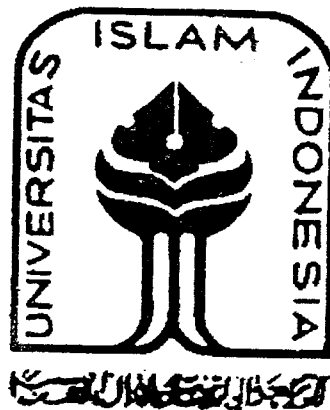


PERPUSTAKAAN FTSP UN	
HADIAH/BELI	
TGL. TERIMA :	09-10-00 17/9/08
NO. JUDUL :	
NO. INV. :	5120003321001
NO. INDIK :	122

TUGAS AKHIR

**ANALISIS VARIASI PERLETAKAN TUNED MASS DAMPER
(TMD) UNTUK MENGURANGI SIMPANGAN PORTAL
BERTINGKAT TIGA AKIBAT BEBAN GEMPA**

*(The Analysis of The Position Variations of Tuned Mass Dampers in
Reducing The Displacement of a 3-story Structure Due to
Earthquake Excitations)*



TA
624 176 2
MUL
a
2000

MILIK PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UIN YOGYAKARTA

Disusun Oleh :

Akhmad Mulyanto

No. Mhs : 94 310 066

N.I.R.M : 940051013114120065

Yudion Ronanto

No. Mhs : 94 310 188

N.I.R.M : 940051013114120187

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2000**

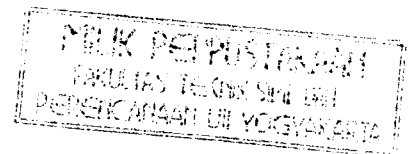
TUGAS AKHIR

**ANALISIS VARIASI PERLETAKAN TUNED MASS DAMPER
(TMD) UNTUK MENGURANGI SIMPANGAN PORTAL
BERTINGKAT TIGA AKIBAT BEBAN GEMPA**

*(The Analysis of The Position Variations of Tuned Mass Dampers in
Reducing The Displacement of a 3-story Structure Due to
Earthquake Excitations)*

Diajukan Oleh :

- 1. Akhmad Mulyanto 94 310 066**
- 2. Yudion Ronanto 94 310 188**



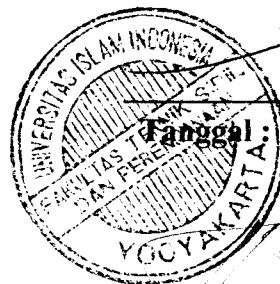
Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. Sarwidi, MSc, Ph.D

Dosen Pembimbing I

Ir. Helmy Akbar Bale, MT

Dosen Pembimbing II



Tanggal: 14/09/2020

Tanggal: 19/9 '2020

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul :

ANALISIS VARIASI PERLETAKAN TUNE MASS DAMPER (TMD) UNTUK MENGURANGI SIMPANGAN PORTAL BERTINGKAT TIGA AKIBAT BEBAN GEMPA.

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk memenuhi dan melengkapi salah satu syarat dalam mencapai gelar kesarjanaan Strata Satu (S1) pada jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

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

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat dibawah ini.

1. Bapak Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
2. Bapak Ir. H. Tadjuddin BMA, MS. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
3. Bapak Ir. H. Sarwidi, MSc, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
4. Bapak Ir. Helmy Akbar Bale, MT. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
5. Bapak Ir. H. Susastrawan, MS. selaku Dosen Tamu Tugas Akhir pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
6. Staf Dosen Jurusan Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu menyelesaikan tugas akhir dan penyusunan laporan ini.

Akhirnya penghargaan yang khusus penulis sampaikan kepada bapak, ibu dan adik-adiku tercinta serta teman-temanku semua yang telah ikut mendoakan dan memberikan banyak dorongan moril dan materiil selama penulis mengikuti

perkuliahan hingga selesainya tugas akhir ini. Semoga Allah SWT. memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua.

Amin Ya Robbal 'Alamiin.....

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, September 2006

Penulis

LEMBAR PERSEMBAHAN

Alhamdulillah Rabbil 'Alamin

*Puji Syukur Kami Panjatkan Ke Hadirat Allah S.W.T
Yang Telah Melimpahkan Berkah dan Hidayah Serta Memberikan Kemudahan
Kepada Kami Sehingga Kami dapat Menyelesaikan Tugas Akhir Kami Ini.*

Kupersembahkan Tugas akhir ini untuk :

*Ayahanda Dan Ibunda Yang Tercinta Sebagai Bukti Baktiku Sebagai Anak,
Serta Adikku Tersayang Taher, Rahman, Ayu, Mimi
Dan Paling Spesial Dek Rjen Yang Telah Memberikan Doa Dan Dukungan
Sehingga Tugas Akhir Ini Dapat terselesaikan Dengan Baik.*

Terima Kasih Banyak Untuk :

*Terutama Untuk Ronan Dan Sari Yang Telah Banyak Membantu
Dan Bekerja Sama, Teman-Teman Baikku Hasan, Galih, Thole, Furqon Atas
Persahabatannya, De' Puri Dan De' Mien Atas Perhatian Dan Hiburannya,
Cah-Cah Magelang, dan Anak-Anak FTSP U11 94 Kelas F Djokja, Serta
Teman-Teman yang Tidak Dapat Saya Sebutkan Satu Persatu,
Atas Partisipasinya*

Ahmad Mulyanto

LEMBAR PERSEMBAHAN

Alhamdulillahi Rabbil 'Alamin

Puji Syukur Kami Panjatkan Ke Hadirat Allah SWT. Yang Telah Malimpahkan Berkah Dan Hidayah Serta Memberikan Kemudahan Kepada Kami Sehingga Kami Dapat Menyelesaikan Tugas Akhir Kami Ini.

Kupersembahkan Tugas Akhir Ini Untuk :

Ayahanda dan Ibunda Yang Tercinta Sebagai Bukti Baktikan Sebagai Anak, Serta Adikku Tersayang Tiessa, Nityas, Sisca Dan Sary Yang Telah Memberikan Doa Dan Dukungan Sehingga Tugas Akhir Ini Dapat terselesaikan Dengan Baik.

Terima Kasih Banyak Untuk :

Terutama Untuk Akhmad Dan Rini Yang Telah Banyak Membantu Dan Bekerjasama, Teman-Teman Baikku Arpi, Dani, Juhartono, Dandung, Jatmiko, Alami, Sigit, Adi, Tofan, Nedik, Ali, Wisnu, Bandi-Dia, Vivi, Dan Teman-Teman FTSP UII '94 Kelas F Yogya, Serta Teman-Teman Yang Tidak Dapat Saya Sebutkan Satu- Persatu, Atas Partisipasinya Selama Ini.

Judion Romanto

MOTTO

*Dan Janganlah Kamu Mengikuti
Apa Yang Kamu Tidak Mempunyai Pengetahuan Tentangnya
Sesungguhnya Pendengaran, Penglihatan Dan Hati,
Semuanya Itu
Akan Diminta Pertanggungjawaban.
(QS Al - Israa : 36)*

*Ilmu Itu Lebih Baik Daripada Harta
Ilmu Akan Menjagamu, Sedangkan Harta Harus Engkau Jaga
Harta Itu Akan Terkikis Nabis, Dan Penumpuk Harta
Akan Lenyap Bersamaan Dengan Nabisnya Kekayaan.
(Ali Bin Abi Thalib R. A)*

*Ilmu Itu Ibarat Suatu Buruan
Sedangkan Tulisan Merupakan Tulinya
Maka Ikutlah Buruanmu Dengan Tali Yang Kuat Dan Kokoh.
(Imam Syafi'i)*

*Orang Lebih Banyak Belajar
Dari Kegagalan Daripada Kesuksesan
Kegagalan Lebih Mudah Dicapai
Karena Mempunyai Banyak Cara, Sedangkan Kesuksesan
Lebih Sukar Dicapai Karena Hanya Punya Satu Cara.
(Ulama)*

*Karena
Sesungguhnya Sesudah Kesulitan Itu Ada Kemudahan.
Maka Apabila
Kamu Telah Selesai (Dari Suatu Urusan),
Kerjakantah Dengan Sungguh-Sungguh (Urusan) Yang Lain,
Dan Hanya Kepada Tuhanmulah Hendaknya Engkau Berharap.
(QS Alam Nasyrah 5 - 8)*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PENGESAHAN

KATA PENGANTAR

LEMBAR PERSEMBAHAN

MOTTO

DAFTAR ISI

DAFTAR SIMBOL

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR LAMPIRAN

INTISARI

BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Pandangan Umum	7

2.2. Alat Penyerap Getaran (<i>Vibration Absorber</i>)	9
2.2.1. <i>Active Tuned Mass Damper (ATMD)</i>	10
2.2.2. <i>Passive Tuned Mass Damper (PTMD)</i>	11
2.3. Penelitian Terdahulu	12
BAB III LANDASAN TEORI	15
3.1. Struktur Derajat Kebebasan Tunggal (SDOF)	15
3.2. Struktur dengan Derajat Kebebasan Banyak (MDOF) dengan Analisis Struktur Linier	17
3.3. Persamaan Gerak Akibat Beban Gempa	23
3.4. Modal Analisis (Prinsip Metode Superposisi)	27
BAB IV METODE PENELITIAN	33
4.1. Data yang Diperlukan	33
4.2. Pengolahan Data	34
4.3. Pengujian	34
BAB V HITUNGAN DAN HASIL	38
5.1. Struktur Tanpa TMD (Variasi 1)	40
5.2. Struktur dengan TMD Pada Lantai 1 (Variasi 2)	43
5.3. Struktur dengan TMD Pada Lantai 2 (Variasi 3)	46
5.4. Struktur dengan TMD Pada Lantai 3 (Variasi 4)	49
5.5. Struktur dengan TMD Pada Lantai 1 dan 2 (Variasi 5)	52
5.6. Struktur dengan TMD Pada Lantai 1 dan 3 (Variasi 6)	56
5.7. Struktur dengan TMD Pada Lantai 2 dan 3 (Variasi 7)	60
5.8. Struktur dengan TMD Pada Semua Lantai (Variasi 8)	64

BAB VI ANALISIS DAN PEMBAHASAN	69
6.1. Analisis	69
6.1.1. Simpangan Relatif Lantai Satu	69
6.1.2. Simpangan Relatif Lantai Dua	70
6.1.3. Simpangan Relatif Lantai Tiga	71
6.1.4. Simpangan Tingkat Satu	71
6.1.5. Simpangan Tingkat Dua	72
6.1.6. Simpangan Tingkat Tiga	72
6.2. Pembahasan	73
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN	86
7.1. Kesimpulan	86
7.2. Saran	87

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR SIMBOL

a	percepatan
C	redaman
$[C]$	matrik redaman
E	modulus elastisitas
F_D	gaya redam
F_m	gaya inerti
F_S	gaya tarik atau desak
$F(t)$	beban dinamik
I	inerti
i	vektor pengaruh
k	kekakuan
$[K]$	matrik kekakuan
m	masa
$[M]$	matrik masa
M_b	masa baliho
N	vektor mempengaruhi simpangan tanah
T	periode
wt	berat total struktur
y	simpangan
\dot{y}	kecepatan
\ddot{y}	perecepatan
y_g	simpangan tanah
y_j^i	simpangan absolut di j
y_j	simpangan relatif di j
$\ddot{y}_g(t)$	percepatan tanah
$\{y\}$	vektor simpangan
$\{\dot{y}\}$	vektor kecepatan
$\{\ddot{y}\}$	vektor perecepatan
ξ	damping rasio
ω	frekuensi sudut
ϕ_{ij}	normal mode dengan nomor masa i dan nomor mode j
Z	modal amplitudo
Δt	interval waktu
Γ	faktor partisipasi

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1. Variasi-variasi Perletakan TMD	39
Tabel 6.1. Simpangan Maksimum Pada Struktur Dengan Damping Ratio 2%	75
Tabel 6.2. Simpangan Maksimum Pada Struktur Dengan Damping Ratio 5%	75
Tabel 6.3. Persentase Perbandingan Simpangan Maksimum Perletakan Terhadap Struktur Tanpa TMD dengan Damping Ratio 2%	76
Tabel 6.4. Persentase Perbandingan Simpangan Maksimum Perletakan Terhadap Struktur Tanpa TMD dengan Damping Ratio 5%	76
Tabel 6.5. Persentase Perubahan Perbandingan Simpangan Maksimum Perletakan Terhadap Struktur Tanpa TMD dari Damping Ratio 2% ke 5%	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Contoh struktur yang dimodelisasikan sebagai sistem berderajat kebebasan satu dan model matematis untuk sistem berderajat kebebasan satu (Paz, 1987)	8
Gambar 2.2. Sistem ATMD yang dilengkapi alat <i>Control System</i> (Ankireddi dan Yang, 1996)	11
Gambar 2.3. Sistem dari PTMD (Ankireddi dan Yang, 1996)	12
Gambar 3.1.a. Model struktur	16
Gambar 3.1.b. Model matematik	16
Gambar 3.1.c. <i>Free Body Diagram</i>	16
Gambar 3.2. Struktur MDOF	18
Gambar 3.3.a. Struktur ideal	19
Gambar 3.3.b. Model matematik dan <i>Free Body Diagram</i> akibat beban gempa	19
Gambar 3.4. Prinsip metode superposisi	24
Gambar 3.5. Gaya gempa efektif	25
Gambar 3.6. Pengaruh vektor i : simpangan statik dengan : simpangan statik dengan $y_g = 1$	27
Gambar 4.1. Bagan alir pengerjaan	36
Gambar 4.2. Data gempa Bucharest, Ibukota Rumania (1977)	37
Gambar 5.1. Portal model struktur (Paz, 1987)	38
Gambar 5.2. Struktur tanpa TMD (Variasi 1)	40
Gambar 5.3. Grafik simpangan relatif struktur tanpa TMD	43
Gambar 5.4. Struktur dengan TMD pada lantai 1 (variasi 2)	43
Gambar 5.5. Grafik simpangan relatif dengan TMD pada lantai 1	46
Gambar 5.6. Struktur dengan TMD pada lantai 2 (variasi 3)	46
Gambar 5.7. Grafik simpangan relatif dengan TMD pada lantai 2	49
Gambar 5.8. Struktur dengan TMD pada lantai 3 (variasi 4)	49
Gambar 5.9. Grafik simpangan relatif dengan TMD pada lantai 3	52

Gambar 5.10.	Struktur dengan TMD pada lantai 1 dan 2 (variasi 5)	52
Gambar 5.11.	Grafik simpangan relatif dengan TMD pada lantai 1 dan 2	56
Gambar 5.12.	Struktur dengan TMD pada lantai 1 dan 3 (variasi 6)	56
Gambar 5.13.	Grafik simpangan relatif dengan TMD pada lantai 1 dan 3	60
Gambar 5.14.	Struktur dengan TMD pada lantai 2 dan 3 (variasi 7)	60
Gambar 5.15.	Grafik simpangan relatif dengan TMD pada lantai 2 dan 3	64
Gambar 5.16.	Struktur dengan TMD pada semua lantai (variasi 8)	64
Gambar 5.17.	Grafik simpangan relatif dengan TMD pada semua lantai	68
Gambar 6.1.	Grafik simpangan relatif maksimum pada struktur dengan damping ratio 2%	78
Gambar 6.2.	Grafik simpangan relatif maksimum pada struktur dengan damping ratio 5%	79
Gambar 6.3.	Grafik simpangan antar tingkat maksimum pada struktur dengan damping ratio 2%	80
Gambar 6.4.	Grafik simpangan antar tingkat maksimum pada struktur dengan damping ratio 5%	81
Gambar 6.5.	Grafik persentase perbandingan simpangan relatif maksimum perletakan TMD terhadap struktur tanpa TMD dengan damping ratio 2%	82
Gambar 6.6.	Grafik persentase perbandingan simpangan relatif maksimum perletakan TMD terhadap struktur tanpa TMD dengan damping ratio 5%	83
Gambar 6.7.	Grafik persentase perbandingan simpangan antar tingkat maksimum perletakan TMD terhadap struktur tanpa TMD dengan damping ratio 2%	84
Gambar 6.5.	Grafik persentase perbandingan simpangan antar tingkat maksimum perletakan TMD terhadap struktur tanpa TMD dengan damping ratio 5%	85

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Kartu peserta tugas akhir
- Lampiran 2 Tabel nilai g struktur TMD pada lantai 1 dengan damping ratio 2%
- Lampiran 3 Tabel Simpangan relatif struktur TMD pada lantai 1 dengan damping ratio 2%
- Lampiran 4 Tabel Simpangan antar tingkat struktur TMD pada lantai 1 dengan damping ratio 2%
- Lampiran 5 Grafik simpangan relatif struktur tanpa TMD dengan damping ratio 5%
- Lampiran 6 Grafik simpangan relatif struktur TMD pada lantai 1 dengan damping ratio 5%
- Lampiran 7 Grafik simpangan relatif struktur TMD pada lantai 2 dengan damping ratio 5%
- Lampiran 8 Grafik simpangan relatif struktur TMD pada lantai 3 dengan damping ratio 5%
- Lampiran 9 Grafik simpangan relatif struktur TMD pada lantai 1 dan 2 dengan damping ratio 5%
- Lampiran 10 Grafik simpangan relatif struktur TMD pada lantai 1 dan 3 dengan damping ratio 5%
- Lampiran 11 Grafik simpangan relatif struktur TMD pada lantai 2 dan 3 dengan damping ratio 5%
- Lampiran 12 Grafik simpangan relatif struktur TMD pada semua lantai dengan damping ratio 5%
- Lampiran 13 Listing program MATLAB (Math Work Inc. 1984-1999)
- Lampiran 14 Listing program untuk analisa struktur dengan damping ratio 5%
- Lampiran 15 Listing program untuk analisa struktur dengan damping ratio 2%
- Lampiran 16 Listing program perhitungan variasi 1 (struktur tanpa TMD)
- Lampiran 17 Listing program perhitungan variasi 2 (TMD pada lantai 1)
- Lampiran 18 Listing program perhitungan variasi 3 (TMD pada lantai 2)

- Lampiran 19 Listing program perhitungan variasi 4 (TMD pada lantai 3)
- Lampiran 20 Listing program perhitungan variasi 5 (TMD pada lantai 1 dan 2)
- Lampiran 21 Listing program perhitungan variasi 6 (TMD pada lantai 1 dan 3)
- Lampiran 22 Listing program perhitungan variasi 7 (TMD pada lantai 2 dan 3)
- Lampiran 23 Listing program perhitungan variasi 8 (TMD pada semua lantai)
- Lampiran 24 Salah satu alat ATMD yang dipasang pada gedung Citycorp Center, New York (Simiu dan Scanlan, 1978)

Intisari

Perancangan struktur tahan gempa, pada prinsipnya diantaranya adalah pengendalian simpangan struktur, yang meliputi "relative displacement" dan "inter story drift". Perancangan struktur tahan gempa harus memperhatikan karakteristik beban gempa, dimana beban gempa merupakan beban dinamik yang non-harmonik dan non-periodik.

Telah banyak penelitian terdahulu untuk mempelajari bagaimana efek dari beban gempa terhadap struktur dan cara mengantisipasi terhadap efek yang terjadi tersebut. Penelitian penggunaan alat peredam struktur telah banyak dilakukan dalam mengantisipasi efek negatif dari gempa bumi. Penelitian ini merupakan salah satu cara untuk mengantisipasi efek akibat beban gempa khususnya simpangan relatif dan simpangan antar tingkat yang terjadi pada struktur gedung bertingkat dengan menggunakan alat yang disebut Tuned Mass Damper (TMD). Penggunaan alat TMD dalam aplikasinya telah banyak dipergunakan yang pada umumnya diletakkan pada puncak suatu gedung bertingkat. Pada penelitian ini perletakan TMD divariasikan untuk memperoleh perletakan TMD yang paling efektif dalam mengantisipasi simpangan struktur.

Proses analisa dinamik dilakukan dengan menggunakan program komputer yang merupakan aplikasi dari fasilitas program Matlab 5.3 realese II. Dari hasil tinjauan respon struktur yang berupa simpangan relatif dan simpangan antar tingkat, menunjukkan bahwa penggunaan TMD dapat mengurangi simpangan relatif dengan perbandingan berkisar antara 17% - 50% dan simpangan antar tingkat dengan perbandingan berkisar 18% - 73% dibandingkan dengan struktur tanpa TMD. Dari hasil analisis juga diperoleh bahwa perletakan TMD yang paling efektif adalah pada lantai 2 (lantai tengah) yang jika ditinjau berdasarkan simpangan antar tingkatnya kurang dari 2 cm sehingga memenuhi persyaratan pada PPGRG 1987. Dengan demikian penggunaan alat ini sangat baik dalam mengantisipasi efek gempa bumi.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam merencanakan sebuah gedung, baik itu gedung bertingkat banyak maupun gedung tidak bertingkat, banyak hal yang harus diperhatikan, salah satunya adalah pembebanan. Pembebanan pada setiap bagian bangunan akan berbeda, tergantung dari fungsi bagian bangunan tersebut. Perubahan terhadap pembebanan dapat terjadi akibat aktivitas yang terjadi pada sebuah struktur gedung. Suatu struktur akan dapat dikatakan aman, apabila beban yang mengenai struktur masih lebih kecil dari kemampuan kekuatan struktur.

Suatu struktur, terutama struktur gedung bertingkat banyak, akan mengalami macam-macam pembebanan, tidak hanya beban statis, tetapi juga terdapat beban dinamis, seperti beban akibat angin, mesin, pergerakan manusia didalam struktur dan juga tidak kalah pentingnya adalah beban gempa bumi. Beban-beban ini sangat mempengaruhi didalam perencanaan suatu struktur. Beban dinamis, khususnya akibat gempa bumi, mempunyai kemampuan merusak yang sangat besar. Tercatat jenis kerusakan akibat gempa, antara lain adalah efek perlemahan tingkat, perilaku kolom dan balok pendek, perbesaran rotasi total joint, dan benturan antara bangunan yang berdekatan.

Banyak cara dilakukan untuk mengurangi efek akibat gempa bumi. Seperti perencanaan dengan tingkat daktilitas tinggi, yang berfungsi untuk mengantisipasi getaran akibat gempa, dimaksudkan untuk memberikan redaman terhadap getaran yang terjadi. Peningkatan daktilitas struktur dilakukan dengan memberikan struktur tambahan pada struktur utama seperti memberikan dinding geser, *bracing* dan dengan perencanaan komponen dari struktur itu sendiri dengan meningkatkan daktilitasnya.

Peredaman getaran akibat gempa, dapat dilakukan salah satunya adalah suatu alat yang berasal dari luar struktur yang disebut dengan "*Tuned Mass Damper*", yang disebut TMD. Alat ini berupa massa yang dihubungkan antara struktur dengan alat penghubung berupa pegas. Alat ini berfungsi mengontrol vibrasi atau getaran yang terjadi pada struktur. Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya, seperti penelitian yang dilakukan oleh Priyanto dan Merzhal (1999) tentang penggunaan TMD pada balok katilever akibat pengaruh beban dinamis orang melompat dan penelitian oleh Anhireddi dan Yang (1996) pada struktur bertingkat banyak akibat beban angin, hal ini dapat diperoleh bahwa alat ini mampu mengurangi simpangan yang terjadi. Penelitian terhadap gempa dengan menggunakan alat ini belum diketahui secara pasti, walaupun aplikasi penggunaan alat ini telah dilakukan pada gedung *Citycorp Center New York* dan *World Trade Center New York*, di Amerika Serikat.

Beberapa penelitian yang terdahulu, telah dilakukan dengan ditematkannya alat TMD atau masa dalam bentuk yang lain pada lantai yang paling atas gedung bertingkat banyak.

Penelitian ini akan berusaha menganalisa bagaimana pengaruh dari penggunaan alat TMD pada struktur gedung bertingkat yang divariasikan perletakkannya pada struktur bertingkat-3.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang dapat dirumuskan dari penelitian ini adalah :

1. apakah alat TMD ini benar-benar dapat mengurangi simpangan akibat gempa pada struktur gedung bertingkat sesuai dengan macam-macam variasinya, dan
2. variasi mana yang akan memberikan hasil yang optimum dalam pengurangan simpangan relatif dan antar tingkat.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. kekakuan TMD sebesar 1/100 dari kekakuan total struktur, dengan prinsip bangunan geser (*Shear Building*),
2. massa TMD sebesar 1/100 dari masa total struktur,
3. analisa beban (massa lantai dan balok struktur) digunakan sistem massa dianggap mengumpul satu titik pada tiap-tiap lantai (*Lumped Mass*),
4. analisa dinamika struktur dengan kondisi linier elastis,
5. simpangan yang ditinjau adalah simpangan relatif lantai dan simpangan antar tingkat,

6. struktur yang ditinjau adalah model struktur gedung beton beringkat 3 lantai dengan tinjauan dua dimensi (torsi tidak diperhitungkan), dimana komponen struktur (balok dan kolom) berupa balok prismatis dengan modulus elastis (E) dan inersia (I) dianggap konstan,
7. beban yang digunakan adalah beban gempa Bucharest, Ibukota Rumania, pada tahun 1977,
8. dukungan pondasi dianggap jepit penuh,
9. alat TMD yang digunakan adalah bersifat pasif (*Passive Tuned Mass Damper*), digambarkan hanya dalam bentuk skema dan prinsip kerjanya secara umum,
10. letak alat TMD akan divariasikan pada lantai, dan
11. perhitungan secara mekanis menggunakan program Matlab versi 5.3.1 (The Mathworks, Inc).

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. membuktikan bahwa alat TMD ini dapat mengurangi simpangan yang terjadi pada struktur bertingkat tiga akibat beban gempa,
2. mengetahui besar pengaruh penggunaan TMD ini terhadap simpangan struktur sesuai dengan variasi yang diberikan,
3. memperoleh suatu analisa struktur yang lebih teliti terutama pada gedung bertingkat yang menerima beban gempa khususnya mengenai simpangan, dan

4. dengan memvariasikan letak alat TMD akan diketahui letak yang paling sesuai untuk alat TMD ini.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. diperoleh suatu cara untuk mengantisipasi getaran akibat gempa bumi dengan menggunakan alat TMD, dan
2. dapat diperoleh perkembangan analisis dinamika struktur dilapangan dalam mencapai optimasi perencanaan struktur bangunan gedung bertingkat.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah dan memberikan gambaran lengkap tentang penelitian yang dilakukan, maka sistematika penulisan adalah sebagai berikut ini.

BAB I, Pendahuluan, berisi tentang bagaimana meredam getaran akibat beban gempa bumi yang melatar belakangi penulisan penelitian ini, batasan masalah untuk lebih memfokuskan penelitian sehingga dapat berbobot, permasalahan yang lebih tajam untuk dipecahkan dalam penelitian, tujuan penelitian untuk menjawab rumusan masalah, dan manfaat penelitian untuk ilmu dan pengetahuan.

BAB II, Tinjauan Pustaka, memuat informasi-informasi tentang alat *Tuned Mass Damper* (TMD) dan penelitian-penelitian sebelumnya, yang berhubungan dengan masalah yang kami teliti.

BAB III, Landasan Teori, mengemukakan dasar-dasar teori secara garis besar, yang memuat model-model matematis beserta penjabarannya dan merupakan tuntunan yang digunakan untuk memecahkan masalah yang dihadapi.

BAB IV, Metode Penelitian, memuat rencana penelitian, data-data yang diperlukan, pengolaan data yang didapat dan pengujian penelitian.

BAB V, Hitungan dan Hasil, berisi hitungan dan hasil untuk mencari simpangan relatif dan simpangan antar tingkat.

BAB VI, Analisis dan Pembahasan, analisis dan pembahasan dari hasil-hasil yang diperoleh berupa angka, tabel dan grafik.

BAB VII, Kesimpulan dan Saran, memuat pernyataan singkat dan tepat berupa kesimpulan yang didapat dari hasil penulisan, dan saran yang didapat berdasarkan kesimpulan yang didasari dengan kenyataan dari hasil penelitian.

Selain itu akan dilengkapi dengan lampiran-lampiran berupa tabel dan grafik dari hasil penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pandangan Umum

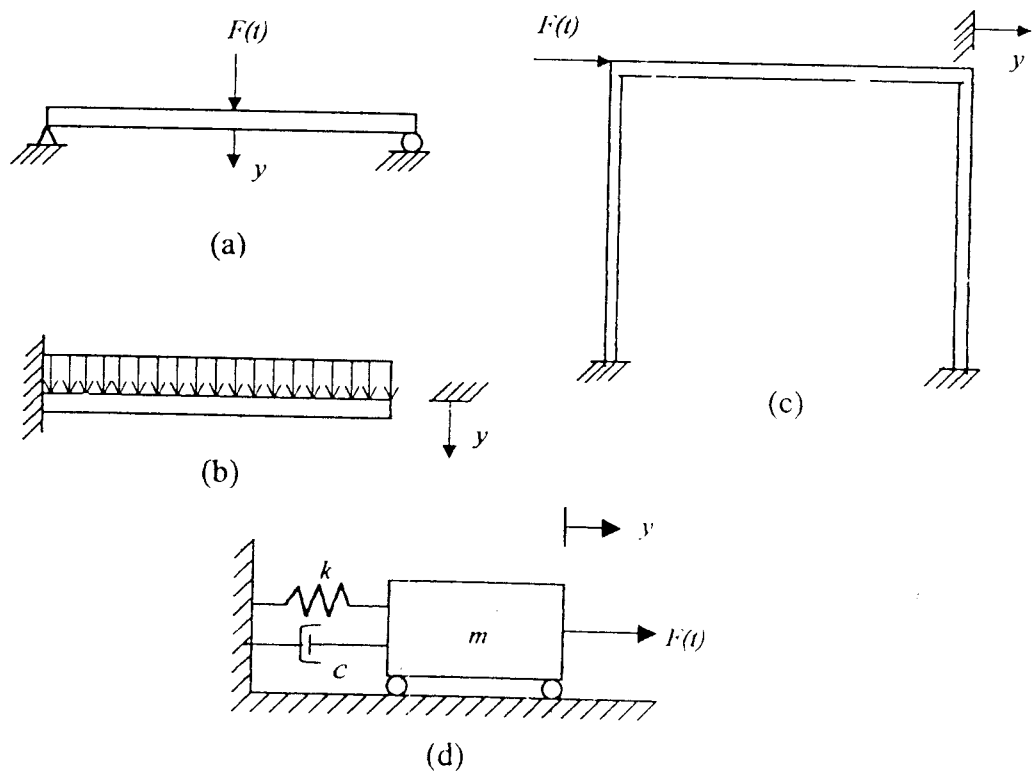
Studi tentang analisa getaran-getaran pada struktur yang diakibatkan oleh beban dinamis terus mengalami perkembangan dari waktu ke waktu. Untuk menyiasatinya, diperlukan rancangan-rancangan atau alat yang dapat mengurangi getaran akibat beban dinamis. Metode-metode peredam mekanik pasif, yang terdiri dari “*viscous damping*, *viscoelastic damping* dan *tuned mass dampers*, telah banyak dipergunakan.

Amplitudo getaran yang terjadi akibat beban dinamis menyebabkan struktur mengalami lendutan. Amplitudo getaran (simpangan) yang terjadi pada struktur, akan menghasilkan persamaan simpangan model derajat kebebasan satu (SDOF).

Pada umumnya struktur berkesinambungan (*continous structure*), mempunyai derajat kebebasan (*number degrees of freedom*) tak terhingga. Namun dengan proses idialisasi atau seleksi, sebuah model matematis yang tepat, dapat mereduksi jumlah derajat kebebasan menjadi suatu jumlah diskrit, untuk beberapa keadaan, dapat menjadi berderajat kebebasan tunggal (*single degree of freedom*) (Gambar 2.1c). Dengan mengambil model matematis dari (Gambar 2.1.d), tiap elemen dalam sistem menyatakan satu sifat khusus inersia (*property of*

inertia), pegas k menyatakan elastisitas, dan peredam c menyatakan kehilangan energi, dan gaya pengaruh $F(t)$ untuk menyatakan gaya luar yang bekerja pada sistem struktur. (Paz, 1987)

Dengan demikian model matematis dapat memberikan pengetahuan yang lengkap dan teliti tentang sifat model itu sendiri, tapi adanya informasi yang terbatas, maka hanya mendekati sifat sebenarnya dari sistem fisik. Namun dari sudut pandang praktek, informasi yang didapat dari analisa model matematis cukup memadai untuk memahami sifat dinamis dari sistem fisik, termasuk perencanaan dan keamanan yang diinginkan.



Gambar 2.1 Contoh struktur yang dimodelisasikan sebagai sistem berderajat kebebasan satu dan model matematis untuk sistem berderajat kebebasan satu (Paz, 1987).

Dibeberapa kasus, sumber yang dapat menyebabkan getaran pada struktur adalah aktifitas manusia, getaran suatu mesin, gaya gempa dan gaya angin. Getaran-getaran yang disebabkan gempa bumi dapat menimbulkan lendutan pada struktur, terutama pada struktur bertingkat banyak, sehingga menyebabkan ketidakamanan dan ketidaknyamanan bagi penghuni atau pengguna gedung.

Solusi yang memungkinkan adalah pertama, dengan menambahkan kekakuan struktur, akan tetapi ini akan merubah bentuk artistik sebuah bangunan dan mengurangi luas ruangan (*space*) dibawahnya. Solusi yang kedua, adalah dengan menambahkan suatu alat pada struktur, dengan tanpa merubah bentuk artistik bangunan tersebut. Alat ini berfungsi untuk menyerap getaran yang terjadi akibat beban dinamis, yaitu dikenal dengan nama "*Tuned Mass Damper*" (TMD).

2.2 Alat Penyerap Getaran (*Vibration Absorber*)

Alat penyerap getaran (*vibration absorber*) adalah suatu alat mekanis yang digunakan untuk mengurangi atau menghilangkan getaran yang tidak diinginkan. Alat tersebut bernama *tuned mass damper* (TMD), alat ini merupakan suatu rangkaian sistem yang terdiri dari massa, pegas dan peredam. Sistem ini diciptakan oleh Frahm pada tahun 1909 (Chopra, 1995).

Pada akhir dekade ini, TMD dengan cepat telah banyak digunakan pada struktur gedung bertingkat banyak. Sebagai contoh gedung yang telah menggunakan TMD yaitu gedung *Centerpoint Tower*, Sidney, Australia, gedung *CN Tower*, Toronto, gedung *John Hancock*, Boston dan gedung *Citycorp*

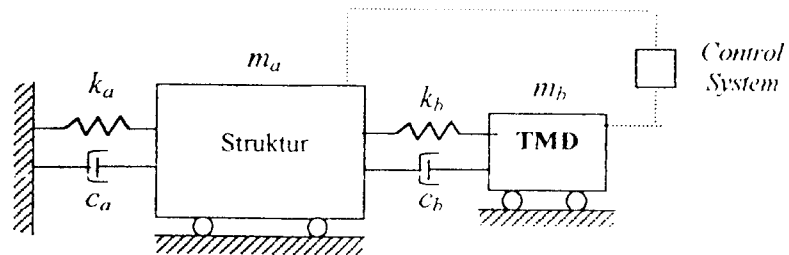
Center, New York. Dari prinsip cara kerjanya alat TMD dibedakan menjadi dua macam yaitu :

1. *Active Tuned Mass Damper (ATMD)*, dan
2. *Passive Tuned Mass Damper (PTMD)*.

2.2.1 *Active Tuned Mass Damper (ATMD)*

Pada masa sekarang ini, alat peredam getaran yang aktif (ATMD) telah banyak dikembangkan dan digunakan oleh negara-negara maju. Aplikasinya, terutama pada gedung pencakar langit, berfungsi untuk mengantisipasi gerakan bangunan akibat beban angin, bahkan bisa juga mengurangi gerakan bangunan akibat gempa. Sebagai contoh salah satu gedung yang memakai ATMD adalah gedung *Citycorp Center*, New York AS (lihat Lampiran 28). ATMD juga telah banyak diaplikasikan pada bidang otomotif sebagai alat peredam getaran, seperti pada mobil Mercedes Benz. Jepang sebagai salah satu negara produsen mobil, telah menerapkan alat ini pada industri-industri otomotifnya.

Pada dasarnya ATMD dan PTMD adalah sama, terdiri dari massa, pegas dan peredam. Yang membedakannya adalah pada ATMD ada suatu komponen mesin yang dapat bekerja secara otomatis apabila ada gaya yang mempengaruhinya (*controlled system*), dapat dilihat pada (Gambar 2.2). Alat ATMD lebih banyak diproduksi dikarenakan alat ini bersifat aktif. Mengenai ATMD lebih jauhnya, kami tidak bisa menceritakan lebih banyak, karena keterbatasan informasi, untuk memecahkan permasalahan disini digunakan alat TMD yang bersifat pasif.



Gambar 2.2 Sistem ATMD yang dilengkapi alat *control system* (Ankireddi dan Yang, 1996)

2.2.2 *Passive Tuned Mass Damper (PTMD)*

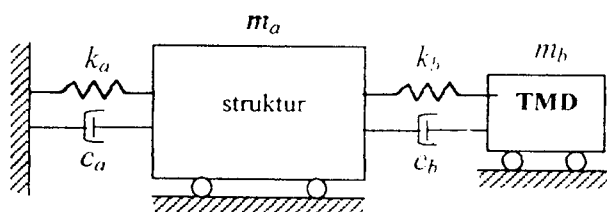
PTMD merupakan suatu alat yang memakai metode peredam mekanik pasif. Metode-metode peredam mekanik pasif yang terdiri dari “*viscous damping*, *visco-elastic damping* dan *tuned mass damper*”, telah banyak dipergunakan. *Viscous damping* adalah redaman yang disebabkan gesekan antara benda padat dengan benda cair atau gas (udara, air, minyak atau oli). Contohnya adalah piston yang meluncur pada permukaan yang dilumasi, gerakan perahu diatas air, gerakan kendaraan diatas jalan atau diudara.

Viscoelastic damping merupakan alat peredam yang telah lama diperkenalkan dan banyak digunakan, alat ini cocok dipakai pada struktur didaerah rawan gempa. Alat ini biasanya dipasang pada pengaku (*bracing*) diagonal. Sebagai contoh bangunan gedung yang telah memakai alat ini yaitu gedung *World Trade Center* di kota New York.

Alat TMD dalam penelitian ini adalah bersifat pasif dan dipasang pada lantai. Sistem ini bekerja, ketika struktur bergetar pada sebuah frekuensi yang

disebabkan oleh gaya gempa, alat TMD akan menghasilkan gerakan yang sama dengan energinya. Gerakan TMD pada gilirannya mengurangi amplitudo getaran pada struktur. Gambar sketsa alat PTMD yang dipasang pada struktur dapat dilihat pada (Gambar 2.2).

Sebagai contoh gedung yang telah memakai alat TMD, yaitu gedung Ramayana Departement Store, salah satu lantai bangunannya berubah fungsi, perencanaan awal untuk perkantoran, dirubah menjadi ruang *fitness center*. Gedung “ Terrace on The Park Building” yang didesain oleh *Authority of New York* dan *New Jersey* mempunyai enam lantai. Salah satu lantainya digunakan untuk ruangan dansa, setelah beberapa lama struktur mengalami lendutan (*displacement*) yang diakibatkan oleh hentakan-hentakan kaki pada saat pengguna gedung menari (dansa).



Gambar 2.3 Sistem dari PTMD
(Ankireddi dan Yang, 1996)

2.3 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian ini, digunakan juga tinjauan pustaka dari penelitian sebelumnya, yaitu seperti dapat dijelaskan berikut ini.

1. Penelitian Priyanto dan Merzhal (1999).

Kedua peneliti mengambil topik “Analisis Penggunaan Tuned Mass Damper (TMD) Untuk Mengurangi Simpangan Akibat Beban Dinamis Pada Balok Kantilever”. Penelitian tersebut telah membuktikan bahwa alat TMD dapat mengurangi simpangan, dan seberapa besar pengaruhnya antara menggunakan dan tidak menggunakan TMD. Oleh karena itu, atas dasar kesimpulan tersebut, kami menerapkan TMD pada bangunan bertingkat banyak, sehingga akan mendekati suatu kenyataan, dan hal ini belum dijadikan objek penelitian.

2. Penelitian Prasetyo dan Arminta (2000).

Kedua peneliti mengambil topik “Respon Seismik Struktur Beton Bertingkat Banyak Akibat Beban Gempa”. Pada penelitian ini, dapat mencari seberapa besar pengaruh kandungan frekuensi dari beberapa data gempa, terhadap struktur bertingkat banyak, yang dilihat dari hasil analisa yang terbentuk simpangan relatif dan simpangan antar tingkat struktur. Sehingga pada penelitian kami, menggunakan beban gempa bumi mempunyai kesamaan, hal ini dapat memberikan suatu hasil yang mendekati benar. Selain itu, kami ingin melengkapi dengan bagaimana cara mengurangi besarnya simpangan yang diakibatkan oleh beban gempa bumi tersebut bila menggunakan TMD.

3. Penelitian Mansyur (2000).

Peneliti mengambil topik “Penempatan efektif Redaman Ganda Untuk Mengurangi Simpangan Pada Bangunan Tingkat Tinggi”. Pada penelitian tersebut, dicoba 15 variasi perletakan redaman ganda, redaman berupa

Magnetorheological Damper. Hasil penelitian diperoleh dengan menggunakan MR Damper simpangan yang terjadi dapat dikurangi, sehingga dapat mencegah terjadinya *structural damping*, dan dari hasil penelitian diperoleh perletakan/penempatan *MR Damper* yang paling efektif pada tingkat ketiga dan kelima. Namun belum ditinjau bagaimana penggunaan redaman pada struktur dengan jumlah peredam lebih dari dua, dan belum ditinjau mengenai simpangan tingkat yang terjadi sebagai syarat keruntuhan struktur dengan dan tanpa alat peredam. Penelitian ini juga belum mengungkapkan bagaimana dengan struktur (beton bertulang) yang mempunyai damping ratio (ξ) (5%) dan (2%).

4. Penelitian Pramulanto dan Nurianawati (2000).

Kedua peneliti mengambil topik “Pengaruh Variasi Massa Baliho Terhadap Gaya Geser, dan Momen Guling, Pada Gedung Bertingkat Lima”. Peneliti membuktikan bahwa penggunaan baliho yang paling optimum adalah dengan variasi massa $M_b = 0,0010 wt$ (berat total struktur), dengan kekauan sesuai periode 100% T_5 (periode struktur terkecil). Sehingga dapat mengurangi prosentase simpangan, gaya geser, dan momen guling yang terjadi. Namun, penelitian tersebut hanya bisa digunakan pada lantai yang paling atas, karena berbentuk baliho. Menurut hipotesis kami alat TMD tidak harus dipasang pada lantai yang paling atas.

BAB III

LANDASAN TEORI

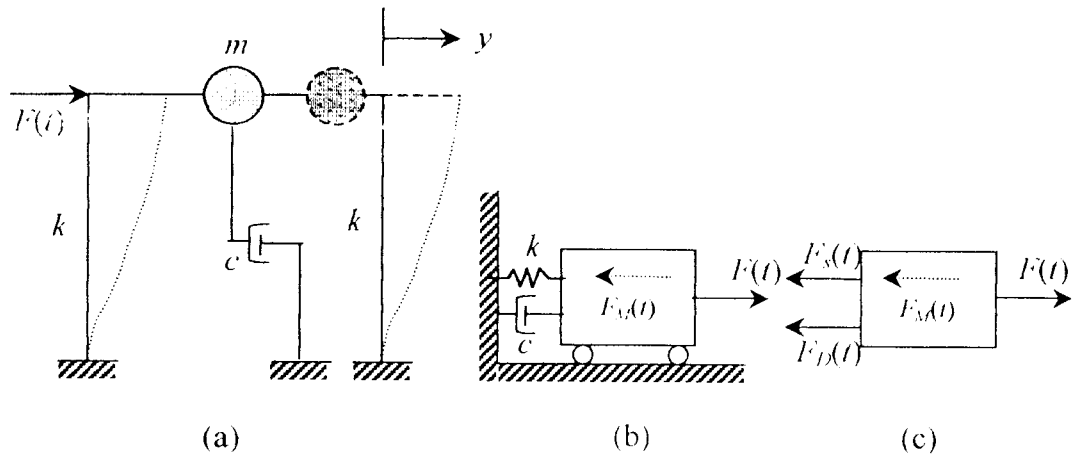
Sebagai dasar teori dalam penelitian *Tuned mass Damper* (TMD), akan dijelaskan beberapa teori tentang struktur dengan derajat kebebasan tunggal dan struktur dengan derajat kebebasan banyak. Keseluruhan penjelasan analisis struktur dalam bab ini adalah dengan anggapan sistem *linier elastis*.

3.1 Struktur Derajat Kebebasan Tunggal (SDOF)

Dengan proses idialisasi atau seleksi, sebuah model matematis yang tepat dapat mereduksi jumlah derajat kebebasan menjadi suatu jumlah diskrit dan untuk beberapa keadaan dapat menjadi berderajat kebebasan tunggal (*single degree of freedom*). Sistem berderajat kebebasan satu ini, dapat dijelaskan secara tepat dengan model matematis pada (Gambar 3.1), yang mempunyai elemen-elemen sebagai berikut : (1) elemen masa m menyatakan masa dan sifat inersia dari struktur, (2) elemen pegas k yang menyatakan gaya balik elastis (*elastis restoring force*) dan kapasitas energi potensial dari struktur, (3) elemen redaman c yang menyatakan sifat geseran dan kehilangan energi dari struktur, dan (4) gaya pengaruh $F(t)$ yang menyatakan gaya luar yang bekerja pada sistem struktur.

Untuk menyusun persamaan diferensial gerakan suatu masa, maka diambil suatu model struktur dengan derajat kebebasan tunggal seperti (Gambar

3.1). Dengan anggapan kolom bangunan terjepit secara penuh, masa struktur tergumpal disuatu titik (m).



Gambar 3.1 (a) Model struktur (b) Model matematik
(c) Free body diagram

Berdasar *free body diagram*, maka

$$F_M(t) + F_D(t) + F_S(t) = F(t) \quad (3.1)$$

$$\text{dengan } F_M(t) = m \ddot{y}(t) \text{ , } F_D(t) = c \dot{y}(t) \text{ , } F_S(t) = k y(t) \quad (3.2)$$

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

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

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

Persamaan (3.3) disebut persamaan diferensial gerakan (*differential equation of motion*).

Dalam prinsip dinamika struktur diperoleh hubungan,

$$\begin{aligned} \frac{k}{m} &= \omega^2, \quad \frac{c}{m} = 2\xi\omega, \\ \xi &= \frac{c}{c_{cr}} = \frac{c}{2m\omega} \\ \omega &= \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (\text{rad/dt}), \quad \omega = \text{angular frequency}, \\ T &= \frac{2\pi}{\omega} \quad (\text{dt}), \quad T = \text{periode} \end{aligned} \quad (3.4)$$

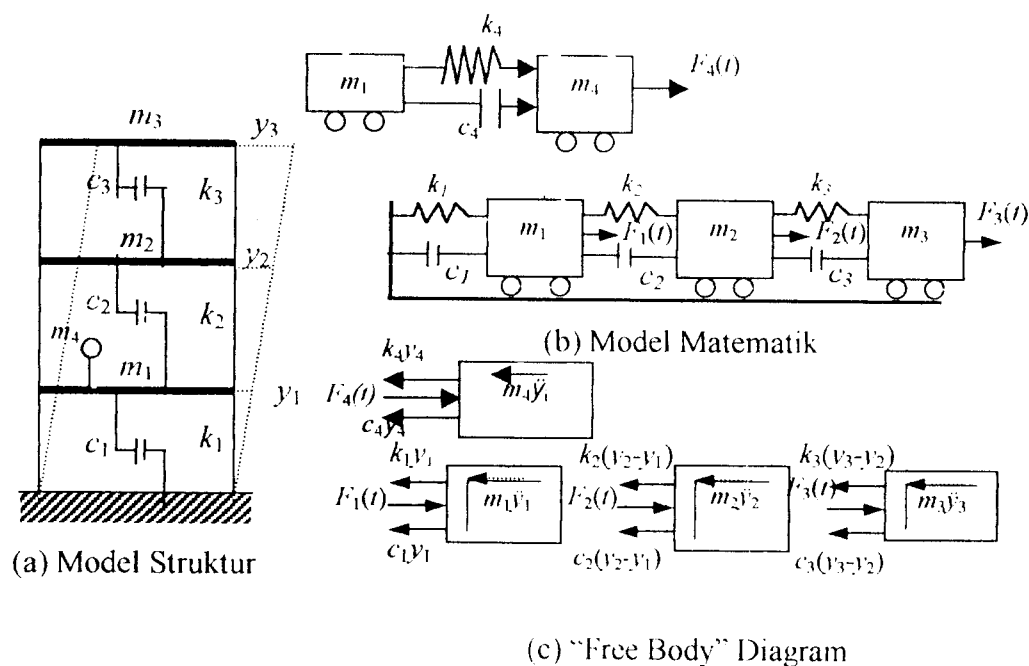
3.2 Struktur dengan Derajat Kebebasan Banyak (MDOF) dengan Analisis Struktur Linier.

Pada umumnya, suatu struktur akan bergoyang apabila memperoleh pembebanan dari luar, misalnya akibat beban angin ataupun akibat gerakan tanah/gempa. Getaran-getaran seperti itu dikelompokkan sebagai getaran dipaksa atau *forced vibration system*. Sedangkan getaran lain seperti yang diakibatkan dari beban orang yang melompat pada ujung balok kantilever, sehingga mempunyai kondisi awal (*initial condition*), dapat dikategorikan pada getaran bebas atau *free vibration system*.

Suatu penyederhanaan yang biasa dipakai dalam analisis adalah, masa struktur dianggap tergumpal pada sebuah titik (*lumped mass*) atau beberapa titik. Pada struktur bangunan gedung bertingkat banyak, umumnya masa struktur dapat digumpalkan pada setiap lantai. Dengan demikian struktur yang tadinya mempunyai derajat kebebasan tak terhingga, akan menjadi struktur dengan derajat kebebasan terbatas.

Untuk memperoleh persamaan diferensial gerakan pada struktur bertingkat banyak, maka dapat digunakan anggapan *shear building*, sebagaimana pada struktur dengan derajat kebebasan tunggal (SDOF).

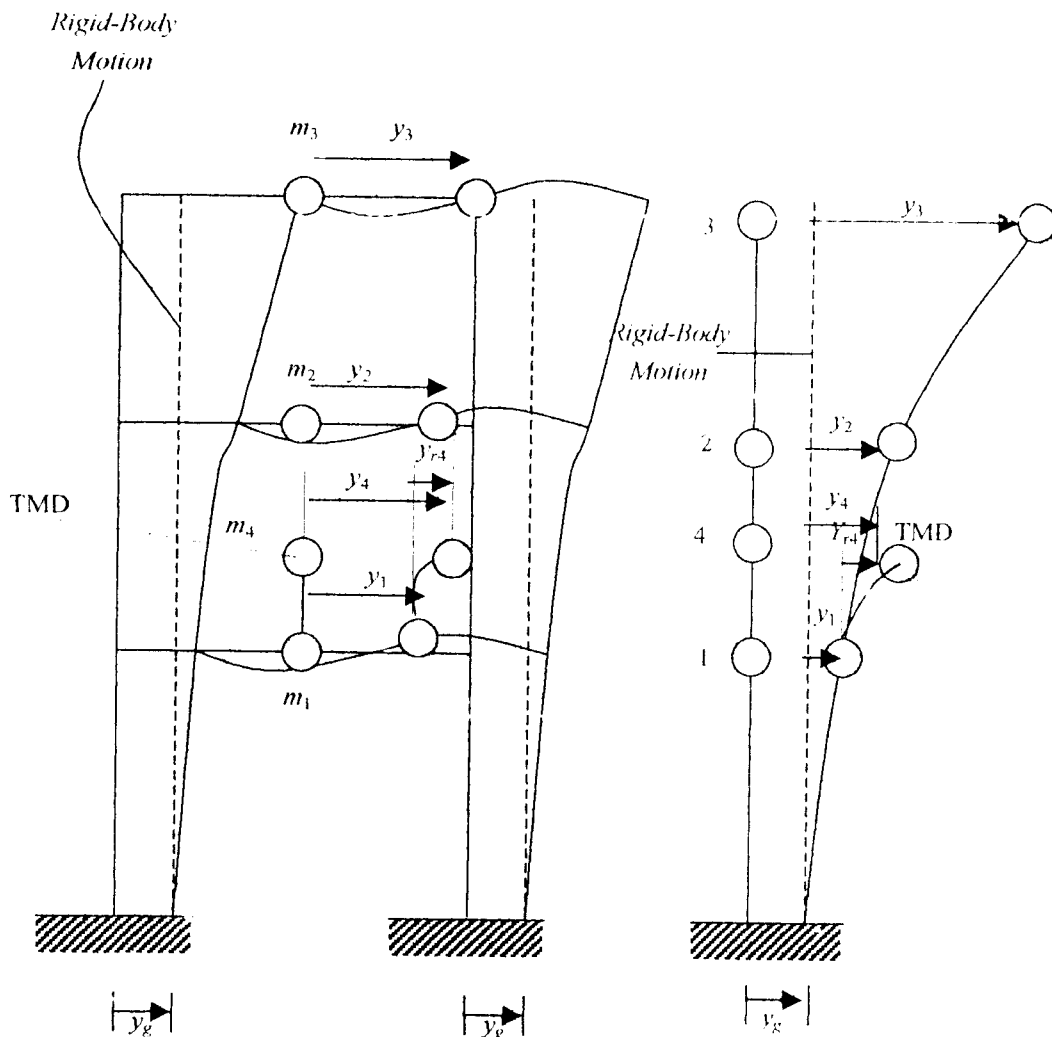
Pada struktur bangunan gedung bertingkat-3 dan ditambahkannya alat TMD pada lantai-1 seperti pada (Gambar 3.2), maka struktur akan mempunyai tiga derajat kebebasan dan satu massa TMD, sehingga struktur yang mempunyai n -tingkat akan mempunyai n -derajat kebebasan dan mempunyai n -modes. Hal ini alat TMD dapat juga di variasikan, misal alat TMD di letakan pada lantai-2, lantai-3 atau pada lantai ketiga-tiganya.



Gambar 3.2 Struktur MDOF

Dari (gambar 3.2) $F_i(t) = m_i \ddot{y}_i(t)$. Untuk memperoleh persamaan diferensial gerakan pada struktur MDOF, umumnya disusun berdasarkan atas goyangan struktur, menurut *first mode* atau mode pertama yaitu goyangan yang $y_3 = y_2 = y_1$.

Adanya TMD pada lantai satu sebagai permissalan, sehingga mempunyai simpangan sendiri dan lebih jelasnya terlihat pada (Gambar 3.3).



Gambar 3.3 (a) Rangka Bangunan (b) Rangka Bangunan yang Disederhanakan

Dari (Gambar 3.3), masa TMD adalah m_4 , simpangan relatif TMD adalah y_{r4} . Berdasarkan keseimbangan dinamik pada *free body diagram* (gambar 3.2), maka akan diperoleh persamaan seperti di bawah ini,

$$m_1(\ddot{y}_1 + \ddot{y}_g) + c_1\dot{y}_1 + k_1y_1 - c_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - k_2(y_2 - y_1) - c_4\dot{y}_{r4} - k_4y_{r4} = 0, \quad (3.5a)$$

$$m_2(\ddot{y}_2 + \ddot{y}_g) + c_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + k_2(y_2 - y_1) - c_3(\dot{y}_3 - \dot{y}_2) - k_3(y_3 - y_2) = 0, \quad (3.5b)$$

$$m_3(\ddot{y}_3 + \ddot{y}_g) + c_3(\dot{y}_3 - \dot{y}_2) + k_3(y_3 - y_2) = 0, \quad (3.5c)$$

$$m_4(\ddot{y}_{r4} + \ddot{y}_1 + \ddot{y}_g) + c_4(\dot{y}_4 - \dot{y}_1) + k_4(y_4 - y_1) = 0. \quad (3.5d)$$

Dimana $y_4 = y_1 + y_{r4}$, perkalian masa dan percepatan gempa dipindahkan ke ruas kanan, sehingga,

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{y}_1 + (c_1 + c_2 + c_4) \dot{y}_1 - c_2 \dot{y}_2 - c_4 \dot{y}_4 + (k_1 + k_2 + k_4)y_1 - k_2 y_2 - k_4 y_4 &= -m_1 \ddot{y}_g(t), \\ m_2 \ddot{y}_2 - c_2 \dot{y}_1 + (c_2 + c_3) \dot{y}_2 - c_3 \dot{y}_3 - k_2 y_1 + (k_2 + k_3)y_2 - k_3 y_3 &= -m_2 \ddot{y}_g(t), \\ m_3 \ddot{y}_3 - c_3 \dot{y}_2 + c_3 \dot{y}_3 - k_3 y_2 + k_3 y_3 &= -m_3 \ddot{y}_g(t), \\ m_4 \ddot{y}_4 - c_4 \dot{y}_1 + c_4 \dot{y}_4 - k_4 y_1 + k_4 y_4 &= -m_4 \ddot{y}_g(t). \end{aligned} \quad (3.6)$$

Dengan menyusun persamaan diatas menurut parameter yang sama (percepatan, kecepatan, dan simpangan), maka persamaan (3.6) dapat ditulis menjadi matrik ekspresi,

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = -[M]\ddot{y}_g(t). \quad (3.7)$$

Yang mana matrik ekspresi di atas (matrik massa, redaman, dan kekakuan) masing- masing adalah,

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix}, \quad \{\ddot{y}\} = \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \\ \ddot{y}_4 \end{Bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} (k_1 + k_2 + k_4) & -k_2 & 0 & -k_4 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 & 0 \\ -k_4 & 0 & 0 & k_4 \end{bmatrix}, \quad \{y\} = \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{Bmatrix}$$

$$[C] = \begin{bmatrix} (c_1 + c_2 + c_3) & -c_2 & 0 & -c_4 \\ -c_2 & (c_2 + c_3) & -c_3 & 0 \\ 0 & -c_3 & c_3 & 0 \\ -c_4 & 0 & 0 & c_4 \end{bmatrix}, \{ \dot{y} \} = \begin{Bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \\ \dot{y}_4 \end{Bmatrix} \quad (3.8)$$

Gaya dinamik akibat percepatan gempa akan dibahas pada sub bab 3.3. Pada getaran bebas struktur MDOF dengan $-[M]\ddot{y}_g(t) = 0$, maka persamaan (3.7) menjadi,

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = 0. \quad (3.9)$$

Apabila “damping ratio (ξ)” relatif kecil, maka ω_d (*damped frequency*) nilainya hampir sama dengan ω (*undamped frequency*), sehingga struktur dianggap tanpa redaman ($C = 0$) maka persamaan (3.9) menjadi,

$$[M]\{\ddot{y}\} + [K]\{y\} = 0. \quad (3.10)$$

Karena persamaan (3.10) adalah persamaan differensial gerakan tanpa redaman, maka respon struktur akan bersifat harmonik, sehingga

$$\{y\} = \{\Phi\} \sin(\omega t), \quad (3.11)$$

$$\{\dot{y}\} = \omega \{\Phi\} \cos(\omega t) \quad (3.12)$$

$$\{\ddot{y}\} = -\omega^2 \{\Phi\} \sin(\omega t). \quad (3.13)$$

Dalam hal ini $\{\Phi\}$ adalah vektor *mode shape*.

Substitusi persamaan (3.11) dan (3.13) ke dalam persamaan (3.10) maka,

$$-\omega^2 [M]\{\Phi\} \sin(\omega t) + [K]\{\Phi\} \sin(\omega t) = \{0\}, \quad (3.14a)$$

$$[K] - \omega^2 [M] \{\Phi\} = \{0\} \quad (3.14b)$$

Persamaan (3.14b) merupakan persamaan *eigen problem* selanjutnya

$$\omega_i^2 [M] \{\Phi_i\} = [K] \{\Phi_i\}, \quad (3.15a)$$

$$\omega_j^2 [M] \{\Phi_j\} = [K] \{\Phi_j\} \quad (3.15b)$$

Apabila transpose persamaan (3.15a) di *postmultiply* dengan $\{\Phi_j\}$, maka

$$\left(\omega_i^2 [M] \{\Phi_i\} \right)^T \{\Phi_j\} = \left([K] \{\Phi_i\} \right)^T \{\Phi_j\} \quad (3.16)$$

Karena matrik massa $[M]$ dan matrik kekakuan $[K]$ adalah matrik simetri, maka $[M]^T = [M]$ dan $[K]^T = [K]$, sehingga

$$\omega_i^2 [M] \{\Phi_i\}^T \{\Phi_j\} = \{\Phi_i\}^T [K] \{\Phi_j\} \quad (3.17)$$

Apabila persamaan (3.15b) dikalikan $\{\Phi_i\}^T$, maka

$$\omega_j^2 \{\Phi_i\}^T [M] \{\Phi_j\} = \{\Phi_i\}^T [K] \{\Phi_j\} \quad (3.18)$$

Apabila persamaan (3.17) dikurangi dengan persamaan (3.18), maka akan diperoleh

$$\left(\omega_i^2 - \omega_j^2 \right) \{\Phi_i\}^T [M] \{\Phi_j\} = 0, \quad (3.19)$$

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

$$\{\Phi_i\}^T [M] \{\Phi_j\} = 0. \quad (3.20)$$

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

$$\{\Phi_i\}^T [K] \{\Phi_j\} = 0 \quad i \neq j, \quad (3.21.a)$$

$$\{\Phi_i\}^T [C] \{\Phi_j\} = 0 \quad i \neq j. \quad (3.21.b)$$

Untuk menyelesaikan persamaan simultan pada persamaan (3.14), maka persamaan (3.14) dapat ditulis kembali menjadi persamaan (3.22),

$$\{[K] - \omega^2 [M]\} \{\Phi\} = \{0\}. \quad (3.22)$$

Persamaan (3.22) akan ada penyelesaiannya (*nontrivial solution*) atau suatu sistim akan ada amplitudo yang terbatas apabila nilai determinan ($\{[K] - \omega^2 [M]\}$) adalah nol, maka

$$| [K] - \omega^2 [M] | = 0. \quad (3.23)$$

Determinan persamaan (3.23) akan menghasilkan persamaan polinomial dengan derajat- n yang menghasilkan nilai ω , maka dengan mensubstitusikan ke dalam persamaan (3.22) akan menghasilkan nilai vektor “*mode shape*” $\{\Phi\}$.

3.3 Persamaan Gerak Akibat Beban Gempa

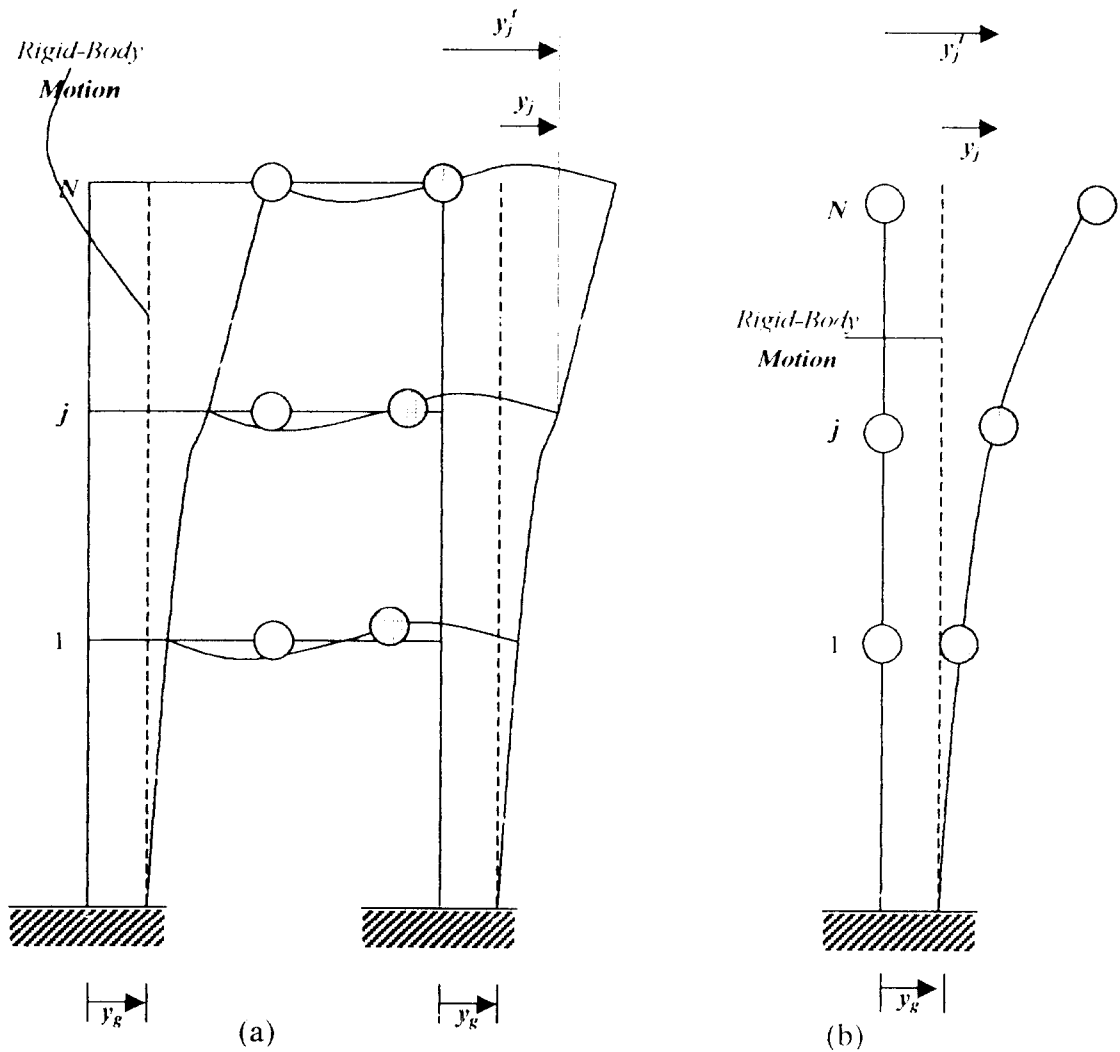
Pada semua derajat kebebasan dinamik, mempunyai arah gerakan tanah yang sama. Seperti contoh bangunan, yaitu menara dan rangka bangunan (Gambar 3.4). Simpangan tanah dinotasikan y_g , simpangan total atau absolut dinotasikan y_j^t dan simpangan relatif antara masa dan tanah dinotasikan y_j , yang disusun seperti persamaan dibawah ini,

$$y_j^t(t) = y_j(t) + y_g(t). \quad (3.24)$$

Persamaan untuk semua masa N dapat dikombinasikan dalam bentuk vektor,

$$y^t(t) = y(t) + y_g(t) \mathbf{1}. \quad (3.25)$$

Dimana $\mathbf{1}$ adalah sebuah vektor derajat N pada setiap elemen.



Gambar 3.4 (a) Rangka Bangunan (b) Menara

Persamaan keseimbangan dinamik pada persamaan (3.1), terdapat $F(t) = 0$, sebab dalam persamaan tersebut tidak terdapat gaya luar dinamik, seperti dalam persamaan berikut ini,

$$F_M(t) + F_D(t) + F_S(t) = 0. \quad (3.26)$$

Gerakan relatif y diantara masa dan dasar akan mengalami deformasi struktur yang menghasilkan elastisitas dan gaya redaman. Didalam sistem persamaan linier

Gerakan relatif y diantara masa dan dasar akan mengalami deformasi struktur yang menghasilkan elastisitas dan gaya redaman. Didalam sistem persamaan linier (3.2), gaya inerti (F_{in}) dihubungkan dengan percepatan total (\ddot{y}) pada masa menjadi,

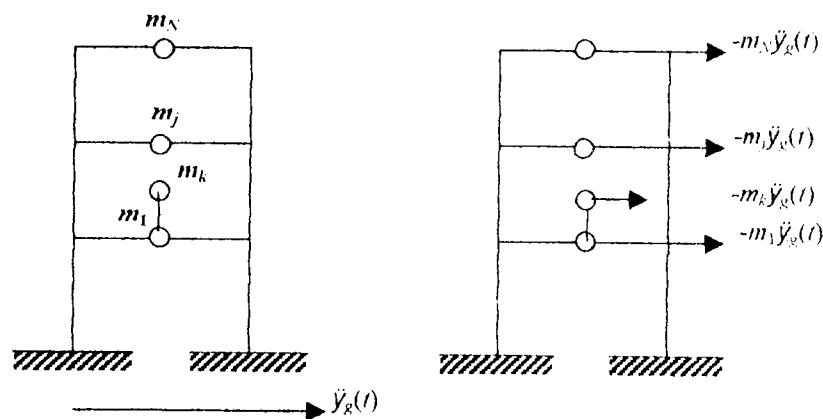
$$F_{in}(t) = m\ddot{y}. \quad (3.28)$$

Substitusi persamaan (3.2) dan (3.25) kepersamaan (3.26) menjadi,

$$m\ddot{y}(t) + c\dot{y}(t) + ky(t) = -mI\ddot{y}_g(t). \quad (3.29)$$

Persamaan (3.29) terdapat N yang mengatur simpangan relatif $y_i(t)$, hal ini merupakan suatu pendekatan sistem MDF elastik dan inti dari pecepatan tanah. Perbandingan persamaan (3.29) dengan persamaan (3.3) menunjukkan persamaan gerakan, dan dapat dipisahkan menjadi dua, yaitu percepatan tanah dan gaya luar. Dapat ditunjukkan pada (Gambar 3.5), gerakan tanah dapat berubah menjadi gaya gempa efektif.

$$P_{eff}(t) = -mI\ddot{y}_g(t). \quad (3.30)$$



Gambar 3.5 Gaya Gempa Efektif

Secara umum pendekatan simpangan total pada setiap masa, seperti simpangan y_j^s mengalami aplikasi statik, yaitu gerakan tanah dijumlahkan dengan simpangan relatif dinamik y_j menjadi simpangan statik.

$$y_j^t(t) = y_j(t) + y_j^s(t) \text{ atau } y_j^t(t) = y_j + y_j^s(t). \quad (3.30)$$

Persamaan diatas dapat dituliskan $y_j^t(t) = iy_g(t)$, dimana vektor pengaruh i menunjukkan simpangan masa berubah dari aplikasi statik menjadi sebuah unit simpangan tanah. Persamaan (3.30) menjadi,

$$y_j^t(t) = y(t) = iy_g(t). \quad (3.31)$$

Persamaan (3.25) dapat ditulis menjadi,

$$m\ddot{y}(t) + c\dot{y}(t) + ky(t) = -m\ddot{y}_g(t). \quad (3.32)$$

Sehingga gaya gempa efektifnya adalah,

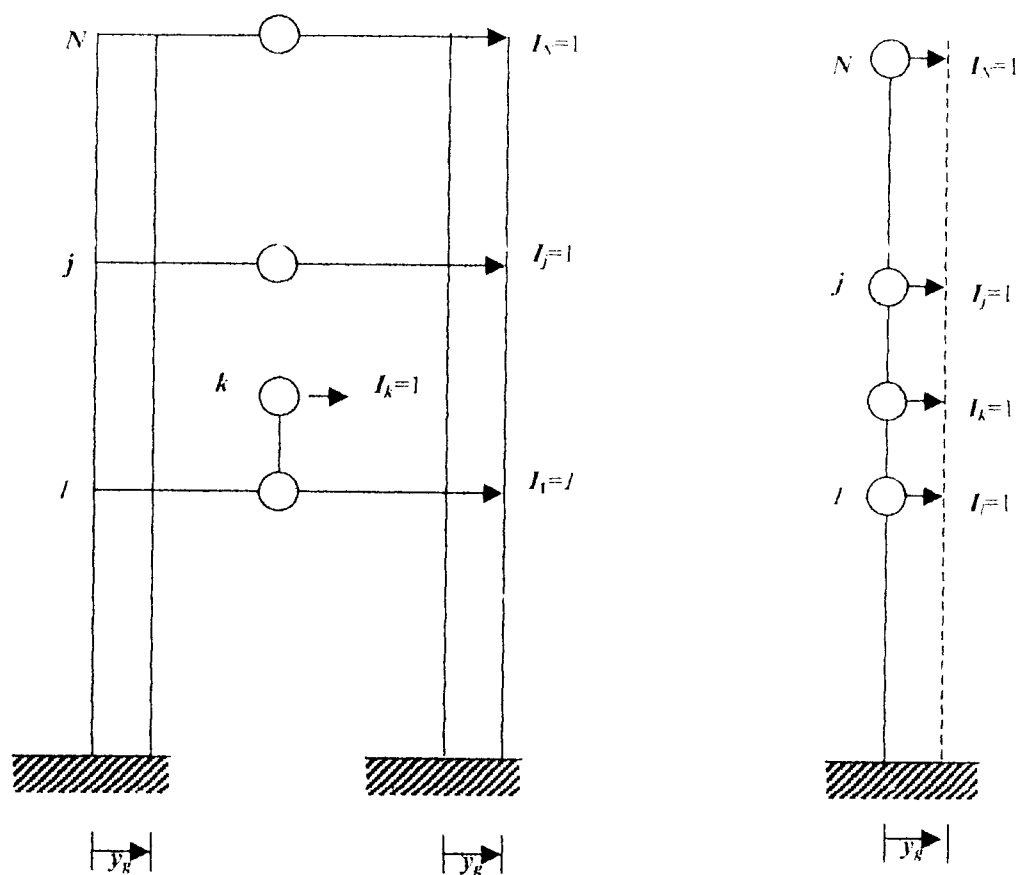
$$p_{eff}(t) = -m\ddot{y}_g(t). \quad (3.33)$$

Diasumsikan struktur adalah kaku. Aplikasi statik $y_g = 1$ akan menghasilkan simpangan yang ditunjukkan (Gambar 3.6). Sehingga $i = [1 \ 1 \ 1]^T$ dalam persamaan (3.32) dan (3.33) menjadi ,

$$p_{eff}(t) = -m\ddot{y}_g(t) = -\ddot{y}_g(t) \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \quad (3.34)$$

$$= -\ddot{y}_g(t)[M] \quad (3.35)$$

$$= -[M] \ddot{y}_g(t) \quad (3.36)$$



Gambar 3.6 Pengaruh Vektor l : Simpangan Statik dengan $y_g=1$

3.4 Modal Analisis (Prinsip Metode Superposisi)

Metode ini, dipakai khusus untuk penyelesaian problem dinamik analisis dengan beberapa syarat tertentu, yaitu respon struktur masih elastik dan struktur mempunyai standar *mode shapes*. Penyelesaian persamaan diferensial gerakan struktur MDOF dengan cara ini yang harus dicari adalah nilai-nilai koordinat *mode shapes* $\{\Phi\}_{ij}$.

Pada kondisi standar, struktur yang mempunyai n -derajat kebebasan akan mempunyai n -modes atau n -pola/ragam goyangan. Pada prinsip ini, masing-masing modes akan memberikan kontribusi pada simpangan horisontal tiap-tiap masa seperti ditunjukkan pada (Gambar 3.7). Pada prinsip ini, simpangan masa ke- i atau Y_i dapat diperoleh dengan menjumlahkan pengaruh atau kontribusi tiap-tiap modes. Kontribusi mode ke- j terhadap simpangan horisontal masa ke- i tersebut, dinyatakan dalam produk antara $\{\Phi\}_{ij}$ dengan suatu modal amplitudo Z_j atau seluruh kontribusi tersebut kemudian dinyatakan dalam,

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= \Phi_{11}Z_1 + \Phi_{12}Z_2 + \Phi_{13}Z_3 + \dots + \Phi_{1n}Z_n \\
 Y_2 &= \Phi_{21}Z_1 + \Phi_{22}Z_2 + \Phi_{23}Z_3 + \dots + \Phi_{2n}Z_n \\
 Y_3 &= \Phi_{31}Z_1 + \Phi_{32}Z_2 + \Phi_{33}Z_3 + \dots + \Phi_{3n}Z_n \\
 \dots &\dots \\
 Y_m &= \Phi_{m1}Z_1 + \Phi_{m2}Z_2 + \Phi_{m3}Z_3 + \dots + \Phi_{mn}Z_n
 \end{aligned}
 \tag{3.37}$$

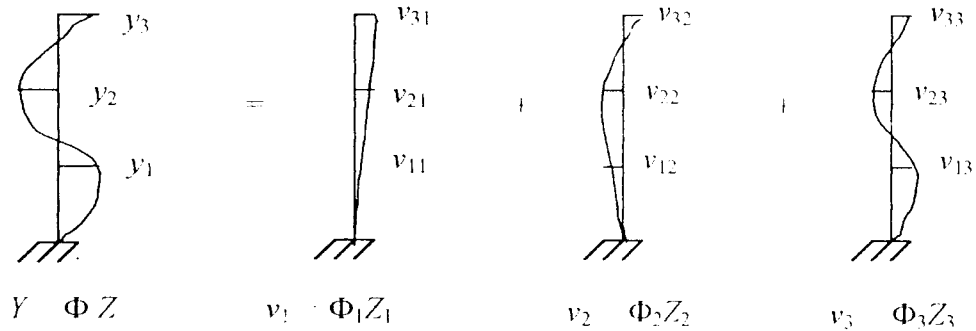
Suku pertama, kedua, ketiga dan seterusnya sampai suku ke- n pada ruas kanan persamaan (3.28) diatas adalah merupakan kontribusi mode pertama, kedua, ketiga dan seterusnya sampai kontribusi mode ke- n . Persamaan (3.37) tersebut, dapat ditulis dalam bentuk yang lebih kompak,

$$\{Y\} = [\Phi]\{Z\}
 \tag{3.38}$$

Derifatif pertama dan kedua, persamaan (3.39) adalah,

$$\{\dot{y}\} = [\Phi]\{\dot{z}\}
 \tag{3.39a}$$

$$\{\ddot{y}\} = [\Phi]\{\ddot{z}\}
 \tag{3.39b}$$



Gambar 3.7 Prinsip Metode Superposisi

Substitusi persamaan (3.38) dan (3.39) kedalam persamaan (3.37), maka akan diperoleh,

$$[M][\Phi]\{\ddot{Z}\} + [C][\Phi]\{\dot{Z}\} + [K][\Phi]\{Z\} = -[M]\{1\}\ddot{y}_t. \quad (3.40)$$

Apabila persamaan (3.40) di *premultiply* dengan transpose suatu mode $\{\Phi\}^T$ maka,

$$\{\Phi\}^T [M][\Phi]\{\ddot{Z}\} + \{\Phi\}^T [C][\Phi]\{\dot{Z}\} + \{\Phi\}^T [K][\Phi]\{Z\} = -\{\Phi\}^T [M]\{1\}\ddot{y}_t. \quad (3.41)$$

Sebagai pembahasan selanjutnya akan ditinjau pengaruh mode ke-1. Misalnya diambil struktur yang mempunyai 3-derajat kebebasan, maka suku pertama pada persamaan (3.41) akan berbentuk,

$$\begin{bmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{21} & \Phi_{31} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{12} & \Phi_{13} \\ \Phi_{21} & \Phi_{22} & \Phi_{23} \\ \Phi_{31} & \Phi_{32} & \Phi_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{Z}_1 \\ \ddot{Z}_2 \\ \ddot{Z}_3 \end{Bmatrix}. \quad (3.42)$$

Dengan memakai prinsip hubungan ortogonal, dimana i tidak sama dengan j , maka untuk mode ke-1 persamaan (3.42) akan menjadi,

$$\begin{bmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{21} & \Phi_{31} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{11} \\ \Phi_{21} \\ \Phi_{31} \end{Bmatrix} \ddot{Z}_1 \quad (3.43)$$

Untuk mode ke- j , maka secara umum persamaan (3.44) juga dapat ditulis dengan,

$$\{\Phi\}_j^T [M] \{\Phi\}_j \ddot{Z}_j. \tag{3.44}$$

Cara seperti diatas juga berlaku untuk suku ke-2 dan ke-3 pada persamaan (3.42). Dengan demikian setelah diperhatikan hubungan ortogonal persamaan (3.41) akan menjadi,

$$\{\Phi\}_j^T [M] [\Phi]_j \{\ddot{Z}\}_j + \{\Phi\}_j^T [C] [\Phi]_j \{\dot{Z}\}_j + \{\Phi\}_j^T [K] [\Phi]_j \{Z\}_j = -\{\Phi\}_j^T [M] \{I\} \ddot{y}_t \tag{3.45}$$

Berdasarkan persamaan (3.45) itu, maka dapat didefinisikan suatu generalisasi masa, redaman dan kekakuan sebagai berikut,

$$M_j^* = \{\Phi\}_j^T [M] \{\Phi\}_j, \tag{3.46a}$$

$$C_j^* = \{\Phi\}_j^T [C] \{\Phi\}_j, \tag{3.46b}$$

$$K_j^* = \{\Phi\}_j^T [K] \{\Phi\}_j. \tag{3.46c}$$

Dengan definisi seperti persamaan (3.46) maka persamaan (3.45) akan menjadi,

$$M^*{}_j \ddot{Z}_j + C^*{}_j \dot{Z}_j + K^*{}_j Z_j = -P^*{}_j \ddot{y}_t. \tag{3.47}$$

dengan,

$$P^*{}_j = \{\Phi\}_j^T [M] \tag{3.48}$$

terdapat suatu hubungan bahwa,

$$\xi_j = \frac{C_j^*}{C_{cr}^*} = \frac{C_j^*}{2M_j^* \omega_j}, \text{ maka } \frac{C_j^*}{M_j^*} = 2\xi_j \omega_j, \tag{3.49a}$$

$$\omega^2 = \frac{K_j^*}{M_j^*} \text{ dan } \Gamma_t = \frac{P_t^*}{M_t^*}. \tag{3.49b}$$

Dengan hubungan-hubungan seperti pada persamaan (3.49), maka persamaan (3.48) akan menjadi,

$$\ddot{Z}_j + 2\xi_j \omega_j \dot{Z}_j + \omega_j^2 Z_j = -1_j \ddot{y}_t \quad (3.50)$$

dan persamaan (3.52) sering disebut dengan partisipasi setiap model *mode participation factor*.

$$\Gamma_j = \frac{r_j^*}{M_j^*} = \frac{\{\Phi\}_j^T [M] \{1\}}{\{\Phi\}_j^T [M] \{\Phi\}_j} \quad (3.51)$$

Selanjutnya persamaan (3.50) juga dapat ditulis menjadi :

$$\frac{\ddot{Z}_j}{\Gamma_j} + 2\xi_j \frac{\dot{Z}_j}{\Gamma_j} + \omega_j^2 \frac{Z_j}{\Gamma_j} = -\ddot{y}_t \quad (3.52)$$

Apabila diambil suatu notasi bahwa :

$$\ddot{g}_j = \frac{\ddot{Z}_j}{\Gamma_j}, \dot{g}_j = \frac{\dot{Z}_j}{\Gamma_j} \text{ dan } g_j = \frac{Z_j}{\Gamma_j} \quad (3.53)$$

Maka persamaan (3.52) menjadi :

$$\ddot{g}_j + 2\xi_j \omega_j \dot{g}_j + \omega_j^2 g_j = -\ddot{y}_t \quad (3.54)$$

Persamaan (3.54), adalah persamaan diferensial yang *independent*, karena persamaan tersebut hanya berhubungan dengan tiap-tiap mode.

Nilai partisipasi setiap mode akan dapat dihitung dengan mudah setelah koordinat setiap mode Φ_j telah diperoleh. Nilai \dot{g} , g dan g dapat dihitung dengan integrasi secara numerik. Apabila nilai telah diperoleh maka nilai Z_j dapat dihitung.

Dengan gerakan yang disebabkan adanya beban gempa, dapat diselesaikan dengan persamaan (3.54). Nilai $g(t)$ dapat diperoleh dengan membandingkan antara persamaan (3.54) dengan persamaan gerakan mode ke- n sistem dari SDOF. Sistem dari SDOF mempunyai frekwensi natural (*natural frequensi* : ω_d) dan rasio redaman (ξ) mode ke- i dari sistem MDOF, dengan $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

Nilai yang akan dicari adalah $g_i(t)$, dan misalnya dipakai metode *central difference*, maka proses integrasi adalah sebagai berikut. Pada metode *central difference*, diperoleh hubungan awal bahwa,

$$\dot{g}_j = \frac{g_{i+1} - g_{i-1}}{2\Delta t}; \ddot{g}_i = \frac{g_{i+1} - 2g_i + g_{i-1}}{(\Delta t)^2}. \quad (3.55)$$

Substitusi persamaan (3.55) kedalam persamaan (3.56) akan diperoleh,

$$\frac{g_{i+1} - 2g_i + g_{i-1}}{(\Delta t)^2} + 2\xi\omega_i \frac{g_{i+1} - g_{i-1}}{2\Delta t} + \omega_i^2 g_i = -\ddot{y}_i. \quad (3.56)$$

Persamaan (3.56) dapat ditulis menjadi,

$$g_{i+1} = \frac{-\ddot{y}_i - ag_i - bg_{i-1}}{k}, \quad (3.57)$$

dengan,

$$a = \left[\omega_i^2 \cdot \frac{2}{(\Delta t)^2} \right], \quad (3.58a)$$

$$b = \left[\frac{1}{(\Delta t)^2} - \frac{2\xi\omega_i}{2\Delta t} \right], \quad (3.58b)$$

$$k = \left[\frac{1}{(\Delta t)^2} + \frac{2\xi\omega_i}{2\Delta t} \right]. \quad (3.58c)$$

Setelah diperoleh nilai g untuk tiap-tiap mode. Selanjutnya nilai simpangan tiap mode dapat diperoleh $y_i(t)$,

$$y_i(t) = \Gamma_i \Phi_i g_i(t) \quad (3.59)$$

Simpangan antar tingkat (*inter story drift*) dari suatu titik pada suatu lantai, harus ditentukan sebagai simpangan horisontal titik itu, relatif terhadap titik yang sesuai pada lantai dibawahnya. Perbandingan antara simpangan antar tingkat (*inter story drift*) dan tinggi tingkat yang bersangkutan tidak boleh melampaui 0.005, dengan ketentuan bahwa dalam segala hal simpangan tersebut tidak boleh lebih dari 2 cm (PPKGRG,1987).

BAB IV

METODE PENELITIAN

Metode Penelitian, merupakan suatu urutan atau tata cara pelaksanaan penelitian, yang diuraikan menurut suatu tahapan yang sistematis, untuk mencari jawaban atas permasalahan penelitian yang diajukan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini secara sistematis dapat dilihat pada (Gambar 4.1) dengan penjelasan seperti berikut ini.

4.1. Data yang diperlukan

Pada penelitian ini digunakan model struktur gedung beton bertingkat tiga lantai dua dimensi. Data yang diperlukan antara lain :

1. struktur bertingkat tiga merupakan model dari *shear building*, dengan masa dan kekakuan yang ditentukan (Gambar 5. 1)
2. beban gempa yang digunakan adalah gempa Bucharest, merupakan riwayat waktu (*time story*) (Gambar 4.2),
3. asumsi masa dan kekakuan TMD, dan
4. perhitungan menggunakan Matlab versi 5.3.1 (*The Mathworks*, 1994-1998).

Data-data penulisan tugas akhir ini, mengacu pada buku-buku, pendapat para ahli dan teori-teori yang berhubungan.

4.2. Pengolahan Data

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

1. menyusun matrix kekakuan $[K]$, matriks massa $[M]$ dan matriks redaman $[C]$ dari sistem,
2. menentukan redaman struktur (d),
3. menentukan kenaikan waktu pada *time history* (Δt),
4. membuat persamaan eigenproblem untuk menghitung *mode shape* (Φ),
5. menghitung frekuensi sudut (ω),
6. menghitung partisipasi vektor (Γ),
7. menghitung model amplitudo (Z),
8. menghitung simpangan horisontal (y) dan simpangan antar tingkat (Δy), dan
9. membandingkan simpangan antar tingkat yang diperoleh.

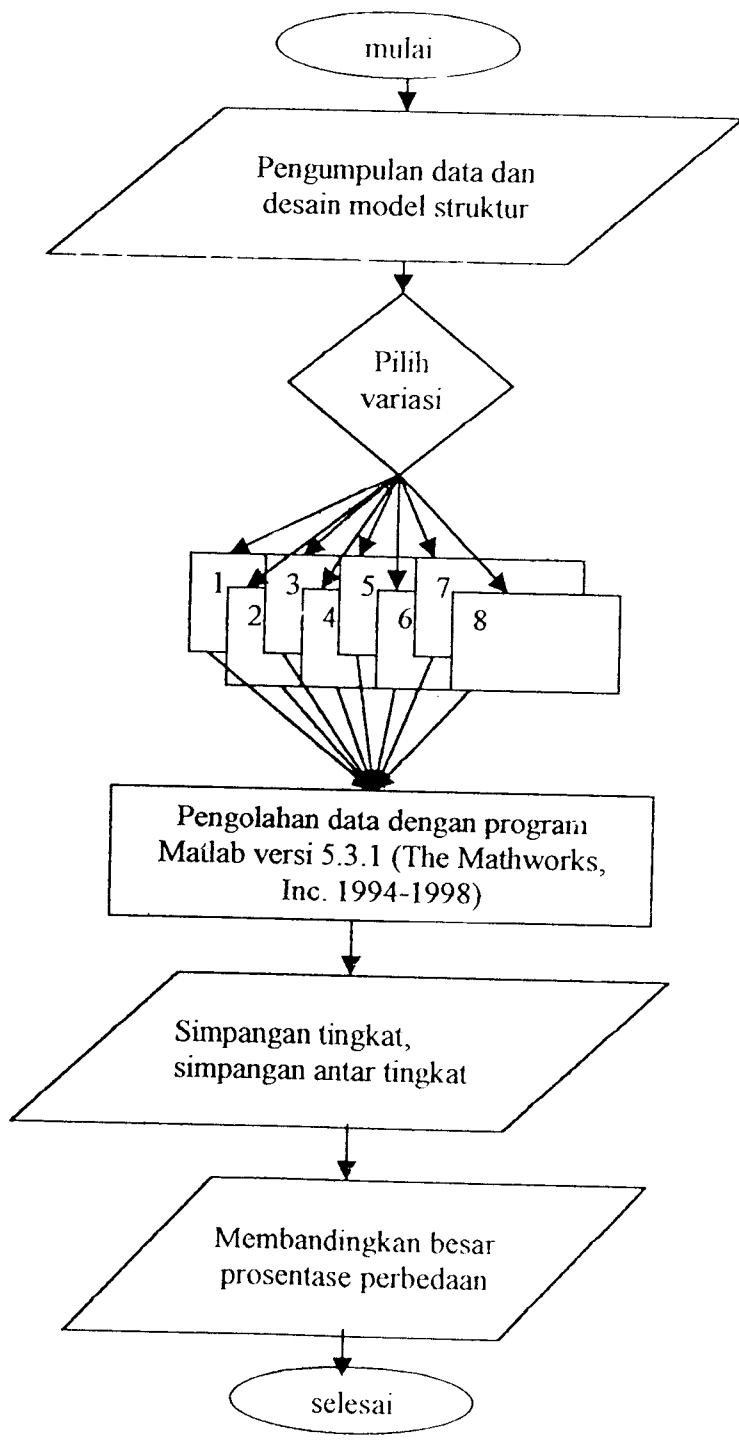
4.3. Pengujian

Pengujian dalam penelitian ini, dilakukan mencakup pengaruh penggunaan TMD terhadap simpangan yang terjadi pada gedung, sesuai dengan variasi ratio redaman (ξ) 2% atau 5% pada setiap pola gerakannya, dengan variasi perletakan

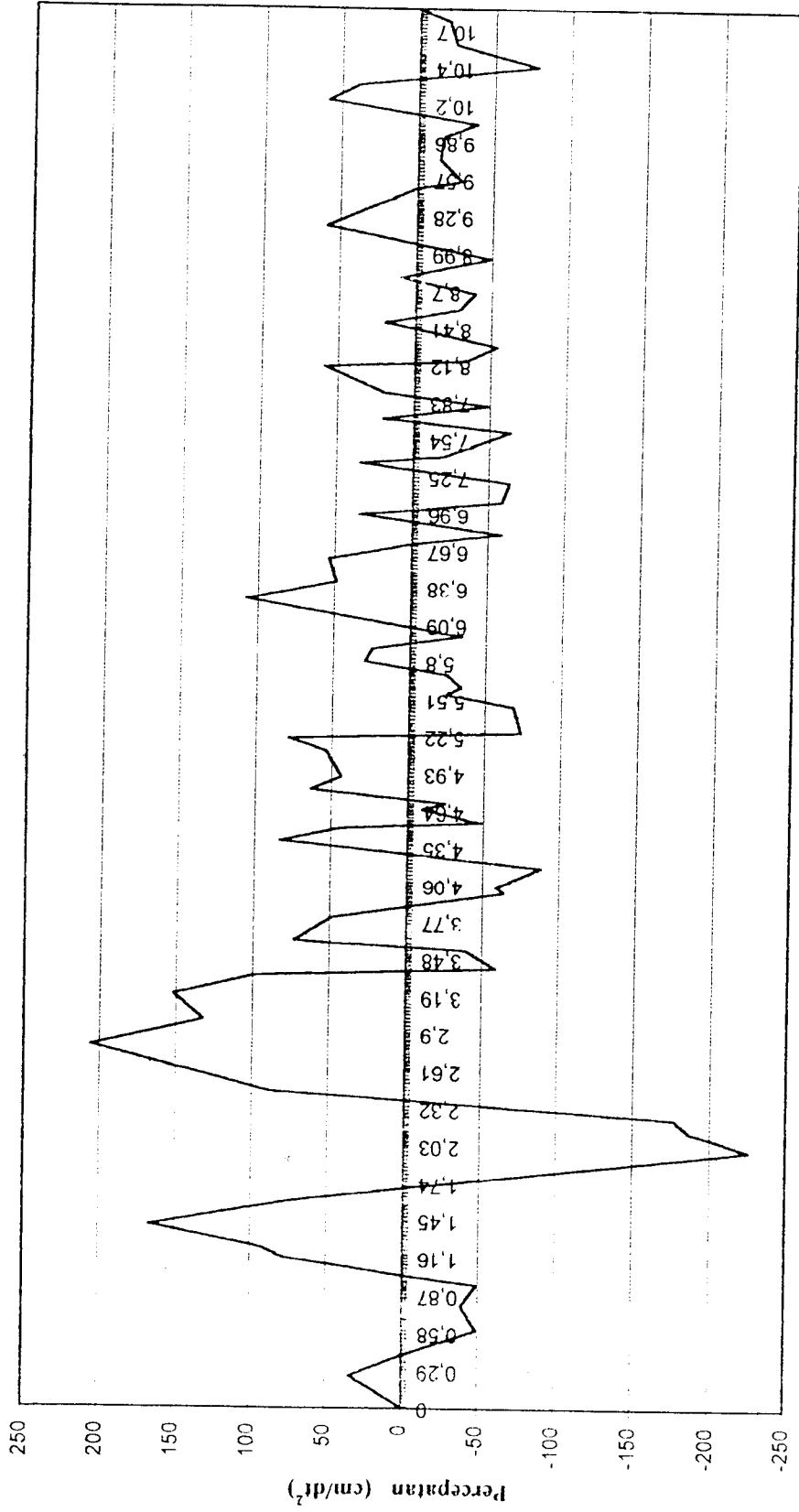
yang direncanakan. Simpangan tiap tingkat dari hasil perhitungan, kemudian dibandingkan dengan simpangan yang terjadi pada masing-masing variasi TMD. Massa TMD akan diambil 1/100 dari berat bangunan (Simiu dan Scanlan, 1978) dan kekakuan TMD diambil 1/100 dari kekakuan total struktur. Dimana variasi-variasi tersebut adalah seperti yang ditunjukkan data pada Tabel (5.1).

Pengujian dilakukan dengan menggunakan program komputer untuk mempercepat dan mempermudah perhitungan. Program yang digunakan adalah program Matlab versi 5.3.1 (*The Mathworks, Inc.* 1994-1998), untuk perhitungan secara matematis sedangkan untuk grafik menggunakan program Excel 2000 (*Microsoft Corporation*, 1995-1999).

Dari hasil hitungan, diperoleh data berupa grafik simpangan dan kecepatan. Setelah itu dilakukan pembahasan dan perbandingan antara masing-masing variasi letak TMD akibat beban dinamis gempa, dalam bentuk prosentase perubahan simpangan yang terjadi pada struktur beton bertingkat.



Gambar 4.1 Bagan Alir Pengerjaan



Waktu (dt)

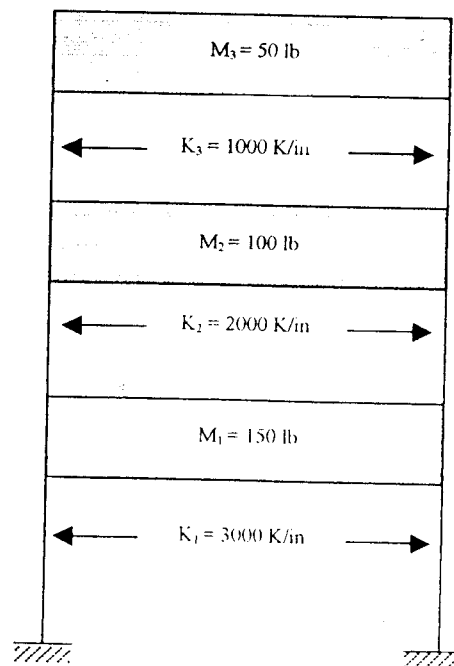
Gambar 4.2 Data Gempa Bucharest (Rumania, 1977)



BAB V

HITUNGAN DAN HASIL

Dalam penelitian ini analisis dilakukan dengan memvariasikan perletakan Tuned Mass Damper (TMD) seperti pada Tabel 5.1 pada struktur dengan rasio redaman 5% dan 2%. Perhitungan dengan menggunakan program MATLAB (The Mathworks Inc, 1999). Hasil dari perhitungan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Dari hasil tersebut dilakukan pembahasan dengan membandingkan perubahan besar simpangan relatif dan simpangan tingkat dari setiap variasi perletakan TMD.



Gambar 5.1 Portal Model Struktur (Paz, 1987)

Untuk analisis dalam penelitian ini struktur diambil dari buku “Dinamika Struktur Teori dan Perhitungan” karangan Paz (1987) seperti terlihat pada Gambar 5.1. Sedangkan variasi perletakan yang akan dianalisis dapat dilihat pada Tabel 5.1. Dalam analisis ini sebagai contoh perhitungan digunakan struktur dengan damping ratio 2%, dengan pertimbangan bahwa struktur mempunyai redaman yang rendah terhadap beban gempa. Sedangkan untuk struktur dengan damping ratio 5%, hasil hitungan akan ditunjukkan dalam bentuk tabel dan grafik. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran.

Tabel 5.1. Variasi-variasi perletakan TMD

Variasi	Letak TMD	Keterangan
1	Tanpa TMD	bentuk matrik k dan M adalah $[3 \times 3]$
2	lantai 1	bentuk matrik k dan M adalah $[4 \times 4]$
3	lantai 2	bentuk matrik k dan M adalah $[4 \times 4]$
4	lantai 3	bentuk matrik k dan M adalah $[4 \times 4]$
5	lantai 1 & 2	bentuk matrik k dan M adalah $[5 \times 5]$
6	lantai 1 & 3	bentuk matrik k dan M adalah $[5 \times 5]$
7	lantai 2 & 3	bentuk matrik k dan M adalah $[5 \times 5]$
8	lantai 1, 2 & 3	bentuk matrik k dan M adalah $[6 \times 6]$

Dalam analisis ini massa dan kekakuan TMD akan diambil sebesar 0,01 atau 1% dari massa dan kekakuan total struktur (Simiu dan Scanlan, 1978).

Massa total struktur :

$$\text{massa lantai 1} = 150 \text{ lb}$$

$$\text{massa lantai 2} = 100 \text{ lb}$$

$$\text{massa lantai 3} = 50 \text{ lb}$$

$$\text{massa total struktur} = 300 \text{ lb}$$

$$\text{massa TMD} = 0,01 \times 300 = 3 \text{ lb}$$

Kekakuan total struktur :

$$\text{Tingkat 1 (K}_1\text{)} = 30.000 \text{ lb/in}$$

$$\text{Tingkat 2 (K}_2\text{)} = 20.000 \text{ lb/in}$$

$$\text{Tingkat 3 (K}_3\text{)} = 10.000 \text{ lb/in}$$

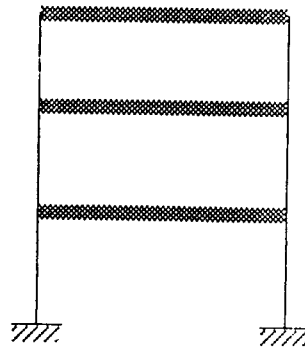
$$\text{Kekakuan total struktur} = 60.000 \text{ lb/in}$$

$$\text{Kekakuan TMD} = 0,01 \times 60.000 = 600 \text{ lb/in.}$$

Massa-massa tersebut diatas dalam analisis ini dianggap tergroupal pada satu titik (*lumped mass*).

Beban gempa yang dipergunakan dalam analisis ini adalah beban gempa Bucharest, ibukota Rumania pada tahun 1977, dapat dilihat berupa grafik pada Gambar 4.6 dengan percepatan tanah maksimum $225,40 \text{ cm/dt}^2$.

5.1. Struktur Tanpa TMD (Variasi 1)



Gambar 5.2 Struktur tanpa TMD (Variasi 1)

Perhitungan untuk struktur tanpa TMD seperti terlihat pada Gambar 5.2 dijelaskan dengan urutan sebagai berikut :

penyusunan matrik massa $[M]$, matrik kekakuan $[K]$ dari sistem

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 150 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 \\ 0 & 0 & 50 \end{bmatrix} \text{ lb det}^2/\text{in}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 & 0 & 0 \\ 0 & k_2 & 0 \\ 0 & 0 & k_3 \end{bmatrix}, \text{ dan} \quad (5.2)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 30.000 & 0 & 0 \\ 0 & 20.000 & 0 \\ 0 & 0 & 10.000 \end{bmatrix} \text{ lb/in}$$

persamaan *eigen problem*,

$$\begin{bmatrix} 30.000 - 150\lambda & 0 & 0 \\ 0 & 20.000 - 100\lambda & 0 \\ 0 & 0 & 10.000 - 50\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (5.3)$$

dimana $\lambda = \omega^2$

setelah dihitung diperoleh *mode shape*, yaitu :

$$[\Phi] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2,0513 & 0,5437 & -1,3450 \\ 2,9268 & -1,7871 & 0,8603 \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

dan frekuensi sudut,

$$\omega_1 = 7,7346 \quad \text{rad/det}, \quad (5.5)$$

$$\omega_2 = 16,1507 \quad \text{rad/det}, \text{ dan} \quad (5.6)$$

$$\omega_3 = 22,641 \quad \text{rad/det}, \quad (5.7)$$

serta partisipasi faktor, yaitu :

$$[\Gamma] = [0,5019 \quad 0,339 \quad 0,1591]. \quad (5.8)$$

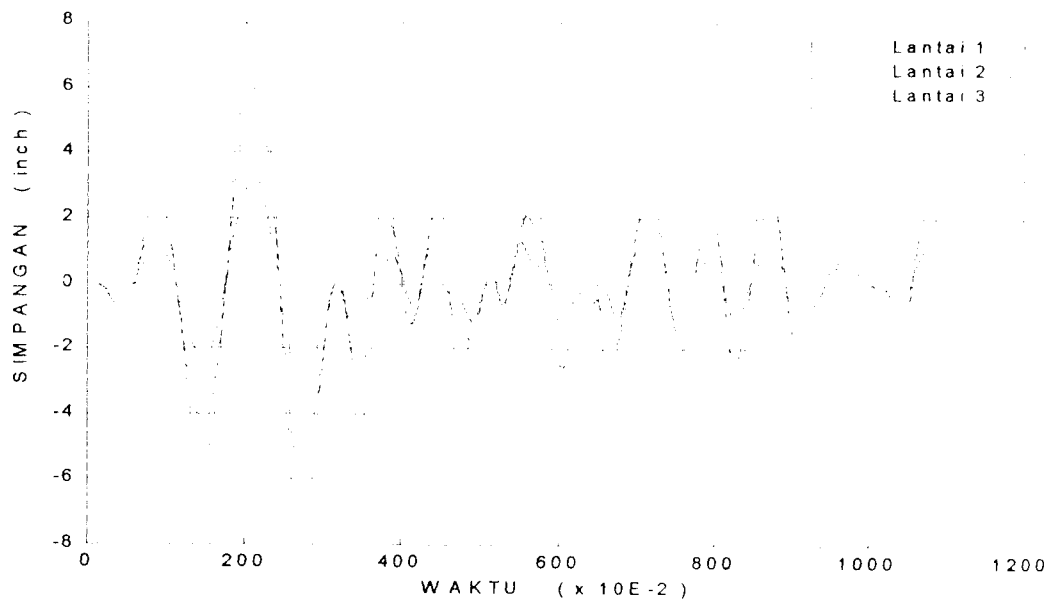
Dari metoda *central difference* dihitung nilai a , b , dan k yang hasilnya berupa matrik kolom, yaitu :

$$\{a\} = \begin{Bmatrix} -1,994 \\ -1,9739 \\ -1,9487 \end{Bmatrix} \times 1E+4, \quad (5.9)$$

$$\{b\} = \begin{Bmatrix} 9,9845 \\ 9,9677 \\ 9,9547 \end{Bmatrix} \times 1E+3, \text{ dan} \quad (5.10)$$

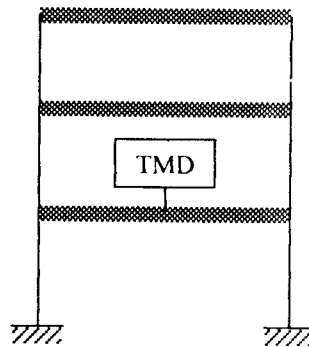
$$\{k\} = \begin{Bmatrix} 1,0015 \\ 1,0032 \\ 1,0045 \end{Bmatrix} \times 1E+4. \quad (5.11)$$

Selanjutnya nilai g_i dihitung untuk tiap-tiap mode menggunakan persamaan (3.49). Kemudian dari hasil hitungan tersebut simpangan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (3.51) dan hasil dari perhitungan simpangan tiap-tiap lantai berupa grafik pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Grafik simpangan relatif struktur tanpa TMD

5.2. Struktur dengan TMD pada lantai 1 (Variasi 2)



Gambar 5.4 Struktur dengan TMD pada lantai 1 (Variasi 2)

Perhitungan untuk struktur tanpa TMD seperti terlihat pada Gambar 5.4, dapat dijelaskan dengan urutan sebagai berikut :

penyusunan matrik massa $[M]$, matrik kekakuan $[K]$ dari sistem

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix} \quad (5.12)$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 150 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 50 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} \text{ lb det}^2/\text{in}$$

dimana m_4 adalah massa dari TMD.

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 + k_4 & -k_2 & 0 & -k_4 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_3 & 0 \\ -k_4 & 0 & 0 & k_4 \end{bmatrix} \quad (5.13)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 30+20+0,6 & -20 & 0 & -0,6 \\ -20 & 20+10 & -10 & 0 \\ 0 & -20 & 10 & 0 \\ -0,6 & 0 & 0 & 0,6 \end{bmatrix} \times 1E3 = \begin{bmatrix} 50,6 & -20 & 0 & -0,6 \\ -20 & 30 & -10 & 0 \\ 0 & -20 & 10 & 0 \\ -0,6 & 0 & 0 & 0,6 \end{bmatrix} \times 1E3 \text{ lb/in}$$

persamaan *eigen problem*,

$$\begin{bmatrix} 50,6 - 0,15\lambda & -20 & 0 & -0,6 \\ -20 & 30 - 0,1\lambda & -10 & 0 \\ 0 & -20 & 10 - 0,05\lambda & 0 \\ -0,6 & 0 & 0 & 0,6 - 0,003\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \\ \Phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (5.14)$$

setelah dihitung diperoleh *mode shape*, yaitu :

$$[\Phi] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -0,0549 & 0,6106 & 2,0405 & -1,3162 \\ -2,0578 & -1,803 & 2,9061 & 0,8347 \\ 37,4962 & -2,9528 & 1,4242 & -0,6342 \end{bmatrix} \quad (5.15)$$

dan frekuensi sudut, yaitu :

$$\omega_1 = 7,718 \quad \text{rad/det}, \quad (5.16)$$

$$\omega_2 = 13,9523 \quad \text{rad/det}, \quad (5.17)$$

$$\omega_3 = 16,3625 \quad \text{rad/det}, \quad (5.18)$$

$$\omega_4 = 22,7017 \quad \text{rad/det}, \quad (5.19)$$

serta partisipasi faktor, yaitu :

$$[\Gamma] = [0,0336 \quad 0,298 \quad 0,5063 \quad 0,162]. \quad (5.20)$$

dari metoda *central difference* dihitung nilai a , b , dan k yang hasilnya berupa matrik kolom, yaitu :

$$\{a\} = \begin{Bmatrix} -1,994 \\ -1,9805 \\ -1,9732 \\ -1,9485 \end{Bmatrix} \times 1E4, \quad (5.21)$$

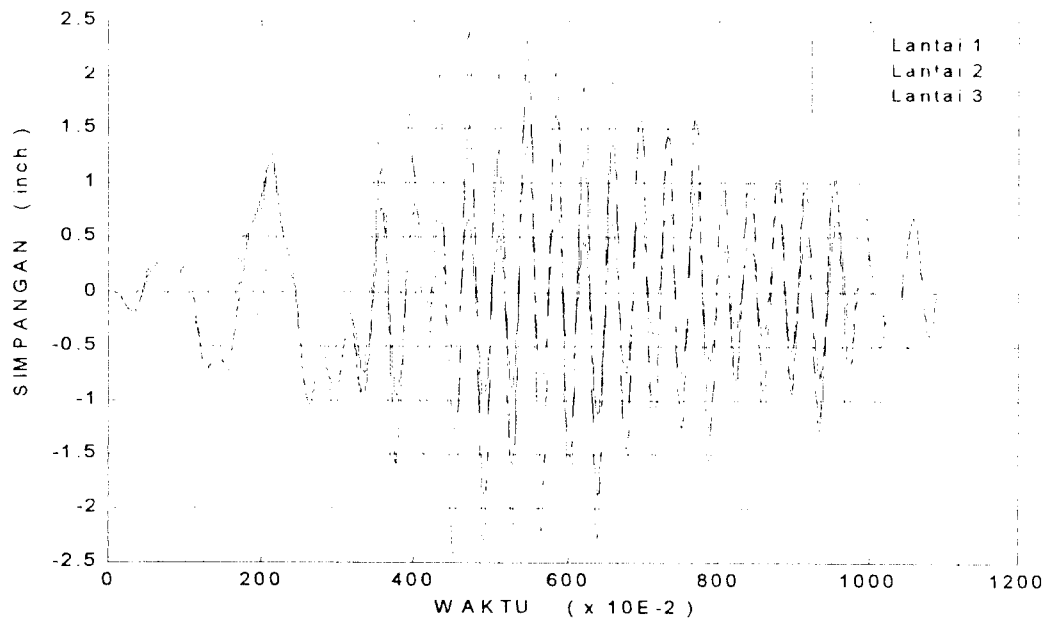
$$\{b\} = \begin{Bmatrix} 9,9846 \\ 9,9721 \\ 9,9673 \\ 9,9546 \end{Bmatrix} \times 1E3, \text{ dan} \quad (5.22)$$

$$\{k\} = \begin{Bmatrix} 1,0015 \\ 1,0028 \\ 1,0033 \\ 1,0045 \end{Bmatrix} \times 1E4. \quad (5.23)$$

selanjutnya nilai g_i dihitung untuk tiap-tiap mode menggunakan persamaan (3.49). Contoh nilai g_i dari hasil perhitungan dengan *central difference method* dapat dilihat pada Lampiran 2 kemudian dari hasil hitungan tersebut simpangan dapat

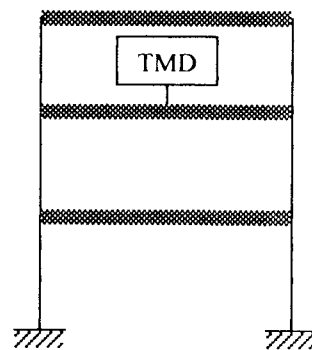


diperoleh dengan menggunakan persamaan (3.51) dan hasil dari perhitungan simpangan tiap-tiap lantai berupa grafik pada Gambar 5.5. Contoh hasil perhitungan simpangan dalam bentuk tabel dapat dilihat pada Lampiran 3.



Gambar 5.5 Grafik simpangan relatif dengan TMD pada lantai 1

5.3. Struktur dengan TMD pada lantai 2 (Variasi 3)



Gambar 5.6 Struktur dengan TMD pada lantai 2 (Variasi 3)

Perhitungan untuk struktur tanpa TMD seperti terlihat pada Gambar 5.6, dapat dijelaskan dengan urutan sebagai berikut :

penyusunan matrik massa $[M]$, matrik kekakuan $[K]$ dari sistem

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix} \quad (5.24)$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 150 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 50 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} \text{ lb det}^2/\text{in}$$

dimana m_4 adalah massa dari TMD.

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 + k_4 & -k_3 & -k_4 \\ 0 & -k_2 & k_3 & 0 \\ 0 & -k_4 & 0 & k_4 \end{bmatrix} \quad (5.25)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 30+20 & -20 & 0 & 0 \\ -20 & 20+10+0,6 & -10 & -0,6 \\ 0 & -10 & 10 & 0 \\ 0 & -0,6 & 0 & 0,6 \end{bmatrix} \times 1E3 = \begin{bmatrix} 50 & -20 & 0 & 0 \\ -20 & 30,6 & -10 & -0,6 \\ 0 & -10 & 10 & 0 \\ 0 & -0,6 & 0 & 0,6 \end{bmatrix} \times 1E3 \text{ lb/in}$$

Persamaan *eigen problem*,

$$1E3 \times \begin{bmatrix} 50 - 0,15\lambda & -20 & -0,6 & 0 \\ -20 & 30,6 - 0,1\lambda & -10 & -0,6 \\ 0 & -10 & 10 - 0,05\lambda & 0 \\ 0 & -0,6 & 0 & 0,6 - 0,003\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \\ \Phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (5.26)$$

setelah dihitung diperoleh *mode shape*, yaitu :

$$[\Phi] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0 \\ -0,0801 & 0 & -0 & 0 \\ 1,3352 & 0 & -0 & 0 \end{bmatrix} \times 1E15 \quad (5.27)$$

dan frekuensi sudut, yaitu :

$$\omega_1 = 7,6661 \quad \text{rad/det}, \quad (5.28)$$

$$\omega_2 = 14,1421 \quad \text{rad/det}, \quad (5.29)$$

$$\omega_3 = 16,2182 \quad \text{rad/det}, \quad (5.30)$$

$$\omega_4 = 22,7494 \quad \text{rad/det}, \quad (5.31)$$

serta partisipasi faktor, yaitu :

$$[\Gamma] = [0,000 \quad 0,4982 \quad 0,3497 \quad 0,1522]. \quad (5.32)$$

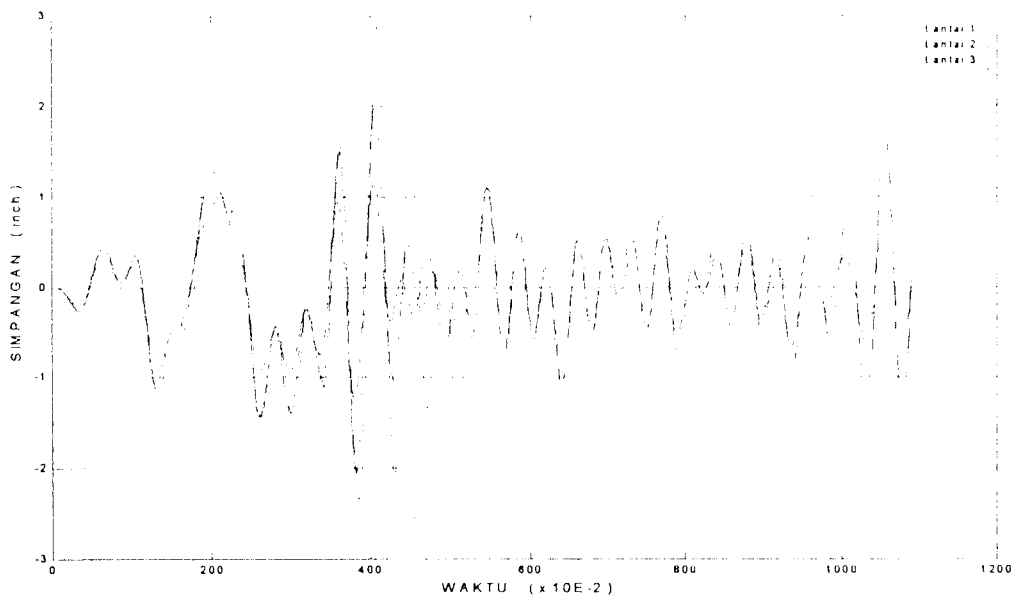
Dari metoda *central difference* dihitung nilai a , b , dan k yang hasilnya berupa matrik kolom, yaitu :

$$\{a\} = \begin{Bmatrix} -1,9941 \\ -1,9800 \\ -1,9737 \\ -1,9482 \end{Bmatrix} \times 1E4, \quad (5.33)$$

$$\{b\} = \begin{Bmatrix} 9,9847 \\ 9,9717 \\ 9,9676 \\ 9,9545 \end{Bmatrix} \times 1E3, \text{ dan} \quad (5.34)$$

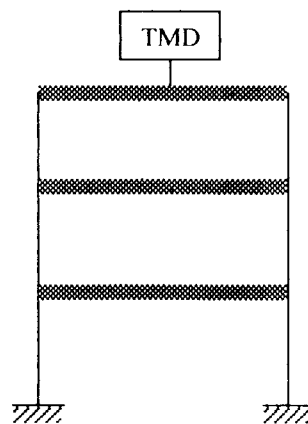
$$\{k\} = \begin{Bmatrix} 1,0015 \\ 1,0028 \\ 1,0032 \\ 1,0045 \end{Bmatrix} \times 1E4. \quad (5.35)$$

Selanjutnya nilai g_i dihitung untuk tiap-tiap mode menggunakan persamaan (3.49), kemudian dari hasil hitungan tersebut simpangan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (3.51) dan hasil dari perhitungan simpangan tiap-tiap lantai berupa grafik pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Grafik simpangan relatif dengan TMD pada lantai 2

5.4. Struktur dengan TMD pada lantai 3 (Variasi 4)



Gambar 5.8 Struktur dengan TMD pada lantai 3 (Variasi 4)

Perhitungan untuk struktur tanpa TMD seperti terlihat pada Gambar 5.8, dapat dijelaskan dengan urutan sebagai berikut :

penyusunan matrik massa $[M]$, matrik kekakuan $[K]$ dari sistem

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix} \quad (5.36)$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 150 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 50 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} \text{ lb det}^2/\text{in}$$

dimana m_4 adalah massa dari TMD.

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \quad (5.37)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 30+20 & -20 & 0 & 0 \\ -20 & 20+10 & -10 & 0 \\ 0 & -10 & 10+0,6 & -0,6 \\ 0 & 0 & -0,6 & 0,6 \end{bmatrix} \times 1E3 = \begin{bmatrix} 50 & -20 & 0 & 0 \\ -20 & 30 & -10 & 0 \\ 0 & -10 & 10,6 & -0,6 \\ 0 & 0 & -0,6 & 0,6 \end{bmatrix} \times 1E3 \text{ lb/in}$$

persamaan *eigen problem*,

$$1E3 \times \begin{bmatrix} 50 - 0,15\lambda & -20 & -0,6 & 0 \\ -20 & 30 - 0,1\lambda & -10 & 0 \\ 0 & -10 & 10,6 - 0,05\lambda & -0,6 \\ 0 & 0 & -0,6 & 0,6 - 0,003\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \\ \Phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (5.38)$$

setelah dihitung diperoleh *mode shape*, yaitu :

$$[\Phi] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1,0657 & 0,3878 & 2,0672 & -1,3607 \\ -0,8411 & -1,9287 & 3,0085 & 0,9221 \\ -19,2155 & 4,7260 & 4,2287 & -0,5859 \end{bmatrix} \quad (5.39)$$

dan frekuensi sudut, yaitu :

$$\omega_1 = 7,5968 \quad \text{rad/det}, \quad (5.40)$$

$$\omega_2 = 13,8292 \quad \text{rad/det}, \quad (5.41)$$

$$\omega_3 = 16,7816 \quad \text{rad/det}, \quad (5.42)$$

$$\omega_4 = 22,6882 \quad \text{rad/det}, \quad (5.43)$$

serta partisipasi faktor, yaitu :

$$[\Gamma] = [0,1115 \quad 0,2548 \quad 0,4798 \quad 0,1539]. \quad (5.44)$$

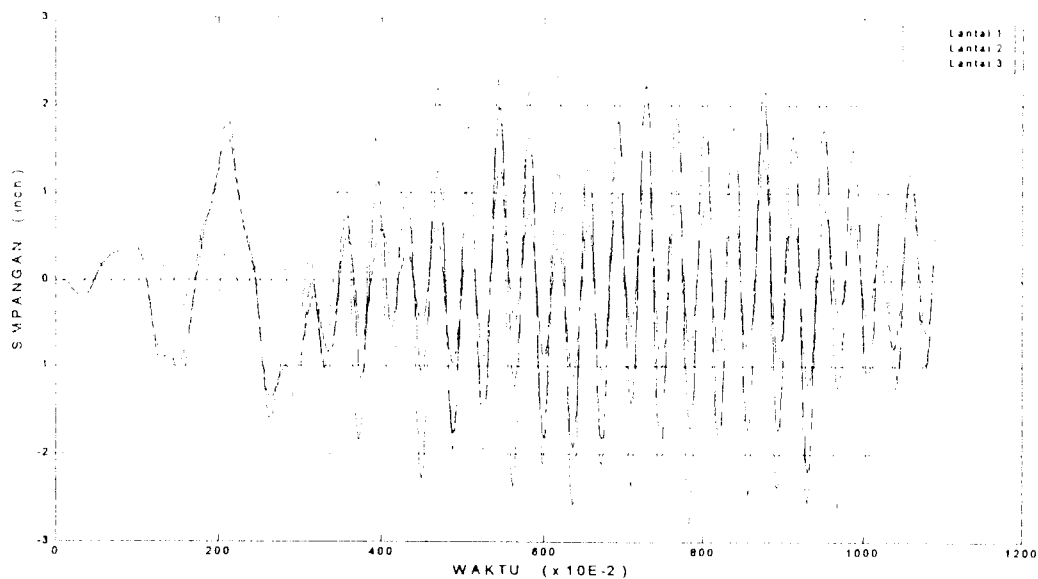
Dari metoda *central difference* dihitung nilai a , b , dan k yang hasilnya berupa matrik kolom, yaitu :

$$\{a\} = \begin{Bmatrix} -1,9942 \\ -1,9809 \\ -1,9718 \\ -1,9485 \end{Bmatrix} \times 1E4, \quad (5.45)$$

$$\{b\} = \begin{Bmatrix} 9,9848 \\ 9,9723 \\ 9,9664 \\ 9,9546 \end{Bmatrix} \times 1E3, \text{ dan} \quad (5.46)$$

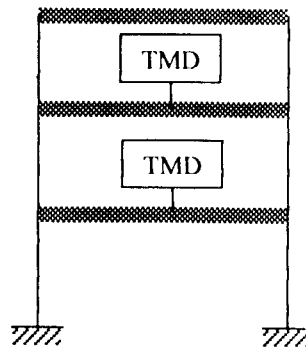
$$\{k\} = \begin{Bmatrix} 1,0015 \\ 1,0028 \\ 1,0034 \\ 1,0045 \end{Bmatrix} \times 1E4. \quad (5.47)$$

Selanjutnya nilai g_i dihitung untuk tiap-tiap mode menggunakan persamaan (3.49), kemudian dari hasil hitungan tersebut simpangan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (3.51) dan hasil dari perhitungan simpangan tiap-tiap lantai berupa grafik pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Grafik simpangan relatif dengan TMD pada lantai 3

5.5. Struktur dengan TMD pada lantai 1 dan 2 (Variasi 5)



Gambar 5.10 Struktur dengan TMD pada lantai 1 dan 2 (Variasi 5)

Perhitungan untuk struktur tanpa TMD seperti terlihat pada Gambar 5.10, dapat dijelaskan dengan urutan sebagai berikut :

penyusunan matrik massa $[M]$, matrik kekakuan $[K]$ dari sistem

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 \end{bmatrix} \quad (5.48)$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 150 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 50 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} \text{ lb det}^2/\text{in}$$

dimana m_4 dan m_5 adalah massa dari TMD.

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 + k_4 & -k_2 & 0 & -k_4 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 + k_5 & -k_3 & 0 & -k_5 \\ 0 & -k_3 & k_3 & 0 & 0 \\ -k_4 & 0 & 0 & k_4 & 0 \\ 0 & -k_5 & 0 & 0 & k_5 \end{bmatrix} \quad (5.49)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 30 + 20 + 0,6 & -20 & 0 & -0,6 & 0 \\ -20 & 20 + 10 + 0,6 & -10 & 0 & -0,6 \\ 0 & -10 & 10 & 0 & 0 \\ -0,6 & 0 & 0 & 0,6 & 0 \\ 0 & -0,6 & 0 & 0 & 0,6 \end{bmatrix} \times 1E3 \text{ lb/in}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 50,6 & -20 & 0 & -0,6 & 0 \\ -20 & 30,6 & -10 & 0 & -0,6 \\ 0 & -10 & 10 & 0 & 0 \\ -0,6 & 0 & 0 & 0,6 & 0 \\ 0 & -0,6 & 0 & 0 & 0,6 \end{bmatrix} \times 1E3 \text{ lb/in}$$

persamaan *eigen problem*,

$$1E3 \times \begin{bmatrix} 50,6 - 1,5\lambda & -20 & 0 & -0,6 & 0 \\ -20 & 30,6 - 0,1\lambda & -10 & 0 & -0,6 \\ 0 & -10 & 10 - 0,05\lambda & 0 & 0 \\ -0,6 & 0 & 0 & 0,6 - 0,003\lambda & 0 \\ 0 & -0,6 & 0 & 0 & 0,6 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \\ \Phi_4 \\ \Phi_5 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (5.50)$$

setelah dihitung diperoleh *mode shape*, yaitu :

$$[\Phi] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0 & 0 & 0 & -0 \\ -0,3605 & -0 & -0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 6,0085 & -0 & -0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \times 1E15 \quad (5.51)$$

dan frekuensi sudut, yaitu :

$$\omega_1 = 7,6502 \quad \text{rad/det}, \quad (5.52)$$

$$\omega_2 = 13,9518 \quad \text{rad/det}, \quad (5.53)$$

$$\omega_3 = 14,1421 \quad \text{rad/det}, \quad (5.54)$$

$$\omega_4 = 16,4325 \quad \text{rad/det}, \quad (5.55)$$

$$\omega_5 = 22,8.63 \quad \text{rad/det}, \quad (5.56)$$

serta partisipasi faktor, yaitu :

$$[\Gamma] = [0,000 \quad 0,0339 \quad 0,3086 \quad 0,5024 \quad 0,1551] \quad (5.57)$$

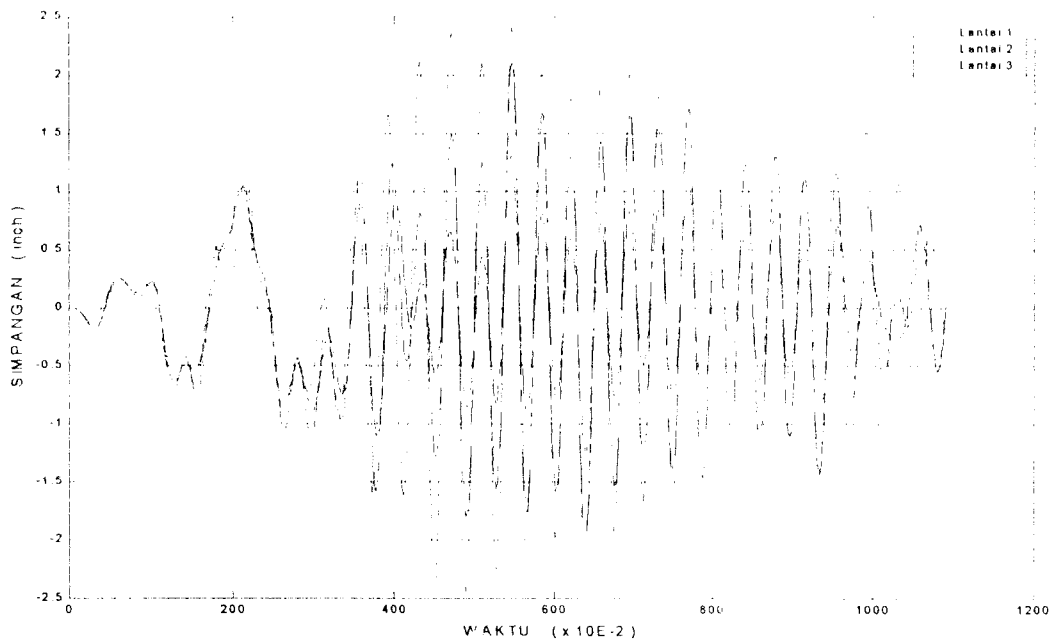
Dari metoda *central difference* dihitung nilai a , b , dan k yang hasilnya berupa matrik kolom, yaitu :

$$\{a\} = \begin{Bmatrix} -1,9941 \\ -1,9805 \\ -1,98 \\ -1,973 \\ 1,948 \end{Bmatrix} \times 1E4, \quad (5.58)$$

$$\{b\} = \begin{Bmatrix} 9,9847 \\ 9,9721 \\ 9,9717 \\ 9,9671 \\ 9,9544 \end{Bmatrix} \times 1E3, \text{ dan} \quad (5.59)$$

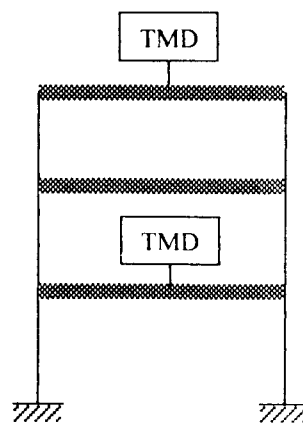
$$\{k\} = \begin{Bmatrix} 1,0015 \\ 1,0028 \\ 1,0028 \\ 1,0033 \\ 1,0046 \end{Bmatrix} \times 1E4. \quad (5.60)$$

Selanjutnya nilai g_i dihitung untuk tiap-tiap mode menggunakan persamaan (3.49), kemudian dari hasil hitungan tersebut simpangan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (3.51) dan hasil dari perhitungan simpangan tiap-tiap lantai berupa grafik pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Grafik simpangan relatif dengan TMD pada lantai 1 dan 2

5.6. Struktur dengan TMD pada lantai 1 dan 3 (Variasi 6)



Gambar 5.12 Struktur dengan TMD pada lantai 1 dan 3 (Variasi 6)

Perhitungan untuk struktur tanpa TMD seperti terlihat pada Gambar 5.12, dapat dijelaskan dengan urutan sebagai berikut :

penyusunan matrik massa $[M]$, matrik kekakuan $[K]$ dari sistem

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 \end{bmatrix} \quad (5.61)$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 150 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 50 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} \text{ lb det}^2/\text{in}$$

dimana m_4 dan m_5 adalah massa dari TMD.

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 + k_4 & -k_2 & 0 & -k_4 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_5 & 0 & -k_5 \\ -k_4 & 0 & 0 & k_4 & 0 \\ 0 & 0 & -k_5 & 0 & k_5 \end{bmatrix} \quad (5.62)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 30 + 20 + 0,6 & -20 & 0 & -0,6 & 0 \\ -20 & 20 + 10 & -10 & 0 & 0 \\ 0 & -10 & 10 + 0,6 & 0 & -0,6 \\ -0,6 & 0 & 0 & 0,6 & 0 \\ 0 & 0 & -0,6 & 0 & 0,6 \end{bmatrix} \times 1E3 \text{ lb/in}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 50,6 & -20 & 0 & -0,6 & 0 \\ -20 & 30 & -10 & 0 & 0 \\ 0 & -10 & 10,6 & 0 & -0,6 \\ -0,6 & 0 & 0 & 0,6 & 0 \\ 0 & 0 & -0,6 & 0 & 0,6 \end{bmatrix} \times 1E3 \text{ lb/in}$$

Persamaan *eigen problem*,

$$1E3 \times \begin{bmatrix} 50,6-1,5\lambda & -20 & 0 & -0,6 & 0 \\ -20 & 30-0,1\lambda & -10 & 0 & 0 \\ 0 & -10 & 10,6-0,05\lambda & 0 & -0,6 \\ -0,6 & 0 & 0 & 0,6-0,003\lambda & 0 \\ 0 & 0 & -0,6 & 0 & 0,6 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \\ \Phi_4 \\ \Phi_5 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (5.63)$$

setelah dihitung diperoleh *mode shape*, yaitu :

$$[\Phi] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 3,065 & 0,9839 & 0,7505 & 2,4705 & -1,0799 \\ 0,9496 & -0,9164 & -2,0554 & 3,8133 & 0,6597 \\ -53,1089 & 19,7375 & -1,8625 & 1,4781 & -0,5775 \\ -50,4321 & -18,0881 & 3,8282 & 5,6364 & -0,3810 \end{bmatrix} \quad (5.64)$$

dan frekuensi sudut, yaitu :

$$\omega_1 = 8,043 \quad \text{rad/det}, \quad (5.65)$$

$$\omega_2 = 13,7792 \quad \text{rad/det}, \quad (5.66)$$

$$\omega_3 = 14,2747 \quad \text{rad/det}, \quad (5.67)$$

$$\omega_4 = 17,5323 \quad \text{rad/det}, \quad (5.68)$$

$$\omega_5 = 23,373 \quad \text{rad/det}, \quad (5.69)$$

serta partisipasi faktor, yaitu :

$$[\Gamma] = [0,0112 \quad 0,0851 \quad 0,2716 \quad 0,3832 \quad 0,2489]. \quad (5.70)$$

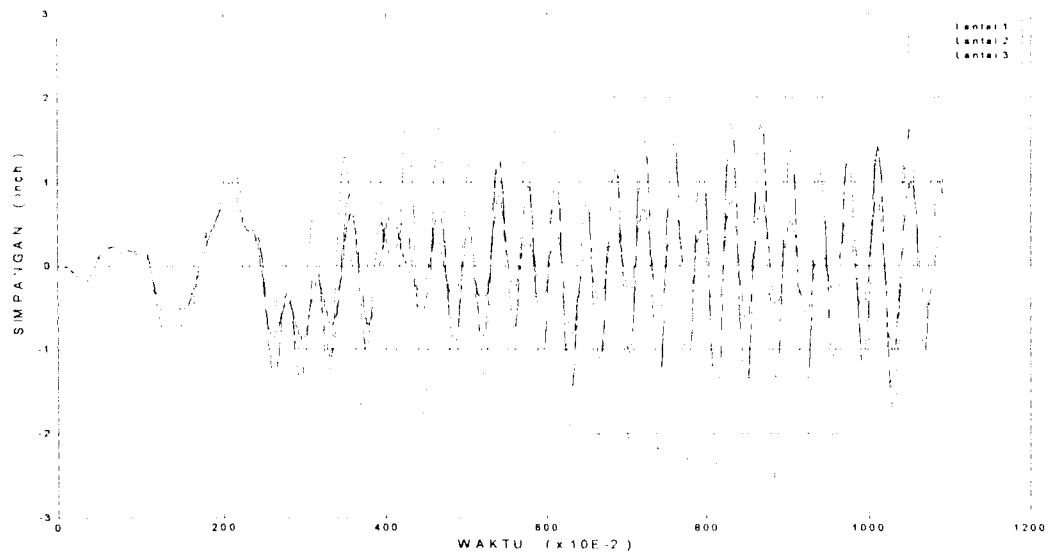
Dari metoda *central difference* dihitung nilai a , b , dan k yang hasilnya berupa matrik kolom, yaitu :

$$\{a\} = \begin{Bmatrix} -1,9935 \\ -1,981 \\ -1,9796 \\ -1,9693 \\ 1,9454 \end{Bmatrix} \times 10^4, \quad (5.71)$$

$$\{b\} = \begin{Bmatrix} 9,9839 \\ 9,9724 \\ 9,9715 \\ 9,9649 \\ 9,9533 \end{Bmatrix} \times 10^3, \text{ dan} \quad (5.72)$$

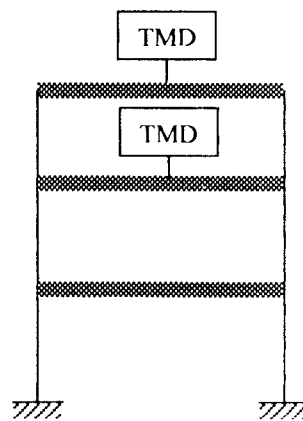
$$\{k\} = \begin{Bmatrix} 1,0016 \\ 1,0028 \\ 1,0029 \\ 1,0035 \\ 1,0047 \end{Bmatrix} \times 10^4. \quad (5.73)$$

Selanjutnya nilai g_i dihitung untuk tiap-tiap mode menggunakan persamaan (3.49), kemudian dari hasil hitungan tersebut simpangan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (3.51) dan hasil dari perhitungan simpangan tiap-tiap lantai berupa grafik dapat dilihat pada Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Grafik simpangan relatif dengan TMD pada lantai 1 dan 3

5.7. Struktur dengan TMD pada lantai 2 dan 3 (Variasi 7)



Gambar 5.14 Struktur dengan TMD pada lantai 2 dan 3 (Variasi 7)

Perhitungan untuk struktur tanpa TMD seperti terlihat pada Gambar 5.13, dapat dijelaskan dengan urutan sebagai berikut :

penyusunan matrik massa $[M]$, matrik kekakuan $[K]$ dari sistem

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 \end{bmatrix} \quad (5.74)$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 150 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 50 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} \text{ lb det}^2/\text{in}$$

dimana m_4 dan m_5 adalah massa dari TMD.

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 + k_4 & -k_3 & -k_4 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_5 & 0 & -k_5 \\ 0 & -k_4 & 0 & k_4 & 0 \\ 0 & 0 & -k_5 & 0 & k_5 \end{bmatrix} \quad (5.75)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 30 + 20 & -20 & 0 & 0 & 0 \\ -20 & 20 + 10 + 0,6 & -10 & -0,6 & 0 \\ 0 & -10 & 10 + 0,6 & 0 & -0,6 \\ 0 & -0,6 & 0 & 0,6 & 0 \\ 0 & 0 & -0,6 & 0 & 0,6 \end{bmatrix} \times 1E3 \text{ lb/in}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 50 & -20 & 0 & 0 & 0 \\ -20 & 30,6 & -10 & -0,6 & 0 \\ 0 & -10 & 10,6 & 0 & -0,6 \\ 0 & -0,6 & 0 & 0,6 & 0 \\ 0 & 0 & -0,6 & 0 & 0,6 \end{bmatrix} \times 1E3 \text{ lb/in}$$

Persamaan *eigen problem*,

$$1E3 \times \begin{bmatrix} 50-1,5\lambda & -20 & 0 & 0 & 0 \\ -20 & 30,6-0,1\lambda & -10 & -0,6 & 0 \\ 0 & -10 & 10,6-0,05\lambda & 0 & -0,6 \\ 0 & -0,6 & 0 & 0,6-0,003\lambda & 0 \\ 0 & 0 & -0,5 & 0 & 0,6 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \\ \Phi_4 \\ \Phi_5 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (5.76)$$

setelah dihitung diperoleh *mode shape*, yaitu :

$$[\Phi] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0,9724 & 1,2178 & 0,4123 & 2,0769 & -1,3958 \\ 2,1672 & -0,8585 & -1,8229 & 3,0101 & 0,9268 \\ -52,8703 & 8,3859 & -1,0523 & 2,8929 & 0,8739 \\ -14,7040 & -23,2338 & 3,2088 & 4,4123 & -0,4812 \end{bmatrix} \quad (5.77)$$

dan frekuensi sudut, yaitu :

$$\omega_1 = 7,5109 \quad \text{rad/det}, \quad (5.78)$$

$$\omega_2 = 13,0750 \quad \text{rad/det}, \quad (5.79)$$

$$\omega_3 = 14,2716 \quad \text{rad/det}, \quad (5.80)$$

$$\omega_4 = 16,6841 \quad \text{rad/det}, \quad (5.81)$$

$$\omega_5 = 22,7913 \quad \text{rad/det}, \quad (5.82)$$

serta partisipasi faktor, yaitu :

$$[\Gamma] = [0,0153 \quad 0,0740 \quad 0,2903 \quad 0,4726 \quad 0,1478]. \quad (5.83)$$

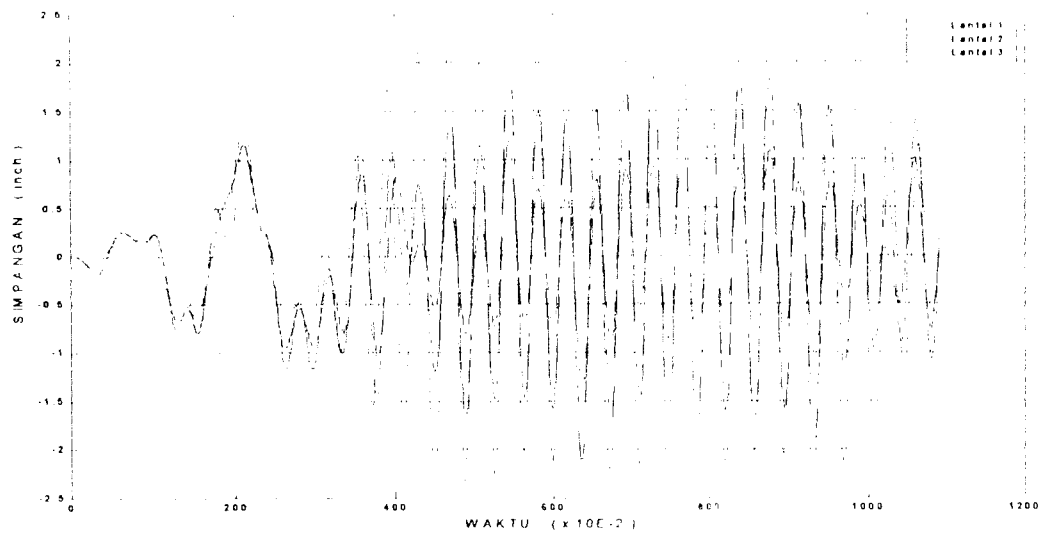
Dari metoda *central difference* dihitung nilai a , b , dan k yang hasilnya berupa matrik kolom, yaitu :

$$\{a\} = \begin{Bmatrix} -1,9944 \\ -1,9829 \\ -1,9796 \\ -1,9722 \\ 1,9481 \end{Bmatrix} \times 1E4, \quad (5.84)$$

$$\{b\} = \begin{Bmatrix} 9,9850 \\ 9,9739 \\ 9,9715 \\ 9,9666 \\ 9,9544 \end{Bmatrix} \times 1E3, \text{ dan} \quad (5.85)$$

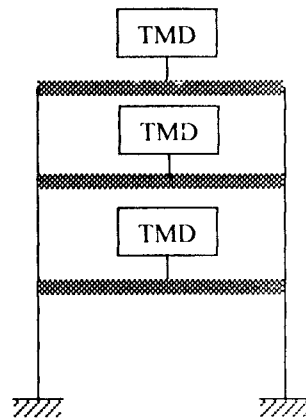
$$\{k\} = \begin{Bmatrix} 1,0015 \\ 1,0026 \\ 1,0029 \\ 1,0033 \\ 1,0046 \end{Bmatrix} \times 1E4. \quad (5.86)$$

Selanjutnya nilai g_i dihitung untuk tiap-tiap mode menggunakan persamaan (3.49), kemudian dari hasil hitungan tersebut simpangan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (3.51) dan hasil dari perhitungan simpangan tiap-tiap lantai berupa grafik dapat dilihat pada Gambar 5.15.



Gambar 5.15 Grafik simpangan relatif dengan TMD pada lantai 2 dan 3

5.8. Struktur dengan TMD pada semua lantai (Variasi 8)



Gambar 5.16 Struktur dengan TMD pada semua lantai (Variasi 8)

Perhitungan untuk struktur tanpa TMD seperti terlihat pada Gambar 5.16, dapat dijelaskan dengan urutan sebagai berikut :

penyusunan matrik massa $[M]$, matrik kekakuan $[K]$ dari sistem

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_6 \end{bmatrix} \quad (5.87)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 150 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 50 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} \text{ lb det}^2/\text{in}$$

dimana m_4 , m_5 dan m_6 adalah massa dari TMD.

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 + k_4 & -k_2 & 0 & -k_4 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 + k_5 & -k_3 & 0 & -k_5 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_6 & 0 & 0 & -k_6 \\ -k_4 & 0 & 0 & k_4 & 0 & 0 \\ 0 & -k_5 & 0 & 0 & k_5 & 0 \\ 0 & 0 & -k_6 & 0 & 0 & k_6 \end{bmatrix} \quad (5.88)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 30 + 20 + 0,6 & -20 & 0 & -0,6 & 0 & 0 \\ -20 & 20 + 10 + 0,6 & -10 & 0 & -0,6 & 0 \\ 0 & -10 & 10 + 0,6 & 0 & 0 & -0,6 \\ -0,6 & 0 & 0 & 0,6 & 0 & 0 \\ 0 & -0,6 & 0 & 0 & 0,6 & 0 \\ 0 & 0 & -0,6 & 0 & 0 & 0,6 \end{bmatrix} \times 1E3 \text{ lb/in}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 50,6 & -20 & 0 & -0,6 & 0 & 0 \\ -20 & 30,6 & -10 & 0 & -0,6 & 0 \\ 0 & -10 & 10,6 & 0 & 0 & -0,6 \\ -0,6 & 0 & 0 & 0,6 & 0 & 0 \\ 0 & -0,6 & 0 & 0 & 0,6 & 0 \\ 0 & 0 & -0,6 & 0 & 0 & 0,6 \end{bmatrix} \times 10^3 \text{ lb/in}$$

Persamaan *eigen problem*,

$$10^3 \times \begin{bmatrix} 50,6-0,15\lambda & -20 & 0 & -0,6 & 0 & 0 \\ -20 & 30,6-0,1\lambda & -10 & 0 & -0,6 & 0 \\ 0 & -10 & 10,6-0,5\lambda & 0 & 0 & -0,6 \\ -0,6 & 0 & 0 & 0,6-0,003\lambda & 0 & 0 \\ 0 & -0,6 & 0 & 0 & 0,6-0,003\lambda & 0 \\ 0 & 0 & -0,6 & 0 & 0 & 0,6-0,003\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \\ \Phi_4 \\ \Phi_5 \\ \Phi_6 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad \dots(5.89)$$

setelah dihitung diperoleh *mode shape*, yaitu :

$$[\Phi] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -0,8309 & 1,5433 & 0,8219 & 0,4439 & 2,064 & -1,3671 \\ 0,225 & 1,2987 & -1,5433 & -1,8561 & 2,9759 & 0,9034 \\ 62,8262 & -19,6536 & 11,3446 & -2,2906 & 1,3943 & -0,6209 \\ -52,2029 & -30,3311 & 9,324 & -1,0167 & 2,8778 & 0,8489 \\ 14,1331 & -25,524 & -17,5087 & 4,2514 & 4,1492 & -0,5610 \end{bmatrix} \quad (5.90)$$

dan frekuensi sudut, yaitu :

$$\omega_1 = 7,5203 \text{ rad/det}, \quad (5.91)$$

$$\omega_2 = 13,5045 \text{ rad/det}, \quad (5.92)$$

$$\omega_3 = 14,0291 \text{ rad/det}, \quad (5.93)$$

$$\omega_4 = 14,4975 \text{ rad/det}, \quad (5.94)$$

$$\omega_5 = 16,9504 \text{ rad/det}, \quad (5.95)$$

$$\omega_6 = 22,8495 \text{ rad/det}, \quad (5.96)$$

serta partisipasi faktor, yaitu :

$$[\Gamma] = [0,0153 \quad 0,0740 \quad 0,2903 \quad 0,4726 \quad 0,1478]. \quad (5.97)$$

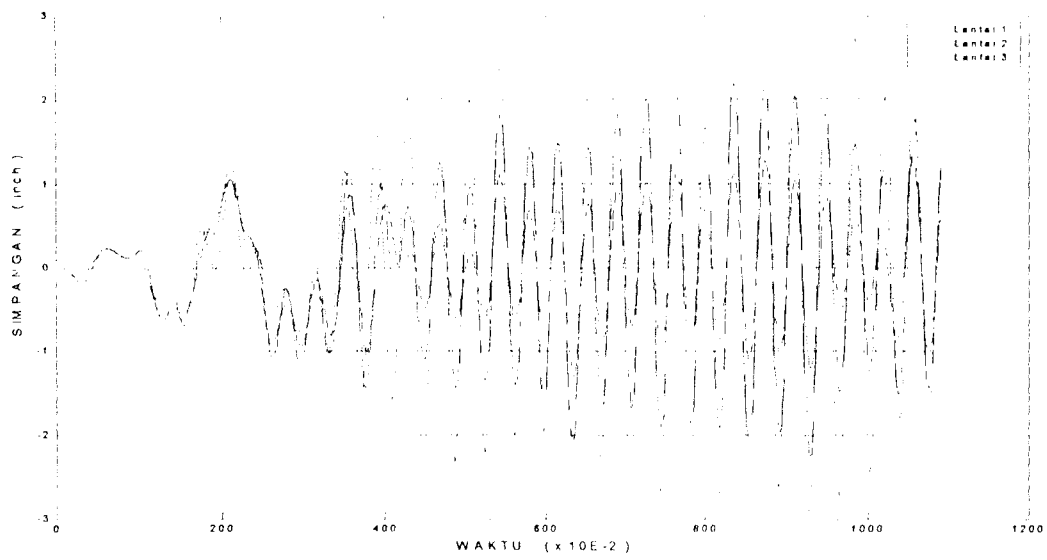
Dari metoda *central difference* dihitung nilai a , b , dan k yang hasilnya berupa matrik kolom, yaitu :

$$\{a\} = \begin{Bmatrix} -1,9944 \\ -1,9829 \\ -1,9796 \\ -1,9722 \\ 1,9481 \end{Bmatrix} \times 1E4, \quad (5.98)$$

$$\{b\} = \begin{Bmatrix} 9,9850 \\ 9,9739 \\ 9,9715 \\ 9,9666 \\ 9,9544 \end{Bmatrix} \times 1E3, \text{ dan} \quad (5.99)$$

$$\{k\} = \begin{Bmatrix} 1,0015 \\ 1,0026 \\ 1,0029 \\ 1,0033 \\ 1,0046 \end{Bmatrix} \times 1E4. \quad (5.100)$$

Selanjutnya nilai g_i dihitung untuk tiap-tiap mode menggunakan persamaan (3.49), kemudian dari hasil hitungan tersebut simpangan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (3.51) dan hasil dari perhitungan simpangan tiap-tiap lantai berupa grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.17.



Gambar 5.17 Grafik simpangan relatif dengan TMD pada semua lantai

BAB VI

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Dari perhitungan dan hasil yang dilakukan pada BAB V diperoleh simpangan relatif dan simpangan antar tingkat. Hasil yang diperoleh berupa simpangan yang jumlahnya sangat banyak sesuai dengan lamanya gempa dengan interval waktu 0,01 detik.

6.1. Analisis

Analisis dilakukan dengan mengambil nilai maksimum dari hasil perhitungan tersebut pada setiap variasi untuk struktur dengan damping ratio 2% dan 5%, baik simpangan relatif lantai dan simpangan antar tingkat. Selanjutnya dari nilai maksimum tersebut dihitung persentase perubahan dari tiap-tiap variasi dan struktur dengan damping ratio maksimum dan minimum.

6.1.1. Simpangan Relatif Lantai Satu

Pada struktur dengan *damping ratio* (ξ) 2% dan 5%, diperoleh simpangan relatif maksimum seperti terlihat pada Tabel 6.1 dan Tabel 6.2 atau Grafik 6.1 dan Grafik 6.2, dari hasil ini terlihat bahwa TMD dapat mengurangi simpangan dengan perbandingan simpangan maksimum berkisar antara 30% - 50% untuk struktur dengan *damping ratio* 2% dan 29% - 48% untuk struktur dengan *damping ratio* 5% bila dibandingkan dengan struktur tanpa TMD. dapat dilihat pada Tabel 6.3 dan Tabel 6.4. Pengurangan simpangan relatif terbesar pada struktur dengan

damping ratio 2% terjadi pada variasi 6 (TMD pada lantai 1 dan 3) dengan perbandingan sebesar 30,71% dan terkecil pada variasi 4 (TMD pada lantai 3) sebesar 49,18%. Pada struktur dengan *damping ratio* 5% pengurangan simpangan relatif terbesar terjadi pada variasi 6 (TMD pada lantai 1 dan 3) dengan perbandingan sebesar 29,55% dan terkecil pada variasi 4 (TMD pada lantai 3) sebesar 47,98%.

6.1.2. Simpangan Relatif Lantai Dua

Pada struktur dengan *damping ratio* (ξ) 2% dan 5%, diperoleh simpangan relatif maksimum seperti terlihat pada Tabel 6.1 dan Tabel 6.2 atau Grafik 6.1 dan Grafik 6.2, dari hasil ini terlihat bahwa TMD dapat mengurangi simpangan dengan perbandingan simpangan maksimum berkisar antara 28% - 38% untuk struktur dengan *damping ratio* 2% dan 21% - 30% untuk struktur dengan *damping ratio* 5% bila dibandingkan dengan struktur tanpa TMD, dapat dilihat pada Tabel 6.3 dan Tabel 6.4. Pengurangan simpangan relatif terbesar pada struktur dengan *damping ratio* 2% terjadi pada variasi 6 (TMD pada lantai 1 dan 3) dengan perbandingan sebesar 28,85% dan terkecil pada variasi 8 (TMD pada semua lantai) sebesar 37,70%. Pada struktur dengan *damping ratio* 5% pengurangan simpangan relatif terbesar terjadi pada variasi 8 (TMD pada semua lantai) dengan perbandingan sebesar 21,34% dan terkecil pada variasi 4 (TMD pada lantai 3) sebesar 29,78%.

6.1.5. Simpangan Antar Tingkat Untuk Tingkat Dua

Pada struktur dengan *damping ratio* (ξ) 2% dan 5%, diperoleh simpangan tingkat maksimum seperti terlihat pada Tabel 6.1 dan Tabel 6.2 atau Grafik 6.3 dan Grafik 6.4, dari hasil ini terlihat bahwa TMD dapat mengurangi simpangan dengan perbandingan simpangan maksimum berkisar antara 33% - 39% untuk struktur dengan *damping ratio* 2% dan 18% - 28% untuk struktur dengan *damping ratio* 5% bila dibandingkan dengan struktur tanpa TMD, dapat dilihat pada Tabel 6.3 dan Tabel 6.4. Pengurangan simpangan tingkat terbesar pada struktur dengan *damping ratio* 2% terjadi pada variasi 3 (TMD pada lantai 2) dan variasi 7 (TMD pada lantai 2 dan 3) dengan perbandingan sebesar 33,41% dan terkecil pada variasi 8 (TMD pada semua lantai) sebesar 38,53%. Pada struktur dengan *damping ratio* 5% pengurangan simpangan tingkat terbesar terjadi pada variasi 4 (TMD pada lantai 3) dengan perbandingan sebesar 18,13% dan terkecil pada variasi 3 (TMD pada lantai 2) sebesar 27,50%.

6.1.5. Simpangan Antar Tingkat Untuk Tingkat Tiga

Pada struktur dengan *damping ratio* (ξ) 2% dan 5%, diperoleh simpangan tingkat maksimum seperti terlihat pada Tabel 6.1 dan Tabel 6.2 atau Grafik 6.3 dan Grafik 6.4, dari hasil ini terlihat bahwa TMD dapat mengurangi simpangan dengan perbandingan simpangan maksimum berkisar antara 57% - 73% untuk struktur dengan *damping ratio* 2% dan 34% - 70% untuk struktur dengan *damping ratio* 5% bila dibandingkan dengan struktur tanpa TMD, dapat dilihat pada Tabel 6.3 dan Tabel 6.4. Pengurangan simpangan tingkat terbesar pada struktur dengan *damping ratio* 2% terjadi pada variasi 2 (TMD pada lantai 1)

dengan perbandingan sebesar 57,51% dan terkecil pada variasi 4 (TMD pada lantai 3) sebesar 72,19%. Pada struktur dengan *damping ratio* 5% pengurangan simpangan tingkat terbesar terjadi pada variasi 3 (TMD pada lantai 2) dengan perbandingan sebesar 34,94% dan terkecil pada variasi 4 (TMD pada lantai 3) sebesar 69,45%.

6.2 Pembahasan

Dari analisis diatas diketahui bahwa penggunaan TMD pada struktur bertingkat tiga mampu mengurangi simpangan relatif dengan perbandingan berkisar antara 17% - 50% dan simpangan tingkat dengan pebandingan berkisar antara 18% - 73% dibandingkan dengan struktur tanpa TMD. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan alat TMD sangat berpengaruh dalam meredam getaran akibat gempa.

Penggunaan ratio redaman minimum pada struktur beton bertulang ($\xi=2\%$) dan maksimum ($\xi=5\%$), sangat berpengaruh mengurangi simpangan relatif lantai, kecuali pada variasi 4 (TMD pada lantai 3) dan variasi 6 (TMD pada lantai 1 dan 3), seperti terlihat pada Tabel 6.5, variasi tersebut perubahan simpangan pada lantai satu tidak terlalu besar, berkisar antara 2% - 4%. Demikian pula pada simpangan antar tingkat perubahan simpangan pada variasi 4 (TMD pada lantai 3) dan pada variasi 6 (TMD pada lantai 1 dan 3) tidak terlalu besar dengan persentase perbandingan 2,19% dan 3,80%.

Persentase perubahan simpangan relatif pada setiap lantai untuk struktur dengan ratio redaman maksimum dan minimum antar variasi perletakan TMD relatif hampir sama, yang ditunjukkan tidak terlalu besarnya presentase perubahan

tiap lantainya dibandingkan dengan struktur tanpa TMD. Namun perbandingan penggunaan ratio redaman minimum dan maksimum pada variasi 3 (TMD pada lantai 2), variasi 4 (TMD pada lantai 3) dan variasi 6 (TMD pada lantai 1 dan 3). Khususnya lantai satu, tidak mengalami perbedaan yang besar, seperti terlihat pada Tabel 6.5. Simpangan tingkat pada tingkat tiga lebih kecil perubahannya dibandingkan tingkat dua, namun besar kecilnya persentase tidak menggambarkan aman atau tidaknya struktur bertingkat tiga, karena yang paling penting adalah simpangan yang dihasilkan.

Tabel 6.1. Simpangan Maksimum Pada Struktur Dengan Damping Ratio 2%

POSISI TMD	SIMPANGAN RELATIF MAKSIMUM LANTAI (cm)			SIMPANGAN TINGKAT (cm)		
	SATU	DUA	TIGA	SATU	DUA	TIGA
Tanpa TMD	8,4187	15,1552	20,1761	8,4187	7,0498	5,6104
TMD Lantai 1	3,4263	5,4697	6,1824	3,4263	2,3736	3,2268
TMD Lantai 2	3,0821	5,2240	7,307	3,0821	2,3555	3,5309
TMD Lantai 3	4,1404	5,6309	7,2357	4,1404	2,5923	4,0504
TMD Lantai 1 dan 2	3,3218	5,3684	6,2071	3,3218	2,425	3,602
TMD Lantai 1 dan 3	2,5851	4,3729	6,8352	2,5851	2,4154	3,602
TMD Lantai 2 dan 3	3,3999	5,3288	6,2576	3,3999	2,3556	3,951
TMD Semua Lantai	3,3484	5,7135	7,4159	3,3484	2,7161	3,8303

Tabel 6.2. Simpangan Maksimum Pada Struktur Dengan Damping Ratio 5%

POSISI TMD	SIMPANGAN RELATIF MAKSIMUM LANTAI (cm)			SIMPANGAN TINGKAT (cm)		
	SATU	DUA	TIGA	SATU	DUA	TIGA
Tanpa TMD	8,3878	15,1672	20,335	8,3878	7,0183	5,6373
TMD Lantai 1	3,0071	3,6172	4,0106	3,0071	1,5253	2,4365
TMD Lantai 2	2,7552	4,4862	5,4985	2,7552	1,9297	1,9698
TMD Lantai 3	4,0248	4,5163	3,8236	4,0248	1,2727	3,9152
TMD Lantai 1 dan 2	2,5896	3,5687	3,8368	2,5896	1,436	2,6682
TMD Lantai 1 dan 3	2,4773	3,3207	3,6284	2,4773	1,3915	3,5399
TMD Lantai 2 dan 3	2,8417	3,3350	3,8779	2,8417	1,3649	2,9744
TMD Semua Lantai	2,6219	3,2372	3,8703	2,6219	1,2796	2,8604

Tabel 6.3. Persentase Perbandingan Simpangan Maksimum Perletakan TMD Terhadap Struktur Tanpa TMD dengan Damping Ratio 2%

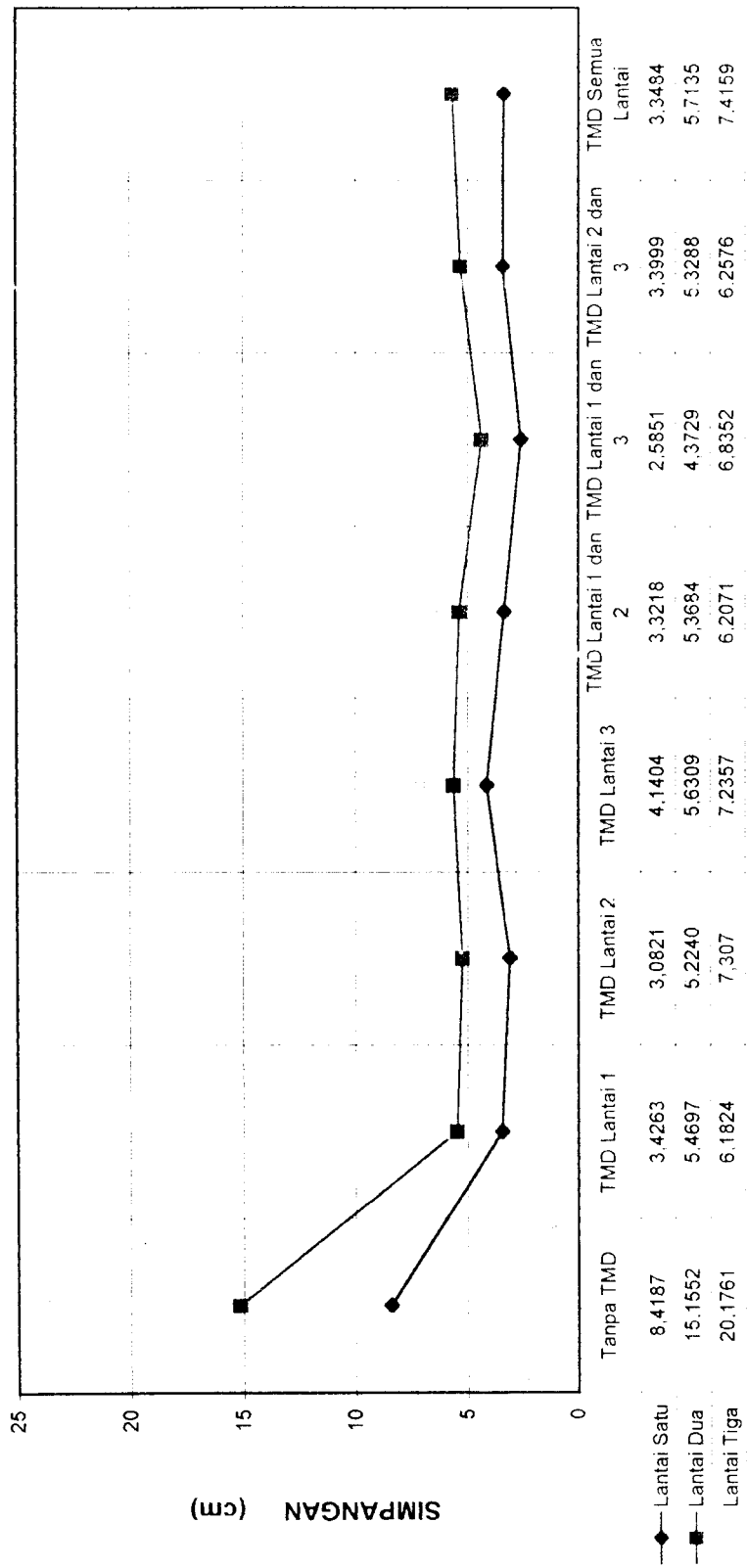
POSISI TMD	SIMPANGAN RELATIF MAKSIMUM LANTAI (cm)			SIMPANGAN TINGKAT (cm)		
	SATU	DUA	TIGA	SATU	DUA	TIGA
TMD Lantai 1	40,70	36,09	30,64	40,70	33,67	57,51
TMD Lantai 2	36,61	34,47	36,22	36,61	33,41	62,93
TMD Lantai 3	49,18	37,15	35,86	49,18	36,77	72,19
TMD Lantai 1 dan 2	39,46	35,42	30,76	39,46	34,40	64,20
TMD Lantai 1 dan 3	30,71	28,85	33,88	30,71	34,26	64,20
TMD Lantai 2 dan 3	40,39	35,16	31,01	40,39	33,41	70,42
TMD Semua Lantai	39,77	37,70	36,76	39,77	38,53	68,27

Tabel 6.4. Persentase Perbandingan Simpangan Maksimum Perletakan TMD Terhadap Struktur Tanpa TMD dengan Damping Ratio 5%

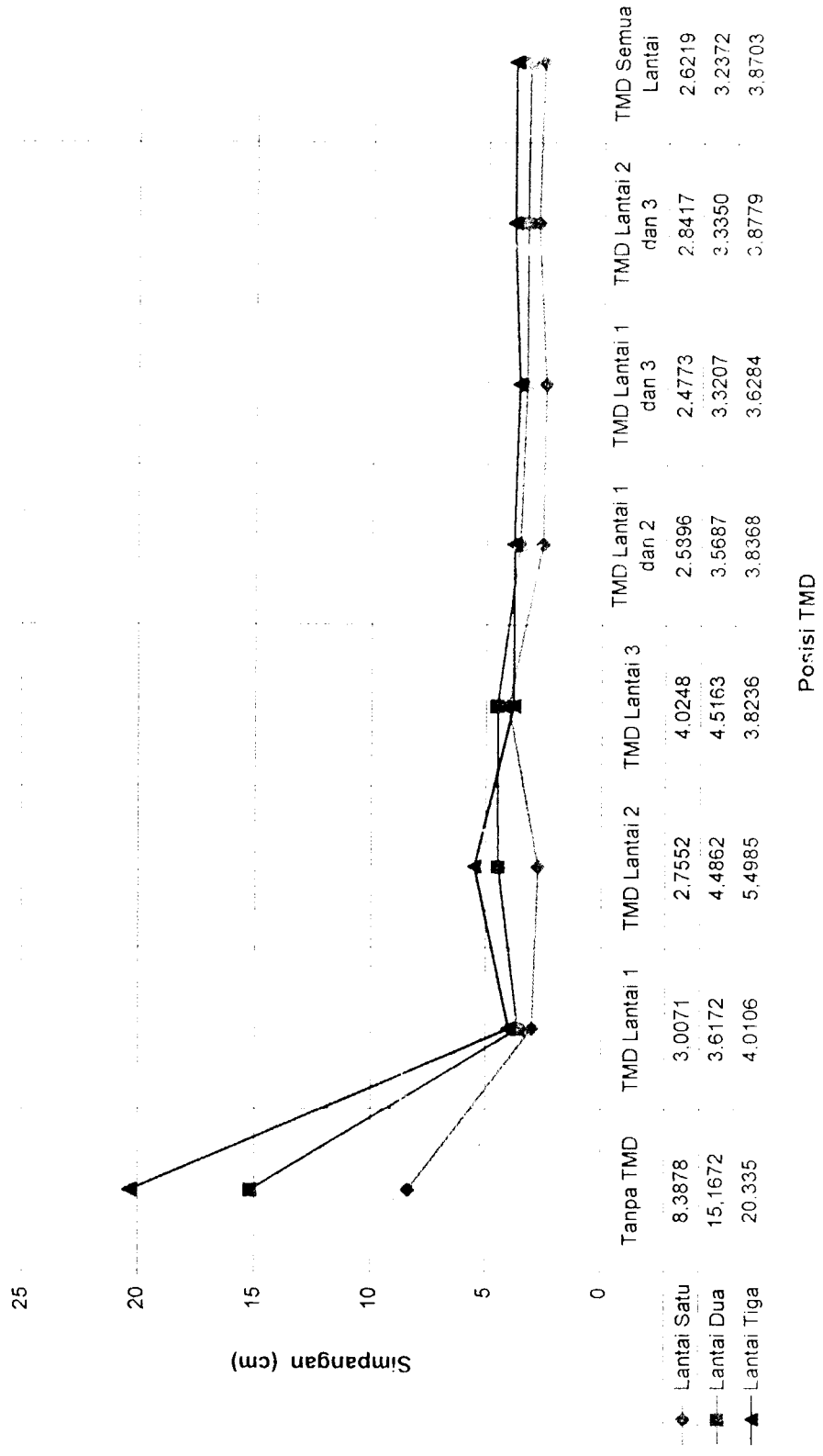
POSISI TMD	SIMPANGAN RELATIF MAKSIMUM LANTAI (cm)			SIMPANGAN TINGKAT (cm)		
	SATU	DUA	TIGA	SATU	DUA	TIGA
TMD Lantai 1	35,85	23,85	19,72	35,85	21,73	43,22
TMD Lantai 2	32,85	29,58	27,04	32,85	27,50	34,94
TMD Lantai 3	47,98	29,78	18,80	47,98	18,13	69,45
TMD Lantai 1 dan 2	30,87	23,53	18,87	30,87	20,46	47,33
TMD Lantai 1 dan 3	29,53	21,89	17,84	29,53	19,83	62,79
TMD Lantai 2 dan 3	33,88	21,99	19,07	33,88	19,45	52,76
TMD Semua Lantai	31,26	21,34	19,03	31,26	18,23	50,74

Tabel 6.5. Persentase Perubahan Perbandingan Simpangan Maksimum Perletakan TMD Terhadap Struktur Tanpa TMD dari Damping Ratio 2% ke 5%

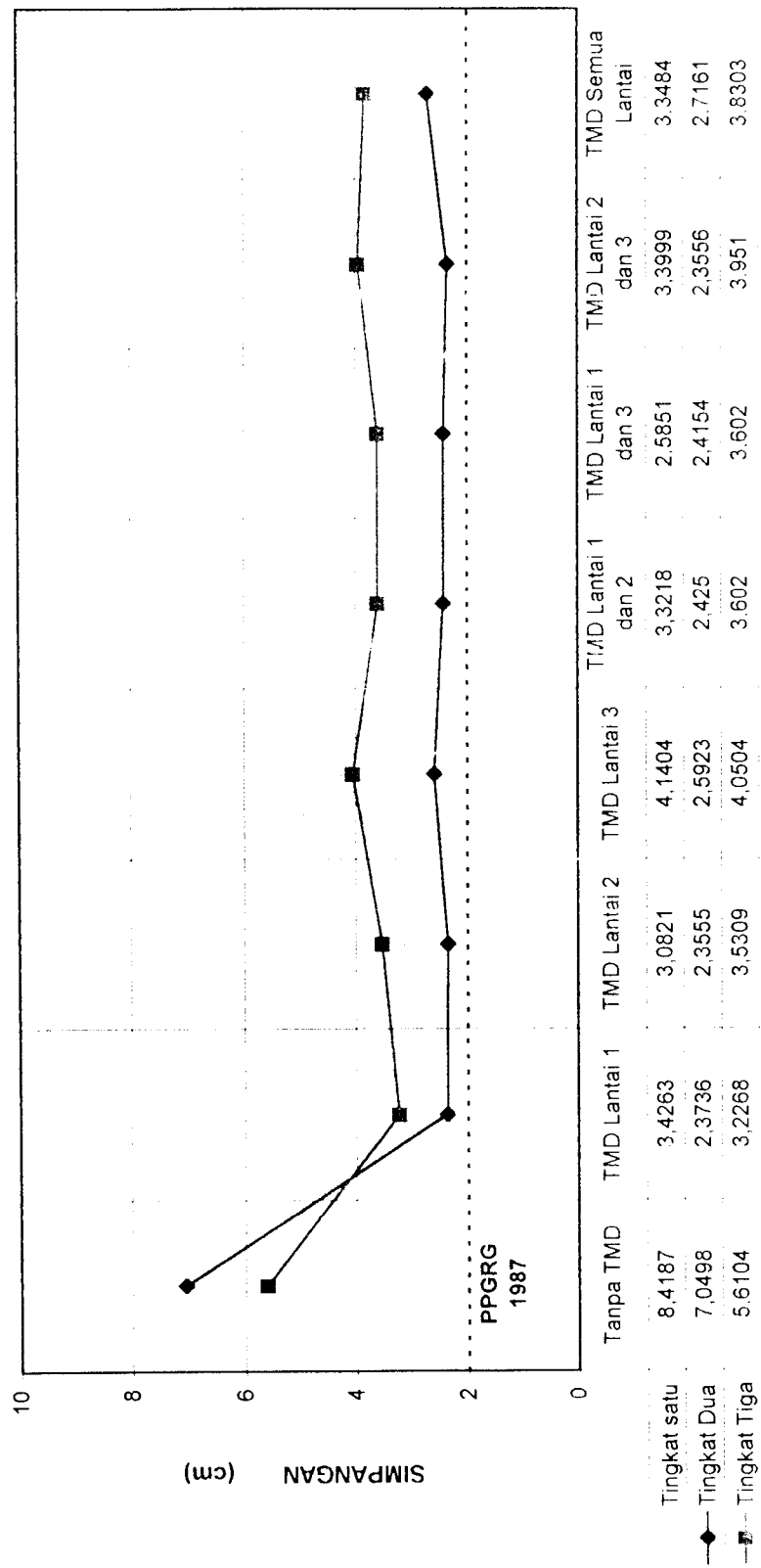
POSISI TMD	SIMPANGAN RELATIF MAKSIMUM LANTAI (cm)			SIMPANGAN TINGKAT (cm)		
	SATU	DUA	TIGA	SATU	DUA	TIGA
TMD Lantai 1	11,91	33,92	35,64	11,91	35,45	24,85
TMD Lantai 2	10,28	14,19	25,34	10,28	17,71	44,48
TMD Lantai 3	2,43	19,86	47,57	2,43	50,68	3,80
TMD Lantai 1 dan 2	21,76	33,58	38,67	21,76	40,52	26,28
TMD Lantai 1 dan 3	3,82	24,12	47,33	3,82	42,13	2,19
TMD Lantai 2 dan 3	16,11	37,47	38,51	16,11	41,80	25,08
TMD Semua Lantai	21,41	43,39	48,22	21,41	52,68	25,68



Gambar 6.1. Grafik Simpangan Relatif Maksimum Pada Struktur Dengan Damping Ratio 2%

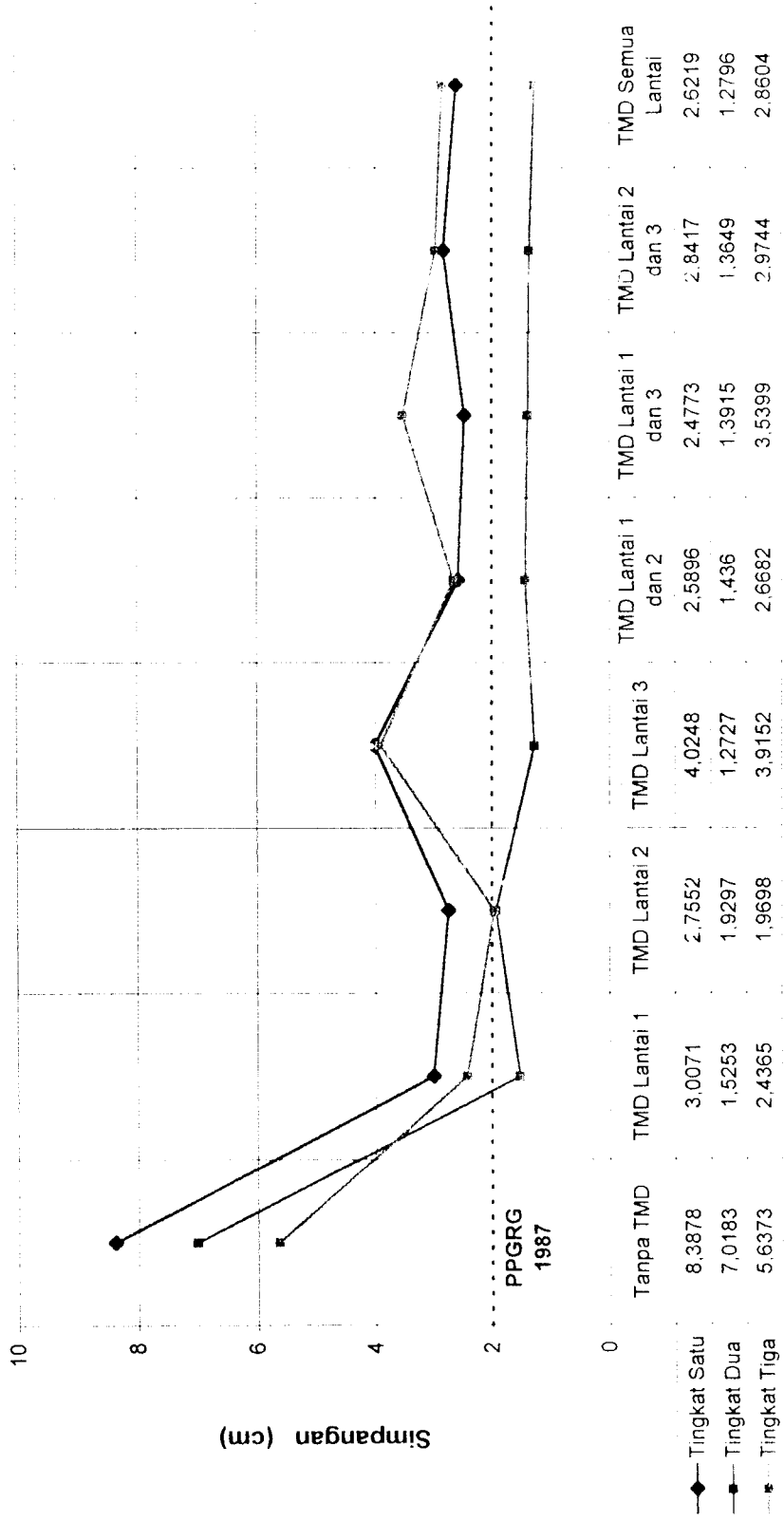


Gambar 6.2 Grafik Simpangan Relatif Maksimum Lantai Pada Struktur Dengan Damping Ratio 5%

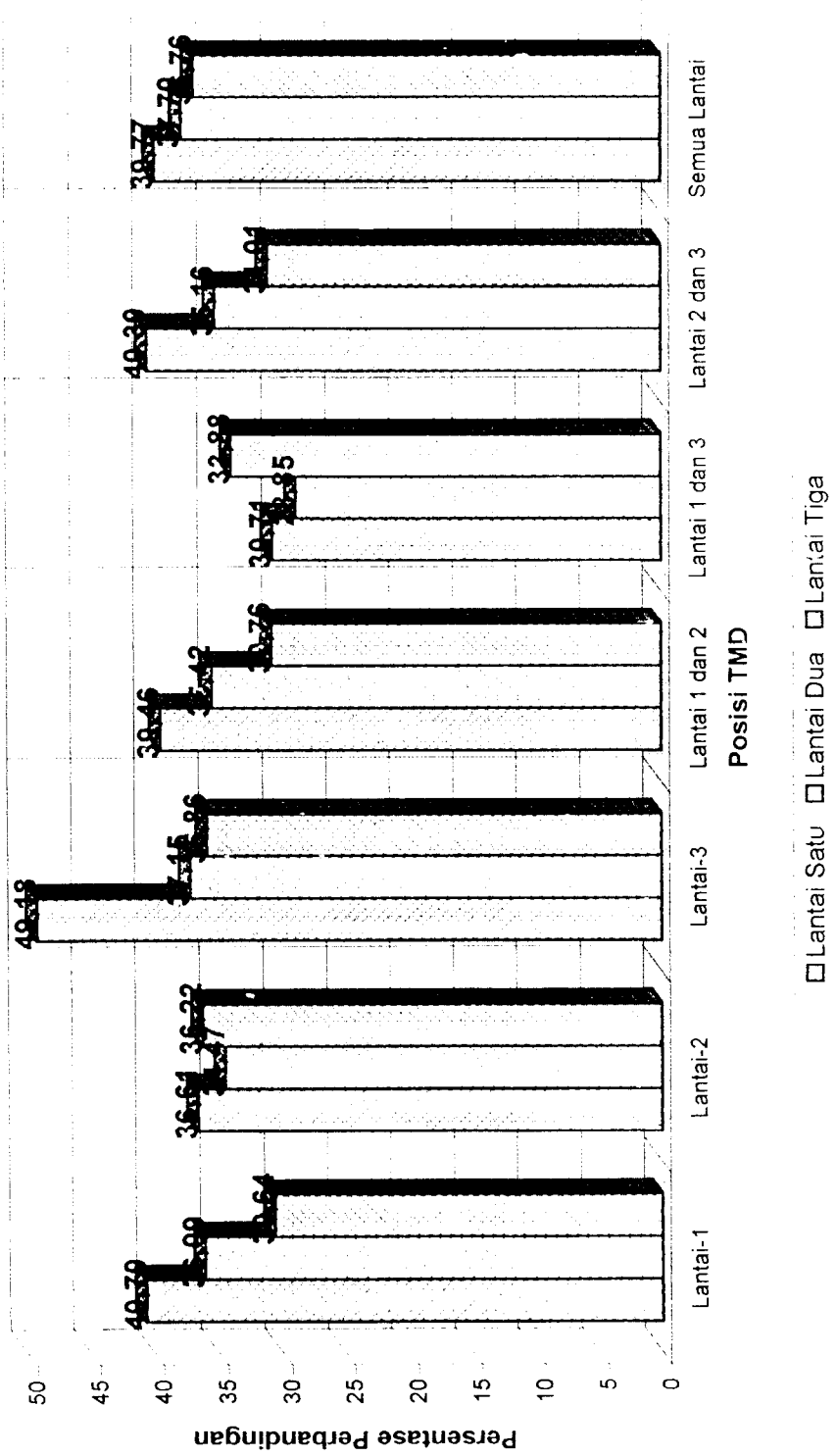


POSISI TMD

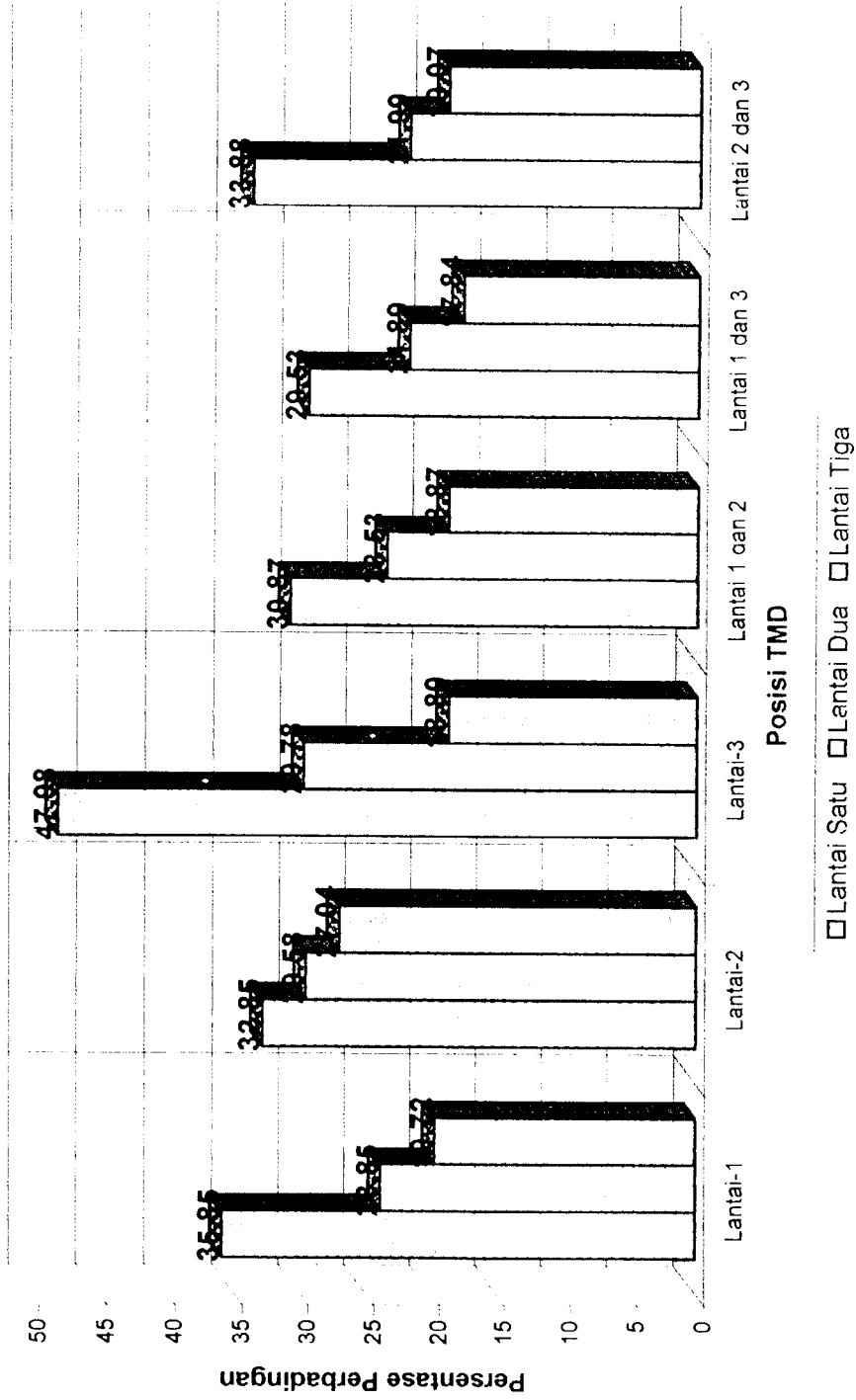
Gambar 6.3. Grafik Simpangan Antar Tingkat Maksimum Pada Struktur Dengan Damping Ratio 2%



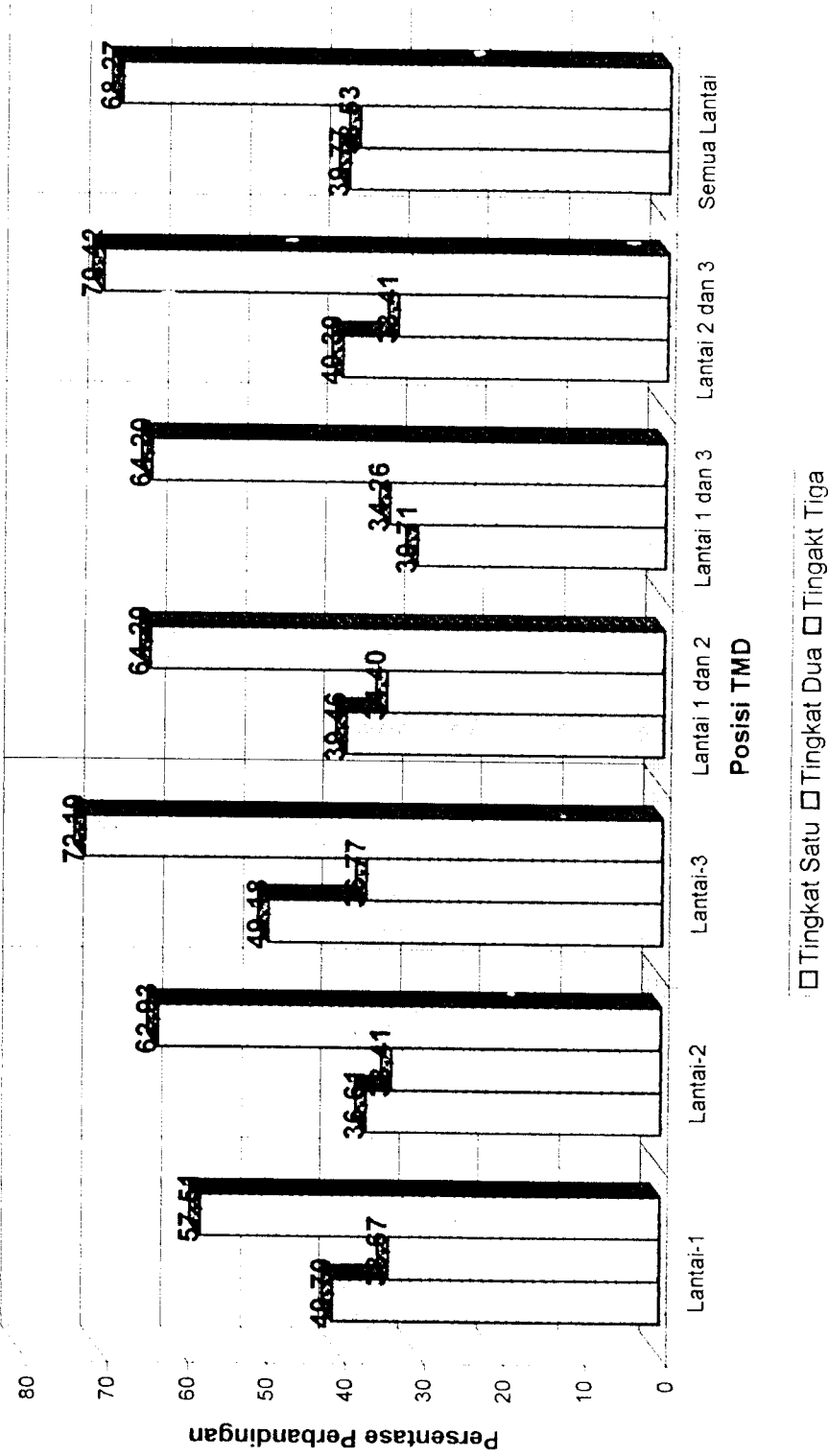
Gambar 6.4 Grafik Simpangan Antar Tingkat Maksimum Pada Struktur Dengan Damping Ratio 5%



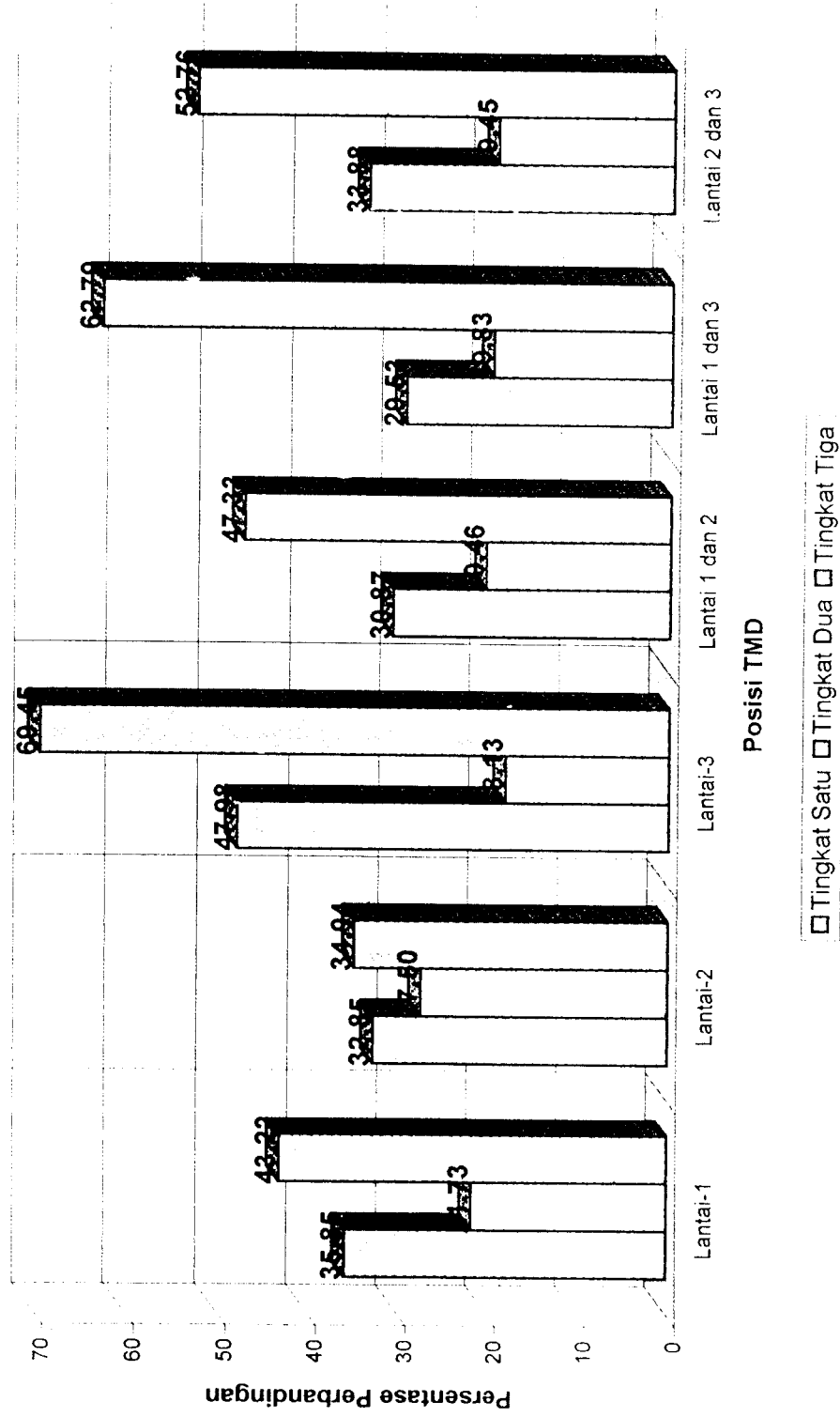
Gambar 6.5. Grafik persentase Perbandingan Simpangan Relatif Maksimum Perletakan TMD Terhadap Struktur Tanpa TMD dengan Damping Ratio 2%



Gambar 6.6. Grafik Persentase perbandingan Simpangan Relatif Maksimum Perletakan TMD Terhadap Struktur Tanpa TMD dengan Damping Ratio 5%



Gambar 6.7. Grafik Persentase Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Perletakan TMD Terhadap Struktur Tanpa TMD dengan Damping Ratio 2%



Gambar 6.8. Grafik Persentase perbandingan Simpangan Antar Tingkat Perletakan TMD Terhadap Struktur Tanpa TMD dengan Damping Ratio 5%

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil dan pembahasan penelitian yang kami lakukan, kami mengambil beberapa kesimpulan dan saran yang dijabarkan pada sub bab dibawah ini.

7.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan seperti yang telah dijelaskan pada BAB VI, kesimpulan yang dapat diambil sebagai berikut ini.

1. Penggunaan TMD seperti yang diharapkan ternyata dapat mengurangi simpangan relatif dan simpangan antar tingkat yang terjadi pada struktur.
2. Penggunaan TMD tidak harus diletakkan di puncak gedung atau pada lantai yang paling atas.
3. Penggunaan variasi 3 (TMD pada lantai dua) pada struktur dengan rasio redaman 5% paling efektif dalam mengurangi simpangan antar tingkat karena simpangan yang terjadi yang besarnya kurang dari 2 cm dengan memperhatikan PPGRG 1987.
4. Struktur dengan rasio redaman minimum (2%) mempunyai simpangan relatif dan simpangan antar tingkat yang relatif lebih besar dibandingkan dengan struktur dengan rasio redaman maksimum (5%).

7.2. Saran

Dari penelitian ini disarankan mengenai beberapa hal sebagai berikut ini.

1. Pada perencanaan struktur gedung bertingkat, khususnya pada daerah rawan gempa, sebaiknya struktur diberikan peredaman seperti penggunaan alat TMD.
2. Struktur sebaiknya menggunakan rasio redaman maksimum untuk mengurangi efek getaran akibat gempa.
3. Pada penelitian ini belum diteliti pengaruh jumlah tingkat gedung bila menggunakan alat TMD sehingga penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan memperhatikan pengaruh ini.
4. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menggunakan metoda yang lebih teliti dan menggunakan alat TMD aktif (*active tuned mass damper*).
5. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan pada struktur tiga dimensi.
6. Dalam penelitian ini nilai kekakuan diambil dari 1/100 dari jumlah total kekakuan struktur, penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan meninjau besar kekakuan berdasarkan pada perletakan TMD.
7. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh TMD pada gedung bertingkat 4, 5, dan 7 atau gedung dengan tingkat genap dan ganjil.
8. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan beban gempa dengan frekuensi sedang dan frekuensi tinggi.
9. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang persentase massa dan redaman TMD dalam mengantisipasi akibat dari beban gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- Ankireddi, S. dan H.T.Y, Yang, 1996, **Simple ATMD Control Methodology Tall Buildings Subject To Wind Loads**, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol 122, No.1 (Januari), P 83 s/d 91.
- Mansyur, A.F. 2000, **Penempatan Efektif Redaman Ganda Untuk Mengurangi Simpangan Pada Bangunan Tingkat Tinggi**, *Tugas Akhir program S-1*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Chopra, A.K. 1995, **Dynamics Of Structures**, Prentice Hall.
- Clough, R.W. dan J. Penzien, 1992, **Dynamics Of Structures**, Second Edition, McGraw-Hill, Tokyo.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1987, **Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung**, Yayasan Badan Penerbit PU.
- Pasetyo, D. dan J.W. Arminta, 2000, **Respon Seismik Struktur Beton Bertingkat Banyak Akibat Beban Gempa**, *Tugas Akhir program S-1*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Hanselman, D. and B. Littlefield, 1997, **The Student Edition of Matlab**, Prentice Hall International Inc.
- Pramulanto, H. dan Nurianawati, 2000, **Pengaruh Variasi Massa Balok Terhadap Simpangan, Gaya Geser, dan Momen Guling, Pada Gedung Bertingkat Tiga**, *Tugas Akhir program S-1*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Priyanto, W. dan Merzhal, 1999, **Analisis Penggunaan Tuned Mass Damper (Tmd) Untuk Mengurangi Simpangan Akibat Beban Dinamis Pada Balok Kantilever**, *Tugas Akhir program S-1*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Microsoft Corporation (Copyright © 1985-1999), **Microsoft ® Excel 2000**, All Rights Reserved.

Paz, M. 1987, **Dinamika Struktur Teori Dan Perhitungan**, (terjemahan), Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.

Simiu, E. dan R.H. Scanlan, 1978, **Wind Effects On Structures**, Third Edition, A Wiley-Interscience Publication, New York.

The Mathworks, Inc. (Copyright © 1994-1998), **Matlab Versi 5.3.1**, All Rights Reserved.

Widodo, 1996, **Analisa Dinamik Struktur**, *Diktat Kuliah*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

LAMPIRAN



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta

*Program 1.01
 TA 2013/14
 Muz*

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

o.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
	YUDHON RONANTO	91310188		TSS
	AKHMADE MULLYANTO	91310190		TSS

DUL TUGAS AKHIR : *.....*
.....
.....

sen Pembimbing I : DR. H. FARWIDI, S.T., Ph.D.
 sen Pembimbing II : DR. H. H. ALI ABDULLAH, S.T.



Yogyakarta, 20 Mei 2010
 Dekan,
 Fakultas Teknik Sipil

[Signature]
 DR. H. ALI ABDULLAH, S.T.

Lampiran 2. Tabel Nilai g_i Struktur TMD Pada Lantai Satu Dengan Damping Ratio 2%

Waktu	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3	TMD	Waktu	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3	TMD
0	0	0	0	0	0,36	-0,6324	-0,2278	-0,1298	-0,03
0,01	0	0	0	0	0,37	-0,6544	-0,2143	-0,1139	-0,0212
0,02	-0,0001	-0,0001	-0,0001	-0,0001	0,38	-0,6734	-0,1975	-0,0958	-0,0123
0,03	-0,0005	-0,0005	-0,0005	-0,0005	0,39	-0,6889	-0,1777	-0,0759	-0,0034
0,04	-0,0014	-0,0013	-0,0013	-0,0013	0,4	-0,7007	-0,1549	-0,0546	0,0051
0,05	-0,0027	-0,0027	-0,0026	-0,0026	0,41	-0,7085	-0,1294	-0,0321	0,0131
0,06	-0,0047	-0,0046	-0,0046	-0,0044	0,42	-0,7121	-0,1016	-0,009	0,0203
0,07	-0,0075	-0,0073	-0,0072	-0,0067	0,43	-0,7112	-0,0717	0,0145	0,0267
0,08	-0,0113	-0,0108	-0,0105	-0,0097	0,44	-0,7055	-0,0401	0,038	0,0321
0,09	-0,016	-0,0151	-0,0146	-0,0132	0,45	-0,6949	-0,0071	0,0611	0,0367
0,1	-0,0218	-0,0203	-0,0196	-0,0173	0,46	-0,6792	0,0269	0,0834	0,0403
0,11	-0,0289	-0,0265	-0,0253	-0,0218	0,47	-0,6581	0,0615	0,1046	0,0431
0,12	-0,0373	-0,0337	-0,0319	-0,0266	0,48	-0,6317	0,0962	0,1245	0,0453
0,13	-0,0471	-0,0418	-0,0392	-0,0317	0,49	-0,5998	0,1306	0,1427	0,0469
0,14	-0,0583	-0,0508	-0,0472	-0,0368	0,5	-0,5624	0,1644	0,159	0,0481
0,15	-0,0711	-0,0607	-0,0558	-0,042	0,51	-0,5194	0,1972	0,1733	0,0491
0,16	-0,0855	-0,0714	-0,0649	-0,047	0,52	-0,4709	0,2284	0,1854	0,0502
0,17	-0,1015	-0,0829	-0,0744	-0,0517	0,53	-0,4169	0,2579	0,1954	0,0515
0,18	-0,1192	-0,095	-0,0841	-0,0561	0,54	-0,3575	0,2854	0,2031	0,0533
0,19	-0,1386	-0,1077	-0,0941	-0,06	0,55	-0,2929	0,3104	0,2088	0,0556
0,2	-0,1597	-0,1208	-0,104	-0,0633	0,56	-0,223	0,3329	0,2124	0,0587
0,21	-0,1826	-0,1342	-0,1138	-0,0662	0,57	-0,1482	0,3527	0,2141	0,0626
0,22	-0,2071	-0,1478	-0,1235	-0,0684	0,58	-0,0687	0,3697	0,2143	0,0673
0,23	-0,2334	-0,1615	-0,1327	-0,0702	0,59	0,0155	0,3837	0,2131	0,0729
0,24	-0,2614	-0,1751	-0,1415	-0,0715	0,6	0,1039	0,3948	0,2109	0,0793
0,25	-0,291	-0,1885	-0,1498	-0,0723	0,61	0,1963	0,4031	0,2079	0,0865
0,26	-0,3222	-0,2016	-0,1574	-0,0729	0,62	0,2921	0,4084	0,2042	0,094
0,27	-0,3546	-0,214	-0,164	-0,0729	0,63	0,3906	0,4105	0,1999	0,1014
0,28	-0,3877	-0,2251	-0,1691	-0,0722	0,64	0,4913	0,4093	0,195	0,1083
0,29	-0,4213	-0,2345	-0,1725	-0,0706	0,65	0,5934	0,4049	0,1897	0,1142
0,3	-0,4548	-0,2419	-0,1738	-0,0679	0,66	0,6963	0,3973	0,1839	0,1188
0,31	-0,4879	-0,247	-0,1728	-0,0641	0,67	0,7993	0,3865	0,1778	0,1218
0,32	-0,5201	-0,2493	-0,1694	-0,0591	0,68	0,9018	0,3729	0,1716	0,1231
0,33	-0,551	-0,2487	-0,1634	-0,0531	0,69	1,0031	0,3566	0,1652	0,1225
0,34	-0,5803	-0,245	-0,1547	-0,0462	0,7	1,1025	0,3379	0,159	0,1201
0,35	-0,6075	-0,2381	-0,1435	-0,0384	0,71	1,1995	0,317	0,1529	0,1159

Lampiran 3. Tabel Simpangan Relatif Struktur dengan TMD Pada Lantai 1
Damping Ratio 2%

WAKTU	SIMPANGAN			WAKTU	SIMPANGAN		
	LANTAI 1	LANTAI 2	LANTAI 3		LANTAI 1	LANTAI 2	LANTAI 3
0	0	0	0	0,42	-0,0469	-0,0308	0,0934
0,01	0	0	0	0,43	-0,0228	-0,0024	0,1128
0,02	-0,0001	-0,0001	-0,0001	0,44	0,002	0,0264	0,1306
0,03	-0,0005	-0,0005	-0,0005	0,45	0,0271	0,0553	0,1467
0,04	-0,0013	-0,0013	-0,0013	0,46	0,0522	0,0837	0,1607
0,05	-0,0026	-0,0027	-0,0026	0,47	0,0771	0,1113	0,1723
0,06	-0,0046	-0,0046	-0,0045	0,48	0,1014	0,1376	0,1813
0,07	-0,0072	-0,0073	-0,007	0,49	0,1248	0,1623	0,1876
0,08	-0,0105	-0,0107	-0,0102	0,5	0,1472	0,185	0,191
0,09	-0,0146	-0,015	-0,0141	0,51	0,1682	0,2054	0,1917
0,1	-0,0196	-0,0202	-0,0187	0,52	0,1876	0,2233	0,1895
0,11	-0,0254	-0,0263	-0,024	0,53	0,2054	0,2386	0,1847
0,12	-0,0319	-0,0333	-0,0299	0,54	0,2214	0,2511	0,1775
0,13	-0,0393	-0,0413	-0,0363	0,55	0,2355	0,2608	0,1681
0,14	-0,0473	-0,05	-0,0431	0,56	0,2476	0,2679	0,1569
0,15	-0,056	-0,0596	-0,0502	0,57	0,2579	0,2724	0,1443
0,16	-0,0653	-0,0698	-0,0575	0,58	0,2663	0,2745	0,1305
0,17	-0,075	-0,0807	-0,0648	0,59	0,2729	0,2744	0,1162
0,18	-0,085	-0,092	-0,0721	0,6	0,2778	0,2726	0,1017
0,19	-0,0954	-0,1037	-0,0791	0,61	0,2811	0,2693	0,0874
0,2	-0,1058	-0,1156	-0,0856	0,62	0,2828	0,2647	0,0736
0,21	-0,1163	-0,1276	-0,0917	0,63	0,2826	0,2589	0,0603
0,22	-0,1267	-0,1395	-0,0971	0,64	0,2806	0,252	0,0477
0,23	-0,1369	-0,1511	-0,1018	0,65	0,2768	0,2442	0,0359
0,24	-0,1469	-0,1624	-0,1057	0,66	0,2711	0,2357	0,0249
0,25	-0,1564	-0,1731	-0,1087	0,67	0,2635	0,2266	0,015
0,26	-0,1656	-0,1832	-0,1108	0,68	0,2544	0,2172	0,0062
0,27	-0,1739	-0,1921	-0,1116	0,69	0,2437	0,2076	-0,0014
0,28	-0,1809	-0,1996	-0,1108	0,7	0,2316	0,1981	-0,0078
0,29	-0,1864	-0,2051	-0,1082	0,71	0,2185	0,1887	-0,0128
0,3	-0,1899	-0,2083	-0,1034	0,72	0,2045	0,1796	-0,0166
0,31	-0,1913	-0,209	-0,0965	0,73	0,1899	0,171	-0,019
0,32	-0,1903	-0,2068	-0,0873	0,74	0,175	0,163	-0,02
0,33	-0,1868	-0,2017	-0,0758	0,75	0,1601	0,1555	-0,0198
0,34	-0,1807	-0,1935	-0,0621	0,76	0,1456	0,1488	-0,0182
0,35	-0,1719	-0,1823	-0,0464	0,77	0,1316	0,1428	-0,0155
0,36	-0,1605	-0,168	-0,0289	0,78	0,1186	0,1375	-0,0118
0,37	-0,1467	-0,1509	-0,0099	0,79	0,1066	0,133	-0,007
0,38	-0,1304	-0,131	0,0102	0,8	0,096	0,1292	-0,0015
0,39	-0,1121	-0,1088	0,031	0,81	0,087	0,1263	0,0047
0,4	-0,0919	-0,0844	0,0521	0,82	0,0799	0,1244	0,0116
0,41	-0,07	-0,0582	0,0731	0,83	0,075	0,1234	0,0191

Lampiran 4. Tabel simpangan Antar Tingkat Struktur TMD Pada Lantai 1 Dengan Damping Ratio 2%

Waktu	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3	Waktu	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3
0	0	0	0	0,43	0,0312	0,1152	-0,9392
0,01	0	0	0	0,44	0,0377	0,1042	-0,9614
0,02	-0,0000	0,0000	-0,0000	0,45	0,0439	0,0915	-0,9770
0,03	-0,0000	0,0000	-0,0000	0,46	0,0498	0,0770	-0,9853
0,04	-0,0000	0,0000	-0,0000	0,47	0,0552	0,0610	-0,9858
0,05	-0,0000	0,0000	-0,0001	0,48	0,0599	0,0437	-0,9779
0,06	-0,0001	0,0001	-0,0003	0,49	0,0637	0,0253	-0,9613
0,07	-0,0001	0,0003	-0,0006	0,5	0,0666	0,0061	-0,9356
0,08	-0,0002	0,0005	-0,0011	0,51	0,0684	-0,0137	-0,9006
0,09	-0,0004	0,0009	-0,0020	0,52	0,0691	-0,0338	-0,8561
0,1	-0,0007	0,0015	-0,0033	0,53	0,0685	-0,0539	-0,8022
0,11	-0,0011	0,0023	-0,0052	0,54	0,0666	-0,0736	-0,7388
0,12	-0,0016	0,0035	-0,0078	0,55	0,0635	-0,0927	-0,6660
0,13	-0,0023	0,0050	-0,0114	0,56	0,0591	-0,1109	-0,5842
0,14	-0,0031	0,0070	-0,0161	0,57	0,0537	-0,1281	-0,4937
0,15	-0,0041	0,0094	-0,0220	0,58	0,0472	-0,1439	-0,3949
0,16	-0,0052	0,0123	-0,0295	0,59	0,0398	-0,1582	-0,2882
0,17	-0,0065	0,0158	-0,0386	0,6	0,0318	-0,1709	-0,1742
0,18	-0,0080	0,0200	-0,0497	0,61	0,0233	-0,1819	-0,0535
0,19	-0,0096	0,0247	-0,0628	0,62	0,0146	-0,1912	0,0731
0,2	-0,0113	0,0300	-0,0781	0,63	0,0058	-0,1986	0,2051
0,21	-0,0131	0,0359	-0,0959	0,64	-0,0028	-0,2043	0,3415
0,22	-0,0148	0,0423	-0,1161	0,65	-0,0110	-0,2083	0,4815
0,23	-0,0165	0,0493	-0,1390	0,66	-0,0185	-0,2107	0,6243
0,24	-0,0181	0,0566	-0,1647	0,67	-0,0253	-0,2115	0,7690
0,25	-0,0195	0,0644	-0,1931	0,68	-0,0311	-0,2109	0,9144
0,26	-0,0207	0,0724	-0,2242	0,69	-0,0359	-0,2090	10,597
0,27	-0,0216	0,0805	-0,2582	0,7	-0,0397	-0,2058	12,038
0,28	-0,0221	0,0888	-0,2949	0,71	-0,0423	-0,2015	13,455
0,29	-0,0222	0,0969	-0,3342	0,72	-0,0439	-0,1962	14,839
0,3	-0,0219	0,1049	-0,3759	0,73	-0,0445	-0,1900	16,178
0,31	-0,0210	0,1125	-0,4198	0,74	-0,0443	-0,1830	17,463
0,32	-0,0197	0,1195	-0,4656	0,75	-0,0433	-0,1753	18,681
0,33	-0,0177	0,1259	-0,5129	0,76	-0,0416	-0,1670	19,825
0,34	-0,0152	0,1315	-0,5613	0,77	-0,0396	-0,1583	20,884
0,35	-0,0120	0,1359	-0,6102	0,78	-0,0373	-0,1493	21,851
0,36	-0,0083	0,1391	-0,6590	0,79	-0,0348	-0,1401	22,716
0,37	-0,0039	0,1410	-0,7071	0,8	-0,0325	-0,1308	23,473
0,38	0,0010	0,1412	-0,7537	0,81	-0,0303	-0,1216	24,117
0,39	0,0064	0,1398	-0,7982	0,82	-0,0284	-0,1127	24,642
0,4	0,0122	0,1365	-0,8398	0,83	-0,0269	-0,1043	25,046
0,41	0,0183	0,1313	-0,8777	0,84	-0,0258	-0,0965	25,324
0,42	0,0247	0,1242	-0,9111	0,85	-0,0251	-0,0896	25,477

Lampiran 13. Listing Program MATLAB (Math Works Inc. 1984 – 1999)

```
clear all;
disp('
PILIH ANALISA STRUKTUR YANG DIINGINKAN');
disp('
T1 = Struktur dengan damping ratio = 5%');
disp('
T2 = Struktur dengan damping ratio = 10%');
disp(' ');
disp(' ');
input('
Masukkan pilihan = ');
```

Lampiran 14. Listing Program Untuk Analisa Struktur Dengan Damping Ratio 5%

```

clear all;
disp(' ');
disp(' ');
disp(' ');
disp('
                                ANALISA STRUKTUR DENGAN DAMPING RATIO 5%')
disp('
                                PILIH VARIASI YANG AKAN DIANALISA')
disp('
                                no    - Tanpa TMD')
disp('
                                L1    - TMD Pada Lantai 1')
disp('
                                L2    - TMD Pada Lantai 2')
disp('
                                L3    - TMD Pada Lantai 3')
disp('
                                L12   - TMD Pada Lantai 1 dan 2')
disp('
                                L23   - TMD Pada Lantai 2 dan 3')
disp('
                                L13   - TMD Pada Lantai 1 dan 3')
disp('
                                semua - TMD Pada Semua Lantai')
input('Dipilih Variasi (ketik pilihan) = ');
dbuc0;
d=0.05;      nilai rasio redaman
t=0.01;     nilai selisih waktu
ww=sqrt(1);  % matrik ireq.sudut
mi=ones(q,1);
w=sort(ww*mi); % frekuensi sudut
for i=1:q;
    mst(:,i)=[s1(:,i)/s1((i-1)*q+1)]; % mode shapes
end;
mst=ms'; % mode shapes setelah ditranspose
for i=1:q;
    pf(i)=(mst(i,:)*M*mi)/(mst(i,:)*M*mst(i,:)); % partisipasi faktor
end;
aa=(w.^2)-mi*(2/t^2);
bb=(mi/t^2)-(d*w/t);
kk=(mi/t^2)+(d*w/t);
for i=1:q;
    for j=2:nb-2;
        g0(i,1)=0;
        g0(i,2)=(-bt(1))/kk(i);
        g0(i,j+1)=(-bt(j)-aa(i)*g0(i,j)-bb(i)*g0(i,i-1))/sk(i);
    end;
end;
gg0=g0';
for i=1:q;
    z0(:,i)=[gg0(:,i)*pf(i)]; % modal amplitude time
end;
disp('Simpangan Tingkat')
y0=real(z0*mst); % simpangan tingkat bucu
for i=1:q-1;
    yy0(:,i)=y0(:,i+1)-y0(:,i); % simpangan antar tingkat bucu
end;
disp('Simpangan Relatif Maksimal Lantai')
Ymax=max(abs(y0))*2.54
disp('Simpangan Antar Tingkat Maksimal')
YYmax=max(abs(yy0))*2.54
y1=[y0(:,1),y0(:,2),y0(:,3)];
plot(y1)
legend('Lantai 1','Lantai 2','Lantai 3');

```

Lanjutan Lampiran 14.

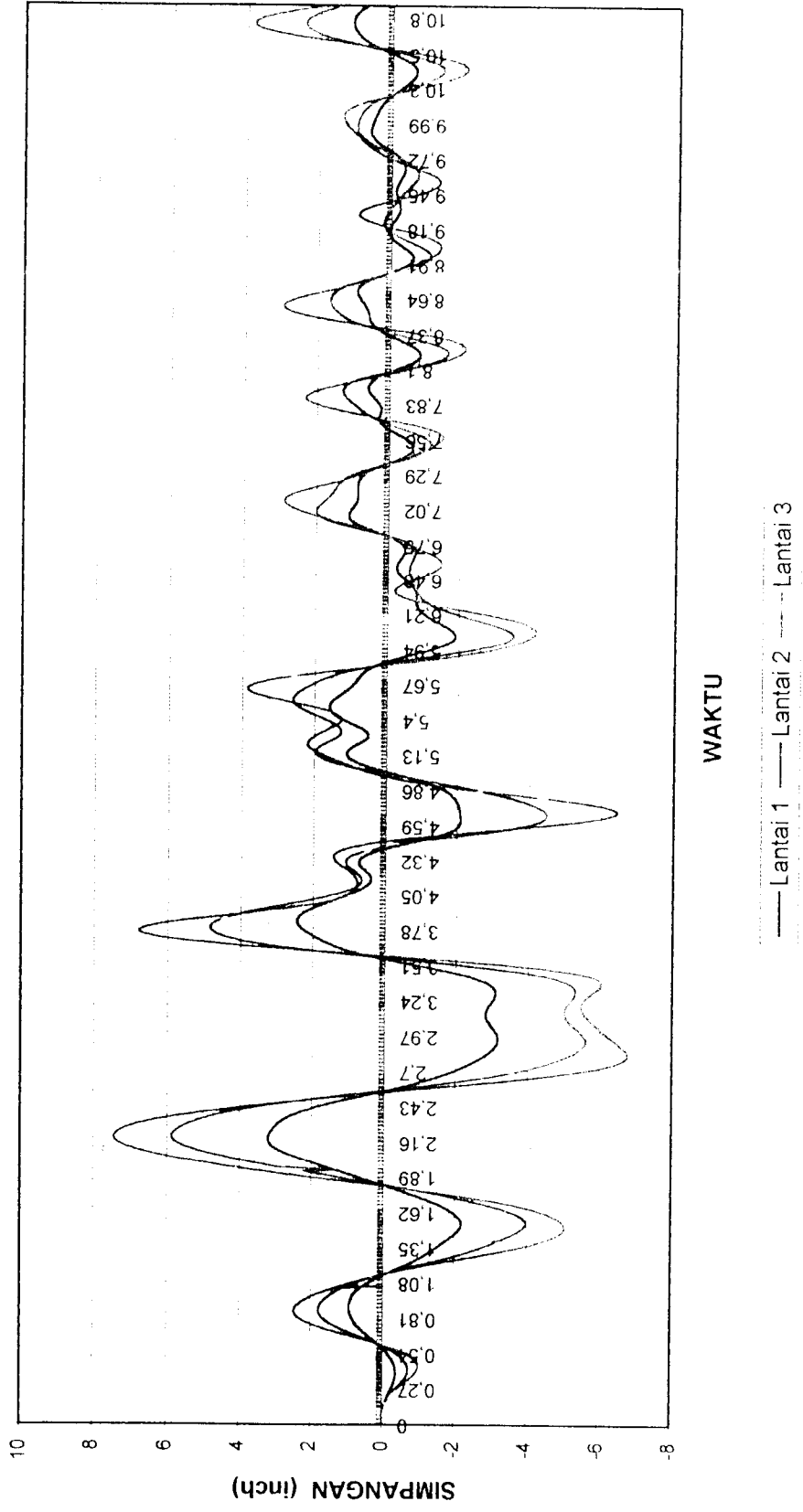
```
xlabel('WAKTU ( x 10-2 )');  
ylabel('SIMPANGAN ( inch )');  
clear all;
```

Lampiran 15. Listing Program Untuk Analisa Struktur Dengan Damping Ratio 2%

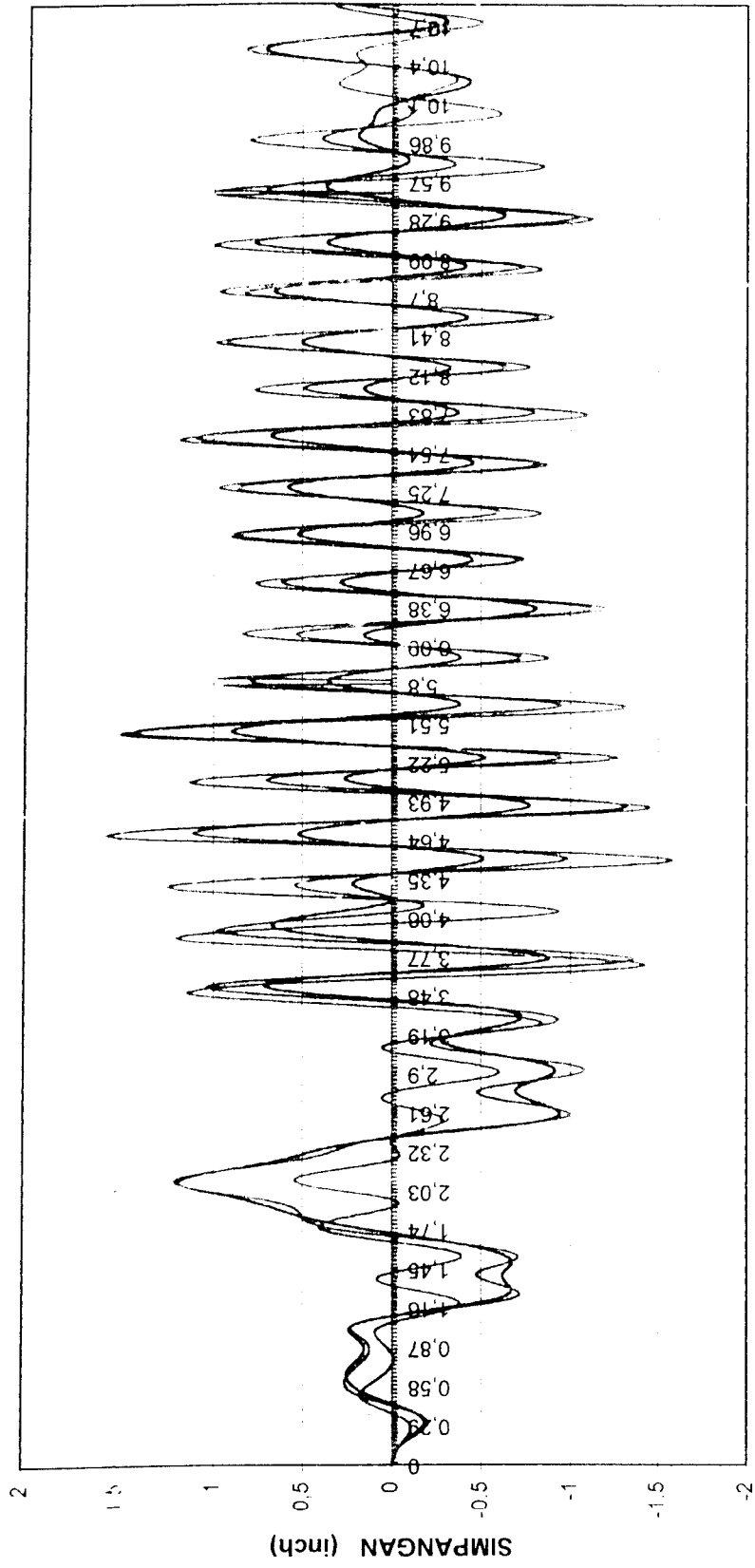
```
clear all;
disp(' ')
disp(' ')
disp(' ')
disp('          ANALISA STRUKTUR TITIAN DAMPING RATIO 2%')
disp('          PILIH VARIASI YANG AKAN DIANALISA')
disp('          no      - Tanpa TMD')
disp('          L1      - TMD Pada lantai 1')
disp('          L2      - TMD Pada lantai 2')
disp('          L3      - TMD Pada lantai 3')
disp('          L12     - TMD Pada lantai 1 dan 2')
disp('          L23     - TMD Pada lantai 2 dan 3')
disp('          L13     - TMD Pada lantai 1 dan 3')
disp('          semua   - TMD Pada Semua lantai')
input('Dipilih Variasi (ketik pilihan) = ');
dbuc0;
d=0.02; % nilai rasio redaman
t=0.01; % nilai selisih waktu
ww=sqrt(1); % matrik freq. sudut
mi=ones(q,1);
w=sort(ww*mi); % frekuensi sudut
for i=1:q;
    ms(:,i)=[s1(:,1)/s1((i-1)*q+1)]; % mode shapes
end;
mst=ms'; % mode shapes setelah ditranspose
for i=1:q;
    pf(i)=(mst(i,:)*M*mi)/(mst(i,:)*M*mst(i,:))'; % partisipasi faktor
end;
aa=(w.^2)-mi*(2/t^2);
bb=(mi/t^2)-(d*w/t);
kk=(mi/t^2)+(d*w/t);
for i=1:q;
    for j=2:nb-2;
        g0(i,1)=0;
        g0(i,2)=(-bt(1))/kk(i);
        g0(i,j+1)=(-bt(j)-aa(i)*g0(i,j)-bb(i)*g0(i,j-1))/kk(i);
    end;
end;
gg0=g0';
for i=1:q;
    z0(:,i)=[gg0(:,i)*pf(i)]; % modal amplitudo bebas
end;
disp('Simpangan Tingkat')
y0=real(z0*mst); % simpangan tingkat bebas
for i=i:q-1;
    yy0(:,i)=y0(:,i+1)-y0(:,i); % simpangan antar tingkat bebas
end;
disp('Simpangan Relatif Maksimal Lantai')
Ymax=max(abs(y0))*2.54;
disp('Simpangan Antar Tingkat Maksimal')
YYmax=max(abs(yy0))*2.54;
yl=[y0(:,1),y0(:,2),y0(:,3)];
plot(yl);
legend('Lantai 1','Lantai 2','Lantai 3');
```

Lanjutan Lampiran 15.

```
xlabel('WAKTU ( x 10E-2 )');  
ylabel('SIMPANGAN ( inch )');  
clear all;
```



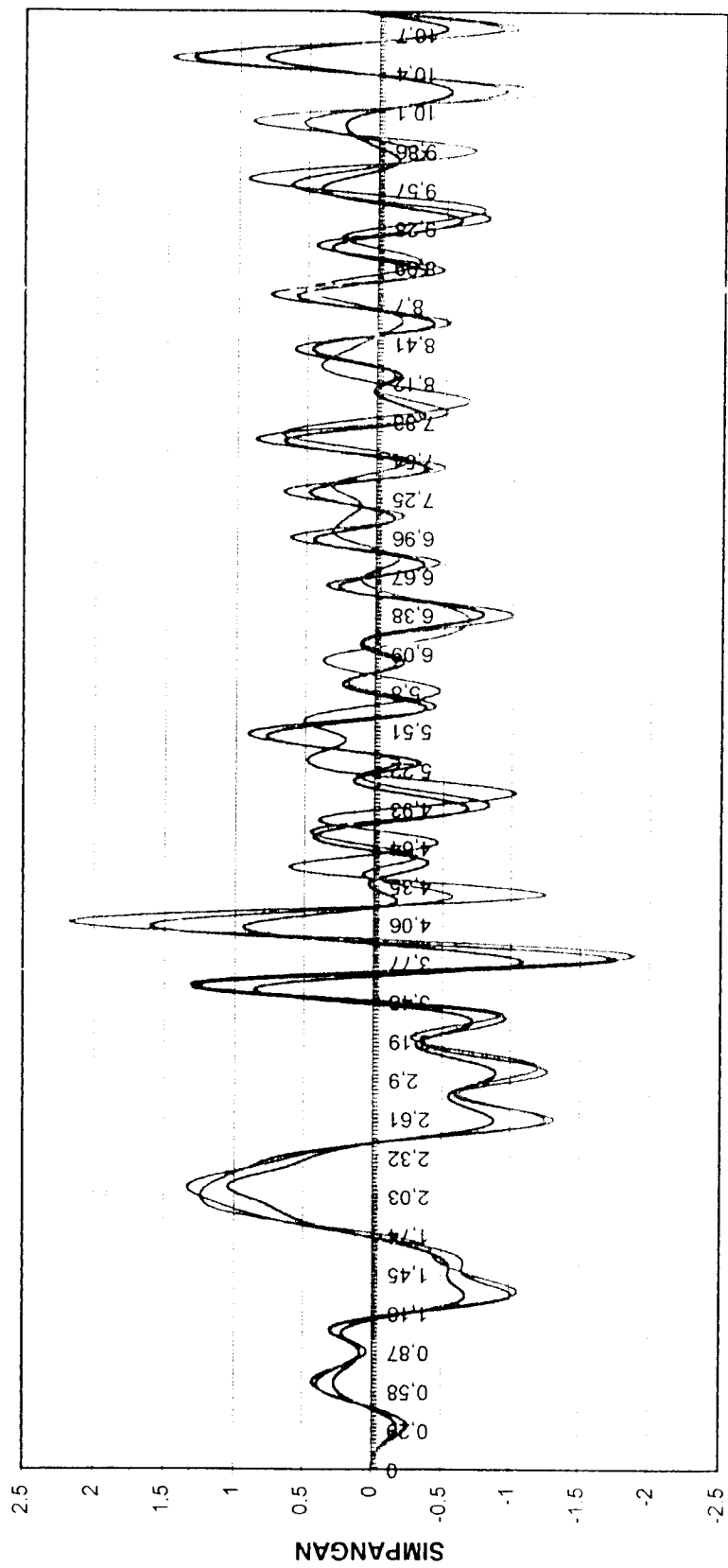
Lampiran 5. Grafik Simpangan Relatif Struktur Tanpa TMD dengan Damping Ratio 5%



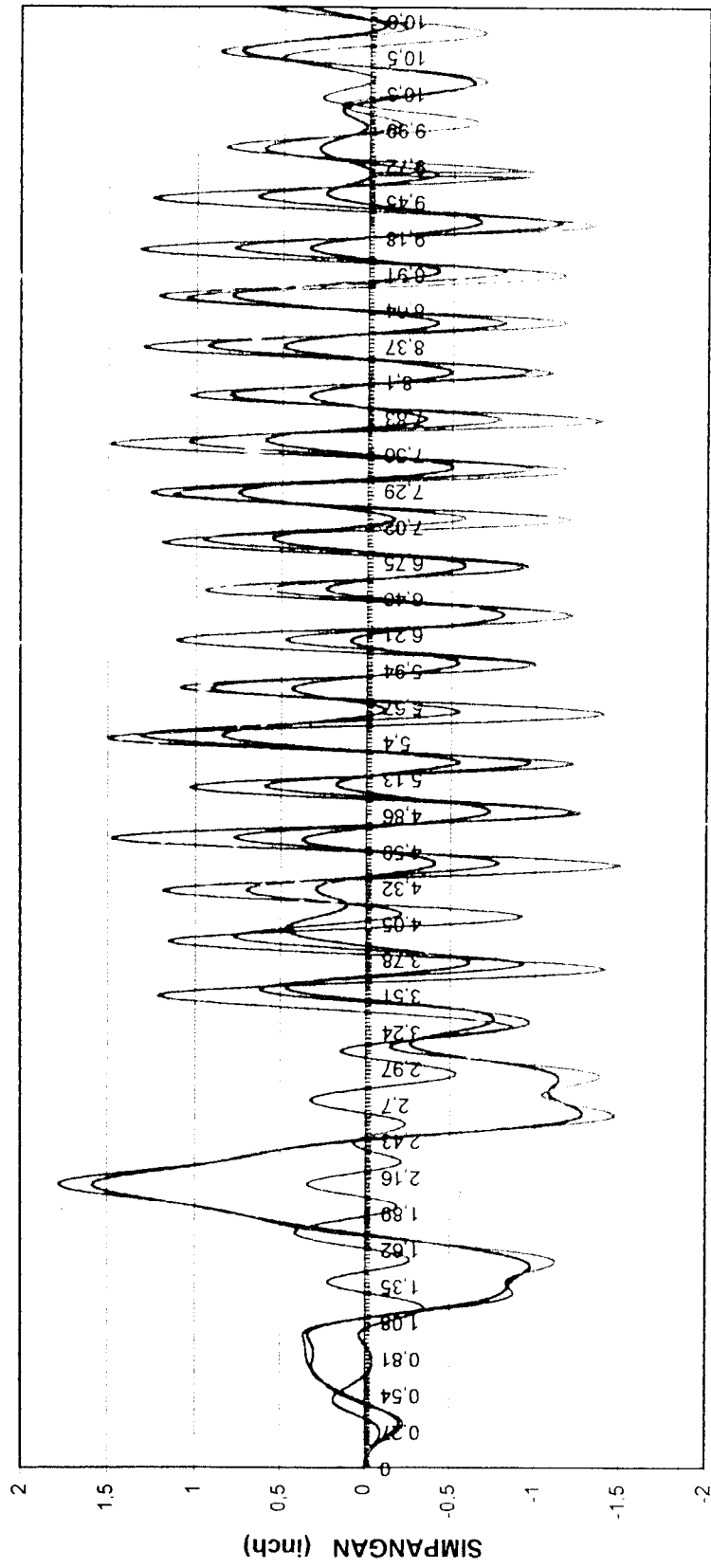
WAKTU

— Lantai 1 - - - Lantai 2 ····· Lantai 3

Lampiran 6. Grafik Simpangan Relatif Struktur TMD Pada Lantai 1 dengan Damping Ratio 5%



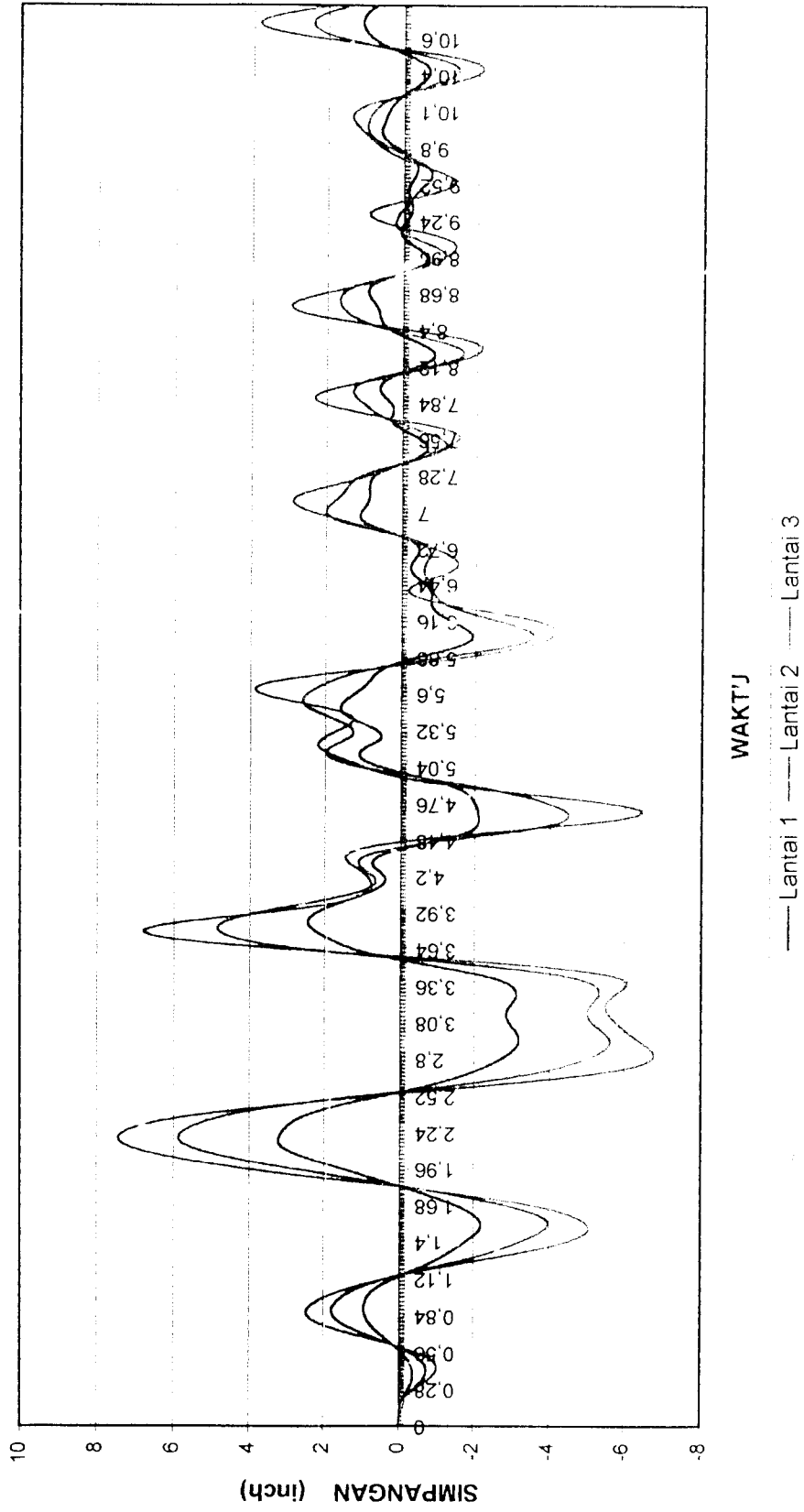
Lampiran 7. Grafik Simpangan Relatif Struktur TMD Pada Lantai 2 dengan Damping Ratio 5%



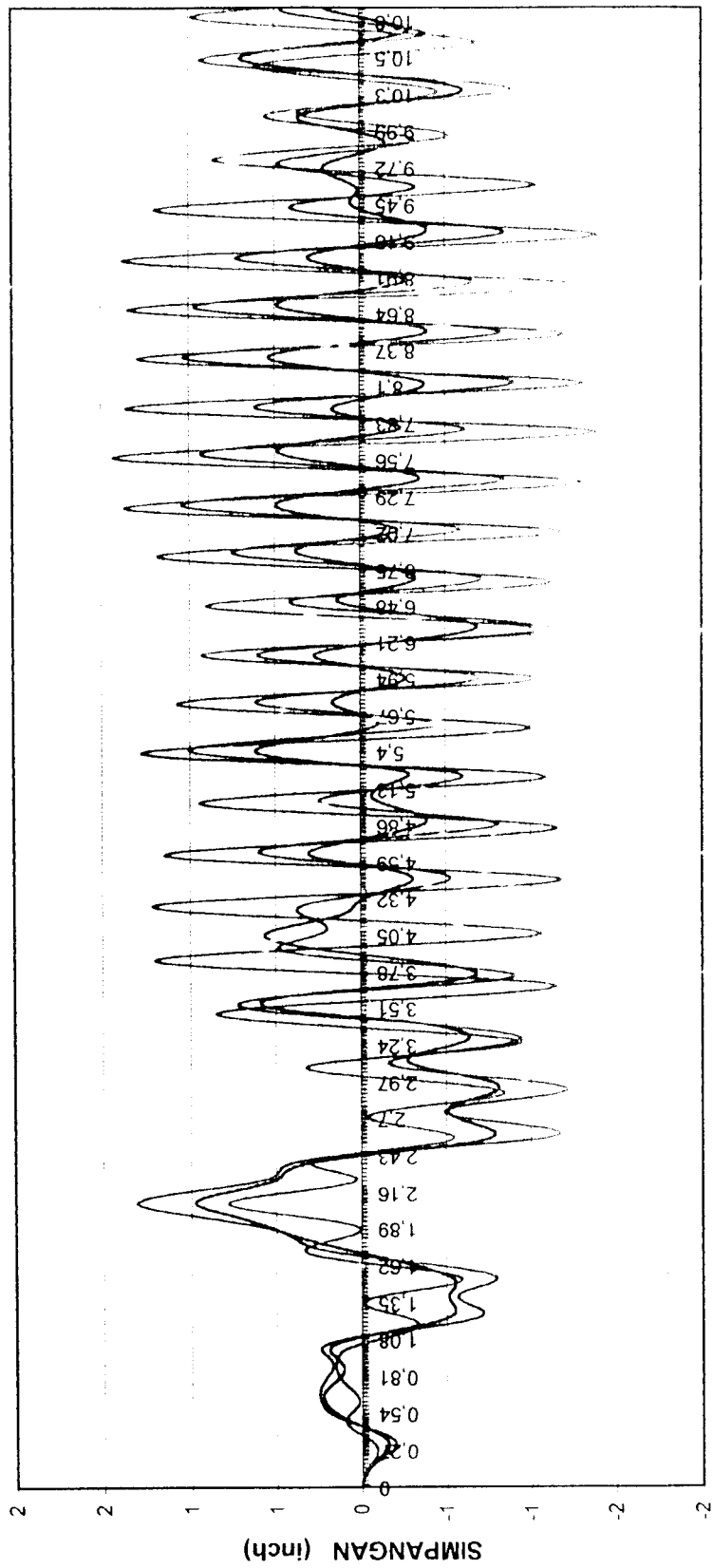
WAKTU

— Lantai 1 - - - Lantai 2 ····· Lantai 3

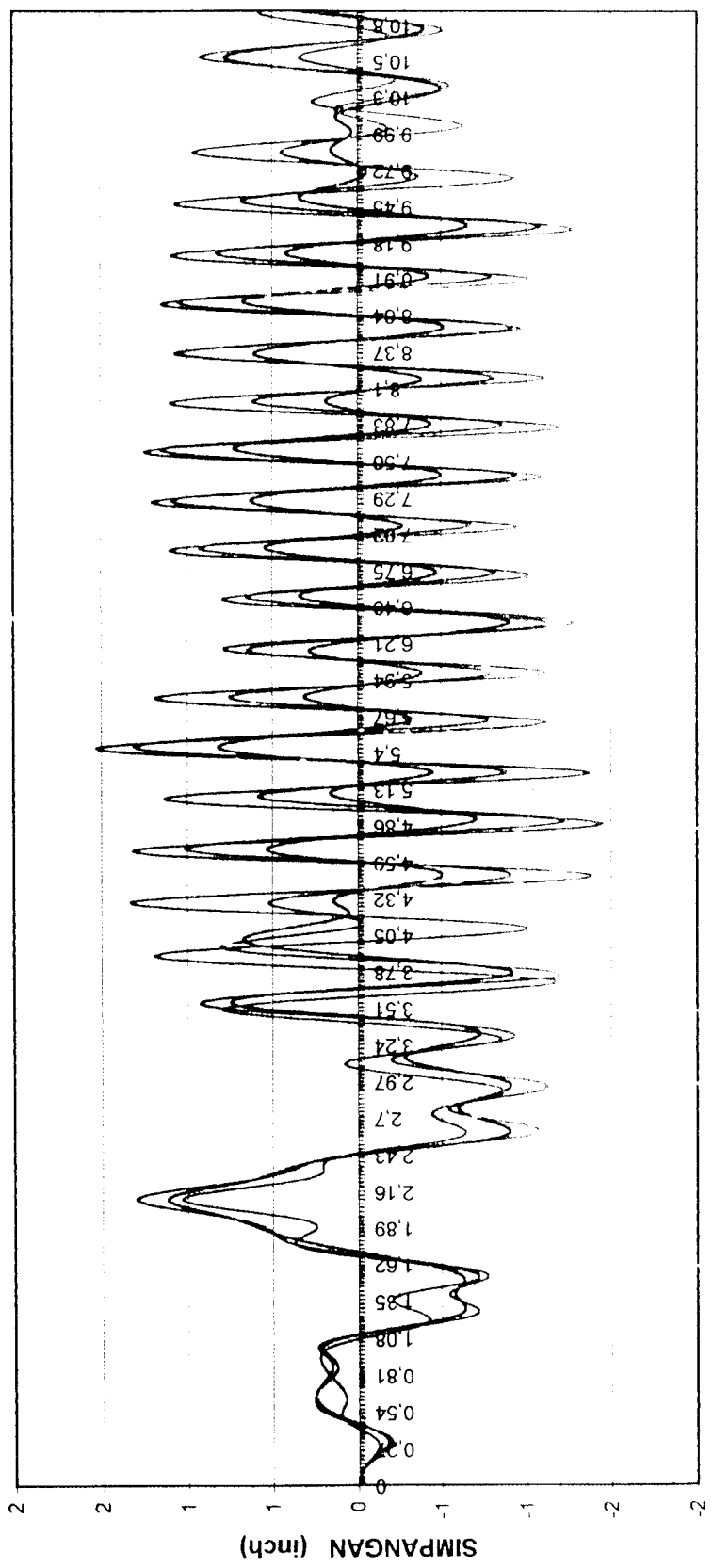
Lampiran 8. Grafik Simpangan Relatif Struktur TMD Pada Lantai 3 dengan Damping Ratio 5%



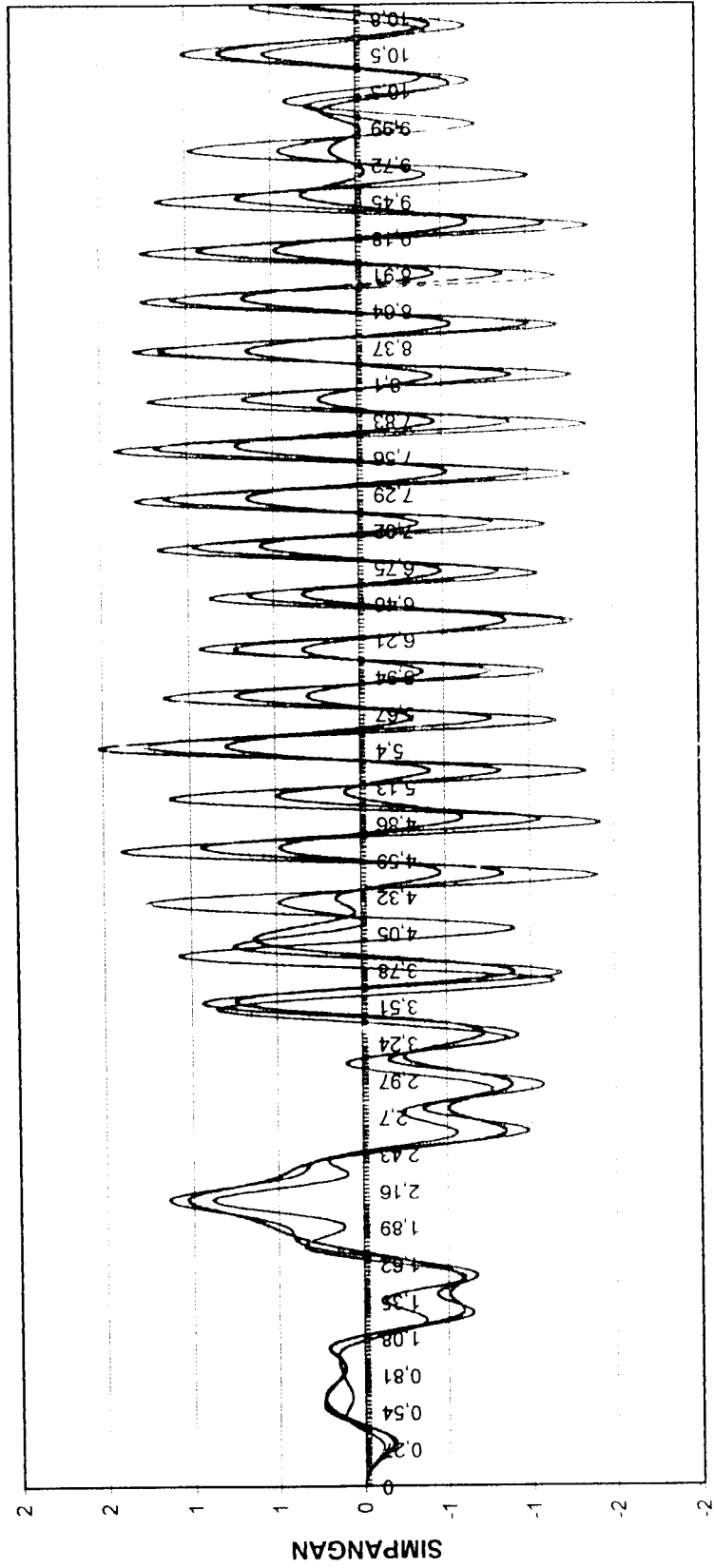
Lampiran 9. Grafik Simpangan Relatif Struktur TMD Pada Lantai 1 dan 2 dengan Damping Ratio 5%



Lampiran 10. Grafik Simpangan Relatif Struktur TMD Pada Lantai 1 dan 3 dengan Damping Ratio 5%



Lampiran 11. Grafik Simpangan Relatif Struktur TMD Pada 1 lantai 2 dan 3 dengan Damping Ratio 5%



WAKTU

— Lantai 1 - - - Lantai 2 Lantai 3

Lampiran 12. Grafik Simpangan Relatif Struktur TMD Pada Semua Lantai dengan Damping Ratio 5%

Lampiran 16. Listing Program Perhitungan Variasi 1 (Struktur Tanpa TMD)

```
disp('perhitungan tanpa tmd')
q=3;
disp('data beban')
m1=150;
m2=100;
m3=50;
M=[m1 0 0
   0 m2 0
   0 0 m3]
disp('data kekakuan')
k1=30000;
k2=20000;
k3=10000;
K=[k1+k2 -k2 0
   -k2 k2+k3 -k3
   0 -k3 k3]
kkk=[k1 0 0
      0 k2 0
      0 0 k3];
[s, l]=eig(K,M); % peny.eigen problem
s1={s(:,3) s(:,2) s(:,1)};
T='GRAFIK SIMPANGAN DENGAN STRUKTUR TANPA TMD';
```

Lampiran 17. Listing Program Perhitungan Variasi 2 (TMD Pada Lantai 1)

```
disp('TMD pada lantai satu')
q=4;
disp('data beban')
m1=0.15;
m2=0.1;
m3=0.05;
m4=0.003;
M=[m1 0 0 0
   0 m2 0 0
   0 0 m3 0
   0 0 0 m4]
disp('data kekakuan')
k1=30;
k2=20;
k3=10;
k4=0.6;
K=[k1+k2+k4 -k2 0 -k4
   -k2 k2+k3 -k3 0
   0 -k3 k3 0
   -k4 0 0 k4]
kkk=[k1 0 0 0
      0 k2 0 0
      0 0 k3 0
      0 0 0 k4];
[s,1]=eig(K,M); % peny.eigen problem
s1=[s(:,4) s(:,3) s(:,2) s(:,1)];
T='GRAFIK SIMPANGAN DENGAN TMD PADA LANTAI 1';
```

Lampiran 18. Listing Program Perhitungan Variasi 3 (TMD Pada Lantai 2)

```
disp('TMD pada lantai 2')
q=4;
disp('data beban')
m1=0.15;
m2=0.1;
m3=0.05;
m4=0.003;
M=[m1 0 0 0
    0 m2 0 0
    0 0 m3 0
    0 0 0 m4]
disp('data kekakuan')
k1=30;
k2=20;
k3=10;
k4=0.6;
K=[k1+k2 -k2 0 0
    -k2 k2+k3+k4 -k3 -k4
    0 -k3 k3 0
    0 -k4 0 k4]
kkk=[k1 0 0 0
      0 k2 0 0
      0 0 k3 0
      0 0 0 k4];
[s,1]=eig(K,M); % peny. eigen problem
s1=[s(:,4) s(:,3) s(:,2) s(:,1)];
T='GRAFIK SIMPANGAN DENGAN TMD PADA LANTAI 2';
```


Lampiran 19. Listing Program Perhitungan Variasi 4 (TMD Pada Lantai 3)

```
disp('TMD pada lantai 3')
q=4;
disp('data beban')
m1=0.15;
m2=0.1;
m3=0.05;
m4=0.003;
M=[m1 0 0 0
    0 m2 0 0
    0 0 m3 0
    0 0 0 m4]
disp('data kekakuan')
k1=30;
k2=20;
k3=10;
k4=0.6;
K=[k1+k2 -k2 0 0
   -k2 k2+k3 -k3 0
    0 -k3 k3+k4 -k4
    0 0 -k4 k4]
kkk=[k1 0 0 0
      0 k2 0 0
      0 0 k3 0
      0 0 0 k4];
[s,1]=eig(K,M); % peny.eigen problem
s1=[s(:,4) s(:,3) s(:,2) s(:,1)];
T='GRAFIK SIMPANGAN DENGAN TMD PADA LANTAI 3';
```

ipiran 20. Listing Program Perhitungan Variasi 5 (TMD Pada Lantai 1 dan 2)

```
)('TMD pada lantai 1 dan 2')
:
>('data beban')
).15;
).1;
).05;
).003;
).003;
m1 0 0 0 0
) m2 0 0 0
) 0 m3 0 0
) 0 0 m4 0
) 0 0 0 m5]
>('data kekakuan')
30;
20;
10;
).6;
).6;
k1+k2+k4 -k2 0 -k4 0
-k2 k2+k3+k5 -k3 0 -k5
0 -k3 k3 0 0
-k4 0 0 k4 0
0 -k5 0 0 k5]
=[k1 0 0 0 0
0 k2 0 0 0
0 0 k3 0 0
0 0 0 k4 0
0 0 0 0 k5];
l]=eig(K,M); % peny.eigen problem
[s(:,5) s(:,4) s(:,3) s(:,2) s(:,1)];
GRAFIK SIMPANGAN DENGAN TMD PADA LANTAI 1 DAN 2';
```

Lampiran 21. Listing Program Perhitungan Variasi 6 (TMD) Pada Lantai 1 dan 3)

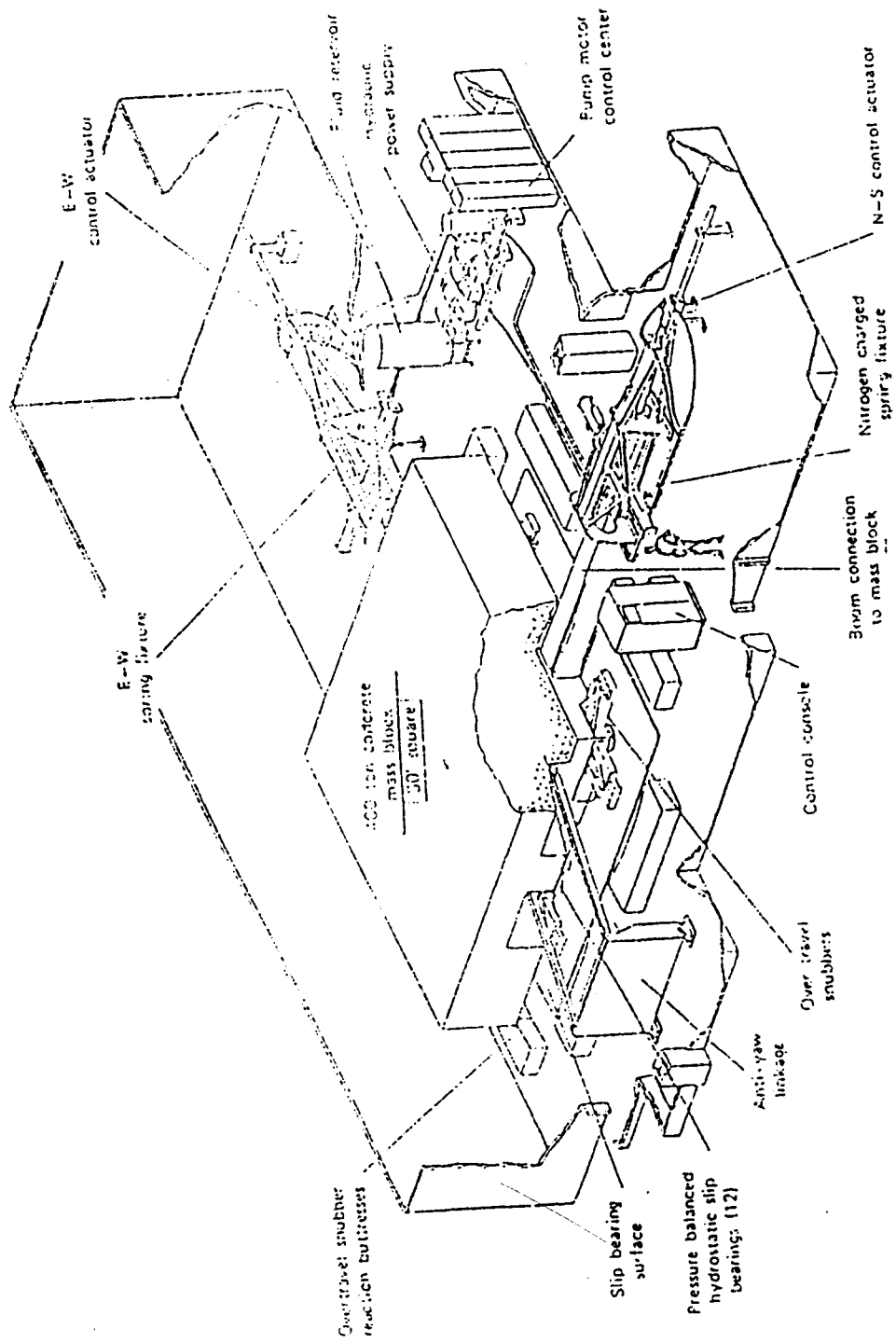
```
disp('TMD pada lantai 1 dan 3')
q=5;
disp('data beban')
m1=0.15;
m2=0.1;
m3=0.05;
m4=0.003;
m5=0.003;
M=[m1 0 0 0 0
    0 m2 0 0 0
    0 0 m3 0 0
    0 0 0 m4 0
    0 0 0 0 m5]
disp('data kekakuan')
k1=30;
k2=20;
k3=10;
k4=0.6;
k5=0.6;
K=[k1+k2+k3 -k2 0 -k4 0
    -k2 k2+k3 -k3 0 0
    0 -k3 k3+k5 0 -k5
    -k4 0 0 k4 0
    0 0 -k5 0 k5]
kkk=[k1 0 0 0 0
      0 k2 0 0 0
      0 0 k3 0 0
      0 0 0 k4 0
      0 0 0 0 k5];
[s,1]=eig(K,M); % peny.eigen problem
s1=[s(:,5) s(:,4) s(:,3) s(:,2) s(:,1)];
T='GRAFIK SIMPANGAN DENGAN TMD PADA LANTAI 1 DAN 3';
```

Lampiran 22. Listing Program Perhitungan Variasi 7 (TMD Pada Lantai 2 dan 3)

```
disp('TMD pada lantai 2 dan 3')
q=5;
disp('data beban')
m1=0.15;
m2=0.1;
m3=0.05;
m4=0.003;
m5=0.00338;
M=[m1 0 0 0 0
    0 m2 0 0 0
    0 0 m3 0 0
    0 0 0 m4 0
    0 0 0 0 m5]
disp('data kekakuan')
k1=30;
k2=20;
k3=10;
k4=0.6;
k5=0.6;
K=[k1+k2 -k2 0 0 0
    -k2 k2+k3+k4 -k3 -k4 0
    0 -k3 k3+k5 0 -k5
    0 -k4 0 k4 0
    0 0 -k5 0 k5]
kkk=[k1 0 0 0 0
    0 k2 0 0 0
    0 0 k3 0 0
    0 0 0 k4 0
    0 0 0 0 k5];
[s,l]=eig(K,M); % peny.eigen problem
s1=[s(:,5) s(:,4) s(:,3) s(:,2) s(:,1)];
T='GRAFIK SIMPANGAN DENGAN TMD PADA LANTAI 2 DAN 3';
```

Lampiran 23. Listing Program Perhitungan Variasi 8 (TMD Pada Semua Lantai)

```
disp('TMD pada semua lantai')
q=6;
disp('data beban')
m1=0.15;
m2=0.10;
m3=0.05;
m4=0.003;
m5=0.003;
m6=0.003;
M=[m1 0 0 0 0 0
    0 m2 0 0 0 0
    0 0 m3 0 0 0
    0 0 0 m4 0 0
    0 0 0 0 m5 0
    0 0 0 0 0 m6]
disp('data kekakuan')
k1=30;
k2=20;
k3=10;
k4=0.6;
k5=0.6;
k6=0.6;
K=[k1+k2+k4 -k2 0 -k4 0 0
   -k2 k2+k3+k5 -k3 0 -k5 0
    0 -k3 k3+k6 0 0 -k6
   -k4 0 0 k4 0 0
    0 -k5 0 0 k5 0
    0 0 -k6 0 0 k6]
kkk=[k1 0 0 0 0 0
      0 k2 0 0 0 0
      0 0 k3 0 0 0
      0 0 0 k4 0 0
      0 0 0 0 k5 0
      0 0 0 0 0 k6];
[s, l]=eig(K,M); % peny.eigen problem
s1=[s(:,6) s(:,5) s(:,4) s(:,3) s(:,2) s(:,1)];
T='GRAFIK SIMPANGAN DENGAN TMD PADA SEMUA LANTAI';
```



Lampiran 24. Salah Satu Alat ATMD yang Dipasang Pada Gedung Citycorp Center, New York (Simiu dan Scanlan, 1978)