

PERPUSTAKAAN FTSP UII

HADIAH/BELI 15/9/08

TGL. TERIMA : 30-3-2001

NO. JUDUL :

NO. INV. : 480/TA/JTS

NO. INDIK. : 012 000 32 83 001

**TUGAS AKHIR**

**PENEMPATAN EFEKTIF REDAMAN GANDA (KEMBAR)  
UNTUK MENGURANGI RESIKO BENTURAN STRUKTUR**

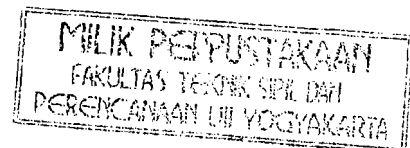
*(AN EFFECTIVE PLACEMENT OF A TWIN DAMPER TO REDUCE  
STRUCTURAL POUNDING RISK)*



**Disusun oleh:**

Nama : Andri Budhiawan  
No. Mhs : 94310041  
NIRM : 940051013114120041

Nama : Seno Hariyanto  
No. Mhs : 94310177  
NIRM : 940051013114120176



**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2001**

**TUGAS AKHIR**

**PENEMPATAN EFEKTIF REDAMAN GANDA (KEMBAR)  
UNTUK MENGURANGI RESIKO BENTURAN STRUKTUR**

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



**Disusun oleh:**

Nama : Andri Budhiawan  
No. Mhs : 94310041  
NIRM : 940051013114120041

Nama : Seno Hariyanto  
No. Mhs : 94310177  
NIRM : 940051013114120176

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2001**

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**PENEMPATAN EFEKTIF REDAMAN GANDA (KEMBAR)  
UNTUK MENGURANGI RESIKO BENTURAN STRUKTUR**

**Disusun Oleh:**

Nama : Andri Budhiawan  
No. Mhs : 94310041  
NIRM : 940051013114120041

Nama : Seno Hariyanto  
No. Mhs : 94310177  
NIRM : 940051013114120176

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Ir. H. Moch. Teguh, MSCE

Dosen Pembimbing I



Tanggal : 24-01-2001

Ir. H. Sarwidi, MSc, Ph.D

Dosen Pembimbing II



Tanggal : 24-01-2001

---

---

---

*KARYA INI KUPERSEMBAHKAN UNTUK*

**\* Bapak dan Ibu Atas Cinta, Do'a dan Dukungannya yang  
Selalu Menyertai Dalam Setiap Langkah-langkah Hidupku**

## **MOTTO**

*Sesungguhnya sholatku, ibadahku, hidupku dan matiku hanyalah untuk Allah,  
Rabb semesta alam (Q. S. Al-An'aam : 162)*

*...Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang-  
orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah mengetahui  
apa yang kamu kerjakan (Q.S. Al-Mujaadilah : 11)*

---

## PRAKATA

---

*Bismillahirrahmanirrahim*

*Assalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh*

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan ketekunan dan kesabaran sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Sholawat serta salam senantiasa tercurah pada Rasulullah SAW beserta para keluarga, sahabat serta pengikutnya sampai akhir jaman.

Tugas akhir ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan kuliah pada jenjang Strata 1 (S-1), Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan Tugas Akhir yang berjudul “Penempatan Efektif Redaman Ganda (Kembar) untuk Mengurangi Resiko Benturan Struktur“, telah dilakukan usaha yang semaksimal mungkin untuk memperoleh hasil sebaik-baiknya sesuai dengan kemampuan dan pengetahuan yang telah dimiliki, berdasarkan pada buku referensi dan pedoman yang ada. Disadari bahwa Tugas Akhir ini jauh dari sempurna, mengingat keterbatasan yang ada, untuk itu kritik dan saran sangat di harapkan untuk kesempurnaan Tugas Akhir.

Selama penyusunan Tugas Akhir ini telah banyak mendapat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, baik moril maupun spiritual. Untuk itu terima kasih yang sebanyak-banyaknya dihaturkan kepada:

1. bapak Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,

- 
2. bapak Ir. II. Tadjuddin BM Aris, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil,  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
  3. bapak Ir. H. Moch. Teguh MSCE, selaku dosen pembimbing I,
  4. bapak Ir. H. Sarwidi Msc. Ph.D, selaku dosen pembimbing II,
  5. bapak, ibu, kakak-kakak dan adik-adik, terima kasih untuk semua do'a dan bantuan,
  6. semua teman-teman di kelas C dan D angkatan '94, special untuk Dhani, Andi, Epil, Madi, Ririn, Prapti, Endah, Junaidi, Kushartanto, Juhartono, Arie, Arman. Juga untuk teman-teman angkatan '94 yang lain,
  7. almamater tercinta Universitas Islam Indonesia, atas segala fasilitas, bantuan dan kerjasamanya, serta
  8. semua pihak yang tidak mungkin disebutkan satu persatu.

Tidak ada yang dapat diberikan selain ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya atas bantuan yang telah diberikan, semoga dapat diterima sebagai amal baik di sisi Allah Subhanahu wata'ala dan semoga Allah Subhanahu wata'ala membalas semua kebaikan yang telah diberikan. Amin.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Yogyakarta, Desember 2000

Penulis

---

---

## DAFTAR ISI

---

---

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>iv</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR NOTASI .....</b>	<b>xvi</b>
<b>ABSTRAK... ..</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
1.6 Pendekatan Masalah .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>8</b>
2.1 Tinjauan Umum .....	8
2.2 Tinjauan Penelitian Terkait .....	9



2.3 Peredam ( <i>dampers</i> ).....	12
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b> .....	<b>17</b>
3.1 Sistem Berderajat Kebebasan Tunggal.....	17
3.2 Sistem Berderajat Kebebasan Banyak.....	19
3.3 Persamaan Gerak Struktur SDOF Akibat Beban Gempa.....	26
3.4 Persamaan Gerak Struktur MDOF Akibat Beban Gempa.....	30
3.5 Jenis-jenis Simpangan dan Efeknya Terhadap Kerusakan.....	32
3.6 Persamaan Differensial Independen ( <i>Uncoupling Differential Equation</i> ).....	34
3.7 Respon Terhadap Beban Gempa.....	37
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b> .....	<b>39</b>
4.1 Data yang Diperlukan.....	39
4.2 Pengolahan Data.....	40
4.3 Pengujian.....	40
4.4 Pemodelan Struktur.....	41
<b>BAB V ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>64</b>
5.1 Pembebanan Struktur.....	64
5.2 Ragam Bentuk ( <i>Mode Shapes</i> ) dan Frekuensi Natural.....	64
5.3 Efek Redaman.....	68
5.4 Respon Terhadap Beban Gempa Bumi.....	68
5.5 Jarak Antara Dua Bangunan.....	70
5.6 Pembahasan.....	70

5.6.1 Simpangan Relatif.....	71
5.6.2 Simpangan Relatif Maksimum pada Bangunan	
5 Lantai Akibat Gempa El Centro.....	76
5.6.3 Simpangan Relatif Maksimum pada Bangunan	
6 Lantai Akibat Gempa El Centro.....	81
5.6.4 Simpangan Relatif Maksimum pada Bangunan	
5 Lantai Akibat Gempa Koyna.....	87
5.6.5 Simpangan Relatif Maksimum pada Bangunan	
6 Lantai Akibat Gempa Koyna.....	93
5.6.6 Jarak Antara Dua Bangunan.....	100
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>101</b>
6.1 Kesimpulan.....	101
6.2 Saran.....	103

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

---

---

## DAFTAR GAMBAR

---

---

Gambar 2.1 Skema <i>MR Damper</i> .....	15
Gambar 2.2 Skema Pemasangan <i>MR Damper</i> .....	16
Gambar 3.1 (a) Struktur SDOF.....	19
Gambar 3.1 (b) Struktur yang disederhanakan.....	19
Gambar 3.1 (c) Model Matematik.....	19
Gambar 3.1 (d) “ <i>Free Body</i> ” Diagram.....	19
Gambar 3.2 (a) Model Matematik.....	22
Gambar 3.2 (b) Model MDOF.....	22
Gambar 3.2 (c) Model Kesetimbangan Gaya.....	22
Gambar 3.3 Percepatan Tanah Gempa El Centro, 1940.....	27
Gambar 3.4 Perceotan Tanah Gempa Koyna, 1967.....	27
Gambar 3.5 Sistem Berderajat Kebebasan Tunggal Dengan Beban Gempa.....	28
Gambar 3.6 Sistem Berderajat Kebebasan Banyak Dengan Beban Gempa.....	30
Gambar 3.7 Model Simpangan Relatif.....	32
Gambar 3.8 Model Simpangan Antar Tingkat.....	33
Gambar 4.1 Struktur Tanpa Peredam Tambahan.....	41
Gambar 4.2 Struktur dengan Posisi <i>MR Damper</i> pada Lantai 1.....	42
Gambar 4.3 Struktur dengan Posisi <i>MR Damper</i> pada Lantai 1 dan 2.....	43
Gambar 4.4 Struktur dengan Posisi <i>MR Damper</i> pada Lantai 1 dan 3.....	44

Gambar 4.5 Struktur dengan Posisi <i>MR Damper</i> pada Lantai 1 dan 4.....	45
Gambar 4.6 Struktur dengan Posisi <i>MR Damper</i> pada Lantai 1 dan 5.....	46
Gambar 4.7 Struktur dengan Posisi <i>MR Damper</i> pada Lantai 1 dan 6.....	47
Gambar 4.8 Struktur dengan Posisi <i>MR Damper</i> pada Lantai 2.....	48
Gambar 4.9 Struktur dengan Posisi <i>MR Damper</i> pada Lantai 2 dan 3.....	49
Gambar 4.10 Struktur dengan Posisi <i>MR Damper</i> pada Lantai 2 dan 4.....	50
Gambar 4.11 Struktur dengan Posisi <i>MR Damper</i> pada Lantai 2 dan 5.....	51
Gambar 4.12 Struktur dengan Posisi <i>MR Damper</i> pada Lantai 2 dan 6.....	52
Gambar 4.13 Struktur dengan Posisi <i>MR Damper</i> pada Lantai 3.....	53
Gambar 4.14 Struktur dengan Posisi <i>MR Damper</i> pada Lantai 3 dan 4.....	54
Gambar 4.15 Struktur dengan Posisi <i>MR Damper</i> pada Lantai 3 dan 5.....	55
Gambar 4.16 Struktur dengan Posisi <i>MR Damper</i> pada Lantai 3 dan 6.....	56
Gambar 4.17 Struktur dengan Posisi <i>MR Damper</i> pada Lantai 4.....	57
Gambar 4.18 Struktur dengan Posisi <i>MR Damper</i> pada Lantai 4 dan 5.....	58
Gambar 4.19 Struktur dengan Posisi <i>MR Damper</i> pada Lantai 4 dan 6.....	59
Gambar 4.20 Struktur dengan Posisi <i>MR Damper</i> pada Lantai 5.....	60
Gambar 4.21 Struktur dengan Posisi <i>MR Damper</i> pada Lantai 5 dan 6.....	61
Gambar 4.22 Struktur dengan Posisi <i>MR Damper</i> pada Lantai 6.....	62
Gambar 5.1 Struktur Tanpa Peredam Tambahan.....	65
Gambar 5.2 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum Lantai 1 pada Bangunan 5 Lantai Akibat Gempa El Centro.....	76
Gambar 5.3 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum	

Lantai 2 pada Bangunan 5 Lantai Akibat	
Gempa El Centro.....	77
Gambar 5.4 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum	
Lantai 3 pada Bangunan 5 Lantai Akibat	
Gempa El Centro.....	78
Gambar 5.5 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum	
Lantai 4 pada Bangunan 5 Lantai Akibat	
Gempa El Centro.....	80
Gambar 5.6 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum	
Lantai 5 pada Bangunan 5 Lantai Akibat	
Gempa El Centro.....	81
Gambar 5.7 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum	
Lantai 1 pada Bangunan 6 Lantai Akibat	
Gempa El Centro.....	82
Gambar 5.8 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum	
Lantai 2 pada Bangunan 6 Lantai Akibat	
Gempa El Centro.....	83
Gambar 5.9 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum	
Lantai 3 pada Bangunan 6 Lantai Akibat	
Gempa El Centro.....	84
Gambar 5.10 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum	
Lantai 4 pada Bangunan 6 Lantai Akibat	
Gempa El Centro.....	85

**Gambar 5.11 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum**

Lantai 5 pada Bangunan 6 Lantai Akibat

Gempa El Centro..... 86

**Gambar 5.12 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum**

Lantai 6 pada Bangunan 6 Lantai Akibat

Gempa El Centro..... 87

**Gambar 5.13 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum**

Lantai 1 pada Bangunan 5 Lantai Akibat Gempa

Koyna..... 88

**Gambar 5.14 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum**

Lantai 2 pada Bangunan 5 Lantai Akibat

Gempa Koyna..... 89

**Gambar 5.15 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum**

Lantai 3 pada Bangunan 5 Lantai Akibat

Gempa Koyna..... 90

**Gambar 5.16 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum**

Lantai 4 pada Bangunan 5 Lantai Akibat

Gempa Koyna..... 91

**Gambar 5.17 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum**

Lantai 5 pada Bangunan 5 Lantai Akibat

Gempa Koyna..... 92

**Gambar 5.18 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum**

Lantai 1 pada Bangunan 6 Lantai Akibat

Gempa Koyna.....	94
<b>Gambar 5.19 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum</b>	
Lantai 2 pada Bangunan 6 Lantai Akibat	
Gempa Koyna.....	95
<b>Gambar 5.20 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum</b>	
Lantai 3 pada Bangunan 6 Lantai Akibat	
Gempa Koyna.....	96
<b>Gambar 5.21 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum</b>	
Lantai 4 pada Bangunan 6 Lantai Akibat	
Gempa Koyna.....	97
<b>Gambar 5.22 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum</b>	
Lantai 5 pada Bangunan 6 Lantai Akibat	
Gempa Koyna.....	98
<b>Gambar 5.23 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum</b>	
Lantai 6 pada Bangunan 6 Lantai Akibat	
Gempa Koyna.....	99

---

## DAFTAR TABEL

---

Tabel 1.1 Variasi Penempatan <i>MR Damper</i> .....	6
Tabel 5.1 Nilai Modal Struktur.....	66
Tabel 5.2 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum pada Bangunan 5 Lantai Akibat Gempa El Centro.....	72
Tabel 5.3 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum pada Bangunan 6 Lantai Akibat Gempa El Centro .....	73
Tabel 5.4 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum pada Bangunan 5 Lantai Akibat Gempa Koyna.....	74
Tabel 5.5 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum pada Bangunan 6 Lantai Akibat Gempa Koyna.....	75



---

---

## DAFTAR NOTASI

---

---

$a$	percepatan
$c$	redaman
$[C]$	matrik redaman
$C_n^*$	matrik redaman efektif mode ke-n
$F$	gaya gesek
$k$	kekakuan
$[K]$	matrik kekakuan
$K_n^*$	matrik kekakuan efektif mode ke-n
$m$	massa
$[M]$	matrik massa
$M_n^*$	matrik massa efektif mode ke-n
$p(t)$	gaya luar
$P_n^*$	vektor beban efektif mode ke-n
$\{p(t)\}$	vektor beban
$q$	simpangan
$\dot{q}$	kecepatan
$\ddot{q}$	percepatan
$S$	jarak antara bangunan
$t$	waktu
$\Delta t$	perbedaan waktu
$y$	simpangan

$\dot{y}$	kecepatan
$\ddot{y}$	percepatan
$\ddot{y}_g$	percepatan tanah
$\{y\}$	vektor simpangan
$\{\dot{y}\}$	vektor kecepatan
$\{\ddot{y}\}$	vektor percepatan
$z(t)$	generalisasi perpindahan pada <i>mode</i> ke-n
$\dot{z}(t)$	generalisasi kecepatan pada <i>mode</i> ke-n
$\ddot{z}(t)$	generalisasi percepatan pada <i>mode</i>
$Z_n$	modal amplitudo <i>mode</i> ke-n
$\dot{Z}_n$	turunan pertama modal amplitudo <i>mode</i> ke-n
$\ddot{Z}_n$	turunan kedua modal amplitudo <i>mode</i> ke-n
$\phi_n$	<i>mode shapes</i> /ragam bentuk ke-n
$\omega_n$	frekuensi <i>mode</i> ke-n
$\xi_n$	rasio redaman <i>mode</i> ke-n
$\Gamma_n$	partisipasi <i>mode</i> ke-n

---

---

## ABSTRAK

Kerusakan-kerusakan struktur bangunan akibat gempa dapat dikurangi dengan mendesain struktur sesuai dengan prinsip-prinsip bangunan tahan gempa. Guncangan akibat gempa yang kuat dapat menyebabkan terjadinya simpangan yang berlebihan pada struktur. Efek ini akan cenderung menimbulkan kerusakan-kerusakan yang cukup serius pada bangunan, misalnya adalah benturan antar bangunan yang berdekatan (*structural pounding*). Dengan mengurangi simpangan, resiko benturan antar bangunan dapat direduksi. Sebuah alternatif untuk memperkecil simpangan adalah dengan memberi peredam. Karena redaman berfungsi melepaskan energi, maka hal tersebut akan memperkecil respon struktur. Dalam penelitian ini untuk memperkecil simpangan relatif maksimum, pada struktur dipasang peredam tambahan. Peredam yang digunakan adalah *Magnethorheological Damper*. Untuk membandingkan perilaku getaran getaran, khususnya simpangan, dilakukan percobaan dengan 16 variasi perletakan peredam ganda pada bangunan bertingkat 5 dan 22 variasi perletakan peredam ganda pada bangunan bertingkat 6 yang dibandingkan dengan tanpa menggunakan peredam tambahan (hanya nilai redaman struktur). Pada penelitian ini penempatan *Magnethorheological Damper* yang paling efektif untuk bangunan 5 lantai dan 6 lantai akibat gempa El Centro serta bangunan 5 lantai akibat gempa Koyna ketika dipasang pada lantai 3 dan 5. Sedangkan untuk bangunan 6 lantai penggunaan *MR Damper* yang paling efektif ketika dipasang pada lantai 3 dan 6. Pada penempatan *MR Damper* yang paling efektif, jarak antara bangunan 5 lantai dan bangunan 6 lantai akibat gempa El Centro dapat dikurangi sebesar 39.7452%, sedangkan jarak antara bangunan 5 lantai dan bangunan 6 lantai akibat gempa Koyna dapat dikurangi sebesar 27.4558%.

---

---

---

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

Bab ini berisi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan pendekatan masalah, sebagaimana yang akan diuraikan berikut ini.

#### **1.1 Latar belakang masalah**

Gempa bumi adalah salah satu bencana alam yang sering membuat kerusakan baik kerusakan struktur tanah maupun bangunan yang berada di atasnya. Akibat yang ditimbulkan oleh gempa tidak hanya berupa kerugian harta benda namun juga jiwa manusia mulai dari yang luka-luka sampai korban jiwa yang tidak tertolong lagi.

Kerusakan struktur tanah akibat gempa bumi dapat berupa permukaan tanah menjadi pecah-pecah, tanah longsor (*land slide*), batu longsor (*rock slide*), batuan yang berjatuhan (*rock fall*), penurunan muka tanah (*settlement*), dan hilangnya daya dukung pasir jenuh/likuifaksi (*liquifaction*). Struktur tanah yang rusak dapat berakibat pada kestabilan bangunan yang berada pada tanah atau yang berada di atasnya. Kerugian materi yang paling besar dapat timbul dikarenakan kerusakan struktur tanah akibat gempa. Selain kerusakan struktur tanah, getaran permukaan tanah akibat gempa bumi juga dapat merusakkan bangunan yang berada didalam dan di atas permukaan tanah. Jenis kerusakan bangunan yang

pernah tercatat akibat gempa antara lain adalah efek perlemahan tingkat (*soft storey effect*), efek dari perilaku kolom dan balok pendek (*short column and beam effect/shear failure*), perbesaran rotasi total titik buhul (*beam colum joint*), puntir (*torsi*), dan benturan antara bangunan yang berdekatan (*structural pounding*).

Bagi para ahli kejadian-kejadian gempa yang ada merupakan suatu pelajaran sekaligus suatu tantangan. Sebagai pelajaran, karena dengan diselidiki sebab-sebab, tempat kejadian, karakteristik gempa dan akibat yang ditimbulkan, maka dapat diketahui atau dievaluasi kekurangan-kekurangan yang terjadi mulai dari antisipasi tempat-tempat kejadian gempa, ukuran gempa, dan sejenisnya. Selain itu dapat dievaluasi tentang perilaku struktur akibat gempa tersebut. Sebagai tantangan, karena di masa yang akan datang diharapkan dapat diperoleh pengetahuan yang lebih baik tentang prediksi kejadian gempa dan disain bangunan yang relatif berperilaku baik terhadap gempa.

Kerusakan-kerusakan struktur bangunan akibat gempa dapat dikurangi dengan mendesain struktur sesuai dengan prinsip-prinsip bangunan tahan gempa. Guncangan akibat gempa dapat menyebabkan terjadinya simpangan pada struktur dan efek ini cenderung menimbulkan kerusakan-kerusakan yang cukup serius pada bangunan. Salah satu jenis kerusakan pada bangunan akibat gempa yaitu benturan antara bangunan yang berdekatan (*structural pounding*). Dengan mengurangi simpangan tersebut, resiko benturan antar bangunan dapat direduksi. Salah satu cara yang dapat ditempuh adalah dengan pemakaian sebuah alat peredam yang dapat mengurangi simpangan pada suatu struktur.

## 1.2 Rumusan Masalah

Nilai simpangan akan bertambah seiring dengan bertambahnya tingkat suatu struktur, sehingga bagian teratas akan memiliki simpangan yang paling besar. Salah satu cara untuk mengatasi simpangan yang terjadi pada bangunan bertingkat banyak adalah dengan menggunakan sebuah alat peredam yang dapat mengurangi simpangan. Dengan penggunaan alat peredam tersebut diharapkan bangunan tingkat tinggi dapat terhindar dari simpangan yang besar yang dapat mengakibatkan benturan antar bangunan. Oleh karena itu perlu ditentukan penempatan redaman yang paling efektif, karena penggunaan peredam pada semua tingkat tidaklah praktis.

Penulisan tugas akhir ini ialah berupa penelitian numeris terhadap obyek dua bangunan bertingkat yang memiliki ketinggian berbeda (bertingkat 5 dan bertingkat 6). Alat peredam yang dipergunakan dalam penelitian ini ialah *Magnethorheological Damper* yang berkapasitas sama untuk masing-masing peredam. Jumlah peredam yang dipergunakan untuk masing-masing bangunan ialah 2 buah peredam. Untuk menentukan penempatan redaman yang paling efektif, dilakukan dengan cara memvariasikan penempatan redaman pada masing-masing lantai struktur (lihat tabel 1). Nilai pengurangan simpangan yang paling besar, dari satu variasi penempatan redaman adalah posisi efektif yang dimaksud.

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah:

1. analisa yang digunakan untuk perhitungan kekakuan tingkat adalah Prinsip Bangunan Geser (*Shear Building*),
2. metode analisa dinamika menggunakan *time history* dari gempa El Centro 1940 dan gempa Koyna 1967,
3. massa dari struktur termasuk beban yang harus didukung dianggap terkonsentrasi pada tiap lantai (*lumped massed*),
4. struktur bangunan yang ditinjau adalah model dua bangunan geser dengan ketinggian berbeda masing-masing bertingkat 5 dan 6 serta tanah pendukungnya termasuk tanah keras,
5. analisa dinamika struktur dibatasi pada kondisi linier elastis,
6. dukungan pondasi tanah dianggap jepit penuh,
7. analisis perhitungan menggunakan Program Matlab dan Microsoft Excel,
8. digunakan dua model perilaku, yaitu model tanpa redaman dan model dengan *Magnethorheological Damper* (MR Damper),
9. rasio redaman pada ragam getaran (*vibration mode*) pertama sebesar 2 %, dan
10. Struktur yang ditinjau adalah model 2 dimensi sehingga torsi diabaikan.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian dalam tugas akhir ini adalah untuk memperoleh penempatan redaman yang paling efektif agar dapat memperkecil simpangan dan mengurangi resiko kerusakan akibat benturan antar bangunan yang berdekatan

(*structural pounding*) pada bangunan bertingkat 5 dan bangunan bertingkat 6, dilihat dari hasil analisa berbentuk simpangan relatif struktur.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah menambah pengetahuan serta pemahaman tentang pengaruh penggunaan *MR Damper* terhadap besarnya nilai simpangan relatif struktur dalam penggunaannya pada perencanaan bangunan tahan gempa untuk mengurangi resiko *structural pounding*.

### 1.6 Pendekatan Masalah

Pendekatan masalah yang dilakukan pada penelitian tugas akhir ini adalah:

1. penelitian dengan perencanaan numeris pada model struktur yang berbeda tingkat ketinggian yakni bertingkat 5 dan bertingkat 6,
2. dibuat variasi letak peredam ganda pada tiap tingkat struktur dari dua bangunan berbeda ketinggian (lihat Tabel 1),
3. diteliti pengaruh posisi peredam terhadap simpangan relatif maksimum dari struktur, dan
4. dalam model struktur yang diteliti, dikombinasikan antara redaman dalam struktur dengan *Magnethorheological Damper*.



**Tabel 1** Variasi Penempatan MR Damper

No	Bangunan 5 lantai	Bangunan 6 lantai
1	$V_0$	$V_0$
2	$V_{1-1}$	$V_{1-1}$
3	$V_{1-2}$	$V_{1-2}$
4	$V_{1-3}$	$V_{1-3}$
5	$V_{1-4}$	$V_{1-4}$
6	$V_{1-5}$	$V_{1-5}$
7	$V_{2-2}$	$V_{1-6}$
8	$V_{2-3}$	$V_{2-2}$
9	$V_{2-4}$	$V_{2-3}$
10	$V_{2-5}$	$V_{2-4}$
11	$V_{3-3}$	$V_{2-5}$
12	$V_{3-4}$	$V_{2-6}$
13	$V_{3-5}$	$V_{3-3}$
14	$V_{4-4}$	$V_{3-4}$
15	$V_{4-5}$	$V_{3-5}$
16	$V_{5-5}$	$V_{3-6}$
17		$V_{4-4}$
18		$V_{4-5}$
19		$V_{4-6}$
20		$V_{5-5}$
21		$V_{5-6}$
22		$V_{6-6}$

Keterangan Tabel 1:

1.  $V_0$  = bangunan tanpa redaman
2.  $V_{1-1}$  = bangunan dengan redaman pada lantai 1
3.  $V_{1-2}$  = bangunan dengan redaman pada lantai 1 dan 2

4.  $V_{1-3}$  = bangunan dengan redaman pada lantai 1 dan 3
5.  $V_{1-4}$  = bangunan dengan redaman pada lantai 1 dan 4
6.  $V_{1-5}$  = bangunan dengan redaman pada lantai 1 dan 5
7.  $V_{1-6}$  = bangunan dengan redaman pada lantai 1 dan 6
8.  $V_{2-2}$  = bangunan dengan redaman pada lantai 2 dan 2
9.  $V_{2-3}$  = bangunan dengan redaman pada lantai 2 dan 3
10.  $V_{2-4}$  = bangunan dengan redaman pada lantai 2 dan 4
11.  $V_{2-5}$  = bangunan dengan redaman pada lantai 2 dan 5
12.  $V_{2-6}$  = bangunan dengan redaman pada lantai 2 dan 6
13.  $V_{3-3}$  = bangunan dengan redaman pada lantai 3 dan 3
14.  $V_{3-4}$  = bangunan dengan redaman pada lantai 3 dan 4
15.  $V_{3-5}$  = bangunan dengan redaman pada lantai 3 dan 5
16.  $V_{3-6}$  = bangunan dengan redaman pada lantai 3 dan 6
17.  $V_{4-4}$  = bangunan dengan redaman pada lantai 4 dan 4
18.  $V_{4-5}$  = bangunan dengan redaman pada lantai 4 dan 5
19.  $V_{4-6}$  = bangunan dengan redaman pada lantai 4 dan 6
20.  $V_{5-5}$  = bangunan dengan redaman pada lantai 5 dan 5
21.  $V_{5-6}$  = bangunan dengan redaman pada lantai 5 dan 6
22.  $V_{6-6}$  = bangunan dengan redaman pada lantai 6 dan 6

---

---

---

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat penelitian terkait sebelumnya dan teori dari beberapa buku terkait yang digunakan untuk menyusun konsep dan langkah-langkah penelitian. Sub bab yang tercakup dalam bab ini meliputi tinjauan umum, tinjauan penelitian terkait, dan peredam, sebagaimana yang akan diuraikan berikut ini.

#### 2.1 Tinjauan Umum

Banyak bangunan-bangunan gedung yang rusak akibat gempa yang disebabkan oleh tidak jelasnya prinsip desain struktur bangunan tahan gempa yang dipakai. Hal ini dikategorikan sebagai kesalahan yang sangat mendasar. Prinsip desain ini adalah suatu hal yang sangat vital didalam era desain modern dan pelaksanaan bangunan tahan gempa. Prinsip yang sangat mendasar pada analisis dan desain struktur tahan gempa yaitu antara suplai (*supply*) dan kebutuhan (*demand*). Kebutuhan dalam hal ini berasosiasi dengan kebutuhan kekuatan struktur sedemikian sehingga dengan tercukupinya kebutuhan kekuatan tersebut dapat menjamin keamanan struktur. Suplai kekuatan dapat dilakukan setelah melakukan desain elemen struktur (Widodo, 1997).

Kebutuhan kekuatan (*strength demand*) struktur dapat diketahui dengan melakukan analisis struktur. Hakekatnya analisis dilakukan terlebih dahulu baru

---

desain dilakukan kemudian. Prinsip desain struktur adalah bahwa suplai paling tidak sama atau harus lebih besar daripada kebutuhan (Widodo, 1997).

---

Prinsip ini dimulai dari penentuan/pendesainan beban gempa, konfigurasi bangunan yang tepat, mekanisme goyangan (*sway mechanism*), optimalisasi prinsip pelepasan energi (*energy dissipation*) pada elemen-elemen struktur, dan pemilihan bahan serta pelaksanaan pembangunan. Pada umumnya, struktur mempunyai kemampuan untuk menyerap/melepasakan energi. Optimalisasi disipasi energi sangat penting agar sebagian input energi dapat dilepasakan dengan baik sehingga respon struktur dapat dikendalikan.

Salah satu kerusakan yang mungkin terjadi pada sebuah struktur adalah akibat simpangan yang besar. Salah satu cara memperkecil simpangan adalah dengan memberi peredam. Chopra (1995) menyatakan bahwa peredam adalah proses pelepasan energi (*energi dissipation*) oleh beberapa mekanisme yang bekerja secara bersamaan. Karena redaman berfungsi melepasakan energi, maka hal tersebut akan mengurangi respon struktur.

Nilai redaman struktur yang melekat pada struktur relatif kecil, sehingga untuk mengurangi respon gempa dipasang peredam tambahan (Chopra, 1995). Penggunaan peredam pada semua tingkat tidaklah praktis. Oleh karena itu digunakan redaman ganda pada satu tingkat, yang memiliki efek hampir sama jika peredam tersebut dipasang pada semua tingkat (Gluck dan kawan-kawan, 1996).

---

## 2.2 Tinjauan Penelitian Terkait

---

Pada penelitian ini digunakan tinjauan pustaka yang berupa penelitian yang dilakukan oleh Suprapti dan Novitasari (1999) serta Elfira dan Juhartono (2000) sebagaimana yang dijelaskan berikut ini .

### 1. Penelitian Suprapti dan Novitasari (1999)

Dalam penelitian tersebut peneliti mencoba mengurangi simpangan maksimum struktur akibat beban gempa El Centro berupa data riwayat waktu (*time history*) menggunakan peredam tunggal.

Pada penelitian ini Suprapti dan Novitasari (1999) menggunakan model dua bangunan geser bertingkat lima yang dipasang *MR Damper* tunggal dengan nilai 15 kip/(in/sec) yang divariasikan perletakannya. Analisa dinamika menggunakan *time history* dari gempa El Centro. Dari penelitian mereka diperoleh kesimpulan bahwa simpangan relatif yang terjadi dapat dikurangi dengan cara memasang *Magnethorheological Damper*. Penggunaan *MR Damper* ini paling efektif ketika dipasang pada tingkat yang ketiga, dengan simpangan relatif lantai lima sebesar 4,9768 cm dan jarak antar bangunan sebesar 19,9072 cm atau terjadi pengurangan jarak sebesar 51,562 % jika dibandingkan dengan jarak antar bangunan tanpa menggunakan peredam.

### 2. Penelitian Elfira dan Juhartono (2000)

Penelitian ini mencoba memvariasikan posisi perletakan dari *MR Damper* untuk mendapatkan posisi paling efektif dalam pengurangan simpangan pada

---

---

bangunan bertingkat tinggi, sehingga dapat mencegah terjadinya simpangan yang besar yang mengakibatkan keruntuhan bangunan.

---

Penelitian yang dilakukan oleh Elfira dan Juhartono (2000) ini merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya oleh Suprpti dan Novitasari. Model bangunan yang digunakan adalah dua bangunan bertingkat lima yang dipasang *MR Damper* ganda yang bernilai sama (kembar) sebesar 7,5 kip/(in/sec). Gempa yang digunakan sebagai analisis dinamika ialah *time history* dari gempa El Centro.

Berdasarkan tinjauan pustaka penelitian dari Suprpti dan Novitasari (1999) serta Elfira dan Juhartono (2000) di atas dapat ditarik sebagai berikut ini.

1. Pada penelitian tersebut belum ada kejelasan mengenai karakteristik beban gempa yang menyebabkan simpangan maksimum pada struktur yang ditinjau. Hal ini disebabkan karena beban gempa yang dipakai hanya gempa El Centro.
2. Pada penelitian tersebut belum sepenuhnya memakai program Matlab dalam analisa perhitungannya, sehingga dibutuhkan waktu yang relatif lama.

Keistimewaan atau kekhususan dari Tugas Akhir ini dibandingkan dengan penelitian sejenis sebelumnya adalah sebagai berikut ini.

1. Pada penelitian ini digunakan 2 beban gempa yaitu gempa El Centro dan gempa Koyna. Hal ini untuk lebih mengetahui pengaruh penggunaan *MR Damper* terhadap simpangan relatif struktur dan mengetahui beban gempa yang menyebabkan simpangan maksimum pada struktur,
2. Untuk mengetahui lebih lanjut benturan akibat gempa ditinjau untuk dua model bangunan bertingkat yang berbeda ketinggian. Dipakai dua model

~~bangunan geser yang mewakili bangunan bertingkat ganjil dan bangunan bertingkat genap. Dalam hal ini dipilih bangunan bertingkat 5 dan 6.~~

3. Untuk lebih mempercepat dan lebih menjamin ketelitian dalam perhitungan, digunakan aplikasi program perhitungan dinamik dengan menggunakan fasilitas yang ada pada program Matlab.

### **2.3 Peredam (*damper*)**

Peredam adalah suatu alat yang berguna untuk meningkatkan proses penyerapan energi pada suatu benda yang bergerak. Sebuah studi memperlihatkan bahwa respon struktur terhadap gempa bumi dapat dikurangi secara signifikan seiring dengan penambahan nilai peredaman. Hasil uji juga memperlihatkan bahwa meskipun peredam dapat mengurangi respon struktur terhadap gempa, tetapi alat tersebut juga sangat tergantung pada temperatur lingkungan sekitar (Chang dan kawan-kawan,1995). Adapun contoh dari peredam adalah sebagai berikut ini.

#### **1. *Tuned Mass Damper (TMD)***

TMD adalah alat yang merupakan suatu rangkaian sistem yang terdiri dari massa, pegas dan peredam. Sistem ini diciptakan oleh Frahm pada tahun 1909 (Chopra, 1995). TMD termasuk alat penyerap getaran yang digunakan untuk mengurangi atau menghilangkan getaran yang tidak diinginkan. Dari prinsip cara kerjanya alat TMD dibedakan menjadi dua macam yaitu:

a. *Active Tuned Mass Damper (ATMD)*

Pada masa sekarang ini, alat peredam yang aktif (ATMD) telah banyak dikembangkan dan digunakan oleh negara-negara maju. Pada ATMD terdapat suatu komponen mesin yang dapat bekerja secara otomatis apabila ada gaya yang mempengaruhinya (*controlled system*). Alat ATMD lebih banyak diproduksi dikarenakan alat ini bersifat aktif.

b. *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 di atas air, gerakan kendaraan di atas jalan atau di udara.

*Visco-elastic damping* merupakan alat peredam yang telah lama diperkenalkan dan banyak banyak digunakan, alat ini cocok dipakai pada struktur di daerah rawan gempa. Alat ini biasanya dipasang pada pengaku (*bracing*) diagonal.

Alat TMD bersifat pasif dan dipasang pada lantai. Alat 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.



---

## **2. *Electrorheological (ER) Damper***

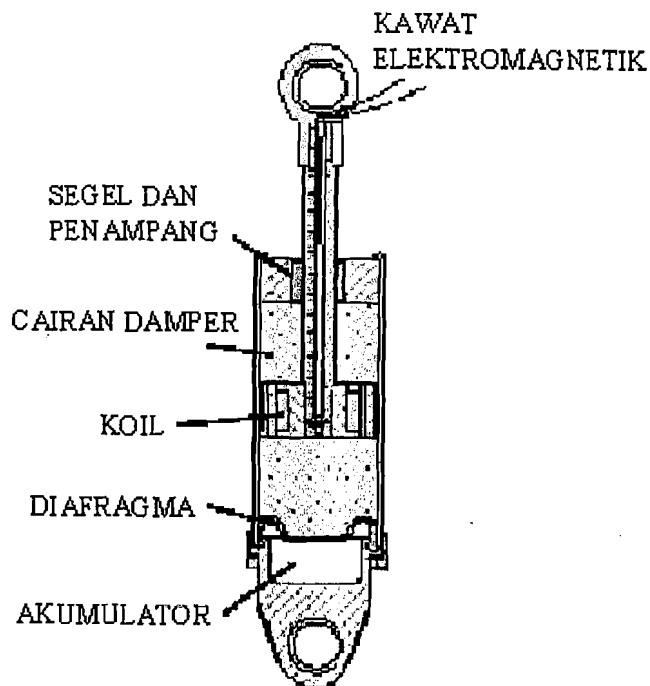
*Electrorheological Damper* adalah sebuah alat kontrol struktur semiaktif.

Kontrol semiaktif merupakan kombinasi dari kontrol struktur pasif dan kontrol struktur aktif. *(ER) Damper* terdiri dari silinder utama yang mengontrol aliran yang meluncur pada permukaan yang dilumasi. *(ER) Damper* digunakan selain untuk mengurangi respon struktur akibat gempa pada bangunan gedung juga pada struktur lain misal jembatan rangka baja. *(ER) Damper* cocok digunakan untuk melindungi struktur pada tahap desain, saat pembangunan dan tahap uji coba di daerah yang rawan gempa.

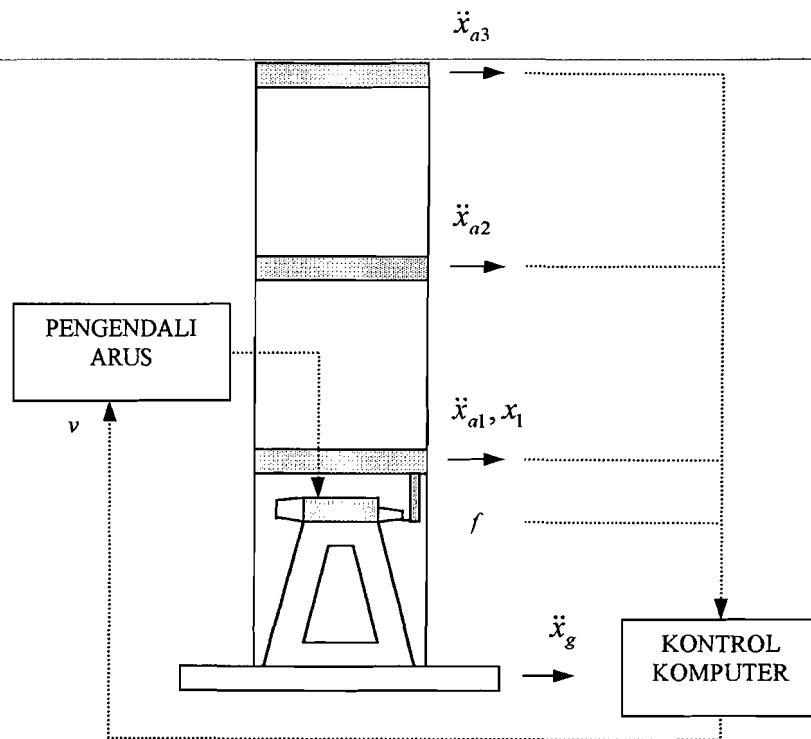
## **3. *Magnethorheological Damper***

*Magnethorheological Damper* adalah sebuah alat kontrol struktur yang dapat mengurangi respon struktur akibat beban gempa, dikembangkan oleh *Lord Corporation*. *Magnethorheological Damper* menggunakan *MR fluids* yang terdiri dari *silicone oil*. Jika sebuah gaya magnet, bekerja maka partikel yang berada pada cairan tersebut akan membentuk suatu rantai partikel dan cairan tersebut akan menjadi semi solid serta memperlihatkan perilaku plastis. Alat ini mempunyai beberapa karakter yang atraktif, tegangan leleh tinggi, elastisitas yang rendah dan dapat bekerja dengan baik pada temperatur  $-40^{\circ}\text{C}$  -  $150^{\circ}\text{C}$ , sehingga *Magnethorheological Damper* dapat dipasang di luar struktur (misalnya : jembatan dan menara) atau didalam struktur (misalnya : bangunan gedung).

*Magnethorheological Damper* mempunyai dimensi: panjang 21.5 cm, dan silinder berdiameter 3.8 cm. Silinder utama adalah berbentuk sebuah penghisap, terdiri dari magnet, *accumulator* dan *MR fluids* sebanyak 50 ml. Alat ini digerakkan melalui sebuah elektromagnetik pada kepala penghisap yang kemudian dihubungkan dengan sumber energi. Energi yang diperlukan untuk menggerakkan alat ini kurang dari 10 watt, sehingga dapat dioperasikan dengan sebuah baterai yang kecil.



**Gambar 1** Skema *MR Damper*  
(Disadur dari Spencer dan kawan-kawan, 1996b : halaman 3)



**Gambar 2** Skema pemasangan MR Damper  
(Disadur dari Spencer dan kawan-kawan, 1996b : halaman 10)

### **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

Bab ini berisi teori-teori untuk acuan pemecahan masalah yang digunakan untuk merumuskan hipotesis, yang meliputi sistem berderajat kebebasan tunggal, sistem berderajat kebebasan banyak, *mode shape* dan frekuensi, persamaan gerak akibat beban gempa, jenis-jenis simpangan dan efeknya terhadap kerusakan, persamaan differensial independen, dan respon terhadap beban gempa.

#### **3.1 Sistem Berderajat Kebebasan Tunggal**

Sistem dengan derajat kebebasan tunggal mempunyai satu koordinat yang diperlukan untuk menyatakan posisi suatu massa pada saat tertentu. Jumlah derajat kebebasan biasanya dapat dikaitkan dengan jumlah massa, artinya struktur dengan 10 tingkat misalnya akan mempunyai 10 massa dan mempunyai 10 derajat kebebasan dengan anggapan bahwa struktur berperilaku seperti *Shear Building*. Struktur dengan derajat kebebasan tunggal atau *single degree of freedom* (SDOF) berarti hanya akan mempunyai satu massa. Bangunan satu-tingkat, menara tandon air “*water tower*” adalah salah satu contoh bangunan dengan derajat kebebasan tunggal.

Di dalam menyelesaikan masalah dinamik, kita disarankan untuk memakai metode yang menghasilkan suatu analisa yang tersusun dan sistematis. Yang

terutama dan barangkali yang paling penting dalam praktik analisa dinamis adalah menggambar sebuah *diagram free body* (benda bebas) dari sistem yang memungkinkan penulisan besaran matematis dari sistem tersebut. *Diagram free body* (DFB) adalah suatu sketsa dari benda yang dipisahkan dari benda lainnya, dimana semua gaya luar pada benda terlihat jelas. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari contoh struktur pada Gambar 3.1

Berdasarkan keseimbangan dinamik dengan *free body diagram* sebagaimana terlihat pada Gambar 3.1.d adalah :

$$F_I(t) + F_D(t) + F_S(t) = P(t). \quad (3.1)$$

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

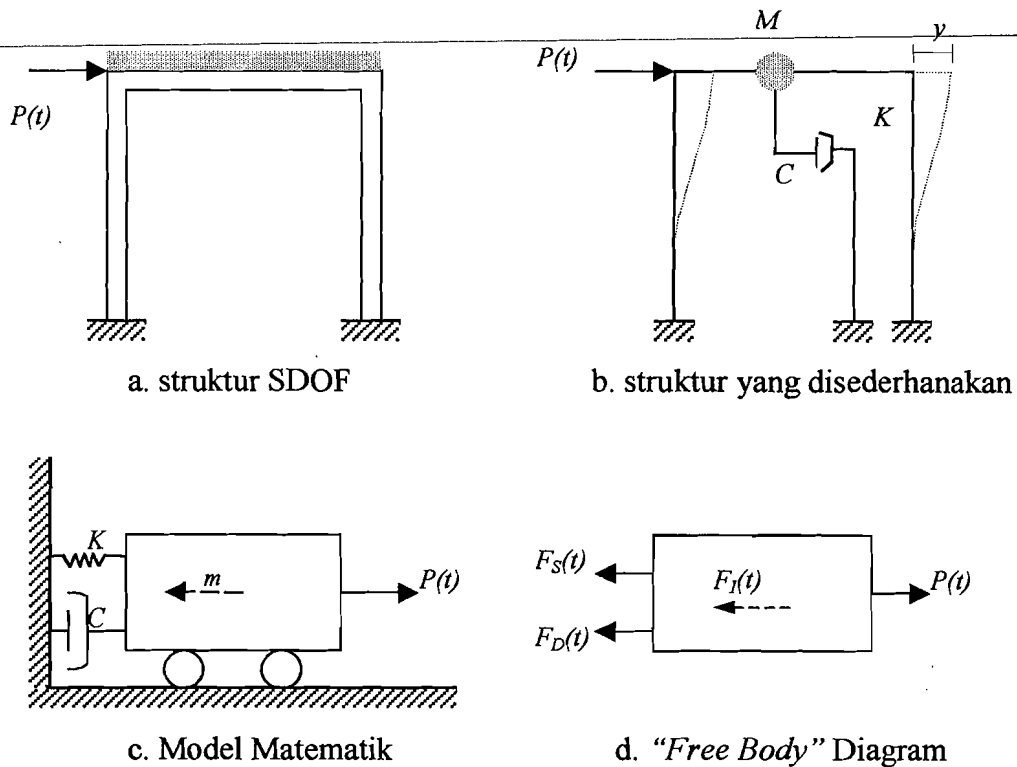
$F_I$  adalah gaya inersia,  $F_D$  adalah gaya redam,  $F_S$  adalah gaya tarik/desak pegas yang mempresentasikan kekakuan kolom,  $P(t)$  adalah beban dinamik, dan  $\ddot{y}(t)$ ,  $\dot{y}(t)$ ,  $y(t)$  masing-masing adalah percepatan, kecepatan dan simpangan, dan  $m$ ,  $c$ ,  $k$  masing-masing adalah massa, redaman dan kekakuan kolom.

Substitusi persamaan (3.2) ke dalam persamaan (3.1), menjadi :

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

Persamaan diatas, disebut persamaan differensial gerakan (*differential equation of motion*) pada struktur dengan derajat kebebasan tunggal. Untuk selanjutnya  $\ddot{y}(t)$ ,  $\dot{y}(t)$ ,  $y(t)$ ,  $P(t)$  masing-masing adalah percepatan, kecepatan, simpangan dan beban gempa yang merupakan fungsi dari waktu, penulisannya dapat disederhanakan menjadi  $\ddot{y}$ ,  $\dot{y}$ ,  $y$ ,  $P$ , sehingga persamaan (3.3) dapat ditulis menjadi :

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = P. \quad (3.4)$$



Gambar 3.1 Sistem berderajat kebebasan tunggal akibat beban dinamik

### 3.2 Sistem Berderajat Kebebasan Banyak

Secara umum struktur bangunan gedung tidak selalu dapat dinyatakan dengan suatu sistem yang mempunyai derajat kebebasan tunggal (SDOF). Struktur bangunan gedung justru banyak yang mempunyai derajat kebebasan banyak (*multi degree of freedom*, MDOF). Struktur seperti pada cerobong asap atau struktur lain yang mirip merupakan struktur yang mempunyai bentuk fisik kontinyu, maka pada struktur- struktur seperti itu akan mempunyai derajat kebebasan yang tak terhingga, walaupun terkadang dianggap sebagai struktur yang mempunyai derajat kebebasan terbatas.

---

Pada struktur bangunan gedung bertingkat banyak umumnya massa struktur dapat digumpalkan (*lumped mass*) kedalam tempat-tempat tertentu misalnya digumpalkan pada tiap-tiap tingkat. Dengan demikian struktur yang tadinya mempunyai derajat kebebasan tak terhingga akan menjadi struktur dengan derajat kebebasan terbatas.

Banyaknya derajat kebebasan berasosiasi dengan jumlah massa. Pada struktur yang mempunyai  $n$  tingkat, akan mempunyai  $n$  derajat kebebasan dan mempunyai  $n$  mode. Bangunan geser (*shear building*) adalah salah satu bentuk struktur dengan sistem berderajat kebebasan banyak (MDOF). Bangunan geser dapat didefinisikan sebagai struktur dimana tidak terjadi rotasi pada penampang horisontal bidang lantainya. Pada prinsip bangunan geser (*shear building*), massa total dari struktur terpusat dari bidang lantai, balok pada lantai kaku tak hingga dibandingkan dengan kolom, dan deformasi dari struktur tidak dipengaruhi gaya aksial yang terjadi pada kolom.

Prinsip pertama mentransformasikan struktur dengan derajat kebebasan tak hingga (akibat massa yang terbagi pada struktur) menjadi struktur dengan hanya beberapa derajat kebebasan sesuai massa yang terkumpul pada bidang lantai. Prinsip kedua menyatakan bahwa hubungan antara balok dan kolom, kaku terhadap rotasi, dan prinsip ketiga memungkinkan terjadi kondisi dimana balok kaku tetap horizontal selama bergerak.

Gambar 3.2 (b) merupakan model-model yang ekuivalen untuk bangunan geser sedangkan model matematisnya terdapat pada Gambar 3.2 (a). Selanjutnya didapat persamaan-persamaan gerak dari bangunan berlantai tiga yang berasal dari

diagram *free body*. Gambar 3.2 (c), dengan menyamakan jumlah gaya-gaya yang bekerja pada setiap massa dengan nol, yaitu :

$$p(t) - ky(t) - c\dot{y}(t) = m\ddot{y}(t). \quad (3.3)$$

Nilai  $\ddot{y}(t)$ ,  $\dot{y}(t)$ ,  $y(t)$ ,  $P(t)$  masing-masing adalah percepatan, kecepatan, simpangan dan beban gempa yang merupakan fungsi dari waktu, penulisannya dapat disederhanakan menjadi  $\ddot{y}$ ,  $\dot{y}$ ,  $y$ ,  $P$ . Persamaan differensial untuk Gambar 3.2 disusun berdasarkan atas goyangan struktur menurut mode pertama. Berdasarkan pada prinsip kesetimbangan dinamik pada diagram *free body* maka diperoleh,

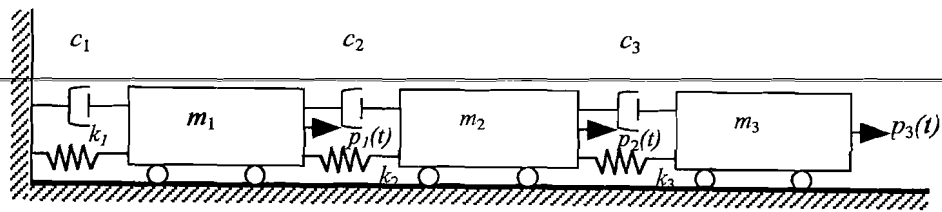
$$m_1\ddot{y}_1 + k_1y_1 + c_1\dot{y}_1 - k_2(y_2 - y_1) - c_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - p_1 = 0, \quad (3.4 a)$$

$$m_2\ddot{y}_2 + k_2(y_2 - y_1) + c_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - k_3(y_3 - y_2) - c_3(\dot{y}_3 - \dot{y}_2) - p_2 = 0, \quad (3.4 b)$$

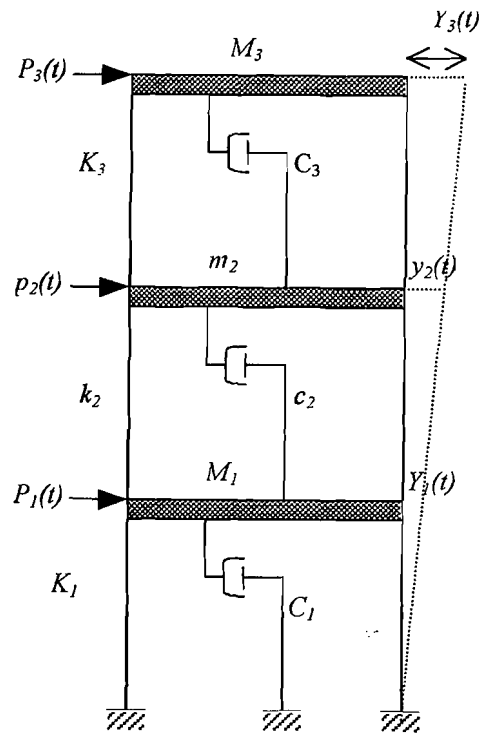
$$m_3\ddot{y}_3 + k_3(y_3 - y_2) + c_3(\dot{y}_3 - \dot{y}_2) - p_3 = 0. \quad (3.4 c)$$

Dari persamaan 3.4 tampak bahwa untuk memperoleh kesetimbangan dinamik suatu massa yang ditinjau ternyata dipengaruhi oleh kekakuan, redaman, dan simpangan massa sebelum dan sesudah massa/tingkat yang ditinjau. Persamaan differensial dengan sifat-sifat ini disebut *coupled system of equations* (sistem persamaan gandeng) karena persamaan-persamaan tersebut akan tergantung satu sama lain. Penyelesaian dari persamaan *coupled* harus dilakukan secara simultan, artinya penyelesaian yang melibatkan seluruh persamaan yang ada.

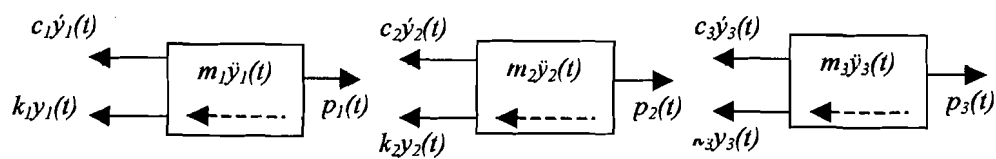




(a) Model Matematis



(b) Model MDOF



(c) Model Kesetimbangan Gaya

**Gambar 3.2** Sistem berderajat kebebasan banyak

Persamaan (3.4) kemudian disusun menurut parameter yang sama (percepatan, kecepatan dan simpangan) akan diperoleh

$$m_1 \ddot{y}_1 + (c_1 + c_2) \dot{y}_1 - c_2 \dot{y}_2 + (k_1 + k_2) y_1 - k_2 y_2 = p_1, \quad (3.5a)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 - c_2 \dot{y}_1 + (c_2 + c_3) \dot{y}_2 - c_3 \dot{y}_3 - k_2 y_1 + (k_2 + k_3) y_2 - k_3 y_3 = p_2, \quad (3.5b)$$

$$m_3 \ddot{y}_3 - c_3 \dot{y}_2 + c_3 \dot{y}_3 - k_3 y_2 + k_3 y_3 = p_3. \quad (3.5c)$$

Selanjutnya persamaan 3.5 lebih tepat ditulis dengan notasi matriks sebagai berikut

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = \{P\}, \quad (3.6)$$

disini  $[M]$ ,  $[C]$ ,  $[K]$  berturut-turut adalah matrik massa, redaman, dan kekakuan,

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}, \quad (3.7a)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix}, \quad (3.7b)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix}, \quad (3.7c)$$

sedangkan  $\{\ddot{y}\}$ ,  $\{\dot{y}\}$ ,  $\{y\}$  dan  $\{P\}$  berturut-turut adalah vektor percepatan, vektor kecepatan, vektor simpangan dan vektor beban dalam bentuk

$$\{\ddot{Y}\} = \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{Bmatrix}, \{\dot{Y}\} = \begin{Bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{Bmatrix}, \{Y\} = \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix}, \text{ dan } \{P\} = \begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{Bmatrix}. \quad (3.8)$$

Pada umumnya, suatu struktur akan bergoyang apabila memperoleh pembebanan dari luar misalnya akibat beban angin, getaran akibat putaran mesin (beban harmonik) ataupun akibat beban gerakan tanah/gempa. Gerakan itu dikelompokkan sebagai getaran dipaksa atau *Forced Vibration System*. Gerakan suatu massa yang bukan diakibatkan oleh beban luar namun oleh adanya suatu nilai awal (*initial condition*) misalnya suatu massa ditarik sedemikian rupa sehingga mempunyai simpangan awal sebesar  $y_n$  dan apabila gaya tarik tersebut dilepas kembali maka massa akan bergerak. Peristiwa gerakan massa tersebut dinamakan getaran bebas atau *Free Vibration System*. Untuk menyederhanakan permasalahan anggapan bahwa massa bergetar bebas (*free vibration system*) akan sangat membantu untuk menyelesaikan permasalahan analisa dinamika struktur.

Pada getaran bebas untuk struktur MDOF maka persamaan differensial gerakannya adalah

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

Frekuensi sudut pada struktur dengan redaman (*damped frequency*) nilainya hampir sama dengan frekuensi sudut pada struktur yang dianggap tanpa redaman, bila nilai rasio redaman (*damping ratio*) kecil. Maka persamaan (3.9) akan menjadi

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

Persamaan (3.10) diasumsikan pada getaran bebas, maka vektor  $y$  berbentuk

$$\{y\} = \{\phi\}z, \quad (3.11a)$$

dan

$$\{\ddot{y}\} = \{\phi\}\ddot{z}. \quad (3.11b)$$

$\{\phi\}$  adalah vektor bentuk goyangan (*mode shape*) yaitu suatu vektor yang tidak berdimensi, yang memiliki paling sedikit sebuah elemen yang tidak sama dengan

nol. Sedangkan  $z$  dan  $\ddot{z}$  adalah vektor perpindahan dan vektor percepatan. Jika persamaan (3.11) dimasukkan kedalam persamaan (3.10), maka akan didapat:

$$[M]\{\phi\}\ddot{z} + [K]\{\phi\}z = 0. \quad (3.12)$$

$[M]$  dan  $[K]$  adalah matriks konstan dan pada sebuah hipotesis disebutkan bahwa  $\{\Phi\}$  juga merupakan matriks konstan, maka akan didapatkan

$$\ddot{z} + (\text{constant}) z = 0, \quad (3.13)$$

jika konstanta di atas adalah  $\omega_n^2$  (*undamped natural frequency*), maka persamaan (3.13) menjadi

$$\ddot{z} + \omega_n^2 z = 0, \quad (3.14)$$

persamaan (3.14) diselesaikan dengan

$$z = A \sin \omega_n t, \quad (3.15)$$

dengan demikian maka persamaan (3.11) akan menjadi

$$\{y\} = \{\phi\} A \sin \omega t, \quad (3.16a)$$

$$\{\dot{y}\} = \omega \{\phi\} A \cos \omega t, \quad (3.16b)$$

$$\{\ddot{y}\} = -\omega^2 \{\phi\} A \sin \omega t, \quad (3.16c)$$

persamaan (3.16) dimasukkan ke dalam persamaan (3.12) didapatkan

$$(-\omega^2 [M]\{\phi\} A \sin \omega t + [K]\{\phi\} A \sin \omega t) = 0, \quad (3.17)$$

persamaan (3.17) akan ada penyelesaiannya (*nontrivial solution*), jika  $A$  dan  $\omega$  keduanya adalah tidak sama dengan nol, sehingga

$$[[K] - \omega^2 [M]]\{\phi\} = 0, \quad (3.18)$$

persamaan (3.18) akan ada penyelesaiannya atau suatu sistem akan ada amplitudo yang terbatas apabila nilai determinan  $[[K] - \omega^2 [M]]$  adalah nol, maka

$$[[K] - \omega^2 [M]] = 0. \quad (3.19)$$

Jumlah mode pada struktur dengan derajat kebebasan banyak biasanya dapat dihubungkan dengan jumlah massa. Mode itu sendiri adalah ragam goyangan suatu struktur bangunan. Apabila jumlah derajat kebebasan adalah  $n$ , maka persamaan (3.19) akan menghasilkan suatu persamaan polinomial yang selanjutnya akan menghasilkan  $\omega_n$  untuk  $j= 1, 2, 3, \dots, n$ . Masing-masing frekuensi sudut ( $\omega_n$ ) disubstitusikan kedalam persamaan (3.18) sehingga diperoleh nilai-nilai  $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_n$ . Dengan diperolehnya nilai-nilai frekuensi sudut untuk setiap mode, maka akan diperoleh nilai periode getar struktur ( $T$ ) dan nilai frekuensi struktur ( $f$ ) menggunakan persamaan (3.20).

$$T = 2\pi / \omega \text{ dan } f = 1/T \quad (3.20)$$

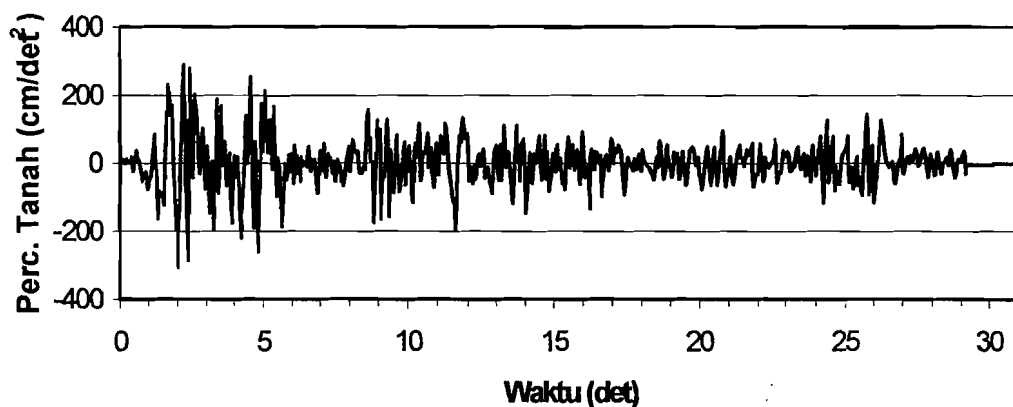
### 3.3 Persamaan Gerak Struktur SDOF akibat Beban Gempa

Beban gempa adalah suatu beban yang unik. Umumnya yang bekerja pada struktur dalam satuan gaya, tetapi gempa berupa percepatan tanah. Beban lain biasanya statis, tidak berubah pada periode waktu yang pendek. Tetapi beban gempa adalah beban yang dinamis yang berubah dengan sangat cepat dalam periode waktu yang pendek, atau boleh dikatakan dapat berubah setiap detik. Beban lain biasanya bekerja pada arah vertikal, tetapi beban gempa bekerja secara simultan pada arah vertikal maupun horizontal bahkan beban gempa dapat berupa putaran (Hu, Liu and Dong, 1996).

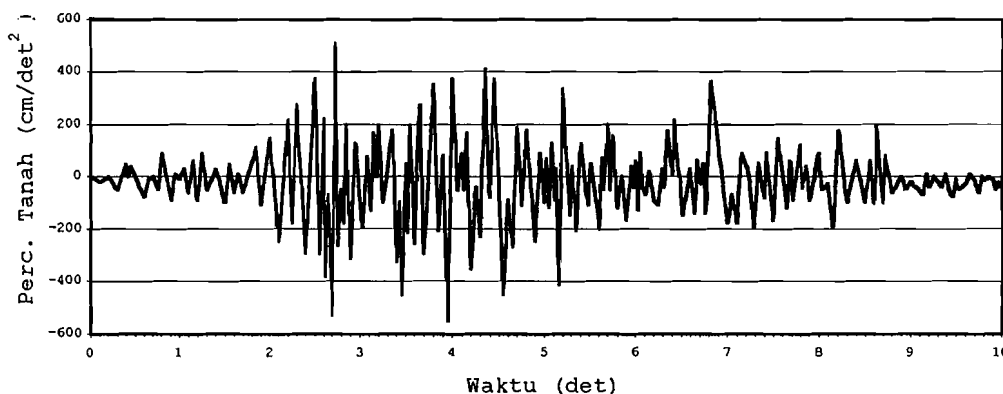
Analisis yang didasarkan pada riwayat waktu dapat dipergunakan untuk memperkirakan besarnya jarak pemisah antara bangunan yang berdekatan didasarkan pada simpangan maksimum relatif. Pada tugas akhir ini dipakai analisa

berupa *time history* dari gempa El Centro, 1940 dan gempa Koyna 1967 (Gambar 3.3 dan 3.4).

Gempa El Centro dan gempa Koyna mempunyai kandungan frekuensi dominan yang berbeda. Tinjauan kandungan frekuensi beban gempa pada penelitian ini dilihat dari besarnya rasio percepatan maksimum dengan kecepatan maksimum yang umumnya dikenal dengan  $A / V$  rasio. Data kandungan frekuensi beban gempa yang disajikan pada Tabel 3.1 berikut, diambil dari penelitian Prasetyo dan Arminta (2000).



**Gambar 3.3** Percepatan Tanah Gempa El Centro, 1940



**Gambar 3.4** Percepatan Tanah Gempa Koyna 1967

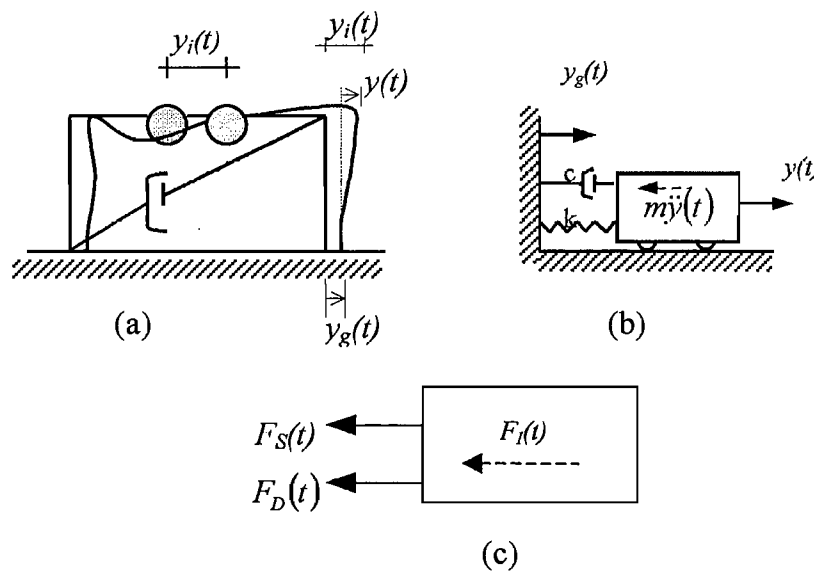
**Tabel 3.1** Data kandungan frekuensi beban gempa ( $A/V$  rasio)

No	Gempa	$A$ maks (cm / det <sup>2</sup> )	$V$ maks (cm / det)	$A/V$ rasio (Hz)	Keterangan
1	El Centro	312.62	33.121600	0.96312	Integrasi
2	Koyna	548.79	16.132091	3.46774	Integrasi

Keterangan tentang besarnya nilai kandungan frekuensi gempa berdasarkan pendekatan  $A/V$  rasio dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

**Tabel 3.2** Kandungan frekuensi gempa berdasarkan  $A/V$  rasio

$A/V$ rasio (Hz)	Kandungan frekuensi gempa
$< 0.8$	Rendah
$0.8 < A/V \text{ rasio} < 1.2$	Sedang
$> 1.2$	Tinggi

**Gambar 3.5** Sistem derajat kebebasan tunggal dengan beban gempa

Persamaan gerakan struktur SDOF akibat beban gempa, dapat diturunkan melalui suatu pendekatan yang sama seperti pada persamaan gerakan struktur

berderajat kebebasan tunggal (Gambar 3.5 a), sedangkan model matematisnya pada Gambar 3.5 b.

Dengan menggunakan konsep kesetimbangan dinamis, dari diagram *free body* pada Gambar 3.5 c, maka akan didapatkan persamaan

$$F_I(t) + F_D(t) + F_S(t) = 0. \quad (3.21)$$

Sedangkan  $\ddot{y}_i(t)$  sebagaimana terlihat pada Gambar 3.5 a adalah :

$$\ddot{y}_i(t) = \ddot{y}_g(t) + \ddot{y}(t). \quad (3.22)$$

$$F_I(t) = m\ddot{y}(t), \quad F_D(t) = c\dot{y}(t), \quad \text{dan} \quad F_S(t) = ky(t). \quad (3.23)$$

$F_I$  adalah gaya inersia,  $F_D$  adalah gaya redam,  $F_S$  adalah gaya tarik/desak pegas yang mempresentasikan kekuatan kolom, dan  $\ddot{y}(t)$ ,  $\dot{y}(t)$ ,  $y(t)$  masing-masing adalah percepatan, kecepatan, dan simpangan, dan  $m$ ,  $c$ ,  $k$  masing-masing adalah massa, redaman dan kekakuan kolom.

Substitusi persamaan (3.23) ke dalam persamaan (3.21), maka persamaan (3.21) dapat ditulis menjadi :

$$m\ddot{y}_i(t) + c\dot{y}(t) + ky(t) = 0, \quad (3.24)$$

$$m(\ddot{y}_g(t) + \ddot{y}(t)) + c\dot{y}(t) + ky(t) = 0, \quad (3.25)$$

$$m\ddot{y}_g(t) + m\ddot{y}(t) + c\dot{y}(t) + ky(t) = 0, \quad (3.26)$$

$$m\ddot{y}(t) + c\dot{y}(t) + ky(t) = -m\ddot{y}_g(t). \quad (3.27)$$

Persamaan (3.27) adalah persamaan differensial gerakan gerakan suatu massa dengan derajat kebebasan tunggal akibat (*base motion*). Ruas kanan pada persamaan (3.27) biasa disebut sebagai beban gempa. Untuk selanjutnya  $\ddot{y}(t)$ ,  $\dot{y}(t)$ ,  $y(t)$  masing-masing adalah percepatan, kecepatan, dan simpangan yang

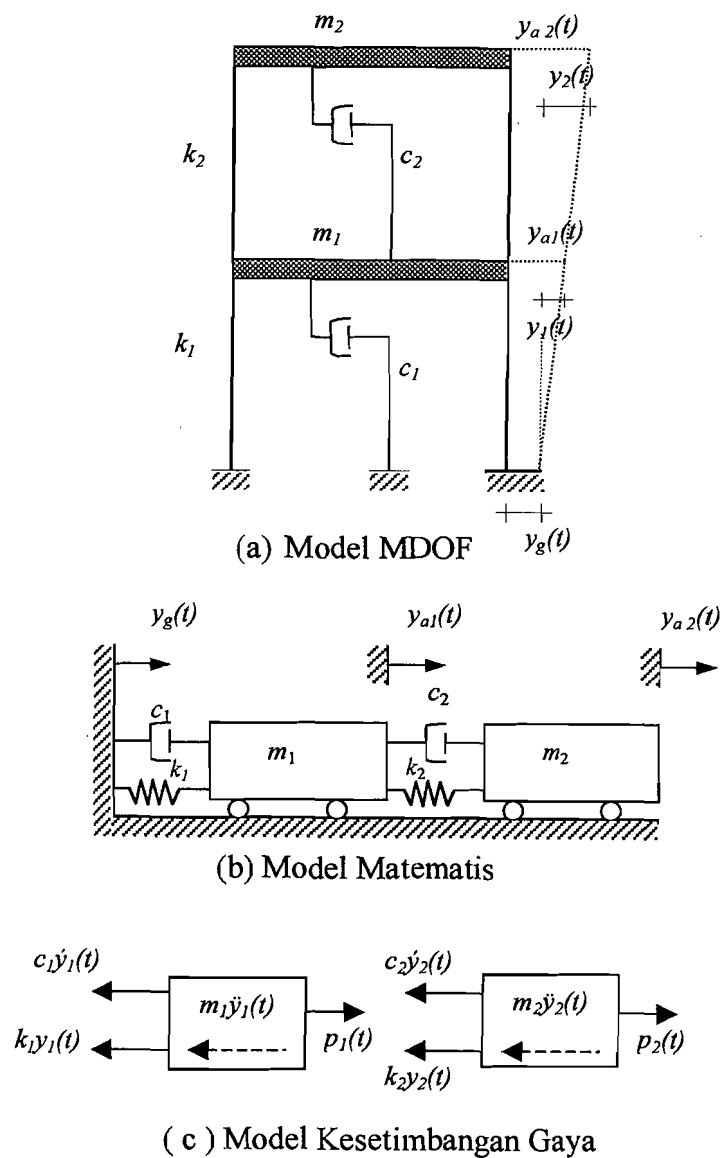


merupakan fungsi dari waktu, penulisannya dapat disederhanakan menjadi

$\ddot{y}$ ,  $\dot{y}$ , dan  $y$  sehingga persamaan (3.27) dapat ditulis menjadi :

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = -m\ddot{y}_g \quad (3.28)$$

### 3.4 Persamaan Gerak Struktur MDOF Akibat Beban Gempa



**Gambar 3.6** Sistem berderajat kebebasan banyak dengan beban gempa

Persamaan gerakan struktur MDOF akibat beban gempa, dapat diturunkan melalui suatu pendekatan yang sama seperti pada persamaan gerakan struktur

berderajat kebebasan banyak (Gambar 3.5 a), sedangkan model matematisnya pada Gambar 3.5 b.

Dengan menggunakan konsep kesetimbangan dinamis, dari diagram *free body* pada Gambar 3.5 c, maka akan didapatkan persamaan

$$m_1 \ddot{y}_{a1} + c_1 (\dot{y}_{a1} - \dot{y}_g) + k_1 (y_{a1} - y_g) - c_2 (\dot{y}_{a2} - \dot{y}_{a1}) - k_2 (y_{a2} - y_{a1}) = 0, \quad (3.29)$$

$$m_2 \ddot{y}_{a2} + c_2 (\dot{y}_{a2} - \dot{y}_{a1}) + k_2 (y_{a2} - y_{a1}) = 0, \quad (3.30)$$

dalam menyatakan simpangan lantai relatif terhadap simpangan tanah, didapatkan

$$y_1 = y_{a1} - y_g, \quad (3.31)$$

$$y_2 = y_{a2} - y_g, \quad (3.32)$$

dengan mendifferensiasikan persamaan (3.31) dan (3.32) didapat

$$\ddot{y}_{a1} = \ddot{y}_1 + \ddot{y}_g, \quad (3.33)$$

$$\ddot{y}_{a2} = \ddot{y}_2 + \ddot{y}_g, \quad (3.34)$$

substitusi persamaan (3.31) dan (3.32) serta persamaan (3.33) dan (3.34) menghasilkan

$$m_1 (\ddot{y}_1 + \ddot{y}_g) + c_1 \dot{y}_1 + k_1 y_1 - c_2 ((\dot{y}_2 + \dot{y}_g) - (\dot{y}_1 + \dot{y}_g)) - k_2 ((y_2 + y_g) - (y_1 + y_g)) = 0, \quad (3.35)$$

$$m_2 (\ddot{y}_2 + \ddot{y}_g) + c_2 ((\dot{y}_2 + \dot{y}_g) - (\dot{y}_1 + \dot{y}_g)) + k_2 ((y_2 + y_g) - (y_1 + y_g)) = 0, \quad (3.36)$$

$$m_1 \ddot{y}_1 + m_1 \ddot{y}_g + (c_1 + c_2) \dot{y}_1 + (k_1 + k_2) y_1 - c_2 \dot{y}_2 - k_2 y_2 = 0, \quad (3.37)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 + m_2 \ddot{y}_g - c_2 \dot{y}_1 + c_2 \dot{y}_2 - k_2 y_1 + k_2 y_2 = 0, \quad (3.38)$$

$$m_1 \ddot{y}_1 + (c_1 + c_2) \dot{y}_1 + (k_1 + k_2) y_1 - c_2 \dot{y}_2 - k_2 y_2 = -m_1 \ddot{y}_g, \quad (3.39)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 - c_2 \dot{y}_1 + c_2 \dot{y}_2 - k_2 y_1 + k_2 y_2 = -m_2 \ddot{y}_g. \quad (3.40)$$

Persamaan (3.39) dan (3.40) adalah persamaan differensial gerakan suatu massa dengan derajat kebebasan ganda akibat beban gempa (*base motion*). Ruas kanan pada persamaan (3.39) dan (3.40) disebut sebagai beban gempa. Untuk  $\ddot{y}(t)$ ,  $\dot{y}(t)$ ,  $y(t)$  masing-masing adalah percepatan, kecepatan, dan simpangan yang merupakan fungsi dari waktu, penulisannya dapat disederhanakan seperti tertulis pada persamaan (3.39) dan (3.40) tersebut diatas.

### 3.5 Jenis-jenis Simpangan dan Efeknya Terhadap Kerusakan

#### 1. Simpangan Relatif

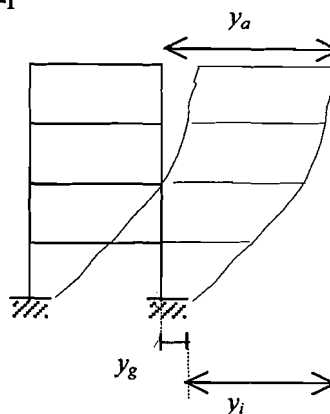
Simpangan ini adalah simpangan yang dihitung relatif terhadap lantai 1. Simpangan relatif ini mempunyai efek yang berpengaruh terhadap *Structural Pounding*. Hal ini dapat dicegah dengan memperhitungkan jarak antara dua bangunan yang saling berdekatan. Jarak tersebut dapat dihitung dengan menghitung simpangan relatif pada setiap tingkat, dengan rumus:

$$y_i = (y_a - y_g), \quad (3.41)$$

dengan :  $y_a$  = simpangan absolut

$y_i$  = simpangan relatif lantai ke-i

$y_g$  = simpangan akibat tanah



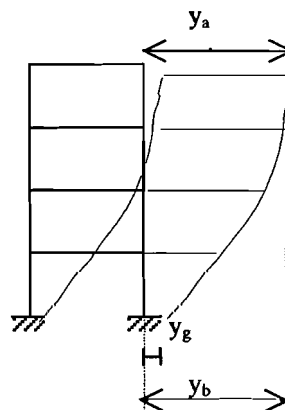
**Gambar 3.7** Model Simpangan Relatif

## 2. Simpangan Antar Lantai (*Inter Story Drift*)

Simpangan ini adalah simpangan yang terjadi pada tiap lantai, simpangan ini dihitung dengan cara simpangan lantai atas dikurangi simpangan lantai bawah. Terjadinya distribusi kekakuan struktur secara vertikal tidak merata yang menyebabkan adanya suatu tingkat yang lemah. *Inter Story Drift* yang berlebihan sangat mungkin terjadi pada daerah tingkat lemah, oleh karena itu kerusakan struktur akibat ini sangat sering terjadi. Simpangan antar lantai paling atas dihitung dengan:

$$\Delta y_i = (y_a - y_b), \quad (3.42)$$

dengan cara yang sama dapat dihitung untuk lantai yang lain.



**Gambar 3.8** Model Simpangan Antar Tingkat

## 3. Simpangan absolut

Simpangan absolut merupakan penjumlahan antara simpangan relatif tiap lantai dengan simpangan akibat tanah. Simpangan absolut dihitung dengan rumus:

$$y_a = y_i + y_g, \quad (3.43)$$

dengan :  $y_a$  = simpangan absolut

$y_i$  = simpangan relatif lantai ke- $i$

$y_g$  = simpangan akibat tanah

### 3.6 Persamaan Differensial Independen (*Uncoupling Differential Equation*)

Struktur pada kondisi standar  $n$  derajat kebebasan akan mempunyai  $n$  *modes* atau  $n$  pola/ragam goyangan. Pada prinsip ini, masing-masing *mode* akan memberikan kontribusi pada simpangan horisontal tiap-tiap massa. Simpangan massa ke- $i$  atau  $Y_i$  dapat diperoleh dengan menjumlahkan pengaruh atau kontribusi tiap-tiap *modes*. Kontribusi mode ke- $j$  terhadap simpangan horisontal massa ke- $i$  tersebut dinyatakan dalam produk antara  $\phi_{ij}$  dengan suatu model amplitudo  $Z_j$ , yang dinyatakan dalam bentuk :

$$\{Y\} = [\phi]\{Z\}, \quad (3.44a)$$

$$\{\dot{Y}\} = [\phi]\{\dot{Z}\}, \quad (3.44b)$$

$$\{\ddot{Y}\} = [\phi]\{\ddot{Z}\}, \quad (3.44c)$$

substitusi persamaan (3.44) kedalam persamaan (3.28) akan diperoleh :

$$[M][\phi]\{\ddot{Z}\} + [C][\phi]\{\dot{Z}\} + [K][\phi]\{Z\} = -[M]\{1\}\ddot{u}_g, \quad (3.45)$$

apabila persamaan (3.45) dikalikan dengan *transpose* suatu *mode*  $\{\phi\}^T$ , maka

$$\{\phi\}^T [M][\phi]\{\ddot{Z}\} + \{\phi\}^T [C][\phi]\{\dot{Z}\} + \{\phi\}^T [K][\phi]\{Z\} = -\{\phi\}^T [M]\{1\}\ddot{u}_g, \quad (3.46)$$

misal, akan ditinjau pengaruh mode ke-1 pada struktur yang mempunyai 3 derajat kebebasan, maka suku pertama persamaan gerak (3.46) berbentuk:

$$\left\{ \begin{matrix} \phi_{11} & \phi_{21} & \phi_{31} \end{matrix} \right\} \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \left\{ \begin{matrix} \phi_{11} \\ \phi_{21} \\ \phi_{31} \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} \ddot{Z}_1 \\ \ddot{Z}_2 \\ \ddot{Z}_3 \end{matrix} \right\}, \quad (3.47)$$

dengan catatan persamaan (3.46) dalam hubungan orthogonal,  $i=j$ . Pada kondisi orthogonal apabila  $i$  tidak sama dengan  $j$  maka perkalian matriks sama dengan nol.

$$\phi_i^T [M] \phi_j = 0, \quad (3.48a)$$

$$\phi_i^T [K] \phi_j = 0, \quad (3.48b)$$

$$\phi_i^T [C] \phi_j = 0, \quad (3.48c)$$

untuk *mode* ke  $j$  maka secara umum persamaan (3.47) dapat ditulis dengan :

$$\{\phi\}_j^T [M] \{\phi\}_j \ddot{Z}_j, \quad (3.49)$$

dengan memperhatikan hubungan orthogonal maka persamaan (3.46) pada suku ke-2 dan ke-3 dapat diubah seperti pada persamaan (3.49), maka persamaan akan menjadi:

$$\{\phi\}_j^T [M] \{\phi\}_j \ddot{Z}_j + \{\phi\}_j^T [C] \{\phi\}_j \dot{Z}_j + \{\phi\}_j^T [K] \{\phi\}_j Z_j = -\{\phi\}_j^T [M] \{1\} \ddot{u}_g. \quad (3.50)$$

Persamaan (3.50) adalah persamaan differensial yang bebas/independent antara satu dengan yang lain. Persamaan tersebut diperoleh setelah diterapkan hubungan orthogonal, baik orthogonal untuk matriks massa, matriks redaman dan matriks kekakuan. Widodo, (1997) mengatakan bahwa apabila  $i$  tidak sama dengan  $j$  maka perkalian suku-suku pada persamaan (3.47) akan sama dengan nol, kecuali untuk  $i=j$ . Dengan demikian untuk  $n$  derajat kebebasan dengan  $n$  persamaan differensial yang dahulu bersifat *coupling* sekarang menjadi *independent/uncoupling*. Dengan sifat-sifat itu maka persamaan differensial dapat diselesaikan untuk setiap pengaruh *mode*.

Berdasarkan persamaan (3.50) maka dapat didefinisikan suatu generalisasi massa (*generalized mass*), redaman dan kekakuan sebagai berikut:

$$M_j^* = \{\phi\}_j^T [M] \{\phi\}_j, \quad (3.51a)$$

$$C_j^* = \{\phi\}_j^T [C] \{\phi\}_j, \quad (3.51b)$$

$$K_j^* = \{\phi\}_j^T [K] \{\phi\}_j, \quad (3.51c)$$

dengan definisi seperti persamaan (3.51) maka persamaan (3.50) akan menjadi:

$$M_j^* \ddot{Z}_j + C_j^* \dot{Z}_j + K_j^* Z_j = -P_j^* \ddot{u}_g, \quad (3.52)$$

dengan,

$$P_j^* = \{\phi\}_j^T [M] \{1\}, \quad (3.53)$$

terdapat suatu hubungan bahwa:

$$\xi_j = \frac{C_j^*}{C_{cr}^*} = \frac{C_j^*}{2M_j^* \omega_j}, \text{ maka } \frac{C_j^*}{M_j^*} = 2\xi_j \omega_j, \quad (3.54a)$$

$$\omega_j^2 = \frac{K_j^*}{M_j^*} \text{ dan } \Gamma_j = \frac{P_j^*}{M_j^*}, \quad (3.54b)$$

dengan hubungan-hubungan seperti pada persamaan (3.54) maka persamaan (3.52) akan menjadi:

$$\ddot{Z}_j + 2\xi_j \omega_j \dot{Z}_j + \omega_j^2 Z_j = -\Gamma_j \ddot{u}_g, \quad (3.55)$$

dan,

$$\Gamma_j = \frac{P_j^*}{M_j^*} = \frac{\{\phi\}_j^T [M] \{1\}}{\{\phi\}_j^T [M] \{\phi\}_j}. \quad (3.56)$$

persamaan (3.56) sering disebut dengan partisipasi setiap mode atau *mode participation factor*. Selanjutnya persamaan (3.55) dapat ditulis menjadi:

$$\frac{\ddot{Z}_j}{\Gamma_j} + 2\xi_j \omega_j \frac{\dot{Z}_j}{\Gamma_j} + \omega_j^2 \frac{Z_j}{\Gamma_j} = -\ddot{u}_g, \quad (3.57)$$

apabila diambil suatu notasi bahwa:

$$\ddot{g}_j = \frac{\ddot{Z}_j}{\Gamma_j}, \dot{g}_j = \frac{\dot{Z}_j}{\Gamma_j} \text{ dan } g_j = \frac{Z_j}{\Gamma_j}, \quad (3.58)$$

maka persamaan (3.57) menjadi:

$$\ddot{g}_j + 2\xi_j \omega_j \dot{g}_j + \omega_j^2 g_j = -\ddot{u}_g \quad (3.59)$$

persamaan (3.59) adalah persamaan differensial yang *independent* karena persamaan tersebut hanya berhubungan dengan tiap-tiap *mode*.

Nilai partisipasi tiap-tiap *mode* akan dapat dihitung dengan mudah setelah koordinat setiap mode  $\phi_j$  telah diperoleh. Nilai  $\ddot{g}$ ,  $\dot{g}$  dan  $g$  dapat dihitung dengan integrasi secara numerik. Apabila nilai tersebut telah diperoleh maka nilai  $Z_j$  dapat dihitung. Dengan demikian simpangan horisontal setiap tingkat akan dapat dihitung.

### 3.7 Respon terhadap Beban Gempa

Dengan gerakan yang disebabkan adanya beban gempa dapat diselesaikan dengan persamaan (3.59). Nilai  $g_j$  dapat diperoleh dengan membandingkan antara persamaan (3.59) dengan persamaan gerakan *mode* ke  $n$  dari sistem SDOF. Sistem SDOF mempunyai frekuensi natural (*natural frequency*/  $\omega_n$ ) dan rasio redaman ( $\xi$ ) *mode* ke- $j$  dari sistem MDOF, dengan  $j = 1, 2, 3, \dots, n$ .

Nilai yang akan dicari adalah  $g_j$ , dan misalnya dipakai metode *central difference* adalah sebagai berikut. Pada metode *central difference*, diperoleh hubungan awal bahwa,

$$\dot{g}_j = \frac{g_{j+1} - g_{j-1}}{2\Delta t} \quad \ddot{g}_j = \frac{g_{j+1} - 2g_j + g_{j-1}}{(\Delta t)^2}, \quad (3.60)$$

substitusi persamaan (3.60) kedalam persamaan (3.59) akan diperoleh,

$$\frac{g_{j+1} - 2g_j + g_{j-1}}{(\Delta t)^2} + 2\xi_j \omega_j \frac{g_{j+1} - g_{j-1}}{2\Delta t} + \omega_j^2 g_j = -\ddot{u}_g, \quad (3.61)$$

persamaan (3.61) dapat ditulis menjadi,



$$\left[ \frac{1}{(\Delta t)^2} + \frac{2\xi\omega_{nj}}{2\Delta t} \right] g_{j+1} = -\ddot{u}_g - \left[ \omega_{nj}^2 - \frac{2}{(\Delta t)^2} \right] g_j - \left[ \frac{1}{(\Delta t)^2} - \frac{2\xi\omega_{nj}}{2\Delta t} \right] g_{j-1}, \quad (3.62)$$

persamaan (3.62) dapat ditulis menjadi,

$$g_{j+1} = \frac{-\ddot{u}_g - ag_j - bg_{j-1}}{\hat{k}}, \quad (3.63)$$

dengan,

$$a = \left[ \omega_{nj}^2 - \frac{2}{(\Delta t)^2} \right], \quad (3.64a)$$

$$b = \left[ \frac{1}{(\Delta t)^2} - \frac{2\xi\omega_{nj}}{2\Delta t} \right], \quad (3.64b)$$

$$\hat{k} = \left[ \frac{1}{(\Delta t)^2} + \frac{2\xi\omega_{nj}}{2\Delta t} \right], \quad (3.64c)$$

setelah diperoleh nilai  $g$  untuk tiap-tiap *mode*. Selanjutnya nilai simpangan tiap *mode* dapat diperoleh  $y_j$ :

$$y_j = \Gamma_j \phi_j g_j. \quad (3.65)$$

jarak antar bangunan dihitung berdasarkan nilai simpangan struktur, (PPTGIUG,1981)

$$S = 2(y_a + y_b) > 7,5 \text{ cm}. \quad (3.66)$$

---

---

## BAB IV

### METODE PENELITIAN

Metode penelitian adalah tata cara pelaksanaan penelitian yang diuraikan menurut suatu urutan yang sistematis. Metode yang dipergunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagaimana yang terlihat pada penjelasan berikut ini.

#### 4.1 Data yang Diperlukan

Penelitian tugas akhir ini menggunakan suatu model *shear building* yang paling sederhana, untuk mempermudah melihat perbedaan hasil yang akan diteliti. Pengumpulan data, tata letak dan fungsi struktur meliputi:

1. struktur yang ditinjau menggunakan *time history* dari gempa El Centro 1940 yang diambil dari buku *Dynamics of Structures* oleh Chopra, 1995 dan gempa Koyuna 1967 yang diambil dari Widodo, 1997,
2. struktur merupakan suatu model dari 2 buah *shear building* berbeda ketinggian yang masing-masing dengan 5 dan 6 mode dengan massa dan kekakuan yang telah ditentukan, dan
3. struktur berada di atas tanah keras.

Data di atas merupakan suatu model dua bangunan yang berdekatan, untuk mengetahui jarak minimal yang dapat dipakai sebagai jarak pemisah antara dua model struktur tersebut, dibandingkan dengan jarak pemisah yang telah ditetapkan pada PPTGIUG 1981.

## 4.2 Pengolahan Data

Setelah semua data ditentukan, selanjutnya dilakukan pengolahan dan analisa data dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. menentukan matriks massa  $[M]$  dan kekakuan kolom  $[K]$  tiap tingkat,
2. membuat persamaan *eigenproblem* untuk menghitung *mode shape*  $\{\phi_j\}$ , mengubah tata letak redaman pada tiap-tiap tingkat dan menentukan matriks redaman  $[C]$ ,
3. menghitung matriks massa efektif  $[M^*]$  dan matrik kekakuan efektif  $[K^*]$ ,
4. menghitung matrik redaman efektif  $[C^*]$ , yang kemudian hanya digunakan matrik redaman diagonal efektif,
5. menghitung frekuensi sudut ( $\omega$ ),
6. menghitung nilai partisipasi faktor ( $\Gamma$ ),
7. menghitung rasio redaman ( $\xi$ ),
8. mencari nilai  $q$ ,
9. menghitung simpangan horisontal  $y(i)$ , dan
10. menghitung jarak antar bangunan.

## 4.3 Pengujian

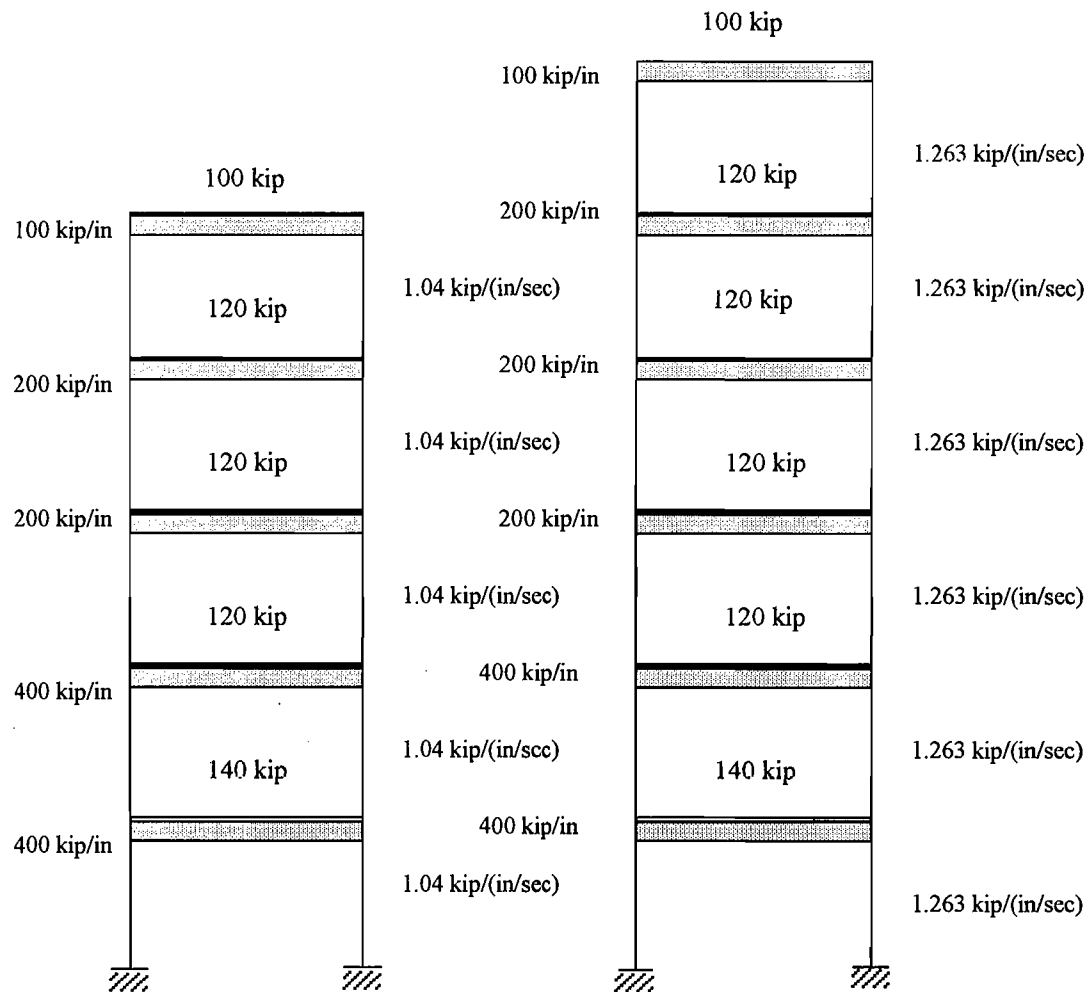
Dalam tugas akhir ini pengujian yang dilakukan mencakup pengaruh penggunaan *Magnetorheological Damper* terhadap nilai simpangan yang terjadi, sehingga jarak antara model struktur yang ditinjau dapat diminimumkan. Peredam yang digunakan pada tugas akhir ini adalah peredam ganda yaitu sebesar 7,5 kips/(in/sec) untuk satu buah redaman.

#### 4.4 Pemodelan Struktur

Pemodelan penempatan redaman pada masing-masing model struktur

dapat dilihat pada Gambar 4.1 sampai dengan Gambar 4.22.

##### 1. Bangunan tanpa peredam tambahan

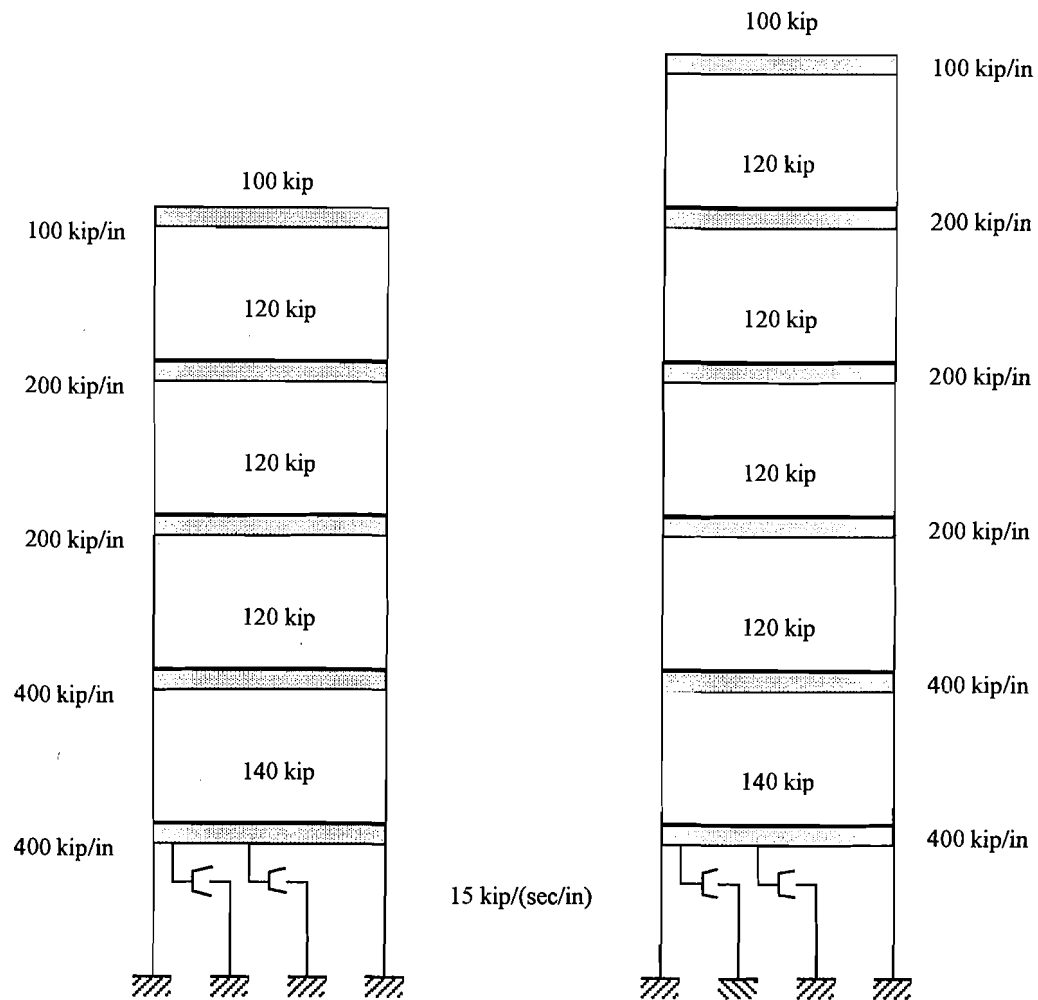


**Gambar 4.1** Struktur tanpa peredam tambahan

$$[C_0] = \begin{bmatrix} 2.08 & -1.04 & 0 & 0 & 0 \\ -1.04 & 2.08 & -1.04 & 0 & 0 \\ 0 & -1.04 & 2.08 & -1.04 & 0 \\ 0 & 0 & -1.04 & 2.08 & -1.04 \\ 0 & 0 & 0 & -1.04 & 1.04 \end{bmatrix}, \quad (4.1a)$$

$$[C_0] = \begin{bmatrix} 2.526 & -1.263 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.263 & 2.526 & -1.263 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.263 & 2.526 & -1.263 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.263 & 2.526 & -1.263 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.263 & 2.526 & -1.263 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.263 & 1.263 \end{bmatrix} \quad (4.1b)$$

## 2. Posisi kedua *Magnetorheological Damper* pada lantai 1

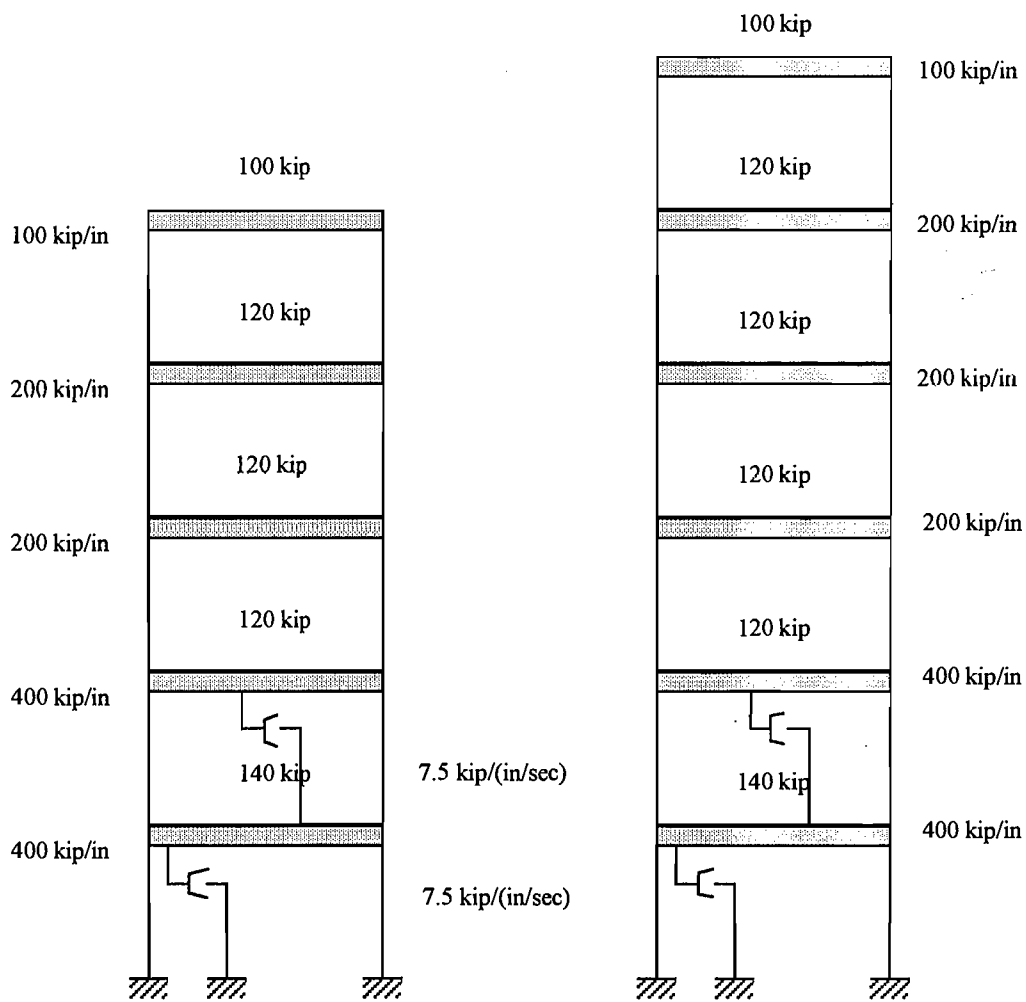


**Gambar 4.2** struktur dengan posisi *MR Damper* pada lantai 1

$$[C_1] = \begin{bmatrix} 15 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (4.2a)$$

$$[C_1] = \begin{bmatrix} 15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (4.2b)$$

### 3. Posisi kedua *Magnetorheological Damper* pada lantai 1 dan 2

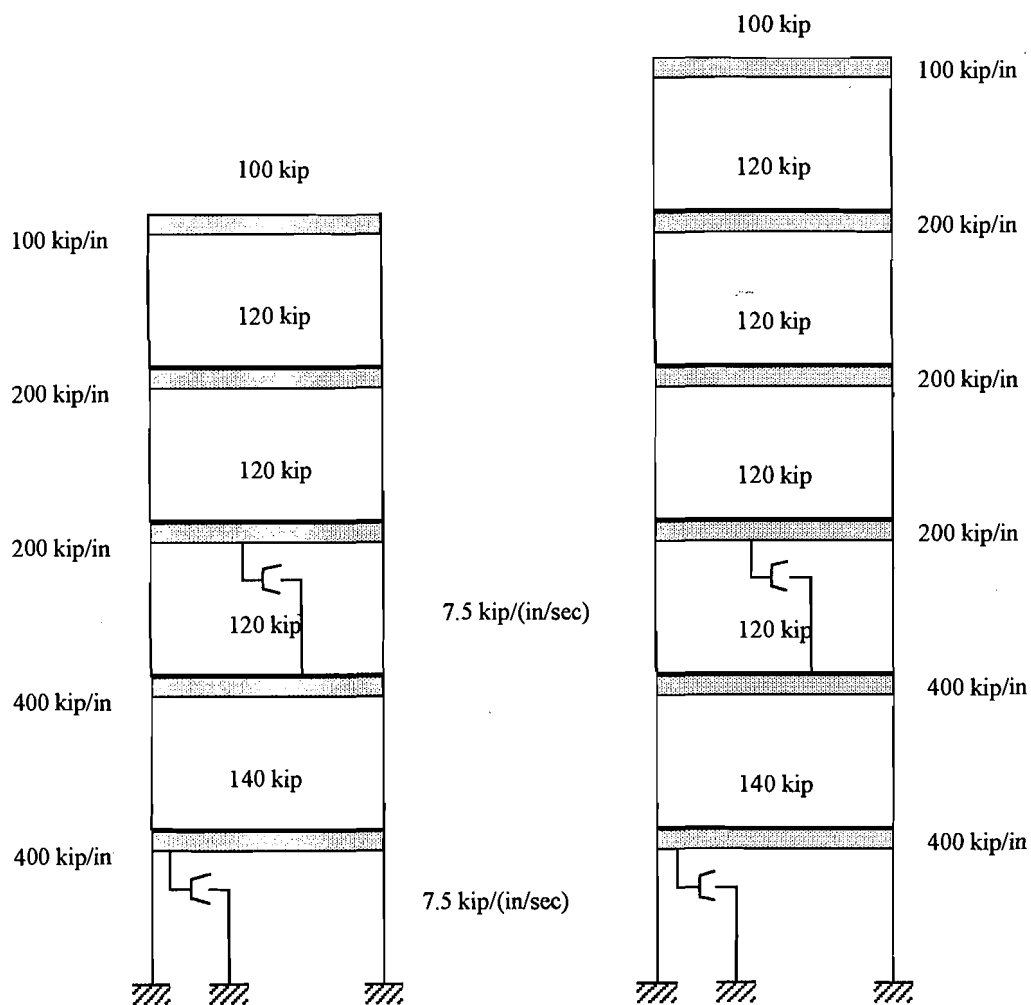


**Gambar 4.3** struktur dengan posisi *MR Damper* pada lantai 1 dan 2

$$[C_2] = \begin{bmatrix} 15 & -7.5 & 0 & 0 & 0 \\ -7.5 & 7.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.3a)$$

$$[C_2] = \begin{bmatrix} 15 & -7.5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -7.5 & 7.5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.3b)$$

4. Posisi kedua *Magnetorheological Damper* pada lantai 1 dan 3

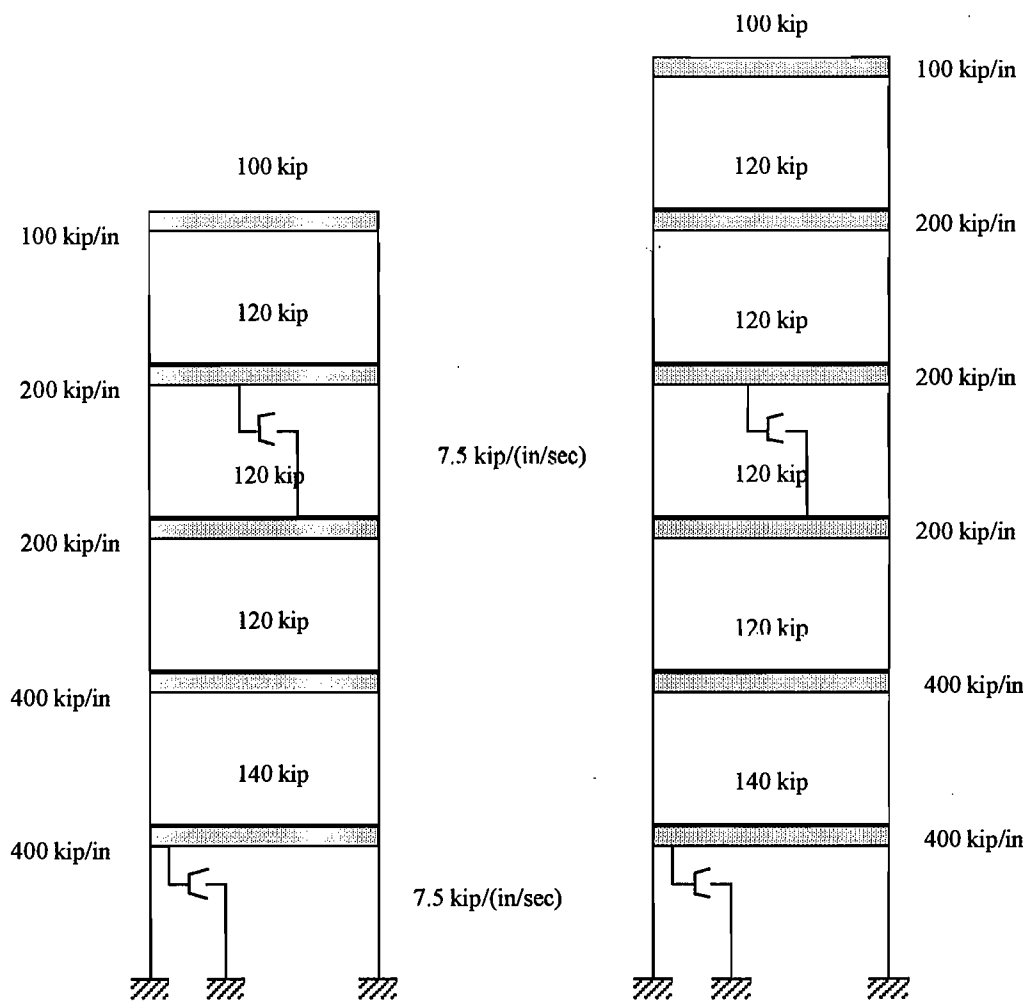


Gambar 4.4 struktur dengan posisi *MR Damper* pada lantai 1 dan 3

$$[C_3] = \begin{bmatrix} 7.5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7.5 & -7.5 & 0 & 0 \\ 0 & -7.5 & 7.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.4a)$$

$$[C_3] = \begin{bmatrix} 7.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7.5 & -7.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -7.5 & 7.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.4b)$$

5. Posisi kedua *Magnetorheological Damper* pada lantai 1 dan 4



Gambar 4.5 struktur dengan posisi MR Damper pada lantai 1 dan 4

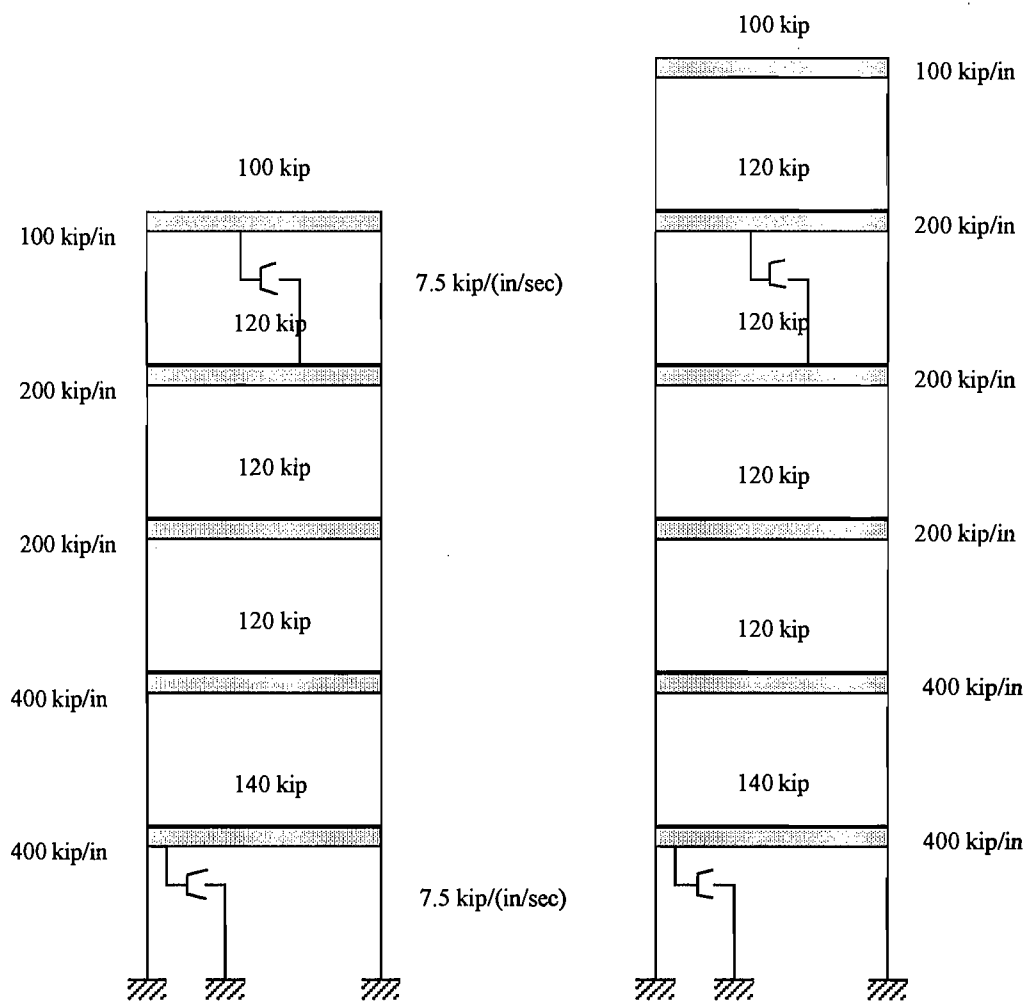




$$[C_4] = \begin{bmatrix} 7.5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 7.5 & -7.5 & 0 \\ 0 & 0 & -7.5 & 7.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.5a)$$

$$[C_4] = \begin{bmatrix} 7.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 7.5 & -7.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -7.5 & 7.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.5b)$$

6. Posisi kedua *Magnetorheological Damper* pada lantai 1 dan 5

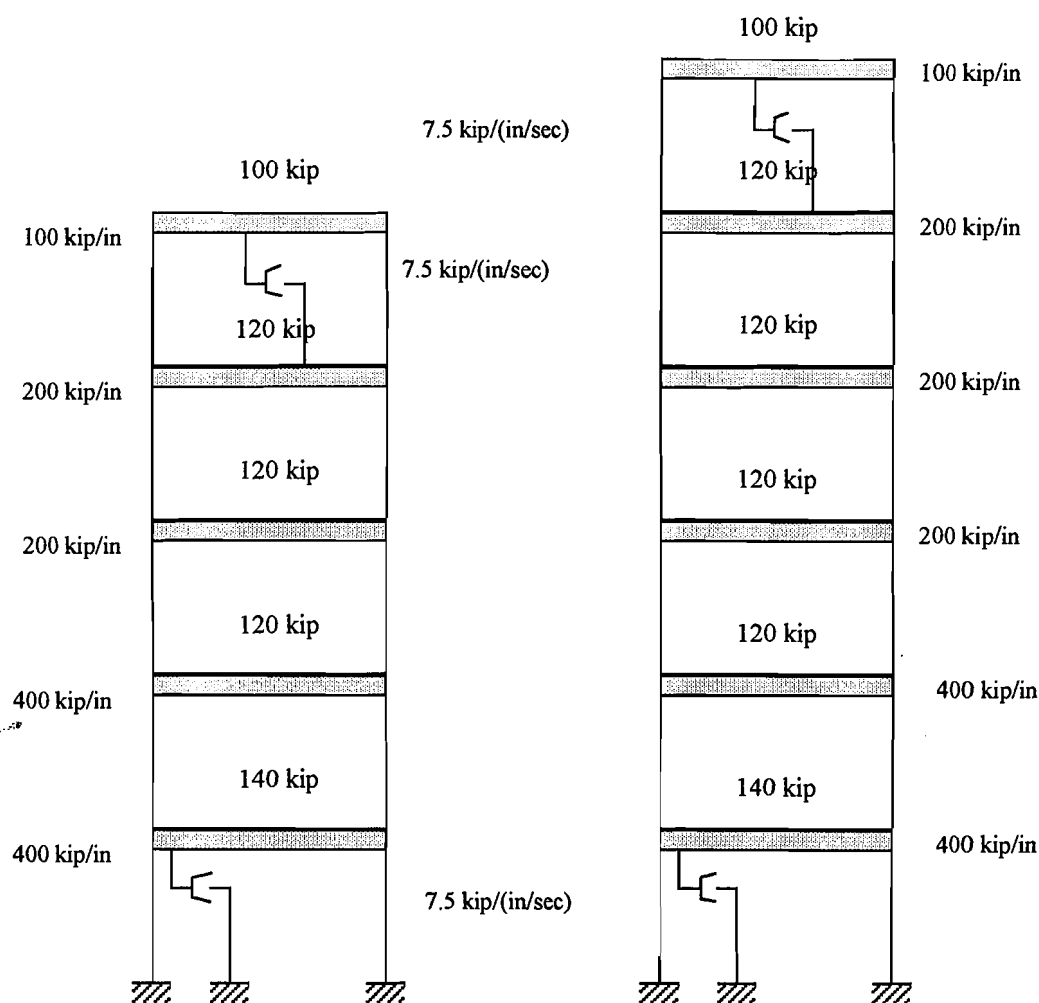


**Gambar 4.6** struktur dengan posisi *MR Damper* pada lantai 1 dan 5

$$[C_5] = \begin{bmatrix} 7.5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 7.5 & -7.5 \\ 0 & 0 & 0 & -7.5 & 7.5 \end{bmatrix} \quad (4.6a)$$

$$[C_5] = \begin{bmatrix} 7.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 7.5 & -7.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -7.5 & 7.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.6b)$$

### 7. Posisi kedua *Magnetorheological Damper* pada lantai 1 dan 6



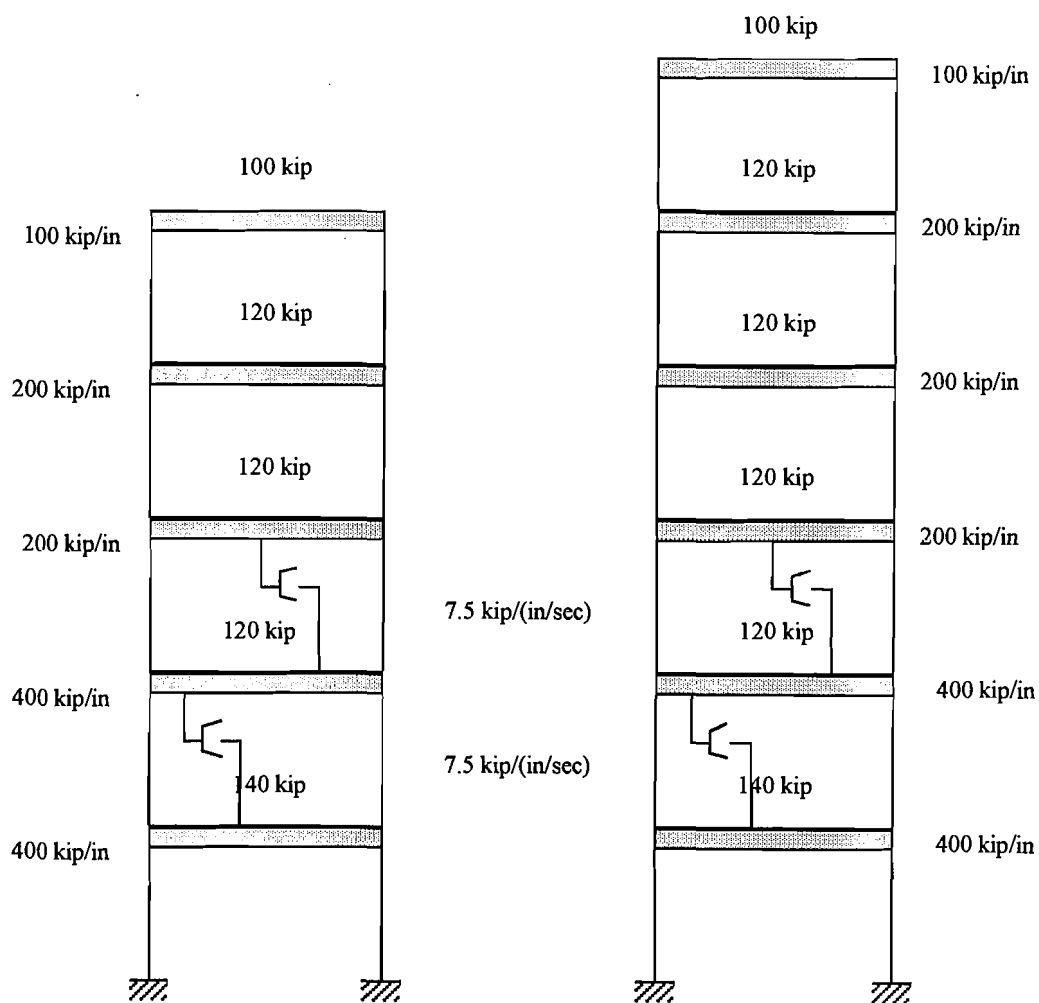
**Gambar 4.7** struktur dengan posisi *MR Damper* pada lantai 1 dan 6



$$[C_7] = \begin{bmatrix} 15 & -15 & 0 & 0 & 0 \\ -15 & 15 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (4.8a)$$

$$[C_7] = \begin{bmatrix} 15 & -15 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -15 & 15 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (4.8b)$$

9. Posisi kedua *Magnetorheological Damper* pada lantai 2 dan 3

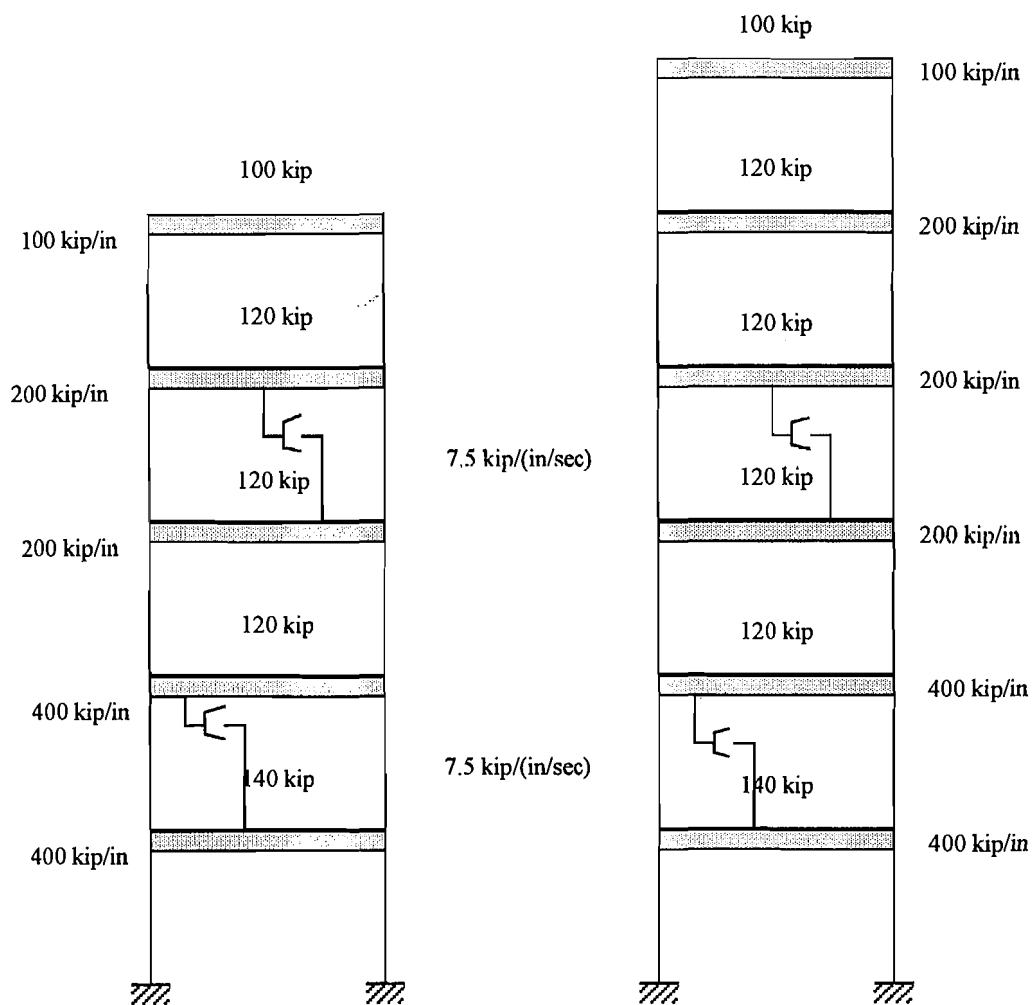


Gambar 4.9 struktur dengan posisi *MR Damper* pada lantai 2 dan 3

$$[C_8] = \begin{bmatrix} 7.5 & -7.5 & 0 & 0 & 0 \\ -7.5 & 15 & -7.5 & 0 & 0 \\ 0 & -7.5 & 7.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.9a)$$

$$[C_8] = \begin{bmatrix} 7.5 & -7.5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -7.5 & 15 & -7.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -7.5 & 7.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.9b)$$

#### 10. Posisi kedua *Magnetorheological Damper* pada lantai 2 dan 4

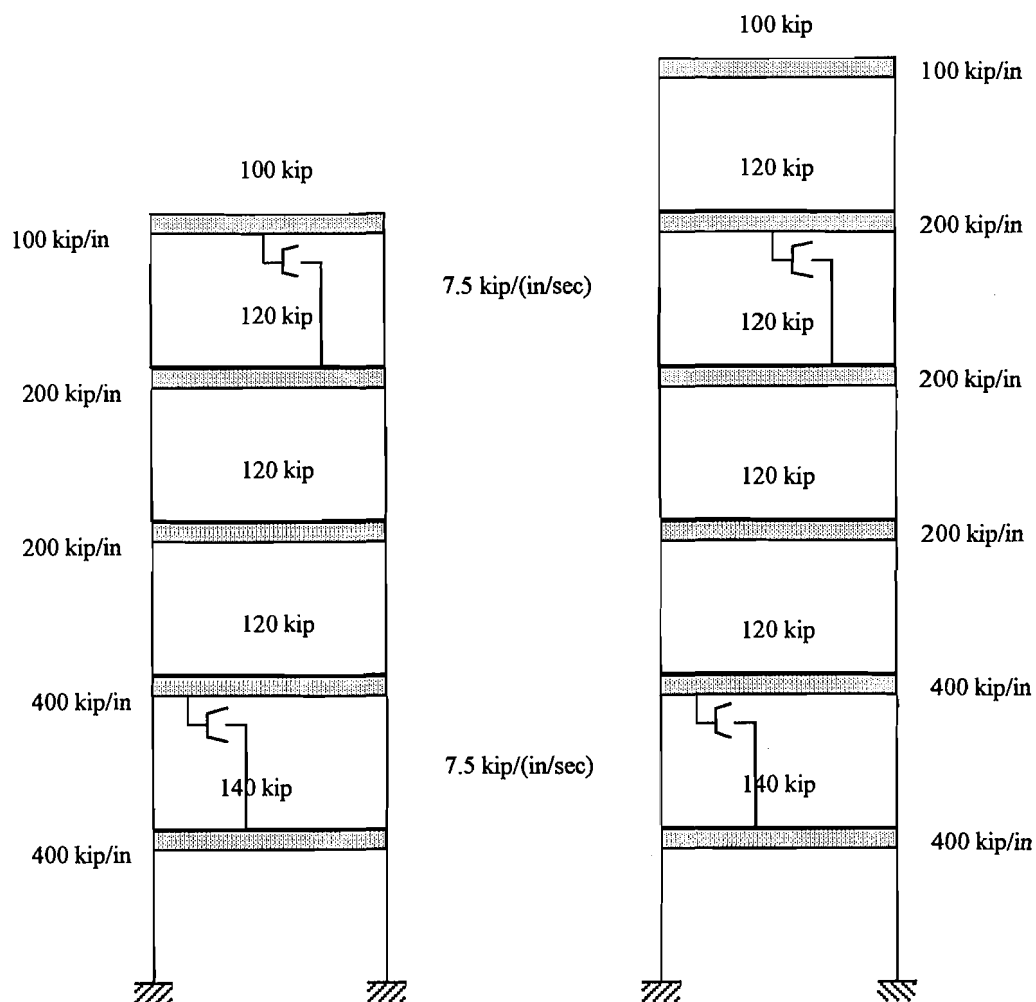


**Gambar 4.10** struktur dengan posisi *MR Damper* pada lantai 2 dan 4

$$[C_9] = \begin{bmatrix} 7.5 & -7.5 & 0 & 0 & 0 \\ -7.5 & 7.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 7.5 & -7.5 & 0 \\ 0 & 0 & -7.5 & 7.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.10a)$$

$$[C_9] = \begin{bmatrix} 7.5 & -7.5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -7.5 & 7.5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 7.5 & -7.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -7.5 & 7.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.10b)$$

11. Posisi kedua *Magnetorheological Damper* pada lantai 2 dan 5

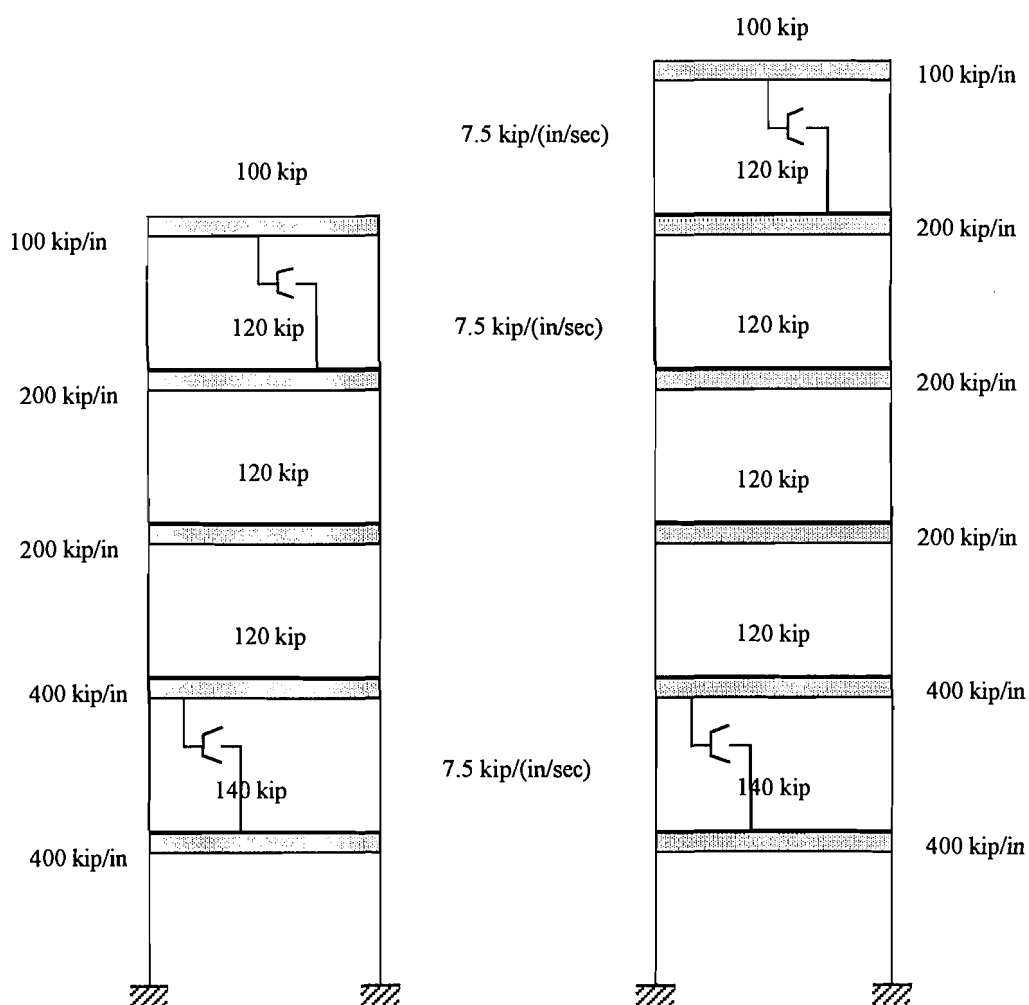


Gambar 4.11 struktur dengan posisi *MR Damper* pada lantai 2 dan 5

$$[C_{10}] = \begin{bmatrix} 7.5 & -7.5 & 0 & 0 & 0 \\ -7.5 & 7.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 7.5 & -7.5 \\ 0 & 0 & 0 & -7.5 & 7.5 \end{bmatrix} \quad (4.11a)$$

$$[C_{10}] = \begin{bmatrix} 7.5 & -7.5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -7.5 & 7.5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 7.5 & -7.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -7.5 & 7.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.11b)$$

## 12. Posisi kedua *Magnetorheological Damper* pada lantai 2 dan 6

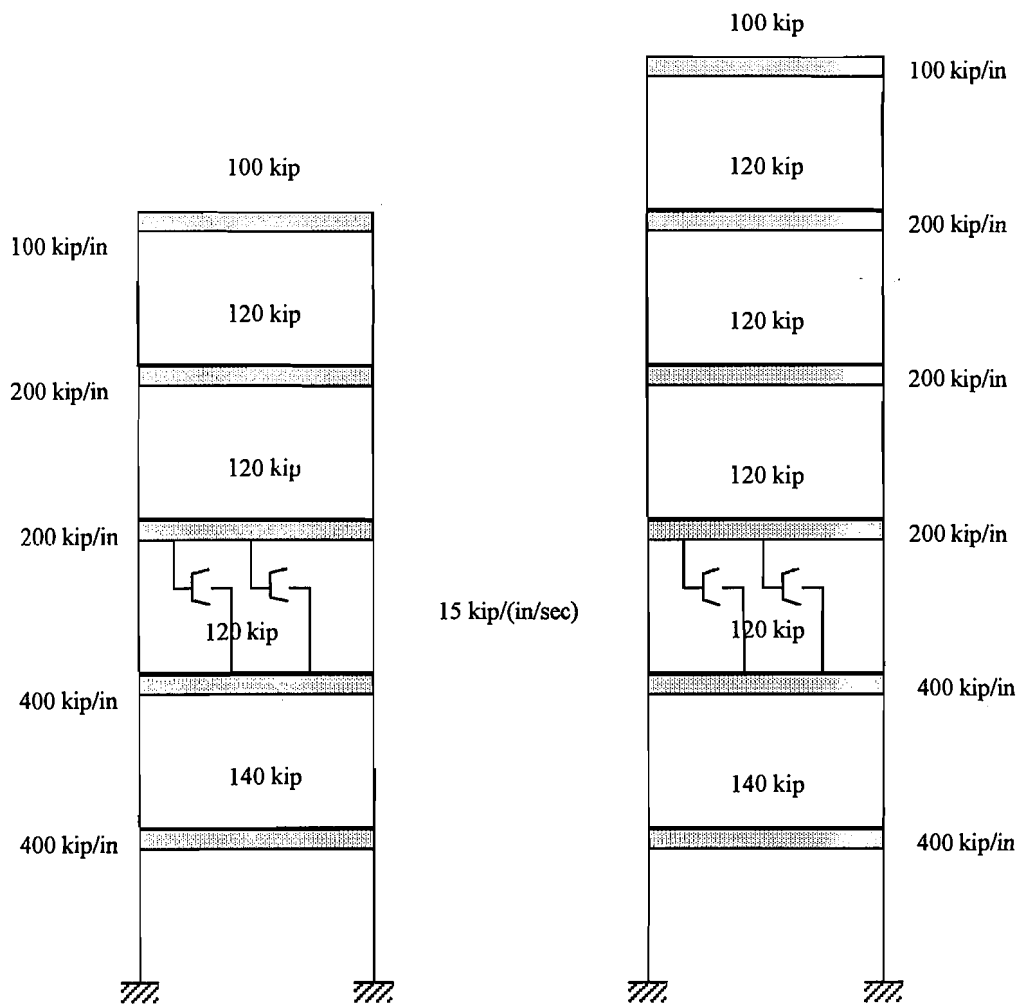


**Gambar 4.12** struktur dengan posisi *MR Damper* pada lantai 2 dan 6

$$[C_{11}] = \begin{bmatrix} 7.5 & -7.5 & 0 & 0 & 0 \\ -7.5 & 7.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 7.5 & -7.5 \\ 0 & 0 & 0 & -7.5 & 7.5 \end{bmatrix} \quad (4.12a)$$

$$[C_{11}] = \begin{bmatrix} 7.5 & -7.5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -7.5 & 7.5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 7.5 & -7.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -7.5 & 7.5 \end{bmatrix} \quad (4.12b)$$

13. Posisi kedua *Magnetorheological Damper* pada lantai 3



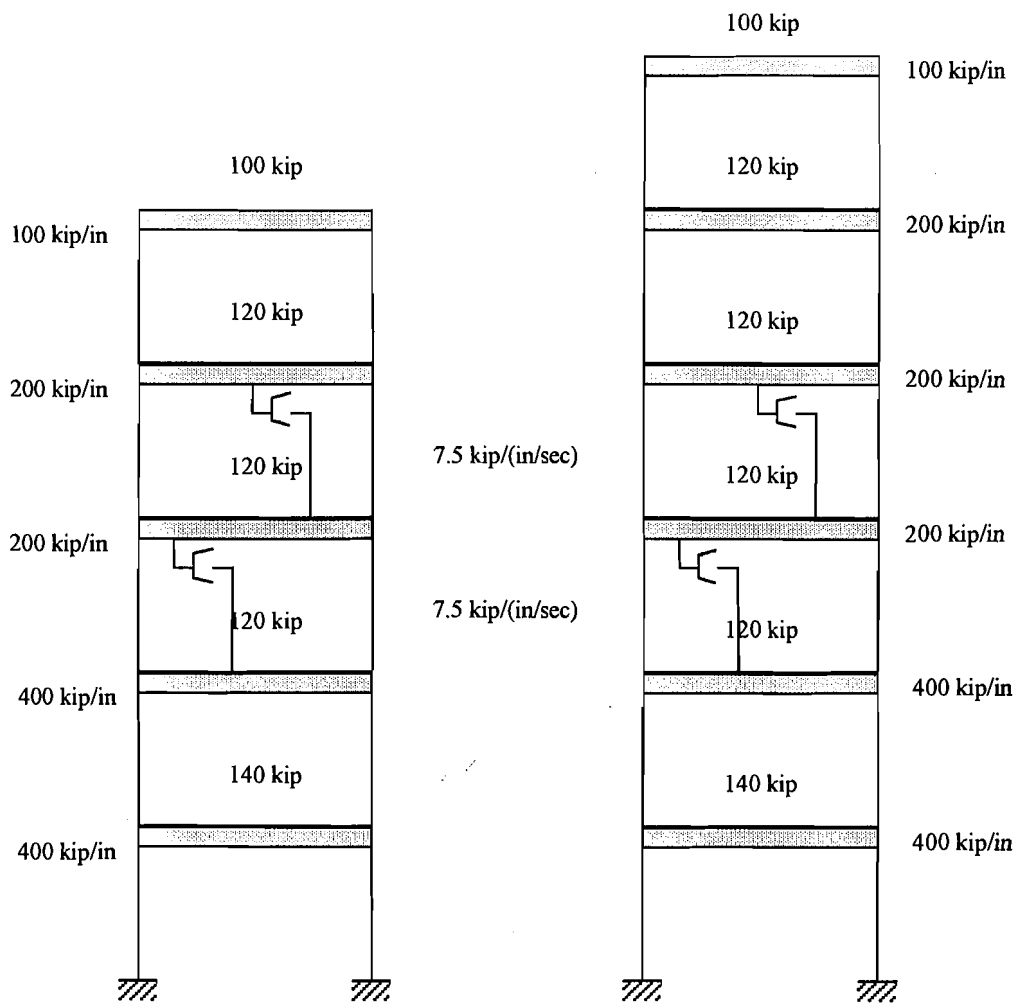
Gambar 4.13 struktur dengan posisi *MR Damper* pada lantai 3



$$[C_{12}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 15 & -15 & 0 & 0 \\ 0 & -15 & 15 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (4.13a)$$

$$[C_{12}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 15 & -15 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -15 & 15 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (4.13b)$$

14. Posisi kedua *Magnetorheological Damper* pada lantai 3 dan 4

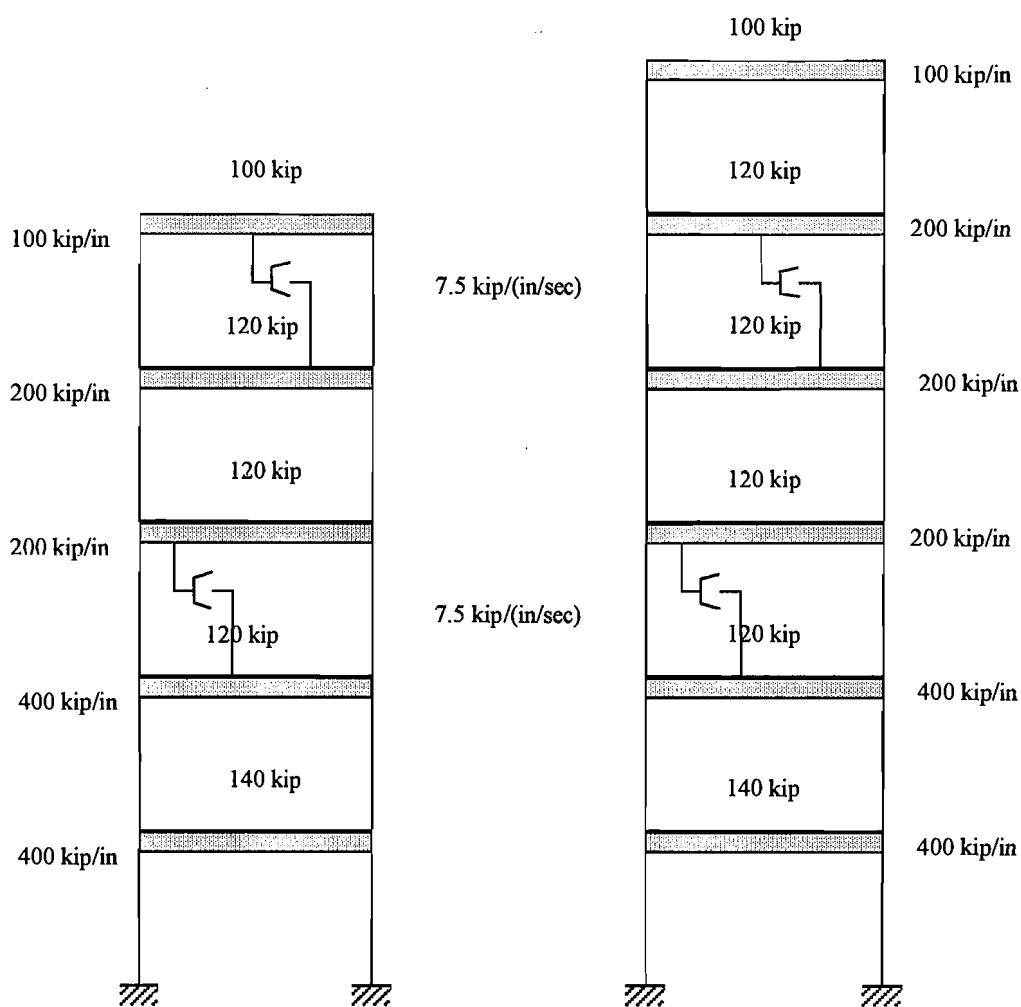


Gambar 4.14 struktur dengan posisi *MR Damper* pada lantai 3 dan 4

$$[C_{13}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7.5 & -7.5 & 0 & 0 \\ 0 & -7.5 & 15 & -7.5 & 0 \\ 0 & 0 & -7.5 & 7.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (4.14a)$$

$$[C_{13}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7.5 & -7.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -7.5 & 15 & -7.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -7.5 & 7.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (4.14b)$$

15. Posisi kedua *Magnetorheological Damper* pada lantai 3 dan 5

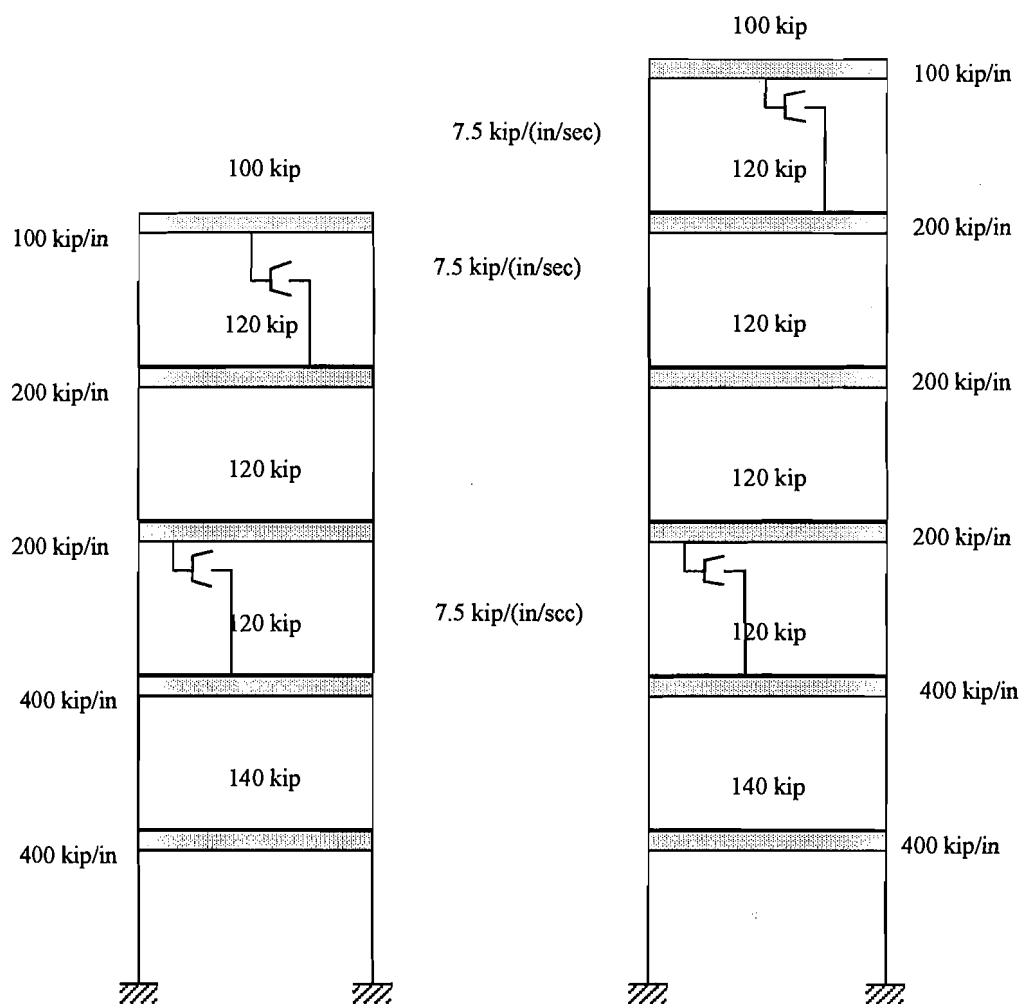


Gambar 4.15 struktur dengan posisi *MR Damper* pada lantai 3 dan 5

$$[C_{14}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7.5 & -7.5 & 0 & 0 \\ 0 & -7.5 & 7.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 7.5 & -7.5 \\ 0 & 0 & 0 & -7.5 & 7.5 \end{bmatrix} \quad (4.15a)$$

$$[C_{14}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7.5 & -7.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -7.5 & 7.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 7.5 & -7.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -7.5 & 7.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.15b)$$

16. Posisi kedua *Magnetorheological Damper* pada lantai 3 dan 6

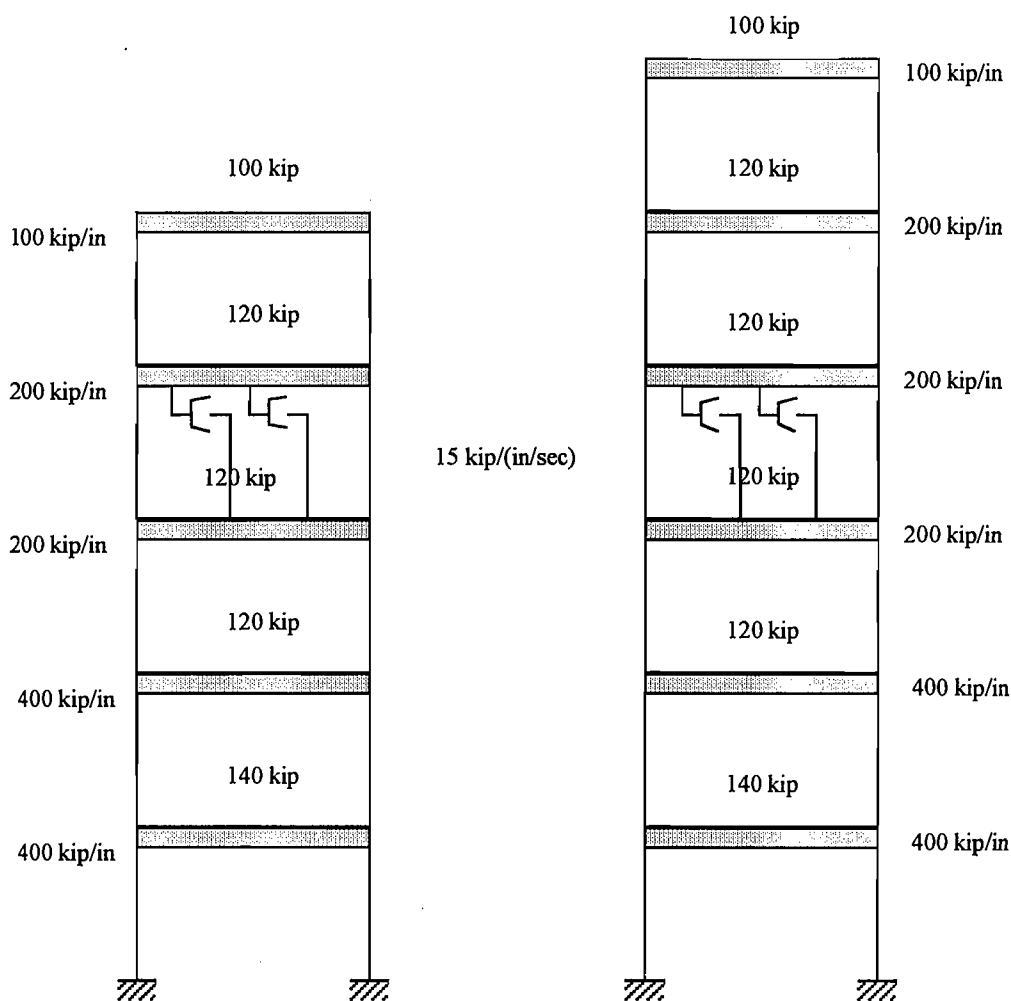


Gambar 4.16 struktur dengan posisi MR Damper pada lantai 3 dan 6

$$[C_{15}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7.5 & -7.5 & 0 & 0 \\ 0 & -7.5 & 7.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 7.5 & -7.5 \\ 0 & 0 & 0 & -7.5 & 7.5 \end{bmatrix} \quad (4.16a)$$

$$[C_{15}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7.5 & -7.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -7.5 & 7.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 7.5 & -7.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -7.5 & 7.5 \end{bmatrix} \quad (4.16b)$$

### 17. Posisi kedua *Magnetorheological Damper* pada lantai 4

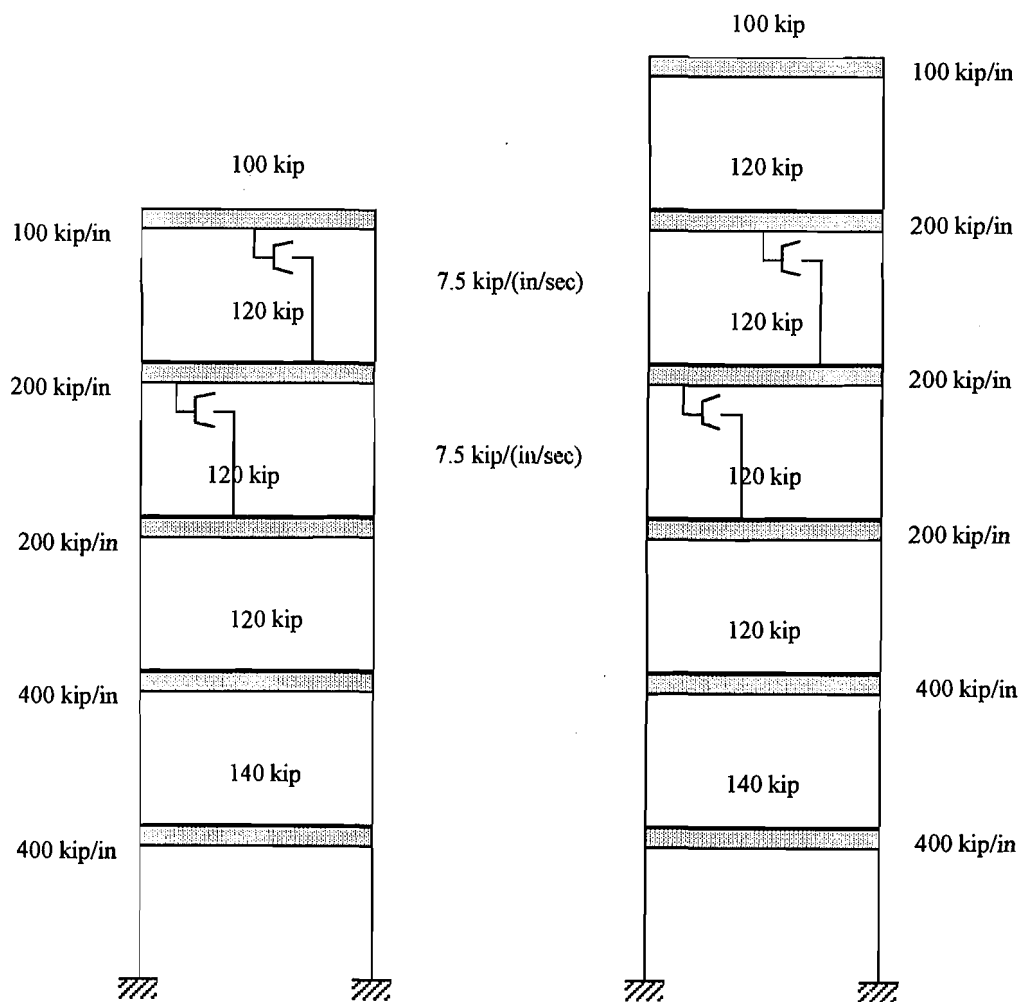


**Gambar 4.17** struktur dengan posisi *MR Damper* pada lantai 4

$$[C_{16}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 15 & -15 & 0 \\ 0 & 0 & -15 & 15 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (4.17a)$$

$$[C_{16}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 15 & -15 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -15 & 15 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.17b)$$

18. Posisi kedua *Magnetorheological Damper* pada lantai 4 dan 5

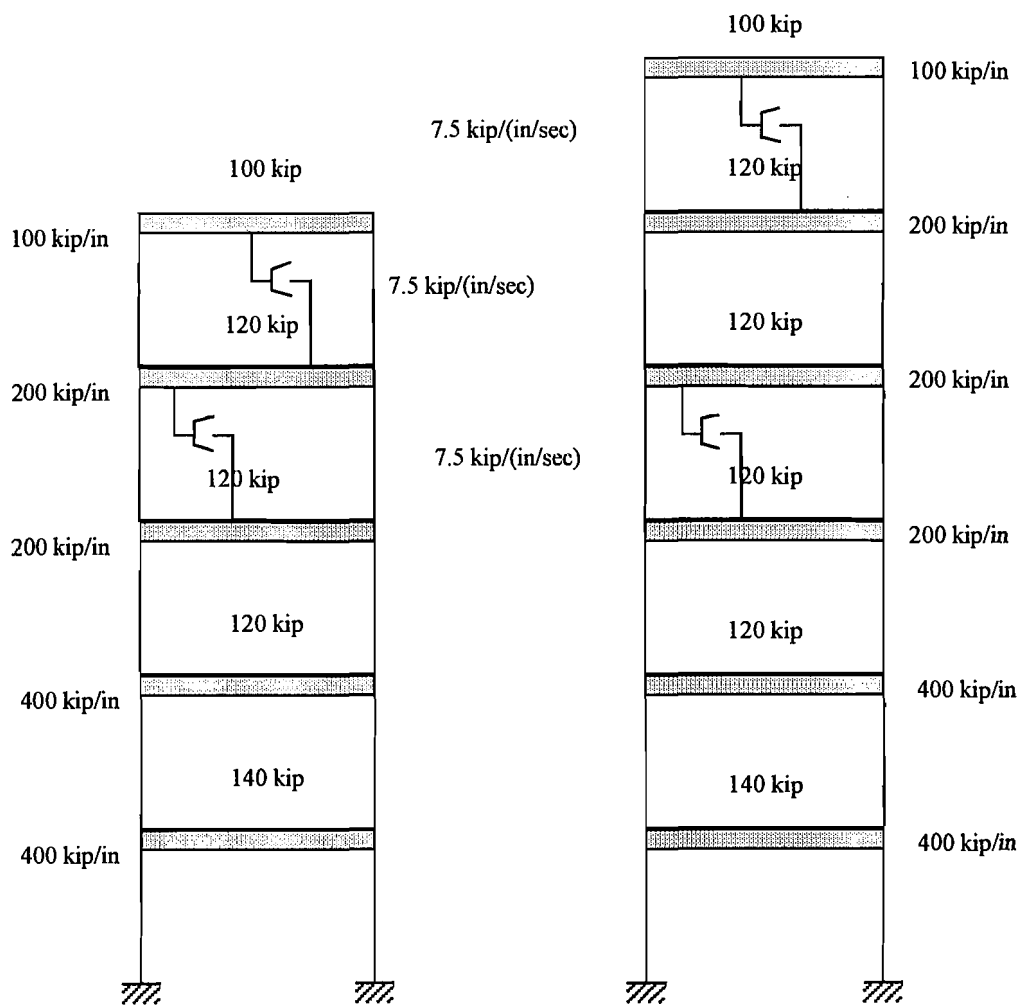


Gambar 4.18 struktur dengan posisi *MR Damper* pada lantai 4 dan 5

$$[C_{17}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 7.5 & -7.5 & 0 \\ 0 & 0 & -7.5 & 15 & -7.5 \\ 0 & 0 & 0 & -7.5 & 7.5 \end{bmatrix} \quad (4.18a)$$

$$[C_{17}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 7.5 & -7.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -7.5 & 15 & -7.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -7.5 & 7.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.18b)$$

19. Posisi kedua *Magnetorheological Damper* pada lantai 4 dan 6

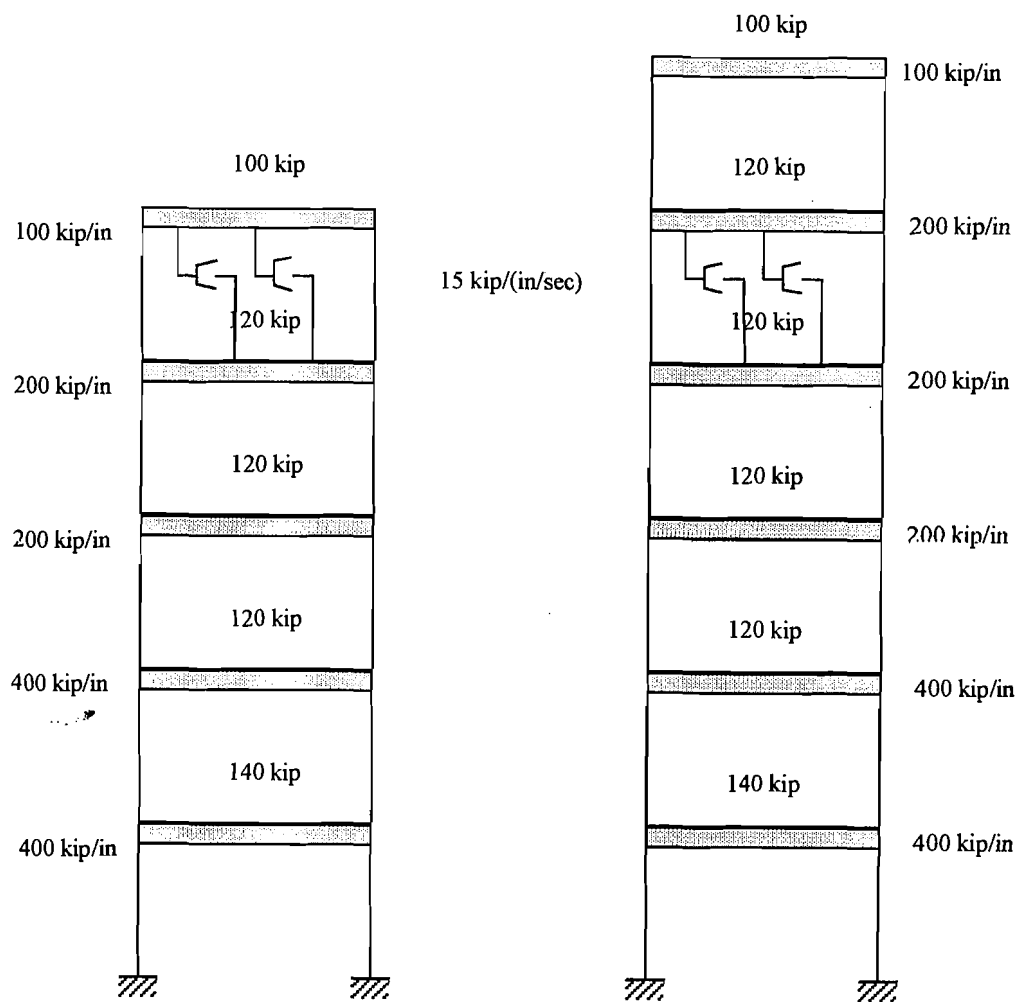


Gambar 4.19 struktur dengan posisi *MR Damper* pada lantai 4 dan 6

$$[C_{18}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 7.5 & -7.5 & 0 \\ 0 & 0 & -7.5 & 7.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -7.5 & 7.5 \end{bmatrix} \quad (4.19a)$$

$$[C_{18}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 7.5 & -7.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -7.5 & 7.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 7.5 & -7.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -7.5 & 7.5 \end{bmatrix} \quad (4.19b)$$

20. Posisi kedua *Magnetorheological Damper* pada lantai 5

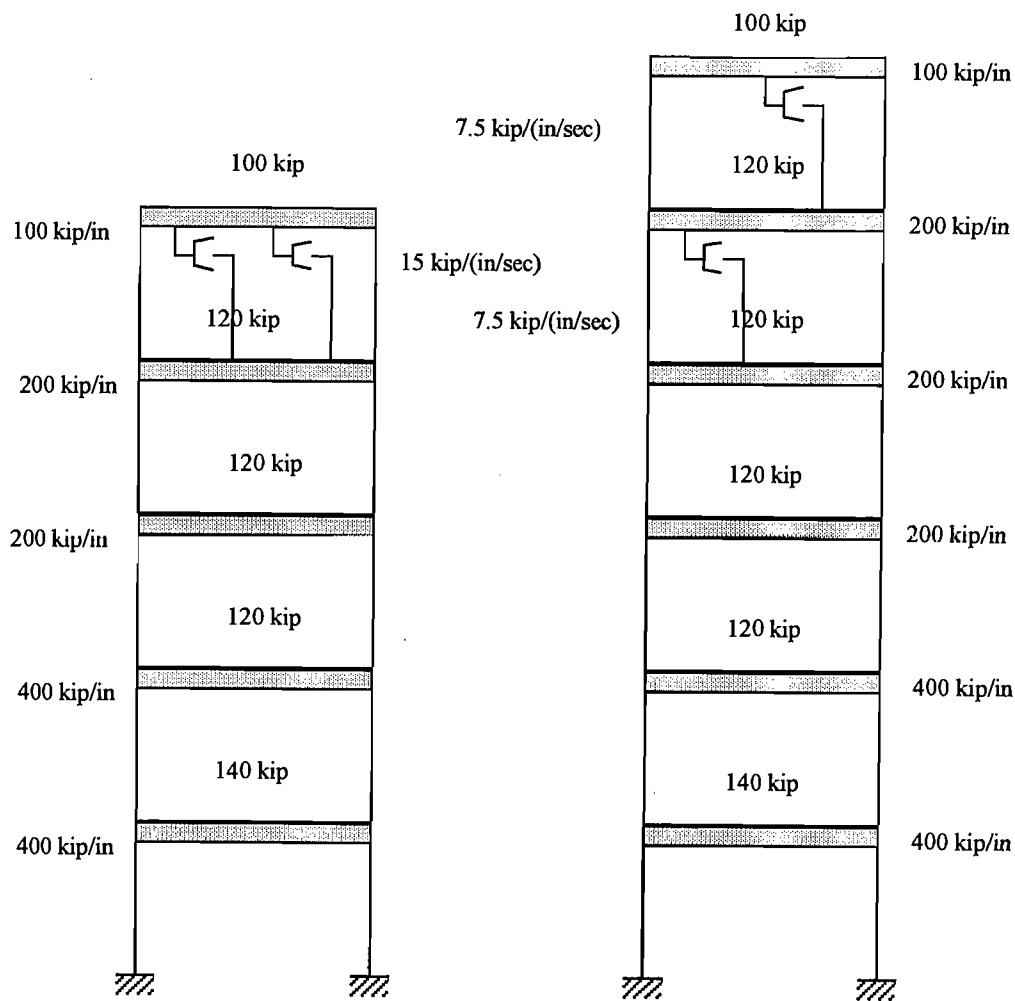


Gambar 4.20 struktur dengan posisi *MR Damper* pada lantai 5

$$[C_{19}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 15 & -15 \\ 0 & 0 & 0 & -15 & 15 \end{bmatrix}, \quad (4.20a)$$

$$[C_{19}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 15 & -15 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -15 & 15 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (4.20b)$$

21. Posisi kedua *Magnetorheological Damper* pada lantai 5 dan 6



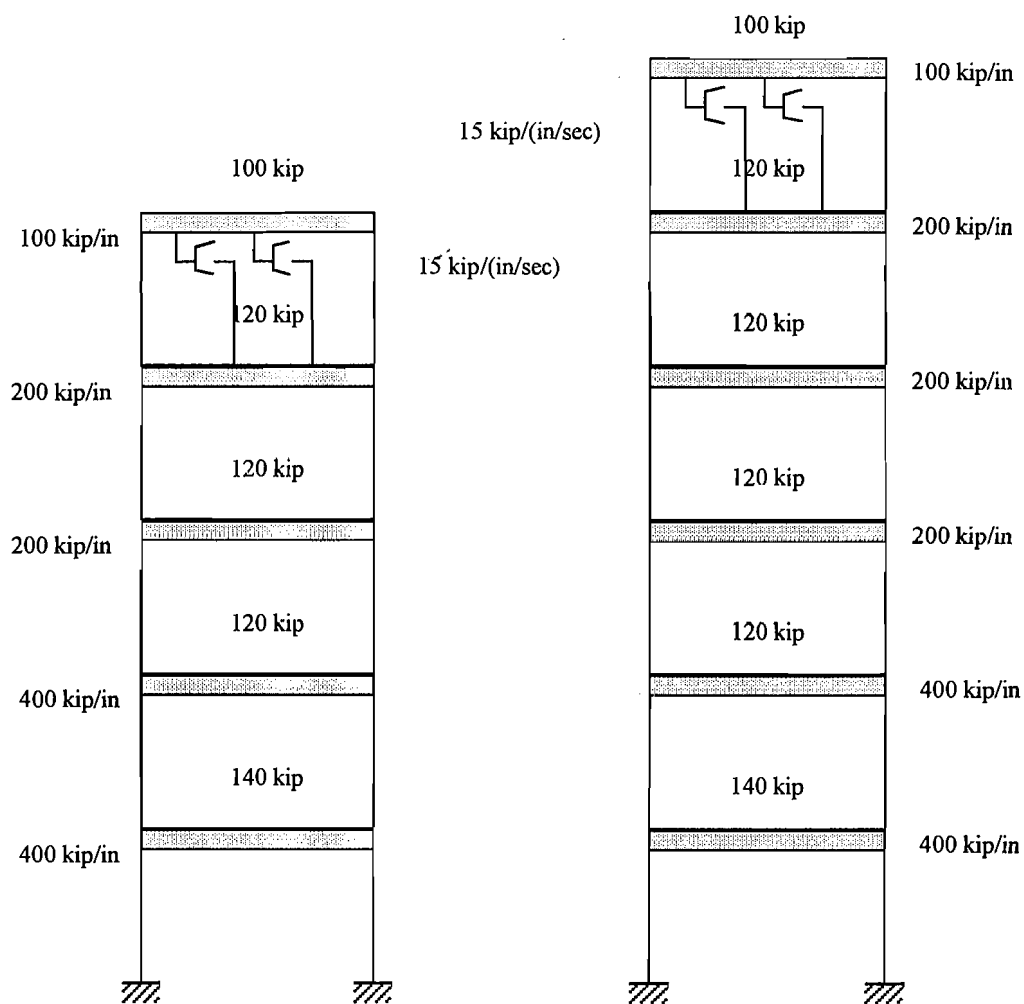
Gambar 4.21 struktur dengan posisi *MR Damper* pada lantai 5 dan 6



$$[C_{20}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 15 & -15 \\ 0 & 0 & 0 & -15 & 15 \end{bmatrix} \quad (4.21a)$$

$$[C_{20}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 7.5 & -7.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -7.5 & 15 & -7.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -7.5 & 7.5 \end{bmatrix} \quad (4.21b)$$

## 22. Posisi kedua *Magnetorheological Damper* pada lantai 6



**Gambar 4.22** struktur dengan posisi *MR Damper* pada lantai 6 .

$$[C_{21}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(4.22b)

$$[C_{21}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(4.22a)

---

---

---

---

---

## **BAB V**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi tentang pembebanan struktur, perhitungan ragam bentuk dan frekuensi struktur, respon terhadap beban gempa bumi, simpangan relatif lantai, dan jarak antara dua bangunan, sebagaimana yang akan diuraikan berikut ini.

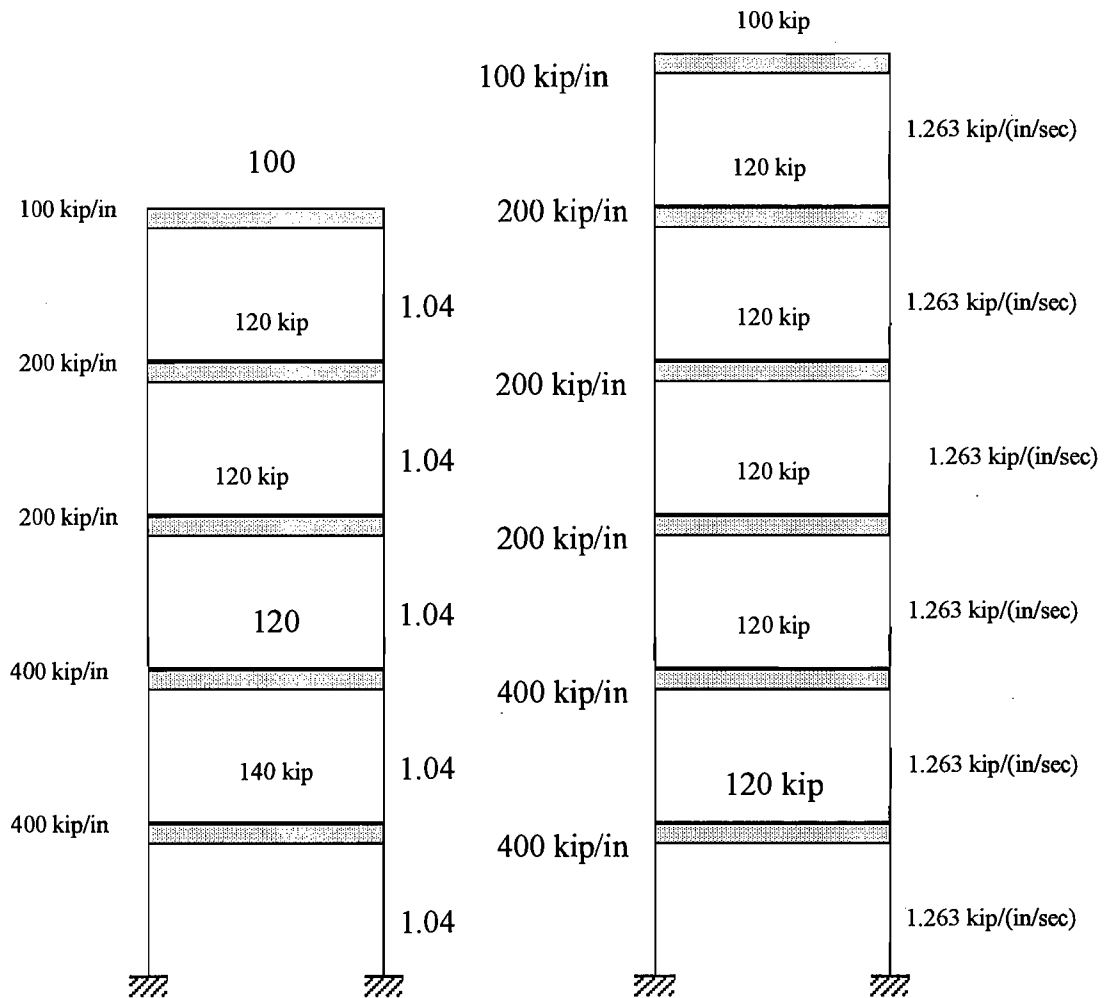
#### **5.1 Pembebanan Struktur**

Pembebanan struktur untuk model bangunan 5 lantai dan bangunan 6 lantai diambil dari buku *Element of Struktural Dinamics* (Berg,1998). Berat lantai dan kekakuan dapat dilihat pada Gambar 5.1(a) dan Gambar 5.1(b).

#### **5.2 Ragam Bentuk (*Mode Shapes*) dan Frekuensi Natural**

Dalam perhitungan berikut ini pada kondisi bangunan 5 lantai tanpa redaman, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan digunakan redaman yang penempatannya divariasikan dari lantai pertama sampai lantai teratas pada bangunan 5 lantai maupun bangunan 6 lantai. Hasil perhitungan dari matrik massa dan kekakuan untuk bangunan 5 lantai berdasarkan pada persamaan (3.7a) dan (3.7c) adalah :

$$[M] = \begin{bmatrix} 140 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 120 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 120 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 120 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 100 \end{bmatrix}$$



a. Bangunan 5 lantai

b. Bangunan 6 lantai

**Gambar 5.1** Struktur tanpa peredam tambahan

$$[K] = \begin{bmatrix} 800 & -400 & 0 & 0 & 0 \\ -400 & 600 & -200 & 0 & 0 \\ 0 & -200 & 400 & -200 & 0 \\ 0 & 0 & -200 & 300 & -100 \\ 0 & 0 & 0 & -100 & 100 \end{bmatrix}$$

Matrik massa dan kekakuan merupakan *input* persamaan *eigen problem*, dan penyelesaian selanjutnya menggunakan aplikasi program Matlab. Dari persamaan *eigen problem* diperoleh hasil yaitu nilai matrik modal struktur, yang besarnya adalah sebagai berikut:

**Tabel 5.1** Nilai modal struktur

$\{\phi_1\}$	$\{\phi_2\}$	$\{\phi_3\}$	$\{\phi_4\}$	$\{\phi_5\}$
0.1153	0.2840	0.4616	0.3654	0.6671
0.2225	0.4492	0.5110	0.1079	-0.7031
0.4095	0.4572	-0.1725	-0.7225	0.2373
0.5463	0.1371	-0.5920	0.5586	-0.0647
0.6863	-0.6998	0.3815	-0.1443	0.0084

Elemen dari massa dan kekakuan efektif sebagaimana persamaan (3.51a) dan (3.51c) adalah :

$$[K^*] = (1.0e + 003) * \begin{bmatrix} 0.0226 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1337 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3096 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5955 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.1247 \end{bmatrix},$$

$$[M^*] = \begin{bmatrix} 110.8446 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 111.8192 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 121.3505 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 122.2540 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 128.9003 \end{bmatrix}.$$

Baik matrik massa dan kekakuan adalah matrik diagonal, sehingga hasil perkalian

dari  $[M^*]^{-1}$  dengan  $[K]$  adalah  $\omega^2$  juga merupakan matrik diagonal:

$$\omega^2 = [M^*]^{-1}[K^*] = 1.0e + 003 * \begin{bmatrix} 0.0787 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.4614 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.9844 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.8793 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3.3665 \end{bmatrix},$$

$$\omega = \begin{bmatrix} 8.8718 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 21.4807 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 31.3754 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 43.3509 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 58.0215 \end{bmatrix}.$$

Nilai periode getar struktur dan frekuensi struktur dihitung berdasarkan persamaan

(3.20). Hasil perhitungan nilai periode getar struktur dan frekuensi struktur untuk

mode pertama adalah :

$$T = 0.7079 \text{ det dan } f = 1,4127 \text{ Hz}$$

Faktor partisipasi setiap mode dihitung berdasarkan rumus pada persamaan (3.56)

dan hasilnya adalah :

$$\Gamma_1 = 2.0405,$$

$$\Gamma_2 = 0.8496,$$

$$\Gamma_3 = 0.5964,$$

$$\Gamma_4 = 0.2455,$$

$$\Gamma_5 = 0.2373.$$

### 5.3 Efek Redaman

Matrik redaman dari struktur 5 lantai tanpa *MR Damper* seperti terlihat

pada persamaan (3.7b) adalah:

$$[C] = \begin{bmatrix} 2.08 & -1.04 & 0 & 0 & 0 \\ -1.04 & 2.08 & -1.04 & 0 & 0 \\ 0 & -1.04 & 2.08 & -1.04 & 0 \\ 0 & 0 & -1.04 & 2.08 & -1.04 \\ 0 & 0 & 0 & -1.04 & 1.04 \end{bmatrix}.$$

Matrik redaman efektif seperti terlihat dalam persamaan (3.51b) adalah:

$$[C^*] = \begin{bmatrix} 0.1020 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.9473 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.8787 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3.1456 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3.4357 \end{bmatrix}.$$

### 5.4 Respon Terhadap Beban Gempa Bumi

Nilai rasio redaman dihitung dengan persamaan (3.54a) dan diperoleh hasil nilai rasio redaman :

$$[\xi] = \begin{bmatrix} 0.0200 \\ 0.0761 \\ 0.0886 \\ 0.0952 \\ 0.1145 \end{bmatrix}.$$

Seperti yang terlihat berturut-turut pada persamaan (3.64a sampai dengan 3.64c),

maka hasil dari matrik  $a$ ,  $b$ ,  $\hat{k}$  adalah:

$$a = 1.0e + 003 *$$

$$\begin{bmatrix} -4.9213 \\ -4.5386 \\ -4.0156 \\ -3.1207 \\ -1.6335 \end{bmatrix} ,$$

$$b = 1.0e + 003 *$$

$$\begin{bmatrix} 2.4911 \\ 2.4183 \\ 2.3610 \\ 2.2937 \\ 2.1678 \end{bmatrix} ,$$

$$k = 1.0e + 003 *$$

$$\begin{bmatrix} 2.5089 \\ 2.5817 \\ 2.6390 \\ 2.7063 \\ 2.8322 \end{bmatrix} .$$

Setelah nilai rasio redaman diketahui untuk setiap posisi redaman pada tiap-tiap ragam goyangan, selanjutnya dicari nilai  $g_j$  menggunakan metode *central difference*. Hasil perhitungan nilai  $g_j$  sebagaimana terlihat pada persamaan (3.63) disajikan pada Lampiran-1. Selanjutnya simpangan dihitung dengan persamaan (3.65) dengan hasil perhitungan simpangan relatif lantai disajikan pada Lampiran-1. Contoh perhitungan pada bangunan 6 lantai dengan aplikasi program perhitungan dinamik, selengkapnya disajikan pada Lampiran-2.



### 5.5 Jarak Antara Dua Bangunan

Jarak antara dua bangunan dihitung dengan persamaan (3.66). Simpangan relatif maksimum pada bangunan dengan redaman diambil pada posisi redaman paling efektif. Jarak antara bangunan 5 lantai dengan bangunan 6 lantai akibat gempa El Centro pada bangunan tanpa redaman adalah 23.1112 in, sedangkan dengan redaman pada lantai 3 dan lantai 5 jaraknya adalah 13.9256 in. Jarak antara bangunan 5 lantai dengan bangunan 6 lantai akibat gempa Koyna pada bangunan tanpa redaman adalah 11.4606 in, sedangkan dengan redaman pada lantai 3 dan 5 jaraknya adalah 8.3140 in.

### 5.6 Pembahasan

Beban gempa yang terjadi pada suatu struktur akan menyebabkan struktur bergoyang. Jumlah tingkat suatu struktur akan menentukan banyaknya pola goyangan (*mode shape*) yang terjadi akibat beban gempa. Pola goyangan ini diurutkan dari yang paling besar kontribusinya sampai yang paling kecil kontribusinya terhadap simpangan struktur.

Pada penelitian ini kami mencoba memvariasikan posisi redaman ganda dari lantai pertama sampai lantai teratas pada model bangunan 5 lantai dan 6 lantai. Mengenai variasi posisi redaman lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 1. Struktur dikenai beban gempa berupa riwayat waktu (*time history*) dari gempa El Centro dan Koyna untuk mendapatkan nilai simpangan relatif, prosentase perubahan simpangan relatif serta jarak antara dua model struktur.

---

### 5.6 1 Simpangan Relatif

---

Suatu struktur akan bergetar jika mendapat pembebanan dari luar, baik berupa beban angin, getaran mesin atau gempa bumi. Getaran yang terjadi akibat pembebanan dari luar akan menyebabkan terjadinya simpangan pada struktur. Simpangan relatif lantai akan semakin membesar untuk lantai yang lebih tinggi, hal ini sesuai dengan pola goyangan pada mode pertama. Simpangan relatif lantai diambil yang paling maksimum dari waktu pembebanan pada semua beban gempa.

Nilai simpangan relatif maksimum lantai 1 sampai dengan lantai 6 akibat gempa El Centro dan Koyna dapat dilihat pada Tabel 5.2 sampai dengan Tabel 5.5. Nilai prosentase pengurangan simpangan relatif dengan penempatan redaman yang divariasikan dapat dilihat pada Gambar 5.2 sampai dengan gambar 5.23.

**Tabel 5.2** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum pada bangunan 5 lantai akibat gempa El Centro

Variasi Redaman	Posisi Redaman	Lantai 1		Lantai 2		Lantai 3		Lantai 4		Lantai 5	
		Nilai Simpangan (in)	Prosentase Perubahan (%)	Nilai Simpangan (in)	Prosentase Perubahan (%)	Nilai Simpangan (in)	Prosentase Perubahan (%)	Nilai Simpangan (in)	Prosentase Perubahan (%)	Nilai Simpangan (in)	Prosentase Perubahan (%)
1	Tanpa Redaman	0.8495	100.0000	1.5949	100.0000	2.8017	100.0000	3.6551	100.0000	4.5596	100.0000
2	Lantai 1	0.5846	68.8170	1.0894	68.3052	1.9129	68.2764	2.6614	72.8133	3.5061	76.8949
3	Lantai 1 dan 2	0.5983	70.4297	1.1143	69.8664	1.9310	68.9224	2.6836	73.4207	3.5448	77.7437
4	Lantai 1 dan 3	0.5436	63.9906	1.0143	63.5965	1.8532	66.1456	2.5790	70.5589	3.3961	74.4824
5	Lantai 1 dan 4	0.5539	65.2031	1.0305	64.6122	1.8708	66.7737	2.5980	71.0788	3.3997	74.5614
6	Lantai 1 dan 5	0.5469	64.3790	1.0184	63.8535	1.8579	66.3133	2.5848	70.7176	3.3917	74.3859
7	Lantai 2	0.8262	97.2572	1.5520	97.3102	2.7300	97.4408	3.5635	97.4939	4.4545	97.6950
8	Lantai 2 dan 3	0.6996	82.3543	1.3138	82.3751	2.3122	82.5285	3.0208	82.6462	3.7939	83.2069
9	Lantai 2 dan 4	0.5664	66.6745	1.0517	65.9414	1.8793	67.0771	2.6189	71.6506	3.4442	75.5373
10	Lantai 2 dan 5	0.5521	64.9912	1.0323	64.7251	1.8861	67.3198	2.6016	71.1773	3.4028	74.6294
11	Lantai 3	0.8309	97.8105	1.5701	98.4450	2.7934	99.7038	3.6673	100.3338	4.5481	99.7478
12	Lantai 3 dan 4	0.5043	59.3643	0.9393	58.8940	1.7784	63.4757	2.4780	67.7957	3.2431	71.1269
13	Lantai 3 dan 5	0.4558	53.6551	0.8636	54.1476	1.6912	60.3634	2.3390	63.9928	3.0318	66.4927
14	Lantai 4	0.6001	70.6416	1.1201	70.2301	1.9499	69.5970	2.6913	73.6314	3.5595	78.0661
15	Lantai 4 dan 5	0.6804	80.0942	1.2805	80.2872	2.2628	80.7652	2.9606	80.9992	3.7747	82.7858
16	Lantai 5	0.8130	95.7034	1.5340	96.1816	2.7230	97.1910	3.5724	97.7374	4.4328	97.2191

**Tabel 5.3** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum pada bangunan 6 lantai akibat gempa El Centro

Variasi Redaman	Posisi Redaman	Lantai 1		Lantai 2		Lantai 3		Lantai 4		Lantai 5		Lantai 6	
		Nilai Simpangan (in)	Prosentase Perubahan (%)	Nilai Simpangan (in)	Prosentase Perubahan (%)	Nilai Simpangan (in)	Prosentase Perubahan (%)	Nilai Simpangan (in)	Prosentase Perubahan (%)	Nilai Simpangan (in)	Prosentase Perubahan (%)	Nilai Simpangan (in)	Prosentase Perubahan (%)
1	Tanpa Redaman	1.1299	100.0000	2.2004	100.0000	4.1596	100.0000	5.8189	100.0000	6.9960	100.0000	8.0961	100.0000
2	Lantai 1	0.8241	72.9357	1.6046	72.9231	3.0398	73.0791	4.2471	72.9880	5.1028	72.9388	5.9253	73.1871
3	Lantai 1 dan 2	0.8360	73.9888	1.6263	73.9093	3.0785	74.0095	4.3050	73.9831	5.1760	73.9851	6.0031	74.1480
4	Lantai 1 dan 3	0.7025	62.1736	1.3662	62.0887	2.5868	62.1887	3.6156	62.1355	4.3466	62.1298	5.0501	62.3769
5	Lantai 1 dan 4	0.7161	63.3773	1.3924	63.2794	2.6367	63.3883	3.6863	63.3505	4.4317	63.3462	5.1465	63.5676
6	Lantai 1 dan 5	0.8232	72.8560	1.6035	72.8731	3.0370	73.0118	4.2405	72.8746	5.0938	72.8102	5.9162	73.0747
7	Lantai 1 dan 6	0.8252	73.0330	1.6098	73.1594	3.0546	73.4349	4.2620	73.2441	5.1147	73.1089	5.9437	73.4144
8	Lantai 2	0.7263	64.2800	1.4123	64.1838	2.6760	64.3331	3.7416	64.3008	4.4977	64.2896	5.2209	64.4866
9	Lantai 2 dan 3	0.8610	76.2014	1.6771	76.2180	3.1774	76.3872	4.4390	76.2859	5.3333	76.2336	6.1899	76.4553
10	Lantai 2 dan 4	0.7781	68.8645	1.5146	68.8329	2.8725	69.0571	4.0169	69.0319	4.8266	68.9909	5.5999	69.1679
11	Lantai 2 dan 5	1.0081	89.2203	1.9660	89.3474	3.7270	89.6000	5.1961	89.2969	6.2342	89.1109	7.2468	89.5098
12	Lantai 2 dan 6	0.8402	74.3606	1.6368	74.3865	3.0983	74.4855	4.3162	74.1755	5.1790	74.0280	6.0297	74.4766
13	Lantai 3	0.9738	86.1846	1.8974	86.2298	3.5925	86.3665	5.0084	86.0713	6.0103	85.9105	6.9841	86.2650
14	Lantai 3 dan 4	0.8202	72.5905	1.5970	72.5777	3.0218	72.6464	4.2128	72.3986	5.0577	72.2942	5.8859	72.7004
15	Lantai 3 dan 5	0.6346	56.1643	1.2343	56.0943	2.3387	56.2242	3.2700	56.1962	3.9310	56.1893	4.5687	56.4309
16	Lantai 3 dan 6	0.6395	56.5979	1.2450	56.5806	2.3561	56.6425	3.2837	56.4316	3.9401	56.3193	4.5822	56.5976
17	Lantai 4	0.7157	63.3419	1.3906	63.1976	2.6294	63.2128	3.6810	63.2594	4.4298	63.3190	5.1365	63.4441
18	Lantai 4 dan 5	0.8626	76.3430	1.6800	76.3498	3.1813	76.4809	4.4402	76.3065	5.3329	76.2278	6.1974	76.5480
19	Lantai 4 dan 6	0.8831	78.1574	1.7205	78.1903	3.2565	78.2888	4.5359	77.9512	5.4431	77.8030	6.3396	78.3044
20	Lantai 5	1.0656	94.3092	2.0801	94.5328	3.9504	94.9707	5.5136	94.7533	6.6158	94.5655	7.6767	94.8197
21	Lantai 5 dan 6	1.1013	97.4688	2.1455	97.5050	4.0574	97.5430	5.6446	97.0046	6.7687	96.7510	7.8846	97.3876
22	Lantai 6	1.1249	99.5575	2.1947	99.7410	4.1608	100.0288	5.7949	99.5876	6.9485	99.3210	8.0813	99.8172

**Tabel 5.4** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum pada bangunan 5 lantai akibat gempa Koyna

Variasi Redaman	Posisi Redaman	Lantai 1		Lantai 2		Lantai 3		Lantai 4		Lantai 5	
		Nilai Simpangan (in)	Prosentase Perubahan (%)	Nilai Simpangan (in)	Prosentase Perubahan (%)	Nilai Simpangan (in)	Prosentase Perubahan (%)	Nilai Simpangan (in)	Prosentase Perubahan (%)	Nilai Simpangan (in)	Prosentase Perubahan (%)
1	Tanpa Redaman	0.6381	100.0000	1.1832	100.0000	2.0390	100.0000	2.6181	100.0000	3.2612	100.0000
2	Lantai 1	0.4568	71.5875	0.8416	71.1291	1.4486	71.0446	1.9625	74.9589	2.5806	79.1304
3	Lantai 1 dan 2	0.4687	73.4524	0.8653	73.1322	1.4854	72.8494	1.9860	75.8565	2.6209	80.3661
4	Lantai 1 dan 3	0.4327	67.8107	0.7928	67.0047	1.3688	67.1309	1.8814	71.8613	2.4661	75.6194
5	Lantai 1 dan 4	0.4248	66.5726	0.7842	66.2779	1.3815	67.7538	1.8934	72.3196	2.4776	75.9720
6	Lantai 1 dan 5	0.4277	67.0271	0.7852	66.3624	1.3744	67.4056	1.8812	71.8536	2.4658	75.6102
7	Lantai 2	0.6086	95.3769	1.1411	96.4419	1.9957	97.8764	2.5774	98.4454	3.1911	97.8505
8	Lantai 2 dan 3	0.5353	83.8897	0.9955	84.1362	1.7426	85.4635	2.2531	86.0586	2.8816	88.3601
9	Lantai 2 dan 4	0.4434	69.4875	0.8141	68.8049	1.3954	68.4355	1.9108	72.9842	2.5218	77.3274
10	Lantai 2 dan 5	0.4250	66.6040	0.7844	66.2948	1.4055	68.9308	1.9122	73.0377	2.4722	75.8065
11	Lantai 3	0.6018	94.3112	1.1308	95.5713	2.0044	98.3031	2.6202	100.0802	3.2434	99.4542
12	Lantai 3 dan 4	0.3967	62.1689	0.7256	61.3252	1.2901	63.2712	1.7750	67.7973	2.3311	71.4798
13	Lantai 3 dan 5	0.3437	53.8630	0.6560	55.4429	1.2126	59.4703	1.6497	63.0113	2.1363	65.5066
14	Lantai 4	0.4721	73.9853	0.8712	73.6308	1.4992	73.5262	2.0002	76.3989	2.6308	80.6697
15	Lantai 4 dan 5	0.5355	83.9210	0.9888	83.5700	1.7105	83.8892	2.2021	84.1106	2.8481	87.3329
16	Lantai 5	0.6030	94.4993	1.1265	95.2079	1.9794	97.0770	2.5766	98.4149	3.1818	97.5653

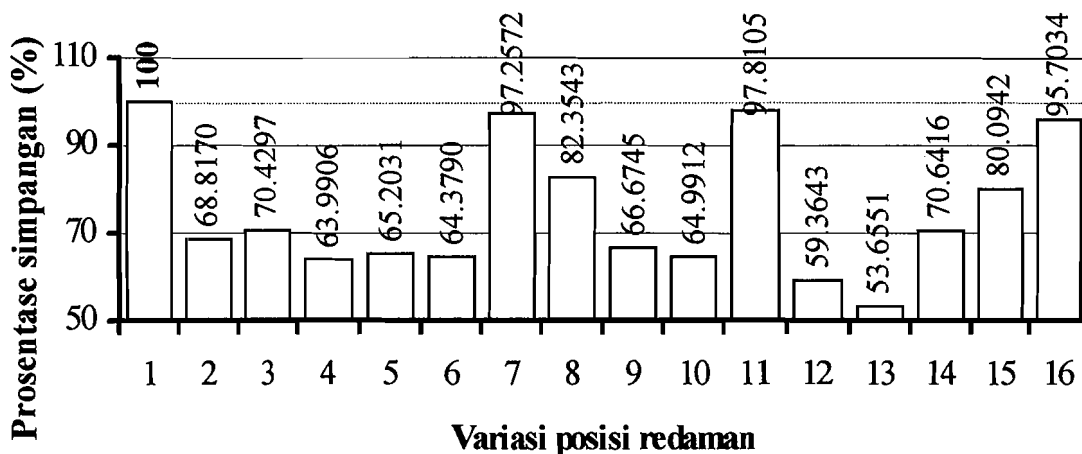
**Tabel 5.5** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum pada bangunan 6 lantai akibat gempa Koyna

Variasi Redaman	Posisi Redaman	Lantai 1		Lantai 2		Lantai 3		Lantai 4		Lantai 5		Lantai 6	
		Nilai Simpangan (in)	Prosentase Perubahan (%)	Nilai Simpangan (in)	Prosentase Perubahan (%)	Nilai Simpangan (in)	Prosentase Perubahan (%)	Nilai Simpangan (in)	Prosentase Perubahan (%)	Nilai Simpangan (in)	Prosentase Perubahan (%)	Nilai Simpangan (in)	Prosentase Perubahan (%)
1	Tanpa Redaman	0.5009	100.0000	0.9346	100.0000	1.6022	100.0000	2.1198	100.0000	2.4691	100.0000	2.8783	100.0000
2	Lantai 1	0.4299	85.8255	0.8102	86.6895	1.4254	88.9652	1.9016	89.7066	2.2369	90.5958	2.6272	91.2761
3	Lantai 1 dan 2	0.4368	87.2030	0.8150	87.2031	1.4329	89.4333	1.9092	90.0651	2.2459	90.9603	2.6419	91.7868
4	Lantai 1 dan 3	0.4028	80.4153	0.7556	80.8474	1.3345	83.2917	1.7839	84.1542	2.1080	85.3752	2.4856	86.3565
5	Lantai 1 dan 4	0.4064	81.1340	0.7593	81.2433	1.3425	83.7910	1.7953	84.6920	2.1233	85.9949	2.5063	87.0757
6	Lantai 1 dan 5	0.4224	84.3282	0.7929	84.8384	1.4085	87.9104	1.8907	89.1924	2.2388	90.6727	2.6337	91.5019
7	Lantai 1 dan 6	0.4203	83.9090	0.7895	84.4746	1.4090	87.9416	1.8920	89.2537	2.2405	90.7416	2.6395	91.7034
8	Lantai 2	0.4091	81.6730	0.7621	81.5429	1.3480	84.1343	1.8029	85.0505	2.1344	86.4445	2.5230	87.6559
9	Lantai 2 dan 3	0.4343	86.7039	0.8118	86.8607	1.4381	89.7578	1.9239	90.7586	2.2724	92.0335	2.6739	92.8986
10	Lantai 2 dan 4	0.4260	85.0469	0.7949	85.0524	1.3984	87.2800	1.8595	87.7205	2.1878	88.6072	2.5831	89.7439
11	Lantai 2 dan 5	0.4562	91.0761	0.8617	92.1999	1.5314	95.5811	2.0422	96.3393	2.3947	96.9868	2.7903	96.9426
12	Lantai 2 dan 6	0.4142	82.6912	0.7853	84.0253	1.4143	88.2724	1.9077	89.9943	2.2597	91.5192	2.6409	91.7521
13	Lantai 3	0.4401	87.8618	0.8285	88.6475	1.4843	92.6414	2.0003	94.3627	2.3712	96.0350	2.7796	96.5709
14	Lantai 3 dan 4	0.4154	82.9307	0.7839	83.8755	1.4057	87.7356	1.8918	89.2443	2.2398	90.7132	2.6193	91.0016
15	Lantai 3 dan 5	0.3880	77.4606	0.7246	77.5305	1.2805	79.9214	1.7089	80.6161	2.0207	81.8395	2.3924	83.1185
16	Lantai 3 dan 6	0.3745	74.7654	0.7054	75.4761	1.2610	78.7043	1.7045	80.4085	2.0303	82.2283	2.3904	83.0490
17	Lantai 4	0.4132	82.4915	0.7677	82.1421	1.3493	84.2155	1.7966	84.7533	2.1195	85.8410	2.5046	87.0166
18	Lantai 4 dan 5	0.4333	86.5043	0.8129	86.9784	1.4450	90.1885	1.9314	91.1124	2.2759	92.1753	2.6645	92.5720
19	Lantai 4 dan 6	0.4266	85.1667	0.8104	86.7109	1.4558	90.8626	1.9533	92.1455	2.2993	93.1230	2.6730	92.8673
20	Lantai 5	0.4856	96.9455	0.8985	96.1374	1.5800	98.6144	2.0867	98.4385	2.4296	98.4002	2.8316	98.3775
21	Lantai 5 dan 6	0.4793	95.6878	0.8672	92.7884	1.5668	97.7905	2.1057	99.3348	2.4699	100.0324	2.8449	98.8396
22	Lantai 6	0.4846	96.7459	0.8838	94.5645	1.5825	98.7704	2.1135	99.7028	2.4762	100.2876	2.8786	100.0104

## 5.6.2 Simpangan Relatif Maksimum pada Bangunan 5 Lantai Akibat Gempa

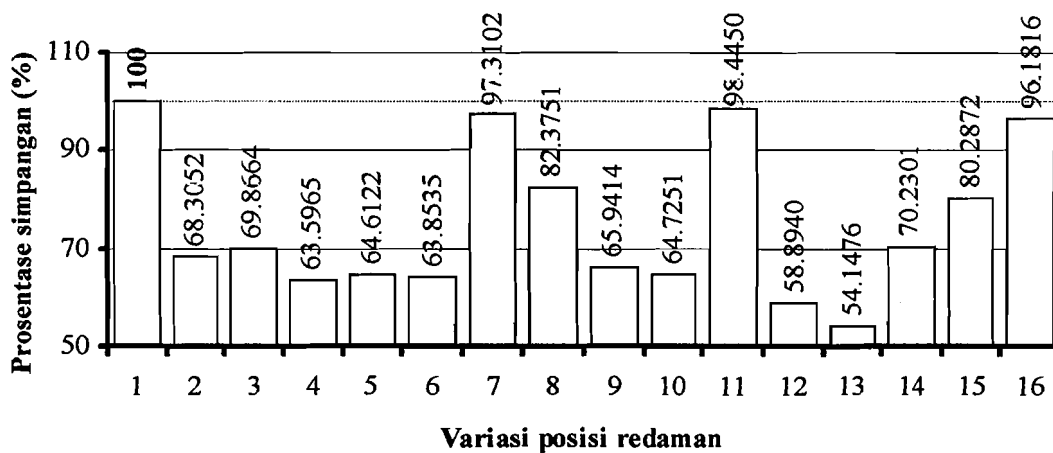
### El-Centro

Nilai simpangan relatif maksimum dan prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 1 akibat gempa El Centro dapat dilihat pada Tabel 5.2 yang ditunjukkan dengan grafik pada Gambar 5.2. Dari Tabel 5.2 dan Gambar 5.2 dapat dilihat bahwa nilai simpangan relatif menjadi berkurang dengan pemakaian redaman, apabila dibandingkan dengan bangunan tanpa redaman. Redaman paling efektif ditempatkan pada lantai 3 dan 5 dengan nilai simpangan relatif sebesar 0.4558 in (53.655%), hal ini karena penempatan ganda redaman dipisah dan posisi redaman pada lantai-lantai dengan nilai simpangan relatif yang besar. Penempatan redaman pada lantai 2, 3 dan 5 tidak efektif, dengan nilai prosentase simpangan relatif berturut-turut 97.2572%, 97.8105% dan 95.7034%. Hal tersebut cenderung disebabkan oleh 2 hal berikut ini. Pertama karena beban gempa yang merambat dari bawah bangunan. Kedua karena penempatan redaman digabungkan pada satu lantai.



**Gambar 5.2** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 1 pada bangunan 5 lantai akibat gempa El Centro

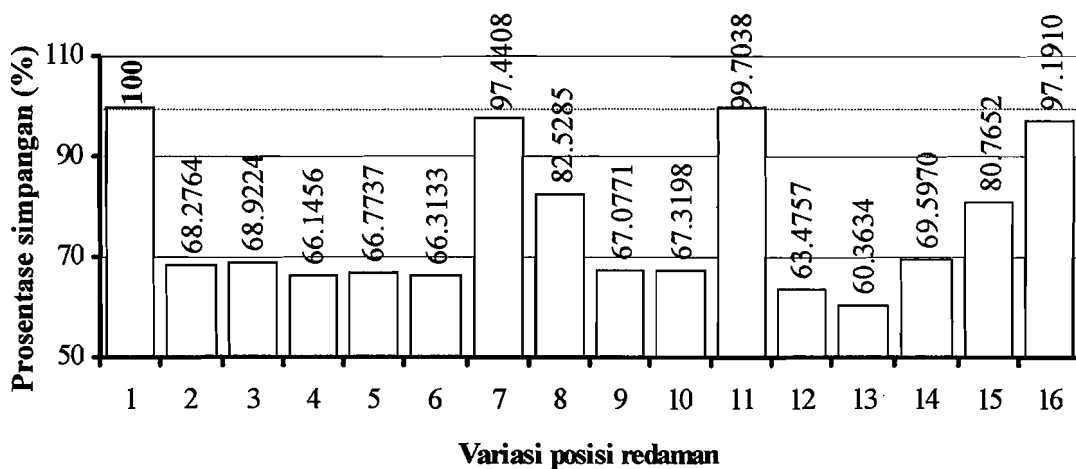
Nilai simpangan relatif dan prosentase perubahan simpangan relatif lantai 2 akibat gempa El Centro dapat dilihat pada Tabel 5.2 yang diperlihatkan dengan grafik pada Gambar 5.3. Dari Tabel 5.2 dapat diketahui bahwa nilai simpangan relatif lantai 2 semakin besar dibandingkan dari simpangan relatif lantai 1. Penempatan redaman paling efektif pada lantai 3 dan 5 dengan nilai simpangan relatif maksimum sebesar 0.8636 in (54.1476%), hal ini karena penempatan redaman dipisah dan posisi redaman pada lantai-lantai dengan nilai simpangan relatif yang besar. Nilai prosentase simpangan relatif lantai 2 (54.1476%) lebih besar dibandingkan dengan nilai prosentase simpangan relatif lantai 1 (53.6551%) dengan kata lain bahwa kemampuan redaman untuk memperkecil simpangan semakin kecil. Beban gempa yang merambat dari bawah bangunan dan penempatan redaman pada satu lantai menyebabkan penempatan redaman ganda pada lantai 2, 3 dan 5 tidak efektif, dengan nilai prosentase perubahan simpangan relatif secara berurutan sebesar 97.3102%, 98.4450% dan 96.18716%.



**Gambar 5.3** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 2 pada bangunan 5 lantai akibat gempa El Centro



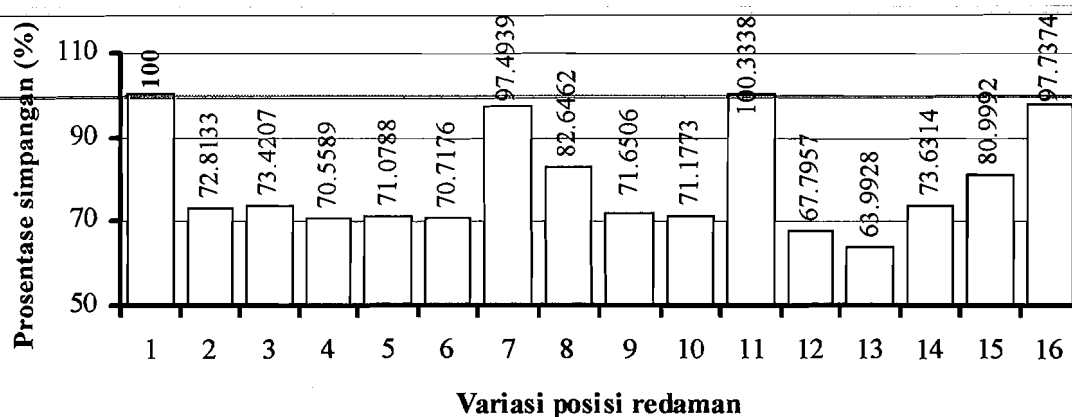
Dari Tabel 5.2 dan Gambar 5.4 dapat dilihat nilai simpangan relatif dan prosentase perubahan simpangan relatif lantai 3 akibat gempa El Centro. Nilai simpangan relatif lantai 3 semakin besar dibandingkan dari simpangan relatif lantai 2 dan simpangan relatif lantai 1. Redaman paling efektif ditempatkan pada lantai 3 dan 5 dengan nilai simpangan relatif maksimum sebesar 1.6912 in (60.3634%), hal ini karena penempatan redaman dipisah dan posisi redaman pada lantai-lantai dengan nilai simpangan relatif yang besar. Nilai prosentase simpangan relatif lantai 3 (60.3634%) lebih besar dibandingkan dengan nilai prosentase simpangan relatif lantai 1 (53.6551%) dan lantai 2 (54.1476) dengan kata lain bahwa kemampuan redaman untuk memperkecil simpangan semakin kecil pada lantai yang lebih tinggi. Penempatan redaman ganda pada lantai 2, 3 dan 5 tidak efektif, dengan nilai prosentase perubahan simpangan relatif secara berurutan sebesar 97.4408%, 99.7038% dan 97.1910%. Hal ini disebabkan karena beban gempa yang merambat dari bawah bangunan dan penempatan redaman ganda pada satu lantai.



**Gambar 5.4** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 3 pada bangunan 5 lantai akibat gempa El Centro

Nilai simpangan relatif dan prosentase perubahan simpangan relatif lantai 4 akibat gempa El Centro dapat dilihat pada Tabel 5.2 yang ditunjukkan dengan grafik pada Gambar 5.5. Dari Tabel 5.2 dan Gambar 5.5 dapat dilihat bahwa nilai simpangan relatif menjadi berkurang dengan pemakaian redaman, kecuali untuk posisi redaman pada lantai 3 dengan nilai simpangan relatif 3.6673 in (100.3338%). Dari Tabel 5.2 dapat dilihat bahwa nilai simpangan relatif lantai 4 semakin besar dibandingkan dari simpangan relatif lantai-lantai dibawahnya. Dengan penempatan redaman dipisah (tidak pada lantai yang berurutan) dan posisi redaman pada lantai-lantai yang mengalami simpangan yang besar, maka didapatkan posisi redaman yang paling efektif dengan nilai simpangan relatif lantai sebesar 2.3390 in (63.9928%). Nilai prosentase simpangan relatif lantai 4 (63.9928%) lebih besar dibandingkan dengan nilai prosentase simpangan relatif lantai 1 (53.6551%), 2 (54.1476%), dan 3 (60.3634%) dengan kata lain bahwa kemampuan redaman untuk memperkecil simpangan semakin kecil untuk lantai yang lebih tinggi. Penempatan redaman ganda pada lantai 2, 3 dan 5 tidak efektif, dengan nilai prosentase perubahan simpangan relatif berturut-turut 97.4939%, 100.3338% dan 97.7374%. Hal ini disebabkan oleh 2 hal sebagai berikut:

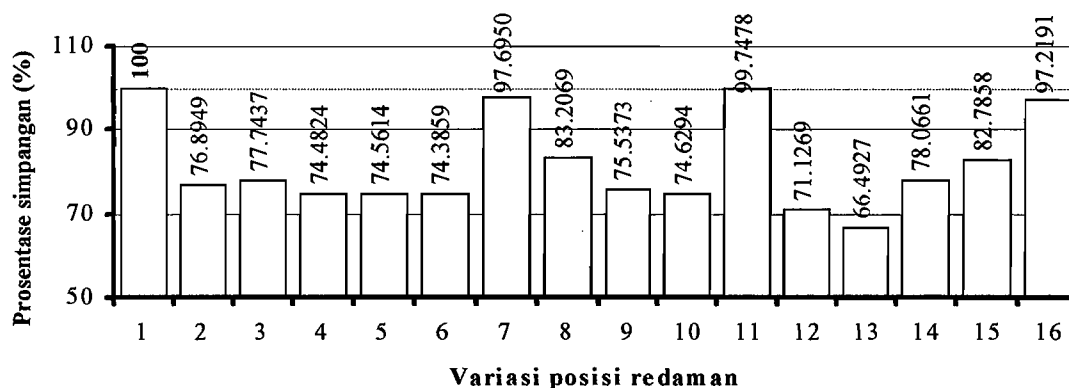
1. beban gempa yang merambat dari bawah bangunan,
2. penempatan redaman digabungkan pada satu lantai.



**Gambar 5.5** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 4 pada bangunan 5 lantai akibat gempa El Centro

Nilai simpangan relatif dan prosentase perubahan simpangan relatif lantai 5 akibat gempa El Centro dapat dilihat pada Tabel 5.2 yang diperlihatkan dengan grafik pada Gambar 5.6. Dari Tabel 5.2 dapat dilihat bahwa nilai simpangan relatif lantai 5 semakin besar dibandingkan dari simpangan relatif lantai-lantai dibawahnya. Penempatan redaman paling efektif pada lantai 3 dan 5 dengan nilai simpangan relatif maksimum sebesar 3.0318 in (66.4927%), hal ini karena penempatan redaman dipisah dan posisi redaman pada lantai-lantai dengan nilai simpangan relatif yang besar. Nilai prosentase simpangan relatif lantai 5 (66.4927%) lebih besar dibandingkan dengan nilai prosentase simpangan relatif lantai 1 (53.6551%), 2 (54.1476%), 3 (60.3634%), dan 4 (63.9928%) dengan kata lain bahwa kemampuan redaman untuk memperkecil simpangan semakin kecil pada lantai dengan simpangan relatif yang lebih besar. Beban gempa yang merambat dari bawah bangunan dan redaman yang ditempatkan pada satu lantai menyebabkan penempatan redaman

ganda pada lantai 2, 3 dan 5 tidak efektif, dengan nilai prosentase perubahan simpangan relatif berturut-turut 97.6950%, 99.7478% dan 97.2191%.

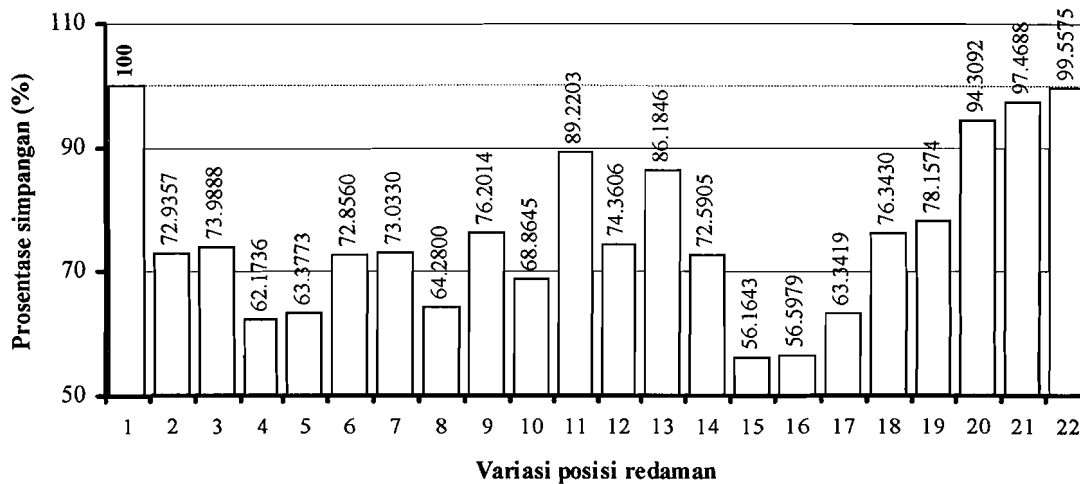


**Gambar 5.6** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 5 pada bangunan 5 lantai akibat gempa El Centro

### 5.6.3 Simpangan Relatif Maksimum pada Bangunan 6 Lantai Akibat Gempa El Centro

Nilai simpangan relatif dan prosentase perubahan simpangan relatif lantai 1 akibat gempa El Centro dapat dilihat pada Tabel 5.3 yang diperlihatkan dengan grafik pada Gambar 5.7. Dari Tabel 5.3 dan Gambar 5.7 dapat dilihat bahwa nilai simpangan relatif maksimum menjadi berkurang dengan pemakaian redaman, apabila dibandingkan dengan bangunan tanpa redaman. Redaman paling efektif ditempatkan pada lantai 3 dan 5 dengan nilai simpangan relatif maksimum sebesar 0.6346 in (56.1643%), hal ini karena penempatan ganda redaman dipisah dan posisi redaman pada lantai-lantai dengan nilai simpangan relatif yang besar. Beban gempa yang merambat dari bawah bangunan dan redaman ganda yang ditempatkan pada satu lantai menyebabkan penempatan redaman ganda pada lantai 3, 5 dan 6 tidak efektif,

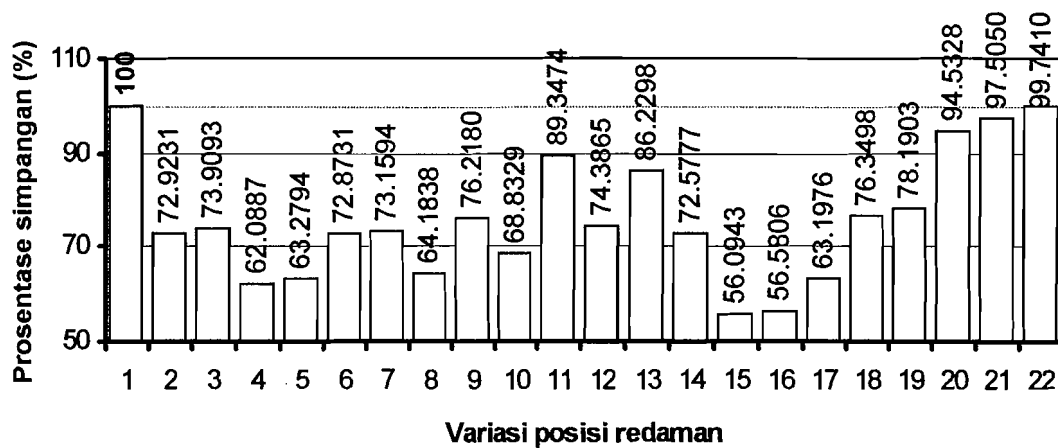
dengan nilai prosentase perubahan simpangan relatif secara berurutan sebesar 86.1846%, 94.3092% dan 99.5575%.



**Gambar 5.7** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 1 pada bangunan 6 lantai akibat gempa El Centro

Nilai simpangan relatif dan prosentase perubahan simpangan relatif lantai 2 akibat gempa El Centro dapat dilihat pada Tabel 5.3 yang ditunjukkan dengan grafik pada Gambar 5.8. Dari Tabel 5.3 dapat diketahui bahwa nilai simpangan relatif lantai 2 semakin besar dibandingkan dari simpangan relatif lantai 1. Penempatan redaman paling efektif pada lantai 3 dan 5 dengan nilai simpangan relatif maksimum sebesar 1.2343 in (56.0943%), hal ini karena penempatan redaman dipisah dan posisi redaman pada lantai-lantai dengan nilai simpangan relatif yang besar. Nilai prosentase simpangan relatif lantai 2 (56.0943%) lebih kecil dibandingkan dengan nilai prosentase simpangan relatif lantai 1 (56.1643%), hal ini berarti tidak seperti pada bangunan 5 lantai. Penempatan redaman ganda pada lantai 3, 5 dan 6 tidak efektif, dengan nilai prosentase perubahan simpangan relatif berturut-turut 86.2298%,

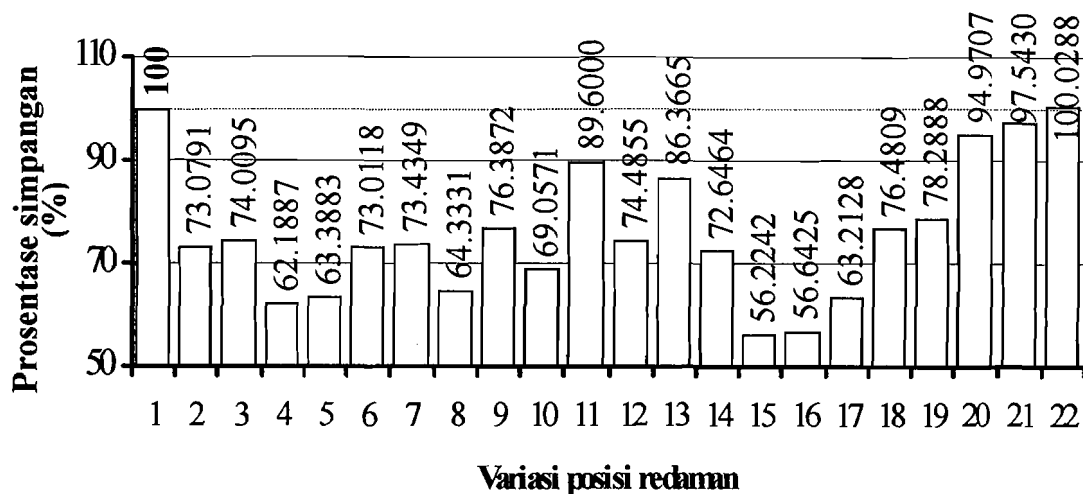
94.5328% dan 99.7410%. Hal ini disebabkan karena beban gempa yang merambat dari bawah bangunan dan posisi redaman berada pada satu lantai.



**Gambar 5.8** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 2 pada bangunan 6 lantai akibat gempa El Centro

Dari Tabel 5.3 dan Gambar 5.9 dapat dilihat nilai simpangan relatif dan prosentase perubahan simpangan relatif lantai 3 akibat gempa El Centro. Nilai simpangan relatif lantai 3 semakin besar dibandingkan dari simpangan relatif lantai 2 dan simpangan relatif lantai 1. Redaman paling efektif ditempatkan pada lantai 3 dan 5 dengan nilai simpangan relatif maksimum sebesar 2.3387 in (56.2242%), hal ini karena penempatan redaman dipisah dan posisi redaman pada lantai-lantai dengan nilai simpangan relatif yang besar. Nilai prosentase simpangan relatif lantai 3 (56.2242%) lebih besar dibandingkan dengan nilai prosentase simpangan relatif lantai 1 (56.1643%) dan lantai 2 (56.5979%) dengan kata lain bahwa kemampuan redaman untuk memperkecil simpangan semakin kecil pada lantai yang lebih tinggi. Beban gempa yang merambat dari bawah bangunan dan penempatan redaman pada satu

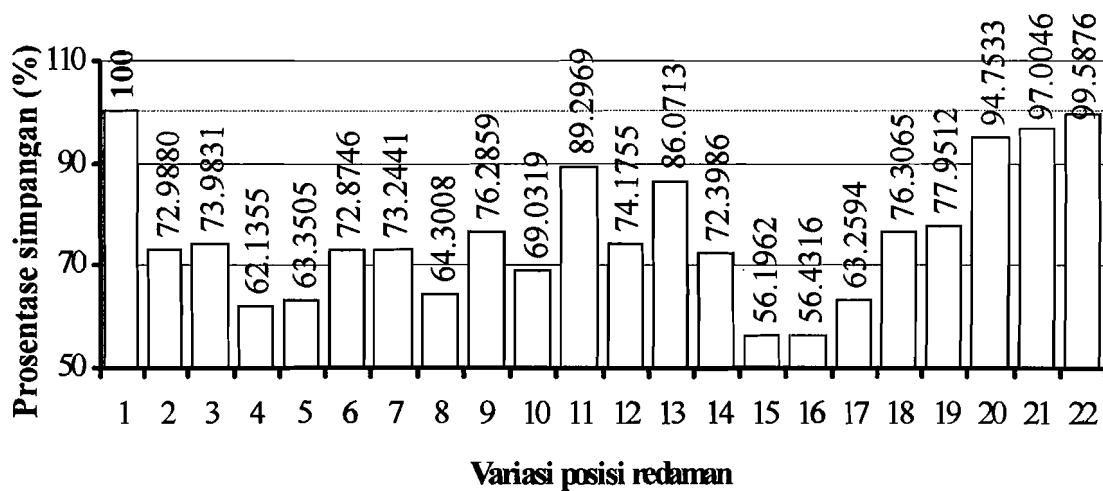
lantai menyebabkan penempatan redaman ganda pada lantai 3, 5 dan 6 tidak efektif, dengan nilai prosentase perubahan simpangan relatif berturut-turut 86.3665%, 94.9707% dan 100.0288%. Dari hasil perhitungan, nilai prosentase simpangan relatif dengan redaman pada lantai 6 adalah 100.0288% dapat disimpulkan bahwa penempatan redaman yang tepat sangat diperlukan.



**Gambar 5.9** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 3 pada bangunan 6 lantai akibat gempa El Centro

Nilai simpangan relatif dan prosentase perubahan simpangan relatif lantai 4 akibat gempa El Centro dapat dilihat pada Tabel 5.3 yang ditunjukkan dengan grafik pada Gambar 5.10. Dari Tabel 5.3 dan Gambar 5.10 dapat dilihat bahwa nilai simpangan relatif menjadi berkurang dengan pemakaian redaman, apabila dibandingkan dengan bangunan tanpa redaman. Dari Tabel 5.3 dapat dilihat bahwa nilai simpangan relatif lantai 4 semakin besar dibandingkan dari simpangan relatif lantai-lantai dibawahnya. Dengan penempatan redaman dipisah (tidak pada lantai yang berurutan) dan posisi redaman pada lantai-lantai yang mengalami simpangan

yang besar, maka didapatkan posisi redaman yang paling efektif dengan nilai simpangan relatif lantai sebesar 3.2700 in (56.1962%). Beban gempa yang merambat dari bawah bangunan dan penempatan redaman digabungkan pada satu lantai menyebabkan penempatan redaman ganda pada lantai 3, 5 dan 6 tidak efektif, dengan nilai prosentase perubahan simpangan relatif berturut-turut 86.0713%, 94.7533% dan 99.5876%.

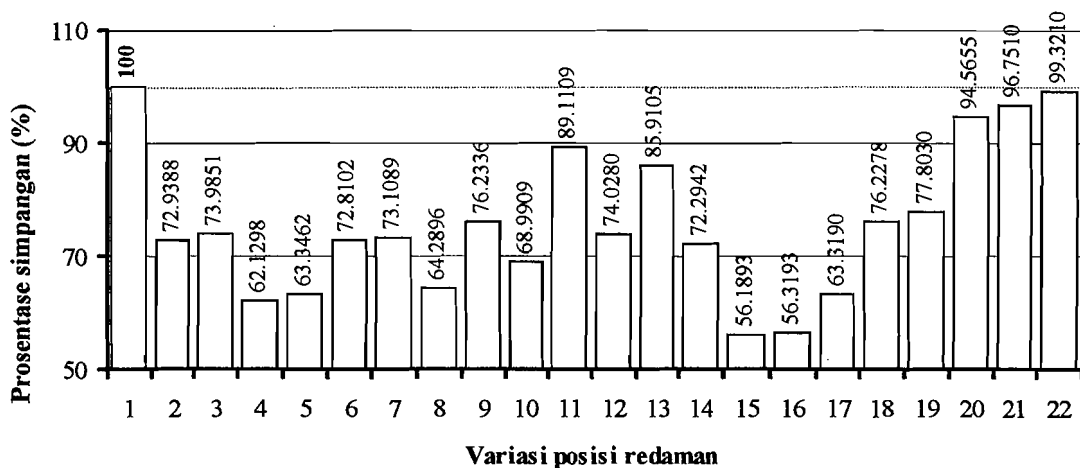


**Gambar 5.10** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 4 pada bangunan 6 lantai akibat gempa El Centro

Nilai simpangan relatif dan prosentase perubahan simpangan relatif lantai 5 akibat gempa El Centro dapat dilihat pada Tabel 5.3 yang ditunjukkan dengan grafik pada Gambar 5.11. Dari Tabel 5.3 dapat dilihat bahwa nilai simpangan relatif lantai 5 semakin besar dibandingkan dari simpangan relatif lantai-lantai dibawahnya. Penempatan redaman paling efektif pada lantai 3 dan 5 dengan nilai simpangan relatif maksimum sebesar 3.9310 in (56.1893%), hal ini karena penempatan redaman



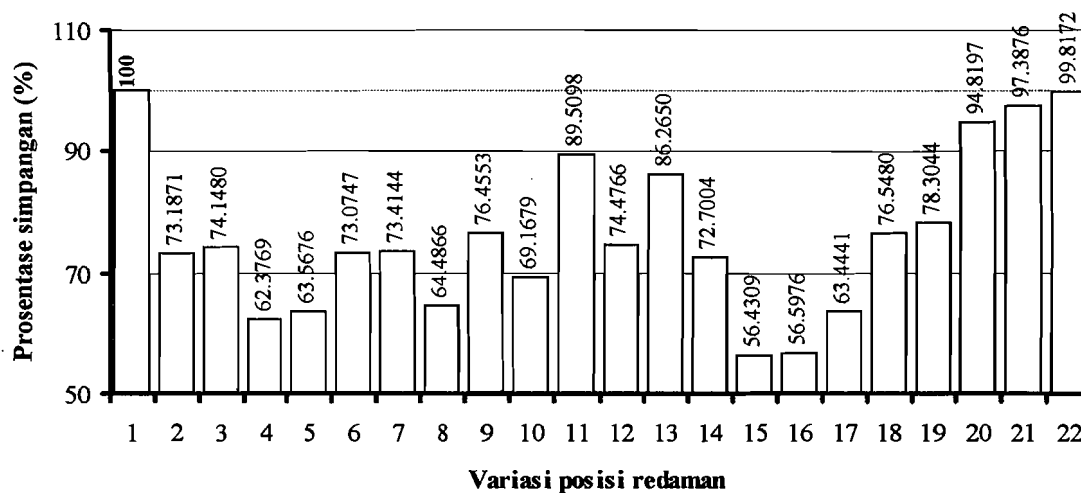
dipisah dan posisi redaman pada lantai-lantai dengan nilai simpangan relatif yang besar. Beban gempa yang merambat dari bawah bangunan dan penempatan redaman digabungkan pada satu lantai menyebabkan penempatan redaman ganda pada lantai 3, 5 dan 6 tidak efektif, dengan nilai prosentase perubahan simpangan relatif berturut-turut 85.9105%, 94.5655% dan 99.3210%.



**Gambar 5.11** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 5 pada bangunan 6 lantai akibat gempa El Centro

Nilai simpangan relatif dan prosentase perubahan simpangan relatif lantai 6 akibat gempa El Centro dapat dilihat pada Tabel 5.3 yang diperlihatkan dengan grafik pada Gambar 5.12. Dari Tabel 5.3 dapat dilihat bahwa nilai simpangan relatif lantai 5 semakin besar dibandingkan dari simpangan relatif lantai-lantai dibawahnya. Penempatan redaman paling efektif pada lantai 3 dan 5 dengan nilai simpangan relatif maksimum sebesar 4.5687 in (56.4309%), hal ini karena penempatan redaman dipisah dan posisi redaman pada lantai-lantai dengan nilai simpangan relatif yang besar. Penempatan redaman ganda pada lantai 3, 5 dan 6 tidak efektif, dengan nilai

prosentase perubahan simpangan relatif berturut-turut 86.2650%, 94.8197% dan 99.8172%. Hal ini disebabkan oleh beban gempa yang merambat dari bawah bangunan dan penempatan redaman digabungkan pada satu lantai.

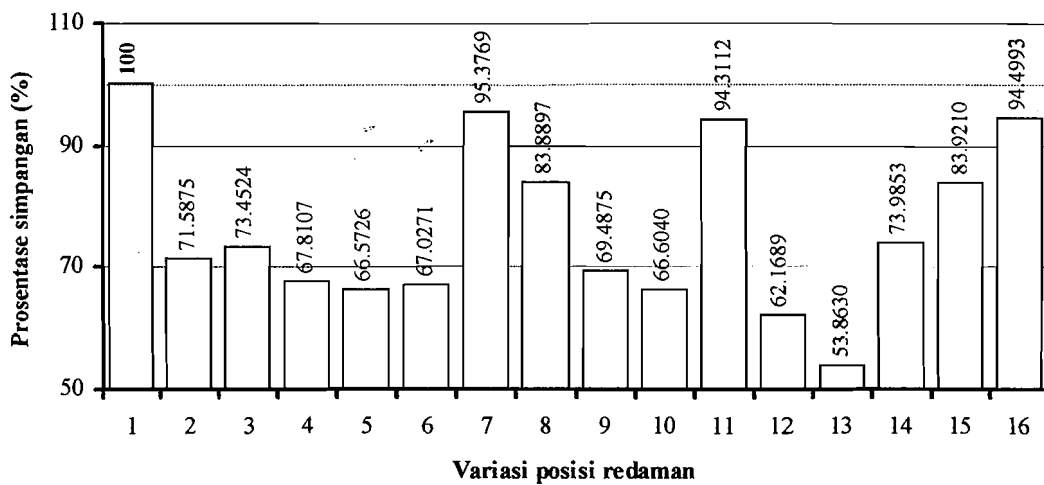


**Gambar 5.12** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 6 pada bangunan 6 lantai akibat gempa El Centro

#### 5.6.4 Simpangan Relatif Maksimum pada Bangunan 5 Lantai Akibat Gempa Koyna

Nilai simpangan relatif dan prosentase perubahan simpangan relatif lantai 1 akibat gempa Koyna dapat dilihat pada Tabel 5.4 yang ditunjukkan dengan grafik pada Gambar 5.13. Dari Tabel 5.4 dan Gambar 5.13 dapat dilihat bahwa nilai simpangan relatif maksimum menjadi berkurang dengan pemakaian redaman, apabila dibandingkan dengan bangunan tanpa redaman. Redaman paling efektif ditempatkan pada lantai 3 dan 5 dengan nilai simpangan relatif maksimum sebesar 0.3437 in (53.8630%), hal ini karena penempatan ganda redaman dipisah dan posisi redaman pada lantai-lantai dengan nilai simpangan relatif yang besar. Beban gempa yang

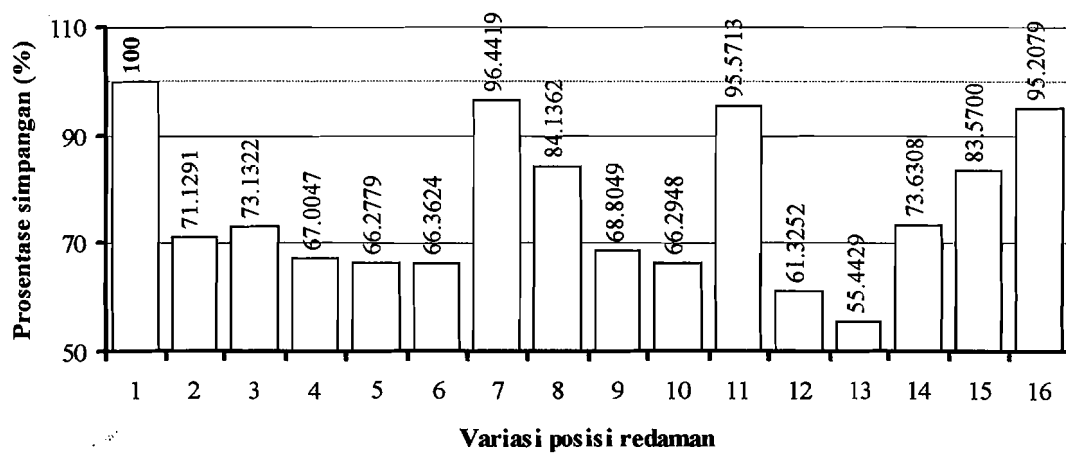
merambat dari bawah bangunan dan penempatan redaman pada satu lantai menyebabkan penempatan redaman ganda pada lantai 2, 3 dan 5 tidak efektif, dengan nilai prosentase perubahan simpangan relatif secara berurutan sebesar 95.3769%, 94.3112% dan 94.4993%.



**Gambar 5.13** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 1 pada bangunan 5 lantai akibat gempa Koyna

Nilai simpangan relatif dan prosentase perubahan simpangan relatif lantai 2 akibat gempa Koyna dapat dilihat pada Tabel 5.4 yang diperlihatkan dengan grafik pada Gambar 5.14. Dari Tabel 5.4 dapat diketahui bahwa nilai simpangan relatif lantai 2 semakin besar dibandingkan dari simpangan relatif lantai 1. Penempatan redaman paling efektif pada lantai 3 dan 5 dengan nilai simpangan relatif maksimum sebesar 0.6560 in (55.4429%), hal ini karena penempatan redaman dipisah dan posisi redaman pada lantai-lantai dengan nilai simpangan relatif yang besar. Nilai prosentase simpangan relatif lantai 2 (55.4429%) lebih besar dibandingkan dengan nilai prosentase simpangan relatif lantai 1 (53.8630%) dengan kata lain bahwa

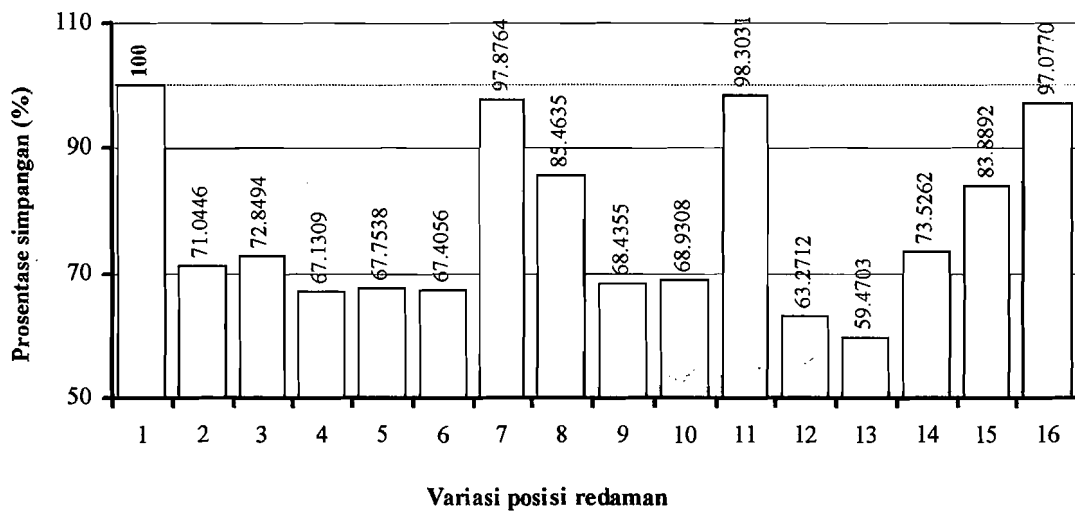
kemampuan redaman untuk memperkecil simpangan semakin kecil. Penempatan redaman ganda pada lantai 2, 3 dan 5 tidak efektif, dengan nilai prosentase perubahan simpangan relatif berturut-turut 96.4419%, 95.5713% dan 95.2079%. Hal tersebut cenderung disebabkan oleh 2 hal berikut ini. Pertama karena beban gempa yang merambat dari bawah bangunan. Kedua karena penempatan redaman digabungkan pada satu lantai.



**Gambar 5.14** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 2 pada bangunan 5 lantai akibat gempa Koyna

Dari Tabel 5.4 dan Gambar 5.15 dapat dilihat nilai simpangan relatif dan prosentase perubahan simpangan relatif lantai 3 akibat gempa Koyna. Nilai simpangan relatif lantai 3 semakin besar dibandingkan dari simpangan relatif lantai 2 dan simpangan relatif lantai 1. Redaman paling efektif ditempatkan pada lantai 3 dan 5 dengan nilai simpangan relatif maksimum sebesar 1.2126 in (59.4703%), hal ini karena penempatan redaman dipisah dan posisi redaman pada lantai-lantai dengan nilai simpangan relatif yang besar. Nilai prosentase simpangan relatif lantai 3

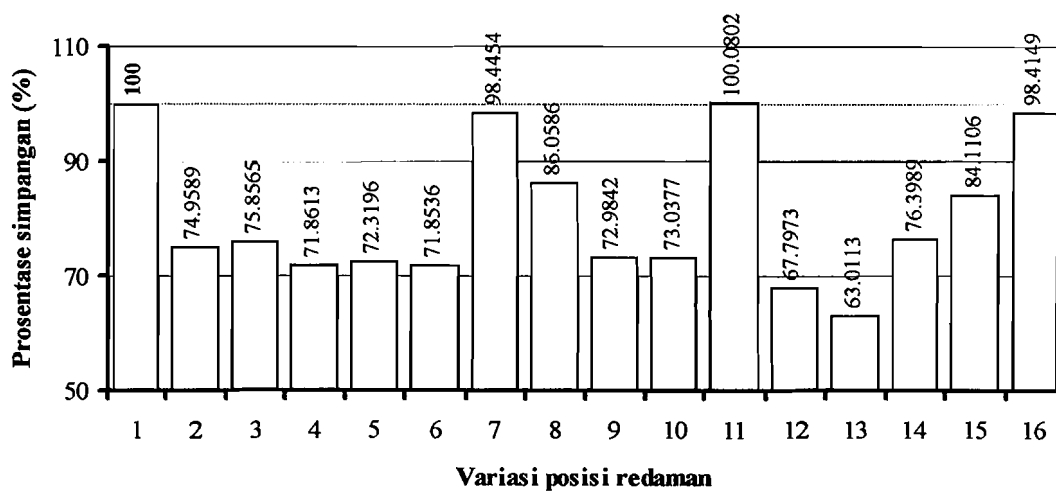
(59.4703%) lebih besar dibandingkan dengan nilai prosentase simpangan relatif lantai 1 (53.8630%) dan lantai 2 (55.4429) dengan kata lain bahwa kemampuan redaman untuk memperkecil simpangan semakin kecil pada lantai yang lebih tinggi. Beban gempa yang merambat dari bawah bangunan dan redaman digabungkan pada satu lantai menyebabkan penempatan redaman ganda pada lantai 2, 3, dan 5 tidak efektif, dengan nilai prosentase perubahan simpangan relatif berturut-turut 97.8764%, 98.3031% dan 97.0770%.



**Gambar 5.15** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 3 pada bangunan 5 lantai akibat gempa Koyna

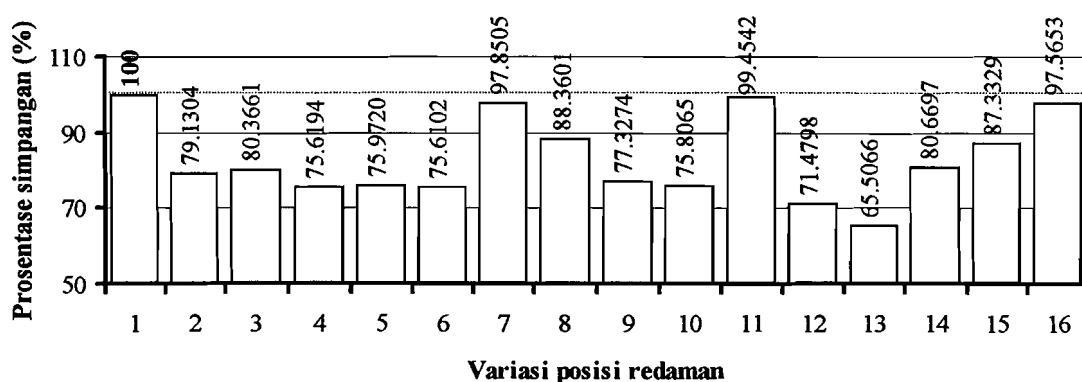
Nilai simpangan relatif dan prosentase perubahan simpangan relatif lantai 4 akibat gempa Koyna dapat dilihat pada Tabel 5.4 yang diperlihatkan dengan grafik pada Gambar 5.16. Dari Tabel 5.4 dan Gambar 5.16 dapat dilihat bahwa nilai simpangan relatif menjadi berkurang dengan pemakaian redaman, kecuali untuk posisi redaman pada lantai 3 dengan nilai simpangan relatif 2.6202 in (100.0802%).

Dari Tabel 5.4 dapat dilihat bahwa nilai simpangan relatif lantai 4 semakin besar dibandingkan dari simpangan relatif lantai-lantai dibawahnya. Dengan penempatan redaman dipisah (tidak pada lantai yang berurutan) dan posisi redaman pada lantai-lantai yang mengalami simpangan yang besar, maka didapatkan posisi redaman yang paling efektif dengan nilai simpangan relatif lantai sebesar 1.6497 in (63.0113%). Nilai prosentase simpangan relatif lantai 4 (63.0113%) lebih besar dibandingkan dengan nilai prosentase simpangan relatif lantai 1 (53.8630%), 2 (55.4429%), dan 3 (59.4703%) dengan kata lain bahwa kemampuan redaman untuk memperkecil simpangan semakin kecil untuk lantai yang lebih tinggi. Penempatan redaman ganda pada lantai 2, 3 dan 5 tidak efektif, dengan nilai prosentase perubahan simpangan relatif berturut-turut 98.4454%, 100.0802% dan 98.4149%. Hal tersebut disebabkan oleh beban gempa yang merambat dari bawah bangunan dan penempatan redaman digabungkan pada satu lantai.



**Gambar 5.16** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 4 pada bangunan 5 lantai akibat gempa Koyna

Nilai simpangan relatif dan prosentase perubahan simpangan relatif lantai 5 akibat gempa Koyna dapat dilihat pada Tabel 5.4 yang ditunjukkan dengan grafik pada Gambar 5.17. Dari Tabel 5.4 dapat dilihat bahwa nilai simpangan relatif lantai 5 semakin besar dibandingkan dari simpangan relatif lantai-lantai dibawahnya. Penempatan redaman paling efektif pada lantai 3 dan 5 dengan nilai simpangan relatif maksimum sebesar 2.1363 in (65.5066%), hal ini karena penempatan redaman dipisah dan posisi redaman pada lantai-lantai dengan nilai simpangan relatif yang besar. Nilai prosentase simpangan relatif lantai 5 (65.5066%) lebih besar dibandingkan dengan nilai prosentase simpangan relatif lantai 1 (53.8360%), 2 (55.4429%), 3 (59.4703%), dan 4 (63.0113%) dengan kata lain bahwa kemampuan redaman untuk memperkecil simpangan semakin kecil pada lantai dengan simpangan relatif yang lebih besar. Beban gempa yang merambat dari bawah bangunan dan redaman digabungkan pada satu lantai menyebabkan penempatan redaman ganda pada lantai 2, 3 dan 5 tidak efektif, dengan nilai prosentase perubahan simpangan relatif berturut-turut 97.8505%, 99.4542% dan 97.5653%.



**Gambar 5.17** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 5 pada bangunan 5 lantai akibat gempa Koyna

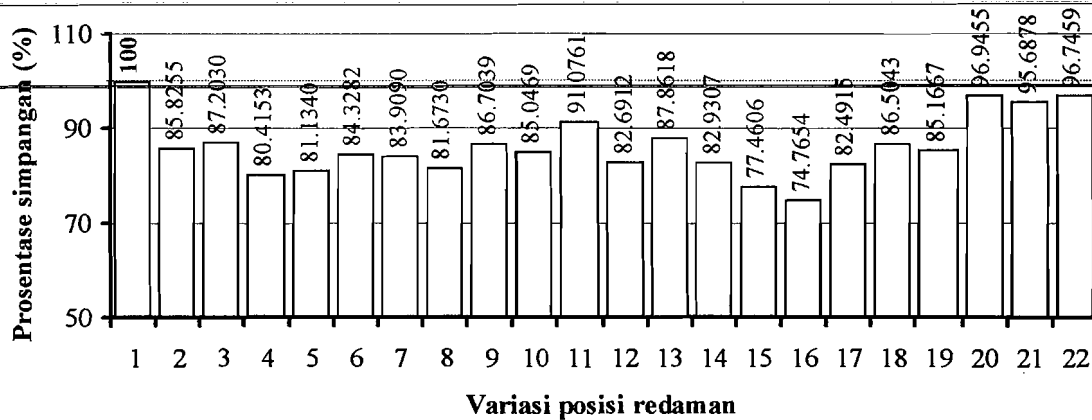
### **5.6.5 Simpangan Relatif Maksimum pada Bangunan 6 Lantai Akibat Gempa**

#### **Koyna**

Nilai simpangan relatif dan prosentase perubahan simpangan relatif lantai 1 akibat gempa Koyna dapat dilihat pada Tabel 5.5 yang digambarkan dengan grafik pada Gambar 5.18. Dari Tabel 5.5 dapat diketahui bahwa nilai simpangan relatif menjadi berkurang dengan pemakaian redaman, apabila dibandingkan dengan bangunan tanpa redaman. Dari Gambar 5.18 dapat dilihat bahwa perbedaan nilai prosentase simpangan relatif diantara 22 variasi posisi redaman relatif kecil, selain itu dapat dilihat bahwa nilai prosentase simpangan relatif cenderung membesar dibandingkan pada bangunan 6 lantai akibat gempa El Centro. Hal ini berarti bahwa kemampuan redaman untuk memperkecil simpangan relatif semakin kecil. Redaman paling efektif ditempatkan pada lantai 3 dan 6 dengan nilai simpangan relatif maksimum sebesar 0.3745 in (74.7654%), hal ini karena penempatan ganda redaman dipisah dan posisi redaman pada lantai-lantai dengan nilai simpangan relatif yang besar. Penempatan redaman ganda pada lantai 5 dan 6 tidak efektif, dengan nilai prosentase perubahan simpangan relatif berturut-turut 96.9455% dan 96.7459%. Hal tersebut disebabkan oleh:

1. beban gempa yang merambat dari bawah bangunan,
2. penempatan redaman digabungkan pada satu lantai.

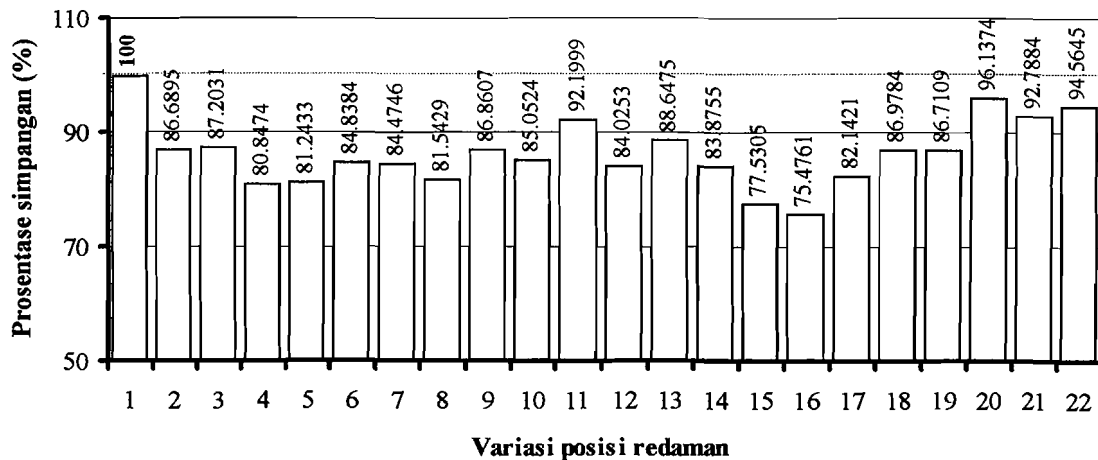




**Gambar 5.18** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 1 pada bangunan 6 lantai akibat gempa Koyna

Nilai simpangan relatif dan prosentase perubahan simpangan relatif lantai 2 akibat gempa Koyna dapat dilihat pada Tabel 5.5 yang digambarkan dengan grafik pada Gambar 5.19. Dari Tabel 5.5 dapat diketahui bahwa nilai simpangan relatif lantai 2 semakin besar dibandingkan dengan simpangan relatif lantai 1. Penempatan redaman paling efektif pada lantai 3 dan 6 dengan nilai simpangan relatif maksimum sebesar 0.7054 in (75.4761%), hal ini karena penempatan redaman dipisah dan posisi redaman pada lantai-lantai dengan nilai simpangan relatif yang besar. Nilai prosentase simpangan relatif lantai 2 (75.4761%) lebih besar dibandingkan dengan nilai prosentase simpangan relatif lantai 1 (74.7654%) dengan kata lain bahwa kemampuan redaman untuk memperkecil simpangan semakin kecil. Beban gempa yang merambat dari bawah bangunan dan posisi redaman berada pada satu lantai menyebabkan penempatan redaman ganda pada lantai 5 dan 6 tidak efektif,

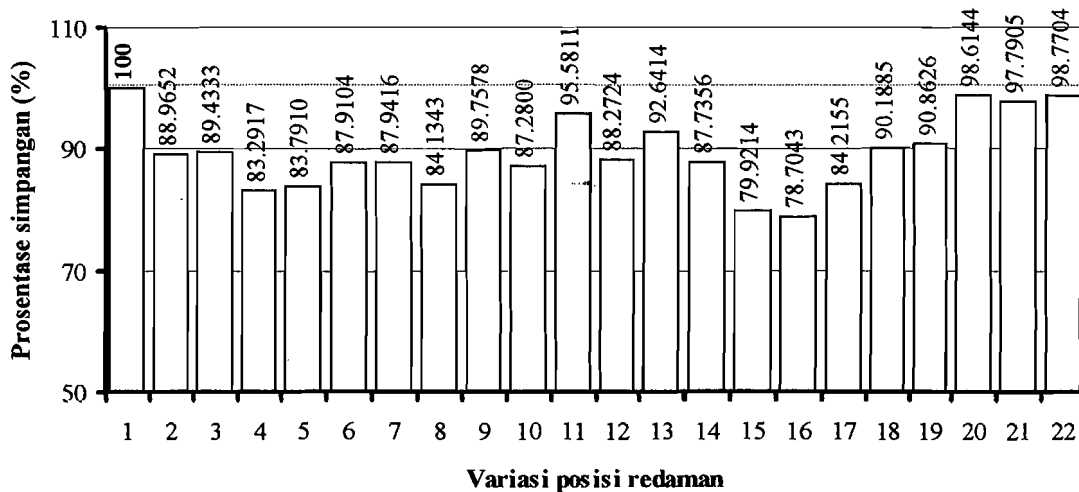
dengan nilai prosentase perubahan simpangan relatif berturut-turut 96.1374% dan 94.5645%.



**Gambar 5.19** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 2 pada bangunan 6 lantai akibat gempa Koyna

Dari Tabel 5.5 dan Gambar 5.20 dapat dilihat nilai simpangan relatif dan prosentase perubahan simpangan relatif lantai 3 akibat gempa Koyna. Nilai simpangan relatif lantai 3 semakin besar dibandingkan dari simpangan relatif lantai 2 dan simpangan relatif lantai 1. Redaman paling efektif ditempatkan pada lantai 3 dan 6 dengan nilai simpangan relatif maksimum sebesar 1.2610 in (78.7043%), hal ini karena penempatan redaman dipisah dan posisi redaman pada lantai-lantai dengan nilai simpangan relatif yang besar. Nilai prosentase simpangan relatif lantai 3 (78.7043%) lebih besar dibandingkan dengan nilai prosentase simpangan relatif lantai 1 (74.7654%) dan lantai 2 (75.4761) dengan kata lain bahwa kemampuan redaman untuk memperkecil simpangan semakin kecil pada lantai yang lebih tinggi. Penempatan redaman ganda pada lantai 5 dan 6 tidak efektif, dengan nilai prosentase

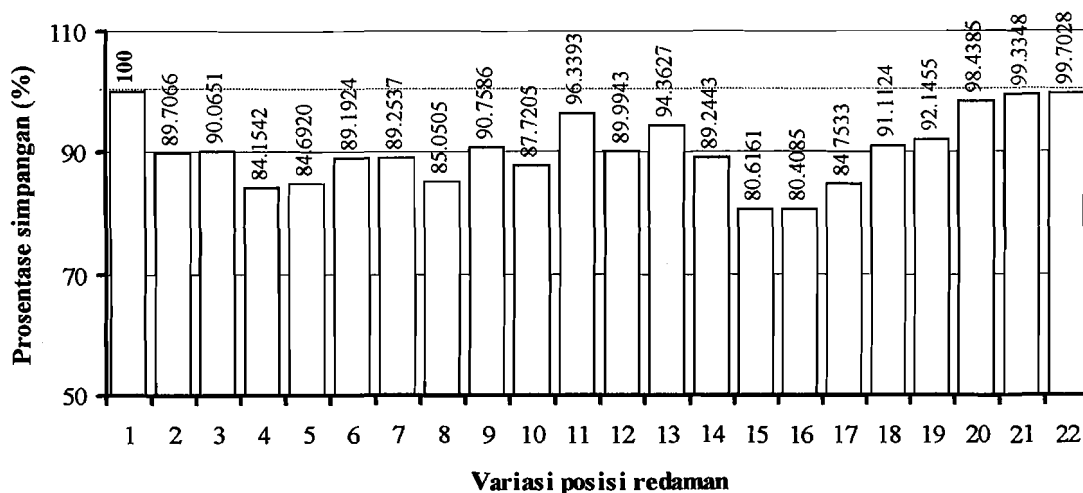
perubahan simpangan relatif berturut-turut 98.6144 dan 98.7704%. Hal tersebut disebabkan oleh beban gempa yang merambat dari bawah bangunan dan penempatan redaman digabungkan pada satu lantai.



**Gambar 5.20** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 3 pada bangunan 6 lantai akibat gempa Koyna

Nilai simpangan relatif dan prosentase perubahan simpangan relatif lantai 4 akibat gempa Koyna dapat dilihat pada Tabel 5.5 yang ditunjukkan dengan grafik pada Gambar 5.21. Dari Tabel 5.5 dapat dilihat bahwa nilai simpangan relatif menjadi berkurang dengan pemakaian redaman, apabila dibandingkan pada bangunan tanpa redaman. Dari Tabel 5.5 dapat dilihat bahwa nilai simpangan relatif lantai 4 semakin besar dibandingkan dari simpangan relatif lantai-lantai dibawahnya. Dengan penempatan redaman dipisah (tidak pada lantai yang berurutan) dan posisi redaman pada lantai-lantai yang mengalami simpangan yang besar, maka didapatkan posisi redaman yang paling efektif dengan nilai simpangan relatif lantai sebesar 1.7045 in (80.4085%). Nilai prosentase simpangan relatif lantai 4 (80.4085%) lebih besar

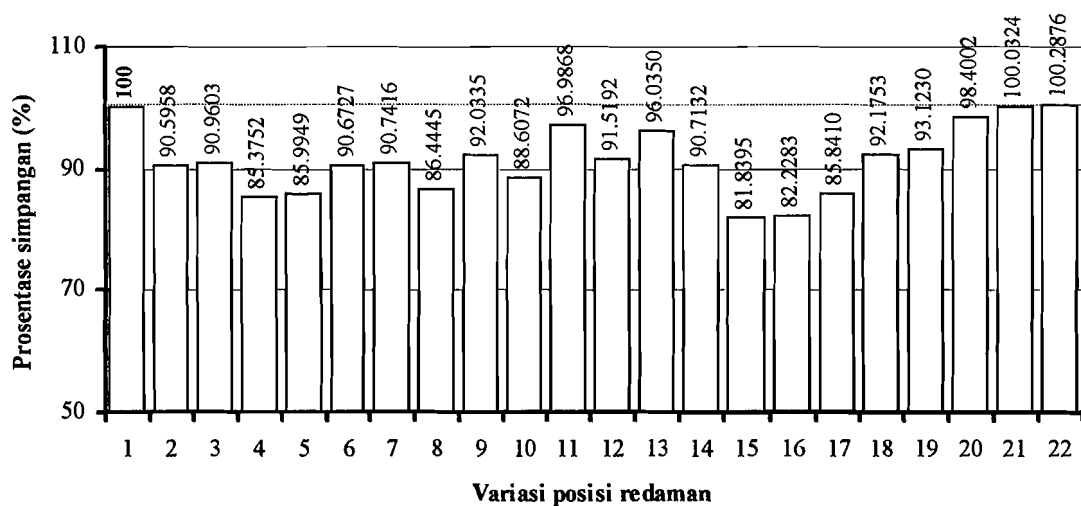
dibandingkan dengan nilai prosentase simpangan relatif lantai 1 (74.7654%), 2 (75.4761%), dan 3 (78.7043%) dengan kata lain bahwa kemampuan redaman untuk memperkecil simpangan semakin kecil untuk lantai yang lebih tinggi. Beban gempa yang merambat dari bawah bangunan dan redaman digabungkan pada satu lantai menyebabkan penempatan redaman ganda pada lantai 5 dan 6 tidak efektif, dengan nilai prosentase perubahan simpangan relatif berturut-turut 98.4385% dan 99.7028%.



**Gambar 5.21** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 4 pada bangunan 6 lantai akibat gempa Koyna

Nilai simpangan relatif dan prosentase perubahan simpangan relatif lantai 5 akibat gempa Koyna dapat dilihat pada Tabel 5.5 yang digambarkan dengan grafik pada Gambar 5.22. Dari Tabel 5.5 dapat dilihat bahwa nilai simpangan relatif menjadi lebih kecil dengan pemakaian redaman kecuali untuk variasi posisi redaman ke-21 dan ke-22 dimana nilai prosentase simpangan relatif berturut-turut 100.0324% dan 100.2876%. Penempatan redaman paling efektif pada lantai 3 dan 5 dengan nilai simpangan relatif maksimum sebesar 2.0207 in (81.8395%), hal ini karena

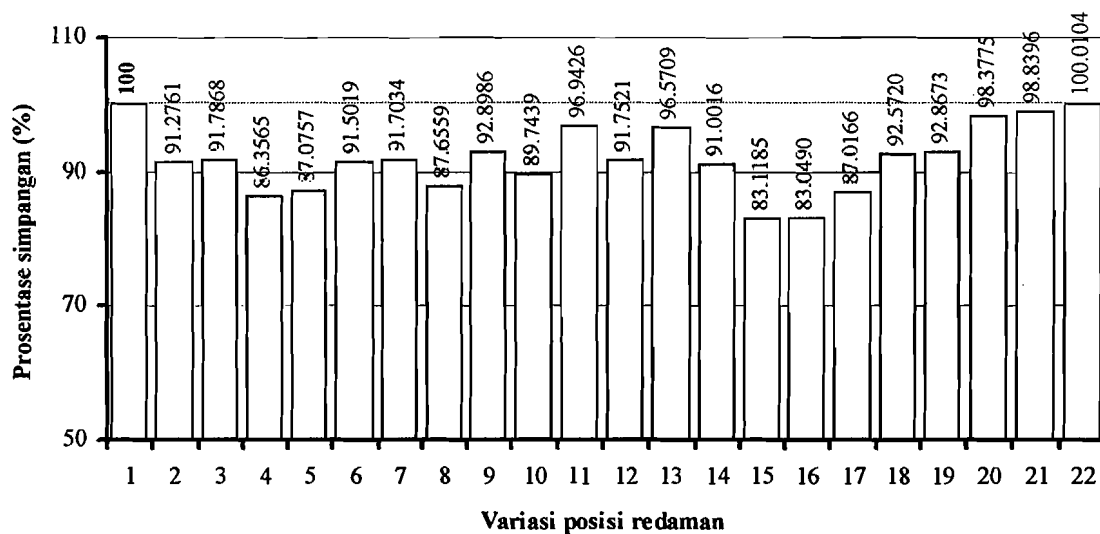
penempatan redaman dipisah dan posisi redaman pada lantai-lantai dengan nilai simpangan relatif yang besar. Nilai prosentase simpangan relatif lantai 5 (81.8395%) lebih besar dibandingkan dengan nilai prosentase simpangan relatif lantai 1 (74.7654%), 2 (75.4761%), 3 (78.7043%), dan 4 (80.4085%) dengan kata lain bahwa kemampuan redaman untuk memperkecil simpangan semakin kecil pada lantai dengan simpangan relatif yang lebih besar. Beban gempa yang merambat dari bawah bangunan dan redaman digabungkan pada satu lantai menyebabkan penempatan redaman ganda pada lantai 5 dan 6 tidak efektif, dengan nilai prosentase perubahan simpangan relatif berturut-turut 98.4002% dan 100.2876%.



**Gambar 5.22** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 5 pada bangunan 6 lantai akibat gempa Koyna

Nilai simpangan relatif dan prosentase perubahan simpangan relatif lantai 6 akibat gempa Koyna dapat dilihat pada Tabel 5.5 yang diperlihatkan dengan grafik pada Gambar 5.23. Dari Tabel 5.5 dapat dilihat bahwa nilai simpangan relatif menjadi lebih kecil dengan pemakaian redaman kecuali untuk variasi posisi redaman ke-22

dimana nilai prosentase simpangan relatif 100.0104%. Penempatan redaman paling efektif pada lantai 3 dan 6 dengan nilai simpangan relatif maksimum sebesar 2.3904 in (83.0490%), hal ini karena penempatan redaman dipisah dan posisi redaman pada lantai-lantai dengan nilai simpangan relatif yang besar. Nilai prosentase simpangan relatif lantai 6 (83.0490%) lebih besar dibandingkan dengan nilai prosentase simpangan relatif lantai 1 (74.7654%), 2 (75.4761%), 3 (78.7043%), 4 (80.4085%), dan 5 (81.8395%) dengan kata lain bahwa kemampuan redaman untuk memperkecil simpangan semakin kecil pada lantai dengan simpangan relatif yang lebih besar. Penempatan redaman ganda pada lantai 5 dan 6 tidak efektif, dengan nilai prosentase perubahan simpangan relatif berturut-turut 98.3775% dan 100.0104%. Hal tersebut disebabkan oleh beban gempa yang merambat dari bawah bangunan dan penempatan redaman digabungkan pada satu lantai.



**Gambar 5.23** Prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 6 pada bangunan 6 lantai akibat gempa Koyna

---

### 5.6.6 Jarak Antara Dua Bangunan

---

Jarak antara bangunan 5 lantai dengan bangunan 6 lantai akibat gempa El Centro pada bangunan tanpa redaman adalah 23.1112 in sedangkan untuk posisi redaman pada lantai 3 dan lantai 5 adalah 13.9256 in, hal ini berarti telah terjadi pengurangan jarak minimal sebesar 9.1856 in atau 39.7452%. Jarak antara bangunan 5 lantai dengan bangunan 6 lantai akibat gempa Koyna pada bangunan tanpa redaman adalah 11.4606 in sedangkan untuk posisi redaman pada lantai 3 dan 5 adalah 8.3140 in, hal ini berarti telah terjadi pengurangan jarak minimal sebesar 3.1466 in atau 27.4558%.

---

---

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dan saran yang dapat diambil dari hasil penelitian numeris dan pembahasan adalah sebagai mana yang akan disebutkan berikut ini.

#### 6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian numeris tentang penempatan posisi redaman ganda (kembar) untuk mengurangi resiko “*structural pounding*” pada objek dua bangunan yang berbeda ketinggian adalah sebagai berikut ini.

1. Simpangan relatif lantai dapat berubah dengan penggunaan *Magnethorheological Damper*.
2. Simpangan relatif lantai akan semakin membesar untuk lantai yang lebih tinggi, hal ini sesuai dengan pola goyangan yang didominasi oleh ragam getaran pertama.
3. Jauhnya perbedaan kandungan frekuensi dominan gempa Koyna yang mempunyai nilai sebesar 3.46774 Hz dengan frekuensi struktur dibandingkan perbedaan kandungan frekuensi dominan gempa El Centro yang mempunyai nilai sebesar 0.96312 Hz dengan frekuensi struktur menyebabkan respon struktur akibat gempa Koyna lebih kecil dibandingkan respon struktur akibat gempa El Centro.



4. Pada penelitian ini penggunaan *Magnethorheological Damper* yang paling efektif untuk bangunan 5 lantai dan 6 lantai akibat gempa El Centro serta bangunan 5 lantai akibat gempa Koyna ketika dipasang pada lantai 3 dan 5. Sedangkan untuk bangunan 6 lantai akibat gempa Koyna penggunaan *Magnethorheological Damper* yang paling efektif ketika dipasang pada lantai 3 dan 6.
5. Pada penempatan *Magnethorheological Damper* yang tidak tepat pada bangunan akan menyebabkan simpangan relatif lantai yang lebih besar dibandingkan dengan bangunan tanpa *Magnethorheological Damper*, contohnya pada lantai 4 bangunan 5 lantai akibat gempa El Centro untuk posisi redaman pada lantai 3 dengan prosentase perubahan simpangan 100.3338 %.
6. Pada penempatan *Magnethorheological Damper* yang paling efektif jarak antara bangunan 5 lantai dan bangunan 6 lantai akibat gempa El Centro dapat dikurangi sebesar 39.7452%, sedangkan jarak antara bangunan 5 lantai dan bangunan 6 lantai akibat gempa Koyna dapat dikurangi sebesar 27.4558%. Hal ini berarti bahwa dengan pemasangan *Magnethorheological Damper* dapat mengurangi resiko kemungkinan terjadinya benturan antar bangunan (*structural pounding*) yang disebabkan oleh simpangan relatif lantai yang besar.

## 6.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan dari hasil penelitian ini untuk menambah pengetahuan serta pemahaman tentang pengaruh penggunaan *Magnethorheological Damper* pada bangunan adalah sebagai berikut ini.

1. Untuk mengetahui kecenderungan penempatan *Magnethorheological Damper* yang paling efektif perlu penelitian lebih lanjut pada bangunan dengan lantai genap saja atau pada bangunan dengan lantai ganjil saja secara serentak.
2. Pada bangunan 6 lantai akibat gempa El Centro penempatan *Magnethorheological Damper* yang paling efektif ketika dipasang pada lantai 3 dan 5, sedangkan pada bangunan 6 lantai akibat gempa Koyna penempatan *Magnethorheological Damper* yang paling efektif ketika dipasang pada lantai 3 dan 6, sehingga perlu diadakan penelitian lebih lanjut dengan memakai metode perhitungan yang lain.
3. Untuk lebih mengetahui pengaruh penggunaan *Magnethorheological Damper* pada struktur perlu penelitian lebih lanjut pada bangunan tingkat tinggi (10 lantai ke atas).
4. Perlu penelitian lebih lanjut dengan metode diskritisasi yang lain, misalnya dengan metode perpindahan tergeneralisasi atau konsep elemen terhingga untuk mendapatkan nilai simpangan relatif lantai yang lebih teliti.

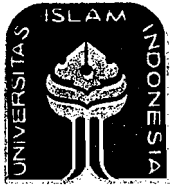
---

## DAFTAR PUSTAKA

---

- Berg, G.V. (1998), "Element of Structural Dynamics," Prentice-Hall International Inc.
- Chopra, A.K. (1995), "Dynamics of Structures Theory and Application to Earthquake Engineering," Prentice-Hall Inc.
- Clough, R.W. and J. Penzien (1993), "Dynamics of Structures," Second Edition, Mac Graw Hill International Editions.
- Departemen Pekerjaan Umum (1981), "Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung," Yayasan Badan Penerbit PU.
- Elfira, A. dan Juhartono (2000), "Penempatan Efektif Redaman Ganda Untuk Mengurangi Simpangan Pada Bangunan Tingkat Tinggi," *Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Sipil, UII, Yogyakarta.
- Mulyanto, A. dan Y. Ronanto. (2000), "Analisis Perletakan Tuned Mass Damper (TMD) pada Portal Bertingkat Tiga Akibat Gempa," *Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Sipil, UII, Yogyakarta.
- Paz, M. (1990), "Dinamika Struktur Teori dan Perhitungan," Edisi Kedua, Erlangga Jakarta.
- Prasetyo, D. dan J. W. Arminta (2000), "Respon Seismik Struktur Beton Bertingkat Banyak Akibat Beban Gempa," *Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Sipil, UII, Yogyakarta.
- Suprapti dan Novitasari (1999), "Penempata Efektif Redaman Tunggal Untuk mengurangi Resiko 'Structural Pounding' Pada Bangunan Bertingkat Lima," *Tugas Akhir*, Jurusan Sipil, UII, Yogyakarta.
- Spencer, B. F, S. J. Dyke, M. K. Sain, and J. D. Carlson, (1996a), "Phenomenological Model of a Magnethorheological Damper," *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE, New York.
- Spencer, B. F, S. J. Dyke, M. K. Sain, and J. D. Carlson, (1996b), "Modelling and Control of Magnethorheological Damper for Seismic Response Reduction," *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE, New York.
- The Matlab Works, Inc. (1994-1999), "Matlab Versi 5.3 Release II," Copyright All Right Reserved.
- Tjokrodinuljo K. (1993), "Teknik Gempa," *Diktat Kuliah*, Jurusan Teknik Sipil, UGM, Yogyakarta.
- Widodo (1997), "Analisa Dinamika Struktur," *Diktat Kuliah*, Jurusan Teknik Sipil UII Yogyakarta.
- (1981), "Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung," Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman, Departemen Pekerjaan Umum.

# LAMPIRAN



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

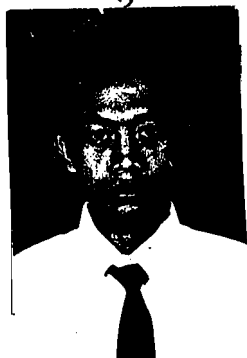
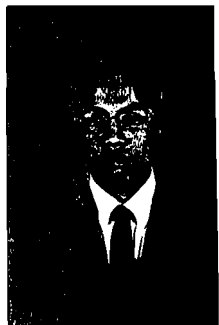
Program 1 ke  
 TA 3 ke

**KARTU PESERTA TUGAS AKHIR**

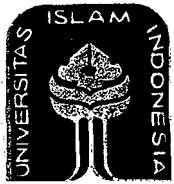
No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1	ANDRI BUDHIAWAN	94 310 041		TSS
2	SENO HARIYANTO	94 310 177		TSS

JUDUL TUGAS AKHIR : .....  
 ..... PENEMPATAN POSISI EFEKTIF REDAMAN  
 ..... GANDA UNTUK MENGURANGI RESIKO "STRUCTURAL FOUNDING" PADA  
 ..... OBJEK DUA BANGUNAN YANG BERBEDA KETINGGIAN.....

Dosen Pembimbing I : IR. H. MOCH. TEGUH, MSCE  
 Dosen Pembimbing II : IR. H. SARWIDI, MSc, Ph.D



Yogyakarta, 17 Mei 2000  
 a/n Dekan,  
 Ketua Jurusan Teknik Sipil  
  
 IR. H. T. ADJUDDIN BM ARIS, MS



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

**KARTU PESERTA TUGAS AKHIR**

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1	ANDRI BUDHIAWAN	94 310 041		
2	SENO HARIYANTO	94 310 177		

JUDUL TUGAS AKHIR : .....

.....

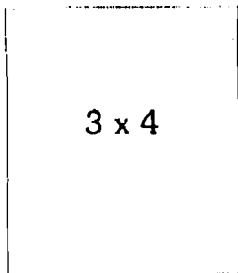
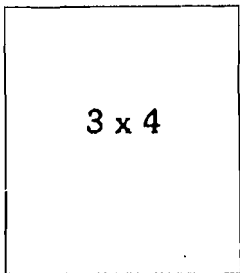
.....

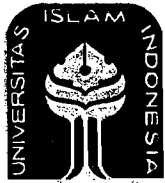
Dosen Pembimbing I :  
Dosen Pembimbing II :

1

2

Yogyakarta,  
D e k a n,





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

**KARTU PESERTA TUGAS AKHIR**

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1	ANDRI BUDHIAWAN	94310041		STRUKTUR
2	SEMO HARIYANTO	94310177		STRUKTUR

JUDUL TUGAS AKHIR : .....

.....

.....

Dosen Pembimbing I :

Dosen Pembimbing II :

1

2

Yogyakarta,

De kan,

3 x 4

3 x 4

Contoh program perhitungan pada bangunan 5 lantai akibat gempa El Centro (bangunan tanpa redaman)

```

var0_5;
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];% matrik massa
k=[k1+k2 -k2 0 0 0
  -k2 k2+k3 -k3 0 0
  0 -k3 k3+k4 -k4 0
  0 0 -k4 k4+k5 -k5
  0 0 0 -k5 k5]; % matrik kekakuan
c=[c1+c2 -c2 0 0 0
  -c2 c2+c3 -c3 0 0
  0 -c3 c3+c4 -c4 0
  0 0 -c4 c4+c5 -c5
  0 0 0 -c5 c5];
q=5; % banyak tingkat
t=0.02; % kenaikan waktu
elcent; % file input data gempa
[s,l]=eig(k,m);% peny eigen problem
ss=[s(:,5) s(:,4) s(:,3) s(:,2) s(:,1)];
mn=ss.*m*ss;% matrik massa efektif
kn=ss.*k*ss;% matrik kekakuan efektif
cn=ss.*c*ss;% matrik redaman efektif
knn=[kn(1,1) 0 0 0 0;0 kn(2,2) 0 0 0;0 0 kn(3,3) 0 0;...
      0 0 0 kn(4,4) 0;0 0 0 0 kn(5,5)];
mnn=[mn(1,1) 0 0 0 0;0 mn(2,2) 0 0 0;0 0 mn(3,3) 0 0;...
      0 0 0 mn(4,4) 0;0 0 0 0 mn(5,5)];
cnn=[cn(1,1) 0 0 0 0;0 cn(2,2) 0 0 0;0 0 cn(3,3) 0 0;...
      0 0 0 cn(4,4) 0;0 0 0 0 cn(5,5)];
mi=ones(q,1);
wn=sqrt(inv(mnn)*knn*385.827);%frekuensi sudut
wn1=[wn(1,1);wn(2,2);wn(3,3);wn(4,4);wn(5,5)];
T=2*3.14/wn(1,1);
f=1/T;
lm=((cnn*385.827)/(2*wn*mnn))*mi;% rasio redaman struktur
lmm=sort(lm);
TT=inv(mnn)*(ss.*m*mi);% partisipasi faktor
aa=(wn1.^2)-mi*(2/t^2);
bb=(mi/t^2)-(wn*lmm/t);

```



```

kk=(mi/t^2)+(wn*lmm/t);
for i=1:5;
    g(i,1)=0;
end;
for i=1:q;
    g(i,2)=-et(1)/kk(i);
end;
for i=1:q;
    for j=2:nee-1;
        g(i,j+1)=(-(et(j)*0.3937)-aa(i)*g(i,j)-bb(i)...
            *g(i,j-1))/kk(i);
    end;
end;
gg=g;
% Perhitungan simpangan horisontal lantai 1
q1=gg(1,:);
ss11=ss(1,1);
TT1=TT(1,1);
Y11=q1*ss11*TT1;% Mode 1
q2=gg(2,:);
ss12=ss(1,2);
TT2=TT(2,1);
Y12=q2*ss12*TT2;% Mode 2
q3=gg(3,:);
ss13=ss(1,3);
TT3=TT(3,1);
Y13=q3*ss13*TT3;% Mode 3
q4=gg(4,:);
ss14=ss(1,4);
TT4=TT(4,1);
Y14=q4*ss14*TT4;% Mode 4
q5=gg(5,:);
ss15=ss(1,5);
TT5=TT(5,1);
Y15=q5*ss15*TT5;% Mode 5
Y1=Y11+Y12+Y13+Y14+Y15;%Simpangan horisontal lantai 1
Ylabs=abs(Y1);
Ylmax=max(Ylabs);%Simpangan horisontal max lantai 1
% Perhitungan simpangan horisontal lantai 2
q1=gg(1,:);
ss21=ss(2,1);
TT1=TT(1,1);
Y21=q1*ss21*TT1;% Mode 1

```

```

q2=gg(2,:);
ss22=ss(2,2);
TT2=TT(2,1);
Y22=q2*ss22*TT2;% Mode 2
q3=gg(3,:);
ss23=ss(2,3);
TT3=TT(3,1);
Y23=q3*ss23*TT3;% Mode 3
q4=gg(4,:);
ss24=ss(2,4);
TT4=TT(4,1);
Y24=q4*ss24*TT4;% Mode 4
q5=gg(5,:);
ss25=ss(2,5);
TT5=TT(5,1);
Y25=q5*ss25*TT5;% Mode 5
Y2=Y21+Y22+Y23+Y24+Y25;%Simpangan horisontal lantai 2
Y2abs=abs(Y2);
Y2max=max(Y2abs);%Simpangan horisontal max lantai 2
% Perhitungan simpangan horisontal lantai 3
q1=gg(1,:);
ss31=ss(3,1);
TT1=TT(1,1);
Y31=q1*ss31*TT1;% Mode 1
q2=gg(2,:);
ss32=ss(3,2);
TT2=TT(2,1);
Y32=q2*ss32*TT2;% Mode 2
q3=gg(3,:);
ss33=ss(3,3);
TT3=TT(3,1);
Y33=q3*ss33*TT3;% Mode 3
q4=gg(4,:);
ss34=ss(3,4);
TT4=TT(4,1);
Y34=q4*ss34*TT4;% Mode 4
q5=gg(5,:);
ss35=ss(3,5);
TT5=TT(5,1);
Y35=q5*ss35*TT5;% Mode 5
Y3=Y31+Y32+Y33+Y34+Y35;%Simpangan horisontal lantai 3
Y3abs=abs(Y3);
Y3max=max(Y3abs);%Simpangan horisontal max lantai 3

```

```
% Perhitungan simpangan horisontal lantai 4
q1=gg(1,:);
ss41=ss(4,1);
TT1=TT(1,1);
Y41=q1*ss41*TT1;% Mode 1
q2=gg(2,:);
ss42=ss(4,2);
TT2=TT(2,1);
Y42=q2*ss42*TT2;% Mode 2
q3=gg(3,:);
ss43=ss(4,3);
TT3=TT(3,1);
Y43=q3*ss43*TT3;% Mode 3
q4=gg(4,:);
ss44=ss(4,4);
TT4=TT(4,1);
Y44=q4*ss44*TT4;% Mode 4
q5=gg(5,:);
ss45=ss(4,5);
TT5=TT(5,1);
Y45=q5*ss45*TT5;% Mode 5
Y4=Y41+Y42+Y43+Y44+Y45;%Simpangan horisontal lantai 4
Y4abs=abs(Y4);
Y4max=max(Y4abs);%Simpangan horisontal max lantai 4

% Perhitungan simpangan horisontal lantai 5
q1=gg(1,:);
ss51=ss(5,1);
TT1=TT(1,1);
Y51=q1*ss51*TT1;% Mode 1
q2=gg(2,:);
ss52=ss(5,2);
TT2=TT(2,1);
Y52=q2*ss52*TT2;% Mode 2
q3=gg(3,:);
ss53=ss(5,3);
TT3=TT(3,1);
Y53=q3*ss53*TT3;% Mode 3
q4=gg(4,:);
ss54=ss(5,4);
TT4=TT(4,1);
Y54=q4*ss54*TT4;% Mode 4
```

## *Lampiran 1*

```
qb=gg(5,:);  
ss55=ss(5,5);  
TT5=TT(5,1);  
Y55=q5*ss55*TT5;% Mode 5  
Y5=Y51+Y52+Y53+Y54+Y55;%Simpangan horisontal lantai 5  
Y5abs=abs(Y5);  
Y5max=max(Y5abs);%Simpangan horisontal max lantai 5
```

# Lampiran 1

Hasil program perhitungan pada bangunan 5 lantai akibat gempa El Centro  
(bangunan tanpa redaman)

m = matrik massa

140	0	0	0	0
0	120	0	0	0
0	0	120	0	0
0	0	0	120	0
0	0	0	0	100

k = matrik kekakuan

800	-400	0	0	0
-400	600	-200	0	0
0	-200	400	-200	0
0	0	-200	300	-100
0	0	0	-100	100

c = matrik redaman

2.0800	-1.0400	0	0	0
-1.0400	2.0800	-1.0400	0	0
0	-1.0400	2.0800	-1.0400	0
0	0	-1.0400	2.0800	-1.0400
0	0	0	-1.0400	1.0400

ss = mode shape

0.1153	0.2840	0.4616	0.3654	0.6671
0.2225	0.4492	0.5110	0.1079	-0.7031
0.4095	0.4572	-0.1725	-0.7225	0.2373
0.5463	0.1371	-0.5920	0.5586	-0.0647
0.6863	-0.6998	0.3815	-0.1443	0.0084

mnn = matrik massa efektif diagonal

110.8446	0	0	0	0
0	111.8192	0	0	0
0	0	121.3505	0	0
0	0	0	122.2540	0
0	0	0	0	128.9003

knn = matrik kekakuan efektif diagonal

1.0e+003 \*

0.0226	0	0	0	0
0	0.1337	0	0	0
0	0	0.3096	0	0
0	0	0	0.5955	0
0	0	0	0	1.1247

Lampiran 1

cmm - matrik redaman efektif diagonal

0.1020	0	0	0	0
0	0.9473	0	0	0
0	0	1.8787	0	0
0	0	0	3.1456	0
0	0	0	0	3.4357

wn = frekuensi sudut

8.8718	0	0	0	0
0	21.4807	0	0	0
0	0	31.3754	0	0
0	0	0	43.3509	0
0	0	0	0	58.0215

T = periode struktur orde-1

0.7079

f = frekuensi struktur orde-1

1.4127

lm = nilai rasio redaman

0.0200  
0.0761  
0.0952  
0.1145  
0.0886

lmm = nilai rasio redaman setelah diurutkan

0.0200  
0.0761  
0.0886  
0.0952  
0.1145

TT = partisipasi faktor

2.0405  
0.8496  
0.5964  
0.2455  
0.2373

*Lampiran 1*

---

---

aa =

1.0e+003 \*

-4.9213  
-4.5386  
-4.0156  
-3.1207  
-1.6335

bb =

1.0e+003 \*

2.4911  
2.4183  
2.3610  
2.2937  
2.1678

kk =

1.0e+003 \*

2.5089  
2.5817  
2.6390  
2.7063  
2.8322

*Lampiran-1*

gg =

Columns 1 through 7

0	0	-0.0010	-0.0024	-0.0039	-0.0060	-0.0089
0	0	-0.0009	-0.0022	-0.0031	-0.0040	-0.0053
0	0	-0.0009	-0.0019	-0.0022	-0.0023	-0.0026
0	0	-0.0009	-0.0015	-0.0011	-0.0006	-0.0008
0	0	-0.0008	-0.0010	-0.0000	0.0001	-0.0009

Columns 8 through 14

-0.0133	-0.0182	-0.0229	-0.0267	-0.0301	-0.0339	-0.0387
-0.0071	-0.0086	-0.0088	-0.0073	-0.0051	-0.0034	-0.0032
-0.0035	-0.0039	-0.0033	-0.0013	0.0004	0.0006	-0.0014
-0.0019	-0.0025	-0.0016	0.0004	0.0013	-0.0000	-0.0031
-0.0021	-0.0014	0.0004	0.0015	0.0001	-0.0023	-0.0032

Columns 15 through 21

-0.0433	-0.0467	-0.0492	-0.0504	-0.0501	-0.0489	-0.0475
-0.0035	-0.0033	-0.0031	-0.0027	-0.0019	-0.0015	-0.0020
-0.0038	-0.0046	-0.0042	-0.0026	-0.0002	0.0013	0.0010
-0.0045	-0.0028	0.0001	0.0021	0.0024	0.0003	-0.0029
-0.0011	0.0017	0.0012	-0.0009	-0.0015	-0.0008	-0.0005

Columns 22 through 28

-0.0466	-0.0468	-0.0450	-0.0381	-0.0287	-0.0190	-0.0096
-0.0041	-0.0078	-0.0094	-0.0057	0.0003	0.0052	0.0081
-0.0015	-0.0057	-0.0068	-0.0018	0.0047	0.0082	0.0075
-0.0054	-0.0061	-0.0021	0.0062	0.0103	0.0060	-0.0025
-0.0014	-0.0027	-0.0000	0.0053	0.0044	-0.0021	-0.0053

Columns 29 through 35

-0.0025	0.0005	-0.0025	-0.0090	-0.0167	-0.0253	-0.0345
0.0069	0.0005	-0.0113	-0.0239	-0.0329	-0.0369	-0.0354
0.0017	-0.0081	-0.0195	-0.0259	-0.0234	-0.0138	-0.0014
-0.0103	-0.0136	-0.0125	-0.0062	0.0020	0.0062	0.0042
-0.0037	-0.0018	-0.0034	-0.0039	-0.0009	0.0011	0.0001

Columns 36 through 42

-0.0438	-0.0510	-0.0537	-0.0498	-0.0393	-0.0190	0.0086
-0.0290	-0.0171	-0.0001	0.0205	0.0411	0.0614	0.0761
0.0089	0.0155	0.0183	0.0187	0.0168	0.0171	0.0174
-0.0017	-0.0048	-0.0015	0.0069	0.0139	0.0182	0.0156
-0.0020	-0.0006	0.0037	0.0069	0.0057	0.0056	0.0050



*Lampiran-1*

Columns 43 through 49

0.0407	0.0762	0.1137	0.1517	0.1888	0.2260	0.2641
0.0812	0.0761	0.0623	0.0424	0.0203	0.0020	-0.0075
0.0161	0.0134	0.0105	0.0081	0.0069	0.0092	0.0156
0.0072	-0.0004	-0.0023	0.0018	0.0079	0.0133	0.0164
0.0030	0.0022	0.0031	0.0039	0.0036	0.0046	0.0072

Y1 =

Columns 1 through 7

0	0	-0.0009	-0.0019	-0.0024	-0.0030	-0.0043
---	---	---------	---------	---------	---------	---------

Columns 8 through 14

-0.0063	-0.0079	-0.0085	-0.0081	-0.0081	-0.0090	-0.0110
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Columns 15 through 21

-0.0126	-0.0130	-0.0133	-0.0132	-0.0123	-0.0116	-0.0117
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Columns 22 through 28

-0.0131	-0.0154	-0.0149	-0.0095	-0.0038	-0.0007	0.0007
---------	---------	---------	---------	---------	---------	--------

Columns 29 through 35

0.0001	-0.0035	-0.0103	-0.0162	-0.0183	-0.0179	-0.0167
--------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Columns 36 through 42

-0.0153	-0.0124	-0.0072	0.0001	0.0074	0.0176	0.0274
---------	---------	---------	--------	--------	--------	--------

Columns 43 through 49

0.0347	0.0403	0.0449	0.0489	0.0525	0.0581	0.0673
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Columns 50 through 55

0.0804	0.0973	0.1134	0.1261	0.1337	0.1374	
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--

Y2 =

Columns 1 through 7

0	0	-0.0012	-0.0027	-0.0037	-0.0049	-0.0070
---	---	---------	---------	---------	---------	---------

Columns 8 through 14

-0.0102	-0.0130	-0.0147	-0.0150	-0.0154	-0.0169	-0.0198
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

*Lampiran-1*

Columns 15 through 21

-0.0224 -0.0236 -0.0246 -0.0248 -0.0237 -0.0225 -0.0222

Columns 22 through 28

-0.0235 -0.0265 -0.0261 -0.0190 -0.0105 -0.0043 0.0001

Columns 29 through 35

0.0012 -0.0027 -0.0122 -0.0219 -0.0274 -0.0295 -0.0295

Columns 36 through 42

-0.0286 -0.0251 -0.0183 -0.0078 0.0042 0.0214 0.0395

Columns 43 through 49

0.0550 0.0681 0.0790 0.0882 0.0963 0.1072 0.1234

Columns 50 through 55

0.1458 0.1743 0.2031 0.2274 0.2441 0.2537

Y3 =

Columns 1 through 7

0 0 -0.0010 -0.0024 -0.0040 -0.0062 -0.0092

Columns 8 through 14

-0.0133 -0.0178 -0.0219 -0.0250 -0.0274 -0.0298 -0.0330

Columns 15 through 21

-0.0364 -0.0392 -0.0418 -0.0433 -0.0431 -0.0417 -0.0401

Columns 22 through 28

-0.0395 -0.0406 -0.0402 -0.0347 -0.0259 -0.0159 -0.0055

Columns 29 through 35

0.0020 0.0038 -0.0024 -0.0133 -0.0248 -0.0351 -0.0431

Columns 36 through 42

-0.0486 -0.0500 -0.0463 -0.0364 -0.0207 0.0033 0.0324

*Lampiran-1*

Columns 43 through 49

0.0628 0.0920 0.1186 0.1423 0.1638 0.1866 0.2137

Columns 50 through 55

0.2469 0.2871 0.3301 0.3712 0.4053 0.4296

Y4 =

Columns 1 through 7

0 0 -0.0010 -0.0025 -0.0041 -0.0064 -0.0098

Columns 8 through 14

-0.0146 -0.0202 -0.0256 -0.0301 -0.0342 -0.0384 -0.0434

Columns 15 through 21

-0.0479 -0.0512 -0.0537 -0.0553 -0.0557 -0.0552 -0.0540

Columns 22 through 28

-0.0526 -0.0518 -0.0491 -0.0418 -0.0323 -0.0227 -0.0127

Columns 29 through 35

-0.0039 0.0016 0.0011 -0.0045 -0.0140 -0.0268 -0.0415

Columns 36 through 42

-0.0556 -0.0649 -0.0666 -0.0589 -0.0431 -0.0177 0.0143

Columns 43 through 49

0.0501 0.0890 0.1299 0.1713 0.2115 0.2507 0.2902

Columns 50 through 55

0.3315 0.3766 0.4231 0.4678 0.5067 0.5372

Y5 =

Columns 1 through 7

0 0 -0.0010 -0.0025 -0.0041 -0.0065 -0.0100

Columns 8 through 14

*Lampiran-1*

~~-0.0151   -0.0212   -0.0275   -0.0333   -0.0391   -0.0454   -0.0525~~

Columns 15 through 21

-0.0593   -0.0643   -0.0679   -0.0697   -0.0692   -0.0674   -0.0650

Columns 22 through 28

-0.0630   -0.0619   -0.0588   -0.0507   -0.0396   -0.0281   -0.0165

Columns 29 through 35

-0.0069   -0.0010   -0.0008   -0.0041   -0.0093   -0.0169   -0.0277

Columns 36 through 42

-0.0421   -0.0576   -0.0709   -0.0779   -0.0761   -0.0599   -0.0299

Columns 43 through 49

0.0121   0.0645   0.1246   0.1890   0.2537   0.3170   0.3773

Columns 50 through 55

0.4339   0.4866   0.5328   0.5709   0.6001   0.6219

Contoh program perhitungan pada bangunan 6 lantai akibat gempa El Centro (bangunan tanpa redaman)

```

var0_6;
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];% matrik massa
k=[k1+k2 -k2 0 0 0 0
  -k2 k2+k3 -k3 0 0 0
  0 -k3 k3+k4 -k4 0 0
  0 0 -k4 k4+k5 -k5 0
  0 0 0 -k5 k5+k6 -k6
  0 0 0 0 -k6 k6]; % matrik kekakuan
c=[c1+c2 -c2 0 0 0 0
  -c2 c2+c3 -c3 0 0 0
  0 -c3 c3+c4 -c4 0 0
  0 0 -c4 c4+c5 -c5 0
  0 0 0 -c5 c5+c6 -c6
  0 0 0 0 -c6 c6];% matrik redaman
q=6; % banyak tingkat
t=0.02; % kenaikan waktu
elcent; % file input data gempa
[s,l]=eig(k,m);% peny eigen problem
ss=[s(:,6) s(:,5) s(:,4) s(:,3) s(:,2) s(:,1)];
mn=ss.*m*ss;% matrik massa efektif
kn=ss.*k*ss;% matrik kekakuan efektif
cn=ss.*c*ss;% matrik redaman efektif
knn=[kn(1,1) 0 0 0 0 0;0 kn(2,2) 0 0 0 0;0 0 kn(3,3) 0 0 0;

```

```

0 0 0 kn(4,4) 0 0;0 0 0 0 kn(5,5)0;0 0 0 0 0 kn(6,6)];
mnn=[mn(1,1) 0 0 0 0 0;0 mn(2,2) 0 0 0 0;0 0 mn(3,3) 0 0 0;
0 0 0 mn(4,4) 0 0;0 0 0 0 mn(5,5) 0;0 0 0 0 0 cn(6,6)];
cnn=[cn(1,1) 0 0 0 0 0;0 cn(2,2) 0 0 0 0;0 0 cn(3,3) 0 0 0;
0 0 0 cn(4,4) 0 0;0 0 0 0 cn(5,5) 0;0 0 0 0 0 cn(6,6)];
mi=ones(q,1);
wn=sqrt(inv(mnn)*knn*385.827);%frekuensi sudut
wn1=[wn(1,1);wn(2,2);wn(3,3);wn(4,4);wn(5,5);wn(6,6)];
T=2*3.14/wn(1,1);
f=1/T;
lm=((cnn*385.827)/(2*wn*mn))*mi;% rasio redaman struktur
lmm=sort(lm);
TT=inv(mnn)*(ss.*m*mi);% partisipasi faktor
aa=(wn1.^2)-mi*(2/t^2);
bb=(mi/t^2)-(wn*lmm/t);
kk=(mi/t^2)+(wn*lmm/t);
for i=1:6;
    g(i,1)=0;
end;
for i=1:q;
    g(i,2)=-et(1)/kk(i);
end;
for i=1:q;
    for j=2:nee-1;
        g(i,j+1)=(-(et(j)*0.3937)-aa(i)*g(i,j)-bb(i)
        *g(i,j-1))/kk(i);
    end;
end;
end;
gg=g;
% Perhitungan simpangan horisontal lantai 1
q1=gg(1,:);
ss11=ss(1,1);

```

```
TT1=TT(1,1);
Y11=q1*ss11*TT1;% Mode 1
q2=gg(2,:);
ss12=ss(1,2);
TT2=TT(2,1);
Y12=q2*ss12*TT2;% Mode 2
q3=gg(3,:);
ss13=ss(1,3);
TT3=TT(3,1);
Y13=q3*ss13*TT3;% Mode 3
q4=gg(4,:);
ss14=ss(1,4);
TT4=TT(4,1);
Y14=q4*ss14*TT4;% Mode 4
q5=gg(5,:);
ss15=ss(1,5);
TT5=TT(5,1);
Y15=q5*ss15*TT5;% Mode 5
q6=gg(6,:);
ss16=ss(1,6);
TT6=TT(6,1);
Y16=q6*ss16*TT6;% Mode 6
Y1=Y11+Y12+Y13+Y14+Y15+Y16;%Simpangan horisontal lantai 1
Ylabs=abs(Y1);
Ylmax=max(Ylabs);%Simpangan horisontal max lantai 1
% Perhitungan simpangan horisontal lantai 2
q1=gg(1,:);
ss21=ss(2,1);
TT1=TT(1,1);
```

```
Y21=q1*ss21*TT1;% Mode 1
q2=gg(2,:);
ss22=ss(2,2);
TT2=TT(2,1);
Y22=q2*ss22*TT2;% Mode 2
q3=gg(3,:);
ss23=ss(2,3);
TT3=TT(3,1);
Y23=q3*ss23*TT3;% Mode 3
q4=gg(4,:);
ss24=ss(2,4);
TT4=TT(4,1);
Y24=q4*ss24*TT4;% Mode 4
q5=gg(5,:);
ss25=ss(2,5);
TT5=TT(5,1);
Y25=q5*ss15*TT5;% Mode 5
q6=gg(6,:);
ss26=ss(2,6);
TT6=TT(6,1);
Y26=q6*ss26*TT6;% Mode 6
Y2=Y21+Y22+Y23+Y24+Y25+Y26;%Simpangan horisontal lantai 2
Y2abs=abs(Y2);
Y2max=max(Y2abs);%Simpangan horisontal max lantai 2
% Perhitungan simpangan horisontal lantai 3
q1=gg(1,:);
ss31=ss(3,1);
TT1=TT(1,1);
Y31=q1*ss31*TT1;% Mode 1
```



```
q2=gg(2,:);
ss32=ss(3,2);
TT2=TT(2,1);
Y32=q2*ss32*TT2;% Mode 2
q3=gg(3,:);
ss33=ss(3,3);
TT3=TT(3,1);
Y33=q3*ss33*TT3;% Mode 3
q4=gg(4,:);
ss34=ss(3,4);
TT4=TT(4,1);
Y34=q4*ss34*TT4;% Mode 4
q5=gg(5,:);
ss35=ss(3,5);
TT5=TT(5,1);
Y35=q5*ss35*TT5;% Mode 5
q6=gg(6,:);
ss36=ss(3,6);
TT6=TT(6,1);
Y36=q6*ss36*TT6;% Mode 6
Y3=Y31+Y32+Y33+Y34+Y35+Y36;%Simpangan horisontal lantai 3
Y3abs=abs(Y3);
Y3max=max(Y3abs);%Simpangan horisontal max lantai 3
% Perhitungan simpangan horisontal lantai 4
q1=gg(1,:);
ss41=ss(4,1);
TT1=TT(1,1);
Y41=q1*ss41*TT1;% Mode 1
q2=gg(2,:);
```

```
ss42=ss(4,2);
TT2=TT(2,1);
Y42=q2*ss42*TT2;% Mode 2
q3=gg(3,:);
ss43=ss(4,3);
TT3=TT(3,1);
Y43=q3*ss43*TT3;% Mode 3
q4=gg(4,:);
ss44=ss(4,4);
TT4=TT(4,1);
Y44=q4*ss44*TT4;% Mode 4
q5=gg(5,:);
ss45=ss(4,5);
TT5=TT(5,1);
Y45=q5*ss45*TT5;% Mode 5
q6=gg(6,:);
ss46=ss(4,6);
TT6=TT(6,1);
Y46=q6*ss46*TT6;% Mode 6
Y4=Y41+Y42+Y43+Y44+Y45+Y46;%Simpangan horisontal lantai 4
Y4abs=abs(Y4);
Y4max=max(Y4abs);%Simpangan horisontal max lantai 4
% Perhitungan simpangan horisontal lantai 5
q1=gg(1,:);
ss51=ss(5,1);
TT1=TT(1,1);
Y51=q1*ss51*TT1;% Mode 1
q2=gg(2,:);
ss52=ss(5,2);
```

```
TT2=TT(2,1);
Y52=q2*ss52*TT2;% Mode 2

q3=gg(3,:);
ss53=ss(5,3);
TT3=TT(3,1);
Y53=q3*ss53*TT3;% Mode 3

q4=gg(4,:);
ss54=ss(5,4);
TT4=TT(4,1);
Y54=q4*ss54*TT4;% Mode 4

q5=gg(5,:);
ss55=ss(5,5);
TT5=TT(5,1);
Y55=q5*ss55*TT5;% Mode 5

q6=gg(6,:);
ss56=ss(5,6);
TT6=TT(6,1);
Y56=q6*ss56*TT6;% Mode 6
Y5=Y51+Y52+Y53+Y54+Y55;%Simpangan horisontal lantai 5
Y5abs=abs(Y5);
Y5max=max(Y5abs);%Simpangan horisontal max lantai 5
% Perhitungan simpangan horisontal lantai 6

q1=gg(1,:);
ss61=ss(6,1);
TT1=TT(1,1);
Y61=q1*ss61*TT1;% Mode 1

q2=gg(2,:);
ss62=ss(6,2);
TT2=TT(2,1);
```

## Lampiran-2

```
Y62=q2*ss62*TT2;% Mode 2
q3=gg(3,:);
ss63=ss(6,3);
TT3=TT(3,1);
Y63=q3*ss63*TT3;% Mode 3
q4=gg(4,:);
ss64=ss(6,4);
TT4=TT(4,1);
Y64=q4*ss64*TT4;% Mode 4
q5=gg(5,:);
ss65=ss(6,5);
TT5=TT(5,1);
Y65=q5*ss65*TT5;% Mode 5
q6=gg(6,:);
ss66=ss(6,6);
TT6=TT(6,1);
Y66=q6*ss66*TT6;% Mode 6
Y6=Y61+Y62+Y63+Y64+Y65;%Simpangan horisontal lantai 6
Y6abs=abs(Y6);
Y6max=max(Y6abs);%Simpangan horisontal max lantai 6
```

Contoh hasil program perhitungan pada bangunan 6 lantai  
akibat gempa El Centro (bangunan tanpa redaman)

m = matrik massa

140	0	0	0	0	0
0	120	0	0	0	0
0	0	120	0	0	0
0	0	0	120	0	0
0	0	0	0	120	0
0	0	0	0	0	100

k = matrik kekakuan

800	-400	0	0	0	0
-400	600	-200	0	0	0
0	-200	400	-200	0	0
0	0	-200	400	-200	0
0	0	0	-200	300	-100
0	0	0	0	-100	100

c = matrik redaman

2.5260	-1.2630	0	0	0	0
-1.2630	2.5260	-1.2630	0	0	0
0	-1.2630	2.5260	-1.2630	0	0
0	0	-1.2630	2.5260	-1.2630	0
0	0	0	-1.2630	2.5260	-1.2630
0	0	0	0	-1.2630	1.2630

ss = made shape

-0.0867	-0.2310	0.3830	0.4085	0.2621	0.6647
-0.1693	-0.3862	0.5018	0.3112	0.0136	-0.7018
-0.3202	-0.4796	0.1463	-0.5440	-0.5288	0.2419
-0.4444	-0.3034	-0.3822	-0.2444	0.6946	-0.0815
-0.5316	0.0434	-0.4588	0.5740	-0.4016	0.0222
-0.6174	0.6881	0.4728	-0.2262	0.0880	-0.0029

mnn = matrik massa efektif diagonal

112.5270	0	0	0	0	0
0	111.5962	0	0	0	0
0	0	118.4620	0	0	0
0	0	0	122.3142	0	0
0	0	0	0	121.2191	0
0	0	0	0	0	128.8354

knn = matrik kekakuan efektif diagonal

1.0e+003 \*

0.0156	0	0	0	0	0	0
0	0.1046	0	0	0	0	0
0	0	0.2334	0	0	0	0
0	0	0	0.4327	0	0	0
0	0	0	0	0	0.6747	0
0	0	0	0	0	0	1.1249

cnn = matrik redaman efektif diagonal

0.0853	0	0	0	0	0	0
0	0.8249	0	0	0	0	0
0	0	1.8191	0	0	0	0
0	0	0	2.9144	0	0	0
0	0	0	0	0	4.2471	0
0	0	0	0	0	0	4.1877

wn = frekuensi sudut

7.3212	0	0	0	0	0	0
0	19.0128	0	0	0	0	0
0	0	27.5723	0	0	0	0
0	0	0	36.9462	0	0	0
0	0	0	0	0	46.3396	0
0	0	0	0	0	0	58.0408

T = frekuensi struktur

0.8577

f = frekuensi struktur

1.1659

lm = nilai rasio redaman

0.0200

0.0750

0.1074

0.1244

0.1459

0.1080

lmm = nilai rasio redaman setelah diurutkan

0.0200  
0.0750  
0.1074  
0.1080  
0.1244  
0.1459

TT = partisipasi faktor

-2.2194  
-0.8837  
0.6563  
0.3776  
0.1554  
0.2363

aa =

1.0e+003 \*

-4.9464  
-4.6385  
-4.2398  
-3.6350  
-2.8526  
-1.6313

bb =

1.0e+003 \*

2.4927  
2.4287  
2.3519  
2.3004  
2.2117  
2.0767

kk =

1.0e+003 \*

2.5073  
2.5713  
2.6481  
2.6996  
2.7883  
2.9233

Lampiran-2

g =

Columns 1 through 7

0	0	-0.0010	-0.0024	-0.0040	-0.0061	-0.0092
0	0	-0.0009	-0.0022	-0.0032	-0.0044	-0.0060
0	0	-0.0009	-0.0020	-0.0025	-0.0028	-0.0034
0	0	-0.0009	-0.0017	-0.0017	-0.0014	-0.0015
0	0	-0.0009	-0.0014	-0.0009	-0.0004	-0.0007
0	0	-0.0008	-0.0009	-0.0001	0.0001	-0.0009

Columns 8 through 14

-0.0138	-0.0190	-0.0243	-0.0288	-0.0332	-0.0381	-0.0443
-0.0083	-0.0103	-0.0111	-0.0101	-0.0084	-0.0068	-0.0063
-0.0045	-0.0052	-0.0047	-0.0027	-0.0007	0.0001	-0.0012
-0.0024	-0.0029	-0.0022	-0.0004	0.0009	0.0003	-0.0023
-0.0019	-0.0023	-0.0012	0.0008	0.0013	-0.0005	-0.0033
-0.0020	-0.0013	0.0003	0.0013	0.0000	-0.0020	-0.0029

Columns 15 through 21

-0.0506	-0.0560	-0.0607	-0.0644	-0.0668	-0.0684	-0.0698
-0.0061	-0.0051	-0.0041	-0.0029	-0.0014	-0.0004	-0.0007
-0.0031	-0.0040	-0.0042	-0.0035	-0.0019	-0.0006	-0.0005
-0.0043	-0.0040	-0.0023	-0.0000	0.0019	0.0020	-0.0002
-0.0040	-0.0016	0.0010	0.0020	0.0012	-0.0009	-0.0031
-0.0011	0.0013	0.0010	-0.0007	-0.0011	-0.0007	-0.0007

Y1 = simpangan relatif lantai 1

Columns 1 through 7

0	0	-0.0009	-0.0019	-0.0024	-0.0030	-0.0043
---	---	---------	---------	---------	---------	---------

Columns 8 through 14

-0.0062	-0.0078	-0.0085	-0.0081	-0.0081	-0.0090	-0.0111
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Columns 15 through 21

-0.0128	-0.0133	-0.0137	-0.0139	-0.0135	-0.0132	-0.0140
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Y2 =Simpangan relatif lantai 2

Columns 1 through 7

0	0	-0.0010	-0.0024	-0.0036	-0.0049	-0.0067
---	---	---------	---------	---------	---------	---------

Columns 8 through 14

-0.0095	-0.0126	-0.0148	-0.0154	-0.0154	-0.0163	-0.0191
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Columns 15 through 21

-0.0226	-0.0248	-0.0260	-0.0262	-0.0257	-0.0257	-0.0267
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------



Lampiran-2

Y3 =simpangan relatif lantai 3

Columns 1 through 7

0 0 -0.0010 -0.0024 -0.0040 -0.0061 -0.0091

Columns 8 through 14

-0.0132 -0.0177 -0.0218 -0.0249 -0.0275 -0.0301 -0.0337

Columns 15 through 21

-0.0377 -0.0413 -0.0448 -0.0476 -0.0488 -0.0492 -0.0497

Y4 =simpangan relatif lantai 4

Columns 1 through 7

0 0 -0.0010 -0.0025 -0.0041 -0.0064 -0.0098

Columns 8 through 14

-0.0146 -0.0202 -0.0257 -0.0303 -0.0347 -0.0395 -0.0452

Columns 15 through 21

-0.0508 -0.0554 -0.0596 -0.0632 -0.0658 -0.0677 -0.0692

Y5 =simpangan relatif lantai 5

Columns 1 through 7

0 0 -0.0010 -0.0025 -0.0041 -0.0064 -0.0099

Columns 8 through 14

-0.0150 -0.0210 -0.0272 -0.0329 -0.0385 -0.0447 -0.0520

Columns 15 through 21

-0.0593 -0.0654 -0.0707 -0.0749 -0.0778 -0.0800 -0.0820

Y6 =simpangan relatif lantai 6

Columns 1 through 7

0 0 -0.0010 -0.0025 -0.0041 -0.0064 -0.0099

Columns 8 through 14

-0.0151 -0.0212 -0.0278 -0.0340 -0.0406 -0.0482 -0.0571

Columns 15 through 21

-0.0663   -0.0745   -0.0817   -0.0875   -0.0914   -0.0938   -0.0954

Y1max = simpangan relatif maksimum lantai 1

1.1299

Y2max = simpangan relatif maksimum lantai 2

2.2004

Y3max = simpangan relatif maksimum lantai 3

4.1596

Y4max = simpangan relatif maksimum lantai 4

5.8189

Y5max = simpangan relatif maksimum lantai 5

6.9960

Y6max = simpangan relatif maksimum lantai 6

8.0961

Contoh program perhitungan pada bangunan 5 lantai akibat gempa El Centro (posisi redaman pada lantai 1)

```

var1_1_5;
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];% matrik massa
k=[k1+k2 -k2 0 0 0
  -k2 k2+k3 -k3 0 0
  0 -k3 k3+k4 -k4 0
  0 0 -k4 k4+k5 -k5
  0 0 0 -k5 k5]; % matrik kekakuan
c=[c1+c2 -c2 0 0 0
  -c2 c2+c3 -c3 0 0
  0 -c3 c3+c4 -c4 0
  0 0 -c4 c4+c5 -c5
  0 0 0 -c5 c5];
q=5; % banyak tingkat
t=0.02; % kenaikan waktu
elcent; % file input data gempa
[s,l]=eig(k,m);% peny eigen problem
ss=[s(:,5) s(:,4) s(:,3) s(:,2) s(:,1)];
mn=ss.*m*ss;% matrik massa efektif
kn=ss.*k*ss;% matrik kekakuan efektif
cn=ss.*c*ss;% matrik redaman efektif
knn=[kn(1,1) 0 0 0 0;0 kn(2,2) 0 0 0;0 0 kn(3,3) 0 0;...
      0 0 0 kn(4,4) 0;0 0 0 0 kn(5,5)];
mnn=[mn(1,1) 0 0 0 0;0 mn(2,2) 0 0 0;0 0 mn(3,3) 0 0;...
      0 0 0 mn(4,4) 0;0 0 0 0 mn(5,5)];
cnn=[cn(1,1) 0 0 0 0;0 cn(2,2) 0 0 0;0 0 cn(3,3) 0 0;...
      0 0 0 cn(4,4) 0;0 0 0 0 cn(5,5)];
mi=ones(q,1);
wn=sqrt(inv(mnn)*knn*385.827);%frekuensi sudut
wn1=[wn(1,1);wn(2,2);wn(3,3);wn(4,4);wn(5,5)];
T=2*3.14/wn(1,1);
f=1/T;
lm=((cnn*385.827)/(2*wn*mn))*mi;% rasio redaman struktur
rasredaman0_5;
lmm=sort(lm)+RR0;
TT=inv(mnn)*(ss.*m*mi);% partisipasi faktor
aa=(wn1.^2)-mi*(2/t^2);
bb=(mi/t^2)-(wn*lmm/t);
kk=(mi/t^2)+(wn*lmm/t);
for i=1:5;
  g(i,1)=0;

```

```

end;
for i=1:q;
    g(i,2)=-et(1)/kk(i);
end;
for i=1:q;
    for j=2:nee-1;
        g(i,j+1)=(-(et(j)*0.3937)-aa(i)*g(i,j)-bb(i)...
            *g(i,j-1))/kk(i);
    end;
end;
gg=g;
% Perhitungan simpangan horisontal lantai 1
q1=gg(1,:);
ss11=ss(1,1);
TT1=TT(1,1);
Y11=q1*ss11*TT1;% Mode 1
q2=gg(2,:);
ss12=ss(1,2);
TT2=TT(2,1);
Y12=q2*ss12*TT2;% Mode 2
q3=gg(3,:);
ss13=ss(1,3);
TT3=TT(3,1);
Y13=q3*ss13*TT3;% Mode 3
q4=gg(4,:);
ss14=ss(1,4);
TT4=TT(4,1);
Y14=q4*ss14*TT4;% Mode 4
q5=gg(5,:);
ss15=ss(1,5);
TT5=TT(5,1);
Y15=q5*ss15*TT5;% Mode 5
Y1=Y11+Y12+Y13+Y14+Y15;%Simpangan horisontal lantai 1
Y1labs=abs(Y1);
Y1max=max(Y1labs);%Simpangan horisontal max lantai 1
% Perhitungan simpangan horisontal lantai 2
q1=gg(1,:);
ss21=ss(2,1);
TT1=TT(1,1);
Y21=q1*ss21*TT1;% Mode 1
q2=gg(2,:);
ss22=ss(2,2);
TT2=TT(2,1);
Y22=q2*ss22*TT2;% Mode 2
q3=gg(3,:);
ss23=ss(2,3);
TT3=TT(3,1);

```

```
Y23=q3*ss23*TT3;% Mode 3
q4=gg(4,:);
ss24=ss(2,4);
TT4=TT(4,1);
Y24=q4*ss24*TT4;% Mode 4
q5=gg(5,:);
ss25=ss(2,5);
TT5=TT(5,1);
Y25=q5*ss15*TT5;% Mode 5
Y2=Y21+Y22+Y23+Y24+Y25;%Simpangan horisontal lantai 2
Y2abs=abs(Y2);
Y2max=max(Y2abs);%Simpangan horisontal max lantai 2
% Perhitungan simpangan horisontal lantai 3
q1=gg(1,:);
ss31=ss(3,1);
TT1=TT(1,1);
Y31=q1*ss31*TT1;% Mode 1
q2=gg(2,:);
ss32=ss(3,2);
TT2=TT(2,1);
Y32=q2*ss32*TT2;% Mode 2
q3=gg(3,:);
ss33=ss(3,3);
TT3=TT(3,1);
Y33=q3*ss33*TT3;% Mode 3
q4=gg(4,:);
ss34=ss(3,4);
TT4=TT(4,1);
Y34=q4*ss34*TT4;% Mode 4
q5=gg(5,:);
ss35=ss(3,5);
TT5=TT(5,1);
Y35=q5*ss35*TT5;% Mode 5
Y3=Y31+Y32+Y33+Y34+Y35;%Simpangan horisontal lantai 3
Y3abs=abs(Y3);
Y3max=max(Y3abs);%Simpangan horisontal max lantai 3

% Perhitungan simpangan horisontal lantai 4
q1=gg(1,:);
ss41=ss(4,1);
TT1=TT(1,1);
Y41=q1*ss41*TT1;% Mode 1
q2=gg(2,:);
ss42=ss(4,2);
TT2=TT(2,1);
Y42=q2*ss42*TT2;% Mode 2
q3=gg(3,:);
```

```
ss43=ss(4,3);
TT3=TT(3,1);
Y43=q3*ss43*TT3;% Mode 3
q4=gg(4,:);
ss44=ss(4,4);
TT4=TT(4,1);
Y44=q4*ss44*TT4;% Mode 4
q5=gg(5,:);
ss45=ss(4,5);
TT5=TT(5,1);
Y45=q5*ss45*TT5;% Mode 5
Y4=Y41+Y42+Y43+Y44+Y45;%Simpangan horisontal lantai 4
Y4abs=abs(Y4);
Y4max=max(Y4abs);%Simpangan horisontal max lantai 4

% Perhitungan simpangan horisontal lantai 5
q1=gg(1,:);
ss51=ss(5,1);
TT1=TT(1,1);
Y51=q1*ss51*TT1;% Mode 1
q2=gg(2,:);
ss52=ss(5,2);
TT2=TT(2,1);
Y52=q2*ss52*TT2;% Mode 2
q3=gg(3,:);
ss53=ss(5,3);
TT3=TT(3,1);
Y53=q3*ss53*TT3;% Mode 3
q4=gg(4,:);
ss54=ss(5,4);
TT4=TT(4,1);
Y54=q4*ss54*TT4;% Mode 4
q5=gg(5,:);
ss55=ss(5,5);
TT5=TT(5,1);
Y55=q5*ss55*TT5;% Mode 5
Y5=Y51+Y52+Y53+Y54+Y55;%Simpangan horisontal lantai 5
Y5abs=abs(Y5);
Y5max=max(Y5abs);%Simpangan horisontal max lantai 5
```

Contoh hasil program perhitungan pada bangunan 5 lantai  
akibat gempa El Centro (posisi redaman pada lantai 1)

m = matrik massa

140	0	0	0	0
0	120	0	0	0
0	0	120	0	0
0	0	0	120	0
0	0	0	0	100

k = matrik kekakuan

800	-400	0	0	0
-400	600	-200	0	0
0	-200	400	-200	0
0	0	-200	300	-100
0	0	0	-100	100

c = matrik redaman

15	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

ss = mode shape

0.1153	0.2840	0.4616	0.3654	0.6671
0.2225	0.4492	0.5110	0.1079	-0.7031
0.4095	0.4572	-0.1725	-0.7225	0.2373
0.5463	0.1371	-0.5920	0.5586	-0.0647
0.6863	-0.6998	0.3815	-0.1443	0.0084

mnn = matrik massa efektif diagonal

110.8446	0	0	0	0
0	111.8192	0	0	0
0	0	121.3505	0	0
0	0	0	122.2540	0
0	0	0	0	128.9003

knn = matrik kekakuan efektif diagonal

1.0e+003 \*

0.0226	0	0	0	0
0	0.1337	0	0	0
0	0	0.3096	0	0
0	0	0	0.5955	0
0	0	0	0	1.1247

cnn = matrik redaman efektif diagonal

0.1996	0	0	0	0
0	1.2102	0	0	0
0	0	3.1966	0	0
0	0	0	2.0029	0
0	0	0	0	6.6763

wn = frekuensi sudut

8.8718	0	0	0	0
0	21.4807	0	0	0
0	0	31.3754	0	0
0	0	0	43.3509	0
0	0	0	0	58.0215

T = periode struktur

0.7079

f = frekuensi struktur

1.4127

lm - nilai rasio redaman

0.0392  
 0.0972  
 0.1620  
 0.0729  
 0.1722



---

lmm = nilai rasio redaman setelah ditambah dengan nilai  
rasio redaman pada bangunan tanpa redaman

---

0.0592  
0.1490  
0.1858  
0.2572  
0.2867

TT = partisipasi faktor

2.0405  
0.8496  
0.5964  
0.2455  
0.2373

aa =

1.0e+003 \*  
  
-4.9213  
-4.5386  
-4.0156  
-3.1207  
-1.6335

bb =

1.0e+003 \*  
  
2.4738  
2.3400  
2.2085  
1.9426  
1.6682

kk =

1.0e+003 \*  
  
2.5262  
2.6600  
2.7915  
3.0574  
3.3318

gg =

## Columns 1 through 7

0	0	-0.0009	-0.0024	-0.0039	-0.0058	-0.0087
0	0	-0.0009	-0.0020	-0.0028	-0.0037	-0.0048
0	0	-0.0009	-0.0017	-0.0019	-0.0020	-0.0024
0	0	-0.0008	-0.0012	-0.0009	-0.0007	-0.0010
0	0	-0.0007	-0.0008	-0.0001	-0.0002	-0.0009

## Columns 8 through 14

-0.0129	-0.0176	-0.0221	-0.0256	-0.0288	-0.0324	-0.0368
-0.0066	-0.0079	-0.0081	-0.0067	-0.0049	-0.0036	-0.0038
-0.0033	-0.0038	-0.0032	-0.0015	-0.0000	-0.0001	-0.0019
-0.0020	-0.0022	-0.0013	0.0002	0.0006	-0.0006	-0.0027
-0.0016	-0.0011	-0.0001	0.0007	-0.0001	-0.0013	-0.0022

## Columns 15 through 21

-0.0412	-0.0443	-0.0465	-0.0476	-0.0473	-0.0461	-0.0448
-0.0043	-0.0042	-0.0039	0.0034	-0.0023	-0.0016	-0.0019
-0.0037	-0.0039	-0.0033	-0.0019	-0.0002	0.0006	-0.0001
-0.0032	-0.0017	-0.0002	0.0006	0.0007	-0.0002	-0.0017
-0.0012	0.0004	0.0003	-0.0003	-0.0003	-0.0005	-0.0011

## Columns 22 through 28

-0.0441	-0.0446	-0.0432	-0.0368	-0.0280	-0.0191	-0.0106
-0.0037	-0.0071	-0.0083	-0.0046	0.0009	0.0050	0.0070
-0.0024	-0.0057	-0.0058	-0.0006	0.0051	0.0072	0.0056
-0.0032	-0.0043	-0.0019	0.0037	0.0063	0.0035	-0.0011
-0.0017	-0.0023	0.0002	0.0039	0.0030	-0.0010	-0.0026

## Columns 29 through 35

-0.0044	-0.0024	-0.0061	-0.0133	-0.0214	-0.0301	-0.0391
0.0052	-0.0013	-0.0123	-0.0233	-0.0304	-0.0327	-0.0304
0.0002	-0.0080	-0.0169	-0.0213	-0.0187	-0.0113	-0.0027
-0.0054	-0.0082	-0.0098	-0.0078	-0.0030	0.0007	0.0015
-0.0026	-0.0032	-0.0047	-0.0035	-0.0005	0.0004	-0.0006

## Columns 36 through 42

-0.0480	-0.0545	-0.0564	-0.0516	-0.0403	-0.0194	0.0084
-0.0244	-0.0141	-0.0000	0.0170	0.0338	0.0509	0.0635
0.0038	0.0083	0.0114	0.0143	0.0161	0.0196	0.0216
-0.0000	-0.0004	0.0019	0.0062	0.0093	0.0126	0.0126
-0.0015	0.0001	0.0029	0.0051	0.0048	0.0063	0.0058

Y1 = simpangan relatif lantai 1

Columns 1 through 7

0 0 -0.0009 -0.0018 -0.0022 -0.0029 -0.0041

Columns 8 through 14

-0.0060 -0.0075 -0.0082 -0.0079 -0.0079 -0.0088 -0.0107

Columns 15 through 21

-0.0122 -0.0126 -0.0128 -0.0125 -0.0117 -0.0112 -0.0114

Columns 22 through 28

-0.0125 -0.0145 -0.0139 -0.0090 -0.0039 -0.0011 0.0002

Columns 29 through 35

-0.0006 -0.0043 -0.0107 -0.0159 -0.0179 -0.0180 -0.0173

Columns 36 through 42

-0.0164 -0.0140 -0.0095 -0.0028 0.0047 0.0152 0.0253

Y2 = simpangan relatif lantai 2

Columns 1 through 7

0 0 -0.0012 -0.0025 -0.0035 -0.0047 -0.0067

Columns 8 through 14

-0.0097 -0.0124 -0.0142 -0.0145 -0.0150 -0.0163 -0.0192

Columns 15 through 21

-0.0217 -0.0229 -0.0236 -0.0235 -0.0224 -0.0214 -0.0213

Columns 22 through 28

-0.0225 -0.0252 -0.0246 -0.0179 -0.0102 -0.0046 -0.0009

Columns 29 through 35

-0.0005 -0.0047 -0.0136 -0.0222 -0.0272 -0.0295 -0.0303

Columns 36 through 42

-0.0302 -0.0276 -0.0216 -0.0116 0.0005 0.0179 0.0359

## Y3 = simpangan relatif lantai 3

Columns 1 through 7

0	0	-0.0010	-0.0024	-0.0040	-0.0060	-0.0088
---	---	---------	---------	---------	---------	---------

Columns 8 through 14

-0.0127	-0.0171	-0.0211	-0.0239	-0.0261	-0.0284	-0.0317
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Columns 15 through 21

-0.0352	-0.0379	-0.0400	-0.0410	-0.0405	-0.0392	-0.0379
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Columns 22 through 28

-0.0376	-0.0388	-0.0384	-0.0329	-0.0245	-0.0154	-0.0067
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Columns 29 through 35

-0.0009	-0.0004	-0.0067	-0.0168	-0.0273	-0.0368	-0.0445
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Columns 36 through 42

-0.0501	-0.0518	-0.0485	-0.0388	-0.0236	-0.0004	0.0276
---------	---------	---------	---------	---------	---------	--------

## Y4 = simpangan relatif lantai 4

Columns 1 through 7

0	0	-0.0010	-0.0024	-0.0041	-0.0063	-0.0096
---	---	---------	---------	---------	---------	---------

Columns 8 through 14

-0.0142	-0.0195	-0.0247	-0.0288	-0.0326	-0.0365	-0.0412
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Columns 15 through 21

-0.0455	-0.0487	-0.0512	-0.0527	-0.0528	-0.0518	-0.0504
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Columns 22 through 28

-0.0492	-0.0491	-0.0473	-0.0409	-0.0321	-0.0228	-0.0131
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Columns 29 through 35

-0.0051	-0.0010	-0.0036	-0.0111	-0.0212	-0.0333	-0.0460
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Columns 36 through 42

-0.0577	-0.0654	-0.0667	-0.0599	-0.0455	-0.0210	0.0108
---------	---------	---------	---------	---------	---------	--------

Y5 - simpangan relatif lantai 5

Columns 1 through 7

0            0    -0.0010    -0.0025    -0.0041    -0.0064    -0.0099

Columns 8 through 14

-0.0149    -0.0208    -0.0268    -0.0322    -0.0375    -0.0432    -0.0497

Columns 15 through 21

-0.0558    -0.0603    -0.0636    -0.0652    -0.0649    -0.0635    -0.0616

Columns 22 through 28

-0.0600    -0.0594    -0.0568    -0.0491    -0.0388    -0.0282    -0.0177

Columns 29 through 35

-0.0090    -0.0041    -0.0048    -0.0094    -0.0161    -0.0253    -0.0374

Columns 36 through 42

-0.0519    -0.0661    -0.0765    -0.0794    -0.0732    -0.0534    -0.0214

Y1max = simpangan relatif maksimum lantai 1

0.0253

Y2max = simpangan relatif maksimum lantai 2

0.0359

Y3max = simpangan relatif maksimum lantai 3

0.0518

Y4max = simpangan relatif maksimum lantai 4

0.0667

Y5max = simpangan relatif maksimum lantai 5

0.0794