

PERPUSTAKAAN FTSP UH	
HAMBAN/BELI	
TGL. TERIMA :	13-3-03
NO. JUDUL :	000345
NO. INV. :	S12.0000345.001
NO. INDIK. :	

TUGAS AKHIR

**PENGARUH EKSITASI BEBAN GEMPA TERHADAP PERILAKU
DINAMIKA STRUKTUR MENGGUNAKAN ISOLASI DASAR HIGH
DAMPING RUBBER BEARINGS**

*The Effects of Earthquake Excitation on The Dynamic Behavior of a Structure
using High Damping Rubber Bearings as The Based Isolation System*



MILIK PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UH YOGYAKARTA

DISUSUN OLEH :

HABIB BURHAN
No. Mhs: 95310016

SUPRIYADI
No. Mhs: 95310282

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

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

**PENGARUH EKSITASI BEBAN GEMPA TERHADAP
PERILAKU DINAMIKA STRUKTUR DENGAN
MENGUNAKAN ISOLASI DASAR HIGH DAMPING
RUBBER BEARINGS**


*The Effects of Earthquake Excitation on The Dynamic Behavior of a Structure
using High Damping Rubber Bearings as The Based Isolation System*

DISUSUN OLEH :

Nama : **HABIB BURHAN**
No Mhs : **95310016**

Nama : **SUPRIYADI**
No Mhs : **95310282**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :


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

Tanggal : 07-01-2003


Ir. Tri Fajar Budiono, MT
Dosen Pembimbing II

Tanggal : 07-01-2003

Kami persembahkan Tugas Akhir ini kepada...

- ☺ Tuhan Yang Maha Esa dan junjungan kita Nabi Muhammad SAW
- ☺ Kedua Orangtua kami tercinta yang selalu mendo'akan & memberikan motivasi dan dukungan baik moril maupun materiil
- ☺ Adik-adik kami tercinta yang selalu mendo'akan dan memberikan support
- ☺ Teman-teman TS Angkatan 95 khususnya kelas E dan F
- ☺ UII kampus tercinta

KATA PENGANTAR

Assalammu'alaikum Wr. Wb.

Segala puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta karunia-Nya kepada kita semua, khususnya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini, yang merupakan salah satu syarat guna memperoleh derajat kesarjanaan S-1 (strata satu) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak lepas dari dukungan serta sumbangan saran dan pikiran dari berbagai pihak dalam menghadapi hambatan yang terjadi selama penyusunan. Pada kesempatan ini ijinilah kami dengan segala hormat dan keikhlasan hati untuk menghaturkan terima kasih kepada

1. Bapak Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Jogjakarta,
2. Bapak Ir. H. Sarwidi, MSCE, Ph.D, selaku Dosen Pembimbing I,
3. Bapak Ir. Tri Fajar Budiono, MT, selaku Dosen Pembimbing II,
4. Bapak Ir. H. Suharyatmo, MT, selaku Dosen Tamu,
5. Bapak Ir. H. Munadhir, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Jogjakarta,
6. Segenap civitas akademika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Jogjakarta,
7. Kedua orang tua kami yang telah banyak berkorban dan memberi dukungan moril dan materil kepada kami,

-
-
-
-
-
8. Adik-adik kami yang telah memberikan dukungan dan motivasi kepada kami,
9. Teman-teman khususnya TS angkatan '95 yang telah membantu kami dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari dalam Tugas Akhir ini masih ada kekurangan-kekurangan, untuk itu penulis mengharap kritik dan saran yang bersifat konstruktif untuk memperbaiki kualitas dimasa mendatang.

Akhir kata penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi semua yang membacanya. Semoga Allah SWT selalu memberkati kita semua, Amin.

Wassalammu'alaikum Wr. Wb.

Jogjakarta, Oktober 2002

Penulis

DAFTAR ISI

	hal
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
DAFTAR NOTASI	xxvi
INTISARI	xxviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.6 Pendekatan Masalah.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Umum.....	7
2.2 Prinsip Sistem Isolasi Dasar (<i>Based Isolation</i>).....	9
2.3 Manfaat Sistem <i>Based Isolation</i>	10
2.4 Jenis-jenis <i>Based Isolation</i>	11
2.4.1 <i>Rubber Type Seismic Isolation</i>	12
2.4.2 <i>Non-Rubber Type Seismic Isolation</i>	15
2.5 Proses Pembuatan Isolasi Dasar Bantalan Karet.....	15
2.6 Perletakan Isolasi Dasar.....	15

2.7 Penelitian Terdahulu.....	16
2.8 Keaslian Penelitian.....	18
BAB III LANDASAN TEORI.....	19
3.1 Prinsip Bangunan Geser.....	19
3.2 Derajat Kebebasan (<i>Degree of Freedom</i>).....	21
3.3 Sistem Derajat Kebebasan Tunggal/ <i>Single Degree of Freedom</i> (SDOF).....	22
3.4 Resonansi.....	24
3.5 Sistem Derajat Kebebasan Banyak/ <i>Multi Degree of Freedom</i> (MDOF).....	26
3.5.1 Struktur MDOF Tanpa Menggunakan Isolasi Dasar.....	28
3.5.2 Struktur MDOF Dengan Menggunakan Isolasi Dasar.....	30
3.6 Persamaan Gerakan Akibat Beban Gempa.....	33
3.7 Perilaku Struktur.....	36
3.7.1 Simpangan Struktur.....	36
3.7.2 Gaya Geser Tingkat.....	38
3.7.3 Momen Guling.....	39
BAB IV METODE PENELITIAN.....	41
4.1 Data struktur.....	41
4.2 Data Alat Peredam (<i>Based Isolation</i>).....	42
4.3 Pengolahan Data.....	43
4.4 Pengujian.....	45
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	48
5.1 Analisis.....	48
5.1.1 Perhitungan Beban Struktur.....	49
5.1.2 Perhitungan Beban Tiap Node Tiap Tingkat.....	50
5.1.3 Menentukan Dukungan Struktur.....	51
5.1.4 Variasi Gempa, Arah Gempa dan Kekakuan Isolasi Dasar.....	51

5.1.5 Hasil Perhitungan Simpangan Relatif dengan Variasi Gempa, Arah Gempa dan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar.....	52
5.1.6 Hasil Perhitungan Simpangan Antar Tingkat dengan Variasi Gempa, Arah Gempa dan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar.....	66
5.1.7 Hasil Perhitungan Gaya Geser Tingkat dengan Variasi Gempa, Arah Gempa dan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar.....	73
5.1.8 Hasil Perhitungan Momen Guling dengan Variasi Gempa, Arah Gempa dan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar.....	86
5.2 Pembahasan.....	99
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	109
6.1 Kesimpulan.....	109
6.2 Saran.....	111

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	HAL
Gambar 2.1 Perletakan isolasi dasar pada bangunan	9
Gambar 2.2 Hubungan waktu getar alami struktur dan respo maksimum	10
Gambar 2.3 Komposisi <i>Rubber Bearing</i>	14
Gambar 2.4 <i>High Damping Rubber Bearings</i>	14
Gambar 3.1 Beban dinamik pada struktur SDOF	23
Gambar 3.2 Hubungan antara DLF dengan Rasio Frekuensi	26
Gambar 3.3 Struktur MDOF tanpa isolasi dasar	28
Gambar 3.4 Struktur MDOF dengan isolasi dasar	31
Gambar 3.5 Sistem Derajat Kebebasan Tunggal dengan Beban Gempa	34
Gambar 3.6 Model struktur dengan jenis simpangannya	40
Gambar 4.1 Bagan alir komparasi <i>fixed base</i> dengan <i>based isolation</i>	44
Gambar 4.2 Struktur 3D tanpa <i>High Damping Rubber Bearings</i>	45
Gambar 4.3 Struktur 3D dengan <i>High Damping Rubber Bearings</i>	46
Gambar 4.4 Denah gedung tampak atas	47
Gambar 5.1a Simpangan relatif terhadap pondasi arah X gempa Koyna arah Utara dan Selatan dengan variasi kekakuan isolasi dasar	53
Gambar 5.1b Simpangan relatif terhadap pondasi arah X gempa Bucharest arah Utara dan Selatan dengan variasi kekakuan isolasi dasar	53

Gambar 5.2a	Simpangan relatif terhadap pondasi arah Y gempa Koyna arah Timur dan Barat dengan variasi kekakuan isolasi dasar	54
Gambar 5.2b	Simpangan relatif terhadap pondasi arah Y gempa Bucharest arah Timur dan Barat dengan variasi kekakuan isolasi dasar	54
Gambar 5.3a	Simpangan lantai 1 arah X terhadap pondasi gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	55
Gambar 5.3b	Simpangan lantai 4 arah X terhadap pondasi gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	55
Gambar 5.3c	Simpangan lantai 7 arah X terhadap pondasi gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	56
Gambar 5.3d	Simpangan lantai 10 arah X terhadap pondasi gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	56
Gambar 5.4a	Simpangan lantai 1 arah Y terhadap pondasi gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	57
Gambar 5.4b	Simpangan lantai 4 arah Y terhadap pondasi gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	57
Gambar 5.4c	Simpangan lantai 7 arah Y terhadap pondasi gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	58
Gambar 5.4d	Simpangan lantai 10 arah Y terhadap pondasi gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	58
Gambar 5.5a	Simpangan relatif terhadap <i>Base Plate</i> arah X gempa Koyna arah Utara dan Selatan dengan variasi kekakuan isolasi dasar	60

Gambar 5.5b	Simpangan relatif terhadap <i>Base Plate</i> arah X gempa Bucharest arah Utara dan Selatan dengan variasi kekakuan isolasi dasar	60
Gambar 5.6a	Simpangan relatif terhadap <i>Base Plate</i> arah Y gempa Koyna arah Timur dan Barat dengan variasi kekakuan isolasi dasar	61
Gambar 5.6b	Simpangan relatif terhadap <i>Base Plate</i> arah Y gempa Bucharest arah Timur dan Barat dengan variasi kekakuan isolasi dasar	61
Gambar 5.7a	Simpangan lantai 1 arah X terhadap <i>Base Plate</i> gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	62
Gambar 5.7b	Simpangan lantai 4 arah X terhadap <i>Base Plate</i> gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	62
Gambar 5.7c	Simpangan lantai 7 arah X terhadap <i>Base Plate</i> gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	63
Gambar 5.7d	Simpangan lantai 10 arah X terhadap <i>Base Plate</i> gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	63
Gambar 5.8a	Simpangan lantai 1 arah Y terhadap <i>Base Plate</i> gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	64
Gambar 5.8b	Simpangan lantai 4 arah Y terhadap <i>Base Plate</i> gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	64
Gambar 5.8c	Simpangan lantai 7 arah Y terhadap <i>Base Plate</i> gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	65
Gambar 5.8d	Simpangan lantai 10 arah Y terhadap <i>Base Plate</i> gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	65

Gambar 5.9a	Simpangan antar tingkat arah X gempa Koyna arah Utara dan Selatan dengan variasi kekakuan isolasi dasar	67
Gambar 5.9b	Simpangan antar tingkat arah X gempa Bucharest arah Utara dan Selatan dengan variasi kekakuan isolasi dasar	67
Gambar 5.10a	Simpangan antar tingkat arah Y gempa Koyna arah Timur dan Barat dengan variasi kekakuan isolasi dasar	68
Gambar 5.10b	Simpangan antar tingkat arah Y gempa Bucharest arah Timur dan Barat dengan variasi kekakuan isolasi dasar	68
Gambar 5.11a	Simpangan antar tingkat lantai 1 arah X gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	69
Gambar 5.11b	Simpangan antar tingkat lantai 4 arah X gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	69
Gambar 5.11c	Simpangan antar tingkat lantai 7 arah X gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	70
Gambar 5.11d	Simpangan antar tingkat lantai 10 arah X gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	70
Gambar 5.12a	Simpangan antar tingkat lantai 1 arah Y gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	71
Gambar 5.12b	Simpangan antar tingkat lantai 4 arah Y gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	71
Gambar 5.12c	Simpangan antar tingkat lantai 7 arah Y gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	72

Gambar 5.12d Simpangan antar tingkat lantai 10 arah Y gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	72
Gambar 5.13a Gaya geser tingkat arah X gempa Koyna arah Utara dan Selatan dengan variasi kekakuan isolasi dasar	74
Gambar 5.13b Gaya geser tingkat arah X gempa Bucharest arah Utara dan Selatan dengan variasi kekakuan isolasi dasar	74
Gambar 5.14a Gaya geser tingkat arah X gempa Koyna arah Timur dan Barat dengan variasi kekakuan isolasi dasar	75
Gambar 5.14b Gaya geser tingkat arah X gempa Bucharest arah Timur dan Barat dengan variasi kekakuan isolasi dasar	75
Gambar 5.15a Gaya geser tingkat arah Y gempa Koyna arah Utara dan Selatan dengan variasi kekakuan isolasi dasar	76
Gambar 5.15b Gaya geser tingkat arah Y gempa Bucharest arah Utara dan Selatan dengan variasi kekakuan isolasi dasar	76
Gambar 5.16a Gaya geser tingkat arah Y gempa Koyna arah Timur dan Barat dengan variasi kekakuan isolasi dasar	77
Gambar 5.16b Gaya geser tingkat arah Y gempa Bucharest arah Timur dan Barat dengan variasi kekakuan isolasi dasar	77
Gambar 5.17a Gaya geser tingkat lantai 1 arah X gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	78
Gambar 5.17b Gaya geser tingkat lantai 4 arah X gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	78

Gambar 5.17c Gaya geser tingkat lantai 7 arah X gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	79
Gambar 5.17d Gaya geser tingkat lantai 10 arah X gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	79
Gambar 5.18a Gaya geser tingkat lantai 1 arah X gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	80
Gambar 5.18b Gaya geser tingkat lantai 4 arah X gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	80
Gambar 5.18c Gaya geser tingkat lantai 7 arah X gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	81
Gambar 5.18d Gaya geser tingkat lantai 10 arah X gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	81
Gambar 5.19a Gaya geser tingkat lantai 1 arah Y gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	82
Gambar 5.19b Gaya geser tingkat lantai 4 arah Y gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	82
Gambar 5.19c Gaya geser tingkat lantai 7 arah Y gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	83
Gambar 5.19d Gaya geser tingkat lantai 10 arah Y gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	83
Gambar 5.20a Gaya geser tingkat lantai 1 arah Y gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	84

Gambar 5.20b Gaya geser tingkat lantai 4 arah Y gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	84
Gambar 5.20c Gaya geser tingkat lantai 7 arah Y gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	85
Gambar 5.20d Gaya geser tingkat lantai 10 arah Y gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	85
Gambar 5.21a Momen guling arah X gempa Koyna arah Utara dan Selatan dengan variasi kekakuan isolasi dasar	87
Gambar 5.21b Momen guling arah X gempa Bucharest arah Utara dan Selatan dengan variasi kekakuan isolasi dasar	87
Gambar 5.22b Momen guling arah X gempa Koyna arah Timur dan Barat dengan variasi kekakuan isolasi dasar	88
Gambar 5.22b Momen guling arah X gempa Bucharest arah Timur dan Barat dengan variasi kekakuan isolasi dasar	88
Gambar 5.23a Momen guling arah Y gempa Koyna arah Utara dan Selatan dengan variasi kekakuan isolasi dasar	89
Gambar 5.23b Momen guling arah Y gempa Bucharest arah Utara dan Selatan dengan variasi kekakuan isolasi dasar	89
Gambar 5.24a Momen guling arah Y gempa Koyna arah Timur dan Barat dengan variasi kekakuan isolasi dasar	90
Gambar 5.24b Momen guling arah Y gempa Bucharest arah Timur dan Barat dengan variasi kekakuan isolasi dasar	90

Gambar 5.25a Momen guling lantai 1 arah X gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	91
Gambar 5.25b Momen guling lantai 4 arah X gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	91
Gambar 5.25c Momen guling lantai 7 arah X gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	92
Gambar 5.25d Momen guling lantai 10 arah X gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	92
Gambar 5.26a Momen guling lantai 1 arah X gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	93
Gambar 5.26b Momen guling lantai 4 arah X gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	93
Gambar 5.26c Momen guling lantai 7 arah X gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	94
Gambar 5.26d Momen guling lantai 10 arah X gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	94
Gambar 5.27a Momen guling lantai 1 arah Y gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	95
Gambar 5.27b Momen guling lantai 4 arah Y gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	95
Gambar 5.27c Momen guling lantai 7 arah Y gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	96

Gambar 5.27d Momen guling lantai 10 arah Y gempa Koyna dan Bucharest arah Utara dan Selatan	96
Gambar 5.28a Momen guling lantai 1 arah Y gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	97
Gambar 5.28b Momen guling lantai 4 arah Y gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	97
Gambar 5.28c Momen guling lantai 7 arah Y gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	98
Gambar 5.28d Momen guling lantai 10 arah Y gempa Koyna dan Bucharest arah Timur dan Barat	95

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1 Kapasitas simpan energi dari beberapa bahan	13
Tabel 4.1 Spesifikasi sistem <i>High Damping Rubber Bearings</i>	39

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN	Nama Lampiran
Lamp 1	Kartu Peserta Tugas Akhir
Lamp 2	Input SAP 2000
Lamp 3	Output SAP 2000
Lamp 4.1	Grafik Simpangan Relatif untuk Lantai 1 sampai Lantai 10 Gedung dengan Kekakuan Isolasi Dasar $K=10\%$ Akibat Riwayat Waktu Gempa Koyna
Lamp 4.2	Grafik Simpangan Relatif untuk Lantai 1 sampai Lantai 10 Gedung dengan Kekakuan Isolasi Dasar $K=100\%$ Akibat Riwayat Waktu Gempa Koyna
Lamp 4.3	Grafik Simpangan Relatif untuk Lantai 1 sampai Lantai 10 Gedung dengan Kekakuan Isolasi Dasar $K=1000\%$ Akibat Riwayat Waktu Gempa Koyna
Lamp 4.4	Grafik Simpangan Relatif untuk Lantai 1 sampai Lantai 10 Gedung dengan Kekakuan Isolasi Dasar $K=10000\%$ Akibat Riwayat Waktu Gempa Koyna
Lamp 4.5	Grafik Simpangan Relatif untuk Lantai 1 sampai Lantai 10 Gedung dengan Kekakuan Isolasi Dasar $K=100000\%$ Akibat Riwayat Waktu Gempa Koyna

-
-
-
- Lamp 4.6** Grafik Simpangan Relatif untuk Lantai 1 sampai Lantai 10
Gedung Tanpa Isolasi Dasar Akibat Riwayat Waktu
Gempa Koyna
- Lamp 4.7** Grafik Simpangan Relatif untuk Lantai 1 sampai Lantai 10
Gedung dengan Kekakuan Isolasi Dasar $K=10\%$ Akibat
Riwayat Waktu Gempa Bucharest
- Lamp 4.8** Grafik Simpangan Relatif untuk Lantai 1 sampai Lantai 10
Gedung dengan Kekakuan Isolasi Dasar $K=100\%$ Akibat
Riwayat Waktu Gempa Bucharest
- Lamp 4.9** Grafik Simpangan Relatif untuk Lantai 1 sampai Lantai 10
Gedung dengan Kekakuan Isolasi Dasar $K=1000\%$ Akibat
Riwayat Waktu Gempa Bucharest
- Lamp 4.10** Grafik Simpangan Relatif untuk Lantai 1 sampai Lantai 10
Gedung dengan Kekakuan Isolasi Dasar $K=10000\%$ Akibat
Riwayat Waktu Gempa Bucharest
- Lamp 4.11** Grafik Simpangan Relatif untuk Lantai 1 sampai Lantai 10
Gedung dengan Kekakuan Isolasi Dasar $K=100000\%$
Akibat Riwayat Waktu Gempa Bucharest
- Lamp 4.12** Grafik Simpangan Relatif untuk Lantai 1 sampai Lantai 10
Gedung Tanpa Isolasi Dasar Akibat Riwayat Waktu
Gempa Bucharest

- Lamp 4.13** Grafik Gaya Geser Tingkat untuk Tingkat 1 sampai Tingkat 10 Gedung dengan Kekakuan Isolasi Dasar $K=10\%$ Akibat Riwayat Waktu Gempa Koyna
- Lamp 4.14** Grafik Gaya Geser Tingkat untuk Tingkat 1 sampai Tingkat 10 Gedung dengan Kekakuan Isolasi Dasar $K=100\%$ Akibat Riwayat Waktu Gempa Koyna
- Lamp 4.15** Grafik Gaya Geser Tingkat untuk Tingkat 1 sampai Tingkat 10 Gedung dengan Kekakuan Isolasi Dasar $K=1000\%$ Akibat Riwayat Waktu Gempa Koyna
- Lamp 4.16** Grafik Gaya Geser Tingkat untuk Tingkat 1 sampai Tingkat 10 Gedung dengan Kekakuan Isolasi Dasar $K=10000\%$ Akibat Riwayat Waktu Gempa Koyna
- Lamp 4.17** Grafik Gaya Geser Tingkat untuk Tingkat 1 sampai Tingkat 10 Gedung dengan Kekakuan Isolasi Dasar $K=100000\%$ Akibat Riwayat Waktu Gempa Koyna
- Lamp 4.18** Grafik Gaya Geser Tingkat untuk Tingkat 1 sampai Tingkat 10 Gedung Tanpa Isolasi Dasar Akibat Riwayat Waktu Gempa Koyna
- Lamp 4.19** Grafik Gaya Geser Tingkat untuk Tingkat 1 sampai Tingkat 10 Gedung dengan Kekakuan Isolasi Dasar $K=10\%$ Akibat Riwayat Waktu Gempa Bucharest

Y = simpangan relatif

Z = modal amplitude

Ω = frekuensi beban dinamik

ω = frekuensi sudut

Φ = *mode shapes*

Γ = partisipasi setiap *mode*

INTISARI

Salah satu fenomena alam yang dapat terjadi setiap saat adalah gempa bumi, yang dapat mengakibatkan bangunan bergetar. Pada saat gempa berlangsung tanah mengalami pergerakan secara acak yang menyebabkan akselerasi bangunan gedung. Getaran akibat gempa bumi dapat merusak bangunan yang berada diatas permukaan tanah, sehingga diperlukan suatu sistem untuk meredam sebagian getaran di puncak bangunan.

Pencegahan kerusakan akibat getaran bumi dapat dilakukan dengan menggunakan isolasi dasar. Di Indonesia sistem isolasi dasar ini belum banyak digunakan. Penelitian ini menggunakan High Damping Rubber Bearings sebagai isolasi dasar dan memvariasikan kekakuan isolasi dasar serta menggunakan beban gempa Koyna dan Bucharest untuk mencari nilai simpangan relatif, simpangan antar tingkat, gaya geser tingkat dan momen guling yang terjadi. Kekakuan isolasi dasar yang digunakan adalah 10%, 100%, 1000%, 10000%, 100000% dan bangunan tanpa isolasi dasar.

Dari penelitian yang telah dilakukan penggunaan isolasi dasar sangat berpengaruh terhadap simpangan relatif, simpangan antar tingkat, gaya geser tingkat dan momen guling yang terjadi, tetapi tidak dapat mereduksi simpangan pada struktur tanpa isolasi dasar namun dapat mereduksi gaya geser tingkat dan momen guling. Nilai kekakuan isolasi dasar yang paling optimal adalah variasi kekakuan 10000%. Kemampuan isolasi dasar mereduksi gaya geser tingkat sampai 75,76% akibat gempa Koyna dan 87,93% akibat gempa Bucharest untuk arah X dan sampai 59,76% akibat gempa Koyna dan 76,10% akibat gempa Bucharest untuk arah Y, sedangkan momen guling yang dapat direduksi dengan menggunakan isolasi dasar sampai 41,94% akibat gempa Koyna dan 57,58% untuk gempa Bucharest untuk arah X dan sampai 39,39% akibat gempa Koyna dan 61,66% akibat gempa Bucharest untuk arah Y.

Kata kunci : isolasi dasar, High Damping Rubber Bearings, simpangan relatif, simpangan antar tingkat, gaya geser tingkat dan momen guling

BAB I
PENDAHULUAN

Pendahuluan ini berisi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan pendekatan masalah. Penjelasan mengenai hal-hal tersebut diatas akan diuraikan berikut ini.

1.1 Latar Belakang Masalah

Getaran adalah kejadian yang sering dirasakan oleh manusia pada kehidupan sehari-hari. Getaran yang dimaksud adalah getaran suatu benda yang dapat dirasakan oleh manusia. Benda akan bergetar apabila terdapat suatu sumber energi yang akan diteruskan sampai ke benda yang bersangkutan. Getaran dapat disebabkan oleh berbagai macam kejadian, salah satu penyebab terjadinya getaran adalah bencana alam yang disebut dengan gempa bumi. Energi mekanik akibat rusaknya struktur batuan pada peristiwa gempa bumi selanjutnya akan menjadi energi gelombang yang menggetarkan batuan sekelilingnya. Getaran batuan akibat gempa bumi selanjutnya akan diteruskan ke permukaan tanah. Tanah yang bergetar akibat gempa akan mengakibatkan bangunan yang ada di atas tanah ikut bergetar.

Gempa bumi merupakan fenomena alam yang kompleks, yang disebabkan oleh tumbukan maupun pergeseran plat tektonik didalam bumi. Kerusakan-kerusakan yang disebabkan oleh gempa bumi dapat dikatagorikan menjadi

kerusakan struktural dan nonstruktural. Kerusakan nonstruktural 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 struktur tanah lainnya. Jenis kerusakan struktural yang pernah tercatat akibat gempa, antara lain adalah efek perlemahan tingkat (*soft storey effects*), efek dari perilaku kolom dan balok pendek (*short column and beam effects/shear failure*), pembesaran rotasi total join (*beam column joint*), puntir (*torsion*), dan benturan antara bangunan yang berdekatan (*structural pounding*) (Widodo, 1997).

Walaupun tidak termasuk kejadian sehari-hari gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang sering menimbulkan kerusakan baik kerusakan struktur tanah maupun bangunan yang ada di atasnya. Kerusakan bangunan sering terjadi akibat peristiwa gempa bumi seperti ini, khususnya pada daerah-daerah tertentu. Negara Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan terhadap gempa bumi tektonis karena Indonesia terletak pada permukaan sirkum Pasifik dan Transiatik serta terletak di atas permukaan beberapa lempeng kerak bumi yang aktif (Puslitbang Pemukiman, 1986). Menurut Hutchison dalam Widodo (1996) Indonesia adalah wilayah yang gempa buminya tergolong cukup besar dalam arti ukuran maupun intensitas gempa. Daerah-daerah rawan gempa, antara lain sebelah timur yaitu di utara Papua dan Halmahera, sedangkan bagian selatan mulai dari Nusa Tenggara, Selatan Jawa dan barat kepulauan Sumatera berbatasan dengan plat tektonik Australia.

Menurut Housner (1971) dalam Widodo (1997a) bahwa gempa dengan frekuensi yang lebih tinggi akan mengakibatkan simpangan yang lebih kecil dari pada gempa dengan frekuensi yang lebih rendah. Kesamaan atau kedekatan frekuensi antara frekuensi beban dan frekuensi struktur cenderung akan mengakibatkan resonansi dan menjadikan respon struktur menjadi sangat besar. Parameter kandungan frekuensi banyak dipakai sebagai parameter dalam menganalisa respon struktur akibat beban gempa.

Gempa bumi menyebabkan kerugian yang tidak sedikit dari segi material maupun korban jiwa akibat keruntuhan bangunan. Pencegahan kerusakan bangunan atau pengamanan akibat getaran gempa bumi dapat dilakukan melalui peningkatan kekuatan struktur bangunan, bila bangunan tersebut berhubungan langsung dengan tanah atau tempat pondasi bangunan (*fixed base*). Sistem pengamanan lain yang semakin meningkat dewasa ini untuk dikembangkan adalah *based isolation* yaitu dengan cara mengisolasi bangunan atas terhadap pondasi bangunan dengan menggunakan material tertentu (BPPP,1997). Peningkatan struktur dengan cara konvensional hanya bertujuan untuk mencegah kerusakan bangunan saja, sedangkan untuk mencegah kerusakan bangunan dan sekaligus melindungi seluruh isinya dapat dilakukan melalui cara isolasi getaran atau yang biasa disebut dengan cara non-konvensional.

1.2 Rumusan Masalah

Pada saat gempa berlangsung, tanah mengalami pergerakan secara acak yang mengakibatkan akselerasi struktur bangunan yang menggunakan sistem *fixed base*. Pada bangunan tinggi yang relatif lebih fleksibel, percepatan tanah akibat

gempa mengakibatkan simpangan yang terjadi relatif semakin besar. Dengan menggunakan sistem isolasi karet diharapkan mampu meredam sebagian besar percepatan dipuncak bangunan struktur tersebut, sehingga dapat mengurangi kerusakan dan keretakan bangunan struktur. Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dikemukakan dapat dirumuskan suatu permasalahan sebagai berikut ini, dengan menggunakan sistem isolasi bantalan karet *High Damping Rubber Bearings* (kemudian disebut HDRBs) apakah sistem ini mampu meredam sebagian besar percepatan dipuncak bangunan struktur tersebut dengan gempa Bucharest dan Koyna.

Karakteristik gempa yang berbeda mengakibatkan kebutuhan isolasi dasar bervariasi untuk setiap gempanya, sehingga timbul pertanyaan adakah suatu nilai variasi kekakuan isolasi dasar *High Damping Rubber Bearings* yang dapat digunakan pada struktur dengan eksitasi gempa yang berbeda.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam menyusun penelitian ini tanpa mempengaruhi hasil akhir dari penelitian, secara garis besar diuraikan sebagai berikut ini.

1. parameter yang ditinjau untuk menilai keefektifan adalah simpangan antar tingkat, simpangan relatif, gaya geser tingkat dan momen guling,
2. struktur bangunan yang dianalisa merupakan bangunan perkantoran 10 lantai dan analisis diidealisasikan sebagai struktur dengan derajat kebebasan banyak (*multi degree of freedom*), diambil dari penelitian terdahulu,

3. analisis dinamika struktur dibatasi pada kondisi linier elastis,
4. getaran gempa arah vertikal sangat kecil ≈ 0 , struktur bergoyang secara horizontal (tanpa puntiran),
5. struktur bangunan dianggap mempunyai pola bangunan geser dan massa struktur dianggap menggumpal pada satu titik (*lumped mass*),
6. digunakan model struktur tanpa isolasi dasar dan dengan isolasi dasar berdasarkan tinjauan kekakuan 10% (0,00654 % kekakuan kolom lantai I), 100% (0,0654 % kekakuan kolom lantai I), 1000%(0,654 % kekakuan kolom lantai I), 10000% (6,54 % kekakuan kolom lantai I), 100000% (65,4 % kekakuan kolom lantai I) dari standar HDRBs yang mempunyai nilai kekakuan sebesar 100 kN/m,
7. metoda analisis dinamika menggunakan riwayat waktu dengan data rekaman percepatan gempa Bucharest dan Koyna, dan
8. analisis struktur terhadap gaya gempa menggunakan paket program *SAP 2000* dan *Microsoft Excel 2000*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mencari nilai variasi kekakuan HDRBs yang paling efektif berdasarkan eksitasi gempa Koyna dan Bucharest.

Keefektifan tersebut diukur dengan membandingkan hasil analisis dalam perhitungan simpangan antar tingkat (*inter storey drift*), simpangan relatif, gaya geser tingkat dan momen guling (*overturning moment*).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai oleh penulis dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

- 1 menambah pustaka tentang redaman struktur bangunan selain metode lainnya yang telah diterapkan sebelumnya terhadap gempa bumi,
- 2 menjadi alternatif untuk redaman struktur yang akan digunakan pada perencanaan struktur bangunan tahan gempa,
- 3 menambah pengetahuan dan pemahaman tentang sistem isolasi dasar khususnya *High Damping Rubbers Bearing*,
- 4 bisa dijadikan dasar untuk penelitian lebih lanjut, dan
- 5 mendapatkan variasi kekakuan HDRBs dengan eksitasi gempa yang berbeda.

5.6 Pendekatan Masalah

Pendekatan masalah yang dilakukan adalah mendesain struktur konvensional (*fixed base*), kemudian membandingkan hasil analisis perhitungan dengan struktur yang menggunakan sistem isolasi dasar (*based isolation*) berdasarkan variasi kekakuan dengan menggunakan eksitasi gempa yang berbeda. Parameter yang dikomparasi yaitu simpangan relatif, simpangan antar tingkat (*inter storey drift*), gaya geser tingkat dan momen guling (*overturning moment*). Untuk mempermudah dalam perhitungan dan analisa, maka penulis menggunakan program komputer *SAP2000* dan *Excel 2000*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan Pustaka berisi tentang tinjauan umum tentang isolasi dasar, prinsip sistem isolasi dasar, manfaat sistem isolasi dasar, jenis-jenis isolasi dasar, perletakan isolasi dasar dan penelitian-penelitian terdahulu. Penjelasan mengenai hal tersebut diatas akan diuraikan berikut ini.

2.1 Tinjauan Umum

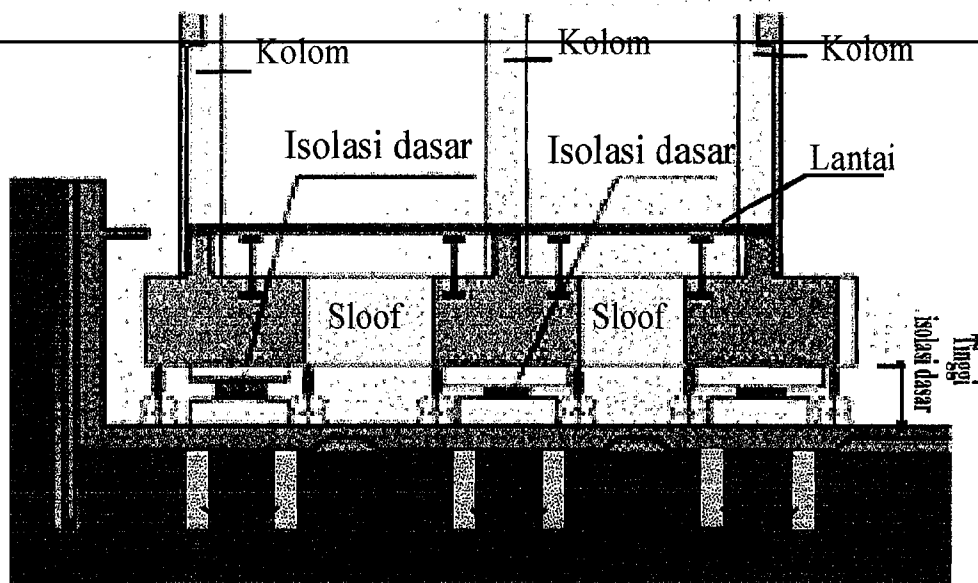
Gempa akan menyerang titik-titik lemah pada struktur yang kekuatannya tidak memadai dan akan menyebabkan keruntuhan, baik dalam arah horizontal maupun vertikal (Muto, 1987) dalam Widodo (1997a). Dari sekian banyak kerusakan struktur akibat gempa, yang sangat berpengaruh adalah simpangan antar tingkat pada struktur yang ditinjau. Hal ini erat hubungannya dengan prinsip perancangan struktur tahan gempa yaitu pengendalian simpangan, baik simpangan antar tingkat maupun simpangan relatif.

Gempa dengan frekuensi yang lebih tinggi akan mengakibatkan simpangan yang lebih kecil daripada gempa dengan frekuensi yang lebih rendah. Kandungan frekuensi pada gempa bumi dinyatakan dalam rasio antara percepatan tanah maksimum dengan kecepatan tanah maksimum, yang dikenal dengan A/V rasio. Berdasarkan data yang dikumpulkan bahwa suatu gempa yang mempunyai frekuensi tinggi (yaitu gempa bumi yang garis aselogram tiap detiknya

memotong sumbu waktu dengan jumlah yang banyak) umumnya mempunyai A/V rasio yang besar. Sebaliknya gempa bumi yang kandungan frekuensinya relatif rendah umumnya mempunyai A/V rasio yang kecil, hal ini dikemukakan Tso dkk (1992) dalam Widodo (1997a).

Kejadian-kejadian yang disebabkan oleh bencana alam terutama gempa bumi merupakan suatu pelajaran sekaligus suatu tantangan. Perkembangan teknologi anti gempa telah memunculkan metode-metode baru. Metode yang sedang dan terus berkembang belakangan ini adalah sistem yang dipasang pada dasar bangunan maka sistem ini disebut isolasi dasar (*based isolation*).

Perlindungan bangunan terhadap getaran gempa dapat ditempuh dengan pengurangan getaran gempa bumi ke arah horisontal oleh suatu sistem sehingga memungkinkan bangunan untuk bergerak bebas saat berlangsung gempa bumi tanpa tertahan oleh pondasi (Oerip dan Krishna, 1994). Salah satu cara pengurangan getaran tersebut dengan menggunakan isolasi dasar (*based isolation*) dan *high dumping rubber bearings* merupakan salah satu sistem *based isolation* yang ada. Contoh perletakan isolasi dasar pada bangunan terlihat pada Gambar 2.1.



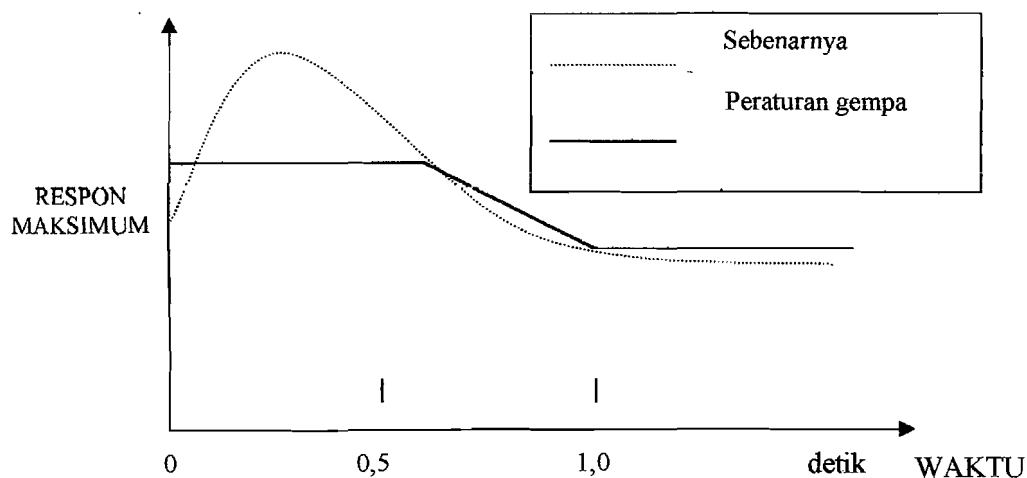
Gambar 2.1 Perletakan isolasi dasar pada bangunan. (www.Takenaka.co.jp,
opened on June 20, 2002).

Perlindungan bangunan dengan menggunakan sistem isolasi dasar dinilai lebih unggul dari pada melalui peningkatan struktur bangunan (cara konvensional) karena sistem tersebut sekaligus dapat melindungi seluruh isi bangunan.

2.2 Prinsip Sistem Isolasi Dasar (*Based Isolation*)

Sistem isolasi dasar menggunakan material khusus peredam getaran (*seismic isolator*) yang terletak diantara bangunan dengan pondasi dasar untuk mencegah getaran gempa langsung mengenai struktur. Tujuannya untuk memperbesar waktu getar alami struktur (T) akibat gempa, sehingga beban gempa yang mengenai struktur menjadi lebih kecil dan tidak membahayakan struktur beserta isinya (Tjokrodimuljo, 1993).

Respon maksimum suatu struktur terjadi bila waktu getar alami struktur rendah (dibawah 1 detik). Dengan demikian jika struktur mempunyai waktu getar alami lebih dari 1 detik maka respons struktur akan mengecil. Untuk jelasnya dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Hubungan waktu getar alami struktur dan respon maksimum
(Tjokrodimuljo, 1993)

2.3 Manfaat Sistem *Based Isolation*

Banyak keuntungan yang didapat dari penggunaan *based isolation* pada bangunan gedung, antara lain adalah :

1. Kemampuan menahan beban bangunan dan meneruskan defleksi horizontal relatif terhadap bumi/tanah (BPPP, 1997),
2. mempunyai tenaga pemulihan untuk mengembalikan bangunan pada posisi semula relatif terhadap bumi/tanah (BPPP, 1997),

3. mempunyai kemampuan meredam untuk mengurangi akselerasi defleksi horisontal relatif terhadap tanah, sehingga dapat mencegah struktur rusak maupun runtuh jika terkena gempa (BPPP, 1997),
4. penggunaan *base isolation* sangat fleksibel karena sistem ini dapat digunakan pada bangunan baru maupun bangunan lama (Lin, 1997),
5. umur kerja *based isolation* relatif panjang yakni berkisar 70 – 100 tahun, lebih lama dari umur bangunan itu sendiri (Lin, 1997), dan
6. biayanya relatif ekonomis, karena :
 - a. untuk bangunan baru penambahan sekitar 2,5% – 4 % dari total biaya, (dibanding dengan penambahan biaya yang menggunakan konstruksi baja sebesar 20% - 30%) (Siswantoro dan Bhuana, 1994),
 - b. pada bangunan lama yang *direct retrofitting*, biaya penambahan *base isolation* sebesar 2% - 4% dari total biaya rehabilitasi (*seismic rehabilitation*) (Kelly, 1997), dan
 - c. jika bangunan terkena gempa maka biaya perbaikan struktur setelah gempa (*post earthquake repair cost*) akan lebih kecil dibanding bangunan konvensional (Kelly, 1997).

2.4 Jenis-jenis *Based Isolation*

Berdasarkan dari bahan pembuatnya, isolasi dasar dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu isolasi dasar yang menggunakan bahan karet sebagai isolator (*rubber type seismic isolation*) dan yang menggunakan material selain karet

sebagai isolatornya (*nonrubber type seismic isolation*), seperti yang akan dijelaskan berikut ini.

2.4.1 Rubber Type Seismic Isolation

Bantalan karet ini terbuat dari lembaran-lembaran karet yang divulkanisasi dan direkatkan pada plat-plat baja secara berselang-seling. Kegunaan dari plat baja tersebut untuk meningkatkan kekakuan karet kearah vertikal sehingga karet tidak mengembang kesamping karena beban bangunan.

Karet yang digunakan adalah karet alam Hevea (Indonesia adalah produsen terbesar kedua di dunia untuk jenis karet ini) yang terkenal memiliki sifat elastis paling unggul dari semua jenis karet yang ada pada saat ini. Sifat ini sangat diperlukan untuk memberikan respon elastis kearah horisontal yang berarti dapat mengikuti pergerakan horisontal permukaan bumi ketika gempa tektonik terjadi dan pada akhirnya berangsur-angsur kembali kedudukan semula. Menurut hasil penelitian, sifat yang dimiliki bantalan karet ini mampu meredam sekurang-kurangnya 70% akselerasi di puncak bangunan (BPPP, 1997). Umur penggunaannya dapat bertahan sampai 50 tahun, terbukti pada sebuah bangunan di Inggris yang telah terpasang secara utuh selama 50 tahun. Selain itu, penggunaan karet sebagai isolator dikarenakan kapasitas kemampuan simpan energi yang dimiliki karet sangat tinggi bahkan lebih tinggi dari baja, lihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Kapasitas Simpan Energi dari Beberapa Bahan

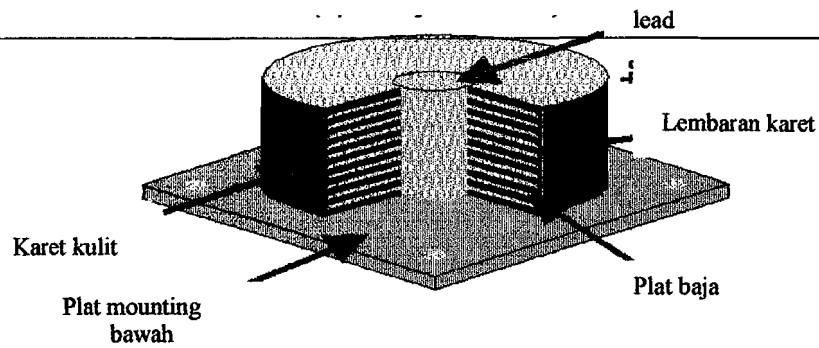
Bahan	Joule/kg
Karet alam tervulkanis	44.800
Kayu Hickory	365
Pegas baja	284
Rol alumunium	22,6
<i>Phosphorbronze</i>	12,2
Baja sangat lunak	9,18
Besi tuang	1,11

Macam-macam isolasi dasar dengan isolator bantalan karet yang banyak digunakan adalah *Laminated Rubber Lead Containing Bearing* dan *High Dumping Rubber Bearing* seperti yang dijelaskan sebagai berikut ini.

a. *Laminated Rubber Lead Containing bearing (Lead Rubber Bearing -LRB)*

Pada redaman jenis ini terdapat timah hitam (*lead*) yang dipasang pada sumbu bantalan karet, dibagian atas dan bawah diberi lempengan plat baja. Timah hitam digunakan untuk menyerap energi dari gempa dan untuk menahan beban angin sebagaimana terlihat pada Gambar 2.3.

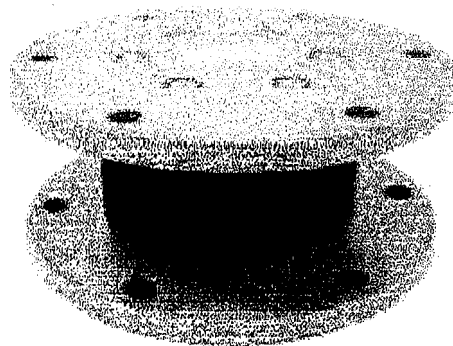
DIS
SEISMIC ISOLATOR™



Gambar 2.3. Komposisi *Rubber Bearing* (www.Takenaka.co.jp, opened on June 20, 2002)

b. *High Damping Rubber Bearing (Multi Rubber Bearing -MRB)*

Pada dasarnya jenis alat isolasi dasar ini sama dengan LRB hanya saja disini propertis dari karet telah dimodifikasi agar dapat memberi kemampuan redaman yang lebih tinggi dan mampu untuk menyerap energi gempa bumi sebagaimana terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. *High Damping Rubber Bearing* (www.Takenaka.co.jp, opened on June 20, 2002)

2.4.2. Non-Rubber Type Seismic Isolation

Non-Rubber Type Seismic Isolation yang paling banyak dikenal antara lain *lead extrusion damper*, *roller bearings* dan *sliding bearings*. Yang paling banyak digunakan adalah *lead extrusion damper*, dan untuk dua model lainnya masih dalam tahap percobaan.

2.5 Proses Pembuatan Isolasi Dasar Bantalan Karet

Bantalan karet untuk isolasi gempa terdiri dari lapisan karet yang dibatasi oleh lempeng logam baja, yang terekat kuat untuk memberi kekakuan vertikal dan kelenturan horizontal. Kekakuan vertikal pada isolasi karet diperlukan untuk menopang berat bangunan di atasnya. Sedangkan kelenturan horizontal diperlukan untuk mengubah guncangan horizontal dan gaya gempa bumi menjadi gerakan terkendali (Kompas, 10 Agustus 2002).

Pembuatannya meliputi proses pencampuran karet dengan belerang dan karbon hitam agar tahan lama. Lapisan karet kemudian disusun berselang-seling dengan lempengan baja. Selain itu, bagian atas dan bawahnya ditutup dengan lempeng baja yang tebal. Tahap selanjutnya adalah proses vulkanisasi molekul karet sehingga terjadi ikatan antar molekul melalui belerang sebagai “jembatan” dan menguatkan ikatan antara logam dan karet. Proses ini dilakukan dengan cetakan baja dan dipanaskan pada suhu sekitar 100 derajat Celcius secara bertingkat.

2.6 Perletakan Isolasi Dasar

Perletakan isolasi dasar sebaiknya serendah mungkin agar dapat melindungi struktur sebanyak mungkin. Pertimbangan biaya dan praktis juga

mempengaruhi pemilihan lokasi perletakan isolator dasar ini. Pada bangunan, pemilihan perletakan lebih baik terletak pada lantai dasar (*ground level*) dibawah *basement* (Mayes, 1984).

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini juga menggunakan tinjauan pustaka penelitian-penelitian yang pernah dilakukan yang berkaitan dengan sistem kontrol (*seismic control*), yaitu penelitian yang dilakukan oleh Paldi dan Hakim, Khoir dan Arifin, Prasetyo dan Arminta, Respati dan Soewendo serta Nugroho dan Budiyanto.

1. Penelitian Paldi dan Hakim (2000)

Topik yang diambil peneliti ini adalah “Performasi Bantalan Karet sebagai Salah Satu Jenis Redaman Pasif untuk Gedung Tahan Gempa” dengan mengambil contoh bantalan karet *lead rubber bearing* sebagai benda penelitian. Pada penelitian tersebut membuktikan bahwa bantalan karet dapat mengurangi simpangan dengan membandingkan perilaku struktur yang menggunakan alat isolasi dasar dengan struktur yang tidak memakai isolasi dasar. Oleh sebab itu, Penulis mencoba jenis bantalan karet lain (*high dumping rubber bearing*) untuk dianalisis. Hal ini belum pernah menjadi obyek penelitian dalam penyusunan tugas akhir di UII.

2. Penelitian Khoir dan Ariffin (2000)

Topik yang diambil dalam penelitian ini adalah “Pengaruh Perubahan Kekakuan Kolom Secara Serentak Terhadap Simpangan, Gaya Geser Dasar dan Momen Guling pada Gedung Bertingkat Lima dengan Beban Gempa Berupa *Time History*”.

Hasil yang didapat pada penelitian tersebut adalah bahwa kapasitas gaya geser dan momen guling yang terjadi akibat pembebanan dinamik *time history* tidak berbanding lurus dengan besarnya kekakuan tingkat. Hasil tersebut tidak seperti pada pembebanan dengan menggunakan desain spektra dan statik ekuivalen yang mana hasilnya akan berbanding lurus dengan perubahan kekakuan tingkat.

3. Penelitian Prasetyo dan Arminta (2000)

Kedua peneliti diatas mengambil topik bahasan mengenai “Respon Seismik Struktur Beton Bertingkat Banyak akibat beban Gempa”. Dalam penelitian ini mencoba meninjau pengaruh kandungan frekuensi terhadap respon struktur, diperoleh hasil bahwa apabila frekuensi gempa mendekati frekuensi struktur cenderung terjadi resonansi. Efek frekuensi akan melemah untuk beban yang jauh dengan frekuensi struktur. Respon struktur akibat beban gempa dengan frekuensi tinggi relatif lebih kecil dibandingkan dengan gempa dengan frekuensi lebih rendah. Beban gempa yang dipakai dalam penelitian ini adalah berupa getaran-getaran gempa berupa *time history*.

4. Penelitian Respati dan Soewendo (2001)

Penelitian yang dilakukan oleh kedua peneliti ini mengambil topik “Pengaruh Variasi Massa Tingkat Terhadap Simpangan, Gaya Geser Dasar dan Momen Guling pada Bangunan Bertingkat Lima Akibat Riwayat Waktu Goyangan Gempa *El Centro*”. Penelitian ini membuktikan semakin kecil massa lantai teratas semakin kecil pula simpangan, gaya geser dasar dan momen guling pada suatu struktur dan pola pembebanan yang berbentuk kerucut (massa lantai bawah sampai massa lantai atas semakin mengecil) lebih tahan gempa.

5. Penelitian Nugroho dan Budiyanto (2002)

Penelitian yang dilakukan kedua peneliti ini adalah memvariasikan kekakuan *base isolation* untuk mencari simpangan relatif, simpangan antar tingkat, gaya geser dasar dan momen guling kemudian dibandingkan dengan bangunan tanpa *base isolation* untuk mencari nilai kekakuan isolasi dasar yang efektif. Hasil penelitian yang diperoleh adalah nilai reduksi yang paling optimal terjadi pada variasi kekakuan 100%.

2.8 Keaslian Penelitian

Dari penelitian-penelitian yang pernah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kandungan frekuensi berpengaruh terhadap respon struktur dan penggunaan beban gempa untuk sistem isolasi dasar hanya memakai beban gempa berupa *time history* Elcentro. Pada penelitian ini penulis mencoba untuk mencari nilai variasi kekakuan yang efektif berdasarkan eksitasi gempa yang berbeda, yang belum pernah dilakukan sebelumnya. Saran yang diberikan dari penelitian terdahulu untuk penelitian ini adalah menggunakan beban gempa *time history* Bucharest dan Koyna kemudian dicari nilai variasi kekakuan isolasi dasar yang paling efektif.

BAB III

LANDASAN TEORI

Landasan teori yang digunakan dalam penelitian, yaitu prinsip bangunan geser, derajat kebebasan, sistem derajat kebebasan tunggal, resonansi, sistem derajat kebebasan banyak, persamaan gerakan akibat gempa, respon struktur terhadap beban gempa dan perilaku struktur.

3.1 Prinsip Bangunan Geser

Apabila suatu struktur bangunan bertingkat banyak bergoyang kearah horizontal, maka umumnya terdapat 3 macam pola goyangan yang terjadi. Kombinasi antara kelangsingan struktur, jenis struktur utama penahan beban dan jenis bahan yang dipakai akan berpengaruh pada pola goyangan yang dimaksud.

Pola goyangan yang pertama adalah bangunan yang bergoyang dengan dominasi geser atau pola goyangan geser. Struktur yang mempunyai pola goyangan seperti ini akan terjadi pada struktur bertingkat banyak dengan portal terbuka sebagai struktur utama. Secara keseluruhan struktur seperti ini akan relatif fleksibel, sementara plat-plat lantai relatif kaku terhadap arah horizontal.

Pola yang kedua adalah pola goyangan bangunan yang didominasi oleh lentur (*flexural mode*). Bangunan yang mempunyai pola goyangan seperti ini adalah bangunan yang mempunyai struktur dinding yang kaku baik pada *frame*

walls atau *cantilever walls* yang kedua-duanya dijepit secara kaku pada pondasinya.

Pola goyangan yang ketiga adalah kombinasi antara dua pola goyangan diatas. Struktur portal terbuka yang dikombinasikan dengan struktur dinding yang tidak terlalu kaku berkemungkinan mempunyai perilaku goyangan kombinasi.

Pada analisis dinamika struktur pola goyangan yang pertamalah atau goyangan dengan dominasi geser (*shear mode*) yang diadopsi. Ada beberapa penyederhanaan yang digunakan agar sampai pada anggapan hanya terdapat satu derajat kebebasan pada tiap tingkat yang digunakan sesuai dengan prinsip bangunan geser, antara lain adalah :

1. massa struktur dianggap terkonsentrasi pada satu titik (*lumped mass*) pada tiap lantai. Massa yang dimaksud adalah massa struktur akibat berat sendiri, beban berguna, beban hidup dan berat kolom pada setengah tingkat dibawah dan setengah tingkat bentang diatas yang bersangkutan,
2. balok dan plat lantai dianggap relatif sangat kaku dibanding kolom karena balok-balok portal disatukan secara monolit oleh plat lantai, *beam column joint* mampu menahan rotasi (*joint* tidak berotasi dan simpangan hanya kearah horisontal tanpa adanya puntir) sebelum dan setelah terjadi penggoyangan, dan
3. simpangan massa dianggap tidak dipengaruhi oleh beban aksial kolom, sehingga dianggap balok harus tetap pada elevasinya dan tetap horizontal sebelum dan setelah terjadi penggoyangan.

Dengan anggapan-anggapan tersebut, portal seolah-olah menjadi bangunan kantilever yang bergoyang akibat gaya lintang saja atau bangunan yang pola goyongannya didominasi oleh geser (*shear mode*). Dengan perilaku *shear building*, maka pada setiap tingkat hanya akan mempunyai satu derajat kebebasan. Portal bangunan yang mempunyai N-tingkat berarti akan mempunyai N-derajat kebebasan.

Beberapa kondisi yang dapat dilihat dari sifat bangunan beton sebagai anggapan bahwa gedung mempunyai pola goyangan geser adalah :

1. linier elastis adalah kondisi dimana bangunan kembali ke bentuk semula setelah bangunan tersebut menerima beban dan penambahan tegangan berbanding lurus dengan penambahan regangan,
2. non-linier elastis adalah kondisi dimana bangunan kembali ke bentuk semula setelah bangunan tersebut menerima beban dan penambahan tegangan tidak sebanding dengan penambahan regangan,
3. linier non-elastis adalah kondisi dimana bangunan tidak kembali ke bentuk semula setelah bangunan tersebut menerima beban dan penambahan tegangan sebanding dengan penambahan regangan, dan
4. non-linier non-elastis adalah kondisi dimana bangunan tidak kembali ke bentuk semula setelah bangunan tersebut menerima beban dan penambahan tegangan tidak sebanding dengan penambahan regangan.

3.2 Derajat Kebebasan (*Degree of Freedom*)

Derajat kebebasan (*degree of freedom*) adalah derajat independensi yang diperlukan untuk menyatakan posisi suatu sistem pada setiap saat. Apabila suatu

titik yang ditinjau mengalami perpindahan tempat secara horizontal, vertikal dan kesamping maka sistem tersebut mempunyai 3 derajat kebebasan. Hal ini terjadi karena titik yang bersangkutan dapat berpindah secara bebas dalam 3 arah.

Namun demikian, sesuai dengan penyederhanaan yang dapat diambil pada persoalan-persoalan *engineering*, goyangan tersebut dapat dianggap hanya terjadi dalam satu bidang saja (tanpa puntiran).

3.3 Sistem Derajat Kebebasan Tunggal / *Single Degree of Freedom (SDOF)*

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa struktur dengan derajat kebebasan tunggal (*SDOF*) hanya mempunyai satu koordinat yang diperlukan untuk menyatakan posisi massa pada saat tertentu yang ditinjau. Bagian terpenting dari suatu struktur linear elastis yang dikenai beban luar adalah massa, kekakuan dan redaman.

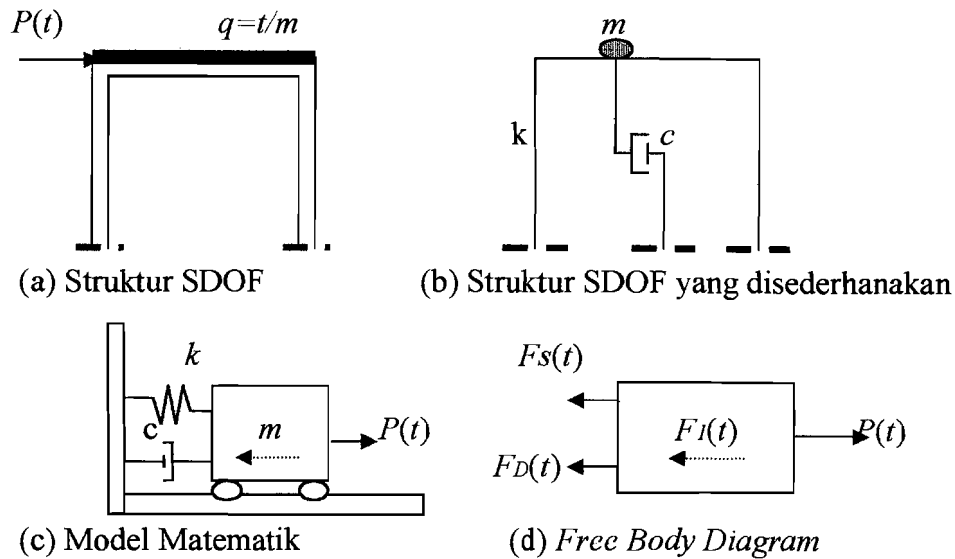
Hubungan analisa antara perpindahan y dan waktu t diberikan Hukum II Newton untuk gerak, yaitu bahwa gaya adalah produk dari massa dan percepatan yang dapat ditulis :

$$F = m.a \quad (3.1)$$

dimana F adalah resultan gaya yang bekerja pada partikel massa m dan a adalah resultan percepatan.

Salah satu pendekatan untuk menyusun persamaan gerak suatu massa (*differential equation of motion*) adalah dengan memakai prinsip *d'Alembert* yang berdasar pada Hukum II Newton. Prinsip *d'Alembert* mengatakan bahwa keseimbangan dinamik suatu massa/sistem dapat diperoleh dengan menjumlahkan

gaya luar dengan *fictitious force* yang ada pada massa yang bersangkutan yang biasanya disebut gaya inersia.



Gambar 3.1 Beban Dinamik Pada Struktur SDOF

Pada Gambar 3.1.a tampak bahwa $P(t)$ adalah beban dinamik yang intensitasnya merupakan fungsi dari waktu. Gambar 3.1 merupakan pemodelan-pemodelan yang digambar secara ideal. Apabila beban dinamik $P(t)$ bekerja kearah kanan, maka akan mendapat perlawanan pegas, redaman dan gaya inersia. Berdasarkan prinsip keseimbangan dinamik pada *free body diagram* tersebut maka dapat diperoleh hubungan,

$$F_I(t) + F_D(t) + F_s(t) = P(t) \quad (3.2)$$

yang mana,

$$F_I(t) = m \cdot \ddot{y}(t)$$

$$F_D(t) = c \cdot \dot{y}(t)$$

$$Fs(t)=k.y(t) \quad (3.3)$$

Dimana notasi m , c dan k berturut-turut adalah massa, redaman dan kekakuan struktur. Sedangkan $\ddot{y}(t)$, $\dot{y}(t)$ dan $y(t)$ persamaan diferensial pada struktur SDOF berturut-turut adalah percepatan, kecepatan dan simpangan struktur.

Secara matematis sistem derajat kebebasan tunggal (SDOF) mempunyai persamaan diferensial gerak (*differential equation of motion*) dengan faktor redaman gempa adalah :

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

Bila digunakan data gempa yang memberikan frekuensi dominan sebagai beban harmonis pada struktur maka percepatan gempa dapat ditulis :

$$P(t) = P_o \sin\omega t \quad (3.5)$$

Fungsi selanjutnya diasumsikan bekerja pada struktur utama (*main struktur*). Model struktur *ductility* untuk satu derajat kebebasan yang dipusatkan pada tempat-tempat tertentu (*lumped mass*) dapat dilihat pada Gambar 3.1.

3.4 Resonansi

Beban dinamik akan mengakibatkan respon atau simpangan yang lebih besar daripada simpangan statik (y_{st}). Persamaan differensial suatu massa SDOF tanpa redaman dengan beban harmonik sederhana dinyatakan dalam bentuk :

$$y(t) = \frac{P_o}{k} \frac{1}{1-r^2} \{ \sin(\Omega t) - r \sin(\omega t) \}$$

$$r = \frac{\Omega}{\omega} \quad (3.6)$$

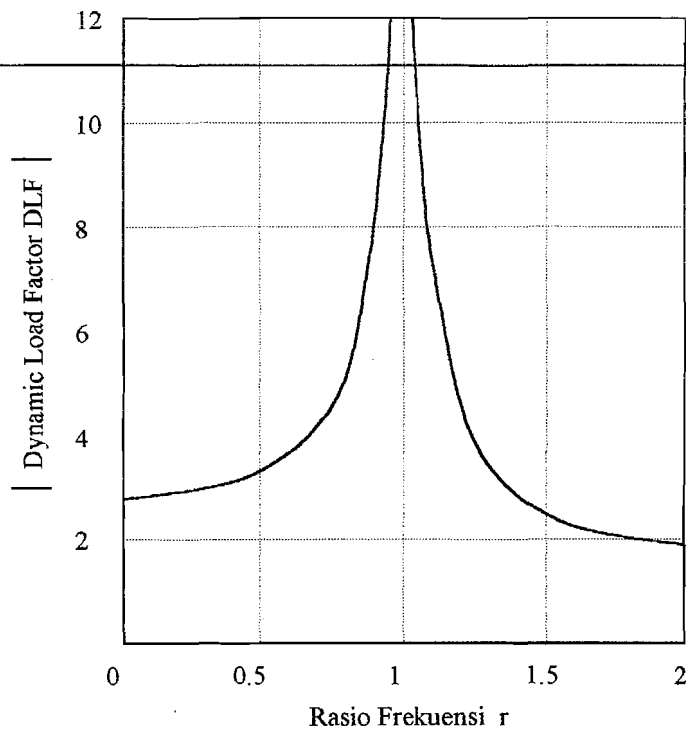
Dynamic Load factor (DLF) merupakan suatu perbandingan antara simpangan akibat beban dinamik $y(t)$ dan simpangan akibat beban statik y_{st} pada saat tertentu, maka nilai DLF adalah suatu nilai yang berada dibelakang simpangan statik. Persamaan (3.6) dapat menjadi :

$$y(t) = y_{st} DLF$$

$$DLF = \frac{1}{|1-r^2|} \{ \sin(\Omega t) - r \sin(\omega t) \} \quad (3.7)$$

Pada persamaan (3.6) tersebut bahwa respon struktur akan dipengaruhi oleh frekuensi beban dinamik (Ω) dan frekuensi sudut (ω) dari struktur yang bersangkutan. Apabila frekuensi sudut beban sama dengan frekuensi sudut struktur, maka penyebut pada persamaan (3.6) akan sama dengan nol, sehingga secara teoritik respon struktur akan menjadi tak terhingga. Kondisi seperti itu umumnya dinamakan peristiwa resonansi. Sesuatu yang memberikan indikasi adalah tingkat kedekatan frekuensi, semakin dekat antara dua frekuensi tersebut maka respon struktur akan semakin besar dan sebaliknya.

Plot hubungan antara *Dynamic Load factor* (DLF) dan rasio frekuensi r disajikan pada Gambar 3.2. Pada gambar tersebut tampak bahwa nilai DLF akan besar sekali pada nilai rasio frekuensi yang mendekati satu, hal ini sesuai prinsip resonansi seperti yang dibahas sebelumnya. Juga terlihat pada gambar bahwa nilai DLF akan semakin kecil jika nilai rasio frekuensi menjauhi satu.



Gambar 3.2 Hubungan antara DLF dengan Rasio Frekuensi

3.5 Sistem Derajat Kebebasan Banyak / *Multi Degree of Freedom (MDOF)*

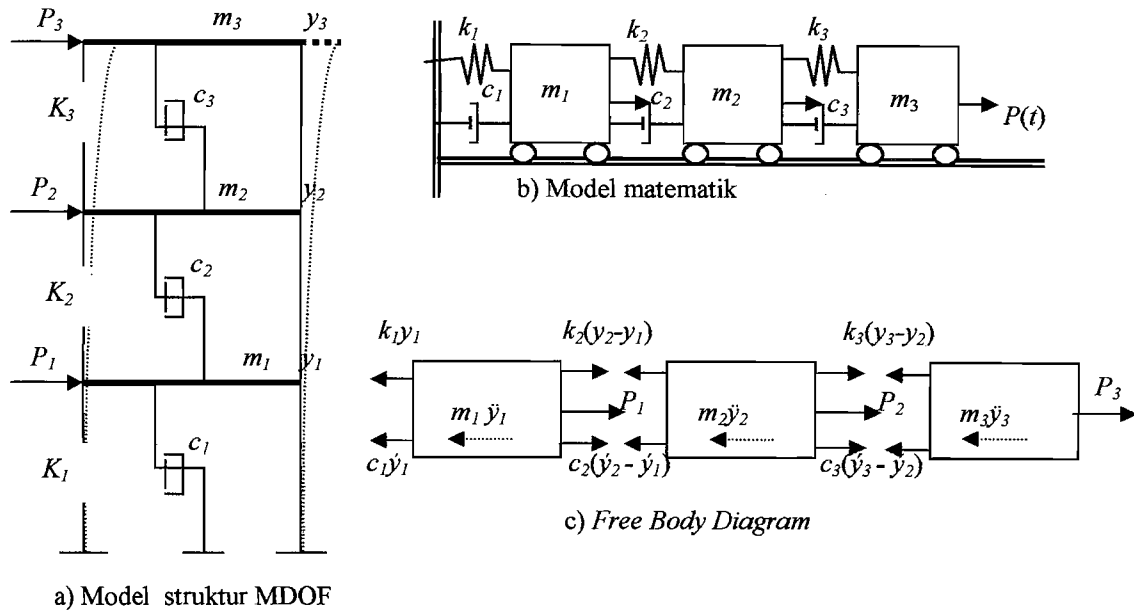
Secara umum bangunan gedung tidaklah selalu dapat dinyatakan dalam suatu sistem yang mempunyai derajat kebebasan tunggal. Pada struktur bangunan bertingkat banyak, umumnya massa struktur dapat diasumsikan menggumpal (*lumped mass*) pada tempat tertentu misalnya pada tiap-tiap lantai tingkat. Dengan anggapan berperilaku sebagai *shear building* maka struktur yang tadinya mempunyai derajat kebebasan tak terhingga akan menjadi struktur dengan derajat kebebasan terbatas. Banyaknya derajat kebebasan umumnya berasosiasi dengan jumlah massa (Widodo, 1996).

Sebagaimana disinggung sebelumnya bahwa pada bangunan gedung bertingkat banyak, konsentrasi beban akan terpusat pada tiap-tiap lantai tingkat bangunan. Dengan demikian untuk setiap tingkat hanya ada satu massa yang mewakili tingkat yang bersangkutan. Maka jumlah derajat kebebasan pada suatu bangunan bertingkat banyak akan ditunjukkan oleh banyaknya tingkat bangunan tersebut.

Kekakuan adalah salah satu dinamik karakteristik struktur bangunan yang sangat penting. Kekakuan pada gedung bertingkat banyak dengan prinsip *shear building*, balok lantai tingkat dianggap tetap horizontal baik sebelum maupun setelah terjadi penggoyangan. Adanya plat lantai yang menyatu secara kaku dengan balok diharapkan dapat membantu kekakuan balok sehingga tidak terlalu kasar. Pada disain struktur bangunan tahan gempa, struktur bangunan didisain sedemikian rupa agar kolom lebih kuat dibanding dengan balok. Tetapi dimungkinkan balok mempunyai kekakuan yang lebih besar dari kolom walau kekuatan yang ada harus sebaliknya.

Untuk menyatakan persamaan diferensial gerakan pada struktur dengan derajat kebebasan banyak maka dipakai anggapan dan pendekatan seperti pada struktur SDOF. Persamaan diferensial gerakan pada struktur kebebasan banyak dapat diperoleh dengan menggunakan anggapan *shear building*, selanjutnya $\ddot{y}(t)$, $\dot{y}(t)$, $y(t)$, $P(t)$ masing-masing adalah percepatan, kecepatan, simpangan, dan beban gempa yang merupakan fungsi dari waktu, penulisannya dapat di sederhanakan menjadi \ddot{y} , \dot{y} , y , dan P sebagaimana penulisan pada struktur SDOF di muka.

3.5.1 Struktur MDOF Tanpa Menggunakan Isolasi Dasar



Gambar 3.3 Struktur MDOF, Model Matematik dan *Free Body Diagram*

Persamaan diferensial gerakan untuk bangunan diatas umumnya disusun berdasarkan pada goyangan struktur menurut mode pertama (*first mode*) seperti yang tampak pada garis putus-putus pada Gambar 3.3. Berdasarkan pada prinsip kesetimbangan dinamik pada diagram *free body* maka diperoleh :

$$m_1\ddot{y}_1 + k_1y_1 + c_1\dot{y}_1 - k_2(y_2 - y_1) - c_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - P_1(t) = 0 \quad (3.8a)$$

$$m_2\ddot{y}_2 + k_2(y_2 - y_1) + c_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - k_3(y_3 - y_2) - c_3(\dot{y}_3 - \dot{y}_2) - P_2(t) = 0 \quad (3.8b)$$

$$m_3\ddot{y}_3 + k_3(y_3 - y_2) + c_3(\dot{y}_3 - \dot{y}_2) - P_3(t) = 0 \quad (3.8c)$$

Dalam memperoleh kesetimbangan dinamik suatu massa ternyata dipengaruhi oleh kekakuan, redaman dan simpangan massa sebelum dan sesudahnya. Persamaan differensial dengan sifat-sifat ini disebut *coupled equation* karena persamaan-persamaan tersebut tergantung satu sama lain.

Penyelesaian dari persamaan tersebut harus dilakukan secara simultan, artinya penyelesaian yang melibatkan seluruh persamaan yang ada. Pada struktur dengan derajat kebebasan banyak, persamaan differensial gerakannya merupakan persamaan yang *dependent* atau *coupled* antara satu dengan yang lain.

Kemudian persamaan diatas disusun menurut parameter yang sama (percepatan, kecepatan dan simpangan) sehingga akan diperoleh :

$$m_1\ddot{y}_1 + (c_1 + c_2)\dot{y}_1 - c_2\dot{y}_2 + (k_1 + k_2)y_1 - k_2y_2 = P_1(t) \quad (3.9a)$$

$$m_2\ddot{y}_2 - c_2\dot{y}_2 + (c_2 + c_3)\dot{y}_2 - c_3\dot{y}_3 - k_2y_1 + (k_2 + k_3)y_2 - k_3y_3 = P_2(t) \quad (3.9b)$$

$$m_3\ddot{y}_3 - c_3\dot{y}_2 + c_3\dot{y}_3 - k_3y_2 + k_3y_3 = P_3(t) \quad (3.9c)$$

Persamaan-persamaan diatas dapat ditulis dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$\begin{pmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{Bmatrix} + \begin{pmatrix} c_1+c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2+c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{Bmatrix} + \begin{pmatrix} k_1+k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_1+k_2 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_1(t) \\ P_1(t) \\ P_1(t) \end{Bmatrix} \quad (3.10)$$

Persamaan diatas dapat juga ditulis dalam matrik yang lebih kompak

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} - 0 \quad (3.11)$$

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

$$[M] = \begin{pmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{pmatrix} \quad (3.12)$$

$$[K] = \begin{pmatrix} k_1+k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{pmatrix} \quad (3.13)$$

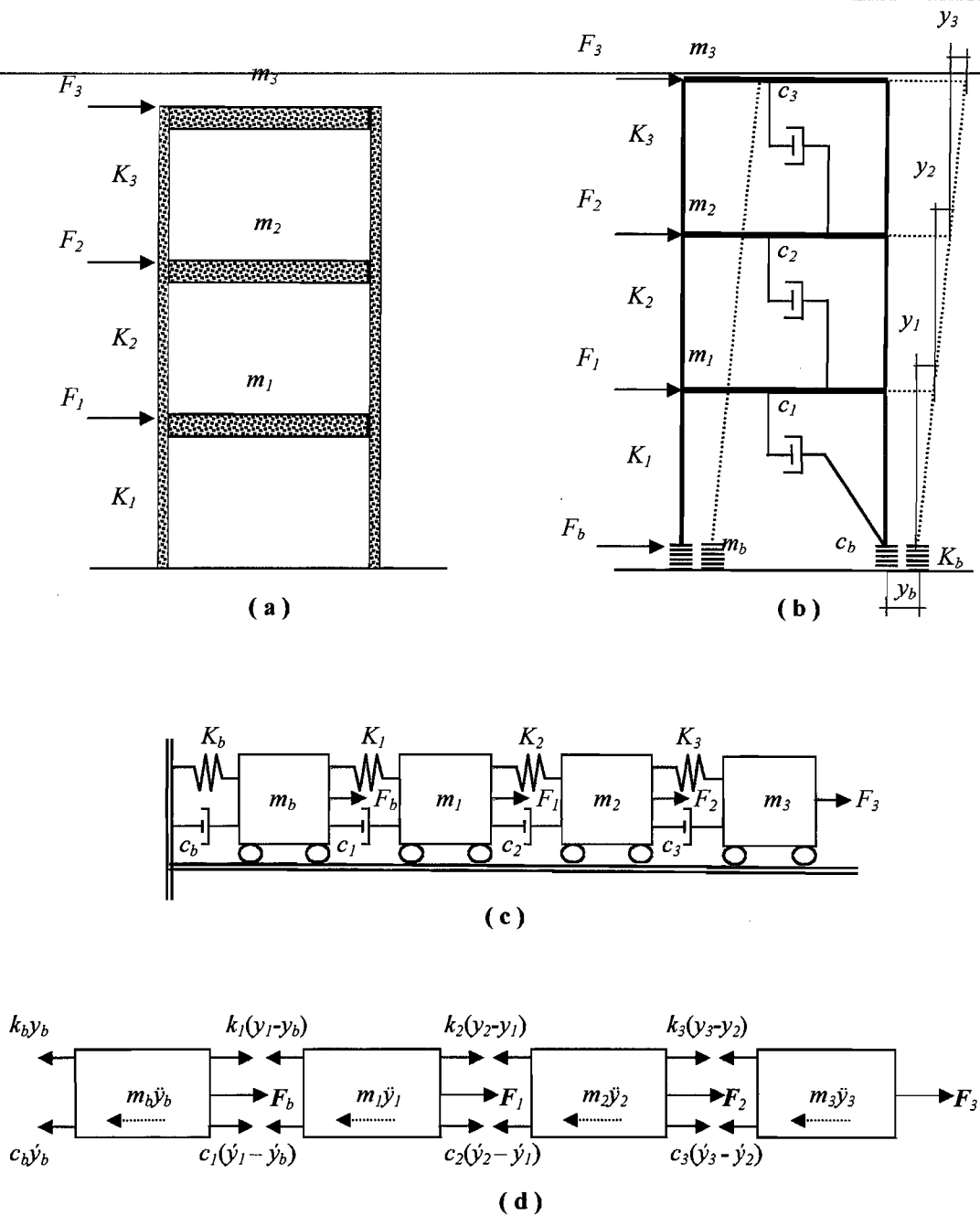
$$[C] = \begin{pmatrix} c_1+c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2+c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{pmatrix} \quad (3.14)$$

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

$$\{\ddot{y}\} = \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{Bmatrix}, \quad \{\dot{y}\} = \begin{Bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{Bmatrix}, \quad \{y\} = \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix} \quad \text{Dan} \quad \{P(t)\} = \begin{Bmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \\ P_3(t) \end{Bmatrix} \quad (3.15)$$

3.5.2 Struktur MDOF Dengan Menggunakan Isolasi Dasar

Untuk memperoleh persamaan differensial diambil model struktur MDOF tingkat 3 dengan ditambah *High Damping Rubber Bearings* (HDRBs) pada dasar struktur, sehingga struktur mempunyai tiga derajat kebebasan dengan HDRBs seperti pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Struktur MDOF (a) Struktur sebenarnya (b) Struktur ideal
 (c) Model matematis (d) *Free body diagram*

Persamaan differensial untuk bangunan diatas disusun berdasarkan atas goyangan struktur menurut mode pertama (*first mode*). Berdasarkan pada prinsip keseimbangan dinamik pada diagram *free body*, maka diperoleh :

$$m_b \ddot{y}_b + k_b y_b + c_b \dot{y}_b - k_1(y_b - y_1) - c_1(\dot{y}_b - \dot{y}_1) - F_b(t) = 0 \quad (3.16a)$$

$$m_1 \ddot{y}_1 + k_1(y_b - y_1) + c_1(\dot{y}_b - \dot{y}_1) - k_2(y_2 - y_1) - c_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - F_1(t) = 0 \quad (3.16b)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 + k_2(y_2 - y_1) + c_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - k_3(y_3 - y_2) - c_3(\dot{y}_3 - \dot{y}_2) - F_2(t) = 0 \quad (3.16c)$$

$$m_3 \ddot{y}_3 + k_3(y_3 - y_2) + c_3(\dot{y}_3 - \dot{y}_2) - F_b(t) = 0 \quad (3.16d)$$

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

$$m_b \ddot{y}_b - (c_b + c_1) \dot{y}_1 - c_1 \dot{y}_1 + (k_b + k_1) y_b - k_1 y_1 = F_b(t) \quad (3.17a)$$

$$m_1 \ddot{y}_1 - c_1 \dot{y}_b + (c_1 + c_2) \dot{y}_1 - c_2 \dot{y}_2 - k_1 y_b + (k_1 + k_2) y_1 - k_2 y_2 = F_1(t) \quad (3.17b)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 - c_2 \dot{y}_1 + (c_2 + c_3) \dot{y}_2 - c_3 \dot{y}_3 - k_2 y_1 + (k_2 + k_3) y_2 - k_3 y_3 = F_2(t) \quad (3.17c)$$

$$m_3 \ddot{y}_3 - c_3 \dot{y}_2 + c_3 \dot{y}_3 - k_3 y_2 + k_3 y_3 = F_3(t) \quad (3.17d)$$

persamaan-persamaan diatas dapat ditulis dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = \{F\} \quad (3.18)$$

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

$$[M] = \begin{pmatrix} m_b & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_3 \end{pmatrix} \quad (3.19)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} c_b + c_1 & -c_1 & 0 & 0 \\ -c_1 & c_1 + c_2 & -c_2 & 0 \\ 0 & -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 \\ 0 & 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_b + k_1 & -k_1 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

Sedangkan $\{\ddot{y}\}$, $\{\dot{y}\}$, $\{y\}$ dan $\{F(t)\}$ berturut-turut adalah vektor percepatan, vektor kecepatan, vektor simpangan dan vektor beban dalam bentuk

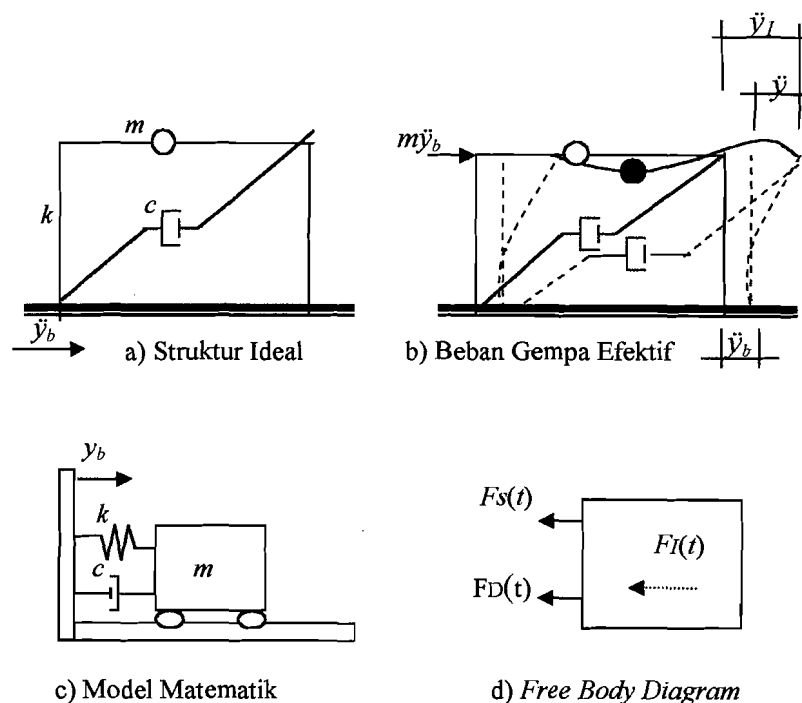
$$\{\ddot{y}\} = \begin{bmatrix} \ddot{y}_b \\ \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{bmatrix}, \quad \{\dot{y}\} = \begin{bmatrix} \dot{y}_b \\ \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{bmatrix}, \quad \{y\} = \begin{bmatrix} y_b \\ y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} \text{ dan } \{F\} = \begin{bmatrix} F_b \\ F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

3.6 Persamaan Gerakan Akibat Beban Gempa

Gempa bumi akan mengakibatkan permukaan tanah menjadi bergatar yang getarannya direkam dalam bentuk *asselogram*. Tanah yang bergetar akan menyebabkan semua benda yang berada di atasnya ikut bergetar termasuk struktur bangunan. Beban gempa adalah beban yang bekerja pada struktur akibat getaran

dipaksa (*Forced vibration*) dan merupakan fungsi dari waktu. Pada daerah rawan gempa, masalah yang prinsip dan perlu diperhatikan adalah perilaku struktur bagian bawah yang terkena beban gempa. Di dalam hal ini masih ada anggapan bahwa antara pondasi dianggap menyatu dengan tanah, anggapan ini sebetulnya tidak sepenuhnya benar karena tanah bukanlah material yang kaku yang mampu menyatu dengan pondasi. Kejadian yang sesungguhnya, pondasi dan tanah tidak bergerak secara bersamaan.

Untuk menyusun persamaan differensial gerakan massa akibat gerakan tanah anggapan tanah menyatu secara kaku dengan kolom atau kolom dianggap dijepit pada ujung bawahnya tetap dipakai persamaan deferensial gerakan massa struktur SDOF akibat gerakan tanah selanjutnya dapat diturunkan dengan mengambil model struktur seperti pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Sistem Derajat Kebebasan Tunggal dengan Beban Gempa

Dengan menggunakan konsep kesetimbangan dinamis dari diagram *free*

body pada Gambar 3.5.d akan didapatkan persamaan differensial geraknya :

$$F_I(t) + F_D(t) + F_S(t) = 0 \quad (3.23.a)$$

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

Sedangkan $\ddot{y}(t)$, sebagaimana terlihat pada Gambar (3.5),

$$\ddot{y}(t) = \ddot{y}(t) + y\ddot{b}(t) \quad (3.24)$$

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

Substitusi persamaan (3.23.b) dan (3.24) ke dalam persamaan (3.23.a), maka persamaan (3.23.a) dapat ditulis menjadi :

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

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

$$m \ddot{y}(t) + m y\ddot{b}(t) + cy(t) + ky(t) = 0 \quad (3.25.c)$$

Kemudian persamaan 3.25.c ditulis dalam bentuk,

$$m \ddot{y}(t) + c \dot{y}(t) + ky(t) = -m y\ddot{b}(t) \quad (3.26)$$

Persamaan (3.26) adalah persamaan diferensial relatif karena gaya inersia, gaya redam dan gaya pegas ketiga-tiganya timbul akibat adanya simpangan relatif. Ruas kanan pada persamaan (3.26) biasa disebut dengan beban gempa efektif atau beban gerakan tanah efektif. Ruas kanan pada persamaan (3.26) tersebut seolah-

olah menjadi gaya dinamik efektif yang bekerja pada elevasi lantai tingkat seperti terlihat pada Gambar 3.5.b

3.7 Perilaku Struktur

Perilaku struktur yang ditinjau adalah simpangan struktur meliputi simpangan relatif, simpangan antar tingkat (*inter-storey drift*), gaya geser dasar dan momen guling (*overturning moment*), dan akan dijelaskan berikut ini.

3.7.1 Simpangan Struktur

Simpangan pada struktur ada tiga macam, yaitu simpangan relatif, simpangan antar tingkat dan simpangan absolut. Jenis-jenis simpangan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan di jelaskan sebagai berikut ini.

A. Simpangan Relatif

Simpangan relatif tiap lantai menurut persamaan deferensial independen (*uncoupling*) adalah perpindahan letak suatu derajat kebebasan lantai dari posisi awal karena adanya gaya geser, simpangan suatu massa yang diperoleh dengan menjumlahkan pengaruh atau kontribusi tiap-tiap mode.

$$Y_{ij} = \sum \phi_{ij} Z_j \quad (3.27)$$

Dimana: Y_i = simpangan relatif lantai ke- i ,

ϕ_{ij} = mode shapes untuk lantai ke- i mode ke- j dan

Z_j = modal amplitudo pada mode ke- j .

Kemudian simpangan lantai ke- i dapat dihitung dengan,

$$Y_i = \sqrt{\sum_{j=0}^m (Y_{ij})^2} \quad (3.28)$$

B. Simpangan Antar Tingkat (*Inter-storey Drift*)

Simpangan antar tingkat adalah selisih nilai antara simpangan lantai ke- i dengan tingkat dibawahnya, simpangan ini dihitung dengan cara simpangan relatif lantai ke- i atas dikurangi simpangan relatif lantai bawahnya. *Inter-storey 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-storey Drift* dapat di hitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\Delta y_i = y_i - y_{i-1} \quad (3.29)$$

Dimana : Δy_i = simpangan antar tingkat,
 y_i = simpangan relatif lantai ke- i dan
 y_{i-1} = simpangan relatif lantai ke- $(i-1)$.

C. Simpangan Absolut

Simpangan absolut adalah perpindahan suatu titik derajat kebebasan suatu lantai ditambah dengan simpangan akibat tanah. Simpangan absolut dapat dihitung dengan rumus :

$$y_t = y_i + y_g \quad (3.30)$$

Dimana : y_t = simpangan absolut,
 y_i = Simpangan relatif lantai ke- i dan
 y_g = Simpangan akibat tanah.

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

Simpangan absolut mempunyai pengaruh terhadap kemungkinan terjadinya benturan antar bangunan yang berdekatan (*structural pounding*). Masalah *structural pounding* ini biasa terjadi pada bangunan yang berdekatan karena keterbatasan lahan. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan total pada bangunan. *Structural pounding* dapat di cegah dengan memperhitungkan jarak dua bangunan yang berdekatan dengan menghitung simpangan absolut pada setiap lantai.

3.7.2 Gaya Geser Tingkat

Gaya geser tingkat adalah gaya yang bekerja tegak lurus bidang akibat beban lateral. Gaya geser sering dipakai dalam analisis struktur, karena gaya geser akan menyebabkan rotasi pada penampang horisontal lantai dan gaya lantai akan menyebabkan momen guling struktur (*overtuning moment*). Gaya horizontal lantai ke-*i* akibat mode ke-*j* adalah:

$$F_{ij} = M \Phi_{ij} \Gamma_j C_j g \quad (3.31)$$

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

$$P_j^* = \{ \Phi \}_{j_i} [M] \{ 1 \} \text{ dan } M_j^* = \{ \Phi \}_{j_j}^T [M] \{ \Phi \}_{j_j}$$

dan gaya horizontal lantai ke-*i* adalah :

$$F_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n F_{ij}^2} \quad (3.32)$$

sehingga gaya geser tingkat pada lantai ke- i adalah akibat mode ke- j adalah,

$$V_{ij} = \sum_{i=1}^m F_{ij} \quad (3.33)$$

sehingga gaya geser tingkat pada lantai ke- i adalah,

$$V_i = \sqrt{\sum_{i=1}^n V_{ij}^2} \quad (3.34)$$

dalam kasus ini jumlah tingkat $m = 10$ lantai

Keterangan : $-F_{ij}$ = gaya horizontal lantai ke- i akibat mode ke- j ,

M = matrik massa,

ϕ_{ij} = *mode shapes* lantai ke- i akibat mode ke- j ,

ϕ_{ij}^T = transpos matrik *mode shapes* lantai ke- i akibat mode ke- j ,

C = koefisien gempa,

g = percepatan gravitasi,

F_i = gaya horizontal lantai ke- i ,

V_i = gaya geser tingkat lantai ke- i ,

m = jumlah lantai,

n = jumlah mode.

3.7.3. Momen Guling

Momen guling adalah besaran yang terjadi akibat beban lateral yang bekerja tidak pada pusat beratnya, didapat dengan mengalikan gaya lantai yang

terjadi pada setiap tingkat (F_{i+1}) dengan tinggi lantai (h_{i+1}). *Modal overturning moment* pada lantai ke- i kontribusi mode ke- j dapat dihitung dengan,

$$M_{ij} = \sum_{i=0}^{m-1} F_{i+1,j} (h_{i+1} - h_i) \quad (3.35)$$

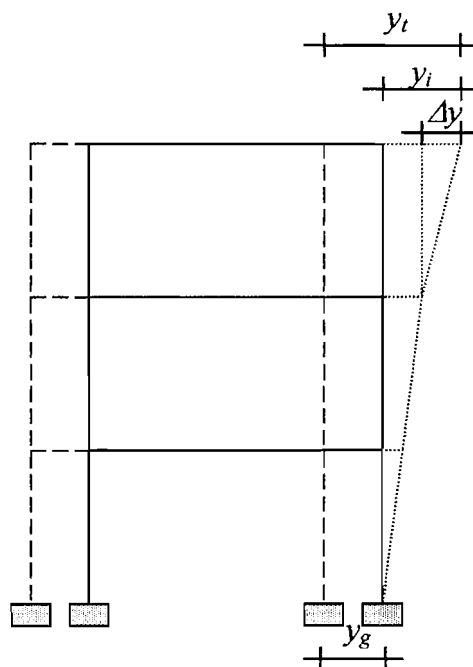
kemudian momen guling terhadap level tingkat ke- i dihitung dengan,

$$M_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (M_{ij})^2} \quad (3.36)$$

Keterangan : M_i = momen guling lantai ke- i ,

F_{i+1} = gaya geser horizontal lantai ke- $i+1$ dan

h_{i+1} = tinggi tingkat ke- $i+1$



Gambar 3.6 Model struktur dengan jenis-jenis simpangannya

BAB IV

METODE PENELITIAN

Metode penelitian adalah tata cara pelaksanaan penelitian yang akan diuraikan menurut urutan yang sistematis. Pada bab ini memuat data struktur, data alat peredam, pengolahan data, hipotesis dan pengujian yang akan dijelaskan sebagai berikut ini.

4.1 Data Struktur

Penelitian ini menggunakan gedung dengan model *shear building* yang sederhana untuk mempermudah perhitungan dan melihat perbedaan hasil yang diteliti. Data-data struktur yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. model struktur rangka beton bertingkat 10 yang berfungsi sebagai perkantoran dengan luas kurang dari 3240 m²,
2. aspek rasio model struktur bangunan adalah $H/W = 1,7$ dimana H = tinggi bangunan dan W = lebar bangunan, sehingga gaya tarik keatas pada dasar kolom (*pull out force*) dianggap tidak terjadi (www.takenaka.co.jp/),
3. modulus elastisitas material (kolom dan balok) = $240.000 \text{ kg/cm}^2 = 2,4 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$,
4. redaman struktur beton 5%,
5. percepatan gravitasi 9,81 m/det²,

6. massa alat peredam sangat kecil ≈ 0
7. tinggi tingkat lantai dasar 4m, tinggi tiap tingkat 3,5 m dan jarak antar kolom adalah 6,0 m,
8. ukuran kolom (0,8 x 0,8) m² dan balok (0,8 x 0,4) m²,
9. tebal plat lantai dan atap = 0,125 m,
10. data eksitasi gempa berupa rekaman percepatan tanah gempa Bucharest dan Koyna dalam bentuk analisis riwayat waktu .

4.2 Data Alat Peredam (*Base Isolator*)

Alat peredam (*base isolator*) yang digunakan adalah *High Damping Rubber Bearing (HDRBs)*, (*Technical Report : High Damping Rubber Bearing*) dengan spesifikasi seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Spesifikasi Sistem *High Damping Rubber Bearing*

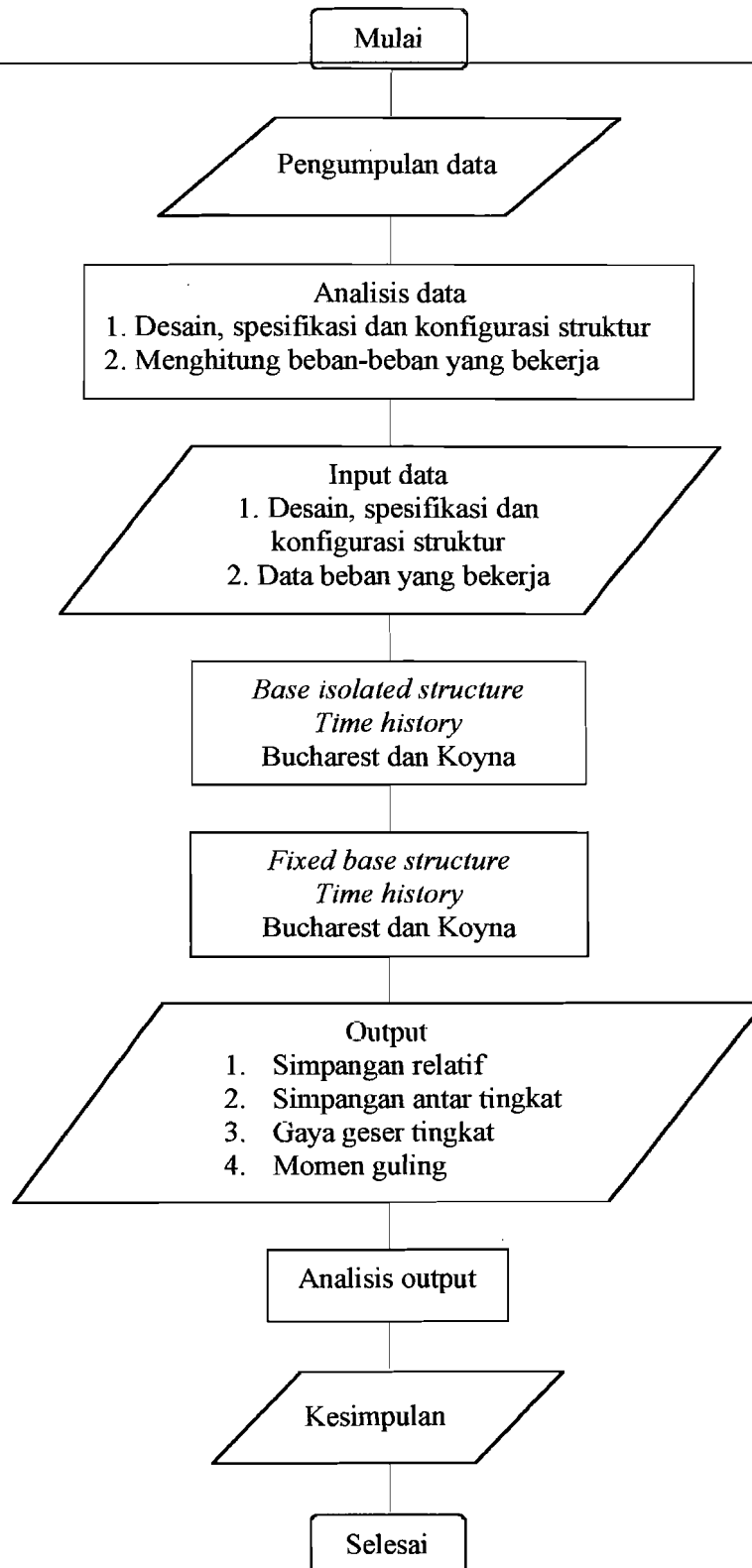
<i>Total stiffnes (kN/m)</i>	100
<i>Shear modulus at 150% (MPa)</i>	0.77
<i>Vertical design load (t)</i>	50.4
<i>Nominal shear stiffness (kN/mm)</i>	25.45
<i>Nominal horizontal natural frequency (Hz)</i>	0.5
<i>Critical load (t)</i>	161
<i>Damping encahement factor</i>	1.2
<i>At maximum probable shear deflection (mm)</i>	159
<i>Shear force (kN)</i>	80
<i>Bending moment (kNm)</i>	58

4.3 Pengolahan Data

Pada sub Bab ini akan dilakukan perhitungan dan analisis data setelah semua data ditentukan. Perhitungan dan analisis menggunakan program komputer dan langkah-langkah pengolahan data meliputi :

1. menghitung beban-beban struktur,
2. menghitung beban tiap *node* tiap tingkat,
3. menentukan dukungan *based isolation*,
4. analisis dinamik riwayat waktu (*time history*),
5. perhitungan simpangan relatif,
6. perhitungan simpangan antar tingkat
7. perhitungan gaya geser dasar, dan
8. perhitungan momen guling.

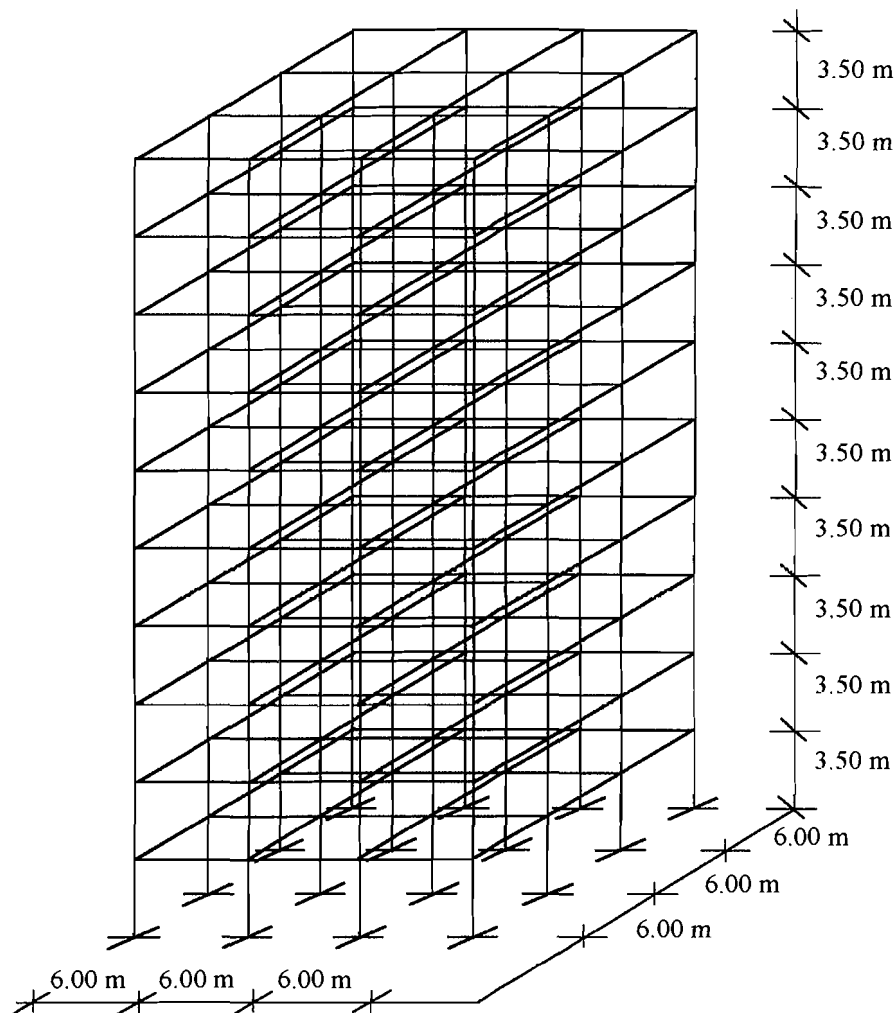
Bagan alir dari metode penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.1. Bagan alir komparasi *fixed Base* dengan *base Isolation*

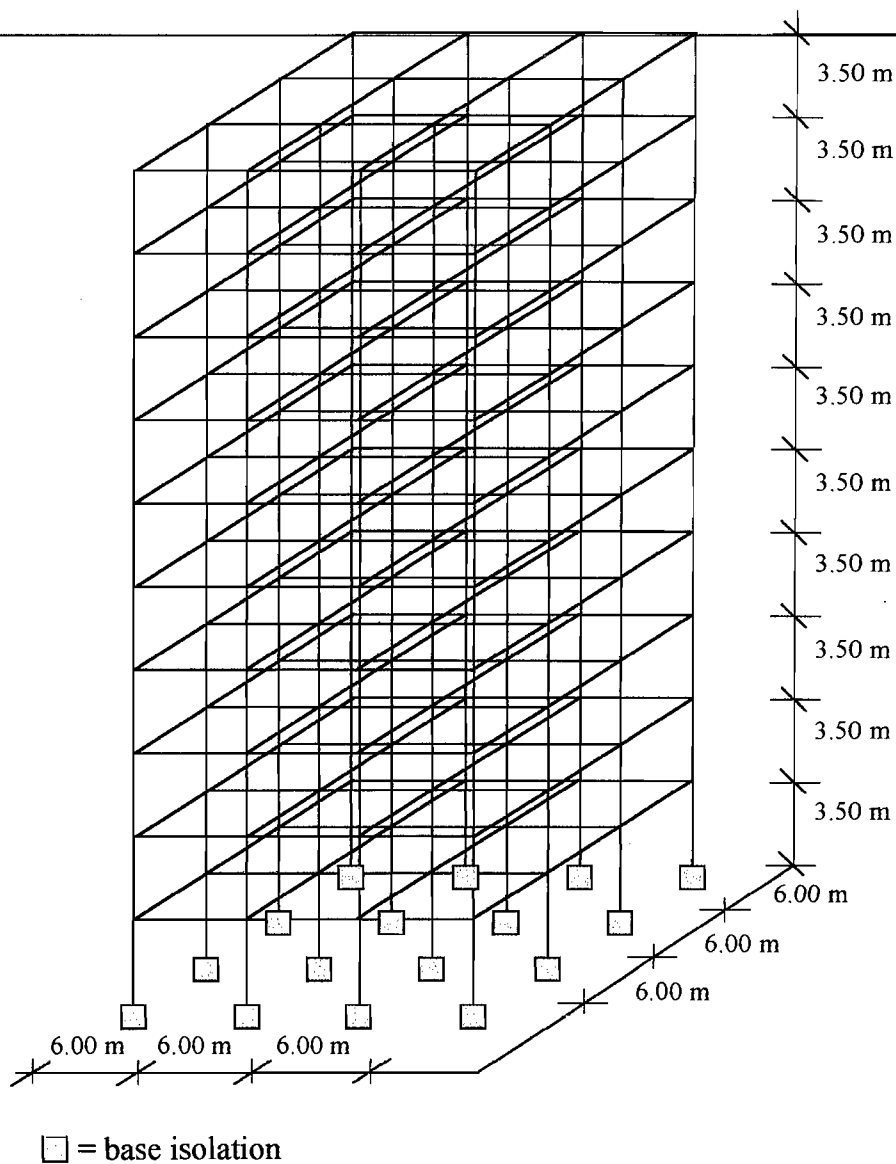
4.4 Pengujian

Perhitungan dan analisa data menggunakan program komputer untuk mempermudah pengujian dan ketepatan perhitungan. Program komputer yang digunakan adalah *SAP 2000* untuk mengolah data dan program *Microsoft Excel 2000* untuk mengolah grafik. Model struktur yang digunakan penelitian ini dengan isolasi dasar *high damping rubber bearings*.



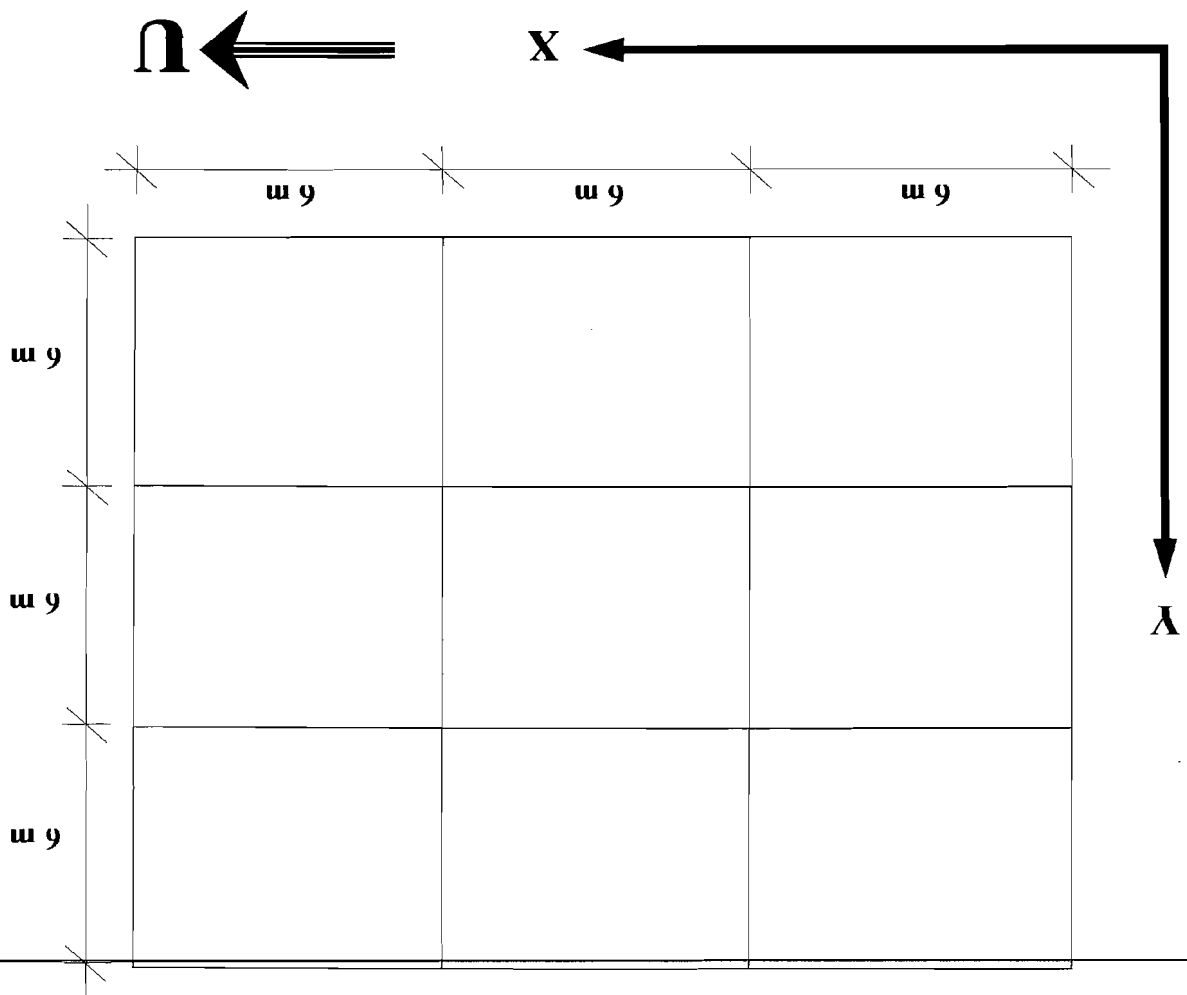
Gambar 4.2 Struktur 3D tanpa High Damping Rubber Bearings





Gambar 4.3 Struktur 3D dengan High Damping Rubber Bearings

Gambar 4.4 Denah Gedung Tampak Atas



BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Setelah tata cara penelitian dalam bab metode penelitian ditentukan kemudian dilanjutkan dengan proses analisis dan pembahasan yang akan diuraikan berikut ini.

5.1 Analisis

Analisis adalah proses perhitungan untuk mendapatkan hasil-hasil yang diinginkan. Untuk itu program komputer yang digunakan dalam proses perhitungan adalah *SAP 2000* dan *Microsoft Excel 2000* untuk mengolah grafik.

Langkah pertama dalam analisis ini adalah perhitungan beban struktur kemudian dilanjutkan perhitungan beban tiap node tiap tingkat, menentukan dukungan struktur, memvariasikan nilai kekakuan alat peredam dengan menggunakan variasi gempa dan hasil-hasil perhitungan. Hasil-hasil perhitungan tersebut meliputi hasil perhitungan simpangan relatif, hasil perhitungan simpangan antar tingkat (*inter storey drift*), hasil perhitungan gaya geser tingkat dan hasil perhitungan momen guling (*overturning moment*). Penjelasan hal-hal tersebut diatas akan diuraikan berikut ini.

5.1.1 Perhitungan Beban Struktur

Beban-besan yang bekerja pada struktur dalam penelitian ini adalah beban tetap dan beban sementara (beban gempa). Beban tetap meliputi beban hidup dan beban mati yang bekerja sebagai beban merata. Beban mati terdiri dari beban akibat berat plat dan dinding sedangkan perhitungan beban mati untuk balok dan kolom sudah dihitung tersendiri di dalam program *SAP 2000*. Fungsi struktur adalah sebagai gedung perkantoran, selengkapnya pembebanan struktur dapat dijelaskan berikut ini.

1. Perhitungan berat beban hidup (W_l)

Perhitungan berat beban hidup untuk lantai dan atap diasumsikan sama, sehingga menurut PPIUG (1983) diperoleh beban hidup (q_l) untuk gedung perkantoran adalah 250 kg/m^2 . Beban hidup yang bekerja pada struktur dapat dihitung dengan rumus:

$$W_l = q_l \times A$$

Dimana W_l , q_l dan A adalah berat beban hidup, beban hidup merata dan luas struktur, maka diperoleh berat plat = $250 \text{ kg/m}^2 \times (18\text{m} \times 18\text{m}) = 81000 \text{ kg}$.

2. Perhitungan berat beban mati (W_d)

Perhitungan berat beban mati untuk plat lantai dan atap diasumsikan sama maka perhitungan berat beban mati meliputi plat dan dinding dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$\text{Berat beban plat: } W_d = t_p \times \gamma \times A$$

$$\text{Berat dinding: } W_d = q \times h$$

Dimana W_d , t_p , γ , A , q dan h adalah berat beban mati, tebal plat, berat jenis beton, luas plat, berat tembok dan tinggi struktur tiap tingkat. Dengan menggunakan rumus diatas dapat dihitung berat beban lantai atap dan dinding.

- Beban mati plat = $0,125 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times (18\text{m} \times 18\text{m}) = 97200 \text{ kg}$.
- Beban mati dinding ($q = 750 \text{ kg/m}^2$)

Beban mati dinding yang diperhitungkan adalah di sekeliling struktur bangunan penuh untuk dinding lantai dan atap, sehingga dapat diuraikan hitungan sebagai berikut:

$$\text{Berat dinding} = 750 \text{ kg/m}^3 \times 3,5\text{m} \times 18\text{m} \times 4 \text{ sisi} = 189000 \text{ kg}$$

Dari data beban hidup dan beban mati diatas, maka dapat dihitung beban total yang bekerja pada tiap tingkat dengan persamaan berikut:

$$W_{tot} = W_l + W_d$$

Dimana W_{tot} , W_l dan W_d adalah berat total, berat beban hidup dan berat beban mati.

Dengan memperhitungkan berat beban hidup dan berat beban mati menggunakan persamaan diatas maka diperoleh hasil beban tiap tingkat dari lantai 1 sampai dengan 10 adalah sebesar 505.800 kg.

5.1.2 Perhitungan Beban Tiap Node Tiap Tingkat

Perhitungan ini bertujuan untuk memindahkan pendefinisian beban-beban struktur. Cara perhitungan yaitu membagi beban total tiap tingkat dengan jumlah node tiap tingkat. Dalam kasus ini tiap tingkat memiliki 16 node sehingga hasil perhitungan beban tiap node tiap tingkat dari lantai 1 sampai dengan 10 adalah sebesar 316.125 kg.

5.1.3 Menentukan Dukungan Struktur

Dukungan merupakan tempat tumpuan struktur bangunan terhadap permukaan tanah atau tempat berdirinya struktur bangunan. Sistem dukungan yang digunakan dalam penelitian ini ada dua macam yaitu dukungan dengan *fixed base* (Gambar 4.2) dan dukungan dengan *based isolation* (Gambar 4.3).

Dukungan *fixed base* diasumsikan tidak dapat bergerak kearah horizontal, vertikal dan tidak boleh terjadi puntir. Berbeda dengan dukungan *based isolation* yang dapat bergerak kearah horizontal dengan batas tertentu sesuai dengan spesifikasi alat peredam (Tabel 4.1), tetapi pada dukungan *based isolation* tetap tidak boleh terjadi puntir.

Setelah memasukkan data-data dukungan struktur kedalam *SAP 2000* kemudian dilanjutkan dengan memasukkan beban-beban gempa yang dianalisis menurut riwayat waktu (*Koyna dan Bucharest*).

5.1.4 Variasi Gempa, Arah Gempa dan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar

Analisis ini menggunakan beban gempa berupa riwayat waktu gempa *Koyna dan Bucharest* dengan memvariasikan arah datangnya gempa dari arah Utara, Timur, Selatan dan Barat.

Nilai kekakuan alat peredam adalah 100 kN/m sesuai dengan spesifikasi alat peredam yang terdapat dalam Tabel 4.1. Variasi nilai kekakuan pada alat peredam bertujuan untuk mengetahui perbandingan hasil dari perhitungan terhadap respon strukturnya. Nilai-nilai kekakuan yang digunakan bervariasi dari 10 kN/m sampai 100000 kN/m. Kemudian data-data tersebut dimasukkan kedalam *SAP 2000*.

5.1.5 Hasil Perhitungan Simpangan Relatif dengan Variasi Gempa, Arah

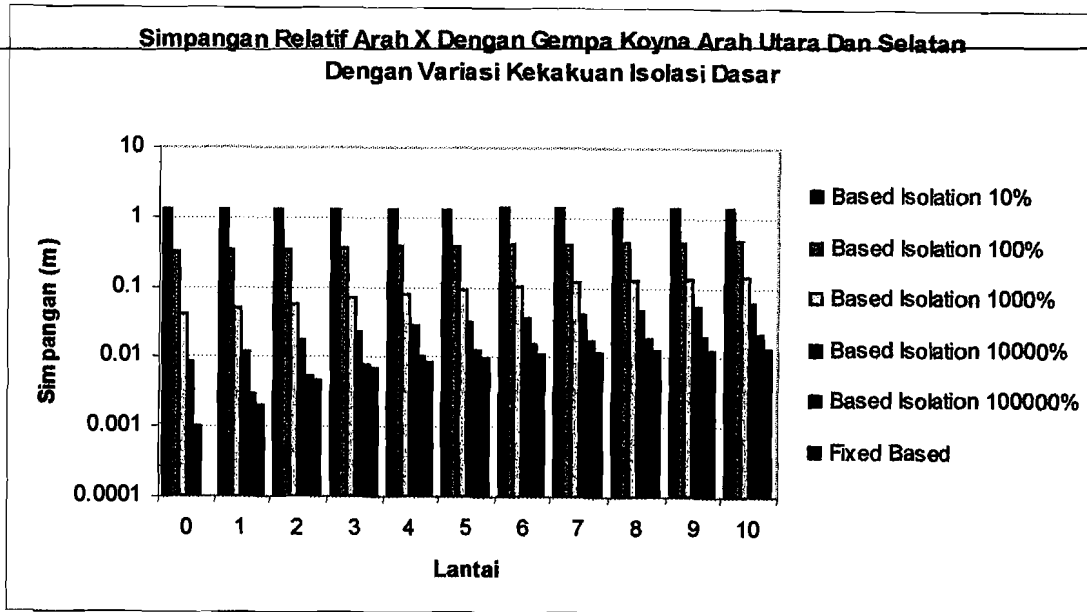
Gempa dan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar

Perhitungan simpangan relatif pada penelitian ini menggunakan variasi gempa, arah gempa dan variasi kekakuan isolasi dasar. Simpangan relatif struktur dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu simpangan relatif struktur terhadap *bottom mounting plate* (plat baja pada isolasi dasar yang menempel pada pondasi) dan simpangan relatif terhadap *top mounting plate* (plat baja pada isolasi dasar yang menempel pada *base plate* atau struktur bagian bawah).

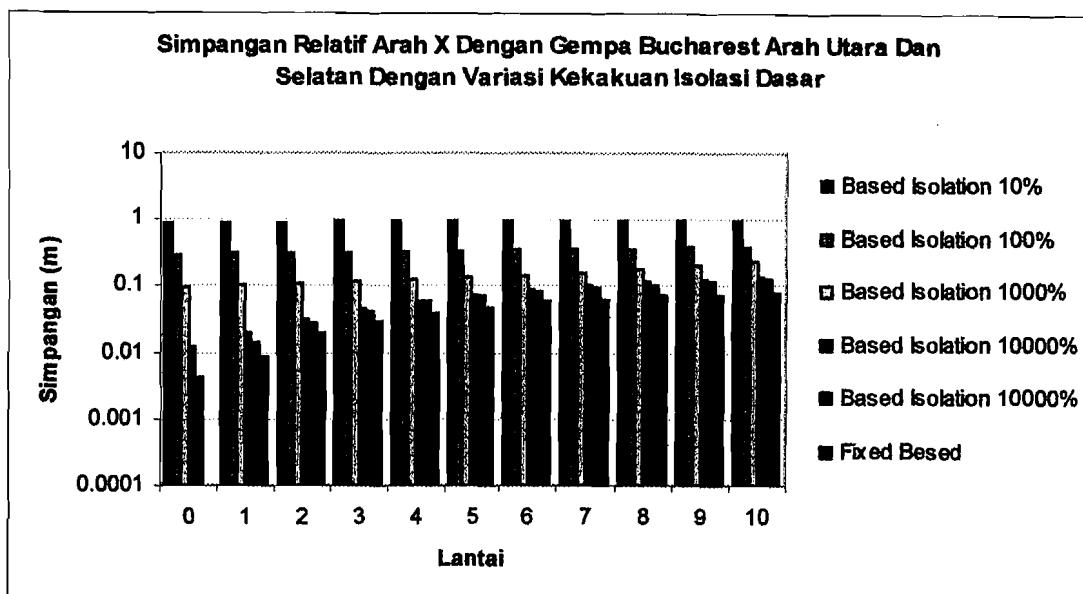
A. Simpangan Relatif Terhadap Pondasi

Hasil perhitungan simpangan relatif terhadap pondasi untuk gempa Koyna dan gempa Bucharest dapat dilihat pada Lampiran 7.1 dan Lampiran 7.2. Hubungan antara simpangan relatif terhadap pondasi dengan lantai pada struktur yang menggunakan isolasi dasar (*based isolation*) dan tanpa isolasi dasar (*fixed based*) yang disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.1a, Gambar 5.1b, Gambar 5.2a, Gambar 5.2b.

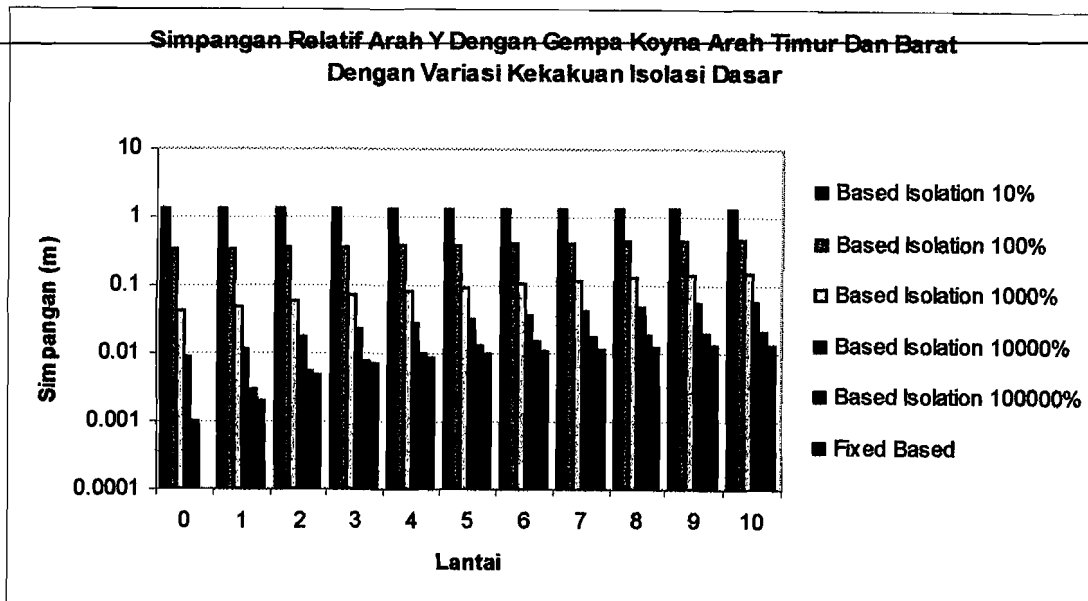
Perbandingan simpangan lantai 1, 4, 7, 10 terhadap pondasi antara gempa Koyna dan gempa Bucharest dengan variasi arah gempa dan variasi kekakuan isolasi dasar dapat dilihat pada Lampiran 7.3 dan Lampiran 7.4. Perbandingan simpangan lantai 1, 4, 7, 10 terhadap pondasi antara gempa Koyna dan gempa Bucharest yang disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.3a, Gambar 5.3b, Gambar 5.3c, Gambar 5.3d, Gambar 5.4a, Gambar 5.4b, Gambar 5.4c, Gambar 5.4d.



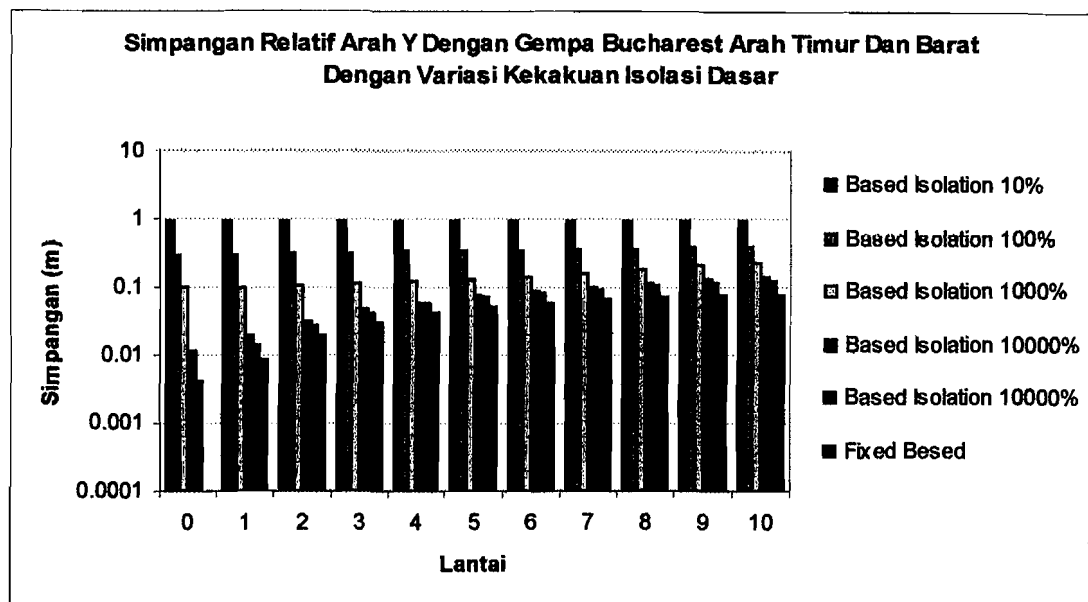
Gambar 5.1a Simpangan Relatif Arah X Terhadap Pondasi (*Bottom Mounting Plate*) dengan Gempa Koyna Arah Utara dan Selatan Dengan Kekakuan Isolasi Dasar



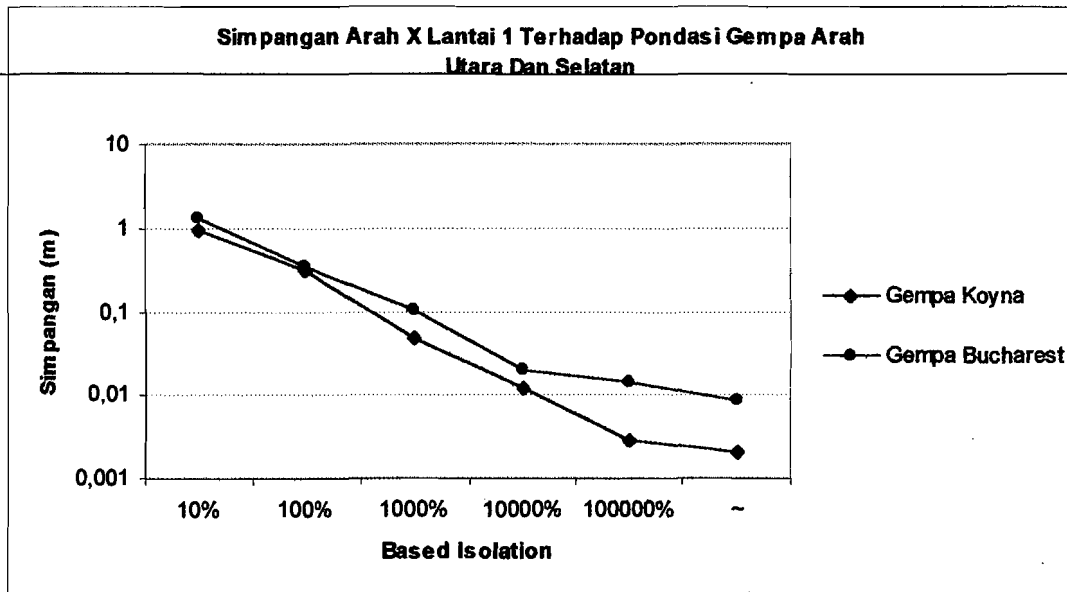
Gambar 5.1b Simpangan Relatif Arah X Terhadap Pondasi (*Bottom Mounting Plate*) dengan Gempa Bucharest Arah Utara dan Selatan Dengan Kekakuan Isolasi Dasar



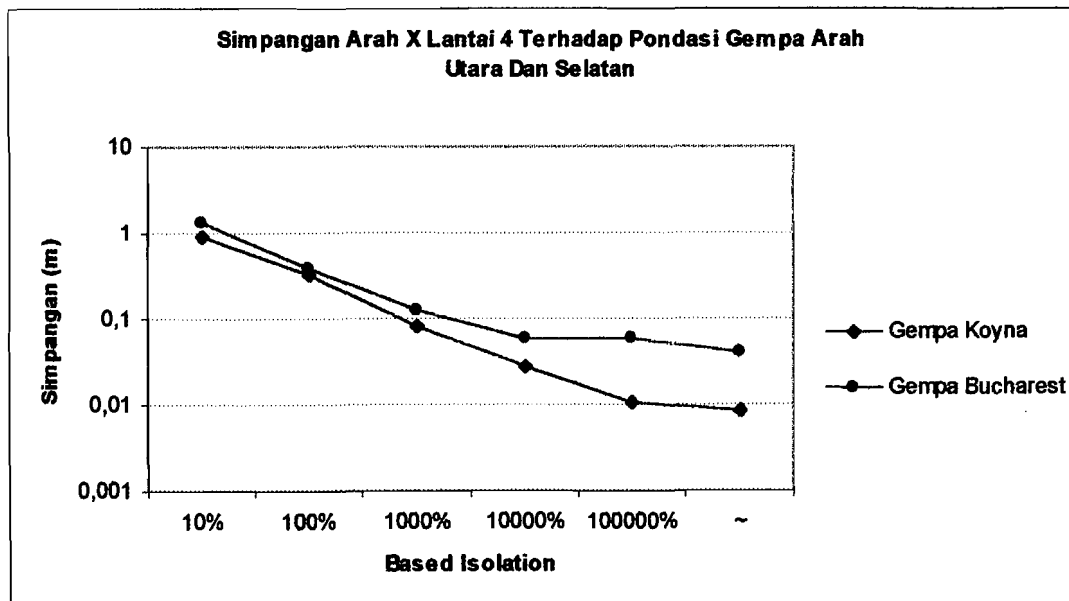
Gambar 5.2a Simpangan Relatif Arah Y Terhadap Pondasi (*Bottom Mounting Plate*) dengan Gempa Koyna Arah Timur dan Barat Dengan Kekakuan Isolasi Dasar



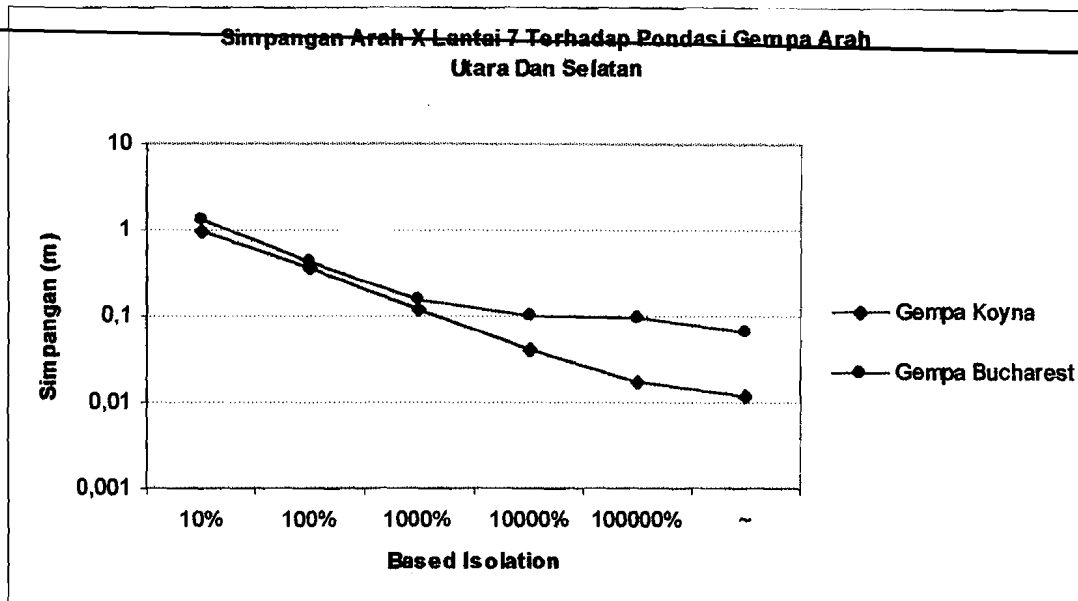
Gambar 5.2b Simpangan Relatif Arah Y Terhadap Pondasi (*Bottom Mounting Plate*) dengan Gempa Bucharest Arah Timur dan Barat Dengan Kekakuan Isolasi Dasar



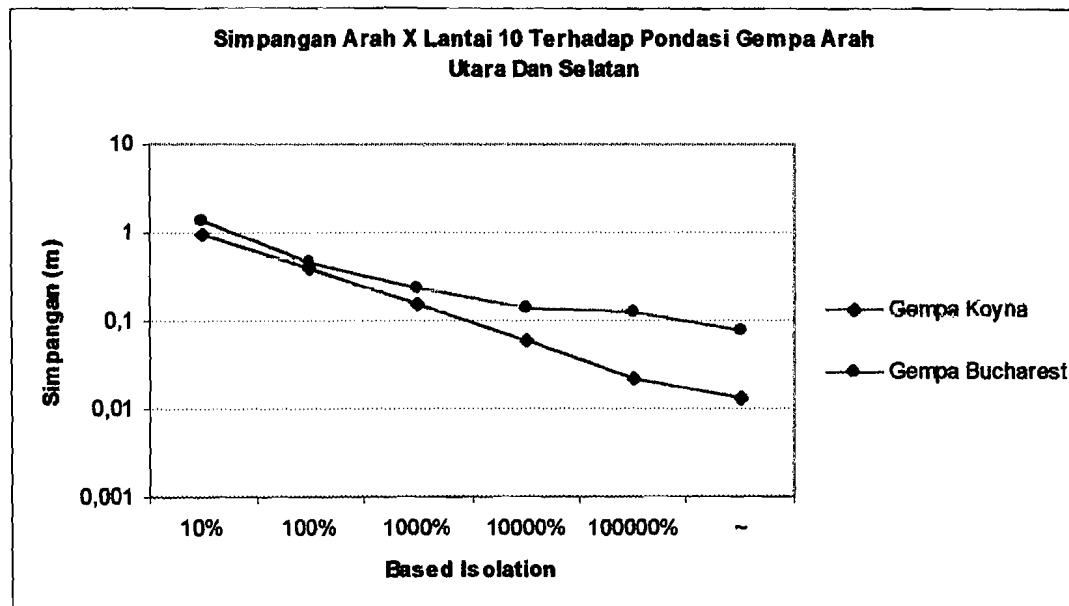
Gambar 5.3a Simpangan Arah X Lantai 1 Terhadap Pondasi dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara Dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



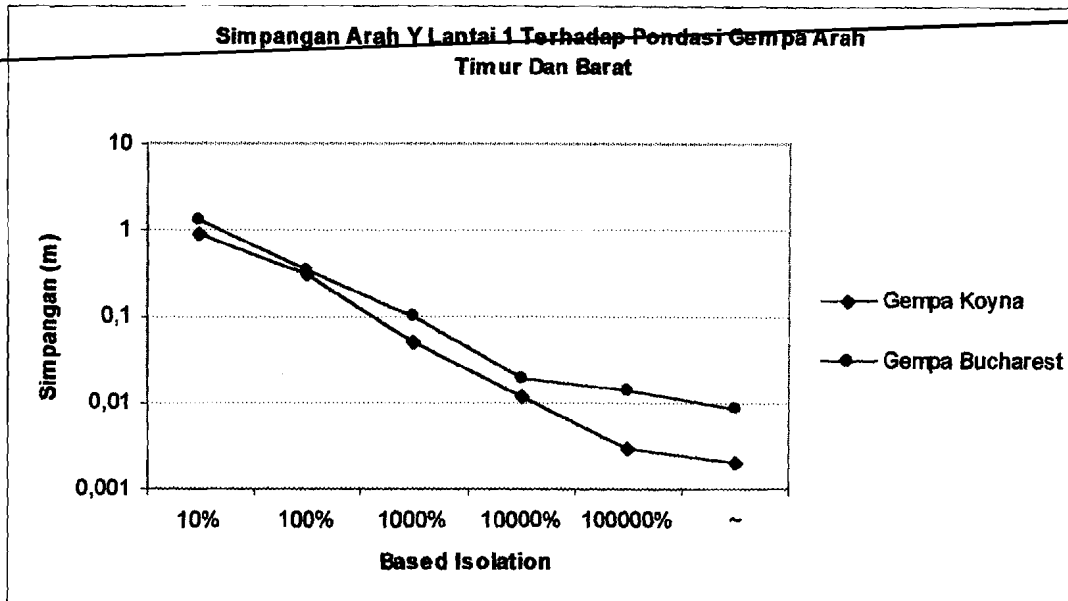
Gambar 5.3b Simpangan Arah X Lantai 4 Terhadap Pondasi dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara Dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



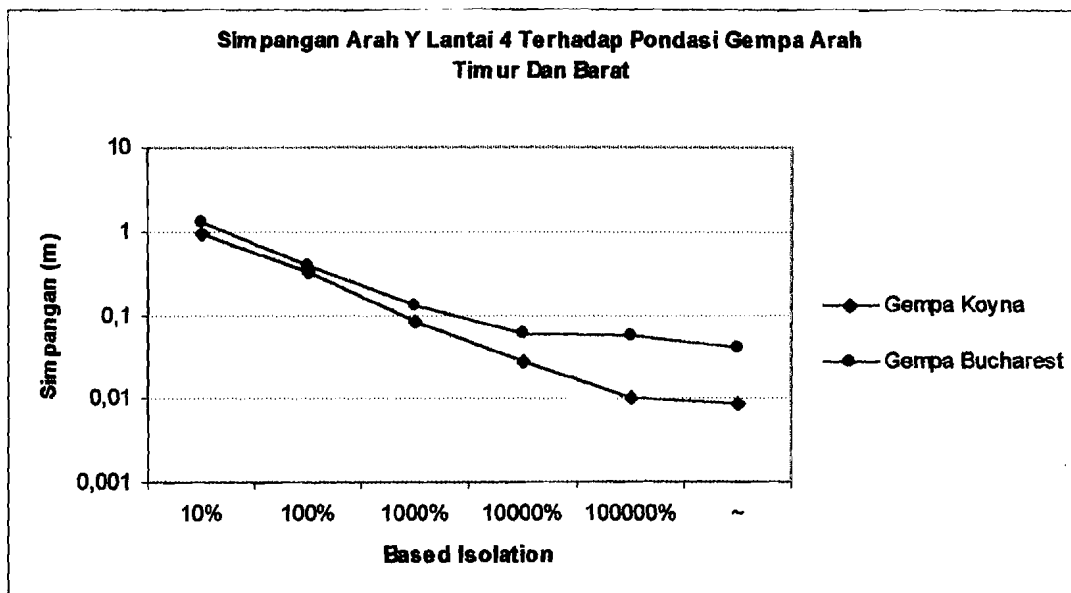
Gambar 5.3c Simpangan Arah X Lantai 7 Terhadap Pondasi dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara Dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



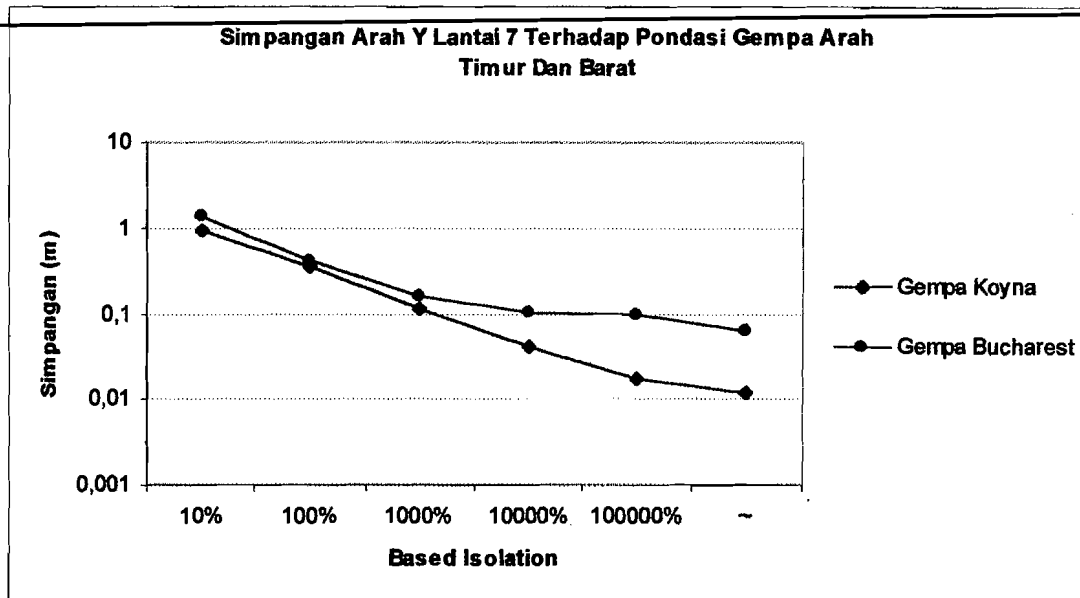
Gambar 5.3d Simpangan Arah X Lantai 10 Terhadap Pondasi dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara Dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



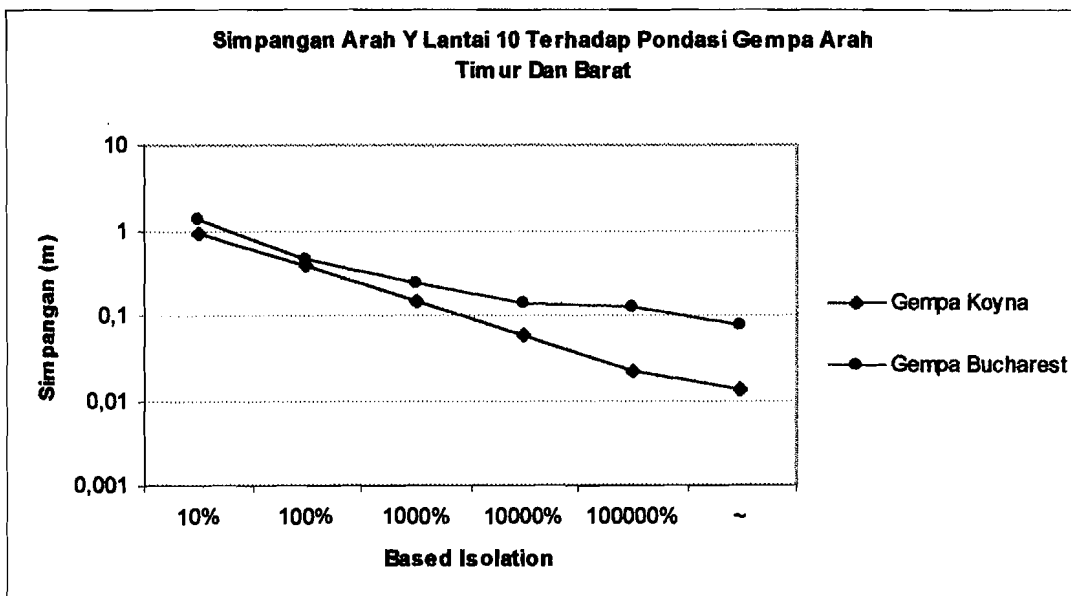
Gambar 5.4a Simpangan Arah Y Lantai 1 Terhadap Pondasi dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Timur Dan Barat dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



Gambar 5.4b Simpangan Arah Y Lantai 4 Terhadap Pondasi dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Timur Dan Barat dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



Gambar 5.4c Simpangan Arah Y Lantai 7 Terhadap Pondasi dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Timur Dan Barat dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar

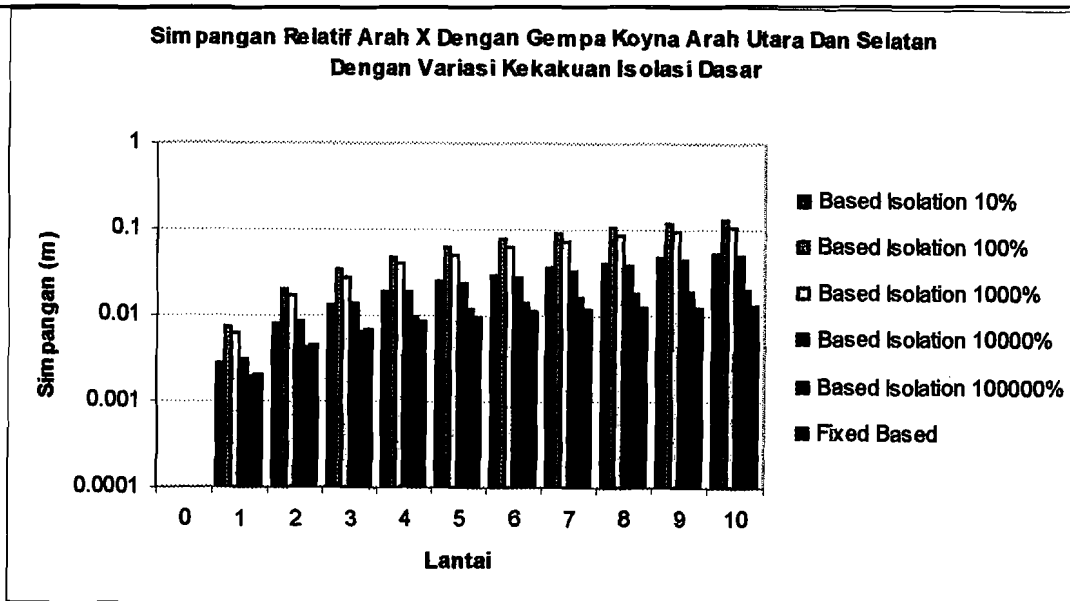


Gambar 5.4d Simpangan Arah Y Lantai 10 Terhadap Pondasi dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Timur Dan Barat dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar

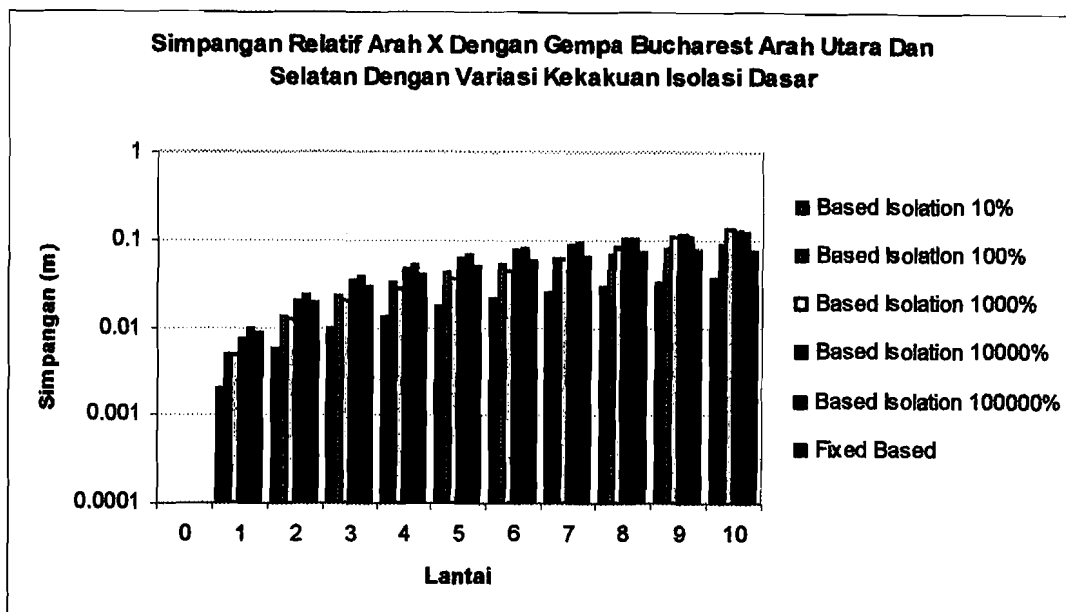
B. Simpangan Relatif Terhadap *Base Plate*

Simpangan relatif terhadap *base plate* merupakan simpangan relatif terhadap *top mounting plate* (plat baja pada isolasi dasar yang menempel pada *base plate* atau struktur bagian bawah). Hasil perhitungan simpangan relatif terhadap *base plate* untuk gempa Koyna dan gempa Bucharest dapat dilihat pada Lampiran 7.5 dan Lampiran 7.6. Hubungan antara simpangan relatif terhadap *base plate* dengan lantai pada struktur yang menggunakan isolasi dasar dan tanpa isolasi dasar yang disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.5a, Gambar 5.5b, Gambar 5.6a, Gambar 5.6b.

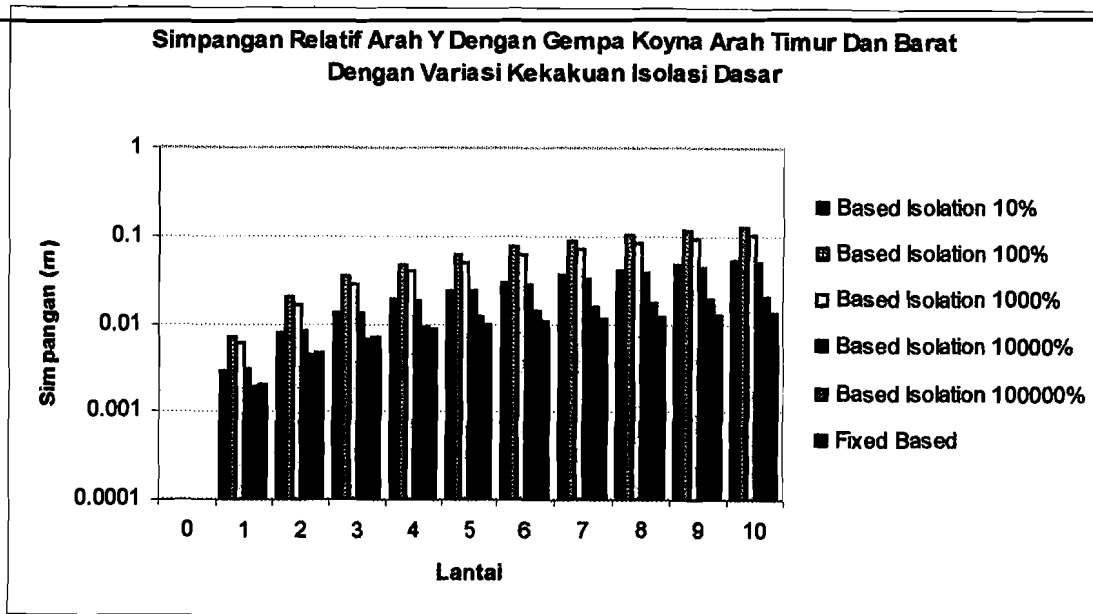
Perbandingan simpangan lantai 1, 4, 7, 10 terhadap *base plate* antara gempa Koyna dan gempa Bucharest dengan variasi arah gempa dan variasi kekakuan isolasi dasar dapat dilihat pada Lampiran 7.7 dan Lampiran 7.8. Perbandingan simpangan lantai 1, 4, 7, 10 terhadap *base plate* antara gempa Koyna dan gempa Bucharest yang disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.7a, Gambar 5.7b, Gambar 5.7c, Gambar 5.7d, Gambar 5.8a, Gambar 5.8b, Gambar 5.8c, Gambar 5.8d.



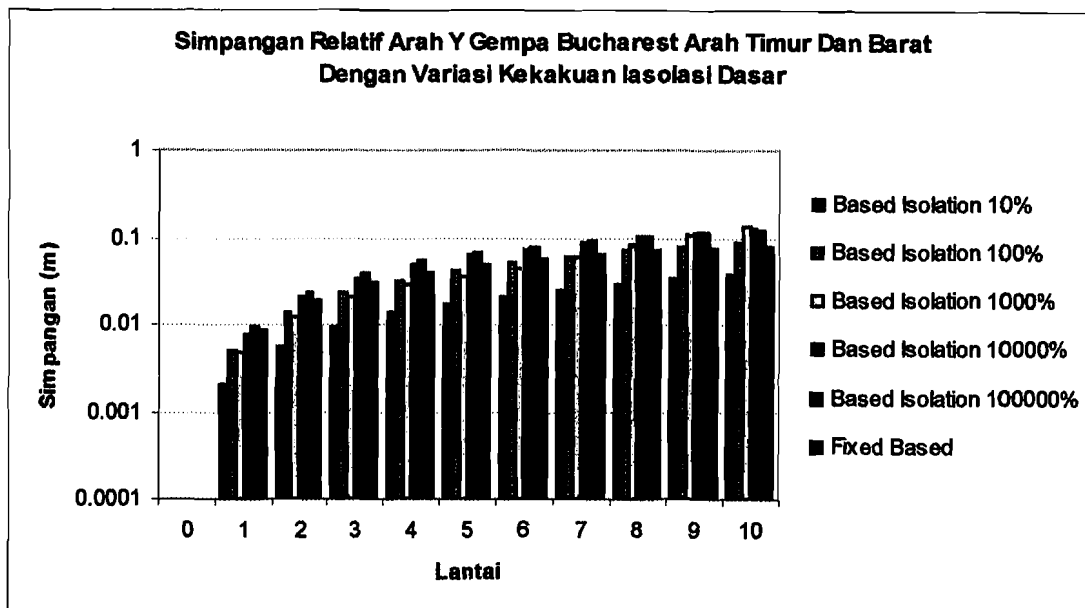
Gambar 5.5a Simpanan Relatif Terhadap *Base Plate (Top Mounting Plate)* Arah X dengan Gempa Koyna Arah Utara dan Selatan Dengan Kekakuan Isolasi Dasar



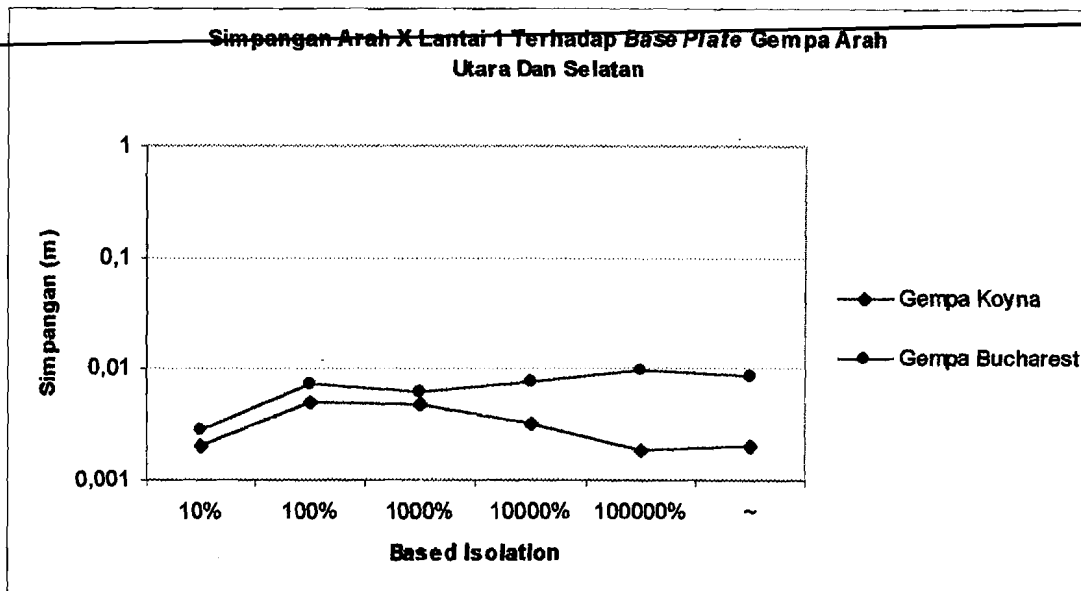
Gambar 5.5b Simpanan Relatif Terhadap *Base Plate (Top Mounting Plate)* Arah X dengan Gempa Bucharest Arah Utara dan Selatan Dengan Kekakuan Isolasi Dasar



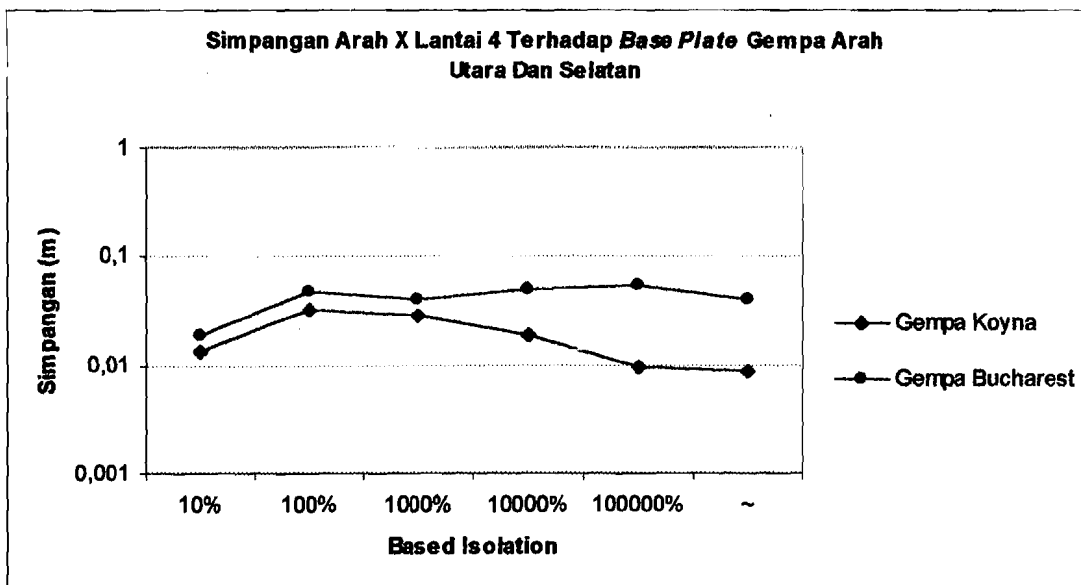
Gambar 5.6a Simpangan Relatif Terhadap *Base Plate (Top Mounting Plate)* Arah Y dengan Gempa Koyna Arah Timur dan Barat Dengan Kekakuan Isolasi Dasar



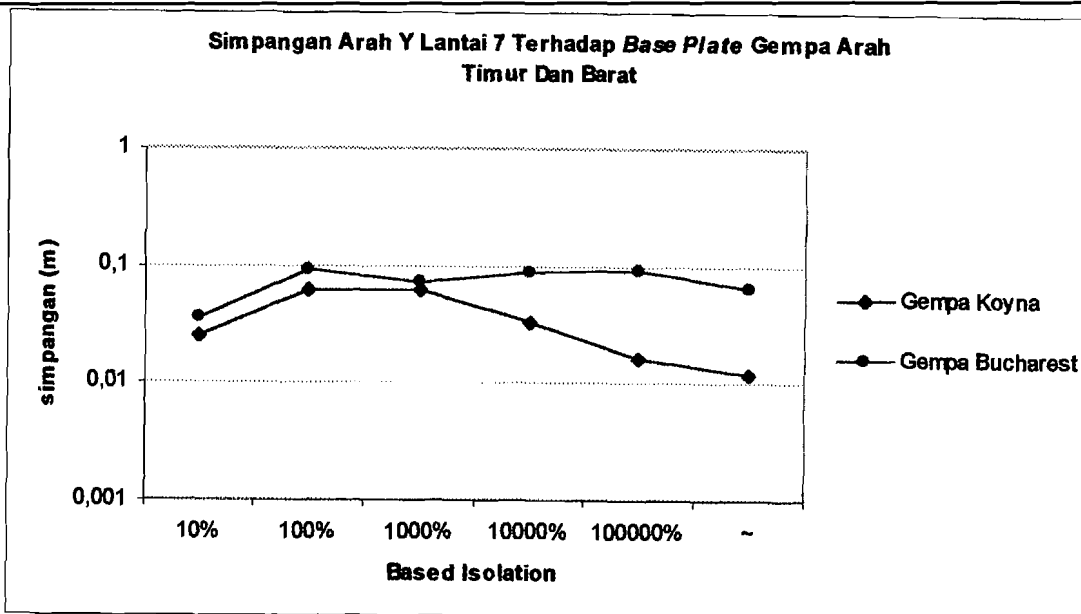
Gambar 5.6b Simpangan Relatif Terhadap *Base Plate (Top Mounting Plate)* Arah Y dengan Gempa Bucharest Arah Timur dan Barat Dengan Kekakuan Isolasi Dasar



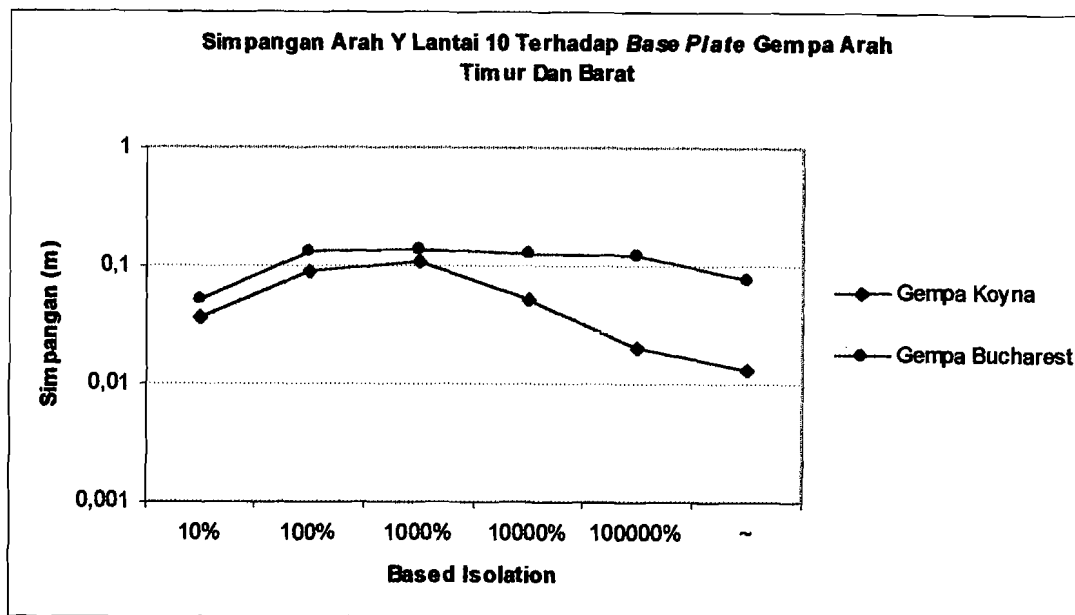
Gambar.5.7a Simpangan Arah X Lantai 1 Terhadap *Base Plate* dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara Dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



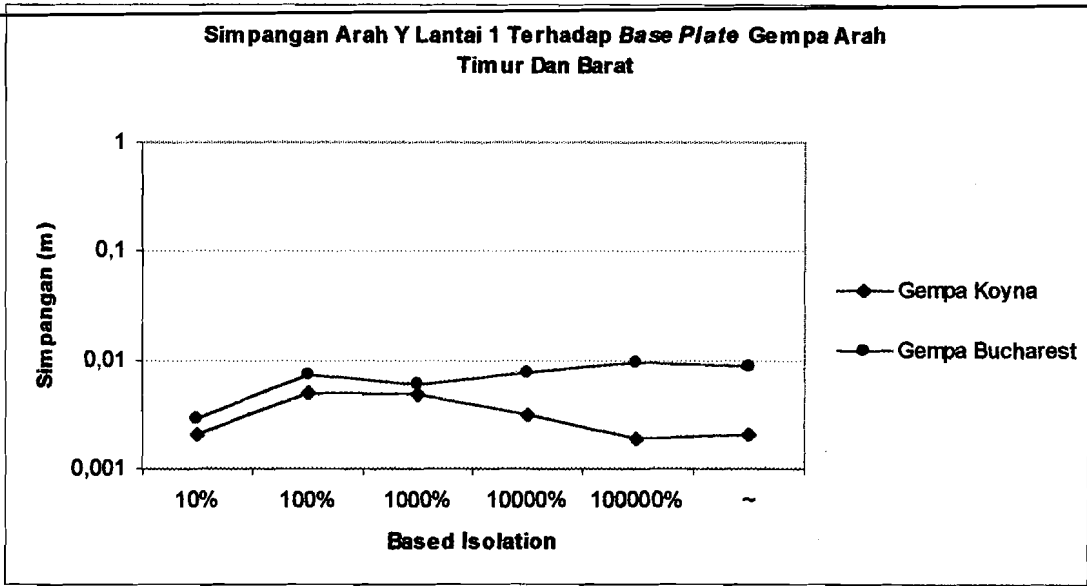
Gambar 5.7b Simpangan Arah X Lantai 4 Terhadap *Base Plate* dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara Dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



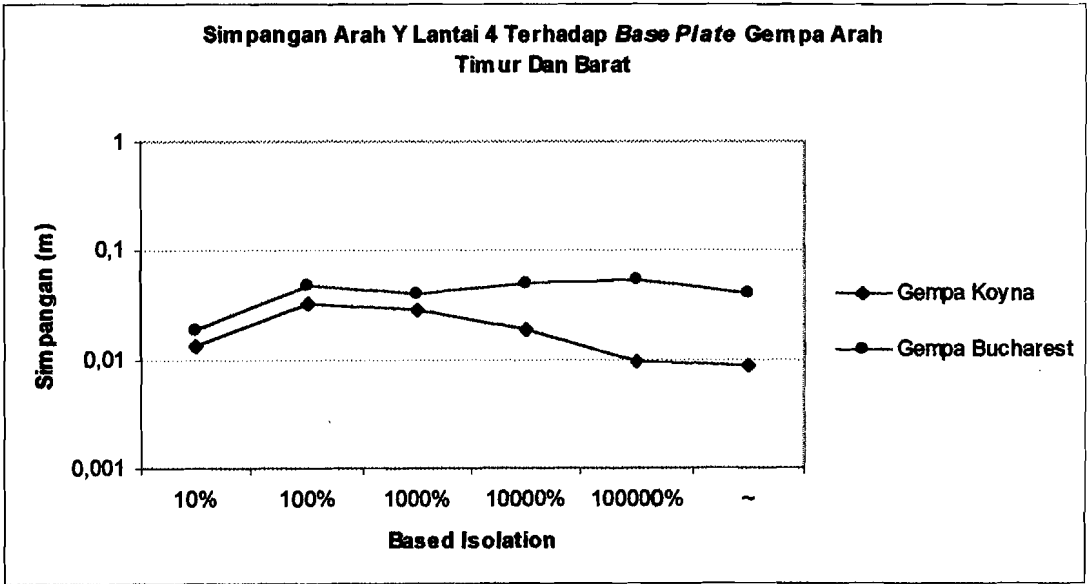
Gambar 5.8c Simpangan Arah Y Lantai 7 Terhadap *Base Plate* dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Timur Dan Barat dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



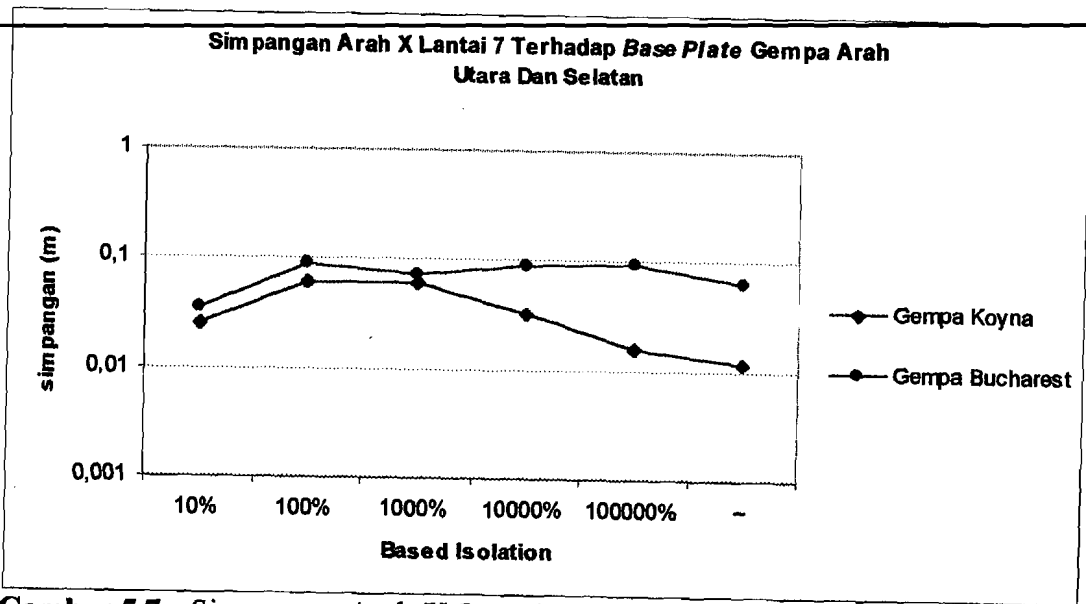
Gambar 5.8d Simpangan Arah Y Lantai 10 Terhadap *Base Plate* dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Timur Dan Barat dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



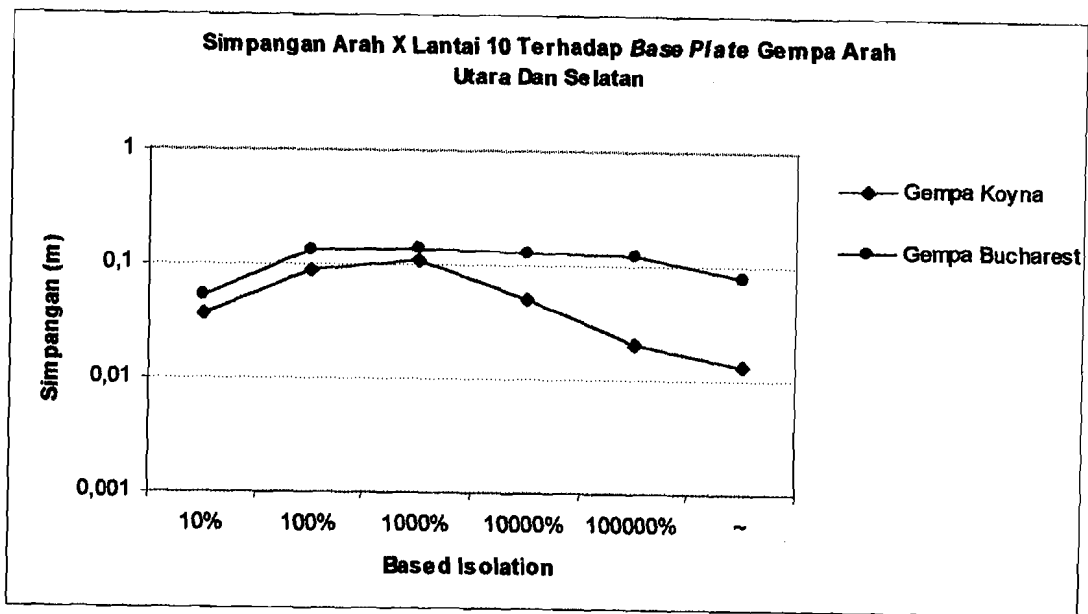
Gambar 5.8a Simpangan Arah Y Lantai 1 Terhadap *Base Plate* dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Timur Dan Barat dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



Gambar 5.8b Simpangan Arah Y Lantai 4 Terhadap *Base Plate* dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Timur Dan Barat dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



Gambar 5.7c Simpangan Arah X Lantai 7 Terhadap Base Plate dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara Dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



Gambar 5.7d Simpangan Arah X Lantai 10 Terhadap Base Plate dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara Dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar

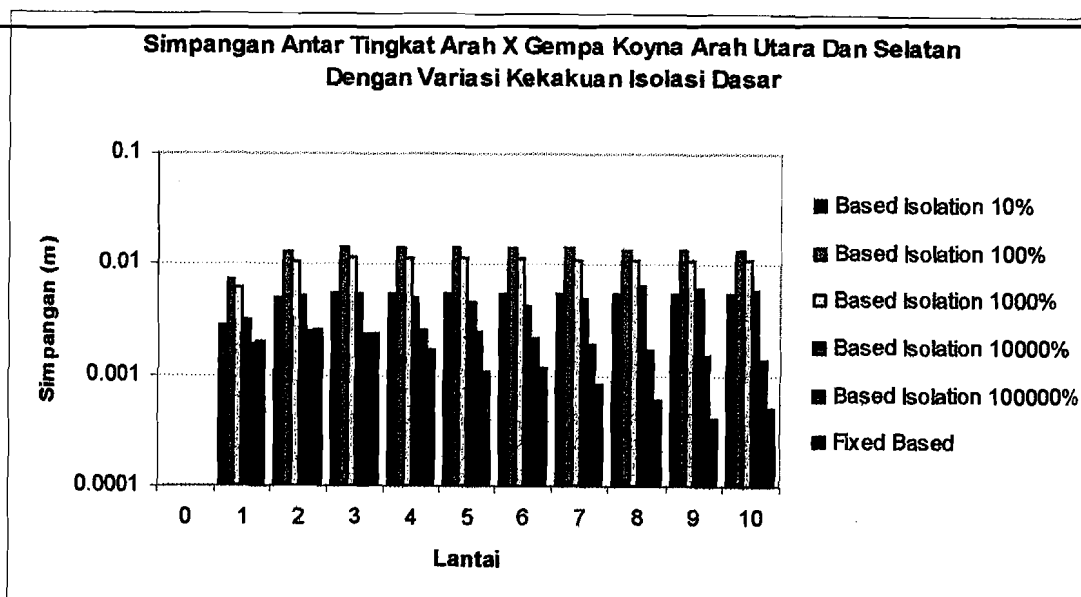
5.1.6 Hasil Perhitungan Simpangan Antar Tingkat dengan Variasi Gempa,

Arah Gempa dan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar

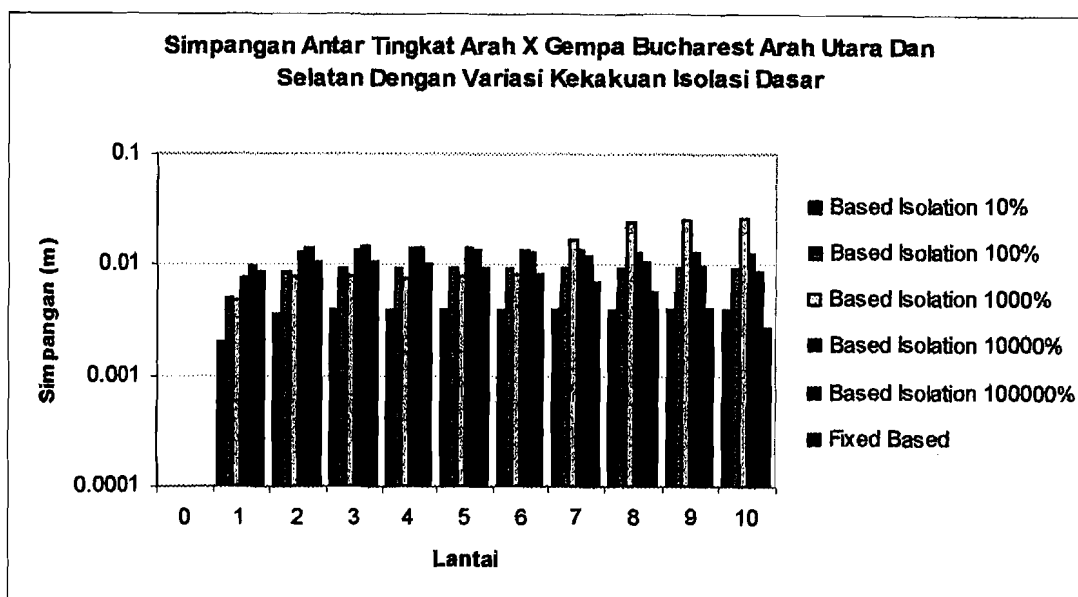
Simpangan antar tingkat diperoleh dengan mengurangi simpangan lantai atas dengan simpangan lantai di bawahnya. Persyaratan untuk simpangan antar tingkat ini ditentukan berdasarkan Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung 1983 (kemudian disebut PPTGIUG 1983). Menurut PPTGIUG 1983, perbandingan simpangan antar tingkat suatu tingkat dan tinggi tingkat yang bersangkutan tidak boleh lebih dari 0,005 dengan ketentuan bahwa dalam segala hal simpangan yang terjadi tidak boleh lebih dari 2 cm.

Hasil perhitungan simpangan antar tingkat untuk gempa Koyna dan gempa Bucharest dapat dilihat pada Lampiran 8.1 dan Lampiran 8.2. Hubungan antara simpangan antar tingkat dengan lantai pada struktur yang menggunakan isolasi dasar dan tanpa isolasi dasar yang disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.9a, Gambar 5.9b, Gambar 5.10a, Gambar 5.10b.

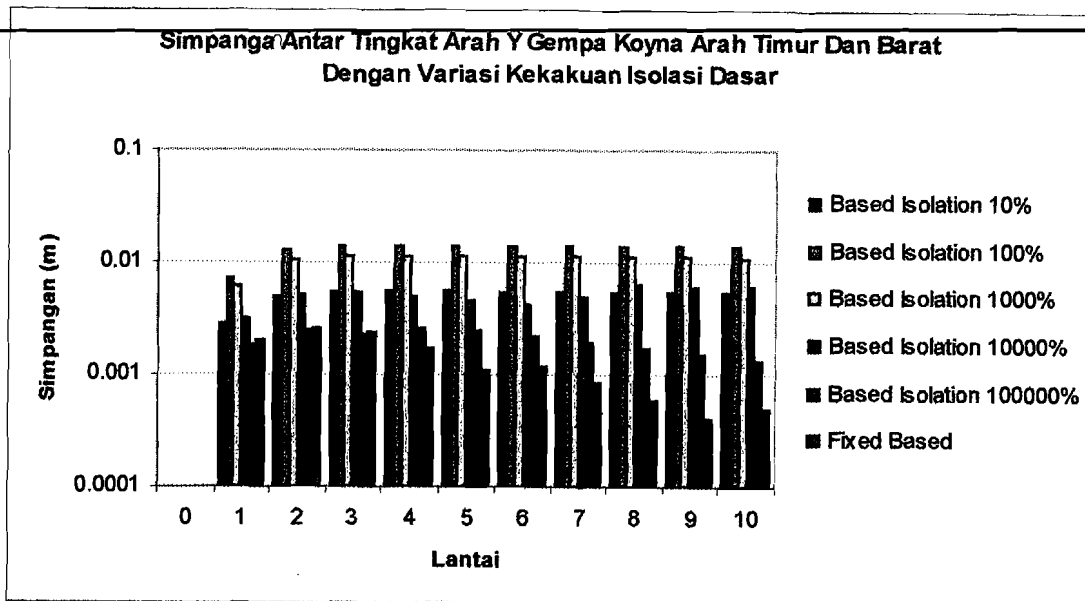
Perbandingan simpangan antar tingkat lantai 1, 4, 7, 10 antara gempa Koyna dan gempa Bucharest dengan variasi arah gempa dan variasi kekakuan isolasi dasar dapat dilihat pada Lampiran 8.3 dan Lampiran 8.4. Perbandingan simpangan antar tingkat lantai 1, 4, 7, 10 antara gempa Koyna dan gempa Bucharest yang disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.11a, Gambar 5.11b, Gambar 5.11c, Gambar 5.11d, Gambar 5.12a, Gambar 5.12b, Gambar 5.12c, Gambar 5.12d.



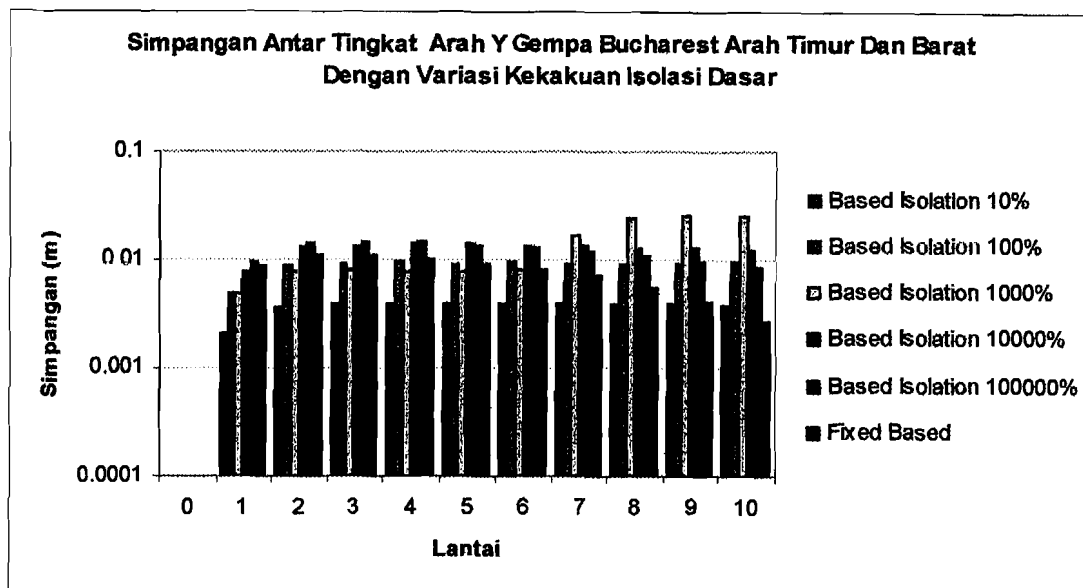
Gambar 5.9a Simpangan Antar Tingkat (*Inter story Drift*) Arah X dengan Gempa Koyna Arah Utara dan Selatan Dengan Kekakuan Isolasi Dasar



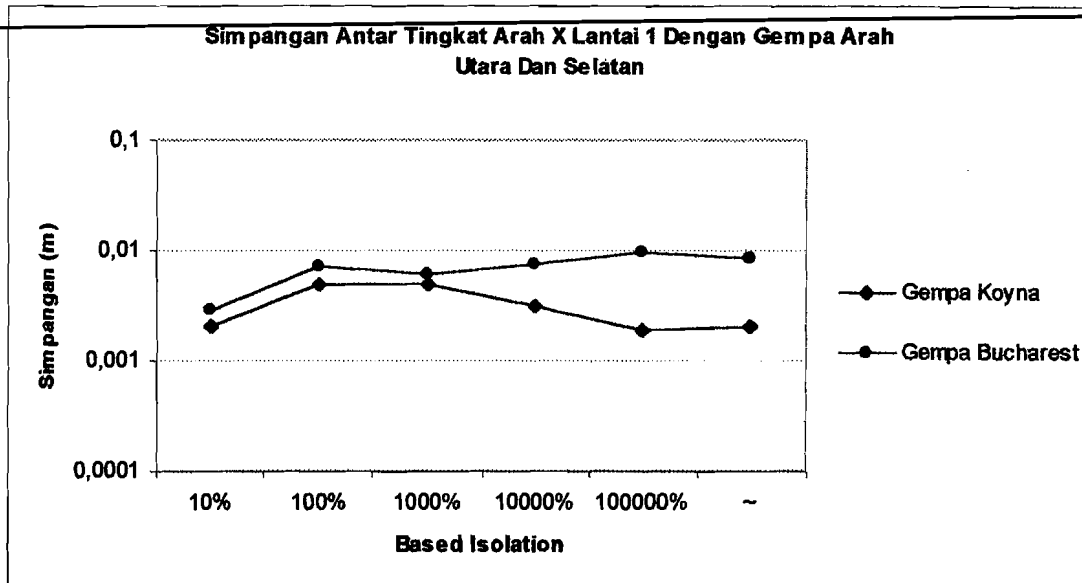
Gambar 5.9b Simpangan Antar Tingkat (*Inter story Drift*) Arah X dengan Gempa Bucharest Arah Utara dan Selatan Dengan Kekakuan Isolasi Dasar



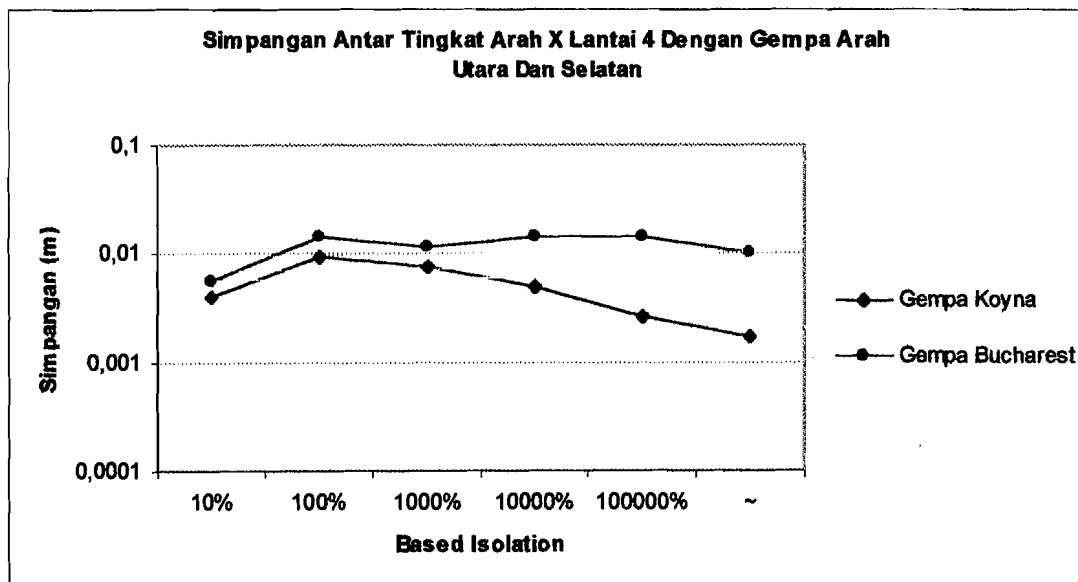
Gambar 5.10a Simpangan Antar Tingkat (*Inter story Drift*) Arah Y dengan Gempa Koyna Arah Timur Dan Barat Dengan Kekakuan Isolasi Dasar



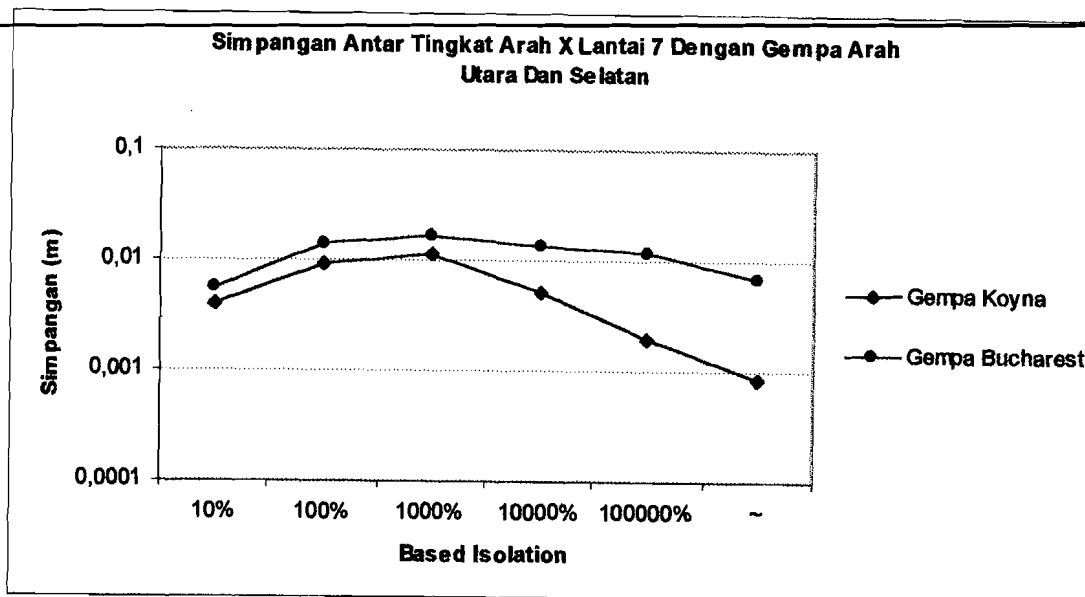
Gambar 5.10b Simpangan Antar Tingkat (*Inter story Drift*) Arah Y dengan Gempa Bucharest Arah Timur Dan Barat Dengan Kekakuan Isolasi Dasar



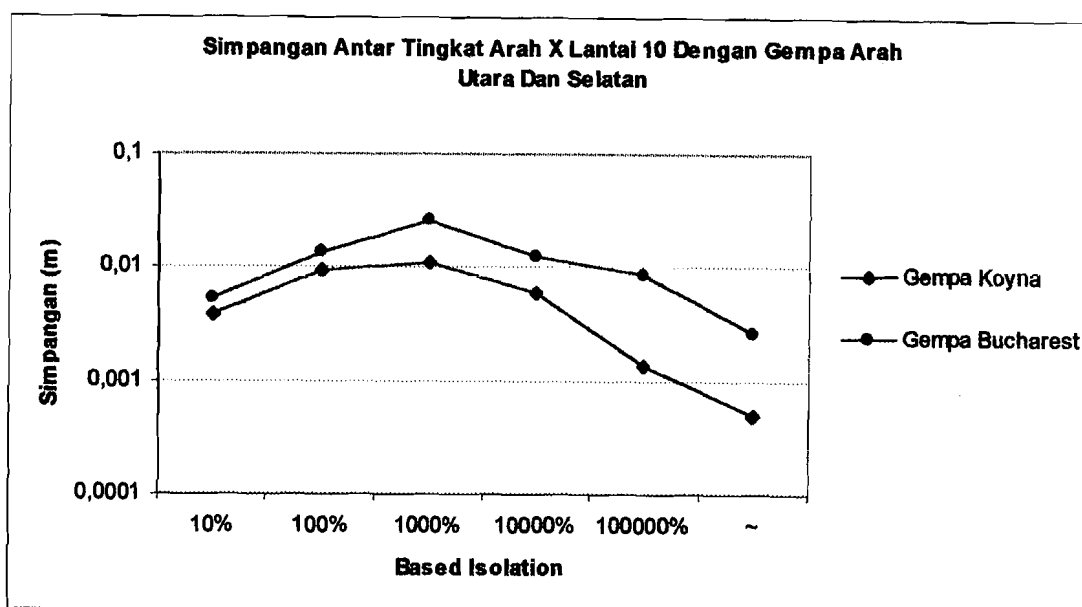
Gambar 5.11a Simpanan Antar Tingkat Arah X Lantai 1 dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara Dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



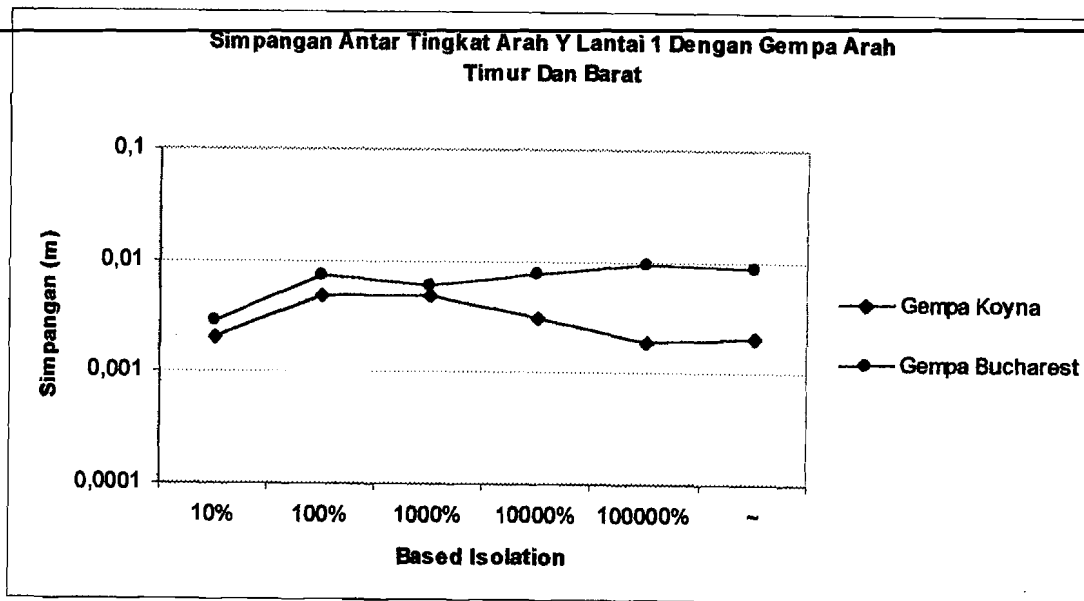
Gambar 5.11b Simpanan Antar Tingkat Arah X Lantai 4 dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara Dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



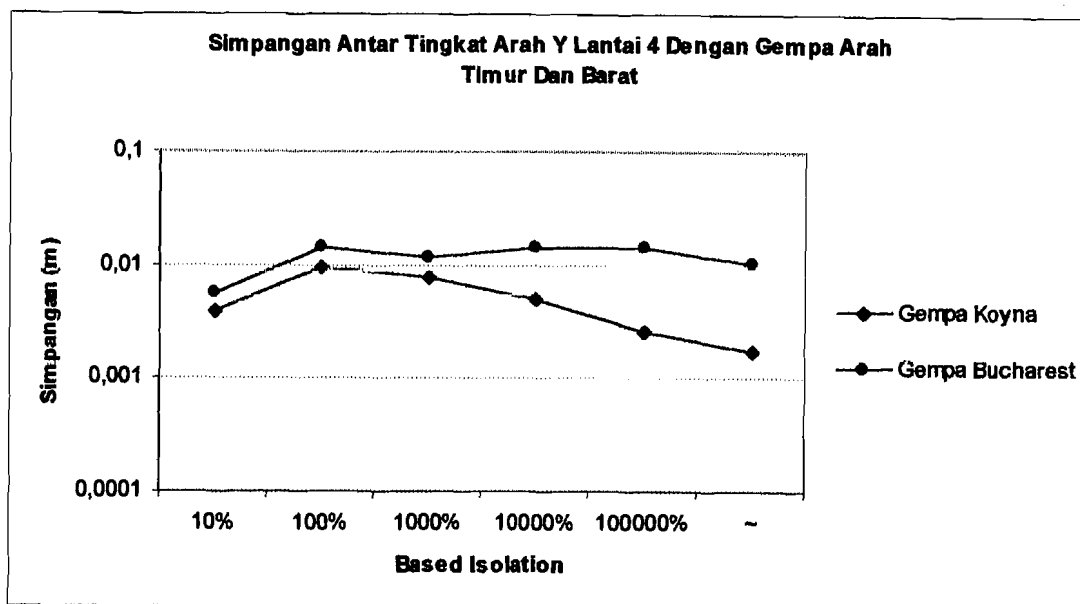
Gambar 5.11c Simpangan Antar Tingkat Arah X Lantai 7 dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara Dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



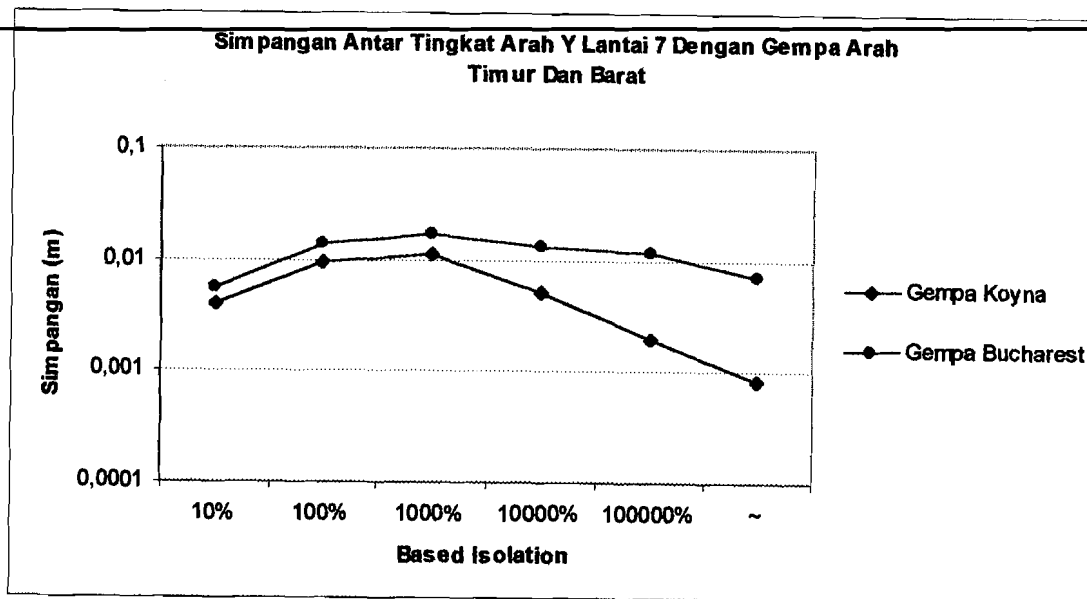
Gambar 5.11d Simpangan Antar Tingkat Arah X Lantai 10 dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara Dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



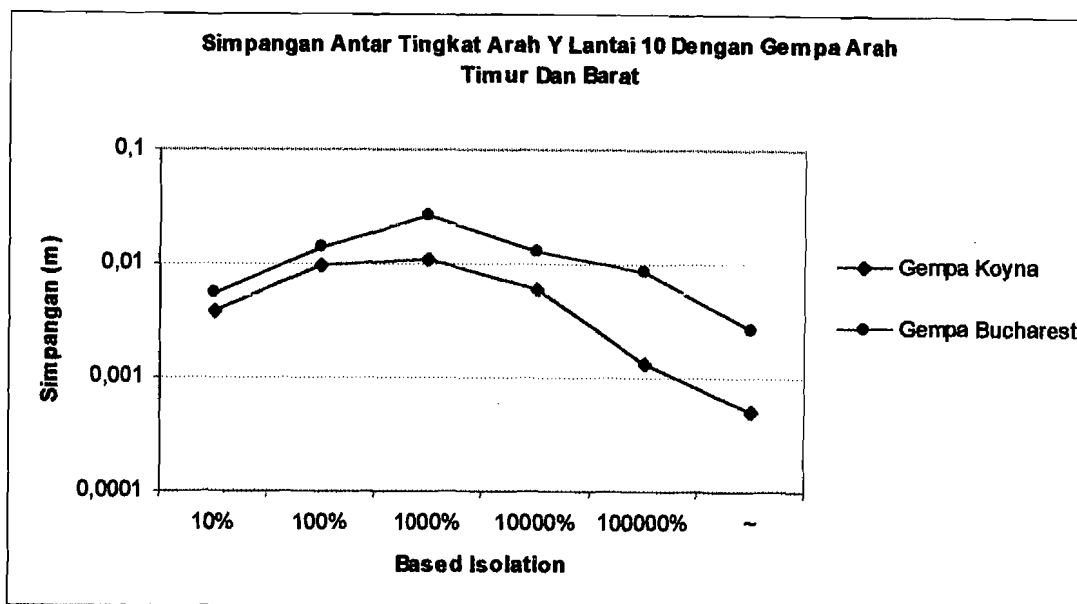
Gambar 5.12a Simangan Antar Tingkat Arah Y Lantai 1 dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Timur Dan Barat dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



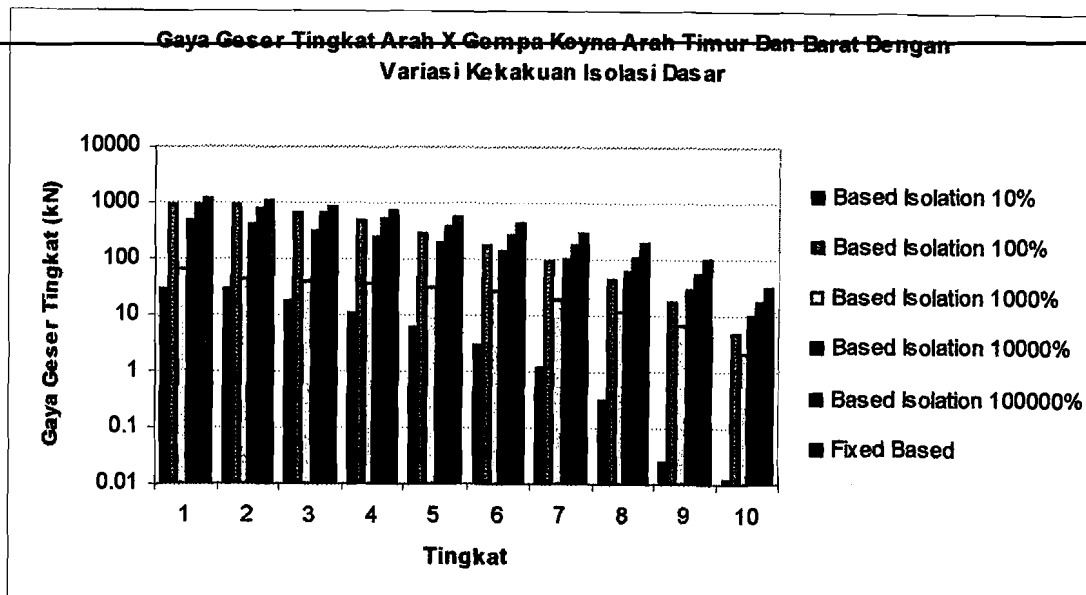
Gambar 5.12b Simangan Antar Tingkat Arah Y Lantai 4 dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Timur Dan Barat dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



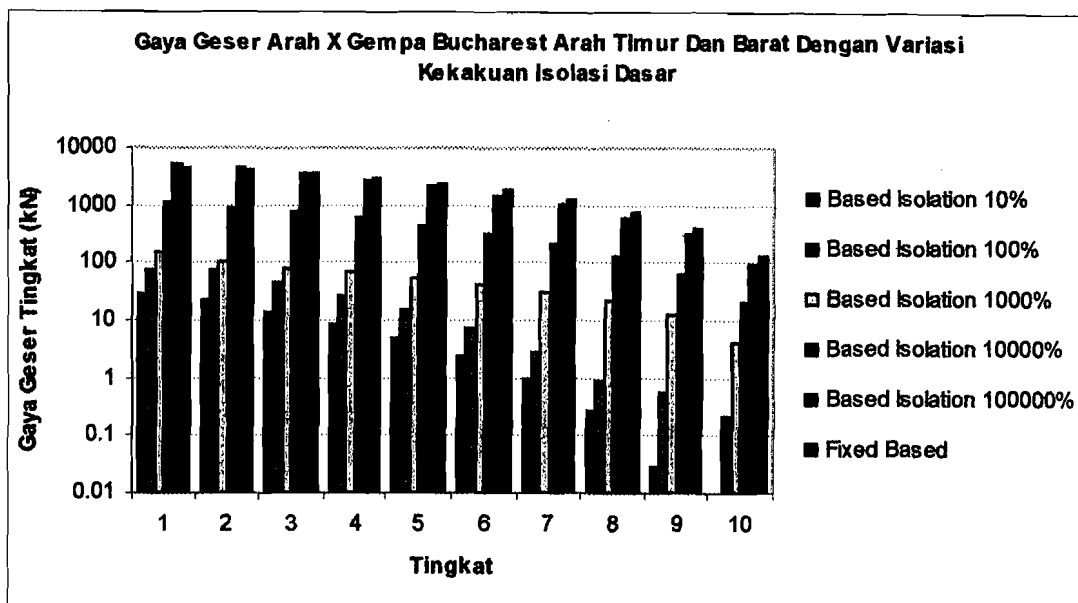
Gambar 5.12c Simangan Antar Tingkat Arah Y Lantai 7 dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Timur Dan Barat dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



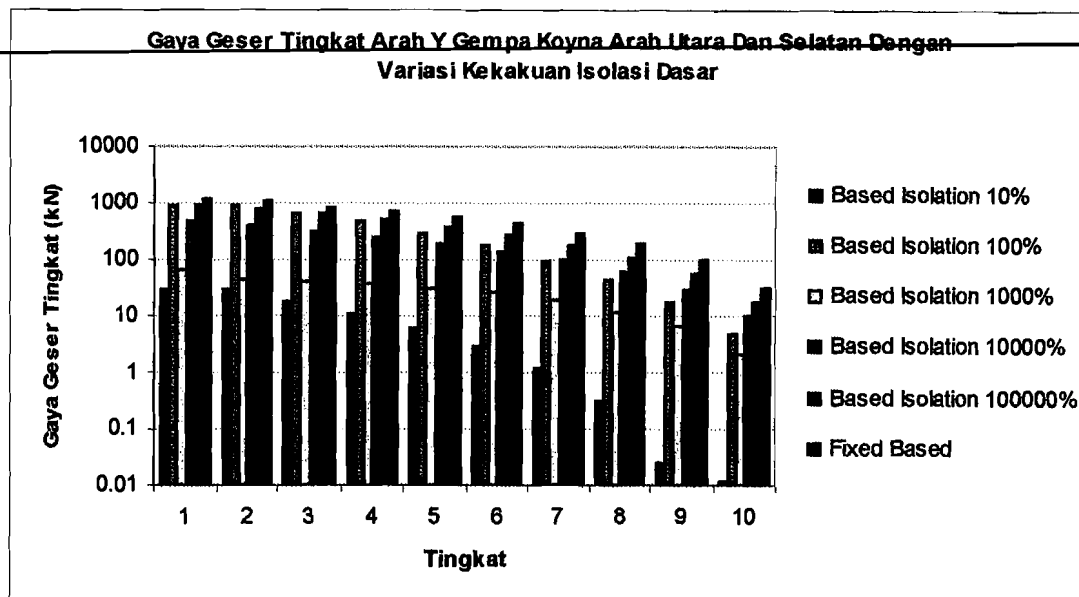
Gambar 5.12d Simangan Antar Tingkat Arah Y Lantai 10 dengan Gempa Koyna dan Bucharest Arah Timur Dan Barat dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



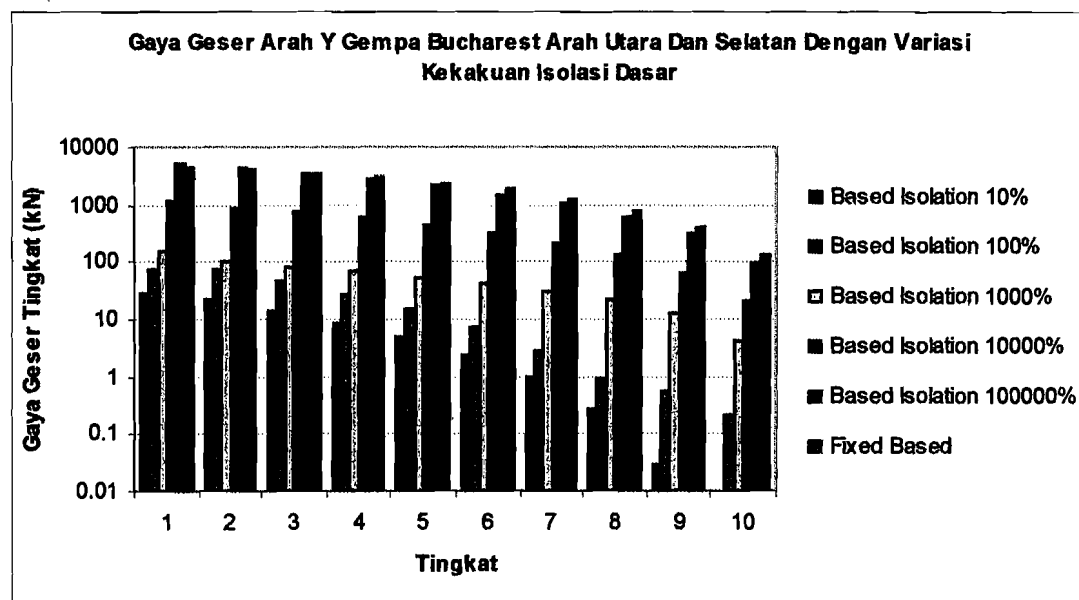
Gambar 5.14a Gaya Geser Tingkat Arah X dengan Gempa Koyna Arah Timur dan Barat menggunakan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



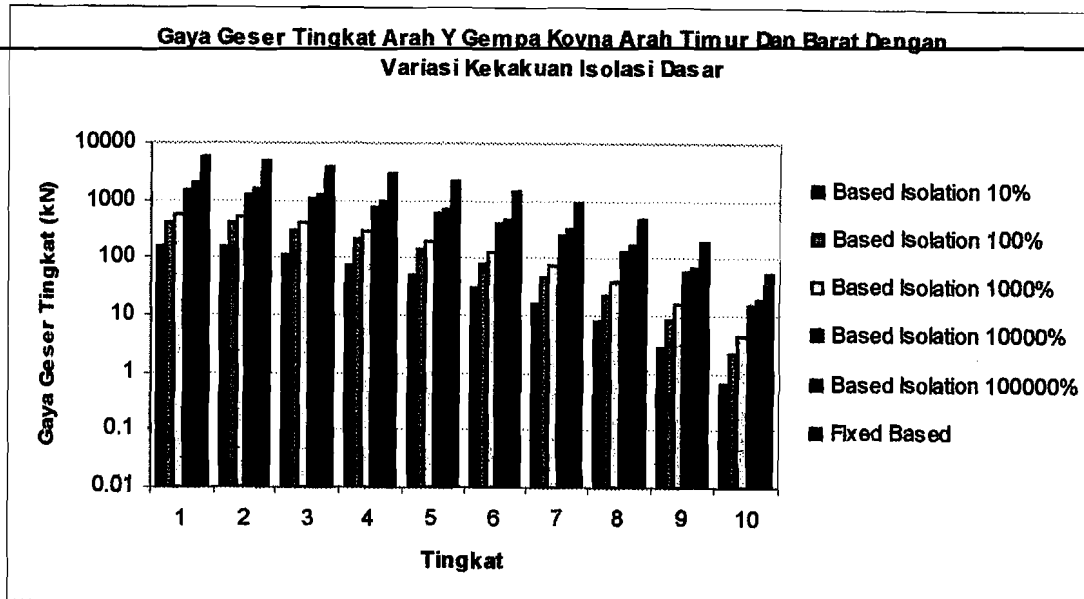
Gambar 5.14b Gaya Geser Tingkat Arah X dengan Gempa Bucharest Arah Timur dan Barat menggunakan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



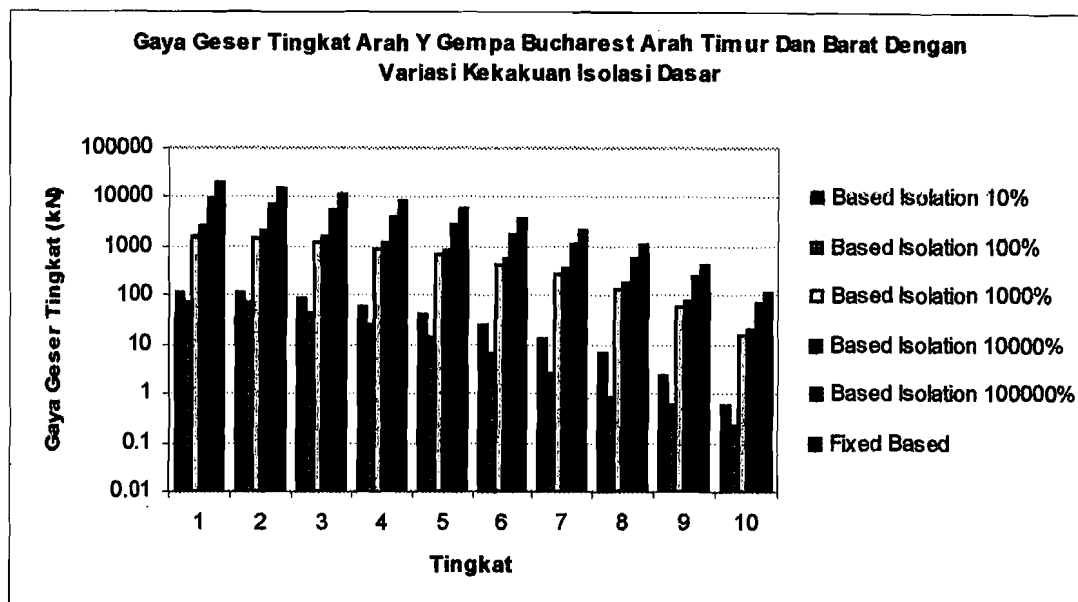
Gambar 5.15a Gaya Geser Tingkat Arah Y dengan Gempa Koyna Arah Utara dan Selatan menggunakan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



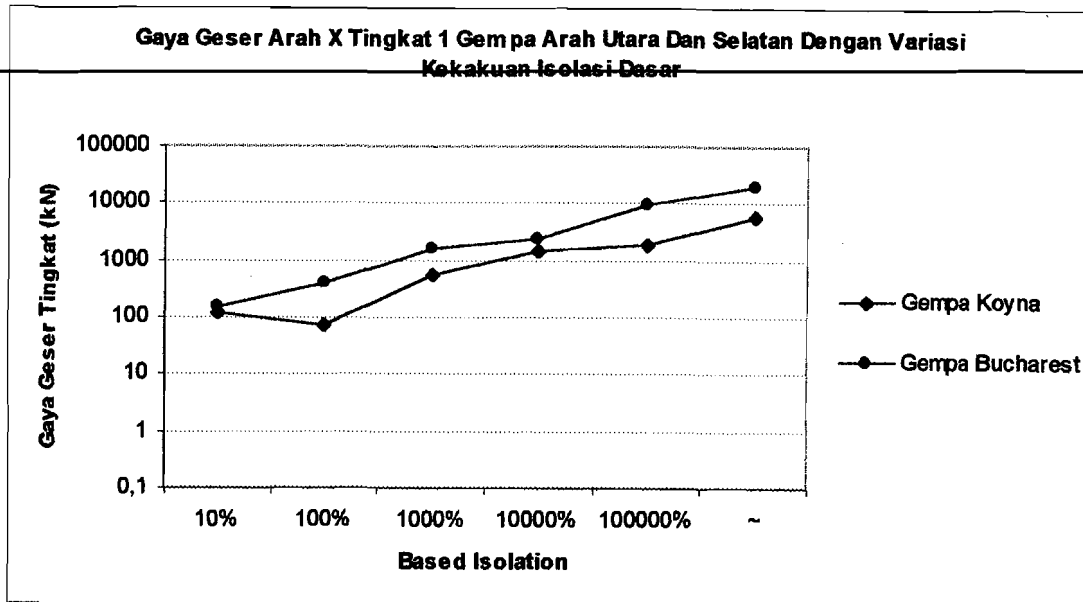
Gambar 5.15b Gaya Geser Tingkat Arah Y dengan Gempa Bucharest Arah Utara dan Selatan menggunakan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



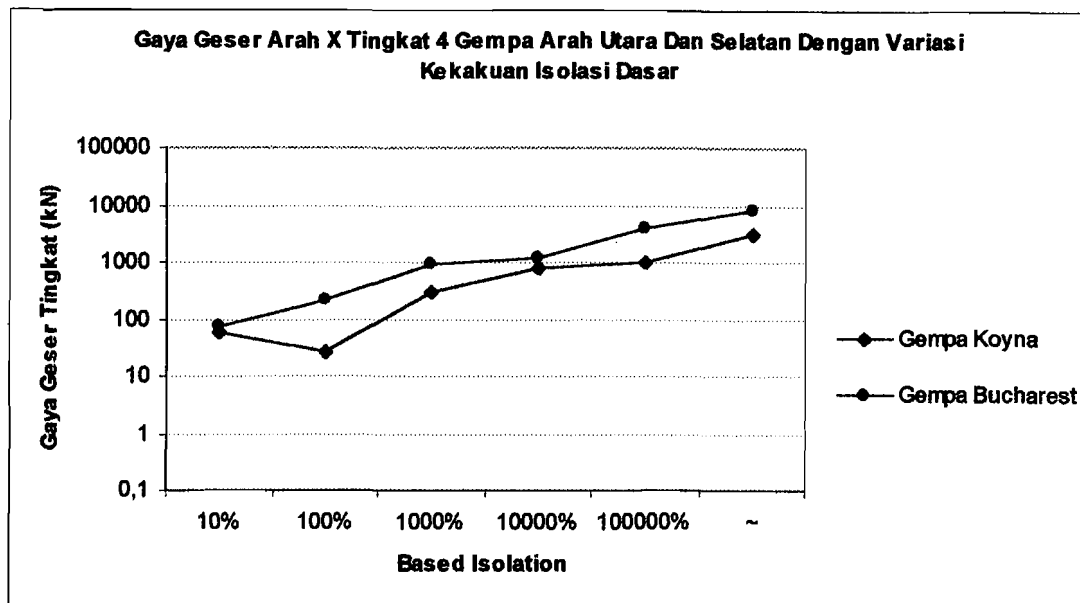
Gambar 5.16a Gaya Geser Tingkat Arah Y dengan Gempa Kovna Arah Timur dan Barat menggunakan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



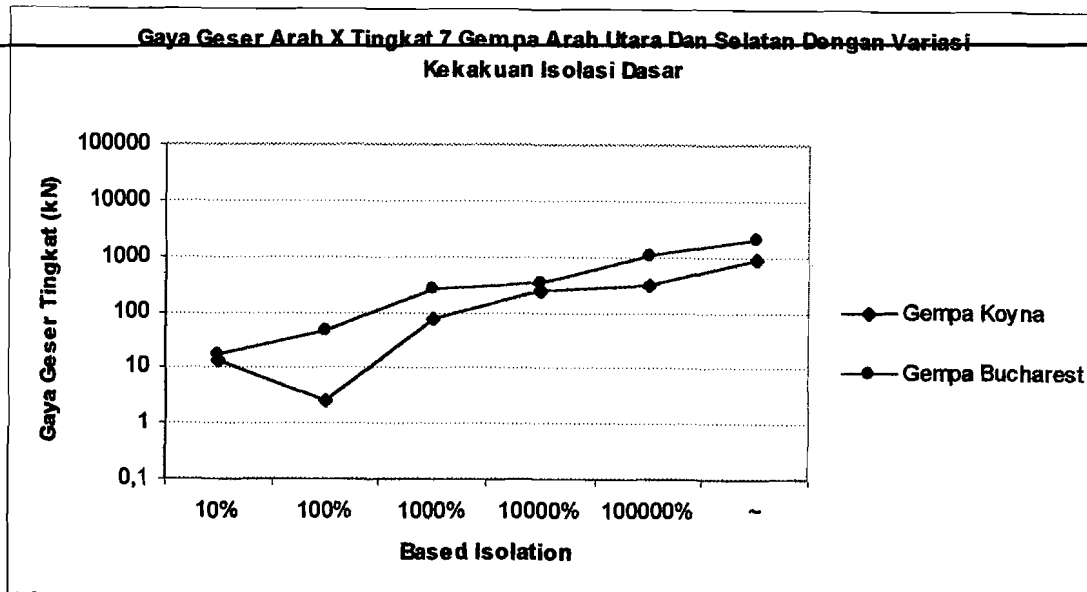
Gambar 5.16b Gaya Geser Tingkat Arah Y dengan Gempa Bucharest Arah Timur dan Barat menggunakan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



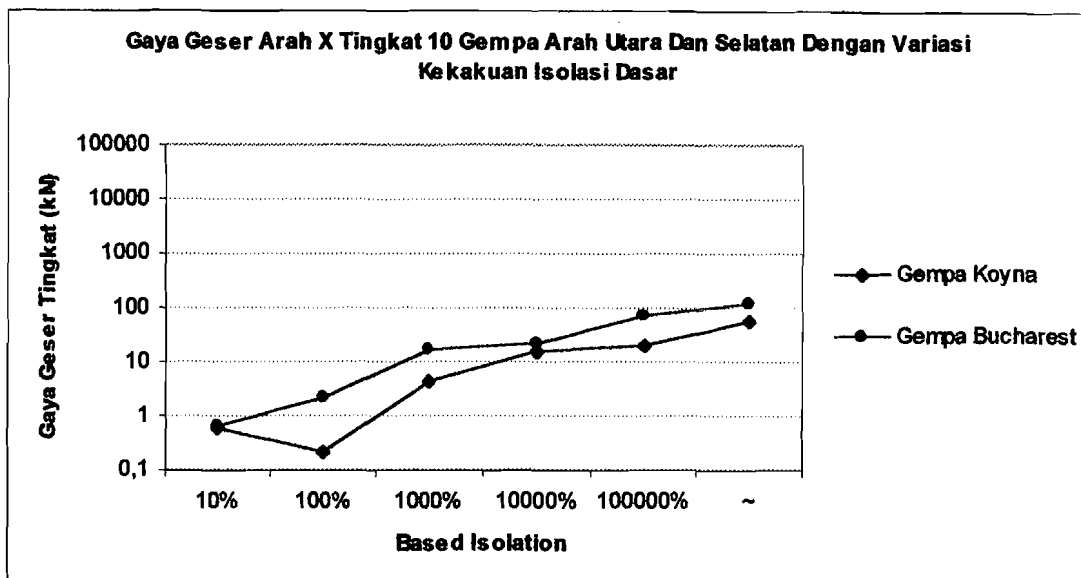
Gambar 5.17a Gaya Geser Arah X Tingkat 1 Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



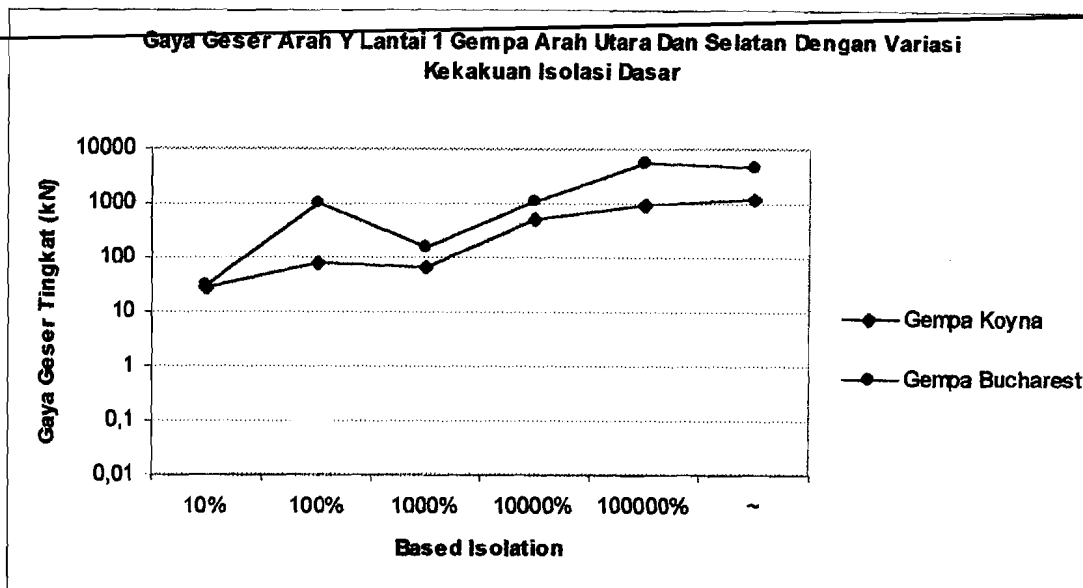
Gambar 5.17b Gaya Geser Arah X Tingkat 4 Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



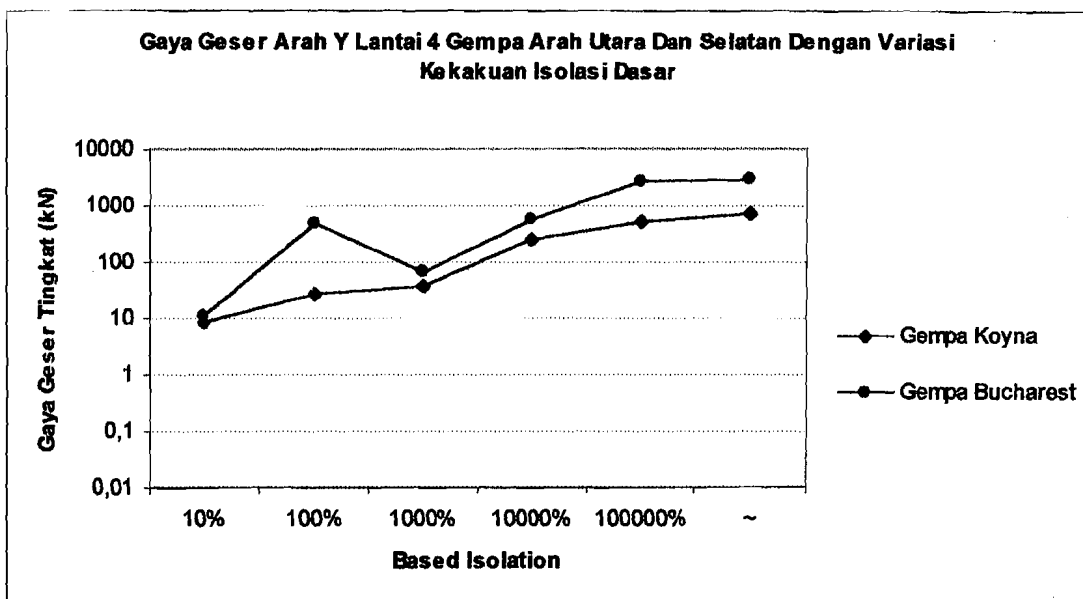
Gambar 5.17c Gaya Geser Arah X Tingkat 7 Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



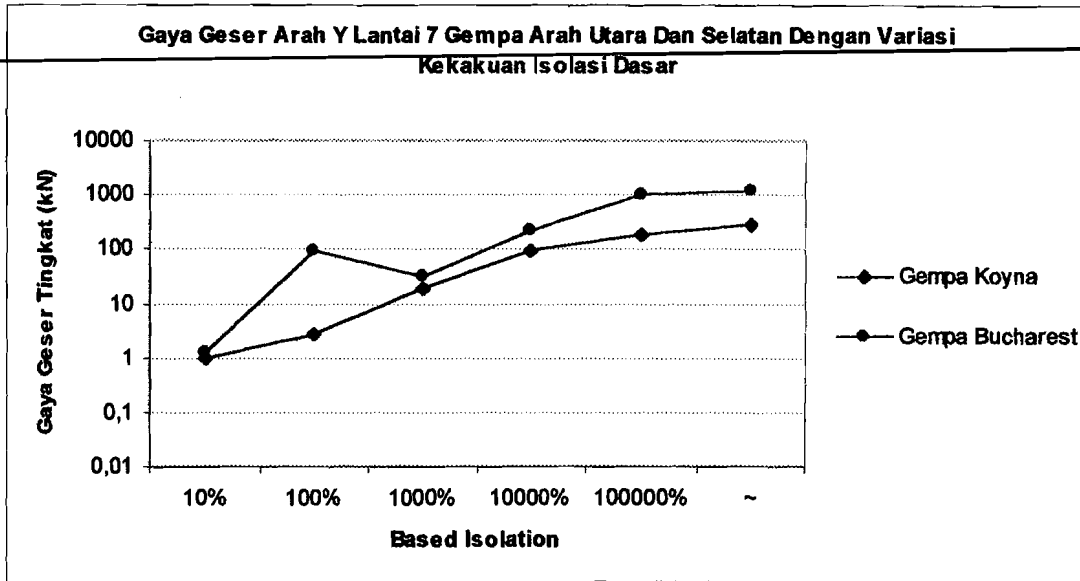
Gambar 5.17d Gaya Geser Arah X Tingkat 10 Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



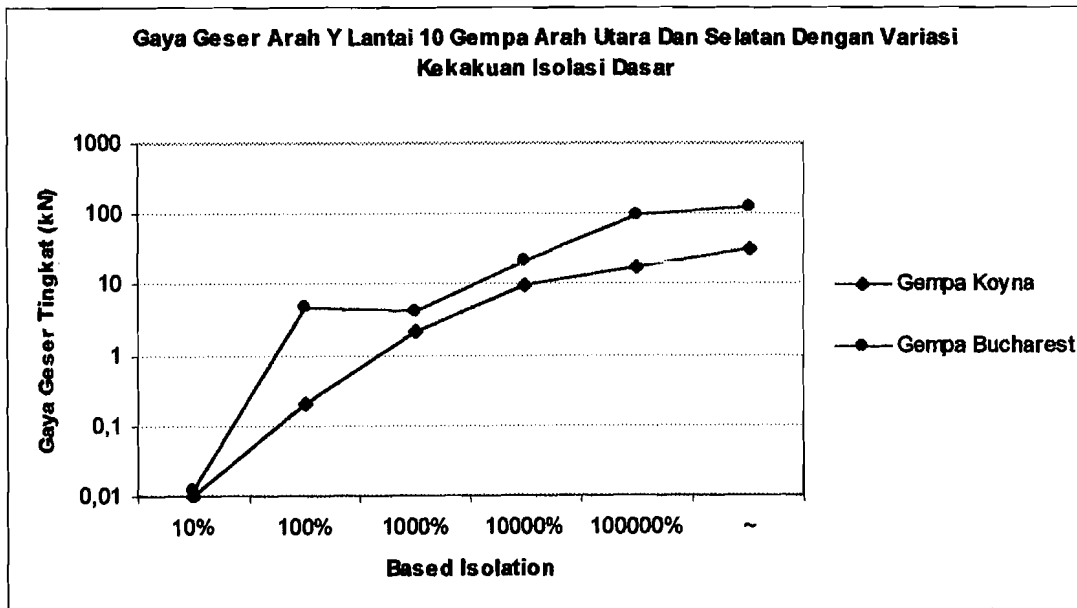
Gambar 5.19a Gaya Geser Arah Y Tingkat 1 Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



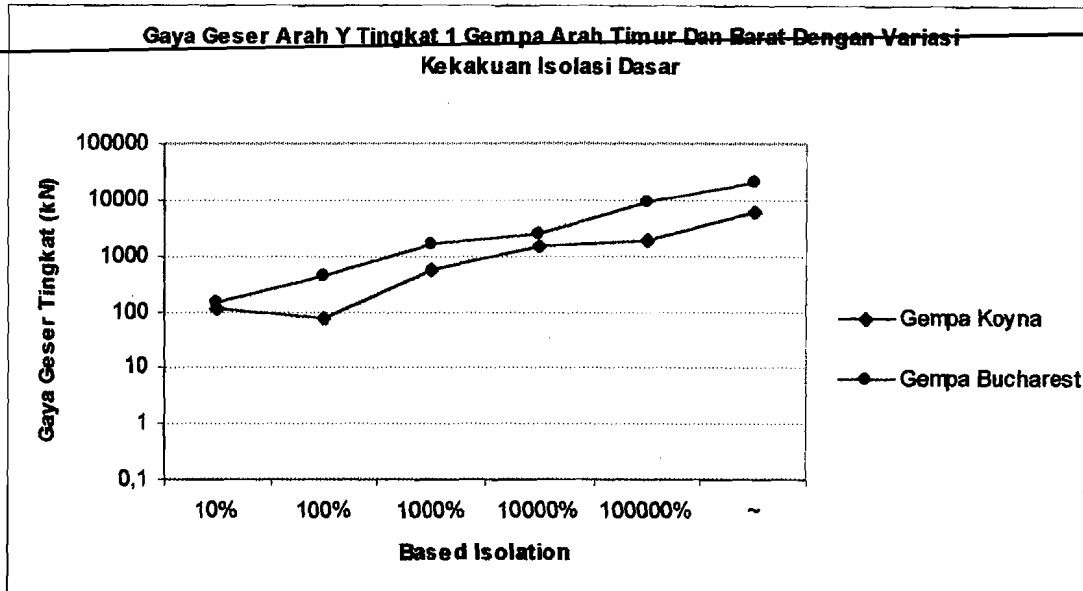
Gambar 5.19b Gaya Geser Arah Y Tingkat 4 Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



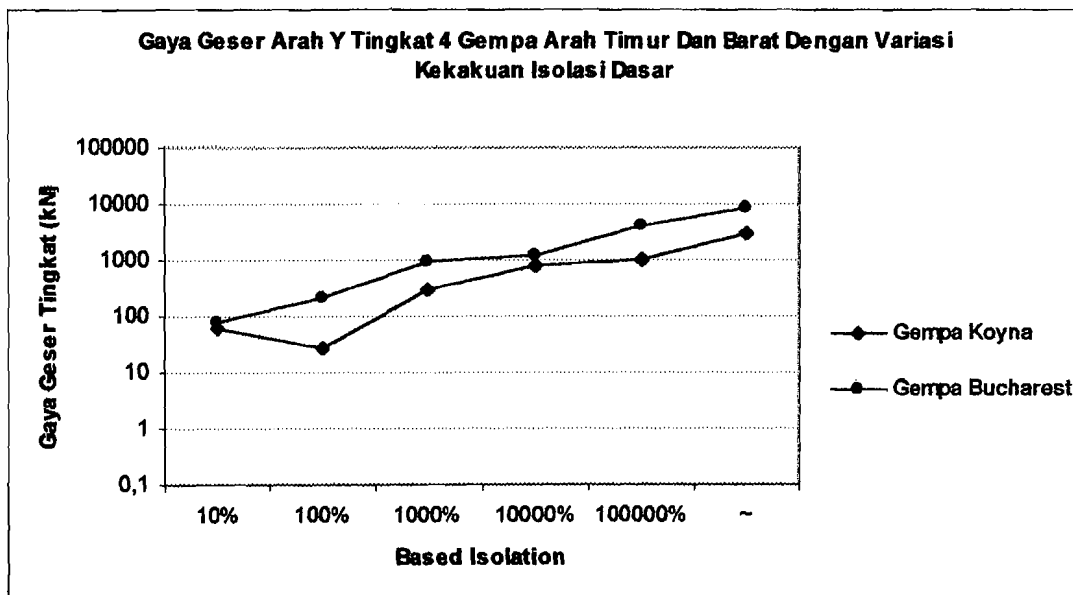
Gambar 5.19c Gaya Geser Arah Y Tingkat 7 Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



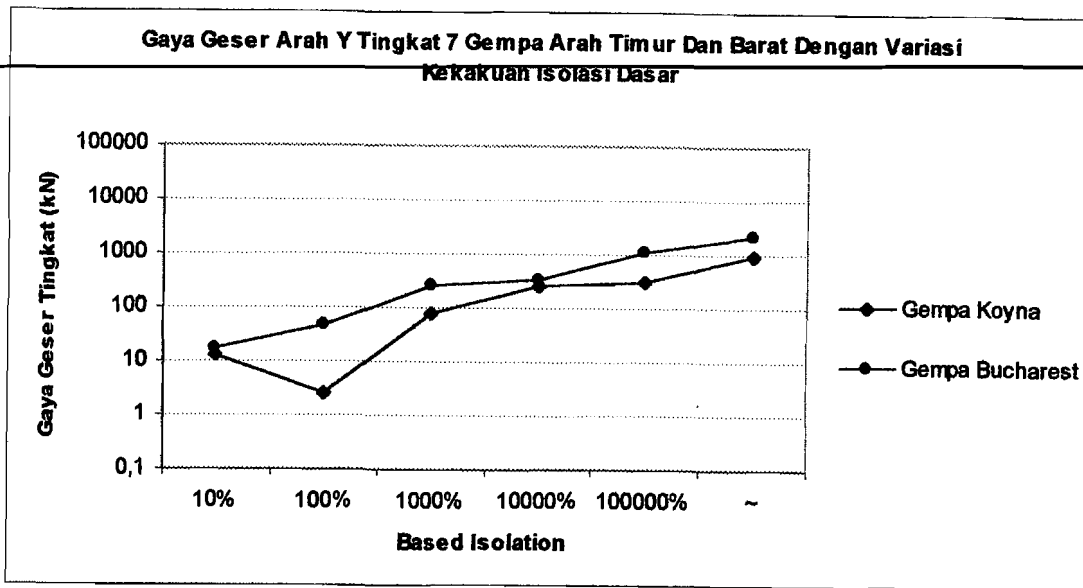
Gambar 5.19d Gaya Geser Arah Y Tingkat 10 Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



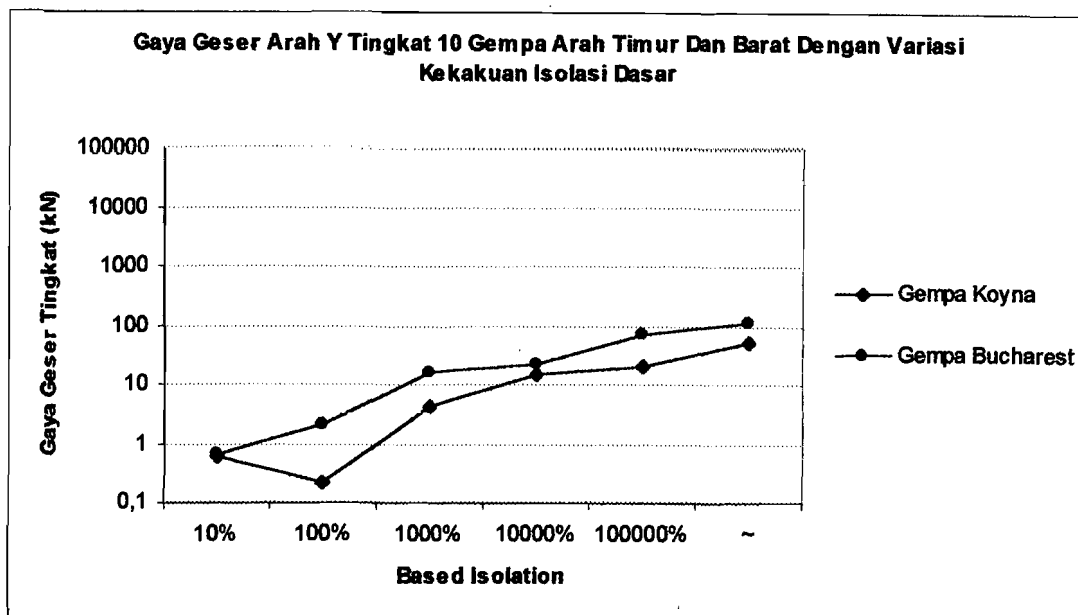
Gambar 5.20a Gaya Geser Arah Y Tingkat 1 Gempa Koyna dan Bucharest Arah Timur Dan Barat dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



Gambar 5.20b Gaya Geser Arah Y Tingkat 4 Gempa Koyna dan Bucharest Arah Timur Dan Barat dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



Gambar 5.20c Gaya Geser Arah Y Tingkat 7 Gempa Koyna dan Bucharest Arah Timur Dan Barat dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



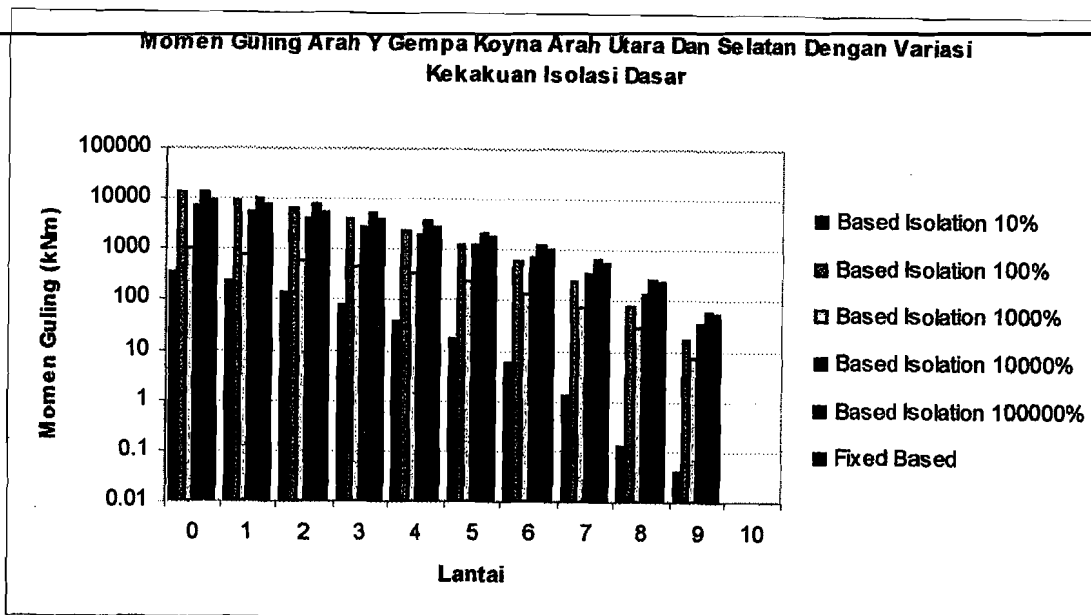
Gambar 5.20d Gaya Geser Arah Y Tingkat 10 Gempa Koyna dan Bucharest Arah Timur Dan Barat dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar

5.1.8 Hasil Perhitungan Momen Guling dengan Variasi Gempa, Arah Gempa dan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar

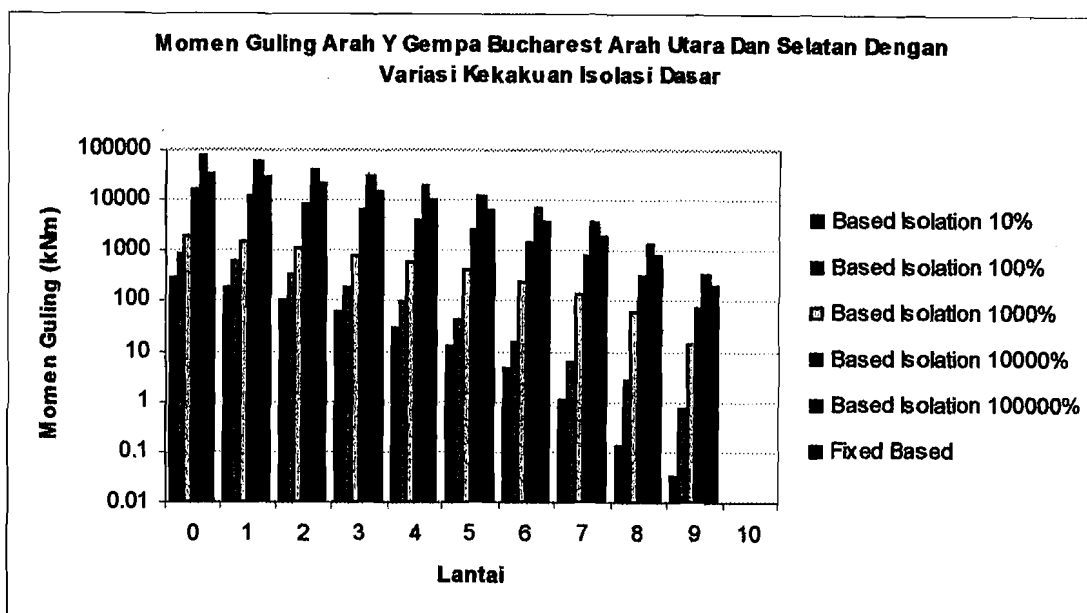
Momen guling terhadap level tingkat/massa diperoleh dengan mengalikan gaya geser tingkat yang terjadi dengan tinggi tingkat yang bersangkutan. Besarnya momen guling tergantung dari nilai gaya geser tingkat dan tinggi tingkat. Gedung tinggi yang relatif langsing memiliki kemampuan yang lebih kecil untuk menahan momen guling akibat gempa, karena bangunan yang kurang lebar menyebabkan tegangan pada kolom akan semakin besar dan kolom luarlah yang paling besar menerima beban.

Hasil perhitungan momen guling level tingkat untuk gempa Koyna dan gempa Bucharest dapat dilihat pada Lampiran 10.1, Lampiran 10.2, Lampiran 10.3, Lampiran 10.4. Hubungan antara momen guling level tingkat dengan lantai pada struktur yang menggunakan isolasi dasar dan tanpa isolasi dasar yang disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.21a, Gambar 5.21a, Gambar 5.22a, Gambar 5.22b, Gambar 5.23a, Gambar 5.23b, Gambar 5.24a, Gambar 5.24b.

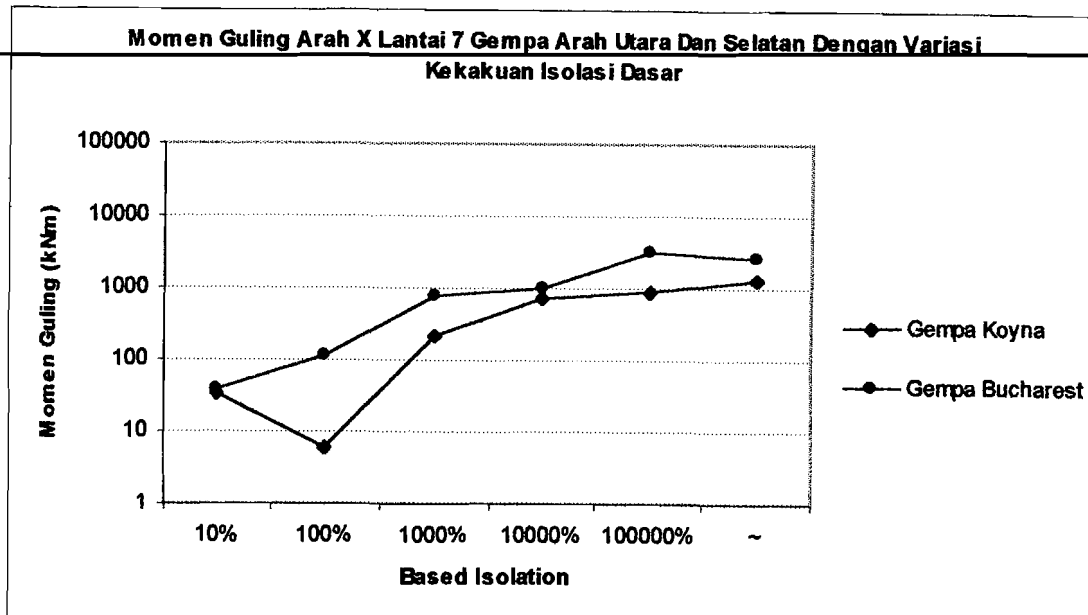
Perbandingan momen guling level tingkat lantai 1, 4, 7, 10 antara gempa Koyna dan gempa Bucharest dengan variasi arah gempa dan variasi kekakuan isolasi dasar dapat dilihat pada Lampiran 10.5, Lampiran 10.6, Lampiran 10.7, Lampiran 10.8. Perbandingan momen guling level tingkat lantai 1, 4, 7, 10 antara gempa Koyna dan gempa Bucharest yang disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.25a, Gambar 5.25b, Gambar 5.25c, Gambar 5.25d, Gambar 5.26a, Gambar 5.26b, Gambar 5.26c, Gambar 5.26d, Gambar 5.27a, Gambar 5.27b, Gambar 5.27c, Gambar 5.27d, Gambar 5.28a, Gambar 5.28b, Gambar 5.28c, Gambar 5.28d.



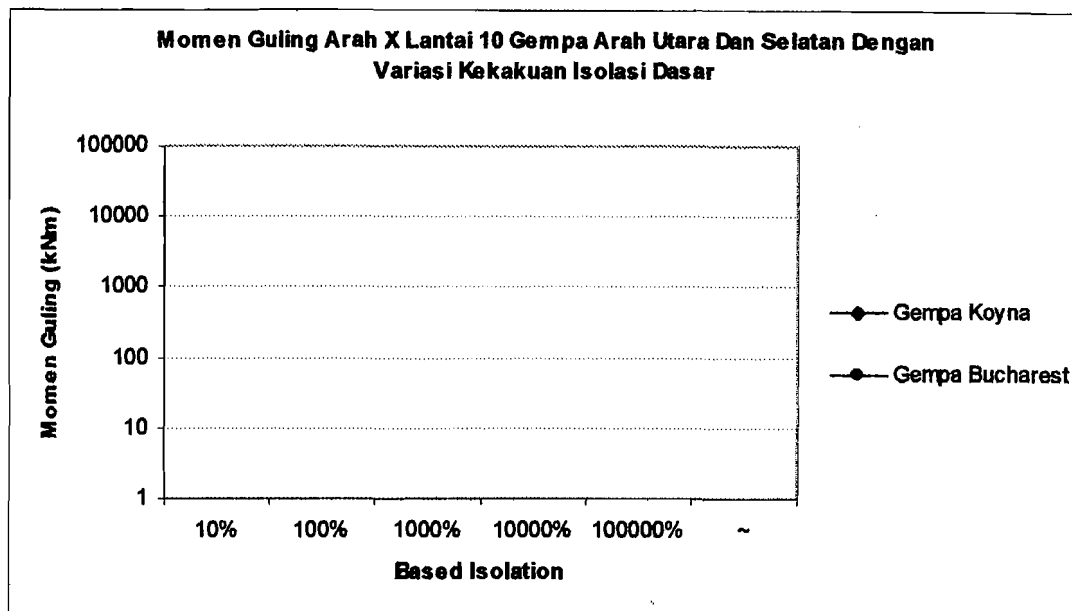
Gambar 5.23a Momen Guling Arah Y dengan Gempa Koyna Arah Utara dan Selatan menggunakan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



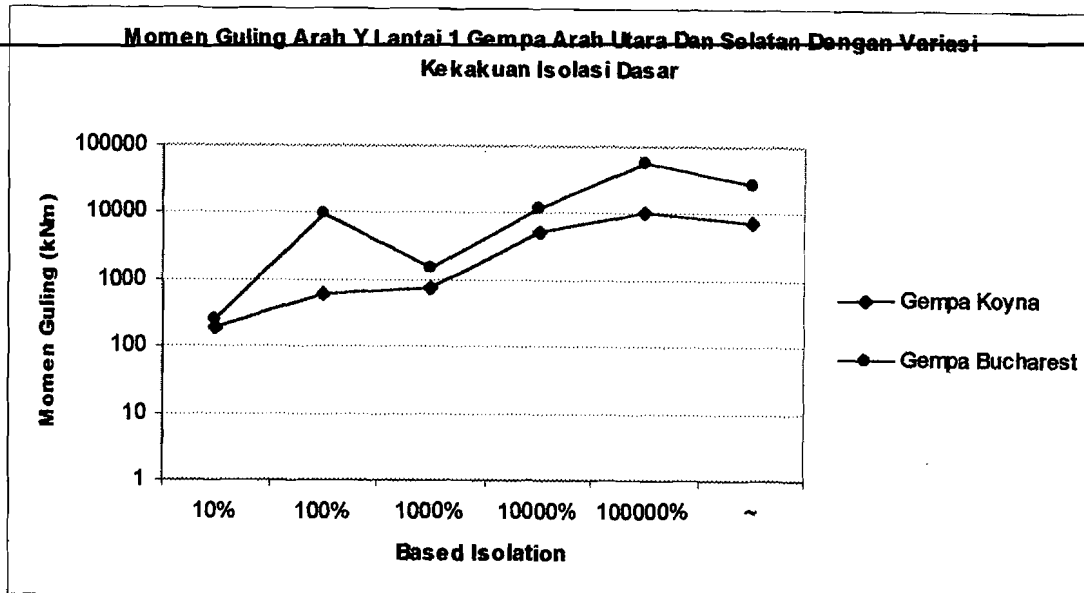
Gambar 5.23b Momen Guling Arah Y dengan Gempa Bucharest Arah Utara dan Selatan menggunakan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



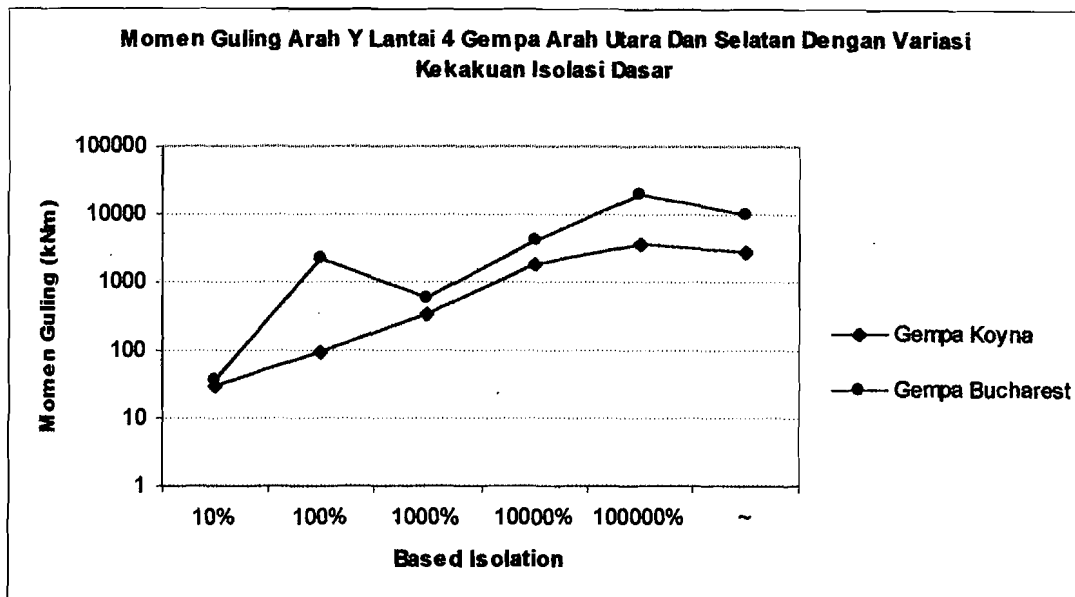
Gambar 5.25c Momen Guling Arah X Lantai 7 Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



Gambar 5.25d Momen Guling Arah X Lantai 10 Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



Gambar 5.27a Momen Guling Arah Y Lantai 1 Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar



Gambar 5.27b Momen Guling Arah Y Lantai 4 Gempa Koyna dan Bucharest Arah Utara dan Selatan dengan Variasi Kekakuan Isolasi Dasar