

Tugas Akhir

**INVESTIGASI DERAJAT KONTRIBUSI MODE
DENGAN KEKAKUAN KOLOM CARA MUTO PADA
BANGUNAN BERTINGKAT BANYAK**

Disusun Oleh :

**FANI DARMAWAN
97 511 016**

**DHIAN SULISTYANTO
97 511 036**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2002**

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**INVESTIGASI DERAJAT KONTRIBUSI MODE DENGAN KEKAKUAN
KOLOM CARA MUTO PADA BANGUNAN BERTINGKAT BANYAK**

Disusun oleh:

FANI DARMAWAN

97 511 016

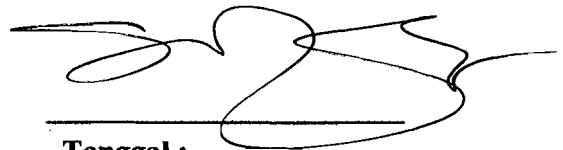
DHIAN SULISTYANTO

97 511 036

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

IR.H.WIDODO, MSCE, PhD

Dosen Pembimbing I




Tanggal :

5/7/2002

IR.HELMI AKBAR BALE, MT

Dosen Pembimbing II



Tanggal :

5/7 '02



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

KAMPUS : Jalan Kaliurang Km. 14,4 Tel. 895042, 895707, 896440, Fax. 895330, Yogyakarta 55584

Nomor : 33/Kajur.Ts.20/Bg.FivI/2002
Lamp. : -
Hal : BIMBINGAN TUGAS AKHIR

FM-UII-AA-FPU-09
Yogyakarta, 07 Januari 2002

Kepada Yth :
Bapak/Ibu : **Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D**
Di -
Yogyakarta.

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dengan ini kami mohon dengan hormat kepada Bapak/Ibu agar mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan tersebut dibawah ini :

1. Nama : **Fani Darmawan**
No. Mhs. : **97 511 016**
Bid. Studi : **TSS**
Tahun Akademi : **2001/2002 (gasal)**
2. Nama : **Dhian Sulistyio**
No. Mhs. : **97 511 036**
Bid. Studi : **TSS**
Tahun Akademi : **2001/2002 (gasal)**

Dapat diberikan petunjuk --petunjuk , pengarahan serta bimbingan dalam melaksanakan Tugas akhir .

Kedua mahasiswa tersebut merupakan satu kelompok dengan dosen pembimbing sbb :

Dosen Pembimbing I : **Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D**
Dosen Pembimbing II : **Ir. Helmy Akbar Bale, MT.**

Dengan mengambil topik :

Investigasi derajat kontribusi mode dengan kekakuan kolom cara muto pada bangunan bertingkat banyak.

Demikian atas bantuan serta kerjasamanya diucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

an. D e k a n.
Ketua Jurusan Teknik Sipil


IR. H. Mawadhir, MS.

Tembusan :

- Mahasiswa Yth.
- Arsip

Dr. H. Mardiana, MS.
 Kepala
 07 Januari 2002
 Yogyakarta



Dr. H. Widodo, MScE, Ph.D.
 Dr. Delmy Akbar Bala, MSc

Bulan Ke:	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Mei	Jun.	Jul.	Agst.	Sep.	Ok.	Nov.	Des.

PERIODE I: SEPTEMBER - FEBRUARI
TABEL 2001/2002

Untuk keperluan pengisian data, mohon mengisi dengan benar dan lengkap data yang tertera pada formulir ini.

NO.	NAMA	NO. MHS.	BID. STUDI
1	Dr. H. Mardiana	97 511 016	Struktur
2	Dr. H. Mardiana	97 511 036	Struktur

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan nikmat, rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua, khususnya kepada kami sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tidak lupa sholawat serta salam kami pajatkan kehadiran Rasulullah SAW beserta keluarga, sahabat serta pengikutnya sampai akhir jaman.

Tugas akhir dengan judul “ INVESTIGASI DERAJAT KONTRIBUSI MODE DENGAN KEKAKUAN KOLOM CARA MUTO PADA BANGUNAN BERTINGKAT BANYAK “ ini diajukan sebagai syarat guna memperoleh derajat Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari sumbangan pemikiran dari berbagai pihak yang sangat membantu, sehingga penulis dapat menyelesaikan semua hambatan yang terjadi selama penyusunan hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini. Untuk itu dengan penuh hormat, penyusun mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu, yaitu yang akan disebutkan dibawah ini.

1. Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, sekaligus sebagai Dosen Pembimbing I,
2. Ir. Helmi Akbar Bale, MT. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
3. Ir. Munadhir, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
4. Staf dosen dan karyawan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
5. Kedua orang tua kami yang telah banyak memberikan bantuan dan dorongan, baik moral maupun material dalam penyusunan Tugas Akhir ini,
6. Adinda Widya Triani alias Wiwien, FTSP , yang tanpa bosan-bosannya memberikan bantuan dan dorongan dalam penyusunan Tugas Akhir ini,
7. Teman-teman dan semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu kami dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Penyusun menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, mengingat keterbatasan ilmu, kemampuan dan pengalaman kami dalam penelitian dan penulisan Tugas Akhir ini. Untuk itu kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat kami harapkan guna perbaikan dan pengembangan selanjutnya.

Tidak ada yang dapat kami berikan selain ucapan terima kasih atas bantuan yang telah diberikan semoga dapat diterima sebagai amal baik disini

Allah SWT. Akhir kata, penyusun berharap semoga tulisan ini bermanfaat dan memberikan tambahan ilmu bagi para pembaca. Semoga Allah meridhoi kita semua, Amiin

Wassalamu'alikum Warahmatullah Wabarakatuh

Yogyakarta, Mei 2002

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR NOTASI	xvi
INTISARI	xviii
BABI PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Permasalahan Yang Akan Diteliti	6
BAB III LANDASAN TEORI	9
3.1 Pendahuluan	9
3.2 Kekakuan Kolom Menurut Cara Muto (1956,1975).....	9
3.3 Karakteristik Respon Struktur dengan Derajat Kebebasan Banyak.	17

3.4	Metode Jacobi.....	22
3.5	Analisis Beban Statik Ekuivalen.....	25
	3.5.1 Koefisien gempa dasar (C).....	25
	3.5.2 Faktor keutamaan Bangunan (I).....	27
	3.5.3 Faktor jenis struktur (K).....	27
	3.5.4 Berat total bangunan (W_t)	27
3.6	<i>Modal effective mass</i> (M_m).....	32
3.7	<i>Modal base shear</i> (V_m).....	33
3.8	<i>Modal effective height</i> (h_{im})	33
3.9	<i>Modal seismic force</i> (F_{im})	34
3.10	<i>Modal shear force</i> (V_{im}).....	34
3.11	<i>Modal overtuning moment</i> (M_i)	35
3.12	<i>Modal story drift</i> (Δ_{im}).....	35
3.13	<i>Modal lateral displacement</i> (d_{im}).....	36
BAB IV METODE PENELITIAN		37
4.1	Model Struktur.....	37
4.2	Data Struktur	38
	4.2.1 Data Struktur 6 lantai.....	38
	4.2.2 Data Struktur 12 Lantai	40
	4.2.3 Data Struktur 18 Lantai.....	42
	4.2.4 Data Struktur 20 Lantai Sampai 100 Lantai.....	44
4.3	Tahapan Analisis.....	44

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	46
5.1 Pendahuluan	46
5.2 Perhitungan Massa dan Kekakuan Struktur.....	46
5.2.1 Struktur dengan kekakuan kolom jepit dan Muto	46
5.3 <i>Modeshape</i>	66
5.3.1 Untuk Struktur dengan cara <i>Shear Building</i>	66
5.3.2 Untuk Struktur dengan cara <i>Muto</i>	69
5.4 <i>Modal Seismic Force</i>	72
5.4.1 Untuk Struktur dengan cara <i>Shear Building</i>	72
5.4.2 Untuk Struktur dengan cara <i>Muto</i>	74
5.5 <i>Modal Shear Force</i>	77
5.5.1 Untuk Struktur dengan cara <i>Shear Building</i>	77
5.5.2 Untuk Struktur dengan cara <i>Muto</i>	80
5.6 <i>Modal Overtuning Moment</i>	83
5.6.1 Untuk Struktur dengan cara <i>Shear Building</i>	83
5.6.2 Untuk Struktur dengan cara <i>Muto</i>	86
5.7 <i>Modal Story Drift</i>	89
5.7.1 Untuk Struktur dengan cara <i>Shear Building</i>	89
5.7.2 Untuk Struktur dengan cara <i>Muto</i>	91
5.8 Perhitungan <i>Modal lateral displacement</i>	95
5.8.1 Untuk Struktur dengan cara <i>Shear Building</i>	95
5.8.2 Untuk Struktur dengan cara <i>Muto</i>	97

5.9 <i>Modal Effective Height</i>	100
5.9.1 Untuk Struktur 6 Tingkat	100
5.9.2 Untuk Struktur 12 Tingkat	101
5.10 <i>Modal Effective Mass</i>	103
5.10.1 Frequency Ratio (FR)	105
5.10.2 Periode 1 (T1) dan Koefisien C.....	113
5.10.3 V/W dan T1/N.....	116
5.11 <i>Prosentase MEM, MSF, MLD</i>	119
5.11.1 <i>Prosentase Modal Effective Mass</i>	119
5.11.2 <i>Prosentase Modal Seismic Force</i>	123
5.11.3 <i>Prosentase Modal Lateral Displacement</i>	129
5.12 Perbandingan Modeshape kekakuan jepit dan kekakuan Muto	135
5.12.1 Struktur 6 Lantai	135
5.12.2 Struktur 12 Lantai	136
5.12.3 Struktur 18 Lantai	138
5.13 Verifikasi.....	141
5.14 Perbandingan Hasil ProgSIP dengan Hasil Manual	160
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	163
6.1 Kesimpulan	163
6.2 Saran	165

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 1.1 Peta Lempeng Tektonik	2
2. Gambar 3.1 Kekakuan Relatif Balok dan Kolom	10
3. Gambar 3.2 Portal Simetri	11
4. Gambar 3.3 Beberapa Kondisi Pengekangan Kolom oleh Balok.....	13
5. Gambar 3.4 Visualisasi Koef. Kekakuan Muto	16
6. Gambar 3.5 Pengekangan Kolom oleh Balok Sloof & kolom tidak sama tinggi	17
7. Gambar 3.6 Struktur MDOF	18
8. Gambar 3.7 Wilayah-wilayah gempa untuk Indonesia	28
9. Gambar 3.8 Koefisien gempa dasar C (SKBI-1.3.53.1987).....	29
10. Gambar 4.1 Model Struktur tingkat enam.....	37
11. Gambar 4.2 Denah Model struktur 6 lantai	38
12. Gambar 4.3 Potongan portal E struktur 6 lantai	39
13. Gambar 4.4 Denah Model struktur 12 lantai	40
14. Gambar 4.5 Potongan portal E struktur 12 lantai	40
15. Gambar 4.6 Denah Model struktur 18 lantai	42
16. Gambar 4.7 Potongan portal E struktur 18 lantai	42
17. Gambar 5.1 Prosentase Km terhadap Kf	65
18. Gambar 5.2 Grafik <i>Modeshape</i> Untuk Struktur <i>Shear Building</i>	68

19. Gambar 5.3 Grafik <i>Modeshape</i> Untuk Struktur <i>Muto</i>	71
20. Gambar 5.4 Grafik <i>Seismic Force</i> Untuk Struktur <i>Shear Building</i>	74
21. Gambar 5.5 Grafik <i>Seismic Force</i> Untuk Struktur <i>Muto</i>	76
22. Gambar 5.6 Modal Shear Force Untuk Shear Building.....	79
23. Gambar 5.7 Modal Shear Force Untuk Muto.....	82
24. Gambar 5.8 Modal Overtuning Moment untuk Shear Building.....	85
25. Gambar 5.9 Modal Overtuning Moment untuk Muto.....	88
26. Gambar 5.10 Modal Story Drift untuk Shear Building.....	91
27. Gambar 5.11 Modal Story Drift untuk untuk Muto.....	93
28. Gambar 5.12 Modal Lateral Displacement untuk Shear Building.....	97
29. Gambar 5.13 Modal Lateral Displacement untuk Muto	99
30. Gambar 5.14 Grafik Modal effective Mass	104
31. Gambar 5.15 Grafik <i>Frequency Ratio</i> Struktur Shear Building	108
32. Gambar 5.16 Grafik <i>Frequency Ratio</i> Struktur Muto	108
33. Gambar 5.16a Grafik Perbandingan <i>Frequency Ratio</i> KF dan KM	109
34. Gambar 5.17 Grafik <i>Frequency Ratio</i> Struktur 6 sampai 18 Tingkat.....	110
35. Gambar 5.18 Grafik <i>Frequency Ratio</i> Struktur 20, sampai 30 Tingkat.....	111
36. Gambar 5.19 Grafik <i>Frequency Ratio</i> Struktur 35 sampai 50 Tingkat	112
37. Gambar 5.20 Grafik Perbandingan nilai T1.....	114
38. Gambar 5.21 Grafik Perbandingan Koefisien C.....	116
39. Gambar 5.22 Grafik V/W	117
40. Gambar 5.23 Grafik T1/N.....	118
41. Gambar 5.24 Grafik % MEM untuk Shear Building	120

42. Gambar 5.25 Grafik % MEM untuk Muto.....	121
43. Gambar 5.26 Grafik Perbandingan % MEM Shear Building dan Muto....	122
44. Gambar 5.27a Grafik % MSF untuk Shear Building	127
45. Gambar 5.27b Grafik % MSF untuk Muto.....	127
46. Gambar 5.27c Grafik Perbandingan % MSF Shear Building dan Muto....	128
47. Gambar 5.28a Grafik % MLD untuk Shear Building	133
48. Gambar 5.28b Grafik % MLD untuk Muto.....	133
49. Gambar 5.29 Grafik Perbandingan % MLD Shear Building dan Muto....	134
50. Gambar 5.30 Perbandingan <i>Modeshape</i> struktur 6 Tingkat	135
51. Gambar 5.31 Perbandingan <i>Modal Seismic Force</i> struktur 6 Tingkat ...	135
52. Gambar 5.32 Perbandingan <i>Modal Lateral Displacement</i> 6 Tingkat	136
53. Gambar 5.33 Perbandingan <i>Modeshape</i> struktur 12 Tingkat	136
54. Gambar 5.34 Perbandingan <i>Modal Seismic Force</i> struktur 12 Tingkat ...	137
55. Gambar 5.35 Perbandingan <i>Modal Lateral Displacement</i> 12 Tingkat	137
56. Gambar 5.36 Perbandingan <i>Modeshape</i> struktur 18 Tingkat	138
57. Gambar 5.37 Perbandingan <i>Modal Seismic Force</i> struktur 18 Tingkat ...	138
58. Gambar 5.38 Perbandingan <i>Modal Lateral Displacement</i> 18 Tingkat	139

DAFTAR TABEL

1. Tabel 3.1 Faktor Jenis Struktur (K)	30
2. Tabel 3.2 Faktor Keutamaan Bangunan (I).....	31
3. Tabel 3.3 Koefisien Reduksi Beban Hidup.....	32
4. Tabel 4.1 Data dimensi kolom 6 Lantai	39
5. Tabel 4.2 Data dimensi balok 6 Lantai	39
6. Tabel 4.3 Data dimensi kolom 12 Lantai	41
7. Tabel 4.4 Data dimensi balok 12 Lantai	41
8. Tabel 4.5 Data dimensi kolom 18 Lantai	43
9. Tabel 4.6 Data dimensi balok 18 Lantai	44
10. Tabel 5.1 Hasil perhitungan massa pada struktur 6 lantai..	47
11. Tabel 5.2 Hasil perhitungan kekakuan pada struktur 6 lantai	52
12. Tabel 5.3 Hasil perhitungan massa pada struktur 12 lantai	53
13. Tabel 5.4 Hasil perhitungan kekakuan pada struktur 12 lantai	63
14. Tabel 5.5 Hasil perhitungan massa pada struktur 18 lantai	64
15. Tabel 5.6 Hasil perhitungan kekakuan pada struktur 18 lantai	64
16. Tabel 5.7 Hasil perhitungan Modal Effective Height 6 Tingkat KF	100
17. Tabel 5.8 Hasil perhitungan Modal Effective Height 6 Tingkat KM	101
18. Tabel 5.9 Hasil perhitungan Modal Effective Height 12 Tingkat KF	101
19. Tabel 5.10 Hasil perhitungan Modal Effective Height 12 Tingkat KM.....	102

20. Tabel 5.11 Prosentase Modal Effective Mass (MEM).....	103
21. Tabel 5.12a <i>Frequency Ratios</i> Struktur dengan Kekakuan Jepit	106
22. Tabel 5.12b <i>Frequency Ratios</i> Struktur dengan Kekakuan Muto	107
23. Tabel 5.13a Hasil Perbandingan Nilai T1	114
24. Tabel 5.13b Hasil Perbandingan Koefisien C	115
25. Tabel 5.13c Hasil Perbandingan V/W dan T1/N	117
26. Tabel 5.13d % Modal Effective Mass KF	119
27. Tabel 5.13e % Modal Effective Mass KM	120
28. Tabel 5.13f % Modal Seismic Force KF	123
29. Tabel 5.13g % Modal Seismic Force KM	125
30. Tabel 5.13h % Modal Lateral Displacement KF	129
31. Tabel 5.13i % Modal Lateral Displacement KM	131
32. Tabel 5.14 Data Struktur Gedung 3 Tingkat.....	141
33. Tabel 5.15 Hasil Perhitungan Kekakuan struktur 3 Tingkat	142
34. Tabel 5.16 Hasil <i>Modeshape</i> (ϕ_{ij}).....	145
35. Tabel 5.17 <i>Modal Effective Mass</i> (M_m) dan <i>Modal Base Shear</i> (V_m).....	147
36. Tabel 5.18 <i>Modal Effective Height</i>	149
37. Tabel 5.19 <i>Modal Seismic Coefficient</i> (V_{im}).....	152
38. Tabel 5.20 <i>Modal Seismic Force</i> (F_{im}).....	152
39. Tabel 5.21 <i>Modal Shear Force</i> (V_{im}).....	153
40. Tabel 5.22 <i>Modal Overtuning Moment</i> (M_{im}).....	155
41. Tabel 5.23 <i>Modal Story Drift</i> (Δ_{im})	158
42. Tabel 5.24 <i>Modal Lateral Displacement</i> (d_{im}).....	159

43. Tabel 5.25 <i>Modeshape</i>	160
44. Tabel 5.26 <i>Modal Effective Mass (M_{im})</i>	160
45. Tabel 5.27 <i>Modal Effective Height (h_m^*)</i>	160
46. Tabel 5.28 <i>Modal Seismic Force (F_{im})</i>	161
47. Tabel 5.29 <i>Modal Shear Force (V_{im})</i>	161
48. Tabel 5.30 <i>Modal Overtuning Moment (M_{im})</i>	161
49. Tabel 5.31 <i>Modal Story Drift (Δ_{im})</i>	162
50. Tabel 5.32 <i>Modal Lateral Displacement (d_{im})</i>	162

DAFTAR NOTASI

$\{a\}_i$:	suatu ordinat pada mode ke-i
A_{k+1}	:	matriks diagonal
A^T	:	matriks A tranpose
A^{-1}	:	invers matriks A
b	:	lebar kolom
c	:	redaman
C_m	:	Koefisien Muto
C_{im}	:	<i>Modal seismic coefisien</i> massa ke-i mode ke-m
$[C]$:	matrik redaman
d_{im}	:	<i>Modal story drift</i> massa ke-i mode ke-m
d_{im}	:	<i>Modal lateral displacement</i> massa ke-i mode ke-m
E	:	Modulus elastisitas beton
f	:	frekuensi getar struktur
F_{im}	:	<i>Modal seismic force</i> massa ke-i mode ke-m
$\{F(t)\}$:	Vektor beban
h_j^*	:	<i>Modal effective height</i> pada mode ke-j
K_f	:	Kekakuan Kolom Jepit/Shear Building.
K_m	:	Kekakuan Kolom Muto.
$[K]$:	matrik kekakuan
$[M]$:	matrik massa

M_m	:	<i>Modal effective mass mode ke-m</i>
M_{im}	:	<i>Modal overtuning moment massa ke-i mode ke-m</i>
m_j	:	massa ke-j
N	:	Jumlah tingkat total di atas dasar gedung
T	:	Waktu getar alami struktur gedung
U_i	:	matriks orthogonal
U_i^{-1}	:	invers dari matriks orthogonal
U_{k+1}	:	matriks rotasi
U_{k+1}^{-1}	:	invers dari matriks rotasi
U_{k+1}^T	:	tranpose dari matriks rotasi
V_m	:	<i>Modal base shear mode ke-m</i>
V	:	Gaya geser dasar akibat beban statik ekuivalen
V_{im}	:	<i>Modal shear force massa ke-i mode ke-m</i>
W_t	:	Berat total bangunan
W_i	:	Berat tingkat i
$\{ \}$:	Vektor percepatan
$\{ \dot{Y} \}$:	Vektor kecepatan
$\{ Y \}$:	Vektor simpangan
ω	:	frekuensi sudut
τ	:	pertambahan selang waktu
λ	:	harga eigen

INTISARI

Setiap struktur yang dikenai dengan beban dinamik akan mengalami goyangan. Untuk struktur dengan derajat banyak, maka struktur yang bersangkutan akan mempunyai banyak ragam/pola goyangan. Mode adalah istilah yang sering dipakai pada problema dinamika struktur, dan kata tersebut diterjemahkan sebagai ragam/pola goyangan.

Pada penelitian ini tujuannya adalah untuk melihat perbedaan pengaruh mode pada bangunan bertingkat banyak antara struktur dengan menggunakan prinsip Shear Building dan prinsip Muto. Struktur yang dipakai dimulai dari jumlah tingkat 6 sampai 50. Pengaruh perbedaan mode tersebut ditunjukkan dengan banyak grafik diantaranya salah satunya prosentase *Modal Effective Mass*. Untuk menghitung semua perhitungan dibantu dengan membuat program dengan nama ProgSIP 2001 versi 2.0 memakai MS VB6. Setelah semua perhitungan didapat dan salah satunya *Modal Effective Mass* kemudian hasilnya dibuka dengan menggunakan MS EXCEL untuk membuat grafik-grafik.

Dari penelitian ini didapat kesimpulan bahwa pada bangunan bertingkat banyak dengan kekakuan dengan cara Muto akan menghasilkan prosentase *Modal Effective Mass* yang lebih besar dibandingkan dengan kekakuan Shear Building. Pada struktur dengan kekakuan Muto prosentase 90% dicapai pada mode yang berkisar antara 12%-50% dan grafiknya dari struktur 6 lantai sampai 50 lantai menurun, sedangkan untuk struktur dengan kekakuan Shear Building prosentase 90% dicapai pada mode berkisar antara 10%-30.33% dan grafiknya dari struktur 6 lantai sampai 50 lantai menurun. Jadi, untuk menentukan kontribusi mode pada bangunan bertingkat banyak kekakuan sangat berpengaruh.

BAB I PENDAHULUAN

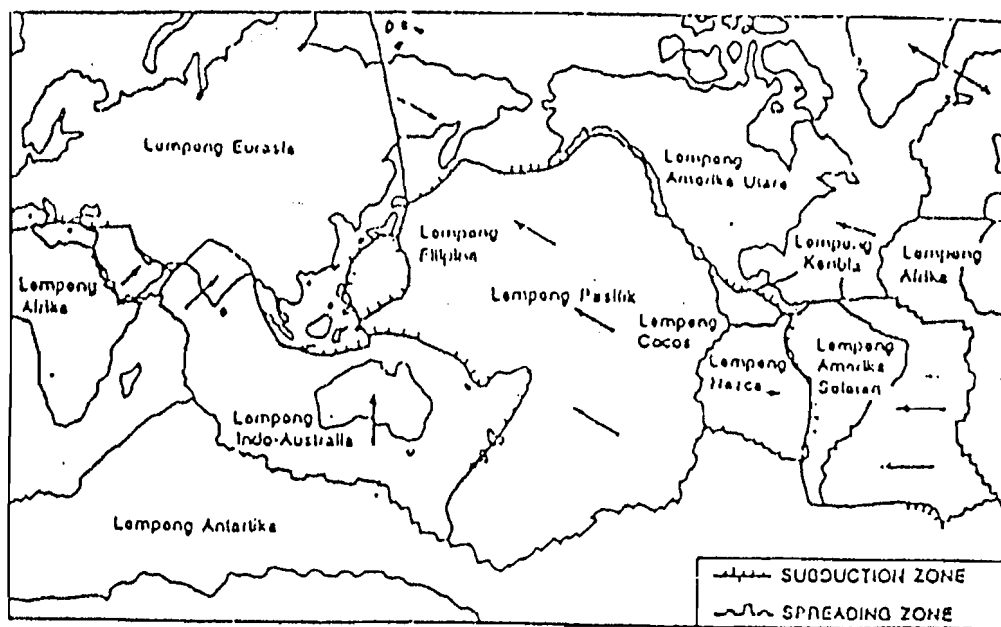
1.1 Latar Belakang

Tingkat penambahan penduduk Indonesia yang cukup pesat menuntut penyediaan sarana dan prasarana bangunan yang berskala besar terutama di daerah perkotaan yang mempunyai lahan yang terbatas.

Oleh karena itu diperlukan suatu pemikiran untuk mewujudkan bangunan tersebut, salah satunya dengan cara membuat gedung berlantai banyak. Dalam membuat gedung berlantai banyak diperlukan suatu pengetahuan tentang struktur bangunan yang banyak untuk mengatasi masalah-masalah pembebanan yang cukup kompleks.

Secara umum pembebanan dapat dibagi menjadi dua yaitu beban statik dan beban dinamik. Beban statik adalah beban yang mempunyai tetap intensitasnya, tetap tempatnya dan tetap arah/garis kerjanya, sedangkan beban dinamik adalah beban yang berubah-ubah menurut waktu (*time varying*) sehingga beban dinamik merupakan fungsi dari waktu. Jenis-jenis beban dinamik yang dapat dijumpai antara lain beban angin, beban ledakan, beban getaran akibat kerja mesin, beban gempa bumi. Pada penelitian ini dititikberatkan pada beban dinamik akibat beban gempa, mengingat Indonesia termasuk daerah yang rawan gempa. Hal ini disebabkan Indonesia terletak diantara 4 lempeng sistem tektonik yang aktif, yaitu:

1. Lempeng Eurasia
2. Lempeng Indo-Australia
3. Lempeng Filipina
4. Lempeng Pasifik



Gambar 1.1 Peta lempeng tektonik

Pada waktu terjadi gempa bumi, tanah akan bergetar dan bangunan di atasnya akan bergoyang. Untuk memudahkan dalam analisis, goyangan massa bangunan dianalogikan menjadi beban horisantal yang bekerja pada masing-masing tingkat (Widodo, 1997a).

Apabila struktur bangunan diberi beban dinamik akan mengalami goyangan. Goyangan tersebut akan membentuk ragam goyangan atau yang lebih dikenal dengan istilah mode. Jumlah mode yang terjadi sebanding dengan banyaknya lantai yang ada, semakin banyak jumlah lantai maka semakin banyak

jumlah mode dan derajat kebebasannya. Jumlah mode pada struktur dengan tingkat derajat kebebasan dapat dihubungkan dengan massanya. Apabila jumlah derajat kebebasannya n maka untuk dapat mendapatkan jumlah mode pada gedung tersebut harus menyelesaikan persamaan polinomial pangkat n . Pada struktur gedung bertingkat dua dan tiga akan mempunyai dua dan tiga derajat kebebasan sehingga untuk mendapatkan mode masih dapat dihitung dengan menggunakan determinan (metode Cramer) karena nilai determinannya masih dapat dihitung dengan mudah. Pada struktur bangunan yang mempunyai tingkat lebih banyak, dalam menghitung nilai determinannya akan mengalami kesulitan karena semakin banyak jumlah lantai, jumlah kontribusi mode semakin kecil.

Dalam buku Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung (PPTGIUG) 1983 disebutkan bahwa jumlah mode minimum yang harus dipakai untuk menghitung respon struktur paling tidak ialah memberikan 90 % dari energi gempa. Hal ini dapat diketahui dengan menghitung *Modal Effective Mass*. Oleh karena itu perlu diteliti terhadap gedung bertingkat banyak, sampai mode keberapa *Modal Effective Mass* mencapai 90 %.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Sampai seberapa besar jumlah mode yang diperlukan agar skala *Modal Effective Mass* mencapai 90 %.
2. Bagaimana pengaruhnya jika bangunannya mempunyai kekakuan berdasarkan kolom jepit-jepit dan kekakuan berdasarkan cara Muto (1975).

1.3 TUJUAN

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui jumlah mode yang diperlukan agar skala *Modal Effective Mass* mencapai 90 %.
2. Untuk mengetahui pengaruhnya pada bangunan yang mempunyai kekakuan berdasarkan kolom jepit-jepit dan kekakuan berdasarkan cara Muto (1975).

1.4 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

Dengan diketahuinya kontribusi mode 90 % *Modal Effective Mass* sehingga menjadi bahan pertimbangan dalam menentukan jumlah mode yang perlu dipakai agar memenuhi persyaratan untuk analisis.

1.5 BATASAN MASALAH

Mengingat luasnya permasalahan, dalam tugas akhir ini dibatasi oleh:

1. Analisis struktur hanya secara 2 dimensi.
2. Untuk mendeskripsikan massa struktur dipakai *lumped mass system* (sistem massa tergumpal) yaitu massa dianggap menggumpal pada tempat-tempat tertentu.
3. Beban yang bekerja berupa beban terbagi merata.
4. Analisis yang digunakan dalam menghitung kekakuan kolom tingkat dipakai cara Shear Building dan cara Muto (1975).

5. Metode yang dipakai dalam mencari mode adalah metode Jacobi.
6. Pembuatan program dengan Microsoft Visual Basic 6.0

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka merupakan sebuah tinjauan mengenai teori-teori dan hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang mendukung pelaksanaan penelitian. Dengan demikian penelitian yang dilakukan mempunyai landasan teori yang kuat agar memberikan hasil yang optimal.

Dalam mendesain struktur bangunan, penguasaan ilmu tentang struktur sangat mutlak diperlukan. Pada bab sebelumnya telah dibahas bahwa problem dinamik mempunyai perbedaan yang signifikan dengan problem statik. Penyelesaian problem statik umumnya hanya memerlukan sekali penyelesaian (single solution) artinya tidak ada pengulangan-pengulangan. Sebaliknya penyelesaian problem dinamik akan berulang-berulang sesuai dengan step integrasi numerik (Δt) dan durasi pembebanan yang ditinjau. Akibatnya, penyelesaian problem dinamik menjadi lebih lama, lebih banyak dan lebih mahal daripada penyelesaian problem statik.

Dalam perhitungan untuk menyelesaikan problem dinamik tersebut agar mendapatkan hasil yang lebih cepat dan tentunya lebih tepat maka sangat diperlukan sekali penguasaan suatu program komputer yang ada.

Banyak program komputer yang dapat membantu perhitungan struktur seperti **MATLAB**, **BORLAND DELPHI**, **MICROSOFT VISUAL BASIC**, dan lain lain.

Dalam hal ini kami menggunakan **MICROSOFT VISUAL BASIC**.

Penelitian-penelitian yang pernah dilaksanakan menjadi acuan dalam penelitian kami, antara lain :

1. Widodo (1996)

Peneliti ini mengambil topik *Derajat Pengaruh "Normal Mode" Terhadap Respon Struktur "Multi Degree of Freedom" Akibat Beban Gempa Bumi*. Pada penelitian ini peneliti mendapat suatu kesimpulan bahwa *mode* yang lebih tinggi ternyata justru hanya mempunyai pengaruh yang lebih kecil terhadap respon struktur, apabila dibandingkan dengan pengaruh/kontribusi *mode* yang lebih rendah. Hal semacam ini sangat menguntungkan, karena mencari *mode* yang lebih tinggi justru lebih panjang jalannya. Semakin tinggi *degree mode* semakin panjang jalan yang harus ditempuh.

2. Dhani Prasetyo dan Jayadi Windu Armita (2000)

Peneliti ini mengambil topik *Respon Seismik Struktur Beton Bertingkat Banyak Akibat Beban Gempa*. Pada penelitian ini, peneliti mencoba mengetahui sejauh mana pengaruh kandungan frekuensi beban gempa terhadap respon struktur bertingkat banyak, dengan melihat hasil analisa simpangan relatif, simpangan antar tingkat dan gaya geser tingkat serta gaya geser dasar memperoleh rentang frekuensi atau rasio percepatan maksimum beban gempa yang cenderung menyebabkan respon struktur menjadi maksimum.

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan model struktur dengan kekakuan dengan prinsip *shear building*, massa, rasio redaman yang sama. Disini belum memperhitungkan kontribusi mode dan kekakuan balok.

3. Joni Irawan (2001)

Penelitian ini mengambil topik *Investigasi Derajat Kontribusi Mode pada Bangunan Bertingkat Banyak*. Pada penelitian ini peneliti mengambil suatu permasalahan untuk meneliti kekakuan kolom yang berbeda dengan membandingkan dengan kekakuan kolom yang sama pada suatu bangunan yang mempunyai lantai yang sama. Permasalahan tersebut diselesaikan dengan menggunakan kekakuan kolom dengan prinsip *shear building* dengan menggunakan perhitungan manual pada bangunan 6 lantai, 12 lantai, 18 lantai dan untuk 20 lantai sampai 100 lantai, peneliti menggunakan cara ekstrapolasi. Lingkup pemecahan masalah adalah bangunan dengan sistem portal terbuka dan bangunan mempunyai 2 bentang. Hasil yang diperoleh adalah bahwa pada bangunan bertingkat dengan kekakuan yang berbeda akan menghasilkan prosentase *modal effective mass* yang lebih besar dibandingkan dengan kekakuan yang sama dan prosentase *modal effective mass* sangat bergantung dengan besarnya kekakuan dan variasi kekakuan untuk masing-masing tingkat. Kekurangan-kekurangan penelitian ini adalah peneliti dalam mencari kekakuan kolom tidak memperhitungkan kekakuan pada balok dan tidak adanya hubungan orthogonal untuk mengecek hasil *mode*.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pendahuluan

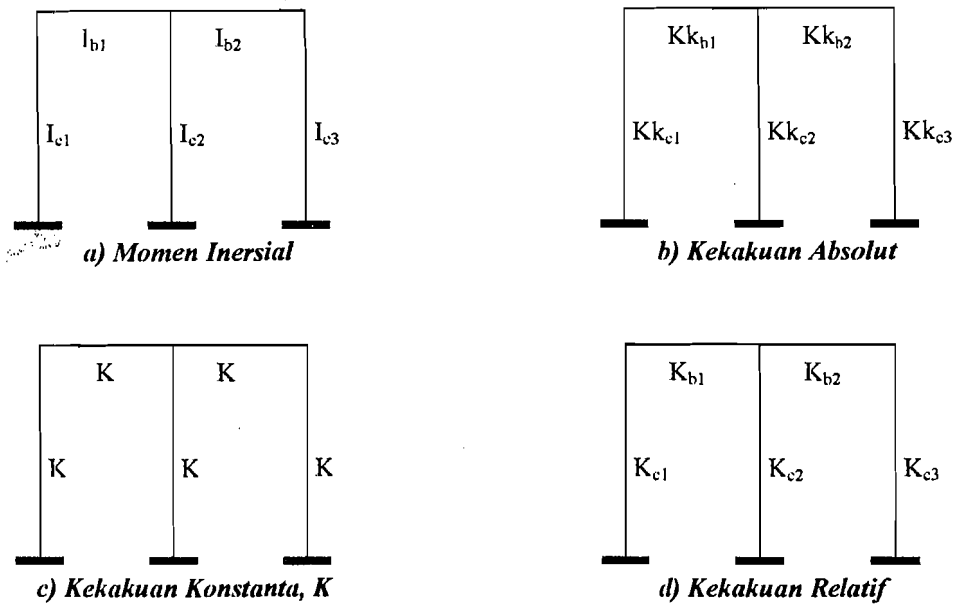
Secara umum gerakan massa suatu struktur dapat disebabkan baik oleh adanya gangguan dari luar maupun adanya nilai awal (*initial condition*). Sebagai contoh, massa yang berada diujung atas tiang bendera ditarik sedemikian rupa sehingga mempunyai simpangan awal sebesar y_0 dan apabila gaya tarik tersebut dilepas maka tiang bendera akan bergoyang/bergetar kekanan dan ke kiri. Peristiwa gerakan massa akibat adanya simpangan awal y_0 (dapat juga kecepatan awal) seperti itu biasa disebut dengan getaran bebas (*free vibration systems*). Sebaliknya apabila goyangan suatu struktur disebabkan oleh gangguan luar seperti angin maupun gempa maka peristiwa itu biasa disebut getaran dipaksa (*forced vibration system*).

3.2 Kekakuan Kolom Menurut Cara Muto (1956,1975)

Muto (1975) memberikan alternatif untuk menghitung kekakuan kolom dengan memperhitungkan kekakuan balok. Hal ini berarti bahwa join-join dimungkinkan untuk berotasi. Sebelum menginjak pada kekakuan kolom dengan cara ini maka perlu diketahui terlebih dahulu notasi-notasi yang diperlukan untuk menghitung kekakuan tersebut. Gambar 3.1 adalah contoh struktur yang mana kolom mempunyai momen inersia potongan.

Kekakuan relatif balok dan kolom dinyatakan dalam,

$$K_{kc} = \frac{I_c}{h_c} \quad , \quad K_{kb} = \frac{I_b}{l_b}$$



Gambar 3.1 Kekakuan Relatif Balok dan Kolom

Pada penurunan kekakuan kolom dengan cara mutuo ini terdapat beberapa asumsi yaitu,

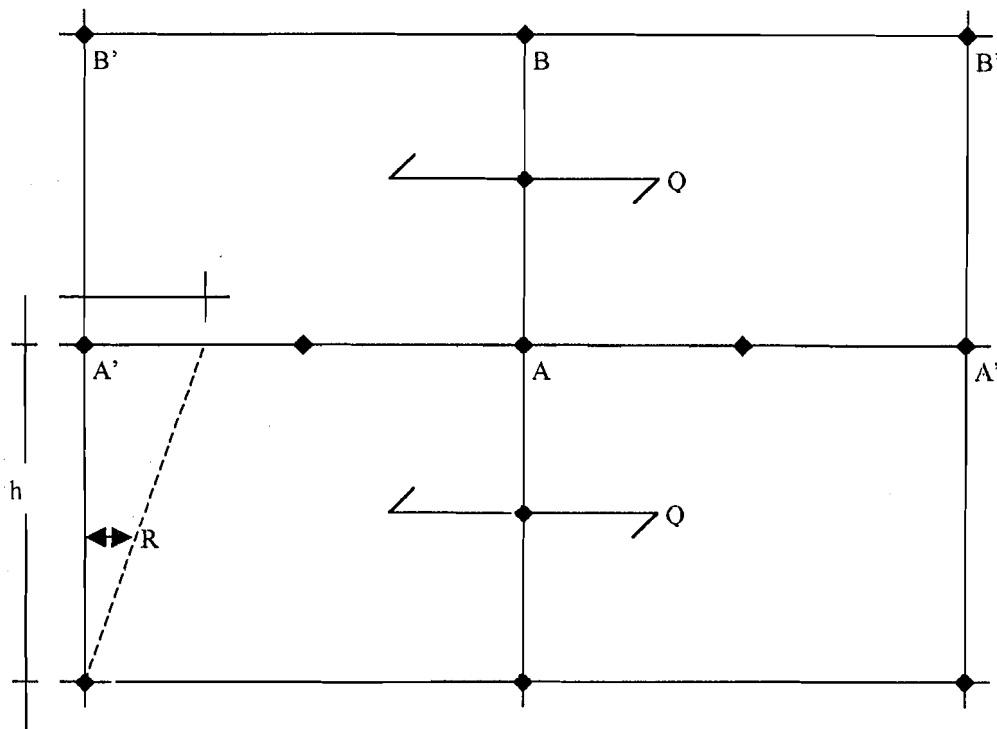
1. bangunan cukup besar, banyak kolom, simetri, gaya geser kolom dianggap sama,
2. join-join mengalami rotasi yang sama,
3. pengaruh P-delta (beban gravitasi diabaikan),
4. bending momen berbangun anti-simetri,
5. titik balik pada kolom dan balok dianggap ditengah-tengah.

Untuk membahas kekakuan kolom dengan memakai metode ini, maka dipakai model struktur portal (diambil ditengah-tengah potongan portal) seperti Gambar 3.2. Notasi Q yang tampak pada gambar tersebut adalah gaya geser tingkat. Struktur mengalami penggoyangan sebesar δ , sudut rotasi goyangan $R=\delta/h$ dan sudut rotasi join ϕ . Menurut prinsip mekanika maka,

$$M_{AB}=M_{BA}=2EKk_c(3\phi-3R).....(3.1)$$

dan,

$$M_{A'A}=M_{B'B}=2EKk_b(3\phi).....(3.2)$$



Gambar 3.2 Portal Simetri

Keseimbangan join adalah,

$$2M_{AB}+2M_{A'A}=0.....(3.3)$$

Sedangkan keseimbangan tingkat adalah,

$$2M_{AB} = -Qh \dots \dots \dots (3.4)$$

Substitusi persamaan 3.1) kedalam persamaan 3.3) akan diperoleh,

$$2\{2EKk_c(3\phi-3R)\} + 2\{2EKk_b(3\phi)\} = 0$$

$$(k_c+k_b)\phi - k_cR = 0$$

$$\phi = \left\{ \frac{k_c}{k_c + k_b} \right\} R \text{ atau } R = \left\{ \frac{k_c + k_b}{k_c} \right\} \phi \dots \dots \dots (3.5)$$

Dengan memperhatikan persamaan 3.2), maka persamaan 3.3), sesungguhnya dapat ditulis menjadi,

$$2M_{AB} = -2M_{A'A}$$

$$2M_{AB} = -12EKk_b\phi \dots \dots \dots (3.6)$$

Dengan menghubungkan antara persamaan 3.6) dengan persamaan 3.4) maka akan diperoleh,

$$-Qh = 2M_{A'A} = -12EKk_b \frac{k_c}{k_c + k_b} R = 12EK \left\{ \frac{k_c k_b}{k_c + k_b} \right\} R \frac{2k_c}{2k_c}$$

$$-Qh = -12EK \left\{ \frac{\frac{2k_b}{k_c}}{2 \frac{k_b + k_c}{k_c}} \right\} k_c R = -12EK \frac{k'}{k'+2} k_c R \dots \dots \dots (3.7)$$

dengan,

$$k' = \frac{2k_b}{k_c} \dots \dots \dots (3.8)$$

Dengan catatan bahwa k' tersebut adalah khusus untuk pembahasan dimana satu kolom dipegang oleh 2 balok pada join bawah dan 2 balok pada join atas. Mengingat bahwa $R = \delta/h$, maka persamaan 3.7) dapat ditulis menjadi,

$$Q = \frac{12EK}{h^2} \delta \frac{k'}{k'+2} k_c \dots \dots \dots (3.9)$$

Karena $Kk_c = I/h$, maka kekakuan kolom dapat diperoleh dengan,

$$K_m = \frac{Q}{\delta} = \frac{k'}{k'+2} k_c \left\{ \frac{12EK}{h^2} \right\}$$

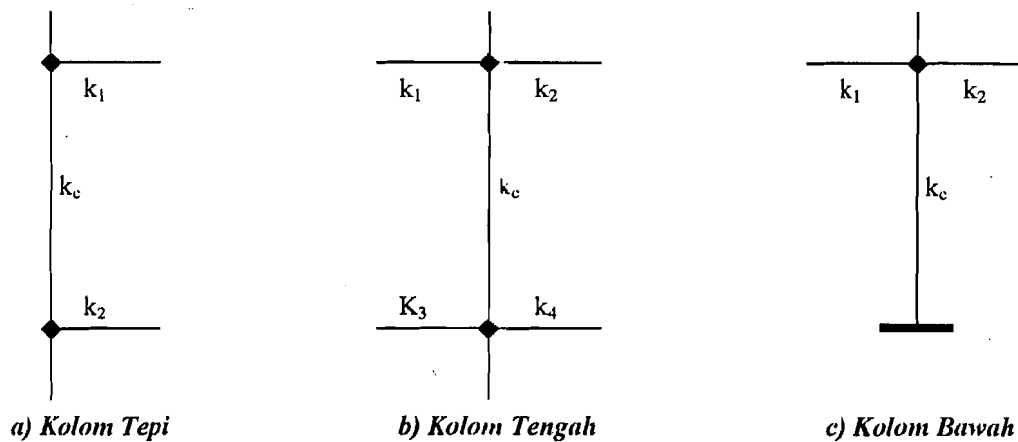
$$K_m = C_m \left\{ \frac{12EI}{h^3} \right\} \dots \dots \dots (3.10)$$

$$K_m = C_m K_f$$

dengan,

$$C_m = \frac{k'}{k'+2} \quad \text{dan} \quad K_f = \frac{12EI}{h^3} \dots \dots \dots (3.11)$$

Ada kemungkinan perbedaan kekakuan relatif antar balok, misalnya pada struktur pada Gambar 3.3 :



Gambar 3.3 Beberapa Kondisi Pengekangan Kolom oleh Balok-balok

Untuk kolom tengah yaitu kolom yang dipegang oleh 4-balok seperti pada Gambar 3.3.b, maka koefisien k' dihitung menurut rumus,

$$k' = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}{2k_c} = \frac{\sum k_b}{2k_c} \quad \text{dan,}$$

$$C_m = \frac{k'}{k'+2} \quad \dots\dots\dots(3.12)$$

Untuk kolom tepi yaitu yang dipegang oleh dua balok seperti Gambar 3.3.a, maka k' adalah,

$$k' = \frac{k_1 + k_2}{2k_c} = \frac{\sum k_b}{2k_c} \quad \text{dan,}$$

$$C_m = \frac{k'}{k'+2} \quad \dots\dots\dots(3.13)$$

Terdapat sedikit perbedaan rumus k' untuk kolom tingkat dasar baik kolom tengah maupun kolom tepi (Gambar 3.3.c) yaitu,

$$k' = \frac{\sum k_b}{k_c}$$

$$C_m = \frac{k'+0.5}{k'+2} \quad \dots\dots\dots(3.14)$$

Apabila nilai k' pada persamaan 3.12) disubstitusikan pada nilai C_m , maka akan diperoleh,

$$C_m = \frac{k'}{k'+2} = \frac{\sum k_{bi}/2k_c}{\sum k_{bi}/2k_c + 4k_c/2k_c}$$

$$C_m = \frac{\sum k_{bi}}{\sum k_{bi} + 4k_c} \quad \dots\dots\dots(3.15)$$

Apabila dipecah menjadi jumlah kekakuan relatif balok pada join atas dan join bawah, maka persamaan 3.15) akan menjadi,

$$C_m = \frac{(\sum k_{ba} + \sum k_{bb})}{(\sum k_{ba} + \sum k_{bb}) + 4k_c} \dots\dots\dots(3.16)$$

Persamaan 3.16) juga berlaku pada kolom tingkat dasar yang dapat berotasi yang dikontrol oleh adanya balok-balok sloof seperti Gambar 3.5.a.

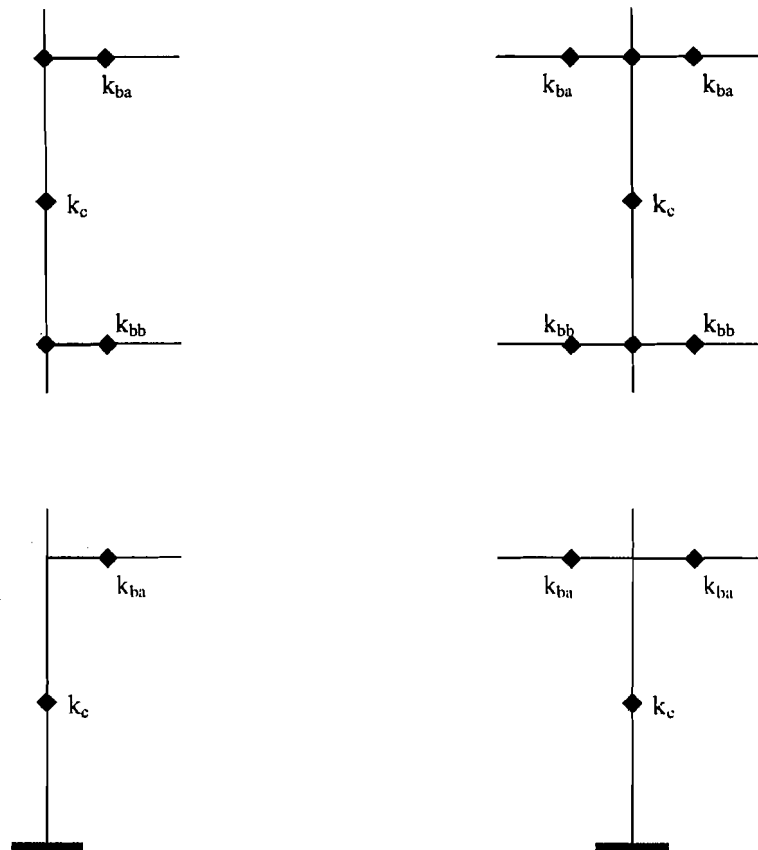
Dengan cara yang sama, maka kekakuan kolom tingkat dasar dengan dukungan jepit adalah,

$$C_{ml} = \frac{\sum k_{ba} + 0.5k_c}{\sum k_{ba} + 2k_c} \dots\dots\dots(3.17)$$

Persamaan 3.17) diturunkan dengan catatan bahwa titik balik pada kolom tingkat dasar berada pada $1/3 h$ dari join atas dengan h adalah tinggi kolom. Apabila kekakuan tingkat dasar diambil rata-rata dari kekakuan kolom jepit jepit dan kekakuan kolom normal persamaan 3.17) maka kekakuan kolom tingkat dasar dapat dihitung dengan rumus,

$$C_{ml} = \frac{\sum k_{ba} + k_c}{\sum k_{ba} + 2k_c} \dots\dots\dots(3.18)$$

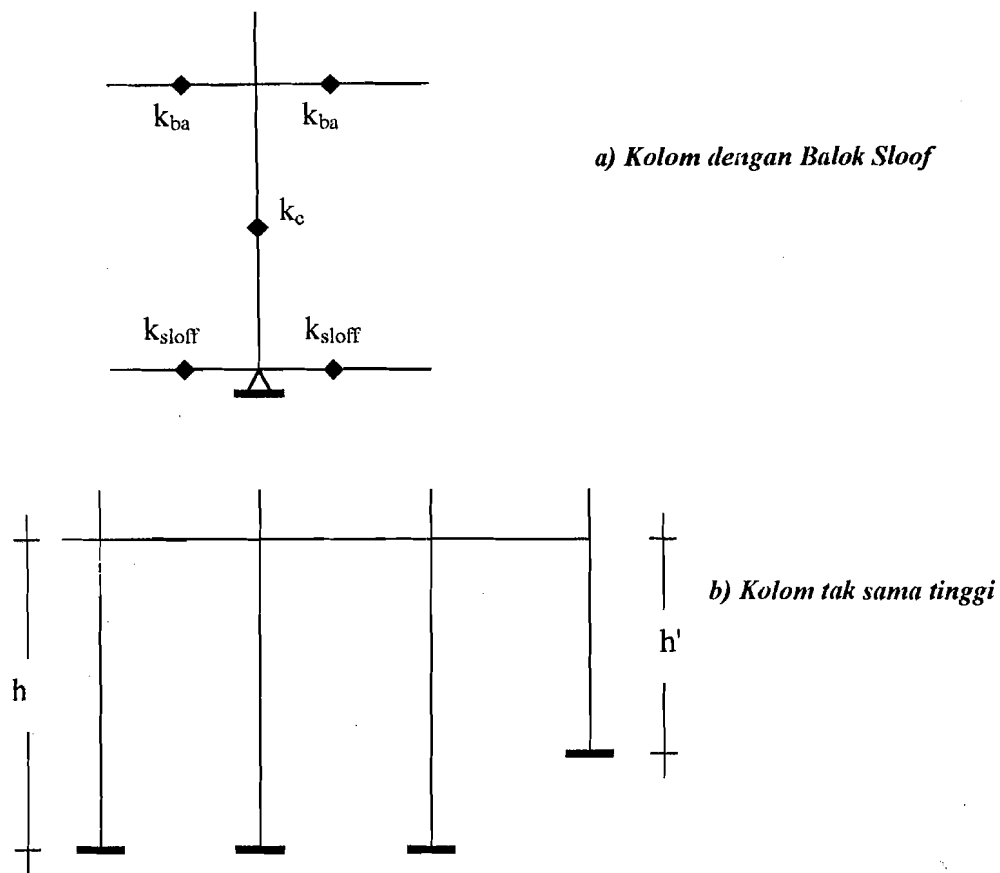
Untuk memudahkan pemahaman, maka persamaan 3.16), 3.17), 3.18) dapat digambar dan dapat dimengerti secara mudah secara visual sebagai berikut.



Gambar 3.4 Visualisasi Koefisien Kekakuan Metode Muto (1975)

Apabila pada tingkat dasar ada kolom yang lebih pendek dari kolom normal, misalnya dengan tinggi h' ($h' < h$) seperti pada Gambar 3.5.b maka Muto (1975) menyarankan bahwa koefisien kekakuan untuk kolom yang pendek tersebut adalah,

$$C_{m1} = C_{m1} \left\{ \frac{h}{h'} \right\}^2 \dots\dots\dots(3.19)$$

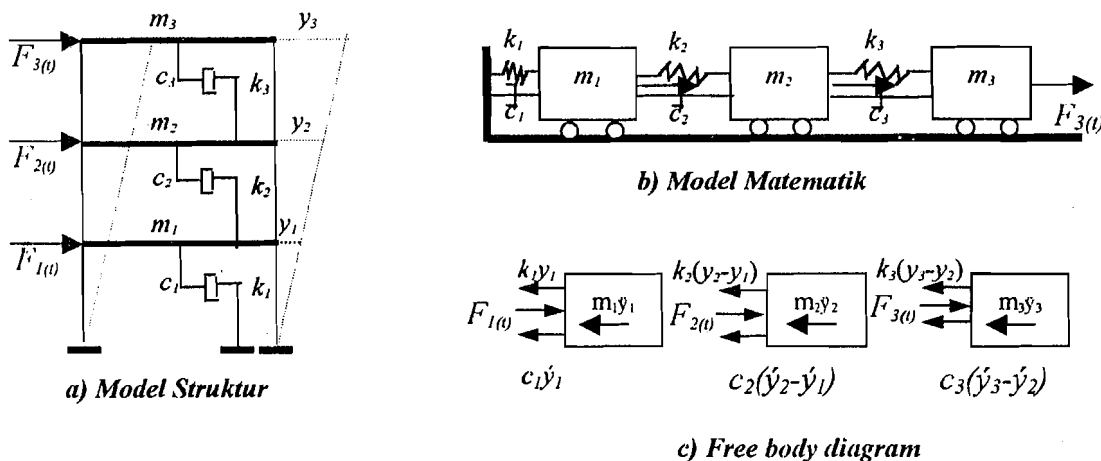


Gambar 3.5 Pengekangan Kolom oleh Balok Sloof & Kolom yg Tidak Sama Tinggi

3.3 Karakteristik Respon Struktur dengan Derajat Kebebasan Banyak (Multi Degree Of Freedom / MDOF)

Untuk menyatakan persamaan diferensial gerakan pada struktur dengan derajat kebebasan banyak maka dipakai anggapan dan pendekatan seperti pada struktur dengan derajat kebebasan tunggal (SDOF). Anggapan ini masih berlaku untuk struktur dengan derajat kebebasan banyak (MDOF). Untuk memperoleh persamaan persamaan diferensial tersebut, maka dipakai prinsip keseimbangan dinamik (*dynamic equilibrium*) pada suatu massa yang ditinjau. Untuk

memperoleh persamaan tersebut maka diambil model struktur MDOF seperti Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Struktur MDOF

Struktur bangunan bertingkat-3 seperti gambar tersebut, akan mempunyai 3 derajat kebebasan. Sering kali jumlah derajat kebebasan dihubungkan secara langsung dengan jumlahnya tingkat. Persamaan diferensial gerakan tersebut umumnya disusun berdasarkan atas goyangan struktur menurut *first mode* atau *mode* pertama seperti yang tampak pada garis putus-putus pada Gambar 3.6. Berdasarkan pada keseimbangan dinamik pada *free body diagram* Gambar 3.6 maka akan diperoleh,

$$m_1\ddot{y}_1 + k_1y_1 + c_1\dot{y}_1 - k_2(y_2 - y_1) - c_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - F_1(t) = 0 \dots\dots\dots (3.20)$$

$$m_2\ddot{y}_2 + k_2(y_2 - y_1) + c_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - k_3(y_3 - y_2) - c_3(\dot{y}_3 - \dot{y}_2) - F_2(t) = 0 \dots\dots\dots (3.21)$$

$$m_3\ddot{y}_3 + k_3(y_3 - y_2) + c_3(\dot{y}_3 - \dot{y}_2) - F_3(t) = 0 \dots\dots\dots (3.22)$$

Pada persamaan diatas tampak bahwa keseimbangan dinamik suatu massa yang ditinjau ternyata dipengaruhi oleh kekakuan, redaman, dan simpangan massa

sebelum dan sesudahnya. Persamaan dengan sifat-sifat tersebut disebut *coupled equation* karena persamaan-persamaan tersebut akan tergantung satu sama lain. Penyelesaian persamaan *coupled* harus dilakukan secara simultan artinya dengan melibatkan semua persamaan yang ada. Pada struktur dengan derajat kebebasan banyak, persamaan diferensial gerakannya merupakan persamaan yang *dependent* atau *coupled* antara satu dengan yang lain.

Selanjutnya dengan menyusun persamaan-persamaan diatas menurut parameter yang sama (percepatan, kecepatan, dan simpangan) selanjutnya akan diperoleh,

$$m_1\ddot{y}_1+(c_1+c_2)\dot{y}_1-c_2\dot{y}_2+(k_1+k_2)y_1-k_2y_2=F_1(t)\dots\dots\dots(3.23)$$

$$m_2\ddot{y}_2-c_2\dot{y}_1+(c_2+c_3)\dot{y}_2-c_3\dot{y}_3-k_2y_1+(k_2+k_3)y_2-k_3y_3=F_2(t)\dots\dots\dots(3.24)$$

$$m_3\ddot{y}_3-c_3\dot{y}_2+c_3\dot{y}_3-k_3y_2+k_3y_3=F_3(t)\dots\dots\dots(3.25)$$

Persamaan-persamaan diatas dapat ditulis dalam bentuk matriks sebagai berikut,

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1+c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2+c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \\ F_3(t) \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(3.26)$$

Persamaan 3.26) dapat ditulis dalam matriks yang lebih kompak,

$$[M]\{\ddot{Y}\}+[C]\{\dot{Y}\}+[K]\{Y\}=\{F(t)\}\dots\dots\dots(3.27)$$

Yangmana [M], [C], dan [K] berturut-turut adalah massa matriks, damping matriks, dan matriks kekakuan yang dapat ditulis menjadi,

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}, [C] = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix}, [K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3.28)$$

Sedangkan $\{\ddot{Y}\}, \{\dot{Y}\}, \{Y\}$ dan $\{F(t)\}$ masing-masing adalah vektor percepatan, vektor kecepatan, vektor simpangan dan vektor beban.

$$\{\ddot{Y}\} = \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{Bmatrix}, \{\dot{Y}\} = \begin{Bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{Bmatrix}, \{Y\} = \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix}, \text{ dan } \{F(t)\} = \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \\ F_3(t) \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(3.29)$$

Walaupun pada kenyataannya getaran bebas (*free vibration system*) jarang terjadi pada struktur MDOF, tetapi membahas jenis getaran ini akan diperoleh suatu besaran/karakteristik dari struktur yang bersangkutan yang selanjutnya akan sangat berguna untuk pembahasan-pembahasan respon struktur berikutnya. Besaran-besaran tersebut terutama adalah frekuensi sudut ω , periode getar T , frekuensi alam f , dan *normal modes*.

Persamaan matriks diferensial gerakannya menjadi,

$$[M]\{\ddot{Y}\} + [C]\{\dot{Y}\} + [K]\{Y\} = 0 \dots\dots\dots(3.30)$$

Frekuensi sudut pada struktur dengan redaman (*damped frequency*) ω_d nilainya hampir sama dengan frekuensi sudut pada struktur yang dianggap tanpa redaman ω . Hal ini akan diperoleh apabila nilai *damping ratio* ξ relatif kecil. Apabila hal ini diadopsi untuk struktur dengan derajat kebebasan banyak, maka untuk nilai $C=0$, persamaan 3.30) akan menjadi,

$$[M]\{\ddot{Y}\} + [K]\{Y\} = 0 \dots\dots\dots(3.31)$$

Karena persamaan 3.31) adalah persamaan diferensial pada struktur MDOF yang dianggap tidak mempunyai redaman, maka penyelesaian persamaan tersebut diharapkan dalam fungsi harmonik menurut bentuk,

$$\begin{aligned} Y &= \{\phi\}_i \sin(\omega t) \\ \dot{Y} &= -\omega \{\phi\}_i \cos(\omega t) \\ \ddot{Y} &= -\omega^2 \{\phi\}_i \sin(\omega t) \dots \dots \dots (3.32) \end{aligned}$$

dimana ϕ adalah suatu ordinat massa pada *mode* yang ke- i . Substitusi pers.3.32) ke pers.3.31) akan diperoleh,

$$\begin{aligned} -\omega^2 [M] \{\phi\}_i \sin(\omega t) + [K] \{\phi\}_i \sin(\omega t) &= 0 \\ \{[K] - \omega^2 [M]\} \{\phi\}_i &= 0 \dots \dots \dots (3.33) \end{aligned}$$

Pers.3.33) disebut persamaan *eigenproblem* atau karakteristik problem atau ada juga yang menyebut *eigenvalue problem*. Salah satu cara untuk menyelesaikan persamaan simultan dengan dalil Cramer (1704-1752). Gabriel Cramer adalah salah satu ahli matematika yang berasal dari Swiss. Dalil tersebut menyatakan bahwa penyelesaian persamaan simultan yang homogen akan ada nilainya apabila determinan dari matriks yang merupakan koefisien dari vektor $\{\phi\}_i$ adalah nol, sehingga,

$$|[K] - \omega^2 [M]| = 0 \dots \dots \dots (3.34)$$

Jumlah *mode* pada struktur dengan derajat kebebasan banyak biasanya dapat dihubungkan dengan jumlah massa. *Mode* itu sendiri adalah jenis/pola/ragam getaran/goyangan suatu struktur bangunan. *Mode* ini hanya merupakan fungsi dari properti dinamik dari struktur yang bersangkutan (dalam hal ini adalah hanya massa dan kekakuan tingkat) dan bebas dari pengaruh waktu

dan frekuensi getaran. Dengan adanya hubungan antara jumlah *mode* dengan jumlah massa struktur, maka bangunan yang mempunyai 7-tingkat misalnya, akan mempunyai 5 derajat kebebasan dan akan mempunyai 5 jenis “mode” gerakan dan akan mempunyai 5 nilai frekuensi sudut yang berhubungan langsung dengan jenis/nomor *mode*-nya. Apabila jumlah derajat kebebasan adalah n , maka persamaan 3.34) akan menghasilkan suatu polinomial pangkat n yang selanjutnya akan menghasilkan ω_i^2 untuk $i = 1, 2, 3, \dots, n$. Selanjutnya, substitusi masing-masing frekuensi ω_i kedalam pers.3.33 akan diperoleh nilai $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_n$.

3.4 Metode Jacobi

Dalam menyelesaikan persamaan polinomial pangkat kami menggunakan metode Jacobi. Metode Jacobi ini berusaha mentransformasi suatu matriks A menjadi matriks diagonal A_{k+1} . Dalam keadaan ini elemen-elemen diagonal utama matriks A_{k+1} adalah serupa ortogonal (*selular orthogonal*), sehingga harga-harga eigen dari matriks A . Andaikata $A_0=A$ dan U_i adalah matriks ortogonal yang memenuhi hubungan,

$$U_1=U_1^{-1}*A_0*U_1 \dots \dots \dots (3.35)$$

$$A_2=U_2^{-1}*A_1*U_2 \dots \dots \dots (3.36)$$

atau dalam bentuk umum,

$$A_{k+1}=U_{k+1}^{-1}*A_k*U_{k+1} \dots \dots \dots (3.37)$$

$$A_{k+1}=U_{k+1}^{-1}*A*U_{k+1}$$

yang mana, $U_k = U_1 U_2 U_3 \dots U_k$, untuk $k \rightarrow \alpha$, matriks A_{k+1} menjadi matriks diagonal.

Matriks A_{k+1} dan matriks A adalah serupa ortogonal maka dapat disimpulkan bahwa harga-harga eigen dari matriks A_{k+1} sama dengan harga-harga eigen dari matriks A . Karena matriks A_{k+1} (untuk $k \rightarrow \infty$) telah menjadi matriks diagonal berarti bahwa harga-harga eigen terletak pada elemen-elemen diagonalnya. Masalahnya sekarang adalah bagaimana mentransformasi matriks A menjadi matriks diagonal A_{k+1} . Jacobi memperkenalkan cara mentransformasikan tersebut yang sering disebut **matriks rotasi**. Matriks rotasi A_{k+1} adalah sebuah matriks diagonal yang diubah menjadi,

$$U_{k+1} = \begin{matrix} & \begin{matrix} i & j \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 & 0 & 0 & - & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha & - & 0 \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & - & 0 \\ - & - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & - & 0 \end{matrix} & \begin{matrix} \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dots \end{matrix} & \begin{matrix} i \\ j \end{matrix} \end{matrix} \dots\dots\dots(3.38)$$

maksudnya, mula-mula kita punya matriks diagonal, kemudian elemen-elemen untuk baris ke i dan j maupun kolom ke i dan j diganti dengan $\cos \alpha$ dan $\sin \alpha$. Seperti pada persamaan berikut,

$$\begin{aligned} U_{ii} &= \cos \alpha & U_{ij} &= -\sin \alpha \\ U_{ji} &= \sin \alpha & U_{jj} &= \cos \alpha \dots\dots\dots(3.39) \end{aligned}$$

sudut α dicari dari persamaan,

$$\operatorname{tg} 2\alpha = 2 \frac{a_{ij}^{(k)}}{a_{ii}^{(k)} - a_{jj}^{(k)}} \dots\dots\dots(3.40)$$

Jadi dengan demikian dapat diperoleh elemen-elemen dari matriks U_{k+1}^{-1} dapat dicari dengan mudah karena U_{k+1} adalah matriks ortogonal sehingga $U_{k+1}^{-1} = U_{k+1}^T$. Dari sini dapat dihitung $A_{k+1} = U_{k+1}^{-1} * A_k * U_{k+1}$, untuk $k = 0 \rightarrow \alpha$.

Untuk k besar matriks A_{k+1} akan berubah menjadi,

$$A_{k+1} = \begin{bmatrix} a_{11}^{(k)} & 0 & - & 0 \\ 0 & a_{22}^{(k)} & - & 0 \\ - & - & - & - \\ 0 & 0 & - & a_{nn}^{(k)} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3.41)$$

yang berarti harga-harga eigen dari matriks A_k dan A_{k+1} adalah

$$\lambda_1 = a_{11}^k \quad \lambda_2 = a_{22}^k \quad \lambda_n = a_{nn}^k \dots\dots\dots(3.42)$$

Vektor eigen dapat diperoleh dengan jalan mengalikan matriks-matriks rotasi yang telah dipakai,

$$U_k = U_1 * U_2 * \dots * U_k \dots\dots\dots(3.43)$$

Untuk menghindari kesulitan dalam mendapatkan α , maka penentuan $\cos\alpha$ dan $\sin\alpha$ dari $\text{tg}2\alpha$ dicari sebagai berikut,

$$\cos\alpha = \sqrt{\frac{1}{2} \left[1 + \frac{q}{\sqrt{p^2 + q^2}} \right]} \text{ dengan } q > 0 \dots\dots\dots(3.44)$$

$$\sin\alpha = \frac{1}{2} * \frac{\sin 2\alpha}{\cos\alpha} = \frac{p}{2\cos\alpha\sqrt{p^2 + q^2}} \dots\dots\dots(3.45)$$

3.5 Analisis Beban Statik Ekuivalen

Gaya geser Dasar, V adalah gaya geser yang bekerja pada dasar bangunan menurut PPTGIUG 1983 dapat dihitung dengan,

$$V = C I K W \dots \dots \dots (3.50)$$

dengan V adalah gaya geser dasar, C adalah koefisien gempa dasar, I adalah faktor keutamaan bangunan, K adalah koefisien jenis struktur dan W adalah berat total bangunan.

3.5.1 Koefisien Gempa dasar (C)

Untuk mencari C dapat ditentukan dari gambar 3.7 dan gambar 3.8 sesuai wilayah gempa dengan mencari periode getar alami struktur (T) dalam detik.

Untuk struktur portal terbuka beton bertulang dapat dihitung dengan,

$$T = 0.06H^{3/4} \dots \dots \dots (3.51)$$

Untuk struktur baja, periode getar T tersebut dapat dihitung dengan rumus,

$$T = 0.08H^{3/4} \dots \dots \dots (3.52)$$

Untuk struktur gedung yang lain,

$$T = \frac{0.09H}{\sqrt{B}} \dots \dots \dots (3.53)$$

dengan H adalah tinggi bangunan total dalam meter diukur dari sistim penjepitan lateral struktur, dan B adalah panjang seluruhnya dari denah struktur pada alasnya dalam arah yang ditinjau (dalam meter). Di samping menggunakan rumus diatas, dalam menentukan waktu getar alami juga harus dicek dengan persamaan Reyleigh,

$$T = 6.3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N W_i d_i^2}{g \sum_{i=1}^N F_i d_i}} \dots\dots\dots(3.54)$$

dimana N adalah jumlah tingkat total diatas dasar gedung, W_i adalah berat tingkat ke-i, d_i adalah simpangan horisontal pusat massa pada tingkat ke-i, F_i adalah beban gempa horisontal dalam arah yang ditinjau yang bekerja pada tingkat ke-i, g adalah percepatan gravitasi.

Nilai C yang diperoleh dengan menggunakan T pada pers.3.54), tidak boleh kurang dari 80% nilai yang diperoleh dengan memakai T pada pers 3.51), pers.3.52) atau pers.3.53).

Apabila gedung berada di batas wilayah yang kepastiannya tidak jelas, maka gedung tersebut harus dianggap terletak didalam wilayah yang mensyaratkan nilai koefisien gempa dasar yang lebih besar. Selain memakai periode getar dan wilayah gempa, dalam memilih nilai C juga melihat jenis tanah bawah pada gedung tersebut. Ada dua jenis tanah yaitu tanah keras dan tanah lunak. Untuk pemakaian pada suatu struktur gedung harus dianggap berdiri diatas tanah bawah yang lunak, apabila suatu struktur gedung tersebut terletak diatas endapan-endapan tanah dengan kedalaman-kedalaman yang melampaui nilai-nilai tersebut dibawah ini,

- Untuk tanah kohesif dengan kekuatan geser pada kadar air tetap rata-rata tidak lebih dari $0.5 \text{ kg/cm}^2 : 6 \text{ m}$

- Untuk setiap tempat dimana lapisan yang menutupinya terdiri dari tanah kohesif dengan kekuatan geser pada kadar air tetap rata-rata tidak lebih dari 1 kg/cm^2 atau terdiri dari tanah butiran yang sangat padat : 9 m
- Untuk tanah kohesif dengan kekuatan geser pada kadar air tetap rata-rata tidak lebih dari 2 kg/cm^2 : 12 m
- Untuk tanah butiran terikat yang sangat padat : 20 m

3.5.2 Faktor Keutamaan Bangunan (I)

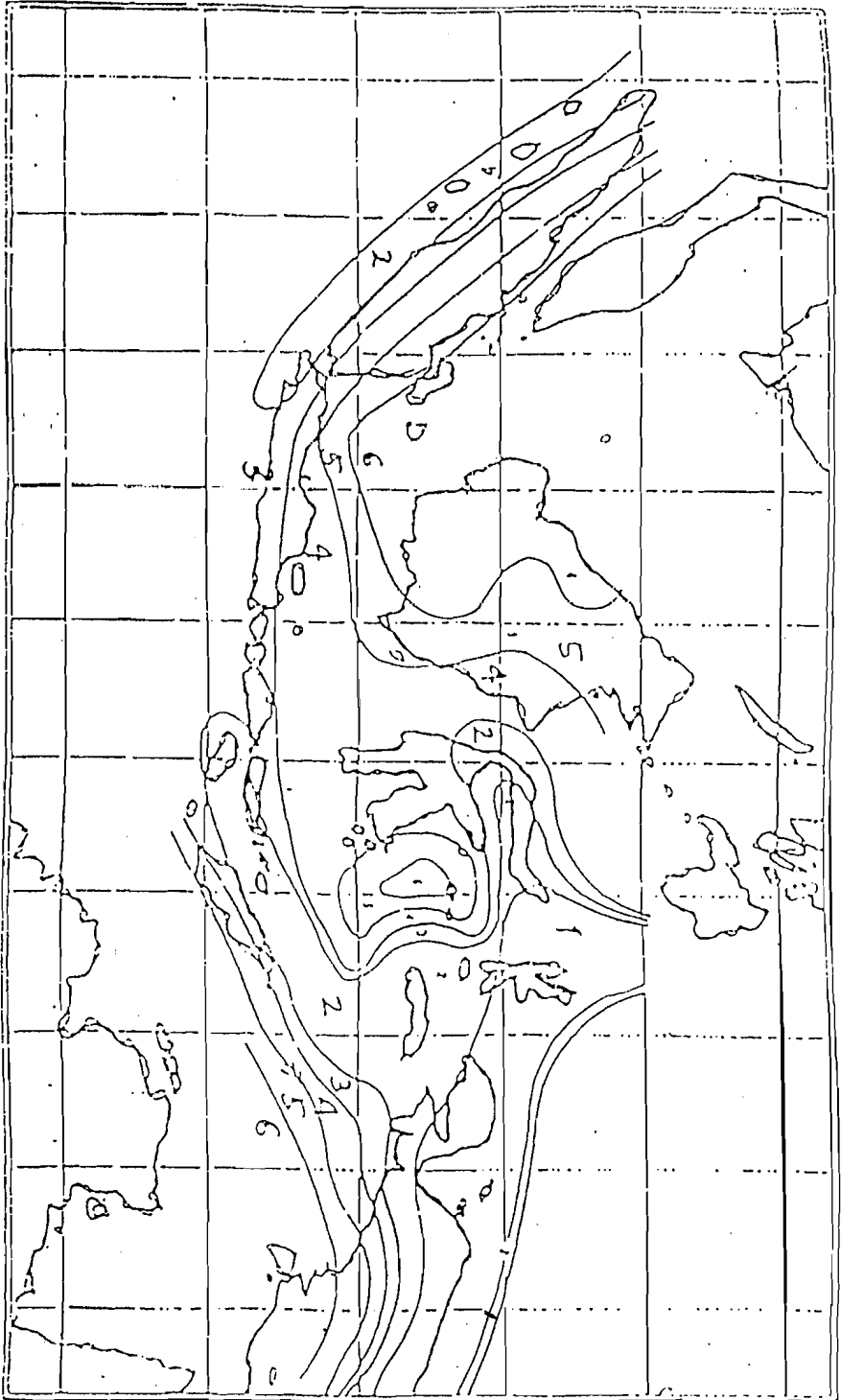
Maksud dari Faktor Keutamaan Bangunan (I) adalah untuk mengurangi resiko terhadap kerusakan gedung. Bangunan yang lebih penting/vital harus mempunyai nilai faktor keutamaan (I) yang lebih besar daripada bangunan biasa. Faktor Keutamaan Bangunan (I) untuk berbagai jenis bangunan menurut PPTGIUG 1983 dapat dilihat pada Tabel 3.1.

3.5.3 Koefisien Jenis Struktur (K)

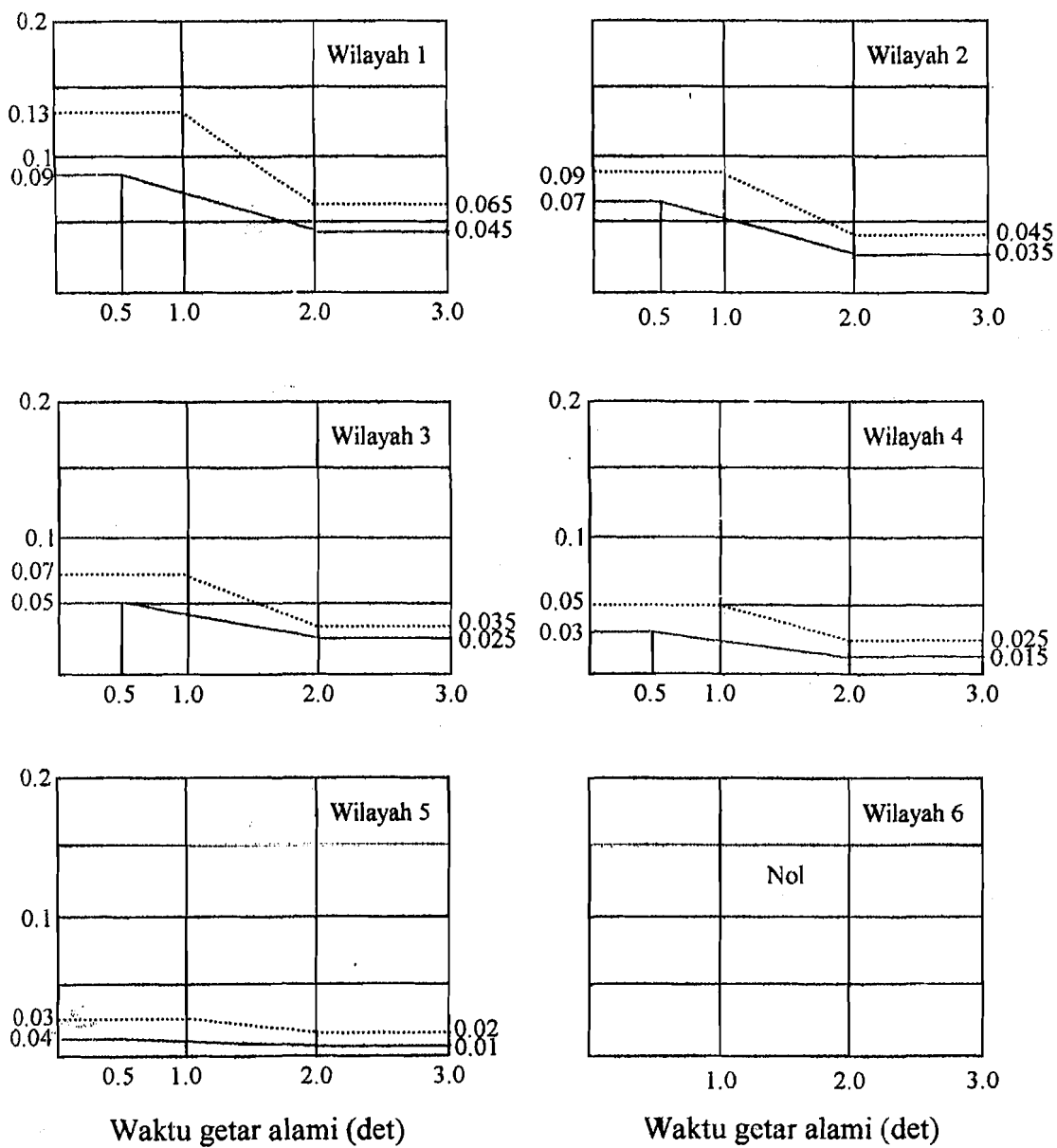
Setiap bahan yang dipakai untuk struktur utama mempunyai perilaku sendiri-sendiri, misalnya kayu, baja ataupun beton. Jenis bahan yang dipakai merupakan faktor yang pertama yang akan mempengaruhi koefisien jenis struktur (K). Faktor yang kedua yang akan mempengaruhi koefisien jenis struktur adalah sistem struktur itu sendiri. Koefisien Jenis Struktur (K) dapat dilihat pada Tabel 3.2.

3.5.4 Berat Total Bangunan (W)

Berat total bangunan merupakan kombinasi dari beban mati dan beban hidup vertikal yang direduksi. Koefisien reduksi beban hidup sesuai dengan fungsi gedung dapat dilihat pada Tabel 3.3.



Gambar 3.7 Wilayah-wilayah gempa di Indonesia



Keterangan :



: Struktur Di atas Tanah Keras
 : Struktur Di atas Tanah Lunak

Gambar 3.8 Koefisien gempa dasar C (SKBI-1.3.53.1987)

Tabel 3.1 Faktor Jenis Struktur (K)

No.	Jenis Struktur	Jenis Bahan/Struktur Bangunan	Faktor Jenis Struktur (K)
1	Portal Daktail	Beton bertulang	1,0
		Beton prestress	1,4
		Struktur baja	1,0
		Struktur kayu	1,7
2	Dinding geser daktalitas I	Beton bertulang	1,0
3	Dinding geser kantilever daktalitas I	Beton bertulang	1,2
		Dinding berongga bertulang	2,5
		Kayu	2,0
4	Dinding geser kantilever daktalitas terbatas	Beton bertulang	1,5
		Dinding berongga bertulang	3,0
		Kayu	2,5
5	Portal dengan ikatan diagonal	Beton bertulang	2,5
		Struktur baja	2,5
		Struktur kayu	3,0
6	Struktur kantilever tak bertingkat	Beton bertulang	2,5
		Struktur baja	2,5
7	Cerobang, tangki kecil	Beton bertulang	3,0
		Struktur baja	3,0

Tabel 3.2 Faktor Keutamaan Bangunan (I)

No.	Jenis Gedung	Faktor Keutamaan Bangunan (I)
1.	Gedung-gedung Monumental	1,5
2.	Fasilitas-fasilitas penting yang harus tetap berfungsi sesudah gempa terjadi : <ul style="list-style-type: none"> a. Rumah Sakit b. Bangunan penyimpanan pangan c. Pusat penyelamatan dalam keadaan darurat d. Pusat pembangkit tenaga e. Bangunan air minum f. Fasilitas radio dan televisi g. Tempat orang berkumpul 	1,5
3.	Fasilitas distribusi bahan gas dan minyak bumi di daerah perkotaan	2,0
4.	Struktur yang menyimpan bahan berbahaya (asam, bahan beracun dll)	2,0
5.	Stuktur-struktur lain	1,0

Tabel 3.3 Koefisien Reduksi Beban Hidup

No.	Penggunaan gedung	Koefisien reduksi beban hidup
1	Rumah tinggal, asrama, hotel, rumah sakit	0,3
2	Sekolah, ruang kuliah	0,5
3	Masjid, gereja, bioskop, restoran, ruang dansa	0,5
4	Kantor, bank	0,3
5	Toko, toserba, pasar	0,8
6	Gudang, perpustakaan, rung arsip	0,8
7	Pabrik, bengkel	0,9
8	Garasi, gedung parkir	0,5
9	Gang dan tangga : a. Perumahan/penghunian b. Pendidikan, kantor c. Pertemuan umum, perdagangan, penyimpanan, industri, tempat kendaraan	0,3 0,5 0,5

3.6 Modal Effective Mass

Modal Effective Mass dapat dihitung apabila kontribusi mode (ϕ) pada suatu bangunan sudah diketahui, misalnya bangunan 6 lantai berarti kontribusi mode ada 6 *mode*, bangunan 12 lantai berarti kontribusi mode ada 12 *mode* dan seterusnya sampai n tingkat dan menghasilkan n *mode*.

Modal Effective Mass dapat dicari dengan rumus,

$$M_{im} = \frac{\left[\sum_{i=1}^N \phi_{im} M_i \right]^2}{\sum_{i=1}^N \phi_{im}^2 M_i} \dots\dots\dots(3.55)$$

3.7 Modal Base Shear

Modal Base Shear dihitung dengan rumus,

$$V_{im} = (\%M_{im}) * V \dots\dots\dots(3.56)$$

dimana,

M_{im} = *modal effective mass*

V = gaya geser dasar akibat beban statik ekuivalen

Berdasarkan teknik SRSS, total gaya geser dasar dapat dihitung dengan,

$$V = \sqrt{\sum_{m=1}^N V_m^2} \dots\dots\dots(3.57)$$

Dalam menentukan bobot *modal effective weight* dan *modal base shear* harus dibuat skala 90 % dari gaya geser yang ditentukan dengan metode beban statik ekuivalen. Dan dibuat skala antara 90 % dari gaya geser dasar yang dihitung dengan menggunakan metode beban statik ekuivalen dengan gaya geser dasar yang dihitung dengan menggunakan persamaan 3.57).

3.8 Modal Effective Height (h_j)

Modal Effective Height dapat dihitung dengan rumus,

$$h_j^* = \frac{\sum_{j=1}^N h_j m_j \phi_{ij}}{m_j \phi_{ij}} \dots\dots\dots(3.58)$$

dimana,

h_j^* = modal effective height pada mode ke-j

h_j = tinggi massa ke-j

m_j = massa ke-j

ϕ_{ij} = mode ke-j, massa ke-i

3.9 Modal Seismic Force (F_{im})

Modal Seismic Force di tingkat i ditentukan dengan rumus,

$$F_{im} = C_{im} * V_m \dots\dots\dots(3.59)$$

dimana, C_{im} adalah koefisien modal gempa di tingkat i yang diperoleh dari,

$$C_{im} = \frac{\phi_{im} m_i}{\sum_{j=1}^N \phi_{jm} m_j} \dots\dots\dots(3.60)$$

dengan memakai teknik SRSS, desain gaya gempa dapat dihitung dengan,

$$F_i = \sqrt{\sum_{m=1}^N F_{im}^2} \dots\dots\dots(3.61)$$

3.10 Modal Shear Force (V_{im})

Modal Shear Force di tingkat gedung i dengan jumlah gaya gempa F_{im}

diatas tingkat tersebut. Secara matematis ditulis dengan rumus,

$$V_{im} = \sum_{m=1}^N F_{jm} \dots\dots\dots(3.62)$$

dengan memakai teknik SRSS, desain gaya geser tingkat dapat dihitung dengan,

$$V_i = \sqrt{\sum_{m=1}^N V_{im}^2} \dots\dots\dots(3.63)$$

3.11 Modal Overtuning Moment (M_{im})

Modal Overtuning Moment atau momen guling merupakan jumlah momen akibat dari gaya gempa di atas tingkat tersebut. Secara matematisnya sebagai berikut,

$$M_{im} = \sum_{m=1}^N F_{jm} (h_j - h_i) \dots\dots\dots(3.64)$$

3.12 Modal Storey Drift (Δ_{im})

Modal Story Drift atau simpangan tingkat untuk tingkat gedung ke-i, yang dimodelkan sebagai shear buliding, memakai

$$\Delta_{im} = \frac{V_{im}}{k_i} \dots\dots\dots(3.65)$$

dimana,

V_{im} = *modal shear force* di tingkat i

k_i = jumlah kekakuan di tingkat i

Menurut Sutjipto (1994) bahwa *modal storey drift* yang dihitung dengan Dinamik Analisis harus dikalikan dengan faktor $1/(0,9K)$, dimana K adalah koefisien jenis struktur, maka rumus *modal storey drift* menjadi,

$$\Delta_{im} = \frac{V_{im}}{0,9Kk_i} \dots\dots\dots(3.66)$$

dengan memakai teknik SRSS, maka simpangan tingkat rencana dihitung dengan,

$$\Delta_{im} = \sqrt{\sum_{m=1}^N \Delta_{im}^2} \dots\dots\dots(3.67)$$

Perlu diingat bahwa simpangan tingkat maksimum yang diperbolehkan oleh Peraturan Indonesia adalah $0,005h_i$.

3.13 Modal Lateral Displacement (d_{im})

Modal Lateral Displacement pada tingkat gedung ke-i dihitung dengan,

$$d_{im} = \sum_{j=1}^i \Delta_{jm} \dots\dots\dots(3.68)$$

dimana Δ_{jm} adalah *modal storey drift*.

dengan memakai teknik SRSS, lateral displacement rencana dihitung dengan,

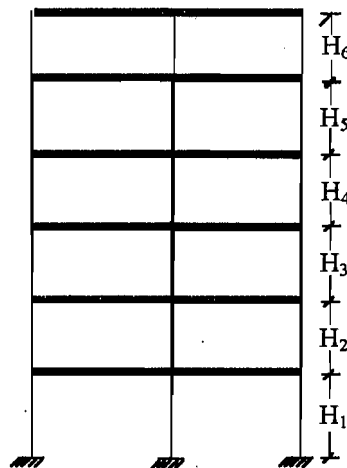
$$d_i = \sqrt{\sum_{m=1}^N d_{im}^2} \dots\dots\dots(3.69)$$

BAB IV METODE PENELITIAN

Dalam penulisan tugas akhir ini, kami menggunakan bantuan program komputer untuk mengetahui sejauh mana pengaruh *mode* pada gedung-gedung bertingkat banyak. Di sini kami mencoba untuk membuat program dengan menggunakan **MICROSOFT VISUAL BASIC**, untuk mempermudah dalam perhitungan struktur yang akan kami gunakan sebagai obyek dalam penulisan Tugas Akhir ini.

4.1. Model Struktur

Model struktur yang akan kami gunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah gedung bertingkat yang mempunyai derajat kebebasan banyak (**MDOF**). Yang akan kami mulai dengan bangunan bertingkat enam sampai seterusnya.



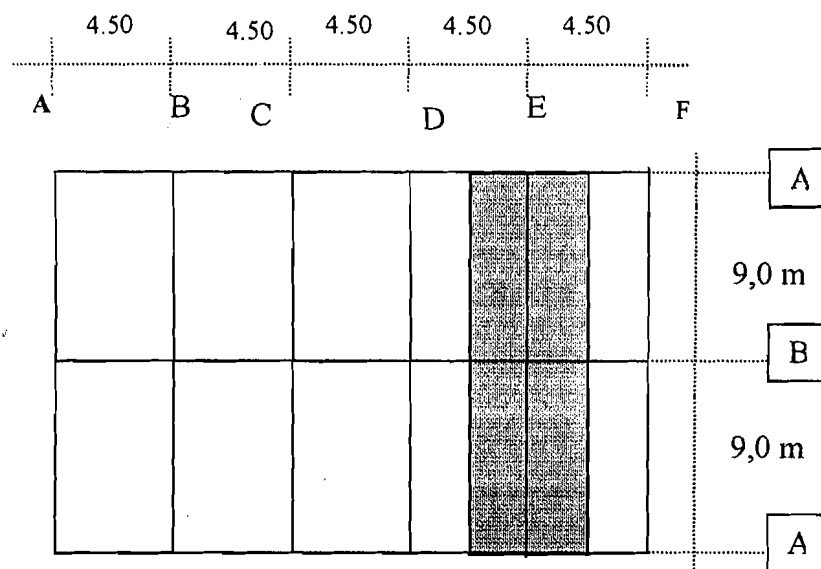
Gambar 4.1. Model Struktur tingkat enam

Untuk besarnya massa, dimensi balok, dimensi kolom dan E kami tentukan sendiri tanpa melakukan percobaan.

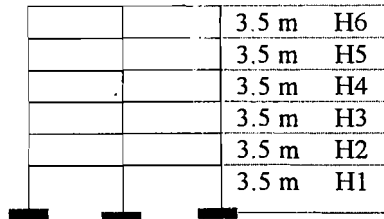
4.2. Data Struktur

Struktur yang ditinjau diasumsikan digunakan untuk bangunan perkantoran dengan dimensi kolom dan dimensi balok ditentukan secara langsung, secara lengkap dapat dilihat pada gambar 4.2 sampai dengan gambar 4.7. Sesuai dengan bahan penyusunnya yaitu beton maka modulus elastisitas (E) diambil 200000 kg/cm^2 , mutu beton (f_c') diambil 250 kg/cm^2 dan berat jenis (γ) beton diambil 2400 kg/cm^3 .

4.2.1. Data Struktur untuk gedung 6 lantai



Gambar 4.2 Denah Model Struktur



		3.5 m	H6
		3.5 m	H5
		3.5 m	H4
		3.5 m	H3
		3.5 m	H2
		3.5 m	H1

Gambar 4.3 Potongan Portal E

Dimensi kolom yang digunakan untuk model struktur ditentukan secara langsung, seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data dimensi kolom

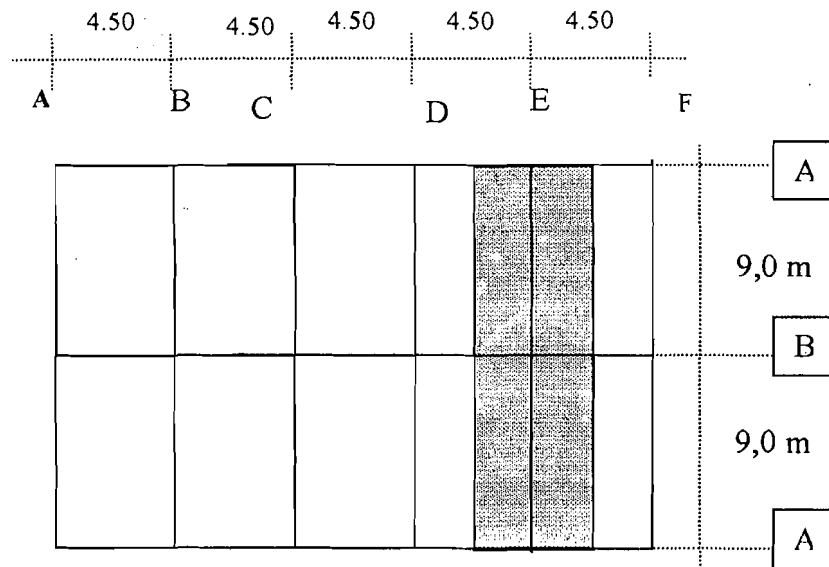
Tingkat	Kolom A (cm)	Kolom B (cm)
1.	60/80	70/90
2.	60/80	70/90
3.	50/80	55/80
4.	50/75	55/80
5.	40/75	45/75
6.	40/75	45/75

Dimensi balok yang digunakan untuk model struktur ditentukan secara langsung, seperti pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 data dimensi balok

Tingkat	Balok (cm)
1,2,3	40/80
4	30/75
5,6	25/75

4.2.2 Data Struktur untuk gedung 12 lantai



Gambar 4.4 Denah Model Struktur

		3.5 m	H 12
		3.5 m	H 11
		3.5 m	H 10
		3.5 m	H 9
		3.5 m	H 8
		3.5 m	H 7
		3.5 m	H 6
		3.5 m	H 5
		3.5 m	H 4
		3.5 m	H 3
		3.5 m	H 2
		3.5 m	H 1

Gambar 4.5 Portal E

Dimensi kolom yang digunakan dalam model struktur ditentukan secara langsung, seperti pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Data dimensi kolom

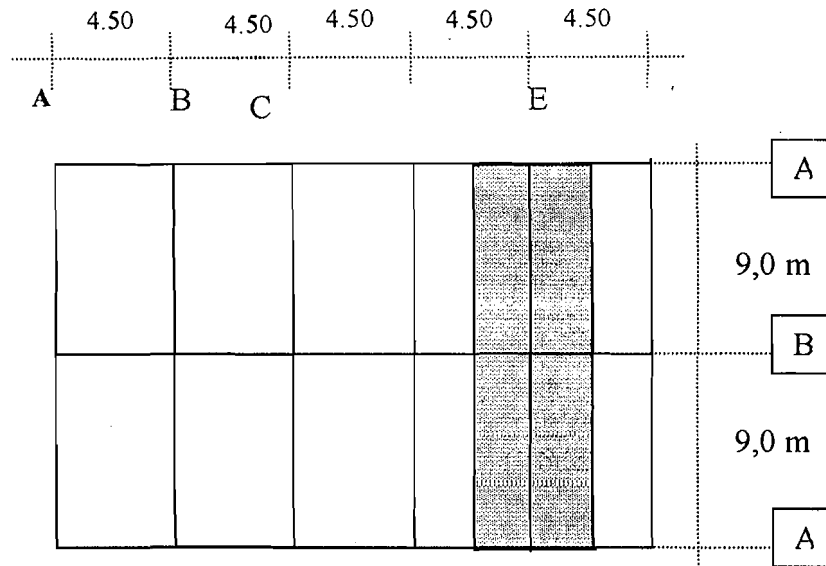
Tingkat	Kolom A (cm)	Kolom B (cm)
1.	75/85	80/100
2.	75/85	80/100
3.	65/85	70/90
4.	65/80	70/90
5.	65/80	70/90
6.	60/80	65/90
7.	60/80	65/85
8.	60/75	65/85
9.	50/75	55/85
10.	50/75	45/80
11.	40/75	45/80
12.	40/75	45/80

Dimensi balok yang digunakan dalam model struktur ditentukan secara langsung, seperti pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Data dimensi balok

Tingkat	Balok (cm)
1,2,3	45/80
4,5,6	40/80
7,8,9	30/75
10,11,12	25/75

4.2.3 Data Struktur 18 lantai



Gambar 4.6 Denah Model Struktur

		3.5 m	H 18
		3.5 m	H 17
		3.5 m	H 16
		3.5 m	H 15
		3.5 m	H 14
		3.5 m	H 13
		3.5 m	H 12
		3.5 m	H 11
		3.5 m	H 10
		3.5 m	H 9
		3.5 m	H 8
		3.5 m	H 7
		3.5 m	H 6
		3.5 m	H 5
		3.5 m	H 4
		3.5 m	H 3
		3.5 m	H 2
		3.5 m	H 1

Gambar 4.7 Potongan Portal E

Dimensi kolom yang digunakan dalam model struktur ditentukan secara langsung, seperti pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data dimensi kolom

Tingkat	Kolom A (cm)	Kolom B (cm)
1.	75/85	90/105
2.	75/85	90/105
3.	75/85	90/100
4.	75/85	85/100
5.	75/85	85/90
6.	75/85	85/90
7.	75/85	80/90
8.	75/85	80/90
9.	65/85	70/90
10.	65/80	70/85
11.	65/80	70/85
12.	60/80	65/85
13.	60/80	65/85
14.	60/75	65/85
15.	50/75	55/85
16.	50/75	45/80
17.	40/75	45/80
18.	40/75	45/80

Dimensi balok yang digunakan dalam model struktur ditentukan secara langsung, seperti pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data dimensi balok

Tingkat	Balok (cm)
1,2,3,4,5,6	45/85
7,8,9	45/80
10,11,12	40/80
13,14,15	30/75
16,17,18	25/75

4.2.4 Data Struktur 20 lantai sampai dengan 50 lantai

Untuk data struktur 20 lantai sampai dengan 50 lantai sudah ditentukan juga dan akan dicantumkan di dalam program ini.

4.3 Tahapan Analisis

Tahapan analisis dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. menghitung pembebanan struktur (q),
2. menghitung massa balok dengan prinsip *lumped mass* (m),
3. menghitung kekakuan kolom dengan cara Muto,
4. membuat persamaan diferensial gerakan,
5. menghitung frekuensi sudut (ω),
6. menghitung frekuensi (f),
7. menghitung waktu getar alami (T),
8. menghitung *mode* (ϕ),
9. menghitung *modal storey drift* (Δ_{in}),

10. menghitung *modal lateral displacement* (d_{im}),
11. menghitung *modal seismic force* (F_{im}),
12. menghitung *modal shear force* (V_{im}),
13. menghitung *modal overtuning moment* (M_{im}),
14. menghitung *modal effective mass* (M_{im}),
15. menghitung *modal base shear* (V_{im}),
16. menghitung *modal effective height* (h_j^*).



BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

Perhitungan dinamik dilakukan dengan menggunakan program ProgSIP 2001 versi 2.0, yang menggunakan bahasa program Visual Basic 6.0. *Input* program ini berupa jumlah tingkat, dimensi kolom, dimensi balok, tinggi tingkat dan panjang balok. Analisis dimulai dengan menghitung kekakuan dengan prinsip kekakuan kolom jepit-jepit dan kekakuan kolom cara Muto (1975), setelah itu menghitung *modeshape*, *modal effective mass*, *modal effective height*, *modal seismic force*, *modal shear force*, *modal overtuning moment*, *modal lateral displacement* dan *modal storey drift*. Setelah perhitungan selesai lalu dibuat dalam bentuk grafik. Dalam grafik tersebut memperlihatkan prosentase *modal effective mass* pada gedung bertingkat banyak yang mencapai 90 %.

5.2 Perhitungan Massa dan Kekakuan Struktur

5.2.1 Struktur dengan kekakuan kolom jepit dan kekakuan kolom Muto

1. Struktur 6 lantai

Untuk Massa yang digunakan diambil dari Tugas Akhir Joni Irawan, Hasilnya dapat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil perhitungan massa struktur 6 lantai

Tingkat	Massa (kg.det ² /cm)
1, 2	100.38139
3,4,5,6	97.27216

Perhitungan kekakuan menggunakan Prinsip Muto (1975) yaitu dengan memperhitungkan kekakuan balok. Hal ini berarti bahwa join-join dimungkinkan untuk berotasi.

a. Momen Inersia dan I/L balok

$$I_{b1,2,3} = \frac{1}{12} * 40 * 80^3 = 1706666.66667 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{b1,2,3}}{L} = \frac{1706666.66667}{900} = 1896.29629 \text{ cm}^3$$

$$I_{b4} = \frac{1}{12} * 30 * 75^3 = 1054687.5 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{b4}}{L} = \frac{1054687.5}{900} = 1171.875 \text{ cm}^3$$

$$I_{b5,6} = \frac{1}{12} * 25 * 75^3 = 878906.25 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{b5,6}}{L} = \frac{878906.25}{900} = 976.5625 \text{ cm}^3$$

b. Momen Inersia dan I/L kolom

$$I_{cA1,2} = \frac{1}{12} * 60 * 80^3 = 2560000 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cA1,2}}{h} = \frac{2560000}{350} = 7314.28571 \text{ cm}^3$$

$$I_{cB1,2} = \frac{1}{12} * 70 * 90^3 = 4252500 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cB1,2}}{h} = \frac{4252500}{350} = 12150 \text{ cm}^3$$

$$I_{cA3} = \frac{1}{12} * 50 * 80^3 = 2133333.33333 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cA3}}{h} = \frac{2133333.33333}{350} = 6095.23809 \text{ cm}^3$$

$$I_{cB3} = \frac{1}{12} * 55 * 80^3 = 2346666.66667 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cB3}}{h} = \frac{2346666.66667}{350} = 6704.76190 \text{ cm}^3$$

$$I_{cA4} = \frac{1}{12} * 50 * 75^3 = 1757812.5 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cA4}}{h} = \frac{1757812.5}{350} = 5022.32142 \text{ cm}^3$$

$$I_{cB4} = \frac{1}{12} * 55 * 80^3 = 2346666.66667 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cB4}}{h} = \frac{2346666.66667}{350} = 6704.76190 \text{ cm}^3$$

$$I_{cA5,6} = \frac{1}{12} * 40 * 75^3 = 1406250 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cA5,6}}{h} = \frac{1406250}{350} = 4017.85714 \text{ cm}^3$$

$$I_{cB5,6} = \frac{1}{12} * 45 * 75^3 = 1582031.25 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cB5,6}}{h} = \frac{1582031.25}{350} = 4520.08928 \text{ cm}^3$$

c. Koefisien k

Apabila diambil nilai $K = 976.5625 \text{ cm}^3$, maka

$$k_{b1,2,3} = 1.94180$$

$$k_{b4} = 1.2$$

$$k_{b5,6} = 1$$

$$k_{cA1,2} = 7.48982$$

$$k_{cB1,2} = 12.4416$$

$$k_{cA3} = 6.24152$$

$$k_{cB3} = 6.86567$$

$$k_{cA4} = 5.14285$$

$$k_{cB4} = 6.86567$$

$$k_{cA5,6} = 4.11428$$

$$k_{cB5,6} = 4.62857$$

d. Koefisien kekakuan kolom tepi

Dengan menggunakan persamaan 3.15), maka

$$C_{m6} = \frac{1+1}{1+1+4*4.11428} = 0.1083591$$

$$C_{m5} = \frac{1.2+1}{1.2+1+4*4.11428} = 0.1179173$$

$$C_{m4} = \frac{1.94180+1.2}{1.94180+1.2+4*5.14285} = 0.1324917$$

$$C_{m3} = \frac{1.94180+1.94180}{1.94180+1.94180+4*6.24152} = 0.1346154$$

$$C_{m2} = \frac{1.94180+1.94180}{1.94180+1.94180+4*7.48982} = 0.1147541$$

Kekakuan tingkat dasar dengan menggunakan persamaan 3.17), maka

$$C_{m1} = \frac{1.94180+0.5*7.48982}{1.94180+2*7.48982} = 0.33607$$

e. Koefisien kekakuan kolom tengah

Dengan menggunakan persamaan 3.16), maka

$$C_{m6} = \frac{2(1+1)}{2(1+1)+4*4.62857} = 0.1776650$$

$$C_{m5} = \frac{2(1.2+1)}{2(1.2+1)+4*4.62852} = 0.1920200$$

$$C_{m4} = \frac{2(1.94180+1.2)}{2(1.94180+1.2)+4*6.86567} = 0.1862015$$

$$C_{m3} = \frac{2(1.94180+1.94180)}{2(1.94180+1.94180)+4*6.86567} = 0.2204724$$

$$C_{m2} = \frac{2(1.94180+1.94180)}{2(1.94180+1.94180)+4*12.4416} = 0.1350033$$

Kekakuan tingkat dasar dengan menggunakan persamaan 3.17), maka

$$C_{m1} = \frac{1.94180 + 1.94180 + 0.5 * 12.4416}{1.94180 + 1.94180 + 2 * 12.4416} = 0.3512525$$

f. Kekakuan kolom jepit-jepit

Dengan menggunakan persamaan 3.11), maka

$$k_{cA1,2} = \frac{12 * 200000 * 2560000}{350^3} = 143300.2915452 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cB1,2} = \frac{12 * 200000 * 4252500}{350^3} = 238040.8163265 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cA3} = \frac{12 * 200000 * 2133333.33333}{350^3} = 119416.9096210 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cB3} = \frac{12 * 200000 * 2346666.66667}{350^3} = 131358.6005831 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cA4} = \frac{12 * 200000 * 1757812.5}{350^3} = 98396.5014577 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cB4} = \frac{12 * 200000 * 2346666.66667}{350^3} = 131358.6005831 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cA5,6} = \frac{12 * 200000 * 1406250}{350^3} = 78717.2011662 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cB5,6} = \frac{12 * 200000 * 1582031.25}{350^3} = 88556.8513120 \text{ kg/cm}$$

g. Kekakuan kolom

Kekakuan total kolom Jepit dan Muto,

$$K_{j1} = (143300.2915452 * 2) + 238040.8163265 = 524641.39941691 \text{ kg/cm}$$

$$K_{m1} = (143300.2915452 * 0.3360656) * 2 + 238040.8163265 * 0.3512525$$

$$= 179929.014567052 \text{ kg/cm}$$

$$K_{j2} = (143300.2915452 * 2) + 238040.8163265 = 524641.39941691 \text{ kg/cm}$$

$$K_{m2}=(143300.2915452*0.1147541)*2 + 238040.8163265*0.1350033$$

$$=179929.014567052 \text{ kg/cm}$$

$$K_{j3}=(119416.909620991*2) + 131358.60058309 = 370192.419825073 \text{ kg/cm}$$

$$K_{m3}=(119416.909620991*0.1346154)*2 + 131358.60058309*0.2204724$$

$$=61111.6577460784 \text{ kg/cm}$$

$$K_{j4}=(98396.5014577259*2) + 131358.60058309 = 328151.603498542 \text{ kg/cm}$$

$$K_{m4}=(98396.5014577259*0.1324917)*2 + 131358.60058309*0.1862015$$

$$=50532.6098043017 \text{ kg/cm}$$

$$K_{j5}=(78717.2011661808*2)+88556.8513119534 = 245991.253644315 \text{ kg/cm}$$

$$K_{m5}=(78717.2011661808*0.1179173)*2 + 88556.8513119534*0.1920200$$

$$=35568.922569658 \text{ kg/cm}$$

$$K_{j6}=(78717.2011661808*2)+88556.8513119534 = 245991.253644315 \text{ kg/cm}$$

$$K_{m6}=(78717.2011661808*0.1083591)*2 + 88556.8513119534*0.1776650$$

$$= 32792.9061017942 \text{ kg/cm}$$

Selengkapnya hasil perhitungan kekakuan struktur disajikan dalam tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5.2 Hasil Perhitungan Kekakuan pada struktur 6 lantai

Tingkat	Kekakuan Jepit (kg/cm)	Kekakuan Muto (kg/cm)	Km/Kf (%)
1	524641.3994	179929.0146	34.295
2	524641.3994	65024.8863	12.394
3	370192.4198	61111.6577	16.508
4	328151.6035	50532.6098	15.399
5	245991.2536	35568.9226	14.459
6	245991.2536	32792.9061	13.331

2. Struktur 12 lantai

Seperti pada struktur 6 lantai, massa struktur 12 lantai juga diambil dari Tugas Akhir Joni Irawan. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Perhitungan massa struktur 12 lantai

Tingkat	Massa (kg.det ² /cm)
1,2,3,4	100.38139
5,6,7,8,9	97.27216
10,11	93.75739
12	60.59232

a. Momen Inersia dan I/L balok

$$I_{b1,2,3} = \frac{1}{12} * 45 * 80^3 = 1920000 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{b1,2,3}}{L} = \frac{1920000}{900} = 2133.33333 \text{ cm}^3$$

$$I_{b4,5,6} = \frac{1}{12} * 40 * 80^3 = 1706666.66667 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{b4,5,6}}{L} = \frac{1706666.66667}{900} = 1896.29629 \text{ cm}^3$$

$$I_{b7,8,9} = \frac{1}{12} * 30 * 75^3 = 1054687.5 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{b7,8,9}}{L} = \frac{1054687.5}{900} = 1171.875 \text{ cm}^3$$

$$I_{b10,11,12} = \frac{1}{12} * 25 * 75^3 = 878906.25 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{b10,11,12}}{L} = \frac{878906.25}{900} = 976.5625 \text{ cm}^3$$

b. Momen Inersia dan I/L kolom

$$I_{cA1,2} = \frac{1}{12} * 75 * 85^3 = 3838281.25 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cA1,2}}{h} = \frac{3838281.25}{350} = 10966.51785 \text{ cm}^3$$

$$I_{cB1,2} = \frac{1}{12} * 80 * 100^3 = 6666666.66667 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cB1,2}}{h} = \frac{6666666.66667}{350} = 19047.61904 \text{ cm}^3$$

$$I_{cA3} = \frac{1}{12} * 65 * 85^3 = 3326510.41666 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cA3}}{h} = \frac{3326510.41666}{350} = 9504.31547 \text{ cm}^3$$

$$I_{cB3} = \frac{1}{12} * 70 * 90^3 = 4252500 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cB3}}{h} = \frac{4252500}{350} = 12150 \text{ cm}^3$$

$$I_{cA4,5} = \frac{1}{12} * 65 * 80^3 = 2773333.33333 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cA4,5}}{h} = \frac{2773333.33333}{350} = 7923.80952 \text{ cm}^3$$

$$I_{cB4,5} = \frac{1}{12} * 70 * 90^3 = 4252500 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cB4,5}}{h} = \frac{4252500}{350} = 12150 \text{ cm}^3$$

$$I_{cA6} = \frac{1}{12} * 60 * 80^3 = 2560000 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cA6}}{h} = \frac{2560000}{350} = 7314.28571 \text{ cm}^3$$

$$I_{cB6} = \frac{1}{12} * 65 * 90^3 = 3948750 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cB6}}{h} = \frac{3948750}{350} = 11282.14285 \text{ cm}^3$$

$$I_{cA7} = \frac{1}{12} * 60 * 80^3 = 2560000 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cA7}}{h} = \frac{2560000}{350} = 7314.28571 \text{ cm}^3$$

$$I_{cB7} = \frac{1}{12} * 65 * 85^3 = 3326510.41666 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cB7}}{h} = \frac{3326510.41666}{350} = 9504.31547 \text{ cm}^3$$

$$I_{cA8} = \frac{1}{12} * 60 * 75^3 = 2109375 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cA8}}{h} = \frac{2109375}{350} = 6026.78571 \text{ cm}^3$$

$$I_{cB8} = \frac{1}{12} * 65 * 85^3 = 3326510.41666 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cB8}}{h} = \frac{3326510.41666}{350} = 9504.31547 \text{ cm}^3$$

$$I_{cA9} = \frac{1}{12} * 50 * 75^3 = 1757812.5 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cA9}}{h} = \frac{1757812.5}{350} = 5022.32142 \text{ cm}^3$$

$$I_{cB9} = \frac{1}{12} * 55 * 85^3 = 2814739.58333 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cB9}}{h} = \frac{2814739.58333}{350} = 8042.11309 \text{ cm}^3$$

$$I_{cA10} = \frac{1}{12} * 50 * 75^3 = 1757812.5 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cA10}}{h} = \frac{1757812.5}{350} = 5022.32142 \text{ cm}^3$$

$$I_{cB10} = \frac{1}{12} * 45 * 80^3 = 1920000 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cB10}}{h} = \frac{1920000}{350} = 5485.71428 \text{ cm}^3$$

$$I_{cA11,12} = \frac{1}{12} * 40 * 75^3 = 1406250 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cA11,12}}{h} = \frac{1406250}{350} = 4017.85714 \text{ cm}^3$$

$$I_{cB11,12} = \frac{1}{12} * 45 * 80^3 = 1920000 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{cB11,12}}{h} = \frac{1920000}{350} = 5485.71428 \text{ cm}^3$$

c. Koefisien k

Apabila diambil nilai $K = 976.56253 \text{ cm}^3$, maka

$$k_{b1,2,3} = 2.18453$$

$$k_{b4,5,6} = 1.94180$$

$$k_{b7,8,9} = 1.2$$

$$k_{b10,11,12} = 1$$

$$k_{cA1,2} = 11.22971$$

$$k_{cB1,2} = 19.50476$$

k_{cA3}	= 9.73241
k_{cB3}	= 12.4416
$k_{cA4,5}$	= 8.11398
$k_{cB4,5}$	= 12.4416
k_{cA6}	= 7.48982
k_{cB6}	= 11.55291
k_{cA7}	= 7.48982
k_{cB7}	= 9.73241
k_{cA8}	= 6.17142
k_{cB8}	= 9.73241
k_{cA9}	= 5.14285
k_{cB9}	= 8.23512
k_{cA10}	= 5.14285
k_{cB10}	= 5.61737
$k_{cA11,12}$	= 4.11428
$k_{cB11,12}$	= 5.61737

d. Koefisien kekakuan kolom tepi

Dengan menggunakan persamaan 3.15), maka

$$C_{m12} = \frac{1+1}{1+1+4*4.11428} = 0.1083591$$

$$C_{m11} = \frac{1+1}{1+1+4*4.11428} = 0.1083591$$

$$C_{m10} = \frac{1+1.2}{1+1.2+4*5.14285} = 0.0966123$$

$$C_{m9} = \frac{1.2 + 1.2}{1.2 + 1.2 + 4 * 5.14285} = 0.1044776$$

$$C_{m8} = \frac{1.2 + 1.2}{1.2 + 1.2 + 4 * 6.17142} = 0.0886076$$

$$C_{m7} = \frac{1.2 + 1.94180}{1.2 + 1.94180 + 4 * 7.48982} = 0.0949154$$

$$C_{m6} = \frac{1.94180 + 1.94180}{1.94180 + 1.94180 + 4 * 7.48982} = 0.1147541$$

$$C_{m5} = \frac{1.94180 + 1.94180}{1.94180 + 1.94180 + 4 * 8.11398} = 0.1068702$$

$$C_{m4} = \frac{1.94180 + 2.18453}{1.94180 + 2.18453 + 4 * 8.11398} = 0.1127962$$

$$C_{m3} = \frac{2.18453 + 2.18453}{2.18453 + 2.18453 + 4 * 9.73241} = 0.1009052$$

$$C_{m2} = \frac{2.18453 + 2.18453}{2.18453 + 2.18453 + 4 * 9.73241} = 0.0886438$$

Kekakuan tingkat dasar dengan menggunakan persamaan 3.17), maka

$$C_{m1} = \frac{2.18453 + 0.5 * 11.22971}{2.18453 + 2 * 11.22971} = 0.3164828$$

e. Koefisien kekakuan kolom tengah

Dengan menggunakan persamaan 3.16), maka

$$C_{m12} = \frac{2(1+1)}{2(1+1) + 4 * 5.61737} = 0.1511174$$

$$C_{m11} = \frac{2(1+1)}{2(1+1) + 4 * 5.61737} = 0.1511174$$

$$C_{m10} = \frac{2(1+1.2)}{2(1+1.2) + 4 * 5.61737} = 0.1637545$$

$$C_{m9} = \frac{2(1.2+1.2)}{2(1.2+1.2)+4*8.23512} = 0.1271843$$

$$C_{m8} = \frac{2(1.2+1.2)}{2(1.2+1.2)+4*9.73241} = 0.1097653$$

$$C_{m7} = \frac{2(1.2+1.94180)}{2(1.2+1.94180)+4*9.73241} = 0.1389772$$

$$C_{m6} = \frac{2(1.94180+1.94180)}{2(1.94180+1.94180)+4*11.55291} = 0.1438938$$

$$C_{m5} = \frac{2(1.94180+1.94180)}{2(1.94180+1.94180)+4*12.4416} = 0.1350033$$

$$C_{m4} = \frac{2(1.94180+2.18453)}{2(1.94180+2.18453)+4*12.4416} = 0.1422408$$

$$C_{m3} = \frac{2(2.18453+2.18453)}{2(2.18453+2.18453)+4*12.4416} = 0.1493582$$

$$C_{m2} = \frac{2(2.18453+2.18453)}{2(2.18453+2.18453)+4*19.50476} = 0.1007194$$

Kekakuan tingkat dasar dengan menggunakan persamaan 3.17), maka

$$C_{m1} = \frac{2.18453+2.18453+0.5*19.50476}{2.18453+2.18453+2*19.50476} = 0.1007194$$

f. Kekakuan kolom jepit-jepit

Dengan menggunakan persamaan 3.11), maka

$$k_{cA1,2} = \frac{12*200000*3838281.25}{350^3} = 214854.2274052 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cB1,2} = \frac{12*200000*6666666.66667}{350^3} = 373177.8425656 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cA3} = \frac{12*200000*3326510.41666}{350^3} = 186206.9970845 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cB3} = \frac{12 * 200000 * 4252500}{350^3} = 238040.8163265 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cA4,5} = \frac{12 * 200000 * 2773333.33333}{350^3} = 155241.9825073 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cB4,5} = \frac{12 * 200000 * 4252500}{350^3} = 238040.8163265 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cA6} = \frac{12 * 200000 * 2560000}{350^3} = 143300.2915452 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cB6} = \frac{12 * 200000 * 3948750}{350^3} = 221037.9008746 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cA7} = \frac{12 * 200000 * 2560000}{350^3} = 143300.2915452 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cB7} = \frac{12 * 200000 * 3326510.41666}{350^3} = 186206.9970845 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cA8} = \frac{12 * 200000 * 2109375}{350^3} = 118075.8017493 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cB8} = \frac{12 * 200000 * 3326510.41666}{350^3} = 186206.9970845 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cA9} = \frac{12 * 200000 * 1757812.5}{350^3} = 98396.5014577 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cB9} = \frac{12 * 200000 * 2814739.58333}{350^3} = 157559.7667638 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cA10} = \frac{12 * 200000 * 1757812.5}{350^3} = 98396.5014577 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cB10} = \frac{12 * 200000 * 1920000}{350^3} = 107475.2186589 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cA11,12} = \frac{12 * 200000 * 1406250}{350^3} = 78717.2011662 \text{ kg/cm}$$

$$k_{eB11,12} = \frac{12 * 200000 * 1920000}{350^3} = 107475.2186589 \text{ kg/cm}$$

g. Kekakuan kolom

Kekakuan total kolom Jepit dan Muto,

$$K_{j1} = (214854.227405248 * 2) + 373177.842565598 = 802886.297376093 \text{ kg/cm}$$

$$K_{m1} = (214854.227405248 * 0.3164828) * 2 + 373177.842565598 * 0.3255396 \\ = 257479.495886875 \text{ kg/cm}$$

$$K_{j2} = (214854.227405248 * 2) + 373177.842565598 = 802886.297376093 \text{ kg/cm}$$

$$K_{m2} = (214854.227405248 * 0.0886438) * 2 + 373177.842565598 * 0.1007194 \\ = 75677.2287238015 \text{ kg/cm}$$

$$K_{j3} = (186206.997084548 * 2) + 238040.816326531 = 610454.810495627 \text{ kg/cm}$$

$$K_{m3} = (186206.997084548 * 0.1009052) * 2 + 238040.816326531 * 0.1009052 \\ = 73131.8485798792 \text{ kg/cm}$$

$$K_{j4} = (155241.982507289 * 2) + 238040.816326531 = 548524.781341108 \text{ kg/cm}$$

$$K_{m4} = (155241.982507289 * 0.1127962) * 2 + 238040.816326531 * 0.1422408 \\ = 68880.5339695526 \text{ kg/cm}$$

$$K_{j5} = (155241.982507289 * 2) + 238040.816326531 = 548524.781341108 \text{ kg/cm}$$

$$K_{m5} = (155241.982507289 * 0.1068702) * 2 + 238040.816326531 * 0.1350033 \\ = 65317.7872258969 \text{ kg/cm}$$

$$K_{j6} = (143300.29154519 * 2) + 221037.900874636 = 507638.483965015 \text{ kg/cm}$$

$$K_{m6} = (143300.29154519 * 0.1147541) * 2 + 221037.900874636 * 0.1438938 \\ = 64694.5852082118 \text{ kg/cm}$$

$$K_{j7} = (143300.29154519 * 2) + 186206.997084548 = 472807.580174927 \text{ kg/cm}$$

$$K_{m7} = (143300.29154519 * 0.0949154) * 2 + 186206.997084548 * 0.1389772$$

$$=53081.339164727 \text{ kg/cm}$$

$$K_{j8}=(118075.801749271*2) + 186206.997084548 = 422358.60058309 \text{ kg/cm}$$

$$K_{m8}=(118075.801749271* 0.0886076)*2 + 186206.997084548 *0.1097653$$

$$=41363.8881548989\text{kg/cm}$$

$$K_{j9}=(98396.5014577259 *2) + 157559.766763848 = 354352.7696793 \text{ kg/cm}$$

$$K_{m9}=(98396.5014577259 *0.1044776)*2 + 157559.766763848 *0.1271843$$

$$=40599.5980288827 \text{ kg/cm}$$

$$K_{j10}=(98396.5014577259*2)+107475.218658892 = 304268.221574344 \text{ kg/cm}$$

$$K_{m10}=(98396.5014577259 *0.0966123)*2 + 107475.218658892 *0.1637545$$

$$=36612.1777703215 \text{ kg/cm}$$

$$K_{j11}=(78717.2011661808*2)+107475.218658892 = 264909.620991254 \text{ kg/cm}$$

$$K_{m11}=(78717.2011661808 *0.1083591)*2 + 107475.218658892 *0.1511174$$

$$=33300.8315357543 \text{ kg/cm}$$

$$K_{j12}=(78717.2011661808*2)+107475.218658892 = 264909.620991254 \text{ kg/cm}$$

$$K_{m12}=(78717.2011661808 * 0.1083591)*2 + 107475.218658892 * 0.1511174$$

$$= 33300.8315357543 \text{ kg/cm}$$

Selengkapnya hasil perhitungan kekakuan struktur disajikan dalam tabel

5.4 berikut ini.

Tabel 5.4 Hasil perhitungan kekakuan pada struktur 12 lantai

Tingkat	Kekakuan Jepit (kg/cm)	Kekakuan Muto (kg/cm)	Km/Kf (%)
1	802886.2974	257479.4959	32.069
2	802886.2974	75677.2287	9.426
3	610454.8105	73131.8486	11.980
4	548524.7813	68880.5340	12.557
5	548524.7813	65317.7872	11.908
6	507638.4840	64694.5852	12.744
7	472807.5802	53081.3392	11.227
8	422358.6006	41363.8882	9.794
9	354352.7697	40599.5980	11.457
10	304268.2216	36612.1778	12.033
11	264909.6210	33300.8315	12.571
12	264909.6210	33300.8315	12.571

3. Struktur 18 lantai

Seperti pada struktur 6 lantai dan struktur 12 lantai, massa struktur 18 lantai juga diambil dari Tugas Akhir Joni Irawan. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 5.5

Perhitungan kekakuan Jepit dan kekakuan Muto pada struktur 18 lantai seperti pada struktur 6 lantai dan struktur 12 lantai. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 5.6.

Tabel 5.5 Hasil perhitungan massa struktur 18 lantai

Tingkat	Massa (kg.det ² /cm)
1,2,3,4,5,6	136.20506
7,8,9,10,11	129.716245
12,13,14,15,16,17	122.145959
18	80.3294280

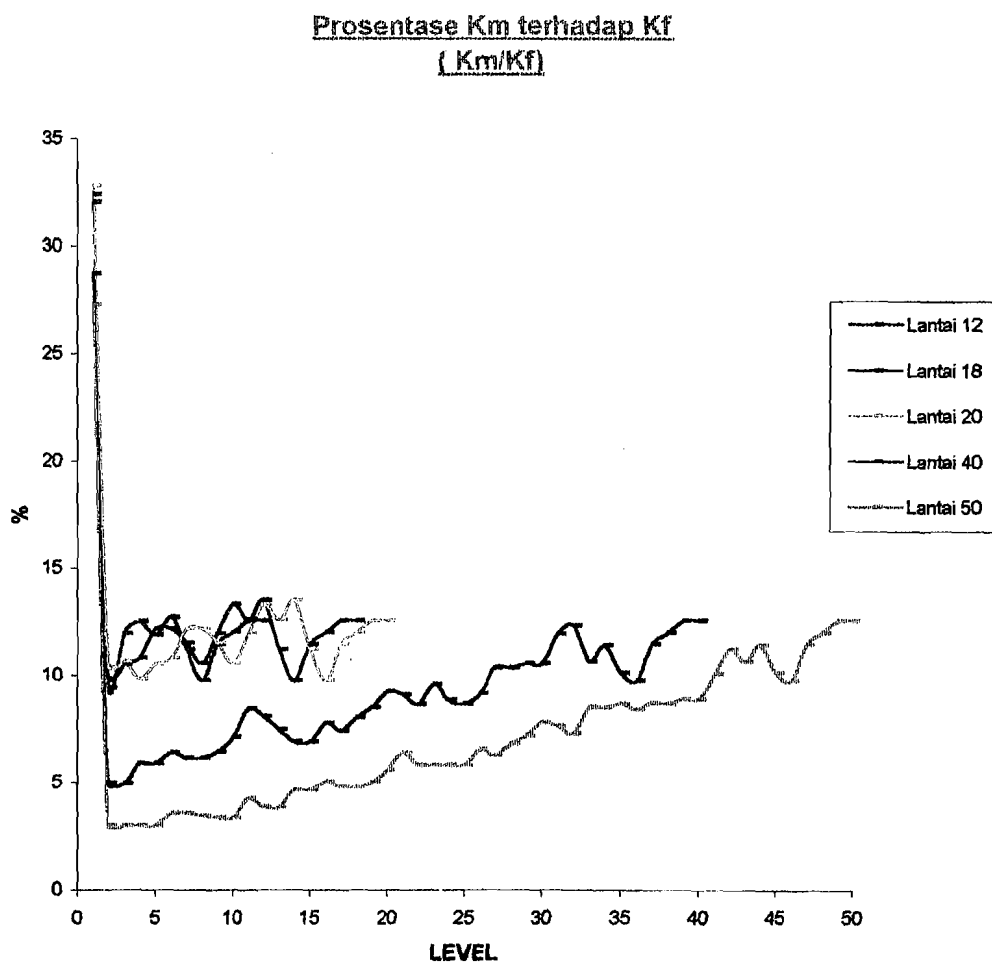
Tabel 5.6 Hasil perhitungan kekakuan pada struktur 18 lantai

Tingkat	Kekakuan Jepit (kg/cm)	Kekakuan Muto (kg/cm)	Km/Kf (%)
1	915708.4548	296681.9380	32.399
2	915708.4548	90339.7658	9.866
3	849533.5277	89679.6748	10.556
4	826209.9125	89400.4033	10.821
5	718758.0175	87617.7352	12.190
6	718758.0175	87617.7352	12.190
7	701755.1020	80843.5085	11.520
8	701755.1020	74320.7268	10.591
9	610454.8105	73131.8486	11.980
10	511014.5773	68002.9989	13.307
11	511014.5773	64526.2381	12.627
12	472807.5802	63860.9328	13.507
13	472807.5802	53081.3392	11.227
14	422358.6006	41363.8882	9.794
15	354352.7697	40599.5980	11.457
16	304268.2216	36612.1778	12.033
17	264909.6210	33300.8315	12.571
18	264909.6210	33300.8315	12.571

4. Struktur 20 lantai sampai 50 lantai

Untuk massa struktur 20 lantai sampai dengan 50 lantai juga diambil dari Tugas Akhir Joni Irawan. dan dicantumkan di dalam program ini.

Untuk perhitungan kekakuan Jepit dan kekakuan Muto pada struktur 20 lantai sampai 50 lantai sama seperti perhitungan pada struktur 6 lantai, 12 lantai, dan hasilnya dicantumkan didalam program ini.



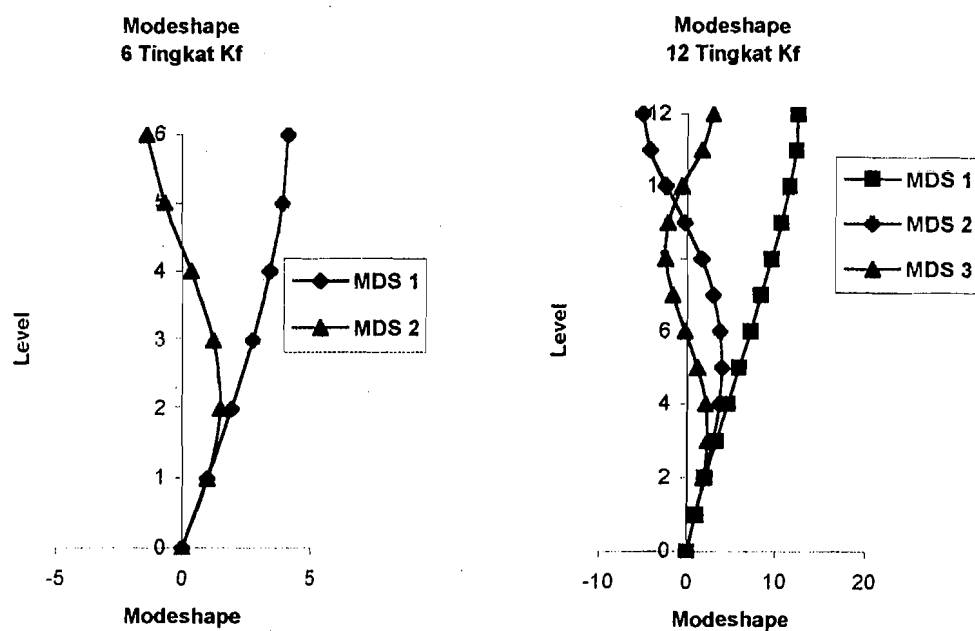
Gambar 5.1 Prosentase Km terhadap Kf

Prosentase K_m terhadap K_f apabila kita amati salah satu pada suatu Struktur yaitu Struktur 50 tingkat terlihat grafiknya semakin naik disebabkan karena dimensi kolom paling bawah untuk masing-masing Tinggi Bangunan berbeda yaitu dimensi kolom semakin besar sedangkan dimensi balok relatif konstan sehingga pengekanan pada joint semakin keatas semakin besar.

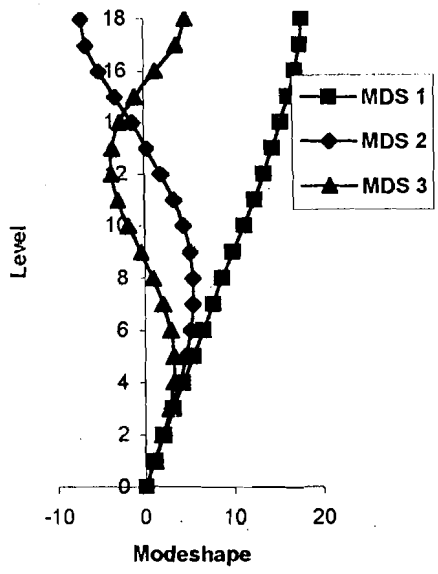
Berikut dibawah ini hasil perhitungan-perhitungan *modeshape*, *modal story drift*, *modal lateral displacement*, *modal seismic force*, *modal shear force*, *modal overtuning moment*, dan *modal effective height* untuk struktur 6, 12, 18, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 tingkat cara Shear building dan cara Muto.

5.3 Modeshape

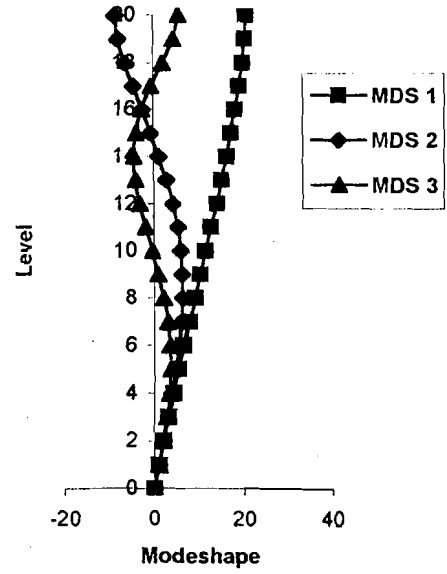
5.3.1 Untuk Struktur dengan cara SHEAR BUILDING



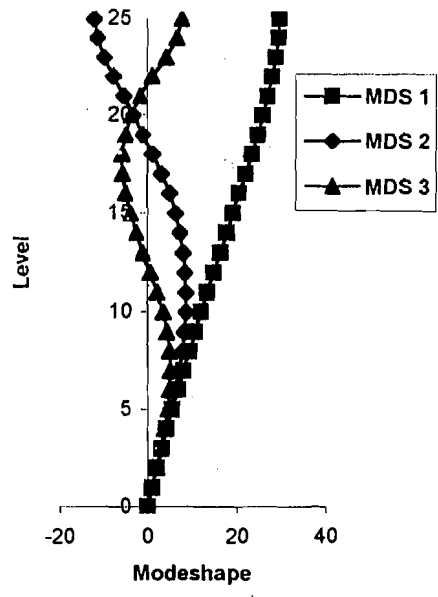
Modeshape
18 Tingkat Kf



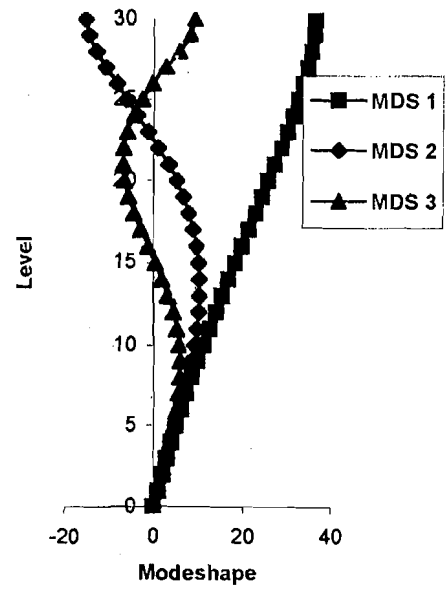
Modeshape
20 Tingkat Kf

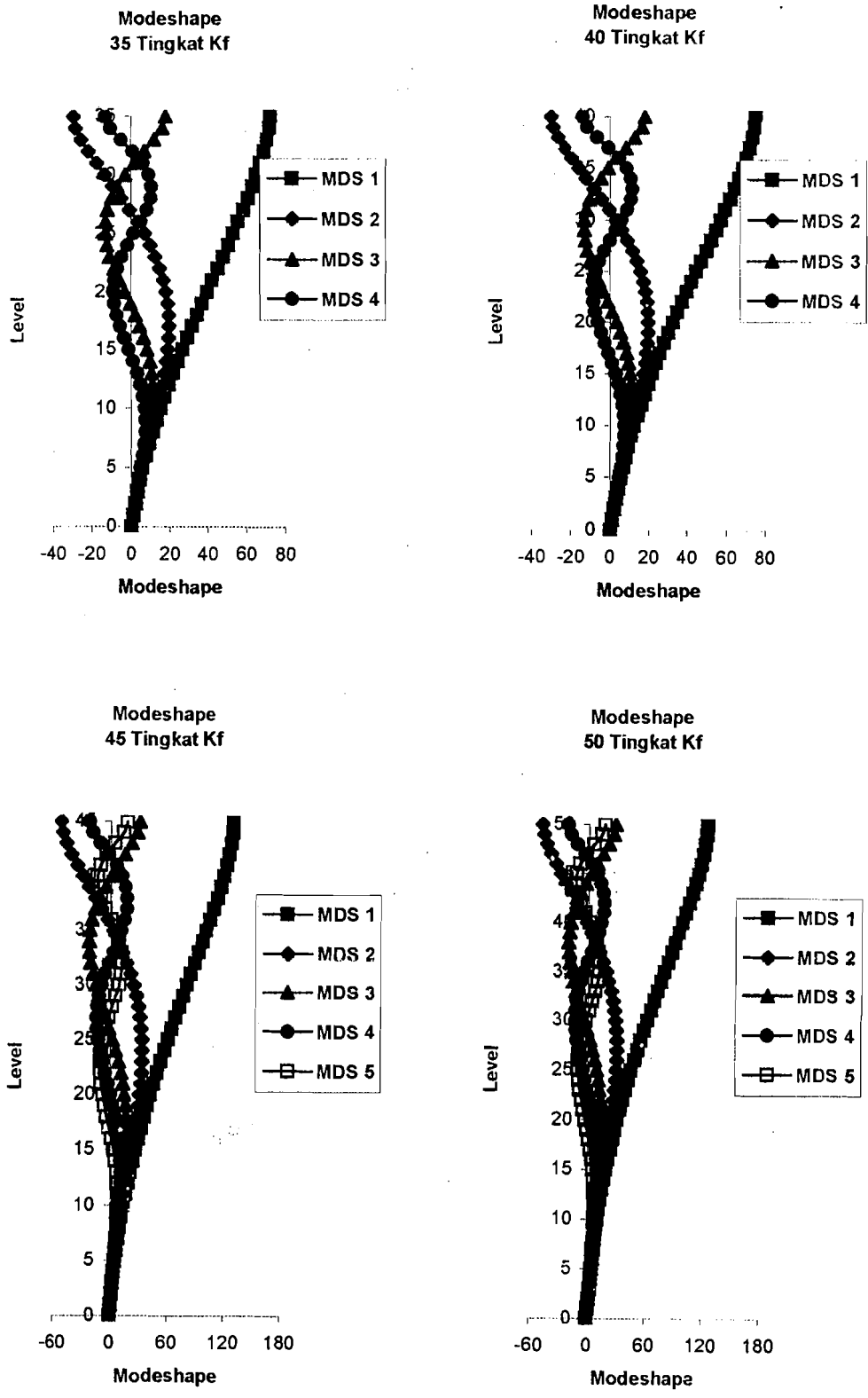


Modeshape
25 Tingkat Kf



Modeshape
30 Tingkat Kf

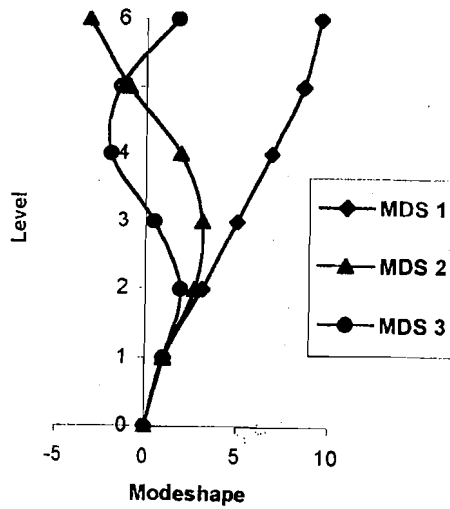




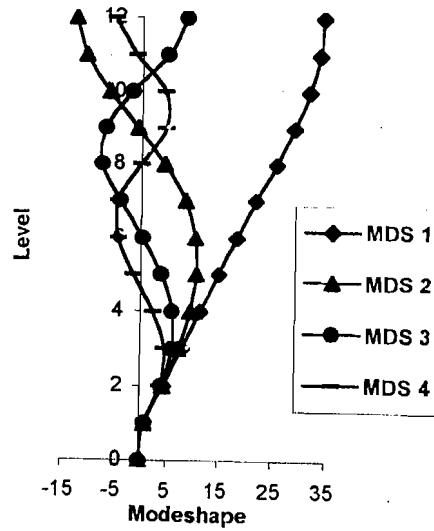
Gambar 5.2 Modeshape untuk Shear Building

5.3.2 Untuk Struktur dengan cara MUTO

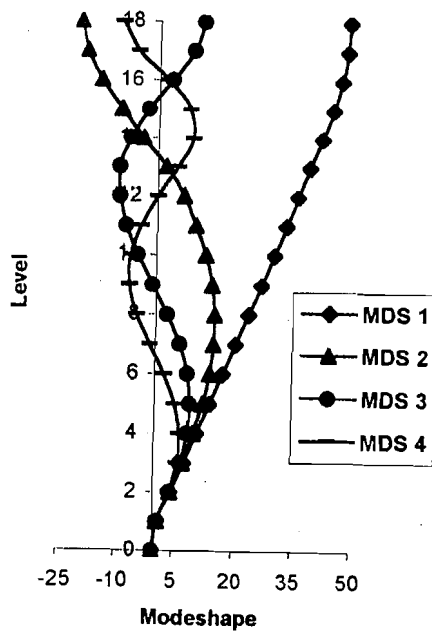
Modeshape
6 Tingkat Km



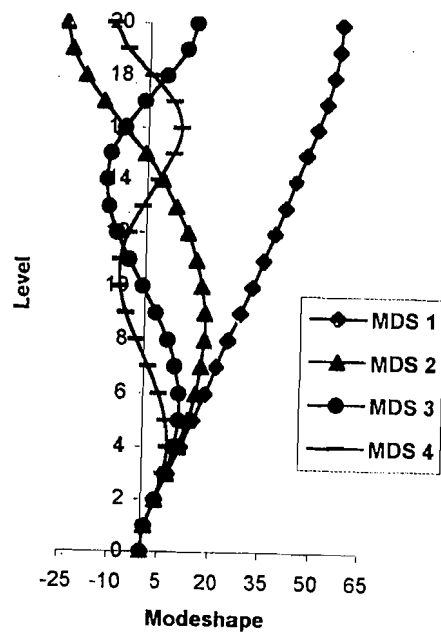
Modeshape
12 Tingkat Km



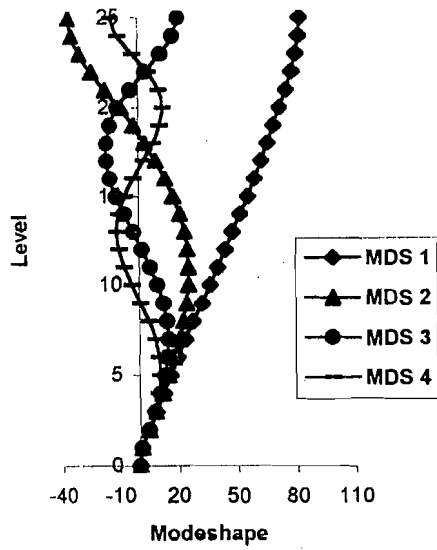
Modeshape
18 Tingkat Km



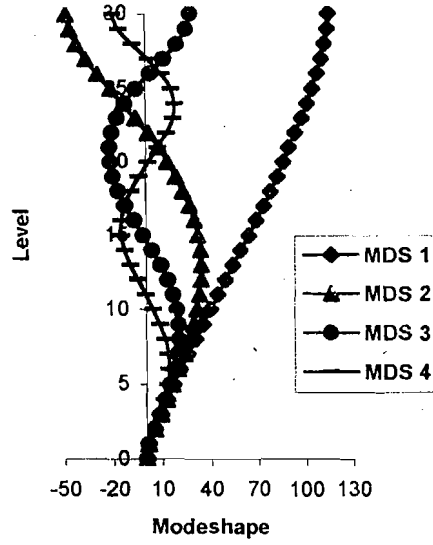
Modeshape
20 Tingkat Km



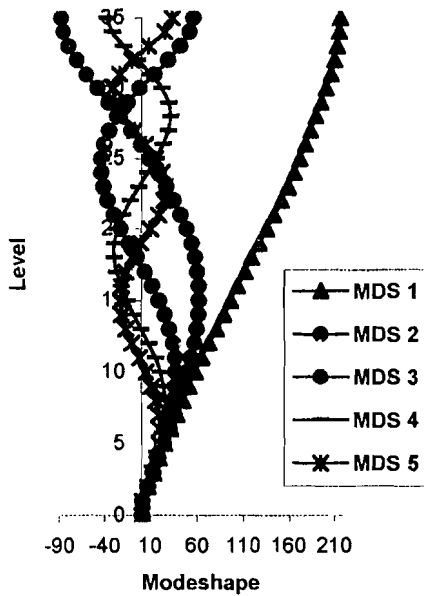
Modeshape
25 Tingkat Km



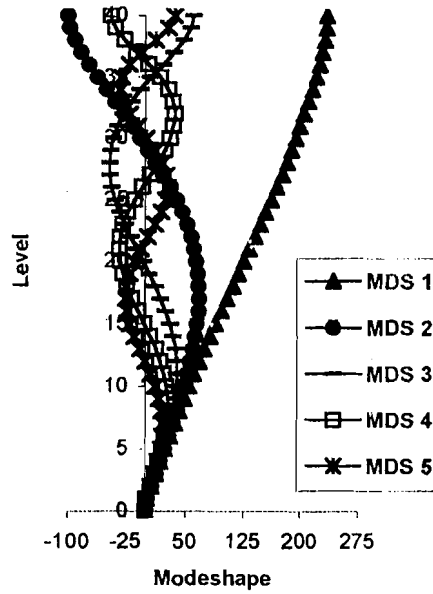
Modeshape
30 Tingkat Km

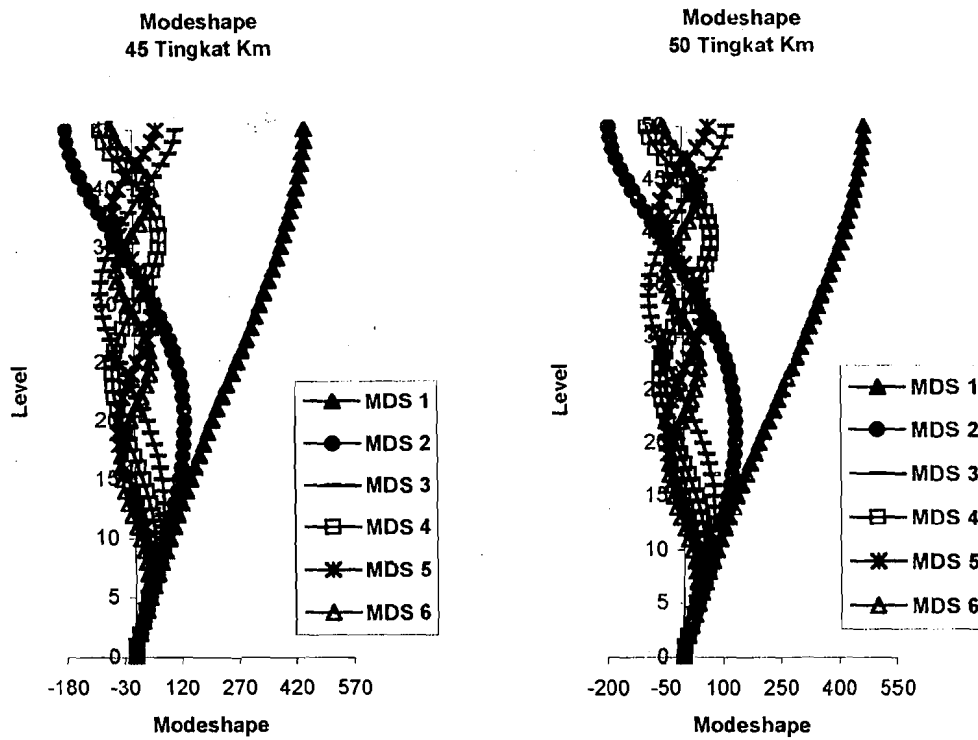


Modeshape
35 Tingkat Km



Modeshape
40 Tingkat Km





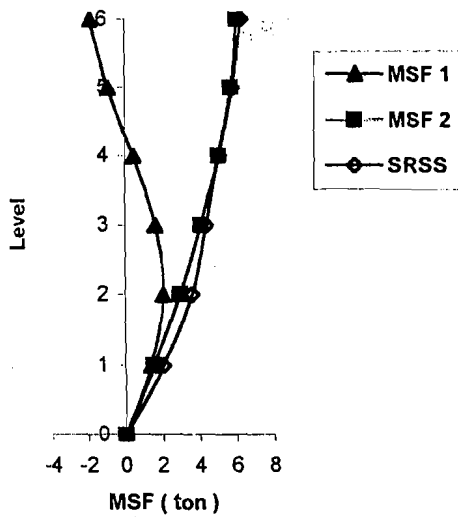
Gambar 5.3 Modeshape untuk Muto

Dari gambar modeshape diatas terlihat bahwa mode yang lebih tinggi ternyata justru hanya mempunyai pengaruh yang lebih kecil terhadap respon struktur apabila dibandingkan dengan pengaruh mode yang lebih rendah.

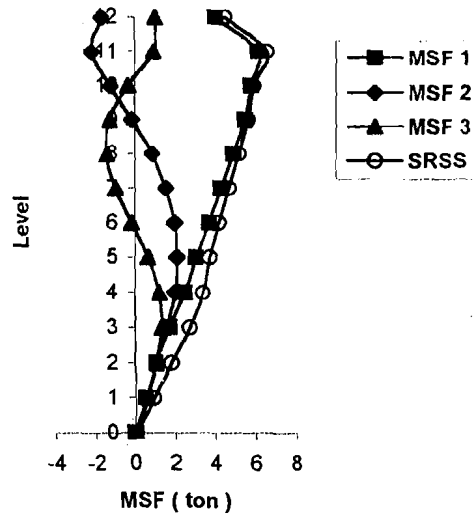
5.4 Modal Seismic Force

5.4.1 Untuk Struktur dengan cara SHEAR BUILDING

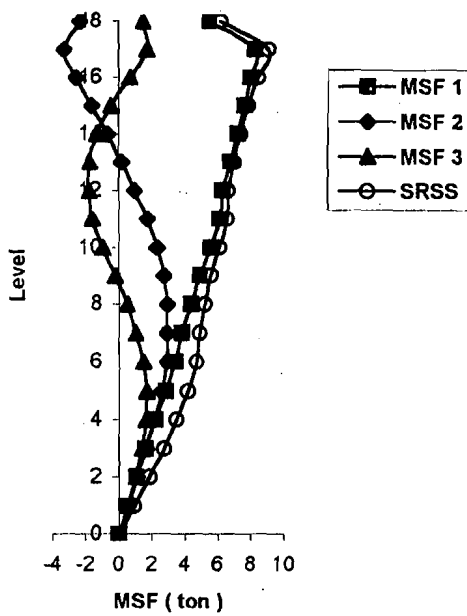
Modal Seismic Force
6 Tingkat Kf



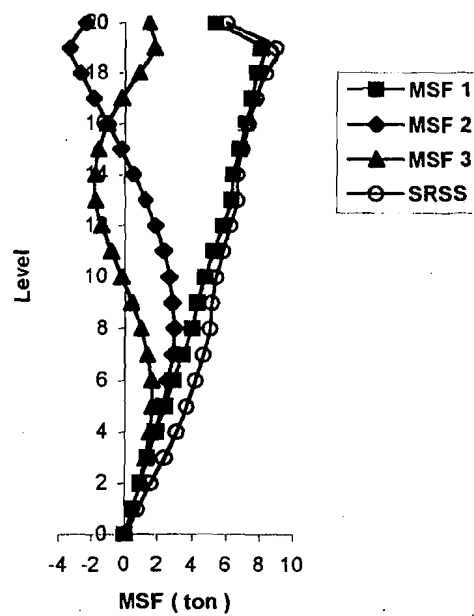
Modal Seismic Force
12 Tingkat Kf



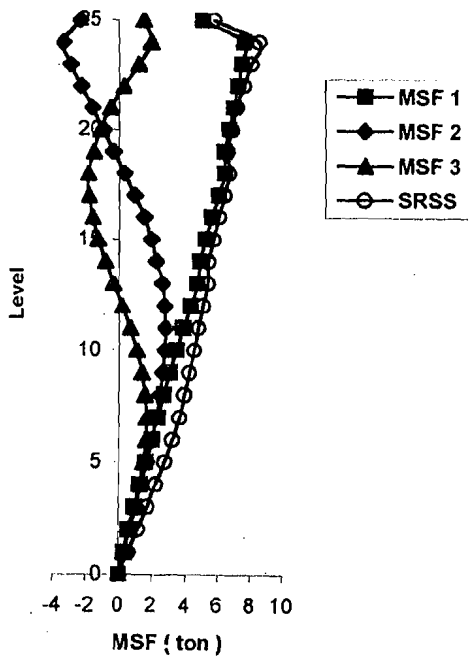
Modal Seismic Force
18 Tingkat Kf



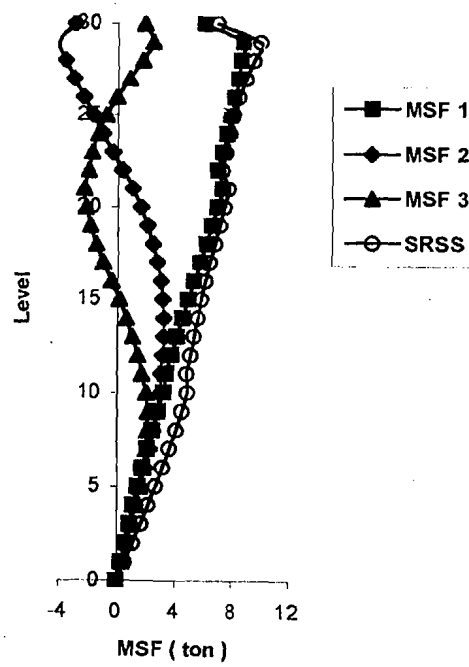
Modal Seismic Force
20 Tingkat Kf



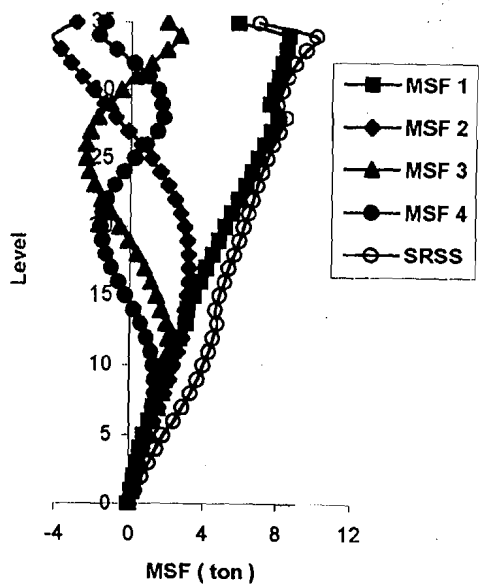
Modal Seismic Force
25 Tingkat Kf



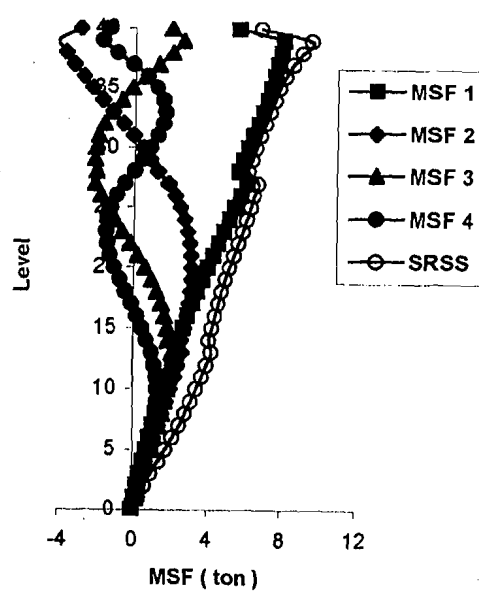
Modal Seismic Force
30 Tingkat Kf

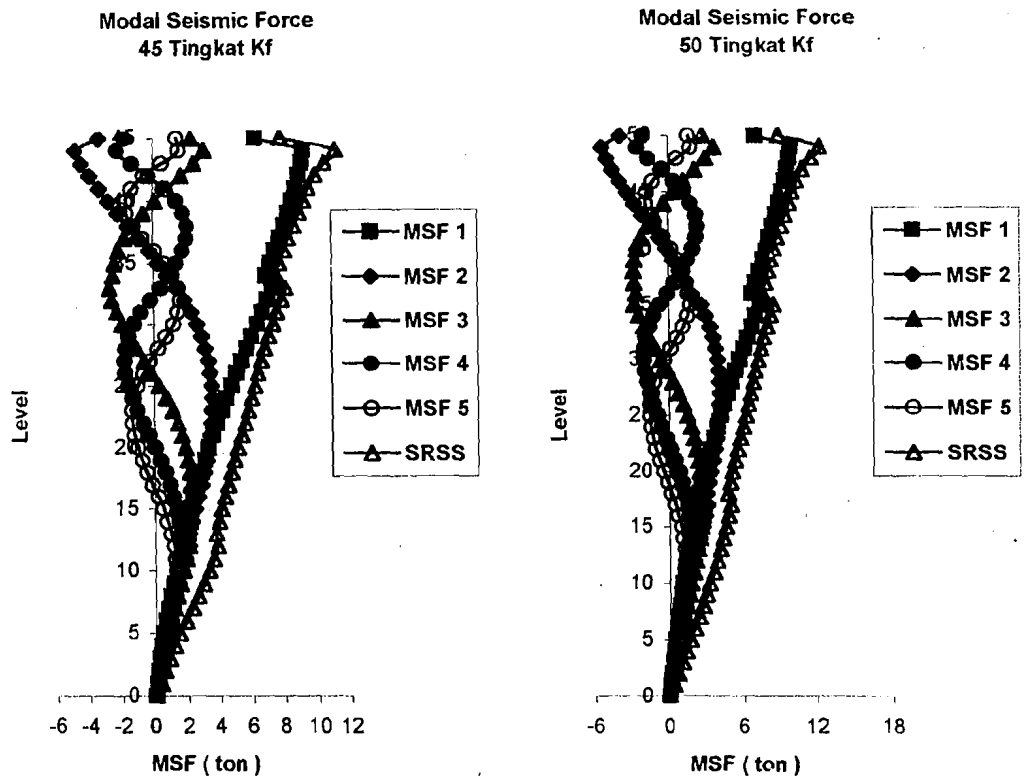


Modal Seismic Force
35 Tingkat Kf



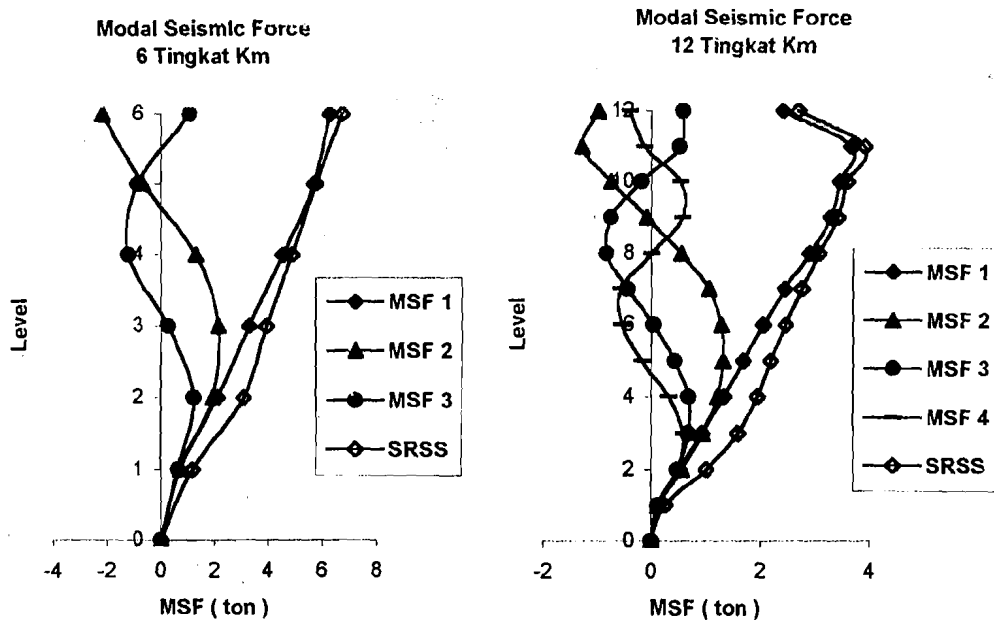
Modal Seismic Force
40 Tingkat Kf



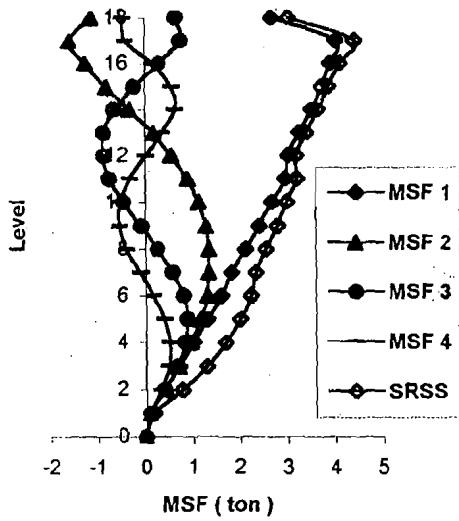


Gambar 5.4 Modal Seismic Force untuk Shear Building

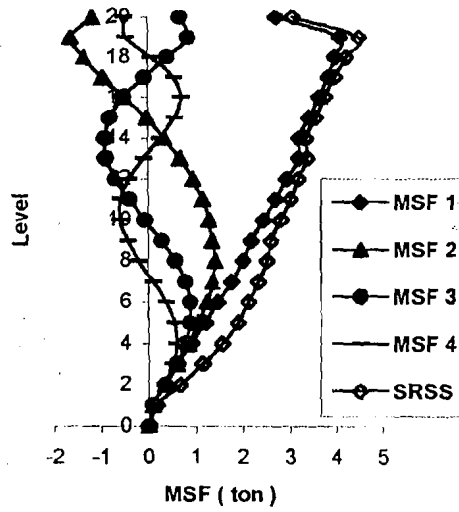
5.4.2 Untuk Struktur dengan cara MUTO



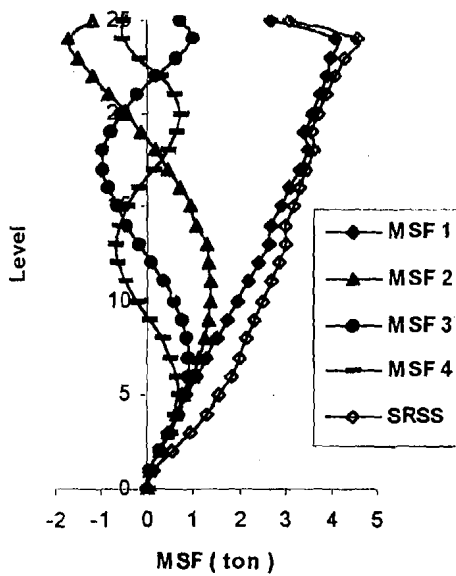
Modal Seismic Force
18 Tingkat Km



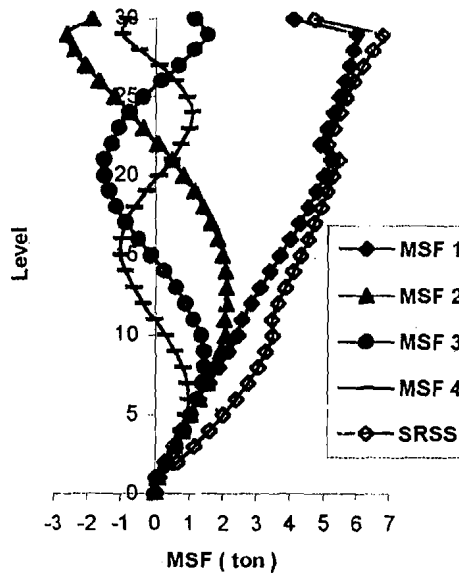
Modal Seismic Force
20 Tingkat Km



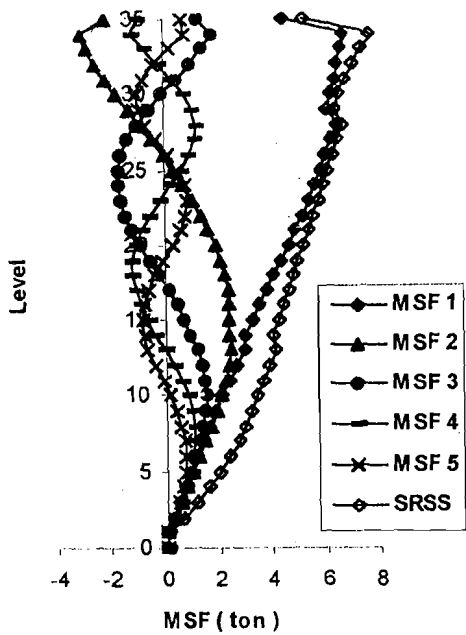
Modal Seismic Force
25 Tingkat Km



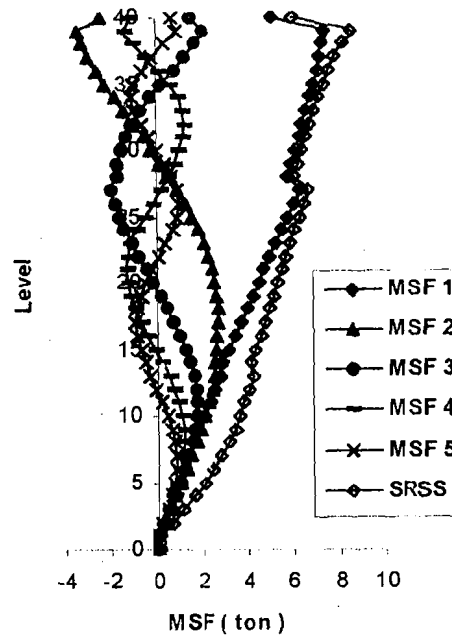
Modal Seismic Force
30 Tingkat Km



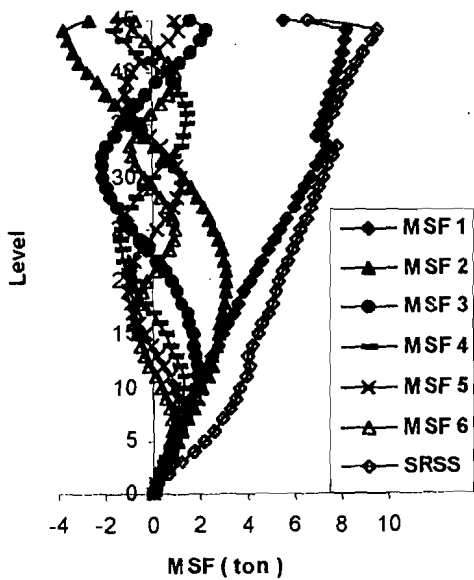
Modal Seismic Force
35 Tingkat Km



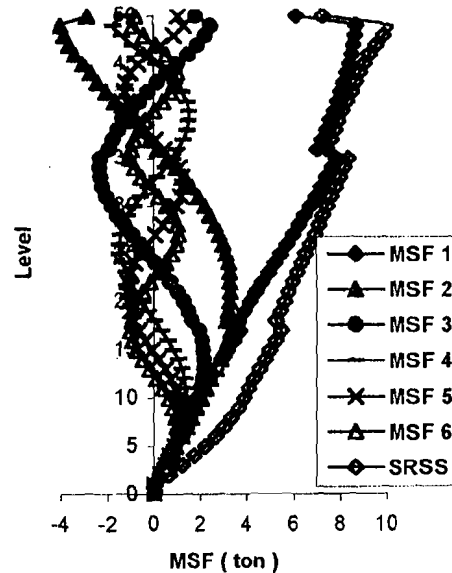
Modal Seismic Force
40 Tingkat Km



Modal Seismic Force
45 Tingkat Km



Modal Seismic Force
50 Tingkat Km

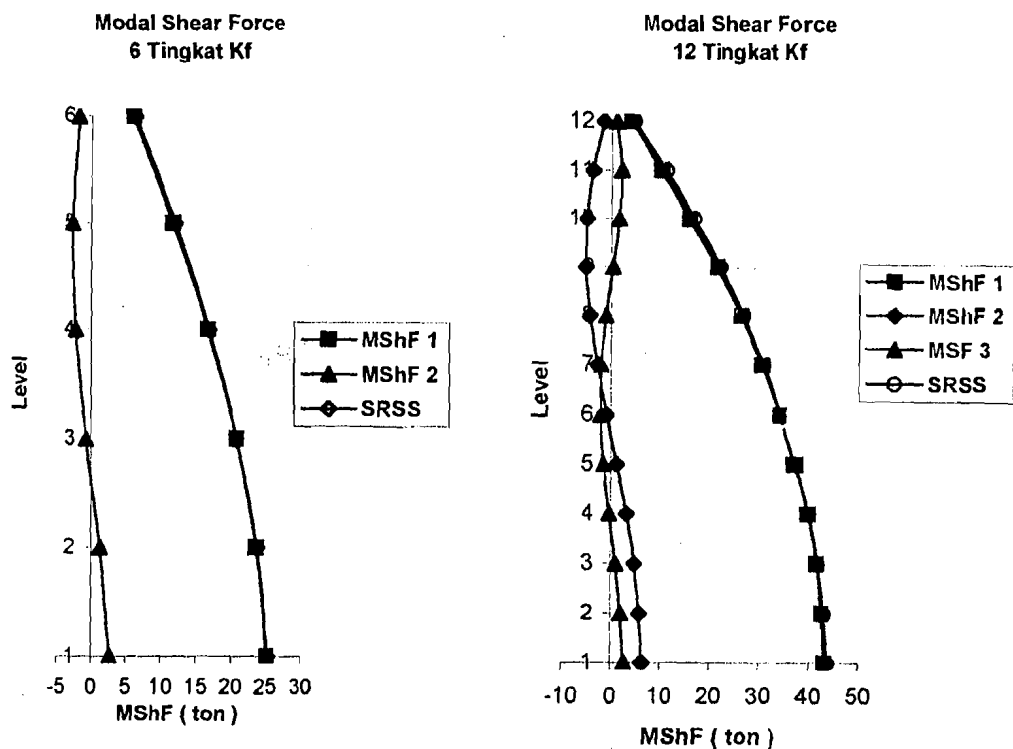


Gambar 5.5 Modal Seismic Force untuk Muto

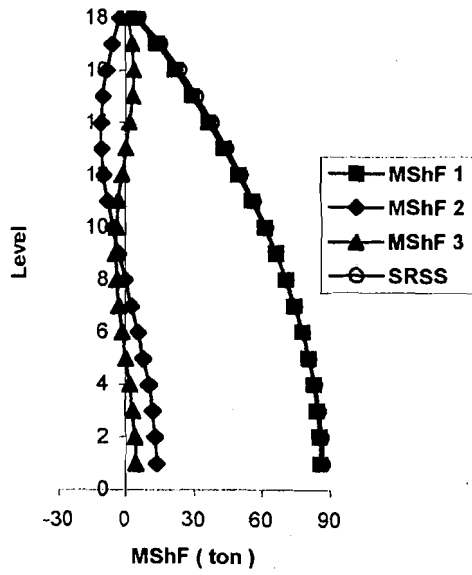
Dari gambar Modal Seismic Force diatas terlihat bahwa Modal Seismic Force yang lebih tinggi ternyata justru mempunyai pengaruh yang lebih besar terhadap respon struktur apabila dibandingkan dengan pengaruh Modal Seismic Force yang lebih rendah karena struktur yang tinggi mempunyai Base Shear yang lebih besar nilainya dibandingkan dengan struktur yang lebih rendah jadi untuk mencari Modal Seismic Force harus memperhitungkan semua mode yang telah mencapai 90% MEM yaitu dengan metode SRSS.

5.5 Modal Shear Force

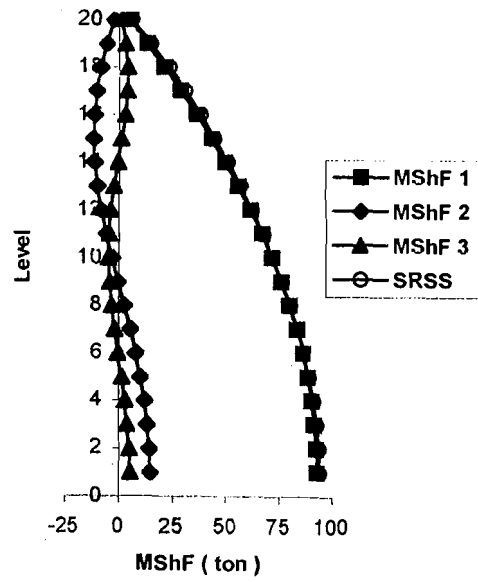
5.5.1 Untuk Struktur dengan cara SHEAR BUILDING



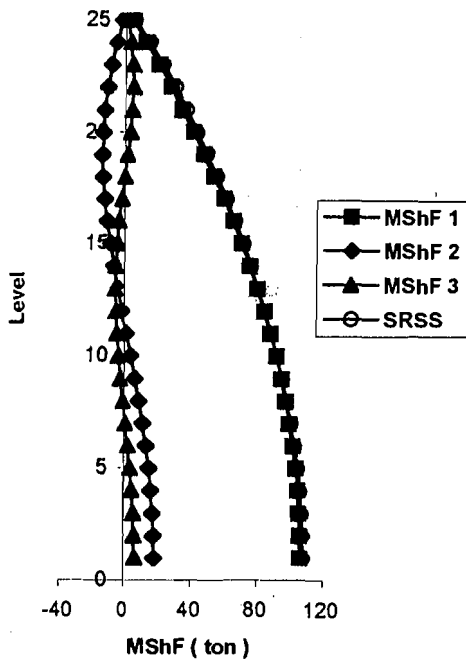
Modal Shear Force
18 Tingkat Kf



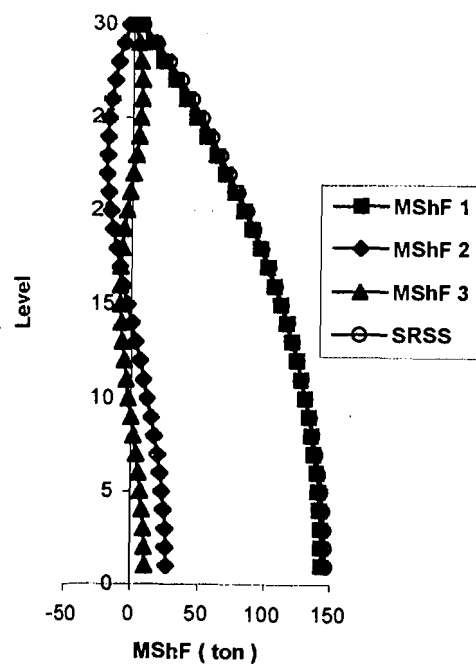
Modal Shear Force
20 Tingkat Kf

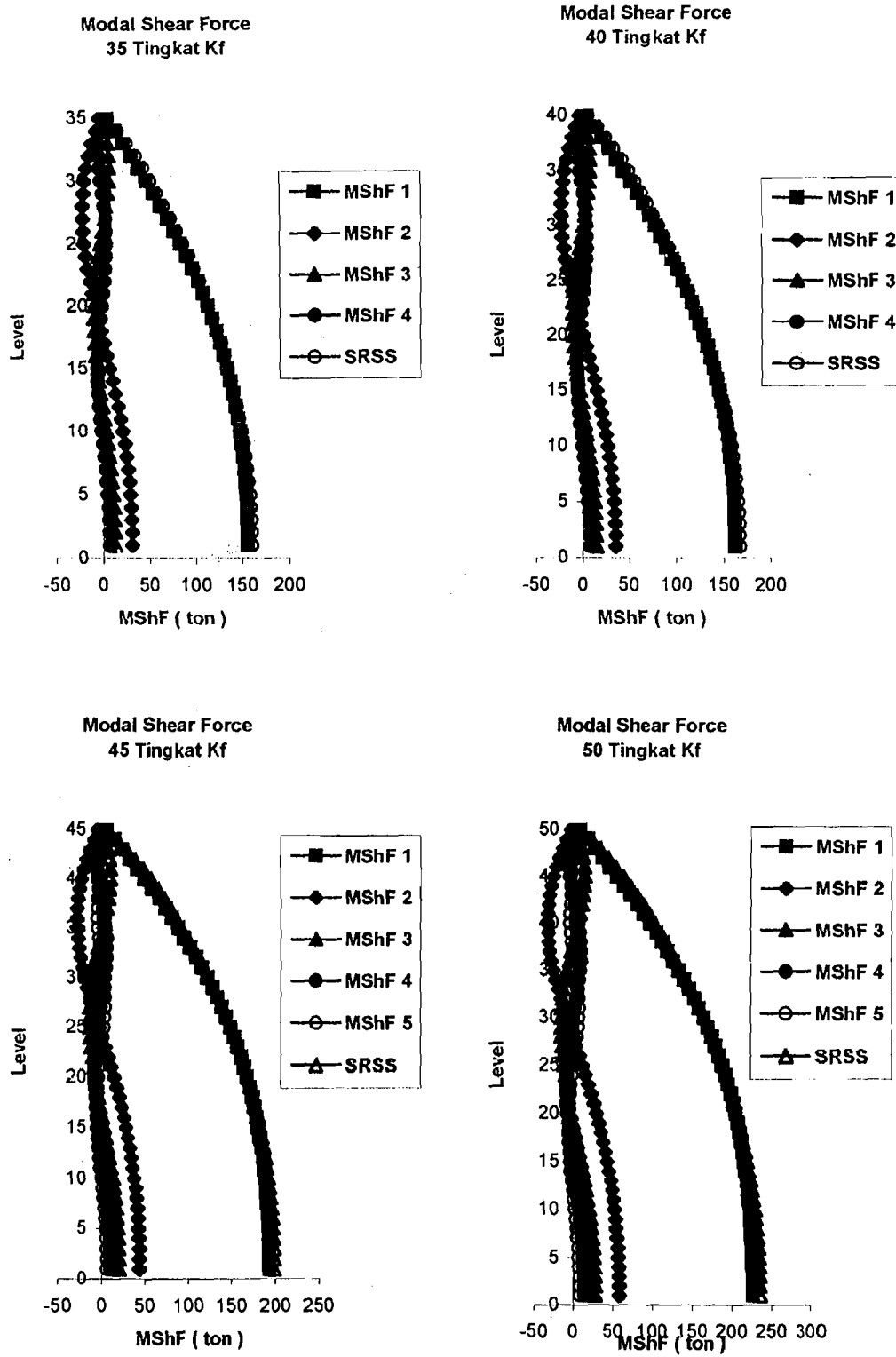


Modal Shear Force
25 Tingkat Kf



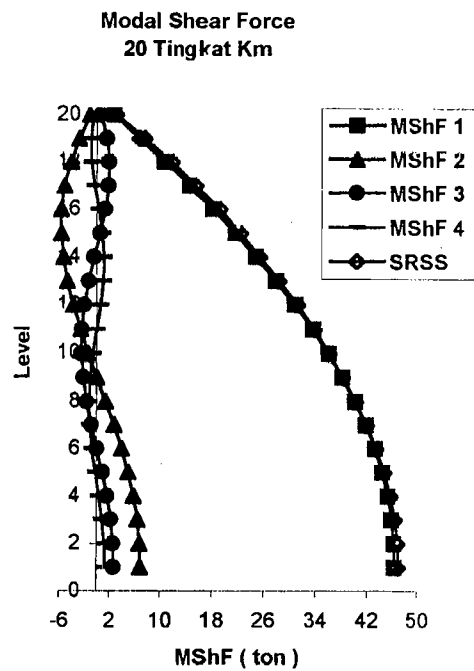
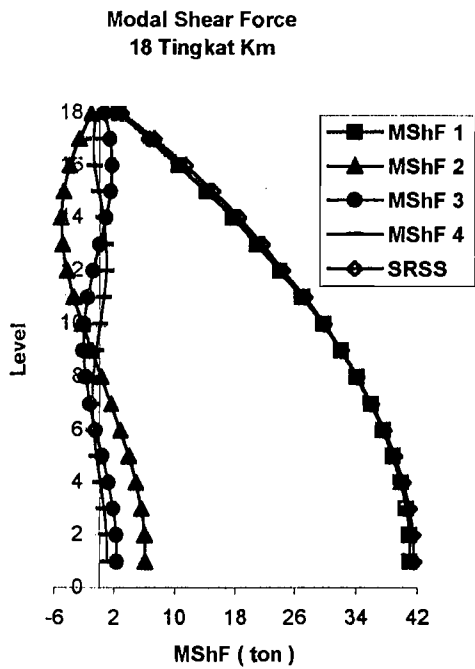
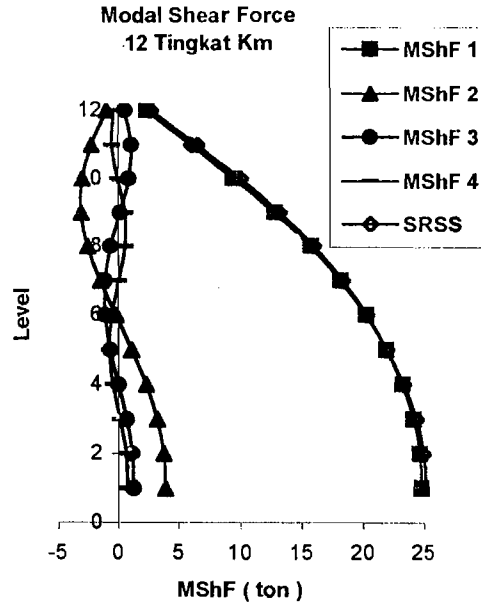
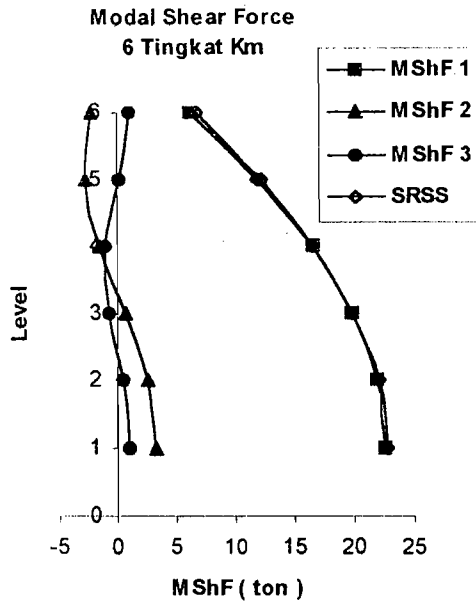
Modal Shear Force
30 Tingkat Kf



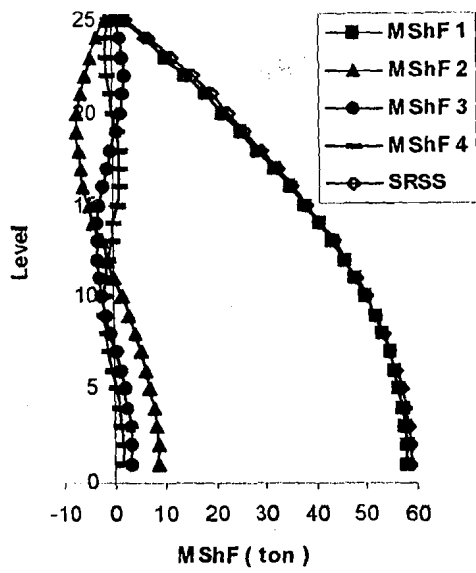


Gambar 5.6 Modal Shear Force untuk Shear Building

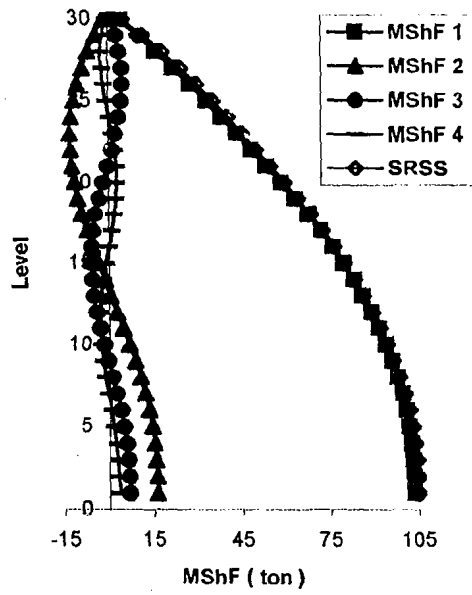
5.5.2 Untuk Struktur dengan cara MUTO



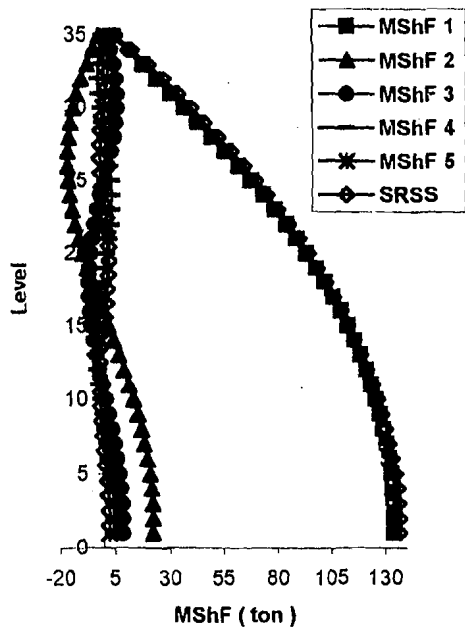
Modal Shear Force
25 Tingkat Km



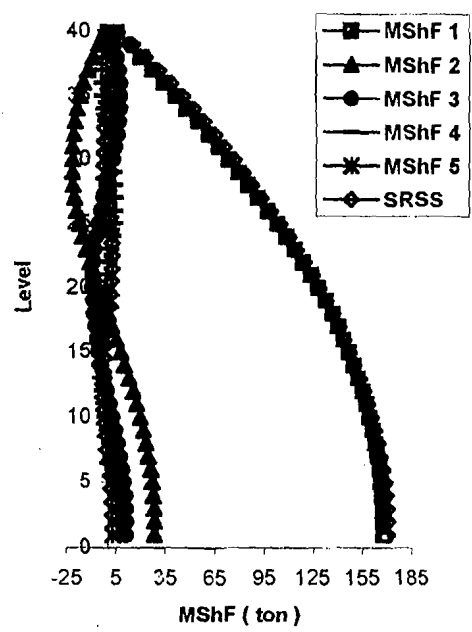
Modal Shear Force
30 Tingkat Km

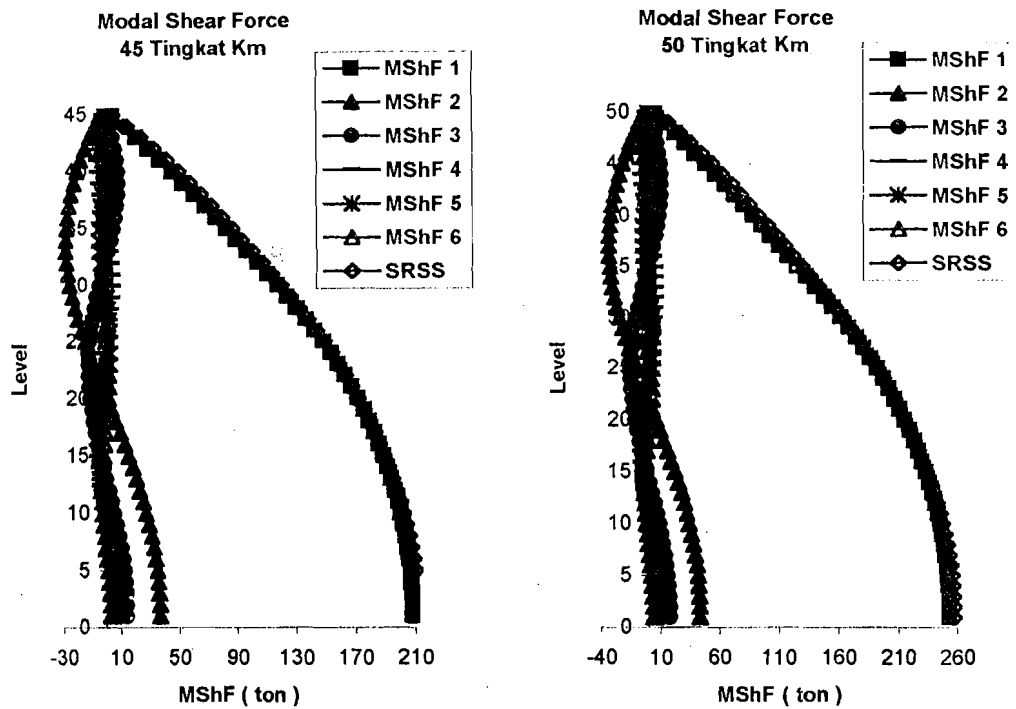


Modal Shear Force
35 Tingkat Km



Modal Shear Force
40 Tingkat Km





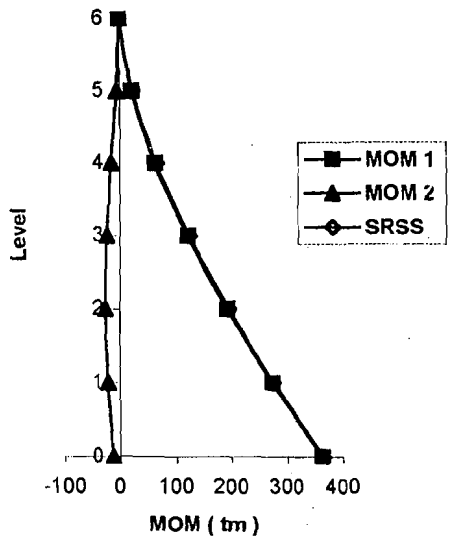
Gambar 5.7 Modal Shear Force untuk Muto

Dari gambar Modal Shear Force diatas dapat dilihat bahwa Hasil dengan menggunakan metode SRSS hasilnya hampir sama atau mendekati Modal Shear Force 1 sehingga dapat diambil kesimpulan untuk mencari Modal Shear Force cukup diambil Modal Shear Force akibat Modal Seismic Force 1 atau mode 1 saja.

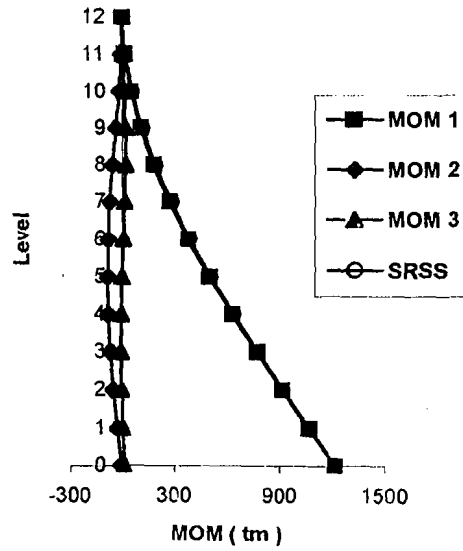
5.6 Modal overtuning Moment

5.6.1 Untuk Struktur dengan cara SHEAR BUILDING

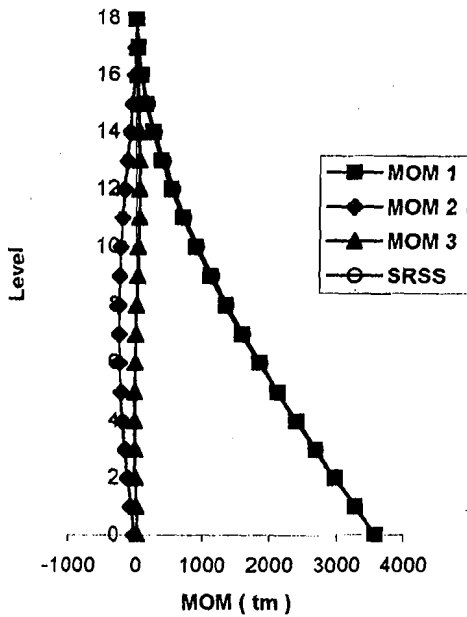
Modal Overtuning Moment
6 Tingkat Kf



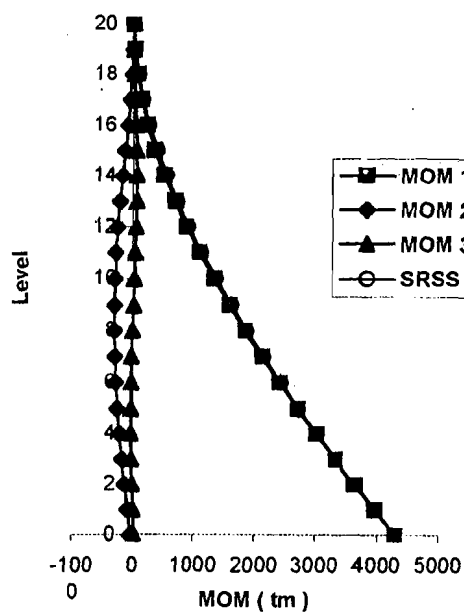
Modal Overtuning Moment
12 Tingkat Kf



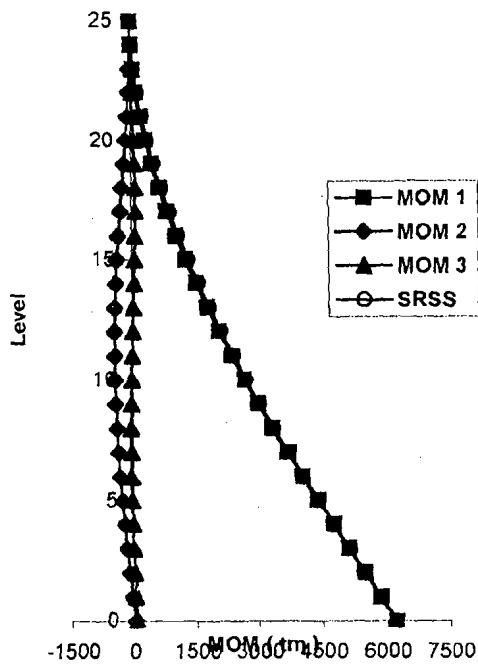
Modal Overtuning Moment
18 Tingkat Kf



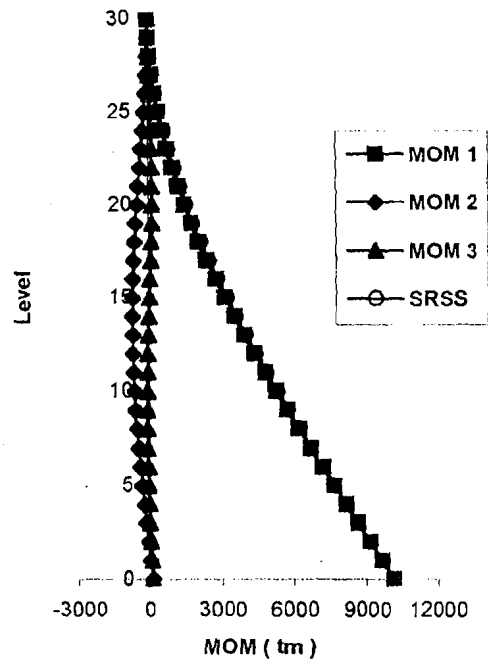
Modal Overtuning Moment
20 Tingkat Kf



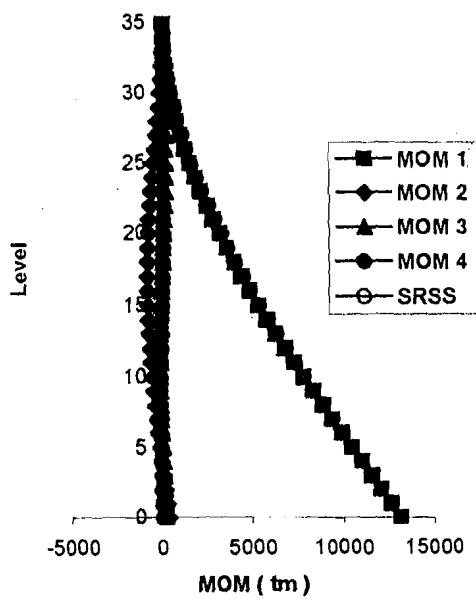
Modal Overtuning Moment
25 Tingkat Kf



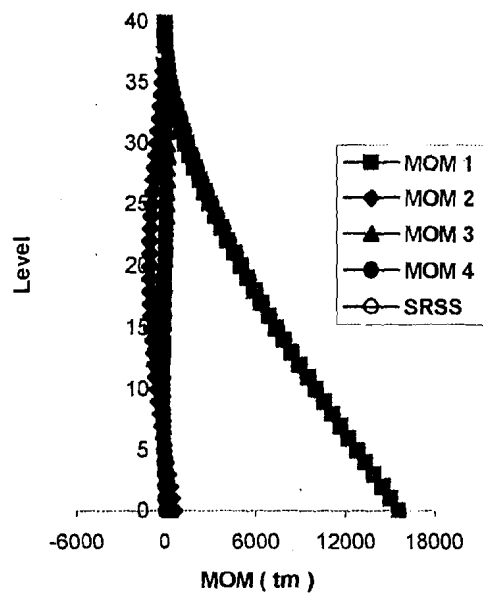
Modal Overtuning Moment
30 Tingkat Kf

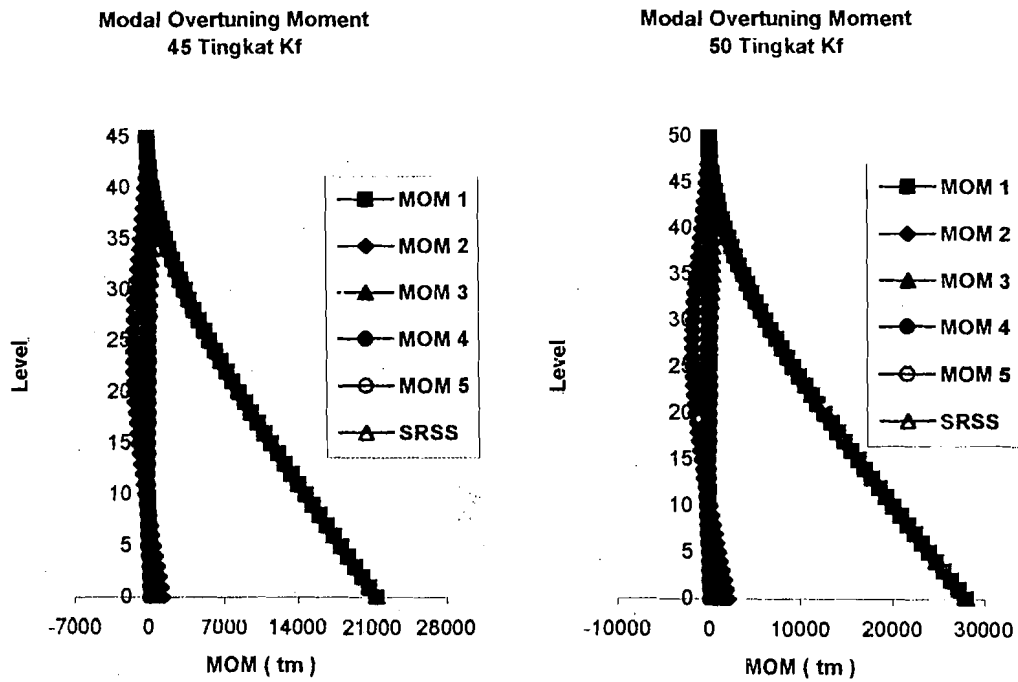


Modal Overtuning Moment
35 Tingkat Kf



Modal Overtuning Moment
40 Tingkat Kf

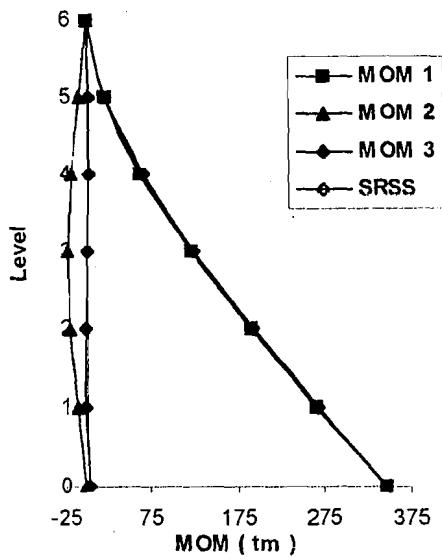




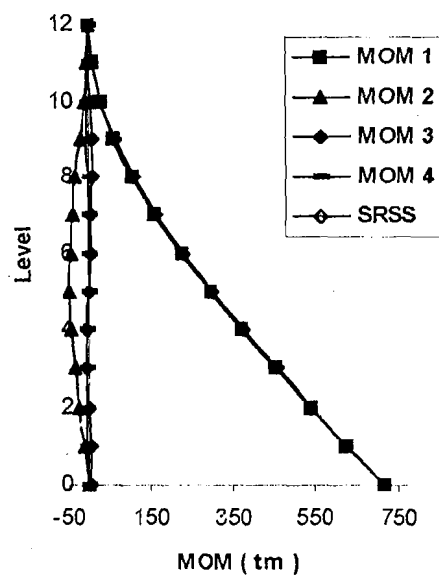
Gambar 5.8 Modal Overturning Moment untuk Shear Building

5.6.2 Untuk Struktur dengan cara MUTO

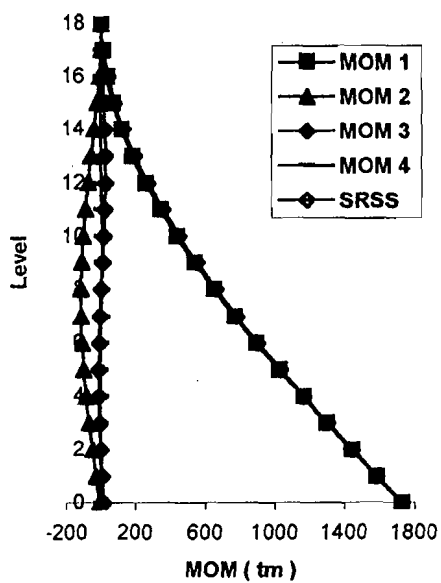
Modal Overtuning Moment
6 Tingkat Km



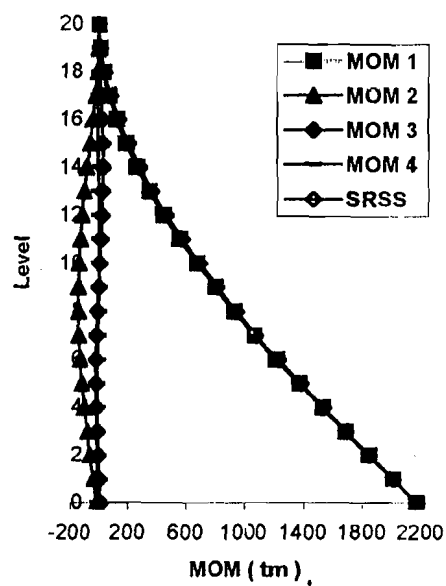
Modal Overtuning Moment
12 Tingkat Km



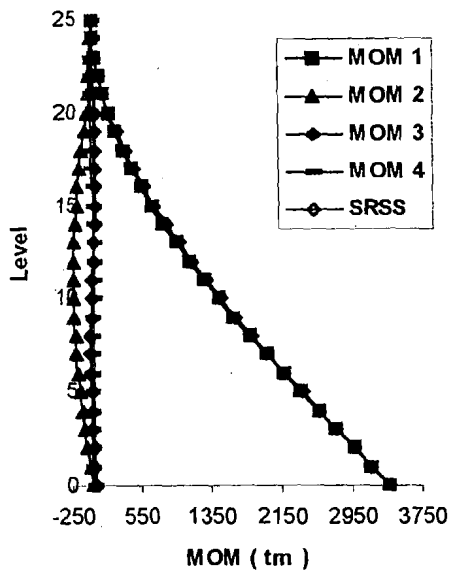
Modal Overtuning Moment
18 Tingkat Km



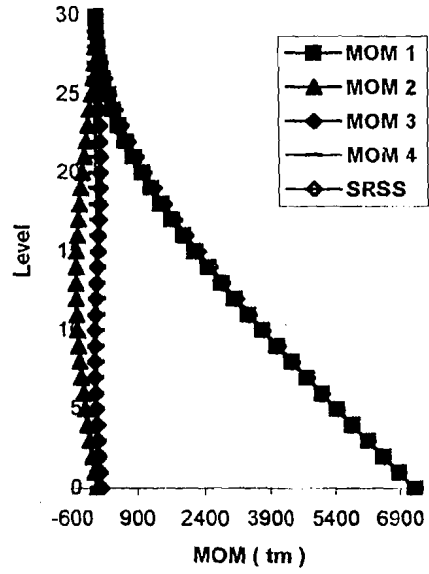
Modal Overtuning Moment
20 Tingkat Km



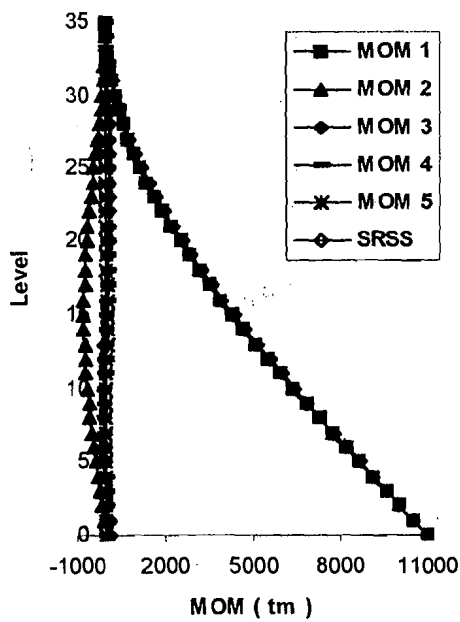
Modal Overtuning Moment
25 Tingkat Km



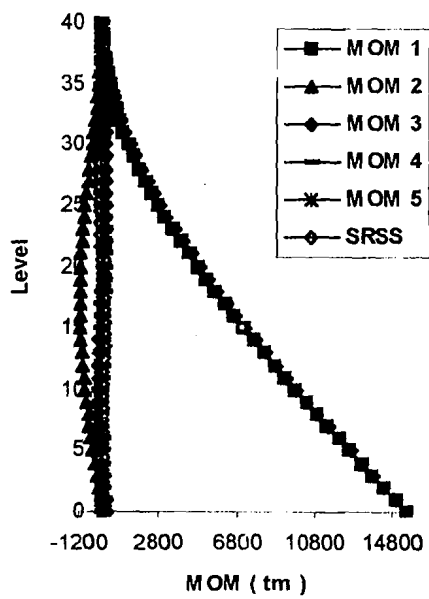
Modal Overtuning Moment
30 Tingkat Km

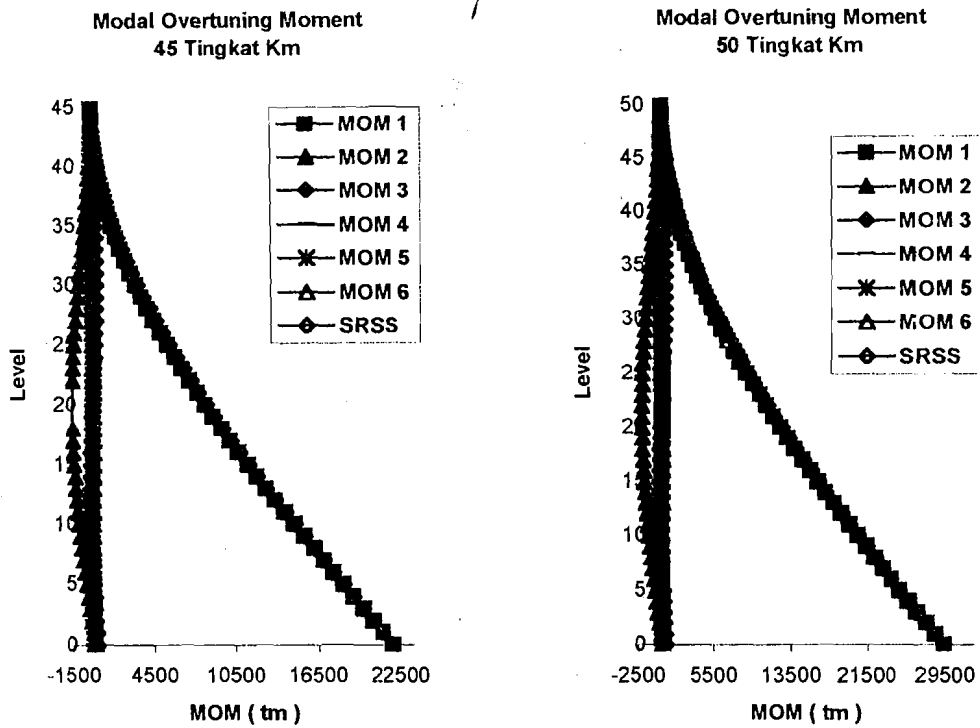


Modal Overtuning Moment
35 Tingkat Km



Modal Overtuning Moment
40 Tingkat Km



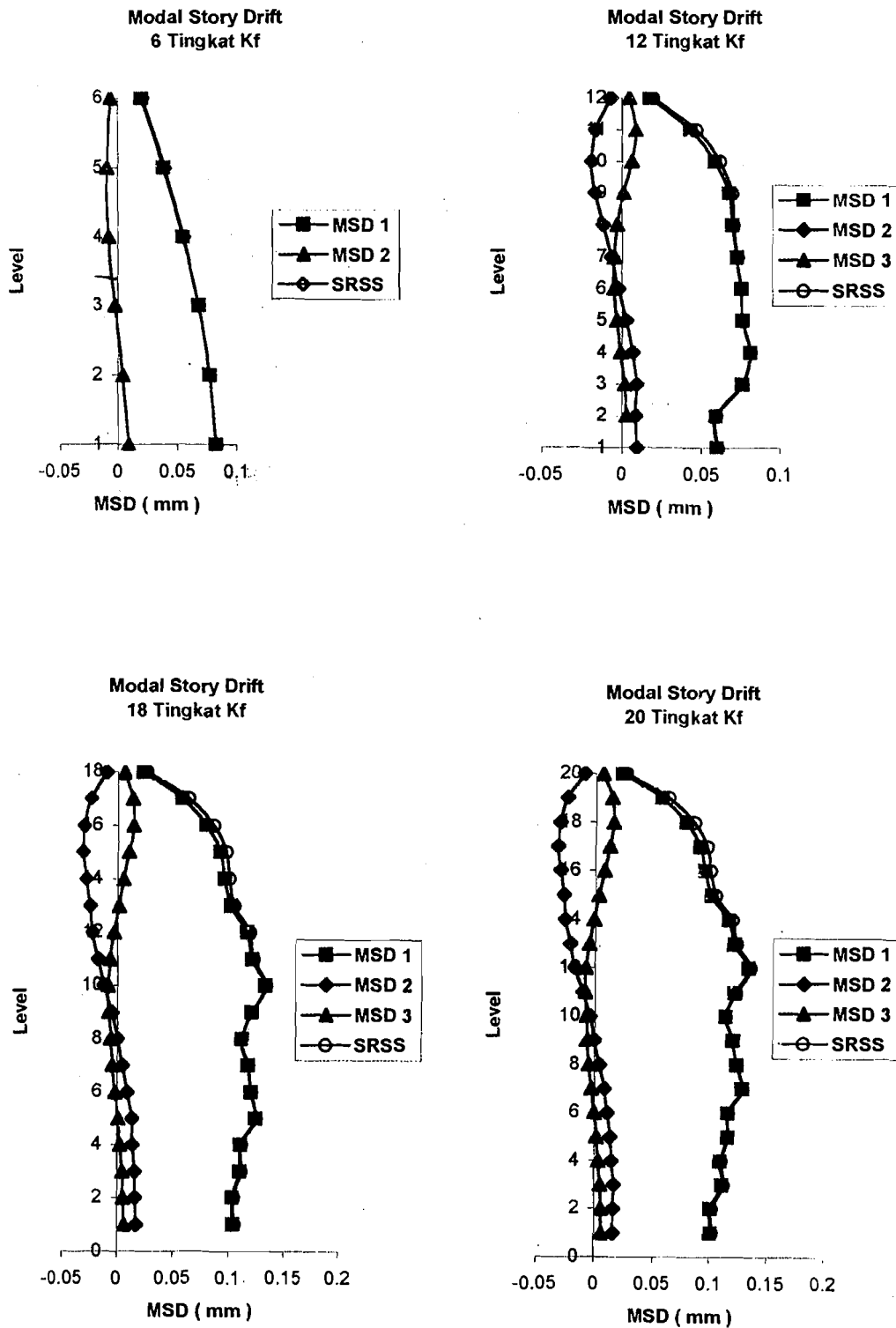


Gambar 5.9 Modal Overtuning Moment untuk Muto

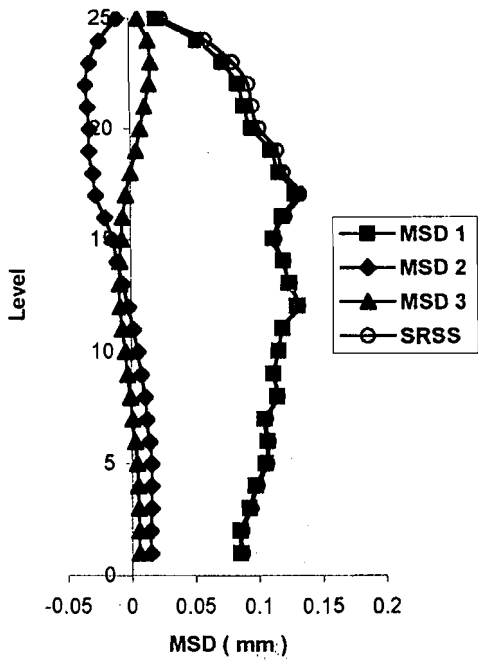
Dari gambar Modal Overtuning Moment diatas dapat dilihat bahwa Hasil dengan menggunakan metode SRSS hasilnya hampir sama atau mendekati Modal Overtuning Moment 1 sehingga dapat diambil kesimpulan untuk mencari Modal Overtuning Moment cukup diambil Modal Overtuning Moment akibat Modal Seismic Force 1 atau mode 1 saja.

5.7 Modal Story Drift

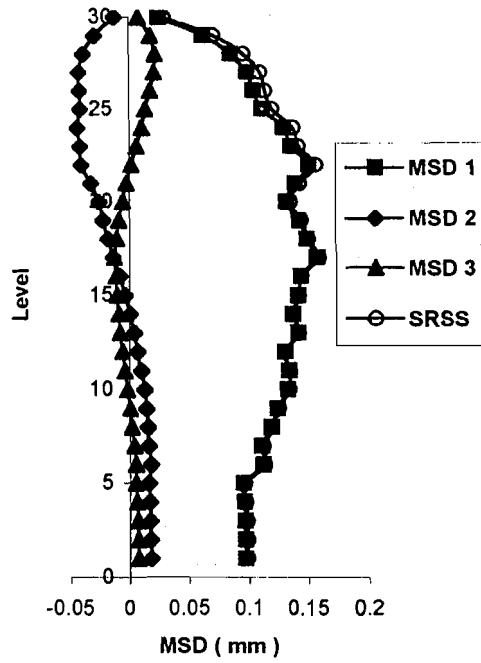
5.7.1 Untuk Struktur dengan cara SHEAR BUILDING



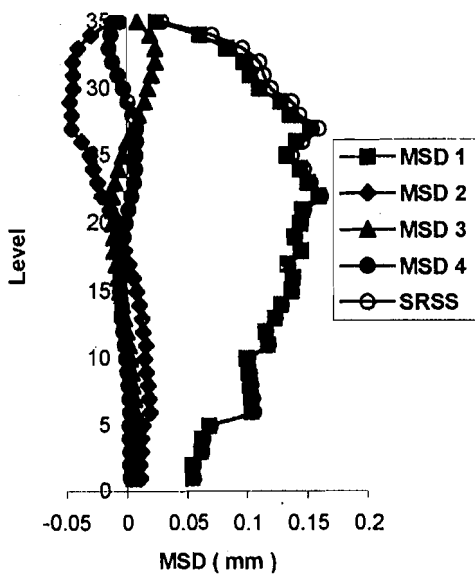
Modal Story Drift
25 Tingkat Kf



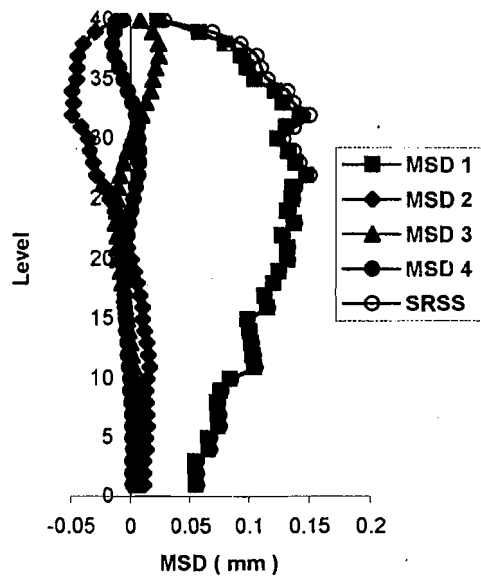
Modal Story Drift
30 Tingkat Kf

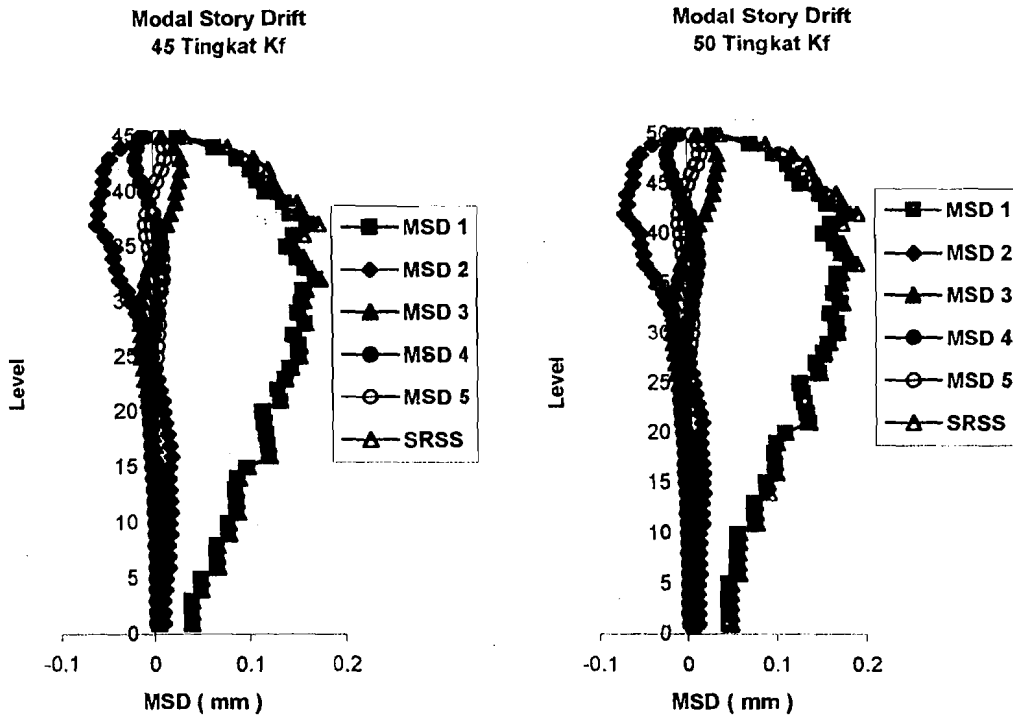


Modal Story Drift
35 Tingkat Kf



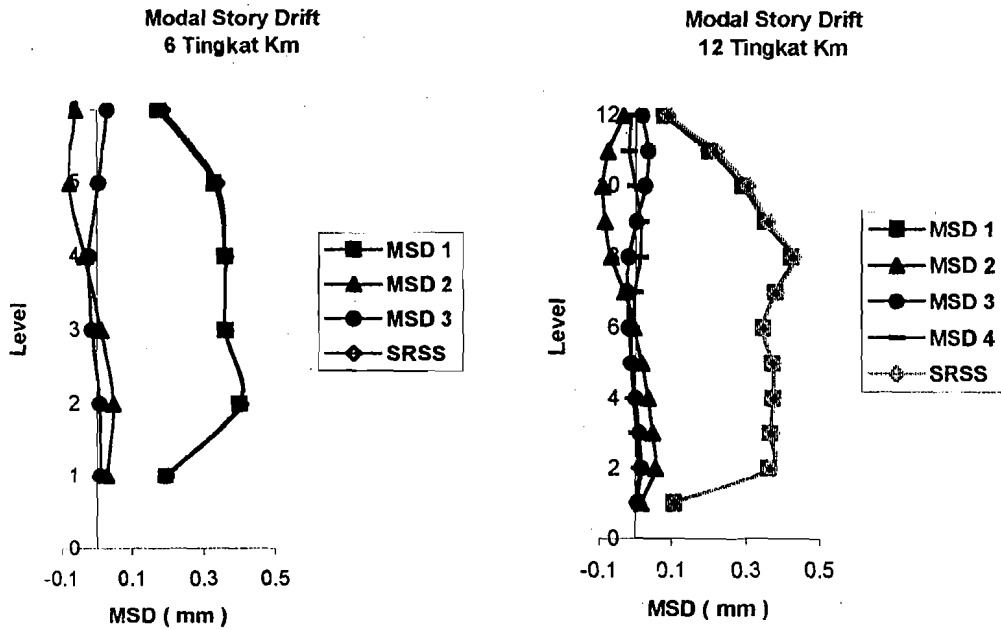
Modal Story Drift
40 Tingkat Kf



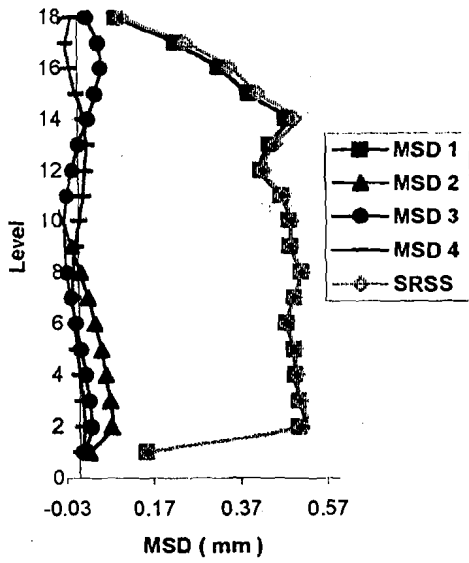


Gambar 5.10 Modal Story Drift untuk Shear Building

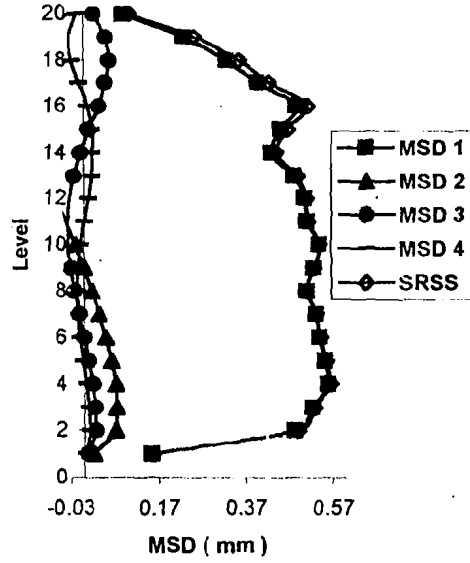
5.7.2 Untuk Struktur dengan cara MUTO



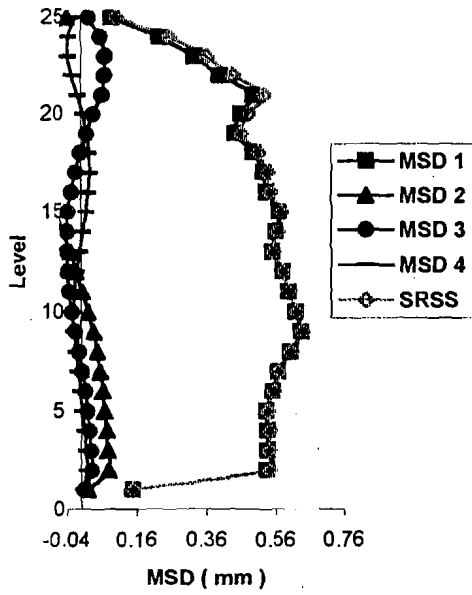
Modal Story Drift
18 Tingkat Km



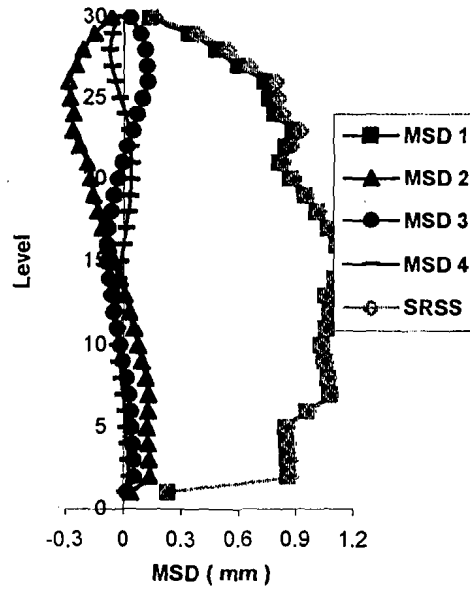
Modal Story Drift
20 Tingkat Km

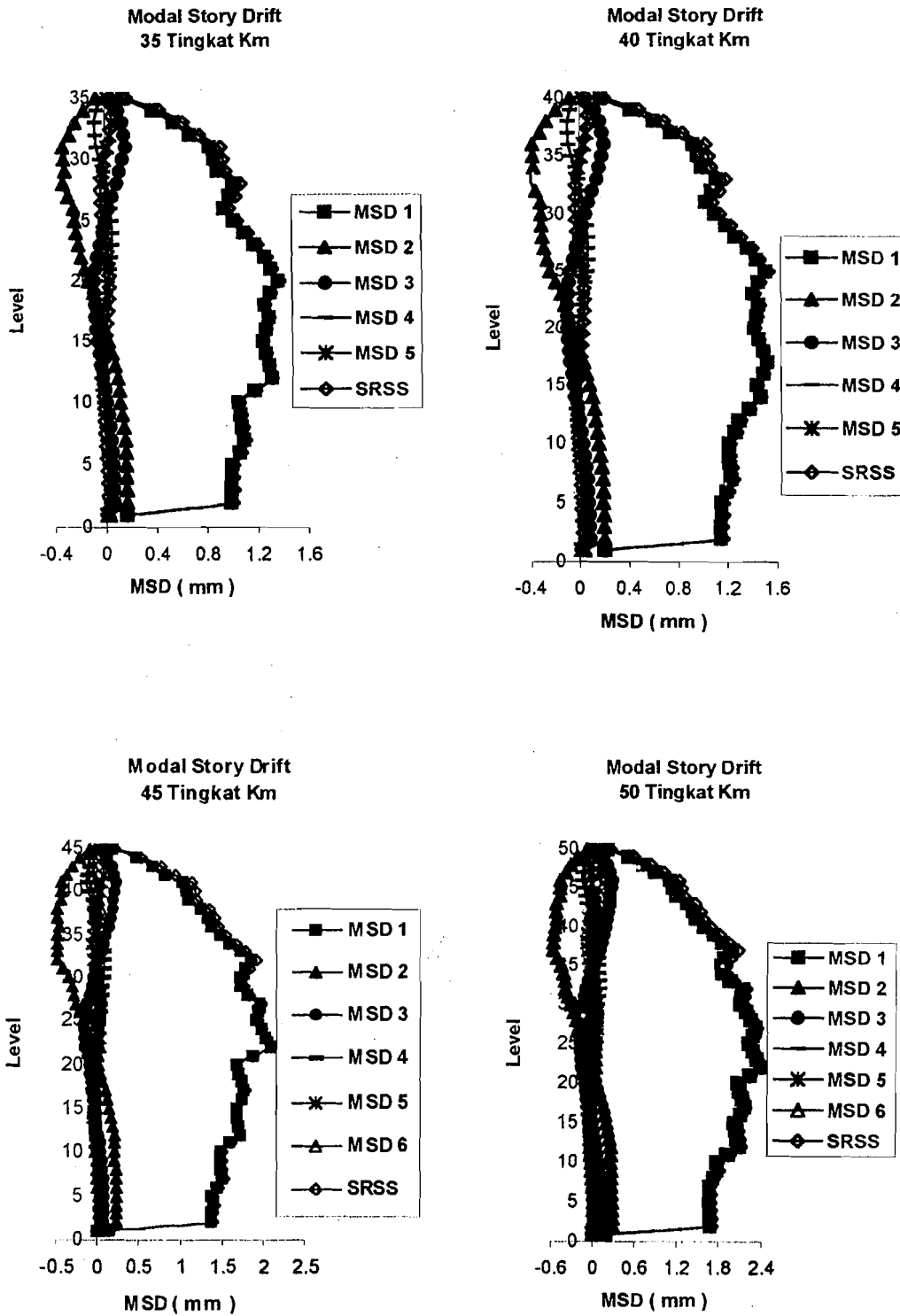


Modal Story Drift
25 Tingkat Km



Modal Story Drift
30 Tingkat Km





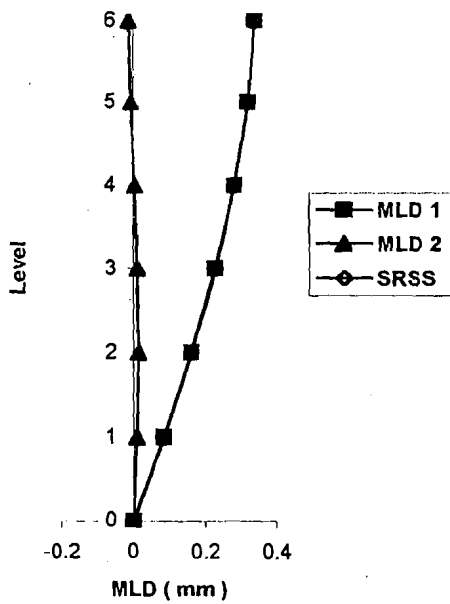
Gambar 5.11 Modal Story Drift untuk Muto

Dari gambar Modal Story Drift diatas dapat dilihat bahwa Hasil dengan menggunakan metode SRSS hasilnya hampir sama atau mendekati Modal Story Drift 1 sehingga dapat diambil kesimpulan untuk mencari Modal Story Drift cukup diambil Modal Story Drift akibat Modal Shear Force 1 saja.

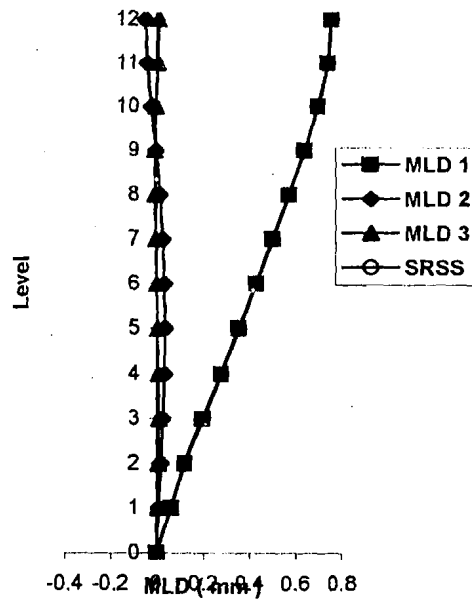
5.8 Modal Lateral Displacement

5.8.1 Untuk Struktur dengan cara SHEAR BUILDING

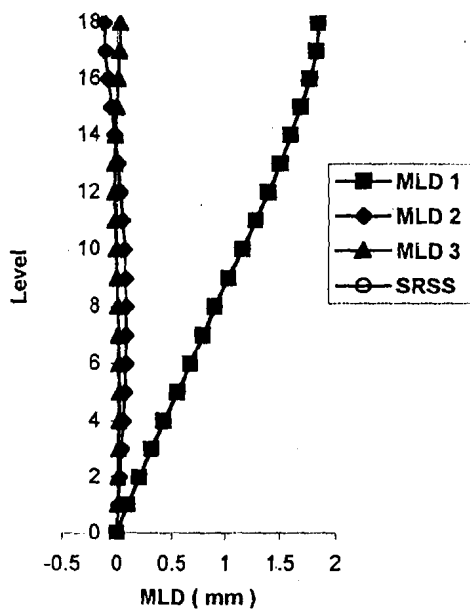
Modal Lateral Displacement
6 Tingkat Kf



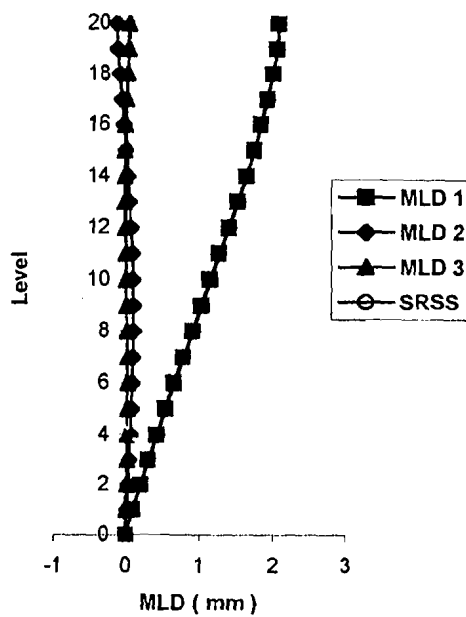
Modal Lateral Displacement
12 Tingkat Kf



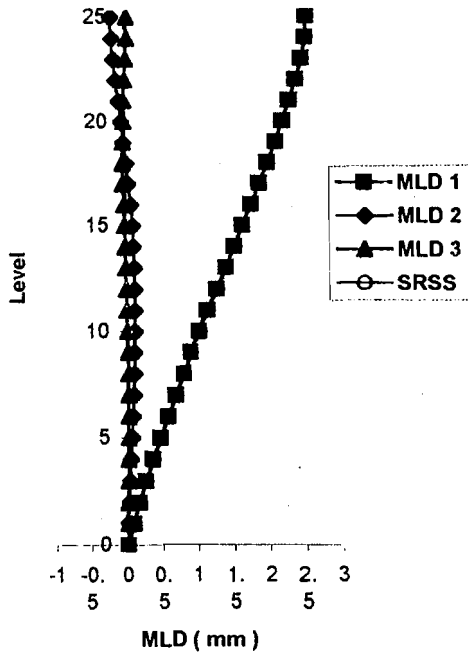
Modal Lateral Displacement
18 Tingkat Kf



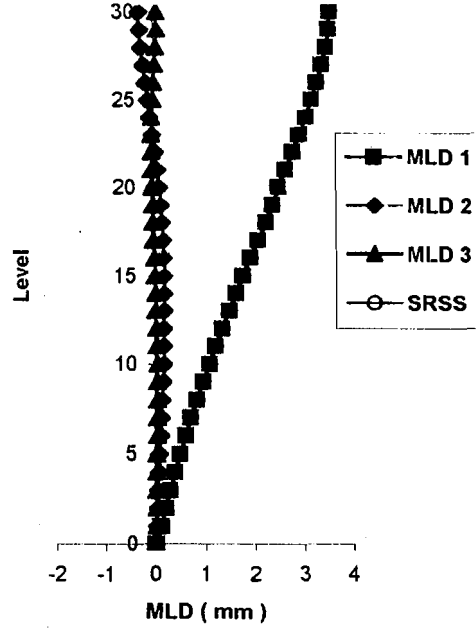
Modal Lateral Displacement
20 Tingkat Kf



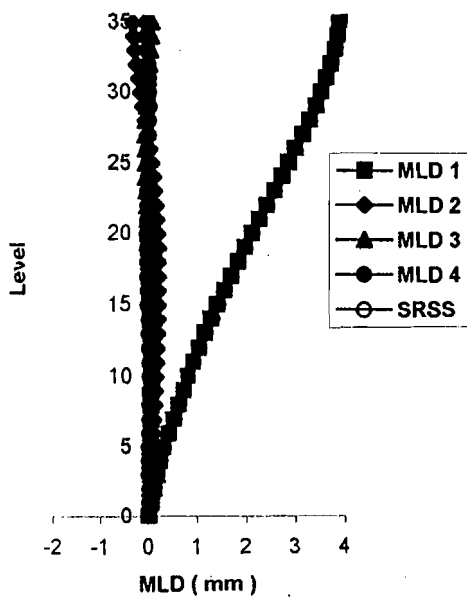
Modal Lateral Displacement
25 Tingkat Kf



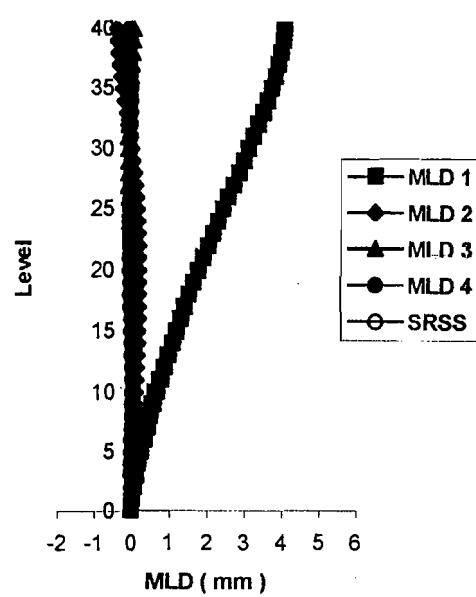
Modal Lateral Displacement
30 Tingkat Kf

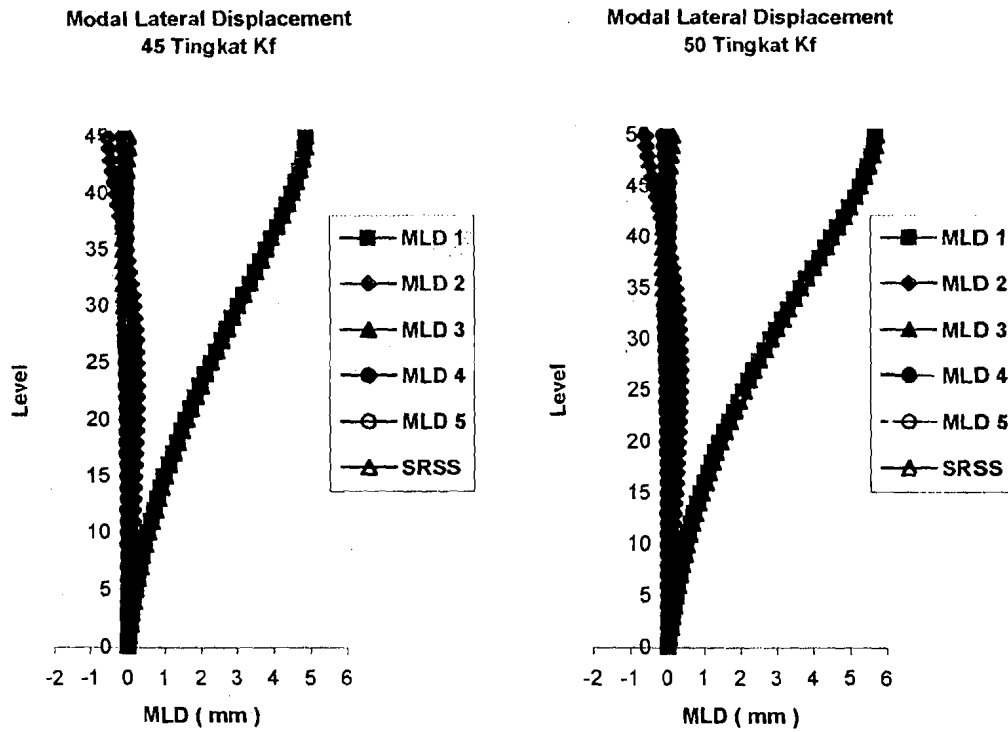


Modal Lateral Displacement
35 Tingkat Kf



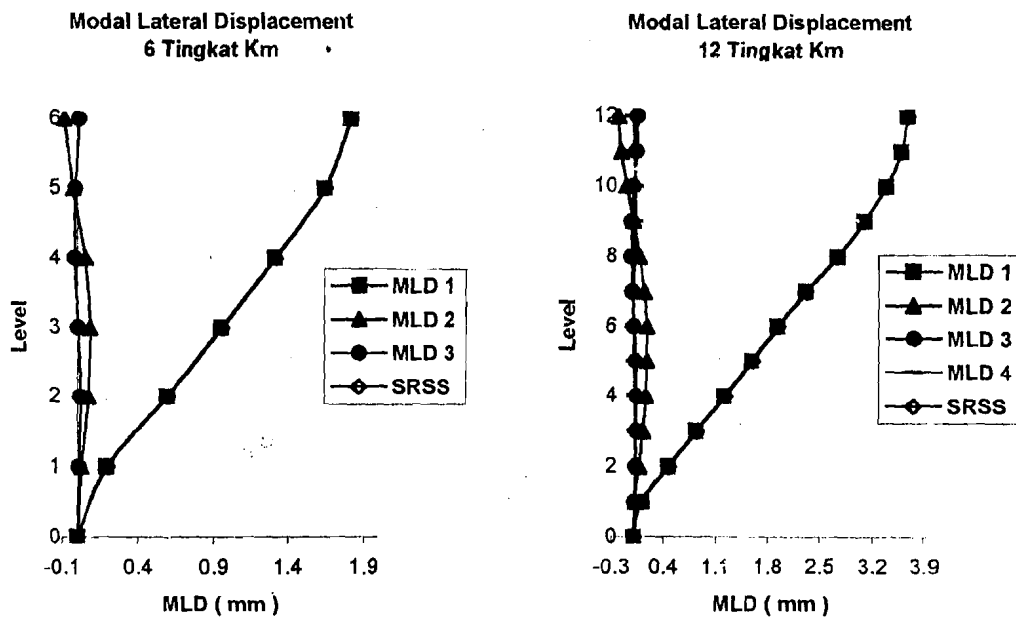
Modal Lateral Displacement
40 Tingkat Kf



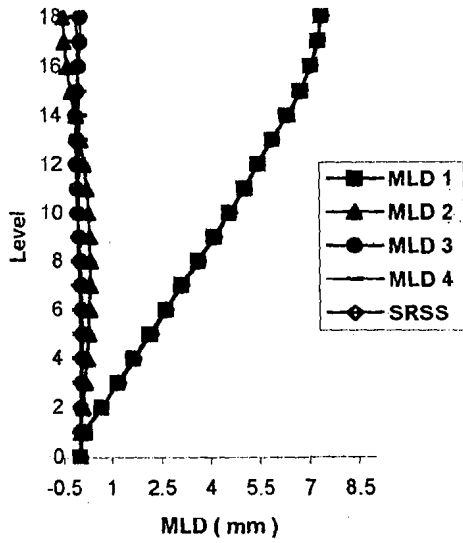


Gambar 5.12 Modal Lateral Displacement untuk Shear Building

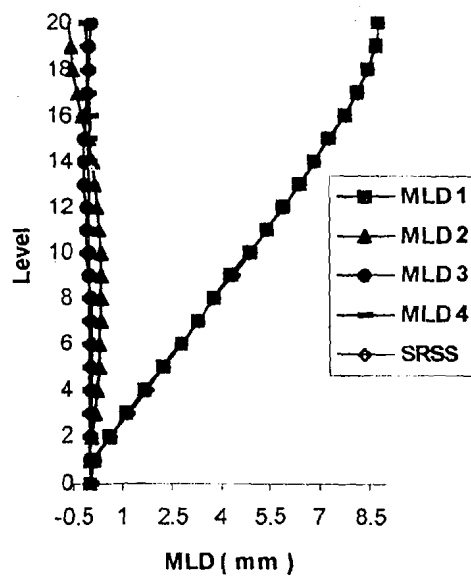
5.8.2 Untuk Struktur dengan cara MUTO



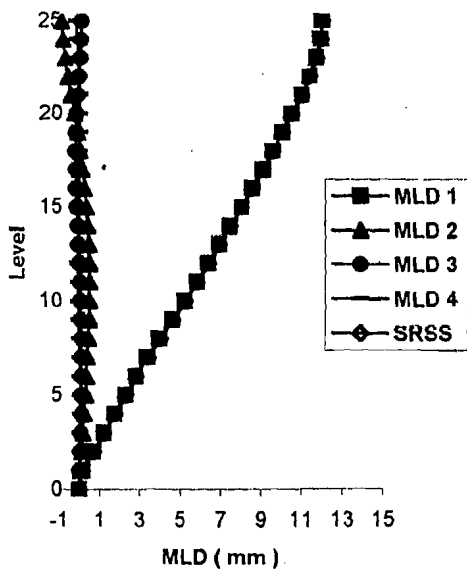
Modal Lateral Displacement
18 Tingkat Km



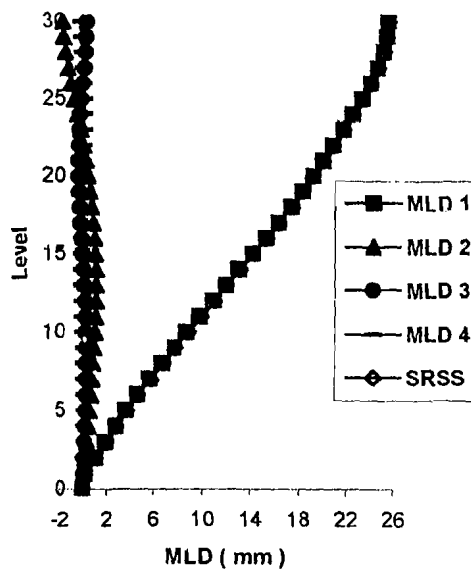
Modal Lateral Displacement
20 Tingkat Km

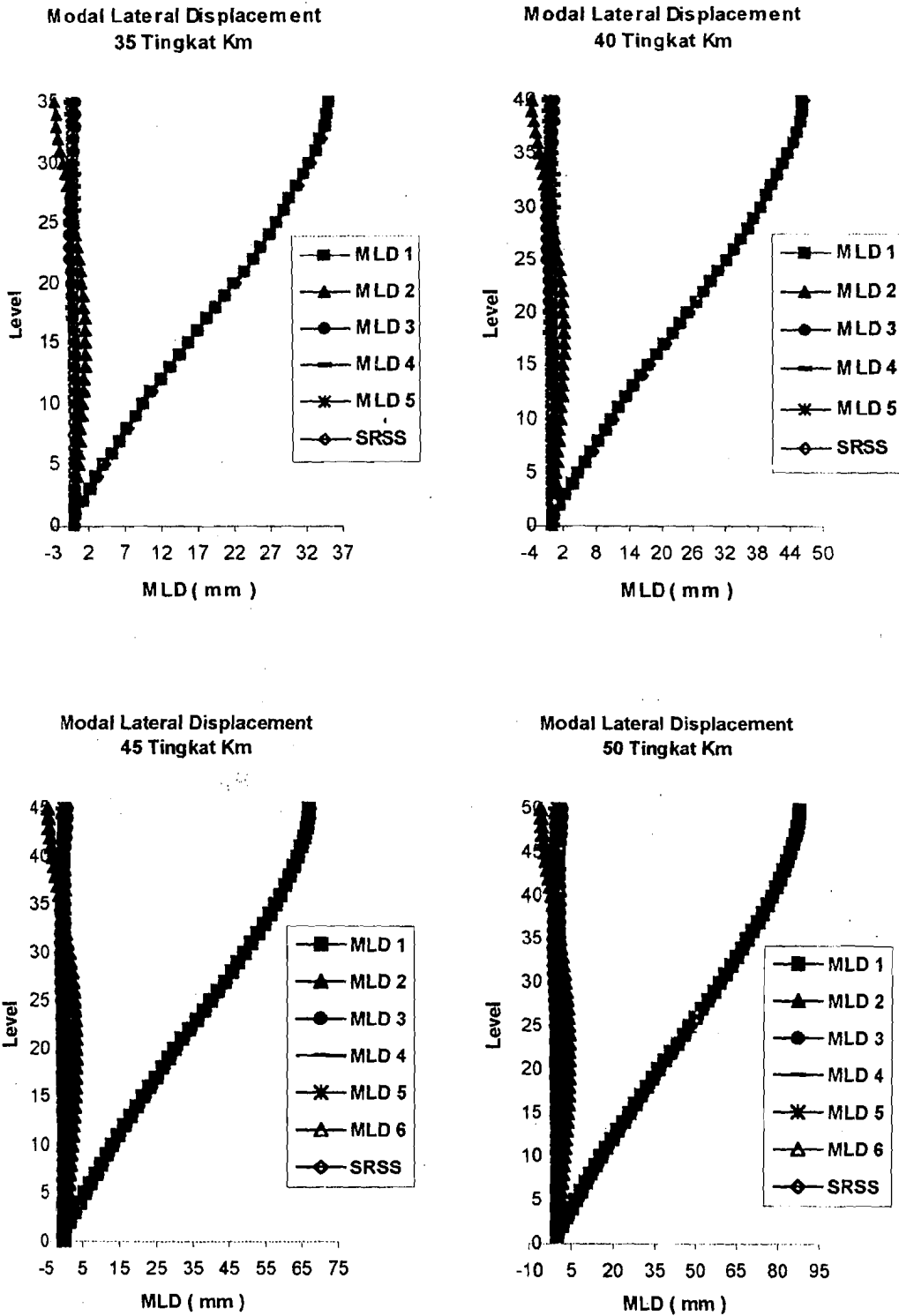


Modal Lateral Displacement
25 Tingkat Km



Modal Lateral Displacement
30 Tingkat Km





Gambar 5.13 Modal Lateral Displacement untuk Muto

Dari gambar Modal Lateral Displacement diatas dapat dilihat bahwa Hasil dengan menggunakan metode SRSS hasilnya hampir sama atau mendekati Modal Lateral Displacement 1 sehingga dapat diambil kesimpulan untuk mencari Modal Lateral Displacement cukup diambil Modal Lateral Displacement akibat mode 1 saja.

5.9 Modal Effective Height

5.9.1 Untuk Struktur 6 Tingkat

Tabel 5.7

Hasil Perhitungan *Modal Effective Height* 6 Tingkat Shear Building

Mode	<i>Modal Effective Height (h_j* (m)</i>
1	15.1394
2	-0.3328
3	2.27264
4	-1.7008
5	0.769
6	-1.0359
Σ	15.1116

Tabel 5.8

Hasil Perhitungan *Modal Effective Height* 6 Tingkat Muto

Mode	<i>Modal Effective Height (h_j* (m))</i>
1	15.6666
2	1.40041
3	3.49984
4	0.95448
5	2.32399
6	2.22243
Σ	26.0677

5.9.2 Untuk Struktur 12 Tingkat

Tabel 5.9

Hasil Perhitungan *Modal Effective Height* 12 Tingkat Shear Building

Mode	<i>Modal Effective Height (h_j* (m))</i>
1	28.1861
2	-1.5642
3	3.81303
4	-0.6715
5	3.26099
6	-1.3235
7	2.87488
8	-1.0377
9	0.34863
10	-0.4683
11	-0.8672
12	-0.7345
Σ	31.8169

Tabel 5.10Hasil Perhitungan *Modal Effective Height* 12 Tingkat Muto

Mode	<i>Modal Effective Height</i> (h_j^* (m))
1	28.7697
2	0.5676
3	5.93102
4	-0.3509
5	4.67916
6	1.26517
7	5.33974
8	1.39835
9	2.17916
10	2.26654
11	2.63255
12	2.46312
Σ	57.1412

5.10 Modal Effective Mass

Untuk Perhitungan *Modal Effective Mass* harus dicari dulu *modeshape* untuk masing-masing tingkat, misalnya untuk bangunan 6 lantai maka kontribusi modeny ada 6 dan begitu seterusnya untuk 12 lantai, 18 lantai, sampai 50 lantai.

Berikut ini dapat dilihat grafik *Modal Effective Mass* yang telah mencapai prosentase M_m 90 %, untuk struktur dengan kekakuan Shear Building dan kekakuan Muto dari 6 tingkat sampai 50 tingkat.

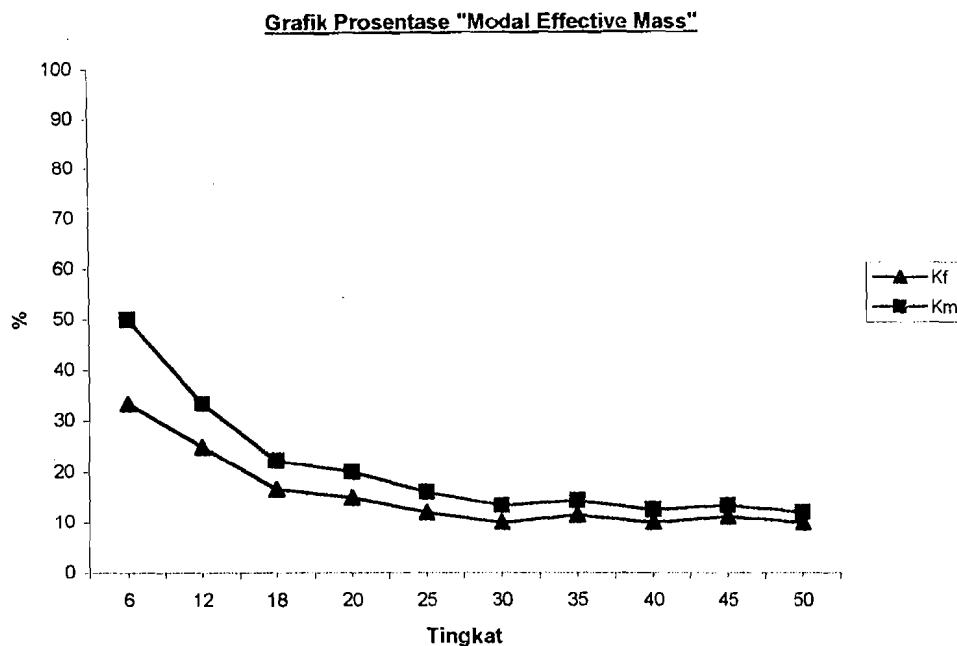
Data prosentase M_m yang mencapai 90 % dapat dilihat pada tabel 5.11 dibawah ini. Nilai *mode* pada tabel 5.11 baik untuk kekakuan kolom shear building atau kekakuan kolom Muto dapat dilihat pada contoh perhitungan *Modal Effective Mass* pada bagian Lampiran.

Tabel 5.11 Prosentase *Modal Effective Mass* (MEM)

Jumlah Tingkat	Batas Mode MEM 90%			
	Struktur K Jepit		Struktur K Muto	
	Mode	%	Mode	%
6	2	33.33	3	50.00
12	3	25.00	4	33.33
18	3	16.67	4	22.22
20	3	15.00	4	20.00
25	3	12.00	4	16.00
30	3	10.00	4	13.33
35	4	11.43	5	14.286
40	4	10.00	5	12.50
45	5	11.11	6	13.33
50	5	10.00	6	12.00

Kemudian dari hasil di atas dibuat grafik, dan hasilnya dapat dilihat pada gambar

5.14 dibawah ini :



Gambar 5.14 Grafik *Modal Effective Mass*

Apabila kita amati pada gambar 5.14 yaitu Grafik *Modal Effective Mass* terlihat bahwa kekakuan kolom dengan cara Muto prosentasenya lebih besar dibandingkan dengan kekakuan kolom dengan prinsip shear building disebabkan karena struktur atau frame dengan menggunakan kekakuan kolom cara Muto lebih fleksibel dibandingkan dengan menggunakan Shear Building sehingga mengakibatkan *jumlah mode* yang dibutuhkan dengan kekakuan kolom cara Muto lebih banyak daripada dengan kekakuan kolom cara shear building.

5.10.1 Frequency Ratio (FR)

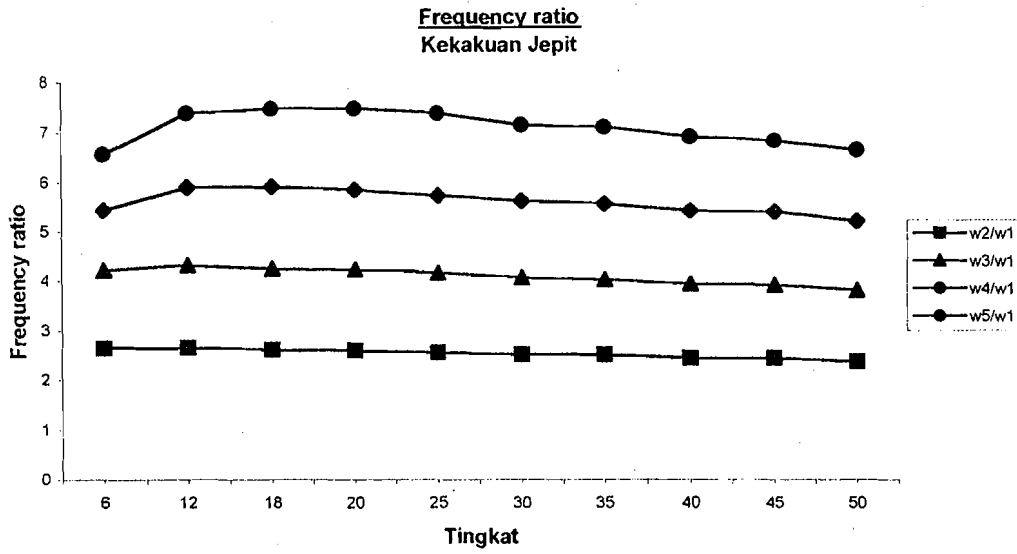
Setelah grafik *Modal Effective Mass* didapat, kemudian dihitung *frequency ratio* yaitu perbandingan antara ω_2 sampai ω_5 dengan ω_1 untuk struktur dengan kekakuan Jepit dan struktur dengan kekakuan Muto. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 5.12a dan tabel 5.12b, dari data hasil tersebut kemudian dibuat grafik, dan hasilnya seperti pada gambar 5.15, 5.16, 5.17, 5.18, 5.19.

Tabel 5.12a *Frequency Ratios* Struktur dengan Kekakuan Jepit

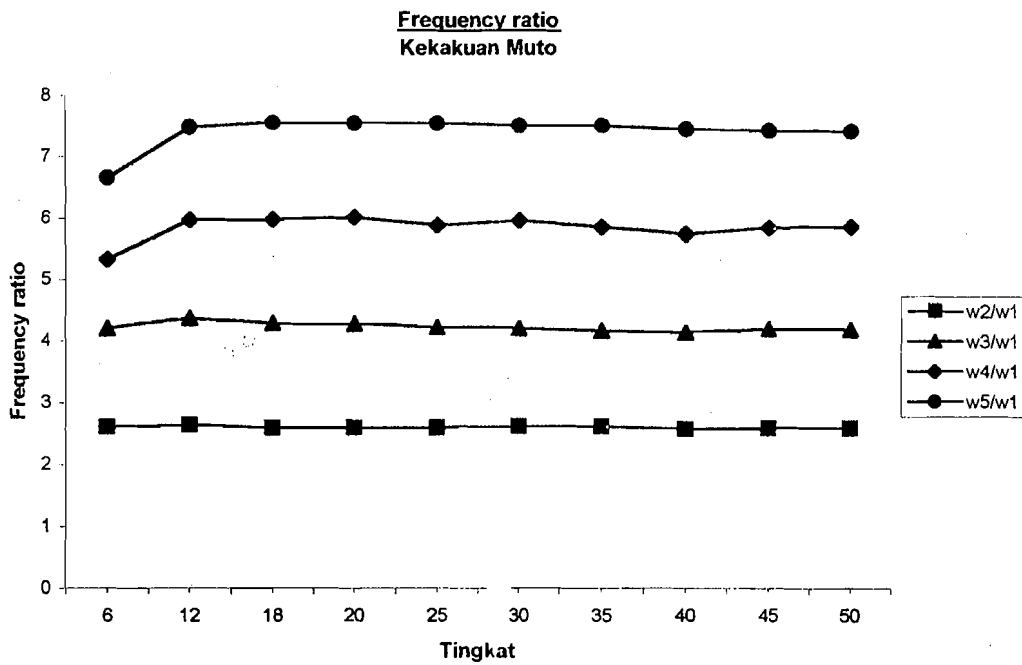
Tingkat	ω_2/ω_1	ω_3/ω_1	ω_4/ω_1	ω_5/ω_1	ω_6/ω_1	ω_7/ω_1	ω_8/ω_1	ω_9/ω_1	ω_{10}/ω_1	ω_{11}/ω_1	ω_{12}/ω_1	ω_{13}/ω_1	ω_{14}/ω_1	ω_{15}/ω_1
6	2.641	4.226	5.447	6.562	8.039									
12	2.647	4.320	5.908	7.375	8.687	9.770	10.592	11.604	12.831	14.136	15.850			
18	2.607	4.241	5.910	7.462	9.014	10.479	11.802	13.014	13.897	14.872	15.972	17.221	18.399	19.190
20	2.591	4.228	5.844	7.460	9.039	10.462	11.920	13.120	14.283	15.213	16.201	17.332	18.553	19.741
25	2.550	4.157	5.727	7.373	8.873	10.435	11.832	13.278	14.550	15.811	16.752	17.780	18.839	20.002
30	2.506	4.057	5.617	7.122	8.783	10.198	11.734	13.152	14.554	15.879	17.095	18.167	19.159	20.211
35	2.500	4.008	5.555	7.076	8.663	10.078	11.561	12.951	14.320	15.703	16.962	18.249	19.290	20.283
40	2.426	3.926	5.406	6.888	8.366	9.907	11.333	12.816	14.194	15.530	16.840	18.038	19.341	20.354
45	2.425	3.899	5.379	6.805	8.275	9.847	11.238	12.627	13.986	15.371	16.763	18.071	19.170	20.379
50	2.367	3.798	5.200	6.622	8.046	9.510	10.917	12.265	13.785	15.056	16.387	17.661	18.974	20.110

Tabel 5.12b *Frequency Ratios* Struktur dengan Kekakuan Muto

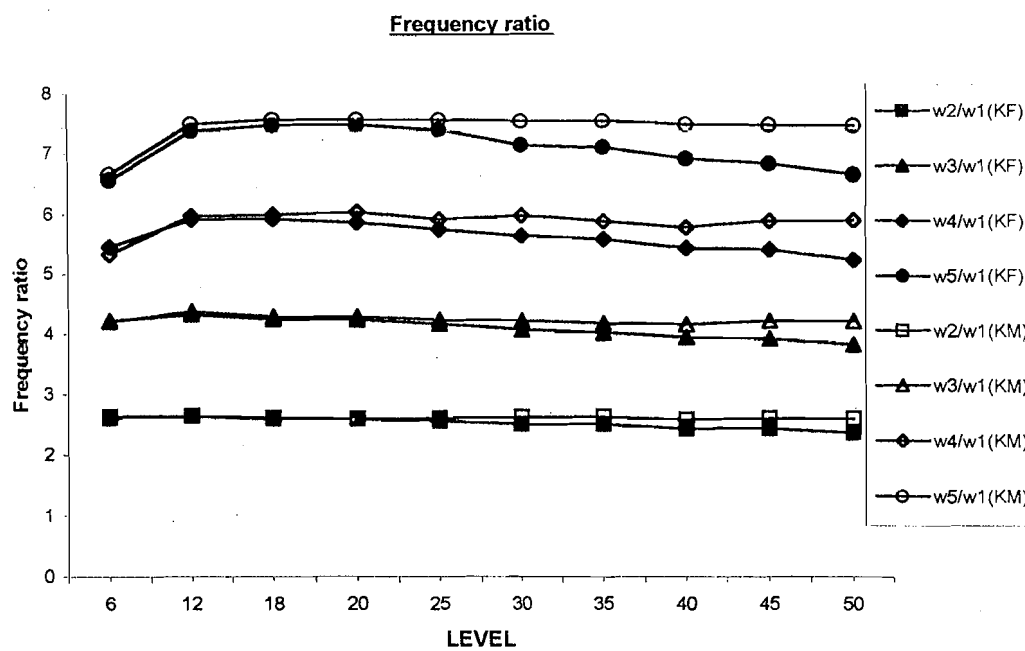
Tingkat	ω_2/ω_1	ω_3/ω_1	ω_4/ω_1	ω_5/ω_1	ω_6/ω_1	ω_7/ω_1	ω_8/ω_1	ω_9/ω_1	ω_{10}/ω_1	ω_{11}/ω_1	ω_{12}/ω_1	ω_{13}/ω_1	ω_{14}/ω_1	ω_{15}/ω_1
6	2.607	4.205	5.328	6.664	8.259									
12	2.644	4.374	5.970	7.486	8.802	9.863	10.670	11.425	13.012	14.375	17.277			
18	2.594	4.288	5.980	7.555	9.163	10.536	11.917	13.148	14.031	14.981	15.859	17.229	18.567	19.654
20	2.595	4.276	6.021	7.549	9.146	10.681	12.030	13.329	14.507	15.409	16.363	17.288	18.661	19.997
25	2.597	4.223	5.888	7.544	9.107	10.687	12.237	13.579	14.998	16.273	17.330	18.302	19.282	20.237
30	2.621	4.207	5.965	7.516	9.164	10.729	12.262	13.947	15.342	16.723	18.123	19.382	20.529	21.478
35	2.616	4.163	5.858	7.515	9.150	10.734	12.263	13.804	15.417	16.863	18.270	19.648	20.904	22.201
40	2.572	4.138	5.750	7.450	9.044	10.619	12.201	13.730	15.249	16.877	18.242	19.683	21.083	22.415
45	2.592	4.196	5.855	7.434	9.134	10.769	12.362	13.903	15.517	16.970	18.599	20.127	21.494	22.940
50	2.591	4.188	5.866	7.429	9.096	10.752	12.332	14.015	15.525	17.105	18.632	20.193	21.754	23.180



Gambar 5.15 Grafik *Frequency Ratio* Struktur dengan kekakuan Jepit

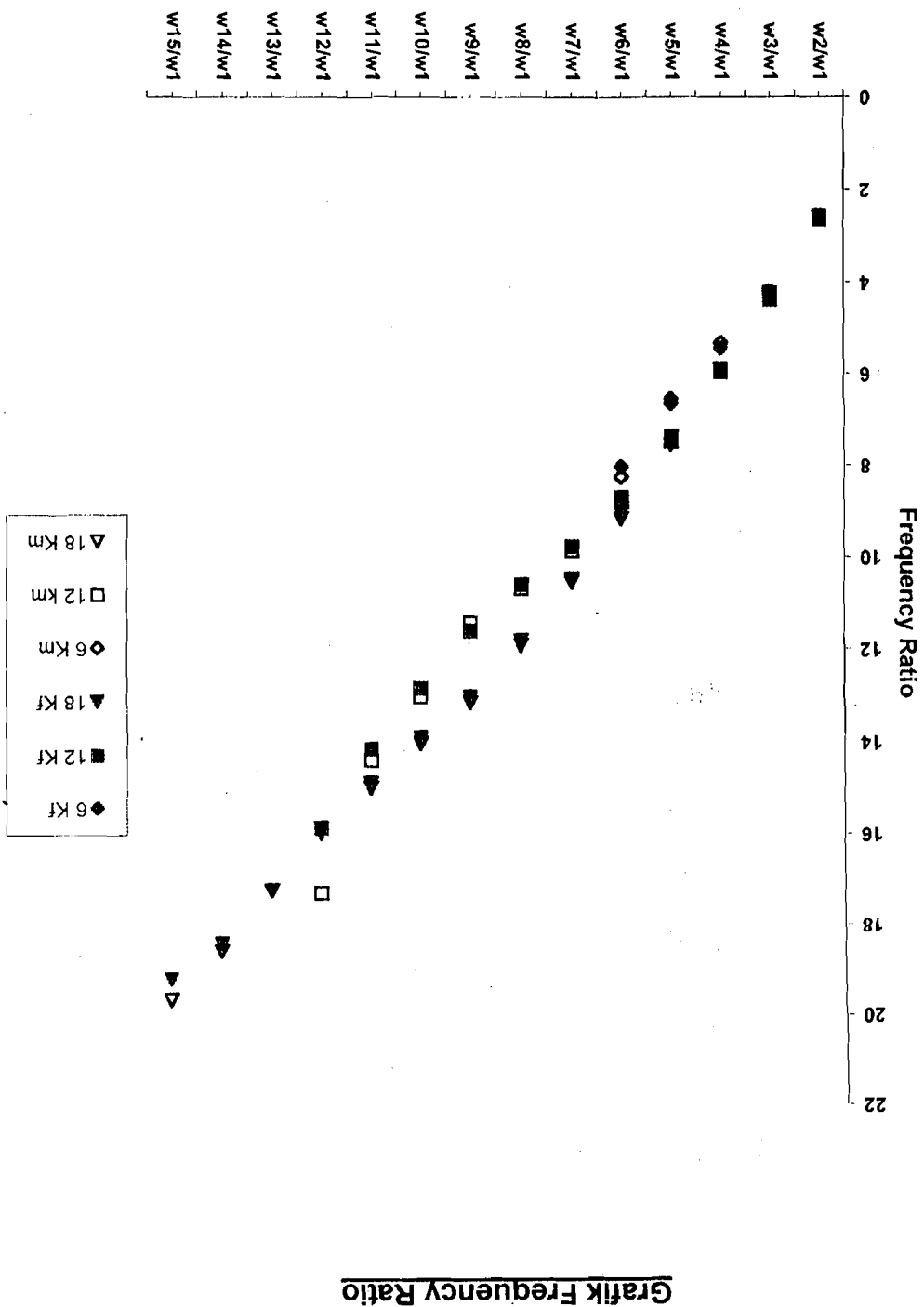


Gambar 5.16 Grafik *Frequency Ratio* Struktur dengan kekakuan Muto

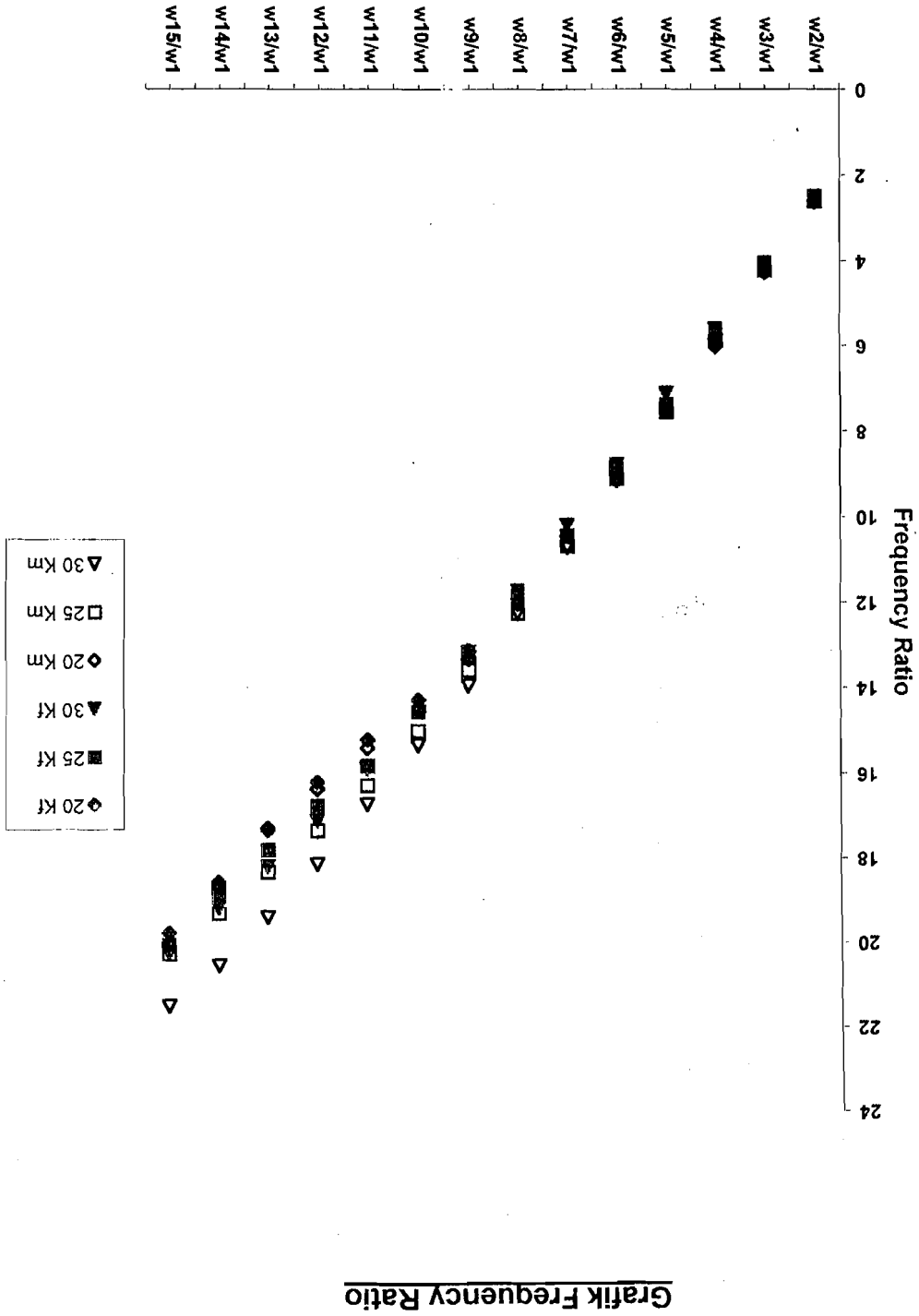


Gambar 5.16a Grafik Perbandingan *Frequency Ratio* KF dan KM

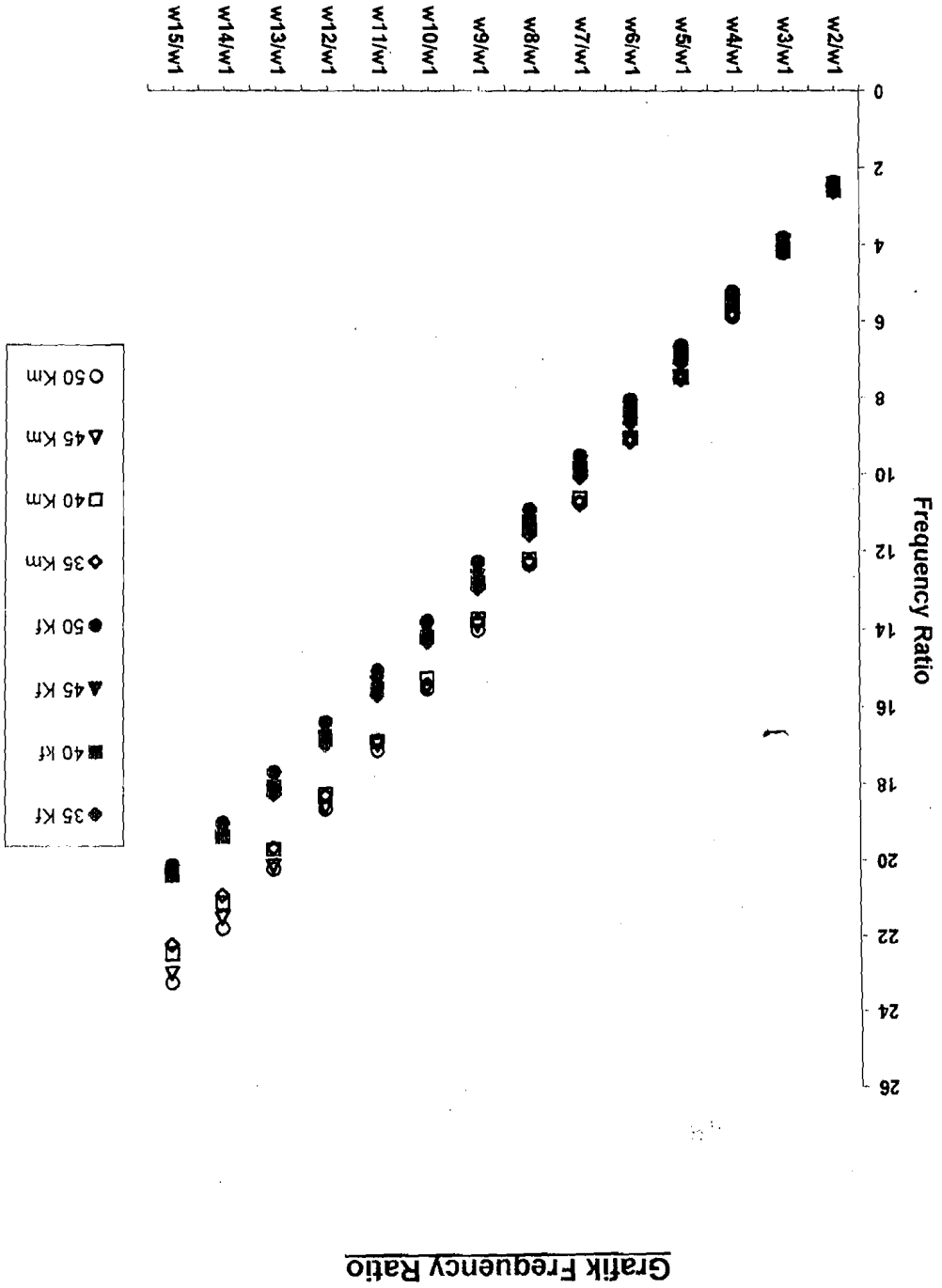
Gambar 5.17 Grafik *Frequency Ratio* Struktur 6 sampai 18 tingkat



Gambar 5.18 Grafik *Frequency Ratio* Struktur 20 sampai 30 tingkat



Gambar 5.19 Grafik *Frequency Ratio* Struktur 35 sampai 50 tingkat



Grafik *Frequency Ratio*

Apabila kita amati pada Gambar 5.19 Grafik *Frequency Ratio* Struktur 35 sampai 50 tingkat terlihat pada nilai *Frequency Ratio* bahwa dengan menggunakan kekakuan kolom dengan cara Muto lebih besar nilainya daripada kekakuan kolom cara Shear building disebabkan karena nilai kekakuan yang dihasilkan dengan menggunakan cara Muto lebih kecil daripada dengan cara shear building.

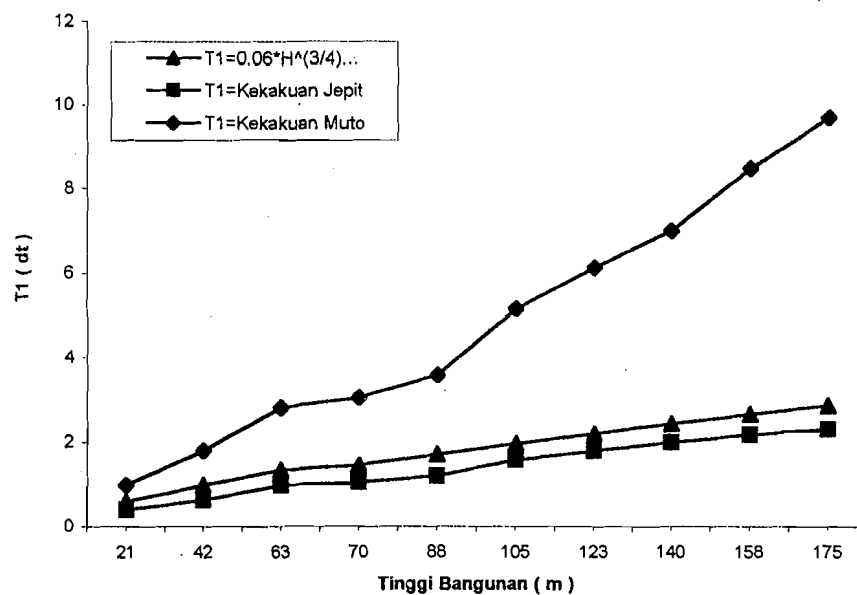
5.10.2 Periode 1 (T1) dan Koefisien C

Setelah *Frequency Ratio* didapat, kemudian dihitung juga nilai T1 hasil dari rumus 3.51, yaitu $T1=0.06H^{3/4}$, dengan nilai T1 dari hasil perhitungan ProgSIP 2001, yang dipakai adalah struktur dengan kekakuan Jepit dan kekakuan Muto. Hasil perbandingan T1 tersebut dapat dilihat pada tabel 5.13a, kemudian dari hasil tersebut dibuat grafik plot antara tinggi total dengan nilai T1. Grafiknya dapat dilihat pada gambar 5.20. Jika pada rumus 3.51 nilai 0.06 adalah koefisien yang dinamakan C, maka dari nilai T1 pada ProgSIP 2001 dapat dihitung nilai C tersebut. Dan akan dibandingkan antara nilai C dengan rumus 3.51 dan nilai C dari hasil ProgSIP 2001. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 5.13b dan grafiknya dapat dilihat pada gambar 5.21.

Tabel 5.13a Hasil Perbandingan Nilai T1

Tingkat	Tinggi bangunan (m)	$T1=0.06H^{3/4}$ (dt)	T1 Program (Jepit) (dt)	T1 Program (Muto) (dt)
6	21	0.59	0.401	0.986
12	42	0.99	0.632	1.804
18	63	1.34	0.980	2.818
20	70	1.45	1.050	3.052
25	88	1.72	1.196	3.587
30	105	1.97	1.584	5.164
35	123	2.21	1.804	6.140
40	140	2.44	1.991	7.009
45	158	2.67	2.184	8.483
50	175	2.89	2.325	9.713

Grafik Perbandingan Nilai T1

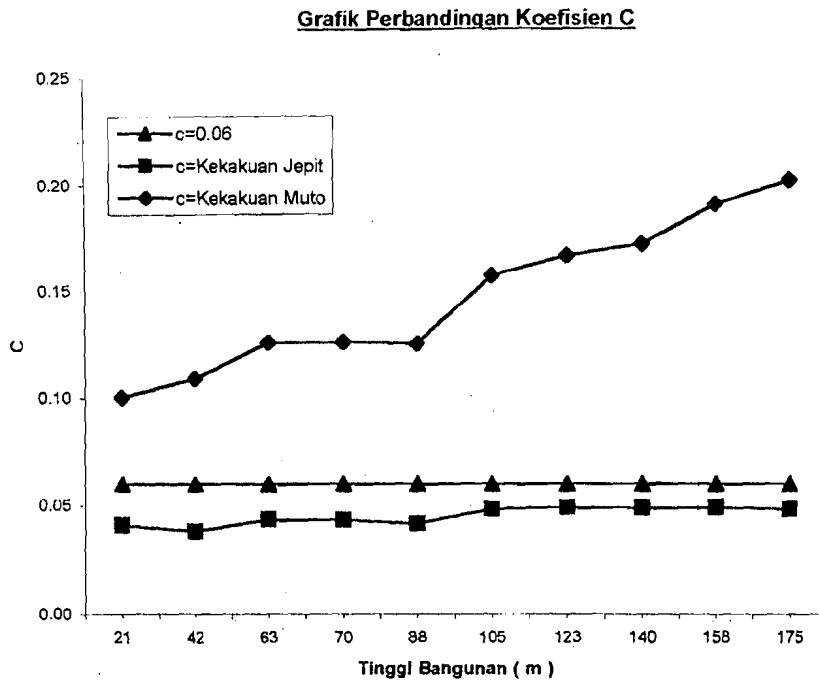


Gambar 5.20 Grafik Perbandingan Nilai T1

Apabila kita amati pada Gambar 5.20 Grafik Perbandingan Nilai T_1 terlihat pada nilai *Periode 1* bahwa dengan menggunakan kekakuan kolom dengan cara Muto lebih besar nilainya daripada kekakuan kolom cara shear building disebabkan karena nilai *frekuensi sudut* (ω) yang dihasilkan dengan menggunakan cara Muto lebih kecil daripada dengan cara shear building.

Tabel 5.13b Hasil Perbandingan Koefisien C

Tingkat	Tinggi bangunan	C=0.06	$C=T_1/H^{3/4}$ (Jepit)	$C=T_1/H^{3/4}$ (Muto)
6	21	0.0600	0.0409	0.1005
12	42	0.0600	0.0383	0.1094
18	63	0.0600	0.0438	0.1260
20	70	0.0600	0.0434	0.1261
25	88	0.0600	0.0418	0.1254
30	105	0.0600	0.0483	0.1574
35	123	0.0600	0.0490	0.1668
40	140	0.0600	0.0489	0.1722
45	158	0.0600	0.0491	0.1908
50	175	0.0600	0.0483	0.2019



Gambar 5.21 Grafik Perbandingan Koefisien C

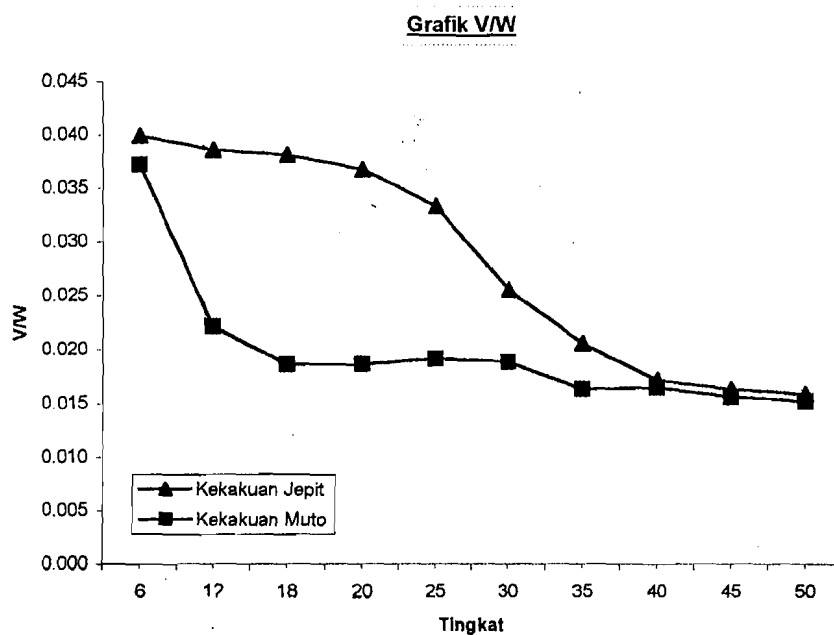
Apabila kita amati pada Gambar 5.21 Grafik Perbandingan Koefisien C terlihat pada nilai *koefisien C* bahwa dengan menggunakan kekakuan kolom dengan cara Muto lebih besar nilainya daripada kekakuan kolom cara shear building disebabkan karena nilai *periode 1* yang dihasilkan dengan menggunakan cara Muto lebih besar daripada dengan cara shear building.

5.10.3 V/W dan $T1/N$

Kemudian dihitung juga perbandingan antara gaya geser lantai dasar (V_1) dengan berat gedung total (W_{total}) dan perbandingan antara *natural period 1* (T_1) dengan jumlah tingkat gedung. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 5.13c, serta hasilnya berupa grafik dapat dilihat pada gambar 5.22 dan gambar 5.23.

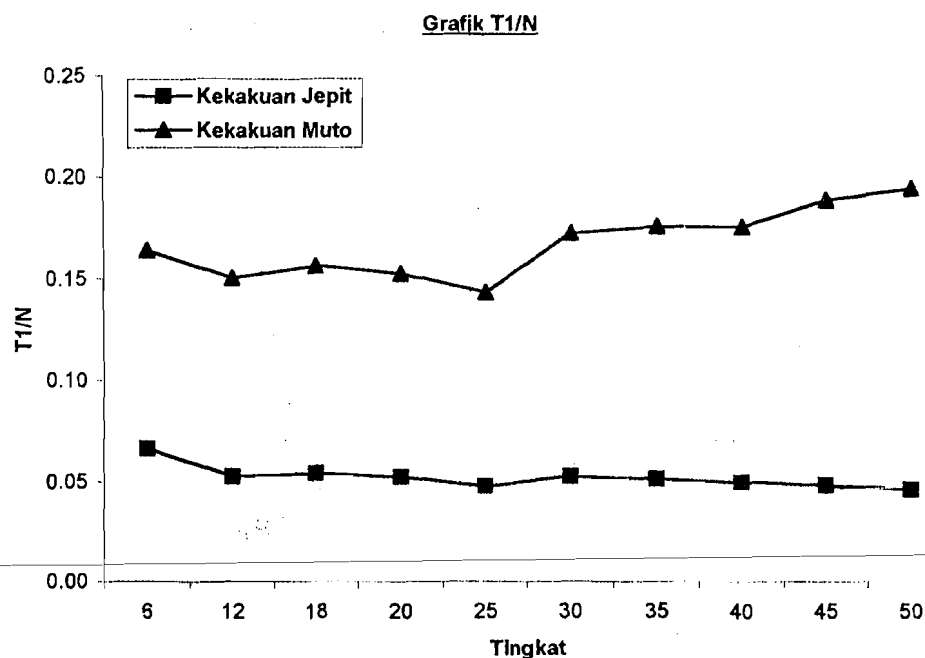
Tabel 5.13c Hasil Perbandingan V/W dan T_1/N

Tingkat	V/W		T_1/N	
	Struktur K Jepit	Struktur K Muto	Struktur K Jepit	Struktur K Muto
6	0.0399	0.0372	0.0669	0.1643
12	0.0386	0.0221	0.0527	0.1504
18	0.0381	0.0186	0.0544	0.1566
20	0.0368	0.0186	0.0525	0.1526
25	0.0333	0.0191	0.0478	0.1435
30	0.0256	0.0189	0.0528	0.1721
35	0.0206	0.0163	0.0515	0.1754
40	0.0172	0.0165	0.0498	0.1752
45	0.0163	0.0156	0.0485	0.1885
50	0.0159	0.0152	0.0465	0.1943



Gambar 5.22 Grafik V/W

Apabila kita amati pada Gambar 5.22 Grafik V/W terlihat pada nilai V/W bahwa dengan menggunakan kekakuan kolom dengan cara Shear Building lebih besar nilainya daripada kekakuan kolom cara Muto disebabkan karena nilai *Seismic force* yang dihasilkan dengan menggunakan cara Shear Building lebih besar daripada dengan cara Muto.



Gambar 5.23 Grafik T₁/N

Apabila kita amati pada Gambar 5.12b Grafik T₁/N terlihat pada nilai T₁/N bahwa dengan menggunakan kekakuan kolom dengan cara Muto lebih besar nilainya daripada kekakuan kolom cara Shear Building disebabkan karena nilai *frekuensi sudut* yang dihasilkan dengan menggunakan cara Muto lebih besar daripada dengan cara Shear Building.

5.11 Prosentase MEM, MSF, MLD

5.11.1 Prosentase Modal Effective Mass

Kemudian dihitung juga prosentase kontribusi mode yang telah mencapai MEM 90 % dan disajikan dalam Tabel 5.13d untuk Shear Building dan Tabel 5.13e untuk Muto dan dalam gambar 5.24 untuk Shear Building dan gambar 5.25 untuk Muto dibawah ini :

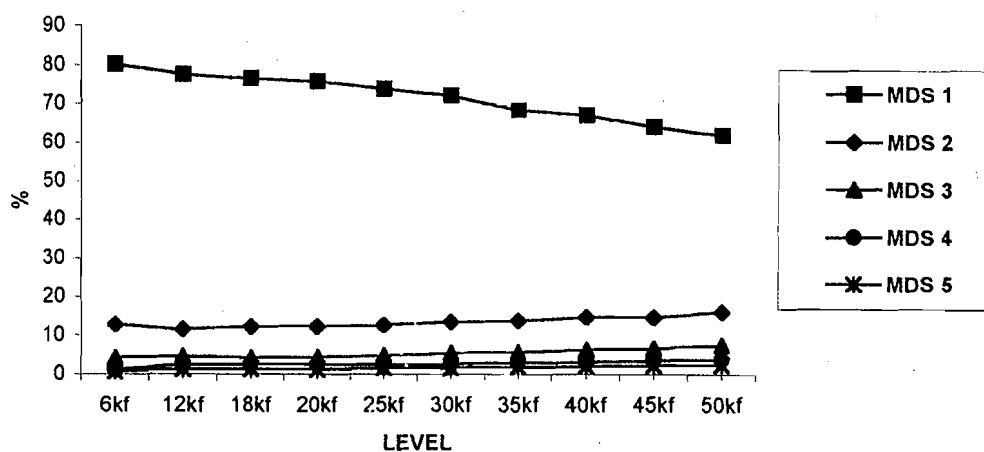
Tabel 5.13d % Modal Effective Mass

Tingkat	% Modal Effective Mass				
	1	2	3	4	5
6kf	80.2255	12.8648	4.20779	1.17339	0.74982
12kf	77.5759	11.5339	4.68221	2.43092	1.40318
18kf	76.5694	12.1849	4.32684	2.43632	1.36053
20kf	75.821	12.2365	4.43299	2.51019	1.28699
25kf	73.95	12.724	4.83669	2.48396	1.62936
30kf	72.1198	13.4797	5.504	2.60599	1.69584
35kf	68.3341	13.7098	5.75469	2.99248	1.89956
40kf	67.1901	14.7401	6.31562	3.11055	2.01221
45kf	64.0809	14.6598	6.71089	3.60574	2.3101
50kf	61.9456	16.0555	7.56024	3.91679	2.4109

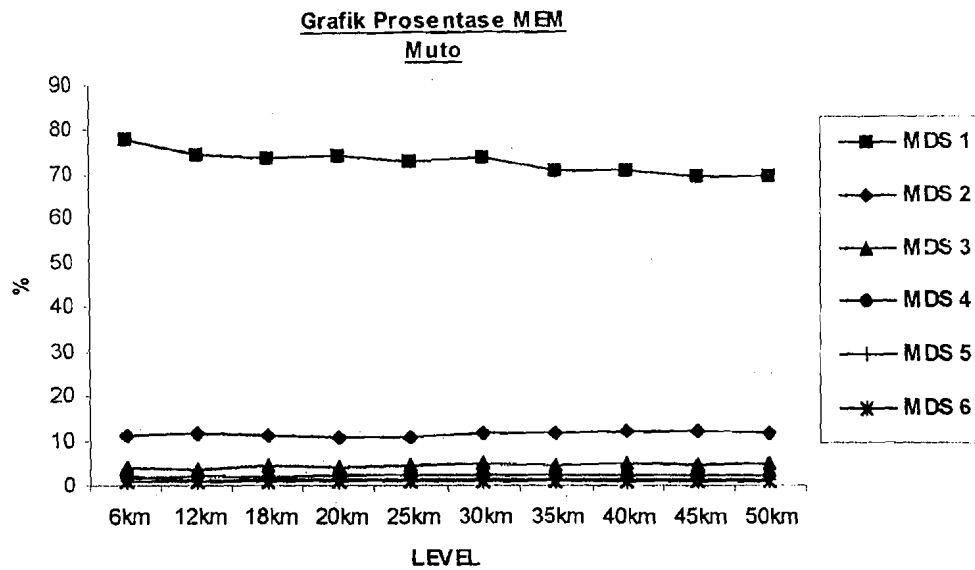
Tabel 5.13e % Modal Effective Mass

Tingkat	% Modal Effective Mass					
	1	2	3	4	5	6
6km	77.9987	11.2315	3.83405	1.8319	2.32548	0.72324
12km	74.3539	11.7161	3.75941	2.29272	1.10955	0.83059
18km	73.3811	11.0171	4.2528	1.81143	1.27061	0.87514
20km	74.067	10.8664	4.18757	2.04548	1.40196	0.97124
25km	72.6079	10.8536	4.51488	2.36974	1.14216	0.87729
30km	73.4806	11.4317	4.86181	2.37241	1.54761	1.02788
35km	70.3344	11.7123	4.53164	2.37912	1.24127	0.93681
40km	70.2104	11.9456	4.77478	2.31024	1.27016	0.97232
45km	69.0148	12.087	4.63612	2.3221	1.48393	0.84824
50km	69.1765	11.7869	4.77613	2.23803	1.46907	1.01307

Grafik Prosentase MEM
Shear Building

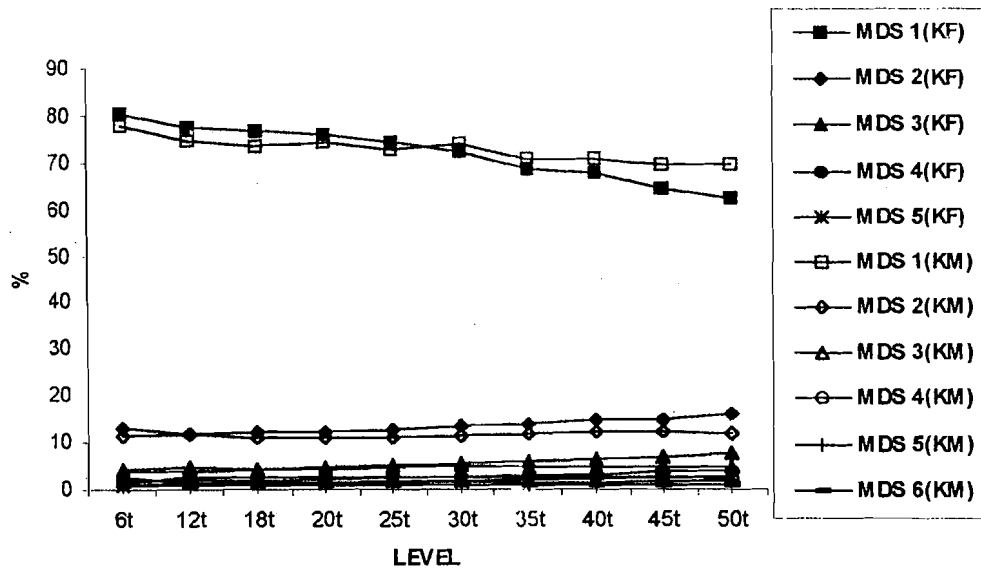


Gambar 5.24 Grafik % Modal Effective Mass untuk Shear Building



Gambar 5.25 Grafik % Modal Effective Mass untuk Muto

Dari Gambar Prosentase Modal Effective Mass diatas dapat dilihat bahwa Prosentase akibat mode 1 nilainya jauh lebih besar hasilnya daripada mode ke 2 dan seterusnya tetapi Prosentase akibat mode 1 diatas belum mencapai 90 % yaitu hanya sekitar 70%-80% sehingga Prosentase akibat mode-mode yang lainnya harus diperhatikan sampai mencapai kumulatif 90%.



Gambar 5.26 Grafik Perbandingan% MEM Shear Building dan Muto

Dari Gambar 5.26 Grafik Perbandingan% MEM Shear Building dan Muto diatas dapat disimpulkan bahwa mode 1 Shear Building tidak selamanya lebih besar daripada mode 1 Muto dan begitupun sebaliknya tetapi apabila kontribusi mode diperhitungkan sampai 90% maka untuk struktur Shear Building lebih sedikit kontribusi mode yang dipakai yaitu ada 5 mode untuk 50 tingkat dan untuk struktur Muto ada 6 mode untuk 50 tingkat yang harus diperhitungkan sehingga untuk menghitung perhitungan yang lainnya harus diperhitungkan kontribusi mode yang lainnya sampai dicapai prosentase 90%.

5.11.2 Prosentase Modal Seismic Force

Kemudian dihitung juga prosentase Modal Seismic Force yang telah mencapai MEM 90 % dan disajikan dalam Tabel 5.13f untuk Shear Building dan Tabel 5.13g untuk Muto dan dalam gambar 5.27a untuk Shear Building dan gambar 5.27b untuk Muto dan gambar 5.27c untuk perbandingannya dibawah ini :

Tabel 5.13f % Modal Seismic Force KF

Tingkat	% Modal Seismic Force				
	MDS 1	MDS 1-2	MDS 1-3	MDS 1-4	SRSS
50	78.7590271	90.4620201	95.5537323	98.3704815	100
49	80.7315926	92.2009477	96.7644126	98.9630795	100
48	84.7386318	95.4829168	98.8132769	99.8220581	100
47	88.4545857	97.9196553	99.7855429	99.9186343	100
46	90.6721748	98.4504522	99.1196526	99.2120007	100
45	91.5931587	97.6138807	97.6816563	98.4481139	100
44	92.0038241	96.3329065	96.4181808	98.1654357	100
43	92.3498233	95.0367384	95.7923409	98.5074094	100
42	92.6709692	94.036724	95.9880408	99.2177751	100
41	92.7761404	93.1808324	96.7381268	99.8615733	100
40	92.4592127	92.4799464	97.4690929	99.9803042	100
39	91.8058617	91.9053553	97.9646413	99.6445702	100
38	90.7874077	91.42641	98.193146	98.9901297	100
37	89.4793234	91.1447719	98.1267346	98.2941658	100
36	87.9357798	91.1599563	97.8283412	97.8465628	100
35	86.4778209	91.5059246	97.4638453	97.8597561	100
34	85.1491158	92.2447331	97.1525657	98.3201032	100
33	83.8732	93.1907722	96.8774139	99.0066192	100
32	82.3863808	94.1675632	96.5397567	99.6722731	100

31	80.7338016	94.8527708	96.130952	99.986971	100
30	78.6857249	95.1928403	95.6269296	99.8519938	100
29	76.2946867	95.0959683	95.1190172	99.2533121	100
28	73.8260313	94.6608385	94.7802579	98.4161533	100
27	71.3669748	94.0310181	94.7261574	97.5806788	100
26	69.0743842	93.338499	95.010091	96.9828319	100
25	66.7768398	92.5554384	95.6422091	96.7241653	100
24	64.8460434	91.8100988	96.4108458	96.8680438	100
23	62.8860925	90.919216	97.2987339	97.3679794	100
22	60.7859762	89.7193199	98.0989289	98.1351841	100
21	58.4122037	88.0043864	98.5400025	98.9937762	100
20	55.6363817	85.5654449	98.3250756	99.7015329	100
19	53.1151893	83.0327238	97.5195703	99.9838745	100
18	50.6652983	80.3423762	96.2609256	99.9215755	100
17	48.1894927	77.4376707	94.5784639	99.5292847	100
16	45.653105	74.2998616	92.4801194	98.7989843	100
15	43.0903704	70.9926421	90.0295428	97.7489172	100
14	40.8507566	68.0071397	87.6502428	96.5942342	100
13	38.6766726	65.0342571	85.1494341	95.2750739	100
12	36.9530301	62.6304238	83.0444037	94.0983529	100
11	35.3395072	60.3443534	80.9791526	92.8933893	100
10	33.8226601	58.1667984	78.9612122	91.6753655	100
9	32.8021409	56.6873263	77.564367	90.811542	100
8	31.898246	55.3666571	76.2991822	90.0145655	100
7	31.1244819	54.2286156	75.1954802	89.3085678	100
6	30.4552657	53.2387777	74.2255873	88.6802268	100
5	29.878768	52.3820916	73.3789979	88.126012	100
4	29.4772231	51.783348	72.7835902	87.7332704	100

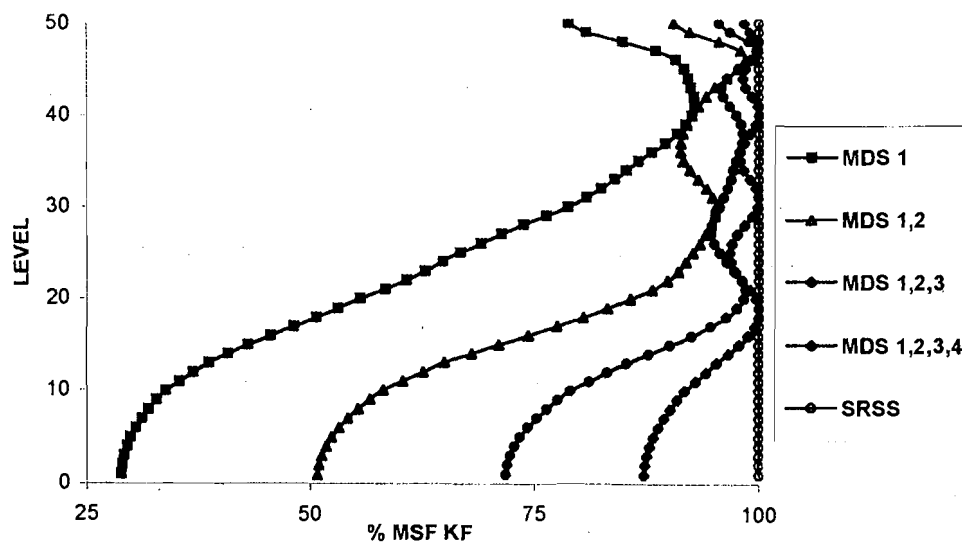
3	29.167187	51.3198139	72.3204658	87.4260163	100
2	28.9469503	50.9899252	71.9897013	87.2056592	100
1	28.8153124	50.7924836	71.7912886	87.0731066	100

Tabel 5.13g % Modal Seismic Force KM

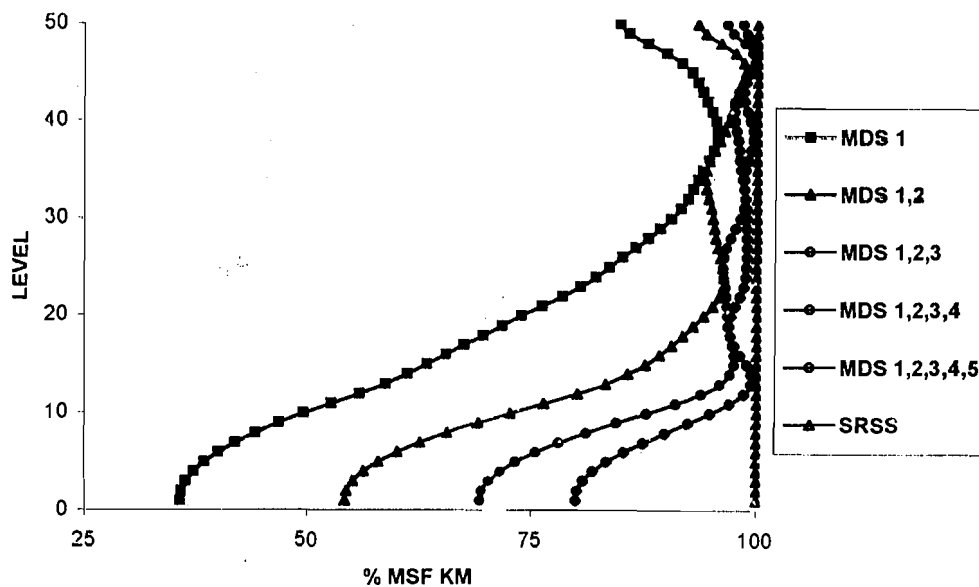
Tingkat	% Modal Seismic Force					
	MDS 1	MDS 1-2	MDS 1-3	MDS 1-4	MDS 1-5	SRSS
50	84.61989	93.31899	96.63076	98.35656	98.35656	100
49	85.60974	94.18746	97.29492	98.78758	98.78758	100
48	87.65505	95.89599	98.51919	99.51796	99.51796	100
47	89.81854	97.49268	99.46572	99.93571	99.93571	100
46	91.50502	98.40661	99.69271	99.79552	99.79552	100
45	92.66163	98.57555	99.21511	99.22305	99.22305	100
44	93.33426	98.25808	98.47289	98.67934	98.67934	100
43	93.86497	97.84418	97.86222	98.44203	98.44203	100
42	94.43131	97.45721	97.50231	98.55484	98.55484	100
41	94.97121	97.12138	97.42414	98.91047	98.91047	100
40	95.38242	96.78213	97.52700	99.29735	99.29735	100
39	95.58706	96.35512	97.69764	99.55277	99.55277	100
38	95.51101	95.80703	97.85326	99.56766	99.56766	100
37	95.15245	95.18854	97.96902	99.34424	99.34424	100
36	94.56944	94.60330	98.06976	98.98574	98.98574	100
35	93.93398	94.21936	98.18597	98.67906	98.67906	100
34	93.38367	94.13041	98.36949	98.54535	98.54535	100
33	92.86789	94.27062	98.55603	98.56949	98.56949	100
32	92.26459	94.54026	98.64117	98.68434	98.68434	100

31	91.41872	94.82454	98.49958	98.80005	98.80005	100
30	90.34752	95.02783	98.10947	98.84611	98.84611	100
29	89.12439	95.17928	97.57553	98.83789	98.83789	100
28	87.78689	95.34746	97.01563	98.81996	98.81996	100
27	86.39950	95.57989	96.56082	98.82780	98.82780	100
26	84.97855	95.87491	96.29587	98.85867	98.85867	100
25	83.54924	96.15538	96.23801	98.86245	98.86245	100
24	82.07049	96.31944	96.32606	98.77416	98.77416	100
23	80.38207	96.25425	96.47595	98.52913	98.52913	100
22	78.40902	95.84014	96.60390	98.10481	98.10481	100
21	76.13510	95.02454	96.67076	97.56529	97.56529	100
20	73.85684	93.97202	96.71292	97.11444	97.11444	100
19	71.72354	92.85813	96.80893	96.90390	96.90390	100
18	69.61910	91.67705	97.00081	97.00303	97.00303	100
17	67.53415	90.42167	97.25368	97.43446	97.43446	100
16	65.45216	89.05188	97.47566	98.14332	98.14332	100
15	63.35694	87.48417	97.45179	98.88134	98.88134	100
14	61.15716	85.58675	96.96820	99.36621	99.36621	100
13	58.65708	83.13372	95.78995	99.33336	99.33336	100
12	55.82139	80.05516	93.76880	98.54407	98.54407	100
11	52.65764	76.36126	90.87978	96.89537	96.89537	100
10	49.58298	72.58981	87.61028	94.69686	94.69686	100
9	46.79798	69.05844	84.34784	92.30012	92.30012	100
8	44.17196	65.64839	81.05766	89.74304	89.74304	100
7	41.88796	62.62986	78.05351	87.31642	87.31642	100
6	39.98461	60.08157	75.46000	85.16401	85.16401	100
5	38.41268	57.95637	73.26103	83.30275	83.30275	100
4	37.19048	56.29199	71.51777	81.80600	81.80600	100

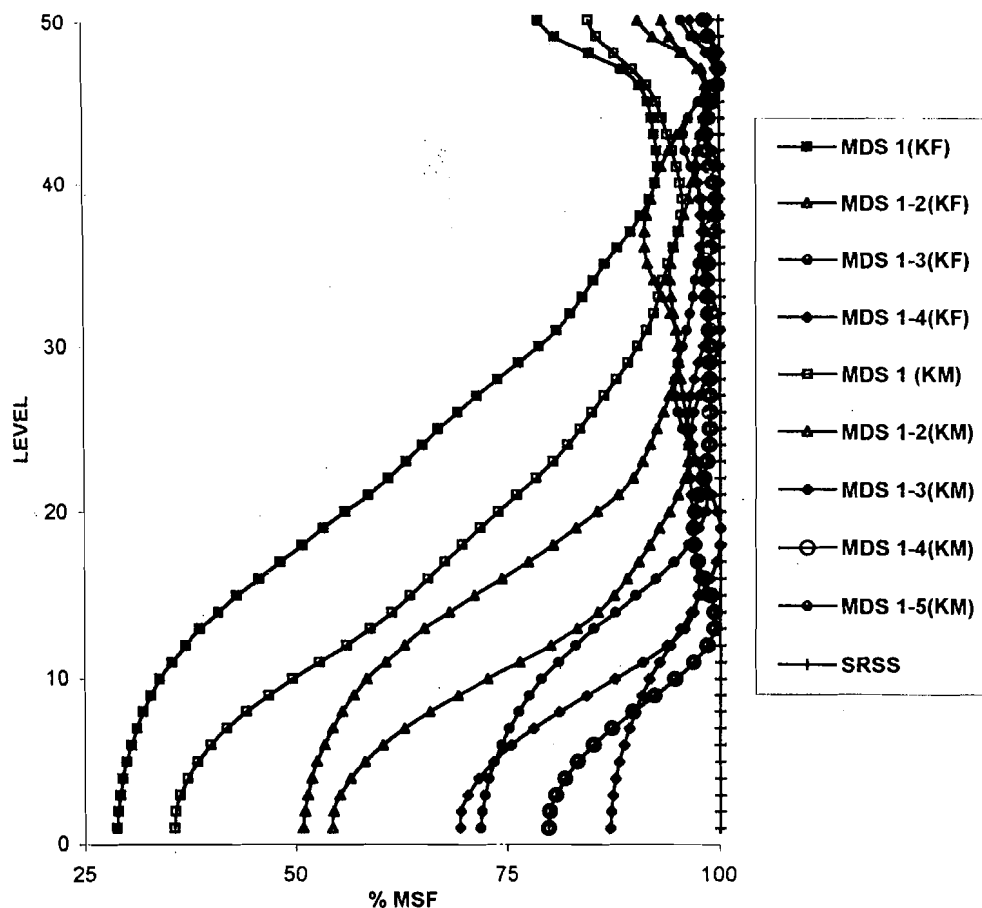
3	36.31173	55.08907	70.24696	80.70388	80.70388	100
2	35.77616	54.35349	69.46552	80.02181	80.02181	100
1	35.67615	54.21598	69.31918	79.89382	79.89382	100



Gambar 5.27a Grafik % Modal Seismic Force untuk Shear Building



Gambar 5.27b Grafik % Modal Seismic Force untuk Muto



Gambar 5.27c Grafik Perbandingan % MSF Shear Building dan Muto

Dari gambar Modal Seismic Force diatas dapat diambil suatu kesimpulan bahwa Prosentase Modal Seismic Force dengan struktur Muto lebih besar daripada Modal Seismic Force dengan struktur Shear Building dan Prosentase Modal Seismic Force untuk kedua cara tersebut (Shear Building dan Muto) belum mencapai 90% sehingga dalam mencari Modal Seismic Force harus memperhitungkan semua kontribusi mode yaitu dengan cara metode SRSS.

5.11.3 Prosentase Modal Lateral Displacement

Kemudian dihitung juga prosentase Modal Lateral Displacement yang telah mencapai MEM 90 % dan dalam Tabel 5.13h untuk Shear Building dan Tabel 5.13i untuk Muto dan dalam gambar 5.28a untuk Shear Building dan gambar 5.28b untuk Muto dan gambar 5.29 perbandingannya dibawah ini :

Tabel 5.13h % Modal Lateral Displacement KF

Tingkat	% Modal Lateral Displacement				
	MDS 1	MDS 1-2	MDS 1-3	MDS 1-4	SRSS
50	99.45155	99.95641	99.99270	99.99866	100
49	99.48182	99.96325	99.99472	99.99919	100
48	99.54951	99.97652	99.99798	99.99987	100
47	99.63103	99.98847	99.99972	99.99995	100
46	99.71151	99.99551	99.99935	99.99951	100
45	99.78170	99.99745	99.99783	99.99905	100
44	99.84250	99.99568	99.99615	99.99889	100
43	99.89686	99.99082	99.99488	99.99910	100
42	99.93686	99.98415	99.99452	99.99953	100
41	99.96227	99.97620	99.99504	99.99992	100
40	99.96869	99.96940	99.99603	99.99999	100
39	99.96086	99.96432	99.99709	99.99978	100
38	99.93820	99.96070	99.99806	99.99937	100
37	99.89923	99.95904	99.99862	99.99890	100
36	99.84072	99.95950	99.99854	99.99857	100
35	99.77167	99.96182	99.99783	99.99853	100
34	99.69054	99.96606	99.99667	99.99881	100
33	99.59984	99.97151	99.99525	99.99928	100
32	99.49292	99.97777	99.99362	99.99975	100

31	99.38250	99.98327	99.99215	99.99999	100
30	99.25690	99.98772	99.99089	99.99988	100
29	99.11901	99.98990	99.99007	99.99935	100
28	98.97785	99.98892	99.98990	99.99853	100
27	98.83155	99.98437	99.99042	99.99762	100
26	98.68522	99.97612	99.99156	99.99685	100
25	98.52661	99.96287	99.99325	99.99635	100
24	98.38397	99.94702	99.99492	99.99631	100
23	98.23334	99.92606	99.99648	99.99670	100
22	98.07336	99.89890	99.99737	99.99750	100
21	97.90190	99.86409	99.99682	99.99854	100
20	97.71572	99.81973	99.99377	99.99952	100
19	97.55648	99.77652	99.98875	99.99997	100
18	97.40759	99.73171	99.98170	99.99985	100
17	97.26019	99.68320	99.97224	99.99901	100
16	97.10993	99.62953	99.95979	99.99719	100
15	96.95579	99.57021	99.94395	99.99414	100
14	96.81669	99.51316	99.92691	99.99022	100
13	96.67566	99.45203	99.90693	99.98501	100
12	96.55810	99.39866	99.88819	99.97966	100
11	96.44242	99.34406	99.86788	99.97345	100
10	96.32737	99.28785	99.84592	99.96634	100
9	96.24586	99.24695	99.82932	99.96074	100
8	96.17070	99.20841	99.81322	99.95514	100
7	96.10392	99.17353	99.79828	99.94981	100
6	96.04418	99.14184	99.78442	99.94475	100
5	95.99111	99.11329	99.77172	99.94003	100
4	95.95317	99.09268	99.76242	99.93653	100

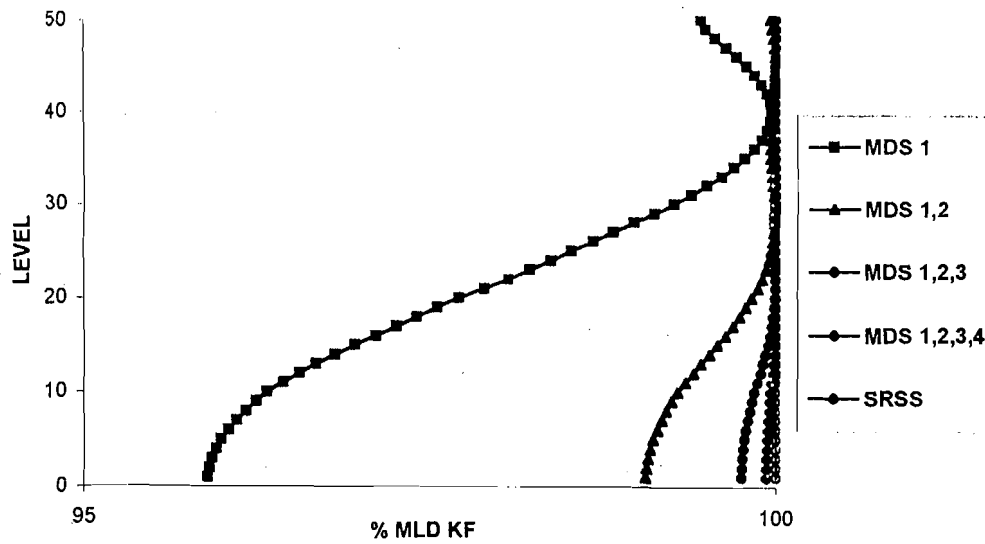
3	95.92333	99.07634	99.75498	99.93369	100
2	95.90183	99.06450	99.74955	99.93161	100
1	95.88885	99.05733	99.74624	99.93034	100

Tabel 5.13i % Modal Lateral Displacement KM

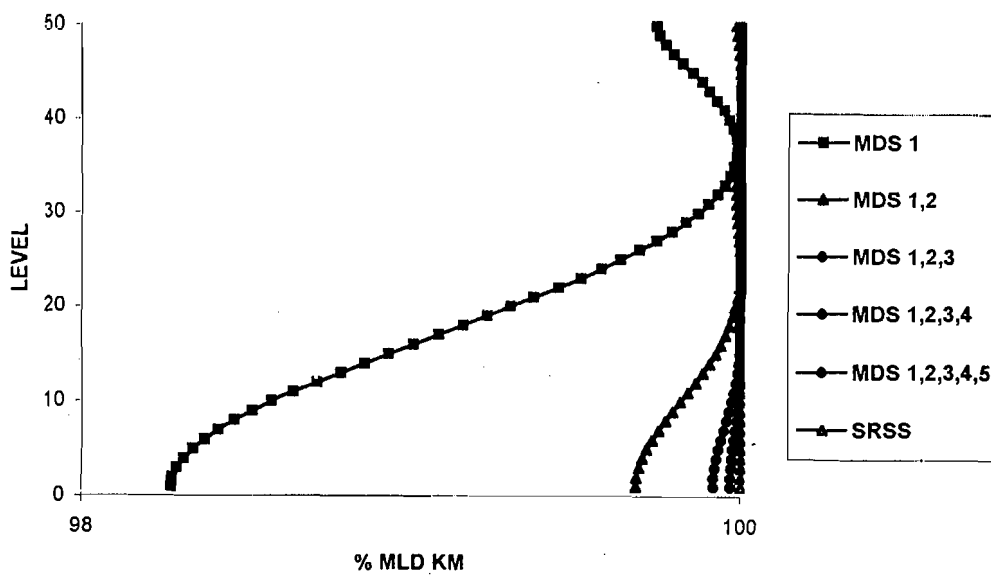
Tingkat	% Modal Lateral Displacement					
	MDS 1	MDS 1-2	MDS 1-3	MDS 1-4	MDS 1-5	SRSS
50	99.74447	99.98322	99.99744	99.99941	99.99941	100
49	99.75231	99.98475	99.99789	99.99956	99.99956	100
48	99.77048	99.98799	99.99874	99.99982	99.99982	100
47	99.79475	99.99169	99.99949	99.99998	99.99998	100
46	99.82185	99.99493	99.99986	99.99996	99.99996	100
45	99.85171	99.99741	99.99980	99.99981	99.99981	100
44	99.87882	99.99866	99.99944	99.99964	99.99964	100
43	99.90309	99.99894	99.99900	99.99955	99.99955	100
42	99.92630	99.99841	99.99857	99.99954	99.99954	100
41	99.94648	99.99720	99.99826	99.99963	99.99963	100
40	99.96279	99.99555	99.99813	99.99975	99.99975	100
39	99.97565	99.99353	99.99817	99.99986	99.99986	100
38	99.98441	99.99129	99.99835	99.99991	99.99991	100
37	99.98814	99.98899	99.99863	99.99989	99.99989	100
36	99.98601	99.98681	99.99895	99.99980	99.99980	100
35	99.97841	99.98515	99.99921	99.99967	99.99967	100
34	99.96640	99.98420	99.99940	99.99957	99.99957	100
33	99.95021	99.98393	99.99950	99.99951	99.99951	100
32	99.92904	99.98435	99.99946	99.99950	99.99950	100

31	99.90142	99.98545	99.99924	99.99954	99.99954	100
30	99.86942	99.98703	99.99886	99.99960	99.99960	100
29	99.83357	99.98894	99.99836	99.99968	99.99968	100
28	99.79250	99.99107	99.99781	99.99974	99.99974	100
27	99.74603	99.99320	99.99728	99.99977	99.99977	100
26	99.69389	99.99503	99.99684	99.99975	99.99975	100
25	99.63838	99.99622	99.99658	99.99966	99.99966	100
24	99.58076	99.99650	99.99653	99.99950	99.99950	100
23	99.51806	99.99562	99.99669	99.99928	99.99928	100
22	99.44999	99.99319	99.99703	99.99902	99.99902	100
21	99.37617	99.98877	99.99751	99.99876	99.99876	100
20	99.30363	99.98263	99.99799	99.99859	99.99859	100
19	99.23398	99.97508	99.99840	99.99855	99.99855	100
18	99.16181	99.96552	99.99866	99.99866	99.99866	100
17	99.08678	99.95371	99.99860	99.99892	99.99892	100
16	99.00967	99.93954	99.99802	99.99928	99.99928	100
15	98.93414	99.92360	99.99671	99.99960	99.99960	100
14	98.86124	99.90620	99.99452	99.99971	99.99971	100
13	98.78807	99.88666	99.99115	99.99943	99.99943	100
12	98.71535	99.86511	99.98641	99.99853	99.99853	100
11	98.64256	99.84139	99.98005	99.99679	99.99679	100
10	98.57631	99.81793	99.97274	99.99430	99.99430	100
9	98.51790	99.79577	99.96498	99.99127	99.99127	100
8	98.46285	99.77360	99.95648	99.98761	99.98761	100
7	98.41400	99.75291	99.94795	99.98366	99.98366	100
6	98.37205	99.73439	99.93986	99.97971	99.97971	100
5	98.33622	99.71803	99.93239	99.97591	99.97591	100
4	98.30743	99.70451	99.92601	99.97256	99.97256	100

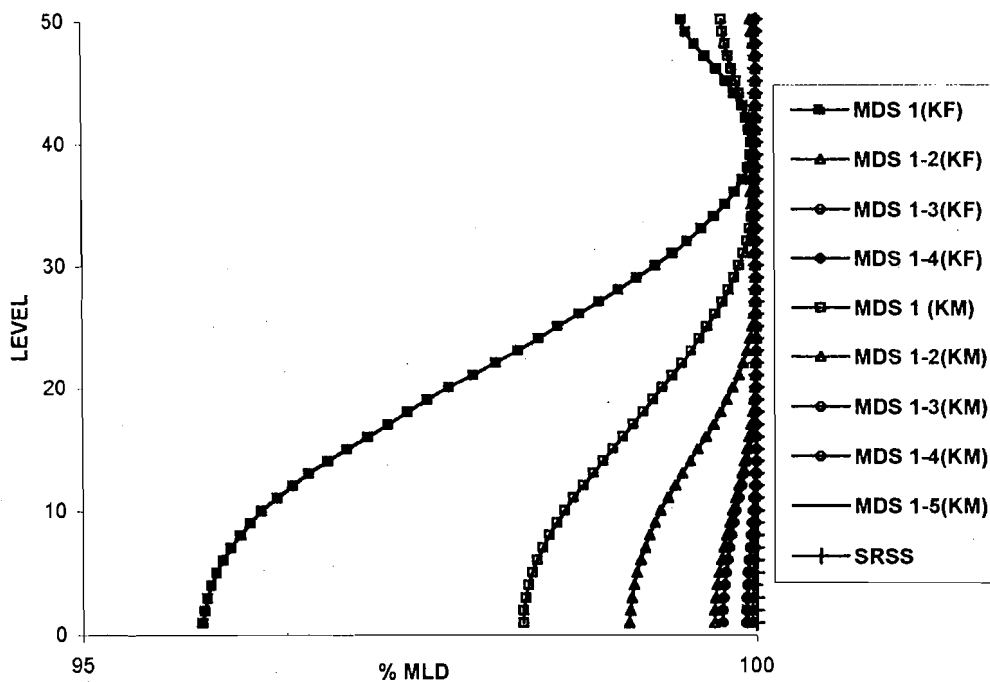
3	98.28613	99.69432	99.92107	99.96991	99.96991	100
2	98.27288	99.68789	99.91790	99.96819	99.96819	100
1	98.27037	99.68667	99.91729	99.96786	99.96786	100



Gambar 5.28a Grafik % Modal Lateral Displacement untuk Shear Building



Gambar 5.28b Grafik % Modal Lateral Displacement untuk Muto



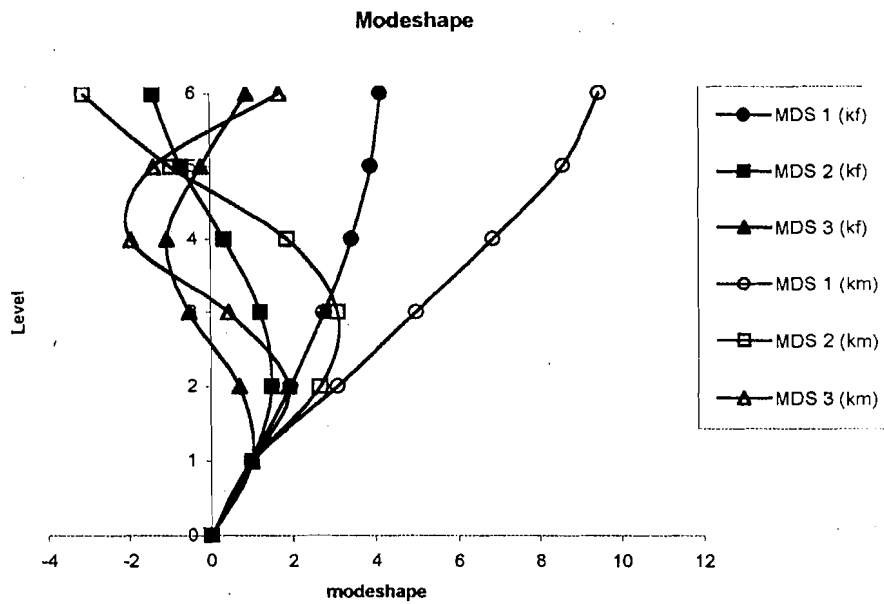
Gambar 5.29 Grafik % MLD untuk Shear Building dan Muto

Dari gambar Modal Lateral Displacement diatas dapat diambil suatu kesimpulan bahwa Prosentase Modal Lateral Displacement dengan struktur Muto lebih besar daripada Modal Lateral Displacement dengan struktur Shear Building tetapi Prosentase Modal Lateral Displacement untuk kedua cara tersebut (Shear Building dan Muto) untuk mode 1 sudah mencapai 90% sehingga dalam mencari Modal Lateral Displacement tidak harus memperhitungkan semua kontribusi mode, cukup dengan akibat mode 1 saja tetapi lebih baik memperhitungkan kontribusi mode sampai 90% MEM.

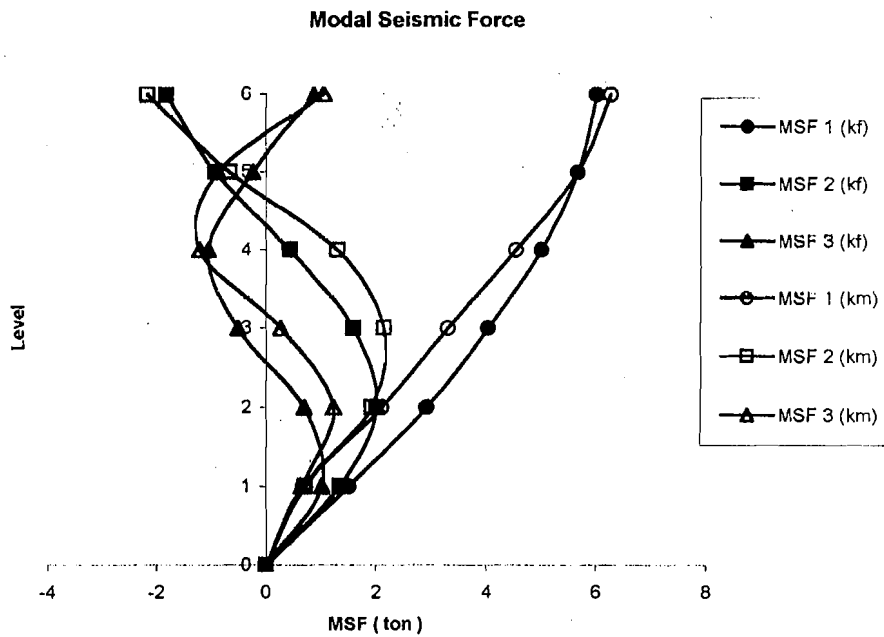
Dalam menghitung *modeshape*, untuk menguji bahwa hasil dari modeshape tersebut benar, dipakai rumus $[\phi_i]^T [M] [\phi_j] = 0$, syaratnya $i \neq j$.

5.12 Perbandingan Hasil kekakuan Jepit dan Kekakuan Muto

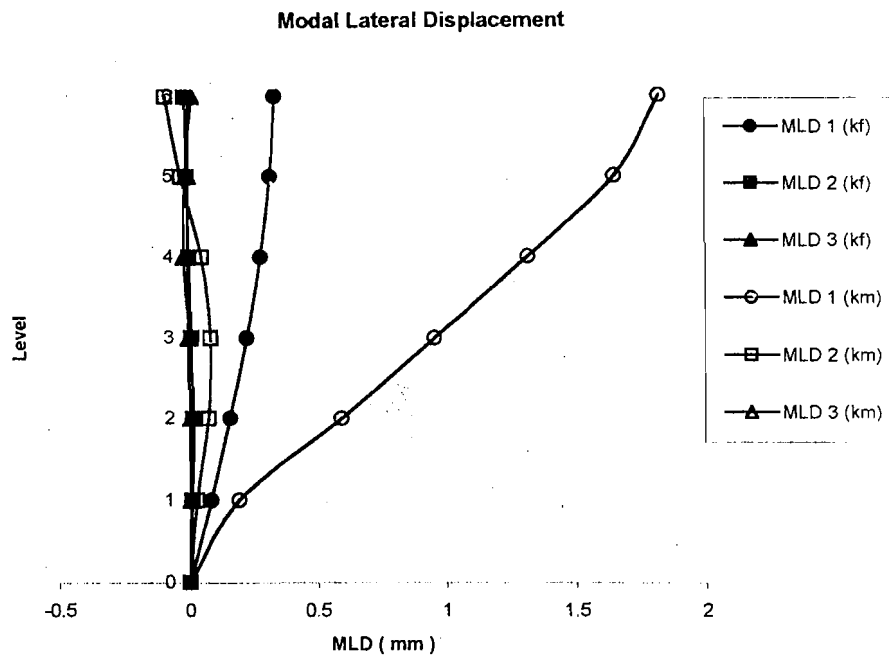
5.12.1 Untuk Struktur dengan 6 Tingkat



Gambar 5.30 Perbandingan Modeshape struktur 6 Tingkat

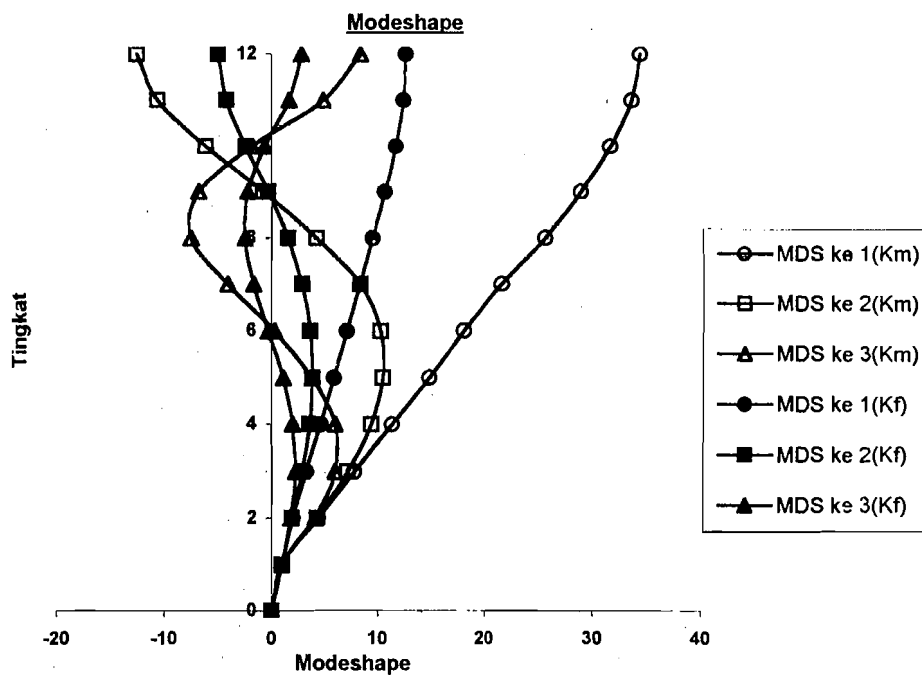


Gambar 5.31 Perbandingan Modal Seismic Force struktur 6 Tingkat

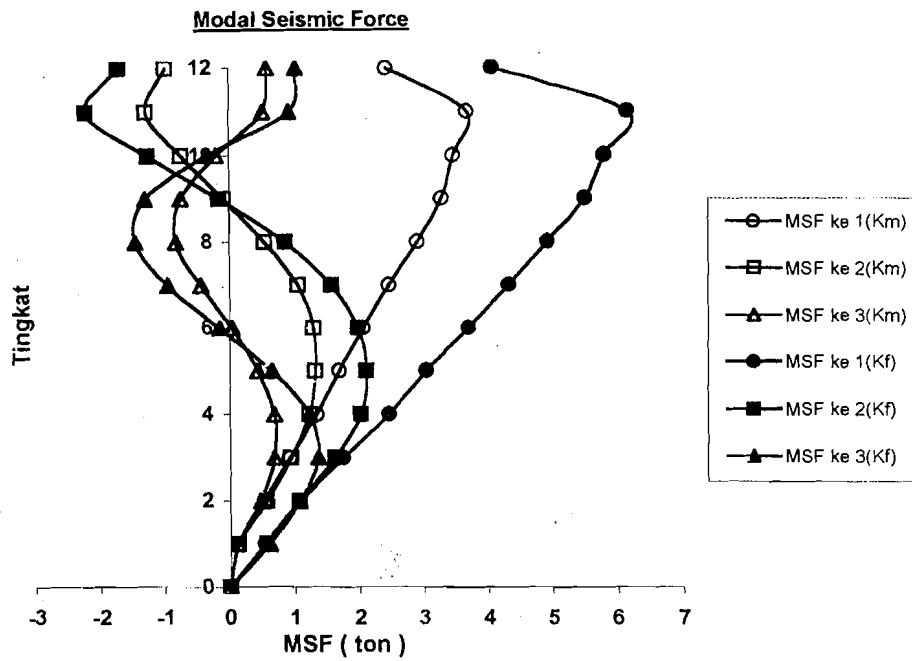


Gambar 5.32 Perbandingan Modal Lateral Displacement struktur 6 Tingkat

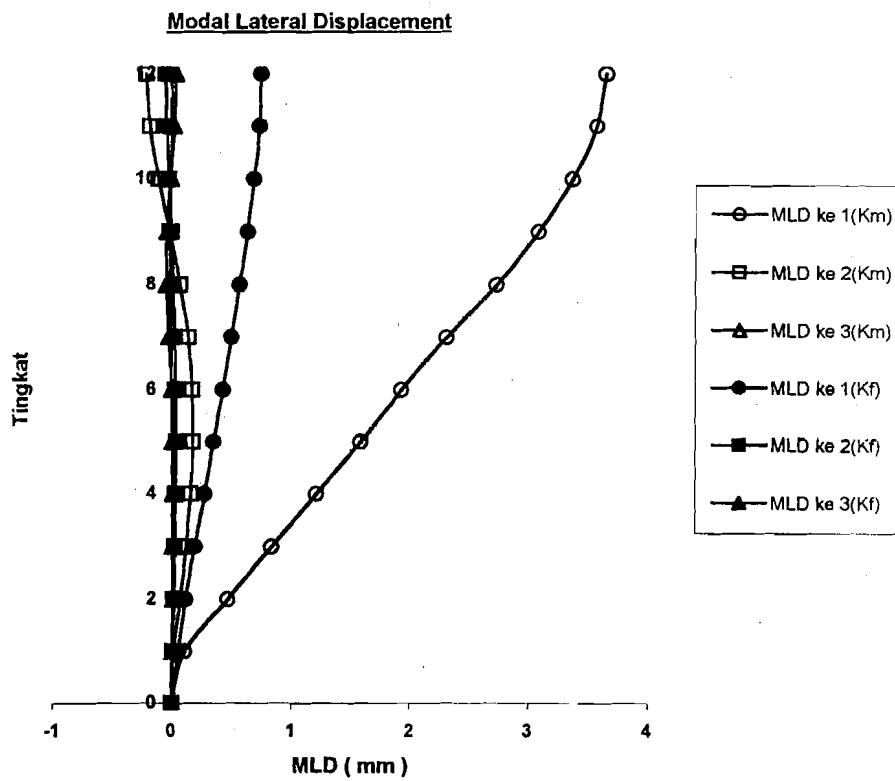
5.12.2 Untuk Struktur dengan 12 Tingkat



Gambar 5.33 Perbandingan Modeshape struktur 12 Tingkat

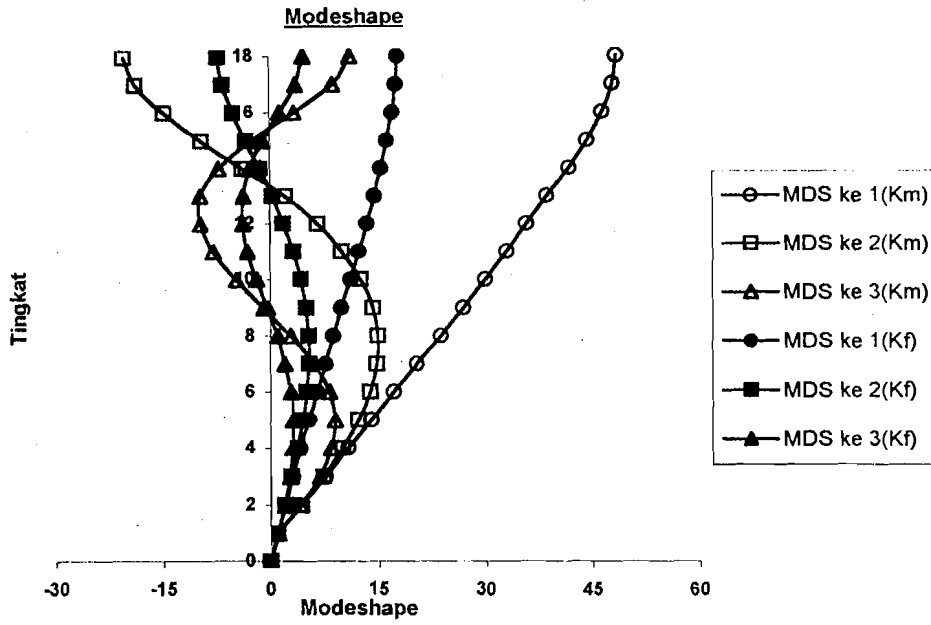


Gambar 5.34 Perbandingan Modal Seismic Force struktur 12 Tingkat

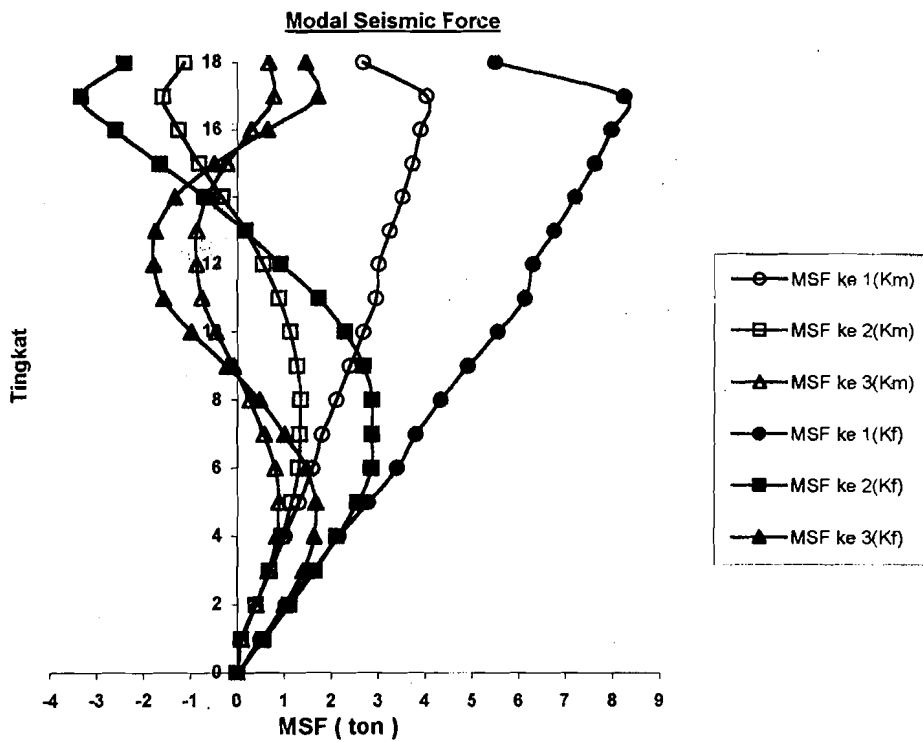


Gambar 5.35 Perbandingan Modal Lateral Displacement struktur 12 Tingkat

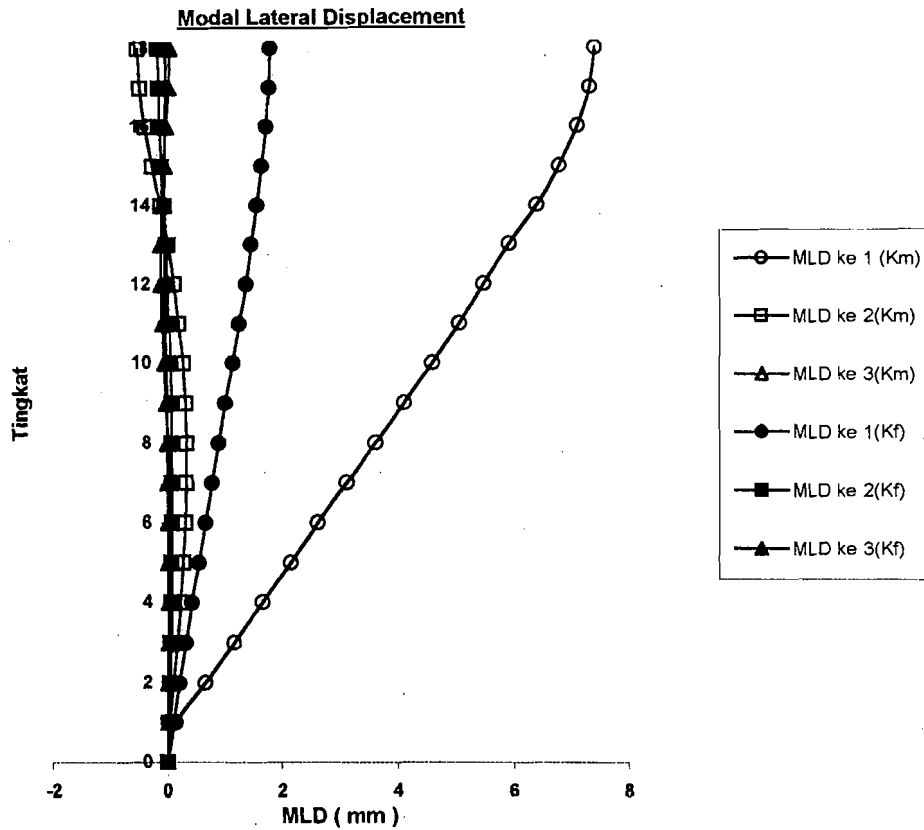
5.12.3 Untuk Struktur dengan 18 Tingkat



Gambar 5.36 Perbandingan Modeshape struktur 18 Tingkat



Gambar 5.37 Perbandingan Modal Seismic Force struktur 18 Tingkat



Gambar 5.38 Perbandingan Modal Lateral Displacement struktur 18 Tingkat

Hasil-hasil perhitungan *Modeshape*, *Modal Seismic Force* dan *Modal Lateral Displacement* pada gambar 5.13, 5.14, 5.15, 5.16, 5.17, 5.18, 5.19, 5.20 dan 5.21 dapat dilihat dibagian Lampiran.

Dari Gambar Modeshape diatas dapat dilihat bahwa nilai modeshape dengan kekakuan Muto lebih besar daripada kekakuan Shear building karena Struktur dengan Muto lebih fleksibel daripada shear building.

Dari Gambar Modal Seismic Force diatas dapat dilihat bahwa nilai MSF dengan Shear Building lebih besar daripada Muto karena nilai Modal Base Shear untuk Shear building lebih besar daripada Muto.

Dari Gambar Modal Lateral Displacement diatas dapat dilihat bahwa nilai Modal Lateral Displacement Muto lebih besar daripada Modal Lateral Displacement Shear building karena nilai Modal Shear Force dengan Muto lebih besar daripada Shear building.

5.13 Verifikasi

Verifikasi untuk struktur 3 tingkat antara perhitungan secara manual dengan program ProgSIP 2001.

5.13.1 Data Struktur

Data struktur pada perhitungan secara manual dan perhitungan program ProgSIP 2001 tidak kami hitung tetapi sudah kami tentukan. Data struktur tersebut sebagai berikut:

Tabel 5.14 Data struktur 3 tingkat

Tingkat	Tinggi (cm)	Massa (kg.det ² /cm)	Kolom tepi (cm)	Kolom tengah (cm)	Bentang (cm)	Balok (cm)
1	350	100.38139	75/85	80/90	900	45/90
2	350	100.38139	75/85	80/90	900	40/85
3	350	97.27216	75/85	80/90	900	35/80

5.13.2 Perhitungan Manual

Dalam perhitungan secara manual, untuk mencari nilai ω dipakai metode Secan. Setelah nilai ω didapat, nilai modeshapedapat dihitung. Kemudian dilanjutkan dengan menghitung *modal effective mass*, *modal height*, *modal seismic force*, *modal shear force*, *modal overtuning moment*, *modal lateral displacement* dan *modal strory drift*.

Penyelesaian :

a) Mencari kekakuan kolom

$$I_{CAI,2,3} = \frac{1}{12} * 75 * 85^3 = 3838281.25 \text{ cm}^4$$

$$I_{CBI,2,3} = \frac{1}{12} * 80 * 90^3 = 4860000 \text{ cm}^4$$

$$k_{cAI,2,3} = \frac{12 * 200000 * 3838281.25}{350^3} = 214854.2274 \text{ kg/cm}$$

$$k_{cBI,2,3} = \frac{12 * 200000 * 4860000}{350^3} = 272046.6472 \text{ kg/cm}$$

Kekakuan kolom jepit-jepit

$$K_1 = 214854.2274 + 272046.6472 + 214854.2274 = 701755.102 \text{ kg/cm}$$

$$K_2 = 214854.2274 + 272046.6472 + 214854.2274 = 701755.102 \text{ kg/cm}$$

$$K_3 = 214854.2274 + 272046.6472 + 214854.2274 = 701755.102 \text{ kg/cm}$$

Selengkapnya hasil perhitungan kekakuan struktur disajikan dalam tabel

5.15 berikut ini.

Tabel 5.15 Hasil Perhitungan Kekakuan pada struktur 3 lantai

Tingkat	Kekakuan Jepit manual (kg/cm)	Kekakuan Jepit program (kg/cm)
1	701755.102	701755.1020
2	701755.102	701755.1020
3	701755.102	701755.1020

b) Mencari *modeshape* dengan kekakuan Muto

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10038139 & 0 & 0 \\ 0 & 100.9139 & 0 \\ 0 & 0 & 97.27216 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_1 & k_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1403510.204 & -701755.102 & 0 \\ -701755.102 & 1403510.204 & -701755.102 \\ 0 & -701755.102 & 701755.102 \end{bmatrix}$$

$$H = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.5 \\ 3.5 \\ 3.5 \end{bmatrix}, C = 0,05 ; I = 1,0 ; K = 1$$

Persamaan *eigen problem*,

$$\begin{bmatrix} 1403510.204 & -701755.102 & 0 \\ -701755.102 & 1403510.204 & -701755.102 \\ 0 & -701755.102 & 701755.102 \end{bmatrix} - \omega^2 \begin{bmatrix} 100.38139 & 0 & 0 \\ 0 & 100.38139 & 0 \\ 0 & 0 & 97.27216 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Persamaan matriks di atas dapat ditulis menjadi :

$$\begin{bmatrix} 1403510.204 - 100.38139\omega^2 & -701755.102 & 0 \\ -701755.102 & 1403510.204 - 100.38139\omega^2 & -701755.102 \\ 0 & -701755.102 & 701755.102 - 97.27216\omega^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Apabila diambil suatu notasi bahwa, $\lambda = \omega^2$

Maka persamaan matriksnya dapat ditulis menjadi :

$$\begin{bmatrix} 1403510.204 - 100.38139\lambda & -701755.102 & 0 \\ -701755.102 & 1403510.204 - 100.38139\lambda & -701755.102 \\ 0 & -701755.102 & 701755.102 - 97.27216\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Apabila persamaan di atas disederhanakan, maka akan menjadi :

$$(1403510.204-100.38139 \lambda) \phi_1 - 701755.102 \phi_2 = 0 \quad \dots\dots\dots(5.7a)$$

$$-701755.102 \phi_1 + (1403510.204 - 100.38139 \lambda) \phi_2 - 701755.102 \phi_3 = 0 \quad \dots\dots(5.7b)$$

$$-701755.102 \phi_2 + (701755.102 - 97.27216 \lambda) \phi_3 = 0 \quad \dots\dots\dots(5.7c)$$

Dengan mengambil nilai

$$\phi_1 = 1 \quad \dots\dots\dots(5.8)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 5.8) kedalam persamaan 5.7a) didapat

$$\phi_2 = (2 - 0.0001430433 \lambda) \quad \dots\dots\dots(5.9)$$

Kemudian persamaan 5.8) dan 5.9) disubstitusikan pada persamaan 5.7b) maka

$$\phi_3 = 3 - 0.000571732 \lambda + 0.0000000204614 \lambda^2 \quad \dots\dots\dots(5.10)$$

Setelah itu persamaan 5.9) dan 5.10) disubstitusikan pada persamaan 5.7c) maka

$$-0.000001990325 \lambda^3 + 0.07002 \lambda^2 - 592.96057 \lambda + 701755.306 \quad \dots\dots\dots(5.11)$$

Persamaan 5.11) tersebut akan menghasilkan akar-akar sebagai berikut:

$$\lambda_1 = 1408.3026 \quad \text{maka } \omega = \sqrt{1408.3026} = 37.52736 \quad \dots\dots\dots(5.12a)$$

$$f_1 = 5.97266 \quad T_1 = 0.16743$$

$$\lambda_2 = 10988.94627 \quad \text{maka } \omega = \sqrt{10988.94627} = 104.82818 \quad \dots\dots(5.12b)$$

$$f_1 = 16.68392 \quad T_1 = 0.05994$$

$$\lambda_3 = 22782.93527 \quad \text{maka } \omega = \sqrt{22782.93527} = 150.94017 \quad \dots\dots\dots(5.12c)$$

$$f_1 = 24.02287 \quad T_1 = 0.04163$$

Tabel 5.16 Hasil *Modeshape* (ϕ_{ij})

No.	Fungsi ϕ_i	Nilai ϕ_{ij}		
		Mode ke-1	Mode ke-2	Mode ke-3
		λ_1	λ_2	λ_3
		1408.3026	10988.94627	22782.93527
1	$\phi_1 = 1$	1	1	1
2	$\phi_2 = (2 - 0.0001430433\lambda)$	1.79855	0.428104	-1.25895
3	$\phi_3 = 0.0000000204614\lambda^2 - 0,0005721732\lambda + 3$	2.234788	-0.816724	0.58495

5.13.3 *Modal Effective Mass*

Modal effective mass dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$M_m = \frac{\left[\sum_{i=1}^N \phi_{im} M_i \right]^2}{\sum_{i=1}^N \phi_{im}^2 M_i} \dots\dots\dots(5.13)$$

Dari data struktur dan hasil *modeshape* di atas, dengan menggunakan rumus M_m pada persamaan (5.13), maka *modal effective mass* dapat dicari :

➤ Mode 1 :

$$M_1 = \frac{\begin{bmatrix} (1.00 & 1.79855 & 2.234788) & \begin{bmatrix} 100.38139 \\ 100.38139 \\ 97.27216 \end{bmatrix} \end{bmatrix}^2}{\begin{bmatrix} (1.00^2 & 1.79855^2 & 2.234788^2) & \begin{bmatrix} 100.38139 \\ 100.38139 \\ 97.27216 \end{bmatrix} \end{bmatrix}} = 272.59695 \frac{dt^2}{cm}$$

➤ Mode 2 :

$$M_2 = \frac{\begin{bmatrix} (1.00 & 0.428104 & -0.816724) \\ 100.38139 \\ 97.27216 \end{bmatrix}^2}{\begin{bmatrix} (1.00^2 & 0.428104^2 & -0.816724^2) \\ 100.38139 \\ 97.27216 \end{bmatrix}} = 22.23944 \text{ kg} \frac{\text{dt}^2}{\text{cm}}$$

➤ Mode 3 :

$$M_3 = \frac{\begin{bmatrix} (1.00 & -1.25895 & 0.58495) \\ 100.38139 \\ 97.27216 \end{bmatrix}^2}{\begin{bmatrix} (1.00^2 & -1.25895^2 & 0.58495^2) \\ 100.38139 \\ 97.27216 \end{bmatrix}} = 3.26254 \text{ kg} \frac{\text{dt}^2}{\text{cm}}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{total}} &= M_1 + M_2 + M_3 \\ &= 272.59695 + 22.23944 + 3.26254 \\ &= 298.09893 \text{ kg} \frac{\text{dt}^2}{\text{cm}} \end{aligned}$$

Prosentase modal effective mass pada masing-masing mode :

➤ Mode 1 :

$$\% M_1 = \frac{272.59695}{298.09893} \times 100\% = 91.44513 \%$$

➤ Mode 2 :

$$\% M_2 = \frac{22.23944}{298.09893} \times 100\% = 7.46042 \%$$

➤ Mode 3 :

$$\% M_3 = \frac{3.26254}{298.09893} \times 100\% = 1.09445 \%$$

5.13.4 Modal Base Shear (V_m)

$$\begin{aligned} V &= C * I * K * W_t \\ &= 0.05 * 1.0 * 1.0 * (298.03494 * 0,981) \\ &= 14.61861381 \text{ ton} \end{aligned}$$

➤ Mode 1 :

$$V_1 = 91.44513 \% * 14.61861381 = 13.3680104 \text{ ton}$$

➤ Mode 2 :

$$V_2 = 7.46042 \% * 14.61861381 = 1.090609988 \text{ ton}$$

➤ Mode 3 :

$$V_3 = 1.09445 \% * 14.61861381 = 0.1599934188 \text{ ton}$$

Untuk lebih lengkapnya nilai *modal effective mass* dan *modal base shear* dapat dilihat pada tabel 5.17 dibawah ini :

Tabel 5.17 Modal Effective Mass (M_m) dan Modal Base Shear (V_m)

Mode (m)	Modal Effective Mass			Modal Base Shear V_m (ton)
	M_m (kgdt ² /cm)	%	% Kumulatif	
1	272.59695	91.44513	91.44513	13.3680104
2	22.23944	7.46042	98.90555	1.090609988
3	3.26254	1.09445	100	0.1599934188

$$\Sigma = 298.09893$$

5.13.5. Modal Effective Height (h_j^*)

Modal effective height dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$h_j^* = \frac{\sum_{j=1}^N h_j m_j \varphi_j}{m_j \varphi_j} \dots\dots\dots (5.14)$$

Perhitungan *modal effective height* dapat dilihat di bawah ini :

➤ Mode 1 :

$$h_1^* = \frac{(h_1 * m_1 * \varphi_{11}) + (h_2 * m_2 * \varphi_{21}) + (h_3 * m_3 * \varphi_{31})}{(m_1 * \varphi_{11}) + (m_2 * \varphi_{21}) + (m_3 * \varphi_{31})}$$

$$h_1^* = \frac{(3.5 * 100.38139 * 1) + (7 * 100.38139 * 1.79855) + (10.5 * 97.27216 * 2.234788)}{(100.38139 * 1.0) + (100.38139 * 1.79855) + (97.27216 * 2.234788)}$$

$$h_1^* = 7.82179 \text{ m}$$

➤ Mode 2 :

$$h_2^* = \frac{(h_1 * m_1 * \varphi_{12}) + (h_2 * m_2 * \varphi_{22}) + (h_3 * m_3 * \varphi_{32})}{(m_1 * \varphi_{12}) + (m_2 * \varphi_{22}) + (m_3 * \varphi_{32})}$$

$$h_2^* = \frac{(3.5 * 100.38139 * 1) + (7 * 100.38139 * 0.428104) + (10.5 * 97.27216 * (-0.816724))}{(100.38139 * 1.0) + (100.38139 * 0.428104) + (97.27216 * (-0.816724))}$$

$$h_2^* = -2.87499 \text{ m}$$

➤ Mode 3 :

$$h_3^* = \frac{(h_1 * m_1 * \varphi_{13}) + (h_2 * m_2 * \varphi_{23}) + (h_3 * m_3 * \varphi_{33})}{(m_1 * \varphi_{13}) + (m_2 * \varphi_{23}) + (m_3 * \varphi_{33})}$$

$$h_3^* = \frac{(3.5 * 100.38139 * 1) + (7 * 100.38139 * (-1.25895)) + (10.5 * 97.27216 * 0.58495)}{(100.38139 * 1.0) + (100.38139 * (-1.25895)) + (97.27216 * 0.58495)}$$

$$h_3^* = 2.07574 \text{ m}$$

Tabel 5.18 Modal Effective Height

Mode	Modal Effective Height (h _i *(m))
1	7.82179
2	-2.87499
3	2.07574
Σ = 7.04954	

5.13.6. Modal Seismic Force (F_{im})

$$F_{im} = C_{im} * V_m \dots\dots\dots(5.15)$$

$$C_{im} = \frac{\phi_{im} W_i}{\sum_{j=1}^N \phi_{jm} W_j} \dots\dots\dots(5.16)$$

➤ Mencari C_{im}:

➤ Mode 1:

$$\sum_{j=1}^N \phi_{j1} m_j = (1.00 \quad 1.79855 \quad 2.234788) \begin{bmatrix} 100.38139 \\ 100.38139 \\ 97.27216 \end{bmatrix} = 498.3049949$$

$$C_{11} = \frac{(1.00 * 100.38139)}{498.3049949} = 0.2014456829$$

$$C_{21} = \frac{(1.79855 * 100.38139)}{498.3049949} = 0.362310133$$

$$C_{31} = \frac{(2.234788 * 97.27216)}{498.3049949} = 0.436244184$$

➤ Mode 2 :

$$\sum_{j=1}^N \varphi_{j2} m_j = (1.00 \quad 0.428104 \quad -0.816724) \begin{bmatrix} 100.38139 \\ 100.38139 \\ 97.27216 \end{bmatrix} = 63.91055698$$

$$C_{12} = \frac{(1.00 * 100.38139)}{63.91055698} = 1.570654282$$

$$C_{22} = \frac{(0.428104 * 100.38139)}{63.91055698} = 0.6724033808$$

$$C_{32} = \frac{(-0.816724 * 97.27216)}{63.91055698} = -1.243057663$$

➤ Mode 3 :

$$\sum_{j=1}^N \varphi_{j3} m_j = (1.00 \quad -1.25895 \quad 0.58495) \begin{bmatrix} 100.38139 \\ 100.38139 \\ 97.27216 \end{bmatrix} = 30.90558905$$

$$C_{13} = \frac{(1.00 * 100.38139)}{30.90558905} = 3.235660703$$

$$C_{23} = \frac{(-1.25895 * 100.38139)}{30.90558905} = -4.089071098$$

$$C_{33} = \frac{(0.58495 * 97.27216)}{30.90558905} = 1.841069908$$

➤ Mencari F_{im} :

$$F_{im} = C_{im} * V_m$$

➤ Mode 1 :

$$F_{11} = 0.2014456829 * 13.3680104 = 2.692927984$$

$$F_{21} = 0.362310133 * 13.3680104 = 4.843365626$$

$$F_{31} = 0.436244184 * 13.3680104 = 5.831716789$$