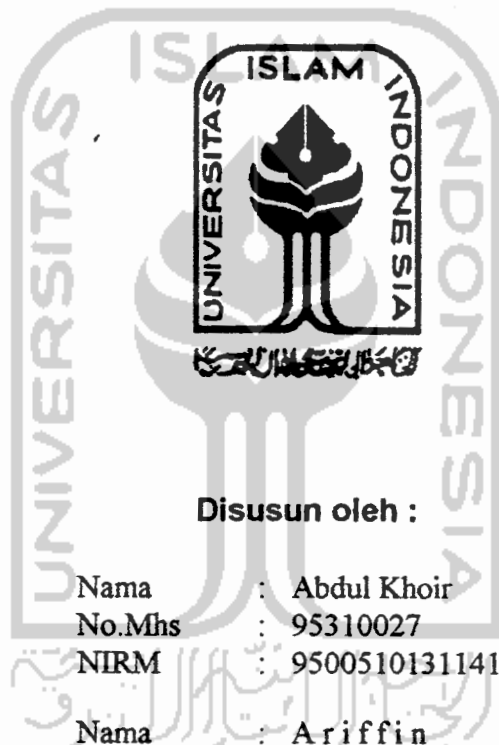


## TUGAS AKHIR

### **PENGARUH PERUBAHAN KEKAKUAN TINGKAT SECARA SERENTAK TERHADAP SIMPANGAN, GAYA GESER DASAR DAN MOMEN GULING PADA GEDUNG BERTINGKAT LIMA MENGUNAKAN EKSITASI GEMPA BERUPA *TIME HISTORY***

*( THE INFLUENCE OF THE CHANGING OF TOTAL STIFFNESS TO THE DISPLACEMENTS,  
BASE SHEAR FORCES, AND OVERTURNING MOMENTS OF FIVE -STORY STRUCTURE  
USING TIME HISTORY EARTHQUAKE EXCITATIONS )*



Disusun oleh :

Nama : Abdul Khoir  
No.Mhs : 95310027  
NIRM : 950051013114120027

Nama : Ariffin  
No.Mhs : 95310029  
NIRM : 950051013114120029

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

**2000**

## TUGAS AKHIR

### PENGARUH PERUBAHAN KEKAKUAN TINGKAT SECARA SERENTAK TERHADAP SIMPANGAN, GAYA GESER DASAR DAN MOMEN GULING PADA GEDUNG BERTINGKAT LIMA MENGUNAKAN EKSITASI GEMPA BERUPA *TIME HISTORY*

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

Nama : Abdul Khoir  
No.Mhs : 95310027  
NIRM : 950051013114120027  
Nama : Ariffin  
No.Mhs : 95310029  
NIRM : 950051013114120029

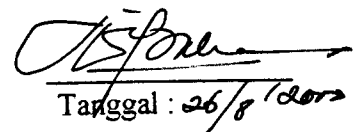
Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Ir. H. Sarwidi, MSCE, Ph.D  
Dosen Pembimbing I

Ir. Helmy Akbar Bale, MT  
Dosen Pembimbing II



Tanggal : 26/08/2007



Tanggal : 26/8/2007

## Motto

Sesungguhnya Shalatku, Ibadahku, Hidupku, dan Matiku hanya untuk

Allah, Tuhan semesta alam (Qs. Al An'am : 162)

Kenallah kepada Allah pada waktu lapang, pasti Ia akan mengenalmu diwaktu sempit. Ketahuilah ! Sesungguhnya apa yang (ditetapkan) tidak mengenai kepadamu sebaliknya apa saja yang (ditetapkan) untuk menimpamu. Sesungguhnya pertolongan itu datangnya bersama kesabaran, kesenangan bersama kesusahan dan sesungguhnya beserta kesulitan adalah kemudahan

(H.R Muttafaq'alah)

## Halaman Persembahan

Karya ini ku persembahkan untuk:

Bapak dan Ibu tercinta,

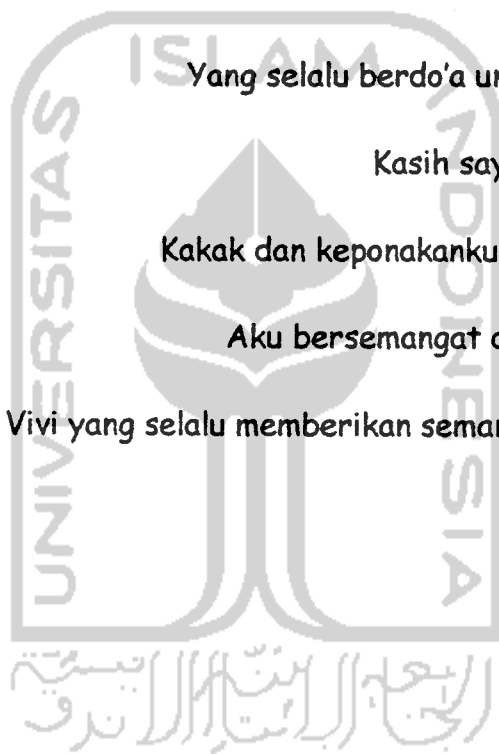
Yang selalu berdo'a untukku dan memberikan

Kasih sayang serta dukungannya.

Kakak dan keponakanku tercinta yang membuat

Aku bersemangat dalam mengarungi hidup.

Dik Vиви yang selalu memberikan semangat serta dorongannya.



## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Assalamu 'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh*

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

Tugas Akhir dengan judul “PENGARUH PERUBAHAN KEKAKUAN TINGKAT SECARA SERENTAK TERHADAP SIMPANGAN, GAYA GESER DASAR DAN MOMEN GULING PADA GEDUNG BERTINGKAT LIMA MENGGUNAKAN EKSITASI GEMPA BERUPA *TIME HISTORY*” ini diajukan sebagai syarat guna memperoleh derajat Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Penyusun menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari sumbangan saran dan pemikiran dari berbagai pihak yang sangat membantu, sehingga penyusun dapat menyelesaikan semua hambatan yang terjadi selama penyusunan hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini. Untuk itu dengan penuh rasa hormat, penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
2. Ir. H. Tadjuddin BMA, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
3. Ir. H. Sarwidi, MSCE, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I,
4. Ir. Helmy Akbar Bale, MT, selaku Dosen Pembimbing II,
5. staf dosen dan karyawan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
6. kedua orang tua dan saudara-saudara kami yang telah banyak memberikan bantuan dan dorongan, baik moral maupun material dalam penyusunan Tugas Akhir ini, dan
7. teman-teman dan semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu kami dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

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

Tidak ada yang dapat penyusun berikan selain ucapan terima kasih atas bantuan yang telah diberikan semoga dapat diterima sebagai amal baik disisi Allah SWT.

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

*Wassalamu 'alikum Warahmatullah Wabarakatuh*

Yogyakarta, Agustus 2000

Penyusun



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>MOTTO</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiv
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xv
<b>ABSTRAKSI</b> .....	xviii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
1.6 Pendekatan Masalah .....	4
1.7 Hipotesis .....	4
1.8 Sistematika Penulisan .....	5



<b>BAB II</b>	<b>TINJAUAN PUSTAKA</b>	7
2.1	Tinjauan Umum	7
2.2	Penelitian sejenis sebelumnya	9
2.3	Permasalahan yang akan diteliti	11
<b>BAB III</b>	<b>LANDASAN TEORI</b>	12
3.1	Prinsip Bangunan Geser	12
3.2	Persamaan Gerak Derajat Kebebasan Banyak (MDOF)	13
3.2.1	Nilai Karakteristik ( <i>Eigen Problem</i> )	16
3.2.2	Frekuensi Sudut dan Normal Mode	19
3.3	Persamaan Gerak akibat Beban Gempa	22
3.4	Persamaan Differensial Independen ( <i>Uncoupling</i> )	23
3.5	Respon Terhadap Beban Gempa	27
3.6	Kandungan Frekuensi ( <i>Frequency Contents</i> )	30
3.7	Jenis-jenis Simpangan dan Efeknya Terhadap Kerusakan	32
3.8	Gaya Geser Dasar	35
3.9	Momen Guling	35
<b>BAB IV</b>	<b>METODE PENELITIAN</b>	37
4.1	Pengumpulan Data	37
4.2	Pengolahan Data	38
4.3	Penelitian	40
<b>BAB V</b>	<b>ANALISIS, HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	42
5.1	Pembebanan Struktur	42
5.1.1	Beban Merata	42

5.1.2 Beban Terpusat .....	43
5.2 Perhitungan Massa dan Kekakuan Tingkat .....	44
5.2.1 Perhitungan Massa Lantai .....	44
5.2.2 Perhitungan Nilai Kekakuan Tingkat .....	47
5.3 Frekuensi Struktur .....	49
5.4 Kandungan Frekuensi Beban Gempa .....	51
5.5 Perhitungan Simpangan Relatif Lantai .....	52
5.6 Perhitungan Simpangan Antar Tingkat ( <i>Inter-story Drift</i> ) .....	58
5.7 Perhitungan Gaya Geser Dasar .....	61
5.8 Perhitungan Momen Guling .....	63
5.9 Pembahasan .....	66
5.9.1 Simpangan Relatif Lantai .....	67
5.9.2 Simpangan Antar Tingkat ( <i>Inter-story Drift</i> ) .....	72
5.9.3 Gaya Geser Dasar .....	75
5.9.4 Momen Guling .....	78
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>92</b>
6.1 Kesimpulan .....	92
6.2 Saran .....	94

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

1. <b>Gambar 3.1</b>	Model MDOF .....	14
2. <b>Gambar 3.2</b>	Model Matematik.....	14
3. <b>Gambar 3.3</b>	Model Kesetimbangan Gaya.....	14
4. <b>Gambar 3.4</b>	Sistem Derajat Kebebasan Tunggal dengan Beban Gempa....	23
5. <b>Gambar 3.5</b>	Grafik DLF lawan frekuensi rasio.....	31
6. <b>Gambar 3.6</b>	Model struktur dengan jenis-jenis simpangannya .....	34
7. <b>Gambar 4.1</b>	Bagan alir ( <i>Flow Chart</i> ) pengolahan data .....	39
8. <b>Gambar 5.1</b>	Pembebanan Struktur .....	44
9. <b>Gambar 5.2</b>	Pola goyangan atau <i>mode shape</i> .....	53
10. <b>Gambar 5.3</b>	Simpangan relatif lantai akibat gempa Bucharest .....	55
11. <b>Gambar 5.4</b>	Simpangan relatif lantai akibat gempa Parkfield .....	56
12. <b>Gambar 5.5</b>	Simpangan relatif lantai akibat gempa Koyna.....	56
13. <b>Gambar 5.6</b>	Simpangan relatif lantai akibat gempa El Centro .....	57
14. <b>Gambar 5.7</b>	Simpangan antar tingkat akibat gempa Bucharest .....	58
15. <b>Gambar 5.8</b>	Simpangan antar tingkat akibat gempa Parkfield .....	59
16. <b>Gambar 5.9</b>	Simpangan antar tingkat akibat gempa Koyna.....	59
17. <b>Gambar 5.10</b>	Simpangan antar tingkat akibat gempa El Centro.....	60
18. <b>Gambar 5.11</b>	Gaya geser dasar akibat gempa Bucharest.....	61
19. <b>Gambar 5.12</b>	Gaya geser dasar akibat gempa El Centro.....	62
20. <b>Gambar 5.13</b>	Gaya geser dasar akibat gempa Parkfield.....	62
21. <b>Gambar 5.14</b>	Gaya geser dasar akibat gempa Koyna.....	63

22. <b>Gambar 5.15</b> Momen guling akibat gempa Bucharest .....	64
23. <b>Gambar 5.16</b> Momen guling akibat gempa El Centro .....	64
24. <b>Gambar 5.17</b> Momen guling akibat gempa Parkfield .....	65
25. <b>Gambar 5.18</b> Momen guling akibat gempa Koyna .....	65
26. <b>Gambar 5.19</b> Simpangan relatif lantai maksimum akibat gempa Bucharest .....	82
32. <b>Gambar 5.20</b> Simpangan relatif lantai maksimum akibat gempa El Centro .....	83
33. <b>Gambar 5.21</b> Simpangan relatif lantai maksimum akibat gempa Parkfield .....	84
34. <b>Gambar 5.22</b> Simpangan relatif lantai maksimum akibat gempa Koyna .....	85
35. <b>Gambar 5.23</b> Simpangan antar tingkat maksimum akibat gempa Bucharest.	86
36. <b>Gambar 5.24</b> Simpangan antar tingkat maksimum akibat gempa El Centro .	87
37. <b>Gambar 5.25</b> Simpangan antar tingkat maksimum akibat gempa Parkfield .	88
38. <b>Gambar 5.26</b> Simpangan antar tingkat maksimum akibat gempa Koyna ....	89
39. <b>Gambar 5.27</b> Gaya geser dasar akibat 4 gempa.....	90
40. <b>Gambar 5.28</b> Momen guling akibat 4 gempa.....	91

## DAFTAR TABEL

1. <b>Tabel 4</b>	Variasi kekakuan.....	40
2. <b>Tabel 5.1</b>	Beban merata.....	43
3. <b>Tabel 5.2</b>	Beban terpusat pada tiap elemen.....	43
4. <b>Tabel 5.3</b>	Beban terpusat pada tiap nodal .....	43
5. <b>Tabel 5.4</b>	Hasil perhitungan massa.....	47
6. <b>Tabel 5.5</b>	Hasil perhitungan kekakuan tingkat.....	48
7. <b>Tabel 5.6</b>	Variasi nilai kekakuan tingkat.....	49
8. <b>Tabel 5.7</b>	Hasil perhitungan periode getar dan frekuensi struktur.....	50
9. <b>Tabel 5.8</b>	Data kandungan frekuensi beban gempa ( $A/V$ rasio).....	51
10. <b>Tabel 5.9</b>	Kandungan frekuensi gempa berdasarkan $A/V$ rasio.....	52
11. <b>Tabel 5.10</b>	Syarat simpangan antar tingkat menurut PPTGIUG 1981 .....	67
12. <b>Tabel 5.11</b>	Simpangan relatif lantai maksimum akibat gempa Bucharest....	82
13. <b>Tabel 5.12</b>	Simpangan relatif lantai maksimum akibat gempa El Centro.....	83
14. <b>Tabel 5.13</b>	Simpangan relatif lantai maksimum akibat gempa Parkfield.....	84
15. <b>Tabel 5.14</b>	Simpangan relatif lantai maksimum akibat gempa Koyna.....	85
16. <b>Tabel 5.15</b>	Simpangan antar tingkat maksimum akibat gempa Bucharest ....	86
17. <b>Tabel 5.16</b>	Simpangan antar tingkat maksimum akibat gempa El Centro ....	87
18. <b>Tabel 5.17</b>	Simpangan antar tingkat maksimum akibat gempa Parkfield .....	88
19. <b>Tabel 5.18</b>	Simpangan antar tingkat maksimum akibat gempa Koyna.....	89
20. <b>Tabel 5.19</b>	Gaya geser dasar akibat 4 gempa.....	90
21. <b>Tabel 5.20</b>	Momen guling akibat 4 gempa.....	91

## DAFTAR LAMPIRAN

1. **Lampiran 1** Gambar beban gempa yang digunakan.
2. **Lampiran 2** Aplikasi program Matlab.
3. **Lampiran 3** Hasil Perhitungan *Mode Shape*, Partisipasi Faktor , Frekuensi Sudut, Periode Getar Struktur, Frekuensi Struktur serta perhitungan Nilai  $a$ ,  $b$ , dan  $k$ .
4. **Lampiran 4** Contoh hasil perhitungan respon beban gempa Koyna dengan aplikasi program Excel.
5. **Lampiran 5** Gambar Simpangan Relatif Lantai, Simpangan Antar Tingkat, Gaya Geser Dasar, dan Momen Guling Lawan Frekuensi Struktur.
6. **Lampiran 6** Kartu Peserta Tugas Akhir.
7. **Lampiran 7** Surat Bimbingan Tugas Akhir.

## DAFTAR NOTASI

$a$	: percepatan massa
$b$	: lebar kolom
$c$	: redaman
$[C]$	: matrik redaman
DLF	: faktor beban dinamik
$E$	: modulus elastisitas
$f$	: frekuensi getar struktur
$F$	: gaya
$F_j$	: gaya lantai
$F(t)$	: beban dinamik
$\{F(t)\}$	: vektor beban dinamik
$g$	: percepatan gravitasi
$h$	: tinggi kolom
$H$	: tinggi tingkat
$I$	: inersia
$k$	: kekakuan
$[K]$	: matrik kekakuan
$m$	: massa
$[M]$	: matrik massa
$M_b$	: momen guling
$P_o$	: beban harmonik

$t$	: waktu
$T$	: periode getar struktur
$V$	: gaya geser dasar
$w$	: berat
$\Delta t$	: kenaikan waktu
$y$	: simpangan relatif lantai
$\Delta y$	: simpangan antar tingkat
$\dot{y}$	: kecepatan
$\ddot{y}$	: percepatan
$\ddot{y}_g$	: percepatan tanah
$y(t)$	: perpindahan relatif antara massa dan tanah
$y_g$	: perpindahan tanah
$y_{tot}$	: perpindahan total
$\{y\}$	: vektor simpangan
$\{\dot{y}\}$	: vektor kecepatan
$\{\ddot{y}\}$	: vektor percepatan
$z_n$	: modal amplitudo mode ke- $n$
$\dot{z}_n$	: turunan pertama modal amplitudo mode ke- $n$
$\ddot{z}_n$	: turunan kedua modal amplitudo mode ke- $n$
$\phi_n$	: <i>mode shape</i> / ragam pola goyangan ke- $n$
$\omega_n$	: frekuensi sudut mode ke- $n$
$\xi$	: rasio redaman
$\Gamma_n$	: partisipasi faktor mode ke- $n$



$\Omega$  : frekuensi sudut beban dinamik

$\{\lambda\}$  : eigenvalue



## ABSTRAKSI

*Kekakuan tingkat merupakan suatu unsur yang sangat penting didalam disain bangunan tahan gempa. Dalam pelaksanaan, kekakuan tingkat dapat berubah baik bertambah maupun berkurang dari kekakuan desain. Perubahan kekakuan tingkat akan menyebabkan perubahan pada frekuensi akibat struktur, sehingga akan mempengaruhi besarnya simpangan, gaya geser dasar dan momen guling. Meningkatnya simpangan, gaya geser dasar serta momen guling dapat meningkatkan resiko kerusakan pada struktur, seperti terjadinya benturan antar bangunan yang berdekatan (structural pounding), dan efek perlemahan tingkat (soft- story effects).*

*Dalam penelitian ini kami mencoba meneliti seberapa besar pengaruh perubahan kekakuan tingkat secara serentak terhadap simpangan, gaya geser dasar dan momen guling. Metode yang kami lakukan adalah memvariasikan kekakuan tingkat 1 sampai 5 secara serentak dengan prosentase penambahan kekakuan dari 100% sampai 180% dan penurunan kekakuan dari 100% sampai 20% dengan interval 10%.*

*Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah bahwa untuk pembebanan dengan beban gempa yang mempunyai kandungan frekuensi rendah dan sedang, nilai simpangan relatif yang terjadi dengan bertambahnya kekakuan mengalami penurunan, apabila kekakuannya menurun nilai simpangan relatif yang terjadi cenderung mengalami kenaikan sampai suatu titik maksimal. Untuk pembebanan dinamik dengan beban gempa yang mempunyai kandungan frekuensi tinggi, nilai simpangan yang terjadi cenderung fluktuatif dan memiliki beberapa nilai simpangan relatif maksimum. Kapasitas gaya geser dasar dan momen guling cenderung menurun seiring dengan bertambahnya kekakuan tingkat untuk beban gempa yang mempunyai kandungan frekuensi rendah sampai sedang dan cenderung menaik untuk beban gempa yang mempunyai kandungan frekuensi tinggi.*

# BAB I

## PENDAHULUAN

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

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Gempa bumi adalah salah satu bencana alam yang sering menimbulkan kerusakan baik kerusakan struktur tanah maupun bangunan yang berada di atasnya. Gempa bumi disebabkan oleh tumbukan ataupun pergeseran pelat tektonik di dalam bumi. Hal ini sering kali menimbulkan kerugian baik material maupun jiwa yang besar. Kerusakan-kerusakan yang disebabkan oleh gempa bumi, antara lain batu berjatuhan (*rockfalls*), slip pada batuan (*rockslides*), penurunan permukaan tanah (*settlement*), slip pada lereng (*landslides*), hilangnya daya dukung pasir jenuh (*liquefaction*) dan segala jenis kerusakan bangunan sipil (Widodo, 1997a). Jenis kerusakan bangunan yang pernah tercatat akibat gempa, antara lain adalah efek perlemahan tingkat (*soft-story effects*), efek dari perilaku kolom dan balok pendek (*short column and beam effects / shear failure*), perbesaran rotasi total join (*beam column joint*), puntir / torsi dan benturan antara bangunan yang berdekatan (*structural pounding*).

Kekakuan tingkat suatu bangunan merupakan suatu unsur yang sangat penting didalam desain bangunan tahan gempa, karena dengan perubahan kekakuan tingkat akan menyebabkan perubahan frekuensi struktur, sehingga akan mempengaruhi besarnya simpangan, gaya geser dasar dan momen guling.

Kekakuan tingkat suatu bangunan dapat berubah baik bertambah maupun berkurang. Bertambahnya kekakuan tingkat diakibatkan karena adanya elemen-elemen non-struktur, sedangkan berkurangnya kekakuan tingkat diakibatkan karena mutu bahan yang rendah, pekerjaan yang buruk pada waktu pelaksanaan serta terjadinya kerusakan struktur.

### 1.2 Rumusan Masalah

Kekakuan tingkat dari struktur bangunan asli (*real structure*) yang ada di lapangan pada kenyataannya tidak sepenuhnya seperti yang direncanakan. Hal ini disebabkan karena adanya elemen-elemen non-struktur yang dapat menambah kekakuan tingkat, selain itu mutu bahan yang rendah dan pekerjaan yang buruk pada waktu pelaksanaan serta terjadinya kerusakan struktur dapat mengurangi kekakuan tingkat. Dengan adanya perubahan kekakuan tingkat tersebut maka dalam desain bangunan tahan gempa perlu mempertimbangkan adanya pengaruh dari perubahan kekakuan tingkat.

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah :

1. analisa yang digunakan dalam menghitung besarnya kekakuan tingkat memakai prinsip bangunan geser (*shear building*),

2. massa dari struktur dianggap terkonsentrasi pada satu titik (*lumped mass*) dan kolom dianggap tidak bermassa,
3. metode analisis dinamika menggunakan riwayat waktu (*time history*) dari beberapa gempa yaitu El Centro (Chopra, 1995), Bucharest, Koyna, dan Parkfield (Widodo, 1997b),
4. analisis dinamika struktur dibatasi pada kondisi linear elastis,
5. interaksi antara tanah dan struktur diabaikan,
6. dukungan pondasi dengan tanah dianggap jepit sempurna,
7. efek *P-delta* diabaikan,
8. struktur bangunan yang ditinjau berupa bangunan asli (*real structure*) berlantai 5 yaitu gedung PT. Silkar.Ltd (Famularsih dan Wirogo, 1999),
9. struktur dianggap mempunyai rasio redaman sebesar 5% (Widodo, 1997b),
10. portal yang ditinjau dari gedung PT.Silkar.Ltd adalah 2 dimensi sehingga torsi diabaikan, dan
11. analisis hitungan menggunakan program *Matlab Version 5.3 release II*, 1999 (*The Math Works, Inc.* 1984-1995) dan *Microsoft Excel '97* (*Microsoft Corporation* 1985-1996).

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah untuk mengetahui sejauh mana perubahan kekakuan tingkat secara serentak pada gedung bertingkat lima akan mempengaruhi besarnya simpangan, gaya geser dasar dan momen guling dengan menggunakan beban gempa berupa riwayat waktu (*time history*).

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

1. diharapkan dari penelitian ini diperoleh hasil yang nantinya bisa dijadikan sebagai bahan perbandingan dengan desain spektra, dan
2. menambah pengetahuan serta pemahaman tentang pengaruh dari perubahan kekakuan tingkat terhadap besarnya simpangan, gaya geser dasar dan momen guling dalam penggunaannya pada perencanaan bangunan tahan gempa.

### 1.6 Pendekatan Masalah

Pendekatan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah :

1. penelitian dengan perencanaan numeris pada struktur asli (*real structure*) bertingkat 5,
2. dibuat variasi perubahan kekakuan tingkat secara serentak pada struktur asli (*real structure*), dan
3. diteliti pengaruh perubahan kekakuan tingkat secara serentak untuk mengetahui besarnya simpangan, gaya geser dasar dan momen guling.

### 1.7 Hipotesis

Hipotesis yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. kekakuan tingkat diharapkan akan berbanding terbalik dengan simpangan yang terjadi,
2. kapasitas gaya geser dasar dan momen guling diharapkan akan berbanding lurus dengan kekakuan tingkat, dan

3. pemakaian beban gempa berupa riwayat waktu (*time history*) diharapkan dapat memberikan hasil yang bisa dibandingkan dengan penggunaan desain spektra.

### 1.8 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini ditulis dalam 6 bab dan lampiran, perinciannya adalah sebagai berikut ini.

BAB I, Pendahuluan, berisi mengenai Latar Belakang Masalah, Rumusan Masalah, Batasan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, Pendekatan Masalah, Hipotesis dan Sistematika penulisan.

BAB II, Tinjauan Pustaka, berisi mengenai Tinjauan Umum dan Penelitian yang dilakukan sebelumnya.

BAB III, Landasan Teori, memuat Prinsip Bangunan Geser, Persamaan Gerak Derajat Kebebasan Banyak yang berisi tentang Nilai Karakteristik (*Eigen Problem*) serta Frekuensi Sudut dan Normal Mode, Persamaan Gerak akibat Beban Gempa, Persamaan Differensial Independen (*Uncoupling*), Respon Terhadap Beban Gempa, Kandungan Frekuensi (*Frequency contents*), Jenis-jenis Simpangan dan Efeknya Terhadap Kerusakan, Gaya Geser Dasar, dan Momen Guling.

BAB IV, Metode Penelitian, berisi Pengumpulan Data, Pengolahan Data, dan Penelitian.

BAB V, Analisis, Hasil dan Pembahasan, berisi tentang analisis yang meliputi Pembebanan Struktur, Perhitungan Massa dan Kekakuan, Frekuensi Struktur, Kandungan Frekuensi Beban Gempa, Perhitungan Simpangan Relatif Lantai,

Perhitungan Simpangan Antar Tingkat (*Inter-story Drift*), Perhitungan Gaya Geser Dasar, Perhitungan Momen Guling, dan Pembahasan.

BAB VI, Kesimpulan dan Saran, berisi tentang Kesimpulan dan Saran yang merupakan hasil dari analisa dan pembahasan dimuka.

Lampiran meliputi Perhitungan *Mode Shapes* dan Partisipasi Faktor, Perhitungan Nilai  $a$ ,  $b$ , dan  $k$ , serta Contoh Perhitungan Nilai  $g$  untuk mencari Simpangan Relatif Lantai.





## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka merupakan salah satu kerangka teoritis yang memuat penelitian sebelumnya yang digunakan untuk menyusun konsep dan langkah-langkah penelitian sebagai kelanjutan atau penyempurnaan sekaligus untuk menghindari duplikasi dari penelitian sebelumnya. Dengan demikian penelitian yang dilakukan ini mempunyai landasan teori yang kuat dan diharapkan memberikan hasil yang optimal. Bab ini berisi tentang tinjauan umum dan penelitian sejenis sebelumnya sebagaimana yang akan diuraikan sebagai berikut.

#### 2.1 Tinjauan Umum

Di dalam dinamika struktur, kekakuan tingkat dalam menahan beban horisontal dapat dimodelkan sebagai konstanta pegas. Pegas yang ditarik atau didesak dengan suatu beban ( $F$ ) akan mengalami perpanjangan atau perpendekan yang biasa disebut simpangan ( $y$ ). Apabila kolom masih dalam kondisi linear elastis, maka hubungan antara beban dan simpangan berbanding lurus, yaitu :

$$F = k.y \tag{2.1}$$

dimana :

$F$  = beban,

$k$  = kekakuan, dan

$y$  = simpangan.

Dengan memperhatikan hubungan dari persamaan di atas dapat dikatakan bahwa kekakuan tingkat suatu struktur yang direpresentasikan sebagai konstanta pegas adalah beban yang diperlukan untuk menghasilkan setiap unit perubahan panjang ( Widodo, 1997b).

Gaya geser dasar merupakan representasi dari gerakan tanah akibat beban gempa. Sesuai dengan hukum d'Alembert yang mengatakan bahwa " Di dalam keseimbangan dinamika pada suatu massa yang bergerak terdapat gaya imajiner (*fictious force*) atau gaya inersia yang arahnya berlawanan dengan arah gerakan ". Gaya inersia akan bekerja pada suatu massa ( $m$ ) sebesar  $F = m.a$  yang berlawanan arah dengan gerakan (Paz, 1987). Apabila gerakan tanah ekuivalen dengan gaya geser dasar ( $V$ ) arah kiri, maka gaya inersia mempunyai arah ke kanan, begitupun sebaliknya. Gaya inersia yang bekerja akan mengakibatkan goyangan struktur, karena arah gerakan tanah akibat beban gempa yang berubah-ubah secara acak seperti yang ditunjukkan oleh aselogram akan menimbulkan gaya inersia yang berlawanan dengan arah gerakan tanah.

Gaya geser dasar akan mempengaruhi besarnya momen guling (*overturning moment*). Momen guling juga dipengaruhi oleh kestabilan suatu bangunan, yang dimaksud kestabilan suatu bangunan adalah tingkat kelangsingan dari bangunan tersebut. Kelangsingan suatu bangunan merupakan perbandingan antara tinggi dengan lebar struktur utama bangunan, bangunan yang tinggi tetapi kurang lebar berarti mempunyai kelangsingan yang cukup besar sehingga menimbulkan momen guling yang besar pula (Chopra, 1995).

Menurut Werner (1976) dalam Widodo (1997a) berkesimpulan bahwa representasi terbaik atas gerakan tanah akibat gempa adalah riwayat percepatan tanah (*ground acceleration time history*).

## 2.2 Penelitian Sejenis Sebelumnya

Pada penelitian ini juga digunakan tinjauan pustaka penelitian-penelitian yang pernah dilaksanakan sebelumnya seperti berikut ini.

### 1. Penelitian Famularsih dan Wirogo (1999)

Penelitian yang dilakukan oleh kedua peneliti ini mengambil pokok bahasan mengenai *Pengaruh Perubahan Kekakuan Terhadap Besarnya Gaya Geser Dasar dan Momen Guling pada Gedung Bertingkat Banyak*. Pada penelitian ini digunakan beban gempa berupa desain spektra (PPTGIUG 1983). Pada penelitian ini asumsi beban gempa yang dipakai kurang representatif dengan sifat bebannya, sehingga hasilnya tidak sesuai dengan kenyataan yang ada di lapangan

### 2. Penelitian Gunadi dan Gusmadi (1999)

Penelitian yang dilakukan oleh kedua peneliti ini mengambil topik mengenai *Pengaruh Pemindahan Massa Lantai Terhadap Gaya Geser, Momen Guling dan Simpangan pada Gedung Bertingkat*. Pada penelitian tersebut peneliti mencoba meneliti pengaruh pemindahan (*switch*) massa lantai terhadap gaya geser, momen guling dan simpangan pada gedung bertingkat dengan asumsi beban gempa berupa desain spektra pada wilayah gempa 2 (PPTGIUG 1983). Dari penelitian ini terdapat ketidaksesuaian pada asumsi beban gempa. Beban

gempa merupakan beban dinamik, sehingga dalam analisisnya harus menggunakan analisa dinamik. Anggapan beban gempa dengan menggunakan desain spektra akan memberikan hasil yang kurang sesuai dengan kenyataan yang ada di lapangan.

### 3. Penelitian Prasetyo dan Arminta (2000)

Kedua peneliti diatas mengambil topik bahasan mengenai *Respon Seismik Struktur Beton Bertingkat Banyak Akibat Beban Gempa (Analisa Frekuensi)*. Dalam penelitian ini peneliti mencoba meninjau pengaruh kandungan frekuensi terhadap respon struktur. Pada penelitian ini diperoleh hasil bahwa apabila frekuensi gempa mendekati frekuensi struktur cenderung terjadi resonansi. Beban gempa yang dipakai dalam penelitian ini adalah beban gempa berupa riwayat waktu (*time history*).

### 4. Penelitian Pramulanto dan Nurianawati (2000)

Penelitian yang dilakukan oleh kedua peneliti ini mengambil topik mengenai *Pengaruh Variasi Massa Baliho Terhadap Simpangan, Gaya Geser dan Momen Guling pada Gedung Bertingkat Lima*. Dalam penelitian ini mereka mencoba meninjau pengaruh variasi massa *Baliho* terhadap simpangan, gaya geser dan momen guling pada gedung bertingkat lima dengan beban gempa berupa riwayat waktu (*time history*). Dalam perhitungan secara numerik mereka menggunakan metode *central difference*. Dengan menggunakan metode ini, hasil simpangan yang diperoleh ada sebagian yang dapat diperoleh dan ada yang tidak dapat diperoleh (nilainya imajiner). Hal ini disebabkan karena metode *central difference* bersifat *conditionally stable*.

### 2.3 Permasalahan yang akan diteliti

Dari tinjauan pustaka diatas perlu diadakan penelitian dengan pokok-pokok permasalahan sebagai berikut ini.

1. pada perencanaan struktur bertingkat banyak yang direncanakan dengan beban gempa perlu direncanakan dengan beban gempa yang mendekati kenyataan berupa riwayat waktu (*time history*). Dengan beban berupa riwayat waktu (*time history*) dapat diketahui perilaku dinamika struktur akibat beban gempa,
2. untuk mengetahui sejauh mana pengaruh beban gempa terhadap respon struktur, maka akan ditinjau pengaruh perubahan kekakuan tingkat secara serentak terhadap respon struktur, dan
3. untuk perhitungan secara numerik perlu dihitung dengan menggunakan metode numerik yang bersifat *unconditionally stable*, seperti metode *Newmark's average acceleration*.

## BAB III

### LANDASAN TEORI

Landasan teori adalah teori-teori yang dipakai untuk pemecahan masalah dan menjuruskan atau merumuskan hipotesis pada suatu penelitian ilmiah. Bab ini berisi prinsip bangunan geser, persamaan gerak derajat kebebasan banyak (*multi degree of freedom*), persamaan gerak akibat beban gempa, persamaan differensial independen (*uncoupling*), respon terhadap beban gempa, kandungan frekuensi (*frequency contents*), jenis-jenis simpangan dan efeknya terhadap kerusakan, gaya geser dasar dan momen guling yang akan diuraikan sebagai berikut ini.

#### 3.1 Prinsip Bangunan Geser

Anggapan-anggapan sangat diperlukan didalam analisa dinamika struktur agar penyelesaian masalah dapat dilakukan dengan relatif mudah tetapi masih proporsional. Tujuan utama dalam prinsip bangunan geser adalah untuk menyederhanakan dan mengurangi jumlah derajat kebebasan, karena semakin banyak kombinasi dari berbagai jenis derajat kebebasan akan menyebabkan penyelesaian masalah dinamik semakin kompleks.

Prinsip bangunan geser (*shear building*) mempunyai beberapa anggapan atau penyederhanaan sebagai berikut ini.

1. Massa dari struktur termasuk beban yang harus didukung dianggap terkonsentrasi pada suatu titik (*lumped mass*) dan kolom dianggap tidak bermassa.
2. Balok dan pelat lantai dianggap relatif sangat kaku dibanding kolom.
3. Simpangan massa dianggap tidak dipengaruhi oleh beban aksial kolom, sehingga balok dianggap tetap horisontal setelah terjadi penggoyangan.

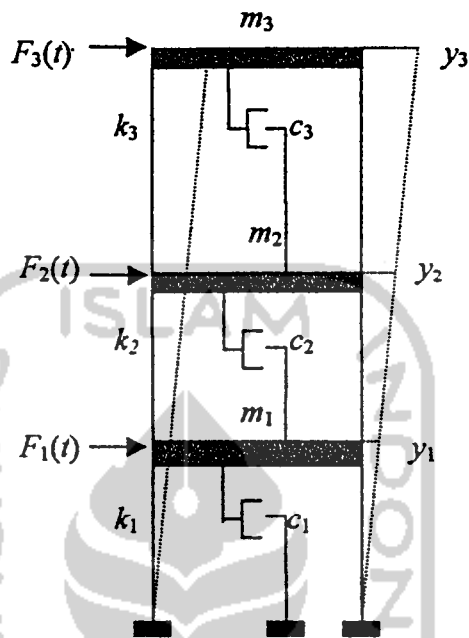
Anggapan-anggapan tersebut menjadikan portal seolah-olah sebagai bangunan kantilever yang bergoyang akibat gaya lintang saja.

### 3.2 Persamaan Gerak Derajat Kebebasan Banyak (*Multi Degree of Freedom*)

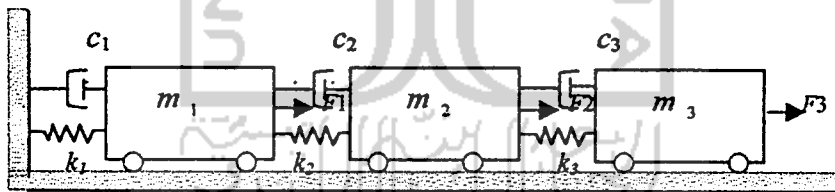
Struktur bangunan gedung umumnya tidak selalu dapat dinyatakan dengan suatu sistem yang mempunyai derajat kebebasan tunggal (*single degree of freedom*) tetapi biasanya struktur bangunan gedung mempunyai derajat kebebasan banyak (*multi degree of freedom*).

Pada struktur bangunan gedung bertingkat banyak, umumnya massa struktur dapat digumpalkan (*lumped mass*) pada tiap-tiap tingkat. Banyaknya derajat kebebasan berasosiasi dengan jumlah massa. Pada struktur yang mempunyai  $n$  tingkat, akan mempunyai  $n$  derajat kebebasan dan mempunyai  $n$  mode. Pada prinsip bangunan geser (*shear building*) setiap massa hanya terpusat pada bidang lantai, balok dan lantai kaku tak hingga dibandingkan dengan kolom. Deformasi dari struktur tidak dipengaruhi gaya aksial yang terjadi pada kolom. Gambar 3.1 merupakan model-model yang ekuivalen untuk bangunan geser dan model matematisnya terdapat pada Gambar 3.2, selanjutnya didapat persamaan-persamaan gerak dari bangunan berlantai tiga yang berasal dari *free body diagram*

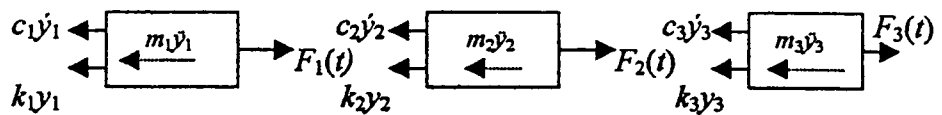
pada Gambar 3.3 dengan menyamakan jumlah gaya-gaya yang bekerja pada setiap massa sama dengan nol.



Gambar 3.1 Model Multi Degree of Freedom (MDOF)



Gambar 3.2 Model matematika



Gambar 3.3 Model kesetimbangan gaya



Persamaan diferensial untuk bangunan diatas disusun berdasarkan atas goyangan struktur menurut mode pertama. Berdasarkan pada prinsip kesetimbangan dinamik pada diagram *free body* maka diperoleh :

$$m_1\ddot{y}_1 + k_1y_1 + c_1\dot{y}_1 - k_2(y_2 - y_1) - c_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - F_1(t) = 0, \quad (3.1a)$$

$$m_2\ddot{y}_2 + k_2(y_2 - y_1) + c_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - k_3(y_3 - y_2) - c_3(\dot{y}_3 - \dot{y}_2) - F_2(t) = 0, \text{ dan} \quad (3.1b)$$

$$m_3\ddot{y}_3 + k_3(y_3 - y_2) - c_3(\dot{y}_3 - \dot{y}_2) - F_3(t) = 0. \quad (3.1c)$$

Dari persamaan di atas, tampak bahwa untuk memperoleh kesetimbangan dinamik suatu massa yang ditinjau dipengaruhi oleh kekakuan, redaman dan simpangan massa sebelum dan sesudah massa atau tingkat yang ditinjau. Persamaan diferensial dengan sifat-sifat ini disebut *coupled equation* karena persamaan-persamaan tersebut akan tergantung satu sama lain. Penyelesaian dari persamaan *coupled* harus dilakukan secara simultan, artinya penyelesaiannya melibatkan seluruh persamaan yang ada.

Persamaan diatas kemudian disusun menurut parameter yang sama (percepatan, kecepatan dan simpangan) sehingga diperoleh :

$$m_1\ddot{y}_1 + (c_1 + c_2)\dot{y}_1 - c_2\dot{y}_2 + (k_1 + k_2)y_1 - k_2y_2 = F_1(t), \quad (3.2a)$$

$$m_2\ddot{y}_2 + c_2\dot{y}_1 + (c_2 + c_3)\dot{y}_2 - c_3\dot{y}_3 - k_2y_1 + (k_2 + k_3)y_2 - k_3y_3 = F_2(t), \text{ dan} \quad (3.2b)$$

$$m_3\ddot{y}_3 - c_3\dot{y}_2 + c_3\dot{y}_3 - k_3y_2 + k_3y_3 = F_3(t). \quad (3.2c)$$

Persamaan (3.2) selanjutnya lebih tepat ditulis dengan notasi matriks seperti persamaan (3.3).

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = \{F(t)\} \quad (3.3)$$

dimana  $[M]$ ,  $[C]$ ,  $[K]$  berturut-turut adalah matrik massa yang merupakan matrik diagonal dan matrik redaman serta kekakuan merupakan matrik yang simetris.

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

sedangkan vektor percepatan, vektor kecepatan, vektor simpangan dan vektor beban adalah sebagai berikut :

$$\{\ddot{Y}\} = \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{Bmatrix}, \{\dot{Y}\} = \begin{Bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{Bmatrix}, \{Y\} = \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix} \text{ dan } \{F(t)\} = \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \\ F_3(t) \end{Bmatrix} \quad (3.7)$$

### 3.2.1 Nilai Karakteristik (*Eigen Problem*)

Suatu struktur umumnya akan bergoyang akibat adanya pembebanan dari luar, misalnya gerakan akibat beban angin, gerakan akibat putaran mesin, ataupun akibat gerakan tanah. Gerakan tersebut dikelompokkan sebagai getaran yang dipaksa (*forced vibration system*).

Getaran atau goyangan suatu struktur yang disebabkan oleh adanya kondisi awal (*initial values*) baik berupa simpangan awal maupun kecepatan awal disebut getaran bebas (*free vibration system*). Pada kenyataannya getaran bebas (*free vibration system*) jarang terjadi pada struktur MDOF, tetapi membahas jenis getaran ini akan diperoleh suatu besaran atau karakteristik dari struktur yang selanjutnya akan sangat berguna untuk pembahasan-pembahasan respon struktur berikutnya. Besaran-besaran tersebut adalah frekuensi sudut dan *normal modes*.

Pada getaran bebas untuk struktur dengan derajat kebebasan banyak, maka persamaan diferensial geraknya adalah seperti pada persamaan (3.3) dengan nilai  $\{F(t)\}$  sama dengan nol.

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = 0 \quad (3.8)$$

Frekuensi sudut pada struktur dengan redaman (*damped frequency*) nilainya hampir sama dengan frekuensi sudut pada struktur tanpa redaman, bila nilai rasio redaman cukup kecil dan diadopsi untuk struktur dengan derajat kebebasan banyak. Untuk nilai  $[C]=0$ , persamaan (3.8) menjadi :

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

Persamaan (3.9) adalah persamaan diferensial pada struktur MDOF yang dianggap tidak mempunyai redaman, maka penyelesaian persamaan tersebut diharapkan dalam fungsi harmonik. Penyelesaian persamaan (3.9) dalam fungsi harmonik dapat dituliskan menurut bentuk :

$$Y = \{\phi\}_j \sin(\omega t), \quad (3.10a)$$

$$\dot{Y} = \omega \{\phi\}_j \cos(\omega t), \quad \text{dan} \quad (3.10b)$$

$$\ddot{Y} = -\omega^2 \{\phi\}_j \sin(\omega t) \quad (3.10c)$$

dimana  $\{\phi\}_j$  adalah suatu ordinat massa pada mode ke- $j$ . Persamaan (3.10) disubstitusikan kedalam persamaan (3.9), sehingga akan diperoleh :

$$\begin{aligned} -\omega^2 [M] \{\phi\}_j \sin(\omega t) + [K] \{\phi\}_j \sin(\omega t) &= 0 \\ ([K] - \omega^2 [M]) \{\phi\}_j &= 0 \end{aligned} \quad (3.11)$$

Persamaan (3.11) adalah persamaan *eigen problem*.

Persamaan simultan yang homogen maupun tidak homogen dapat diselesaikan dengan memakai dalil atau hukum *Cramer* (1704-1752). Dalil tersebut menyatakan bahwa penyelesaian persamaan simultan yang homogen akan ada nilainya apabila determinan dari matriks yang merupakan koefisien dari vektor  $\{\phi\}_j$  adalah nol, sehingga:

$$|[K] - \omega^2 [M]| = 0 \quad (3.12)$$

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 (3.12) akan menghasilkan suatu polinomial pangkat  $n$  yang selanjutnya akan menghasilkan  $\omega_j^2$  untuk  $j = 1, 2, 3, \dots, n$ . Masing-masing frekuensi sudut ( $\omega_j$ ) disubstitusikan kedalam persamaan (3.11) sehingga diperoleh nilai-nilai  $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_n$ .

### 3.2.2 Frekuensi Sudut dan Normal Mode

Struktur yang dikenai dengan beban dinamik akan mengalami goyangan. Struktur yang mempunyai derajat kebebasan banyak akan mempunyai banyak ragam goyangan. Normal mode adalah suatu istilah yang sering dipakai pada problem dinamika struktur, kata tersebut diterjemahkan sebagai ragam goyangan. Suatu persamaan differensial gerakan dapat diperoleh dengan memperhatikan diagram gaya (*free body diagram*). Untuk menghitung sekaligus menggambarkan normal mode, maka diambil sebuah model struktur 3 DOF dengan mengabaikan nilai redaman ( $C$ ), sehingga persamaanya menjadi :

$$m_1 \ddot{y}_1 + k_1 y_1 - k_2 (y_2 - y_1) = 0, \quad (3.13a)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 + k_2 (y_2 - y_1) - k_3 (y_3 - y_2) = 0, \text{ dan} \quad (3.13b)$$

$$m_3 \ddot{y}_3 + k_3 (y_3 - y_2) = 0. \quad (3.13c)$$

Persamaan (3.13) dapat ditulis dalam bentuk sederhana, yaitu :

$$m_1 \ddot{y}_1 + (k_1 + k_2) y_1 - k_2 y_2 = 0, \quad (3.14a)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 - k_2 y_1 + (k_2 + k_3) y_2 - k_3 y_3 = 0, \text{ dan} \quad (3.14b)$$

$$m_3 \ddot{y}_3 - k_3 y_2 + k_3 y_3 = 0. \quad (3.14c)$$

Persamaan (3.14) juga dapat ditulis dalam bentuk matrik, yaitu :

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}. \quad (3.15)$$

Selanjutnya persamaan *eigen problem* dapat ditulis menjadi,

$$\begin{bmatrix} (k_1 + k_2) - \omega^2 m_1 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) - \omega^2 m_2 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 - \omega^2 m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.16)$$

dengan  $\phi$  adalah nilai atau ordinat yang berhubungan dengan massa ke- $i$  pada pola goyangan ke- $j$ . Persamaan (3.16) akan ada penyelesaiannya apabila dipenuhi nilai determinannya, yaitu :

$$\begin{bmatrix} (k_1 + k_2) - \omega^2 m_1 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) - \omega^2 m_2 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 - \omega^2 m_3 \end{bmatrix} = 0. \quad (3.17)$$

Apabila persamaan (3.17) tersebut diteruskan maka nilai determinannya adalah:

$$\begin{aligned} & (k_3(k_2 + k_3))\{(k_1 + k_2) - \omega^2\} - (k_1 + k_2)\{k_3 m_2 \omega^2 - (m_2 m_3 \omega^4) + k_3^2\} - \\ & \omega^4 \{(k_3 m_1 m_2) - ((k_2 + k_3) m_1 m_3) + (m_1 m_2 m_3 \omega^2)\} + k_2^2 (k_3 - \omega^2 m_3) \\ & + m_1 \omega^2 k_3^2 = 0. \end{aligned} \quad (3.18)$$

Kemudian apabila diambil suatu notasi bahwa,

$$\lambda = \frac{\omega^2}{k/m} \quad (3.19)$$

dari persamaan (3.18) didapat nilai  $\lambda$  dan  $\omega_j$  dengan penyelesaian secara simultan.

Substitusi nilai tersebut kedalam persamaan (3.16) maka akan diperoleh nilai koordinat yang berhubungan dengan suatu massa pada setiap pola goyangan,

umumnya dapat dituliskan dalam bentuk baku yaitu  $\phi_j$ . Indeks- $i$  menunjukkan massa dan indeks- $j$  menunjukkan nomor pola goyangan, dengan demikian  $\phi_j$  adalah suatu koordinat yang berhubungan dengan massa ke- $i$  pada pola goyangan ke- $j$ . Substitusi  $\omega_1$  kedalam persamaan (3.16) akan diperoleh nilai-nilai koordinat untuk pola goyangan ke-1, substitusi  $\omega_2$  akan diperoleh nilai-nilai koordinat untuk pola goyangan ke-2, dan substitusi  $\omega_3$  akan diperoleh nilai-nilai koordinat untuk pola goyangan ke-3. Nilai  $\phi_j$  dapat ditulis dalam bentuk matriks yang umum disebut dengan modal matriks, yaitu :

$$\phi_{ij} = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \phi_{13} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \phi_{23} \\ \phi_{31} & \phi_{32} & \phi_{33} \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

Dengan diperolehnya nilai-nilai frekuensi sudut untuk setiap mode, maka akan diperoleh nilai periode getar ( $T$ ) dan nilai frekuensi struktur ( $f$ ) dimana,

$$T = 2\pi / \omega \quad \text{dan} \quad f = 1 / T. \quad (3.21)$$

Nilai-nilai *mode shapes*  $\phi_j$  tidak tergantung pada beban luar, melainkan tergantung dari properti fisik struktur, misalnya massa  $m_i$  dan kekakuan tingkat  $k_j$ . Selain itu nilai *mode shapes* tidak dipengaruhi oleh waktu, artinya nilai tersebut akan tetap asal nilai massa dan kekakuan tingkatnya tidak berubah, nilai *mode shapes* juga tidak dipengaruhi oleh frekuensi beban. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa nilai *mode shapes* adalah bebas dari pengaruh redaman, waktu, frekuensi beban, dan hanya untuk struktur yang elastik.

### 3.3 Persamaan Gerak akibat Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang merupakan fungsi dari waktu. Beban yang bekerja pada struktur umumnya dalam satuan gaya, tetapi beban gempa berupa percepatan tanah. Beban lain biasanya statis dan tidak berubah pada periode waktu yang pendek, tetapi beban gempa adalah beban dinamis yang berubah dengan sangat cepat dalam periode waktu yang pendek dan dapat dikatakan beban gempa dapat berubah setiap detik. Beban lain biasanya bekerja pada arah vertikal, tetapi beban gempa bekerja secara simultan pada arah vertikal maupun horisontal bahkan beban gempa dapat berupa putaran (Hu, Liu dan Dong, 1996).

Pada daerah rawan gempa, masalah prinsip yang perlu diperhatikan adalah perilaku struktur bagian bawah yang terkena beban gempa. Perpindahan tanah dinotasikan dengan  $y_g$ , sedangkan perpindahan antara massa dengan tanah dinotasikan dengan  $y$ , sehingga perpindahan total yang terjadi adalah :

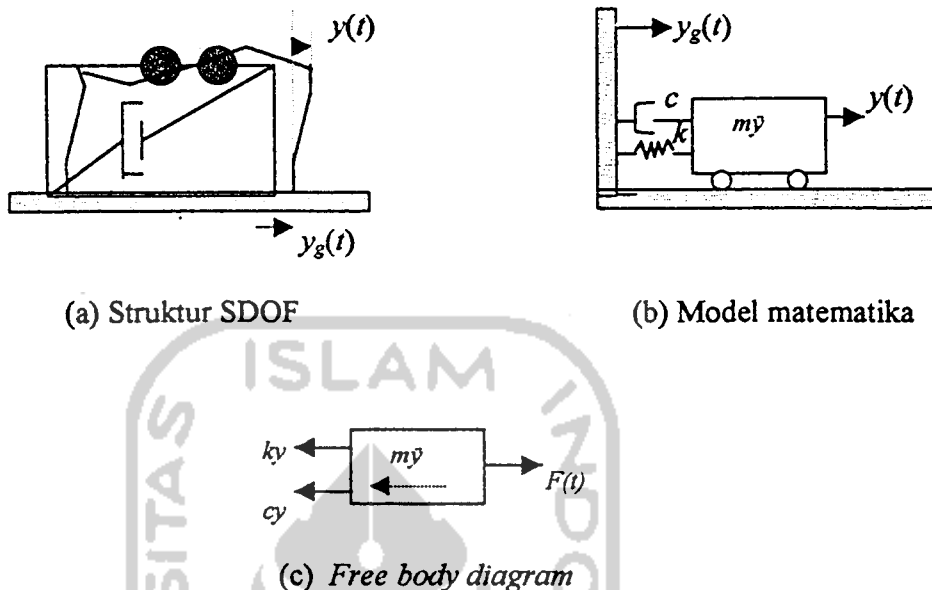
$$y_{tot}(t) = y(t) + y_g(t) \quad (3.22)$$

Persamaan gerak struktur yang dikenai beban gempa, dapat diturunkan melalui suatu pendekatan yang sama seperti pada persamaan gerak struktur berderajat kebebasan tunggal pada Gambar 3.4b, sedangkan model matematisnya pada Gambar 3.4c.

Dengan menggunakan konsep kesetimbangan dinamis dari diagram *free body* pada Gambar 3.4c didapatkan suatu persamaan, yaitu :

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = -m\ddot{y}_g(t) \quad (3.23)$$





Gambar 3.4 Sistem derajat kebebasan tunggal dengan beban gempa

### 3.4 Persamaan Diferensial Independen (*Uncoupling*)

Struktur pada kondisi standar yang mempunyai  $n$  derajat kebebasan akan mempunyai  $n$  *modes*. Masing-masing mode akan memberikan kontribusi pada simpangan horisontal 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 modal amplitudo  $Z_j$ , yang dinyatakan dalam bentuk :

$$\{Y\} = \{\phi\}\{Z\}, \quad (3.24a)$$

$$\{\dot{Y}\} = \{\dot{\phi}\}\{\dot{Z}\}, \text{ dan} \quad (3.24b)$$

$$\{\ddot{Y}\} = \{\ddot{\phi}\}\{\ddot{Z}\}. \quad (3.24c)$$

Substitusi persamaan (3.24) kedalam persamaan (3.23) akan diperoleh :

$$[M]\{\phi\}\{\ddot{Z}\}+[C]\{\phi\}\{\dot{Z}\}+[K]\{\phi\}\{Z\}=-[M]\{1\}\ddot{y}_r \quad (3.25)$$

Apabila persamaan (3.25) dikalikan dengan *transpose* suatu mode  $\{\phi\}^T$ , maka

$$\{\phi\}^T[M]\{\phi\}\{\ddot{Z}\}+\{\phi\}^T[C]\{\phi\}\{\dot{Z}\}+\{\phi\}^T[K]\{\phi\}\{Z\}=-\{\phi\}^T[M]\{1\}\ddot{y}_r \quad (3.26)$$

jika diambil struktur yang mempunyai 3 derajat kebebasan, maka suku pertama persamaan (3.26) berbentuk :

$$[\phi_{11} \ \phi_{21} \ \phi_{31}] \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_{11} \\ \phi_{21} \\ \phi_{31} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{Z}_1 \\ \ddot{Z}_2 \\ \ddot{Z}_3 \end{Bmatrix} \quad (3.27)$$

Persamaan diatas merupakan hubungan *orthogonal* apabila  $i=j$ , sedangkan apabila  $i$  tidak sama dengan  $j$  maka perkalian matriks sama dengan nol.

$$\{\phi\}_i^T [M] \{\phi\}_j = \{0\}, \quad (3.28a)$$

$$\{\phi\}_i^T [K] \{\phi\}_j = \{0\}, \text{ dan} \quad (3.28b)$$

$$\{\phi\}_i^T [C] \{\phi\}_j = \{0\}. \quad (3.28c)$$

Untuk mode ke- $j$  maka secara umum persamaan (3.28) dapat ditulis :

$$\{\phi\}_j^T [M] \{\phi\}_j \{\ddot{Z}\}_j \quad (3.29)$$

Persamaan (3.26) pada suku ke-2 dan ke-3 diubah seperti pada persamaan (3.29), maka persamaanya akan menjadi :

$$\begin{aligned} \{\phi\}_j^T [M] \{\phi\}_j \{\ddot{Z}\}_j + \{\phi\}_j^T [C] \{\phi\}_j \{\dot{Z}\}_j + \{\phi\}_j^T [K] \{\phi\}_j \{Z\}_j = \\ -\{\phi\}_j^T [M] \{1\} \ddot{y}_r \end{aligned} \quad (3.30)$$

persamaan (3.30) adalah persamaan diferensial yang bebas atau *independent* antara satu dengan yang lain. Persamaan tersebut diperoleh setelah diterapkan hubungan *orthogonal* (*orthogonal* matriks massa, redaman, dan kekakuan), dengan demikian untuk  $n$ -derajat dengan  $n$ -persamaan diferensial yang dahulu bersifat *coupling* sekarang menjadi *uncoupling*. Persamaan diferensial dengan sifat-sifat tersebut dapat diselesaikan untuk setiap pengaruh mode.

Berdasarkan persamaan (3.30) maka dapat didefinisikan suatu generalisasi massa (*generalized mass*), redaman dan kekakuan, yaitu :

$$\{M\}_j^* = (\phi)_j^T [M] \{\phi\}_j, \quad (3.31a)$$

$$\{C\}_j^* = (\phi)_j^T [C] \{\phi\}_j, \text{ dan} \quad (3.31b)$$

$$\{K\}_j^* = (\phi)_j^T [K] \{\phi\}_j. \quad (3.31c)$$

Dengan definisi seperti persamaan (3.31) maka persamaan (3.30) akan menjadi :

$$\{M\}_j^* \{\ddot{Z}\}_j + \{C\}_j^* \{\dot{Z}\}_j + \{K\}_j^* \{Z\}_j = -\{P\}_j^* \ddot{y}_r \quad (3.32)$$

Dengan,

$$\{P\}_j^* = \{\phi\}_j^T [M] \ddot{y}_r \quad (3.33)$$

Terdapat suatu hubungan bahwa :

$$\{\xi\}_j = \frac{\{C\}_j^*}{\{C_{\sigma}\}_j^*} = \frac{\{C\}_j^*}{2\{M\}_j^* \{\omega\}_j}, \text{ maka } \frac{\{C\}_j^*}{\{M\}_j^*} = 2\{\xi\}_j \{\omega\}_j \quad (3.34a)$$

$$\{\omega\}_j^2 = \frac{\{K\}_j^*}{M_j^*} \text{ dan } \Gamma_j = \frac{P_j^*}{M_j^*}. \quad (3.34b)$$

Dengan hubungan-hubungan seperti pada persamaan (3.34) maka persamaan (3.32) akan menjadi :

$$\ddot{Z}_j + 2\xi_j \omega_j \dot{Z}_j + \omega_j^2 Z_j = -\Gamma_j \ddot{y}_t \quad (3.35)$$

dan persamaan (3.35) sering disebut dengan partisipasi setiap mode (*mode participation factor*).

$$\Gamma_j = \frac{P_j \cdot \{\phi\}_j^T [M] \{1\}}{M_j^* \{\phi\}_j^T [M] \{\phi\}_j} \quad (3.36)$$

Selanjutnya persamaan (3.36) juga dapat ditulis menjadi :

$$\frac{\ddot{Z}_j}{\Gamma_j} + 2\xi_j \frac{\dot{Z}_j}{\Gamma_j} + \omega_j^2 \frac{Z_j}{\Gamma_j} = -\ddot{y}_t \quad (3.37)$$

Apabila diambil suatu notasi bahwa :

$$\ddot{g}_j = \frac{\ddot{Z}_j}{\Gamma_j}, \dot{g}_j = \frac{\dot{Z}_j}{\Gamma_j} \text{ dan } g_j = \frac{Z_j}{\Gamma_j} \quad (3.38)$$

maka persamaan (3.38) menjadi :

$$\ddot{g}_j + 2\xi_j \omega_j \dot{g}_j + \omega_j^2 g_j = -\ddot{y}_t \quad (3.39)$$

Persamaan (3.39) adalah persamaan diferensial yang independen karena persamaan tersebut hanya berhubungan dengan tiap-tiap mode.

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

### 3.5 Respon Terhadap Beban Gempa

Gerakan yang disebabkan oleh beban gempa dapat diselesaikan dengan persamaan (3.39). Nilai  $g_j(t)$  dapat diperoleh dengan membandingkan antara persamaan (3.39) dengan persamaan gerakan mode ke- $n$  sistem dari derajat kebebasan tunggal (SDOF). Sistem SDOF mempunyai frekuensi natural (*natural frequency*/ $\omega_j$ ) dan rasio redaman ( $\xi$ ) mode ke- $j$  dari sistem MDOF, dengan  $j = 1, 2, 3, \dots, n$ .

Proses iterasi numerik menggunakan *Newmark's Average Acceleration Method*, dimana *Newmark's Average Acceleration Method* merupakan metode numerik yang bersifat *unconditionally stable* karena  $\Delta t/T_n < \infty$ . Nilai yang akan dicari adalah  $g_j(t)$ , dengan memakai *Newmark's Average Acceleration Method* diperoleh hubungan awal :

$$\dot{g}_{j+1} = \dot{g}_j + [(1-\gamma)\Delta t]\ddot{g}_j + (\gamma\Delta t)\ddot{g}_{j+1}, \text{ dan} \quad (3.40a)$$

$$g_{j+1} = g_j + (\Delta t)\dot{g}_j + [(0.5-\beta)(\Delta t)^2]\ddot{g}_j + [\beta(\Delta t)^2]\ddot{g}_{j+1}. \quad (3.40b)$$

Parameter  $\gamma$  dan  $\beta$  untuk metode *Newmark's Average Acceleration* adalah  $\gamma = 1/2$  dan  $\beta = 1/4$ , persamaan (3.40) kemudian disubstitusikan ke persamaan berikut ini.

$$\Delta \dot{g}_j = \dot{g}_{j+1} - \dot{g}_j, \quad \Delta \ddot{g}_j = \ddot{g}_{j+1} - \ddot{g}_j, \quad \Delta \dot{g}_j = \dot{g}_{j+1} - \dot{g}_j, \quad \text{dan} \quad (3.41a)$$

$$\Delta y_i = y_{j+1} - y_j. \quad (3.41b)$$

Sehingga persamaan (3.40) dapat ditulis menjadi :

$$\Delta \dot{g}_j = (\Delta t)\ddot{g}_j + (\gamma\Delta t)\Delta \ddot{g}_j, \text{ dan} \quad (3.42a)$$

$$\Delta g_j = (\Delta t)\dot{g}_j + \frac{(\Delta t)^2}{2}\ddot{g}_j + \beta(\Delta t)^2\Delta \ddot{g}_j \quad (3.42b)$$

Dari persamaan (3.42b) didapat,

$$\Delta \ddot{g}_j = \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} \Delta g_j - \frac{1}{\beta \Delta t} \Delta \dot{g}_j - \frac{1}{2\beta} \ddot{g}_j \quad (3.43)$$

substitusi persamaan (3.43) kedalam persamaan (3.42a) didapat :

$$\Delta \dot{g}_j = \frac{\gamma}{\beta \Delta t} \Delta g_j - \frac{\gamma}{\beta} \dot{g}_j + \Delta t \left( 1 - \frac{\gamma}{2\beta} \right) \ddot{g}_j \quad (3.44)$$

Kemudian persamaan (3.43) dan persamaan (3.44) disubstitusikan ke persamaan (3.39) menjadi,

$$\left( \omega^2 + \frac{2\zeta\omega\gamma}{\beta\Delta t} + \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} \right) \Delta g_j = \Delta \dot{y} + \left( \frac{1}{\beta\Delta t} + \frac{2\zeta\omega\gamma}{\beta} \right) \dot{g}_j + \left[ \frac{1}{2\beta} + \Delta t \left( \frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) 2\zeta\omega \right] \ddot{g}_j \quad (3.45)$$

Persamaan (3.45) kemudian dapat ditulis menjadi,

$$\Delta g_j = \frac{\Delta y_j + a \dot{g}_j + b \ddot{g}_j}{\hat{k}} \quad (3.46)$$

dengan,

$$a = \left\{ \frac{4}{\Delta t} + 4\zeta\omega \right\}, \quad (3.47a)$$

$$b = \{2\}, \text{ dan} \quad (3.47b)$$

$$\hat{k} = \left\{ \omega^2 + \frac{4\zeta\omega}{\Delta t} + \frac{4}{\Delta t^2} \right\}. \quad (3.47c)$$

Pada umumnya,

$$g_0 = 0, \quad (3.48a)$$

$$\dot{g}_0 = 0, \text{ dan} \quad (3.48b)$$

$$\ddot{y}_0 = 0. \quad (3.48c)$$

maka,

$$g_{j+1} = g_j + \Delta g_j, \quad (3.49a)$$

$$\dot{g}_{j+1} = \dot{g}_j + \Delta \dot{g}_j, \text{ dan} \quad (3.49b)$$

$$\ddot{g}_{j+1} = \ddot{g}_j + \Delta \ddot{g}_j. \quad (3.49c)$$

dengan,

$$g_0 = y_0 - g_0 - 2\zeta_j \omega - g_0 \omega^2 = 0 \quad (3.50a)$$

$$\Delta g_j = \frac{2\Delta g_j}{\Delta t} - 2g_j \quad (3.50b)$$

$$\Delta \dot{g}_j = \frac{4(\Delta g_j - \Delta g_j)}{\Delta t^2} \quad (3.50c)$$

Dengan persamaan-persamaan yang telah diketahui diatas, maka apabila percepatan tanah akibat gempa diketahui maka nilai-nilai  $g_j$  dapat dicari. Setelah nilai tersebut diperoleh, karena partisipasi setiap mode sudah dihitung sebelumnya maka nilai modal amplitudo  $Z_j$  dapat dihitung. Dengan didapatnya nilai  $Z_j$  dan telah dihitungnya  $\phi_j$ , maka nilai simpangan tiap mode  $y_i(t)$  dapat diperoleh:

$$y_i(t) = \Gamma_j \phi_{ij} g_j(t) \quad (3.51)$$

Simpangan antar tingkat (*inter-story drift*) dari suatu titik pada suatu lantai harus ditentukan sebagai simpangan horisontal titik itu, relatif terhadap titik yang sesuai pada lantai di bawahnya. Perbandingan antara simpangan antar tingkat (*inter-story drift*) dan tinggi tingkat yang bersangkutan tidak boleh melampaui 0.005, dengan ketentuan bahwa dalam segala hal simpangan tersebut tidak boleh lebih dari 2 cm (PPTGIUG,1981).

### 3.6 Kandungan Frekuensi (*Frequency Contents*)

Persamaan differensial gerakan suatu massa SDOF tanpa redaman dengan beban harmonik sederhana adalah :

$$y(t) = (P_0/m(\omega^2 - \Omega^2))\{\sin(\Omega t) - (\Omega \sin(\omega t)/\omega)\} \quad (3.52)$$

dengan  $y$  (respon struktur),  $P_0$  (beban harmonik),  $m$  (massa struktur),  $\omega$  (frekuensi sudut akibat getaran), dan  $\Omega$  (frekuensi sudut beban dinamik). Dari persamaan (3.52) terlihat bahwa respon struktur akan dipengaruhi baik oleh frekuensi sudut beban dinamik maupun frekuensi sudut akibat getaran struktur. Respon struktur terdiri dari dua bagian pokok yaitu *steady state response* yaitu respon yang ditunjukkan oleh suku  $\sin(\Omega t)$  dan *transient response* yang ditunjukkan oleh suku  $\sin(\omega t)$ . Apabila frekuensi sudut beban dinamik sama dengan frekuensi sudut getaran struktur maka nilai penyebut diatas akan sama dengan nol, sehingga respon struktur menjadi tak hingga. Keadaan ini disebut resonansi (Gambar 3.5). Persamaan (3.52) dapat ditulis dalam fungsi *Dynamic Load Factor* (DLF), yaitu :

$$y(t) = y_{st} \text{DLF},$$

$$y_{st} = P_0/k,$$

$$r = \Omega/\omega, \text{ dan}$$

$$\text{DLF} = (1/|1-r^2|)\{\sin(\Omega t) - r\sin(\omega t)\} \quad (3.53)$$

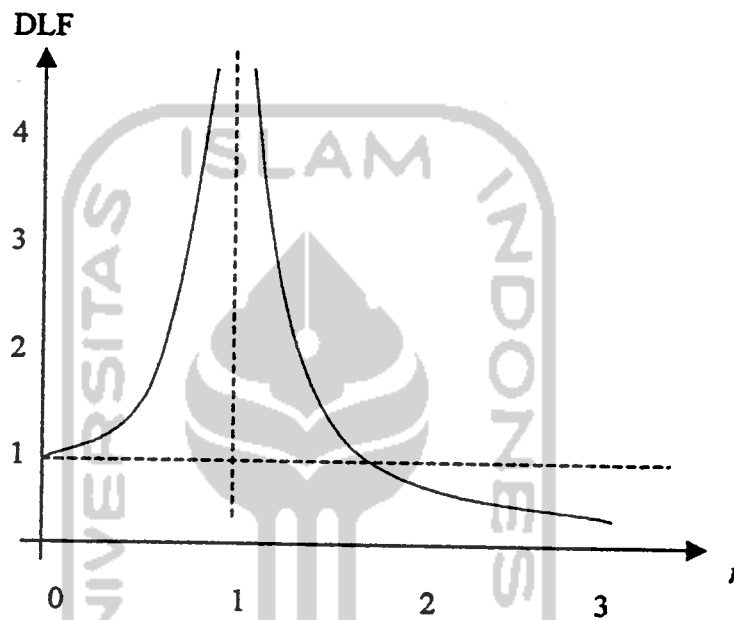
Didalam soal-soal praktis, *transient response* sering diabaikan karena nilainya dianggap relatif kecil. Nilai DLF akan diperoleh apabila  $\sin(\Omega t) = 1$ , maka dapat



ditulis dalam rumus :

$$DLF = \frac{1}{|1-r^2|} \quad (3.54)$$

Plot antara DLF dan nilai frekuensi rasio  $r$  dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Grafik DLF lawan frekuensi rasio

Housner (1971) sudah mensinyalir adanya pengaruh kandungan frekuensi gempa terhadap respon struktur. Pada hakekatnya dalam suatu gempa akan terkandung beberapa frekuensi yang di beberapa literatur sering menyebut frekuensi  $f = 0.2-10$  Hz. Analisis Housner (1971) waktu itu timbul karena adanya suatu kenyataan bahwa gempa Koyna (India, 1967) yang mempunyai percepatan tanah maksimum jauh lebih besar dari gempa El Centro (1940) namun kerusakan bangunan yang terjadi tidaklah begitu berarti.

Pengaruh kandungan frekuensi gempa terhadap respon struktur juga telah dianalisis oleh Widodo (1995,1996). Pada penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa pada gempa Bucharest (1977) yang mempunyai percepatan tanah maksimum hanya 0.206 g lebih kecil dari percepatan tanah maksimum gempa El-Centro (1940) dengan percepatan tanah maksimum 0.319 g namun gempa Bucharest menimbulkan indeks kerusakan yang lebih besar dari gempa El Centro. Hal ini terjadi karena gempa Bucharest mempunyai frekuensi relatif rendah sedangkan model struktur mempunyai frekuensi yang rendah juga. Kedekatan frekuensi antara frekuensi beban dengan frekuensi struktur akan cenderung mengakibatkan resonansi yang akan mengakibatkan respon struktur menjadi sangat besar.

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

Jenis-jenis simpangan yang terjadi pada struktur umumnya ada 3 macam, yaitu simpangan relatif, simpangan antar tingkat, dan simpangan absolut. Jenis-jenis simpangan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan akan diuraikan sebagai berikut ini.

#### 1. Simpangan Relatif

Simpangan relatif tiap lantai menurut persamaan diferensial independen (*uncoupling*) adalah simpangan suatu massa yang diperoleh dengan menjumlahkan pengaruh atau kontribusi tiap-tiap mode.

$$y_i = \sum \phi_{ij} Z_j \quad (3.55)$$

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

$\phi_j = \text{mode shapes}$ , dan

$Z_j = \text{modal amplitudo}$ .

## 2. Simpangan antar tingkat (*Inter-story drift*)

Simpangan antar tingkat adalah simpangan yang terjadi pada tiap tingkat, simpangan ini dihitung dengan cara simpangan relatif lantai atas dikurangi simpangan relatif lantai di bawahnya. *Inter-story drift* yang berlebihan sangat mungkin terjadi pada tingkat yang lemah. Terjadinya distribusi kekakuan struktur secara vertikal yang tidak merata akan menyebabkan adanya suatu tingkat yang lemah tersebut. *Inter-story drift* dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta y_i = y_i - y_{i-1} \quad (3.56)$$

dimana :  $\Delta y_i = \text{simpangan antar tingkat}$ ,

$y_i = \text{simpangan relatif lantai ke-}i$ , dan

$y_{i-1} = \text{simpangan relatif lantai ke-}(i-1)$

## 3. Simpangan Absolut

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

$$y_t = y_i + y_g \quad (3.57)$$

dimana :  $y_t = \text{simpangan absolut}$

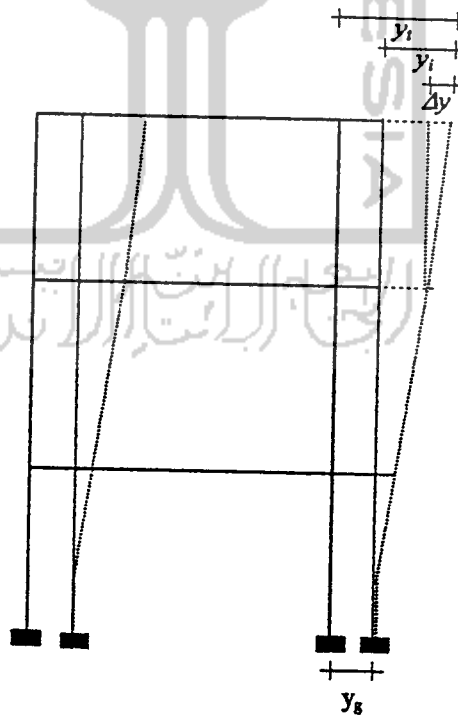
$y_i = \text{simpangan relatif lantai ke-}i$ , dan

$y_g = \text{simpangan akibat tanah}$ .

Simpangan absolut mempunyai pengaruh terhadap kemungkinan terjadinya benturan antar bangunan yang berdekatan (*structural pounding*).

Masalah *structural pounding* ini biasa terjadi pada bangunan yang berdekatan untuk memaksimalkan penggunaan lahan, hal ini dapat menyebabkan kerusakan yang fatal pada bangunan bahkan dapat menyebabkan kerusakan total. Hal ini dapat dicegah dengan memperhitungkan jarak antara dua bangunan yang berdekatan. Jarak tersebut dapat dihitung dengan menghitung simpangan absolut pada setiap lantai.

Simpangan tanah pada keadaan *rigid body motion* umumnya dianggap tidak akan menyebabkan adanya perbedaan simpangan dan kecepatan antara tanah dengan massa struktur, oleh karena itu simpangan tanah dianggap sama dengan nol.



Gambar 3.6 Model struktur dengan jenis-jenis simpangannya

### 3.8 Gaya Geser Dasar

Gaya lantai dapat diperoleh setelah simpangan relatif diperoleh. Hal ini sesuai dengan prinsip elastik analisis untuk problema dinamika struktur bahwa simpangan relatif, gaya lantai, dan momen lantai adalah elastik respon yang penting dicari.

Gaya horisontal lantai atau gaya lantai maksimum yang bekerja pada suatu massa sebagai kontribusi dari mode ke- $j$  dapat dicari dari prinsip hubungan antara gaya, simpangan dan kekakuan yaitu:

$$F_i = k_j \cdot y_i \quad (3.58)$$

dimana :  $F_i$  = gaya lantai,

$k$  = kekakuan tingkat, dan

$y_i$  = simpangan relatif.

Sedangkan gaya geser dasar merupakan penjumlahan dari gaya lantai tetapi arahnya berlawanan. Gaya geser dasar dapat dicari dengan rumus :

$$V = -\left(\sum_{i=1}^n F_i\right) \quad (3.59)$$

dimana :  $V$  = gaya geser dasar, dan

$F_i$  = gaya lantai.

### 3.9 Momen Guling

Momen guling pada gedung bertingkat banyak adalah merupakan penjumlahan dari perkalian antara gaya horisontal lantai dengan elevasi lantai.

$$M_b = \sum_{i=1}^n F_i h_i \quad (3.60)$$

dimana :  $M_b$  = momen guling,

$F_i$  = gaya lantai, dan

$h_i$  = elevasi lantai.



## BAB IV

### METODE PENELITIAN

Metoda penelitian merupakan suatu urutan atau tata cara pelaksanaan penelitian yang diuraikan menurut suatu tahapan yang sistematis. Metode yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini yaitu pengumpulan data, pengolahan data dan penelitian, sebagaimana yang akan diuraikan berikut ini.

#### 4.1 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini digunakan struktur asli (*real structure*) 5 lantai. Data yang diperlukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Struktur merupakan bangunan asli yang berfungsi sebagai gedung perkantoran.
2. Beban yang bekerja pada struktur adalah beban hidup dan beban mati.
3. Beban gempa yang digunakan merupakan riwayat waktu (*time history*) dari beberapa beban gempa, yaitu El Centro (Chopra, 1995), Bucharest, Koyna, dan Parkfield (Widodo, 1997b).
4. Analisis menggunakan program *Matlab version 5.3 release II*, 1999 (*The Match Work, Inc.* 1984-1995) dan *Microsoft Excel 97* (*Microsoft Corporation.* 1985-1996).

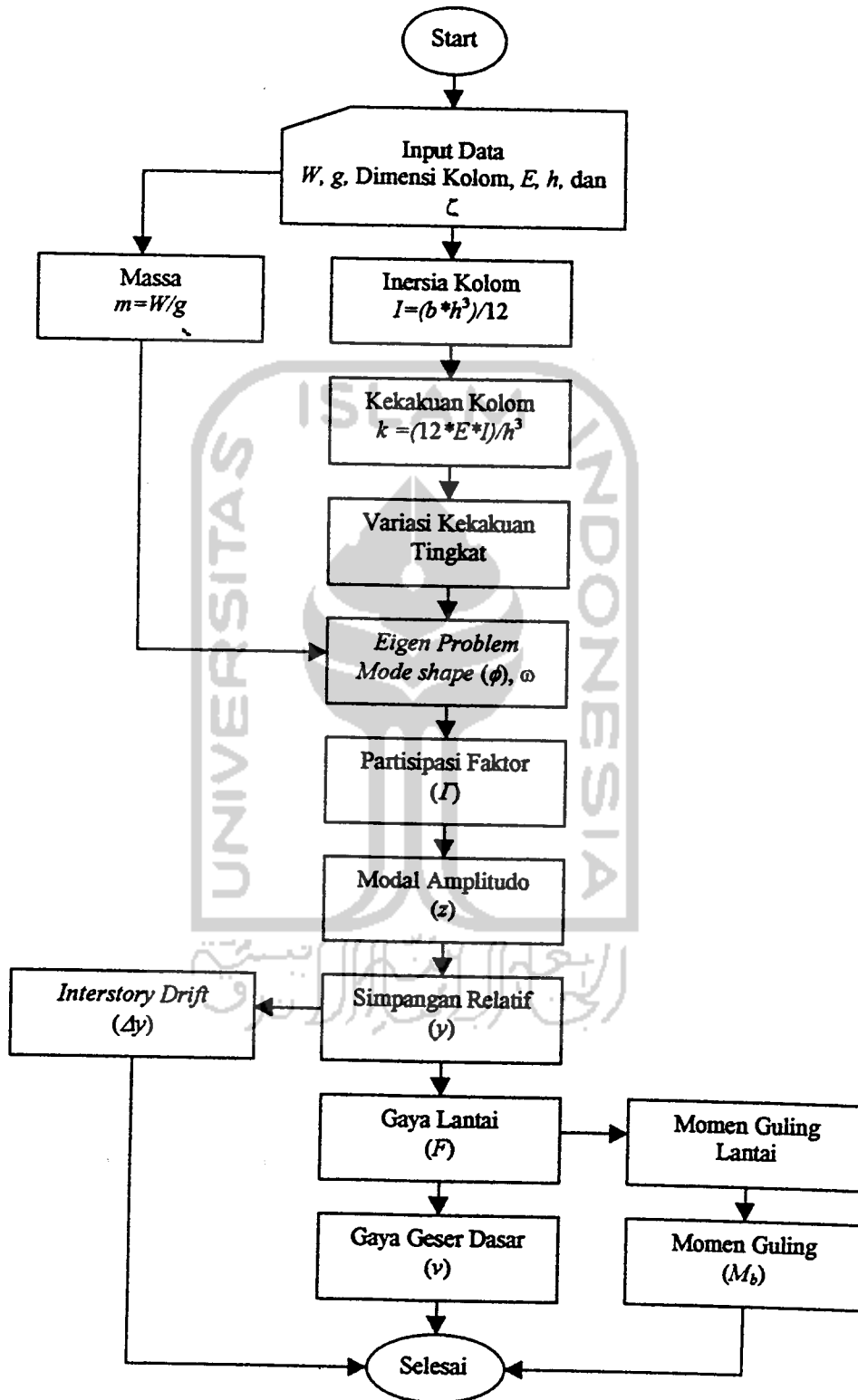
Data yang dipakai mengacu pada buku-buku, pendapat dan teori-teori yang berhubungan. Sedangkan *input* data gedung yang ditinjau diperoleh dari tugas akhir yang menulis perencanaan gedung PT.Silkar.Ltd. (Famularsih dan Wirogo, 1999).

#### 4.2 Pengolahan Data

Setelah data ditentukan dan terkumpul, selanjutnya dilakukan pengolahan data dengan langkah-langkah sebagai berikut ini.

1. Menghitung massa tiap lantai ( $m$ ).
2. Menghitung inersia kolom ( $I$ ).
3. Menghitung kekakuan tingkat ( $k$ ).
4. Kekakuan tingkat yang divariasikan adalah kekakuan tingkat 1, 2, 3, 4, dan 5 secara serentak dengan interval 10% yang menurun dari 100% sampai 20% dan menaik dari 100% sampai 180%.
5. Menentukan rasio redaman struktur ( $\zeta$ ).
6. Membuat persamaan *eigen problem* untuk menghitung *mode shape* ( $\phi$ ).
7. Menghitung frekuensi sudut ( $\omega$ ).
8. Menghitung partisipasi faktor ( $\Gamma$ ).
9. Menghitung modal amplitudo ( $z$ ).
10. Menghitung simpangan relatif lantai ( $y$ ), simpangan antar tingkat ( $\Delta y$ ), gaya geser dasar ( $V$ ), dan momen guling ( $M_b$ ).
11. Menganalisa hasil-hasil yang diperoleh.





Gambar 4.1 Bagan alir (*Flow chart*) pengolahan data

### 4.3 Penelitian

Penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah menganalisis pengaruh perubahan kekakuan tingkat terhadap simpangan relatif lantai, simpangan antar tingkat, gaya geser dasar, dan momen guling. Cara yang dilakukan yaitu dengan menurunkan kekakuan tingkat secara serentak dari 100% sampai 20% dan menaikkan kekakuan tingkat dari 100% sampai 180% dengan interval 10% seperti yang terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Variasi Kekakuan

Variasi	Kekakuan	Keterangan
Struktur asli	100 %	Serentak
Variasi 1	20 %	Serentak
Variasi 2	30 %	Serentak
Variasi 3	40 %	Serentak
Variasi 4	50 %	Serentak
Variasi 5	60 %	Serentak
Variasi 6	70 %	Serentak
Variasi 7	80 %	Serentak
Variasi 8	90 %	Serentak
Variasi 9	110 %	Serentak
Variasi 10	120 %	Serentak
Variasi 11	130 %	Serentak
Variasi 12	140 %	Serentak
Variasi 13	150 %	Serentak
Variasi 14	160 %	Serentak
Variasi 15	170 %	Serentak
Variasi 16	180 %	Serentak

Pada penelitian ini struktur dianggap mempunyai rasio redaman 5%. Penelitian dilakukan dengan menggunakan program bantu *Matlab* versi 5.3 dan *Microsoft Excel 97*. Penelitian dilakukan dengan satu struktur yang diubah-ubah kekakuan tingkatnya secara serentak dan digunakan beban gempa berupa riwayat

waktu dari 4 gempa, sehingga didapat hasil berupa simpangan relatif lantai, simpangan antar tingkat, gaya geser dasar, dan momen guling, sebagaimana yang diuraikan pada Bab V.



## **BAB V**

### **ANALISIS, HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi tentang pembebanan struktur, perhitungan massa dan kekakuan tingkat, frekuensi struktur, kandungan frekuensi beban gempa, perhitungan simpangan relatif lantai, perhitungan simpangan antar tingkat, perhitungan gaya geser dasar, dan perhitungan momen guling, sebagaimana yang akan diuraikan berikut ini.

#### **5.1 Pembebanan Struktur**

Pembebanan struktur untuk gedung PT.Silkar Ltd didapat dari penelitian sebelumnya (Famularsih dan Wirogo, 1999). Pembebanan struktur pada gedung tersebut berupa beban merata dan beban terpusat baik berupa beban mati maupun beban hidup.

Detail letak pembebanannya dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan besarnya beban yang bekerja pada struktur tersebut disajikan pada Tabel 5.1 sampai Tabel 5.3.

##### **5.1.1 Beban Merata**

Beban merata adalah beban yang bekerja secara merata setiap meter panjang pada suatu struktur. Besarnya beban merata pada gedung PT.Silkar Ltd. dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

**Tabel 5.1 Beban merata**

Elemen	Beban mati (kg/m <sup>2</sup> )	Beban Hidup (kg/m <sup>2</sup> )
13	4788.00	1504.00
14	1573.33	722.20
15	5471.40	1301.40
16,19,22	2257.50	312.50
17,20,23	2534.17	556.00
18,21,24	1627.50	100.00
25	1977.50	231.25
26	2371.11	577.80
27	1390.00	100.00

**5.1.2 Beban Terpusat**

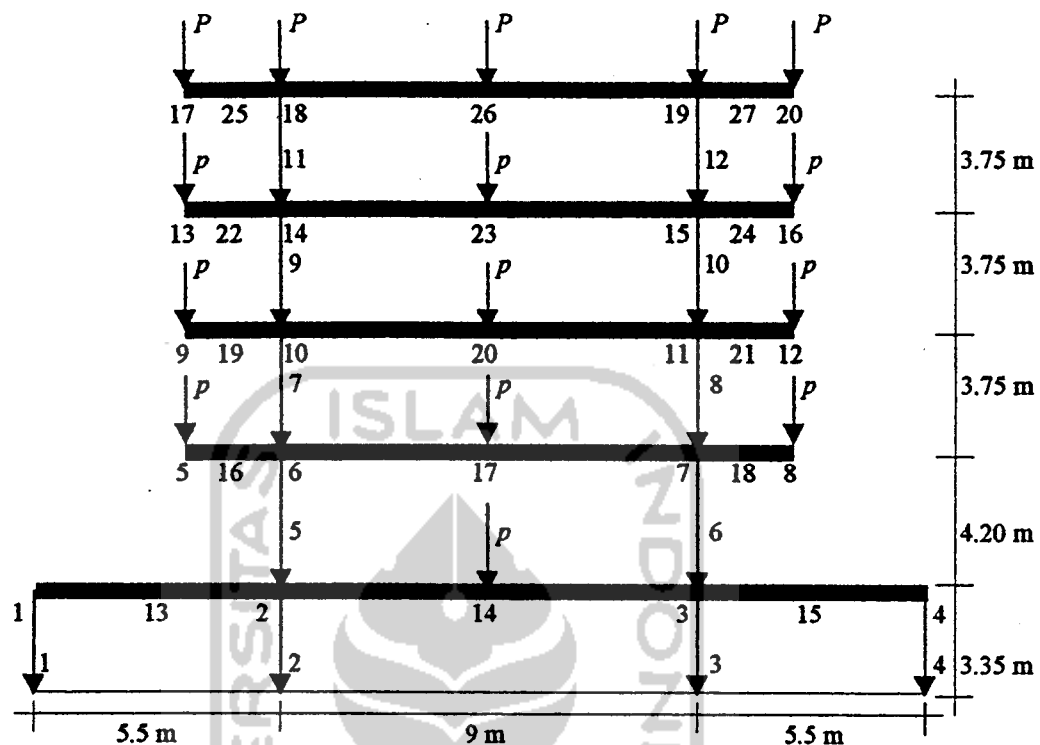
Beban terpusat adalah beban yang bekerja secara terpusat pada titik nodal maupun pada elemen struktur. Besarnya beban terpusat pada gedung PT.Silkar Ltd. dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 berikut ini.

**Tabel 5.2 Beban terpusat pada tiap elemen**

Elemen	Beban Mati (kg)	Beban Hidup (kg)
14	12518.3	7275.3
17,20,23	12753.2	5596.4
26	11992.2	5820.4

**Tabel 5.3 Beban terpusat pada tiap nodal**

Nodal	Beban Mati (kg)	Beban Hidup (kg)
2,3	4733.40	-
5,9,13	6152.90	1230.21
6,7,10	4226.25	-
8,12,16	7737.90	570.33
11,14,15	4226.25	-
17	5812.70	910.24
18,19	2037.50	2256.3
20	4692.60	708.95



Gambar 5.1 Pembebanan struktur

## 5.2 Perhitungan Massa dan Kekakuan Tingkat

Anggapan yang dipakai dalam analisa perhitungan massa dan kekakuan adalah *lumped mass* dan prinsip bangunan geser (*shear building*). Massa dihitung pada tiap lantai dan dianggap menggumpal ditengah bentang, sedangkan kekakuan dihitung secara paralel dimana besarnya kekakuan tiap tingkat merupakan jumlah dari kekakuan tiap kolomnya.

### 5.2.1 Perhitungan Massa Lantai

Massa adalah berat dibagi dengan percepatan gravitasi, dengan percepatan gravitasi sebesar  $g = 9.8 \text{ m/det}^2$ , rumus yang dipakai adalah seperti dibawah ini.

$$m = W / g \quad (5.1)$$

dimana  $m$ ,  $W$ , dan  $g$  secara berturut-turut adalah massa, berat dan percepatan gravitasi. Dari rumus di atas massa tiap lantai dapat dihitung sebagai berikut ini.

### 1. Massa lantai 1 ( $m_1$ )

$$m_1 = W_1 / g$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Mati} & : (4788 \times 5.5) + (1573.33 \times 9) + (5471.4 \times 5.5) = 70586.67 \text{ kg} \\ & (12518.3) + (4733.4 \times 2) & = 21985.10 \text{ kg} \\ \text{Beban Hidup} & : (1504 \times 5.5) + (722.2 \times 9) + (1301.4 \times 5.5) = 21929.50 \text{ kg} \\ & (7275.3) & = 7275.30 \text{ kg} \\ & & \hline \text{Beban Total} & = 121776.57 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$m_1 = 121776.57 / 9.81 = 12413.52 \text{ kg dt}^2/\text{m} \approx 13000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

### 2. Massa lantai 2 ( $m_2$ )

$$m_2 = W_2 / g$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Mati} & : (2534.17 \times 9) + (2257.5 \times 2) + (1627.5 \times 2) = 30577.53 \text{ kg} \\ & 12753.2 + (4226.25 \times 2) + 6152.9 + 7737.9 & = 35096.50 \text{ kg} \\ \text{Beban Hidup} & : (556 \times 9) + (312.5 \times 2) + (100 \times 2) = 5829.00 \text{ kg} \\ & 5596.4 + 1230.21 + 570.33 & = 7396.94 \text{ kg} \\ & & \hline \text{Beban Total} & = 78899.97 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$m_2 = 78899.97 / 9.81 = 8042.81 \text{ kg dt}^2/\text{m} \approx 8100 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

### 3. Massa lantai 3 ( $m_3$ )

$$m_3 = W_3 / g$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Mati} & : (2534.17 \times 9) + (2257.5 \times 2) + (1627.5 \times 2) = 30577.53 \text{ kg} \\ & 12753.2 + (4226.25 \times 2) + 6152.9 + 7737.9 & = 35096.50 \text{ kg} \\ \text{Beban Hidup} & : (556 \times 9) + (312.5 \times 2) + (100 \times 2) = 5829.00 \text{ kg} \end{aligned}$$



$$5596.4 + 1230.21 + 570.33 = \underline{7396.94 \text{ kg}}$$

$$\text{Beban Total} = 78899.97 \text{ kg}$$

$$m_3 = 78899.97 / 9.81 = 8042.81 \text{ kg dt}^2/\text{m} \approx 8100 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

#### 4. Massa lantai 4 ( $m_4$ )

$$m_4 = W_4 / g$$

$$\text{Beban Mati} : (2534.17 \times 9) + (2257.5 \times 2) + (1627.5 \times 2) = 30577.53 \text{ kg}$$

$$12753.2 + (4226.25 \times 2) + 6152.9 + 7737.9 = 35096.50 \text{ kg}$$

$$\text{Beban Hidup} : (556 \times 9) + (312.5 \times 2) + (100 \times 2) = 5829.00 \text{ kg}$$

$$5596.4 + 1230.21 + 570.33 = \underline{7396.94 \text{ kg}}$$

$$\text{Beban Total} = 78899.97 \text{ kg}$$

$$m_4 = 78899.97 / 9.81 = 8042.81 \text{ kg dt}^2/\text{m} \approx 8100 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

#### 5. Massa lantai 5 ( $m_5$ )

$$m_5 = W_5 / g$$

$$\text{Beban Mati} : (2371.11 \times 9) + (1977.5 \times 2) + (1390 \times 2) = 28074.99 \text{ kg}$$

$$11992.2 + (2037.5 \times 2) + 5812.7 + 4692.6 = 26572.50 \text{ kg}$$

$$\text{Beban Hidup} : (557.8 \times 9) + (231.25 \times 2) + (100 \times 2) = 5682.70 \text{ kg}$$

$$5820.4 + (2256.3 \times 2) + 910.24 + 708.95 = \underline{11952.19 \text{ kg}}$$

$$\text{Beban Total} = 72282.38 \text{ kg}$$

$$m_5 = 72282.38 / 9.81 = 7368.23 \text{ kg dt}^2/\text{m} \approx 7400 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

Hasil dari perhitungan massa tiap lantai diatas disajikan pada Tabel 5.4 seperti berikut ini.



Tabel 5.4 Hasil perhitungan massa

No	Lantai	Massa (kg.det <sup>2</sup> /m)
1	1	13000
2	2,3,4	8100
3	5	7400

### 5.2.2 Perhitungan Nilai Kekakuan Tingkat

Perhitungan kekakuan menggunakan prinsip *shear building*, dimana kekakuan kolom tidak dipengaruhi oleh balok yang menghubungkan kolom-kolom yang ada, sedangkan kekakuan tingkat dapat dihitung secara paralel dengan menjumlahkan kekakuan tiap kolomnya. Kekakuan kolom dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$k = 12 EI / H^3, \text{ dimana } I = bh^3 / 12 \quad (5.2)$$

dengan  $E$  adalah modulus elastisitas bahan, nilai modulus elastisitas dari beton bertulang diambil  $E = 2 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2 = 2 \times 10^9 \text{ kg/m}^2$ .

#### 1. Perhitungan kekakuan kolom

$$\text{Inersia : untuk dimensi } 70/70 \rightarrow I_x = 1/12 \times (0.7)^4 = 0.02000 \text{ m}^4$$

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

$$k_1 = 12 EI_x / H^3 = 12 \times 2 \times 10^9 \times 0.02 / (3.35)^3 = 12767527.92 \text{ kg/m}$$

$$\approx 13000000.00 \text{ kg/m}$$

$$k_1 = 12 EI_x / H^3 = 12 \times 2 \times 10^9 \times 0.00125 / (3.35)^3 = 797970.50 \text{ kg/m}$$

$$\approx 800000.00 \text{ kg/m}$$

$$k_2 = 12 EI_x / H^3 = 12 \times 2 \times 10^9 \times 0.02 / (4.2)^3 = 6478781.99 \text{ kg/m}$$

$$\approx 6500000.00 \text{ kg/m}$$

$$k_3 = 12 E I_x / H^3 = 12 \times 2 \times 10^9 \times 0.02 / (3.75)^3 = 9102222.22 \text{ kg/m}$$

$$\approx 9100000.00 \text{ kg/m}$$

$$k_4 = 12 E I_x / H^3 = 12 \times 2 \times 10^9 \times 0.02 / (3.75)^3 = 9102222.22 \text{ kg/m}$$

$$\approx 9100000.00 \text{ kg/m}$$

$$k_5 = 12 E I_x / H^3 = 12 \times 2 \times 10^9 \times 0.02 / (3.75)^3 = 9102222.22 \text{ kg/m}$$

$$\approx 9100000.00 \text{ kg/m}$$

## 2. Perhitungan kekakuan tingkat

$$k_1 = (13000000 \times 2) + (800000 \times 2) = 27600000 \text{ kg/m}$$

$$k_2 = (6500000 \times 2) = 13000000 \text{ kg/m}$$

$$k_3 = (9100000 \times 2) = 18200000 \text{ kg/m}$$

$$k_4 = (9100000 \times 2) = 18200000 \text{ kg/m}$$

$$k_5 = (9100000 \times 2) = 18200000 \text{ kg/m}$$

Hasil dari perhitungan kekakuan tingkat disajikan pada Tabel 5.5 sebagai berikut ini.

**Tabel 5.5 Hasil perhitungan kekakuan tingkat**

No	Tingkat	Kekakuan (kg/m)
1	1	27600000
2	2	13000000
3	3,4,5	18200000

Nilai kekakuan tingkat selanjutnya divarisikan dengan cara menurunkan kekakuan secara serentak dari 100% sampai 20%, dan menaikkan kekakuan secara serentak dari 100% sampai 180% dengan interval 10%. Hasil variasi kekakuan disajikan dalam Tabel 5.6 sebagai berikut ini.

Tabel 5.6 Variasi kekakuan tingkat

Variasi	Persentase Kekakuan (%)	Kekakuan Tingkat 1 (kg/m)	Kekakuan Tingkat 2 (kg/m)	Kekakuan Tingkat 3,4, dan 5 (kg/m)
Struktur Asli	100	27600000	13000000	18200000
Variasi 1	20	5520000	2600000	3640000
Variasi 2	30	8280000	3900000	5460000
Variasi 3	40	11040000	5200000	7280000
Variasi 4	50	13800000	6500000	9100000
Variasi 5	60	16560000	7800000	10920000
Variasi 6	70	19320000	9100000	12740000
Variasi 7	80	22080000	10400000	14560000
Variasi 8	90	24840000	11700000	16380000
Variasi 9	110	30360000	14300000	20020000
Variasi 10	120	33120000	15600000	21840000
Variasi 11	130	35880000	16900000	23660000
Variasi 12	140	38640000	18200000	25480000
Variasi 13	150	41400000	19500000	27300000
Variasi 14	160	44160000	20800000	29120000
Variasi 15	170	46920000	22100000	30940000
Variasi 16	180	49680000	23400000	32760000

### 5.3 Frekuensi Struktur

Frekuensi struktur dihitung berdasarkan hasil dari persamaan *eigen problem*, dengan *input* matrik massa dan matrik kekakuan struktur serta *output* berupa modal matrik struktur dan *eigenvalue* ( $\lambda$ ). Nilai frekuensi sudut selanjutnya dapat dihitung dengan menggunakan *eigenvalue*. Rumus yang dipakai adalah :

$$\lambda = \omega^2 / (k/m), \text{ sehingga}$$

$$\omega = \sqrt{(\lambda \times (k/m))} \quad (5.3)$$

dimana  $\omega$ ,  $k$ , dan  $m$  berturut-turut adalah frekuensi sudut, unit kekakuan dan unit massa, dalam perhitungan ini unit massa dan unit kekakuan diambil sama dengan satu. Rumus untuk menghitung periode getar dan frekuensi getar struktur adalah :

$$T = 2\pi / \omega, \text{ dan}$$

$$f = 1/T \tag{5.4}$$

dimana  $T$  dan  $f$  adalah periode getar dan frekuensi getar struktur. Hasil perhitungan disajikan dalam Tabel 5.7

**Tabel 5.7** Hasil perhitungan periode getar dan frekuensi struktur

Variasi	Persentase Kekakuan (%)	Frekuensi Sudut (rad/det)	Periode Getar (det)	Frekuensi Struktur (Hz)
Struktur Asli	100	13.6363	0.4608	2.1703
Variasi 1	20	6.0983	1.0303	0.9706
Variasi 2	30	7.4689	0.8412	1.1887
Variasi 3	40	8.6244	0.7285	1.3726
Variasi 4	50	9.6423	0.6516	1.5346
Variasi 5	60	10.5627	0.5948	1.6811
Variasi 6	70	11.4090	0.5507	1.8158
Variasi 7	80	12.1967	0.5152	1.9412
Variasi 8	90	12.9366	0.4857	2.0589
Variasi 9	110	14.3019	0.4393	2.2762
Variasi 10	120	14.9378	0.4206	2.3774
Variasi 11	130	15.5478	0.4041	2.4745
Variasi 12	140	16.1347	0.3894	2.5679
Variasi 13	150	16.7010	0.3762	2.6580
Variasi 14	160	17.2487	0.3643	2.7452
Variasi 15	170	17.7796	0.3534	2.8297
Variasi 16	180	18.2950	0.3434	2.9117

#### 5.4 Kandungan Frekuensi Beban Gempa

Tinjauan kandungan frekuensi gempa pada penelitian ini dilihat dari besarnya rasio percepatan maksimum dengan kecepatan maksimum, yang umumnya dikenal dengan  $A/V$  rasio.

Percepatan tanah maksimum langsung didapat dari data percepatan tanah akibat gempa, sedangkan kecepatan tanah maksimum sebagian didapat langsung dari data kecepatan tanah akibat gempa dan sebagian didapat dengan cara mengintegalkan data percepatan tanah. Pengintegralan data percepatan tanah menjadi kecepatan tanah didapat dari penelitian Prasetyo dan Arminta (2000). Harga  $A/V$  rasio merupakan harga pendekatan karena besarnya kemungkinan kesalahan dalam proses integrasi.

Data kandungan frekuensi beban gempa ( $A/V$  rasio) yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 5.8. Dari Tabel 5.8 diketahui bahwa  $A/V$  rasio merupakan perbandingan antara percepatan maksimum ( $A$  maks) dan kecepatan maksimum ( $V$  maks) dari gerakan tanah akibat gempa, serta kelompok gempa dengan kandungan frekuensi rendah, sedang dan tinggi.

**Tabel 5.8** Data kandungan frekuensi beban gempa ( $A/V$  rasio)

No	Gempa	$A$ maks ( $\text{cm}/\text{det}^2$ )	$V$ maks ( $\text{cm}/\text{det}$ )	$A/V$ rasio (Hz)	Keterangan
1	Bucharest	225.40	35.776766	0.64222	Integrasi
2	El Centro	312.62	33.121600	0.96312	Dari data
3	Parkfield	470.40	42.657299	1.12410	Integrasi
4	Koyna	548.79	16.132091	3.46774	Integrasi

Keterangan tentang besarnya nilai kandungan frekuensi gempa berdasarkan pendekatan  $A/V$  rasio dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut ini.

**Tabel 5.9** Kandungan frekuensi gempa berdasarkan  $A/V$  rasio

$A/V$ rasio (Hz)	Kandungan Frekuensi Gempa
< 0.8	Rendah
$0.8 < A/V$ rasio < 1.2	Sedang
> 1.2	Tinggi

### 5.5 Perhitungan Simpangan Relatif Lantai

Langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan matrik massa dan kekakuan, karena matrik tersebut merupakan *input* persamaan *eigen problem*.

Matrik massa dan matrik kekakuan untuk struktur 5 lantai adalah:

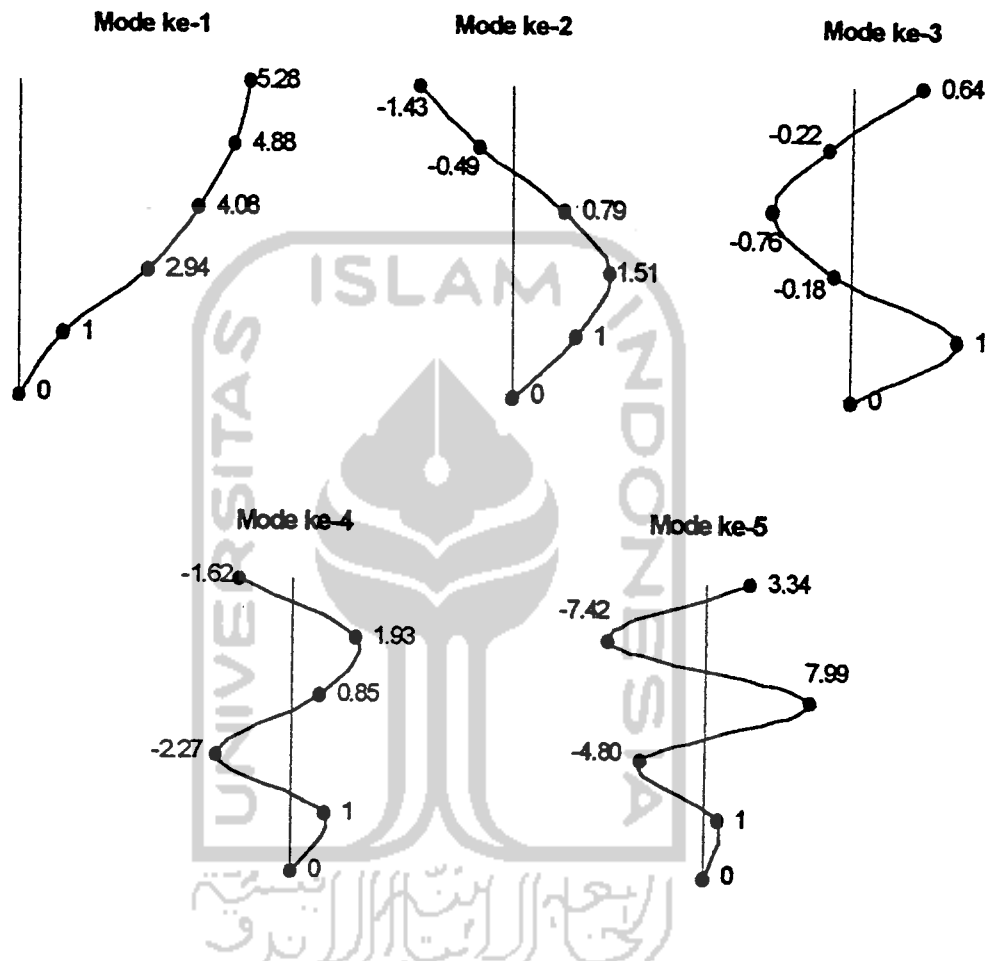
$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 & 0 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 + k_5 & -k_5 \\ 0 & 0 & 0 & -k_5 & k_5 \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

untuk penyelesaian selanjutnya menggunakan aplikasi program *Matlab*. Hasil dapat diperoleh dari persamaan *eigen problem* yaitu berupa *mode shape* dan frekuensi sudut, yang besarnya adalah :

$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1.00 \\ 2.94 \\ 4.08 \\ 4.88 \\ 5.28 \end{Bmatrix} \quad \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1.00 \\ 1.51 \\ 0.79 \\ -0.49 \\ -1.43 \end{Bmatrix} \quad \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1.00 \\ -0.18 \\ -0.76 \\ -0.22 \\ 0.64 \end{Bmatrix} \quad \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1.00 \\ -2.27 \\ 0.85 \\ 1.93 \\ -1.62 \end{Bmatrix} \quad \{\phi_5\} = \begin{Bmatrix} 1.00 \\ -4.80 \\ -7.42 \\ 3.34 \end{Bmatrix}$$

Pola goyangan (*mode shape*) diatas kemudian dimanifestasikan dalam Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Pola goyangan atau *mode shape*

Vektor frekuensi sudut ( $\omega$ ) pada kekakuan tingkat asli (100%) adalah :

$$\{\omega\} = \begin{Bmatrix} 13.6363 \\ 40.1289 \\ 57.4823 \\ 73.4464 \\ 89.0347 \end{Bmatrix}$$

Modal partisipasi faktor dihitung dengan persamaan,

$$\Gamma_j = \frac{P_j}{M_j} = \frac{\{\phi\}_j^T [M] \{1\}}{\{\phi\}_j^T [M] \{\phi\}_j} \quad (5.7)$$

Vektor modal partisipasi faktor yang didapat dari persamaan diatas, yaitu :

$$\{\Gamma\} = \begin{Bmatrix} 0.2406 \\ 0.3192 \\ 0.3909 \\ 0.0464 \\ 0.0028 \end{Bmatrix}$$

Seperti yang diperlihatkan pada persamaan (3.46) dan persamaan (3.49a) maka persamaan gerakan dengan redaman adalah :

$$\Delta g_j = \frac{\Delta y_i + a g_j + b \dot{g}_j}{\hat{k}} \quad (5.8)$$

$$g_{j+1} = g_j + \Delta g_j \quad (5.9)$$

dengan nilai vektor  $\{a\}$ ,  $\{b\}$ , dan  $\{k\}$  dihitung terlebih dahulu dengan rumus :

$$\{a\} = \left\{ \frac{4}{\Delta t} + 4\zeta\omega \right\} \quad (5.10a)$$

$$\{b\} = \{2\} \quad (5.10b)$$

$$\{\hat{k}\} = \left\{ \omega^2 + \frac{4\zeta\omega}{\Delta t} + \frac{4}{\Delta t^2} \right\} \quad (5.10c)$$

hasil perhitungan vektor  $\{a\}$ ,  $\{b\}$ , dan  $\{k\}$  pada kekakuan 100% adalah :

$$\{a\} = \begin{Bmatrix} 202.7273 \\ 208.0257 \\ 211.4965 \\ 214.6893 \\ 217.8069 \end{Bmatrix} \quad \{b\} = \begin{Bmatrix} 2 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \end{Bmatrix} \quad \{\hat{k}\} = \begin{Bmatrix} 10322.3117 \\ 12011.6176 \\ 13879.0378 \\ 16128.8377 \\ 18817.5248 \end{Bmatrix}$$



Nilai  $g_j$  disajikan pada Lampiran (Tabel 1-5). Modal amplitudo dihitung dengan mengalikan matrik  $[g]_{ij}$  dengan matrik vektor partisipasi mode  $\{\Gamma\}$ .

$$[z]_j = [g]_{ij} \{\Gamma\}_j \quad (5.11)$$

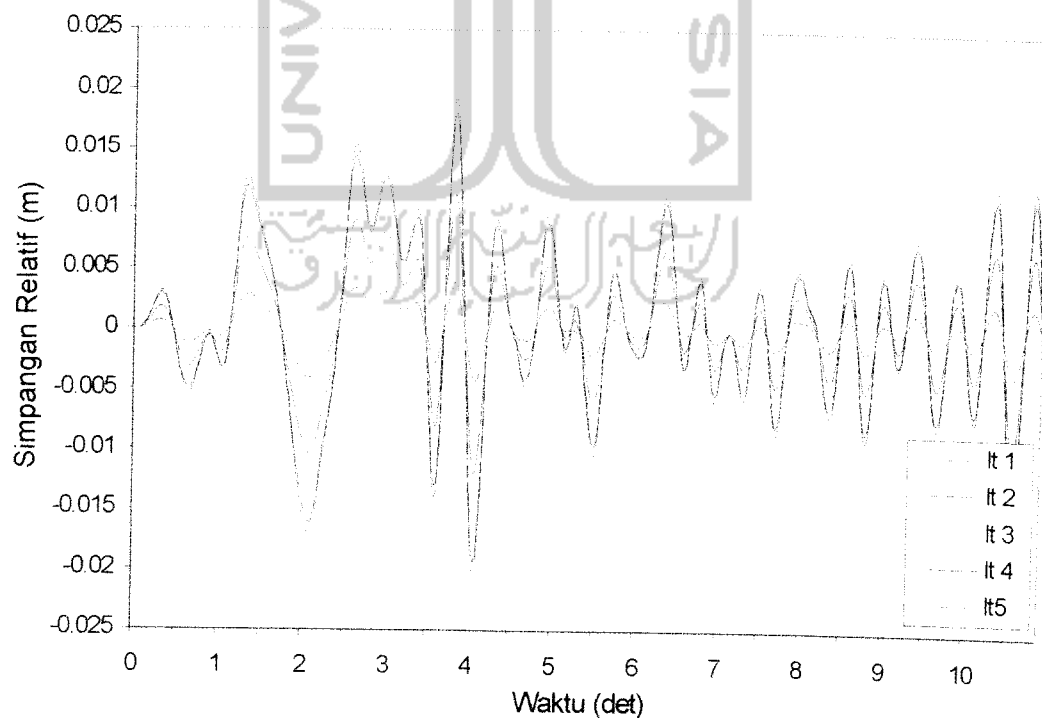
Hasil perhitungan  $z$  dengan analisa dinamik disajikan dalam Lampiran (Tabel 6).

Selanjutnya simpangan dihitung dengan persamaan,

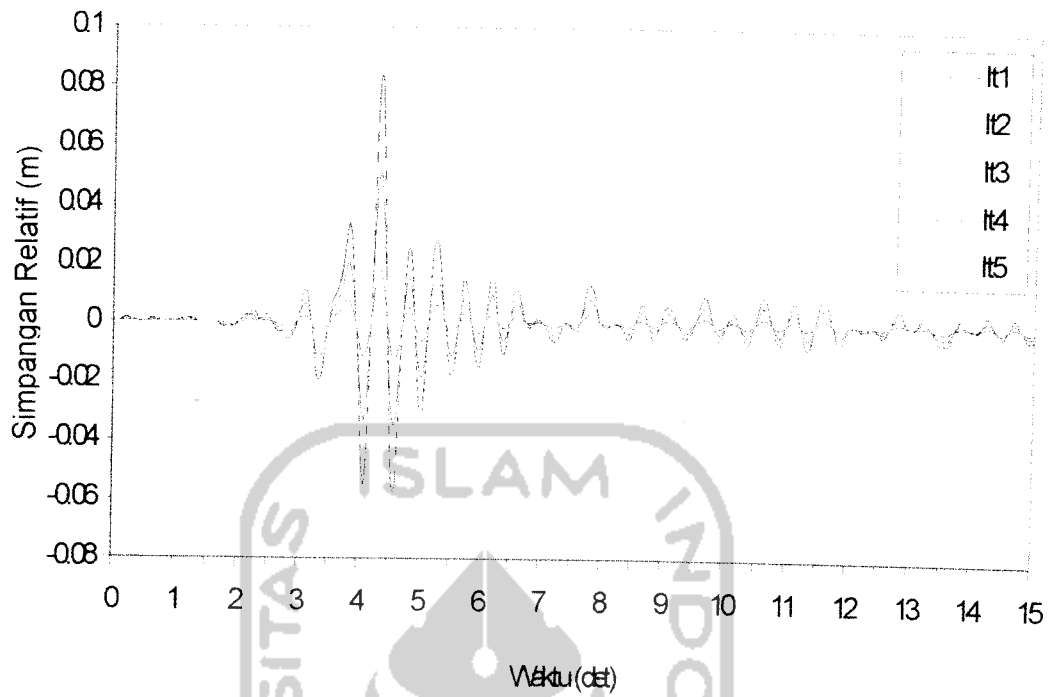
$$y_i(t) = \sum \phi_{ij} z_j(t) \quad (5.12)$$

Hasil perhitungan simpangan relatif lantai disajikan pada Lampiran (Tabel 7), kemudian dibuat grafik plot antara waktu lawan simpangan relatif lantai.

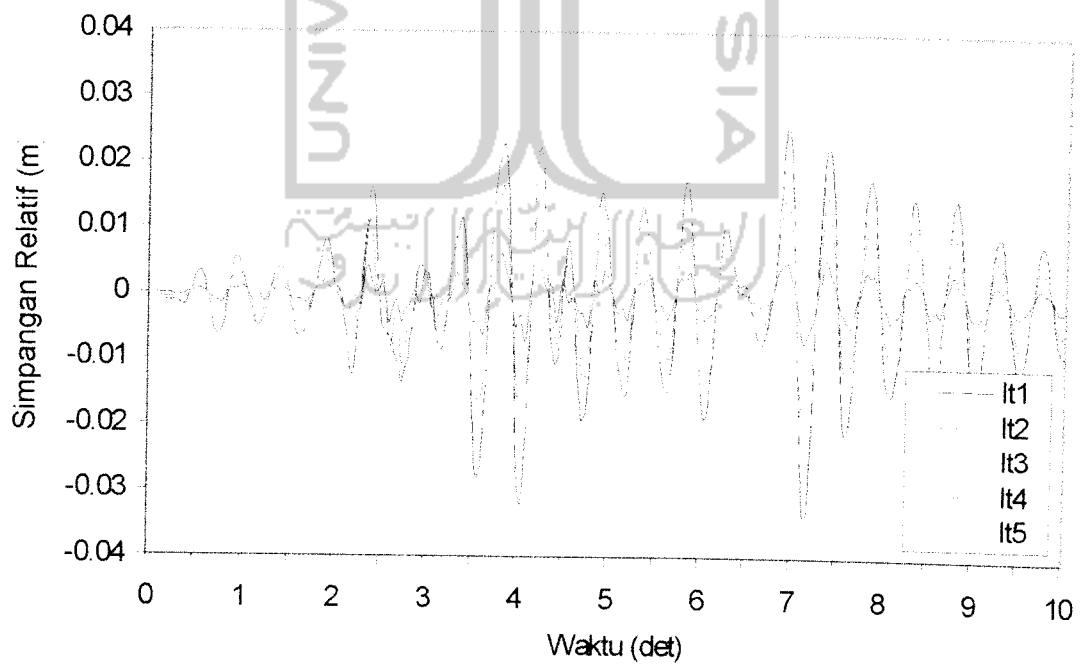
Gambar plot antara waktu dengan simpangan relatif lantai akibat gempa Bucharest, Parkfield, Koyna, dan El Centro dapat dilihat pada Gambar 5.3 sampai Gambar 5.6.



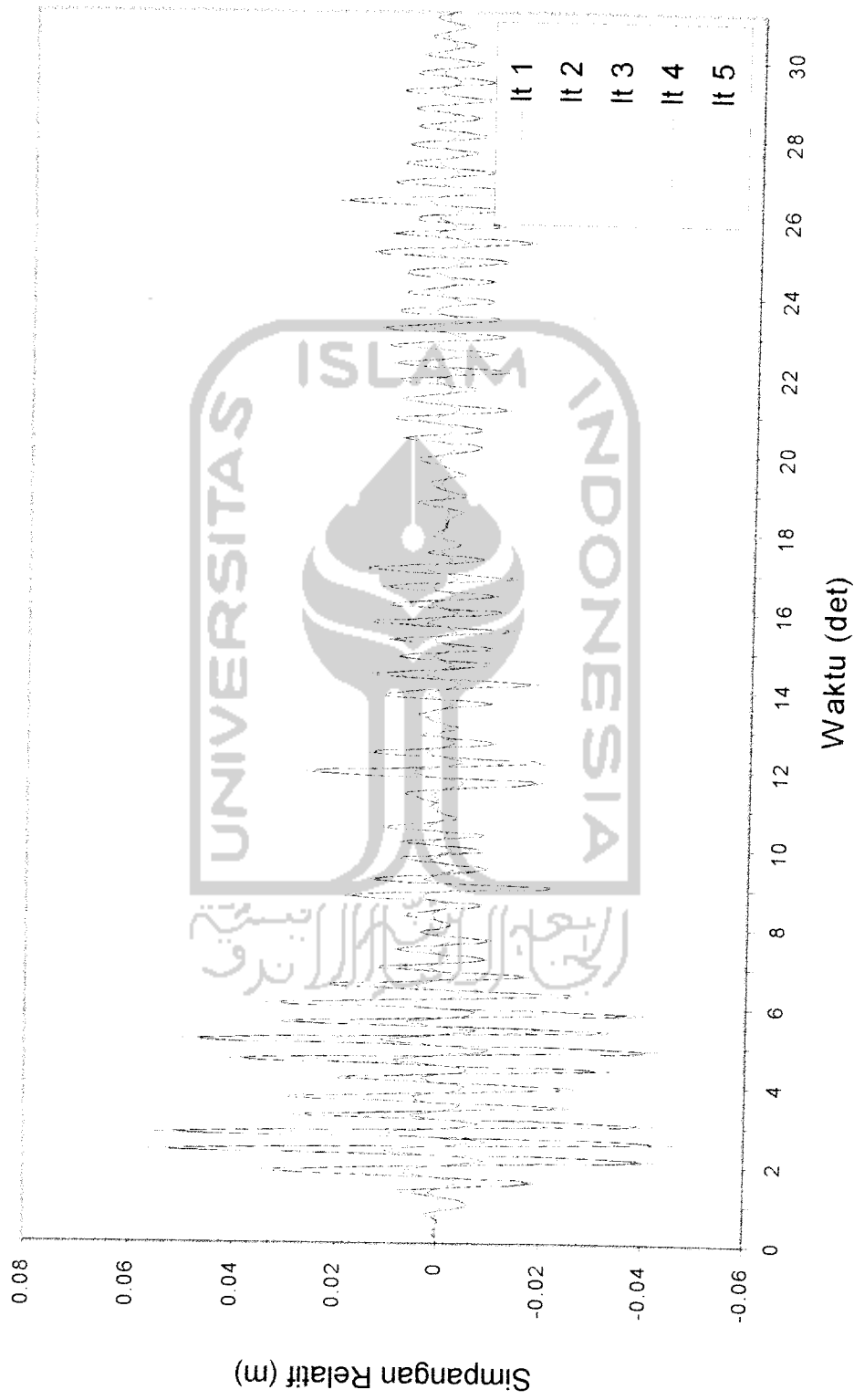
**Gambar 5.3** Simpangan relatif lantai akibat gempa Bucharest



Gambar 5.4 Simpangan relatif lantai akibat gempa Parkfield



Gambar 5.5 Simpangan relatif lantai akibat gempa Koyna



**Gambar 5.6** Simpangan relatif lantai akibat gempa El Centro

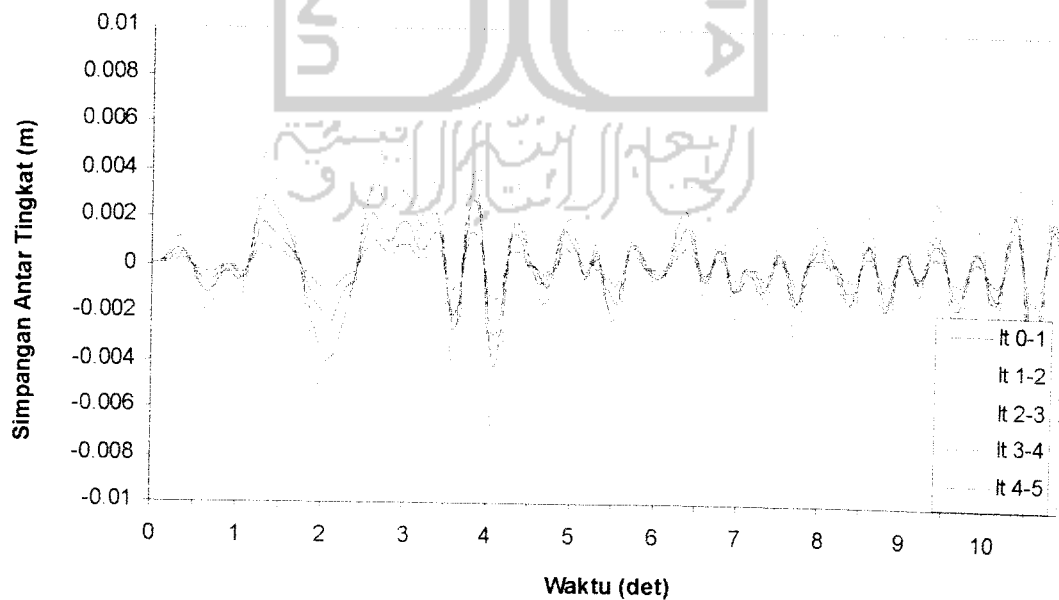
### 5.6 Perhitungan Simpangan Antar Tingkat (*Inter-story Drift*)

Simpangan antar tingkat adalah selisih simpangan relatif suatu lantai dengan simpangan relatif lantai dibawahnya pada waktu yang bersamaan. Besarnya nilai simpangan antar tingkat dapat dihitung dengan rumus :

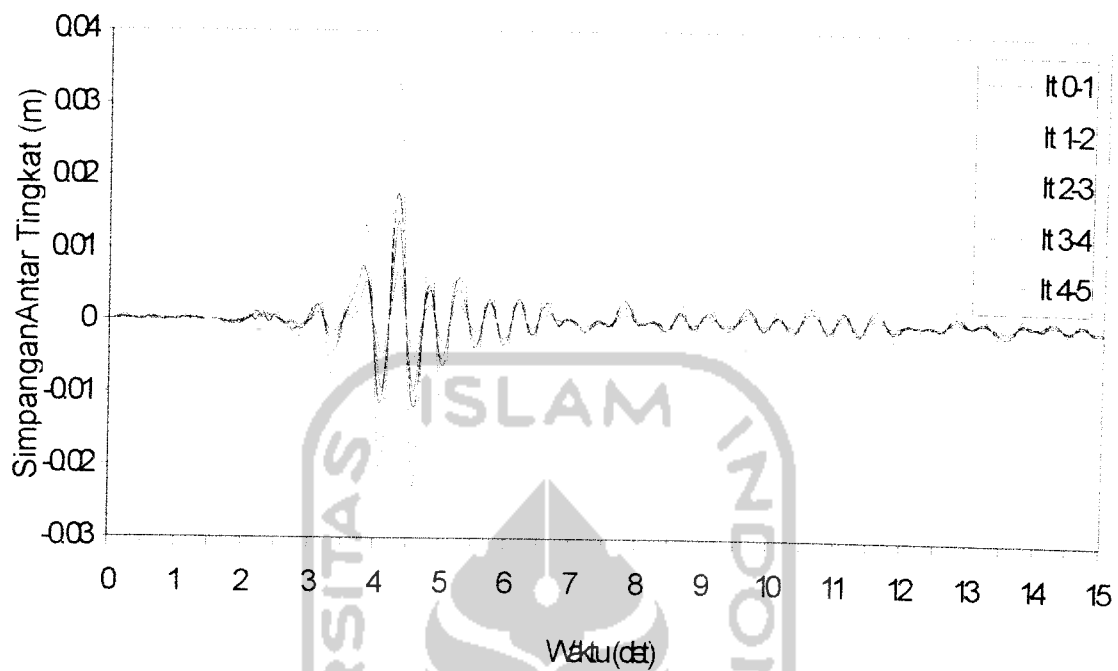
$$\Delta y_i(t) = y_i(t) - y_{i-1}(t) \quad (5.13)$$

dimana  $\Delta y_i(t)$  dan  $y_i(t)$  adalah simpangan antar tingkat dan simpangan relatif yang terjadi pada lantai ke- $i$  yang merupakan fungsi dari waktu.

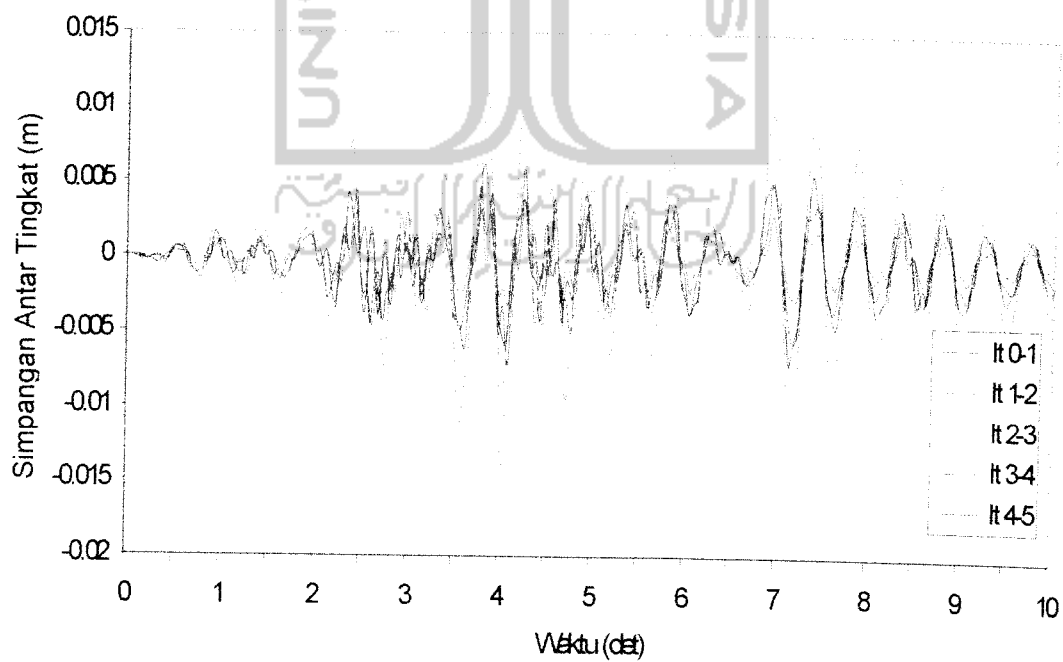
Contoh hasil perhitungan simpangan antar tingkat dapat dilihat pada Lampiran (Tabel 8) yang kemudian disajikan dalam bentuk grafik plot antara waktu lawan simpangan antar tingkat. Gambar plot simpangan antar tingkat akibat gempa Bucharest, Parkfield, Koyna, dan El Centro dapat dilihat pada Gambar 5.7 sampai Gambar 5.10.



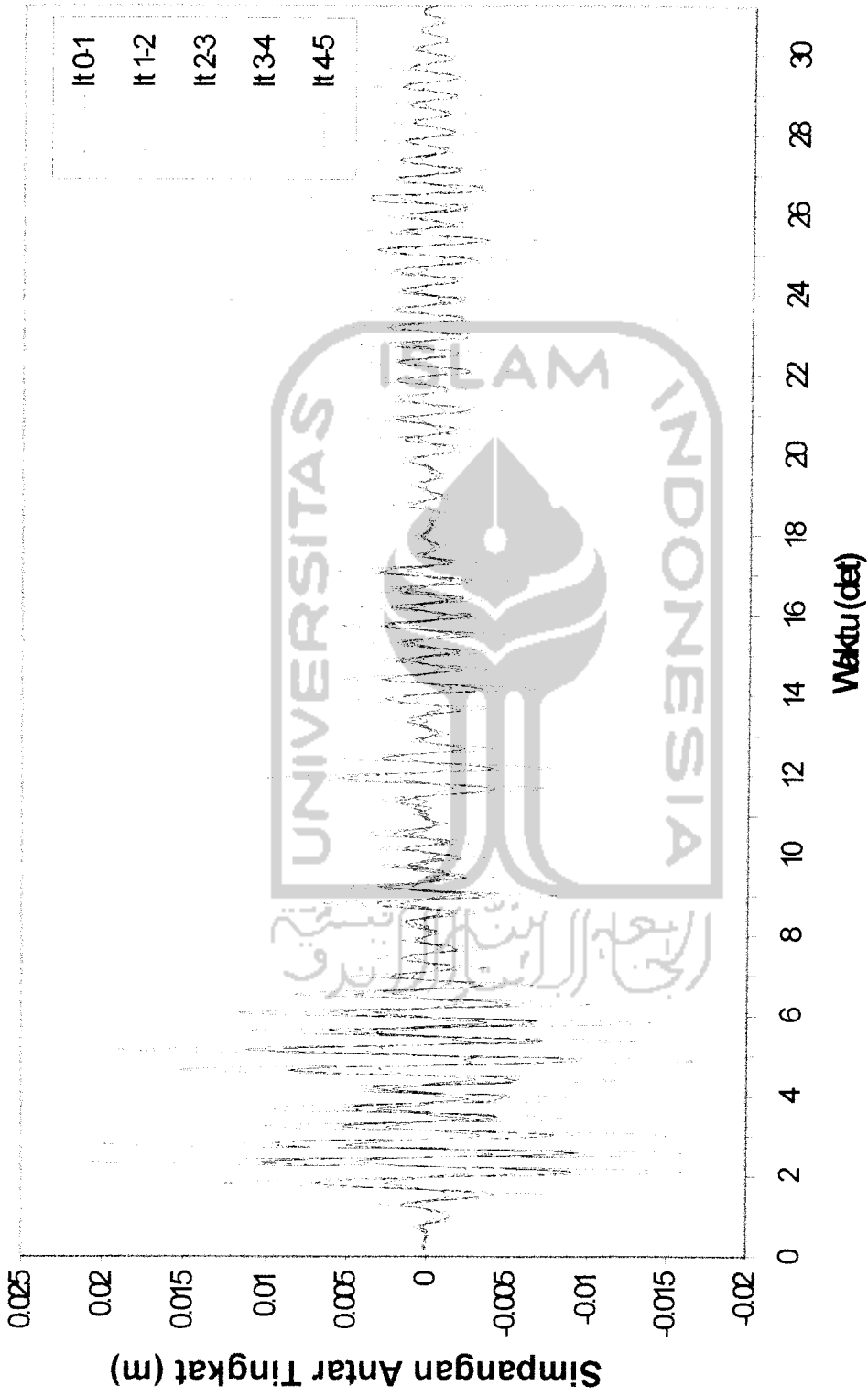
**Gambar 5.7** Simpangan antar tingkat akibat gempa Bucharest



**Gambar 5.8** Simpangan antar tingkat akibat gempa Parkfield



**Gambar 5.9** Simpangan antar tingkat akibat gempa Koyna



Gambar 5.10 Simpangan antar tingkat akibat gempa El centro

### 5.7 Perhitungan Gaya Geser Dasar

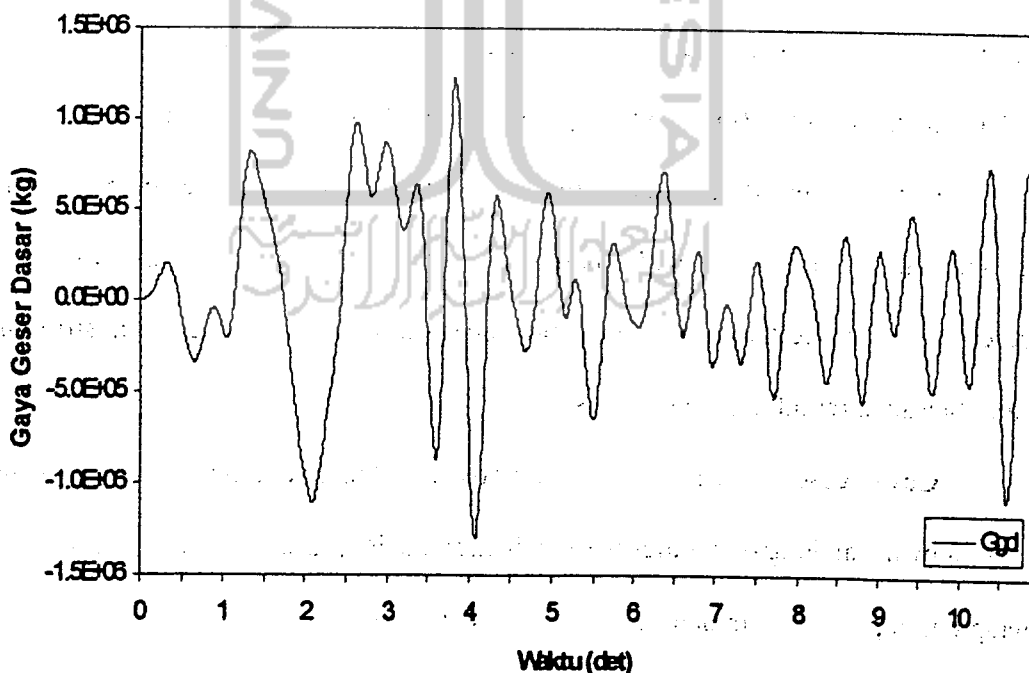
Gaya geser dasar adalah penjumlahan dari gaya lantai dari atas kebawah tetapi arahnya berlawanan dengan gaya lantai. Gaya lantai ( $F$ ) merupakan perkalian antara simpangan relatif lantai ( $y$ ) dengan kekakuan ( $k$ ) tiap tingkatnya.

$$F_i(t) = y_i(t) \cdot k_j \quad (5.14)$$

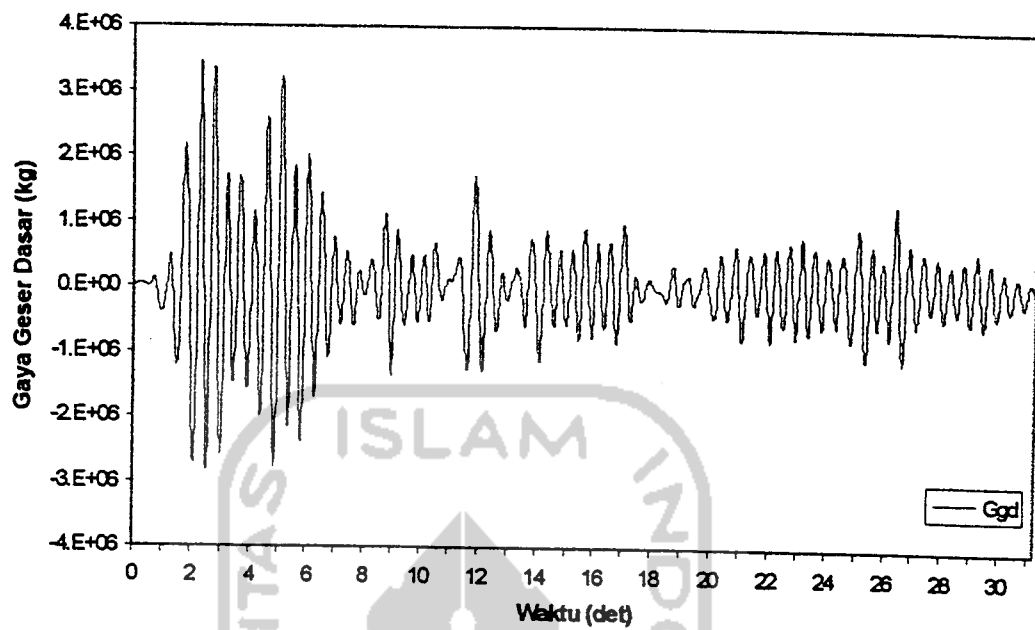
Sehingga gaya geser dasar ( $V$ ) dapat dihitung dengan rumus :

$$V(t) = -\sum_{i=1}^n F_i(t) \quad (5.15)$$

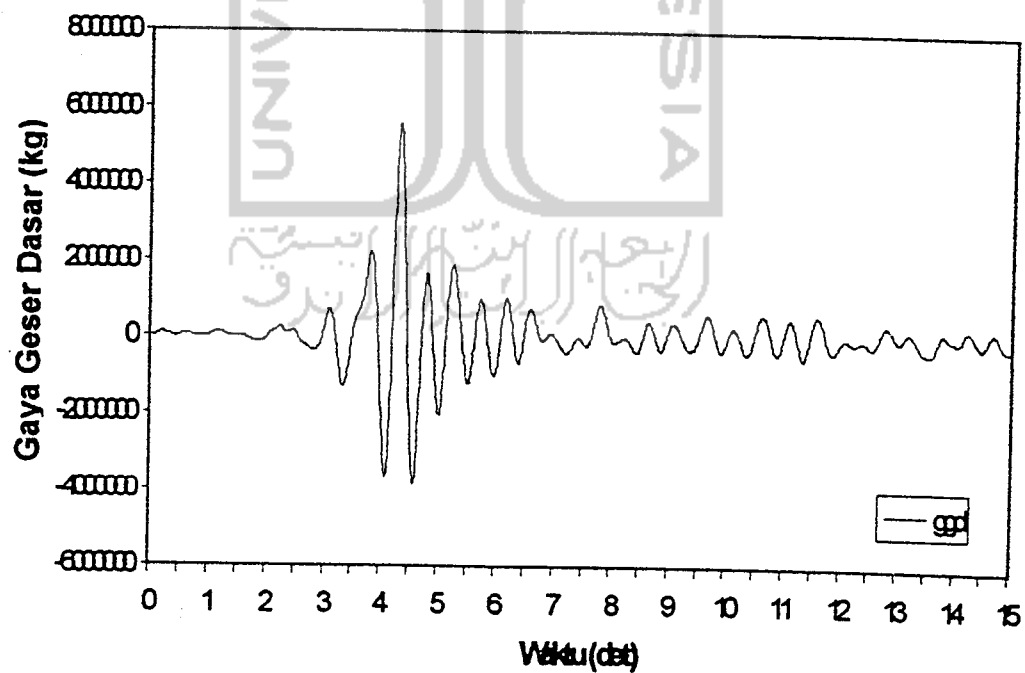
Contoh perhitungan gaya lantai dan gaya geser dasar dapat dilihat pada Lampiran (Tabel 9). Hasil gaya geser dasar akibat Gempa Bucharest, El Centro, Parkfield, dan Koyna diplotkan kedalam Gambar 5.11 sampai Gambar 5.14.



Gambar 5.11 Gaya geser dasar akibat gempa Bucharest

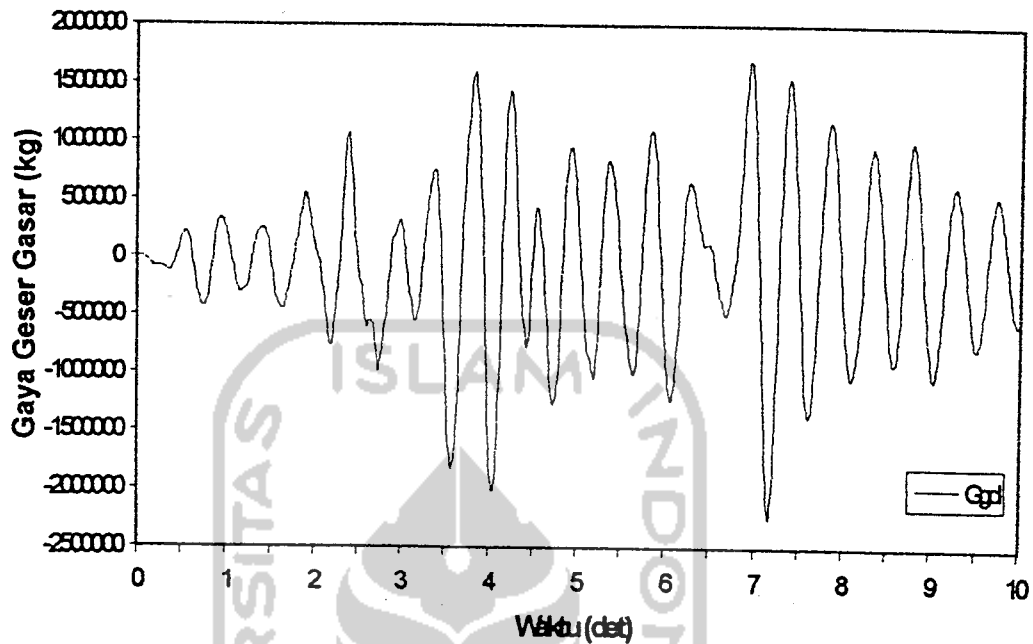


Gambar 5.12 Gaya geser dasar akibat gempa El Centro



Gambar 5.13 Gaya geser dasar akibat gempa Parkfield





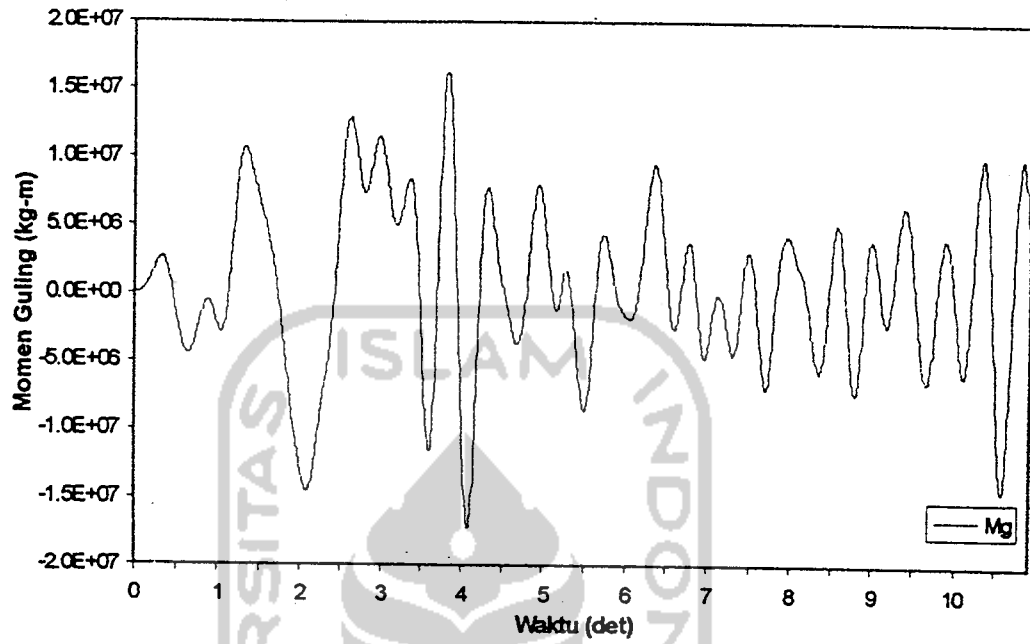
Gambar 5.14 Gaya geser dasar akibat gempa Koyana

### 5.8 Perhitungan Momen Guling

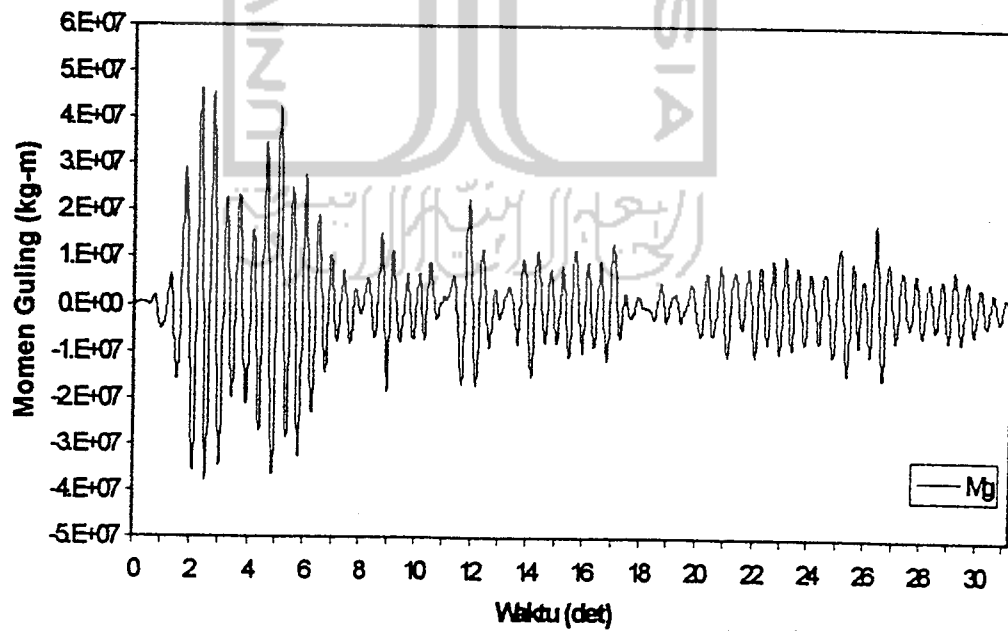
Momen guling ( $M_b$ ) merupakan penjumlahan dari perkalian antara gaya lantai ( $F$ ) dengan elevasi tingkat ( $h$ ), dimana rumus momen guling ( $M_b$ ) adalah:

$$M_b(t) = \sum_{i=1}^n F_i(t)h_i \quad (5.16)$$

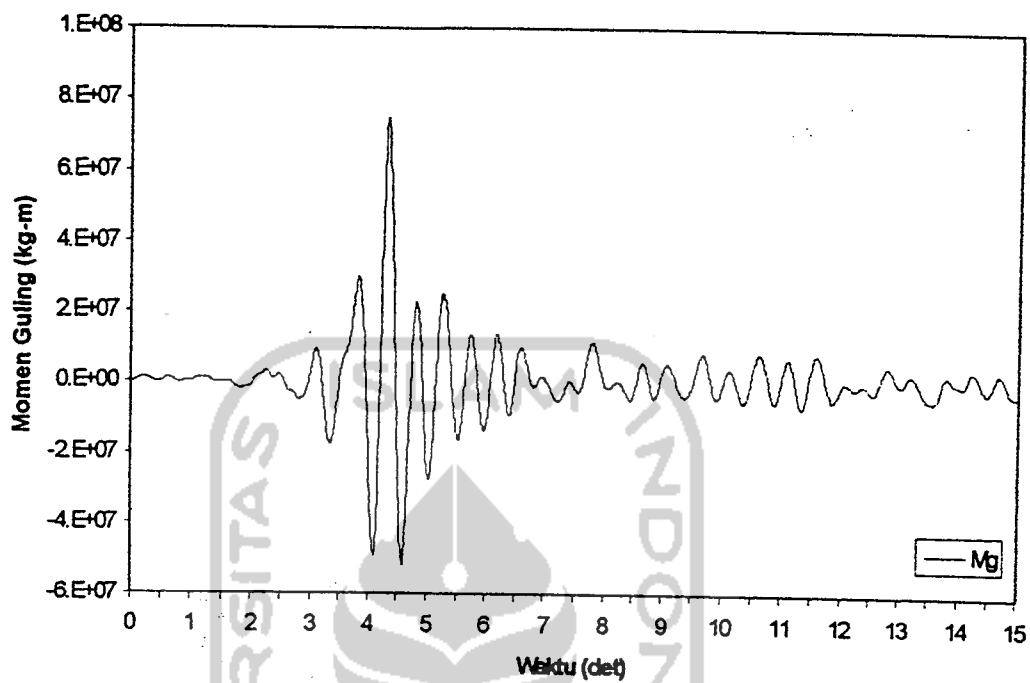
Contoh perhitungan momen guling dapat dilihat pada Lampiran (Tabel 11). Hasil momen guling akibat gempa Bucharest, Parkfield, El Centro, dan Koyana, dapat dilihat pada Gambar 5.15 sampai Gambar 5.18.



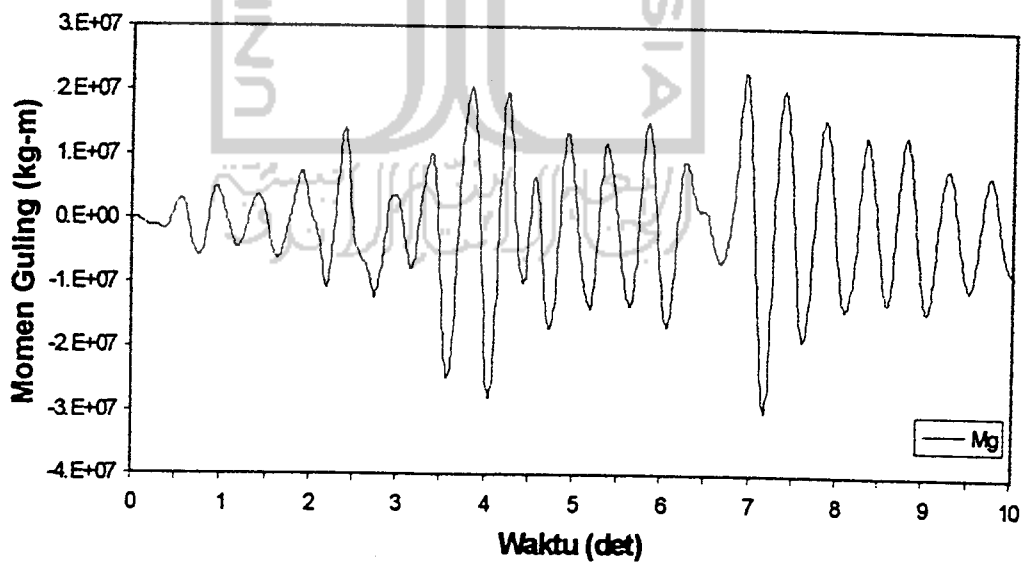
Gambar 5.15 Momen guling akibat gempa Bucharest



Gambar 5.16 Momen guling akibat gempa El Centro



Gambar 5.17 Momen guling akibat gempa Parkfield



Gambar 5.18 Momen guling akibat gempa Koyna

## 5.9 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 terkecil terhadap simpangan struktur.

Pada penelitian ini, kami mencoba memvariasikan kekakuan tingkat dari kekakuan asli (kekakuan 100%) dengan mengurangi kekakuan sampai 20% dan menaikkan kekakuan sampai 180% dengan interval 10%. Perubahan kekakuan yang diteliti dianggap terjadi pada semua tingkat secara serentak. Struktur dikenai beban gempa berupa riwayat waktu (*time history*) dari gempa Bucharest, El Centro, Parkfield, dan Koyna untuk mendapatkan simpangan, gaya geser dasar serta momen guling.

Di dalam buku Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung (PPTGIUG 1981) disyaratkan bahwa perbandingan antara simpangan antar tingkat dan tinggi tingkat yang bersangkutan tidak boleh melampaui 0.005, dengan catatan bahwa dalam segala hal simpangan antar tingkat yang terjadi tidak boleh lebih dari 2 cm. Syarat simpangan antar tingkat untuk gedung PT.Silkar berdasarkan PPTGIUG 1981 dapat dilihat pada Tabel 5.10.

**Tabel 5.10** Syarat simpangan antar tingkat menurut PPTGIUG 1981

Tingkat	Tinggi tingkat (m)	Simpangan antar tingkat (m)
1	3.35	0.01675
2	4.20	0.02100 $\approx$ 0.02
3	3.75	0.01875
4	3.75	0.01875
5	3.75	0.01875

### 5.9.1 Simpangan Relatif Lantai

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 terhadap variasi kekakuan tingkat. Pembahasan tentang nilai simpangan relatif lantai pada kekakuan tingkat yang menurun sampai 30% dan 20% dari kekakuan aslinya diabaikan karena pada kenyataannya kekakuan tingkat tersebut sudah sangat kecil sekali, sehingga dianggap tidak mungkin terjadi pada suatu struktur. Untuk pembahasan tentang pengaruh kedekatan kandungan frekuensi gempa dengan frekuensi struktur nilai frekuensi dari kekakuan tingkat 30% dan 20% masih tetap dipakai. Nilai simpangan relatif terbesar untuk setiap tingkat pada pembebanan dinamik tidak terjadi pada variasi tingkat yang sama, karena pembebanan dinamik tidak seperti beban statik yang semakin kaku suatu struktur maka akan semakin kecil pula simpangannya. Pembahasan tentang simpangan relatif lantai akibat beban gempa Bucharest, El Centro, Parkfield dan Koyna akan diuraikan sebagai berikut ini.

### 1. Simpangan relatif lantai akibat gempa Bucharest

Simpangan relatif lantai akibat gempa Bucharest dapat dilihat pada Tabel 5.11 yang dimanifestasikan dengan grafik pada Gambar 5.19. Dari Tabel 5.11 dan Gambar 5.19 tersebut dapat dilihat bahwa simpangan relatif yang terbesar untuk tingkat 2 sampai 5 terjadi pada variasi kekakuan 50%, sedangkan untuk tingkat 1 terjadi pada variasi kekakuan 40%.

Simpangan relatif lantai untuk penambahan kekakuan tingkat semakin mengecil, ini berarti sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin kaku suatu struktur maka simpangan yang terjadi akan semakin kecil. Simpangan relatif lantai untuk pengurangan kekakuan tingkat nilainya semakin membesar sampai variasi kekakuan 50% tetapi menurun pada variasi kekakuan 40%, sehingga tidak sesuai dengan teori diatas.

Simpangan absolut terbesar terjadi pada variasi kekakuan 50% sebesar 0.05439 m atau terjadi kenaikan sebesar 163.39% dari simpangan absolut pada kekakuan tingkat aslinya. Simpangan absolut yang disyaratkan oleh PPTGIUG 1981 untuk struktur tersebut adalah jumlah dari simpangan antar tingkat sebesar 0.093 m, jadi simpangan absolut dari struktur yang dikenai beban gempa Bucharest walaupun terjadi kenaikan sebesar 163.39% masih sesuai dengan syarat tersebut. Jauhnya perbedaan kandungan frekuensi gempa Bucharest yang mempunyai nilai sebesar 0.6422 Hz dengan frekuensi struktur pada kekakuan 50% sebesar 1.5346 Hz menyebabkan respon struktur tidak terlalu besar.

## **2. Simpangan relatif lantai akibat gempa El Centro**

Simpangan relatif lantai akibat gempa El Centro dapat dilihat pada Tabel 5.12 yang dimanifestasikan dengan grafik pada Gambar 5.20. Dari Tabel 5.12 dan Gambar 5.20 tersebut dapat dilihat bahwa simpangan relatif yang terbesar untuk tingkat 1, 4, dan 5 terjadi pada variasi kekakuan 50% serta untuk tingkat 2 dan 3 terjadi pada variasi kekakuan 60%.

Simpangan relatif lantai untuk penambahan kekakuan tingkat semakin mengecil dan pada pengurangan kekakuan tingkat cenderung membesar tetapi simpangan relatif lantai pada variasi kekakuan 40% lebih kecil dari variasi kekakuan 50%, hal ini mirip seperti pada pembebanan akibat gempa Bucharest.

Simpangan absolut terbesar terjadi pada variasi kekakuan 50% sebesar 0.087730 m atau terjadi kenaikan sebesar 56.1% dari simpangan absolut pada kekakuan aslinya. Simpangan absolut akibat beban gempa El Centro masih sesuai dengan yang disyaratkan oleh PPTGIUG 1981 yaitu kurang dari 0.093 m. Kandungan frekuensi gempa El Centro yang mempunyai nilai sebesar 0.96312 Hz jauh dari frekuensi struktur pada kekakuan tingkat 50% sebesar 1.5346 Hz, sehingga respon yang terjadi tidak terlalu besar.

## **3. Simpangan relatif lantai akibat gempa Parkfield**

Simpangan relatif lantai akibat gempa Parkfield dapat dilihat pada Tabel 5.13 yang dimanifestasikan dengan grafik pada Gambar 5.21. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa simpangan relatif yang terbesar untuk semua tingkat terjadi pada variasi kekakuan 40%.

Simpangan relatif lantai untuk penambahan kekakuan tingkat cenderung mengecil dan pada pengurangan kekakuan tingkat cenderung membesar sampai kekakuan tingkat 40%.

Simpangan absolut pada variasi kekakuan 90% sampai 40% tidak sesuai dengan syarat PPTGIUG 1981. Nilai simpangan absolut dari variasi kekakuan 90% sampai 40% berturut-turut adalah 0.100430 m, 0.115486 m, 0.135865, 0.161410 m, 0.201330 m, dan 0.216170 m, sedangkan syarat simpangan absolut untuk struktur tersebut sebesar 0.093 m. Simpangan absolut sudah tidak sesuai dengan syarat PPTGIUG 1981 pada saat simpangan absolut tersebut terjadi kenaikan sebesar 10.77% (variasi kekakuan tingkat 90%) dari simpangan absolut pada kekakuan tingkat asli.

Simpangan absolut terbesar terjadi pada variasi kekakuan 40% sebesar 0.21617 m atau terjadi kenaikan sebesar 138.43% dari simpangan absolut pada kekakuan aslinya. Kandungan frekuensi gempa Parkfield sebesar 1.1241 Hz mendekati frekuensi struktur pada variasi kekakuan tingkat 40% sebesar 1.3726 Hz, sehingga terjadi resonansi yaitu respon struktur menjadi maksimum. Pada variasi kekakuan tingkat 30% walaupun kandungan frekuensi gempa lebih mendekati frekuensi struktur tetapi nilai simpangannya lebih kecil dibandingkan dengan pada variasi kekakuan tingkat 40%. Hal ini disebabkan karena pendekatan kandungan frekuensi gempa dengan  $A/V$  rasio hanya merupakan suatu kecenderungan, karena pada penelitian kami walaupun pada variasi kekakuan tingkat 30% nilai kandungan frekuensi gempanya lebih mendekati frekuensi struktur tetapi nilai simpangannya tidak maksimum seperti pada variasi kekakuan



tingkat 40%. Simpangan absolut yang terlalu besar kemungkinan akan mengakibatkan terjadinya benturan dengan struktur yang didekatnya (*structural pounding*).

#### 4. Simpangan relatif lantai akibat gempa Koyna

Simpangan relatif lantai akibat gempa Koyna dapat dilihat pada Tabel 5.14 yang dimanifestasikan dengan grafik pada Gambar 5.22. Dari Gambar 5.22 dapat dilihat bahwa simpangan relatif lantai untuk penambahan kekakuan tingkat cenderung membentuk grafik parabolik yang mempunyai titik maksimum pada variasi kekakuan 150% (untuk tingkat 1, 3, 4, dan 5) dan variasi kekakuan 140% (untuk tingkat 2). Pada penurunan kekakuan tingkat grafik simpangan relatif lantai cenderung fluktuatif dan mempunyai beberapa titik maksimum diantaranya pada variasi kekakuan 80% (tingkat 2 sampai 5) dan variasi kekakuan 90% (tingkat 1) serta titik maksimum pada variasi kekakuan 40% (tingkat 1, 4, dan 5) dan variasi kekakuan 50% (tingkat 2 dan 3).

Nilai simpangan absolut dari masing-masing titik maksimum tersebut adalah pada variasi kekakuan tingkat 40% sebesar 0.06081 m (terjadi kenaikan sebesar 66.15% dari simpangan absolut pada kekakuan aslinya), variasi kekakuan 80% sebesar 0.04938 m (terjadi kenaikan sebesar 34.9% dari simpangan absolut pada kekakuan aslinya), dan variasi kekakuan 150% sebesar 0.04938 m (terjadi kenaikan sebesar 31.12% dari simpangan absolut pada kekakuan aslinya). Simpangan absolut yang terjadi akibat gempa Koyna kurang dari simpangan absolut yang disyaratkan yaitu 0.093 m.

Kandungan frekuensi gempa Koyna sebesar 3.46774 Hz jauh dari frekuensi struktur pada titik-titik maksimum tersebut, seperti pada variasi kekakuan 40%, 80% dan 150% yang mempunyai frekuensi struktur berturut-turut sebesar 1.3726 Hz, 1.9412 Hz, dan 2.658 Hz. Dengan melihat nilai tersebut maka dimungkinkan adanya dominasi beberapa kandungan frekuensi dalam satu gempa. Perbedaan frekuensi yang terlalu besar pada pembebanan dengan gempa Koyna akan menyebabkan respon struktur yang terjadi tidak maksimum.

Simpangan relatif lantai yang diakibatkan oleh gempa yang mempunyai kandungan frekuensi yang rendah (gempa Bucharest) dan sedang (gempa Parkfield dan El Centro) nilainya cenderung menurun beriringan dengan bertambahnya kekakuan tingkat, sedangkan untuk pengurangan kekakuan tingkat nilai simpangan relatif tingkatnya cenderung bertambah sampai suatu titik maksimal tertentu.

Simpangan relatif lantai yang diakibatkan oleh gempa yang mempunyai kandungan frekuensi yang tinggi (gempa Koyna) nilainya cenderung fluktuatif beriring dengan berubahnya kekakuan tingkat. Hal ini dimungkinkan karena adanya dominasi beberapa kandungan frekuensi dalam satu gempa.

### **5.9.2 Simpangan Antar Tingkat ( *Inter-story Drift* )**

Pola dari simpangan antar tingkat hampir sama dengan simpangan relatif lantai, karena simpangan antar tingkat merupakan selisih antara simpangan relatif suatu lantai dengan simpangan relatif lantai dibawahnya. Pembahasan simpangan antar tingkat akibat beban gempa Bucharest, El Centro, Parkfield dan Koyna akan diuraikan sebagai berikut ini.

### **1. Simpangan antar tingkat akibat gempa Bucharest**

Simpangan antar tingkat akibat gempa Bucharest dapat dilihat pada Tabel 5.15 yang dimanifestasikan dengan grafik pada Gambar 5.23. Simpangan antar tingkat akibat beban gempa Bucharest terbesar terjadi pada tingkat 2 (variasi kekakuan 50%) sebesar 0.020462 m. Simpangan antar tingkat tersebut tidak sesuai dengan syarat PPTGIUG 1981 pada tingkat tersebut yaitu 0.02 m

### **2. Simpangan antar tingkat akibat gempa El Centro**

Simpangan antar tingkat akibat gempa El Centro dapat dilihat pada Tabel 5.16 yang dimanifestasikan dengan grafik pada Gambar 5.24. Dari Tabel 5.16 nilai simpangan antar tingkat pada tingkat 2 dengan kekakuan tingkat asli (100%) sampai 40% nilainya berturut-turut 0.020755 m, 0.024666 m, 0.027948 m, 0.029500 m, 0.031770 m, 0.031260 m, dan 0.028410 m lebih dari syarat pada Tabel 5.10 yaitu 0.02 m. Simpangan antar tingkat pada tingkat 3 pada variasi kekakuan 60% sampai 40% nilainya berturut-turut 0.019390 m, 0.020170 m, dan 0.019230 lebih dari syarat pada Tabel 5.10 sebesar 0.01875 m.

### **3. Simpangan antar tingkat akibat gempa Parkfield**

Simpangan antar tingkat gempa Parkfield dapat dilihat pada Tabel 5.17 yang dimanifestasikan dalam grafik pada Gambar 5.25. Simpangan antar tingkat pada kekakuan asli (100%) sampai variasi 40% untuk simpangan antar tingkat 1 nilainya berturut-turut 0.017651 m, 0.019530 m, 0.022529 m, 0.026589 m, 0.032060 m, 0.038530 m, dan 0.043690 m lebih besar dari 0.01675 m (Tabel 5.10). Pada variasi kekakuan 140% sampai 40% untuk simpangan antar tingkat 2 nilainya berturut-turut 0.021531 m, 0.024577 m, 0.027363 m, 0.030058 m,

0.032763 m, 0.036330 m, 0.041797 m, 0.049456 m, 0.059430 m, 0.073736 m, dan 0.078755 m lebih dari yang disyaratkan pada Tabel 5.10 yaitu 0.02 m. Pada kekakuan asli (100%) sampai variasi kekakuan 40% untuk simpangan antar tingkat 3 nilainya berturut-turut 0.019431 m, 0.021487 m, 0.024667 m, 0.029033 m, 0.034412 m, 0.043373 m, 0.045439 m lebih dari syarat pada Tabel 5.10 yaitu 0.01875 m. Pada variasi kekakuan 70% sampai 40% untuk simpangan antar tingkat 4 nilainya berturut-turut 0.020589 m, 0.023845 m, 0.030565 m, dan 0.032290 m lebih dari syarat pada Tabel 5.10 yaitu 0.01875 m.

#### **4. Simpangan antar tingkat akibat gempa Koyna**

Simpangan antar tingkat akibat gempa Koyna dapat dilihat pada Tabel 5.18 yang dimanifestasikan dalam grafik pada Gambar 5.26. Simpangan antar tingkat 2 untuk variasi kekakuan 60% sampai 40% tidak memenuhi persyaratan PPTGIUG 1981 (Tabel 5.10) karena lebih besar dari 0.02 m, berturut-turut nilainya yaitu 0.021230 m, 0.023627 m, dan 0.022092 m.

Simpangan antar tingkat yang lebih besar pada suatu tingkat dibandingkan dengan tingkat yang lainnya dapat mengakibatkan terjadinya efek perlemahan tingkat (*soft-story effect*). Dalam penelitian ini kemungkinan terjadinya efek perlemahan tingkat terjadi pada tingkat 2. Hal ini dimungkinkan karena perbedaan kekakuan dan tinggi tingkat yang terlampaui besar antara tingkat yang satu dengan tingkat yang dibawahnya.

Nilai simpangan antar tingkat yang diakibatkan oleh pembebanan dinamik dari 4 gempa yang mempunyai kandungan frekuensi berbeda, polanya sama seperti pada simpangan relatif lantai.

### 5.9.3 Gaya Geser Dasar

Nilai gaya lantai dipengaruhi oleh simpangan relatif lantai dan kekakuan tingkat. Pola gaya lantai untuk semua beban gempa relatif sama dimana gaya lantai semakin kecil pada lantai yang lebih rendah. Dalam penelitian yang kami lakukan ternyata hasil dari gaya geser dasar yang disebabkan oleh variasi kekakuan cenderung fluktuatif dan pengaruh perubahan kekakuan tingkat tersebut tidak seperti yang ada didalam hipotesis. Dalam hipotesis dinyatakan bahwa perubahan nilai kekakuan tingkat akan berbanding lurus dengan kapasitas gaya geser suatu struktur.

Besarnya gaya geser dasar merupakan penjumlahan dari gaya lantai akan tetapi arahnya berlawanan dengan gaya lantai. Pembahasan tentang gaya geser dasar akibat beban gempa Bucharest, El Centro, Parkfield dan Koyna akan diuraikan sebagai berikut ini.

#### 1. Gaya geser dasar akibat gempa Bucharest

Gaya geser dasar akibat gempa Bucharest dapat dilihat pada Tabel 5.19 yang dimanifestasikan dalam grafik pada Gambar 5.27. Dengan naiknya nilai kekakuan dari 100% sampai 180% gaya geser dasar mengalami perubahan yang fluktuatif, begitu pula dengan menurunnya nilai kekakuan dari 100% sampai 40%. Gaya geser dasar terbesar akibat gempa Bucharest terjadi pada variasi kekakuan 50% sebesar 1698715 kg atau terjadi kenaikan sebesar 31.06% dari gaya geser dasar pada kekakuan tingkat aslinya (100%).

## 2. Gaya geser dasar akibat gempa El Centro

Gaya geser dasar akibat gempa El Centro dapat dilihat pada Tabel 5.19 yang dimanifestasikan dalam grafik pada Gambar 5.27. Dengan memakai beban gempa berupa *time history* naiknya nilai kekakuan dari 110% sampai 160% gaya geser dasarnya mengalami penurunan dan pada variasi kekakuan 170% sampai 180% mengalami kenaikan, sedangkan dengan menurunnya variasi kekakuan dari 100% sampai 40% terlihat bahwa gaya geser dasar membentuk grafik parabolik yang mempunyai nilai maksimum pada variasi kekakuan 80% sebesar 3735475.7 kg atau terjadi kenaikan sebesar 7.34% dari gaya geser dasar pada kekakuan tingkat aslinya (100%).

## 3. Gaya geser dasar akibat gempa Parkfield

Gaya geser dasar akibat gempa Parkfield dapat dilihat pada Tabel 5.19 yang dimanifestasikan dalam grafik pada Gambar 5.27. Dengan memakai beban gempa berupa *time history*, naiknya variasi kekakuan dari 100% sampai 180% yang dikenai beban gempa Parkfield gaya geser dasarnya mengalami penurunan yang tidak linear. Pada pengurangan kekakuan terlihat bahwa nilai gaya geser dasar mengalami kenaikan dari variasi kekakuan 100% sampai 50%, tetapi kemudian menurun kembali pada variasi kekakuan 40%. Hasil ini tidak sesuai dengan hipotesis awal bahwa semakin kaku suatu struktur akan mengakibatkan gaya geser dasar yang bertambah besar. Gaya geser dasar terbesar akibat gempa Parkfield terjadi pada variasi kekakuan 50% sebesar 6203081 kg atau terjadi kenaikan sebesar 10.12% dari kekakuan tingkat aslinya (100%).

#### 4. Gaya geser dasar akibat gempa Koyna

Gaya geser dasar akibat gempa Koyna dapat dilihat pada Tabel 5.19 yang dimanifestasikan dalam grafik pada Gambar 5.27. Dengan bertambahnya kekakuan terlihat bahwa nilai gaya geser dasar membentuk grafik parabolik dari variasi kekakuan 110% sampai 180% dan mempunyai nilai maksimum pada variasi kekakuan 160%, begitu pula pada penurunan kekakuan yang terlihat pada variasi kekakuan 100% sampai 70% yang mempunyai nilai maksimum pada variasi kekakuan 90%. Gaya geser dasar kembali menaik pada variasi kekakuan 60% dan kemudian menurun lagi sampai variasi kekakuan 40%.

Gaya geser dasar terbesar akibat gempa Koyna terjadi pada variasi kekakuan 160% sebesar 4620348.8 kg atau terjadi kenaikan sebesar 103.37% dari kekakuan aslinya (100%) yang mempunyai nilai sebesar 2271848 kg.

Gaya geser dasar yang terbesar terjadi pada pembebanan dengan menggunakan gempa Parkfield dibandingkan dengan gempa yang lainnya. Gaya geser dasar yang terlalu besar dapat menyebabkan kerusakan geser pada struktur, yang biasanya terjadi pada lantai dasar.

Gaya geser dasar untuk pembebanan dinamik akibat gempa yang mempunyai kandungan frekuensi rendah (gempa Bucharest) nilainya cenderung tetap untuk penambahan dan pengurangan kekakuan.

Gempa yang mempunyai kandungan frekuensi sedang (gempa Parkfield dan El Centro) nilai gaya geser dasarnya cenderung menurun pada saat kekakuan tingkat bertambah dan cenderung mengalami kenaikan pada saat kekakuan tingkat mengalami penurunan walaupun nilai gaya geser dasar tersebut mengalami

penurunan kembali. Untuk gempa El Centro penurunan kembali gaya geser dasar pada variasi kekakuan 70% kebawah dan untuk gempa Parkfield penurunan kembali gaya geser dasar pada variasi kekakuan 40% ke bawah.

Gaya geser dasar untuk pembebanan dinamik dengan beban gempa yang mempunyai kandungan frekuensi tinggi (gempa Koyna) cenderung mengalami kenaikan pada saat kekakuan tingkat bertambah dan pada saat kekakuan tingkat berkurang nilai gaya geser dasarnya cenderung berkurang pula.

#### **5.9.4 Momen Guling**

Momen guling dipengaruhi oleh gaya lantai dan elevasi lantai, dimana besarnya momen guling merupakan penjumlahan dari hasil kali antara gaya setiap lantai dengan elevasi lantainya.

Pembahasan tentang momen guling akibat beban gempa Bucharest, El Centro, Parkfield dan Koyna akan diuraikan sebagai berikut ini.

##### **1. Momen guling akibat gempa Bucharest**

Momen guling akibat gempa Bucharest dapat dilihat pada Tabel 5.20 yang dimanifestasikan dalam grafik pada Gambar 5.28. Dengan naiknya variasi kekakuan tingkat dari 100% sampai 180% gaya geser dasar mengalami perubahan yang fluktuatif, begitu pula dengan menurunnya variasi kekakuan tingkat dari 100% sampai 40%. Momen guling terbesar akibat gempa Bucharest terjadi pada variasi kekakuan tingkat 50% sebesar 22694268 kg-m atau terjadi kenaikan sebesar 31.45% dari momen guling pada kekakuan tingkat aslinya (100%).



## 2. Momen guling akibat gempa El Centro

Momen guling akibat gempa El Centro dapat dilihat pada Tabel 5.20 yang dimanifestasikan dalam grafik pada Gambar 5.28. Bertambahnya kekakuan tingkat dari variasi kekakuan 110% sampai 160% nilai momen guling mengalami penurunan tetapi pada variasi kekakuan tingkat 170% sampai 180% mengalami kenaikan, sedangkan dengan berkurangnya nilai kekakuan tingkat dari kekakuan tingkat asli (100%) sampai 40% terlihat bahwa momen guling membentuk grafik parabolik yang mempunyai nilai maksimum pada variasi kekakuan tingkat 80%. Nilai momen guling terbesar terjadi pada variasi kekakuan tingkat 80% sebesar 50470672 kg-m atau terjadi kenaikan sebesar 8.5% dari momen guling pada kekakuan tingkat aslinya (100%).

## 3. Momen guling akibat gempa Parkfield

Momen guling akibat gempa Parkfield dapat dilihat pada Tabel 5.20 yang dimanifestasikan dalam grafik pada Gambar 5.28. Dengan bertambahnya kekakuan tingkat dari variasi kekakuan 100% sampai 180% yang dikenai beban gempa Parkfield nilai momen guling mengalami penurunan, sedangkan dengan berkurangnya kekakuan tingkat dari variasi kekakuan tingkat 100% sampai 50% nilai momen guling mengalami kenaikan dan kembali menurun pada variasi kekakuan tingkat 40%.

Momen guling terbesar akibat gempa Parkfield terjadi pada variasi kekakuan tingkat 50% sebesar 83225127 kg-m atau terjadi kenaikan sebesar 10.635% dari momen guling pada kekakuan tingkat aslinya (100%).

#### 4. Momen guling akibat gempa Koyna

Momen Guling akibat gempa Koyna dapat dilihat pada Tabel 5.20 yang dimanifestasikan dalam grafik pada Gambar 5.28. Bertambahnya kekakuan tingkat dari variasi kekakuan tingkat 110% sampai 180% nilai momen guling membentuk grafik parabolik yang mempunyai titik maksimum pada variasi kekakuan tingkat 160%, begitu pula pada penurunan kekakuan tingkat dari variasi kekakuan tingkat 100% sampai 70% yang mempunyai titik maksimum pada variasi kekakuan tingkat 90%. Pada variasi kekakuan tingkat 60% nilai momen guling mengalami kenaikan tetapi menurun kembali sampai variasi kekakuan tingkat 40%.

Momen guling terbesar akibat gempa Koyna terjadi pada variasi kekakuan tingkat 160% sebesar 61456916 kg-m atau terjadi kenaikan sebesar 102.185% dari momen guling pada kekakuan tingkat aslinya (100%).

Dari penelitian ini didapatkan nilai momen guling yang tidak sesuai dengan hipotesis awal yang menyatakan bahwa semakin kaku suatu struktur maka nilai momen guling akan bertambah besar.

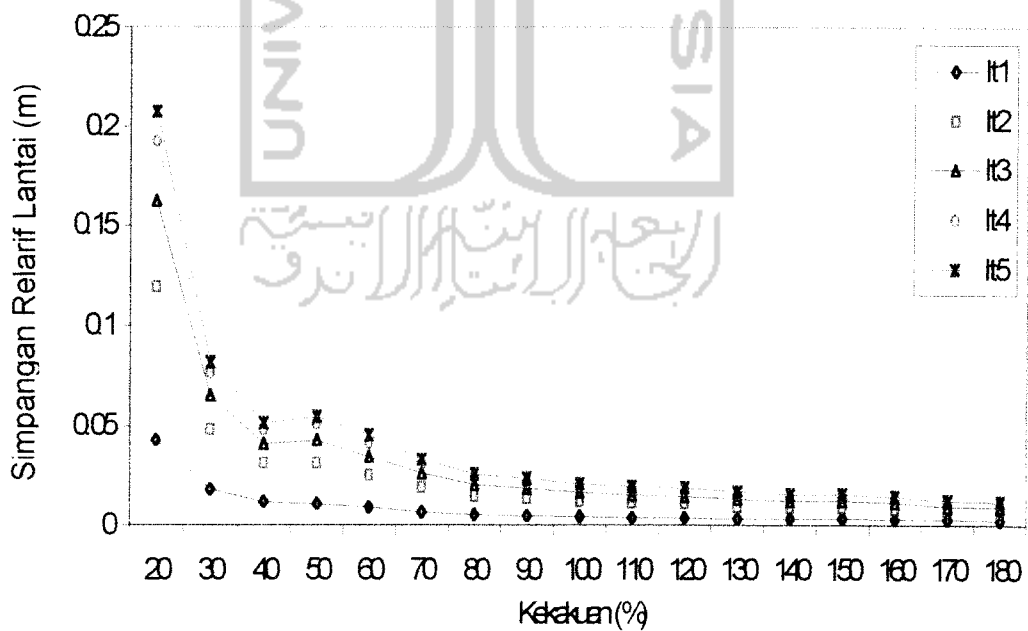
Momen guling terbesar terjadi pada pembebanan dengan menggunakan gempa Parkfield dibandingkan dengan gempa yang lainnya. Momen guling yang terlalu besar akan berpengaruh pada kestabilan dari struktur, dan akan berpengaruh pada perencanaan pondasi. Agar gedung terhindar dari bahaya guling maka pondasi harus dibuat lebih kuat dan pendetailan yang cermat, sehingga hal ini akan memerlukan biaya yang relatif lebih mahal dan waktu yang relatif lebih lama.

Perubahan momen guling yang diakibatkan oleh pembebanan dinamik dari 4 gempa yang mempunyai kandungan frekuensi yang berbeda polanya sama seperti pada gaya geser dasar.



Tabel 5.11 Simpangan relatif lantai maksimum akibat gempa Bucharest

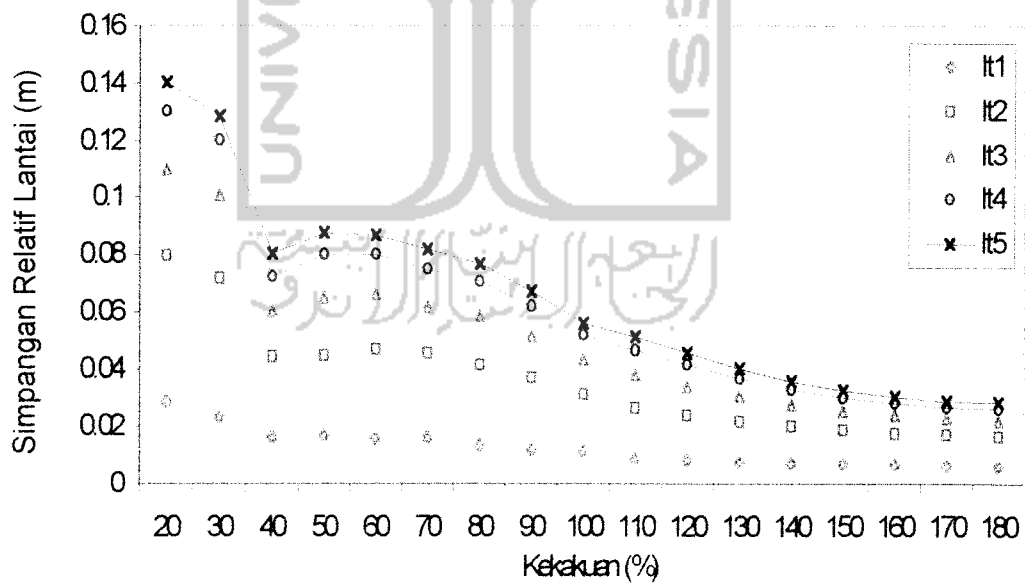
Kekakuan (%)	$y_1$ (m)	$y_2$ (m)	$y_3$ (m)	$y_4$ (m)	$y_5$ (m)
20	0.042815	0.119060	0.162555	0.192653	0.207392
30	0.018080	0.048250	0.064880	0.076040	0.081430
40	0.011890	0.030860	0.041140	0.047940	0.051180
50	0.010780	0.031240	0.042900	0.050720	0.054390
60	0.008770	0.024880	0.034490	0.041610	0.045360
70	0.006667	0.018884	0.025808	0.030526	0.032806
80	0.005220	0.014670	0.020070	0.023780	0.025580
90	0.004750	0.013440	0.018380	0.021720	0.023320
100	0.004240	0.011980	0.016330	0.019250	0.020650
110	0.003963	0.011157	0.015230	0.018035	0.019391
120	0.003781	0.010676	0.014620	0.017370	0.018719
130	0.003393	0.009599	0.013158	0.015688	0.016963
140	0.003140	0.008770	0.012061	0.014430	0.015640
150	0.003230	0.009060	0.012380	0.014650	0.015760
160	0.002900	0.008190	0.011170	0.013140	0.014060
170	0.002630	0.007020	0.009610	0.011360	0.012190
180	0.002520	0.006752	0.009127	0.010751	0.011544



Gambar 5.19 Simpangan relatif maksimum akibat gempa Bucharest

Tabel 5.12 Simpangan relatif lantai akibat gempa El Centro

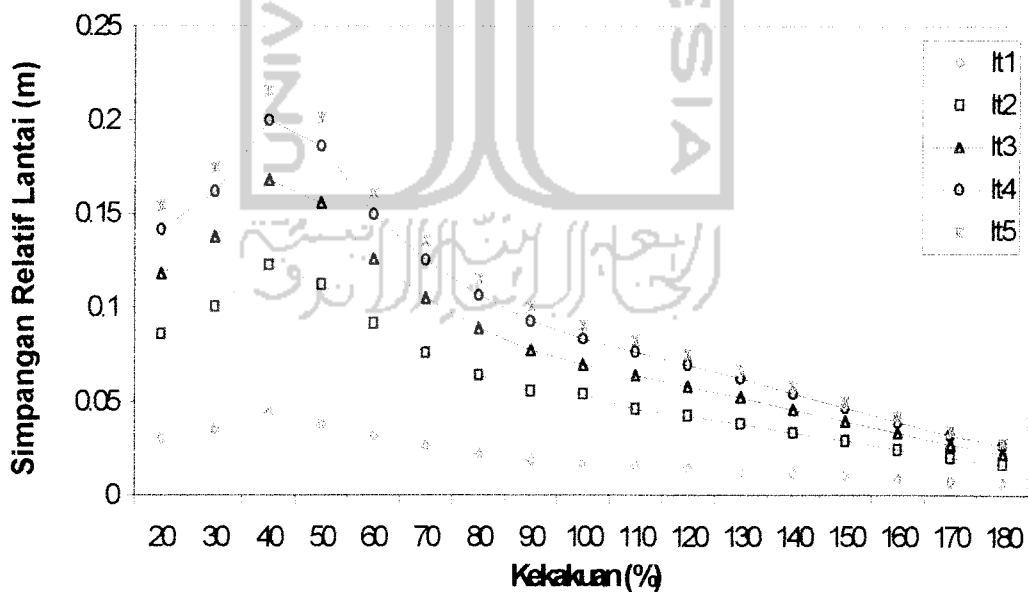
Kekakuan (%)	$y_1$ (m)	$y_2$ (m)	$y_3$ (m)	$y_4$ (m)	$y_5$ (m)
20	0.028730	0.079820	0.109710	0.130330	0.140180
30	0.023290	0.071580	0.100720	0.120180	0.128560
40	0.016260	0.044250	0.060090	0.072380	0.080460
50	0.016748	0.044740	0.064910	0.080020	0.087730
60	0.016092	0.046730	0.066120	0.079930	0.086750
70	0.016161	0.045581	0.061599	0.074981	0.081921
80	0.013596	0.041544	0.058539	0.070789	0.076937
90	0.012165	0.036831	0.051661	0.062164	0.067344
100	0.011445	0.031096	0.043421	0.052019	0.056208
110	0.008807	0.026494	0.037874	0.046635	0.051251
120	0.008268	0.023775	0.033741	0.041416	0.045517
130	0.007755	0.021615	0.030218	0.036729	0.040230
140	0.007212	0.020022	0.027424	0.032782	0.035600
150	0.006940	0.018774	0.025230	0.029954	0.032609
160	0.006542	0.017613	0.023807	0.028079	0.030229
170	0.006378	0.017197	0.022965	0.026626	0.028730
180	0.006039	0.016526	0.022062	0.026040	0.028220



Gambar 5.20 Simpangan relatif maksimum akibat gempa El Centro

Tabel 5.13 Simpangan relatif lantai akibat gempa Parkfield

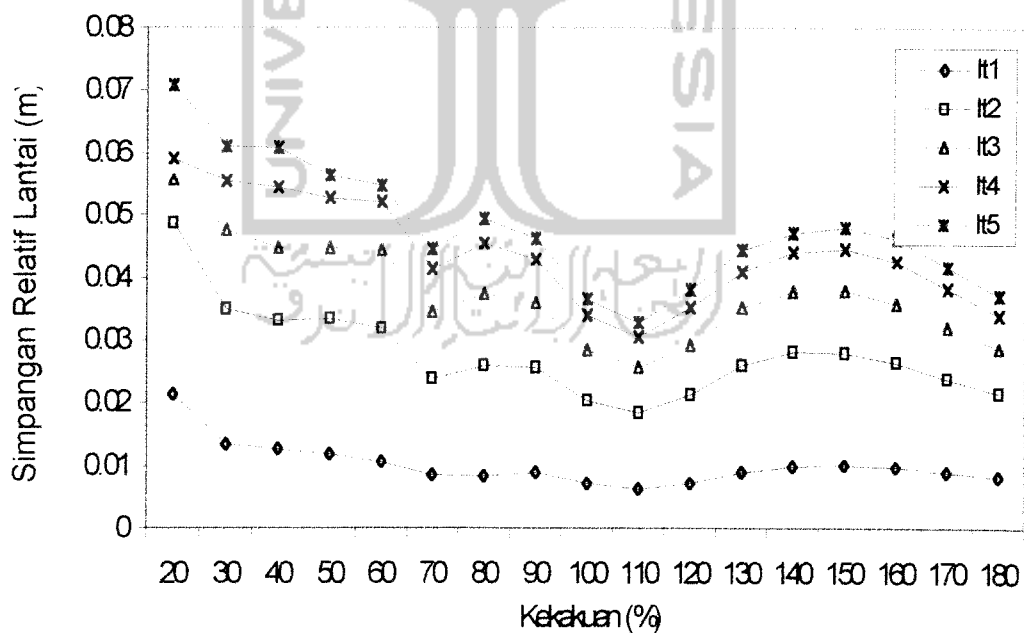
Kekakuan (%)	$y_1$ (m)	$y_2$ (m)	$y_3$ (m)	$y_4$ (m)	$y_5$ (m)
20	0.030518	0.085723	0.118113	0.141739	0.154019
30	0.035421	0.100470	0.137540	0.161782	0.175077
40	0.043690	0.122450	0.167760	0.199840	0.216170
50	0.038530	0.112220	0.155600	0.186140	0.201330
60	0.032060	0.091490	0.125790	0.149640	0.161410
70	0.026589	0.076045	0.105024	0.125564	0.135865
80	0.022529	0.064283	0.088951	0.106591	0.115486
90	0.019530	0.055859	0.077346	0.092705	0.100430
100	0.017651	0.054140	0.069747	0.083651	0.090665
110	0.016228	0.046265	0.063970	0.076531	0.082810
120	0.014918	0.042281	0.058186	0.069337	0.074918
130	0.013572	0.038070	0.052229	0.062047	0.066880
140	0.012136	0.033626	0.045798	0.054251	0.058392
150	0.010640	0.029142	0.039539	0.046644	0.050123
160	0.009128	0.024666	0.033318	0.039190	0.042052
170	0.007676	0.020466	0.027536	0.032311	0.034633
180	0.006384	0.016843	0.022772	0.026870	0.028883



Gambar 5.21 Simpangan relatif maksimum akibat gempa Parkfield

**Tabel 5.14** Simpangan relatif lantai akibat gempa Koyna

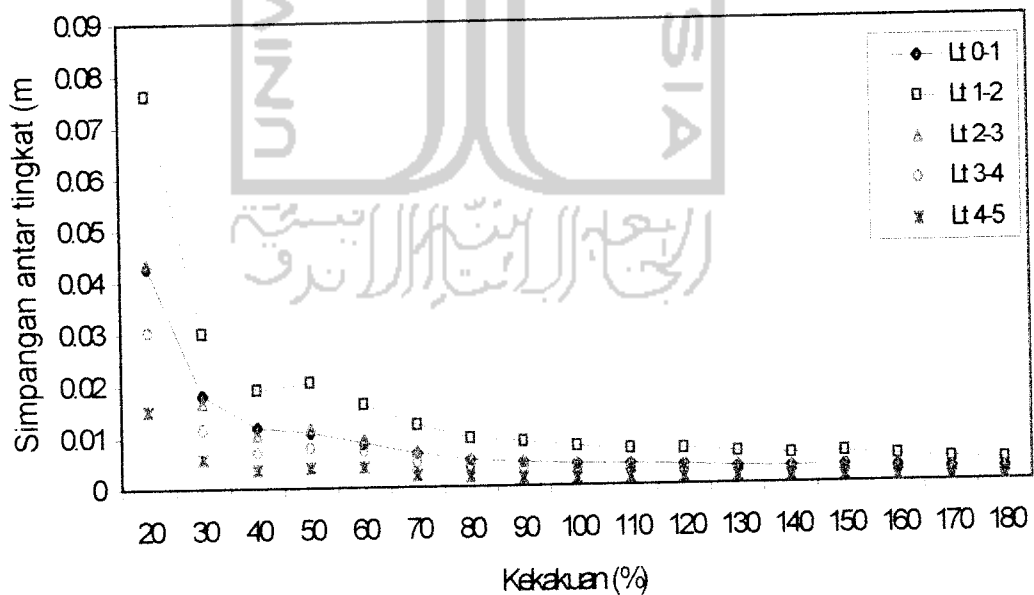
Kekakuan (%)	$y_1$ (m)	$y_2$ (m)	$y_3$ (m)	$y_4$ (m)	$y_5$ (m)
20	0.021400	0.048730	0.055550	0.059010	0.070780
30	0.013360	0.034960	0.047620	0.055490	0.061050
40	0.012610	0.033110	0.044710	0.054380	0.060810
50	0.011910	0.033460	0.044780	0.052735	0.056336
60	0.010700	0.031880	0.044510	0.052060	0.054730
70	0.008590	0.024000	0.034610	0.041410	0.044530
80	0.008422	0.026020	0.037450	0.045540	0.049380
90	0.008990	0.025830	0.036040	0.042950	0.046200
100	0.007260	0.020520	0.028540	0.034020	0.036600
110	0.006360	0.018530	0.025700	0.030520	0.032830
120	0.007260	0.021360	0.029260	0.035200	0.038150
130	0.008990	0.026000	0.035220	0.041020	0.044480
140	0.009980	0.028170	0.037830	0.044180	0.047180
150	0.010150	0.028090	0.037900	0.044600	0.047990
160	0.009800	0.026550	0.035930	0.042670	0.046240
170	0.009040	0.023890	0.032020	0.038260	0.041720
180	0.008360	0.021720	0.028850	0.034120	0.037200



**Gambar 5.22** Simpangan relatif maksimum akibat gempa Koyna

**Tabel 5.15** Simpangan antar tingkat maksimum akibat gempa Bucharest

Kekakuan (%)	$\Delta y_1$ (m)	$\Delta y_2$ (m)	$\Delta y_3$ (m)	$\Delta y_4$ (m)	$\Delta y_5$ (m)
20	0.042815	0.076319	0.043763	0.030533	0.015218
30	0.018080	0.030187	0.016627	0.011561	0.005738
40	0.011890	0.019069	0.010398	0.006955	0.003515
50	0.010780	0.020462	0.011664	0.007811	0.003848
60	0.008770	0.016110	0.009627	0.007127	0.003749
70	0.006667	0.012226	0.006972	0.004752	0.002315
80	0.005220	0.009462	0.005412	0.003827	0.001921
90	0.004750	0.008694	0.004936	0.003336	0.001602
100	0.004240	0.007736	0.004354	0.002920	0.001396
110	0.003963	0.007198	0.004111	0.002835	0.001406
120	0.003781	0.006902	0.003977	0.002800	0.001418
130	0.003393	0.006205	0.003611	0.002583	0.001313
140	0.003140	0.005680	0.003325	0.002387	0.001213
150	0.003230	0.005836	0.003312	0.002304	0.001159
160	0.002900	0.005294	0.002975	0.002038	0.001015
170	0.002630	0.004561	0.002592	0.001761	0.000862
180	0.002520	0.004232	0.002375	0.001630	0.000800

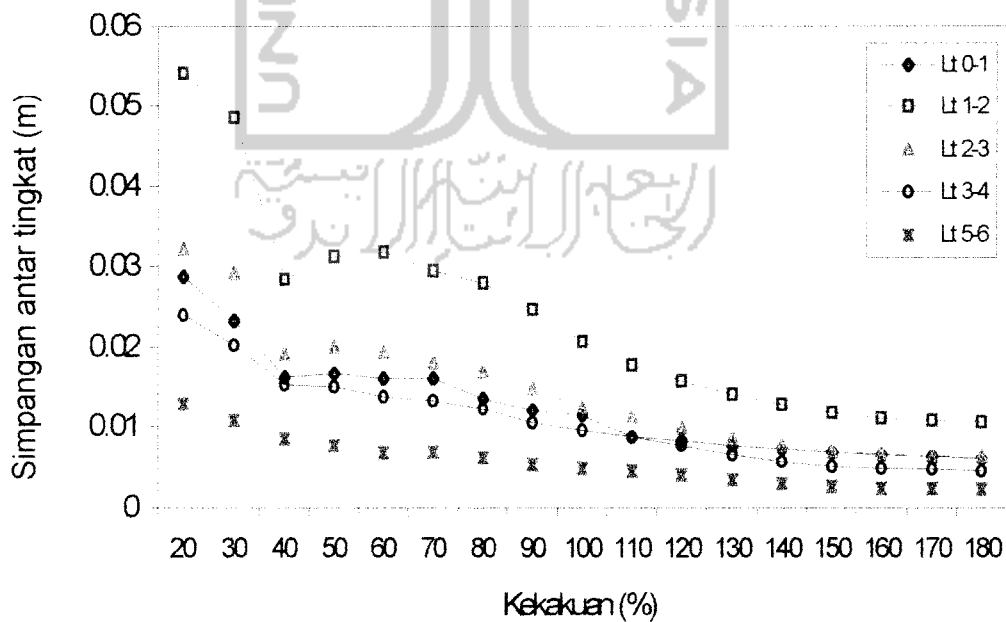


**Gambar 5.23** Simpangan antar tingkat maksimum akibat gempa Bucharest



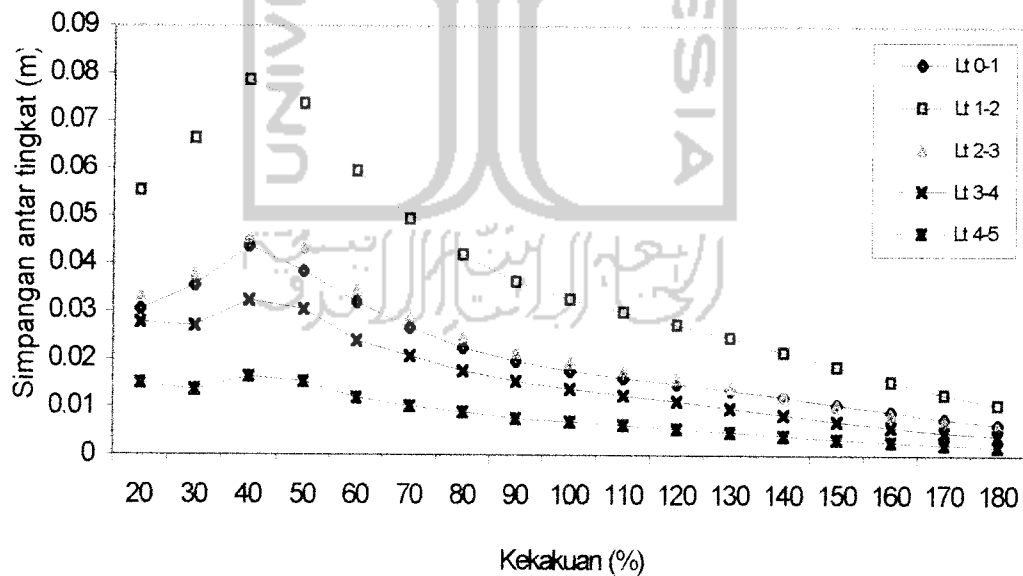
**Tabel 5.16** Simpangan antar tingkat maksimum akibat gempa El Centro

Kekakuan (%)	$\Delta y_1$ (m)	$\Delta y_2$ (m)	$\Delta y_3$ (m)	$\Delta y_4$ (m)	$\Delta y_5$ (m)
20	0.028730	0.054200	0.032280	0.024010	0.012930
30	0.023290	0.048590	0.029290	0.020260	0.010900
40	0.016260	0.028410	0.019230	0.015270	0.008497
50	0.016748	0.031260	0.020170	0.015110	0.007760
60	0.016092	0.031770	0.019390	0.013810	0.006820
70	0.016161	0.029500	0.018115	0.013382	0.006939
80	0.013596	0.027948	0.016995	0.012250	0.006248
90	0.012165	0.024666	0.014830	0.010546	0.005342
100	0.011445	0.020755	0.012525	0.009548	0.004962
110	0.008807	0.017754	0.011381	0.008761	0.004616
120	0.008268	0.015758	0.009966	0.007674	0.004101
130	0.007755	0.014096	0.008627	0.006511	0.003501
140	0.007212	0.012812	0.007679	0.005775	0.003058
150	0.006940	0.011834	0.007050	0.005130	0.002655
160	0.006542	0.011144	0.006680	0.004930	0.002500
170	0.006378	0.010840	0.006490	0.004740	0.002430
180	0.006039	0.010600	0.006390	0.004510	0.002330

**Gambar 5.24** Simpangan antar tingkat maksimum akibat gempa El Centro

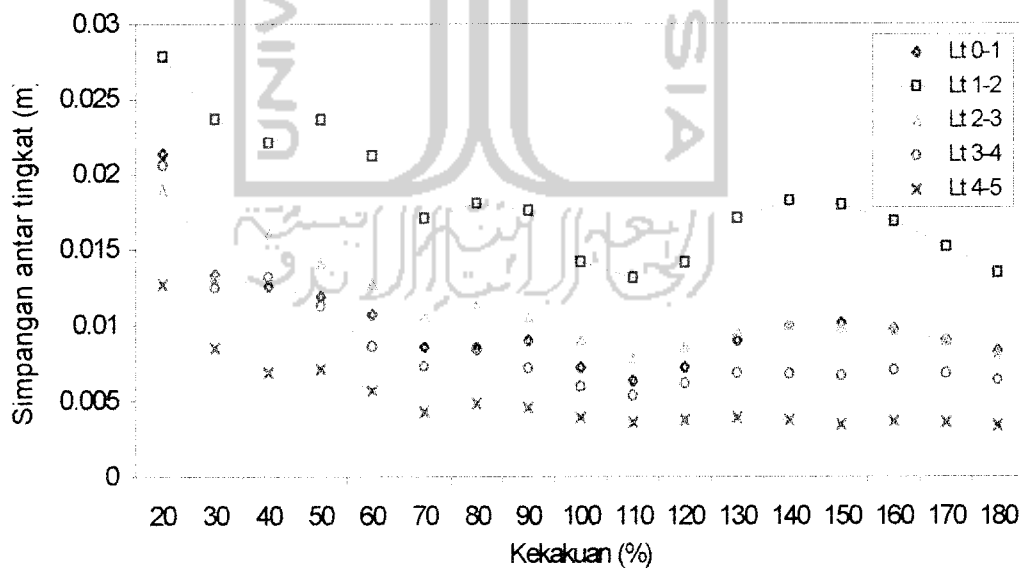
**Tabel 5.17** Simpangan antar tingkat maksimum akibat gempa Parkfield

Kekakuan (%)	$\Delta y_1$ (m)	$\Delta y_2$ (m)	$\Delta y_3$ (m)	$\Delta y_4$ (m)	$\Delta y_5$ (m)
20	0.030518	0.055244	0.033473	0.027675	0.015035
30	0.035421	0.066439	0.037756	0.026898	0.013644
40	0.043690	0.078755	0.045439	0.032290	0.016341
50	0.038530	0.073736	0.043373	0.030565	0.015262
60	0.032060	0.059430	0.034412	0.023845	0.012035
70	0.026589	0.049456	0.029033	0.020589	0.010327
80	0.022529	0.041797	0.024667	0.017640	0.008895
90	0.019530	0.036330	0.021487	0.015387	0.007775
100	0.017651	0.032763	0.019431	0.013921	0.007013
110	0.016228	0.030058	0.017704	0.012561	0.006289
120	0.014918	0.027363	0.016001	0.011250	0.005580
130	0.013572	0.024577	0.014159	0.009818	0.004832
140	0.012136	0.021531	0.012289	0.008456	0.004141
150	0.010640	0.018502	0.010431	0.007133	0.003481
160	0.009128	0.015538	0.008652	0.005878	0.002862
170	0.007676	0.012791	0.007074	0.004796	0.002333
180	0.006384	0.010656	0.006012	0.004112	0.002013

**Gambar 5.25** Simpangan antar tingkat maksimum akibat gempa Parkfield

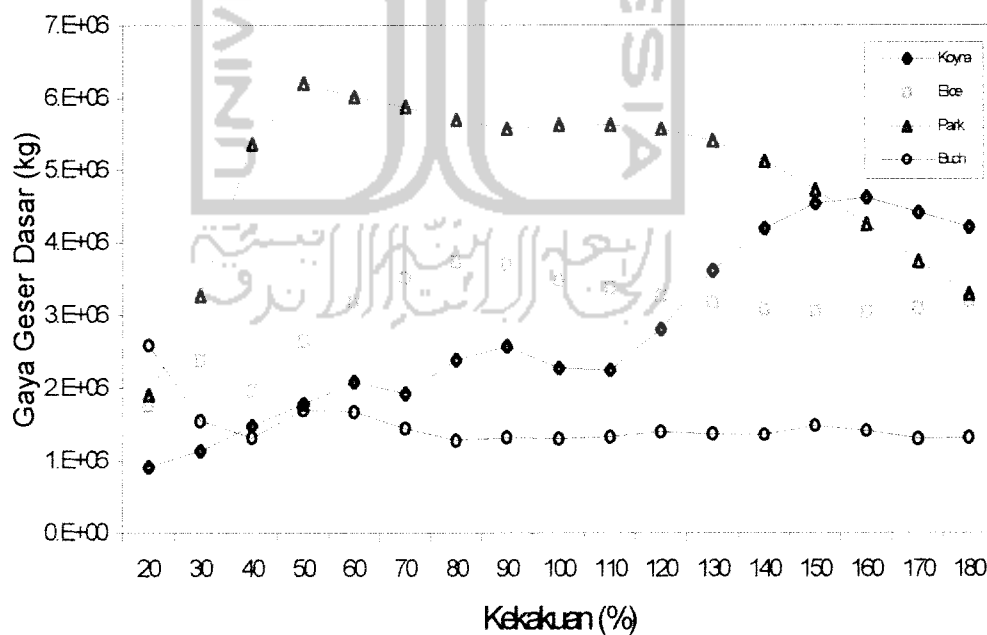
**Tabel 5.18** Simpangan antar tingkat maksimum akibat gempa Koyna

Kekakuan(%)	$\Delta y_1$ (m)	$\Delta y_2$ (m)	$\Delta y_3$ (m)	$\Delta y_4$ (m)	$\Delta y_5$ (m)
20	0.021400	0.027857	0.018987	0.020596	0.012720
30	0.013360	0.023718	0.013179	0.012484	0.008509
40	0.012610	0.022092	0.016099	0.013190	0.006902
50	0.011910	0.023627	0.014137	0.011294	0.007100
60	0.010700	0.021230	0.012739	0.008612	0.005704
70	0.008590	0.017067	0.010602	0.007308	0.004291
80	0.008420	0.018049	0.011436	0.008527	0.004870
90	0.008990	0.017570	0.010537	0.007157	0.004594
100	0.007260	0.014213	0.009036	0.005958	0.003944
110	0.006360	0.013160	0.007848	0.005379	0.003606
120	0.007260	0.014141	0.008545	0.006187	0.003755
130	0.008990	0.017090	0.009604	0.006849	0.003939
140	0.009980	0.018214	0.009991	0.006808	0.003768
150	0.010150	0.017940	0.009843	0.006697	0.003465
160	0.009800	0.016836	0.009645	0.007053	0.003691
170	0.009040	0.015168	0.008998	0.006868	0.003625
180	0.008360	0.013455	0.008124	0.006429	0.003451

**Gambar 5.26** Simpangan antar tingkat maksimum akibat gempa Koyna

Tabel 5.19 Gaya geser dasar akibat 4 gempa

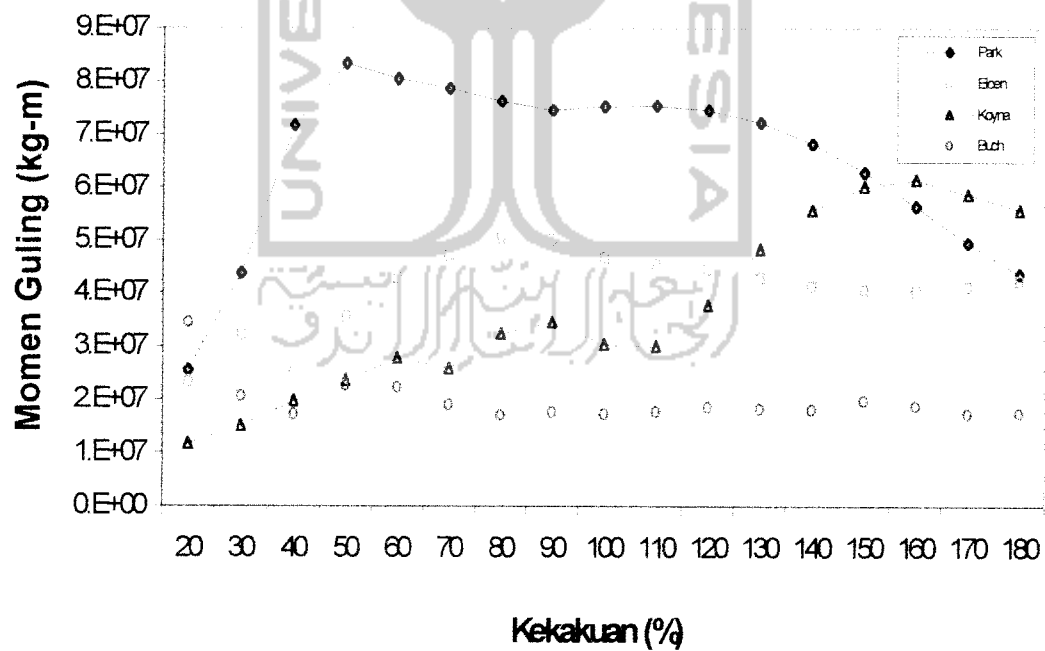
Kekakuan (%)	Buch <i>V</i> (kg)	Elce <i>V</i> (kg)	Park <i>V</i> (kg).	Koyn <i>V</i> (kg)
20	2593759.0	1750122.4	1897830.0	919463.6
30	1551908.0	2380054.8	3275337.0	1143278.4
40	1312830.0	1959740.8	5368923.0	1475458.4
50	1698715.0	2639138.4	6203081.0	1781892.1
60	1665638.0	3173153.5	6014828.0	2078052.0
70	1436294.0	3510720.4	5874320.0	1920165.8
80	1278726.0	3735475.7	5694551.0	2383873.0
90	1314058.0	3700649.5	5569154.0	2576134.8
100	1296150.0	3480123.6	5632934.0	2271848.0
110	1334035.0	3364159.9	5624958.0	2240849.6
120	1399257.0	3280246.3	5574979.0	2814669.6
130	1367805.0	3179350.7	5416497.0	3618196.4
140	1354441.0	3084209.0	5118005.0	4190082.4
150	1478559.0	3050157.9	4729919.0	4530342.0
160	1415750.0	3046433.9	4252132.0	4620348.8
170	1304512.0	3102561.2	3735668.0	4417405.8
180	1312575.0	3187034.6	3283762.0	4205142.0



Gambar 5.27 Gaya geser dasar akibat 4 gempa

Tabel 5.20 Momen guling akibat 4 gempa

Kekakuan (%)	Buch <i>Mb</i> (kg.m)	Elce <i>Mb</i> (kg.m)	Park <i>Mb</i> (kg.m)	Koyn <i>Mb</i> (kg.m)
20	34561261	23343269	25409879	11713484
30	20532252	32039892	43692206	15164476
40	17292842	26224178	71704987	19725080
50	22694268	35612558	83225127	23657661
60	22358299	42749197	80417952	27755065
70	19154692	47043225	78681593	25792705
80	17052904	50470672	76317681	32323400
90	17520163	49890694	74656115	34515579
100	17264667	46520894	75224802	30396308
110	17785319	45665051	75343726	30013580
120	18680280	44346603	74546126	37776469
130	18282021	42742324	72295351	48205983
140	18109656	41205100	68152842	55597089
150	19708768	40553007	62852994	60189991
160	18846643	40422417	56384269	61456916
170	17324910	41010735	49439141	58684998
180	17401443	42310864	43504674	55642024



Gambar 5.28 Momen guling akibat 4 beban gempa

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dan saran yang dapat diambil dari hasil penelitian numeris adalah sebagai berikut ini.

#### 6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian numeris tentang pengaruh perubahan kekakuan tingkat secara serentak terhadap simpangan, gaya geser dasar, dan momen guling pada gedung bertingkat lima dengan beban gempa berupa riwayat waktu (*time history*) adalah sebagai berikut ini.

1. Untuk pembebanan dinamik dengan beban gempa yang mempunyai kandungan frekuensi rendah dan sedang, nilai simpangan relatif yang terjadi cenderung mengalami penurunan dengan bertambahnya kekakuan, sedangkan nilai simpangan relatif yang terjadi cenderung mengalami kenaikan sampai suatu titik maksimal tertentu apabila kekakuannya menurun.
2. Untuk pembebanan dinamik dengan beban gempa yang mempunyai kandungan frekuensi tinggi, nilai simpangan relatif yang terjadi cenderung fluktuatif dan memiliki beberapa nilai simpangan relatif maksimum, hal ini kemungkinan disebabkan karena adanya beberapa dominasi frekuensi dalam satu gempa.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dan saran yang dapat diambil dari hasil penelitian numeris adalah sebagai berikut ini.

#### 6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian numeris tentang pengaruh perubahan kekakuan tingkat secara serentak terhadap simpangan, gaya geser dasar, dan momen guling pada gedung bertingkat lima dengan beban gempa berupa riwayat waktu (*time history*) adalah sebagai berikut ini.

1. Untuk pembebanan dinamik dengan beban gempa yang mempunyai kandungan frekuensi rendah dan sedang, nilai simpangan relatif yang terjadi cenderung mengalami penurunan dengan bertambahnya kekakuan, sedangkan nilai simpangan relatif yang terjadi cenderung mengalami kenaikan sampai suatu titik maksimal tertentu apabila kekakuannya menurun.
2. Untuk pembebanan dinamik dengan beban gempa yang mempunyai kandungan frekuensi tinggi, nilai simpangan relatif yang terjadi cenderung fluktuatif dan memiliki beberapa nilai simpangan relatif maksimum, hal ini kemungkinan disebabkan karena adanya beberapa dominasi frekuensi dalam satu gempa.

3. Simpangan absolut terbesar terjadi pada pembebanan dengan menggunakan gempa Parkfield pada variasi kekakuan 40% sebesar 0.21617 m, dengan frekuensi struktur sebesar 1.3726 Hz dan kandungan frekuensi gempa sebesar 1.1241 Hz, disini terlihat adanya kedekatan frekuensi antara frekuensi gempa dengan frekuensi struktur sehingga menimbulkan respon yang maksimum.
4. Simpangan antar tingkat yang terbesar terjadi pada tingkat 2 untuk semua pembebanan gempa, sehingga kemungkinan dapat terjadi efek perlemahan tingkat. (*soft-storey effects*). Efek perlemahan tingkat yang diduga terjadi pada tingkat yang menghubungkan lantai 1-2 disebabkan karena perbedaan kekakuan dan tinggi tingkat pada tingkat tersebut relatif sangat besar dibandingkan dengan kekakuan tingkat lainnya.
5. Kapasitas gaya geser dasar dan momen guling total yang terjadi akibat pembebanan dinamik dengan menggunakan beban gempa berupa riwayat waktu (*time history*) dari 4 gempa hasilnya tidak berbanding lurus dengan besarnya kekakuan tingkat. Hal ini tidak seperti pada pembebanan dengan menggunakan desain spektra dan statik ekuivalen yang hasilnya berbanding lurus dengan perubahan kekakuan. Hasil pembebanan yang didapatkan dari desain spektra dan statik ekuivalen kurang representatif karena bukan merupakan beban gempa yang sesungguhnya yang intensitas pembebanannya beriringan dengan waktu, sehingga dalam perencanaan bangunan tahan gempa yang menggunakan desain spektra dan statik ekuivalen dalam pembebanannya harus lebih berhati-hati.



## 6.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Perlu diadakan penelitian serupa dengan variasi kekakuan yang perubahannya tidak secara serentak.
2. Perlu diadakan penelitian yang serupa dengan menggunakan beban gempa berupa riwayat waktu (*time history*) dari beban gempa pada tiap-tiap daerah gempa di Indonesia. *Bowon*
3. Perlu diadakan penelitian serupa dengan memakai struktur yang lebih tinggi dari 40 meter.
4. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi massa tingkat dengan nilai kekakuan yang tetap, terhadap kapasitas gaya geser dasar dan momen guling serta perubahan simpangan relatif dengan menggunakan beban gempa berupa *time history*.
5. Perlu diadakan penelitian serupa dengan memperhitungkan efek *P-delta* baik pada mode-1 maupun mode yang lebih tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Berg, G. V., 1988, **Element of Structural Dynamic**, Prentice-hall International edition, Inc.
- Chopra, A. K., 1995, **Dynamics of Structures Theory and Applications to Earthquake Engineering**, Prentice Hall International, Inc.
- Clough, R. W. dan J. Penzien., 1993, **Dynamics of Structures**, Second Edition. Mc Graw Hill International Editions.
- Famularsih, E. dan H.S. Wirogo., 1999, **Pengaruh Perubahan Kekakuan Terhadap Besarnya Gaya Geser Dasar dan Momen Guling Pada Gedung Bertingkat Banyak**, *Tugas Akhir S-1*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.
- Gunadi dan A. Gusmadi., 1999, **Pengaruh Pemindahan Massa Lantai Terhadap Gaya Geser, Momen Guling dan Simpangan Pada Gedung Bertingkat**. *Tugas Akhir S-1*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.
- Hu, Y. X., S. C. Liu. and Dong., 1996, **Earthquake Engineering**, E & FN Spon.
- Microsoft Corporation, 1985–1996, **Microsoft Excel 97**, Copyright All Right Reserved.
- Muto, K. dan Wira., 1987, **Analisa Perancangan Gedung Tahan gempa**, Erlangga, Jakarta.
- Paz, M., 1987, **Dinamika Struktur Teori dan Perhitungan**, (Terjemahan), Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.
- Pramulanto, H. dan Nurianawati., 2000, **Pengaruh Variasi Massa Baliho Terhadap Simpangan, Gaya Geser dan Momen Guling pada Gedung Bertingkat Lima**, *Tugas Akhir S-1*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.
- Prasetyo, D. dan J.W. Arminta., 2000, **Respon Seismik Struktur Beton Bertingkat Banyak Akibat Beban Gempa (Analisa Frekuensi)**, *Tugas Akhir S-1*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.
- Sarwidi., 1999a, **Metode Numerik**, *Diktat Kuliah*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

Sarwidi., 1999b, **Teknik Gempa**, *Diktat Kuliah*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

The Matlab Works, Inc., 1994–1999, **Matlab Version 5.3 Realease II**, Copyright All Right Reserved.

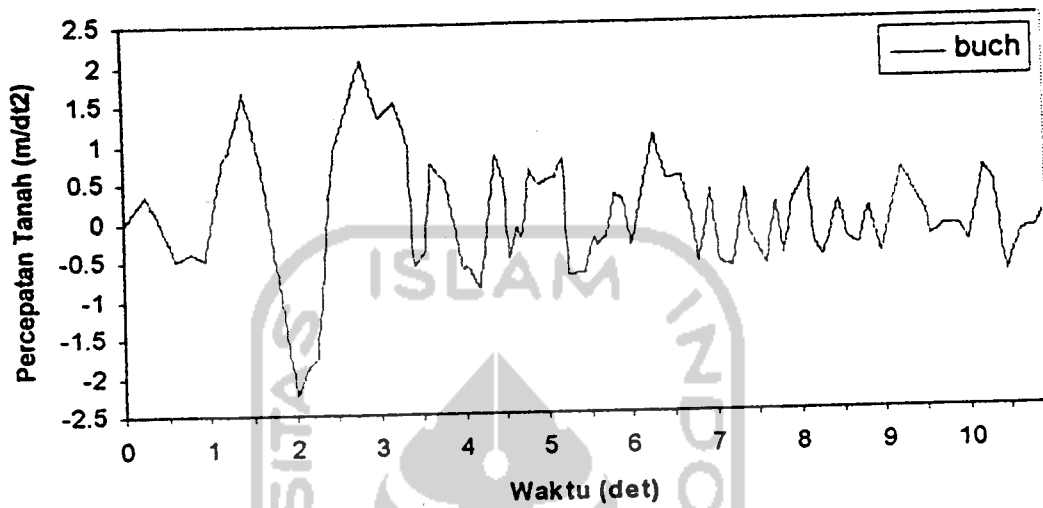
Widodo., 1997a, **Teknik Gempa**, *Diktat Kuliah*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

Widodo., 1997b, **Analisa Dinamika Struktur**, *Diktat Kuliah*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

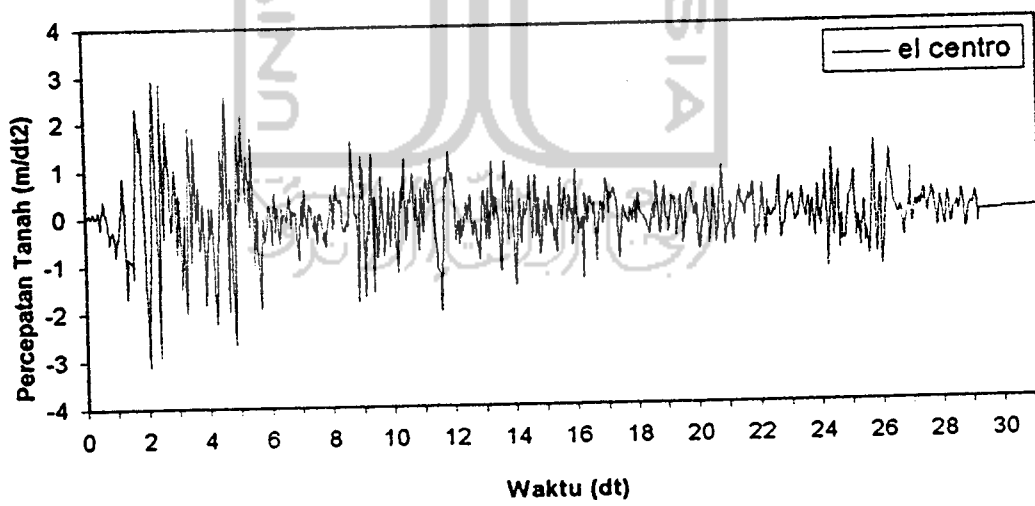
Puskim., 1981, **Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung**, Pusat Penelitian dan pengembangan Pemukiman dan pengembangan pemukiman (Puskim), DPU, UYJ1981.



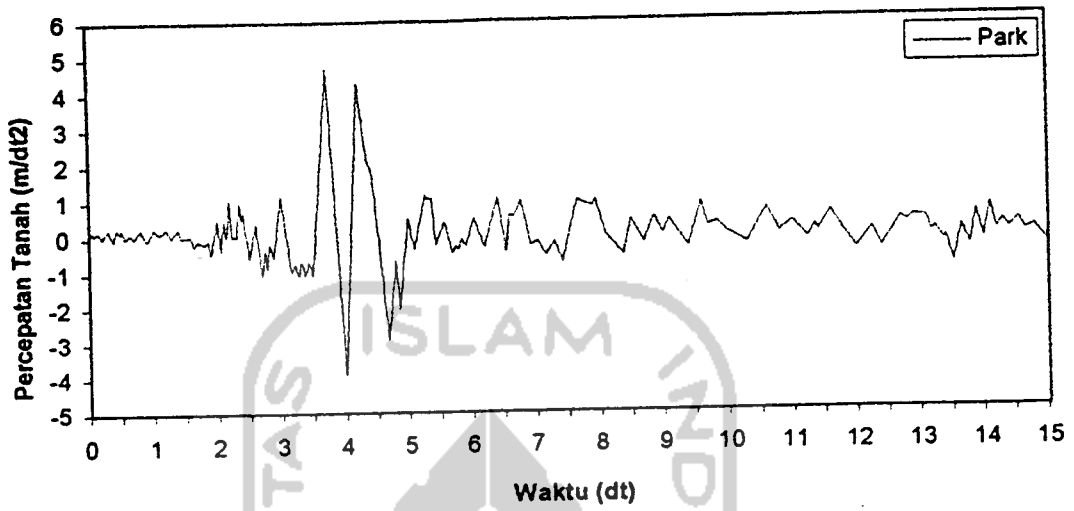




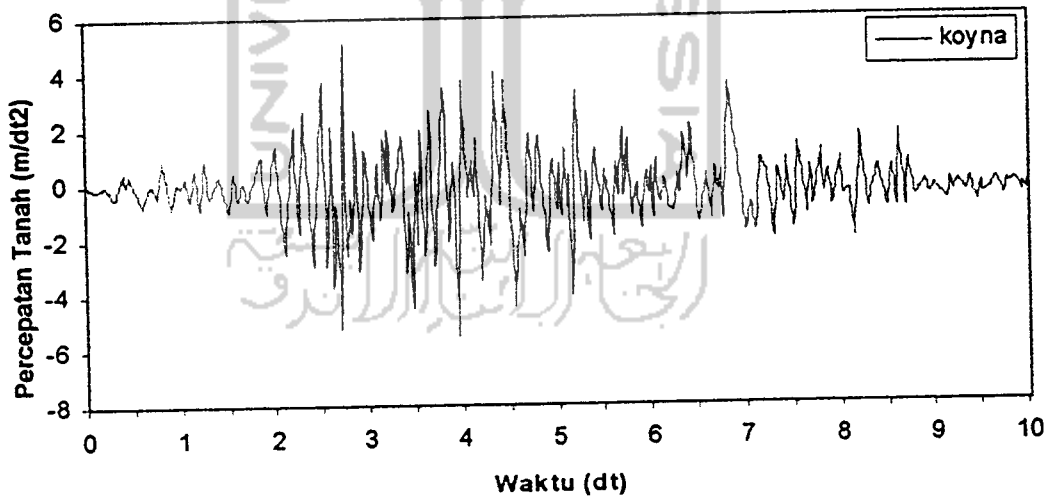
Gambar 1 Percepatan tanah gempa Bucharest (Rumania), 1977



Gambar 2 Percepatan tanah gempa El Centro (California, USA), 1940



Gambar 3 Percepatan tanah gempa Parkfield (Calipornia, USA), 1966



Gambar 4 Percepatan tanah gempa Koyna (India), 1967



## Contoh Aplikasi program Matlab

```

det100;
datakoyna;
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
q=5; % banyak tingkat
d=0.05; % rasio redaman 5%
t=0.01; % kenaikan waktu
[s,l]=eig(k,m); % peny eigen problem
ww=sqrt(l); % frekuensi sudut
mi=ones(q,1); % frekuensi sudut stl diurutkan
w=ww*mi;
nw=length(w);
wt=w(nw:-1:1); % periode getar
for i=1:q; % frekuensi struktur
    Tp=(2*pi)/wt(i);
    f=1/Tp ;
end;
for i=1:q; % mode shapes
    ms(:,i)=[s(:,i)/s((i-1)*q+1)];
end; % mode shapes
mst=ms(:,q:-1:1)';
setelah ditranspose
for i=1:q; % partisipasi
    pf(i)=(mst(i,:) * m * mi) / (mst(i,:) * m * mst(i,:));
    fakor
end;
aa=(4/t)*mi+4*d*wt;
bb=2*mi;
kk=wt.^2+(4*d*wt/t)+(4*mi/t^2);

```





**Hasil Perhitungan Mode Shapes, Partisipasi Faktor, Frekuensi Sudut, Nilai  
a, b, dan k, Periode Getar Struktur, dan Frekuensi Struktur dengan  
Program Matlab Versi 5.3**

**Massa**

$m_1=13000$  ;  $m_2 = 8100$  ;  $m_3 = 8100$  ;  $m_4 = 8100$  ;  $m_5 = 7400$ ;

$m =$

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

$m =$

13000	0	0	0	0
0	8100	0	0	0
0	0	8100	0	0
0	0	0	8100	0
0	0	0	0	7400

**Kekakuan**

$k_1=27600000$  ;  $k_2=13000000$  ;  $k_3=18200000$  ;  $k_4=18200000$  ;  $k_5=18200000$

$k =$

$k_1+k_2$	$-k_2$	0	0	0
$-k_2$	$k_2+k_3$	$-k_3$	0	0
0	$-k_3$	$k_3+k_4$	$-k_4$	0
0	0	$-k_4$	$k_4+k_5$	$-k_5$
0	0	0	$-k_5$	$k_5$

$k =$

40600000	-13000000	0	0	0
-13000000	31200000	-18200000	0	0
0	-18200000	36400000	-18200000	0
0	0	-18200000	36400000	-18200000
0	0	0	-18200000	18200000

**Eigen Problem**

$[s, l] = \text{eig}(k, m)$

$s =$

0.0805	0.2749	0.6953	-0.4016	-0.1133
-0.3868	-0.6244	-0.1259	-0.6075	-0.3327
0.6441	0.2323	-0.5273	-0.3192	-0.4618
-0.5974	0.5313	-0.1533	0.1979	-0.5528
0.2687	-0.4452	0.4462	0.5732	-0.5980

```

l =
    7927.2    0    0    0    0
         0  5394.4    0    0    0
         0    0  3304.2    0    0
         0    0    0  1610.3    0
         0    0    0    0  185.9
  
```

**Frekuensi sudut**

ww = sqrt (l)

```

ww =
    89.0347    0    0    0    0
         0  73.4464    0    0    0
         0    0  57.4823    0    0
         0    0    0  40.1289    0
         0    0    0    0  13.6363
  
```

mi = ones (q,1)

```

mi =
    1
    1
    1
    1
    1
  
```

w = ww\*mi

```

w =
    89.0347
    73.4464
    57.4823
    40.1289
    13.6363
  
```

nw = length (w)

```

nw =
    5
  
```

wt = w (nw:-1:1)

```

wt =
    13.6363
    40.1289
    57.4823
    73.4464
    89.0347
  
```

**Mode Shapes**

ms (:,i) = [ s (:,i) / s ((i-1) \*q+1)]

```

ms =
    1.0000    1.0000    1.0000    1.0000    1.0000
   -4.8041   -2.2713   -0.1811    1.5127    2.9371
    7.9992    0.8450   -0.7584    0.7948    4.0777
   -7.4189    1.9326   -0.2204   -0.4927    4.8809
    3.3371   -1.6196    0.6417   -1.4272    5.2801
  
```

mst = ms(:,q:-1:1)'

mst =

1.0000	2.9371	4.0777	4.8809	5.2801
1.0000	1.5127	0.7948	-0.4927	-1.4272
1.0000	-0.1811	-0.7584	-0.2204	0.6417
1.0000	-2.2713	0.8450	1.9326	-1.6196
1.0000	-4.8041	7.9992	-7.4189	3.3371

### Partisipasi Faktor

pf(i)=(mst(i,:)\*m\*mi)/(mst(i,:)\*m\*mst(i,:))

pf =

0.2406	0.3192	0.3909	0.0464	0.0028
--------	--------	--------	--------	--------

### Nilai a, b, dan k

aa = (4/t)\*mi+4\*d\*wt;

aa =

202.7273
208.0258
211.4965
214.6893
217.8069

bb = 2\*mi

bb =

2
2
2
2
2

kk = wt.^2+(4\*d\*wt/t)+(4\*mi/t^2)

kk =

1.0e+004 *
1.0322
1.2012
1.3879
1.6129
1.8818

### Periode Getar Struktur

Tp=(2\*pi)/wt(i)

0.4608
0.1566
0.1093
0.0855
0.0706

## Frekuensi Struktur

$$f=1/T_p$$

2.1703  
6.3867  
9.1486  
11.6894  
14.1703





**LAMPIRAN 4**

الجامعة الإسلامية  
الاندونيسية

Tabel 1 Contoh perhitungan nilai  $g_1$

$i$	$t_i$	$\pi_i * g$	$\Delta \pi_i = (\pi_{i+1}) - \pi_i$	$g_{2i+1} = g_{2i} + \Delta g_{2i}$	$\Delta^1 \pi_i = \Delta \pi_i + a * g_{1i} + b * g_{2i}$	$\Delta g_i = \Delta^1 \pi_i / k$	$\Delta g_{1i} = (2 * \Delta g_i / t_i) - (2 * g_{1i})$	$\Delta g_{2i} = (4 * (\Delta g_i - t_i * g_{1i})) / (t_i^2) - 2 * g_{2i}$	$g_{1i+1} = g_{1i} + \Delta g_{1i}$	$g_{2i+1} = g_{2i} + \Delta g_{2i}$
0	0	0	-0.0196	0	-0.0196	-4.84445E-07	-9.6889E-05	-0.01938	0	0
1	0.01	-0.0196	-0.0196	-0.01938	-0.09738	-2.40679E-06	-0.00028758	-0.01876	-9.7E-05	-4.8E-07
2	0.02	-0.0392	-0.0196	-0.03814	-0.25071	-6.19675E-06	-0.000470412	-0.01781	-0.00038	-2.9E-06
3	0.03	-0.0588	-0.0196	-0.05594	-0.47577	-1.17595E-05	-0.000642133	-0.01654	-0.00085	-9.1E-06
4	0.04	-0.0784	-0.0196	-0.07248	-0.76745	-1.89688E-05	-0.000799733	-0.01498	-0.0015	-2.1E-05
5	0.05	-0.098	-0.0196	-0.08746	-1.11949	-2.767E-05	-0.000940506	-0.01317	-0.0023	-4E-05
6	0.06	-0.1176	-0.0196	-0.10064	-1.5246	-3.7683E-05	-0.001062092	-0.01114	-0.00324	-6.7E-05
7	0.07	-0.1372	-0.0196	-0.11178	-1.97463	-4.8806E-05	-0.001162513	-0.00894	-0.0043	-0.00011
8	0.08	-0.1568	-0.0196	-0.12072	-2.46068	-6.08196E-05	-0.001240209	-0.0066	-0.00546	-0.00015
9	0.09	-0.1764	-0.0196	-0.12732	-2.97335	-7.3491E-05	-0.001294058	-0.00417	-0.0067	-0.00021
10	0.1	-0.196	0.0196	-0.13149	-3.46364	-8.56093E-05	-0.001129614	0.037059	-0.008	-0.00029
11	0.11	-0.1764	0.0196	-0.09443	-3.84445	-9.50216E-05	-0.000752842	0.038295	-0.00913	-0.00037
12	0.12	-0.1568	0.0196	-0.05614	-4.07105	-0.000100622	-0.00036731	0.038811	-0.00988	-0.00047
13	0.13	-0.1372	0.0196	-0.01733	-4.14135	-0.00010236	1.97773E-05	0.038606	-0.01025	-0.00057
14	0.14	-0.1176	0.0196	0.021281	-4.05617	-0.000100255	0.000401282	0.037695	-0.01023	-0.00067
15	0.15	-0.098	0.0196	0.058976	-3.81918	-9.4397E-05	0.000770266	0.036102	-0.00982	-0.00077
16	0.16	-0.0784	0.0196	0.095078	-3.43676	-8.49451E-05	0.001120116	0.033868	-0.00905	-0.00087
17	0.17	-0.0588	0.0196	0.128945	-2.91793	-7.21212E-05	0.001444657	0.031041	-0.00793	-0.00095
18	0.18	-0.0392	0.0196	0.159986	-2.27404	-5.62066E-05	0.001738264	0.027681	-0.00649	-0.00102
19	0.19	-0.0196	0.0196	0.187667	-1.51864	-3.75355E-05	0.001995957	0.023858	-0.00475	-0.00108
20	0.2	0	-0.049	0.211525	-0.73569	-1.81838E-05	0.001874372	-0.04817	-0.00276	-0.00112
21	0.21	-0.049	-0.049	0.16335	-0.07718	-1.90769E-06	0.001380857	-0.05053	-0.00088	-0.00114
22	0.22	-0.098	-0.049	0.112822	0.377869	9.33964E-06	0.00086861	-0.05192	0.0005	-0.00114

Tabel 2 Contoh perhitungan nilai g2

i	ti	pi*g	$\Delta pi = (pi+1) - pi$	$g2i+1 = g2i + \Delta g2i$	$\Delta' pi = \Delta p + a * g2i + b * g2i$	$\Delta g1 = \Delta' pi / k$	$\Delta g1i = (2 * \Delta g1 / ti) - (2 * g1i)$	$\Delta g2i = ((4 * (\Delta g1 - ti * g1i)) / ti^2) - 2 * g2i$	$g1i+1 = g1i + \Delta g1i$	$g1i+1 = g1i + \Delta g1$
0	0	0	-0.0196	0	-0.0196	-4.62123E-07	-9.2E-05	-0.018484939	0	0
1	0.01	-0.0196	-0.0196	-0.01848	-0.09428	-2.22294E-06	-0.00026	-0.014978025	-9.2E-05	-4.6E-07
2	0.02	-0.0392	-0.0196	-0.03346	-0.23022	-5.42802E-06	-0.00038	-0.009329099	-0.00035	-2.7E-06
3	0.03	-0.0588	-0.0196	-0.04279	-0.40445	-9.53593E-06	-0.00044	-0.002477141	-0.00073	-8.1E-06
4	0.04	-0.0784	-0.0196	-0.04527	-0.58906	-1.38886E-05	-0.00043	0.004491706	-0.00117	-1.8E-05
5	0.05	-0.098	-0.0196	-0.04078	-0.75562	-1.78158E-05	-0.00036	0.010514647	-0.0016	-3.2E-05
6	0.06	-0.1176	-0.0196	-0.03026	-0.87952	-2.07371E-05	-0.00023	0.01471277	-0.00196	-4.9E-05
7	0.07	-0.1372	-0.0196	-0.01555	-0.94356	-2.2247E-05	-7.3E-05	0.016517563	-0.00219	-7E-05
8	0.08	-0.1568	-0.0196	0.000967	-0.94028	-2.21696E-05	8.84E-05	0.015745506	-0.00226	-9.2E-05
9	0.09	-0.1764	-0.0196	0.016713	-0.87271	-2.05766E-05	0.00023	0.012611376	-0.00217	-0.00011
10	0.1	-0.196	0.0196	0.029324	-0.71437	-1.68432E-05	0.000516	0.044650433	-0.00194	-0.00014
11	0.11	-0.1764	0.0196	0.073975	-0.41433	-9.76885E-06	0.000898	0.031725937	-0.00143	-0.00015
12	0.12	-0.1568	0.0196	0.105701	0.015688	3.69884E-07	0.001129	0.014472321	-0.00053	-0.00016
13	0.13	-0.1372	0.0196	0.120173	0.505444	1.19172E-05	0.00118	-0.004326246	0.000602	-0.00016
14	0.14	-0.1176	0.0196	0.115847	0.976303	2.30662E-05	0.00105	-0.021756329	0.001782	-0.00015
15	0.15	-0.098	0.0196	0.09409	1.363089	3.21385E-05	0.000765	-0.035222589	0.002831	-0.00013
16	0.16	-0.0784	0.0196	0.058868	1.604699	3.78352E-05	0.000375	-0.042829902	0.003596	-9.4E-05
17	0.17	-0.0588	0.0196	0.016038	1.671857	3.94186E-05	-5.8E-05	-0.043644671	0.003971	-5.6E-05
18	0.18	-0.0392	0.0196	-0.02761	1.560966	3.6804E-05	-0.00047	-0.037800229	0.003913	-1.7E-05
19	0.19	-0.0196	0.0196	-0.06541	1.295605	3.05474E-05	-0.00079	-0.026436203	0.003448	1.99E-05
20	0.2	0	-0.049	-0.09184	0.853323	2.01194E-05	-0.0013	-0.076184645	0.002662	5.04E-05
21	0.21	-0.049	-0.049	-0.16803	0.170783	4.02668E-06	-0.00192	-0.047782751	0.001362	7.05E-05
22	0.22	-0.098	-0.049	-0.21581	-0.70786	-1.66898E-05	-0.00222	-0.013198925	-0.00056	7.45E-05



Tabel 3 Contoh perhitungan nilai g3

i	ti	pi*gi	Δpi = (pi+1) - pi	$\frac{g_{2i+1} - g_{2i}}{g_{2i} + \Delta g_{2i}}$	$\frac{\Delta' p_i = \Delta p_i + a^* g_{i+1} + b^* g_{2i}}{g_{i+1} + b^* g_{2i}}$	Δgi = Δ' pi/k	$\Delta g_{1i} = (2^* \Delta g_{i+1}) - (2^* g_{1i})$	$\Delta g_{2i} = ((4^* (\Delta g_i - t_i^* g_{1i})) / t_i^2) - 2^* g_{2i}$	$\frac{g_{i+1} = g_{1i} + \Delta g_{1i}}{g_{1i} + \Delta g_{1i}}$	$\frac{g_{i+1} = g_{i+1} + \Delta g_i}{\Delta g_i}$
0	0	0	-0.0196	0	-0.0196	-4.40907E-07	-8.8E-05	-0.01764	0	0
1	0.01	-0.0196	-0.0196	-0.01764	-0.09116	-2.05064E-06	-0.00023	-0.01148	-8.818E-05	-4.4E-07
2	0.02	-0.0392	-0.0196	-0.02912	-0.21031	-4.73105E-06	-0.0003	-0.00223	-0.0003219	-2.5E-06
3	0.03	-0.0588	-0.0196	-0.03135	-0.33918	-7.62983E-06	-0.00028	0.007205	-0.0006242	-7.2E-06
4	0.04	-0.0784	-0.0196	-0.02414	-0.43893	-9.87383E-06	-0.00017	0.01401	-0.0009017	-1.5E-05
5	0.05	-0.098	-0.0196	-0.01013	-0.48142	-1.08297E-05	-2E-05	0.016298	-0.0010730	-2.5E-05
6	0.06	-0.1176	-0.0196	0.006167	-0.45699	-1.028E-05	0.00013	0.013621	-0.0010928	-3.6E-05
7	0.07	-0.1372	-0.0196	0.019788	-0.37634	-8.46588E-06	0.000233	0.007033	-0.0009631	-4.6E-05
8	0.08	-0.1568	-0.0196	0.026821	-0.26638	-5.9922E-06	0.000262	-0.0013	-0.0007300	-5.4E-05
9	0.09	-0.1764	-0.0196	0.025517	-0.1613	-3.62851E-06	0.000211	-0.00882	-0.0004683	-6E-05
10	0.1	-0.196	0.0196	0.016693	-0.0529	-1.19008E-06	0.000277	0.021942	-0.0002573	-6.4E-05
11	0.11	-0.1764	0.0196	0.038635	0.104817	2.35787E-06	0.000433	0.00932	1.931E-05	-6.5E-05
12	0.12	-0.1568	0.0196	0.047955	0.301615	6.7849E-06	0.000452	-0.00542	0.0004522	-6.3E-05
13	0.13	-0.1372	0.0196	0.042536	0.47696	1.07293E-05	0.000336	-0.01779	0.0009047	-5.6E-05
14	0.14	-0.1176	0.0196	0.02475	0.579827	1.30433E-05	0.000126	-0.02422	0.0012411	-4.5E-05
15	0.15	-0.098	0.0196	0.000525	0.583382	1.31233E-05	-0.00011	-0.02313	0.0013675	-3.2E-05
16	0.16	-0.0784	0.0196	-0.0226	0.491704	1.1061E-05	-0.0003	-0.01521	0.0012571	-1.9E-05
17	0.17	-0.0588	0.0196	-0.03781	0.336977	7.58037E-06	-0.00039	-0.00318	0.0009550	-8E-06
18	0.18	-0.0392	0.0196	-0.041	0.168464	3.78963E-06	-0.00036	0.009171	0.0005610	-4.3E-07
19	0.19	-0.0196	0.0196	-0.03182	0.03698	8.31871E-07	-0.00023	0.018159	0.0001969	3.36E-06
20	0.2	0	-0.049	-0.01367	-0.0889	-1.99978E-06	-0.00034	-0.04044	-3.053E-05	4.19E-06
21	0.21	-0.049	-0.049	-0.05411	-0.30923	-6.9563E-06	-0.00065	-0.02226	-0.0003694	2.19E-06
22	0.22	-0.098	-0.049	-0.07637	-0.62223	-1.39973E-05	-0.00076	0.001594	-0.0010218	-4.8E-06

Tabel 4 Contoh perhitungan nilai g4

i	ti	pi*gi	$\Delta p_i = \frac{p_i - p_{i+1}}{p_i}$	$\frac{g_{2i+1} - g_{2i}}{g_{2i} + \Delta g_{2i}}$	$\frac{\Delta' p_i = \Delta p_i \cdot a^*}{g_{1i} + b^* \cdot g_{2i}}$	$\Delta g_i = \Delta' p_i / k$	$\frac{\Delta g_{1i} = (2^* \Delta g_i / t_i) - (2^* g_{1i})}{(2^* g_{1i})}$	$\Delta g_{2i} = \frac{(4^* (\Delta g_i - t_i^* g_{1i})) / (t_i^2) - 2^* g_{2i}}{\Delta g_i}$	$\frac{g_{1i+1} - g_{1i}}{g_{1i} + \Delta g_{1i}}$	$\frac{g_{i+1} - g_i + \Delta g_i}{\Delta g_i}$
0	0	0	-0.0196	0	-0.0196	-4.18238E-07	-8.4E-05	-0.01673	0	0
1	0.01	-0.0196	-0.0196	-0.01673	-0.08775	-1.8724E-06	-0.00021	-0.00798	-8.4E-05	-4.182E-07
2	0.02	-0.0392	-0.0196	-0.02471	-0.18962	-4.04823E-06	-0.00023	0.003898	-0.00029	-2.290E-06
3	0.03	-0.0588	-0.0196	-0.02081	-0.2762	-5.89371E-06	-0.00014	0.013235	-0.00052	-6.336E-06
4	0.04	-0.0784	-0.0196	-0.00757	-0.30858	-6.58466E-06	3.73E-06	0.015893	-0.00066	-1.223E-05
5	0.05	-0.098	-0.0196	0.008319	-0.27525	-5.87343E-06	0.000139	0.011066	-0.00066	-1.881E-05
6	0.06	-0.1176	-0.0196	0.019385	-0.19567	-4.17541E-06	0.000201	0.001447	-0.00052	-2.468E-05
7	0.07	-0.1372	-0.0196	0.020832	-0.10939	-2.33429E-06	0.000167	-0.00824	-0.00032	-2.886E-05
8	0.08	-0.1568	-0.0196	0.012596	-0.05655	-1.20675E-06	5.84E-05	-0.01352	-0.00015	-3.119E-05
9	0.09	-0.1764	-0.0196	-0.00092	-0.05939	-1.26722E-06	-7E-05	-0.01225	-9.1E-05	-3.240E-05
10	0.1	-0.196	0.0196	-0.01317	-0.0739	-1.5769E-06	8.52E-06	0.02804	-0.00016	-3.367E-05
11	0.11	-0.1764	0.0196	0.014874	-0.01428	-3.04631E-07	0.000246	0.019437	-0.00015	-3.524E-05
12	0.12	-0.1568	0.0196	0.034311	0.126582	2.70109E-06	0.000355	0.00242	9.25E-05	-3.555E-05
13	0.13	-0.1372	0.0196	0.036732	0.278727	5.94766E-06	0.000294	-0.01464	0.000448	-3.285E-05
14	0.14	-0.1176	0.0196	0.022088	0.371398	7.92514E-06	0.000101	-0.0239	0.000742	-2.690E-05
15	0.15	-0.098	0.0196	-0.00181	0.365655	7.8026E-06	-0.00013	-0.02157	0.000843	-1.898E-05
16	0.16	-0.0784	0.0196	-0.02337	0.270312	5.7681E-06	-0.00028	-0.00945	0.000717	-1.117E-05
17	0.17	-0.0588	0.0196	-0.03282	0.134885	2.87826E-06	-0.0003	0.006255	0.000436	-5.409E-06
18	0.18	-0.0392	0.0196	-0.02657	0.024242	5.1729E-07	-0.00018	0.018096	0.000139	-2.531E-06
19	0.19	-0.0196	0.0196	-0.00847	-0.01223	-2.60903E-07	1.96E-05	0.020864	-3.6E-05	-2.013E-06
20	0.2	0	-0.049	0.01239	-0.03098	-6.61063E-07	-1E-04	-0.0447	-1.6E-05	-2.274E-06
21	0.21	-0.049	-0.049	-0.03231	-0.16169	-3.45031E-06	-0.00046	-0.02702	-0.00012	-2.935E-06
22	0.22	-0.098	-0.049	-0.05933	-0.40576	-8.65843E-06	-0.00058	0.001992	-0.00057	-6.385E-06

Tabel 5 Contoh perhitungan nilai g5

i	ti	pi*g	$\Delta pi = (pi+1) - pi$	$\frac{g_{2i+1} - g_{2i}}{g_{2i} + \Delta g_{2i}}$	$\Delta pi = \Delta p + a * g_{1i} + b * g_{2i}$	$\Delta g_i = \Delta p / k$	$\Delta g_i = (2 * \Delta g_i / t_i) - (2 * g_{1i})$	$\Delta g_{2i} = ((4 * (\Delta g_i - t_i * g_{1i})) / t_i^2) - 2 * g_{2i}$	$\frac{g_{1i+1} - g_{1i}}{g_{1i} * \Delta g_i}$	$\frac{g_{i+1} - g_i}{\Delta g_i}$
0	0	0	-0.0196	0	-0.0196	-3.94304E-07	-7.9E-05	-0.01577	0	0
1	0.01	-0.0196	-0.0196	-0.01577	-0.08409	-1.69174E-06	-0.00018	-0.00458	-7.9E-05	-3.9E-07
2	0.02	-0.0392	-0.0195	-0.02035	-0.16872	-3.39427E-06	-0.00016	0.008731	-0.00026	-2.1E-06
3	0.03	-0.0588	-0.0196	-0.01162	-0.21806	-4.38683E-06	-3.9E-05	0.015519	-0.00042	-5.5E-06
4	0.04	-0.0784	-0.0196	0.003896	-0.20316	-4.08712E-06	9.86E-05	0.011922	-0.00046	-9.9E-06
5	0.05	-0.098	-0.0196	0.015818	-0.13813	-2.77892E-06	0.000163	0.000977	-0.00036	-1.4E-05
6	0.06	-0.1176	-0.0196	0.016795	-0.06805	-1.36899E-06	0.000119	-0.00981	-0.0002	-1.7E-05
7	0.07	-0.1372	-0.0196	0.006989	-0.03798	-7.64004E-07	2.08E-06	-0.01356	-7.7E-05	-1.8E-05
8	0.08	-0.1568	-0.0196	-0.00657	-0.06423	-1.29222E-06	-0.00011	-0.0084	-7.5E-05	-1.9E-05
9	0.09	-0.1764	-0.0196	-0.01497	-0.12603	-2.5355E-06	-0.00014	0.001754	-0.00018	-2E-05
10	0.1	-0.196	0.0196	-0.01322	-0.14221	-2.86091E-06	7.59E-05	0.041604	-0.00032	-2.3E-05
11	0.11	-0.1764	0.0196	0.028387	-0.02731	-5.49419E-07	0.000386	0.020515	-0.00025	-2.6E-05
12	0.12	-0.1568	0.0196	0.048902	0.175178	3.52415E-06	0.000428	-0.01215	0.000138	-2.6E-05
13	0.13	-0.1372	0.0196	0.036752	0.329813	6.63502E-06	0.000194	-0.03472	0.000567	-2.3E-05
14	0.14	-0.1176	0.0196	0.002029	0.34138	6.86773E-06	-0.00015	-0.03353	0.00076	-1.6E-05
15	0.15	-0.098	0.0196	-0.0315	0.212752	4.28005E-06	-0.00037	-0.01103	0.000613	-9.1E-06
16	0.16	-0.0784	0.0196	-0.04253	0.036025	7.24728E-07	-0.00034	0.01689	0.000243	-4.8E-06
17	0.17	-0.0588	0.0196	-0.02564	-0.07262	-1.46096E-06	-9.6E-05	0.032038	-9.8E-05	-4.1E-06
18	0.18	-0.0392	0.0196	0.006394	-0.04876	-9.80885E-07	0.000192	0.025664	-0.00019	-5.5E-06
19	0.19	-0.0196	0.0196	0.032058	0.082899	1.66771E-06	0.000337	0.003375	-2E-06	-6.5E-06
20	0.2	0	-0.049	0.035433	0.162041	3.25987E-06	-1.9E-05	-0.07467	0.000336	-4.8E-06
21	0.21	-0.049	-0.049	-0.03924	0.004747	9.54989E-08	-0.00061	-0.04429	0.000316	-1.6E-06
22	0.22	-0.098	-0.049	-0.08353	-0.34031	-6.84611E-06	-0.00077	0.012166	-0.0003	-1.5E-06

Tabel 6 Contoh perhitungan modal amplitudo akibat gempa Koyna

$t_i$	$z_1 = \Gamma_1 * g_1$	$z_2 = \Gamma_2 * g_2$	$z_3 = \Gamma_3 * g_3$	$z_4 = \Gamma_4 * g_4$	$z_5 = \Gamma_5 * g_5$
0	0	0	0	0	0
0.01	-1.16557E-07	-1.4751E-07	-1.7235E-07	-1.94062E-08	-1.10405E-09
0.02	-6.95631E-07	-8.57074E-07	-9.73945E-07	-1.06286E-07	-5.84093E-09
0.03	-2.18657E-06	-2.5897E-06	-2.82331E-06	-2.94031E-07	-1.53449E-08
0.04	-5.0159E-06	-5.63356E-06	-5.80581E-06	-5.67499E-07	-2.7628E-08
0.05	-9.57979E-06	-1.00668E-05	-9.66549E-06	-8.73027E-07	-3.90719E-08
0.06	-1.62372E-05	-1.57536E-05	-1.38988E-05	-1.14555E-06	-4.68529E-08
0.07	-2.53037E-05	-2.23729E-05	-1.79173E-05	-1.33929E-06	-5.06861E-08
0.08	-3.70464E-05	-2.94742E-05	-2.12266E-05	-1.4478E-06	-5.28253E-08
0.09	-5.16796E-05	-3.65507E-05	-2.3569E-05	-1.5038E-06	-5.64435E-08
0.10	-6.93616E-05	-4.31187E-05	-2.49873E-05	-1.5624E-06	-6.35429E-08
0.11	-8.99592E-05	-4.84951E-05	-2.54525E-05	-1.63556E-06	-7.15535E-08
0.12	-0.000112821	-5.16133E-05	-2.45308E-05	-1.6497E-06	-7.30918E-08
0.13	-0.000137031	-5.14953E-05	-2.18786E-05	-1.52437E-06	-6.32242E-08
0.14	-0.000161659	-4.76913E-05	-1.76845E-05	-1.2484E-06	-4.46462E-08
0.15	-0.00018578	-4.03286E-05	-1.25859E-05	-8.80671E-07	-2.54165E-08
0.16	-0.000208492	-3.00699E-05	-7.45599E-06	-5.1863E-07	-1.34324E-08
0.17	-0.00022893	-1.7993E-05	-3.13224E-06	-2.5099E-07	-1.14031E-08
0.18	-0.000246282	-5.41054E-06	-1.69072E-07	-1.17439E-07	-1.54938E-08
0.19	-0.000259806	6.3373E-06	1.3123E-06	-9.34367E-08	-1.82403E-08
0.20	-0.000268837	1.6088E-05	1.63747E-06	-1.05543E-07	-1.35707E-08
0.20	-0.000273212	2.25102E-05	8.55759E-07	-1.38216E-07	-4.44306E-09
0.21	-0.000273671	2.37955E-05	-1.86346E-06	-2.9631E-07	-4.17566E-09
0.22	-0.000271424	1.84681E-05	-7.335E-06	-6.98061E-07	-2.33448E-08
0.23	-0.000267714	6.11228E-06	-1.55132E-05	-1.3354E-06	-5.93703E-08
0.24	-0.000263795	-1.26046E-05	-2.55501E-05	-2.09417E-06	-9.91044E-08
0.25	-0.000260907	-3.60743E-05	-3.6089E-05	-2.81146E-06	-1.27975E-07
0.26	-0.000260255	-6.20278E-05	-4.56939E-05	-3.35366E-06	-1.39385E-07
0.27	-0.000262986	-8.79044E-05	-5.3281E-05	-3.67616E-06	-1.38347E-07
0.28	-0.000270171	-0.000111252	-5.84224E-05	-3.83832E-06	-1.37456E-07
0.29	-0.000282782	-0.000130096	-6.14395E-05	-3.96957E-06	-1.48309E-07
0.30	-0.000300806	-0.000142114	-6.1976E-05	-4.05995E-06	-1.65903E-07
0.31	-0.000322382	-0.000143895	-5.78464E-05	-3.82781E-06	-1.64731E-07
0.32	-0.000344734	-0.000132605	-4.70727E-05	-3.01215E-06	-1.24803E-07
0.33	-0.000365109	-0.000107504	-2.97548E-05	-1.63697E-06	-5.22862E-08
0.34	-0.000380829	-6.99765E-05	-7.93305E-06	1.75923E-08	2.63078E-08
0.35	-0.000389335	-2.32418E-05	1.51186E-05	1.56033E-06	8.24891E-08
0.36	-0.000388239	2.82042E-05	3.59299E-05	2.67605E-06	1.04106E-07
0.37	-0.000375358	7.93201E-05	5.18763E-05	3.26593E-06	1.01927E-07
0.38	-0.000348756	0.000125306	6.19153E-05	3.47945E-06	1.01128E-07
0.39	-0.000306777	0.000162321	6.68146E-05	3.63003E-06	1.242E-07
0.40	-0.000250109	0.000185454	6.58144E-05	3.70079E-06	1.57478E-07

Tabel 7 Contoh perhitungan nilai simpangan relatif akibat gempa Koyna

$t_i$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$
0	0	0	0	0	0
0.01	-4.56928E-07	-4.84885E-07	-4.87046E-07	-4.87555E-07	-4.8776E-07
0.02	-2.63878E-06	-2.89378E-06	-2.91567E-06	-2.92044E-06	-2.92212E-06
0.03	-7.90895E-06	-9.08675E-06	-9.20446E-06	-9.22862E-06	-9.236E-06
0.04	-1.70504E-05	-2.0781E-05	-2.12283E-05	-2.13186E-05	-2.13429E-05
0.05	-3.02242E-05	-3.94438E-05	-4.07846E-05	-4.10651E-05	-4.11337E-05
0.06	-4.70821E-05	-6.61767E-05	-6.95333E-05	-7.02933E-05	-7.04703E-05
0.07	-6.69839E-05	-0.000101633	-0.000108912	-0.000110745	-0.000111173
0.08	-8.92476E-05	-0.000146009	-0.000160038	-0.000164025	-0.000164996
0.09	-0.000113359	-0.000199124	-0.000223632	-0.000231527	-0.000233586
0.10	-0.000139094	-0.000260568	-0.000299985	-0.000314343	-0.000318413
0.11	-0.000165614	-0.00032891	-0.000388022	-0.000412208	-0.000419704
0.12	-0.000190688	-0.000400902	-0.000484448	-0.000522479	-0.000535359
0.13	-0.000211993	-0.000472643	-0.000584901	-0.000641118	-0.000661826
0.14	-0.000228328	-0.000540698	-0.000685102	-0.000763727	-0.000794986
0.15	-0.000239601	-0.000602258	-0.000781011	-0.000885644	-0.000930116
0.16	-0.00024655	-0.000655256	-0.000868959	-0.001002073	-0.001061933
0.17	-0.000250317	-0.000698416	-0.000945736	-0.001108229	-0.001184735
0.18	-0.000251995	-0.000731168	-0.00100866	-0.001199488	-0.001292643
0.19	-0.000252268	-0.000753426	-0.001055592	-0.001271542	-0.001379911
0.20	-0.00025123	-0.000765255	-0.001084888	-0.001320555	-0.001441269
0.20	-0.000249986	-0.000768223	-0.001096984	-0.001345028	-0.001473956
0.21	-0.000252039	-0.000766772	-0.001095905	-0.001347614	-0.001479699
0.22	-0.000261012	-0.000766235	-0.001087319	-0.001333449	-0.001463155
0.23	-0.000278509	-0.000770928	-0.001076636	-0.001308416	-0.001430268
0.24	-0.000304143	-0.000783998	-0.001068878	-0.001279025	-0.001388207
0.25	-0.000336009	-0.000807342	-0.0010686	-0.001252215	-0.00134516
0.26	-0.000371469	-0.000841662	-0.001079835	-0.001235092	-0.00131
0.27	-0.000407986	-0.000886726	-0.00110605	-0.001234634	-0.001291834
0.28	-0.000443821	-0.000941851	-0.001150134	-0.001257384	-0.001299481
0.29	-0.000478436	-0.0010065	-0.001214445	-0.001309161	-0.001340934
0.30	-0.000509122	-0.001077231	-0.001297304	-0.00139114	-0.001419208
0.31	-0.000528115	-0.001144576	-0.001389625	-0.001496042	-0.001528311
0.32	-0.000527548	-0.001197143	-0.001478958	-0.001611796	-0.001656718
0.33	-0.000504057	-0.001225625	-0.001553484	-0.00172531	-0.001790998
0.34	-0.000458694	-0.001223115	-0.00160228	-0.001822721	-0.001915974
0.35	-0.000395816	-0.001185353	-0.001615553	-0.001889784	-0.002015109
0.36	-0.000321324	-0.001110717	-0.00158486	-0.00191237	-0.002071123
0.37	-0.000240793	-0.000999777	-0.00150332	-0.001877042	-0.002066791
0.38	-0.000157955	-0.000854383	-0.001365737	-0.001771653	-0.00198587
0.39	-7.38871E-05	-0.000676433	-0.001168544	-0.001585956	-0.001814069
0.40	5.01766E-06	-0.000475139	-0.000917996	-0.001320649	-0.001548513

Tabel 8 Contoh perhitungan simpangan antar tingkat akibat gempa Koyna

$t_i$	$\Delta y_1 = y_1 - y_0$	$\Delta y_2 = y_2 - y_1$	$\Delta y_3 = y_3 - y_2$	$\Delta y_4 = y_4 - y_3$	$\Delta y_5 = y_5 - y_4$
0	0	0	0	0	0
0.01	-4.56928E-07	-2.79571E-08	-2.16138E-09	-5.0842E-10	-2.05437E-10
0.02	-2.63878E-06	-2.55008E-07	-2.1885E-08	-4.77072E-09	-1.67618E-09
0.03	-7.90895E-06	-1.1778E-06	-1.17711E-07	-2.41574E-08	-7.37794E-09
0.04	-1.70504E-05	-3.73056E-06	-4.47327E-07	-9.03224E-08	-2.42692E-08
0.05	-3.02242E-05	-9.21964E-06	-1.34072E-06	-2.8059E-07	-6.85293E-08
0.06	-4.70821E-05	-1.90946E-05	-3.35658E-06	-7.60028E-07	-1.77035E-07
0.07	-6.69839E-05	-3.46489E-05	-7.27885E-06	-1.83346E-06	-4.27995E-07
0.08	-8.92476E-05	-5.67612E-05	-1.40291E-05	-3.98758E-06	-9.70799E-07
0.09	-0.000113359	-8.57646E-05	-2.4508E-05	-7.89524E-06	-2.05872E-06
0.10	-0.000139094	-0.000121475	-3.94161E-05	-1.43586E-05	-4.06977E-06
0.11	-0.000165614	-0.000163296	-5.91121E-05	-2.41868E-05	-7.49544E-06
0.12	-0.000190688	-0.000210214	-8.3546E-05	-3.80308E-05	-1.28798E-05
0.13	-0.000211993	-0.00026065	-0.000112259	-5.6217E-05	-2.07072E-05
0.14	-0.000228328	-0.000312371	-0.000144403	-7.86256E-05	-3.12582E-05
0.15	-0.000239601	-0.000362658	-0.000178753	-0.000104633	-4.44718E-05
0.16	-0.00024655	-0.000408706	-0.000213703	-0.000133114	-5.98597E-05
0.17	-0.000250317	-0.000448098	-0.00024732	-0.000162493	-7.65058E-05
0.18	-0.000251995	-0.000479174	-0.000277492	-0.000190828	-9.3155E-05
0.19	-0.000252268	-0.000501159	-0.000302166	-0.000215949	-0.00010837
0.20	-0.00025123	-0.000514025	-0.000319633	-0.000235668	-0.000120713
0.20	-0.000249986	-0.000518237	-0.000328761	-0.000248045	-0.000128928
0.21	-0.000252039	-0.000514733	-0.000329133	-0.000251709	-0.000132085
0.22	-0.000261012	-0.000505223	-0.000321084	-0.000246131	-0.000129706
0.23	-0.000278509	-0.000492419	-0.000305708	-0.00023178	-0.000121852
0.24	-0.000304143	-0.000479856	-0.00028488	-0.000210147	-0.000109182
0.25	-0.000336009	-0.000471333	-0.000261258	-0.000183615	-9.29444E-05
0.26	-0.000371469	-0.000470192	-0.000238173	-0.000155258	-7.49078E-05
0.27	-0.000407986	-0.00047874	-0.000219324	-0.000128584	-5.72006E-05
0.28	-0.000443821	-0.00049803	-0.000208283	-0.00010725	-4.20968E-05
0.29	-0.000478436	-0.000528064	-0.000207945	-9.47163E-05	-3.17729E-05
0.30	-0.000509122	-0.000568109	-0.000220073	-9.38361E-05	-2.80683E-05
0.31	-0.000528115	-0.00061646	-0.00024505	-0.000106417	-3.22692E-05
0.32	-0.000527548	-0.000669594	-0.000281816	-0.000132838	-4.49222E-05
0.33	-0.000504057	-0.000721588	-0.000327859	-0.000171826	-6.5688E-05
0.34	-0.000458694	-0.00076442	-0.000379165	-0.000220441	-9.32523E-05
0.35	-0.000395816	-0.000789537	-0.0004302	-0.000274231	-0.000125325
0.36	-0.000321324	-0.000789392	-0.000474143	-0.000327511	-0.000158753
0.37	-0.000240793	-0.000758984	-0.000503542	-0.000373722	-0.00018975
0.38	-0.000157955	-0.000696428	-0.000511354	-0.000405916	-0.000214216
0.39	-7.38871E-05	-0.000602546	-0.00049211	-0.000417413	-0.000228112
0.40	5.01766E-06	-0.000480157	-0.000442857	-0.000402654	-0.000227863

Tabel 9 Contoh perhitungan gaya lantai dan gaya geser dasar akibat gempa  
Koyna

$t_i$	$F_1 = y_1 * k_1$	$F_2 = y_2 * k_2$	$F_3 = y_3 * k_3$	$F_4 = y_4 * k_4$	$F_5 = y_5 * k_5$	$V = \Sigma F$
0	0	0	0	0	0	0
0.01	-12.6112108	-6.30350491	-8.86424398	-8.87349722	-8.87723617	-45.529693
0.02	-72.8302156	-37.6191882	-53.0651709	-53.1519980	-53.1825044	-269.84907
0.03	-218.287104	-118.127768	-167.521206	-167.960870	-168.095149	-839.99209
0.04	-470.591079	-270.152521	-386.354878	-387.99874	-388.440444	-1903.5376
0.05	-834.187817	-512.769878	-742.278884	-747.385625	-748.632858	-3585.2550
0.06	-1299.46474	-860.296894	-1265.50539	-1279.33790	-1282.55994	-5987.164
0.07	-1848.75544	-1321.22621	-1982.19169	-2015.5606	-2023.35011	-9191.0840
0.08	-2463.23462	-1898.11443	-2912.68916	-2985.26317	-3002.93172	-13262.233
0.09	-3128.71723	-2588.61043	-4070.10075	-4213.79404	-4251.26266	-18252.485
0.10	-3838.98296	-3387.38967	-5459.71892	-5721.04471	-5795.11456	-24202.250
0.11	-4570.94420	-4275.82407	-7061.99342	-7502.19400	-7638.61092	-31049.566
0.12	-5262.99742	-5211.73181	-8816.96106	-9509.12235	-9743.53463	-38544.347
0.13	-5850.99481	-6144.35448	-10645.2022	-11668.3525	-12045.2243	-46354.128
0.14	-6301.84633	-7029.07862	-12468.8504	-13899.8364	-14468.7364	-54168.348
0.15	-6612.98025	-7829.35871	-14214.4076	-16118.7244	-16928.1108	-61703.581
0.16	-6804.78258	-8518.33059	-15815.0528	-18237.7296	-19327.1762	-68703.07
0.17	-6908.76246	-9079.40578	-17212.3960	-20169.7663	-21562.1717	-74932.502
0.18	-6955.05652	-9505.18851	-18357.6193	-21830.6824	-23526.1028	-80174.649
0.19	-6962.58688	-9794.54170	-19211.7810	-23142.0616	-25114.3874	-84225.358
0.20	-6933.95340	-9948.31797	-19744.9585	-24034.1072	-26231.0882	-86892.425
0.20	-6899.62385	-9986.89917	-19965.1024	-24479.5153	-26826.0050	-88157.145
0.21	-6956.27884	-9968.03639	-19945.4637	-24526.5738	-26930.5215	-88326.874
0.22	-7203.92592	-9961.05838	-19789.2045	-24268.7805	-26629.4234	-87852.392
0.23	-7686.85887	-10022.0634	-19594.7754	-23813.1766	-26030.8856	-87147.760
0.24	-8394.33507	-10191.9769	-19453.5846	-23278.2592	-25265.3646	-86583.520
0.25	-9273.85902	-10495.4510	-19448.5278	-22790.3205	-24481.9088	-86490.067
0.26	-10252.5553	-10941.6002	-19652.9943	-22478.6814	-23842.0034	-87167.834
0.27	-11260.4152	-11527.4392	-20130.1048	-22470.3315	-23511.3817	-88899.672
0.28	-12249.4662	-12244.0648	-20932.4343	-22884.3888	-23650.5510	-91960.905
0.29	-13204.8264	-13084.5025	-22102.9004	-23826.7368	-24405.0033	-96623.969
0.30	-14051.7678	-14004.0034	-23610.9308	-25318.7485	-25829.5916	-102815.04
0.31	-14575.9854	-14879.4821	-25291.1775	-27227.9697	-27815.2687	-109789.88
0.32	-14560.3304	-15562.8542	-26917.0387	-29334.6877	-30152.2713	-116527.18
0.33	-13911.9716	-15933.1220	-28273.4092	-31400.6457	-32596.1673	-122115.36
0.34	-12659.9596	-15900.4901	-29161.4981	-33173.5278	-34870.7199	-125766.19
0.35	-10924.5113	-15409.5852	-29403.0582	-34394.0684	-36674.9803	-126806.20
0.36	-8868.55551	-14439.3180	-28844.4486	-34805.1424	-37694.4405	-124651.90
0.37	-6645.89227	-12997.1055	-27360.4176	-34162.1557	-37615.6003	-118781.17
0.38	-4359.54432	-11106.9788	-24856.4122	-32244.0907	-36142.8286	-108709.85

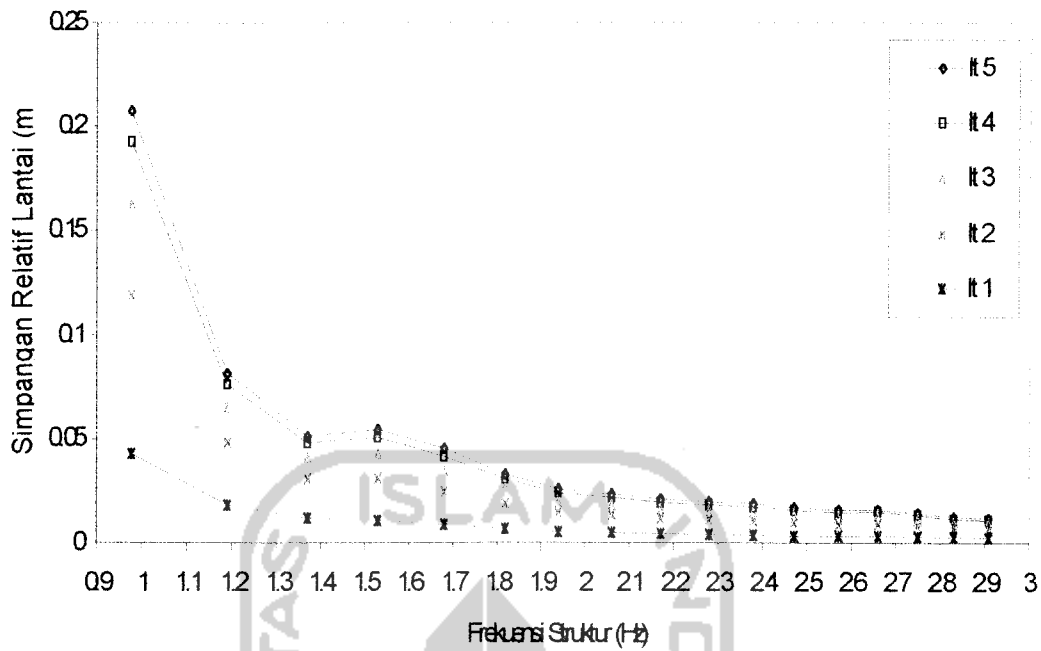
Tabel 10 Contoh perhitungan momen lantai dan momen guling akibat gempa Koyna

$t_i$	$m_1 = F_1 * H_1$	$m_2 = F_2 * H_2$	$m_3 = F_3 * H_3$	$m_4 = F_4 * H_4$	$m_5 = F_5 * H_5$	$m_b = \Sigma m$
0	0	0	0	0	0	0
0.01	-42.247556	-47.5914621	-100.165957	-133.546133	-166.892040	-490.443148
0.02	-243.98122	-284.024871	-599.636432	-799.937570	-999.831083	-2927.41118
0.03	-731.26180	-891.86465	-1892.98963	-2527.81110	-3160.18880	-9204.11599
0.04	-1576.4801	-2039.65153	-4365.81013	-5839.38112	-7302.68036	-21124.0032
0.05	-2794.5291	-3871.41258	-8387.75139	-11248.1536	-14074.2977	-40376.1445
0.06	-4353.2068	-6495.24155	-14300.2109	-19254.0355	-24112.1270	-68514.8219
0.07	-6193.3307	-9975.25789	-22398.7661	-30334.1871	-38038.9821	-106940.524
0.08	-8251.8359	-14330.7639	-32913.3875	-44928.2108	-56455.1164	-156879.314
0.09	-10481.202	-19544.0087	-45992.1385	-63417.6003	-79923.7381	-219358.688
0.10	-12860.592	-25574.7920	-61694.8238	-86101.7229	-108948.153	-295180.085
0.11	-15312.663	-32282.4717	-79800.5257	-112908.019	-143605.885	-383909.565
0.12	-17631.041	-39348.5751	-99631.6600	-143112.291	-183178.451	-482902.019
0.13	-19600.832	-46389.8763	-120290.785	-175608.705	-226450.217	-588340.418
0.14	-21111.185	-53069.5436	-140898.009	-209192.538	-272012.244	-696283.522
0.15	-22153.483	-59111.6582	-160622.806	-242586.803	-318248.483	-802723.235
0.16	-22796.0216	-64313.3959	-178710.097	-274477.830	-363350.913	-903648.259
0.17	-23144.3542	-68549.5136	-194500.075	-303554.984	-405368.828	-995117.756
0.18	-23299.4393	-71764.1733	-207441.098	-328551.770	-442290.734	-1073347.21
0.19	-23324.6660	-73948.7899	-217093.125	-348288.027	-472150.483	-1134805.09
0.20	-23228.7439	-75109.8007	-223118.031	-361713.313	-493144.458	-1176314.34
0.20	-23113.7399	-75401.0887	-225605.658	-368418.706	-504328.894	-1196866.08
0.21	-23303.5341	-75258.6747	-225383.739	-369124.937	-506293.804	-1199364.69
0.22	-24133.1518	-75205.9908	-223618.011	-365245.147	-500633.161	-1188835.46
0.23	-25750.9772	-75666.5791	-221420.962	-358388.308	-489380.650	-1170607.47
0.24	-28121.0224	-76949.4259	-219825.506	-350337.801	-474988.855	-1150222.61
0.25	-31067.4277	-79240.6551	-219768.364	-342994.324	-460259.887	-1133330.65
0.26	-34346.0604	-82609.0816	-222078.836	-338304.155	-448229.664	-1125567.79
0.27	-37722.3911	-87032.1661	-227470.185	-338178.490	-442013.977	-1132417.21
0.28	-41035.7119	-92442.6898	-236536.507	-344410.051	-444630.359	-1159055.32
0.29	-44236.1685	-98787.9942	-249762.774	-358592.390	-458814.062	-1210193.39
0.30	-47073.4222	-105730.226	-266803.518	-381047.165	-485596.323	-1286250.65
0.31	-48829.5511	-112340.090	-285790.306	-409780.944	-522927.052	-1379667.94
0.32	-48777.1069	-117499.549	-304162.537	-441487.050	-566862.701	-1478788.94
0.33	-46605.1050	-120295.071	-319489.524	-472579.718	-612807.945	-1571777.36
0.34	-42410.8648	-120048.700	-329524.929	-499261.594	-655569.535	-1646815.62
0.35	-36597.1130	-116342.368	-332254.558	-517630.730	-689489.630	-1692314.40
0.36	-29709.6609	-109016.851	-325942.269	-523817.393	-708655.482	-1697141.65
0.37	-22263.7391	-98128.1471	-309172.719	-514140.443	-707173.285	-1650878.33
0.38	-14604.4734	-83857.6904	-280877.458	-485273.565	-679485.177	-1544098.36



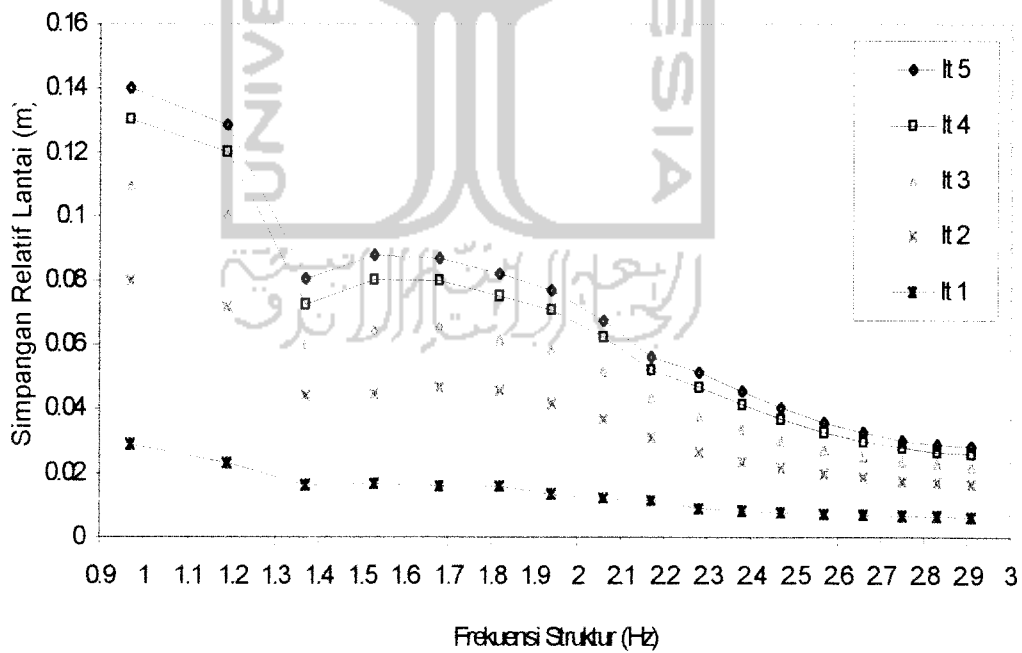


الجامعة الإسلامية  
الابواب مفتحة للجميع

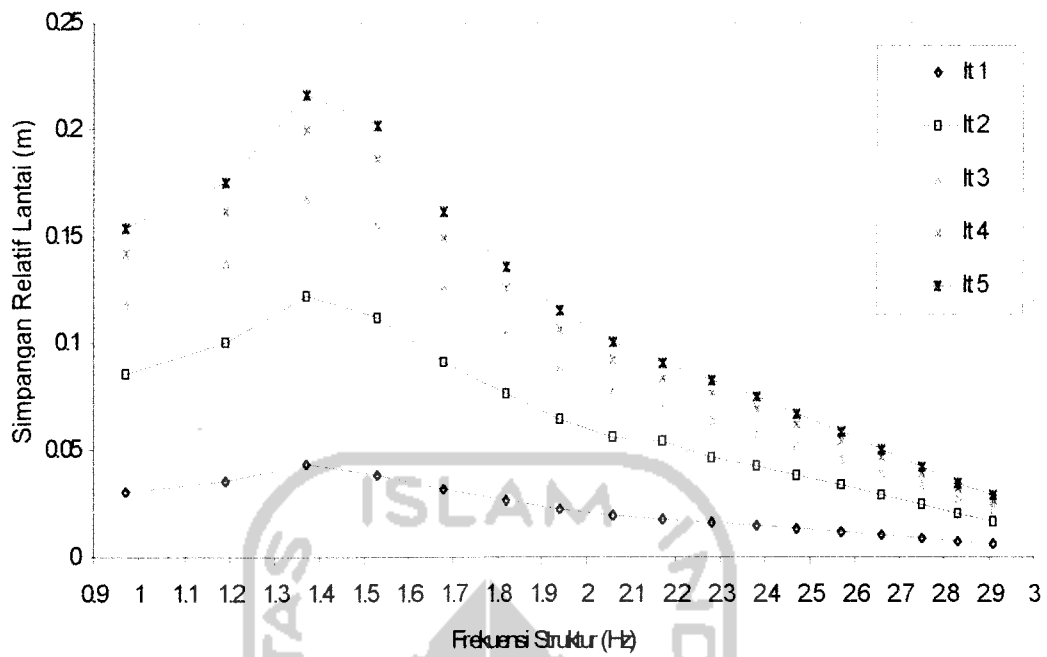


**Gambar 1** Simpangan relatif maksimum lawan frekuensi struktur akibat gempa

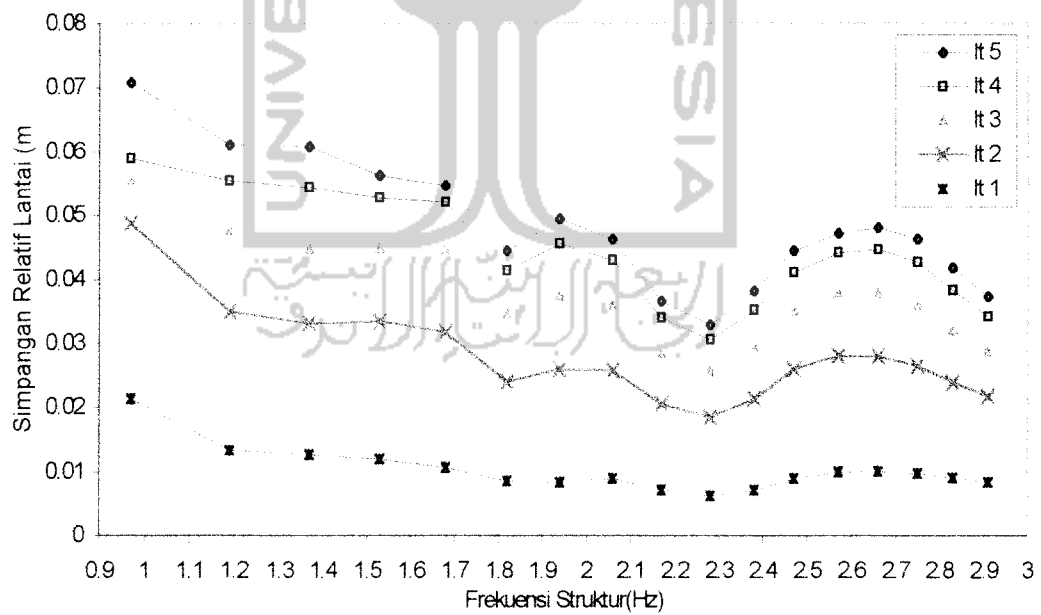
Bucharest



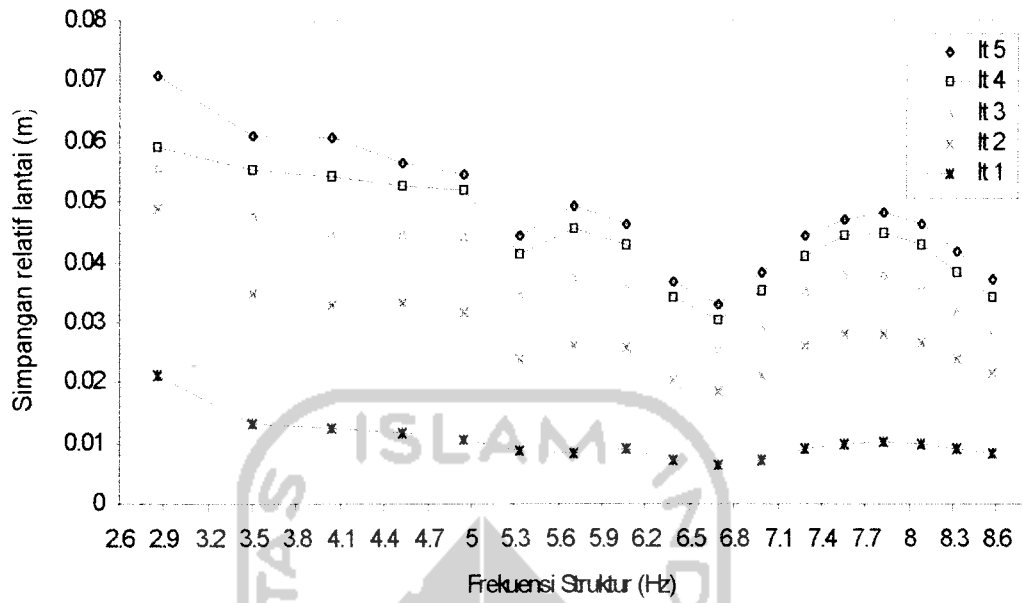
**Gambar 2** Simpangan relatif maksimum lawan frekuensi struktur akibat gempa El Centro



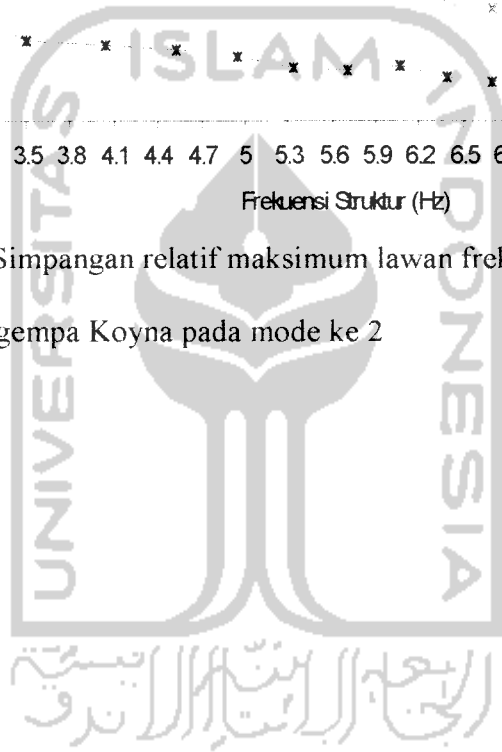
**Gambar 3** Simpangan relatif maksimum lawan frekuensi struktur akibat gempa Parkfield

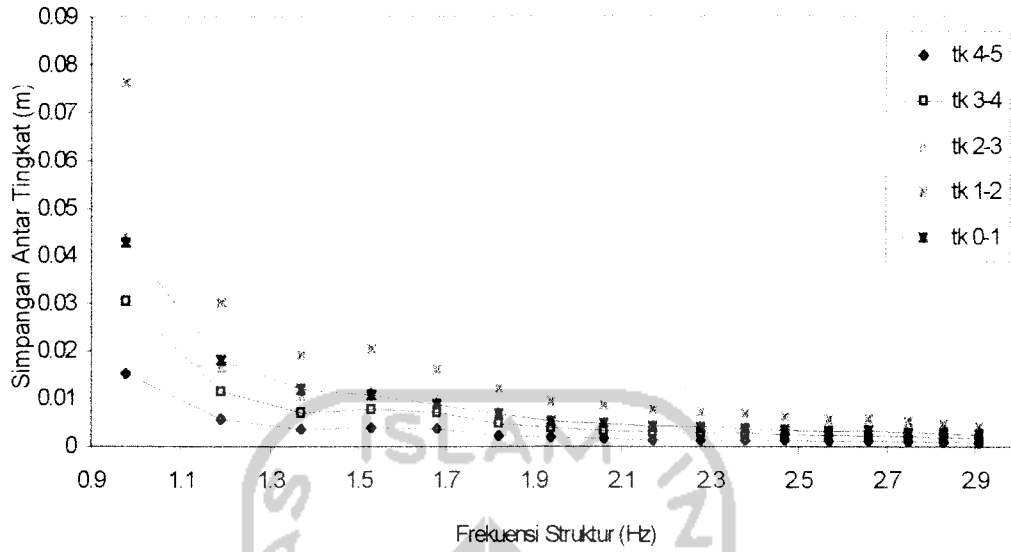


**Gambar 4** Simpangan relatif maksimum lawan frekuensi struktur akibat gempa Koyna pada mode ke 1

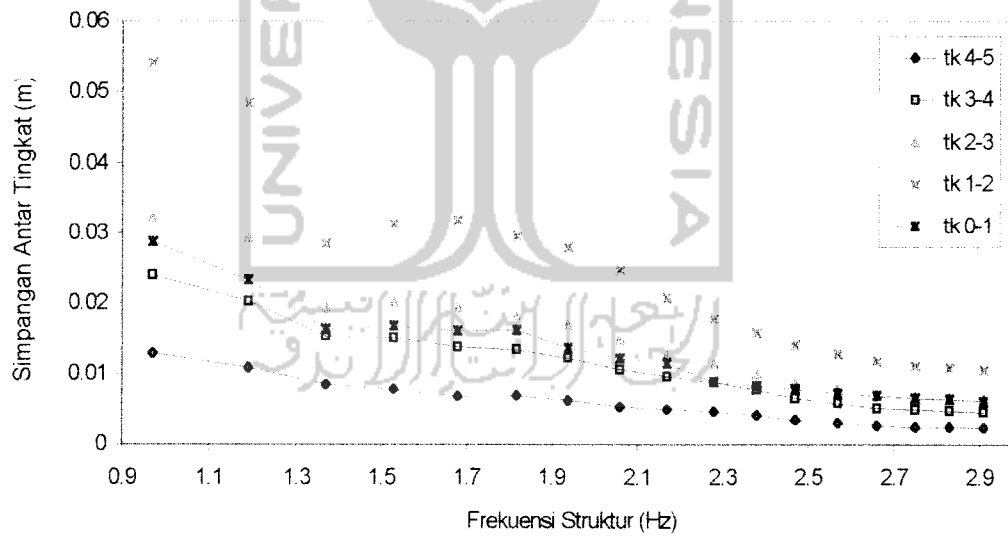


**Gambar 5** Simpangan relatif maksimum lawan frekuensi struktur akibat gempa Koyna pada mode ke 2

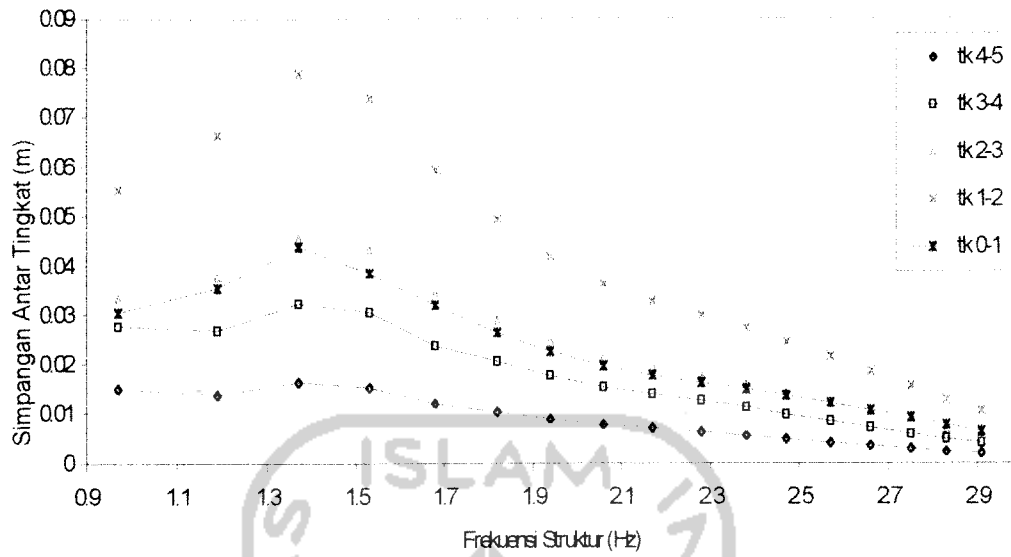




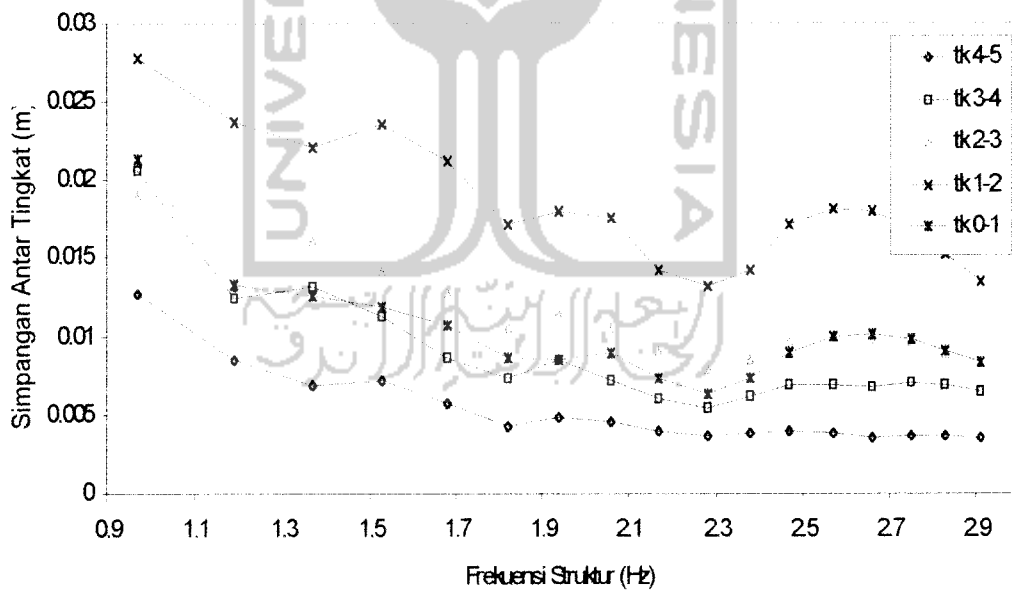
**Gambar 6** Simpangan antar tingkat maksimum akibat gempa Bucharest



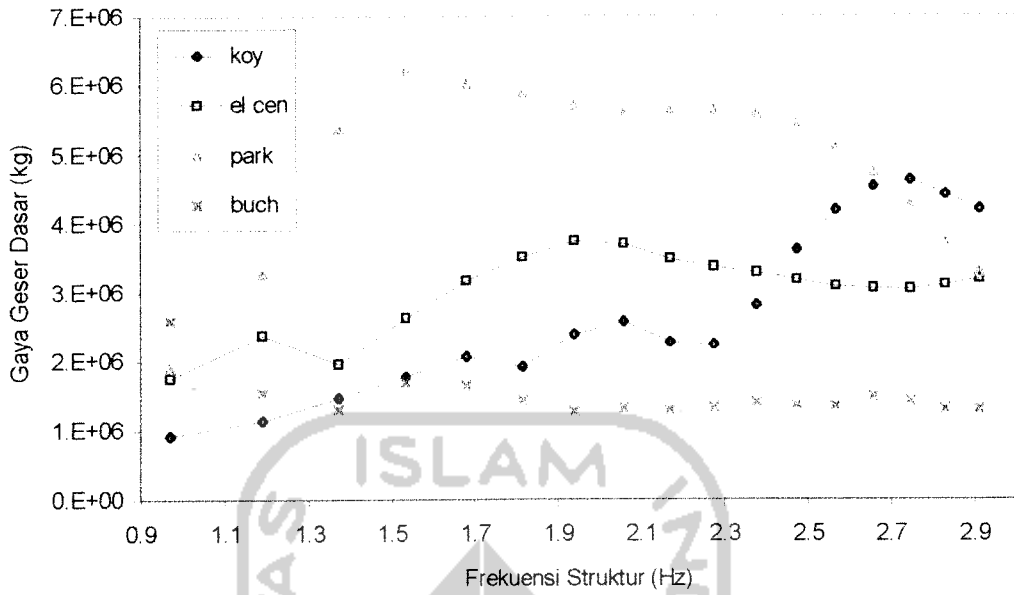
**Gambar 7** Simpangan antar tingkat maksimum akibat gempa El Centro



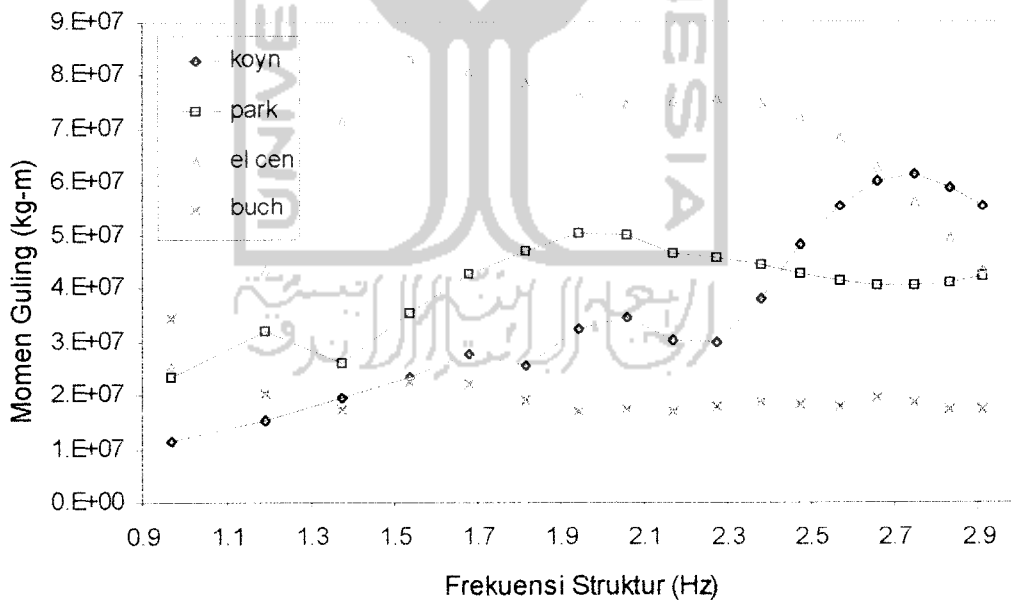
**Gambar 8** Simpangan antar tingkat maksimum akibat gempa Parkfield



**Gambar 9** Simpangan antar tingkat maksimum akibat gempa Koyna




**Gambar 10** Gaya geser dasar maksimum akibat empat beban gempa



**Gambar 11** Momen guling maksimum akibat empat beban gempa





proposal 1 dg  
TA 3 bel  




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	ARDI KHOIR	090310007		ISS
2	ARIFIN	090310029		ISS

JUDUL TUGAS AKHIR : ...ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN...  
TERHADAP CAYA GESER DASAR DAN MOMEN GELING PADA GEDUNG  
BERTINGKAT BANYAK DENGAN TEMPAT BERTIFA TIME  
HISTORY

Dosen Pembimbing I : IR. H. SARWIDI, MSc, PhD  
Dosen Pembimbing II : IR. HELMI AKBAR BALABIS, MSc

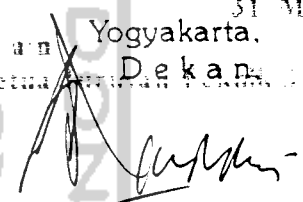
1

2

31 Maret 2009

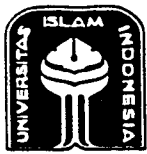
Yogyakarta,  
Ketua Panitia



  
IR. HELMI AKBAR BALABIS, MSc

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
الجامعة الإسلامية  
الابن تيمية  
الابن تيمية





**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042, 895707, Fax. 895330, Yogyakarta 55584

Nomer : 61 / D.II / JTS. / III / 2000  
Lamp. : -  
Hal : BIMBINGAN TUGAS AKHIR.

Yogyakarta, 31 Maret 2000

Kepada Yth. :  
Bapak/Ibu. Ir. H.Sarwidi, MSc, Ph.D  
Di  
Yogyakarta.

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Dengan ini kami mohon dengan hormat kepada Bapak/Ibu agar Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan tersebut dibawah ini

1. Nama : Abdul Khoir  
No. Mhs : 95 310 027  
N.I.R.M. : 950050114120027  
Bidang Studi : Struktur  
Tahun Akademik : 1999/2000 (Genap)

2. Nama : Arifin  
No. Mhs : 95 310 020  
N.I.R.M. : 9550051013114120020  
Bidang Studi : Struktur  
Tahun Akademi : 1999/2000 (Genap)

Dapat diberikan petunjuk/pengarahan serta bimbingan dalam melaksanakan Tugas Akhir.

Kedua mahasiswa tersebut merupakan satu kelompok dengan dosen pembimbing

Sebagai berikut.

Dosen Pembimbing I : Ir. H.Sarwidi, MSc, Ph.D  
Dosen Pembimbing II : Ir. Helmi Akbar Bale, MT  
Dengan mengambil topik

**ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN KEKAKUAN TERHADAP GAYA GESER DASAR DAN MOMEN GULING PADA GEDUNG BERTINGKAT BANYAK DENGAN BEBAN GEMPA BERUPA TIME HISTORY.**

Demikian atas bantuan serta kerjasannya diucapkan terima kasih. mengajukan untuk melaksanakan Tugas Akhir, dapat diberikan petunjuk/pengarahan serta bimbingan/petunjuk terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

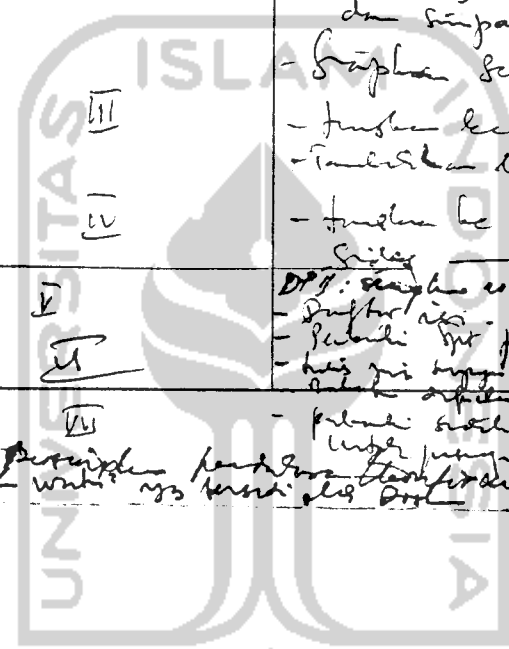
Dr. Dekan  
Fakultas Jurusan Teknik Sipil  
  
(IR. H. TADJUDIN B.M. ARIS, MS)

Tembusan:  
Mahasiswa ybs.  
Arsip.

# CATATAN - KONSULTASI

No.	Tanggal	Konsultasi ke :	KETERANGAN	Paraf
1	21/03/2000	I	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rancangan / rencana.</li> <li>- Coba dg "scheme" numerik yg lain.</li> <li>- Coba dg grup Backflow</li> </ul>	[Signature]
2	05/04/2000	II	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dg grup? lain dg, kuantitas El. Cakra. Coba dg grup dg scheme yg lain. Numerik, withon, atau <math>\beta</math>-method</li> <li>- Rukun <math>\beta</math>-method <math>\rightarrow</math> grup yang tidak dan simpayan ..</li> </ul>	[Signature]
	17/05/2000	III	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grupkan skema <math>\frac{24}{04}</math> 2000.</li> <li>- Fungsi ke kelompok</li> <li>- Tindakan hunting</li> </ul>	[Signature]
2	24/05/2000	IV	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fungsi ke DP II, dan kuantitas</li> </ul>	[Signature]
	20/07/2000	V	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DP II: skema utk nilai <math>\frac{5}{6}</math> 2000</li> <li>- Daftar isi</li> <li>- Rencana: ppt pchijil</li> <li>- hasil uji coba</li> </ul>	[Signature]
2	22/08/2000	VI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- rencana skema dan kuantitas ke DP II</li> </ul>	[Signature]
	31/08/2000	VII	<ul style="list-style-type: none"> <li>- rencana skema dan kuantitas ke DP II</li> </ul>	[Signature]

duplikat 3 31/08/2000  
 Perbandingan  $\rightarrow$  prinsip



جامعة الرانيري  
 الرانيري

\* Silakan, see utl & jilid.