,576.85	14.75	15.80	17,585.73
9	24,280.52	315.11	20,916.14	42.51
10	83,961.93	76,785.18	956.39	1,899.74
	Podium	Twr left	Twr right	Total
Vb CQC	1,514,825.73	191,227.66	227,504.97	1,276,317.00

Tabel 4.38 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 12-15-30

Vbase				
Mode	Podium	Twr left	Twr right	Total
1	441,100.93	18,152.12	2,201.41	232,806.75
2	721,733.69	257,524.45	165,833.30	4,243.99
3	657,455.15	906,593.14	60,185.78	10,816.88
4	246,132.44	619,600.60	2,158.84	59,804.05
5	52,546.14	200,854.53	33.54	45,431.68
6	109,999.68	301,597.32	54,738.21	270.08
7	156,853.48	169,460.01	6,325.89	9,048.01
8	143,809.71	55,766.93	1,187.04	11,795.63
9	12,340.14	13.25	14.92	14,057.98
10	25,193.57	323.89	20,812.93	12.45

	Podium	Twr left	Twr right	Total
Vb CQC	1,336,228.79	190,551.93	248,253.79	1,211,743.46

Dari tabulasi di atas masih kita jumpai nilai-nilai gaya geser yang sama pada struktur yang memiliki sub-struktur tower dengan level yang sama. Namun di sini kita melihat bahwa nilai gaya geser yang dihasilkan sub-struktur podium ternyata lebih besar daripada gaya geser yang dihasilkan oleh struktur secara total, walaupun perbedaannya relatif sangat kecil. Dalam hal ini kita harus mengamati lebih jauh bahwa dengan menjadikan sub-struktur podium semakin lentur akan menghasilkan nilai periode yang lebih besar dan nilai C pada respon spektra yang lebih kecil. Akan tetapi dengan ditambahkannya tingkat lantai pada sub-struktur podium maka massa yang ikut bergetar juga akan semakin bertambah besar. Oleh karena itu, perbandingan gaya geser yang terjadi antara sub-struktur podium dengan struktur secara total harus dilihat juga perbandingan nilai C yang ada akibat periode dan juga EMF yang turut berpartisipasi dalam menghasilkan gaya-gaya geser.

Untuk gaya geser pada sub-struktur tower yang terjadi jika dibandingkan dengan analisis yang dilakukan secara terpisah diperoleh nilai-nilai yang bedanya semakin besar jika dibandingkan dengan gaya geser yang terjadi ketika sub-struktur podium masih 4 lantai. Hal ini akan sebanding dengan semakin lenturnya struktur secara total. Oleh karena itu kita juga akan melihat gaya geser yang terjadi bila jumlah tower yang berdiri di atas podium juga ditambahkan. Nilai-nilai gaya geser tersebut dapat kita lihat pada tabel berikut:

Tabel 4.39 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 4-15-15-15

Vbase					
Mode	Podium	Tower Left	Tower Mid	Tower Right	Total
1	79,070.63	775,015.95	775,015.95	775,015.95	853,975.85
2	0.00	1,493,650.52	892,349.29	892,349.29	0.00
3	0.00	148,444.03	749,539.89	749,539.89	0.00
4	3,434,544.50	84,198.52	84,198.52	84,198.52	741,945.04
5	0.00	130,291.33	98,864.24	98,864.24	0.00
6	0.00	326,713.84	357,938.36	357,938.36	0.00
7	6,529,606.26	35,489.96	35,489.96	35,489.96	396,011.93
8	0.00	36,050.84	44,127.34	44,127.34	0.00
9	0.00	123,897.96	115,831.83	115,831.83	0.00
10	2,677,770.26	66,897.16	66,897.16	66,897.16	73,995.73

	Podium	Twr Lft	Twr Mid	Twr Rght	Total
Vbcqc	820,653.49	216,846.35	216,823.02	216,842.12	1,222,935.46

Tabel 4.40 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 4-15-15-23

Vbase					
Mode	Podium	Tower Left	Tower Mid	Tower Right	Total
1	877.32	1,229.92	1,229.92	241,559.88	349,210.48
2	5,421.51	117,049.46	117,049.46	2,877.18	495,946.36
3	0.00	123,167.51	123,167.51	0.00	0.00
4	32,291.94	108.56	108.56	72,724.74	183,618.82
5	315,487.73	13,831.22	13,831.22	543.42	598,518.57
6	0.00	34,272.65	34,272.65	0.00	0.00
7	50,568.38	7,184.33	7,184.33	25,767.41	46,592.63
8	578,630.88	2,819.41	2,819.41	4,374.25	346,200.77
9	44,524.34	482.75	482.75	17,426.20	15,117.68
10	0.00	11,995.32	11,995.32	0.00	0.00

	Podium	Twr Lft	Twr Mid	Twr Rght	Total
Vbcqc	709,344.76	223,920.60	223,920.60	255,634.99	996,644.22

Tabel 4.41 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 4-15-15-30

Vbase					
Mode	Podium	Tower Left	Tower Mid	Tower Right	Total
1	272.32	248.71	248.71	244,998.09	294,844.53
2	6,031.51	117,472.97	117,472.97	191.24	561,461.01
3	0.00	123,167.51	123,167.51	0.00	0.00
4	6,448.02	787.52	787.52	78,531.47	92,659.31
5	176,991.26	2,206.50	2,206.50	23,278.07	445,112.48
6	149,962.36	13,757.79	13,757.79	15,629.85	246,794.40
7	0.00	34,272.65	34,272.65	0.00	0.00
8	195,778.87	6,255.05	6,255.05	10,831.59	150,845.64
9	447,136.86	1,349.17	1,349.17	8,328.05	253,922.23
10	41,142.25	310.38	310.38	14,036.81	14,302.60

	Podium	Twr Lft	Twr Mid	Twr Rght	Total
Vbcqc	664,776.20	222,007.84	222,007.84	261,826.54	976,629.10

Tabel 4.42 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 4-15-23-15

Vbase					
Mode	Podium	Tower Left	Tower Mid	Tower Right	Total
1	877.32	1,229.92	241,559.88	1,229.92	349,566.82
2	5,421.51	117,049.46	2,877.18	117,049.46	495,946.36
3	0.00	123,167.51	0.00	123,167.51	0.00
4	32,291.94	108.56	72,724.74	108.56	183,618.82
5	321,523.49	14,095.83	553.82	14,095.83	609,969.16
6	0.00	34,272.65	0.00	34,272.65	0.00
7	50,568.38	7,184.33	25,767.41	7,184.33	46,592.63
8	578,630.88	2,819.41	4,374.25	2,819.41	346,200.77
9	44,524.34	482.75	17,426.20	482.75	15,117.68
10	0.00	11,995.32	0.00	11,995.32	0.00

	Podium	Twr Lft	Twr Mid	Twr Rght	Total
Vbcqc	709,344.76	223,920.60	255,634.99	223,920.60	996,644.22

Tabel 4.43 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 4-15-23-30

Vbase					
Mode	Podium	Tower Left	Tower Mid	Tower Right	Total
1	296.76	270.79	1,710.00	243,403.16	323,071.46
2	646.42	916.23	241,639.53	1,974.16	252,833.24
3	3,217.81	239,131.26	1,154.67	38.64	255,577.68
4	8,325.43	1,047.87	109.28	77,488.76	120,927.40
5	29,805.70	97.67	72,024.16	415.60	168,721.21
6	112,604.40	1,867.84	1,637.45	31,454.09	265,894.91
7	188,109.69	30,629.81	171.21	7,933.45	283,828.83
8	93,332.52	21,949.05	17,449.79	111.08	89,973.00
9	101,015.44	2,494.97	10,472.09	11,781.08	75,135.92
10	424,846.24	1,239.93	1,602.86	7,471.02	240,271.24

	Podium	Twr Lft	Twr Mid	Twr Rght	Total
Vbcqc	621,246.06	243,905.52	254,642.37	259,997.83	851,167.96

Tabel 4.44 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 4-15-30-15

Vbase					
Mode	Podium	Tower Left	Tower Mid	Tower Right	Total
1	272.32	248.71	244,998.09	248.71	294,844.53
2	6,031.51	117,472.97	191.24	117,472.97	561,461.01
3	0.00	123,167.51	0.00	123,167.51	0.00
4	6,448.02	787.52	78,531.47	787.52	92,659.31
5	176,991.26	2,206.50	23,278.07	2,206.50	445,112.48
6	149,962.36	13,757.79	15,629.85	13,757.79	246,794.40
7	0.00	34,272.65	0.00	34,272.65	0.00
8	195,778.87	6,255.05	10,831.59	6,255.05	150,845.64
9	447,136.86	1,349.17	8,328.05	1,349.17	253,922.23
10	41,142.25	310.38	14,036.81	310.38	14,302.60

	Podium	Twr Lft	Twr Mid	Twr Rght	Total
Vbcqc	664,776.20	222,007.84	261,826.54	222,007.84	976,629.10

Tabel 4.45 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 4-15-30-23

Vbase					
Mode	Podium	Tower Left	Tower Mid	Tower Right	Total
1	1,845.53	1,617.27	228,609.91	9,002.15	430,586.65
2	2,701.64	3,553.70	12,417.84	222,983.64	223,161.34
3	12,203.12	218,000.32	421.94	7,093.50	223,371.68
4	41,512.28	7,551.04	62,800.13	232.16	146,441.55
5	117,550.38	1,233.91	6,395.14	42,813.22	188,948.95
6	247,893.80	927.52	4,783.76	21,560.77	203,144.32
7	122,222.43	7,704.42	31,964.91	42.22	63,522.76
8	85,195.75	43,112.81	9.63	7,191.90	29,645.26
9	93,988.54	3,259.83	4,397.91	22,622.36	27,364.93
10	180,062.75	1,196.29	17,056.78	2,076.92	45,614.59

	Podium	Twr Lft	Twr Mid	Twr Rght	Total
Vbcqc	621,246.06	243,905.52	259,997.83	254,642.37	851,167.96

Pada struktur dengan 3 tower yang berdiri di atas podium yang rendah, karakteristik gaya geser yang terjadi masih relatif sama seperti pada struktur-struktur sebelumnya. Gaya geser dasar yang terjadi pada sub-struktur tower akan bernilai sama untuk jumlah lantai yang sama dan akan bertambah seiring dengan bertambahnya tingkat lantai pada sub-struktur tower tersebut. Untuk struktur dengan tingkat lantai podium lebih lentur gaya gesernya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.46 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 8-15-15-15

Vbase					
Mode	Podium	Left	Mid	Right	Total
1	74,107.25	65,943.76	65,943.76	65,943.76	1,087,000.89
2	0.00	41,080.93	41,012.78	164,187.40	0.00
3	0.00	123,118.33	123,187.19	0.01	0.00
4	1,264,004.05	2,478.67	2,478.67	2,478.67	950,562.49
5	0.00	14,956.13	8,222.42	45,338.41	0.00
6	0.00	30,731.50	37,460.33	331.98	0.00
7	638,463.20	17,609.43	17,609.43	17,609.43	160,822.38
8	289,699.74	2,375.97	2,375.97	2,375.97	153,668.54
9	0.00	3,123.60	4,940.87	15,927.15	0.00
10	0.00	12,866.52	11,055.83	69.37	0.00

	Podium	Twr Lft	Twr Mid	Twr Rght	Total
Vbcqc	1,476,521.52	197,223.13	197,222.85	197,207.75	1,475,534.69

Tabel 4.47 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 8-15-15-23

Vbase					
Mode	Podium	Left	Mid	Right	Total
1	14,358.79	5,430.93	5,430.93	221,813.46	544,938.62
2	51,507.53	99,003.46	99,003.46	17,637.74	523,311.55
3	0.00	123,167.51	123,167.51	0.00	0.00
4	768,095.16	5,379.25	5,379.25	16,812.96	738,501.66
5	577,271.02	20.37	20.37	52,810.59	290,537.48
6	0.00	34,272.65	34,272.65	0.00	0.00
7	396,068.14	28,571.01	28,571.01	676.68	100,632.57
8	173,305.37	132.75	132.75	34,928.89	42,590.50
9	208,425.35	574.03	574.03	9,404.02	97,136.00
10	77,380.31	4,356.55	4,356.55	6,932.96	52,632.65

	Podium	Twr Lft	Twr Mid	Twr Rght	Total
Vbcqc	1,230,585.67	192,680.24	192,680.24	235,661.57	1,181,822.72

Tabel 4.48 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 8-15-15-30

Vbase					
Mode	Podium	Left	Mid	Right	Total
1	4,014.33	1,077.90	1,077.90	239,039.22	381,847.05
2	64,574.62	101,102.82	101,102.82	2,382.49	707,659.60
3	0.00	123,167.51	123,167.51	0.00	0.00
4	138,595.64	5,931.50	5,931.50	62,112.43	218,549.18
5	1,086,704.87	1,500.69	1,500.69	7,002.76	776,725.10
6	140,484.45	619.85	619.85	45,129.46	45,034.64
7	0.00	34,272.65	34,272.65	0.00	0.00
8	464,259.26	28,322.45	28,322.45	2.66	117,752.07
9	93,988.54	0.16	0.16	23,682.33	23,579.35
10	170,896.96	424.75	424.75	8,393.38	78,727.77

	Podium	Twr Lft	Twr Mid	Twr Right	Total
Vbcqc	1,294,608.11	190,317.50	190,317.50	254,322.86	1,198,444.54

Tabel 4.49 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 8-15-23-15

Vbase					
Mode	Podium	Left	Mid	Right	Total
1	14,358.79	5,430.93	221,813.46	5,430.93	544,938.62
2	51,507.53	99,003.46	17,637.74	99,003.46	523,311.55
3	0.00	123,167.51	0.00	123,167.51	0.00
4	768,095.16	5,379.25	16,812.96	5,379.25	738,501.66
5	577,271.02	20.37	52,810.59	20.37	290,537.48
6	0.00	34,272.65	0.00	34,272.65	0.00
7	396,068.14	28,571.01	676.68	28,571.01	100,632.57
8	173,305.37	132.75	34,928.89	132.75	42,590.50
9	208,425.35	574.03	9,404.02	574.03	97,136.00
10	77,380.31	4,356.55	6,932.96	4,356.55	52,632.65

	Podium	Twr Lft	Twr Mid	Twr Right	Total
Vbcqc	1,230,585.67	192,680.24	235,661.57	192,680.24	1,181,822.72

Tabel 4.50 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 8-15-23-30

Vbase					
Mode	Podium	Left	Mid	Right	Total
1	4,616.27	1,232.44	7,052.95	231,648.39	446,651.56
2	7,723.02	3,058.84	225,884.00	9,846.70	269,582.04
3	40,224.08	215,166.26	6,480.87	376.05	318,686.99
4	210,269.12	11,103.34	184.38	51,861.24	353,415.98
5	539,807.26	2,495.42	18,406.79	17,443.32	473,864.99
6	541,962.95	17.36	51,084.42	71.14	273,302.75
7	187,084.54	847.79	46.08	44,260.88	59,769.93
8	224,758.25	61,973.45	303.34	7.30	57,536.65
9	148,117.65	114.87	35,288.70	20.34	36,404.74
10	93,701.25	0.16	0.39	23,675.45	23,507.40

	Podium	Twr Lft	Twr Mid	Twr Rght	Total
Vbcqc	1,063,226.66	225,514.35	238,187.96	246,825.00	1,021,036.31

Tabel 4.51 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 8-15-30-15

Vbase					
Mode	Podium	Left	Mid	Right	Total
1	4,014.33	1,077.90	239,039.22	1,077.90	381,847.05
2	77,207.64	92,608.54	1,078.54	79,688.71	707,659.60
3	0.00	110,724.36	0.00	104,660.17	0.00
4	145,374.47	705.08	45,199.80	7,301.40	218,549.18
5	1,159,788.76	2,083.51	5,743.77	4,573.07	776,725.10
6	153,406.41	-2,986.38	14,358.51	-451.40	45,034.64
7	0.00	6,981.85	0.00	-3,505.39	0.00
8	381,646.52	5,069.26	227.88	-800.41	117,752.07
9	93,995.39	-65.06	-1,292.01	0.09	23,579.35
10	146,214.10	2,573.83	-1,159.89	-826.96	78,727.77

	Podium	Twr Lft	Twr Mid	Twr Rght	Total
Vbcqc	1,294,608.11	190,317.50	254,322.86	190,317.50	1,198,444.54

Tabel 4.52 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 8-15-30-23

Vbase					
Mode	Podium	Left	Mid	Right	Total
1	4,616.27	1,232.44	231,648.39	7,052.95	446,651.56
2	7,723.02	3,058.84	9,846.70	225,884.00	269,582.04
3	40,224.08	215,166.26	376.05	6,480.87	318,686.99
4	210,269.12	11,103.34	51,861.24	184.38	353,415.98
5	539,807.26	2,495.42	17,443.32	18,406.79	473,864.99
6	541,962.95	17.36	71.14	51,084.42	273,302.75
7	187,084.54	847.79	44,260.88	46.08	59,769.93
8	224,758.25	61,973.45	7.30	303.34	57,536.65
9	148,117.65	114.87	20.34	35,288.70	36,404.74
10	93,701.25	0.16	23,675.45	0.39	23,507.40

	Podium	Twr Lft	Twr Mid	Twr Rght	Total
Vbcqc	1,063,226.66	225,514.35	246,825.00	238,187.96	1,021,036.31

Tabel 4.53 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 12-15-15-15

Vbase					
Mode	Podium	Left	Mid	Right	Total
1	264,464.09	58,052.94	58,052.94	58,052.94	1,530,412.61
2	0.00	32,737.33	49,968.84	163,586.03	0.00
3	0.00	131,477.25	114,208.39	604.89	0.00
4	1,934,052.04	20,736.43	20,736.43	20,736.43	919,082.75
5	707,911.01	14,052.68	14,052.68	14,052.68	235,891.47
6	0.00	34,165.26	34,380.21	0.48	0.00
7	0.00	11,535.17	11,296.60	45,681.38	0.00
8	101,826.09	2,980.52	2,980.52	2,980.52	233,166.49
9	879.29	5,370.45	5,370.45	5,370.45	62,234.98
10	0.00	5,118.22	2,980.52	15,893.35	0.00

	Podium	Twr Lft	Twr Mid	Twr Right	Total
Vbccqc	2,109,497.04	194,040.15	193,849.12	195,096.86	1,839,621.24

Tabel 4.54 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 12-15-15-23

Vbase					
Mode	Podium	Left	Mid	Right	Total
1	76,889.82	11,715.41	11,715.41	181,213.59	845,421.66
2	154,227.52	70,802.88	70,802.88	52,986.12	482,635.61
3	0.00	123,167.51	123,167.51	0.00	0.00
4	1,329,789.29	25,836.05	25,836.05	184.75	714,549.05
5	322,241.32	2.78	2.78	74,090.08	85,342.78
6	574,358.56	21,915.98	21,915.98	225.15	199,670.91
7	0.00	34,272.65	34,272.65	0.00	0.00
8	52,106.34	4,118.20	4,118.20	28,397.66	35,368.44
9	84,896.21	2,426.30	2,426.30	4,430.55	208,303.04
10	8.30	5.71	5.71	17,526.56	15,549.00

	Podium	Twr Lft	Twr Mid	Twr Right	Total
Vbccqc	1,556,078.64	168,291.75	168,291.75	210,804.57	1,302,696.06

Tabel 4.55 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 12-15-15-30

Vbase					
Mode	Podium	Left	Mid	Right	Total
1	21,897.43	2,630.39	2,630.39	225,192.48	525,772.52
2	221,629.68	75,751.57	75,751.57	11,561.21	834,882.01
3	0.00	123,167.51	123,167.51	0.00	0.00
4	800,278.41	27,680.09	27,680.09	18,565.35	487,364.76
5	733,533.88	2,291.14	2,291.14	53,587.96	280,126.95
6	218,078.92	53.00	53.00	44,915.10	57,854.71
7	528,548.45	26,293.58	26,293.58	879.77	186,901.52
8	0.00	34,272.65	34,272.65	0.00	0.00
9	94,894.32	3,928.43	3,928.43	11,069.92	107,686.60
10	42,576.68	1,093.56	1,093.56	10,249.36	139,657.13

	Podium	Twr Lft	Twr mid	Twr Rght	Total
Vbcqc	1,428,113.73	169,259.21	169,259.21	240,512.37	1,245,486.44

Tabel 4.56 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 12-15-23-15

Vbase					
Mode	Podium	Left	Mid	Right	Total
1	76,889.82	11,715.41	181,213.59	11,715.41	845,421.66
2	154,227.52	70,802.88	52,986.12	70,802.88	482,635.61
3	0.00	123,167.51	0.00	123,167.51	0.00
4	1,329,789.29	25,836.05	184.75	25,836.05	714,549.05
5	322,241.32	2.78	74,090.08	2.78	85,342.78
6	642,431.70	24,513.47	251.84	24,513.47	223,335.97
7	0.00	40,364.29	0.00	40,364.29	0.00
8	52,106.34	4,118.20	28,397.66	4,118.20	35,368.44
9	84,896.21	2,426.30	4,430.55	2,426.30	208,303.04
10	8.30	5.71	17,526.56	5.71	15,549.00

	Podium	Twr Lft	Twr Mid	Twr Rght	Total
Vbcqc	1,585,902.29	171,314.37	210,806.91	171,314.37	1,307,732.13

Tabel 4.57 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 12-15-23-30

Vbase					
Mode	Podium	Left	Mid	Right	Total
1	25,225.40	3,001.37	15,351.96	208,652.01	630,923.30
2	32,174.77	5,428.16	196,926.59	27,037.24	283,426.23
3	175,073.11	166,932.82	21,150.15	1,660.65	410,628.40
4	843,974.92	54,512.22	321.20	10,022.85	588,906.58
5	471,140.28	1,747.24	1,141.04	61,753.94	184,797.86
6	324,859.60	2.71	73,831.08	10.98	86,028.09
7	199,976.76	49.19	7.87	45,177.48	53,082.33
8	380,105.29	56,950.95	444.13	452.21	142,939.76
9	105,869.81	9,793.40	23,061.07	158.60	67,534.84
10	51,760.32	2,020.33	7,989.23	11,892.83	63,889.09

	Podium	Twr Lft	Twr mid	twr right	total
Vbcqc	1,304,021.91	191,007.63	217,957.42	229,278.05	1,128,461.93

Tabel 4.58 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 12-15-30-15

Vbase					
Mode	Podium	Left	Mid	Right	Total
1	21,897.43	2,630.39	225,192.48	2,630.39	525,772.52
2	221,629.68	75,751.57	11,561.21	75,751.57	834,882.01
3	0.00	123,167.51	0.00	123,167.51	0.00
4	800,278.41	27,680.09	18,565.35	27,680.09	487,364.76
5	733,533.88	2,291.14	53,587.96	2,291.14	280,126.95
6	218,078.92	53.00	44,915.10	53.00	57,854.71
7	528,548.45	26,293.58	879.77	26,293.58	186,901.52
8	0.00	34,272.65	0.00	34,272.65	0.00
9	94,894.32	3,928.43	11,069.92	3,928.43	107,686.60
10	42,576.68	1,093.56	10,249.36	1,093.56	139,657.13

	Podium	Twr Lft	Twr mid	twr right	total
Vbcqc	1,428,113.73	169,259.21	240,512.37	169,259.21	1,245,486.44

Tabel 4.59 Tabulasi Base Shear Tipe Struktur 12-15-30-23

Vbase					
Mode	Podium	Left	Mid	Right	Total
1	25,225.40	3,001.37	208,652.01	15,351.96	630,923.30
2	32,174.77	5,428.16	27,037.24	196,926.59	283,426.23
3	175,073.11	166,932.82	1,660.65	21,150.15	410,628.40
4	843,974.92	54,512.22	10,022.85	321.20	588,906.58
5	471,140.28	1,747.24	61,753.94	1,141.04	184,797.86
6	324,859.60	2.71	10.98	73,831.08	86,028.09
7	199,976.76	49.19	45,177.48	7.87	53,082.33
8	380,105.29	56,950.95	452.21	444.13	142,939.76
9	105,869.81	9,793.40	158.60	23,061.07	67,534.84
10	51,760.32	2,020.33	11,892.83	7,989.23	63,889.09

	Podium	Twr Lft	Twr mid	twr right	total
Vbcqc	1,304,021.91	191,007.63	229,278.05	217,957.42	1,128,461.93

Tabel 4.60 Tabulasi Base Shear Pada Struktur Tower Terpisah:

Vbase			
Mode	15 lt	23 lt	30 lt
1	246,319.02	246,658.39	246,655.37
2	68,524.90	81,611.85	81,904.10
3	23,978.76	37,283.35	48,686.46
4	11,722.98	18,683.13	24,612.18
5	6,684.24	11,022.98	14,670.78
6	4,142.59	7,152.19	9,645.91
7	2,682.39	4,929.89	6,753.79
8	1,705.82	3,533.05	4,940.87
9	1,077.54	2,604.33	3,729.48
10	679.33	1,956.60	2,887.39

	15 lt	23 lt	30 lt
Vbcqc	258,251.67	265,326.92	268,735.47

Berdasarkan tabel di atas penulis ingin mengetahui relasi gaya geser dasar antara tower sebagai sub-struktur dengan tower sebagai struktur yang berdiri sendiri. Sejauh mana nilai-nilai tersebut akan berbeda dan juga bagaimana pengaruhnya terhadap ketinggian podium. dengan kata lain penulis ingin mengamati gaya geser yang terjadi jika struktur bangunan dibuat semakin lentur (dengan cara menambah tingkat podium). Tabel-tabel tersebut menunjukkan bahwa untuk struktur podium yang lebih kaku, gaya geser pada sub-struktur akan semakin mendekati hasil yang diperoleh dari hasil analisa yang dilakukan secara terpisah.

Berikut akan ditunjukkan perbedaan gaya geser (ΔV) dasar pada substruktur dibandingkan dengan gaya geser dasar pada struktur tunggal (dalam persentase).

Tabel 4.61 Gaya Geser Dasar Struktur Tunggal.

No.	Model w/ total floor	Structure's Base Shear (N)
1	15	258,251.67
2	23	265,326.92
3	30	268,735.47

Tabel 4.62 perbandingan gaya geser dasar substruktur

No.	Model				Structure's Base Shear (N)		
	No. of Podium	No. of Left Tower	No. of Mid Tower	No. of Right Tower	Sub-struc. Left Tower	Sub-struc. Mid Tower	Sub-struc. Right Tower
1	4	15	-	15	224805.48	N/A	224,805.48
2	4	15	-	23	246,721.82	N/A	257,752.34
3	4	15	-	30	246,598.73	N/A	262,726.57
4	8	15	-	15	193,288.68	N/A	193,288.68
5	8	15	-	23	230,280.93	N/A	244,973.78
6	8	15	-	30	229,600.22	N/A	255,877.35
7	12	15	-	15	170,256.79	N/A	170,256.79
8	12	15	-	23	191,227.66	N/A	227,504.97
9	12	15	-	30	190,551.93	N/A	248,253.79
10	4	15	15	15	216,846.35	216,823.02	216,842.12
11	4	15	15	23	223,920.60	223,920.60	255,634.99
12	4	15	15	30	222,007.84	222,007.84	261,826.54
13	4	15	23	15	223,920.60	255,634.99	223,920.60
14	4	15	23	30	243,905.52	254,642.37	259,997.83
15	4	15	30	15	222,007.84	261,826.54	222,007.84
16	4	15	30	23	243,905.52	259,997.83	254,642.37
17	8	15	15	15	197,223.13	197,222.85	197,207.75
18	8	15	15	23	192,680.24	192,680.24	235,661.57
19	8	15	15	30	190,317.50	190,317.50	254,322.86
20	8	15	23	15	192,680.24	235,661.57	192,680.24
21	8	15	23	30	225,514.35	238,187.96	246,825.00
22	8	15	30	15	190,317.50	254,322.86	190,317.50
23	8	15	30	23	225,514.35	246,825.00	238,187.96
24	12	15	15	15	194,040.15	193,849.12	195,096.86
25	12	15	15	23	168,291.75	168,291.75	210,804.57
26	12	15	15	30	169,259.21	169,259.21	240,512.37
27	12	15	23	15	171,314.37	210,806.91	171,314.37
28	12	15	23	30	188,743.66	217,952.41	229,272.91
29	12	15	30	15	168,302.22	240,502.38	168,302.22
30	12	15	30	23	188,743.66	229,272.91	217,952.41

Tabel 4.63 Perbandingan geser dasar struktur tunggal dengan gaya geser dasar substruktur.

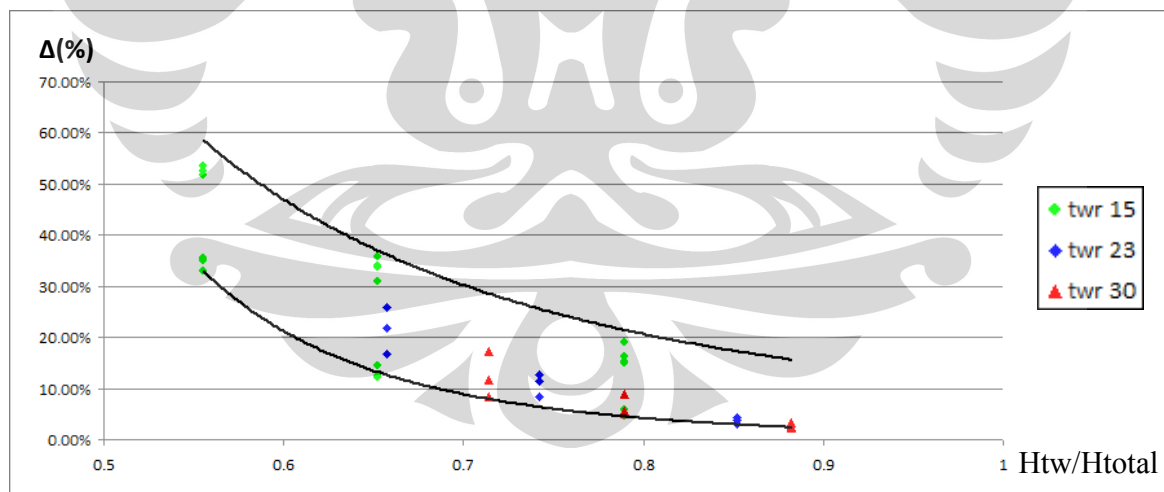
No.	Model				Δ to Struktur terpisah (%)		
	No. of Podium	No. of Left Tower	No. of Mid Tower	No. of Right Tower	Substruc. Left Tower	Substruc. Mid Tower	Substruc. Right Tower
1	4	15	-	15	14.88%	N/A	14.88%
2	4	15	-	23	4.67%	N/A	2.94%
3	4	15	-	30	4.73%	N/A	2.29%
4	8	15	-	15	33.61%	N/A	33.61%
5	8	15	-	23	12.15%	N/A	8.31%
6	8	15	-	30	12.48%	N/A	5.03%
7	12	15	-	15	51.68%	N/A	51.68%
8	12	15	-	23	35.05%	N/A	16.62%
9	12	15	-	30	35.53%	N/A	8.25%
10	4	15	15	15	19.09%	19.11%	19.10%
11	4	15	15	23	15.33%	15.33%	3.79%
12	4	15	15	30	16.33%	16.33%	2.64%
13	4	15	23	15	15.33%	3.79%	15.33%
14	4	15	23	30	5.88%	4.20%	3.36%
15	4	15	30	15	16.33%	2.64%	16.33%
16	4	15	30	23	5.88%	3.36%	4.20%
17	8	15	15	15	30.94%	30.94%	30.95%
18	8	15	15	23	34.03%	34.03%	12.59%
19	8	15	15	30	35.70%	35.70%	5.67%
20	8	15	23	15	34.03%	12.59%	34.03%
21	8	15	23	30	14.52%	11.39%	8.88%
22	8	15	30	15	35.70%	5.67%	35.70%
23	8	15	30	23	14.52%	8.88%	11.39%
24	12	15	15	15	33.09%	33.22%	32.37%
25	12	15	15	23	53.45%	53.45%	25.86%
26	12	15	15	30	52.58%	52.58%	11.73%
27	12	15	23	15	53.45%	25.86%	53.45%
28	12	15	23	30	35.20%	21.73%	17.21%
29	12	15	30	15	52.58%	11.73%	52.58%
30	12	15	30	23	35.20%	17.21%	21.73%

Dari tabel tersebut dapat kita lihat bahwa perbedaan gaya geser dasar yang terjadi akan bernilai kecil pada sub-struktur tower-tower yang tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa analisis yang dilakukan secara terpisah akan menghasilkan nilai-nilai yang dekat pada sub-struktur tower tertinggi yang berada di atas podium dengan jumlah tingkat yang sama. Berdasarkan hasil di atas, akan diambil 3 model pembanding. Sehingga dapat dilihat perbedaan (Δ) yang terjadi sebagai berikut.

Tabel 4.64 Perbandingan Δ Base Shear dan tinggi tower

No.	Model				Ratio Tower per Podium			Δ to Stand alone structure (%)		
	No. of Podium	No. of Left Tower	No. of Mid Tower	No. of Right Tower	Ratio of Left Tower	Ratio of Mid Tower	Ratio of Right Tower	Substruc. Left Tower	Substruc. Mid Tower	Substruc. Right Tower
1	4	15	23	30	0.789	0.852	0.882	5.56%	4.03%	3.25%
2	8	15	23	30	0.652	0.742	0.789	12.68%	10.23%	8.15%
3	12	15	23	30	0.556	0.657	0.714	26.04%	17.85%	14.68%

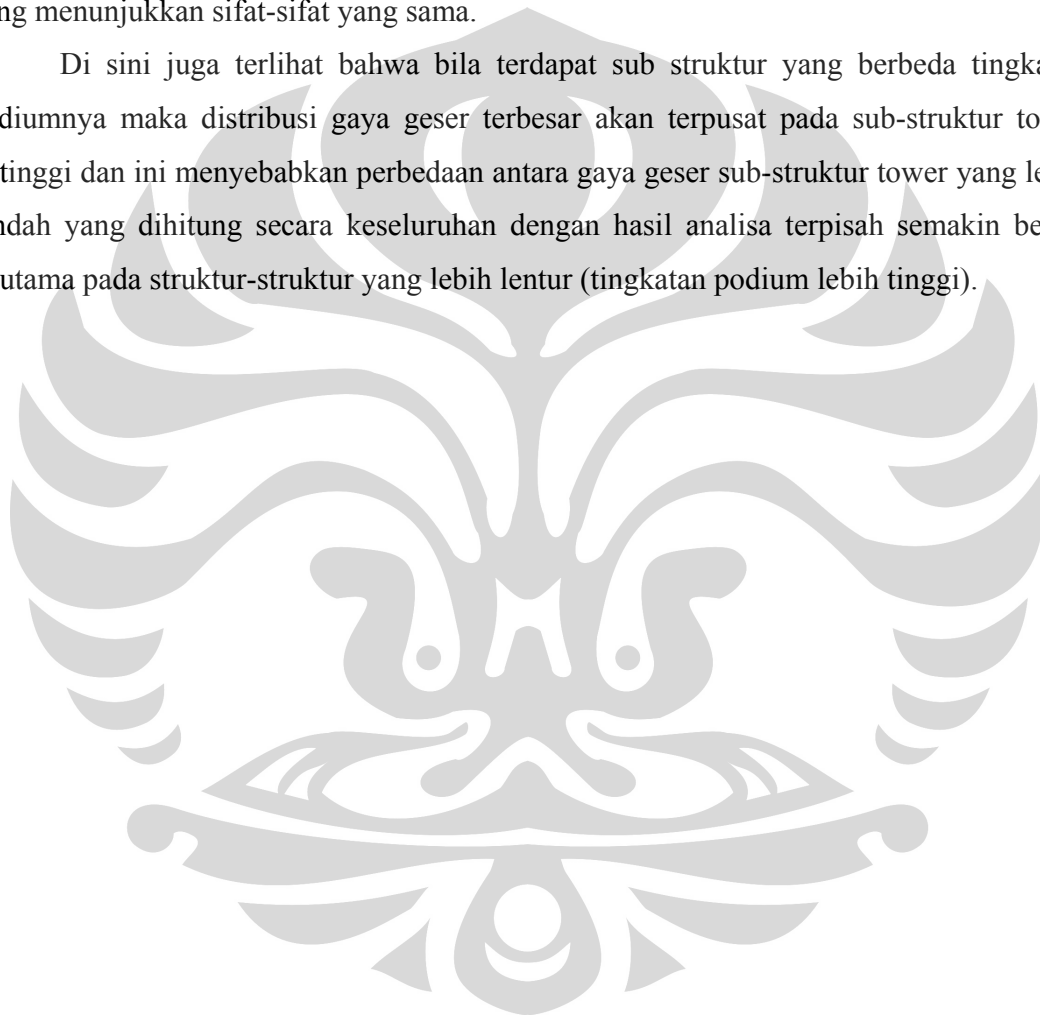
Bila seluruh model kita plot berdasarkan rasio tinggi tower dengan tinggi struktur total vs perbedaan gaya geser dasar pada tiap sub-struktur towernya akan menjadi seperti berikut:



Gambar 3.22 Grafik Δ Base Shear vs rasio tinggi struktur

Dari grafik-grafik di atas kita dapat membandingkan bahwa semakin tinggi struktur tower yang berdiri di atas sub-struktur podium maka periodenya akan semakin didominasi oleh sub-struktur tower yang tertinggi. Hal ini juga sesuai jika kita melihat % kesalahan yang terjadi akan semakin kecil pada struktur yang memiliki rasio tinggi tower dengan tinggi struktur total semakin besar. Jika diteliti lebih lanjut kita dapat melihat bahwa semua model struktur yang dianalisa masih berada dalam suatu daerah pengaruh yang menunjukkan sifat-sifat yang sama.

Di sini juga terlihat bahwa bila terdapat sub struktur yang berbeda tingkatan podiumnya maka distribusi gaya geser terbesar akan terpusat pada sub-struktur tower tertinggi dan ini menyebabkan perbedaan antara gaya geser sub-struktur tower yang lebih rendah yang dihitung secara keseluruhan dengan hasil analisa terpisah semakin besar, terutama pada struktur-struktur yang lebih lentur (tingkatan podium lebih tinggi).



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisa pada bab sebelumnya dapat disimpulkan bahwa:

- pada struktur podium multi tower akan terdapat mode-mode simetris yang mempunyai nilai EMF kecil. Namun nilai-nilai ini tidak bisa kita abaikan karena masih mempunyai kontribusi yang signifikan terhadap struktur dari gaya geser dasar yang dihasilkannya.
- pada model-model struktur yang terdapat sub-struktur simetris akan menghasilkan gaya dasar nol karena gaya mempunyai besaran yang sama dan memiliki arah yang berlawanan serta memiliki pola ragam getar sub-struktur podium yang cenderung diam
- pengulangan mode-mode yang menghasilkan EMF bernilai nol akan bergantung pada banyaknya jumlah sub-struktur tower yang memiliki karakteristik yang sama.
- jika dilakukan analisa secara terpisah antara podium dengan tower maka untuk aplikasi gaya geser dari tower pada atap podium harus dilakukan dengan kombinasi berbagai arah yang mungkin terjadi.
- Pada struktur yang memiliki rasio tinggi tower dengan tinggi total semakin besar maka periode struktur tersebut akan semakin besar dan didominasi oleh sub struktur tower tertinggi dan akan semakin mendekati hasil yang diperoleh dari analisa secara terpisah
- Pada struktur yang mempunyai beberapa sub struktur tower yang berbeda-beda tingginya, maka gaya geser yang terbesar akan dipikul oleh sub-struktur tower dengan jumlah tingkatan tower tertinggi. Sedangkan kontribusi yang diberikan oleh sub struktur tower yang lebih rendah akan menjadi lebih kecil.

- Dengan demikian jika kita bandingkan dengan hasil yang diperoleh melalui analisa secara terpisah, maka gaya geser analisa terpisah akan memberikan nilai yang lebih besar dan bedanya akan semakin besar untuk sub-struktur tower dengan jumlah tingkatan yang lebih rendah.
- Hal ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan analisa secara terpisah kita dapat memperoleh hasil output dengan waktu yang lebih singkat dan dengan faktor keamanan yang lebih tinggi. Namun, ini juga berarti bahwa perhitungan struktur analisa terpisah akan menjadi lebih boros terutama untuk struktur yang lebih lenur (struktur dengan jumlah tingkatan podium lebih tinggi).
- Jika kita memilih metode perhitungan dengan analisa terpisah maka kita harus memperhatikan jumlah tingkatan podium struktur yang dianalisa dan juga rasio tinggi tower dengan struktur keseluruhan untuk mendapatkan hasil yang efektif dan maksimal.

Penulis juga menyarankan agar dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menganalisa momen guling yang terjadi pada level atap podium jika struktur tersebut dianalisa secara terpisah. Selain itu perhitungan nilai-nilai EMF dari struktur ini sebaiknya dibantu dengan menggunakan program-program perhitungan yang ada dan dianalisa secara tiga dimensi karena akan ditemukan berbagai macam kombinasi arah pada gaya geaernya dan juga akan menimbulkan mode torsi saat meninjau bentuk mode-mode shape yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Chopra, Anil K. *Dynamics of Structures : Theory And Applications To Earthquake Engineering*, Prentice Hall, New Jersey, 1995
- Clough, Ray W. And Penzien J. *Dynamics Of Structures: Second Edition*, Mc Graw-Hill, Singapore, 1993
- Rastandi, Josia Irwan. *Analisa Dinamik Arah Gaya Geser Tower Pada Struktur Podium Multi Tower*
- Djojodihardjo, Harijono., *Metode Numerik*, Erlangga, Jakarta, 1983.
- International Building Code*, 2006
- Pauley, T. And Priestley, M. J. N., *Seismic Design of Reinforced Concrete And Masonry Buildings*, John Wiley & Sons Inc, 1992
- Paz, Mario., *Structural Dynamics Theory and Computation second edition*, Van Nostrand Reinhold, 1979.
- Standar Nasional Indonesia (SNI 03-1726-2002), *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional, 2002