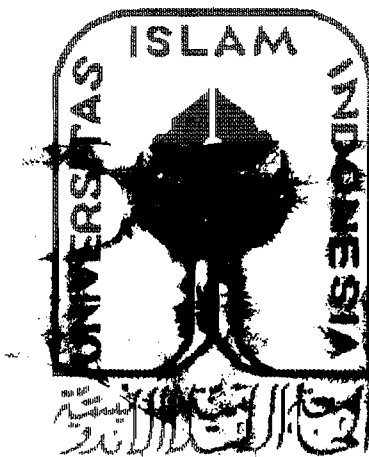


TUGAS AKHIR

PENGARUH PEMINDAHAN MASA LANTAI TERHADAP GAYA GESER, MOMEN GULING DAN SIMPANGAN PADA GEDUNG BERTINGKAT

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh
derajat Sarjana Teknik Sipil



Oleh :

N a m a : G U N A D I
No. Mhs : 93 310 315
Nirm. : 930051013114120311

N a m a : A R P I G U S M A D I
No. Mhs : 93 310 339
Nirm. : 930051013114120333

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
1999

TUGAS AKHIR
PENGARUH PEMINDAHAN MASA LANTAI TERHADAP
GAYA GESER, MOMEN GULING DAN SIMPANGAN PADA
GEDUNG BERTINGKAT

Nama : G U N A D I
No. Mhs : 93 310 315
NIRM : 930051013114120311

Nama : ARPI GUSMADI
No. Mhs : 93 310 339
NIRM : 930051013114120333

Telah Diperiksa Dan Disetujui Oleh :

Ir. H. Sarwidi, MSCE, Ph.D

Dosen Pembimbing I



tanggal 30/8/1999

Ir. Ade Ilham, MT

Dosen Pembimbing II



tanggal 30-8-1999

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR SIMBOL.....	xv
INTISARI.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Batasan Masalah.....	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
BAB III LANDASAN TEORI.....	6
3.1 Struktur (SDOF) Akibat Pembebanan Dinamik.....	6
3.2 Struktur (SDOF) Akibat Gerakan Tanah.....	7
3.3 Struktur dengan Derajat Kebebasan Banyak (MDOF).....	8
3.4 Simpangan Struktur.....	13

MOTTO

“Pelindung dan penolongmu adalah Allah, Rasul-Nya dan orang-orang yang beriman, yang mendirikan shalat dan menunaikan zakat, seraya mereka tunduk kepada Allah”

(Q.S. Al Maidah 5 : 55)

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(Q.S. Al 'insyiraah 94 : 5)

“Hai orang yang beriman, bila diminta kepadamu : ‘berilah keluasan di majelis,’ maka berilah dan Allah akan memberimu keluasan. Dan bila kamu diminta : ‘Bangkitlah,’ maka bangkitlah dari tempat dudukmu. Allah pasti akan mengangkat orang yang beriman dan berpengetahuan diantaramu beberapa tingkat lebih tinggi”

(Q.S. Al Mujaadilah 58 : 11)

LEMBAR PERSEMBAHAN

“Tuntutlah ilmu, sesungguhnya menuntut ilmu adalah pendekatan diri kepada Allah SWT, dan mengajarkannya kepada orang yang tidak mengetahui adalah sadaqoh “

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakan dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap “
(Qs : 94)

Kupersembahkan kepada :

*Bapak dan ibu yang tercinta, yang telah memberikan doa dan restu pada ananda,
Yayangku tercinta, dik Nuri yang telah memberikan doa, semangat dan dorongan sehingga TA mamam selesai tepat pada waktunya.*

Semua keluargaku Simbah, mbak Sri, mas Budi, adik-adikku: Agung, Kosnan, Marzuki, Marwan, Asih, Yudi, Iis, Yani keponakanku tercinta : Mega, Ira, Yoan yang telah memberikan dukungannya.

Semua keluarga Solo, bapak ibu Kel. H. Warsito, dik Tyas yang ngasih doa dan spirit, mbah To, Pak Ari, bulik Linda, Pak Budi, bulik Eni, Dainty, dan Faiz (adik-adikku yang lucu).

Irfan efendi temen Bae' dan seperjuanganku dari semester satu

Usamah khan yang membantu LPPAI-ku

Indhut yang selalu bae'

Kost-kostan Lor : bang Salim, Wowo', Daor, Didiet

Budi's kost : pa'e lan mbo'e, bang Parji SE. Suro, Tatenk, Bonang, Renny, Bambang, Kaffi, Hamka, Roby, O'ok juragan CD, Dino, Narodo, Jonet, kost-e

Simbok kulon : mas Bektu, Joko striker, Haryo Gendut, Eko. Ai', Lisa, Anggi', Wasiyo's Kost : Rahmat, Pathu, Bowo, Colid, Nandar's kost : Nanda, Iman, Janu, Iwan, A'an.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

السَّلَامُ عَلَيْكُمْ وَرَحْمَةُ اللَّهِ وَبَرَكَاتُهُ

Dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul :

**PENGARUH PEMINDAHAN MASA LANTAI TERHADAP GAYA GESER,
MOMEN GULING DAN SIMPANGAN PADA GEDUNG BERTINGKAT**

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk memenuhi dan melengkapi salah satu syarat dalam menempuh ujian kesarjanaan pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Penulis sadar sepenuhnya bahwa dalam penulisan tugas akhir ini banyak mendapat kesulitan, karena keterbatasan kemampuan yang dimiliki baik dalam pengalaman maupun teori ilmu. Namun terdorong oleh tekad yang besar untuk menyelesaikan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya serta dorongan dan bantuan dari berbagai pihak maka tugas akhir ini dapat tersusun.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak terutama kepada :

1. Bapak Ir. Widodo, MSCE, Ph.D. Selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

2. Bapak Ir. H. Tadjuddin BMA, MS. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
3. Bapak Ir. H. Sarwidi, MSCE, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
4. Bapak Ir. Ade Ilham, MT. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
5. Staf Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
6. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu menyelesaikan Tugas Akhir dan penyusunan laporan ini.

Akhirnya penghargaan yang khusus penulis sampaikan kepada bapak, ibu, kakak-kakakku, dan adik-adikku tercinta yang telah ikut mendoakan dan memberikan banyak dorongan moril dan materiil selama penulis mengikuti perkuliahan hingga selesainya tugas akhir ini. Semoga Allah SWT, memberikan rahmat-Nya kepada kita semua. Amin Ya Rabbil Alamin....

وَالسَّلَامُ عَلَيْكُمْ وَرَحْمَةُ اللَّهِ وَبَرَكَاتُهُ

Yogyakarta, Juli 1999

penulis

3.5 Gaya Geser Dasar.....	13
3.6 Momen Guling (<i>Overtuning Momen</i>).....	14
BAB IV METODE PENELITIAN.....	15
4.1 Lokasi Penelitian.....	15
4.2 Data yang Diperlukan.....	15
4.3 Pengolahan Data.....	16
4.4 Pengujian.....	17
BAB V ANALISIS PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN.....	19
5.1 Data Struktur.....	19
5.2 Perhitungan Masa dan Kekakuan Tingkat.....	21
5.2.1 Perhitungan masa tingkat.....	21
5.2.2 Perhitungan nilai kekakuan tingkat.....	23
5.3 Contoh Perhitungan secara Manual pada variasi masa standar.....	25
5.3.1 Simpangan horisontal dari kontribusi mode ke-j.....	28
5.3.2 Partisipasi setiap mode (Γ).....	30
5.3.3 Simpangan horisontal kontribusi tiap mode.....	31
5.3.4 Gaya horisontal kontribusi tiap mode.....	32
5.3.5 Simpangan horisontal menurut konsep <i>Upperbound / Absolute Response</i>	33
5.3.6 Simpangan antar tingkat.....	33
5.3.7 Gaya geser tingkat dan gaya geser dasar.....	35
5.3.8 Perhitungan momen guling.....	35
5.4 Pemindahan Masa lantai 1 dan 2.....	36

5.5 Pemindahan Masa lantai 1 dan 3.....	42
5.6 Pemindahan Masa lantai 2 dan 3.....	47
5.7 Pembahasan.....	52
5.7.1 Gaya geser dasar.....	52
5.7.2 Momen guling.....	56
5.7.3 Simpangan lantai.....	60
5.7.4 Simpangan antar tingkat (drift).....	63
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	68
6.1 Kesimpulan.....	68
6.2 Saran-saran.	69

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN-LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 3.1 beban dinamik pada struktur SDOF.....	6
2. Gambar 3.2 beban gempa pada struktur SDOF.....	7
3. Gambar 3.3 struktur Multi degree of freedom (MDOF).....	9
4. Gambar 5.1 struktur bangunan PT. Silker.....	18
5. Gambar 5.2 gaya geser horisontal tingkat, kontribusi tiap mode.....	33
6. Gambar 5.3 gaya geser tingkat dan gaya geser dasar.....	34
7. Gambar 5.7.1a grafik spektrum gaya gaser tingkat dan gaya geser dasar pada pemindahan masa lantai 1 dan 2.....	53
8. Gambar 5.7.1b grafik spektrum gaya gaser tingkat dan gaya geser dasar pada pemindahan masa lantai 1 dan 3.....	53
9. Gambar 5.7.1c grafik spektrum gaya gaser tingkat dan gaya geser dasar pada pemindahan masa lantai 2 dan 3.....	54
10. Gambar 5.7.1d grafik respon spektra.....	56
11. Gambar 5.7.2a grafik spektrum momen guling pada pemindahan masa lantai 1 dan 2.....	56
12. Gambar 5.7.2b grafik spektrum simpangan lantai pada pemindahan masa lantai 1 dan 3.....	57
13. Gambar 5.7.2c grafik spektrum simpangan lantai pada pemindahan masa lantai 2 dan 3.....	57
14. Gambar 5.7.3a grafik spektrum simpangan lantai pada pemindahan masa lantai 1 dan 2.....	60

15. Gambar 5.7.3b grafik spektrum simpangan lantai pada pemindahan masa lantai 1 dan 3.....	61
16. Gambar 5.7.3c grafik spektrum simpangan lantai pada pemindahan masa lantai 2 dan 3.....	62
17. Gambar 5.7.4a grafik spektrum simpangan antar tingkat pada pemindahan masa lantai 1 dan 2.....	63
18. Gambar 5.7.4b grafik spektrum simpangan antar tingkat pada variasi masa lantai 1 dan 3.....	63
19. Gambar 5.7.4c grafik spektrum simpangan antar tingkat pada variasi masa lantai 2 dan 3.....	63

DAFTAR TABEL

1. Tabel 5.1 Data pembebanan pada elemen.....	20
2. Tabel 5.2 Data pembebanan pada titik nodal.....	21
3. Tabel 5.4.1 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada prosentase masa lantai ke-1=140%.....	36
4. Tabel 5.4.2 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=140%.....	36
5. Tabel 5.4.3 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada prosentase masa lantai ke-1=120%.....	37
6. Tabel 5.4.4 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=120%.....	37
7. Tabel 5.4.5 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada prosentase masa lantai ke-1=100%.....	38
8. Tabel 5.4.6 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=100 %.....	38
9. Tabel 5.4.7 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada prosentase masa lantai ke-1=80%.....	39
10. Tabel 5.4.8 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=80%.....	39
11. Tabel 5.4.9 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada prosentase masa lantai ke-1=60%.....	40

12. Tabel 5.4.10 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat prosentase masa lantai ke-1=60%.....	40
13. Tabel 5.4.11 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada prosentase masa lantai ke-1=40%.....	41
14. Tabel 5.4.12 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=40%.....	41
15. Tabel 5.5.1 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada prosentase masa lantai ke-1=140%.....	42
16. Tabel 5.5.2 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=140%.....	42
17. Tabel 5.5.3 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada prosentase masa lantai ke-1=120%.....	43
18. Tabel 5.5.4 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=120%.....	43
19. Tabel 5.5.5 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada prosentase masa lantai ke-1=80%.....	44
20. Tabel 5.5.6 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=80%.....	44
21. Tabel 5.5.7 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada prosentase masa lantai ke-1=60%.....	45
22. Tabel 5.5.8 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=60%.....	45

23. Tabel 5.5.9 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada prosentase masa lantai ke-1=40%.....	46
24. Tabel 5.5.10 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=40%.....	46
25. Tabel 5.6.1 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada prosentase masa lantai ke-1=140%.....	47
26. Tabel 5.6.2 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=140%.....	47
27. Tabel 5.6.3 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada prosentase masa lantai ke-1=120%.....	48
28. Tabel 5.6.4 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=120%.....	48
29. Tabel 5.6.5 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada prosentase masa lantai ke-1=80%.....	49
30. Tabel 5.6.6 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=80%.....	49
31. Tabel 5.6.7 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada prosentase masa lantai ke-1=60%.....	50
32. Tabel 5.6.8 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=60%.....	50
33. Tabel 5.5.9 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada prosentase masa lantai ke-1=40%.....	51

34. Tabel 5.6.10 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=40%.....	51
35. Tabel 5.7.2a Gaya geser dasar dan momen guling untuk pemindahan masa lantai 1 dan 2.....	58
36. Tabel 5.7.2b Gaya geser dasar dan momen guling untuk pemindahan masa lantai 1 dan 3.....	59
37. Tabel 5.7.2c Gaya geser dasar dan momen guling untuk pemindahan masa lantai 2 dan 3.....	59
38. Tabel 5.7.4a Simpangan horisontal tingkat untuk pemindahan masa lantai 1 dan 2.....	65
39. Tabel 5.7.4b Simpangan horisontal tingkat untuk pemindahan masa lantai 1 dan 3.....	66
40. Tabel 5.7.4c Simpangan horisontal tingkat untuk pemindahan masa lantai 2 dan 3.....	67

DAFTAR LAMPIRAN

1. Lampiran 1 Contoh Menghitung Gaya Geser Dasar dan Momen G uling
2. Lampiran 2 Gambar Efektip Modal Partisipasi Faktor

DAFTAR SIMBOL

c	redaman
ξ	damping rasio
i	nomor lantai
j	nomor tingkat
F_m	gaya inersia
F_D	gaya redam
F_s	gaya tarik atau desak
m	masa
k	kekakuan
k_{eq}	kekakuan equivalen
t	waktu
\ddot{y}	percepatan struktur
\dot{y}	kecepatan struktur
y	simpangan struktur
\ddot{y}_b	percepatan tanah
\dot{y}_b	kecepatan tanah
y_b	simpangan tanah
ω	frekuensi sudut
ϕ	normal mode
α	efektif modal partisipasi faktor
T	periode getar
C	koefisien gempa dasar
Γ	partisipasi faktor
Δ	simpangan antar tingkat
M_{bn}	momen guling pada lantai ke-n
H_n	elevasi pada masa ke-n
F_n	gay horisontal pada lantai ke-n
V_j	gaya geser tingkat pada mode ke-j

Intisari

Pada daerah rawan gempa, beban gempa harus diperhitungkan dalam analisis struktur. Apabila terjadi gempa bumi, maka getaran gempa akan merambat kepermukaan tanah dan dapat dirasakan dipermukaan bumi. Getaran gempa dari lapisan tanah di bawah struktur akan merambat pada struktur dan mengakibatkan struktur bergetar. Getaran struktur tersebut terjadi secara acak dan dalam berbagai arah. Getaran struktur akibat gempa bumi dapat dimanifestasikan dalam bentuk percepatan tanah, kecepatan tanah, dan simpangan tanah. Percepatan masa struktur akibat gempa akan menyebabkan beban pada struktur.

Masa dalam struktur bertingkat berperan penting terhadap perilaku gerakan struktur, oleh karena itu studi tentang pengaruh variasi masa terhadap simpangan, gaya geser dasar, beserta momen guling pada gedung bertingkat akan kami bahas dalam penulisan ini.

Gaya geser dasar yang bekerja akan menurun seiring dengan pemindahan persentase masa lantai yang lebih kecil dari 100% yaitu pada prosentase 80%, 60% dan 40% dan akan meningkat pada prosentase 120% dan 140%. Hal ini terjadi baik pada pemindahan masa lantai 1 dan 2, 1 dan 3 maupun pada pemindahan lantai 2 dan 3.

Dalam penelitian ini pola momen guling tidak paralel dengan gaya geser dasar. Hal ini terjadi akibat pemindahan dari masa lantai dengan pemindahan masa lantai yang lebih besar pada lantai atas, walaupun masa total struktur tetap sama seperti kondisi standar. Pemindahan masa lantai yang lebih besar pada lantai atas akan menyebabkan momen guling yang lebih besar juga.

Patah tingkat struktur disebabkan antara lain oleh besarnya perbedaan antara simpangan tingkat yang satu dengan tingkat yang lain. Dimana besarnya perbedaan simpangan tingkat ini dipengaruhi oleh tidak idealnya pemindahan masa antara masa lantai yang satu dengan masa lantai yang lainnya.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pada daerah rawan gempa, beban gempa harus diperhitungkan dalam analisis struktur. Apabila terjadi gempa bumi, maka getaran gempa akan merambat ke permukaan tanah dan dapat dirasakan di permukaan tanah. Getaran gempa dari lapisan tanah di bawah struktur akan merambat pada struktur dan mengakibatkan struktur bergetar. Getaran struktur tersebut terjadi secara acak dan dalam berbagai arah. Getaran struktur akibat gempa bumi dapat dimanifestasikan dalam bentuk percepatan, kecepatan, dan simpangan struktur. Percepatan masa struktur akibat gempa akan menyebabkan beban pada struktur.

Dalam analisis struktur bangunan bertingkat banyak, masa setiap lantai struktur dapat dianggap berayun dalam arah horisontal saja, apabila getaran ke arah vertikal kecil.

Masa dalam struktur bertingkat berperan penting terhadap perilaku gerakan struktur, oleh karena itu studi tentang pengaruh pemindahan masa terhadap gaya geser, momen guling, beserta simpangan pada gedung bertingkat akan kami bahas dalam penulisan ini.

1.2 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penulisan ini dilakukan agar analisis menjadi lebih sederhana dan relatif mudah tetapi masih proporsional, adapun batasan masalah meliputi hal-hal berikut ini.

1. Struktur bergoyang secara horisontal (tanpa puntiran).
2. Masa struktur dianggap menggumpal pada satu titik (*Lump Mass*)
3. Simpangan masa tidak dipengaruhi beban aksial kolom.
4. Kolom dianggap tidak ber-masa.
5. Kolom dianggap menyatu dengan tanah (jepit).
6. Getaran gempa arah vertikal sangat kecil
7. Respon struktur hanya dibatasi pada kondisi linier elastis.
8. Metode analisis dinamik dengan menggunakan spektra respon (*response spectra*) wilayah gempa 2, seperti yang tercantum dalam PPTGIUG (Departemen Pekerjaan Umum, 1983)
9. Pemindahan masa lantai yang ditinjau hanyalah pemindahan masa (*switch*) pada lantai 1 dengan lantai 2, lantai 1 dengan lantai 3 dan lantai 2 dengan lantai 3
10. Pemindahan masa (*switch*) terjadi antara masa lantai yang satu dengan masa lantai pasangannya, dimana masa total gedung tetap atau tidak berubah dari jumlah masa standar.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk menganalisa besarnya simpangan, distribusi gaya geser dasar dengan spektrum respon analisis dan momen guling pada struktur bertingkat banyak akibat dari pemindahan masa struktur.

1.4 Manfaat

Manfaat penulisan dari laporan tugas akhir ini adalah :

1. Untuk menambah pengetahuan dan pemahaman tentang pengaruh dari pemindahan masa terhadap besarnya gaya geser, momen guling dan simpangan.
2. Sebagai bahan pertimbangan dalam pengaturan masa lantai setiap tingkat pada struktur.
3. Untuk pengembangan analisis dinamik struktur di lapangan dalam mencapai optimasi perencanaan bangunan gedung bertingkat tahan gempa.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam analisis dinamika struktur, masa merupakan elemen yang sangat berpengaruh terhadap respon struktur (Paz, 1997).

Berdasarkan hukum Newton II bahwa gaya adalah berbanding lurus dengan masa dan percepatan.

Masa lantai struktur dianggap terkonsentrasi pada satu titik (*lump mass*). Apabila prinsip bangunan geser (*shear building*) dipakai, maka setiap masa lantai hanya akan bergerak secara horisontal. Karena percepatan hanya terjadi pada struktur yang mempunyai masa, maka matrik masa merupakan matrik diagonal (Widodo, 1996 diktat kuliah Analisa Dinamika Struktur).

Struktur yang bergetar atau bergerak bebas secara alami (*free vibration*) setelah mengalami kondisi awal, maka faktor redaman (matrik C) dapat diabaikan, karena kecil pengaruhnya terhadap hasil akhir hitungan (Sarwidi, 1999. Diktat kuliah Metode Numerik).

Didalam *structural dynamics* kekakuan kolom dalam menahan beban horisontal dimodel sebagai konstanta pegas, pegas yang ditarik atau ditekan dengan beban P akan mengalami perpanjangan atau perpendekan (*Displacement*) sebesar y (Paz, 1997).

Kekakuan dimanifestasikan oleh kekakuan kolom apabila struktur tersebut mendapat pembebanan horisontal. Dalam memodel kekakuan ekuivalen dapat dimodel sebagai hubungan seri dan paralel dari pegas tersebut dan nilai konstanta pegas yang akan dipakai di dalam analisis adalah nilai ekuivalen konstanta pegas (Paz,1997).

Keseimbangan dinamik pada sistem dapat diperoleh dengan menjumlahkan gaya luar dengan gaya fiktif (*fictitious force*) yang biasa disebut gaya inersia. Gaya inersia tersebut arahnya berlawanan dengan arah gerakan (Prinsip *d'Alembert*).

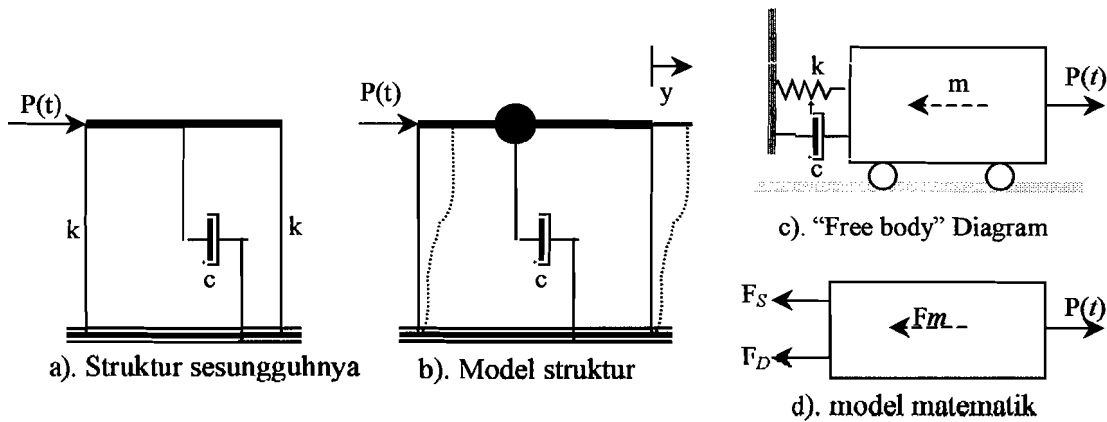
Ukuran kesetabilan suatu gedung tergantung oleh tingkat kelangsingan dari bangunan, yaitu perbandingan antara tinggi dan lebar struktur bangunan utama. Struktur bangunan yang terlalu langsing akan menyebabkan momen guling yang besar (*Overturning Moment*) (Chopra,1995).

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Struktur (SDOF) Akibat Pembebanan Dinamik

Beban dinamik yang bekerja pada struktur dianggap bekerja secara langsung pada elevasi lantai tingkat. Misal beban dinamik akibat putaran mesin

$$P(t) = P_0 \sin \omega t.$$



Gambar 3.1 Beban dinamik pada struktur SDOF

Berdasar "free body diagram", maka

$$F_M + F_D + F_S = P(t) \tag{3.1}$$

$$\text{Dengan } F_M = m \ddot{y}, \quad F_D = c \dot{y}, \quad F_S = k y \tag{3.2}$$

F_M , F_D , F_S masing-masing adalah gaya inersia, gaya redam, dan gaya tarik/desak yang mempresentasikan kekuatan kolom, $P(t)$ adalah beban dinamik, dan \ddot{y} , \dot{y} , y masing-masing adalah percepatan, kecepatan, simpangan.

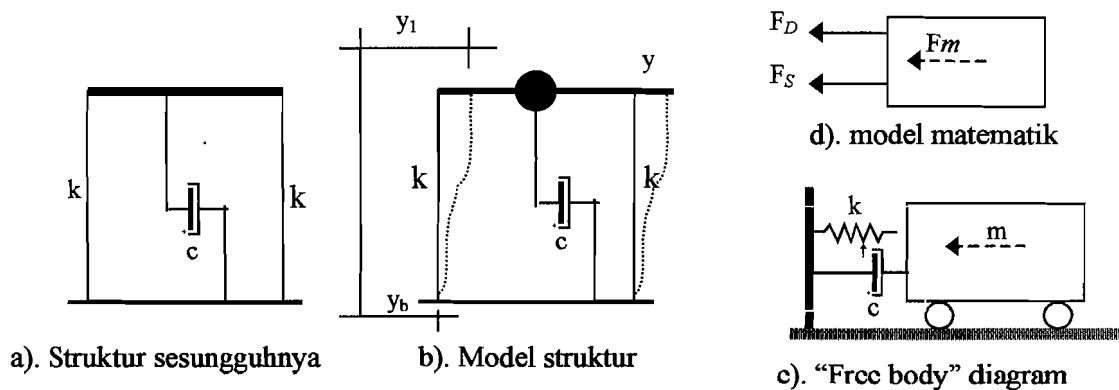
Dengan mensubstitusikan persamaan (3.2) ke dalam persamaan (3.1) maka persamaan (3.1) menjadi,

$$m \ddot{y} + c \dot{y} + k y = P(t) \quad (3.3)$$

Persamaan di atas disebut persamaan differensial gerakan (*differential equation of motion*)

3.2 Struktur (SDOF) Akibat Gerakan Tanah

Beban dinamik yang umum diperhitungkan adalah beban gempa. Gempa bumi akan menyebabkan getaran pada tanah, percepatan tanah, serta simpangan horisontal (*horizontal displacement*) (Widodo, 1996).



Gambar 3.2 Beban gempa pada struktur SDOF

Berdasar "*free body diagram*" persamaan differensial gerakan adalah,

$$m \ddot{y}_1 + c \dot{y}_1 + k y_1 = 0 \quad (3.4)$$

Setelah terjadi gempa bumi, tanah mempunyai percepatan, kecepatan, dan simpangan masing-masing sebesar, \ddot{y}_b , \dot{y}_b , dan y_b terhadap posisi awal maka,

$$\ddot{y}_1 = \ddot{y}_b + \ddot{y}, \quad \dot{y}_1 = \dot{y}_b + \dot{y}, \quad \text{dan} \quad y_1 = y_b + y \quad (3.5)$$

dengan mensubstitusikan persamaan (3.5) ke dalam persamaan (3.4) maka,

Persamaan (3.4) di atas dapat ditulis menjadi,

$$m \ddot{y} + c \dot{y} + k y = -m \ddot{y}_b - c \dot{y}_b - k y_b \quad (3.6)$$

Pada kondisi “*rigid body motion*” dianggap struktur tidak terjadi simpangan dan kecepatan antara tanah dan struktur. Dengan demikian persamaan (3.6) menjadi,

$$m \ddot{y} + c \dot{y} + k y = -m \ddot{y}_b \quad (3.7)$$

$$\ddot{y} + \frac{c}{m} \dot{y} + \frac{k}{m} y = -\ddot{y}_b \quad (3.8)$$

dalam analisis dinamika struktur di peroleh hubungan,

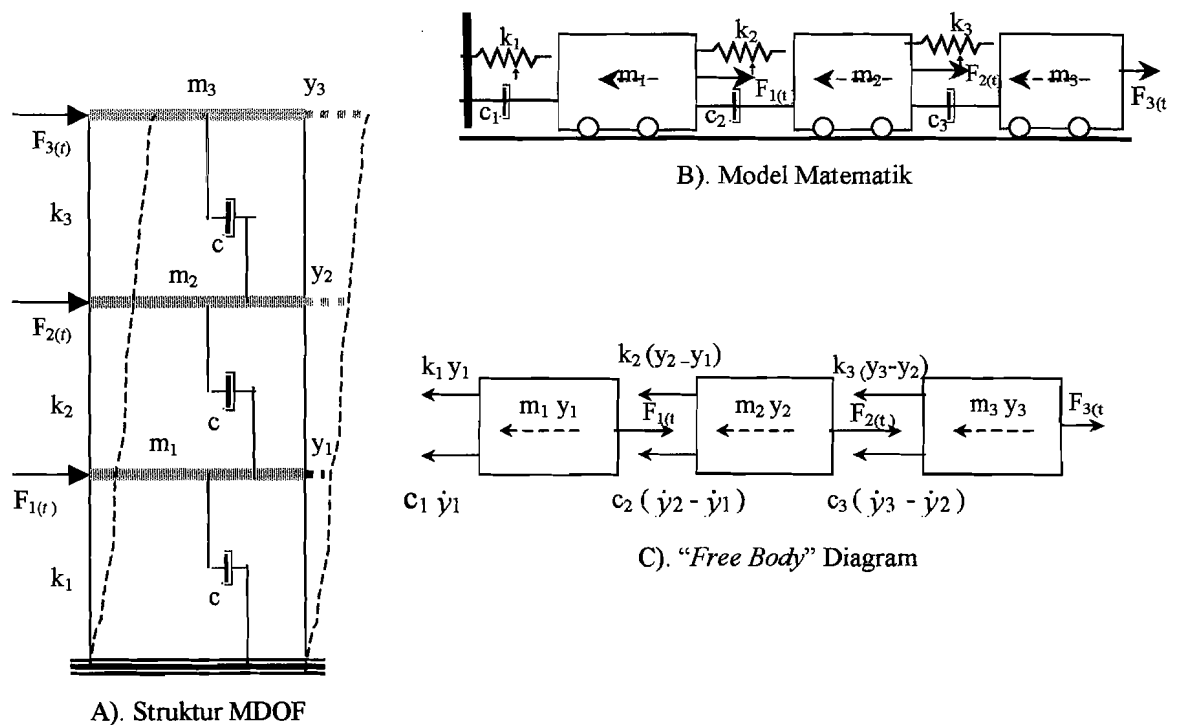
$$\frac{k}{m} = \omega^2 \quad \frac{c}{m} = 2 \xi \omega ,$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (\text{rad/dt}), \quad \omega = \text{angular frequency} \quad (3.9)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (\text{dt}) \quad T = \text{Periode} \quad (3.10)$$

3.3 Struktur dengan Derajat Kebebasan Banyak (MDOF)

Pada struktur bangunan gedung bertingkat banyak, umumnya masa lantai struktur dapat digumpalkan pada tiap lantai (*lump mass*), dengan demikian struktur yang tadinya mempunyai derajat kebebasan tak terhingga akan berubah menjadi struktur kebebasan terbatas, untuk memperoleh persamaan *differential* gerakan pada struktur kebebasan banyak, maka dapat digunakan anggapan *shear building* sebagaimana pada struktur SDOF.



Gambar 3.3 Struktur MDOF

Pada struktur bangunan gedung bertingkat-3 seperti pada gambar di atas, maka struktur akan mempunyai tiga derajat kebebasan, sehingga struktur yang mempunyai n-tingkat akan mempunyai n-derajat kebebasan dan mempunyai n-modes .

Untuk memperoleh persamaan *differential* gerakan pada struktur MDOF umumnya dipakai goyangan senada dengan mode pertama yaitu goyangan yang $y_3 > y_2 > y_1$. Berdasarkan keseimbangan dinamik seperti pada gambar 3.3, maka akan diperoleh persamaan seperti di bawah ini,

$$m_1 \ddot{y}_1 + c_1 \dot{y}_1 + k_1 y_1 - c_2 (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - k_2 (y_2 - y_1) - F_{1(t)} = 0 \quad (3.11a)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 + c_2 (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + k_2 (y_2 - y_1) - c_3 (\dot{y}_3 - \dot{y}_2) - k_3 (y_3 - y_2) - F_{2(t)} = 0 \quad (3.11b)$$

$$m_3 \ddot{y}_3 + c_3 (\dot{y}_3 - \dot{y}_2) + k_3 (y_3 - y_2) - F_{3(t)} = 0 \quad (3.11c)$$

dengan menyusun persamaan diatas menurut parameter yang sama (percepatan, kecepatan, dan simpangan), maka persamaan (3.11) dapat ditulis menjadi matrik uraian seperti berikut ini,

$$m_1 \ddot{y}_1 + (c_1+c_2) \dot{y}_1 - c_2 \dot{y}_2 + (k_1+k_2) y_1 - k_2 y_2 = F_{1(t)} \quad (3.12a)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 + c_2 \dot{y}_1 + (c_2+c_3) \dot{y}_2 - c_3 \dot{y}_3 - k_2 y_1 + (k_2+k_3) y_2 - k_3 y_3 = F_{2(t)} \quad (3.12b)$$

$$m_3 \ddot{y}_3 - c_3 \dot{y}_2 + c_3 \dot{y}_3 - k_3 y_2 + k_3 y_3 = F_{3(t)} \quad (3.12c)$$

Selanjutnya persamaan (3.12) dapat ditulis menjadi matrik ekspresi,

$$[M] \{\ddot{Y}\} + [C] \{\dot{Y}\} + [K] \{Y\} = \{F_{(t)}\} \quad (3.13)$$

yang mana matrik (massa, redaman, dan kekakuan) masing- masing adalah,

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \quad [C] = \begin{bmatrix} c_1+c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2+c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix}$$

$$\{\ddot{Y}\} = \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{Bmatrix} \quad \{\dot{Y}\} = \begin{Bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{Bmatrix}, \quad \{Y\} = \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix}, \quad \text{dan} \quad \{F_{(t)}\} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix}$$

Pada getaran bebas struktur MDOF ($F_{(t)} = 0$), maka persamaan (3.13) menjadi,

$$[M] \{\ddot{Y}\} + [C] \{\dot{Y}\} + [K] \{Y\} = 0 \quad (3.14)$$

apabila “damping ratio (ξ)” relatif kecil, maka ω_D (*damped frequency*) nilainya hampir sama dengan ω (*undamped frequency*), sehingga struktur dianggap tanpa redaman ($C=0$) maka persamaan (3.14) menjadi,

$$[M] \{\ddot{Y}\} + [K] \{Y\} = 0 \quad (3.15)$$

Karena persamaan (3.15) adalah persamaan *differential* gerakan tanpa redaman maka respon struktur akan bersifat harmonik, maka

$$\{Y\} = \{\phi\} \sin(\omega t) \quad (3.16)$$

$$\{\dot{Y}\} = \omega \{\phi\} \cos(\omega t) \quad (3.17)$$

$$\{\ddot{Y}\} = -\omega^2 \{\phi\} \sin(\omega t) \quad (3.18)$$

dalam hal ini $\{\phi\}$ adalah vektor “*mode shape*”.

Substitusi persamaan (3.16) dan (3.18) ke dalam persamaan (3.15) maka,

$$-\omega^2 [M] \{\phi\} \sin(\omega t) + [K] \{\phi\} \sin(\omega t) = \{0\} \quad (3.19a)$$

$$\{[K] - \omega^2 [M]\} \{\phi\} = \{0\} \quad (3.19b)$$

persamaan (3.19b) merupakan persamaan “*eigen problem*”, selanjutnya

$$\omega_i^2 [M] \{\phi_i\} = [K] \{\phi_i\} \quad (3.20a)$$

$$\omega_j^2 [M] \{\phi_j\} = [K] \{\phi_j\} \quad (3.20b)$$

apabila transpose persamaan (3.20a) di *postmultiply* dengan $\{\phi_j\}$, maka

$$(\omega_i^2 [M] \{\phi_i\})^T \{\phi_j\} = ([K] \{\phi_i\})^T \{\phi_j\} \quad (3.21)$$

karena matrik massa $[M]$ dan matrik kekakuan $[K]$ adalah matrik simetri, maka

$$[M]^T = [M] \text{ dan } [K]^T = [K] \text{ sehingga}$$

$$\omega_i^2 [M] \{\phi_i\}^T \{\phi_j\} = [K] \{\phi_i\}^T \{\phi_j\} \quad (3.22)$$

apabila persamaan (3.20b) dikalikan $\{\phi_i\}^T$, maka

$$\omega_j^2 [M] \{\phi_i\}^T \{\phi_j\} = \{\phi_i\}^T [K] \{\phi_j\} \quad (3.23)$$

apabila persamaan (3.22) dikurangi dengan persamaan (3.23), maka akan diperoleh

$$(\omega_i^2 - \omega_j^2) \{\phi_i\}^T [M] \{\phi_j\} = 0 \quad (3.24)$$

karena $\omega_i^2 \neq \omega_j^2$, maka $\omega_i^2 - \omega_j^2 \neq 0$, sehingga

$$\{\phi_i\}^T [M] \{\phi_j\} = 0 \quad (3.25)$$

kondisi *orthogonal* berlaku pada matrik kekakuan [K] dan kondisi *orthogonal* dianggap berlaku juga terhadap matrik redaman [C], maka

$$\{\phi_i\}^T [K] \{\phi_j\} = 0 \quad i \neq j \quad (3.26.a)$$

$$\{\phi_i\}^T [C] \{\phi_j\} = 0 \quad i \neq j \quad (3.26.b)$$

Untuk menyelesaikan persamaan simultan pada persamaan (3.19b), maka persamaan (3.19b) dapat ditulis kembali menjadi persamaan (3.27),

$$[K] - \omega^2 [M] \{\phi\} = \{0\} \quad (3.27)$$

Persamaan (3.27) akan ada penyelesaiannya (*nontrivial solution*) atau suatu sistem akan ada amplitudo yang terbatas apabila nilai determinan (3.27) adalah nol, maka

$$| [K] - \omega^2 [M] | = 0 \quad (3.28)$$

Determinan persamaan (3.28) akan menghasilkan persamaan *polynomial* dengan *degree*-n yang menghasilkan nilai ω , maka dengan mensubstitusikan ke dalam persamaan (3.27) akan menghasilkan nilai vektor "*mode shape*" $\{\phi\}_i$.

3.4 Simpangan Struktur

Untuk menghitung simpangan setiap lantai pada struktur digunakan metode *Upperbound* atau *Upper Limit Respon*

$$P_j = \{\phi\}_i [M] I$$

$$Z_j = \frac{P_j^*}{M_j^*} \frac{Cg}{\omega_j^2} \quad (3.24)$$

dengan C adalah koefisien gempa dasar (*basic seismic coefficient*) yang dapat dicari menurut daerah gempa, jenis tanah, dan periode getar pada mode yang ditinjau dan simpangan lantai struktur pada masa yang ke-i adalah

$$Y_I = \sum_{j=1}^n [\phi_{ij}^* z_{ij}] \quad (3.25)$$

3.5 Gaya Geser Dasar

Gaya geser tingkat dan gaya lantai sering dipakai dalam analisis struktur, karena gaya geser akan menyebabkan rotasi pada penampang horisontal lantai dan gaya lantai akan menyebabkan momen guling struktur (*overturning moment*). Gaya lantai akibat mode ke-j adalah

$$F_j = M \phi_j \frac{P_j^*}{M_j^*} cg \quad (3.26)$$

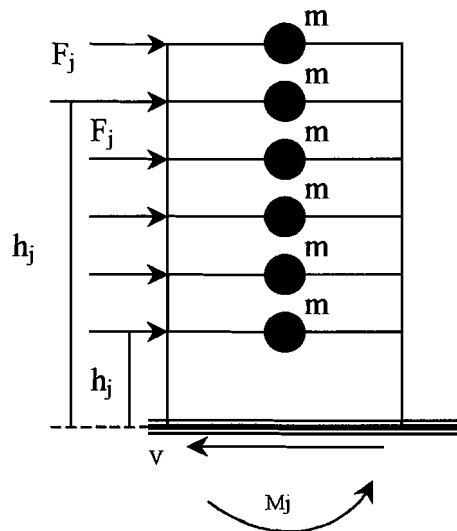
sehingga gaya geser dasar

$$V = - \left(\sum_{j=1}^n F_j \right) \quad (3.27)$$

Ø

3.6 Momen Guling (“Overtuning Moment”)

Momen guling didapat dengan mengalikan gaya lantai yang terjadi pada setiap tingkat (F_j) dengan jarak (h_j), maka



$$M = \sum_{j=1}^n F_j * h_j$$

BAB IV

METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan suatu urutan atau tata cara pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas permasalahan penelitian yang diajukan. Dalam penulisan tugas akhir ini metode yang dipakai adalah seperti yang disebutkan berikut ini.

4.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian sangat berpengaruh terhadap penentuan C (koefisien gempa) dan penentuan koefisien gempa juga dipengaruhi oleh jenis tanah.

4.2 Data yang Diperlukan

Pada penelitian tugas akhir ini ditinjau struktur yang mempunyai 5 tingkat, dengan setiap lantai mempunyai masa yang berbeda. Pada penelitian tugas akhir ini ditinjau struktur yang berfungsi sebagai gedung perkantoran, dengan data sebagai berikut :

1. gedung terletak pada wilayah gempa 2,
2. gedung terdiri dari lima lantai,
3. beban yang bekerja pada struktur adalah beban hidup dan beban mati,
4. gedung berdiri pada tanah keras,

Data dalam penulisan tugas akhir ini mengacu pada buku-buku, pendapat para ahli dan teori-teori yang berhubungan. Sedangkan data input gedung yang ditinjau diperoleh dari data tugas akhir pada perencanaan ulang gedung Ltd. PT. Silkar (Hera S.W dan Erwin, 1999)

4.3 Pengolahan Data

Setelah data terkumpul maka dilakukan pengolahan dan analisis data dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. menghitung inersia kolom (i),
2. menghitung kekakuan kolom (k_{eq}),
3. menghitung masa tiap lantai (m_i),
4. membuat persamaan diferensial gerakan,
5. membuat persamaan eigen value problem,
6. menghitung frekwensi sudut (ω),
7. menghitung mode shape (ϕ_j),
8. menghitung waktu getar alami (T),
9. menentukan koefisien gempa dasar (C),
10. menghitung partisipasi setiap mode (I_j),
11. menghitung efektif modal partisipasi faktor (α_j),
12. menghitung simpangan horisontal tingkat (Y_j),
13. menghitung gaya geser horisontal tingkat (F),
14. menghitung gaya geser dasar (V),
15. menghitung momen guling (M_b).

4.4 Pengujian

Pengujian yang dilakukan dalam tugas akhir ini meliputi pengaruh pemindahan pasangan masa lantai (*switch*) pada lantai 1 dan 2, lantai 1 dan 3, serta lantai 2 dan 3 terhadap, gaya geser dasar, momen guling, dan simpangan lantai pada struktur. Dalam pemindahan masa lantai, dicoba dengan memakai prosentase pengali masa dari masa standar (100%), yaitu prosentase pengali masa dari 140%-40% (interval 20%). Untuk pemindahan masa lantai 1 dengan 2 dan 1 dengan 3 prosentase pengali masa dilakukan pada lantai 1 dan untuk pemindahan masa lantai 2 dengan 3 prosentase pengali masa dilakukan pada lantai 2. Hal ini dapat dilihat dari penjelasan berikut ini

1. Untuk masa standar

$$m_1 = 295460 \text{ kg dt}^2 / \text{m}$$

$$m_2 = 170100 \text{ kg dt}^2 / \text{m}$$

$$m_3 = 170100 \text{ kg dt}^2 / \text{m}$$

$$m_4 = 170100 \text{ kg dt}^2 / \text{m}$$

$$m_5 = 131220 \text{ kg dt}^2 / \text{m}$$

2. Untuk pemindahan masa lantai 1 dan 2

contoh pada prosentase 140%

$$m_1 = 295460 \text{ kg dt}^2 / \text{m} * 140\% = 413644 \text{ kg dt}^2 / \text{m}$$

$$m_2 = 170100 \text{ kg dt}^2 / \text{m} * 30.521\% = 51915.967 \text{ kg dt}^2 / \text{m}$$

$$m_3 = 170100 \text{ kg dt}^2 / \text{m}$$

$$m_4 = 170100 \text{ kg dt}^2 / \text{m}$$

$$m_5 = 131220 \text{ kg dt}^2 / \text{m}$$

3. Pemindahan masa lantai 1 dan 3

contoh pada prosentase 140%

$$m_1 = 295460 \text{ kg dt}^2 / \text{m} * 140\% = 413644 \text{ kg dt}^2 / \text{m}$$

$$m_2 = 170100 \text{ kg dt}^2 / \text{m}$$

$$m_3 = 170100 \text{ kg dt}^2 / \text{m} * 30.521\% = 51915.967 \text{ kg dt}^2 / \text{m}$$

$$m_4 = 170100 \text{ kg dt}^2 / \text{m}$$

$$m_5 = 131220 \text{ kg dt}^2 / \text{m}$$

4. Pemindahan masa lantai 2 dan 3

contoh pada prosentase 140%

$$m_1 = 295460 \text{ kg dt}^2 / \text{m}$$

$$m_2 = 170100 \text{ kg dt}^2 / \text{m} * 140\% = 238140 \text{ kg dt}^2 / \text{m}$$

$$m_3 = 170100 \text{ kg dt}^2 / \text{m} * 60\% = 102060 \text{ kg dt}^2 / \text{m}$$

$$m_4 = 170100 \text{ kg dt}^2 / \text{m}$$

$$m_5 = 131220 \text{ kg dt}^2 / \text{m}$$

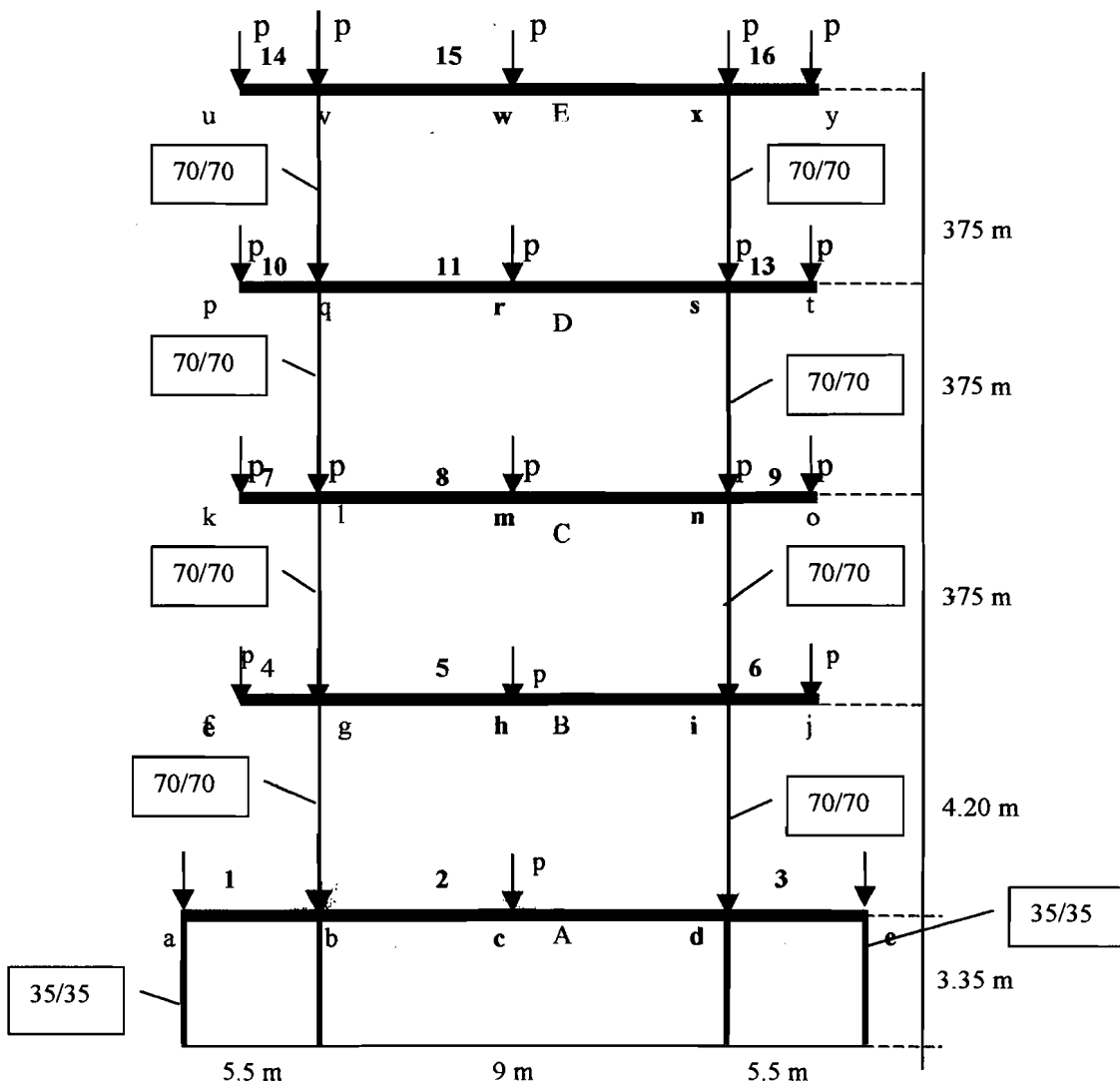
untuk prosentase 120%, 80%, 60%, dan 40% mengikuti cara pada prosentase 140% diatas.

BAB V

ANALISIS PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Struktur

Data struktur yang digunakan dalam analisis ini diperoleh dari perencanaan ulang gedung Ltd. PT. Silker seperti ditunjukkan pada gambar 5.1



Gambar 5.1 Struktur bangunan PT.Silker

Dari Gambar diatas:

1. Balok lantai 1 adalah balok A
2. Balok lantai 2 adalah balok B
3. Balok lantai 3 adalah balok C
4. Balok lantai 4 adalah balok D
5. Balok lantai 5 adalah balok E

Untuk elastisitas bahan (E) = $2 \cdot 10^9 \text{ kg/m}^2$

Tabel 5.1 Data pembebanan pada elemen

No	Elemen	Beban merata (kg/m^2)		Beban terpusat (kg)	
		B. Mati	B. Hidup	B. Mati	B. Hidup
1	2, 5, 8, 11	1596.67	556.0	12753.20	5596.40
2	15	1445.56	266.70	11231.2	2686.60
3	1	4296.80	1279.20	-	-
4	3	6450.00	1107.54	-	-
5	4, 7, 10	1200.00	312.50	-	-
6	14	1115.00	150.00	-	-
7	16	902.00	75.00	-	-
8	13, 9, 6	2002.50	156.25	-	-

Tabel 5.2 data pembebanan pada titik nodal

No	Nodal	Beban terpusat (kg)	
		Mati	Hidup
1	b, d	4733.40	-
2	g, i, l, n, q, s	4226.25	-
3	f, k, p	4441.20	1230.70
4	t, o, j	8346.50	815.35
5	v, x	2037.5	590.76
6	u	4839.40	495.38
	y	4571.70	2256.3

5.2 Perhitungan Masa dan Kekakuan Tingkat

5.2.1 Perhitungan masa tingkat

1. Masa balok A

$$m_a = W_a / g$$

$$\text{Beban Mati : } (4296.80 \cdot 5.5) + (1596.67 \cdot 9) + (6450 \cdot 5.5) = 73477.43$$

$$17753.20 + (4733.40 \cdot 2) = 22220$$

$$\text{Beban hidup : } (1279.20 \cdot 5.5) + (556.00 \cdot 9) + (1107.54 \cdot 5.5) = 18131.07$$

$$5596.40 = 5596.40$$

$$11924.90$$

$$m_a = \frac{119424.9}{9.81} = 12173.792 \approx 12200 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

2. Masa balok B

$$m_b = W_b / g$$

$$\text{Beban mati : } (1596.67*9) + (1200*2) + (2002.5*2) = 20775.03$$

$$12753.20 + (4226.25*2) + 4441.20 + 8346.30 = 32993.20$$

$$\text{Beban hidup : } (556*9) + (312.5*2) + (156.25*2) = 5941.50$$

$$5596.40 + 1230.70 + 815.35 = 7642.40$$

$$68352.13$$

$$m_b = \frac{68352.13}{9.81} = 6967.597 \approx 7000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

3. Masa balok C

$$M_c = W_c / g$$

$$\text{Beban mati : } (1596.67*9) + (1200*2) + (2002.5*2) = 20775.03$$

$$12753.20 + 4441.2 + 8346.3 + (4226.25*2) = 3399.20$$

$$\text{beban hidup : } (556*9) + (312.5*2) + (156.25*2) = 5941.50$$

$$5596.40 + 1230.70 + 815.35 = 7642.40$$

$$68352.13$$

$$m_c = \frac{68352.13}{9.81} = 6967.597 \approx 7000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

4. Masa balok D

$$m_d = 7000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

5. Masa balok E

$$m_e = W_e / g$$

$$\text{beban mati : } (1445.56*9) + (1115*2) + (902.5*2) = 17045.04$$

$$11231.2 + 4839.40 + 4571.78 + (2037.5*2) = 24717.38$$

$$\text{beban hidup : } (266.7*9) + 150*2 + (75*2) = 2850.30$$

$$(2256.3*2) + (590.76 + 495.38 + 2686.60) = 8285.34$$

$$52898.06$$

$$m_e = \frac{52898.06}{9.81} = 5392.2589 \approx 5400 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

5.2.2 Perhitungan nilai kekakuan tingkat

$$\text{Inersia : kolom } 70/70 \longrightarrow I_x = 1/12 * (0.7)^4 = 0.02 \text{ m}^4$$

$$35/35 \longrightarrow I_x = 1/12 * (0.35)^4 = 0.00125 \text{ m}^4$$

untuk nilai $E = 200000 \text{ kg/cm}^2$ atau $E = 2 \cdot 10^9 \text{ kg/m}^2$

$$k_1 = 12 EI/h^3 = 12 * 2 \cdot 10^9 * 0.02 / 3.35^3 = 12767527.92 \text{ kg/m} \approx 13000000 \text{ kg/m}$$

$$k_1' = 12 EI/h^3 = 12 * 2 \cdot 10^9 * 0.00125 / 3.35^3 = 797.970.495 \text{ kg/m} \approx 800000 \text{ kg/m}$$

$$k_2 = 12 EI/h^3 = 12 * 2 \cdot 10^9 * 0.02 / 4.2^3 = 6.478.781 \text{ kg/m} \approx 6.500.000 \text{ kg/m}$$

$$k_3 = 12 EI/h^3 = 12 * 2 \cdot 10^9 * 0.02 / 3.75^3 = 9.102.222,22 \text{ kg/m} \approx 9.100.000 \text{ kg/m}$$

$$k_4 = 12 EI/h^3 = 12 * 2 \cdot 10^9 * 0.02 / 3.75^3 = 9.102.222,22 \text{ kg/m} \approx 9.100.000 \text{ kg/m}$$

$$k_5 = 12 EI/h^3 = 12 * 2 \cdot 10^9 * 0.02 / 3.75^3 = 9.102.222,22 \text{ kg/m} \approx 9.100.000 \text{ kg/m}$$

Perhitungan kekakuan tingkat ekivalen

$$k_{eq1} = (13.000.000*2) + (800.000*2) = 27.600.000 \text{ kg/m}$$

$$k_{eq2} = (6.500.000*2) = 13.000.000 \text{ kg/m}$$

$$k_{eq3} = (9.100.000*2) = 18.200.000 \text{ kg/m}$$

$$k_{eq4} = (9.100.000*2) = 18.200.000 \text{ kg/m}$$

$$k_{eq5} = (9.100.000*2) = 18.200.000 \text{ kg/m}$$

Nilai Periode Getar (T) pada grafik respon spektra, sebaiknya masuk ke dalam garis yang miring. Hal ini dimaksudkan agar nilai koefisien gempa dasar yang didapat tidak konstan, sehingga perhitungan lebih bervariasi, maka dalam penelitian ini masa yang telah didapat diperbesar dengan faktor pengali 24.218, sedangkan kekakuan tingkat di kurangi sebesar satu juta tiap tingkatnya.

Adapun masa dan kekakuan yang di anggap ideal dan memenuhi syarat tersebut adalah :

$$m_1 = 12200 * 24.218 = 295460 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad k_{eq1} = 26600000 \text{ kg/m}$$

$$m_2 = 7000 * 24.218 = 170100 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad k_{eq2} = 17200000 \text{ kg/m}$$

$$m_3 = 7000 * 24.218 = 170100 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad k_{eq3} = 17200000 \text{ kg/m}$$

$$m_4 = 7000 * 24.218 = 170100 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad k_{eq4} = 17200000 \text{ kg/m}$$

$$m_5 = 5400 * 24.218 = 131220 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad k_{eq5} = 17200000 \text{ kg/m}$$

5.3 Contoh perhitungan secara manual pada masa standar

Untuk menyederhanakan hitungan, maka masa dan kekakuan dibuat dalam bentuk unit, untuk unit massa (Um) = 100000 dan unit kekakuan (Uk) = 10000000

$$[M]=\begin{bmatrix} 2.9546 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.701 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.701 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.701 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.3122 \end{bmatrix}$$

$$[K]=\begin{bmatrix} 2.66 & -1.72 & 0 & 0 & 0 \\ -1.72 & 4.38 & -1.72 & 0 & 0 \\ 0 & -1.72 & 3.44 & -1.72 & 0 \\ 0 & 0 & -1.72 & 3.44 & -1.20 \\ 0 & 0 & 0 & -1.20 & 1.20 \end{bmatrix}$$

dengan memperhatikan matrik di atas, maka persamaan *eigen problem* yang dapat disusun adalah sebagai berikut,

$$\begin{bmatrix} 2.66k-2.9546\omega^2 m & -1.72k & 0 & 0 & 0 \\ -1.72k & 4.38k-1.701\omega^2 m & -1.72k & 0 & 0 \\ 0 & -1.72k & 3.44k-1.701\omega^2 m & -1.72k & 0 \\ 0 & 0 & -1.72k & 3.44k-1.701\omega^2 m & -1.20k \\ 0 & 0 & 0 & -1.20k & 1.20k-1.3122\omega^2 m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \\ \phi_5 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 2.66-2.9546\frac{\omega^2}{k/m} & -1.72 & 0 & 0 & 0 \\ -1.72 & 4.38-1.701\frac{\omega^2}{k/m} & -1.72 & 0 & 0 \\ 0 & -1.72 & 3.44-1.701\frac{\omega^2}{m} & -1.72 & 0 \\ 0 & 0 & -1.72 & 3.44-1.701\frac{\omega^2}{m} & -1.20 \\ 0 & 0 & 0 & -1.20 & 1.20-1.3122\frac{\omega^2}{m} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \\ \phi_5 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$, maka persamaan menjadi :

$$\begin{bmatrix} 2.66-2.9546\lambda & -1.72 & 0 & 0 & 0 \\ -1.72 & 4.38-1.701\lambda & -1.72 & 0 & 0 \\ 0 & -1.72k & 3.44-1.701\lambda & -1.72 & 0 \\ 0 & 0 & -1.72 & 3.44-1.701\lambda & -1.20 \\ 0 & 0 & 0 & -1.20 & 1.20-1.3122\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \\ \phi_5 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

karena nilai persamaan simultan homogen diatas tidak dapat menghasilkan nilai-nilai eksak/pasti tetapi hanya menghasilkan perbandingan antara satu dengan yang lainnya, maka diambil asumsi $\phi_1 = 1$, kemudian didapatkan :

$$\phi_1 = 1$$

$$\phi_2 = 2.546512 + (-1.717791) \lambda$$

$$\phi_3 = 4.093023 + (-5.953963) \lambda + (1.698815) \lambda^2$$

$$\phi_4 = 5.639535 + (-14.23795) \lambda + (9.285823) \lambda^2 + (-1.680049) \lambda^3$$

$$\phi_5 = 7.856201 + (-34.10569) \lambda + (40.34282) \lambda^2 + (-17.25077) \lambda^3 + (2.381469) \lambda^4$$

Persamaan akhir didapat adalah :

$$\begin{aligned} & -3.124964 \lambda^5 + (25.49423) \lambda^4 + (-71.62271) \lambda^3 + (82.02188) \lambda^2 + (-34.1502) \lambda \\ & + 2.66 = 0 \end{aligned}$$

dengan cara metode setengah interval, didapat:

$$\lambda_1 = 0.099803$$

$$\lambda_2 = 0.703793$$

$$\lambda_3 = 1.435375$$

$$\lambda_4 = 2.396861$$

$$\lambda_5 = 3.522416$$

dari nilai lamda (λ) di atas didapat frekwensi sudut dan periode getar struktur

$$\omega = \sqrt{\lambda_1 \frac{k}{m}} = \sqrt{0.099803 \frac{10^5}{10^7}} = 3.159161 \text{ rad/dt} \quad T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = \frac{2\pi}{3.159161} = 1.988878 \text{ dt}$$

$$\omega = \sqrt{\lambda_2 \frac{k}{m}} = \sqrt{0.703793 \frac{10^5}{10^7}} = 8.389219 \text{ rad/dt} \quad T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = \frac{2\pi}{8.389219} = 0.748959 \text{ dt}$$

$$\omega = \sqrt{\lambda_3 \frac{k}{m}} = \sqrt{1.435375 \frac{10^5}{10^7}} = 11.980714 \text{ rad/dt} \quad T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = \frac{2\pi}{11.980714} = 0.524442 \text{ dt}$$

$$\omega = \sqrt{\lambda_4 \frac{k}{m}} = \sqrt{2.396861 \frac{10^5}{10^7}} = 15.481799 \text{ rad/dt} \quad T_4 = \frac{2\pi}{\omega_4} = \frac{2\pi}{15.481799} = 0.405843 \text{ dt}$$

$$\omega = \sqrt{\lambda_5 \frac{k}{m}} = \sqrt{3.522416 \frac{10^5}{10^7}} = 18.768101 \text{ rad/dt} \quad T_5 = \frac{2\pi}{\omega_5} = \frac{2\pi}{18.768101} = 0.334780 \text{ dt}$$

Dengan menggunakan *respon spektra* untuk wilayah gempa 2, maka didapat nilai koefisien gempa (C) sebagai berikut :

$$C_1 = 0.035271$$

$$C_2 = 0.06419$$

$$C_3 = 0.069429$$

$$C_4 = 0.07$$

$$C_5 = 0.07$$

$$\phi_1 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.375071 \\ 3.515721 \\ 4.309367 \\ 4.837279 \end{Bmatrix}; \phi_2 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1.337543 \\ 0.744131 \\ -0.3672093 \\ -1.593791 \end{Bmatrix}; \phi_3 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 8.0837710^{-2} \\ -0.9530749 \\ -0.63408 \\ 1.113277 \end{Bmatrix}; \phi_4 = \begin{Bmatrix} 1 \\ -1.570794 \\ -0.4182024 \\ 1.725693 \\ -1.064529 \end{Bmatrix}; \phi_5 = \begin{Bmatrix} 1 \\ -3.504262 \\ 4.198593 \\ -2.724373 \\ 0.9555359 \end{Bmatrix}$$

5.3.1 Simpangan horisontal dari kontribusi mode ke-j

$$z_j = \frac{P_j}{M_j^*} \frac{Cg}{\omega_j^2}$$

$$P_j^* = \{\phi\}_j^T [M]_j \{1\}$$

$$P_1^* = \{1 \ 2.375 \ 3.5164 \ 3.094 \ 8.37\} \begin{bmatrix} 2.9546 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.701 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.701 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.701 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.3122 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$= 26.6519 \text{ kg}$$

$$P_2^* = \{1 \ 1.337 \ 0.744 \ -0.367 \ -1.594\} \begin{bmatrix} 2.9546 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.701 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.701 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.701 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.3122 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$= 3.778 \text{ kg}$$

$$P_3^* = \{1 \ 0.081 \ -0.953 \ -0.634 \ 1.113\} \begin{bmatrix} 2.9546 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.701 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.701 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.701 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.3122 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$= 1.8534 \text{ kg}$$

$$P_4^* = \{1 \ -1.571 \ -0.418 \ 1.726 \ -1.604\} \begin{bmatrix} 2.9546 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.701 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.701 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.701 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.3122 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$= 2.103 \text{ kg}$$

$$P_5^* = \{1 \ -3.504 \ 4.198 \ -2.724 \ 0.955\} \begin{bmatrix} 2.9546 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.701 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.701 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.701 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.3122 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$= 0.755 \text{ kg}$$

$$M_j^* = \{\phi\}_j^T [M]_j \{\phi\}_j$$

$$M_1^* = \{1 \ 2.375 \ 3.516 \ 4.309 \ 4.837\} \begin{bmatrix} 2.9546 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.701 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.701 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.701 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.3122 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.375 \\ 3.516 \\ 4.309 \\ 4.837 \end{Bmatrix}$$

$$= 95.876 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

$$M_2^* = \{1 \ 1.337 \ 0.744 \ -0.367 \ -1.594\} \begin{bmatrix} 2.9546 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.701 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.701 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.701 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.3122 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1.337 \\ 0.744 \\ -0.367 \\ -1.594 \end{Bmatrix}$$

$$= 10.500 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

$$M_3^* = \{1 \ 0.081 \ -0.953 \ -0.634 \ 1.113\} \begin{bmatrix} 2.9546 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.701 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.701 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.701 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.3122 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 0.081 \\ -0.853 \\ -0.634 \\ 1.113 \end{Bmatrix}$$

$$= 6.8198 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

$$M_4^* = \{1 \quad -1.571 \quad -0.418 \quad 1.726 \quad -1.604\} \begin{bmatrix} 2.9546 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.701 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.701 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.701 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.3122 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ -1.571 \\ -0.418 \\ 1.726 \\ -1.064 \end{Bmatrix}$$

$$= 14.003 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

$$M_5^* = \{1 \quad -3.504 \quad 4.198 \quad -2.724 \quad 0.955\} \begin{bmatrix} 2.9546 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.701 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.701 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.701 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.3122 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ -3.504 \\ 4.198 \\ -2.724 \\ 0.955 \end{Bmatrix}$$

$$= 67.635 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

5.3.2 Partisipasi setiap mode (Γ)

$$\Gamma_j = \frac{P_j^*}{M_j^*}$$

$$\Gamma_1 = \frac{26.6519}{95.876} = 0.27798 \text{ cm/dt}^2$$

$$\Gamma_2 = \frac{3.778}{10.500} = 0.3598 \text{ cm/dt}^2$$

$$\Gamma_3 = \frac{1.8534}{6.8198} = 0.27177 \text{ cm/dt}^2$$

$$\Gamma_4 = \frac{2.103}{14.003} = 0.1501 \text{ cm/dt}^2$$

$$\Gamma_5 = \frac{0.755}{67.635} = 0.0112 \text{ cm/dt}^2$$

$$Z_i = \Gamma_i \frac{cg}{\omega_i^2}$$

$$Z_1 = 0.27798 \frac{0.0359 * 9.81}{3.203^2} = 0.009543 \text{ m}$$

$$Z_2 = 0.3598 \frac{0.06419 * 9.81}{8.389237^2} = 0.003822 \text{ m}$$

$$Z_3 = 0.27177 \frac{0.069429 * 9.81}{11.9807^2} = 0.0012896 \text{ m}$$

$$Z_4 = 0.1501 \frac{0.007 * 9.81}{18.217^2} = 3.1059 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$Z_5 = 0.0112 \frac{0.007 * 9.81}{22.071^2} = 1057885 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

5.3.3 Simpangan horisontal, kontribusi tiap mode

$$y_j = \{\phi\}_j Z_i$$

$$y_1 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.375 \\ 3.516 \\ 4.309 \\ 4.837 \end{Bmatrix} 0.009543 = \begin{Bmatrix} 0.009543 \\ 0.022665 \\ 0.033552 \\ 0.041120 \\ 0.046159 \end{Bmatrix}$$

$$y_2 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1.337 \\ 0.744 \\ -0.367 \\ -1.594 \end{Bmatrix} 0.003822 = \begin{Bmatrix} 0.003822 \\ 0.005110 \\ 0.002844 \\ -0.001403 \\ -0.006092 \end{Bmatrix}$$

$$y_3 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0.081 \\ -0.853 \\ -0.634 \\ 1.113 \end{Bmatrix} 0.0012896 = \begin{Bmatrix} 0.0012896 \\ 0.0001045 \\ -0.00110 \\ -0.0008176 \\ 0.0014353 \end{Bmatrix}$$

$$y_4 = \begin{Bmatrix} 1 \\ -1.571 \\ -0.418 \\ 1.726 \\ -1.064 \end{Bmatrix} 3.1059 \cdot 10^{-5} = \begin{Bmatrix} 0.000031059 \\ -0.00004879 \\ -0.00001298 \\ 0.000053608 \\ -0.00003305 \end{Bmatrix}$$

$$y_5 = \begin{Bmatrix} 1 \\ -3.504 \\ 4.198 \\ -2.724 \\ 0.955 \end{Bmatrix} 1057885 \cdot 10^{-6} = \begin{Bmatrix} 0.000001057885 \\ -0.000003706829 \\ 0.000004441001 \\ -0.000002881678 \\ 0.000001010281 \end{Bmatrix}$$

5.3.4 Gaya horisontal, kontribusi tiap mode

$$F_j = [M] \{ \phi \}_j \frac{P_j^*}{M_j^*} \text{ c.g}$$

$$F_1 = \begin{bmatrix} 2.9546 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.701 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.701 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.701 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.3122 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.375 \\ 3.516 \\ 4.309 \\ 4.837 \end{Bmatrix} 0.27798 * 0.035271 * 9.81 = \begin{Bmatrix} 0.0097 \\ 0.0133 \\ 0.0197 \\ 0.0242 \\ 0.0205 \end{Bmatrix}$$

$$F_2 = \begin{bmatrix} 2.9546 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.701 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.701 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.701 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.3122 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1.337 \\ 0.744 \\ -0.367 \\ -1.594 \end{Bmatrix} 0.3598 * 0.06419 * 9.81 = \begin{Bmatrix} 0.6694 \\ 0.5145 \\ 0.2863 \\ -0.141 \\ -0.473 \end{Bmatrix}$$

$$F_3 = \begin{bmatrix} 2.9546 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.701 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.701 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.701 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.3122 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 0.081 \\ -0.853 \\ -0.634 \\ 1.113 \end{Bmatrix} 0.27177 * 0.06943 * 9.81 = \begin{Bmatrix} 0.5469 \\ 0.0255 \\ -0.268 \\ -0.199 \\ 0.2703 \end{Bmatrix}$$

$$F_4 = \begin{bmatrix} 2.9546 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.701 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.701 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.701 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.3122 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ -1.571 \\ -0.418 \\ 1.726 \\ -1.064 \end{Bmatrix} 0.1501 * 0.07 * 9.81 = \begin{Bmatrix} 0.3045 \\ -0.275 \\ -0.073 \\ 0.3026 \\ -0.143 \end{Bmatrix}$$

$$F_5 = \begin{bmatrix} 2.9546 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.701 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.701 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.701 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.3122 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ -3.504 \\ 4.198 \\ -2.724 \\ 0.955 \end{Bmatrix} 0.0112 * 0.07 * 9.81 = \begin{Bmatrix} 0.0227 \\ -0.045 \\ 0.0545 \\ -0.035 \\ 0.0096 \end{Bmatrix}$$

5.3.5 Simpangan horisontal menurut konsep *Upperbound/Absolute response*

tingkat ke-5, $y_5 = 4.62 \cdot 10^{-2} + 6.092 \cdot 10^{-3} + 1.43 \cdot 10^{-3} + 3.305 \cdot 10^{-5} + 1.013 \cdot 10^{-6} = 0.0535$ m

tingkat ke-4, $y_4 = 4.11 \cdot 10^{-2} + 1.403 \cdot 10^{-3} + 8.176 \cdot 10^{-4} + 5.361 \cdot 10^{-5} + 2.88 \cdot 10^{-6} = 0.0440$ m

tingkat ke-3, $y_3 = 3.35 \cdot 10^{-2} + 2.84 \cdot 10^{-3} + 1.10 \cdot 10^{-3} + 1.298 \cdot 10^{-5} + 4.44 \cdot 10^{-6} = 0.03770$ m

tingkat ke-2, $y_2 = 2.26 \cdot 10^{-2} + 5.11 \cdot 10^{-3} + 1.046 \cdot 10^{-3} + 4.879 \cdot 10^{-5} + 3.71 \cdot 10^{-6} = 0.02774$ m

tingkat ke-1, $y_1 = 9.543 \cdot 10^{-2} + 3.82 \cdot 10^{-3} + 1.289 \cdot 10^{-3} + 3.11 \cdot 10^{-5} + 1.06 \cdot 10^{-6} = 0.01439$ m

5.3.6 Simpangan antar tingkat

Simpangan antar tingkat diperoleh dengan mengurangkan tingkat atas dengan tingkat di bawahnya

tingkat 1 (Δ_1) = 0.01439 m

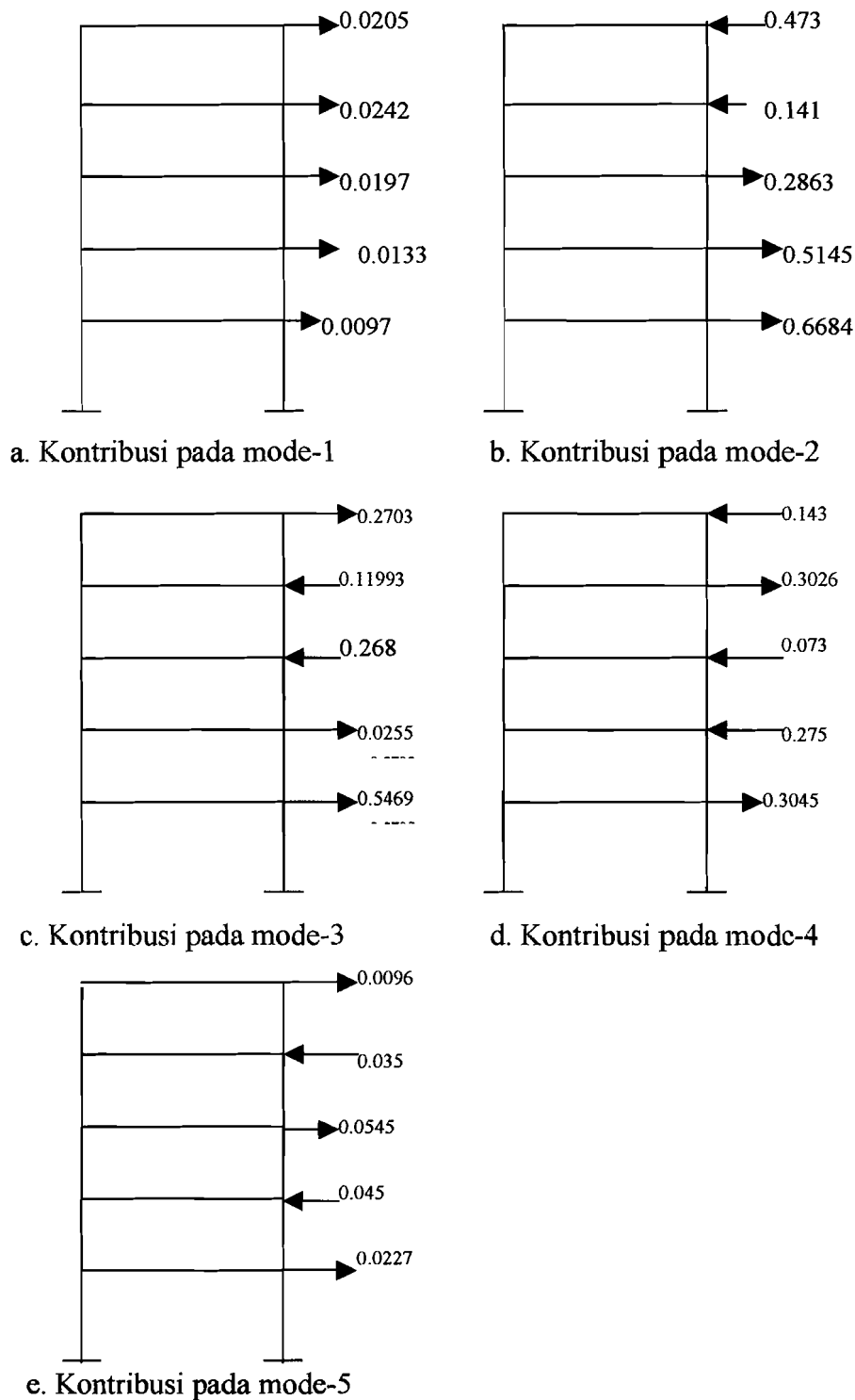
tingkat 2 (Δ_2) = 0.01334 m

tingkat 3 (Δ_3) = 0.0097 m

tingkat 4 (Δ_4) = 0.00632 m

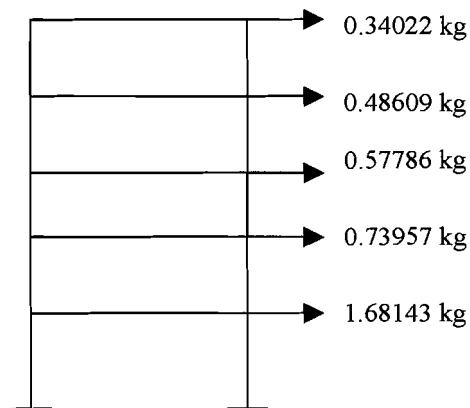
tingkat 5 (Δ_5) = 0.00945 m

5.3.7 Gaya geser tingkat dan gaya geser dasar



Gambar 5.2 Gaya horisontal lantai, kontribusi tiap mode

Dari penjumlahan gaya horisontal kontribusi tiap mode, maka didapat gaya horisontal lantai, geser tingkat, dan gaya geser dasar



Gambar 5.3 Gaya horisontal lantai



Gambar 5.4 Gaya geser tingkat dan gaya geser dasar

5.3.8 Perhitungan Momen Guling

Momen guling pada gedung bertingkat didapat dari hasil kali gaya geser tingkat (di kalikan unit masa) dengan adalah :

$$M_{b_n} = \sum h_n \cdot F_n$$

maka momen guling untuk perhitungan gedung bertingkat lima diatas adalah;

$$M_{b_5} = 34022 * 3.75 = 127582.5 \text{ kg.m}$$

$$M_{b_4} = 34022 * 7.5 + 48609 * 3.75 = 182309.2665 \text{ kg.m}$$

$$M_{b_3} = 34022 * 11.25 + 48609 * 7.5 + 57786 * 3.75 = 964012.5 \text{ kg.m}$$

$$M_{b_2} = 34022 * 15.45 + 48609 * 11.7 + 57786 * 7.95 + 73957 * 4.2 = 1864383.3 \text{ kg.m}$$

$$M_{b_1} = 34022 * 18.8 + 48609 * 15.05 + 57786 * 11.3 + 73957 * 7.55 + 382517 * 3.35$$

$$= 3863968.15 \text{ kg.m}$$

5.4 pemindahan masa lantai 1 dan 2

Tabel 5.4.1 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada persentase masa lantai ke-1=140%

Mode	Frekwensi sudut ω (rad/dt)	Periode getar T (dt)	Koefisien gempa C	Partisipasi mode Γ
Mode 1	3.2488	1.9330	0.0366	0.2733
Mode 2	8.4583	0.7425	0.0643	0.5981
Mode 3	11.2966	0.5559	0.0687	0.1215
Mode 4	16.6291	0.3777	0.0700	0.0046
Mode 5	27.3424	0.2297	0.0700	0.0025

Tabel 5.4.2 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=140%

Tingkat	Drift Δ (m)	Gaya geser tingkat (kg)
Tingkat 1	0.01522	232613
Tingkat 2	0.01085	23588
Tingkat 3	0.01031	61083
Tingkat 4	0.00593	51684
Tingkat 5	0.01012	35917

Tabel 5.4.3 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada persentase masa lantai ke-1=120%

Mode	Frekwensi sudut ω (rad/dt)	Periode getar T (dt)	Koefisien gempa C	Partisipasi mode Γ
Mode 1	3.2042	1.9599	0.0359	0.2757
Mode 2	8.5059	0.7383	0.0644	0.4831
Mode 3	11.5370	0.5443	0.0690	0.2119
Mode 4	16.1138	0.3897	0.0700	0.0204
Mode 5	20.5766	0.3052	0.0700	0.0088

Tabel 5.4.4 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=120%

Tingkat	Drif Δ (m)	Gaya geser tingkat (kg)
Tingkat 1	0.01484	200707
Tingkat 2	0.01218	49310
Tingkat 3	0.0135	59408
Tingkat 4	0.00574	50233
Tingkat 5	0.01010	34973

Tabel 5.4.5 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada persentase masa lantai ke-1=100%

Mode	Frekwensi sudut ω (rad/dt)	Periode getar T (dt)	Koefisien gempa C	Partisipasi mode Γ
Mode 1	3.1587	1.9882	0.0353	0.2780
Mode 2	8.3929	0.7482	0.0642	0.3593
Mode 3	11.9750	0.5244	0.0694	0.2715
Mode 4	15.4852	0.4055	0.0700	0.0786
Mode 5	18.7673	0.3346	0.0700	0.0111

Tabel 5.4.6 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=100%

Tingkat	Drift Δ (m)	Gaya geser tingkat (kg)
Tingkat 1	0.01439	168143
Tingkat 2	0.01334	73957
Tingkat 3	0.00997	57786
Tingkat 4	0.00632	48609
Tingkat 5	0.00945	34022

Tabel 5.4.7 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada persentase masa lantai ke-1=80%

Mode	Frekwensi sudut ω (rad/dt)	Periode getar T (dt)	Koefisien gempa C	Partisipasi mode Γ
Mode 1	3.1139	2.0168	0.0350	0.2801
Mode 2	8.1580	0.7698	0.0637	0.2633
Mode 3	12.4654	0.5038	0.0699	0.2137
Mode 4	15.4098	0.4075	0.0700	0.2278
Mode 5	18.2112	0.3448	0.0700	0.0150

Tabel 5.4.8 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=80%

Tingkat	Drif Δ (m)	Gaya geser tingkat (kg)
Tingkat 1	0.01402	135696
Tingkat 2	0.01487	98093
Tingkat 3	0.00919	57083
Tingkat 4	0.00713	48313
Tingkat 5	0.00869	33871

Tabel 5.4.9 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada persentase masa lantai ke-1=60%

Mode	Frekwensi sudut ω (rad/dt)	Periode getar T (dt)	Koefisien gempa C	Partisipasi mode Γ
Mode 1	3.0686	2.0465	0.0350	0.2820
Mode 2	7.8839	0.79656	0.0631	0.1966
Mode 3	12.5913	0.4988	0.0700	0.0867
Mode 4	17.1875	0.38654	0.0700	0.0078
Mode 5	17.4753	0.3594	0.0700	0.0228

Tabel 5.4.10 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=60%

Tingkat	Drif Δ (m)	Gaya geser tingkat (kg)
Tingkat 1	0.01280	59093
Tingkat 2	0.01656	142467
Tingkat 3	0.00908	64236
Tingkat 4	0.00736	37629
Tingkat 5	0.00842	32441

Tabel 5.4.11 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada persentase masa lantai ke-1=40%

Mode	Frekwensi sudut ω (rad/dt)	Periode getar T (dt)	Koefisien gempa C	Partisipasi mode Γ
Mode 1	3.0235	2.0771	0.0350	0.2836
Mode 2	7.6039	0.8259	0.0624	0.1523
Mode 3	12.6300	0.4972	0.0700	0.0337
Mode 4	17.6254	0.3563	0.0700	0.0314
Mode 5	17.8284	0.3522	0.0700	0.0087

Tabel 5.4.12 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=40%

Tingkat	Drif Δ (m)	Gaya geser tingkat (kg)
Tingkat 1	0.01250	28513
Tingkat 2	0.01767	169090
Tingkat 3	0.00912	46943
Tingkat 4	0.00788	55331
Tingkat 5	0.00783	32204

5.5 Pemindahan masa lantai 1 dan 3

Tabel 5.5.1 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada persentase masa lantai ke-1=140%

mode	Frekwensi sudut ω (rad/dt)	Periode getar T (dt)	Koefisien gempa C	Partisipasi mode Γ
Mode 1	3.3953	1.8496	0.0385	0.2954
Mode 2	7.9852	0.7865	0.0633	0.5541
Mode 3	12.3571	0.5082	0.0698	0.1168
Mode 4	15.1072	0.4157	0.0700	0.0337
Mode 5	27.8859	0.2252	0.0700	0.0001

Tabel 5.5.2 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=140%

Tingkat	Drif Δ (m)	Gaya geser tingkat (kg)
Tingkat 1	0.01570	231195
Tingkat 2	0.01262	75379
Tingkat 3	0.00636	19395
Tingkat 4	0.00836	53980
Tingkat 5	0.00996	37772

Tabel 5.5.3 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada persentase masa lantai ke-1=120%

Mode	Frekwensi sudut ω (rad/dt)	Periode getar T (dt)	Koefisien gempa C	Partisipasi mode Γ
Mode 1	3.2736	1.9184	0.0369	0.2863
Mode 2	8.2280	0.7632	0.0639	0.4743
Mode 3	12.0681	0.5204	0.0695	0.1862
Mode 4	15.2569	0.4116	0.0700	0.0516
Mode 5	21.0224	0.2987	0.0700	0.0016

Tabel 5.5.4 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=120%

Tingkat	Drift Δ (m)	Gaya geser tingkat (kg)
Tingkat 1	0,01509	200086
Tingkat 2	0,01322	74516
Tingkat 3	0,00814	39542
Tingkat 4	0,00715	51334
Tingkat 5	0,00986	35882

Tabel 5.5.5 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada persentase masa lantai ke-1=80%

Mode	Frekwensi sudut ω (rad/dt)	Periode getar T (dt)	Koefisien gempa C	Partisipasi mode Γ
Mode 1	3.0523	2.0574	0.0350	0.2705
Mode 2	8.4348	0.7445	0.0643	0.2403
Mode 3	12.1661	0.5162	0.0696	0.3285
Mode 4	15.7779	0.3980	0.0700	0.1029
Mode 5	17.9812	0.3493	0.0700	0.0578

Tabel 5.5.6 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=80%

Tingkat	Drift Δ (m)	Gaya geser tingkat (kg)
Tingkat 1	0.01402	136893
Tingkat 2	0.01469	74904
Tingkat 3	0.01095	77465
Tingkat 4	0.00625	49116
Tingkat 5	0.00875	34613

Tabel 5.5.7 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada persentase masa lantai ke-1=60%

Mode	Frekwensi sudut ω (rad/dt)	Periode getar T (dt)	Koefisien gempa C	Partisipasi mode Γ
Mode 1	2.9530	2.1267	0.0350	0.2637
Mode 2	8.3809	0.7493	0.0642	0.1500
Mode 3	12.5572	0.5001	0.0700	0.3092
Mode 4	15.9503	0.3937	0.0700	0.0690
Mode 5	18.4578	0.3402	0.0700	0.2082

Tabel 5.5.8 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=60%

Tingkat	Drift Δ (m)	Gaya geser tingkat (kg)
Tingkat 1	0.01368	104164
Tingkat 2	0.01594	76312
Tingkat 3	0.01179	97933
Tingkat 4	0.00651	49951
Tingkat 5	0.00792	35573



Tabel 5.5.9 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada persentase masa lantai ke-1=40%

Mode	Frekwensi sudut ω (rad/dt)	Periode getar T (dt)	Koefisien gempa C	Partisipasi mode Γ
Mode 1	2.8606	2.1954	0.0350	0.2576
Mode 2	8.2730	0.7591	0.0640	0.0938
Mode 3	12.9878	0.4835	0.0700	0.2297
Mode 4	15.8750	0.3956	0.0700	0.0300
Mode 5	20.9207	0.3002	0.0700	0.4076

Tabel 5.5.10 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=40%

Tingkat	Drift Δ (m)	Gaya geser tingkat (kg)
Tingkat 1	0.01333	71571
Tingkat 2	0.01704	76416
Tingkat 3	0.01266	119351
Tingkat 4	0.00677	50513
Tingkat 5	0.00726	37547

5.5 Pemindahan masa lantai 2 dan 3

Tabel 5.6.1 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada persentase masa lantai ke-2=140%

Mode	Frekwensi sudut ω (rad/dt)	Periode getar T (dt)	Koefisien gempa C	Partisipasi mode Γ
Mode 1	3.2340	1.9419	0.0364	0.2901
Mode 2	8.0162	0.7834	0.0634	0.3475
Mode 3	12.5478	0.5005	0.0700	0.2338
Mode 4	14.6542	0.4285	0.0700	0.1277
Mode 5	21.1177	0.2974	0.0700	0.0010

Tabel 5.6.2 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=140%

Tingkat	Drift Δ (m)	Gaya geser tingkat (kg)
Tingkat 1	0.01469	167946
Tingkat 2	0.01422	101835
Tingkat 3	0.00774	35575
Tingkat 4	0.00794	50145
Tingkat 5	0.00930	35132

Tabel 5.6.3 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada persentase masa lantai ke-2=120%

Mode	Frekwensi sudut ω (rad/dt)	Periode getar T (dt)	Koefisien gempa C	Partisipasi mode Γ
Mode 1	3.1967	1.9645	0.0358	0.2839
Mode 2	8.2099	0.7649	0.0638	0.3592
Mode 3	12.2635	0.5121	0.0697	0.2425
Mode 4	15.0375	0.4176	0.0700	0.1106
Mode 5	19.4561	0.3228	0.0700	0.0038

Tabel 5.6.4 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=120%

Tingkat	Drif Δ (m)	Gaya geser tingkat (kg)
Tingkat 1	0.01455	168141
Tingkat 2	0.01376	87946
Tingkat 3	0.00886	46827
Tingkat 4	0.00714	49481
Tingkat 5	0.00938	34600

Tabel 5.6.5 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada persentase masa lantai ke-2=80%

Mode	Frekwensi sudut ω (rad/dt)	Periode getar T (dt)	Koefisien gempa C	Partisipasi mode Γ
Mode 1	3.1215	2.0118	0.0350	0.2723
Mode 2	8.5407	0.7353	0.0645	0.3448
Mode 3	11.7344	0.5352	0.0692	0.3198
Mode 4	15.8196	0.3970	0.0700	0.0416
Mode 5	19.0272	0.3301	0.0700	0.0215

Tabel 5.6.6 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=80%

Tingkat	Drif Δ (m)	Gaya geser tingkat (kg)
Tingkat 1	0.01432	169023
Tingkat 2	0.01302	59840
Tingkat 3	0.01101	69194
Tingkat 4	0.00562	48792
Tingkat 5	0.00958	34041

Tabel 5.6.9 Hasil perhitungan frekuensi sudut, periode getar, koefisien gempa dasar dan partisipasi mode pada persentase masa lantai ke-2=40%

Mode	Frekwensi sudut ω (rad/dt)	Periode getar T (dt)	Koefisien gempa C	Partisipasi mode Γ
Mode 1	3.0463	2.0615	0.0350	0.2617
Mode 2	8.7108	0.7209	0.0648	0.2648
Mode 3	11.4244	0.5497	0.0688	0.4551
Mode 4	15.8406	0.3964	0.0700	0.0076
Mode 5	24.0154	0.2615	0.0700	0.0107

Tabel 5.6.10 Hasil perhitungan simpangan antar tingkat (drift) dan gaya geser tingkat pada prosentase masa lantai ke-1=40%

Tingkat	Drif Δ (m)	Gaya geser tingkat (kg)
Tingkat 1	0.0129	170866
Tingkat 2	0.01243	30883
Tingkat 3	0.01281	93462
Tingkat 4	0.00508	49917
Tingkat 5	0.00946	35006

5.7 Pembahasan

Struktur akan bergoyang bila terkena beban gempa. Goyangan yang dihasilkan beban gempa tersebut dapat dianggap sama dengan goyangan yang diakibatkan oleh gaya lateral/horisontal, sehingga dengan demikian beban gempa dapat dinyatakan sebagai gaya lateral.

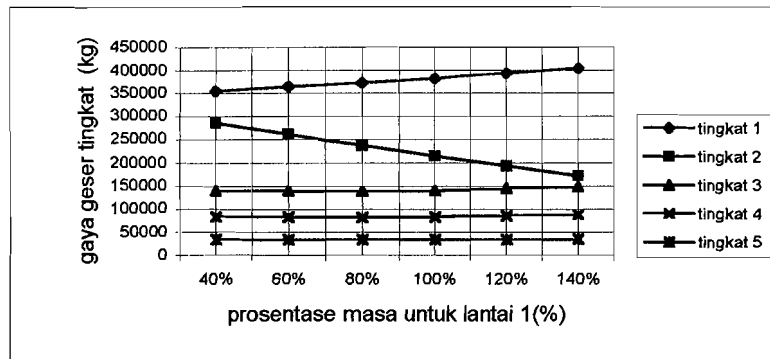
Suatu struktur bangunan gedung bertingkat yang mempunyai masa lantai tidak terdistribusi secara merata akan berbahaya bila mendapat beban gempa. Masa lantai struktur yang terdistribusi secara merata, dimulai masa yang besar pada lantai paling bawah, selanjutnya mengecil atau sama ke lantai atasnya relatif aman dalam menerima gaya gempa.

Dari penelitian ini dapat dibahas hal-hal seperti berikut ini:

5.7.1 Gaya geser dasar.

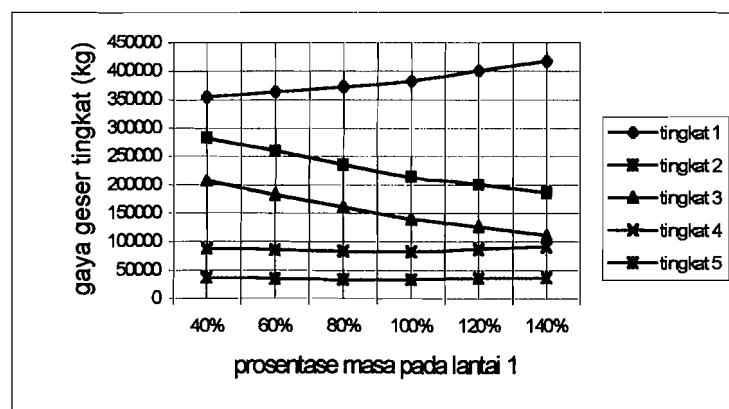
Dalam penelitian ini, gaya geser tingkat diperoleh dengan cara menjumlahkan gaya horisontal lantai dari lantai paling atas ke lantai di bawahnya sampai didapatkan gaya geser dasar.

Dari hasil penelitian yang kami lakukan ternyata pengaruh pemindahan masa lantai tidak menunjukkan kecenderungan grafik yang sama terhadap gaya geser tingkat. Hal ini dapat dilihat pada grafik berikut ini :



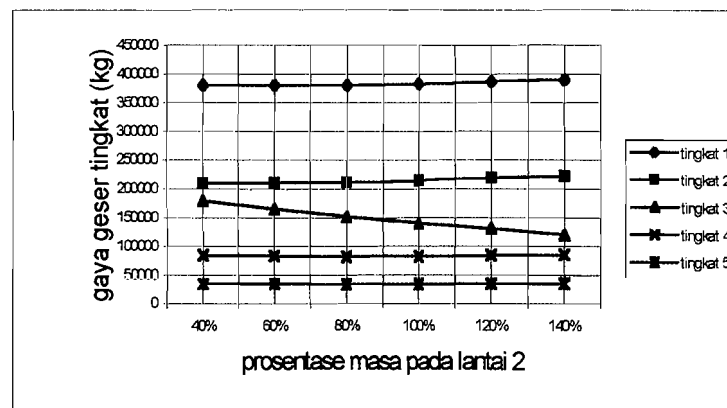
Gambar 5.7.1a Grafik spektrum gaya geser tingkat dan gaya geser dasar pada pemindahan masa lantai 1 dan 2

- Gambar 5.7.1a pemindahan masa lantai 1 dan 2, menunjukkan bahwa pada lantai 3, 4 dan 5 grafik gaya geser naik mulai dari prosentase 100%-140% dan menurun pada prosentase masa 100%-40%. Pada lantai 2 terjadi keganjilan dimana gaya gesernya naik dari prosentase 100%-40%, sedangkan pada prosentase 100%-140% grafik gaya gesernya menurun. Pada lantai 1 grafik gaya geser dasar naik dari prosentase 100%-140% dan turun pada prosentase 100%-40%.



Gambar 5.7.1b Grafik spektrum gaya geser tingkat dan gaya geser dasar pada pemindahan masa lantai 1 dan 3

2. Gambar 5.7.1b pemindahan masa lantai 1 dan 3 menunjukkan bahwa pada lantai 2 dan lantai 3 grafik gaya geser tingkat menunjukkan kecenderungan naik 100% - 40 %, dengan interval 20% dan menunjukkan grafik yang menurun pada prosentase masa lantai 1 (100%-140%). Kenaikkan dan penurunan pada kedua lantai ini sangat jelas terlihat. Sedangkan pada lantai 4 dan 5 grafik gaya gesernya menunjukkan pola kecenderungan sama dengan lantai 2 dan 3 hanya saja nilai gaya geser pada kedua lantai ini mempunyai perbedaan yang sangat kecil sehingga grafiknya terlihat lurus. Pada lantai 1 atau gaya geser dasar grafiknya terlihat menurun pada prosentase masa lantai 1 (100% s/d 40%) dan naik pada prosentase (100% s/d 140%).



Gambar 5.7.1c Grafik spektrum gaya geser tingkat dan gaya geser dasar pada pemindahan masa lantai 2 dan 3

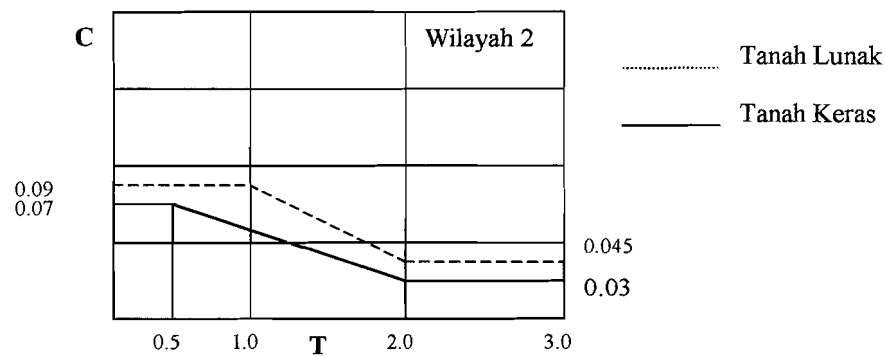
3. Gambar 5.7.1c terjadi perbedaan/keganjilan gaya geser pada tingkat ke-3 dimana grafik gaya geser pada tingkat ini cenderung naik dari prosentase masa lantai 2 (100%-40%) dan cenderung turun dari prosentase masa lantai 2 (100%-140%). Sedangkan pada lantai lainnya grafik gaya geser tingkat

prosentase masa lantai 2 (100% - 40%) dan naik pada prosentase masa lantai 2 (100% s/d 140%). Keganjilan-keganjilan di atas dimungkinkan karena masa yang divariasi besarnya beragam.

Besarnya gaya geser dasar yang terjadi akibat pemindahan masa lantai seperti pada gambar 5.7.1a, 5.7.1b, dan 5.7.1c menunjukkan bahwa grafik gaya geser dasar cenderung menurun, walaupun dari gaya-gaya geser tingkatnya terjadi fenomena-fenomena unik seperti diatas.

Dengan bertambahnya masa dan berkurangnya kekakuan tingkat maka nilai frekuensi sudut (ω) akan berkurang atau periode getar (T) akan bertambah, namun pola ini tidak berlaku lagi sepenuhnya ketika kita menentukan nilai koefisien gempa dasar (C) karena grafik nilai C yang kita peroleh dari buku "Pedoman perencanaan struktur beton bertulang biasa dan struktur tembok bertulang untuk gedung 1983", bukanlah grafik spektrum respon yang sesungguhnya, akan tetapi merupakan grafik desain spektrum menurut daerah gempa, jenis tanah dasar dan periode getar struktur (T), yang merupakan penyederhanaan dari grafik spektrum respon yang sesungguhnya. Pada desain spektrum respon untuk wilayah gempa 2 dengan tanah keras memiliki periode 0-3 dt, dimana periodenya dibagi dalam tiga daerah yaitu :

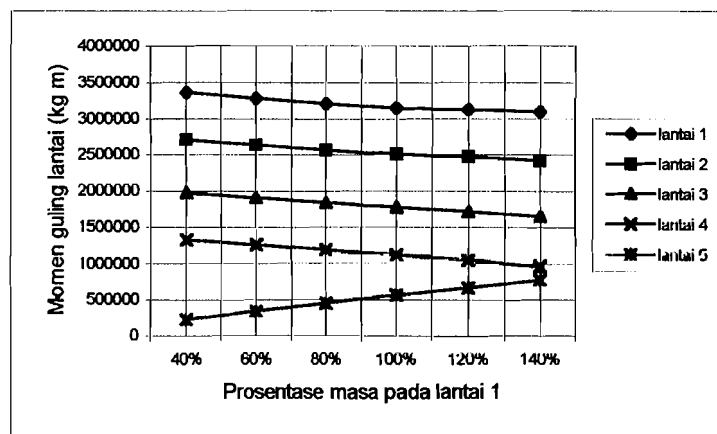
1. untuk T dari 0-0.5 dt mempunyai nilai C sebesar 0.07
2. untuk T dari 0.5-2 dt mempunyai nilai C antara 0.07-0.035
3. untuk T dari 2-3 dt mempunyai nilai C sebesar 0.035



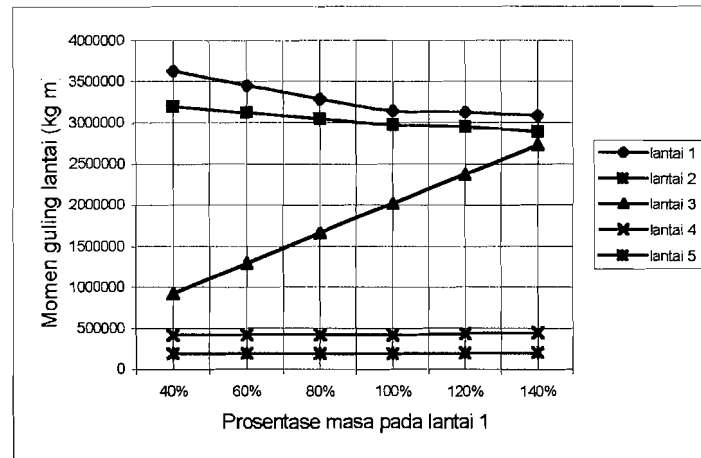
Gambar 5.7.1d Grafik respon spektra wilayah gempa 2

Dengan berubahnya pola kecenderungan ini, maka bertambah dan berkurangnya gaya geser dasar yang seiring dengan bertambah dan berkurangnya masa tiap tingkat tidak berlaku lagi sepenuhnya, karena gaya geser dasar berbanding lurus dengan nilai C yang mempunyai grafik tidak linier sepenuhnya.

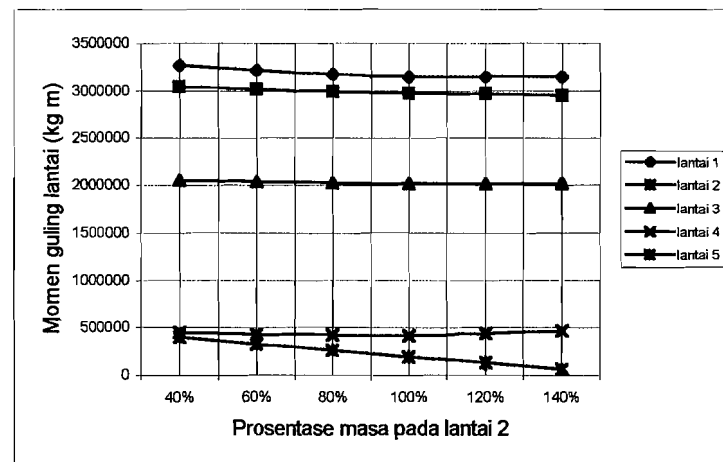
5.7.2 Momen guling



Gambar 5.7.2a Grafik spektrum momen guling pada pemindahan masa lantai 1 dan 2



Gambar 5.7.2b Grafik spektrum momen guling pada pemindahan masalantai 1 dan 3



Gambar 5.7.2c Grafik spektrum momen guling pada pemindahan masa lantai 2 dan 3

Penelitian pada momen guling lantai akan memiliki pola yang sama dengan gaya geser tingkat karena momen guling lantai didapat dari hasil kali antara gaya lantai dengan tinggi bangunan. Tetapi ada perbedaan antara momen guling total dengan gaya geser dasar setelah dilakukan pemindahan masa lantai. Grafik momen guling total ternyata turun dari prosentase 40%-140%, sedangkan gaya geser dasar ternyata naik dari prosentase 40%-140%. Ini terjadi baik pada

pemindahan masa lantai 1 dan 2, 1 dan 3 maupun 2 dan 3. Hal ini dimungkinkan oleh pengaruh pemindahan masa lantai dengan prosentase yang beragam. Semakin besar prosentase penambahan masa pada pemindahan masa lantai yang ditinjau semakin kecil momen guling, sebaliknya semakin kecil prosentase pengurangan masa pada pemindahan masa lantai yang ditinjau semakin besar momen guling yang didapatkan. Jadi bila ingin memvariasi masa lantai dengan prosentase penambahan dan pengurangan pada masa lantai, sebaiknya diusahakan agar masa lantai yang paling atas jangan sampai terlalu besar atau prosentase masa lantai yang ditinjau jangan terlalu kecil, karena hal ini akan menimbulkan momen guling yang besar. Nilai momen guling yang besar akan berpengaruh pada pembuatan pondasi, karena agar gedung terhindar dari bahaya guling, maka pondasi harus dibuat lebih kuat, sehingga hal ini akan memerlukan biaya yang relatif lebih mahal.

Tabel 5.7.2a Gaya geser dasar dan momen guling untuk pemindahan masa lantai 1 dan 2

m_1 %	m_2 %	m_3 %	m_4 %	m_5 %	Gaya geser Dasar (kg)	Momen Guling (kg.m)
140	30.521	100	100	100	404884.12	310065
120	65.2604	100	100	100	394631	312946
100	100	100	100	100	382516.81	314582
80	134.7396	100	100	100	373056.4	320410,6
60	169.479	100	100	100	364190.74	328233,93
40	204.219	100	100	100	352332.01	333398,79

Tabel 5.7.2b Gaya geser dasar dan momen guling untuk pemindahan masa lantai 1 dan 3

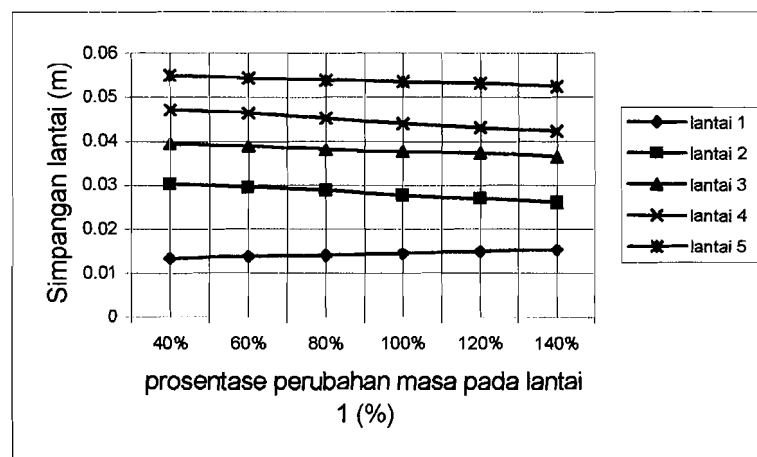
m_1 %	m_2 %	m_3 %	m_4 %	m_5 %	Gaya geser Dasar (kg)	Momen Guling (kg.m)
140	100	30.521	100	100	417721	308528
120	100	65.2604	100	100	401360	312687
100	100	100	100	100	372990.46	324582
80	100	134.7396	100	100	372990	328939
60	100	169.479	100	100	363933	345228
40	100	204.219	100	100	35539.36	363148,2

Tabel 5.7.2c Gaya geser dasar dan momen guling untuk pemindahan masa lantai 2 dan 3

m_1 %	m_2 %	m_3 %	m_4 %	m_5 %	Gaya geser Dasar (kg)	Momen Guling (kg.m)
100	140	60	100	100	390634	314864
100	120	80	100	100	386995	315160
100	100	100	100	100	382516.81	314582
100	80	120	100	100	380889.99	317420,34
100	60	140	100	100	380607.73	322285,69
100	40	160	100	100	380133.5	327104,99

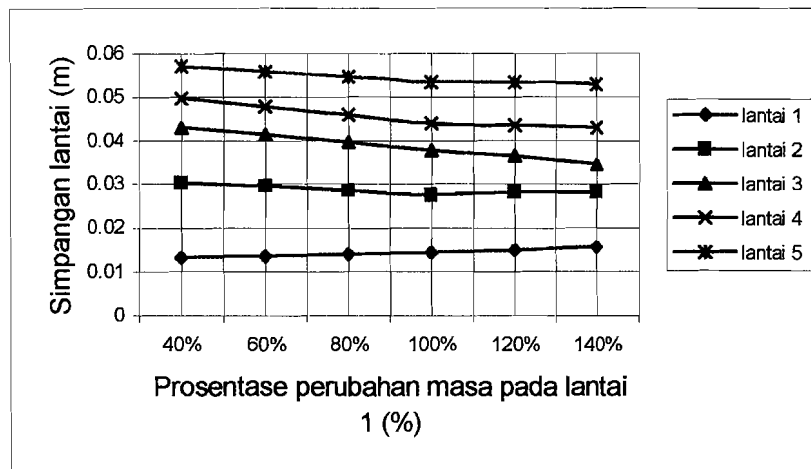
5.7.3 Simpangan Lantai

Untuk mendapatkan simpangan horisontal tingkat, dalam penelitian ini kami menggunakan metode *Upperbound/absolute response*. Simpangan horisontal tiap tingkat menurut *Upperbound/Absolute response* didapat dengan cara menjumlahkan nilai absolut simpangan horisontal kontribusi setiap mode, dimana simpangan tersebut dapat berupa positif atau negatif. Untuk lebih jelas dalam menganalisa hasil dari hitungan kemudian dibuat grafik spektrum simpangan setiap lantai. Hal ini dapat dilihat pada grafik dibawah ini:



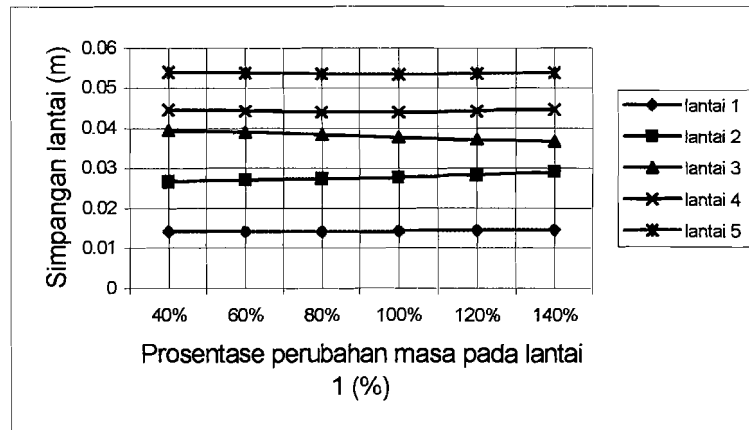
Gambar 5.7.3a Grafik spektrum simpangan lantai pada pemindahan masa lantai 1 dan 2

1. Gambar 5.7.3a simpangan lantai pada pemindahan masa lantai 1 dan 2 menunjukkan bahwa pada lantai 1 simpangannya cenderung membesar bila prosentase masa pada lantai tersebut diperbesar. Sebaliknya simpangan akan cenderung mengecil jika prosentasenya diperkecil. Tetapi hal ini tidak berlaku bagi lantai-lantai di atasnya dimana simpangan cenderung membesar dari prosentase 140% ,120%,100%,80%,60% dan 40%.



Gambar 5.7.3b Grafik spektrum simpangan lantai pada pemindahan masa lantai 1 dan 3

2. Gambar 5.7.3b simpangan lantai pada pemindahan masa lantai 1 dan 3 menunjukkan bahwa pada lantai 1, grafik simpangan lantainya cenderung turun dari prosentase masa 100% sampai dengan 40% dan cenderung naik pada prosentase 100% sampai dengan 140%. Pada lantai 2 terlihat ada keganjilan dimana simpangan pada prosentase masa 100% sampai dengan 40% grafik simpangan naik, sedangkan pada 100% sampai dengan 140% laju grafik simpangan lantainya juga menunjukkan kenaikan. Pada lantai 3, 4, dan 5 simpangan terlihat seperti lantai 3, 4, dan 5 pada gambar 5.7.3b

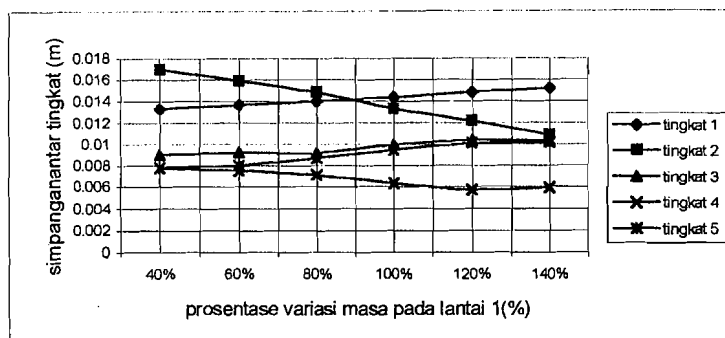


Gambar 5.7.3c Grafik spektrum simpangan lantai pada pemindahan masa lantai 2 dan 3

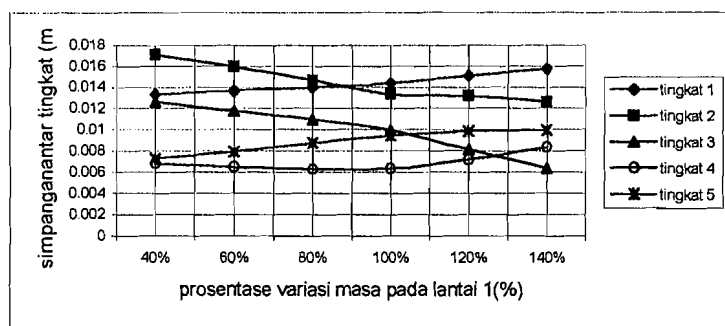
3. Gambar 5.7.3c simpangan lantai pada pemindahan masa lantai 2 dan 3 menunjukkan bahwa pada lantai 1 dan 2 grafik simpangan lantainya naik dari prosentase masa 40%-140% atau turun pada prosentase masa lantai 2 (100% s/d 40%) dan naik pada prosentase masa lantai 2 (100% s/d 140%). Pada lantai 3 simpangan lantai cenderung menurun bila prosentase masa diperbesar dari 100%-140%, tetapi simpangan akan naik bila prosentase masa diperkecil dari 100%-40%. Hal ini dimungkinkan akibat pola goyangan dengan prosentase yang beragam sehingga mempengaruhi simpangan lantai seperti penjelasan diatas.

Nilai-nilai simpangan horisontal tingkat ini dapat kita lihat pada tabel 5.7.4a, tabel 5.7.4b dan tabel 5.7.4c

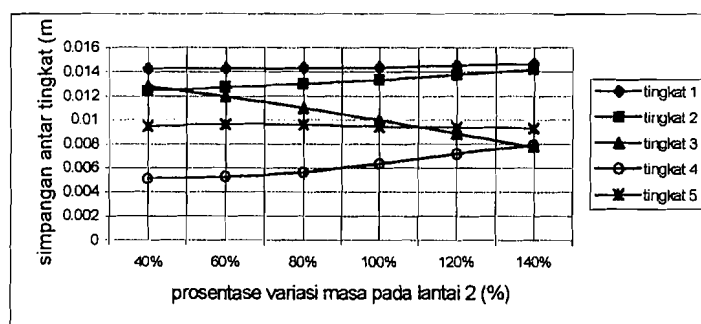
5.7.4 Simpangan antar tingkat (*drift*)



Gambar 5.7.4a Grafik spektrum simpangan antar tingkat pada pemindahan masa lantai 1 dan 2



Gambar 5.7.4b Grafik spektrum simpangan antar tingkat pada pemindahan masa lantai 1 dan 3



Gambar 5.7.4c Grafik spektrum simpangan antar tingkat pada pemindahan masa lantai 2 dan 3

Pada simpangan antar tingkat (Δ_n), pemindahan masa lantai yang beragam sangat mempengaruhi besar atau kecil simpangan antar tingkat (*drift*) tersebut. Bisa dilihat dari perbandingan yang ditunjukkan oleh gambar 5.7.4a, 5.7.4b dan gambar 5.7.4c. Pada gambar 5.7.4a (pemindahan masa lantai 1 dan 2), gambar 5.7.4b (pemindahan masa lanatai 1 dan 3,) dan gambar 5.7.4c (pemindahan masa lanatai 2 dan 3).

1. Gambar 5.7.4a terjadi patah tingkat kemungkinan besar pada tingkat ke- 1 dan tingkat ke-2 terutama pada persentase 140% dan 40%.
2. Gambar 5.7.4b terjadi patah tingkat kemungkinan terjadi pada tingkat ke- 4 dan tingkat ke-5, karena nilai simpangan antar tingkat pada kedua tingkat ini lebih besar dibandingkan tingkat yang lain terjadi pada prosentase masa 40% dan 140%.
3. Gambar 5.7.4c kemungkinan patah tingkat terjadi pada tingkat ke-4 dan tingkat ke-5. Hal ini dimungkinkan karena perbedaan masa yang terlalu mencolok antar tingkat yang satu dengan tingkat yang lain, dimana nilai (Δ_n) didapat dengan mengurangi nilai simpangan tingkat atas dengan nilai simpangan tingkat di bawahnya sehingga ketika terjadi pengurangan, nilai simpangan pada prosentase tersebut cenderung lebih besar dibandingkan pada prosentase yang lainnya. Kalau kita cermati ternyata penambahan dan pengurangan masa lantai pada tingkat yang dikenakan variasi adalah dominan dalam mempengaruhi simpangan antar tingkat.

Tabel 5.7.4a Simpangan horisontal tingkat untuk pemindahan masa lantai 1 dan 2

m_1 %	m_2 %	m_3 %	m_4 %	m_5 %	Simpangan (m)
140	30.521	100	100	100	0.01522 0.02607 0.03638 0.04231 0.05243
120	65.2604	100	100	100	0.01484 0.02701 0.03736 0.04311 0.05320
100	100	100	100	100	0.01440 0.02775 0.03772 0.04401 0.05348
80	134.7396	100	100	100	0.01402 0.02889 0.03808 0.04521 0.05390
60	169.479	100	100	100	0.01280 0.02936 0.03844 0.04580 0.05422
40	204.219	100	100	100	0.01250 0.03017 0.03929 0.04717 0.05501

Tabel 5.7.4b Simpangan untuk pemindahan masa lantai 1 dan 3

m_1 %	m_2 %	m_3 %	m_4 %	m_5 %	Simpangan (m)
140	100	30.521	100	100	0.01570 0.02833 0.03469 0.04305 0.05301
120	100	65.260	100	100	0.01509 0.02830 0.03645 0.04360 0.05346
100	100	100	100	100	0.01440 0.02775 0.03772 0.04401 0.05348
80	100	134.74	100	100	0.01402 0.02871 0.03966 0.04591 0.05466
60	100	169.48	100	100	0.01368 0.02962 0.04141 0.04792 0.05583
40	100	204.22	100	100	0.01330 0.03035 0.04302 0.04971 0.05783

Tabel 5.7.4c Simpangan untuk pemindahan

m_1 %	m_2 %	m_3 %	m_4 %	m %	
100	140	60	100	1	
100	120	80	100	100	0.02651 0.03716 0.04430 0.05369
100	100	100	100	100	0.01440 0.02775 0.03772 0.04401 0.05348
100	80	120	100	100	0.01432 0.02734 0.03834 0.04397 0.05354
100	60	140	100	100	0.01431 0.02704 0.03902 0.04425 0.05388
100	40	160	100	100	0.01429 0.02672 0.03953 0.04461 0.05407

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian pengaruh peminadahan masa lantai terhadap gaya geser dasar, momen guling dan simpangan pada gedung bertingkat adalah sebagai berikut ini.

1. Gaya geser dasar yang bekerja akan menurun seiring dengan pemindahan persentase masa lantai yang lebih kecil dari 100% yaitu pada prosentase 80%, 60% dan 40% dan akan meningkat pada prosentase 120% dan 140%. Hal ini terjadi baik pada pemindahan masa lantai 1 dan 2, 1 dan 3 maupun pada pemindahan lantai 2 dan 3.
2. Dalam penelitian ini pola momen guling tidak paralel dengan gaya geser. Hal ini terjadi akibat pemindahan dari masa lantai dengan pemindahan masa lantai yang lebih besar pada lantai atas, walaupun masa total struktur tetap sama seperti kondisi standar. Pemindahan masa lantai yang lebih besar pada lantai atas akan menyebabkan momen guling yang lebih besar juga.
3. Dalam penelitian yang telah dilakukan ternyata pemindahan masa lantai 1 dan 2, 1 dan 3, atau 2 dan 3, kontribusi terbesar yang mempengaruhi penurunan terhadap gaya geser dasar terletak pada pemindahan masa lantai 1 dan 3, sedangkan untuk pengaruh pada pemindahan lainnya cenderung berkurang.

Hal ini menunjukkan bahwa masa tingkat 1 semakin divariasi dengan tingkat yang lebih tinggi semakin beresiko terhadap kerusakan akibat beban gempa.

4. Grafik desain spektrum yang dipergunakan hanya cocok pada persentase 140%-80% terhadap ketiga variasi yang telah dilakukan, sedangkan pada persentase antara 60%-40% perlu adanya koreksi terhadap gaya geser dasar dan momen gulingnya yang sesuai dengan spektrum respon.
5. Peningkatan masa lantai menyebabkan struktur menjadi lebih fleksibel yang diperlihatkan dengan besarnya simpangan lantai terutama pada lantai yang masanya mengalami peningkatan.
6. Patah tingkat struktur disebabkan antara lain oleh besarnya perbedaan antara simpangan tingkat yang satu dengan tingkat yang lain. Dimana besarnya perbedaan simpangan tingkat ini dipengaruhi oleh tidak idealnya pemindahan masa antara masa lantai yang satu dengan masa lantai yang lainnya.

B. Saran

Saran yang dapat kami lakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Perlu diadakan penelitian yang serupa dengan menggunakan grafik spektrum yang sesungguhnya, sehingga dapat diperoleh faktor koreksi terhadap gaya geser dasar dan momen guling yang menggunakan grafik respon spektra.
2. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi masa lantai terhadap gaya geser dasar dan momen guling serta perubahan simpangan bila masa lantai dilakukan dengan cara pengurangan pada masa lantai tersebut.

3. Perlu diadakan penelitian tentang pengaruh variasi masa lantai terhadap gaya geser dasar dan momen guling serta perubahan simpangan bila variasi masa lantai dilakukan secara bersama-sama untuk semua lantai tingkat.
4. Perlu diadakan penelitian tentang pengaruh perubahan kekakuan tingkat dengan masa lantai yang tetap atau tidak berubah, terhadap gaya geser dasar dan momen guling serta perubahan simpangan lantai.
5. Perlu dilakukan penelitian yang serupa untuk wilayah gempa dan kondisi tanah dasar yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ade Ilham, 1996, **DIKTAT KULIAH METODE NUMERIK**, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
2. Chopra, A. K, 1995, **DYNAMICS OF STRUCTURES**, Prentice Hall.
3. Clough, R.W dan J, Penzien, **DYNAMICS OF STRUCTURES**, Second Edition, 1992.
4. Kusuma, G dan T, Andriano, 1996, **DISAIN STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG DI DAERAH RAWAN GEMPA**, Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.
5. Paz, M, 1987, **DINAMIKA STRUKTUR TEORI DAN PERHITUNGAN**, (Terjemahan), Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.
6. Sarwidi, 1999, **DIKTAT KULIAH METODE NUMERIK**, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.
7. Sarwidi, 1999, **DIKTAT KULIAH TEKNIK GEMPA**, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.
8. Widodo, 1996, **DERAJAT PENGARUH “ NORMAL MODE “ TERHADAP RESPON STRUKTUR “ MULTI DEGREE OF FREEDOM “ AKIBAT BEBAN GEMPA BUMI**, Jurnal Teknisia No 1 th 1- 1996, Yogyakarta.
9. Widodo, 1997, **PENGANTAR TEKNIK GEMPA**, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

10. Herawati dan Erwin, 1999, **PENGARUH PERUBAHAN KEKAKUAN TERHADAP GAYA GESER DASAR DAN MOMEN GULING PADA GEDUNG BERTINGKAT BANYAK**, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia (Tugas Akhir).

LAMPIRAN

Contoh Menghitung Gaya Geser Dasar dan Momen Guling

Data Masukan :

Persentase massa tingkat berurutan untuk m_1, m_2, m_3, m_4, m_5

100	100	100	100	100	%
Masa Tingkat			Kekakuan Tingkat 1 (k_1)		
$m_1 =$	295460	kg dt ² /m	$k_1 =$	26600000	kg/m
$m_2 =$	170100	kg dt ² /m	$k_2 =$	17200000	kg/m
$m_3 =$	170100	kg dt ² /m	$k_3 =$	17200000	kg/m
$m_4 =$	170100	kg dt ² /m	$k_4 =$	17200000	kg/m
$m_5 =$	131220	kg dt ² /m	$k_5 =$	12000000	kg/m
	936980	kg dt ² /m	sum m =	936980	

Untuk mempermudah hitungan, maka dibuat unit satuan :

unit masa	100000 kg dt ² /m	= m
unit kekakuan	1E+07 kg/m	= k

Nilai-nilai akar dari persamaan eigen problem

$\lambda_1 =$	0.099774
$\lambda_2 =$	0.704416
$\lambda_3 =$	1.434012
$\lambda_4 =$	2.397921
$\lambda_5 =$	3.522126

Menghitung nilai frekuensi sudut (ω) dan periode (T) :

$\omega_i = (\lambda k/m)^{0.5}$	$T_i = (2\pi/\omega_i)$
$\omega_1 =$ 3.1587 rad/dt	$T_1 =$ 1.9882 dt
$\omega_2 =$ 8.3929 rad/dt	$T_2 =$ 0.7482 dt
$\omega_3 =$ 11.9750 rad/dt	$T_3 =$ 0.5244 dt
$\omega_4 =$ 15.4852 rad/dt	$T_4 =$ 0.4055 dt
$\omega_5 =$ 18.7673 rad/dt	$T_5 =$ 0.3346 dt

Koefesien gempa dasar (C) diperoleh dari grafik antara periode vs C dari buku " Pedoman Perencanaan Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983 " pada wilayah gempa 2 dan tanah keras

Nilai periode (T)		Nilai koefesien gempa dasar (C)	
$T_1 =$	1.988 dt	$C_1 =$	0.0353
$T_2 =$	0.748 dt	$C_2 =$	0.0642
$T_3 =$	0.524 dt	$C_3 =$	0.0694
$T_4 =$	0.406 dt	$C_4 =$	0.0700
$T_5 =$	0.335 dt	$C_5 =$	0.0700

Mode shape (ϕ) didapat dengan mensubstitusikan akar-akar (λ) ke dalam persamaan eigen problem

$(\phi)_1 =$	1	$(\phi)_2 =$	1	$(\phi)_3 =$	1	$(\phi)_4 =$	1	$(\phi)_5 =$	1
	2.375		1.336		0.083		-1.573		-3.504
	3.516		0.742		-0.952		-0.416		4.197
	4.310		-0.369		-0.637		1.727		-2.721
	4.838		-1.594		1.109		-1.072		0.949

Simpangan horisontal, kontribusi masing masing mode

$P_i^* = \phi_i^T M I$	$M_i^* = \phi_i^T M \phi_i$	
$P_1^* = 26.654535 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_1^* = 95.885 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_1 = 0.2780$
$P_2^* = 3.7703587 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_2^* = 10.494 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_2 = 0.3593$
$P_3^* = 1.8491 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_3^* = 6.810 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_3 = 0.2715$
$P_4^* = 1.1035 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_4^* = 14.037 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_4 = 0.0786$
$P_5^* = 0.7496334 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_5^* = 67.573 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_5 = 0.0111$

Efektif Modal partisipasi mode

$\alpha = \Gamma_i \cdot \phi_i$

$\alpha 1 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0.2779834 \\ 0.660 \\ 0.9773574 \\ 1.198033 \\ 1.3448973 \end{vmatrix}$	$\alpha 2 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0.3593 \\ 0.480195 \\ 0.266569 \\ -0.13276 \\ -0.57257 \end{vmatrix}$	$\alpha 3 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0.2715342 \\ 0.022586 \\ -0.258393 \\ -0.172926 \\ 0.3010853 \end{vmatrix}$	$\alpha 4 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0.07861851 \\ -0.1236366 \\ -0.0326959 \\ 0.13578094 \\ -0.0842622 \end{vmatrix}$	$\alpha 5 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0.01109375 \\ -0.03886989 \\ 0.0465588 \\ -0.03018699 \\ 0.0105227 \end{vmatrix}$
--	--	--	--	--

$(y_i) = (\phi)_i P_i^* C g / (M_i^* \omega^2)$

$(y_1) = \begin{vmatrix} 0.00964 \\ 0.02290 \\ 0.03390 \\ 0.04156 \\ 0.04665 \end{vmatrix} \text{ m}$	$(y_2) = \begin{vmatrix} 0.0032129 \\ 0.0042939 \\ 0.0023837 \\ -0.001187 \\ -0.00512 \end{vmatrix} \text{ m}$	$(y_3) = \begin{vmatrix} 0.00128972 \\ 0.00010728 \\ -0.0012273 \\ -0.00082136 \\ 0.00143008 \end{vmatrix} \text{ m}$
$(y_4) = \begin{vmatrix} 0.0002251 \\ -0.0003541 \\ -9.363E-05 \\ 0.0003888 \\ -0.0002413 \end{vmatrix} \text{ m}$	$(y_5) = \begin{vmatrix} 2.163E-05 \\ -7.58E-05 \\ 9.077E-05 \\ -5.89E-05 \\ 2.052E-05 \end{vmatrix} \text{ m}$	

Gaya horisontal tiap mode

$F_i = M \phi_i \Gamma_i C g$

$F_1 = \begin{vmatrix} 0.2843 \\ 0.3887 \\ 0.5754 \\ 0.7053 \\ 0.6108 \end{vmatrix} \text{ kg}$	$F_2 = \begin{vmatrix} 0.6687 \\ 0.5145 \\ 0.2856 \\ -0.1422 \\ -0.4733 \end{vmatrix} \text{ kg}$	$F_3 = \begin{vmatrix} 0.5464 \\ 0.0262 \\ -0.2994 \\ -0.2003 \\ 0.2691 \end{vmatrix} \text{ kg}$
$F_4 = \begin{vmatrix} 0.1595 \\ -0.1444 \\ -0.0382 \\ 0.1586 \\ -0.0759 \end{vmatrix} \text{ kg}$	$F_5 = \begin{vmatrix} 0.02251 \\ -0.04540 \\ 0.05438 \\ -0.03526 \\ 0.00948 \end{vmatrix} \text{ kg}$	

Simpangan horisontal menurut konsep Upper Bound/Absolut

Tingkat ke-1	$y_1 = 0.01439 \text{ m}$
Tingkat ke-2	$y_2 = 0.02774 \text{ m}$
Tingkat ke-3	$y_3 = 0.03770 \text{ m}$
Tingkat ke-4	$y_4 = 0.04402 \text{ m}$
Tingkat ke-5	$y_5 = 0.05347 \text{ m}$

Simpangan antar lantai (DRIF)

$U_1 = 0.01439 \text{ m}$
$U_2 = 0.01334 \text{ m}$
$U_3 = 0.00997 \text{ m}$
$U_4 = 0.00632 \text{ m}$
$U_5 = 0.00945 \text{ m}$

Gaya horisontal tingkat

Tingkat ke-1	$F_1 = 1.68143$ kg
Tingkat ke-2	$F_2 = 0.73957$ kg
Tingkat ke-3	$F_3 = 0.57786$ kg
Tingkat ke-4	$F_4 = 0.48609$ kg
Tingkat ke-5	$F_5 = 0.34022$ kg

Maka Gaya Geser Dasar (V)

$$V = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$

$$V = 3.82517$$
$$382516.81 \text{ kg}$$

Menghitung Momen Guling (*overturning momen*, M_{bn})

$$Mn = \Sigma (F_i \cdot h_i)$$

$$M_{bn} = 31.458134 \text{ kg m}$$

Contoh Menghitung Gaya Geser Dasar dan Momen Guling

Data Masukan :

Persentase massa tingkat berurutan untuk m_1, m_2, m_3, m_4, m_5

120 65.2604 100 100 100 %

Masa Tingkat

Kekakuan Tingkat 1 (k_1)

$m_1 = 354552 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_1 = 26600000 \text{ kg/m}$
$m_2 = 111008 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_2 = 17200000 \text{ kg/m}$
$m_3 = 170100 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_3 = 17200000 \text{ kg/m}$
$m_4 = 170100 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_4 = 17200000 \text{ kg/m}$
$m_5 = 131220 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_5 = 12000000 \text{ kg/m}$
936980 $\text{kg dt}^2/\text{m}$	sum m = 936980

Untuk mempermudah hitungan, maka dibuat unit satuan :

unit masa 100000 $\text{kg dt}^2/\text{m}$ = m

unit kekakuan 1E+07 kg/m = k

Nilai-nilai akar dari persamaan eigen problem

$$\lambda_1 = 0.10267$$

$$\lambda_2 = 0.7235$$

$$\lambda_3 = 1.33103$$

$$\lambda_4 = 2.59654$$

$$\lambda_5 = 4.23398$$

Menghitung nilai frekuensi sudut (ω) dan periode (T) :

$$\omega_i = (\lambda \text{ k/m})^{0.5}$$

$$T_i = (2\pi/\omega_i)$$

$$\omega_1 = 3.2042 \text{ rad/dt} \quad T_1 = 1.9599 \text{ dt}$$

$$\omega_2 = 8.5059 \text{ rad/dt} \quad T_2 = 0.7383 \text{ dt}$$

$$\omega_3 = 11.5370 \text{ rad/dt} \quad T_3 = 0.5443 \text{ dt}$$

$$\omega_4 = 16.1138 \text{ rad/dt} \quad T_4 = 0.3897 \text{ dt}$$

$$\omega_5 = 20.5766 \text{ rad/dt} \quad T_5 = 0.3052 \text{ dt}$$

Koefesien gempa dasar (C) diperoleh dari grafik antara periode vs C dari buku " Pedoman Perencanaan Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983 " pada wilayah gempa 2 dan tanah keras

Nilai periode (T)

Nilai koefesien gempa dasar (C)

$$T_1 = 1.960 \text{ dt}$$

$$C_1 = 0.0359$$

$$T_2 = 0.738 \text{ dt}$$

$$C_2 = 0.0644$$

$$T_3 = 0.544 \text{ dt}$$

$$C_3 = 0.0690$$

$$T_4 = 0.390 \text{ dt}$$

$$C_4 = 0.0700$$

$$T_5 = 0.305 \text{ dt}$$

$$C_5 = 0.0700$$

Mode shape (ϕ) didapat dengan mensubstitusikan akar-akar (λ) ke dalam persamaan eigen problem

$$(\phi)_1 = \begin{vmatrix} 1 \\ 2.335 \\ 3.515 \\ 4.338 \\ 4.887 \end{vmatrix} \quad
 (\phi)_2 = \begin{vmatrix} 1 \\ 1.055 \\ 0.618 \\ -0.262 \\ -1.254 \end{vmatrix} \quad
 (\phi)_3 = \begin{vmatrix} 1 \\ -0.197 \\ -1.225 \\ -0.640 \\ 1.406 \end{vmatrix} \quad
 (\phi)_4 = \begin{vmatrix} 1 \\ -2.806 \\ -1.910 \\ 3.890 \\ -2.115 \end{vmatrix} \quad
 (\phi)_5 = \begin{vmatrix} 1 \\ -6.181 \\ 3.528 \\ -1.536 \\ 0.423 \end{vmatrix}$$

Simpangan horisontal, kontribusi masing masing mode

$$P_i^* = \phi_i^T M I \qquad M_i^* = \phi_i^T M \phi_i$$

$P_1^* = 25.9085 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_1^* = 93.966 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_1 = 0.2757$
$P_2^* = 3.67657 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_2^* = 7.610 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_2 = 0.4831$
$P_3^* = 1.9985 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_3^* = 9.432 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_3 = 0.2119$
$P_4^* = 1.0245 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_4^* = 50.102 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_4 = 0.0204$
$P_5^* = 0.62859 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_5^* = 71.382 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_5 = 0.0088$

Efektif Modal partisipasi mode

$$\alpha = \Gamma_i^* \phi_i$$

$\alpha_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.27572 \\ 0.644 \\ 0.96917 \\ 1.19616 \\ 1.34743 \end{pmatrix}$	$\alpha_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.483147 \\ 0.509781 \\ 0.298376 \\ -0.12652 \\ -0.60578 \end{pmatrix}$	$\alpha_3 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.2118817 \\ -0.041784 \\ -0.259556 \\ -0.135667 \\ 0.2978747 \end{pmatrix}$	$\alpha_4 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.0204484 \\ -0.0573754 \\ -0.0390498 \\ 0.07955014 \\ -0.0432484 \end{pmatrix}$	$\alpha_5 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.008806 \\ -0.05443166 \\ 0.03107015 \\ -0.01352533 \\ 0.00372905 \end{pmatrix}$
---	--	---	---	--

$$(y_i) = (\phi)_i P_i^* C g / (M_i^* \omega^2)$$

$(y_1) = \begin{pmatrix} 0.00947 \\ 0.02211 \\ 0.03328 \\ 0.04108 \\ 0.04627 \end{pmatrix} \text{ m}$	$(y_2) = \begin{pmatrix} 0.0042216 \\ 0.0044543 \\ 0.0026071 \\ -0.001105 \\ -0.005293 \end{pmatrix} \text{ m}$	$(y_3) = \begin{pmatrix} 0.001077 \\ -0.00021239 \\ -0.00131932 \\ -0.0006896 \\ 0.0015141 \end{pmatrix} \text{ m}$
---	---	---

$(y_4) = \begin{pmatrix} 5.4E-05 \\ -0.00015 \\ -0.0001 \\ 0.00021 \\ -0.00011 \end{pmatrix} \text{ m}$	$(y_5) = \begin{pmatrix} 1.428E-05 \\ -8.83E-05 \\ 5.039E-05 \\ -2.19E-05 \\ 6.048E-06 \end{pmatrix} \text{ m}$
---	---

Gaya horisontal tiap mode

$$F_i = M \phi_i \Gamma_i C g$$

$F_1 = \begin{pmatrix} 0.3447 \\ 0.2520 \\ 0.5813 \\ 0.7174 \\ 0.6234 \end{pmatrix} \text{ kg}$	$F_2 = \begin{pmatrix} 1.0829 \\ 0.3577 \\ 0.3208 \\ -0.1360 \\ -0.5025 \end{pmatrix} \text{ kg}$	$F_3 = \begin{pmatrix} 0.5083 \\ -0.0314 \\ -0.2987 \\ -0.1561 \\ 0.2644 \end{pmatrix} \text{ kg}$
---	---	--

$F_4 = \begin{pmatrix} 0.0498 \\ -0.0437 \\ -0.0456 \\ 0.0929 \\ -0.0390 \end{pmatrix} \text{ kg}$	$F_5 = \begin{pmatrix} 0.02144 \\ -0.04149 \\ 0.03629 \\ -0.01580 \\ 0.00336 \end{pmatrix} \text{ kg}$
--	--

Simpangan horisontal menurut konsep Upper Bound/Absol

Tingkat ke-1	$y_1 = 0.01484 \text{ m}$
Tingkat ke-2	$y_2 = 0.02701 \text{ m}$
Tingkat ke-3	$y_3 = 0.03736 \text{ m}$
Tingkat ke-4	$y_4 = 0.04311 \text{ m}$
Tingkat ke-5	$y_5 = 0.05320 \text{ m}$

Simpangan antar lantai (DRIF)

$U_1 = 0.01484 \text{ m}$
$U_2 = 0.01218 \text{ m}$
$U_3 = 0.01035 \text{ m}$
$U_4 = 0.00574 \text{ m}$
$U_5 = 0.01010 \text{ m}$

Gaya horisontal tingkat

Tingkat ke-1	$F_1 = 2.00707$ kg
Tingkat ke-2	$F_2 = 0.49310$ kg
Tingkat ke-3	$F_3 = 0.59408$ kg
Tingkat ke-4	$F_4 = 0.50233$ kg
Tingkat ke-5	$F_5 = 0.34973$ kg

Maka Gaya Geser Dasar (V)

$$V = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$

$$V = 3.94631$$
$$394631 \text{ kg}$$

Menghitung Momen Guling (*overturning momen*, M_{bn})

$$M_n = \Sigma (F_i \cdot h_i)$$

$$M_{bn} = 31.2946 \text{ kg m}$$

Contoh Menghitung Gaya Geser Dasar dan Momen Guling

Data Masukan :

Persentase massa tingkat berurutan untuk m_1, m_2, m_3, m_4, m_5

80 134.7396 100 100 100 %

Masa Tingkat

Kekakuan Tingkat 1 (k_1)

$m_1 =$	236368	kg dt ² /m	$k_1 =$	26600000	kg/m
$m_2 =$	229192	kg dt ² /m	$k_2 =$	17200000	kg/m
$m_3 =$	170100	kg dt ² /m	$k_3 =$	17200000	kg/m
$m_4 =$	170100	kg dt ² /m	$k_4 =$	17200000	kg/m
$m_5 =$	131220	kg dt ² /m	$k_5 =$	12000000	kg/m
	936980	kg dt ² /m		sum m =	936980

Untuk mempermudah hitungan, maka dibuat unit satuan :

unit masa 100000 kg dt²/m = m
 unit kekakuan 1E+07 kg/m = k

Nilai-nilai akar dari persamaan eigen problem

$\lambda_1 =$ 0.096963
 $\lambda_2 =$ 0.665524
 $\lambda_3 =$ 1.553852
 $\lambda_4 =$ 2.374618
 $\lambda_5 =$ 3.316487

Menghitung nilai frekuensi sudut (ω) dan periode (T) :

$\omega_1 = (\lambda k/m)^{0.5}$	$T_1 = (2\pi/\omega_1)$
$\omega_1 =$ 3.1139 rad/dt	$T_1 =$ 2.0168 dt
$\omega_2 =$ 8.1580 rad/dt	$T_2 =$ 0.7698 dt
$\omega_3 =$ 12.4654 rad/dt	$T_3 =$ 0.5038 dt
$\omega_4 =$ 15.4098 rad/dt	$T_4 =$ 0.4075 dt
$\omega_5 =$ 18.2112 rad/dt	$T_5 =$ 0.3448 dt

Koefesien gempa dasar (C) diperoleh dari grafik antara periode vs C dari buku " Pedoman Perencanaan Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983 " pada wilayah gempa 2 dan tanah keras

Nilai periode (T)

$T_1 =$ 2.017 dt
 $T_2 =$ 0.770 dt
 $T_3 =$ 0.504 dt
 $T_4 =$ 0.408 dt
 $T_5 =$ 0.345 dt

Nilai koefesien gempa dasar (C)

$C_1 =$ 0.0350
 $C_2 =$ 0.0637
 $C_3 =$ 0.0699
 $C_4 =$ 0.0700
 $C_5 =$ 0.0700

Mode shape (ϕ) didapat dengan mensubstitusikan akar-akar (λ) ke dalam persamaan eigen problem

$(\phi)_1 =$	1	$(\phi)_2 =$	1	$(\phi)_3 =$	1	$(\phi)_4 =$	1	$(\phi)_5 =$	1
	2.413		1.632		0.411		-0.717		-2.011
	3.515		0.817		-1.029		-0.166		3.865
	4.279		-0.536		-0.888		0.774		-2.936
	4.787		-1.969		1.270		-0.485		1.118

Simpangan horisontal, kontribusi masing masing mode

$P_i^* = \phi_i^T M I$	$M_1^* = \phi_i^T M \phi_i$	
$P_1^* = 27.43312 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_1^* = 97.937 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_1 = 0.2801$
$P_2^* = 3.996856 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_2^* = 15.180 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_2 = 0.2633$
$P_3^* = 1.7119 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_3^* = 8.010 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_3 = 0.2137$
$P_4^* = 1.1202 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_4^* = 4.917 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_4 = 0.2278$
$P_5^* = 0.80211 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_5^* = 53.352 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_5 = 0.0150$

Efektif Modal partisipasi mode

$\alpha = \Gamma_i^* \phi_i$

$\alpha_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.28011 \\ 0.676 \\ 0.984509 \\ 1.198632 \\ 1.340796 \end{bmatrix}$	$\alpha_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.263299 \\ 0.429684 \\ 0.215018 \\ -0.14117 \\ -0.51852 \end{bmatrix}$	$\alpha_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.2137253 \\ 0.0878748 \\ -0.219923 \\ -0.189768 \\ 0.271434 \end{bmatrix}$	$\alpha_4 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.22783379 \\ -0.1633035 \\ -0.0377149 \\ 0.17644281 \\ -0.1105081 \end{bmatrix}$	$\alpha_5 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.01503443 \\ -0.03023594 \\ 0.0581141 \\ -0.04414147 \\ 0.01680659 \end{bmatrix}$
--	--	--	--	---

$(y_i) = (\phi)_i P_i^* C g / (M_i^* \omega^2)$

$(y_1) = \begin{bmatrix} 0.00992 \\ 0.02394 \\ 0.03486 \\ 0.04244 \\ 0.04748 \end{bmatrix} \text{ m}$	$(y_2) = \begin{bmatrix} 0.0024725 \\ 0.004035 \\ 0.0020191 \\ -0.001326 \\ -0.004869 \end{bmatrix} \text{ m}$	$(y_3) = \begin{bmatrix} 0.00094334 \\ 0.00038786 \\ -0.0009707 \\ -0.0008376 \\ 0.00119806 \end{bmatrix} \text{ m}$
$(y_4) = \begin{bmatrix} 0.000659 \\ -0.000472 \\ -0.000109 \\ 0.00051 \\ -0.00032 \end{bmatrix} \text{ m}$	$(y_5) = \begin{bmatrix} 3.113E-05 \\ -6.26E-05 \\ 0.0001203 \\ -9.14E-05 \\ 3.48E-05 \end{bmatrix} \text{ m}$	

Gaya horisontal tiap mode

$F_i = M \phi_i \Gamma_i C g$

$F_1 = \begin{bmatrix} 0.2273 \\ 0.5319 \\ 0.5750 \\ 0.7000 \\ 0.6041 \end{bmatrix} \text{ kg}$	$F_2 = \begin{bmatrix} 0.3889 \\ 0.6155 \\ 0.2286 \\ -0.1501 \\ -0.4252 \end{bmatrix} \text{ kg}$	$F_3 = \begin{bmatrix} 0.3465 \\ 0.1381 \\ -0.2566 \\ -0.2214 \\ 0.2443 \end{bmatrix} \text{ kg}$
$F_4 = \begin{bmatrix} 0.3698 \\ -0.2570 \\ -0.0441 \\ 0.2061 \\ -0.0996 \end{bmatrix} \text{ kg}$	$F_5 = \begin{bmatrix} 0.02440 \\ -0.04759 \\ 0.06788 \\ -0.05156 \\ 0.01514 \end{bmatrix} \text{ kg}$	

Simpangan horisontal menurut konsep Upper Bound/Absolu

Tingkat ke-1	$y_1 = 0.01402 \text{ m}$
Tingkat ke-2	$y_2 = 0.02889 \text{ m}$
Tingkat ke-3	$y_3 = 0.03808 \text{ m}$
Tingkat ke-4	$y_4 = 0.04521 \text{ m}$
Tingkat ke-5	$y_5 = 0.05390 \text{ m}$

Simpangan antar lantai (DRIF)

$U_1 = 0.01402 \text{ m}$
$U_2 = 0.01487 \text{ m}$
$U_3 = 0.00919 \text{ m}$
$U_4 = 0.00713 \text{ m}$
$U_5 = 0.00869 \text{ m}$

Gaya horisontal tingkat

Tingkat ke-1	$F_1 = 1.35696$ kg
Tingkat ke-2	$F_2 = 0.98094$ kg
Tingkat ke-3	$F_3 = 0.57083$ kg
Tingkat ke-4	$F_4 = 0.48313$ kg
Tingkat ke-5	$F_5 = 0.33870$ kg

Maka Gaya Geser Dasar (V)

$$V = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$

$$V = 3.73056$$
$$373055.9 \text{ kg}$$

Menghitung Momen Guling (*overturning momen*, M_{bn})

$$M_n = \Sigma (F_i \cdot h_i)$$

$$M_{bn} = 32.04102 \text{ kg m}$$

Menghitung Gaya Geser Dasar dan Momen Guling

Data Masukan :

Persentase massa tingkat berurutan untuk m_1, m_2, m_3, m_4, m_5

120 100 65.2605 100 100 %

Masa Tingkat

Kekakuan Tingkat 1 (k_1)

$m_1 = 354552 \text{ kg dt}^2/\text{m}$ $k_1 = 26600000 \text{ kg/m}$

$m_2 = 170100 \text{ kg dt}^2/\text{m}$ $k_2 = 17200000 \text{ kg/m}$

$m_3 = 111008.04 \text{ kg dt}^2/\text{m}$ $k_3 = 17200000 \text{ kg/m}$

$m_4 = 170100 \text{ kg dt}^2/\text{m}$ $k_4 = 17200000 \text{ kg/m}$

$m_5 = 131220 \text{ kg dt}^2/\text{m}$ $k_5 = 12000000 \text{ kg/m}$

936980.04

sum $m = 936980$

Untuk mempermudah hitungan, maka dibuat unit satuan :

unit masa 100000 $\text{kg dt}^2/\text{m}$ = m

unit kekakuan 1E+07 kg/m = k

Nilai-nilai akar dari persamaan eigen problem

$\lambda_1 = 0.107162$

$\lambda_2 = 0.676998$

$\lambda_3 = 1.456402$

$\lambda_4 = 2.32773$

$\lambda_5 = 4.41943$

Menghitung nilai frekuensi sudut (ω) dan periode (T) :

$\omega_i = (\lambda \text{ k/m})^{0.5}$

$T_i = (2\pi/\omega_i)$

$\omega_1 = 3.2736 \text{ rad/dt}$ $T_1 = 1.9184 \text{ dt}$

$\omega_2 = 8.2280 \text{ rad/dt}$ $T_2 = 0.7632 \text{ dt}$

$\omega_3 = 12.0681 \text{ rad/dt}$ $T_3 = 0.5204 \text{ dt}$

$\omega_4 = 15.2569 \text{ rad/dt}$ $T_4 = 0.4116 \text{ dt}$

$\omega_5 = 21.0224 \text{ rad/dt}$ $T_5 = 0.2987 \text{ dt}$

Koefesien gempa dasar (C) diperoleh dari grafik antara periode vs C dari buku " Pedoman Perencanaan Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983 " pada wilayah gempa 2 dan tanah keras

Nilai periode (T)

Nilai koefesien gempa dasar (C)

$T_1 = 1.918 \text{ dt}$

$C_1 = 0.0369$

$T_2 = 0.763 \text{ dt}$

$C_2 = 0.0639$

$T_3 = 0.520 \text{ dt}$

$C_3 = 0.0695$

$T_4 = 0.412 \text{ dt}$

$C_4 = 0.0700$

$T_5 = 0.299 \text{ dt}$

$C_5 = 0.0700$

Mode shape (ϕ) didapat dengan mensubstitusikan akar-akar (λ) ke dalam persamaan eigen problem

$$(\phi)_1 = \begin{vmatrix} 1 \\ 2.326 \\ 3.405 \\ 4.248 \\ 4.812 \end{vmatrix} \quad
 (\phi)_2 = \begin{vmatrix} 1 \\ 1.151 \\ 0.531 \\ -0.320 \\ -1.234 \end{vmatrix} \quad
 (\phi)_3 = \begin{vmatrix} 1 \\ -0.456 \\ -1.255 \\ -0.875 \\ 1.476 \end{vmatrix} \quad
 (\phi)_4 = \begin{vmatrix} 1 \\ -2.252 \\ -0.320 \\ 2.093 \\ -1.354 \end{vmatrix} \quad
 (\phi)_5 = \begin{vmatrix} 1 \\ -6.563 \\ 14.559 \\ -5.845 \\ 1.526 \end{vmatrix}$$

Simpangan horisontal, kontribusi masing masing mode

$P_i^* = \phi_i^T M I$		$M_i^* = \phi_i^T M \phi_i$		
$P_1^* =$	24.822289 kg dt ² /m	$M_1^* =$	86.704 kg dt ² /m	$\Gamma_1 = 0.2863$
$P_2^* =$	3.9291078 kg dt ² /m	$M_2^* =$	8.285 kg dt ² /m	$\Gamma_2 = 0.4743$
$P_3^* =$	1.8264 kg dt ² /m	$M_3^* =$	9.808 kg dt ² /m	$\Gamma_3 = 0.1862$
$P_4^* =$	1.1428 kg dt ² /m	$M_4^* =$	22.138 kg dt ² /m	$\Gamma_4 = 0.0516$
$P_5^* =$	0.6026601 kg dt ² /m	$M_5^* =$	373.309 kg dt ² /m	$\Gamma_5 = 0.0016$

Efektif Modal partisipasi mode

$\alpha = \Gamma_i^* \phi_i$

$\alpha_1 =$	$\begin{vmatrix} 0 \\ 0.2862868 \\ 0.666 \\ 0.9747384 \\ 1.2162698 \\ 1.3777107 \end{vmatrix}$	$\alpha_2 =$	$\begin{vmatrix} 0 \\ 0.474265 \\ 0.545871 \\ 0.252005 \\ -0.15197 \\ -0.58516 \end{vmatrix}$	$\alpha_3 =$	$\begin{vmatrix} 0 \\ 0.1862173 \\ -0.084848 \\ -0.233706 \\ -0.16289 \\ 0.2748907 \end{vmatrix}$	$\alpha_4 =$	$\begin{vmatrix} 0 \\ 0.05162103 \\ -0.1162377 \\ -0.0165153 \\ 0.1080182 \\ -0.069896 \end{vmatrix}$	$\alpha_5 =$	$\begin{vmatrix} 0 \\ 0.00161438 \\ -0.01059591 \\ 0.02350441 \\ -0.00943644 \\ 0.00246332 \end{vmatrix}$
--------------	--	--------------	---	--------------	---	--------------	---	--------------	---

$(y_i) = (\phi)_i P_i^* C g / (M_i^* \omega^2)$

$(y_1) =$	$\begin{vmatrix} 0.00967 \\ 0.02250 \\ 0.03293 \\ 0.04110 \\ 0.04655 \end{vmatrix}$ m	$(y_2) =$	$\begin{vmatrix} 0.0043886 \\ 0.0050512 \\ 0.0023319 \\ -0.001406 \\ -0.005415 \end{vmatrix}$ m	$(y_3) =$	$\begin{vmatrix} 0.00087207 \\ -0.00039735 \\ -0.00109446 \\ -0.00076283 \\ 0.00128734 \end{vmatrix}$ m
$(y_4) =$	$\begin{vmatrix} 0.0001523 \\ -0.0003429 \\ -4.872E-05 \\ 0.0003187 \\ -0.0002062 \end{vmatrix}$ m	$(y_5) =$	$\begin{vmatrix} 2.508E-06 \\ -1.65E-05 \\ 3.652E-05 \\ -1.47E-05 \\ 3.828E-06 \end{vmatrix}$ m		

Gaya horisontal tiap mode

$F_i = M \phi_i \Gamma_i C g$

$F_1 =$	$\begin{vmatrix} 0.3675 \\ 0.4101 \\ 0.3918 \\ 0.7491 \\ 0.6546 \end{vmatrix}$ kg	$F_2 =$	$\begin{vmatrix} 1.0534 \\ 0.5817 \\ 0.1753 \\ -0.1619 \\ -0.4810 \end{vmatrix}$ kg	$F_3 =$	$\begin{vmatrix} 0.4503 \\ -0.0984 \\ -0.1769 \\ -0.1890 \\ 0.2460 \end{vmatrix}$ kg
$F_4 =$	$\begin{vmatrix} 0.1257 \\ -0.1358 \\ -0.0126 \\ 0.1262 \\ -0.0630 \end{vmatrix}$ kg	$F_5 =$	$\begin{vmatrix} 0.00393 \\ -0.01238 \\ 0.01792 \\ -0.01102 \\ 0.00222 \end{vmatrix}$ kg		

Simpangan horisontal menurut konsep Upper Bound/Absolut

Tingkat ke-1	$y_1 = 0.01509$ m
Tingkat ke-2	$y_2 = 0.02830$ m
Tingkat ke-3	$y_3 = 0.03645$ m
Tingkat ke-4	$y_4 = 0.04360$ m

Simpangan antar lantai (DRIF)

$U_1 =$	0.01509 m
$U_2 =$	0.01322 m
$U_3 =$	0.00814 m
$U_4 =$	0.00715 m

$$\text{Tingkat ke-5} \quad y_5 = 0.05346 \text{ m}$$

$$U_5 = 0.00986 \text{ m}$$

Gaya horisontal tingkat

$$\text{Tingkat ke-1} \quad F_1 = 2.00086 \text{ kg}$$

$$\text{Tingkat ke-2} \quad F_2 = 0.74516 \text{ kg}$$

$$\text{Tingkat ke-3} \quad F_3 = 0.39542 \text{ kg}$$

$$\text{Tingkat ke-4} \quad F_4 = 0.51334 \text{ kg}$$

$$\text{Tingkat ke-5} \quad F_5 = 0.35882 \text{ kg}$$

Gaya geser tingkat

$$FL_5 = 0.35882$$

$$FL_4 = 0.87216$$

$$FL_3 = 1.26758$$

$$FL_2 = 2.01274$$

$$FL_1 = 4.01360$$

Maka Gaya Geser Dasar (V)

$$V = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$

$$V = 4.01360$$

$$401359.89 \text{ kg}$$

Menghitung Momen Guling (*overturning momen*, M_{bn})

$$M_n = \Sigma (F_i \cdot h_i)$$

$$M_{bn} = 31.268661 \text{ kg m}$$

Menghitung Gaya Geser Dasar dan Momen Guling

Data Masukan :

Persentase massa tingkat berurutan untuk m_1, m_2, m_3, m_4, m_5

80 100 134.74 100 100 %

Masa Tingkat

Kekakuan Tingkat 1 (k_1)

$m_1 = 236368 \text{ kg dt}^2/\text{m}$ $k_1 = 26600000 \text{ kg/m}$

$m_2 = 170100 \text{ kg dt}^2/\text{m}$ $k_2 = 17200000 \text{ kg/m}$

$m_3 = 229191.97 \text{ kg dt}^2/\text{m}$ $k_3 = 17200000 \text{ kg/m}$

$m_4 = 170100 \text{ kg dt}^2/\text{m}$ $k_4 = 17200000 \text{ kg/m}$

$m_5 = 131220 \text{ kg dt}^2/\text{m}$ $k_5 = 12000000 \text{ kg/m}$

936979.97 sum m = 936980

Untuk mempermudah hitungan, maka dibuat unit satuan :

unit masa 100000 $\text{kg dt}^2/\text{m}$ = m

unit kekakuan 1E+07 kg/m = k

Nilai-nilai akar dari persamaan eigen problem

$\lambda_1 = 0.093167$

$\lambda_2 = 0.711452$

$\lambda_3 = 1.48014$

$\lambda_4 = 2.48943$

$\lambda_5 = 3.23325$

Menghitung nilai frekuensi sudut (ω) dan periode (T) :

$\omega_i = (\lambda k/m)^{0.5}$ $T_i = (2\pi/\omega_i)$

$\omega_1 = 3.0523 \text{ rad/dt}$ $T_1 = 2.0574 \text{ dt}$

$\omega_2 = 8.4348 \text{ rad/dt}$ $T_2 = 0.7445 \text{ dt}$

$\omega_3 = 12.1661 \text{ rad/dt}$ $T_3 = 0.5162 \text{ dt}$

$\omega_4 = 15.7779 \text{ rad/dt}$ $T_4 = 0.3980 \text{ dt}$

$\omega_5 = 17.9812 \text{ rad/dt}$ $T_5 = 0.3493 \text{ dt}$

Koefesien gempa dasar (C) diperoleh dari grafik antara periode vs C dari buku " Pedoman Perencanaan Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983 " pada wilayah gempa 2 dan tanah keras

Nilai periode (T)

Nilai koefesien gempa dasar (C)

$T_1 = 2.057 \text{ dt}$

$C_1 = 0.0350$

$T_2 = 0.745 \text{ dt}$

$C_2 = 0.0643$

$T_3 = 0.516 \text{ dt}$

$C_3 = 0.0696$

$T_4 = 0.398 \text{ dt}$

$C_4 = 0.0700$

$T_5 = 0.349 \text{ dt}$

$C_5 = 0.0700$

Mode shape (ϕ) didapat dengan mensubstitusikan akar-akar (λ) ke dalam persamaan eigen problem

$$(\phi)_1 = \begin{vmatrix} 1 \\ 2.418 \\ 3.614 \\ 4.361 \\ 4.856 \end{vmatrix} \quad
 (\phi)_2 = \begin{vmatrix} 1 \\ 1.569 \\ 1.034 \\ -0.481 \\ -2.168 \end{vmatrix} \quad
 (\phi)_3 = \begin{vmatrix} 1 \\ 0.512 \\ -0.725 \\ -0.533 \\ 0.861 \end{vmatrix} \quad
 (\phi)_4 = \begin{vmatrix} 1 \\ -0.875 \\ -0.596 \\ 1.660 \\ -0.964 \end{vmatrix} \quad
 (\phi)_5 = \begin{vmatrix} 1 \\ -1.897 \\ 1.271 \\ -1.038 \\ 0.409 \end{vmatrix}$$

Simpangan horisontal, kontribusi masing masing mode

$P_i^* = \phi_i^T M I$	$M_i^* = \phi_i^T M \phi_i$	
$P_1^* = 28.550783 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_1^* = 105.541 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_1 = 0.2705$
$P_2^* = 3.7388243 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_2^* = 15.559 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_2 = 0.2403$
$P_3^* = 1.7971 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_3^* = 5.471 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_3 = 0.3285$
$P_4^* = 1.0685 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_4^* = 10.383 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_4 = 0.1029$
$P_5^* = 0.8226394 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_5^* = 14.241 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_5 = 0.0578$

Efektif Modal partisipasi mode

$\alpha = \Gamma_i^* \phi_i$

$\alpha_1 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0.2705178 \\ 0.654 \\ 0.9776848 \\ 1.1797523 \\ 1.3135794 \end{vmatrix}$	$\alpha_2 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0.240307 \\ 0.376996 \\ 0.248433 \\ -0.11565 \\ -0.52087 \end{vmatrix}$	$\alpha_3 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0.3284897 \\ 0.1683362 \\ -0.238226 \\ -0.174934 \\ 0.2828134 \end{vmatrix}$	$\alpha_4 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0.10291071 \\ -0.09 \\ -0.061337 \\ 0.17079267 \\ -0.0991757 \end{vmatrix}$	$\alpha_5 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0.05776634 \\ -0.1095669 \\ 0.07344374 \\ -0.05996642 \\ 0.02364636 \end{vmatrix}$
---	--	---	--	---

$(y_i) = (\phi)_i P_i^* C g / (M_i^* \omega^2)$

$(y_1) = \begin{vmatrix} 0.00997 \\ 0.02411 \\ 0.03603 \\ 0.04348 \\ 0.04841 \end{vmatrix} \text{ m}$	$(y_2) = \begin{vmatrix} 0.0021305 \\ 0.0033423 \\ 0.0022025 \\ -0.001025 \\ -0.004618 \end{vmatrix} \text{ m}$	$(y_3) = \begin{vmatrix} 0.0015158 \\ 0.00077678 \\ -0.00109929 \\ -0.00080723 \\ 0.00130503 \end{vmatrix} \text{ m}$
$(y_4) = \begin{vmatrix} 0.0002839 \\ -0.0002483 \\ -0.0001692 \\ 0.0004711 \\ -0.0002736 \end{vmatrix} \text{ m}$	$(y_5) = \begin{vmatrix} 0.0001227 \\ -0.000233 \\ 0.000156 \\ -0.000127 \\ 5.022E-05 \end{vmatrix} \text{ m}$	

Gaya horisontal tiap mode

$F_i = M \phi_i \Gamma_i C g$

$F_1 = \begin{vmatrix} 0.2195 \\ 0.3821 \\ 0.7694 \\ 0.6890 \\ 0.5918 \end{vmatrix} \text{ kg}$	$F_2 = \begin{vmatrix} 0.3583 \\ 0.4045 \\ 0.3591 \\ -0.1241 \\ -0.4311 \end{vmatrix} \text{ kg}$	$F_3 = \begin{vmatrix} 0.5303 \\ 0.1956 \\ -0.3729 \\ -0.2032 \\ 0.2535 \end{vmatrix} \text{ kg}$
$F_4 = \begin{vmatrix} 0.1670 \\ -0.1051 \\ -0.0965 \\ 0.1995 \\ -0.0894 \end{vmatrix} \text{ kg}$	$F_5 = \begin{vmatrix} 0.09376 \\ -0.12798 \\ 0.11559 \\ -0.07005 \\ 0.02131 \end{vmatrix} \text{ kg}$	

Simpangan horisontal menurut konsep Upper Bound/Absolut

Tingkat ke-1	$y_1 = 0.01402 \text{ m}$
Tingkat ke-2	$y_2 = 0.02871 \text{ m}$
Tingkat ke-3	$y_3 = 0.03966 \text{ m}$
Tingkat ke-4	$y_4 = 0.04591 \text{ m}$

Simpangan antar lantai (DRIF)

$U_1 = 0.01402 \text{ m}$
$U_2 = 0.01469 \text{ m}$
$U_3 = 0.01095 \text{ m}$
$U_4 = 0.00625 \text{ m}$

Tingkat ke-5 $y_5 = 0.05466$ m

$U_5 = 0.00875$ m

Gaya horisontal tingkat

Tingkat ke-1 $F_1 = 1.36893$ kg
 Tingkat ke-2 $F_2 = 0.74904$ kg
 Tingkat ke-3 $F_3 = 0.77465$ kg
 Tingkat ke-4 $F_4 = 0.49116$ kg
 Tingkat ke-5 $F_5 = 0.34613$ kg

Gaya geser tingkat

$FL_5 = 0.34613$
 $FL_4 = 0.83729$
 $FL_3 = 1.61194$
 $FL_2 = 2.36098$
 $FL_1 = 3.72990$

Maka Gaya Geser Dasar (V)

$V = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$
 $V = 3.72990$
 372990.46 kg

Menghitung Momen Guling (*overturning momen*, M_{bn})

$M_n = \Sigma (F_i \cdot h_i)$
 $M_{bn} = 32.89387$ kg m

Menghitung Gaya Geser Dasar dan Momen Guling

Data Masukan :

Persentase massa tingkat berurutan untuk m_1, m_2, m_3, m_4, m_5

100	120	80	100	100	%
Masa Tingkat			Kekakuan Tingkat 1 (k_1)		
$m_1 =$	295460	kg dt ² /m	$k_1 =$	26600000	kg/m
$m_2 =$	204120	kg dt ² /m	$k_2 =$	17200000	kg/m
$m_3 =$	136080	kg dt ² /m	$k_3 =$	17200000	kg/m
$m_4 =$	170100	kg dt ² /m	$k_4 =$	17200000	kg/m
$m_5 =$	131220	kg dt ² /m	$k_5 =$	12000000	kg/m
	936980			sum m = 936980	

Untuk mempermudah hitungan, maka dibuat unit satuan :

unit masa	100000	kg dt ² /m	=	m
unit kekakuan	1E+07	kg/m	=	k

Nilai-nilai akar dari persamaan eigen problem

$\lambda_1 =$	0.10219
$\lambda_2 =$	0.67402
$\lambda_3 =$	1.503924
$\lambda_4 =$	2.26125
$\lambda_5 =$	3.7854

Menghitung nilai frekuensi sudut (ω) dan periode (T) :

$\omega_i = (\lambda k/m)^{0.5}$		$T_i = (2\pi/\omega_i)$	
$\omega_1 =$	3.1967	rad/dt	$T_1 =$ 1.9645 dt
$\omega_2 =$	8.2099	rad/dt	$T_2 =$ 0.7649 dt
$\omega_3 =$	12.2635	rad/dt	$T_3 =$ 0.5121 dt
$\omega_4 =$	15.0375	rad/dt	$T_4 =$ 0.4176 dt
$\omega_5 =$	19.4561	rad/dt	$T_5 =$ 0.3228 dt

Koefesien gempa dasar (C) diperoleh dari grafik antara periode vs C dari buku " Pedoman Perencanaan Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983 " pada wilayah gempa 2 dan tanah keras

Nilai periode (T)		Nilai koefesien gempa dasar (C)
$T_1 =$	1.965 dt	$C_1 =$ 0.0358
$T_2 =$	0.765 dt	$C_2 =$ 0.0638
$T_3 =$	0.512 dt	$C_3 =$ 0.0697
$T_4 =$	0.418 dt	$C_4 =$ 0.0700
$T_5 =$	0.323 dt	$C_5 =$ 0.0700

Mode shape (ϕ) didapat dengan mensubstitusikan akar-akar (λ) ke dalam persamaan eigen problem

$(\phi)_1 =$	1	$(\phi)_2 =$	1	$(\phi)_3 =$	1	$(\phi)_4 =$	1	$(\phi)_5 =$	1
	2.371		1.389		-0.037		-1.338		-3.956
	3.454		0.667		-1.008		-0.086		8.860
	4.259		-0.411		-0.780		1.320		-4.858
	4.794		-1.563		1.210		-0.896		1.547

Simpangan horisontal, kontribusi masing masing mode

$P_i^* = \phi_i^T M I$	$M_i^* = \phi_i^T M \phi_i$	
$P_1^* = 26.029864 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_1^* = 91.677 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_1 = 0.2839$
$P_2^* = 3.946419 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_2^* = 10.988 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_2 = 0.3592$
$P_3^* = 1.7687 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_3^* = 7.294 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_3 = 0.2425$
$P_4^* = 1.1763 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_4^* = 10.635 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_4 = 0.1106$
$P_5^* = 0.7027002 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_5^* = 184.999 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_5 = 0.0038$

Efektif Modal partisipasi mode

$\alpha = \Gamma_i^* \phi_i$

$\alpha_1 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0.2839302 \\ 0.673 \\ 0.98081 \\ 1.2091324 \\ 1.3612465 \end{vmatrix}$	$\alpha_2 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0.359161 \\ 0.498761 \\ 0.239408 \\ -0.14761 \\ -0.56131 \end{vmatrix}$	$\alpha_3 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0.2424882 \\ -0.008951 \\ -0.244415 \\ -0.189062 \\ 0.2933219 \end{vmatrix}$	$\alpha_4 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0.11060762 \\ -0.1479756 \\ -0.0094626 \\ 0.14597914 \\ -0.0991312 \end{vmatrix}$	$\alpha_5 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0.00379839 \\ -0.01502649 \\ 0.03365216 \\ -0.01845295 \\ 0.00587798 \end{vmatrix}$
---	--	---	--	--

$(y_i) = (\phi)_i P_i^* C g / (M_i^* \omega^2)$

$(y_1) = \begin{vmatrix} 0.00977 \\ 0.02316 \\ 0.03374 \\ 0.04159 \\ 0.04683 \end{vmatrix} \text{ m}$	$(y_2) = \begin{vmatrix} 0.0033361 \\ 0.0046328 \\ 0.0022238 \\ -0.001371 \\ -0.005214 \end{vmatrix} \text{ m}$	$(y_3) = \begin{vmatrix} 0.00110277 \\ -4.0709E-05 \\ -0.00111153 \\ -0.0008598 \\ 0.00133395 \end{vmatrix} \text{ m}$
$(y_4) = \begin{vmatrix} 0.0003359 \\ -0.0004494 \\ -2.874E-05 \\ 0.0004433 \\ -0.000301 \end{vmatrix} \text{ m}$	$(y_5) = \begin{vmatrix} 6.891E-06 \\ -2.73E-05 \\ 6.105E-05 \\ -3.35E-05 \\ 1.066E-05 \end{vmatrix} \text{ m}$	

Gaya horisontal tiap mode

$F_i = M \phi_i \Gamma_i C g$

$F_1 = \begin{vmatrix} 0.2949 \\ 0.4830 \\ 0.4692 \\ 0.7230 \\ 0.6279 \end{vmatrix} \text{ kg}$	$F_2 = \begin{vmatrix} 0.6644 \\ 0.6374 \\ 0.2040 \\ -0.1572 \\ -0.4611 \end{vmatrix} \text{ kg}$	$F_3 = \begin{vmatrix} 0.4900 \\ -0.0125 \\ -0.2275 \\ -0.2200 \\ 0.2632 \end{vmatrix} \text{ kg}$
$F_4 = \begin{vmatrix} 0.2244 \\ -0.2074 \\ -0.0088 \\ 0.1705 \\ -0.0893 \end{vmatrix} \text{ kg}$	$F_5 = \begin{vmatrix} 0.00771 \\ -0.02106 \\ 0.03145 \\ -0.02155 \\ 0.00530 \end{vmatrix} \text{ kg}$	

Simpangan horisontal menurut konsep Upper Bound/Absolut

Tingkat ke-1	$y_1 = 0.01455 \text{ m}$
Tingkat ke-2	$y_2 = 0.02831 \text{ m}$
Tingkat ke-3	$y_3 = 0.03716 \text{ m}$
Tingkat ke-4	$y_4 = 0.04430 \text{ m}$
Tingkat ke-5	$y_5 = 0.05369 \text{ m}$

Simpangan antar lantai (DRIF)

$U_1 = 0.01455 \text{ m}$
$U_2 = 0.01376 \text{ m}$
$U_3 = 0.00886 \text{ m}$
$U_4 = 0.00714 \text{ m}$
$U_5 = 0.00938 \text{ m}$

Gaya horisontal tingkat

Tingkat ke-1	$F_1 = 1.68141$ kg
Tingkat ke-2	$F_2 = 0.87946$ kg
Tingkat ke-3	$F_3 = 0.46827$ kg
Tingkat ke-4	$F_4 = 0.49481$ kg
Tingkat ke-5	$F_5 = 0.34600$ kg

Gaya geser tingkat

$FL_5 = 0.34600$
$FL_4 = 0.84081$
$FL_3 = 1.30908$
$FL_2 = 2.18854$
$FL_1 = 3.86995$

Maka Gaya Geser Dasar (V)

$$V = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$

$$V = 3.86995$$
$$386995.12 \text{ kg}$$

Menghitung Momen Guling (*overturning momen*, M_{bn})

$$M_n = \Sigma (F_i \cdot h_i)$$

$$M_{bn} = 31.515789 \text{ kg m}$$

Menghitung Gaya Geser Dasar dan Momen Guling

Data Masukan :

Persentase massa tingkat berurutan untuk m_1, m_2, m_3, m_4, m_5

100 80 120 100 100 %

Masa Tingkat

Kekakuan Tingkat 1 (k_1)

$$m_1 = 295460 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad k_1 = 26600000 \text{ kg/m}$$

$$m_2 = 136080 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad k_2 = 17200000 \text{ kg/m}$$

$$m_3 = 204120 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad k_3 = 17200000 \text{ kg/m}$$

$$m_4 = 170100 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad k_4 = 17200000 \text{ kg/m}$$

$$m_5 = 131220 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad k_5 = 12000000 \text{ kg/m}$$

936980

sum m = 936980

Untuk mempermudah hitungan, maka dibuat unit satuan :

$$\text{unit masa} \quad 100000 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad = \text{m}$$

$$\text{unit kekakuan} \quad 1\text{E}+07 \text{ kg/m} \quad = \text{k}$$

Nilai-nilai akar dari persamaan eigen problem

$$\lambda_1 = 0.09744$$

$$\lambda_2 = 0.72944$$

$$\lambda_3 = 1.37696$$

$$\lambda_4 = 2.50259$$

$$\lambda_5 = 3.62036$$

Menghitung nilai frekuensi sudut (ω) dan periode (T) :

$$\omega_i = (\lambda \text{ k/m})^{0.5}$$

$$T_i = (2\pi/\omega_i)$$

$$\omega_1 = 3.1215 \text{ rad/dt} \quad T_1 = 2.0118 \text{ dt}$$

$$\omega_2 = 8.5407 \text{ rad/dt} \quad T_2 = 0.7353 \text{ dt}$$

$$\omega_3 = 11.7344 \text{ rad/dt} \quad T_3 = 0.5352 \text{ dt}$$

$$\omega_4 = 15.8196 \text{ rad/dt} \quad T_4 = 0.3970 \text{ dt}$$

$$\omega_5 = 19.0272 \text{ rad/dt} \quad T_5 = 0.3301 \text{ dt}$$

Koefesien gempa dasar (C) diperoleh dari grafik antara periode vs C dari buku " Pedoman Perencanaan Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983 " pada wilayah gempa 2 dan tanah keras

Nilai periode (T)

Nilai koefesien gempa dasar (C)

$$T_1 = 2.012 \text{ dt}$$

$$C_1 = 0.0350$$

$$T_2 = 0.735 \text{ dt}$$

$$C_2 = 0.0645$$

$$T_3 = 0.535 \text{ dt}$$

$$C_3 = 0.0692$$

$$T_4 = 0.397 \text{ dt}$$

$$C_4 = 0.0700$$

$$T_5 = 0.330 \text{ dt}$$

$$C_5 = 0.0700$$

Mode shape (ϕ) didapat dengan mensubstitusikan akar-akar (λ) ke dalam persamaan eigen problem

$$(\phi)_1 = \begin{vmatrix} 1 \\ 2.379 \\ 3.575 \\ 4.357 \\ 4.877 \end{vmatrix} \quad (\phi)_2 = \begin{vmatrix} 1 \\ 1.293 \\ 0.840 \\ -0.340 \\ -1.681 \end{vmatrix} \quad (\phi)_3 = \begin{vmatrix} 1 \\ 0.181 \\ -0.835 \\ -0.487 \\ 0.963 \end{vmatrix} \quad (\phi)_4 = \begin{vmatrix} 1 \\ -1.752 \\ -1.035 \\ 2.756 \\ -1.587 \end{vmatrix} \quad (\phi)_5 = \begin{vmatrix} 1 \\ -3.673 \\ 2.174 \\ -1.320 \\ 0.446 \end{vmatrix}$$

Simpangan horisontal, kontribusi masing masing mode

$P_i^* = \phi_i^T M I$	$M_i^* = \phi_i^T M \phi_i$	
$P_1^* = 27.299917 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_1^* = 100.244 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_1 = 0.2723$
$P_2^* = 3.6466372 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_2^* = 10.576 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_2 = 0.3448$
$P_3^* = 1.9318 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_3^* = 6.041 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_3 = 0.3198$
$P_4^* = 1.0629 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_4^* = 25.550 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_4 = 0.0416$
$P_5^* = 0.735002 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$M_5^* = 34.183 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$\Gamma_5 = 0.0215$

Efektif Modal partisipasi mode

$\alpha = \Gamma_i^* \phi_i$

$\alpha_1 =$	$\begin{vmatrix} 0 \\ 0.2723357 \\ 0.648 \\ 0.9735594 \\ 1.186618 \\ 1.3281049 \end{vmatrix}$	$\alpha_2 =$	$\begin{vmatrix} 0 \\ 0.344795 \\ 0.445987 \\ 0.289798 \\ -0.11726 \\ -0.57946 \end{vmatrix}$	$\alpha_3 =$	$\begin{vmatrix} 0 \\ 0.3197794 \\ 0.0579384 \\ -0.267021 \\ -0.155641 \\ 0.3077893 \end{vmatrix}$	$\alpha_4 =$	$\begin{vmatrix} 0 \\ 0.04160193 \\ -0.0729038 \\ -0.0430632 \\ 0.11467229 \\ -0.0660311 \end{vmatrix}$	$\alpha_5 =$	$\begin{vmatrix} 0 \\ 0.02150193 \\ -0.07896604 \\ 0.04674795 \\ -0.02838788 \\ 0.00960007 \end{vmatrix}$
--------------	---	--------------	---	--------------	--	--------------	---	--------------	---

$(y_i) = (\phi)_i P_i^* C g / (M_i^* \omega^2)$

$(y_1) =$	$\begin{vmatrix} 0.00960 \\ 0.02283 \\ 0.03431 \\ 0.04181 \\ 0.04680 \end{vmatrix} \text{ m}$	$(y_2) =$	$\begin{vmatrix} 0.0029914 \\ 0.0038694 \\ 0.0025143 \\ -0.001017 \\ -0.005027 \end{vmatrix} \text{ m}$	$(y_3) =$	$\begin{vmatrix} 0.00157609 \\ 0.00028556 \\ -0.00131606 \\ -0.00076711 \\ 0.00151699 \end{vmatrix} \text{ m}$
$(y_4) =$	$\begin{vmatrix} 0.0001142 \\ -0.0002 \\ -0.0001182 \\ 0.0003147 \\ -0.0001812 \end{vmatrix} \text{ m}$	$(y_5) =$	$\begin{vmatrix} 4.078E-05 \\ -0.00015 \\ 8.867E-05 \\ -5.38E-05 \\ 1.821E-05 \end{vmatrix} \text{ m}$		

Gaya horisontal tiap mode

$F_i = M \phi_i \Gamma_i C g$

$F_1 =$	$\begin{vmatrix} 0.2763 \\ 0.3027 \\ 0.6823 \\ 0.6930 \\ 0.5984 \end{vmatrix} \text{ kg}$	$F_2 =$	$\begin{vmatrix} 0.6447 \\ 0.3841 \\ 0.3744 \\ -0.1262 \\ -0.4812 \end{vmatrix} \text{ kg}$	$F_3 =$	$\begin{vmatrix} 0.6412 \\ 0.0535 \\ -0.3699 \\ -0.1797 \\ 0.2741 \end{vmatrix} \text{ kg}$
$F_4 =$	$\begin{vmatrix} 0.0844 \\ -0.0681 \\ -0.0604 \\ 0.1339 \\ -0.0595 \end{vmatrix} \text{ kg}$	$F_5 =$	$\begin{vmatrix} 0.04363 \\ -0.07379 \\ 0.06553 \\ -0.03316 \\ 0.00865 \end{vmatrix} \text{ kg}$		

Simpangan horisontal menurut konsep Upper Bound/Absolut

Tingkat ke-1	$y_1 = 0.01432 \text{ m}$
Tingkat ke-2	$y_2 = 0.02734 \text{ m}$
Tingkat ke-3	$y_3 = 0.03834 \text{ m}$
Tingkat ke-4	$y_4 = 0.04397 \text{ m}$
Tingkat ke-5	$y_5 = 0.05354 \text{ m}$

Simpangan antar lantai (DRIF)

$U_1 = 0.01432 \text{ m}$
$U_2 = 0.01302 \text{ m}$
$U_3 = 0.01101 \text{ m}$
$U_4 = 0.00562 \text{ m}$
$U_5 = 0.00958 \text{ m}$

Gaya horisontal tingkat

Tingkat ke-1	$F_1 = 1.69023$ kg
Tingkat ke-2	$F_2 = 0.59840$ kg
Tingkat ke-3	$F_3 = 0.69194$ kg
Tingkat ke-4	$F_4 = 0.48792$ kg
Tingkat ke-5	$F_5 = 0.34041$ kg

Gaya geser tingkat

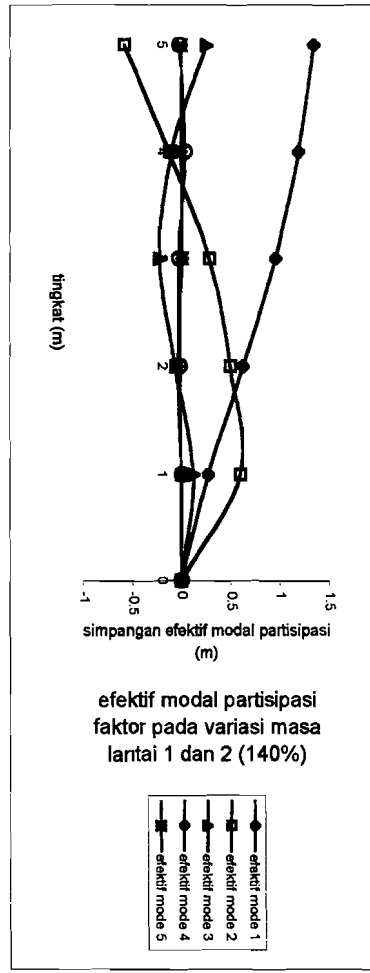
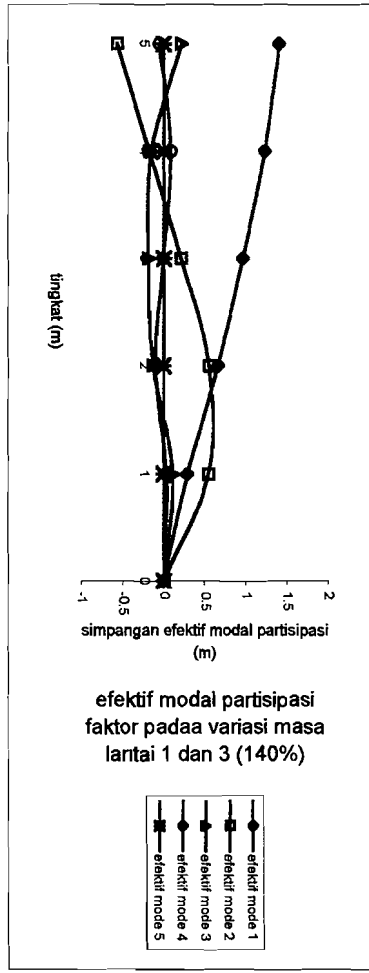
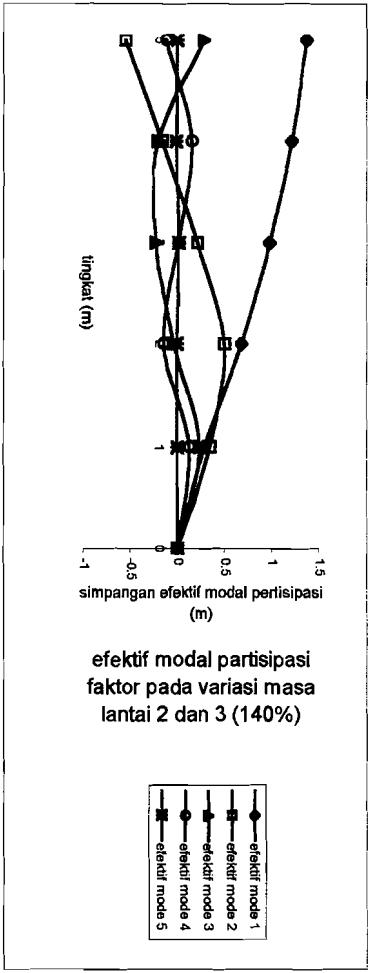
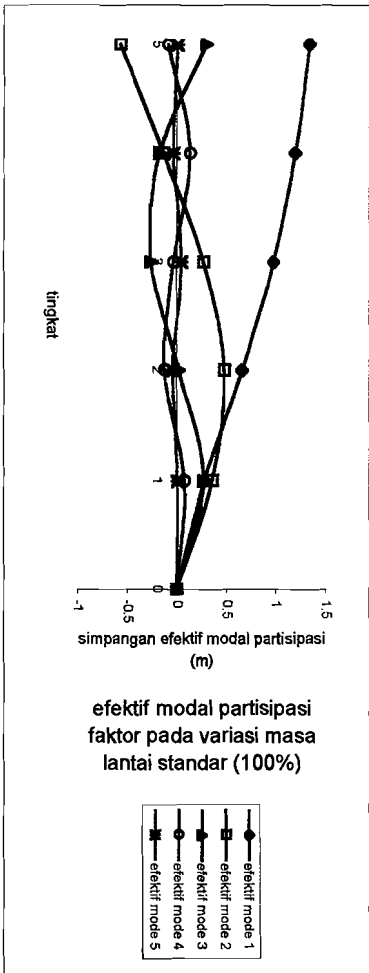
$FL_5 = 0.34041$
$FL_4 = 0.82833$
$FL_3 = 1.52027$
$FL_2 = 2.11867$
$FL_1 = 3.80890$

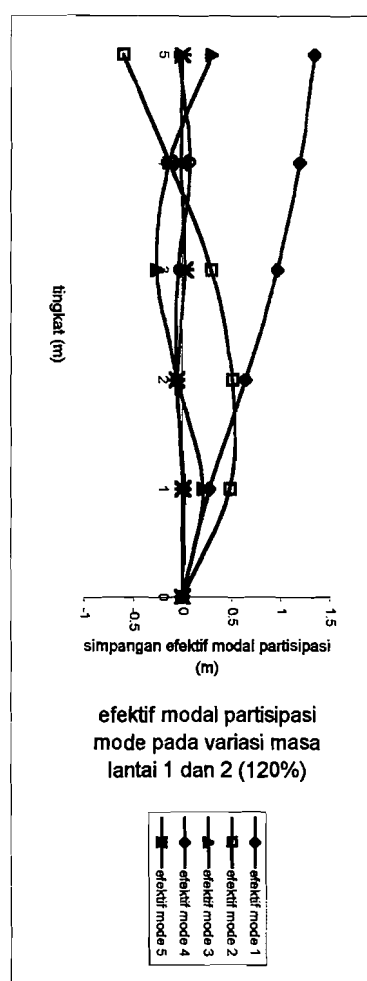
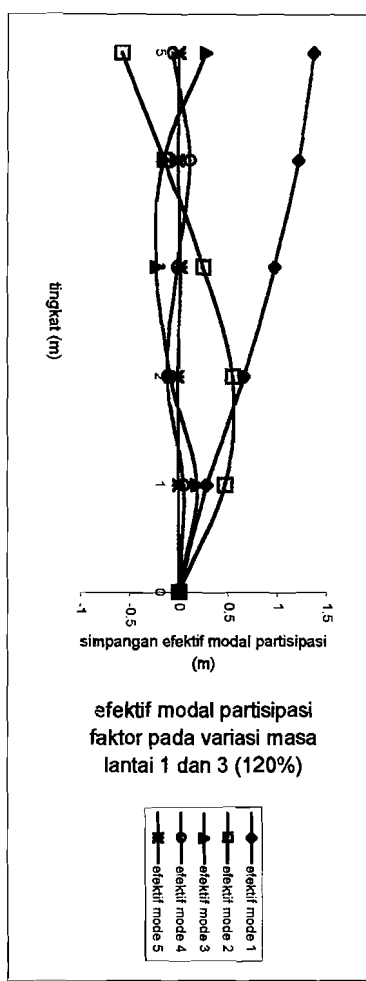
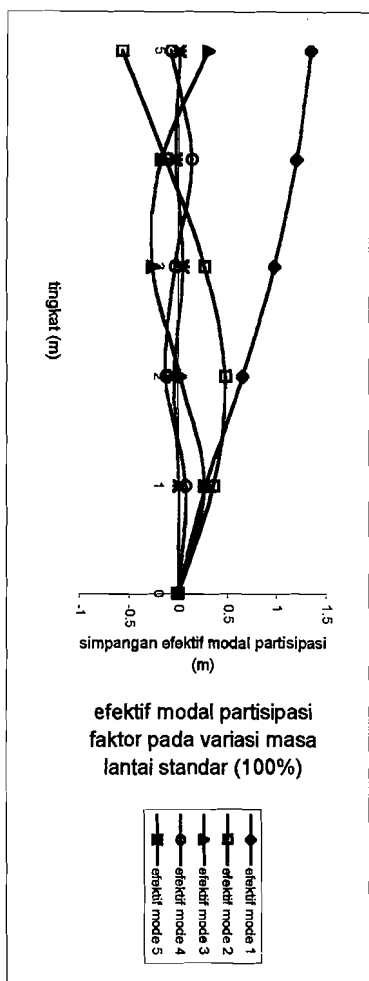
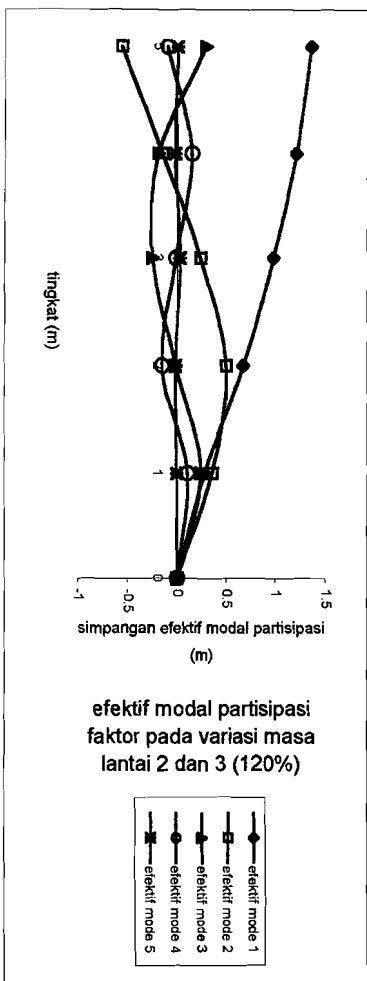
Maka Gaya Geser Dasar (V)

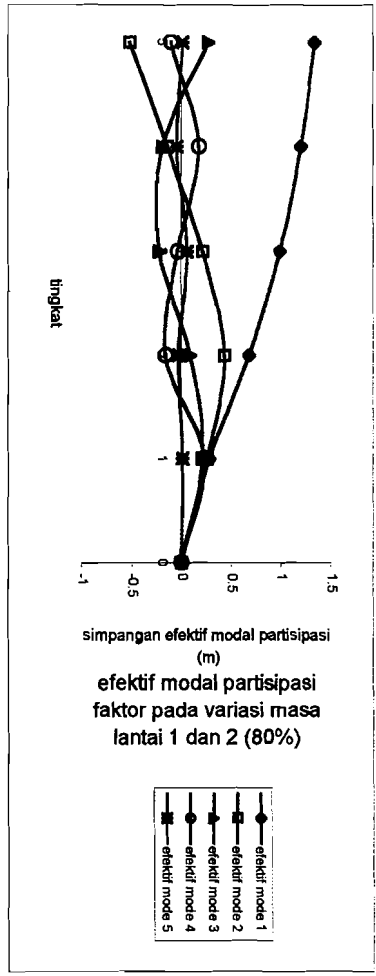
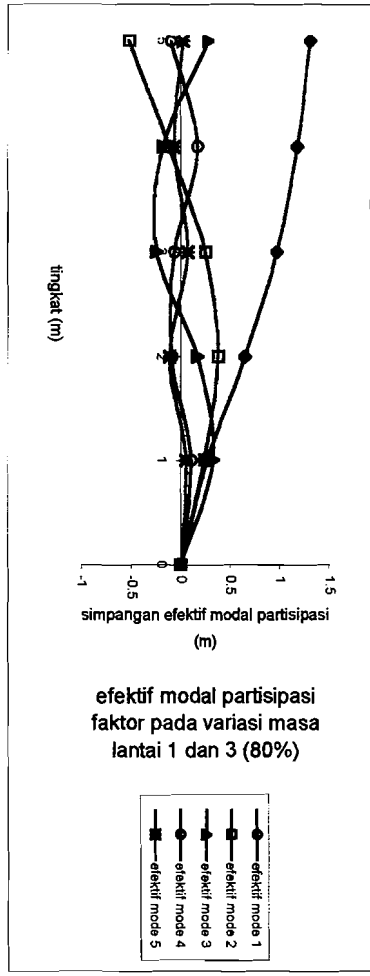
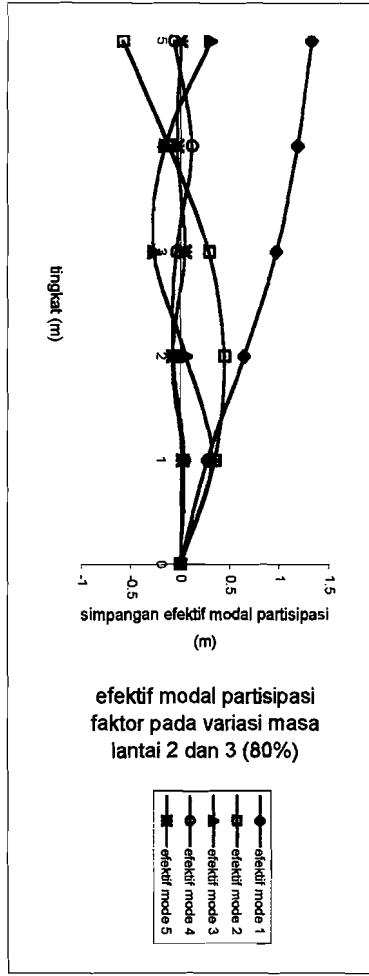
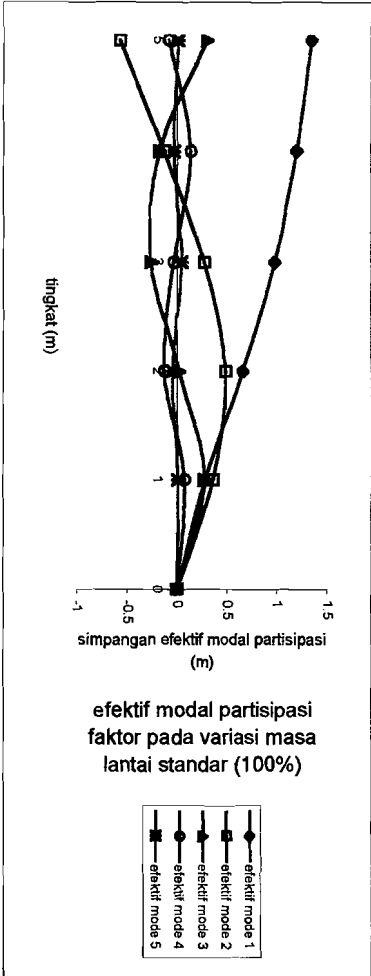
$$V = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$
$$V = 3.80890$$
$$380889.99 \text{ kg}$$

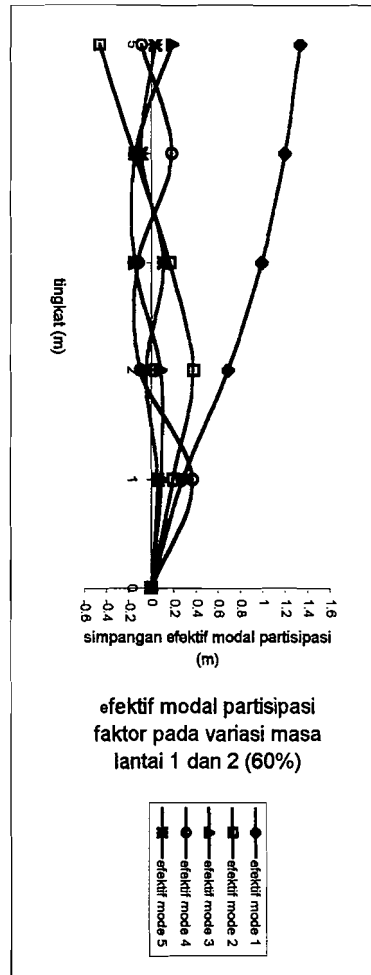
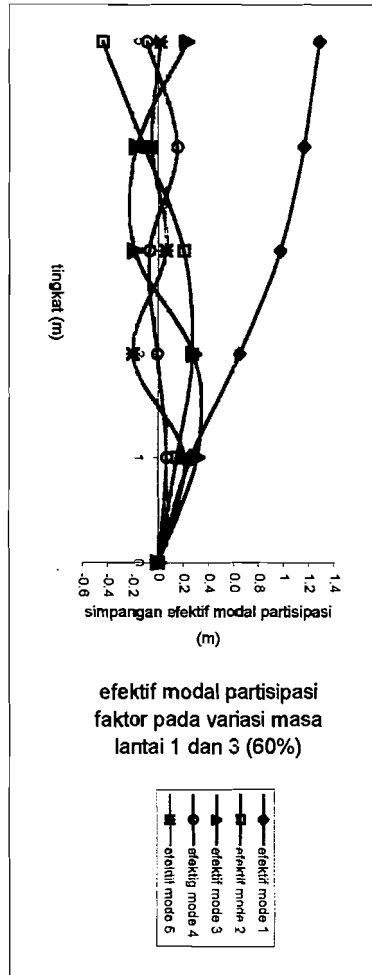
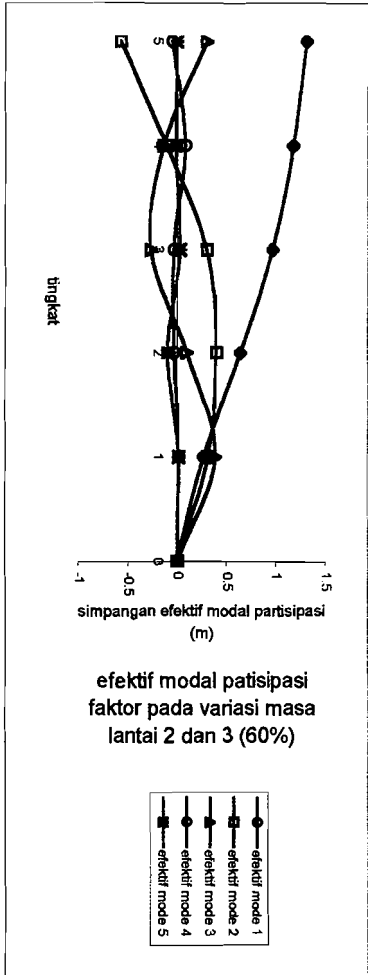
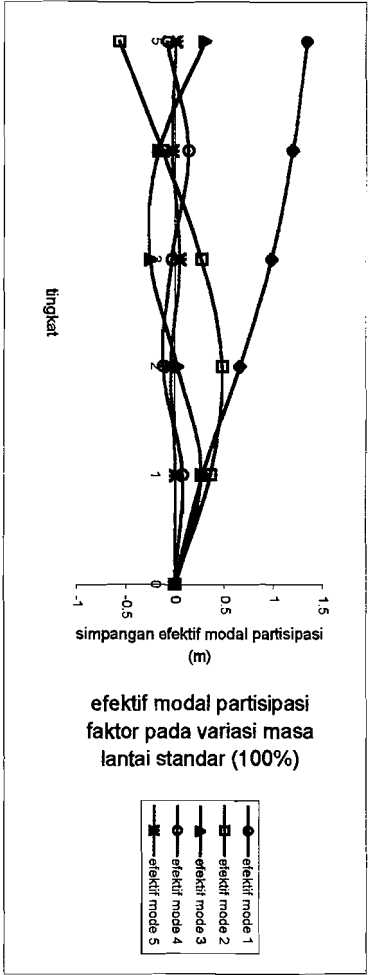
Menghitung Momen Guling (*overturning momen*, M_{bn})

$$M_n = \Sigma (F_i \cdot h_i)$$
$$M_{bn} = 31.742034 \text{ kg m}$$









16

