

TUGAS AKHIR

**RESPON SEISMIC PADA BANGUNAN STRUKTUR
BETON DENGAN ISOLASI DASAR
*THE SEISMIC RESPONSE OF ISOLATED BUILDING***

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Putri Arya Karina
13511227**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2020**

TUGAS AKHIR

RESPON SEISMIK PADA BANGUNAN STRUKTUR BETON DENGAN ISOLASI DASAR *THE SEISMIC RESPONSE OF ISOLATED BUILDING*

Disusun Oleh

Putri Arya Karina
13511227

Telah diterima sebagai salah satu syarat persyaratan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji Pada Tanggal 30 Oktober 2020

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing



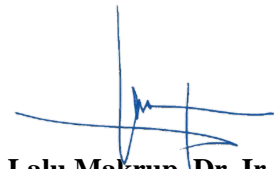
Prof. Ir. Widodo, MSCE., Ph.D.,
NIK: 785110201

Penguji I



Suharyatma, Ir., M.T.
NIK: 865110201

Penguji II



Lalu Makrup, Dr. Ir., M.T.
NIK: 885110106

Mengesahkan.

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Ir. Sri Amini Y. A., M.T.
NIK: 885110101

PERYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 30 Oktober 2020

Yang membuat pernyataan,



Loyalty®

Putri Arya Karina

(13511227)

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan syukur kepada Allah *Subhanahu wa Ta'ala* yang telah memberikan hidayah dan rahmat-Nya kepada penulis dalam menjalankan amanah sehingga tugas akhir dengan judul “**Respons Seismik pada Bangunan Struktur Beton dengan Isolasi Dasar**” ini dapat terselesaikan.

Shalawat dan salam selalu tercurah kepada Nabi Muhammad *Shallallahu 'alaihi wa sallam* sebagai pribadi yang mulia dan suri tauladan bagi kita umatnya.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini tidak sedikit hambatan yang penulis hadapi. Selama tiga tahun penulis akhirnya dapat menyelesaikan kalimat di Kata Pengantar tugas akhir ini. Berkat dorongan semangat serta saran dan masukan yang penulis dapat dari berbagai pihak, Alhamdulillah tugas akhir ini dapat terselesaikan. Berkaitan dengan itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada,

1. Prof. Ir. Widodo, MSCE., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing dan sebagai Orang Tua penulis di Universitas yang telah memberikan bimbingan, kepercayaan, nasehat, saran dan masukan kepada penulis selama kuliah hingga selesainya tugas akhir ini.
2. Dr. Ir. Sri Amini Y. A., M.T. selaku ketua Program Studi Teknik Sipil
3. selaku dosen penguji yang telah memberikan arahan dan masukan dalam penulisan tugas akhir ini.
4. Papi, Mami, Dang Yuda dan Amek tercinta yang telah dan selalu memberikan kasih sayang, dukungan, semangat, nasihat serta doa dengan penuh keikhlasan dan kesabaran kepada penulis.
5. Pocky, *My Future Husband. Let's through all these as usual, forever.*
6. Semua Sahabat Penulis, Beb Div, Beb Ais, Beb Man, Ayya, Beb Ipeh, Yayak, Mutiara, Beb Wulan, Beb Anggi, Beb Ono, Fares, Iqsan, Shabirin, Beb Dillah, Mbak Cin, Mbak Dhek, Mbak Janu, Beb Eno, GLBB, Mbak Jhe, Uwid, Shella,

dan semuanya yang selalu mendukung penulis. *Please always be my brothers and sisters.*

7. Irfan Marassabesy S.T dan Anggi Novi Andri S.T yang telah membantu penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini dan tidak pernah bosan menjawab semua pertanyaan-pertanyaan penulis.
8. Sahabat Cempluk, Mbak Ian dan adik-adik. *You have my words.*
9. Semua keluarga besar dan sepupu-sepupu penulis.
10. Ibu Wiwik, Mbak Isna, Mbak Anes, Mbak Deska yang selalu setia untuk membantu puput hingga selesai semua kewajiban penulis.
11. Semua teman-teman Teknik sipil UII khususnya angkatan 2013 yang tidak bisa penulis sebut satu persatu.
12. Seluruh dosen pengajar Prodi Teknik Sipil UII yang telah memberikan bimbingannya selama kuliah.
13. Seluruh staf dan karyawan Prodi Teknik Sipil.
14. Semua pihak yang terkait dalam pembuatan tugas akhir ini.

Semoga amal kebaikan yang telah diberikan mendapat balasan yang berlipat dari Allah *Subhanahu wa Ta'ala.*

Akhirnya semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi dunia ilmu pengetahuan khususnya dunia Teknik Sipil dan Rekayasa Kegempaan. Untuk mencapai kesempurnaan tugas akhir ini, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarokatuh

Yogyakarta, Oktober 2020

Penulis,

Putri Arya Karina

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xxvi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xxvii
ABSTRAK	xxix
<i>ABSTRACT</i>	xxx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Definisi Operasional	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu	7
2.2 Keaslian Penelitian	8
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Gempa Bumi	12
3.2 Isolasi Dasar (<i>Base Isolation</i>)	14
3.2.1 Pengertian Isolasi Dasar (<i>Base Isolation</i>)	14
3.2.2 Jenis-Jenis Isolasi Dasar (<i>Base Isolation</i>)	15
3.2.3 Prinsip Sistem Isolasi Dasar (<i>Base Isolation</i>)	17
3.2.4 Manfaat Sistem Isolasi Dasar (<i>Base Isolation</i>)	19

3.3	Massa Struktur	20
3.4	Kekakuan Struktur	21
3.4.1	Kekakuan Isolasi Dasar (<i>Base Isolation</i>)	21
3.4.2	Kekakuan Struktur Muto (1975)	21
3.5	Redaman Struktur	22
3.5.1	Redaman proposional terhadap massa (<i>Mass Proportional Damping</i>)	22
3.5.2	Redaman proposional terhadap kekakuan (<i>Stiffness Proportional Damping</i>)	22
3.5.3	Redaman proposional terhadap massa dan kekakuan (<i>Mass and Stiffness Proportional Damping</i>)	23
3.6	Persamaan Diferensial Gerakan Struktur Isolasi Dasar	23
3.6.1	Persamaan Diferensial Kebebasan Banyak (MDOF)	23
3.7	Metode Integrasi Langsung (β -Newmark)	28
3.8	Analisis Respons Struktur Akibat Gempa	30
3.8.1	Simpangan Struktur	30
3.8.2	Gaya Horizontal Tingkat	30
3.8.3	Gaya Geser Tingkat	31
3.8.4	Momen Guling (Overturning Moment)	31
3.9	Analisis Respon untuk <i>Base Isolation</i>	31
3.9.1	Integrasi Persaam Gerak Non Linier	31
3.9.2	Metode Percepatan Linier Langkah demi Langkah	32
3.9.3	Sifat Elastoplastis dan Bilinier	33
3.9.4	Algoritma untuk Solusi Langkah demi Langkah untuk Sistem-Sistem Berderajat Kebebasan Tunggal Bilinier	36
BAB IV METODE PENELITIAN		39
4.1	Tinjauan Umum	39
4.2	Data Penelitian	39
4.2.1	Data Struktur	39
4.2.2	Model Struktur	42
4.2.3	Data Gempa	43

4.3	Prosedur Analisis	45
4.3.1	<i>Flow chart</i> Analisis Respons Struktur dan Respons Inelastik Isolasi Dasar	47
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		49
5.1	Pendahuluan	49
5.2	Perhitungan Massan dan Kekakuan	49
5.3	Analisis Respons Struktur dengan dan Tanpa Isolasi Dasar Akibat Gempa	49
5.3.1	Simpangan	50
5.3.2	Simpangan antar Tingkat (<i>Interstory Drift</i>)	62
5.3.3	Rasio Simpangan antar Tingkat (<i>Interstory Drift Ratio</i>)	74
5.3.4	Gaya Horizontal Tingkat	86
5.3.5	Gaya Geser Tingkat	98
5.3.6	Momen Guing	110
5.3.7	<i>Hysteristic Loops</i>	122
5.4	Analisis Respons Struktur dengan Isolasi Dasar Akibat Tiga Jenis Gempa	126
5.4.1	Simpangan	126
5.4.2	Simpangan antar Tingkat (<i>Interstory Drift</i>)	133
5.4.3	Rasio Simpangan antar Tingkat (<i>Interstory Drift Ratio</i>)	140
5.4.4	Gaya Horizontal Tingkat	147
5.4.5	Gaya Geser Tingkat	154
5.4.6	Momen Guing	161
5.4.7	<i>Hysteristic Loops</i>	168
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		174
6.1	Kesimpulan	174
6.2	Saran	175
PENUTUP		176
DAFTAR PUSTAKA		177
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	9
Tabel 4.1	Data Struktur Jepit Bangunan 4 Tingkat	39
Tabel 4.2	Data Struktur Isolasi Dasar Bangunan 4 Tingkat	39
Tabel 4.3	Data Struktur Jepit Bangunan 10 Tingkat	40
Tabel 4.4	Data Struktur Isolasi Dasar Bangunan 10 Tingkat	40
Tabel 4.5	Data Struktur Jepit Bangunan 15 Tingkat	41
Tabel 4.6	Data Struktur Isolasi Dasar Bangunan 15 Tingkat	41
Tabel 4.7	Data Gempa dan Nilai Rasio A/V	44
Tabel 5.1	Perbandingan Simpangan Maksimum Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa El Centro 1940	51
Tabel 5.2	Perbandingan Simpangan Maksimum Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa El Centro 1940	51
Tabel 5.3	Perbandingan Simpangan Maksimum Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa El Centro 1940	51
Tabel 5.4	Perbandingan Simpangan Maksimum Struktur Tingkat 5 Akibat Gempa El Centro 1940	52
Tabel 5.5	Perbandingan Simpangan Maksimum Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa El Centro 1940	53
Tabel 5.6	Perbandingan Simpangan Maksimum Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa El Centro 1940	53
Tabel 5.7	Perbandingan <i>Interstory Drift Ratio</i> Maksimum Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa El Centro 1940	63
Tabel 5.8	Perbandingan <i>Interstory Drift Ratio</i> Maksimum Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa El Centro 1940	63
Tabel 5.9	Perbandingan <i>Interstory Drift Ratio</i> Maksimum Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa El Centro 1940	63

Tabel 5.10 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa El Centro 1940	64
Tabel 5.11 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa El Centro 1940	64
Tabel 5.12 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa El Centro 1940	65
Tabel 5.13 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa El Centro 1940	84
Tabel 5.14 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa El Centro 1940	85
Tabel 5.15 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa El Centro 1940	85
Tabel 5.16 Perbandingan Momen Guling Maksimum Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa El Centro 1940	90
Tabel 5.17 Perbandingan Momen Guling Maksimum Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa El Centro 1940	91
Tabel 5.18 Perbandingan Momen Guling Maksimum Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa El Centro 1940	91
Tabel 5.19 Perbandingan Simpangan Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa	101
Tabel 5.20 Perbandingan Simpangan Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa	101
Tabel 5.21 Perbandingan Simpangan Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa	102
Tabel 5.22 Perbandingan <i>Interstory Drift</i> Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa	108
Tabel 5.23 Perbandingan <i>Interstory Drift</i> Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa	108

Tabel 5.24 Perbandingan <i>Interstory Drift</i> Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa	109
Tabel 5.25 Perbandingan <i>Interstory Drift Ratio</i> Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa	115
Tabel 5.26 Perbandingan <i>Interstory Drift Ratio</i> Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa	115
Tabel 5.27 Perbandingan <i>Interstory Drift Ratio</i> Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa	116
Tabel 5.28 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa	122
Tabel 5.29 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa	122
Tabel 5.30 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa	123
Tabel 5.31 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa	129
Tabel 5.32 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa	129
Tabel 5.33 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa	130
Tabel 5.34 Perbandingan Momen Guling Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa	136
Tabel 5.35 Perbandingan Momen Guling Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa	136
Tabel 5.36 Perbandingan Momen Guling Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa	137

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Rawan Bencana Gempa Bumi di Indonesia	1
Gambar 3.1	Pemodelan Ekuivalen Statik	13
Gambar 3.2	Pemodelan Spektrum Respons	13
Gambar 3.3	Model Analisis Riwayat Waktu (THA)	14
Gambar 3.4	Perbandingan Respons Bangunan dengan Isolasi Dasar dan Bangunan Konvensional (<i>Fixed Base</i>) Terhadap Beban Gempa	15
Gambar 3.5	<i>Lead Rubber Bearing</i>	16
Gambar 3.6	<i>High Damping Rubber Bearing</i>	17
Gambar 3.7	Efek dari Isolasi Dasar Terhadap Waktu Getar T pada saat Terjadi Gempa	18
Gambar 3.8	<i>Elastio-plastic Models</i>	34
Gambar 3.9	Model Histeretik	38
Gambar 4.1	Pemodelan Struktur Beton Bertingkat 4	42
Gambar 4.2	Pemodelan Struktur Beton Bertingkat 10	42
Gambar 4.3	Pemodelan Struktur Beton Bertingkat 15	43
Gambar 4.4	Rekaman Gempa Coalinga 1983 (Frekuensi Rendah)	44
Gambar 4.5	Rekaman Gempa El Centro 1940 (Frekuensi Menengah)	44
Gambar 4.6	Rekaman Gempa El Centro 1979 (Frekuensi Tinggi)	45
Gambar 4.7	<i>Flow chart</i> Analisis Respons Struktur dan Respons Inelastik Struktur	47
Gambar 5.1	Perbandingan Simpangan Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat	62
Gambar 5.2	Perbandingan Simpangan Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap	63

Gambar 5.3	Perbandingan Simpangan Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 5, c) Tingkat Atap	64
Gambar 5.4	Perbandingan Simpangan Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 7, c) Tingkat Atap	65
Gambar 5.5	Perbandingan <i>Interstory Drift</i> Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat	68
Gambar 5.6	Perbandingan <i>Interstory Drift</i> Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap	69
Gambar 5.7	Perbandingan <i>Interstory Drift</i> Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap	70
Gambar 5.8	Perbandingan <i>Interstory Drift</i> Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap	71
Gambar 5.9	Perbandingan <i>Interstory Drift Ratio</i> Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat	74
Gambar 5.10	Perbandingan <i>Interstory Drift Ratio</i> Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap	75
Gambar 5.11	Perbandingan <i>Interstory Drift Ratio</i> Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap	76
Gambar 5.12	Perbandingan <i>Interstory Drift Ratio</i> Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap	77

Gambar 5.13	Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat	80
Gambar 5.14	Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 3, c) Tingkat Atap	81
Gambar 5.15	Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 9, c) Tingkat Atap	82
Gambar 5.16	Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 14, c) Tingkat Atap	83
Gambar 5.17	Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat	86
Gambar 5.18	Perbandingan Gaya Geser Tingkat Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap	87
Gambar 5.19	Perbandingan Gaya Geser Tingkat Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 5, c) Tingkat Atap	88
Gambar 5.20	Perbandingan Gaya Geser Tingkat Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 7, c) Tingkat Atap	89
Gambar 5.21	Perbandingan Momen Guling Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat	92
Gambar 5.22	Perbandingan Momen Guling Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap	93

Gambar 5.23	Perbandingan Momen Guling Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 5, c) Tingkat Atap	94
Gambar 5.24	Perbandingan Momen Guling Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 7, c) Tingkat Atap	95
Gambar 5.26	<i>Hysteristic Loops</i> Isolasi Dasar Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940	97
Gambar 5.28	<i>Hysteristic Loops</i> Isolasi Dasar Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940	98
Gambar 5.30	<i>Hysteristic Loops</i> Isolasi Dasar Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940	99
Gambar 5.31	Perbandingan Simpangan Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat	103
Gambar 5.32	Perbandingan Simpangan Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap	104
Gambar 5.33	Perbandingan Simpangan Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 5, c) Tingkat Atap	105
Gambar 5.34	Perbandingan Simpangan Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 7, c) Tingkat Atap	106
Gambar 5.35	Perbandingan <i>Interstory Drift</i> Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat	110
Gambar 5.36	Perbandingan <i>Interstory Drift</i> Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap	111

Gambar 5.37	Perbandingan <i>Interstory Drift</i> Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap	112
Gambar 5.38	Perbandingan <i>Interstory Drift</i> Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap	113
Gambar 5.39	Perbandingan <i>Interstory Drift Ratio</i> Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat	117
Gambar 5.40	Perbandingan <i>Interstory Drift Ratio</i> Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap	118
Gambar 5.41	Perbandingan <i>Interstory Drift Ratio</i> Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap	119
Gambar 5.42	Perbandingan <i>Interstory Drift Ratio</i> Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap	120
Gambar 5.43	Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat	124
Gambar 5.44	Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 3, c) Tingkat Atap	125
Gambar 5.45	Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 9, c) Tingkat Atap	126
Gambar 5.46	Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 14, c) Tingkat Atap	127

Gambar 5.47	Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat	131
Gambar 5.48	Perbandingan Gaya Geser Tingkat Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap	132
Gambar 5.49	Perbandingan Gaya Geser Tingkat Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 5, c) Tingkat Atap	133
Gambar 5.50	Perbandingan Gaya Geser Tingkat Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 7, c) Tingkat Atap	134
Gambar 5.51	Perbandingan Momen Guling Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat	138
Gambar 5.52	Perbandingan Momen Guling Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap	139
Gambar 5.53	Perbandingan Momen Guling Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 5, c) Tingkat Atap	140
Gambar 5.54	Perbandingan Momen Guling Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 7, c) Tingkat Atap	141
Gambar 5.56	<i>Hysteristic Loops</i> Isolasi Dasar Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Coalinga 1983	143
Gambar 5.58	<i>Hysteristic Loops</i> Isolasi Dasar Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940	144
Gambar 5.60	<i>Hysteristic Loops</i> Isolasi Dasar Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1979	145

Gambar 5.62	<i>Hysteristic Loops</i> Isolasi Dasar Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Coalinga 1983	146
Gambar 5.64	<i>Hysteristic Loops</i> Isolasi Dasar Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940	147
Gambar 5.66	<i>Hysteristic Loops</i> Isolasi Dasar Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1979	148
Gambar 5.68	<i>Hysteristic Loops</i> Isolasi Dasar Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa Coalinga 1983	149
Gambar 5.70	<i>Hysteristic Loops</i> Isolasi Dasar Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940	150
Gambar 5.72	<i>Hysteristic Loops</i> Isolasi Dasar Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1979	151
Gambar 5.98	<i>Hysteristic Loops</i> Isolasi Dasar <i>Lead Rubber Bearing</i> (LRBs) Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940	195
Gambar 5.99	Rasio G/Go - Regangan Isolasi Dasar <i>High Damping Rubber Bearing</i> (HDRs) Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro	194
Gambar 5.100	<i>Hysteristic Loops</i> Isolasi Dasar <i>High Damping Rubber Bearing</i> (HDRs) Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940	196
Gambar 5.102	<i>Hysteristic Loops</i> Isolasi Dasar <i>Lead Rubber Bearing</i> (LRBs) Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940	197
Gambar 5.104	<i>Hysteristic Loops</i> Isolasi Dasar <i>High Damping Rubber Bearing</i> (HDRs) Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940	198
Gambar 5.106	<i>Hysteristic Loops</i> Isolasi Dasar <i>Lead Rubber Bearing</i> (LRBs) Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940	199
Gambar 5.108	<i>Hysteristic Loops</i> Isolasi Dasar <i>High Damping Rubber Bearing</i> (HDRs) Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940	200

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran-1: Verivikasi Perhitungan	206
Lampiran-2: Lisiting Program <i>ProgSIP 2017</i>	252



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

f_{yp}	=Tegangan leleh dari <i>lead plug</i> dalam geser = 1500 psi = 10 MPa (Mayes dan Naeim, 2000),
Q_d	=Kekuatan leleh dari <i>lead plug</i> = $W_D/(4D)$,
W_d	= Energi yang hilang per siklus = $2\pi K_{eff} D^2 \xi_{eff}$, dan
m	= Massa tergumpal (kg.dt ² /cm),
W	= Berat struktur (kg), dan
g	= Percepatan gravitasi bumi = 980 (cm/dt ²).
K_0	= Kekakuan isolasi dasar (kg/cm),
T	= Periode target (det),
Γ	= Nilai partisipasi <i>mode</i>
γ	= Regangan geser
γ_b	= Berat <i>volume</i> tanah (gr/cm ³)
γ_{sat}	= Berat <i>volume</i> tanah kondisi jenuh (gr/cm ³)
ΔP_i	= Pertambahan pembebanan (kg)
Δt	= Pertambahan waktu (detik)
Δy_i	= Pertambahan simpangan (cm)
$\Delta \dot{y}_i$	= Pertambahan kecepatan (cm/det)
$\Delta \ddot{y}_i$	= Pertambahan Percepatan (cm/det ²)
ξ	= Rasio redaman
τ	= Tegangan geser (kg/cm ²)
τ_{max}	= Tegangan geser maksimum (kg/cm ²)
ω	= Frekuensi sudut (rad/det)
ϕ	= <i>Mode shape (eigenvector)</i>
f	= Frekuensi getar (Hz)
G	= Modulus geser (kg/cm ²)
g	= Percepatan gravitasi bumi (cm/det ²)
\check{K}	= Kekakuan efektif (kg/cm ²)
\ddot{y}	= Percepatan

- \dot{y} = Kecepatan
 y = Simpangan
 F = Gaya Horizontal Tingkat
 V = Gaya Geser Tingkat
 M = Momen Guling



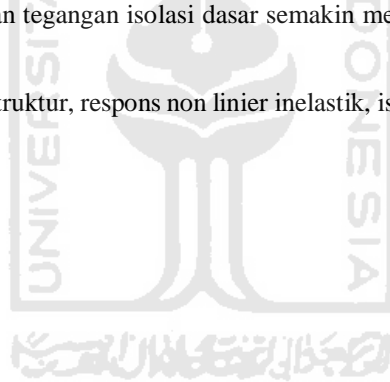
ABSTRAK

Indonesia menjadi salah satu negara rawan terjadi bencana gempa bumi. Selama beberapa dekade terakhir, desain struktur bangunan tahan gempa umumnya didasarkan pada konsep daktilitas. Salah satu alternatif yang menjanjikan adalah penggunaan sistem isolasi dasar yang merupakan sistem kontrol pasif dapat menjaga integritas struktur. Pada penelitian ini respons dinamik struktur dimodelkan pada kondisi respons non linier inelastis pada isolasi dasar. Salah satu metode yang menggambarkan hubungan regangan-tegangan isolasi dasar dengan *Hysteretic Loops Bilinear*.

Model struktur bangunan yang digunakan dalam penelitian adalah variasi struktur beton 4, 10 dan 15 tingkat dengan dan tanpa isolasi dasar pada tumpuannya. Ukuran dan dimensi data struktur yang disediakan dapat membantu menghitung kekakuan isolasi dasar. Analisis dilakukan dengan variasi jumlah tingkat struktur, jenis isolasi dasar dan rekaman gempa (Coalinga, El Centro 1940, El Centro 1979) yang menggunakan metode integrasi numerik langsung β -Newmark dan diaplikasikan pada program *Microsoft Visual Studio 2010*.

Hasil analisis pada berbagai beban gempa dan tingkat struktur menunjukkan penggunaan isolasi dasar sangat signifikan dalam respons seismik menjadi lebih kecil. Respons seismik pada 3 jenis frekuensi gempa menunjukkan respons terbesar pada beban gempa dengan frekuensi rendah dan terkecil pada frekuensi tinggi. Kekakuan isolasi dasar mempengaruhi besar reduksi struktur yang diperoleh. Respons regangan dan tegangan isolasi dasar semakin mengecil ketika frekuensi gempa semakin tinggi.

Kata Kunci: analisis dinamik struktur, respons non linier inelastik, isolasi dasar, *Bilinear Hysteretic Model*



ABSTRACT

Indonesia became one of the countries prone to earthquake disaster. Over the last few decades, the design of earthquake resistant building structures is generally based on the concept of ductility. One promising alternative is the use of a basic insulation system which is a passive control system that can maintain structural integrity. This study of the dynamic response of building structures is modeled on nonlinear analysis of inelastic response conditions in base isolation. . One of the methods that describe strain-stress relation as called Hysteretic Loops in bilinear model.

The structure model used in this study is 4, 10 and 15 level concrete structures with and without base isolation on the pedestal. In addition to structural data also designed the size and stiffness of base isolation. The analysis was carried out by varying the number of structural levels, base isolation types and earthquake frequency (Coalinga, El Centro1940, El Centro1979) then these analysis is presented by using β -Newmark direct integration methods. The formulations are adopted to Microsoft Visual Studio 2010.

The analysis results for various seismic loads and structural levels indicate that the use of basic insulation is significant to smaller seismic response. Seismic response on 3 types of earthquake frequency shows the greatest response at low frequency and smallest at high frequency. The stiffness of the base isolation affects the size of the structural response reduction obtained. Responses of shear strain base isolation decreases when earthquake frequency is higher.

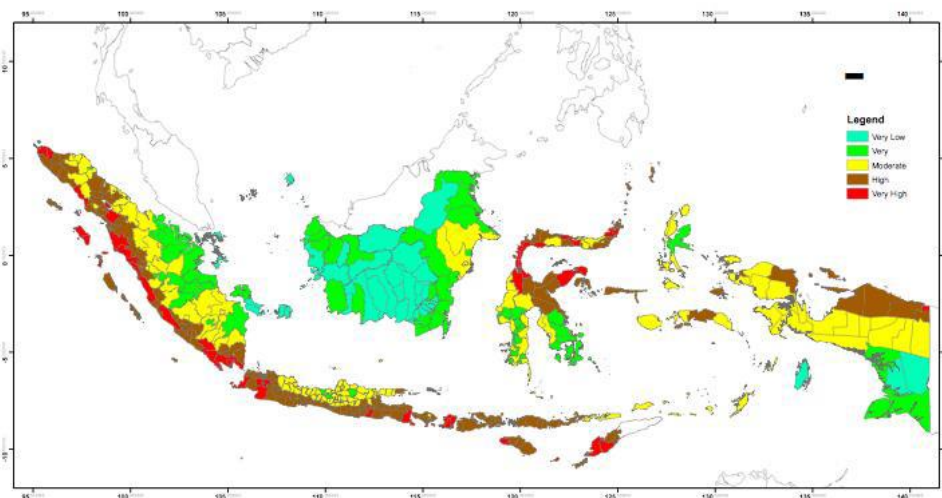
Keywords: *Analysis of dynamic structure, inelastic non linear response, base isolation, Bilinear Hysteretic Loops Model*



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia berada di jalur gempa teraktif di dunia karena dikelilingi oleh Cincin Api Pasifik (*Ring of Fire*) dan juga berada di atas tiga tumbukan lempeng benua Indo-Australia dari sebelah selatan, Eurasia dari utara dan Pasifik dari timur. Penjelasan kondisi geografis ini menjadikan Indonesia sebagai wilayah yang rawan bencana letusan gunung api dan gempa bumi. Tingkat kerawanan gempa pada setiap daerah di Indonesia juga bervariasi yaitu dari tingkatan yang paling rendah hingga sangat tinggi yang dapat dilihat pada *earthquake disaster risk index map* Gambar 1.1. Widodo (2012) menjeaskan gempa bumi merupakan peristiwa bergetarnya permukaan tanah akibat terdapat pelepasan energi secara tiba-tiba. Apabila magnitudo gempa yang terjadi relatif kecil serta jarak episenternya jauh maka dampaknya terhadap kehidupan manusia sudah relatif kecil. Namun demikian apabila sebaliknya, gempa bumi dapat menimbulkan bencana dan kerugian pada kehidupan manusia salah satunya kerusakan tanah dan bangunan yang berada di atasnya.



Gambar 1.1 Peta Rawan Bencana Gempa Bumi di Indonesia
(Sumber : PMB ITB – PSB IPB – World Bank, 2011)

Desain struktur bangunan tahan gempa umumnya memiliki konsep daktilitas. Daktilitas yang diharapkan dimiliki oleh suatu struktur, misalnya dengan cara mengaplikasikan mekanisme *strong column weak beam*. Performa struktur secara desain telah memenuhi konsep daktilitas tersebut seringkali menghasilkan ketidakpuasan ketika bangunan dikenai beban gempa besar karena pada akhirnya hal yang terjadi belum tentu sesuai dengan perencanaan sebelumnya. Mekanisme *strong column weak beam* bisa saja tidak dapat tercapai karena adanya keberadaan dinding pada struktur. Pada saat konstruksi dilakukan juga terdapat kesulitan pada proses hubungan balok kolom karena kebutuhan tulangan pada join yang sedemikian kompleks Wang, Y-P (2002). Struktur yang direncanakan tersebut apabila terkena gempa kuat akan mengalami plastisitas yang menimbulkan simpangan antar tingkat yang besar. Hal tersebut dapat memicu dan menyebabkan kerusakan yang signifikan pada struktur, bahkan hingga keruntuhan. Untuk meningkatkan performa struktur bangunan terhadap gempa bumi dengan kekuatan besar atau kuat yang sifatnya sulit untuk diprediksikan kapan akan terjadi, kemudian dikembangkan salah satu teknik yang lebih efektif dan dapat diaplikasikan pada desain seismik struktur dengan harapan kerusakan struktur dapat diminimalkan atau berkurang secara signifikan bahkan dapat kita hindari.

Salah satu alternatif dan prinsip untuk mengurangi bahkan menghindari kerusakan bangunan akibat gempa yaitu memberi redaman yang dipasang pada struktur bangunan berfungsi sebagai pengendali simpangan gempa, karena sifat redaman penting pada penyerapan energi akibat gempa bumi yaitu dapat mengurangi simpangan gempa sehingga bangunan di atasnya menerima simpangan gempa lebih kecil. Alternatif tersebut dapat didapatkan dalam penggunaan sistem *base isolation* atau isolasi dasar pada suatu struktur bangunan yang merupakan sistem kontrol pasif dengan menjaga integritas struktur. *Base isolation* dapat diaplikasikan langsung atau diadopsi untuk mendesain struktur bangunan baru maupun perbaikan struktur yang sudah ada. Strategi cara kerja sistem *base isolation* adalah memberikan fleksibilitas lateral yang akan membantu mengurangi gaya gempa dengan cara mengubah perioda alami struktur agar mampu menghindari

resonansi dengan frekuensi utama yang terkandung pada peristiwa gempa yang sedang terjadi.

Nugroho dan Budiyanto (2002) dalam tugas akhirnya memvariasikan kekakuan *base isolation* untuk mencari respon seismik struktur dengan selanjutnya membahas hasil tersebut dengan dibandingkan terhadap bangunan tanpa *base isolation*. David dan Eka (2006) dalam tugas akhirnya menganalisis serta membahas pengaruh *base isolation* atau isolasi dasar pada struktur bangunan beton bertingkat banyak dimana sistem isolasi dasar dianggap bersifat elastoplastik dengan menggunakan perhitungan kekakuan kolom berdasarkan prinsip *Shear Building* serta kekakuan *base isolation* sendiri diasumsi dari 1/10 kekakuan kolom lantai.

Dapat diketahui dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan diatas bahwa respon seismik struktur bangunan dimodelkan pada kondisi linier elastis pada sistem *base isolation* atau isolasi dasar sedangkan penelitian tentang respon non linier inelastis pada isolasi dasar belum ada dan kekakuan umumnya digunakan prinsip *Shear Building*. Oleh sebab itu, perlu ada penelitian tentang respons seimik *base isolation* pada kondisi *non linear inelastic* berdasarkan sifat pemodelan *Bilinier* dan mengubah konsep perhitungan kekakuan yaitu menggunakan prinsip kekakuan Muto.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka dalam tugas akhir ini merumuskan masalah sebagai berikut ini.

1. Seberapa besar pengaruh respon seismik struktur bangunan dengan dan tanpa *base isolation* atau isolasi dasar apabila digunakan pemodelan dari sifat *Bilinier*?
2. Seberapa besar perbandingan respon seismik struktur bangunan dengan dan tanpa *base isolation* atau isolasi dasar akibat beban gempa rendah, menengah dan tinggi?
3. Seberapa besar perbandingan respon seismik struktur bangunan dengan dan tanpa *base isolation* atau isolasi dasar akibat beban gempa dengan variasi tiga jenis redaman yaitu redaman proporsional terhadap massa (*Mass Proportional Damping, MPD*), redaman proporsional terhadap kekakuan (*Stiffness*

Proportional Damping, SPD) dan redaman proporsional terhadap massa dan kekakuan (*Mass dan Stiffness Proportional Damping, MSPD*)?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka penelitian ini mempunyai tujuan sebagai berikut ini.

1. Mengetahui besar pengaruh respon seismik struktur bangunan dengan dan tanpa *base isolation* atau isolasi dasar apabila digunakan pemodelan dari sifat *Bilinier*
2. Mengetahui besar perbandingan respon seismik struktur bangunan dengan dan tanpa *base isolation* atau isolasi dasar akibat beban gempa rendah, menengah dan tinggi.
3. Mengetahui besar perbandingan respon seismik struktur bangunan dengan dan tanpa *base isolation* atau isolasi dasar akibat beban gempa dengan variasi tiga jenis redaman yaitu redaman proporsional terhadap massa (*Mass Proportional Damping, MPD*), redaman proporsional terhadap kekakuan (*Stiffness Proportional Damping, SPD*) dan redaman proporsional terhadap massa dan kekakuan (*Mass dan Stiffness Proportional Damping, MSPD*).

1.4 Manfaat Penelitian

Setelah mengetahui kemampuan *base isolation* atau sistem isolasi dasar dalam meredam beban gempa kemudian dapat diterapkan pada struktur bangunan-bangunan gedung di Indonesia. Dalam hasil yang akan didapatkan akan diketahui seberapa besar perubahan simpangan, *interstory drift*, *interstory drift ratio*, gaya horizontal tingkat, gaya geser tingkat, dan momen guling yang terjadi akibat pengaruh *base isolation* atau isolasi dasar.

1.5 Batasan Masalah

Batasan permasalahan dalam melaksanakan penelitian ini sebagai berikut.

1. Analisa struktur diambil dari struktur beton bertingkat banyak dengan variasi 4, 10, dan 15 tingkat dalam Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil FTSP UII (David dan Eka,2006).

2. Analisa massa struktur menggunakan sistem massa dianggap menggumpal pada satu titik (*lumped mass*).
3. Perhitungan kolom struktur berdasarkan prinsip Muto (1975).
4. Nilai redaman isolasi dasar (C_b) tergantung dari K_b , massa isolasi dasar, *damping ratio* (ξ) dan frekuensi sudut (ω). Sedangkan nilai redaman horizontal tanah (C_h) dan redaman putar (C_r) tanah diabaikan.
5. Massa *base isolation* sama dengan massa tingkat satu ($m_b = m_0$).
6. Kekakuan *base isolation* menggunakan rumus kekakuan efektif *base isolation*.
7. Besarnya redaman pada struktur akibat beban gempa dengan variasi tiga jenis redaman yaitu redaman proporsional terhadap massa (*Mass Proportional Damping, MPD*), redaman proporsional terhadap kekakuan (*Stiffness Proportional Damping, SPD*) dan redaman proporsional terhadap massa dan kekakuan (*Mass dan Stiffness Proportional Damping, MSPD*).
8. Data riwayat percepatan tanah yang digunakan adalah gempa dengan 3 variasi frekuensi, Coalinga, El Centro dan Koyna yang disesuaikan dengan respon spectra kota Yogyakarta.
9. Perhitungan struktur keseluruhan menggunakan intergrasi secara langsung (*dependen*) dengan metode β -Newmark.
10. Analisis respons dinamik struktur menggunakan bantuan program *Microsoft Visual Studio 2010*.

1.6 Definisi Operasional

Definisi dari beberapa istilah yang dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Respon seismik adalah reaksi suatu struktur akibat adanya pembebanan yang berubah-ubah seiring waktu. Respon seismic tersebut diantaranya berupa simpangan, *interstory drift*, gaya horizontal tingkat, gaya geser tingkat dan momen guling.
2. *Base isolation* atau isolasi dasar merupakan suatu sistem kontrol pasif yang dapat menjaga integritas struktur. Sistem ini bekerja dengan cara memberikan

tambahan redaman pada struktur yang akan mengabsorpsi energi gempa pada saat terjadinya pergerakan pada sistem isolasi.

3. *Bilinier Model* adalah permodelan *hysterstic loops* yaitu representasi dari respon struktur dari perilaku non-linear inelastik akibat beban dinamik yang bekerja.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu

2.1.1 Paldi dan Hakim (2000)

Paldi dan Hakim (2000) dalam tugas akhirnya dengan judul “Performasi Bantalan Karet (Rubber Bearing) sebagai Redaman Pasif untuk Seismik Kontrol pada Bangunan Tahan Gempa” telah menganalisis seismik kontrol akibat pengaruh energi gempa El-Centro dengan membandingkan hasil pada bangunan konvensional (*fixed base*) dengan bangunan yang menggunakan sistem isolasi dasar (*base isolation*). Pembahasan pada tugas akhir menyimpulkan bahwa parameter-parameter seismik ternyata tereduksi secara signifikan, berupa simpangan relatif struktur terhadap pondasi (20,64 %), terhadap pelat dasar (76,43 %), *interstory drift* (59,67 %), gaya geser tingkat (82,52 %) dan momen guling (76,17 %).

2.1.2 Nugroho dan Budiyanto (2002)

Nugroho dan Budiyanto (2002) dalam tugas akhirnya dengan judul “Pengaruh *High Damping Rubber Bearing* sebagai isolasi dasar terhadap Perilaku Dinamika Struktur” melakukan penelitian untuk mengetahui keefektifan simpangan bangunan apabila dikenai beban gempa dengan memvariasikan kekakuan. Pada penelitian digunakan program *SAP 2000* dan hasil perhitungan dari parameter simpangan relative, simpangan antar tingkat, gaya geser tingkat dan momen guling dibandingkan antara bangunan konvensional (*fixed base*) dan *isolated structure* atau bangunan dengan sistem isolasi dasar. Hasil penelitian yang diperoleh adalah nilai reduksi optimal terjadi pada variasi kekakuan 100%.

2.1.3 David dan Eka (2006)

David dan Eka (2006) dalam tugas akhirnya dengan judul “Respon Seismik Struktur Beton Bertingkat Banyak dengan Isolasi Dasar (Elastoplastik)” membahas besar rasio respon seismik struktur bangunan 4, 8 dan 10 tingkat tanpa dan bangunan yang menggunakan sistem *base isolation* yang dianggap bersifat *bilinear*. Analisis dilakukan dengan variasi tiga jenis redaman proporsional diantaranya, redaman proporsional dengan massa (*Mass Proportional Damping*), redaman proporsional dengan kekakuan (*Stiffness Proportional Damping*) dan redaman proporsional dengan massa dan kekakuan (*Mass and Stiffness Proportional Damping*). Perhitungan kekakuan kolom berdasarkan prinsip *Shear Building* serta percepatan tanah yang digunakan dari data gempa Koyna, El-Centro dan Santacruz.

2.2 Keaslian Penelitian

Berdasarkan penelitian-penelitian diatas maka pada penelitian selanjutnya akan melengkapi kekurangan-kekurangan yang terdapat pada penelitian sebelumnya sebagai berikut.

1. Analisis pertama pada penelitian menggunakan bantuan program komputer *Microsoft Visual Studio 2010*.
2. Perhitungan kekakuan kolom yang digunakan prinsip Kekakuan Muto.
3. Kekakuan *base isolation* digunakan perhitungan berdasarkan materi Taiki Saito
4. Pemilihan struktur bangunan menggunakan stuktur beton bertingkat banyak dengan variasi 4, 10, dan 15 tingkat.
5. Bangunan menggunakan sistem kontrol pasif yaitu *rubber bearing* sebagai isolasi dasar.
6. Dalam analisis digunakan riwayat gempa dengan variasi frekuensi mulai dari rendah hingga tinggi, Gempa Coalinga, El Centro 1940 dan El Centro 1979 dan telah disesuaikan dengan respons spektra kota Yogyakarta.
7. Penjelasan analisis struktur dengan anggapan sistem berperilaku *bilinear* untuk *base isolation*.

2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Penelitian Sekarang
Paldi dan Hakim	2000	Performasi Bantalan Karet (<i>Rubber Bearing</i>) sebagai Redaman Pasif untuk Seismik Kontrol pada Bangunan Tahan Gempa	Mengetahui parameter-parameter seismik yang tereduksi oleh redaman pasif pada bangunan tahan gempa dan dibandingkan antara bangunan dengan dan tanpa menggunakan bantalan karet sebagai redaman pasif.	Perhitungan di gunakan pada percepatan gempa El Centro menggunakan Microsoft Excel dan bantalan karet sebagai redaman pasif digunakan pada bangunan kemudian dibandingkan terhadap bangunan konvensional.	Parameter-parameter seismic ternyata tereduksi secara signifikan, berupa simpangan relative struktur terhadap pondasi 20,64%, terhadap pelat dasar 76,43%, gaya geser tingkat 82,53% dan momen guling 76,17%.	Performasi sistem isolasi dasar sebagai redaman pasif dianalisis untuk semua parameter respon seismik dengan variasi frekuensi gempa, Coalinga, EL Centro 1940 dan El Centro 1979.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Penelitian Sekarang
Nugroho dan Budiyanto	2002	Pengaruh <i>High Damping Rubber Bearing</i> sebagai isolasi dasar terhadap Perilaku Dinamika Struktur	Mengetahui nilai reduksi optimal dari efektifitas respon simpangan struktur selama terjadi beban gempa	Membandingkan respon dinamik pada struktur bangunan konvensional dengan <i>base isolation</i> struktur. Analisis dihitung dengan program Excel dan bantuan <i>SAP 2000</i> ,	Nilai reduksi yang paling optimal terjadi pada variasi kekakuan 100%.	Menghitung kekakuan <i>base isolation</i> dan menggunakan program <i>Microsoft Visual Studio 2010</i> dalam perhitungan respon seismik struktur dengan variasi frekuensi gempa.
David dan Eka	2006	Respon Seismik Struktur Beton Bertingkat Banyak dengan Isolasi Dasar (Elastoplastik)	Mengetahui perbandingan respon seismik struktur antara bangunan yang menggunakan dan tanpa menggunakan <i>Base Isolation</i> dengan anggapan	Perhitungan kolom struktur menggunakan prinsip <i>Shear Building</i> dan kekakuan <i>base isolation</i> di ketahui langsung. Pada percepatan gempa	Struktur dengan isolasi dasar yang bersifat elastoplastis memiliki selisih respon seismic struktur (simpangan relative, <i>interstory drift</i> , gaya horizontal tingkat,	Analisis riwayat waktu dengan gempa Coalinga, El Centro 1940 dan El Centro 1979 disesuaikan dengan respon spectra Kota Yogyakarta. Respon isolasi

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

			<p><i>base isolation</i> bersifat elastis dan elastoplastis dengan variasi tiga jenis redaman yaitu <i>Mass Proportional Damping, Stiffness Proportional Damping</i> dan <i>Mass and Stiffness Proportional Damping</i>.</p>	<p>menggunakan gempa El Centro, Santacruz dan Koyna. Perhitungan dan analisis dibantu menggunakan program <i>Microsoft Visual Basic 6.0</i></p>	<p>gaya geser tingkat dan momen guling) yang relatif lebih kecil dengan struktur dengan isolasi dasar yang bersifat elastis.</p>	<p>dasar dianggap bersifat <i>bilinear</i> dan kekakuan <i>base isolation</i> dihitung berdasarkan prinsip materi Taiki Saito. Analisis dan perhitungan dibantu menggunakan program <i>Microsoft Visual Studio 2010</i>.</p>
--	--	--	--	---	--	--

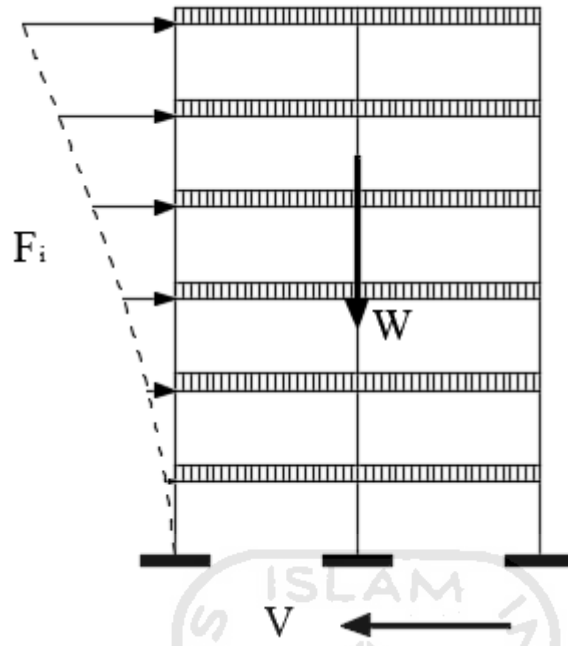
BAB III

LANDASAN TEORI

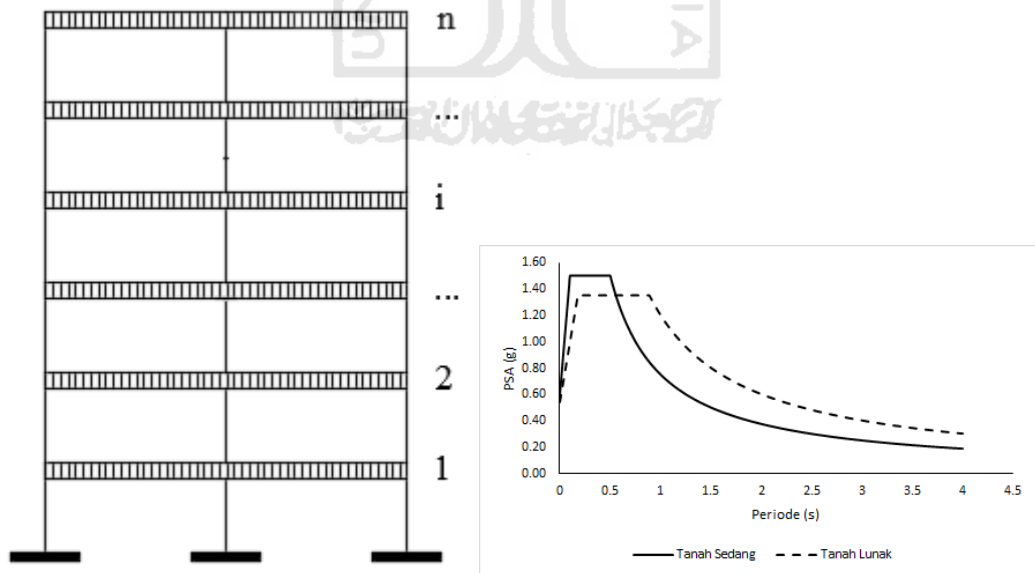
3.1 Gempa Bumi

Widodo (2012) menjelaskan gempa bumi merupakan peristiwa bergetarnya permukaan tanah akibat adanya pelepasan energi secara tiba-tiba akibat dari pecahnya atau slipnya massa batuan yang terdapat di lapisan kerak bumi. Terdapat banyak teori tentang kejadian gempa tetapi secara keseluruhan merupakan sebab dari gerakan plat tektonik. Dua plat tektonik yang saling beradu atau menggeser akan mengakibatkan tegangan deformasi dan berarti akan terjadi akumulasi energi regangan (*strain energy*). Apabila tegangan batuan yang terjadi sudah sedemikian besar dan tidak lagi dapat ditahan oleh batuan maka kerusakan batuan akan terjadi. Kerusakan lapisan kerak bumi yang terjadi secara tiba-tiba menimbulkan getaran yang disebarkan ke semua arah yang selanjutnya merambat sampai permukaan tanah. Tanah yang bergetar menyebabkan bangunan yang berada di atas tanah ikut bergetar hingga memicu kerusakan

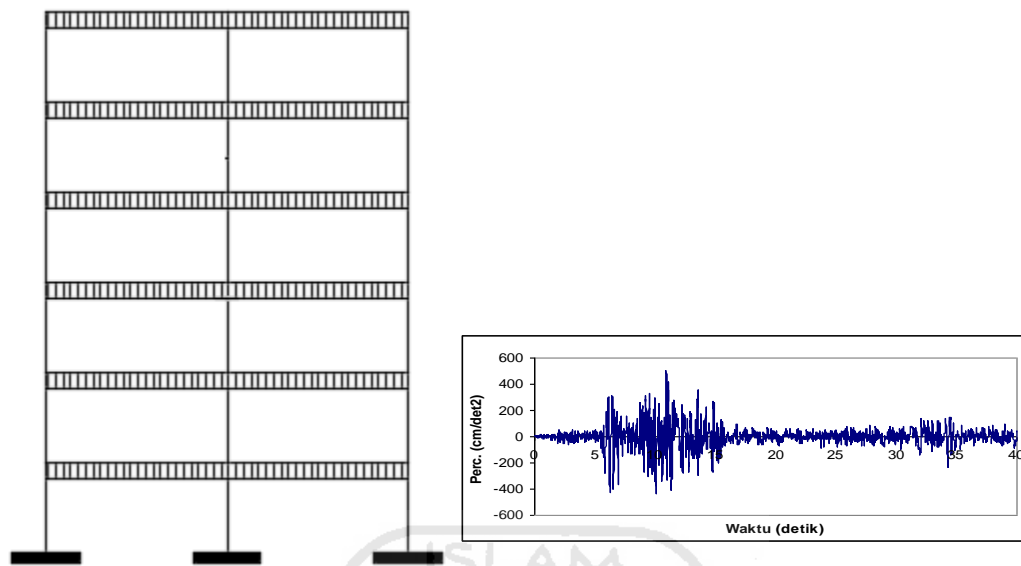
Waktu beberapa detik saat terjadi gempa bumi tetap dapat memicu beban gempa bumi walaupun hanya beberapa detik dapat menimbulkan akibat yang menakutkan. Gerakan tanah akibat gempa bumi umumnya sangat acak dan hanya terjadi beberapa detik sampai puluhan detik saja. Sifat getarannya yang secara acak dan tidak seperti beban statik maka efek beban gempa terhadap respon struktur tidaklah dapat diketahui dengan mudah. Oleh sebab itu, diperlukan usaha-usaha penyederhanaan agar model analisis pengaruh gempa terhadap respons struktur dapat diperhitungkan. Terdapat tiga kategori utama untuk memperhitungkan efek gempa terhadap analisis struktur bangunan gedung yaitu menggunakan metode ekuivalen statik, spektrum respons, dan analisis riwayat waktu (*Time History Analysis, THA*).



3.1 Pemodelan Ekuivalen Statik
(Sumber : Widodo, 2017)



Gambar 3.2 Pemodelan Spektrum Respon
(Sumber : Widodo, 2017)



Gambar 3.3 Pemodelan Analisis Riwayat Waktu (THA)

(Sumber : Widodo, 2017)

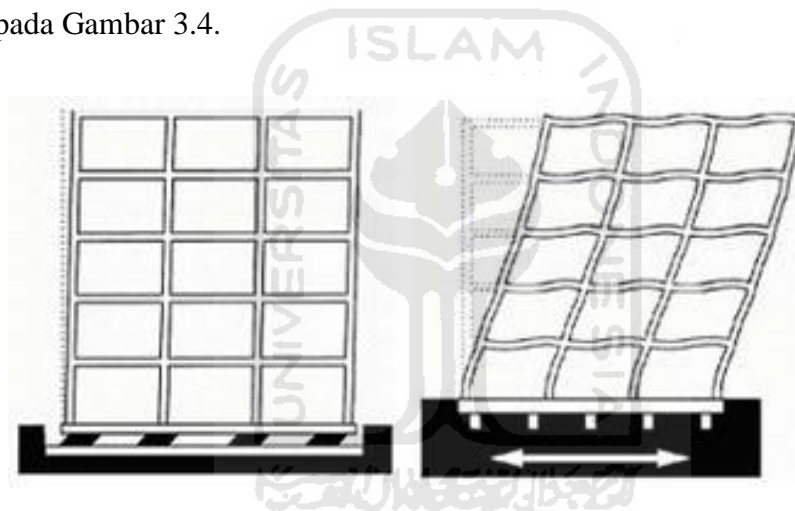
3.2 Isolasi Dasar (*Base Isolation*)

3.2.1 Pengertian Isolasi Dasar (*Base Isolation*)

Isolasi dasar adalah suatu cara perlindungan struktur bangunan terhadap getaran gempa bumi yang merupakan sistem kontrol pasif yang dapat menjaga integritas struktur. Sistem ini dapat diadopsi untuk mendesain struktur baru, maupun perbaikan dari struktur yang sudah ada. Pada dasarnya, cara perlindungan tersebut dicapai melalui pengurangan getaran gempa bumi ke arah horizontal oleh suatu sistem sehingga memungkinkan bangunan untuk bergerak bebas saat berlangsung gempa bumi tanpa tertahan langsung oleh pondasi (Siswantoro & Buana, 1994). Strategi tersebut dapat membantu mengurangi gaya gempa dengan mengubah perioda alami struktur untuk menghindari resonansi dengan frekuensi utama yang terkandung pada gempa yang terjadi. Selain itu, isolasi dasar (*base isolation*) juga memberikan tambahan redaman pada struktur yang akan mengabsorpsi energi gempa pada saat terjadinya pergerakan pada sistem isolasi.

Penggunaan isolasi dasar sangat efektif untuk bangunan tingkat rendah medium yang berlokasi di tanah keras. Adanya sistem isolasi dasar pada bangunan tingkat tinggi menjadi tidak efektif dikarenakan perioda natural yang tinggi

membuat percepatan gempa kecil walaupun tidak menggunakan sistem isolasi. Namun adanya pertimbangan lain seperti kenyamanan pengguna, bangunan penting yang harus tetap berfungsi pada saat dan setelah gempa, elemen non-struktural yang tidak rusak membuat adanya dorongan untuk mengembangkan penggunaan sistem isolasi dasar pada bangunan tingkat tinggi. Penggunaan sistem isolasi dasar pada struktur dengan perioda natural berkisar dari 1 sampai dengan 3 detik dapat dilakukan dengan meningkatkan kekakuan struktur dengan cara memberikan bresing atau dinding geser pada struktur dan meningkatkan fleksibilitas dari sistem isolasi yang digunakan (Jain dan Thakkar, 2004). Perbandingan perilaku bangunan dengan dan tanpa isolasi dasar (*base isolation*) apabila dikenai beban gempa dapat dilihat pada Gambar 3.4.



a) *Isolated Base Building*

b) *Fixed Base Building*

Gambar 3.4 Perbandingan Respon Bangunan dengan Isolasi Dasar dan Bangunan Konvensional (*Fixed Base*) Terhadap Beban Gempa

(Sumber : Rathjen, 2003)

3.2.2 Jenis-jenis Isolasi Dasar (*Base Isolation*)

Isolasi dasar dibagi kedalam dua kelompok, yaitu isolasi dasar yang menggunakan material karet sebagai isolator (*rubber type seismic isolation*) dan tanpa menggunakan material karet sebagai isolatornya (*non-rubber type seismic isolation*) seperti dijelaskan berikut ini.

1. *Rubber type seismic isolation*

Isolasi dasar yang menggunakan bantalan karet pada peredam gempa (*seismic rubber bearing*) sebagai isolator dan yang paling populer penggunaannya. Popularitas bantalan karet ini semakin meningkat karena mampu membuktikan keandalannya saat terjadi gempa bumi Los Angeles awal tahun 1994 dan Kobe akhir tahun 1994.

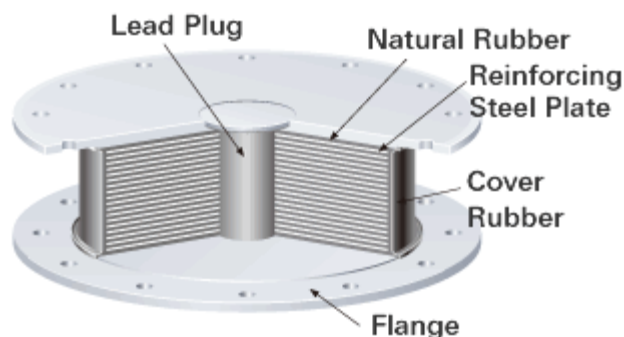
Bantalan karet ini terbuat dari lembaran-lembaran vulkanis karet yang direkatkan pada pelat-pelat baja secara berselang-seling. Pelat-pelat baja tersebut bertujuan meningkatkan kekakuan karet ke arah vertikal sehingga karet tidak menggelembung kesamping karena beban bangunan.

Para ahli memperkirakan umur pemakaian bantalan karet yang dibuat dengan sistem pengomponan karet yang benar, bisa lebih dari satu abad. Selain itu karena bantalan ini terpasang lepas diantara pondasi bangunan dan bangunan atas, sudah tersedia pula cara mengganti dengan syarat kondisi bila benar-benar diperlukan bantalan yang rusak dengan yang baru.

Macam-macam isolasi dasar dengan isolator bantalan karet yang banyak digunakan adalah seperti dibawah ini.

a. *Laminated Natural Rubber Bearing (Lead Rubber Bearings - LRBs)*

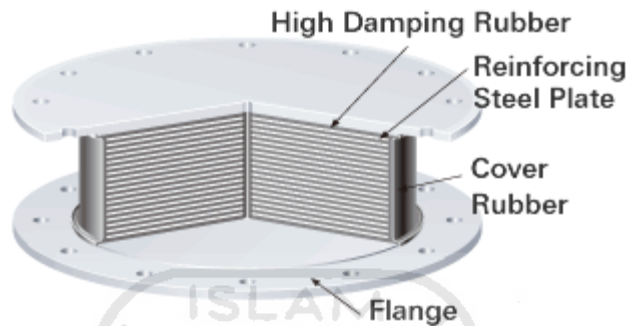
Timah hitam (*lead*) dipasang pada sumbu bantalan karet, dibagian atas dan bawah diberi lempengan pelat baja. Timah hitam digunakan untuk menyerap energi dari gempa dan untuk menahan beban angin, LRBs dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Lead Rubber Bearing
(Sumber : Bridgestone, 2015)

b. *High Damping Rubber Bearings* – HDRs

Pada dasarnya jenis alat isolasi dasar ini sama dengan LRBs hanya saja disini propertis dari karet telah dimodifikasi agar dapat memberi kemampuan redaman yang lebih tinggi dan mampu menyerap energi gempa bumi, HDRs dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 High Damping Rubber Bearing

(Sumber : Bridgestone, 2015)

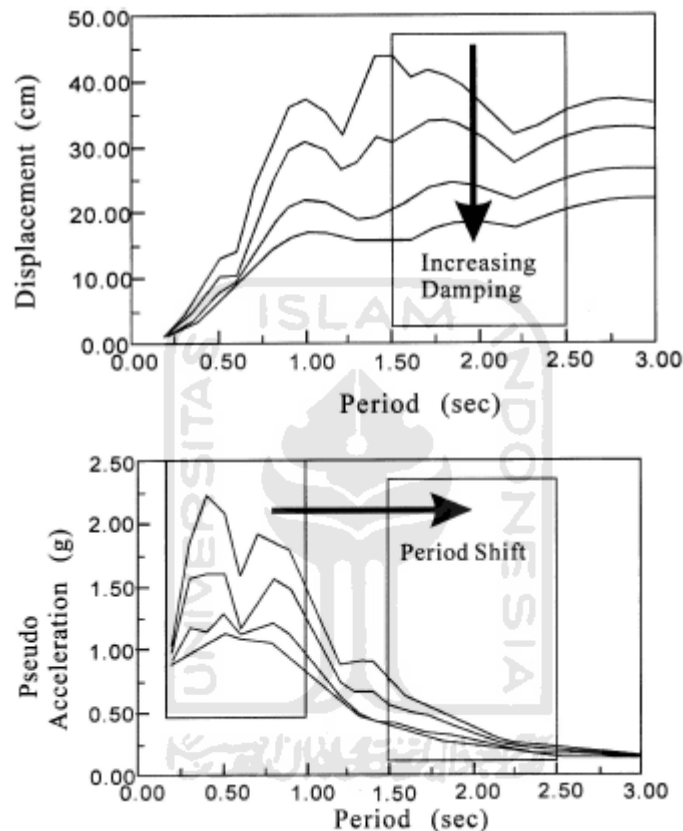
2. *Non-Rubber Type Seismic Isolation*

Non-rubber type seismic isolation yang paling banyak dikenal antara lain *lead extrusion dumper*, *ball roller bearing* dan *sliding bearing*, yang paling banyak digunakan adalah *lead extrusion dumper*.

3.2.3 Prinsip sistem Isolasi Dasar (*Base Isolation*)

Sistem *base isolation* sangat baik jika diaplikasikan di daerah dengan frekuensi getaran gempa yang tinggi dan kondisi tanah keras. Bentuk spektrum respons pada kondisi ini, percepatan cenderung meningkat secara tajam pada nilai-nilai periode getar T awal, selanjutnya saat mencapai puncak akan cenderung menurun secara terus menerus sampai pada periode getar yang ditinjau. Pemasangan isolasi dasar (*base isolation*) akan sangat tepat pada kondisi ini sebab isolasi dasar memperpanjang waktu periode getar T , sehingga pada kondisi ini spektrum respons akan menurun. Apabila sistem isolasi dasar dipasang pada kondisi gempa dengan frekuensi gempa rendah dan pada kondisi tanah lunak. Pada kondisi tersebut spektrum percepatan akan cenderung rendah pada nilai-nilai

periode getar T awal, kemudian meningkat secara tajam bersamaan dengan bertambahnya waktu periode getar T . Oleh sebab itu, pemasangan isolasi dasar tidak baik pada kondisi ini karena pada saat isolasi dasar memperpanjang waktu periode getar T , akan jatuh pada puncak gempa ini. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Efek dari Isolasi Dasar Terhadap Waktu Getar T pada saat Terjadi Gempa

(Sumber : Yang, 2003)

Pada gambar menunjukkan tipe percepatan respons struktur dengan tipe puncak respons periode terjadi pada 0,5 detik. Pemasangan isolasi dasar sangat tepat pada kondisi ini karena periode getar T lebih panjang pada saat kondisi percepatan tanah mencapai periode diatas 0,5 detik yang bersamaan dengan menurunnya puncak respons periode. Apabila waktu puncak repons lebih panjang dimana gempa berlangsung pada frekuensi rendah dan tanah lunak. Adanya sistem isolasi dasar tidak baik digunakan pada kondisi tanah tersebut, karena isolasi dasar

memperpanjang waktu getar T sehingga terjadi pada puncak respons maksimum tersebut.

Jenis struktur sangat mempengaruhi penggunaan *base isolation*. Jenis struktur ini terdiri dari struktur beton bertulang dan struktur baja. Kedua struktur tersebut dibedakan menurut angka kekakuan dari masing-masing struktur. Struktur beton bertulang cenderung mempunyai sifat kaku sehingga kekakuan yang terjadi sangat tinggi. Kekakuan tersebut sangat berpengaruh terhadap frekuensi getar struktur (ω), sehingga dengan kekakuan tinggi maka ω besar, dan itu membuat periode getar struktur beton kecil. Sebaliknya terjadi pada struktur baja dengan periode getar struktur yang lebih besar dari beton.

3.2.4 Manfaat sistem Isolasi Dasar (*Base Isolation*)

Manfaat yang diperoleh dengan pemakaian isolasi dasar adalah sebagai berikut.

1. Kemampuan menahan beban bangunan yang diisolasi 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. Kemampuan meredam untuk mengurangi akselerasi defleksi horizontal relatif terhadap tanah, sehingga dapat mencegah struktur rusak ataupun runtuh jika terkena gempa (BPPP, 1997).
4. Penggunaan sangat fleksibel karena dapat digunakan pada bangunan baru maupun bangunan lama (*retrofitting*) (Lin, 1997).
5. Umur kerja isolatornya relatif panjang yakni berkisar 70-100 tahun sehingga bisa lebih lama dari umur bangunan itu sendiri (Lin, 1997).

3.3 Massa Struktur

Suatu struktur bangunan bertingkat banyak pada umumnya mempunyai banyak derajat kebebasan yang umumnya berasosiasi dengan jumlah massa. Hal ini akan menyulitkan analisis struktur karena banyaknya persamaan differensial yang perlu diselesaikan. Oleh karena itu diperlukan beberapa asumsi atau penyederhanaan untuk menyelesaikan masalah tersebut.

Terdapat dua pendekatan pokok yang umumnya dilakukan untuk mendeskripsikan massa struktur. Pendekatan pertama adalah system diskretisasi massa yaitu massa dianggap menggumpal pada tempa-tempa tertentu. Apabila prinsip bangunan geser (*Shear Building*) dipakai maka setiap massa hanya akan bergerak secara horizontal. Karena percepatan hanya terjadi pada struktur yang mempunyai massa maka matriks massa merupakan matriks diagonal. Pendekatan yang kedua adalah menurut prinsip *consistent mass matrix* yang mana elemen struktur akan berdeformasi menurut bentuk fungsi (*shape function*) tertentu. Apabila tiga derajat kebebasan (horizontal, vertical dan rotasi) diperhitungkan pada setiap *node* maka standar *consistent mass matrix* dapat diperoleh dengan *off-diagonal matrix* tidak sama dengan nol sebagaimana terjadi pada prinsip *lumped mass*. (Carr 1993, dalam Widodo 2001)

Untuk menghitung massa struktur baik *single lumped mass* maupun *multiple lumped mass* dapat dihitung dengan Persamaan 3.1.

$$m = \frac{W}{g} \quad (3.1)$$

dengan:

m = Massa tergumpal (kg.dt²/cm),

W = Berat struktur (kg), dan

g = Percepatan gravitasi bumi = 980 (cm/dt²).

3.4 Kekakuan Struktur

3.4.1 Kekakuan Isolasi Dasar (*Base Isolation*)

Parameter yang penting dalam penyelesaian persoalan dinamik adalah kekakuan dimana kekakuan selalu dihubungkan dengan massa yang mana keduanya akan memberikan pengaruh tersendiri dalam penyelesaian dinamika struktur. Nilai kekakuan awal *base isolation* dalam tugas akhir ini berdasarkan kekakuan efektif yang dapat dihitung dengan Persamaan 3.2.

$$K_{eff} = \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \frac{W}{g} \quad (3.2)$$

dengan:

K_{eff} = Kekakuan isolasi dasar (kg/cm),

T = Periode target (det),

W = Berat struktur (kg), dan

g = Percepatan gravitasi (cm/det²).

3.4.2 Kekakuan Struktur Muto (1975)

Menurut Widodo (2001) pada prinsip semakin kaku balok maka semakin besar kemampuannya dalam mengekang rotasi ujung kolom, sehingga akan menambah kekakuan kolom. Apabila kekakuan balok akan di perhitungkan, artinya balok dan plat lantai tidak kaku sempurna, maka kekakuan kolom berdasarkan rumus Muto (1975) ataupun Aydin dan Gonen (1994) dapat digunakan. Perhitungan kekakuan balok akan lebih teliti apabila pengaruh plat lantai ikut diperhatikan sehingga diperhitungkan sebagai balok T. pada prinsip Muto, kekakuan joint juga dapat diperhitungkan sehingga hitungan kekakuan baik kekakuan balok maupun kekakuan kolom menjadi teliti.

Muto (1975) memberikan alternatif tata cara menghitung kekakuan kolom dengan memperhitungkan kekakuan balok, yang diartikan bahwa joint-joint dimungkinkan untuk berotasi.

Maka kekakuan kolom Muto (1975) dapat diperoleh dengan Persamaan 3.3.

$$K_m = C_m \times K_f \quad (3.3)$$

dengan:

K_m = Kekakuan Muto (1975),

C_m = Suatu koefisien, dan

K_f = Kekakuan kolom jepit-jepit.

3.4 Redaman Struktur

Menurut Widodo (2001) redaman merupakan peristiwa penyerapan energi (*energy dissipation*) oleh struktur akibat berbagai macam sebab, diantaranya penyerapan energi oleh adanya gerakan antar molekul didalam material, penyerapan energi oleh gesekan alat penyambung maupun sistem dukungan, penyerapan energi akibat gesekan dengan udara dan pada respons inelastis penyerapan energi juga terjadi akibat adanya rotasi sendi plastis. Widodo (2001) menjelaskan bahwa untuk memperoleh nilai redaman ada tiga cara yaitu redaman proporsional dengan massa (*Mass Proportional Damping*), redaman proporsional dengan kekakuan (*Stiffness Proportional Damping*), dan redaman proporsional terhadap massa dan kekakuan (*Mass And Stifness Proportional Damping*)

3.4.1 Redaman proposional terhadap massa (*Mass Proportional Damping*)

$$[C] = \alpha \cdot [M] \quad (3.4)$$

$$\alpha = 2 \cdot \xi_j \cdot \omega_j \quad (3.5)$$

Dalam hal ini nilai ξ_j dan ω_j adalah nilai damping ratio dan kecepatan sudut pada mode ke – j yang dijadikan nilai referensi.

3.4.2 Redaman proposional terhadap kekakuan (*Stiffness Proportional Damping*)

$$[C] = \beta \cdot [K] \quad (3.6)$$

$$\beta = \frac{2 \cdot \omega_j}{\omega_j} \quad (3.7)$$

Dalam hal ini nilai ξ_j dan ω_j adalah nilai damping ratio dan kecepatan sudut pada mode ke $-j$ yang dijadikan nilai referensi.

3.4.3 Redaman proposional terhadap massa dan kekakuan (*Mass and Stiffness Proportional Damping*)

$$[C] = \alpha.[M] + \beta.[K] \quad (3.8)$$

$$\beta = \frac{2.(\xi_j.\omega_j - \xi_i.\omega_i)}{\omega_j^2 - \omega_i^2} \quad (3.9)$$

$$\alpha = 2.(\xi_j.\omega_j - \beta.\omega_i) \quad (3.10)$$

Dalam hal ini nilai ξ_j dan ω_j adalah nilai rasio redaman dan kecepatan sudut pada mode ke $-j$ yang dijadikan nilai referensi. Setelah didapatkan nilai β dan α kemudian di substitusikan ke dalam Persamaan 3.8 untuk memperoleh nilai redaman.

3.5 Persamaan Diferensial Gerakan Struktur Isolasi Dasar

3.5.1 Persamaan Diferensial Derajat Kebebasan Banyak (MDOF)

Tidak semua struktur bangunan gedung dapat dinyatakan dengan satu sistem yang mempunyai derajat kebebasan tunggal atau *Single Degree of Freedom* (SDOF) kenyataannya dilapangan justru banyak struktur bangunan gedung yang mempunyai derajat kebebasan banyak atau *Multi Degree of Freedom* (MDOF).

Penyelesaian dari persamaan differensial gerakan struktur gedung dengan derajat kebebasan banyak (MDOF) dapat ditulis dalam bentuk Persamaan 3.11.

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

Persamaan 3.41 diatas dapat disusun dalam bentuk matriks.

Matriks massa

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

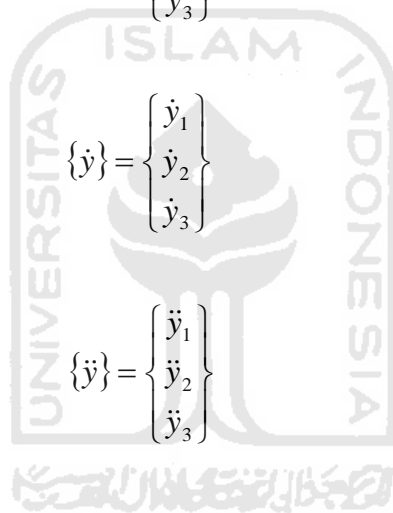
$$\text{Matriks redaman} \quad [C] = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix}$$

$$\text{Matriks kekakuan} \quad [K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix}$$

$$\text{Vektor simpangan} \quad \{y\} = \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix}$$

$$\text{Vektor kecepatan} \quad \{\dot{y}\} = \begin{Bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{Bmatrix}$$

$$\text{Vektor percepatan} \quad \{\ddot{y}\} = \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{Bmatrix}$$



1. Nilai Karakteristik (*Eigen Problem*)

Setelah persamaan-persamaan differensial diatas telah dibuat kemudian dapat menghitung nilai karakteristik (*Eigen Problem*) diantaranya frekuensi sudut (ω), perioda getar (T), frekuensi alam (f) dan mode shapes (ϕ).

Dalam menghitung frekuensi sudut untuk struktur bangunan gedung dengan derajat kebebasan banyak (MDOF), diambil suatu anggapan bahwa struktur tersebut tidak mempunyai nilai redaman atau matriks $[C] = 0$. Oleh karena nilai matriks redaman $[C] = 0$, matriks persamaan differensial gerakan bangunan gedung pada Persamaan 3.11 dapat ditulis menjadi Persamaan 3.12.

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.12)$$

Persamaan 3.12 diatas dapat dijadikan bentuk matriks yang lebih kompak seperti pada Persamaan 3.13.

$$[M][\ddot{Y}] + [K][Y] = [0] \quad (3.13)$$

Persamaan 3.43 adalah persamaan differensial yang sejenis, maka penyelesaian persamaan tersebut diharapkan dalam fungsi harmonik menurut bentuk persamaan berikut ini.

$$y = \{\phi\}_i \sin(\omega t) \quad (3.14)$$

$$\dot{y} = \omega \{\phi\}_i \cos(\omega t) \quad (3.15)$$

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

Dimana $(\phi)_i$ merupakan ordinat massa pada mode ke $- i$. Kemudian disubstitusikan Persamaan 3.14 sampai dengan Persamaan 3.16 ke Persamaan 3.15 maka diperoleh persamaan berikut ini.

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

Persamaan 3.17 dapat disederhanakan menjadi:

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

Persamaan 3.18 adalah suatu persamaan yang sangat penting sering disebut disebut sebagai persamaan *Eigen Problem* yang harus dicari penyelesaiannya. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk menyelesaikan persamaan tersebut adalah dengan memakai dalil *Cramer*. Dalil tersebut menyatakan bahwa persamaan yang homogen terdapat nilai apabila determinan dari matriks yang merupakan koefisien dari vektor $(\phi)_i$ adalah nol, sehingga menjadi Persamaan 3.19.

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

Penyelesaian persamaan *Eigen Problem* dicari dengan berbagai metode yang ada, misalnya dengan *Polynomial Method* yang menghasilkan nilai-nilai *Eigenvector*. Meninjau pada Persamaan 3.15 akan didapat Persamaan *Eigen Problem* sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} (k_1 + k_2) - \omega^2 m_1 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) - \omega^2 m_2 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & (k_3) - \omega^2 m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.20)$$

dengan:

ϕ = Mode shapes struktur bangunan, dan

ω = Frekuensi sudut (rad/dt).

Apabila diambil suatu nilai konstanta dimana $k_1 = k_2 = k_3 = k$ dan $m_1 = m_2 = m_3 = m$, maka Persamaan 3.20 dapat ditulis menjadi persamaan berikut ini.

$$\begin{bmatrix} 2k - \omega^2 m & -k & 0 \\ -k & 2k - \omega^2 m & -k \\ 0 & -k & k - \omega^2 m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.21)$$

Apabila Persamaan 3.21 dibagi dengan nilai k , maka diperoleh suatu persamaan sebagai berikut .

$$\begin{bmatrix} 2 - \frac{\omega^2}{k/m} & -1 & 0 \\ -1 & 2 - \frac{\omega^2}{k/m} & -1 \\ 0 & -1 & 1 - \frac{\omega^2}{k/m} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.22)$$

Jika diambil suatu notasi $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$, Persamaan 3.22 dapat ditulis kembali

menjadi persamaan berikut ini.

$$\begin{bmatrix} 2-\lambda & -1 & 0 \\ -1 & 2-\lambda & -1 \\ 0 & -1 & 1-\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.23)$$

Persamaan 3.23 dapat disederhanakan menjadi persamaan aljabar,

$$(2-\lambda)\phi_1 - \phi_2 = 0 \quad (3.24)$$

$$-\phi_1 + (2-\lambda)\phi_2 - \phi_3 = 0 \quad (3.25)$$

$$-\phi_2 + (1-\lambda)\phi_3 = 0 \quad (3.26)$$

Untuk mencari akar-akar tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan rumus *Fadeev Laverier Method*. Setelah nilai-nilai λ_i (dimana $i = 1, 2, 3$) diperoleh maka nilai frekuensi sudut ω_i dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.27.

$$\omega_i = \sqrt{\lambda_i \cdot \frac{k_i}{m}} \quad (3.27)$$

dengan:

i = Indeks 1, 2, 3,.....,n.

Setelah nilai λ_i diperoleh, selanjutnya disubstitusikan kedalam persamaan *mode shapes* (ϕ_1, ϕ_2 , dan ϕ_3) yaitu pada Persamaan 3.24 s/d Persamaan 3.26 dan kemudian nilai-nilai *mode shapes* tersebut digambar agar dapat mengetahui pola atau ragam goyangan.

Langkah selanjutnya yaitu mencari periode getar (T) struktur tiap-tiap *mode* dengan menggunakan Persamaan 3.28.

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} \quad (3.28)$$

dengan:

i = Mode ke 1, 2, 3,....., n, dan

ω_i = Frekuensi sudut (rad/dt).

Nilai-nilai mode shapes (ϕ) sudah diperoleh maka selanjutnya dapat menghitung nilai partisipasi setiap mode atau *mode participation factor* (Γ).

$$\Gamma_j = \frac{P_j}{M_j} \quad (3.29)$$

Dimana nilai:

$$P_j = \{\phi\}_j^T [M] \quad (3.30)$$

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

3.6 Metode Integrasi Langsung (β – Newmark)

Metode β – Newmark dapat dipakai untuk menyelesaikan integrasi persamaan differensial *coupled* struktur MDOF secara langsung. Metode β – Newmark yang dimaksud adalah metode tersebut merupakan metode yang berdasarkan pada *incremental method*, bahwa untuk struktur yang berperilaku linier inelastis maupun non-liner elastis maka perlu dikembangkan model integrasi yang dapat mensimulasikan perubahan kekakuan menurut fungsi waktu.

Persamaan differensial yang berlaku sat interval yang ditinjau pada metode β – Newmark adalah.

$$m.\Delta\ddot{y}_i + c.\Delta\dot{y}_i + k.\Delta y_i = \Delta p_i \quad (3.32)$$

Apabila beban dinamik yang digunakan adalah beban gempa maka untuk struktur MDOF persamaan differensial 3.62 menjadi seperti berikut.

$$[M]\Delta\ddot{y}_i + [C]\Delta\dot{y}_i + [K]\Delta y_i = [M]\Delta\ddot{y}_{b,i} \quad (3.33)$$

Pada persamaan 3.33 memakai perjanjian notasi untuk perubahan simpangan, perubahan kecepatan dan perubahan percepatan struktur seperti terlihat pada Persamaan 3.34 s/d Persamaan 3.36.

$$\Delta y_i = y_{i+1} - y_i \quad (3.34)$$

$$\Delta\dot{y}_i = \dot{y}_{i+1} - \dot{y}_i \quad (3.35)$$

$$\Delta\ddot{y}_i = \ddot{y}_{i+1} - \ddot{y}_i \quad (3.36)$$

Untuk perubahan intensitas pembebanan pada interval yang ditinjau mengikuti Persamaan 3.37.

$$\Delta p_i = \Delta p_{i+1} - p_i \quad (3.37)$$

Untuk struktur MDOF akibat beban gempa maka persamaan differensial yang digunakan.

$$\Delta p_i = [M](y_{b,i+1} - y_{b,i}) \quad (3.38)$$

Untuk memulai integrasi numerik tersebut maka digunakan Persamaan 3.39 s/d 3.31.

$$\Delta \ddot{y}_i = \left(\frac{1}{\beta \times \Delta t^2} \times [\Delta y_i] \right) - \left(\frac{1}{\beta \times \Delta t} \times [\dot{y}_i] \right) - \left(\frac{1}{2\beta} \times [\ddot{y}_i] \right) \quad (3.39)$$

Dimana $\Delta \ddot{y}_i$ adalah perubahan kecepatan pada langkah ke-I, sedangkan perubahan kecepatan pada langkah yang sama $\Delta \dot{y}$ adalah.

$$\Delta \dot{y}_i = \left(\frac{\gamma}{\beta \times \Delta t} \times \Delta y_i \right) - \left(\frac{\gamma}{\beta} \times \dot{y}_i \right) + \left(1 - \frac{\gamma}{2\beta} \right) \Delta t \cdot \ddot{y}_i \quad (3.40)$$

Selanjutnya perubahan simpangan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\Delta y_i = \frac{\Delta \hat{P}_i}{\hat{K}} \quad (3.41)$$

Yang mana,

$$\hat{K} = [K] + \left\{ \frac{\gamma}{\beta \times \Delta t} \times [C] \right\} + \left\{ \frac{1}{\beta \times \Delta t^2} \times [M] \right\} \quad (3.42)$$

$$\Delta \hat{P}_i = (p_{i+1} - p_i) + a \cdot \dot{y}_i + b \cdot \ddot{y}_i \quad (3.43)$$

Pada struktur MDOF akibat beban gempa maka Persamaan 3.73 dapat ditulis kembali menjadi.

$$\Delta \hat{P}_i = [M](\ddot{y}_{b,i+1} - \ddot{y}_{b,i}) + a \cdot \dot{y}_i + b \cdot \ddot{y}_i \quad (3.44)$$

Nilai a dan b dapat dicari dengan persamaan-persamaan berikut ini.

$$a = \left\{ \frac{1}{\beta \times \Delta t} \times [M] \right\} + \left\{ \frac{\gamma}{\beta} \times [C] \right\} \quad (3.45)$$

$$b = \left\{ \frac{1}{2 \times \beta} \times [M] \right\} + \left\{ \left(\frac{\gamma}{2 \times \beta} - 1 \right) \times \Delta t \times [C] \right\} \quad (3.46)$$

Selanjutnya nilai simpangan, kecepatan dan percepatan pada akhir interval adalah sebagai berikut.

$$y_{i+1} = y_i + \Delta y_i \quad (3.47)$$

$$\dot{y}_{i+1} = \dot{y}_i + \Delta \dot{y}_i \quad (3.48)$$

$$\ddot{y}_{i+1} = \ddot{y}_i + \Delta \ddot{y}_i \quad (3.49)$$

3.7 Analisis Respon Struktur Akibat Gempa

3.7.1 Simpangan Struktur

1. Simpangan antar tingkat (*Interstory Drift*)

Simpangan antar tingkat adalah simpangan suatu massa yang diperoleh dengan mengurangi simpangan netto tiap tingkat dengan simpangan dibawahnya. Nilai simpangan netto (y_n) dan simpangan antar tingkat (yy) dapat dihitung dengan Persamaan 3.50 dan 3.51

$$y_n = y_i - y_{base} \quad (3.50)$$

$$yy = y_n - y_{n-1} \quad (3.51)$$

2. Rasio simpangan antar tingkat (*Interstory Drift Ratio*)

Interstory Drift Ratio adalah perbandingan simpangan antar tingkat dengan tinggi tingkat yang ditinjau pada waktu yang bersamaan. Besarnya nilai tersebut dapat dihitung dengan Persamaan 3.52.

$$yr = \frac{yy_{(i)}}{h} \times 100\% \quad (3.52)$$

3.7.2 Gaya horizontal tingkat (*Horizontal Force*)

Dari nilai simpangan antar tingkat dapat memperoleh nilai gaya horizontal tingkat. Sesuai dengan prinsip analisis elastik untuk problem dinamika struktur bahwa simpangan horizontal, gaya horizontal tingkat dan momen tingkat adalah

elastik respons penting yang selalu dicari sebagai respon struktur (Widodo, 2017). Besarnya nilai gaya horizontal tingkat (F) dapat dihitung dengan Persamaan 3.53.

$$F = y_n \times [K] \quad (3.53)$$

3.7.3 Gaya geser tingkat

Apabila yang diperhitungkan hanya gaya horizontal gempa satu arah, maka gaya geser tingkat (V) diperoleh dengan Persamaan 3.54.

$$V = \sum_{j=i}^n F_j \quad (3.54)$$

3.7.4 Momen guling (*Overtuning Moment*)

Besarnya nilai momen guling dapat dihitung dengan Persamaan 3.55, dimana F yang dimaksud merupakan gaya horizontal dan H adalah tinggi tingkat.

$$M_g = \sum_{j=i}^n F_j \times h_j \quad (3.55)$$

3.8 Analisis Respon untuk *Base Isolation*

Pada umumnya dan diketahui struktur direncanakan dengan anggapan elastis linier dan tetap elastis linier apabila dipengaruhi oleh pengaruh dinamik. Walaupun struktur dapat direncanakan menahan gempa keras, namun tidak ekonomis merencanakan bangunan dengan sifat elastis untuk menahan beban gempa keras. Oleh karena itu diperlukan perencanaan struktur yang siap berdeformasi melewati batas elastis.

Anggapan sederhana dan dapat diterima adalah menganggap struktur bersifat elastoplastis selanjutnya

3.8.4 Integrasi Persamaan Gerak Non Linier

Metode yang efektif dan dapat dipakai untuk mencari solusi persamaan gerak non-linier adalah metode integrasi langkah demi langkah (*step by step integration method*). Pada metode ini, hasil didapatkan dari evaluasi pada setiap pertambahan waktu Δt , yang diambil sebesar waktu yang cukup untuk hitungan yang tepat. Pada setiap selang waktu, kondisi dinamis ditetapkan kemudian hasil untuk selang waktu Δt di evaluasi dengan dasar bahwa koefisien $k(y)$ dan $c(\dot{y})$

tetap konstan selama selang waktu Δt . Karakteristik non linier dari koefisien-koefisien ini pada permulaan setiap pertambahan waktu. Respon didapat dengan menggunakan perpindahan dan kecepatan yang dihitung pada akhir selang waktu sebagai kondisi awal dari selang waktu berikutnya.

3.8.4 Metode Percepatan Linier Langkah demi Langkah

Pada metode percepatan linier dianggap bahwa percepatan dapat dinyatakan oleh fungsi linier terhadap waktu selama selang waktu tersebut Δt . Misalkan $t_{i+1} = t_i + \Delta t$ bersamaan menyatakan bahwa waktu pada permulaan dan akhir selang waktu Δt . Pada tugas akhir ini bahwa evaluasi diterapkan terhadap koefisien-koefisien pada waktu t_i dan dianggap konstan selama pertambahan waktu Δt . Percepatan sebagai fungsi linier terhadap selang waktu t_i dan $t_{i+1} = t_i + \Delta t$, maka percepatan dapat diperoleh dan dinyatakan sebagai berikut,

$$\ddot{y}(t) = \ddot{y}_i + \frac{\Delta\ddot{y}_i}{\Delta t}(t - t_i) \quad (3.56)$$

dimana $\Delta\ddot{y}_i = \ddot{y}(t_i + \Delta t) - \ddot{y}(t_i)$ dan integrasi pada Persamaan 3.56 sebanyak dua kali terhadap waktu antara batas t_i dan t menghasilkan,

$$\dot{y}(t) = \dot{y}_i + \ddot{y}_i(t - t_i) + \frac{1}{2} \frac{\Delta\ddot{y}_i}{\Delta t}(t - t_i)^2 \quad (3.57)$$

$$y(t) = y_i + \dot{y}_i(t - t_i) + \frac{1}{2} \ddot{y}_i(t - t_i)^2 + \frac{1}{6} \frac{\Delta\ddot{y}_i}{\Delta t}(t - t_i)^3 \quad (3.58)$$

Hasil untuk persamaan 3.57 dan 3.58 pada waktu $t = t_i + \Delta t$ memperoleh,

$$\Delta\dot{y}_i = \ddot{y}_i\Delta t + \frac{1}{2} \Delta\ddot{y}_i\Delta t \quad (3.59)$$

$$\Delta y_i = \dot{y}_i\Delta t + \frac{1}{2} \ddot{y}_i\Delta t^2 + \frac{1}{6} \Delta\ddot{y}_i\Delta t^3 \quad (3.60)$$

Pertambahan Δy dimana sebagai variable dasar dalam analisa, kemudian Persamaan 3.60 disubstitusikan ke dalam Persamaan 3.59 untuk memperoleh nilai percepatan $\Delta\ddot{y}_i$.

$$\Delta\ddot{y}_i = \frac{6}{\Delta t^2} \Delta y_i - \frac{6}{\Delta t} \dot{y}_i - 3\ddot{y}_i \quad (3.61)$$

$$\Delta\dot{y}_i = \frac{3}{\Delta t} \Delta y_i - 3\dot{y}_i - \frac{\Delta t}{2} \ddot{y}_i \quad (3.62)$$

Persamaan 3.59 dan Persamaan 3.60 kemudian disubstitusikan kedalam Persamaan $m\Delta\ddot{y}_i + c_i\Delta\dot{y}_i + k_i\Delta y_i = \Delta F_i$, dimana persamaan tersebut merupakan persamaan diferensial gerakan tanah untuk pertambahan waktu sehingga memperoleh persamaan dalam bentuk,

$$m\left\{\frac{6}{\Delta t^2} \Delta y_i - \frac{6}{\Delta t} \dot{y}_i - 3\ddot{y}_i\right\} + c_i\left\{\frac{3}{\Delta t} \Delta y_i - 3\dot{y}_i - \frac{\Delta t}{2} \ddot{y}_i\right\} + k_i\Delta y_i = \Delta F_i \quad (3.63)$$

Sehingga memperoleh persamaan baru dengan memindahkan besaran pertambahan dari perpindahan Δy_i yang belum diketahui dari Persamaan 3.62 ke sebelah kiri, maka didapatkan.

$$\bar{k}_i \Delta y_i = \Delta \bar{F}_i \quad (3.64)$$

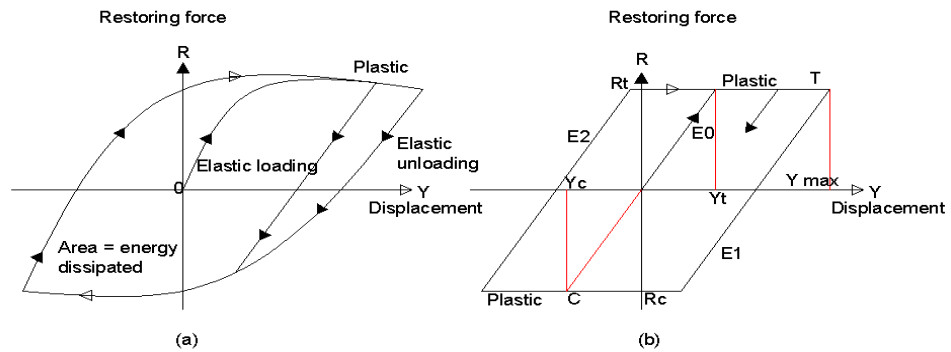
$$\bar{k}_i = k_i + \frac{6m}{\Delta t^2} + \frac{3c_i}{\Delta t}$$

$$\Delta \bar{F}_i = \Delta F_i + m\left\{\frac{6}{\Delta t} \dot{y}_i + 3\ddot{y}_i\right\} + c_i\left\{3\dot{y}_i + \frac{\Delta t}{2} \ddot{y}_i\right\}$$

3.8.3 Sifat Elastoplastis dan Bilinier

Suatu struktur dengan model sistem berderajat kebebasan tunggal dapat mencapai keadaan plastis, oleh karena itu penggunaan gaya pemulihan (*restoring force*) memiliki bentuk seperti pada gambar (3.5.a) dimana satu bagian lengkungan mencapai sifat elastis, kemudian untuk deformasi selanjutnya merupakan daerah leleh plastis (*plastic yielding*). Apabila beban dihilangkan dari struktur maka sifatnya berubah kembali menjadi elastis hingga mencapai leleh plastis tertekan (*compressive plastic yielding*) pada beban dengan tanda yang berlawanan dengan beban sebelumnya. Energi yang telah hilang pada setiap siklus selaras dengan luas dalam lengkungan. Sifat tersebut sering disederhanakan dengan anggapan suatu titik leleh tertentu (*yield point*) dimana setelah mencapai dan melampaui titik ini,

perpindahan menjadi konstan tanpa ada penambahan beban, dalam sifat ini juga dikenal sebagai elastoplastis.



Gambar 3.8 Elastic-plastic models

(a) Perilaku plastis yang sebenarnya (b) Perilaku Elastoplastis

(Sumber : Yang, 2003)

Gaya pemulihan (*restoring force*) yang digambarkan pada pemodelan biasanya dapat dengan mudah dinyatakan pada struktur dengan model sistem massa pegas bersifat elastoplastis dan juga tergantung pada besarnya gaya pemulihan serta pada gerakan dimana simpangan akan bertambah ($\dot{y} > 0$) atau akan berkurang ($\dot{y} < 0$). Pada Gambar 3.5 (b) menunjukkan dimana siklus sifat elastoplastis dengan menganggap kondisi awal adalah nol ($y_0 = 0, \dot{y}_0 = 0$) untuk suatu struktur pembebanan. Apabila beban bekerja, system bersifat elastis sepanjang lengkung E_0 . Simpangan y_t pada sifat plastis saat kondisi tarik mulai terbentuk dan simpangan y_c pada sifat plastis dalam kondisi tekan juga mulai terbentuk dan dapat dihitung dari,

$$y_t = \frac{Rt}{K} \quad \text{dan} \quad y_c = \frac{Rc}{K} \quad (3.65)$$

dimana Rt dan Rc merupakan gaya yang menyebabkan terjadinya leleh (*yielding*) saat kondisi tekan dan tarik serta k adalah nilai kekakuan elastis struktur. Sistem akan tetap pada lengkung E_0 selama simpangan y memenuhi yang dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$y_c < y < y_t \quad (3.66)$$

Apabila simpangan y bertambah besar menjadi y_t berarti system tersebut mulai bersifat plastis pada kondisi tarik sepanjang lengkungan T seperti pada Gambar 3.5 (b) dan seterusnya akan tetap pada lengkung T selama besar kecepatan $\dot{y} > 0$, dan jika $\dot{y} < 0$ berarti sistem akan mulai kembali bersifat elastis pada lengkungan seperti E_1 dengan titik leleh (*yielding point*) yang baru dan ditentukan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} y_t &= y_{\max} , \\ y_c &= y_{\max} - (R_t - R_c) / k \end{aligned} \quad (3.67)$$

dimana y_{\max} merupakan simpangan maksimum sepanjang lengkungan T yang dicapai bila $\dot{y} = 0$.

Pada saat y berkurang sampai y_c , sistem mulai bersifat plastis dalam kondisi tekan sepanjang lengkungan C dan akan tetap sama pada saat lengkungan ini selama nilai $\dot{y} < 0$. Sistem kembali dengan sifat elastis apabila kecepatan berganti arah dan $\dot{y} > 0$. Kondisi ini dimana titik leleh baru diberlakukan sebagai,

$$\begin{aligned} y_c &= y_{\min} , \\ y_t &= y_{\min} + (R_t - R_c) / k \end{aligned} \quad (3.68)$$

dimana y_{\min} merupakan simpangan minimum sepanjang lengkungan C yang terpenuhi jika $y_o = 0$. *Restoring force* atau gaya pemulihan pada saat fase elastis dari siklus (E_o, E_1, E_2, \dots) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.69,

$$R = R_t - (y_t - y)k \quad (3.69)$$

kemudian pada saat fase kondisi tarik berlaku,

$$R = R_t \quad (3.70)$$

Dan saat fase kondisi tekan yang berlaku persamaan sebagai berikut,

$$R = R_c \quad (3.71)$$

3.8.4 Algoritma untuk Solusi Langkah demi Langkah (*Step by Step*) untuk Sistem-Sistem Berderajat Kebebasan Tunggal Bilinier

1. Penamaan dan data masukan mulai dari penentuan nilai untuk k , m , c , R_t , R_c serta daftar data yang memberikan waktu t_i serta besar gaya pengaruh F_i .

2. $y_0 = 0$ dan $\dot{y}_0 = 0$

3. Menghitung percepatan awal :

$$\ddot{y}_0 = \frac{F(t=0)}{m} \quad (3.72)$$

4. Memilih tahapan waktu Δt dan konstanta :

$$a_1 = 3/\Delta t, \quad a_2 = 6/\Delta t, \quad a_3 = \Delta t/2, \quad a_4 = 6/\Delta t^2. \quad (3.73)$$

5. Titik leleh awal :

$$y_t = R_t/k \quad y_c = R_c/k \quad (3.74)$$

6. Untuk tiap tahapan waktu berlaku :

Kontrol sistem apakah tetap pada kondisi elastis sebelumnya atau bersifat plastis dengan anggapan dan inisial penggunaan tanda sebagai berikut.

KEY = 0 berarti sifat elastis;

KEY = -1 berarti sifat plastis tekan;

KEY = 1 berarti sifat plastis tarik (3.75)

7. Menghitung perpindahan y dan kecepatan \dot{y} pada akhir tahapan waktu dan atur nilai atau harga KEY sesuai kondisi berikut,

a. Apabila sistem bersifat elastis pada permulaan tahap waktu dan

$$y_c < y < y_t \quad \text{KEY} = 0$$

$$y > y_t \quad \text{KEY} = 1$$

$$y < y_c \quad \text{KEY} = -1$$

b. Apabila system bersifat plastis kondisi tertarik pada permulaan tahap waktu dan

$$\dot{y} > 0 \quad \text{KEY} = 1$$

$$\dot{y} < 0 \quad \text{KEY} = 0$$

c. Apabila system bersifat plastis kondisi tertekan pada permukaan tahap waktu dan

$$\dot{y} < 0 \quad \text{KEY} = -1$$

$$\dot{y} > 0 \quad \text{KEY} = 0$$

8. Menghitung kekakuan efektif :

$$\bar{k} = k_p + a_4 m + a_1 c_1 \quad (3.76)$$

dimana;

$k_p = k$ untuk sifat elastis (KEY = 0)

$k_p = 0$ untuk sifat plastis (KEY = 1 atau -1)

9. Menghitung pertambahan gaya efektif:

$$\overline{\Delta F_i} = \Delta F_i + (a_2 m + 3c_i) \dot{y}_i + (3m + a_3 c_i) \ddot{y}_i \quad (3.77)$$

10. Pertambahan perpindahan simpangan :

$$\Delta y_i = \frac{\overline{\Delta F_i}}{k_i} \quad (3.78)$$

11. Pertambahan kecepatan :

$$\Delta \dot{y}_i = \frac{3}{\Delta t} \Delta y_i - 3\dot{y}_i - \frac{\Delta t}{2} \ddot{y}_i \quad (3.79)$$

12. Perpindahan dan kecepatan pada akhir selang waktu :

$$y_{i+1} = y_i + \Delta y_i \quad (3.80)$$

$$\dot{y}_{i+1} = \dot{y}_i + \Delta \dot{y}_i \quad (3.81)$$

13. Menghitung percepatan \ddot{y}_{i+1} pada akhir selang waktu dengan menggunakan persamaan keseimbangan dinamis :

$$\ddot{y}_{i+1} \frac{1}{m} [F(t_{i+1}) - (c_{i+1} \dot{y}_{i+1} - R)] \quad (3.82)$$

di mana,

$$R = R_t - (y_t - y_{i+1})k \quad \text{jika KEY} = 0$$

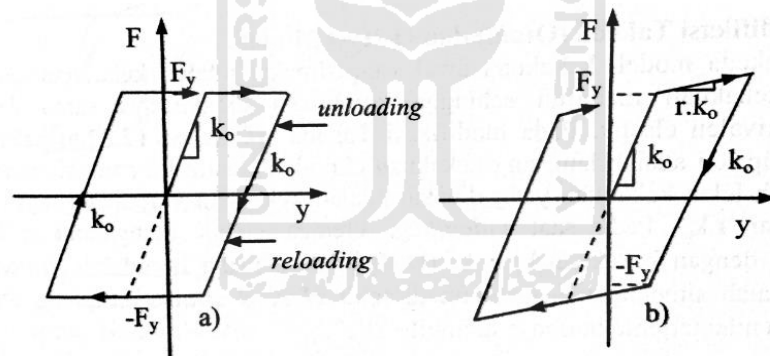
$$R = R_t \quad \text{jika KEY} = 1$$

atau

$$R = R_c \quad \text{jika KEY} = -1$$

Pada algoritma dan langkah-langkah yang telah dijelaskan di atas menghasilkan nilai Gaya F atau *Restoring Force* dan simpangan yang diperlukan untuk memodelkan *elastoplastic model*, namun pada anggapan elastoplastis kekakuan awal adalah sebesar k_o yaitu kekakuan ekivalen elastis. Setelah mencapai leleh maka jalur histertik yang dihasilkan mengikuti pola plastis murni dengan kekakuan sama dengan nol. Pada saat *unloading* dan *reloading* kekakuan dianggap sama dengan kekakuan k_o .

Sementara penelitian ini digunakan pemodelan *bilinear* dalam histeretik model, algoritma yang digunakan sama dengan algoritma sebelumnya hanya diperkenalkan kekakuan saat terjadi *strain hardening* yaitu dengan kekakuan sebesar $r.k_o$ yang mana nilai r berkisar antara 3 – 10%, dan akan diambil sebesar 5%.



Gambar 3.9 Model Histeretik : (a) Elasto-plastis ; (b) Bilinear
(Sumber : Widodo, 2016)

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Penelitian respons seismik struktur bangunan beton bertingkat banyak dengan *base isolation* untuk membandingkan hasil respons struktur dan respons non linear inelastik di isolasi dasar. Untuk mencapai hasil yang dimaksud, perlu adanya beberapa tahapan penelitian yang dilakukan mulai dari pengumpulan data, pengolahan data, analisis dan pembahasan, serta penarikan kesimpulan.

4.2 Data Penelitian

4.2.1 Data Struktur

Data struktur beton diambil dengan variasi 4, 10, dan 15 tingkat. Untuk data struktur digunakan dari Tugas Akhir David dan Eka (2006).

1. Struktur 4 tingkat.

Data struktur 4 tingkat dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan 4.2.

Tabel 4.1 Data Struktur Jepit Bangunan 4 Tingkat

Tingkat	Dimensi Kolom (mm)	Dimensi Balok (mm)
1	500 x 600	200 x 400
2	500 x 600	200 x 400
3	500 x 600	200 x 400
4	500 x 600	200 x 400

Tabel 4.2 Data Struktur Isolasi Dasar Bangunan 4 Tingkat

Tingkat	Dimensi Kolom (mm)	Dimensi Balok (mm)
<i>Base</i>		200 x 400
1	500 x 600	200 x 400
2	500 x 600	200 x 400
3	500 x 600	200 x 400
4	500 x 600	200 x 400

2. Stuktur 10 tingkat.

Data struktur 10 tingkat dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan 4.4.

Tabel 4.3 Data Struktur Jepit Bangunan 10 Tingkat

Tingkat	Dimensi Kolom (mm)	Dimensi Balok (mm)
1	600 x 600	250 x 500
2	600 x 600	250 x 500
3	600 x 600	250 x 500
4	600 x 600	250 x 500
5	600 x 600	250 x 500
6	600 x 600	250 x 500
7	600 x 600	250 x 500
8	600 x 600	250 x 500
9	600 x 600	250 x 500
10	600 x 600	250 x 500

Tabel 4.4 Data Struktur Isolasi Dasar Bangunan 10 Tingkat

Tingkat	Dimensi Kolom (mm)	Dimensi Balok (mm)
<i>Base</i>		250 x 500
1	600 x 600	250 x 500
2	600 x 600	250 x 500
3	600 x 600	250 x 500
4	600 x 600	250 x 500
5	600 x 600	250 x 500
6	600 x 600	250 x 500
7	600 x 600	250 x 500
8	600 x 600	250 x 500
9	600 x 600	250 x 500
10	600 x 600	250 x 500

3. Stuktur 15 tingkat.

Data struktur 15 tingkat dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan 4.6.

Tabel 4.5 Data Struktur Jepit Bangunan 15 Tingkat

Tingkat	Dimensi Kolom (mm)	Dimensi Balok (mm)
1	700 x 700	300 x 600
2	700 x 700	300 x 600
3	700 x 700	300 x 600
4	700 x 700	300 x 600
5	700 x 700	300 x 600
6	700 x 700	300 x 600
7	700 x 700	300 x 600
8	700 x 700	300 x 600
9	700 x 700	300 x 600
10	700 x 700	300 x 600
11	700 x 700	300 x 600
12	700 x 700	300 x 600
13	700 x 700	300 x 600
14	700 x 700	300 x 600
15	700 x 700	300 x 600

Tabel 4.6 Data Struktur Isolasi Dasar Bangunan 15 Tingkat

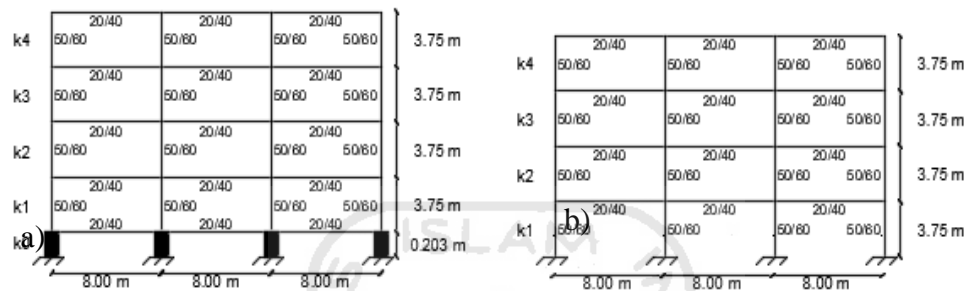
Tingkat	Dimensi Kolom (mm)	Dimensi Balok (mm)
<i>Base</i>		300 x 600
1	700 x 700	300 x 600
2	700 x 700	300 x 600
3	700 x 700	300 x 600
4	700 x 700	300 x 600
5	700 x 700	300 x 600
6	700 x 700	300 x 600
7	700 x 700	300 x 600
8	700 x 700	300 x 600
9	700 x 700	300 x 600
10	700 x 700	300 x 600
11	700 x 700	300 x 600
12	700 x 700	300 x 600
13	700 x 700	300 x 600
14	700 x 700	300 x 600
15	700 x 700	300 x 600

4.2.2 Model Struktur

Model struktur beton diambil dengan variasi 4, 10, dan 15 tingkat. Untuk model struktur diambil dari tugas akhir David dan Eka (2006).

1. Stuktur 4 tingkat.

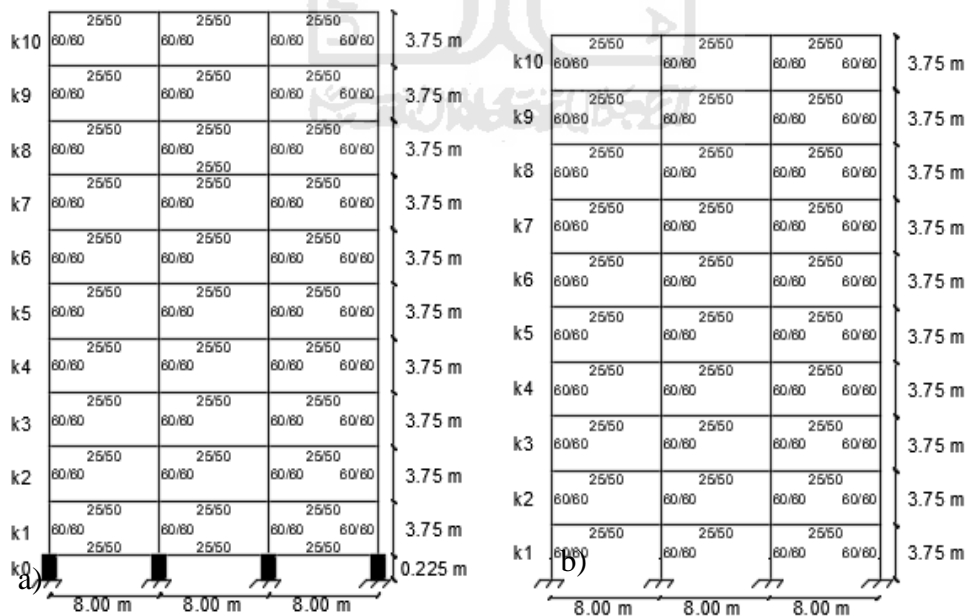
Permodelan struktur 4 tingkat dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pemodelan Struktur Beton Bertingkat 4 : a) Struktur Isolasi Dasar, b) Struktur Jepit

2. Stuktur 10 tingkat.

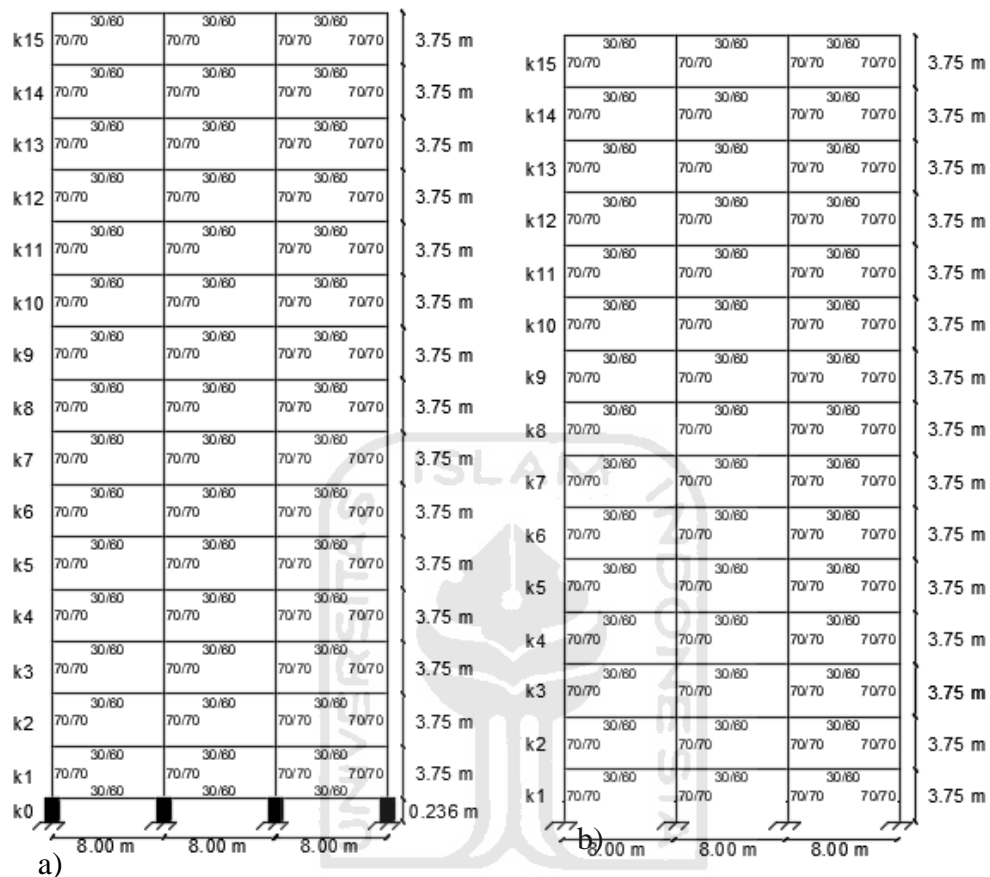
Permodelan struktur 10 tingkat dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Pemodelan Struktur Beton Bertingkat 10 : a) Struktur Isolasi Dasar, b) Struktur Jepit

3. Stuktur 15 tingkat.

Permodelan struktur 15 tingkat dapat dilihat pada Gambar 4.3.



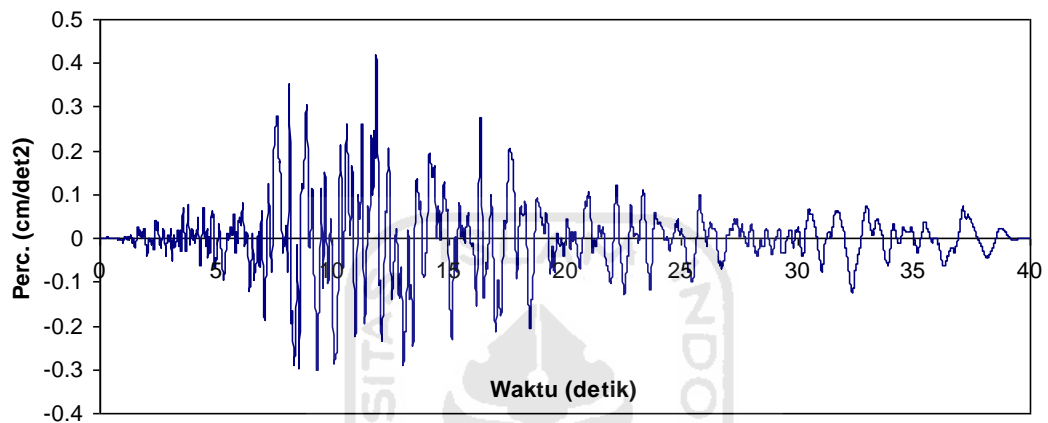
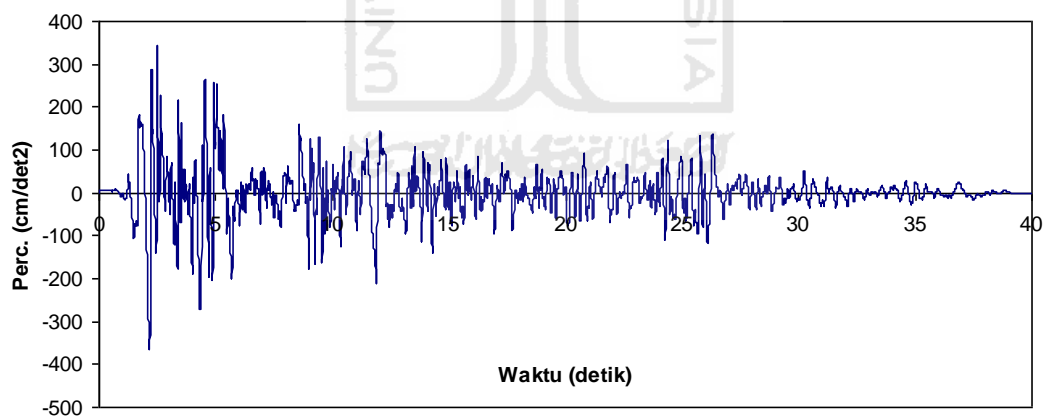
Gambar 4.3 Pemodelan Struktur Beton Bertingkat 15 : a) Struktur Isolasi Dasar, b) Struktur Jepit

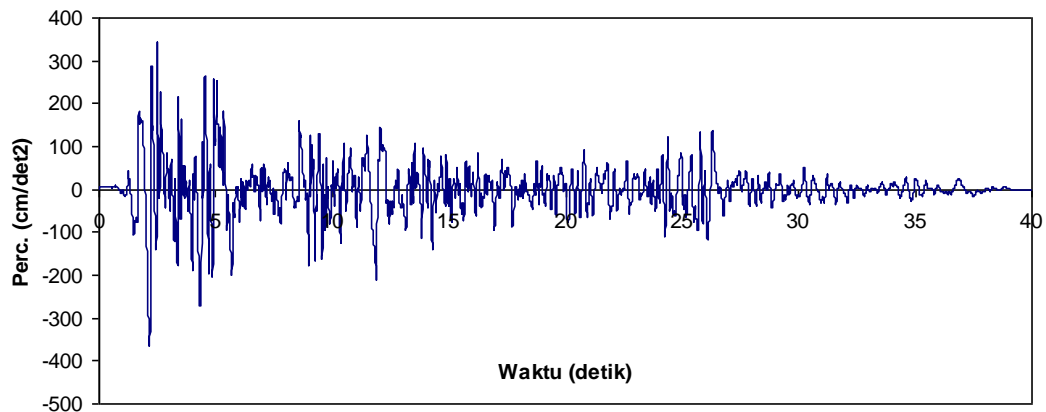
4.2.3 Data Gempa

Data percepatan gempa yang digunakan dalam penelitian ini dibagi berdasarkan variasi frekuensi gempa yaitu gempa frekuensi rendah, menengah, dan tinggi. Pengelompokan tersebut berdasarkan A/V rasio gempa dengan frekuensi rendah ($A/V < 0.8 \text{ g/m/dt}$), menengah ($1.2 \text{ g/m/dt} > A/V > 0.8 \text{ g/m/dt}$), dan tinggi ($A/V > 1.2 \text{ g/m/dt}$). Data gempa yang digunakan adalah gempa Coalinga, gempa El Centro 1940, dan gempa El Centro 1979 yang disesuaikan dengan respons spektra kota Yogyakarta. Data gempa tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut ini

Tabel 4.7 Data Gempa dan Nilai Rasio A/V

Gempa	Percepatan (A) cm/dt ²	Kecepatan (A) cm/dt	A/V (g/m/dt)	Kategori Gempa
Coalinga	409.1696	65.971	0.633	Rendah
El Centro 1940	364.7462	37.069	1.004	Menengah
El Centro 1979	259.063	22.587	1.21	Tinggi

**Gambar 4.4 Rekaman Gempa Coalinga (Frekuensi Rendah)****Gambar 4.5 Rekaman Gempa El Centro 1940 (Frekuensi Menengah)**



Gambar 4.6 Rekaman Gempa El Centro 1979 (Frekuensi Tinggi)

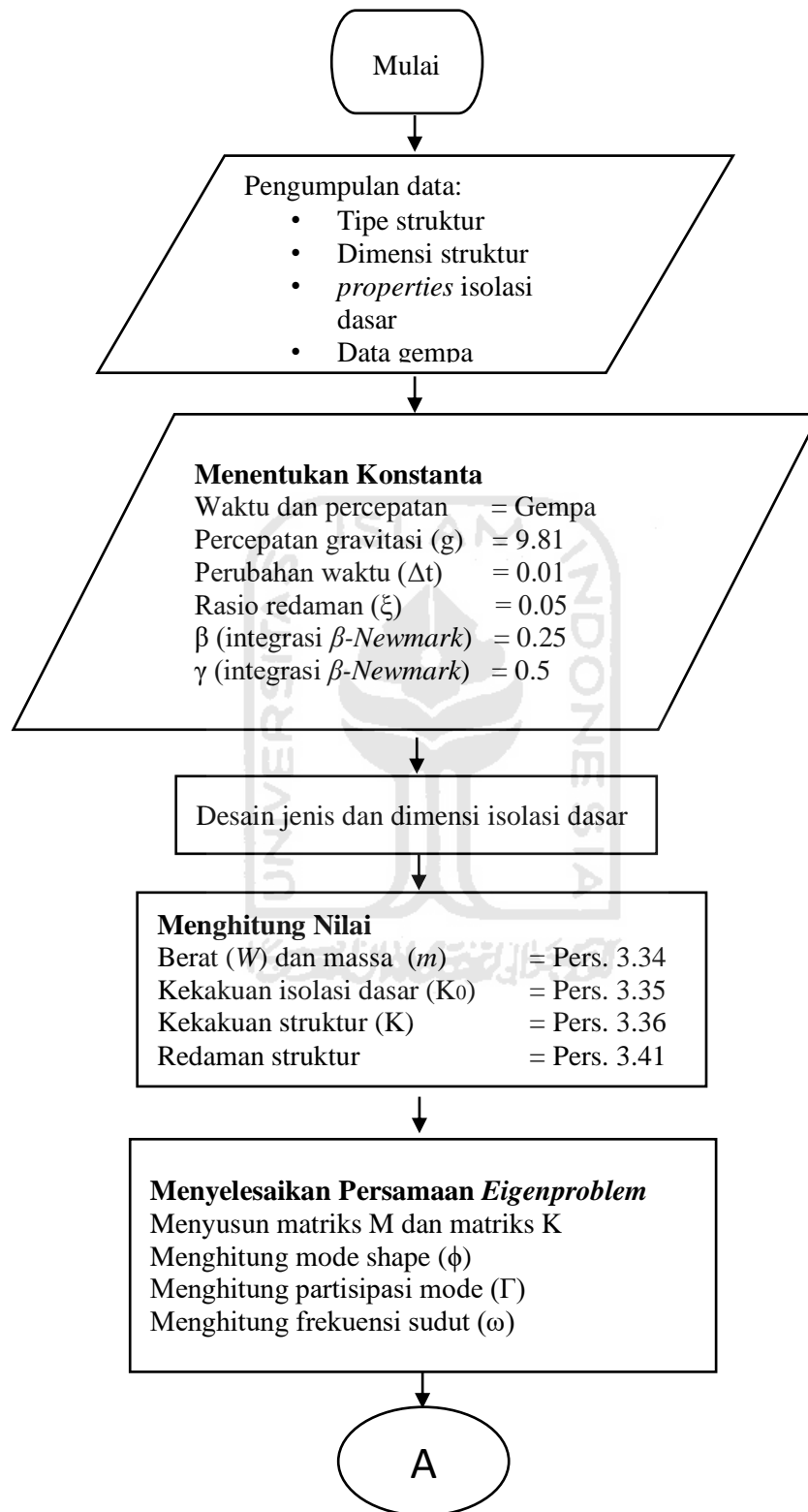
4.3 Prosedur Analisis

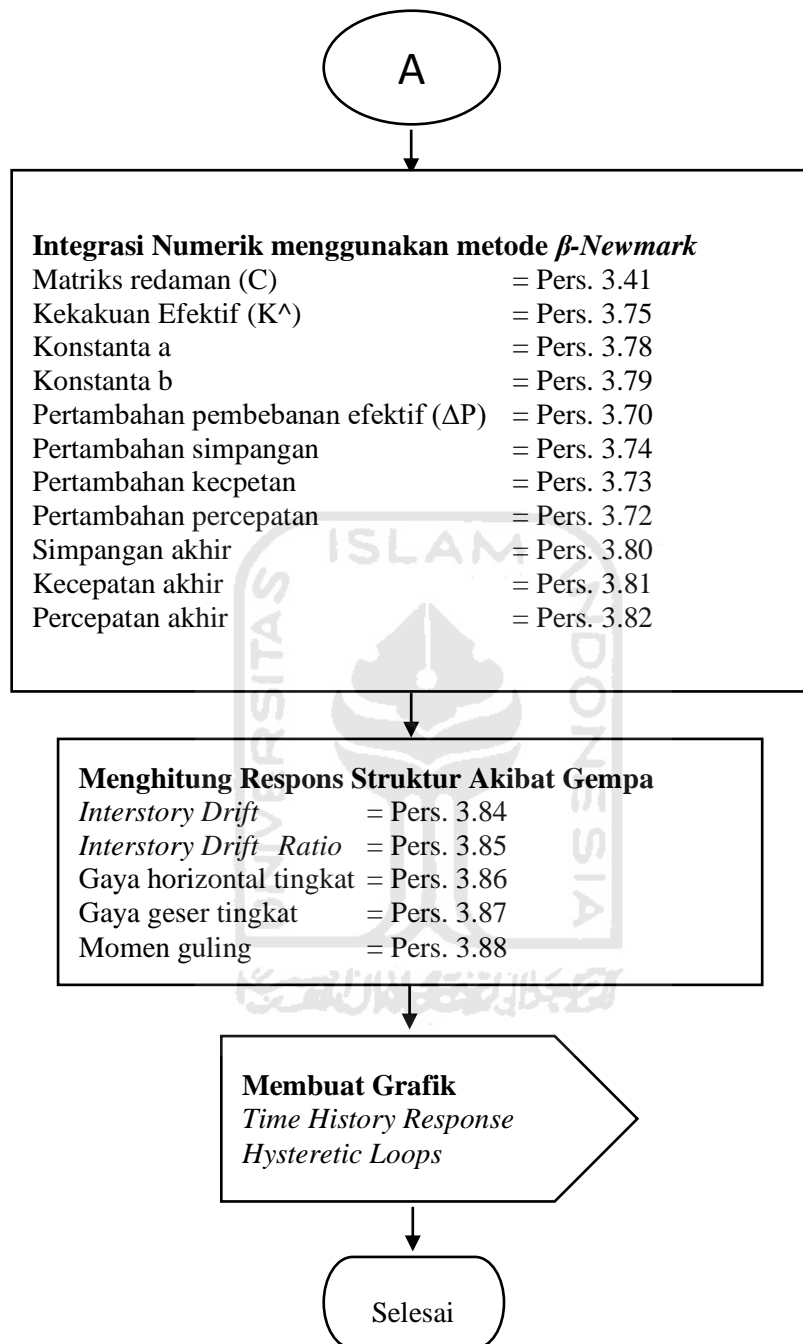
Diperlukan prosedur penelitian yang terencana dan sistematis agar hasil dan analisis data berjalan baik serta sesuai yang ditujukan. Langkah-langkah prosedur analisis sebagai berikut:

1. Menentukan data struktur,
 - a. Ukuran dimensi kolom ($b_c \times h_c$)
 - b. Ukuran dimensi balok ($b_b \times h_b$)
 - c. Tinggi tingkat (h)
2. Menentukan serta mendesain jenis dan dimensi isolasi dasar
3. Menghitung massa sebagai prinsip *lumped mass* sesuai persamaan 3.34
4. Menghitung nilai kekakuan *base isolation* sesuai persamaan 3.35
5. Menghitung nilai kekakuan struktur dengan teori Muto (1975) sesuai persamaan 3.36
6. Menghitung nilai redaman struktur sesuai persamaan 3.41
7. Menyusun dan menghitung matriks massa $[M]$, matriks kekakuan $[K]$, dan matriks redaman $[C]$
8. Menghitung nilai karakteristik (*eigen problem*)
9. Menghitung *mode shape* (ϕ) sesuai persamaan 3.45 s/d persamaan 3.59
10. Menghitung frekuensi sudut (ω) sesuai persamaan 3.60
11. Menghitung partisipasi setiap mode (Γ) sesuai persamaan 3.62

12. Menghitung kecepatan, percepatan, dan simpangan sesuai persamaan 3.80 s/d persamaan 3.82
13. Menghitung simpangan antar tingkat (*interstory drift*) sesuai persamaan 3.84
14. Menghitung rasio simpangan antar tingkat (*interstory drift ratio*) sesuai persamaan 3.85
15. Menghitung gaya horizontal tingkat sesuai persamaan 3.96
16. Menghitung gaya geser tingkat sesuai persamaan 3.87
17. Menghitung momen guling (*overturning moment*) sesuai persamaan 3.88
18. Menghitung gaya pemulihan yang dialami *base isolation* tiap-tiap step sesuai algoritma pada persamaan
19. Sampai step atau langkah pertama selesai kemudian dilanjutkan atau repitisi dengan step kedua hingga seterusnya sesuai dengan jumlah waktu riwayat gempa
20. Pembahasan dan Kesimpulan



4.3.1 *Flow chart* Analisis Respons Struktur dan Respons Inelastik Isolasi Dasar



Gambar 4.7 Flow chart Analisis Respons Struktur dan Respons Inelastik Struktur

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

Program ProgSIP 2017 merupakan program yang dibuat dengan bahasa pemrograman *Microsoft Visual Studio 2010* dengan mengaplikasikan tahapan-tahapan perhitungan serta algoritma sesuai dalam landasan teori. Program ini merupakan modifikasi ProgSIP 2006 dari penelitian Tugas Akhir terdahulu, dikhususkan untuk menganalisis dinamik respon non linear elastis dan inelastis *base isolation*.

Input dari program ProgSIP 2017 terdiri dari tipe, dimensi elemen-elemen struktur, beban dan mutu struktur, parameter *base isolation* dan data percepatan tanah berupa data gempa, skala gempa serta *damping ratio*. Sedangkan *output* atau hasil analisis yang didapatkan dari program berupa respon-respon dinamik struktur bangunan beton yaitu simpangan, simpangan antar tingkat (*Interstory Drift*), gaya horizontal tingkat (F), gaya geser tingkat (V), momen guling (M) dan respon dari *base isolation* dengan pemodelan *bilinear hysteretic loops*. Variasi lain yang akan ditinjau dimana struktur dibedakan menjadi dua jenis, struktur jepit (*fixed base building*) dan struktur dengan sistem isolasi dasar (*isolated building*).

5.2 Perhitungan Massa dan Kekakuan

Analisis digunakan pada salah satu model struktur beton 4 tingkat dengan isolasi dasar atau *base isolation* dan beban gempa El Centro 1940 yang dihitung secara manual menggunakan *Program Microsoft Excel 2010*.

5.3 Analisis Respons Struktur dengan dan Tanpa Isolasi Dasar Akibat Gempa

Analisis digunakan dengan mengaplikasikan salah satu jenis riwayat gempa dengan frekuensi menengah, El Centro 1940. Analisis dilakukan dengan cara mencari kekakuan isolasi dasar sesuai dengan jumlah tingkat bangunan. Analisis diatas divariasikan pula dengan variasi struktur yaitu 4, 10 dan 15 tingkat. Hasil

berupa respons-respons dinamik struktur antara bangunan dengan dan tanpa isolasi dasar. Isolator yang digunakan dalam analisis ini adalah *lead rubber bearings* (LRBs).

5.3.1 Simpangan

Respons seismik akibat beban gempa yang berupa nilai simpangan struktur bangunan maksimum hasil analisis program menggunakan ProgSIP 2017 dapat dilihat pada Tabel 5.1 sampai dengan Tabel 5.6, *output* ProgSIP 2017 untuk grafiknya dapat dilihat pada Gambar 5.1 sampai dengan Gambar 5.8.

Pada Tabel 5.1 untuk struktur tingkat 4 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa simpangan maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 1,1934 cm lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 4,2372 cm. Ratio terkecil terjadi pada tingkat atap sebesar 0,2816 atau reduksi simpangan struktur diperoleh 71,84 %, sedangkan pada Tabel 5.2 terlihat bahwa simpangan maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 3,7512 cm lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 14,4066 cm dan ratio terkecil terjadi pada tingkat atap sebesar 0,2604 atau reduksi simpangan struktur diperoleh 73,96 %.

Pada Tabel 5.3 untuk struktur tingkat 10 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa simpangan maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 3,2510 cm lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 10,2445 cm. Ratio terkecil terjadi pada tingkat 9 sebesar 0,3157 atau reduksi simpangan struktur diperoleh 68,42 %, sedangkan pada Tabel 5.4 terlihat bahwa simpangan maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 8,4102 cm lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 27,6601 cm dan ratio terkecil terjadi pada tingkat 9 sebesar 0,3025 atau reduksi simpangan struktur diperoleh 69,75 %.

Pada Tabel 5.5 untuk struktur tingkat 15 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa simpangan maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 4,8293 cm lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 14,1832 cm. Ratio terkecil terjadi pada tingkat 5 sebesar 0,2944 atau reduksi simpangan struktur diperoleh 70,56 %, sedangkan pada Tabel 5.6 terlihat bahwa simpangan maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 10,8409 cm lebih kecil dari

bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 32,6213 cm dan ratio terkecil terjadi pada tingkat 5 sebesar 0,2851 atau reduksi simpangan struktur diperoleh 71,49 %.

Dari struktur 4, 10 dan 15 tingkat terlihat dilihat bahwa pemasangan isolasi dasar dapat mengurangi simpangan dari struktur jepit. Reduksi simpangan atap struktur yang diperoleh berkisar antara 68,42 - 71,84 % untuk $< 0,5$ % *Interstory Drift Ratio* dan 69,75 - 73,96 % untuk $> 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*.

Tabel 5.1 Perbandingan Simpangan Maksimum Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa El Centro 1940 $< 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*

Tingkat	Simpangan (cm)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
4	4.2372	1.1934	0.2816
3	3.5310	1.1240	0.3183
2	2.3954	0.9227	0.3852
1	0.5601	0.5505	0.9829

Tabel 5.2 Perbandingan Simpangan Maksimum Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa El Centro 1940 $> 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*

Tingkat	Simpangan (cm)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
4	14.4066	3.7512	0.2604
3	12.0053	3.5261	0.2937
2	8.1442	2.8963	0.3556
1	1.9042	1.7367	0.9120

Tabel 5.3 Perbandingan Simpangan Maksimum Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa El Centro 1940 $< 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*

Tingkat	Simpangan (cm)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
10	10.2445	3.2510	0.3173
9	10.0703	3.1795	0.3157
8	9.6470	3.0294	0.3140
7	8.9742	2.8359	0.3160
6	8.0761	2.6068	0.3228
5	6.9645	2.3367	0.3355
4	5.6579	2.0104	0.3553
3	4.1788	1.6159	0.3867
2	2.5077	1.1443	0.4563
1	0.6917	0.6012	0.8692

Tabel 5.4 Perbandingan Simpangan Maksimum Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa El Centro 1940 > 0,5 % *Interstory Drift Ratio*

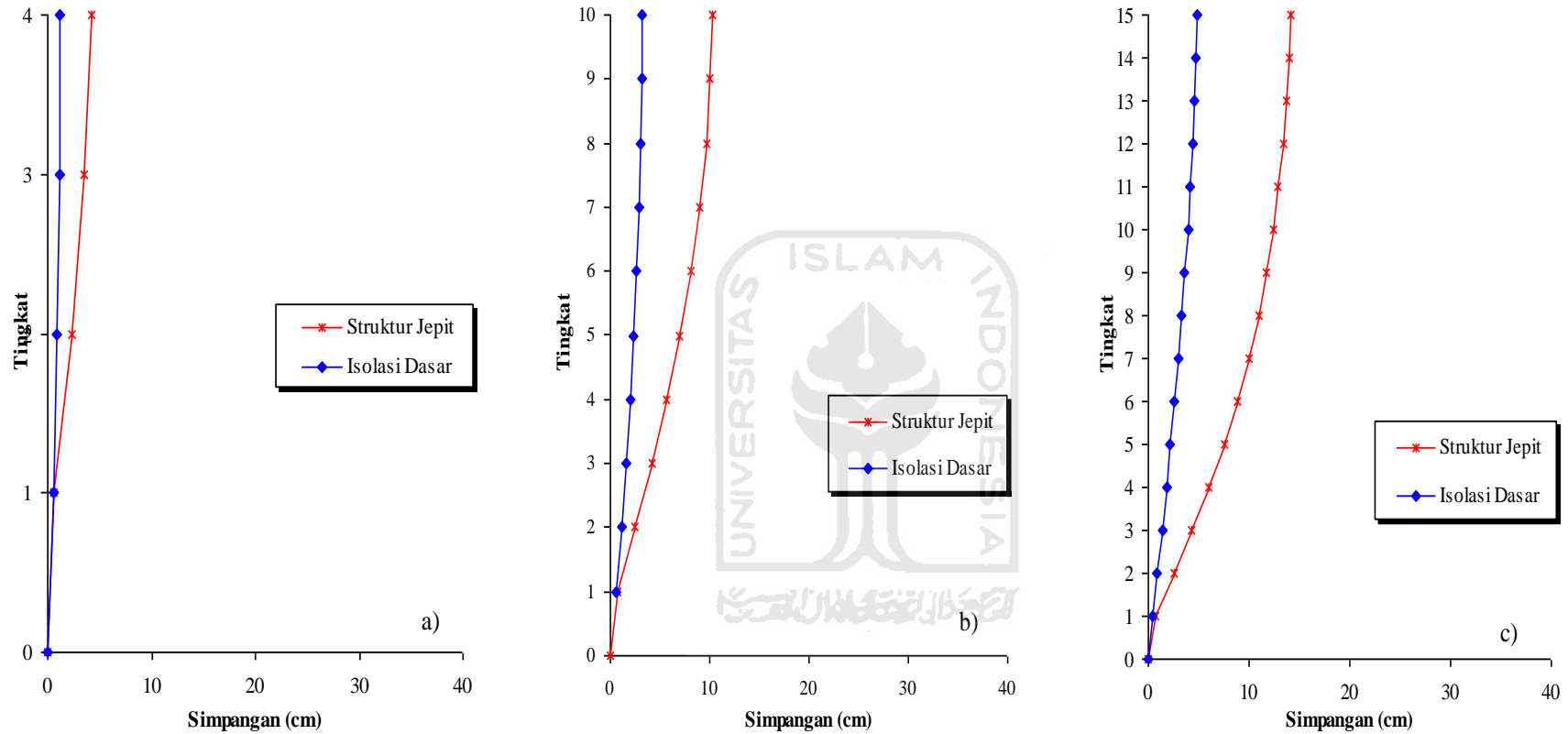
Tingkat	Simpangan (cm)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
10	27.6601	8.4102	0.3041
9	27.1898	8.2240	0.3025
8	26.0470	7.8401	0.3010
7	24.2302	7.3318	0.3026
6	21.8054	6.7306	0.3087
5	18.8042	6.0200	0.3201
4	15.2762	5.1665	0.3382
3	11.2828	4.1424	0.3671
2	6.7707	2.9252	0.4320
1	1.8676	1.5331	0.8209

Tabel 5.5 Perbandingan Simpangan Maksimum Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa El Centro 1940 < 0,5 % *Interstory Drift Ratio*

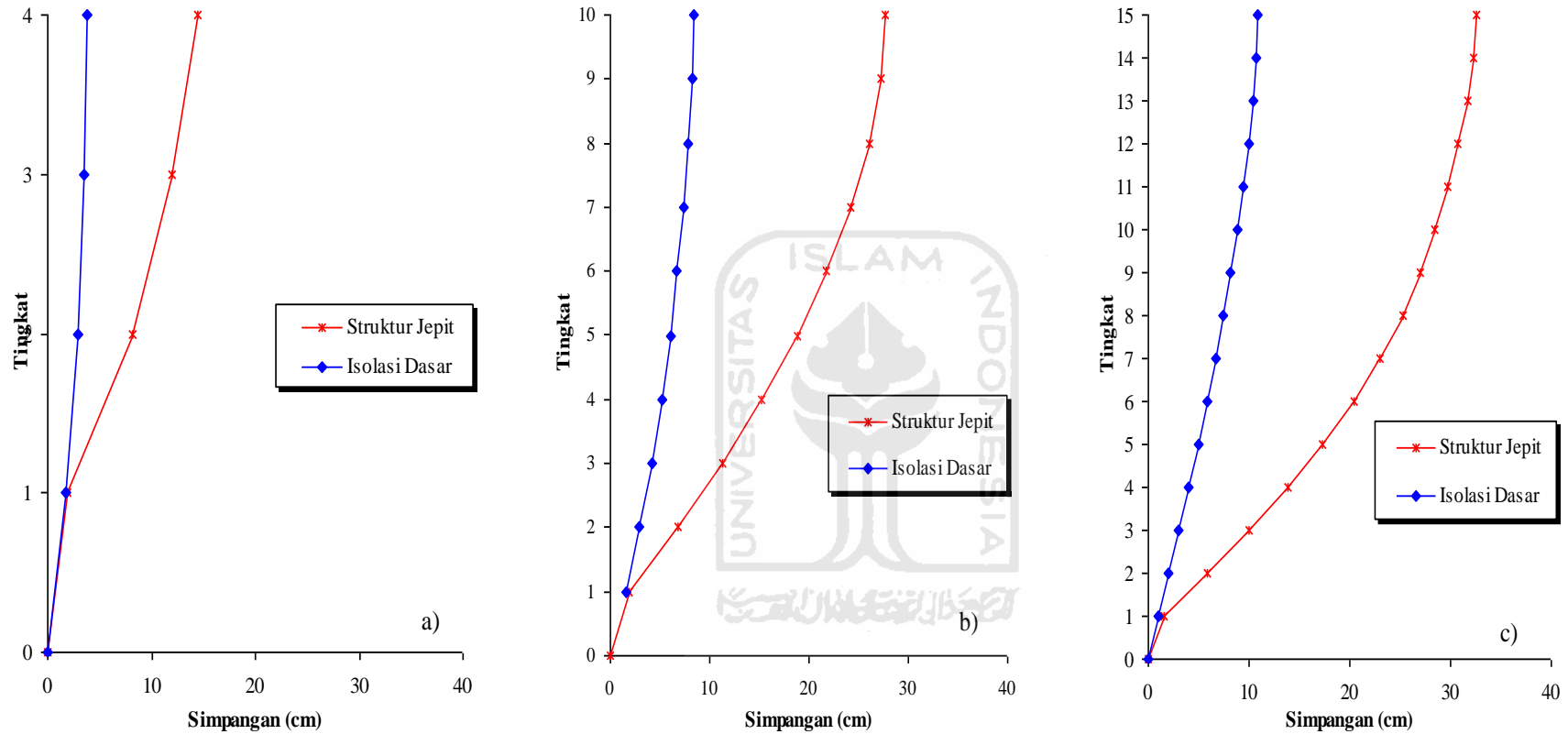
Tingkat	Simpangan (cm)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
15	14.1832	4.8293	0.3405
14	14.0517	4.7704	0.3395
13	13.7625	4.6392	0.3371
12	13.3589	4.4440	0.3327
11	12.8976	4.2046	0.3260
10	12.3812	3.9343	0.3178
9	11.7528	3.6393	0.3097
8	10.9682	3.3202	0.3027
7	10.0059	2.9763	0.2975
6	8.8564	2.6086	0.2945
5	7.5193	2.2135	0.2944
4	6.0018	1.7953	0.2991
3	4.3337	1.3575	0.3132
2	2.5542	0.9076	0.3553
1	0.6984	0.4528	0.6484

Tabel 5.6 Perbandingan Simpangan Maksimum Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa El Centro 1940 > 0,5 % *Interstory Drift Ratio*

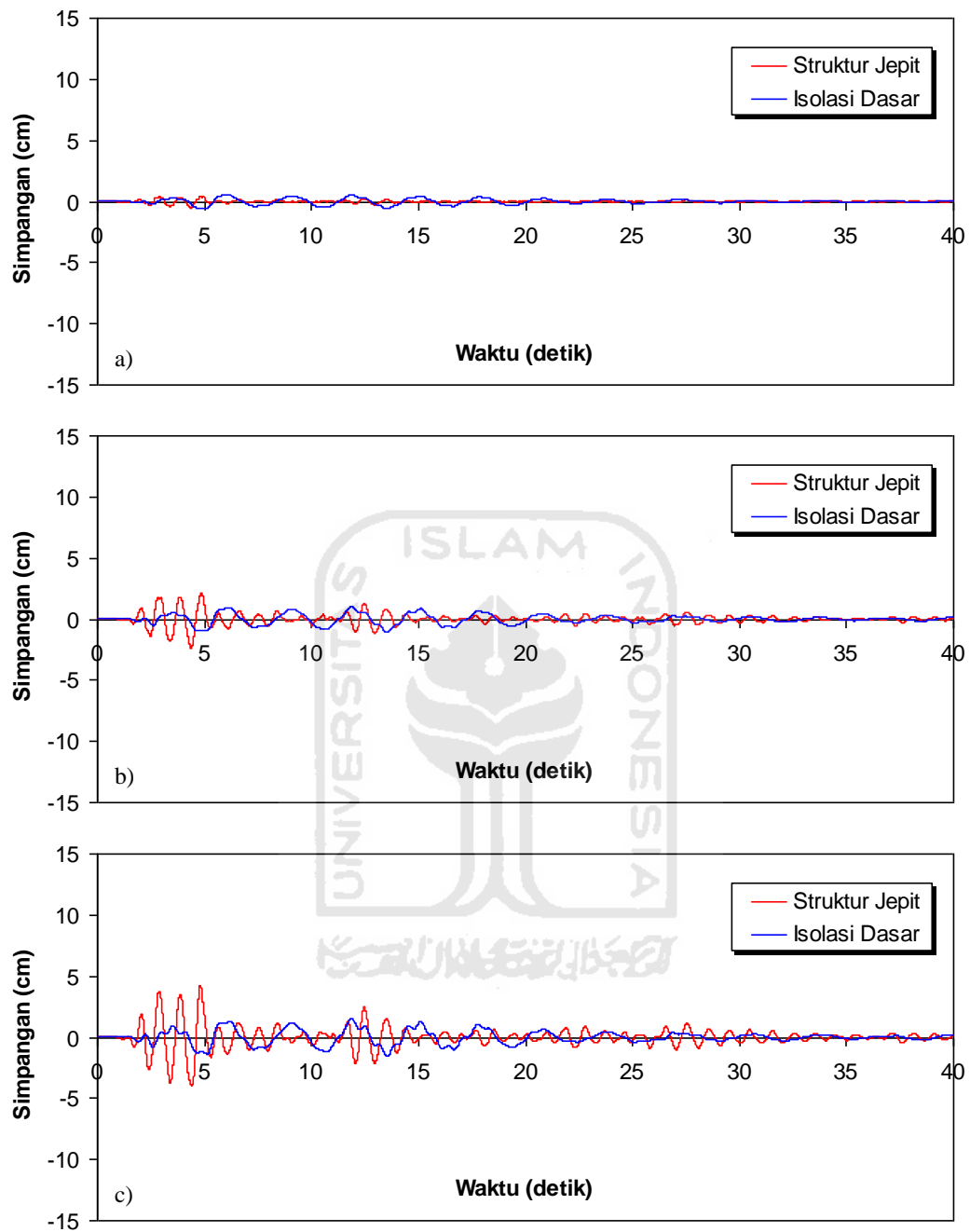
Tingkat	Simpangan (cm)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
15	32.6213	10.8409	0.3323
14	32.3190	10.7129	0.3315
13	31.6538	10.4170	0.3291
12	30.7255	9.9805	0.3248
11	29.6646	9.4413	0.3183
10	28.4768	8.8302	0.3101
9	27.0314	8.1611	0.3019
8	25.2269	7.4371	0.2948
7	23.0135	6.6576	0.2893
6	20.3696	5.8203	0.2857
5	17.2944	4.9311	0.2851
4	13.8041	3.9881	0.2889
3	9.9676	3.0061	0.3016
2	5.8747	2.0039	0.3411
1	1.6063	0.9975	0.6210



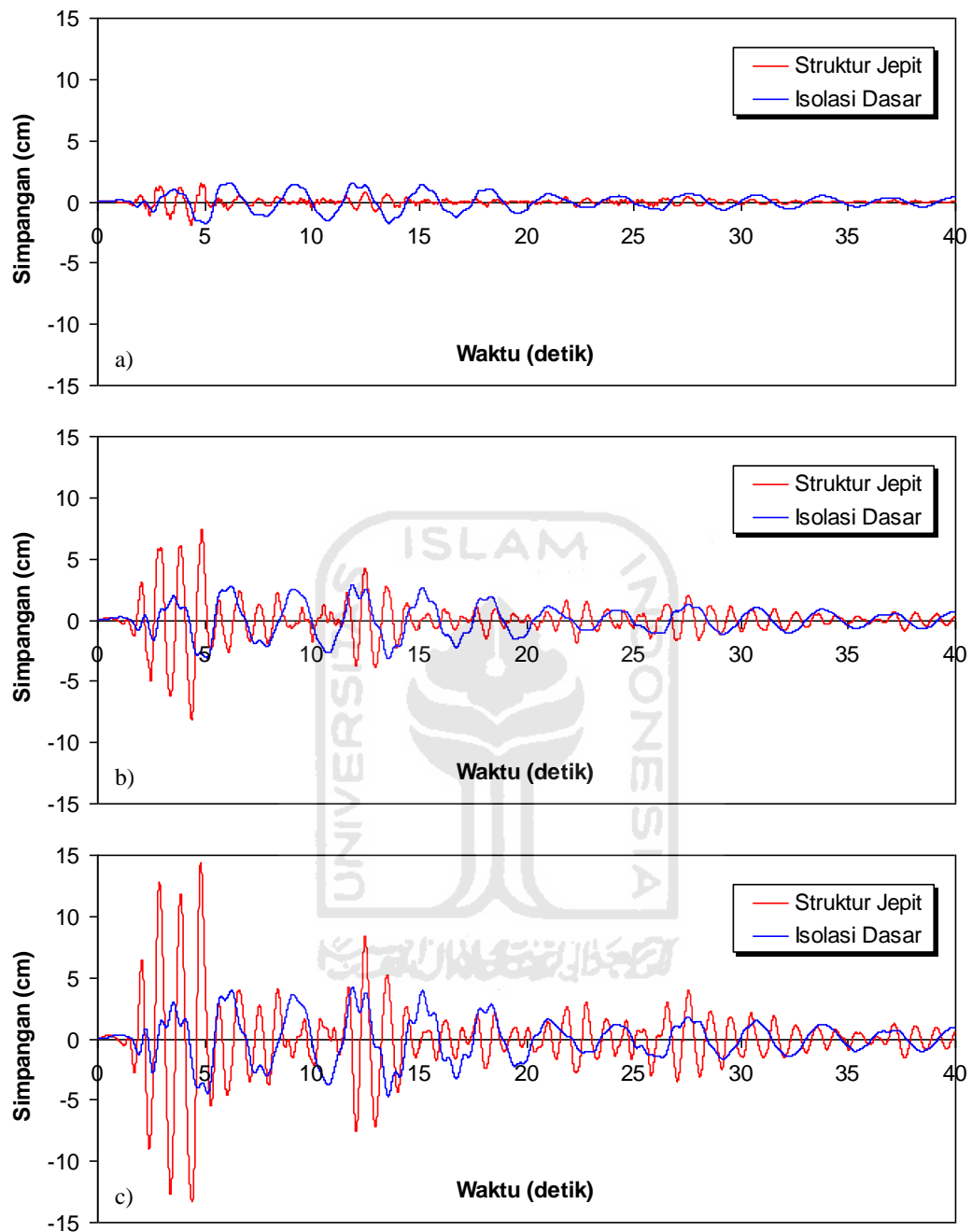
Gambar 5.1 Perbandingan Simpangan Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat < 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



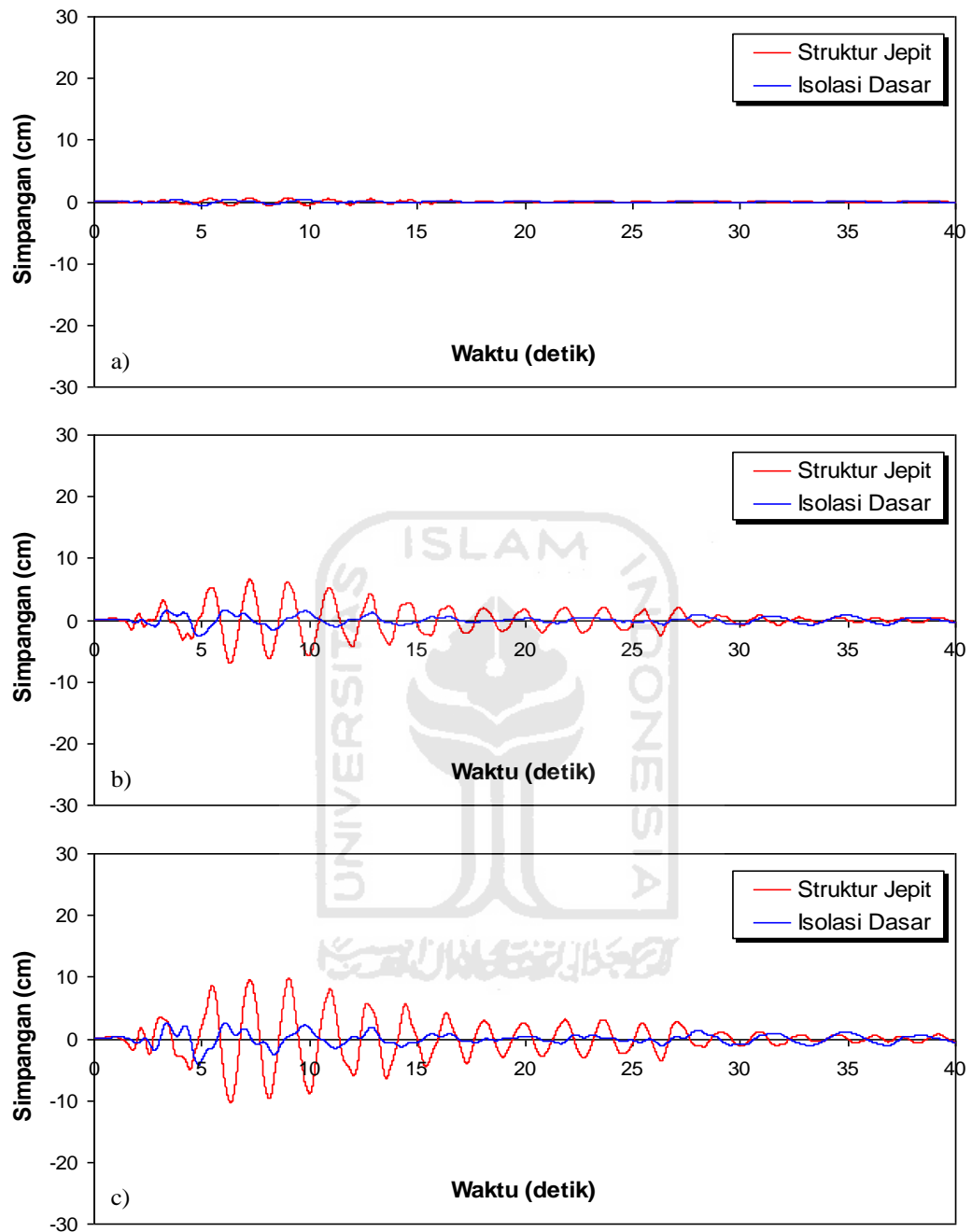
Gambar 5.2 Perbandingan Simpangan Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat > 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



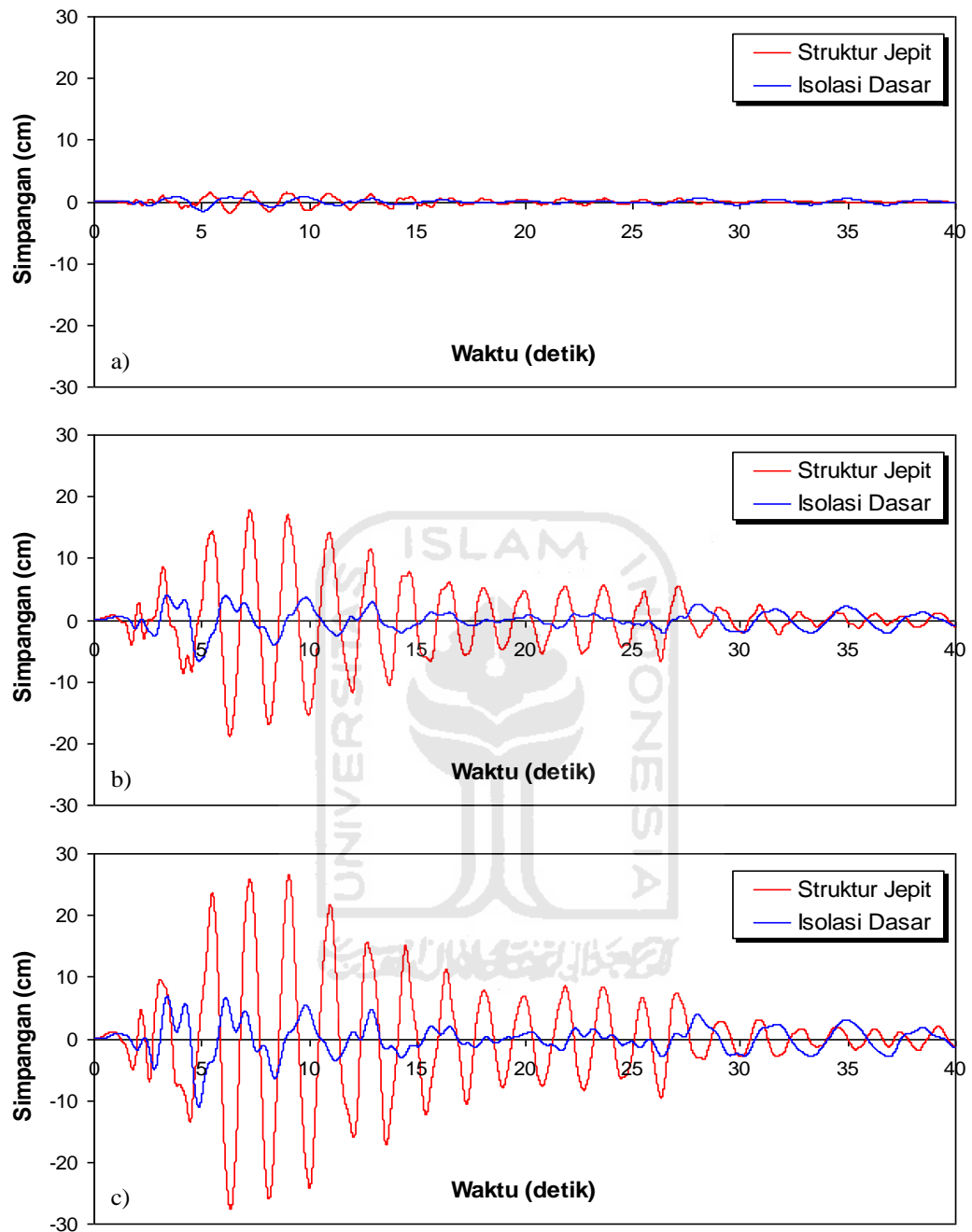
Gambar 5.3 Perbandingan Simpangan Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap < 0,5 % Interstory Drift Ratio



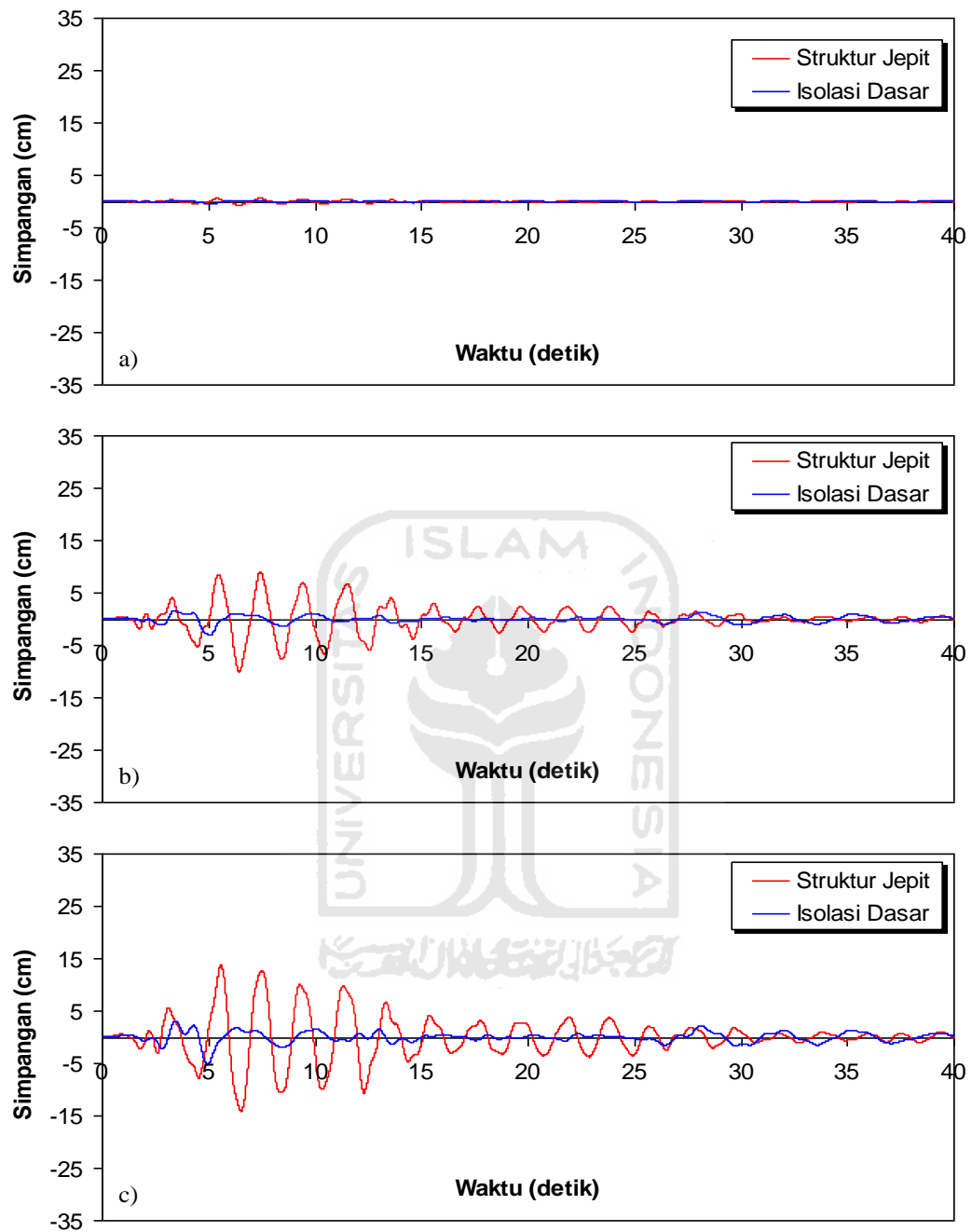
Gambar 5.4 Perbandingan Simpangan Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap > 0,5 % Interstory Drift Ratio



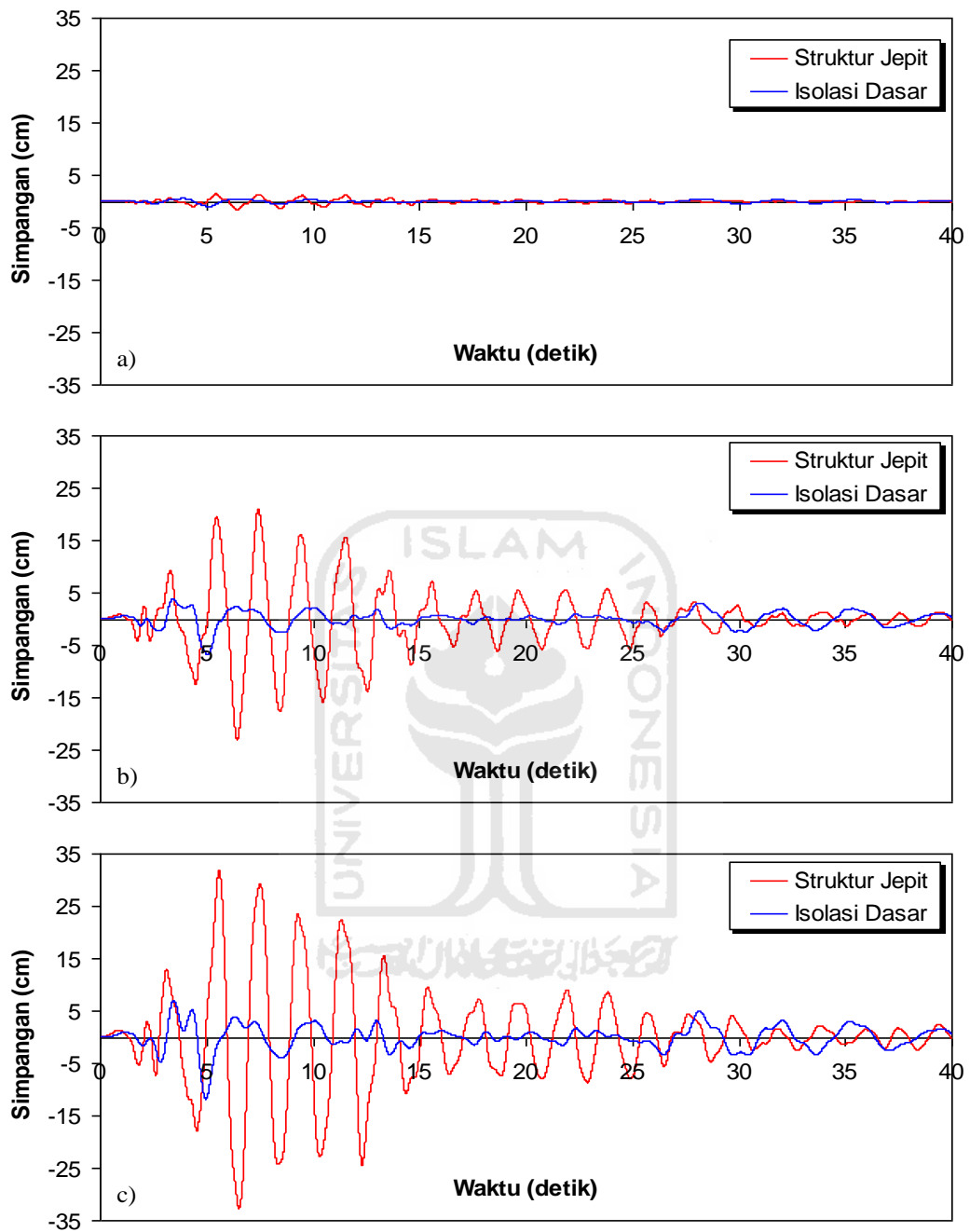
Gambar 5.5 Perbandingan Simpangan Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 5, c) Tingkat Atap < 0,5 % Interstory Drift Ratio



Gambar 5.6 Perbandingan Simpangan Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 5, c) Tingkat Atap > 0,5 % Interstory Drift Ratio



Gambar 5.7 Perbandingan Simpangan Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 7, c) Tingkat Atap < 0,5 % Interstory Drift Ratio



Gambar 5.8 Perbandingan Simpangan Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 7, c) Tingkat Atap > 0,5 % Interstory Drift Ratio

5.3.2 Simpangan antar Tingkat (*Interstory Drift*)

Respons seismik akibat beban gempa yang berupa nilai simpangan antar tingkat struktur bangunan maksimum hasil analisis program menggunakan ProgsIP 2017 dapat dilihat pada Tabel 5.7 sampai dengan Tabel 5.12 dan hasil perbandingan grafik dapat dilihat pada Gambar 5.9 sampai dengan Gambar 5.16.

Pada Tabel 5.7 untuk struktur tingkat 4 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa simpangan antar tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 0,5822 cm lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 1,8509 cm. Ratio terkecil terjadi pada tingkat atap sebesar 0,1904 atau reduksi simpangan antar tingkat struktur diperoleh 80,96 %, sedangkan pada Tabel 5.8 terlihat bahwa simpangan antar tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 1,7595 cm lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 6,2931 cm dan ratio terkecil terjadi pada tingkat atap sebesar 0,1645 atau reduksi simpangan antar tingkat struktur diperoleh 83,55 %.

Pada Tabel 5.9 untuk struktur tingkat 10 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa simpangan antar tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 0,6020 cm lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 1,8188 cm. Ratio terkecil terjadi pada tingkat 2 sebesar 0,3001 atau reduksi simpangan antar tingkat struktur diperoleh 69,99 %, sedangkan pada Tabel 5.10 terlihat bahwa simpangan antar tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 1,5391 cm lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 4,9107 cm dan ratio terkecil terjadi pada tingkat 2 sebesar 0,2869 atau reduksi simpangan antar tingkat struktur diperoleh 71,31 %.

Pada Tabel 5.11 untuk struktur tingkat 15 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa simpangan antar tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 0,4552 cm lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 1,8559 cm. Ratio terkecil terjadi pada tingkat 2 sebesar 0,2453 atau reduksi simpangan antar tingkat struktur diperoleh 75,47 %, sedangkan pada Tabel 5.12 terlihat bahwa simpangan antar tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 1,0095 cm lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu

4,2685 cm dan ratio terkecil terjadi pada tingkat 2 sebesar 0,2365 atau reduksi simpangan antar tingkat struktur diperoleh 76,35 %.

Dari struktur 4, 10 dan 15 tingkat terlihat memiliki respons yang sama dimana bangunan dengan isolasi dasar simpangan antar tingkat lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar. Reduksi simpangan antar tingkat struktur yang diperoleh berkisar antara 69,99 - 80,96 % untuk $< 0,5$ % *Interstory Drift Ratio* dan 71,31 – 83,55 % untuk $> 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*.

Tabel 5.7 Perbandingan *Interstory Drift* Maksimum Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa El Centro 1940 $< 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*

Tingkat	<i>Interstory Drift</i> (cm)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
4	0.8299	0.1580	0.1904
3	1.4908	0.3523	0.2363
2	1.8509	0.4933	0.2665
1	0.5601	0.5822	1.0396

Tabel 5.8 Perbandingan *Interstory Drift* Maksimum Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa El Centro 1940 $> 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*

Tingkat	<i>Interstory Drift</i> (cm)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
4	2.8216	0.4643	0.1645
3	5.0687	1.0380	0.2048
2	6.2931	1.4548	0.2312
1	1.9042	1.7595	0.9240

Tabel 5.9 Perbandingan *Interstory Drift* Maksimum Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa El Centro 1940 $< 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*

Tingkat	<i>Interstory Drift</i> (cm)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
10	0.2876	0.1061	0.3690
9	0.6097	0.2426	0.3979
8	0.8596	0.3563	0.4145
7	1.0413	0.4464	0.4287
6	1.1925	0.5108	0.4283
5	1.3294	0.5429	0.4084
4	1.5173	0.5404	0.3562
3	1.6712	0.5118	0.3063
2	1.8188	0.5459	0.3001
1	0.6917	0.6020	0.8703

Tabel 5.10 Perbandingan *Interstory Drift* Maksimum Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa El Centro 1940 > 0,5 % *Interstory Drift Ratio*

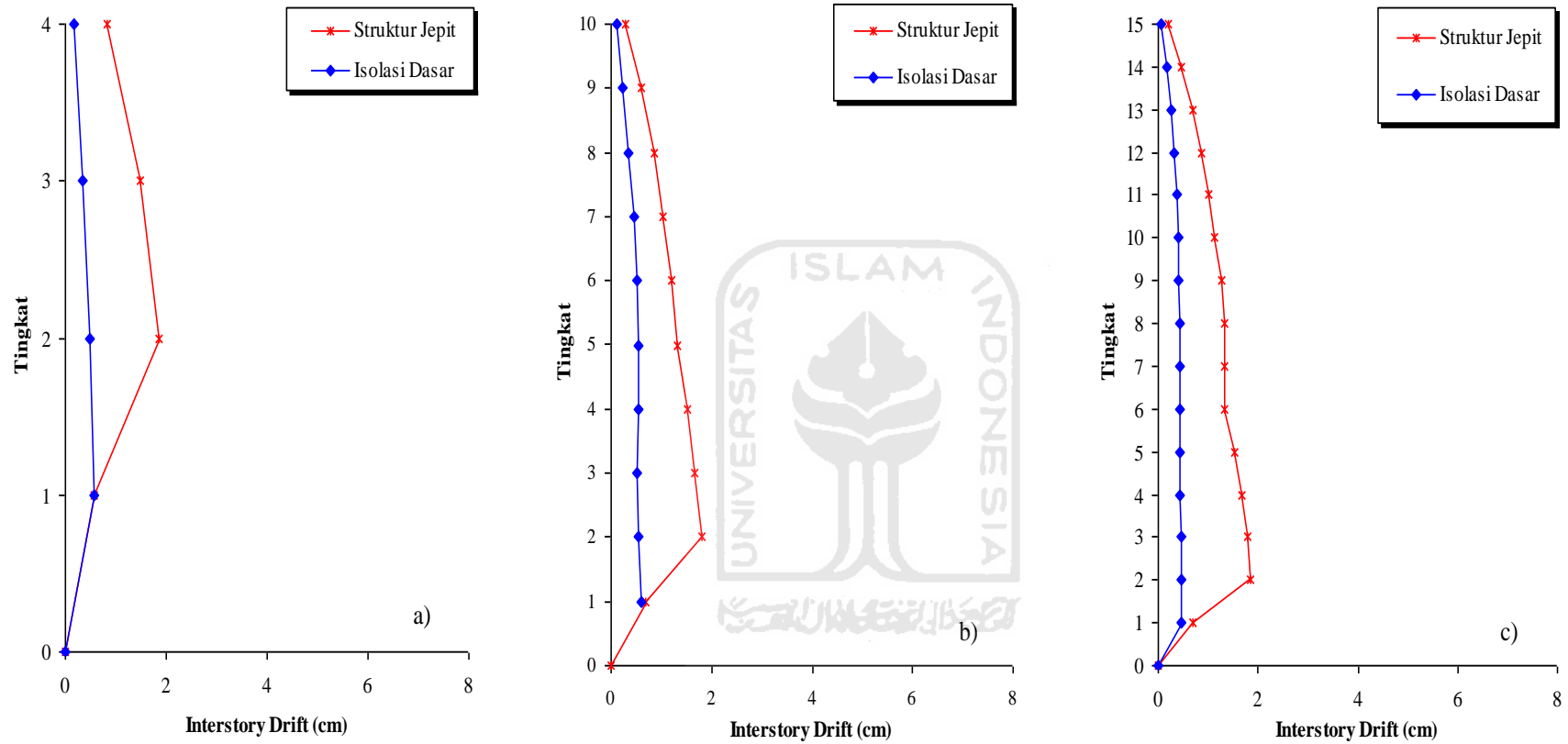
Tingkat	<i>Interstory Drift</i> (cm)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
10	0.7765	0.2851	0.3672
9	1.6463	0.6511	0.3955
8	2.3209	0.9541	0.4111
7	2.8115	1.1900	0.4233
6	3.2198	1.3533	0.4203
5	3.5894	1.4293	0.3982
4	4.0968	1.4155	0.3455
3	4.5121	1.3406	0.2971
2	4.9107	1.4088	0.2869
1	1.8676	1.5391	0.8241

Tabel 5.11 Perbandingan *Interstory Drift* Maksimum Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa El Centro 1940 < 0,5 % *Interstory Drift Ratio*

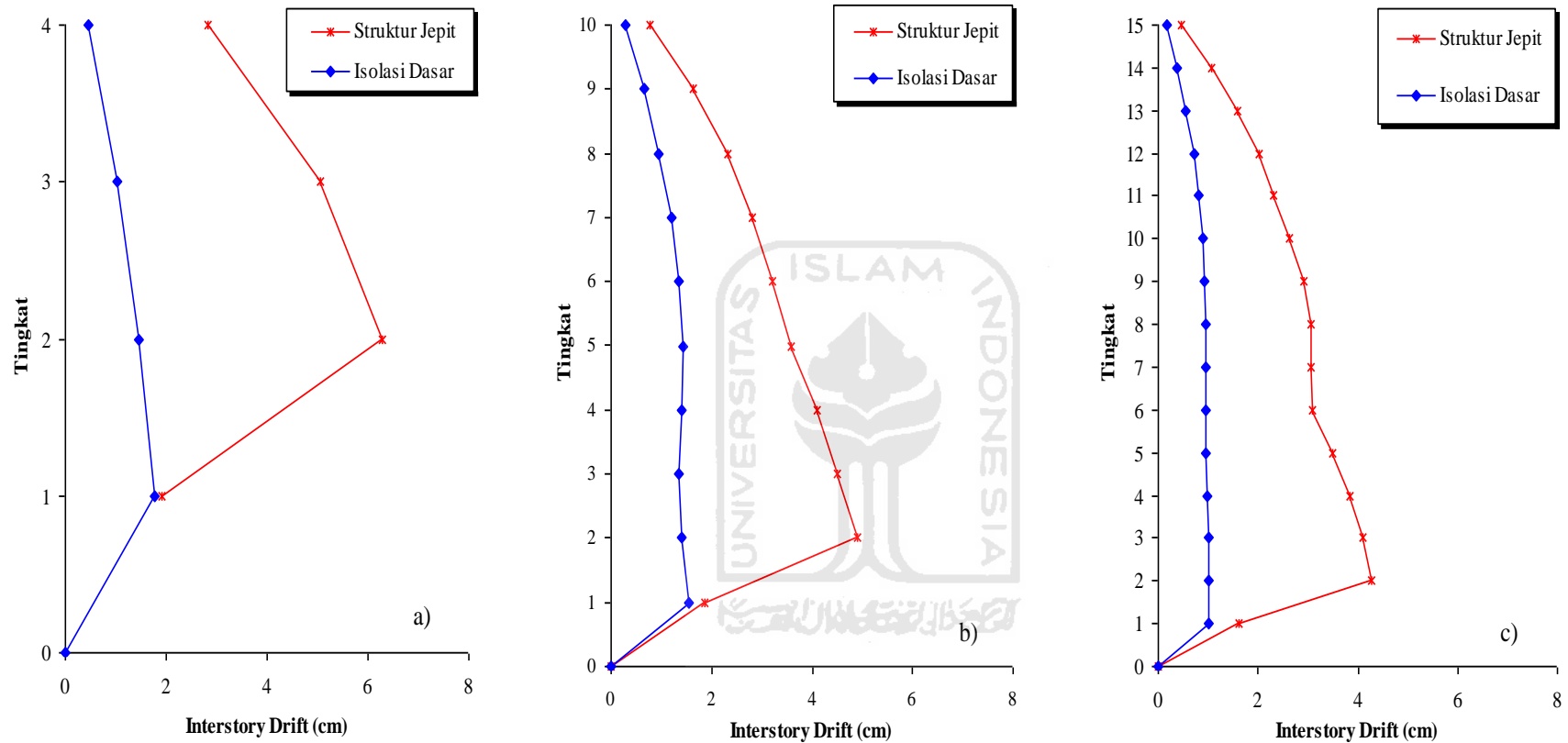
Tingkat	<i>Interstory Drift</i> (cm)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
15	0.1970	0.0710	0.3603
14	0.4604	0.1648	0.3580
13	0.6934	0.2469	0.3560
12	0.8801	0.3128	0.3555
11	1.0054	0.3620	0.3601
10	1.1402	0.3956	0.3469
9	1.2665	0.4161	0.3285
8	1.3287	0.4256	0.3203
7	1.3308	0.4252	0.3195
6	1.3397	0.4192	0.3129
5	1.5176	0.4215	0.2777
4	1.6717	0.4391	0.2626
3	1.7795	0.4508	0.2533
2	1.8559	0.4552	0.2453
1	0.6984	0.4531	0.6488

Tabel 5.12 Perbandingan *Interstory Drift* Maksimum Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa El Centro 1940 < 0,5 % *Interstory Drift Ratio*

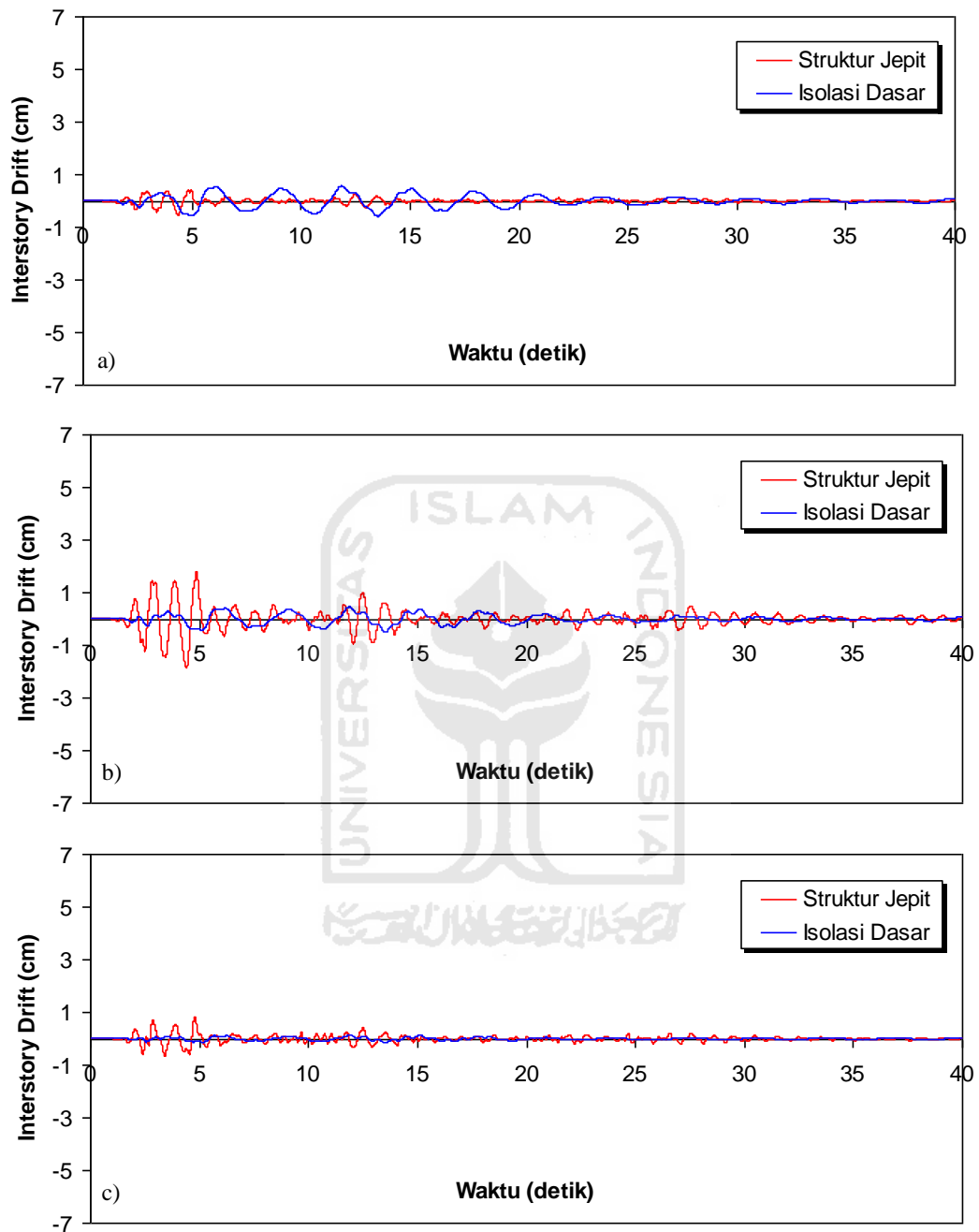
Tingkat	<i>Interstory Drift</i> (cm)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
15	0.4531	0.1618	0.3570
14	1.0588	0.3753	0.3545
13	1.5948	0.5616	0.3522
12	2.0241	0.7108	0.3512
11	2.3125	0.8211	0.3551
10	2.6225	0.8951	0.3413
9	2.9130	0.9386	0.3222
8	3.0559	0.9568	0.3131
7	3.0608	0.9540	0.3117
6	3.0813	0.9435	0.3062
5	3.4904	0.9514	0.2726
4	3.8450	0.9851	0.2562
3	4.0929	1.0055	0.2457
2	4.2685	1.0095	0.2365
1	1.6063	0.9993	0.6221



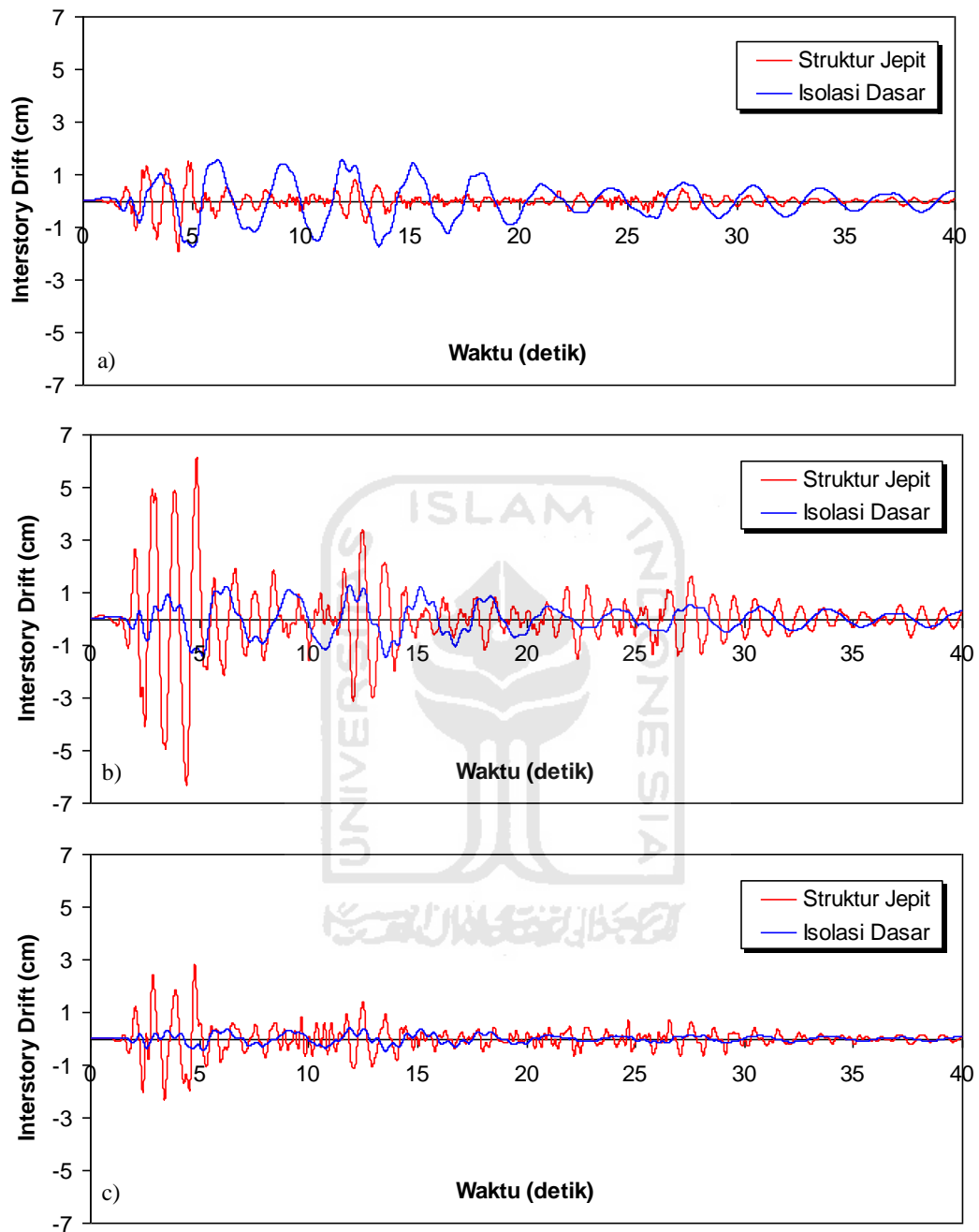
Gambar 5.9 Perbandingan *Interstory Drift* Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat < 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



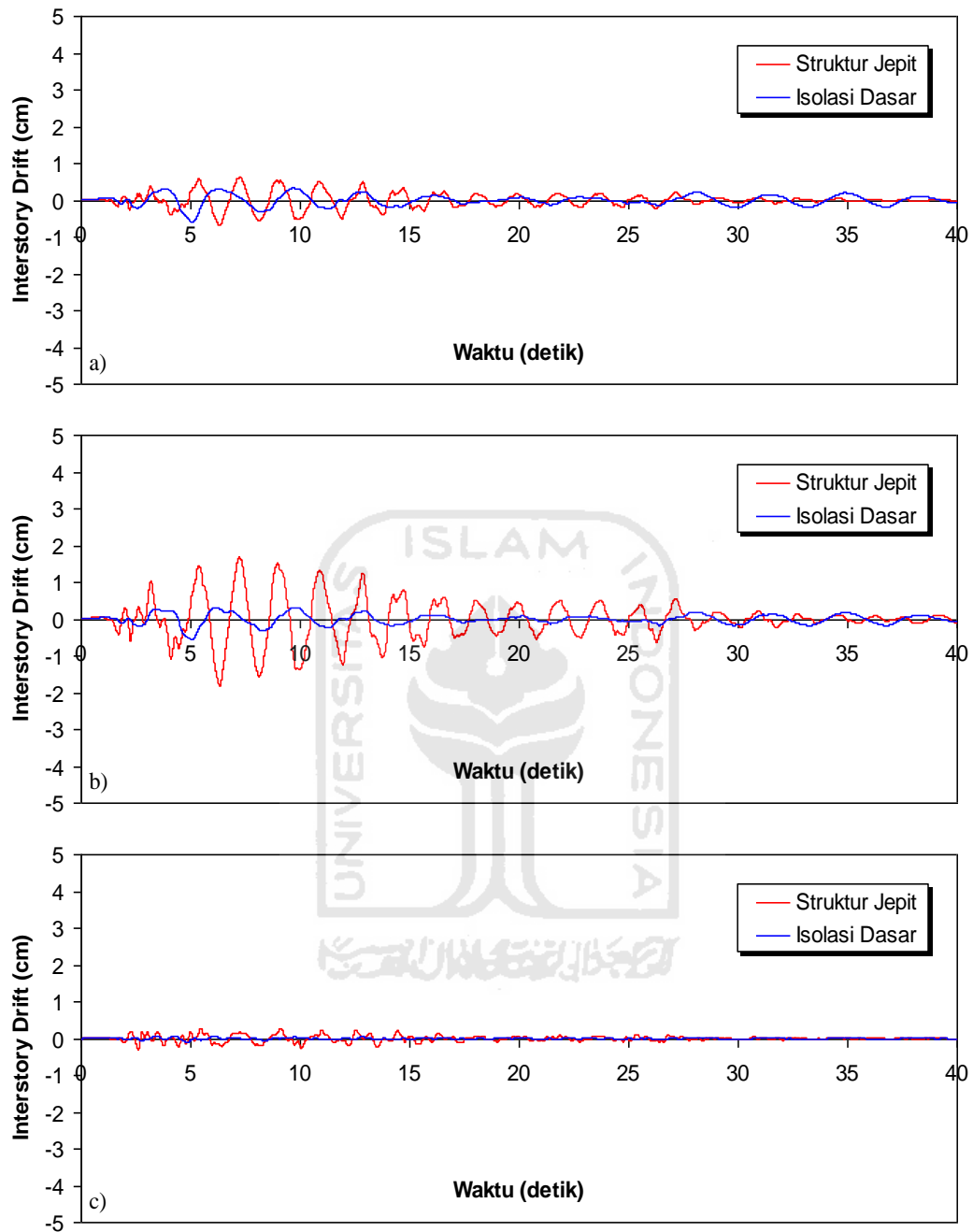
Gambar 5.10 Perbandingan *Interstory Drift* Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat > 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



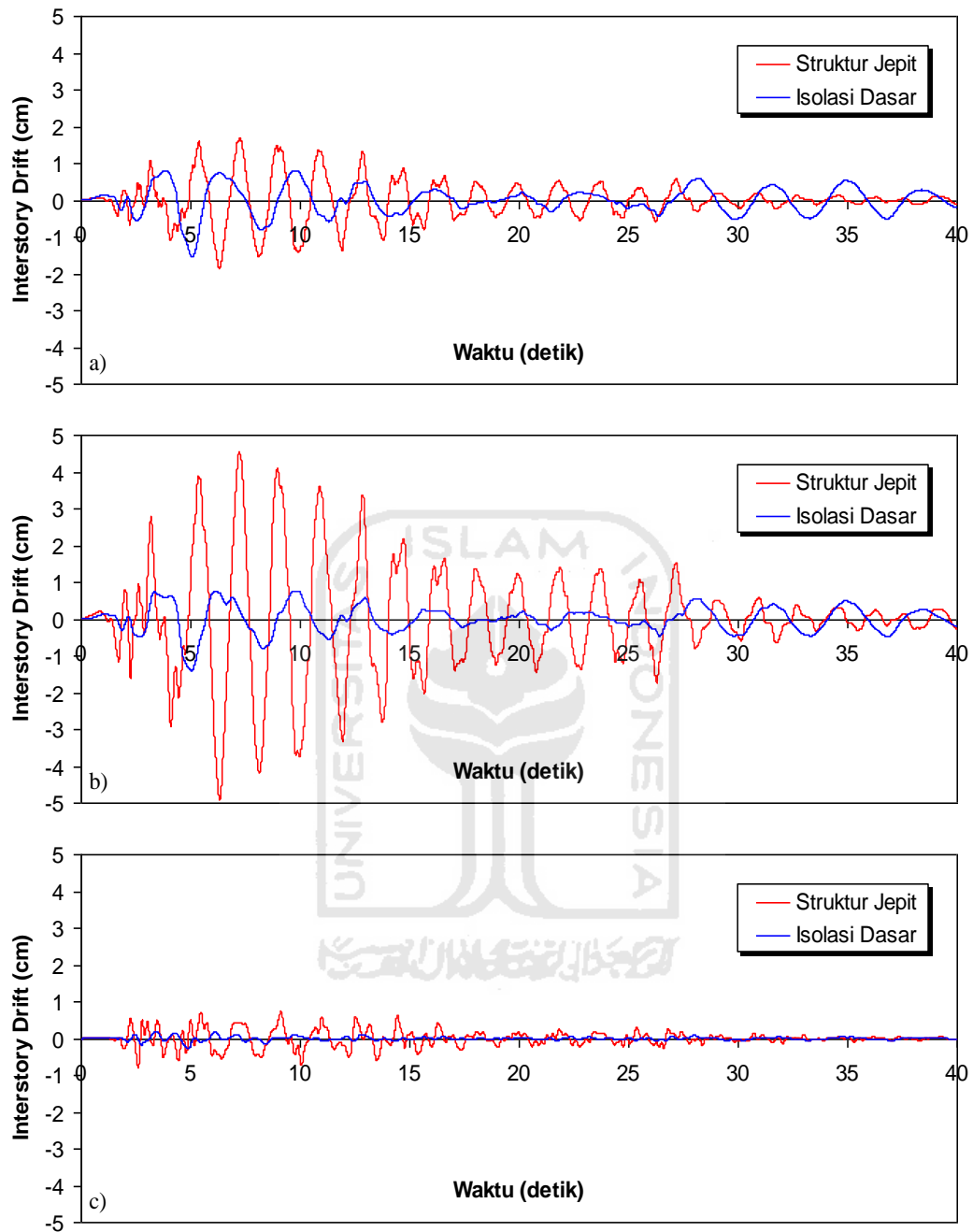
Gambar 5.11 Perbandingan *Interstory Drift* Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap < 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



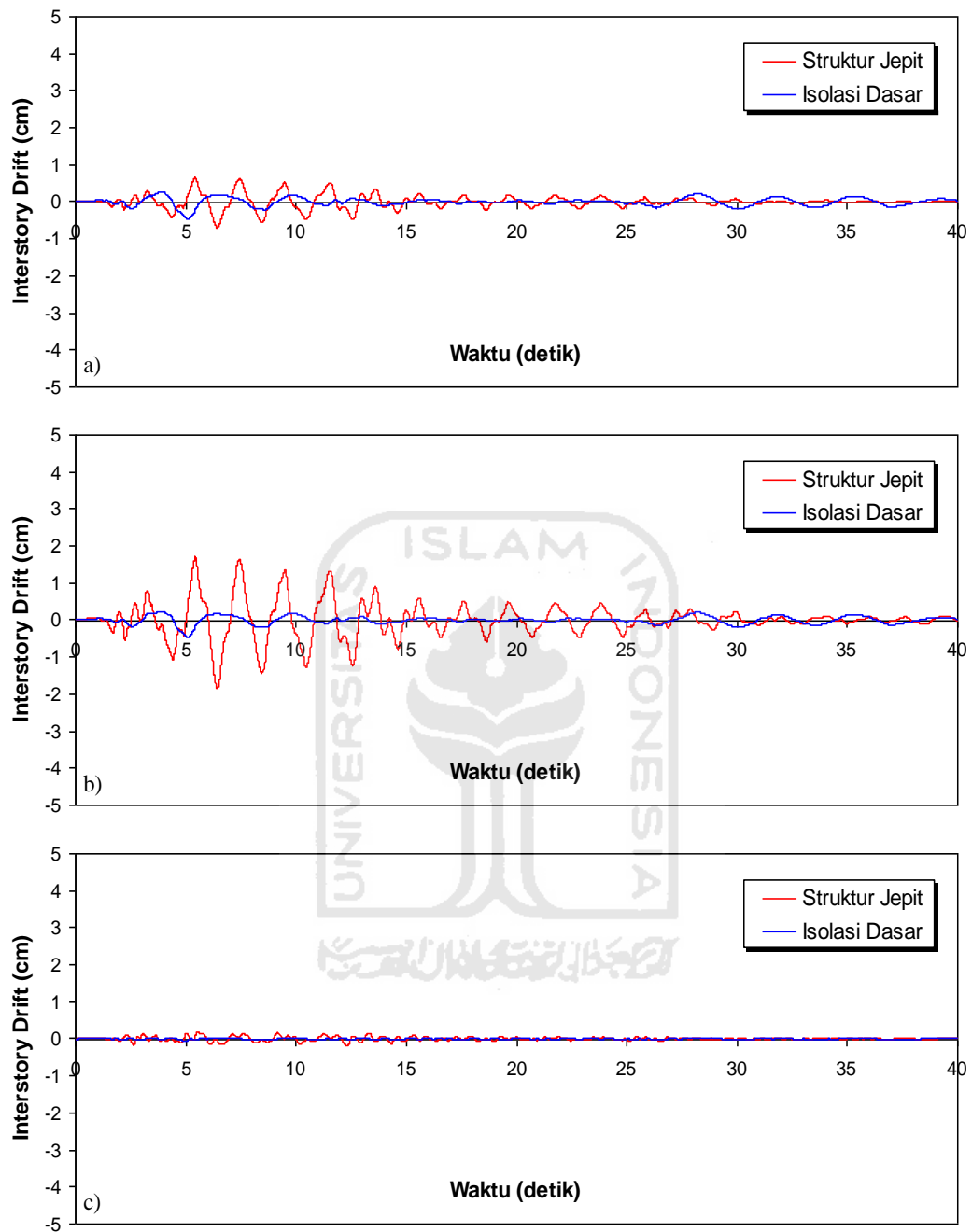
Gambar 5.12 Perbandingan *Interstory Drift* Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap > 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



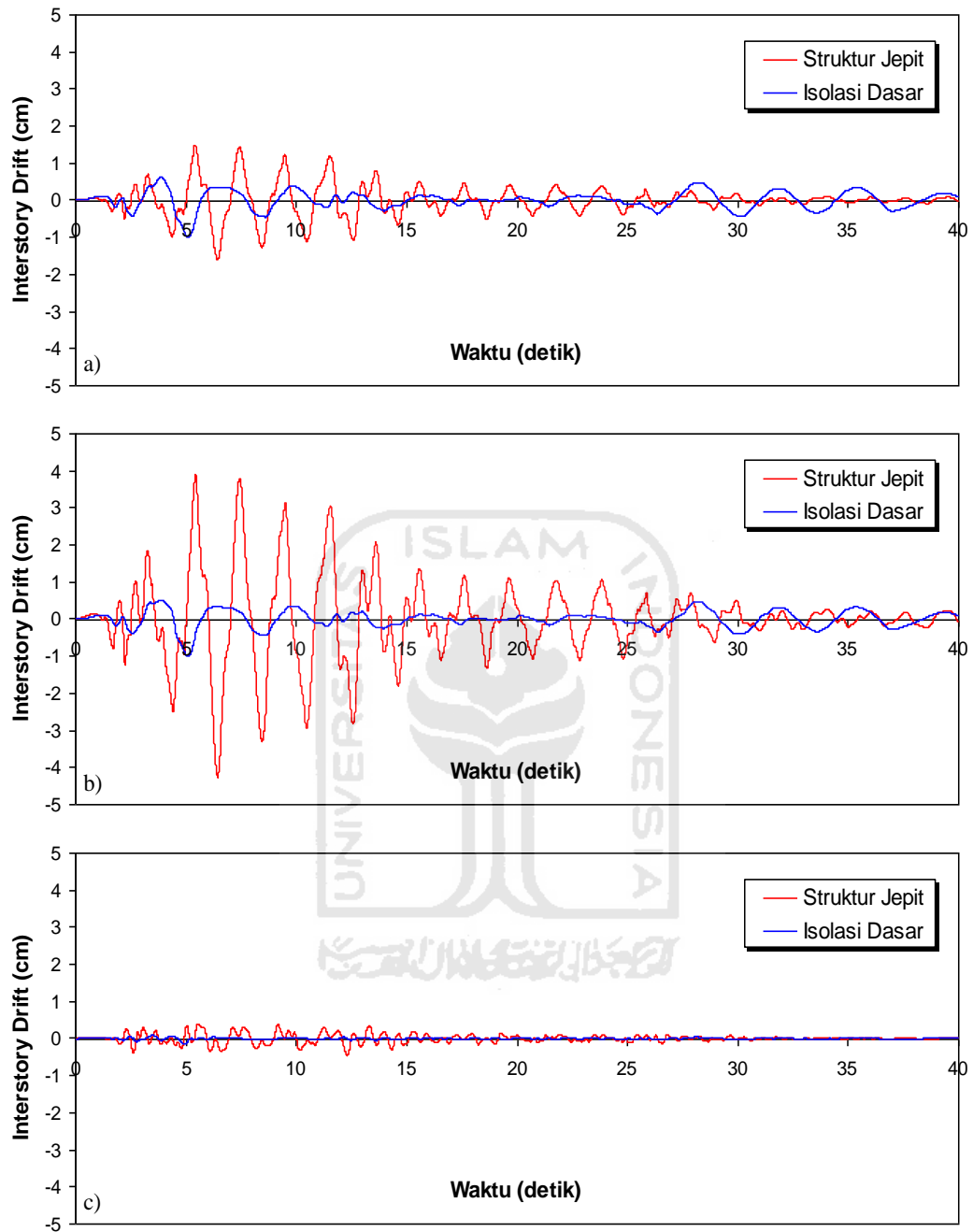
Gambar 5.13 Perbandingan *Interstory Drift* Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap <math>< 0,5\%</math> *Interstory Drift Ratio*



Gambar 5.14 Perbandingan *Interstory Drift* Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap > 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



Gambar 5.15 Perbandingan *Interstory Drift* Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap < 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



Gambar 5.16 Perbandingan *Interstory Drift* Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap > 0,5 % *Interstory Drift Ratio*

5.3.3 Rasio Simpangan antar Tingkat (*Interstory Drift Ratio*)

Respons seismik akibat beban gempa yang berupa nilai *interstory drift ratio* struktur bangunan maksimum hasil analisis program menggunakan ProgSIP 2017 dapat dilihat pada Tabel 5.13 sampai dengan Tabel 5.18 dan hasil grafik dapat dilihat pada Gambar 5.17 sampai dengan Gambar 5.24.

Pada Tabel 5.13 untuk struktur tingkat 4 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa *interstory drift ratio* maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 0,1553 % lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 0,4936 %. Ratio terkecil terjadi pada tingkat atap sebesar 0,1904 atau reduksi *interstory drift ratio* struktur diperoleh 80,96 %, sedangkan pada Tabel 5.14 terlihat bahwa *interstory drift ratio* maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 0,4692 % lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 1,6782 % dan ratio terkecil terjadi pada tingkat atap sebesar 0,1645 atau reduksi *interstory drift ratio* struktur diperoleh 83,55 %.

Pada Tabel 5.5 untuk struktur tingkat 10 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa *interstory drift ratio* maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 0,1605 % lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 0,4850 %. Ratio terkecil terjadi pada tingkat 2 sebesar 0,3001 atau reduksi *interstory drift ratio* struktur diperoleh 69,99 %, sedangkan pada Tabel 5.14 terlihat bahwa *interstory drift ratio* maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 0,4104 % lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 1,3095 % dan ratio terkecil terjadi pada tingkat 2 sebesar 0,2869 atau reduksi *interstory drift ratio* struktur diperoleh 71,31 %.

Pada Tabel 5.6 untuk struktur tingkat 15 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa *interstory drift ratio* maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 0,1214 % lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 0,4949 %. Ratio terkecil terjadi pada tingkat 2 sebesar 0,2453 atau reduksi *interstory drift ratio* struktur diperoleh 75,47 %, sedangkan pada

5.14 terlihat bahwa *interstory drift ratio* maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 0,2692 % lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 1,1383 % dan ratio terkecil terjadi pada tingkat 2 sebesar 0,2365 atau reduksi *interstory drift ratio* struktur diperoleh 76,35 %.

Dari struktur 4, 10 dan 15 tingkat terlihat memiliki respons yang sama dimana bangunan dengan isolasi dasar *interstory drift ratio* lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar. Reduksi *interstory drift ratio* struktur yang diperoleh berkisar antara 69,99 - 80,96 % untuk $< 0,5$ % *Interstory Drift Ratio* dan 71,31 – 83,55 % untuk $> 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*.

Tabel 5.13 Perbandingan *Interstory Drift Ratio* Maksimum Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa El Centro 1940 $< 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*

Tingkat	<i>Interstory Drift Ratio</i> (%)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
4	0.2213	0.0421	0.1904
3	0.3975	0.0940	0.2363
2	0.4936	0.1316	0.2665
1	0.1494	0.1553	1.0396

Tabel 5.14 Perbandingan *Interstory Drift Ratio* Maksimum Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa El Centro 1940 $> 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*

Tingkat	<i>Interstory Drift Ratio</i> (%)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
4	0.7524	0.1238	0.1645
3	1.3516	0.2768	0.2048
2	1.6782	0.3879	0.2312
1	0.5078	0.4692	0.9240

Tabel 5.15 Perbandingan *Interstory Drift Ratio* Maksimum Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa El Centro 1940 $< 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*

Tingkat	<i>Interstory Drift Ratio</i> (%)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
10	0.0767	0.0283	0.3690
9	0.1626	0.0647	0.3979
8	0.2292	0.0950	0.4145
7	0.2777	0.1190	0.4287
6	0.3180	0.1362	0.4283
5	0.3545	0.1448	0.4084
4	0.4046	0.1441	0.3562

3	0.4456	0.1365	0.3063
2	0.4850	0.1456	0.3001
1	0.1845	0.1605	0.8703

Tabel 5.16 Perbandingan *Interstory Drift Ratio* Maksimum Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa El Centro 1940 > 0,5 % *Interstory Drift Ratio*

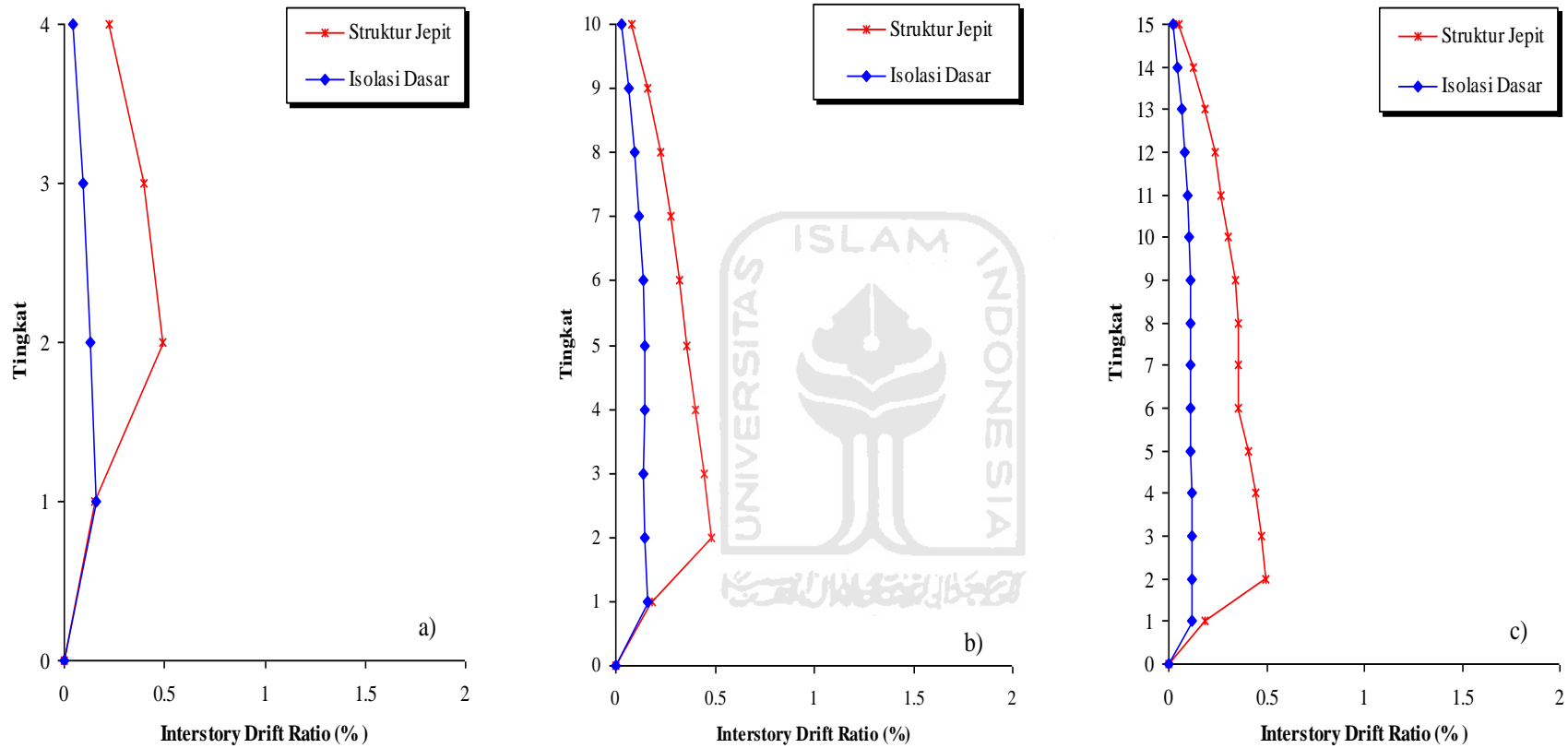
Tingkat	<i>Interstory Drift Ratio</i> (%)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
10	0.2071	0.0760	0.3672
9	0.4390	0.1736	0.3955
8	0.6189	0.2544	0.4111
7	0.7497	0.3173	0.4233
6	0.8586	0.3609	0.4203
5	0.9572	0.3811	0.3982
4	1.0925	0.3775	0.3455
3	1.2032	0.3575	0.2971
2	1.3095	0.3757	0.2869
1	0.4980	0.4104	0.8241

Tabel 5.17 Perbandingan *Interstory Drift Ratio* Maksimum Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa El Centro 1940 < 0,5 % *Interstory Drift Ratio*

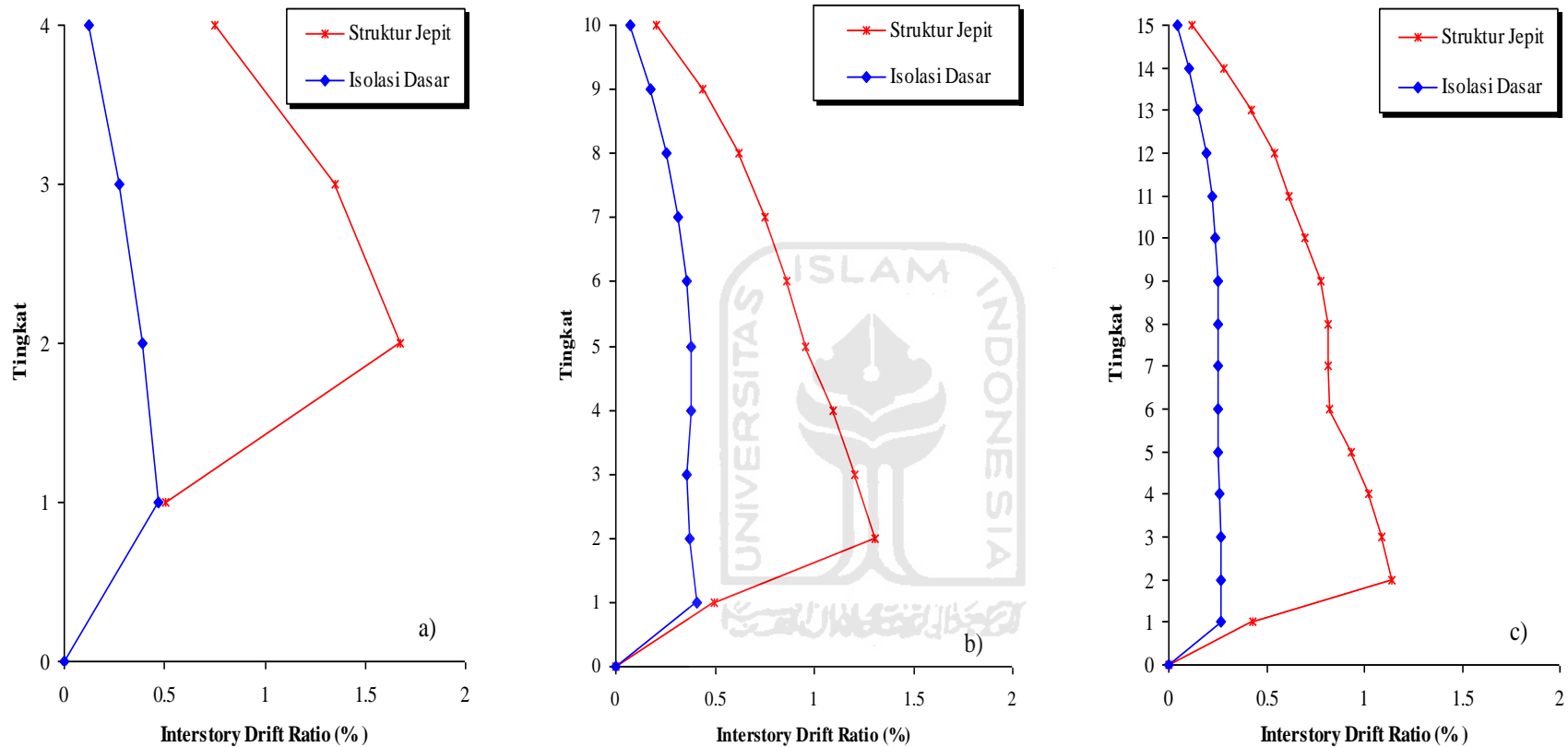
Tingkat	<i>Interstory Drift Ratio</i> (%)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
15	0.0525	0.0189	0.3603
14	0.1228	0.0439	0.3580
13	0.1849	0.0658	0.3560
12	0.2347	0.0834	0.3555
11	0.2681	0.0965	0.3601
10	0.3041	0.1055	0.3469
9	0.3377	0.1109	0.3285
8	0.3543	0.1135	0.3203
7	0.3549	0.1134	0.3195
6	0.3572	0.1118	0.3129
5	0.4047	0.1124	0.2777
4	0.4458	0.1171	0.2626
3	0.4745	0.1202	0.2533
2	0.4949	0.1214	0.2453
1	0.1862	0.1208	0.6488

Tabel 5.18 Perbandingan *Interstory Drift Ratio* Maksimum Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa El Centro 1940 > 0,5 % *Interstory Drift Ratio*

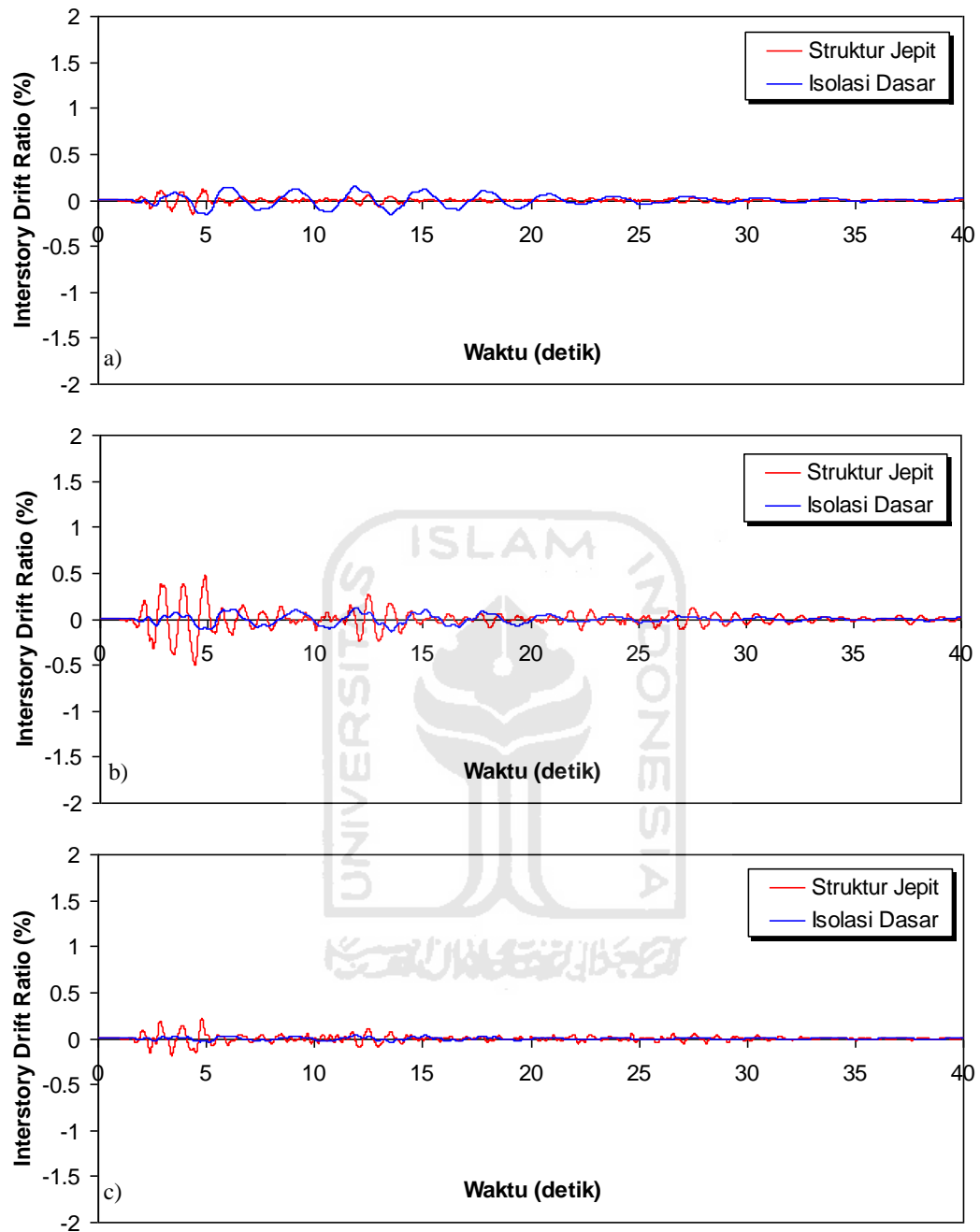
Tingkat	<i>Interstory Drift Ratio</i> (%)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
15	0.1208	0.0431	0.3570
14	0.2824	0.1001	0.3545
13	0.4253	0.1498	0.3522
12	0.5398	0.1896	0.3512
11	0.6167	0.2190	0.3551
10	0.6993	0.2387	0.3413
9	0.7768	0.2503	0.3222
8	0.8149	0.2552	0.3131
7	0.8162	0.2544	0.3117
6	0.8217	0.2516	0.3062
5	0.9308	0.2537	0.2726
4	1.0253	0.2627	0.2562
3	1.0914	0.2681	0.2457
2	1.1383	0.2692	0.2365
1	0.4284	0.2665	0.6221



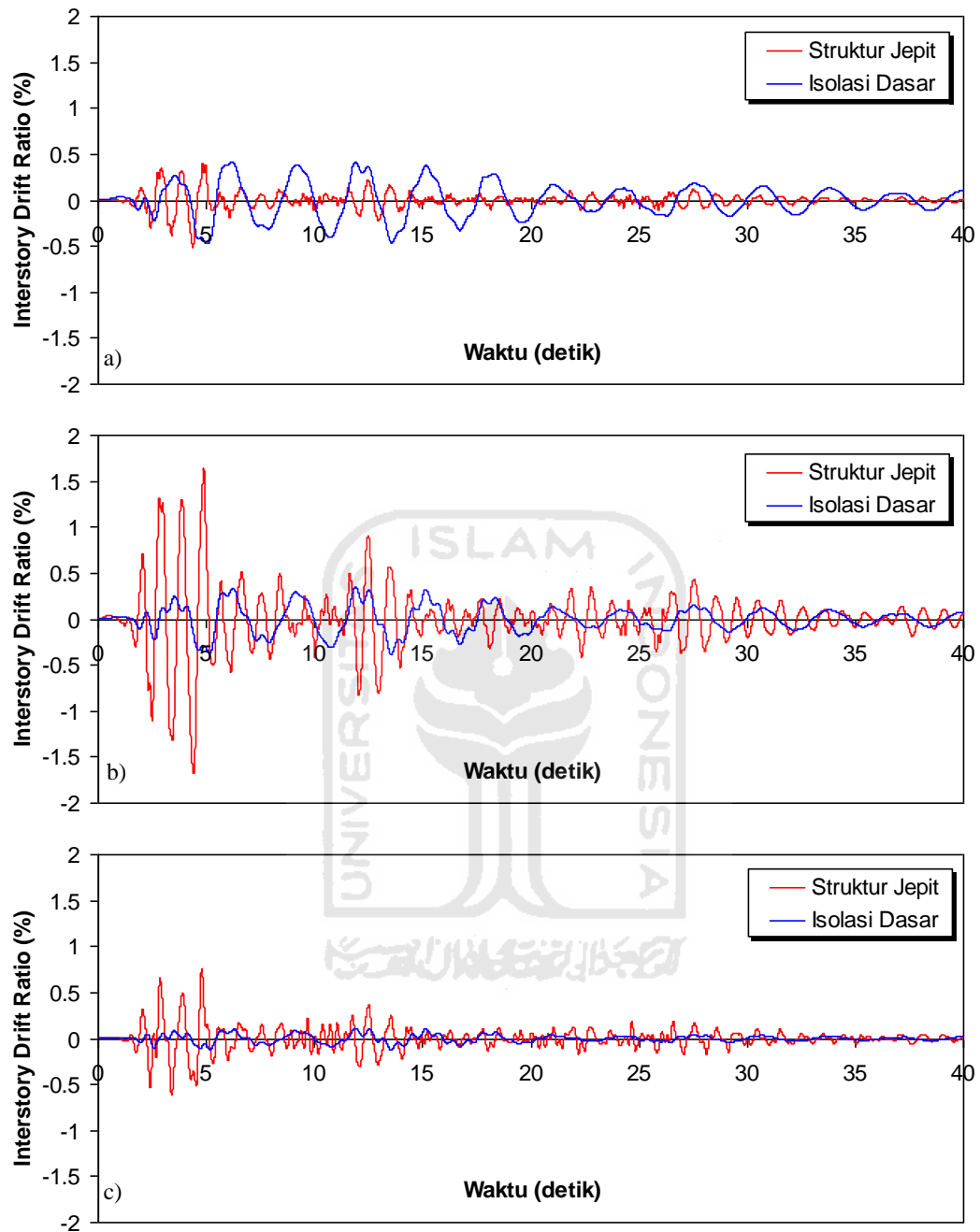
Gambar 5.17 Perbandingan *Interstory Drift Ratio* Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat < 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



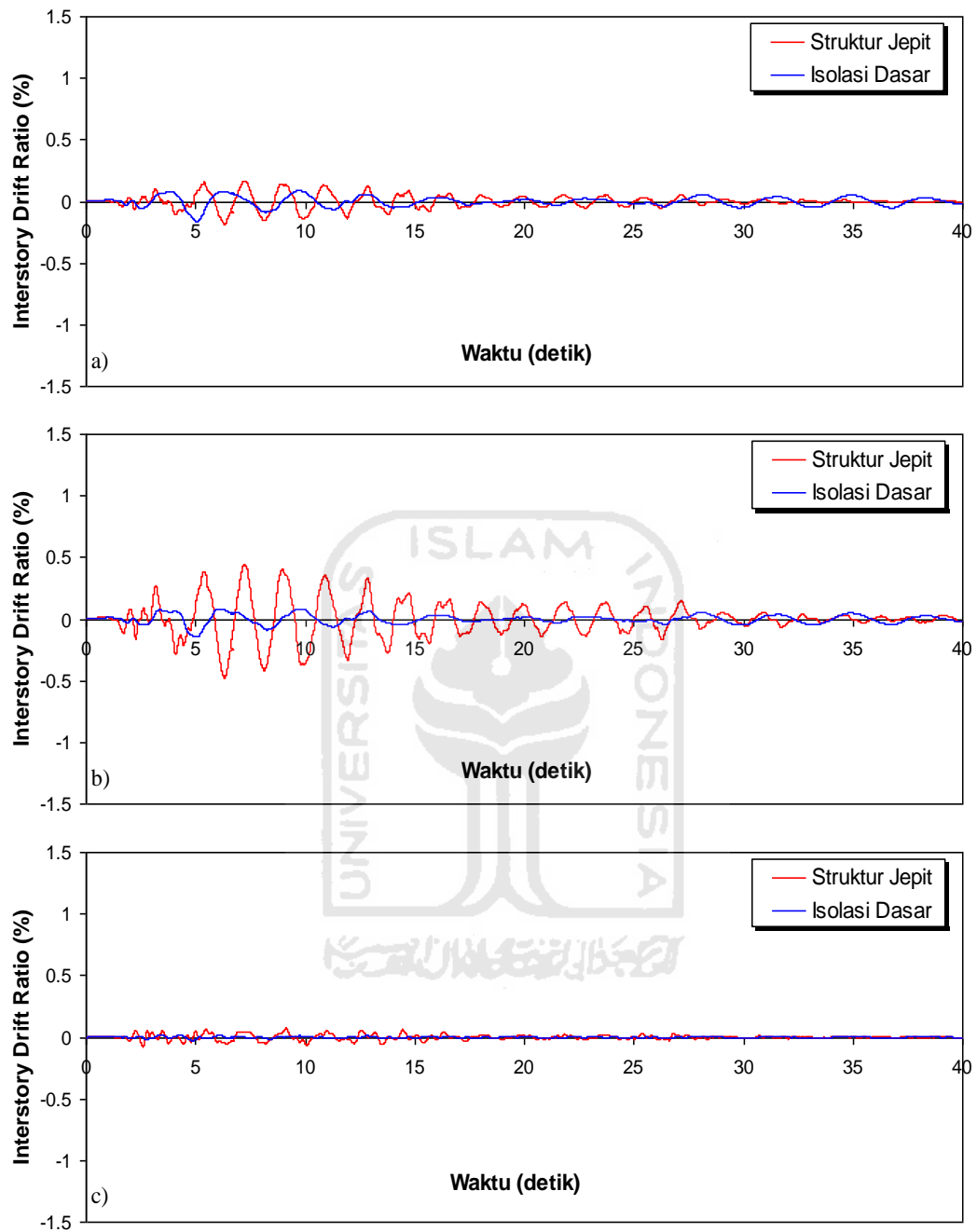
Gambar 5.18 Perbandingan *Interstory Drift Ratio* Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat > 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



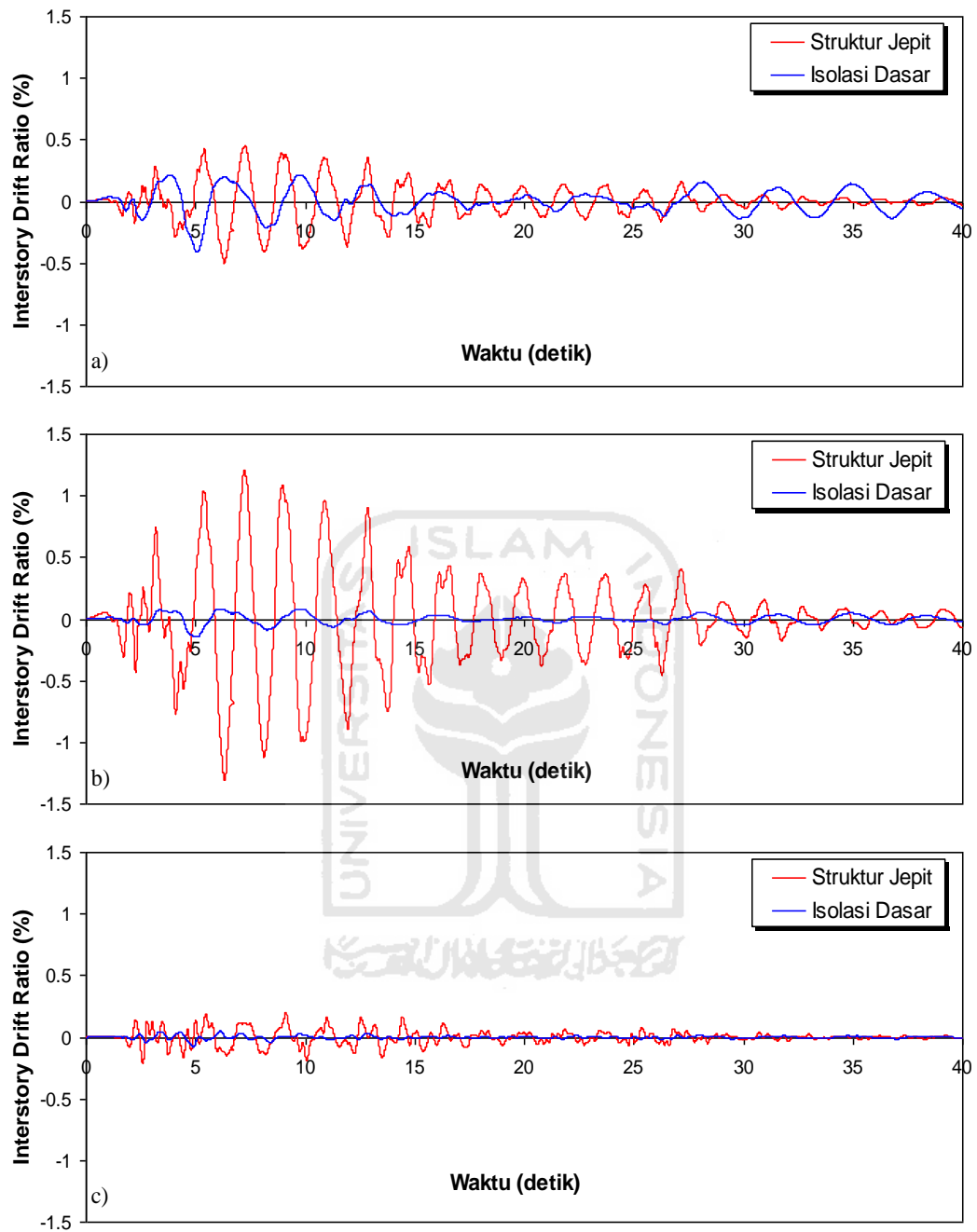
Gambar 5.19 Perbandingan *Interstory Drift Ratio* Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap < 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



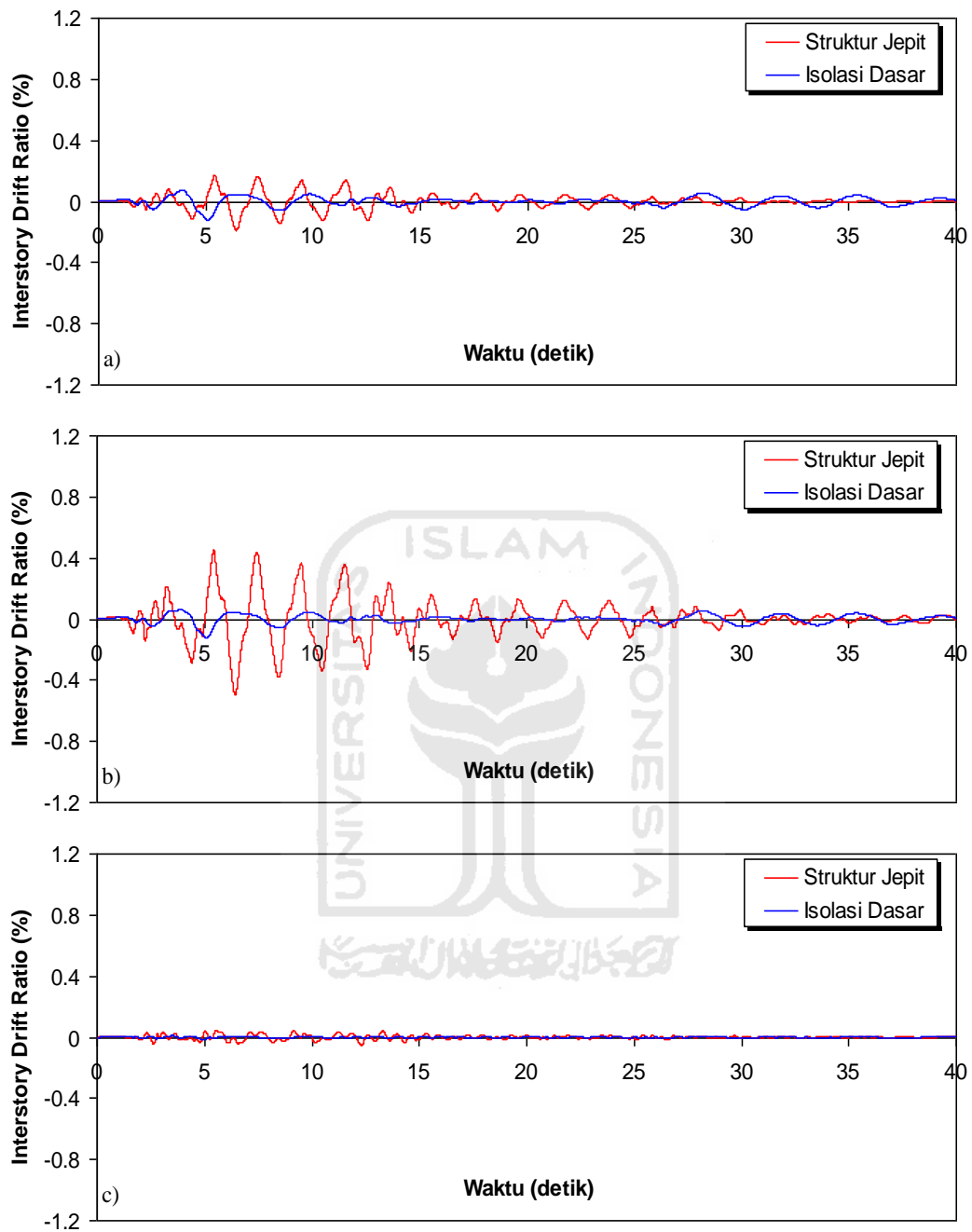
Gambar 5.20 Perbandingan *Interstory Drift Ratio* Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap > 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



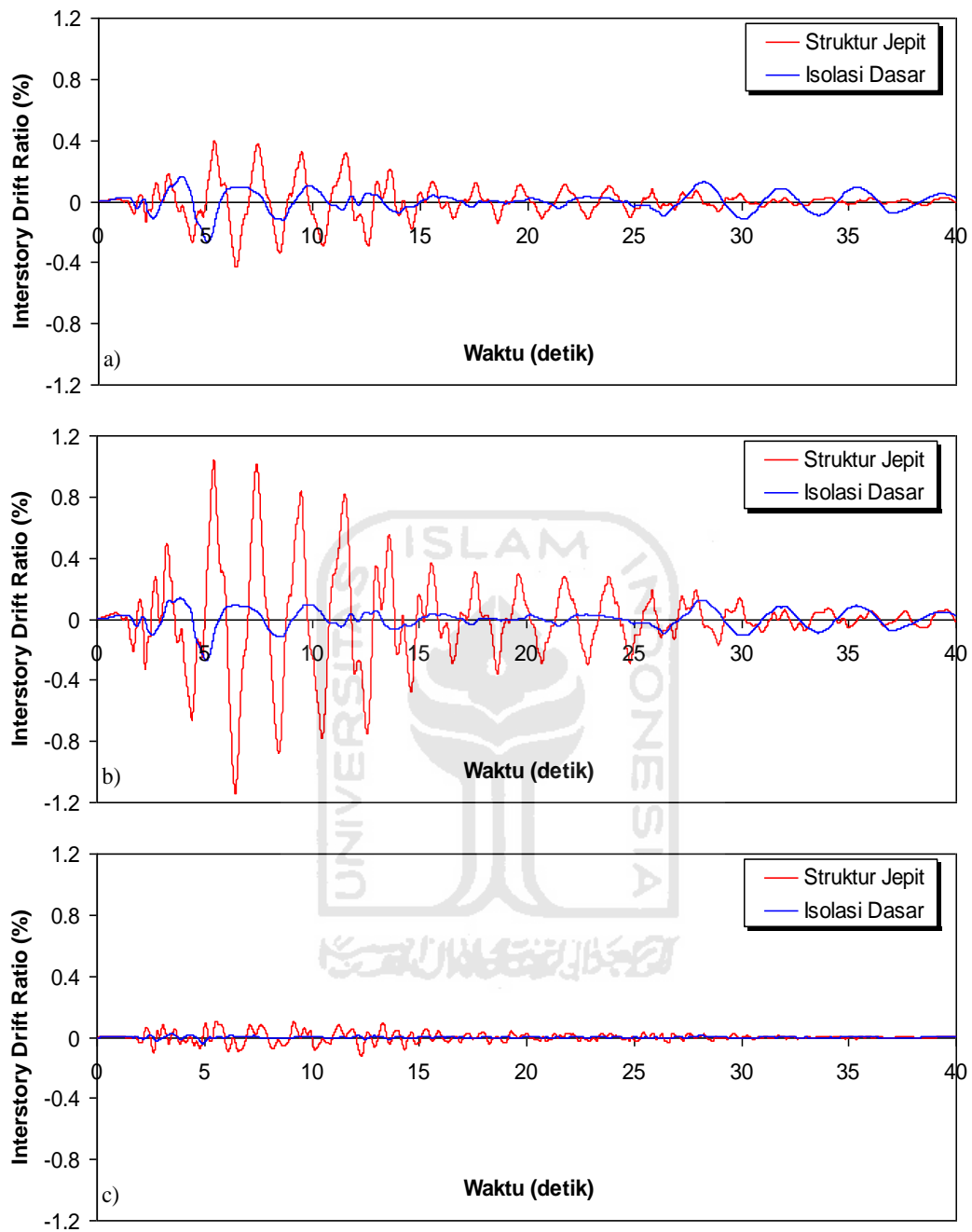
Gambar 5.21 Perbandingan *Interstory Drift Ratio* Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap < 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



Gambar 5.22 Perbandingan *Interstory Drift Ratio* Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap > 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



Gambar 5.23 Perbandingan *Interstory Drift Ratio* Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap < 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



Gambar 5.24 Perbandingan *Interstory Drift Ratio* Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap > 0,5 % *Interstory Drift Ratio*

5.3.4 Gaya Horizontal Tingkat

Respons seismik akibat beban gempa yang berupa nilai gaya horizontal tingkat struktur bangunan maksimum hasil analisis program menggunakan ProgSIP 2017 dapat dilihat pada Tabel 5.19 sampai dengan Tabel 5.24 sedangkan untuk grafiknya dapat dilihat pada Gambar 5.25 sampai dengan Gambar 5.32.

Pada Tabel 5.19 untuk struktur tingkat 4 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa gaya horizontal tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 2762,8574 kg lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 11781,7640 kg. Ratio terkecil terjadi pada tingkat atap sebesar 0,1904 atau reduksi gaya horizontal tingkat struktur diperoleh 80,96 %, sedangkan pada Tabel 5.20 terlihat bahwa gaya horizontal tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 8218,6591 kg lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 40057,9975 kg dan ratio terkecil terjadi pada tingkat atap sebesar 0,1645 atau reduksi gaya horizontal tingkat struktur diperoleh 83,55 %.

Pada Tabel 5.21 untuk struktur tingkat 10 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa gaya horizontal tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 4096,5649 kg lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 10262,2088 kg. Ratio terkecil terjadi pada tingkat 6 sebesar 0,2480 atau reduksi gaya horizontal tingkat struktur diperoleh 75,20 %, sedangkan pada Tabel 5.22 terlihat bahwa gaya horizontal tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 10985,5205 kg lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 27707,9638 kg dan ratio terkecil terjadi pada tingkat 6 sebesar 0,2365 atau reduksi gaya horizontal tingkat struktur diperoleh 76,35 %.

Pada Tabel 5.23 untuk struktur tingkat 15 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa gaya horizontal tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 5345,7864 kg lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 14993,8223 kg. Ratio terkecil terjadi pada tingkat 5 sebesar 0,2200 atau reduksi gaya horizontal tingkat struktur diperoleh 77,99 %, sedangkan pada Tabel 5.24 terlihat bahwa gaya horizontal tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 12168,3938 kg lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi

dasar yaitu 34485,7913 kg dan ratio terkecil terjadi pada tingkat 5 sebesar 0,2146 atau reduksi gaya horizontal tingkat struktur diperoleh 78,54 %.

Dari struktur 4, 10 dan 15 tingkat terlihat memiliki respons yang sama dimana bangunan dengan isolasi dasar gaya horizontal lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar. Reduksi gaya horizontal struktur yang diperoleh berkisar antara 75,20 - 80,96 % untuk $< 0,5$ % *Interstory Drift Ratio* dan 76,35 – 83,55 % untuk $> 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*.

Tabel 5.19 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa El Centro 1940 $< 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat (kg)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
4	11781.7640	2243.5059	0.1904
3	10889.7367	2762.8574	0.2537
2	10587.6486	2456.6718	0.2320
1	11293.7560	2531.0708	0.2241

Tabel 5.20 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa El Centro 1940 $> 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat (kg)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
4	40057.9975	6591.4218	0.1645
3	37025.1046	8152.2636	0.2202
2	35998.0053	7711.8184	0.2142
1	38398.7705	8218.6591	0.2140

Tabel 5.21 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa El Centro 1940 $< 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat (kg)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
10	8609.5660	3177.3050	0.3690
9	10088.7329	4096.5649	0.4061
8	8515.5461	3587.3098	0.4213
7	9192.2044	3122.5046	0.3397
6	9786.6406	2427.0524	0.2480
5	9394.3995	2897.8428	0.3085
4	9716.8500	3008.3344	0.3096
3	10262.2088	2713.2598	0.2644
2	9638.2755	2575.9119	0.2673
1	9186.7857	2674.1286	0.2911

Tabel 5.22 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa El Centro 1940 > 0,5 % Interstory Drift Ratio

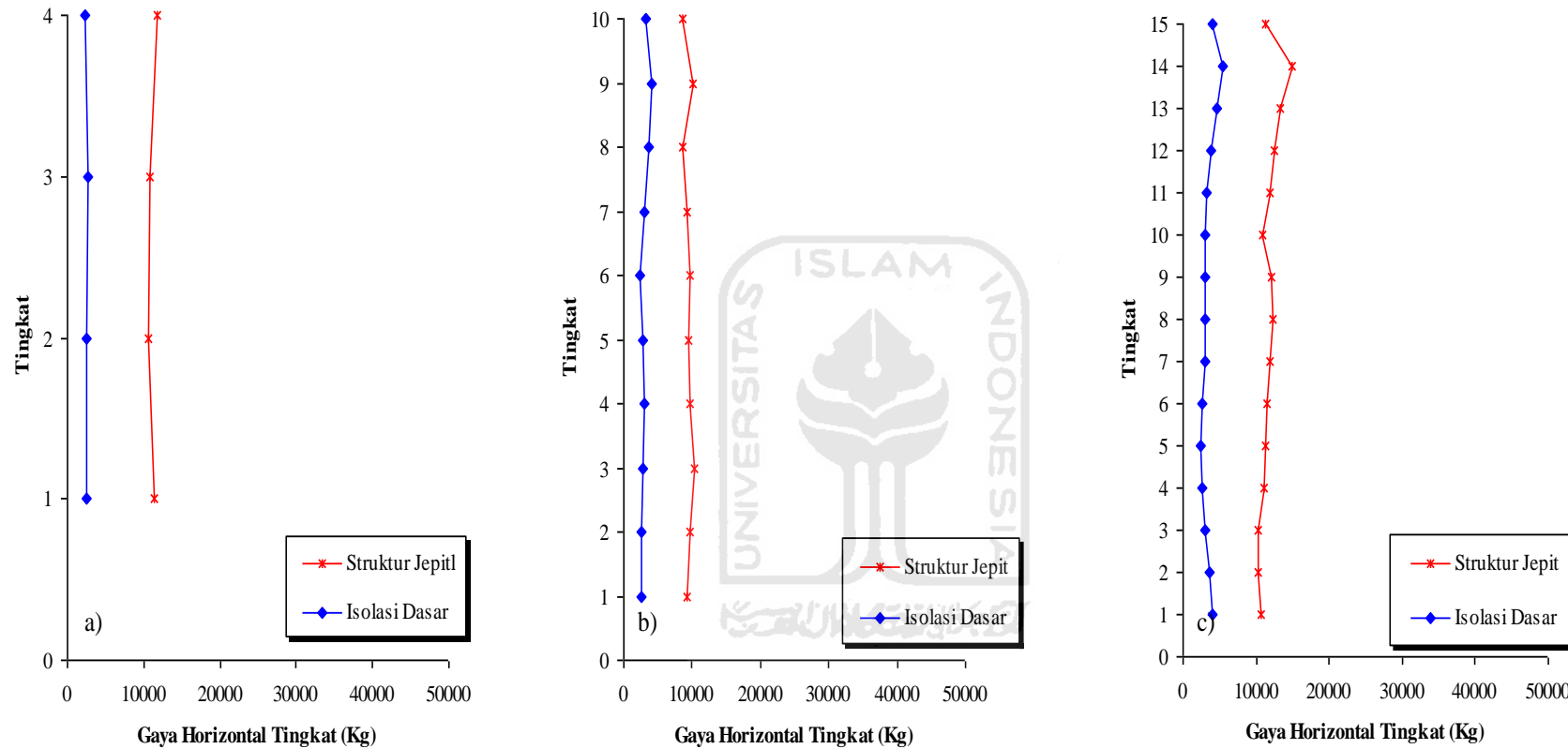
Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat (kg)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
10	23245.8282	8535.6463	0.3672
9	27239.5788	10985.5205	0.4033
8	22991.9744	9534.9180	0.4147
7	24818.9519	8169.3068	0.3292
6	26423.9295	6248.8384	0.2365
5	25364.8786	7365.0692	0.2904
4	26235.4949	7672.0272	0.2924
3	27707.9638	7025.0275	0.2535
2	26023.3438	6820.0618	0.2621
1	24804.3213	7116.7297	0.2869

Tabel 5.23 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Tingkat 15 Akibat Gempa El Centro 1940 < 0,5 % Interstory Drift Ratio

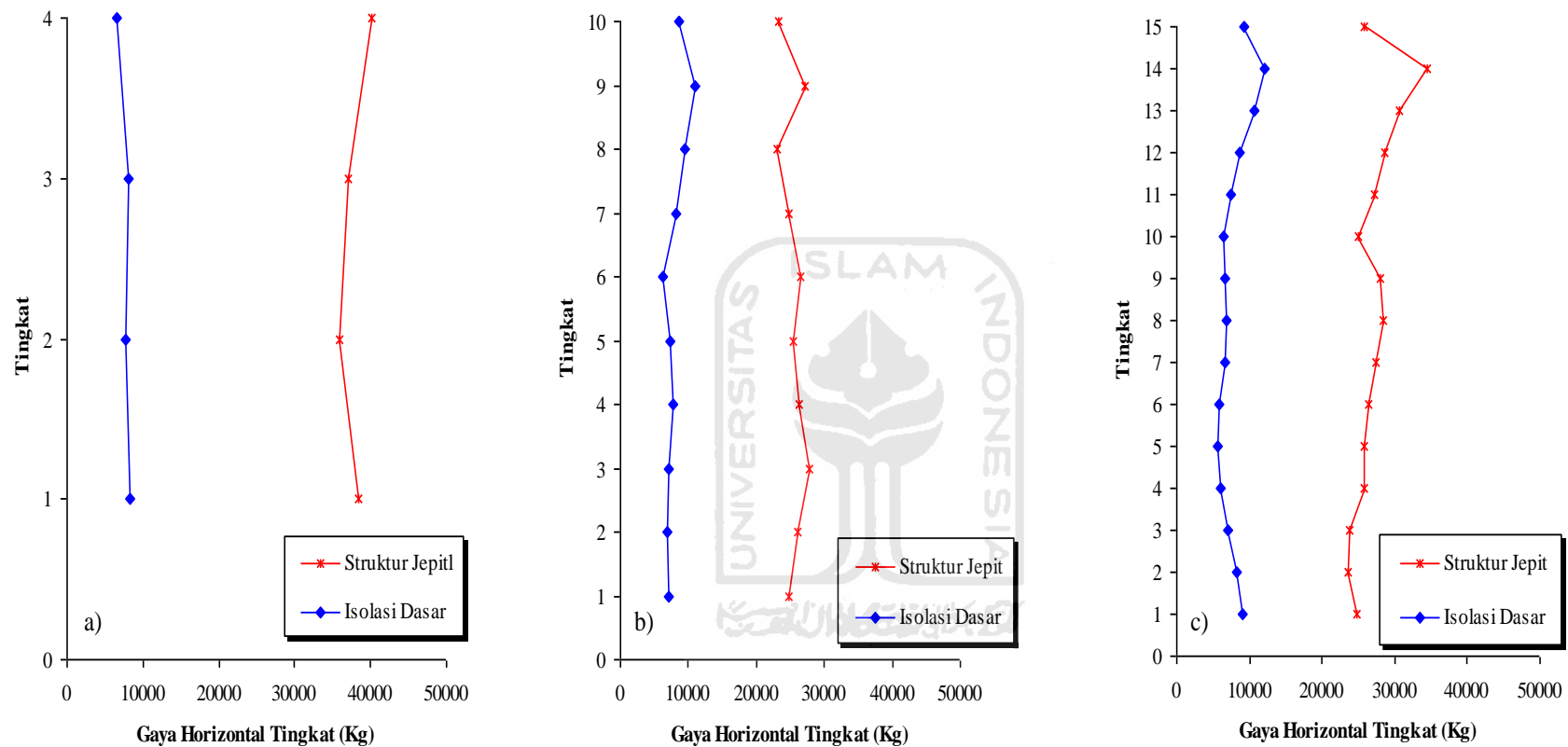
Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat (kg)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
15	11216.5945	4041.1394	0.3603
14	14993.8223	5345.7864	0.3565
13	13325.5795	4678.6914	0.3511
12	12469.3333	3870.3033	0.3104
11	11840.9933	3318.5613	0.2803
10	10872.1116	2923.8009	0.2689
9	12140.9603	2958.7210	0.2437
8	12383.2616	3110.8779	0.2512
7	11893.5182	2986.0888	0.2511
6	11456.4049	2627.7520	0.2294
5	11263.5148	2478.4309	0.2200
4	11180.2248	2641.7676	0.2363
3	10351.7823	3091.7760	0.2987
2	10237.9211	3572.3729	0.3489
1	10782.6027	3958.1136	0.3671

**Tabel 5.24 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Tingkat 15
Akibat Gempa El Centro 1940 > 0,5 % *Interstory Drift Ratio***

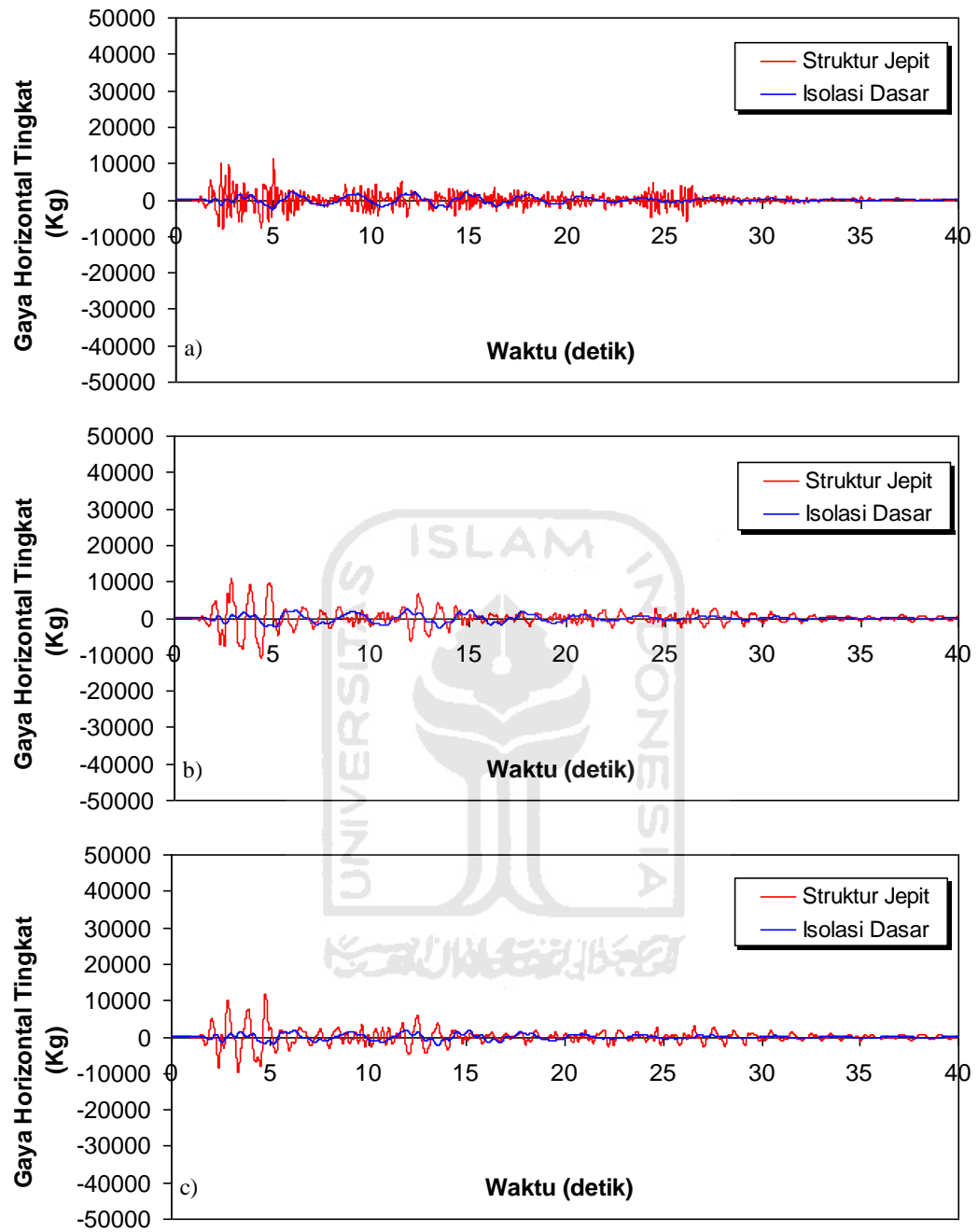
Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat (kg)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
15	25798.1673	9209.8992	0.3570
14	34485.7913	12168.3938	0.3529
13	30648.8329	10616.3588	0.3464
12	28679.4666	8718.0863	0.3040
11	27234.2845	7397.8065	0.2716
10	25005.8567	6479.8880	0.2591
9	27924.2088	6633.5212	0.2376
8	28481.5017	6918.9003	0.2429
7	27355.0919	6608.9000	0.2416
6	26349.7312	5808.1752	0.2204
5	25906.0841	5560.6658	0.2146
4	25714.5171	6119.1683	0.2380
3	23809.0993	7123.3770	0.2992
2	23547.2185	8201.2336	0.3483
1	24799.9862	9067.9630	0.3656



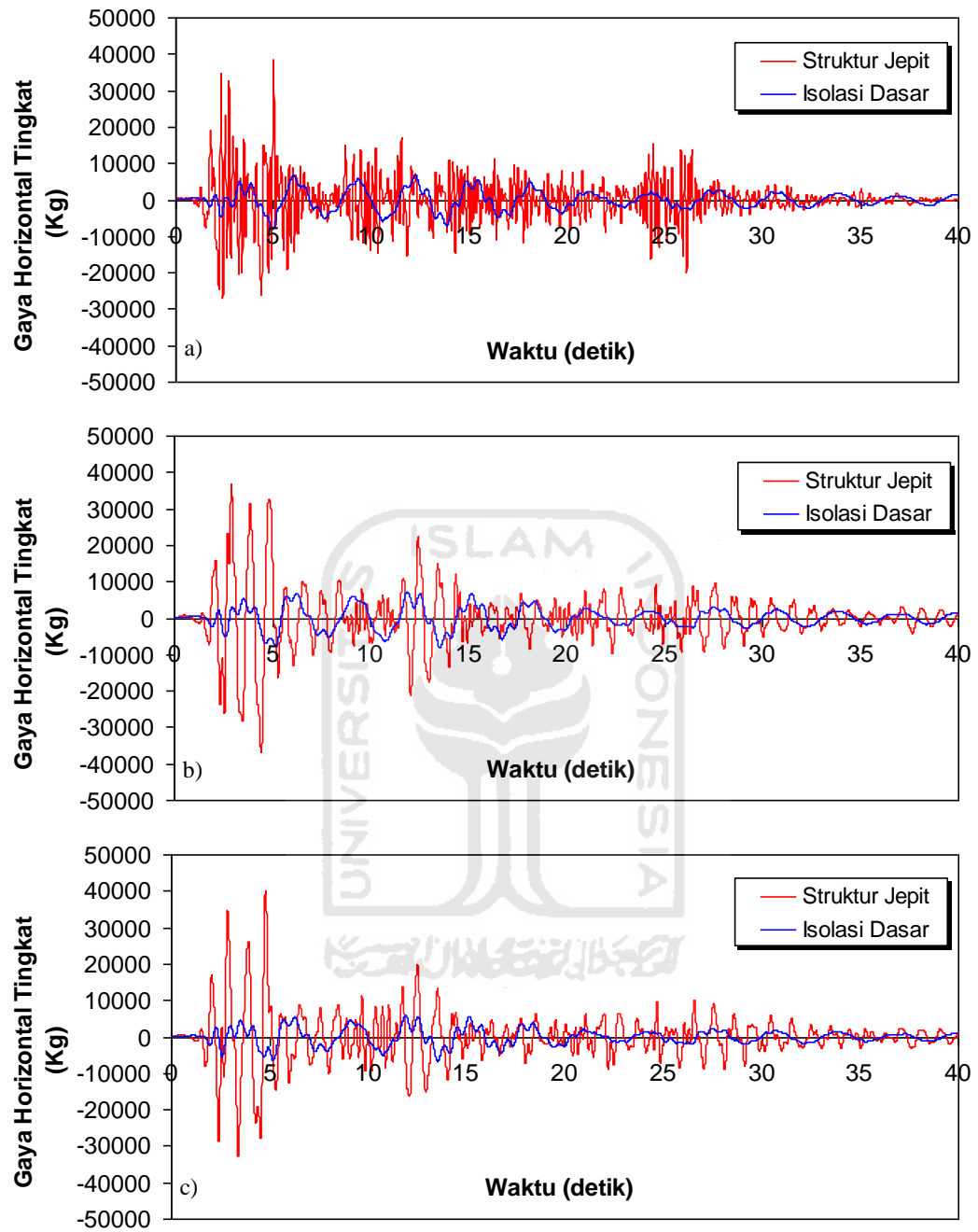
Gambar 5.25 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat < 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



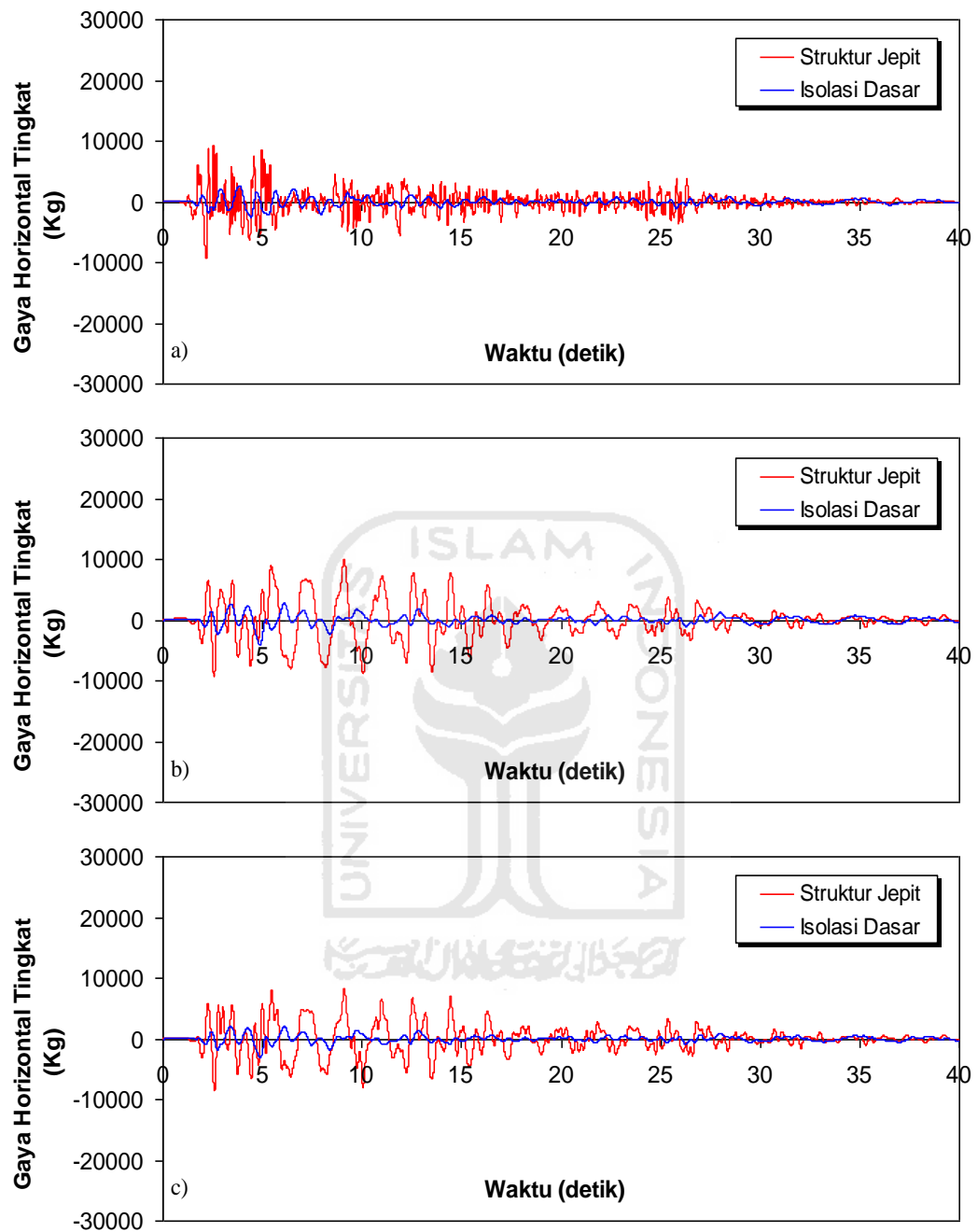
Gambar 5.26 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat > 0,5 % Interstory Drift Ratio



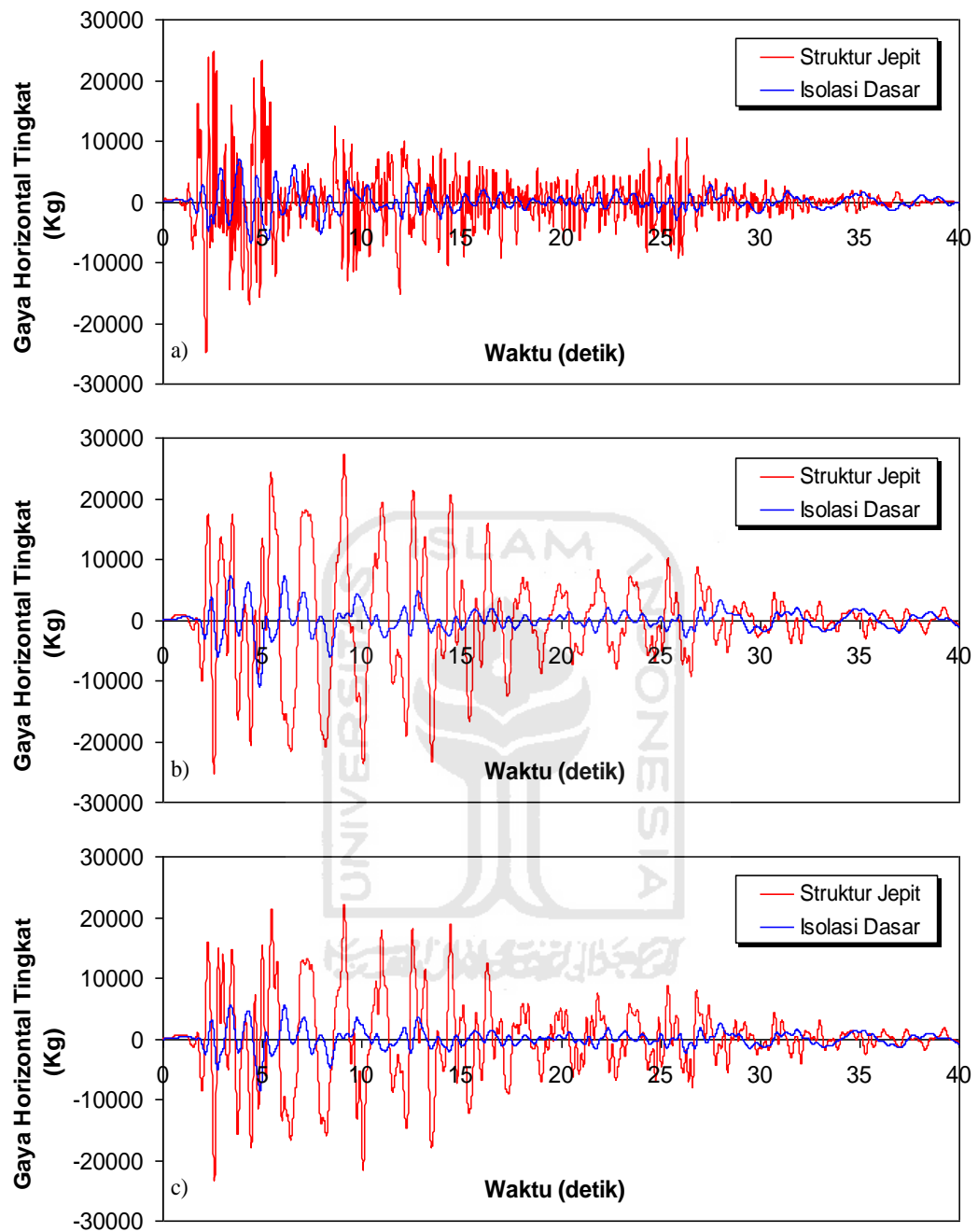
Gambar 5.27 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 3, c) Tingkat Atap < 0,5 % Interstory Drift Ratio



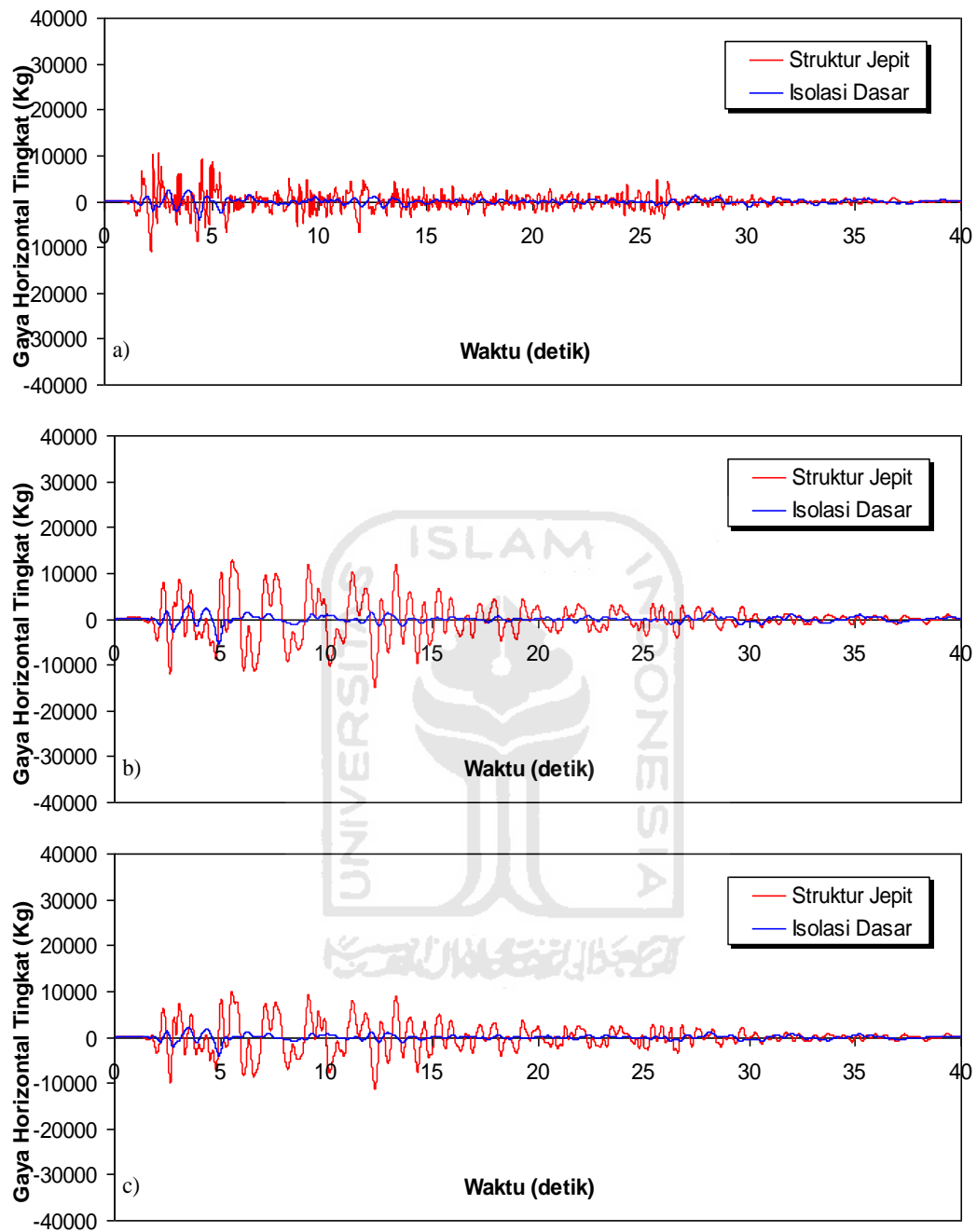
Gambar 5.28 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 3, c) Tingkat Atap > 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



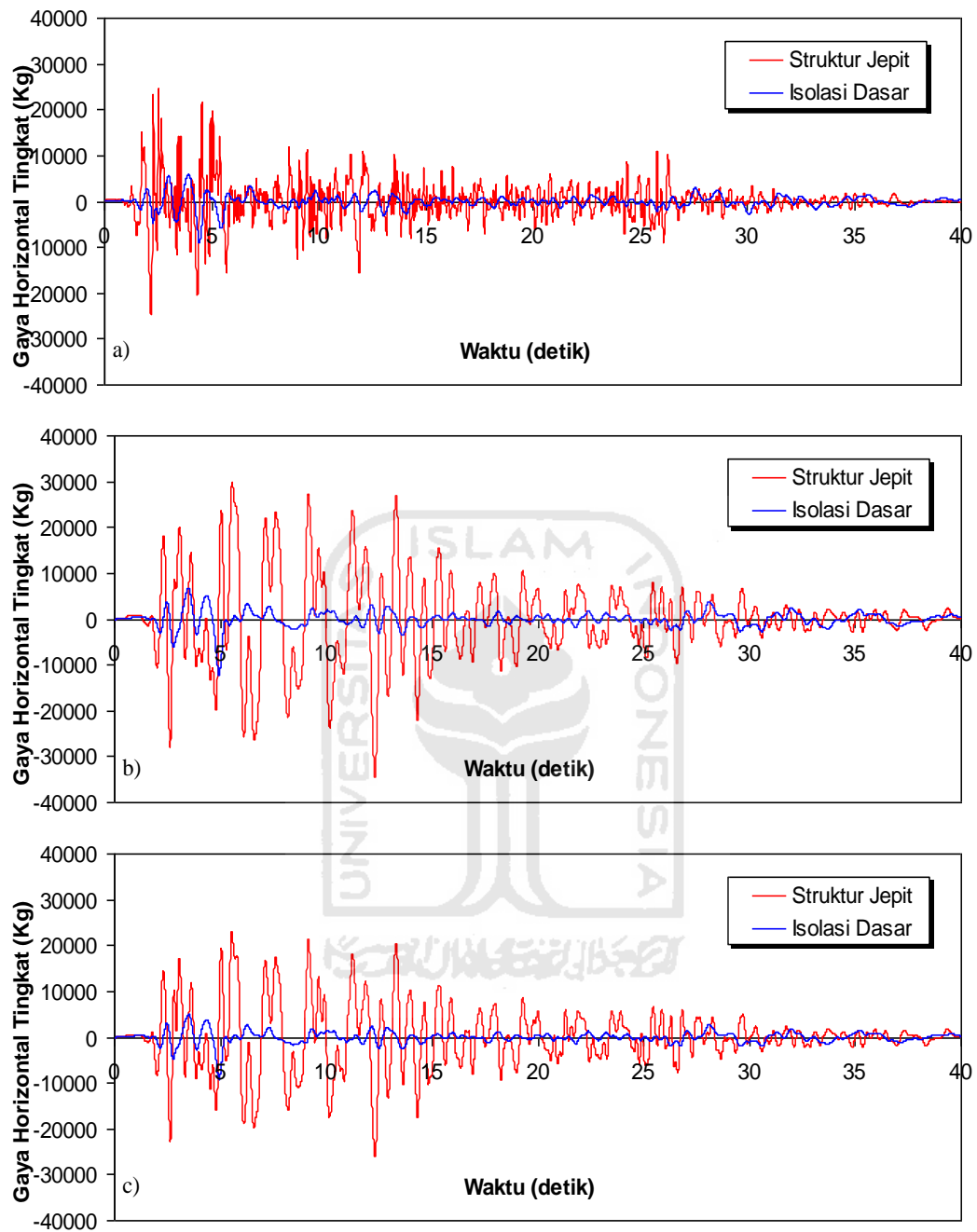
Gambar 5.29 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 9, c) Tingkat Atap < 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



Gambar 5.30 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 9, c) Tingkat Atap > 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



Gambar 5.31 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 14, c) Tingkat Atap <math> < 0,5 \% \text{ Interstory Drift Ratio}</math>



Gambar 5.32 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 14, c) Tingkat Atap > 0,5 % Interstory Drift Ratio

5.3.5 Gaya Geser Tingkat

Respons seismik akibat beban gempa yang berupa nilai gaya geser tingkat struktur bangunan maksimum hasil analisis program menggunakan ProgSIP 2017 dapat dilihat pada Tabel 5.25 sampai dengan Tabel 5.30 sedangkan untuk grafiknya dapat dilihat pada Gambar 5.33 sampai Gambar 5.40.

Pada Tabel 5.25 untuk struktur tingkat 4 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa gaya geser tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 8265,9721 kg lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 33457,5085 kg. Ratio terkecil terjadi pada tingkat atap sebesar 0,1904 atau reduksi gaya geser tingkat struktur diperoleh 80,96 %, sedangkan pada Tabel 5.26 terlihat bahwa gaya geser tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 24980,0679 kg lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 113755,5289 kg dan ratio terkecil terjadi pada tingkat atap sebesar 0,1645 atau reduksi gaya geser tingkat struktur diperoleh 83,55 %.

Pada Tabel 5.27 untuk struktur tingkat 10 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa gaya geser tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 18021,6156 kg lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 56277,4432 kg. Ratio terkecil terjadi pada tingkat 2 sebesar 0,3001 atau reduksi gaya geser tingkat struktur diperoleh 69,99 %, sedangkan pada Tabel 5.28 terlihat bahwa gaya geser tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 46072,9068 kg lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 151949,0968 kg dan ratio terkecil terjadi pada tingkat 2 sebesar 0,2869 atau reduksi gaya geser tingkat struktur diperoleh 71,31 %.

Pada Tabel 5.29 untuk struktur tingkat 15 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa gaya geser tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 25917,0189 kg lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 106042,2738 kg. Ratio terkecil terjadi pada tingkat 1 sebesar 0,2433 atau reduksi gaya geser tingkat struktur diperoleh 75,67 %, sedangkan pada Tabel 5.30 terlihat bahwa gaya geser tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 56894,2714 kg lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu

243897,2297 kg dan ratio terkecil terjadi pada tingkat 1 sebesar 0,2333 atau reduksi gaya geser tingkat struktur diperoleh 76,67 %.

Dari struktur 4, 10 dan 15 tingkat terlihat memiliki respons yang sama dimana bangunan dengan isolasi dasar gaya geser tingkat lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar. Reduksi gaya geser tingkat struktur yang diperoleh berkisar antara 69,99 - 80,96 % untuk $< 0,5$ % *Interstory Drift Ratio* dan 71,31 – 83,55 % untuk $> 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*.

Tabel 5.25 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa El Centro 1940 $< 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*

Tingkat	Gaya Geser Tingkat (kg)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
4	11781.7640	2243.5059	0.1904
3	21164.5560	5001.9317	0.2363
2	26277.2471	7003.7552	0.2665
1	33457.5085	8265.9721	0.2471

Tabel 5.26 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa El Centro 1940 $> 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*

Tingkat	Gaya Geser Tingkat (kg)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
4	40057.9975	6591.4218	0.1645
3	71959.4904	14736.4881	0.2048
2	89342.6403	20653.3213	0.2312
1	113755.5289	24980.0679	0.2196

Tabel 5.27 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa El Centro 1940 $< 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*

Tingkat	Gaya Geser Tingkat (kg)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
10	8609.5660	3177.3050	0.3690
9	18252.1251	7262.1724	0.3979
8	25731.5677	10665.3847	0.4145
7	31170.8527	13362.3589	0.4287
6	35697.9917	15290.7482	0.4283
5	39795.5870	16250.9745	0.4084
4	45421.1679	16178.3527	0.3562
3	50026.3923	15320.6238	0.3063
2	54445.2216	16340.6454	0.3001
1	56277.4432	18021.6156	0.3202

Tabel 5.28 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa El Centro 1940 > 0,5 % *Interstory Drift Ratio*

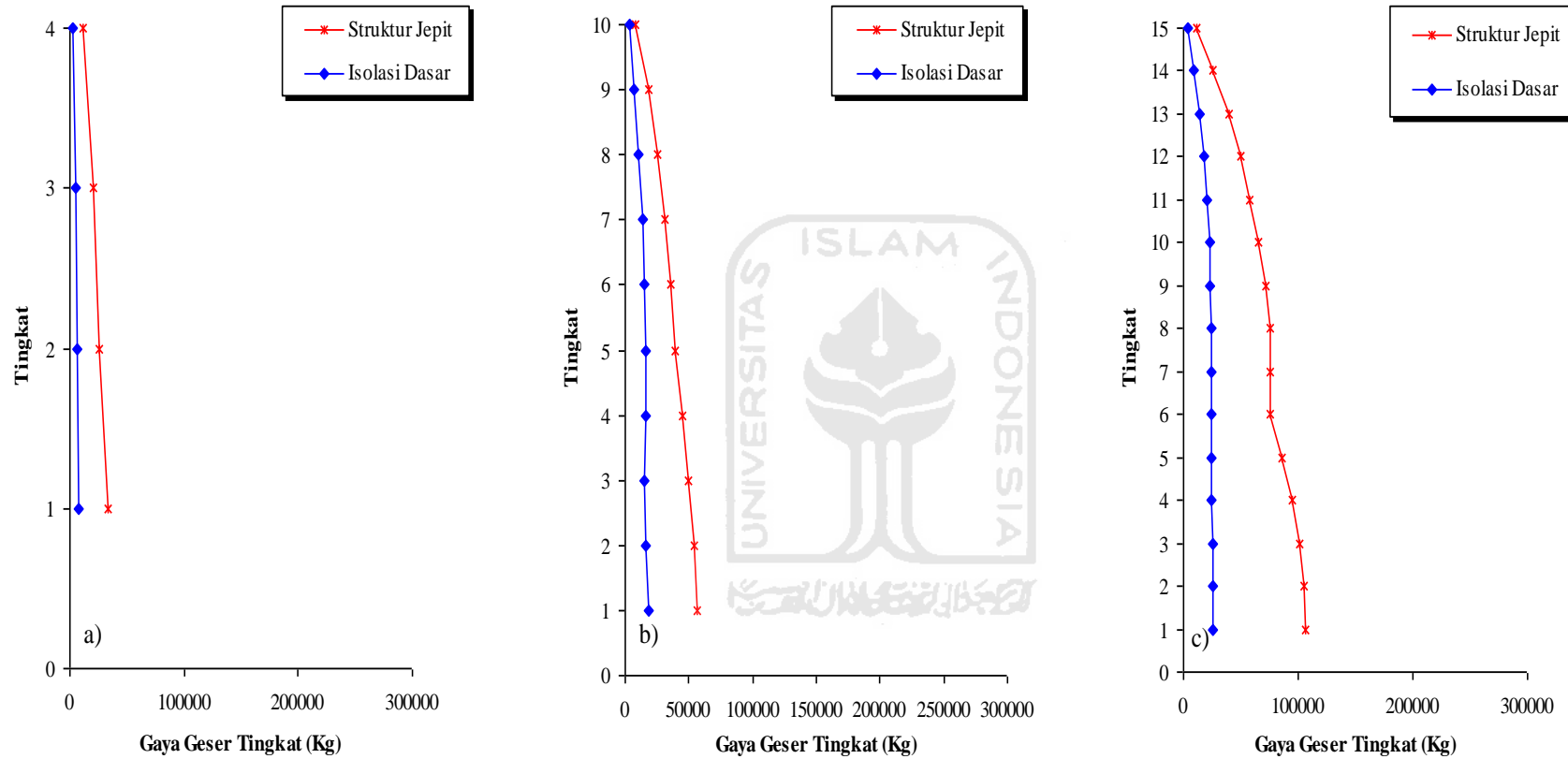
Tingkat	Gaya Geser Tingkat (kg)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
10	23245.8282	8535.6463	0.3672
9	49280.7379	19491.7483	0.3955
8	69475.2328	28560.6703	0.4111
7	84161.3023	35624.0282	0.4233
6	96384.5776	40510.4703	0.4203
5	107448.0849	42785.0913	0.3982
4	122637.1534	42373.3108	0.3455
3	135071.2592	40132.3240	0.2971
2	147002.0984	42172.6804	0.2869
1	151949.0968	46072.9068	0.3032

Tabel 5.29 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa El Centro 1940 < 0,5 % *Interstory Drift Ratio*

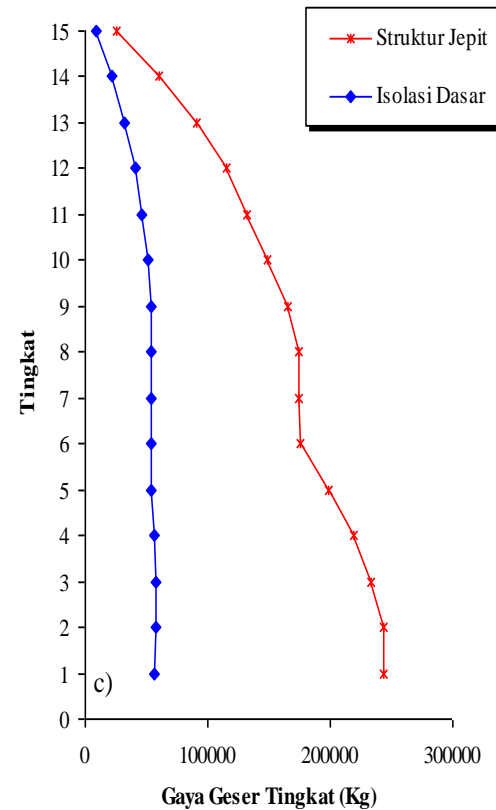
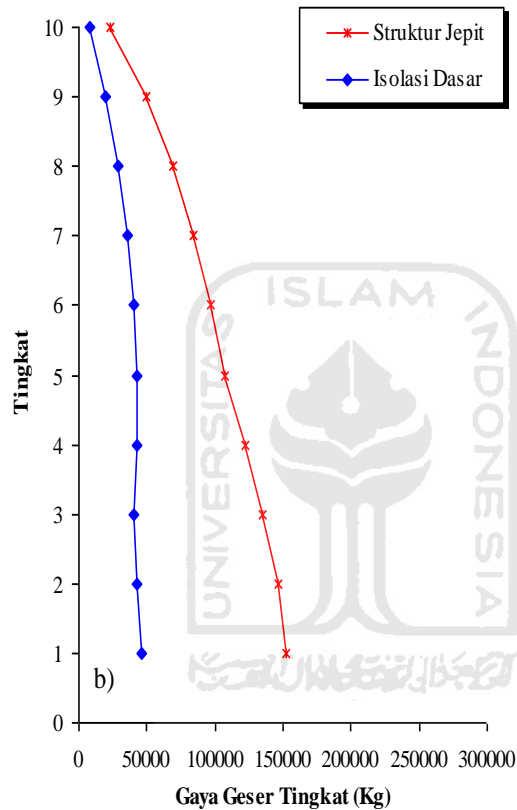
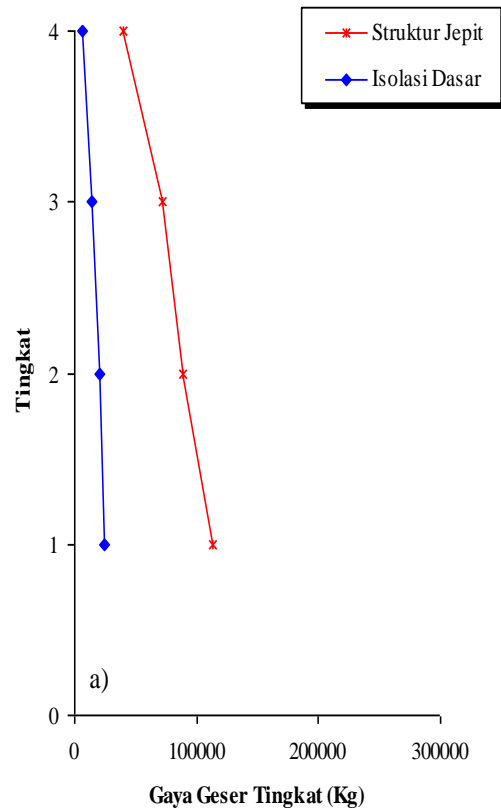
Tingkat	Gaya Geser Tingkat (kg)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
15	11216.5945	4041.1394	0.3603
14	26210.4168	9382.4026	0.3580
13	39476.9747	14055.0124	0.3560
12	50105.6287	17811.2590	0.3555
11	57244.3450	20612.5057	0.3601
10	64917.5264	22521.6935	0.3469
9	72109.0415	23688.0981	0.3285
8	75645.9871	24229.2235	0.3203
7	75768.2061	24207.3081	0.3195
6	76274.1828	23869.3338	0.3129
5	86402.6451	23996.5544	0.2777
4	95179.7293	24998.1445	0.2626
3	101316.0698	25664.1299	0.2533
2	105663.7739	25917.0189	0.2453
1	106042.2738	25797.7137	0.2433

Tabel 5.30 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa El Centro 1940 > 0,5 % *Interstory Drift Ratio*

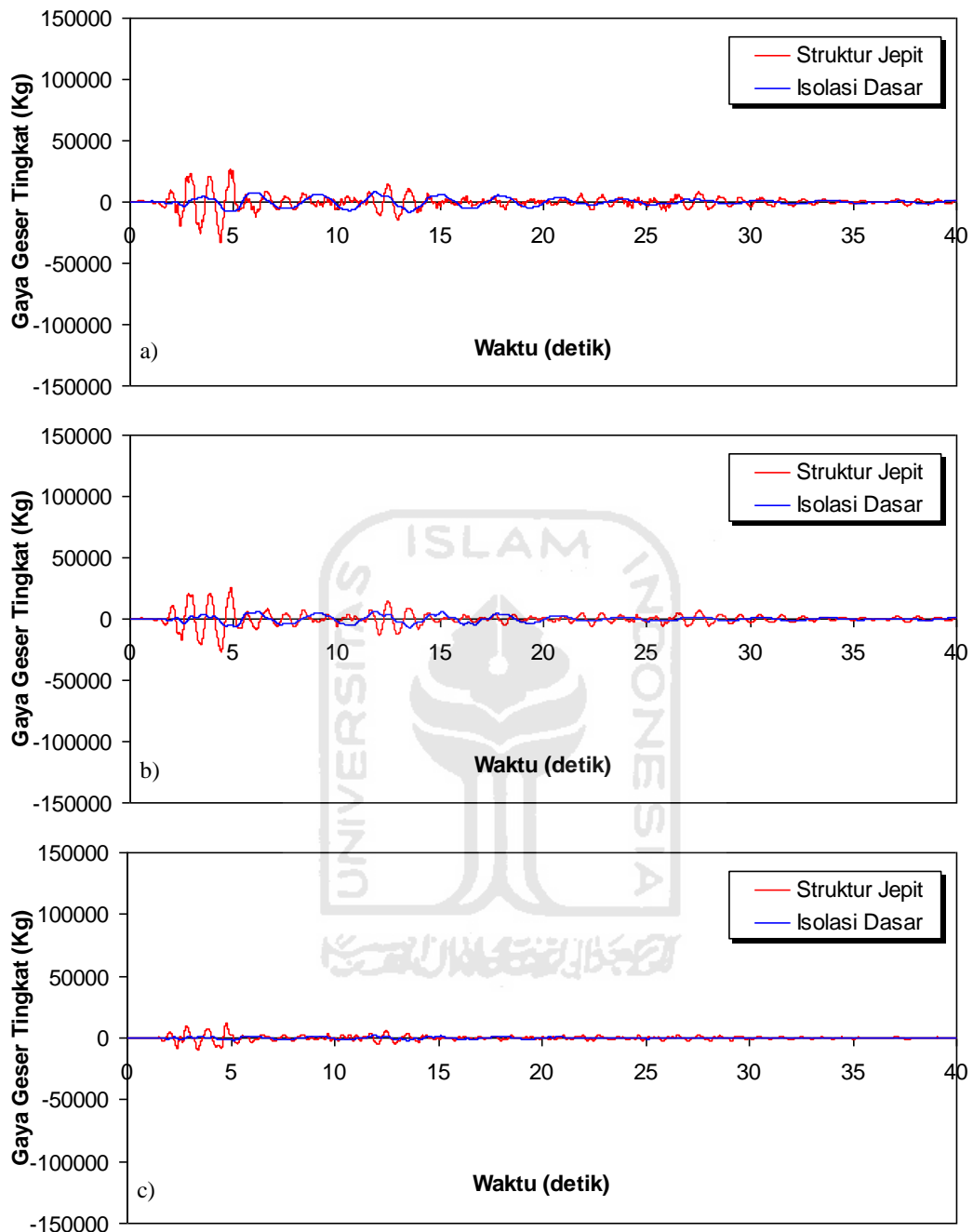
Tingkat	Gaya Geser Tingkat (kg)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
15	25798.1673	9209.8992	0.3570
14	60283.9586	21368.3186	0.3545
13	90797.0417	31975.3791	0.3522
12	115242.9460	40470.7995	0.3512
11	131661.9935	46747.6641	0.3551
10	149310.3108	50960.3024	0.3413
9	165850.7955	53440.2552	0.3222
8	173985.7703	54477.5440	0.3131
7	174266.8739	54314.3660	0.3117
6	175430.6205	53717.7269	0.3062
5	198726.0837	54165.5563	0.2726
4	218913.3773	56088.5496	0.2562
3	233026.9606	57246.7619	0.2457
2	243026.6799	57476.3353	0.2365
1	243897.2297	56894.2714	0.2333



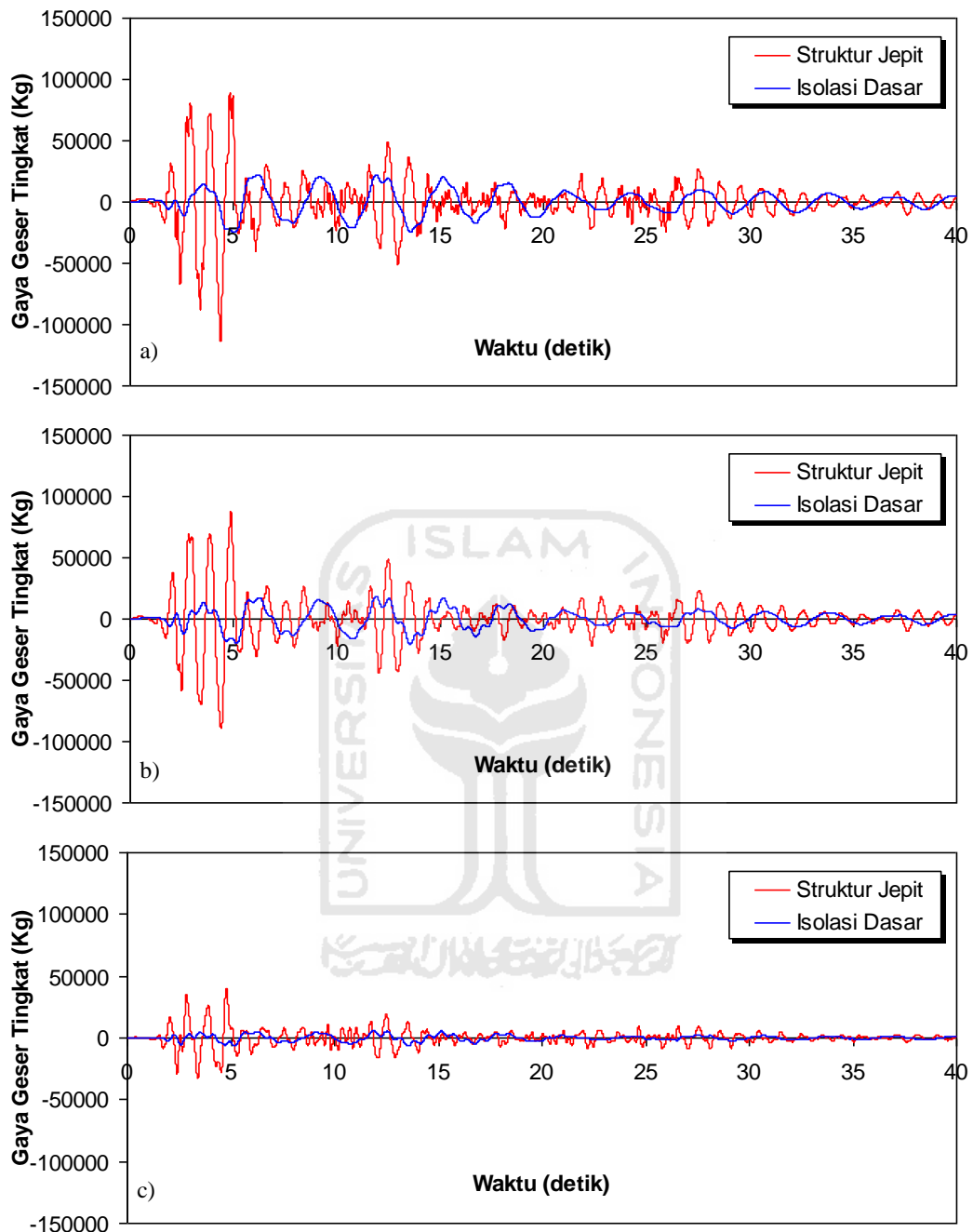
Gambar 5.33 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat < 0,5 % Interstory Drift Ratio



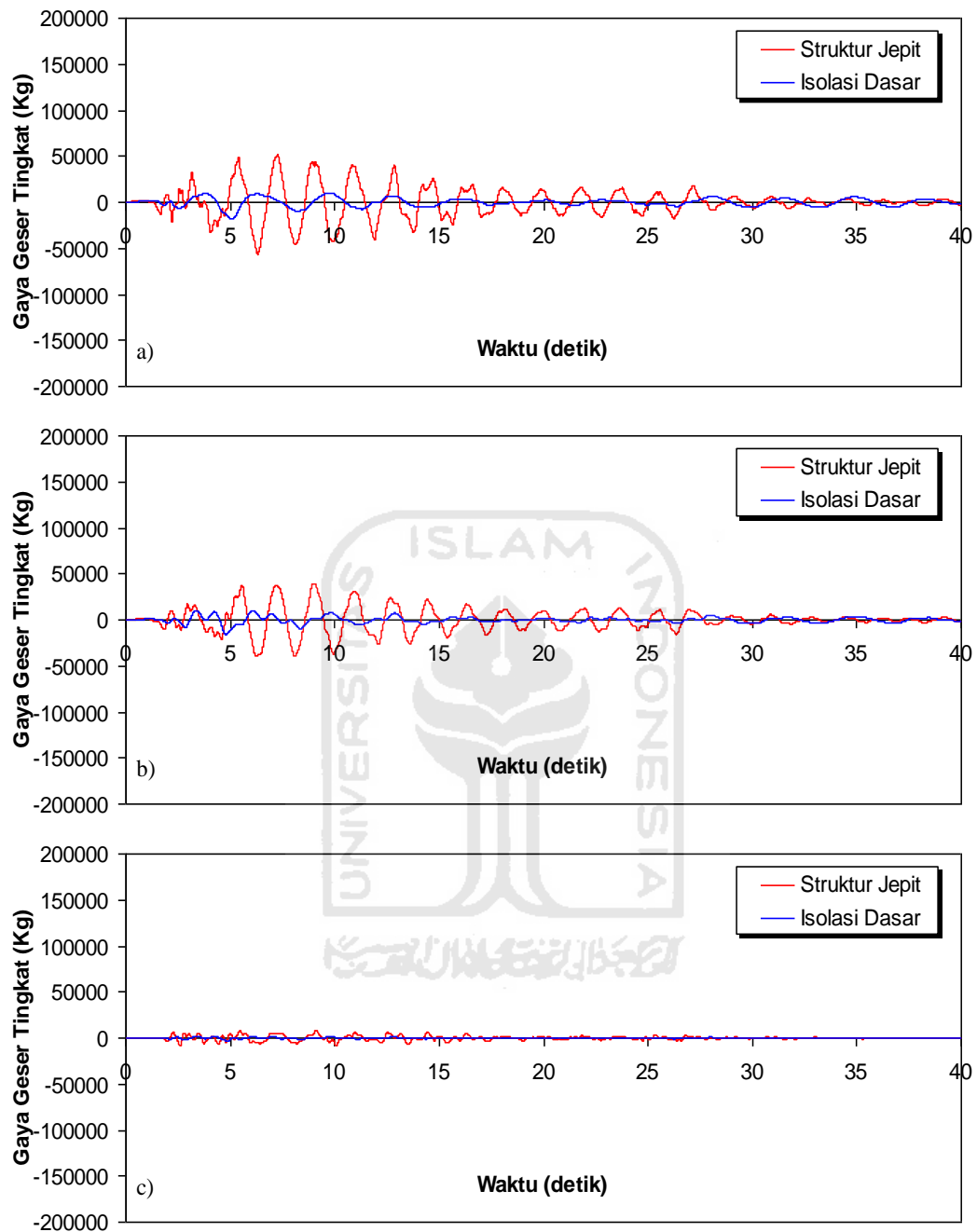
Gambar 5.34 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat > 0,5 % Interstory Drift Ratio



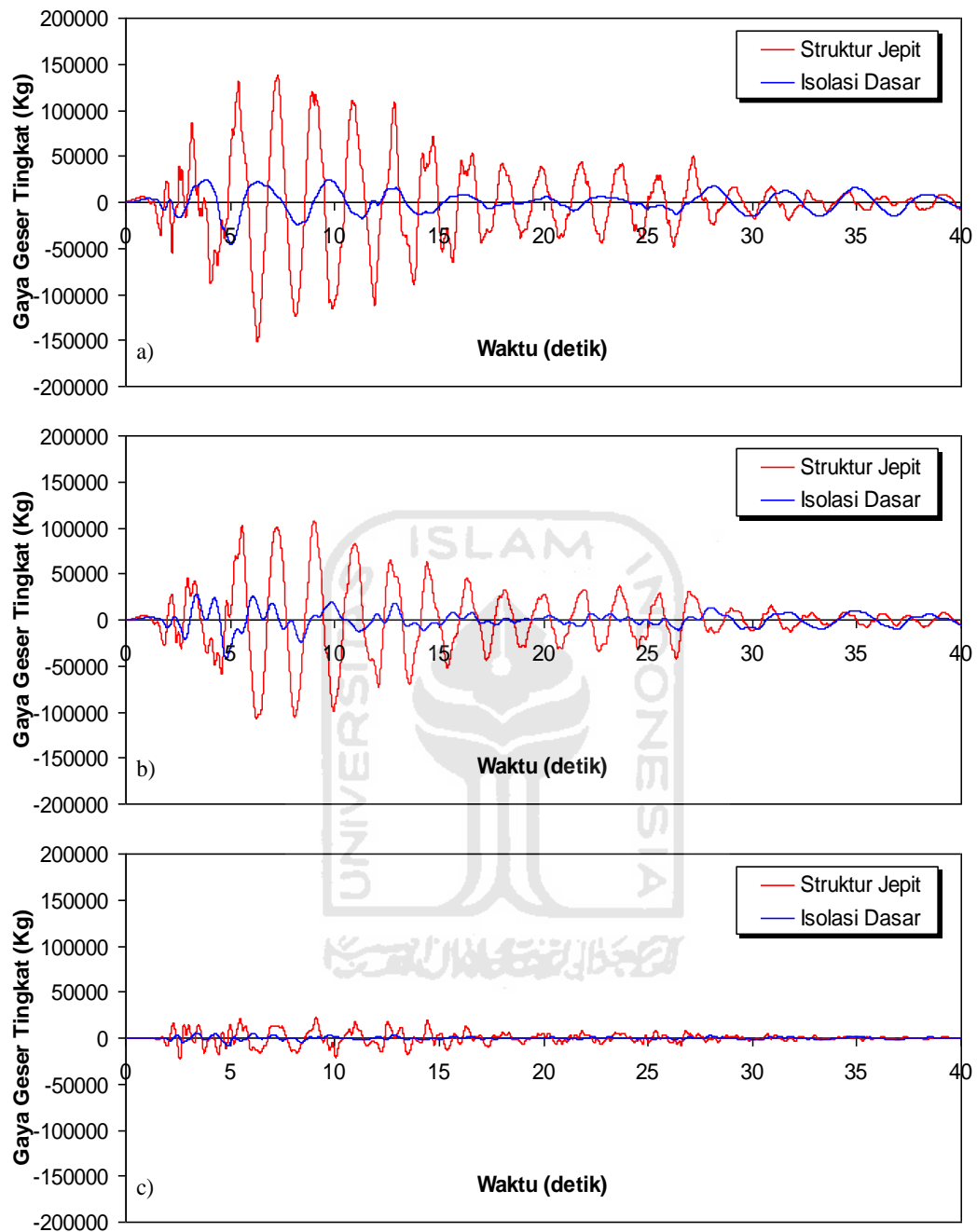
Gambar 5.35 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap < 0,5 % Interstory Drift Ratio



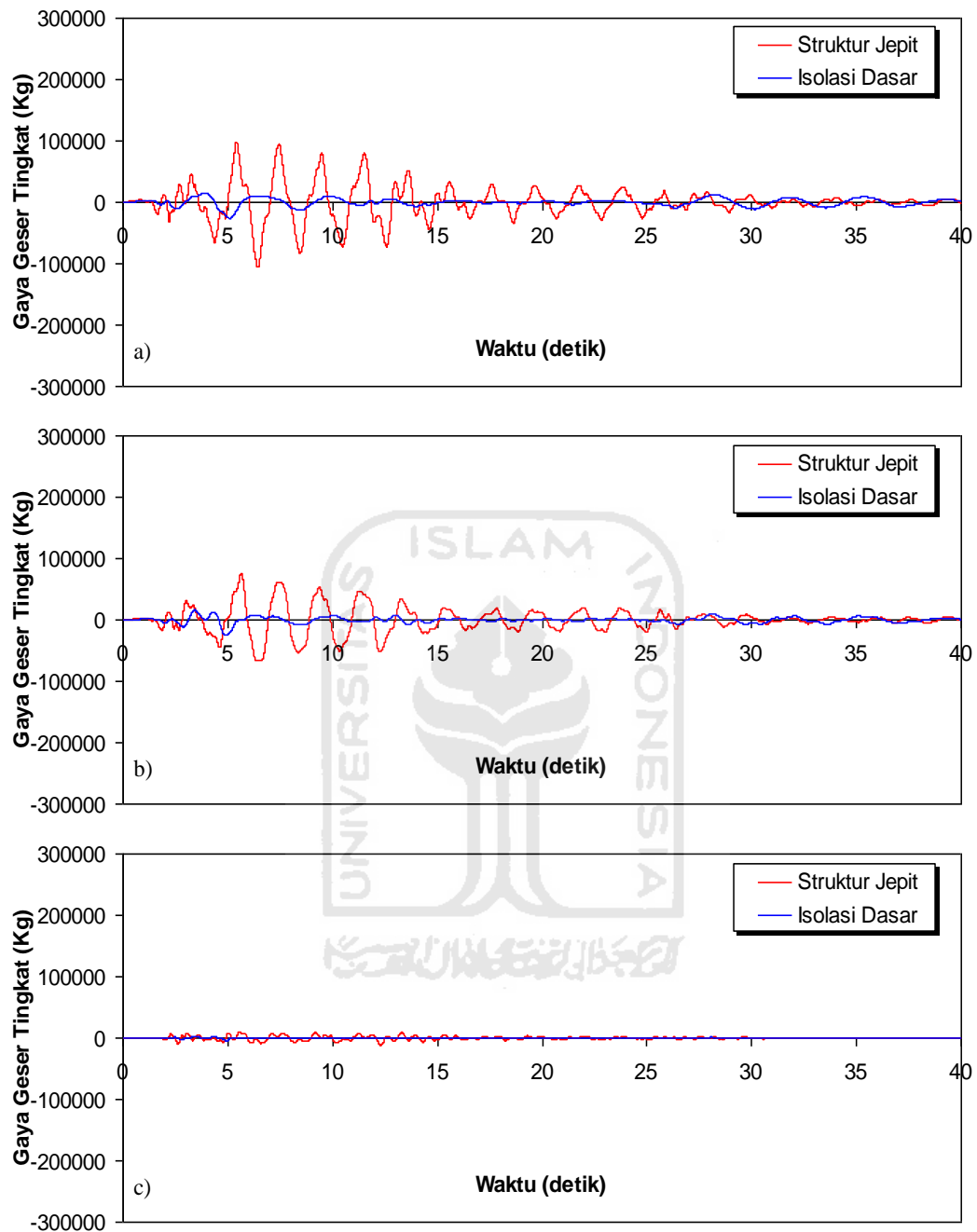
Gambar 5.36 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap > 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



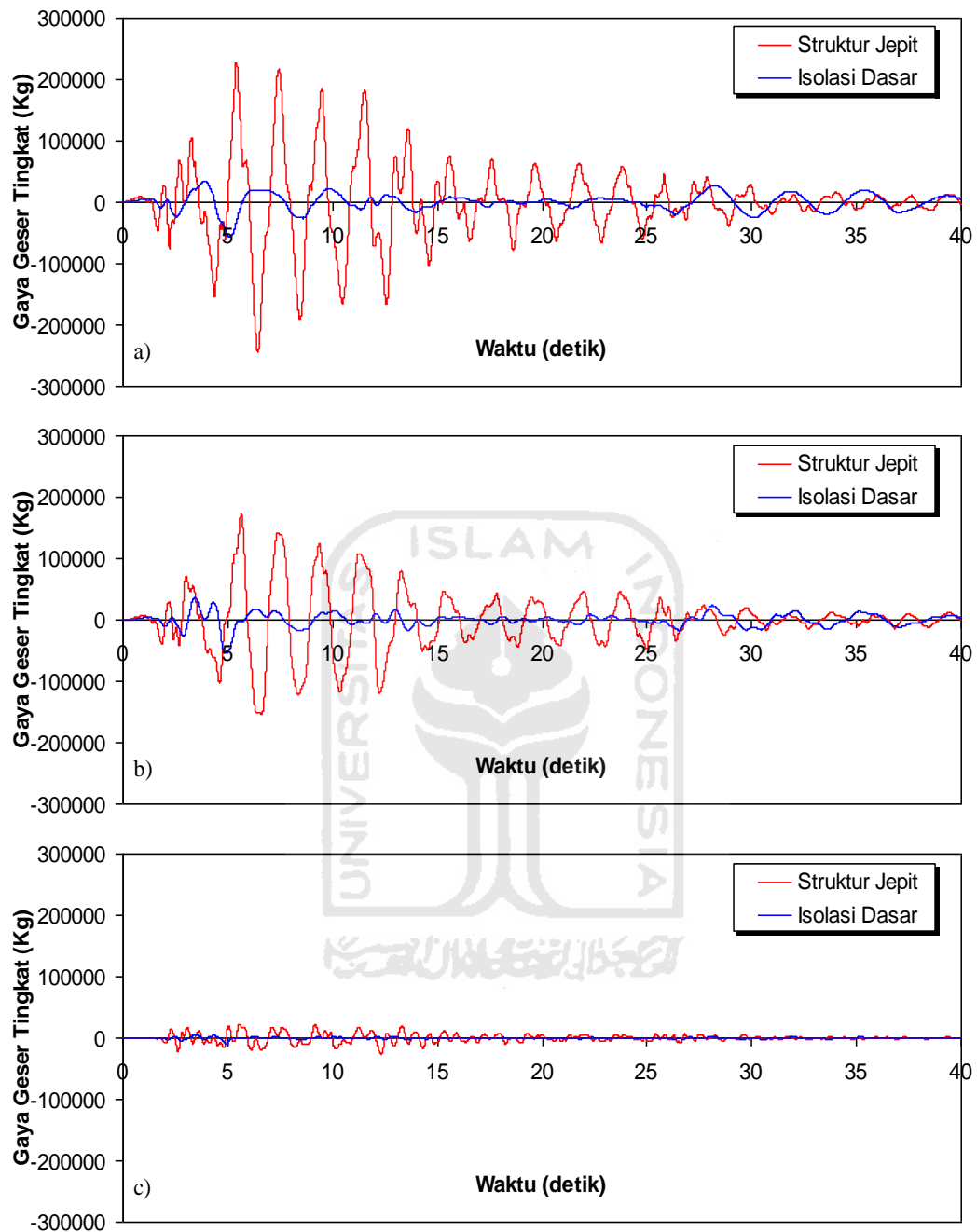
Gambar 5.37 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 5, c) Tingkat Atap < 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



Gambar 5.38 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 5, c) Tingkat Atap > 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



Gambar 5.39 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 7, c) Tingkat Atap <math>< 0,5\% \text{ Interstory Drift Ratio}</math>



Gambar 5.40 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 7, c) Tingkat Atap > 0,5 % *Interstory Drift Ratio*

5.3.6 Momen Guling

Respons seismik akibat beban gempa yang berupa nilai momen guling struktur bangunan maksimum hasil analisis program menggunakan ProgSIP 2017 dapat dilihat pada Tabel 5.31 sampai dengan Tabel 5.36 sedangkan untuk grafiknya dapat dilihat pada Gambar 5.41 sampai Gambar 5.48.

Pada Tabel 5.16 untuk struktur tingkat 4 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa momen guling maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 2626408,2015 kg.cm lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 9853967,6786 kg.cm. Ratio terkecil terjadi pada tingkat 3 sebesar 0,1904 atau reduksi momen guling struktur diperoleh 80,96 %, sedangkan pada Tabel 5.26 terlihat bahwa momen guling maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 7744995,4944 kg.cm lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 33503490,1071 kg.cm dan ratio terkecil terjadi pada tingkat atap sebesar 0,1645 atau reduksi momen guling struktur diperoleh 83,55 %.

Pada Tabel 5.17 untuk struktur tingkat 10 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa momen guling maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 6127742,0374 kg.cm lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 20416958,1056 kg.cm. Ratio terkecil terjadi pada tingkat 1 sebesar 0,3001 atau reduksi momen guling struktur diperoleh 69,99 %, sedangkan pada Tabel 5.26 terlihat bahwa momen guling maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 15814755,1383 kg.cm lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 55125786,8852 kg.cm dan ratio terkecil terjadi pada tingkat 1 sebesar 0,2869 atau reduksi momen guling struktur diperoleh 71,31 %.

Pada Tabel 5.18 untuk struktur tingkat 15 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa momen guling maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 9718882,0783 kg.cm lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar yaitu 39623915,1988 kg.cm. Ratio terkecil terjadi pada tingkat 1 sebesar 0,2453 atau reduksi momen guling struktur diperoleh 75,67 %, sedangkan pada Tabel 5.26 terlihat bahwa momen guling maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis yaitu 21553625,7478 kg.cm lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar

yaitu 91135004,9573 kg.cm dan ratio terkecil terjadi pada tingkat atap sebesar 0,2365 atau reduksi momen guling struktur diperoleh 76,35 %.

Dari struktur 4, 10 dan 15 tingkat terlihat memiliki respons yang sama dimana bangunan dengan isolasi dasar momen guling lebih kecil dari bangunan tanpa isolasi dasar. Reduksi momen guling struktur yang diperoleh berkisar antara 69,99 - 80,96 % untuk $< 0,5$ % *Interstory Drift Ratio* dan 71,31 – 83,55 % untuk $> 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*.

Tabel 5.31 Perbandingan Momen Guling Maksimum Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa El Centro 1940 $< 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*

Tingkat	Momen Guling (kg.cm)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
4	0	0	0
3	4418161.4945	841314.7119	0.1904
2	7936708.5049	1875724.3943	0.2363
1	9853967.6786	2626408.2015	0.2665

Tabel 5.32 Perbandingan Momen Guling Maksimum Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa El Centro 1940 $> 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*

Tingkat	Momen Guling (kg.cm)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
4	0	0	0
3	15021749.0812	2471783.1877	0.1645
2	26984808.9168	5526183.0518	0.2048
1	33503490.1071	7744995.4944	0.2312

Tabel 5.33 Perbandingan Momen Guling Maksimum Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa El Centro 1940 $< 0,5$ % *Interstory Drift Ratio*

Tingkat	Momen Guling (kg.cm)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
10	0	0	0
9	3228587.2479	1191489.3921	0.3690
8	6844546.9286	2723314.6543	0.3979
7	9649337.8909	3999519.2488	0.4145
6	11689069.7637	5010884.5765	0.4287
5	13386746.8958	5734030.5782	0.4283
4	14923345.1234	6094115.4347	0.4084
3	17032937.9750	6066882.2566	0.3562
2	18759897.1169	5745233.9279	0.3063
1	20416958.1056	6127742.0374	0.3001

**Tabel 5.34 Perbandingan Momen Guling Maksimum Struktur Tingkat 10
Akibat Gempa El Centro 1940 > 0,5 % *Interstory Drift Ratio***

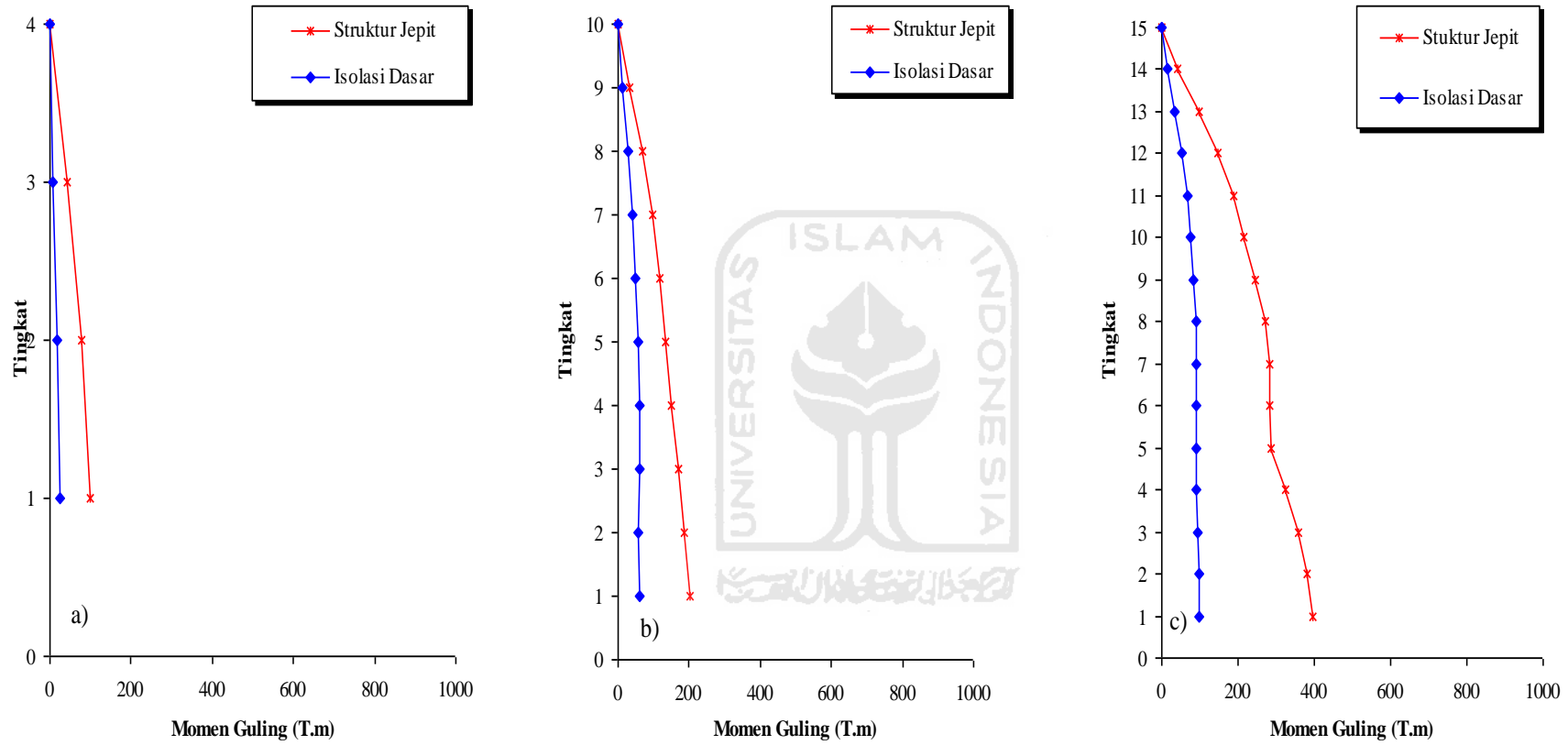
Tingkat	Momen Guling (kg.cm)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
10	0	0	0
9	8717185.5693	3200867.3479	0.3672
8	18480276.7073	7309405.6291	0.3955
7	26053212.3055	10710251.3467	0.4111
6	31560488.3619	13359010.5886	0.4233
5	36144216.6186	15191426.3701	0.4203
4	40293031.8331	16044409.2546	0.3982
3	45988932.5324	15889991.5568	0.3455
2	50651722.2156	15049621.5085	0.2971
1	55125786.8852	15814755.1383	0.2869

**Tabel 5.35 Perbandingan Momen Guling Maksimum Struktur Tingkat 15
Akibat Gempa El Centro 1940 < 0,5 % *Interstory Drift Ratio***

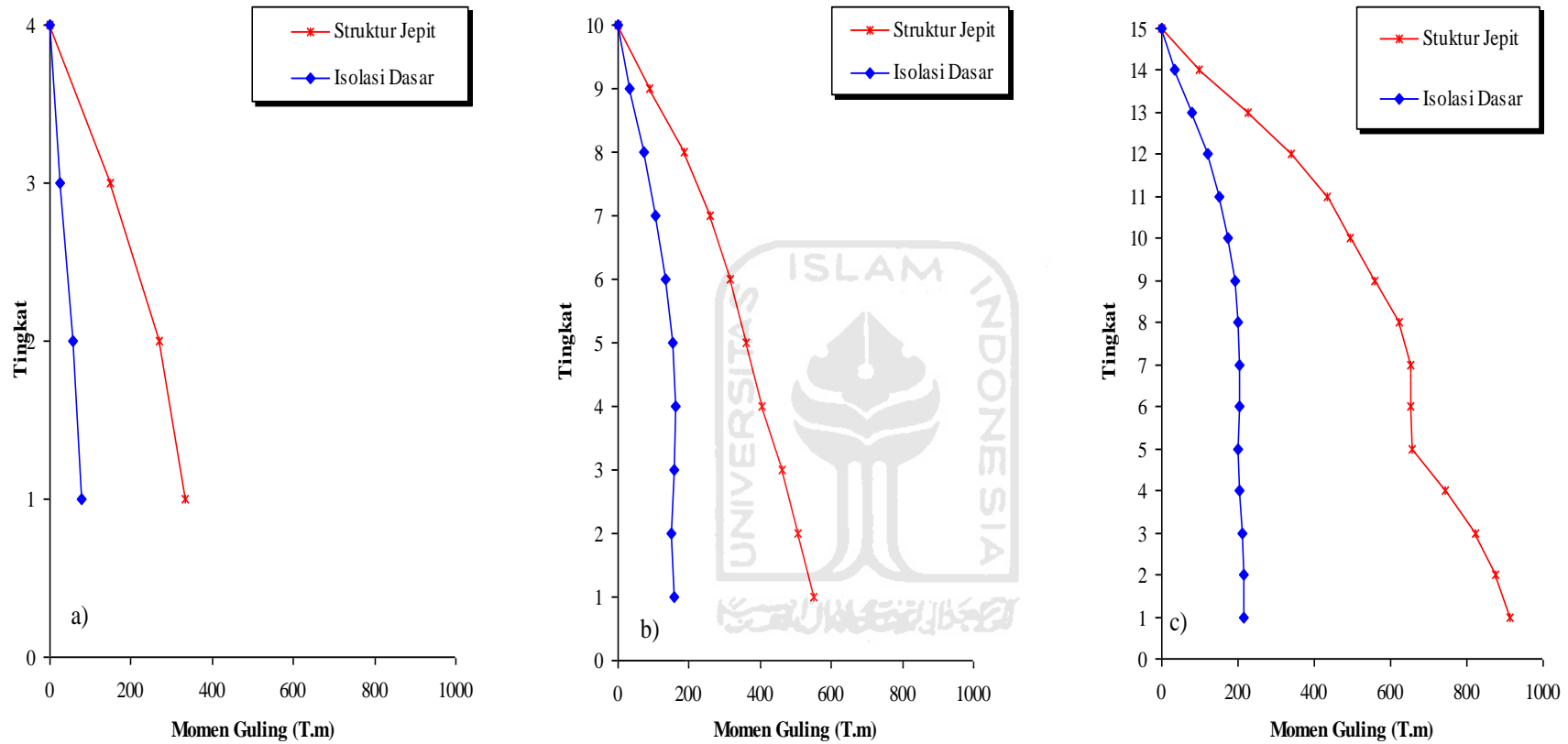
Tingkat	Momen Guling (kg.cm)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
15	0	0	0
14	4206222.9249	1515427.2919	0.3603
13	9828906.2895	3518400.9833	0.3580
12	14803865.4948	5270629.6605	0.3560
11	18789610.7674	6679222.1335	0.3555
10	21466629.3830	7729689.6368	0.3601
9	24344072.4098	8445635.0452	0.3469
8	27040890.5741	8883036.7804	0.3285
7	28367245.1584	9085958.8186	0.3203
6	28413077.2712	9077740.5385	0.3195
5	28602818.5674	8951000.1846	0.3129
4	32400991.9125	8998707.9035	0.2777
3	35692398.4780	9374304.1715	0.2626
2	37993526.1793	9624048.7095	0.2533
1	39623915.1988	9718882.0783	0.2453

**Tabel 5.36 Perbandingan Momen Guling Maksimum Struktur Tingkat 15
Akibat Gempa El Centro 1940 > 0,5 % *Interstory Drift Ratio***

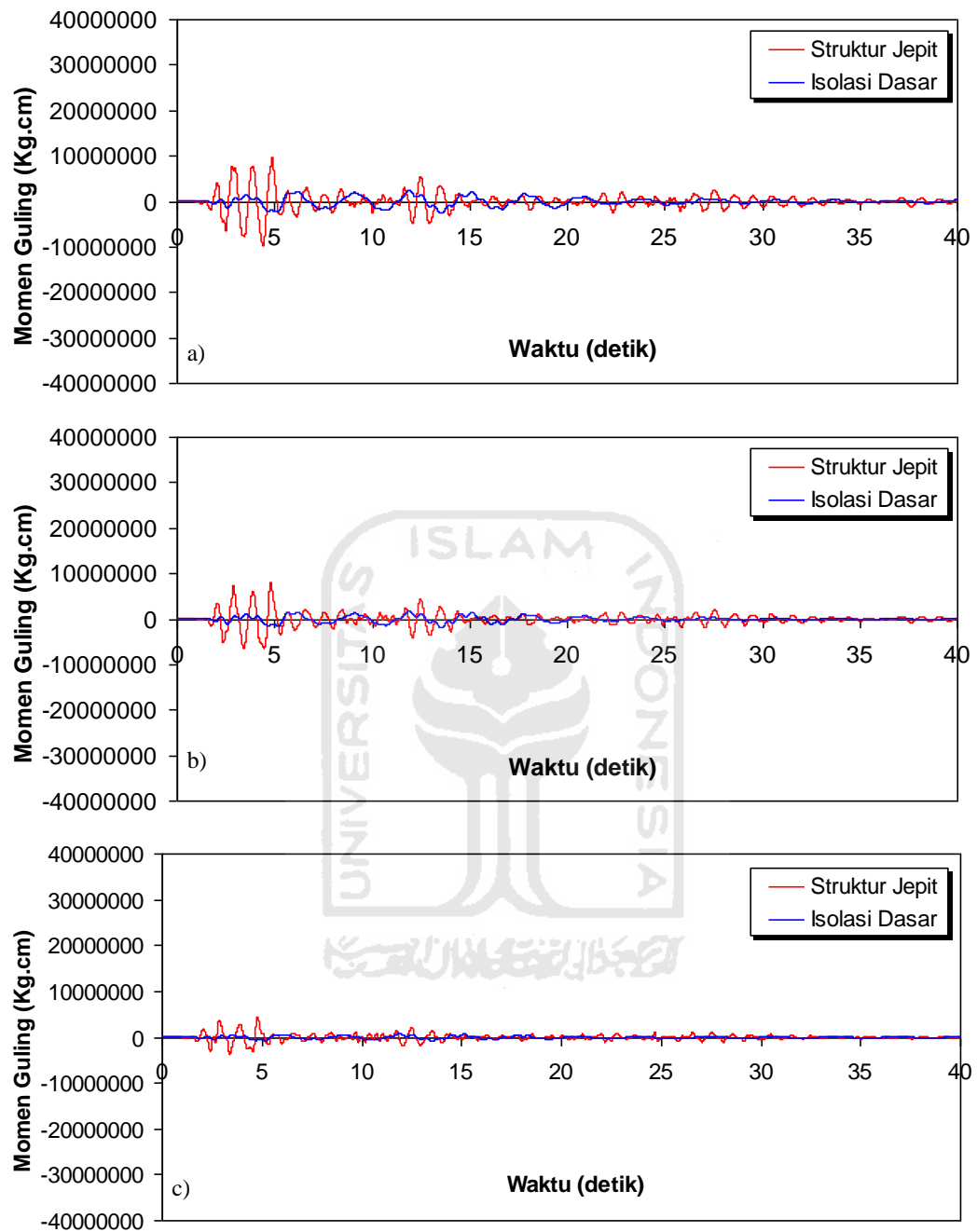
Tingkat	Momen Guling (kg.cm)		
	Struktur Jepit (A)	Isolasi Dasar (B)	Rasio = B/A
15	0	0	0
14	9674312.7273	3453712.1889	0.3570
13	22606484.4658	8013119.4813	0.3545
12	34048890.6379	11990767.1599	0.3522
11	43216104.7651	15176549.8203	0.3512
10	49373247.5808	17530374.0496	0.3551
9	55991366.5426	19110113.3937	0.3413
8	62194048.3204	20040095.7137	0.3222
7	65244663.8643	20429079.0012	0.3131
6	65350077.7237	20367887.2540	0.3117
5	65786482.7049	20144147.5769	0.3062
4	74522281.3987	20312083.6057	0.2726
3	82092516.4995	21033206.0983	0.2562
2	87385110.2125	21467535.6966	0.2457
1	91135004.9573	21553625.7478	0.2365



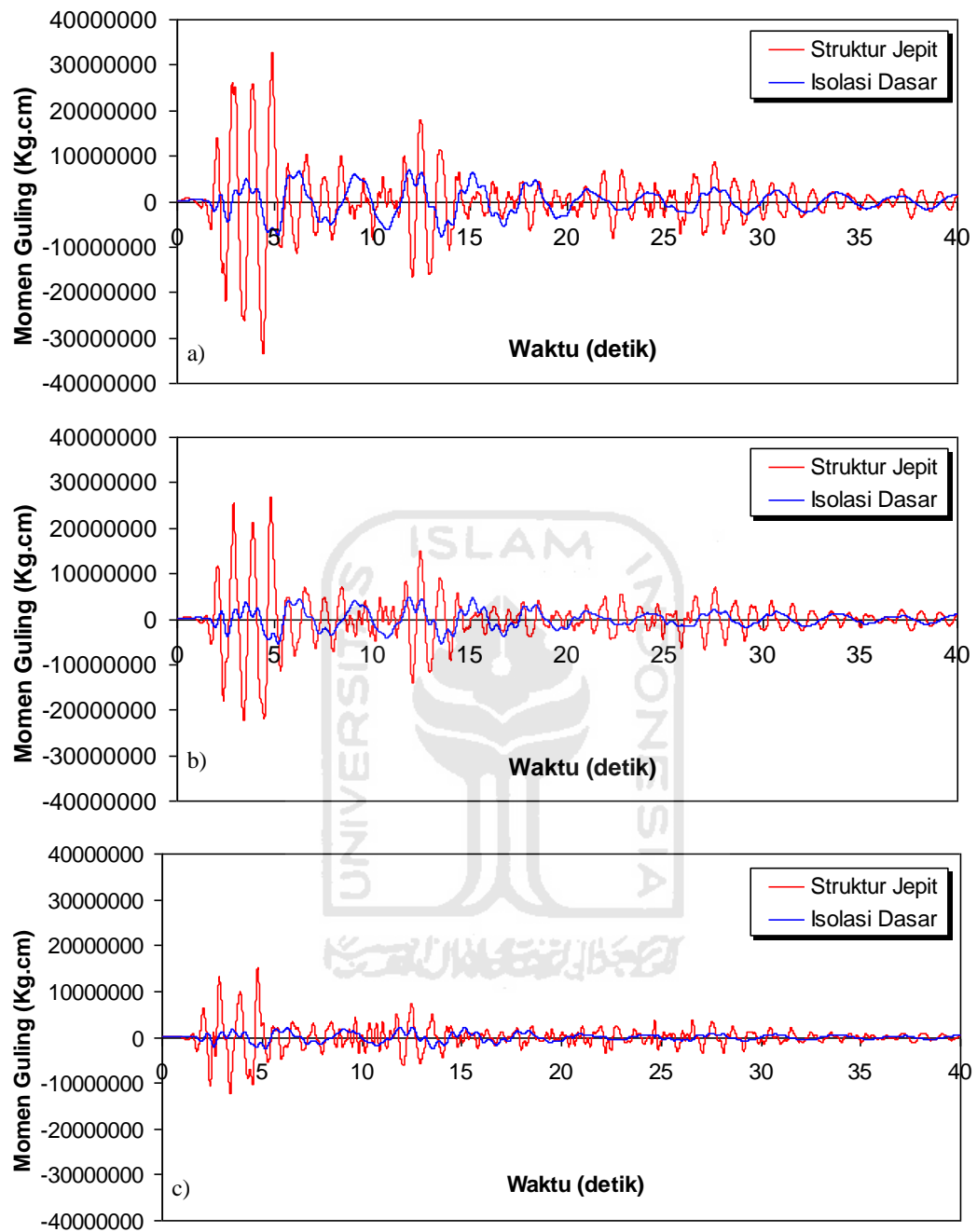
Gambar 5.41 Perbandingan Momen Guling Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat < 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



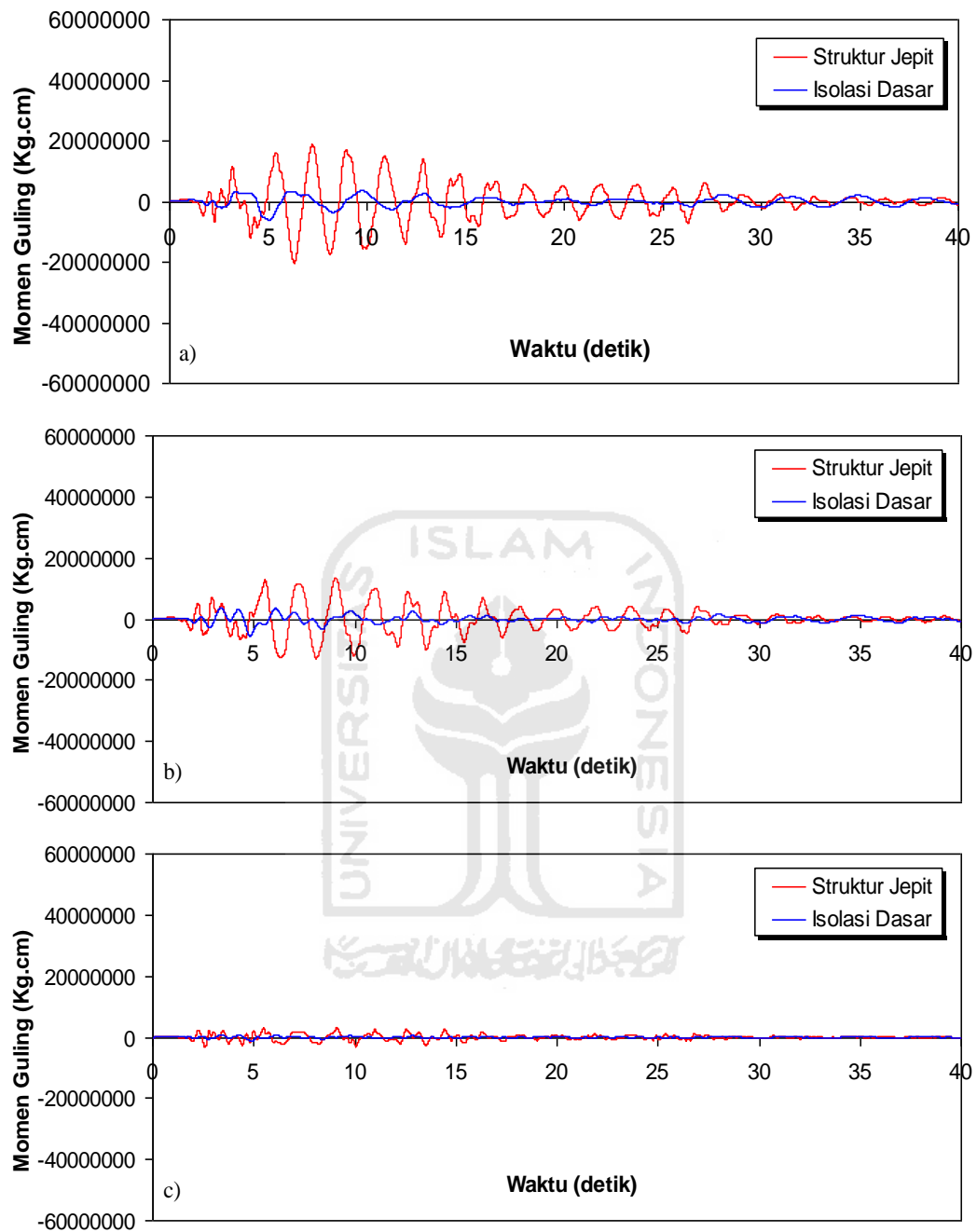
Gambar 5.42 Perbandingan Momen Guling Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat > 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



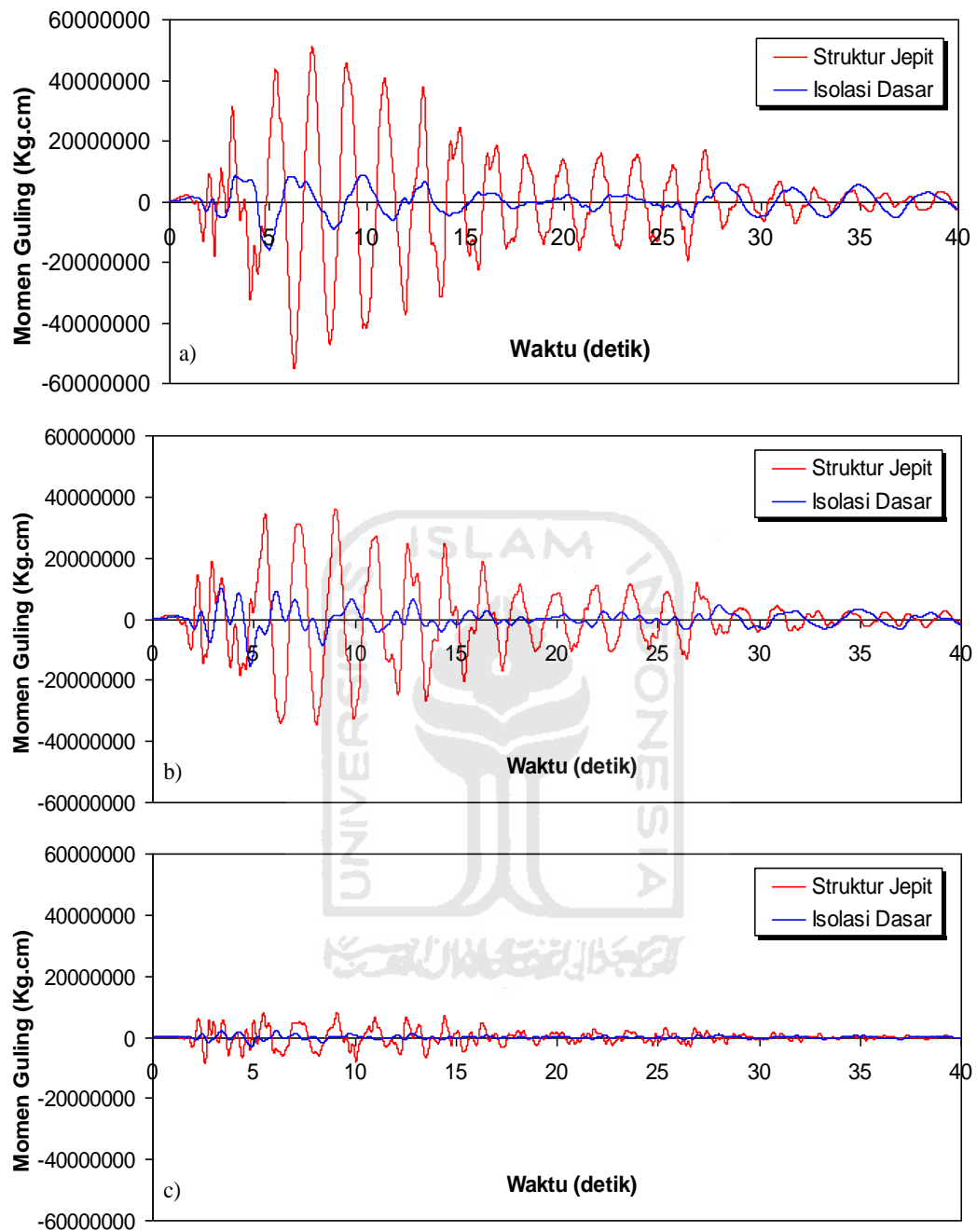
Gambar 5.43 Perbandingan Momen Guling Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap < 0,5 % Interstory Drift Ratio



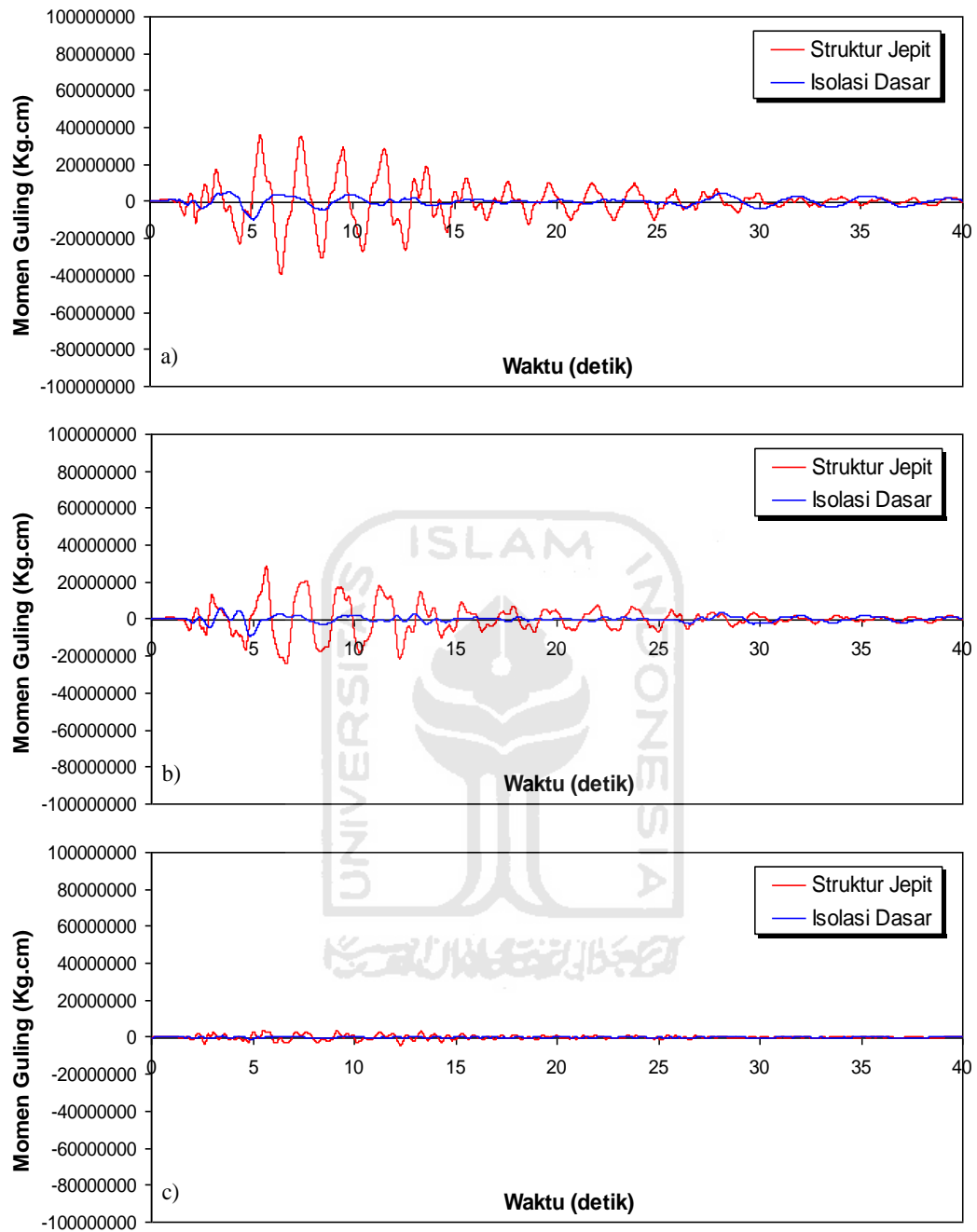
Gambar 5.44 Perbandingan Momen Guling Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap > 0,5 % Interstory Drift Ratio



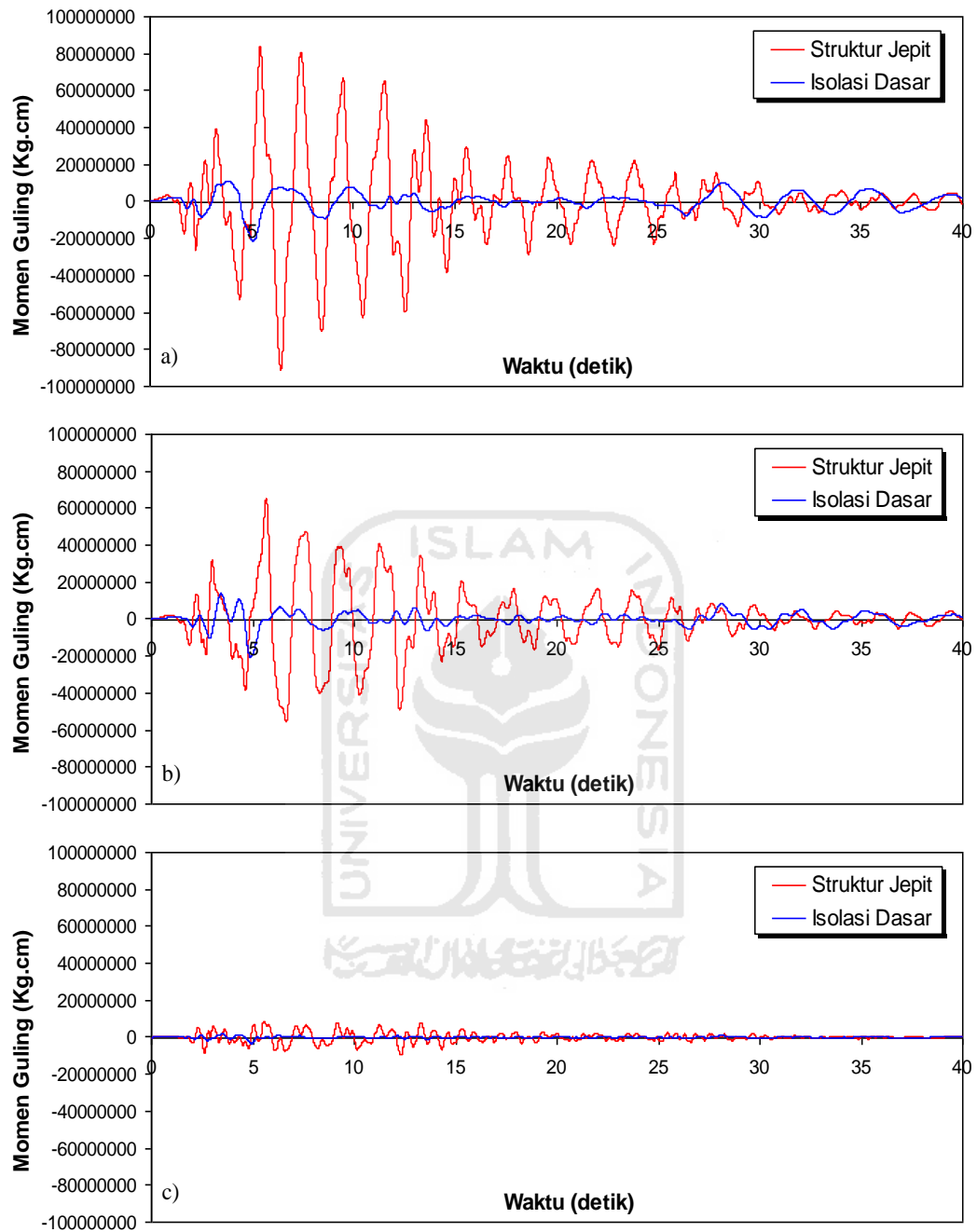
Gambar 5.45 Perbandingan Momen Guling Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 5, c) Tingkat Atap < 0,5 % Interstory Drift Ratio



Gambar 5.46 Perbandingan Momen Guling Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 5, c) Tingkat Atap > 0,5 % Interstory Drift Ratio



Gambar 5.47 Perbandingan Momen Guling Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 7, c) Tingkat Atap < 0,5 % Interstory Drift Ratio



Gambar 5.48 Perbandingan Momen Guling Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 7, c) Tingkat Atap > 0,5 % *Interstory Drift Ratio*

5.3.7 *Hysteristic Loops*

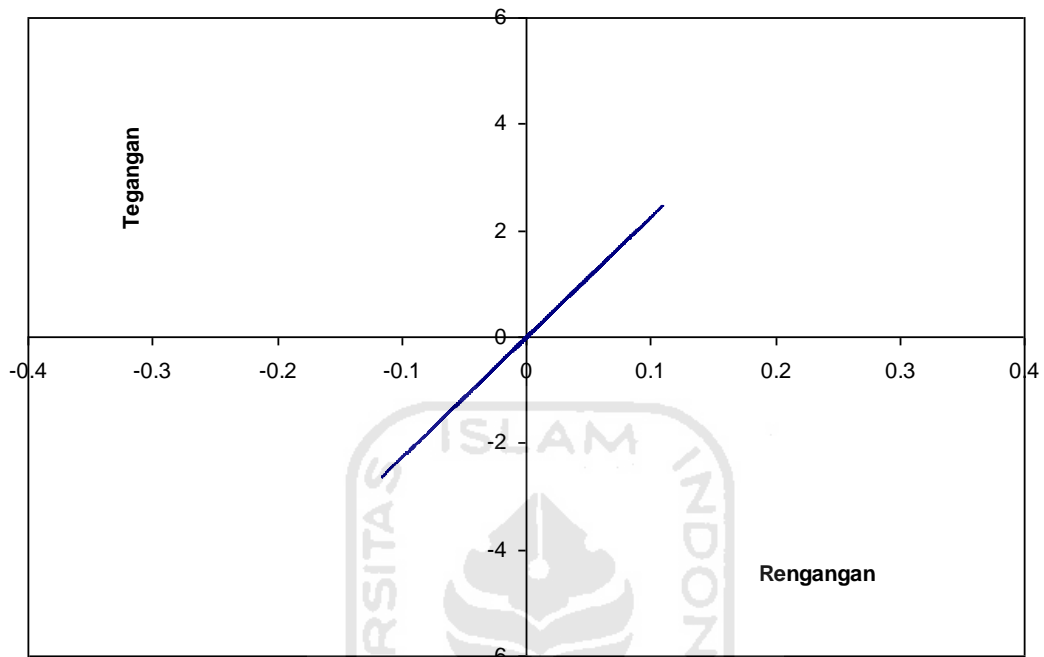
Pada penelitian ini kekakuan isolasi dasar akan berubah ketika terdapat beban gempa, sehingga perilaku isolasi dasar akan juga berubah dari yang sebelumnya bersifat elastik (kekakuan tetap) menjadi inelastik (kekakuan berubah-ubah). Parameter penting yang menunjukkan kondisi tersebut adalah dengan *hysteretic loops* yaitu grafik hubungan antara beban-simpangan atau tegangan-regangan. Respons non linier inelastik berdasarkan prinsip *bilinier* menunjukkan bahwa kekakuan isolasi dasar akan berubah menurut fungsi waktu gempa yang terjadi.

Hasil analisis *hysteretic loops* berdasarkan prinsip *bilinier* pada struktur tingkat 4 menunjukkan perbedaan antara kondisi *interstory drift ratio* $< 0,5\%$ dan $> 0,5\%$ terlihat bahwa respons *hysteretic loops* $< 0,5\%$ linear elastis dan *hysteretic loops* $> 0,5\%$ berubah menjadi non-linear inelastis. Berdasarkan hasil respons tegangan dan regangan pada kondisi *interstory drift ratio* $< 0,5\%$ lebih kecil dari kondisi *interstory drift ratio* $> 0,5\%$. Respons *hysteretic loops bilinier* pada struktur tingkat 4 dapat dilihat pada Gambar 5.49 dan 5.50.

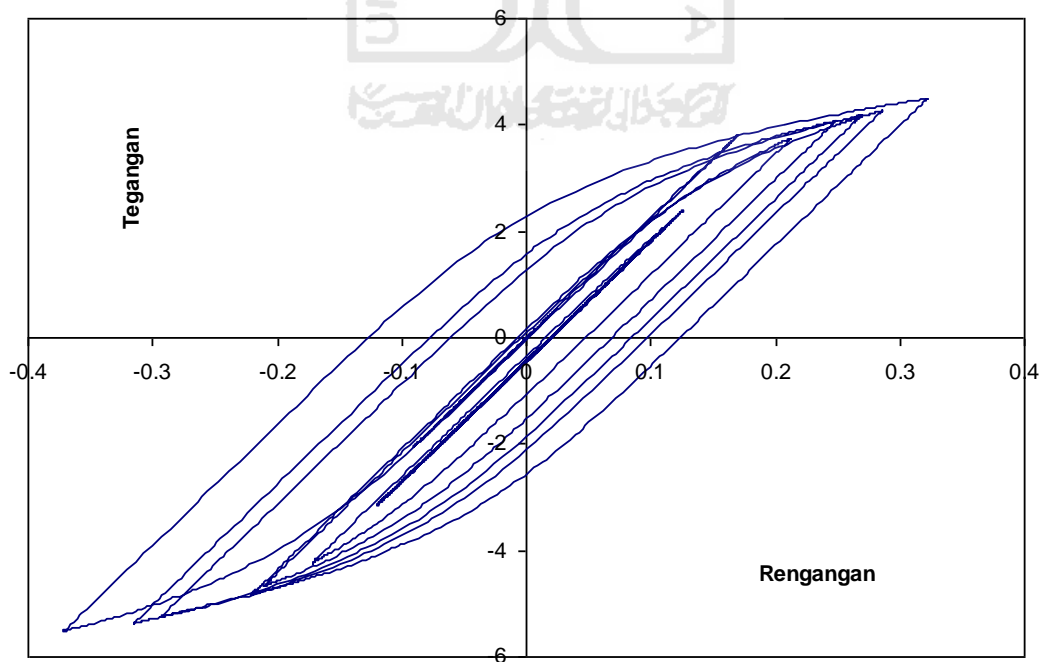
Hasil analisis pada struktur tingkat 10 menunjukkan pengaruh penambahan beban bangunan dari analisis struktur tingkat 4 sehingga respons tegangan dan regangan menghasilkan nilai lebih kecil. Respons *hysteretic loops* pada kedua kondisi *interstory drift ratio* $< 0,5\%$ dan $> 0,5\%$ terlihat bahwa respons linear elastis. Berdasarkan hasil respons tegangan dan regangan pada kondisi *interstory drift ratio* $< 0,5\%$ lebih kecil dari kondisi *interstory drift ratio* $> 0,5\%$. Respons *hysteretic loops bilinier* struktur tingkat 10 dapat dilihat pada Gambar 5.51 dan Gambar 5.52.

Hasil analisis pada struktur tingkat 15 menunjukkan pengaruh penambahan beban bangunan dari analisis struktur tingkat 4 dan 10 sehingga respons tegangan dan regangan menghasilkan nilai lebih kecil. Respons *hysteretic loops* pada kedua kondisi *interstory drift ratio* $< 0,5\%$ dan $> 0,5\%$ terlihat bahwa respons linear elastis. Berdasarkan hasil respons tegangan dan regangan pada kondisi *interstory drift ratio* $< 0,5\%$ lebih kecil dari kondisi *interstory drift ratio* $> 0,5\%$. Respons

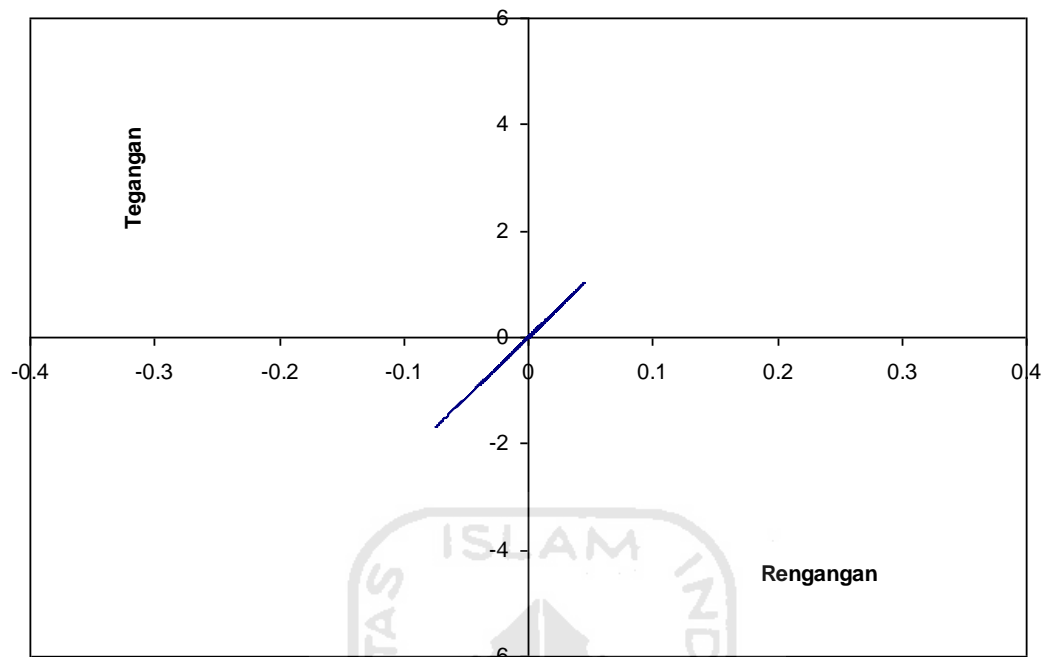
hysteretic loops pada struktur tingkat 15 dapat dilihat pada Gambar 5.53 sampai Gambar 5.54.



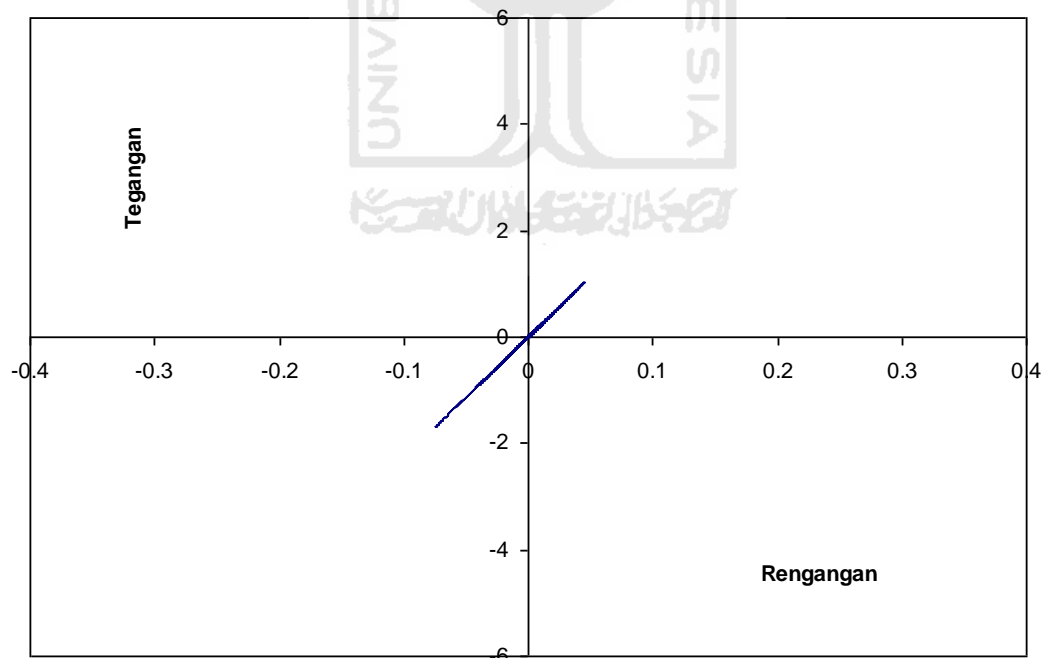
Gambar 5.49 *Hysteristic Loops* Isolasi Dasar Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 $< 0,5\%$ *Interstory Drift Ratio*



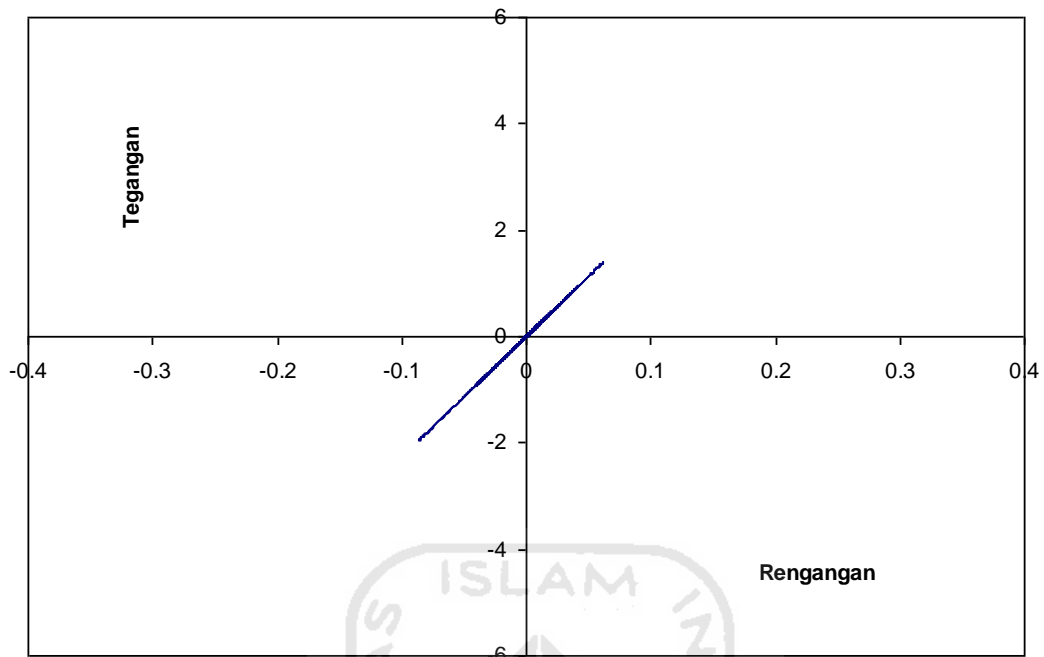
Gambar 5.50 *Hysteristic Loops* Isolasi Dasar Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 $> 0,5\%$ *Interstory Drift Ratio*



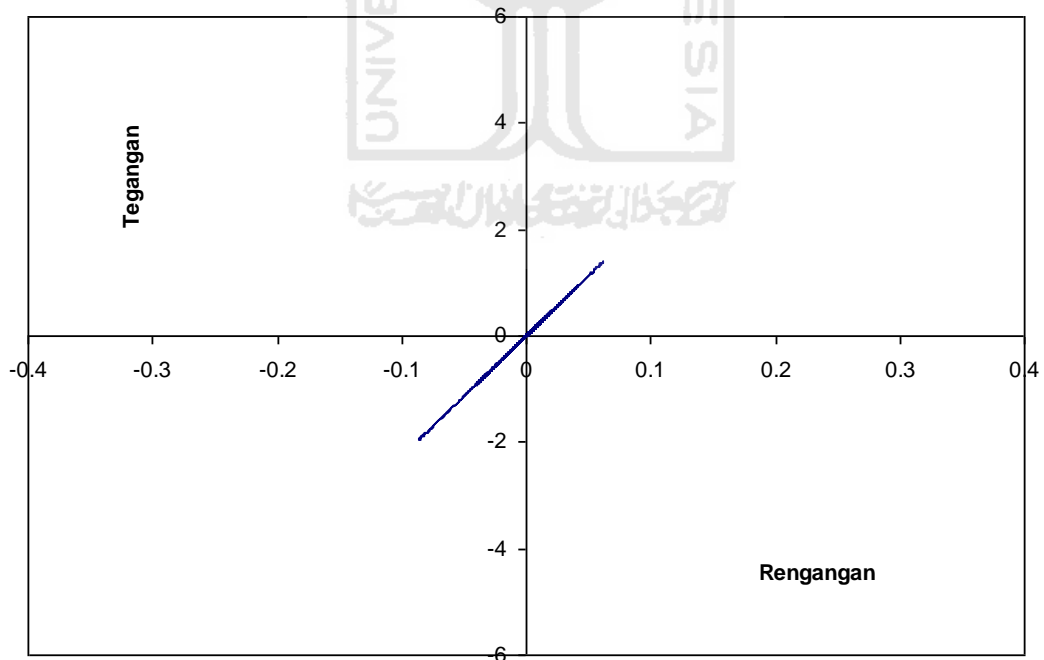
Gambar 5.51 *Hysteretic Loops* Isolasi Dasar Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 $< 0,5\%$ *Interstory Drift Ratio*



Gambar 5.52 *Hysteretic Loops* Isolasi Dasar Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 $> 0,5\%$ *Interstory Drift Ratio*



Gambar 5.53 *Hysteristic Loops* Isolasi Dasar Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 < 0,5 % *Interstory Drift Ratio*



Gambar 5.54 *Hysteristic Loops* Isolasi Dasar Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940 < 0,5 % *Interstory Drift Ratio*

5.4 Analisis Respons Struktur dengan Isolasi Dasar Akibat Tiga Jenis Gempa

Analisis digunakan tiga jenis riwayat gempa yaitu gempa Coalinga 1983 mewakili gempa frekuensi Rendah, El Centro 1940 mewakili gempa frekuensi menengah, El Centro 1979 mewakili gempa frekuensi tinggi. Analisis-analisis dilakukan dengan cara mencari kekakuan isolasi dasar sesuai dengan jumlah tingkat bangunan. Analisis diatas divariasikan pula dengan variasi struktur yaitu 4, 10 dan 15 tingkat. Hasil berupa respons-respons dinamik struktur hanya bangunan dengan isolasi dasar. Isolator yang digunakan dalam analisis ini adalah *lead rubber bearings* (LRBs).

5.4.1 Simpangan

Respons seismik akibat beban gempa yang berupa nilai simpangan struktur bangunan maksimum hasil analisis program menggunakan ProgSIP 2017 dapat dilihat pada Tabel 5.55 sampai Tabel 5.39 sedangkan untuk grafiknya dapat dilihat pada Gambar 5.61 sampai Gambar 5.64.

Pada Tabel 5.37 untuk struktur tingkat 4 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa simpangan maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis untuk gempa frekuensi rendah yaitu akibat gempa Coalinga 1983 adalah 4,2221 cm, untuk gempa frekuensi menengah yaitu akibat gempa El Centro 1940 adalah 1,3036 cm dan untuk gempa frekuensi tinggi yaitu akibat gempa El Centro 1979 adalah 1,1612 cm.

Pada Tabel 5.38 untuk struktur tingkat 10 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa simpangan maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis untuk gempa frekuensi rendah yaitu akibat gempa Coalinga 1983 adalah 9,8810 cm, untuk gempa frekuensi menengah yaitu akibat gempa El Centro 1940 adalah 2,6086 cm dan untuk gempa frekuensi tinggi yaitu akibat gempa El Centro 1979 adalah 1,8983 cm.

Pada Tabel 5.39 untuk struktur tingkat 15 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa simpangan maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis untuk gempa frekuensi rendah yaitu akibat gempa Coalinga 1983 adalah 14,6761 cm, untuk gempa frekuensi menengah yaitu akibat gempa El Centro 1940 adalah

4,7760 cm dan untuk gempa frekuensi tinggi yaitu akibat gempa El Centro 1979 adalah 2,7589 cm.

Untuk struktur 4, 10, 15 tingkat menghasilkan respons yang sama yaitu simpangan struktur maksimum terbesar terjadi akibat gempa Coalinga 1983 dengan frekuensi rendah dan simpangan maksimum terkecil terjadi akibat gempa El centro 1979 dengan frekuensi tinggi.

Tabel 5.37 Perbandingan Simpangan Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa

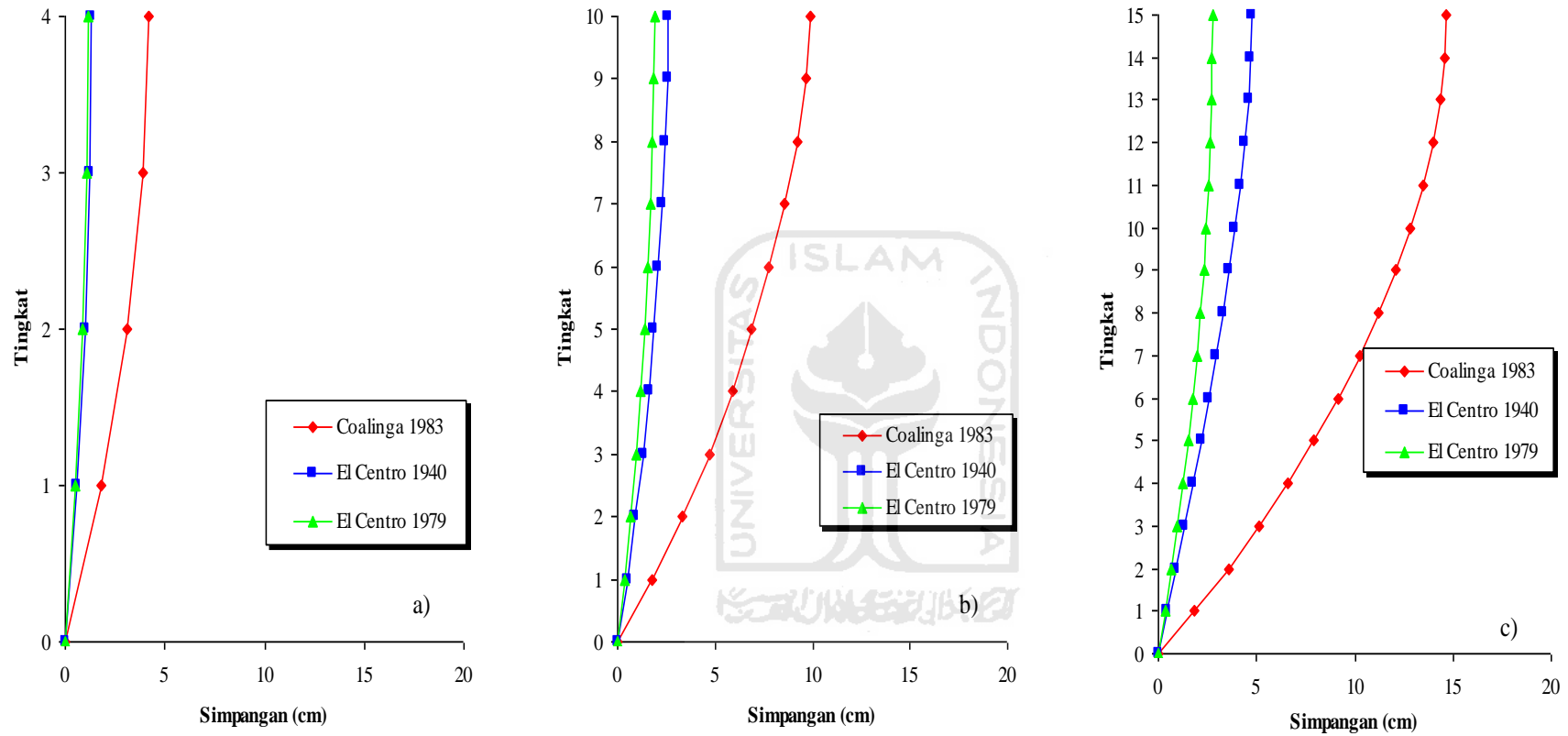
Tingkat	Simpangan (cm)		
	Coalinga 1983	El Centro 1940	El Centro 1979
4	4.2221	1.3036	1.1612
3	3.8987	1.2278	1.0675
2	3.1076	1.0080	0.8445
1	1.8199	0.6014	0.4911

Tabel 5.38 Perbandingan Simpangan Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa

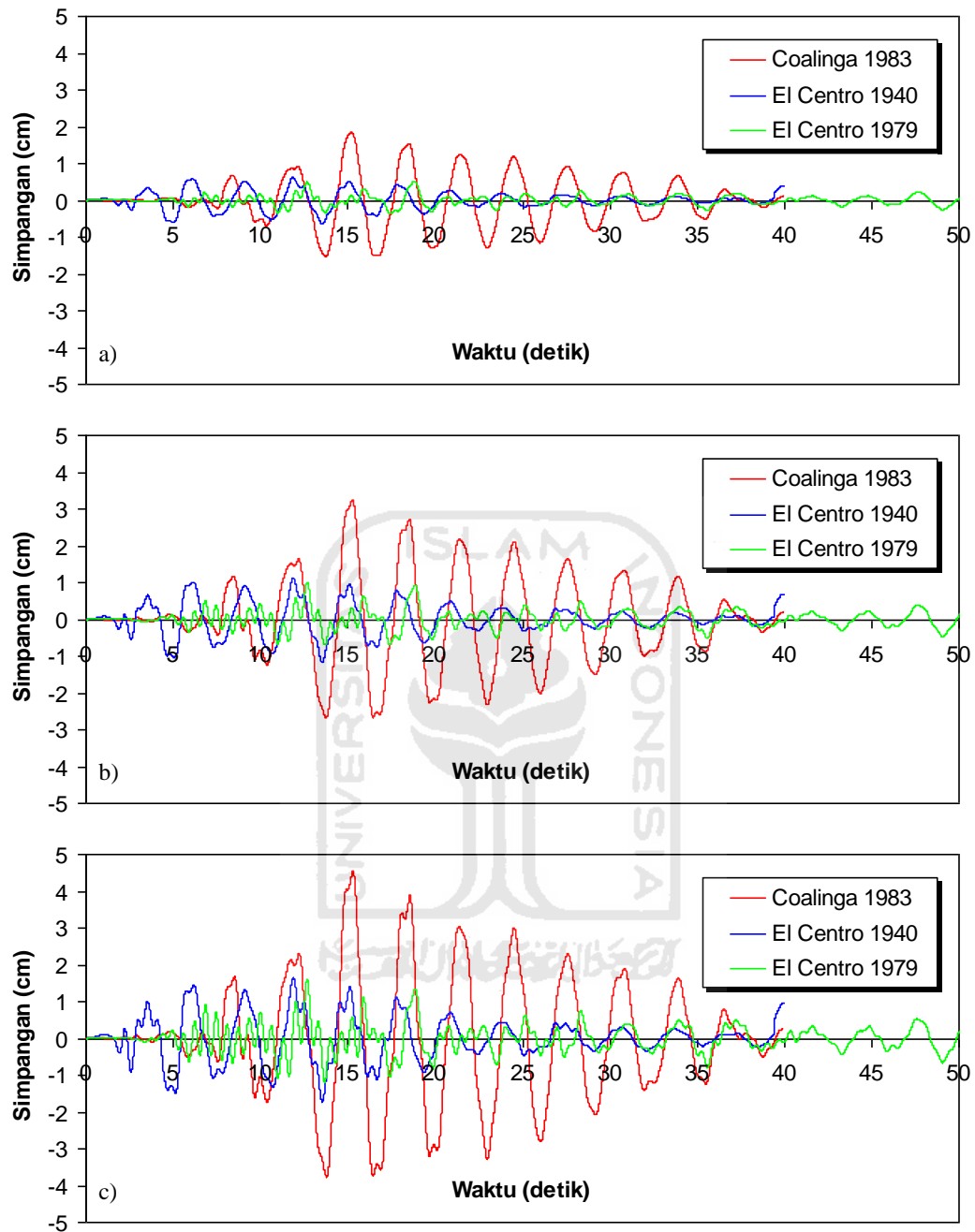
Tingkat	Simpangan (cm)		
	Coalinga 1983	El Centro 1940	El Centro 1979
10	9.8810	2.6086	1.8983
9	9.6971	2.5510	1.8699
8	9.2616	2.4307	1.8030
7	8.5913	2.2755	1.6996
6	7.7274	2.0922	1.5609
5	6.8740	1.8757	1.3880
4	5.8704	1.6142	1.1807
3	4.7044	1.2981	0.9380
2	3.3495	0.9194	0.6602
1	1.7845	0.4831	0.3469

Tabel 5.39 Perbandingan Simpangan Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa

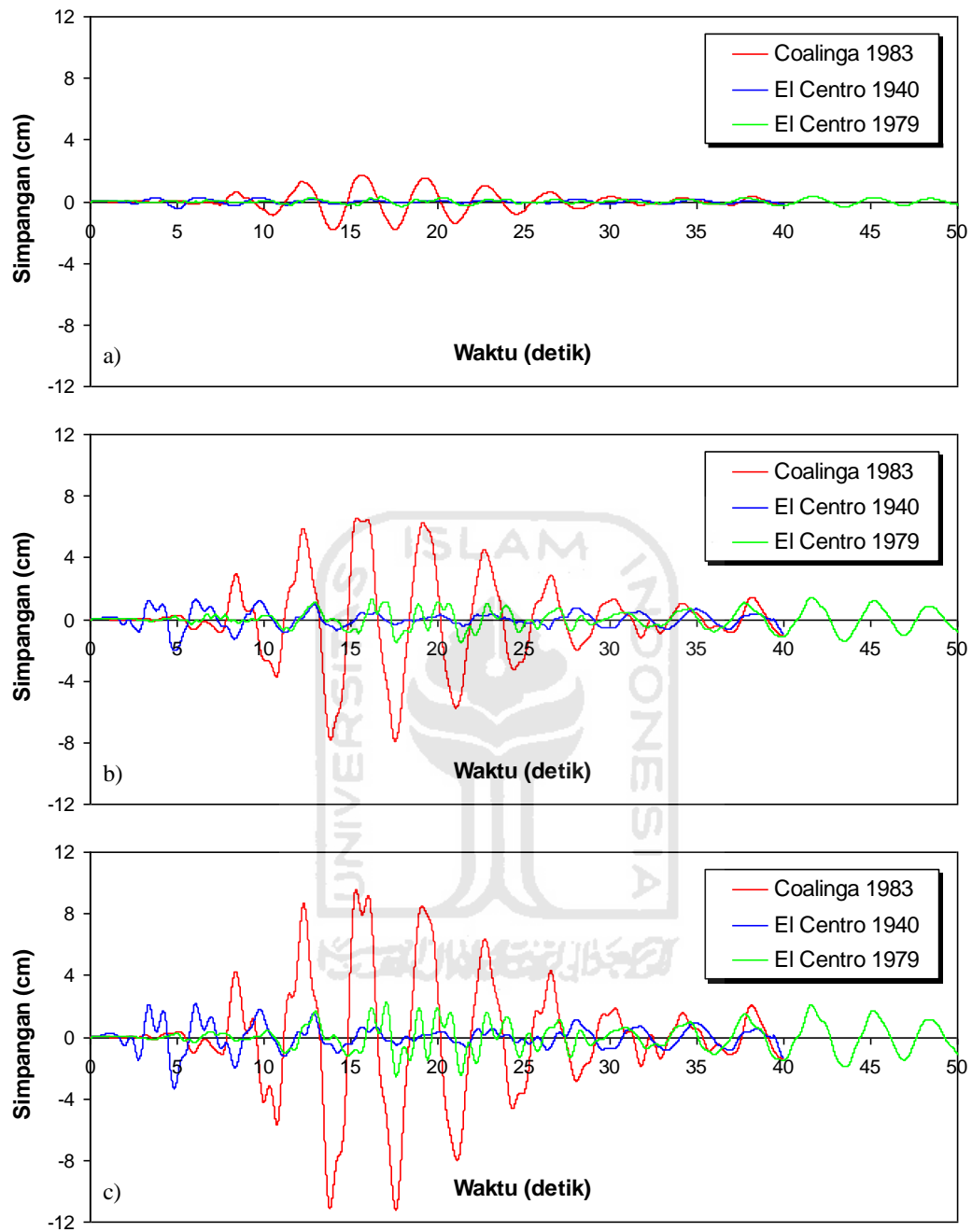
Tingkat	Simpangan (cm)		
	Coalinga 1983	El Centro 1940	El Centro 1979
15	14.6761	4.7760	2.7589
14	14.5754	4.7177	2.7424
13	14.3340	4.5880	2.7028
12	13.9574	4.3950	2.6401
11	13.4491	4.1582	2.5540
10	12.8202	3.8908	2.4440
9	12.0731	3.5991	2.3101
8	11.2128	3.2836	2.1505
7	10.2404	2.9435	1.9643
6	9.1536	2.5799	1.7504
5	7.9484	2.1892	1.5107
4	6.6193	1.7756	1.2607
3	5.1604	1.3426	0.9872
2	3.5692	0.8977	0.6872
1	1.8492	0.4479	0.3586



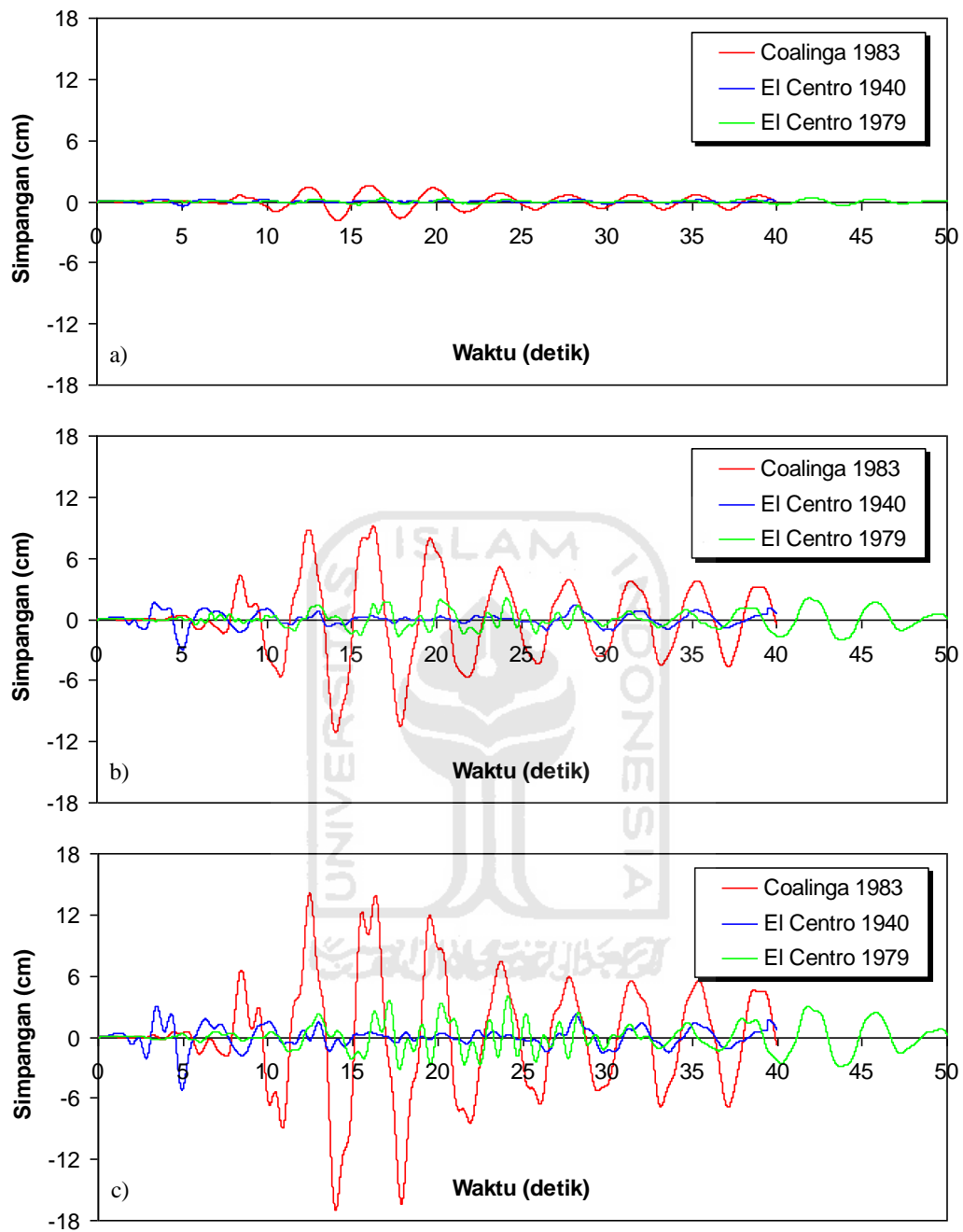
Gambar 5.55 Perbandingan Simpangan Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat



Gambar 5.56 Perbandingan Simpangan Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap



Gambar 5.57 Perbandingan Simpangan Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 5, c) Tingkat Atap



Gambar 5.58 Perbandingan Simpangan Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 7, c) Tingkat Atap

5.4.2 Simpangan antar Tingkat (*Interstory Drift*)

Respons seismik akibat beban gempa yang berupa nilai *Interstory Drift* struktur bangunan maksimum hasil analisis program menggunakan ProgSIP 2017 dapat dilihat pada Tabel 5.40 sampai Tabel 5.42 sedangkan untuk grafiknya dapat dilihat pada Gambar 5.59 sampai Gambar 5..

Pada Tabel 5.40 untuk struktur tingkat 4 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa *Interstory Drift* maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis untuk gempa frekuensi rendah yaitu akibat gempa Coalinga 1983 adalah 1,8468 cm, untuk gempa frekuensi menengah yaitu akibat gempa El Centro 1940 adalah 0,6359 cm dan untuk gempa frekuensi tinggi yaitu akibat gempa El Centro 1979 adalah 0,5149 cm.

Pada Tabel 5.41 untuk struktur tingkat 10 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa *Interstory Drift* maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis untuk gempa frekuensi rendah yaitu akibat gempa Coalinga 1983 adalah 1,8182 cm, untuk gempa frekuensi menengah yaitu akibat gempa El Centro 1940 adalah 0,4837 cm dan untuk gempa frekuensi tinggi yaitu akibat gempa El Centro 1979 adalah 0,3473 cm.

Pada Tabel 5.42 untuk struktur tingkat 15 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa *Interstory Drift* maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis untuk gempa frekuensi rendah yaitu akibat gempa Coalinga 1983 adalah 1,8595 cm, untuk gempa frekuensi menengah yaitu akibat gempa El Centro 1940 adalah 0,4482 cm dan untuk gempa frekuensi tinggi yaitu akibat gempa El Centro 1979 adalah 0,3629 cm.

Untuk struktur 4, 10, 15 tingkat menghasilkan respons yang sama yaitu *Interstory Drift* struktur maksimum terbesar terjadi akibat gempa Coalinga 1983 dengan frekuensi rendah dan *Interstory Drift* maksimum terkecil terjadi akibat gempa El centro 1979 dengan frekuensi tinggi.

Tabel 5.40 Perbandingan *Interstory Drift* Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa

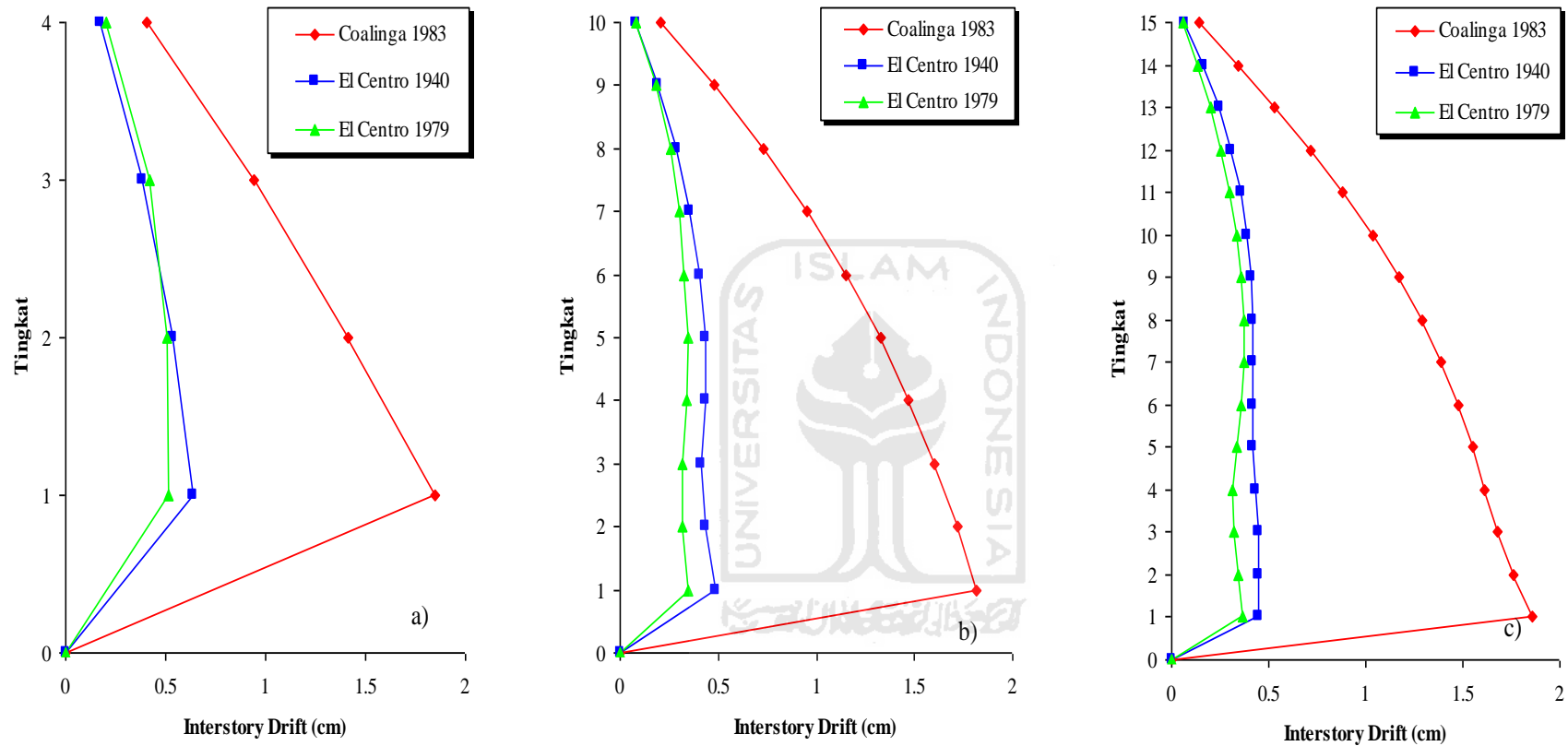
Tingkat	<i>Interstory Drift</i> (cm)		
	Coalinga 1983	El Centro 1940	El Centro 1979
4	0.4076	0.1724	0.2032
3	0.9406	0.3843	0.4191
2	1.4117	0.5383	0.5107
1	1.8468	0.6359	0.5149

Tabel 5.41 Perbandingan *Interstory Drift* Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa

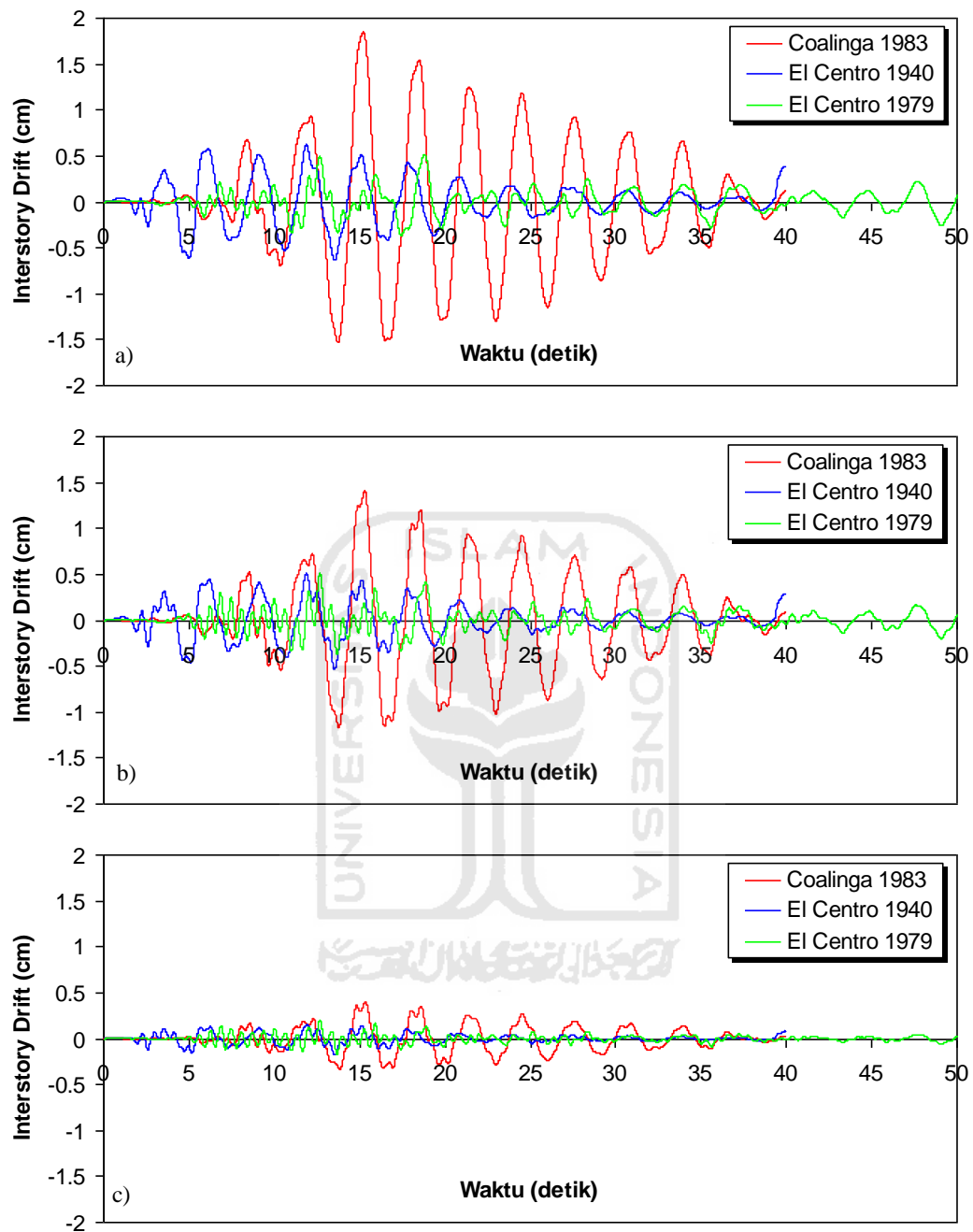
Tingkat	<i>Interstory Drift</i> (cm)		
	Coalinga 1983	El Centro 1940	El Centro 1979
10	0.2061	0.0848	0.0807
9	0.4804	0.1937	0.1821
8	0.7284	0.2846	0.2586
7	0.9496	0.3567	0.3033
6	1.1495	0.4085	0.3248
5	1.3260	0.4346	0.3434
4	1.4721	0.4329	0.3409
3	1.6043	0.4100	0.3137
2	1.7231	0.4382	0.3160
1	1.8182	0.4837	0.3473

Tabel 5.42 Perbandingan *Interstory Drift* Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa

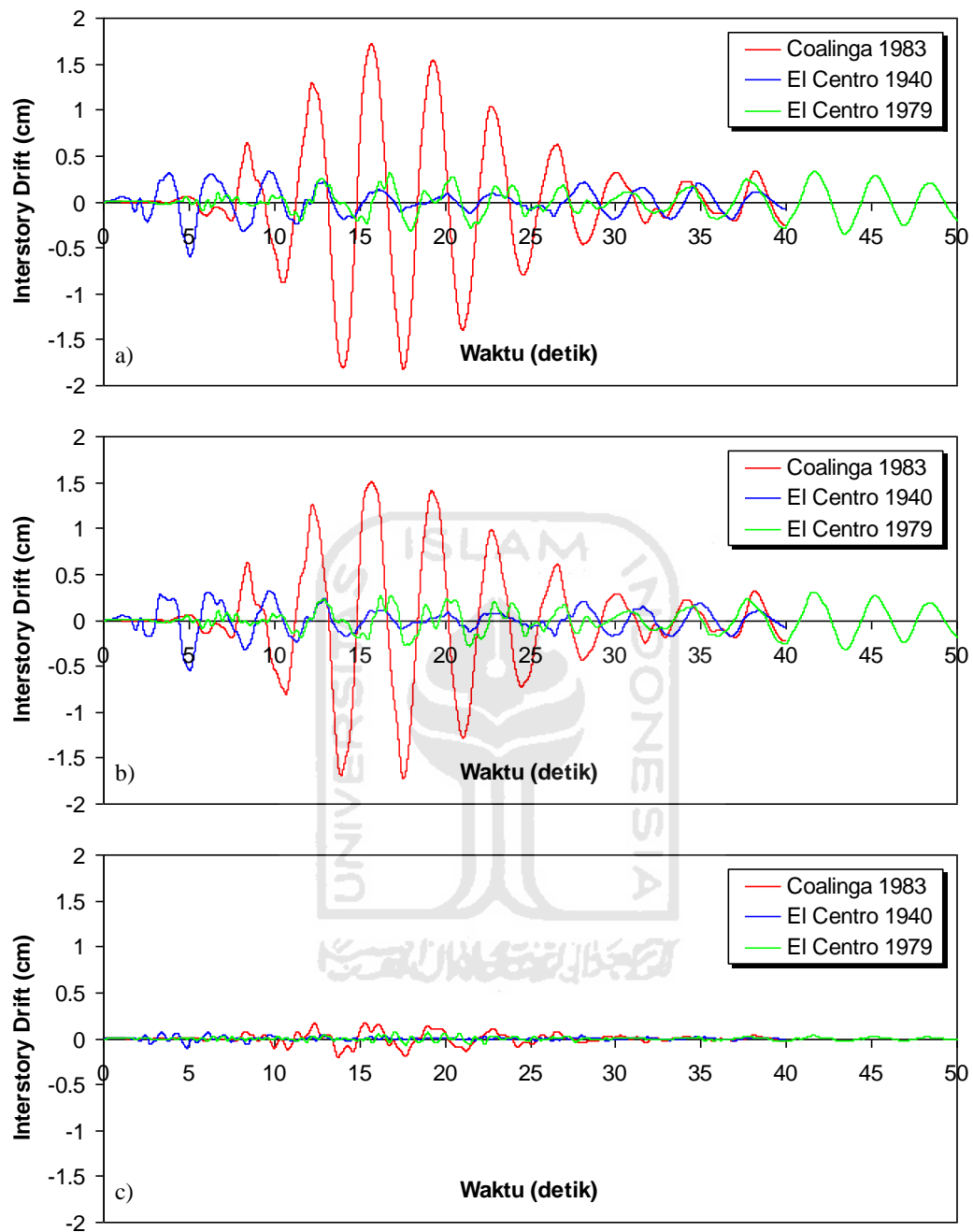
Tingkat	<i>Interstory Drift</i> (cm)		
	Coalinga 1983	El Centro 1940	El Centro 1979
15	0.1427	0.0702	0.0564
14	0.3399	0.1630	0.1319
13	0.5314	0.2441	0.1994
12	0.7140	0.3093	0.2553
11	0.8842	0.3580	0.2976
10	1.0381	0.3912	0.3341
9	1.1739	0.4114	0.3592
8	1.2911	0.4209	0.3717
7	1.3917	0.4205	0.3713
6	1.4768	0.4146	0.3594
5	1.5487	0.4168	0.3385
4	1.6130	0.4342	0.3115
3	1.6800	0.4458	0.3243
2	1.7608	0.4502	0.3430
1	1.8595	0.4482	0.3629



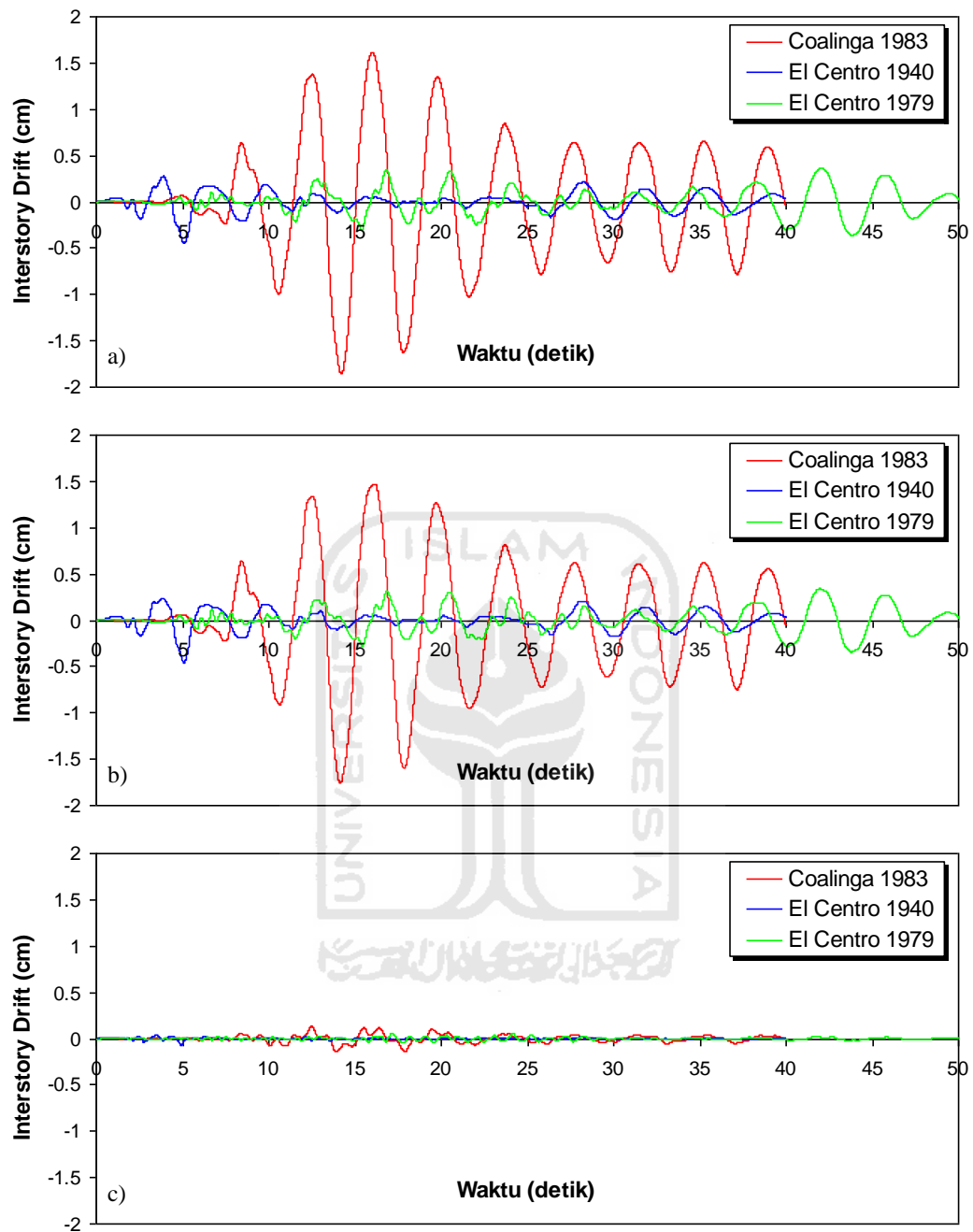
Gambar 5.59 Perbandingan *Interstory Drift* Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat



Gambar 5.60 Perbandingan *Interstory Drift* Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap



Gambar 5.61 Perbandingan *Interstory Drift* Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap



Gambar 5.62 Perbandingan *Interstory Drift* Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap

5.4.3 Rasio Simpangan antar Tingkat (*Interstory Drift Ratio*)

Respons seismik akibat beban gempa yang berupa nilai rasio simpangan antar tingkat struktur bangunan maksimum hasil analisis program menggunakan ProgSIP 2017 dapat dilihat pada Tabel 5.43 sampai Tabel 5.45 sedangkan untuk grafiknya dapat dilihat pada Gambar 5.63 sampai Gambar 5.72.

Pada Tabel 5.43 untuk struktur tingkat 4 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa rasio simpangan antar tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis untuk gempa frekuensi rendah yaitu akibat gempa Coalinga 1983 adalah 0,4925 %, untuk gempa frekuensi menengah yaitu akibat gempa El Centro 1940 adalah 0,1696 % dan untuk gempa frekuensi tinggi yaitu akibat gempa El Centro 1979 adalah 0,1373 %.

Pada Tabel 5.44 untuk struktur tingkat 10 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa rasio simpangan antar tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis untuk gempa frekuensi rendah yaitu akibat gempa Coalinga 1983 adalah 0,4848 %, untuk gempa frekuensi menengah yaitu akibat gempa El Centro 1940 adalah 0,1290 % dan untuk gempa frekuensi tinggi yaitu akibat gempa El Centro 1979 adalah 0,0926 %.

Pada Tabel 5.45 untuk struktur tingkat 15 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa rasio simpangan antar tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis untuk gempa frekuensi rendah yaitu akibat gempa Coalinga 1983 adalah 0,4959 %, untuk gempa frekuensi menengah yaitu akibat gempa El Centro 1940 adalah 0,1195 % dan untuk gempa frekuensi tinggi yaitu akibat gempa El Centro 1979 adalah 0,0968 %.

Untuk struktur 4, 10, 15 tingkat menghasilkan respons yang sama yaitu rasio simpangan antar tingkat struktur maksimum terbesar terjadi akibat gempa Coalinga 1983 dengan frekuensi rendah dan rasio simpangan antar tingkat maksimum terkecil terjadi akibat gempa El centro 1979 dengan frekuensi tinggi.

Tabel 5.43 Perbandingan *Interstory Drift Ratio* Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa

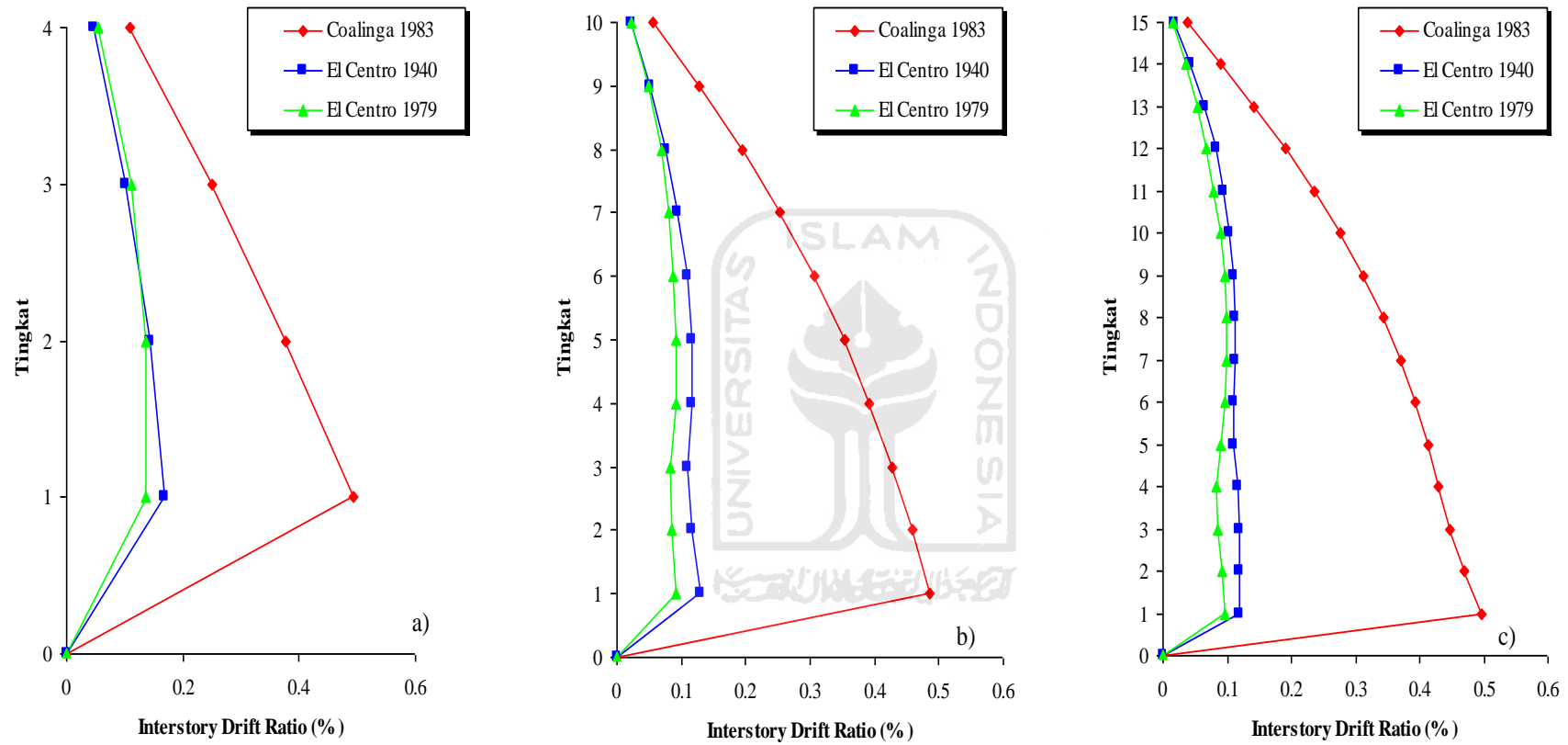
Tingkat	<i>Interstory Drift Ratio (%)</i>		
	Coalinga 1983	El Centro 1940	El Centro 1979
4	0.1087	0.0460	0.0542
3	0.2508	0.1025	0.1118
2	0.3765	0.1435	0.1362
1	0.4925	0.1696	0.1373

Tabel 5.44 Perbandingan *Interstory Drift Ratio* Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa

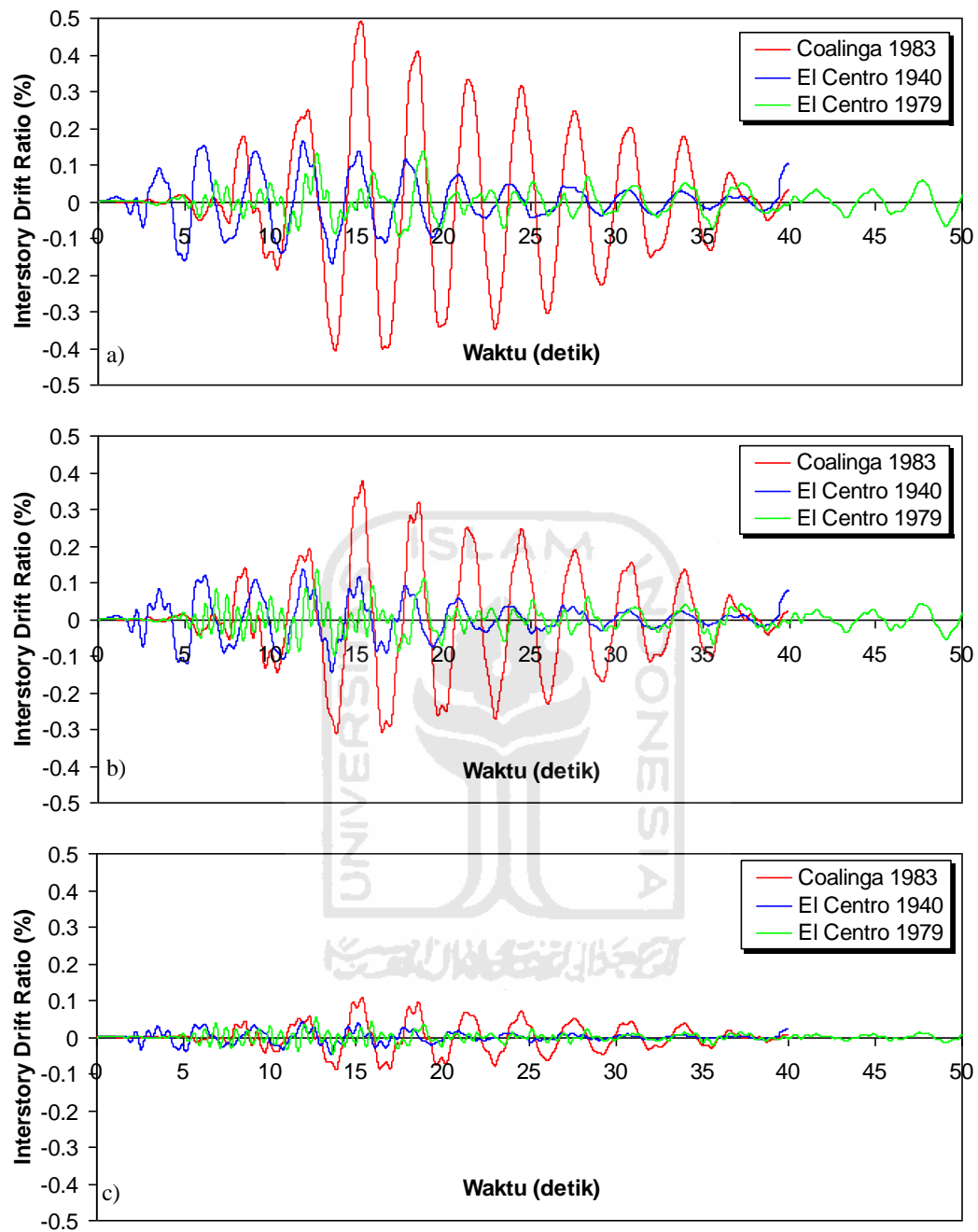
Tingkat	<i>Interstory Drift Ratio (%)</i>		
	Coalinga 1983	El Centro 1940	El Centro 1979
10	0.0550	0.0226	0.0215
9	0.1281	0.0517	0.0486
8	0.1942	0.0759	0.0690
7	0.2532	0.0951	0.0809
6	0.3065	0.1089	0.0866
5	0.3536	0.1159	0.0916
4	0.3926	0.1154	0.0909
3	0.4278	0.1093	0.0837
2	0.4595	0.1168	0.0843
1	0.4848	0.1290	0.0926

Tabel 5.45 Perbandingan *Interstory Drift Ratio* Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa

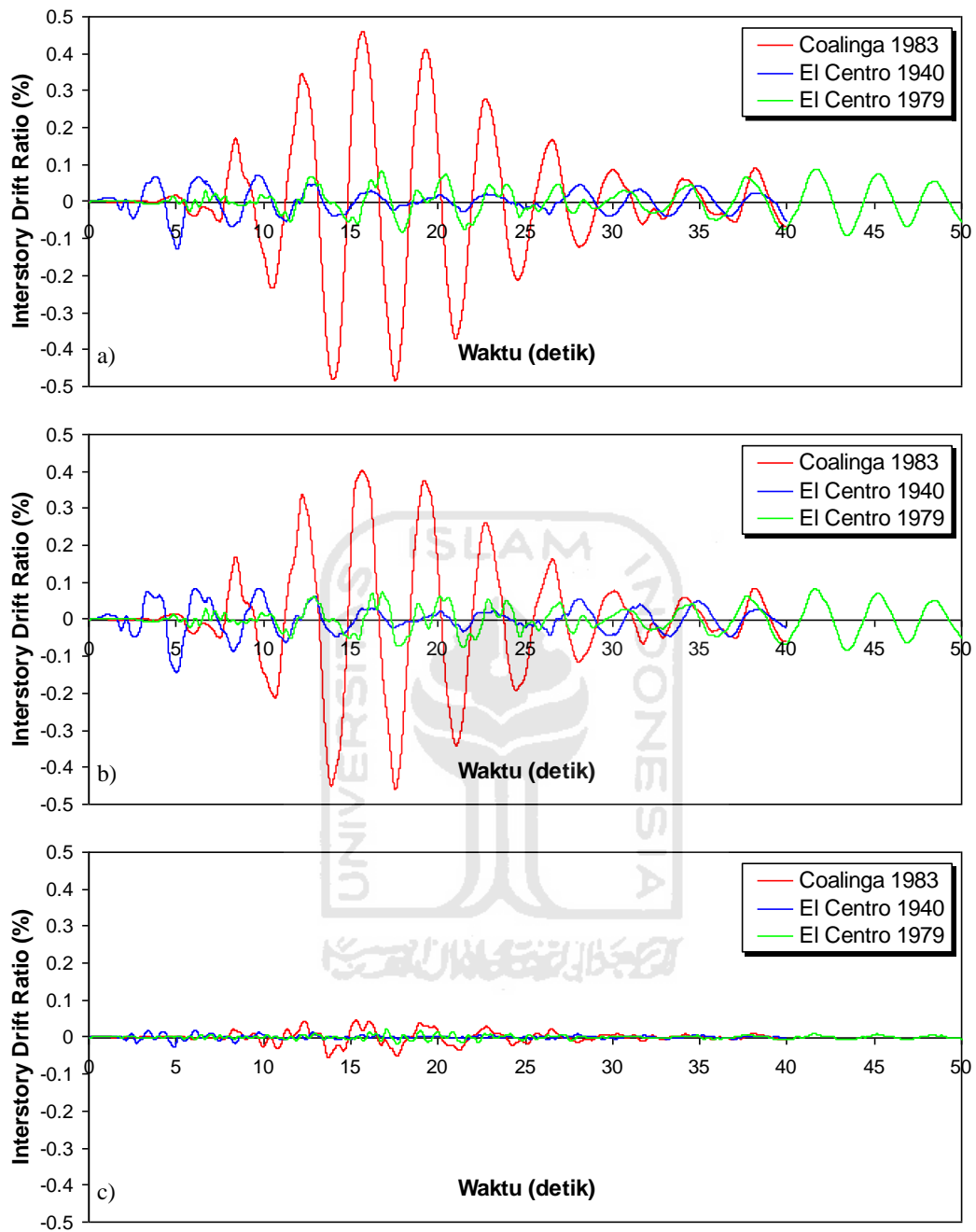
Tingkat	<i>Interstory Drift Ratio (%)</i>		
	Coalinga 1983	El Centro 1940	El Centro 1979
15	0.0380	0.0187	0.0150
14	0.0907	0.0435	0.0352
13	0.1417	0.0651	0.0532
12	0.1904	0.0825	0.0681
11	0.2358	0.0955	0.0794
10	0.2768	0.1043	0.0891
9	0.3130	0.1097	0.0958
8	0.3443	0.1122	0.0991
7	0.3711	0.1121	0.0990
6	0.3938	0.1106	0.0958
5	0.4130	0.1111	0.0903
4	0.4301	0.1158	0.0831
3	0.4480	0.1189	0.0865
2	0.4695	0.1201	0.0915
1	0.4959	0.1195	0.0968



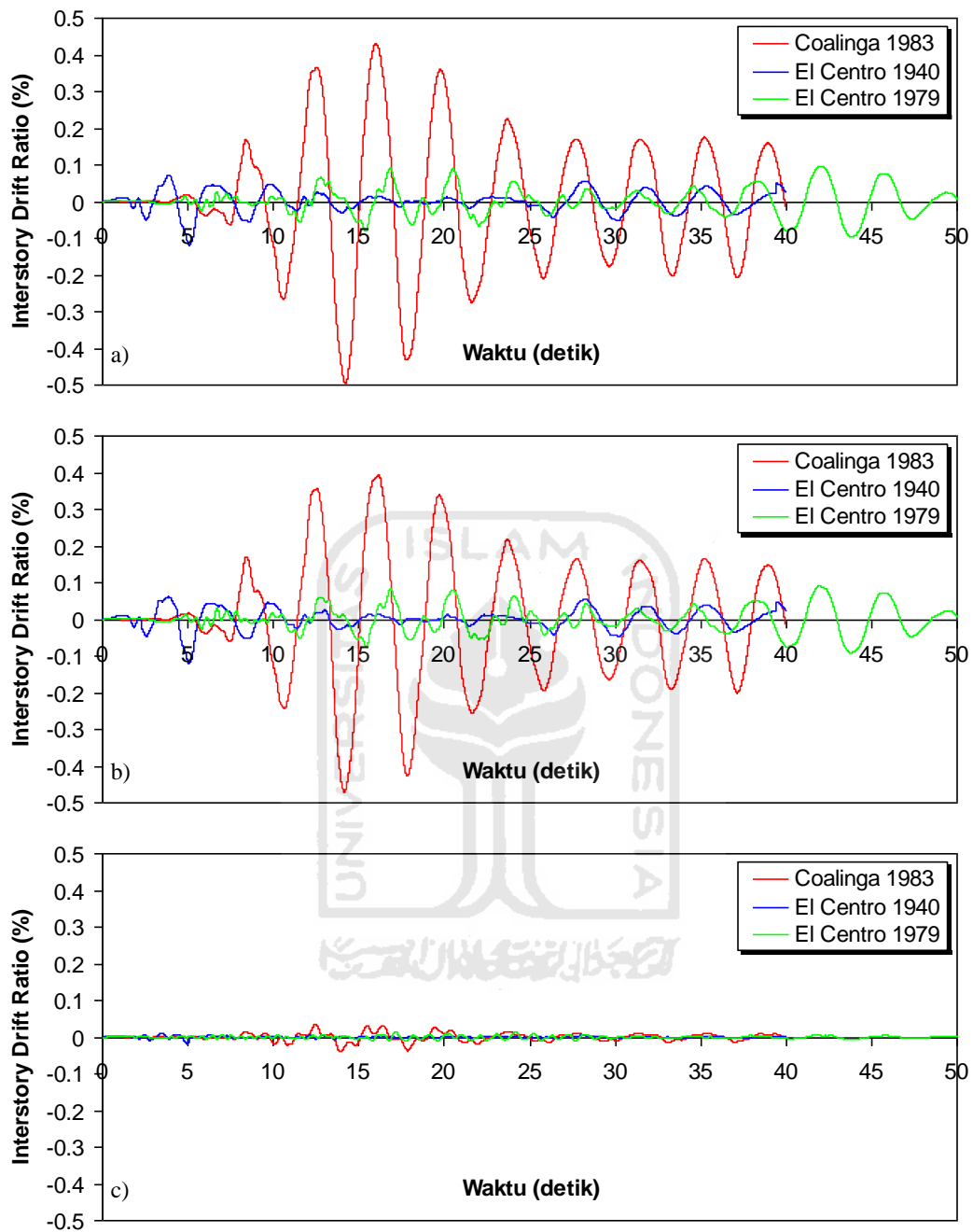
Gambar 5.59 Perbandingan *Interstory Drift Ratio* Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat



Gambar 5.60 Perbandingan *Interstory Drift Ratio* Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap



Gambar 5.61 Perbandingan *Interstory Drift Ratio* Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap



Gambar 5.62 Perbandingan *Interstory Drift Ratio* Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap

5.4.4 Gaya Horizontal Tingkat

Respons seismik akibat beban gempa yang berupa nilai gaya horizontal tingkat struktur bangunan maksimum hasil analisis program menggunakan ProgSIP 2017 dapat dilihat pada Tabel 5.46 sampai Tabel 5.48 sedangkan untuk grafiknya dapat dilihat pada Gambar 5.63 sampai Gambar 5.

Pada Tabel 5.46 untuk struktur tingkat 4 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa gaya horizontal tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis untuk gempa frekuensi rendah yaitu akibat gempa Coalinga 1983 adalah 7662,2638 kg, untuk gempa frekuensi menengah yaitu akibat gempa El Centro 1940 adalah 3013,6051 kg dan untuk gempa frekuensi tinggi yaitu akibat gempa El Centro 1979 adalah 3068,7980 kg.

Pada Tabel 5.47 untuk struktur tingkat 10 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa gaya horizontal tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis untuk gempa frekuensi rendah yaitu akibat gempa Coalinga 1983 adalah 8219,4154 kg, untuk gempa frekuensi menengah yaitu akibat gempa El Centro 1940 adalah 3271,7749 kg dan untuk gempa frekuensi tinggi yaitu akibat gempa El Centro 1979 adalah 3036,0710 kg.

Pada Tabel 5.48 untuk struktur tingkat 15 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa gaya horizontal tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis untuk gempa frekuensi rendah yaitu akibat gempa Coalinga 1983 adalah 11231,3907 kg, untuk gempa frekuensi menengah yaitu akibat gempa El Centro 1940 adalah 5286,0951 kg dan untuk gempa frekuensi tinggi yaitu akibat gempa El Centro 1979 adalah 4297,8884 kg.

Untuk struktur 4, 10, 15 tingkat menghasilkan respons yang sama yaitu gaya horizontal tingkat struktur maksimum terbesar terjadi akibat gempa Coalinga 1983 dengan frekuensi rendah dan gaya horizontal tingkat maksimum terkecil terjadi akibat gempa El centro 1979 dengan frekuensi tinggi.

Tabel 5.46 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa

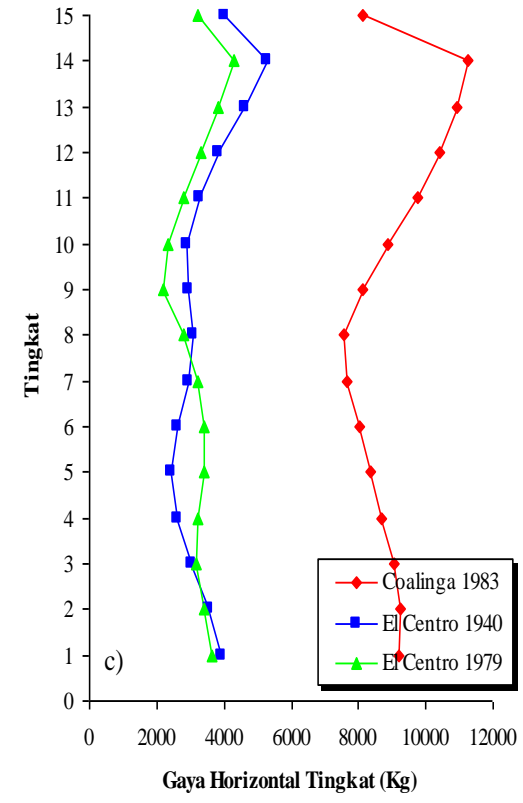
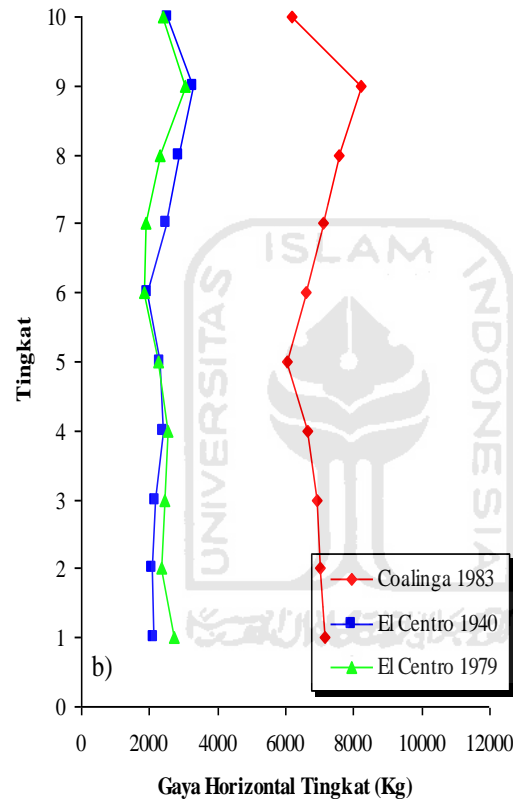
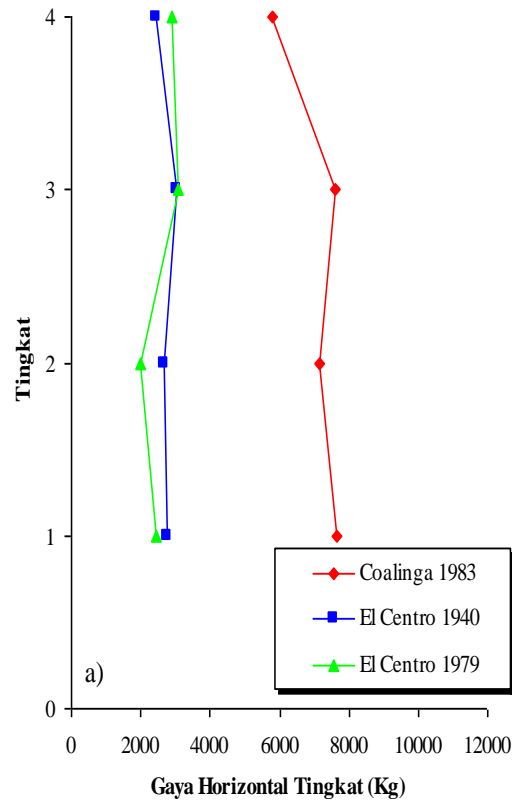
Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat (kg)		
	Coalinga 1983	El Centro 1940	El Centro 1979
4	5787.1188	2446.9304	2885.3080
3	7585.2611	3013.6051	3068.7980
2	7145.0678	2684.2591	1988.3820
1	7662.2638	2769.3781	2452.1676

Tabel 5.47 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa

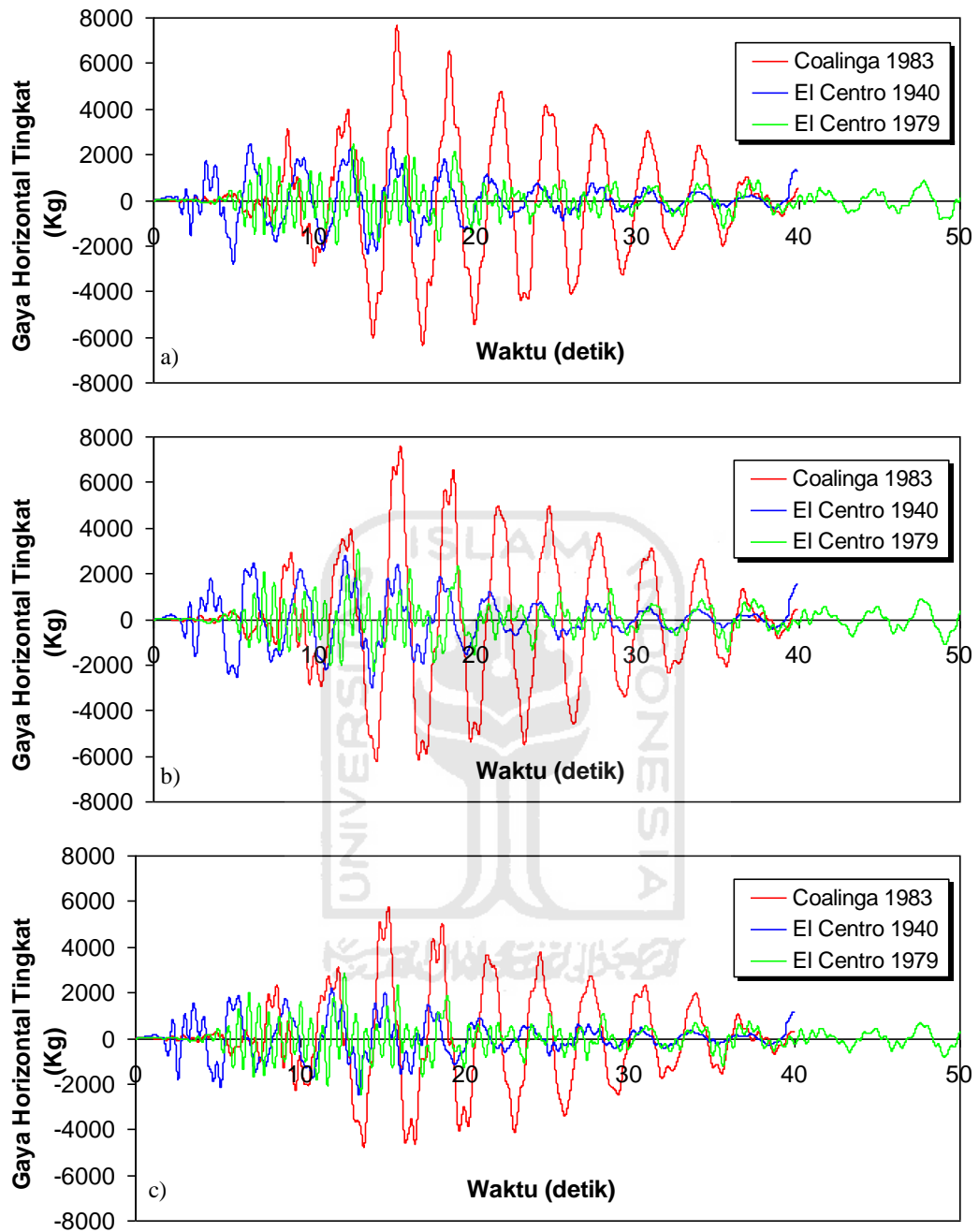
Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat (kg)		
	Coalinga 1983	El Centro 1940	El Centro 1979
10	6168.9214	2537.1624	2414.8634
9	8219.4154	3271.7749	3036.0710
8	7573.2365	2868.0290	2308.4811
7	7130.0683	2501.4246	1906.1501
6	6594.5051	1948.4232	1842.0289
5	6067.2661	2330.5234	2258.4031
4	6623.7683	2417.8548	2533.9085
3	6912.0602	2178.2870	2449.1015
2	7034.7387	2060.3778	2361.2479
1	7173.4201	2137.5701	2703.2336

Tabel 5.48 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa

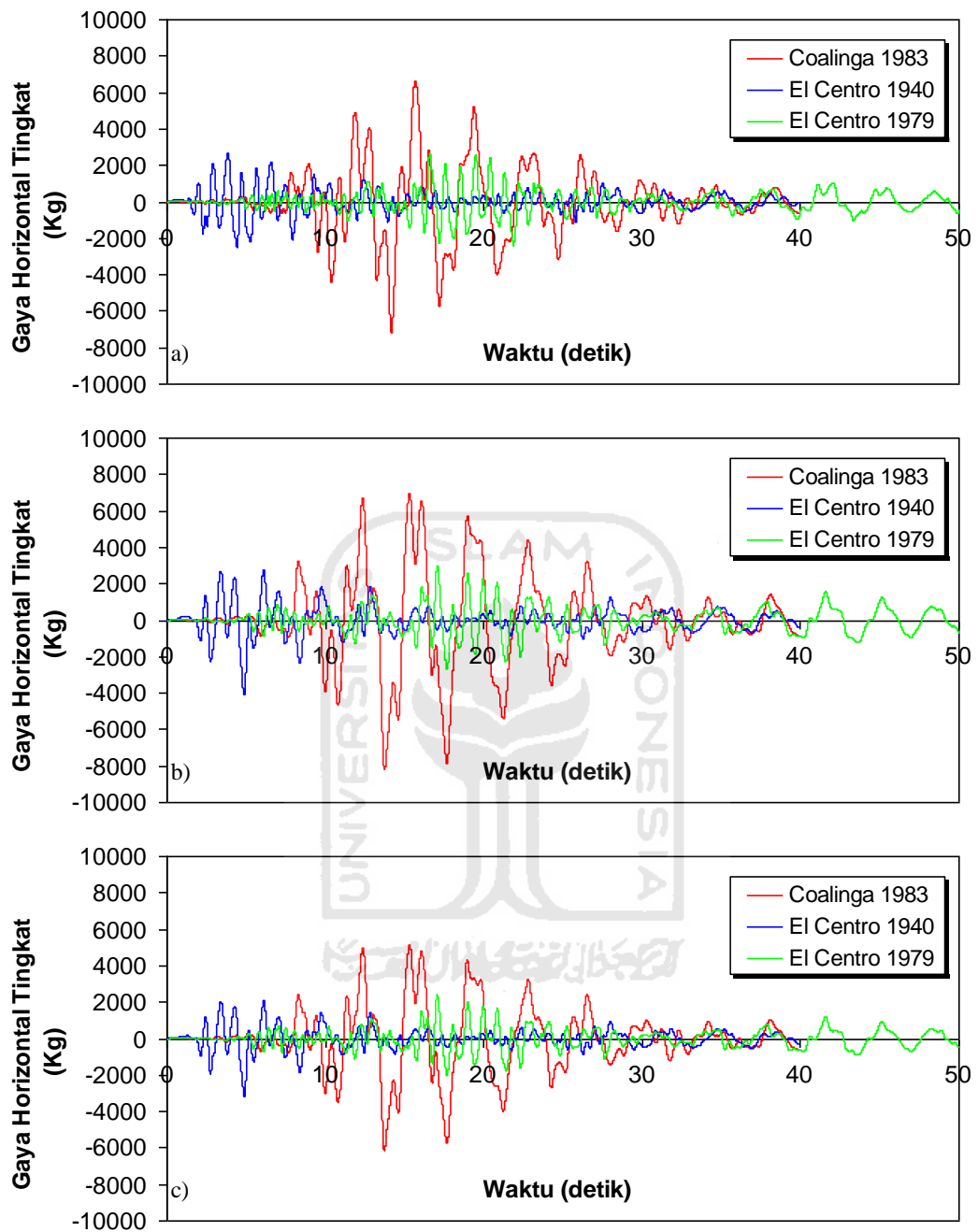
Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat (kg)		
	Coalinga 1983	El Centro 1940	El Centro 1979
15	8122.8627	3995.9779	3209.0004
14	11231.3907	5286.0951	4297.8884
13	10915.5127	4626.5725	3848.6146
12	10428.3370	3827.4357	3310.7401
11	9735.7558	3282.1184	2805.2499
10	8877.3886	2891.8581	2327.2792
9	8112.7721	2926.1587	2214.1675
8	7552.4749	3076.8190	2814.6972
7	7662.1506	2953.5163	3238.9835
6	8027.3886	2599.0993	3421.2970
5	8348.7280	2451.0731	3387.4651
4	8693.2668	2611.8580	3221.6208
3	9049.2183	3056.9180	3183.3108
2	9228.2242	3532.2179	3416.1303
1	9178.9882	3913.7044	3630.0334



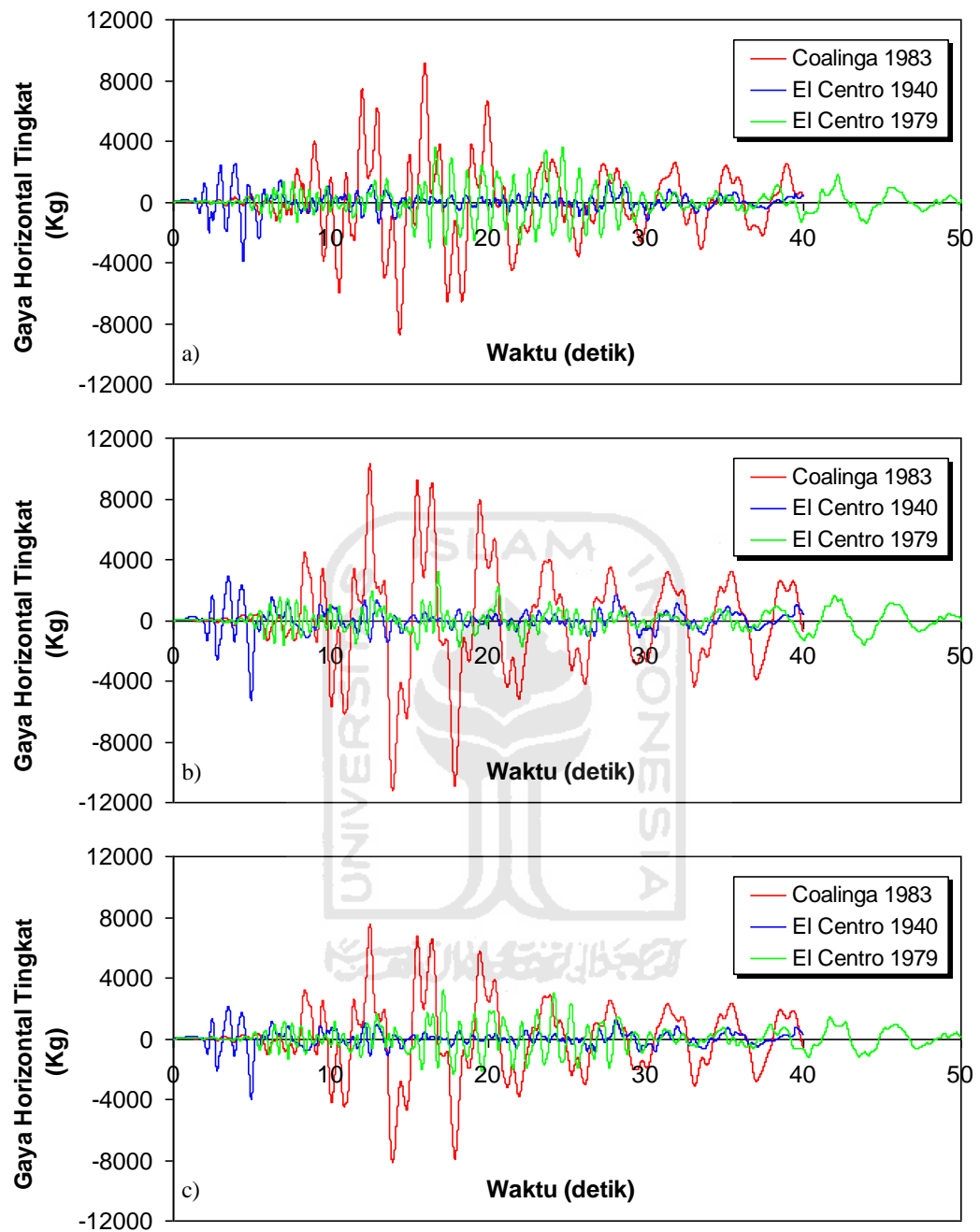
Gambar 5.63 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat



Gambar 5.64 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 3, c) Tingkat Atap



Gambar 5.65 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 9, c) Tingkat Atap



Gambar 5.66 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 14, c) Tingkat Atap

5.4.5 Gaya Geser Tingkat

Respons seismik akibat beban gempa yang berupa nilai gaya geser tingkat struktur bangunan maksimum hasil analisis program menggunakan ProgSIP 2017 dapat dilihat pada Tabel 5.49 sampai Tabel 5.51 sedangkan untuk grafiknya dapat dilihat pada Gambar 5.67 sampai Gambar 5.

Pada Tabel 5.49 untuk struktur tingkat 4 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa gaya geser tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis untuk gempa frekuensi rendah yaitu akibat gempa Coalinga 1983 adalah 26219,3025 kg, untuk gempa frekuensi menengah yaitu akibat gempa El Centro 1940 adalah 9027,6571 kg dan untuk gempa frekuensi tinggi yaitu akibat gempa El Centro 1979 adalah 7309,7001 kg.

Pada Tabel 5.50 untuk struktur tingkat 10 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa gaya geser tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis untuk gempa frekuensi rendah yaitu akibat gempa Coalinga 1983 adalah 54426,8975 kg, untuk gempa frekuensi menengah yaitu akibat gempa El Centro 1940 adalah 14480,5468 kg dan untuk gempa frekuensi tinggi yaitu akibat gempa El Centro 1979 adalah 10397,8343 kg.

Pada Tabel 5.51 untuk struktur tingkat 15 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa gaya geser tingkat maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis untuk gempa frekuensi rendah yaitu akibat gempa Coalinga 1983 adalah 105871,6336 kg, untuk gempa frekuensi menengah yaitu akibat gempa El Centro 1940 adalah 25633,7019 kg dan untuk gempa frekuensi tinggi yaitu akibat gempa El Centro 1979 adalah 20660,3832 kg.

Untuk struktur 4, 10, 15 tingkat menghasilkan respons yang sama yaitu gaya geser tingkat struktur maksimum terbesar terjadi akibat gempa Coalinga 1983 dengan frekuensi rendah dan gaya geser tingkat maksimum terkecil terjadi akibat gempa El centro 1979 dengan frekuensi tinggi.

Tabel 5.49 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa

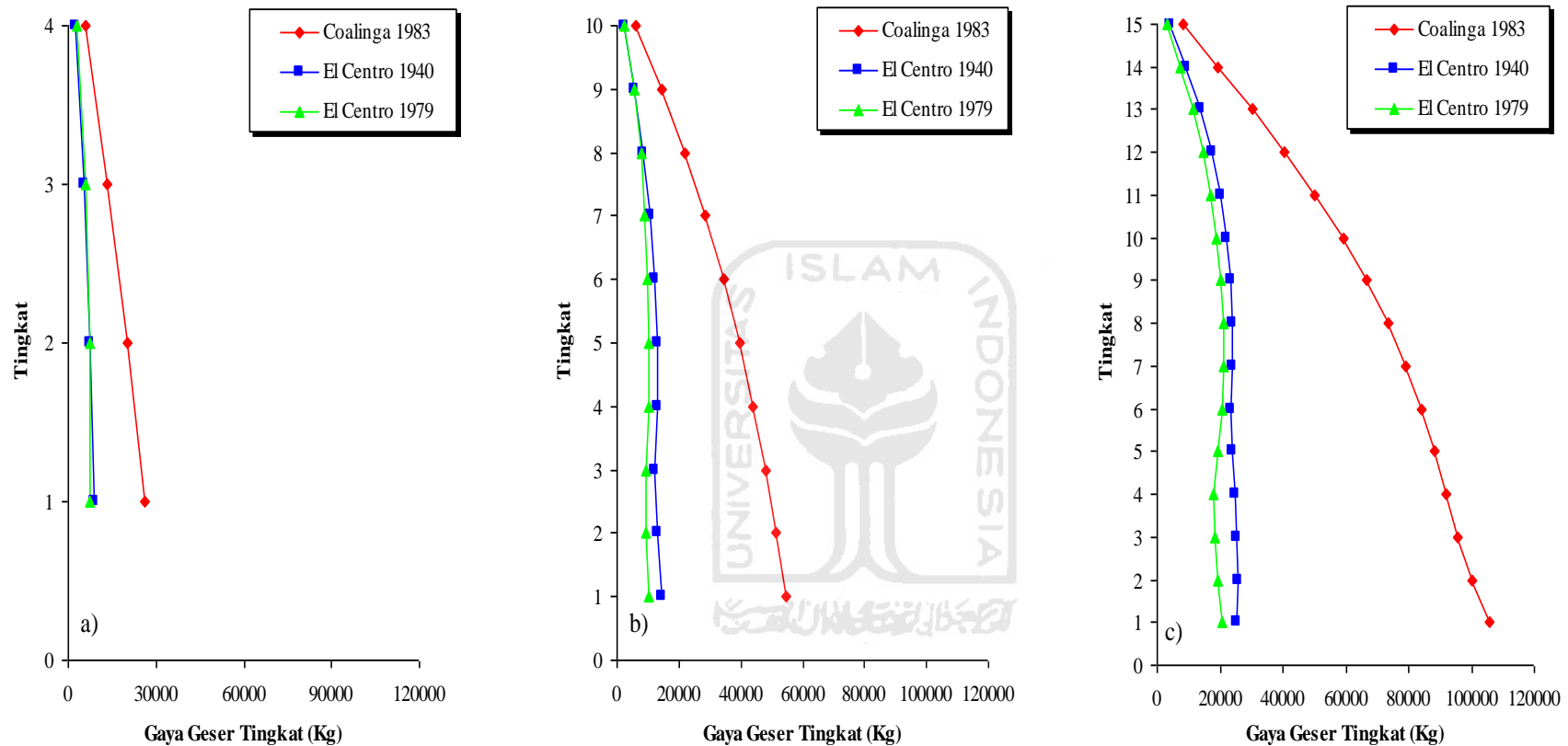
Tingkat	Gaya Geser Tingkat (kg)		
	Coalinga 1983	El Centro 1940	El Centro 1979
4	5787.1188	2446.9304	2885.3080
3	13353.2903	5456.4903	5950.1739
2	20042.3720	7641.7488	7250.0786
1	26219.3025	9027.6571	7309.7001

Tabel 5.50 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa

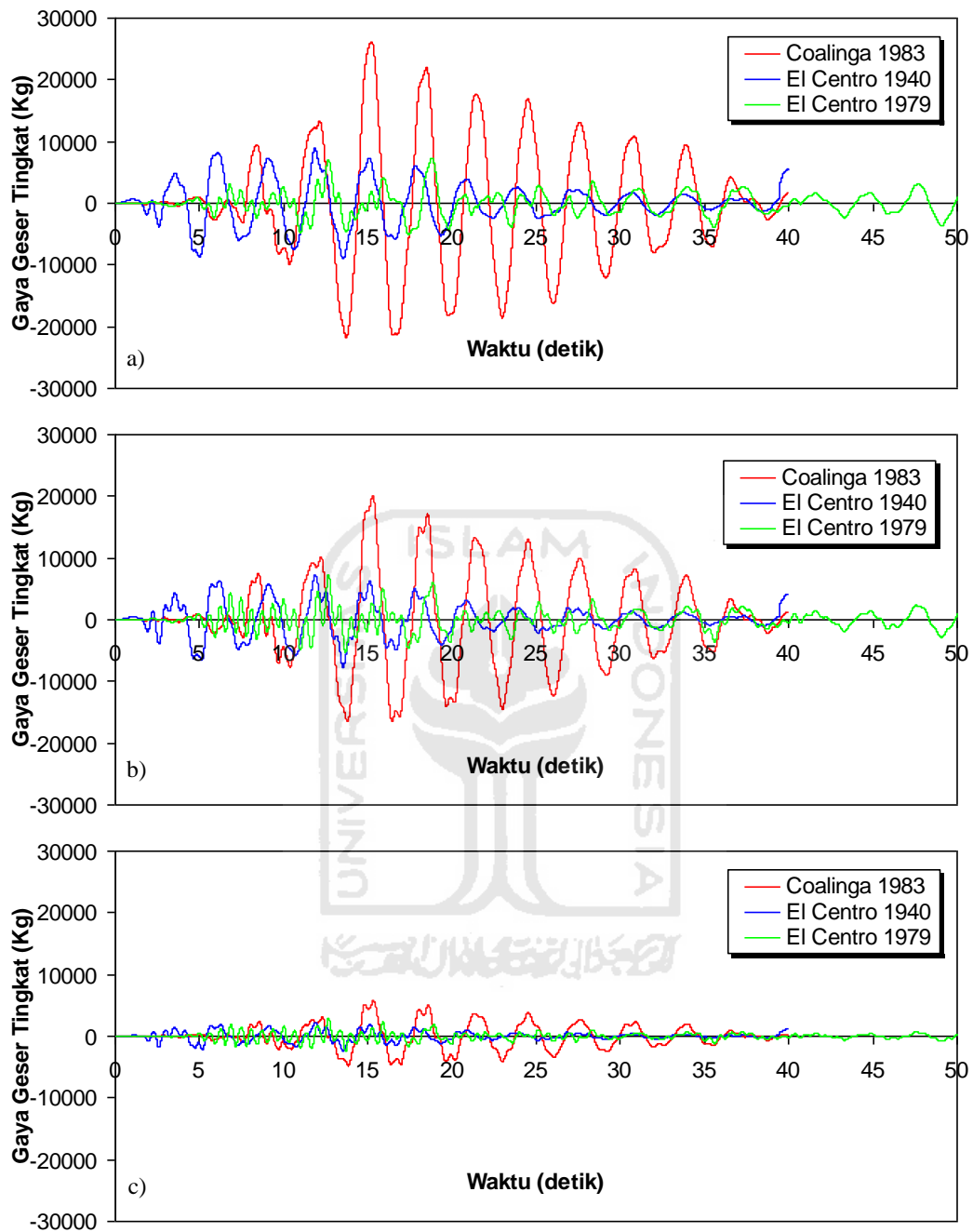
Tingkat	Gaya Geser Tingkat (kg)		
	Coalinga 1983	El Centro 1940	El Centro 1979
10	6168.9214	2537.1624	2414.8634
9	14380.4210	5799.5214	5450.9344
8	21804.4752	8519.3176	7741.4204
7	28426.0851	10679.1215	9079.4312
6	34411.0714	12229.5203	9723.4413
5	39692.4641	13008.8763	10280.5996
4	44067.0906	12959.8555	10205.1461
3	48023.9946	12273.5622	9391.6245
2	51580.7915	13116.2880	9458.2191
1	54426.8975	14480.5468	10397.8343

Tabel 5.51 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa

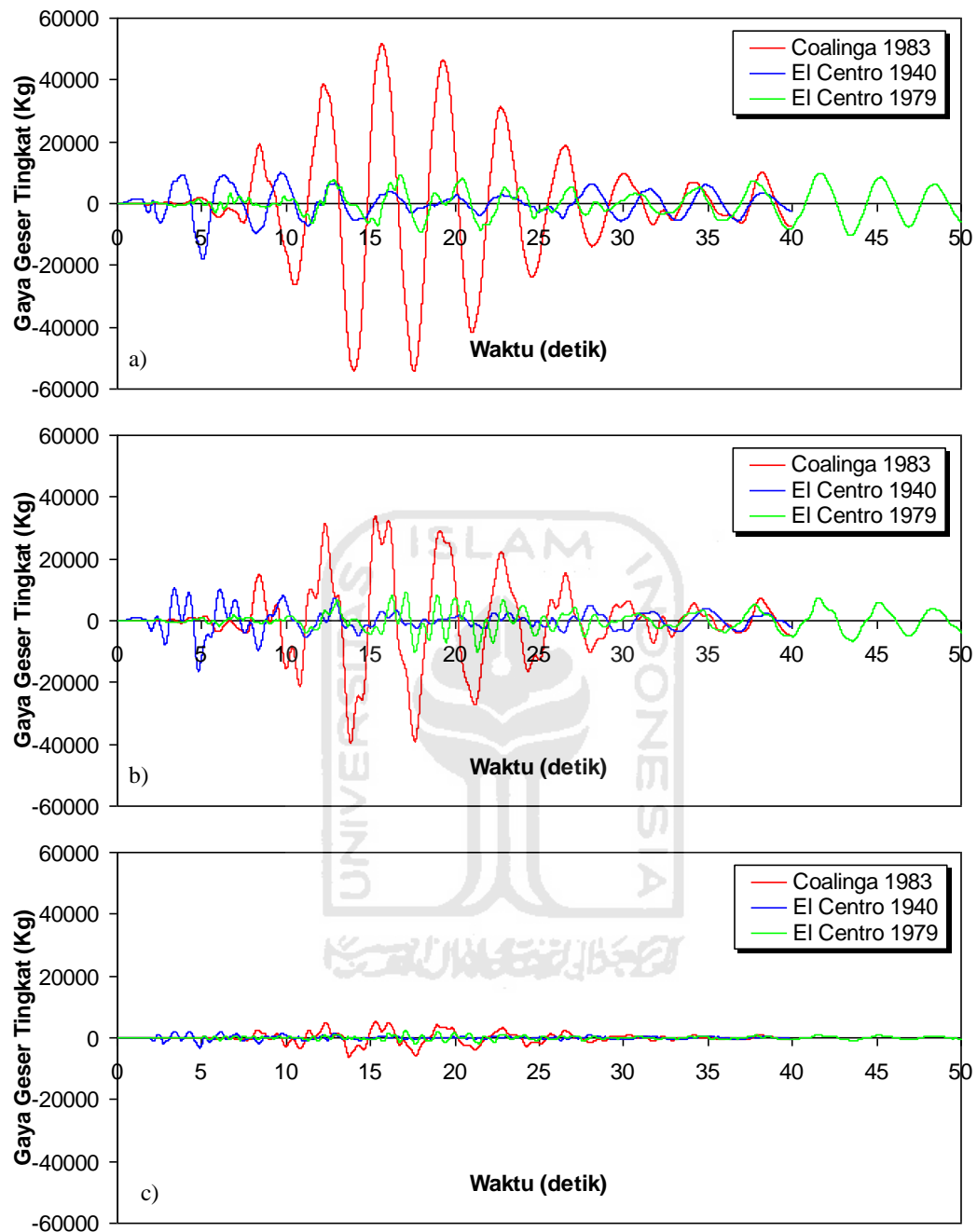
Tingkat	Gaya Geser Tingkat (kg)		
	Coalinga 1983	El Centro 1940	El Centro 1979
15	8122.8627	3995.9779	3209.0004
14	19354.1977	9277.5961	7506.8888
13	30252.4114	13898.1375	11351.4403
12	40649.4871	17612.6409	14536.8110
11	50340.9893	20382.9678	16941.9660
10	59104.9535	22271.3291	19020.2845
9	66835.5030	23425.5580	20453.3209
8	73506.8510	23961.3567	21160.9494
7	79235.7983	23940.0928	21137.3118
6	84078.0079	23605.2934	20462.9056
5	88173.8166	23730.3838	19275.1006
4	91832.4767	24722.2688	17737.4564
3	95650.5365	25382.2516	18465.7785
2	100249.9593	25633.7019	19526.5676
1	105871.6336	25516.9515	20660.3832



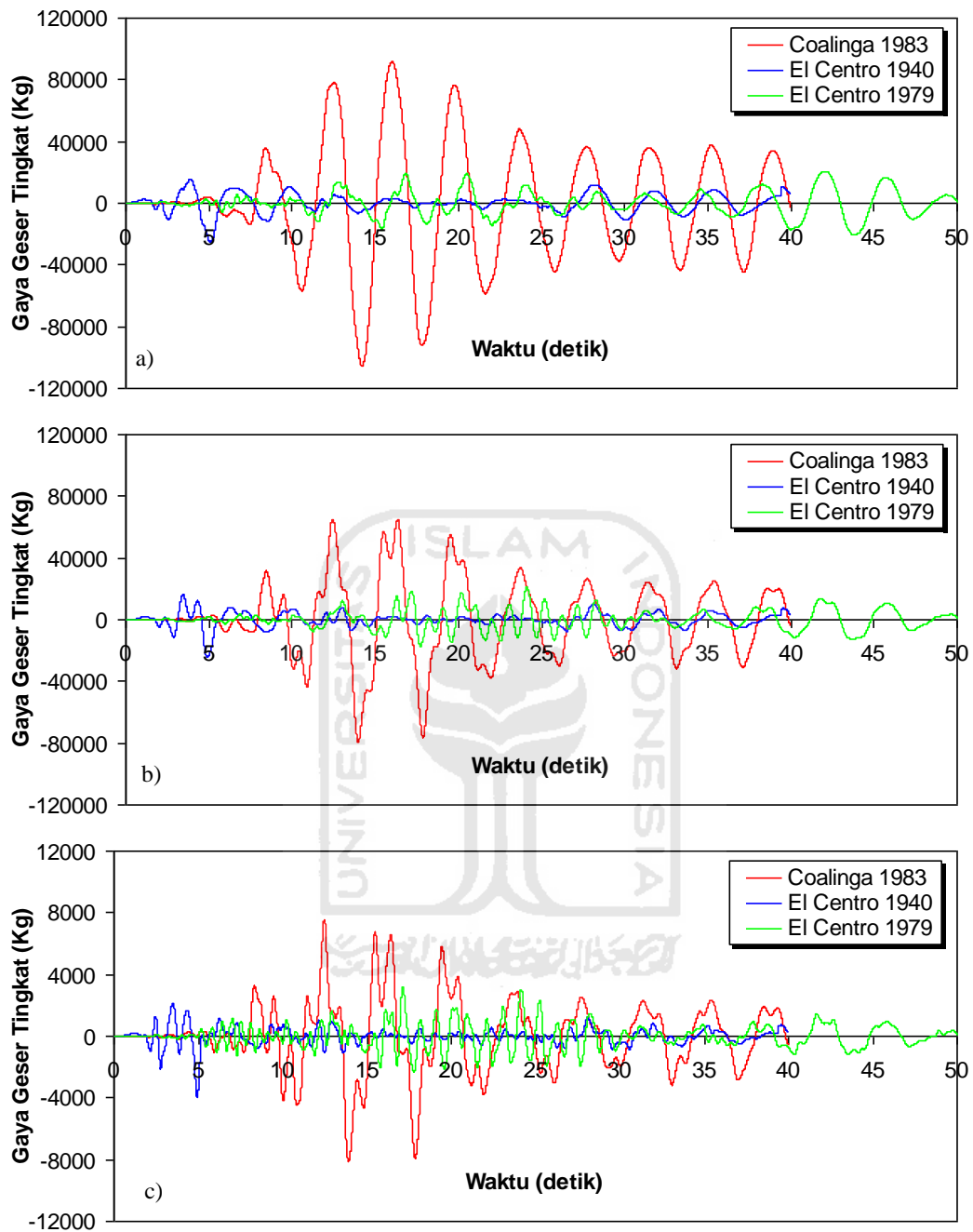
Gambar 5.67 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat



Gambar 5.68 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap



Gambar 5.69 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 5, c) Tingkat Atap



Gambar 5.70 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 7, c) Tingkat Atap

5.4.6 Momen Guling

Respons seismik akibat beban gempa yang berupa nilai momen guling struktur bangunan maksimum hasil analisis program menggunakan ProgSIP 2017 dapat dilihat pada Tabel 5.52 sampai Tabel 5.54 sedangkan untuk grafiknya dapat dilihat pada Gambar 5.81 sampai Gambar 5.84.

Pada Tabel 5.52 untuk struktur tingkat 4 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa momen guling maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis untuk gempa frekuensi rendah yaitu akibat gempa Coalinga 1983 adalah 7515889,5136 kg.cm, untuk gempa frekuensi menengah yaitu akibat gempa El Centro 1940 adalah 2865655,7990 kg.cm dan untuk gempa frekuensi tinggi yaitu akibat gempa El Centro 1979 adalah 2718779,4786 kg.cm.

Pada Tabel 5.53 untuk struktur tingkat 10 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa momen guling maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis untuk gempa frekuensi rendah yaitu akibat gempa Coalinga 1983 adalah 19342796,7983 kg.cm, untuk gempa frekuensi menengah yaitu akibat gempa El Centro 1940 adalah 4918608,0012 kg.cm dan untuk gempa frekuensi tinggi yaitu akibat gempa El Centro 1979 adalah 3546832,1568 kg.cm.

Pada Tabel 5.54 untuk struktur tingkat 15 bangunan dengan isolasi dasar terlihat bahwa momen guling maksimum yang terjadi pada kondisi non linier inelastis untuk gempa frekuensi rendah yaitu akibat gempa Coalinga 1983 adalah 37593734,7377 kg.cm, untuk gempa frekuensi menengah yaitu akibat gempa El Centro 1940 adalah 9612638,2105 kg.cm dan untuk gempa frekuensi tinggi yaitu akibat gempa El Centro 1979 adalah 7322462,8646 kg.cm.

Untuk struktur 4, 10, 15 tingkat menghasilkan respons yang sama yaitu momen guling struktur maksimum terbesar terjadi akibat gempa Coalinga 1983 dengan frekuensi rendah dan momen guling struktur maksimum terkecil terjadi akibat gempa El centro 1979 dengan frekuensi tinggi.

Tabel 5.52 Perbandingan Momen Guling Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 4 Akibat Gempa

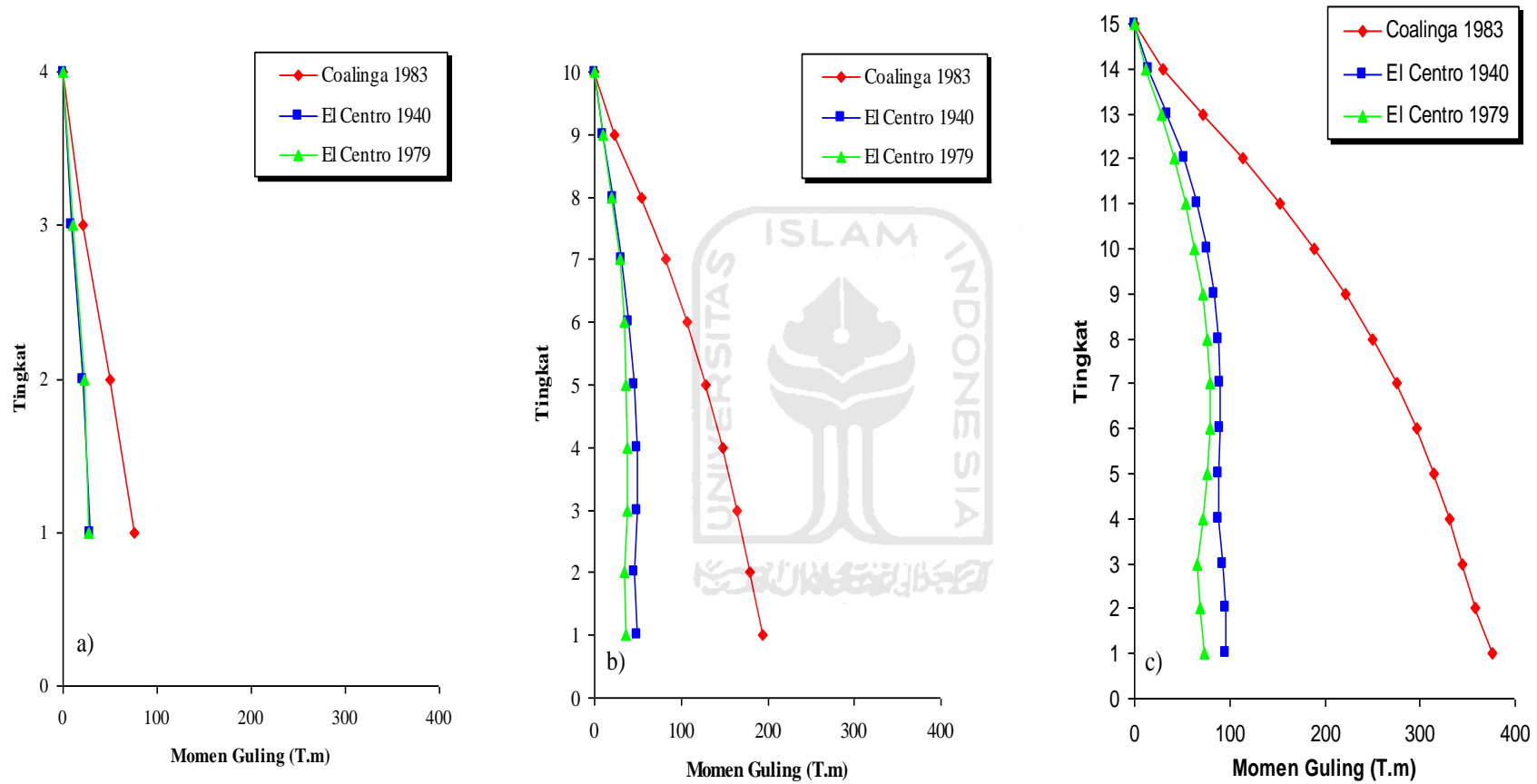
Tingkat	Momen Guling (kg.cm)		
	Coalinga 1983	El Centro 1940	El Centro 1979
4	0	0	0
3	2170169.5364	917598.8944	1081990.4853
2	5007483.8640	2046183.8724	2231315.2273
1	7515889.5136	2865655.7990	2718779.4786

Tabel 5.53 Perbandingan Momen Guling Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 10 Akibat Gempa

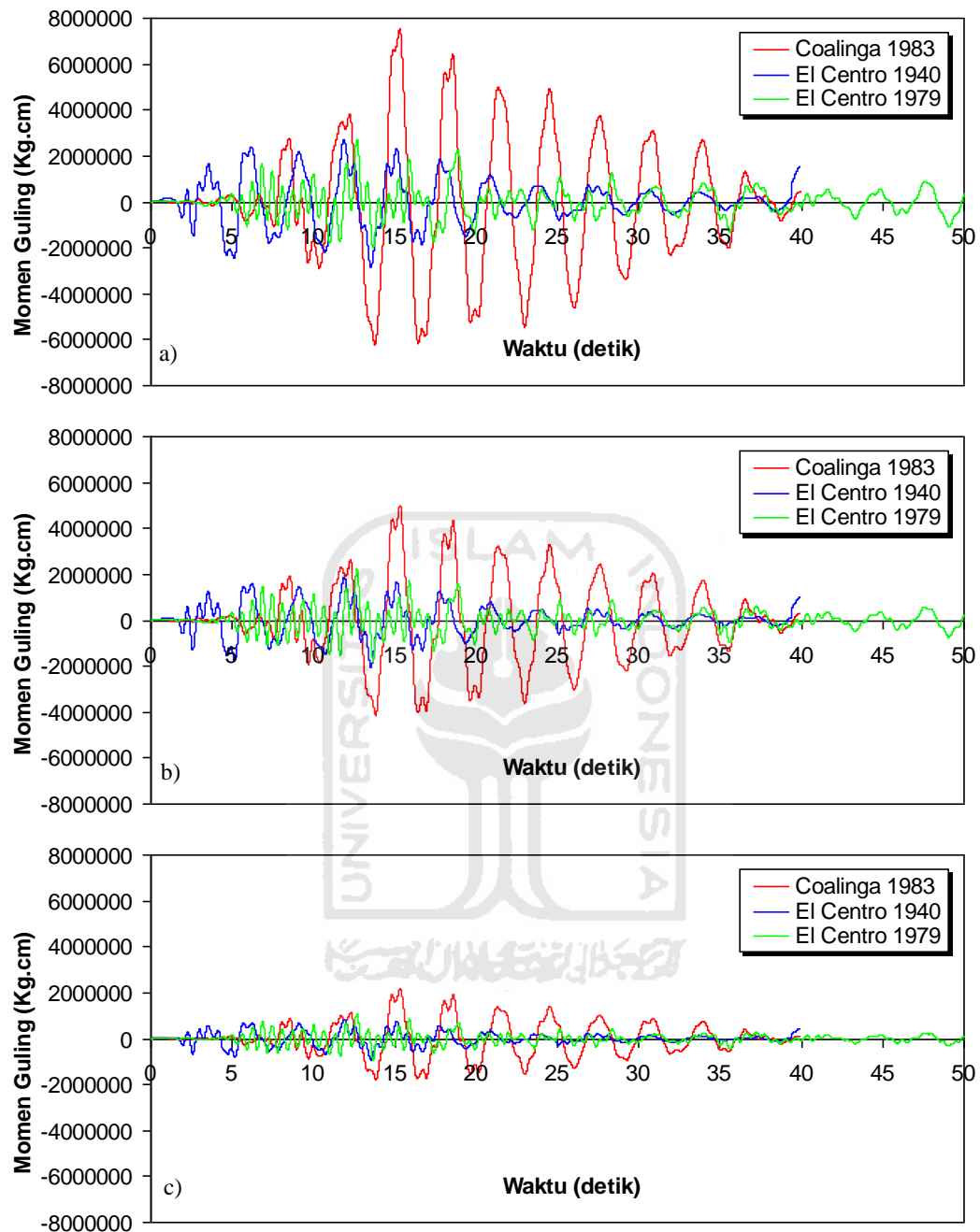
Tingkat	Momen Guling (kg.cm)		
	Coalinga 1983	El Centro 1940	El Centro 1979
10	0	0	0
9	2313345.5437	951435.8997	905573.7797
8	5392657.8829	2174820.5069	2044100.4041
7	8176678.1935	3194744.0832	2903032.6401
6	10659781.9068	4004670.5758	3404786.6953
5	12904151.7731	4586070.1012	3646290.4914
4	14884674.0427	4878328.5950	3855224.8511
3	16525158.9740	4859945.8093	3826929.7762
2	18008997.9631	4602585.8105	3521859.1986
1	19342796.7983	4918608.0012	3546832.1568

Tabel 5.54 Perbandingan Momen Guling Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Struktur Tingkat 15 Akibat Gempa

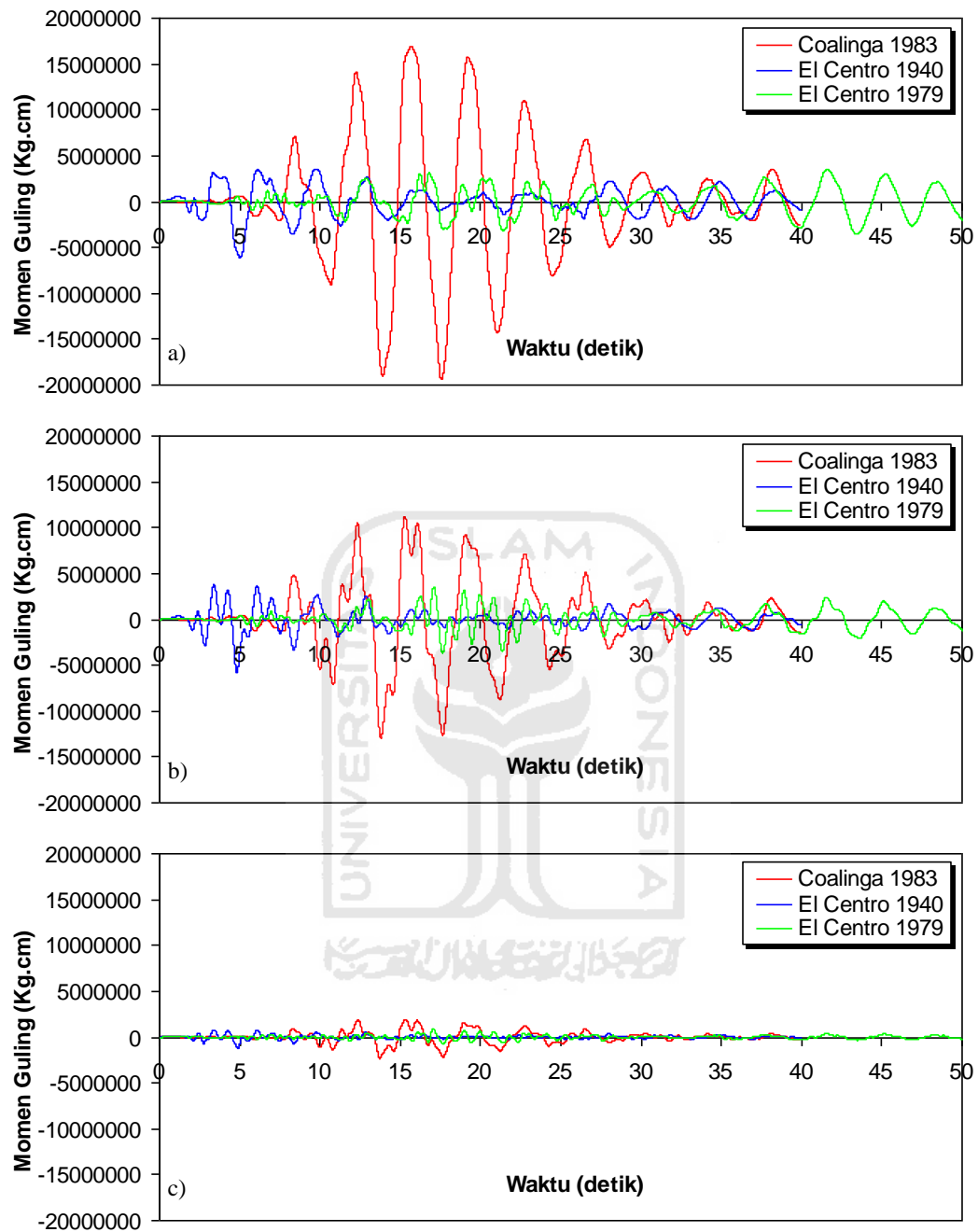
Tingkat	Momen Guling (kg.cm)		
	Coalinga 1983	El Centro 1940	El Centro 1979
15	0	0	0
14	3046073.4985	1498491.7068	1203375.1655
13	7257824.1277	3479098.5492	2815083.3155
12	11344654.2583	5211801.5749	4256790.0982
11	15243557.6810	6604740.3558	5451304.1232
10	18877870.9772	7643612.9280	6353237.2651
9	22164357.5549	8351748.4162	7132606.6871
8	25063313.6417	8784584.2640	7669995.3239
7	27565069.1270	8985508.7716	7935356.0298
6	29713424.3663	8977534.8013	7926491.9243
5	31529252.9570	8851985.0100	7673589.5868
4	33065181.2399	8898893.9346	7228162.7353
3	34437178.7777	9270850.8090	6651546.1510
2	35868951.1748	9518344.3364	6924666.9511
1	37593734.7377	9612638.2105	7322462.8646



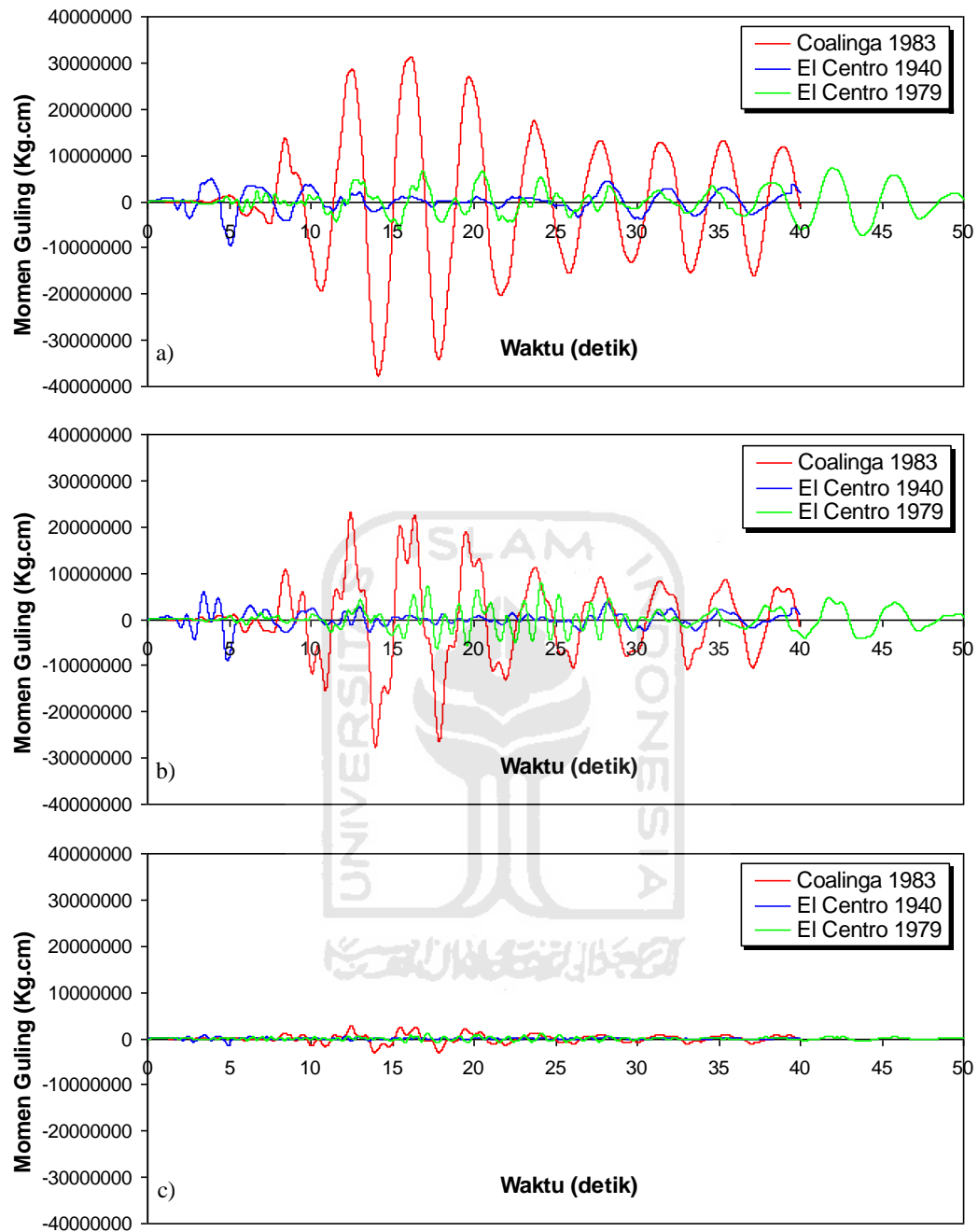
Gambar 5.71 Perbandingan Momen Guling Maksimum Bangunan dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat



Gambar 5.72 Perbandingan Momen Guling Riwayat Waktu Struktur 4 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 2, c) Tingkat Atap



Gambar 5.73 Perbandingan Momen Guling Riwayat Waktu Struktur 10 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 5, c) Tingkat Atap



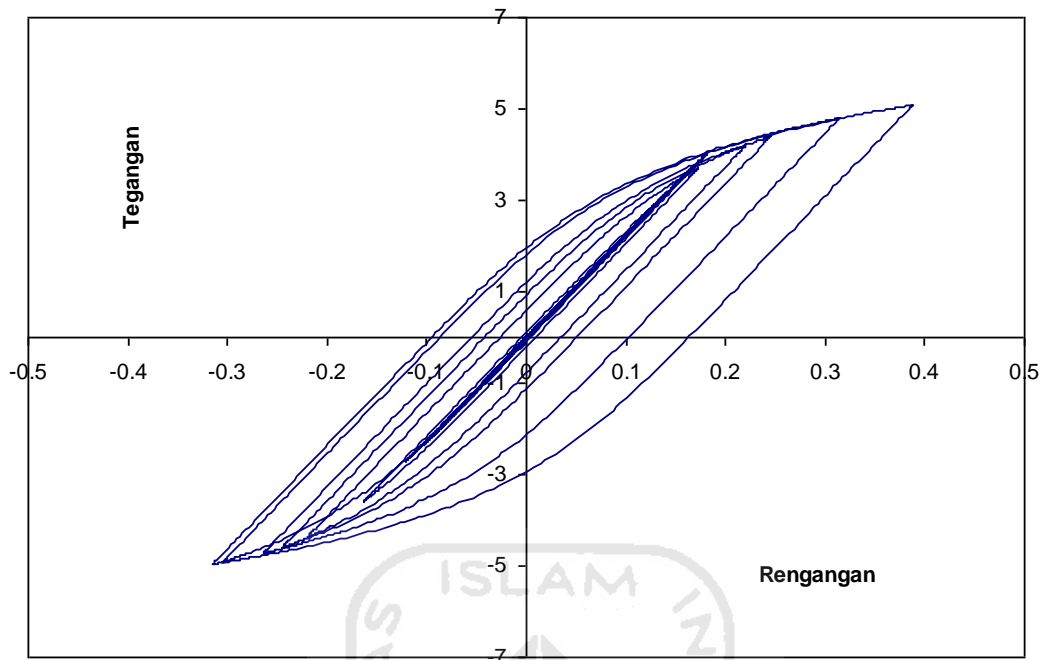
Gambar 5.74 Perbandingan Momen Guling Riwayat Waktu Struktur 15 Tingkat dengan Isolasi Dasar Akibat Gempa : a) Tingkat Dasar, b) Tingkat 7, c) Tingkat Atap

5.4.7 *Hysteristic Loops*

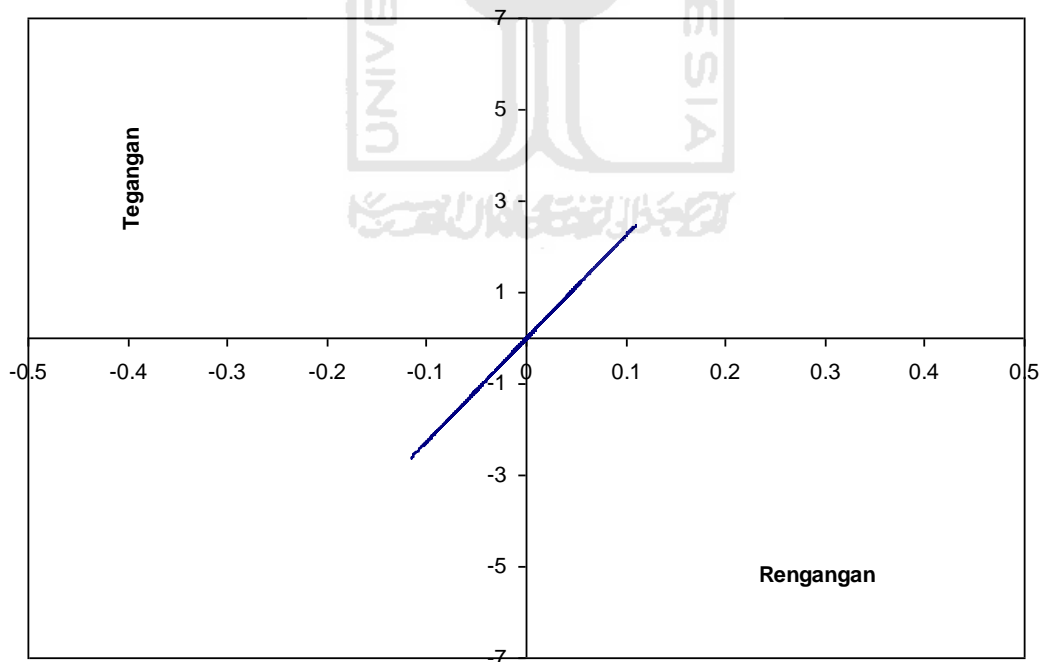
Pada penelitian ini kekakuan isolasi dasar akan berubah ketika adanya beban gempa, sehingga perilaku isolasi dasar akan juga berubah dari yang sebelumnya bersifat elastic dengan kekakuan tetap menjadi inelastik yaitu kekakuan berubah-ubah. Parameter penting menunjukkan kondisi tersebut adalah dengan *hysteretic loops* yaitu grafik hubungan antara beban-simpangan atau tegangan-regangan. Respons non linier inelastik dengan prinsip *bilnier* menunjukkan bahwa kekakuan isolasi dasar berubah-ubah menurut fungsi waktu gempa yang terjadi.

Hasil analisis *hysteretic loops bilinier* menunjukkan perbedaan antara struktur tingkat 4, 10 dan 15 dikarenakan beban massa bangunan berbeda sehingga berat bangunan struktur itu sendiri akan semakin bertambah. Berdasarkan hasil tersebut terlihat bahwa respons tegangan dan regangan dengan struktur jumlah tingkat sedikit lebih besar dari struktur jumlah tingkat lebih banyak. Hal ini terjadi dikarenakan massa bangunan diatas isolasi dasar akan memberikan tegangan yang jauh lebih besar kepada isolasi dasar dibawahnya sehingga demikian kekakuan isolasi dasar akan bertambah. Kekakuan isolasi dasar yang bertambah ini membuat isolasi dasar menjadi lebih keras sehingga simpangan yang terjadi akibat beban gempa akan lebih kecil.

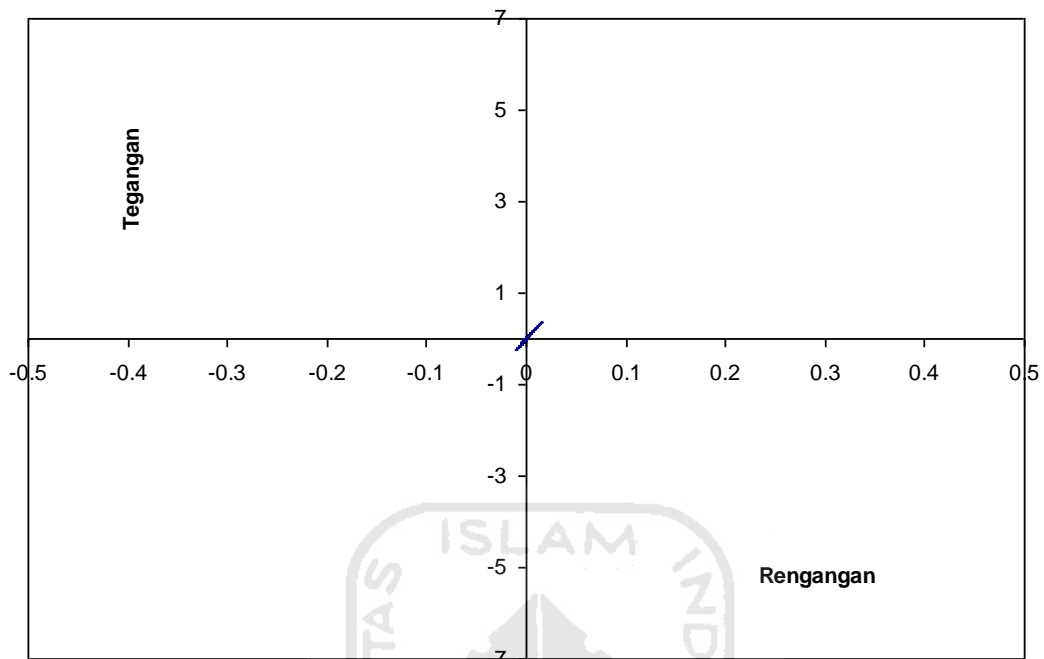
Jumlah tingkat dalam struktur bangunan akan sangat berpengaruh terhadap massa dan tegangan isolasi dasar. Semakin kecil tegangan terhadap isolasi dasar maka modulus gesernya akan mengecil. Modulus geser yang mengecil juga akan memperkecil kandungan kekakuan isolasi dasar apabila dikombinasikan dengan tinggi isolasi dasar. Oleh karena itu semakin jumlah tingkat struktur sedikit akan semakin kekakuan kecil sehingga respons yang terjadi cenderung membesar dibandingkan jumlah struktur yang lebih banyak. Grafik selengkapnya untuk *hysteretic loops* dapat dilihat pada Gambar 5.85 sampai dengan Gambar 5.102.



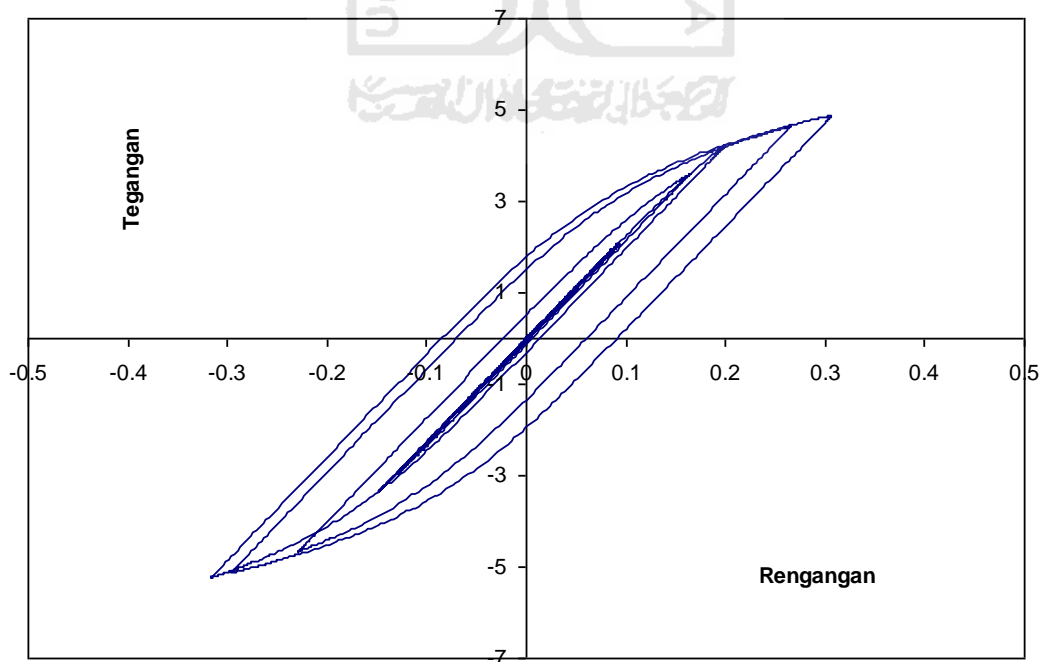
Gambar 5.75 *Hysteristic Loops Bilnier* Isolasi Dasar Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Coalinga 1983



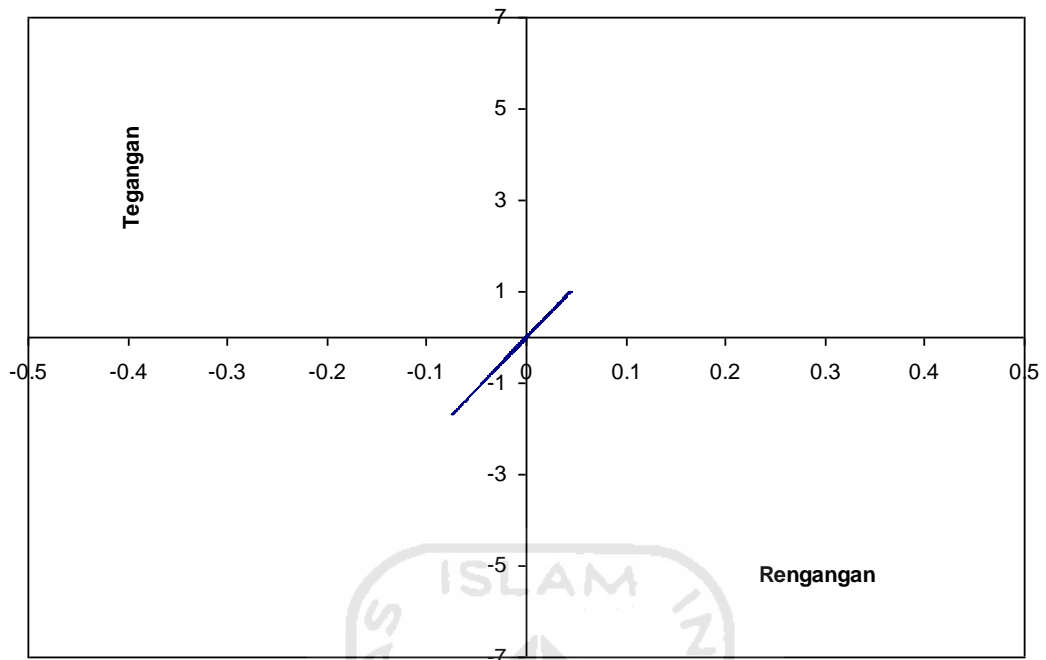
Gambar 5.76 *Hysteristic Loops Bilnier* Isolasi Dasar Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940



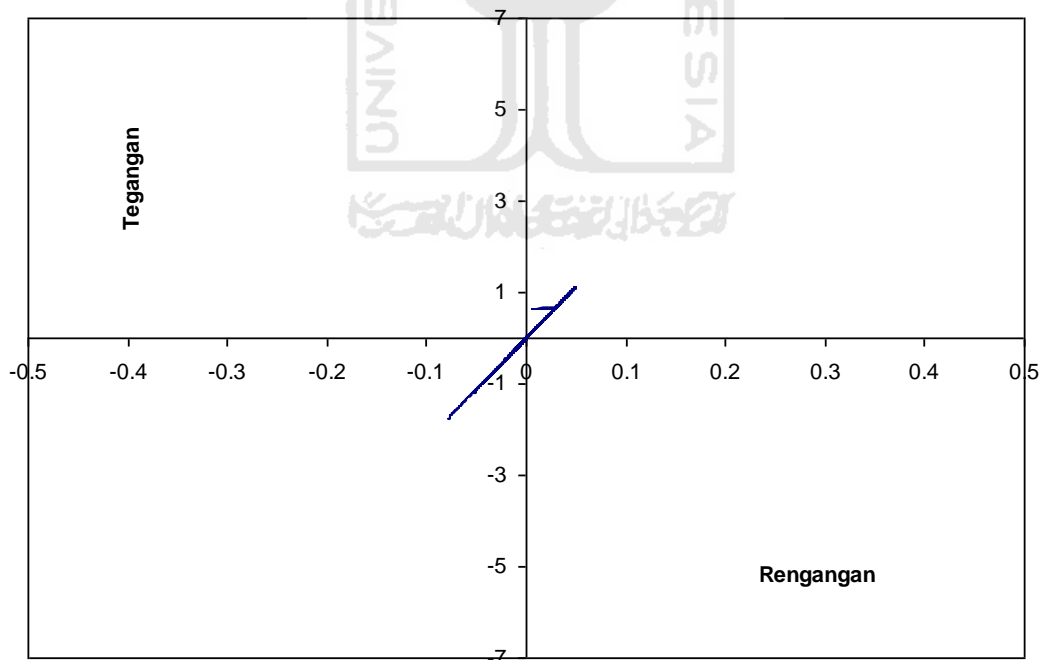
Gambar 5.77 Hysteristic Loops Bilnier Isolasi Dasar Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1979



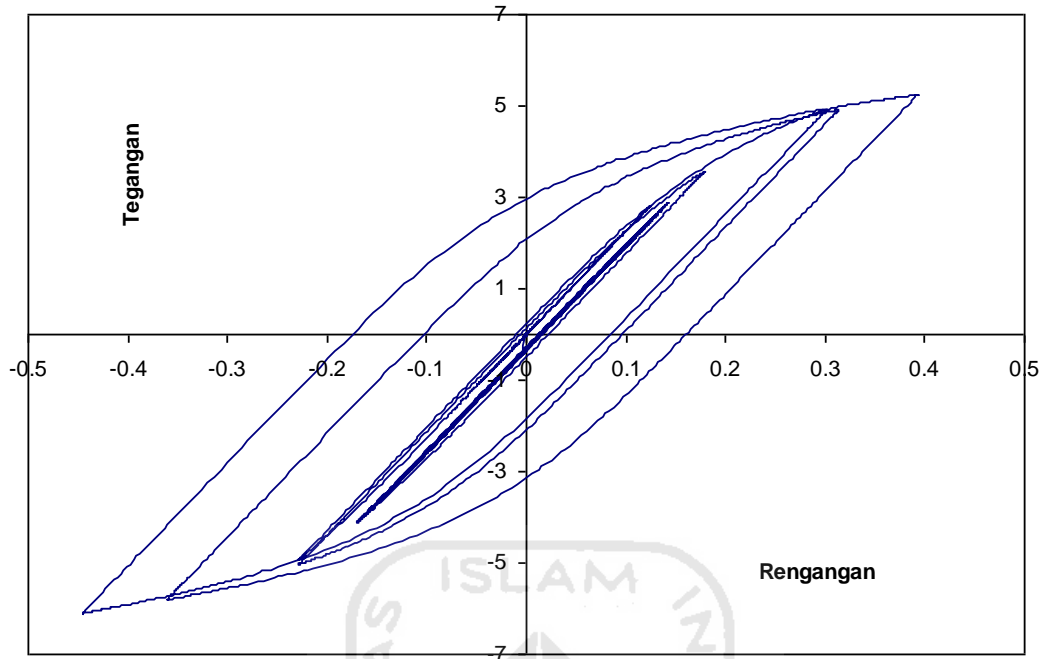
Gambar 5.78 Hysteristic Loops Bilnier Isolasi Dasar Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Coalinga 1983



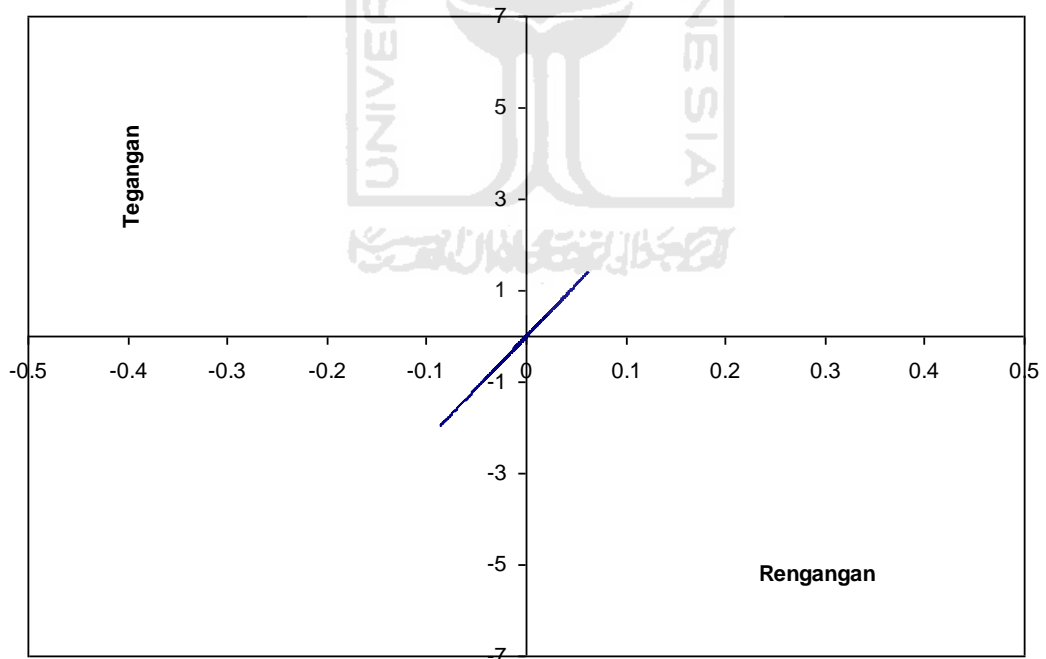
Gambar 5.79 Hysteristic Loops Bilnier Isolasi Dasar Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940



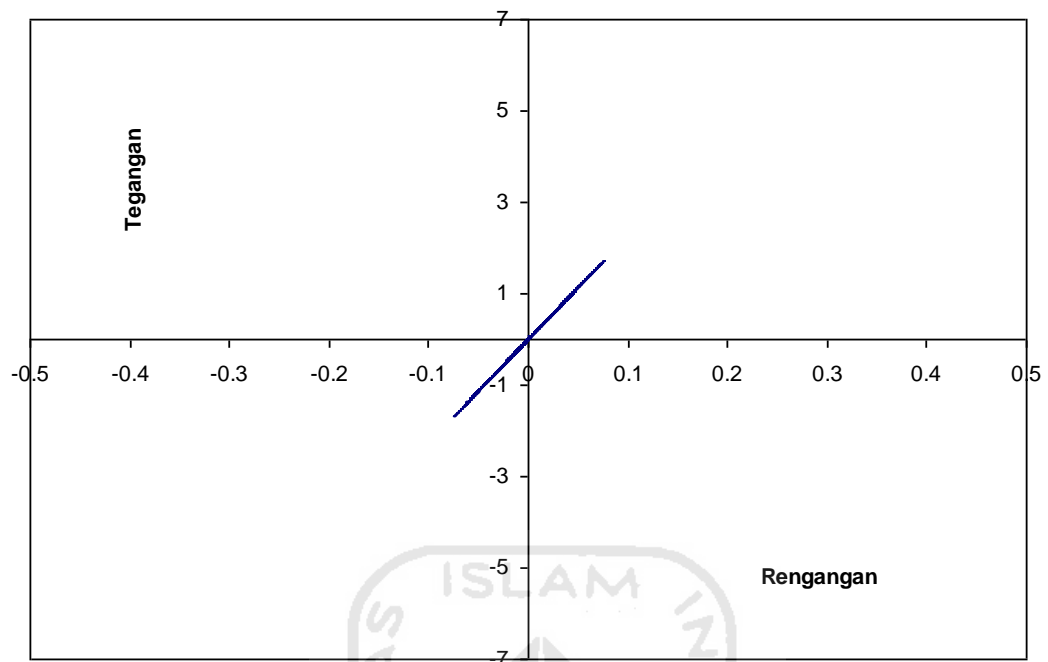
Gambar 5.80 Hysteristic Loops Bilnier Isolasi Dasar Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1979



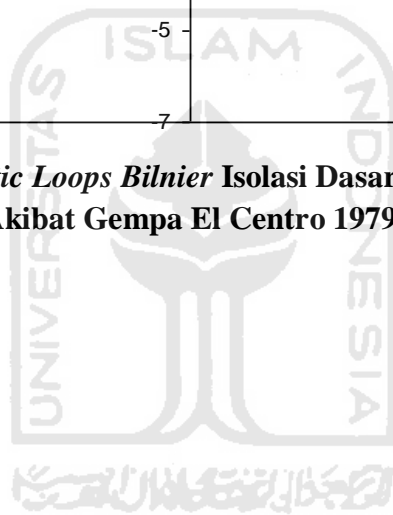
Gambar 5.81 Hysteristic Loops Bilnier Isolasi Dasar Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa Coalinga 1983



Gambar 5.82 Hysteristic Loops Bilnier Isolasi Dasar Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1940



Gambar 5.83 *Hysteretic Loops Biliner* Isolasi Dasar Struktur 15 Tingkat Akibat Gempa El Centro 1979



BAB IV

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada Bab 5 sebelumnya dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Respons seismik untuk bangunan semua variasi tingkat dengan isolasi dasar (*isolated building*) jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan bangunan tanpa isolasi dasar (*fixed base building*) pada gempa frekuensi menengah. Reduksi simpangan struktur berkisar antara 64,42 – 66,47 %, *interstory drift* struktur berkisar antara 69,99 – 80,96 %, *interstory drift ratio* struktur berkisar antara 69,99 – 80,96 %, gaya horizontal tingkat struktur berkisar antara 75,20 – 80,96 %, gaya geser tingkat struktur berkisar antara 69,99 – 80,96 %, momen guling struktur berkisar antara 73,56 – 80,96 %.
2. Respons seismik untuk bangunan semua variasi tingkat dengan isolasi dasar (*base isolated building*) terhadap semua jenis frekuensi gempa menghasilkan respons terbesar terjadi pada beban gempa Coalingan yaitu frekuensi gempa rendah dan respons terkecil terjadi pada beban gempa El Centro 1979 frekuensi gempa tinggi.
3. Penggunaan isolasi dasar atau sering dikatakan *base isolation* sangat dipengaruhi oleh kekakuan geser isolasi dasar. Makin kecil kekakuan gesernya, makin besar reduksi respons struktur yang didapatkan.
4. Kurva *Hysteristic Loop Bilnier* untuk gempa dengan frekuensi rendah menunjukkan perbandingan tegangan regangan isolasi dasar kondisi non linier inelastis. Artinya kekakuan isolasi dasar berubah-ubah dan ketika ketika pembebanan terbalik tidak akan mengikuti jalur sebelumnya. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kurva *hysteristic bilniear* sudah baik dan sesuai dengan *rules* yang berlaku, namun untuk frekuensi gempa tinggi dan menengah kurva *hysteristic* menjadi linier elastis.

6.2 Saran

Dari hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan sebelumnya dapat diambil beberapa saran-saran sebagai berikut ini.

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai respons non linier inelastik dengan jenis isolasi dasar lainnya dan dibandingkan.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai respons tanah dan respons struktur bangunan akibat gempa bumi.



PENUTUP

Demikian laporan tugas akhir berjudul “**Respon Seismik pada Bangunan Struktur Beton dengan Isolasi Dasar**” / “*The Seismic Response of isolated building*” dibuat. Penulis sadar bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna karena terbatasnya waktu dan kemampuan penyusun. Oleh karena itu, penulis menerima kritik dan saran dari pembaca. Harapan penulis semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat, khususnya bagi penulis sendiri dan dapat menjadi bahan diskusi dan referensi bagi rekan-rekan yang akan menyusun laporan tugas akhir.



DAFTAR PUSTAKA

- Andhika, Adhi. 2008. *Respons Non Linier Inelastik Lapisan-lapisan Tanah Akibat Gempa Menurut Ramberg Osgood Models (R-O Models)*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Ardy dan Didik, 2004. *Pengaruh Penggunaan Isolasi Dasar (Base Isolation) terhadap Respon Seismik Struktur Rangka Baja Bertingkat Banyak*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Ayu, Galuh. 2017. *Analisis dan Desain Struktur Beton Bertingkat Banyak Berdasarkan Perbandingan Analisis Repons Spektrum dan Dinamik Riwayat Waktu*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Bridgstone Corporation, 2015. *Multi-Rubber Bearings*. International Industrial Products Departement, Tokyo.
- Budiono, Bambang. 2015. *Penggunaan Isolasi Dasar Single Friction Pendulum dan Triple Friction Pendulum pada Bangunan Beton Bertulang*. Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil, Bandung.
- David dan Eka, 2006. *Respon Seismik Struktur Beton Bertingkat Banyak dengan Isolasi Dasar (Elastoplastik)*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Jain, S., dan Thakkar, S. 2004. *Application of Base Isolation for Flexible Buildings*. Canada: 13th World Confrence on Eartquake.

- Nugroho dan Budiyanto, 2002. *Pengaruh High Dumping Rubber Bearing sebagai Isolasi Dasar terhadap Perilaku Dinamika Struktur*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Paldi dan Hakim, 2000. *Performasi Bantalan Karet (Rubber Bearing) sebagai Redaman Pasif untuk Seismik Kontrol pada Bangunan Tahan Gempa*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Vucetic M. Dan Dobry R. 1999. *Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response*, Journal of Geotechnical Engineering. ASCE.
- Widodo, 2001. *Respons Dinamika Struktur Elastik*. Universitas Islam Indonesia Press. Yogyakarta.
- Widodo, 2006. *Pengantar Seismologi dan Teknik Kegempaan*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Widodo, 2012. *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Widodo, 2017. *Analisis Dinamik Struktur*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Wang Y-P. 2002. *Fudamental of Seismic Base Isolation*, International Training Taiwan: Programs for Seismic Design of Building Structures.
- Yang, Yeong-Bin, 2003. *Earthquake Engineering Hangbooks*. CRC Press. New York.

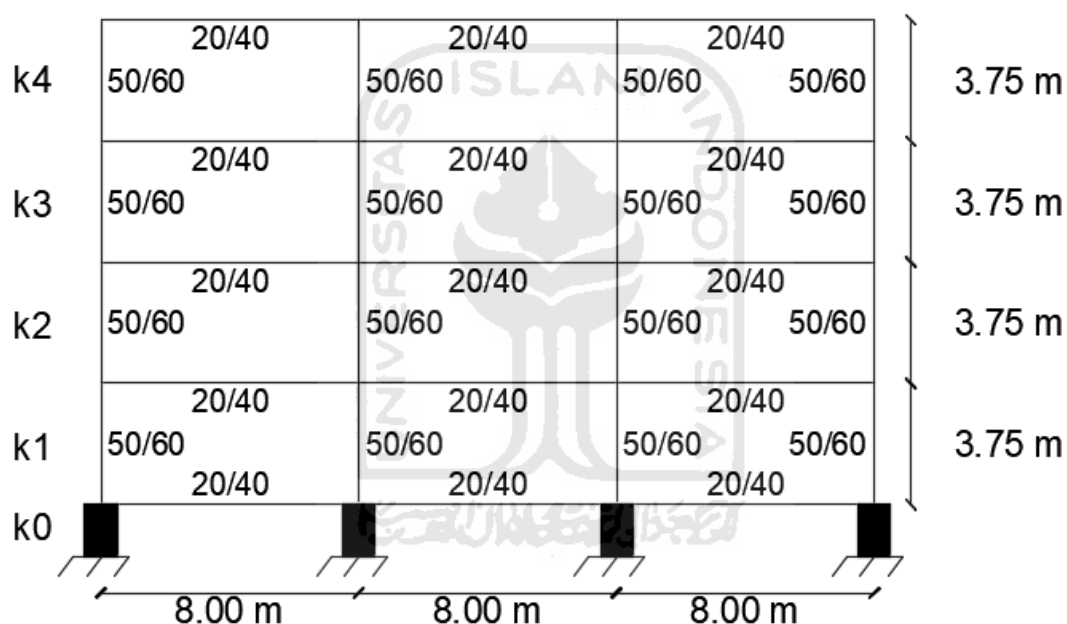
LAMPIRAN



VERIFIKASI PERHITUNGAN

Verifikasi perhitungan yang digunakan adalah suatu model struktur beton 4 tingkat dengan beban data riwayat gempa El Centro 1940 yang dihitung dengan cara manual menggunakan Microsoft Excel 2003. Integrasi numerik yang digunakan adalah integrasi secara langsung persamaan differensial dependen (*Coupling*) dengan metode β - *Newmark*.

A. Perhitungan manual struktur 4 tingkat dengan isolasi dasar



Dimana diketahui data struktur dan data isolasi dasar:

❖ Data Struktur

$$q \text{ lantai} = 2800 \text{ kg/m}^2$$

$$q \text{ atap} = 2000 \text{ kg/m}^2$$

$$f'_c = 25 \text{ Mpa}$$

❖ Data Isolasi Dasar (IRHD-75)

$$\text{Periode Target } (T_D) = 2,5 \text{ detik}$$

$$\text{Regangan Geser } (\gamma_{max}) = 50 \%$$

$$\text{Redaman Efektif } (\xi_{eff}) = 10 \% \text{ (IBC 2000, Tabel 1623.2.2.1)}$$

Koefisien Redaman (B_D)	=	1.2 (IBC 2000, Tabel 1623.2.2.1)
Koefisien Seismik (S_D)	=	0.4 (IBC 2000, Tabel 1615.1.2(2))
Modulus elastisitas (E)	=	940 N/cm ²
Modulus Geser (G)	=	222 N/cm ²
Faktor Modifikasi	=	0.52
Baja A36:	F_y	= 274,4 MPa
	F_s	= 164,64 MPa
	f_{py}	= 8,82 MPa

1. Perhitungan Berat (W) Tiap – Tiap Tingkat

$$W_0 = \text{panjang} \times q$$

$$= (8 \text{ m} + 8 \text{ m} + 8 \text{ m}) \times 2800 \text{ kg} / \text{m}'$$

$$= 67200 \text{ kg}$$

$$W_1 = \text{panjang} \times q$$

$$= (8 \text{ m} + 8 \text{ m} + 8 \text{ m}) \times 2800 \text{ kg} / \text{m}'$$

$$= 67200 \text{ kg}$$

$$W_2 = \text{panjang} \times q$$

$$= (8 \text{ m} + 8 \text{ m} + 8 \text{ m}) \times 2800 \text{ kg} / \text{m}'$$

$$= 67200 \text{ kg}$$

$$W_3 = \text{panjang} \times q$$

$$= (8 \text{ m} + 8 \text{ m} + 8 \text{ m}) \times 2800 \text{ kg} / \text{m}'$$

$$= 67200 \text{ kg}$$

$$W_4 = \text{panjang} \times q$$

$$= (8 \text{ m} + 8 \text{ m} + 8 \text{ m}) \times 2000 \text{ kg} / \text{m}'$$

$$= 48000 \text{ kg}$$

Berat total struktur,

$$W = W_0 + W_1 + W_2 + W_3 + W_4$$

$$= 67200 \text{ kg} + 67200 \text{ kg} + 67200 \text{ kg} + 67200 \text{ kg} + 48000 \text{ kg}$$

$$= 316800 \text{ kg}$$

2. Perhitungan desain *Lead Rubber Bearing* (LRBs)

a. Kekakuan efektif isolasi dasar

$$K_{eff} = \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \frac{W}{g}$$

$$= \left(\frac{2\pi}{2,5 \text{ dt}} \right)^2 \cdot \frac{316800 \text{ kg}}{980 \text{ cm/dt}^2} = 2041,9204 \text{ kg/cm}$$

b. Simpangan maksimum isolasi dasar

$$D_D = \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) \frac{S_D T_D}{B_D}$$

$$= \left(\frac{980}{4\pi^2} \right)^2 \cdot \frac{0,4 \times 2,5}{1,2} = 20,6864 \text{ cm} < 30 \text{ cm (oke)}$$

c. Nilai leleh jangka pendek

$$Q_d = \frac{W_D}{4D_D} = \frac{\pi}{2} K_{eff} \xi_{eff} D_D$$

$$= \frac{\pi}{2} \times 2041,9204 \times 10\% \times 20,6864 = 6635,0437 \text{ kg}$$

d. Kekakuan setelah leleh

$$K_d = K_{eff} - \frac{Q_d}{D_D}$$

$$= 2041,9204 - \frac{6635,0437}{20,6864} = 1721,1763 \text{ kg}$$

e. Luas penampang pada pusat inti

$$A_p = \frac{Q_d}{f_{py}}$$

$$= \frac{6635,0437}{8,84 \times 10,1972} = 73,7227 \text{ cm}^2$$

f. Tinggi total karet

$$t_r = \frac{D_D}{\gamma_{\max}}$$

$$= \frac{20,6864}{0,5} = 41,3728 \text{ cm} \rightarrow 42 \text{ cm (pakai)}$$

g. Luas efektif dan ketebalan masing-masing lapisan karet

1) Faktor bentuk S

$$\frac{E \cdot (1 + 2kS^2)}{G} \geq 400 \rightarrow \frac{940 \cdot (1 + 2 \times 0,52S^2)}{222}$$

$$S > 9,4801 \rightarrow 20 \text{ (pakai)}$$

$$E_c = E \cdot (1 + 2kS^2) = 940 \cdot (1 + 2 \times 0,52 \times 20^2) = 391980 \text{ N / cm}^2$$

$$E_c = 39997,9592 \text{ kg / cm}^2$$

2) Luas penampang efektif (A_0) pada bantalan berdasarkan tegangan geser izin untuk beban vertikal P_{DL+LL}

$$\sigma_c = \frac{P_{DL+LL}}{A_0} \leq 80 \text{ kg / cm}^2 \rightarrow \frac{316800}{A_0} \leq 80 \text{ kg / cm}^2$$

$$A_0 > 3960 \text{ cm}^2$$

3) Luas penampang efektif (A_1) pada bantalan dari regangan geser karena beban vertikal P_{DL+LL}

$$6S \frac{P_{DL+LL}}{E_c \cdot A_1} \leq \frac{\epsilon_b}{3} \rightarrow 6 \times 20 \times \frac{316800}{39997,9592 \cdot A_1} \leq \frac{500\%}{3}$$

$$A_1 > 570,2691 \text{ cm}^2$$

4) Kekakuan elastis (K_r) dari bantalan

$$K_d = K_r \left(1 + 12 \frac{A_p}{A_0} \right) \rightarrow 1721,1763 = K_r \left(1 + 12 \frac{73,7227}{3960} \right)$$

$$\rightarrow K_r = 1406,8770 \text{ kg / cm}$$

5) Luas penampang minimum (A_{sf}) untuk kegagalan geser bantalan

$$G = \frac{K_r \cdot t_r}{A_{sf}} \rightarrow A_{sf} = \frac{K_r \cdot t_r}{G} = \frac{1406,8770 \cdot 42}{(222/9,8)} = 2608,4260 \text{ cm}^2$$

Untuk bearing lingkaran dengan luas A_{sf} maka diameter $d=57,6294$ cm.

Untuk menghitung luas penampang efektif A_2 dihitung menggunakan Persamaan 3.7 dan 3.8 maka $A_2=976,7597$ cm².

- 6) Menentukan luas penampang (A) yang diambil dari nilai maksimum A_0 , A_1 dan A_2

$$A = \max(A_0, A_1, A_2) = \max(3960, 570, 2691, 976, 7597) = 3960 \text{ cm}^2$$

Maka diameter dari luasasn A adalah $d=71,0435$ cm \rightarrow $d=75$ cm (pakai)

- 7) Menentukan ukuran lapisan karet

$$\beta = 2 \cos^{-1} \left(\frac{D_D}{d} \right) = 2 \cos^{-1} \left(\frac{16,5491}{75} \right) = 2,00001$$

$$A_{re} \leq \frac{d^2}{4} (\beta - \sin \beta) \rightarrow \frac{75^2}{4} (2,00001 - \sin 2,00001) = 2763,4431 \text{ cm}^2$$

- 8) Menentukan tebal dan jumlah lapisan karet

$$S = \frac{d}{4t} \rightarrow 20 = \frac{75}{4t} \rightarrow t = 0,9375 \text{ cm} \rightarrow t = 1 \text{ cm} \text{ (pakai)}$$

- h. Tebal pelat baja t_s

$$t_s \geq \frac{2(t_i + t_{s+1}) \cdot P_{DL+LL}}{A_{re} \cdot F_s} \geq 2 \text{ mm}$$

$$t_s \geq \frac{2(1+1) \cdot 316800}{2763,4431 \cdot (0,6 \times (222/9,8))} = 0,2732 \text{ cm} = 2,7323 \text{ mm}$$

$$t_s = 3 \text{ mm} \text{ (pakai)}$$

- i. Tinggi total dari bearing dengan asumsi pelat penutup atas dan bawah tebal 2,5 cm

$$h = t_r + 41 \times t_s + 2 \times 2,5 \text{ cm} = 12 \text{ cm} + 41 \times 3 \text{ mm} + 5 \text{ cm} = 59,3 \text{ cm}$$

- j. Cek regangan geser dan stabilitas LRBs

- 1) Persyaratan regangan geser akibat beban vertikal P_{DL+LL}

$$\gamma_{c,DL+LL} = 6S \frac{P_{DL+LL}}{E_c \cdot A} = 6 \times 20 \times \frac{316800}{39997,9592 \cdot 4417,8647} = 0,2154$$

$$\leq \frac{\varepsilon_b}{3} = \frac{500\%}{3} = 1,6667 \rightarrow \text{oke}$$

2) Kondisi stabilitas

$$\sigma_c = \frac{P}{A} = \frac{316800}{4417,8647} = 70,3464 \text{ kg/cm}^2$$

$$\leq \sigma_c = \frac{G \cdot S \cdot L}{2,5 \cdot t_r} = \frac{(222/9,8) \times 20 \times 75}{2,5 \times 12} = 1132,6531 \rightarrow \text{oke}$$

3. Perhitungan Massa (m) Tiap – Tiap Tingkat

$$m_0 = \frac{W_0}{g} = \frac{67200 \text{ kg}}{980 \text{ cm/dt}^2} = 68,5714 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

$$m_1 = \frac{W_1}{g} = \frac{67200 \text{ kg}}{980 \text{ cm/dt}^2} = 68,5714 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

$$m_2 = \frac{W_2}{g} = \frac{67200 \text{ kg}}{980 \text{ cm/dt}^2} = 68,5714 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

$$m_3 = \frac{W_3}{g} = \frac{67200 \text{ kg}}{980 \text{ cm/dt}^2} = 68,5714 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

$$m_4 = \frac{W_4}{g} = \frac{48000 \text{ kg}}{980 \text{ cm/dt}^2} = 48,9796 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

4. Menghitung Kekakuan Tingkat 1 / Base Isolation

$$K_0 = \frac{G \times A}{h}$$

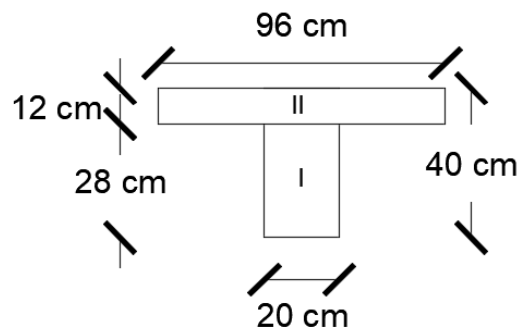
$$= \frac{(222/9,8) \text{ kg/cm}^2 \times 0,25 \times \pi \times (75 \text{ cm})^2}{59,3 \text{ cm}} = 1687,6587 \text{ kg/cm}$$

5. Menghitung Momen Inersia Potongan

$$I_{c1} = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 50 \text{ cm} \times 60^3 \text{ cm} = 900000 \text{ cm}^4$$

$$I_{c1} = I_{c2} = I_{c3} = I_{c4}$$

Inertia balok T,



$$A_1 = b_1 \times h_1 = 20 \text{ cm} \times 28 \text{ cm} = 560 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = b_2 \times h_2 = 96 \text{ cm} \times 12 \text{ cm} = 1152 \text{ cm}^2$$

$$y_1 = \frac{(ht - tp)}{2} = \frac{(40 \text{ cm} - 12 \text{ cm})}{2} = 14 \text{ cm}$$

$$y_2 = ht - \frac{tp}{2} = 40 \text{ cm} - \frac{12 \text{ cm}}{2} = 34 \text{ cm}$$

$$y = \frac{A_1 \times y_1 + A_2 \times y_2}{A_1 + A_2} = \frac{(560 \text{ cm}^2 \times 14 \text{ cm}) + (1152 \text{ cm}^2 \times 34 \text{ cm})}{560 \text{ cm}^2 + 1152 \text{ cm}^2}$$

$$= 27,4579 \text{ cm}$$

$$I_1 = \frac{1}{12} \times b_1 \times h_1^3 + A_1 \times (y - y_1)^2$$

$$= \frac{1}{12} \times 20 \text{ cm} \times 28^3 \text{ cm} + 560 \text{ cm}^2 \times (27,4579 \text{ cm} - 14 \text{ cm})^2$$

$$= 138011,7694 \text{ cm}^4$$

$$I_2 = \frac{1}{12} \times b_2 \times h_2^3 + A_2 \times (y - y_2)^2$$

$$= \frac{1}{12} \times 96 \text{ cm} \times 12^3 \text{ cm} + 1152 \text{ cm}^2 \times (27,4579 \text{ cm} - 34 \text{ cm})^2$$

$$= 63127,8693 \text{ cm}^4$$

$$I_b = I_1 + I_2 = 138011,7694 \text{ cm}^4 + 63127,8693 \text{ cm}^4 = 201139,6387 \text{ cm}^4$$

$$I_{b1} = I_{b2} = I_{b3}$$

6. Perhitungan Kekakuan Kolom Jepit-Jepit (Kj)

$$k_{c1} = \frac{12 \times E \times I}{L_1^3} = \frac{12 \times 4700\sqrt{25} \text{ MPa} \times 10.2 \times 900000 \text{ cm}}{375^3 \text{ cm}} = 49090,56 \text{ kg/cm}$$

$$k_{c1} = k_{c2} = k_{c3} = k_{c4}$$

Kekakuan total,

$$K_j = k_{c1} + k_{c2} + k_{c3} + k_{c4}$$

$$= 49090,56 + 49090,56 + 49090,56 + 49090,56 = 196362,24 \text{ kg/cm}$$

7. Perhitungan Kekakuan dengan Cara Muto (Km)

a. Besaran EI/L

$$\frac{E \times I_{c1}}{L_{c1}} = \frac{4700\sqrt{25} \text{ MPa} \times 10.2 \times 900000 \text{ cm}^4}{375 \text{ cm}} = 575280000 \text{ cm}^3$$

$$\frac{E \times I_{c1}}{L_{c1}} = \frac{E \times I_{c2}}{L_{c2}} = \frac{E \times I_{c3}}{L_{c3}} = \frac{E \times I_{c4}}{L_{c4}}$$

$$\frac{E \times I_{b1}}{L_{b1}} = \frac{4700\sqrt{25} \text{ MPa} \times 10.2 \times 201139,6387 \text{ cm}^4}{800 \text{ cm}} = 60266464,2243 \text{ cm}^3$$

$$\frac{E \times I_{b1}}{L_{b1}} = \frac{E \times I_{b2}}{L_{b2}} = \frac{E \times I_{b3}}{L_{b3}}$$

b. Nilai k

Diambil nilai konstanta $K=575280000 \text{ cm}^3$ maka,

$$k_{c1} = \frac{575280000 \text{ cm}^3}{575280000 \text{ cm}^3} = 1$$

$$k_{c1} = k_{c2} = k_{c3} = k_{c4}$$

$$k_{b1} = \frac{60266464,2243 \text{ cm}^3}{575280000 \text{ cm}^3} = 0,10476$$

$$k_{b1} = k_{b2} = k_{b3}$$

c. Nilai Cm

1) Koefisien kekakuan kolom tepi

$$C_{m1} = \frac{\sum k_{bi}}{\sum k_{bi} + 4k_c} = \frac{0,10476 + 0,10476}{(0,10476 + 0,10476) + 4 \times 1} = 0,04977$$

$$C_{m1} = C_{m2} = C_{m3} = C_{m4}$$

2) Koefisien kekakuan kolom tengah

$$C_{m1} = \frac{\sum k_{bi}}{\sum k_{bi} + 4k_c} = \frac{2 \times (0,10476 + 0,10476)}{2 \times (0,10476 + 0,10476) + 4 \times 1} = 0,09483$$

$$C_{m1} = C_{m2} = C_{m3} = C_{m4}$$

d. Kekakuan Kolom Total

$$K_m = C_m \times k_c$$

$$K_{m1} = 2 \times (0,04977 + 0,09482) \times 49090,56 = 14196,9126 \text{ kg/cm}$$

$$K_{m1} = K_{m2} = K_{m3} = K_{m4}$$

8. Rekapitulasi Massa (m) dan Kekakuan (k) Struktur

a. Massa

$$m_0 = 68,5714 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

$$m_1 = 68,5714 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

$$m_2 = 68,5714 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

$$m_3 = 68,5714 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

$$m_4 = 48,9796 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

b. Kekakuan

$$k_0 = 1687,6587 \text{ kg/cm}$$

$$k_1 = 14196,9126 \text{ kg/cm}$$

$$k_2 = 14196,9126 \text{ kg/cm}$$

$$k_3 = 14196,9126 \text{ kg/cm}$$

$$k_4 = 14196,9126 \text{ kg/cm}$$

9. Perhitungan Mode Shapes

Matriks massa

$$[M] = \begin{bmatrix} m_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix}$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix}$$

Matriks kekakuan

$$[K] = \begin{bmatrix} k_0 + k_1 & -k_1 & 0 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 15884,57 & -14196,91 & 0 & 0 & 0 \\ -14196,91 & 28393,83 & -14196,91 & 0 & 0 \\ 0 & -14196,91 & 28393,83 & -14196,91 & 0 \\ 0 & 0 & -14196,91 & 28393,83 & -14196,91 \\ 0 & 0 & 0 & -14196,91 & 14196,91 \end{bmatrix}$$

Apabila digunakan unit massa (m) = 68,5724 kg dt²/cm dan unit kekakuan (k) = 14196,91 kg/cm, maka matriks massa tanah (m) dan matriks kekakuan tanah (k) diatas dapat ditulis kembali :

$$[M] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,7143 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 1,1189 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Dengan demikian dapat disusun persamaan *Eigen Problem* sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} 1,1189 - \lambda & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 2 - \lambda & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 2 - \lambda & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 2 - \lambda & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 - 0,7143\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_0 \\ \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Kemudian persamaan – persamaan diatas dapat ditulis menjadi bentuk yang lebih sederhana seperti diberikan dibawah ini,

$$(1,1189 - \lambda)\phi_0 - \phi_1 = 0$$

$$-\phi_0 + (2 - \lambda)\phi_1 - \phi_2 = 0$$

$$-\phi_1 + (2 - \lambda)\phi_2 - \phi_3 = 0$$

$$-\phi_2 + (2 - \lambda)\phi_3 - \phi_4 = 0$$

$$-\phi_3 + (1 - 0,7143\lambda)\phi_4 = 0$$

Dengan mengambil nilai $\phi_0 = 1$ yang selanjutnya nilai tersebut di distribusikan ke persamaan diatas, dengan metode distribusi aljabar biasa maka nilai mode yang lainnya dapat dicari. Hasilnya adalah sebagai berikut.

$$[\phi] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1,0967 & 0,6465 & -0,4258 & -1,6688 & -2,5732 \\ 1,1691 & -0,0123 & -1,1939 & 0,3144 & 3,3540 \\ 1,2156 & -0,6653 & -0,1178 & 1,4211 & -3,1019 \\ 1,2352 & -1,0041 & 1,1402 & -1,4338 & 1,8947 \end{bmatrix}$$

Selanjutnya dapat dihitung nilai frekuensi sudut (ω) tiap Tingkat sebagai berikut ini,

$$\lambda_0 = 0,1332 \rightarrow \omega_0 = \sqrt{\lambda_0 \cdot \frac{k}{m}} = \sqrt{0,1332 \cdot \frac{14196,91}{68,5714}} = 2,1421 \frac{rad}{dt}$$

$$\lambda_1 = 2,8381 \rightarrow \omega_1 = \sqrt{\lambda_1 \cdot \frac{k}{m}} = \sqrt{2,8381 \cdot \frac{14196,91}{68,5714}} = 9,8890 \frac{rad}{dt}$$

$$\lambda_2 = 9,2815 \rightarrow \omega_2 = \sqrt{\lambda_2 \cdot \frac{k}{m}} = \sqrt{9,2815 \cdot \frac{14196,91}{68,5714}} = 17,8831 \frac{rad}{dt}$$

$$\lambda_3 = 16,7502 \rightarrow \omega_3 = \sqrt{\lambda_3 \cdot \frac{k}{m}} = \sqrt{16,7502 \cdot \frac{14196,91}{68,5714}} = 24,0240 \frac{rad}{dt}$$

$$\lambda_4 = 22,1845 \rightarrow \omega_4 = \sqrt{\lambda_4 \cdot \frac{k}{m}} = \sqrt{22,1845 \cdot \frac{14196,91}{68,5714}} = 27,6477 \frac{rad}{dt}$$

10. Kontrol Dengan Kondisi Partisipasi Mode :

a. Untuk mode ke - 0

$$P_0 = \{\phi\}_0^T \cdot [M] \{I\}$$

$$P_0 = [1 \quad 1,0967 \quad 1,1691 \quad 1,2156 \quad 1,2325] \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$P_0 = 367,7969$$

$$M_0 = \{\phi\}_0^T \cdot [M] \{\phi_0\}$$

$$M_0 = [1 \quad 1,0967 \quad 1,1691 \quad 1,2156 \quad 1,2325] \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1,0967 \\ 1,1691 \\ 1,2156 \\ 1,2325 \end{bmatrix}$$

$$M_0 = 420,8276$$

$$\text{Partisipasi untuk mode ke - 0 : } \Gamma_0 = \frac{P_0}{M_0} = \frac{367,7969}{420,8276} = 0,8740$$

b. Untuk mode ke - 1

$$P_1 = \{\phi\}_1^T \cdot [M] \{I\}$$

$$P_1 = [1 \quad 0,6465 \quad -0,0123 \quad -0,6653 \quad -1,0041] \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$P_1 = 17,2577$$

$$M_1 = \{\phi\}_1^T \cdot [M] \{\phi_1\}$$

$$M_1 = [1 \quad 0,6465 \quad -0,0123 \quad -0,6653 \quad -1,0041] \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0,6465 \\ -0,0123 \\ -0,6653 \\ -1,0041 \end{bmatrix}$$

$$M_1 = 176,9832$$

$$\text{Partisipasi untuk mode ke - 1 : } \Gamma_1 = \frac{P_1}{M_1} = \frac{17,2577}{176,9832} = 0,0975$$

c. Untuk mode ke - 2

$$P_2 = \{\phi\}_2^T \cdot [M] \cdot \{I\}$$

$$P_2 = [1 \quad -0,4258 \quad -1,1939 \quad -0,1178 \quad 1,1402] \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$P_2 = 5,2771$$

$$M_2 = \{\phi\}_2^T \cdot [M] \cdot \{\phi_2\}$$

$$M_2 = [1 \quad -0,4258 \quad -1,1939 \quad -0,1178 \quad 1,1402] \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ -0,4258 \\ -1,1939 \\ -0,1178 \\ 1,1402 \end{bmatrix}$$

$$M_2 = 243,3723$$

$$\text{Partisipasi untuk mode ke - 2 : } \Gamma_2 = \frac{P_2}{M_2} = \frac{5,2771}{243,3723} = 0,0217$$

d. Untuk mode ke - 3

$$P_3 = \{\phi\}_3^T \cdot [M] \cdot \{I\}$$

$$P_3 = [1 \quad -1,6688 \quad 0,3144 \quad 1,4211 \quad -1,4338] \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$P_3 = 2,9241$$

$$M_3 = \{\phi\}_3^T \cdot [M] \cdot \{\phi_3\}$$

$$M_3 = [1 \quad -1,6688 \quad 0,3144 \quad 1,4211 \quad -1,4338] \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ -1,6688 \\ 0,3144 \\ 1,4211 \\ -1,4338 \end{bmatrix}$$

$$M_3 = 505,4834$$

$$\text{Partisipasi untuk mode ke - 3 : } \Gamma_3 = \frac{P_3}{M_3} = \frac{2,9241}{505,4834} = 0,0058$$

e. Untuk mode ke - 4

$$P_4 = \{\phi\}_4^T [M] \{I\}$$

$$P_4 = [1 \quad -2,5732 \quad 3,3540 \quad -3,1019 \quad 1,8947] \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$P_4 = 2,2078$$

$$M_4 = \{\phi\}_4^T [M] \{\phi_4\}$$

$$M_4 = [1 \quad -2,5732 \quad 3,3540 \quad -3,1019 \quad 1,8947] \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ -2,5732 \\ 3,3540 \\ -3,1019 \\ 1,8947 \end{bmatrix}$$

$$M_4 = 2129,5905$$

$$\text{Partisipasi untuk mode ke - 4 : } \Gamma_4 = \frac{P_4}{M_4} = \frac{2,2078}{2129,5905} = 0,0010$$

Sebagai kontrol bahwa jumlah partisipasi mode harus sama dengan satu, maka

$$\begin{aligned} \sum \Gamma &= \Gamma_0 + \Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3 + \Gamma_4 \\ &= 0,8740 + 0,0975 + 0,0217 + 0,0058 + 0,0010 \\ &= 1 \quad (\text{memenuhi syarat}) \end{aligned}$$

11. Perhitungan Matriks Redaman (C)

Dalam analisis digunakan matriks redaman dengan metode *Mass and Stiffness Proportional Damping* dengan nilai redaman (ξ) = 0,05

Frekuensi sudut yang akan dijadikan referensi (ω_i) diambil pada mode ke - 3 yaitu 18,0611 rad/dt dan (ω_j) pada mode ke -1 yaitu 2,7886 rad/dt.

$$\beta = \frac{2(\xi_j \cdot \omega_j - \xi_i \cdot \omega_i)}{\omega_j^2 - \omega_i^2} = \frac{2(0,05 \cdot 17,8831 - 0,05 \cdot 2,1421)}{17,8831^2 - 2,1421^2} = 0,0049$$

$$\alpha = 2 \cdot \xi_j \cdot \omega_j - \beta \cdot \omega_j^2 = 2 \cdot 0,05 \cdot 17,8831 - 0,0049 \cdot 17,8831^2 = 0,1913$$

Matriks redaman :

$$[C] = \alpha \cdot [M] + \beta \cdot [K]$$

$$\alpha \cdot [M] = 0,1913 \cdot \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} +$$

$$\beta \cdot [K] = 0,0049 \cdot \begin{bmatrix} 15884,57 & -14196,91 & 0 & 0 & 0 \\ -14196,91 & 28393,83 & -14196,91 & 0 & 0 \\ 0 & -14196,91 & 28393,83 & -14196,91 & 0 \\ 0 & 0 & -14196,91 & 28393,83 & -14196,91 \\ 0 & 0 & 0 & -14196,91 & 14196,91 \end{bmatrix}$$

Maka nilai matrik redaman [C] adalah :

$$[C] = \begin{bmatrix} 92,4404 & -70,8953 & 0 & 0 & 0 \\ -70,8953 & 154,9080 & -70,8953 & 0 & 0 \\ 0 & -70,8953 & 154,9080 & -70,8953 & 0 \\ 0 & 0 & -70,8953 & 154,9080 & -70,8953 \\ 0 & 0 & 0 & -70,8953 & 80,2649 \end{bmatrix}$$

12. Integrasi Langsung β -Newmark

a. Mencari kekakuan efektif (\hat{K})

Dalam mencari kekakuan efektif ditentukan terlebih dahulu nilai $\gamma = 0,50$ dan nilai $\beta = 0,25$. Kemudian nilai kekakuan efektif dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\hat{K} = [K] + \left\{ \frac{\gamma}{\beta \times \Delta t} \times [C] \right\} + \left\{ \frac{1}{\beta \times \Delta t^2} \times [M] \right\}$$

$$\hat{K} = \begin{bmatrix} 15884,57 & -14196,91 & 0 & 0 & 0 \\ -14196,91 & 28393,83 & -14196,91 & 0 & 0 \\ 0 & -14196,91 & 28393,83 & -14196,91 & 0 \\ 0 & 0 & -14196,91 & 28393,83 & -14196,91 \\ 0 & 0 & 0 & -14196,91 & 14196,91 \end{bmatrix} +$$

$$\left\{ \frac{0,50}{0,25 \times 0,01} \times \begin{bmatrix} 92,4404 & -70,8953 & 0 & 0 & 0 \\ -70,8953 & 154,9080 & -70,8953 & 0 & 0 \\ 0 & -70,8953 & 154,9080 & -70,8953 & 0 \\ 0 & 0 & -70,8953 & 154,9080 & -70,8953 \\ 0 & 0 & 0 & -70,8953 & 80,2649 \end{bmatrix} \right\} +$$

$$\left\{ \frac{1}{0,25 \times (0,01^2)} \times \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} \right\}$$

$$\hat{K} = \begin{bmatrix} 2777229,787 & -28375,971 & 0 & 0 & 0 \\ -28375,971 & 2802232,563 & -28375,971 & 0 & 0 \\ 0 & -28375,971 & 2802232,563 & -28375,971 & 0 \\ 0 & 0 & -28375,971 & 2802232,563 & -28375,971 \\ 0 & 0 & 0 & -28375,971 & 1989433,558 \end{bmatrix}$$

b. Mencari konstanta a

$$a = \left\{ \frac{1}{\beta \times \Delta t} \times [M] \right\} + \left\{ \frac{\gamma}{\beta} \times [C] \right\}$$

$$a = \left\{ \frac{1}{0,25 \times 0,01} \times \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} \right\} +$$

$$a = \left\{ \frac{0,50}{0,25} \times \begin{bmatrix} 92,4404 & -70,8953 & 0 & 0 & 0 \\ -70,8953 & 154,9080 & -70,8953 & 0 & 0 \\ 0 & -70,8953 & 154,9080 & -70,8953 & 0 \\ 0 & 0 & -70,8953 & 154,9080 & -70,8953 \\ 0 & 0 & 0 & -70,8953 & 80,2649 \end{bmatrix} \right\} + \begin{bmatrix} 27613,452 & -141,791 & 0 & 0 & 0 \\ -141,791 & 27738,387 & -141,791 & 0 & 0 \\ 0 & -141,791 & 27738,387 & -141,791 & 0 \\ 0 & 0 & -141,791 & 27738,387 & -141,791 \\ 0 & 0 & 0 & -141,791 & 19752,367 \end{bmatrix}$$

c. Mencari konstanta b

$$b = \left\{ \frac{1}{2 \times \beta} \times [M] \right\} + \left\{ \left(\frac{\gamma}{2 \times \beta} - 1 \right) \times \Delta t \times [C] \right\}$$

$$b = \left\{ \frac{1}{2 \times 0,25} \times \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} \right\} + \left\{ \left(\frac{0,50}{2 \times 0,25} - 1 \right) \times 0,01 \times \begin{bmatrix} 92,4404 & -70,8953 & 0 & 0 & 0 \\ -70,8953 & 154,9080 & -70,8953 & 0 & 0 \\ 0 & -70,8953 & 154,9080 & -70,8953 & 0 \\ 0 & 0 & -70,8953 & 154,9080 & -70,8953 \\ 0 & 0 & 0 & -70,8953 & 80,2649 \end{bmatrix} \right\}$$

$$b = \begin{bmatrix} 137,1429 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 137,1429 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 137,1429 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 137,1429 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 97,9592 \end{bmatrix}$$

d. Perhitungan Pembebanan Siklus Ke – 1 dimana $i = 0$

Perhitungan pembebanan menggunakan beban riwayat gempa El Centro 1940 dimana data riwayat percepatan gempanya disajikan dalam dibawah ini.

Waktu (detik)	Percepatan Gempa (cm/dt ²)
0,00	0
0,01	0
0,02	1,6954
0,03	3,3810
0,04	5,0764
0,05	6,7620
dst	dst

Dimana diketahui pada kondisi awal bahwa nilai :

Simpangan → $y_0 = 0$

Kecepatan → $\dot{y}_0 = 0$

Percepatan → $\ddot{y}_0 = 0$

1) Mencari nilai pertambahan pembebanan ($\Delta \hat{P}_i$)

$$\Delta \hat{P}_i = \{ (\ddot{y}_{b,i+1} - \ddot{y}_{b,i}) \times [M] \} + (a \times [\dot{y}_i]) + (b \times [\ddot{y}_i])$$

$$\Delta \hat{P}_0 = \{ (\ddot{y}_{b,0+1} - \ddot{y}_{b,0}) \times [M] \} + ([a] \times [\dot{y}_0]) + ([b] \times [\ddot{y}_0])$$

$$\Delta \hat{P}_0 = \{ (\ddot{y}_{b,1} - \ddot{y}_{b,0}) \times [M] \} + ([a] \times [\dot{y}_0]) + ([b] \times [\ddot{y}_0])$$

$$= \left\{ (1,6954 - 0,0000) \times \begin{bmatrix} 68,5714 \\ 68,5714 \\ 68,5714 \\ 68,5714 \\ 48,9796 \end{bmatrix} \right\}$$

$$+ \begin{pmatrix} \begin{bmatrix} 27613,452 & -141,791 & 0 & 0 & 0 \\ -141,791 & 27738,387 & -141,791 & 0 & 0 \\ 0 & -141,791 & 27738,387 & -141,791 & 0 \\ 0 & 0 & -141,791 & 27738,387 & -141,791 \\ 0 & 0 & 0 & -141,791 & 19752,367 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \end{pmatrix}$$

$$+ \begin{pmatrix} \begin{bmatrix} 137,1429 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 137,1429 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 137,1429 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 137,1429 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 97,9592 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \end{pmatrix}$$

$$\Delta \hat{P}_0 = \begin{bmatrix} 116,256 \\ 116,256 \\ 116,256 \\ 116,256 \\ 83,040 \end{bmatrix}$$

2) Mencari nilai pertambahan simpangan (Δy_i)

$$\hat{K} \cdot \Delta y_i = \Delta \hat{P}_i$$

$$\hat{K} \cdot \Delta y_0 = \Delta \hat{P}_0$$

$$\begin{bmatrix} 2777229,787 & -28375,971 & 0 & 0 & 0 \\ -28375,971 & 2802232,563 & -28375,971 & 0 & 0 \\ 0 & -28375,971 & 2802232,563 & -28375,971 & 0 \\ 0 & 0 & -28375,971 & 2802232,563 & -28375,971 \\ 0 & 0 & 0 & -28375,971 & 1989433,558 \end{bmatrix} \Delta y_0 = \begin{bmatrix} 116,256 \\ 116,256 \\ 116,256 \\ 116,256 \\ 83,040 \end{bmatrix}$$

$$\Delta y_0 = \begin{bmatrix} 4,22931 \times 10^{-5} \\ 4,23440 \times 10^{-5} \\ 4,23445 \times 10^{-5} \\ 4,23445 \times 10^{-5} \\ 4,23445 \times 10^{-5} \end{bmatrix}$$

3) Mencari nilai pertambahan kecepatan (Δy_i)

$$\Delta \dot{y}_i = \left(\frac{\gamma}{\beta \times \Delta t} \times [\Delta y_i] \right) - \left(\frac{\gamma}{\beta} \times [\dot{y}_i] \right) + \left(1 - \frac{\gamma}{2\beta} \right) \cdot \Delta t \cdot [\ddot{y}_i]$$

$$\Delta \dot{y}_0 = \left(\frac{\gamma}{\beta \times \Delta t} \times [\Delta y_0] \right) - \left(\frac{\gamma}{\beta} \times [\dot{y}_0] \right) + \left(1 - \frac{\gamma}{2\beta} \right) \cdot \Delta t \cdot [\ddot{y}_0]$$

$$\Delta \dot{y}_0 = \left(\frac{0,50}{0,25 \times 0,01} \times \begin{bmatrix} 4,22931 \times 10^{-5} \\ 4,23440 \times 10^{-5} \\ 4,23445 \times 10^{-5} \\ 4,23445 \times 10^{-5} \\ 4,23445 \times 10^{-5} \end{bmatrix} \right) - \left(\frac{0,50}{0,25} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$+ \left(1 - \frac{0,50}{2,0,25} \right) \cdot 0,01 \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \dot{y}_0 = \begin{bmatrix} 0,0084586 \\ 0,0084688 \\ 0,0084689 \\ 0,0084689 \\ 0,0084689 \end{bmatrix}$$

4) Mencari nilai pertambahan percepatan ($\Delta \ddot{y}_i$)

$$\Delta \ddot{y}_i = \left(\frac{1}{\beta \times \Delta t^2} \times [\Delta y_i] \right) - \left(\frac{1}{\beta \times \Delta t} \times [\dot{y}_i] \right) - \left(\frac{1}{2\beta} \times [\ddot{y}_i] \right)$$

$$\Delta \ddot{y}_0 = \left(\frac{1}{\beta \times \Delta t^2} \times [\Delta y_0] \right) - \left(\frac{1}{\beta \times \Delta t} \times [\dot{y}_0] \right) - \left(\frac{1}{2\beta} \times [\ddot{y}_0] \right)$$

$$= \left(\frac{1}{0,25 \times 0,01^2} \times \begin{bmatrix} 4,22931 \times 10^{-5} \\ 4,23440 \times 10^{-5} \\ 4,23445 \times 10^{-5} \\ 4,23445 \times 10^{-5} \\ 4,23445 \times 10^{-5} \end{bmatrix} \right) - \left(\frac{1}{0,25 \times 0,01} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$-\left(\frac{1}{2 \times 0,25} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$\Delta \ddot{y}_0 = \begin{bmatrix} 1,6917224 \\ 1,6937591 \\ 1,6937797 \\ 1,6937799 \\ 1,6937799 \end{bmatrix}$$

5) Maka besarnya simpangan akhir interval (y_{i+1}) adalah :

$$y_{i+1} = y_i + \Delta y_i$$

$$y_{0+1} = y_0 + \Delta y_0$$

$$y_1 = y_0 + \Delta y_0$$

$$\begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix}_{\text{siklus ke-1}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 4,22931 \times 10^{-5} \\ 4,23440 \times 10^{-5} \\ 4,23445 \times 10^{-5} \\ 4,23445 \times 10^{-5} \\ 4,23445 \times 10^{-5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4,22931 \times 10^{-5} \\ 4,23440 \times 10^{-5} \\ 4,23445 \times 10^{-5} \\ 4,23445 \times 10^{-5} \\ 4,23445 \times 10^{-5} \end{bmatrix}$$

6) Menghitung simpangan netto (y_n)

$$y_n = y_i - y_{base}$$

a) Tingkat 0 / *Base Isolation*

$$y_{00} = 4,22931 \times 10^{-5} - 4,22931 \times 10^{-5} = 0$$

b) Tingkat 1

$$y_{01} = 4,23440 \times 10^{-5} - 4,22931 \times 10^{-5} = 5,09156 \times 10^{-8}$$

c) Tingkat 2

$$y_{02} = 4,23445 \times 10^{-5} - 4,22931 \times 10^{-5} = 5,14312 \times 10^{-8}$$

d) Tingkat 3

$$y_{03} = 4,23445 \times 10^{-5} - 4,22931 \times 10^{-5} = 5,14365 \times 10^{-8}$$

e) Tingkat 4

$$y_{04} = 4,23445 \times 10^{-5} - 4,22931 \times 10^{-5} = 5,14365 \times 10^{-8}$$

jika disusun dalam bentuk matrik maka,

$$y_n = \begin{bmatrix} 0 \\ 5,09156 \times 10^{-8} \\ 5,14312 \times 10^{-8} \\ 5,14365 \times 10^{-8} \\ 5,14365 \times 10^{-8} \end{bmatrix}$$

7) Menghitung simpangan antar tingkat / *interstorey drift* (yy)

$$yy = y_n - y_{n-1}$$

a) Tingkat 0 / *Base Isolation*

$$yy_{00} = 0 - 0 = 0$$

b) Tingkat 1

$$yy_{01} = 5,09156 \times 10^{-8} - 0 = 5,09156 \times 10^{-8}$$

c) Tingkat 2

$$yy_{12} = 5,14312 \times 10^{-8} - 5,09156 \times 10^{-8} = 5,15635 \times 10^{-10}$$

d) Tingkat 3

$$yy_{23} = 5,14365 \times 10^{-8} - 5,14312 \times 10^{-8} = 5,22195 \times 10^{-12}$$

e) Tingkat 4

$$yy_{14} = 5,14365 \times 10^{-8} - 5,14365 \times 10^{-8} = 5,26652 \times 10^{-14}$$

jika disusun dalam bentuk matrik maka,

$$yy = \begin{bmatrix} 0 \\ 5,09156 \times 10^{-8} \\ 5,15635 \times 10^{-10} \\ 5,22195 \times 10^{-12} \\ 5,26652 \times 10^{-14} \end{bmatrix}$$

8) Maka besarnya kecepatan akhir interval (\dot{y}_{i+1}) adalah :

$$\dot{y}_{i+1} = \dot{y}_i + \Delta\dot{y}_i$$

$$\dot{y}_{0+1} = \dot{y}_0 + \Delta\dot{y}_0$$

$$\dot{y}_1 = \dot{y}_0 + \Delta\dot{y}_0$$

$$\begin{bmatrix} \dot{y}_0 \\ \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \\ \dot{y}_4 \end{bmatrix}_{\text{siklus ke-1}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,0084586 \\ 0,0084688 \\ 0,0084689 \\ 0,0084689 \\ 0,0084689 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,0084586 \\ 0,0084688 \\ 0,0084689 \\ 0,0084689 \\ 0,0084689 \end{bmatrix}$$

9) Maka besarnya percepatan akhir interval (\ddot{y}_{i+1}) adalah :

$$\ddot{y}_{i+1} = \ddot{y}_i + \Delta\ddot{y}_i$$

$$\ddot{y}_{0+1} = \ddot{y}_0 + \Delta\ddot{y}_0$$

$$\ddot{y}_1 = \ddot{y}_0 + \Delta\ddot{y}_0$$

$$\begin{bmatrix} \ddot{y}_0 \\ \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \\ \ddot{y}_4 \end{bmatrix}_{\text{siklus ke-1}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1,6917224 \\ 1,6937591 \\ 1,6937797 \\ 1,6937799 \\ 1,6937799 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,6917224 \\ 1,6937591 \\ 1,6937797 \\ 1,6937799 \\ 1,6937799 \end{bmatrix}$$

10) Menghitung rasio simpangan antar tingkat / *interstorey drift ratio* (yr)

$$yr = \frac{yy_i}{h} \times 100$$

a) Tingkat 0 / *Base Isolation*

$$y_{r0} = \frac{0}{59.3} \times 100 = 0\%$$

b) Tingkat 1

$$y_{r1} = \frac{5,09156 \times 10^{-8}}{375} \times 100 = 1,35775 \times 10^{-8}\%$$

c) Tingkat 2

$$y_{r2} = \frac{5,15635 \times 10^{-10}}{375} \times 100 = 1,37503 \times 10^{-10}\%$$

d) Tingkat 3

$$y_{r3} = \frac{5,22195 \times 10^{-12}}{375} \times 100 = 1,39252 \times 10^{-12} \%$$

e) Tingkat 4

$$y_{r4} = \frac{5,26652 \times 10^{-14}}{375} \times 100 = 1,40441 \times 10^{-14} \%$$

11) Menghitung gaya horizontal tingkat (F)

$$F = y_n \times [K]$$

$$F = \begin{bmatrix} 0 \\ 5,092 \times 10^{-8} \\ 5,143 \times 10^{-8} \\ 5,144 \times 10^{-8} \\ 5,144 \times 10^{-8} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 15884,57 & -14196,91 & 0 & 0 & 0 \\ -14196,91 & 28393,83 & -14196,91 & 0 & 0 \\ 0 & -14196,91 & 28393,83 & -14196,91 & 0 \\ 0 & 0 & -14196,91 & 28393,83 & -14196,91 \\ 0 & 0 & 0 & -14196,91 & 14196,91 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -0,00072 \\ 0,000716 \\ 7,24628 \times 10^{-6} \\ 7,33879 \times 10^{-8} \\ 7,47684 \times 10^{-10} \end{bmatrix} \text{ kg}$$

12) Menghitung gaya geser tingkat (V)

$$V = \sum_{j=i}^n F_j$$

a) Tingkat 0 / *Base Isolation*

$$V_1 = F_0 + F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$= -0,00072 + 0,000716 + 7,24628 \times 10^{-6} + 7,33879 \times 10^{-8} + 7,47684 \times 10^{-10}$$

$$= 0 \text{ kg}$$

b) Tingkat 1

$$V_1 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$= 0,000716 + 7,24628 \times 10^{-6} + 7,33879 \times 10^{-8} + 7,47684 \times 10^{-10}$$

$$= 0,000723 \text{ kg}$$

c) Tingkat 2

$$\begin{aligned} V_2 &= F_2 + F_3 + F_4 \\ &= 7,24628 \times 10^{-6} + 7,33879 \times 10^{-8} + 7,47684 \times 10^{-10} \\ &= 7,32042 \times 10^{-6} \text{ kg} \end{aligned}$$

d) Tingkat 3

$$\begin{aligned} V_3 &= F_3 + F_4 \\ &= 7,33879 \times 10^{-8} + 7,47684 \times 10^{-10} \\ &= 7,41356 \times 10^{-8} \text{ kg} \end{aligned}$$

e) Tingkat 4

$$\begin{aligned} V_4 &= F_4 \\ &= 7,47684 \times 10^{-10} \text{ kg} \end{aligned}$$

13) Menghitung momen guling (Mg)

$$M_g = \sum_{j=i}^n F_j \times H_j$$

a) Dasar

$$\begin{aligned} M_{g_{\text{dasar}}} &= (F_0 \times H_0) + (F_1 \times H_1) + (F_2 \times H_2) + (F_3 \times H_3) + (F_4 \times H_4) \\ &= -0,000723 \times 59,3 + 0,000716 \times 375 + 7,24628 \times 10^{-6} \times 375 + \\ &\quad 7,33879 \times 10^{-8} \times 375 + 7,47684 \times 10^{-10} \times 375 \\ &= 0,228202 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

b) Tingkat 0 / *Base Isolation*

$$\begin{aligned} M_{g_0} &= (F_1 \times H_1) + (F_2 \times H_2) + (F_3 \times H_3) + (F_4 \times H_4) \\ &= 0,000716 \times 375 + 7,24628 \times 10^{-6} \times 375 + 7,33879 \times 10^{-8} \times 375 \\ &\quad 7,47684 \times 10^{-10} \times 375 \\ &= 0,271067 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

c) Tingkat 1

$$\begin{aligned} M_{g_1} &= (F_2 \times H_2) + (F_3 \times H_3) + (F_4 \times H_4) \\ &= 7,24628 \times 10^{-6} \times 375 + 7,33879 \times 10^{-8} \times 375 \end{aligned}$$

$$7,47684 \times 10^{-10} \times 375$$

$$= 0.002745 \text{ kg.cm}$$

d) Tingkat 2

$$M_{g2} = (F_3 \times H_3) + (F_4 \times H_4)$$

$$= 7,33879 \times 10^{-8} \times 375 + 7,47684 \times 10^{-10} \times 375$$

$$= 2,78009 \times 10^{-5} \text{ kg.cm}$$

e) Tingkat 3

$$M_{g3} = (F_4 \times H_4)$$

$$= 7,47684 \times 10^{-10} \times 375$$

$$= 2,80381 \times 10^{-7} \text{ kg.cm}$$

f) Tingkat 4

$$M_{g4} = 0 \text{ kg.cm}$$

14) Perhitungan Regangan Geser Untuk Tiap Tingkat (γ_i)

a) Tingkat 0 / *Base Isolation*

$$\gamma_0 = \left(\frac{y_0 - 0}{h_0} \right) = \left(\frac{4,22931 \times 10^{-5} \text{ cm} - 0 \text{ cm}}{59,3 \text{ cm}} \right) = 7,13205 \times 10^{-7}$$

15) Perhitungan Modulus Geser (G_i)

a) Tingkat 1 / *Base Isolation*

$$G_i = \frac{1}{1 + \alpha \left(\frac{\gamma^\alpha}{\gamma_h} \right)} \times G_0$$

$$G_0 = \frac{1}{1 + 0.97 \left(\frac{(7,13205 \times 10^{-7})^{0.97}}{1,1} \right)} \times 22,6531 \text{ kg/cm}^2 = 22,65304 \text{ kg/cm}^2$$

16) Perhitungan Kekakuan Struktur Tiap Step (K_i)

a) Tingkat 0 / *Base Isolation*

$$K_1 = \frac{G_1 \times A}{h}$$

$$K_i = \frac{22,65304 \text{ kg/cm}^2 \times 0,25 \times \pi \times (75 \text{ cm})^2}{59,3} = 1687,6570 \text{ kg/cm}$$

b) Tingkat 1

$$K_1 = 14196,9126 \text{ kg/cm}$$

c) Tingkat 2

$$K_2 = 14196,9126 \text{ kg/cm}$$

d) Tingkat 3

$$K_3 = 14196,9126 \text{ kg/cm}$$

e) Tingkat 4

$$K_4 = 14196,9126 \text{ kg/cm}$$

17) Perhitungan Tegangan Leleh (τ_y)

a) Tingkat 0 / *Base Isolation*

$$\begin{aligned} \tau_y &= \frac{0,1 \times W}{A} \\ &= \frac{0,1 \times 316800 \text{ kg}}{0,25 \times \pi \times 75^2} = 7,1709 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

18) Perhitungan Regangan Leleh (γ_y)

a) Tingkat 0 / *Base Isolation*

$$\gamma_y = \frac{\tau_y}{G} = \frac{7,1709 \text{ kg/cm}^2}{22,6530 \text{ kg/cm}^2} = 0,3166$$

19) Perhitungan c pemisalan

a) Tingkat 0 / *Base Isolation*

$$c = \frac{\gamma_0}{\gamma_y} = \frac{7,13205 \times 10^{-7}}{0,3166} = 2,2530 \times 10^{-6}$$

20) Perhitungan x pemisalan

Dalam mencari x _pemisalan ditentukan terlebih dahulu nilai $\alpha = 10 - 100$ dan nilai $r = 3 - 9$. Kemudian nilai x _pemisalan dihitung dengan rumus sebagai berikut : $\alpha x^r + x - c = 0$

a) Tingkat 1 / *Base Isolation*

$$10x^3 + x - 7,13205 \times 10^{-7} = 0$$

Dicari melalui persamaan Newton Raphson, sehingga didapatkan nilai:

$$x = 2,2530 \times 10^{-6}$$

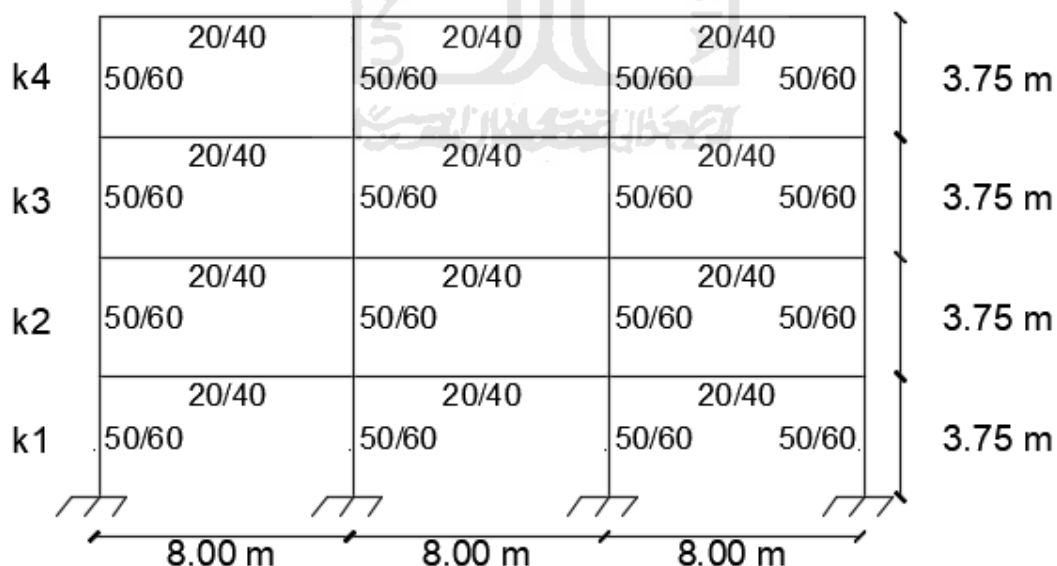
21) Perhitungan tegangan geser tiap Tingkat (τ)

a) Tingkat 1 / *Base Isolation*

$$\tau_0 = 7,1709 \text{ kg/cm}^2 \times 2,2530 \times 10^{-6} = 1,61563 \times 10^{-5} \text{ kg/cm}^2$$

Untuk langkah selanjutnya dimulai dari persamaan matriks kekakuan yang baru dan perhitungan seterusnya sama seperti perhitungan sebelumnya.

B. Perhitungan manual struktur 4 tingkat tanpa isolasi dasar (Tipikal)



Dimana diketahui data struktur dan data isolasi dasar:

f. Data Struktur,

$$q \text{ lantai} = 2800 \text{ kg/m}^2$$

$$q \text{ atap} = 2000 \text{ kg/m}^2$$

$$f'_c = 25 \text{ Mpa}$$

1. Perhitungan Berat (W) Tiap – Tiap Tingkat

$$\begin{aligned} W_1 &= \text{panjang} \times q \\ &= (8 \text{ m} + 8 \text{ m} + 8 \text{ m}) \times 2800 \text{ kg} / \text{m}' \\ &= 67200 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_2 &= \text{panjang} \times q \\ &= (8 \text{ m} + 8 \text{ m} + 8 \text{ m}) \times 2800 \text{ kg} / \text{m}' \\ &= 67200 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_3 &= \text{panjang} \times q \\ &= (8 \text{ m} + 8 \text{ m} + 8 \text{ m}) \times 2800 \text{ kg} / \text{m}' \\ &= 67200 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_4 &= \text{panjang} \times q \\ &= (8 \text{ m} + 8 \text{ m} + 8 \text{ m}) \times 2000 \text{ kg} / \text{m}' \\ &= 48000 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berat total struktur,

$$\begin{aligned} W &= W_1 + W_2 + W_3 + W_4 \\ &= 67200 \text{ kg} + 67200 \text{ kg} + 67200 \text{ kg} + 48000 \text{ kg} \\ &= 249600 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Massa (m) Tiap – Tiap Tingkat

$$m_1 = \frac{W_1}{g} = \frac{67200 \text{ kg}}{980 \text{ cm}/\text{dt}^2} = 68,5714 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

$$m_2 = \frac{W_2}{g} = \frac{67200 \text{ kg}}{980 \text{ cm}/\text{dt}^2} = 68,5714 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

$$m_3 = \frac{W_3}{g} = \frac{67200 \text{ kg}}{980 \text{ cm}/\text{dt}^2} = 68,5714 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

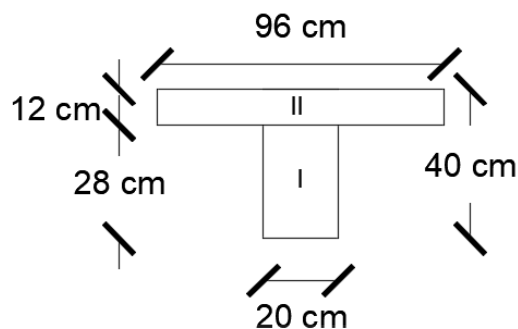
$$m_4 = \frac{W_4}{g} = \frac{48000 \text{ kg}}{980 \text{ cm}/\text{dt}^2} = 48,9796 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

3. Menghitung Momen Inersia Potongan

$$I_{c1} = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 50 \text{ cm} \times 60^3 \text{ cm} = 900000 \text{ cm}^4$$

$$I_{c1} = I_{c2} = I_{c3} = I_{c4}$$

Inertia balok T,



$$A_1 = b_1 \times h_1 = 20 \text{ cm} \times 28 \text{ cm} = 560 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = b_2 \times h_2 = 96 \text{ cm} \times 12 \text{ cm} = 1152 \text{ cm}^2$$

$$y_1 = \frac{(ht - tp)}{2} = \frac{(40 \text{ cm} - 12 \text{ cm})}{2} = 14 \text{ cm}$$

$$y_2 = ht - \frac{tp}{2} = 40 \text{ cm} - \frac{12 \text{ cm}}{2} = 34 \text{ cm}$$

$$y = \frac{A_1 \times y_1 + A_2 \times y_2}{A_1 + A_2} = \frac{(560 \text{ cm}^2 \times 14 \text{ cm}) + (1152 \text{ cm}^2 \times 34 \text{ cm})}{560 \text{ cm}^2 + 1152 \text{ cm}^2}$$

$$= 27,4579 \text{ cm}$$

$$I_1 = \frac{1}{12} \times b_1 \times h_1^3 + A_1 \times (y - y_1)^2$$

$$= \frac{1}{12} \times 20 \text{ cm} \times 28^3 \text{ cm} + 560 \text{ cm}^2 \times (27,4579 \text{ cm} - 14 \text{ cm})^2$$

$$= 1380117694 \text{ cm}^4$$

$$I_2 = \frac{1}{12} \times b_2 \times h_2^3 + A_2 \times (y - y_2)^2$$

$$= \frac{1}{12} \times 96 \text{ cm} \times 12^3 \text{ cm} + 1152 \text{ cm}^2 \times (27,4579 \text{ cm} - 34 \text{ cm})^2$$

$$= 63127,8693 \text{ cm}^4$$

$$I_b = I_1 + I_2 = 1380117694 \text{ cm}^4 + 63127,8693 \text{ cm}^4 = 201139,6387 \text{ cm}^4$$

$$I_{b1} = I_{b2} = I_{b3}$$

4. Perhitungan Kekakuan Kolom Jepit-Jepit (Kj)

$$k_{c1} = \frac{12 \times E \times I}{L_1^3} = \frac{12 \times 4700\sqrt{25} \text{ MPa} \times 10.2 \times 900000 \text{ cm}}{375^3 \text{ cm}} = 49090,56 \text{ kg/cm}$$

$$k_{c1} = k_{c2} = k_{c3} = k_{c4}$$

Kekakuan total,

$$K_j = k_{c1} + k_{c2} + k_{c3} + k_{c4}$$

$$= 49090,56 + 49090,56 + 49090,56 + 49090,56 = 196362,24 \text{ kg/cm}$$

5. Perhitungan Kekakuan dengan Cara Muto (Km)

a. Besaran EI/L

$$\frac{E \times I_{c1}}{L_{c1}} = \frac{4700\sqrt{25} \text{ MPa} \times 10.2 \times 900000 \text{ cm}^4}{375 \text{ cm}} = 575280000 \text{ cm}^3$$

$$\frac{E \times I_{c1}}{L_{c1}} = \frac{E \times I_{c2}}{L_{c2}} = \frac{E \times I_{c3}}{L_{c3}} = \frac{E \times I_{c4}}{L_{c4}}$$

$$\frac{E \times I_{b1}}{L_{b1}} = \frac{4700\sqrt{25} \text{ MPa} \times 10.2 \times 201139,6387 \text{ cm}^4}{800 \text{ cm}} = 60266464,2243 \text{ cm}^3$$

$$\frac{E \times I_{b1}}{L_{b1}} = \frac{E \times I_{b2}}{L_{b2}} = \frac{E \times I_{b3}}{L_{b3}}$$

b. Nilai k

Diambil nilai konstanta $K=575280000 \text{ cm}^3$ maka,

$$k_{c1} = \frac{575280000 \text{ cm}^3}{575280000 \text{ cm}^3} = 1$$

$$k_{c1} = k_{c2} = k_{c3} = k_{c4}$$

$$k_{b1} = \frac{60266464,2243 \text{ cm}^3}{575280000 \text{ cm}^3} = 0,10476$$

$$k_{b1} = k_{b2} = k_{b3}$$

c. Nilai Cm

1) Koefisien kekakuan kolom tepi

$$C_{m1} = \frac{\sum k_{ba} + 0,5k_c}{\sum k_{ba} + 2k_c} = \frac{0,10476 + 0,5 \times 1}{0,10476 + 2 \times 1} = 0,28733$$

$$C_{m2} = \frac{\sum k_{bi}}{\sum k_{bi} + 4k_c} = \frac{0,10476 + 0,10476}{(0,10476 + 0,10476) + 4 \times 1} = 0,04977$$

$$C_{m2} = C_{m3} = C_{m4}$$

2) Koefisien kekakuan kolom tengah

$$C_{m1} = \frac{\sum k_{ba} + 0,5k_c}{\sum k_{ba} + 2k_c} = \frac{(0,10476 + 0,10476) + 0,5 \times 1}{(0,10476 + 0,10476) + 2 \times 1} = 0,32112$$

$$C_{m2} = \frac{\sum k_{bi}}{\sum k_{bi} + 4k_c} = \frac{2 \times (0,10476 + 0,10476)}{2 \times (0,10476 + 0,10476) + 4 \times 1} = 0,09483$$

$$C_{m2} = C_{m3} = C_{m4}$$

d. Kekakuan Kolom Total

$$K_m = C_m \times k_c$$

$$K_{m1} = 2 \times (0,28733 + 0,32112) \times 49090,56 = 59738,2444 \text{ kg/cm}$$

$$K_{m2} = 2 \times (0,04977 + 0,09482) \times 49090,56 = 14196,9126 \text{ kg/cm}$$

$$K_{m2} = K_{m3} = K_{m4}$$

6. Rekapitulasi Massa (m) dan Kekakuan (k) Struktur

a. Massa

$$m_1 = 68,5714 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

$$m_2 = 68,5714 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

$$m_3 = 68,5714 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

$$m_4 = 48,9796 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

b. Kekakuan

$$k_1 = 59738,2444 \text{ kg / cm}$$

$$k_2 = 14196,9126 \text{ kg / cm}$$

$$k_3 = 14196,9126 \text{ kg / cm}$$

$$k_4 = 14196,9126 \text{ kg / cm}$$

7. Perhitungan Mode Shapes

Matriks massa

$$[M] = \begin{bmatrix} m1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m4 \end{bmatrix}$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix}$$

Matriks kekakuan

$$[K] = \begin{bmatrix} k1+k2 & -k2 & 0 & 0 \\ -k2 & k2+k3 & -k3 & 0 \\ 0 & -k3 & k3+k4 & -k4 \\ 0 & 0 & -k4 & k4 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 73935,157 & -14196,913 & 0 & 0 \\ -14196,913 & 28393,825 & -14196,913 & 0 \\ 0 & -14196,913 & 28393,825 & -14196,913 \\ 0 & 0 & -14196,913 & 14196,913 \end{bmatrix}$$

Apabila digunakan unit massa (m) = 68,5714 kg dt²/cm dan unit kekakuan (k) = 14196,913 kg/cm, maka matriks massa tanah (m) dan matriks kekakuan tanah (k) diatas dapat ditulis kembali :

$$[M] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,7143 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 5,2078 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Dengan demikian dapat disusun persamaan *Eigen Problem* sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} 5,2078-\lambda & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 2-\lambda & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 2-\lambda & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 1-0,7143\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Kemudian persamaan – persamaan diatas dapat ditulis menjadi bentuk yang lebih sederhana seperti diberikan dibawah ini,

$$(5,2078 - \lambda)\phi_1 - \phi_2 = 0$$

$$-\phi_1 + (2 - \lambda)\phi_2 - \phi_3 = 0$$

$$-\phi_2 + (2 - \lambda)\phi_3 - \phi_4 = 0$$

$$-\phi_3 + (1 - 0,7143\lambda)\phi_4 = 0$$

Dengan mengambil nilai $\phi_1 = 1$ yang selanjutnya nilai tersebut di distribusikan ke persamaan diatas, dengan metode distribusi aljabar biasa maka nilai mode yang lainnya dapat dicari. Hasilnya adalah sebagai berikut.

$$[\phi] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 5,0043 & 3,6149 & 1,9163 & -0,3119 \\ 7,9899 & 0,4716 & -3,4749 & 0,0981 \\ 9,3493 & -3,4229 & 2,5719 & -0,0333 \end{bmatrix}$$

Selanjutnya dapat dihitung nilai frekuensi sudut (ω) tiap Tingkat sebagai berikut ini,

$$\lambda_1 = 0,1454 \rightarrow \omega_1 = \sqrt{\lambda_1 \cdot \frac{k}{m}} = \sqrt{0,1454 \cdot \frac{14196,913}{68,5714}} = 6,4917 \frac{rad}{dt}$$

$$\lambda_2 = 1,1378 \rightarrow \omega_2 = \sqrt{\lambda_2 \cdot \frac{k}{m}} = \sqrt{1,1378 \cdot \frac{14196,913}{68,5714}} = 18,1602 \frac{rad}{dt}$$

$$\lambda_3 = 2,3511 \rightarrow \omega_3 = \sqrt{\lambda_3 \cdot \frac{k}{m}} = \sqrt{2,3511 \cdot \frac{14196,913}{68,5714}} = 26,1052 \frac{rad}{dt}$$

$$\lambda_4 = 3,9427 \rightarrow \omega_4 = \sqrt{\lambda_4 \cdot \frac{k}{m}} = \sqrt{3,9427 \cdot \frac{14196,913}{68,5714}} = 33,8055 \frac{rad}{dt}$$

8. Kontrol Dengan Kondisi Partisipasi Mode :

a. Untuk mode ke – 1

$$P_1 = \{\phi\}_1^T \cdot [M] \cdot \{I\}$$

$$P_1 = [1 \quad 5,0043 \quad 7,9899 \quad 9,3493] \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$P_1 = 1417,5274$$

$$M_1 = \{\phi\}_1^T \cdot [M] \cdot \{\phi\}_1$$

$$M_1 = [1 \quad 5,0043 \quad 7,9899 \quad 9,3493] \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 5,0043 \\ 7,9899 \\ 9,3493 \end{bmatrix}$$

$$M_1 = 10444,5870$$

$$\text{Partisipasi untuk mode ke } - 1 : \Gamma_1 = \frac{P_1}{M_1} = \frac{1417,5274}{10444,5970} = 0,1357$$

b. Untuk mode ke - 2

$$P_2 = \{\phi\}_2^T \cdot [M] \cdot \{I\}$$

$$P_2 = [1 \quad 3,6149 \quad 0,4716 \quad -3,4229] \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$P_2 = 181,1394$$

$$M_2 = \{\phi\}_2^T \cdot [M] \cdot \{\phi\}_2$$

$$M_2 = [1 \quad 3,6149 \quad 0,4716 \quad -3,4229] \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 3,6149 \\ 0,4716 \\ -3,4229 \end{bmatrix}$$

$$M_2 = 1553,7647$$

$$\text{Partisipasi untuk mode ke } - 2 : \Gamma_2 = \frac{P_2}{M_2} = \frac{181,1394}{1553,7647} = 0,1166$$

c. Untuk mode ke - 3

$$P_3 = \{\phi\}_3^T \cdot [M] \cdot \{I\}$$

$$P_3 = [1 \quad 1,9163 \quad -3,4749 \quad 2,5719] \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$P_3 = 87,6594$$

$$M_3 = \{\phi\}_3^T [M] \{\phi\}_3$$

$$M_3 = [1 \quad 1,9163 \quad -3,4749 \quad 2,5719] \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1,9163 \\ -3,4749 \\ 2,5719 \end{bmatrix}$$

$$M_3 = 1472,3987$$

$$\text{Partisipasi untuk mode ke } -3 : \Gamma_3 = \frac{P_3}{M_3} = \frac{87,6594}{1472,3987} = 0,0595$$

d. Untuk mode ke - 4

$$P_4 = \{\phi\}_4^T [M] \{I\}$$

$$P_4 = [1 \quad -0,3119 \quad 0,0981 \quad -0,0333] \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$P_4 = 52,2730$$

$$M_4 = \{\phi\}_4^T [M] \{\phi\}_4$$

$$M_4 = [1 \quad -0,3119 \quad 0,0981 \quad -0,0333] \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ -0,3119 \\ 0,0981 \\ -0,0333 \end{bmatrix}$$

$$M_4 = 75,9599$$

$$\text{Partisipasi untuk mode ke } -4 : \Gamma_4 = \frac{P_4}{M_4} = \frac{52,2730}{75,9599} = 0,6882$$

Sebagai kontrol bahwa jumlah partisipasi mode harus sama dengan satu, maka

$$\begin{aligned} \sum \Gamma &= \Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3 + \Gamma_4 \\ &= 0,1357 + 0,1166 + 0,0595 + 0,6882 \\ &= 1 \quad (\text{memenuhi syarat}) \end{aligned}$$

9. Perhitungan Matriks Redaman (C)

Dalam analisis digunakan matriks redaman dengan metode *Mass and Stiffness Proportional Damping* dengan nilai redaman (ξ) = 0,05

Frekuensi sudut yang akan dijadikan referensi (ω_i) diambil pada mode ke – 3 yaitu 26,1052 rad/dt dan (ω_j) pada mode ke -1 yaitu 6,4917 rad/dt.

$$\beta = \frac{2(\xi_j \cdot \omega_j - \xi_i \cdot \omega_i)}{\omega_j^2 - \omega_i^2} = \frac{2(0,05 \cdot 26,1052 - 0,05 \cdot 6,4917)}{26,1052^2 - 6,4917^2} = 0,0031$$

$$\alpha = 2 \cdot \xi_j \cdot \omega_j - \beta \cdot \omega_j^2 = 2 \cdot 0,05 \cdot 26,1052 - 0,0031 \cdot 26,1052^2 = 0,5199$$

Matriks redaman :

$$[C] = \alpha \cdot [M] + \beta \cdot [K]$$

$$\alpha \cdot [M] = 0,5199 \cdot \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} +$$

$$\beta \cdot [K] = 0,0031 \cdot \begin{bmatrix} 73935,157 & -14196,913 & 0 & 0 \\ -14196,913 & 28393,825 & -14196,913 & 0 \\ 0 & -14196,913 & 28393,825 & -14196,913 \\ 0 & 0 & -14196,913 & 14196,913 \end{bmatrix}$$

Maka nilai matrik redaman [C] adalah :

$$[C] = \begin{bmatrix} 262,4659 & -43,5529 & 0 & 0 \\ -43,5529 & 122,7554 & -43,5529 & 0 \\ 0 & -43,5529 & 122,7554 & -43,5529 \\ 0 & 0 & -43,5529 & 69,0169 \end{bmatrix}$$

10. Integrasi Langsung β -Newmark

a. Mencari kekakuan efektif (\hat{K})

Dalam mencari kekakuan efektif ditentukan terlebih dahulu nilai $\gamma = 0,50$ dan nilai $\beta = 0,25$. Kemudian nilai kekakuan efektif dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\hat{K} = [K] + \left\{ \frac{\gamma}{\beta \times \Delta t} \times [C] \right\} + \left\{ \frac{1}{\beta \times \Delta t^2} \times [M] \right\}$$

$$\hat{K} = \left[\begin{array}{cccc} 73935,157 & -14196,913 & 0 & 0 \\ -14196,913 & 28393,825 & -14196,913 & 0 \\ 0 & -14196,913 & 28393,825 & -14196,913 \\ 0 & 0 & -14196,913 & 14196,913 \end{array} \right] +$$

$$\left\{ \frac{0,50}{0,25 \times 0,01} \times \left[\begin{array}{cccc} 262,4659 & -43,5529 & 0 & 0 \\ -43,5529 & 122,7554 & -43,5529 & 0 \\ 0 & -43,5529 & 122,7554 & -43,5529 \\ 0 & 0 & -43,5529 & 69,0169 \end{array} \right] \right\} +$$

$$\left\{ \frac{1}{0,25 \times (0,01^2)} \times \left[\begin{array}{cccc} 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{array} \right] \right\}$$

$$\hat{K} = \left[\begin{array}{cccc} 28692854805 & -22907,4966 & 0 & 0 \\ -22907,4966 & 27958020450 & -22907,4966 & 0 \\ 0 & 22907,4966 & 27958020450 & -22907,4966 \\ 0 & 0 & -22907,4966 & 19871839622 \end{array} \right]$$

b. Mencari konstanta a

$$a = \left\{ \frac{1}{\beta \times \Delta t} \times [M] \right\} + \left\{ \frac{\gamma}{\beta} \times [C] \right\}$$

$$a = \left\{ \frac{1}{0,25 \times 0,01} \times \left[\begin{array}{cccc} 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{array} \right] \right\} +$$

$$\left\{ \frac{0,50}{0,25} \times \left[\begin{array}{cccc} 262,4659 & -43,5529 & 0 & 0 \\ -43,5529 & 122,7554 & -43,5529 & 0 \\ 0 & -43,5529 & 122,7554 & -43,5529 \\ 0 & 0 & -43,5529 & 69,0169 \end{array} \right] \right\}$$

$$a = \left[\begin{array}{cccc} 27953,5032 & -87,1058 & 0 & 0 \\ -87,1058 & 27674,0822 & -87,1058 & 0 \\ 0 & -87,1058 & 27674,0822 & -87,1058 \\ 0 & 0 & -87,1058 & 19729,8705 \end{array} \right]$$

c. Mencari konstanta b

$$b = \left\{ \frac{1}{2 \times \beta} \times [M] \right\} + \left\{ \left(\frac{\gamma}{2 \times \beta} - 1 \right) \times \Delta t \times [C] \right\}$$

$$b = \left\{ \frac{1}{2 \times 0,25} \times \begin{bmatrix} 68,5714 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68,5714 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68,5714 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 48,9796 \end{bmatrix} \right\} +$$

$$\left\{ \left(\frac{0,50}{2 \times 0,25} - 1 \right) \times 0,01 \times \begin{bmatrix} 262,4659 & -43,5529 & 0 & 0 \\ -43,5529 & 122,7554 & -43,5529 & 0 \\ 0 & -43,5529 & 122,7554 & -43,5529 \\ 0 & 0 & -43,5529 & 69,0169 \end{bmatrix} \right\}$$

$$b = \begin{bmatrix} 137,1429 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 137,1429 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 137,1429 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 97,9592 \end{bmatrix}$$

d. Perhitungan Pembebanan Siklus Ke – 1 dimana $i = 0$

Perhitungan pembebanan menggunakan beban riwayat gempa El Centro 1940 dimana data riwayat percepatan gempanya disajikan dalam dibawah ini.

Waktu (detik)	Percepatan Gempa (cm/dt ²)
0,00	0
0,01	0
0,02	1,6954
0,03	3,3810
0,04	5,0764
0,05	6,7620
dst	dst

Dimana diketahui pada kondisi awal bahwa nilai :

Simpangan $\rightarrow y_0 = 0$

$$\text{Kecepatan} \quad \rightarrow \quad \dot{y}_0 = 0$$

$$\text{Percepatan} \quad \rightarrow \quad \ddot{y}_0 = 0$$

1) Mencari nilai pertambahan pembebanan ($\Delta \hat{P}_i$)

$$\Delta \hat{P}_i = \{ (\ddot{y}_{b,i+1} - \ddot{y}_{b,i}) \times [M] \} + (a \times [\dot{y}_i]) + (b \times [\ddot{y}_i])$$

$$\Delta \hat{P}_0 = \{ (\ddot{y}_{b,0+1} - \ddot{y}_{b,0}) \times [M] \} + ([a] \times [\dot{y}_0]) + ([b] \times [\ddot{y}_0])$$

$$\Delta \hat{P}_0 = \{ (\ddot{y}_{b,1} - \ddot{y}_{b,0}) \times [M] \} + ([a] \times [\dot{y}_0]) + ([b] \times [\ddot{y}_0])$$

$$= \left\{ (1,6954 - 0,00) \times \begin{bmatrix} 68,5714 \\ 68,5714 \\ 68,5714 \\ 48,9796 \end{bmatrix} \right\} + \left(\begin{bmatrix} 27953,5032 & -87,1058 & 0 & 0 \\ -87,1058 & 27674,0822 & -87,1058 & 0 \\ 0 & -87,1058 & 27674,0822 & -87,1058 \\ 0 & 0 & -87,1058 & 19729,8705 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right) + \left(\begin{bmatrix} 137,1429 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 137,1429 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 137,1429 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 97,9592 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$\Delta \hat{P}_0 = \begin{bmatrix} 116,2560 \\ 116,2560 \\ 116,2560 \\ 83,0400 \end{bmatrix}$$

2) Mencari nilai pertambahan simpangan (Δy_i)

$$\hat{K} \cdot \Delta y_i = \Delta \hat{P}_i$$

$$\hat{K} \cdot \Delta y_0 = \Delta \hat{P}_0$$

$$\begin{bmatrix} 2869285,4805 & -22907,4966 & 0 & 0 \\ -22907,4966 & 2795802,0450 & -22907,4966 & 0 \\ 0 & -22907,4966 & 2795802,0450 & -22907,4966 \\ 0 & 0 & -22907,4966 & 19871839622 \end{bmatrix} \Delta y_0 = \begin{bmatrix} 116,2560 \\ 116,2560 \\ 116,2560 \\ 83,0400 \end{bmatrix}$$

$$\Delta y_0 = \begin{bmatrix} 4,08548 \times 10^{-5} \\ 4,22635 \times 10^{-5} \\ 4,22750 \times 10^{-5} \\ 4,22751 \times 10^{-5} \end{bmatrix}$$

3) Mencari nilai pertambahan kecepatan ($\Delta \dot{y}_i$)

$$\Delta \dot{y}_i = \left(\frac{\gamma}{\beta \times \Delta t} \times [\Delta y_i] \right) - \left(\frac{\gamma}{\beta} \times [\dot{y}_i] \right) + \left(1 - \frac{\gamma}{2\beta} \right) \cdot \Delta t \cdot [\ddot{y}_i]$$

$$\Delta \dot{y}_0 = \left(\frac{\gamma}{\beta \times \Delta t} \times [\Delta y_0] \right) - \left(\frac{\gamma}{\beta} \times [\dot{y}_0] \right) + \left(1 - \frac{\gamma}{2\beta} \right) \cdot \Delta t \cdot [\ddot{y}_0]$$

$$\Delta \dot{y}_0 = \left(\frac{0,50}{0,25 \times 0,01} \times \begin{bmatrix} 4,08548 \times 10^{-5} \\ 4,22635 \times 10^{-5} \\ 4,22750 \times 10^{-5} \\ 4,22751 \times 10^{-5} \end{bmatrix} \right) - \left(\frac{0,50}{0,25} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right) + \left(1 - \frac{0,50}{2 \cdot 0,25} \right) \cdot 0,01 \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \dot{y}_0 = \begin{bmatrix} 0,0081710 \\ 0,0084527 \\ 0,0084550 \\ 0,0084550 \end{bmatrix}$$

4) Mencari nilai pertambahan percepatan ($\Delta \ddot{y}_i$)

$$\Delta \ddot{y}_i = \left(\frac{1}{\beta \times \Delta t^2} \times [\Delta y_i] \right) - \left(\frac{1}{\beta \times \Delta t} \times [\dot{y}_i] \right) - \left(\frac{1}{2\beta} \times [\ddot{y}_i] \right)$$

$$\begin{aligned} \Delta\ddot{y}_0 &= \left(\frac{1}{\beta \times \Delta t^2} \times [\Delta y_0] \right) - \left(\frac{1}{\beta \times \Delta t} \times [\dot{y}_0] \right) - \left(\frac{1}{2\beta} \times [\ddot{y}_0] \right) \\ &= \left(\frac{1}{0,25 \times 0,01^2} \times \begin{bmatrix} 4,08548 \times 10^{-5} \\ 4,22635 \times 10^{-5} \\ 4,22750 \times 10^{-5} \\ 4,22751 \times 10^{-5} \end{bmatrix} \right) - \left(\frac{1}{0,25 \times 0,01} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right) \\ &\quad - \left(\frac{1}{2 \times 0,25} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right) \\ \Delta\ddot{y}_0 &= \begin{bmatrix} 1,634193 \\ 1,690539 \\ 1,691000 \\ 1,691004 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

- 5) Maka besarnya simpangan akhir interval (y_{i+1}) adalah :

$$y_{i+1} = y_i + \Delta y_i$$

$$y_{0+1} = y_0 + \Delta y_0$$

$$y_1 = y_0 + \Delta y_0$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix}_{\text{siklus ke-1}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 4,08548 \times 10^{-5} \\ 4,22635 \times 10^{-5} \\ 4,22750 \times 10^{-5} \\ 4,22751 \times 10^{-5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4,08548 \times 10^{-5} \\ 4,22635 \times 10^{-5} \\ 4,22750 \times 10^{-5} \\ 4,22751 \times 10^{-5} \end{bmatrix}$$

- 6) Menghitung simpangan antar tingkat / *interstorey drift* (yy)

$$yy = y_i - y_{i-1}$$

- a) Tingkat 1

$$yy_{11} = 4,08548 \times 10^{-5} - 0 = 4,08548 \times 10^{-5}$$

- b) Tingkat 2

$$yy_{12} = 4,22635 \times 10^{-5} - 4,08548 \times 10^{-5} = 1,40865 \times 10^{-6}$$

c) Tingkat 3

$$yy_{13} = 4,22750 \times 10^{-5} - 4,22635 \times 10^{-5} = 1,15426 \times 10^{-8}$$

d) Tingkat 4

$$yy_{14} = 4,22751 \times 10^{-5} - 4,22750 \times 10^{-5} = 9,42655 \times 10^{-11}$$

jika disusun dalam bentuk matrik maka,

$$y_r = \begin{bmatrix} 4,08548 \times 10^{-5} \\ 1,40865 \times 10^{-6} \\ 1,15426 \times 10^{-8} \\ 9,42655 \times 10^{-11} \end{bmatrix}$$

7) Maka besarnya kecepatan akhir interval (\dot{y}_{i+1}) adalah :

$$\dot{y}_{i+1} = \dot{y}_i + \Delta\dot{y}_i$$

$$\dot{y}_{0+1} = \dot{y}_0 + \Delta\dot{y}_0$$

$$\dot{y}_1 = \dot{y}_0 + \Delta\dot{y}_0$$

$$\begin{bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \\ \dot{y}_4 \end{bmatrix}_{\text{siklus ke-1}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,0081710 \\ 0,0084527 \\ 0,0084550 \\ 0,0084550 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,0081710 \\ 0,0084527 \\ 0,0084550 \\ 0,0084550 \end{bmatrix}$$

8) Maka besarnya percepatan akhir interval (\ddot{y}_{i+1}) adalah :

$$\ddot{y}_{i+1} = \ddot{y}_i + \Delta\ddot{y}_i$$

$$\ddot{y}_{0+1} = \ddot{y}_0 + \Delta\ddot{y}_0$$

$$\ddot{y}_1 = \ddot{y}_0 + \Delta\ddot{y}_0$$

$$\begin{bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \\ \ddot{y}_4 \end{bmatrix}_{\text{siklus ke-1}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1,634193 \\ 1,690539 \\ 1,691000 \\ 1,691004 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,634193 \\ 1,690539 \\ 1,691000 \\ 1,691004 \end{bmatrix}$$

9) Menghitung rasio simpangan antar tingkat / *interstorey drift ratio* (yr)

$$yr = \frac{yy_i}{h} \times 100$$

a) Tingkat 1

$$yr_1 = \frac{4,08548 \times 10^{-5}}{375} \times 100 = 1,08946 \times 10^{-5} \%$$

b) Tingkat 2

$$yr_2 = \frac{1,40865 \times 10^{-6}}{375} \times 100 = 3,75639 \times 10^{-7} \%$$

c) Tingkat 3

$$yr_3 = \frac{1,15426 \times 10^{-8}}{375} \times 100 = 3,07802 \times 10^{-9} \%$$

d) Tingkat 4

$$yr_4 = \frac{9,42655 \times 10^{-11}}{375} \times 100 = 2,51375 \times 10^{-11} \%$$

10) Menghitung gaya horizontal tingkat (F)

$$F = y_i \times [K]$$

$$F = \begin{bmatrix} 4,08548 \times 10^{-5} \\ 4,22635 \times 10^{-5} \\ 4,22750 \times 10^{-5} \\ 4,22751 \times 10^{-5} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 73935,157 & -14196,913 & 0 & 0 \\ -14196,913 & 28393,825 & -14196,913 & 0 \\ 0 & -14196,913 & 28393,825 & -14196,913 \\ 0 & 0 & -14196,913 & 14196,913 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 2,420597 \\ 0,019835 \\ 0,000163 \\ 1,3383 \times 10^{-6} \end{bmatrix} \text{ kg}$$

11) Menghitung gaya geser tingkat (V)

$$V = \sum_{j=1}^n F_j$$

a) Tingkat 1

$$V_1 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$= 2,420597 + 0,019835 + 0,000163 + 1,3383 \times 10^{-6}$$

$$= 2,440595 \text{ kg}$$

b) Tingkat 2

$$\begin{aligned} V_2 &= F_2 + F_3 + F_4 \\ &= 0,019835 + 0,000163 + 1,3383 \times 10^{-6} \\ &= 0,019998 \text{ kg} \end{aligned}$$

c) Tingkat 3

$$\begin{aligned} V_3 &= F_3 + F_4 \\ &= 0,000163 + 1,3383 \times 10^{-6} \\ &= 0,000164 \text{ kg} \end{aligned}$$

d) Tingkat 4

$$\begin{aligned} V_4 &= F_4 \\ &= 1,3383 \times 10^{-6} \text{ kg} \end{aligned}$$

12) Menghitung momen guling (Mg)

$$M_g = \sum_{j=1}^n F_j \times H_j$$

a) Dasar

$$\begin{aligned} M_{g0} &= (F_1 \times H_1) + (F_2 \times H_2) + (F_3 \times H_3) + (F_4 \times H_4) \\ &= 2,440595 \times 375 + 0,019998 \times 375 + 0,000164 \times 375 \\ &\quad + 1,3383 \times 10^{-6} \times 375 \\ &= 915,22327 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

b) Tingkat 1

$$\begin{aligned} M_{g1} &= (F_2 \times H_2) + (F_3 \times H_3) + (F_4 \times H_4) \\ &= 0,019998 \times 375 + 0,000164 \times 375 + 1,3383 \times 10^{-6} \times 375 \\ &= 7,499416 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

c) Tingkat 2

$$\begin{aligned} M_{g2} &= (F_3 \times H_3) + (F_4 \times H_4) \\ &= 0,000164 \times 375 + 1,3383 \times 10^{-6} \times 375 \end{aligned}$$

$$= 0,061451 \text{ kg.cm}$$

d) Tingkat 3

$$\begin{aligned} M_{g3} &= (F_4 \times H_4) \\ &= 1,3383 \times 10^{-6} \times 375 \\ &= 0,000502 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

e) Tingkat 4

$$M_{g4} = 0 \text{ kg.cm}$$

Untuk langkah selanjutnya dimulai dari persamaan matriks kekakuan yang baru dan perhitungan seterusnya sama seperti perhitungan sebelumnya.



LISTING PROGRAM PROGSIP 2017

Option Explicit

' Deklarasikan variebel global

Public intJumlahTinggi As Integer

Public DenganBase As Boolean

Public intJumlahData As Integer

Public intJumlahBentang As Integer

Public decH1 As Double

Public decHN As Double

Public decMb As Double

Public decKb As Double

Public decLTepi As Double

Public decLTengah As Double

Public decProfilKolomTepi, decProfilKolomTengah As Double

Public decProfilBalokTepi, decProfilBalokTengah As Double

Public declnertiaKolomTepi, declnertiaKolomTengah As Double

Public decKekakuanTepi, decKekakuanTengah As Double

Public decKekakuanTotal As Double

Public decKhh, decChh As Double

Public decSkalaGempa As Double

Public Const decG = 980

Public Const E = 2 * 10 ^ 5

Public arrW() As Double

Public arrM() As Double

Public arrW0() As Double ' Omega

Public MatrikMassa() As Double

Public MatrikKekakuan() As Double

Public MatrikEigen() As Double

Public arrAkarPolinomial() As Double

Public decU0, decV0 As Double

Public decDR As Double

Public MatrikModeShape() As Double

Public MatrikInvModeShape() As Double

Dim filenumber As Integer

Public Ndof As Integer, Dampratio As Single, Dt As Single, Tmax As Single, Sg, LB, BTepi, Btengah, HTepi, HTengah, Jbentang, h() As Single, Mass() As Single, KK() As Single, Pt() As Single

Public Sub SetVariabel()

```
OpenFile frmUtama.txtBentang.Text, N dof, Dampratio, Dt, Tmax, Sg, LB, BTepi,
Btengah, HTepi, HTengah, Jbentang, h(), Mass(), KK(), Pt()
```

```
intJumlahTinggi = N dof
intJumlahBentang = Jbentang
```

```
decH1 = h(N dof)
If DenganBase = True Then
    decHN = h(2)
Else
    decHN = h(2)
End If
```

```
decKb = KK(1)
decLTepi = LB
decLTengah = LB
decProfilKolomTepi = HTepi
decProfilKolomTengah = HTengah
decProfilBalokTepi = BTepi
decProfilBalokTengah = Btengah
```

```

If DenganBase = True Then
    'intJumlahTinggi = intJumlahTinggi + 1
    intJumlahData = intJumlahTinggi + 1
    ' set panjang array w
    ReDim arrW(intJumlahTinggi)
    ReDim arrM(intJumlahTinggi)
Else
    'intJumlahTinggi = intJumlahTinggi
    intJumlahData = intJumlahTinggi
    ' set panjang array w
    ReDim arrW(intJumlahTinggi)
    ReDim arrM(intJumlahTinggi)
End If
decDR = Dampratio
End Sub

```

```
Public Sub CariM()
    Dim i As Integer
    If DenganBase = True Then
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            arrM(i) = Format(Mass(i + 1), "0.#0")
        Next i
    End If
End Sub
```

```

Else
  For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    arrM(i) = Format(Mass(i + 1), "0.#0")
  Next i
End If
End Sub

Public Sub CariK()
  decInertiaKolomTepi = (decProfilBalokTepi * (decProfilKolomTepi ^ 3)) / 12
  decInertiaKolomTengah = (decProfilBalokTengah * (decProfilKolomTengah ^ 3)) / 12

  ' cari nilai kekakuan tepi
  decKekakuanTepi = (2 * 12 * E * decInertiaKolomTepi) / (decHN ^ 3)
  'MsgBox "Kekakuan tepi = " & decKekakuanTepi
  decKekakuanTengah = ((intJumlahBentang - 1) * 12 * E * decInertiaKolomTengah) /
  (decHN ^ 3)
  'MsgBox "Kekakuan tengah = " & decKekakuanTengah
  decKekakuanTotal = decKekakuanTepi + decKekakuanTengah
  'InputBox "", "", decKekakuanTotal
  'MsgBox "Kekakuan Total = " & decKekakuanTotal
End Sub

Public Sub SetMatrikMassa()
  Dim i, j As Integer
  ReDim MatrikMassa(intJumlahTinggi, intJumlahTinggi)
  ' set nilai matrik massa
  If DenganBase = True Then
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
      For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
        If i = j Then
          MatrikMassa(i, j) = arrM(i)
        Else
          MatrikMassa(i, j) = 0
        End If
      Next j
    Next i
  Else
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
      For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
        If i = j Then
          MatrikMassa(i, j) = arrM(i)
        Else
          MatrikMassa(i, j) = 0
        End If
      Next j
    Next i
  End If

```

```

    End If
  Next j
Next i
End If
End Sub

```

```
Public Sub SetMatrikKekakuan()
```

```
  Dim i, j As Integer
```

```
  ReDim MatrikKekakuan(intJumlahTinggi, intJumlahTinggi)
```

```
  ' set nilai matrik massa
```

```
  If DenganBase = True Then
```

```
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
```

```
      For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
```

```
        If i = j Then
```

```
          If i = 0 Then
```

```
            MatrikKekakuan(i, j) = KK(i + 1) + KK(i + 2)
```

```
          ElseIf i > 0 And i < intJumlahTinggi - 1 Then
```

```
            MatrikKekakuan(i, j) = KK(i) + KK(i + 1)
```

```
          Else
```

```
            MatrikKekakuan(i, j) = KK(i + 1)
```

```
          End If
```

```
        ElseIf (j - 1 = i) Or (i - 1 = j) Then
```

```
          MatrikKekakuan(i, j) = -(KK(i + 1))
```

```
        Else
```

```
          MatrikKekakuan(i, j) = 0
```

```
        End If
```

```
      Next j
```

```
    Next i
```

```
  For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
```

```
    ' Diagonal
```

```
    If i = 0 Then
```

```
      MatrikKekakuan(i, i) = (KK(i + 1) + KK(i + 2))
```

```
      MatrikKekakuan(i + 1, i) = -KK(i + 2)
```

```
      MatrikKekakuan(i, i + 1) = -KK(i + 2)
```

```
    ElseIf i = intJumlahTinggi - 1 Then
```

```
      MatrikKekakuan(i, i) = KK(i)
```

```
    Else
```

```
      MatrikKekakuan(i, i) = 2 * KK(i + 1)
```

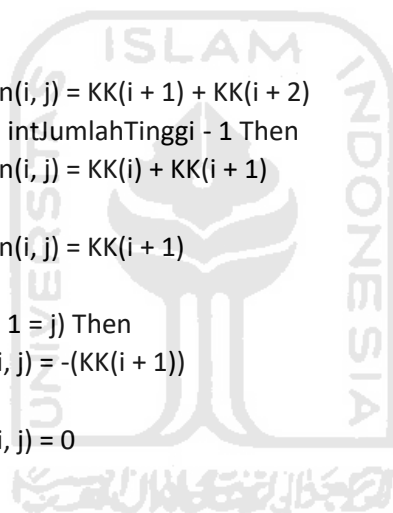
```
      If i < intJumlahTinggi Then
```

```
        MatrikKekakuan(i + 1, i) = -KK(i + 1)
```

```
        MatrikKekakuan(i, i + 1) = -KK(i + 1)
```

```
      End If
```

```
    End If
```




```

    Next i
Else
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
            If i = j Then
                If i = 0 Then
                    MatrikKekakuan(i, j) = KK(i + 1) + KK(i + 2)
                ElseIf i > 0 And i < intJumlahTinggi - 1 Then
                    MatrikKekakuan(i, j) = KK(i) + KK(i + 1)
                Else
                    MatrikKekakuan(i, j) = KK(i + 1)
                End If
            ElseIf (j - 1 = i) Or (i - 1 = j) Then
                MatrikKekakuan(i, j) = -(KK(i + 1))
            Else
                MatrikKekakuan(i, j) = 0
            End If
        Next j
    Next i
End If
End Sub

Public Sub SetMatrikEigen()
    Dim i, j As Integer
    ReDim MatrikEigen(intJumlahTinggi, intJumlahTinggi)
    ' set nilai matrik massa
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
            MatrikEigen(i, j) = MatrikKekakuan(i, j) / MatrikMassa(i, i)
        Next j
    Next i
End Sub

Public Sub Jacobi(Mat, Optional MaxLoops)

End Sub

Public Sub ShowMatrik(Matrik() As Double, Optional strCaption As String = "Matrik")
    frmMatrik.Caption = strCaption
    Dim i, j As Integer
    Dim lvItem As ListViewItem
    Dim lvSubItem As ListSubItem
    Dim lvColHeader As ColumnHeader
    frmMatrik.lvMatrik.ListItems.Clear

```

```

For i = 0 To UBound(Matrik) - 1
    Set lvColHeader = frmMatrik.lvMatrik.ColumnHeaders.Add(, , "Colom " & i + 1)
    Set lvItem = frmMatrik.lvMatrik.ListItems.Add(, , Matrik(i, 0))
    For j = 1 To UBound(Matrik) - 1
        Set lvSItem = lvItem.ListSubItems.Add(, , Matrik(i, j))
    Next j
Next i
frmMatrik.Show vbModal
End Sub

```

```

Public Sub ShowArray(Arr() As Double, Optional strCaption As String = "Array")
    Dim lvSItem As ListSubItem
    frmMatrik.Caption = strCaption
    Dim i As Integer
    Dim lvItem As ListItem
    Dim lvColHeader As ColumnHeader
    Set lvColHeader = frmMatrik.lvMatrik.ColumnHeaders.Add
    lvColHeader.Text = "Colom 1"
    frmMatrik.lvMatrik.ListItems.Clear
    For i = 0 To UBound(Arr) - 1
        Set lvItem = frmMatrik.lvMatrik.ListItems.Add(, , Arr(i))
    Next i
    frmMatrik.Show vbModal
End Sub

```

```

Public Sub ShowDataGempa()
    frmMatrik.Caption = "Data Gempa"
    Dim i, j As Integer
    Dim lvItem As ListItem
    Dim lvSItem As ListSubItem
    Dim lvColHeader As ColumnHeader
    frmMatrik.lvMatrik.ListItems.Clear
    'For i = 0 To UBound(Matrik) - 1
    Set lvColHeader = frmMatrik.lvMatrik.ColumnHeaders.Add(, , "Nama Data")
    Set lvColHeader = frmMatrik.lvMatrik.ColumnHeaders.Add(, , "Data")
    For j = 0 To UBound(arrDataGempa) - 1
        Set lvItem = frmMatrik.lvMatrik.ListItems.Add(, , "Data ke " & j + 1)
        Set lvSItem = lvItem.ListSubItems.Add(, , arrDataGempa(j))
    Next j
    'Next i
    frmMatrik.Show vbModal
End Sub

```

```

Public Sub OpenFile(FileName As String, N dof As Integer, Dampratio As Single, Dt As
Single, Tmax As Single, Sg, LB, BTepi, Btengah, HTepi, HTengah, Jbentang, h() As Single,
Mass() As Single, KK() As Single, Pt() As Single)
Dim N As Integer
Dim Titles As String
Dim i As Integer

Titles = ""

If FileName = "" Then
Exit Sub
End If

ChDir App.Path
fileNumber = FreeFile

Dim temp As String
Open FileName For Input As #fileNumber
Input #fileNumber, temp$
' Check file of type
Select Case UCase$(Left$(temp$, 7))
Case "NRMDOFS"
Line Input #fileNumber, Titles$
Input #fileNumber, Titles$
Input #fileNumber, N dof, Dampratio, Dt, Tmax, Sg, LB, BTepi, Btengah, HTepi,
HTengah, Jbentang
ReDim h(N dof) As Single, Mass(N dof) As Single, KK(N dof) As Single
Line Input #fileNumber, temp$
Input #fileNumber, Titles$
' Read Joint Coordinates.
For i = 1 To N dof
Input #fileNumber, N
Input #fileNumber, h(N), Mass(N), KK(N)
Next i

' Metode Newmark
' Public variabel
Public arrC() As Double
Public decCBase As Double

Public MatrikMassaN() As Double
Public MatrikRedamanN() As Double
Public MatrikKekakuanN() As Double

```

Public MatrikKekakuanEfektifN() As Double
 Public MatrikAN() As Double
 Public MatrikBN() As Double

Public MatrikHasilAkhir() As Double
 Public MatrikSimpanganAkhir() As Double
 Public MatrikKecepatanAkhir() As Double
 Public MatrikPercepatanAkhir() As Double

Public Const decDeltaT = 0.01
 Public Const decGamma = 0.5
 Public Const decBeta = 0.25
 Public arrDataGempa() As Double
 Public arrKey() As Integer
 Public Const decKW = 12398.049

Public decDataGempa As Double
 Public arrY0() As Double
 Public arrY1() As Double
 Public arrY2() As Double

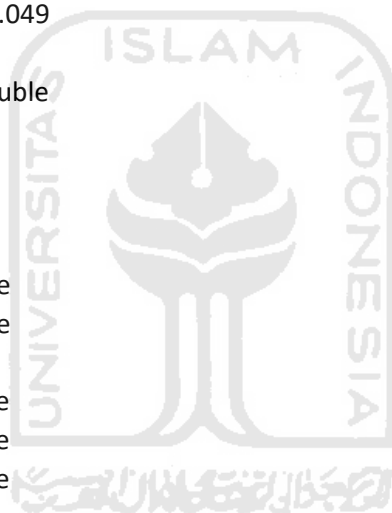
Public arrDeltaP0() As Double
 Public arrDeltaP1() As Double

Public arrDeltaY0() As Double
 Public arrDeltaY1() As Double
 Public arrDeltaY2() As Double

Public arrY10() As Double
 Public arrY11() As Double
 Public arrY12() As Double

Public arrSimpanganNetto() As Double
 Public arrSimpanganRelatif() As Double
 Public arrYY() As Double
 Public arrF() As Double
 Public arrV() As Double
 Public arrMg() As Double

Dim myExcel As New Excel.Application
 Dim myBook As Excel.Workbook
 Dim mySheet As Excel.Worksheet
 Dim mySheet2 As Excel.Worksheet
 Dim mySheet3 As Excel.Worksheet



```

Dim mySheet4 As Excel.Worksheet
Dim mySheet5 As Excel.Worksheet
Dim mySheet6 As Excel.Worksheet
Dim mySheet7 As Excel.Worksheet
Dim mySheet8 As Excel.Worksheet
Dim mySheet9 As Excel.Worksheet
Public strExcelFileName As String

```

```

Public iterasi As Integer
Dim selisih As String

```

```

Dim fso As New FileSystemObject
Dim rsCari As New ADODB.Recordset
Private vBaris As String
Private vRangeTabel As String
Private vBawah As Integer
Private iRow, iCol As Integer

```

```

Public Sub SetMatrikMassaN()
    Dim i, j, k As Integer
    Dim decTmp As Double
    ReDim MatrikMassaN(intJumlahTinggi, intJumlahTinggi)

```

```

    MatrikMassaN = MatrikMassa

```

```

End Sub

```

```

Public Sub SetMatrikKekakuanN()
    Dim i, j, k As Integer
    Dim decTmp As Double
    ReDim MatrikKekakuanN(intJumlahTinggi, intJumlahTinggi)
    ' Kosongkan MatrikKekakuanN
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
            MatrikKekakuanN(i, j) = 0
        Next j
    Next i
    'MsgBox decKekakuanTotal
    If DenganBase = True Then
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            ' Diagonal
            If i = 0 Then
                MatrikKekakuanN(i, i) = (decKb + decKekakuanTotal + decKW)
                'MatrikKekakuanN(i, i) = (decKb + decKekakuanTotal)

```

```

        MatrikKekakuanN(i + 1, i) = -decKekakuanTotal
        MatrikKekakuanN(i, i + 1) = -decKekakuanTotal
    ElseIf i = intJumlahTinggi - 1 Then
        MatrikKekakuanN(i, i) = decKekakuanTotal
    Else
        MatrikKekakuanN(i, i) = 2 * decKekakuanTotal
        If i < intJumlahTinggi Then
            MatrikKekakuanN(i + 1, i) = -decKekakuanTotal
            MatrikKekakuanN(i, i + 1) = -decKekakuanTotal
        End If
    End If
Next i
'
decTmp = 0
'
For i = 0 To intJumlahTinggi - 2
'
    decTmp = decTmp + MatrikKekakuanN(i, i)
'
Next i
'
    MatrikKekakuanN(intJumlahTinggi - 1, intJumlahTinggi - 1) = decKb +
((intJumlahTinggi - 2) * decKekakuanTotal)
Else
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        ' Diagonal
        If i = 0 Then
            MatrikKekakuanN(i, i) = (decKekakuanTotal + decKekakuanTotal)
            MatrikKekakuanN(i + 1, i) = -decKekakuanTotal
            MatrikKekakuanN(i, i + 1) = -decKekakuanTotal
        ElseIf i = intJumlahTinggi - 1 Then
            MatrikKekakuanN(i, i) = decKekakuanTotal
        Else
            MatrikKekakuanN(i, i) = 2 * decKekakuanTotal
            If i < intJumlahTinggi Then
                MatrikKekakuanN(i + 1, i) = -decKekakuanTotal
                MatrikKekakuanN(i, i + 1) = -decKekakuanTotal
            End If
        End If
    Next i
End If
'ShowMatrik MatrikKekakuan
'ShowMatrik MatrikKekakuanN
End Sub

Public Sub SetMatrikRedamanN()
    Dim i, j, k, Wpos As Integer
    Dim decTmp As Double
    Dim arrTmp() As Double

```

```

ReDim arrTmp(intJumlahTinggi)
Wpos = Round(((intJumlahTinggi) / 4) * 3) - 1
If DenganBase = True Then
    'arrTmp(0) = decCBase
    If frmUtama.optMasa.Value = True Then
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            If i = 0 Then
                arrTmp(i) = (2 * Val(KonversiString(frmUtama.vRedaman)) * arrW0(i)) * arrM(i)
            End If

            If i > 0 Then
                arrTmp(i) = (2 * decDR * arrW0(i)) * arrM(i)
            End If
        Next i

    ElseIf frmUtama.optKekakuan.Value = True Then
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            If i = 0 Then
                decKb = KK(i + 1)
                arrTmp(i) = (2 * Val(KonversiString(frmUtama.vRedaman)) / arrW0(i)) * decKb
            End If

            If i > 0 Then
                arrTmp(i) = (2 * decDR / arrW0(i)) * KK(i + 1)
            End If
        Next i

    ElseIf frmUtama.optKombinasi.Value = True Then
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            If i = 0 Then
                decKb = KK(i + 1)
                arrTmp(i) = (2 * Val(KonversiString(frmUtama.vRedaman)) * arrW0(i)) * arrM(i)
                + ((2 * Val(KonversiString(frmUtama.vRedaman)) / arrW0(i)) * decKb)
            End If

            If i > 0 Then
                arrTmp(i) = (2 * decDR * arrW0(i) * arrM(i)) + ((2 * decDR / arrW0(i)) * KK(i + 1))
            End If
        Next i

    End If

    ReDim MatrikRedamanN(intJumlahTinggi, intJumlahTinggi)

```

```

For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
  For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
    MatrikRedamanN(i, j) = 0
  Next j
Next i

For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
  If i = (intJumlahTinggi - 1) Then
    MatrikRedamanN(intJumlahTinggi - 1, intJumlahTinggi - 1) =
arrTmp(intJumlahTinggi - 1)
  Else
    MatrikRedamanN(i, i) = arrTmp(i) + arrTmp(i + 1)
    ' atas
    MatrikRedamanN(i, i + 1) = -arrTmp(i + 1)
    ' bawah
    MatrikRedamanN(i + 1, i) = -arrTmp(i + 1)
  End If
Next i
"MatrikRedamanN(intJumlahTinggi - 1, intJumlahTinggi - 1) = arrTmp(intJumlahTinggi
- 1)
Else
If frmUtama.optKekakuan.Value = True Then
  For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    'arrTmp(i) = 2 * arrM(i - 1) * arrW0(Wpos) * decDR
    'arrTmp(i) = 2 * arrM(i - 1) * arrW0(Wpos) * decDR
    arrTmp(i) = (2 * decDR / arrW0(i)) * KK(i + 1)
  Next i
ElseIf frmUtama.optMasa.Value = True Then
  For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    'arrTmp(i) = 2 * arrM(i - 1) * arrW0(Wpos) * decDR
    'arrTmp(i) = 2 * arrM(i - 1) * arrW0(Wpos) * decDR
    arrTmp(i) = (2 * decDR * arrW0(i) * arrM(i))
  Next i
ElseIf frmUtama.optKombinasi.Value = True Then
  For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    'arrTmp(i) = 2 * arrM(i - 1) * arrW0(Wpos) * decDR
    'arrTmp(i) = 2 * arrM(i - 1) * arrW0(Wpos) * decDR
    arrTmp(i) = (2 * decDR * arrW0(i) * arrM(i)) + ((2 * decDR / arrW0(i)) * KK(i + 1))
  Next i
End If

ReDim MatrikRedamanN(intJumlahTinggi, intJumlahTinggi)
For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
  For j = 0 To intJumlahTinggi - 1

```



```

        MatrikRedamanN(i, j) = 0
    Next j
Next i
'
For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
'   MatrikRedamanN(i, i) = arrTmp(i)
'   Next i
For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    If i = (intJumlahTinggi - 1) Then
        MatrikRedamanN(intJumlahTinggi - 1, intJumlahTinggi - 1) =
arrTmp(intJumlahTinggi - 1)
    Else
        MatrikRedamanN(i, i) = arrTmp(i) + arrTmp(i + 1)
        ' atas
        MatrikRedamanN(i, i + 1) = -arrTmp(i + 1)
        ' bawah
        MatrikRedamanN(i + 1, i) = -arrTmp(i + 1)
    End If
Next i
End If
End Sub

```

```

Public Sub SetMatrikKekakuanEfektifN()
    Dim i, j, k As Integer
    Dim decTmp As Double
    'ShowMatrik MatrikKekakuanN
    ReDim MatrikKekakuanEfektifN(intJumlahTinggi, intJumlahTinggi)
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
            MatrikKekakuanEfektifN(i, j) = 0
        Next j
    Next i

    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
            MatrikKekakuanEfektifN(i, j) = MatrikKekakuanN(i, j) + ((decGamma / (decBeta *
decDeltaT)) * MatrikRedamanN(i, j)) + ((1 / (decBeta * (decDeltaT ^ 2))) * MatrikMassaN(i,
j))
        Next j
    Next i
End Sub

```

```

Public Sub InvertMatrix(A() As Double)
    Dim MatrikIdentitas() As Double
    Dim i, j, k As Integer

```

```

Dim decPembagi As Double
Dim decPengali As Double
' Set matrik identitas
'ShowMatrik A
ReDim MatrikIdentitas(UBound(A), UBound(A))
For i = 0 To UBound(A) - 1
    For j = 0 To UBound(A) - 1
        If i = j Then
            MatrikIdentitas(i, j) = 1
        Else
            MatrikIdentitas(i, j) = 0
        End If
    Next j
Next i
'ShowMatrik MatrikIdentitas
For i = 0 To UBound(A) - 1
    ' Untuk baris ke i ' absiskan baris ke i
    decPembagi = 1 / A(i, i)
    ' absis
    For j = 0 To UBound(A) - 1
        A(i, j) = A(i, j) * decPembagi
        MatrikIdentitas(i, j) = MatrikIdentitas(i, j) * decPembagi
    Next j
    ' baris lainnya
    For j = 0 To UBound(A) - 1
        If j <> i Then
            decPengali = -A(j, i)
            For k = 0 To UBound(A) - 1
                A(j, k) = (decPengali * A(i, k)) + A(j, k)
                MatrikIdentitas(j, k) = (decPengali * MatrikIdentitas(i, k)) + MatrikIdentitas(j,
k)
            Next k
        End If
    Next j
Next i
MatrikKekakuanEfektifN = MatrikIdentitas
'ShowMatrik MatrikIdentitas
End Sub

Public Function Sederhanakan(arrData() As Double)
Dim i, j As Integer
Dim tmp() As Double
ReDim tmp(UBound(arrData), UBound(arrData))

```

```

For i = 0 To UBound(arrData, 2) - 1
  For j = 0 To UBound(arrData, 1) - 1
    If arrData(i, j) <> 0 Then
      tmp(i, j) = arrData(i, j) / arrData(0, 0)
    Else
      tmp(i, j) = 0
    End If
  Next j
Next i

```

```

MatrikKekakuanEfektifN = tmp
End Function

```

```

Public Sub SetMatrikA()
  Dim i, j, k As Integer
  Dim decTmp As Double
  ReDim MatrikAN(intJumlahTinggi, intJumlahTinggi)
  For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
      MatrikAN(i, j) = ((1 / (decBeta * decDeltaT)) * MatrikMassaN(i, j)) + ((decGamma /
decBeta) * MatrikRedamanN(i, j))
    Next j
  Next i
End Sub

```

```

Public Sub SetMatrikB()
  Dim i, j, k As Integer
  Dim decTmp As Double
  ReDim MatrikBN(intJumlahTinggi, intJumlahTinggi)
  For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
      MatrikBN(i, j) = ((1 / (2 * decBeta)) * MatrikMassaN(i, j)) + (decDeltaT *
(decGamma / (2 * decBeta)) - 1) * MatrikRedamanN(i, j))
    Next j
  Next i
End Sub

```

```

Public Sub Pembebanan()
  Dim i, j, x As Integer
  Dim Tmp1, Tmp2, Tmp3 As String
  ReDim arrY0(intJumlahTinggi), arrY1(intJumlahTinggi), arrY2(intJumlahTinggi)
  ReDim MatrikSimpanganAkhir(1600, intJumlahTinggi)

```

```

ReDim MatrikKecepatanAkhir(1600, intJumlahTinggi)
ReDim MatrikPercepatanAkhir(1600, intJumlahTinggi)
ReDim MatrikHasilAkhir(1600, ((5 * (intJumlahTinggi)) + (intJumlahTinggi + 1)))
For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    arrY0(i) = 0
    arrY1(i) = 0
    arrY2(i) = 0
Next i
iterasi = 0
decDataGempa = arrDataGempa(0)

```

```

For iterasi = 0 To 1600
    If DenganBase = True Then
        If frmUtama.optElastoplastis.Value = True Then
            If iterasi > 0 Then
                If arrKey(iterasi) <> arrKey(iterasi - 1) Then
                    If arrKey(iterasi) = 0 Then
                        decKb = KK(1)
                        SetMatrikKekakuanN
                        SetMatrikKekakuanEfektifN
                        InvertMatrix MatrikKekakuanEfektifN
                    Else
                        decKb = KK(1) * (Val(KonversiString(frmUtama.Alpha)) / 100)
                        SetMatrikKekakuanN
                        "ShowMatrik MatrikKekakuanN
                        SetMatrikKekakuanEfektifN
                        "ShowMatrik MatrikKekakuanEfektifN
                        InvertMatrix MatrikKekakuanEfektifN
                        "ShowMatrik MatrikKekakuanEfektifN
                    End If
                End If
            End If
        End If
    End If
End If

```

```

LangkahA
'ShowArray arrY0, "Iterasi ke " & iterasi + 1 & " Y0"
'ShowArray arrY1, "Iterasi ke " & iterasi + 1 & " Y0 aksen"
'ShowArray arrY2, "Iterasi ke " & iterasi + 1 & " Y0 Dobel aksen"
'ShowArray arrDeltaP1, "Iterasi ke " & iterasi + 1 & " Delta P0"
LangkahB
'ShowMatrik MatrikKekakuanEfektifN
'ShowArray arrDeltaY0, "Iterasi ke " & iterasi + 1 & " Delta Y0"
LangkahC

```

```

'ShowArray arrDeltaY1, "Iterasi ke " & iterasi + 1 & " Delta Y0 aksen"
LangkahD
'ShowArray arrDeltaY2, "Iterasi ke " & iterasi + 1 & " Delta Y0 dobel aksen"
LangkahE
'ShowArray arrY10, "Iterasi ke " & iterasi + 1 & " Simpangan"
LangkahF
'ShowArray arrY11, "Iterasi ke " & iterasi + 1 & " Kecepatan"
LangkahG
'ShowArray arrY12, "Iterasi ke " & iterasi + 1 & " Percepatan"
LangkahH
'ShowArray arrSimpanganNetto, "Iterasi ke " & iterasi + 1 & " Simpangan netto"
LangkahL
'ShowArray arrYY, "Iterasi ke " & iterasi + 1 & " Insterstorey"
LangkahM
'ShowArray arrF, "Iterasi ke " & iterasi + 1 & " GHT"
LangkahN
'ShowArray arrV, "Iterasi ke " & iterasi + 1 & " GHT Kumulatif"
LangkahO
'ShowArray arrMg, "Iterasi ke " & iterasi + 1 & " Momen Guling"
arrY0 = arrY10
arrY1 = arrY11
arrY2 = arrY12
' hasil simpangan netto
Tmp1 = ""
Tmp2 = ""
Tmp3 = ""
For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    MatrikSimpanganAkhir(iterasi, i) = arrY10(i)
    MatrikKecepatanAkhir(iterasi, i) = arrY11(i)
    MatrikPercepatanAkhir(iterasi, i) = arrY12(i)
    MatrikHasilAkhir(iterasi, i) = arrSimpanganNetto(i)
    MatrikHasilAkhir(iterasi, (i + (1 * intJumlahTinggi))) = arrSimpanganRelatif(i)
    MatrikHasilAkhir(iterasi, (i + (2 * intJumlahTinggi))) = arrYY(i)
    MatrikHasilAkhir(iterasi, (i + (3 * intJumlahTinggi))) = arrF(i)
    MatrikHasilAkhir(iterasi, (i + (4 * intJumlahTinggi))) = arrV(i)
Next i
' hasil momen guling
For i = 0 To intJumlahTinggi
    MatrikHasilAkhir(iterasi, (i + (5 * intJumlahTinggi))) = arrMg(i)
Next i
decDataGempa = arrDataGempa(iterasi + 1) - arrDataGempa(iterasi)
Next iterasi

'ShowMatrik MatrikHasilAkhir, "Hasil Akhir"

```

```

'Exit Sub

frmUtama.cd.DialogTitle = "Simpan Hasil Akhir Dalam Excel"
frmUtama.cd.InitDir = App.Path & "\Hasil Koe"
frmUtama.cd.Filter = "*.xls"
frmUtama.cd.FileName = ""
frmUtama.cd.ShowSave
strExcelFileName = frmUtama.cd.FileName
' Set Kolom 1 Untuk title
If fso.FileExists(strExcelFileName) Then
    x = MsgBox("File " & strExcelFileName & " Sudah ada" & vbCrLf & "Apakah akan di
replace?", vbQuestion + vbYesNo, "Simpan File Excel")
    If x = 6 Then
        fso.DeleteFile strExcelFileName
    Else
        Exit Sub
    End If
End If
If Trim(strExcelFileName) <> "" Then
    ' Set Baris Header
    Set myBook = myExcel.Workbooks.Add
    myBook.Worksheets.Add
    myBook.Worksheets.Add
    myBook.Worksheets.Add
    myBook.Worksheets.Add
    myBook.Worksheets.Add
    myBook.Worksheets.Add
    Set mySheet8 = myBook.Worksheets(1)
    mySheet8.Name = "Data"
    Set mySheet9 = myBook.Worksheets(2)
    mySheet9.Name = "Grafik"
    Set mySheet = myBook.Worksheets(3)
    mySheet.Name = "Hasil Perhitungan"
    Set mySheet2 = myBook.Worksheets(4)
    mySheet2.Name = "Hasil Mode Shape"
    Set mySheet3 = myBook.Worksheets(5)
    mySheet3.Name = "Simpangan"
    Set mySheet4 = myBook.Worksheets(6)
    mySheet4.Name = "kecepatan"
    Set mySheet5 = myBook.Worksheets(7)
    mySheet5.Name = "percepatan"
    Set mySheet6 = myBook.Worksheets(8)
    mySheet6.Name = "Omega"
    Set mySheet7 = myBook.Worksheets(9)

```

```
mySheet7.Name = "Grafik Perhitungan"
```

```
ExecQueryRO "Select * From t_data Order By t", rsCari
```

```
If rsCari.RecordCount > 0 Then
```

```
With myExcel
```

```
frmUtama.pbExcel.Visible = True
```

```
vBaris = "A"
```

```
vBawah = 4
```

```
JudulTabel myExcel, rsCari, vBaris, vBawah
```

```
IsiExcel rsCari
```

```
'Garis tabel
```

```
vRangeTabel = "A4:" & vBaris & vBawah - 1
```

```
.Range(vRangeTabel).Select
```

```
GarisExcel myExcel
```

```
buatGrafikData mySheet8, mySheet9, False
```

```
frmUtama.pbExcel.Visible = False
```

```
End With
```

```
End If
```

```
frmUtama.pbExcel.Visible = True
```

```
mySheet.Cells(1, 1) = "Iterasi"
```

```
mySheet.Cells(1, 2) = "Simpangan Netto"
```

```
mySheet.Cells(1, (intJumlahTinggi) * 1 + 2) = "Simpangan Relatif"
```

```
mySheet.Cells(1, (intJumlahTinggi) * 2 + 2) = "Interstorey Drift"
```

```
mySheet.Cells(1, (intJumlahTinggi) * 3 + 2) = "Gaya Horizontal Tingkat (F)"
```

```
mySheet.Cells(1, (intJumlahTinggi) * 4 + 2) = "Gaya Geser Tingkat (V)"
```

```
mySheet.Cells(1, (intJumlahTinggi) * 5 + 2) = "Momen Guling (Mg)"
```

```
selisih = 0
```

```
For i = 0 To 1600
```

```
 ' Iterasi
```

```
 DoEvents
```

```
 mySheet.Cells(i + 2, 1) = CDbI(selisih)
```

```
 mySheet3.Cells(i + 1, 1) = CDbI(selisih)
```

```
 mySheet4.Cells(i + 1, 1) = CDbI(selisih)
```

```
 mySheet5.Cells(i + 1, 1) = CDbI(selisih)
```

```
 selisih = Val(KonversiString(selisih)) + 0.01
```

```
 ' Simpangan
```

```

For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
    mySheet.Cells(i + 2, j + 2) = MatrikHasilAkhir(i, j)
    mySheet.Cells(i + 2, (intJumlahTinggi * 1) + j + 2) = MatrikHasilAkhir(i, j +
(intJumlahTinggi * 1))
    mySheet.Cells(i + 2, (intJumlahTinggi * 2) + j + 2) = MatrikHasilAkhir(i, j +
(intJumlahTinggi * 2))
    mySheet.Cells(i + 2, (intJumlahTinggi * 3) + j + 2) = MatrikHasilAkhir(i, j +
(intJumlahTinggi * 3))
    mySheet.Cells(i + 2, (intJumlahTinggi * 4) + j + 2) = MatrikHasilAkhir(i, j +
(intJumlahTinggi * 4))
    mySheet3.Cells(i + 1, j + 2) = MatrikSimpanganAkhir(i, j)
    mySheet4.Cells(i + 1, j + 2) = MatrikKecepatanAkhir(i, j)
    mySheet5.Cells(i + 1, j + 2) = MatrikPercepatanAkhir(i, j)
Next j
' Momen Guling
For j = 0 To intJumlahTinggi
    mySheet.Cells(i + 2, (intJumlahTinggi * 5) + j + 2) = MatrikHasilAkhir(i, j +
(intJumlahTinggi * 5))
Next j
' Progre bar
frmUtama.pbExcel.Value = ((i + 1) / 1601) * 100
Next i

    buatGrafik mySheet, mySheet7, intJumlahTinggi + 2, "Y", "Simpangan (m)", 1, 1, False
    buatGrafik mySheet, mySheet7, (intJumlahTinggi * 2) + 2, "yy", "Interstorey Drift (%)",
2, 1, True
    buatGrafik mySheet, mySheet7, (intJumlahTinggi * 3) + 2, "F", "Gaya Horisontal
Tingkat (kg)", 3, 2, False
    buatGrafik mySheet, mySheet7, (intJumlahTinggi * 4) + 2, "V", "Gaya Geser (kg)", 4,
2, True
    buatGrafik mySheet, mySheet7, (intJumlahTinggi * 5) + 2, "MG", "Momen Guling
(t.m)", 5, 3, False
    buatGrafik mySheet4, mySheet7, 2, "Y1", "Kecepatan (cm/dt)", 6, 3, True
    buatGrafik mySheet5, mySheet7, 2, "Yx", "Percepatan (cm/dt2)", 7, 4, False
    frmUtama.pbExcel.Visible = False

' Modeshape

frmUtama.pbExcel.Visible = True

x = 1
For i = 2 To intJumlahTinggi + 1
    DoEvents
    mySheet2.Cells(1, i) = i - 2

```



```

mySheet2.Cells(2, i) = 0
For j = 1 To intJumlahTinggi
    DoEvents
    mySheet2.Cells(i + 1, j + 1) = MatrikModeShape(intJumlahTinggi + 2 - i, j)
    frmUtama.pbExcel.Value = Round((x / (intJumlahTinggi + 1) ^ 2) * 100)
    x = x + 1
Next j
Next i

```

```

mySheet2.Cells(1, intJumlahTinggi + 2) = intJumlahTinggi

```

```

BuatGrafikModeShape mySheet2, mySheet2

```

```

For i = 0 To UBound(arrW0)
    mySheet6.Cells(i + 1, 1) = "W(" & i & ")"
    mySheet6.Cells(i + 1, 2) = arrW0(i)
Next i
frmUtama.pbExcel.Visible = False

```

```

myBook.SaveAs strExcelFileName
ClearExcel
End If
End Sub

```

```

Private Sub buatGrafik(sheetSource As Excel.Worksheet, sheetDest As Excel.Worksheet,
CelStart As Integer, Legend As String, title As String, graphKe As Integer, posisi As Integer,
kanan As Boolean)
    Dim i As Integer

```

```

    sheetDest.Select
    myBook.Charts.Add
    myBook.ActiveChart.ChartType = xlXYScatterSmoothNoMarkers
    myBook.ActiveChart.SetSourceData sheetDest.Range("A1")

```

```

For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    myBook.ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries

    myBook.ActiveChart.SeriesCollection(i + 1).XValues = _
        sheetSource.Range(sheetSource.Cells(2, 1), _
        sheetSource.Cells(UBound(arrDataGempa) + 1, 1))

    myBook.ActiveChart.SeriesCollection(i + 1).Values = _
        sheetSource.Range(sheetSource.Cells(2, CelStart + i), _

```

```

sheetSource.Cells(UBound(arrDataGempa) + 1, CelStart + i))

myBook.ActiveChart.SeriesCollection(i + 1).Name = Legend + Trim(Str(i + 1))
Next i

myBook.ActiveChart.Location xlLocationAsObject, "Grafik Perhitungan"
With myBook.ActiveChart
    .HasTitle = True
    .ChartTitle.Characters.Text = ""
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Waktu (dt)"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = title
End With
With myBook.ActiveChart.Axes(xlCategory)
    .HasMajorGridlines = False
    .HasMinorGridlines = False
End With
With myBook.ActiveChart.Axes(xlValue)
    .HasMajorGridlines = False
    .HasMinorGridlines = False
End With
myBook.ActiveChart.HasLegend = True
myBook.ActiveChart.Legend.Font.Size = 6
myBook.ActiveChart.Legend.Select
myExcel.Selection.Position = xlBottom
'geser posisi
myBook.ActiveChart.ChartArea.Select
myBook.ActiveChart.PlotArea.Select
    With myExcel.Selection.Border
        .Weight = 1
        .LineStyle = 0
    End With
myExcel.Selection.ClearFormats
myBook.ActiveSheet.ChartObjects("Chart " + Str(graphKe)).Activate
myBook.ActiveChart.ChartArea.Select
myBook.ActiveSheet.Shapes("Chart " + Str(graphKe)).IncrementTop (posisi - 1) * 300#

If kanan Then
    myBook.ActiveSheet.Shapes("Chart " + Str(graphKe)).IncrementLeft 245#
Else
    myBook.ActiveSheet.Shapes("Chart " + Str(graphKe)).IncrementLeft -167#
End If

```

```
myBook.ActiveChart.Axes(xlValue).Select
myExcel.Selection.TickLabels.AutoScaleFont = True
```

```
With myExcel.Selection.TickLabels.Font
```

```
.Name = "Arial"
.FontStyle = "Regular"
.Size = 7
.Strikethrough = False
.Superscript = False
.Subscript = False
.OutlineFont = False
.Shadow = False
.Underline = xlUnderlineStyleNone
.ColorIndex = xlAutomatic
.Background = xlAutomatic
```

```
End With
```

```
myBook.ActiveChart.Axes(xlCategory).Select
myExcel.Selection.TickLabels.AutoScaleFont = True
```

```
With myExcel.Selection.TickLabels.Font
```

```
.Name = "Arial"
.FontStyle = "Regular"
.Size = 7
.Strikethrough = False
.Superscript = False
.Subscript = False
.OutlineFont = False
.Shadow = False
.Underline = xlUnderlineStyleNone
.ColorIndex = xlAutomatic
.Background = xlAutomatic
```

```
End With
```

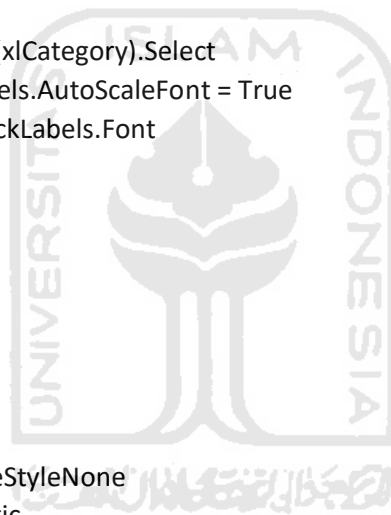
```
myBook.ActiveChart.Axes(xlValue).AxisTitle.Select
```

```
myExcel.Selection.Font.Bold = False
```

```
myExcel.Selection.AutoScaleFont = True
```

```
With myExcel.Selection.Font
```

```
.Name = "Arial"
.Size = 8
.Strikethrough = False
.Superscript = False
.Subscript = False
.OutlineFont = False
.Shadow = False
.Underline = xlUnderlineStyleNone
.ColorIndex = xlAutomatic
.Background = xlAutomatic
```



```

End With
myBook.ActiveChart.Axes(xlCategory).AxisTitle.Select
myExcel.Selection.Font.Bold = False
myExcel.Selection.AutoScaleFont = True
With myExcel.Selection.Font
    .Name = "Arial"
    .Size = 8
    .Strikethrough = False
    .Superscript = False
    .Subscript = False
    .OutlineFont = False
    .Shadow = False
    .Underline = xlUnderlineStyleNone
    .ColorIndex = xlAutomatic
    .Background = xlAutomatic
End With

End Sub

Public Sub InvertTop(arrSource, ByRef arrRes)
    Dim i, j As Integer

    ReDim arrRes(UBound(arrSource), UBound(arrSource))

    For i = 0 To UBound(arrSource) - 1
        For j = 0 To UBound(arrSource) - 1
            arrRes(i, j) = arrSource(i, j) / arrSource(UBound(arrSource) - 1, j)
        Next j
    Next i
End Sub

Private Sub BuatGrafikModeShape(sheetSource As Excel.Worksheet, sheetDestination As
Excel.Worksheet)
    Dim i As Integer

    sheetDestination.Select

    For i = 0 To UBound(MatrikModeShape, 2) - 1
        myExcel.Charts.Add
        myExcel.ActiveChart.ChartType = xlXYScatterSmooth
        myExcel.ActiveChart.SetSourceData sheetDestination.Range("A1")
        myExcel.ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries

        myExcel.ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = _

```

```

sheetSource.Range(sheetSource.Cells(2, 2 + i), _
sheetSource.Cells(intJumlahTinggi + 2, 2 + i))

myExcel.ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = _
sheetSource.Range(sheetSource.Cells(1, 2), _
sheetSource.Cells(1, intJumlahTinggi + 2))

myExcel.ActiveChart.Location xlLocationAsObject, "Hasil Mode Shape"
With myBook.ActiveChart
    .HasTitle = True
    .ChartTitle.Characters.Text = "Mode " + Str(i + 1)
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = False
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = False
End With
With myBook.ActiveChart
    .HasAxis(xlCategory, xlPrimary) = True
    .HasAxis(xlValue, xlPrimary) = True
End With
With myBook.ActiveChart.Axes(xlCategory)
    .HasMajorGridlines = False
    .HasMinorGridlines = False
End With
With myBook.ActiveChart.Axes(xlValue)
    .HasMajorGridlines = False
    .HasMinorGridlines = False
End With
myBook.ActiveChart.HasLegend = True
myBook.ActiveChart.Legend.Font.Size = 8
myBook.ActiveChart.Legend.Select
myExcel.Selection.Position = xlBottom
'geser posisi
myBook.ActiveChart.ChartArea.Select
myBook.ActiveSheet.ChartObjects("Chart " + Str(i + 1)).Activate
myBook.ActiveChart.ChartArea.Select
myBook.ActiveChart.PlotArea.Select
myExcel.Selection.ClearFormats
myExcel.ActiveWindow.Visible = False
myBook.ActiveSheet.ChartObjects("Chart " + Str(i + 1)).Activate
myBook.ActiveChart.ChartArea.Select
myBook.ActiveChart.Legend.Select
myExcel.Selection.Delete
myBook.ActiveChart.PlotArea.Select
myBook.ActiveChart.ChartArea.Select
With myExcel.Selection.Border

```

```

        .Weight = 2
        .LineStyle = -1
    End With
    myExcel.Selection.Interior.ColorIndex = xlNone
    myExcel.ActiveWindow.Visible = False
    myBook.ActiveSheet.ChartObjects("Chart " + Str(i + 1)).Activate
    myBook.ActiveChart.ChartArea.Select
    myBook.ActiveSheet.Shapes("Chart " + Str(i + 1)).Width = 100
    With myExcel.Selection.Border
        .Weight = 1
        .LineStyle = 0
    End With
    myExcel.Selection.Interior.ColorIndex = xlNone
    myExcel.ActiveWindow.Visible = False
    myBook.ActiveSheet.ChartObjects("Chart " + Str(i + 1)).Activate
    myBook.ActiveChart.PlotArea.Select
    myBook.ActiveChart.ChartArea.Select
    myBook.ActiveChart.PlotArea.Width = 100
    myBook.ActiveChart.PlotArea.Top = 20
    myBook.ActiveSheet.Shapes("Chart " + Str(i + 1)).IncrementLeft 120 * i
    myBook.ActiveSheet.Shapes("Chart " + Str(i + 1)).IncrementTop 30
    myBook.ActiveChart.ChartTitle.Select
    myExcel.Selection.AutoScaleFont = True
    With myExcel.Selection.Font
        .Name = "Arial"
        .Size = 8
        .Strikethrough = False
        .Superscript = False
        .Subscript = False
        .OutlineFont = False
        .Shadow = False
        .Underline = xlUnderlineStyleNone
        .ColorIndex = xlAutomatic
        .Background = xlAutomatic
    End With
    myBook.ActiveChart.Axes(xlValue).Select
    With myBook.ActiveChart.Axes(xlValue)
        .MinimumScaleIsAuto = True
        .MaximumScale = intJumlahTinggi
        .MinorUnitIsAuto = True
        .MajorUnitIsAuto = True
        .Crosses = xlAutomatic
        .ReversePlotOrder = False
        .ScaleType = xlLinear
    End With

```

```

        .DisplayUnit = xlNone
    End With
    myExcel.Selection.TickLabels.AutoScaleFont = True
With myExcel.Selection.TickLabels.Font
    .Name = "Arial"
    .FontStyle = "Regular"
    .Size = 7
    .Strikethrough = False
    .Superscript = False
    .Subscript = False
    .OutlineFont = False
    .Shadow = False
    .Underline = xlUnderlineStyleNone
    .ColorIndex = xlAutomatic
    .Background = xlAutomatic
End With
myBook.ActiveChart.Axes(xlCategory).Select
With myBook.ActiveChart.Axes(xlCategory)
    .MinimumScaleIsAuto = True
    .MaximumScaleIsAuto = True
    .MinorUnitIsAuto = True
    .MajorUnitIsAuto = 1
    .Crosses = xlAutomatic
    .ReversePlotOrder = False
    .ScaleType = xlLinear
    .DisplayUnit = xlNone
End With
myExcel.Selection.TickLabels.AutoScaleFont = True
With myExcel.Selection.TickLabels.Font
    .Name = "Arial"
    .FontStyle = "Regular"
    .Size = 7
    .Strikethrough = False
    .Superscript = False
    .Subscript = False
    .OutlineFont = False
    .Shadow = False
    .Underline = xlUnderlineStyleNone
    .ColorIndex = xlAutomatic
    .Background = xlAutomatic
End With
Next i
End Sub

```

```

Public Sub ClearExcel()
    On Error Resume Next
    myBook.Close
    myExcel.Quit
    Set myBook = Null
    Set mySheet = Null
    Set mySheet2 = Null
    Set mySheet3 = Null
    Set mySheet4 = Null
    Set mySheet5 = Null
    Set mySheet6 = Null
    Set mySheet7 = Null
    Set myExcel = Null
End Sub

```

```

Private Sub buatGrafikData(sheetSource As Excel.Worksheet, sheetDest As
Excel.Worksheet, Legend As String)
    Dim i As Integer

    sheetDest.Select
    myExcel.Charts.Add
    myExcel.ActiveChart.ChartType = xlXYScatterLinesNoMarkers
    myExcel.ActiveChart.SetSourceData sheetDest.Range("A1")
    myExcel.ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
    myExcel.ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = sheetSource.Range("C5:C" &
vBawah - 1)
    myExcel.ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = sheetSource.Range("F5:F" & vBawah
- 1)
    myExcel.ActiveChart.Location xlLocationAsObject, "Grafik"
    myExcel.ActiveChart.HasLegend = False
End Sub

```

```

Private Sub IsiExcel(rcrdst As ADODB.Recordset)
    vBaris = "M"
    vBawah = 5 + rsCari.RecordCount

    myExcel.Cells(5, 1).CopyFromRecordset rsCari
End Sub

```

Option Explicit


```

Public Sub LangkahA()
  Dim i, j As Integer
  Dim decTemp, decTemp1 As Double
  ReDim arrDeltaP0(intJumlahTinggi)
  ReDim arrDeltaP1(intJumlahTinggi)
  If DenganBase = True Then
    'arrDeltaP0(0) = -(decDataGempa) * arrM(0)
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
      arrDeltaP0(i) = (decDataGempa) * MatrikMassaN(i, i)
      "arrDeltaP0(i) = (decDataGempa) * MatrikMassaN(i, i)
    Next i
    ' Cari
    decTemp = 0
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
      decTemp = decTemp + arrM(i)
    Next i

    ' Cari DeltaP0
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
      decTemp = 0
      For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
        decTemp = decTemp + (MatrikAN(i, j) * arrY1(j))
      Next j
      decTemp1 = 0
      For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
        decTemp1 = decTemp1 + (MatrikBN(i, j) * arrY2(j))
      Next j
      arrDeltaP1(i) = arrDeltaP0(i) + decTemp + decTemp1
    Next i
  Else
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
      arrDeltaP0(i) = (decDataGempa) * MatrikMassaN(i, i)
      "arrDeltaP0(i) = (decDataGempa) * MatrikMassaN(i, i)
    Next i

    ' Cari
    decTemp = 0
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
      decTemp = decTemp + arrM(i)
    Next i

    ' Cari DeltaP0
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1

```

```

    decTemp = 0
    For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
        decTemp = decTemp + (MatrikAN(i, j) * arrY1(j))
    Next j
    decTemp1 = 0
    For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
        decTemp1 = decTemp1 + (MatrikBN(i, j) * arrY2(j))
    Next j
    arrDeltaP1(i) = arrDeltaP0(i) + decTemp + decTemp1
Next i
End If
End Sub

```

```

Public Sub LangkahB()
    ' Cari MatrikDeltaY0
    Dim decTemp As Double
    ReDim arrDeltaY0(intJumlahTinggi)
    Dim i, j As Integer
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        decTemp = 0
        For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
            decTemp = decTemp + (MatrikKekakuanEfektifN(i, j) * arrDeltaP1(j))
        Next j
        arrDeltaY0(i) = decTemp
    Next i
End Sub

```

```

Public Sub LangkahC()
    ' Pertambahan kecepatan (Delta Y0 aksen)
    Dim i As Integer
    ReDim arrDeltaY1(intJumlahTinggi)
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        arrDeltaY1(i) = ((decGamma / (decBeta * decDeltaT)) * arrDeltaY0(i)) - ((decGamma /
decBeta) * arrY1(i)) + (decDeltaT * (1 - (decGamma / (2 * decBeta))) * arrY2(i))
    Next i
End Sub

```

```

Public Sub LangkahD()
    ' Pertambahan percepatan (Delta Y0 dobel aksen)
    Dim i As Integer
    ReDim arrDeltaY2(intJumlahTinggi)
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        arrDeltaY2(i) = ((1 / (decBeta * (decDeltaT ^ 2))) * arrDeltaY0(i)) - ((1 / (decBeta *
decDeltaT)) * arrY1(i)) - ((1 / (2 * decBeta)) * arrY2(i))
    Next i
End Sub

```

```

Next i
End Sub

```

```

Public Sub LangkahE()
' Pertambahan simpangan (Delta Y1 )
Dim i As Integer
ReDim arrY10(intJumlahTinggi)
For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
arrY10(i) = (arrY0(i) + arrDeltaY0(i))
Next i
'ShowArray arrY10
End Sub

```

```

Public Sub LangkahF()
' Pertambahan kecepatan (Delta Y1 aksen)
Dim i As Integer
ReDim arrY11(intJumlahTinggi)
For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
arrY11(i) = (arrY1(i) + arrDeltaY1(i))
Next i
End Sub

```

```

Public Sub LangkahG()
' Pertambahan percepatan (Delta Y1 doble aksen)
Dim i As Integer
ReDim arrY12(intJumlahTinggi)
For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
arrY12(i) = (arrY2(i) + arrDeltaY2(i))
Next i
End Sub

```

```

Public Sub LangkahH()
' Menghitung simpangan netto
Dim i As Integer
ReDim arrSimpanganNetto(intJumlahTinggi)
ReDim arrSimpanganRelatif(intJumlahTinggi)
For i = 0 To intJumlahTinggi - 2
arrSimpanganNetto(i) = arrY10(i)
If i = 0 Then
arrSimpanganRelatif(i) = arrY10(i) - arrY10(i)
Elseif i > 0 Then
arrSimpanganRelatif(i) = arrY10(i) - arrY10(0)
End If
Next i

```

```
'arrSimpanganNetto(intJumlahTinggi - 1) = arrY10(intJumlahTinggi - 1) * 100
arrSimpanganNetto(intJumlahTinggi - 1) = arrY10(intJumlahTinggi - 1)
arrSimpanganRelatif(intJumlahTinggi - 1) = arrY10(intJumlahTinggi - 1) - arrY10(0)
```

End Sub

Public Sub LangkahL()

```
ReDim arrYY(intJumlahTinggi)
```

```
Dim i As Integer
```

```
"arrYY(0) = arrY10(0) / decH1 * 100
```

```
arrYY(0) = arrSimpanganRelatif(0) / decH1 * 100 * 100
```

```
For i = 1 To intJumlahTinggi - 1
```

```
  'MsgBox arrY10(i) & " - " & arrY10(i - 1) & " / " & decHN
```

```
' arrYY(i) = (arrY10(i) - arrY10(i - 1)) / decHN * 100
```

```
  'arrYY(i) = (arrY10(i) - arrY10(i - 1)) / decHN
```

```
  arrYY(i) = (arrSimpanganRelatif(i) - arrSimpanganRelatif(i - 1)) / decHN * 100 * 100
```

```
Next i
```

End Sub

Public Sub LangkahM()

```
ReDim arrF(intJumlahTinggi)
```

```
Dim i, j As Integer
```

```
Dim decTmp As Double
```

```
For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
```

```
  decTmp = 0
```

```
  For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
```

```
'    decTmp = decTmp + (MatrikKekakuanN(i, j)) * (arrSimpanganNetto(j))
```

```
    decTmp = decTmp + (MatrikKekakuanN(i, j)) * (arrSimpanganRelatif(j)) * 100
```

```
  Next j
```

```
  arrF(i) = decTmp
```

```
Next i
```

End Sub

Public Sub LangkahN()

```
ReDim arrV(intJumlahTinggi)
```

```
Dim i, j As Integer
```

```
Dim decTmp As Double
```

```
For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
```

```
  decTmp = 0
```

```
  For j = i To intJumlahTinggi - 1
```

```
    decTmp = decTmp + arrF(j)
```

```
  Next j
```

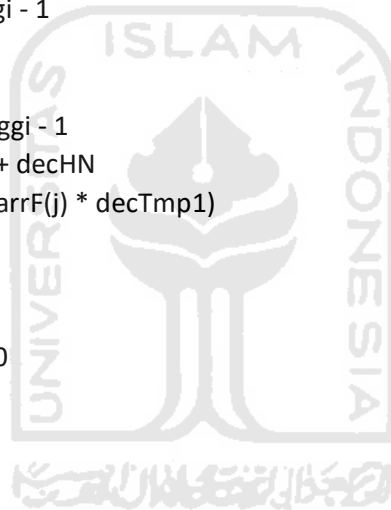
```
  arrV(i) = decTmp
```

```

Next i
End Sub

Public Sub LangkahO()
    ReDim arrMg(intJumlahTinggi + 1)
    Dim i, j As Integer
    Dim decTmp, decTmp1 As Double
    decTmp1 = decH1
    decTmp = arrF(0) * decTmp1
    For i = 1 To intJumlahTinggi - 1
        decTmp1 = decTmp1 + decHN
        decTmp = decTmp + (arrF(i) * decTmp1)
    Next i
    arrMg(0) = decTmp
    For i = 1 To intJumlahTinggi - 1
        decTmp = 0
        decTmp1 = 0
        For j = i To intJumlahTinggi - 1
            decTmp1 = decTmp1 + decHN
            decTmp = decTmp + (arrF(j) * decTmp1)
        Next j
        arrMg(i) = decTmp
    Next i
    arrMg(intJumlahTinggi) = 0
End Sub

```



```

Public Sub KaliMatrik(A(), B(), C() As Double)
    ' Perkalian MatrikA * MatrikB = MatrikC
    Dim i, j, k As Integer
    Dim decTemp As Double
    Dim MatrikHasil() As Double
    ReDim MatrikHasil(UBound(B), UBound(B))
    For i = 0 To UBound(B) - 1
        For j = 0 To UBound(B) - 1
            decTemp = 0
            For k = 0 To UBound(B) - 1
                decTemp = decTemp + (A(i, k) * B(j, k))
            Next k
            MatrikHasil(i, j) = decTemp
        Next j
    Next i
    C = MatrikHasil

```

End Sub

Option Explicit

Private rsSQL As New ADODB.Recordset

Private rsCari As New ADODB.Recordset

Private f() As String, Y() As String, y_maks As String, y_min As String, y_titik() As String, r()
As String, y_titikdua() As String

Private k As String, C As String, T As String, Delta_T As String

Private kp() As String, k_aksen() As String, delta_f() As String, delta_f_aksen() As String,
delta_y() As String, delta_y_titik() As String

Private key() As Integer

Private sifat As String

Private tSyarat As String

'untuk mendeteksi transisi dari titik puncak

Private j As String

Private a1 As String, a2 As String, a3 As String, a4 As String

Private Yt As String, Yc As String

Private f1 As String, f2 As String

Private i As Integer

Public m, vRedaman As String

Private j_Sifat As String

Private rMax As String, rMin As String

Private isAwal, isSecond, isMulai As Boolean

Private SelisihR1, SelisihR2, SelisihR As String

Private rPuncakAtas, rPuncakBawah As String

Private y_atas, y_bawah As String

Private r_Kecil, r_Besar As String

Private isPertamaTarik, isPertamaTekan As Boolean

Public Alpha As String

Private RT As String, RC As String

Public fso As New FileSystemObject

Private x As Integer

Private Declare Function ShellExecute Lib "shell32.dll" Alias "ShellExecuteA" (ByVal hwnd
As Long, ByVal lpOperation As String, ByVal lpFile As String, ByVal lpParameters As String,
ByVal lpDirectory As String, ByVal nShowCmd As Long) As Long

Private Declare Sub Sleep Lib "kernel32" (ByVal dwMilliseconds As Long)

Public Kb As String, JmlBentang As String, Tinggi As String

Public JmlTingkat As String, LBentang As String, BKTepi As String, BKTengah As String

Public HKTepi As String, HKTengah As String, DR As String

Private Sub cmdGambar_Click()

frmGambar.Show 1

End Sub

```

Private Sub cmdOpenBentang_Click()
  If optDgnBase.Value = True Then
    cd.FileName = ""
    cd.InitDir = App.Path & "\\File Data Struktur\\BASE"
    cd.Filter = "File Data struktur|*.txt"
    cd.ShowOpen
  ElseIf optElastoplastis.Value = True Then
    cd.FileName = ""
    cd.InitDir = App.Path & "\\File Data Struktur\\BASE"
    cd.Filter = "File Data struktur|*.txt"
    cd.ShowOpen
  ElseIf optTanpaBase.Value = True Then
    cd.FileName = ""
    cd.InitDir = App.Path & "\\File Data Struktur\\TIPIKAL"
    cd.Filter = "File Data struktur|*.txt"
    cd.ShowOpen
  End If

```

```

  If cd.FileName = "" Then Exit Sub
  txtBentang.Text = cd.FileName
End Sub

```

```

Private Sub cmdOpenData_Click()
  cd.FileName = ""
  cd.InitDir = App.Path & "\\Data Gempa"
  cd.Filter = "Data Gempa|*.txt"
  cd.ShowOpen
  If cd.FileName = "" Then Exit Sub
  txtData.Text = cd.FileName
End Sub

```

```

Private Sub cmdOpenFile_Click()
  cd.FileName = ""
  cd.InitDir = App.Path & "\\Data Inelastik"
  cd.Filter = "Data|*.txt"
  cd.ShowOpen
  If cd.FileName = "" Then Exit Sub
  txtFileData.Text = cd.FileName
End Sub

```

```

Private Sub cmdProses_Click()
  Dim strTemp As String
  Dim i As Double

```

```
On Error GoTo errmsg
```

```
If (optDgnBase.Value = True) Or (optElastoplastis.Value = True) Then
    DenganBase = True
Elseif optTanpaBase.Value = True Then
    DenganBase = False
End If
```

```
ExecQueryRW "DELETE FROM t_data", rsSQL
ExecQueryRO "SELECT * FROM t_data ORDER BY t", rsSQL
```

```
Open txtData.Text For Input As #1
j = 0
i = 0
Delta_T = 0.01
Do While Not EOF(1)
    Input #1, strTemp
    If i > 1 Then
        If strTemp <> "" Then
            ExecQueryRW "INSERT INTO t_data(t,f) VALUES(" & KonversiString(j) & "," & strTemp
& ")", rsCari
        End If
        j = Val(KonversiString(j)) + Val(KonversiString(Delta_T))
    End If
    i = i + 1
Loop
Close #1
```

```
Call HitungAwal
Call HitungSeluruhnya
pbExcel.Visible = False
```

```
Hitung
MsgBox "Proses data berhasil!", vbInformation, "Informasi"
```

```
Exit Sub
errmsg:
```

```
MsgBox Err.Description
Close #1
End Sub
```

```
Private Sub cmdReset_Click()
```



```
'hapus data
ExecQueryRW "DELETE FROM t_data", rsSQL
k = ""
Alpha = ""
RT = ""
RC = ""
txtData.Text = ""
txtFileData.Text = ""
cmdOpenFile.SetFocus
End Sub
```

```
Private Sub cmdTutup_Click()
    Set rsCari = Nothing
    Set rsSQL = Nothing
    Unload Me
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
    Koneksi
    ExecQueryRO "Select * From t_Data Order By t", rsSQL
End Sub
```

```
Private Sub HitungAwal()
    Dim w As String
    ReDim Preserve key(1) As Integer
    ReDim Preserve Y(1) As String
    ReDim Preserve f(1) As String
    ReDim Preserve r(1) As String
    ReDim Preserve y_titik(1) As String
    ReDim Preserve y_titikdua(1) As String
    ReDim Preserve kp(1) As String
    ReDim Preserve k_aksen(1) As String
    Dim A, B, C, D, E, O As String
    Dim temp As String
    Dim filenumber As Integer
    Dim Titles
    filenumber = FreeFile
    Open txtFileData.Text For Input As #filenumber

    Input #filenumber, temp$
    Input #filenumber, A, B, C, D, E, O
    m = A
    k = B
    Alpha = C
```

```

RT = D
RC = E
vRedaman = O
Close #filenumber

Delta_T = 0.01

'Hitung Nilai Koefisien Redaman
C = (Val(KonversiString(vRedaman)) * 2) * (Sqr(Val(KonversiString(m))) *
Val(KonversiString(k)))

'Hitung Nilai Delta T
w = Sqr(Val(KonversiString(k)) / Val(KonversiString(m)))
T = (2 * 3.14) / Val(KonversiString(w))

'Menghitung konstanta
a1 = (3 / Delta_T)
a2 = (6 / Delta_T)
a3 = (Delta_T / 2)
a4 = (6 / (Delta_T ^ 2))

'Menghitung titik leleh awal
Yt = Val(KonversiString(RT)) / Val(KonversiString(k))
Yc = Val(KonversiString(RC)) / Val(KonversiString(k))

kp(1) = k
k_aksen(1) = Val(KonversiString(k)) + (Val(KonversiString(a4)) * Val(KonversiString(m))) +
(Val(KonversiString(a1)) * Val(KonversiString(C)))
k_aksen(1) = Format(k_aksen(1), "0.#0")

Y(1) = 0
y_titik(1) = 0
y_titikdua(1) = 0
r(1) = 0
rMax = RT
rMin = RC
j_Sifat = "e"
isAwal = False
isSecond = False
rPuncakAtas = 0
rPuncakBawah = 0
r_Kecil = 0
r_Besar = 0
isMulai = False

```

```

isPertamaTarik = False
isPertamaTekan = False
End Sub

```

```

Private Sub HitungSeluruhnya()
Dim temp As String
On Error GoTo PROSES_BARIS_TERKAHIR

```

```

'perhitungan setelah t>0
ExecQueryRO "SELECT * FROM t_data Order By t", rsCari
If rsCari.RecordCount > 0 Then
  ReDim Preserve key(rsCari.RecordCount + 1) As Integer
  ReDim Preserve Y(rsCari.RecordCount + 1) As String
  ReDim Preserve f(rsCari.RecordCount + 1) As String
  ReDim Preserve r(rsCari.RecordCount + 1) As String
  ReDim Preserve y_titik(rsCari.RecordCount + 1) As String
  ReDim Preserve y_titikdua(rsCari.RecordCount + 1) As String
  ReDim Preserve kp(rsCari.RecordCount + 1) As String
  ReDim Preserve k_aksen(rsCari.RecordCount + 1) As String
  ReDim Preserve delta_f(rsCari.RecordCount + 1) As String
  ReDim Preserve delta_f_aksen(rsCari.RecordCount + 1) As String
  ReDim Preserve delta_y(rsCari.RecordCount + 1) As String
  ReDim Preserve delta_y_titik(rsCari.RecordCount + 1) As String

```

```

pbExcel.Visible = True
i = 0
rsCari.MoveFirst
Do While Not rsCari.EOF
  i = i + 1
  tSyarat = rsCari(0)
  f(i) = rsCari(1)
  rsCari.MoveNext
  f(i + 1) = rsCari(1)
  rsCari.MovePrevious

```

```

Call PERTAMBAHANGAYA
Call PENENTUANSIFAT

```

```

If key(i + 1) = 0 Then
  sifat = "e"
Elseif key(i + 1) = 1 Then
  sifat = "p_tarik"
Elseif key(i + 1) = -1 Then

```

```

sifat = "p_tekan"
End If

Call PENENTUANKEY

'Menghitung Gaya Pemulihan
If sifat = "e" Then
  If j_Sifat = "p_tekan" Then
    r(i + 1) = Val(KonversiString(rMin)) - (Val(KonversiString(Yc)) - Val(KonversiString(Y(i
+ 1)))) * Val(KonversiString(k))
    If isAwal = True And isSecond = False Then
      If Val(KonversiString(r(i + 1))) - Val(KonversiString(rMin)) >
Val(KonversiString(SelisihR)) Then
        r(i + 1) = Val(KonversiString(rMin)) + Val(KonversiString(SelisihR))
      End If
    End If
  ElseIf j_Sifat = "p_tarik" Then
    r(i + 1) = Val(KonversiString(rMax)) - (Val(KonversiString(Yt)) - Val(KonversiString(Y(i
+ 1)))) * Val(KonversiString(k))
    If isAwal = True And isSecond = False Then
      If Val(KonversiString(rMax)) - Val(KonversiString(r(i + 1))) >
Val(KonversiString(SelisihR)) Then
        r(i + 1) = Val(KonversiString(rMax)) - Val(KonversiString(SelisihR))
      End If
    End If
  ElseIf j_Sifat = "e" Then
    r(i + 1) = Val(KonversiString(RT)) - (Val(KonversiString(Yt)) - Val(KonversiString(Y(i +
1)))) * Val(KonversiString(k))
  End If

  If isMulai = True Then
    If Val(KonversiString(rPuncakAtas)) < Val(KonversiString(r(i + 1))) Then
      rPuncakAtas = r(i + 1)
    End If

    If Val(KonversiString(rPuncakBawah)) > Val(KonversiString(r(i + 1))) Then
      rPuncakBawah = r(i + 1)
    End If
  Else
    rPuncakAtas = r(i + 1)
    rPuncakBawah = r(i + 1)
    isMulai = True
  End If

```

```

Elseif sifat = "p_tarik" Then
    r(i + 1) = Val(KonversiString(rMax)) - (Val(KonversiString(Yt)) - Val(KonversiString(Y(i +
1)))) * Val(KonversiString(kp(i + 1)))
Elseif sifat = "p_tekan" Then
    r(i + 1) = Val(KonversiString(rMin)) - (Val(KonversiString(Yc)) - Val(KonversiString(Y(i +
1)))) * Val(KonversiString(kp(i + 1)))
End If

```

```

r(i + 1) = Format(r(i + 1), "0.##0")

```

```

y_titikdua(i + 1) = (1 / Val(KonversiString(m))) * (Val(KonversiString(f(i + 1))) -
(Val(KonversiString(C)) * Val(KonversiString(y_titik(i + 1)))) - Val(KonversiString(r(i + 1))))
y_titikdua(i + 1) = Format(y_titikdua(i + 1), "0.##0")

```

```

ExecQueryRW "UPDATE t_data SET y = " & Y(i) & ", vkey = " & key(i) & ", y_titik = " &
y_titik(i) & ", y_titikdua = " & y_titikdua(i) & ", " & _
    "kp = " & kp(i) & ", k_aksen = " & k_aksen(i) & ", delta_f = " & delta_f(i) & ",
" & _
    "delta_f_aksen = " & delta_f_aksen(i) & ", delta_y = " & delta_y(i) & ",
delta_y_titik = " & delta_y_titik(i) & ", r = " & r(i) & " " & _
    "WHERE t = " & KonversiString(tSyarat) & " ", rsSQL
rsCari.MoveNext

```

```

Loop
End If

```

PROSES_BARIS_TERKAHIR:

```

rsCari.MoveLast
tSyarat = rsCari(0)
f(i) = rsCari(1)
delta_f(i) = f(i)

```

Call PERTAMBAHANGAYA

```

ExecQueryRW "UPDATE t_data SET y = " & Y(i) & ", vkey = " & key(i) & ", y_titik = " &
y_titik(i) & ", y_titikdua = " & y_titikdua(i) & ", " & _
    "kp = " & kp(i) & ", k_aksen = " & k_aksen(i) & ", delta_f = " & delta_f(i) & ", "
& _
    "delta_f_aksen = " & delta_f_aksen(i) & ", delta_y = " & delta_y(i) & ",
delta_y_titik = " & delta_y_titik(i) & ", r = " & r(i) & " " & _
    "WHERE t = " & KonversiString(tSyarat) & " ", rsSQL
End Sub

```

Private Sub PENENTUANSIFAT()

```

'Menentukan Nilai YMaks dan YMin
If Val(KonversiString(Y(i + 1))) > Val(KonversiString(Y(i))) Then
  y_maks = Y(i + 1)
Else
  y_maks = Y(i)
End If
If Val(KonversiString(Y(i + 1))) < Val(KonversiString(Y(i))) Then
  y_min = Y(i + 1)
Else
  y_min = Y(i)
End If

'Menentukan Sifat
If sifat = "e" Then
  If (Val(KonversiString(Y(i + 1))) > Val(KonversiString(Yc))) And (Val(KonversiString(Y(i +
1))) < Val(KonversiString(Yt))) Then
    key(i + 1) = 0
  ElseIf Val(KonversiString(Y(i + 1))) > Val(KonversiString(Yt)) Then
    key(i + 1) = 1
  If isAwal = True And isSecond = False Then
    If Val(KonversiString(y_atas)) > Val(KonversiString(Y(i + 1))) Then
      If Val(KonversiString(rPuncakAtas)) - Val(KonversiString(rMin)) <
Val(KonversiString(SelisihR)) Then
        If Val(KonversiString(rPuncakAtas)) - Val(KonversiString(rMin)) <
Val(KonversiString(SelisihR)) Then
          rMax = rPuncakAtas + (Val(KonversiString(SelisihR)) -
(Val(KonversiString(rPuncakAtas)) - Val(KonversiString(rMin))))
        Else
          rMax = rPuncakAtas
        End If
      Else
        rMax = rPuncakAtas
      End If
    End If
  Else
    If isAwal = True Then
      If Val(KonversiString(y_atas)) > Val(KonversiString(Y(i + 1))) Then
        rMax = rPuncakAtas
      End If
    Else
      rMax = rPuncakAtas
    End If
  End If
End If

```

```

If isAwal = False Then
  SelisihR1 = Val(KonversiString(rPuncakAtas)) - Val(KonversiString(rPuncakBawah))
End If

If isSecond = True Then
  SelisihR2 = Val(KonversiString(rPuncakAtas)) - Val(KonversiString(rPuncakBawah))
  If Val(KonversiString(SelisihR1)) > Val(KonversiString(SelisihR2)) Then
    SelisihR = SelisihR1
  Else
    SelisihR = SelisihR2
  End If

  isAwal = True
  isSecond = False
  If Val(KonversiString(SelisihR)) < (Val(KonversiString(RT)) - Val(KonversiString(RC)))
Then
    SelisihR = Val(KonversiString(RT)) - Val(KonversiString(RC))
  End If
End If
Elseif Val(KonversiString(Y(i + 1))) < Val(KonversiString(Yc)) Then
  key(i + 1) = -1
  If isAwal = True And isSecond = False Then
    If Val(KonversiString(y_bawah)) < Val(KonversiString(Y(i + 1))) Then
      If Val(KonversiString(rMax)) - Val(KonversiString(rPuncakBawah)) <
Val(KonversiString(SelisihR)) Then
        If Val(KonversiString(rMax)) - Val(KonversiString(rPuncakBawah)) <
Val(KonversiString(SelisihR)) Then
          rMin = rPuncakBawah - (Val(KonversiString(SelisihR)) - (Val(KonversiString(rMax))
- Val(KonversiString(rPuncakBawah))))
        Else
          rMin = rPuncakBawah
        End If
      Else
        rMin = rPuncakBawah
      End If
    End If
  Else
    rMin = rPuncakBawah
  End If
End If

If isAwal = False Then
  SelisihR1 = Val(KonversiString(rPuncakAtas)) - Val(KonversiString(rPuncakBawah))
End If

```

```

If isSecond = True Then
  SelisihR2 = Val(KonversiString(rPuncakAtas)) - Val(KonversiString(rPuncakBawah))
  If Val(KonversiString(SelisihR1)) > Val(KonversiString(SelisihR2)) Then
    SelisihR = SelisihR1
  Else
    SelisihR = SelisihR2
  End If

  isAwal = True
  isSecond = False
  If Val(KonversiString(SelisihR)) < (Val(KonversiString(RT)) - Val(KonversiString(RC)))
Then
  SelisihR = Val(KonversiString(RT)) - Val(KonversiString(RC))
  End If
End If
Elseif sifat = "p_tarik" Then
  If Val(KonversiString(y_titik(i))) > 0 Then
    If isPertamaTarik = True Then
      If Val(KonversiString(r_Besar)) < Val(KonversiString(r(i))) Then
        r_Besar = r(i)
      End If
    Else
      r_Besar = r(i)
    End If
    key(i + 1) = 1
  Elseif Val(KonversiString(y_titik(i))) < 0 Then
    j_Sifat = "p_tarik"
    key(i + 1) = 0
    Yt = y_maks
    Yc = Val(KonversiString(y_maks)) - (Val(KonversiString(RT)) - Val(KonversiString(RC))) /
Val(KonversiString(k))
    rMax = r_Besar

  If isAwal = False Then
    isSecond = True
    isAwal = True
  End If
  isMulai = False
  isPertamaTarik = False
  y_atas = Y(i)
End If
Elseif sifat = "p_tekan" Then
  If Val(KonversiString(y_titik(i))) < 0 Then

```



```

If isPertamaTekan = True Then
  If Val(KonversiString(r_Kecil)) > Val(KonversiString(r(i))) Then
    r_Kecil = r(i)
  End If
Else
  r_Kecil = r(i)
End If
key(i + 1) = -1
Elseif Val(KonversiString(y_titik(i))) > 0 Then
  j_Sifat = "p_tekan"
  key(i + 1) = 0
  Yc = y_min
  Yt = Val(KonversiString(y_min)) + (Val(KonversiString(RT)) - Val(KonversiString(RC))) /
Val(KonversiString(k))
  rMin = r_Kecil

```

```

If isAwal = False Then
  isSecond = True
  isAwal = True
End If
r_Kecil = 0
isMulai = False
isPertamaTekan = False
y_bawah = Y(i)
End If
End If
End Sub

```



```

Private Sub PENENTUANKEY()
'Menghitung Kekakuan Efektif
If key(i + 1) = 0 Then
  kp(i + 1) = k
Elseif (key(i + 1) = 1) Or (key(i + 1) = -1) Then
  kp(i + 1) = Val(KonversiString(k)) * (Val(KonversiString(Alpha)) / 100)
End If

```

```

k_aksen(i + 1) = Val(KonversiString(kp(i + 1))) + (Val(KonversiString(a4)) *
Val(KonversiString(m))) + (Val(KonversiString(a1)) * Val(KonversiString(C)))
k_aksen(i + 1) = Format(k_aksen(i + 1), "0.##0")
End Sub

```

```

Private Sub PERTAMBAHANGAYA()
delta_f(i) = Val(KonversiString(f(i + 1))) - Val(KonversiString(f(i)))
delta_f(i) = Format(delta_f(i), "0.##0")

```

```

' deltafaksen = (deltaf) + (((a2 * m) + (3 * c))* ytitik) + (((3 * m) + (a3 * c)) * ytitikdua)
delta_f_aksen(i) = (Val(KonversiString(delta_f(i)))) + (((Val(KonversiString(a2)) *
Val(KonversiString(m))) + (3 * Val(KonversiString(C)))) * Val(KonversiString(y_titik(i)))) + _
    (((3 * Val(KonversiString(m))) + (Val(KonversiString(a3)) *
Val(KonversiString(C)))) * Val(KonversiString(y_titikdua(i))))
delta_f_aksen(i) = Format(delta_f_aksen(i), "0.###0")

delta_y(i) = (Val(KonversiString(delta_f_aksen(i)))) / (Val(KonversiString(k_aksen(i))))
delta_y(i) = Format(delta_y(i), "0.###0")

delta_y_titik(i) = ((3 * Val(KonversiString(delta_y(i)))) / Val(KonversiString(Delta_T))) - (3
* Val(KonversiString(y_titik(i))) - ((Val(KonversiString(Delta_T)) *
Val(KonversiString(y_titikdua(i)))) / 2)
delta_y_titik(i) = Format(delta_y_titik(i), "0.###0")

Y(i + 1) = Val(KonversiString(Y(i))) + Val(KonversiString(delta_y(i)))
Y(i + 1) = Format(Y(i + 1), "0.###0")
y_titik(i + 1) = Val(KonversiString(y_titik(i))) + Val(KonversiString(delta_y_titik(i)))
y_titik(i + 1) = Format(y_titik(i + 1), "0.###0")
End Sub

Private Sub proses_mode_shape()
    Dim i As Integer
    Dim deltat As String
    Dim masa As String, kekakuan As String

    OpenFile txtBentang.Text, Ndof, Dampratio, Dt, Tmax, Sg, LB, BTepi, Btengah, HTepi,
HTengah, Jbentang, h(), Mass(), KK(), Pt()
    DR = Dampratio
    deltat = Dt

    ' Proses ModeShape
    Open "c:\TMP_Data.txt" For Output As #1
    Print #1, "NRMDOFS"
    Print #1, ""
    Print #1, "NDOF" & vbTab & "DAMPR" & vbTab & "DT" & vbTab & "TMAX" & vbTab &
"SG"
    Print #1, Ndof & vbTab & KonversiString(DR) & vbTab & KonversiString(deltat) & vbTab
& Tmax & vbTab & Sg
    Print #1, ""
    Print #1, "Tingkat" & vbTab & "H" & vbTab & "MASSA" & vbTab & "KEKAKUAN"
    For i = 1 To Ndof
        masa = Mass(i)

```

```

    kekakuan = KK(i)
    Print #1, i & vbTab & h(i) & vbTab & KonversiString(masa) & vbTab &
KonversiString(kekakuan)
    Next i
    Close #1
End Sub

```

```
Private Sub Hitung()
```

```

    Dim xyz
    Dim temp As String
    Dim strTemp As String
    ' baca variabel input
    Dim i, j, x As Double
    Dim strTmp As String
    Dim arrTmp() As String
    SetVariabel

```

```

    ReDim arrDataGempa(1601)
    ReDim arrKey(1601)
    ExecQueryRO "Select f, vkey from t_data Order By t", rsCari
    i = 0
    decSkalaGempa = Sg
    If rsCari.RecordCount > 0 Then
        rsCari.MoveFirst
        Do While Not rsCari.EOF
            arrDataGempa(i) = (Cdbl(rsCari!f) / 100) * decSkalaGempa
            arrKey(i) = rsCari!vkey
            i = i + 1
            If i = 1002 Then Exit Do Else rsCari.MoveNext
        Loop
    End If

```

```

    If UBound(arrDataGempa) = 0 Then
        xyz = MsgBox("Pilih Data Gempa", vbOKOnly + vbInformation)
    Exit Sub
    End If

```

```

    CariW
    CariM
    CariK
    SetMatrikMassa
    "ShowMatrik MatrikMassa
    SetMatrikKekakuan
    'ShowMatrik MatrikKekakuan

```

```

SetMatrikEigen
'ShowMatrik MatrikEigen
proses_mode_shape

If fso.FileExists("C:\ModeShapeSelesai.txt") Then
    fso.DeleteFile "C:\ModeShapeSelesai.txt"
End If
i = ShellExecute(hwnd, "open", App.Path & "\Mode Shape\ModeShape.exe", "", "",
vbNormal)

mode_shape:
i = 0
ReDim arrW0(intJumlahTinggi)
Open "C:\TMP_Hasil.EGN" For Input As #1
Do While Not EOF(1)
    If i < intJumlahTinggi Then
        Input #1, strTmp
        arrW0(i) = KonversiTitik(strTmp)
    Else
        Exit Do
    End If
    i = i + 1
Loop
Close #1

fso.DeleteFile "C:\TMP_Hasil.EGN"
' Baca matrik mode shape
ReDim MatrikModeShape(intJumlahTinggi, intJumlahTinggi)

For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
        MatrikModeShape(i, j) = 0
    Next j
Next i

Open "C:\TMP_Hasil.MDS" For Input As #1
i = 1
Do While Not EOF(1)
    If i <= intJumlahTinggi Then
        Input #1, strTmp
        For j = 1 To intJumlahTinggi
            x = InStr(strTmp, " ")
            If x > 0 Then
                MatrikModeShape(i, j) = Trim(Left(KonversiTitik(strTmp), x))
            End If
        Next j
    End If
    i = i + 1
Loop
Close #1

```

```

Else
    MatrikModeShape(i, j) = Trim(KonversiTitik(strTmp))
End If
strTmp = Trim(Right(strTmp, Len(strTmp) - x))
Next j
Else
    Exit Do
End If
i = i + 1
Loop
Close #1
fso.DeleteFile "C:\TMP_Hasil.MDS"
'ShowMatrik MatrikModeShape
SetMatrikMassaN
"ShowMatrik MatrikMassaN
SetMatrikKekakuanN
"ShowMatrik MatrikKekakuanN
SetMatrikRedamanN
"ShowMatrik MatrikRedamanN
SetMatrikKekakuanEfektifN
"ShowMatrik MatrikKekakuanEfektifN
InvertMatrix MatrikKekakuanEfektifN
"ShowMatrik MatrikKekakuanEfektifN
SetMatrikA
"ShowMatrik MatrikAN
SetMatrikB
"ShowMatrik MatrikBN
Pembebanan
End Sub

```

