

TUGAS AKHIR
PENGARUH MASSA BANGUNAN TERHADAP
RESPON SEISMIK LAPISAN TANAH



disusun oleh :

Nama : **ARIEF NUR ROKHMAN**
No. Mhs : **95310152**
NIRM : **950051013114120150**

Nama : **FARKHAN WIDODO**
No. Mhs : **95310176**
NIRM : **950051013114120173**

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

TUGAS AKHIR
PENGARUH MASSA BANGUNAN TERHADAP
RESPON SEISMİK LAPISAN TANAH

*Diajukan guna melengkapi persyaratan untuk memperoleh
Derajat Sarjana Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan Universitas Islam Indonesia*

Disusun oleh :

Nama : **ARIEF NUR ROKHMAN**
No. Mhs : **95310152**
NIRM : **950051013114120150**

Nama : **FARKHAN WIDODO**
No. Mhs : **95310176**
NIRM : **950051013114120173**

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

PENGARUH MASSA BANGUNAN TERHADAP RESPON SEISMIK LAPISAN TANAH

Oleh :

ARIEF NUR ROKHMAN
95 310 152

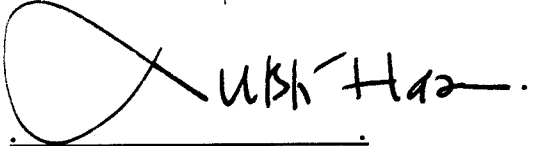
FARKHAN WIDODO
95 310 176

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

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


Tanggal : 5/5/2020

Dr. Ir. H. LUTHFI HASAN, MS.
Dosen Pembimbing II


Tanggal : 25-05-2020

KATA PENGANTAR

Bismillahirrokhmaanirrokhim.

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT, atas segala rahmat, hidayah dan karunia-Nya, sehingga berhasil menyelesaikan tugas akhir dan menyusun laporan ini.

Kegiatan ini sesuai dengan kurikulum yang ada di lingkungan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, yaitu setiap mahasiswa wajib menyelesaikan tugas akhir sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi program Strata-1 (S1). Dalam tugas akhir ini penyusun mengambil tema tentang ***Pengaruh Massa Bangunan Terhadap Respon Seismik Lapisan Tanah.***

Selama menyelesaikan tugas akhir ini penyusun banyak mendapatkan masukan yang berharga, sehingga penyusun mempunyai kesempatan menambah pengetahuan yang tidak didapat pada waktu masa kuliah. Penyelesaian tugas akhir ini diberi waktu 1 bulan untuk membuat proposal dan 3 bulan untuk menyelesaikan tugas akhir. Mengingat waktu yang relatif singkat penyusun menyadari bahwa penyusunan laporan ini sangat terbatas dan jauh dari sempurna, untuk itu penyusun tidak menutup kritik dan saran yang sifatnya membangun dari pembaca.

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini penyusun banyak mendapat bantuan, bimbingan dari berbagai pihak, karena itu dalam kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat,

1. **Bapak Ir. H. Widodo, MSCE., Ph.D**, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, sekaligus Dosen Pembimbing I tugas akhir,
2. **Bapak Ir. H. Tadjuddin BM. Aris, MT**, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
3. **Bapak Dr. Ir. H. Luthfi Hasan, MS**, selaku Dosen Pembimbing II tugas akhir,
4. **Bapak Ir. H. Susastrawan, MS**, selaku Dosen Penguji tugas akhir,
5. Seluruh staf pengajar di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
6. **Ibu Hj. Sri Siti Djermani dan Bapak H. Rokhmat Soenardjo** atas segala cinta, do'a, dukungannya demi kesuksesan ananda.
7. **Kedua orang tuaku Ayahanda H.A Sudarno, BE., dan bunda Hj. Chamdiatun Mukorrinah**, yang selalu memberikan do'a restunya baik moril maupun spirituil
8. Seluruh karyawan dan rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
9. Teman-teman kelas E Sipil '95 yang selalu kompak,

10. Temanku Arif, Bagus, CengCeng, Mas Dody, Esti, Hari, Into', Halay, Heru, Nonok, Robby, Alm.Rifqi, Sahala, Yansah atas semua do'a dan bantuannya selama ini sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan,
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu dalam penyusunan laporan ini.

Kepada semua pihak yang tersebut di atas penyusun hanya dapat mendoakan dan berharap semoga segala bantuan baik moril maupun spirituil serta amal kebajikannya diterima oleh Allah SWT.

Semoga laporan ini brmanfaat, khususnya bagi penyusun dan semua pihak yang membutuhkan pada umumnya, mudah-mudahan Allah SWT membalas semua amal dan kebaikan kita semua. *Amiiin..*

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, Mei 2000

Penyusun

Arief Nur Rokhman

Farkhan Widodo

Kupersembahkan Untuk :

Kedua Orangtuaku H. A Sudarno, BE dan Hj. Chamdiayatun Mukorrinah

Kakakku Mas Budi, Mbak Hani serta si kecil Tazkia

Adikku Tuti, Fadlan dan Ulin

Rizky, My Love

Dan semua Saudaraku

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PENGESAHAN

HALAMAN PERSEMBAHAN

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xxiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxix
DAFTAR NOTASI.....	xxx
ABSTRAKSI.....	xxxii

BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Hipotesis	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pengaruh Kondisi Tanah Pada Intensitas Getaran.....	6
2.2 Faktor-faktor Yang Akan Berpengaruh Terhadap Amplifikasi Energi Gempa.....	6
2.3 Batas-batas Atterberg.....	10
2.3.1 Batas cair (<i>liquid limit</i>).....	11
2.3.2 Batas plastis (<i>Plastic Limit</i>).....	11
2.3.3 Batas susut (<i>Shrinkage Limit</i>).....	11
2.3.4 Indeks Plastisitas (<i>Plasticity Index</i>).....	12
2.4 Lempung <i>Normally Consolidated</i> dan <i>Overconsolidated</i>	13
2.5 <i>Coefficient of Lateral Earth Pressure at Rest (Ko)</i>	14
2.5.1 Nilai <i>Coefficient of Lateral Earth Pressure at Rest (Ko)</i> pada tanah pasir.....	14
2.5.2 Nilai <i>Coefficient of Lateral Earth Pressure at Rest (Ko)</i> pada tanah lempung	15
2.6 Metode Penyebaran Beban 2V : 1 H.....	15
2.7 Lapisan Tanah	17
2.8 Modulus Geser Tanah dan <i>Dumping Ratio</i>	19
2.9 Regangan Geser Tanah	22
2.10 Analisa Dinamika Struktur	24
2.10.1 Tinjauan fundamental analisis dinamik	24
2.10.2 Pembebanan dinamik	25

2.10.3 Sistim derajat kebebasan tunggal	26
2.10.4 Sistim derajat kebebasan banyak	27
2.10.5 Persamaan differensial gerakan MDOF	27
2.10.6 Matriks massa, kekakuan dan <i>damping ratio</i>	29
2.10.7 Integrasi numerik dengan metode <i>Central Difference</i>	29
 BAB III LANDASAN TEORI	32
3.1 Pendahuluan.....	32
3.2 Nilai <i>Coefficient of Lateral Earth Pressure at Rest (Ko)</i> pada tanah pasir	
3.3 Nilai <i>Coefficient of Lateral Earth Pressure at Rest (Ko)</i> pada tanah lempung.....	33
3.4 Metode Penyebaran 2V : 1H.....	33
3.5 Pengaruh Beban Terhadap Beban Vertikal Tanah.....	34
3.6 Lapisan Tanah	34
3.7 Modulus Geser Tanah (G).....	35
3.8 <i>Dumping ratio</i>	38
3.9 Hubungan Antara <i>Dumping Ratio</i> dan Modulus Geser.....	39
3.10 Regangan Geser Tanah.....	39
3.11 Persamaan Differensial Gerakan MDOF Lapisan Tanah	40
 BAB IV METODE PENELITIAN	46
4.1 Lokasi Data	46

4.2 Data Yang Diperlukan.....	46
4.2.1 Data tanah.....	46
4.2.2 Data gempa	50
4.2.3 Data bangunan	50
4.3 Cara Memperoleh Data	50
4.4 Pengolahan dan Analisa Data	51
 BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	 53
5.1 Hasil Perhitungan Respon Seismik untuk Tanah Pada Daerah Dalangan Tawang Sari Sukoharjo	53
5.2 Perubahan Kandungan Frekuensi, Percepatan Tanah, Kecepatan tanah dan Simpangan Tanah Yang Terjadi Akibat Gempa.....	73
5.3 Amplifikasi Respon Seismik Pada Permukaan Lapisan Tanah.....	74
5.4 Respon Seismik Maksimum Yang Terjadi Pada Tiap Lapisan Tanah	77
5.5 Hasil Perhitungan Respon Seismik untuk Tanah Pada Daerah Dalangan Tawang Sari II Sukoharjo	82
5.6 Perubahan Kandungan Frekuensi, Percepatan Tanah, Kecepatan tanah dan Simpangan Tanah Yang Terjadi Akibat Gempa.....	102
5.7 Amplifikasi Respon Seismik Pada Permukaan Lapisan Tanah.....	103
5.8 Respon Seismik Maksimum Yang Terjadi Pada Tiap Lapisan Tanah	106
5.9 Hasil Perhitungan Respon Seismik untuk Tanah Pada Daerah Jl. Pemuda Semarang	111

5.10 Perubahan Kandungan Frekuensi, Percepatan Tanah, Kecepatan tanah dan Simpangan Tanah Yang Terjadi Akibat Gempa.....	131
5.11 Amplifikasi Respon Seismik Pada Permukaan Lapisan Tanah.....	132
5.12 Respon Seismik Maksimum Yang Terjadi Pada Tiap Lapisan Tanah	140
5.13 Hasil Perhitungan Respon Seismik untuk Tanah Pada Daerah Jl. Pemuda Semarang Untuk Gempa Yang di Normalisasi	140
5.14 Perubahan Kandungan Frekuensi, Percepatan Tanah, Kecepatan tanah dan Simpangan Tanah Yang Terjadi Akibat Gempa.....	160
5.15 Amplifikasi Respon Seismik Pada Permukaan Lapisan Tanah.....	161
5.16 Respon Seismik Maksimum Yang Terjadi Pada Tiap Lapisan Tanah	164
BAB VI ANALISIS PERHITUNGAN	172
6.1 Umum	172
6.2 Perhitungan Karakteristik Dinamika Tanah Daerah Dalangan Tawangsari Sukoharjo Dengan Dipengaruhi Massa Bangunan di Atas Lapisan Tanah Untuk Gempa Koyna.....	173
6.2.1 Menghitung K_0	173
6.2.2 Menghitung $\bar{\sigma}$	173
6.2.3 Menghitung G_{Max}	174
6.2.4 Menghitung Massa.....	174
6.2.5 Menghitung regangan geser.....	175

6.2.6 Menghitung kekakuan	176
6.2.7 Perhitungan lamda dan frekuensi alam	177
6.2.8 Perhitugn mode shape.....	177
6.2.9 Perhitungan <i>damping ratio</i>	178
6.2.10 Perhitungan respon seismic lapisan tanah.....	178
6.3 Perhitungan Karakteristik Dinamika Tanah Daerah Dalangan Tawangsari Sukoharjo Tanpa Massa Bangunan di Atas Lapisan Tanah Untuk Gempa Koyna.....	179
6.3.1 Menghitung K_0	179
6.3.2 Menghitung $\bar{\sigma}$	179
6.3.3 Menghitung G_{Max}	180
6.3.4 Menghitung Massa.....	180
6.3.5 Menghitung regangan geser.....	181
6.3.6 Menghitung kekakuan	182
6.3.7 Perhitungan lamda dan frekuensi alam	182
6.3.8 Perhitugn mode shape.....	183
6.3.9 Perhitungan <i>damping ratio</i>	183
6.3.10 Perhitungan respon seismic lapisan tanah.....	184
6.4 Perhitungan Karakteristik Dinamika Tanah Daerah Dalangan Tawangsari Sukoharjo Dengan Dipengaruhi Massa Bangunan di Atas Lapisan Tanah Untuk Gempa Kobe.....	185

6.4.1 Menghitung K_0	185
6.4.2 Menghitung $\bar{\sigma}$	185
6.4.3 Menghitung G_{Max}	186
6.4.4 Menghitung Massa.....	186
6.4.5 Menghitung regangan geser.....	187
6.4.6 Menghitung kekakuan	188
6.4.7 Perhitungan lamda dan frekuensi alam	189
6.4.8 Perhitugn mode shape.....	189
6.4.9 Perhitungan <i>damping ratio</i>	190
6.4.10 Perhitungan respon seismic lapisan tanah.....	190
6.5 Perhitungan Karakteristik Dinamika Tanah Daerah Dalangan Tawang Sari Sukoharjo Tanpa Massa Bangunan di Atas Lapisan Tanah Untuk Gempa Kobe.....	191
6.5.1 Menghitung K_0	191
6.5.2 Menghitung $\bar{\sigma}$	191
6.5.3 Menghitung G_{Max}	192
6.5.4 Menghitung Massa.....	192
6.5.5 Menghitung regangan geser.....	193
6.5.6 Menghitung kekakuan	194
6.5.7 Perhitungan lamda dan frekuensi alam	194
6.5.8 Perhitugn mode shape.....	195

6.5.9 Perhitungan <i>damping ratio</i>	196
6.5.10 Perhitungan respon seismic lapisan tanah.....	196
6.6 Perhitungan Karakteristik Dinamika Tanah Daerah Dalangan Tawangsari Sukoharjo Dengan Dipengaruhi Massa Bangunan di Atas Lapisan Tanah Untuk Gempa Miiyaki.....	197
6.6.1 Menghitung K_0	197
6.6.2 Menghitung $\bar{\sigma}$	197
6.6.3 Menghitung G_{Max}	198
6.6.4 Menghitung Massa.....	198
6.6.5 Menghitung regangan geser.....	199
6.6.6 Menghitung kekakuan	200
6.6.7 Perhitungan lamda dan frekuensi alam	201
6.6.8 Perhitungn mode shape.....	201
6.6.9 Perhitungan <i>damping ratio</i>	202
6.6.10 Perhitungan respon seismic lapisan tanah.....	202
6.7 Perhitungan Karakteristik Dinamika Tanah Daerah Dalangan Tawangsari Sukoharjo Tanpa Massa Bangunan di Atas Lapisan Tanah Untuk Gempa Miiyaki.....	203
6.7.1 Menghitung K_0	203
6.7.2 Menghitung $\bar{\sigma}$	203
6.7.3 Menghitung G_{Max}	204

6.7.4 Menghitung Massa.....	204
6.7.5 Menghitung regangan geser.....	205
6.7.6 Menghitung kekakuan	206
6.7.7 Perhitungan lamda dan frekuensi alam	206
6.7.8 Perhitungn mode shape.....	207
6.7.9 Perhitungan <i>damping ratio</i>	207
6.7.10 Perhitungan respon seismic lapisan tanah.....	208
6.8 Perhitungan Karakteristik Dinamika Tanah Daerah Dalangan Tawangsari Sukoharjo Dipengaruhi Massa Bangunan di Atas Lapisan Tanah Untuk Gempa El Centro.....	209
6.8.1 Menghitung K_0	209
6.8.2 Menghitung $\bar{\sigma}$	209
6.8.3 Menghitung G_{Max}	210
6.8.4 Menghitung Massa.....	210
6.8.5 Menghitung regangan geser.....	211
6.8.6 Menghitung kekakuan	212
6.8.7 Perhitungan lamda dan frekuensi alam	213
6.8.8 Perhitungn mode shape.....	213
6.8.9 Perhitungan <i>damping ratio</i>	214
6.8.10 Perhitungan respon seismic lapisan tanah.....	214

6.9 Perhitungan Karakteristik Dinamika Tanah Daerah Dalangan Tawangsari Sukoharjo Tanpa Massa Bangunan di Atas Lapisan Tanah Untuk Gempa El Centro.....	215
6.9.1 Menghitung K_0	215
6.9.2 Menghitung $\bar{\sigma}$	215
6.9.3 Menghitung G_{Max}	216
6.9.4 Menghitung Massa.....	216
6.9.5 Menghitung regangan geser.....	217
6.9.6 Menghitung kekakuan	218
6.9.7 Perhitungan lamda dan frekuensi alam	218
6.9.8 Perhitugn mode shape.....	219
6.9.9 Perhitungan <i>damping ratio</i>	219
6.9.10 Perhitungan respon seismic lapisan tanah.....	220
BAB VII KESIMPULAN DAN REKOMENDASI.....	221
7.1 Kesimpulan	221
7.2 Rekomendasi.....	223
DAFTAR PUSTAKA.....	224
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pengaruh indeks plastisitas terhadap spektrum percepatan.....	7
Gambar 2.2	Pengaruh kedalaman terhadap spektrum percepatan.....	8
Gambar 2.3	Batas-batas Atterberg.....	11
Gambar 2.4	Variasi volume dan kadar air pada kedudukan batas cair, batas plastis dan batas susutnya	12
Gambar 2.5	Penyebaran beban 2V : 1H	16
Gambar 2.6	Massa tergumpal pada lapisan horisontal	18
Gambar 2.7	Nilai G/G_{max} untuk nilai regangan geser tertentu pada semua Jenis tanah	21
Gambar 2.8	Nilai N Equivalent.....	22
Gambar 2.9	Perubahan propertis tanah dengan regangan geser, prinsip Corresponding modelling dan metode respon analisis.....	23
Gambar 2.10	Sistim SDOF yang mengalami translasi dasar tegar	24
Gambar 2.11	Perbedaan dasar antara beban statis dan dinamik.....	25
Gambar 2.12	Model matematika untuk sistim berderajat kebebasan tunggal	26
Gambar 2.13	Sistim dinamis struktur tanah MDOF dua lapis.....	28
Gambar 2.14	Derivatif pertama dengan metode “central difference”	30
Gambar 3.1	Nilai G/G_{max} untuk nilai regangan geser tertentu pada semua Jenis tanah	37

Gambar 3.2	Nilai N Equivalent.....	38
Gambar 3.11	Sistim struktur tanah MDOF empat lapis	40
Gambar 6.2	Profil tanah Tawangsari Sukoharjo	47
Gambar 6.3	Profil tanah Tawangsari II Sukoharjo	48
Gambar 6.4	Profil tanah Jl. Pemuda Semarang	49
Gambar 5.1	Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Koyna Tawangsari, Sukoharjo tanpa massa bangunan.....	54
Gambar 5.2	Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Koyna Tawangsari, Sukoharjo tanpa massa bangunan.....	55
Gambar 5.3	Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Koyna Tawangsari, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan.....	56
Gambar 5.4	Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Koyna Tawangsari, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan..	57
Gambar 5.5	Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Kobe Tawangsari, Sukoharjo tanpa massa bangunan.....	58
Gambar 5.6	Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Kobe Tawangsari, Sukoharjo tanpa massa bangunan.....	59
Gambar 5.7	Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Kobe Tawangsari, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan.....	60
Gambar 5.8	Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Kobe Tawangsari, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan.....	61
Gambar 5.9	Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Miiyaki	

Tawang Sari, Sukoharjo tanpa massa bangunan.....	62
Gambar 5.10 Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Miiyaki	
Tawang Sari, Sukoharjo tanpa massa bangunan.....	63
Gambar 5.11 Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Miiyaki	
Tawang Sari, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan.....	64
Gambar 5.12 Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Miiyaki	
Tawang Sari, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan.....	65
Gambar 5.13 Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa El Centro	
Tawang Sari, Sukoharjo tanpa massa bangunan.....	66
Gambar 5.14 Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa El Centro	
Centro Tawang Sari, Sukoharjo tanpa massa bangunan.....	67
Gambar 5.15 Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa El Centro	
Tawang Sari, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan.....	68
Gambar 5.16 Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa El Centro	
Tawang Sari, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan.....	69
Gambar 5.17 Grafik respon seismik tanah terhadap ketebalan tanah akibat	
gempa Koyna, Tawang Sari Sukoharjo	78
Gambar 5.18 Grafik respon seismik tanah terhadap ketebalan tanah akibat	
gempa Kobe, Tawang Sari Sukoharjo	79
Gambar 5.19 Grafik respon seismik tanah terhadap ketebalan tanah akibat	
gempa Miiyaki, Tawang Sari Sukoharjo	80
Gambar 5.20 Grafik respon seismik tanah terhadap ketebalan tanah akibat	

gempa El Centro, Tawang Sari Sukoharjo	81
Gambar 5.21 Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Koyna Tawang Sari, Sukoharjo II tanpa massa bangunan.....	83
Gambar 5.22 Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Koyna Tawang Sari, Sukoharjo II tanpa massa bangunan.....	84
Gambar 5.23 Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Koyna Tawang Sari, Sukoharjo II dipengaruhi massa bangunan.....	85
Gambar 5.24 Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Koyna Tawang Sari, Sukoharjo II dipengaruhi massa bangunan.....	86
Gambar 5.25 Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Kobe Tawang Sari, Sukoharjo II tanpa massa bangunan.....	87
Gambar 5.26 Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Kobe Tawang Sari, Sukoharjo II tanpa massa bangunan.....	88
Gambar 5.27 Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Kobe Tawang Sari, Sukoharjo II dipengaruhi massa bangunan.....	89
Gambar 5.28 Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Kobe Tawang Sari, Sukoharjo II dipengaruhi massa bangunan.....	90
Gambar 5.29 Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Miiyaki Tawang Sari, Sukoharjo II tanpa massa bangunan.....	91
Gambar 5.30 Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Miiyaki Tawang Sari, Sukoharjo II tanpa massa bangunan.....	92
Gambar 5.31 Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Miiyaki	

	Tawang Sari, Sukoharjo II dipengaruhi massa bangunan.....	93
Gambar 5.32	Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Miiyaki Tawang Sari, Sukoharjo II dipengaruhi massa bangunan.....	94
Gambar 5.33	Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa El Centro Tawang Sari, Sukoharjo II tanpa massa bangunan.....	94
Gambar 5.34	Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa El Centro Tawang Sari, Sukoharjo II tanpa massa bangunan.....	96
Gambar 5.35	Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa El Centro Tawang Sari, Sukoharjo II dipengaruhi massa bangunan.....	97
Gambar 5.36	Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa El Centro Tawang Sari, Sukoharjo II dipengaruhi massa Bangunan.....	98
Gambar 5.37	Grafik respon seismik tanah terhadap ketebalan tanah akibat gempa Koyna, Tawang Sari II Sukoharjo	107
Gambar 5.38	Grafik respon seismik tanah terhadap ketebalan tanah akibat gempa Kobe, Tawang Sari II Sukoharjo	108
Gambar 5.39	Grafik respon seismik tanah terhadap ketebalan tanah akibat gempa Miiyaki, Tawang Sari II Sukoharjo	109
Gambar 5.40	Grafik respon seismik tanah terhadap ketebalan tanah akibat gempa El Centro, Tawang Sari II Sukoharjo	110
Gambar 5.41	Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Koyna daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan.....	112

Gambar 5.42	Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Koyna daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan.....	113
Gambar 5.43	Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Koyna daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.....	114
Gambar 5.44	Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Koyna daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.....	115
Gambar 5.45	Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Kobe daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan.....	116
Gambar 5.46	Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Kobe daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan.....	117
Gambar 5.47	Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Kobe daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.....	118
Gambar 5.48	Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Kobe daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.....	119
Gambar 5.49	Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Miiyaki daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan.....	120
Gambar 5.50	Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Miiyaki daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan.....	121
Gambar 5.51	Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Miiyaki daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan...	122
Gambar 5.52	Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Miiyaki daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.....	123

Gambar 5.53	Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa El Centro daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan.....	124
Gambar 5.54	Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa El Centro daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan..	125
Gambar 5.55	Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa El Centro daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunnn...	126
Gambar 5.56	Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa El Centro daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan...	127
Gambar 5.57	Grafik respon seismik tanah terhadap ketebalan tanah akibat gempa Koyna, Jl. Pemuda Semarang.....	136
Gambar 5.58	Grafik respon seismik tanah terhadap ketebalan tanah akibat gempa Kobe, Jl Pemuda Semarang	137
Gambar 5.59	Grafik respon seismik tanah terhadap ketebalan tanah akibat gempa Miiyaki, Jl. Pemuda Semarang.....	138
Gambar 5.60	Grafik respon seismik tanah terhadap ketebalan tanah akibat gempa El Centro, Jl. Pemuda Semarang	139
Gambar 5.61	Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Koyna yang telah di Normalisasi daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan.....	141
Gambar 5.62	Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Koyna yang telah di Normalisasi daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan.....	142

Gambar 5.63 Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Koyna yang telah di Normalisasi Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.....	143
Gambar 5.64 Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Koyna yang telah di Normalisasi daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.....	144
Gambar 5.65 Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Kobe yang telah di Normalisasi daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan.....	145
Gambar 5.66 Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Kobe yang telah di Normalisasi daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan.....	146
Gambar 5.67 Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Kobe yang telah di Normalisasi Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.....	147
Gambar 5.68 Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Kobe yang telah di Normalisasi daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.....	148
Gambar 5.69 Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Miiyaki yang telah di Normalisasi daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan.....	149
Gambar 5.70 Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Miiyaki	

	yang telah di Normalisasi daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan.....	150
Gambar 5.71	Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa Miiyaki yang telah di Normalisasi Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.....	151
Gambar 5.72	Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa Miiyaki yang telah di Normalisasi daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.....	152
Gambar 5.73	Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa El Centro yang telah di Normalisasi daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan.....	153
Gambar 5.74	Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa El Centro yang telah di Normalisasi daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan.....	154
Gambar 5.75	Grafik percepatan dan kecepatan akibat gempa El Centro yang telah di Normalisasi Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.....	155
Gambar 5.76	Grafik simpangan dan regangan geser akibat gempa El Centro yang telah di Normalisasi daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.....	156
Gambar 5.77	Normalisasi Koyna ke Miiyaki.....	165
Gambar 5.78	Normalisasi Kobe ke Miiyaki.....	166

Gambar 5.79	Normalisasi El Centro ke Miiyaki.....	167
Gambar 5.80	Grafik respon seismik tanah terhadap ketebalan tanah akibat gempa Koyna yang telah di Normalisasi daerah Semarang ...	168
Gambar 5.81	Grafik respon seismik tanah terhadap ketebalan tanah akibat gempa Kobe yang telah di Normalisasi daerah Semarang.....	169
Gambar 5.82	Grafik respon seismik tanah terhadap ketebalan tanah akibat gempa Miiyaki yang telah di Normalisasi daerah Semarang...	170
Gambar 5.83	Grafik respon seismik tanah terhadap ketebalan tanah akibat gempa El Centro yang telah di Normalisasi daerah Semarang	171
Gambar 6.1	Profil Lapisan tanah	172

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Nilai indeks plastisitas dan macam tanah	12
Tabel 2.2	Nilai PI dan k.....	19
Tabel 2.3	Nilai “dumping ratio” maksimum untuk beberapa jenis tanah	21
Tabel 5.1	Perbandingan percepatan yang terjadi akibat gempa daerah Tawang Sari, Sukoharjo.....	53
Tabel 5.2	Perbandingan kecepatan yang terjadi akibat gempa daerah Tawang Sari, Sukoharjo.....	70
Tabel 5.3	Perbandingan simpangan yang terjadi akibat gempa daerah Tawang Sari, Sukoharjo.....	70
Tabel 5.4	Perbandingan regangan geser yang terjadi akibat gempa daerah Tawang Sari, Sukoharjo.....	70
Tabel 5.5	Besarnya Amplifikasi untuk daerah Tawang Sari.....	74
Tabel 5.6	Besarnya Perubahan Respon Seismik untuk Daerah Tawang Sari , Sukoharjo.....	76
Tabel 5.7	Perbandingan percepatan yang terjadi akibat gempa daerah Tawang Sari II, Sukoharjo.....	82
Tabel 5.8	Perbandingan kecepatan yang terjadi akibat gempa daerah Tawang Sari II, Sukoharjo.....	82
Tabel 5.9	Perbandingan simpangan yang terjadi akibat gempa daerah	

	Tawang Sari II, Sukoharjo.....	99
Tabel 5.10	Perbandingan regangan geser yang terjadi akibat gempa daerah Tawang Sari II , Sukoharjo.....	99
Tabel 5.11	Besarnya Amplifikasi Respon Seismik Daerah Tawang Sari II	103
Tabel 5.12	Besarnya Perubahan Respon Seismik untuk Daerah Tawang Sari II, Sukoharjo.....	106
Tabel 5.13	Perbandingan percepatan yang terjadi akibat gempa daerah Jl. Pemuda Semarang	111
Tabel 5.14	Perbandingan kecepatan yang terjadi akibat gempa daerah Jl. Pemuda Semarang	128
Tabel 5.15	Perbandingan simpangan yang terjadi akibat gempa daerah Jl. Pemuda Semarang	128
Tabel 5.16	Perbandingan regangan geser yang terjadi akibat gempa daerah Jl. Pemuda Semarang	128
Tabel 5.17	Besarnya Amplifikasi Respon Seismik daerah Semarang.....	132
Tabel 5.18	Besarnya Perubahan Respon Seismik untuk Daerah Jl Pemuda, Semarang.....	135
Tabel 5.19	Perbandingan percepatan yang terjadi akibat gempa yang telah dinormalisasi daerah Jl. Pemuda Semarang	140
Tabel 5.20	Perbandingan kecepatan yang terjadi akibat gempa yang telah di Normalisasi daerah Jl. Pemuda Semarang	157
Tabel 5.21	Perbandingan simpangan yang terjadi akibat gempa yang	

	telah di Normalisasi daerah Jl. Pemuda Semarang	157
Tabel 5.22	Perbandingan regangan geser yang terjadi akibat gempa yang telah di Normalisasi daerah Jl. Pemuda Semarang	157
Tabel 5.23	Besarnya Amplifikasi Tanah daerah Semarang akibat gempa Yang telah di Normalisasi.....	161
Tabel 5.24	Besarnya perubahan respon seismik.....	163
Tabel 6.1	Hasil perhitungan G_{max} tanah Tawangsari dengan massa bangunan gempa Koyna	175
Tabel 6.2	Lamda dan frekuensi alam Tawangsari gempa koyna.....	177
Tabel 6.3	Hasil perhitungan “mode shape” Tawangsari gempa Koyna .	177
Tabel 6.4	“Dumping ratio” Desa Tawangsari dengan massa bangunan gempa Koyna	178
Tabel 6.5	Hasil perhitungan G_{max} tanah Tawangsari tanpa massa bangunan gempa Koyna	181
Tabel 6.6	Lamda dan frekuensi alam Tawangsari gempa koyna.....	183
Tabel 6.7	Hasil perhitungan “mode shape” Tawangsari gempa Koyna .	183
Tabel 6.8	“Dumping ratio” Desa Tawangsari tanpa massa bangunan gempa Koyna	184
Tabel 6.9	Hasil perhitungan G_{max} tanah Tawangsari dengan massa bangunan gempa Kobe.....	187
Tabel 6.10	Lamda dan frekuensi alam Tawangsari gempa Kobe.....	189
Tabel 6.11	Hasil perhitungan “mode shape” Tawangsari gempa Kobe.	189

Tabel 6.12	“Dumping ratio” Desa Tawangsari dengan massa bangunan gempa Kobe.....	190
Tabel 6.13	Hasil perhitungan G_{max} tanah Tawangsari tanpa massa bangunan gempa Kobe.....	193
Tabel 6.14	Lamda dan frekuensi alam Tawangsari gempa Kobe.....	195
Tabel 6.15	Hasil perhitungan “mode shape” Tawangsari gempa Kobe.	195
Tabel 6.16	“Dumping ratio” Desa Tawangsari tanpa massa bangunan gempa Kobe	196
Tabel 6.17	Hasil perhitungan G_{max} tanah Tawangsari dengan massa bangunan gempa Miiyaki.....	199
Tabel 6.18	Lamda dan frekuensi alam Tawangsari gempa Miiyaki.....	201
Tabel 6.19	Hasil perhitungan “mode shape” Tawangsari gempa Miiyaki.....	201
Tabel 6.20	“Dumping ratio” Desa Tawangsari dengan massa bangunan gempa Miiyaki.....	202
Tabel 6.21	Hasil perhitungan G_{max} tanah Tawangsari tanpa massa bangunan gempa Miiyaki.....	205
Tabel 6.22	Lamda dan frekuensi alam Tawangsari gempa Miiyaki.....	207
Tabel 6.23	Hasil perhitungan “mode shape” Tawangsari gempa Miiyaki.	207
Tabel 6.24	“Dumping ratio” Desa Tawangsari tanpa massa bangunan gempa Miiyaki	208
Tabel 6.25	Hasil perhitungan G_{max} tanah Tawangsari dengan massa	

	bangunan gempa El Centro.....	211
Tabel 6.26	Lamda dan frekuensi alam Tawangsari gempa El Centro.....	213
Tabel 6.27	Hasil perhitungan “mode shape” Tawangsari gempa El Centro.....	213
Tabel 6.28	“Dumping ratio” Desa Tawangsari dengan massa bangunan gempa El Centro.....	214
Tabel 6.29	Hasil perhitungan $G_{\max}$ tanah Tawangsari tanpa massa bangunan gempa El Centro.....	217
Tabel 6.30	Lamda dan frekuensi alam Tawangsari gempa El Centro....	219
Tabel 6.31	Hasil perhitungan “mode shape” Tawangsari gempa El Centro	219
Tabel 6.32	“Dumping ratio” Desa Tawangsari tanpa massa bangunan gempa El Centro.....	220

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Lembar Konsultasi
- Lampiran 2 : Listing Program Komputer
- Lampiran 3 : Diagram alur (*flow chart*)

DAFTAR NOTASI

$D = \xi$	= “Dumping ratio”
e	= Angka pori
f	= Frekuensi (putaran per detik)
G_s	= Berat jenis tanah
$G_{\max}$	= Modulus geser (kg/cm^2)
g	= Percepatan gravitasi (kg/cm^2)
h	= Tebal lapisan tanah (cm)
γ	= Berat volume tanah (gr/cm^3)
γ_w	= Berat volume air (gr/cm^3)
γ'	= Berat volume tanah jenuh air (gr/cm^3)
K	= Kekakuan (kg/cm)
K_o	= <i>Coefficient of lateral earth pressure at rest</i>
$[K]$	= Matrik kekakuan
m	= Massa ($\text{kg cm}^2/\text{dt}$)
$[M]$	= Matrik massa
N	= Number equivalent of cycles at $0.65 \tau_{\max}$
OCR	= Over Consolidation ratio
PI	= Indeks Plastisitas (%)
ϕ	= Sudut geser tanah (°)

ϕ	= Mode shape
T	= Periode getar (dt)
Γ	= Partisipasi setiap mode
Δt	= Selisih waktu gempa (dt)
$\bar{\sigma}_1$	= Tegangan efektif vertikal (kg/cm ²)
$\bar{\sigma}_o$	= Tegangan kekang vertikal (kg/cm ²)
ω	= Frekuensi alam (rad/dt)
$\ddot{y}$	= Percepatan tanah (cm/dt ²)
y	= Simpangan tanah (cm)
$\ddot{Z}$	= Modal Amplitudo

Abstraksi

Respon Seismic lapisan tanah akibat gempa merupakan suatu parameter gerakan tanah akibat gempa. Selama getaran menjalar dari pusat gempa sampai ke permukaan tanah, maka faktor tanah sebagai penghantar getaran merupakan parameter yang sangat penting. Tanah bukan material yang kaku dan mempunyai kekakuan dan peredaman yang bervariasi. Selain faktor tanah terdapat banyak variabel yang mempengaruhi respon seismik lapisan tanah antara lain massa bangunan di atas lapisan tanah. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh massa bangunan terhadap respon seismik lapisan tanah.

Penelitian ini menggunakan 3 data tanah yang berlokasi di Dalangan Tawangsari I & Tawangsari II, Sukoharjo, dan tanah yang berlokasi di Jl. Pemuda Semarang. Selain itu juga digunakan empat data gempa yaitu Gempa Koyna, El Centro, Miyaki dan Kobe dan massa bangunan seberat 13000 Ton. Analisis hitungan menggunakan metode analisa dinamika struktur "Multi Degree of Freedom", pemodelan matematis lapisan tanah berupa model "shear building", dengan bantuan program komputer Delphi.

Hasil analisis menunjukkan bahwa respon seismik lapisan tanah terdapat perubahan antara yang terdapat massa bangunan dengan tanpa massa bangunan sebesar 7% - 64%. Respon seismik lapisan tanah yang terjadi paling tinggi terdapat pada lokasi Jl. Pemuda Semarang.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Karakteristik lapisan tanah mempunyai pengaruh yang harus diperhitungkan agar pengaruhnya terhadap gelombang energi gempa dari dasar tanah keras sampai permukaan tanah dapat diketahui. Apakah terjadi amplifikasi atau deamplifikasi gelombang energi gempa dari dasar tanah yang keras sampai pada permukaan tanah akan bergantung banyak hal. Untuk itulah pengaruh kondisi tanah lokal (*site effect*) dan kondisi topografi terhadap gelombang gempa perlu diketahui secara jelas. Kondisi lokal tanah tersebut muncul setelah terjadinya perbedaan antara intensitas gempa yang dideteksi dengan pola kerusakan bangunan yang terjadi.

Beberapa penelitian terdahulu menyebutkan bahwa : sifat-sifat fisik lapisan tanah, kedalaman lapisan tanah, kandungan frekuensi getaran gempa, jarak, kandungan amplitudo getaran gempa, dan topografi permukaan tanah mempunyai pengaruh terhadap rambatan gelombang energi gempa.

Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh massa bangunan terhadap respon seismik lapisan tanah dengan cara analisa matematis. Umumnya percepatan pada permukaan tanah yang terjadi akibat

gempa direkam pada kondisi *free field* atau tidak terdapat massa bangunan diatas lapisan tanah.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa massa bangunan mempunyai efek terhadap rekaman gempa dari hasil perbandingan gempa yang direkam di lantai basement gedung yang relatif besar dengan gempa yang direkam pada permukaan tanah (*free field*) menunjukkan bahwa percepatan tanah akibat gempa yang direkam di basement tersebut rata-rata 24% lebih rendah daripada apabila direkam pada permukaan tanah. Sehingga penelitian ini akan melakukan pendekatan matematis untuk mengetahui efek massa bangunan terhadap percepatan tanah akibat gempa.

1.2 Rumusan Permasalahan

Melihat dari latar belakang penelitian maka dapat dirumuskan suatu permasalahan yang akan menjadi obyek penelitian ini yaitu bagaimana pengaruh massa bangunan terhadap respon seismik lapisan tanah.

1.3 Tujuan Penelitian

Melihat dari apa yang telah dirumuskan diatas, maka penelitian ini dilakukan bertujuan untuk :

1. Untuk memperoleh respon seismik lapisan tanah (percepatan tanah, kecepatan tanah, simpangan tanah dan regangan geser tanah) akibat gempa pada kondisi *free field*.
2. Untuk memperoleh respon seismik lapisan tanah (percepatan tanah, kecepatan tanah, simpangan tanah dan regangan geser tanah)akibat gempa pada kondisi terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah.

3. Kemudian membandingkan dan menganalisa respon seismik lapisan tanah pada kondisi *free field* dan pada kondisi terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah untuk mengetahui pengaruh massa bangunan terhadap respon seismik lapisan tanah.

1.4 Batasan Penelitian

Seperti yang telah disebutkan pada latar belakang penelitian di atas bahwa terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi respon seismik lapisan tanah antara lain : Besarnya magnitude gempa, jarak episenter gempa, properti lapisan tanah, kondisi topografi lapisan tanah, ketebalan lapisan tanah, jenis mekanisme terjadinya gempa, dan kondisi geologi tanah yang dilalui gelombang gempa. Melihat banyaknya variabel di atas sementara penelitian ini mempunyai keterbatasan-keterbatasan maka perlu adanya batasan masalah pada penelitian ini agar analisis menjadi sederhana dan lebih mudah dipahami tetapi diupayakan tetap realistis, yaitu :

1. Penelitian ini tidak memperhitungkan perubahan propertis tanah setelah terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah.
2. Penelitian ini tidak memperhitungkan adanya peningkatan tekanan air pori tanah akibat terjadinya gempa.
3. Lapisan tanah yang dianalisis dianggap mempunyai kondisi topografi yang sama.
4. Kondisi geologi tanah yang dilalui gelombang gempa dari sumber gempa sampai lokasi lapisan tanah yang ditinjau dianggap sama.
5. Penelitian ini tidak memperhitungkan jenis mekanisme terjadinya gempa.

6. Bangunan yang dipakai sebagai analisis mempunyai berat : 13000 Ton.
7. Lapisan tanah dianggap tidak mengalami defleksi dalam arah vertikal.
8. Lapisan tanah ditinjau dalam dua dimensi.
9. Lapisan tanah dianggap berperilaku seperti *shear building*.
10. Properti tanah yang dipakai sebagai analisis diambil dari propertis lapisan tanah yang berlokasi di daerah Dalangan Tawangsari I, Tawangsari II, dan Jl. Pemuda Semarang dengan ketebalan lapisan tanah masing–masing : 25 m, 25m dan 18 m.
11. Data gempa yang dipakai adalah data Gempa :
 Koyna dengan Magnitude 6,5 Richter dan jarak episenter : 5,6 Km,
 Kobe dengan Magnitude 7,2 Richter dan jarak episenter : 19,2 Km,
 Miiyaki dengan Magnitude 7,4 Richter dan jarak episenter : 100 Km,
 dan El Centro dengan Magnitude 7,1 Richter dan jarak episenter : 9,0 Km.
12. Gempa dianggap terjadi di *base rock* dengan cara melakukan *scaled down* rekaman gempa di permukaan tanah.
13. Pondasi terletak pada kedalaman –3 m dari permukaan tanah.
14. Damping ratio yang dipakai hanya pada tanah di bawah bangunan, tidak memperhitungkan *external dumping*.
15. Profil tanah yang dipakai sebagai analisis adalah profil tanah dalam kondisi tidak terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah.
16. Nilai $\bar{\sigma}_o$ pada penelitian ini merupakan tegangan efektif octahedral.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah untuk pengembangan analisis dinamika struktur di lapangan maupun sebagai bahan masukan dalam penanganan kasus yang melibatkan faktor tanah dalam analisis struktur, yang pada akhirnya merupakan bagian untuk mengembangkan metode analisis yang lebih realistis dalam mencapai optimasi perencanaan bangunan tahan gempa.

1.6 Hipotesis

Melihat hasil penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya maka dapat disusun suatu hipotesis untuk penelitian ini bahwa massa bangunan akan menyebabkan deamplifikasi respon seismik lapisan tanah.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

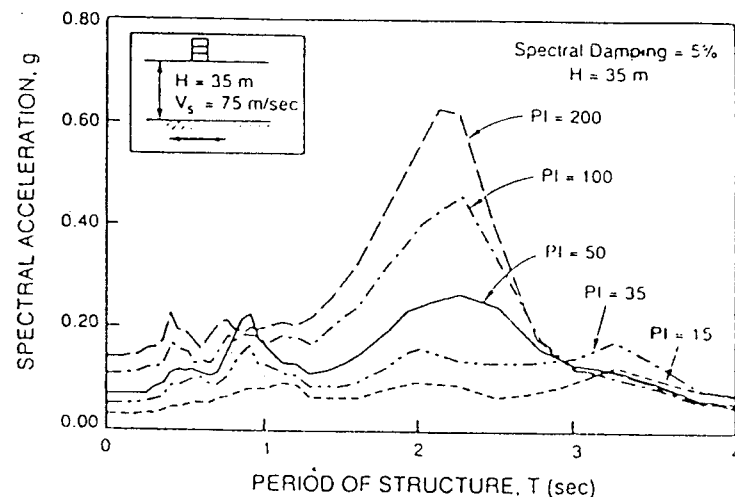
2.1 Pengaruh Kondisi Tanah pada Intensitas Getaran.

Gazetas (1986), menyampaikan bahwa setelah gelombang energi gempa mencapai lapisan batuan keras (*base rock*) di bawah fondasi bangunan, maka kondisi tanah di bawah fondasi tersebut akan berpengaruh terhadap rambatan energi gempa. Ada kecenderungan bahwa kondisi tanah tertentu akan berpengaruh besar terhadap kerusakan bangunan akibat dari gelombang energi gempa yang mengalami amplifikasi.

2.2 Faktor–Faktor Yang Akan Berpengaruh Terhadap Amplifikasi Energi Gempa.

Hasil studi yang dilakukan oleh Vucetic dan Dobry (1991), menunjukkan bahwa semakin besar nilai indeks plastisitas lapisan tanah maka semakin besar pula percepatan tanah yang terjadi di permukaan. Hal ini terjadi karena tanah yang tinggi nilai PI-nya akan berkecenderungan bersifat elastik walaupun ada nilai regangan yang relatif besar sekalipun. Kecenderungan selalu bersifat elastik akan memungkinkan kapasitas menahan gaya/beban yang selalu bertambah sehingga respon tanahpun juga selalu bertambah. Seperti yang telah disebutkan di atas tanah yang mempunyai nilai

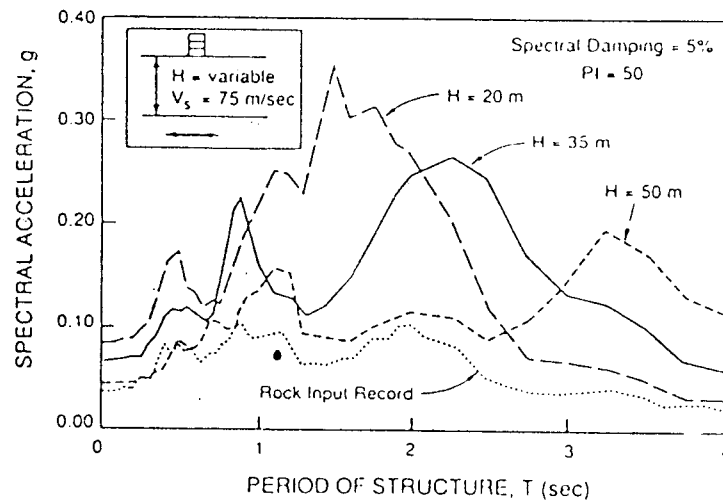
PI yang tinggi akan bersifat elastik, maka luasan didalam *hysteretic loop* pada beban dinamik tanah akan semakin kecil. Hal ini berarti bahwa redaman material tanah menjadi semakin kecil. Apabila redaman material tanah semakin kecil, maka respon tanah akibat gempa semakin besar. Amplifikasi percepatan tanah adalah salah satu akibat dari kecilnya nilai redaman material tanah endapan. Kombinasi antara sifat elastik dan redaman material yang relatif kecil pada tanah dengan indeks plastisitas tinggi akan menyebabkan kemungkinan terjadinya amplifikasi percepatan tanah. Hal itu dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Pengaruh indeks plastisitas terhadap spektrum percepatan

Seed & Idriss (1982) dari hasil penelitian pada gempa Caracas (1967) ditemukan bahwa bangunan-bangunan tinggi di sisi timur kota yang terletak di atas lapisan tanah sedalam 100–225 m mengalami kerusakan yang lebih besar dibanding bangunan-bangunan tinggi di sisi barat kota yang terletak di atas tanah endapan sedalam 25–90 m. Apabila kedalaman endapan tanah *clay* semakin dalam maka

kekakuan struktur tanah akan semakin kecil. Kekakuan struktur tanah yang mengecil akan menyebabkan waktu getar (T) lapisan tanah menjadi lebih besar sebagaimana hasil analisa yang disampaikan oleh Vucetic & Dobry seperti pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Pengaruh kedalaman lapisan tanah terhadap spektrum percepatan

Sedangkan (Achmad Muzni Chasanudin, Chistian Hariady Girsang, Theo F. Najoran, Paulus Pramono Rahardjo) (1999) menyatakan bahwa perletakan *base rock* mempunyai pengaruh terhadap percepatan gempa permukaan. Mereka meneliti percepatan gempa dengan menempatkan posisi *base rock* pada kedalaman berbeda-beda pada lokasi Tanjung Priok dan Sudirman. Base rock yang digunakan diasumsikan terletak pada kedalaman 80 m, 120 m, 150 m, 200 m, 250 m. Penelitian ini diketahui bahwa pada kedalaman $< 100 \text{ m}$ pengaruh yang terjadi akibat perletakan *base motion* sangat kecil bila dibandingkan diletakkan pada kedalaman $> 100 \text{ m}$. Percepatan permukaan yang terjadi pada *base rock* yang terletak pada kedalaman

<100 m lebih besar dari pada percepatan permukaan yang terjadi pada *base rock* yang terletak pada kedalaman >100 m.

Kandungan frekuensi gempa ternyata juga berpengaruh pada amplifikasi gelombang gempa seperti yang dinyatakan oleh Seed & Idriss (1982). Selama merambat melalui media tanah, maka getaran gempa akan mengalami redaman yang disebabkan oleh sifat nonlinear dari tanah yang bersangkutan. Pengalaman dari banyak peristiwa gempa menunjukkan bahwa media tanah selain meredam getaran gempa juga bersifat memfilter gempa terutama getaran–getaran yang mempunyai frekuensi tinggi. Penurunan frekuensi akan menyebabkan kecepatan getaran tanah menjadi lebih besar. Seperti yang telah diketahui kecepatan getaran tanah akibat gempa mempunyai akibat yang lebih serius terhadap bangunan, terutama pada bangunan–bangunan tinggi. Frekuensi getaran yang menurun berarti periode getar naik. Pada bangunan–bangunan yang tinggi periode getar struktur bangunan juga relatif tinggi maka antara periode getar lapisan tanah akan cenderung mendekati periode getar struktur bangunan. Dengan keadaan tersebut maka peristiwa resonansi akan semakin mendekat, padahal resonansi akan mengakibatkan simpangan struktur menjadi sangat besar. Dengan demikian menurunnya frekuensi getaran tanah akan mempunyai akibat yang tidak baik terhadap bangunan–bangunan tinggi.

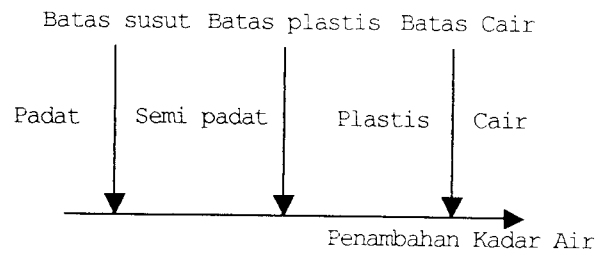
Efek topografi terhadap kerusakan bangunan di permukaan tanah juga dilaporkan oleh Paulay dan Priesley (1992) pada gempa Chile (1985). Menurutny, bangunan–bangunan yang sama tinggi, sama pemanfaatannya, sama waktu

pelaksanaannya dan dibangun oleh kontraktor yang sama yang dibangun di puncak perbukitan mengalami kerusakan yang lebih besar dibanding bangunan-bangunan yang dibangun di lembah bukit. Hal serupa juga dilaporkan oleh Seed dan Idriss (1982) bahwa maksimum percepatan tanah terjadi di puncak bukit.

2.3 Batas-batas Atterberg

Suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Istilah plastisitas digambarkan sebagai kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak atau remuk.

Casagrande (1948) mengatakan bahwa pada tanah *fine-grained* soil (tanah berbutir halus) dapat terdiri dari empat bentuk tergantung dari kadar airnya, yaitu : cair, plastis, semi padat atau padat. Kedudukan kadar air transisi bervariasi pada berbagai jenis tanah. Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut konsistensi. Konsistensi tergantung pada gaya tarik antara partikel mineral lempungnya. Sembarang pengurangan kadar air menghasilkan berkurangnya tebal lapisan kation dan terjadi penambahan gaya tarik antar partikelnya. Bila tanah dalam kedudukan plastis, besarnya jaringan gaya antar partikel akan sedemikian hingga partikelnya bebas untuk relatif menggelincir antara satu dengan yang lainnya, dengan kohesi antaranya tetap terpelihara. Pengurangan kadar air juga menghasilkan pengurangan volume tanah. Sangat banyak tanah berbutir halus yang ada di alam dengan kedudukan plastis.



Gambar 2.3 Batas-batas Atterberg
(Casagrande, 1948)

Cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar airnya. Batas-batas tersebut adalah batas cair, batas plastis dan batas susut. Kedudukan batas konsistensi dari tanah kohesif disajikan pada gambar diatas.

2.3.1 Batas cair (liquid limit)

Batas cair (LL) didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis.

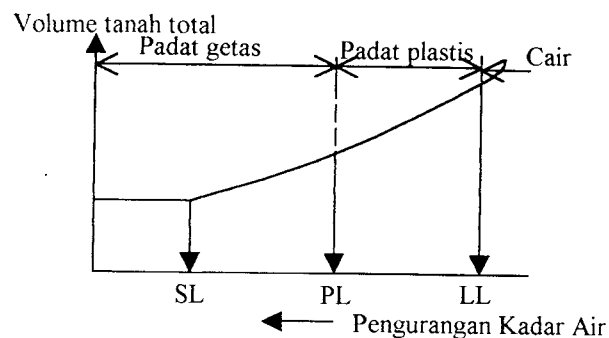
2.3.2 Batas plastis (plastic limit)

Batas plastis (PL) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat.

2.3.3 Batas susut (Shrinkage Limit)

Batas susut (SL) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat.

2.3.4 Indeks plastisitas (plasticity indeks)



Gambar 2.4 Variasi volume dan kadar air pada kedudukan batas cair, batas plastis dan batas susutnya. (Casagrande, 1948)

Indeks plastisitas (PI) adalah selisih batas cair dan batas plastis. Indeks plastisitas akan merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastis menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis yang kecil, maka keadaan ini disebut dengan tanah kurus. Kebalikannya, jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis yang besar disebut tanah gemuk. Batasan mengenai indeks plastis, sifat, macam tanah dan kohesinya diberikan oleh Atterberg terdapat dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai indeks plastisitas dan macam tanah.

PI	Sifat	Macam tanah	kohesi
0	Nonplastis	Pasir	Nonkohesif
<7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7-17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
>17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

2.4 Lempung *Normally Consolidated* dan *Overconsolidated*

Bowles (1988) mengatakan istilah terkonsolidasi normal (*normally consolidated*) dan konsolidasi berlebihan (*overconsolidated*) digunakan untuk menggambarkan suatu sifat penting dari lapisan tanah lempung.

Tanah *normally consolidated* (terkonsolidasi normal) adalah tanah dimana tegangan efektif yang membebani pada waktu sekarang, adalah nilai tegangan maksimum yang pernah dialaminya.

Tanah *overconsolidated* adalah tanah di mana tegangan efektif yang pernah membebani pada waktu yang lampau, lebih besar daripada tegangan efektif yang bekerja pada waktu sekarang.

Jadi lempung pada kondisi *normally consolidated*, bila tekanan prakonsolidasi (*preconsolidation pressure*)(p_c') sama dengan tekanan overburden efektif (p_o'). Sedang lempung pada kondisi *overconsolidated*, jika tekanan prakonsolidasi lebih besar dari tekanan *overburden* efektif yang ada pada waktu sekarang ($p_c' > p_o'$). Nilai banding *overconsolidation* (*overconsolidation ratio, OCR*) didefinisikan sebagai nilai banding tekanan prakonsolidasi terhadap tegangan efektif yang ada, atau bila dinyatakan dalam persamaan :

$$OCR = \frac{p_c'}{p_o'} \quad (2.1)$$

Tanah *normally consolidated* mempunyai $OCR = 1$, dan tanah dengan $OCR > 1$ adalah *overconsolidated*. Dapat ditemui pula, tanah lempung mempunyai $OCR < 1$.

Dalam hal ini tanah adalah sedang dalam keadaan konsolidasi (*underconsolidated*). Kondisi *underconsolidated* dapat terjadi pada tanah-tanah yang baru saja diendapkan baik secara geologis maupun oleh manusia. Dalam kondisi ini, lapisan pori diukur dalam kondisi *underconsolidated*, tekanannya akan melebihi tekanan hidrostatiknya.

2.5 Coefficient of Lateral Earth Pressure at Rest (K_o)

Pada tanah besarnya tekanan horizontal umumnya tidak sama dengan tekanan vertikalnya. Nilai banding antara tekanan horizontal efektif (σ_h') dengan tekanan vertikal efektif (σ_v') disebut koefisien tekanan tanah lateral diam (*coefficient of lateral pressure at rest*), (K_o). Bila dinyatakan dalam persamaan :

$$K_o = \frac{\sigma_h'}{\sigma_v'} \quad (2.2)$$

Nilai K_o selalu ditinjau dalam kondisi tegangan efektif. Dari pengamatan, besarnya K_o sangat tergantung dari sudut gesek dalam efektif tanahnya dan sejarah tegangannya.

2.5.1 Nilai Coefficient of lateral earth pressure at rest (K_o) pada tanah pasir

Jaky (1948) Memberikan persamaan yang sangat berguna untuk mengestimasi besarnya K_o dari nilai sudut gesek dalam pasir (ϕ) yang telah diketahui. Persamaan tersebut adalah :

$$K_o = 1 - \sin \phi' \quad (2.3)$$

Sedangkan Alpan (1967) memberikan korelasi antara K_o dan nilai banding overconsolidation (OCR) dirumuskan dengan persamaan berikut ini :

$$K_o' = K_o.(OCR)^h \quad (2.4)$$

Dengan K_o' adalah K_o untuk pasir kondisi overconsolidation, OCR adalah nilai banding overconsolidation dan h adalah nilai eksponen empiris. Nilai h dapat berkisar di antara 0,4 dan 0,5 dan bahkan dapat mencapai 0,6 untuk pasir sangat padat .

2.5.2 Nilai *Coefficient of lateral earth pressure at rest (Ko)* pada tanah lempung

Brooker dan Ireland (1965) merumuskan unntuk lempung normally consolidated nilai K_o diberikan persamaan sebagai berikut :

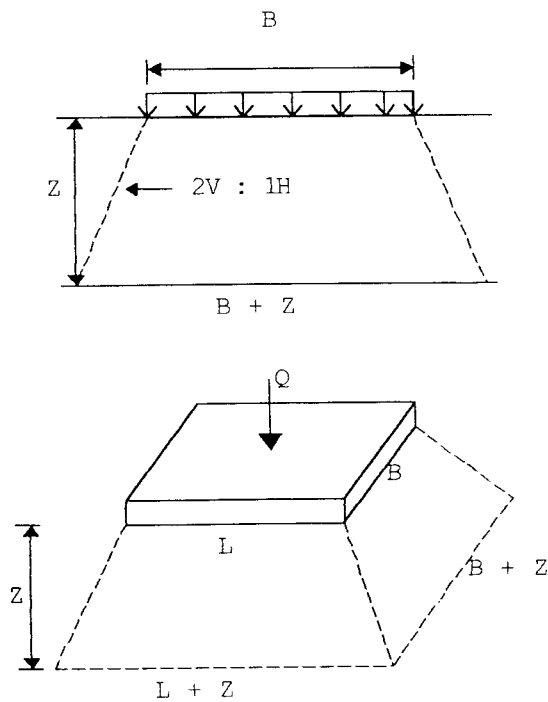
$$\text{a) untuk } 0 \leq PI \leq 40\% \quad K_o = 0,4 + 0,007.(PI) \quad (2.5)$$

$$\text{b) untuk } 40\% \leq PI \leq 80\% \quad K_o = 0,68 + 0,001.(PI) \quad (2.6)$$

Sedang untuk lempung pada kondisi tanpa pembebanan (*unloading*) dan pembebanan kembali (*preloading*) nilai K_o diberikan seperti persamaan 3.6 dengan nilai h untuk $PI=20$ adalah 0,4 sedang untuk $PI=80$ nilai $h=0,32$

2.6 Metode Penyebaran Beban 2V : 1H

Bermacam-macam cara telah digunakan untuk menghitung pengaruh tegangan akibat beban pondasi. Salah satu cara pendekatan yang sangat sederhana untuk menghitung tambahan tegangan beban di permukaan diberikan oleh Boussinesq (1885). Caranya dengan membuat garis penyebaran beban 2V:1H (2 vertikal dibanding 1 horizontal). Dalam cara ini, dianggap beban pondasi Q didukung oleh piramid yang mempunyai kemiringan sisi 2V :1H.



Gambar 2.5 Penyebaran beban 2V : 1H (Boussinesq, 1885)

Cara pendekatan ini, nilai tambahan tegangan vertical dinyatakan oleh persamaan:

$$\Delta\sigma_z = \frac{Q}{(L+z)(B+z)} \quad (2.7)$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{qLB}{(L+z)(B+z)} \quad (2.8)$$

dengan :

$\Delta\sigma_z$ = tambahan tegangan vertical

Q = beban total pada dasar pondasi

q = beban terbagi rata pada dasar pondasi

L = panjang area pondasi

B = lebar area pondasi

z = kedalaman yang ditinjau

Cara ini dapat juga untuk menghitung pondasi berbentuk jalur memanjang. Dalam hal ini, bentuk penyebaran beban yang berupa piramid berubah menjadi berbentuk trapesiodal. Selanjutnya, tambahan tegangan vertikal pada pondasi memanjang dinyatakan oleh :

$$\Delta\sigma_z = \frac{qB}{(B+z)} \quad (2.9)$$

Dalam menghitung besarnya tegangan total yang terjadi di dalam tanah, setelah tegangan vertikal yang diperoleh dari persamaan-persamaan Boussinesq, Westergaard maupun dari teori penyebaran beban 2V:1H diperoleh, hasilnya masih harus ditambahkan dengan tegangan akibat beban tanah di kedalaman yang ditinjau (yaitu tekanan overburden). Hal ini perlu dimengerti, karena pada cara elastis dianggap bahwa tanah yang sedang mengalami pembebanan tidak mempunyai berat.

2.7 Lapisan Tanah

(Idriss dan Seed,1968) mengatakan jika suatu profil tanah terdiri dari beberapa lapis, dapat diberikan rumus pendekatan dengan type massa tergumpal ($m_1, m_2, \dots, m_n$) seperti ditunjukkan pada rumus berikut ini.

$$m_1 = \frac{\gamma_1 h_1}{g} \quad (2.10)$$

$$m_i = \frac{\gamma_{i-1}h_{i-1} + \gamma h_i}{g}, \quad i = 2, 3, \dots, N \quad (2.11)$$

$$k_i = \frac{G_i}{2h_i}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2.12)$$

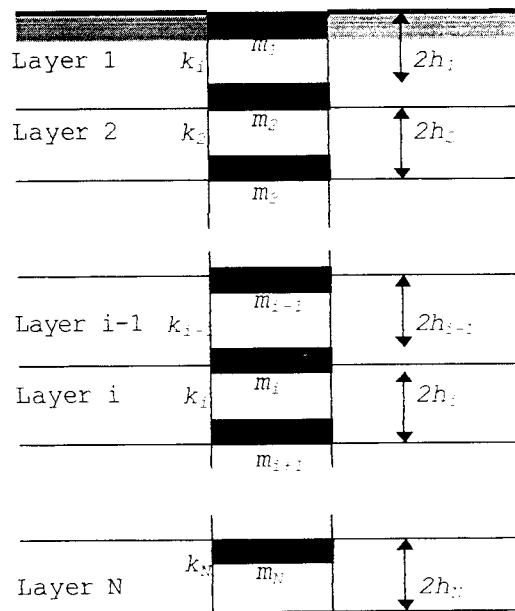
dimana,

m_1 = massa tergumpal yang diletakkan pada lapisan 1 tanah

k_i = Kekakuan yang menghubungkan massa m_i dan m_{i+1}

γ_1 = berat satuan pada lapisan 1 tanah

h_1 = setengah kedalaman pada lapisan 1 tanah



Gambar 2.6 Massa tergumpal pada lapisan horisontal
(Idriss dan Seed, 1968)

2.8 Modulus Geser Tanah dan Damping Ratio

(Hardin, Black, Drnevich, 1968), Modulus geser tanah dan damping ratio tanah dipengaruhi beberapa faktor yaitu : jenis tanah, *confining pressure*, besarnya regangan geser tanah, derajat kejenuhan, besarnya tegangan dinamik. Yang besarnya dapat dirumuskan melalui suatu persamaan empirik.

a. Nilai modulus geser maksimum untuk tanah lempung (kg/cm^2)

$$G_{\max} = 3310cr^k \frac{(2,973 - e)^2}{(1 + e)} \cdot \sigma_0^{-0.5} \quad (2.13)$$

Tabel 2.2 Nilai PI dan nilai k

Indeks Plastisitas	K
0	0
20	0,18
40	0,30
60	0,41
80	0,48
≥ 100	0,50

Untuk nilai $\bar{\sigma}_o$ dapat diperoleh dengan rumus :

$$\bar{\sigma}_o = \frac{(\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2 + \bar{\sigma}_3)}{3} \quad (2.14)$$

σ_1 adalah tegangan vertical stress, sedangkan

$$\bar{\sigma}_2 = \bar{\sigma}_3 = k_o \cdot \bar{\sigma}_1 \quad (2.15)$$

Dengan K_o adalah koefisien tekanan horizontal tanah saat diam dapat dilihat persamaan (2.3-2.6)

Nilai modulus geser maksimum untuk tanah pasir

b. Pasir bersih berbutir halus,

$$G_{\max} = 700 \frac{(2,17 - e)^2}{(1 + e)} \bar{\sigma}_o^{0.5} \quad (2.16)$$

c. Pasir bersih berbutir tajam,

$$G_{\max} = 326 \frac{(2,97 - e)^2}{(1 + e)} \bar{\sigma}_o^{0.5} \quad (2.17)$$

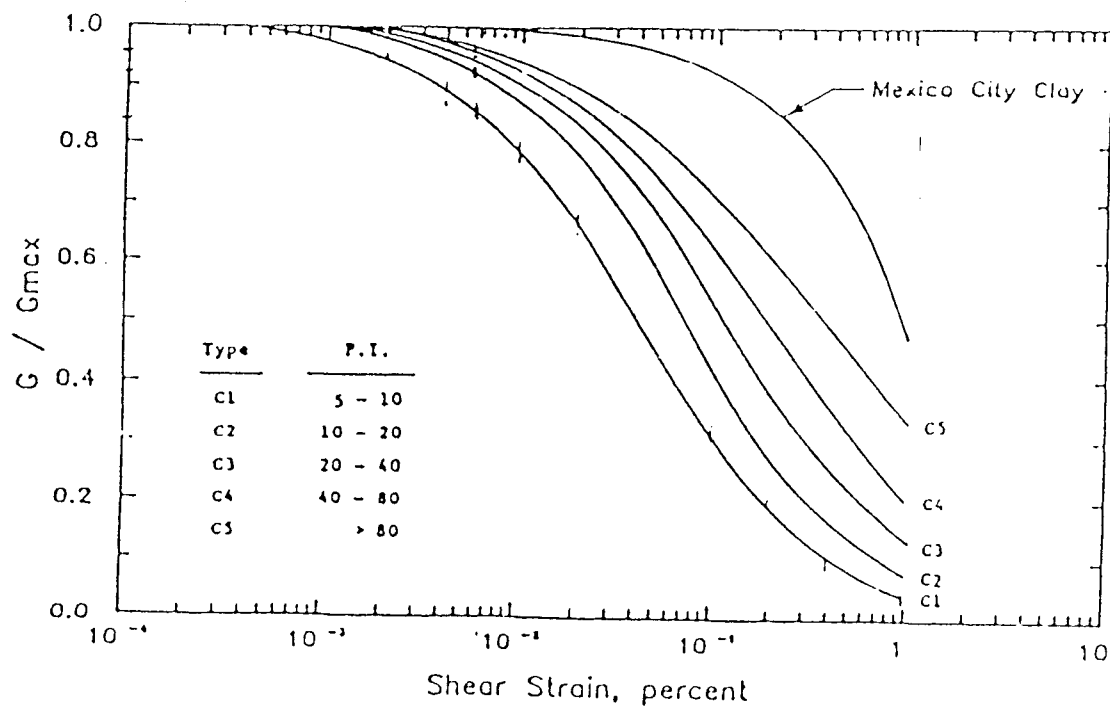
Rumus modulus geser pasir ini digunakan untuk $G_{\max}$ dalam kg/cm^2 dan $e=0.80$. Dari seluruh persamaan diatas :

e = angka pori

σ_o = tegangan kekang efektif

OCR = “Overconsolidation Ratio”

Kemudian (Vucetic dan Dobry,1991) memberikan suatu hubungan antara modulus geser tanah dan regangan geser tanah untuk tanah dengan variasi nilai Indeks Plastisitas



Gambar 2.7 Nilai $G/G_{\max}$ untuk nilai regangan geser tertentu pada semua jenis tanah. (Vucetic & Dobry, 1991)

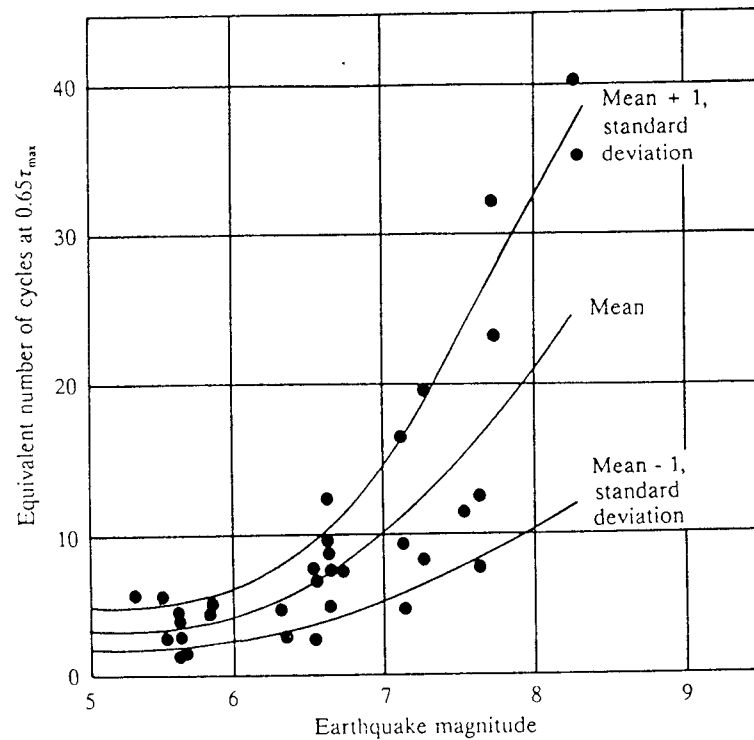
Tabel 2.3 Nilai “dumping ratio” maksimum untuk beberapa jenis tanah .

Jenis Tanah	“Dumping Ratio”(%)
Pasir kering bersih	$D = 33 - 1,5 (\log N)$
Pasir basah bersih	$D = 28 - 1,5 (\log N)$
Lanau	$D = 26 - 4\sigma_o^{0.5} + 0,7f^{0.5} - 1,5 (\log N)$
Lempung/kohesif	$D = 31 - (3 + 0,03f)\sigma_o^{0.5} + 1,5f^{0.5} - 1,5 (\log N)$

Dimana : $f = \frac{1}{T}$ = frekuensi alam (putaran per detik) (3.22)

N = Number equivalent of cycle at $0,65 \tau_{\max}$

Nilai N tersebut berdasarkan grafik di bawah ini :



Gambar 2.8 Nilai N Equivalent.(Seed,1975)

2.9 Regangan Geser Tanah

Tokida, Tamura, Aizawa (1991) menyatakan bahwa nilai regangan geser tanah yang terjadi akibat gempa dapat diestimasikan melalui analisa elemen hingga tiga dimensi. Kemudian dari hasil analisa itu dapat dirumuskan suatu persamaan empirik untuk mencari nilai regangan geser dengan memperhitungkan besarnya gempa dan jarak episentrum dari data rekaman gempa.

$$\gamma = 0,894 \times 10^{0.548M} \times (\Delta + 30)^{-0.774} \times 10^{-6} \quad (3.24)$$

dimana,

γ = regangan geser tanah,

M = magnitude gempa (dalam satuan Richter),

Δ = jarak episenter,

Pemodelan dari perilaku tanah pada kondisi *random & cyclic loading* harus dibuat sedemikian hingga model dapat diduplikasikan pada karakteristik deformasi yang berbeda. Ketika perilaku tanah pada daerah *small strain*, penggunaan elastis model dapat digunakan. Ketika kondisi tanah pada medium range of strain yang kurang lebih di bawah level 10^{-3} , perilaku tanah menjadi elasto-plastic yang berarti modulus geser tanah cenderung berkurang mengikuti pertambahan nilai dari regangan geser.

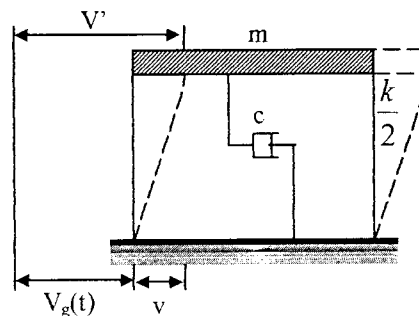
Bila tanah pada kondisi seperti yang dijelaskan di atas maka penggunaan *linier viscoelastic theory* dapat digunakan, yang berarti modulus geser dan damping ratio dapat ditentukan sebagai fungsi dari regangan geser. Untuk lebih jelasnya pemodelan tanah dan teori respon analisisnya pada berbagai kondisi tanah dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

Shear strain	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
	Small strain	Medium strain		Large strain		Failure strain
Elastic						
Elasto-plastic						
Failure						
Effect of load-repetition						
Effect of loading rate						
Model	Linear elastic model		Visco-elastic model		Load history tracing type model	
Method of response analysis	Linear method		Equivalent linear method		Step-by-step integration method	

Gambar 2.9 Perubahan propertis tanah dengan regangan geser, prinsip corresponding modelling dan metode respon analisis. (K. Ishihara, 1982)

2.10 Analisa Dinamika Struktur

(Clough & Penzien, 1975) menyatakan jika gerak gempa bumi pada batuan dasar yang dasarnya lapisan tanah diketahui, percepatan tanah atau gerak tanah-bebas dapat diperoleh dengan memperlakukan lapisan tanah persis seperti suatu sistem struktur di mana gerak tumpuannya diketahui. Dengan menggunakan model yang didiskritisasi dan disesuaikan dengan bentuk geometri tumpukan tanah dan mengasumsikan bahwa gempa bumi adalah translasi dasar-tegar.



Gambar 2.10 Sistem SDOF yang mengalami translasi dasar tegar.
(Clough & Penzien, 1975)

2.10.1 Tinjauan fundamental analisis dinamik

(Clough & Penzien, 1975) menyatakan istilah dinamika secara sederhana dapat didefinisikan sebagai perubahan waktu, dalam hal ini berarti analisa dinamik adalah analisa yang melibatkan gaya, jarak atau perpindahan dan waktu.

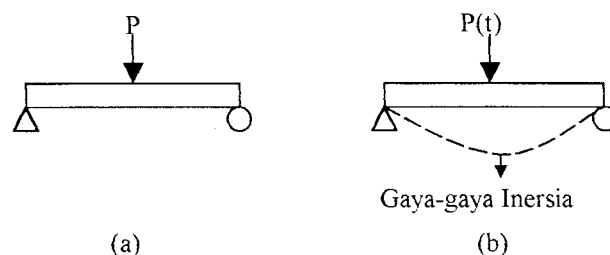
Pada analisa dinamik ada dua pendekatan yang digunakan untuk mengevaluasi struktur terhadap beban dinamik. Pertama pendekatan deterministic, pada analisa ini beban yang bekerja pada struktur adalah “precibed dynamic

loading”, yaitu jika variasi waktu pembebanan diketahui secara lengkap walaupun mungkin sangat berosilasi atau sifatnya tidak beraturan. Pendekatan kedua adalah pendekatan non-deterministik, yaitu pembebanannya berupa “random dynamic loading” atau pembebanan dinamik acak, pendekatan ini digunakan jika variasi waktu tidak diketahui secara lengkap.

2.10.2 Pembebanan dinamik

(Clough & Penzien, 1975) mengatakan bahwa pembebanan dinamik secara mendasar berbeda dengan pembebanan static, pada beban static tidak akan mengalami perubahan intensitas sedangkan beban dinamik merupakan suatu fungsi yang mengalami perubahan menurut waktu. Pada analisis dinamik yang menggunakan pendekatan deterministic, yaitu pembebanan yang digunakan adalah beban periodic dan beban non-periodik.

Beban periodic merupakan beban berulang yang memperlihatkan variasi waktu yang sama berturut-turut untuk jumlah siklus yang besar, sedangkan pembebanan non-periodik mungkin berbentuk pembebanan impulsive yang berlangsung singkat atau bentuk umum beban-beban yang berlangsung lama.



Gambar 2.11 Perbedaan dasar antara beban static dan dinamik. (a) pembebanan Static; (b) pembebanan Dinamik.

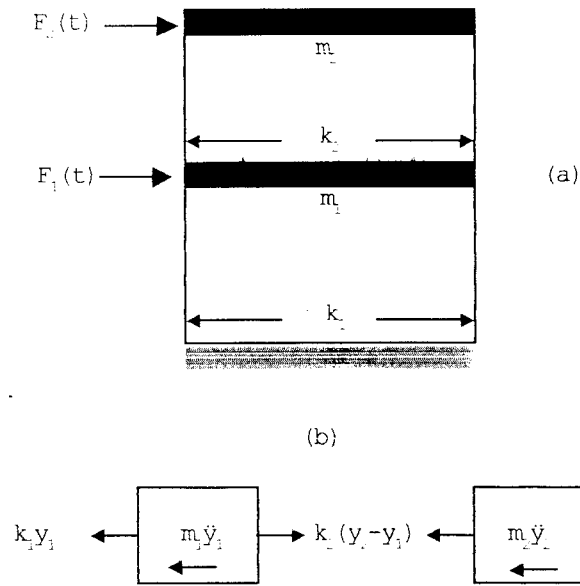
2.10.4 Sistim derajat kebebasan banyak

Sebagaimana yang dituliskan diatas bahwa lapisan-lapisan tanah analog seperti sistim struktur, maka respon lapisan-lapisan tanah akibat gempa dianalisis melalui pendekatan sistim berderajat kebebasan banyak (*Multy Degree of Freedom* “MDOF”).

Struktur dengan derajat kebebasan tunggal berarti hanya ada satu koordinat yang diperlukan untuk menyatakan posisi suatu masa pada saat tertentu. Jumlah derajat kebebasan biasanya dikaitkan dengan jumlah massa, struktur dengan derajat kebebasan tunggal berarti hanya mempunyai satu massa. Sedangkan struktur dengan derajat kebebasan banyak berarti dikaitkan dengan jumlah massa yang banyak. Misalnya suatu properti tanah yang memiliki empat lapis berarti mempunyai empat massa dan empat derajat kebebasan.

2.10.5 Persamaan differensial gerakan MDOF.

Untuk memperoleh persamaan differensial gerakan dipakai prinsip keseimbangan dinamik pada suatu massa yang ditinjau. Untuk memperoleh persamaan tersebut maka diambil model struktur MDOF seperti gambar berikut :



Gambar 2.13 Sistem dinamis struktur tanah MDOF 2 Lapis
a. model struktur ; b. diagram keseimbangan (Mario Paz, 1979)

Persamaan differensial gerakan akan diperoleh dengan memperhatikan *free body* diagram sebagai berikut :

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{y}_1 + k_1 y_1 + c_1 \dot{y}_1 - k_2 (y_2 - y_1) - c_2 (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - F_1(t) &= 0 \\ m_2 \ddot{y}_2 + k_2 (y_2 - y_1) + c_2 (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - F_2(t) &= 0 \end{aligned} \quad (2.27)$$

Persamaan (2.27) dapat ditulis dengan bentuk yang lebih sederhana,

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{y}_1 + (c_1 + c_2) \dot{y}_1 - c_2 \dot{y}_2 + (k_1 + k_2) y_1 - k_2 y_2 &= F_1(t) \\ m_2 \ddot{y}_2 - c_2 \dot{y}_1 + c_2 \dot{y}_2 - k_2 y_1 + k_2 y_2 &= F_2(t) \end{aligned} \quad (2.28)$$

Persamaan (2.28) dapat ditulis dengan bentuk matriks,

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 \\ -c_2 & c_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \end{Bmatrix} \quad (2.29)$$

2.10.6 Matriks massa, kekakuan dan *damping ratio*

Pada struktur tanah dua lapis seperti gambar diatas, maka struktur tersebut mempunyai dua derajat kebebasan. Persamaan gerakan tersebut umumnya disusun berdasarkan atas goyangan struktur menurut mode pertama. Persamaan keseimbangan dinamik dapat ditulis,

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = \{F(t)\} \quad (2.30)$$

Yang mana $[M]$, $[C]$ dan $[K]$ berturut-turut matrik massa, matriks *damping ratio* dan matrik kekakuan yang dapat ditulis menjadi,

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix}, [C] = \begin{bmatrix} (c_1 + c_2) & -c_2 \\ -c_2 & c_2 \end{bmatrix}, [K] = \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

Sedangkan $\{\ddot{y}\}$, $\{\dot{y}\}$, $\{y\}$ dan $F(t)$ masing-masing adalah vector simpangan, vector kecepatan dan vector beban, atau

$$\ddot{y} = \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \end{Bmatrix}, \dot{y} = \begin{Bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \end{Bmatrix}, y = \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{Bmatrix}, \text{ dan } \{F(t)\} = \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \end{Bmatrix} \quad (2.32)$$

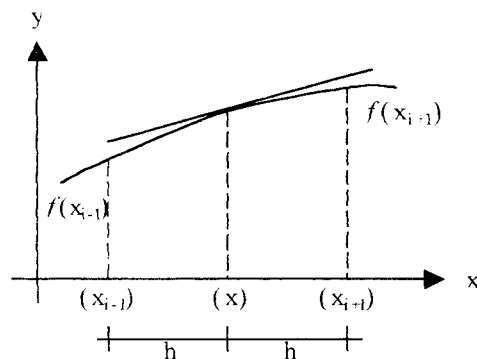
2.10.7 Integrasi numerik dengan metode *Central Difference*

Metode numeric adalah teknik untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang diformulasikan secara matematik dengan cara operasi hitungan (aritmatik). Dalam metode numeric ini dilakukan operasi hitungan dalam jumlah

yang sangat banyak dan berulang-ulang. Oleh karena itu diperlukan bantuan komputer untuk melaksanakan operasi tersebut.

Pada kondisi beban non-periodik yang sudah kompleks misalnya beban gempa, maka respon struktur tidak mungkin lagi dihitung secara analitik, apalagi pada struktur tersebut memiliki derajat kebebasan banyak.

Salah satu metode integrasi numeric pada persamaan differensial gerakan adalah metode “central difference” yang berdasar pada perkiraan nilai “derivatif” waktu. Perkiraan nilai “derivatif” pada metode “central difference” diperoleh dengan memperhatikan nilai-nilai fungsi di titik x_{i-1} dan x_{i+1} yang masing-masing adalah $f(x_{i-1})$ dan $f(x_{i+1})$. Untuk itu dipakai model fungsi dengan grafik misalnya pada gambar 2.14 berikut :



Gambar 2.14 Derivatif pertama dengan metode *central difference*.

Dengan memperhatikan gambar 2.14 diatas, maka suatu “slope” atau “derivatif” pertama pada titik x_i dapat diperoleh dengan perantaraan nilai-nilai fungsi pada titik x_{i-1} dan x_{i+1} . Nilai “derivatif” tersebut adalah

$$F(x_i) \approx \tan \alpha \approx \frac{f(x_{i+1}) - f(x_{i-1}))}{x_{i+1} - x_{i-1}} \quad (2.33)$$

Dapat diperhatikan dari gambar 2.14 bahwa $x_{i-1} - x_{i+1}$ sama dengan $2h$ maka persamaan (2.33) tersebut dapat ditulis dalam bentuk,

$$f(x_i) = \frac{f(x_{i+1}) - f(x_{i-1}))}{2h} + \phi h \quad (2.34)$$

Dimana notasi ϕh dalam persamaan (2.34) adalah sisa atau kesalahan yang terjadi.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pendahuluan

Pada bab III teori dan rumus yang dipakai dalam analisa untuk menentukan respon seismik lapisan tanah baik yang berkaitan dengan masalah tanah maupun dinamika struktur akan ditampilkan.

3.2 Nilai *Coefficient of lateral earth pressure at rest (Ko)* pada tanah pasir

Memberikan persamaan yang sangat berguna untuk mengestimasi besarnya K_o dari nilai sudut gesek dalam pasir (ϕ) yang telah diketahui. Persamaan tersebut adalah :

$$K_o = 1 - \sin \phi' \quad (3.1)$$

Korelasi antara K_o dan nilai banding overconsolidation (OCR) dirumuskan dengan persamaan berikut ini :

$$K_o' = K_o (OCR)^h \quad (3.2)$$

Dengan K_o' adalah K_o untuk pasir kondisi overconsolidation, OCR adalah nilai banding overconsolidation dan h adalah nilai eksponen empiris. Nilai h dapat berkisar di antara 0,4 dan 0,5 dan bahkan dapat mencapai 0,6 untuk pasir sangat padat .

3.3 Nilai *Coefficient of lateral earth pressure at rest (Ko)* pada tanah lempung

Untuk lempung normally consolidated nilai K_o diberikan persamaan sebagai berikut :

$$\text{a) untuk } 0 \leq PI \leq 40\% \quad K_o = 0,4 + 0,007 \cdot (PI) \quad (3.3)$$

$$\text{b) untuk } 40\% \leq PI \leq 80\% \quad K_o = 0,68 + 0,001 \cdot (PI) \quad (3.4)$$

Sedang untuk lempung pada kondisi tanpa pembebanan (*unloading*) dan pembebanan kembali (*preloading*) nilai K_o diberikan seperti persamaan 3.2 dengan nilai h untuk $PI=20$ adalah 0,4 sedang untuk $PI=80$ nilai $h=0,32$

3.4 Metode Penyebaran Beban 2V : 1H

Nilai tambahan tegangan vertical disebabkan adanya beban pada pondasi dinyatakan oleh persamaan:

$$\Delta\sigma_z = \frac{Q}{(L+z)(B+z)} \quad (3.5)$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{qLB}{(L+z)(B+z)} \quad (3.6)$$

dengan :

$\Delta\sigma_z$ = tambahan tegangan vertical

Q = beban total pada dasar pondasi

q = beban terbagi rata pada dasar pondasi

L = panjang area pondasi

B = lebar area pondasi

z = kedalaman yang ditinjau

Selanjutnya, tambahan tegangan vertikal pada pondasi memanjang dinyatakan oleh :

$$\Delta\sigma_z = \frac{qB}{(B+z)} \quad (3.7)$$

3.5 Pengaruh Beban Terhadap Tegangan Vertikal Tanah

Karena adanya bangunan yang membebani tanah, untuk menghitung tegangan total yang terjadi di dalam tanah, maka setelah tegangan akibat tanah di kedalaman yang ditinjau (tekanan overburden) diperoleh perlu dijumlahkan dengan tambahan tegangan akibat beban bangunan yang hasilnya dapat diperoleh melalui persamaan 3.6 & 3.7

$$\overline{\sigma}_1 = \sigma_v + \Delta\sigma_z \quad (3.8)$$

dimana $\overline{\sigma}_1$ = tegangan vertical total

σ_v = tegangan akibat beban sendiri tanah

$\Delta\sigma_z$ = tambahan tegangan akibat adanya beban luar pada tanah

3.6 Lapisan Tanah

Jika suatu profil tanah terdiri dari beberapa lapis, dapat diberikan rumus pendekatan dengan type massa tergumpal ($m_1, m_2, \dots, m_n$) seperti ditunjukkan pada rumus berikut ini.

$$m_1 = \frac{\gamma_1 h_1}{g} \quad (3.9)$$

dimana,

m_i = massa tergumpal yang diletakkan pada lapisan 1 tanah

γ_i = berat satuan pada lapisan 1 tanah

h_i = setengah kedalaman pada lapisan 1 tanah

$$m_i = \frac{\gamma_{i-1}h_{i-1} + \gamma h_i}{g}, \quad i = 2, 3, \dots, N \quad (3.10)$$

kemudian untuk menentukan massa tergumpal yang diletakkan pada lapisan 1 tanah yang terdapat beban luar yang membebani tanah dapat dicari dengan persamaan di bawah ini :

$$m_1 = \frac{\gamma_1 h_1}{g} + \frac{q}{g} \quad (3.11)$$

$$k_i = \frac{G_i}{2h_i}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3.12)$$

dimana ,

q = Berat bangunan per satuan luas

k_i = Kekakuan yang menghubungkan massa m_i dan m_{i+1}

l = Panjang tanah yang ditinjau (100cm)

b = Lebar tanah yang ditinjau (100cm)

3.7 Modulus geser tanah (G)

Nilai modulus geser merupakan perbandingan antara tegangan geser dengan regangan. Modulus geser maksimum ($G_{\max}$) adalah nilai modulus geser untuk regangan geser yang sangat kecil.

Nilai G untuk setiap jenis tanah sangat bermacam-macam.

a. Nilai modulus geser maksimum untuk tanah cohesive (kg/cm^2)

$$G_{\max} = 3310cr^k \frac{(2,973 - e)^2}{(1 + e)} \cdot \sigma_0^{-0.5} \quad (3.13)$$

Tabel 3.1 Nilai PI dan nilai k

Indeks Plastisitas	K
0	0
20	0,18
40	0,30
60	0,41
80	0,48
≥ 100	0,50

Untuk nilai $\bar{\sigma}_o$ dapat diperoleh dengan rumus :

$$\bar{\sigma}_o = \frac{(\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2 + \bar{\sigma}_3)}{3} \quad (3.14)$$

σ_1 adalah tegangan vertical stress, sedangkan

$$\bar{\sigma}_2 = \bar{\sigma}_3 = k_o \cdot \bar{\sigma}_1 \quad (3.15)$$

Dengan K_o adalah koefisien tekanan horizontal tanah saat diam dapat dilihat persamaan (3.1-3.4)

Nilai modulus geser maksimum untuk tanah pasir

b. Pasir bersih berbutir halus,

$$G_{\max} = 700 \frac{(2,17 - e)^2}{(1 + e)} \sigma_o^{-0.5} \quad (3.16)$$

c. Pasir bersih berbutir tajam,

$$G_{\max} = 326 \frac{(2,97 - e)^2}{(1 + e)} \bar{\sigma}_o^{0.5} \quad (3.17)$$

Rumus modulus geser pasir ini digunakan untuk $G_{\max}$ dalam kg/cm^2 dan $e=0.80$.

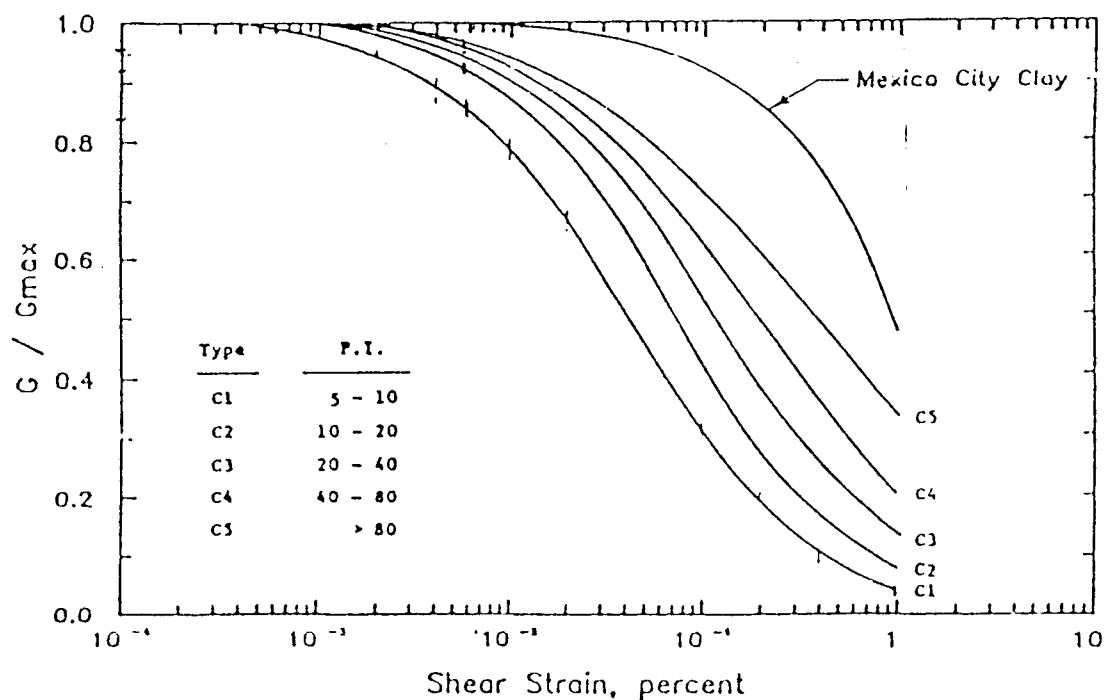
Dari seluruh persamaan diatas :

e = angka pori

σ_o = tegangan kekang efektif

OCR = "Overconsolidation Ratio"

Untuk mencari nilai modulus geser pada suatu nilai regangan geser tertentu dapat diperoleh dari grafik di bawah ini :



Gambar 3.1 Nilai $G/G_{\max}$ untuk nilai regangan geser tertentu pada semua jenis tanah. (Vucetic & Dobry, 1991)

3.8 Dumping ratio

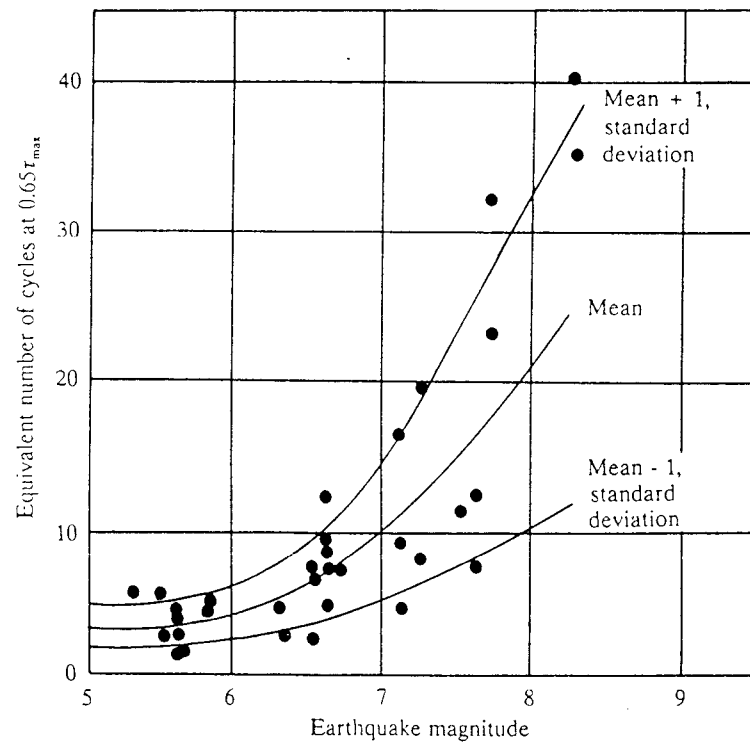
Tabel 3.1 Nilai “dumping ratio” maksimum untuk beberapa jenis tanah .

Jenis Tanah	“Dumping Ratio”(%)
Pasir kering bersih	$D = 33 - 1,5 (\log N)$
Pasir basah bersih	$D = 28 - 1,5 (\log N)$
Lanau	$D = 26 - 4\sigma_o^{0.5} + 0,7f^{0.5} - 1,5 (\log N)$
Lempung/kohesif	$D = 31 - (3 + 0,03f)\sigma_o^{0.5} + 1,5f^{0.5} - 1,5 (\log N)$

Dimana : $f = \frac{1}{T}$ = frekuensi alam (putaran per detik) (3.18)

N = Number equivalent of cycle at $0,65 \tau_{\max}$

Nilai N tersebut berdasarkan grafik di bawah ini :



Gambar 3.2 Nilai N Equivalent.(Seed,1975)

3.9 Hubungan antara Damping Ratio dan Modulus Geser

Hubungan antara Damping Ratio dan Modulus Geser sebagai berikut :

$$D = D_{\max} \cdot \left(1 - \frac{G}{G_{\max}} \right) \quad (3.19)$$

3.10 Regangan geser tanah

Nilai regangan geser tanah gempa dapat diestimasikan dengan mengetahui besarnya gempa, jarak episentrum dari data rekaman gempa.

Hubungan antara besarnya gempa, jarak episentrum dan regangan geser tanah dengan sebuah formula numeric sebagai berikut :

$$\gamma = 0,894 \times 10^{0.548M} \times (\Delta + 30)^{-0.774} \times 10^{-6} \quad (3.20)$$

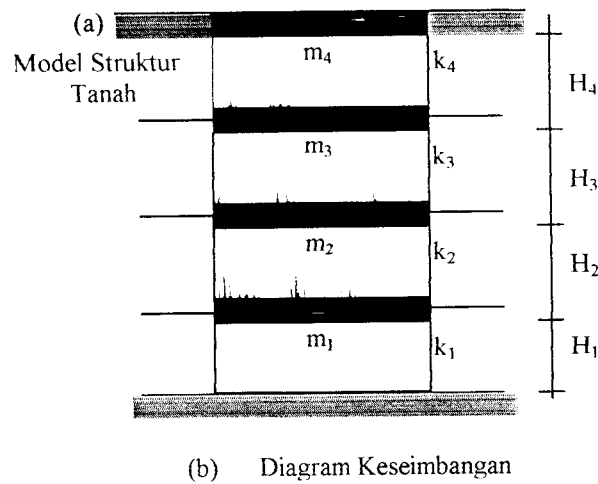
dimana,

γ = regangan geser tanah,

M = magnitude gempa (dalam satuan Richter),

Δ = jarak episenter,

3.11 Persamaan differensial gerakan MDOF lapisan tanah



Gambar 3.3 Sistem struktur tanah MDOF 4 lapis.

Berdasarkan keseimbangan gaya-gaya pada gambar diatas , dapat disusun persamaan differensial simultan gerakan massa.

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

$$m_2 \ddot{y}_2 + k_2 (y_2 - y_1) - k_3 (y_3 - y_2) = 0$$

$$m_3 \ddot{y}_3 + k_3 (y_3 - y_2) - k_4 (y_4 - y_3) = 0$$

$$m_4 \ddot{y}_4 + k_4 (y_4 - y_3) = 0 \quad (3.21)$$

Persamaan diatas dapat disusun secara matematis, yaitu

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

$$m_2 \ddot{y}_2 - k_2 y_1 + (k_2 + k_3) y_2 - k_3 y_3 = 0$$

$$m_3 \ddot{y}_3 - k_3 y_2 + (k_3 + k_4) y_3 - k_4 y_4 = 0$$

$$m_4 \ddot{y}_4 - k_4 y_3 - k_4 y_4 = 0 \quad (3.22)$$

Persamaan diatas disusun menjadi sebuah matriks, yaitu

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \\ \ddot{y}_4 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_3 & (k_3 + k_4) & -k_4 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{Bmatrix} = 0 \quad (3.23)$$

Keterangan :

m = Massa tiap lapis tanah (kg dt²/cm)

k = Kekakuan tiap lapis tanah (kg/cm)

y = Simpangan (cm)

$\ddot{y}$ = Percepatan tanah (cm/dt²)

Persamaan “eigenproblem” dari persamaaan diatas adalah :

$$\begin{bmatrix} (k_1 + k_2) - \omega^2 m_1 & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) - \omega^2 m_2 & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_3 & (k_3 + k_4) - \omega^2 m_3 & -k_4 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 - \omega^2 m_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.24)$$

Dimana :

Φ = mode shape lapisan tanah

ω = frekuensi sudut (rad/at)

Misalkan : $k_1 = k_2 = k_3 = k_4 = k$

$$m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = m$$

maka,

$$\begin{bmatrix} 2k - \omega^2 m & -k & 0 & 0 \\ -k & 2k - \omega^2 m & -k & 0 \\ 0 & -k & 2k - \omega^2 m & -k \\ 0 & 0 & -k & 2k - \omega^2 m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.25)$$

Persamaan (3.25) dapat ditulis

$$\begin{bmatrix} 2 - \frac{\omega^2 m}{k} & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 2 - \frac{\omega^2 m}{k} & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 2 - \frac{\omega^2 m}{k} & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 - \frac{\omega^2 m}{k} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.26)$$

Jika $\frac{\omega^2 m}{k} = \lambda$, maka

$$\begin{bmatrix} (2 - \lambda) & -1 & 0 & 0 \\ -1 & (2 - \lambda) & -1 & 0 \\ 0 & -1 & (2 - \lambda) & -1 \\ 0 & 0 & -1 & (2 - \lambda) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.27)$$

Selanjutnya persamaan (3.27) dapat ditulis menjadi :

$$\begin{aligned} (2 - \lambda)\phi_1 - \phi_2 &= 0 \\ -\phi_1 + (2 - \lambda)\phi_2 - \phi_3 &= 0 \\ -\phi_2 + (2 - \lambda)\phi_3 - \phi_4 &= 0 \\ -\phi_3 + (1 - \lambda)\phi_4 &= 0 \end{aligned} \quad (3.28)$$

Selesaikan dengan cara substitusi maka nilai $\phi_4, \phi_3, \phi_2, \phi_1$ dapat dicari.

Setelah nilai mode shape sudah dicari maka kita akan mudah dalam mencari nilai

percepatan tanah, kecepatan tanah dan simpangan tanah setiap lapisan tanah, yaitu dengan cara sebagai berikut :

$$\{\phi\}_j^T [M] \{\phi\}_j \ddot{Z}_j + \{\phi\}_j^T [C] \{\phi\}_j \dot{Z}_j + \{\phi\}_j^T [K] \{\phi\}_j Z_j = -\{\phi\}_j^T [M] \{1\} \ddot{y}_t \quad (3.29)$$

jika ,

$$M_j^* = \{\phi\}_j^T [M] \{\phi\}_j$$

$$C_j^* = \{\phi\}_j^T [C] \{\phi\}_j$$

$$K_j^* = \{\phi\}_j^T [K] \{\phi\}_j$$

$$P_j^* = \{\phi\}_j^T [M] \{1\} \quad (3.30)$$

Maka persamaan 3.29 dapat menjadi persamaan ,

$$M_j^* \ddot{Z}_j + C_j^* \dot{Z}_j + K_j^* Z_j = -P_j^* \ddot{y}_t \quad (3.31)$$

Bila, $\frac{C_j^*}{M_j^*} = 2\xi_j \omega_j$, $\frac{K_j^*}{M_j^*} = \omega_j^2$, dan $\frac{P_j^*}{M_j^*} = \Gamma_j$

maka persamaan 3.31 dapat menjadi persamaan differensial dalam bentuk :

$$\ddot{Z}_j + 2\xi_j \omega_j \dot{Z}_j + \omega_j^2 Z_j = -\Gamma_j \ddot{y}_t \quad (3.32)$$

$\dot{Z}$ = Modal amplitudo

Rumus modal amplitudo adalah

$$Z = g * \Gamma_j \quad (3.33)$$

$$\dot{Z} = \dot{g} * \Gamma_j \quad (3.34)$$

$$\ddot{Z} = \ddot{g} * \Gamma_j \quad (3.35)$$

dimana,

Γ_j = partisipasi setiap mode

Maka persamaan 3.32 dapat menjadi persamaan

$$\dot{g}_j + 2\xi_j \omega_j \dot{g}_j + \omega_j^2 g_j = -\ddot{y}_t \quad (3.36)$$

Untuk menghitung nilai $\ddot{g}_j$ dengan memakai metode “central difference”,

diperoleh hubungan sebagai berikut,

$$\dot{g}_j = \frac{g_{j+1} - g_{j-1}}{2\Delta t} \quad \text{dan} \quad \ddot{g}_j = \frac{g_{j+1} - 2g_j + g_{j-1}}{(\Delta t)^2} \quad (3.37)$$

Untuk mencari nilai g_{j+1} substitusi persamaan (3.37) kedalam persamaan (3.36), sehingga diperoleh persamaan,

$$\frac{g_{j+1} - 2g_j + g_{j-1}}{(\Delta t)^2} + 2\xi_j \omega_j \frac{g_{j+1} - g_{j-1}}{2\Delta t} + \omega_j^2 g_j = -\ddot{y}_t \quad (3.38)$$

Persamaan (3.38) dapat ditulis menjadi

$$\left[\frac{1}{(\Delta t)^2} + \frac{2\xi_j \omega_j}{2\Delta t} \right] g_{j+1} = -\ddot{y}_t \left[\omega_j^2 - \frac{2}{(\Delta t)^2} \right] g_j - \left[\frac{1}{(\Delta t)^2} - \frac{2\xi_j \omega_j}{2\Delta t} \right] g_{j-1} \quad (3.39)$$

Persamaan (3.39) dapat ditulis menjadi

$$g_{j+1} = \frac{-\ddot{y}_t - ag_j - bg_{j-1}}{\hat{k}} \quad (3.40)$$

dengan,

$$a = \left[\omega_j^2 - \frac{2}{(\Delta t)^2} \right]$$

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

$$\hat{k} = \left[\frac{1}{(\Delta t)^2} + \frac{2\xi\omega_j}{2\Delta t} \right] \quad (3.41)$$

Pada umumnya nilai $g_0 = 0$ dan $g = 0$

Dari seluruh persamaan diatas dimana,

Δt = Step integrasi = 0,01

ω = Frekuensi sudut (rad/dt)

$\ddot{y}_t$ = Data rekaman gempa (percepatan tanah)

Maka dapat diperoleh rumus simpangan, kecepatan, percepatan

Rumus simpangan tanah adalah,

$$y = [\phi] * \{Z\} \quad (3.42)$$

Rumus kecepatan tanah adalah,

$$\dot{y} = [\phi] * \{\dot{Z}\} \quad (3.43)$$

Rumus percepatan tanah adalah,

$$\ddot{y} = [\phi] * \{\ddot{Z}\} \quad (3.44)$$

dimana :

Φ = Mode shape

y = Simpangan tanah

$\dot{y}$ = Kecepatan tanah

$\ddot{y}$ = Percepatan tanah



BAB IV

METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan suatu urutan atau tata cara pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas permasalahan penelitian yang diajukan. Dalam penulisan tugas akhir ini metode yang dipakai adalah seperti yang disebutkan berikut ini.

4.1 Lokasi Data

Untuk lokasi data tanah diambil dari daerah Desa Tawang Sari Kabupaten Sukoharjo dan dari daerah Jl. Pemuda Semarang.

4.2 Data Yang Diperlukan

4.2.1 Data tanah

Profil tanah dapat dilihat pada gambar berikut :

0 cm	Silt, Coklat kekuningan $\gamma_b = 1.760 \text{ gr/cm}^3$ $e = 0.916$ $G_s = 2.616$ $PI = 22.370\%$ $OCR = 1$	$\gamma_d = 1.365 \text{ gr/cm}^3$ $w = 28.887 \%$ $n = 47.821 \%$ $c = 0.359$ $\phi = 10.02^\circ$	N SPT = 3/30
-300 cm	Silt, Coklat kekuningan $\gamma_b = 1.668 \text{ gr/cm}^3$ $e = 0.916$ $G_s = 2.549$ $PI = 34.110 \%$ $OCR = 1$	$\gamma_d = 1.183 \text{ gr/cm}^3$ $w = 40.106 \%$ $n = 53.587 \%$ $c = 0.130$ $\phi = 20.47^\circ$	N SPT = 5/30
-675 cm	Silt, Abu-abu $\gamma_b = 1.626 \text{ gr/cm}^3$ $e = 0.916$ $G_s = 2.549$ $PI = 44.90 \%$ $OCR = 1$	$\gamma_d = 1.119 \text{ gr/cm}^3$ $w = 45.314 \%$ $n = 56.1 \%$ $\gamma_s = 0.68 \text{ gr/cm}^3$ $c = 0.45$ $\phi = 9.34^\circ$	N SPT = 5/30
-1000 cm	Silt, Abu-abu $\gamma_b = 1.547 \text{ gr/cm}^3$ $e = 1.551$ $G_s = 2.549$ $PI = 56.19 \%$ $OCR = 1$	$\gamma_d = 0.999 \text{ gr/cm}^3$ $w = 54.835 \%$ $n = 60.868 \%$ $\gamma_s = 0.607 \text{ gr/cm}^3$ $c = 0.35$ $\phi = 27.15^\circ$	N SPT = 18/30
-1600 cm	Silt, Abu-abu $\gamma_b = 1.522 \text{ gr/cm}^3$ $e = 1.704$ $G_s = 2.685$ $PI = 35.92 \%$ $OCR = 1$	$\gamma_d = 0.993 \text{ gr/cm}^3$ $w = 53.184 \%$ $n = 63.030 \%$ $\gamma_s = 0.623 \text{ gr/cm}^3$ $c = 0.301$ $\phi = 18.13^\circ$	N SPT = 20/30
-1800 cm	Silt, Abu-abu $\gamma_b = 1.541 \text{ gr/cm}^3$ $e = 1.562$ $G_s = 2.686$ $PI = 30.52 \%$ $OCR = 1$	$\gamma_d = 1.048 \text{ gr/cm}^3$ $w = 47.065 \%$ $n = 63.982 \%$ $\gamma_s = 0.658 \text{ gr/cm}^3$ $c = 0.476$ $\phi = 17.02^\circ$	N SPT = 29/30
-2000 cm	Silt, Abu-abu $\gamma_b = 1.629 \text{ gr/cm}^3$ $e = 1.309$ $G_s = 2.730$ $PI = 33.750 \%$ $OCR = 1$	$\gamma_d = 1.182 \text{ gr/cm}^3$ $w = 37.819 \%$ $n = 56.703 \%$ $\gamma_s = 0.749 \text{ gr/cm}^3$ $c = 0.319$ $\phi = 33.08^\circ$	N SPT = 35/30
-2500 cm			

Gambar 4.1 Profil tanah Tawangsari Sukoharjo

0 cm	Silt	$\gamma_b = 1.660 \text{ gr/cm}^3$	$\gamma_d = 1.151 \text{ gr/cm}^3$	N SPT = 6/30
		$e = 1.333$	$w = 44.157 \%$	
		$G_s = 2.686$	$n = 57.148 \%$	
		$PI = 17.660 \%$	$c = 0.182$	
		$OCR = 1$	$\phi = 12.68^\circ$	
-400 cm	Silt	$\gamma_b = 1.581 \text{ gr/cm}^3$	$\gamma_d = 1.054 \text{ gr/cm}^3$	N SPT = 3/30
		$e = 1.385$	$w = 49.989 \%$	
		$G_s = 2.524$	$n = 57.148 \%$	
		$PI = 17.660 \%$	$c = 0.182$	
		$OCR = 1$	$\phi = 10.58^\circ$	
-600 cm	Pasir	$\gamma_b = 1.827 \text{ gr/cm}^3$	$\gamma_d = 1.618 \text{ gr/cm}^3$	N SPT = 15/30
		$e = 0.755$	$w = 18.915 \%$	
		$G_s = 2.839$	$n = 43.008 \%$	
		$\Phi = 35^\circ$	$\gamma = 1.048 \text{ gr/cm}^3$	
		$OCR = 1$	$c = 0$	
			$\phi = >35^\circ$	
-1000 cm	Silt	$\gamma_b = 1.577 \text{ gr/cm}^3$	$\gamma_d = 1.050 \text{ gr/cm}^3$	N SPT = 13/30
		$e = 1.558$	$w = 50.146 \%$	
		$G_s = 2.681$	$n = 60.908 \%$	
		$PI = 59.54 \%$	$\gamma = 0.657 \text{ gr/cm}^3$	
		$OCR = 1$	$c = 0.405$	
			$\phi = 24.61^\circ$	
-1700 cm	Pasir	$\gamma_b = 1.805 \text{ gr/cm}^3$	$\gamma_d = 1.470 \text{ gr/cm}^3$	N SPT = 34/30
		$e = 0.988$	$w = 23.282 \%$	
		$G_s = 2.922$	$n = 49.691 \%$	
		$\Phi = 35^\circ$	$\gamma = 0.967 \text{ gr/cm}^3$	
		$OCR = 1$	$c = 0$	
			$\phi = >35^\circ$	
-2300 cm	Pasir	$\gamma_b = 1.661 \text{ gr/cm}^3$	$\gamma_d = 1.411 \text{ gr/cm}^3$	N SPT = 35/30
		$e = 1.012$	$w = 17.713 \%$	
		$G_s = 2.839$	$n = 50.299 \%$	
		$\Phi = 35^\circ$	$\gamma = 0.914 \text{ gr/cm}^3$	
		$OCR = 1$	$c = 0$	
			$\phi = >35^\circ$	
-2500 cm				

Gambar 4.2 Profil Tanah Tawang Sari II Sukoharjo.

0 cm	Lempung $\gamma_b = 1.7973 \text{ gr/cm}^3$ $e = 0.9292$ $G_s = 2.64$ $PI = 35.42\%$ $OCR = 1$	$N_{SPT} = 7/30$ $w = 31.11\%$ $n = 48.17\%$ $c = 0.08$ $\phi = 10^\circ$
-250 cm	Pasir $\gamma_b = 1.5991 \text{ gr/cm}^3$ $e = 0.9473$ $G_s = 2.6533$ $\Phi = 20^\circ$ $OCR = 1$ $OCR = 1$	$N_{SPT} = 2/30$ $w = 17.36\%$ $n = 48.17\%$ $\gamma_s = 0.8490 \text{ gr/cm}^3$ $c = 0.1$ $\phi = 20^\circ$
-500 cm	Pasir $\gamma_b = 1.7113 \text{ gr/cm}^3$ $e = 1.4558$ $G_s = 2.6259$ $\gamma_s = 0.719 \text{ gr/cm}^3$ $OCR = 1$	$w = 47.38\%$ $\Phi = 8^\circ$ $n = 55.78\%$ $c = 0.06$ $\phi = 8^\circ$
-1000 cm	Lempung $\gamma_b = 1.6638 \text{ gr/cm}^3$ $e = 1.4558$ $G_s = 2.5678$ $PI = 34.97\%$ $OCR = 1$	$N_{SPT} = 6/30$ $w = 59.12\%$ $n = 59.28\%$ $\gamma_s = 0.6384 \text{ gr/cm}^3$ $c = 0.28$ $\phi = 6^\circ$
-1300 cm	Lempung $\gamma_b = 1.4803 \text{ gr/cm}^3$ $e = 1.6387$ $G_s = 2.6073$ $PI = 23.92\%$ $OCR = 1$ $OCR = 1$	$\gamma_d = 1.124 \text{ gr/cm}^3$ $w = 49.81\%$ $n = 62.1\%$ $\gamma_s = 0.6091 \text{ gr/cm}^3$ $c = 0.08$ $\phi = 10^\circ$
-1550 cm	Lempung $\gamma_b = 1.5963 \text{ gr/cm}^3$ $e = 1.3761$ $G_s = 2.6710$ $PI = 32.42\%$ $OCR = 1$ $OCR = 1$	$N_{SPT} = 16/30$ $w = 42.01\%$ $n = 57.91\%$ $\gamma_s = 0.7032 \text{ gr/cm}^3$ $c = 0.3$ $\phi = 8^\circ$
-1850 cm		

Gambar 4.3 Profil Tanah Jl. Pemuda Semarang

4.2.2 Data Gempa

Untuk data input percepatan tanah pada *base rock* dipakai input respon riwayat waktu (*time story*) gempa :

- a. Koyna dengan Magnitude 6,5 Richter dan jarak episentrum 5,6 Km,
- b. Kobe dengan Magnitude 7,2 Richter dan jarak episentrum 19,2 Km,
- c. Miiyagi dengan Magnitude 7,4 Richter dan jarak episentrum 100 Km,
- d. El Centro dengan Magnitude 7,1 Richter dan jarak episentrum 9,0 Km.

Percepatan tanah semua gempa dianggap terjadi pada lapis *base rock* atau lapis batuan dasar.

4.2.3 Data Bangunan

Struktur Bangunan merupakan struktur beton bertulang. Terdiri dari 9 lantai dengan luas bangunan $60 \times 18 \text{ m}^2$, dengan massa bangunan 13000 Ton.

Dengan luas bangunan $60 \times 18 \text{ m}^2$, maka $q = \frac{13000}{60 \times 18} = 11.944 \text{ T/m}^2$

4.3 Cara Memperoleh Data

Data dalam penulisan tugas akhir ini diperoleh dari

- Untuk data tanah dari Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Diponegoro, Semarang.
- Sedangkan data input riwayat waktu gempa yang dipakai adalah respon riwayat gempa yang diperoleh dari buku-buku literatur.

4.4 Pengolahan dan Analisa Data

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

1. Menentukan data-data property tanah, meliputi :
 - a. Tebal lapisan tanah.
 - b. Angka pori e
 - c. Berat jenis tanah γ_b
 - d. Sudut geser dalam ϕ
 - e. Indeks plastisitas PI
2. Menghitung $\gamma_{efektif}$
3. Menghitung $\bar{\sigma}_1, \bar{\sigma}_2, \bar{\sigma}_3$ dan $\bar{\sigma}_o$
4. Menghitung regangan geser tanah
5. Menghitung modulus geser G_{max}
6. Menghitung nilai modulus geser G
7. Menghitung massa tiap-tiap lapis tanah m
8. Menghitung kekakuan tanah k
9. Menghitung “dumping ratio max” tanah D
10. Menghitung “dumping ratio” tanah D
11. Membuat model persamaan keseimbangan dinamik.
12. Menghitung mode shape tiap lapisan tanah ϕ .
13. Menghitung partisipasi setiap mode Γ
14. Menghitung model amplitudo $\ddot{Z}$

15. Menghitung percepatan tanah
16. Menghitung kecepatan tanah
17. Menghitung simpangan tanah
18. Menghitung regangan geser
19. Menganalisa perhitungan percepatan tanah.
20. Pembahasan.

BAB V

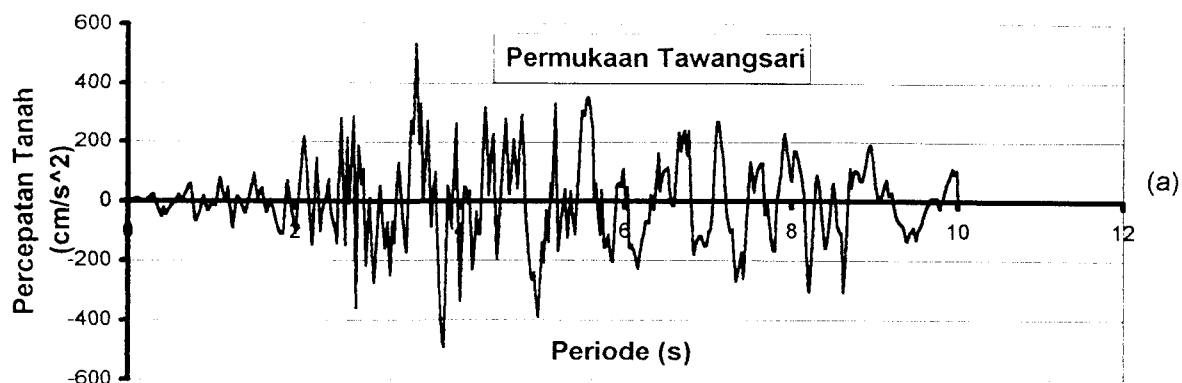
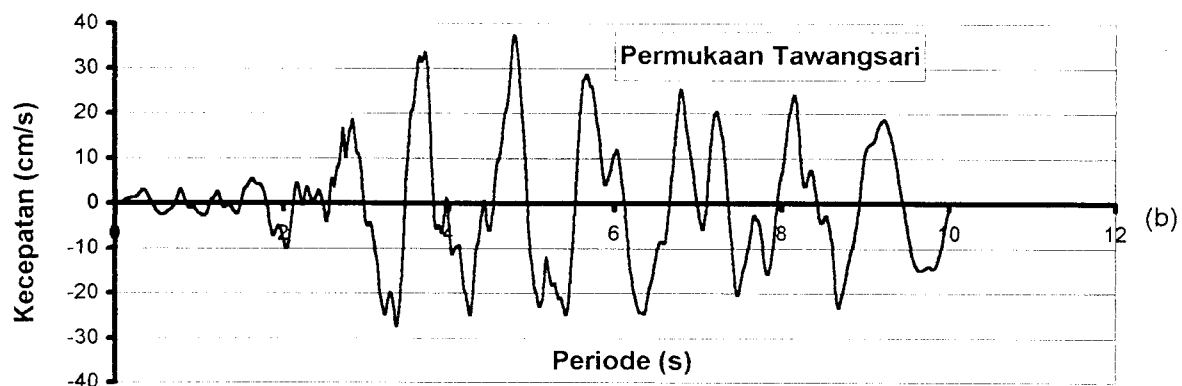
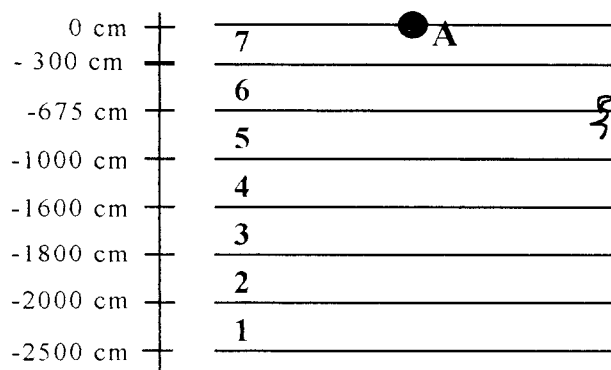
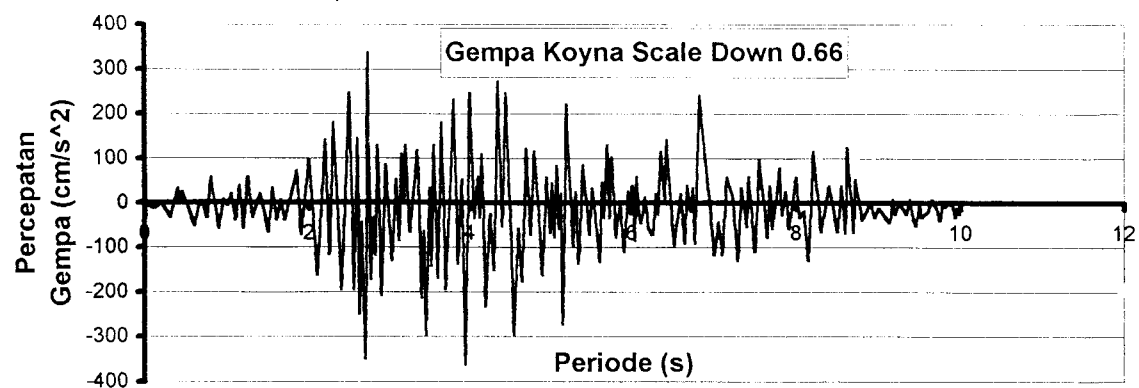
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Perhitungan Respon Seismik untuk Tanah Pada Daerah Dalangan Tawang Sari Sukoharjo

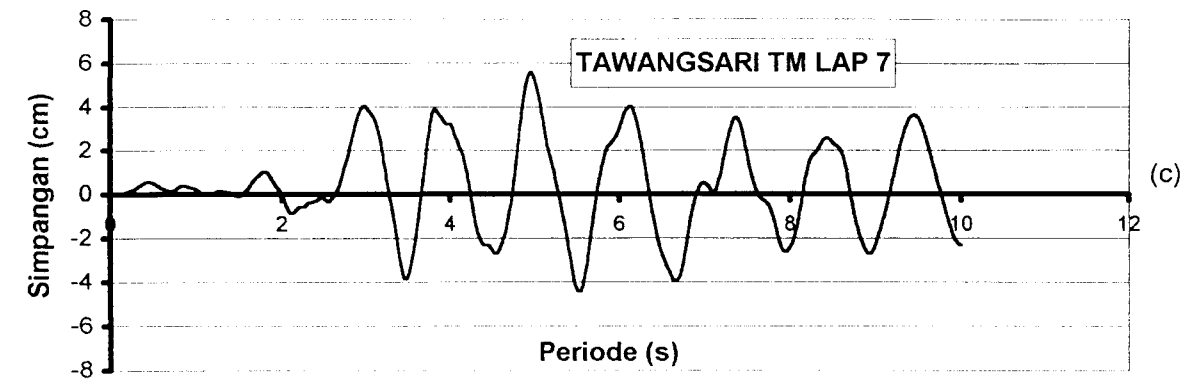
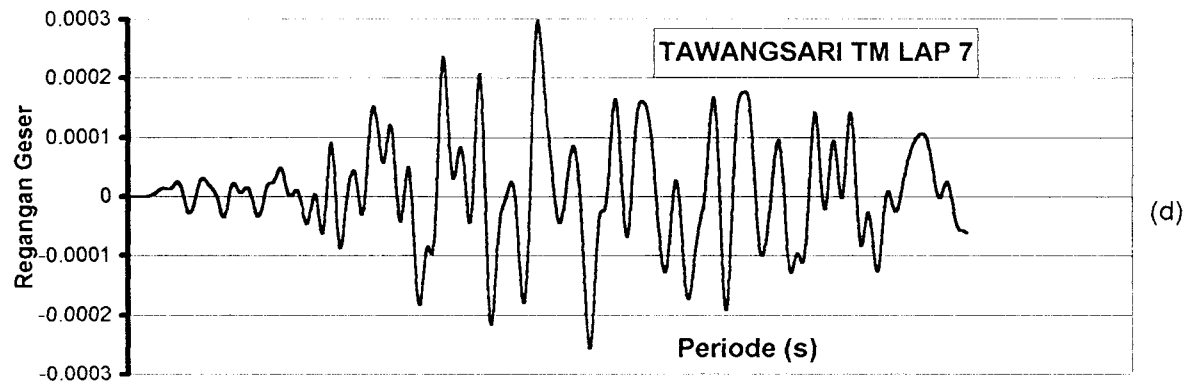
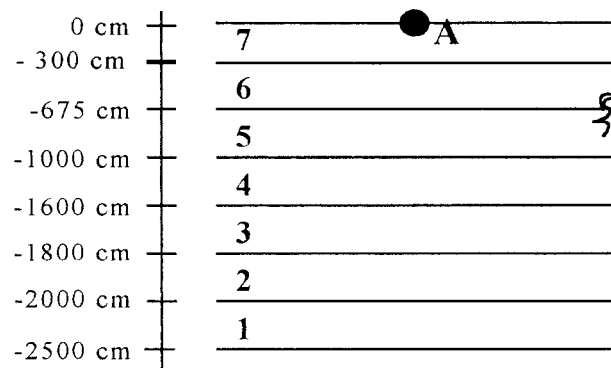
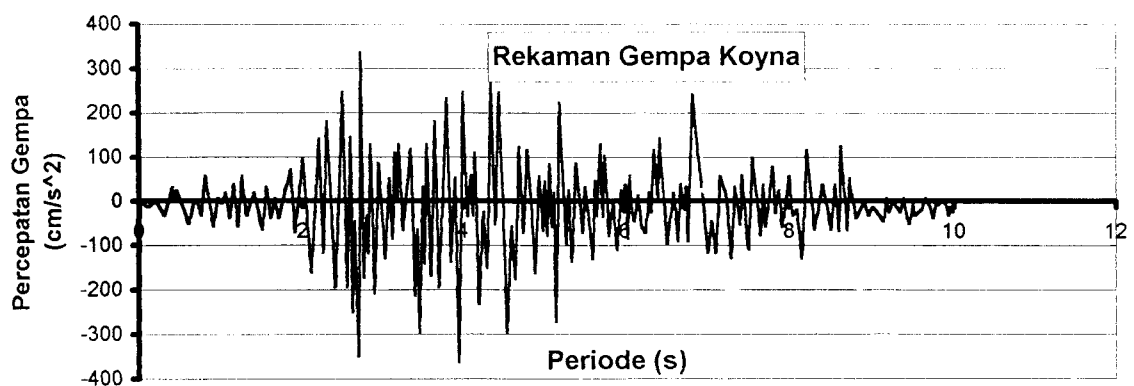
Untuk tanah pada lokasi di daerah Dalangan Tawang Sari, Sukoharjo baik tanpa massa bangunan di atasnya (kondisi *free field*) maupun yang terdapat massa bangunan di atasnya, respon seismik tanah dapat dilihat pada gambar 5.1 - gambar 5.16. Untuk detailnya dapat dilihat pada tabel 5.1 - tabel 5.4

Tabel 5.1 Perbandingan percepatan yang terjadi akibat gempa daerah Tawang Sari

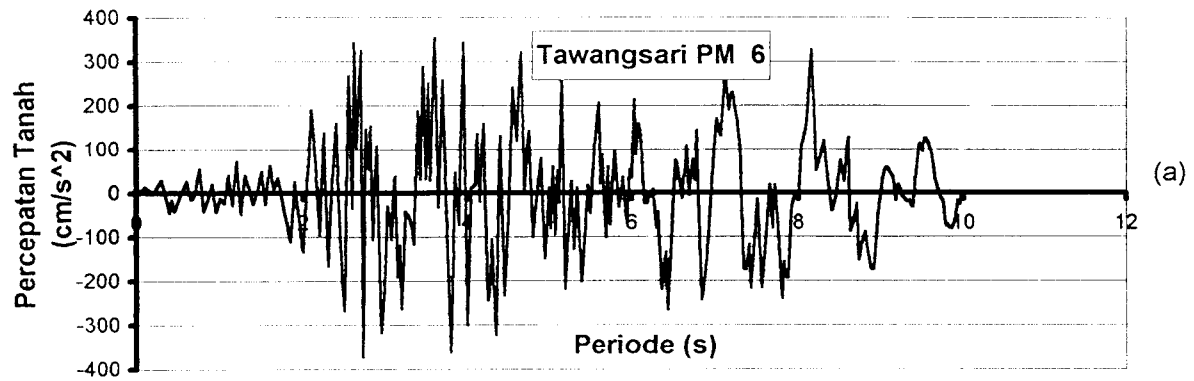
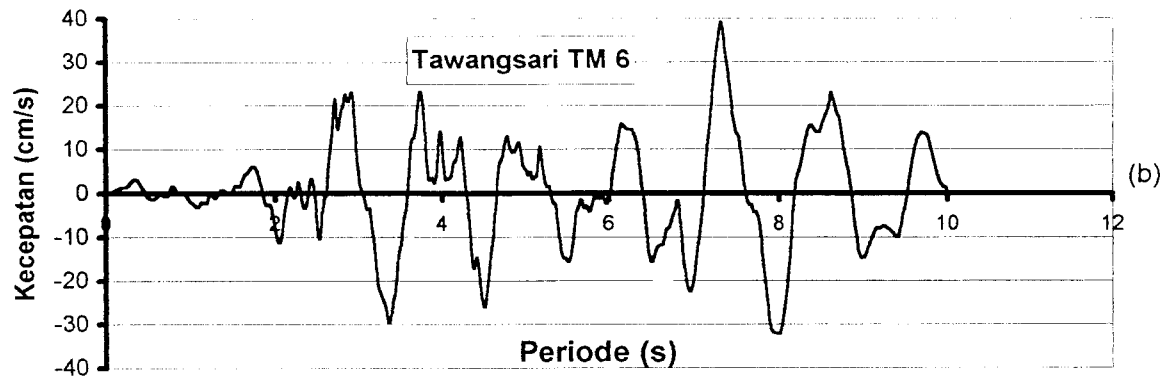
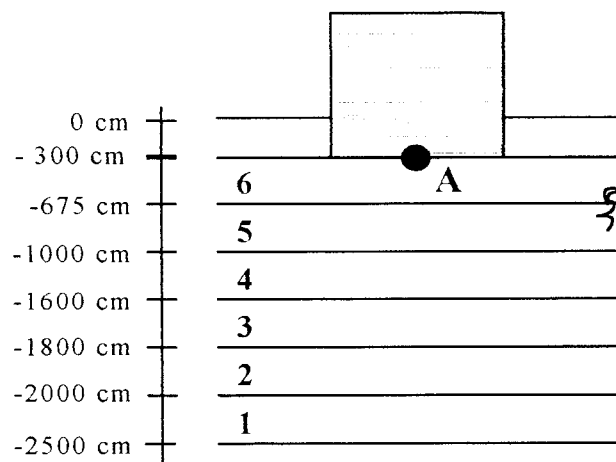
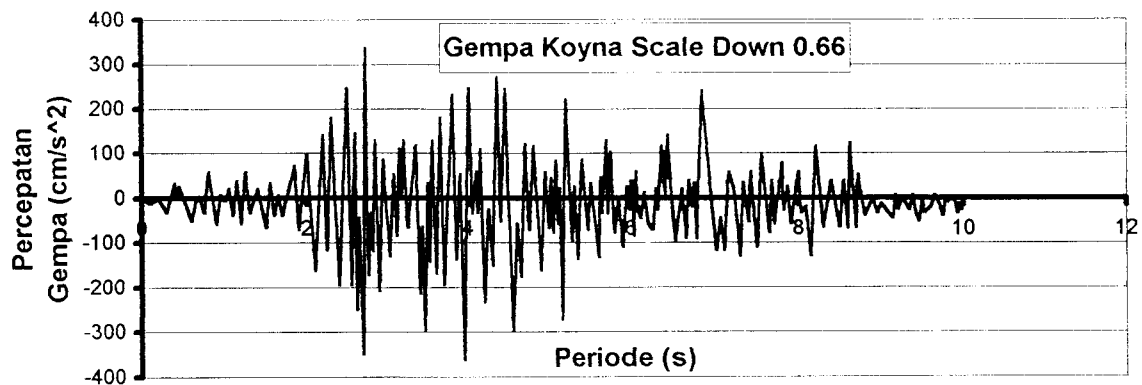
Gempa	Percepatan gempa Pada <i>Base Rock</i>	Pada kondisi <i>free field</i>	Pada kondisi terdapat massa bangunan di atas Lapisan tanah
1. Koyna	362,206 cm/s ²	531,21 cm/s ²	372,717 cm/s ²
2. Kobe	197,568 cm/s ²	595,94 cm/s ²	366,467 cm/s ²
3. Miiyaki	39,2 cm/s ²	130,887 cm/s ²	85,724 cm/s ²
4. El Centro	203,283 cm/s ²	340,77 cm/s ²	314,83 cm/s ²



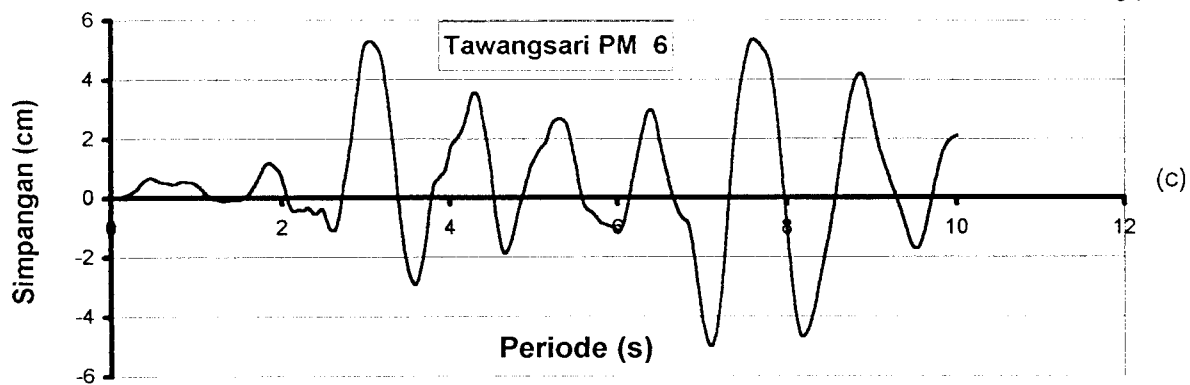
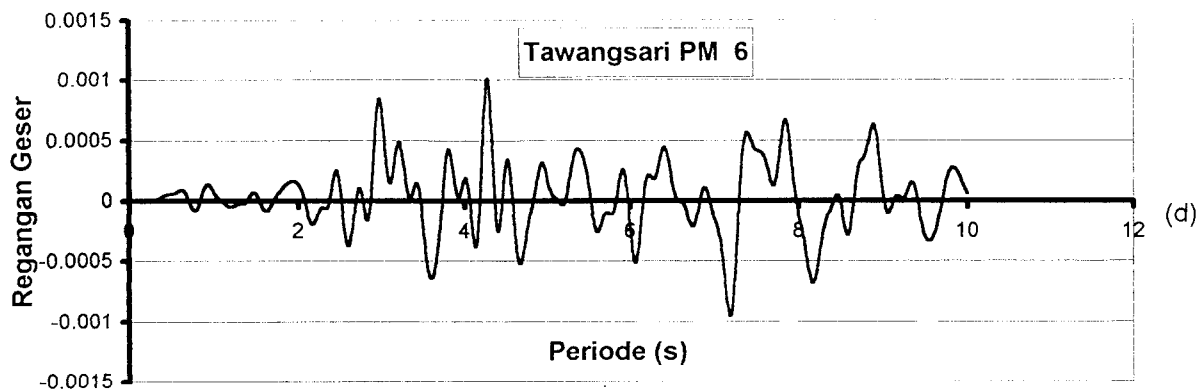
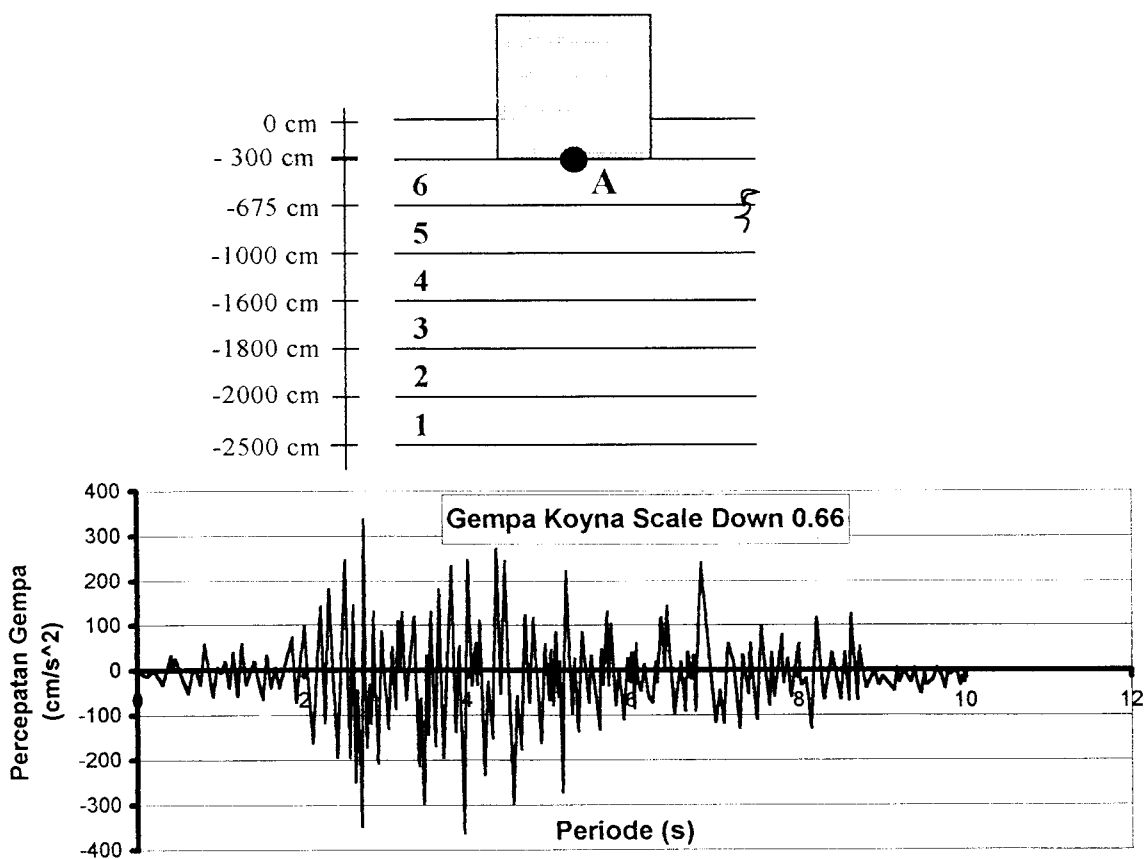
Gambar 5.1 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Koyana di daerah Tawang Sari, Sukoharjo tanpa massa bangunan.



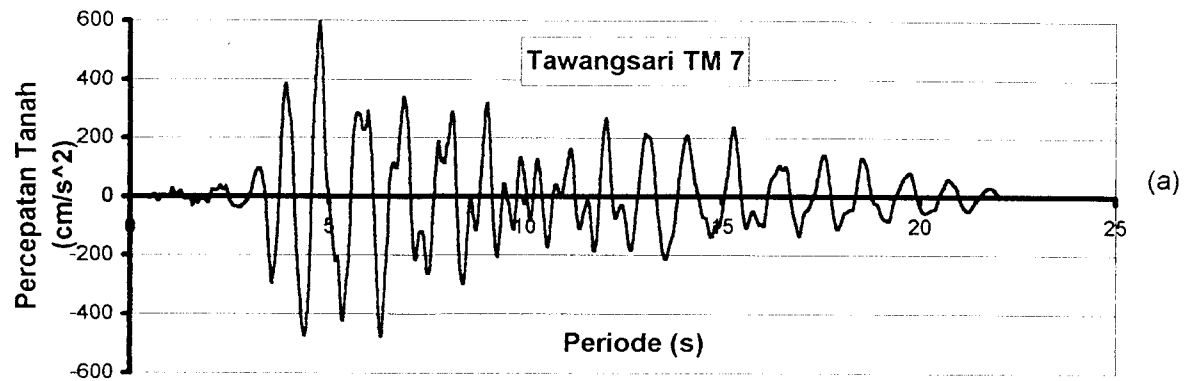
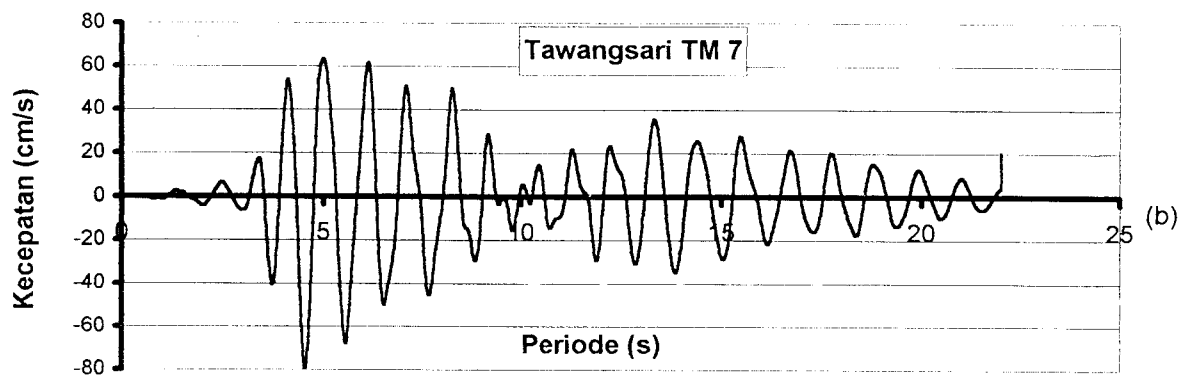
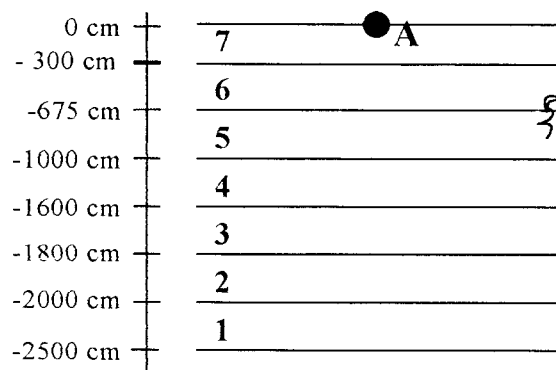
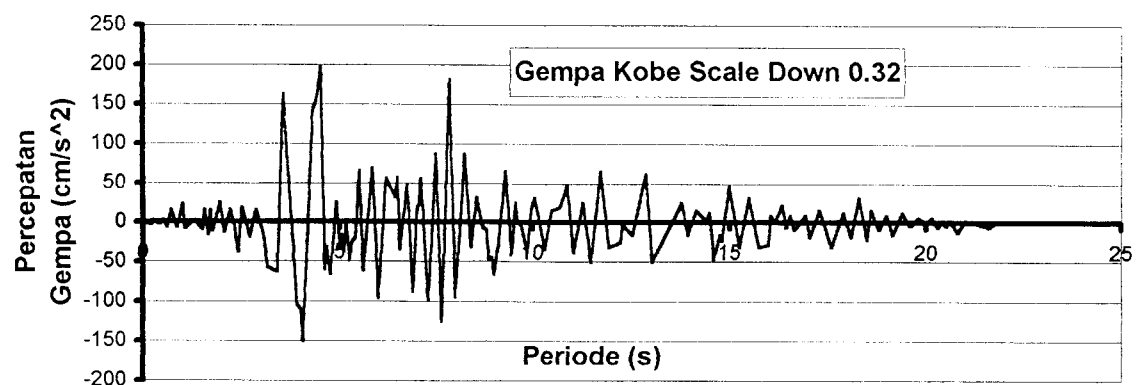
Gambar 5.2 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Koyna di daerah Tawangsari, Sukoharjo tanpa massa bangunan.



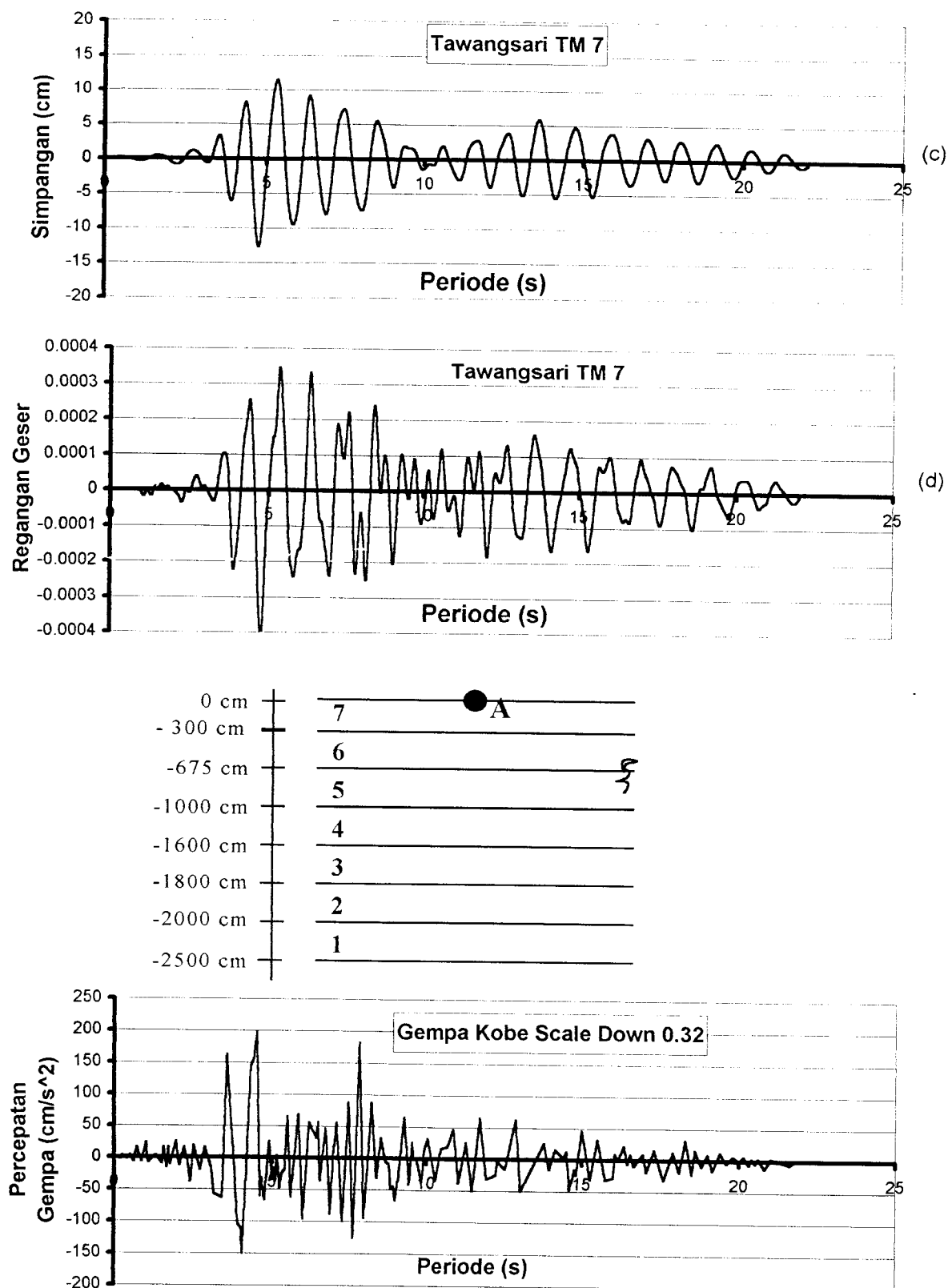
Gambar 5.3 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Koyana di daerah Tawang Sari, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan.



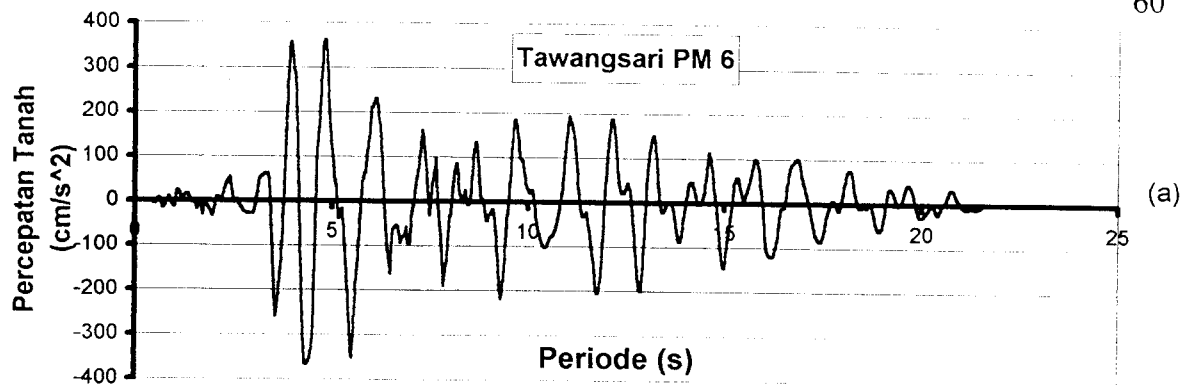
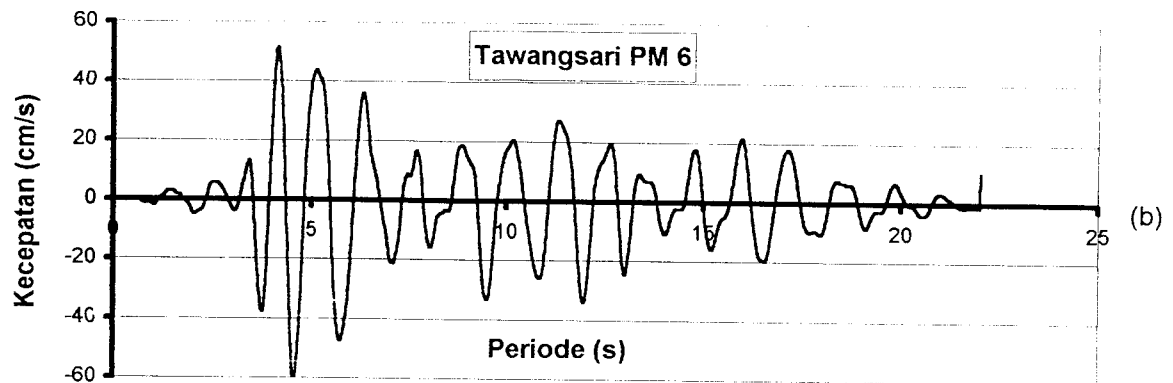
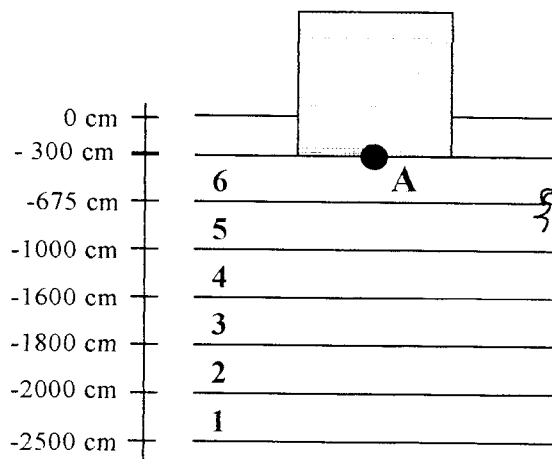
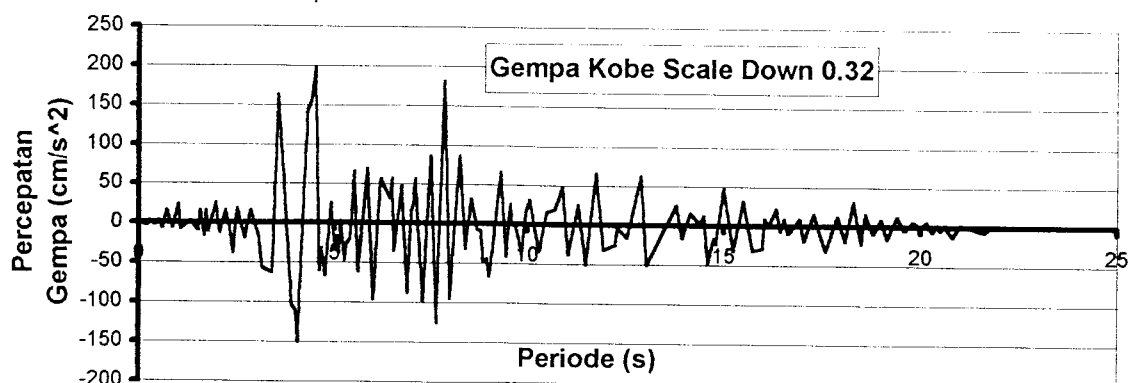
Gambar 5.4 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Koyna didaerah Tawangsari, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan.



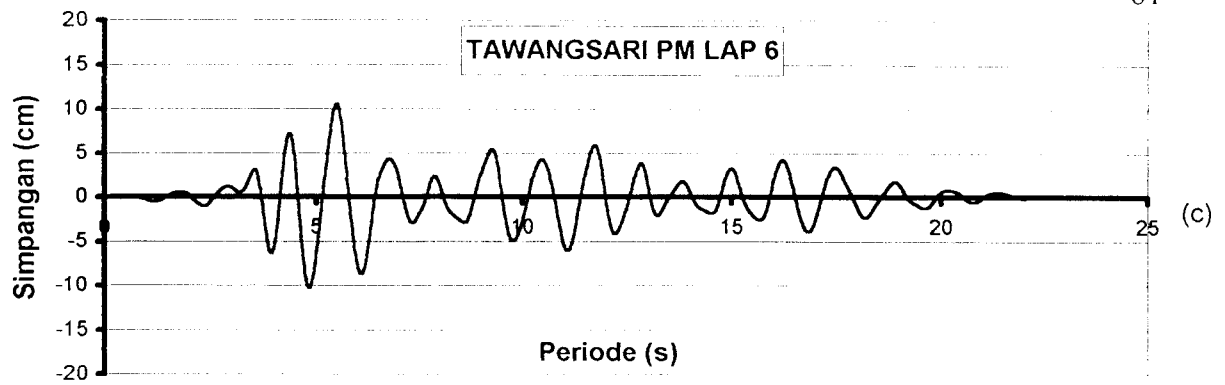
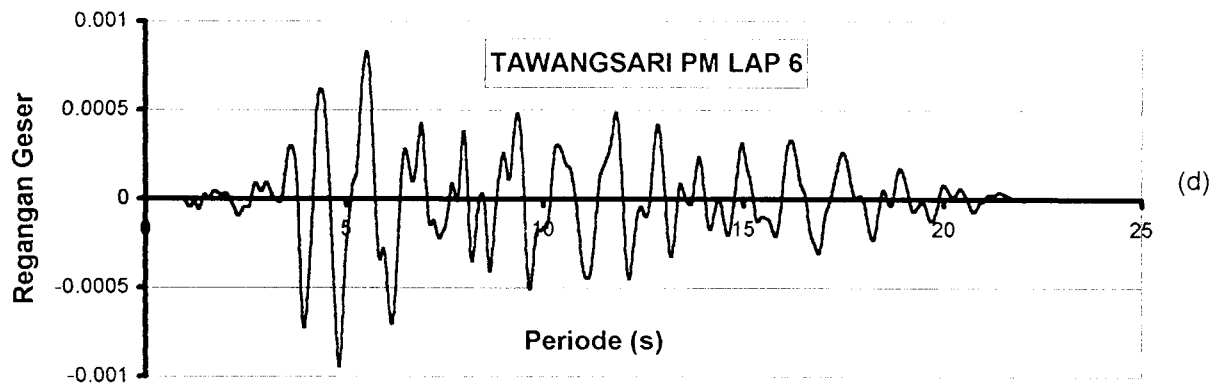
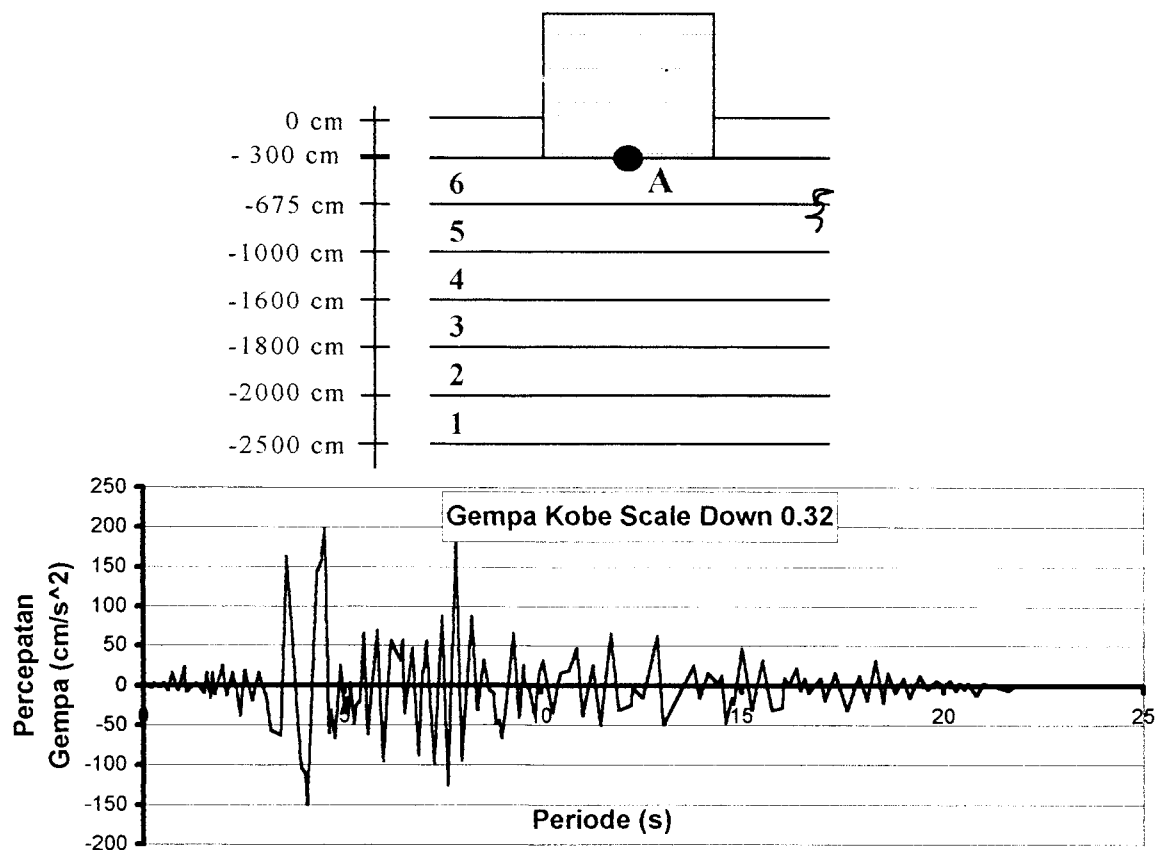
Gambar 5.5 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Kobe di daerah Tawang Sari, Sukoharjo tanpa massa bangunan.



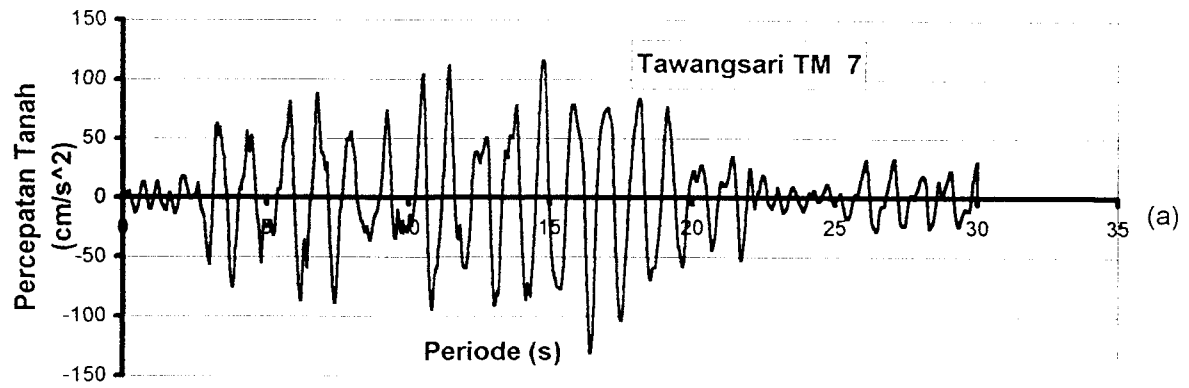
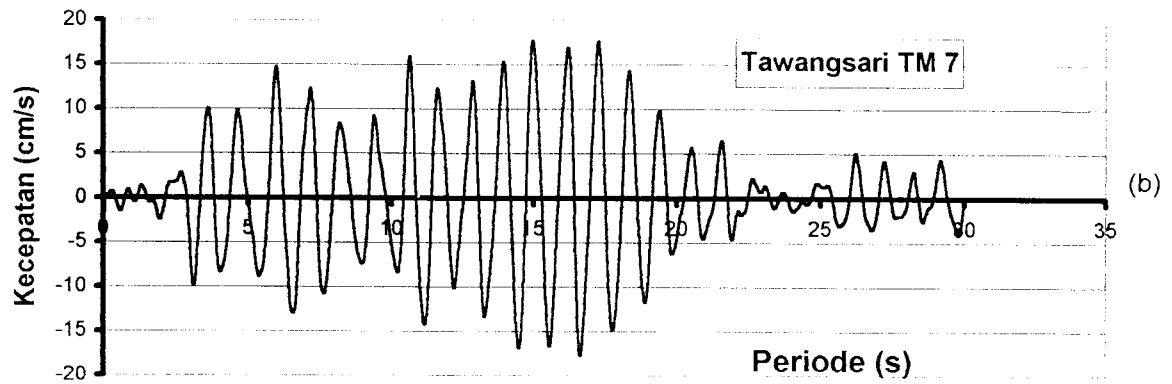
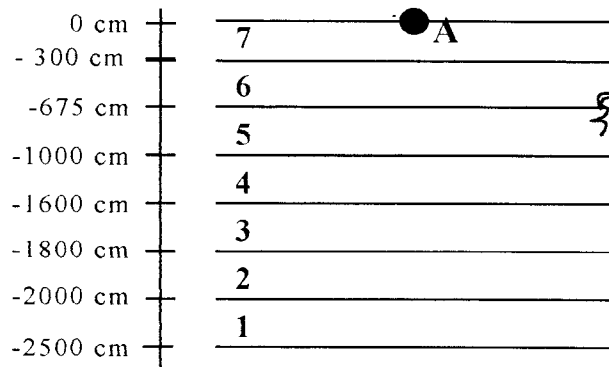
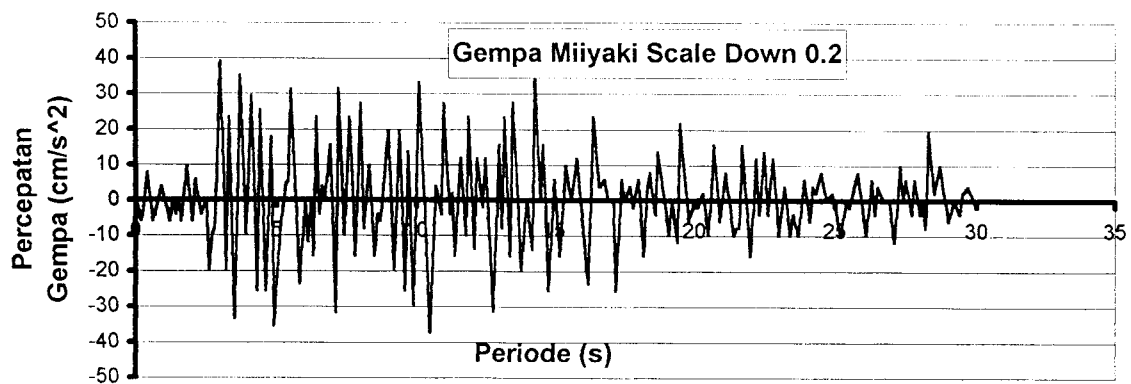
Gambar 5.6 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Kobe di daerah Tawangsari, Sukoharjo tanpa massa bangunan.



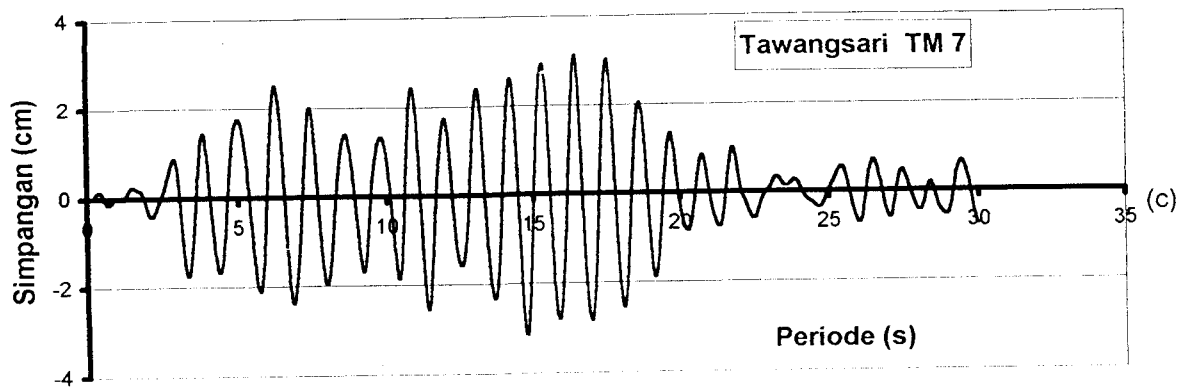
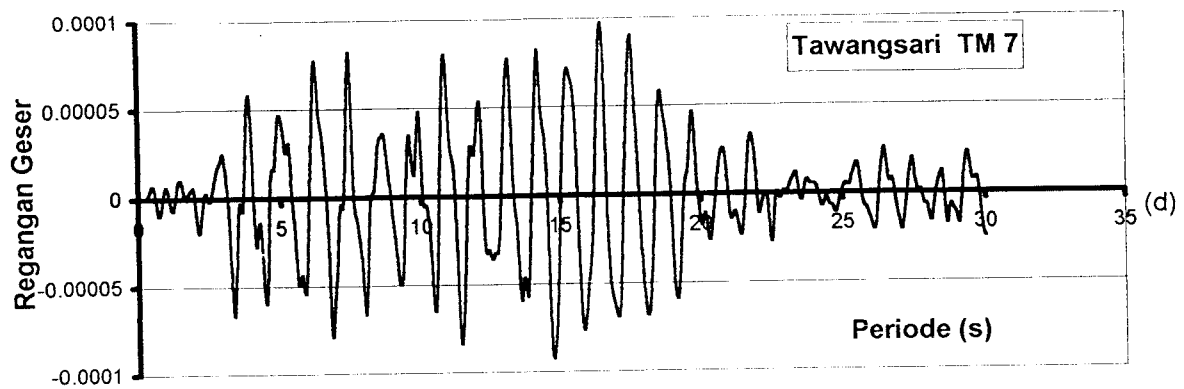
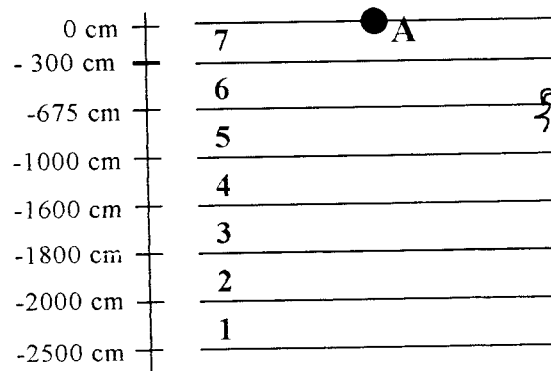
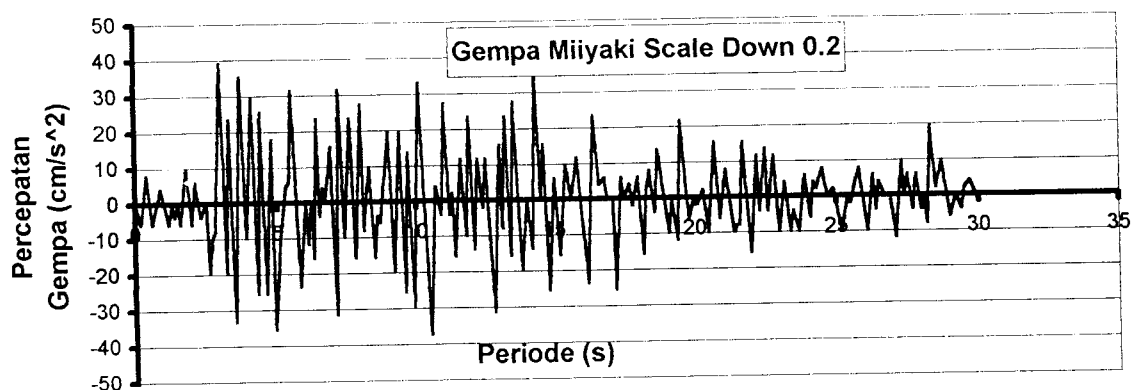
Gambar 5.7 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Kobe didaerah Tawangsari, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan.



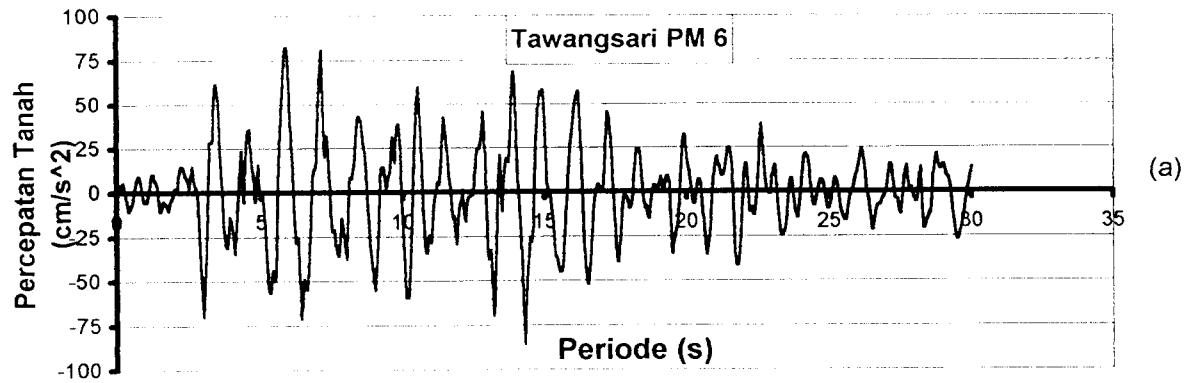
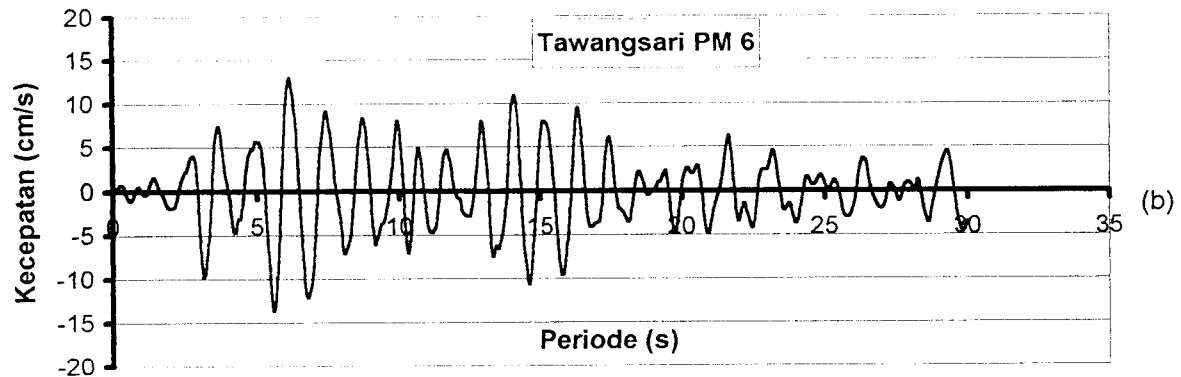
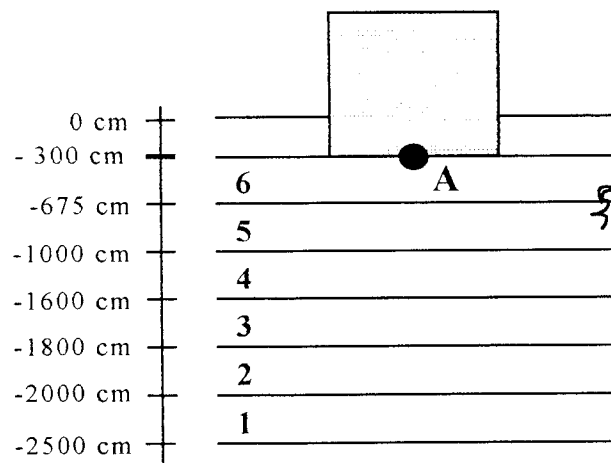
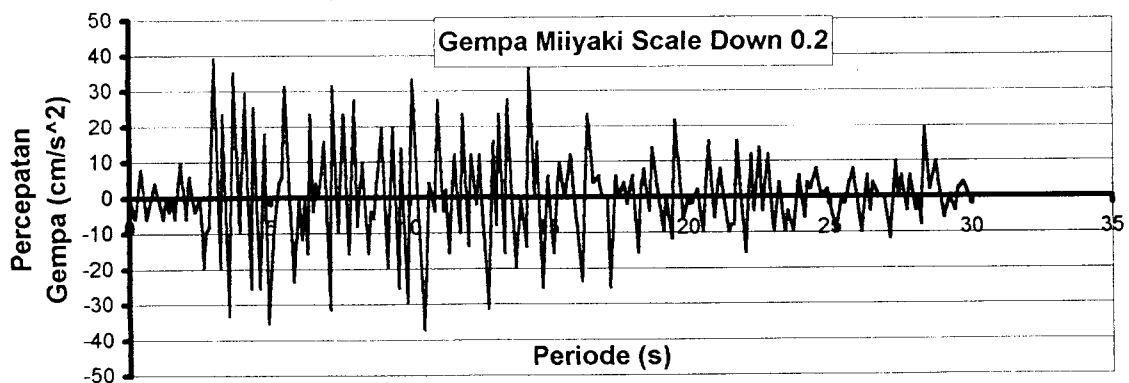
Gambar 5.8 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Kobe di daerah Tawang Sari, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan.



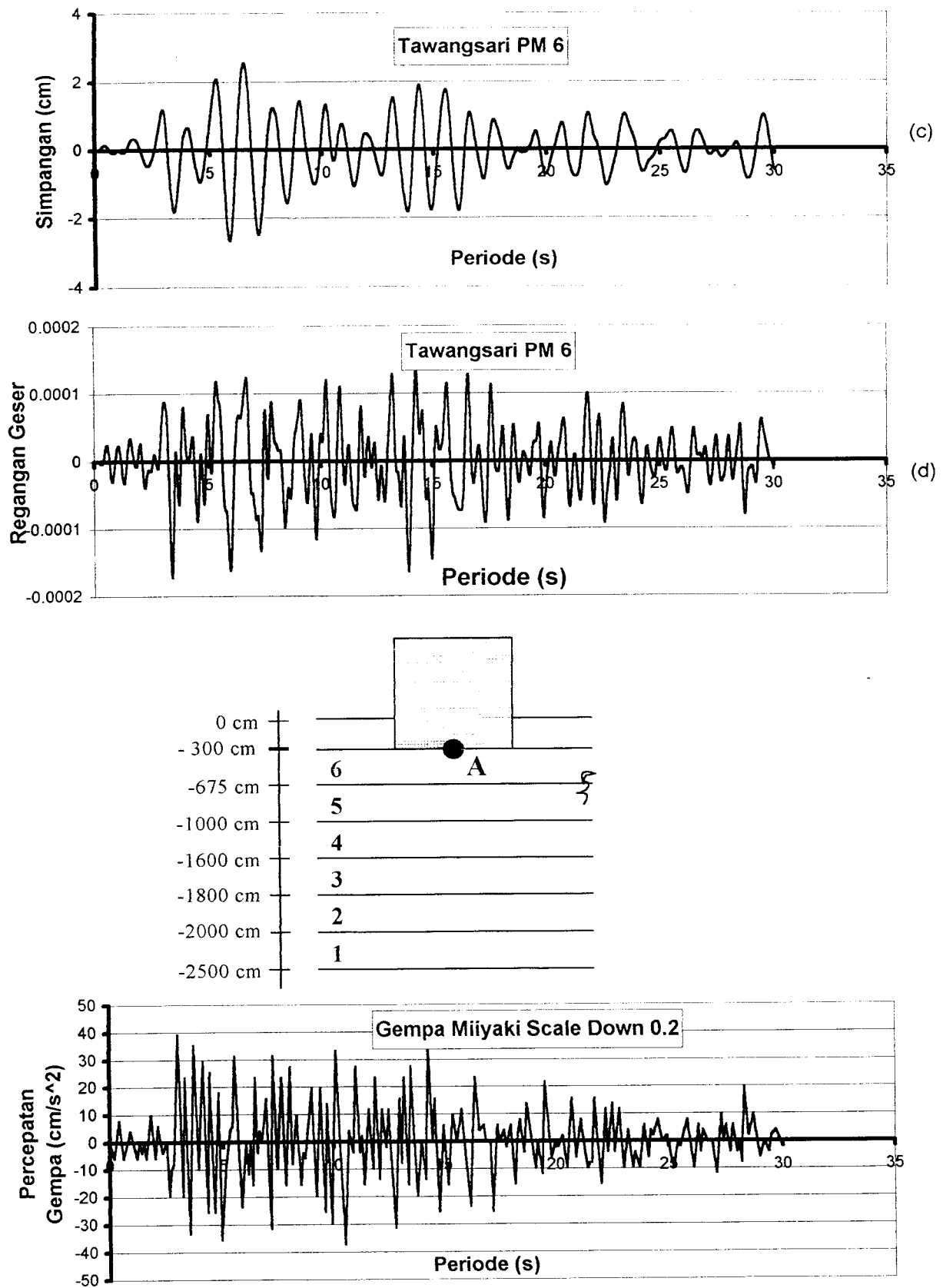
Gambar 5.9 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Miyaki di daerah Tawangsari, Sukoharjo tanpa massa bangunan.



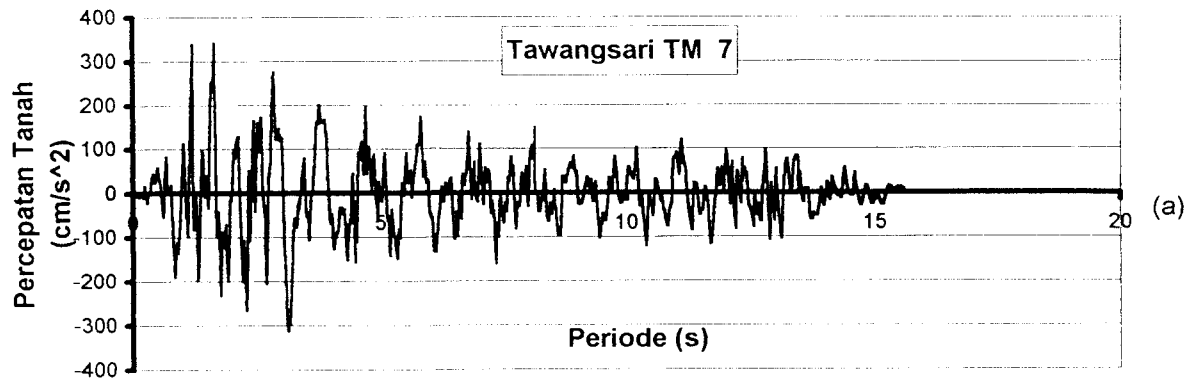
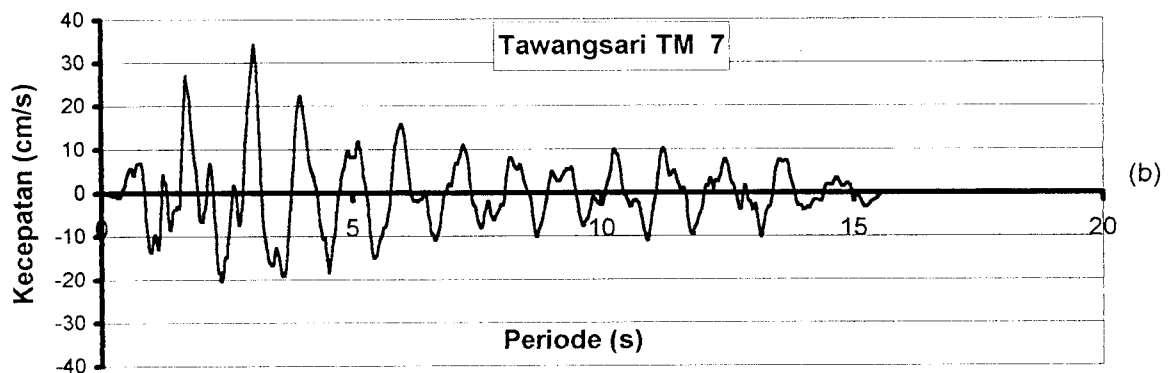
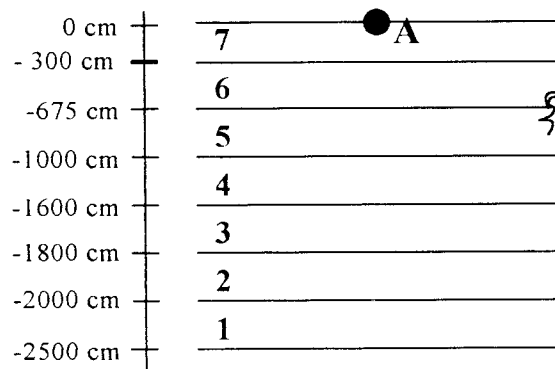
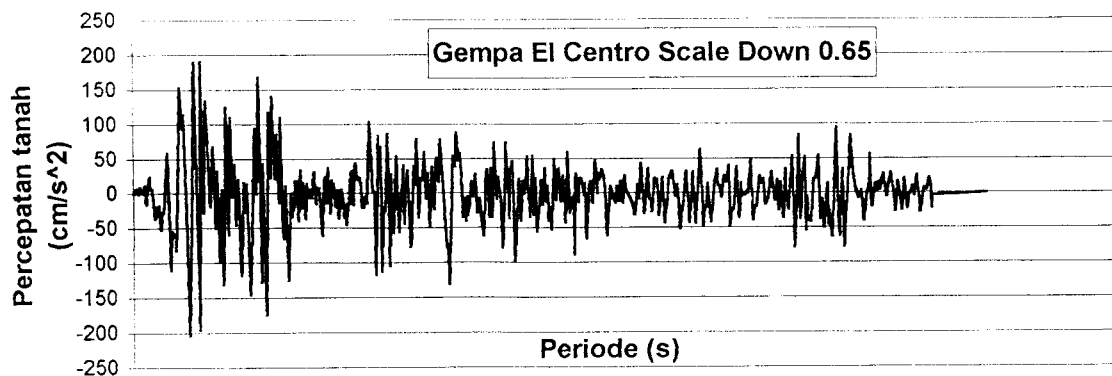
Gambar 5.10 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Miyaki di daerah Tawangsari, Sukoharjo tanpa massa bangunan.



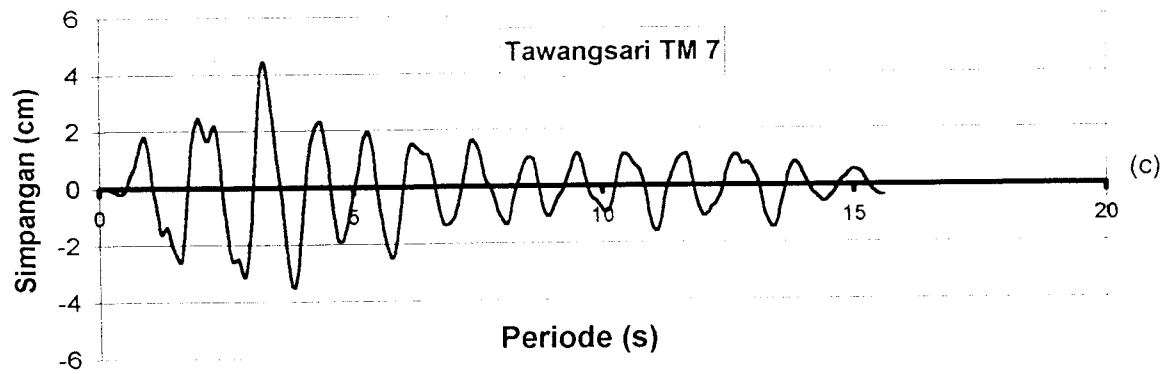
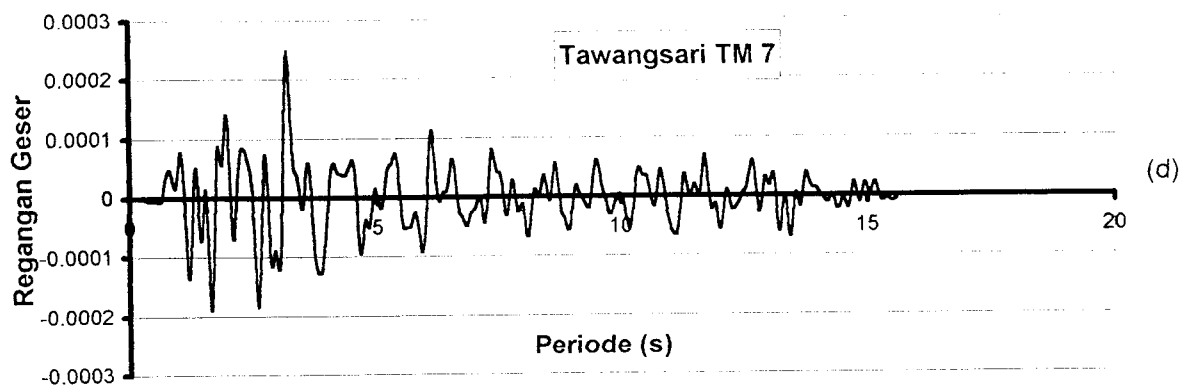
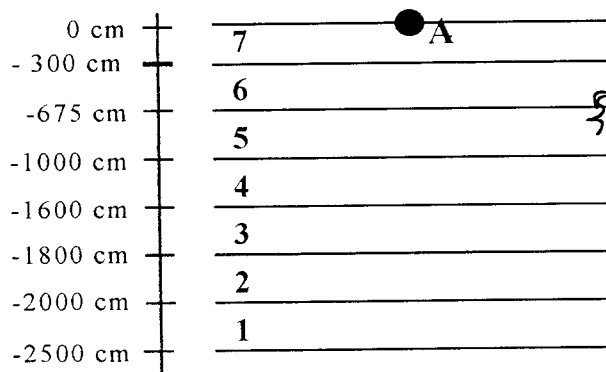
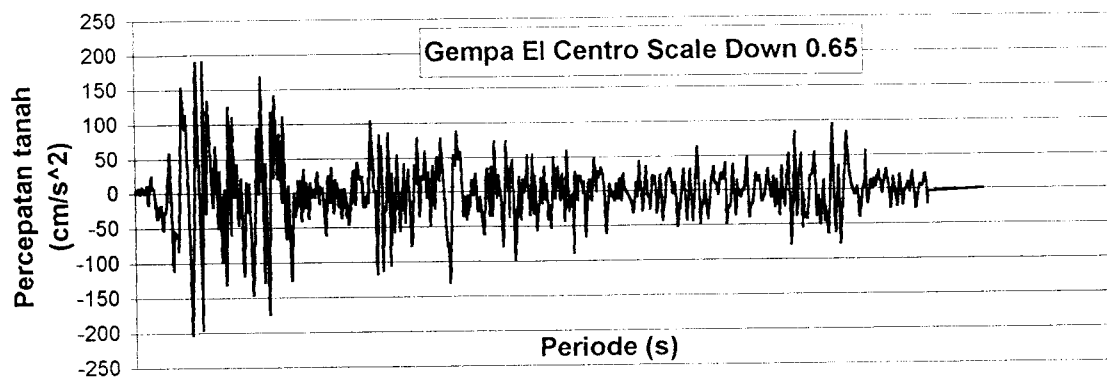
Gambar 5.11 Gambar (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Miiyaki di daerah Tawangsari, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan.



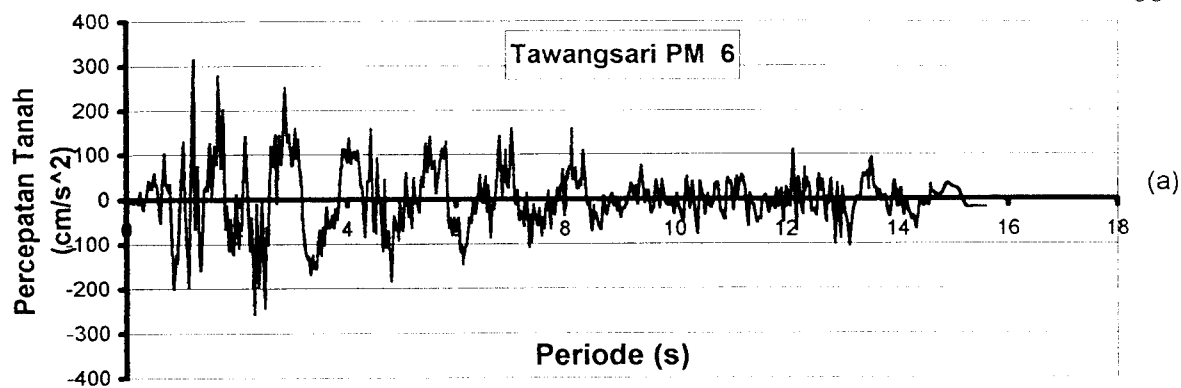
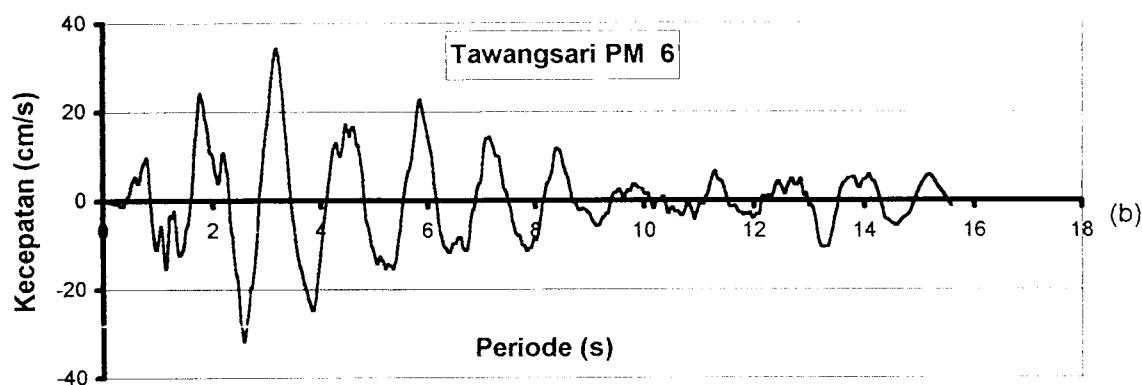
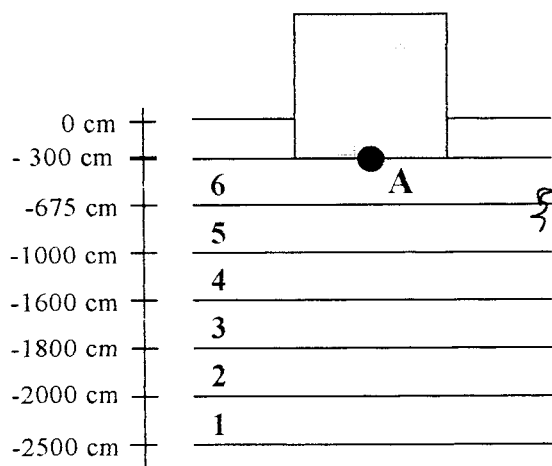
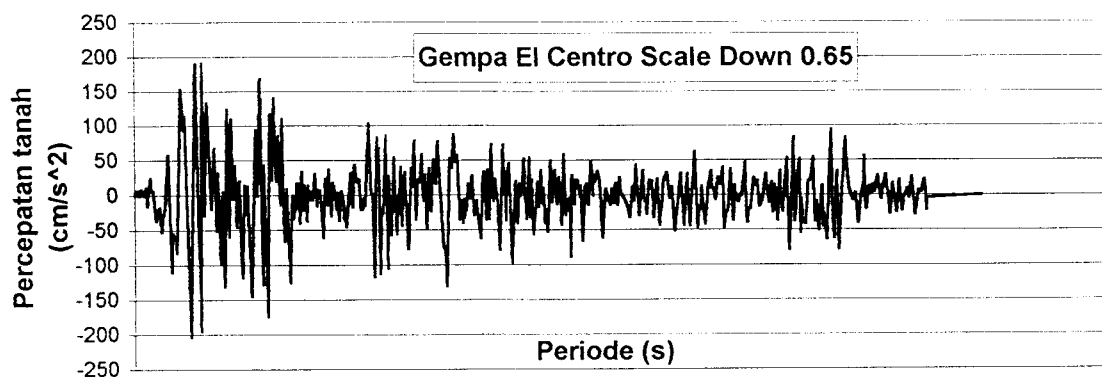
Gambar 5.12 Gambar (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Miyaki di daerah Tawangsari, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan.



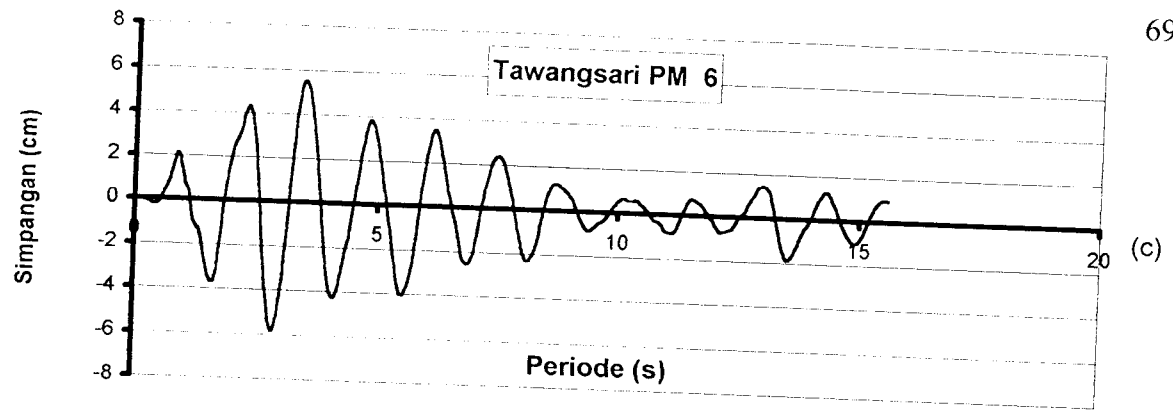
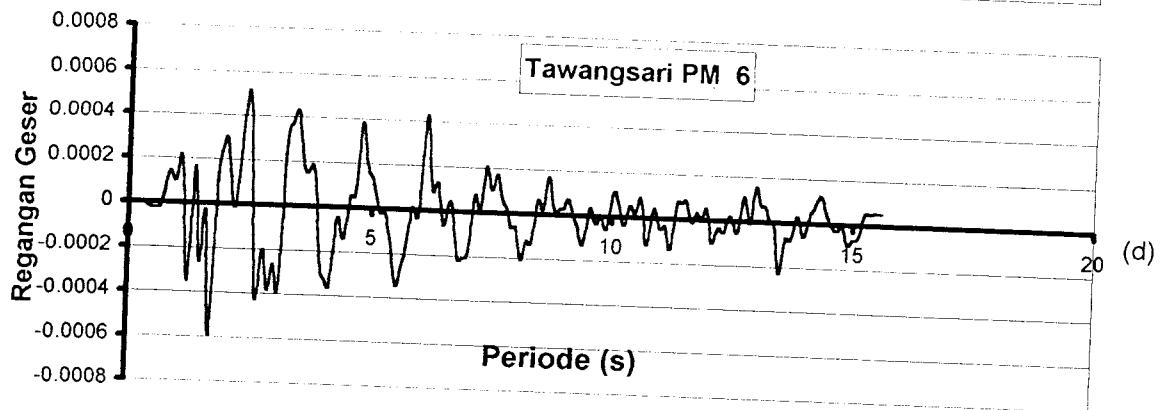
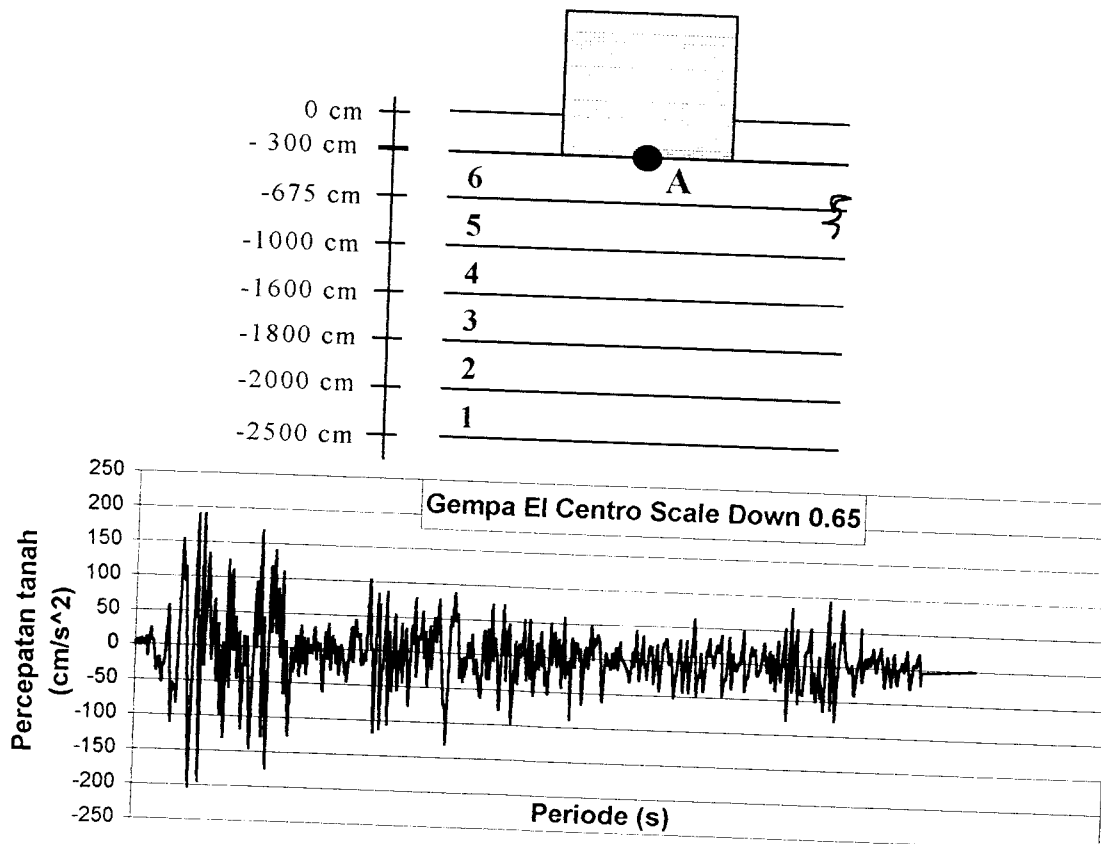
Gambar 5.13 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa El Centro di daerah Tawang Sari, Sukoharjo tanpa massa bangunan.



Gambar 5.14 Grafik (c) Simpangan dan (d) regangan Geser akibat Gempa El Centro di daerah Tawang Sari, Sukoharjo tanpa massa bangunan.



Gambar 5.15 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa El Centro di daerah Tawangsari, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan.



Gambar 5.16 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa El Centro di daerah Tawangsari, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan.

Tabel 5.2 Perbandingan kecepatan yang terjadi akibat gempa daerah Tawang Sari

Gempa	Percepatan gempa pada <i>Base Rock</i>	Pada kondisi <i>free field</i>	Pada kondisi terdapat massa bangunan diatas Lapisan tanah
1. Koyna	362,206 cm/s ²	39,088 cm/s	37,45 cm/s
2. Kobe	197,568 cm/s ²	79,35 cm/s	61,45 cm/s
3. Miiyaki	39,2 cm/s ²	17,74 cm/s	13,68 cm/s
4. ElCentro	203,283 cm/s ²	34,3 cm/s	34,11 cm/s

Tabel 5.3. Perbandingan simpangan tiap-tiap gempa daerah Tawang Sari

Gempa	Percepatan gempa pada <i>Base Rock</i>	Pada kondisi <i>free field</i>	Pada kondisi terdapat massa bangunan diatas Lapisan tanah
1. Koyna	362,206 cm/s ²	5,6 cm	5,36 cm
2. Kobe	197,568 cm/s ²	12,7 cm	10,62 cm
3. Miiyaki	39,2 cm/s ²	17,74 cm	13,68 cm
4. ElCentro	203,283 cm/s ²	34,3 cm	34,11 cm

Tabel 5.4. Perbandingan regangan geser pada permukaan tanah tiap-tiap gempa daerah Tawang Sari

Gempa	Percepatan gempa pada <i>Base Rock</i>	Pada kondisi <i>free field</i>	Pada kondisi terdapat massa bangunan diatas Lapisan tanah
1. Koyna	362,206 cm/s ²	2,9.10 ⁻⁴ cm	1,0.10 ⁻³ cm
2. Kobe	197,568 cm/s ²	4,1.10 ⁻⁴ cm	9,4.10 ⁻⁴ cm
3. Miiyaki	39,2 cm/s ²	9,3.10 ⁻⁵ cm	1,7.10 ⁻⁴ cm
4. ElCentro	203,283 cm/s ²	2,5.10 ⁻⁴ cm	5,9.10 ⁻⁴ cm

Dari tabel di atas dapat disimpulkan urutan besarnya percepatan tanah yang terjadi akibat gempa pada lokasi Dalangan Tawang Sari, Sukoharjo untuk kondisi *free field* adalah sebagai berikut :

1. Akibat Gempa Kobe
2. Akibat Gempa Koyna
3. Akibat Gempa ElCentro
4. Akibat Gempa Miiyaki

Untuk kondisi terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah adalah sebagai berikut :

1. Akibat Gempa Koyna
2. Akibat Gempa Kobe
3. Akibat Gempa ElCentro
4. Akibat Gempa Miiyaki

Dari tabel di atas dapat disimpulkan urutan besarnya kecepatan tanah yang terjadi akibat gempa pada lokasi Dalangan Tawang Sari, Sukoharjo untuk kondisi *free field* adalah sebagai berikut :

1. Akibat Gempa Kobe
2. Akibat Gempa Koyna
3. Akibat Gempa ElCentro
4. Akibat Gempa Miiyaki

Untuk kondisi terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah adalah sebagai berikut :

1. Akibat Gempa Kobe
2. Akibat Gempa Koyna
3. Akibat Gempa ElCentro
4. Akibat Gempa Miiyaki

Dari tabel di atas dapat disimpulkan urutan besarnya simpangan tanah yang terjadi akibat gempa pada lokasi Dalangan Tawang Sari , Sukoharjo untuk kondisi *free field* adalah sebagai berikut :

1. Akibat Gempa Kobe
2. Akibat Gempa ElCentro
3. Akibat Gempa Koyna
4. Akibat Gempa Miiyaki

Untuk kondisi terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah adalah sebagai berikut :

1. Akibat Gempa Kobe
2. Akibat Gempa Koyna
3. Akibat Gempa Kobe
4. Akibat Gempa Miiyaki

A/V ratio masing – masing gempa yang terjadi di permukaan tanah untuk kondisi *free field* :

1. Gempa Koyna : 1,387 Hz

- 2. Gempa Kobe : 0.766 Hz
- 3. Gempa Miiyaki : 0.753 Hz
- 4. Gempa El Centro : 1.0138 Hz

A/V ratio masing-masing gempa yang terjadi di permukaan tanah untuk kondisi terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah :

- 1. Gempa Koyna : 1.0155 Hz
- 2. Gempa Kobe : 0.6085 Hz
- 3. Gempa Miiyaki : 0.6394 Hz
- 4. Gempa El Centro : 0.9418 Hz

Dapat dilihat dari hasil A/V ratio bahwa bila terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah akan terjadi penurunan nilai A/V ratio yang berarti terjadi penurunan kandungan frekuensi gempa. Yang berarti bahwa massa bangunan akan menyerap kandungan frekuensi gempa. A/V ratio gempa yang terjadi di permukaan tanah menunjukkan bahwa kandungan frekuensi gempa termasuk frekuensi rendah dan frekuensi menengah. Karena A/V ratio < 0.8 merupakan jenis frekuensi rendah, sedangkan A/V ratio yang berkisar antara $0.8 - 1.2$ merupakan jenis frekuensi menengah.

5.2 Perubahan Kandungan Frekuensi Percepatan Tanah , Kecepatan Tanah dan Simpangan Tanah Yang Terjadi Akibat Gempa

Dari gambar 5.1 – 5.16 dapat dilihat terjadinya perubahan kandungan frekuensi gempa. Hal itu disebabkan karena percepatan tanah merupakan turunan ke dua dari simpangan tanah, sedangkan kecepatan merupakan turunan pertama dari

simpangan gempa. Dengan kata lain kecepatan tanah dapat diperoleh dari menjumlahkan luasan grafik percepatan tanah, sedangkan simpangan tanah dapat diperoleh dengan menjumlahkan luasan grafik kecepatan tanah. Oleh karena itu kandungan frekuensi percepatan tanah lebih tinggi dari kandungan frekuensi kecepatan tanah dan kandungan frekuensi simpangan tanah, dan kandungan frekuensi kecepatan tanah lebih tinggi dari kandungan frekuensi simpangan tanah.

5.3 Amplifikasi Respon Seismik Pada Permukaan Lapisan Tanah

Tabel 5.5 Besarnya amplifikasi untuk daerah Tawang Sari

Gempa	Kondisi	Percepatan	Kecepatan	Simpangan
Koyna	Tanpa Massa	531,21 cm/s ² (+)46.659 %	39,088 cm/s	5,6 cm
	Pakai Massa	372,717 cm/s ² (+)2.902 %	37,45 cm/s	5,36 cm
Kobe	Tanpa Massa	595,94 cm/s ² (+)201.638 %	79,35 cm/s	12,7 cm
	Pakai Massa	366,467 cm/s ² (+)85.489 %	61,45 cm/s	10,62 cm
Miiyaki	Tanpa Massa	130,887 cm/s ² (+)233 %	17,74 cm/s	3,14 cm
	Pakai Massa	85,724 cm/s ² (+)118.684 %	13,68 cm/s	2,67cm
ElCentro	Tanpa Massa	340,77 cm/s ² (+)67.63 %	34,3 cm/s	5,8 cm
	Pakai Massa	314,83 cm/s ² (+)54.87 %	34,11 cm/s	4,5 cm

Dilihat dari jenis tanahnya Lapisan tanah pada lokasi Dalangan Tawang Sari , Sukoharjo merupakan jenis lapisan tanah silt yang sangat berlempung yang mempunyai nilai N SPT berkisar antara 3/30 – 29/30. Selain itu lapisan tanahnya mempunyai nilai PI yang berkisar antara 26 % - 56 %. Dilihat dari nilai indeks plastisitasnya tanah di daerah Dalangan Tawang Sari ini mempunyai plastisitas yang tinggi.

Seperti yang telah diketahui bahwa sifat – sifat fisik tanah merupakan faktor yang akan berpengaruh pada amplifikasi percepatan gempa. Tanah kohesif lunak dengan plastisitas tinggi akan berkecenderungan berperilaku elastik sehingga semakin besar input energi/gaya yang bekerja pada struktur tanah tersebut maka semakin besar respon seismik (kecepatan dan percepatan) tanah yang akan terjadi. Besarnya respon tanah tersebut juga disebabkan kecilnya redaman material yang ada karena tanah dengan plastisitas tinggi nilai ratio redamannya relatif kecil.

Regangan geser tanah yang ditimbulkan oleh gempa mempunyai pengaruh terhadap modulus geser gempa. Semakin kecil regangan geser tanah semakin besar modulus geser tanah . Sedangkan modulus geser tanah akan berpengaruh pada kekakuan tanahnya, semakin besar nilai modulus geser tanah semakin besar kekakuan lapisan tanah tersebut. Kekakuan tanah akan berpengaruh pada respon seismik tanah tersebut, yang kemudian akibat kekakuan lapisan tanah yang berbeda akan membedakan perilaku pada respon seismik lapisan tanah.

Karena regangan geser yang diakibatkan gempa Koyana lebih kecil daripada regangan geser yang diakibatkan gempa Miyaki maupun gempa Kobe maka

modulus geser dan kekakuan pada lapisan tanah akan lebih besar pada gempa Koyna. Yang kemudian respon seismik yang terjadi akibat gempa Koyna baik itu percepatan, kecepatan, maupun simpangan akan lebih kecil respon seismik yang diakibatkan gempa Miiyaki dan gempa Kobe.

Selain itu respon seismik yang terjadi pada kondisi terdapat massa bangunan di atasnya mengalami deamplifikasi jika dibandingkan pada kondisi free field, terjadinya deamplifikasi respon seismik pada kondisi terdapat massa bangunan di atas permukaan tanah disebabkan semakin kakunya tanah tersebut. Besarnya deamplifikasi yang terjadi dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5.6 Besarnya Perubahan Respon Seismik Tanah untuk daerah Tawang Sari

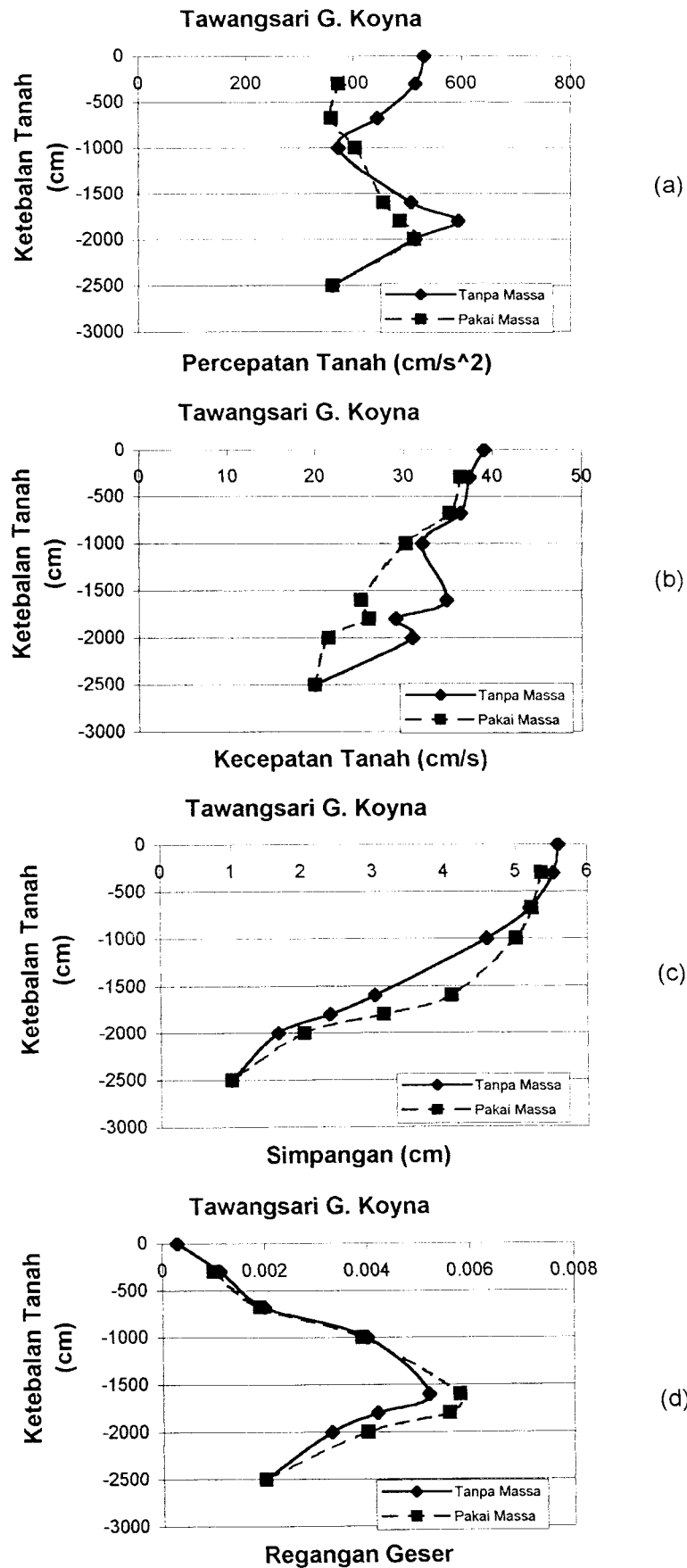
Gempa	Kondisi	Percepatan	Kecepatan	Simpangan
Koyna	Tanpa Massa	531,21 cm/s ²	39,088 cm/s	5,6 cm
	Pakai Massa	372,717 cm/s ² (-)29,836 %	37,45 cm/s (-)4,1905 %	5,36 cm (-)4,286 %
Kobe	Tanpa Massa	595,94 cm/s ²	79,35 cm/s	12,7 cm
	Pakai Massa	366,467 cm/s ² (-)22,575 %	61,45 cm/s (-)22,558 %	10,62 cm (-)16,378 %
Miiyaki	Tanpa Massa	130,887 cm/s ²	17,74 cm/s	3,14 cm
	Pakai Massa	85,724 cm/s ² (-)34,505 %	13,68 cm/s (-)22,886 %	2,67 cm (-)14,968 %
ElCentro	Tanpa Massa	340,77 cm/s ²	34,3 cm/s	5,8 cm
	Pakai Massa	314,83 cm/s ² (-)7,612 %	34,11 cm/s (-)0,55 %	4,5 cm (-)22,414 %

Tanah yang terdapat massa bangunan di atasnya semakin kaku karena adanya penambahan nilai $\Delta \sigma_v$ yang disebabkan adanya berat bangunan diatas tanah yang akan berpengaruh pada penambahan nilai modulus geser tanah (G) karena Modulus geser adalah fungsi dari σ_0 (*effective confining pressure*) yang kemudian karena bertambahnya nilai modulus geser pada akhirnya akan semakin meningkatkan kekakuan dari lapisan tanah tersebut.

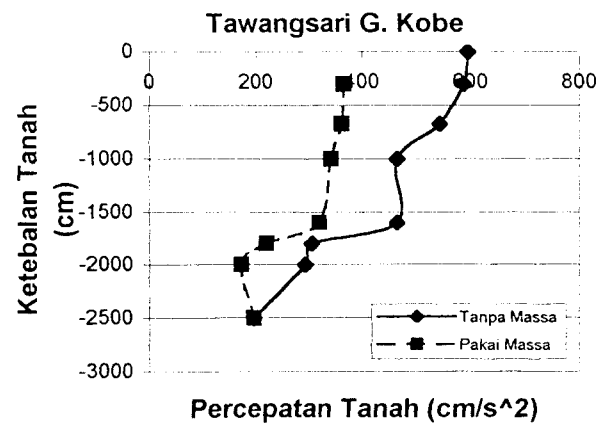
5.4 Respon Seismik Maksimum Yang Terjadi Pada Tiap Lapisan Tanah.

Untuk mengetahui respon seismik maksimum yang terjadi pada tiap lapisan tanah dapat dilihat pada gambar 5.17 – 5.24.

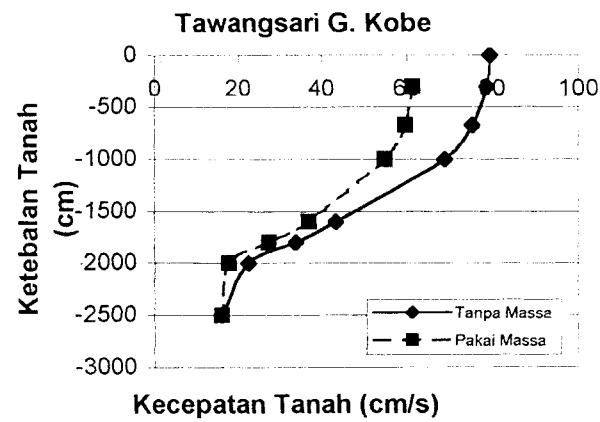
Selain itu dari gambar 5.17 d – 5.24 d dan tabel 5.4 dapat diketahui bahwa regangan geser yang terjadi di permukaan tanah ternyata sudah mendekati asumsi regangan geser pada awal perhitungan, meskipun secara keseluruhan regangan geser yang terjadi pada seluruh lapisan tanah mengalami perbedaan dari penelitian Tokida. Pada penelitian ini regangan geser di lapisan tanah di dasar lebih besar dari regangan geser yang terjadi di permukaan.



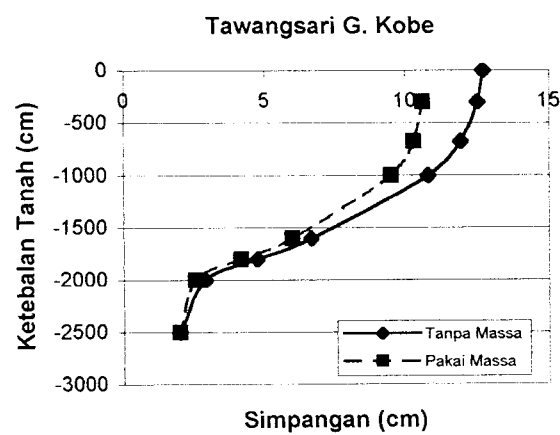
Gambar 5.17 Grafik Respon Seismik Tanah terhadap Ketebalan Tanah akibat Gempa Koyna daerah Tawangsari Sukoharjo.



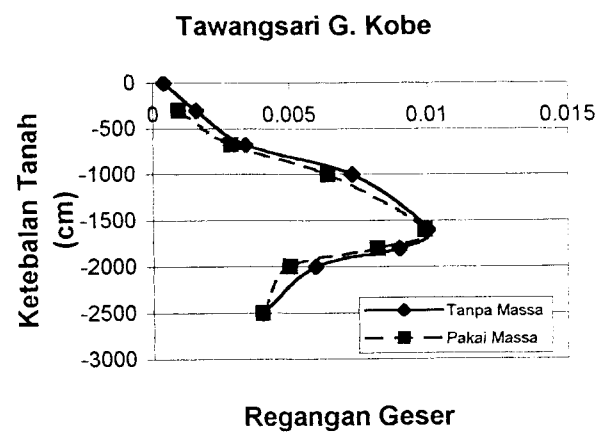
(a)



(b)

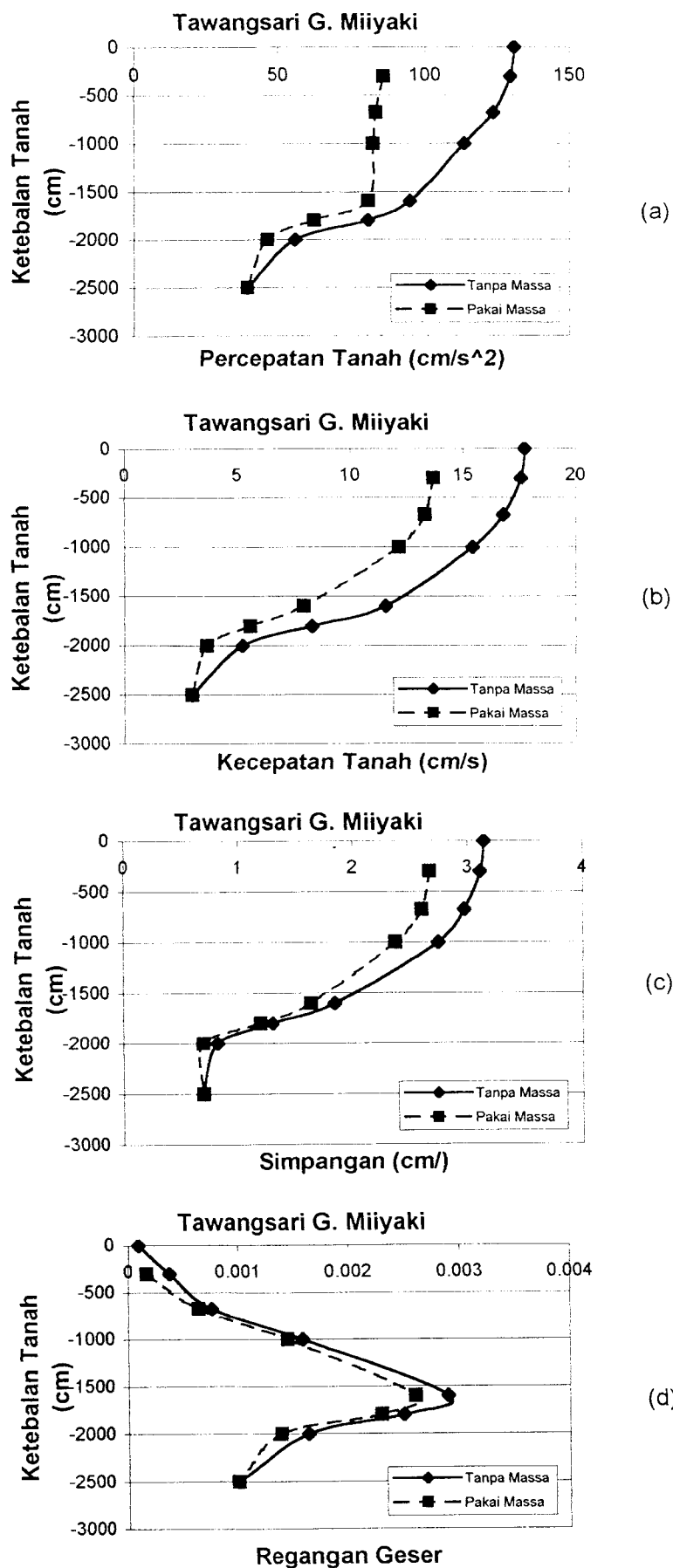


(c)

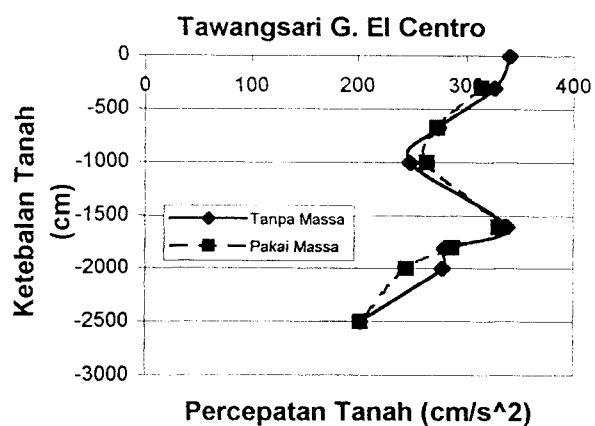


(d)

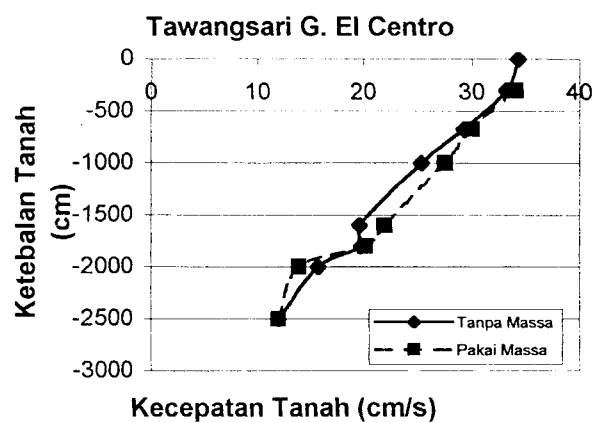
Gambar 5.18 Grafik Respon Seismik Tanah terhadap Ketebalan Tanah. akibat gempa Kobe di daerah Tawangsari, Sukoharjo.



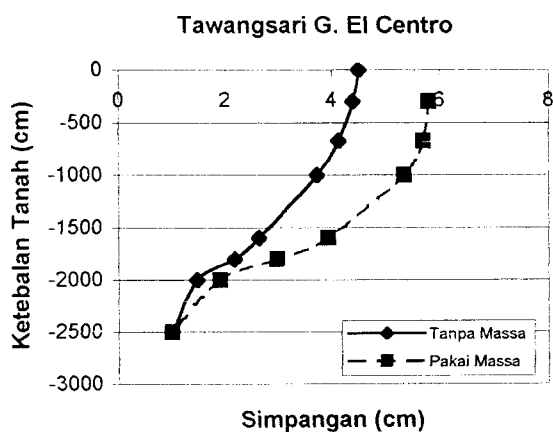
Gambar 5.19 Grafik respon Seismik Tanah terhadap ketebalan tanah akibat gempa Miiyaki di daerah Tawangsari Sukoharjo



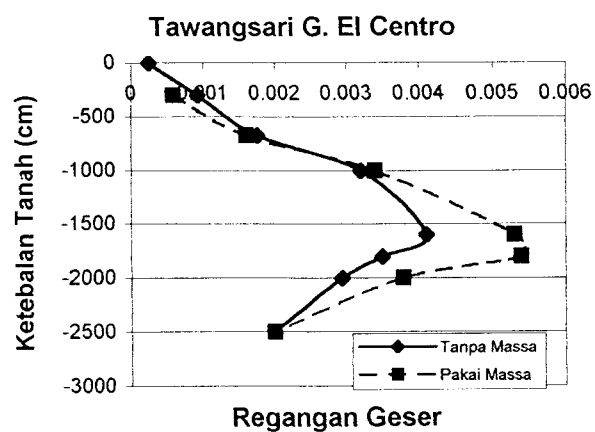
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 5.20 Grafik Respon Seismik Tanah terhadap ketebalan tanah akibat gempa El Centro di daerah Tawang Sari Sukoharjo.

5.5 Hasil Perhitungan Respon Seismik untuk Tanah Pada Daerah Dalangan Tawangsari II Sukoharjo

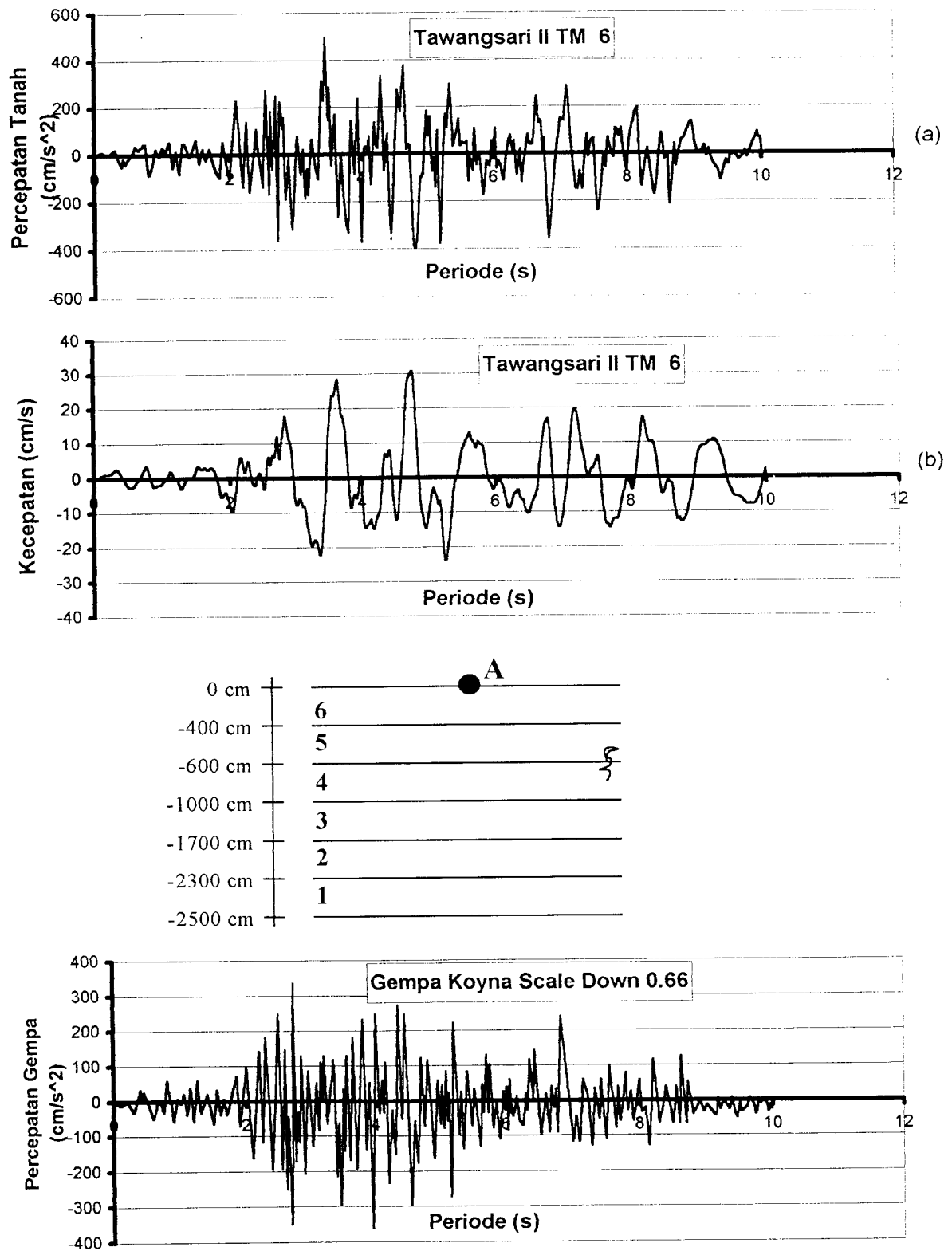
Untuk tanah pada lokasi di daerah Dalangan Tawangsari, Sukoharjo baik tanpa massa bangunan di atasnya (kondisi *free field*) maupun yang terdapat massa bangunan di atasnya, respon seismik dapat dilihat pada gambar 5.21 - gambar 5.36. Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada tabel 5.7 – 5.10

Tabel 5.7 Perbandingan percepatan yang terjadi akibat gempa daerah Tawangsari II

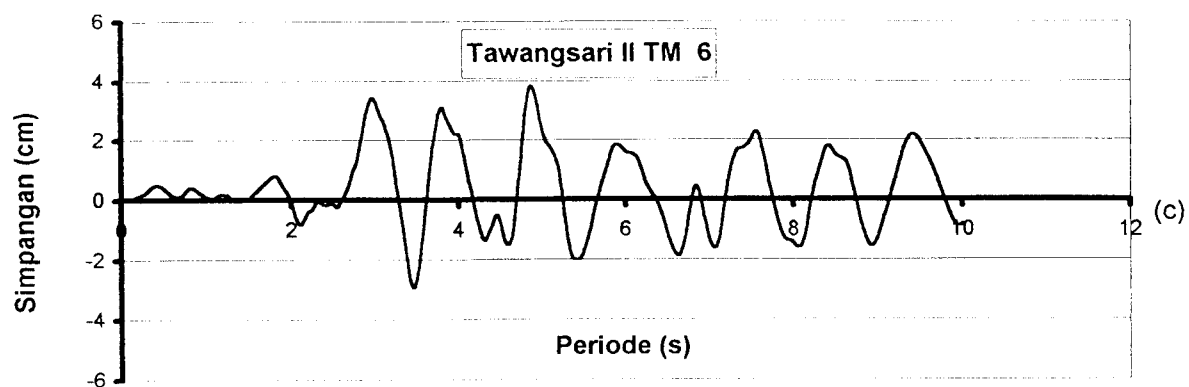
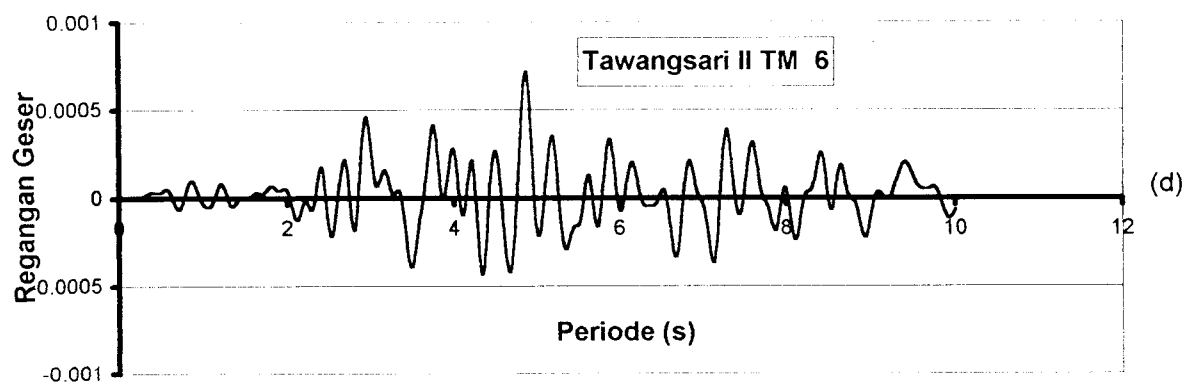
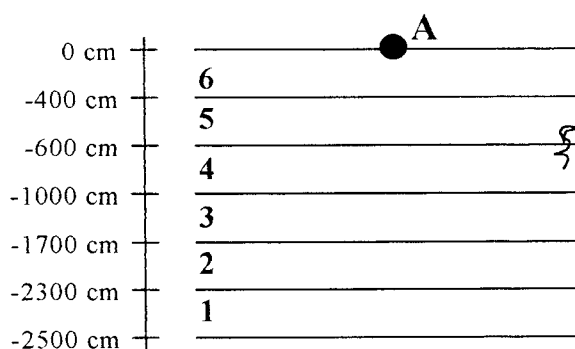
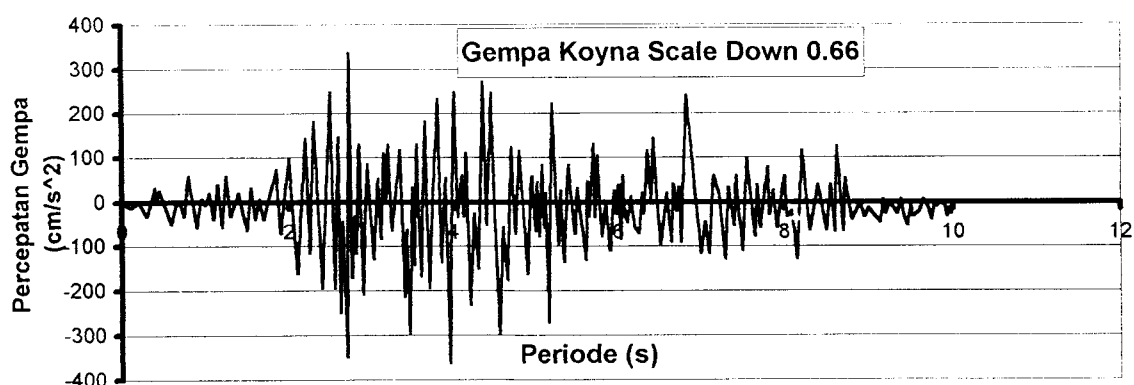
Gempa	Percepatan gempa pada <i>Base Rock</i>	Percepatan gempa pada kondisi <i>free field</i>	Percepatan gempa pada kondisi terdapat massa bangunan diatas Lapisan tanah
1. Koyna	362,206 cm/s ²	496,91 cm/s ²	394,24 cm/s ²
2. Kobe	197,258 cm/s ²	504,775 cm/s ²	343,15 cm/s ²
3. Miiyaki	39,2 cm/s ²	104,36 cm/s ²	80,0 cm/s ²
4. ElCentro	203,283 cm/s ²	323,6 cm/s ²	298,69 cm/s ²

Tabel 5.8 Perbandingan kecepatan yang terjadi akibat gempa daerah Tawangsari II

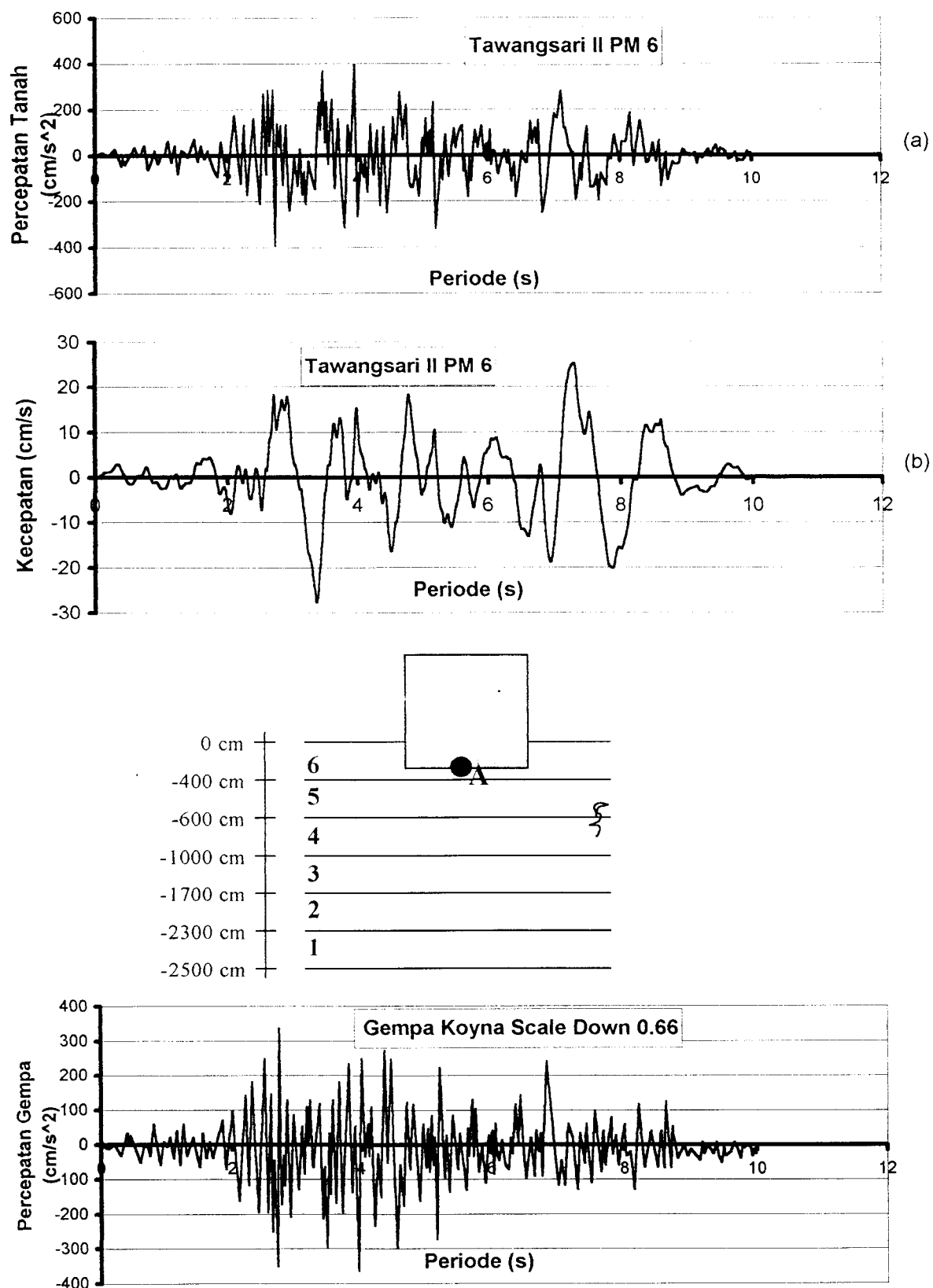
Gempa	Percepatan gempa pada <i>Base Rock</i>	Pada kondisi <i>free field</i>	Pada kondisi terdapat massa bangunan diatas Lapisan tanah
1. Koyna	362,206 cm/s ²	30,75 cm/s	27,7 cm/s
2. Kobe	197,258 cm/s ²	71,26 cm/s	55,1 cm/s
3. Miiyaki	39,2 cm/s ²	12,65 cm/s	10,7 cm/s
4. ElCentro	203,283 cm/s ²	23,9 cm/s	22,54 cm/s



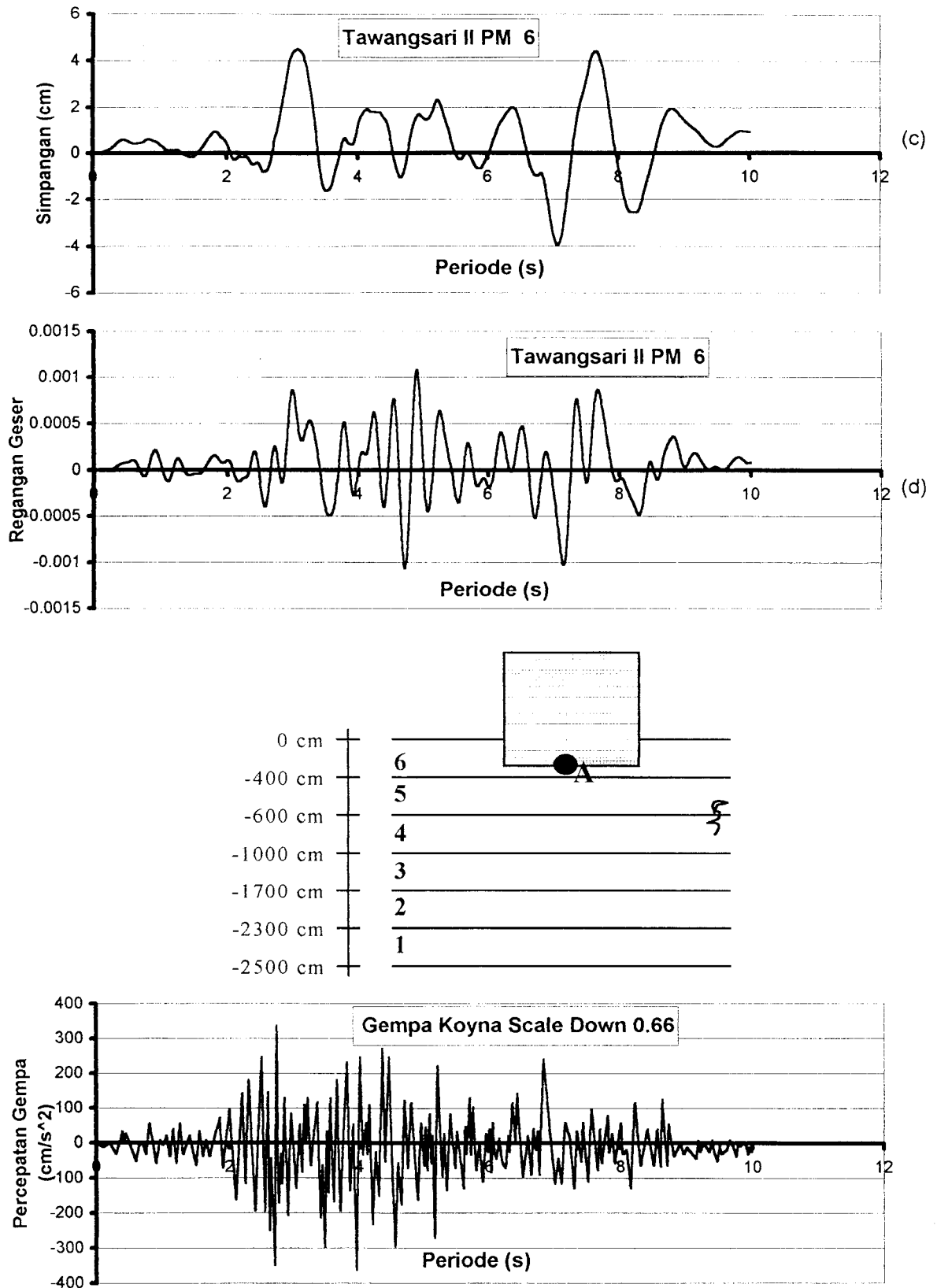
Gambar 5.21 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Koyana di daerah Tawangsari II, Sukoharjo tanpa massa bangunan.



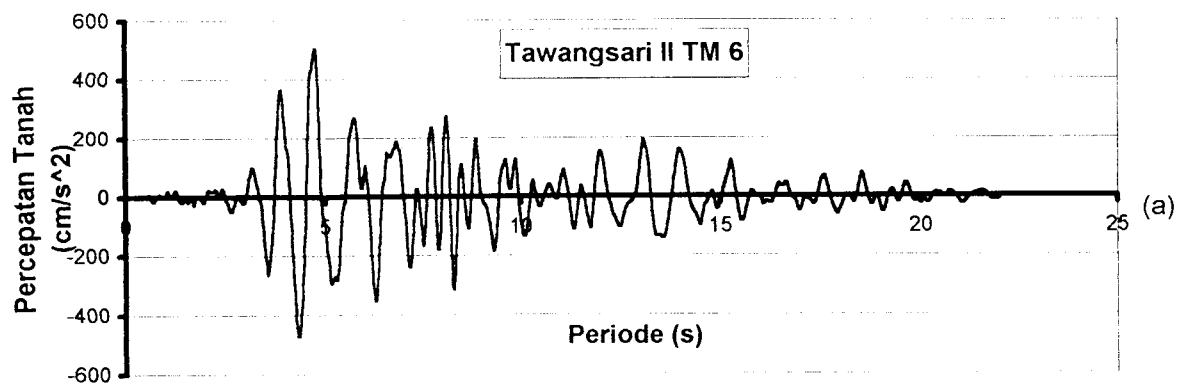
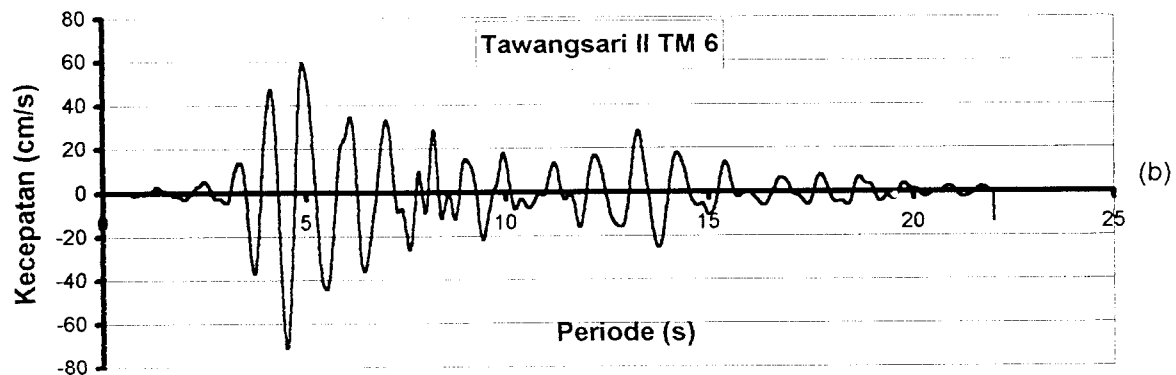
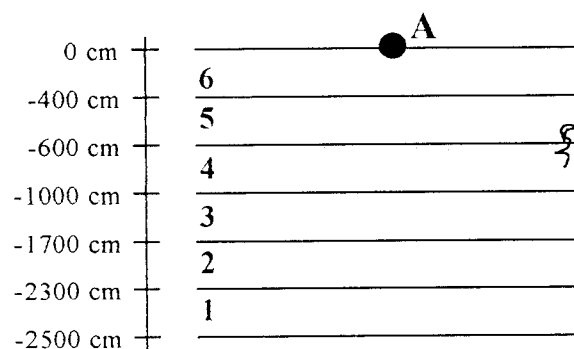
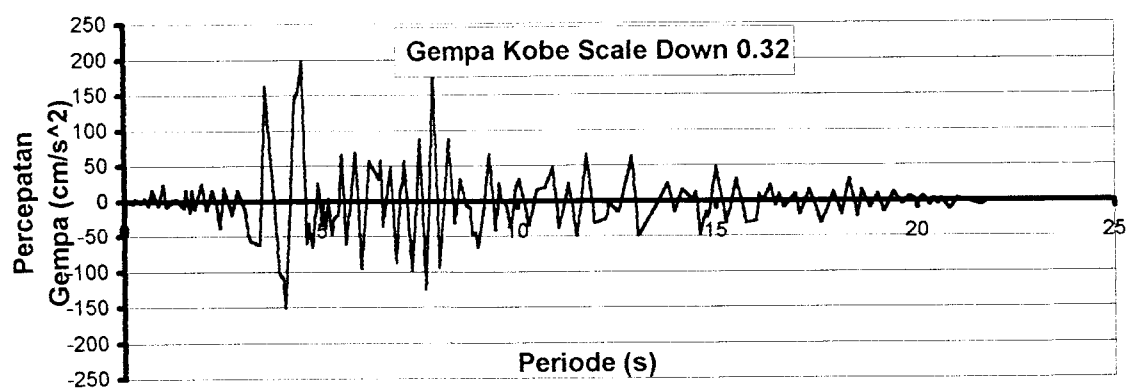
Gambar 5.22 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Koyana di daerah Tawang Sari II, Sukoharjo tanpa massa bangunan.



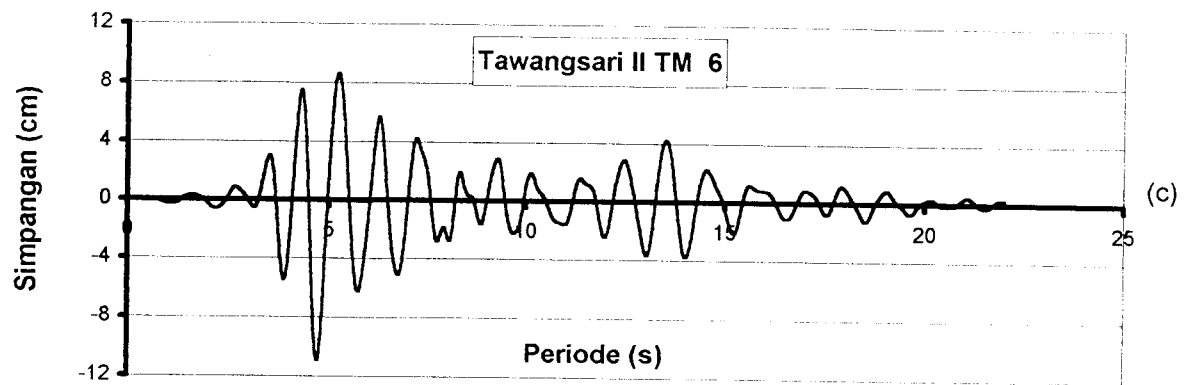
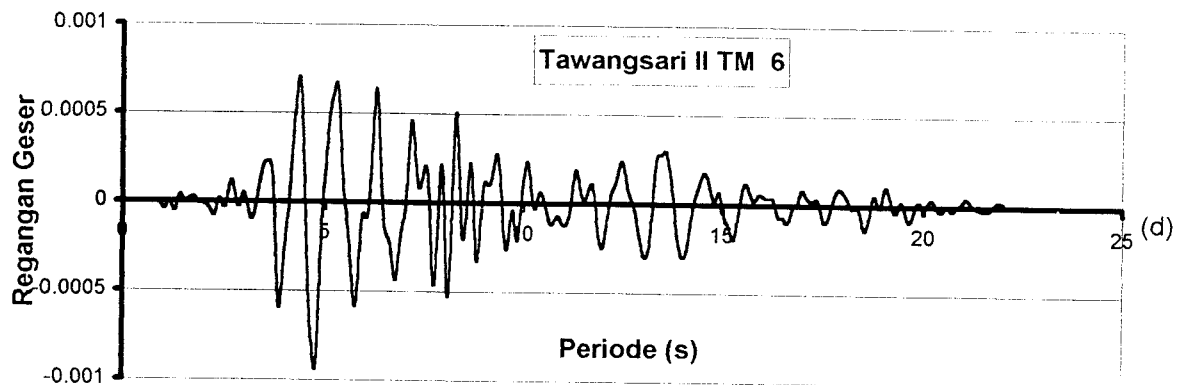
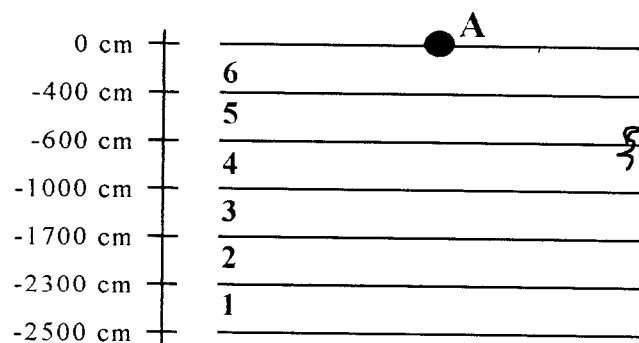
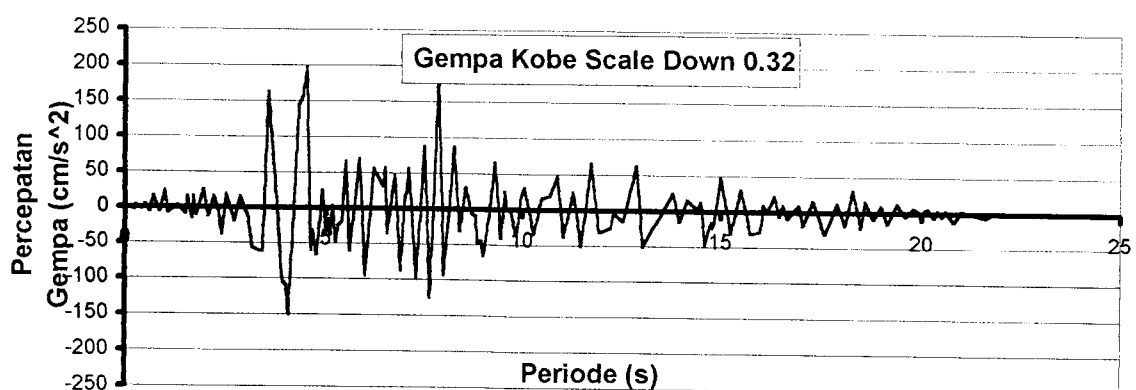
Gambar 5.23 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Koyna di daerah Tawangsari II, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan.



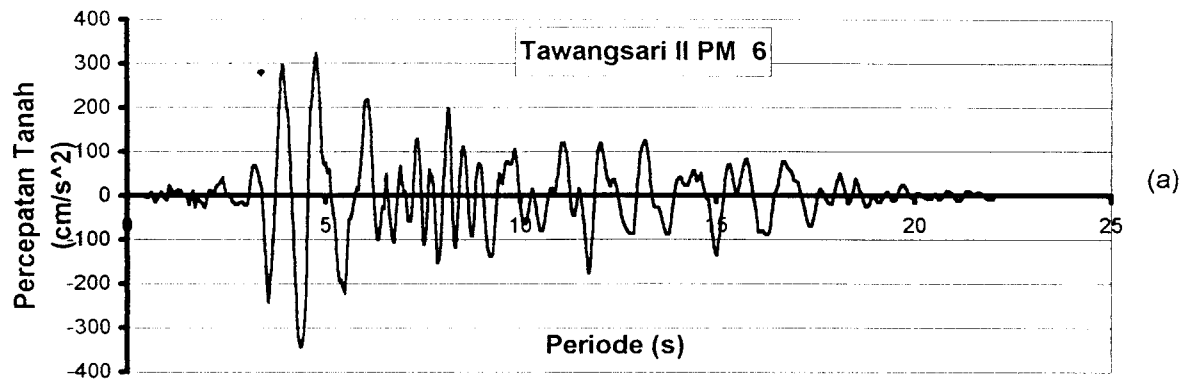
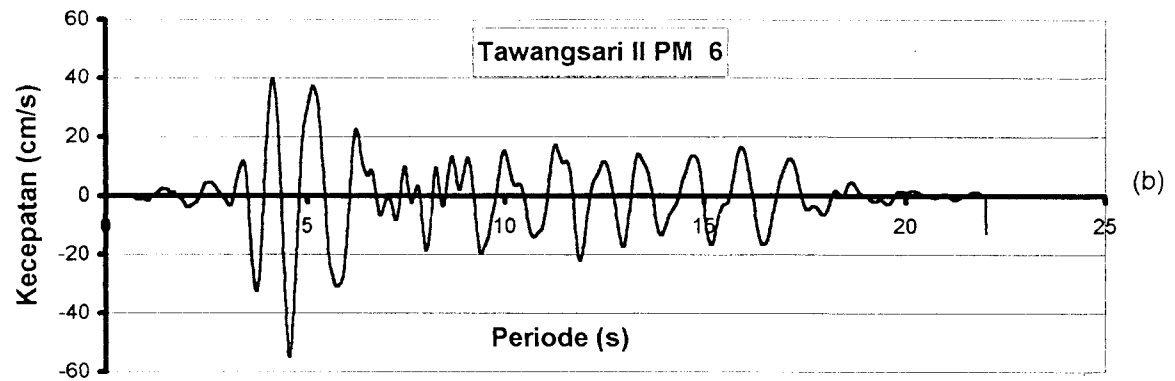
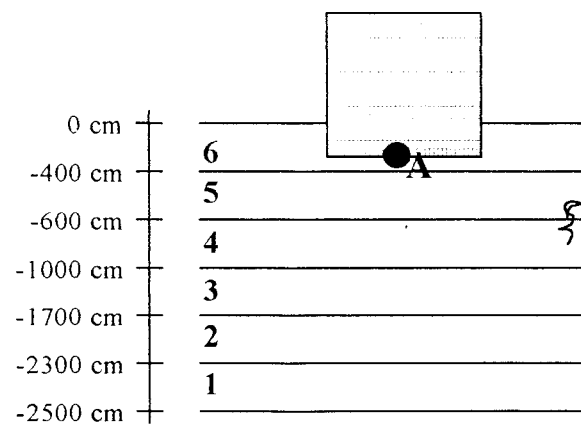
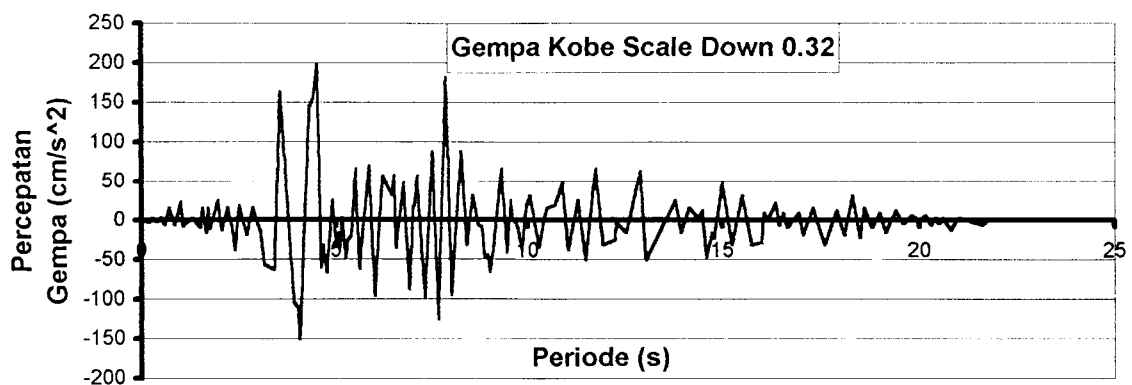
Gambar 5.24 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Koyana di daerah Tawangsari II, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan.



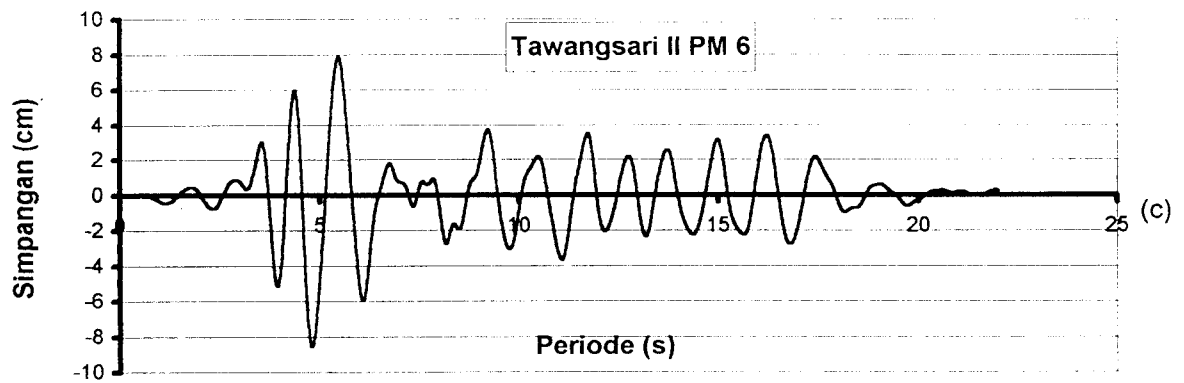
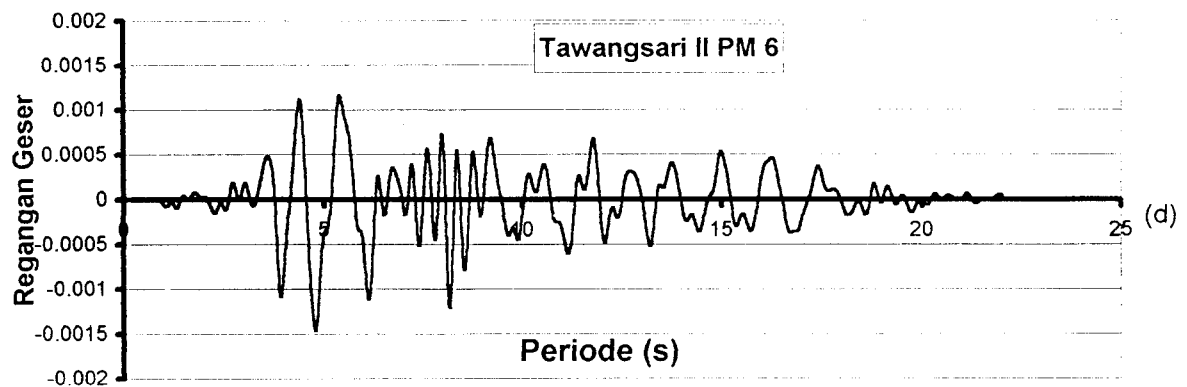
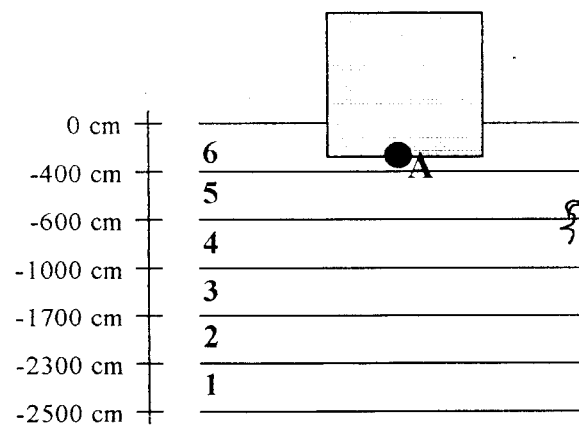
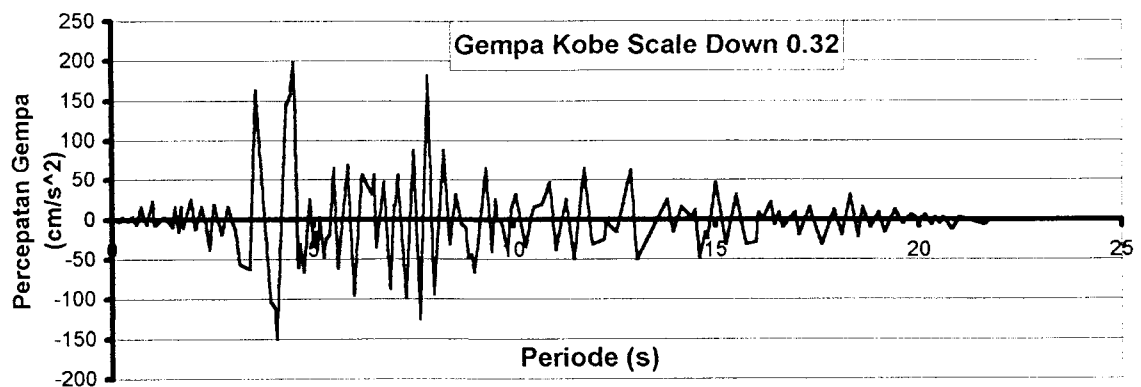
Gambar 5.25 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Kobe di daerah Tawangsari II, Sukoharjo tanpa massa bangunan.



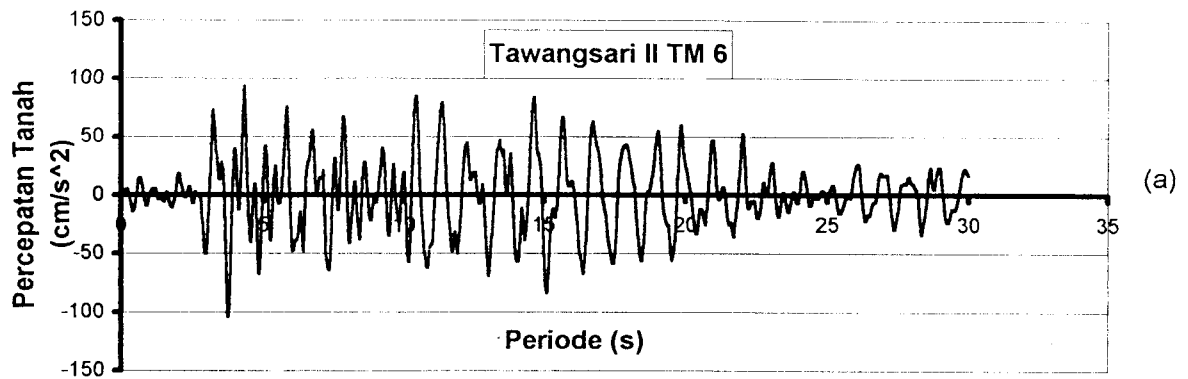
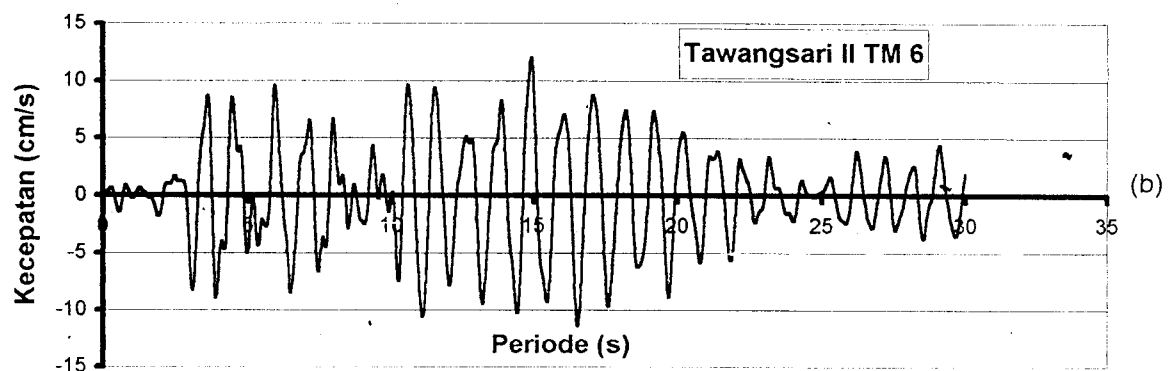
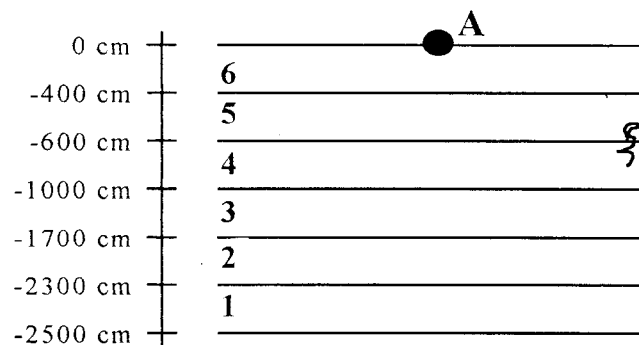
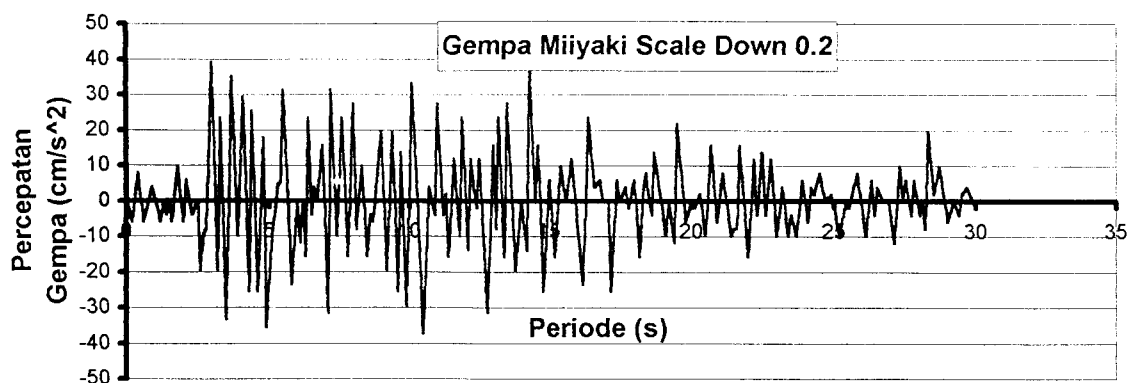
Gambar 5.26 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Kobe di daerah Tawang Sari II, Sukoharjo tanpa massa bangunan.



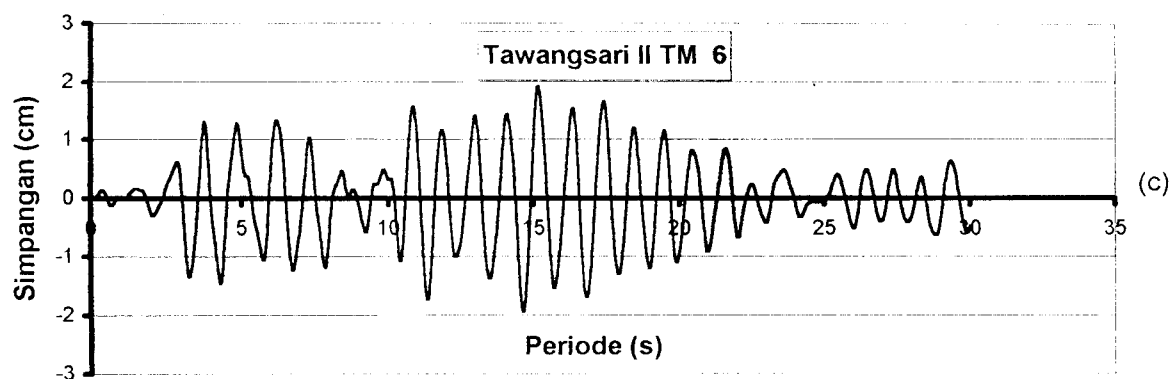
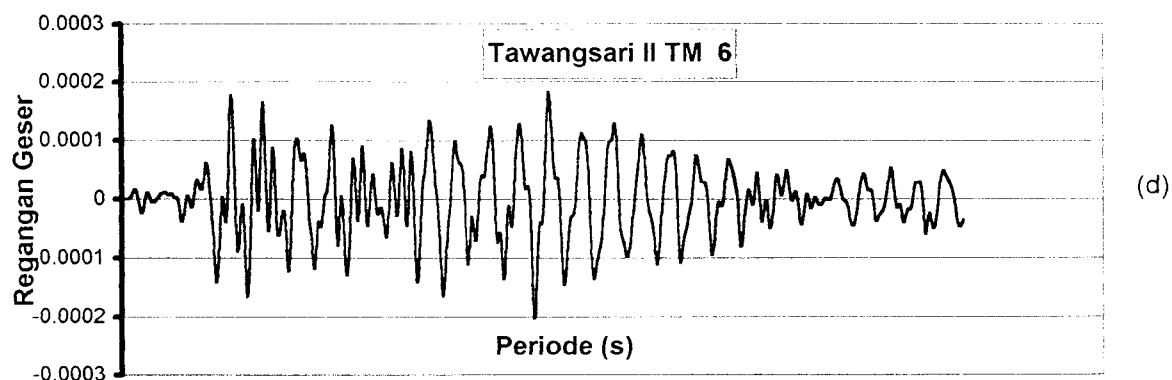
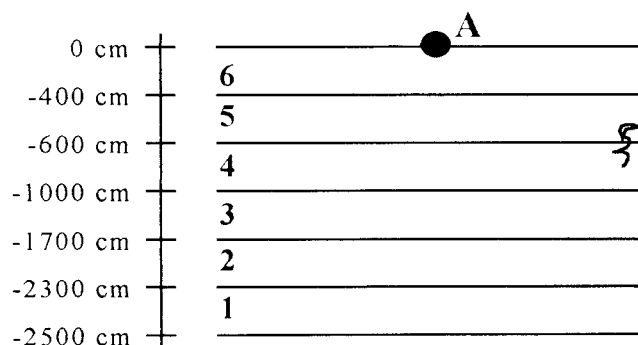
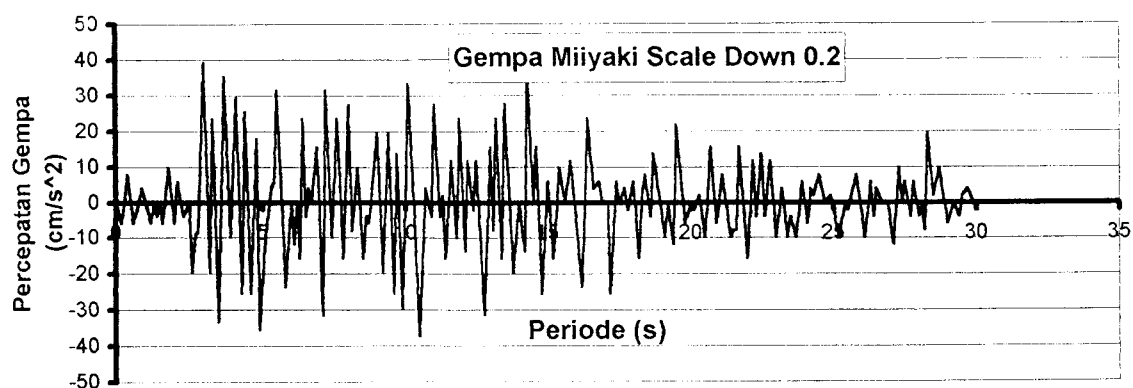
Gambar 5.27 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Kobe di daerah Tawang Sari II, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan.



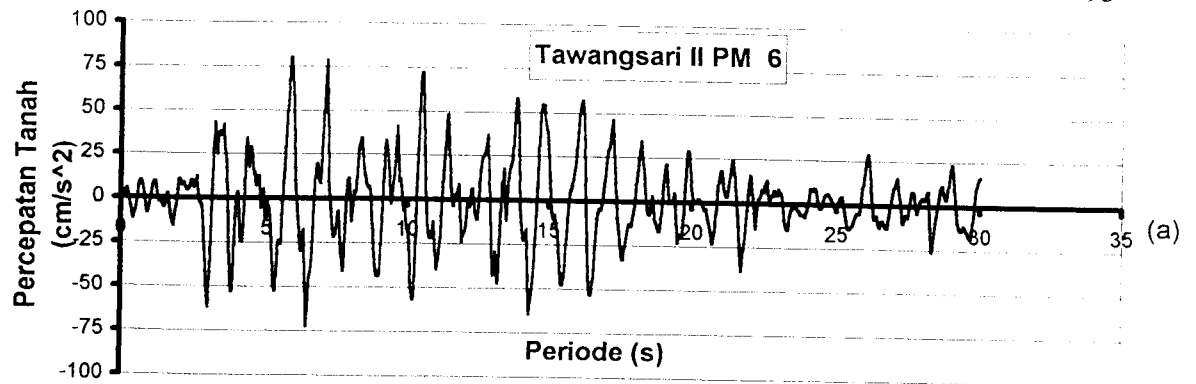
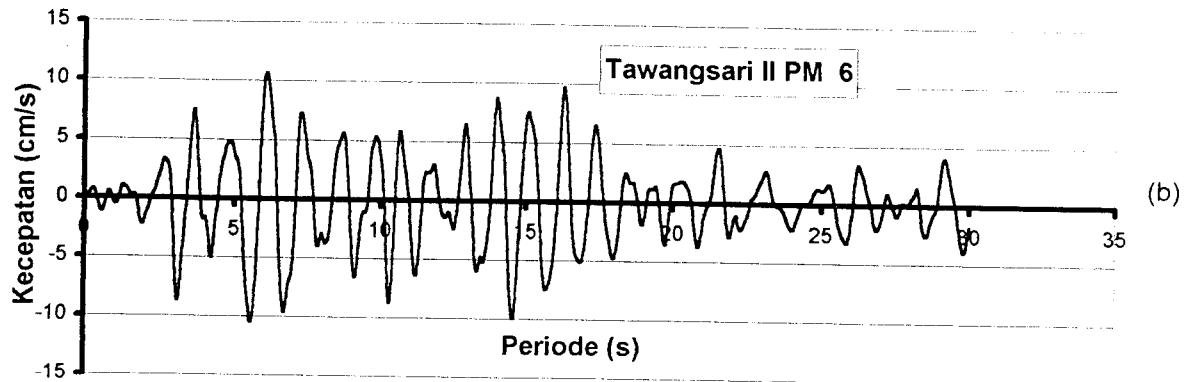
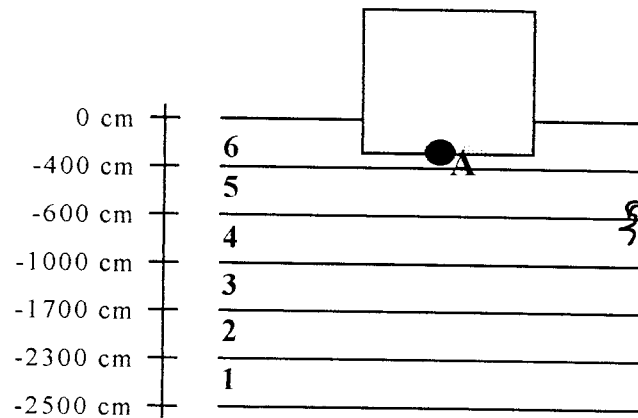
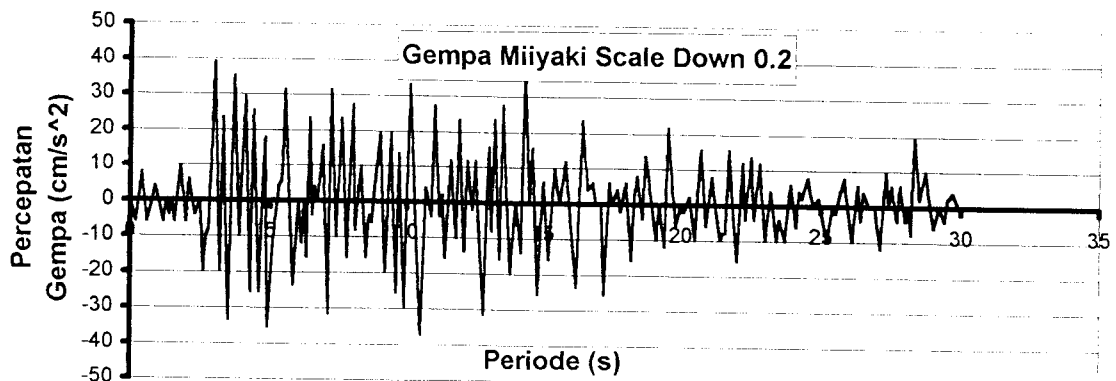
Gambar 5.28 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Kobe di daerah Tawang Sari II, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan.



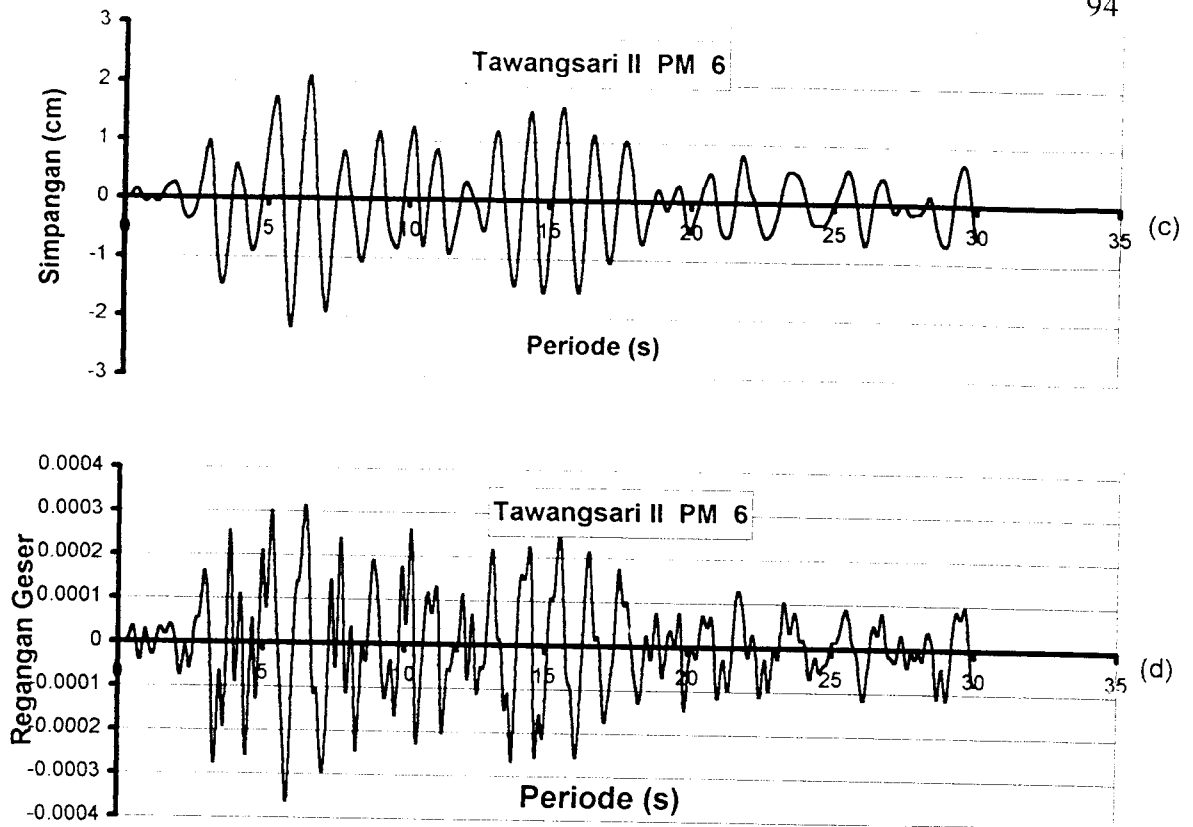
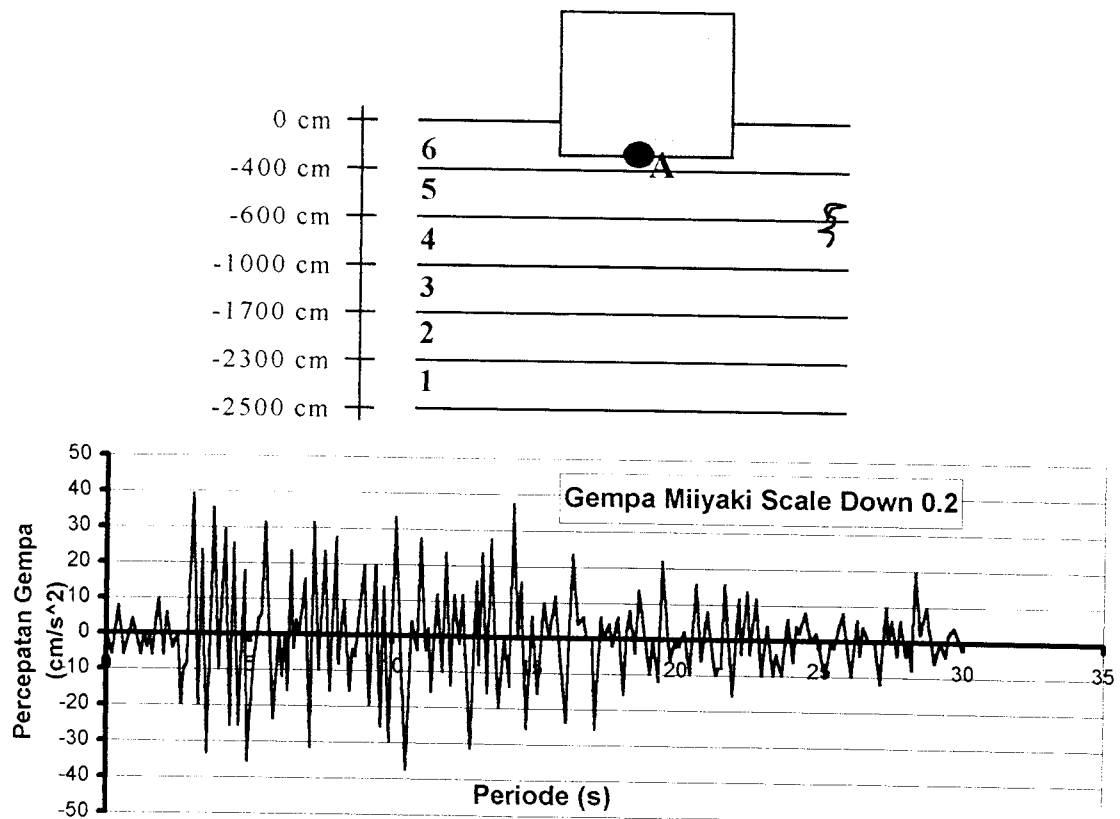
Gambar 5.29 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Miyaki di daerah Tawang Sari II, Sukoharjo tanpa massa bangunan.



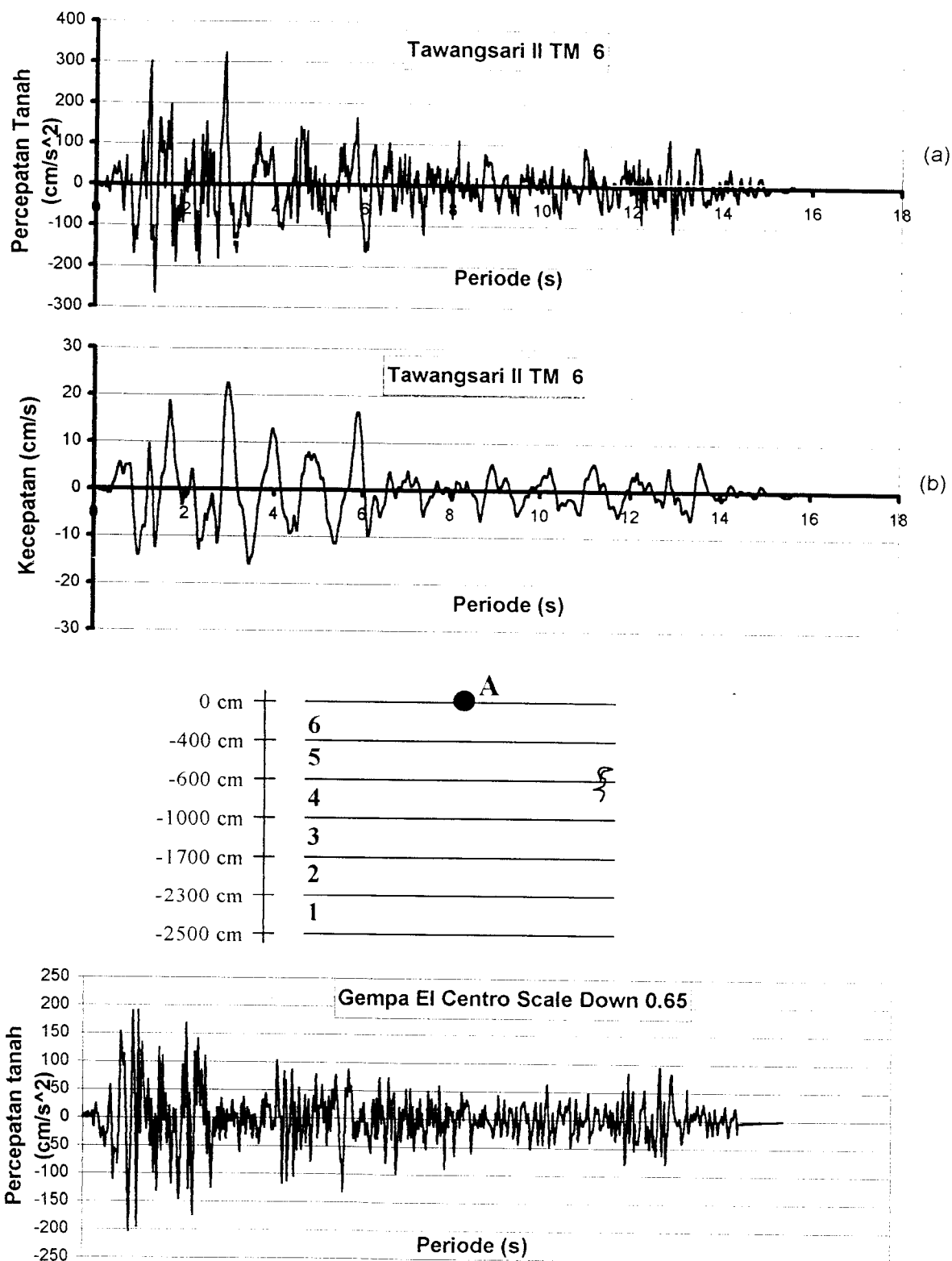
Gambar 5.30 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Miyaki di daerah Tawang Sari II, Sukoharjo tanpa massa bangunan.



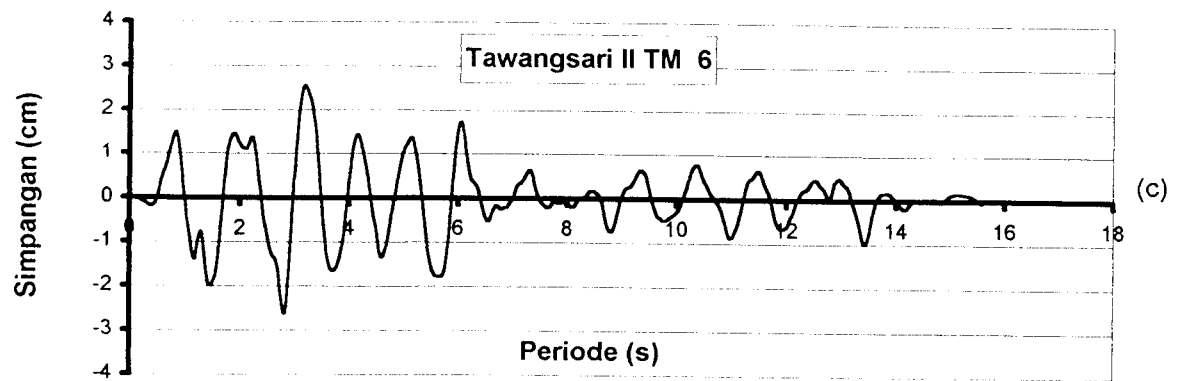
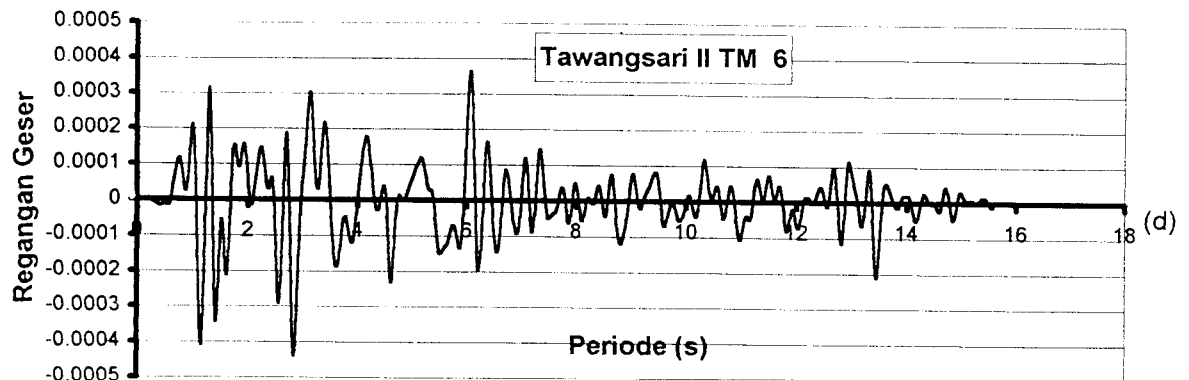
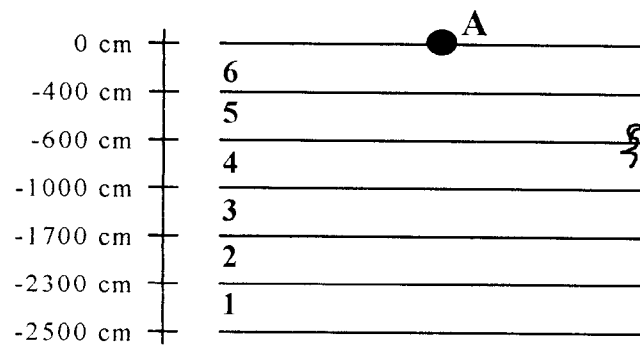
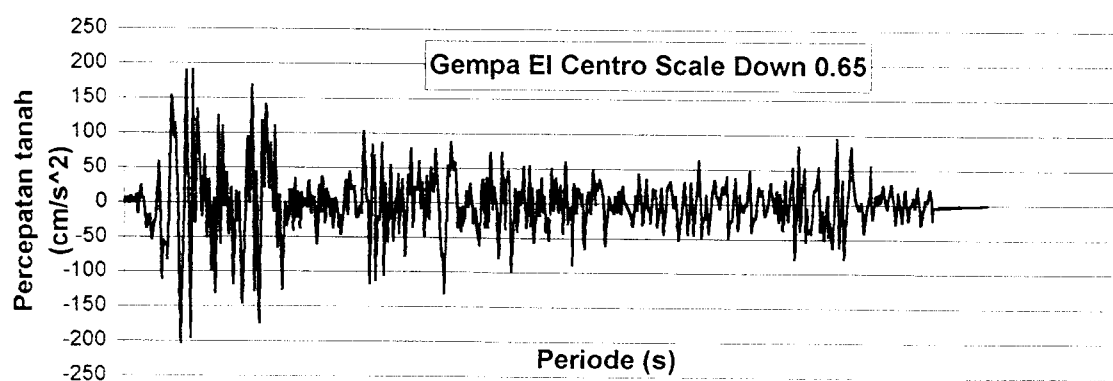
Gambar 5.31 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Miiyaki di daerah Tawangsari II, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan.



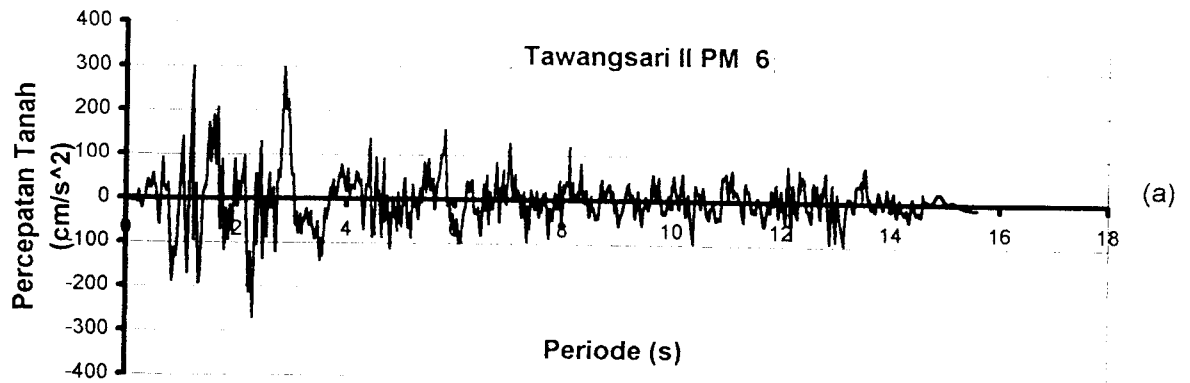
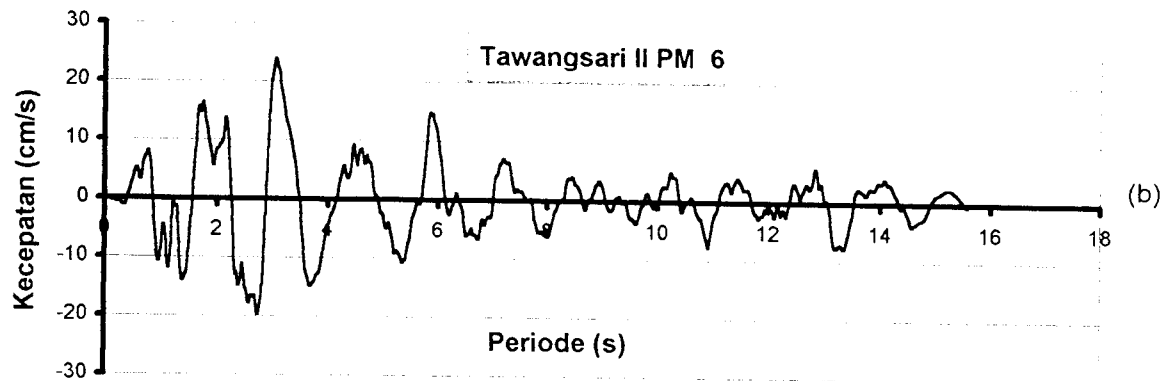
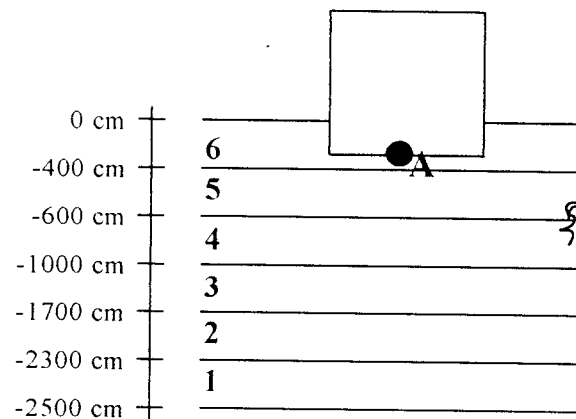
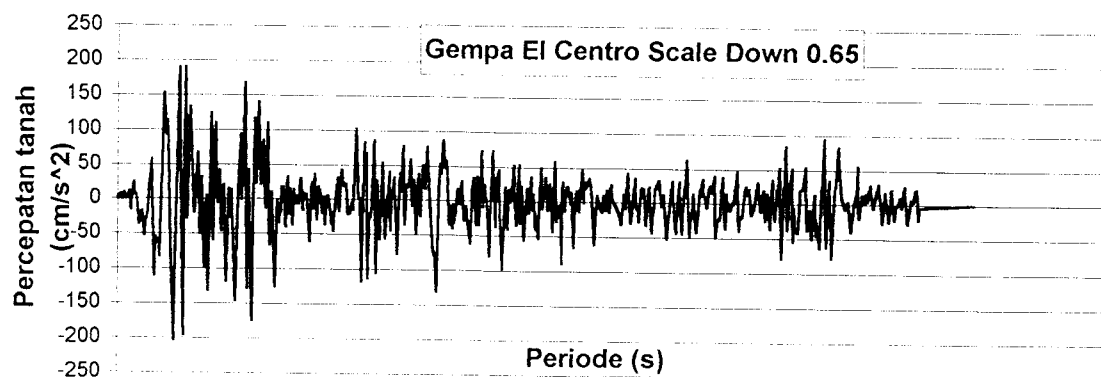
Gambar 5.32 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Miyaki di daerah Tawang Sari II, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan.



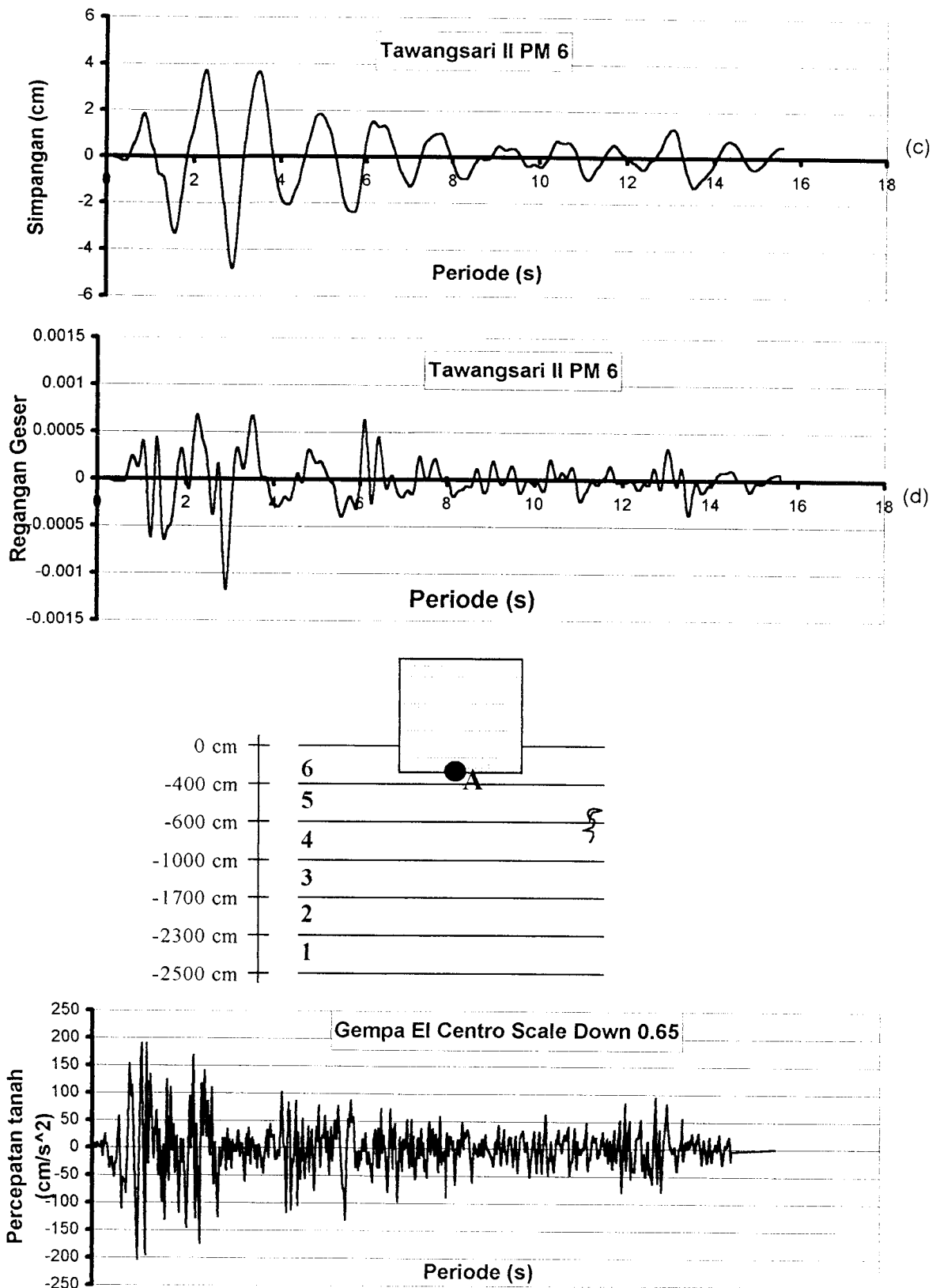
Gambar 5.33 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa El Centro di daerah Tawang Sari II, Sukoharjo tanpa massa bangunan.



Gambar 5.34 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa El Centro di daerah Tawang Sari II, Sukoharjo tanpa massa bangunan.



Gambar 5.35 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa El Centro di daerah Tawang Sari II, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan.



Gambar 5.36 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan akibat Gempa El Centro di daerah Tawang Sari II, Sukoharjo dipengaruhi massa bangunan.

Tabel 5.9 Perbandingan simpangan tiap-tiap gempa daerah Tawangsari II

Gempa	Percepatan gempa pada <i>Base Rock</i>	Pada kondisi <i>free field</i>	Pada kondisi terdapat massa bangunan diatas Lapisan tanah
1. Koyna	362,206 cm/s ²	4,5 cm	3,8 cm
2. Kobe	197,258 cm/s ²	10,9 cm	8,6 cm
3. Miiyaki	39,2 cm/s ²	2,2 cm	1,94 cm
4. ElCentro	203,283 cm/s ²	4,78 cm	2,62 cm

Tabel 5.10 Perbandingan regangan geser pada permukaan tanah tiap-tiap gempa daerah Tawangsari II

Gempa	Percepatan gempa pada <i>Base Rock</i>	Pada kondisi <i>free field</i>	Pada kondisi terdapat massa bangunan diatas Lapisan tanah
Koyna	362,206 cm/s ²	$7,17 \cdot 10^{-4}$	$1,07 \cdot 10^{-3}$
Kobe	197,258 cm/s ²	$9,4 \cdot 10^{-4}$	$1,46 \cdot 10^{-3}$
Miiyaki	39,2 cm/s ²	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$
ElCentro	203,283 cm/s ²	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$

Dari tabel di atas dapat disimpulkan urutan besarnya percepatan tanah yang terjadi akibat gempa pada lokasi Dalangan Tawang Sari II, Sukoharjo untuk kondisi free field adalah sebagai berikut :

1. Akibat Gempa Kobe
2. Akibat Gempa Koyna
3. Akibat Gempa ElCentro
4. Akibat Gempa Miiyaki

Untuk kondisi terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah adalah sebagai berikut :

1. Akibat Gempa Koyna
2. Akibat Gempa Kobe
3. Akibat Gempa ElCentro
4. Akibat Gempa Miiyaki

Urutan besarnya kecepatan tanah yang terjadi akibat gempa pada lokasi Dalangan Tawang Sari II, Sukoharjo untuk kondisi free field adalah sebagai berikut :

1. Akibat Gempa Kobe
2. Akibat Gempa Koyna
3. Akibat Gempa ElCentro
4. Akibat Gempa Miiyaki

Untuk kondisi terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah adalah sebagai berikut :

1. Akibat Gempa Kobe

3. Akibat Gempa Koyna
3. Akibat Gempa ElCentro
4. Akibat Gempa Miiyaki

Urutan besarnya simpangan tanah yang terjadi akibat gempa pada lokasi Dalangan Tawang Sari, Sukoharjo untuk kondisi free field adalah sebagai berikut :

1. Akibat Gempa Kobe
2. Akibat Gempa ElCentro
3. Akibat Gempa Koyna
4. Akibat Gempa Miiyaki

Untuk kondisi terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah adalah sebagai

berikut :

1. Akibat Gempa Kobe
2. Akibat Gempa Koyna
3. Akibat Gempa ElCentro
4. Akibat Gempa Miiyaki

A/V ratio masing – masing gempa yang terjadi di permukaan tanah untuk

kondisi free field :

- | | |
|--------------------|-------------|
| 1. Gempa Koyna | : 1,6489 Hz |
| 2. Gempa Kobe | : 0.7228 Hz |
| 3. Gempa Miiyaki | : 0.8837 Hz |
| 4. Gempa El Centro | : 1.3816 Hz |

A/V ratio masing – masing gempa yang terjadi di permukaan tanah untuk kondisi terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah :

1. Gempa Koyna : 1.4523 Hz
2. Gempa Kobe : 0.6355 Hz
3. Gempa Miiyaki : 0.7629 Hz
4. Gempa El Centro : 1.352 Hz

Dapat dilihat dari hasil A/V ratio bahwa bila terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah akan terjadi penurunan nilai A/V ratio yang berarti terjadi penurunan kandungan frekuensi gempa. Hal itu berarti bahwa massa bangunan akan menyaring kandungan frekuensi gempa. A/V ratio gempa yang terjadi di permukaan tanah menunjukkan bahwa kandungan frekuensi gempa termasuk frekuensi rendah sampai frekuensi tinggi. Karena A/V ratio < 0.8 merupakan jenis frekuensi rendah, sedangkan A/V ratio yang berkisar antara $0.8 - 1.2$ merupakan jenis frekuensi menengah dan A/V ratio > 1.2 merupakan frekuensi tinggi.

5.6 Perubahan Kandungan Frekuensi Percepatan Tanah , Kecepatan Tanah dan Simpangan Tanah Yang Terjadi Akibat Gempa

Dari gambar 5.21 – 5.36 dapat dilihat terjadinya perubahan kandungan frekuensi gempa. Hal itu disebabkan karena percepatan tanah merupakan turunan kedua dari simpangan tanah, sedangkan kecepatan merupakan turunan pertama dari simpangan gempa. Dengan kata lain kecepatan tanah dapat diperoleh dari menjumlahkan luasan grafik percepatan tanah, sedangkan simpangan tanah dapat diperoleh dengan menjumlahkan luasan grafik kecepatan tanah. Oleh karena itu

kandungan frekuensi percepatan tanah lebih tinggi dari kandungan frekuensi kecepatan tanah dan kandungan frekuensi simpangan tanah, dan kandungan frekuensi kecepatan tanah lebih tinggi dari kandungan frekuensi simpangan tanah.

5.7 Amplifikasi Respon Seismik Pada Permukaan Lapisan Tanah

Tabel 5.11 Besarnya amplifikasi respon seismik daerah Tawangsari II

Gempa	Kondisi	Percepatan	Kecepatan	Simpangan
Koyna	Tanpa Massa	496,91 cm/s ² (+)37,189 %	30,75 cm/s	4,5 cm
	Pakai Massa	394,24 cm/s ² (+)8,84 %	27,7 cm/s	3,8 cm
Kobe	Tanpa Massa	504,775 cm/s ² (+)155,494 %	71,26 cm/s	10,9 cm
	Pakai Massa	343,15 cm/s ² (+)73,687 %	55,1 cm/s	8,6 cm
Miiyaki	Tanpa Massa	104,36 cm/s ² (+)166,224 %	12,05 cm/s	2,2 cm
	Pakai Massa	80,0 cm/s ² (+)104,08 %	10,7 cm/s	1,94 cm
ElCentro	Tanpa Massa	323,6 cm/s ² (+)59,187 %	23,9 cm/s	4,78 cm
	Pakai Massa	298,69 cm/s ² (+)46,93 %	22,54 cm/s	2,62 cm

Dilihat dari jenis tanahnya Lapisan tanah pada lokasi Dalangan Tawangsari II, Sukoharjo merupakan jenis lapisan tanah campuran antara lapisan tanah pasir dan

lapisan tanah clay yang mempunyai nilai N SPT berkisar antara 6/30 – 35/30. Selain itu lapisan tanahnya mempunyai nilai PI yang berkisar antara 18 % - 59 %. Dilihat dari tabel 1 bab II dapat diketahui bahwa Tanah di daerah Dalangan Tawangsari II mempunyai plastisitas yang tinggi. Meskipun ada beberapa lapisan tanah merupakan lapisan tanah pasir seperti yang terlihat pada gambar 4.3 bab IV.

Seperti yang telah diketahui bahwa sifat-sifat fisik tanah merupakan faktor yang akan berpengaruh pada amplifikasi percepatan gempa. Tanah kohesif lunak dengan plastisitas tinggi akan berkecenderungan berperilaku elastik sehingga semakin besar input energi/gaya yang bekerja pada struktur tanah tersebut maka semakin besar respon seismik (kecepatan dan percepatan) tanah yang akan terjadi. Besarnya respon tanah tersebut juga disebabkan kecilnya redaman material yang ada karena tanah dengan plastisitas tinggi nilai ratio redamannya relatif kecil.

Karena tanah pada lokasi daerah Dalangan Tawangsari II juga terdapat lapisan pasirnya, dapat dijelaskan di sini bahwa amplifikasi yang terjadi pada lapisan pasir terjadi karena tanah pasir cepat terdegradasi kekuatannya. Regangan geser tanah yang ditimbulkan oleh gempa mempunyai pengaruh terhadap modulus geser gempa. Semakin kecil regangan geser tanah semakin besar modulus geser tanah.

Sedangkan modulus geser tanah akan berpengaruh pada kekakuan tanahnya, semakin besar nilai modulus geser tanah semakin besar kekakuan lapisan tanah tersebut. Kekakuan tanah akan berpengaruh pada respon seismik tanah tersebut, yang kemudian akibat kekakuan lapisan tanah yang berbeda akan membedakan perilaku pada respon seismik lapisan tanah.

Karena regangan geser yang diakibatkan gempa Koyna lebih kecil daripada regangan geser yang diakibatkan gempa Miiyaki maupun gempa Kobe maka modulus geser dan kekakuan pada lapisan tanah akan lebih besar pada gempa Koyna. Yang kemudian respon seismik yang terjadi akibat gempa Koyna baik itu percepatan, kecepatan, maupun simpangan akan lebih kecil daripada respon seismik yang diakibatkan gempa Miiyaki dan gempa Kobe.

Selain itu kondisi tanah Dalangan Tawangsari II mempunyai nilai N SPT paling besar jika dibandingkan tanah yang berlokasi di Dalangan Tawangsari & Jl. Pemuda Semarang. Nilai N SPT menunjukkan kekuatan tanah tersebut. Semakin besar nilai N SPT semakin kaku dan keras tanah tersebut.

Kecepatan yang terjadi akibat gempa Kobe lebih besar dari kecepatan yang terjadi akibat gempa Miiyaki, hal itu disebabkan nilai A/V ratio gempa Kobe lebih rendah dari nilai A/V ratio gempa Miiyaki. Semakin besar nilai A/V ratio semakin tinggi frekuensi gempa yang terjadi. Karena frekuensi gempa semakin tinggi maka kecepatan yang terjadi semakin kecil.

Selain itu percepatan gempa yang terjadi pada kondisi terdapat massa bangunan di atasnya mengalami deamplifikasi jika dibandingkan pada kondisi *free field*, terjadinya deamplifikasi percepatan tanah pada kondisi terdapat massa bangunan di atas permukaan tanah disebabkan semakin kaku tanah tersebut. Besarnya deamplifikasi yang terjadi dapat dilihat pada tabel 5.12.

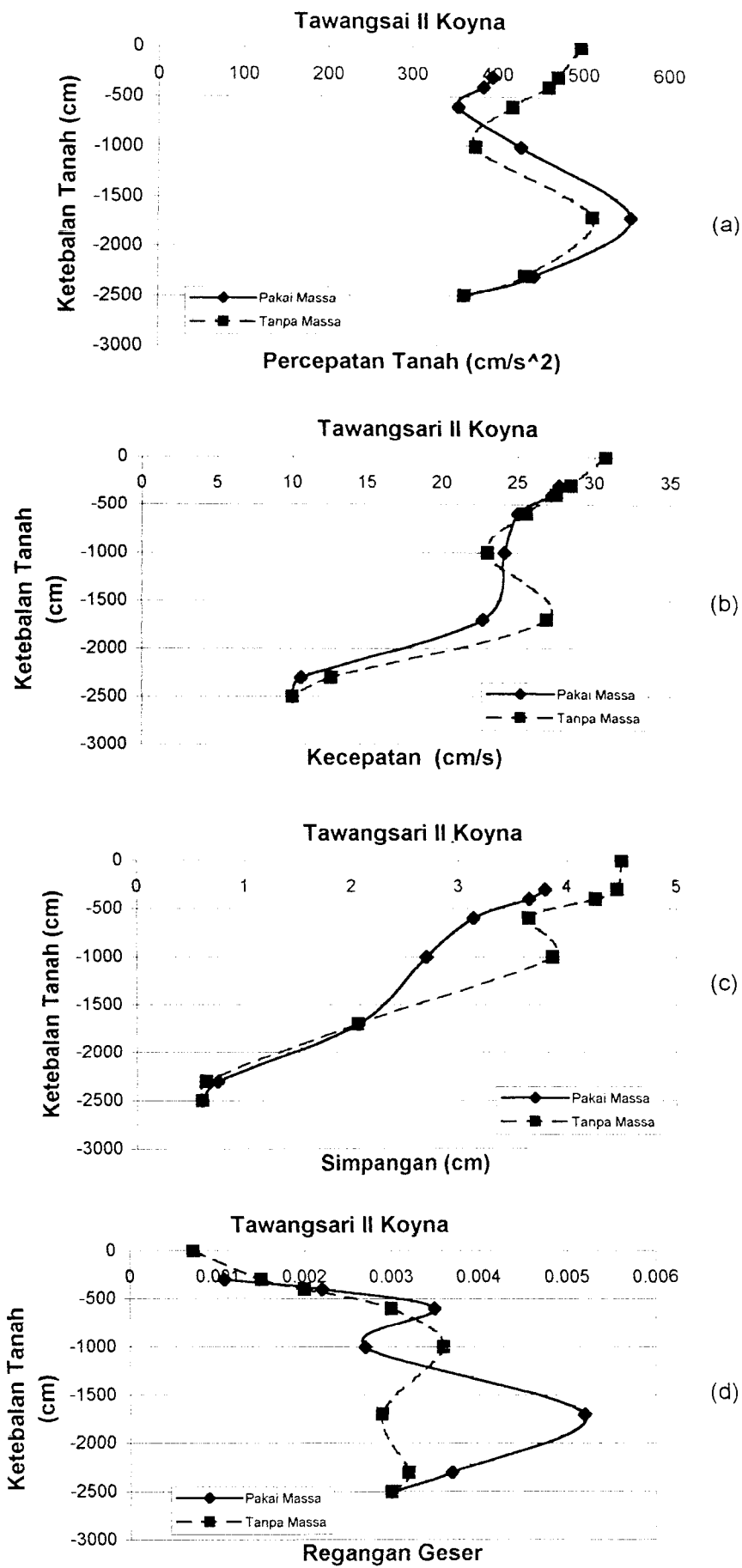
Tabel 5.12 Besarnya Perubahan Respon Seismik Tanah untuk daerah Tawang Sari

Gempa	Kondisi	Percepatan	Kecepatan	Simpangan
Koyna	Tanpa Massa	496,91 cm/s ²	30,75 cm/s	4,5 cm
	Pakai Massa	394,24 cm/s ² (-)20,66 %	27,7 cm/s (-)9,9 %	3,8 cm (-)15,55 %
Kobe	Tanpa Massa	504,775 cm/s ²	71,26 cm/s	10,9 cm
	Pakai Massa	343,15 cm/s ² (-)32,0192 %	55,1 cm/s (-)22,678 %	8,6 cm (-)21,1 %
Miiyaki	Tanpa Massa	104,36 cm/s ²	12,05 cm/s	2,2 cm
	Pakai Massa	80,0 cm/s ² (-)23,342 %	10,7 cm/s (-)11,203 %	1,94 cm (-)11,82 %
ElCentro	Tanpa Massa	323,6 cm/s ²	23,9 cm/s	4,78 cm
	Pakai Massa	298,69 cm/s ² (-)7,698 %	22,54 cm/s (-)5,69 %	2,62 cm (-)45,188 %

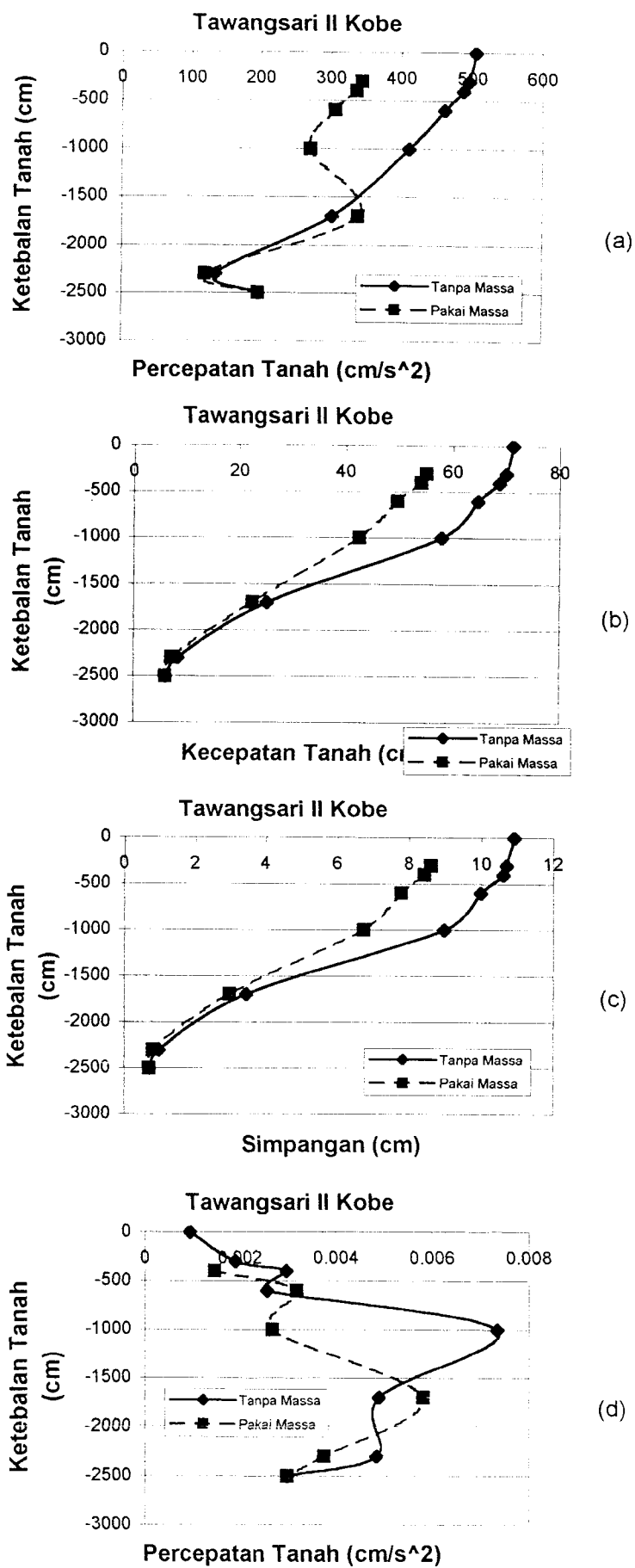
Tanah yang terdapat massa bangunan di atasnya semakin kaku karena adanya penambahan nilai $\Delta \sigma_v$ yang disebabkan adanya berat bangunan diatas tanah yang akan berpengaruh pada penambahan nilai modulus geser tanah (G) karena Modulus geser adalah fungsi dari σ_0 (*effective confining pressure*) yang kemudian karena bertambahnya nilai modulus geser pada akhirnya akan semakin meningkatkan kekakuan dari lapisan tanah tersebut.

5.8 Respon Seismik Maksimum Yang Terjadi Pada Tiap Lapisan Tanah.

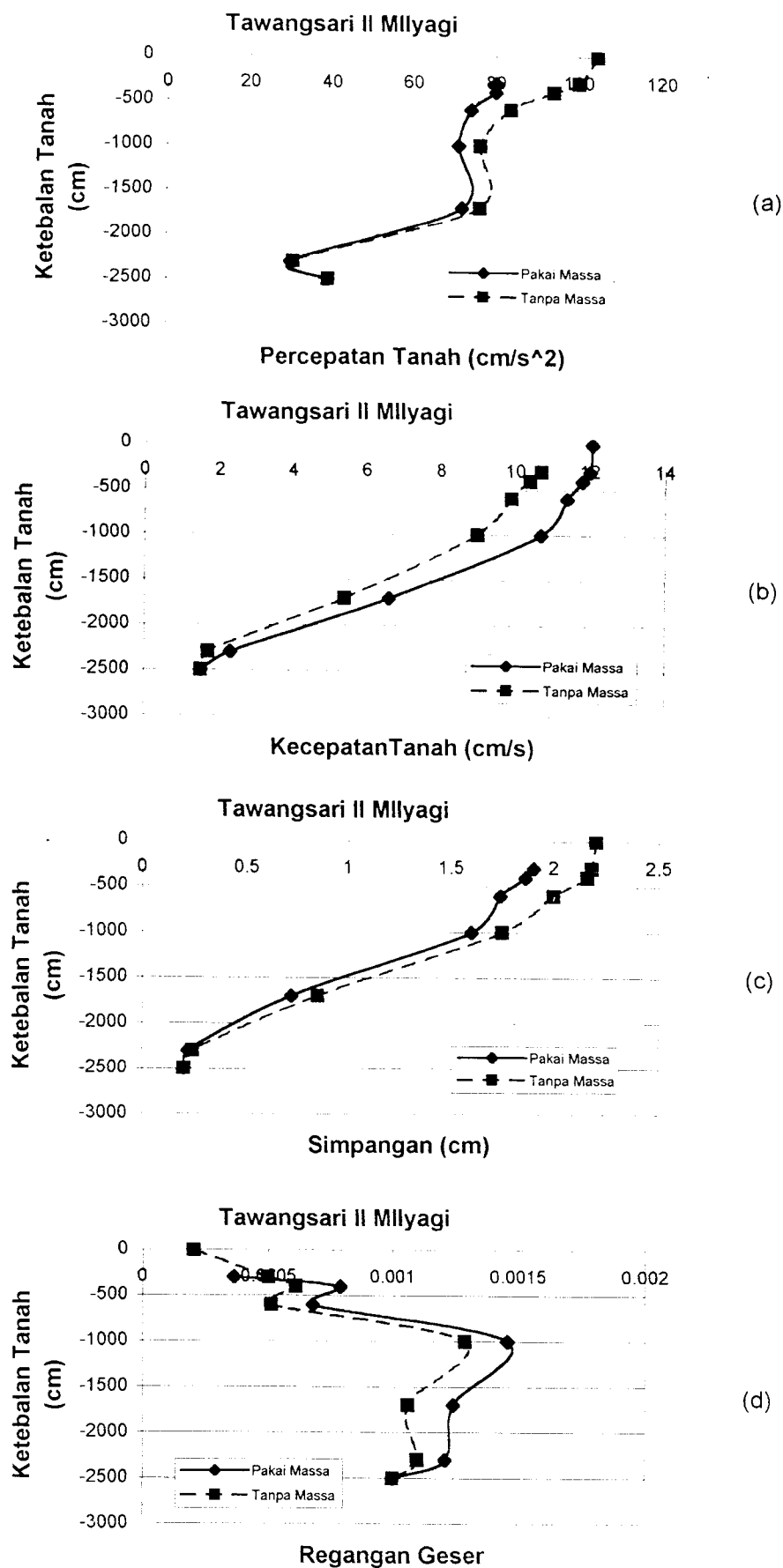
Untuk mengetahui respon seismik maksimum yang terjadi pada tiap lapisan tanah dapat dilihat pada gambar 5.37 – 5.40. Kemudian dari gambar 5.37 d – 5.40 d



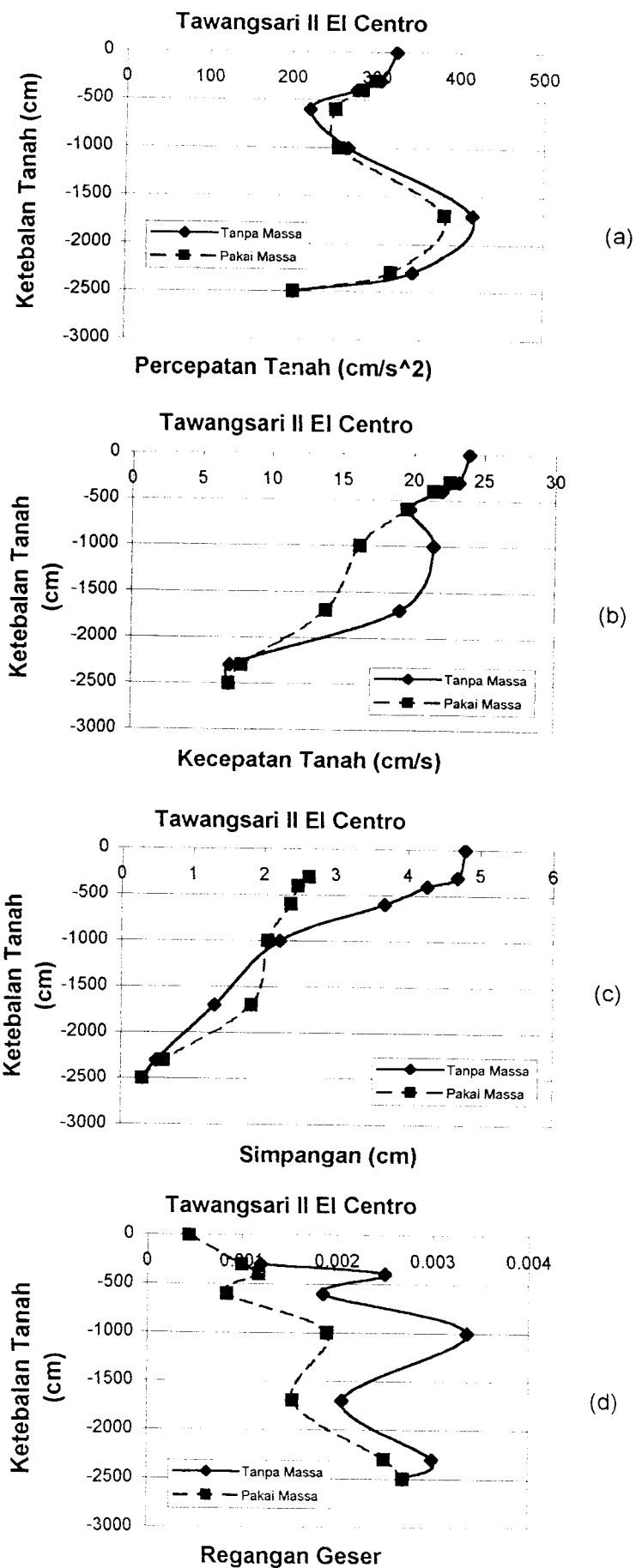
Gambar 5.37 Grafik Respon Seismik Tanah terhadap Ketebalan Tanah akibat Gempa Koyna daerah Tawangsari II



Gambar 5.38 Grafik Respon seismik Tanah terhadap Ketebalan Tanah akibat gempa Kobe daerah Tawangsari II.



Gambar 5.39 Grafik Respon Seismik Tanah terhadap Ketebalan Tanah akibat gempa Miyagi daerah Tawangsari II



Gambar 5.40 Grafik Respon Seismik tanah terhadap Ketebalan Tanah akibat gempa El centro daerah Tawangsari II

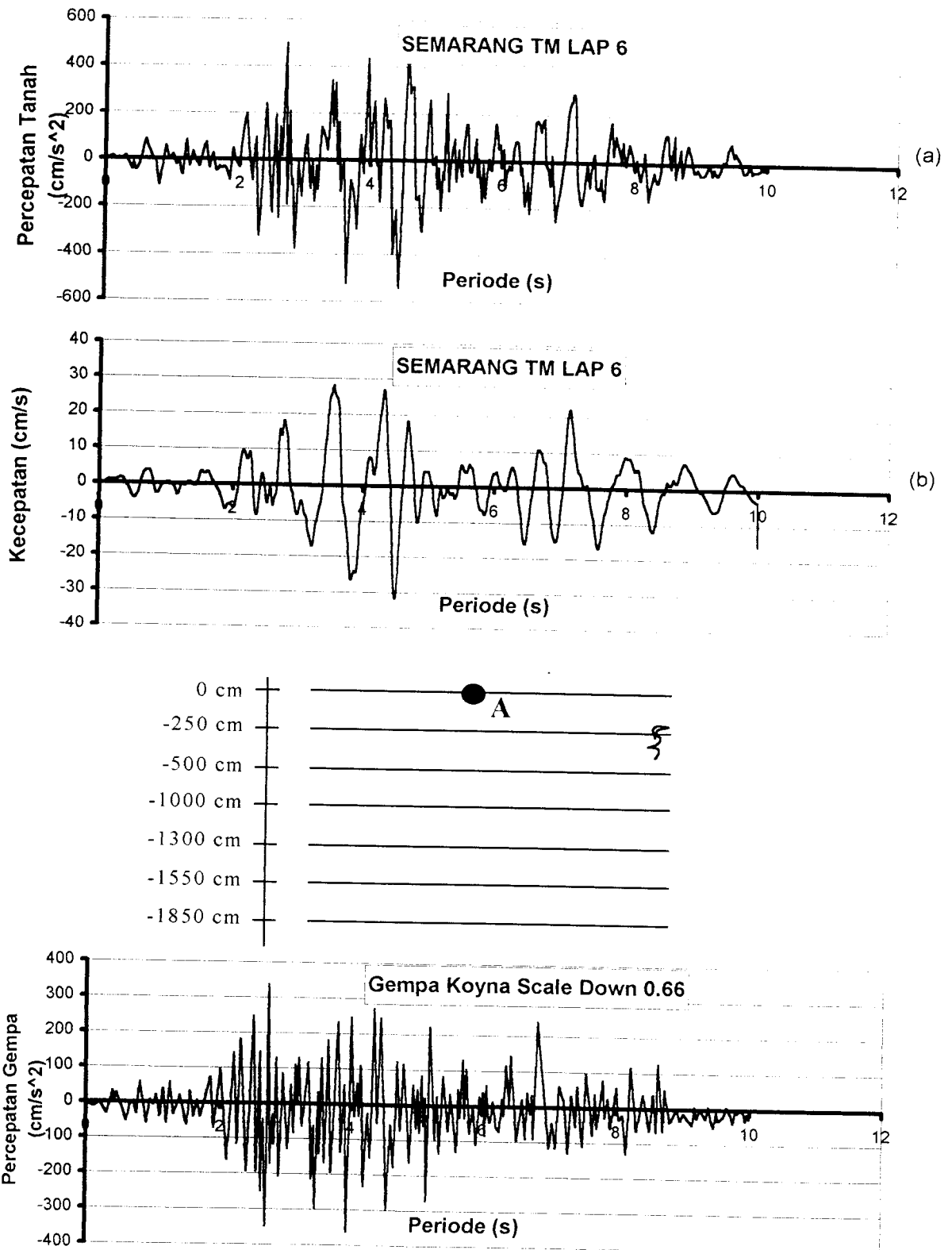
dan dari tabel 5.10 dapat diketahui bahwa regangan geser yang terjadi di permukaan tanah meskipun sudah mendekati asumsi regangan geser yang terjadi pada awal perhitungan tetapi untuk keseluruhan regangan geser yang terjadi di lapisan tanah terdapat penyimpangan dari hasil yang diuraikan oleh Tokida karena regangan geser yang terjadi di lapisan tanah paling dasar regangan geser yang terjadi lebih besar dari regangan geser yang terjadi di permukaan.

5.9 Hasil Perhitungan Respon Seismik untuk Tanah Pada Daerah Jl. Pemuda Semarang

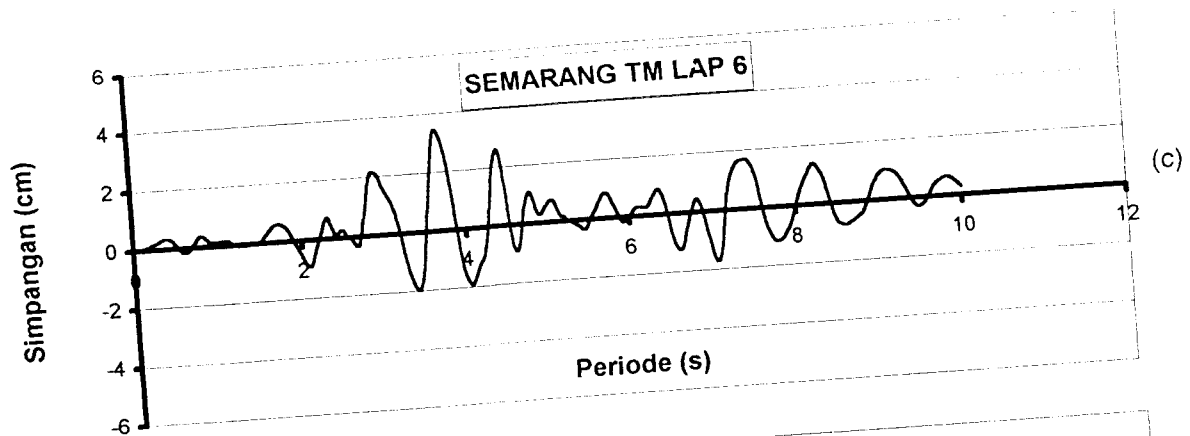
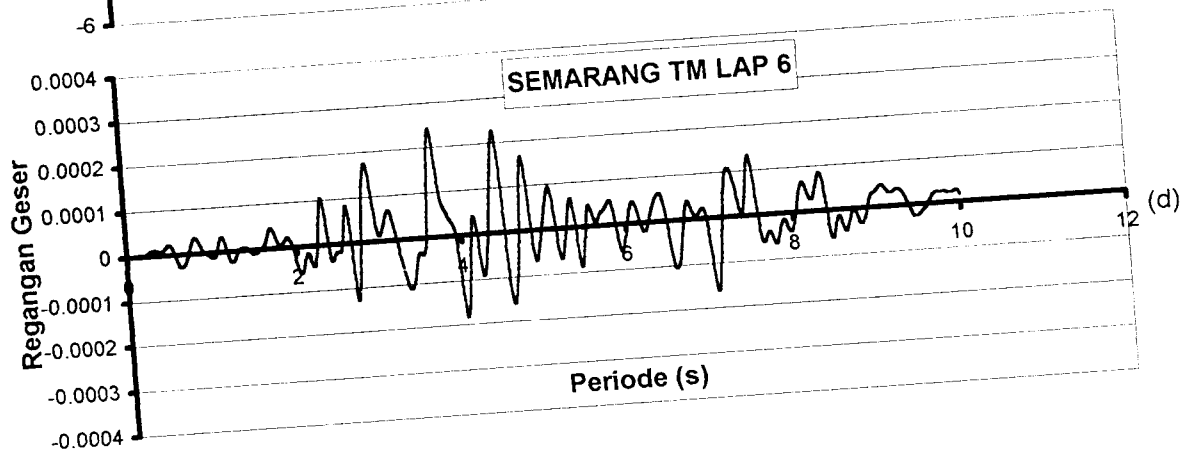
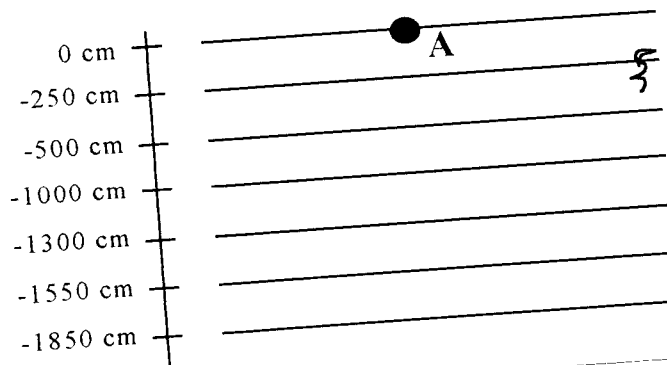
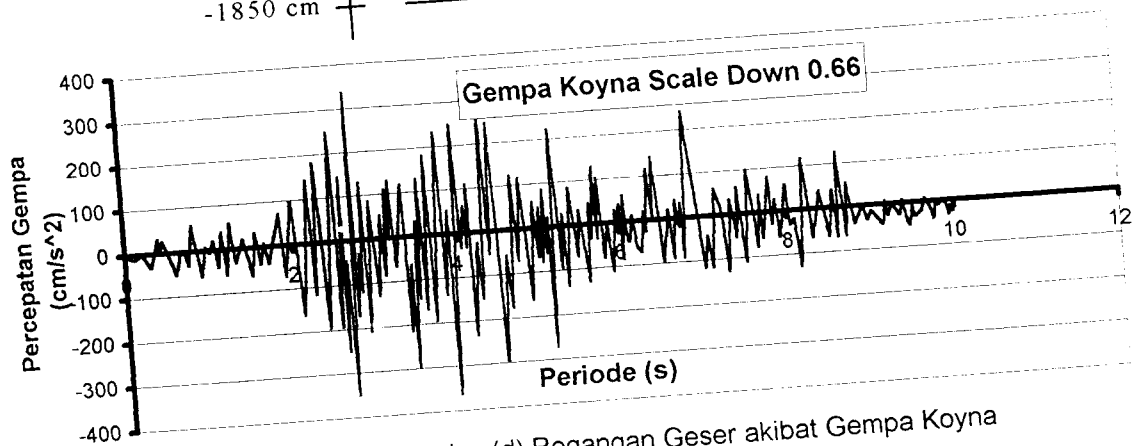
Untuk tanah pada lokasi di daerah Jl. Pemuda, Semarang hasil respon seismik tanah baik tanpa massa bangunan di atasnya (kondisi *free field*) maupun yang terdapat massa bangunan di atasnya dapat dilihat pada gambar 5.41- gambar 5.56

Tabel 5.13 Perbandingan percepatan yang terjadi akibat gempa daerah Semarang

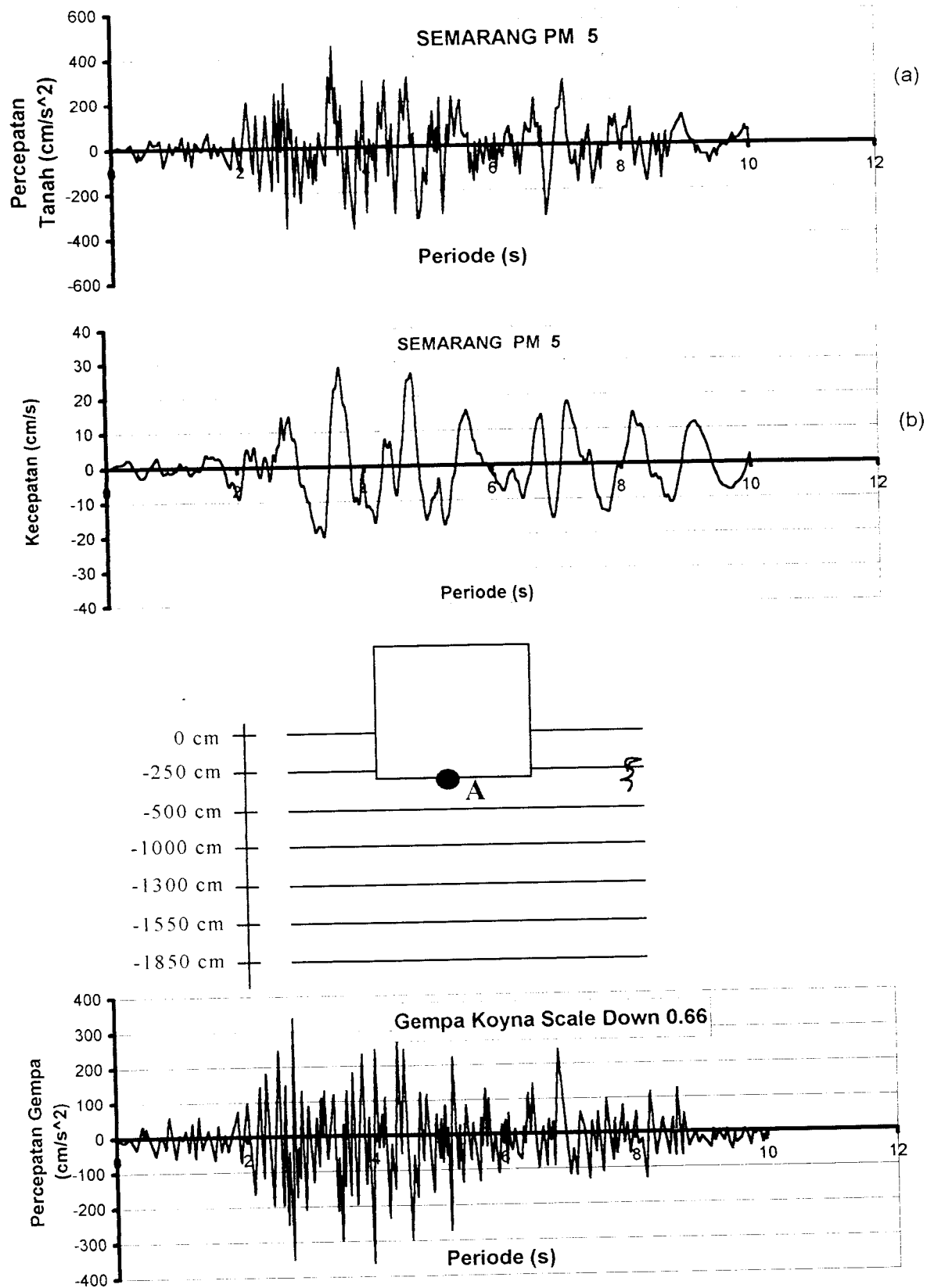
Gempa	Percepatan gempa pada <i>Base Rock</i>	Pada kondisi <i>free field</i>	Pada kondisi terdapat massa bangunan diatas Lapisan tanah
1. Koyna	362,206 cm/s ²	542,7 cm/s ²	451,5 cm/s ²
2. Kobe	197,258 cm/s ²	626,27 cm/s ²	510,88 cm/s ²
3. Miiyaki	39,2 cm/s ²	233,265 cm/s ²	83,94 cm/s ²
4. ElCentro	203,283 cm/s ²	292,075 cm/s ²	265,0 cm/s ²



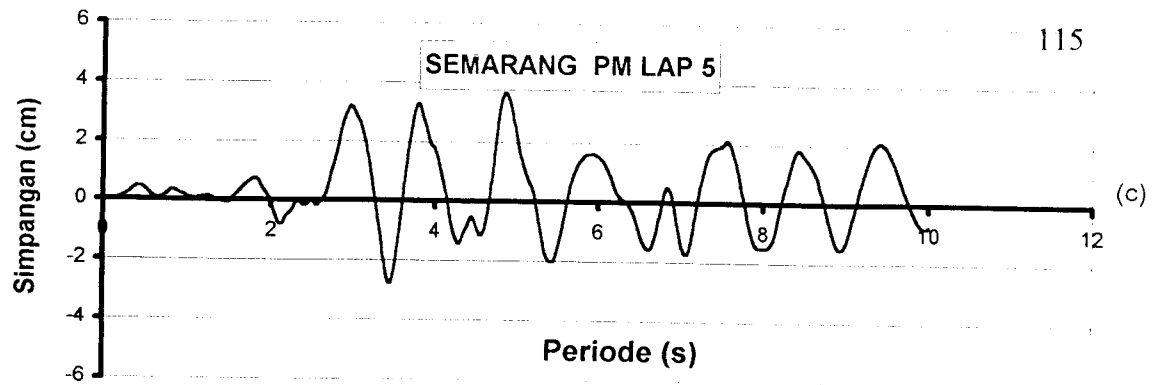
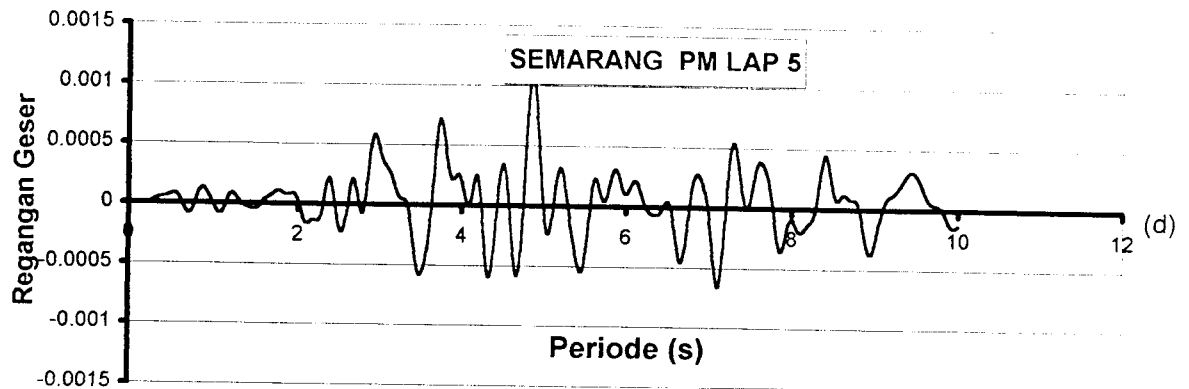
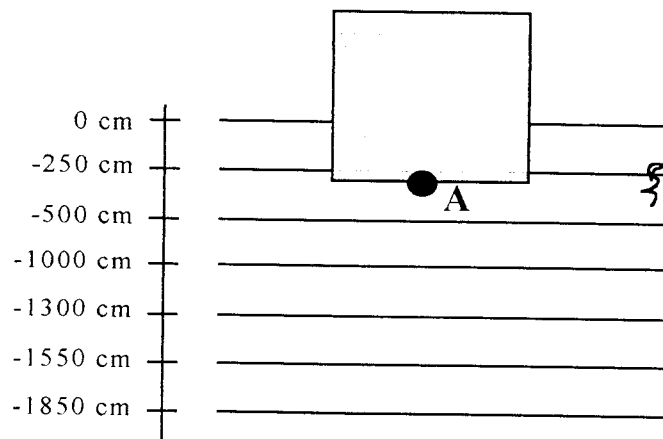
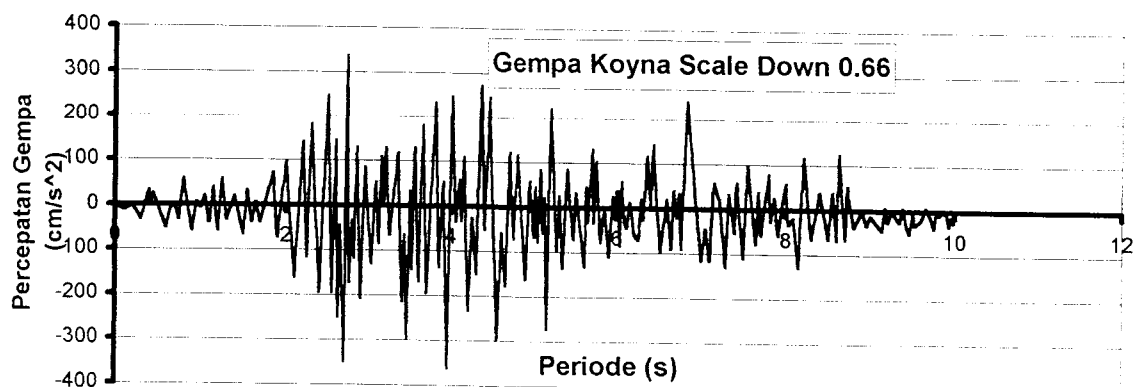
Gambar 5.41 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Koyana di daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.



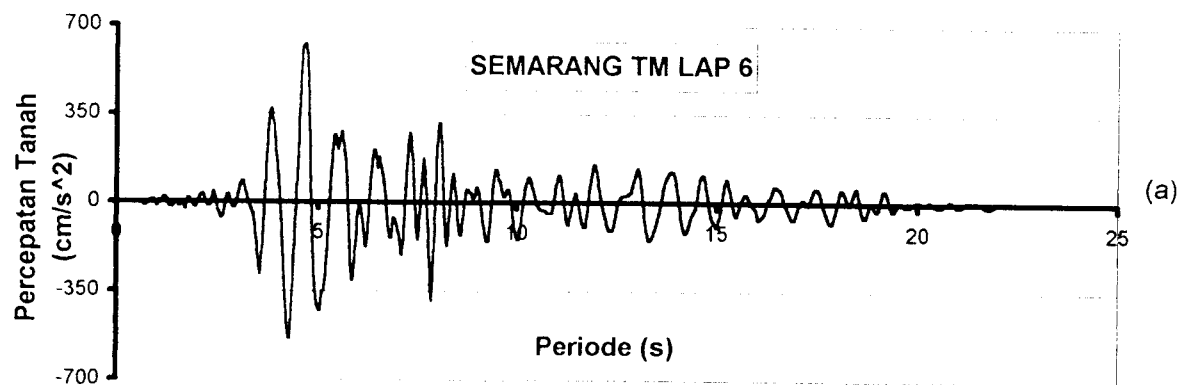
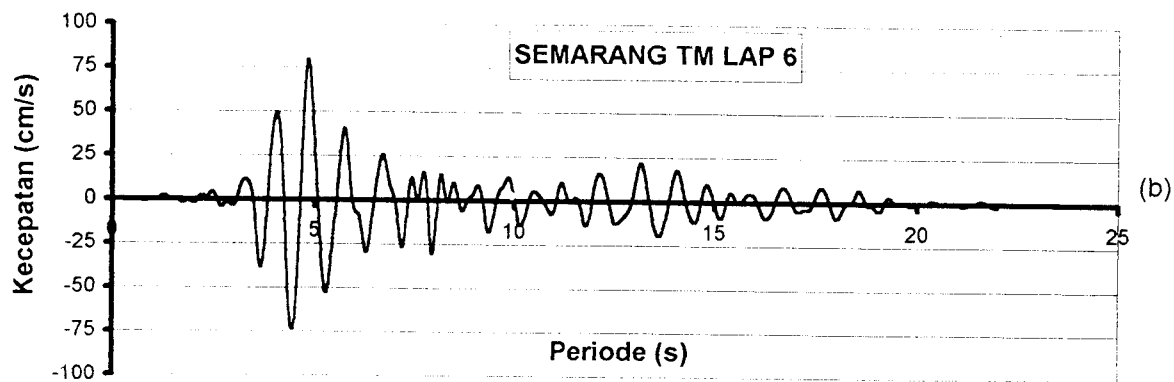
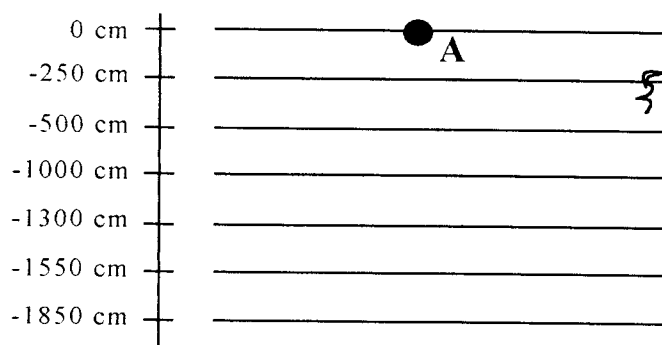
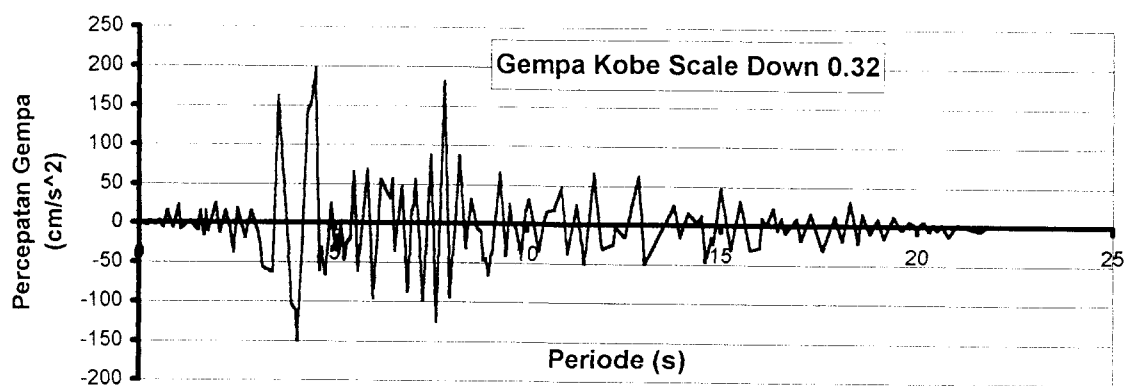
Gambar 5.42 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Koyana di daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan.



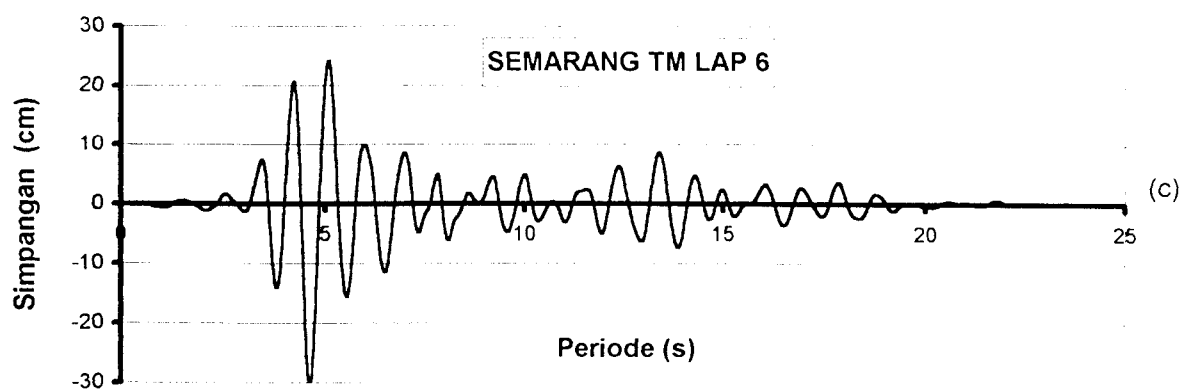
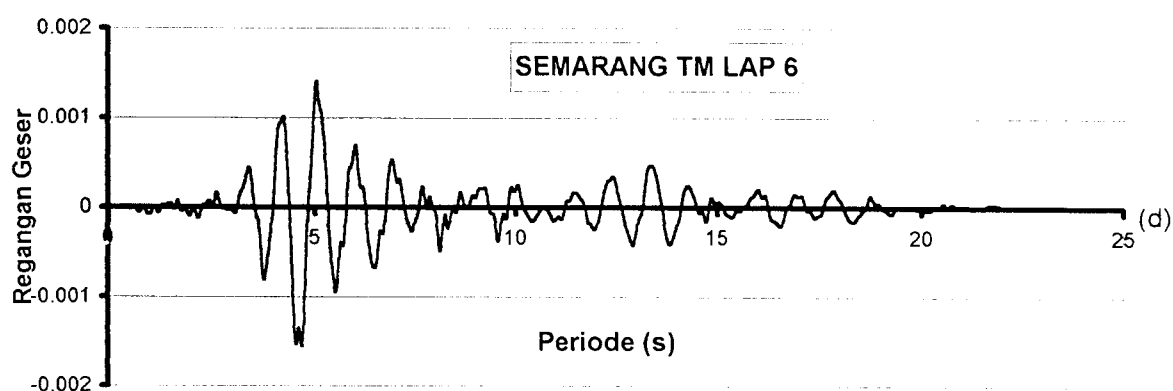
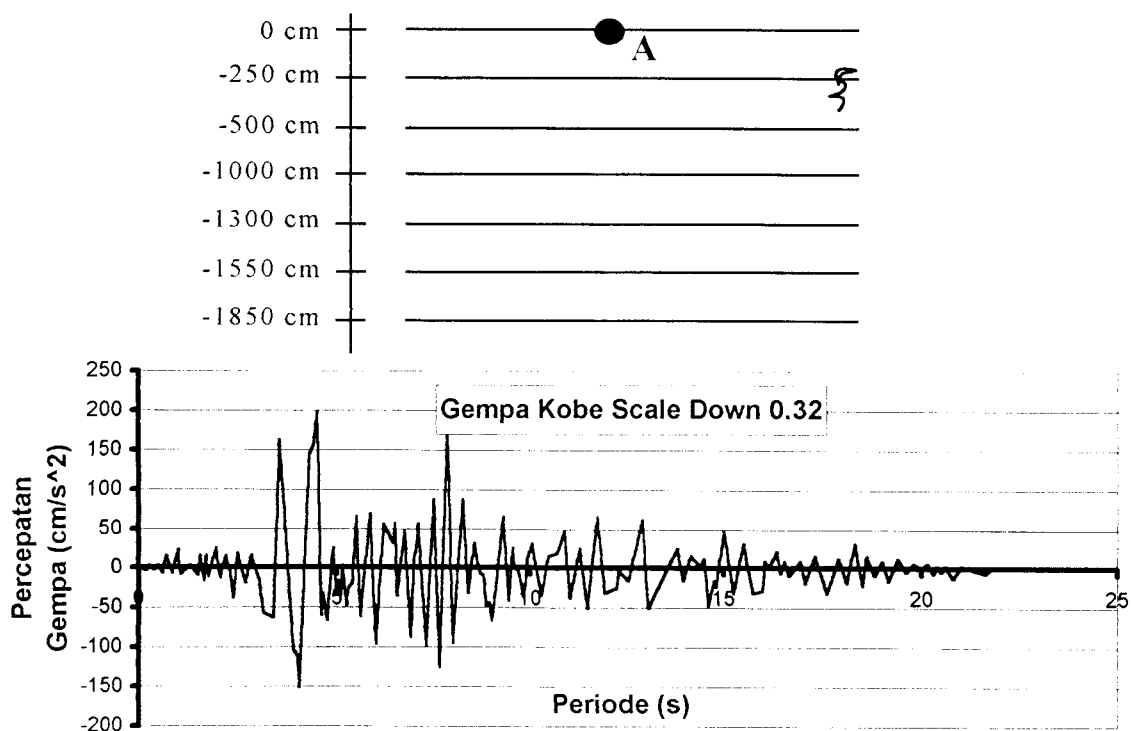
Gambar 5.43 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Koyna di daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.



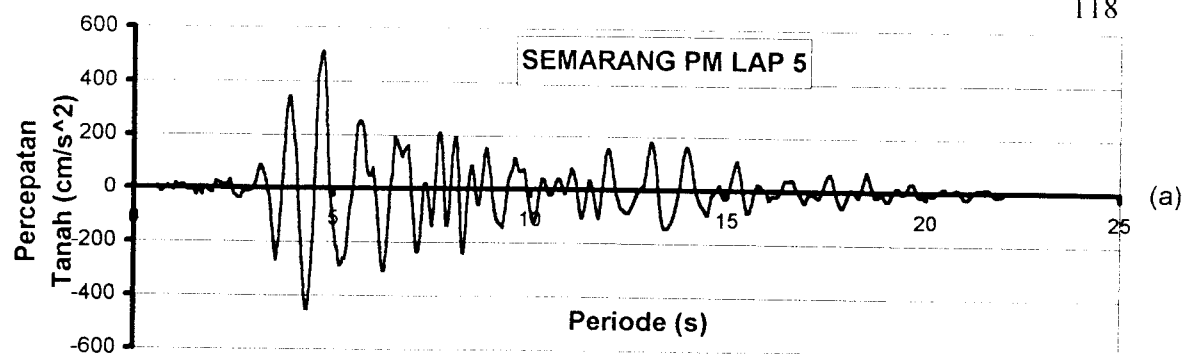
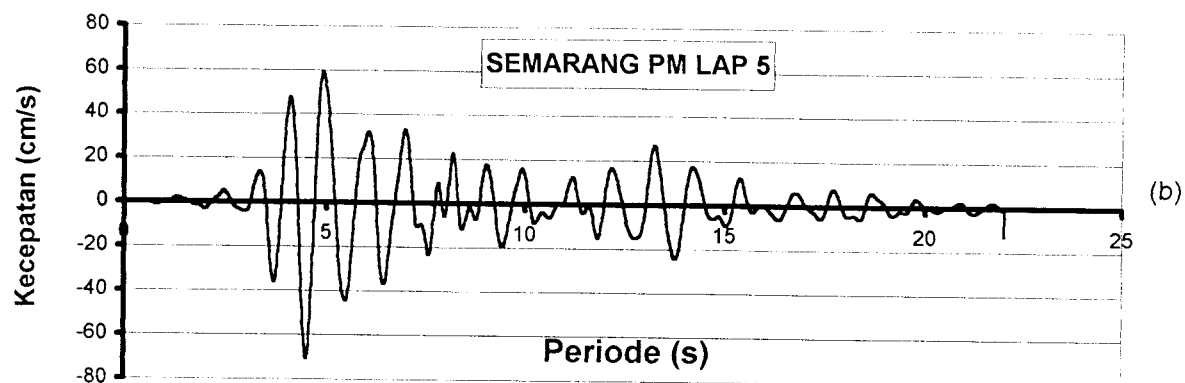
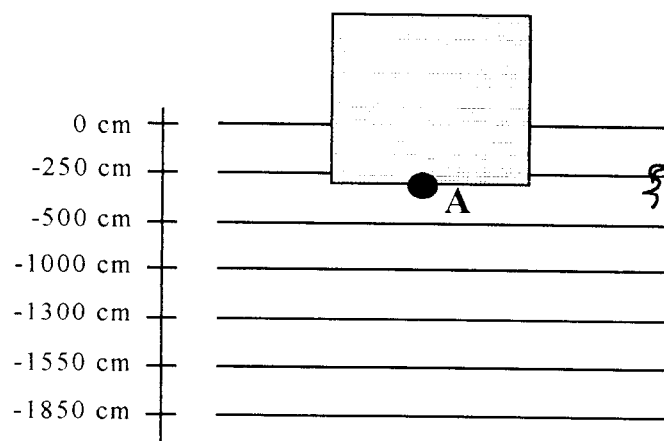
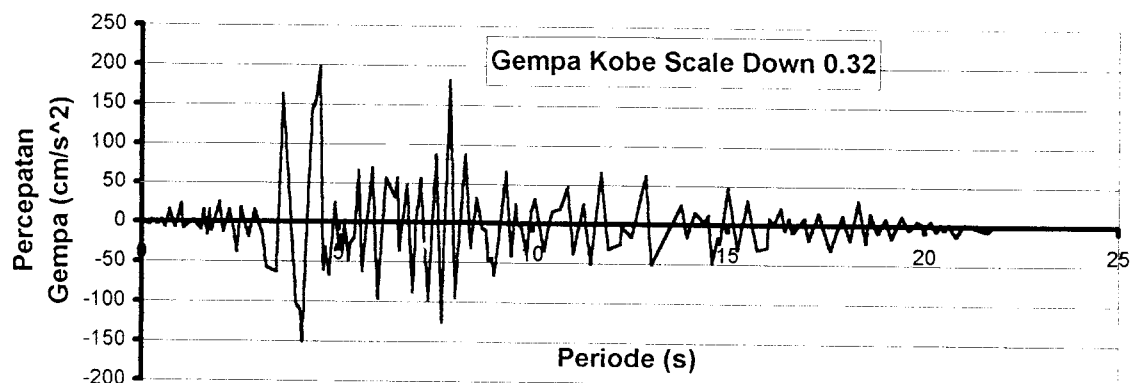
Gambar 5.44 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Koyana di daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.



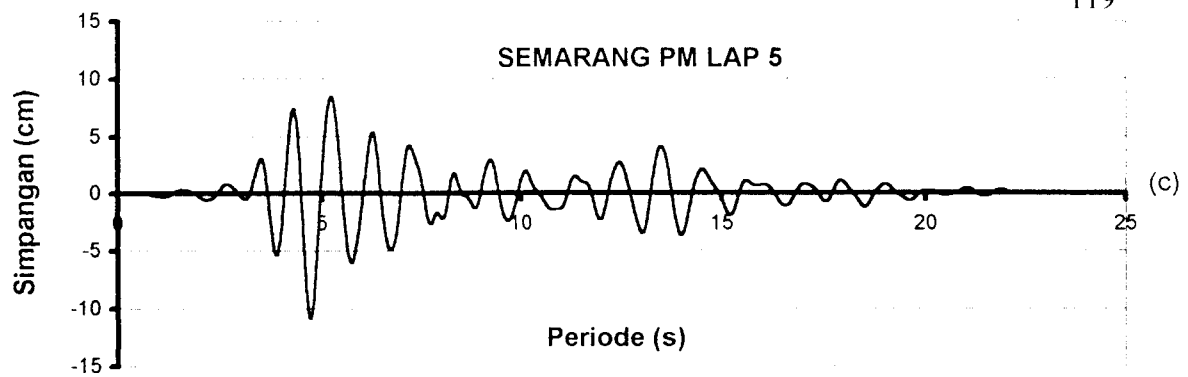
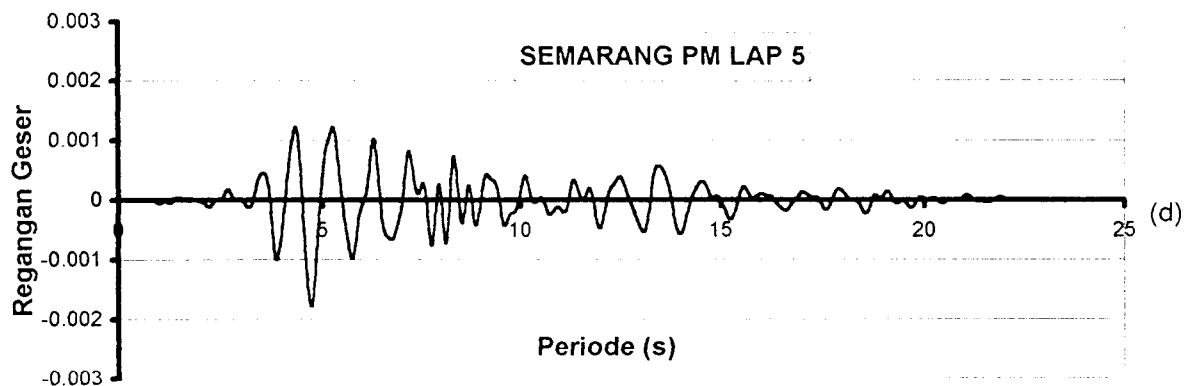
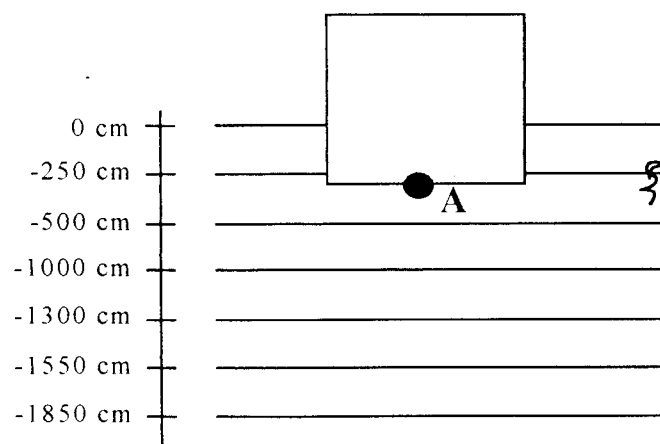
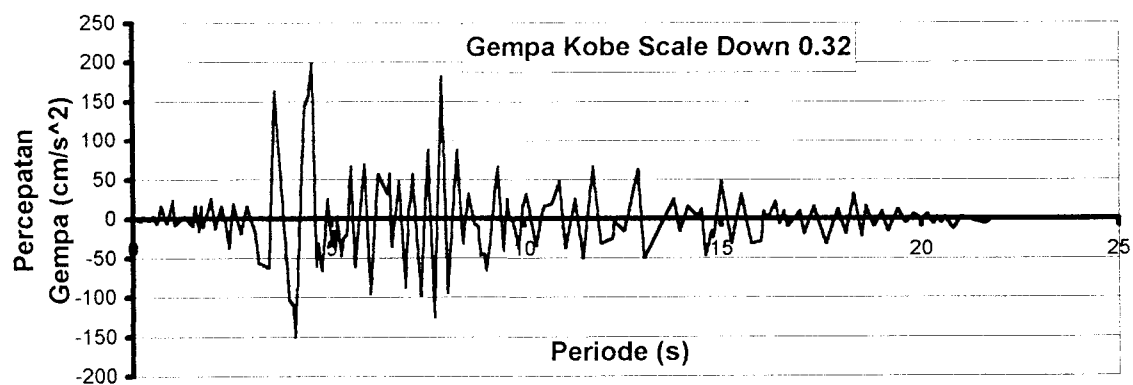
Gambar 5.45 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Kobe di daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan



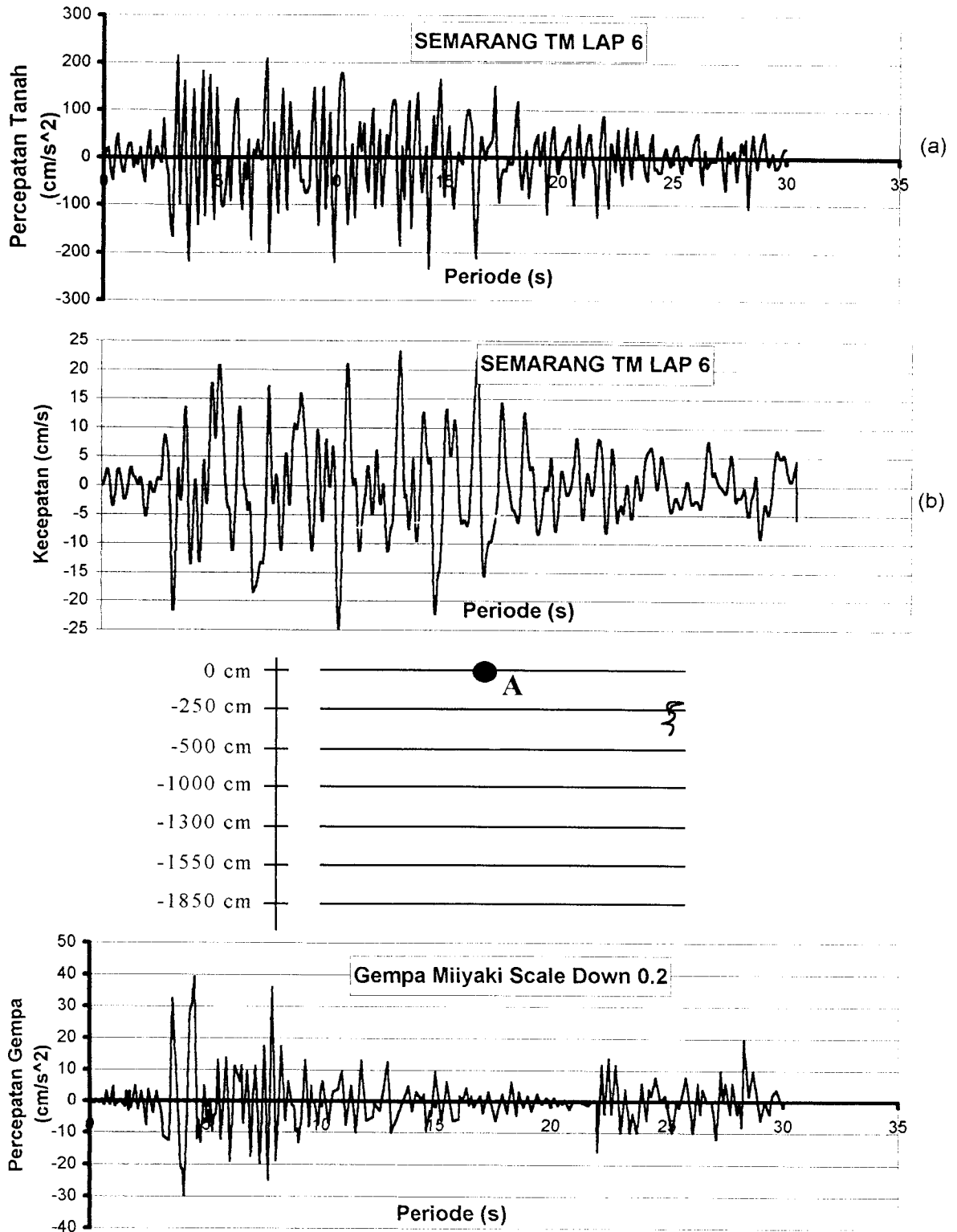
Gambar 5.46 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Kobe di daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan



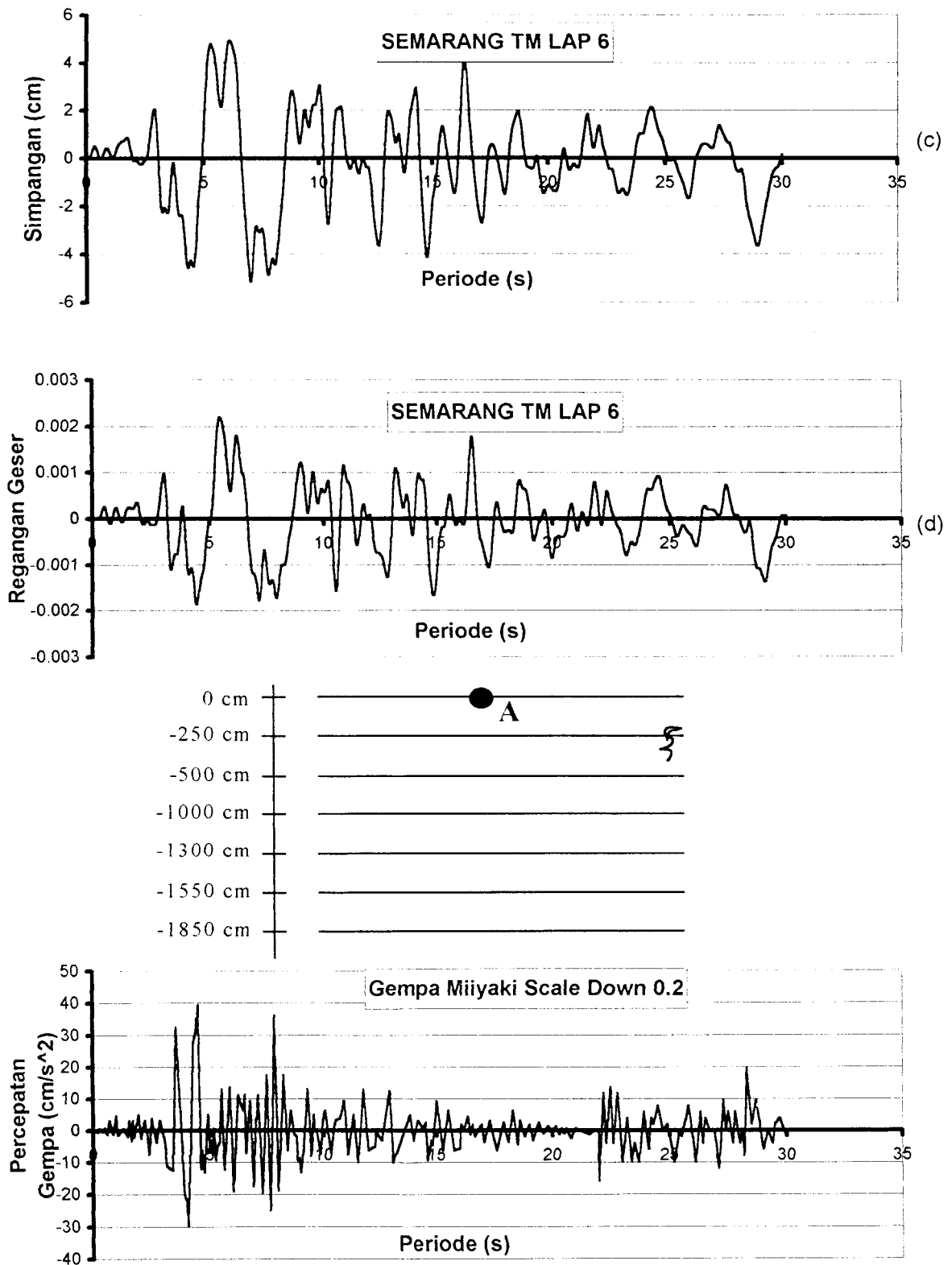
Gambar 5.47 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Kobe di daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan



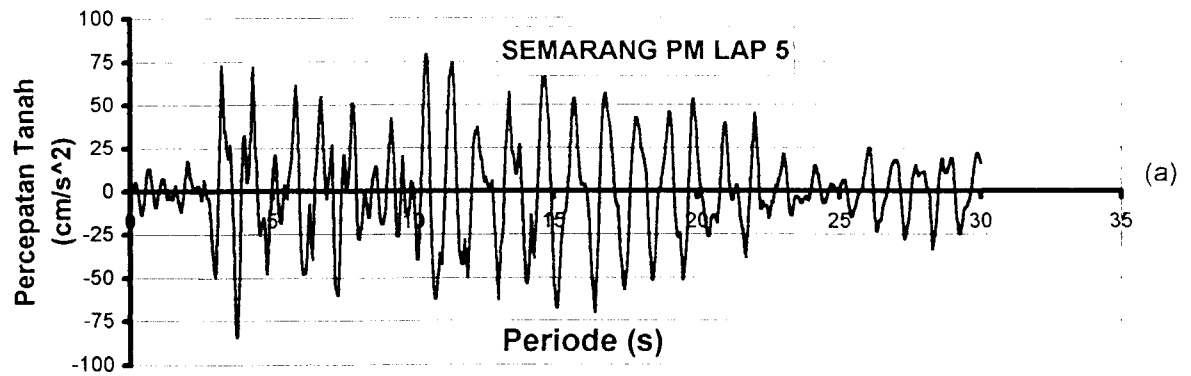
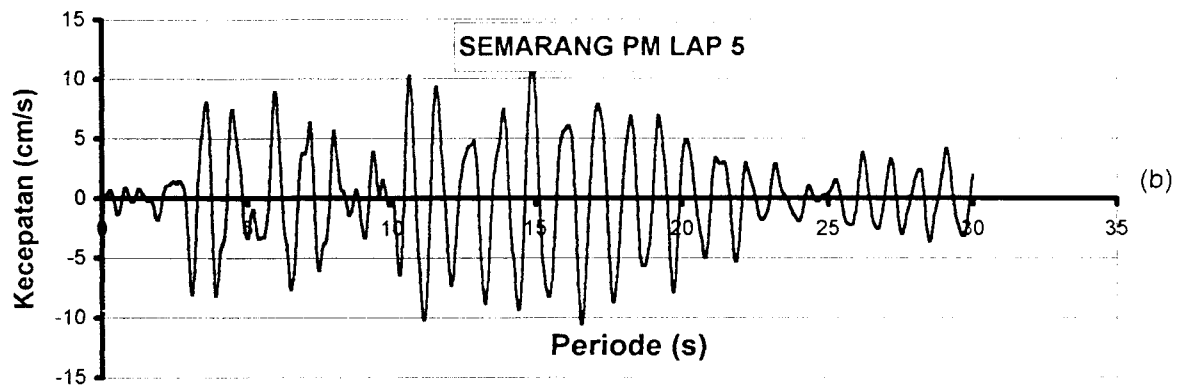
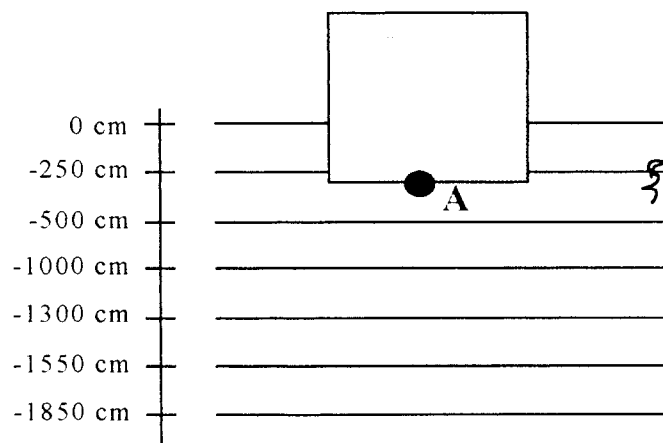
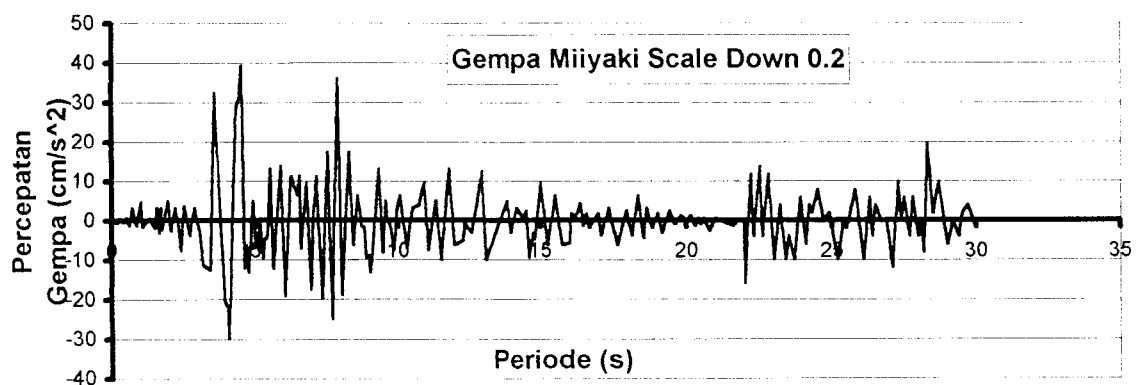
Gambar 5.48 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Kobe di daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan



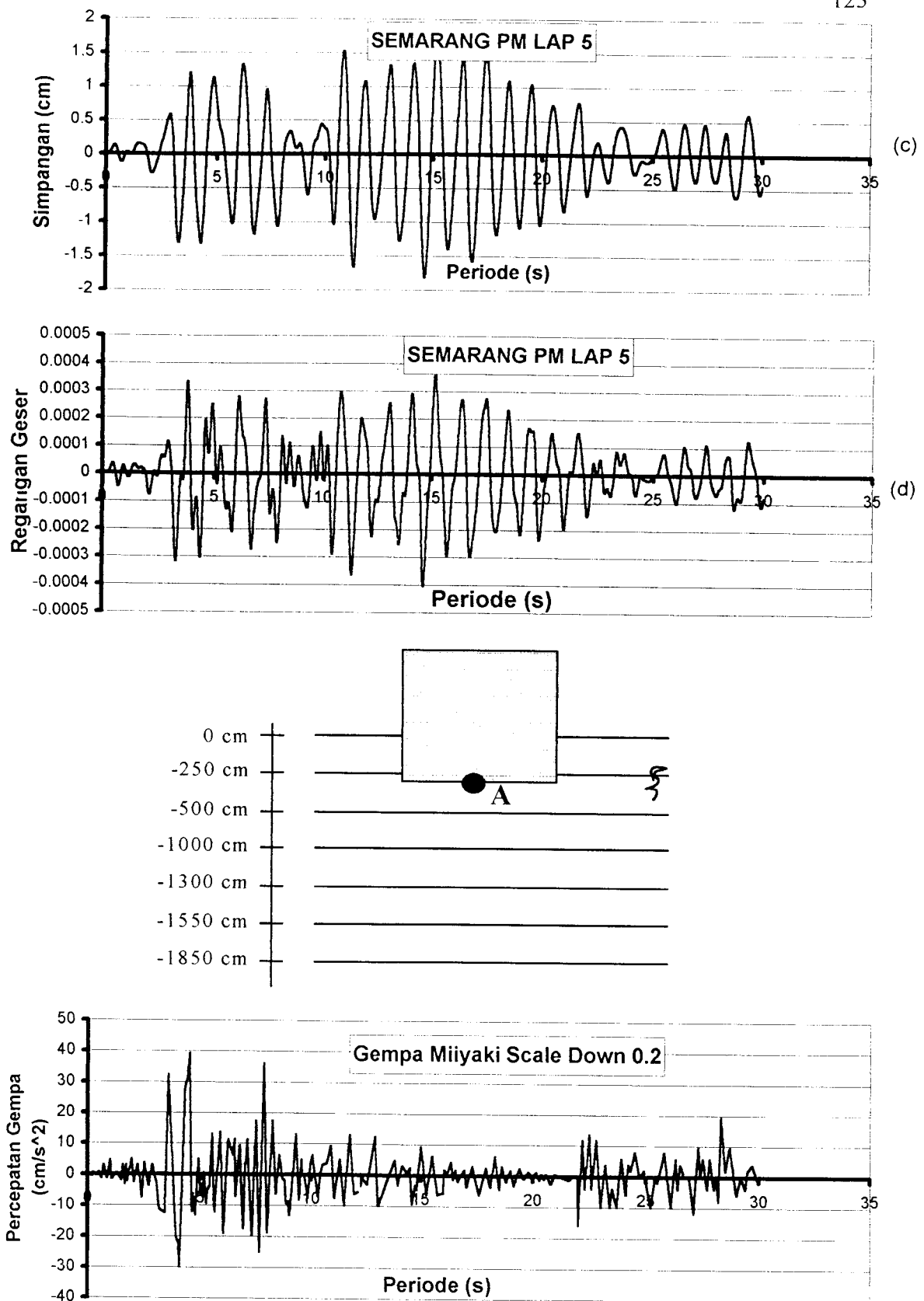
Gambar 5.49 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Miiyaki di daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan



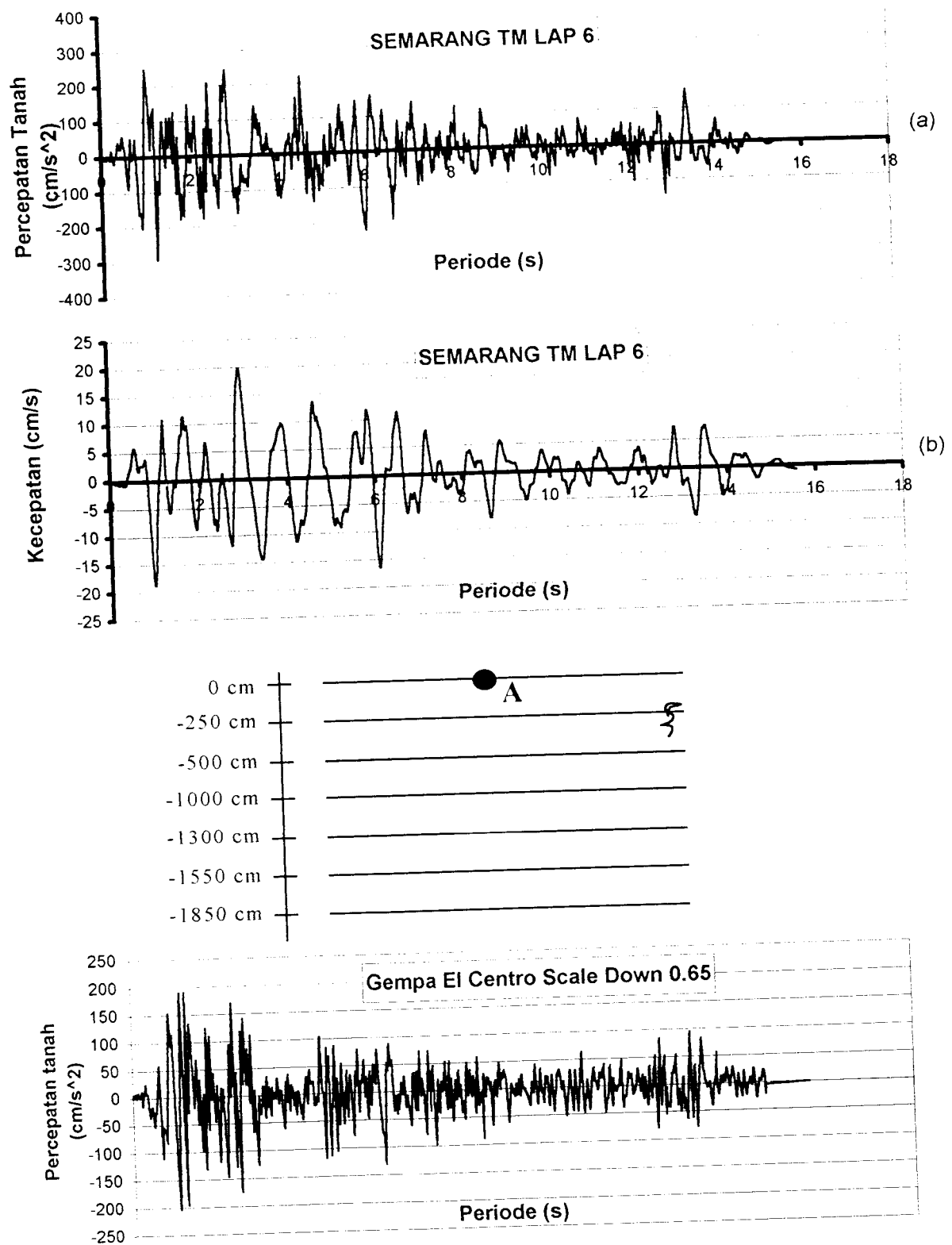
Gambar 5.50 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Miiyaki di daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan



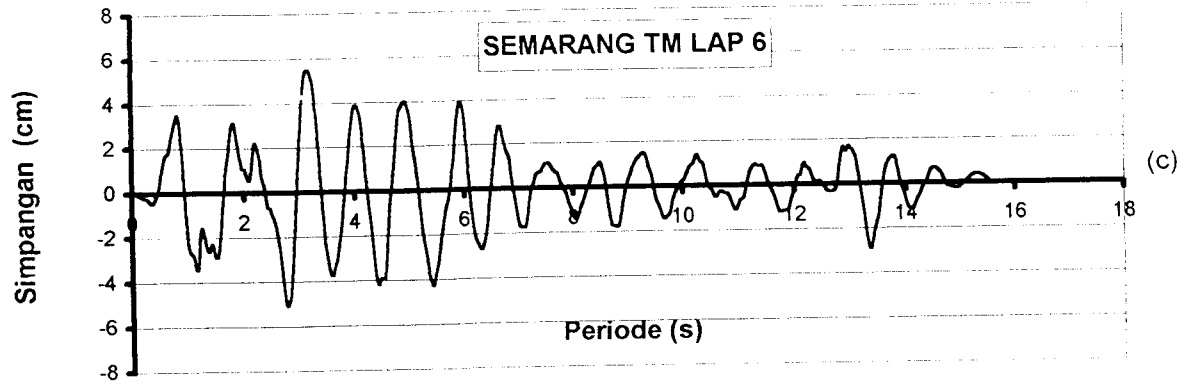
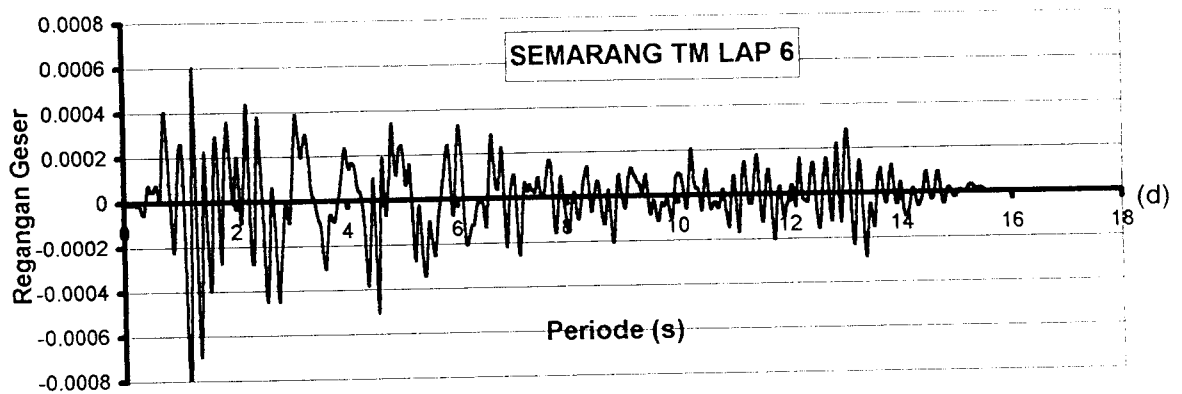
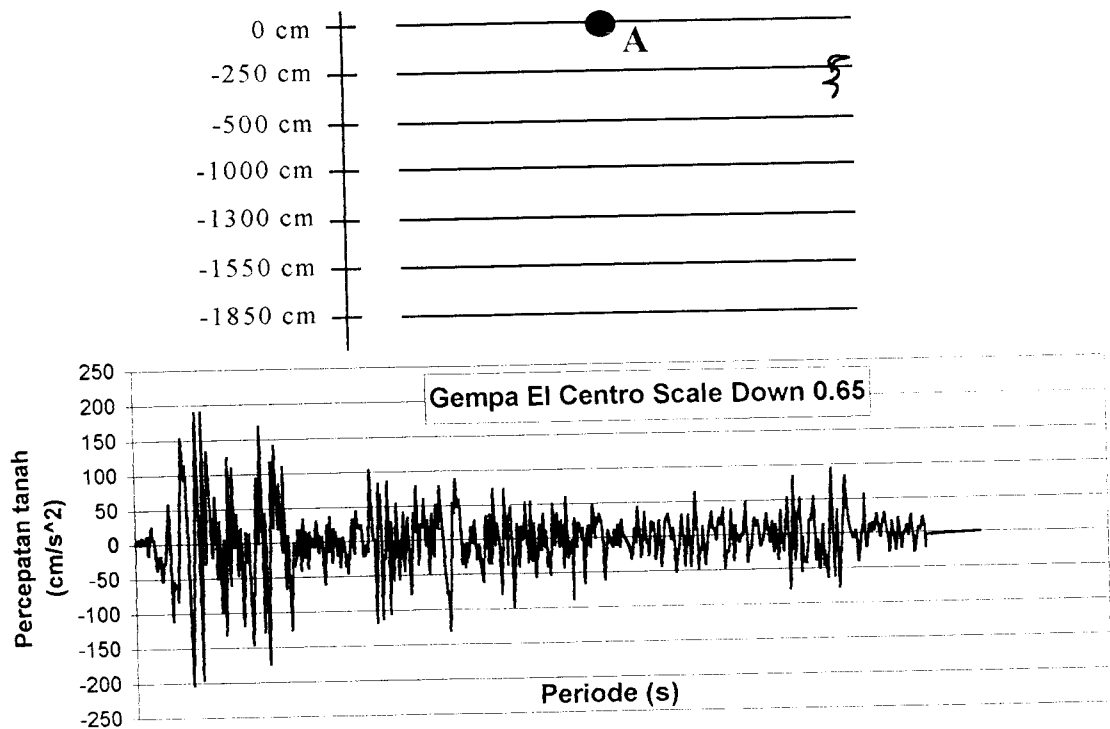
Gambar 5.51 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Miiyaki di daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan



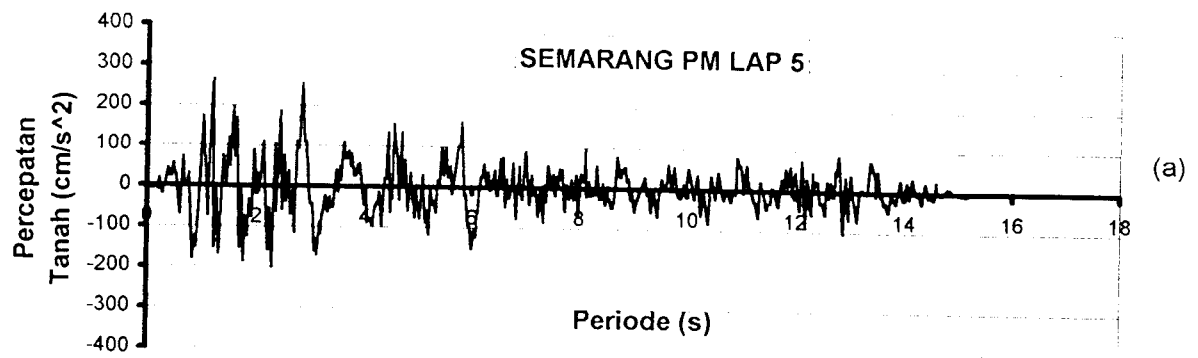
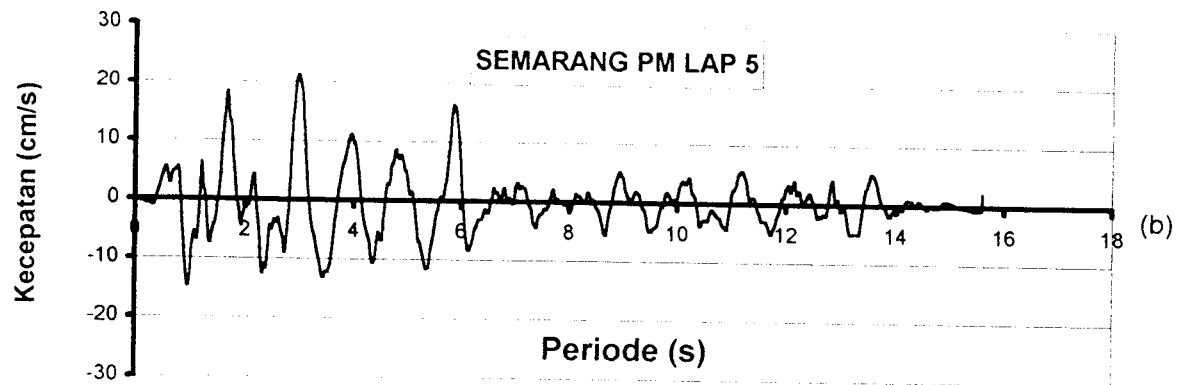
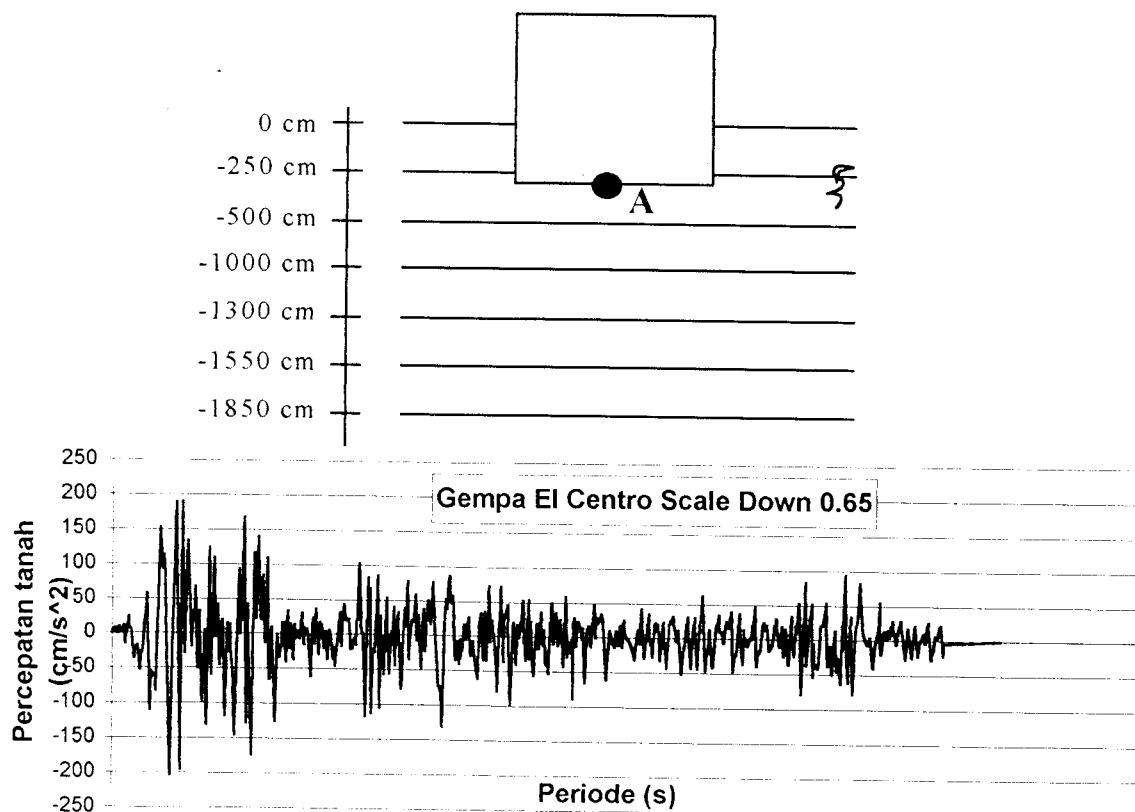
Gambar 5.52 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Miyaki di daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan



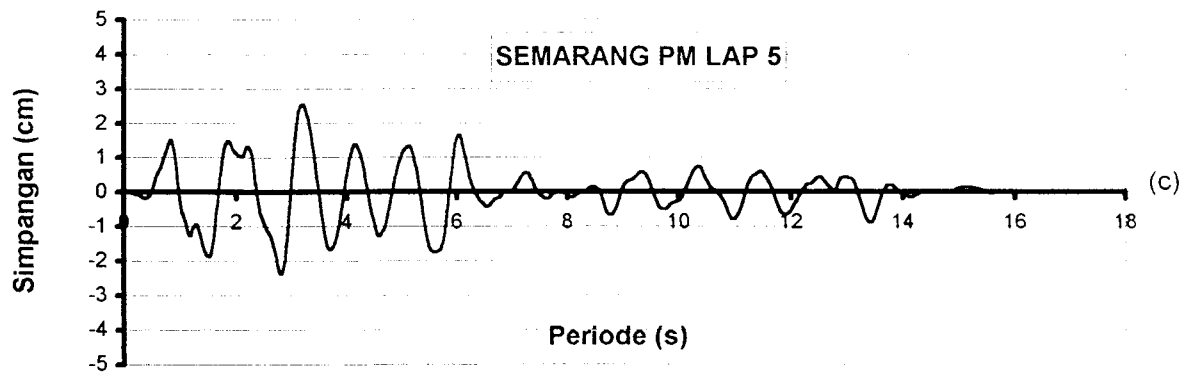
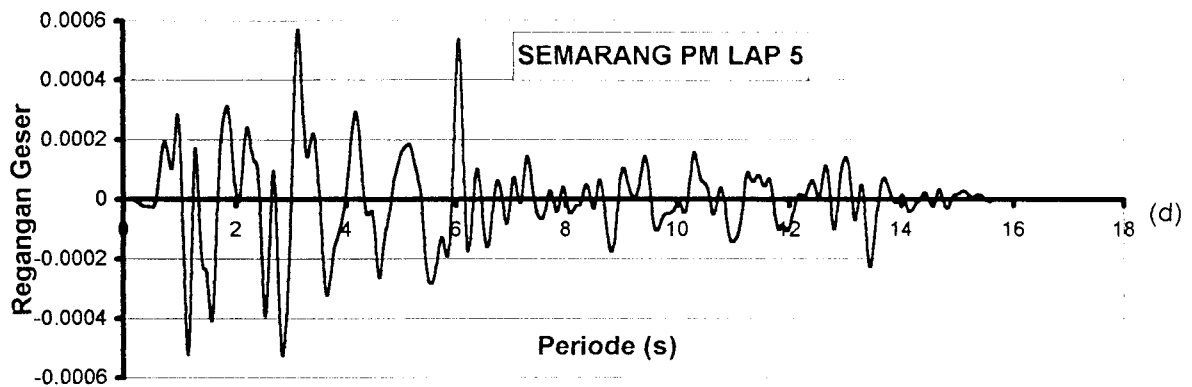
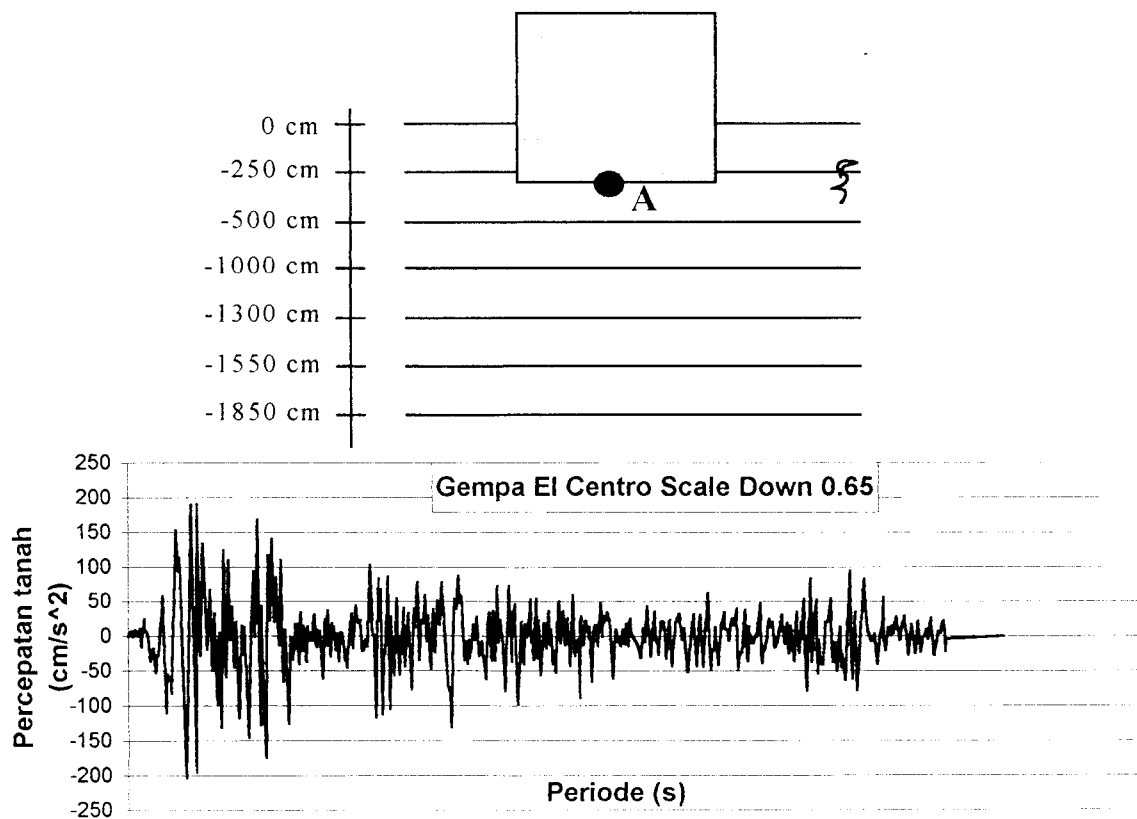
Gambar 5.53 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa El Centro di daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan



Gambar 5.54 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa El Centro di daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan



Gambar 5.55 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa El Centro di daerah Jl. Pemuda Semarang dengan massa bangunan



Gambar 5.56 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa El Centro di daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan

Tabel 5.14 Perbandingan kecepatan yang terjadi akibat gempa daerah Semarang

Gempa	Percepatan gempa pada <i>Base Rock</i>	Pada kondisi <i>free field</i>	Pada kondisi terdapat massa bangunan diatas Lapisan tanah
1. Koyna	362,206 cm/s ²	31,6 cm/s	28,7 cm/s
2. Kobe	197,258 cm/s ²	79,51 cm/s	70,7 cm/s
3. Miyaki	39,2 cm/s ²	24,79 cm/s	11,394 cm/s
4. ElCentro	203,283 cm/s ²	21,39 cm/s	19,8 cm/s

Tabel 5.15 Perbandingan simpangan tiap-tiap gempa daerah Semarang

Gempa	Percepatan gempa pada <i>Base Rock</i>	Pada kondisi <i>free field</i>	Pada kondisi terdapat massa bangunan diatas Lapisan tanah
1. Koyna	362,206 cm/s ²	3,68 cm	3,5 cm
2. Kobe	197,258 cm/s ²	30,44 cm	10,85 cm
3. Miyaki	39,2 cm/s ²	5,2 cm	1,82 cm
4. ElCentro	203,283 cm/s ²	5,5 cm	2,6 cm

Tabel 5.16 Perbandingan regangan geser pada permukaan tanah tiap-tiap gempa daerah Semarang

Gempa	Percepatan gempa Pada <i>Base Rock</i>	Pada kondisi <i>free field</i>	Pada kondisi terdapat massa bangunan diatas Lapisan tanah
Koyna	362,206 cm/s ²	$2,43 \cdot 10^{-4}$	$6,57 \cdot 10^{-4}$
Kobe	197,258 cm/s ²	$1,56 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$
Miyaki	39,2 cm/s ²	$2,198 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$
ElCentro	203,283 cm/s ²	$8,6 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^{-4}$

Dari tabel di atas dapat disimpulkan urutan besarnya percepatan tanah yang terjadi akibat gempa pada lokasi Jl. Pemuda ,Semarang untuk kondisi *free field* adalah sebagai berikut :

1. Akibat Gempa Kobe
2. Akibat Gempa Koyna
3. Akibat Gempa ElCentro
4. Akibat Gempa Miiyaki

Untuk kondisi terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah adalah sebagai berikut :

1. Akibat Gempa Kobe
2. Akibat Gempa Koyna
3. Akibat Gempa ElCentro
4. Akibat Gempa Miiyaki

Urutan besarnya kecepatan tanah yang terjadi akibat gempa pada lokasi Jl. Pemuda , Semarang untuk kondisi *free field* adalah sebagai berikut :

1. Akibat Gempa Kobe
2. Akibat Gempa Koyna
3. Akibat Gempa Miiyaki
4. Akibat Gempa ElCentro

Untuk kondisi terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah adalah sebagai berikut :

1. Akibat Gempa Kobe

2. Akibat Gempa Koyna
3. Akibat Gempa ElCentro
4. Akibat Gempa Miiyaki

Urutan besarnya simpangan tanah yang terjadi akibat gempa pada lokasi Jl. Pemuda, Semarang untuk kondisi *free field* adalah sebagai berikut :

1. Akibat Gempa Kobe
2. Akibat Gempa ElCentro
3. Akibat Gempa Miiyaki
4. Akibat Gempa Koyna

Untuk kondisi terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah adalah sebagai berikut :

1. Akibat Gempa Kobe
2. Akibat Gempa Koyna
3. Akibat Gempa ElCentro
4. Akibat Gempa Miiyaki

A/V ratio masing – masing gempa yang terjadi di permukaan tanah untuk kondisi *free field* :

1. Gempa Koyna : 1,7525 Hz
2. Gempa Kobe : 0.8037 Hz
3. Gempa Miiyaki : 0.9602 Hz
4. Gempa El Centro : 1.3933 Hz

A/V ratio masing – masing gempa yang terjadi di permukaan tanah untuk kondisi terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah :

1. Gempa Koyna : 1.6053 Hz
2. Gempa Kobe : 0.7373 Hz
3. Gempa Miyaki : 0.7517 Hz
4. Gempa El Centro : 1.3657 Hz

Dapat dilihat dari hasil A/V ratio bahwa bila terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah akan terjadi penurunan nilai A/V ratio yang berarti terjadi penurunan kandungan frekuensi gempa. Hal itu berarti bahwa massa bangunan akan menyaring kandungan frekuensi gempa. A/V ratio gempa yang terjadi di permukaan tanah menunjukkan bahwa kandungan frekuensi gempa termasuk frekuensi rendah sampai frekuensi tinggi. Karena A/V ratio < 0.8 merupakan jenis frekuensi rendah, sedangkan A/V ratio yang berkisar antara $0.8 - 1.2$ merupakan jenis frekuensi menengah dan A/V ratio > 1.2 merupakan frekuensi tinggi.

5.10 Perubahan Kandungan Frekuensi Percepatan Tanah , Kecepatan Tanah dan Simpangan Tanah Yang Terjadi Akibat Gempa

Dari gambar 5.41 – 5.56 dapat dilihat terjadinya perubahan kandungan frekuensi gempa. Hal itu disebabkan karena percepatan tanah merupakan turunan kedua dari simpangan tanah, sedangkan kecepatan merupakan turunan pertama dari simpangan gempa. Dengan kata lain kecepatan tanah dapat diperoleh dari menjumlahkan luasan grafik percepatan tanah, sedangkan simpangan tanah dapat diperoleh dengan menjumlahkan luasan grafik kecepatan tanah. Oleh karena itu

kandungan frekuensi percepatan tanah lebih tinggi dari kandungan frekuensi kecepatan tanah dan kandungan frekuensi simpangan tanah, dan kandungan frekuensi kecepatan tanah lebih tinggi dari kandungan frekuensi simpangan tanah.

5.11 Amplifikasi Respon Seismik Pada Permukaan Lapisan Tanah

Tabel 5.17 Besarnya amplifikasi respon seismik daerah Semarang

Gempa	Kondisi	Percepatan	Kecepatan	Simpangan
Koyna	Tanpa Massa	542,7 cm/s ² (+)49,83%	31,6 cm/s	3,68 cm
	Pakai Massa	451,5 cm/s ² (+)24,653 %	28,7 cm/s	3,5 cm
Kobe	Tanpa Massa	626,27 cm/s ² (+)216,0%	79,51 cm/s	30,44 cm
	Pakai Massa	510,88 cm/s ² (+) 158,0 %	70,7 cm/s	10,85 cm
Miiyaki	Tanpa Massa	233,265 cm/s ² (+)495,66 %	24,79 cm/s	5,2 cm
	Pakai Massa	83,94 cm/s ² (+)114,133 %	11,394 cm/s	1,82 cm
ElCentro	Tanpa Massa	292,075 cm/s ² (+)43,67%	21,39 cm/s	5,5 cm
	Pakai Massa	265,0 cm/s ² (+)30,36 %	19,8 cm/s	2,6 cm

Dilihat dari jenis tanahnya Lapisan tanah pada lokasi Jl. Pemuda , Semarang merupakan jenis lapisan tanah lempung kelanauan & pasir kelanauan yang lunak

, lapisan tanah mempunyai nilai N SPT berkisar antara 2/30 – 16/30. Selain itu lapisan tanahnya mempunyai nilai PI yang berkisar antara 22 % - 35 %. Dilihat dari nilai indeks plastisitasnya tanah di Jl. Pemuda Semarang mempunyai plastisitas yang tinggi sesuai dengan tabel 1 bab II. Seperti yang telah diketahui bahwa sifat-sifat fisik tanah merupakan faktor yang akan berpengaruh pada amplifikasi percepatan gempa.

Tanah kohesif lunak dengan plastisitas tinggi akan berkecenderungan berperilaku elastik sehingga semakin besar input energi/gaya yang bekerja pada struktur tanah tersebut maka semakin besar respon seismik (kecepatan dan percepatan) tanah yang akan terjadi. Besarnya respon tanah tersebut juga disebabkan kecilnya redaman material yang ada karena tanah dengan plastisitas tinggi nilai ratio redamannya relatif kecil.

Regangan geser tanah yang ditimbulkan oleh gempa mempunyai pengaruh terhadap modulus geser gempa. Semakin kecil regangan geser tanah semakin besar modulus geser tanah. Sedangkan modulus geser tanah akan berpengaruh pada kekakuan tanahnya, semakin besar nilai modulus geser tanah semakin besar kekakuan lapisan tanah tersebut. Kekakuan tanah akan berpengaruh pada respon seismik tanah tersebut, yang kemudian akibat kekakuan lapisan tanah yang berbeda akan membedakan perilaku pada respon seismik lapisan tanah.

Karena regangan geser yang diakibatkan gempa Koyna lebih kecil daripada regangan geser yang diakibatkan gempa Miyaki maupun gempa Kobe maka modulus geser dan kekakuan pada lapisan tanah akan lebih besar pada gempa Koyna.

Yang kemudian respon seismik yang terjadi akibat gempa Koyna baik itu percepatan, kecepatan, maupun simpangan akan lebih kecil respon seismik yang diakibatkan gempa Miiyaki dan gempa Kobe.

Lapisan tanah Jl. Pemuda Semarang mempunyai lapisan tanah yang paling dangkal, jika dibandingkan lapisan tanah yang berlokasi di Dalangan Tawangsari & Tawangsari II Sukoharjo, dalam arti lain letak *base motion* lapisan tanah Jl. Pemuda lebih dangkal. Selain itu lapisan tanah Jl. Pemuda Semarang mempunyai lapisan tanah lunak yang nilai N SPT tanah tersebut kecil. Akibat dari itu respon seismik lapisan tanah Jl. Pemuda Semarang lebih besar dari lapisan tanah yang berlokasi di Dalangan Tawangsari & Tawangsari II.

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah bahwa nilai frekuensi alam (ω) tanah di Semarang untuk gempa yang sama mempunyai nilai yang lebih besar dibanding tanah di Dalangan Tawangsari dan Tawangsari II. Hal itu disebabkan lapisan tanah di Semarang mempunyai ketebalan paling rendah jika di bandingkan dua lokasi tanah yang lain. Lapisan tanah yang semakin dangkal mengakibatkan massa tanah yang semakin kecil. Nilai frekuensi alam (ω) yang semakin besar mengakibatkan nilai periode getaran yang semakin kecil. Hal itu berarti sesuai dengan penelitian Vucetic dan Dobry bahwa lapisan tanah yang mempunyai ketebalan paling minimum akan mengalami percepatan tanah yang paling besar akan tetapi periode getaran yang terjadi paling kecil.

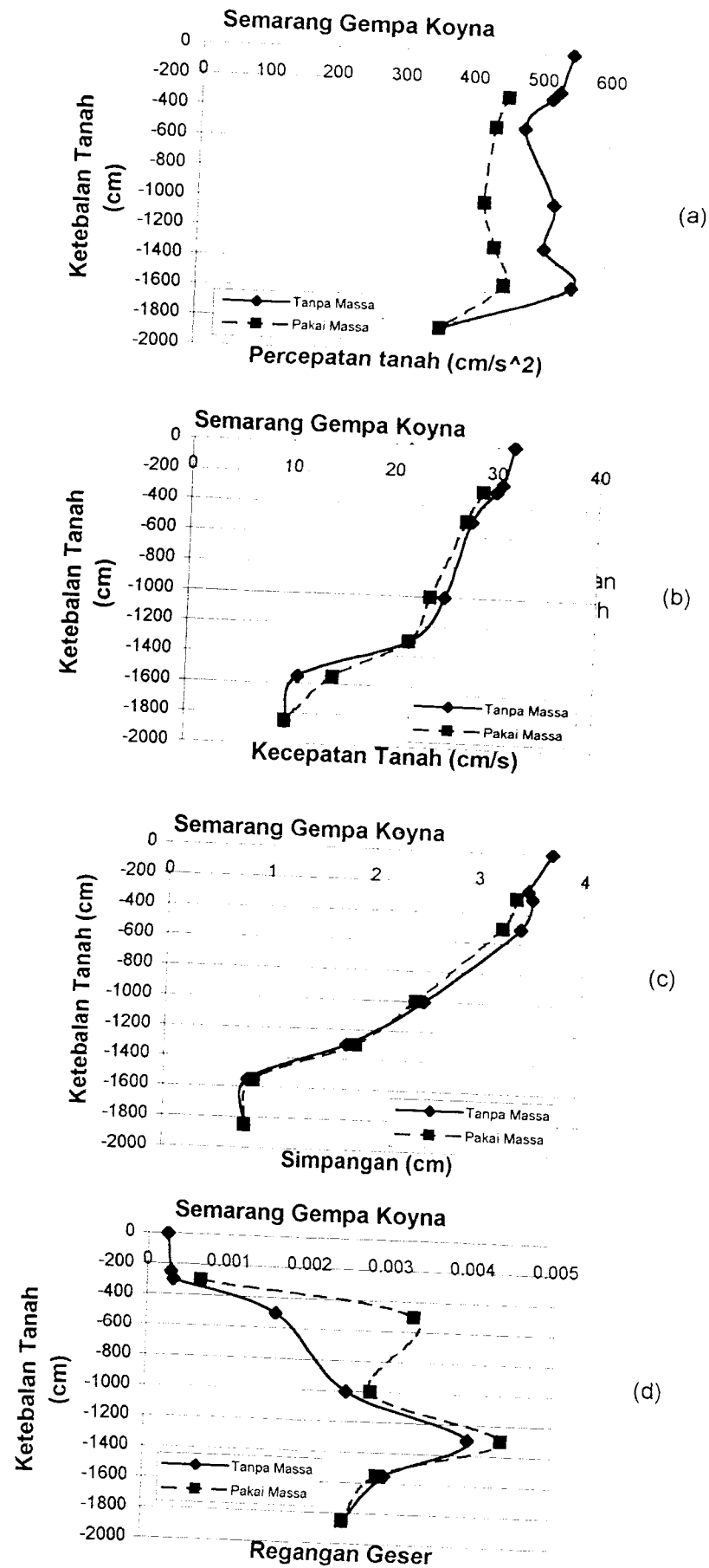
Selain itu respon seismik yang terjadi pada kondisi terdapat massa bangunan di atasnya mengalami deamplifikasi jika dibandingkan pada kondisi *free field*,

terjadinya deamplifikasi respon seismik pada kondisi terdapat massa bangunan di atas permukaan tanah disebabkan semakin kakunya tanah tersebut. Besarnya deamplifikasi yang terjadi dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

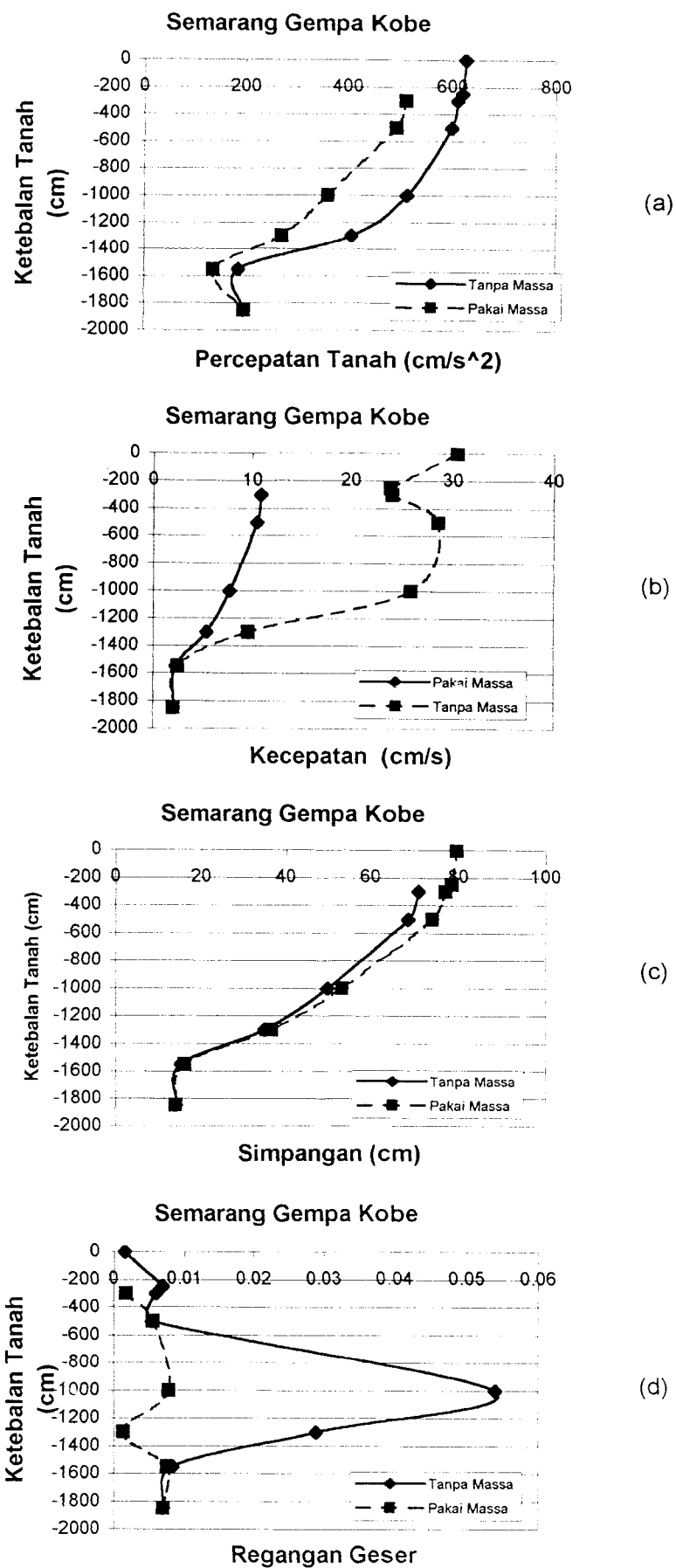
Tabel 5.18 Besarnya Perubahan Respon Seismik Tanah untuk daerah Tawang Sari

Gempa	Kondisi	Percepatan	Kecepatan	Simpangan
Koyna	Tanpa Massa	542,7 cm/s ²	31,6 cm/s	3,68 cm
	Pakai Massa	451,5 cm/s ² (-) 16,805 %	28,7 cm/s (-) 9,177 %	3,5 cm (-) 4,89 %
Kobe	Tanpa Massa	626,27 cm/s ²	79,51 cm/s	30,44 cm
	Pakai Massa	510,88 cm/s ² (-) 18,425 %	70,7 cm/s (-) 11,08 %	10,85 cm (-) 64,356 %
Miiyaki	Tanpa Massa	233,265 cm/s ²	24,79 cm/s	5,2 cm
	Pakai Massa	83,94 cm/s ² (-) 64,015 %	11,394 cm/s (-) 54,038 %	1,82 cm (-) 65,0 %
ElCentro	Tanpa Massa	292,075 cm/s ²	21,39 cm/s	5,5 cm
	Pakai Massa	265,0 cm/s ² (-) 9,27 %	19,8 cm/s (-) 7,433 %	2,6 cm (-) 52,73 %

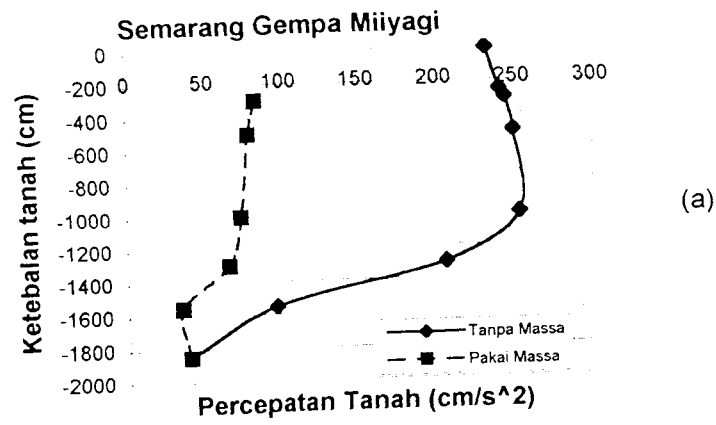
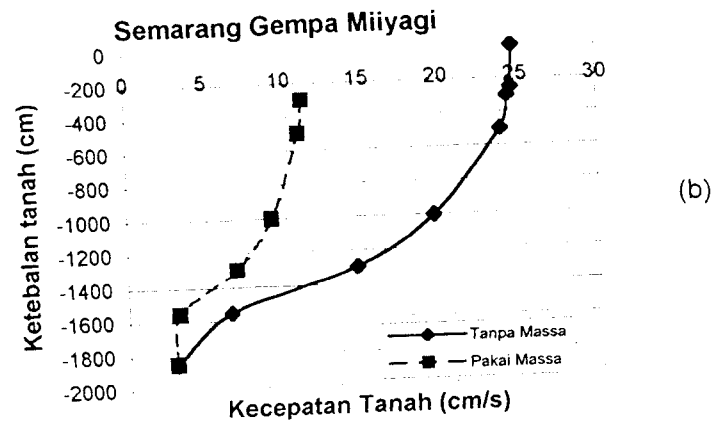
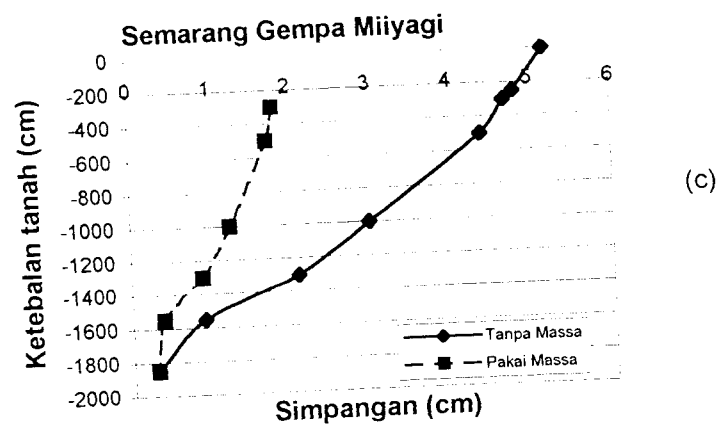
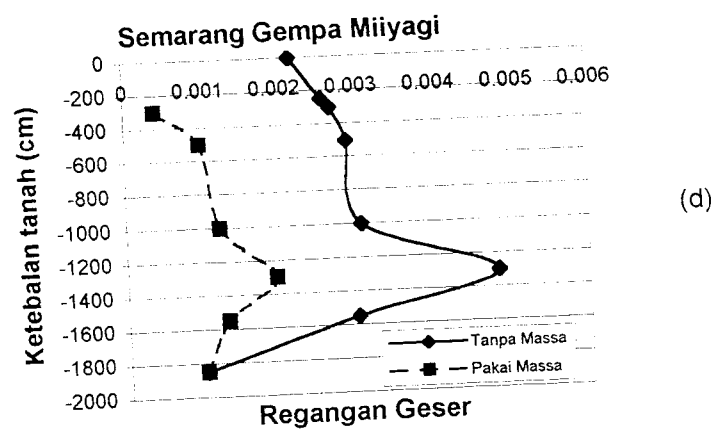
Tanah yang terdapat massa bangunan di atasnya semakin kaku karena adanya penambahan nilai $\Delta \sigma_v$ yang disebabkan adanya berat bangunan diatas tanah yang akan berpengaruh pada penambahan nilai modulus geser tanah (G) karena Modulus geser adalah fungsi dari σ_0 (*effective confining pressure*) yang kemudian karena bertambahnya nilai modulus geser pada akhirnya akan semakin meningkatkan kekakuan dari lapisan tanah tersebut.



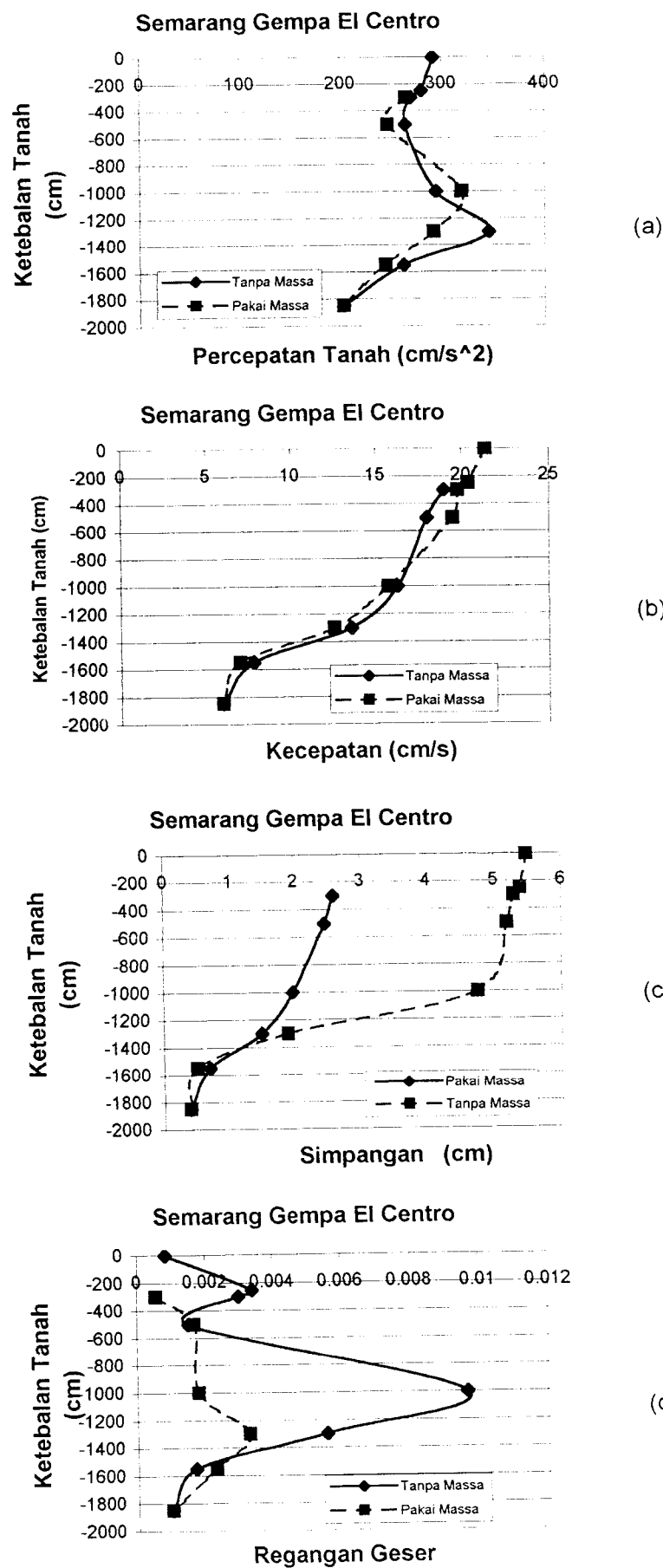
Gambar 5.57 Grafik Respon Seismik Tanah terhadap Ketebalan tanah akibat Gempa koyna daerah Semarang



Gambar 5.58 Grafik Respon Seismik Tanah terhadap Ketebalan Tanah akibat gempa kobe daerah Semarang



Gambar 5.59 Grafik Respon Seismik Tanah terhadap Ketebalan Tanah akibat gempa Miiyagi daerah Semarang



Gambar 5.60 Grafik Respon Seismik Tanah terhadap Ketebalan Tanah akibat gempa El Centro daerah Semarang

5.12 Respon Seismik Maksimum Yang Terjadi Pada Tiap Lapisan Tanah.

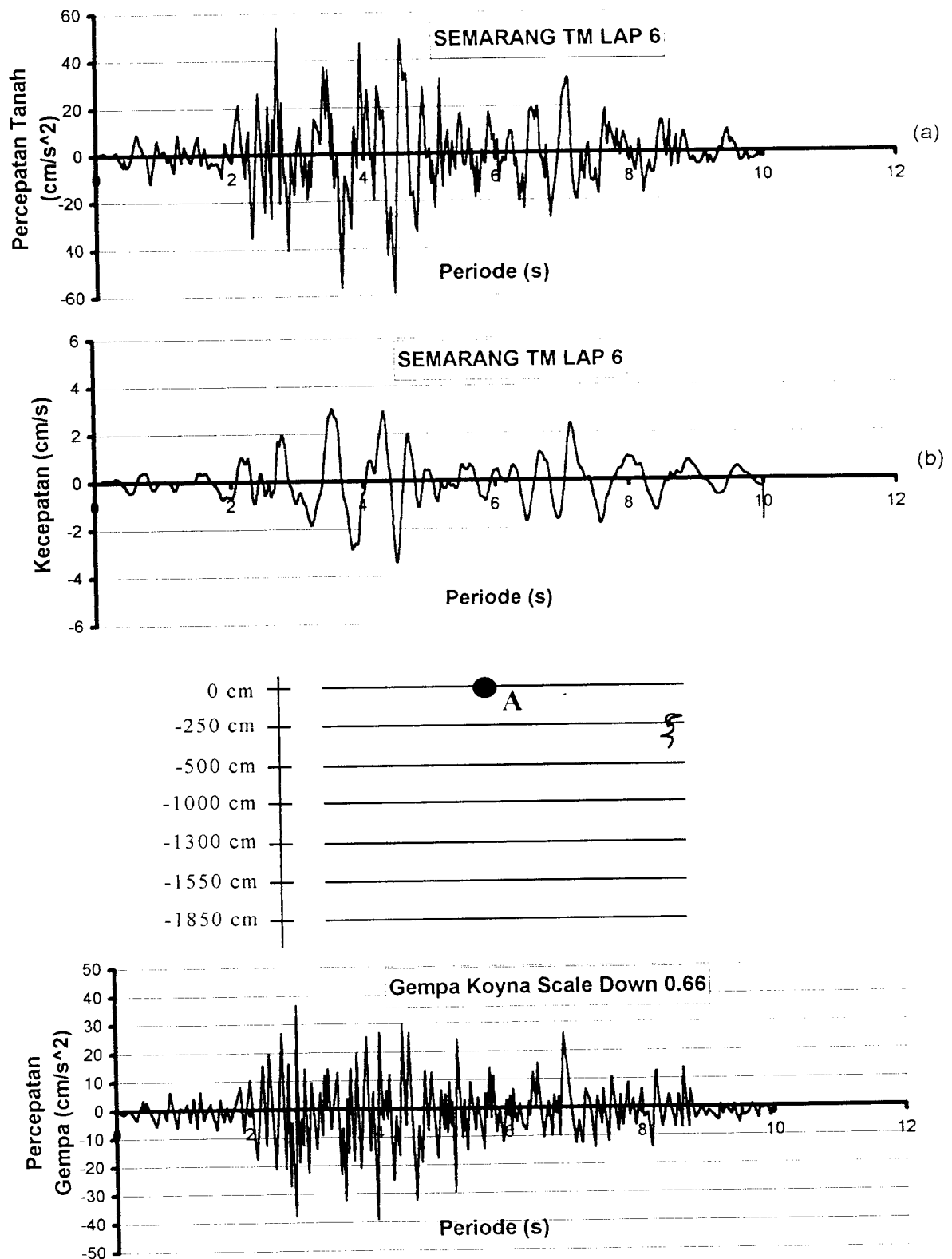
Untuk mengetahui respon seismik maksimum yang terjadi pada tiap lapisan tanah dapat dilihat pada gambar 5.57 – 5.60. Kemudian dari gambar 5.57 d – 5.60 d dan dari tabel 5.16 menunjukkan hasil yang sudah mendekati asumsi regangan geser pada perhitungan awal meskipun secara keseluruhan regangan geser yang terjadi pada seluruh lapisan tanah mengalami perbedaan dari penelitian Tokida. Pada penelitian ini regangan geser di lapisan tanah di dasar lebih besar dari regangan geser yang terjadi di permukaan.

5.13 Hasil Perhitungan Respon Seismik Tanah Pada Daerah Jl. Pemuda Semarang Untuk Gempa Yang Dinormalisasi

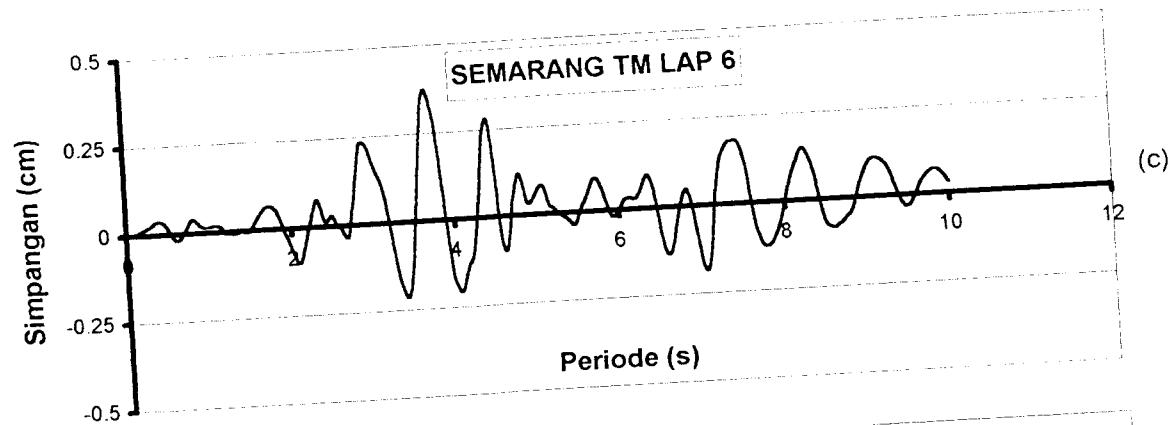
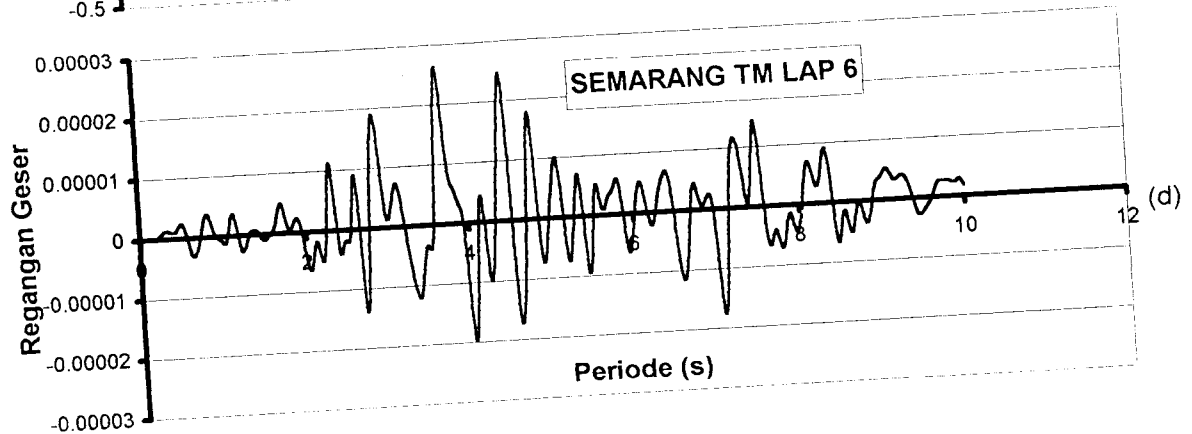
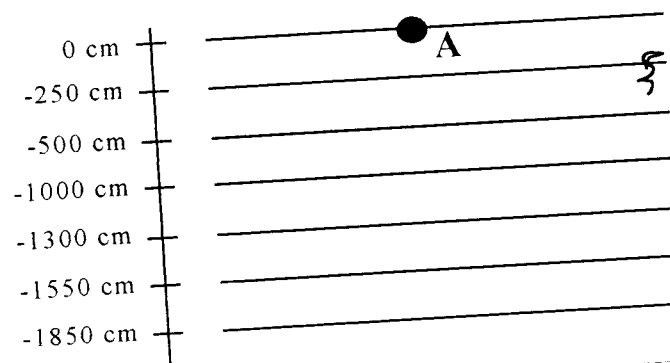
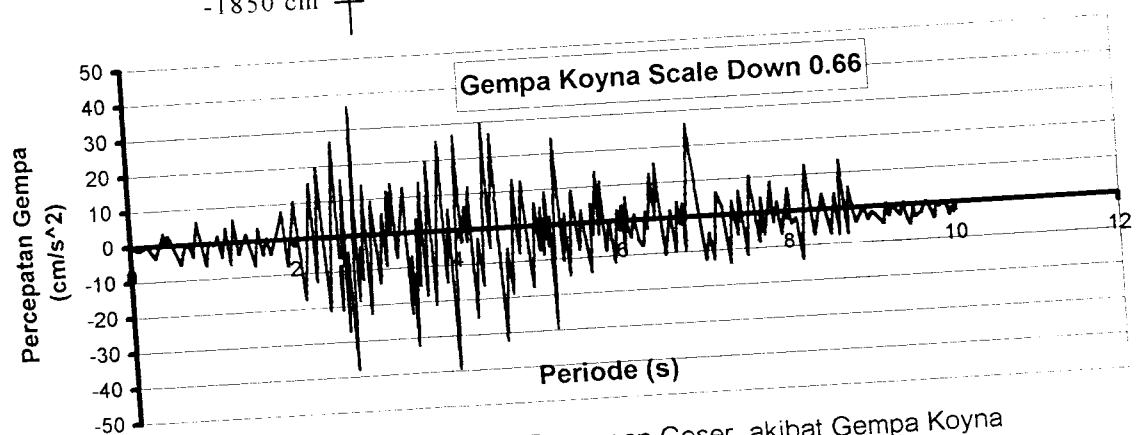
Untuk tanah pada lokasi di daerah Dalangan Tawangsari, Sukoharjo hasil respon seismik baik tanpa massa bangunan di atasnya (kondisi *free field*) maupun yang terdapat massa bangunan di atasnya disajikan pada gambar 5.61 - gambar 5.76.

Tabel 5.19 Perbandingan percepatan yang terjadi akibat gempa

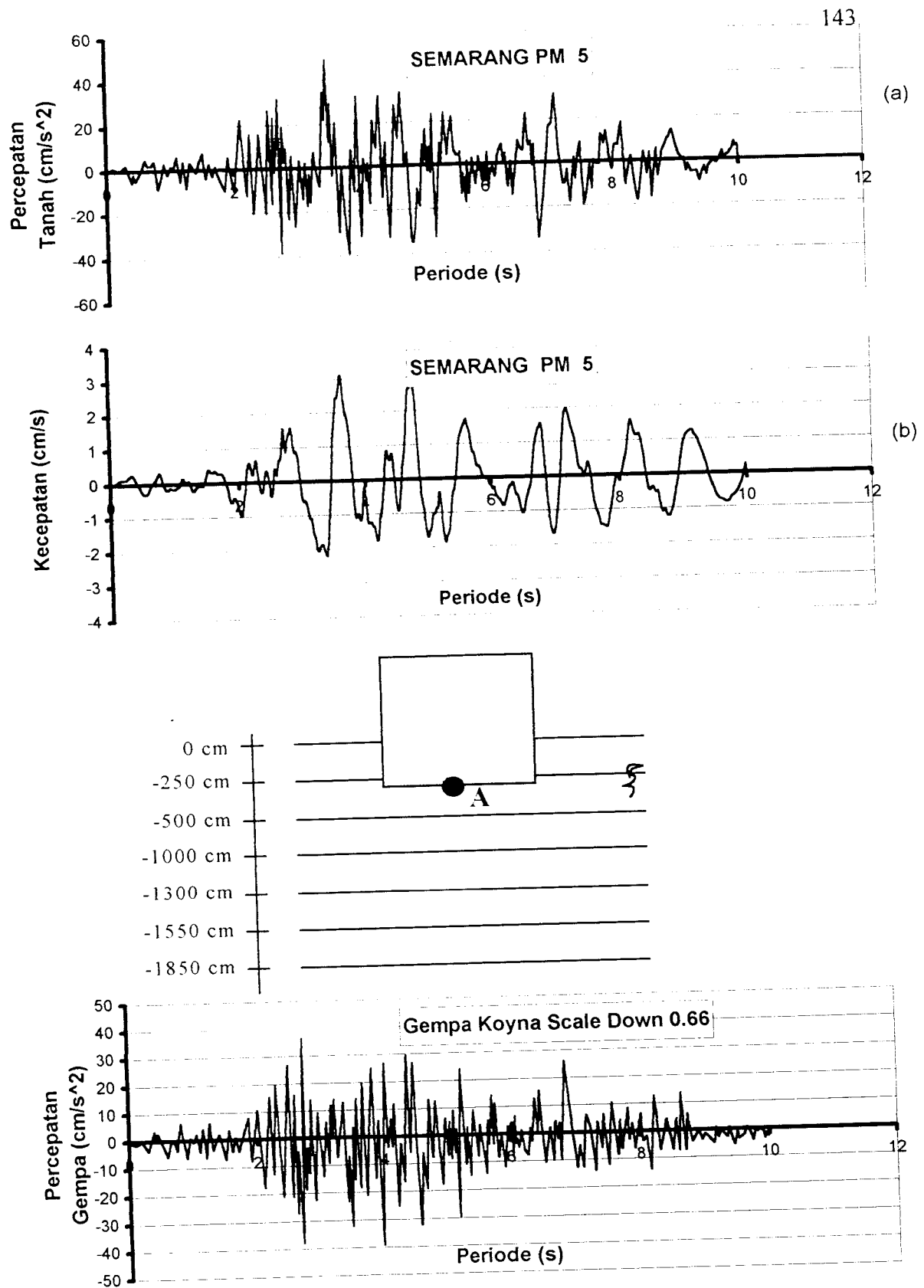
Gempa	Percepatan gempa pada Base Rock (normalisasi thd Miiyaki)	Pada kondisi free field	Pada kondisi terdapat massa bangunan diatas Lap. tanah
Koyna	39,2 cm/s ²	58,73 cm/s ²	48,86 cm/s ²
Kobe	39,2 cm/s ²	124,26 cm/s ²	101,365 cm/s ²
Miiyaki	39,2 cm/s ²	233,265 cm/s ²	83,94 cm/s ²
ElCentro	39,2 cm/s ²	56,32 cm/s ²	51,1cm/s ²



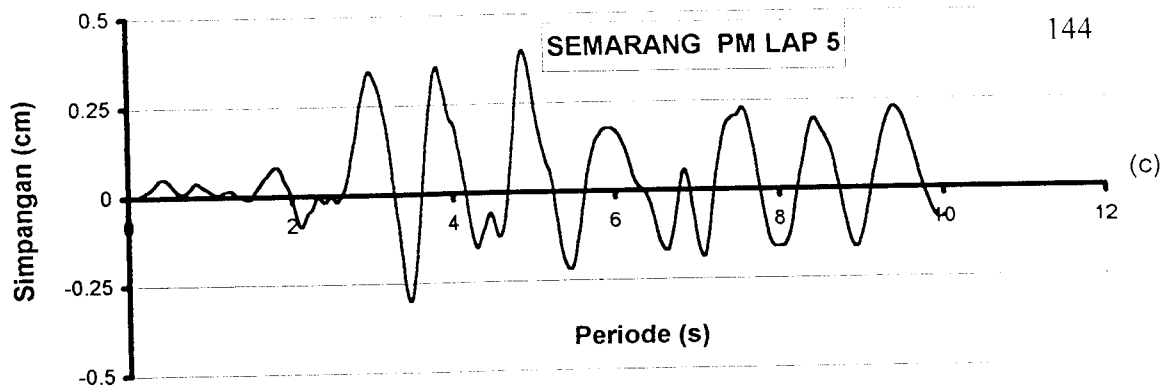
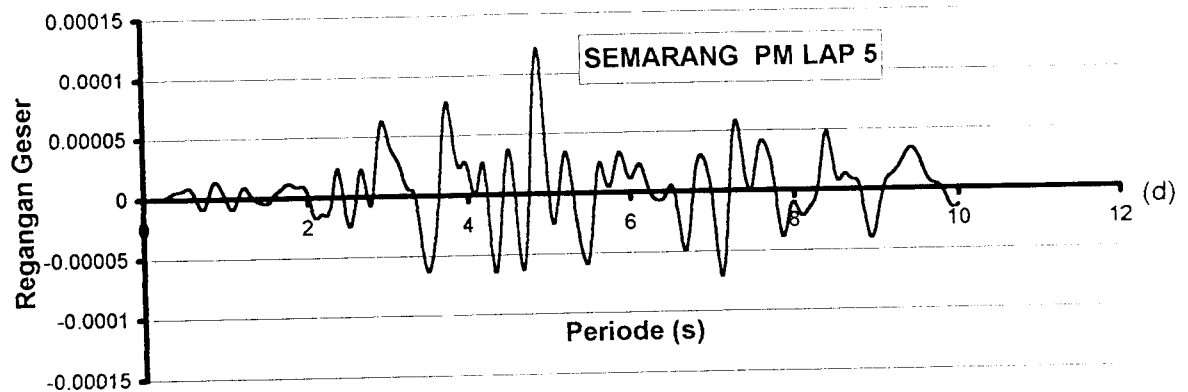
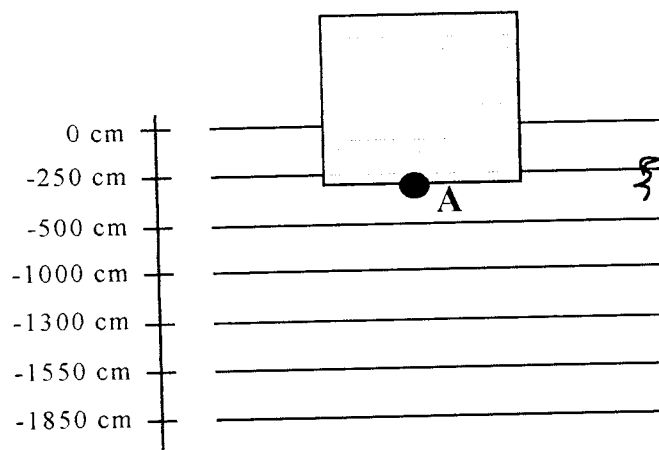
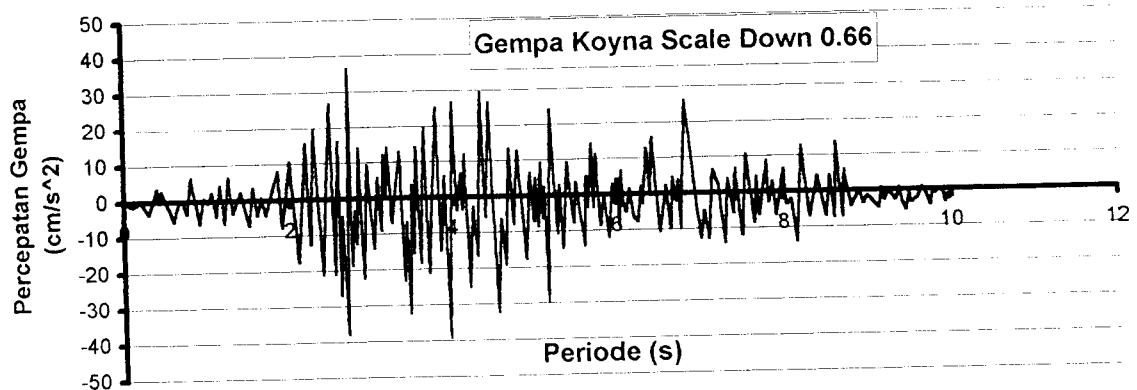
Gambar 5.61 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Koyana yang telah di Normalisasi di daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan.



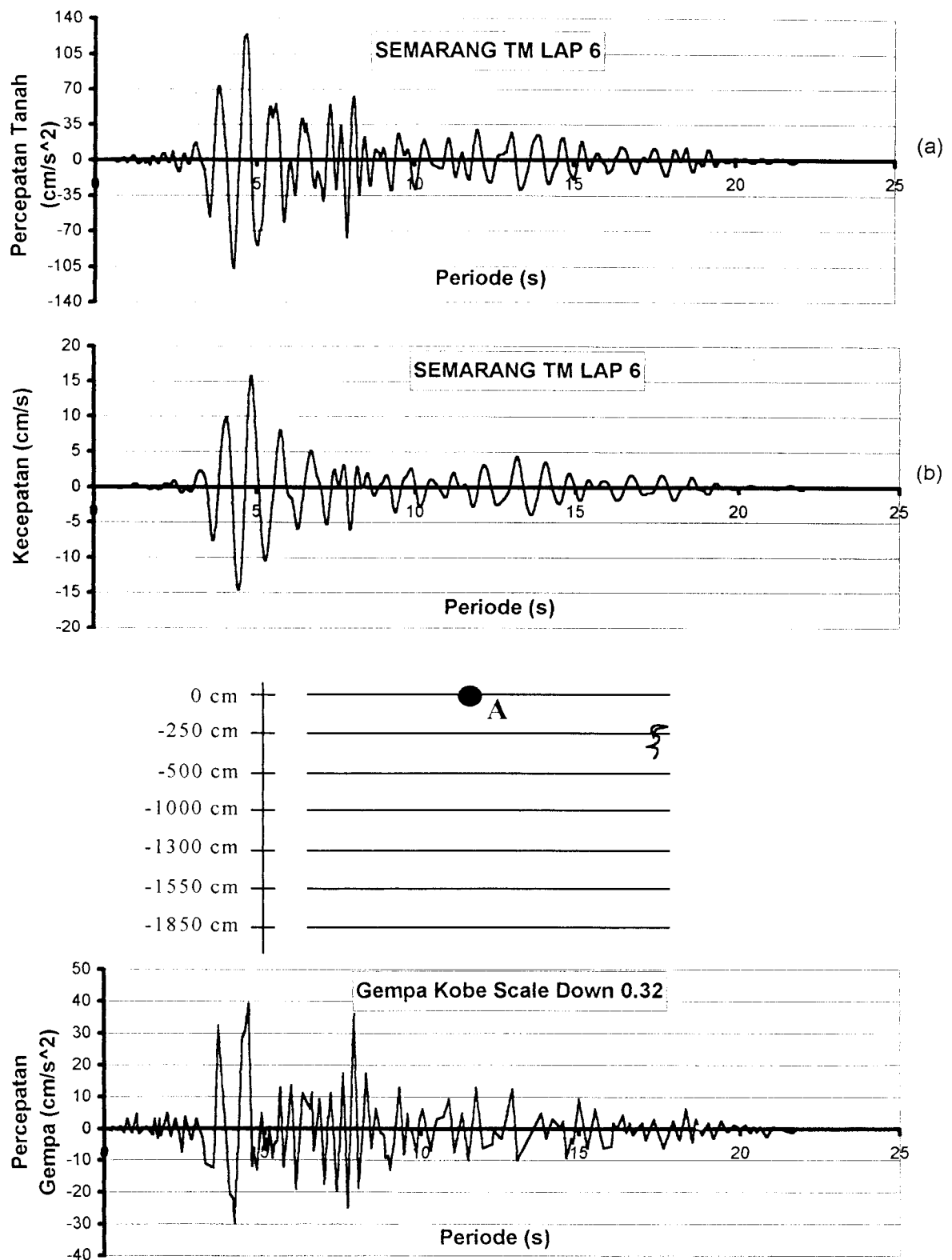
Gambar 5.62 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Koyana yang telah di Normalisasi di daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan.



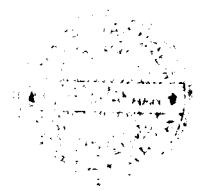
Gambar 5.63 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Koyna yang telah di Normalisasi di daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.

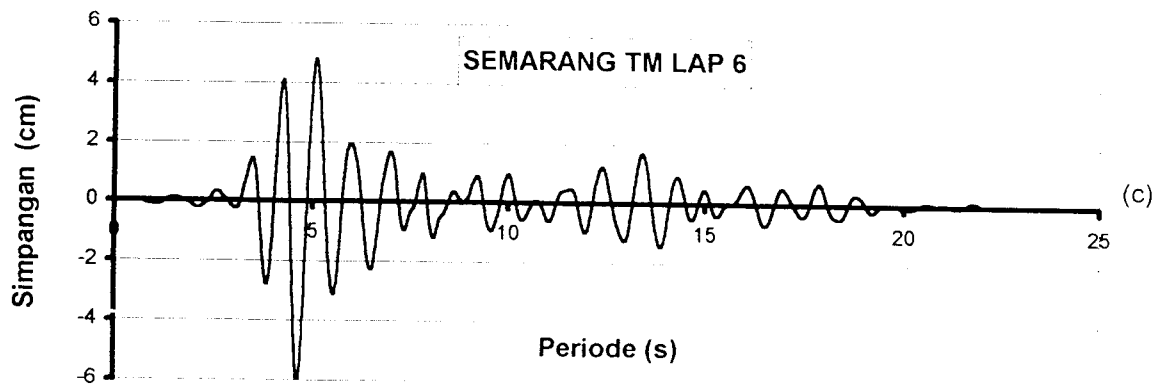
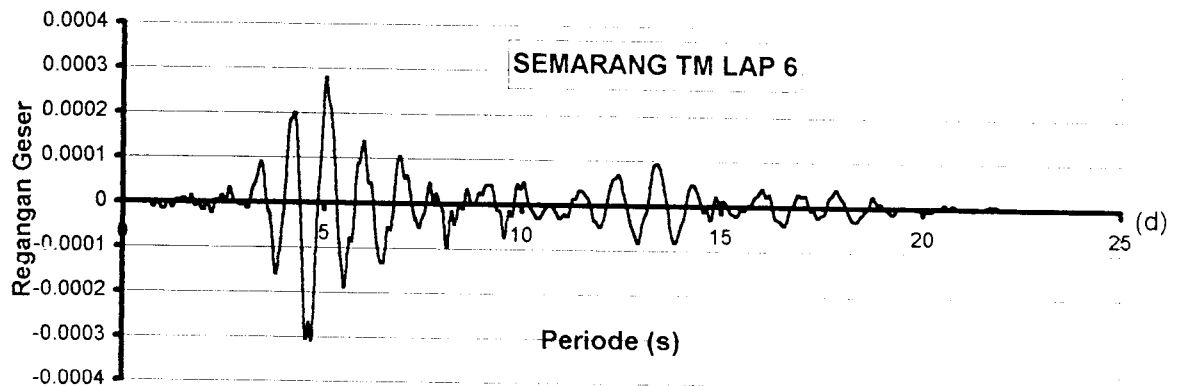
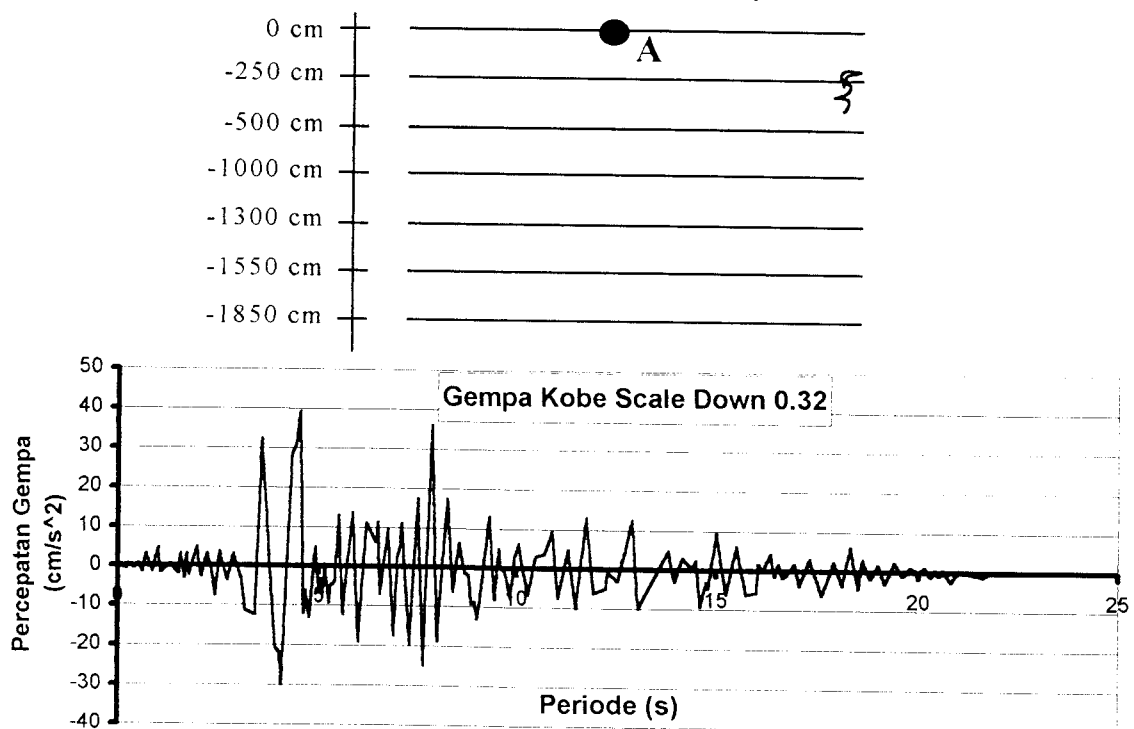


Gambar 5.64 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Koyuna yang telah di Normalisasi di daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.

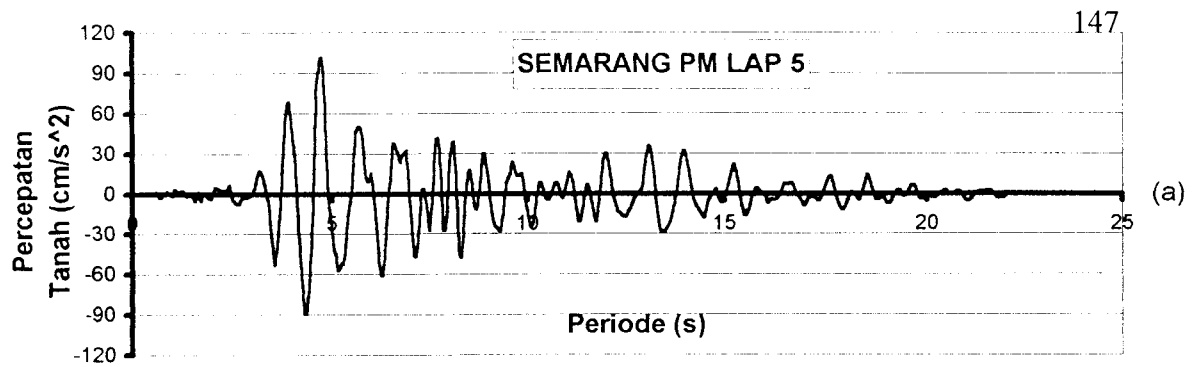
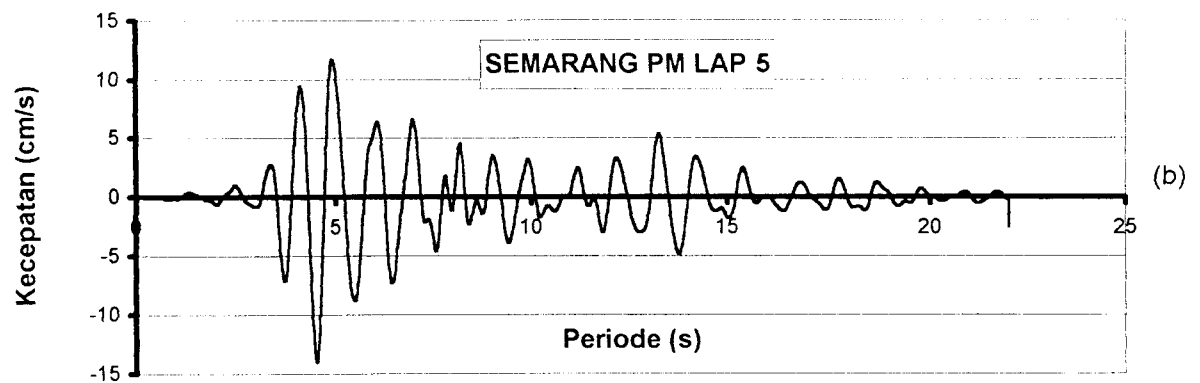
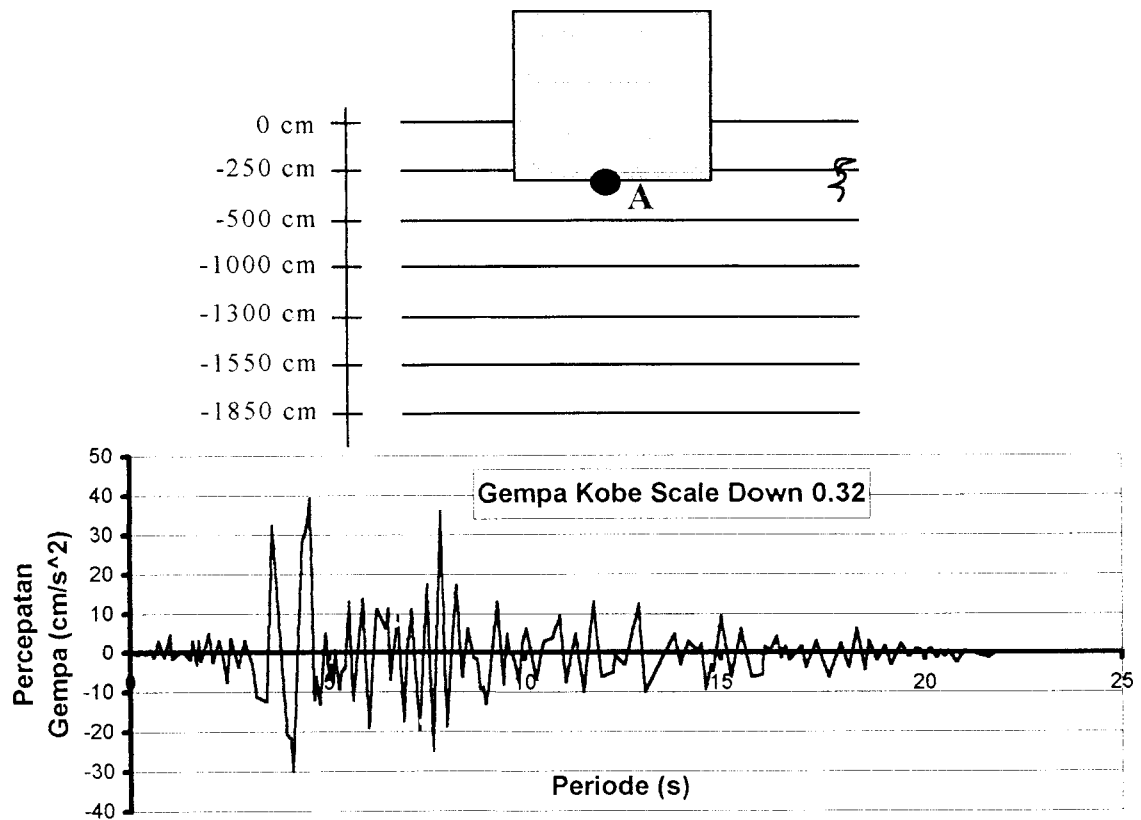


Gambar 5.65 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Kobe yang telah di Normalisasi di daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan.

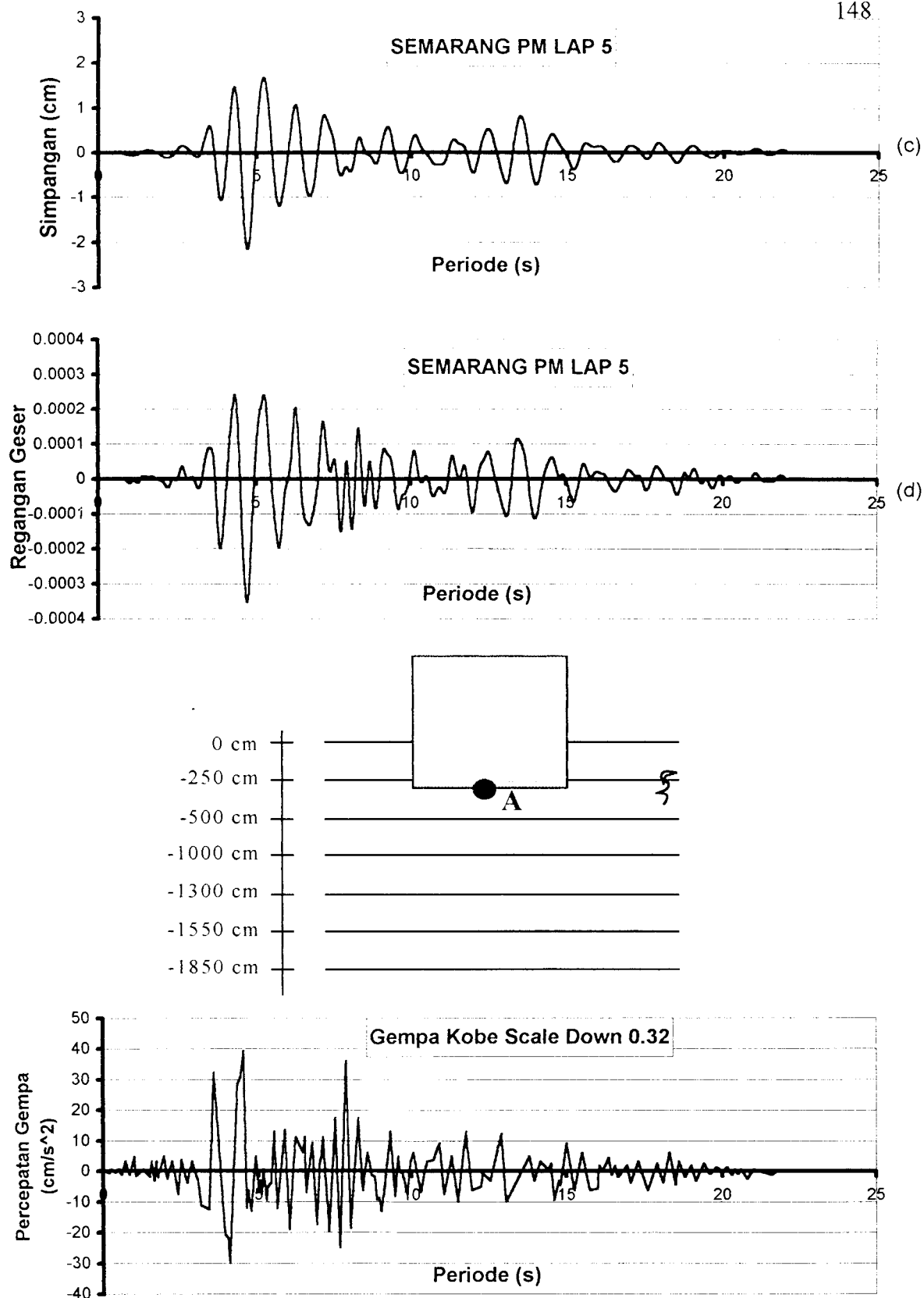




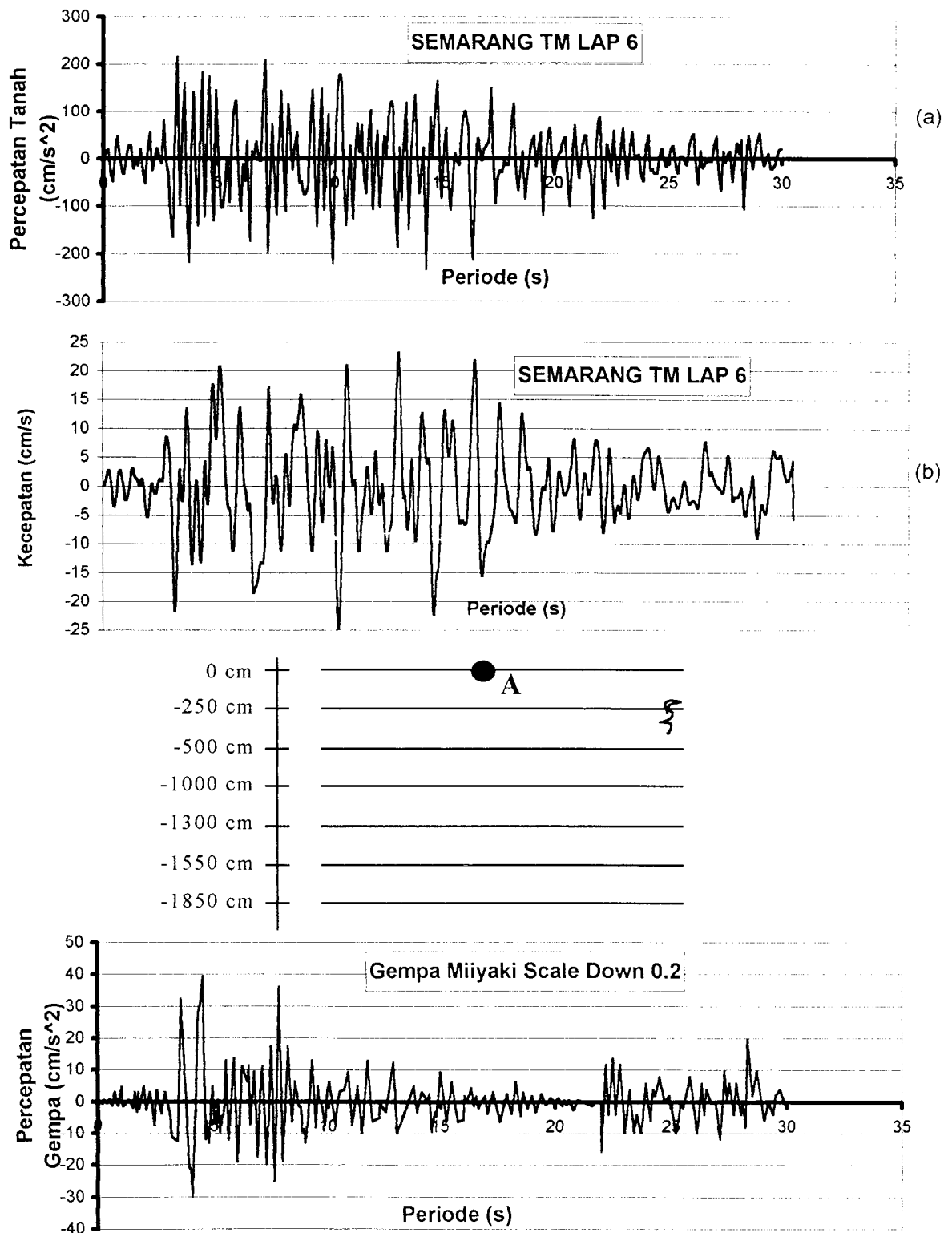
Gambar 5.66 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Kobe yang telah di Normalisasi di daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan.



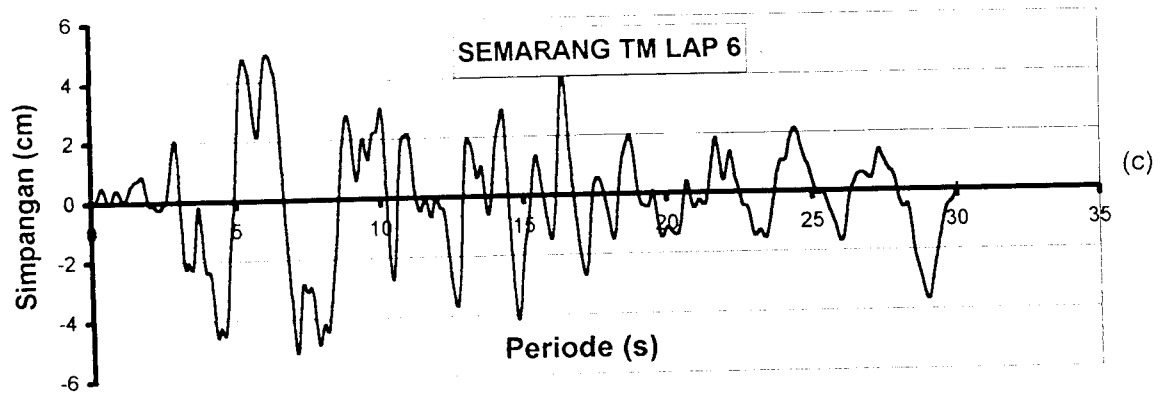
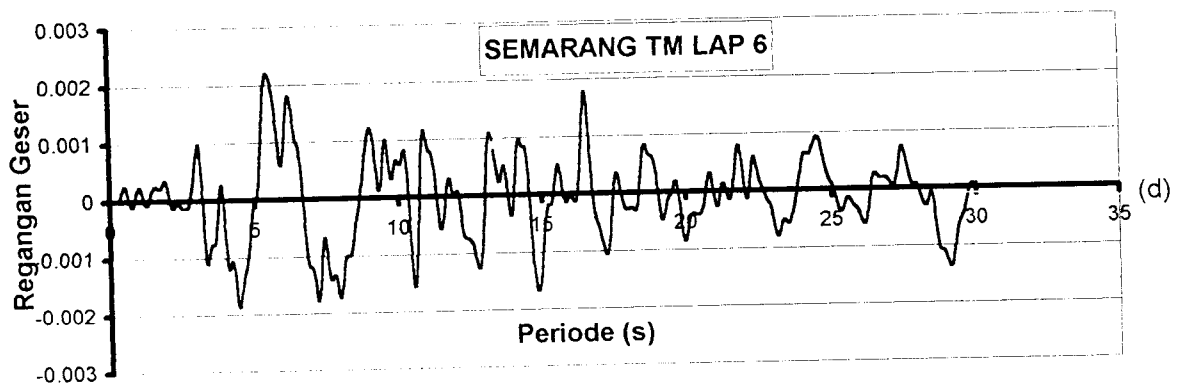
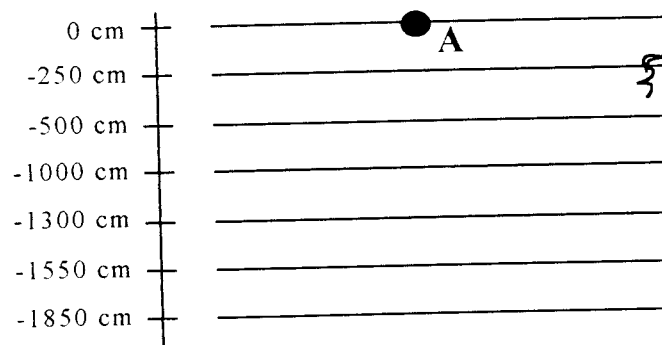
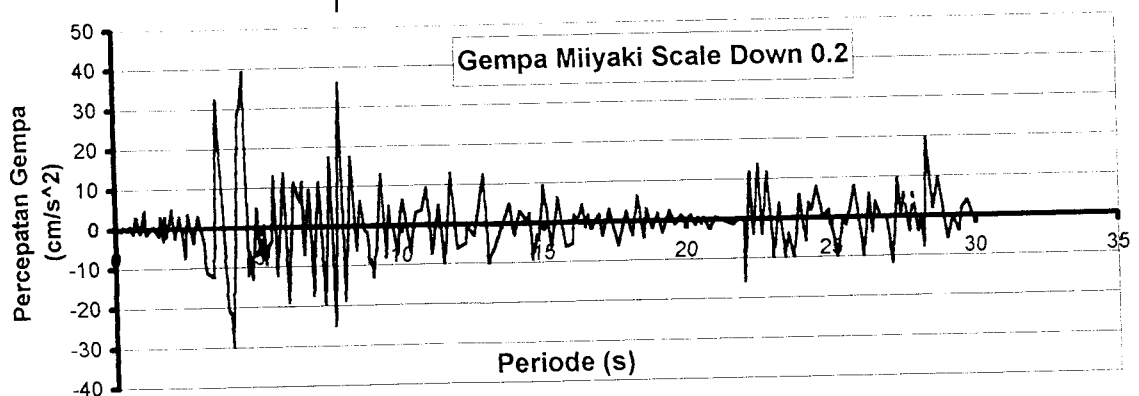
Gambar 5.67 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Kobe yang telah di Normalisasi di daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.



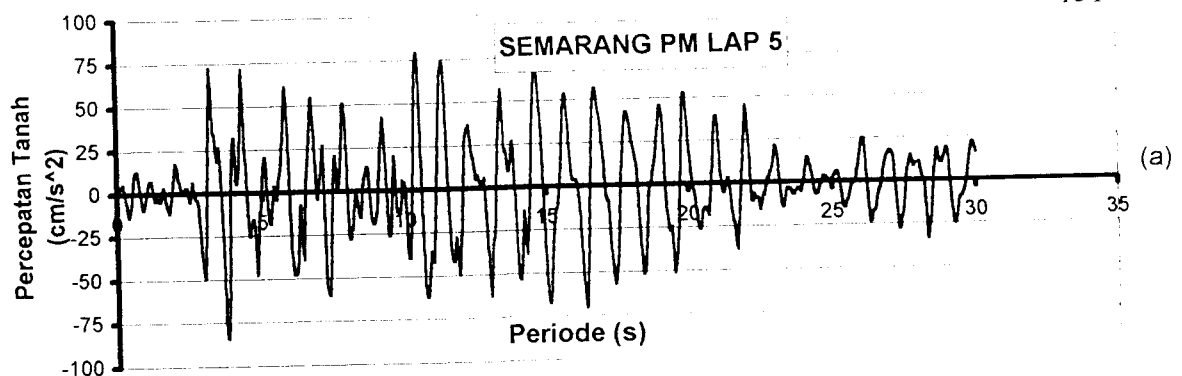
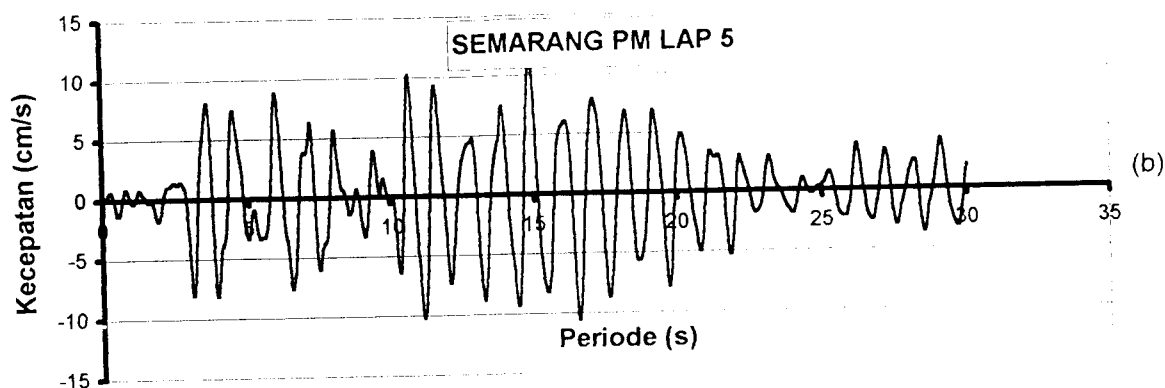
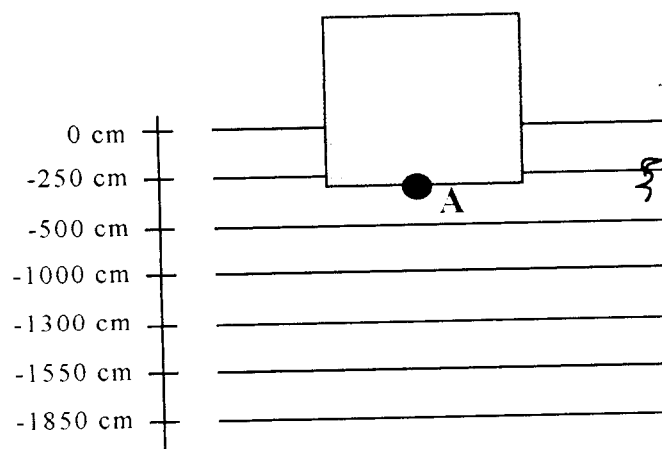
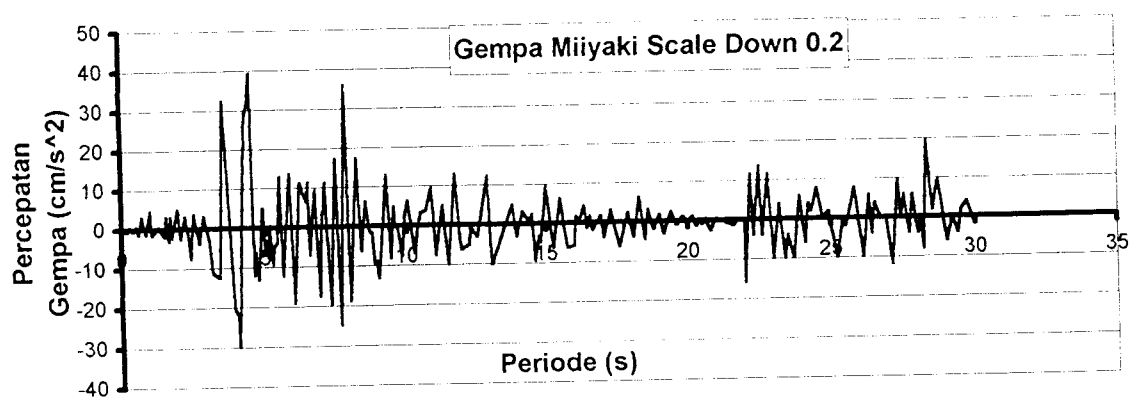
Gambar 5.68 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Kobe yang telah di Normalisasi di daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.



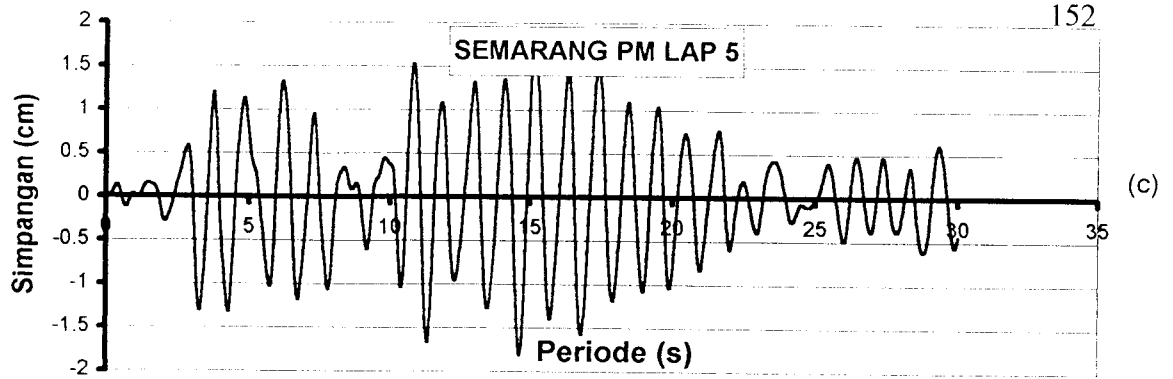
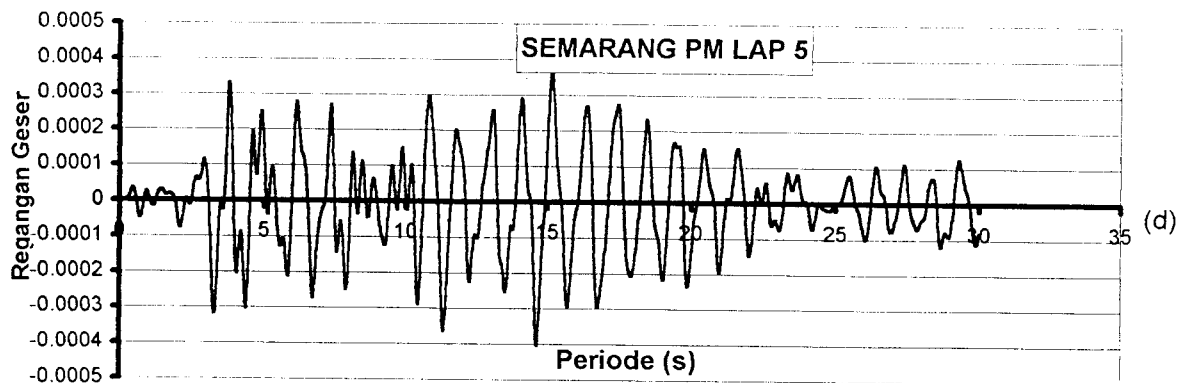
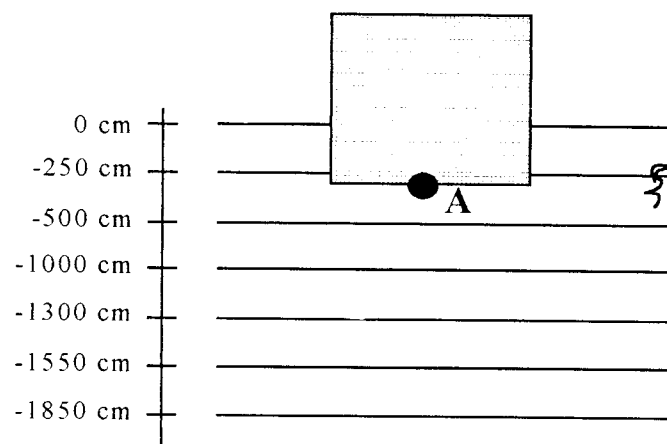
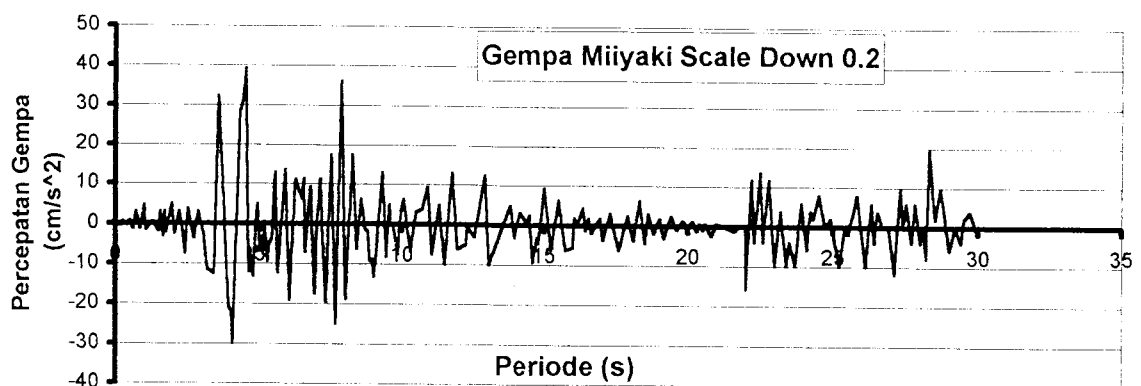
Gambar 5.69 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Miyaki yang telah di Normalisasi di daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan.



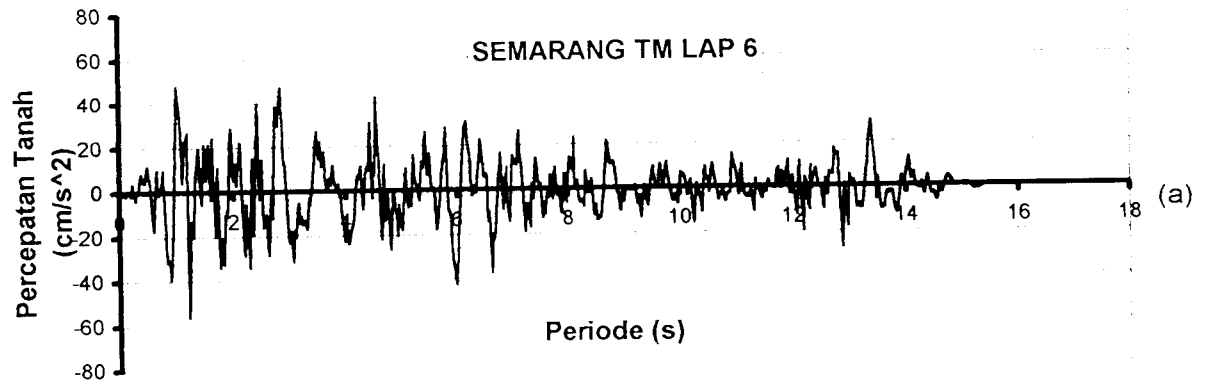
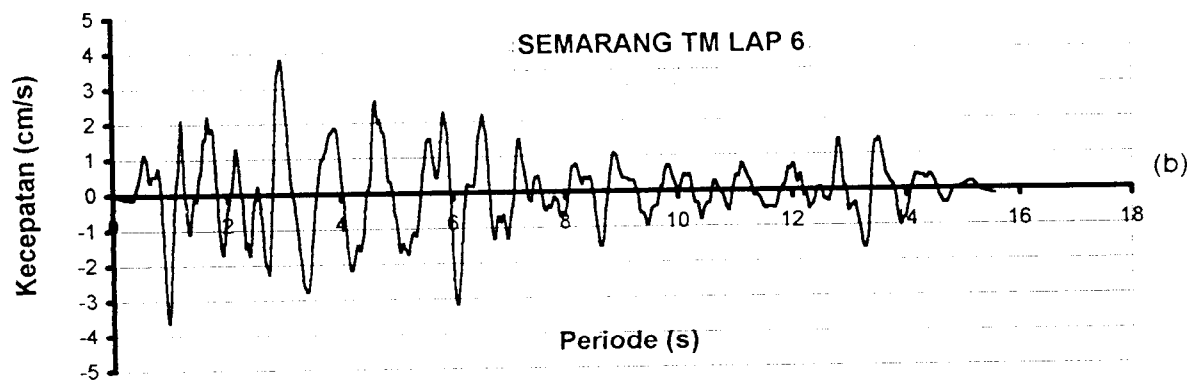
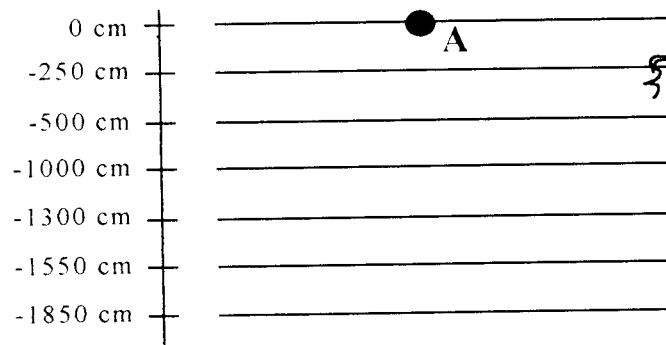
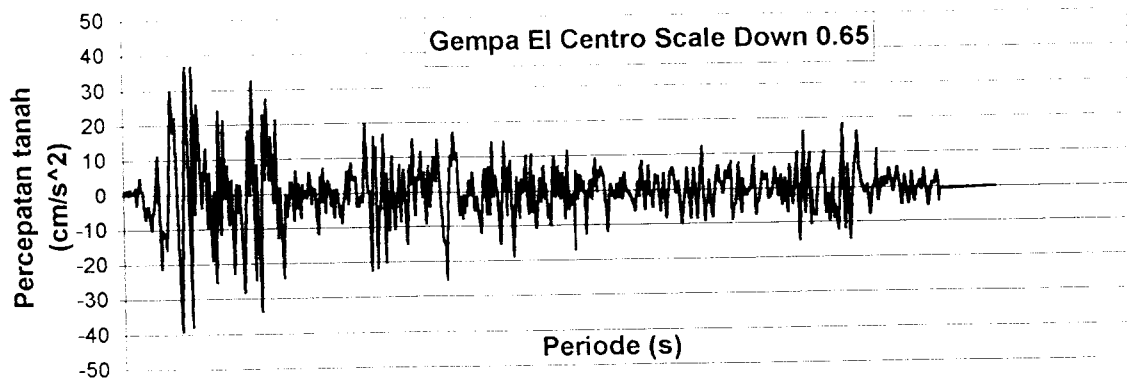
Gambar 5.70 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Miiyaki yang telah di Normalisasi di daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan.



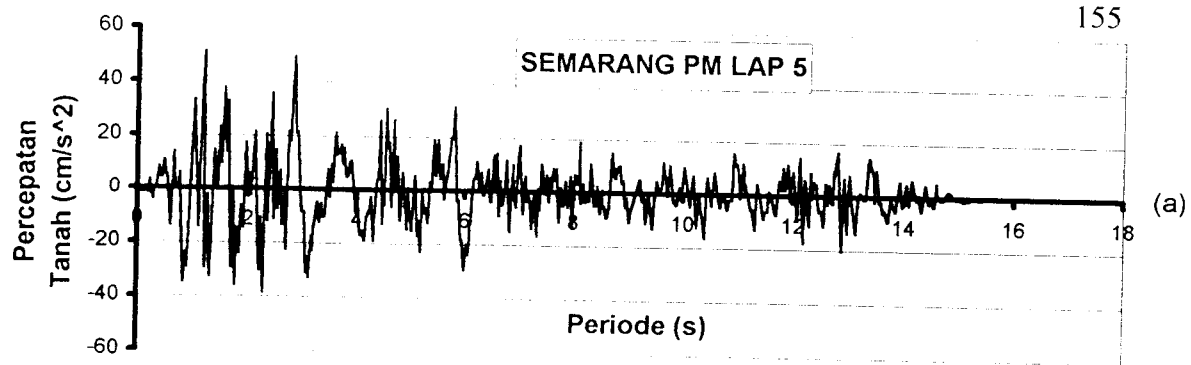
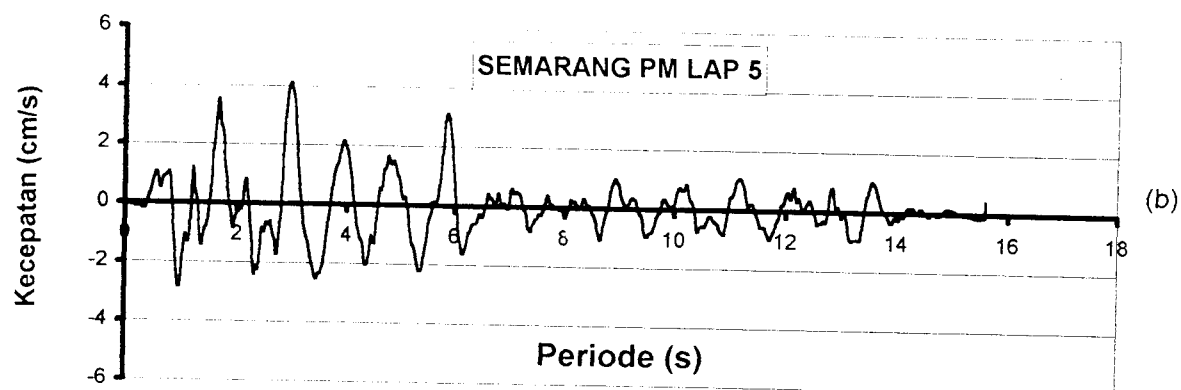
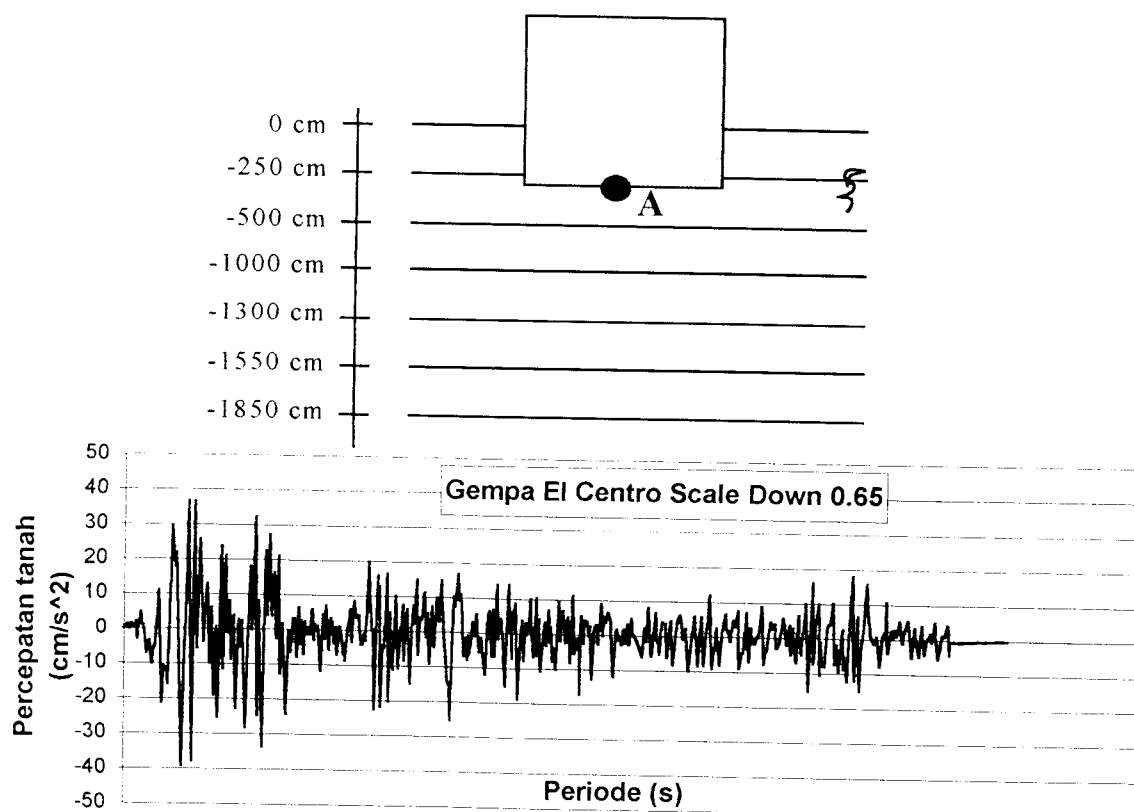
Gambar 5.71 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa Miiyaki yang telah di Normalisasi di daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.



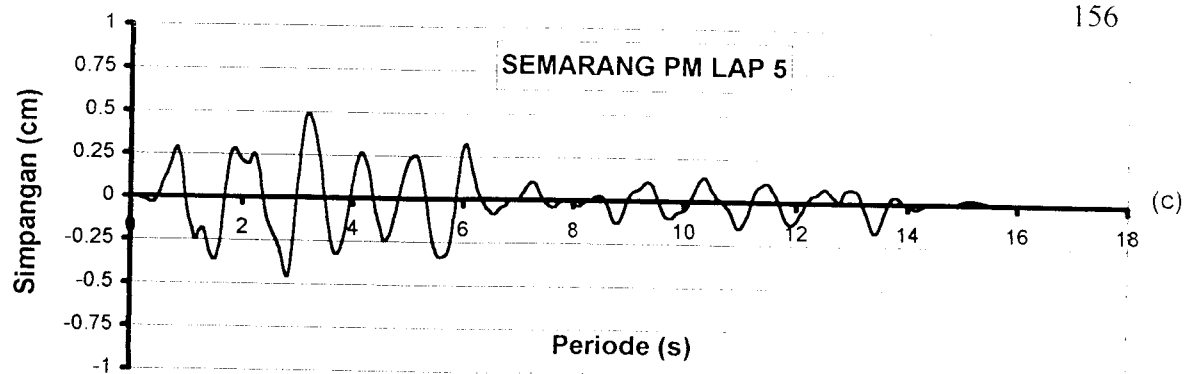
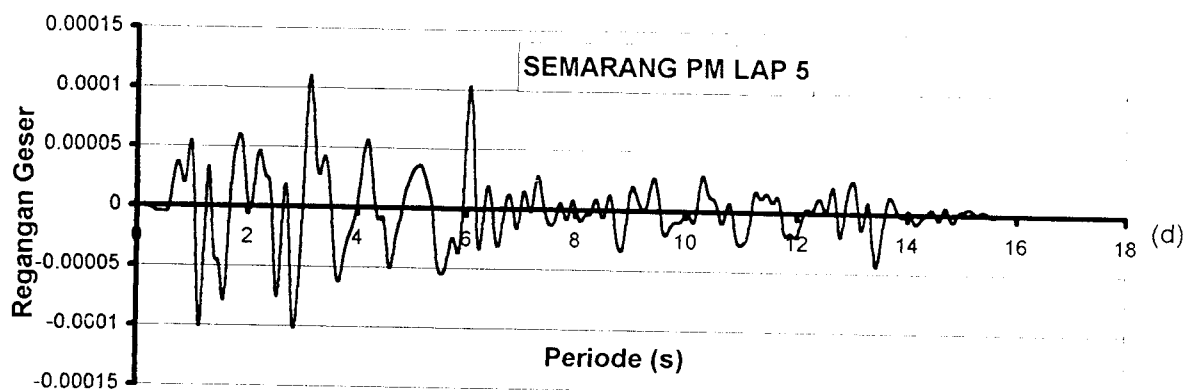
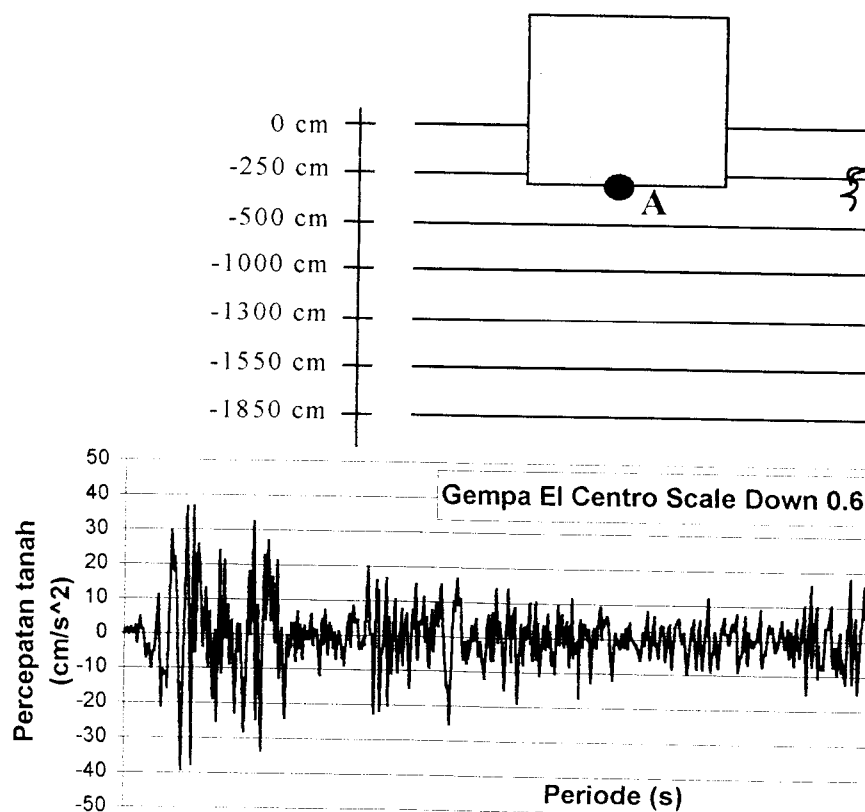
Gambar 5.72 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa Miyaki yang telah di Normalisasi di daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.



Gambar 5.73 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa El Centro yang telah di Normalisasi di daerah Jl. Pemuda Semarang tanpa massa bangunan.



Gambar 5.75 Grafik (a) Percepatan dan (b) Kecepatan akibat Gempa El Centro yang telah di Normalisasi di daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.



Gambar 5.76 Grafik (c) Simpangan dan (d) Regangan Geser akibat Gempa El Centro yang telah di Normalisasi di daerah Jl. Pemuda Semarang dipengaruhi massa bangunan.

Tabel 5.20 Perbandingan kecepatan yang terjadi akibat gempa

Gempa	Percepatan gempa pada Base Rock (normalisasi thd Miiyaki)	Pada kondisi free field	Pada kondisi terdapat massa bangunan diatas Lap. tanah
Koyna	39,2 cm/s ²	3,42 Cm/s	3,1 Cm/s
Kobe	39,2 cm/s ²	15,77 Cm/s	14,03 Cm/s
Miiyaki	39,2 cm/s ²	24,79 Cm/s	11,394 Cm/s
ElCentro	39,2 cm/s ²	4,12 Cm/s	3,8 Cm/s

Tabel 5.21 Perbandingan simpangan tiap-tiap gempa

Gempa	Percepatan gempa pada Base Rock (normalisasi thd Miiyaki)	Pada kondisi free field	Pada kondisi terdapat massa bangunan diatas Lap. tanah
1. Koyna	39,2 cm/s ²	0,398 cm	0,374 cm
2. Kobe	39,2 cm/s ²	6,04 cm	2,15 cm
3. Miiyaki	39,2 cm/s ²	5,2 cm	1,82 cm
4. ElCentro	39,2 cm/s ²	1,06 cm	0,49 cm

Tabel 5.22 Perbandingan regangan geser pada permukaan tanah tiap-tiap gempa

Gempa	Percepatan gempa pada Base Rock	Pada kondisi free field	Pada kondisi terdapat massa bangunan diatas Lap. tanah
Koyna	39,2 cm/s ²	7,1.10 ⁻⁵	2,63.10 ⁻⁵
Kobe	39,2 cm/s ²	3,1.10 ⁻⁴	3,5.10 ⁻⁴
Miiyaki	39,2 cm/s ²	2,198.10 ⁻³	4,0.10 ⁻⁴
ElCentro	39,2 cm/s ²	1,7.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴

Dari tabel di atas dapat disimpulkan urutan besarnya percepatan tanah yang terjadi akibat gempa pada lokasi Jl.Pemuda,Semarang untuk kondisi free field adalah sebagai berikut :

1. Akibat Gempa Miiyagi
2. Akibat Gempa Kobe
3. Akibat Gempa Koyna
- 4.Akibat Gempa El Centro

Untuk kondisi terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah adalah sebagai berikut :

1. Akibat Gempa Kobe
2. Akibat Gempa Miiyaki
3. Akibat Gempa El Centro
- 4.Akibat Gempa Koyna

Dari tabel di atas dapat disimpulkan urutan besarnya kecepatan tanah yang terjadi akibat gempa pada lokasi Jl.Pemuda , Semarang untuk kondisi free field adalah sebagai berikut :

1. Akibat Gempa Miiyaki
2. Akibat Gempa Kobe
3. Akibat Gempa El Centro
- 4.Akibat Gempa Koyna

Untuk kondisi terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah adalah sebagai berikut :

1. Akibat Gempa Miiyaki
2. Akibat Gempa Kobe
3. Akibat Gempa El Centro
4. Akibat Gempa Koyna

Dari tabel di atas dapat disimpulkan urutan besarnya simpangan tanah yang terjadi akibat gempa pada lokasi Dalangan Tawang Sari, Sukoharjo untuk kondisi free field adalah sebagai berikut :

1. Akibat Gempa Kobe
2. Akibat Gempa Miiyaki
3. Akibat Gempa El Centro
4. Akibat Gempa Koyna

Untuk kondisi terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah adalah sebagai berikut :

1. Akibat Gempa Kobe
2. Akibat Gempa Miiyaki
3. Akibat Gempa El Centro
4. Akibat Gempa Koyna

A/V ratio masing – masing gempa yang terjadi di permukaan tanah untuk kondisi free field :

- | | |
|------------------|-------------|
| 1. Gempa Koyna | : 1,7523 Hz |
| 2. Gempa Kobe | : 0,8040 Hz |
| 3. Gempa Miiyaki | : 0,9602 Hz |

4. Gempa El Centro : 1,3949 Hz

A/V ratio masing – masing gempa yang terjadi di permukaan tanah untuk kondisi terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah :

1. Gempa Koyna : 1,6083 Hz

2. Gempa Kobe : 0,7372 Hz

3. Gempa Miiyaki : 0,7517 Hz

4. Gempa El Centro : 1,3722 Hz

Dapat dilihat dari hasil A/V ratio bahwa bila terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah akan terjadi penurunan nilai A/V ratio yang berarti terjadi penurunan kandungan frekuensi gempa. Hal itu berarti bahwa massa bangunan akan menyaring kandungan frekuensi gempa. A/V ratio gempa yang terjadi di permukaan tanah menunjukkan bahwa kandungan frekuensi gempa termasuk frekuensi rendah sampai frekuensi tinggi. Karena A/V ratio < 0.8 merupakan jenis frekuensi rendah, sedangkan A/V ratio yang berkisar antara $0.8 - 1.2$ merupakan jenis frekuensi menengah dan A/V ratio > 1.2 merupakan frekuensi tinggi.

5.14 Perubahan Kandungan Frekuensi Percepatan Tanah , Kecepatan Tanah dan Simpangan Tanah Yang Terjadi Akibat Gempa

Dari gambar 5.61 – 5.76 dapat dilihat terjadinya perubahan kandungan frekuensi gempa. Hal itu disebabkan karena percepatan tanah merupakan turunan ke dua dari simpangan tanah, sedangkan kecepatan merupakan turunan pertama dari simpangan gempa. Dengan kata lain kecepatan tanah dapat diperoleh dari menjumlahkan luasan grafik percepatan tanah, sedangkan simpangan tanah dapat

diperoleh dengan menjumlahkan luasan grafik kecepatan tanah. Oleh karena itu kandungan frekuensi percepatan tanah lebih tinggi dari kandungan frekuensi kecepatan tanah dan kandungan frekuensi simpangan tanah, dan kandungan frekuensi kecepatan tanah lebih tinggi dari kandungan frekuensi simpangan tanah.

5.15 Amplifikasi Respon Seismik Pada Permukaan Lapisan Tanah

Tabel 5.23 Besarnya amplifikasi Tanah daerah Semarang akibat gempa yang di Normalisasi

Gempa	Kondisi	Percepatan	Kecepatan	Simpangan
Koyna	TM	58,73 cm/s ² (+)49,821%	3,42 cm/s	0,398 cm
	PM	48,86 cm/s ² (+)24,643 %	3,1 cm/s	0,374 cm
Kobe	TM	124,26 cm/s ² (+)216,989%	15,77 cm/s	6,04 cm
	PM	101,365 cm/s ² (+)158,584 %	14,03 cm/s	2,15 cm
Miiyaki	TM	233,265 cm/s ² (+)495,064%	24,79 cm/s	5,2 cm
	PM	83,94 cm/s ² (+)114,1326 %	11,394 cm/s	1,82 cm
El Centro	TM	56,32 cm/s ² (+)43,673%	4,12 cm/s	1,06 cm
	PM	51,1 cm/s ² (+)30,357%	3,8 cm/s	0,49 cm

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh gempa – gempa tersebut terhadap respon seismik tanah yang berlokasi di Jl. Pemuda Semarang, maka gempa – gempa tersebut dinormalisasikan terhadap gempa Miiyaki, artinya percepatan tanah maksimum disamakan dengan gempa Miiyaki. Dari proses normalisasi tersebut dapat diketahui bahwa keempat gempa tersebut di samping mempunyai percepatan tanah maksimum yang berbeda juga mempunyai kandungan frekuensi yang berbeda pula.

Gempa Koyna mempunyai kandungan frekuensi yang tinggi, sementara gempa Miiyaki mempunyai kandungan frekuensi yang paling rendah diantara keempat gempa yang ditinjau, seperti terlihat pada gambar 5.77 – 5.79

Perbedaan kandungan frekuensi tersebut menyebabkan hasil respon seismik tanah yang berbeda pula. Dilihat dari hasil yang tercantum pada tabel 5.19 – 5.22 dapat kita simpulkan bahwa gempa Miiyaki yang mempunyai kandungan frekuensi yang paling rendah menyebabkan respon seismik tanah yang paling tinggi. Sedangkan gempa Koyna yang mempunyai kandungan frekuensi paling tinggi menyebabkan respon seismik tanah yang paling kecil. Hal ini disebabkan oleh kedekatan antara periode getar struktur tanah dengan periode getar gempa. Dalam hal ini periode getar gempa Miiyaki lebih dekat ke periode getar struktur tanah daripada periode getar gempa Koyna.

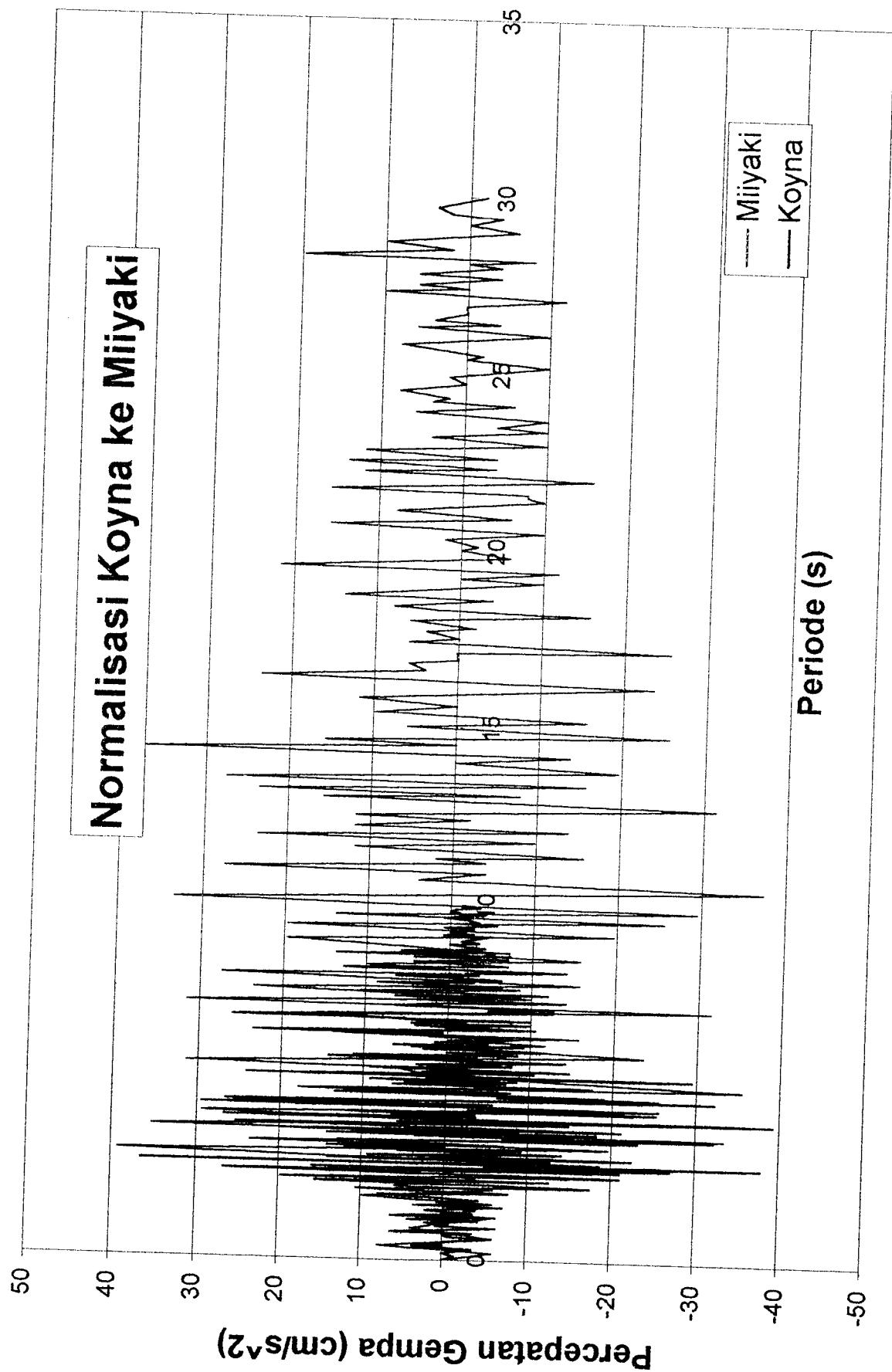
Tabel 5.24 Besarnya perubahan respon seismik

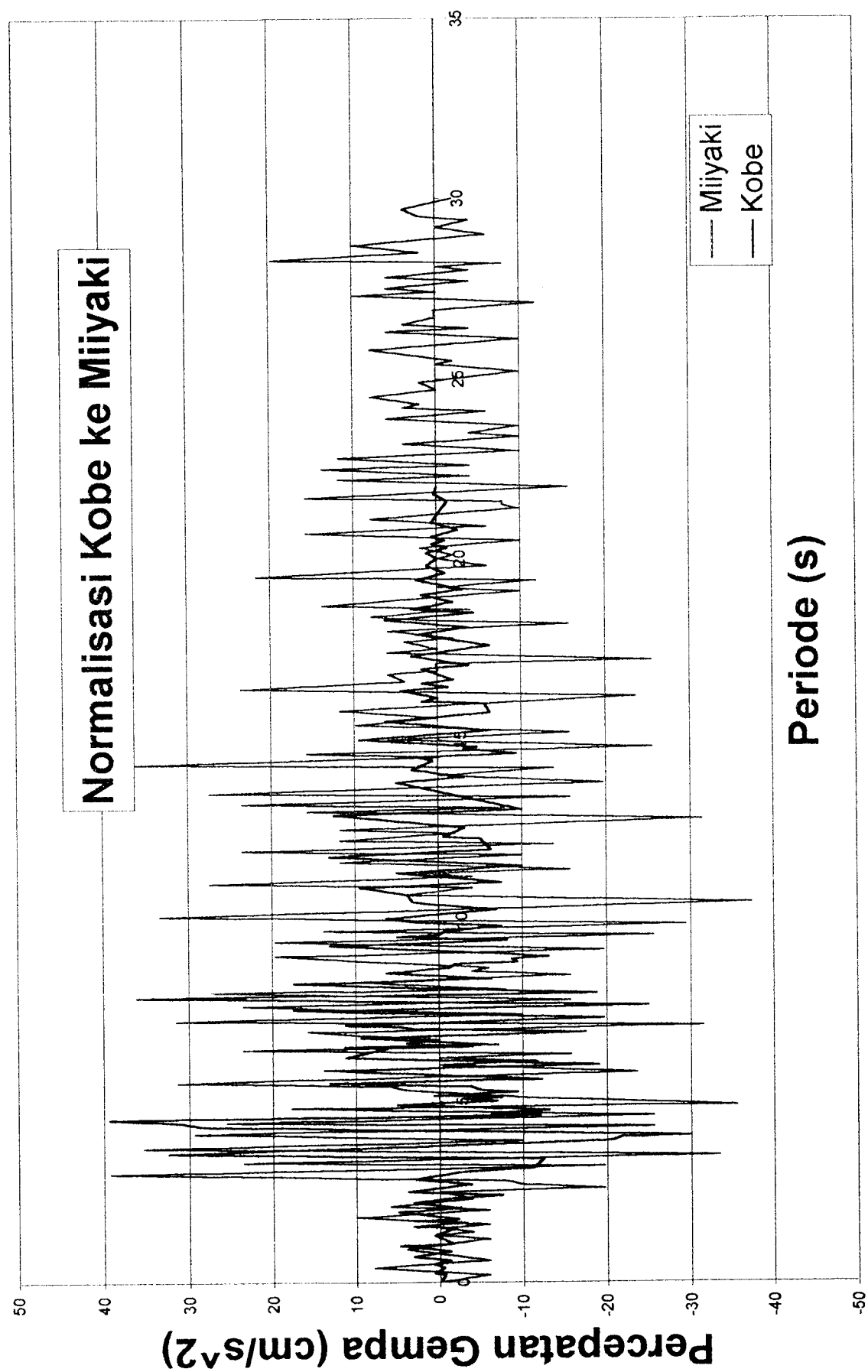
Gempa	Kondisi	Percepatan	Kecepatan	Simpangan
Koyna	TM	58,73 cm s ⁻²	3,42 cm/s	0,398 cm
	PM	48,86 cm s ⁻² (-)16,806 %	3,1 cm/s (-)9,357 %	0,374 cm (-)6,03 %
Kobe	TM	124,26 cm s ⁻²	15,77 cm/s	6,04 cm
	PM	101,365 cm s ⁻² (-)18,425 %	14,03 cm/s (-)11,034 %	2,15 cm (-)64,404 %
Miiyaki	TM	233,265 cm s ⁻²	24,79 cm/s	5,2 cm
	PM	83,94 cm s ⁻² (-)64,015 %	11,394 cm/s (-)54,038 %	1,82 cm (-)65,0 %
El Centro	TM	56,32 cm s ⁻²	4,12 cm/s	1,06 cm
	PM	51,1 cm s ⁻² (-)9,268 %	3,8 cm/s (-)7,767 %	0,49 cm (-)53,773 %

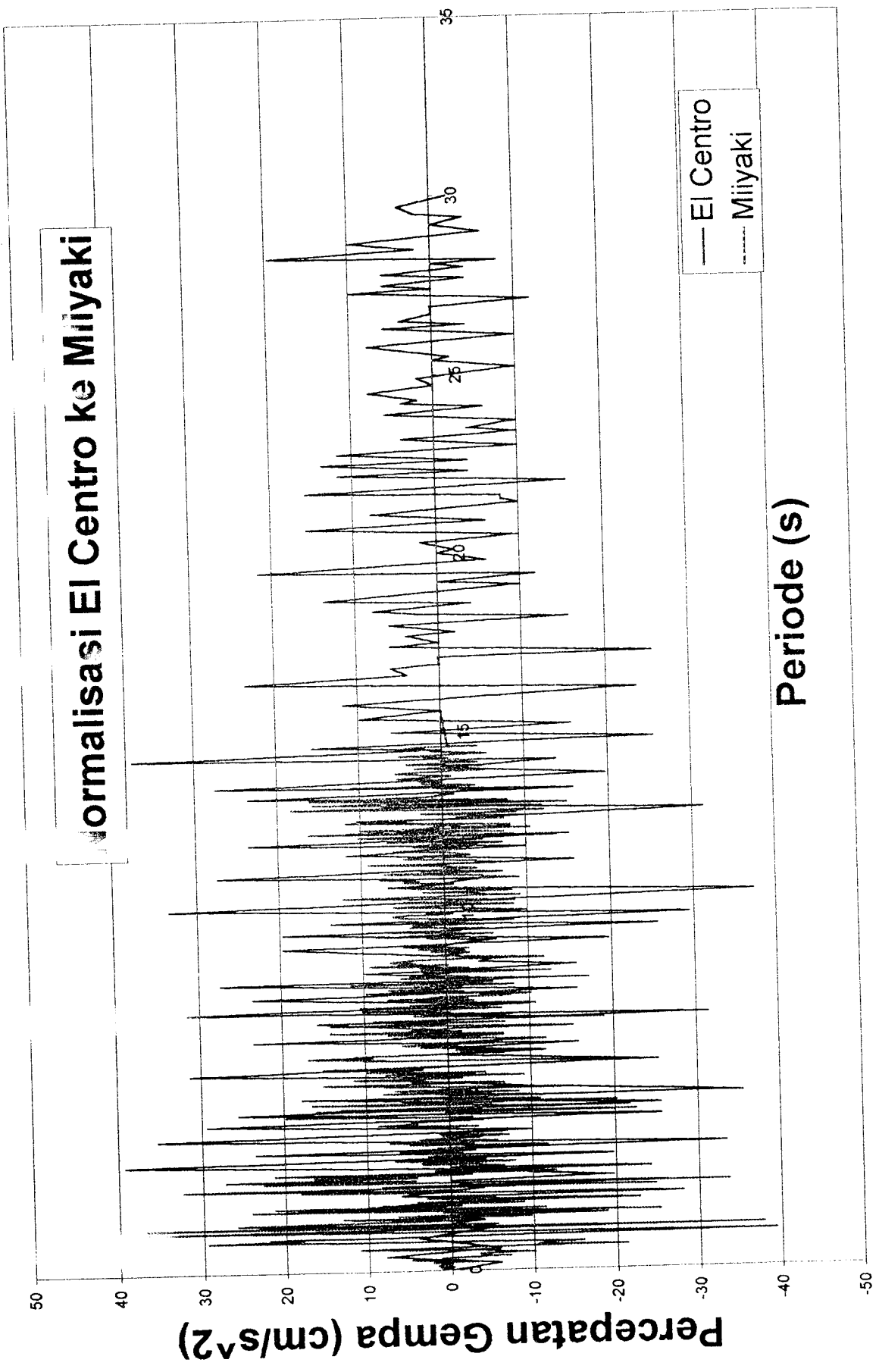
Dapat dilihat dari Tabel 5.20 bahwa Gempa Miiyaki mengalami deamplifikasi yang paling besar dibandingkan keempat gempa yang lain. Dapat dijelaskan bahwa kandungan frekuensi gempa ternyata juga berpengaruh pada deamplifikasi respon seismik tanah pada kondisi terdapat massa bangunan diatas lapisan tanah, selain faktor-faktor seperti penambahan nilai $\Delta \sigma_v$ yang disebabkan adanya berat bangunan diatas tanah yang akan berpengaruh pada penambahan nilai modulus geser tanah (G) yang kemudian meningkatkan kekakuan tanah, seperti yang terlihat pada gambar 5.80 - gambar 5.83.

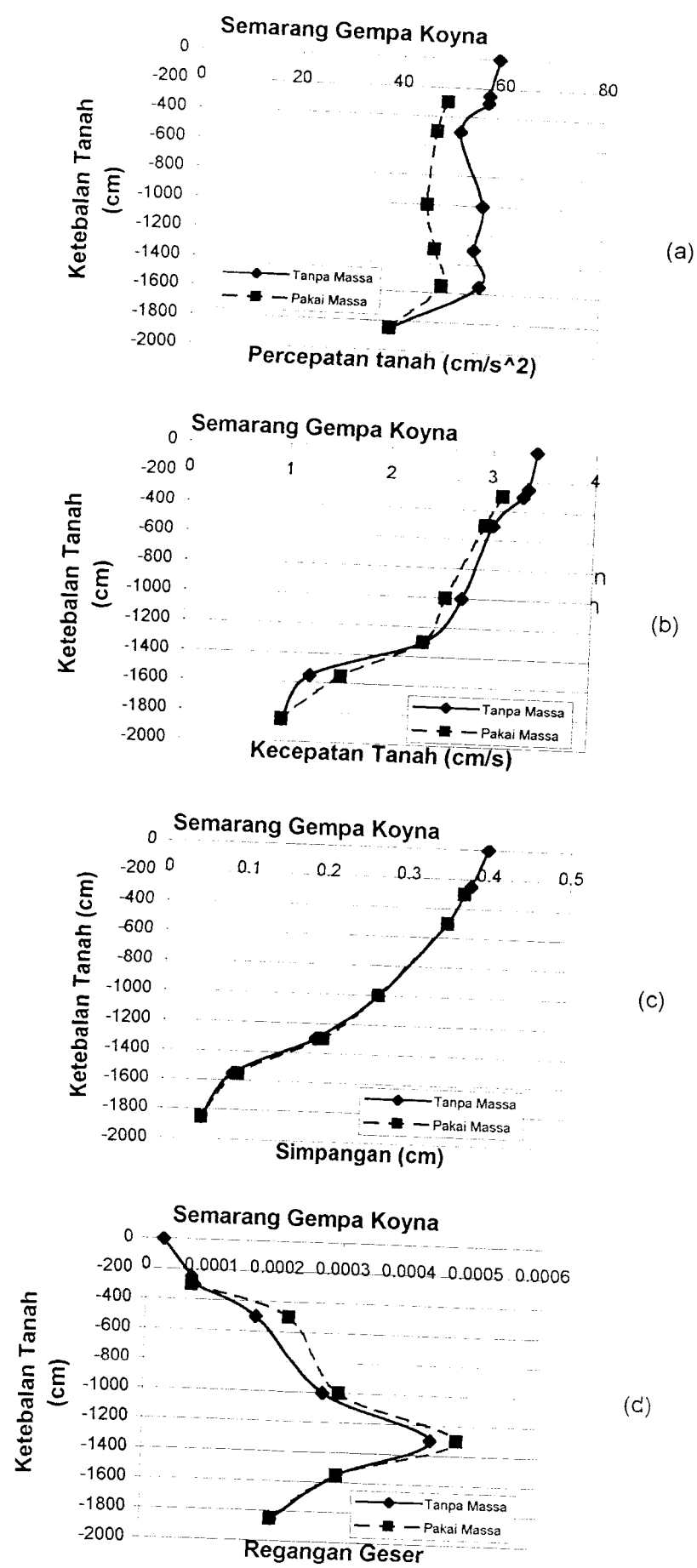
5.16 Respon Seismik Maksimum Yang Terjadi Pada Tiap Lapisan Tanah.

Untuk mengetahui respon seismik maksimum yang terjadi pada tiap lapisan tanah dapat dilihat pada gambar 5.80 – 5.83. Kemudian dari gambar 5.80 d – 5.83 d dan dari tabel 5.22 menunjukkan hasil yang sudah mendekati asumsi regangan geser pada perhitungan awal meskipun secara keseluruhan regangan geser yang terjadi pada seluruh lapisan tanah mengalami perbedaan dari penelitian Tokida. Pada penelitian ini regangan geser di lapisan tanah di dasar lebih besar dari regangan geser yang terjadi di permukaan.

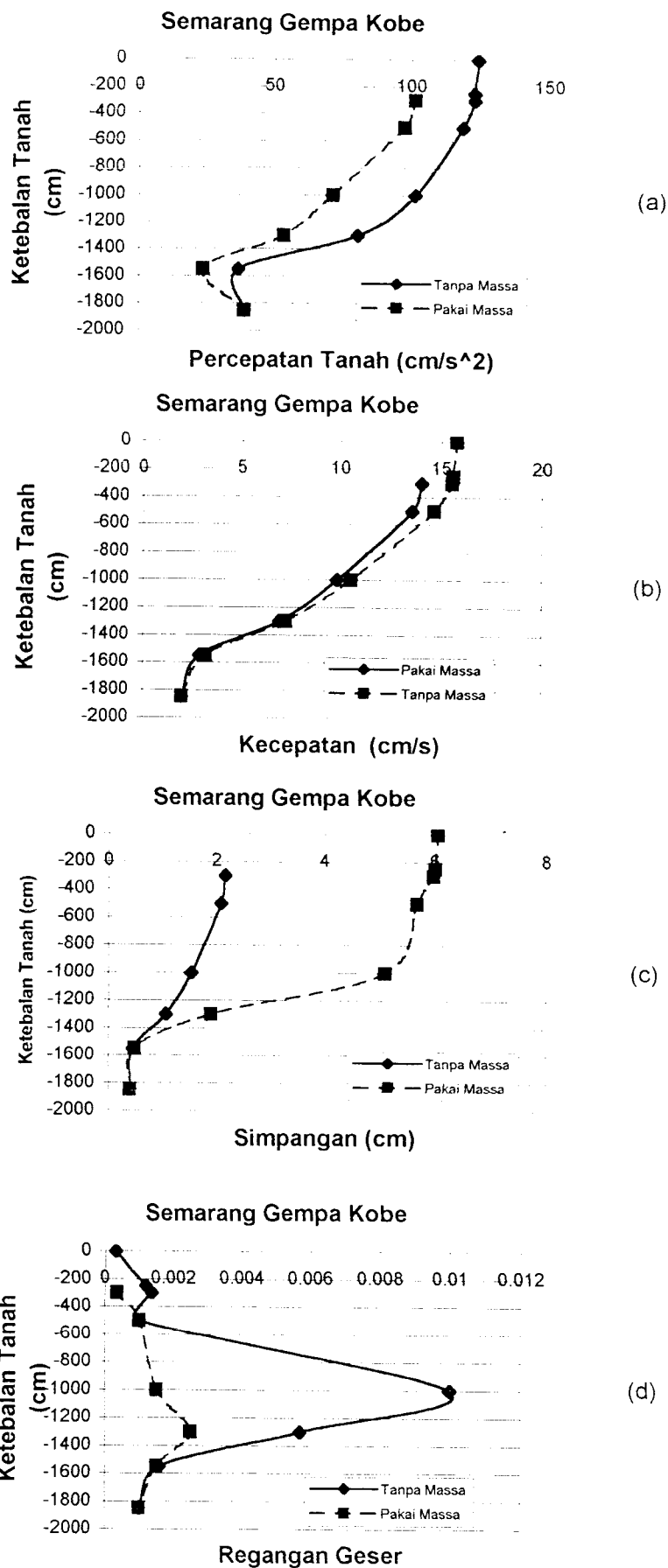




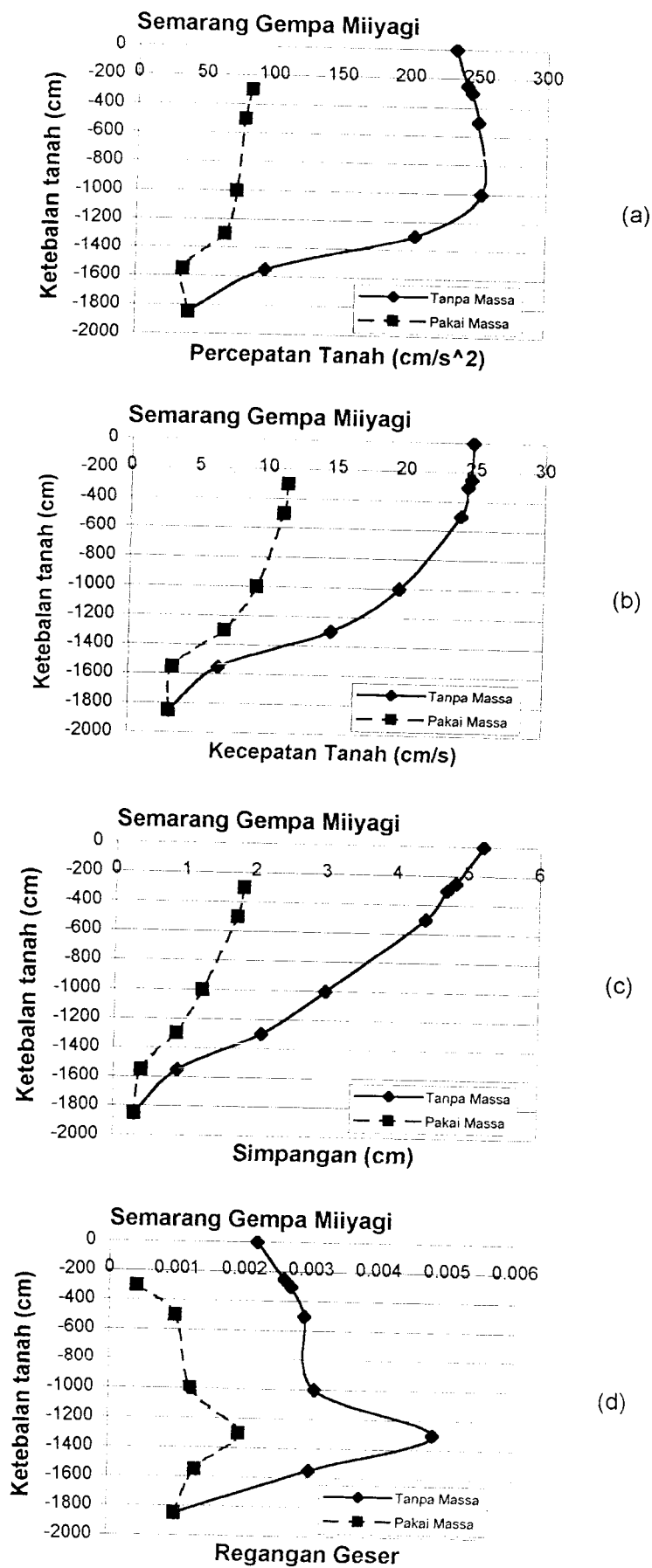




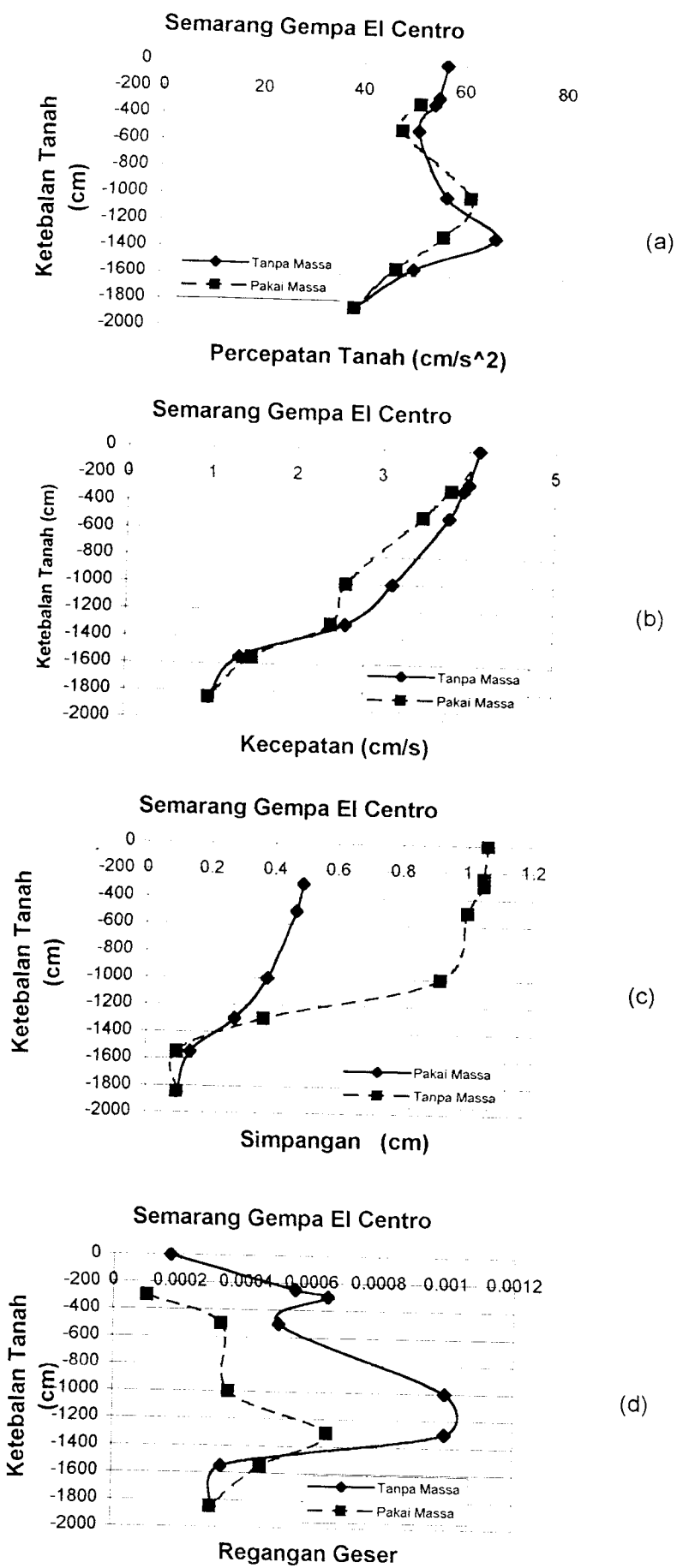
Gambar 5.80 Grafik Respon Seismik Tanah terhadap Ketebalan tanah akibat Gempa koyna yang di Normalisasi daerah Semarang



Gambar 5.81 Grafik Respon Seismik Tanah terhadap Ketebalan tanah akibat Gempa Kobe yang di Normalisasi daerah Semarang



Gambar 5.82 Grafik Respon Seismik Tanah terhadap Ketebalan tanah akibat Gempa Miiyagi yang di Normalisasi daerah Semarang



Gambar 5.83 Grafik Respon Seismik Tanah terhadap Ketebalan tanah akibat Gempa El Centro yang di Normalisasi daerah Semarang

BAB VI

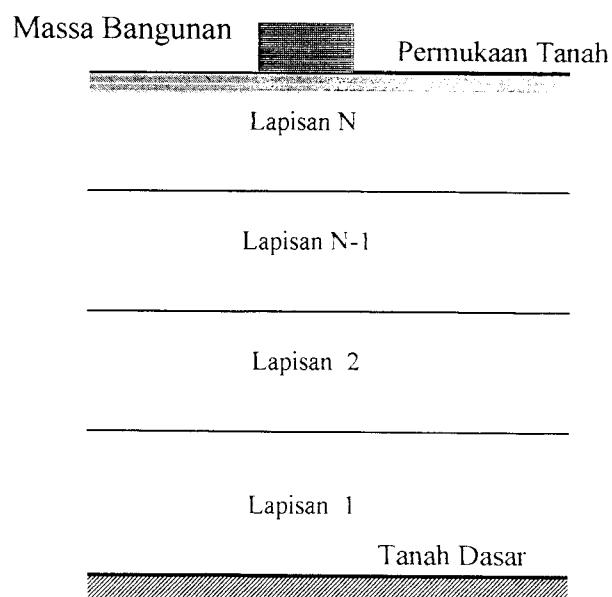
ANALISIS PERHITUNGAN

6.1 Umum

Data tanah yang digunakan dalam tugas akhir ini diperoleh dari beberapa hasil penyelidikan tanah di beberapa tempat. Data tanah yang akan dianalisis diperoleh dari daerah : 1. Dalangan – Tawangsari – Sukoharjo

2. Jl. Pemuda – Semarang

Cara analisa yaitu membandingkan respon seismik gempa dari masing–masing lapisan tanah dengan adanya massa bangunan diatasnya dan tanpa massa bangunan diatas lapisan tanah seperti terlihat pada gambar dibawah ini



Gambar 6.1 Profil lapisan tanah

6.2 Perhitungan Karakteristik Dinamika Lapisan Tanah Daerah Dalangan Tawang Sari Sukoharjo Dengan Massa Bangunan Di atas Lapisan Tanah Untuk Gempa Koyna.

6.2.1. Menghitung K_0

Nilai K_0 dapat dilihat dari persamaan 3.1 – 3.4 pada Bab III.

$$K_0 \text{ Lapisan 1} = 0.6647$$

$$K_0 \text{ Lapisan 2} = 0.6136$$

$$K_0 \text{ Lapisan 3} = 0.6514$$

$$K_0 \text{ Lapisan 4} = 0.7362$$

$$K_0 \text{ Lapisan 5} = 0.7249$$

$$K_0 \text{ Lapisan 6} = 0.639$$

6.2.2 Menghitung $\bar{\sigma}_0$

Untuk menghitung $\bar{\sigma}_0$ (*effective convining preasure*) dapat menggunakan persamaan 3.14 dan 3.15.

Untuk menghitung $\bar{\sigma}_i$ seperti persamaan di bawah ini :

$$Z = -300 \text{ cm}, \quad \bar{\sigma}_{11} = \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} = 11.944 \text{ T/m}^2$$

$$Z = 300 - 675 \text{ cm}, \quad \bar{\sigma}_{12} = \gamma_2 \cdot h_2 + \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} = 15.56 \text{ T/m}^2$$

$$Z = 675 - 1000 \text{ cm}, \quad \bar{\sigma}_{13} = \gamma_3 \cdot h_3 + \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} = 16.6166 \text{ T/m}^2$$

$$Z = 1000 - 1600 \text{ cm}, \quad \bar{\sigma}_{14} = \gamma_4 \cdot h_4 + \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} = 17.807 \text{ T/m}^2$$

$$Z = 1600 - 1800 \text{ cm}, \quad \bar{\sigma}_{15} = \gamma_5 \cdot h_5 + \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} = 18.565 \text{ T/m}^2$$

$$Z = 1800 - 2000 \text{ cm}, \quad \bar{\sigma}_{16} = \gamma_6 \cdot h_6 + \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} = 19.455 \text{ T/m}^2$$

$$Z = 2000 - 2500 \text{ cm}, \quad \bar{\sigma}_{17} = \gamma_7 \cdot h_7 + \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} = 22.347 \text{ T/m}^2$$

6.2.3 Menghitung $G_{\max}$

Untuk menghitung nilai $G_{\max}$ untuk tanah kohesif dapat dilihat persamaan 3.13 yaitu

$$G_{\max} = 33 I_{OCR}^k \frac{(2,973 - e)^2}{(1 + e)} \cdot \sigma_0^{-0.5}$$

Dengan OCR=1 dan nilai k diambil dari tabel 3.1

6.2.4 Menghitung massa

Nilai massa dan kekakuan tiap lapisan tanah dapat dilihat pada persamaan 3.11 pada Bab III. Hasil perhitungan massa dan kekakuan berdasarkan persamaan-persamaan diatas dapat dilihat di bawah ini :

$$M_1 = M_2 + \frac{0.749 \times 2.5 + 0.658 \times 1}{9.8} = 2.9067 \text{ Tdt}^2 / m = 29.067 \text{ kg} \cdot \text{dt}^2 / \text{cm}$$

$$M_2 = M_3 + \frac{0.658 \times 1 + 0.623 \times 1}{9.8} = 2.6485 \text{ Tdt}^2 / m = 26.485 \text{ kg} \cdot \text{dt}^2 / \text{cm}$$

$$M_3 = M_4 + \frac{0.623 \times 1 + 0.607 \times 3}{9.8} = 2.5178 \text{ Tdt}^2 / m = 25.178 \text{ kg} \cdot \text{dt}^2 / \text{cm}$$

$$M_4 = M_5 + \frac{1.607 \times 3 + 0.68 \times 1.625}{9.8} = 2.2684 T dt^2 / m = 22.684 kg \cdot dt^2 / cm$$

$$M_5 = M_6 + \frac{1.668 \times 1.875 + 0.68 \times 1.625}{9.8} = 1.9698 T dt^2 / m = 19.698 kg \cdot dt^2 / cm$$

$$M_6 = \frac{1.668 \times 1.875 + 11.944}{9.8} = 1.5379 T dt^2 / m = 15.379 kg \cdot dt^2 / cm$$

Tabel 6.1 Hasil perhitungan $G_{\max}$ tanah Tawang dengan Massa Bangunan

Kedalaman (cm)	e	PI (%)	OCR	k_o	k	$\bar{\sigma}_1$ (gr/cm ²)	$\bar{\sigma}_2 = \bar{\sigma}_3$ (gr/cm ²)	$\bar{\sigma}_0$ (gr/cm ²)	$G_{\max}$ (gr/cm ²)
-3	1.15	34.1	1	0.639	0.265	1.194	0.7629	0.907	484.2
-6.75	1.15	34.1	1	0.639	0.265	1.556	0.9939	1.181	552.67
-6.75	1.28	44.9	1	0.725	0.327	1.556	1.1279	1.271	471.33
-10	1.28	44.9	1	0.725	0.327	1.617	1.1719	1.32	480.42
-10	1.55	56.2	1	0.736	0.389	1.617	1.1901	1.332	302.48
-16	1.55	56.2	1	0.736	0.389	1.781	1.311	1.468	317.38
-16	1.7	35.9	1	0.651	0.276	1.781	1.16	1.367	230.46
-18	1.7	35.9	1	0.651	0.276	1.857	1.422	32.23	235.36
-18	1.56	30.5	1	0.614	0.243	1.857	1.1392	1.378	301.97
-20	1.56	30.5	1	0.614	0.243	1.946	1.1938	1.444	309.12
-20	1.31	33.8	1	0.665	0.263	1.946	1.2932	1.511	487.85
-25	1.31	33.8	1	0.665	0.263	2.235	1.4854	1.735	522.86

6.2.5 Menghitung regangan geser

Dalam menentukan regangan geser dapat menggunakan persamaan 3.20 seperti yang tercantum dibawah ini

$$\begin{aligned}
 \gamma &= 0.894 \times 10^{0.548 A_f} \times (\Delta + 30)^{-0.774} \times 10^{-6} \\
 &= 0.894 \times 10^{0.548 \times 6.5} \times (5.6 + 30)^{-0.774} \times 10^{-6} \\
 &= 2.0535 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan gambar 3.1 didapat nilai $G_{\max}$ untuk :

$$\text{Lapisan 1} = 0.765 \quad G = 0.806 \times 522.860 = 421.425 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 2} = 0.765 \quad G = 0.806 \times 309.123 = 249.1531 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 3} = 0.765 \quad G = 0.806 \times 235.316 = 189.6647 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 4} = 0.81 \quad G = 0.887 \times 317.838 = 281.9223 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 5} = 0.81 \quad G = 0.887 \times 480.419 = 426.9484 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 6} = 0.765 \quad G = 0.806 \times 552.668 = 445.4504 \text{ kg/cm}^2$$

6.2.6 Menghitung kekakuan

Untuk menghitung kekakuan lapisan tanah maka dapat dilihat pada persamaan 3.12 pada Bab III.

$$K_1 = \frac{399.9879 \times 100 \times 100}{500} = 8912.2322 \text{ kg/cm.}$$

$$K_2 = \frac{236.479 \times 100 \times 100}{200} = 12457.6569 \text{ kg/cm.}$$

$$K_3 = \frac{180.0167 \times 100 \times 100}{200} = 9483.2348 \text{ kg/cm.}$$

$$K_4 = \frac{257.4488 \times 100 \times 100}{600} = 4698.7051 \text{ kg/cm.}$$

$$K_5 = \frac{389.1393 \times 100 \times 100}{325} = 13111.7432 \text{ kg/cm.}$$

$$K_6 = \frac{422.7910 \times 100 \times 100}{375} = 11878.6776 \text{ kg/cm.}$$

6.2.7 Perhitungan lamda dan frekuensi alam.

Data dari data diatas digunakan untuk membuat matriks massa dan matrik kekakuan, kemudian disusun menjadi persamaan eigenproblem. Setelah di masukan kedalam program komputer maka akan menghasilkan lamda dan frekuensi alam seperti pada tabel 6.2.

Tabel 6.2 Lamda dan Frekuensi Alam Desa Tawang Sari, Sukoharjo

Lapisan	Lamda (λ)	Frekuensi Alam (Φ)(rad/detik)
1	0.08303	5.03671
2	0.56685	13.16011
3	1.92383	24.24426
4	2.75493	29.01216
5	4.39281	36.63502
6	6.49024	44.53027

6.2.8 Perhitungan *mode shape*

Data-data tersebut diatas dipakai untuk menyelesaikan persamaan keseimbangan dan analisis perhitungan seperti langkah-langkah pada sub bab 3.11.

Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 6.3 Hasil perhitungan mode shape tanah Desa Tawang Sari Sukoharjo dengan Massa Bangunan

Mode ke1	Mode ke2	Mode ke3	Mode ke4	Mode ke5	Mode ke6
1	1	1	1	1	1
1.6562	1.3113	0.3439	-0.2485	-1.4161	-2.9113
2.4009	1.0860	-1.0825	-1.3044	0.7180	8.0735
3.5775	-0.3766	-0.5520	2.4478	-0.1385	-55.5424
3.8421	-0.7879	0.1994	0.2280	-0.1238	112.2038
3.9726	-1.0156	0.8345	-2.5405	0.1680	-71.5912

6.2.9 Perhitungan *damping ratio*.

Nilai *damping ratio* untuk lapisan tanah pada daerah ini dapat digunakan persamaan-persamaan pada tabel 3.2 dan persamaan 3.19 pada Bab III. Dengan nilai $\bar{\sigma}_v$ berdasarkan tabel 6.1, nilai f = frekuensi berdasarkan tabel 6.2 sedangkan nilai N berdasarkan gambar 3.2. Hasil perhitungan *damping ratio* dapat dilihat pada tabel 6.4 berikut ini :

Tabel 6.4 *Damping ratio* Desa Tawang Sari, Sukoharjo dengan Massa Bangunan

Lapisan	<i>Damping ratio</i> (%)
1	4.0978
2	4.3753
3	4.5576
4	2.6833
5	2.7642
6	4.8779

Untuk proses hitungan, nilai yang dipakai adalah *damping ratio equivalent*.

Untuk menghitung *damping ratio equivalent* dipakai persamaan

$$D_{eq} = \frac{\sum D_i * h_i}{\sum h_i}$$

$$= 4.19166 \%$$

6.2.10 Perhitungan respon seismik lapisan tanah

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel-tabel tersebut diatas, Hasil respon seismik lapisan tanah Tawang Sari, Sukoharjo pada kondisi terdapat massa bangunan untuk gempa Koyna dapat dilihat pada Bab V.

6.3 Analisis Karakteristik Dinamik Lapisan Tanah Pada Daerah Dalangan Tawangsari Sukoharjo Tanpa Massa Bangunan Di atas Lapisan Tanah Untuk Gempa Koyna.

6.3.1. Menghitung K_0

Nilai K_0 dapat dilihat dengan persamaan 3.1 – 3.4

$$K_0 \text{ Lapisan 1} = 0.6647$$

$$K_0 \text{ Lapisan 2} = 0.6136$$

$$K_0 \text{ Lapisan 3} = 0.6514$$

$$K_0 \text{ Lapisan 4} = 0.7362$$

$$K_0 \text{ Lapisan 5} = 0.7249$$

$$K_0 \text{ Lapisan 6} = 0.639$$

$$K_0 \text{ Lapisan 7} = 0.556$$

6.3.2 Menghitung $\bar{\sigma}_0$

Untuk menghitung $\bar{\sigma}_0$ (*effective convining preasure*) dapat menggunakan persamaan 3.14 – 3.15.

Untuk menghitung $\bar{\sigma}_1$ seperti persamaan di bawah ini :

$$Z = 0 - 3 \quad \sigma_{11} = 5.28 \text{ T/m}^2$$

$$Z = 3 - 6.75 \quad \sigma_{12} = 11.535 \text{ T/m}^2$$

$$Z = 6.75 - 10 \quad \sigma_{13} = 13.745 \text{ T/m}^2$$

$$Z = 10 - 16 \quad \sigma_{14} = 17.387 \text{ T/m}^2$$

$$Z = 16 - 18 \quad \sigma_{15} = 18.633 \text{ T/m}^2$$

$$Z = 18 - 20 \quad \sigma_{16} = 19.949 \text{ T/m}^2$$

$$Z = 20 - 25 \quad \sigma_{17} = 23.694 \text{ T/m}^2$$

6.3.3 Menghitung $G_{\max}$

Untuk menghitung nilai $G_{\max}$ untuk tanah kohesif dapat dilihat persamaan 3.13 yaitu

$$G_{\max} = 331ocr^k \frac{(2,973 - e)^2}{(1 + e)} \cdot \sigma_0^{-0.5}$$

Dengan OCR=1 dan nilai k diambil dari tabel 3.1

6.3.4 Menghitung massa

Nilai massa dan kekakuan tiap lapisan tanah dapat dilihat pada persamaan 3.11 pada Bab III. Hasil perhitungan massa dan kekakuan berdasarkan persamaan-persamaan diatas dapat dilihat di bawah ini :

$$M_1 = 22.256 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$$

$$M_2 = 19.676 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$$

$$M_3 = 18.366 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$$

$$M_4 = 15.876 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$$

$$M_5 = 12.89 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$$

$$M_6 = 8.57 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$$

$$M_7 = 2.69 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

Tabel 6.5 Hasil perhitungan $G_{\max}$ tanah Tawang tanpa Massa Bangunan

Z	e	PI	Ko	k	$\bar{\sigma}_1$ (gr/cm ²)	$\bar{\sigma}_2 = \bar{\sigma}_3$ (gr/cm ²)	$\bar{\sigma}_0$ (gr/cm ²)	Gmax (gr/cm ²)
0	0.916	22.37	0.55659	0.194	0	0	0	0
-3	0.916	22.37	0.55659	0.194	5.28	2.9388	3.7192	445.654
-3	1.154	34.11	0.63877	0.265	5.28	3.37271	4.0085	321.933
-6.8	1.154	34.11	0.63877	0.265	11.535	7.36821	8.7571	475.855
-6.8	1.277	44.9	0.7143	0.327	11.535	8.23945	9.338	405.822
-10	1.277	44.9	0.7143	0.327	13.745	9.81805	11.127	442.986
-10	1.551	56.19	0.79333	0.389	13.745	10.9043	11.851	279.25
-16	1.551	56.19	0.79333	0.389	17.387	13.7936	14.991	314.069
-16	1.704	35.92	0.65144	0.27552	17.387	11.3266	13.347	227.7299
-18	1.704	35.92	0.65144	0.27552	18.633	12.1383	14.303	235.753
-18	1.562	30.52	0.61364	0.24312	18.633	11.434	13.834	302.525
-20	1.562	30.52	0.61364	0.24312	19.949	12.2415	14.811	313.026
-20	1.309	33.75	0.63625	0.2625	19.949	12.6926	15.111	494.006
-25	1.309	33.75	0.63625	0.2625	23.694	15.0753	17.948	538.374

6.3.5 Menghitung regangan geser

Dalam menentukan regangan geser dapat menggunakan persamaan 3.20 seperti yang tercantum dibawah ini

$$\begin{aligned}
 \gamma &= 0.894 \times 10^{0.548M} \times (\Delta + 30)^{-0.774} \times 10^{-6} \\
 &= 0.894 \times 10^{0.548 \times 6.5} \times (5.6 + 30)^{-0.774} \times 10^{-6} \\
 &= 2.0535 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan gambar 3.1 didapat nilai $G/G_{\max}$ untuk :

$$\text{Lapisan 1} = 0.765 \quad G = 0.765 \times 538.374 = 433.929 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 2} = 0.765 \quad G = 0.765 \times 313.026 = 252.299 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 3} = 0.765 \quad G = 0.765 \times 235.753 = 190.017 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 4} = 0.81 \quad G = 0.81 \times 314.069 = 278.579 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 5} = 0.81 \quad G = 0.81 \times 442.986 = 392.928 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 6} = 0.765 \quad G = 0.765 \times 475.855 = 383.539 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 7} = 0.765 \quad G = 0.765 \times 445.654 = 359.197 \text{ kg/cm}^2$$

6.3.6 Menghitung kekakuan

Untuk menghitung kekakuan lapisan tanah maka dapat dilihat pada persamaan 3.12 pada Bab III.

$$K_1 = \frac{411.85616 \times 100 \times 100}{500} = 8678.58 \text{ kg/cm.}$$

$$K_2 = \frac{239.4649 \times 100 \times 100}{200} = 12614.95 \text{ kg/cm.}$$

$$K_3 = \frac{180.3510 \times 100 \times 100}{200} = 9500.85 \text{ kg/cm.}$$

$$K_4 = \frac{254.3959 \times 100 \times 100}{600} = 4642.983 \text{ kg/cm.}$$

$$K_5 = \frac{358.8187 \times 100 \times 100}{325} = 12090.092 \text{ kg/cm.}$$

$$K_6 = \frac{364.0290 \times 100 \times 100}{375} = 10227.707 \text{ kg/cm.}$$

$$K_7 = \frac{340.9253 \times 100 \times 100}{300} = 11973.233 \text{ kg/cm.}$$

6.3.7 Perhitungan lamda dan frekuensi alam.

Data dari data diatas digunakan untuk membuat matriks massa dan matrik kekakuan, kemudian disusun menjadi persamaan eigenproblem. Setelah di masukan

kedalam program komputer maka akan menghasilkan lamda dan frekuensi alam seperti pada tabel 6.6.

Tabel 6.6 Lamda dan Frekuensi Alam Desa Tawang Sari, Sukoharjo

Lapisan	Lamda (λ)	Frekuensi Alam (Φ)(rad/detik)
1	0.02061	5.96373
2	0.13279	15.13925
3	0.44101	2758979.
4	0.61648	32.61983
5	1.04488	42.46738
6	1.46510	50.28707
7	3.62364	79.08512

6.3.8 Perhitungan *mode shape*

Data-data tersebut diatas dipakai untuk menyelesaikan persamaan keseimbangan dan analisis perhitungan seperti langkah-langkah pada sub bab 3.11.

Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 6.7 Hasil perhitungan *mode shape* tanah Desa Tawang Sari Sukoharjo tanpa Massa Bangunan

Mode ke1	Mode ke2	Mode ke3	Mode ke4	Mode ke5	Mode ke6	Mode ke7
1	1	1	1	1	1	1
1.6252	1.2836	0.3450	-0.1893	-1.4916	-2.7735	-9.3465
2.3356	1.0509	-1.0685	-1.3513	0.7671	6.7410	97.9792
3.4608	-0.3781	-0.7437	1.9585	-0.1076	-41.2202	-2106.4478
3.7313	-0.8131	0.1244	0.4930	-0.1805	77.2394	14347.2070
3.8837	-1.0924	1.0312	-1.9005	0.1454	-28.8954	-79294.9766
3.9151	-1.1518	1.2440	-2.4977	0.2448	-65.2562	195695.1250

6.3.9 Perhitungan *dumping ratio*.

Nilai *dumping ratio* untuk lapisan tanah pada daerah ini dapat digunakan persamaan-persamaan pada tabel 3.2 dan persamaan 3.19 pada Bab III.

dengan nilai $\bar{\sigma}_0$ berdasarkan tabel 6.5, nilai f = frekuensi berdasarkan tabel 6.6 sedangkan nilai N berdasarkan gambar 3.2. Hasil perhitungan *dumping ratio* dapat dilihat pada tabel 6.8 berikut ini :

Tabel 6.8 *Dumping ratio* Desa Tawang Sari, Sukoharjo tanpa Massa Bangunan

Lapisan	"Dumping ratio" (%)
1	4.0944
2	4.3993
3	4.0049
4	2.7155
5	2.8414
6	5.0520
7	5.5498

Untuk proses hitungan, nilai yang dipakai adalah *dumping ratio equivalent*.

Untuk menghitung *dumping ratio equivalent* dipakai persamaan

$$D_{eq} = \frac{\sum D_i * h_i}{\sum h_i}$$

$$= 4.065 \%$$

6.3.10 Perhitungan percepatan maksimum lapisan tanah

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel-tabel tersebut diatas, Hasil respon seismik lapisan tanah Tawang Sari, Sukoharjo pada kondisi tanpa massa bangunan untuk gempa Koyna dapat dilihat pada Bab V

6.4 Perhitungan Karakteristik Dinamika Lapisan Tanah Daerah Dalangan Tawang Sari Sukoharjo Dengan Massa Bangunan Di atas Lapisan Tanah Untuk Gempa Kobe

6.4.1. Menghitung K_0

Nilai K_0 dapat dilihat dengan persamaan 3.1 – 3.4 pada Bab III.

$$K_0 \text{ Lapisan 1} = 0.6647$$

$$K_0 \text{ Lapisan 2} = 0.6136$$

$$K_0 \text{ Lapisan 3} = 0.6514$$

$$K_0 \text{ Lapisan 4} = 0.7362$$

$$K_0 \text{ Lapisan 5} = 0.7249$$

$$K_0 \text{ Lapisan 6} = 0.639$$

6.4.2 Menghitung $\bar{\sigma}_0$

Untuk menghitung $\bar{\sigma}_0$ (*effective convining preasure*) dapat menggunakan persamaan 3.14 – 3.15.

Untuk menghitung $\bar{\sigma}_1$ seperti persamaan di bawah ini :

$$Z = 0 - 3 \text{ m}, \quad \bar{\sigma}_{11} = \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} = 11.944 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -3 \text{ m} - 6.75 \text{ m}, \quad \bar{\sigma}_{12} = \gamma_2 \cdot h_2 + \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} = 15.56 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -6.75 \text{ m} - 10 \text{ m}, \quad \bar{\sigma}_{13} = \gamma_3 \cdot h_3 + \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} = 16.6166 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -10 \text{ m} - 16 \text{ m}, \quad \bar{\sigma}_{14} = \gamma_4 \cdot h_4 + \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} = 17.807 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -16 \text{ m} - 18 \text{ m}, \quad \bar{\sigma}_{15} = \gamma_5 \cdot h_5 + \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} = 18.565 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -18 \text{ m} - 20 \text{ m}, \quad \bar{\sigma}_{16} = \gamma_6 \cdot h_6 + \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} = 19.455 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -20 \text{ m} - 25 \text{ m}, \quad \bar{\sigma}_{17} = \gamma_7 \cdot h_7 + \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} = 22.347 \text{ T/m}^2$$

6.4.3 Menghitung $G_{\max}$

Untuk menghitung nilai $G_{\max}$ untuk tanah kohesif dapat dilihat persamaan 3.13 yaitu

$$G_{\max} = 33 \log r^k \frac{(2,973 - e)^2}{(1 + e)} \cdot \sigma_0^{-0.5}$$

Dengan OCR=1 dan nilai k diambil dari tabel 3.1

6.4.4 Menghitung massa

Nilai massa dan kekakuan tiap lapisan tanah dapat dilihat pada persamaan 3.11 pada Bab III. Hasil perhitungan massa dan kekakuan berdasarkan persamaan-persamaan diatas dapat dilihat di bawah ini :

$$M_1 = M_2 + \frac{0.749 \times 2.5 + 0.658 \times 1}{9.8} = 2.9067 \text{ T} \cdot \text{dt}^2 / \text{m} = 29.067 \text{ kg} \cdot \text{dt}^2 / \text{cm}$$

$$M_2 = M_3 + \frac{0.658 \times 1 + 0.623 \times 1}{9.8} = 2.6485 \text{ T} \cdot \text{dt}^2 / \text{m} = 26.485 \text{ kg} \cdot \text{dt}^2 / \text{cm}$$

$$M_3 = M_4 + \frac{0.623 \times 1 + 0.607 \times 3}{9.8} = 2.5178 \text{ T} \cdot \text{dt}^2 / \text{m} = 25.178 \text{ kg} \cdot \text{dt}^2 / \text{cm}$$

$$M_4 = M_5 + \frac{1.607 \times 3 + 0.68 \times 1.625}{9.8} = 2.2684 T dt^2 / m = 22.684 kg \cdot dt^2 / cm$$

$$M_5 = M_6 + \frac{1.668 \times 1.875 + 0.68 \times 1.625}{9.8} = 1.9698 T dt^2 / m = 19.698 kg \cdot dt^2 / cm$$

$$M_6 = \frac{1.668 \times 1.875 + 11.944}{9.8} = 1.5379 T dt^2 / m = 15.379 kg \cdot dt^2 / cm$$

Tabel 6.9 Hasil perhitungan $G_{\max}$ tanah Tawang dengan Massa Bangunan

Kedalaman (cm)	e	PI (%)	OCR	k_0	k	$\bar{\sigma}_1$ (gr/cm ²)	$\bar{\sigma}_2 = \bar{\sigma}_3$ (gr/cm ²)	$\bar{\sigma}_0$ (gr/cm ²)	$G_{\max}$ (gr/cm ²)
-3	1.15	34.1	1	0.639	0.265	1.194	0.7629	0.907	484.2
-6.75	1.15	34.1	1	0.639	0.265	1.556	0.9939	1.181	552.67
-6.75	1.28	44.9	1	0.725	0.327	1.556	1.1279	1.271	471.33
-10	1.28	44.9	1	0.725	0.327	1.617	1.1719	1.32	480.42
-10	1.55	56.2	1	0.736	0.389	1.617	1.1901	1.332	302.48
-16	1.55	56.2	1	0.736	0.389	1.781	1.311	1.468	317.38
-16	1.7	35.9	1	0.651	0.276	1.781	1.16	1.367	230.46
-18	1.7	35.9	1	25.54	0.276	1.857	47.422	32.23	235.36
-18	1.56	30.5	1	0.614	0.243	1.857	1.1392	1.378	301.97
-20	1.56	30.5	1	0.614	0.243	1.946	1.1938	1.444	309.12
-20	1.31	33.8	1	0.665	0.263	1.946	1.2932	1.511	487.85
-25	1.31	33.8	1	0.665	0.263	2.235	1.4854	1.735	522.86

6.4.5 Menghitung regangan geser

Dalam menentukan regangan geser dapat menggunakan persamaan 3.20 seperti yang tercantum dibawah ini

$$\begin{aligned}
 \gamma &= 0.894 \times 10^{0.548M} \times (\Delta + 30)^{-0.774} \times 10^{-6} \\
 &= 0.894 \times 10^{0.548 \times 7.1} \times (9 + 30)^{-0.774} \times 10^{-6} \\
 &= 4.0799 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan gambar 3.1 didapat nilai $G/G_{\max}$ untuk :

$$\text{Lapisan 1} = 0.78 \quad G = 0.78 \times 522.860 = 407.8308 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 2} = 0.78 \quad G = 0.78 \times 309.123 = 241.1159 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 3} = 0.78 \quad G = 0.78 \times 235.316 = 183.5465 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 4} = 0.8 \quad G = 0.8 \times 317.838 = 254.2704 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 5} = 0.8 \quad G = 0.8 \times 480.419 = 384.3352 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 6} = 0.78 \quad G = 0.78 \times 552.668 = 431.081 \text{ kg/cm}^2$$

6.4.6 Menghitung kekakuan

Untuk menghitung kekakuan lapisan tanah maka dapat dilihat pada persamaan 3.12 pada Bab III.

$$K_1 = \frac{407.8308 \times 100 \times 100}{500} = 8624.616 \text{ kg/cm.}$$

$$K_2 = \frac{241.1159 \times 100 \times 100}{200} = 12055.797 \text{ kg/cm.}$$

$$K_3 = \frac{183.5465 \times 100 \times 100}{200} = 9177.324 \text{ kg/cm.}$$

$$K_4 = \frac{254.2704 \times 100 \times 100}{600} = 4237.84 \text{ kg/cm.}$$

$$K_5 = \frac{384.3352 \times 100 \times 100}{325} = 11825.6985 \text{ kg/cm.}$$

$$K_6 = \frac{431.081 \times 100 \times 100}{375} = 14369.37 \text{ kg/cm.}$$

6.4.7 Perhitungan lamda dan frekuensi alam.

Data dari data diatas digunakan untuk membuat matriks massa dan matrik kekakuan, kemudian disusun menjadi persamaan eigenproblem. Setelah di masukan kedalam program komputer maka akan menghasilkan lamda dan frekuensi alam seperti pada tabel 6.10.

Tabel 6.10 Lamda dan Frekuensi Alam Desa Tawang Sari, Sukoharjo

Lapisan	Lamda (λ)	Frekuensi Alam (Φ)(rad/detik)
1	0.0875	4.9094
2	0.5891	12.7405
3	2.0720	23.8949
4	3.0371	28.9293
5	4.7110	36.0300
6	7.7151	46.1082

6.4.8 Perhitungan *mode shape*

Data-data tersebut diatas dipakai untuk menyelesaikan persamaan keseimbangan dan analisis perhitungan seperti langkah-langkah pada sub bab 3.11.

Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 6.12 Hasil perhitungan *mode shape* tanah Desa Tawang Sari Sukoharjo dengan Massa Bangunan

Mode ke1	Mode ke2	Mode ke3	Mode ke4	Mode ke5	Mode ke6
1	1	1	1	1	1
1.6573	1.3240	0.3388	-0.3024	-1.4145	-3.4104
2.4054	1.1295	-1.0881	-1.2829	0.7130	11.7199
3.6812	-0.3811	-0.4870	2.9727	-0.1788	-103.5469
3.9682	-0.8038	0.2618	-0.2745	-0.0532	277.4124
4.0732	-0.9728	0.6731	-2.6320	0.1448	-217.5409

6.4.9 Perhitungan *dumping ratio*.

Nilai *dumping ratio* untuk lapisan tanah pada daerah ini dapat digunakan persamaan-persamaan pada tabel 3.2 dan persamaan 3.19 pada Bab III, dengan nilai $\bar{\sigma}_0$ berdasarkan tabel 6.9, nilai f = frekuensi berdasarkan tabel 6.10 sedangkan nilai N berdasarkan gambar 3.2. Hasil perhitungan *dumping ratio* dapat dilihat pada tabel 6.12 berikut ini :

Tabel 6.12 “Dumping ratio” Desa Tawang Sari, Sukoharjo dengan Massa Bangunan

Lapisan	“Dumping ratio” (%)
1	4.55576
2	4.86587
3	5.07606
4	4.6691
5	4.8064
6	5.46293

Untuk proses hitungan, nilai yang dipakai adalah *dumping ratio equivalent*.

Untuk menghitung *dumping ratio equivalent* dipakai persamaan

$$D_{eq} = \frac{\sum D_i * h_i}{\sum h_i}$$

$$= 4.8538 \%$$

6.4.10 Perhitungan percepatan maksimum lapisan tanah

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel-tabel tersebut diatas, Hasil respon seismik lapisan tanah Tawang Sari, Sukoharjo pada kondisi terdapat massa bangunan untuk gempa Kobe dapat dilihat pada Bab V

6.5 Analisis Karakteristik Dinamik Lapisan Tanah Pada Daerah Dalangan Tawang Sari Sukoharjo Tanpa Massa Bangunan Di atas Lapisan Tanah Untuk Gempa Kobe

6.5.1. Menghitung K_0

Nilai K_0 dapat dilihat dengan persamaan 3.1 - 3.4 pada Bab III.

$$K_0 \text{ Lapisan 1} = 0.6647$$

$$K_0 \text{ Lapisan 2} = 0.6136$$

$$K_0 \text{ Lapisan 3} = 0.6514$$

$$K_0 \text{ Lapisan 4} = 0.7362$$

$$K_0 \text{ Lapisan 5} = 0.7249$$

$$K_0 \text{ Lapisan 6} = 0.639$$

$$K_0 \text{ Lapisan 7} = 0.556$$

6.5.2 Menghitung $\bar{\sigma}_0$

Untuk menghitung $\bar{\sigma}_0$ (*effective convining preasure*) dapat menggunakan persamaan 3.14 – 3.15.

Untuk menghitung $\bar{\sigma}_1$ seperti persamaan di bawah ini :

$$Z = 0 - 3 \text{ m} \quad \sigma_{11} = 5.28 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -3 \text{ m} - 6.75 \text{ m} \quad \sigma_{12} = 11.535 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -6.75 \text{ m} - 10 \text{ m} \quad \sigma_{13} = 13.745 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -10 \text{ m} - 16 \text{ m} \quad \sigma_{14} = 17.387 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -16 \text{ m} - 18 \text{ m} \quad \sigma_{15} = 18.633 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -18 \text{ m} - 20 \text{ m} \quad \sigma_{16} = 19.949 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -20 \text{ m} - 25 \text{ m} \quad \sigma_{17} = 23.694 \text{ T/m}^2$$

6.5.3 Menghitung $G_{\max}$

Untuk menghitung nilai $G_{\max}$ untuk tanah kohesif dapat dilihat persamaan

3.13 yaitu

$$G_{\max} = 33 \log r^k \frac{(2,973 - e)^2}{(1 + e)} \cdot \sigma_0^{-0.5}$$

Dengan $\text{OCR}=1$ dan nilai k diambil dari tabel 3.1

6.5.4 Menghitung massa

Nilai massa dan kekakuan tiap lapisan tanah dapat dilihat pada persamaan 3.11 pada Bab III. Hasil perhitungan massa dan kekakuan berdasarkan persamaan-persamaan diatas dapat dilihat di bawah ini :

$$M_1 = 22.256 \text{ kg} \cdot \text{dt}^2/\text{cm}$$

$$M_2 = 19.676 \text{ kg} \cdot \text{dt}^2/\text{cm}$$

$$M_3 = 18.366 \text{ kg} \cdot \text{dt}^2/\text{cm}$$

$$M_4 = 15.876 \text{ kg} \cdot \text{dt}^2/\text{cm}$$

$$M_5 = 12.89 \text{ kg} \cdot \text{dt}^2/\text{cm}$$

$$M_6 = 8.57 \text{ kg} \cdot \text{dt}^2/\text{cm}$$

$$M_7 = 2.69 \text{ kg} \cdot \text{dt}^2/\text{cm}$$

Label 6.13 Hasil perhitungan $G_{\max}$ tanah Tawang tanpa Massa Bangunan

Z	PI	Ko	k	$\bar{\sigma}_1$ (gr/cm ²)	$\bar{\sigma}_2 = \bar{\sigma}_3$ (gr/cm ²)	$\bar{\sigma}_0$ (gr/cm ²)	G _{max} (gr/cm ²)
0	0.916	22.37	0.5566	0.194	0	0	0
-3	0.916	22.37	0.5566	0.194	5.28	2.9388	3.7192
-3	1.154	34.11	0.6388	0.265	5.28	3.37271	4.0085
-6.8	1.154	34.11	0.6388	0.265	11.535	7.36821	8.7571
-6.8	1.277	44.9	0.7143	0.327	11.535	8.23945	9.338
-10	1.277	44.9	0.7143	0.327	13.745	9.81805	11.127
-10	1.551	56.19	0.7933	0.389	13.745	10.9043	11.851
-16	1.551	56.19	0.7933	0.389	17.387	13.7936	14.991
-16	1.704	35.92	0.6514	0.27552	17.387	11.3266	13.347
-18	1.704	35.92	0.6514	0.27552	18.633	12.1383	14.303
-18	1.562	30.52	0.6136	0.24312	18.633	11.434	13.834
-20	1.562	30.52	0.6136	0.24312	19.949	12.2415	14.811
-20	1.309	33.75	0.6363	0.2625	19.949	12.6926	15.111
-25	1.309	33.75	0.6363	0.2625	23.694	15.0753	17.948

6.5.5 Menghitung regangan geser

Dalam menentukan regangan geser dapat menggunakan persamaan 3.20 seperti yang tercantum dibawah ini

$$\begin{aligned}\gamma &= 0.894 \times 10^{0.548M} \times (\Delta + 30)^{-0.774} \times 10^{-6} \\ &= 0.894 \times 10^{0.548 \times 7.1} \times (9 + 30)^{-0.774} \times 10^{-6} \\ &= 4.0799 \times 10^{-4}\end{aligned}$$

Berdasarkan gambar 3.1 didapat nilai $G/G_{\max}$ untuk :

$$\begin{aligned}\text{Lapisan 1} &= 0.78 & G &= 0.78 \times 538.374 = 419.93172 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{Lapisan 2} &= 0.78 & G &= 0.78 \times 313.026 = 244.1603 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{Lapisan 3} &= 0.78 & G &= 0.78 \times 235.753 = 183.8873 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{Lapisan 4} &= 0.8 & G &= 0.8 \times 314.069 = 251.2552 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

$$\text{Lapisan 5} = 0.8 \quad G = 0.8 \times 442.986 = 354.3888 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 6} = 0.78 \quad G = 0.78 \times 475.855 = 371.1669 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 7} = 0.78 \quad G = 0.78 \times 445.654 = 347.610 \text{ kg/cm}^2$$

6.5.6 Menghitung kekakuan

Untuk menghitung kekakuan lapisan tanah maka dapat dilihat pada persamaan

3.12 pada Bab III.

$$K_1 = \frac{419.93172 \times 100 \times 100}{500} = 8398.6344 \text{ kg/cm.}$$

$$K_2 = \frac{244.1603 \times 100 \times 100}{200} = 12208.014 \text{ kg/cm.}$$

$$K_3 = \frac{183.8873 \times 100 \times 100}{200} = 9194.367 \text{ kg/cm.}$$

$$K_4 = \frac{251.2552 \times 100 \times 100}{600} = 4187.5867 \text{ kg/cm.}$$

$$K_5 = \frac{354.3888 \times 100 \times 100}{325} = 10904.2708 \text{ kg/cm.}$$

$$K_6 = \frac{371.1669 \times 100 \times 100}{375} = 9897.784 \text{ kg/cm.}$$

$$K_7 = \frac{347.610 \times 100 \times 100}{300} = 11587.604 \text{ kg/cm.}$$

6.5.7 Perhitungan lamda dan frekuensi alam.

Data dari data diatas digunakan untuk membuat matriks massa dan matrik kekakuan, kemudian disusun menjadi persamaan eigenproblem. Setelah di masukan

kedalam program komputer maka akan menghasilkan lamda dan frekuensi alam seperti pada tabel 6.14.

Tabel 6.14 Lamda dan Frekuensi Alam Desa Tawang Sari, Sukoharjo

Lapisan	Lamda (λ)	Frekuensi Alam (Φ)(rad/detik)
1	0.0217	5.8107
2	0.1374	14.6256
3	0.4669	26.9584
4	0.6415	31.6014
5	1.1192	41.7405
6	1.5123	48.5212
7	3.8873	77.7909

6.5.8 Perhitungan *mode shape*

Data-data tersebut diatas dipakai untuk menyelesaikan persamaan keseimbangan dan analisis perhitungan seperti langkah-langkah pada sub bab 3.11.

Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 6.15 Hasil perhitungan *mode shape* tanah Desa Tawang Sari Sukoharjo tanpa Massa Bangunan

Mode ke1	Mode ke2	Mode ke3	Mode ke4	Mode ke5	Mode ke6	Mode ke7
1	1	1	1	1	1	1
1.6264	1.2980	0.3630	-0.1326	-1.4883	-2.6041	-9.3442
2.3406	1.0995	-1.0473	-1.3531	0.7569	5.7305	97.9290
3.5433	-0.4240	-0.6239	2.2163	-0.4121	-38.3624	-2407.135
3.8309	-0.8770	0.1989	0.3646	0.1843	76.2007	17838.984
3.9794	-1.1318	0.9171	-2.1496	0.4231	-31.2210	-100442.3
4.0069	-1.1704	1.0377	-2.7095	0.0819	-68.6172	248076.26

6.5.9 Perhitungan *dumping ratio*.

Nilai *dumping ratio* untuk lapisan tanah pada daerah ini dapat digunakan persamaan-persamaan pada tabel 3.2 dan persamaan 3.19 pada Bab III. dengan nilai $\bar{\sigma}_0$ berdasarkan tabel 6.13, nilai f = frekuensi berdasarkan tabel 6.14 sedangkan nilai N berdasarkan gambar 3.2. Hasil perhitungan *dumping ratio* dapat dilihat pada tabel 6.16 berikut ini :

Tabel 6.16 *Dumping ratio* Desa Tawang Sari, Sukoharjo tanpa Massa Bangunan

Lapisan	"Dumping ratio" (%)
1	4.5514
2	4.89177
3	5.12089
4	4.7146
5	4.9422
6	5.6229
7	6.1955

Untuk proses hitungan, nilai yang dipakai adalah *dumping ratio equivalent*.

Untuk menghitung *dumping ratio equivalent* dipakai persamaan

$$D_{eq} = \frac{\sum D_i * h_i}{\sum h_i}$$

$$= 5.07218$$

6.5.10 Perhitungan percepatan maksimum lapisan tanah

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel-tabel tersebut diatas, hasil respon seismik lapisan tanah Tawang Sari, Sukoharjo pada kondisi tanpa massa bangunan untuk gempa Kobe dapat dilihat pada Bab V

6.6 Perhitungan Karakteristik Dinamika Lapisan Tanah Daerah Dalangan Tawang Sari Sukoharjo Dengan Massa Bangunan Di atas Lapisan Tanah Untuk Gempa Miyakii

6.6.1 Menghitung K_0

Nilai K_0 dapat dilihat dengan persamaan 3.1 -3.4 pada Bab III.

$$K_0 \text{ Lapisan 1} = 0.6647$$

$$K_0 \text{ Lapisan 2} = 0.6136$$

$$K_0 \text{ Lapisan 3} = 0.6514$$

$$K_0 \text{ Lapisan 4} = 0.7362$$

$$K_0 \text{ Lapisan 5} = 0.7249$$

$$K_0 \text{ Lapisan 6} = 0.639$$

6.6.2 Menghitung $\bar{\sigma}_0$

Untuk menghitung $\bar{\sigma}_0$ (*effective convining preasure*) dapat menggunakan persamaan 3.14 dan 3.15.

Untuk menghitung $\bar{\sigma}_1$ seperti persamaan di bawah ini :

$$Z = 0 - 3 \text{ m}, \quad \bar{\sigma}_{11} = \frac{P}{(B + Z)(L + Z)} = 11.944 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -3 \text{ m} - 6.75 \text{ m}, \quad \bar{\sigma}_{12} = \gamma_2 \cdot h_2 + \frac{P}{(B + Z)(L + Z)} = 15.56 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -6.75 \text{ m} - 10 \text{ m}, \quad \bar{\sigma}_{13} = \gamma_3 \cdot h_3 + \frac{P}{(B + Z)(L + Z)} = 16.6166 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -10 \text{ m} - 16 \text{ m}, \quad \bar{\sigma}_{14} = \gamma_4 \cdot h_4 + \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} = 17.807 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -16 \text{ m} - 18 \text{ m}, \quad \bar{\sigma}_{15} = \gamma_5 \cdot h_5 + \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} = 18.565 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -18 \text{ m} - 20 \text{ m}, \quad \bar{\sigma}_{16} = \gamma_6 \cdot h_6 + \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} = 19.455 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -20 \text{ m} - 25 \text{ m}, \quad \bar{\sigma}_{17} = \gamma_7 \cdot h_7 + \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} = 22.347 \text{ T/m}^2$$

6.6.3 Menghitung $G_{\max}$

Untuk menghitung nilai $G_{\max}$ untuk tanah kohesif dapat dilihat persamaan

3.13 yaitu

$$G_{\max} = 3310cr^k \frac{(2,973 - e)^2}{(1 + e)} \cdot \sigma_0^{-0.5}$$

Dengan OCR=1 dan nilai k diambil dari tabel 3.1

6.6.4 Menghitung massa

Nilai massa dan kekakuan tiap lapisan tanah dapat dilihat pada persamaan

3.11 pada Bab III. Hasil perhitungan massa dan kekakuan berdasarkan persamaan-

persamaan diatas dapat dilihat di bawah ini :

$$M_1 = M_2 + \frac{0.749 \times 2.5 + 0.658 \times 1}{9.8} = 2.9067 \text{ Tdt}^2 / m = 29.067 \text{ kg} \cdot \text{dt}^2 / cm$$

$$M_2 = M_3 + \frac{0.658 \times 1 + 0.623 \times 1}{9.8} = 2.6485 \text{ Tdt}^2 / m = 26.485 \text{ kg} \cdot \text{dt}^2 / cm$$

$$M_3 = M_4 + \frac{0.623 \times 1 + 0.607 \times 3}{9.8} = 2.5178 \text{ Tdt}^2 / m = 25.178 \text{ kg} \cdot \text{dt}^2 / cm$$

$$M_4 = M_5 + \frac{1.607 \times 3 + 0.68 \times 1.625}{9.8} = 2.2684 T dt^2 / m = 22.684 kg \cdot dt^2 / cm$$

$$M_5 = M_6 + \frac{1.668 \times 1.875 + 0.68 \times 1.625}{9.8} = 1.9698 T dt^2 / m = 19.698 kg \cdot dt^2 / cm$$

$$M_6 = \frac{1.668 \times 1.875 + 11.944}{9.8} = 1.5379 T dt^2 / m = 15.379 kg \cdot dt^2 / cm$$

Tabel 6.17 Hasil perhitungan $G_{\max}$ tanah Tawang dengan Massa Bangunan

Kedalaman (cm)	e	PI (%)	OCR	k_0	k	$\bar{\sigma}_1$ (gr/cm ²)	$\bar{\sigma}_2 = \bar{\sigma}_3$ (gr/cm ²)	$\bar{\sigma}_0$ (gr/cm ²)	Gmax (gr/cm ²)
-3	1.15	34.1	1	0.639	0.265	1.194	0.7629	0.907	484.2
-6.75	1.15	34.1	1	0.639	0.265	1.556	0.9939	1.181	552.67
-6.75	1.28	44.9	1	0.725	0.327	1.556	1.1279	1.271	471.33
-10	1.28	44.9	1	0.725	0.327	1.617	1.1719	1.32	480.42
-10	1.55	56.2	1	0.736	0.389	1.617	1.1901	1.332	302.48
-16	1.55	56.2	1	0.736	0.389	1.781	1.311	1.468	317.38
-16	1.7	35.9	1	0.651	0.276	1.781	1.16	1.367	230.46
-18	1.7	35.9	1	25.54	0.276	1.857	47.422	32.23	235.36
-18	1.56	30.5	1	0.614	0.243	1.857	1.1392	1.378	301.97
-20	1.56	30.5	1	0.614	0.243	1.946	1.1938	1.444	309.12
-20	1.31	33.8	1	0.665	0.263	1.946	1.2932	1.511	487.85
-25	1.31	33.8	1	0.665	0.263	2.235	1.4854	1.735	522.86

6.6.5 Menghitung regangan geser

Dalam menentukan regangan geser dapat menggunakan persamaan 3.20 seperti yang tercantum dibawah ini

$$\begin{aligned}
 \gamma &= 0.894 \times 10^{0.548 \cdot M} \times (\Lambda + 30)^{-0.774} \times 10^{-6} \\
 &= 0.894 \times 10^{0.548 \times 7.4} \times (100 + 30)^{-0.774} \times 10^{-6} \\
 &= 4.915 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan gambar 3.1 didapat nilai $G/G_{\max}$ untuk :

$$\text{Lapisan 1} = 0.69 \quad G = 0.69 \times 522.860 = 360.7734 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 2} = 0.69 \quad G = 0.69 \times 309.123 = 213.2948 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 3} = 0.69 \quad G = 0.69 \times 235.316 = 162.3684 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 4} = 0.76 \quad G = 0.76 \times 317.838 = 241.55688 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 5} = 0.76 \quad G = 0.76 \times 480.419 = 365.1184 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 6} = 0.69 \quad G = 0.69 \times 552.668 = 381.3409 \text{ kg/cm}^2$$

6.6.6 Menghitung kekakuan

Untuk menghitung kekakuan lapisan tanah maka dapat dilihat pada persamaan

3.12 pada Bab III.

$$K_1 = \frac{360.7734 \times 100 \times 100}{500} = 7629.5784 \text{ kg/cm.}$$

$$K_2 = \frac{213.2948 \times 100 \times 100}{200} = 10664.7435 \text{ kg/cm.}$$

$$K_3 = \frac{162.3684 \times 100 \times 100}{200} = 8118.402 \text{ kg/cm.}$$

$$K_4 = \frac{241.55688 \times 100 \times 100}{600} = 4025.948 \text{ kg/cm.}$$

$$K_5 = \frac{365.1184 \times 100 \times 100}{325} = 11234.4135 \text{ kg/cm.}$$

$$K_6 = \frac{381.3409 \times 100 \times 100}{375} = 10169.0912 \text{ kg/cm.}$$

6.6.7 Perhitungan lamda dan frekuensi alam.

Data dari data diatas digunakan untuk membuat matriks massa dan matrik kekakuan, kemudian disusun menjadi persamaan eigenproblem. Setelah di masukan kedalam program komputer maka akan menghasilkan lamda dan frekuensi alam seperti pada tabel 6.18.

Tabel 6.18 Lamda dan Frekuensi Alam Desa Tawang Sari, Sukoharjo

Lapisan	Lamda (λ)	Frekuensi Alam (Φ)(rad/det)
1	0.0830	4.6608
2	0.5666	12.1793
3	1.9225	22.4337
4	2.7537	26.844
5	4.3893	33.8976
6	6.4874	41.2102

6.6.8 Perhitungan *mode shape*

Data-data tersebut diatas dipakai untuk menyelesaikan persamaan keseimbangan dan analisis perhitungan seperti langkah-langkah pada sub bab 3.11.

Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 6.19 Hasil perhitungan *mode shape* tanah Desa Tawang Sari Sukoharjo dengan Massa Bangunan

Mode ke1	Mode ke2	Mode ke3	Mode ke4	Mode ke5	Mode ke6
1	1	1	1	1	1
1.6562	1.3111	0.3437	-0.2493	-1.4164	-2.9133
2.4008	1.0853	-1.0827	-1.3042	0.7187	8.0868
3.5763	-0.3768	-0.5514	2.4483	-1.1406	-55.6203
3.8406	-0.7879	0.1993	0.2294	-0.1223	112.2767
3.9711	-1.0157	0.8344	-2.5422	0.1702	-71.5881

6.6.9 Perhitungan *dumping ratio*.

Nilai *dumping ratio* untuk lapisan tanah pada daerah ini dapat digunakan persamaan-persamaan pada tabel 3.2 dan persamaan 3.19 pada Bab III. Dengan nilai $\bar{\sigma}_0$ berdasarkan tabel 6.17, nilai f = frekuensi berdasarkan tabel 6.18 sedangkan nilai N berdasarkan gambar 3.2. Hasil perhitungan *dumping ratio* dapat dilihat pada tabel 6.20 berikut ini :

Tabel 6.20 *Dumping ratio* Desa Tawang Sari, Sukoharjo dengan Massa Bangunan

Lapisan	<i>Dumping ratio</i> (%)
1	6.362
2	6.794
3	7.3845
4	5.5349
5	5.703
6	7.572

Untuk proses hitungan, nilai yang dipakai adalah *dumping ratio equivalent*.

Untuk menghitung *dumping ratio equivalent* dipakai persamaan

$$D_{eq} = \frac{\sum D_i * h_i}{\sum h_i}$$

$$= 6.3776 \%$$

6.6.10 Perhitungan percepatan maksimum lapisan tanah

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel-tabel tersebut diatas, Hasil respon seismik lapisan tanah Tawang Sari, Sukoharjo pada kondisi terdapat massa bangunan untuk gempa Miyaki dapat dilihat pada Bab V

6.7 Analisis Karakteristik Dinamik Lapisan Tanah Pada Daerah Dalangan Tawang Sari Sukoharjo Tanpa Massa Bangunan Di atas Lapisan Tanah Untuk Gempa Miyaki

6.7.1 Menghitung K_0

Nilai K_0 dapat dilihat dengan persamaan 3.1 - 3.4 pada Bab III.

$$K_0 \text{ Lapisan 1} = 0.6647$$

$$K_0 \text{ Lapisan 2} = 0.6136$$

$$K_0 \text{ Lapisan 3} = 0.6514$$

$$K_0 \text{ Lapisan 4} = 0.7362$$

$$K_0 \text{ Lapisan 5} = 0.7249$$

$$K_0 \text{ Lapisan 6} = 0.639$$

$$K_0 \text{ Lapisan 7} = 0.556$$

6.7.2 Menghitung $\bar{\sigma}_0$

Untuk menghitung $\bar{\sigma}_0$ (*effective convining preasure*) dapat menggunakan persamaan 3.14 dan 3.15.

Untuk menghitung $\bar{\sigma}_1$ seperti persamaan di bawah ini :

$$Z = 0 - 3 \text{ m} \quad \sigma_{11} = 5.28 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -3 \text{ m} - 6.75 \text{ m} \quad \sigma_{12} = 11.535 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -6.75 \text{ m} - 10 \text{ m} \quad \sigma_{13} = 13.745 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -10 \text{ m} - 16 \text{ m} \quad \sigma_{14} = 17.387 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -16 \text{ m} - 18 \text{ m} \quad \sigma_{15} = 18.633 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -18 \text{ m} - 20 \text{ m} \quad \sigma_{16} = 19.949 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -20 \text{ m} - 25 \text{ m} \quad \sigma_{17} = 23.694 \text{ T/m}^2$$

6.7.3 Menghitung $G_{\max}$

Untuk menghitung nilai $G_{\max}$ untuk tanah kohesif dapat dilihat persamaan

3.13 yaitu

$$G_{\max} = 331 \text{ocr}^k \frac{(2,973 - e)^2}{(1 + e)} \cdot \sigma_0^{-0.5}$$

Dengan OCR=1 dan nilai k diambil dari tabel 3.1

6.7.4 Menghitung massa

Nilai massa dan kekakuan tiap lapisan tanah dapat dilihat pada persamaan

3.11 pada Bab III. Hasil perhitungan massa dan kekakuan berdasarkan persamaan-persamaan diatas dapat dilihat di bawah ini :

$$M_1 = 22.256 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$$

$$M_2 = 19.676 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$$

$$M_3 = 18.366 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$$

$$M_4 = 15.876 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$$

$$M_5 = 12.89 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$$

$$M_6 = 8.57 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$$

$$M_7 = 2.69 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$$

Tabel 6.21 Hasil perhitungan $G_{\max}$ tanah Tawang tanpa Massa Bangunan

Z	e	PI	Ko	k	$\bar{\sigma}_1$ (gr/cm ²)	$\bar{\sigma}_2 = \bar{\sigma}_3$ (gr/cm ²)	$\bar{\sigma}_0$ (gr/cm ²)	Gmax (gr/cm ²)
0	0.916	22.37	0.5566	0.194	0	0	0	0
-3	0.916	22.37	0.5566	0.194	5.28	2.9388	3.7192	445.654
-3	1.154	34.11	0.6388	0.265	5.28	3.37271	4.0085	321.933
-6.8	1.154	34.11	0.6388	0.265	11.535	7.36821	8.7571	475.855
-6.8	1.277	44.9	0.7143	0.327	11.535	8.23945	9.338	405.822
-10	1.277	44.9	0.7143	0.327	13.745	9.81805	11.127	442.986
-10	1.551	56.19	0.7933	0.389	13.745	10.9043	11.851	279.25
-16	1.551	56.19	0.7933	0.389	17.387	13.7936	14.991	314.069
-16	1.704	35.92	0.6514	0.27552	17.387	11.3266	13.347	227.73
-18	1.704	35.92	0.6514	0.27552	18.633	12.1383	14.303	235.753
-18	1.562	30.52	0.6136	0.24312	18.633	11.434	13.834	302.525
-20	1.562	30.52	0.6136	0.24312	19.949	12.2415	14.811	313.026
-20	1.309	33.75	0.6363	0.2625	19.949	12.6926	15.111	494.006
-25	1.309	33.75	0.6363	0.2625	23.694	15.0753	17.948	538.374

6.7.5 Menghitung regangan geser

Dalam menentukan regangan geser dapat menggunakan persamaan 3.20 seperti yang tercantum dibawah ini

$$\begin{aligned}
 \gamma &= 0.894 \times 10^{0.548A_f} \times (\Delta + 30)^{-0.774} \times 10^{-6} \\
 &= 0.894 \times 10^{0.548 \times 7.4} \times (100 + 30)^{-0.774} \times 10^{-6} \\
 &= 4.915 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan gambar 3.10 didapat nilai $G/G_{\max}$ untuk :

$$\text{Lapisan 1} = 0.69 \quad G = 0.69 \times 538.374 = 371.47806$$

$$\text{Lapisan 2} = 0.69 \quad G = 0.69 \times 313.026 = 215.9879$$

$$\text{Lapisan 3} = 0.69 \quad G = 0.69 \times 235.753 = 162.6696$$

$$\text{Lapisan 4} = 0.76 \quad G = 0.76 \times 314.069 = 238.6924$$

$$\text{Lapisan 5} = 0.76 \quad G = 0.76 \times 442.986 = 336.6694$$

$$\text{Lapisan 6} = 0.69 \quad G = 0.69 \times 475.855 = 328.3395$$

$$\text{Lapisan 7} = 0.69 \quad G = 0.69 \times 445.654 = 307.5012$$

6.7.6 Menghitung kekakuan

Untuk menghitung kekakuan lapisan tanah maka dapat dilihat pada persamaan 3.12 pada Bab III.

$$K_1 = \frac{371.47806 \times 100 \times 100}{500} = 7429.5612 \quad \text{kg/cm.}$$

$$K_2 = \frac{215.9879 \times 100 \times 100}{200} = 10799.397 \quad \text{kg/cm.}$$

$$K_3 = \frac{162.6696 \times 100 \times 100}{200} = 8133.4785 \quad \text{kg/cm.}$$

$$K_4 = \frac{238.6924 \times 100 \times 100}{600} = 3978.2073 \quad \text{kg/cm.}$$

$$K_5 = \frac{336.6694 \times 100 \times 100}{325} = 10359.6573 \quad \text{kg/cm.}$$

$$K_6 = \frac{328.3395 \times 100 \times 100}{375} = 8755.732 \quad \text{kg/cm.}$$

$$K_7 = \frac{307.5012 \times 100 \times 100}{300} = 10250.042 \quad \text{kg/cm.}$$

6.7.7 Perhitungan lamda dan frekuensi alam.

Data dari data diatas digunakan untuk membuat matriks massa dan matrik kekakuan, kemudian disusun menjadi persamaan eigenproblem. Setelah di masukan

kedalam program komputer maka akan menghasilkan lamda dan frekuensi alam seperti pada tabel 6.22.

Tabel 6.22 Lamda dan Frekuensi Alam Desa Tawang Sari, Sukoharjo

Lapisan	Lamda (λ)	Frekuensi Alam (Φ)(rad/det)
1	0.0206	5.519
2	0.1327	14.0111
3	0.4407	25.5296
4	0.6162	30.1872
5	1.0440	39.2935
6	1.4652	46.5491
7	3.6205	73.1729

6.7.8 Perhitungan *mode shape*

Data-data tersebut diatas dipakai untuk menyelesaikan persamaan keseimbangan dan analisis perhitungan seperti langkah-langkah pada sub bab 3.11.

Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 6.23 Hasil perhitungan *mode shape* tanah Desa Tawang Sari Sukoharjo tanpa Massa Bangunan

Mode ke1	Mode ke2	Mode ke3	Mode ke4	Mode ke5	Mode ke6	Mode ke7
1	1	1	1	1	1	1
1.6252	1.2834	0.3448	-0.1900	-1.4940	-2.7775	-9.3464
2.3355	1.0502	-1.0688	-1.3512	0.7747	6.7661	97.9775
3.4594	-0.3784	-0.7429	1.9593	-0.1091	-41.4065	-2104.485
3.7296	-0.8131	0.1243	0.4944	-0.1903	77.5897	14317.75
3.8819	-1.0925	1.0311	-1.9021	0.1462	-29.1225	-79110.60
3.9132	-1.1519	1.2438	-2.5000	0.2449	-67.5174	195234.1

6.7.9 Perhitungan *dumping ratio*.

Nilai *dumping ratio* untuk lapisan tanah pada daerah ini dapat digunakan persamaan-persamaan pada tabel 3.2 dan persamaan 3.19 pada Bab III.

dengan nilai $\bar{\sigma}_0$ berdasarkan tabel 6.21, nilai f = frekuensi berdasarkan tabel 6.22 sedangkan nilai N berdasarkan gambar 3.2. Hasil perhitungan *dumping ratio* dapat dilihat pada tabel 6.24 berikut ini :

Tabel 6.24 *Dumping ratio* Desa Tawang Sari, Sukoharjo tanpa Massa Bangunan

Lapisan	<i>Dumping ratio</i> (%)
1	6.3534
2	6.83
3	7.14
4	5.60
5	5.8634
6	7.8473
7	8.6273

Untuk proses hitungan, nilai yang dipakai adalah *dumping ratio equivalent*.

Untuk menghitung *dumping ratio equivalent* dipakai persamaan

$$D_{eq} = \frac{\sum D_i * h_i}{\sum h_i}$$

$$= 6.7068 \%$$

6.7.10 Perhitungan percepatan maksimum lapisan tanah

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel-tabel tersebut diatas, Hasil respon seismik lapisan tanah Tawang Sari, Sukoharjo pada kondisi tanpa massa bangunan untuk gempa Miyaki dapat dilihat pada Bab V

6.8 Perhitungan Karakteristik Dinamika Lapisan Tanah Daerah Dalangan Tawangsari Sukoharjo Dengan Massa Bangunan Di atas Lapisan Tanah Untuk Gempa El Centro

6.8.1. Menghitung K_o

Nilai K_o dapat dilihat dengan persamaan 3.1 - 3.4 pada Bab III.

$$K_o \text{ Lapisan 1} = 0.6647$$

$$K_o \text{ Lapisan 2} = 0.6136$$

$$K_o \text{ Lapisan 3} = 0.6514$$

$$K_o \text{ Lapisan 4} = 0.7362$$

$$K_o \text{ Lapisan 5} = 0.7249$$

$$K_o \text{ Lapisan 6} = 0.639$$

6.8.2 Menghitung $\bar{\sigma}_0$

Untuk menghitung $\bar{\sigma}_0$ (*effective convining preasure*) dapat menggunakan persamaan 3.14 dan 3.15.

Untuk menghitung $\bar{\sigma}_i$ seperti persamaan di bawah ini :

$$Z = 0 - 3 \text{ m}, \quad \bar{\sigma}_{11} = \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} = 11.944 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -3 \text{ m} - 6.75 \text{ m}, \quad \bar{\sigma}_{12} = \gamma_2 \cdot h_2 + \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} = 15.56 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -6.75 \text{ m} - 10 \text{ m}, \quad \bar{\sigma}_{13} = \gamma_3 \cdot h_3 + \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} = 16.6166 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -10 \text{ m} - 16 \text{ m}, \quad \bar{\sigma}_{14} = \gamma_4 \cdot h_4 + \frac{P}{(B + Z)(L + Z)} = 17.807 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -16 \text{ m} - 18 \text{ m}, \quad \bar{\sigma}_{15} = \gamma_5 \cdot h_5 + \frac{P}{(B + Z)(L + Z)} = 18.565 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -18 \text{ m} - 20 \text{ m}, \quad \bar{\sigma}_{16} = \gamma_6 \cdot h_6 + \frac{P}{(B + Z)(L + Z)} = 19.455 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -20 \text{ m} - 25 \text{ m}, \quad \bar{\sigma}_{17} = \gamma_7 \cdot h_7 + \frac{P}{(B + Z)(L + Z)} = 22.347 \text{ T/m}^2$$

6.8.3 Menghitung $G_{\max}$

Untuk menghitung nilai $G_{\max}$ untuk tanah kohesif dapat dilihat persamaan 3.13 yaitu

$$G_{\max} = 3310c^k \frac{(2,973 - e)^2}{(1 + e)} \cdot \sigma_0^{-0.5}$$

Dengan $\text{OCR}=1$ dan nilai k diambil dari tabel 3.1

6.8.4 Menghitung massa

Nilai massa dan kekakuan tiap lapisan tanah dapat dilihat pada persamaan 3.11 pada Bab III. Hasil perhitungan massa dan kekakuan berdasarkan persamaan-persamaan diatas dapat dilihat di bawah ini :

$$M_1 = M_2 + \frac{0.749 \times 2.5 + 0.658 \times 1}{9.8} = 2.9067 \text{ Tdt}^2 / m = 29.067 \text{ kg} \cdot \text{dt}^2 / cm$$

$$M_2 = M_3 + \frac{0.658 \times 1 + 0.623 \times 1}{9.8} = 2.6485 \text{ Tdt}^2 / m = 26.485 \text{ kg} \cdot \text{dt}^2 / cm$$

$$M_3 = M_4 + \frac{0.623 \times 1 + 0.607 \times 3}{9.8} = 2.5178 \text{ Tdt}^2 / m = 25.178 \text{ kg} \cdot \text{dt}^2 / cm$$

$$M_4 = M_5 + \frac{1.607 \times 3 + 0.68 \times 1.625}{9.8} = 2.2684 T dt^2 / m = 22.684 kg \cdot dt^2 / cm$$

$$M_5 = M_6 + \frac{1.668 \times 1.875 + 0.68 \times 1.625}{9.8} = 1.9698 T dt^2 / m = 19.698 kg \cdot dt^2 / cm$$

$$M_6 = \frac{1.668 \times 1.875 + 11.944}{9.8} = 1.5379 T dt^2 / m = 15.379 kg \cdot dt^2 / cm$$

Tabel 6.25 Hasil perhitungan $G_{\max}$ tanah Tawang dengan Massa Bangunan

Kedalaman (cm)	e	PI (%)	OCR	k_0	k	$\bar{\sigma}_1$ (gr/cm ²)	$\bar{\sigma}_2 = \bar{\sigma}_3$ (gr/cm ²)	$\bar{\sigma}_0$ (gr/cm ²)	$G_{\max}$ (gr/cm ²)
-3	1.15	34.1	1	0.639	0.265	1.194	0.7629	0.907	484.2
-6.75	1.15	34.1	1	0.639	0.265	1.556	0.9939	1.181	552.67
-6.75	1.28	44.9	1	0.725	0.327	1.556	1.1279	1.271	471.33
-10	1.28	44.9	1	0.725	0.327	1.617	1.1719	1.32	480.42
-10	1.55	56.2	1	0.736	0.389	1.617	1.1901	1.332	302.48
-16	1.55	56.2	1	0.736	0.389	1.781	1.311	1.468	317.38
-16	1.7	35.9	1	0.651	0.276	1.781	1.16	1.367	230.46
-18	1.7	35.9	1	25.54	0.276	1.857	47.422	32.23	235.36
-18	1.56	30.5	1	0.614	0.243	1.857	1.1392	1.378	301.97
-20	1.56	30.5	1	0.614	0.243	1.946	1.1938	1.444	309.12
-20	1.31	33.8	1	0.665	0.263	1.946	1.2932	1.511	487.85
-25	1.31	33.8	1	0.665	0.263	2.235	1.4854	1.735	522.86

6.8.5 Menghitung regangan geser

Dalam menentukan regangan geser dapat menggunakan persamaan 3.20 seperti yang tercantum dibawah ini

$$\begin{aligned}
 \gamma &= 0.894 \times 10^{0.548M} \times (\Delta + 30)^{-0.774} \times 10^{-6} \\
 &= 0.894 \times 10^{0.548 \times 7.1} \times (9 + 30)^{-0.774} \times 10^{-6} \\
 &= 4.0799 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan gambar 3.1 didapat nilai $G/G_{\max}$ untuk :

$$\text{Lapisan 1} = 0.78 \quad G = 0.78 \times 522.860 = 407.8308 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 2} = 0.78 \quad G = 0.78 \times 309.123 = 241.1159 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 3} = 0.78 \quad G = 0.78 \times 235.316 = 183.5465 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 4} = 0.8 \quad G = 0.8 \times 317.838 = 254.2704 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 5} = 0.8 \quad G = 0.8 \times 480.419 = 384.3352 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 6} = 0.78 \quad G = 0.78 \times 552.668 = 431.081 \text{ kg/cm}^2$$

6.8.6 Menghitung kekakuan

Untuk menghitung kekakuan lapisan tanah maka dapat dilihat pada persamaan 3.12 pada Bab III.

$$K_1 = \frac{407.8308 \times 100 \times 100}{500} = 8624.616 \text{ kg/cm.}$$

$$K_2 = \frac{241.1159 \times 100 \times 100}{200} = 12055.797 \text{ kg/cm.}$$

$$K_3 = \frac{183.5465 \times 100 \times 100}{200} = 9177.324 \text{ kg/cm.}$$

$$K_4 = \frac{254.2704 \times 100 \times 100}{600} = 4237.84 \text{ kg/cm.}$$

$$K_5 = \frac{384.3352 \times 100 \times 100}{325} = 11825.6985 \text{ kg/cm.}$$

$$K_6 = \frac{431.081 \times 100 \times 100}{375} = 14369.37 \text{ kg/cm.}$$

6.8.7 Perhitungan lamda dan frekuensi alam.

Data dari data diatas digunakan untuk membuat matriks massa dan matrik kekakuan, kemudian disusun menjadi persamaan eigenproblem. Setelah di masukan kedalam program komputer maka akan menghasilkan lamda dan frekuensi alam seperti pada tabel 6.26.

Tabel 6.26 Lamda dan Frekuensi Alam Desa Tawang Sari, Sukoharjo

Lapisan	Lamda (λ)	Frekuensi Alam (Φ)(rad/detik)
1	0.0875	4.9094
2	0.5891	12.7405
3	2.0720	23.8949
4	3.0371	28.9293
5	4.7110	36.0300
6	7.7151	46.1082

6.8.8 Perhitungan *mode shape*

Data-data tersebut diatas dipakai untuk menyelesaikan persamaan keseimbangan dan analisis perhitungan seperti langkah-langkah pada sub bab 3.11.

Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 6.27 Hasil perhitungan *mode shape* tanah Desa Tawang Sari Sukoharjo dengan Massa Bangunan

Mode ke1	Mode ke2	Mode ke3	Mode ke4	Mode ke5	Mode ke6
1	1	1	1	1	1
1.6573	1.3240	0.3388	-0.3024	-1.4145	-3.4104
2.4054	1.1295	-1.0881	-1.2829	0.7130	11.7199
3.6812	-0.3811	-0.4870	2.9727	-0.1788	-103.5469
3.9682	-0.8038	0.2618	-0.2745	-0.0532	277.4124
4.0732	-0.9728	0.6731	-2.6320	0.1448	-217.5409

6.8.9 Perhitungan *dumping ratio*.

Nilai *dumping ratio* untuk lapisan tanah pada daerah ini dapat digunakan persamaan-persamaan pada tabel 3.2 dan persamaan 3.19 pada Bab III. Dengan nilai $\bar{\sigma}_0$ berdasarkan tabel 6.25, nilai f = frekuensi berdasarkan tabel 6.26 sedangkan nilai N berdasarkan gambar 3.2. Hasil perhitungan “*dumping ratio*” dapat dilihat pada tabel 6.28 berikut ini :

Tabel 6.28 *Dumping ratio* Desa Tawang Sari, Sukoharjo dengan Massa Bangunan

Lapisan	<i>Dumping ratio</i> (%)
1	4.55576
2	4.86587
3	5.07606
4	4.6691
5	4.8064
6	5.46293

Untuk proses hitungan, nilai yang dipakai adalah *dumping ratio equivalent*.

Untuk menghitung *dumping ratio equivalent* dipakai persamaan

$$D_{eq} = \frac{\sum D_i * h_i}{\sum h_i}$$

$$= 4.8538 \%$$

6.8.10 Perhitungan percepatan maksimum lapisan tanah

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel-tabel tersebut diatas, Hasil respon seismik lapisan tanah Tawang Sari, Sukoharjo pada kondisi terdapat massa bangunan untuk gempa El Centro dapat dilihat pada Bab V

6.9 Analisis Karakteristik Dinamik Lapisan Tanah Pada Daerah Dalangan Tawangsari Sukoharjo Tanpa Massa Bangunan Di atas Lapisan Tanah Untuk Gempa El Centro

6.9.1. Menghitung K_0

Nilai K_0 dapat dilihat dengan persamaan 3.1 – 3.4 pada Bab III.

$$K_0 \text{ Lapisan 1} = 0.6647$$

$$K_0 \text{ Lapisan 2} = 0.6136$$

$$K_0 \text{ Lapisan 3} = 0.6514$$

$$K_0 \text{ Lapisan 4} = 0.7362$$

$$K_0 \text{ Lapisan 5} = 0.7249$$

$$K_0 \text{ Lapisan 6} = 0.639$$

$$K_0 \text{ Lapisan 7} = 0.556$$

6.9.2 Menghitung $\bar{\sigma}_0$

Untuk menghitung $\bar{\sigma}_0$ (*effective convining preasure*) dapat menggunakan persamaan 3.14 dan 3.15.

Untuk menghitung $\bar{\sigma}_1$ seperti persamaan di bawah ini :

$$Z = 0 - 3 \text{ m} \quad \sigma_{11} = 5.28 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -3 \text{ m} - 6.75 \text{ m} \quad \sigma_{12} = 11.535 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -6.75 \text{ m} - 10 \text{ m} \quad \sigma_{13} = 13.745 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -10 \text{ m} - 16 \text{ m} \quad \sigma_{14} = 17.387 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -16 \text{ m} - 18 \text{ m} \quad \sigma_{15} = 18.633 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -18 \text{ m} - 20 \text{ m} \quad \sigma_{16} = 19.949 \text{ T/m}^2$$

$$Z = -20 \text{ m} - 25 \text{ m} \quad \sigma_{17} = 23.694 \text{ T/m}^2$$

6.9.3 Menghitung $G_{\max}$

Untuk menghitung nilai $G_{\max}$ untuk tanah kohesif dapat dilihat persamaan 3.11 yaitu

$$G_{\max} = 331ocr^k \frac{(2,973 - e)^2}{(1 + e)} \cdot \sigma_0^{-0.5}$$

Dengan OCR=1 dan nilai k diambil dari tabel 3.1

6.9.4 Menghitung massa

Nilai massa dan kekakuan tiap lapisan tanah dapat dilihat pada persamaan 3.11 pada Bab III. Hasil perhitungan massa dan kekakuan berdasarkan persamaan-persamaan diatas dapat dilihat di bawah ini :

$$M_1 = 22.256 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$$

$$M_2 = 19.676 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$$

$$M_3 = 18.366 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$$

$$M_4 = 15.876 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$$

$$M_5 = 12.89 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$$

$$M_6 = 8.57 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$$

$$M_7 = 2.69 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$$

Tabel 6.29 Hasil perhitungan $G_{\max}$ tanah Tawang tanpa Massa Bangunan

Z	e	PI	Ko	k	$\bar{\sigma}_1$ (gr/cm ²)	$\bar{\sigma}_2 = \bar{\sigma}_3$ (gr/cm ²)	$\bar{\sigma}_0$ (gr/cm ²)	Gmax (gr/cm ²)
0	0.916	22.37	0.5566	0.194	0	0	0	0
-3	0.916	22.37	0.5566	0.194	5.28	2.9388	3.7192	445.654
-3	1.154	34.11	0.6388	0.265	5.28	3.37271	4.0085	321.933
-6.8	1.154	34.11	0.6388	0.265	11.535	7.36821	8.7571	475.855
-6.8	1.277	44.9	0.7143	0.327	11.535	8.23945	9.338	405.822
-10	1.277	44.9	0.7143	0.327	13.745	9.81805	11.127	442.986
-10	1.551	56.19	0.7933	0.389	13.745	10.9043	11.851	279.25
-16	1.551	56.19	0.7933	0.389	17.387	13.7936	14.991	314.069
-16	1.704	35.92	0.6514	0.27552	17.387	11.3266	13.347	227.73
-18	1.704	35.92	0.6514	0.27552	18.633	12.1383	14.303	235.753
-18	1.562	30.52	0.6136	0.24312	18.633	11.434	13.834	302.525
-20	1.562	30.52	0.6136	0.24312	19.949	12.2415	14.811	313.026
-20	1.309	33.75	0.6363	0.2625	19.949	12.6926	15.111	494.006
-25	1.309	33.75	0.6363	0.2625	23.694	15.0753	17.948	538.374

6.9.5 Menghitung regangan geser

Dalam menentukan regangan geser dapat menggunakan persamaan 3.20 seperti yang tercantum dibawah ini

$$\begin{aligned}\gamma &= 0.894 \times 10^{0.548M} \times (\Delta + 30)^{-0.774} \times 10^{-6} \\ &= 0.894 \times 10^{0.548 \times 7.1} \times (9 + 30)^{-0.774} \times 10^{-6} \\ &= 4.0799 \times 10^{-4}\end{aligned}$$

Berdasarkan gambar 3.10 didapat nilai $G/G_{\max}$ untuk :

$$\begin{aligned}\text{Lapisan 1} &= 0.78 & G &= 0.78 \times 538.374 = 419.93172 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{Lapisan 2} &= 0.78 & G &= 0.78 \times 313.026 = 244.1603 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{Lapisan 3} &= 0.78 & G &= 0.78 \times 235.753 = 183.8873 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{Lapisan 4} &= 0.8 & G &= 0.8 \times 314.069 = 251.2552 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

$$\text{Lapisan 5} = 0.8 \quad G = 0.8 \times 442.986 = 354.3888 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 6} = 0.78 \quad G = 0.78 \times 475.855 = 371.1669 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan 7} = 0.78 \quad G = 0.78 \times 445.654 = 347.610 \text{ kg/cm}^2$$

6.9.6 Menghitung kekakuan

Untuk menghitung kekakuan lapisan tanah maka dapat dilihat pada persamaan 3.12 pada Bab III.

$$K_1 = \frac{419.93172 \times 100 \times 100}{500} = 8398.6344 \text{ kg/cm.}$$

$$K_2 = \frac{244.1603 \times 100 \times 100}{200} = 12208.014 \text{ kg/cm.}$$

$$K_3 = \frac{183.8873 \times 100 \times 100}{200} = 9194.367 \text{ kg/cm.}$$

$$K_4 = \frac{251.2552 \times 100 \times 100}{600} = 4187.5867 \text{ kg/cm.}$$

$$K_5 = \frac{354.3888 \times 100 \times 100}{325} = 10904.2708 \text{ kg/cm.}$$

$$K_6 = \frac{371.1669 \times 100 \times 100}{375} = 9897.784 \text{ kg/cm.}$$

$$K_7 = \frac{347.610 \times 100 \times 100}{300} = 11587.604 \text{ kg/cm.}$$

6.9.7 Perhitungan lamda dan frekuensi alam.

Data dari data diatas digunakan untuk membuat matriks massa dan matrik kekakuan, kemudian disusun menjadi persamaan eigenproblem. Setelah di masukan

kedalam program komputer maka akan menghasilkan lamda dan frekuensi alam seperti pada tabel 6.30.

Tabel 6.30 Lamda dan Frekuensi Alam Desa Tawang Sari, Sukoharjo

Lapisan	Lamda (λ)	Frekuensi Alam (Φ)(rad/detik)
1	0.0217	5.8107
2	0.1374	14.6256
3	0.4669	26.9584
4	0.6415	31.6014
5	1.1192	41.7405
6	1.5123	48.5212
7	3.8873	77.7909

6.9.8 Perhitungan *mode shape*

Data-data tersebut diatas dipakai untuk menyelesaikan persamaan keseimbangan dan analisis perhitungan seperti langkah-langkah pada sub bab 3.11.

Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 6.31 Hasil perhitungan *mode shape* tanah Desa Tawang Sari Sukoharjo tanpa Massa Bangunan

Mode ke1	Mode ke2	Mode ke3	Mode ke4	Mode ke5	Mode ke6	Mode ke7
1	1	1	1	1	1	1
1.6264	1.2980	0.3630	-0.1326	-1.4883	-2.6041	-9.3442
2.3406	1.0995	-1.0473	-1.3531	0.7569	5.7305	97.9290
3.5433	-0.4240	-0.6239	2.2163	-0.4121	-38.3624	-2407.135
3.8309	-0.8770	0.1989	0.3646	0.1843	76.2007	17838.984
3.9794	-1.1318	0.9171	-2.1496	0.4231	-31.2210	-100442.3
4.0069	-1.1704	1.0377	-2.7095	0.0819	-68.6172	248076.26

6.9.9 Perhitungan *damping ratio*.

Nilai *damping ratio* untuk lapisan tanah pada daerah ini dapat digunakan persamaan-persamaan pada tabel 3.2 dan pada persamaan 3.19 pada Bab III. Dengan

nilai $\bar{\sigma}_0$ berdasarkan tabel 6.29, nilai f = frekuensi berdasarkan tabel 6.30 sedangkan nilai N berdasarkan gambar 3.2. Hasil perhitungan *damping ratio* dapat dilihat pada tabel 6.32 berikut ini :

Tabel 6.32 *Damping ratio* Desa Tawang Sari, Sukoharjo tanpa Massa Bangunan

Lapisan	<i>Damping ratio</i> (%)
1	4.5514
2	4.89177
3	5.12089
4	4.7146
5	4.9422
6	5.6229
7	6.1955

Untuk proses hitungan, nilai yang dipakai adalah *damping ratio equivalent*. Untuk menghitung *damping ratio equivalent* dipakai persamaan

$$D_{eq} = \frac{\sum D_i * h_i}{\sum h_i}$$

$$= 5.07218$$

6.9.10 Perhitungan percepatan maksimum lapisan tanah

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel-tabel tersebut diatas, Hasil respon seismik lapisan tanah Tawang Sari, Sukoharjo pada kondisi tanpa massa bangunan untuk gempa El Centro dapat dilihat pada Bab V.

Analogi untuk lapisan tanah di daerah Dalangan Tawang Sari II dan Jl. Pemuda Semarang. Sedang hasil respon seismik lapisan tanah di dua daerah tersebut dapat dilihat pada Bab V.

BAB VII

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Dari hasil analisis hitungan respon percepatan tanah akibat gempa pada berbagai macam kondisi dan jenis properti tanah dan berbagai macam gempa dapat diambil beberapa kesimpulan dan saran yang akan disampaikan untuk kesinambungan penelitian tugas akhir ini.

VII.1 Kesimpulan

Dari analisis hitungan dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Respon seismik tanah akibat gempa terbesar terjadi pada lapisan tanah di daerah Jl. Pemuda Semarang baik untuk kondisi *free field* maupun untuk kondisi terdapat massa bangunan di atas lapisan tanah.
2. Lapisan tanah di Jl Pemuda Semarang mempunyai nilai frekuensi alam (ω) paling besar jika dibandingkan dua lapisan tanah yang lain untuk beban gempa yang sama.
3. Lapisan tanah di Jl Pemuda Semarang mempunyai nilai periode getaran paling besar jika dibandingkan dua lapisan tanah yang lain untuk beban gempa yang sama.

4. Pada tanah yang sama untuk gempa yang berbeda , gempa Miiyaki mempunyai kekakuan lapisan tanah paling kecil.
5. Amplifikasi yang terjadi pada kondisi free field untuk semua tanah dengan nilai PI antara 17,660 % - 59,54 % , mempunyai kedalaman -25 m & -18,5 m untuk gempa Koyna berkisar antara 37,83 % -49,83 %, sedang amplifikasi pada kondisi terdapat massa bangunan berkisar antara 2,902 % - 24,653 %.
6. Amplifikasi yang terjadi pada kondisi free field untuk semua tanah dengan nilai PI antara 17,660 % - 59,54 % , mempunyai kedalaman -25 m & -18,5 m untuk gempa Kobe berkisar antara 155,494 % -216,0 %, sedang amplifikasi pada kondisi terdapat massa bangunan berkisar antara 73,687 % - 158,0 %.
7. Amplifikasi yang terjadi pada kondisi free field untuk semua tanah dengan nilai PI antara 17,660 % - 59,54 % , mempunyai kedalaman -25 m & -18,5 m untuk gempa Miiyaki berkisar antara 166,224 % - 495,06 %, sedang amplifikasi pada kondisi terdapat massa bangunan berkisar antara 2,902 % - 24,653 %.
8. Amplifikasi yang terjadi pada kondisi free field untuk semua tanah dengan nilai PI antara 17,660 % - 59,54 % , mempunyai kedalaman -25 m & -18,5 m untuk gempa El Centro berkisar antara 43,67 % - 67,63 %, sedang amplifikasi pada kondisi terdapat massa bangunan berkisar antara 30,36 % - 54,87 %.
9. Respon seismik lapisan tanah paling kecil terjadi di Dalangan Tawangsari II karena meskipun mempunyai kedalaman lapisan tanah yang sama dengan tanah di Dalangan Tawangsari I tetapi lapisan tanah di Tawangsari II mempunyai lapisan tanah pasir pada kedalaman -17,0 m – 25,0 m..

VII.2 Rekomendasi

1. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat perlu lebih banyak profil tanah di lapangan yang dipakai dan data gempa yang terjadi.
2. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh kedalaman lapisan tanah atau pengaruh letak base motion pada percepatan gempa yang terjadi di permukaan untuk jenis tanah yang sama (nilai PI sama).
3. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, perlu dilakukan penelitian dengan variasi besarnya massa bangunan.
4. Perlu dilakukan penelitian dan pembahasan lebih lanjut tentang pengaruh tanah lempung pada kondisi *overconsolidation* dan *underconsolidation*.
5. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai pengaruh kandungan frekuensi gempa .
6. Perlunya variasi kedalaman basement bangunan.
7. Perlunya dilakukan penelitian dengan menggunakan model matematis yang berbeda untuk lapisan tanah yang dianalisis.
8. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat perlu adanya variasi data massa bangunan yang dipakai dalam analisis.
9. Untuk penelitian lebih lanjut perlunya diperhitungkan nilai *external damping ratio*.

DAFTAR PUSTAKA

Alpan,I.,1967,"**THE EMPIRICAL EVALUATION OF THE COEFFICIENT K_o AND K_{or}** ," Soil and Foundation (Jap.Soc.Soil Mech.Found.Eng),Vol. VII,No.1p.31(January).

Boussinesq,J.,1885,"**APPLICATION DES POTENTIALS A L'ETUDE DE L'EQUILIBRE ET DU MOUVEMENT DES SOLIDES ELASTIQUES**",Gauthier – Villars, Paris.

Braja M.Das, 1993,"**PRINCIPLES OF SOIL DYNAMICS**", Shouthern Illinois University at Curbandale, PWS-Kent Publishing Company, Boston-United State Of America.

Brooker, Elmer W.,and H.O. Ireland,1965,"**EARTH PRESSURES AT REST RELATED TO STRESS HISTORY**", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 11, No.1 (Feb).

Casagrande,A.,1948,"**CLASSIFICATION AND IDENTIFICATION SOILS**," Trans.ASCE, Vol.113,p.901.

- Chasanuddin, A.M., Girsang, C.H., Najoan, T.F., Rahardjo, P.P., 1999, "**PETA MIKROZONANSI GEMPA KOTA JAKARTA**", Proc. Konferensi Nasional Rekayasa Kegempaan, Bandung.
- Clough, Ray W., dan Joseph Penzien, 1988, "**DINAMIKA STRUKTUR**" (Terjemahan), Jilid satu dan dua, Erlangga, Jakarta.
- Gazetas, G. & Dobry, R., 1986, "**DYNAMIC RESPONSE OF ARBITRARILY SHAPED FOUNDATIONS**", Journal of The Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 112, No. GT2, pp. 109 – 135.
- Hardin, B.O. and Black, W.L., 1968, "**VIBRATION MODULUS OF NORMALLY CONSOLIDATED CLAY**", Proc. ASCE, Vol. 95, SM6, pp. 1531 – 1537.
- Hardin, B.O. and Drnevich, V. P., 1972a "**SHEAR MODULUS AND DAMPING OF SOILS : MEASUREMENT AND PARAMETER EFFECTS**", Proc. ASCE, Vol. 98, SM7, pp. 667 – 692.
- Harry Cristady Hardiyatmo, 1994, "**MEKANIKA TANAH 1 & 2**", PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Jaky, J., 1944, "**THE COEFFICIENT OF EARTH PRESSURE AT REST**", Journal of The Society of Hungarian Architects and Engineers, pp. 355 – 358.
- Joseph E. Bowles, 1986, "**SIFAT-SIFAT FISIS & GEOTEKNIS TANAH (MEKANIKA TANAH)**", (Terjemahan), Erlangga, Jakarta.

- Ken-ichi Tokida, Koh Aizawa, Keiichi Tamura, 1991, "**ATTENUATION CHARACTERISTIC of GROUND STRAINS INDUCED DURING EARTHQUAKE**", Proceedings : Second International Conference on Recent Advances In Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, St. Louis, Missouri.
- Mario Paz, 1990, "**DINAMIKA STRUKTUR TEORI DAN PERHITUNGAN**", (Terjemahan), Erlangga, Jakarta.
- Paulay & Priestley, 1992, "**SEISMIC DESIGN OF REINFORCED CONCRETE AND MASONRY BUILDINGS**", John Wiley & Sons. Inc, United States Of America.
- Robert L. Wiegel, 1970, "**EARTHQUAKE ENGINEERING**". Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliff, N.J.
- Seed & Idriss, 1968, "**SEISMIC RESPONSE OF HORIZONTAL SOIL LAYERS**", Journal of The Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol.94, No. SM4, pp.1003 – 1031.
- Seed, Idriss, Makdisi, Banerjee, 1975, "**REPRESENTATION OF IRREGULAR STRESS – TIME HISTORIES BY EQUIVALENT UNIFORM STRESS SERIES IN LIQUEFACTION OF ANALYSES**", Report No.EERC 75-29, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- Seed & Idriss, 1982, "**GROUND MOTIONS AND SOIL LIQUEFACTION DURING EARTHQUAKES**", Earthquake Engineering Research Institute.

Seed & Idriss, 1986," **SEISMIC RESPONSE OF HORIZONTAL SOIL LAYERS**",Journal of The Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE.

Shunzo Okamoto, 1973," **INTRODUCTION TO EARTHQUAKE ENGINEERING**",University of Tokyo Press.

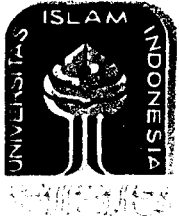
T William Lambe & Robert V. Whitman, 1979, " **SOIL MECHANICS**",
Massachusetts Institute of Technology, John Wiley & Sons

Vucetic & Dobry,1991,"**EFFECT OF PLASTICITY ON CYCLIC RESPONSE**",Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol 117, No.1,pp
89 - 107

Widodo,1995,"**PENGANTAR TEKNIK GEMPA**", Diktat Kuliah (tidak
dipublikasikan). Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia,
Yogyakarta.

Widodo,1995,"**ANALISA DINAMIKA STRUKTUR**" , Diktat Kuliah (tidak
dipublikasikan). Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia,
Yogyakarta.

Y-X.Hu,S-C.Liu & W. Dong ,1996,"**EARTHQUAKE ENGINEERING**",E & FN
SPON.



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

Propose 1 bl
TA 3 bl
Mh

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1.	FARKHAN	95 310 176		TSS
2.	ARIEF NUR RAKHMAN	95310 152		TSG

JUDUL TUGAS AKHIR : ...EFEK MASSA BANGUNAN TERHADAP.....
.....RESPON SEISMIC LAPIS -LAPISAN TANAH.....
.....

Dosen Pembimbing I : IR.WIDODO, MSCE, Ph.D.

Dosen Pembimbing II : DR.IR.H.LUTHFI HASAN, MS



Yogyakarta, .
An. D e k a n, 16 OKT.1999

Ketua Jurusan Teknik Sipil ,

IR. H.TADJUDDIN BM ARIS, MS

```

unit Utama;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  Buttons, ExtCtrls, Menus, ToolWin, ComCtrls, Math, StdCtrls;

Const
  Grafitasi = 9.8;
  L          = 100;
  h          = 100;

type
  TFUtama = class(TForm)
    ControlBar1: TControlBar;
    ToolBar1: TToolBar;
    SMasukkan: TSpeedButton;
    MainMenu1: TMainMenu;
    Masukkan1: TMenuItem;
    Bevel1: TBevel;
    Laporan1: TMenuItem;
    HasilRelativMassaMatrik1: TMenuItem;
    HasilInitialSignproblem1: TMenuItem;
    HasilLamda1: TMenuItem;
    HasilFrekuensiAtom1: TMenuItem;
    Data1: TMenuItem;
    ToolBar2: TToolBar;
    SRMM: TSpeedButton;
    SFA: TSpeedButton;
    sLamda: TSpeedButton;
    SIS: TSpeedButton;
    Tampilani: TMenuItem;
    ToolBar3: TMenuItem;
    ToolBarHasil1: TMenuItem;
    Proses1: TMenuItem;
    SProses: TSpeedButton;
    N1: TMenuItem;
    Keluar1: TMenuItem;
    SKeluar: TSpeedButton;
    StatusBar1: TStatusBar;
    SpeedButton2: TSpeedButton;
    SpeedButton1: TSpeedButton;
    SpeedButton3: TSpeedButton;
    Reset1: TMenuItem;
    Utility1: TMenuItem;
    MsExcell: TMenuItem;
    MsWord1: TMenuItem;
    Kalkulator1: TMenuItem;
    SpeedButton4: TSpeedButton;
    SpeedButton5: TSpeedButton;
    procedure SMasukkanClick(Sender: TObject);
    procedure SKeluarClick(Sender: TObject);
    procedure SProsesClick(Sender: TObject);
    procedure SRMMClick(Sender: TObject);
    procedure ToolBar3Click(Sender: TObject);
    procedure ToolBarHasil1Click(Sender: TObject);
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
    procedure FormPaint(Sender: TObject);
    procedure SISClick(Sender: TObject);
    procedure sLamdaClick(Sender: TObject);
    procedure SFAClick(Sender: TObject);
    procedure SpeedButton2Click(Sender: TObject);
    procedure SpeedButton1Click(Sender: TObject);
    procedure SpeedButton3Click(Sender: TObject);
    procedure Reset1Click(Sender: TObject);
    procedure Kalkulator1Click(Sender: TObject);
    procedure MsExcellClick(Sender: TObject);
    procedure MsWord1Click(Sender: TObject);
    procedure SpeedButton4Click(Sender: TObject);
    procedure SpeedButton5Click(Sender: TObject);
  private
    Background: TBitmap;
    { Private declarations }
  public

```

```

    MassaKe      : Array [1..100] of Extended;
    KekakuanKe   : Array [1..100] of Extended;
    { Public declarations }
end;

var
    FUtama: TFUtama;
    MasaMiray : Array [1..100] of Extended;

implementation

uses Masukkan, LapisanTanahU, HMX, Eigen, Lamda, ModeShape,
    PartisipasiMode, Grafik, GrafikKecepatan, Simpangan, Regangan;

{$R *.res}

procedure TFUtama.SMasukkanClick(Sender: TObject);
begin
    FMasukkan.ShowModal;
end;

procedure TFUtama.SKeluarClick(Sender: TObject);
begin
    Close;
end;

procedure TFUtama.SProsesClick(Sender: TObject);
var Lapisan : Integer;
    Lapis : Integer;
begin
    //prosesnya
    // KI=lapisan massa kel.um
    // KI=lapisan/uk
    Lapisan := FMasukkan.JumlahLapisan;
    For Lapis := 1 to Lapisan do
        Begin
            MassaKe[Lapis]:=(StrToFloat(FLapisanTanah.massa[Lapis]))/FMasukkan.Um;
            KekakuanKe[Lapis]:=(StrToFloat(FLapisanTanah.kekakuan[Lapis]))/FMasukkan.UK;
        End;
    end;

procedure TFUtama.SRMClick(Sender: TObject);
begin
    FMassaMatrik.ShowModal;
end;

procedure TFUtama.ToolBar3Click(Sender: TObject);
begin
    ToolBar1.Visible := not ToolBar1.Visible;
end;

procedure TFUtama.ToolBarHasilClick(Sender: TObject);
begin
    ToolBar2.Visible := not ToolBar2.Visible;
end;

procedure TFUtama.FormCreate(Sender: TObject);
begin
    Background := TBitmap.Create;
    Background.LoadFromFile('c:\IGA\Background1.bmp');
    ToolBar2.Width := 670;
end;

procedure TFUtama.FormPaint(Sender: TObject);
begin
    FUtama.Canvas.Draw(0, 0, Background);
end;

procedure TFUtama.SISClick(Sender: TObject);
begin
    FEigen.ShowModal;
end;

```

```

procedure TFUtama.sLamdaClick(Sender: TObject);
begin
    FLamda.ShowModal;
end;

procedure TFUtama.SPAClick(Sender: TObject);
begin
    FModeShape.ShowModal;
end;

procedure TFUtama.SpeedButton2Click(Sender: TObject);
begin
    FPartisipasiMode.ShowModal;
end;

procedure TFUtama.SpeedButton1Click(Sender: TObject);
begin
    FGrafik.ShowModal;
end;

procedure TFUtama.SpeedButton3Click(Sender: TObject);
begin
    FGrafikKecepatan.ShowModal;
end;

procedure TFUtama.Reset1Click(Sender: TObject);
begin
    WinExec('Tga.Exe', SW_SHOW);
    Close;
end;

procedure TFUtama.Kalkulator1Click(Sender: TObject);
begin
    WinExec('c:\Windows\Calc.exe', SW_SHOW);
end;

procedure TFUtama.MsExcel1Click(Sender: TObject);
begin
    WinExec('c:\Program Files\Microsoft Office\Office\Excel.exe', SW_SHOW);
end;

procedure TFUtama.MsWord1Click(Sender: TObject);
begin
    WinExec('c:\Program Files\Microsoft Office\Office\WinWord.exe', SW_SHOW);
end;

procedure TFUtama.SpeedButton4Click(Sender: TObject);
begin
    FSimpangan.ShowModal;
end;

procedure TFUtama.SpeedButton5Click(Sender: TObject);
begin
    FRegangan.ShowModal;
end;

end.

```

unit Masukkan;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
Buttons, ExtCtrls, StdCtrls, Mask;

type

```
TFMasukkan = class(TForm)
  Label3: TLabel;
  Label4: TLabel;
  Label5: TLabel;
  MaskEdit1: TMaskEdit;
  MaskEdit2: TMaskEdit;
  MaskEdit3: TMaskEdit;
  Bevel1: TBevel;
  BDataMasuk: TBitBtn;
  BBatal: TBitBtn;
  BitBtn1: TBitBtn;
  procedure FormCreate(Sender: TObject);
  procedure MaskEdit1KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
  procedure MaskEdit2KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
  procedure MaskEdit3KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
  procedure BDataMasukClick(Sender: TObject);
  procedure BBatalClick(Sender: TObject);
  procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  Ketebalan,           //Ketebalan Lapisan Tanah
  VTanah,              //Berat Volume Tanah
  Um,                  //Unit Massa
  UK,                  //Unit Kekakuan
  ModulusGeser,        //Modulus Geser
  Viscus,              //Viscus Dumping
  PercepatanGempa : Extended; //Percepatan Gempa
  JumlahLapisan : Integer; //Jumlah Lapisan Tanah
  { Public declarations }
end;
```

var

FMasukkan: TFMasukkan;

implementation

uses LapisanTanahU;

(\$R *.DEM)

procedure TFMasukkan.FormCreate(Sender: TObject);
begin

```
  Ketebalan      := 0;
  VTanah         := 0;
  JumlahLapisan  := 0;
  Um             := 0;
  UK             := 0;
  ModulusGeser   := 0;
  PercepatanGempa := 0;
```

```
  MaskEdit1.Text := '';
  MaskEdit2.Text := '';
  MaskEdit3.Text := '';
```

end;

procedure TFMasukkan.MaskEdit1KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);

begin

```
  If key = #13 Then BitBtn1.SetFocus;
  If key = #27 Then MaskEdit1.Text := '';
```

end;

procedure TFMasukkan.MaskEdit2KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);

begin

```
  If key = #13 Then MaskEdit3.SetFocus;
  If key = #27 Then MaskEdit2.Text := '';
```

end;

```
procedure TFMasukkan.MaskEdit3KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
begin
  If key = #13 Then BDataMasuk.SetFocus;
  If key = #27 Then MaskEdit3.Text := '';
end;
```

```
procedure TFMasukkan.BDataMasukClick(Sender: TObject);
begin
  JumlahLapisan := StrToInt(MaskEdit1.Text);
  Um := StrToFloat(MaskEdit2.Text); unit massa
  UK := StrToFloat(MaskEdit3.Text); unit rekaman

  Close;
end;
```

```
procedure TFMasukkan.BBatalClick(Sender: TObject);
begin
  Close;
end;
```

```
procedure TFMasukkan.BitBtn1Click(Sender: TObject);
begin
  FLapisanTanah.ShowModal;
end;
```

end.

```
unit LapisanTanahU;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls;
```

```
type
```

```
TFLapisanTanah = class(TForm)
```

```
    procedure FormShow(Sender: TObject);
```

```
    procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
```

```
private
```

```
    { Private declarations }
```

```
public
```

```
    Massa      : Array [1..100] of String;
```

```
    Kekakuan   : Array [1..100] of String;
```

```
    { Public declarations }
```

```
end;
```

```
var
```

```
    FLapisanTanah: TFLapisanTanah;
```

```
    Massanya      : Array [1..100] of TEdit;
```

```
    Kakunya       : Array [1..100] of TEdit;
```

```
    labelMassa    : Array [1..100] of TLabel;
```

```
    labelKaku     : Array [1..100] of TLabel;
```

```
    banyak        : Byte;
```

```
implementation
```

```
uses Masukkan;
```

```
{SR *.DEM}
```

```
procedure TFLapisanTanah.FormShow(Sender: TObject);
```

```
var i : Byte;
```

```
begin
```

```
    banyak:=StrToInt(FMasukkan.MaskEdit1.Text);
```

```
    For i := 1 to banyak do massa ke - ?
```

```
    Begin
```

```
        Massanya[i]:=TEdit.Create(self);
```

```
        Massanya[i].Parent := FLapisanTanah;
```

```
        Massanya[i].Left:= 90;
```

```
        Massanya[i].width:= 120;
```

```
        Massanya[i].Height:= 20;
```

```
        Massanya[i].Top := i*(Massanya[i].Height+5);
```

```
    End;
```

```
    For i := 1 to banyak do //kekakuan ke - ?
```

```
    Begin
```

```
        Kakunya[i]:=TEdit.Create(self);
```

```
        Kakunya[i].Parent := FLapisanTanah;
```

```
        Kakunya[i].Left:= 240;
```

```
        Kakunya[i].width:= 120;
```

```
        Kakunya[i].Height:= 20;
```

```
        Kakunya[i].Top := i*(Kakunya[i].Height+5);
```

```
    End;
```

```
    For i := 1 to banyak do //label massa ke - ?
```

```
    Begin
```

```
        LabelMassa[i]:=TLabel.Create(self);
```

```
        LabelMassa[i].Parent := FLapisanTanah;
```

```
        LabelMassa[i].Left:= 20;
```

```
        LabelMassa[i].width:= 30;
```

```
        LabelMassa[i].Height:= 20;
```

```
        LabelMassa[i].Top := i*(LabelMassa[i].Height+5);
```

```
        LabelMassa[i].Caption := 'Massa ke-'+IntToStr(i);
```

```
    End;
```

```
    For i := 1 to banyak do //label kekakuannya
```

```
    Begin
```

```
        LabelKaku[i]:=TLabel.Create(self);
```

```
        LabelKaku[i].Parent := FLapisanTanah;
```

```
        LabelKaku[i].Left:= 250;
```

```
        LabelKaku[i].width:= 20;
```



```

        LabelKaku[i].Height:= 20;
        LabelKaku[i].Top := 1+ LabelKaku[i].Height+50;
        LabelKaku[i].Caption := 'Kekakuan ke-'+IntToStr i ;
    End;
end;

procedure TFLapisanTanah.FormClose(Sender: TObject;
    var Action: TCloseAction ;
    var i : Byte;
begin
    For i := 1 to Banyak do
        Begin
            Massa[i]:=Massanya[i].Text;
            Kekakuan[i]:=Kakunya[i].Text;
        End;

    // If editnya[i].Text <> '' then
    For i := 1 to Banyak do //Jumlah Lapisan Tanah
        Begin
            Massanya[i].Destroy;
            Kakunya[i].Destroy;
            LabelMassa[i].Destroy;
            LabelKaku[i].Destroy;
        End;
    end;

end.

```

```
unit Eigen;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, ExtCtrls;
```

```
type
```

```
TFEigen = class(TForm)  
    Panel1: TPanel;  
    Button1: TButton;  
    Button2: TButton;  
    Label1: TLabel;  
    Label2: TLabel;  
    Button3: TButton;  
    procedure Button2Click(Sender: TObject);  
    procedure Button1Click(Sender: TObject);  
    procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);  
    procedure FormCreate(Sender: TObject);  
    procedure Button3Click(Sender: TObject);  
private  
    { Private declarations }  
public  
    MatrikME : Array [1..100,1..10] of String;  
    ME       : Array [1..100,1..10] of Extended;  
    { Public declarations }  
end;
```

```
var
```

```
MatKolomBaris : Array [0..100,0..100] of String;  
MatKolomBarisMassa : Array [0..100,0..100] of String;  
MatKolomBarisKaku : Array [0..100,0..100] of String;  
  
FEigen: TFEigen;  
MatrikEigen : Array [0..30] of TLabel;  
MatKolomBarisEigen : Array [0..100,0..100] of String;  
ArrayEigen : Integer;  
JumlahKolomBarisEigen : Integer;
```

```
implementation
```

```
Uses HRMM, Utama;
```

```
($R *.DEM)
```

```
procedure TFEigen.Button2Click(Sender: TObject ;  
begin  
    Close;  
end;
```

```
procedure TFEigen.Button1Click(Sender: TObject ;  
var MatKolom, MatBaris : Integer;
```

```
begin
```

```
    ArrayEigen := 0;  
    JumlahKolomBarisEigen := 0;  
    For MatKolom := 1 to FMassaMatrik.Matrik do  
        For MatBaris := 1 to FMassaMatrik.Matrik do  
            Begin  
                Inc(ArrayEigen);  
                Inc(JumlahKolomBarisEigen);  
                MatrikEigen[ArrayEigen] := TLabel.Create(Self);  
                MatrikEigen[ArrayEigen].Parent := FEigen;  
                MatrikEigen[ArrayEigen].Width := 75;  
                MatrikEigen[ArrayEigen].Height := 25;  
                MatrikEigen[ArrayEigen].Top := 10+(MatKolom*15);  
                MatrikEigen[ArrayEigen].Left := 70*MatBaris;
```

```
                //ME[kolom,baris]=K[kolom,baris]/M[kolom,baris]  
                ME[MatKolom,MatBaris]:= FMassaMatrik.RekakuanBesar[MatKolom,MatBaris]/FMassaM  
                MatrikME[MatKolom,MatBaris]:=FormatFloat('###.00000', (ME[MatKolom,MatBaris]))
```

```

    Label1.Caption := '';
    Label1.Top      := 2;
    Label1.Left     := 50;
    Label1.Font.Size := (8 * MatBaris) - 15;

    Label2.Caption := '';
    Label2.Top      := 2;
    Label2.Left     := (MatKolom * 70) + 60;
    Label2.Font.Size := (8 * MatBaris) - 15;

    MatrikEigen[ArrayEigen].Caption := MatrikME[MatKolom, MatBaris];
End;

end;

procedure TFEigen.FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
var i : Integer;
begin
    For i := 1 to JumlahKolomBarisEigen do //matrik eigen
        Begin
            MatrikEigen[ArrayEigen].Destroy;
            Dec(ArrayEigen);
        End;
    Label1.Caption := '';
    Label2.Caption := '';
end;

procedure TFEigen.FormCreate(Sender: TObject);
begin
    Label1.Caption := '';
    Label2.Caption := '';
end;

procedure TFEigen.Button3Click(Sender: TObject);
begin
    Panell.Visible:=False;
    FEigen.Print;
    Panell.Visible:=True;
end;

end.

```

```

unit Lamda;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Buttons, ExtCtrls, Math;

type
  TFLamda = class(TForm)
    Panel1: TPanel;
    BitBtn1: TBitBtn;
    BitBtn2: TBitBtn;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Button1: TButton;
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
    procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
    procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    Viscus : Extended;
    MatrikTrace : Array [0..100,0..100] of Extended;
    MatrikB : Array [0..100,0..100] of Extended;
    HasilDiagonal : Array [0..50] of Extended;
    HasilTrace : Array [0..50] of Extended;
    MatrikHasilTrace : Array [0..100,0..100] of Extended;
    MatrikBMinTrace : Array [0..100,0..100] of Extended;
    Polinomial : Extended; //mencari persamaan polinomial
    LamdaPangkat : Array [0..100] of Extended; //mencari nilai P
    Enya : Extended;
    Unya, Vnya, Bnya, Cnya : Array [0..5000] of Extended;
    DeltaU, DeltaV : Array [0..5000] of Extended; //mencari delta U dan V
    MM, MMBaru, Akar : LongInt; //Massa Matrik
    HasilAkar : Array [0..500] of Extended; //mencari hasil akar
    FrekAlam : Array [1..500] of Extended; //mencari hasil Frekuensi alam
    { Public declarations }
  end;

var
  FLamda: TFLamda;
  TampungHasilAkar : Extended; //penampung hasil akar

implementation

Uses Eigen, HRMM, Masukkan;

($R *.DFM)

procedure TFLamda.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  Label1.Caption := '';
  Label2.Caption := '';
  Label3.Caption := '';
  Viscus := 0;
end;

procedure TFLamda.BitBtn1Click(Sender: TObject);
var MatKolom, MatBaris, bantu : Integer;
    LoopTrace : Integer;
    Poli : Byte;
    Batas : Extended;
    Putaran: LongInt;
    LapTanah : Byte;
    Loop1, Loop2 : Byte;
    Label UBaru, MMBaru, Selesai;

begin
  //FMassaMatrik.Matrik => Jumlah Lapisan Tanah
  For LoopTrace := 1 to FMassaMatrik.Matrik do

```

```

Begin
  If LoopTrace=1 Then
    Begin
      For MatKolom := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
        For MatBaris := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
          MatrikB[MatKolom,MatBaris]:= FEigen.ME[MatKolom,MatBaris];
        trace FI
      For MatKolom := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
        begin
          For MatBaris := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
            Begin
              If MatKolom=MatBaris Then
                Begin
                  HasilDiagonal[LoopTrace]:=HasilDiagonal[LoopTrace]+MatrikB[Ma
                  HasilTrace[LoopTrace]:=HasilDiagonal[LoopTrace];
                End
              End;
            End;
          End;
        End
      Else
        Begin
          //matrik PI
          For MatKolom := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
            For MatBaris := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
              Begin
                If MatKolom=MatBaris Then
                  MatrikTrace[MatKolom,MatBaris]:= HasilTrace[LoopTrace-1]
                Else
                  MatrikTrace[MatKolom,MatBaris]:=0;
                end;
              //Matrik B(n-1) - (P(n-1)*I)
              For MatKolom := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
                For MatBaris := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
                  MatrikBMinTrace[MatKolom,MatBaris]:=-MatrikB[MatKolom,MatBaris]-Ma
              //A((Bn-1)-(P(n-1)*I))
              For MatKolom := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
                For MatBaris := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
                  begin
                    MatrikB[MatKolom,MatBaris]:= 0;
                    For bantu := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
                      MatrikB[MatKolom,MatBaris]:= MatrikB[MatKolom,MatBaris]+(FEige
                  End;
              //trace bn pn
              For MatKolom := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
                For MatBaris := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
                  If MatKolom=MatBaris Then
                    HasilDiagonal[LoopTrace]:=HasilDiagonal[LoopTrace]+MatrikB[MatKo
                    HasilTrace[LoopTrace]:=HasilDiagonal[LoopTrace]/LoopTrace;
                  End;
                End;
              //end of LoopTrace
            End;
          //mencari Persamaan Polinomial
          //pangkat lamda
          Label1.Caption := 'Hasil Polinomial: ';
          For Poli := 0 to FMassaMatrik.Matrik do
            Begin
              If Poli=0 Then
                Begin
                  LamdaPangkat[Poli]:=1;
                End
              Else
                Begin
                  LamdaPangkat[Poli] := (-1)*HasilTrace[Poli];
                End;
              Label1.Caption:=Label1.Caption+(FormatFloat('####.00000', (LamdaPangkat[Poli]))+'
            End;
          //mencari akar persamaan polinomial
          Akar := 0;
          batas := 0.00000000001; //10 digit
          MM := FMassaMatrik.Matrik;

```

```

Repeat
  Begin
MMBaru:
  Putaran := 0;
  Inc(Putaran);
  Unya[Putaran] := LamdaPangkat[MM-1]/LamdaPangkat[MM-2];
  Vnya[Putaran] := LamdaPangkat[MM]/LamdaPangkat[MM-2];

  UBaru:
  For LapTanah := 0 to MM do
    Begin
      If LapTanah = 0 Then Bnya[LapTanah] := 1;
      If LapTanah = 1 Then
        Bnya[LapTanah] := LamdaPangkat[LapTanah]-Unya[Putaran];
      Else
        Bnya[LapTanah] := LamdaPangkat[LapTanah] - (Bnya[LapTanah-1]*Unya[Putaran];
      End;
    For LapTanah := 0 to MM-1 do
      Begin
        If LapTanah = 0 Then Cnya[LapTanah] := 1;
        If LapTanah = 1 Then
          Cnya[LapTanah] := Bnya[LapTanah]-Unya[Putaran];
        Else
          Cnya[LapTanah] := Bnya[LapTanah] - (Cnya[LapTanah-1]*Unya[Putaran]) - (Cnya[
        End;
      //Menghitung Delta U dan Delta V
      DeltaU[Putaran] := ((Bnya[MM]*Cnya[MM-3]) - (Bnya[MM-1]*Cnya[MM-2]) /
        ((Cnya[MM-1]*Cnya[MM-3]) - (Cnya[MM-2]*Cnya[MM-1])));
      DeltaV[Putaran] := ((Cnya[MM-1]*Bnya[MM-1]) - (Cnya[MM-2]*Bnya[MM]) /
        ((Cnya[MM-1]*Cnya[MM-3]) - (Cnya[MM-2]*Cnya[MM-1])));
      If abs(DeltaU[Putaran]+DeltaV[Putaran]) <= Batas Then
        Begin
          //r1,2
          Inc(Akar);
          HasilAkar[Akar] := -(-1*Unya[Putaran]) + (sqrt((Unya[Putaran]*Unya[Putar
          Inc(Akar);
          HasilAkar[Akar] := -(-1*Unya[Putaran]) - 1*(sqrt((Unya[Putaran]*Unya[Put
          MM:=MM-2;
          If MM=0 Then Goto Selesai;
          For LapTanah:= 0 to MM do
            LamdaPangkat[LapTanah] := Bnya[LapTanah];
          If MM>2 Then
            Begin
              Goto MMBaru;
            End;

          If MM=2 Then
            Begin
              Inc(Akar);
              HasilAkar[Akar] := -LamdaPangkat[1] + (sqrt((LamdaPangkat[1]*Lamda
              Inc(Akar);
              HasilAkar[Akar] := -LamdaPangkat[1] - (sqrt((LamdaPangkat[1]*Lamda
            End;

          If MM<2 Then
            Begin
              Inc(Akar);
              HasilAkar[Akar] := -LamdaPangkat[1];
            End;

          //If MM=0 Then Goto Selesai;
        End //end of abs <= batas
      Else
        Begin
          Unya[Putaran+1] := Unya[Putaran]-DeltaU[Putaran];
          Vnya[Putaran+1] := Vnya[Putaran]+DeltaV[Putaran];
          Inc(Putaran);
          Goto UBaru;
        End;
    selesai:
    //Proses sorting
    For Loop1 := 1 to FMassaMatrik.Matrik-1 do
      For Loop2 := 1 to FMassaMatrik.Matrik-Loop1 do
        Begin
          If HasilAkar[Loop2] > HasilAkar[Loop2+1] Then

```

```

        Begin
            TampungHasilAkar := HasilAkar[Loop2];
            HasilAkar[Loop1] := HasilAkar[Loop2+1];
            HasilAkar[Loop2-1] := TampungHasilAkar;
        End; //end if
    End; //end loop2

    //Menampilkan hasil lamda
    Label2.Caption := 'Hasil Lamda: ';
    For Loop1 := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
        Label2.Caption := Label2.Caption+FormatFloat('####.00000',HasilAkar[Loop1])+','
    End;
    Until Enya <= Batas;

    //Mencari hasil frekuensi alam
    Label3.Caption := 'Hasil Frekuensi Alam: ';
    For LapTanah := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
        Begin
            FrekAlam[LapTanah] := Sqrt((HasilAkar[LapTanah]*FMasukkan.Uk) / FMasukkan.Um);
            Label3.Caption := Label3.Caption+FormatFloat('####.00000',FrekAlam[LapTanah])+','
        End;
    end;

    procedure TFLamda.BitBtn2Click(Sender: TObject);
    begin
        Close;
    end;

    procedure TFLamda.FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
    var Viscusnya : String;
        Isi : Boolean;
    begin
        Repeat
            Isi := InputQuery('Nilai Dumping Ratio','Masukkan nilai Dumping Ratio',Viscusnya);
            If (Isi) and (Viscusnya<>'') Then
                Viscus := StrToFloat(Viscusnya);
            Until Viscusnya<>'';
        end;

    procedure TFLamda.Button1Click(Sender: TObject);
    begin
        Panel1.Visible := False;
        FLamda.Print;
        Panel1.Visible := True;
    end;

end.

```

unit HRMM;

interface

uses
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, Buttons, ExtCtrls;

type

TFMassaMatrik = class(TForm)
Label1: TLabel;
Label2: TLabel;
Panel1: TPanel;
SpeedButton1: TSpeedButton;
SpeedButton2: TSpeedButton;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
Label7: TLabel;
Label8: TLabel;
Label9: TLabel;
procedure SpeedButton1Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton2Click(Sender: TObject);
procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
public
Matrik : Integer;
MatKolomBaris : Array [0..100,0..100] of String;
MatKolomBarisMassa : Array [0..100,0..100] of String;
MatKolomBarisKaku : Array [0..100,0..100] of String;
KekakuanBesar : Array [0..100,0..100] of Extended;
MassaBesar : Array [0..100,0..100] of Extended;
{ Public declarations }
end;

var

TFMassaMatrik : TFMassaMatrik;
Matriknya : Array [1..300] of TLabel;
Kakunya : Array [1..30] of TLabel;
MatrikKekakuan: Array [1..300] of TLabel;
HitMatrikKekakuan: Array [1..300] of TLabel;
Tetanya : Array [1..30] of TLabel;
JumlahKolomBaris, ArrayMatrik, JumlahKaku, ArrayKaku : Integer;
JumlahKolomBarisKekakuan, ArrayKekakuan, HitJumlahKolomBarisKekakuan, HitArrayKekakuan :
JumlahTeta, ArrayTeta : Integer;

implementation

Uses Masukkan, utama;

(\$R *.DPR)

procedure TFMassaMatrik.SpeedButton1Click(Sender: TObject);
begin
Close;
end;

procedure TFMassaMatrik.SpeedButton2Click(Sender: TObject);
var MatKolom, MatBaris : Integer;
Kaku : Integer;
Tinggi, ParoTinggi : Integer;
Teta : Integer;

begin
hasil
ArrayMatrik := 0; JumlahKolomBaris:=0; ArrayKaku := 0; JumlahKaku := 0;
Matrik := FMasukkan.JumlahLapisan;
Matrik massa
For MatKolom := 1 to Matrik do
For MatBaris := 1 to Matrik do
Begin


```

Inc(ArrayMatrik);
Inc(JumlahKolomBaris);
Matriknya[ArrayMatrik] := TLabel.Create(Self);
Matriknya[ArrayMatrik].Parent := FMassaMatrik;
Matriknya[ArrayMatrik].Width := 75;
Matriknya[ArrayMatrik].Height := 25;
Matriknya[ArrayMatrik].Top := 10 + (MatKolom*15);
Matriknya[ArrayMatrik].Left := 20 + (MatBaris*50);

If MatKolom <> MatBaris Then MatKolomBaris[MatKolom,MatBaris]:='0'
Else
  Begin
    MatKolomBaris[MatKolom,MatBaris]:= FormatFloat('###.00000', (FLabel1.MassaKecil[M
    MassaBesar[MatKolom,MatBaris]:=StrToFloat(MatKolomBaris[MatKolom,MatBaris]);
  End;

Label1.Caption := '';
Label1.Top := 2;
Label1.Left := 40;
Label1.Font.Size := (6 * MatBaris) + 15;

Label2.Caption := '';
Label2.Top := 2;
Label2.Left := Matriknya[ArrayMatrik].Left+40; // (MatKolom * 70) - 50;
Label2.Font.Size := (6 * MatBaris) + 15;

MatKolomBarisMassa[MatKolom,MatBaris]:=MatKolomBaris[MatKolom,MatBaris];
Matriknya[ArrayMatrik].Caption := MatKolomBaris[MatKolom,MatBaris];
End;
//Matrik Ye
For Kaku := 1 to Matrik do
  Begin
    Inc(ArrayKaku);
    Inc(JumlahKaku);
    Kakunya[ArrayKaku] := TLabel.Create(Self);
    Kakunya[ArrayKaku].Parent := FMassaMatrik;
    Kakunya[ArrayKaku].Width := 75;
    Kakunya[ArrayKaku].Height := 25;
    Kakunya[ArrayKaku].Top := 10 + (Kaku*15);
    Kakunya[ArrayKaku].Left := (Label1.Left+Label2.Width)+30;
    Kakunya[ArrayKaku].Caption:= 'Y'+IntToStr(Kaku);

    Label3.Caption := '';
    Label3.Top := 2;
    Label3.Left := (Label2.Left-Label2.Width)+10;
    Label3.Font.Size := (6 * Kaku) + 15;

    Label4.Caption := '';
    Label4.Top := 2;
    Label4.Left := (Label3.Left-Label3.Width)+30;
    Label4.Font.Size := (6 * Kaku) + 15;

    Label5.Caption := '+';
    Tinggi := Label4.Height div 2;
    ParoTinggi := Tinggi div 2;
    Label5.Top := (Tinggi - ParoTinggi)-5;
    Label5.Left := (Label4.Left-Label4.Width)+5;
    Label5.Font.Size := (6 * Kaku) + 15;
  End;

//matrik kekakuan
For MatKolom := 1 to Matrik do
  For MatBaris := 1 to Matrik do
    Begin
      Inc(ArrayKekakuan);
      Inc(JumlahKolomBarisKekakuan);
      MatrikKekakuan[ArrayKekakuan] := TLabel.Create(Self);
      MatrikKekakuan[ArrayKekakuan].Parent := FMassaMatrik;
      MatrikKekakuan[ArrayKekakuan].Width := 75;
      MatrikKekakuan[ArrayKekakuan].Height := 25;
      MatrikKekakuan[ArrayKekakuan].Top := 10 + (MatKolom*15);
      MatrikKekakuan[ArrayKekakuan].Left := (Label5.Left+20)+(50*MatBaris);

      If (MatKolom = Matrik) and (MatBaris = Matrik) Then
        MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatBaris]:='K'+IntToStr(Matrik)

```

```

Else
If MatKolom = MatBaris Then
    MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatBaris]:='(K'+IntToStr(MatKolom)+'+'+K'+IntToStr
Else
If (MatKolom = MatBaris+1) Then
    MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatBaris]:='-K'+(IntToStr(MatBaris+1))
Else
If (MatKolom+1 = MatBaris) Then
    MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatBaris]:='-K'+(IntToStr(MatKolom+1))
Else
    MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatBaris]:='0';

Label6.Caption := '';
Label6.Top      := 2;
Label6.Left     := Label5.Left+50;
Label6.Font.Size := (8 * MatBaris) + 15;

Label7.Caption := '';
Label7.Top      := 2;
Label7.Left     := MatrikKekakuan[MatKolom].Left+20;
Label7.Font.Size := (8 * MatBaris) + 15;

MatrikKekakuan[ArrayKekakuan].Caption := MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatBaris];
End;

//Matrik Teta
For Teta := 1 to Matrik do
Begin
    Inc(ArrayTeta);
    Inc(JumlahTeta);
    Tetanya[ArrayTeta] := TLabel.Create(Self);
    Tetanya[ArrayTeta].Parent := FMassaMatrik;
    Tetanya[ArrayTeta].Width  := 75;
    Tetanya[ArrayTeta].Height := 25;
    Tetanya[ArrayTeta].Top    := 10+(Teta*15);
    Tetanya[ArrayTeta].Left   := (Label7.Left+Label7.Width)+30;
    Tetanya[ArrayTeta].Caption:= 'Q'+IntToStr(Teta);

    Label8.Caption := '';
    Label8.Top      := 2;
    Label8.Left     := (Label7.Left+Label7.Width)+10;
    Label8.Font.Size := (8 * Teta) + 15;

    Label9.Caption := '';
    Label9.Top      := 2;
    Label9.Left     := Tetanya[Teta].Left + 20;
    Label9.Font.Size := (8 * Teta) + 15;
End;

//Hitungan Matrik kekakuan
For MatKolom := 1 to Matrik do
For MatBaris := 1 to Matrik do
Begin
    Inc(HitArrayKekakuan);
    Inc(HitJumlahKolomBarisKekakuan);
    HitMatrikKekakuan[HitArrayKekakuan] := TLabel.Create(Self);
    HitMatrikKekakuan[HitArrayKekakuan].Parent := FMassaMatrik;
    HitMatrikKekakuan[HitArrayKekakuan].Width  := 75;
    HitMatrikKekakuan[HitArrayKekakuan].Height := 25;
    HitMatrikKekakuan[HitArrayKekakuan].Top    := (MatrikKekakuan[JumlahKolomBarisKek
    HitMatrikKekakuan[HitArrayKekakuan].Left   := (Label5.Left+20)+(50*MatBaris);

    //K1=k1/UK
    If (MatKolom = Matrik) and (MatBaris = Matrik) Then
    Begin
        MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatBaris]:=FloatToStr(FUutama.Kekakuanke[Matrik]);
        KekakuanBesar[MatKolom,MatBaris]:=StrToFloat(MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatB
    End
    Else
    If MatKolom = MatBaris Then
    Begin
        MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatBaris]:=FloatToStr(FUutama.Kekakuanke[MatKolom]
        KekakuanBesar[MatKolom,MatBaris]:=StrToFloat(MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatB
    End
    Else

```

```

Else
If MatKolom = MatBaris Then
    MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatBaris]:='(K'+IntToStr(MatKolom)+'*'+IntToStr(MatBaris)+')';
Else
If (MatKolom = MatBaris+1) Then
    MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatBaris]:='-K'+(IntToStr(MatBaris+1));
Else
If (MatKolom+1 = MatBaris) Then
    MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatBaris]:='-K'+(IntToStr(MatKolom+1));
Else
    MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatBaris]:='0';

Label6.Caption := '|';
Label6.Top      := 2;
Label6.Left     := Label5.Left+50;
Label6.Font.Size := (8 * MatBaris) + 15;

Label7.Caption := '|';
Label7.Top      := 2;
Label7.Left     := MatrikKekakuan[MatKolom].Left+20;
Label7.Font.Size := (8 * MatBaris) + 15;

MatrikKekakuan[ArrayKekakuan].Caption := MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatBaris];
End;

//Matrik Teta
For Teta := 1 to Matrik do
Begin
    Inc(ArrayTeta);
    Inc(JumlahTeta);
    Tetanya[ArrayTeta] := TLabel.Create(Self);
    Tetanya[ArrayTeta].Parent := FMassaMatrik;
    Tetanya[ArrayTeta].Width := 75;
    Tetanya[ArrayTeta].Height := 25;
    Tetanya[ArrayTeta].Top := 10+(Teta*15);
    Tetanya[ArrayTeta].Left := (Label7.Left+Label7.Width)+30;
    Tetanya[ArrayTeta].Caption:= 'Q'+IntToStr(Teta);

    Label8.Caption := '|';
    Label8.Top      := 2;
    Label8.Left     := (Label7.Left+Label7.Width)+10;
    Label8.Font.Size := (8 * Teta) + 15;

    Label9.Caption := '|';
    Label9.Top      := 2;
    Label9.Left     := Tetanya[Teta].Left - 20;
    Label9.Font.Size := (8 * Teta) + 15;
End;

//Hitungan Matrik kekakuan
For MatKolom := 1 to Matrik do
    For MatBaris := 1 to Matrik do
        Begin
            Inc(HitArrayKekakuan);
            Inc(HitJumlahKolomBarisKekakuan);
            HitMatrikKekakuan[HitArrayKekakuan] := TLabel.Create(Self);
            HitMatrikKekakuan[HitArrayKekakuan].Parent := FMassaMatrik;
            HitMatrikKekakuan[HitArrayKekakuan].Width := 75;
            HitMatrikKekakuan[HitArrayKekakuan].Height := 25;
            HitMatrikKekakuan[HitArrayKekakuan].Top := (MatrikKekakuan[JumlahKolomBarisKekakuan].Top + 10);
            HitMatrikKekakuan[HitArrayKekakuan].Left := (Label5.Left+20)+(50*MatBaris);

            //K1=k1/UK
            If (MatKolom = Matrik) and (MatBaris = Matrik) Then
                Begin
                    MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatBaris]:=FloatToStr(FUTama.Kekakuanke[Matrik]);
                    KekakuanBesar[MatKolom,MatBaris]:=StrToFloat(MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatBaris]);
                End
            Else
                If MatKolom = MatBaris Then
                    Begin
                        MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatBaris]:=FloatToStr(FUTama.Kekakuanke[MatKolom]);
                        KekakuanBesar[MatKolom,MatBaris]:=StrToFloat(MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatBaris]);
                    End
                Else

```

```

    If (MatKolom = MatBaris+1) Then
        Begin
            MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatBaris]:=FloatToStr(-FUtama.Kekakuanke[MatBaris
            KekakuanBesar[MatKolom,MatBaris]:=StrToFloat(MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatB
        End
    Else
        If (MatKolom+1 = MatBaris) Then
            Begin
                MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatBaris]:=FloatToStr(-FUtama.Kekakuanke[MatKolom
                KekakuanBesar[MatKolom,MatBaris]:=StrToFloat(MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatB
            End
        Else
            Begin
                MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatBaris]:='0';
                KekakuanBesar[MatKolom,MatBaris]:=StrToFloat(MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatB
            End;
        End;
    )
    Label6.Caption := '[';
    Label6.Top := 2;
    Label6.Left := Label5.Left+50;
    Label6.Font.Size := (8 * MatBaris) + 15;

    Label7.Caption := ']';
    Label7.Top := 2;
    Label7.Left := MatrikKekakuan[MatKolom].Left+20;
    Label7.Font.Size := (8 * MatBaris) + 15;
    HitMatrikKekakuan[HitArrayKekakuan].Caption := MatKolomBarisKaku[MatKolom,MatBari
End;

end;

procedure TFMassaMatrik.FormClose(Sender: TObject;
    var Action: TCloseAction);
var i : Integer;
begin
    Label1.Caption := '';
    Label2.Caption := '';
    Label3.Caption := '';
    Label4.Caption := '';
    Label5.Caption := '';
    Label6.Caption := '';
    Label7.Caption := '';
    Label8.Caption := '';
    Label9.Caption := '';

    For i := 1 to JumlahKolomBaris do matrik massa
        Begin
            Matriknya[ArrayMatrik].Destroy;
            Dec(ArrayMatrik);
        End;
    For i := 1 to JumlahKaku do //matrik ye
        Begin
            Kakunya[ArrayKaku].Destroy;
            Dec(ArrayKaku);
        End;
    For i := 1 to JumlahKolomBarisKekakuan do //matrik kekakuan
        Begin
            MatrikKekakuan[ArrayKekakuan].Destroy;
            Dec(ArrayKekakuan);
        End;
    For i := 1 to JumlahTeta do //matrik tetanya
        Begin
            Tetanya[ArrayTeta].Destroy;
            Dec(ArrayTeta);
        End;
    For i := 1 to HitJumlahKolomBarisKekakuan do //hitungan matrik kekakuan
        Begin
            HitMatrikKekakuan[HitArrayKekakuan].Destroy;
            Dec(HitArrayKekakuan);
        End;

    ArrayMatrik := 0; JumlahKolomBaris:=0; //Matrik massa
    ArrayKaku := 0; JumlahKaku := 0; //Matrik Ye
    ArrayKekakuan := 0; JumlahKolomBarisKekakuan := 0; //Matrik Kekakuan

```

```
ArrayTeta := 0; JumlahTeta := 0; //Matrik Teta  
HitArrayKekakuan:=0;HitJumlahKolomBarisKekakuan:=0;//hitungan matrik kekakuan
```

```
end;
```

```
procedure TFMassaMatrik.FormCreate(Sender: TObject);  
begin
```

```
    Label1.Caption := '';  
    Label2.Caption := '';  
    Label3.Caption := '';  
    Label4.Caption := '';  
    Label5.Caption := '';  
    Label6.Caption := '';  
    Label7.Caption := '';  
    Label8.Caption := '';  
    Label9.Caption := '';
```

```
end;
```

```
end.
```

```
unit ModeShape;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, ExtCtrls;
```

```
type
```

```
TfModeShape = class(TForm)  
    Panel1: TPanel;  
    Button1: TButton;  
    Button2: TButton;  
    Button3: TButton;  
    procedure Button2Click(Sender: TObject);  
    procedure Button1Click(Sender: TObject);  
    procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);  
    procedure Button3Click(Sender: TObject);  
private  
    { Private declarations }  
public  
    MassaEx, KekakuanEx : Array [1..500] of Extended;  
    Teta : Array [1..100,1..100] of Extended;  
    Matriknya : Array [1..300] of TLabel;  
    { Public declarations }  
end;
```

```
var
```

```
FModeShape: TfModeShape;  
ArrayMatrik, JumlahKolomBaris : Integer;
```

```
implementation
```

```
uses HPMM, LapisanTanahU, Lamda;
```

```
{SR *.DFM}
```

```
procedure TfModeShape.Button2Click(Sender: TObject);  
begin  
    Close;  
end;
```

```
procedure TfModeShape.Button1Click(Sender: TObject);  
var i, j : Byte;  
begin  
    //mengubah data string massa & kekakuan menjadi Extended  
    For i := 1 to FMassaMatrik.Matrik do  
        Begin  
            MassaEx[i] := StrToFloat(FLapisanTanah.Massa[i]);  
            KekakuanEx[i] := StrToFloat(FLapisanTanah.Kekakuan[i]);  
        End;
```

```
    //Mencari hasil mode shape untuk baris pertama  
    For j := 1 to FMassaMatrik.Matrik do  
        Teta[1,j] := 1;
```

```
    //Mencari hasil mode shape untuk baris kedua  
    For j := 1 to FMassaMatrik.Matrik do  
        For i := 3 to FMassaMatrik.Matrik do  
            Begin  
                Teta[2,j] := ((KekakuanEx[1]+KekakuanEx[2]) - ((FLamda.FrekAlam[j]  
                    *FLamda.FrekAlam[j])*MassaEx[1]); / KekakuanEx[2];  
            End;
```

```
    //Mencari hasil mode shape untuk baris ketiga dan seterusnya  
    For j := 1 to FMassaMatrik.Matrik do  
        For i := 3 to FMassaMatrik.Matrik do  
            Begin  
                Teta[i,j] := ((-Teta[i-2,j]*KekakuanEx[i-1]) + (KekakuanEx[i-1]  
                    +KekakuanEx[i] - FLamda.FrekAlam[j]*FLamda.FrekAlam[j]*MassaEx[i-1])*Teta[i-1,j])  
            End;
```

```
    //Menampilkan Hasil Teta  
    For i := 1 to FMassaMatrik.Matrik do  
        For j := 1 to FMassaMatrik.Matrik do  
            Begin
```

```

Inc(ArrayMatrik);
Inc(JumlahKolomBaris);
Matriknya[ArrayMatrik] := TLabel.Create(Self);
Matriknya[ArrayMatrik].Parent := FModeShape;
Matriknya[ArrayMatrik].Width := 75; //32
Matriknya[ArrayMatrik].Height := 25; //13
Matriknya[ArrayMatrik].Top := (1*i)*15;
Matriknya[ArrayMatrik].Left := 20*j;
Matriknya[ArrayMatrik].Caption := FormatFloat('#####.000000',Teta[i,j]);
Showmessage(IntToStr(i)+' ','+IntToStr(j)+' : '+FloatToStr(Teta[i,j]));
End;

end;

procedure TFModeShape.FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
var i : Integer;
begin
  For i := 1 to JumlahKolomBaris do //matrik hasil teta
    Begin
      Matriknya[ArrayMatrik].Destroy;
      Dec(ArrayMatrik);
    End;
  end;

  procedure TFModeShape.Button3Click(Sender: TObject);
  begin
    Panel1.Visible:=False;
    FModeShape.Print;
    Panel1.Visible:=True;
  end;

end.

```

```

unit PartisipasiMode;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, ExtCtrls;

type
  TFPartisipasiMode = class(TForm)
    Panel1: TPanel;
    Button1: TButton;
    Button2: TButton;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Button3: TButton;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
    procedure Button3Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    Pnya, MMnya, PartisipasiMode, FAnya : Array [1..500] of Extended;
    PMnya, MSnya : Array [1..100,1..100] of Extended;
    MatrikPnya : Array [1..300] of TLabel;
    MatrikMMnya : Array [1..300] of TLabel;
    MatrikPAnya : Array [1..300] of TLabel;
    { Public declarations }
  end;

var
  FPartisipasiMode: TFPartisipasiMode;
  TetaTranspose : Array [1..100,1..100] of Extended;
  ArrayMatrikP, JumlahKolomBarisP : Integer;
  ArrayMatrikMM, JumlahKolomBarisMM : Integer;
  ArrayMatrikPA, JumlahKolomBarisPA : Integer;

implementation

uses HRMM, ModeShape;

{$SR *.DEM}

procedure TFPartisipasiMode.Button1Click(Sender: TObject);
var i, j : Integer;
begin
  //mencari transpose teta
  for i := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
    for j := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
      TetaTranspose[i,j]:=FModeShape.Teta[j,i];

  //mencari nilai P nya
  for i := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
    for j := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
      Pnya[i]:=Pnya[i]+TetaTranspose[i,j]*FModeShape.MassaEx[j];

  //mencari nilai MS
  for i := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
    MSnya[i,i]:=FModeShape.MassaEx[i];

  //mencari PM
  for i := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
    for j := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
      PMnya[i,j]:=PMnya[i,j]+TetaTranspose[i,j]*MSnya[j,j];

  //mencari MM
  for i := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
    for j := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
      Begin
        MMnya[i]:=MMnya[i]+PMnya[i,j]*FModeShape.Teta[j,i];
        //mencari Partisipasi mode
        FAnya[i]:=Pnya[i] / MMnya[i];
      End;
end;

proce
begin
  Pa
  FP
  Pa
end;

```



```

    menampilkan Pnya, MMnya & PAny
    Pnya => P=Teta Transpose*Matrik Massa
    MMnya=> M=Teta Transpose*Matrik Massa*Teta
    PAny=> Partisipasi Setiap Mode = P*M

    //cetak Pnya
    for i := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
        Begin
            Inc(ArrayMatrikP);
            Inc(JumlahKolomBarisP);
            MatrikPnya[ArrayMatrikP] := TLabel.Create(Self);
            MatrikPnya[ArrayMatrikP].Parent := FPartisipasiMode;
            MatrikPnya[ArrayMatrikP].Width := 75; //32
            MatrikPnya[ArrayMatrikP].Height := 25; //13
            MatrikPnya[ArrayMatrikP].Top := 50+(i*15);
            MatrikPnya[ArrayMatrikP].Left := 40; //70*j;
            MatrikPnya[ArrayMatrikP].Caption:= 'P'+IntToStr(i)+' = ' +
                '+FormatFloat('####.00000',Pnya[i]);
        End;

    //cetak MMnya
    for i := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
        Begin
            Inc(ArrayMatrikMM);
            Inc(JumlahKolomBarisMM);
            MatrikMMnya[ArrayMatrikMM] := TLabel.Create(Self);
            MatrikMMnya[ArrayMatrikMM].Parent := FPartisipasiMode;
            MatrikMMnya[ArrayMatrikMM].Width := 75; //32
            MatrikMMnya[ArrayMatrikMM].Height := 25; //13
            MatrikMMnya[ArrayMatrikMM].Top := 50+(i*15);
            MatrikMMnya[ArrayMatrikMM].Left := 240; //70*j;
            MatrikMMnya[ArrayMatrikMM].Caption:= 'M'+IntToStr(i)+' = ' +
                '+FormatFloat('####.00000',Mnya[i]);
        End;

    //cetak PAny
    for i := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
        Begin
            Inc(ArrayMatrikPA);
            Inc(JumlahKolomBarisPA);
            MatrikPAny[ArrayMatrikPA] := TLabel.Create(Self);
            MatrikPAny[ArrayMatrikPA].Parent := FPartisipasiMode;
            MatrikPAny[ArrayMatrikPA].Width := 75; //32
            MatrikPAny[ArrayMatrikPA].Height := 25; //13
            MatrikPAny[ArrayMatrikPA].Top := 50+(i*15);
            MatrikPAny[ArrayMatrikPA].Left := 460; //70*j;
            MatrikPAny[ArrayMatrikPA].Caption:= 'Partisipasi Mode'+IntToStr(i)+' = ' +
                '+FormatFloat('####.00000',PAny[i]);
        End;

end;

procedure TFPartisipasiMode.Button2Click(Sender: TObject);
begin
    close;
end;

procedure TFPartisipasiMode.FormCreate(Sender: TObject);
begin
    Label1.Top:=50;
    Label2.Top:=50;
    Label3.Top:=50;
    Label1.Left:=40;
    Label2.Left:=240;
    Label3.Left:=460;
end;

procedure TFPartisipasiMode.Button3Click(Sender: TObject);
begin
    Panel1.Visible:=False;
    FPartisipasiMode.Print;
    Panel1.Visible:=True;
end;

```

```

unit Grafik;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, ExtCtrls, TeeProcs, TeeEngine, Chart, Series, Grids, ExtCtrls;

type
  TFGRafik = class(TForm)
    Panel1: TPanel;
    Button1: TButton;
    Button2: TButton;
    Panel2: TPanel;
    bStep: TButton;
    Panel3: TPanel;
    Panel4: TPanel;
    Chart1: TChart;
    Series1: TLineSeries;
    StringGrid1: TStringGrid;
    Button3: TButton;
    Button4: TButton;
    OpenDialog1: TOpenDialog;
    Button5: TButton;
    Button6: TButton;
    PrintDialog1: TPrintDialog;
    Button7: TButton;
    Button8: TButton;
    SavePictureDialog1: TSavePictureDialog;
    SaveDialog1: TSaveDialog;
    procedure bStepClick(Sender: TObject);
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
    procedure Button3Click(Sender: TObject);
    procedure Button4Click(Sender: TObject);
    procedure Button5Click(Sender: TObject);
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
    procedure Button6Click(Sender: TObject);
    procedure Button7Click(Sender: TObject);
    procedure Button8Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
    StepIntegrasi: real;
    JumlahData: Integer;
    aKecil, bKecil, kKecil : Array [1..100] of Extended;
    gBesar, gKecil, zBesar, Percepatan : Array [0..5500,0..50] of Extended;

  end;

var
  FGRafik: TFGRafik;

implementation

uses HRBM, Lamda, Masukkan, PartisipasiMode, ModeShape;

{$R *.DFM}

procedure TFGRafik.bStepClick(Sender: TObject);
var step:String;
begin
  InputQuery('Step Integrasi','Masukkan Step Integrasi yang digunakan',step);
  StepIntegrasi:=StrToFloat(step);
  Button3.Enabled := True;
  Button4.Enabled := True;
end;

procedure TFGRafik.Button1Click(Sender: TObject);
var i, j, k, Kolom : Integer;
begin
  Button5.Enabled := True;
  For i := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
    Begin

```

```

aKecil[i]:=(FLamda.FrekAlam[i]-FLamda.FrekAlam[i+1])*(2 / (StepIntegrasi*StepIntegrasi))
bKecil[i]:=(1/(StepIntegrasi*StepIntegrasi)) * (- ((2*FLamda.viscus *FLamda.FrekAlam[i+1])
kKecil[i]:=(1/(StepIntegrasi*StepIntegrasi)) + ((2*FLamda.viscus *FLamda.FrekAlam[i+1])

End;

//Menampilkan data ke StringGrid
StringGrid1.ColCount:=3;
StringGrid1.Cells[0,0]:='Nomer';
StringGrid1.Cells[1,0]:='Waktu';
StringGrid1.ColWidths[2]:=150;
StringGrid1.Cells[2,0]:='Data Gempa';
For Kolom := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
Begin
StringGrid1.ColCount:=StringGrid1.ColCount+1;
StringGrid1.Cells[Kolom-2,0]:='Percepatan ke-'+IntToStr(Kolom);
If Kolom > 0 Then
StringGrid1.ColWidths[Kolom-2]:=150;
End;

//Mencari Percepatan 5*Mode Shape(teta)
For i := 1 to (JumlahData-1) do
For j := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
Begin
gBesar[i+1,j]:=((-1*StrToFloat(StringGrid1.Cells[2,i]))-(aKecil[j]*gBesar[i,j])-(
gKecil[i,j]:=(gBesar[i+1,j])-(2*gBesar[i,j])+gBesar[i-1,j])/(StepIntegrasi*StepIntegrasi);
zBesar[i,j]:=gKecil[i,j]*FPartisipasiMode.FAnyaj[j];
end;
For i := 1 to (JumlahData-1) do
For j := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
For k:=1 to FMassaMatrik.Matrik do
Begin
Percepatan[i,j]:=Percepatan[i,j]+FModeShape.Teta[j,k] * zBesar[i,k];
StringGrid1.Cells[j-2,i]:=FloatToStr(Percepatan[i,j]);
StringGrid1.RowCount:=i+1;
end;

end;

end;

procedure TFGratik.Button2Click(Sender: TObject);
begin
Close;
end;

procedure TFGratik.Button3Click(Sender: TObject);
var
F: TextFile;
S: string;
i:LongInt;
begin
i:=0;
if OpenFileDialog1.Execute then
begin
AssignFile(F, OpenFileDialog1.FileName);
Reset(F);
While not eof(F) do
Begin
Inc(i);
Readln(F, S);
StringGrid1.Cells[0,i]:=IntToStr(i);
JumlahData:=i;
StringGrid1.Cells[1,i]:=S;
StringGrid1.RowCount:=i+1;
End;
CloseFile(F);
end;
Button1.Enabled := True;
end;

procedure TFGratik.Button4Click(Sender: TObject);
var
F: TextFile;
S: string;
i:LongInt;
begin
//Open file data gempa

```

```

i:=0;
if OpenFileDialog1.Execute then
begin
  AssignFile(F, OpenFileDialog1.FileName);
  Reset(F);
  While not eof(F) do
  Begin
    Inc(i);
    Readln(F, S);
    StringGrid1.Cells[2,i]:=s;
    StringGrid1.RowCount:=i+1;
  End;
  CloseFile(F);
end;
Button1.Enabled := True;
end;

procedure TFGrafik.Button5Click(Sender: TObject);
var j : Integer;
begin
  For j := 1 to JumlahData-1 do
    Chart1.Series[0].AddXY(StrToFloat(StringGrid1.Cells[1,j]),StrToFloat(StringGrid1.Cells[2,j]));
  end;

procedure TFGrafik.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  Button1.Enabled := False;
  Button3.Enabled := False;
  Button4.Enabled := False;
  Button5.Enabled := False;
end;

procedure TFGrafik.Button6Click(Sender: TObject);
begin
  If PrintDialog1.Execute then
    Chart1.Print;
end;

procedure TFGrafik.Button7Click(Sender: TObject);
begin
  Chart1.CopyToClipboardBitmap;
end;

procedure TFGrafik.Button8Click(Sender: TObject);
begin
  If SavePictureDialog1.Execute Then
    Chart1.SaveToBitmapFile(SavePictureDialog1.FileName);
end;

end.

```

```

unit GrafikKecepatan;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  ExtCtrls, TeEngine, Series, TeeProcs, Chart, Grids, StdCtrls, ExtDlgs;

type
  TFGrafikKecepatan = class(TForm)
    Panel1: TPanel;
    Panel2: TPanel;
    Panel3: TPanel;
    Panel4: TPanel;
    Panel5: TPanel;
    Button1: TButton;
    Button2: TButton;
    Button4: TButton;
    Button5: TButton;
    StringGrid1: TStringGrid;
    Chart1: TChart;
    Series1: TLineSeries;
    Button6: TButton;
    OpenDialog1: TOpenDialog;
    Button3: TButton;
    PrintDialog1: TPrintDialog;
    Button7: TButton;
    Button8: TButton;
    SavePictureDialog1: TSavePictureDialog;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure Button4Click(Sender: TObject);
    procedure Button5Click(Sender: TObject);
    procedure Button6Click(Sender: TObject);
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
    procedure Button3Click(Sender: TObject);
    procedure Button7Click(Sender: TObject);
    procedure Button8Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  FFGrafikKecepatan: TFGrafikKecepatan;
  aKecil, bKecil, kKecil : Array [0..100] of Extended;
  gBesar, gTitik, zTitik, Kecepatan : Array [0..5500,0..50] of Extended;

implementation

uses HRMM, Lamda, Grafik, Masukkan, ModeShape, PartisipasiMode;

{$R *.BMP}

procedure TFGrafikKecepatan.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  Close;
end;

procedure TFGrafikKecepatan.Button4Click(Sender: TObject);
var
  F: TextFile;
  S: string;
  i: LongInt;
begin
  i:=0;
  if OpenDialog1.Execute then
  begin
    AssignFile(F, OpenDialog1.FileName);
    Reset(F);
    While not eof(F) do
    Begin
      Inc(i);
    end;
  end;
end;

```

```

        Readln(F, S);
        StringGrid1.Cells[0,i]:=IntToStr(i);
        FGrafik.JumlahData:=i;
        StringGrid1.Cells[1,i]:=s;
        StringGrid1.RowCount:=i+1;
    End;
    CloseFile(F);
end;
Button2.Enabled := True;
end;

procedure TFGrafikKecepatan.Button5Click(Sender: TObject);
var
    F: TextFile;
    S: string;
    i: LongInt;
begin
    //Open file data gempa
    i:=0;
    if OpenFileDialog1.Execute then
    begin
        AssignFile(F, OpenFileDialog1.FileName);
        Reset(F);
        While not eof(F) do
        Begin
            Inc(i);
            Readln(F, S);
            StringGrid1.Cells[2,i]:=s;
            StringGrid1.RowCount:=i+1;
        End;
        CloseFile(F);
    end;
    Button2.Enabled := True;
end;

procedure TFGrafikKecepatan.Button6Click(Sender: TObject);
var j : Integer;
begin
    For j := 1 to FGrafik.JumlahData-1 do
        Chart1.Series[0].AddXY(StrToFloat(StringGrid1.Cells[1,j]),
        ,StrToFloat(StringGrid1.Cells[FMassaMatrik.Matrik+2,j]),'',clRed);
    end;

procedure TFGrafikKecepatan.Button2Click(Sender: TObject);
var i, j, k, Kolom : Integer;
begin
    Button6.Enabled := True;
    //podo
    For i := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
        Begin
            aKecil[i]:=(FLamda.FrekAlam[i]*FLamda.FrekAlam[i])-(2 /
            (FGrafik.StepIntegrasi*FGrafik.StepIntegrasi));
            bKecil[i]:=(1/(FGrafik.StepIntegrasi*FGrafik.StepIntegrasi)) -
            (((2*FLamda.viscus)*FLamda.FrekAlam[i])/(2*FGrafik.StepIntegrasi));
            kKecil[i]:=(1/(FGrafik.StepIntegrasi*FGrafik.StepIntegrasi)) +
            (((2*FLamda.viscus)*FLamda.FrekAlam[i])/(2*FGrafik.StepIntegrasi));
        End;

        //Menampilkan data ke StringGrid
        StringGrid1.ColCount:=3;
        StringGrid1.Cells[0,0]:='Nomor';
        StringGrid1.Cells[1,0]:='Waktu';
        StringGrid1.ColWidths[2]:=150;
        StringGrid1.Cells[2,0]:='Data Gempa';
        For Kolom := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
            Begin
                StringGrid1.ColCount:=StringGrid1.ColCount+1; //Kolom+4;
                StringGrid1.Cells[Kolom+2,0]:='Kecepatan ke-'+IntToStr(Kolom);
                If Kolom > 0 Then
                    StringGrid1.ColWidths[Kolom-2]:=150;
                End;

        //Mencari Percepatan Z*Mode Shape(teta)
        For i := 1 to (FGrafik.JumlahData-1 do
            For j := 1 to FMassaMatrik.Matrik do

```

```

        Begin
            gBesar[i+1,j]:=((-1*StrToFloat(StringGrid1.Cells[2,i]))-(aKecil[j]
            *gBesar[i,j])-(bKecil[j]*gBesar[i-1,j]))/kKecil[j];
            gTitik[i,j]:=(gBesar[i+1,j]-gBesar[i-1,j])/(2*FGrafik.StepIntegrasi);
            zTitik[i,j]:=gTitik[i,j]*FPartisipasiMode.PAnyaj[j];
        end;
    For i := 1 to (FGrafik.JumlahData-1) do
        For j := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
            For k:=1 to FMassaMatrik.Matrik do
                Begin
                    Kecepatan[i,j]:=Kecepatan[i,j]+FModeShape.Teta[j,k]* zTitik[i,k];
                    StringGrid1.Cells[j+2,i]:=FloatToStr(Kecepatan[i,j]);
                    StringGrid1.RowCount:=i-1;
                end;
            end;
        end;

    procedure TFGrafikKecepatan.FormCreate(Sender: TObject);
    begin
        Button6.Enabled := False;
        Button2.Enabled := False;
    end;

    procedure TFGrafikKecepatan.Button3Click(Sender: TObject);
    begin
        If PrintDialog1.Execute then
            Begin
                With Chart1 do
                    begin
                        PrintMargins.Left := 60 ;
                        PrintMargins.Top := 5 ;
                        PrintMargins.Right:= 10 ;
                        PrintMargins.Bottom:= 75 ;
                        PrintLandscape;
                    end;
                // Chart1.Print;
            End;
        end;

    procedure TFGrafikKecepatan.Button7Click(Sender: TObject);
    begin
        Chart1.CopyToClipboardBitmap;
    end;

    procedure TFGrafikKecepatan.Button8Click(Sender: TObject);
    begin
        If SavePictureDialog1.Execute Then
            Chart1.SaveToBitmapFile(SavePictureDialog1.FileName);
        end;
    end.

```

```
unit Simpangan;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
ExtDlgs, Grids, TeEngine, Series, TeeProcs, Chart, StdCtrls, ExtCtrls;
```

```
type
```

```
TFSimpangan = class(TForm)
```

```
Panel2: TPanel;
```

```
Button3: TButton;
```

```
Button4: TButton;
```

```
Button5: TButton;
```

```
Button6: TButton;
```

```
Panel1: TPanel;
```

```
Button1: TButton;
```

```
Button2: TButton;
```

```
Button7: TButton;
```

```
Button8: TButton;
```

```
Chart1: TChart;
```

```
Series1: TLineSeries;
```

```
StringGrid1: TStringGrid;
```

```
SaveDialog1: TSaveDialog;
```

```
SavePictureDialog1: TSavePictureDialog;
```

```
OpenDialog1: TOpenDialog;
```

```
PrintDialog1: TPrintDialog;
```

```
procedure Button3Click(Sender: TObject);
```

```
procedure Button4Click(Sender: TObject);
```

```
procedure Button5Click(Sender: TObject);
```

```
procedure Button6Click(Sender: TObject);
```

```
procedure Button7Click(Sender: TObject);
```

```
procedure Button8Click(Sender: TObject);
```

```
procedure Button1Click(Sender: TObject);
```

```
procedure Button2Click(Sender: TObject);
```

```
private
```

```
{ Private declarations }
```

```
public
```

```
{ Public declarations }
```

```
JumlahData: Integer;
```

```
gBesar, zSimpangan, SimpanganNya : Array [0..5500,0..50] of Extended;
```

```
end;
```

```
var
```

```
Fsimpangan: TFSimpangan;
```

```
aKecil, bKecil, kKecil : Array [1..100] of Extended;
```

```
implementation
```

```
uses HRMM, Lamda, Grafik, Masukkan, PartisipasiMode, ModeShape;
```

```
{SR *.DFM}
```

```
procedure TFSimpangan.Button3Click(Sender: TObject);
```

```
var
```

```
F: TextFile;
```

```
S: string;
```

```
i: LongInt;
```

```
begin
```

```
i:=0;
```

```
if OpenDialog1.Execute then
```

```
begin
```

```
AssignFile(F, OpenDialog1.FileName);
```

```
Reset(F);
```

```
While not eof(F) do
```

```
begin
```

```
Inc(i);
```

```
Readln(F, S);
```

```
StringGrid1.Cells[0,i]:=IntToStr(i);
```

```
JumlahData:=i;
```

```
StringGrid1.Cells[1,i]:=S;
```

```
StringGrid1.RowCount:=i+1;
```

```
End;
```

```
CloseFile(F);
```



```

    end;
    Button1.Enabled := True;
end;

procedure TFSimpangan.Button4Click(Sender: TObject);
var
    F: TextFile;
    S: string;
    i: LongInt;
begin
    //Open file data gempa
    i:=0;
    if OpenFileDialog1.Execute then
    begin
        AssignFile(F, OpenFileDialog1.FileName);
        Reset(F);
        While not eof(F) do
        begin
            Inc(i);
            Readln(F, S);
            StringGrid1.Cells[2,i]:=S;
            StringGrid1.RowCount:=i+1;
        end;
        CloseFile(F);
    end;
    Button1.Enabled := True;

end;

procedure TFSimpangan.Button5Click(Sender: TObject);
var j : Integer;
begin
    For j := 1 to JumlahData-1 do
        Chart1.Series[0].AddXY(StrToFloat(StringGrid1.Cells[1,j]),
            ,StrToFloat(StringGrid1.Cells[FMassaMatrik.Matrik+2,j]),'',clRed);
end;

procedure TFSimpangan.Button6Click(Sender: TObject);
begin
    If PrintDialog1.Execute then
        Chart1.Print;
end;

procedure TFSimpangan.Button7Click(Sender: TObject);
begin
    Chart1.CopyToClipboardBitmap;
end;

procedure TFSimpangan.Button8Click(Sender: TObject);
begin
    If SavePictureDialog1.Execute Then
        Chart1.SaveToBitmapFile(SavePictureDialog1.FileName);
end;

procedure TFSimpangan.Button9Click(Sender: TObject);
var i, j, k, Kolom : Integer;
begin
    Button6.Enabled := True;
    //pode
    For i := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
        Begin
            aKecil[i]:=(FLamda.FrekAlam[i]*FLamda.FrekAlam[i])-(2 /
            (FGrafik.StepIntegrasi*FGrafik.StepIntegrasi));
            bKecil[i]:=(1/(FGrafik.StepIntegrasi*FGrafik.StepIntegrasi)) -
            ((2*FLamda.viscus)*FLamda.FrekAlam[i])/(2*FGrafik.StepIntegrasi));
            kKecil[i]:=(1/(FGrafik.StepIntegrasi*FGrafik.StepIntegrasi)) +
            ((2*FLamda.viscus)*FLamda.FrekAlam[i])/(2*FGrafik.StepIntegrasi));
        end;

        //Menampilkan data ke StringGrid
        StringGrid1.ColCount:=3;
        StringGrid1.Cells[0,0]:='Nomor';
        StringGrid1.Cells[1,0]:='Waktu';
        StringGrid1.ColWidths[2]:=150;
        StringGrid1.Cells[2,0]:='Data Gempa';

```

```

For Kolom := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
  Begin
    StringGrid1.ColCount:=StringGrid1.ColCount+1; // Kolom+4;
    StringGrid1.Cells[Kolom-2,0]:='Simpangan ke-'+IntToStr(Kolom);
    If Kolom > 0 Then
      StringGrid1.ColWidths[Kolom+2]:=150;
    End;

    //Mencari Simpangan S*Mode Shape(teta)
    For i := 1 to (FGrafik.JumlahData-1) do
      For j := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
        Begin
          gBesar[i+1,j]:=(1-1*StrToFloat(StringGrid1.Cells[2,i]))-(aKecil[j]
          *gBesar[i,j] - (bKecil[j]*gBesar[i-1,j])/EKecil[j];
          zSimpangan[i,j]:=gBesar[i,j]*FPartisipasiMode.PAAny[j];
        end;
      For i := 1 to (FGrafik.JumlahData-1) do
        For j := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
          For k:=1 to FMassaMatrik.Matrik do
            Begin
              SimpanganNya[i,j]:=SimpanganNya[i,j]+FModeShape.Teta[j,k]
              * zSimpangan[i,k];
              StringGrid1.Cells[j-2,i]:=FloatToStr(SimpanganNya[i,j]);
              StringGrid1.RowCount:=i+1;
            end;
          end;
        end;

      end;

    procedure TFSimpangan.Button2Click(Sender: TObject);
    begin
      Close;
    end;

  end.

```

```

unit Regangan;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  Grids, TeEngine, Series, TeeProcs, Chart, StdCtrls, ExtCtrls, ExtDigs;

type
  TRegangan = class(TForm)
    Panel2: TPanel;
    Button5: TButton;
    Button6: TButton;
    Panel1: TPanel;
    Button1: TButton;
    Button2: TButton;
    Button7: TButton;
    Button8: TButton;
    Chart1: TChart;
    Series1: TLineSeries;
    StringGrid1: TStringGrid;
    Button3: TButton;
    SaveDialog1: TSaveDialog;
    SavePictureDialog1: TSavePictureDialog;
    OpenDialog1: TOpenDialog;
    PrintDialog1: TPrintDialog;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
    procedure Button5Click(Sender: TObject);
    procedure Button6Click(Sender: TObject);
    procedure Button7Click(Sender: TObject);
    procedure Button8Click(Sender: TObject);
    procedure Button3Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
    JumlahLapisan : Integer;
  end;

var
  FRegangan: TRegangan;
  SelisihSimpangan, ReganganGeser : Array [0..500,0..50] of Extended;
  TebalLapisan : Array [0..30] of Extended;

implementation

uses HRMM, Simpangan, KetebalanTanah;

($R *.DFM)

procedure TRegangan.Button1Click(Sender: TObject);
var i,j : Integer;
begin
  For i := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
    For j := 1 to FSimpangan.Jumlahdata-1 do
      Begin
        If i=1 then
          SelisihSimpangan[i,j]:= StrToFloat
            (FSimpangan.StringGrid1.Cells[i-2,j])
        Else
          SelisihSimpangan[i,j]:=StrToFloat(FSimpangan.StringGrid1.
            Cells[i+3,j])-StrToFloat(FSimpangan.StringGrid1.Cells[i+2,j]);
      End;

  For i := 1 to FMassaMatrik.Matrik do
    For j := 1 to FSimpangan.Jumlahdata-1 do
      ReganganGeser[i,j]:=SelisihSimpangan[i,j]/TebalLapisan[i];
    end;
end;

procedure TRegangan.Button2Click(Sender: TObject);
begin
  Close;
end;

```

```

procedure TFRegangan.Button5Click(Sender: TObject);
var j : Integer;
begin
    For j := 1 to FSimpangan.JumlahData-1 do
        Chart1.Series[0].AddXY(StrToFloat(StringGrid1.Cells[1,j]),
            StrToFloat(StringGrid1.Cells[FMassaMatrik.Matrik+2,j]),'',clRed);
    end;

procedure TFRegangan.Button6Click(Sender: TObject);
Begin
    If PrintDialog1.Execute then
        Chart1.Print;
    end;

procedure TFRegangan.Button7Click(Sender: TObject);
begin
    Chart1.CopyToClipboardBitmap;
    end;

procedure TFRegangan.Button8Click(Sender: TObject);
begin
    If SavePictureDialog1.Execute Then
        Chart1.SaveToBitmapFile(SavePictureDialog1.FileName);
    end;

procedure TFRegangan.Button3Click(Sender: TObject);
var Tanahnya : String;
    Isi : Boolean;
begin
    Repeat
        Isi := InputQuery('Jumlah Lapisan Tanah',
            'Masukkan Jumlah Lapisan Tanah',Tanahnya);
        If (Isi) and (Tanahnya<>'') Then
            Begin
                JumlahLapisan := StrToInt(Tanahnya);
                FKetebalanTanah.ShowModal;
            End;
        Until Tanahnya<>'';

    end;

end.

```

