



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA DINAMIK RIWAYAT WAKTU
BANGUNAN *NON-ENGINEERED* RUMAH KAYU DAN
RUMAH DINDING BATA AKIBAT GEMPA TASIKMALAYA
(2 SEPTEMBER 2009)**

SKRIPSI

**DANYS SUYANTO
0606072130**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JULI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA DINAMIK RIWAYAT WAKTU
BANGUNAN *NON-ENGINEERED* RUMAH KAYU DAN
RUMAH DINDING BATA AKIBAT GEMPA TASIKMALAYA
(2 SEPTEMBER 2009)**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik**

DANYS SUYANTO

0606072130

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JULI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Danys Suyanto

NPM : 0606072130

Tanda Tangan : 

Tanggal : 16 Juli 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Danys Suyanto
NPM : 0606072130
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisa Dinamik Riwayat Waktu Bangunan
Non-engineered Rumah Kayu dan Rumah
Dinding Bata Akibat Gempa Tasikmalaya
(2 September 2009).

Telah berhasil dipertahankan di hadapan dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

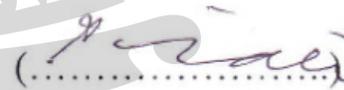
Pembimbing : Dr.-Ing. Ir. Josia I. Rastandi



Penguji : Dr. Ir. Yuskar Lase, DEA



Penguji : Ir. Syahril A. Rahim, M.Eng



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 16 Juli 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rizki dan karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. -Ing. Ir. Josia I.Rastandi selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini dan selaku pembimbing akademik saya yang telah memberikan banyak masukan dan arahan selama 4 tahun menjalani perkuliahan;
- (2) Dr. Ir. Yuskar Lase dan Ir. Syahril A.Rahim, M.Eng, yang telah menguji dan memberikan masukan dalam penyusunan revisi;
- (3) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan doa, perhatian serta dukungan material dan moral;
- (4) Rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil Universitas Indonesia angkatan 2006 dan sahabat-sahabat saya yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini;
- (5) Dan semua pihak yang tidak mungkin saya sebutkan satu persatu yang telah banyak berjasa kepada saya.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah banyak membantu saya. Semoga skripsi ini dapat membawa manfaat bagi kita semua untuk pengembangan ilmu pengetahuan di masa-masa yang akan datang.

Depok, 16 Juli 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Danys Suyanto
NPM : 0606072130
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

ANALISA DINAMIK RIWAYAT WAKTU BANGUNAN NON-ENGINEERED RUMAH KAYU DAN RUMAH DINDING BATA AKIBAT GEMPA TASIKMALAYA (2 SEPTEMBER 2009)

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 16 Juli 2010
Yang menyatakan



(Danys Suyanto)

ABSTRAK

Nama : Danys Suyanto
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Analisa Dinamik Riwayat Waktu Bangunan *Non-engineered*
Rumah Kayu dan Rumah Dinding Bata Akibat Gempa
Tasikmalaya (2 September 2009).

Pada tanggal 2 September 2009, terjadi gempa bumi di wilayah Tasikmalaya dan sekitar. Kejadian gempa tektonik tersebut telah menyisakan kerusakan bangunan yang cukup besar terutama di kabupaten Tasikmalaya dan kabupaten Garut yang merupakan kota yang paling dekat dengan gempa bumi. Bentuk dan tingkat kerusakan yang terjadi pada bangunan bertingkat dan sederhana mulai dari yang ringan sampai berat. Umumnya bangunan yang mengalami kerusakan paling parah adalah bangunan *non-engineered* terutama rumah-rumah dengan dinding bata. Namun untuk rumah-rumah kayu, kerusakan yang diakibatkan oleh gempa sangat ringan atau malah sama sekali tidak mengakibatkan kerusakan.

Pada studi kasus ini akan dilakukan simulasi bagaimana pengaruh gempa yang terjadi terhadap kedua bangunan tersebut dengan meninjau gaya geser dasar bangunan yang terjadi pada kedua bangunan tersebut dan konsentrasi tegangan yang terjadi terutama pada bangunan rumah dinding bata.

Kata Kunci:
Analisa Dinamik Riwayat Waktu, *Non-engineered*, Modifikasi

ABSTRACT

Name : Danys Suyanto
Study Program : Civil Engineering
Title : Time History Dynamic Analysis of Non-engineered Buildings of Wooden House and Brick Wall House due to Tasikmalaya Earthquake (September 2nd, 2009)

On September 2nd, 2009 an earthquake occurred in the region of Tasikmalaya and around. Tectonic earthquake event has left the considerable building damages, especially in Tasikmalaya district and Garut district, which is the closest town to the earthquake. Form and level of damage that occurred in multistory buildings and simple buildings range from mild to severe. Generally buildings which damaged are non-engineered buildings, especially houses with brick walls. But for wooden houses, numbers of damages caused by earthquake is very mild or even no damage.

The study case will be conduct simulations on how the earthquake influences occurred on these two buildings by reviewing the base shear, which occurred in these two buildings and the stress concentration which occurred mainly on brick wall house.

Key words:

Time History Dynamic Analysis, Non-engineered, Modification

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Maksud dan Tujuan	2
1.3 Permasalahan	2
1.4 Pembatasan Masalah	3
1.5 Metodologi Penulisan	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TEORI DASAR	5
2.1 Pendahuluan	5
2.1.1 Tipe gempa bumi dan Penyebabnya	6
2.1.2 Teori Lempeng Tektonik	7
2.1.3 Sifat-sifat Gempa Bumi	7
2.2 Teori Dinamika Struktur	8
2.2.1 SDOF (<i>Single Degree of Freedom</i>)	8
2.2.2 MDOF (<i>Sistem Derajat Kebebasan Majemuk</i>)	14
2.2.3 Metode Analisa Bangunan terhadap Gempa	19
2.2.4 <i>Coloumb Damped System</i>	21
2.2.5 Teori Elemen Hingga	22
2.2.6 Teori <i>Friction Pendulum Isolator</i>	28
2.3 Kegempaan Daerah Tasikmalaya-Garut Menurut Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 03-1726- 2002)	31
2.3.1 Jenis Tanah Wilayah Tasikmalaya-Garut	31
2.3.2 Wilayah Gempa Tasikmalaya-Garut	31
BAB 3 METODE PENULISAN	34
3.1 Metode Pengumpulan Data	34
3.1.1 Survey Awal	34
3.1.2 Survey Lanjutan	37
3.2 Hasil Pengamatan Survey	39
3.2.1 Data Teknis Rumah Dinding Bata	39

3.2.2	Data Teknis Rumah Kayu.....	40
3.3	Ringkasan Mengenai Gempa Tasikmalaya 2 September 2009	46
3.4.	Metode Penulisan.....	48
3.4.1	Alur Penulisan.....	48
3.4.2	Perencanaan Denah dan Dimensi Bangunan	48
3.4.3	Pembebanan Struktur	51
3.4.4	Program Bantuan yang Digunakan	52
3.4.5	Diagram Alir	54
BAB 4 ANALISA DATA		55
4.1	Data Gempa yang Digunakan untuk Analisa	55
4.2	Proses Modifikasi Data Gempa El Centro dengan Program <i>RESMAT</i> ..	59
4.3	Input Permodelan Pada Program <i>SAP</i>	62
4.3.1	Input Properties Material Material yang digunakan dalam permodelan yaitu	62
4.3.2	Input Dinding Bata	62
4.3.3	Input Perletakan Umpak	63
4.3.4	Input Analysis Case.....	66
4.3.5	Tiga Dimensi Permodelan dalam <i>SAP 2000</i>	67
4.4	Analisis Rumah Panggung Kayu	68
4.4.1	Denah Perletakan Umpak dan Kolom yang Ditinjau	69
4.4.2	Output Hasil Permodelan.....	70
4.4.3	Analisa Hasil Permodelan.....	91
4.5	Analisis Rumah Dinding Bata	106
4.5.1	Hasil Keluaran Permodelan untuk Konsentrasi Tegangan	106
4.5.2	Hasil Keluaran Permodelan untuk Gaya Geser Dasar Hasil	113
4.5.3	Analisa Konsentrasi Tegangan dan Gaya Geser Dasar yang Terjadi	115
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		117
5.1	Kesimpulan.....	117
5.2	Saran.....	118
DAFTAR PUSTAKA		119
LAMPIRAN.....		119

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Tabel Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah untuk masing-masing Wilayah Gempa Indonesia.	33
Tabel 4. 1	Input Analysis Case.....	67
Tabel 4. 2	Tabel Deformasi Umpak Akibat Gempa Tasikmalaya 2 September 2009 dengan Time History Modal Analysis	71
Tabel 4. 3	Tabel Gaya pada Kolom Akibat Gempa Tasikmalaya 2 September 2009.....	76
Tabel 4. 4	Tabel Gaya Geser Dasar Akibat Gempa Tasikmalaya 2 September 2009	76
Tabel 4. 5	Tabel Deformasi Umpak Akibat Gempa Tasikmalaya 2 September 2009 dengan Time History Direct Integration Analysis	77
Tabel 4. 6	Tabel Perbandingan Analisa Time History Modal Analysis dan Time History Direct Integration untuk Gempa Tasikmalaya 2 September 2009	78
Tabel 4. 7	Tabel Deformasi Umpak Akibat Gempa Tasikmalaya <i>Scale-up</i>	79
Tabel 4. 8	Tabel Gaya pada Kolom Akibat Gempa Tasikmalaya <i>Scale-up</i>	84
Tabel 4. 9	Tabel Gaya Geser Dasar Akibat Gempa Tasikmalaya <i>Scale-up</i>	84
Tabel 4. 10	Tabel Deformasi Umpak Akibat Gempa El Centro <i>RESMAT</i>	85
Tabel 4. 11	Tabel Gaya pada Kolom Akibat Gempa El Centro <i>RESMAT</i>	90
Tabel 4. 12	Tabel Gaya Geser Dasar Akibat Gempa El Centro <i>RESMAT</i>	90
Tabel 4. 13	Tabel Deformasi Maksimum pada Umpak	91
Tabel 4. 14	Tabel Gaya Geser Dasar Berbanding dengan Berat Bangunan pada Bangunan Kayu dengan Perletakan Umpak	103
Tabel 4. 15	Tabel Gaya Geser Dasar Berbanding dengan Berat Bangunan pada Bangunan Kayu dengan Perletakan Sendi.....	103
Tabel 4. 16	Tabel Gaya Geser Dasar Akibat Gempa Arah X pada Bangunan Dinding Bata	113

Tabel 4. 17 Tabel Gaya Geser Dasar Akibat Gempa Arah Y pada Bangunan Dinding Bata..... 113

Tabel 4. 18 Perbandingan Gaya Geser Dasar dan Berat Bangunan Akibat Gempa Arah X pada Bangunan Dinding Bata..... 114

Tabel 4. 19 Perbandingan Gaya Geser Dasar dan Berat Bangunan Akibat Gempa Arah Y pada Bangunan Dinding Bata..... 114



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Peta Gempa Tektonik Indonesia.....	5
Gambar 2. 2	Peta Distribusi Gempa Bumi Tahun 1900-1996, Magnitude > 6	6
Gambar 2. 3	Struktur SDOF (Single Degree of Freedom).....	9
Gambar 2. 4	Model struktur dengan komponen massa, redaman, dan kekakuan	9
Gambar 2. 5	Idealisasi Struktur Akibat Gaya Luar	10
Gambar 2. 6	Idealisasi Struktur Akibat Perpindahan Perletakan	11
Gambar 2. 7	Struktur MDOF (<i>Multy Degree of Freedom</i>).....	15
Gambar 2. 8	Struktur dengan perletakan gesek.....	21
Gambar 2. 9	Batang atau Elemen Balok dari Kerangka Ruang	23
Gambar 2. 10	Komponen-Komponen dari Sebuah Vektor Sembarang A pada Koordinat Lokal dan Koordinat Umum Global	25
Gambar 2. 11	Elemen Pelat Persegi Panjang	26
Gambar 2. 12	Gambar Mekanika Permodelan <i>Friction Pendulum Isolator</i>	28
Gambar 2. 13	<i>Friction-Pendulum Isolator Property for Biaxial Shear Behavior</i>	29
Gambar 2. 14	Gambar Hubungan Gaya Geser yang Bekerja pada <i>Friction Pendulum Isolator 1</i>	30
Gambar 2. 15	Gambar Hubungan Gaya Geser yang Bekerja pada <i>Friction Pendulum Isolator 2</i>	30
Gambar 2. 16	Wilayah gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan perioda ulang 500 tahun.....	32
Gambar 2. 17	Perbesaran wilayah gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan perioda ulang 500 tahun untuk wilayah gempa Tasikmalaya-Garut	32

Gambar 2. 18	Respon Spektrum Wilayah 4 (SNI 03-1726-2002)	33
Gambar 3. 1	Keadaan Bangunan Rumah Warga Kecamatan Cigalontang, Tasikmalaya Setelah Gempa Tasikmalaya 2 Sempتمبر 2009	35
Gambar 3. 2	Keadaan Bangunan Rumah Warga Kecamatan Cigalontang, Tasikmalaya Setelah Gempa Tasikmalaya 2 Sempتمبر 2009	36
Gambar 3. 3	Keadaan Bangunan Rumah Warga Kecamatan Pameumpek, Garut Setelah Gempa Tasikmalaya 2 Sempتمبر 2009.....	36
Gambar 3. 4	Keadaan Rumah Warga Kecamatan Cigalontang, Tasikmalaya Setelah Gempa Tasikmalaya 2 Sempتمبر 2009	37
Gambar 3. 5	Gambar Rumah Kayu 1 yang Disurvey di desa Dangdeur Wetan, Kecamatan Wanaraja, Kabupaten Garut, Jawa Barat.....	38
Gambar 3. 6	Gambar Rumah Kayu 2 yang Disurvey di desa Dangdeur Wetan, Kecamatan Wanaraja, Kabupaten Garut, Jawa Barat.....	38
Gambar 3. 7	Gambar Rumah Kayu 3 yang Disurvey di desa Dangdeur Wetan, Kecamatan Wanaraja, Kabupaten Garut, Jawa Barat.....	39
Gambar 3. 8	Struktur Dinding Rumah Sederhana Warga Kecamatan Cigalontang, Tasikmalaya.....	39
Gambar 3. 9	Struktur Atap Rumah Sederhana Warga Kecamatan Cigalontang, Tasikmalaya.....	40
Gambar 3. 10	Tampak Luar Struktur Atap Bangunan Rumah Kayu	40
Gambar 3. 11	Tampak Dalam Struktur Atap Bangunan Rumah Kayu	41
Gambar 3. 12	Gambar Struktur Dinding Rumah Panggung Kayu.....	41
Gambar 3. 13	Gambar Struktur Dinding Dimana Balok Horisontal dan Vertikal Sebagai Struktur Utama.....	42
Gambar 3. 14	Gambar Balok Siku Pada Bagian Atas Struktur Dinding	42
Gambar 3. 15	Gambar Bagian Atas Struktur Lantai Rumah Kayu	43
Gambar 3. 16	Gambar Bagian Bawah Struktur Lantai Rumah Kayu.....	44

Gambar 3. 17	Gambar Umpak Sebagai Struktur Pondasi Rumah Kayu	44
Gambar 3. 18	Gambar Detail Pengukuran Dimensi Umpak.....	45
Gambar 3. 19	Gambar Tiga Dimensi Umpak.....	45
Gambar 3. 20	Dimensi Umpak.....	46
Gambar 3. 21	Epicentral Region	47
Gambar 3. 22	Daerah Jangkauan Gempa dan Kekatannya	47
Gambar 3. 23	Gambar Denah Bangunan	49
Gambar 3. 24	Gambar 3-D Denah Bangunan Dinding Bata Tampak Atas	49
Gambar 3. 25	Gambar 3-D Denah Rumah Kayu Tampak Atas.....	50
Gambar 3. 26	Gambar 3-D Rumah Dinding Bata	50
Gambar 3. 27	Gambar 3-D Rumah Kayu	51
Gambar 3. 28	Gambar Prinsip Kerja Program <i>RESMAT</i>	53
Gambar 3. 29	Gambar Diagram Alir Alur Penulisan	54
Gambar 4. 1	Data Percepatan Gempa Tasikmalaya 2 September 2009	55
Gambar 4. 2	Respon Spektrum Gempa Tasikmalaya 2 September 2009.....	56
Gambar 4. 3	Data Percepatan Gempa Tasikmalaya yang sudah di <i>Scale-up</i>	56
Gambar 4. 4	Respon Spektrum Gempa Tasikmalaya <i>Scale-up</i>	57
Gambar 4. 5	Data Percepatan Gempa El Centro 1940 yang sudah dimodifikasi <i>RESMAT</i>	57
Gambar 4. 6	Respon Spektrum Gempa El Centro 1940 yang sudah dimodifikasi <i>RESMAT</i>	58
Gambar 4. 7	Grafik Perbandingan Respon Spektrum.....	59
Gambar 4. 8	Proses Modifikasi Data Gempa dengan Program <i>RESMAT</i>	60
Gambar 4. 9	Data Percepatan Gempa El Centro 1940.....	61

Gambar 4. 10	Gambar Perbandingan Percepatan Gempa El Centro 1940 & El Centro 1940 Modifikasi <i>RESMAT</i>	61
Gambar 4. 11	Opsi Pemilihan Permodelan Dinding dengan Elemen Shell pada <i>SAP 2000</i>	63
Gambar 4. 12	Gambar Permodelan Gaya Gesek pada Umpak	63
Gambar 4. 13	Gambar Hubungan Gaya Geser dan Deformasi yang Terjadi pada Umpak.....	64
Gambar 4. 14	Bidang Kern Umpak	65
Gambar 4. 15	Input <i>NNLINK Friction Pendulum</i> pada <i>SAP 2000</i>	66
Gambar 4. 16	3-D Permodelan Rumah Panggung Kayu pada <i>SAP 2000</i>	67
Gambar 4. 17	3-D Permodelan Rumah Dinding pada <i>SAP 2000</i>	68
Gambar 4. 18	Denah Perletakan Umpak.....	69
Gambar 4. 19	Denah Kolom yang Ditinjau	70
Gambar 4. 20	Grafik Hubungan Deformasi vs Waktu Akibat Gempa Tasikmalaya 2 September 2009.....	72
Gambar 4. 21	Grafik Hubungan Gaya Aksial vs Waktu Akibat Gempa Tasikmalaya 2 September 2009.....	73
Gambar 4. 22	Grafik Hubungan Gaya Geser vs Waktu Akibat Gempa Tasikmalaya 2 September 2009.....	74
Gambar 4. 23	Grafik Hubungan Gaya Geser vs Deformasi Akibat Gempa Tasikmalaya 2 September 2009.....	75
Gambar 4. 24	Grafik Hubungan Gaya Geser Dasar vs Waktu Akibat Gempa Tasikmalaya 2 September 2009.....	76
Gambar 4. 25	Grafik Hubungan Deformasi vs Waktu Akibat Gempa Tasikmalaya <i>Scale-up</i>	80
Gambar 4. 26	Grafik Hubungan Gaya Aksial vs Waktu Akibat Gempa Tasikmalaya <i>Scale-up</i>	81
Gambar 4. 27	Grafik Hubungan Gaya Geser vs Waktu Akibat Gempa Tasikmalaya <i>Scale-up</i>	82

Gambar 4. 28	Grafik Hubungan Gaya Geser vs Deformasi Akibat Gempa Tasikmalaya <i>Scale-up</i>	83
Gambar 4. 29	Grafik Hubungan Gaya Geser Dasar vs Waktu Akibat Gempa Tasikmalaya <i>Scale-up</i>	84
Gambar 4. 30	Grafik Hubungan Deformasi vs Waktu Akibat Gempa El Centro <i>RESMAT</i>	86
Gambar 4. 31	Grafik Hubungan Gaya Aksial vs Waktu Akibat Gempa El Centro <i>RESMAT</i>	87
Gambar 4. 32	Grafik Hubungan Gaya Geser vs Waktu Akibat Gempa El Centro <i>RESMAT</i>	88
Gambar 4. 33	Grafik Hubungan Gaya Geser vs Deformasi Akibat Gempa El Centro <i>RESMAT</i>	89
Gambar 4. 34	Grafik Hubungan Gaya Geser Dasar vs Waktu Akibat Gempa El Centro <i>RESMAT</i>	90
Gambar 4. 35	Diagram Deformasi pada Umpak	91
Gambar 4. 36	Diagram Deformasi pada Umpak akibat Gempa Tasikmalaya 2 September 2009	92
Gambar 4. 37	Diagram Deformasi pada Umpak akibat Gempa Tasikmalaya <i>Scale-up</i>	93
Gambar 4. 38	Diagram Deformasi pada Umpak akibat Gempa El Centro 1940 <i>RESMAT</i>	93
Gambar 4. 39	Diagram Gaya Geser pada Kolom yang Terjadi pada Permodelan Struktur dengan Umpak	95
Gambar 4. 40	Diagram Gaya Geser pada Kolom yang Terjadi pada Permodelan Struktur dengan Sendi	96
Gambar 4. 41	Diagram Gaya Momen pada Kolom yang Terjadi pada Permodelan Struktur dengan Umpak	98
Gambar 4. 42	Diagram Gaya Momen pada Kolom yang Terjadi pada Permodelan Struktur dengan Umpak	99
Gambar 4. 43	Diagram Base Shear yang Terjadi pada Permodelan Struktur dengan Umpak	101

Gambar 4. 44	Diagram Base Shear yang Terjadi pada Permodelan Struktur dengan Umpak.....	102
Gambar 4. 45	Grafik Hubungan Periode dengan Gaya Geser Dasar yang Diterima pada Permodelan.....	105
Gambar 4. 46	Grafik Hubungan Periode dengan Gaya Geser Dasar yang Diterima pada Permodelan Diperbesar	106
Gambar 4. 47	Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah X Bangunan Akibat Pembebanan Gempa Tasikmalaya Asli	107
Gambar 4. 48	Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah X Bangunan Akibat Pembebanan Gempa Tasikmalaya Asli Sisi Kiri Bangunan.....	107
Gambar 4. 49	Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah Y Bangunan Akibat Pembebanan Gempa Tasikmalaya Asli	108
Gambar 4. 50	Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah Y Bangunan Akibat Pembebanan Gempa Tasikmalaya Asli Sisi Depan Bangunan.....	108
Gambar 4. 51	Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah X Bangunan Akibat Pembebanan Gempa Tasikmalaya <i>Scale-up</i>	109
Gambar 4. 52	Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah X Bangunan Akibat Pembebanan Gempa Tasikmalaya <i>Scale-up</i> Sisi Kiri Bangunan.....	109
Gambar 4. 53	Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah Y Bangunan Akibat Pembebanan Gempa Tasikmalaya <i>Scale-up</i>	110
Gambar 4. 54	Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah Y Bangunan Akibat Pembebanan Gempa Tasikmalaya <i>Scale-up</i> Sisi Depan Bangunan.....	110
Gambar 4. 55	Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah X Bangunan Akibat Pembebanan Gempa El Centro <i>RESMAT</i>	111
Gambar 4. 56	Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah X Bangunan Akibat Pembebanan Gempa El Centro <i>RESMAT</i> Sisi Kiri Bangunan.....	111
Gambar 4. 57	Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah Y Bangunan Akibat Pembebanan Gempa El Centro <i>RESMAT</i>	112

Gambar 4. 58 Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah Y Bangunan Akibat Pembebanan Gempa El Centro *RESMAT* Sisi Depan Bangunan..... 112

Gambar 4. 59 Gambar Gaya Geser Dasar Akibat Gempa Arah X pada Bangunan Dinding Bata 113

Gambar 4. 60 Gambar Gaya Geser Dasar Akibat Gempa Arah X pada Bangunan Dinding Bata 114



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	121
LAMPIRAN 2	133
LAMPIRAN 3	134



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pada tanggal 2 September 2009 sekitar jam 14.55 WIB terjadi gempa bumi tektonik di Tasikmalaya dengan kekuatan 7,3 skala richter. Gempa yang tepatnya berpusat di 8,24 LS -107,32 BT atau sekitar 142 km barat daya Tasikmalaya, Jawa Barat dengan kedalaman 30 km dirasakan hampir seluruh pulau Jawa terutama di Jawa Barat yaitu Tasikmalaya, Cianjur, Bandung, Sukabumi, Ciamis, Garut, Bogor dan Sukabumi. Kejadian gempa tektonik tersebut telah menyisakan kerusakan bangunan yang cukup besar terutama di kabupaten Tasikmalaya dan kabupaten Garut yang merupakan kota yang paling dekat dengan gempa bumi. Di kabupaten Tasikmalaya sendiri, kerusakan paling besar terjadi di kecamatan Cigalontang dan Salawu, sedangkan di kabupaten Garut, kerusakan paling besar terjadi di kecamatan Pameungpeuk. Kerusakan struktur terutama terjadi pada bangunan-bangunan gedung yang umumnya terbuat dari konstruksi batu bata. Bentuk dan tingkat kerusakan yang terjadi pada bangunan bertingkat dan sederhana mulai dari yang ringan sampai berat. Selain menimbulkan kerusakan, gempa bumi yang terjadi juga menimbulkan korban jiwa. Di wilayah Tasikmalaya, terdapat 1.407 rumah rusak berat, 1.219 rumah rusak ringan, 18 gedung pemerintah rusak ringan, 15 tempat ibadah rusak ringan, 2 orang meninggal dunia, 27 orang luka berat dan 8 orang luka ringan, sedangkan untuk wilayah Garut terdapat 653 rumah rusak berat, 16 rumah rusak ringan, 9 orang meninggal dunia, 68 orang luka berat dan 16 orang luka ringan (*sumber kompas*).

Kerusakan terjadi karena banyaknya bangunan yang tidak memenuhi standar perencanaan untuk bangunan tahan gempa sesuai dengan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 03-1726-2002. Ketika pengamatan dilakukan ke daerah yang terkena dampak gempa yaitu di daerah Cigalontang dan Salawu, Tasikmalaya dan Pameungpeuk, Garut dapat dilihat kerusakan terparah terjadi pada bangunan *non-engineered* terutama rumah-rumah penduduk dari dinding bata. Namun untuk rumah-rumah *non-engineered*

dari kayu, kerusakan yang diakibatkan oleh gempa sangat ringan atau malah sama sekali tidak mengakibatkan kerusakan. Dalam studi kasus ini, akan dibuat simulasi bangunan *non-engineered* rumah kayu dan rumah dinding bata dan pengaruh yang didapat akibat gempa Tasikmalaya 2 September 2009, gempa Tasikmalaya yang sudah di *scale-up* sesuai SNI 03-1726-2002 dan juga gempa El Centro 1940 yang sudah dimodifikasi sesuai SNI 03-1726-2002.

1.2 Maksud dan Tujuan

Menganalisa respon dinamik bangunan *non-engineered* rumah kayu dan rumah dinding bata beban gempa Tasikmalaya 2 September 2009, gempa Tasikmalaya yang sudah di *scale-up* sesuai SNI 03-1726-2002 dan juga gempa El Centro 1940 yang sudah dimodifikasi sesuai SNI 03-1726-2002 menurut perhitungan respon riwayat waktu.

1.3 Permasalahan

Pada bangunan-bangunan yang ada di daerah Tasikmalaya dan Garut khususnya kecamatan Cigalontang, Tasikmalaya dan kecamatan Pameungpeuk, Garut pasca terjadinya gempa, banyak sekali bangunan-bangunan yang rusak parah secara struktural terutama bangunan *non-engineered*, sehingga sangat tidak mungkin untuk dilakukan tindakan perbaikan. Hal ini terjadi karena banyaknya bangunan yang tidak memenuhi persyaratan kelayakan bangunan sebagai bangunan yang aman dan tahan gempa sesuai SNI 03-1726-2002. Kerusakan yang terjadi umumnya terdapat pada keruntuhan dinding dimana dinding tidak mampu menahan beban yang ditimbulkan akibat gempa. Hal lain yang terjadi adalah tidak adanya struktur kolom yang memadai dalam bangunan tersebut dimana bangunan tersebut hanya ditahan oleh dinding sebagai penahan berat struktur, terutama atap.

Lain halnya untuk bangunan rumah kayu, bentuk kerusakan yang terjadi cukup kecil atau ringan, dimana hampir pada setiap bangunan rumah yang diamati tidak terjadi kerusakan. Sehingga hanya perlu dianalisa bagaimana perilaku respon kedua bangunan tersebut terhadap pembeban dinamik akibat gempa.

1.4 Pembatasan Masalah

Untuk penulisan studi kasus ini dibatasi oleh beberapa lingkup permasalahan yang akan dijadikan acuan dalam analisa permodelan, diantaranya adalah

1. Pembatasan terhadap kegunaan
 - Daerah gempa yang ditinjau adalah daerah Tasikmalaya-Garut dengan wilayah gempa 4 dan jenis tanah lunak.
 - Gempa yang dipakai dalam analisa adalah gempa Tasikmalaya Asli (gempa Tasikmalaya 2 September 2009), gempa Tasikmalaya yang sudah di *Scale-up* dalam perencanaannya sesuai SNI 03-1726-2002 dan gempa El Centro 1940 yang sudah dimodifikasi sesuai SNI 03-1726-2002.
2. Pembatasan terhadap bangunan yang ditinjau
 - Struktur yang akan ditinjau adalah bangunan *non-engineered* rumah kayu dan rumah dinding bata. Dimana dalam menentukan kriteria bangunan diatas digunakan lingkup sebagai berikut yaitu :
 - Bangunan *non-engineered* rumah dinding bata adalah bangunan yang tidak mempunyai kolom sebagai bagian struktur utama struktur, tetapi menggunakan pasangan bata dengan dinding tanpa kolom sebagai komponen struktur utama.
 - Bangunan *non-engineered* rumah kayu adalah bangunan yang struktur utamanya dibangun dari bahan kayu dan menggunakan umpak sebagai pondasi.
3. Pembatasan terhadap analisa permodelan
 - Analisa permodelan struktur dengan analisa riwayat waktu
 - Visualisasi analisa dinamik struktur secara 3 dimensi dengan pembebanan dinamik menggunakan program komputer. Program yang dipakai dalam analisa permodelan adalah *SAP 2000 v.11 (Structure Analysis Program)*. *SAP 2000* merupakan sebuah program komputer yang dirancang untuk analisis linier dan non-linier, analisa statik dan dinamik dari gedung.

1.5 Metodologi Penulisan

Penelitian dilakukan dengan menganalisa langsung di lapangan bangunan *non-engineered* rumah kayu dan rumah dinding bata. Lalu hasil penelitian akan dimodelisasi sesuai dengan kondisi aktual bangunan. Selanjutnya untuk mengevaluasi responnya, bangunan ini akan dievaluasi dengan analisa dinamik riwayat waktu dengan bantuan program *SAP 2000 v.11 (Structure Analysis Program)*. Kinerja seismik dari bangunan tersebut akan dievaluasi berdasarkan respon struktur yang terjadi.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan skripsi ini ialah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang penulisan, deskripsi masalah dan signifikansi masalah, perumusan masalah, pembatasan permasalahan, tujuan penulisan skripsi, manfaat penulisan skripsi, dan sistematika penulisan skripsi.

BAB 2 TEORI DASAR

Bab ini menguraikan tentang teori yang berhubungan dengan penulisan pada skripsi ini dengan kajian dari beberapa tinjauan pustaka (berupa tesis, jurnal, dan buku pedoman) yang terkini dan relevan.

BAB 3 METODE PENULISAN

Bab ini menguraikan tentang kerangka pikir, model penulisan, dan metode penulisan yang akan digunakan dalam pengumpulan data primer dan metode pengolahan data yang akan digunakan selanjutnya untuk analisa.

BAB 4 ANALISA

Bab ini akan memaparkan hasil-hasil dari penulisan yang telah dilakukan serta membahas hasil yang diperoleh dari penulisan yang telah dilakukan.

BAB 5 PENUTUP

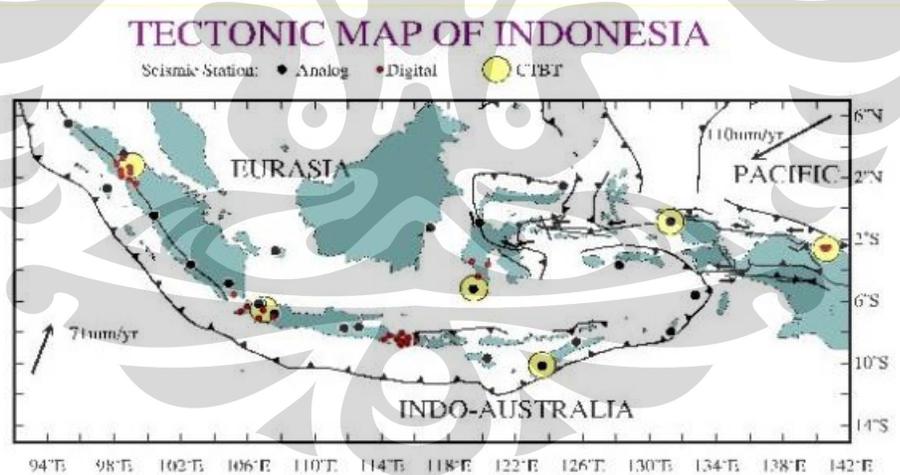
Merupakan rangkuman dari seluruh bab yang berupa kesimpulan dari hasil analisa dan percobaan data-data hasil penulisan serta saran yang dapat diberikan untuk perkembangan konstruksi ke depannya.

BAB 2

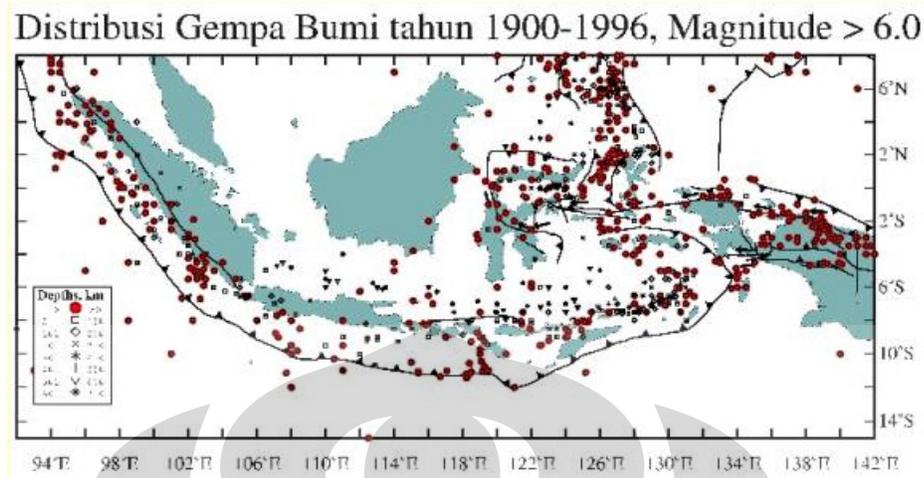
TEORI DASAR

2.1 Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu daerah dengan aktivitas gempa yang tinggi. Hal ini disebabkan lokasi Indonesia yang terletak pada pertemuan empat lempeng tektonik utama, yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia, Pasifik dan Filipina (Gambar 2.1). Pertemuan lempeng-lempeng tersebut mengakibatkan mekanisme tektonik dan kondisi geologi Indonesia menjadi lebih rumit (Simandjuntak, 1994). Aktivitas gempa di Indonesia yang tinggi juga dapat dikumpulkan dari katalog-katalog gempa nasional maupun internasional. Data-data tersebut menunjukkan bahwa dalam rentang waktu antara 1897-2000 terdapat sekitar 8237 kejadian gempa dengan magnitudo $M_s > 5$. Lokasi episenter dari gempa-gempa dan distribusi gempa bumi yang pernah terjadi sejak tahun 1900 sampai 1996 dengan skala magnitudo > 6 tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 1 Peta Gempa Tektonik Indonesia



Gambar 2. 2 Peta Distribusi Gempa Bumi Tahun 1900-1996, Magnitude > 6

2.1.1 Tipe gempa bumi dan Penyebabnya

Berikut adalah macam-macam gempa bumi dan penyebabnya, yaitu:

1. Gempa bumi vulkanik (gunung api)

Gempa bumi ini terjadi akibat adanya aktivitas magma, yang biasa terjadi sebelum gunung api meletus. Apabila keaktifannya semakin tinggi maka akan menyebabkan timbulnya ledakan yang juga akan menimbulkan terjadinya gempa bumi. Gempa bumi tersebut hanya terasa di sekitar gunung api tersebut.

2. Gempa bumi tektonik

Gempa bumi ini disebabkan oleh adanya aktivitas tektonik, yaitu pergeseran lempeng lempeng tektonik secara mendadak yang mempunyai kekuatan dari yang sangat kecil hingga yang sangat besar. Gempa bumi ini banyak menimbulkan kerusakan atau bencana alam di bumi, getaran gempa bumi yang kuat mampu menjalar keseluruh bagian bumi.

3. Gempa bumi tumbukan

Gempa bumi ini diakibatkan oleh tumbukan meteor atau asteroid yang jatuh ke bumi, jenis gempa bumi ini jarang terjadi.

4. Gempa bumi runtuh

Gempa bumi ini biasanya terjadi pada daerah kapur ataupun pada daerah pertambangan, gempabumi ini jarang terjadi dan bersifat lokal.

5. Gempa bumi buatan

Gempa bumi buatan adalah gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas dari manusia, seperti peledakan dinamit, nuklir atau palu yang dipukulkan ke permukaan bumi.

2.1.2 Teori Lempeng Tektonik

1. Kerak bumi terdiri dari beberapa lempengan (*lithosphere*) sebesar benua dengan ketebalan ± 80 km
2. Lempeng tektonik ini merupakan bagian oceanis maupun kontinental
3. Lempeng-lempeng *lithosphere* terapung di atas lapisan *asthenosphere* dan dipisahkan satu sama lain oleh batas lempeng (*plate boundary*) dimana pada batas lempeng ini terbentuk tiga jalur gempa bumi, yaitu:

- Circum Pacific Earthquake Belt (Great Earthquake Belt)
- Alfide Earthquake Belt (Trans Asiatic Earthquake Belt)
- Mid Atlantic Oceanic Earthquake Belt

Indonesia terletak pada pertemuan 3 lempeng yaitu:

- Lempeng Hindia-Australia
- Lempeng Pasifik
- Lempeng Eurasia

Lempeng-lempeng tersebut yang membentuk 2 jalur gempa bumi:

- Circum Pasifik Earthquake Belt (Great Earthquake Belt)
- Alfide Earthquake Belt (Trans Asiatic Earthquake Belt)

Lempeng tektonik bergerak relatif satu dengan yang lain dengan kecepatan rata-rata 1-100 mm/tahun.

2.1.3 Sifat-sifat Gempa Bumi

1. Global

Secara geografis, distribusinya terstruktur terdapat daerah gempa bumi atau dengan gempa bumi yang besar.

2. Melepaskan energi yang sangat besar
3. Pelepasan energi bisa terjadi di benua (daratan) maupun di lautan, pelepasan energi di lautan menyebabkan *tsunami*.
4. Datang secara berkelompok baik terhadap waktu maupun ruang.
5. Kedalam *focus* (titik api) gempa bervariasi sampai 700 km. Distribusi frekuensi gempa merupakan fungsi dari kedalaman *focus* namun tidak seragam terhadap kedalaman maupun geografis.

Gempa dangkal adalah gempa yang melepaskan energi sedang dan besar selalu disertai dengan deformasi tanah di permukaan. Deformasi ini dapat berupa patahan (*fault*) maupun pengangkatan permukaan (*surfaceuplift/subsidence*).

Gempa bumi dapat digolongkan berdasarkan kedalaman *hypocenter* :

- Gempa dangkal < 70 km
- Gempa menengah 70-300 km
- Gempa dalam > 300 km

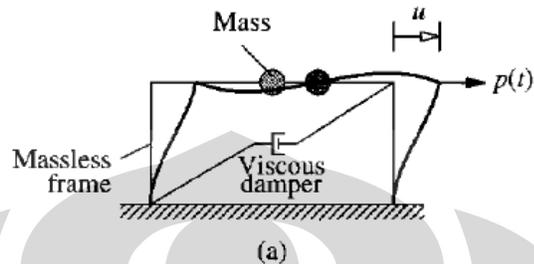
2.2 Teori Dinamika Struktur

2.2.1 SDOF (*Single Degree of Freedom*)

Pada umumnya struktur berkesinambungan (*continuous structure*) mempunyai jumlah derajat kebebasan (*number of degrees of freedom*) tak berhingga. Namun dengan proses idealisasi atau seleksi sebuah model matematis yang tepat dapat mereduksi jumlah derajat kebebasan menjadi suatu jumlah diskrit untuk beberapa keadaan dapat menjadi berderajat-kebebasan-tunggal (*single degrees of freedom*) dalam analisa dinamik, yaitu struktur yang dimodelisasi sebagai sistem dengan koordinat perpindahan tunggal (*single displacement coordinate*).

Untuk keperluan analisa dinamik, suatu struktur diidealiasikan sebagai hanya memiliki satu *DOF* (perpindahan lateral) dimana massa struktur terkonsentrasi pada satu lokasi, frame dengan massa kecil yang memberi kekakuan pada sistem serta *viscous damper* (*dashpot*) yang menghilangkan energi

getaran pada sistem. Sehingga untuk struktur tersebut dapat dikatakan merupakan struktur dengan sistem derajat kebebasan tunggal.

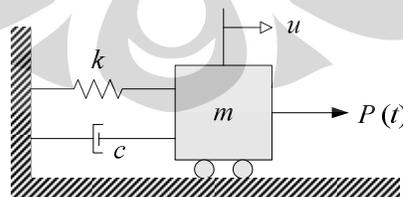


Gambar 2.3 Struktur SDOF (Single Degree of Freedom)

2.2.1.1 Komponen kekakuan, redaman, dan massa (SDOF)

Sistem berderajat kebebasan tunggal dapat dijelaskan secara tepat dengan model matematis pada Gambar 2.4 yang mempunyai elemen-elemen sebagai berikut:

1. Elemen massa m menyatakan massa dan sifat inersia dari struktur
2. Elemen pegas k yang menyatakan gaya balik elastic (*elastic restoring force*)
3. Elemen redaman c yang menyatakan sifat geseran dan kehilangan energy dari struktur
4. Gaya pengaruh $P(t)$ yang menyatakan gaya luar yang bekerja pada waktu.



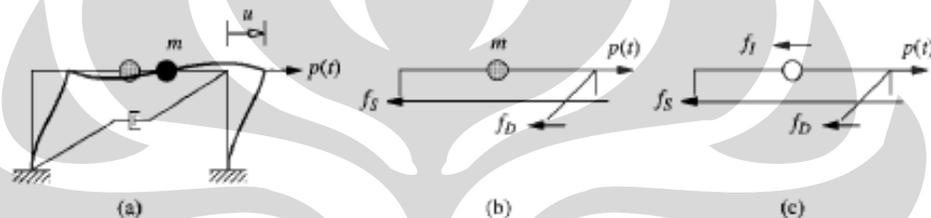
Gambar 2.4 Model struktur dengan komponen massa, redaman, dan kekakuan

2.2.1.2 Persamaan Gerak Dinamik (SDOF)

Persamaan dinamik dari suatu sistem struktur dapat dijabarkan dengan menggunakan dua metode yaitu hukum kedua *Newton*, dan kesetimbangan dinamik (*d'Alembert's Principal*).

1. Persamaan Gerak (Akibat Gaya Luar)

Idelisasi struktur portal *one-story frame* yang diakibatkan oleh adanya pembebanan gaya luar dinamik $p(t)$ yang bervariasi terhadap waktu dimodelkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Idealisasi Struktur Akibat Gaya Luar

Dengan prinsip kesetimbangan dinamik (*d'Alembert's Principle*) dan hukum kedua *Newton*, diberikan persamaan:

$$f_I + f_D + f_S = p(t) \quad 2.1$$

Dimana:

$$f_I : \text{ gaya inersia} = m\ddot{u} \quad 2.1.a$$

$$f_D : \text{ gaya redaman} = c\dot{u} \quad 2.1.b$$

$$f_S : \text{ gaya elastis (kekakuan)} = ku \quad 2.1.c$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.1.a), persamaan (2.1.b) dan persamaan (2.1.c) ke persamaan (2.1), maka akan diperoleh persamaan :

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t) \quad 2.2$$

2. Persamaan Gerak (Akibat Eksitasi Gempa)

Pada daerah gempa, masalah utama dari struktur dinamik adalah perilaku srtuktur terhadap pergerakan dasar (*base motion*) dari

struktur. Perpindahan perletakan pada kondisi gempa tersebut dapat diberikan dengan persamaan:

$$u^t(t) = u(t) + u_g(t) \quad 2.3$$

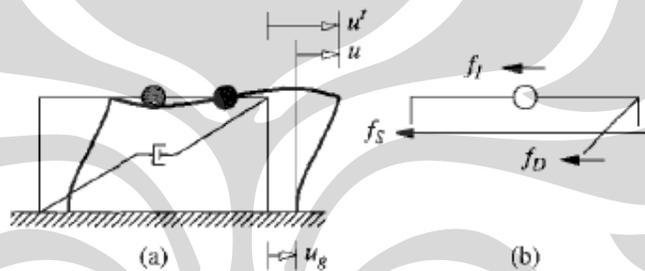
Dimana:

u_g : perpindahan perletakan (displacement of the ground)

u^t : perpindahan total dari massa

u : perpindahan relatif dari massa dan perletakan

Idelisasi struktur portal one-story frame yang diakibatkan oleh adanya eksitasi gaya gempa dimodelkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Idealisasi Struktur Akibat Perpindahan Perletakan

Dengan prinsip kesetimbangan dinamik (*d'Alembert's Principle*) dan hukum kedua *Newton*, diberikan persamaan:

$$f_I + f_D + f_S = 0 \quad 2.4$$

Dimana:

$$f_I : \text{gaya inersia} = m\ddot{u}^t \quad 2.4.a$$

$$f_D : \text{gaya redaman} = c\dot{u} \quad 2.4.b$$

$$f_S : \text{gaya elastis (kekakuan)} = ku \quad 2.4.c$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.4.a), persamaan (2.4.b), persamaan (2.4.c) dan persamaan (2.3) ke persamaan (2.5), maka akan diperoleh persamaan:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g(t) \quad 2.5$$

Atau dengan membandingkan dengan persamaan diatas didapat:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p_{eff}(t) \quad 2.6$$

Dimana

$$p_{eff}(t) = -m\ddot{u}_g(t) \quad 2.7$$

Gaya dinamik $p_{eff}(t)$ disebabkan oleh perpindahan perletakan yang disebabkan oleh perpindahan perletakan akibat percepatan tanah \ddot{u}_g sama dengan deformasi yang disebabkan oleh gaya luar $p(t)$ yang nilainya sama dengan $-m\ddot{u}_g(t)$. Tanda negatif menunjukkan bahwa nilai p_{eff} berlawanan dengan percepatan tanah \ddot{u}_g .

2.2.1.3 Getaran Bebas (*free vibration*) (SDOF)

Suatu struktur dikatakan mengalami getaran bebas (*free vibration*) jika struktur tersebut diganggu dari posisi kesetimbangan statik dan mengalami getaran bebas tanpa adanya suatu eksitasi dinamik.

Suatu struktur mengalami getaran bebas memiliki karakteristik $p(t)$ sama dengan nol. Penyelesaian umum persamaan dinamik struktur tersebut terdiri dari penyelesaian komplementer (*complementary solution*) dan penyelesaian partikular (*particular solution*) yang merupakan penyelesaian homogen, dimana bagian kanan tanda sama dengan nol.

Secara fisik keadaan ini dapat diartikan sebagai suatu gerakan yang terjadi tanpa adanya gaya luar (getaran bebas, *free vibration*). Sehingga persamaan umum dinamik getaran bebas dengan asumsi sistem tanpa redaman ($c = 0$) menjadi:

$$m\ddot{u} + ku = 0 \quad 2.8$$

Dengan mensubsitisi nilai lendutan awal, $u(0)$ dan kecepatan awal, $\dot{u}(0)$ pada waktu sama dengan nol ke persamaan (2.8), maka akan diperoleh:

$$u(t) = u(0) \cos \omega_n t + \frac{\dot{u}(0)}{\omega_n} \sin \omega_n t \quad 2.9$$

Dimana

ω_n = frekuensi alami dari getaran dalam rad/detik.

Dengan hubungan ω_n dengan massa dan kekakuan adalah

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

2. 10

Persamaan getaran bebas pada persamaan merupakan getaran harmonik sederhana yang karakteristiknya sangat ditentukan oleh besarnya amplitudo (*amplitude*, u_o) dan periode alami (*natural period*, T_n) getaran tersebut. Periode alami, T_n adalah waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu siklus getaran harmonis secara lengkap. Besarnya periode alami, T_n dapat diperoleh sebagai berikut:

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n}$$

2. 11

Hubungan antara frekuensi, f_n dan periode alami, T_n dapat dirumuskan sebagai:

$$f_n = \frac{1}{T_n}$$

2. 12

2.2.1.4 Getaran Paksa (*forced vibration*) (SDOF)

Struktur dapat dibayangkan mengalami getaran paksa dimana terdapat gaya paksaan yang mengganggu struktur berbentuk beban luar $p(t)$. Sehingga persamaan umum dinamik getaran paksa dengan asumsi sistem tanpa redaman ($c = 0$) menjadi:

$$m\ddot{u} + ku = p(t)$$

2. 13

Bila keadaan awal dari getaran paksa ini tidak sama dengan nol, maka penyelesaian persamaan diatas adalah penyelesaian umum yang terdiri dari penyelesaian partikular dan penyelesaian komplementer. Bila keadaan awal dari getaran paksa ini nol, maka penyelesaian persamaan diatas hanya terdiri dari penyelesaian partikular, dimana penyelesaian ini untuk bentuk-bentuk dari $p(t)$, misalnya *polynomial* atau fungsi harmonis. Gaya luar (dinamik) yang membebani struktur dapat berupa beban impuls yang merupakan gaya yang cukup

besar yang akan terjadi secara tiba-tiba dan berlangsung dalam waktu yang relatif singkat. Dan gaya lainnya ialah gaya sembarang yang merupakan rangkaian beban impuls yang berbeda besaran. Dalam menyelesaikan persamaan di atas dapat menggunakan dengan persamaan differensial, dimana biasanya menggunakan *integral Duhamel* yang merupakan fungsi sederhana yang merupakan integrasi terhadap waktu.

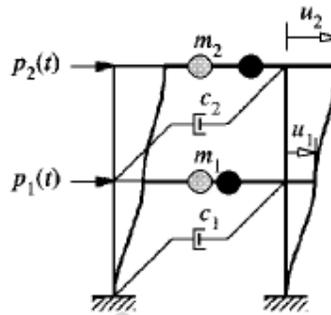
$$u(t) = \frac{1}{m\omega} \int_0^t p(\tau) \sin(\omega(t - \tau)) d\tau$$

2. 14

2.2.2 MDOF (*Sistem Derajat Kebebasan Majemuk*)

Pada umumnya, respon dinamik dari struktur tidak dapat diuraikan secara memadai dengan suatu model SDOF, respons biasanya mencakup variasi waktu dari bentuk perpindahan demikian pula amplitudonya. Sifat-sifat seperti ini hanya dapat diuraikan dalam bentuk lebih dari satu derajat kebebasan. Jumlah derajat kebebasan (komponen-komponen perpindahan) yang akan ditinjau tergantung kepada kebijaksanaan analisis, dimana makin besar jumlah yang diberikan makin baik pendekatan sifat dinamik yang sebenarnya, tetapi dalam banyak hal hasil-hasil yang sangat baik dapat diperoleh dengan hanya dua atau tiga derajat kebebasan saja.

Untuk permodelan sistem berderajat kebebasan banyak, disini diambil sistem sederhana portal dua tingkat sebagai sistem paling sederhana dari sistem berderajat kebebasan banyak. Dimana pada sistem tersebut bekerja gaya luar $p_1(t)$ dan $p_2(t)$. Sistem seperti yang diidelisasikan pada sistem berderajat kebebasan tunggal dimana struktur memiliki bagian-bagian seperti massa, kekakuan dan dissipasi energy pada lantai 1 (m_1, k_1, c_1) dan pada lantai 2 (m_2, k_2, c_2).



Gambar 2. 7 Struktur MDOF (Multy Degree of Freedom)

Sehingga untuk suatu portal dengan tinggi N lantai dapat diidealisasikan memiliki komponen struktur (m_N, k_N, c_N) .

2.2.2.1 Komponen kekakuan, redaman, dan massa (MDOF)

Seperti yang sudah dibahas sebelumnya sebuah sistem struktur portal bertingkat N memiliki komponen struktur (m_N, k_N, c_N) . Sehingga pada sistem berderajat kebebasan banyak, komponen elemen massa, kekakuan dan redaman pada sistem struktur berderajat kebebasan banyak dapat diberikan dengan matriks seperti dibawah ini:

1. Persamaan Elemen Massa

$$f_{Ii} = m_{i1}\ddot{u}_1 + m_{i2}\ddot{u}_2 + \dots + m_{ij}\ddot{u}_j + \dots + m_{iN}\ddot{u}_N \quad (2.15)$$

Dimana gaya f_{Ii} pada DOF I berhubungan dengan percepatan $\ddot{u}_j, j = 1$ sampai N atau dapat dimeodelkan dengan matriks sebagai

$$\begin{bmatrix} f_{I1} \\ f_{I2} \\ \vdots \\ f_{IN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & \dots & m_{1j} & \dots & m_{1N} \\ m_{21} & m_{22} & \dots & m_{2j} & \dots & m_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ m_{N1} & m_{N2} & \dots & m_{Nj} & \dots & m_{NN} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \\ \vdots \\ \ddot{u}_N \end{Bmatrix} \quad (2.16)$$

2. Persamaan Elemen Redaman

$$f_{Di} = c_{i1}\dot{u}_1 + c_{i2}\dot{u}_2 + \dots + c_{ij}\dot{u}_j + \dots + c_{iN}\dot{u}_N \quad (2.17)$$

Dimana gaya f_{Di} pada DOF I berhubungan dengan kecepatan $\dot{u}_j, j = 1$ sampai N atau dapat dimeodelkan dengan matriks sebagai

$$\begin{bmatrix} f_{D1} \\ f_{D2} \\ \vdots \\ f_{DN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1j} & \cdots & c_{1N} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2j} & \cdots & c_{2N} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ c_{N1} & c_{N2} & \cdots & c_{Nj} & \cdots & c_{NN} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \\ \vdots \\ \dot{u}_N \end{Bmatrix} \quad (2.18)$$

3. Persamaan Elemen Kekakuan

$$f_{Si} = k_{i1}u_1 + k_{i2}u_2 + \cdots + k_{ij}u_j + \cdots + k_{iN}u_N \quad (2.19)$$

dimana gaya f_{Si} pada DOF I berhubungan dengan lendutan $u_j, j = 1$ sampai N atau dapat dimeodelkan dengan matriks sebagai

$$\begin{bmatrix} f_{S1} \\ f_{S2} \\ \vdots \\ f_{SN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \cdots & k_{1j} & \cdots & k_{1N} \\ k_{21} & k_{22} & \cdots & k_{2j} & \cdots & k_{2N} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ k_{N1} & k_{N2} & \cdots & k_{Nj} & \cdots & k_{NN} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_N \end{Bmatrix} \quad (2.20)$$

2.2.2.2 Persamaan Gerak Dinamik (MDOF)

Dengan menganalogikan permodelan struktur berderajat kebebasan banyak dengan struktur berderajat kebebasan tunggal, maka untuk persamaan gerak pada struktur berderajat kebebasan banyak, dengan banyaknya derajat kebebasan dari satu kesatuan struktur maka dalam persamaan dinamik dibuat dalam bentuk matriks.

1. Akibat gaya luar (dinamik)

Dimana pada struktur portal bertingkat N bekerja gaya $P(t)$ pada tiap tingkat. Dengan prinsip kesetimbangan dinamik (*d'Alembert's Principle*) dan hukum kedua Newton, diberikan persamaan dalam bentuk matriks berupa:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{P(t)\} \quad (2.21)$$

Dimana $[M]$ adalah matriks massa, $[C]$ adalah matriks redaman, dan $[K]$ adalah matriks kekakuan statik dari elemen struktur. Vektor $\{u\}$, $\{\dot{u}\}$, dan $\{\ddot{u}\}$ adalah nilai lendutan, kecepatan, dan percepatan dari suatu titik yang bervariasi terhadap waktu.

2. Akibat perpindahan perletakan

Dimana pada struktur portal bertingkat N bekerja gaya $\ddot{u}_g(t)$. Dengan prinsip kesetimbangan dinamik (*d'Alembert's Principle*) dan hukum kedua Newton, diberikan persamaan dalam bentuk matriks berupa :

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\{i\}\ddot{u}_g(t) \quad (2.22)$$

Dimana $[M]$ adalah matriks massa, $[C]$ adalah matriks redaman, dan $[K]$ adalah matriks kekakuan statik dari elemen struktur. Vektor $\{u\}$, $\{\dot{u}\}$, dan $\{\ddot{u}\}$ adalah nilai lendutan, kecepatan, dan percepatan relatif dari suatu titik yang bervariasi terhadap waktu. Vektor $\{i\}$ adalah *influence factor* yang semua nilainya adalah 1.

2.2.2.3 Getaran Bebas (*free vibration*) (MDOF)

Dengan menganalogikan persamaan getaran bebas pada sistem berderajat kebebasan tunggal dengan sistem berderajat kebebasan banyak maka didapat persamaan umum dinamik getaran bebas dengan asumsi sistem redaman ($c = 0$), yaitu:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{0\} \quad (2.23)$$

Untuk menyelesaikan persamaan diatas, maka diambil persamaan lendutan sebagai berikut:

$$u(t) = q_n(t)\phi_n \quad (2.24)$$

Dimana:

$q_n(t)$ = lendutan yang bervariasi terhadap waktu secara harmonik

ϕ_n = vektor fungsi bentuk yang tidak bervariasi terhadap waktu

Fungsi $q_n(t)$ merupakan fungsi lendutan harmonik sederhana yaitu:

$$q_n(t) = A_n \cos(\omega_n t) + B_n \sin(\omega_n t) \quad (2.25)$$

Dimana A_n dan B_n adalah konstanta integrasi yang dapat dihitung berdasarkan kondisi awal. Dengan mengkombinasikan persamaan (2.23) dan (2.24) serta mensubstitusikannya ke dalam persamaan (2.25), maka akan diperoleh persamaan berikut:

$$[-\omega_n^2 m \phi_n + k \phi_n] q_n(t) = 0 \quad (2.26)$$

Dimana ω_n adalah frekuensi alami struktur, m adalah massa struktur dan k adalah kekakuan struktur.

2.2.2.4 Getaran Paksa (*forced vibration*) (MDOF)

Dengan menganalogikan persamaan getaran paksa pada sistem berderajat kebebasan tunggal dengan sistem berderajat kebebasan banyak maka didapat persamaan umum dinamik getaran paksa dengan asumsi sistem redaman ($c = 0$), yaitu:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{P(t)\} \quad (2.27)$$

Untuk menyelesaikan persamaan diatas, maka diambil persamaan lendutan sebagai berikut:

$$u(t) = \sum_{r=1}^N \phi_r q_r(t) \quad (2.28)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.27) kedalam persamaan (2.28) dan mengalikan dengan ϕ_n^T , maka didapat persamaan:

$$\sum_{r=1}^N \phi_n^T m \phi_r \ddot{q}_r(t) + \sum_{r=1}^N \phi_n^T k \phi_r q_r(t) = \phi_n^T p(t) \quad (2.29)$$

Karena hubungan ortogonalitas, penyelesaian akhir direduksi, kecuali untuk $r = n$, sehingga menghasilkan persamaan:

$$(\phi_n^T m \phi_n) \ddot{q}_n(t) + (\phi_n^T k \phi_n) q_n(t) = \phi_n^T p(t) \quad (2.30)$$

Atau

$$(M_n) \ddot{q}_n(t) + (K_n) q_n(t) = P_n(t) \quad (2.31)$$

Dimana M_n adalah *generalized mass*, K_n adalah *generalized stiffness* dan $P_n(t)$ adalah *generalized forced*.

$$M_n = \phi_n^T m \phi_n \quad (2.32)$$

$$K_n = \phi_n^T k \phi_n \quad (2.33)$$

$$P_n(t) = \phi_n^T p(t) \quad (2.34)$$

2.2.3 Metode Analisa Bangunan terhadap Gempa

Terdapat dua macam metode yang digunakan dalam analisa dinamik, yaitu metode analisa modal yang diselesaikan dengan metode integrasi langsung yang diselesaikan dengan Analisa Riwayat Waktu (*Time History Analysis*) dan Analisa Spektrum Respons (*Respons Spektrum Analysis*).

2.2.3.1 Analisa Riwayat Waktu (*Time History Analysis*)

Pada analisa riwayat waktu sebenarnya metode yang lebih mendekati dalam perancangan struktur dimana metode ini mengambil nilai percepatan tanah maksimum dari macam-macam catatan respons gempa setiap interval waktu. Metode ini sangat cocok pada perhitungan struktur *non-linier* maupun *linier elastis*. Persamaan dinamik yang digunakan adalah:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m_i \cdot \ddot{u}_g(t) \quad (2.5)$$

Persamaan diatas dapat diselesaikan dengan,

$$u(t) = \sum_{n=1}^N \phi_n u_n(t) \quad (2.35)$$

$$m_i = \sum_{n=1}^N \Gamma_n m u_n \quad (2.36)$$

Menghasilkan persamaan modal

$$D_n + 2\zeta_n \omega_n \dot{D}_n + \omega_n^2 D_n = -u \ddot{g}(t) \quad (2.37)$$

$$A_n(t) = \ddot{\omega}_n^2 D_n(t) \quad (2.38)$$

Dengan total respons umum ternormalisasi

$$r(t) = \sum_{n=1}^N r_n(t) = \sum_{n=1}^N r_n^{st} A_n(t) \quad (2.39)$$

Adapun lokal respons gempa yang diambil harus mewakili lokasi bangunan yang akan didisain terhadap jenis tanah, intensitas lokasi gempa, sehingga dapat mendekati nilai percepatan gempa maksimum sebenarnya.

2.2.3.2 Analisa Spektrum Respon (*Respon Spektrum Analysis*)

Walaupun spektrum respon memberikan suatu dasar yang memuaskan bagi keseimbangan struktur selama tahap rancangan awal, umumnya perlu untuk mendapatkan suatu uraian eksplisit dari gerakan tanah sebelum penyelesaian rancangan struktur yang besar. Adapun lokasi respon gempa maksimum sebenarnya.

Catatan riwayat waktu yang sebenarnya sangat penting untuk struktur yang respon non-liniernya harus ditinjau apabila spektrum respons hanya dapat menyelesaikan respons struktur yang linier elastis. Dari persamaan umum dinamik ditransformasikan dari koordinat nodal melalui hubungan persamaan dinamik yang digunakan adalah:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g \quad (2.5)$$

Persamaan diatas dapat diselesaikan dengan

$$k = \phi_n q_n \quad (2.40)$$

$$m\ddot{u} = \Gamma_n \cdot m\phi_n \quad (2.41)$$

Menghasilkan persamaan modal

$$D_n + 2\zeta_n \omega_n \dot{D}_n + \omega_n^2 D_n = -\ddot{u}_g \quad (2.42)$$

$$A_n = \ddot{\omega}_n^2 D_n \quad (2.43)$$

Dengan modal respons spektrum puncak kontribusi moda ke-n

$$r_{n0} = r_n^{st} A_n \quad (2.44)$$

Menentukan total respons spektrum puncak, terdapat 3 macam ketentuan kombinasi penentuan jumlah respons yaitu:

- *Absolute Sum (ABSSUM)*

$$r_0 \leq \sum_{n=1}^N |r_{n0}|$$

(2.45)

- *Square Root of Sum of Square (SRSS)*

$$r_0 = \sqrt{\sum_{n=1}^N r_{n0}^2}$$

(2.46)

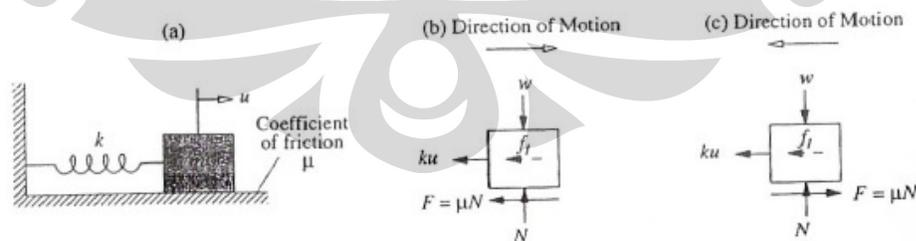
- *Complete Quadratic Combination (CQC)*

$$r_0 \approx \sqrt{\sum_{n=1}^N \sum_{n=1}^N \rho_{in} r_{io} r_{no}}$$

(2.47)

2.2.4 Coloumb Damped System

Coloumb damping dihasilkan dari gesekan antara dua permukaan kering. Gaya gesek $F = \mu N$, dimana μ adalah koefisien statis atau kinetis dari gesekan tersebut, dan N adalah gaya normal antara dua permukaan. Gaya gesek diasumsikan tidak dipengaruhi oleh kecepatan sesaat dari gerakan permukaan. Arah gaya gesek selalu berlawanan dengan arah gerakan, dan akan berubah ketika arah gerakan berubah.



Gambar 2.8 Struktur dengan perletakan gesek

Gambar di atas menunjukkan sistem massa-per dimana massa bersentuhan dengan permukaan kasar. Persamaan yang sesuai dengan gambar di atas adalah

$$m\ddot{u} + ku = F \quad (2.48)$$

Dimana solusinya adalah

$$u(t) = A_1 \cos \omega_n t + B_1 \sin \omega_n t + u_F \quad (2.49)$$

Dimana $u_F = F/k$. Untuk gerakan massa dari kiri ke kanan, persamaannya adalah

$$m\ddot{u} + ku = F \quad (2.50)$$

Dimana solusinya adalah

$$u(t) = A_2 \cos \omega_n t + B_2 \sin \omega_n t - u_F \quad (2.51)$$

Konstanta A_1 , B_1 , A_2 dan B_2 tergantung kepada kondisi awal setiap gerakan setengah siklus; $\omega_n = \sqrt{k/m}$ dan konstanta u_F dapat diinterpretasikan sebagai deformasi statis dari per akibat gaya gesek. Setiap persamaan merupakan bentuk linear namun secara keseluruhan nonlinear karena persamaannya berubah setiap setengah siklus.

2.2.5 Teori Elemen Hingga

2.2.5.1 Teori Elemen Hingga Portal

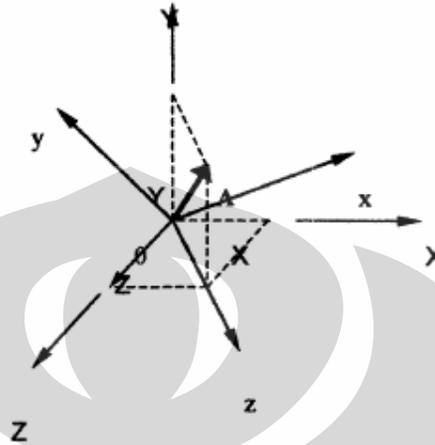
Kerangka tiga dimensi (Portal Ekuivalen 3D) merupakan struktur yang terdiri dari elemen-elemen balok dan kolom. Setiap rangka batang ruang dapat memikul gaya aksial, momen puntir, momen lentur dalam kedua arah sumbu utama penampang lintang, dan gaya geser dalam arah sumbu utama.

Pada Portal Ekuivalen Tiga Dimensi mempunyai 12 koordinat nodal untuk menghubungkan dua buah titik, jadi menghasilkan matriks elemen dengan dimensi 12×12 .

1. Matriks Kekakuan

Matriks Kekakuan untuk segmen balok seragam tiga dimensi telah disusun dengan cara superposisi matriks kekakuan aksial, matriks kekakuan torsi (puntir) dan matriks kekakuan lentur. Arah dari deformasi tersebut diperlihatkan pada gambar berikut:

yaitu, sumbu x, y, z yang menyatakan sistem koordinat lokal dan sumbu X, Y, Z yang menyatakan sumbu koordinat global.



Gambar 2. 10 Komponen-Komponen dari Sebuah Vektor Sembarang A pada Koordinat Lokal dan Koordinat Umum Global

Pada gambar ini juga terlihat vektor A dengan komponen-komponennya pada sumbu X, Y, Z . Vektor A ini, serta komponen-komponennya dapat menyatakan gaya atau perpindahan pada koordinat nodal dan titik hubung suatu struktur. Vektor A harus diproyeksikan dari komponen-komponen X, Y, Z ke sumbu x, y, z . Dalam persamaan matriksnya proyeksi vektor A adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos xX & \cos xY & \cos xZ \\ \cos yX & \cos yY & \cos yZ \\ \cos zX & \cos zY & \cos zZ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (2.55)$$

Atau dalam notasi ringkas

$$\{A\} = [T_1]\{A^l\} \quad (2.56)$$

Dimana

$\{A^l\}$ = komponen sistem local

$\{A\}$ = komponen sistem global (umum)

$[T_1]$ = matriks transformasi

Sebuah segmen balok dari sebuah rangka tiga dimensi memerlukan transformasi empat vektor perpindahan untuk dua titik penghubung, matriks transformasi dapat ditulis sebagai berikut:

$$[T] = \begin{bmatrix} [T_1] & & \\ & [T_1] & \\ & & [T_1] \end{bmatrix} \tag{2.57}$$

, maka perpindahan nodal dapat ditransformasikan seperti berikut:

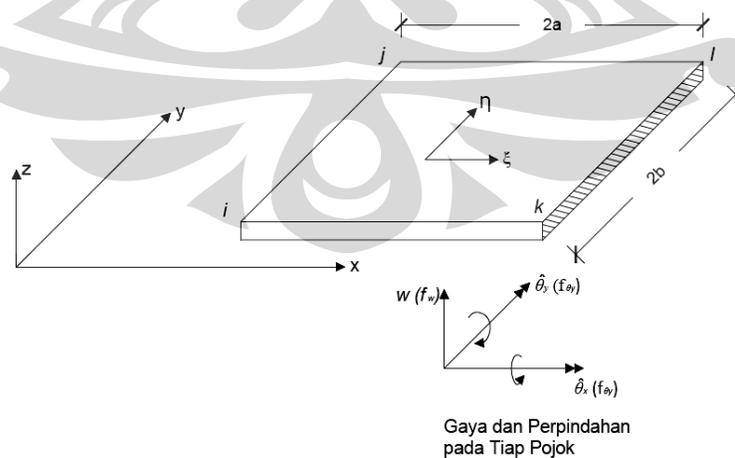
$$\tag{2.58}$$

dan gaya nodal pun dapat ditransformasikan sebagai berikut:

$$\tag{2.59}$$

2.2.5.2 Teori Elemen Hingga Pelat dan Cangkang

Untuk analisis cangkang pada metode elemen hingga, pada umumnya elemen dibagi-bagi menjadi bagian yang lebih kecil. Disini akan diberikan elemen persegi panjang dengan nodal pojok. Dibawah ini akan diberikan sebuah elemen persegi panjang berupa pelat $ijkl$. Matriks perpindahan akan dinamakan , mempunyai tiga komponen yaitu pertama perpindahan arah z dinamakan w_n , kedua rotasi pada sumbu x dinamakan , dan ketiga rotasi pada sumbu y



Gambar 2. 11 Elemen Pelat Persegi Panjang

$\hat{\theta}$ merupakan hasil transformasi dari θ , transformasinya dapat dilihat sebagai berikut:

$$\{\hat{\theta}\} = [T]\{\theta\} \text{ dimana } [T] = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.60)$$

Bila vektor perpindahan tiap nodal dinamakan sesuai pojok – pojok dari elemen tersebut, maka matriks perpindahan elemen adalah sebagai berikut:

$$\{a^e\} = \begin{Bmatrix} a_i \\ a_j \\ a_l \\ a_k \end{Bmatrix} \text{ dimana } \{a_i\} = \begin{Bmatrix} w \\ \hat{\theta}_x \\ \hat{\theta}_y \end{Bmatrix}_i \quad (2.61)$$

Persamaan polinomial orde 4 dapat digunakan untuk menentukan fungsi bentuk dari 12 parameter tersebut yaitu:

$$\begin{aligned} w(x) &= \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 x^2 + \alpha_5 xy + \alpha_6 y^2 + \alpha_7 x^3 + \alpha_8 x^2 y + \alpha_9 xy^2 \\ &\quad + \alpha_{10} y^3 + \alpha_{11} x^3 y + \alpha_{12} xy^3 \\ &= \langle 1 \quad x \quad y \quad x^2 \quad xy \quad y^2 \quad x^3 \quad x^2 y \quad xy^2 \quad y^3 \quad x^3 y \quad xy^3 \rangle \begin{Bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \\ \alpha_5 \\ \alpha_6 \\ \alpha_7 \\ \alpha_8 \\ \alpha_9 \\ \alpha_{10} \\ \alpha_{11} \\ \alpha_{12} \end{Bmatrix} \\ &= \langle P \rangle \{ \alpha_n \} \end{aligned} \quad (2.62)$$

Perpindahan w bervariasi secara kubik, yaitu ditentukan oleh empat konstanta. Gradien dari w normal juga bervariasi secara kubik pada batasan apapun.

Konstanta $\{\alpha_n\}$ dapat dievaluasi dengan menuliskan ke -12 persamaan secara serentak yang menghubungkan nilai – nilai w dan *slope* pada nodal ketika koordinat membawa nilai – nilai yang sesuai. Misalnya:

$$\begin{aligned} w_i &= \alpha_1 + \alpha_2 x_i + \alpha_3 y_i + \dots \\ \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)_i &= \hat{\theta}_{xi} = \alpha_3 + \alpha_5 x_i + \dots \end{aligned}$$

$$-\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)_i = \hat{\theta}_{y_i} = -\alpha_2 - \alpha_5 x_i - \dots \quad (2.63)$$

Dengan ke -12 persamaan, maka dapat ditulis dalam bentuk matriks:

$$\{a^e\} = [C]\{\alpha_n\} \quad (2.64)$$

[C] merupakan matrix 12×12 yang bergantung pada koordinat nodal. Bila diinvers, akan didapat:

$$\{\alpha_n\} = [C]^{-1}\{a^e\} \quad (2.65)$$

Jika persamaan tersebut dikalikan matriks $\langle P \rangle$, maka

$$u \equiv w(x) = \{N_i\}\{a^e\} = \langle P \rangle [C]^{-1}\{a^e\} \quad (2.66)$$

Fungsi bentuk $\{N_i\}$ ditemukan oleh Melosh, dan dapat ditulis untuk nodal apa saja sebagai berikut:

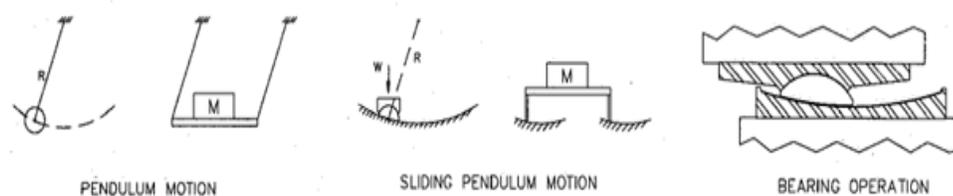
$$\{N_i\}^T = \frac{1}{8}(1 + \xi_0)(1 + \eta_0) \begin{Bmatrix} 2 + \xi_0 + \eta_0 - \xi^2 - \eta^2 \\ b\eta_0(1 - \eta^2) \\ -a\xi_i(1 - \xi^2) \end{Bmatrix} \quad (2.66)$$

Dengan koordinat yang sudah dinormalisasi ditentukan sebagai berikut:

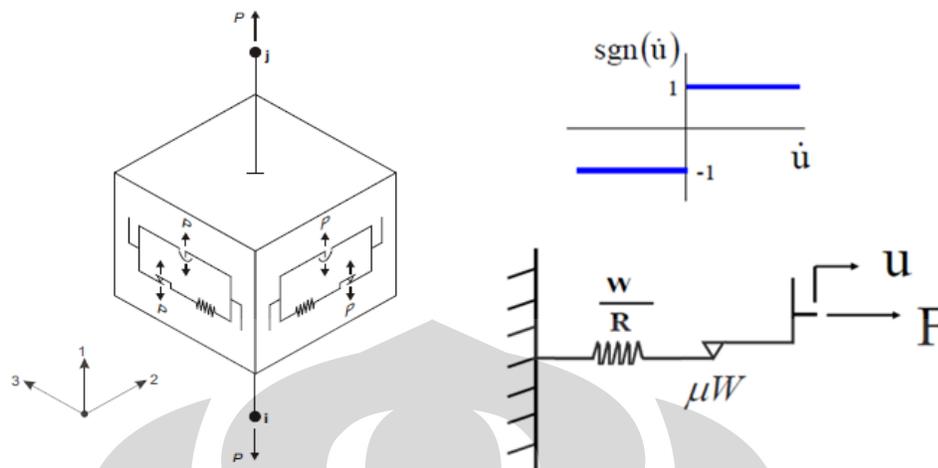
$$\begin{aligned} \xi &= \frac{x - x_c}{a} & \text{dimana} & \quad \xi_0 = \xi \xi_i \\ \eta &= \frac{y - y_c}{b} & \text{dimana} & \quad \eta_0 = \eta \eta_i \end{aligned} \quad (2.67)$$

2.2.6 Teori Friction Pendulum Isolator

Permodelan ini menggunakan gaya aksial yang diterima material dan gaya geser berikut perubahannya ketika mengalami gaya gempa yang diterima oleh material untuk menunjukkan deformasi yang terjadi akibat pembebanan aksial dan lateral.



Gambar 2. 12 Gambar Mekanika Permodelan *Friction Pendulum Isolator*



Gambar 2.13 Friction-Pendulum Isolator Property for Biaxial Shear Behavior

Pada gambar diatas, dapat dilihat bagaimana hubungan antara gaya aksial P dan koefisien gesek dalam menunjukkan deformasi yang terjadi akibat kombinasi pembebanan aksial dan lateral. Dimana gaya geser yang diterima oleh material merupakan akibat dari gaya geser akibat gesek dan gaya geser akibat radius pendulum. Gaya geser akibat radius akan bekerja jika gaya geser (F) yang diterima material sudah melewati gaya geser yang bisa ditahan oleh gesekan (μW).

Atau dapat dijabarkan dengan

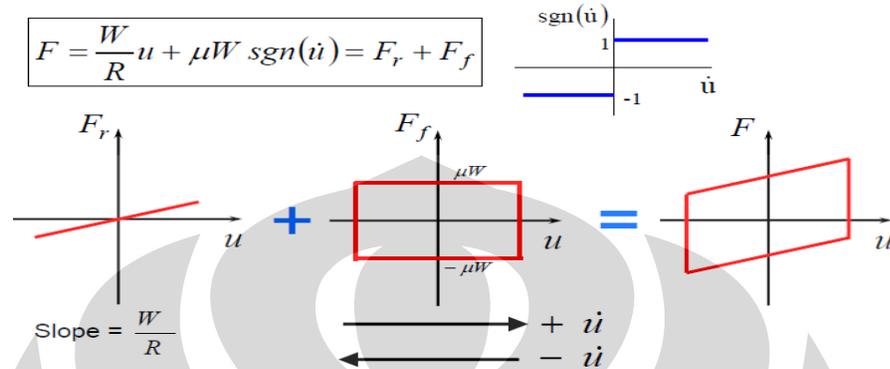
$$F = F_r + F_f = \frac{W}{R}u + \mu W \operatorname{sgn}(\ddot{u}) \quad (2.68)$$

Dimana

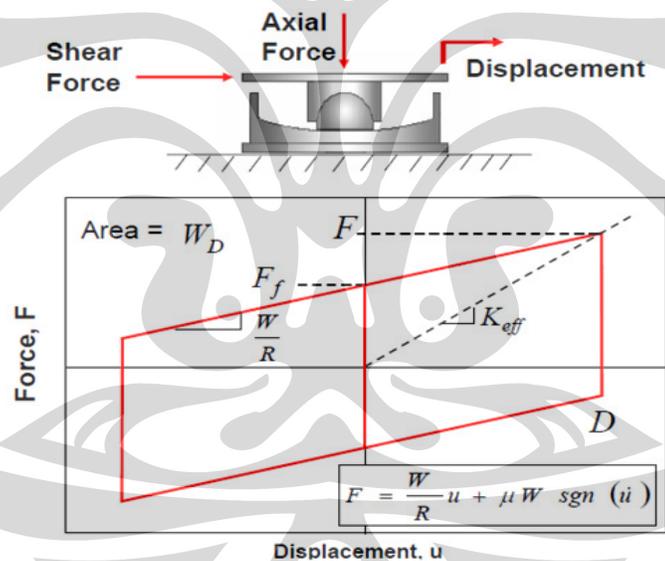
- F : gaya geser yang diterima material
- F_r : gaya geser yang diterima material akibat radius pada pendulum
- F_f : gaya geser yang diterima material akibat gesekan pada material pendulum
- W : berat atau gaya aksiak yang diterima material
- R : radius curvature dari pendulum
- μ : koefisien gesek yang bekerja pada material

$\text{sgn}(\dot{u})$: arah gaya geser yang diterima oleh material

Rumus diatas dapat dijelaskan dengan singkat melalui gambar dibawah yaitu:



Gambar 2. 14 Gambar Hubungan Gaya Geser yang Bekerja pada *Friction Pendulum Isolator 1*



Gambar 2. 15 Gambar Hubungan Gaya Geser yang Bekerja pada *Friction Pendulum Isolator 2*

Dimana plot K_{eff} menyatakan hubungan antara gaya geser dan deformasi yang terjadi pada material ketika menerima gaya geser. Dan bearing pada *Friction Pendulum Isolator* hanya akan kembali ke posisi semula bila $F_r < F_f$.

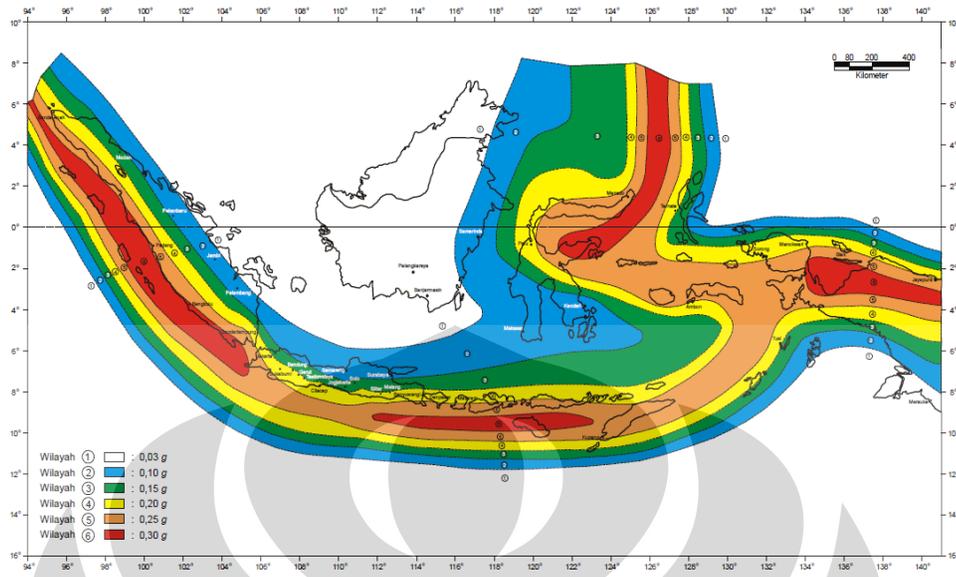
2.3 Kegempaan Daerah Tasikmalaya-Garut Menurut Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)

2.3.1 Jenis Tanah Wilayah Tasikmalaya-Garut

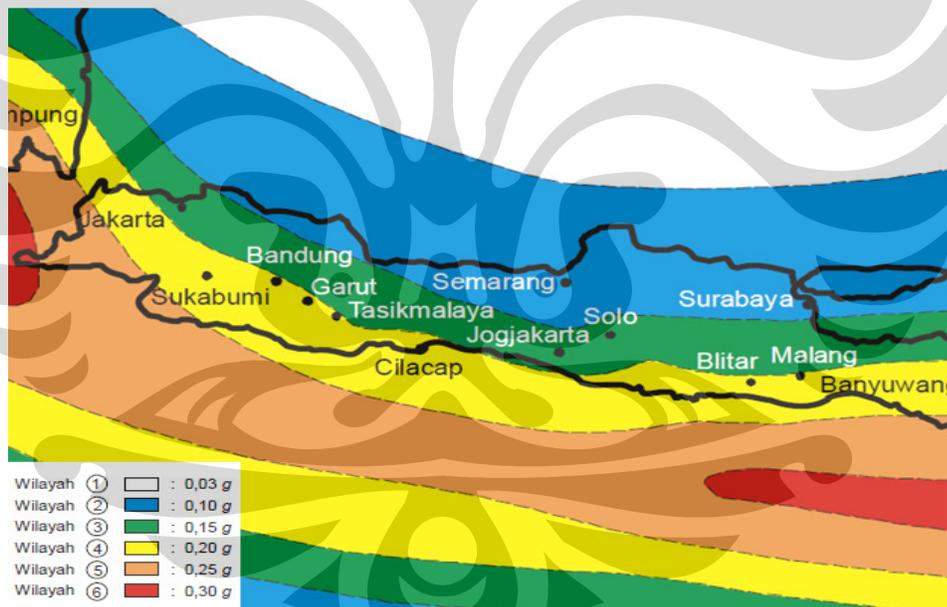
Pada studi kasus ini, untuk keperluan analisa maka jenis tanah yang ada di wilayah Tasikmalaya-Garut sebagai daerah tinjauan gempa diasumsikan memiliki tipe tanah lunak.

2.3.2 Wilayah Gempa Tasikmalaya-Garut

Indonesia ditetapkan terbagi dalam 6 wilayah gempa seperti ditunjukkan dalam gambar 2.12 dimana wilayah gempa 1 adalah wilayah dengan kegempaan paling rendah dan wilayah gempa 6 dengan kegempaan paling tinggi. Pembagian wilayah gempa ini, didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh gempa rencana dengan perioda ulang 500 tahun, yang nilai rata-ratanya untuk setiap wilayah gempa ditetapkan dalam Gambar 2.12 dan Tabel 2.1. Wilayah Tasikmalaya-Garut sendiri dalam konteksnya dalam peta wilayah gempa Indonesia masuk dalam wilayah gempa 4 dengan percepatan puncak batuan dasar 0,2 g dan percepatan puncak muka tanah sebesar 0,34 g untuk kondisi tanah lunak.



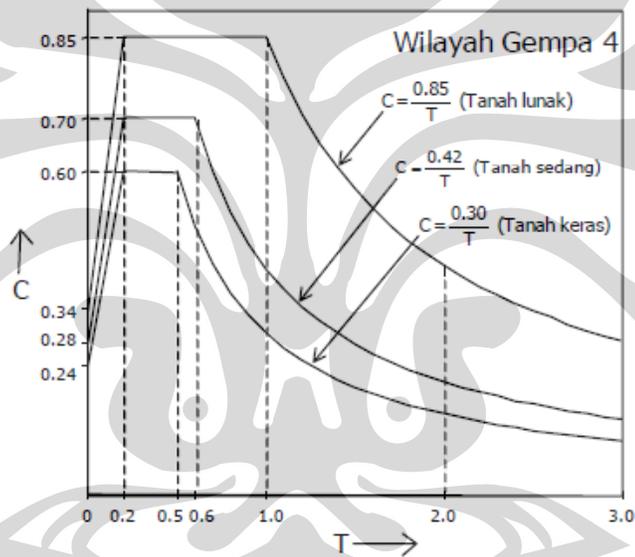
Gambar 2. 16 Wilayah gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan periode ulang 500 tahun



Gambar 2. 17 Perbesaran wilayah gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan periode ulang 500 tahun untuk wilayah gempa Tasikmalaya-Garut

Tabel 2. 1 Tabel Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah untuk masing-masing Wilayah Gempa Indonesia.

Wilayah Gempa	Percepatan puncak batuan dasar ('g')	Percepatan puncak muka tanah A_0 ('g')			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,04	0,05	0,08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,20	
3	0,15	0,18	0,23	0,30	
4	0,20	0,24	0,28	0,34	
5	0,25	0,28	0,32	0,36	
6	0,30	0,33	0,36	0,38	



Gambar 2. 18 Respon Spektrum Wilayah 4 (SNI 03-1726-2002)

BAB 3 METODE PENULISAN

3.1 Metode Pengumpulan Data

3.1.1 Survey Awal

Pengumpulan data pada studi kasus ini dilakukan dengan metode pengamatan visual langsung ke area tempat kejadian pada tanggal 5-7 September 2009. Dari hasil pengamatan visual tersebut, dapat dilihat bagaimana kerusakan yang terjadi akibat gempa Tasikmalaya tanggal 2 September 2009 terhadap bangunan-bangunan gedung bertingkat dan gedung sederhana seperti gedung perkantoran, fasilitas pemerintah, sekolah dan rumah penduduk.

Secara umum kegiatan pengumpulan data di daerah kerusakan gempa yang dijadikan objek pengamatan oleh penulis adalah sebagai berikut:

- Survey awal dilakukan pada tanggal 5-6 September 2009 di daerah kabupaten Tasikmalaya, khususnya kecamatan Cigalontang.
- Survey lalu dilanjutkan pada tanggal 7 September 2009 di daerah kabupaten Garut, khususnya kecamatan Pameumpeuk.

Kedua daerah tersebut diambil oleh penulis sebagai acuan karena kedua daerah tersebut merupakan daerah yang paling parah terkena dampak akibat gempa. Kerusakan-kerusakan struktur yang terjadi pada kedua daerah tersebut umumnya bervariasi dari yang ringan sampai yang berat. Kerusakan paling parah terjadi pada rumah-rumah penduduk (*non-engineered*), dimana banyak bangunan yang rubuh. Dampak gempa bumi lainnya seperti kerusakan infrastruktur jalan, jaringan telpon, listrik, dan air minum relatif kecil tingkat kerusakannya. Dari hasil pengamatan visual tersebut, penulis mendapatkan data-data berupa foto kerusakan bangunan rumah *non-engineered* yang mengalami kerusakan cukup besar dan juga rumah yang mengalami kerusakan relatif sangat kecil atau hampir tidak ada kerusakan sama sekali.

Dari hasil pengamatan yang dilakukan oleh penulis, secara umum dapat disimpulkan bahwa rentang daerah yang terkena dampak gempa cukup bervariasi

dari daerah yang satu dengan daerah yang lain. Daerah yang cukup besar terkena dampak gempa adalah daerah yang terdapat di punggung bukit atau lereng-lereng bukit (kecamatan Cigalontang, Tasikmalaya) dan juga daerah pantai yang sangat dekat dengan lokasi pusat gempa (kecamatan Pameumpeuk, Garut). Kerusakan bangunan banyak terjadi karena struktur bangunan yang tidak kuat atau sangat rentan untuk menahan gempa bumi yang terjadi. Umumnya bangunan yang mengalami kerusakan cukup besar atau sebagian besar rubuh diakibatkan karena tidak adanya perkuatan sloof kolong dan *ring bulk* untuk kerusakan struktural dan kekurangan campuran semen pada plesteran tembok untuk kerusakan non-struktural. Hal lain yang mengakibatkan kerusakan pada bangunan-bangunan (*non-engineered*) adalah ikatan penulangan yang tidak ada atau tidak memenuhi syarat untuk perkuatan bangunan tahan gempa. Sedangkan untuk kasus bangunan rumah kayu, kerusakan yang didapat sangat sedikit atau hampir tidak ada.

Dari hasil pengamatan tersebut, penulis mengumpulkan hasil-hasil foto-foto lapangan yang menunjukkan keadaan bangunan di kabupaten Tasikmalaya (kecamatan Cigalontang) dan kabupaten Garut (kecamatan Pameumpek), khususnya bangunan rumah sederhana setelah kejadian gempa Tasikmalaya 2 Septemeber 2009, yaitu:



Gambar 3. 1 Keadaan Bangunan Rumah Warga Kecamatan Cigalontang, Tasikmalaya Setelah Gempa Tasikmalaya 2 Sempتمبر 2009



Gambar 3. 2 Keadaan Bangunan Rumah Warga Kecamatan Cigalontang, Tasikmalaya Setelah Gempa Tasikmalaya 2 Sempتمبر 2009



Gambar 3. 3 Keadaan Bangunan Rumah Warga Kecamatan Pameumpek, Garut Setelah Gempa Tasikmalaya 2 Sempتمبر 2009



Gambar 3. 4 Keadaan Rumah Warga Kecamatan Cigalontang, Tasikmalaya Setelah Gempa Tasikmalaya 2 September 2009

3.1.2 Survey Lanjutan

Selanjutnya pengamat melakukan pengumpulan data lanjutan mengenai data-data struktur yang akan diamati, terutama rumah panggung kayu sebagai dasar permodelan dalam program *SAP*.

Rumah panggung yang ada di daerah Tasikmalaya memiliki banyak kesamaan dengan rumah kayu lain yang ada di daerah sekitarnya yaitu daerah Garut, Ciamis. Pada saat survey dilakukan untuk pengumpulan data rumah kayu, dapat dilihat untuk daerah Jawa Barat bagian selatan memiliki struktur yang identik untuk rumah kayu.

Survey untuk pengumpulan data rumah kayu lanjutan dilakukan pada tanggal 28 Februari 2010 sampai 1 Maret yang berlokasi di **Desa Dangdeur Wetan, Kecamatan Wanaraja, Kabupaten Garut, Jawa Barat**. Pemilihan tempat ini dilakukan karena daerah tersebut merupakan daerah pegunungan dimana banyak dijumpai rumah kayu dengan pondasi umpak.

Penulis meninjau 3 rumah kayu yang lokasinya tidak berjauhan selama survey untuk dijadikan acuan dalam pengamatan. Dimana pada ketiga bangunan ini mempunyai tinggi rata-rata 4,5 meter sampai 5 meter, dengan tinggi atap

kurang lebih 1,5 meter, dan tinggi kolong lantai sekitar 0,5 meter (tinggi podasi umpak).



Gambar 3. 5 Gambar Rumah Kayu 1 yang Disurvey di desa Dangdeur Wetan, Kecamatan Wanaraja, Kabupaten Garut, Jawa Barat



Gambar 3. 6 Gambar Rumah Kayu 2 yang Disurvey di desa Dangdeur Wetan, Kecamatan Wanaraja, Kabupaten Garut, Jawa Barat



Gambar 3. 7 Gambar Rumah Kayu 3 yang Disurvey di desa Dangdeur Wetan, Kecamatan Wanaraja, Kabupaten Garut, Jawa Barat

3.2 Hasil Pengamatan Survey

3.2.1 Data Teknis Rumah Dinding Bata

3.2.1.1 Struktur Dinding

Pada bangunan rumah dinding bata yang diamati, dapat dilihat bahwa struktur bangunan ini terdiri dari pasangan bata merah setengah bata untuk dindingnya.



Gambar 3. 8 Struktur Dinding Rumah Sederhana Warga Kecamatan Cigalontang, Tasikmalaya

3.2.1.2 Struktur Atap

Struktur atap pada rumah dinding bata memakai penutup atap dari genting dengan reng dan kaso.



Gambar 3. 9 Struktur Atap Rumah Sederhana Warga Kecamatan Cigalontang, Tasikmalaya

3.2.2 Data Teknis Rumah Kayu

3.2.2.1 Struktur Atap

Struktur atap pada rumah kayu memakai penutup atap dari genting dengan reng dan kaso.



Gambar 3. 10 Tampak Luar Struktur Atap Bangunan Rumah Kayu



Gambar 3. 11 Tampak Dalam Struktur Atap Bangunan Rumah Kayu

- Spesifikasi property kayu yang digunakan
 - Balok kayu atap :
 - ukuran 10/8

1.2.2.2 Struktur Dinding

Struktur dinding pada rumah kayu terdiri dari balok-balok vertikal yang ditopang balok horizontal sebagai pengakunya pada bagian luarnya dan dilapisi bilik pada bagian luarnya. Pada bagian paling atas digunakan balok siku.



Gambar 3. 12 Gambar Struktur Dinding Rumah Panggung Kayu



Gambar 3.13 Gambar Struktur Dinding Dimana Balok Horizontal dan Vertikal Sebagai Struktur Utama



Gambar 3.14 Gambar Balok Siku Pada Bagian Atas Struktur Dinding

- Spesifikasi penempatan balok :
 - Jarak antar balok vertikal :
 - antara 1,2 meter sampai 1,4 meter
 - Jarak antar balok horizontal :
 - antara 0,16 meter sampai 0,25 meter pada balok horizontal bagian bawah

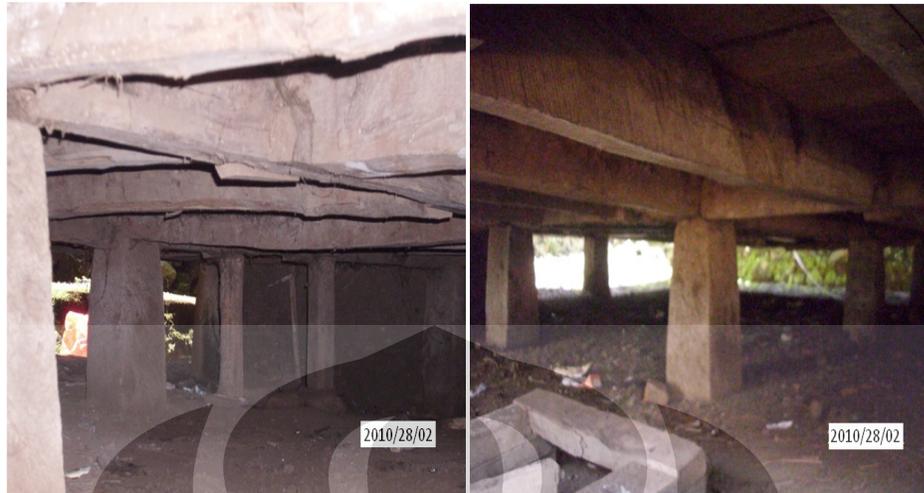
- antara 0,6 meter sampai 0,7 meter pada balok horizontal bagian atas
- Spesifikasi 43roperty kayu yang digunakan
 - Balok kayu vertikal dinding :
 - ukuran 10/10
 - Balok kayu horizontal dan balok siku diagonal dinding :
 - ukuran 10/8 dan 8/8

3.2.2.3 Struktur Lantai

Struktur lantai pada rumah kayu terdiri dari papan kayu yang ditopang oleh balok arah melintang pada bagian bawahnya.



Gambar 3. 15 Gambar Bagian Atas Struktur Lantai Rumah Kayu



Gambar 3. 16 Gambar Bagian Bawah Struktur Lantai Rumah Kayu

3.2.2.4 Struktur Pondasi

Struktur pondasi pada rumah kayu memakai pondasi umpak. Dimana umpak ini merupakan batu berbentuk prisma yang ditaruh diatas tanah dan menopang berat bangunan. Umpak-umpak yang dijadikan pondasi tidak dikaitkan dengan balok penopang lantai bangunan sehingga dapat bergeser posisinya.



Gambar 3. 17 Gambar Umpak Sebagai Struktur Pondasi Rumah Kayu

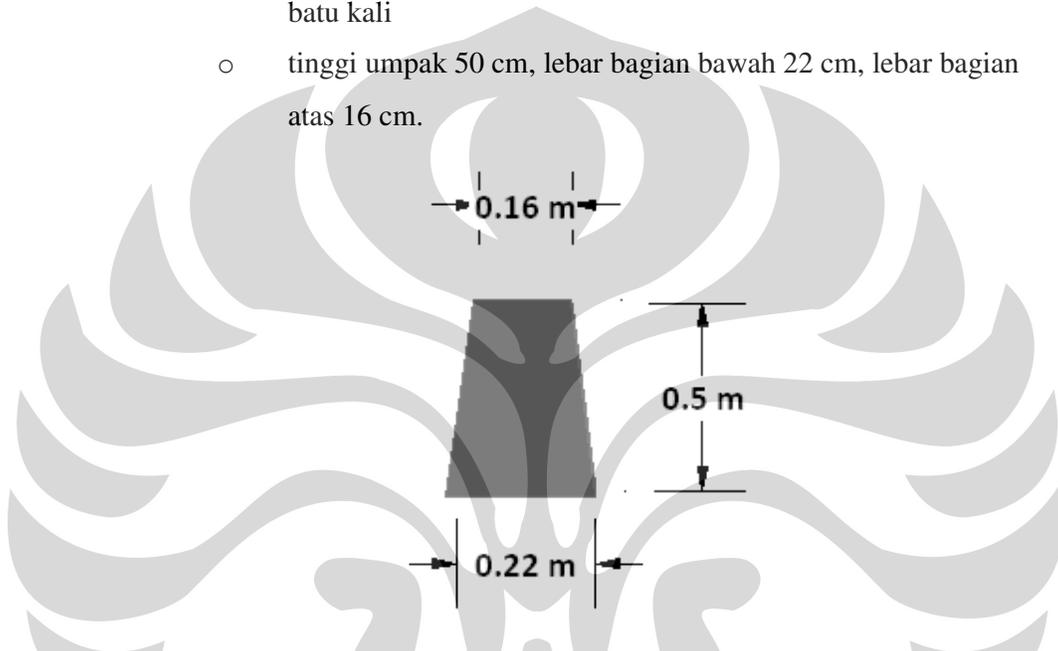


Gambar 3. 18 Gambar Detail Pengukuran Dimensi Umpak



Gambar 3. 19 Gambar Tiga Dimensi Umpak

- Spesifikasi penempatan umpak:
 - umpak diletakkan tepat dibawah balok penopang lantai
 - jarak antar umpak antara 1,6 meter sampai 2 meter dan tidak boleh melebihi 2 meter
- Spesifikasi property umpak yang digunakan
 - material batu yang digunakan sebagai umpak adalah material batu kali
 - tinggi umpak 50 cm, lebar bagian bawah 22 cm, lebar bagian atas 16 cm.



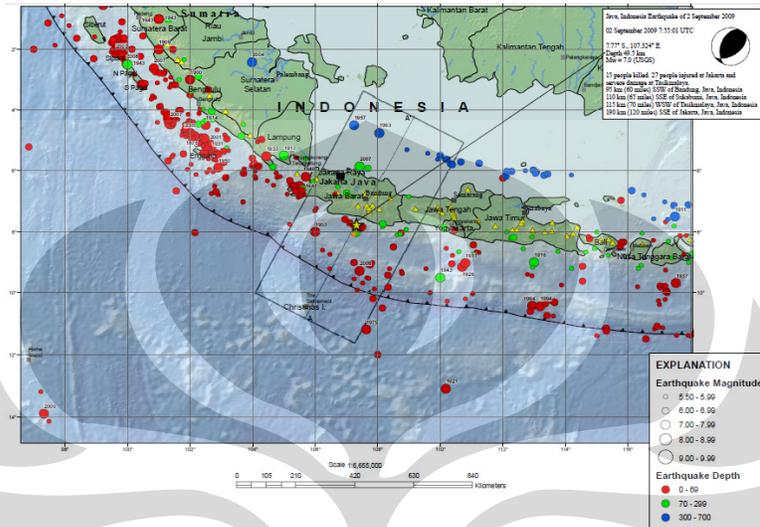
Gambar 3. 20 Dimensi Umpak

3.3 Ringkasan Mengenai Gempa Tasikmalaya 2 September 2009

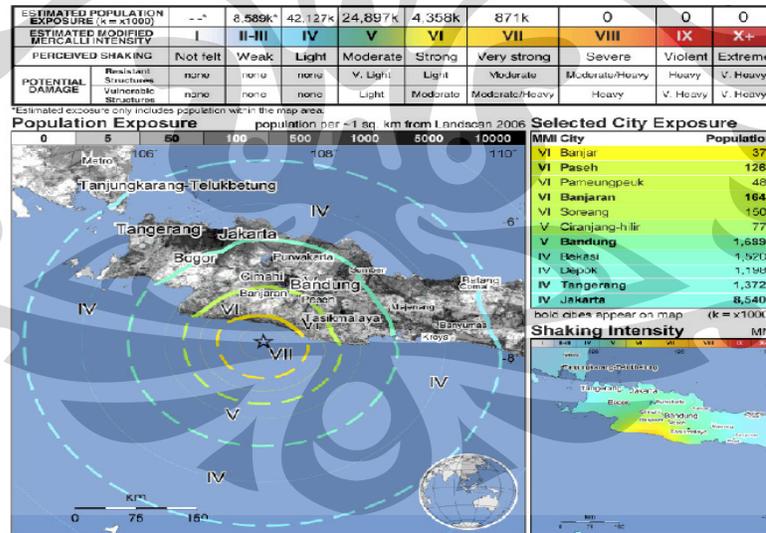
Data Gempa Tasikmalaya (sumber: USGS)

- Waktu kejadian : Rabu, 2 September 2009
- Pukul : 14.55 WIB atau 07:55 (UTC)
- Besaran bencana : 7,3 skala richter dengan moment magnitude (M_w) = 7.0
- Pusat gempa : 7.809°S, 107.259°E
- Kedalaman : 46.2 km
- Daerah cakupan kerusakan gempa:
 - 101 km SSW (200°) dari Bandung, Jawa Barat, Indonesia

- 110 km SSE (155°) dari Sukabumi, Jawa Barat, Indonesia
- 123 km WSW (244°) dari Tasikmalaya, Jawa Barat, Indonesia
- 195 km SSE (163°) dari Jakarta, Indonesia



Gambar 3. 21 Epicentral Region



Gambar 3. 22 Daerah Jangkauan Gempa dan Kekuatannya

3.4. Metode Penulisan

3.4.1 Alur Penulisan

Penulisan dilakukan dengan membatasi bangunan yang akan ditinjau dengan dimensi yang sama, sehingga bangunan dapat diidelasikan sebagai suatu bangunan identik yang sama tetapi dengan karakteristik yang berbeda. Dimana pada penulisan ini dilakukan analisa terhadap dua jenis bangunan yaitu bangunan *non-engineered* rumah dinding bata dan rumah kayu. Berdasarkan kedua kategori, sesuai dengan studi literatur dan hasil pengamatan pada pengumpulan data sebelumnya lalu ditentukan properties material dan penampang, geometri struktur dan sistem pondasi yang dipakai pada masing-masing kategori bangunan yang diamati untuk dibuat modelisasinya dalam simulasi.

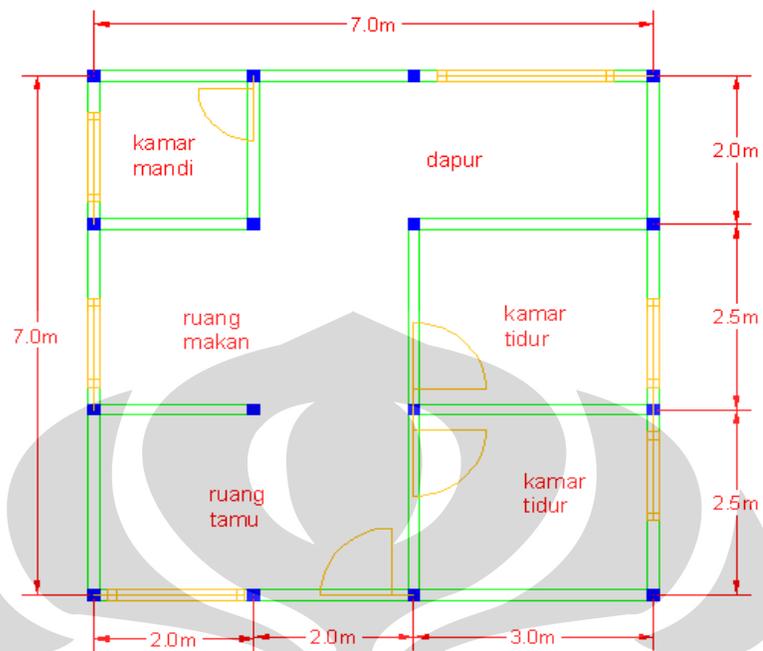
Metode penelitian yang digunakan merupakan simulasi numerik (pemrograman). Dari ketiga kategori bangunan yang telah dimodelkan lalu dilakukan analisa dinamik menggunakan analisa respon riwayat waktu untuk ketiga kategori bangunan tersebut dengan bantuan program *SAP 2000*.

3.4.2 Perencanaan Denah dan Dimensi Bangunan

Dari data-data foto yang telah diambil penulis, lalu diambil 2 buah bangunan yang memiliki luas identik untuk bangunan *non-engineered* rumah dinding bata dan rumah kayu, sehingga dapat dimodelkan sebagai satu bangunan yang memiliki luas yang sama. Kedua bangunan tersebut dimodelkan sebagai bangunan identik satu lantai dengan luas dan pembagian ruang yang sama dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Lebar dan panjang bangunan 7 m
2. Tinggi bangunan 3 m ditambah atap 2 m untuk atap

Untuk lebih jelasnya, luas bangunan dan pembagian ruangnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



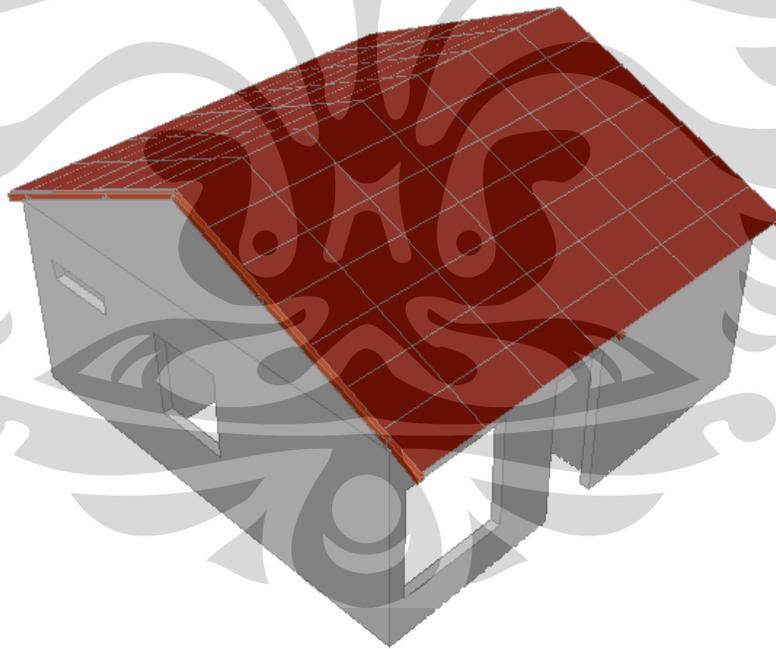
Gambar 3. 23 Gambar Denah Bangunan



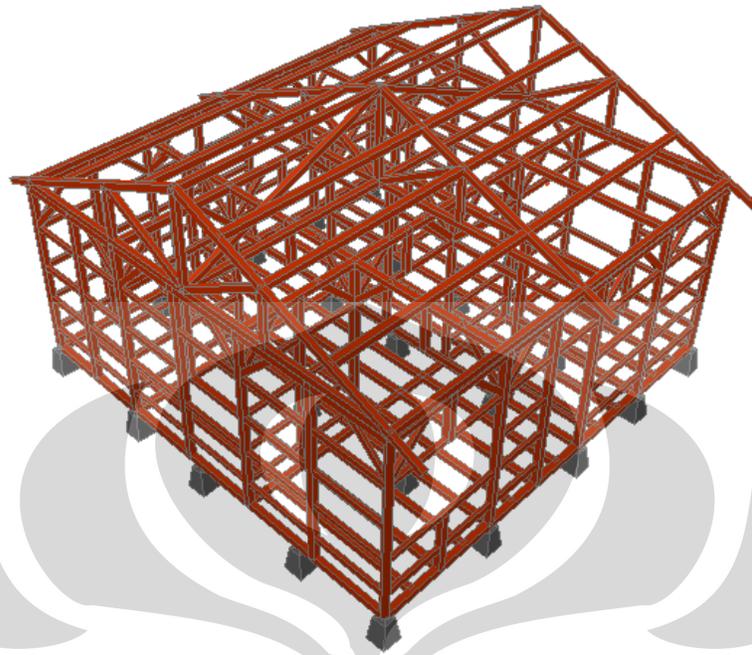
Gambar 3. 24 Gambar 3-D Denah Bangunan Dinding Bata Tampak Atas



Gambar 3. 25 Gambar 3-D Denah Rumah Kayu Tampak Atas



Gambar 3. 26 Gambar 3-D Rumah Dinding Bata



Gambar 3. 27 Gambar 3-D Rumah Kayu

Detail mengenai ukuran kayu, tinggi dan penempatan pintu, jendela diberikan pada lampiran.

3.4.3 Pembebanan Struktur

Secara umum, beban direncanakan sesuai dengan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (SKBI-1.3.53.1987) sebagai berikut:

- **Beban Mati Atap**
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m^2 bidang atap 50 kg/m^2 .
- **Beban Mati Lantai**
Lantai kayu rumah kayu sebesar 40 kg/m^2 .
- **Beban Hidup**
Beban hidup yang diperhitungkan adalah untuk lantai rumah kayu sederhana sebesar 125 kg/m^2 .
- **Beban Gempa**

Beban gempa yang digunakan untuk analisa riwayat waktu adalah

- Gempa asli Tasikmalaya (2 September 2009)
- Gempa Tasikmalaya yang sudah di *Scale-up* sesuai dengan SNI Gempa 1726-2002, dengan respons spektra zona 4, tanah lunak.
- Gempa El Centro 1940 yang sudah dimodifikasi dengan bantuan program *RESMAT* sesuai dengan SNI Gempa 1726-2002, dengan respons spektra zona 4, tanah lunak.

3.4.4 Program Bantuan yang Digunakan

Pada penulisan ini, penulis menggunakan 2 program bantuan untuk analisa yaitu :

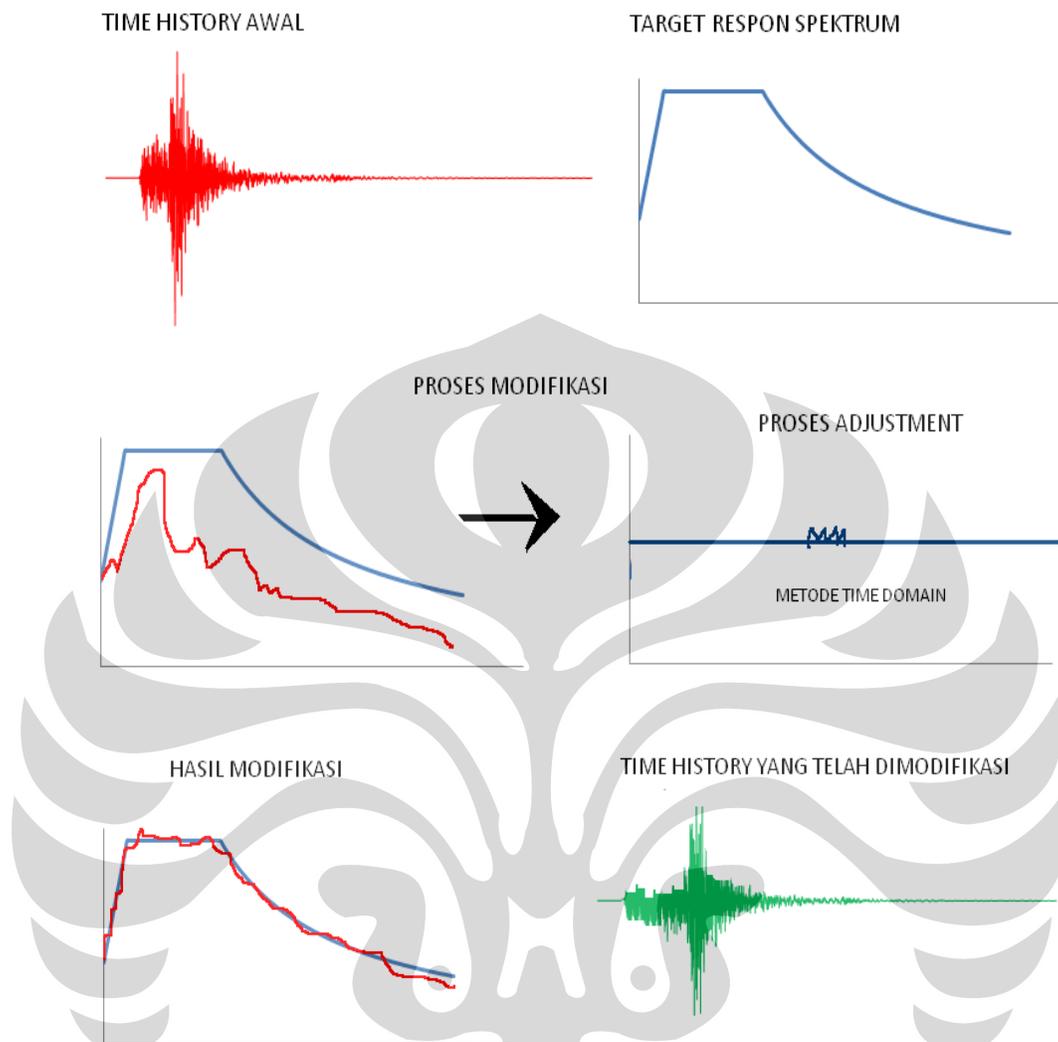
- *SAP (Structure Analysis Program)*

SAP merupakan sebuah program komputer yang dirancang untuk analisis linier dan non-linier, analisa statik dan dinamik dari gedung. Pada penulisan ini digunakan *SAP 2000 v.11*

- *RESMAT*

Dalam penulisan ini dalam memodifikasi catatan gempa, digunakan program bantuan *RESMAT*. *RESMAT* merupakan program bantuan untuk memodifikasi catatan gempa dengan metode time domain yang dibuat oleh Marthin A.Lukito, 1995.

Prinsip kerja program *RESMAT* adalah

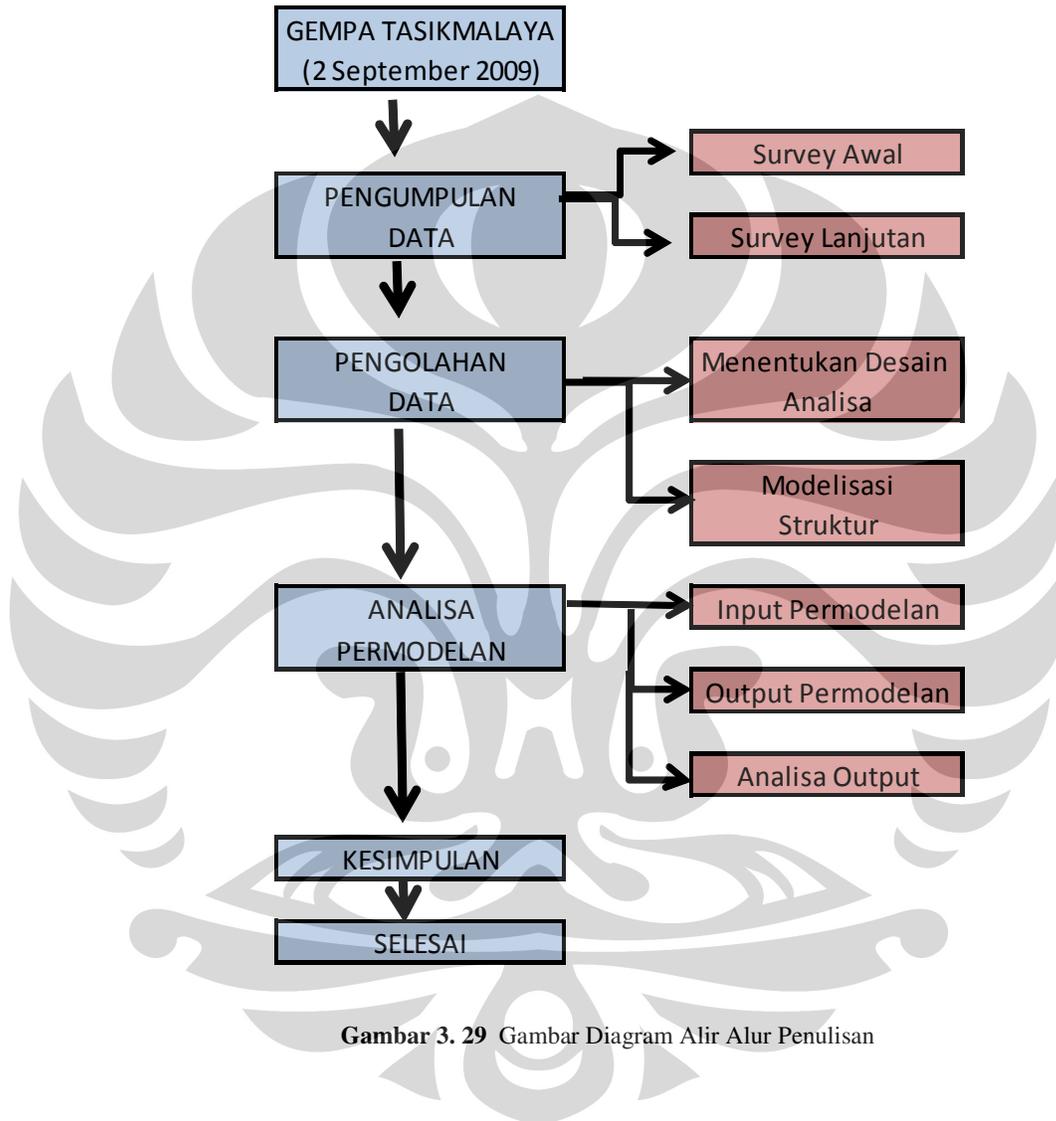


Gambar 3. 28 Gambar Prinsip Kerja Program *RESMAT*

Dimana dengan program *RESMAT*, catatan gempa yang didapat akan dimodifikasi, sehingga gempa yang sudah dimodifikasi tersebut mempunyai respon spektrum yang sama dengan respon spektrum rencana Indonesia.

3.4.5 Diagram Alir

Secara singkat, alur penulisan dapat dijabarkan dalam diagram alir di bawah ini yaitu :



Gambar 3. 29 Gambar Diagram Alir Alur Penulisan

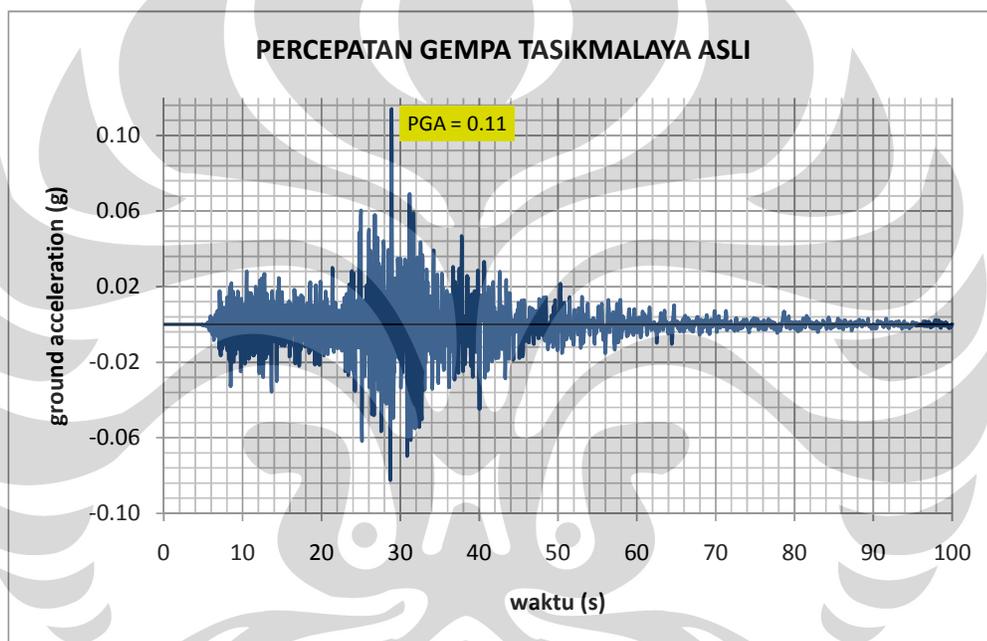
BAB 4

ANALISA DATA

4.1 Data Gempa yang Digunakan untuk Analisa

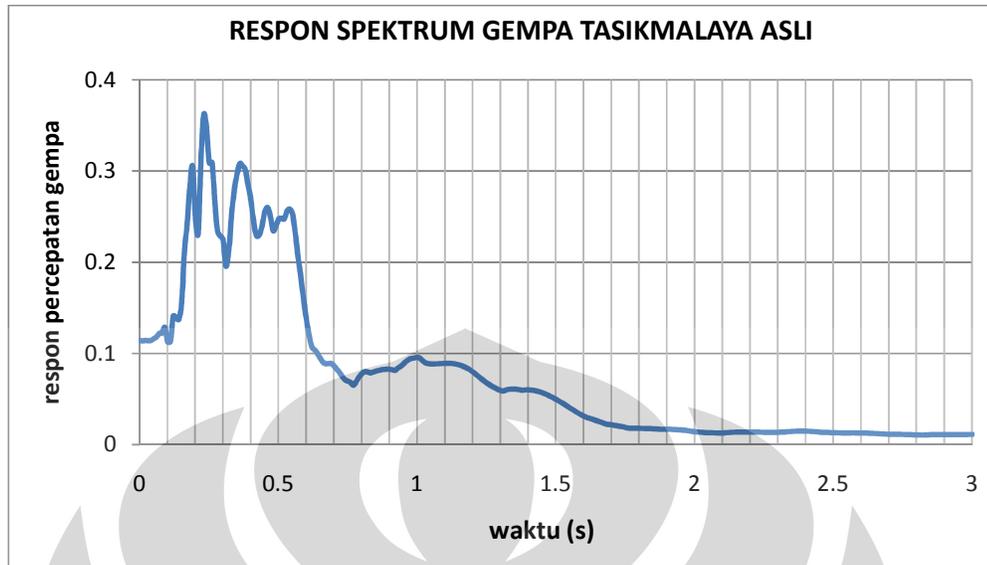
Dalam analisis studi kasus ini digunakan 3 data gempa yaitu:

1. Data gempa Tasikmalaya Asli (gempa Tasikmalaya 2 September 2009)



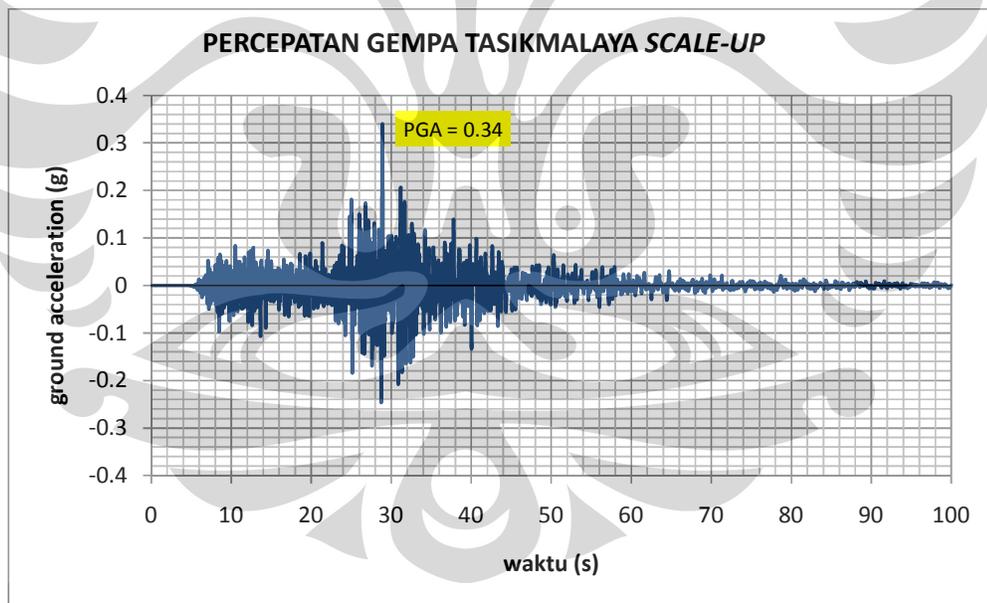
Gambar 4. 1 Data Percepatan Gempa Tasikmalaya 2 September 2009

Data gempa ini merupakan data gempa Tasikmalaya 2 September 2009 yang merupakan hasil rekam arah *North-South* (Utara-Selatan) dan mempunyai respon spektrum seperti dibawah ini yaitu:



Gambar 4. 2 Respon Spektrum Gempa Tasikmalaya 2 September 2009

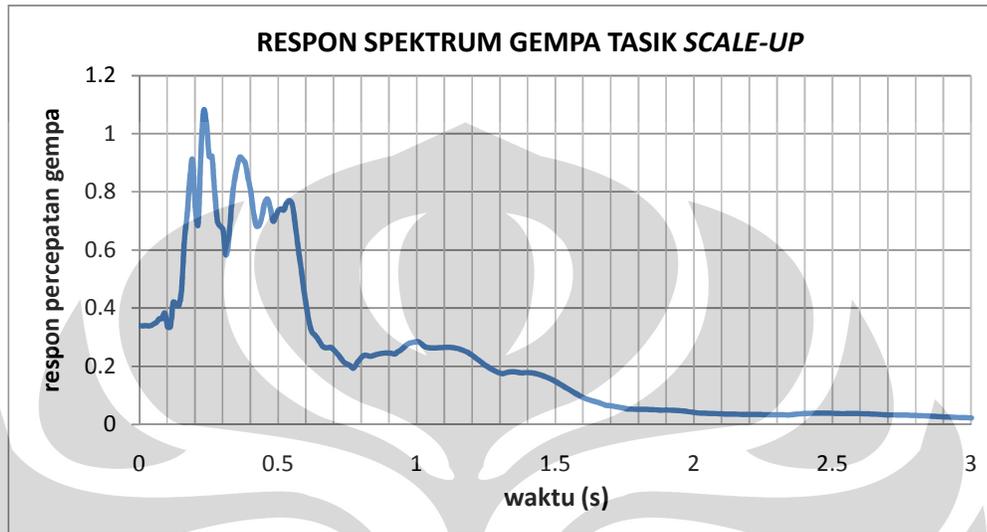
2. Data gempa Tasikmalaya *Scale-up*



Gambar 4. 3 Data Percepatan Gempa Tasikmalaya yang sudah di *Scale-up*

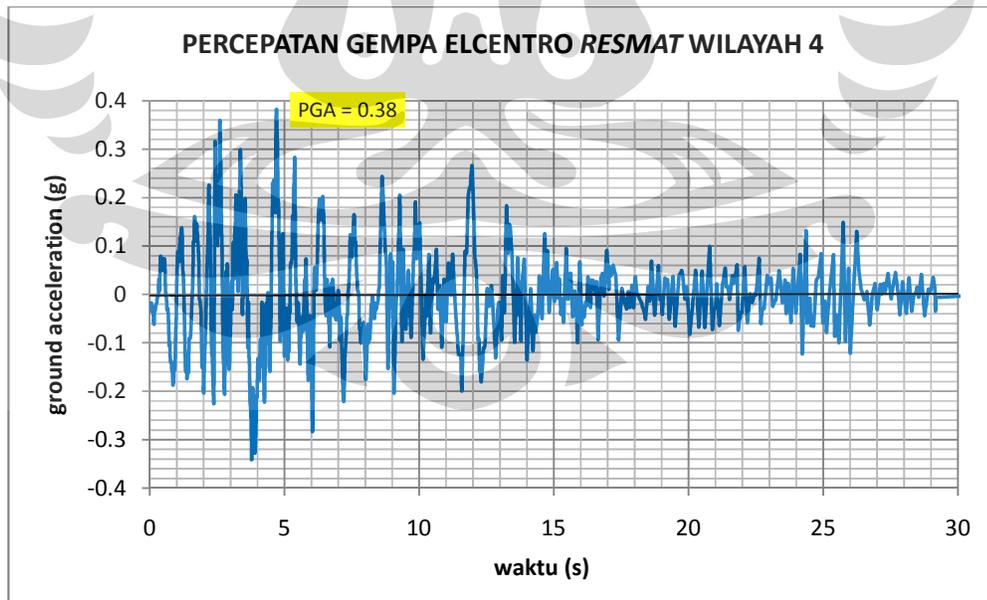
Data gempa ini merupakan data gempa Tasikmalaya 2 September 2009 yang merupakan hasil rekam arah *North-South* (Utara-Selatan) yang sudah di

normalisasi percepatan puncaknya sehingga sama dengan percepatan tanah lunak wilayah 4 SNI 03-1726-2002 dan mempunyai respon spektrum seperti dibawah ini yaitu:



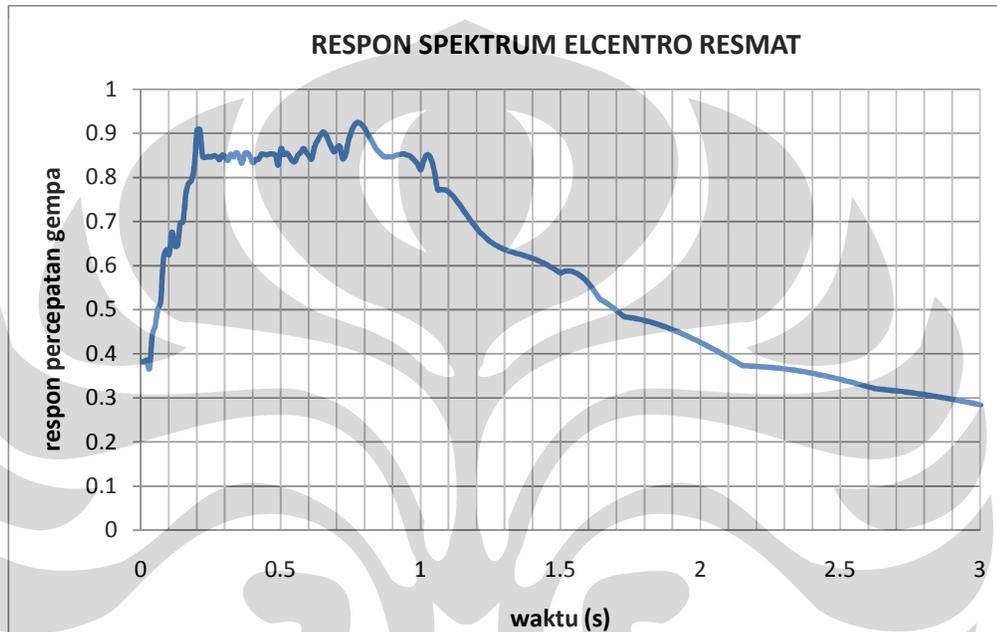
Gambar 4. 4 Respon Spektrum Gempa Tasikmalaya Scale-up

3. Data gempa El Centro yang dimodifikasi dengan program *RESMAT*



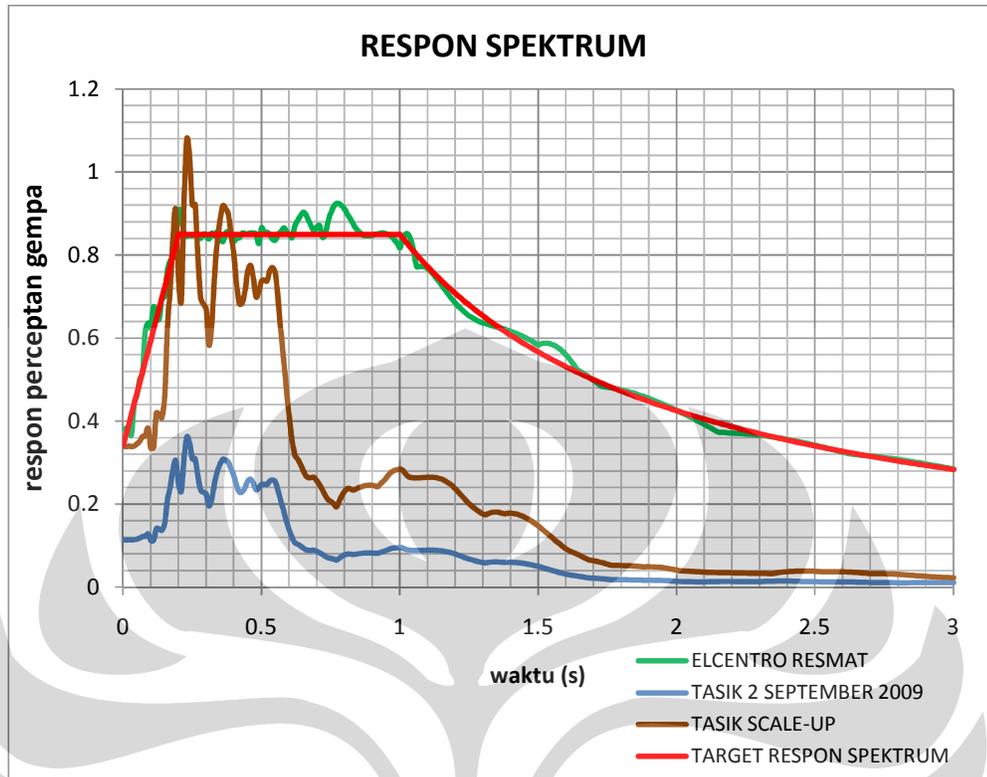
Gambar 4. 5 Data Percepatan Gempa El Centro 1940 yang sudah dimodifikasi *RESMAT*

Data gempa ini merupakan data gempa El Centro 1940 yang merupakan hasil rekam arah *North-South* (Utara-Selatan) yang sudah di modifikasi respon spektrumnya sehingga mendekati respon spektrum percepatan tanah lunak wilayah 4 SNI 03-1726-2002 dan mempunyai respon spektrum seperti dibawah ini yaitu:



Gambar 4. 6 Respon Spektrum Gempa El Centro 1940 yang sudah dimodifikasi *RESMAT*

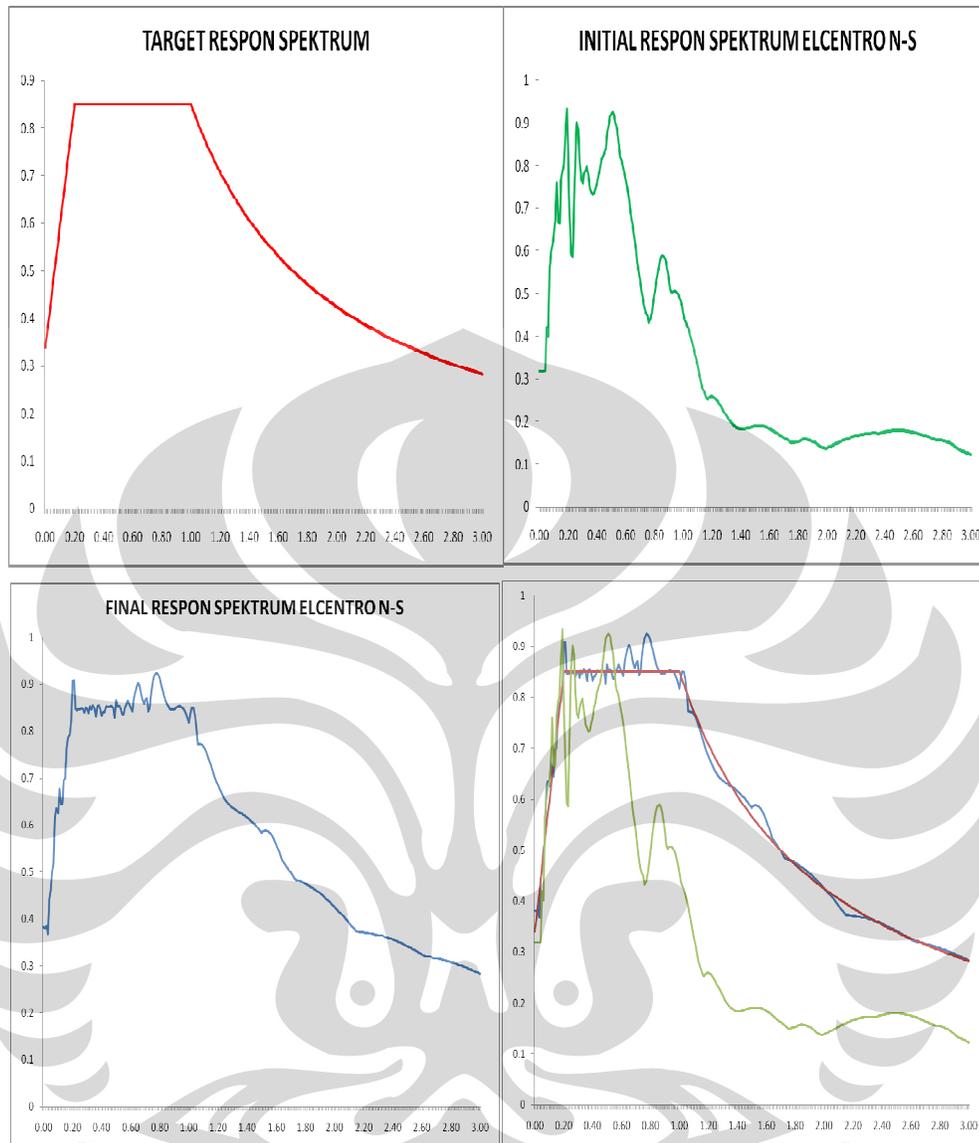
Dari ketiga gempa yang digunakan dalam analisa simulasi ini dibuat perbandingan grafik respon spektrum untuk menentukan efek besar gempa yang dihasilkan. Dari perbandingan tersebut dapat dilihat secara garis besar dimana gempa El Centro 1940 yang telah dimodifikasi dengan program *RESMAT* memiliki efek yang paling besar dari ketiga gempa yang digunakan dalam analisa dan gempa Tasikmalaya Asli memiliki efek yang paling kecil diantara ketiga gempa tersebut. Grafik perbandingan respon spektrum dari ketiga gempa dapat dilihat dari gambar berikut yaitu:



Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Respon Spektrum

4.2 Proses Modifikasi Data Gempa El Centro dengan Program *RESMAT*

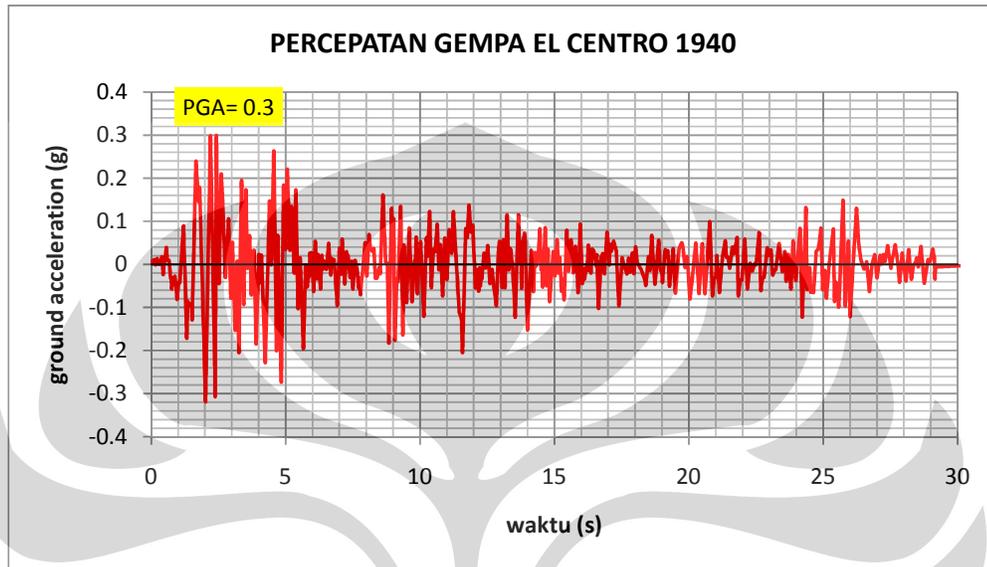
Untuk analisa dalam simulasi ini tidak digunakan catatan gempa asli El Centro 1940, tetapi digunakan gempa El Centro 1940 arah N-S (*North-South*) yang sudah dimodifikasi dengan program bantuan *RESMAT*, sehingga respon spektrum yang dihasilkan mendekati respon spektrum target yang diinginkan yaitu respon spektrum percepatan tanah lunak wilayah 4 SNI 03-1726-2002. Pada Gambar 4.8 dibawah dapat dilihat bagaimana respon spektrum awal untuk gempa El Centro 1940 dengan percepatan puncak atau *Peak Ground Acceleration (PGA)* 0,3 g berada dibawah target respon spektrum yang diinginkan yaitu untuk percepatan tanah lunak wilayah 4 SNI 03-1726-2002 dan sesudah diproses dengan program *RESMAT*, respon spektrum gempa El Centro mendekati respon spektrum target untuk percepatan tanah lunak wilayah 4 SNI 03-1726-2002. Proses modifikasi dapat dilihat pada gambar dibawah ini yaitu:



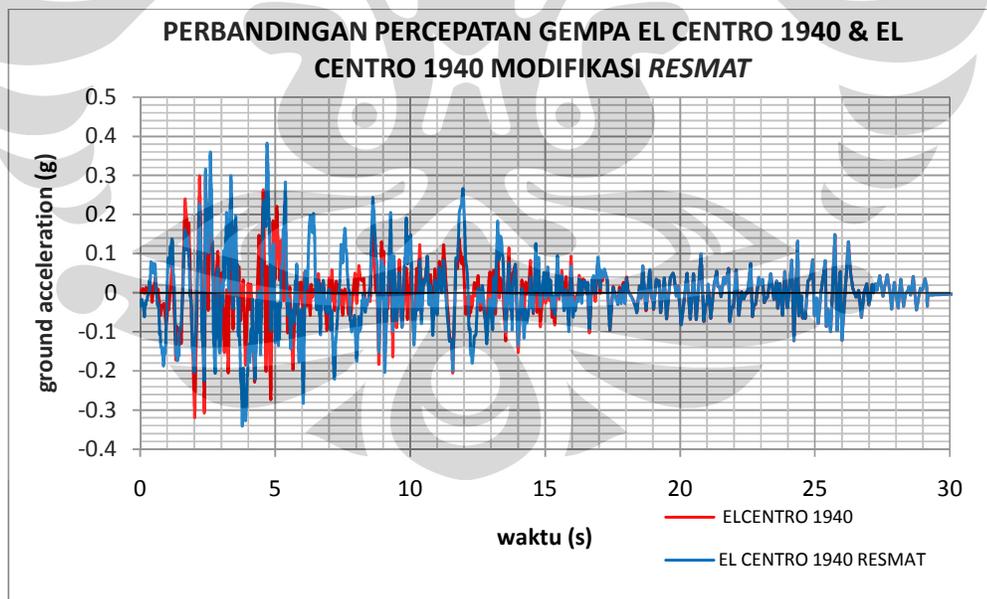
Gambar 4. 8 Proses Modifikasi Data Gempa dengan Program *RESMAT*

Dari hasil proses modifikasi diatas dapat dilihat bagaimana perubahan catatan gempa antara gempa El Centro 1940 dan catatan gempa El Centro 1940 yang telah dimodifikasi dengan program *RESMAT*. Dimana terjadi perubahan pada respon gempa yang dihasilkan dan percepatan puncaknya mengalami kenaikan sesuai dengan target respon spektrum yang ingin dicapai, dari awalnya catatan gempa El Centro 1940 memiliki percepatan puncak 0,3 g, lalu setelah dimodifikasi dengan program *RESMAT*, percepatan puncak yang dihasilkan mendekati percepatan

puncak target yaitu 0,38 g dimana percepatan puncak target adalah 0,34 g. Berikut adalah perbandingan antara catatan gempa El Centro 1940 dengan catatan gempa El Centro 1940 yang telah dimodifikasi dengan program RESMAT, yaitu:



Gambar 4. 9 Data Percepatan Gempa El Centro 1940



Gambar 4. 10 Gambar Perbandingan Percepatan Gempa El Centro 1940 & El Centro 1940 Modifikasi *RESMAT*

Gambar 4.10 diatas menunjukkan bagaimana perubahan yang terjadi pada catatan gempa El Centro 1940 (Gambar 4.9) dan El Centro 1940 (Gambar 4.5) yang sudah dimodifikasi dimana catatan gempa El Centro yang sudah dimodifikasi menunjukkan perubahan yang lebih besar dengan percepatan puncak 0,38 g. Dimana pada Gambar 4.10, gempa El Centro 1940 yang diberikan oleh warna merah walaupun responnya hampir sama dengan gempa El Centro 1940 *RESMAT*, tetapi memiliki perilaku dan percepatan puncak yang berbeda.

4.3 Input Permodelan Pada Program SAP

4.3.1 Input Properties Material

Material yang digunakan dalam permodelan yaitu

- Kayu

Kelas Mutu Kayu	:	Kayu Kelas II
Massa	:	700 kg/m ³
E	:	9500 MPa
Poisson Ratio	:	0,4
Koefisien Thermal	:	1,1 x 10 ⁻⁵

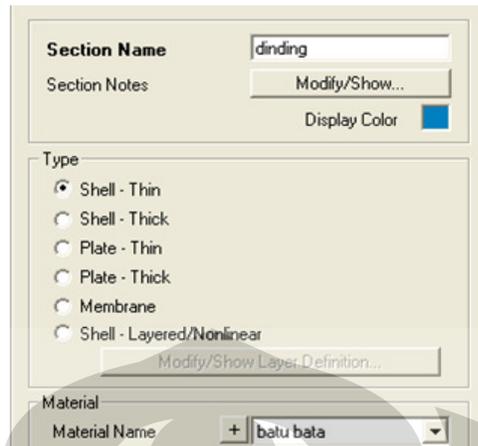
- Batu Bata

Massa	:	1690 kg/m ³
E	:	1230,9 MPa
Poisson Ratio	:	0,254
Koefisien Thermal	:	5.5 x 10 ⁻⁶

Untuk sumber dapat dilihat pada halaman lampiran.

4.3.2 Input Dinding Bata

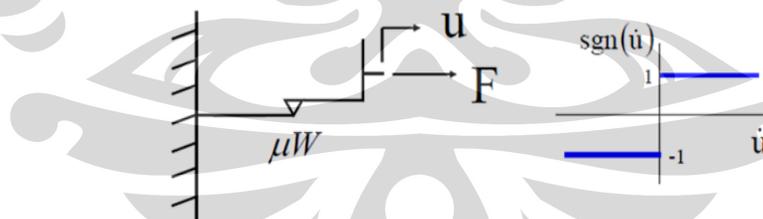
Dalam simulasi ini untuk bangunan rumah dinding bata, pada program *SAP*, untuk memodelkan dinding digunakan elemen *shell* dengan tipe *thin*.



Gambar 4. 11 Opsi Pemilihan Permodelan Dinding dengan Elemen Shell pada SAP 2000

4.3.3 Input Perletakan Umpak

Pada program SAP, untuk memodelkan perletakan umpak digunakan elemen NNLINK *Friction Pendulum Isolator*. Pada properti *Friction Pendulum Isolator* mempunyai 2 gaya geser yang bekerja, yaitu gaya geser akibat gesek dan akibat radius curvature pendulum. Dalam memodelkan umpak sebagai *Friction Pendulum Isolator*, hanya bekerja gaya geser akibat gesekan karena gaya geser akibat radius tidak ada diakibatkan tidak ada radius (permukaan umpak merupakan bidang datar). Sehingga gaya geser yang bekerja adalah

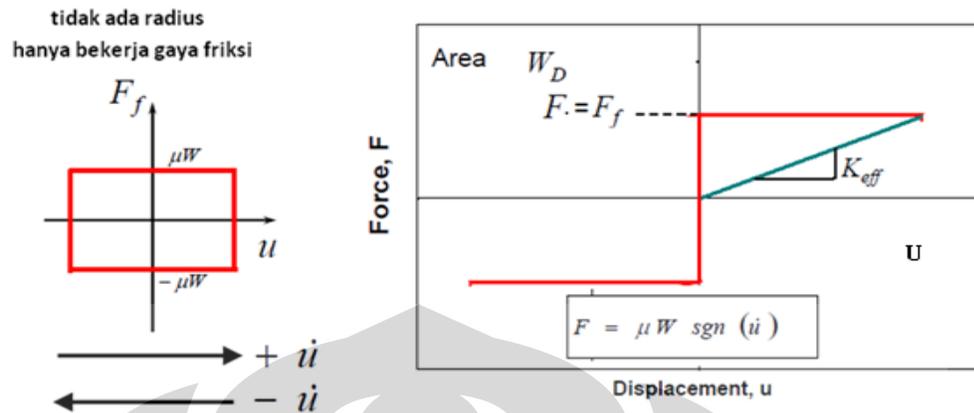


Gambar 4. 12 Gambar Permodelan Gaya Gesek pada Umpak

$$F = F_r + F_f = \frac{W}{R} u + \mu W \operatorname{sgn}(\dot{u})$$

$$F_r = \frac{W}{R} u = 0$$

$$F = F_f = \mu W \operatorname{sgn}(\dot{u})$$



Gambar 4. 13 Gambar Hubungan Gaya Geser dan Deformasi yang Terjadi pada Umpak

Dari gambar diatas didapat hubungan K_{eff} yaitu :

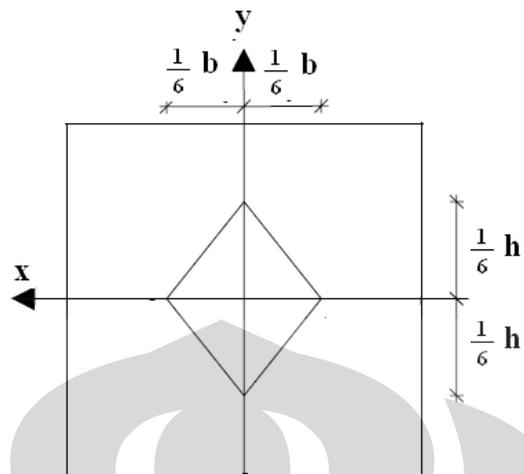
$$K_{eff} = \frac{F}{u}$$

$$K_{eff} = \frac{F_f}{u} = \frac{\mu W \operatorname{sgn}(\ddot{u})}{u}$$

dengan memberikan pendekatan

W : beban maksimal yang diterima umpak saat mengalami gaya geser akibat gempa
, dari hasil perhitungan sebelumnya didapat beban aksial maksimum yang ditahan oleh umpak saat mengalami gaya gempa adalah 10 kN.

u : deformasi yang terjadi pada umpak
, diasumsikan deformasi yang terjadi pada umpak saat menerima gaya geser (μW) adalah sepanjang bidang kern dari umpak yaitu



Gambar 4. 14 Bidang Kern Umpak

, dengan

$$h = b = 0,16 \text{ m}$$

$$\frac{1}{6}h = \frac{1}{6}b = 0,026 \text{ m}$$

μ : koefisien gesek antara batu umpak dan kayu yaitu 0,4
(tabel koefisien gesek material dapat dilihat pada lampiran)

Sehingga didapat pendekatan untuk K_{eff}

$$K_{eff} = \frac{\mu W \operatorname{sgn}(\ddot{u})}{u} = \frac{(0,4)(10 \text{ kN})}{0,026 \text{ m}} = 150 \text{ kN/m}$$

Dari hasil perhitungan dengan pendekatan untuk K_{eff} diatas, penulis membandingkan hasil simulasi yang didapat dengan keadaan sebenarnya di lapangan yang dialami rumah kayu terhadap pembebanan gempa Tasikmalaya 2 September 2009. Dimana pada hasil yang didapat pada simulasi umpak dengan menggunakan permodelan NNLINK *friction pendulum isolator* dengan K_{eff} 150 kN/m, didapat pergeseran maksimum yang terjadi adalah sekitar 6 mm dan deformasi akhir umpak adalah sekitar 1 mm, dimana umpak tidak kembali ke posisi semula seperti yang ditunjukkan pada analisa selanjutnya. Hal ini

Universitas Indonesia

mendekati hasil pengamatan yang dilakukan penulis saat observasi dimana pergeseran pada bangunan umpak di lapangan sangat kecil atau hampir tidak bergeser sama sekali.

Berikut adalah input elemen NNLINK *Friction Pendulum Isolator* pada program *SAP*.

Properties Used For Linear Analysis Cases	
Effective Stiffness	150.
Effective Damping	0.
Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0.
Properties Used For Nonlinear Analysis Cases	
Stiffness	150.
Friction Coefficient, Slow	0.4
Friction Coefficient, Fast	0.4
Rate Parameter	0.
Radius of Sliding Surface	0.

Gambar 4. 15 Input NNLINK Friction Pendulum pada *SAP* 2000

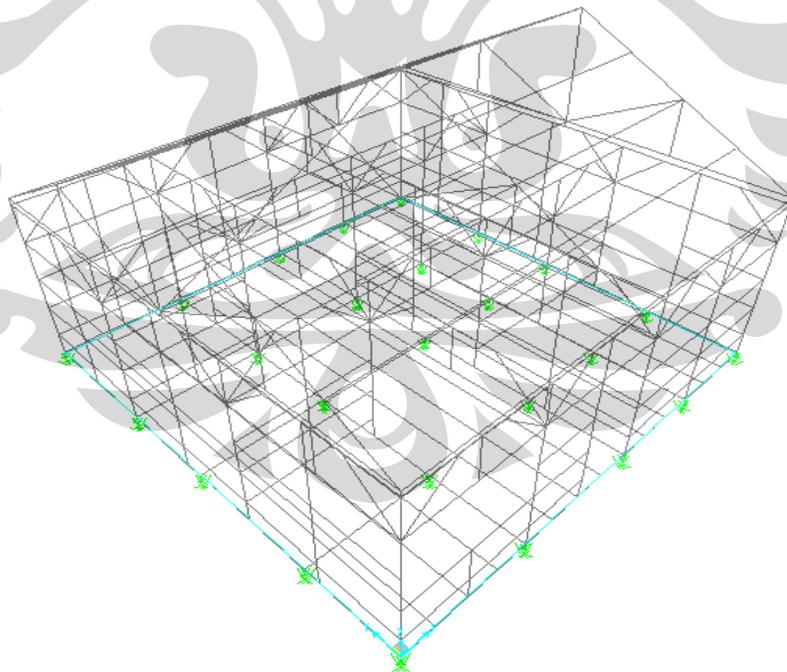
4.3.4 Input Analysis Case

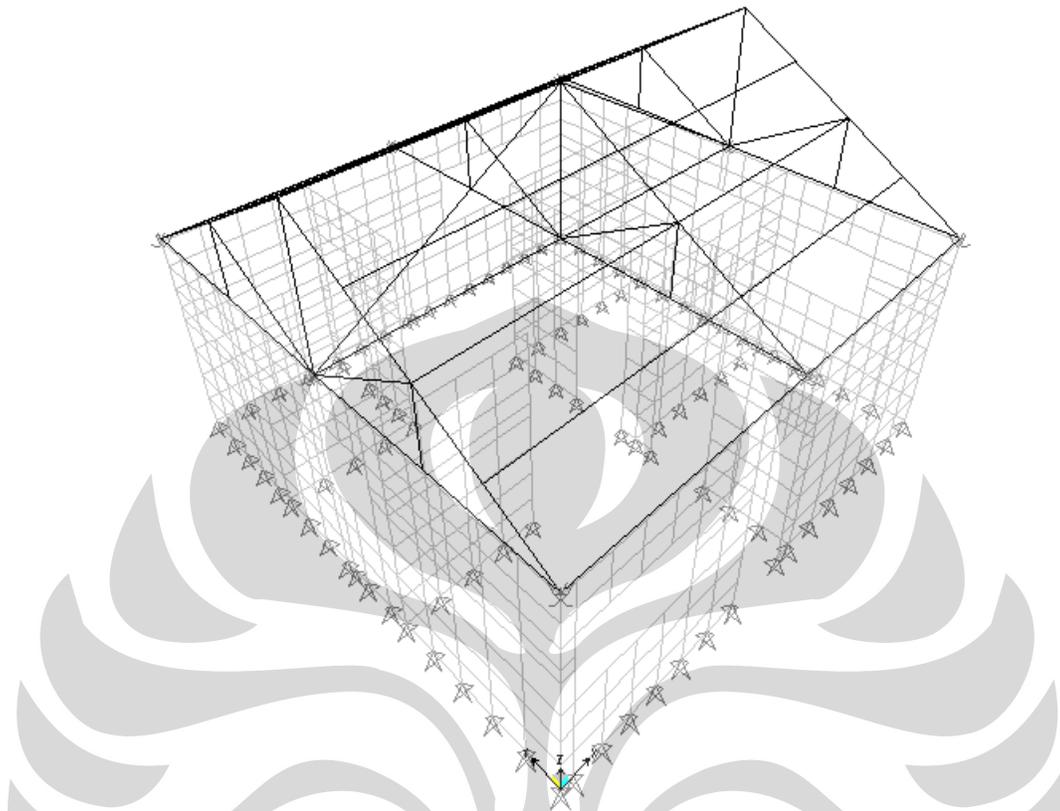
Pada analisa bangunan kayu, input analysis case yang digunakan adalah non-linier time history dengan menggunakan NNLINK sehingga diperlukan perlakuan khusus, dimana NNLINK *Friction Pendulum Isolator* hanya dapat bekerja jika pada saat diberikan pembebanan gempa gempa sudah mengalami tekanan akibat gaya aksial seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 dengan arah pembebanan hanya searah X atau E_x . Sedangkan pada pembebanan untuk bangunan dinding bata, input analysis case yang digunakan adalah linier time history, sehingga tidak memerlukan perlakuan khusus dan dipakai pembebanan $E_x+0,3E_y$ dan $E_y+0,3E_x$.

Tabel 4. 1 Input Analysis Case

ANALYSIS CASE	DESKRIPSI
RITZ	Analisa modal dengan menggunakan Ritz vectors.
MGRAV	Nonlinier modal time history analisis untuk memberikan pembebanan beban gravitasi terhadap elemen NNLINK pada SAP menggunakan fungsi ramp
DGRAV	Nonlinier static analisis untuk memberikan pembebanan beban gravitasi terhadap elemen NNLINK pada SAP
TH_MODAL	Nonlinier modal time history analisis dengan menggunakan mode pada Ritz analysis case dan dimulai dari kondisi awal setelah pembebanan MGRAV analysis case
TH_DIRECT	Nonlinier direct integration time history analisis dimulai dari kondisi awal setelah pembebanan DGRAV analysis case

4.3.5 Tiga Dimensi Permodelan dalam SAP 2000

**Gambar 4. 16** 3-D Permodelan Rumah Panggung Kayu pada SAP 2000

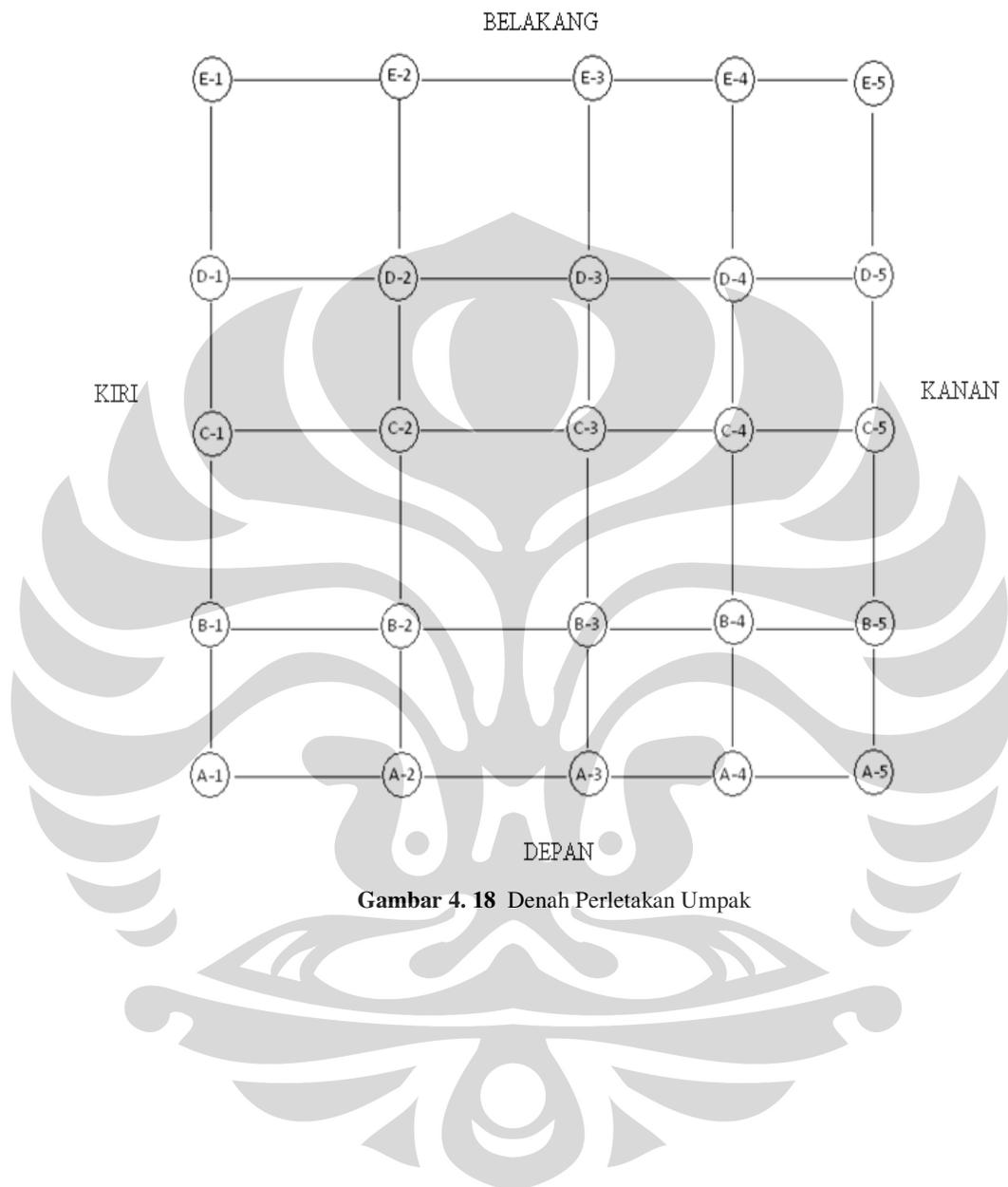


Gambar 4. 17 3-D Permodelan Rumah Dinding pada SAP 2000

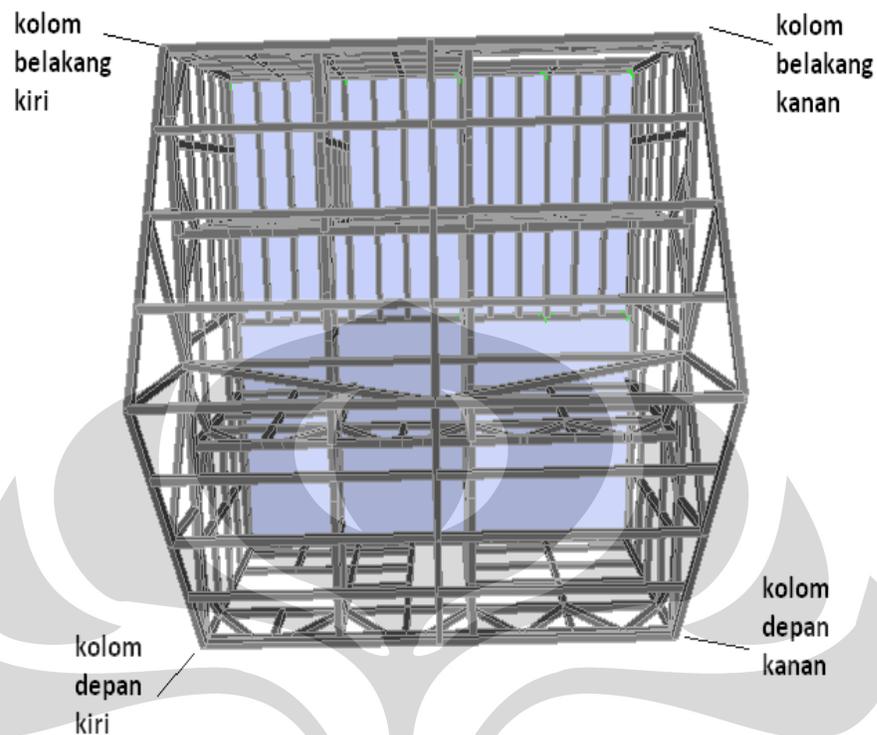
4.4 Analisis Rumah Panggung Kayu

Pada bagian ini akan ditinjau dan dianalisis pengaruh pergeseran dari pondasi umpak pada bangunan rumah kayu terhadap gaya geser dasar dan gaya yang terjadi pada kolom-kolom kayu terutama kolom kayu yang terletak pada sudut bangunan akibat pembebanan gempa Tasikmalaya Asli (gempa Tasikmalaya 2 September 2009), gempa Tasikmalaya *Scale-up* dan gempa El Centro yang sudah dimodifikasi dengan program *RESMAT*.

4.4.1 Denah Perletakan Umpak dan Kolom yang Ditinjau



Gambar 4.18 Denah Perletakan Umpak



Gambar 4. 19 Denah Kolom yang Ditinjau

4.4.2 Output Hasil Permodelan

Pada awal analisa, yaitu pada pembebanan gempa Tasikmalaya Asli (gempa Tasikmalaya 2 September 2009) akan digunakan 2 metode untuk analisa yaitu analisa dengan Time History Non-linier Modal Analysis dan Time History Non-linier Direct Integration. Hal ini ditujukan untuk mengetahui perbandingan dari kedua analisa tersebut karena untuk analisa selanjutnya hanya digunakan Time History Non-linier Modal Analysis. Tanda max dan min pada hasil keluaran permodelan menunjukkan arah gempa yang bekerja terhadap bangunan.

4.4.2.1 Hasil Keluaran Akibat Pembebanan Gempa Tasikmalaya Asli (Gempa Tasikmalaya 2 September 2009)

❖ Time History Non-linier Modal Anlysis

1. Tabel deformasi pada umpak

Tabel 4. 2 Tabel Deformasi Umpak Akibat Gempa Tasikmalaya 2 September 2009 dengan Time History Modal Analysis

TITIK	HASIL ANALISA	DEFORMASI	TITIK	HASIL ANALISA	DEFORMASI
UMPAK	TIME HISTORY MODAL	(mm)	UMPAK	TIME HISTORY MODAL	(mm)
A-1	Max	6.972757	A-1	Min	-4.485648
A-2	Max	6.963838	A-2	Min	-4.484703
A-3	Max	6.958098	A-3	Min	-4.484026
A-4	Max	6.961334	A-4	Min	-4.486602
A-5	Max	6.969902	A-5	Min	-4.487728
B-1	Max	6.633664	B-1	Min	-4.547432
B-2	Max	6.631427	B-2	Min	-4.552219
B-3	Max	6.626038	B-3	Min	-4.552985
B-4	Max	6.62231	B-4	Min	-4.554827
B-5	Max	6.616813	B-5	Min	-4.555935
C-1	Max	6.382122	C-1	Min	-4.755365
C-2	Max	6.382461	C-2	Min	-4.759433
C-3	Max	6.37788	C-3	Min	-4.759777
C-4	Max	6.373489	C-4	Min	-4.760998
C-5	Max	6.367221	C-5	Min	-4.760438
D-1	Max	6.513258	D-1	Min	-5.017216
D-2	Max	6.506364	D-2	Min	-5.023671
D-3	Max	6.499235	D-3	Min	-5.019273
D-4	Max	6.493658	D-4	Min	-5.021843
D-5	Max	6.485478	D-5	Min	-5.020634
E-1	Max	6.845892	E-1	Min	-5.939586
E-2	Max	6.841419	E-2	Min	-5.928124
E-3	Max	6.839864	E-3	Min	-5.920583
E-4	Max	6.843654	E-4	Min	-5.925585
E-5	Max	6.847662	E-5	Min	-5.933712

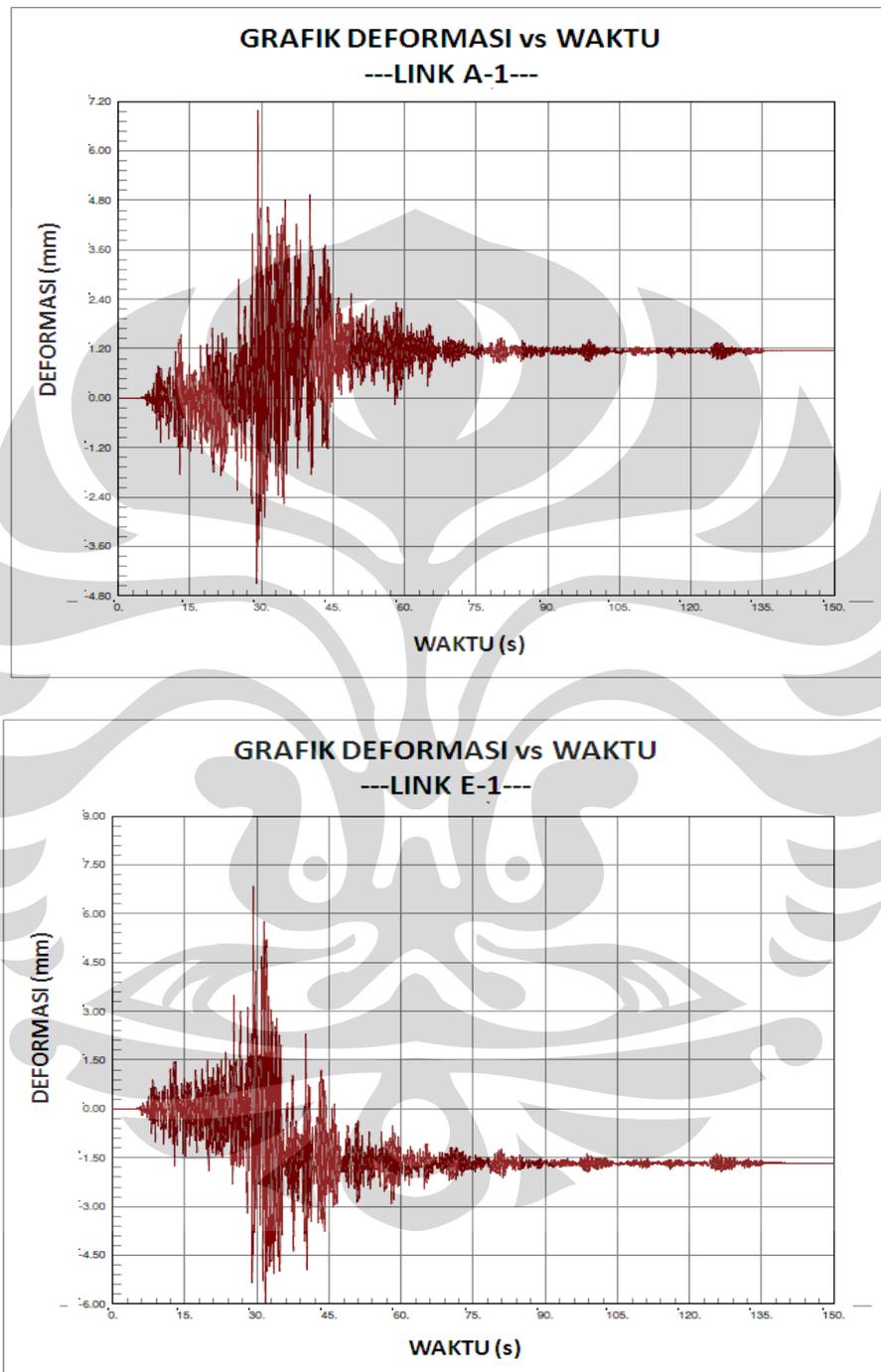
DEFORMASI MAKSIMUM 6.972757 mm
TITIK UMPAK A-1

DEFORMASI MAKSIMUM -5.939586 mm
TITIK UMPAK E-1

2. Grafik hubungan gaya geser, aksial dan deformasi yang terjadi pada umpak yang berdeformasi maksimum

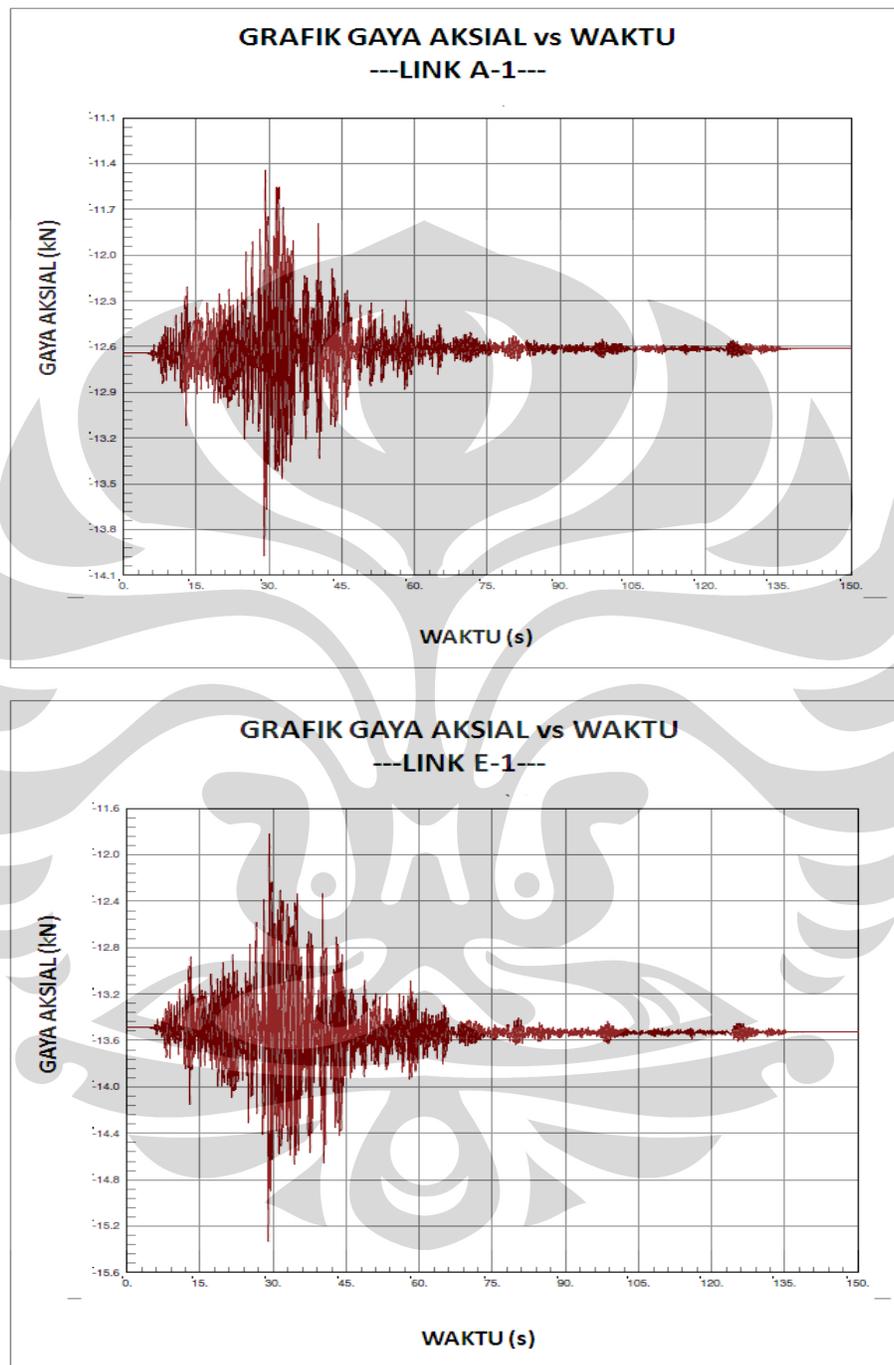
Dari hasil analisa, didapat bahwa titik umpak yang mengalami pergeseran atau berdeformasi maksimum adalah titik umpak A-1 untuk arah gempa max (positif) dan titik umpak E-1 untuk arah gempa min (negatif).

- Grafik hubungan deformasi vs waktu



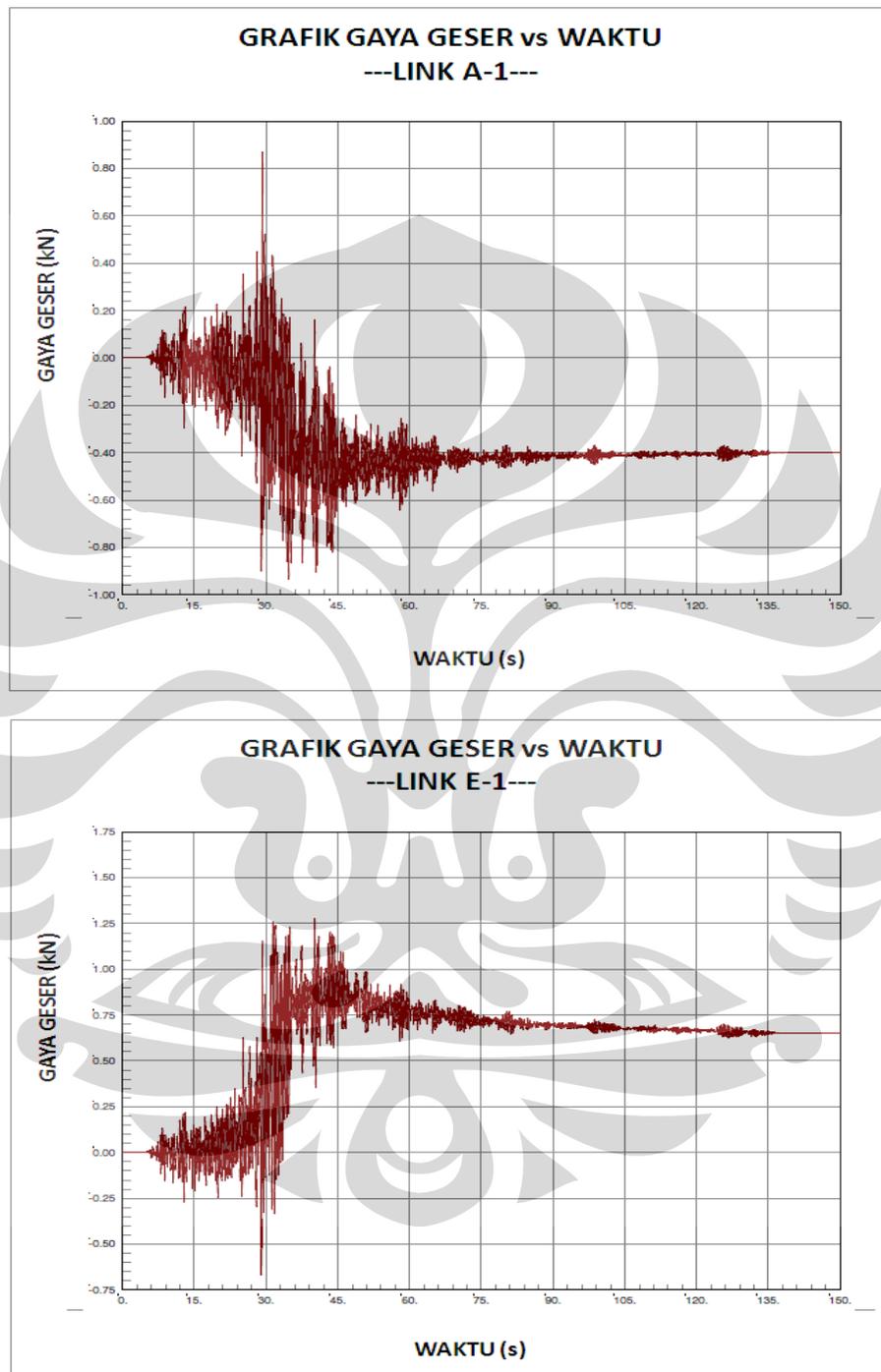
Gambar 4. 20 Grafik Hubungan Deformasi vs Waktu Akibat Gempa Tasikmalaya 2 September 2009

- Grafik hubungan gaya aksial vs waktu



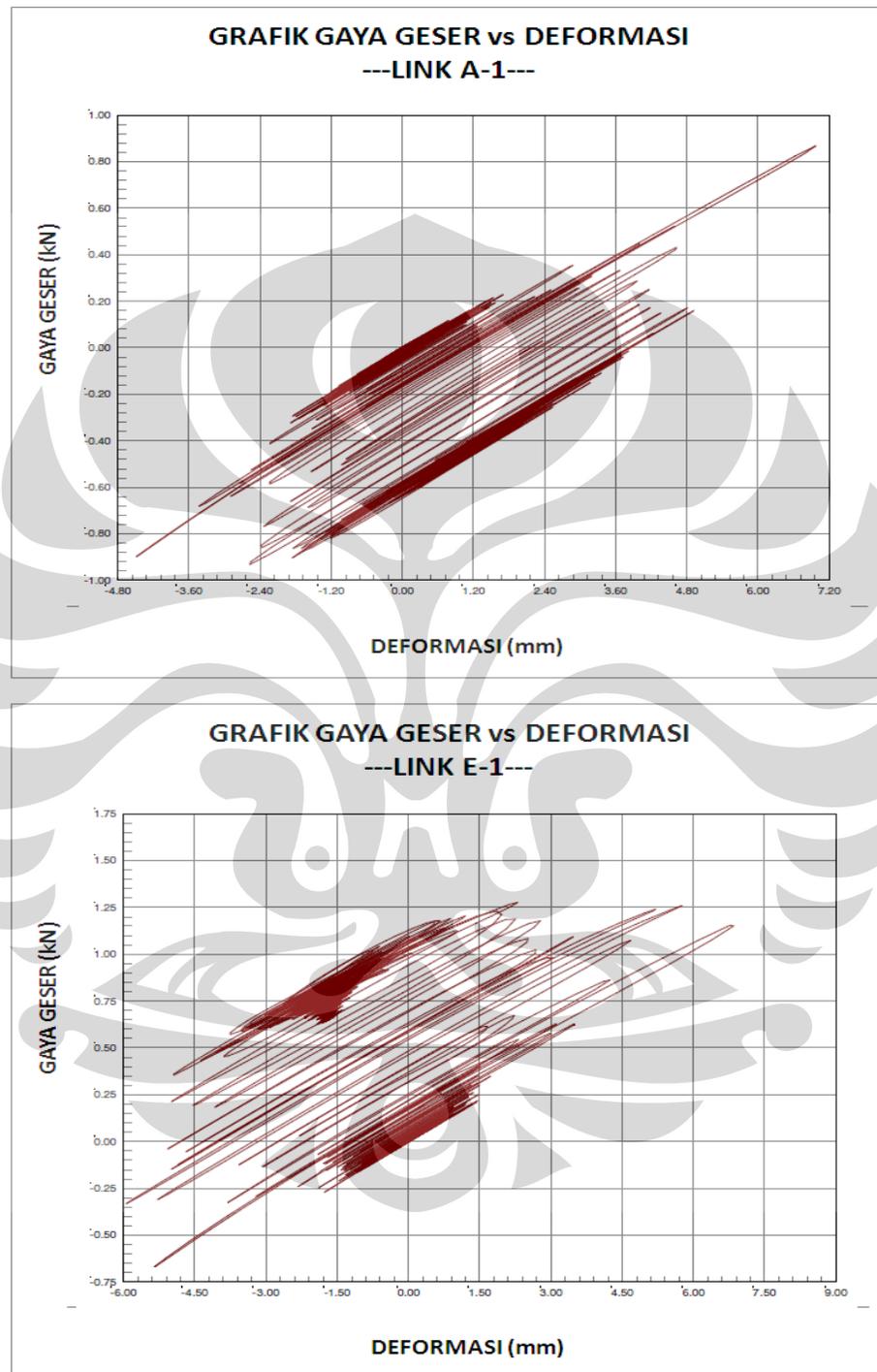
Gambar 4. 21 Grafik Hubungan Gaya Aksial vs Waktu Akibat Gempa Tasikmalaya 2 September 2009

- Grafik gaya geser vs waktu



Gambar 4. 22 Grafik Hubungan Gaya Geser vs Waktu Akibat Gempa Tasikmalaya 2 September 2009

- Grafik hubungan gaya geser vs deformasi



Gambar 4. 23 Grafik Hubungan Gaya Geser vs Deformasi Akibat Gempa Tasikmalaya 2 September 2009

Universitas Indonesia

3. Gaya yang bekerja pada kolom

Tabel 4.3 Tabel Gaya pada Kolom Akibat Gempa Tasikmalaya 2 September 2009

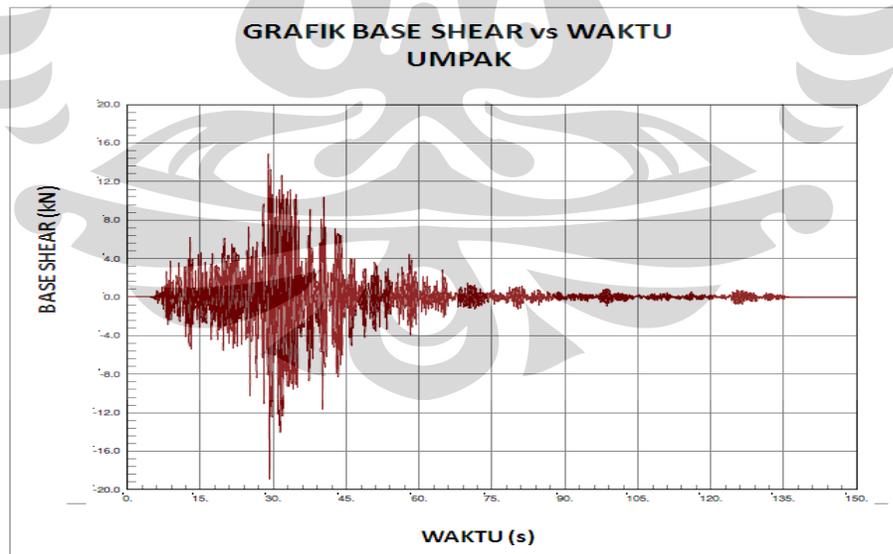
KOLOM	HASIL ANALISA	P	V2	M3
POSISI	TIME HISTORY MODAL	KN	KN	KN-mm
BELAKANG KIRI	MAX	-3.224	0.336	144.97
DEPAN KIRI	MAX	-2.955	0.315	191.12
BELAKANG KANAN	MAX	-2.85	0.195	114.05
DEPAN KANAN	MAX	-2.882	0.355	188.13

KOLOM	HASIL ANALISA	P	V2	M3
POSISI	TIME HISTORY MODAL	KN	KN	KN-mm
BELAKANG KIRI	MIN	-5.995	-0.268	-125.73
DEPAN KIRI	MIN	-4.777	-0.245	-176.01
BELAKANG KANAN	MIN	-4.786	-0.157	-112.52
DEPAN KANAN	MIN	-3.932	-0.381	-155.48

4. Gaya geser dasar

Tabel 4.4 Tabel Gaya Geser Dasar Akibat Gempa Tasikmalaya 2 September 2009

HASIL ANALISA	BASE SHEAR ARAH X
TIME HISTORY MODAL	(kN)
Max	14.872
Min	-18.911



Gambar 4.24 Grafik Hubungan Gaya Geser Dasar vs Waktu Akibat Gempa Tasikmalaya 2 September 2009

❖ Time History Direct Integration

Tabel 4. 5 Tabel Deformasi Umpak Akibat Gempa Tasikmalaya 2 September 2009 dengan Time History Direct Integration Analysis

TITIK	HASIL ANALISA	DEFORMASI	TITIK	HASIL ANALISA	DEFORMASI
UMPAK	TIME DIRECT INTEGRATION	(mm)	UMPAK	TIME DIRECT INTEGRATION	(mm)
A-1	Max	6.953728	A-1	Min	-4.231155
A-2	Max	6.944864	A-2	Min	-4.229156
A-3	Max	6.939155	A-3	Min	-4.228542
A-4	Max	6.942404	A-4	Min	-4.23131
A-5	Max	6.951055	A-5	Min	-4.23316
B-1	Max	6.667475	B-1	Min	-4.360023
B-2	Max	6.665765	B-2	Min	-4.36357
B-3	Max	6.660959	B-3	Min	-4.363447
B-4	Max	6.657747	B-4	Min	-4.364509
B-5	Max	6.652765	B-5	Min	-4.365023
C-1	Max	6.492281	C-1	Min	-4.662288
C-2	Max	6.493907	C-2	Min	-4.664783
C-3	Max	6.490531	C-3	Min	-4.663981
C-4	Max	6.487054	C-4	Min	-4.664249
C-5	Max	6.481695	C-5	Min	-4.662823
D-1	Max	6.686975	D-1	Min	-5.010459
D-2	Max	6.68041	D-2	Min	-5.015169
D-3	Max	6.672971	D-3	Min	-5.01033
D-4	Max	6.667479	D-4	Min	-5.012035
D-5	Max	6.659551	D-5	Min	-5.010244
E-1	Max	7.14951	E-1	Min	-6.672815
E-2	Max	7.143806	E-2	Min	-6.660574
E-3	Max	7.142257	E-3	Min	-6.651973
E-4	Max	7.146595	E-4	Min	-6.657616
E-5	Max	7.15152	E-5	Min	-6.666178

DEFORMASI MAKSIMUM 7.152 mm

DEFORMASI MAKSIMUM -6.673 mm

❖ Perbandingan Analisa Time History Modal Analysis dan Time History Direct Integration

Dari hasil analisa dengan Time History Modal Analysis dan Time History Direct Integration, penulis melakukan perbandingan karena untuk analisa selanjutnya hanya akan digunakan Time History Modal Analysis.

Tabel 4. 6 Tabel Perbandingan Analisa Time History Modal Analysis dan Time History Direct Integration untuk Gempa Tasikmalaya 2 September 2009

TITIK	DEFORMASI ARAH MAX (mm)		SELISIH
UMPAK	TH MODAL	TH DIRECT	%
A-1	6.972757	6.953728	0.27%
A-2	6.963838	6.944864	0.27%
A-3	6.958098	6.939155	0.27%
A-4	6.961334	6.942404	0.27%
A-5	6.969902	6.951055	0.27%
B-1	6.633664	6.667475	-0.51%
B-2	6.631427	6.665765	-0.52%
B-3	6.626038	6.660959	-0.52%
B-4	6.62231	6.657747	-0.53%
B-5	6.616813	6.652765	-0.54%
C-1	6.382122	6.492281	-1.70%
C-2	6.382461	6.493907	-1.72%
C-3	6.37788	6.490531	-1.74%
C-4	6.373489	6.487054	-1.75%
C-5	6.367221	6.481695	-1.77%
D-1	6.513258	6.686975	-2.60%
D-2	6.506364	6.68041	-2.61%
D-3	6.499235	6.672971	-2.60%
D-4	6.493658	6.667479	-2.61%
D-5	6.485478	6.659551	-2.61%
E-1	6.845892	7.14951	-4.25%
E-2	6.841419	7.143806	-4.23%
E-3	6.839864	7.142257	-4.23%
E-4	6.843654	7.146595	-4.24%
E-5	6.847662	7.15152	-4.25%

TITIK	DEFORMASI ARAH MIN (mm)		SELISIH
UMPAK	TH MODAL	TH DIRECT	%
A-1	-4.485648	-4.231155	5.67%
A-2	-4.484703	-4.229156	5.70%
A-3	-4.484026	-4.228542	5.70%
A-4	-4.486602	-4.23131	5.69%
A-5	-4.487728	-4.23316	5.67%
B-1	-4.547432	-4.360023	4.12%
B-2	-4.552219	-4.36357	4.14%
B-3	-4.552985	-4.363447	4.16%
B-4	-4.554827	-4.364509	4.18%
B-5	-4.555935	-4.365023	4.19%
C-1	-4.755365	-4.662288	1.96%
C-2	-4.759433	-4.664783	1.99%
C-3	-4.759777	-4.663981	2.01%
C-4	-4.760998	-4.664249	2.03%
C-5	-4.760438	-4.662823	2.05%
D-1	-5.017216	-5.010459	0.13%
D-2	-5.023671	-5.015169	0.17%
D-3	-5.019273	-5.01033	0.18%
D-4	-5.021843	-5.012035	0.20%
D-5	-5.020634	-5.010244	0.21%
E-1	-5.939586	-6.672815	10.99%
E-2	-5.928124	-6.660574	11.00%
E-3	-5.920583	-6.651973	11.00%
E-4	-5.925585	-6.657616	11.00%
E-5	-5.933712	-6.666178	10.99%

Dari hasil diatas didapat kesamaan antara hasil perhitungan dengan Time History Modal Analysis dan Time History Direct Integration dengan perbedaan terjadi tidak terlalu besar, sehingga dari hasil diatas dapat diketahui permodelan untuk NLink *Friction Pendulum Isolator* dapat dianalisa secara non-linier menggunakan 2 metode yaitu Time History Modal Analysis dan Time History Direct Integration dan untuk analisa selanjutnya dapat digunakan satu metode saja yaitu Time History Modal Analysis dimana metode ini mempunyai keunggulan yaitu hasil yang didapat lebih akurat dan proses *running* program yang lebih cepat.

4.4.2.2 Hasil Keluaran Akibat Pembebanan Gempa Tasikmalaya *Scale-up*

1. Tabel deformasi pada umpak

Tabel 4.7 Tabel Deformasi Umpak Akibat Gempa Tasikmalaya *Scale-up*

TITIK	HASIL ANALISA	DEFORMASI	TITIK	HASIL ANALISA	DEFORMASI
UMPAK	TIME HISTORY MODAL	(mm)	UMPAK	TIME HISTORY MODAL	(mm)
A-1	Max	17.193141	A-1	Min	-18.795622
A-2	Max	17.182497	A-2	Min	-18.798721
A-3	Max	17.17053	A-3	Min	-18.7907
A-4	Max	17.179415	A-4	Min	-18.799591
A-5	Max	17.189904	A-5	Min	-18.799928
B-1	Max	16.414431	B-1	Min	-19.925439
B-2	Max	16.409573	B-2	Min	-19.940024
B-3	Max	16.399755	B-3	Min	-19.946122
B-4	Max	16.392936	B-4	Min	-19.953756
B-5	Max	16.382971	B-5	Min	-19.958229
C-1	Max	15.567072	C-1	Min	-21.398556
C-2	Max	15.571902	C-2	Min	-21.424799
C-3	Max	15.564011	C-3	Min	-21.435315
C-4	Max	15.551683	C-4	Min	-21.440219
C-5	Max	15.532544	C-5	Min	-21.437532
D-1	Max	15.51635	D-1	Min	-22.767347
D-2	Max	15.501394	D-2	Min	-22.786162
D-3	Max	15.494093	D-3	Min	-22.783879
D-4	Max	15.486666	D-4	Min	-22.793323
D-5	Max	15.474197	D-5	Min	-22.79506
E-1	Max	15.371177	E-1	Min	-23.970524
E-2	Max	15.367398	E-2	Min	-23.979573
E-3	Max	15.35717	E-3	Min	-23.969556
E-4	Max	15.367368	E-4	Min	-23.971843
E-5	Max	15.373695	E-5	Min	-23.965781

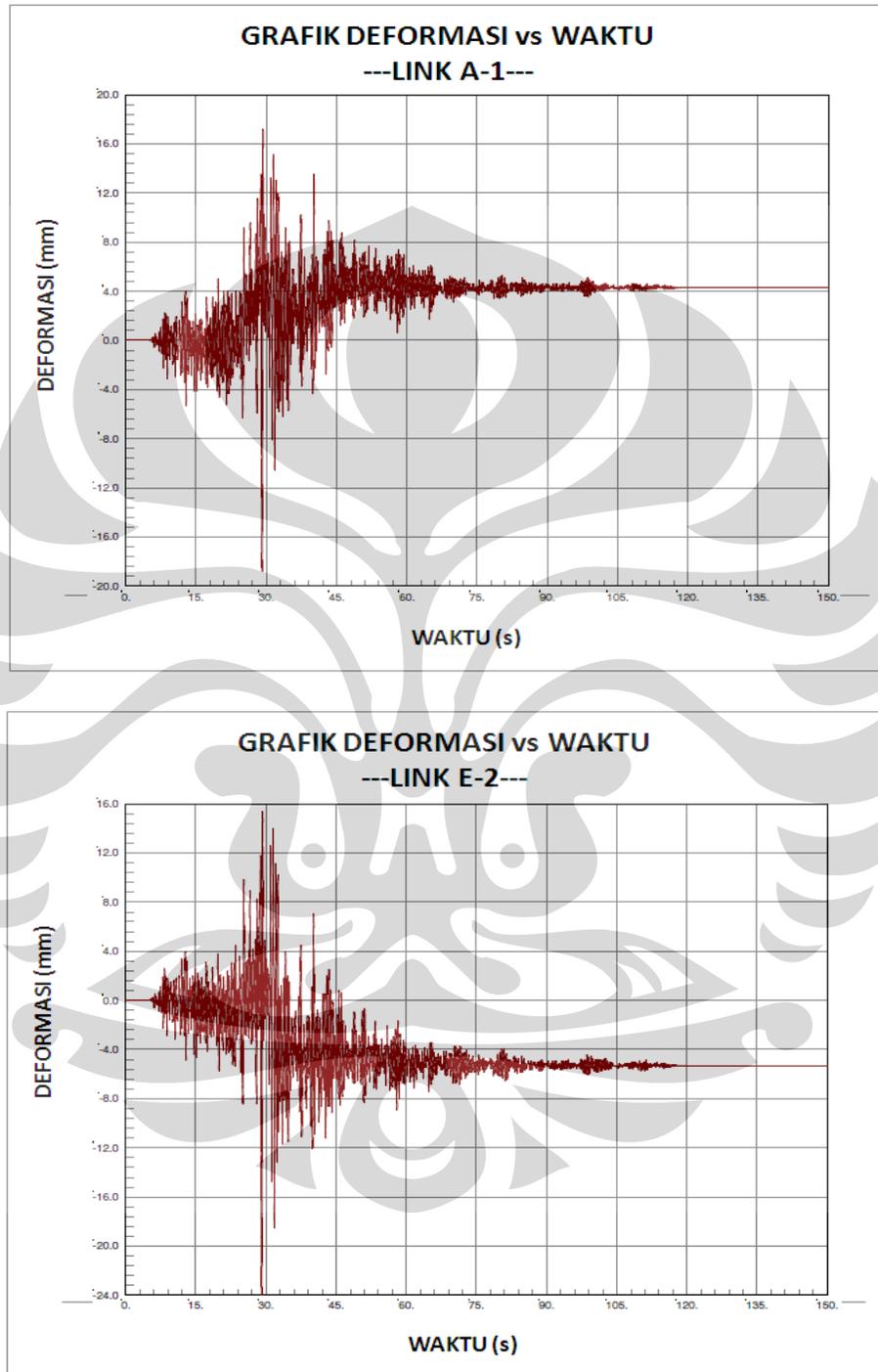
DEFORMASI MAKSIMUM 17.193141 mm
TITIK UMPAK A-1

DEFORMASI MAKSIMUM -23.979573 mm
TITIK UMPAK E-2

2. Grafik hubungan gaya geser, aksial dan deformasi yang terjadi pada umpak yang berdeformasi maksimum

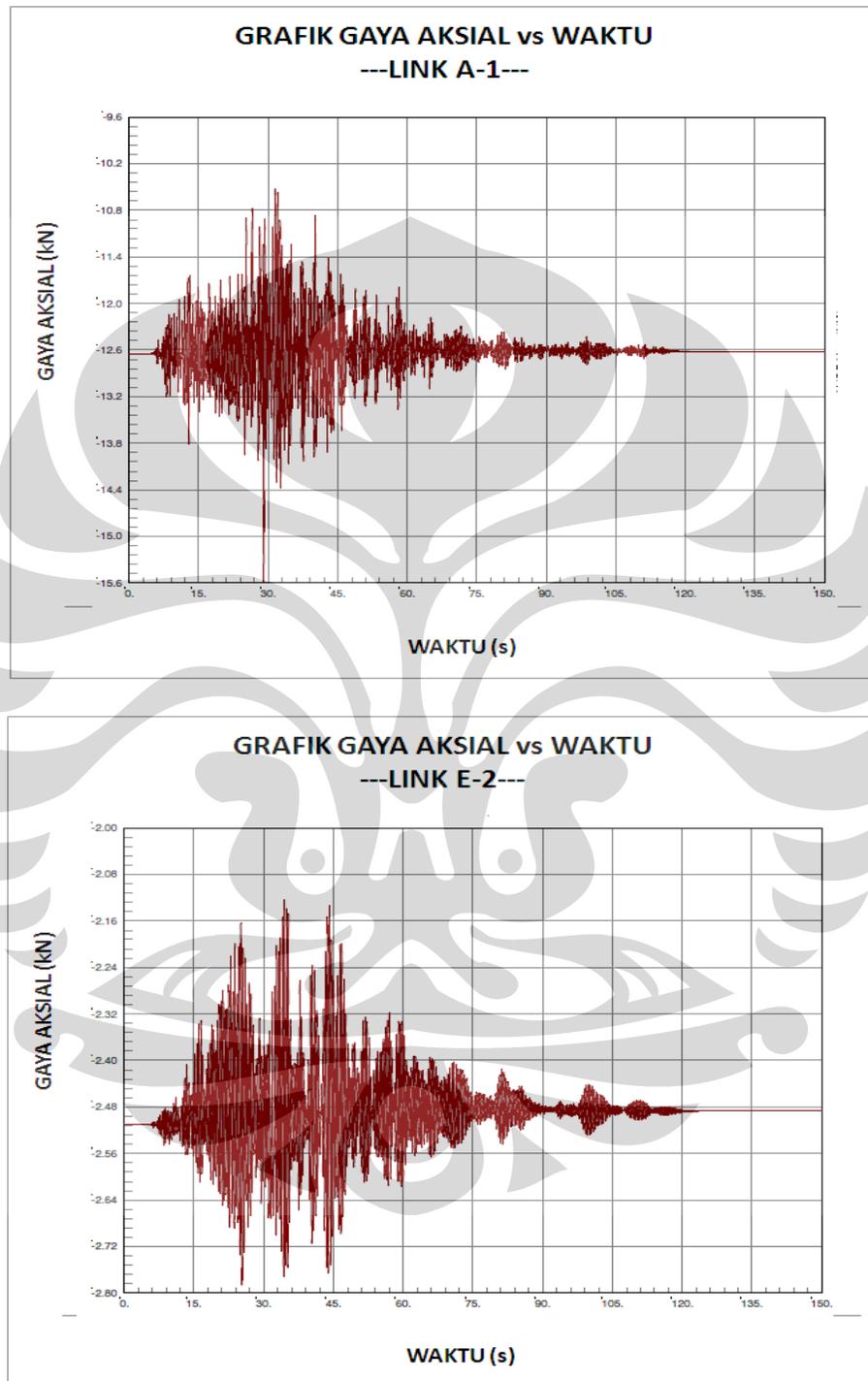
Dari hasil analisa, didapat bahwa titik umpak yang mengalami pergeseran atau berdeformasi maksimum adalah titik umpak A-1 untuk arah gempa max (positif) dan titik umpak E-2 untuk arah gempa min (negatif).

- Grafik hubungan deformasi vs waktu



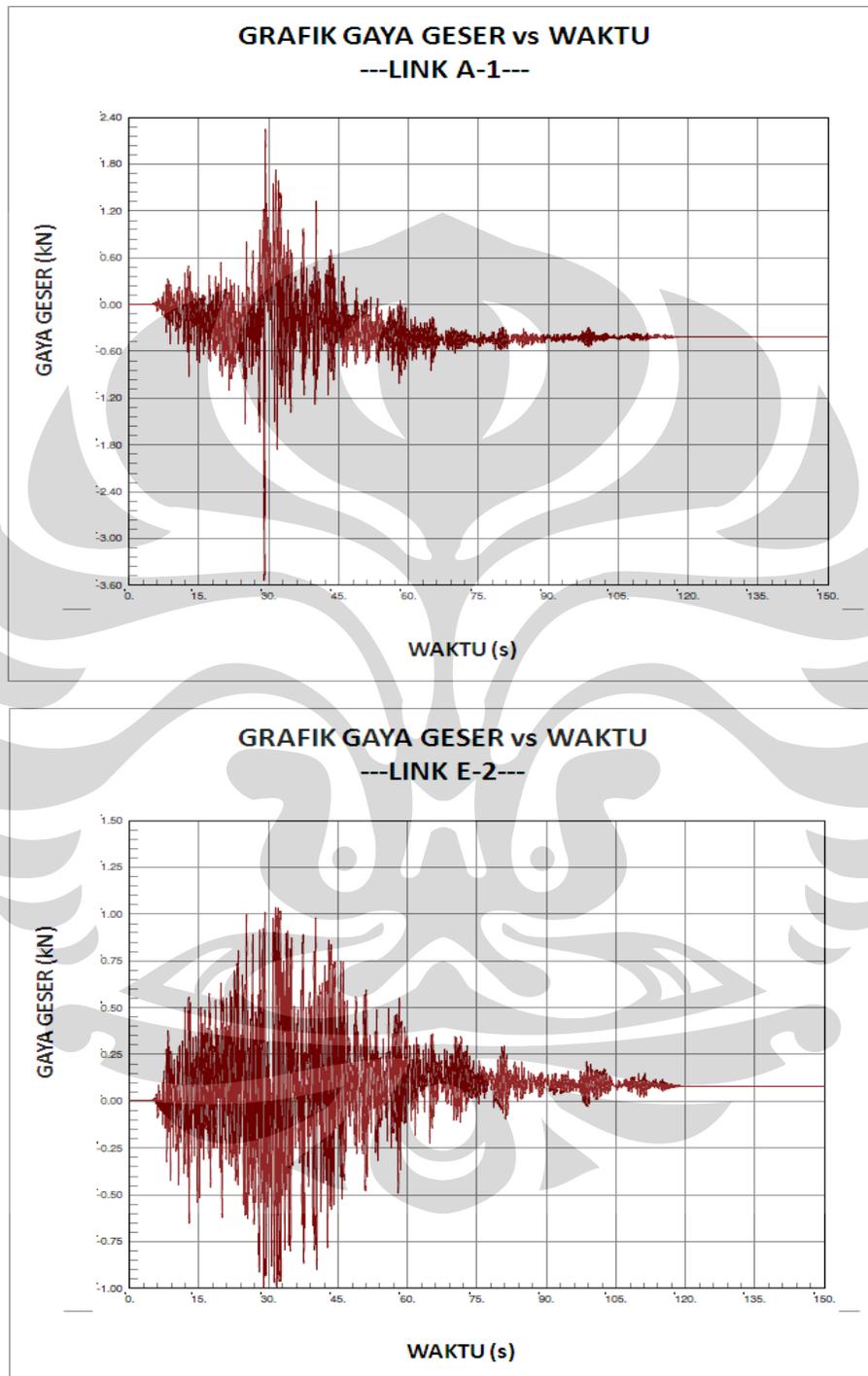
Gambar 4. 25 Grafik Hubungan Deformasi vs Waktu Akibat Gempa Tasikmalaya *Scale-up*

- Grafik hubungan gaya aksial vs waktu



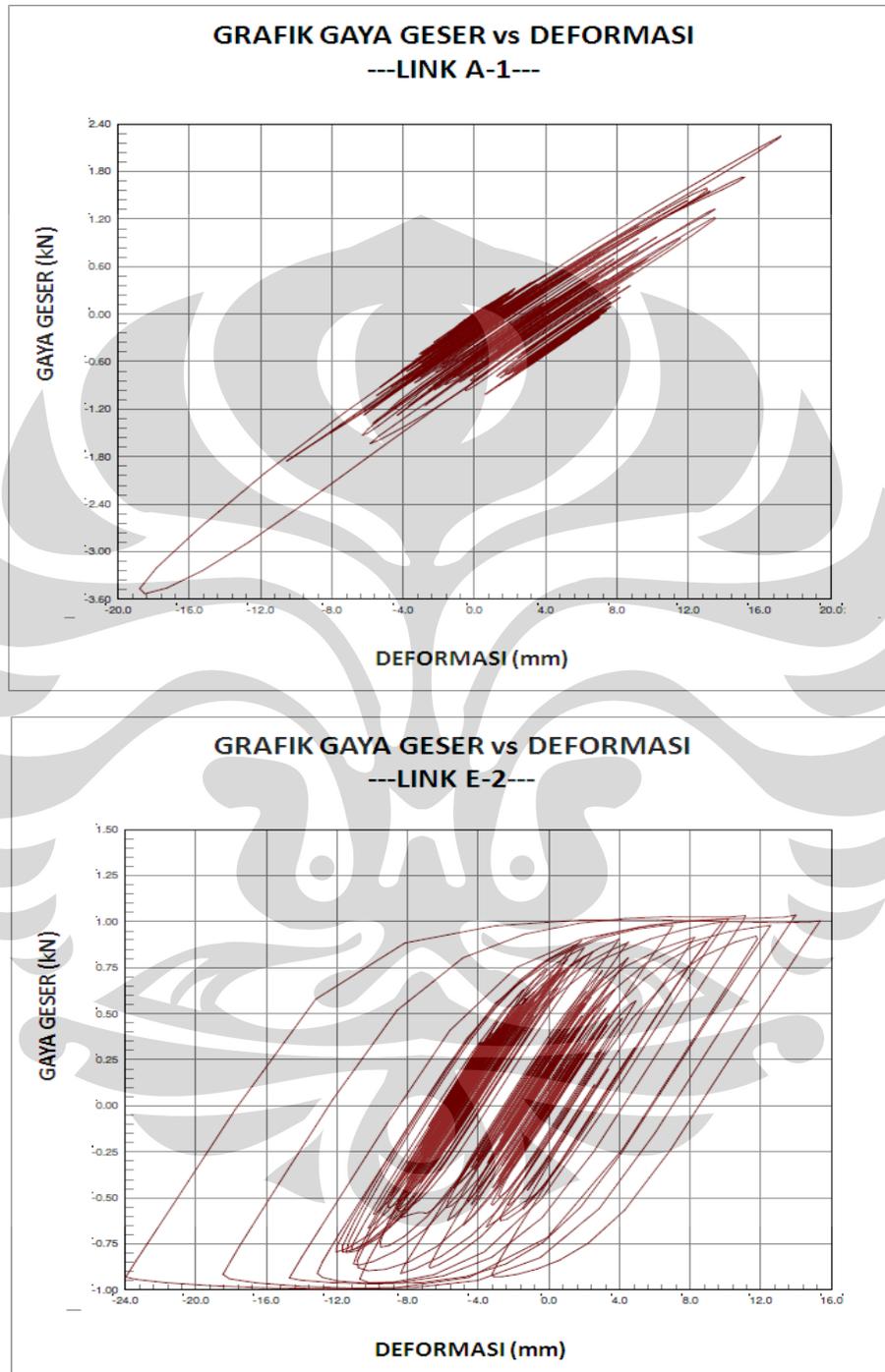
Gambar 4. 26 Grafik Hubungan Gaya Aksial vs Waktu Akibat Gempa Tasikmalaya *Scale-up*

- Grafik gaya geser vs waktu



Gambar 4. 27 Grafik Hubungan Gaya Geser vs Waktu Akibat Gempa Tasikmalaya *Scale-up*

- Grafik hubungan gaya geser vs deformasi



Gambar 4. 28 Grafik Hubungan Gaya Geser vs Deformasi Akibat Gempa Tasikmalaya *Scale-up*

3. Gaya yang bekerja pada kolom

Tabel 4. 8 Tabel Gaya pada Kolom Akibat Gempa Tasikmalaya *Scale-up*

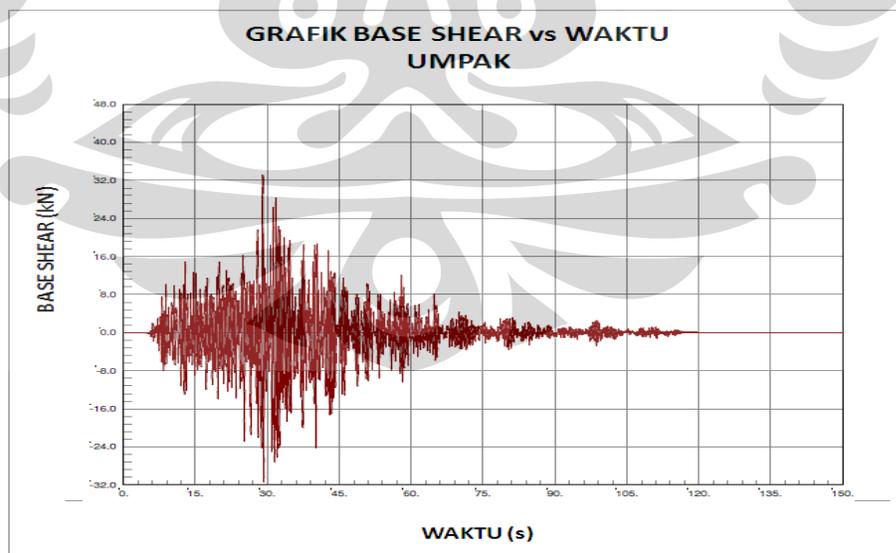
KOLOM	HASIL ANALISA	P	V2	M3
POSISI	TIME HISTORY MODAL	KN	KN	KN-mm
BELAKANG KIRI	MAX	-2.304	0.547	278
DEPAN KIRI	MAX	-2.314	0.471	358.8
BELAKANG KANAN	MAX	-2.206	0.323	220.6
DEPAN KANAN	MAX	-2.341	0.548	330.4

KOLOM	HASIL ANALISA	P	V2	M3
POSISI	TIME HISTORY MODAL	KN	KN	KN-mm
BELAKANG KIRI	MIN	-7.944	-0.518	-237.35
DEPAN KIRI	MIN	-6.196	-0.435	-309.92
BELAKANG KANAN	MIN	-5.5	-0.313	-205.67
DEPAN KANAN	MIN	-4.826	-0.697	-274.17

4. Gaya geser dasar

Tabel 4. 9 Tabel Gaya Geser Dasar Akibat Gempa Tasikmalaya *Scale-up*

HASIL ANALISA	BASE SHEAR ARAH X
TIME HISTORY MODAL	(kN)
Max	33.131
Min	-31.434



Gambar 4. 29 Grafik Hubungan Gaya Geser Dasar vs Waktu Akibat Gempa Tasikmalaya *Scale-up*

4.4.2.3 Hasil Keluaran Akibat Pembebanan Gempa El Centro *RESMAT*

1. Tabel deformasi pada umpak

Tabel 4. 10 Tabel Deformasi Umpak Akibat Gempa El Centro *RESMAT*

TITIK	HASIL ANALISA	DEFORMASI	TITIK	HASIL ANALISA	DEFORMASI
UMPAK	TIME HISTORY MODAL	(mm)	UMPAK	TIME HISTORY MODAL	(mm)
A-1	Max	25.484317	A-1	Min	-40.748803
A-2	Max	25.479901	A-2	Min	-40.751897
A-3	Max	25.468794	A-3	Min	-40.741466
A-4	Max	25.476755	A-4	Min	-40.750796
A-5	Max	25.482946	A-5	Min	-40.750723
B-1	Max	25.904894	B-1	Min	-41.544372
B-2	Max	25.898758	B-2	Min	-41.557724
B-3	Max	25.887778	B-3	Min	-41.562774
B-4	Max	25.87994	B-4	Min	-41.569278
B-5	Max	25.869293	B-5	Min	-41.572544
C-1	Max	26.445466	C-1	Min	-42.537157
C-2	Max	26.448355	C-2	Min	-42.563671
C-3	Max	26.438788	C-3	Min	-42.573555
C-4	Max	26.425064	C-4	Min	-42.57689
C-5	Max	26.404532	C-5	Min	-42.57222
D-1	Max	27.305794	D-1	Min	-43.590581
D-2	Max	27.290281	D-2	Min	-43.608253
D-3	Max	27.28224	D-3	Min	-43.605314
D-4	Max	27.27399	D-4	Min	-43.614101
D-5	Max	27.260266	D-5	Min	-43.616127
E-1	Max	28.157948	E-1	Min	-44.302152
E-2	Max	28.156583	E-2	Min	-44.313541
E-3	Max	28.143416	E-3	Min	-44.303586
E-4	Max	28.15276	E-4	Min	-44.307112
E-5	Max	28.155907	E-5	Min	-44.300952

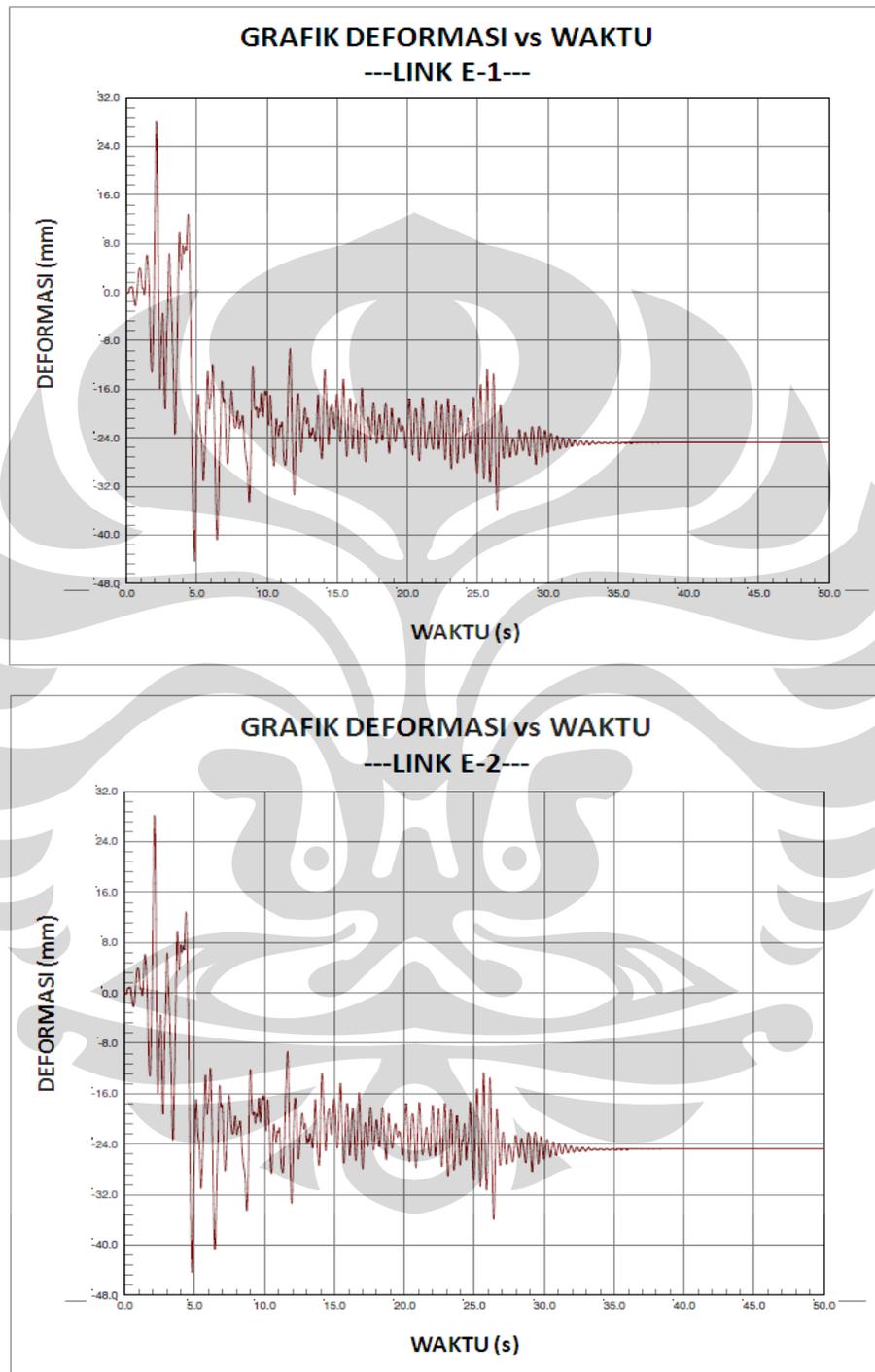
DEFORMASI MAKSIMUM 28.157948 mm
TITIK UMPAK E-1

DEFORMASI MAKSIMUM -44.313541 mm
TITIK UMPAK E-2

2. Grafik hubungan gaya geser, aksial dan deformasi yang terjadi pada umpak yang berdeformasi maksimum

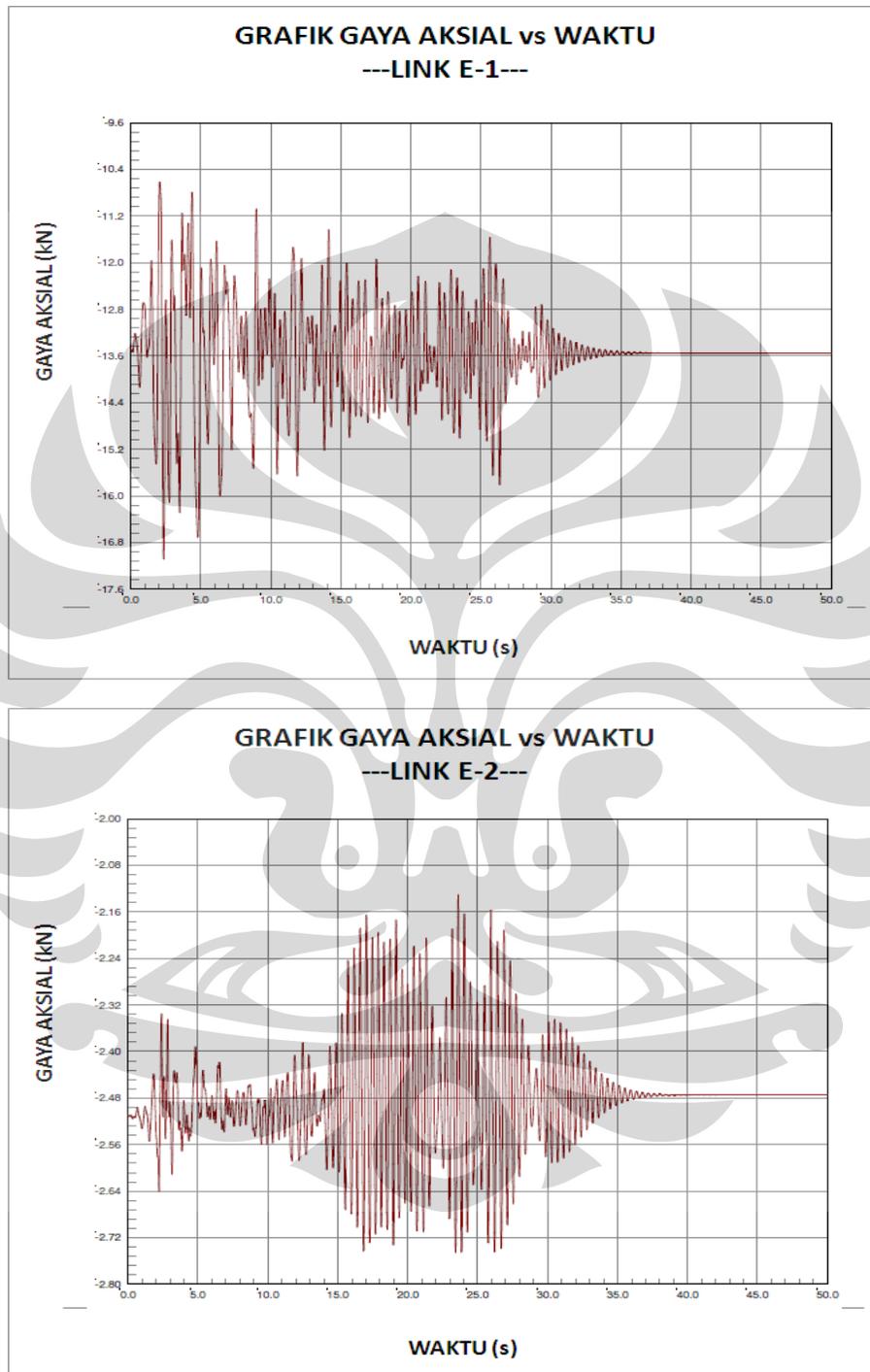
Dari hasil analisa, didapat bahwa titik umpak yang mengalami pergeseran atau berdeformasi maksimum adalah titik umpak E-1 untuk arah gempa max (positif) dan titik umpak E-2 untuk arah gempa min (negatif).

- Grafik hubungan deformasi vs waktu



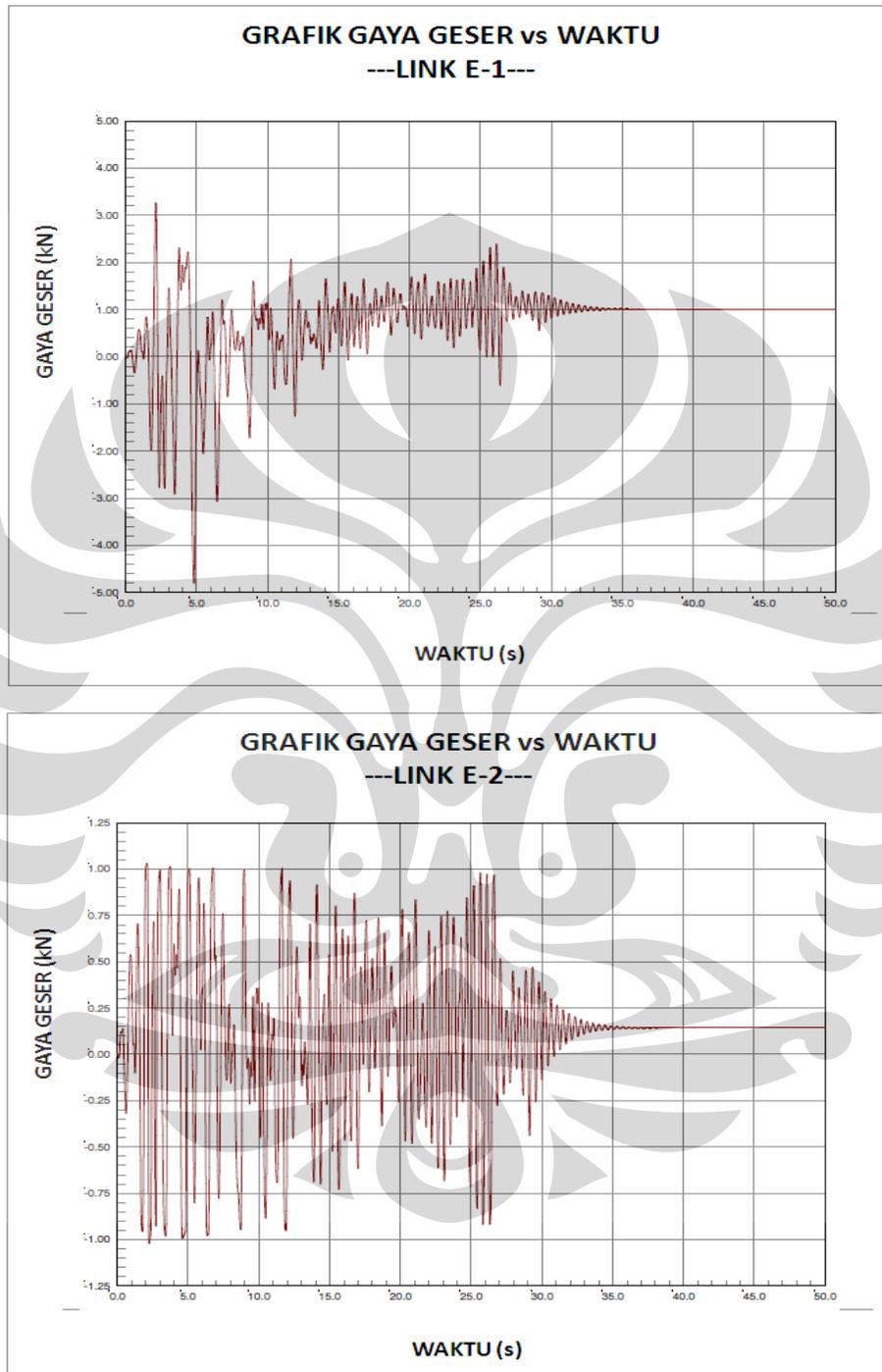
Gambar 4. 30 Grafik Hubungan Deformasi vs Waktu Akibat Gempa El Centro *RESMAT*

- Grafik hubungan gaya aksial vs waktu



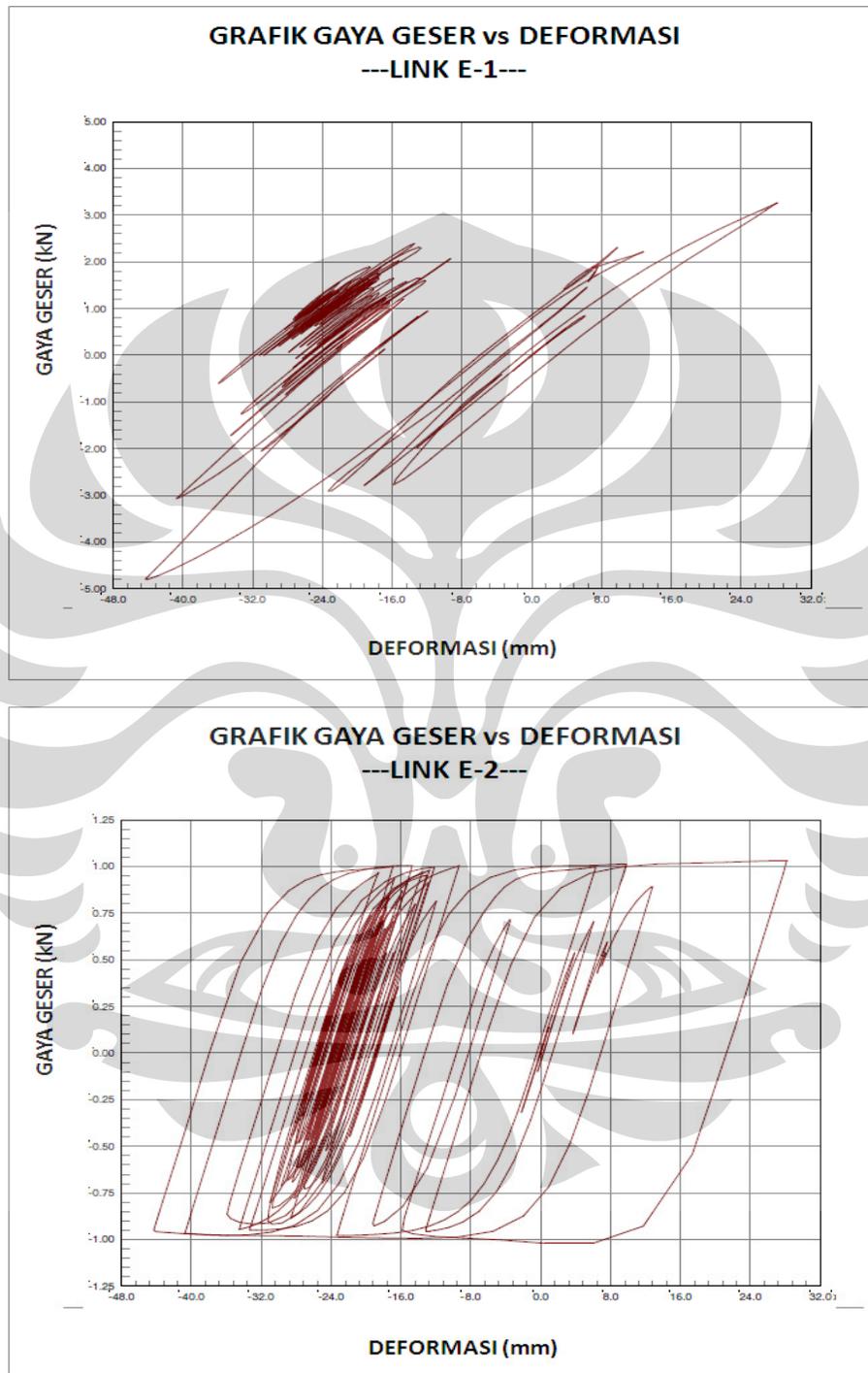
Gambar 4. 31 Grafik Hubungan Gaya Aksial vs Waktu Akibat Gempa El Centro *RESMAT*

- Grafik gaya geser vs waktu



Gambar 4. 32 Grafik Hubungan Gaya Geser vs Waktu Akibat Gempa El Centro *RESMAT*

- Grafik hubungan gaya geser vs deformasi



Gambar 4.33 Grafik Hubungan Gaya Geser vs Deformasi Akibat Gempa El Centro *RESMAT*

3. Gaya yang bekerja pada kolom

Tabel 4. 11 Tabel Gaya pada Kolom Akibat Gempa El Centro *RESMAT*

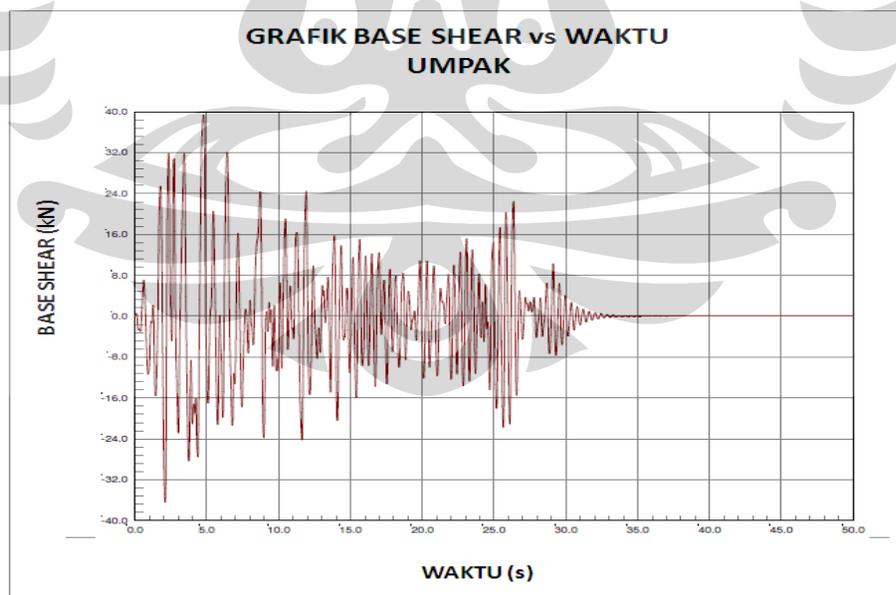
KOLOM	HASIL ANALISA	P	V2	M3
POSISI	TIME HISTORY MODAL	KN	KN	KN-mm
BELAKANG KIRI	MAX	-2.746	0.679	298.45
DEPAN KIRI	MAX	-2.696	0.532	346.14
BELAKANG KANAN	MAX	-2.328	0.365	240.89
DEPAN KANAN	MAX	-2.469	0.58	333.1

KOLOM	HASIL ANALISA	P	V2	M3
POSISI	TIME HISTORY MODAL	KN	KN	KN-mm
BELAKANG KIRI	MIN	-7.575	-0.535	-246.62
DEPAN KIRI	MIN	-5.867	-0.405	-285.84
BELAKANG KANAN	MIN	-5.368	-0.326	-211.23
DEPAN KANAN	MIN	-4.736	-0.662	-254.93

4. Gaya geser dasar

Tabel 4. 12 Tabel Gaya Geser Dasar Akibat Gempa El Centro *RESMAT*

HASIL ANALISA	BASE SHEAR ARAH X
TIME HISTORY MODAL	(kN)
Max	39.332
Min	-36.347



Gambar 4. 34 Grafik Hubungan Gaya Geser Dasar vs Waktu Akibat Gempa El Centro *RESMAT*

4.4.3 Analisa Hasil Permodelan

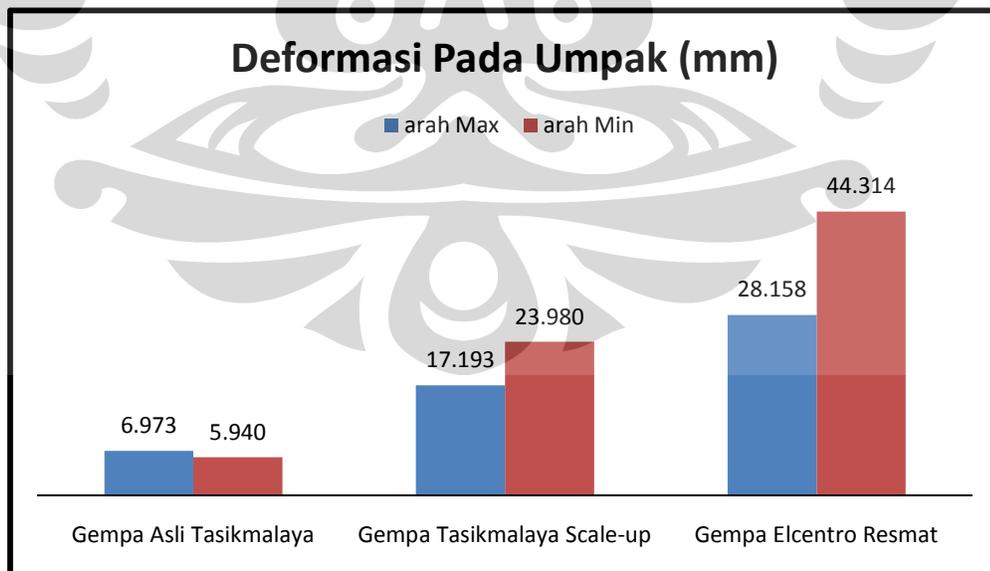
4.4.3.1 Analisa Terhadap Deformasi yang Terjadi

Hasil rangkuman deformasi atau pergeseran maksimal yang terjadi pada permodelan rumah kayu dengan umpak akibat ketiga pembebanan gempa ditunjukkan oleh tabel dibawah ini yaitu:

Tabel 4. 13 Tabel Deformasi Maksimum pada Umpak

Pembebanan Gempa	Arah	Deformasi (mm)	Titik Umpak
Gempa Asli Tasikmalaya	Max	6.973	A-1
	Min	-5.940	E-1
Gempa Tasikmalaya Scale-up	Max	17.193	A-1
	Min	-23.980	E-2
Gempa Elcentro Resmat	Max	28.158	E-1
	Min	-44.314	E-2

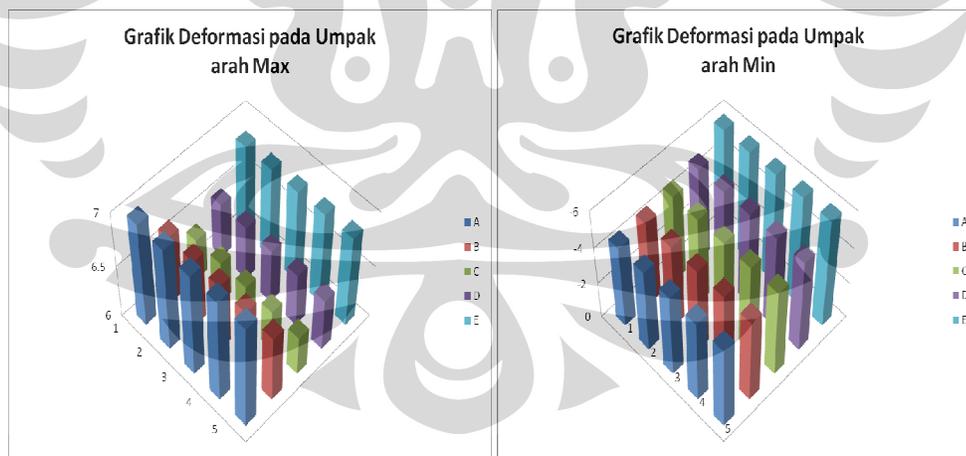
Dari Tabel 4.13 hasil analisa diatas dapat diketahui bagaimana perilaku deformasi pada struktur rumah bangunan kayu akibat gaya gempa yang diberikan. Secara singkat dapat diberikan dengan diagram dibawah yaitu:



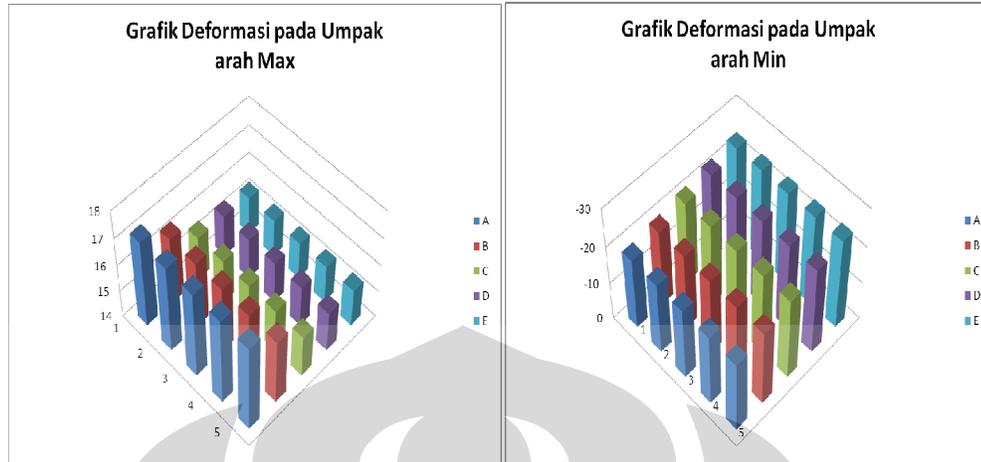
Gambar 4. 35 Diagram Deformasi pada Umpak

Dari diagram Gambar 4.35 diatas dapat diketahui bagaimana deformasi yang terjadi, dimana deformasi yang diakibatkan oleh gempa Tasikmalaya Asli merupakan paling kecil diantara ketiga gempa yang lain, dan deformasi yang diakibatkan oleh gempa El Centro *RESMAT* merupakan yang terbesar diantara yang lain. Hal ini sesuai karena gempa El Centro *RESMAT* merupakan gempa yang terbesar diantara ketiga gempa tersebut dan gempa Tasikmalaya Asli (gempa Tasikmalaya 2 September 2009) merupakan yang terkecil. Dari data grafik hubungan deformasi dengan waktu seperti pada Gambar 4.20, Gambar 4.25 dan Gambar 4.30 dapat diketahui bahwa posisi umpak tidak kembali ke posisi awal tetapi mengalami pergeseran setelah mengalami pembebanan gempa, dimana pada pembebanan gempa Tasikmalaya Asli (gempa Tasikmalaya 2 September 2009), posisi akhir umpak bergeser sejauh 1,5 mm kearah min, pada pembebanan gempa Tasikmalaya *Scale-up*, posisi akhir umpak bergeser sejauh 4,5 mm kearah min dan pada pembebanan gempa El Centro 1940 *RESMAT*, posisi akhir umpak bergeser sejauh 25 mm kearah min.

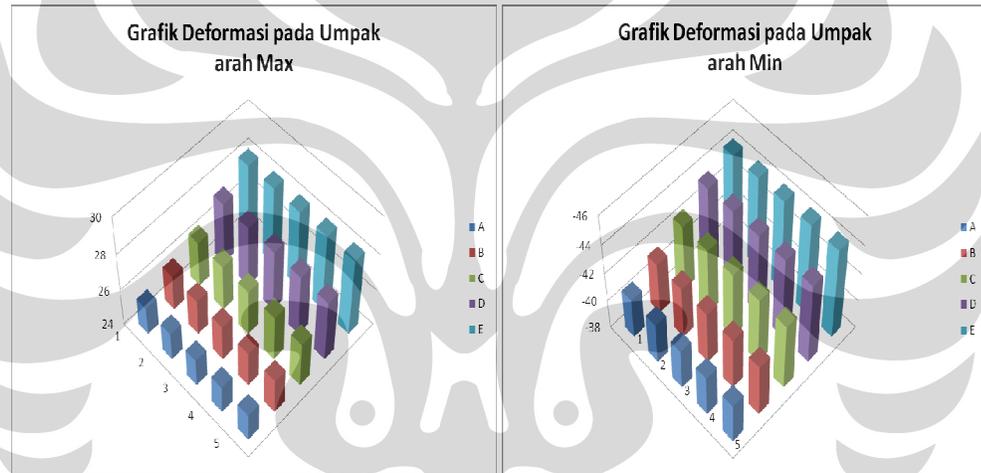
Berikut adalah diagram pergeseran yang terjadi pada masing-masing umpak pada tiap pembebanan gempa, yaitu:



Gambar 4. 36 Diagram Deformasi pada Umpak akibat Gempa Tasikmalaya 2 September 2009



Gambar 4. 37 Diagram Deformasi pada Umpak akibat Gempa Tasikmalaya *Scale-up*



Gambar 4. 38 Diagram Deformasi pada Umpak akibat Gempa El Centro 1940 *RESMAT*

Dari hasil diagram pada Gambar 4.36, Gambar 4.37 dan Gambar 4.38 diatas dapat dilihat pergeseran yang terjadi pada tiap umpak tidak sama, tetapi tergantung dari karakteristik pembebanan gempa dan jarak penempatan umpak. Dimana pada diagram diatas digambarkan bagaimana deformasi yang terjadi pada tiap umpak akibat pembebanan gempa untuk masing-masing gempa bervariasi dan mengalami rotasi saat bergeser sehingga hasil pergeseran yang terjadi pada tiap umpak akan memberikan hasil yang berbeda. Hal ini disebabkan karena penempatan umpak yang tidak sama jaraknya antara umpak yang satu dan yang

lain sehingga gaya aksial yang bekerja pada tiap umpak pun berbeda-beda dan menyebabkan umpak berotasi saat bergeser.

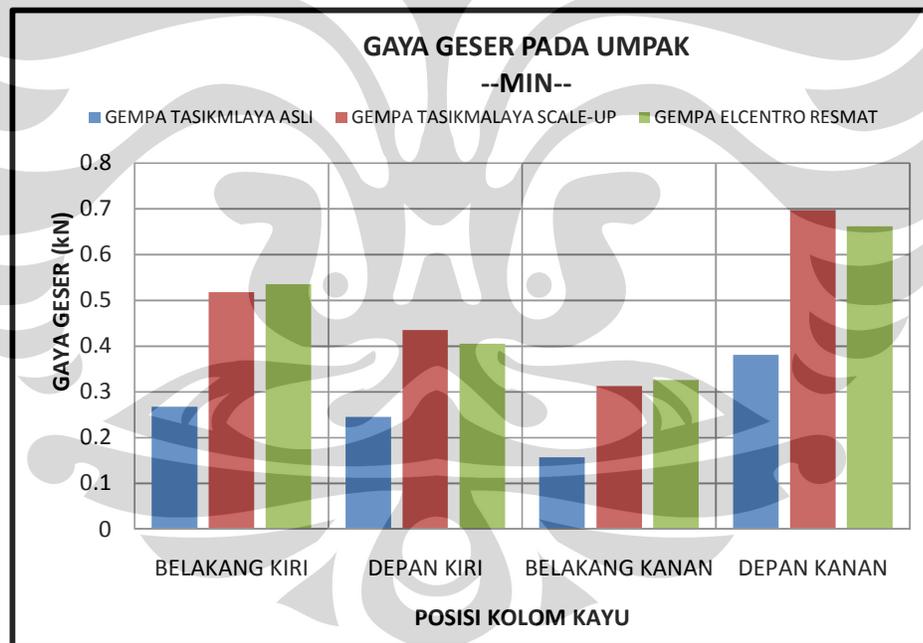
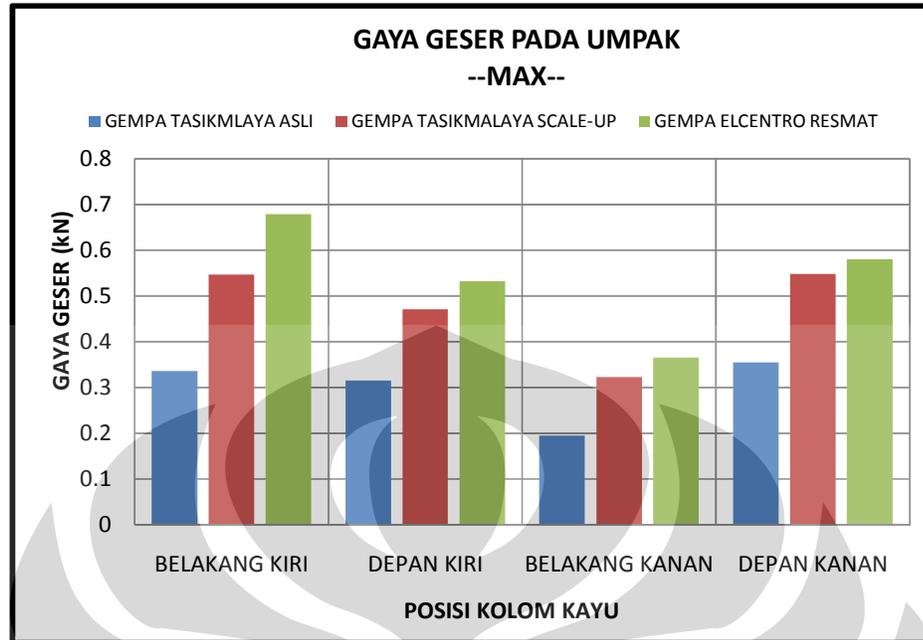
4.4.3.2 Analisis Terhadap Gaya yang Terjadi pada Kolom

Pada analisis ini akan dibandingkan gaya yang terjadi pada kolom dengan mensimulasikan bangunan kayu dengan perletakan dengan struktur umpak dan bangunan kayu dengan perletakan struktur sendi, sehingga dapat diketahui pengaruh pergeseran yang ada dalam mengurangi gaya pada kolom terutama gaya geser dan momen yang terjadi terhadap ketiga pembebanan gempa yaitu gempa Tasikmalaya Asli (Tasikmalaya 2 September 2009), gempa Tasikmalaya *Scale-up* dan gempa El Centro *RESMAT*. Dimana gaya-gaya geser dan momen yang terjadi pada kolom ini juga berhubungan erat dengan gaya geser dasar yang terjadi pada bangunan yang akan dibahas pada analisis selanjutnya. Kolom-kolom yang ditinjau adalah kolom-kolom yang berada di sisi rumah seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.19 yaitu kolom sisi kiri dan kanan yang berada pada sisi depan dan belakang permodelan rumah kayu.

1. Perbandingan terhadap gaya geser yang terjadi pada kolom

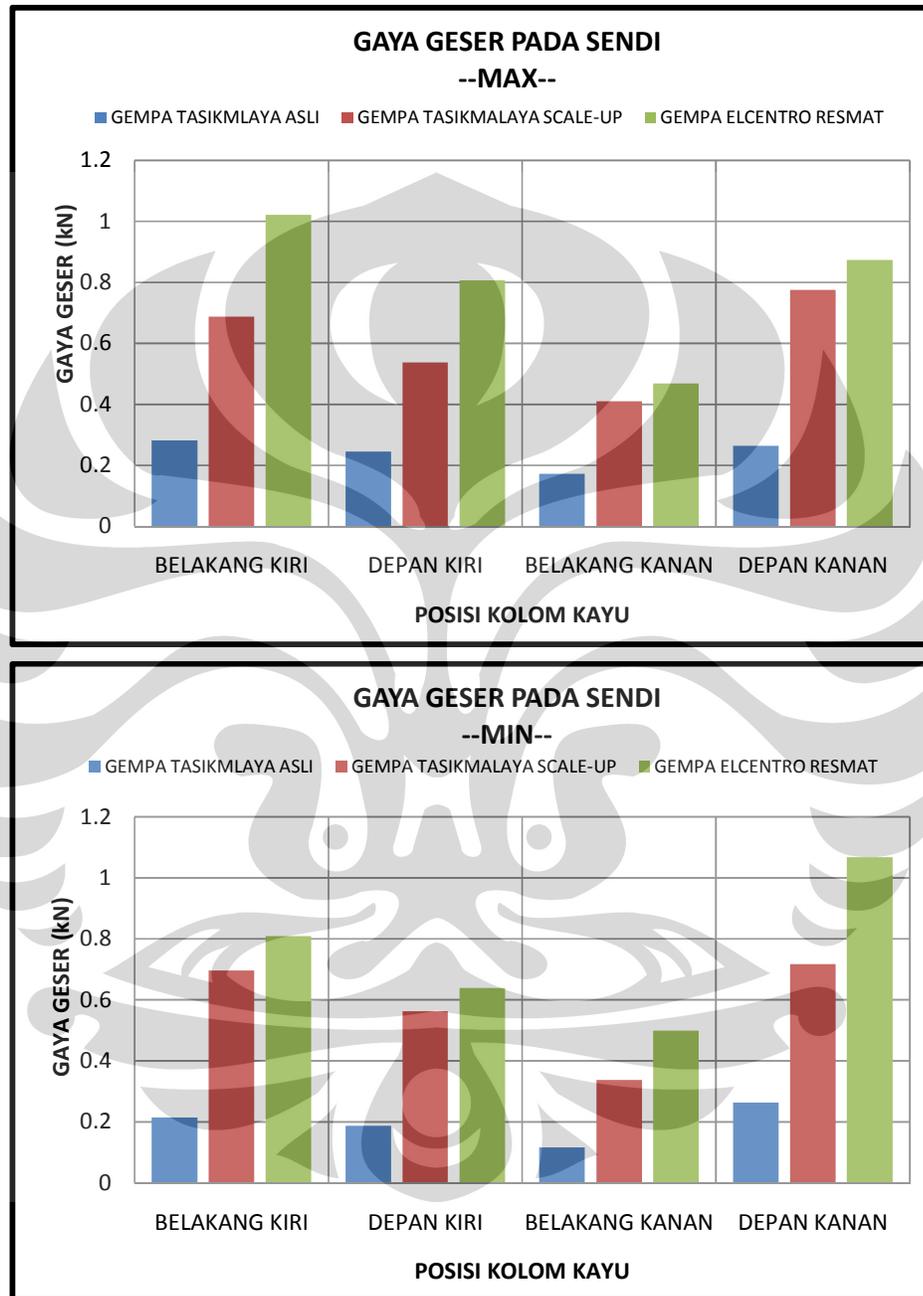
Pada analisa ini akan diberikan grafik perubahan gaya geser yang terjadi pada kolom-kolom pada bangunan kayu yang disimulasikan dengan perletakan umpak dan bangunan kayu dengan perletakan sendi.

Gaya geser terjadi pada struktur perletakan umpak ditunjukkan pada diagram berikut yaitu:



Gambar 4. 39 Diagram Gaya Geser pada Kolom yang Terjadi pada Permodelan Struktur dengan Umpak

Gaya geser terjadi pada struktur perletakan sendi ditunjukkan pada diagram berikut yaitu:



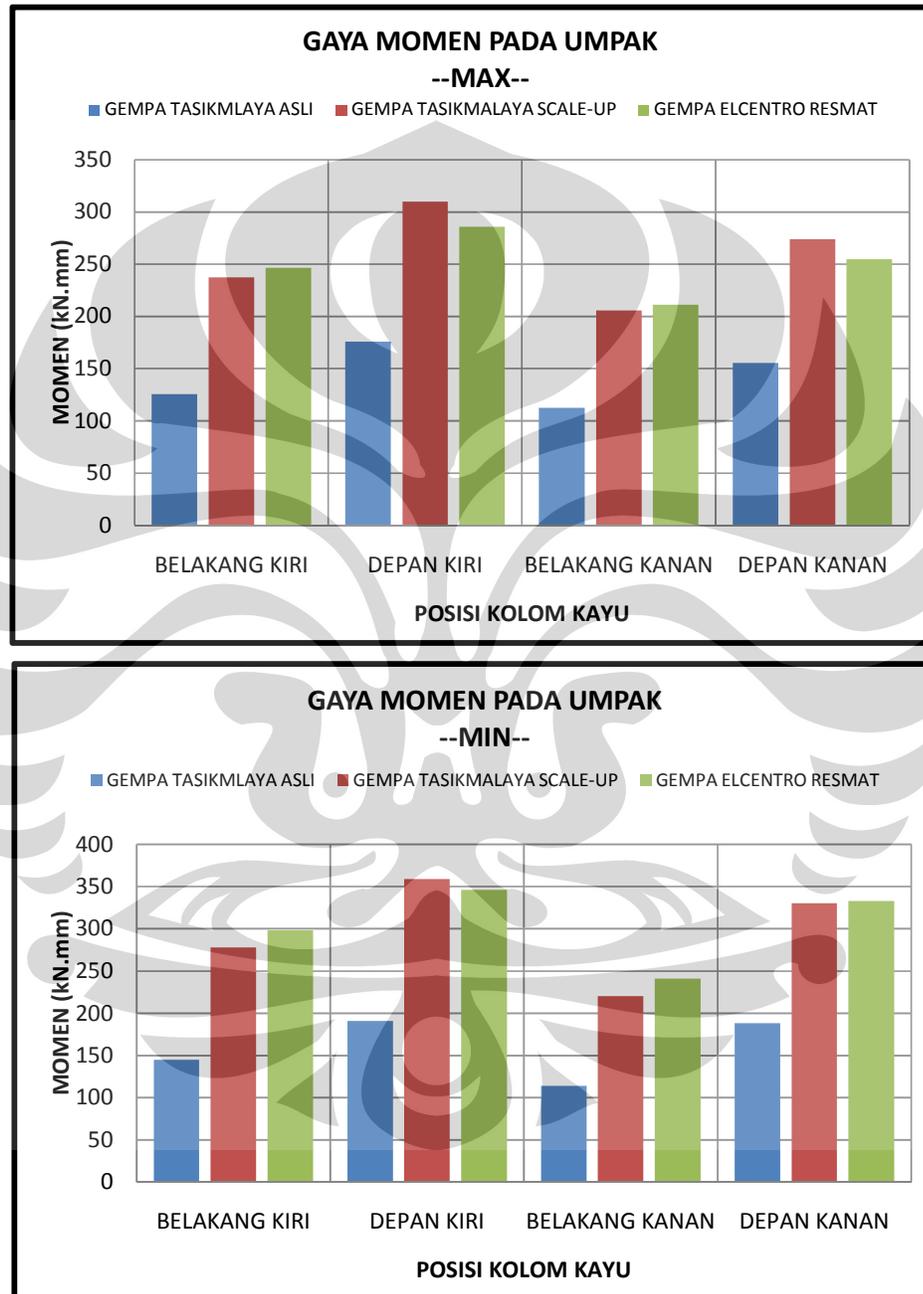
Gambar 4. 40 Diagram Gaya Geser pada Kolom yang Terjadi pada Permodelan Struktur dengan Sendi

Dari grafik pada Gambar 4.39 dan Gambar 4.40 diatas dapat dilihat bagaimana perubahan gaya geser yang terjadi terhadap 4 kolom yaitu kolom yang terletak di depan bagian kanan dan kiri dan juga kolom yang terletak di belakang bagian kanan dan kiri. Pada struktur dengan perletakan umpak dapat dilihat gaya geser yang terjadi antara pembebanan gempa Tasikmalaya *Scale-up* dan gempa El Centro *RESMAT* jaraknya lebih dekat daripada perubahan gaya geser yang terjadi pada struktur dengan perletakan sendi dimana selisih antara gaya geser yang terjadi pada kolom dengan perletakan umpak sekitar 0,02 kN sampai 0,04 kN sedangkan pada kolom dengan perletakan sendi, selisih antara gaya geser pada kolom adalah 0,1 kN sampai 0,15 kN. Selain itu nilai gaya geser yang terjadi pada pembebanan gempa Tasikmalaya *Scale-up* dan gempa El Centro *RESMAT* lebih kecil untuk perletakan umpak daripada dengan perletakan sendi. Hal ini karena pada struktur dengan perletakan umpak, gaya geser yang terjadi pada kolom dapat direduksi dan dibatasi dengan adanya deformasi atau pergeseran pada umpak, dimana dengan gempa El Centro *RESMAT* yang lebih besar dari gempa Tasikmalaya *Scale-up*, gaya geser yang terjadi tidak begitu jauh jaraknya dibandingkan dengan gaya kolom yang terjadi pada struktur bangunan dengan perletakan sendi. Sedangkan untuk gaya geser pada kolom yang terjadi pada pembebanan gempa Tasikmalaya Asli (Tasikmalaya 2 September 2009), dimana nilainya lebih besar pada bangunan kayu dengan perletakan umpak daripada bangunan kayu dengan perletakan sendi akan dibahas pada analisa selanjutnya dimana berkaitan dengan analisa gaya geser dasar yang terjadi.

2. Perbandingan terhadap gaya momen yang terjadi pada kolom

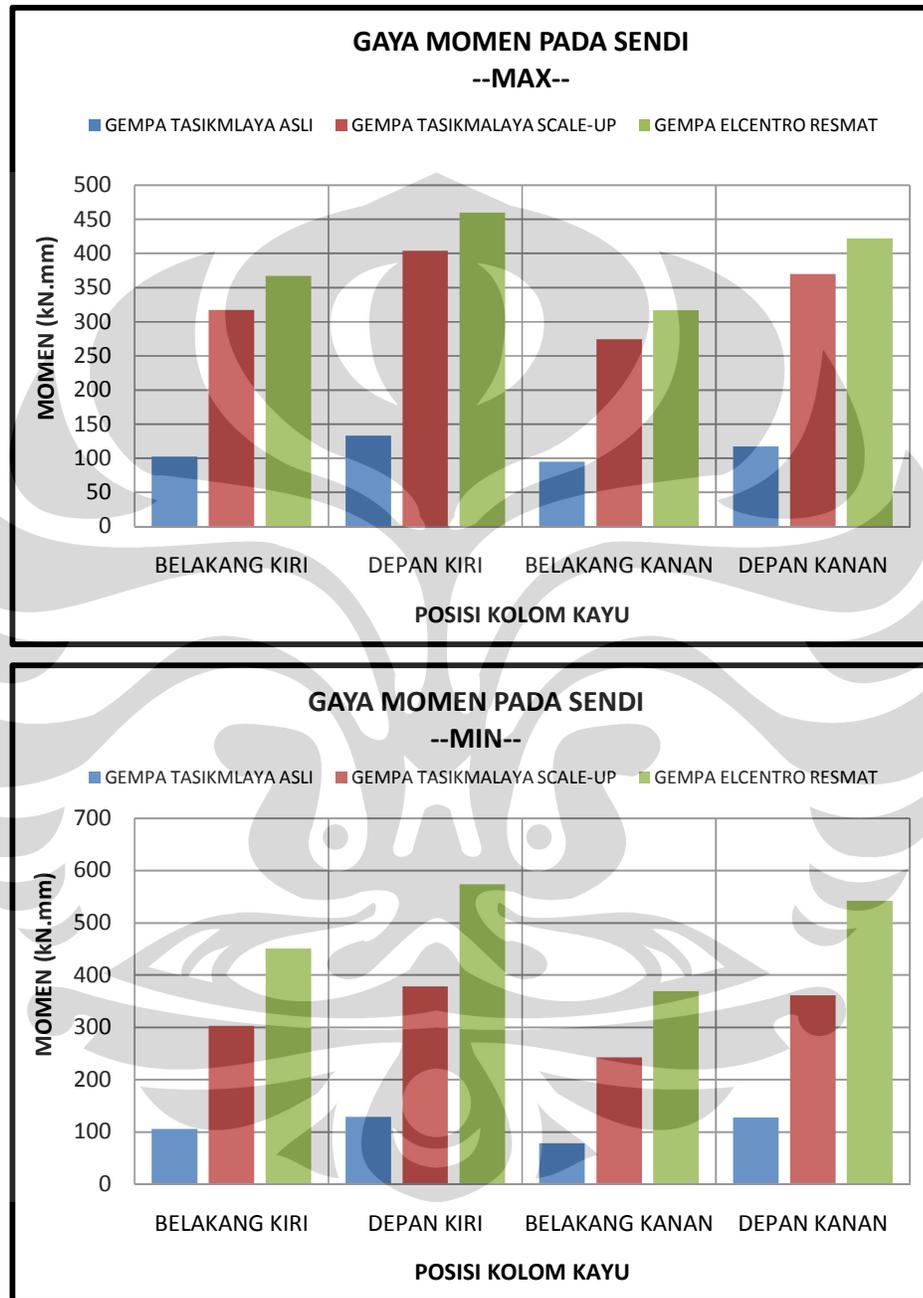
Setelah pada analisa diatas, penulis membandingkan perubahan gaya geser yang terjadi pada kolom, lalu pada analisa ini akan dianalisis bagaimana perubahan gaya momen yang terjadi juga pada kolom-kolom bangunan kayu dengan umpak dan bangunan kayu dengan perletakan sendi. Pada analisa ini akan diberikan grafik perubahan gaya momen yang terjadi pada kolom-kolom pada bangunan kayu yang disimulasikan dengan perletakan umpak dan bangunan kayu dengan perletakan sendi.

Gaya momen terjadi pada struktur perletakan umpak ditunjukkan pada diagram berikut yaitu:



Gambar 4. 41 Diagram Gaya Momen pada Kolom yang Terjadi pada Permodelan Struktur dengan Umpak

Gaya momen terjadi pada struktur perletakan sendi ditunjukkan pada grafik berikut yaitu:



Gambar 4. 42 Diagram Gaya Momen pada Kolom yang Terjadi pada Permodelan Struktur dengan Umpak

Dari grafik pada Gambar 4.41 dan Gambar 4.42 diatas dapat dilihat bagaimana perubahan gaya momen yang terjadi terhadap 4 kolom yaitu kolom yang terletak di depan bagian kanan dan kiri dan juga kolom yang terletak di belakang bagian kanan dan kiri. Pada struktur dengan perletakan umpak dapat dilihat gaya momen yang terjadi antara pembebanan gempa Tasikmalaya *Scale-up* dan gempa El Centro *RESMAT* jaraknya lebih dekat daripada perubahan gaya momen yang terjadi pada struktur dengan perletakan sendi dengan selisih gaya momen yang terjadi pada bangunan kayu dengan perletakan umpak adalah sekitar 25 kN.mm sampai 50 kN.mm sedangkan pada bangunan kayu dengan perletakan sendi adalah sekitar 70 kN.mm sampai 100 kN.mm. Hal ini karena pada struktur dengan perletakan umpak, gaya momen yang terjadi pada kolom dapat direduksi dan dibatasi nilainya dengan adanya deformasi atau pergeseran pada kolom, dimana dengan gempa El Centro 1940 yang lebih besar dari gempa Tasikmalaya *Scale-up*, gaya momen yang terjadi tidak begitu jauh jaraknya dibandingkan dengan gaya kolom yang terjadi pada struktur bangunan dengan perletakan sendi. Hal ini bersesuaian dengan analisa sebelumnya dimana pengurangan yang terjadi pada gaya geser yang bekerja pada struktur dengan perletakan umpak juga jarak dan nilainya lebih kecil bila dibandingkan dengan struktur bangunan dengan perletakan sendi. Sedangkan untuk gaya momen pada kolom yang terjadi pada pembebanan gempa Tasikmalaya Asli (Tasikmalaya 2 September 2009), dimana nilainya lebih besar pada bangunan kayu dengan perletakan umpak daripada bangunan kayu dengan perletakan sendi akan dibahas pada analisa selanjutnya dimana berkaitan dengan analisa gaya geser dasar yang terjadi.

4.4.3.3 Analisis Terhadap Gaya Geser Dasar

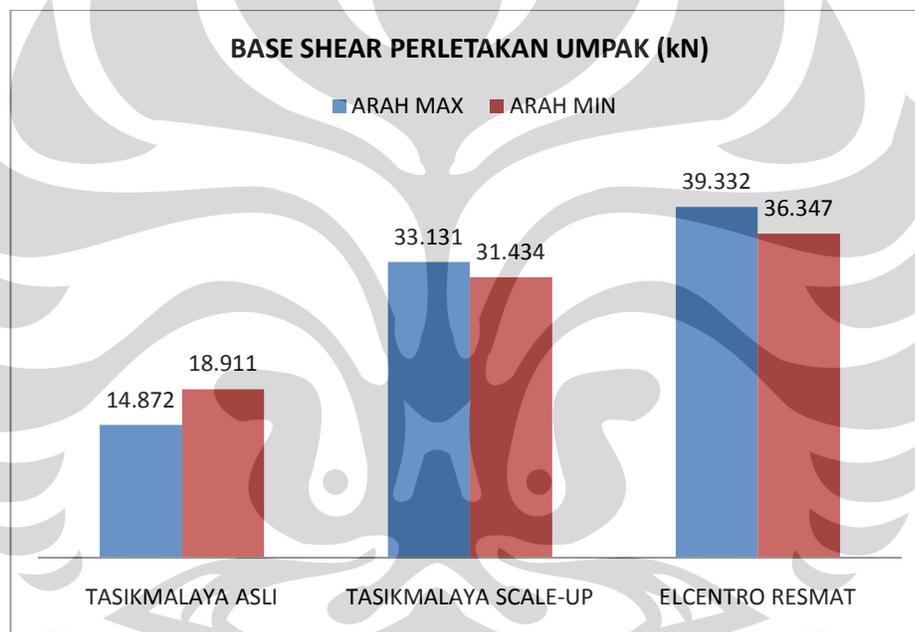
Gaya geser dasar adalah reaksi horizontal akibat gempa yang dikenakan pada struktur. Pada perletakan umpak besarnya gaya geser dasar dibatasi dan tidak akan melebihi gaya geseknya yaitu:

$$V_b \text{ maks} = \mu N$$

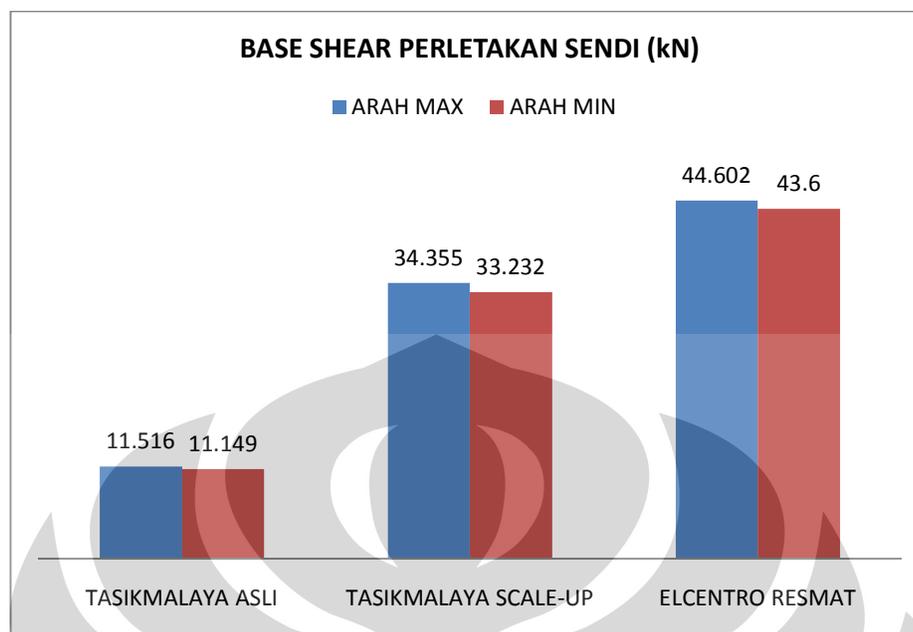
Dimana μ adalah koefisien gesek dan N adalah besarnya gaya normal (aksial) yang bekerja pada struktur.

Pada analisis ini akan dibahas bagaimana pengaruh perletakan umpak terhadap gaya geser dasar yang diterima struktur dibandingkan dengan gaya geser dasar yang diterima struktur dengan perletakan sendi terhadap gempa Tasikmalaya Asli (Tasikmalaya 2 September 2009), Tasikmalaya *Scale-up* dan El Centro *RESMAT*

Berikut adalah diagram gaya geser dasar yang terjadi pada struktur bangunan kayu jika disimulasikan dengan perletakan umpak maupun dengan perletakan sendi, yaitu:



Gambar 4. 43 Diagram Base Shear yang Terjadi pada Permodelan Struktur dengan Umpak



Gambar 4.44 Diagram Base Shear yang Terjadi pada Permodelan Struktur dengan Umpak

Pada grafik pada Gambar 4.43 dan Gambar 4.44 diatas dapat dilihat bagaimana perubahan gaya geser dasar yang terjadi pada bangunan kayu dengan perletakan umpak dan pada bangunan kayu dengan perletakan sendi dengan pembebanan gempa yang berbeda yaitu gempa Tasikmalaya Asli (paling kiri) lalu gempa Tasikmalaya *Scale-up* dan gempa El Centro 1940 *RESMAT*. Dimana pada struktur dengan perletakan umpak, perubahan gaya geser dasar yang terjadi pada perletakan umpak nilainya masih lebih kecil untuk pembebanan gempa Tasikmalaya *Scale-up* dan gempa El Centro 1940 *RESMAT* dibandingkan dengan nilai gaya geser dasar yang terjadi pada bangunan kayu yang sama dengan perletakan sendi. Selain itu besar gaya geser dasar yang terjadi pada bangunan kayu dengan perletakan umpak masih lebih kecil perubahannya bila dibandingkan dengan perubahan gaya geser dasar pada perletakan sendi terhadap pembebanan gempa Tasikmalaya *Scale-up* ke gempa El Centro 1940. Hal ini karena pada struktur dengan perletakan umpak untuk pembebanan gempa Tasikmalaya *Scale-up* dan gempa El Centro 1940 *RESMAT* terjadi deformasi yang lumayan besar sehingga dapat mengurangi gaya geser dasar yang diterima struktur, dimana gaya geser yang terjadi pada struktur dengan perletakan umpak besarnya tidak mungkin

melebihi nilai $V_b \text{ maks} = \mu N$. Hal ini ditunjukkan pada tabel gaya geser dasar berbanding dengan berat bangunan yang terjadi pada struktur dengan perletakan umpak maupun dengan perletakan sendi, yaitu:

Tabel 4. 14 Tabel Gaya Geser Dasar Berbanding dengan Berat Bangunan pada Bangunan Kayu dengan Perletakan Umpak

HASIL ANALISA	PERBANDINGAN		
	GEMPA	GEMPA	GEMPA
TIME HISTORY MODAL	TASIKMALAYA ASLI	TASIKMALAYA SCALE-UP	ELCENTRO RESMAT
Max	0.108	0.322	0.418
Min	0.104	0.311	0.409

Tabel 4. 15 Tabel Gaya Geser Dasar Berbanding dengan Berat Bangunan pada Bangunan Kayu dengan Perletakan Sendi

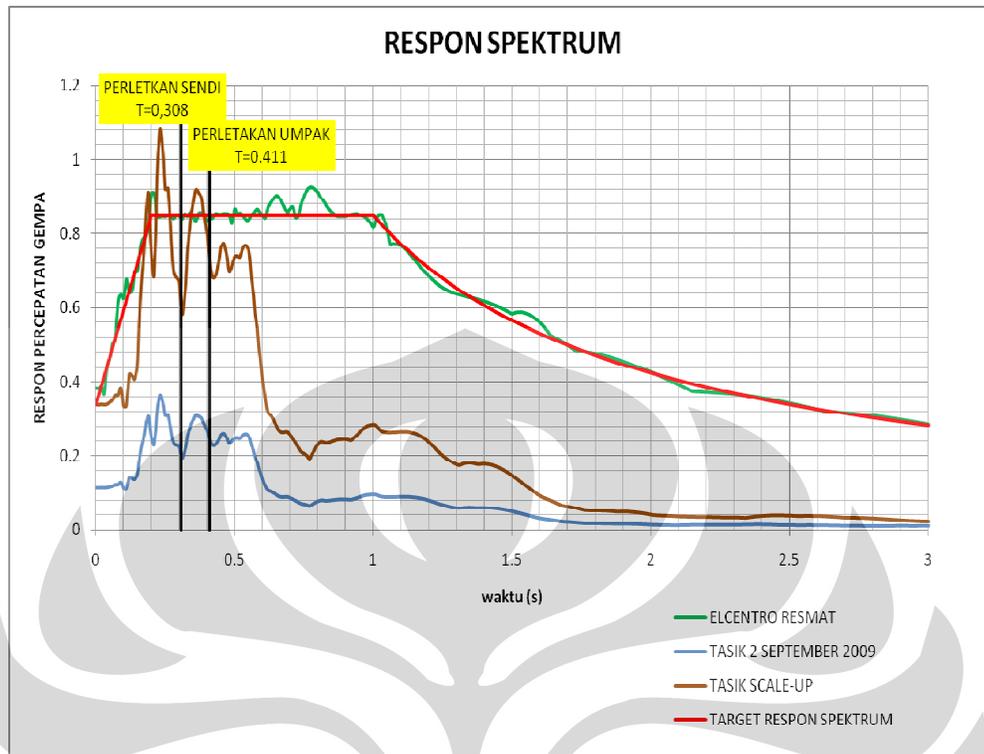
HASIL ANALISA	PERBANDINGAN		
	GEMPA	GEMPA	GEMPA
TIME HISTORY MODAL	TASIKMALAYA ASLI	TASIKMALAYA SCALE-UP	ELCENTRO RESMAT
Max	0.139	0.311	0.369
Min	0.177	0.295	0.341

Pada Tabel 4.14 dan Tabel 4.15 diatas dapat dilihat bahwa gaya geser dasar yang terjadi pada bangunan kayu dengan perletakan umpak nilai perbandingan gaya geser dan berat bangunannya tidak melebihi nilai koefisien gesek antara batu umpak dengan kayu pada bangunan dimana pada bagian ini terjadi gesekan pada bangunan ketika bangunan mendapat pembebanan gempa. Hal ini bersesuaian dengan pernyataan dimana struktur dengan perletakan umpak besarnya gaya geser dasar yang terjadi tidak mungkin melebihi nilai $V_b \text{ maks} = \mu N$. Dimana ketika gaya geser yang terjadi dibatasi nilainya sebesar 0,4 (nilai koefisien gesek kayu dengan batu umpak). Dapat dilihat pada Tabel 4.14 dan Tabel 4.15 untuk pembebanan gempa El Centro *RESMAT*, nilai perbandingan gaya geser dasar yang terjadi pada struktur dengan berat bangunan pada struktur bangunan kayu dengan perletakan sendi nilainya melebihi 0,4 sedangkan pada struktur bangunan kayu dengan perletakan umpak nilainya tidak melebihi 0,4. Hal ini pun akan berlaku untuk pembebanan gempa yang lebih besar daripada gempa El Centro *RESMAT*,

dimana perbandingan gaya geser dasar dengan berat bangunan pada struktur bangunan dengan perletakan umpak nilainya tidak akan melebihi nilai koefisien geseknya.

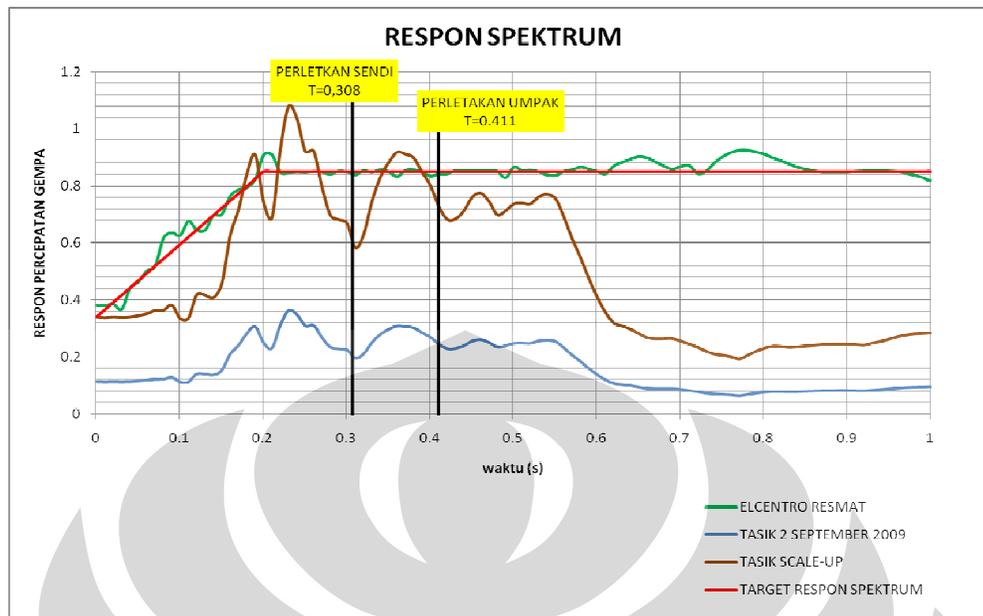
Sedangkan pada pembebanan gempa Tasikmalaya Asli (Tasikmalaya 2 September 2009), nilai yang diberikan oleh gaya geser dasar pada perletakan umpak nilainya lebih besar daripada nilai yang diberikan oleh perletakan sendi, hal ini disebabkan karena pada simulasi permodelan ini, nilai periode yang diberikan akan berbeda untuk kedua permodelan dengan perletakan yang berbeda. Dimana pada permodelan ini, periode dengan struktur sendi yaitu 0,308 detik mendapat gaya geser dasar akibat gempa yang lebih kecil dibandingkan gaya geser akibat gempa yang diterima oleh struktur dengan perletakan umpak dengan periode 0,411 detik. Walaupun pada pembebanan gempa Tasikmalaya *Scale-up* juga mengalami pembebanan yang lebih besar pada struktur dengan perletakan umpak tetapi gaya geser dasar yang terjadi lebih kecil, hal ini karena deformasi yang terjadi pada pembebanan gempa Tasikmalaya *Scale-up* juga cukup besar, sedangkan pada pembebanan gempa Tasikmalaya Asli, deformasi yang terjadi sangat kecil atau hampir tidak terjadi deformasi seperti yang sudah diterangkan pada analisis sebelumnya mengenai deformasi yang terjadi.

Hal ini juga menjelaskan mengapa gaya geser dan momen yang terjadi pada kolom dengan perletakan umpak nilainya lebih besar daripada gaya geser dan momen yang terjadi pada bangunan dengan perletakan sendi, karena pada simulasi ini dimana bangunan dengan perletakan umpak mendapat gaya geser yang lebih besar dan dengan deformasi yang kecil mengakibatkan gaya momen dan geser yang diterima lebih besar. Hal ini karena pada pembebanan gempa Tasikmalaya Asli, bangunan mendapatkan efek gempa yang lebih besar karena periode yang diberikan pada simulasi permodelan ini. Berikut adalah grafik yang menunjukkan hubungan periode permodelan dan gaya geser dasar yang diterima, yaitu:



Gambar 4. 45 Grafik Hubungan Periode dengan Gaya Geser Dasar yang Diterima pada Permodelan

Pada gambar 4.44 diatas dapat dilihat lebih bagaimana pada grafik tersebut dapat simulasi permodelan yang dilakukan dengan bangunan kayu dengan perletakan sendi berada pada grafik yang lebih rendah dengan periode bangunan 0,308 sedangkan pada bangunan kayu dengan perletakan umpak berada pada grafik yang lebih tinggi dengan periode 0,411 yang secara lebih jelas diberikan pada grafik pada Gambar 4.45 yaitu:



Gambar 4. 46 Grafik Hubungan Periode dengan Gaya Geser Dasar yang Diterima pada Permodelan Diperbesar

4.5 Analisis Rumah Dinding Bata

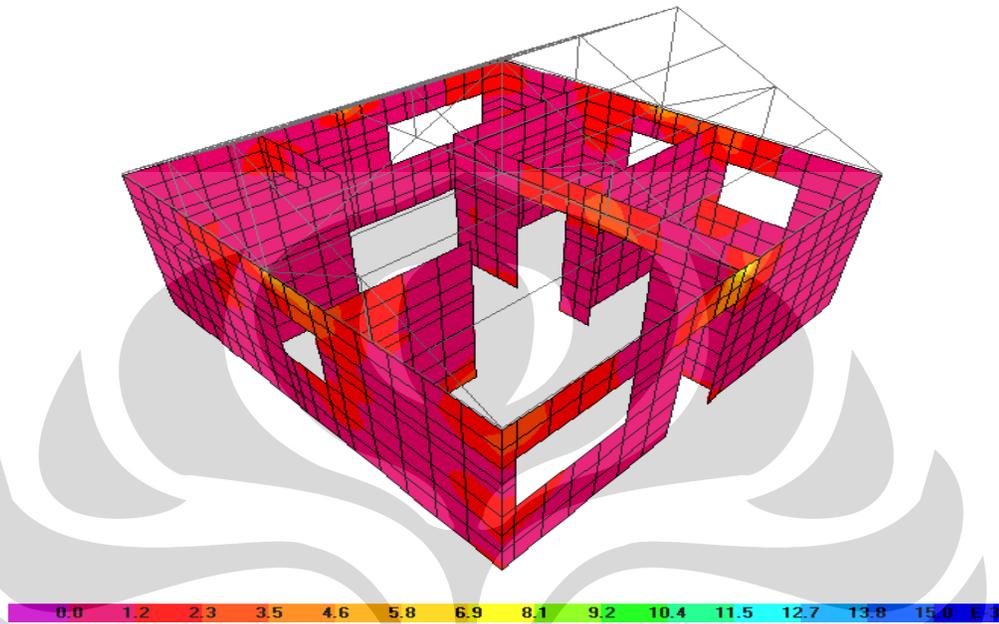
Pada bagian ini akan ditinjau gaya geser dasar yang diterima struktur dan dianalisis juga terjadinya konsentrasi tegangan akibat gaya geser yang sejajar dengan arah gempa dan tegak lurus terhadap bidang pada dinding akibat pembebanan gempa Tasikmalaya Asli (gempa Tasikmalaya 2 September 2009), Tasikmalaya *Scale-up* dan El Centro 1940 yang sudah dimodifikasi dengan program *RESMAT*.

4.5.1 Hasil Keluaran Permodelan untuk Konsentrasi Tegangan

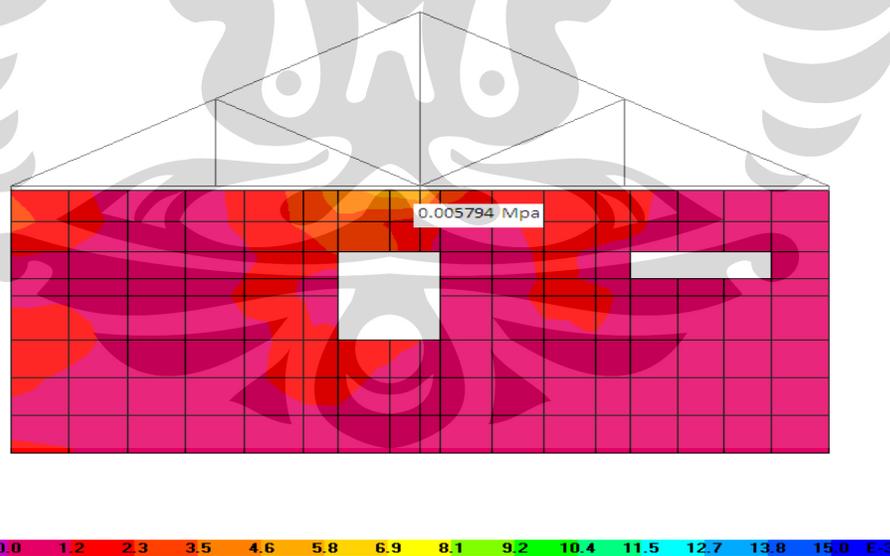
Pada hasil keluaran hasil permodelan ini akan diberikan gambar mengenai konsentrasi tegangan geser dari hasil simulasi terhadap permodelan bangunan dinding bata. Pada gambar dibawah ini hasil keluaran dibatasi besarnya dari 0 sampai 15×10^{-3} MPa untuk memberikan gambaran perubahan tegangan yang terjadi pada bangunan akibat tiga pembebanan gempa yaitu gempa Tasikmalaya Asli (gempa Tasikmalaya 2 September 2009), Tasikmalaya *Scale-up* dan El Centro 1940 yang sudah dimodifikasi dengan program *RESMAT*.

4.5.1.1 Akibat Pembebanan Gempa Tasikmalaya Asli

1. Gempa Arah X Bangunan (MPa)

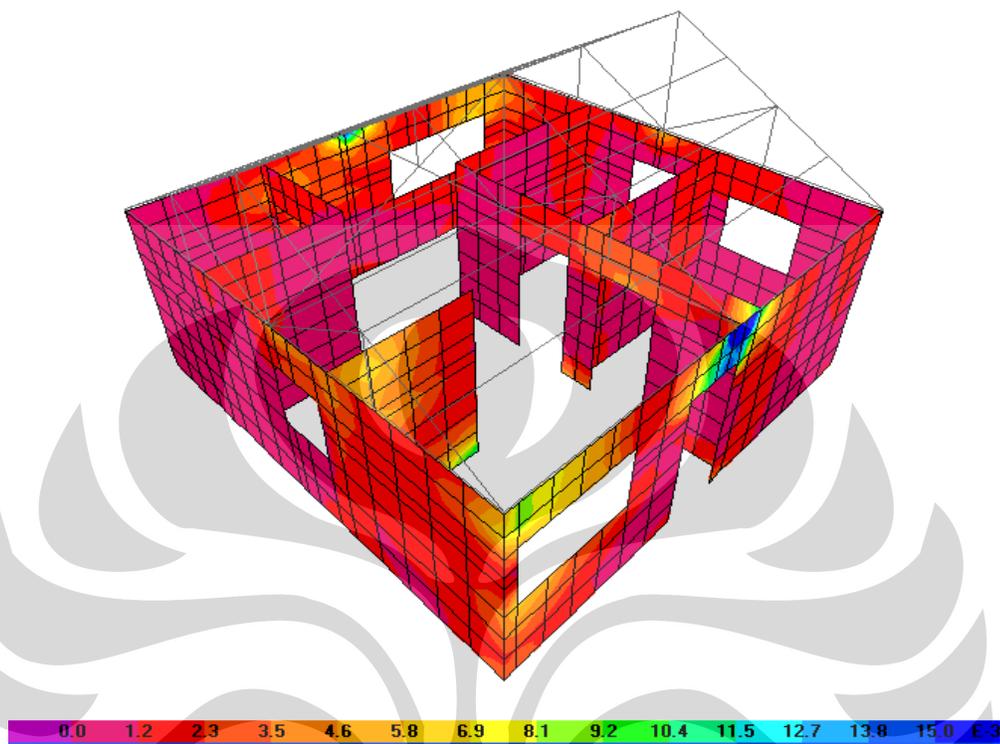


Gambar 4. 47 Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah X Bangunan Akibat Pembebanan Gempa Tasikmalaya Asli



Gambar 4. 48 Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah X Bangunan Akibat Pembebanan Gempa Tasikmalaya Asli Sisi Kiri Bangunan

2. Gempa Arah Y Bangunan (MPa)



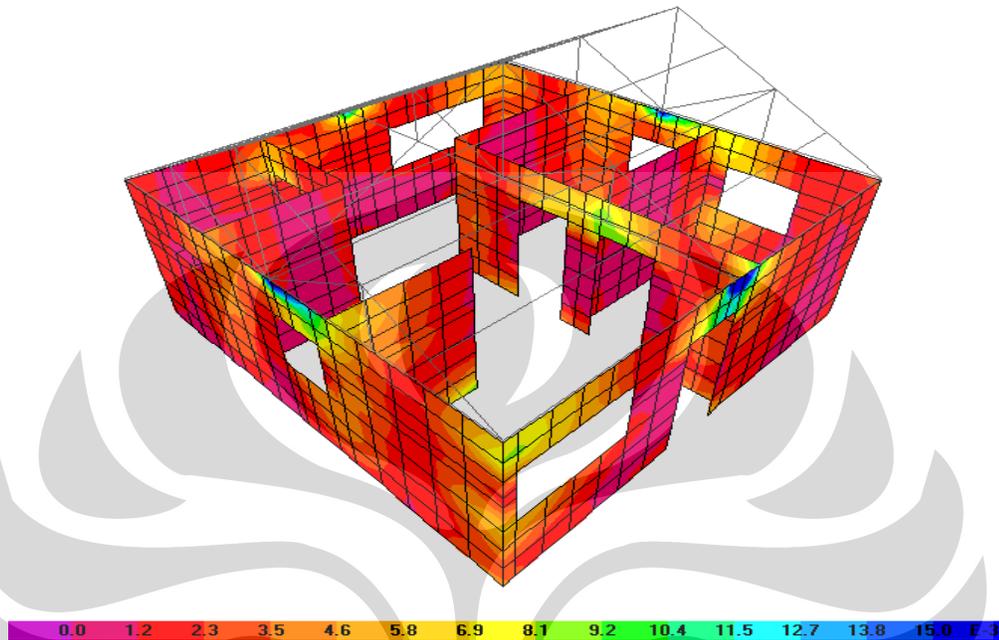
Gambar 4. 49 Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah Y Bangunan Akibat Pembebanan Gempa Tasikmalaya Asli



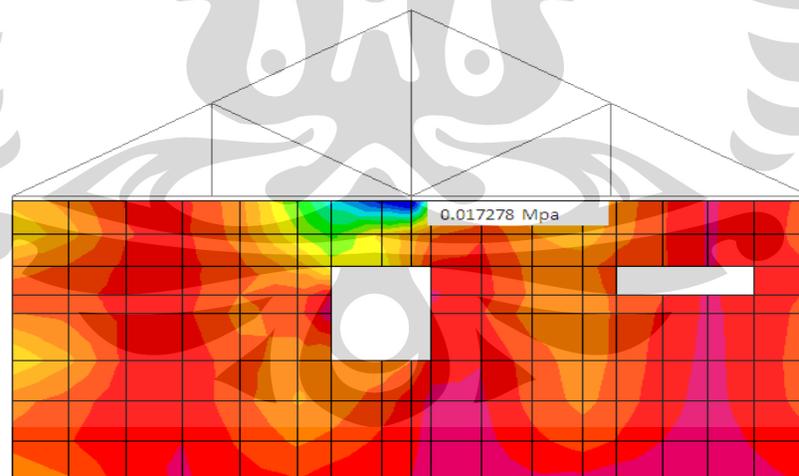
Gambar 4. 50 Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah Y Bangunan Akibat Pembebanan Gempa Tasikmalaya Asli Sisi Depan Bangunan

4.5.1.2 Akibat Pembebanan Gempa Tasikmalaya *Scale-up*

1. Gempa Arah X Bangunan (MPa)

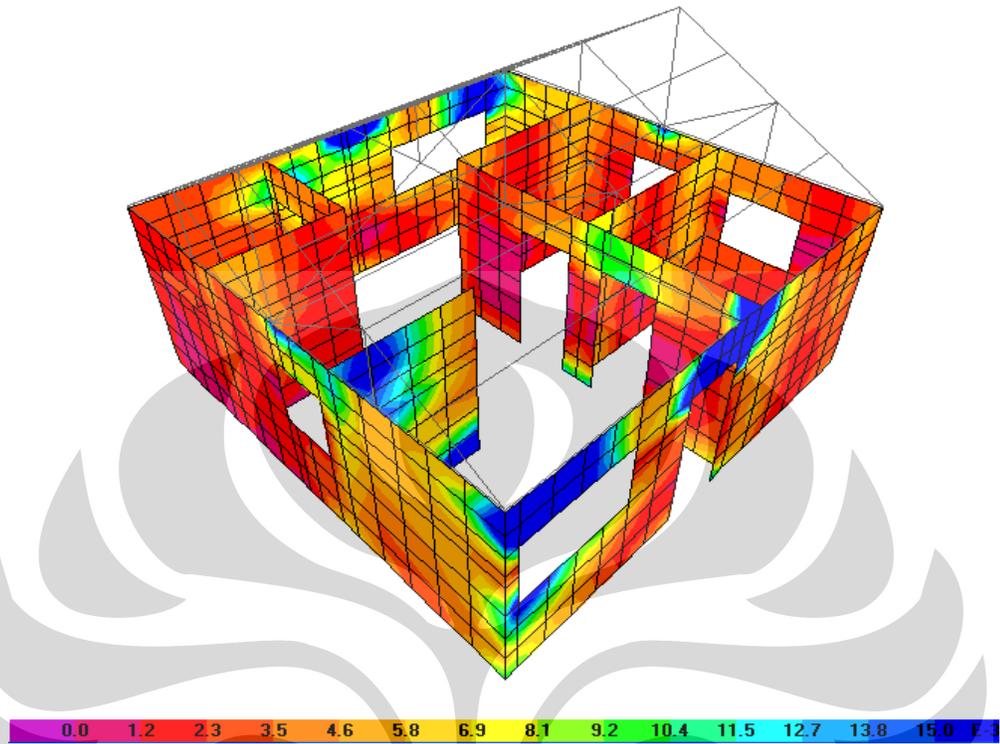


Gambar 4. 51 Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah X Bangunan Akibat Pembebanan Gempa Tasikmalaya *Scale-up*

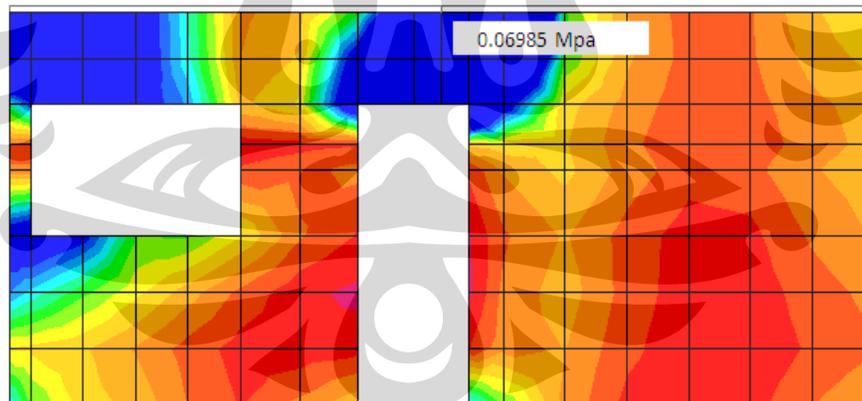


Gambar 4. 52 Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah X Bangunan Akibat Pembebanan Gempa Tasikmalaya *Scale-up* Sisi Kiri Bangunan

2. Gempa Arah Y Bangunan (MPa)



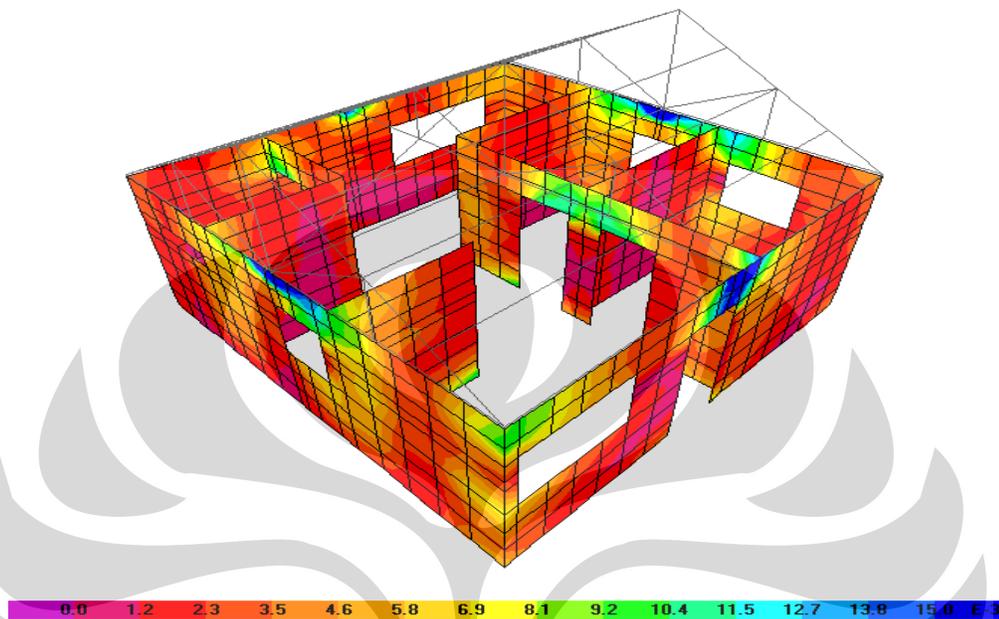
Gambar 4. 53 Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah Y Bangunan Akibat Pembebanan Gempa Tasikmalaya *Scale-up*



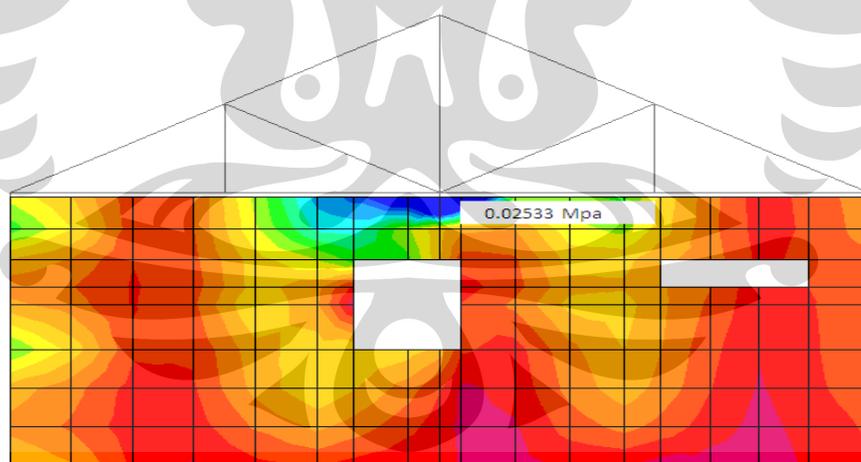
Gambar 4. 54 Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah Y Bangunan Akibat Pembebanan Gempa Tasikmalaya *Scale-up* Sisi Depan Bangunan

4.5.1.2 Akibat Pembebanan Gempa El Centro *RESMAT*

1. Gempa Arah X Bangunan

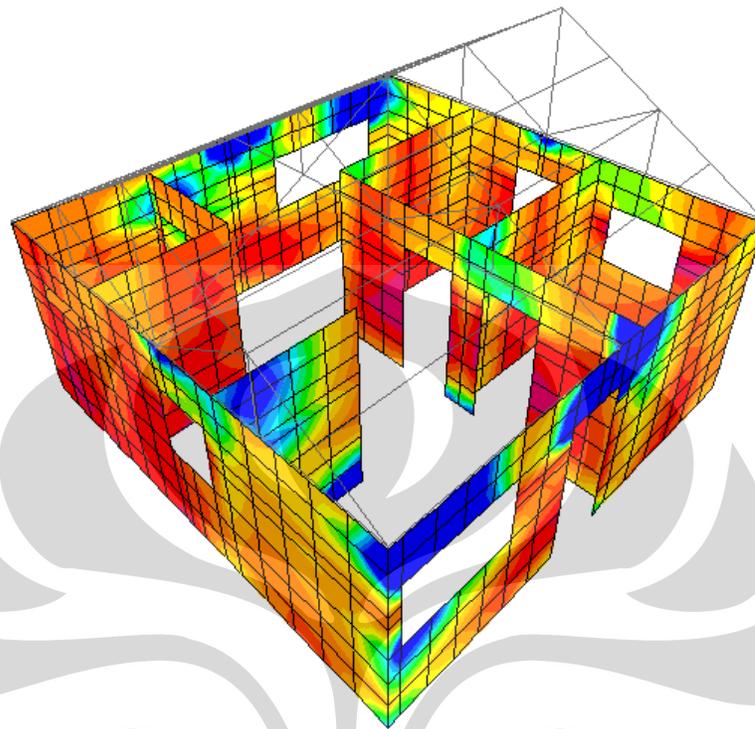


Gambar 4.55 Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah X Bangunan Akibat Pembebanan Gempa El Centro *RESMAT*

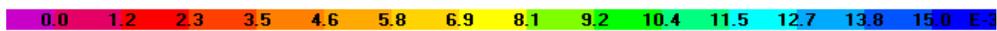
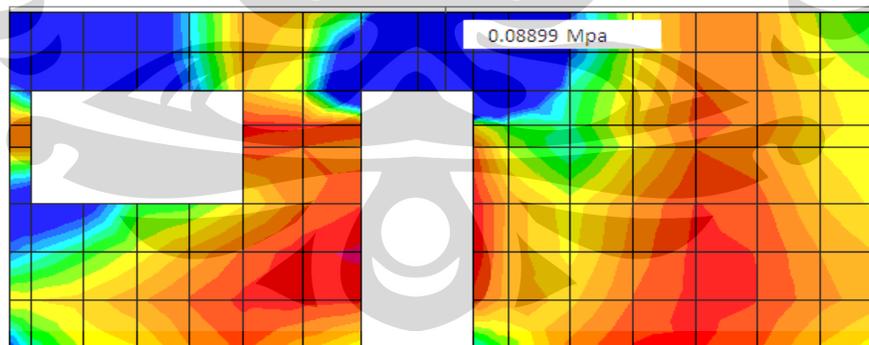


Gambar 4.56 Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah X Bangunan Akibat Pembebanan Gempa El Centro *RESMAT* Sisi Kiri Bangunan

2. Gempa Arah Y Bangunan



Gambar 4. 57 Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah Y Bangunan Akibat Pembebanan Gempa El Centro *RESMAT*



Gambar 4. 58 Gambar Konsentrasi Tegangan Geser Arah Y Bangunan Akibat Pembebanan Gempa El Centro *RESMAT* Sisi Depan Bangunan

4.5.2 Hasil Keluaran Permodelan untuk Gaya Geser Dasar Hasil

Berikut adalah tabel hasil keluaran gaya geser dasar (*base shear*) pada simulasi permodelan bangunan dinding bata akibat pembebanan gempa Tasikmalaya Asli (gempa Tasikmalaya 2 September 2009), Tasikmalaya *Scale-up* dan El Centro 1940 yang sudah dimodifikasi dengan program *RESMAT*, yaitu:

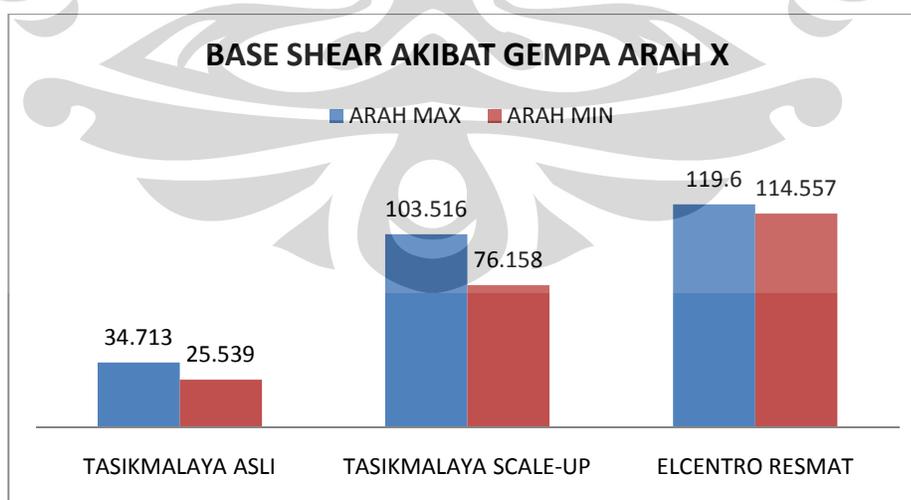
Tabel 4. 16 Tabel Gaya Geser Dasar Akibat Gempa Arah X pada Bangunan Dinding Bata

HASIL ANALISA	BASE SHEAR (kN)		
	GEMPA	GEMPA	GEMPA
TIME HISTORY MODAL	TASIKMALAYA ASLI	TASIKMALAYA SCALE-UP	ELCENTRO RESMAT
Max	34.713	103.516	119.6
Min	25.539	76.158	114.557

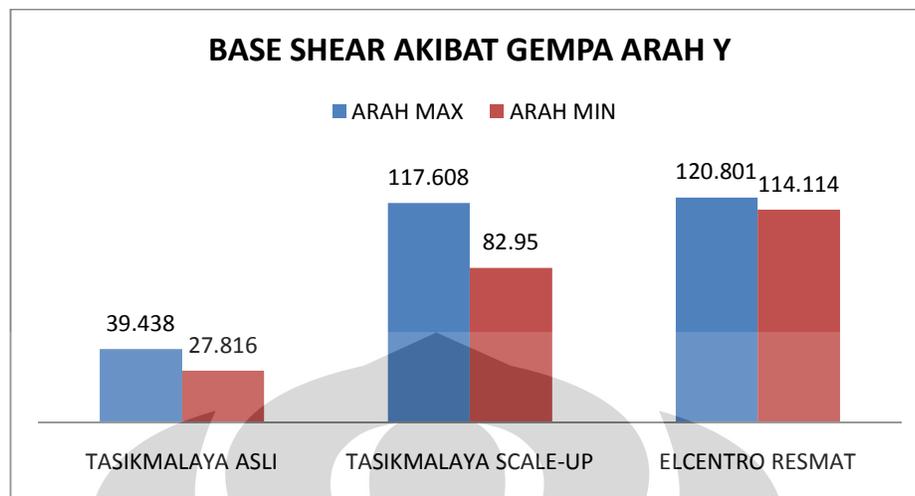
Tabel 4. 17 Tabel Gaya Geser Dasar Akibat Gempa Arah Y pada Bangunan Dinding Bata

HASIL ANALISA	BASE SHEAR (kN)		
	GEMPA	GEMPA	GEMPA
TIME HISTORY MODAL	TASIKMALAYA ASLI	TASIKMALAYA SCALE-UP	ELCENTRO RESMAT
Max	39.438	117.608	120.801
Min	27.816	82.95	114.114

Dari hasil Tabel 4.16 dan Tabel 4.17 diatas, secara singkat dapat ditunjukkan dengan diagram pada gambar dibawah yaitu:



Gambar 4. 59 Gambar Gaya Geser Dasar Akibat Gempa Arah X pada Bangunan Dinding Bata



Gambar 4. 60 Gambar Gaya Geser Dasar Akibat Gempa Arah X pada Bangunan Dinding Bata

Dengan menganalisa lebih lanjut dan membandingkan gaya geser dasar yang terjadi dengan berat bangunan didapatkan hasil perbandingan gaya geser dasar dan berat bangunan yang terjadi pada simulasi permodelan bangunan dinding bata yaitu:

Tabel 4. 18 Perbandingan Gaya Geser Dasar dan Berat Bangunan Akibat Gempa Arah X pada Bangunan Dinding Bata

HASIL ANALISA	PERBANDINGAN		
	GEMPA	GEMPA	GEMPA
TIME HISTORY MODAL	TASIKMALAYA ASLI	TASIKMALAYA SCALE-UP	ELCENTRO RESMAT
Max	0.104126297	0.310510118	0.358756232
Min	0.076607654	0.22844613	0.343629077

Tabel 4. 19 Perbandingan Gaya Geser Dasar dan Berat Bangunan Akibat Gempa Arah Y pada Bangunan Dinding Bata

HASIL ANALISA	PERBANDINGAN		
	GEMPA	GEMPA	GEMPA
TIME HISTORY MODAL	TASIKMALAYA ASLI	TASIKMALAYA SCALE-UP	ELCENTRO RESMAT
Max	0.118299567	0.352780961	0.362358792
Min	0.083437821	0.248819644	0.342300239

4.5.3 Analisa Konsentrasi Tegangan dan Gaya Geser Dasar yang Terjadi

Dari Gambar 4.47 sampai Gambar 4.58 dapat dilihat bahwa konsentrasi tegangan lebih banyak terjadi pada sudut-sudut pertemuan antara dinding dan dinding dan juga terjadi konsentrasi tegangan paling besar pada bagian pertemuan antara dinding dan atap terutama pada bagian yang menyalurkan gaya dari atap ke dinding. Dimana pada bagian pertemuan dinding dan atap terjadi konsentrasi tegangan yang paling besar. Hal ini karena pengaruh dari tumpuan atap yang terhubung ke dinding menyalurkan gaya geser yang cukup besar. Pada Gambar 4.47 sampai Gambar 4.58 ini diperlihatkan dengan jelas dari gempa yang paling kecil (gempa Tasikmalaya Asli) sampai gempa yang terbesar (gempa El Centro *RESMAT*), dimana warna tegangan yang diwakili oleh warna biru yang menunjukkan tegangan diatas 0,015 MPa semakin lebih banyak terlihat pada pembebanan gempa El Centro *RESMAT*. Pada gempa Tasikmalaya Asli, dengan skala tegangan yang sama, konsentrasi tegangan dengan warna biru tidak terlalu jelas terlihat atau masih dalam skala yang kecil, tetapi masih terjadi pada daerah-daerah sudut pertemuan antara dinding dan dinding dan juga pada pertemuan antara dinding dan atap, lalu pada pembebanan gempa Tasikmalaya *Scale-up*, konsentrasi tegangan yang diwakili oleh warna biru semakin lebih banyak terlihat dan pada pembebanan gempa El Centro *RESMAT*, konsentrasi tegangan yang diwakili oleh warna biru semakin lebih banyak terlihat dan mendominasi tidak hanya terjadi pada pertemuan dinding dan pada bagian pertemuan atap, tetapi juga pada area dinding. Dengan mengacu pada Gambar 4.48, Gambar 4.52 dan Gambar 4.56 untuk pembebanan gempa arah X pada titik konsentrasi tegangan yang sama yaitu pada dinding bagian kiri diberikan hasil yang berbeda pada tiap pembebanan gempa yaitu 0,0057 MPa untuk pembebanan gempa Tasikmalaya Asli, 0,017 MPa untuk pembebanan gempa Tasikmalaya *Scale-up* dan 0,025 MPa untuk pembebanan gempa El Centro *RESMAT*. Lalu dengan mengacu pada Gambar 4.50, Gambar 4.54 dan Gambar 4.58 untuk pembebanan gempa arah Y pada titik konsentrasi tegangan yang sama yaitu pada dinding bagian depan diberikan hasil yang berbeda pula pada tiap pembebanan gempa yaitu 0,023 MPa untuk pembebanan gempa Tasikmalaya Asli, 0,069 untuk pembebanan gempa

Tasikmalaya *Scale-up* dan 0,088 untuk pembebanan gempa El Centro *RESMAT*. Hal ini menunjukkan kerusakan yang ditimbulkan oleh gempa Tasikmalaya Asli sampai gempa El Centro *RESMAT* mengalami peningkatan yang cukup signifikan sesuai dengan peningkatan konsentrasi tegangan yang terjadi, dimana gempa El Centro *RESMAT* memberikan kerusakan yang paling besar diantara ketiga pembebanan gempa tersebut dengan memberikan konsentrasi tegangan yang paling besar baik untuk pembebanan gempa arah X maupun untuk pembebanan gempa arah Y.

Dengan membandingkan hasil gaya geser dasar yang terjadi pada simulasi permodelan bangunan dinding bata dengan konsentrasi tegangan yang terjadi didapat hubungan linier dimana terjadi peningkatan yang sama antara peningkatan konsentrasi tegangan yang terjadi dengan peningkatan gaya geser dasar yang terjadi. Pada simulasi permodelan bangunan dinding bata dengan mengacu pada Tabel 4.16, Tabel 4.17, Gambar 4.59 dan Gambar 4.60 didapatkan hasil gaya geser dasar yang diberikan pada pembebanan gempa Tasikmalaya Asli merupakan yang terkecil dari pembebanan ketiga gempa dan gaya geser dasar yang diberikan pada pembebanan gempa El Centro *RESMAT* merupakan yang terbesar diantara ketiga pembebanan gempa. Begitu juga ketika dianalisa dengan memperhatikan berat bangunan yang ada, perbandingan yang didapat dari pembebanan gempa Tasikmalaya merupakan yang terkecil dengan perbandingan gaya geser dasar dan berat bangunan sekitar 0,1 dan pada pembebanan gempa El Centro memberikan perbandingan yang terbesar yaitu sekitar 0,35. Hal ini sebanding dengan perubahan konsentrasi tegangan yang terjadi, sehingga dapat disimpulkan gaya geser yang terjadi mempengaruhi besar konsentrasi tegangan yang terjadi.

Dari hasil analisa diatas dapat ditunjukkan pola konsentrasi akibat pembebanan gempa akan terjadi sama pada area di bangunan dan hanya dibedakan oleh besarnya pembebanan dari gempa itu sendiri yang sebanding dengan gaya geser dasar yang diterima struktur.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dengan 2 macam tipe bangunan non-engineered yaitu rumah kayu dan bangunan dinding bata terhadap 3 pembebanan gempa yaitu gempa Tasikmalaya 2 September 2009, gempa Tasikmalaya 2 September 2009 yang sudah di *Scale-up* percepatan puncaknya sehingga sama dengan percepatan tanah lunak wilayah 4 SNI 03-1726-2002 dan gempa El Centro 1940 yang sudah di modifikasi respon spektrumnya sehingga mendekati respon spektrum percepatan tanah lunak wilayah 4 SNI 03-1726-2002., dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Untuk rumah kayu dengan perletakan umpak
 - Gaya gesek yang terjadi pada bangunan kayu dengan perletakan umpak berfungsi sebagai batasan gaya geser dasar maksimum yang mungkin terjadi pada bangunan saat mengalami pembebanan gempa.
 - Mekanisme gesekan pada perletakan umpak membatasi pula gaya-gaya dalam maksimum yang mungkin terjadi pada elemen struktur saat mengalami pembebanan gempa.
2. Untuk rumah dinding bata
 - Pada bangunan rumah dinding bata, bagian yang mengalami konsentrasi tegangan terbesar adalah pada bagian pertemuan dinding, terutama pada bagian pertemuan dinding yang tegak lurus dan juga pada bagian pertemuan dinding dan atap dimana terjadi penyaluran gaya dari atap ke dinding
 - Pada bangunan rumah dinding bata sebaiknya menggunakan perkuatan kolom, karena gaya yang diterima pada pertemuan dinding sangat besar dan dapat menyebabkan keruntuhan.

Hasil simulasi yang dilakukan terhadap 3 pembebanan gempa yaitu gempa Tasikmalaya 2 September 2009, gempa Tasikmalaya 2 September 2009 yang sudah di *Scale-up* dan gempa El Centro 1940 yang sudah dimodifikasi dengan

program bantuan *RESMAT*, tampak bahwa gempa rencana yaitu gempa Tasikmalaya 2 September 2009 yang sudah di *Scale-up* seperti yang disyaratkan di dalam SNI 03-1726-2002 "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung" dan gempa Elcentro yang sudah dimodifikasi dengan program *RESMAT* masih jauh lebih besar dibanding dengan gempa Tasikmalaya 2 September 2009, dengan perbandingan gempa Tasikmalaya 2 September 2009 terhadap kedua gempa tersebut sekitar 30%.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian lanjutan perlu dilakukan percobaan dengan elemen struktur yang sesungguhnya pada perletakan umpak untuk mengetahui perilaku gesek dari material umpak.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan terhadap kapasitas momen, aksial tekan dan aksial tarik dari elemen kayu dan sambungan struktur kayu eksisting yang ada pada bangunan non-engineered rumah kayu.
3. Untuk penelitian lebih lanjut perlu dilakukan penelitian terhadap kapasitas geser *in plane* dan *out of plane* dari dinding bata yang ada di Indonesia.

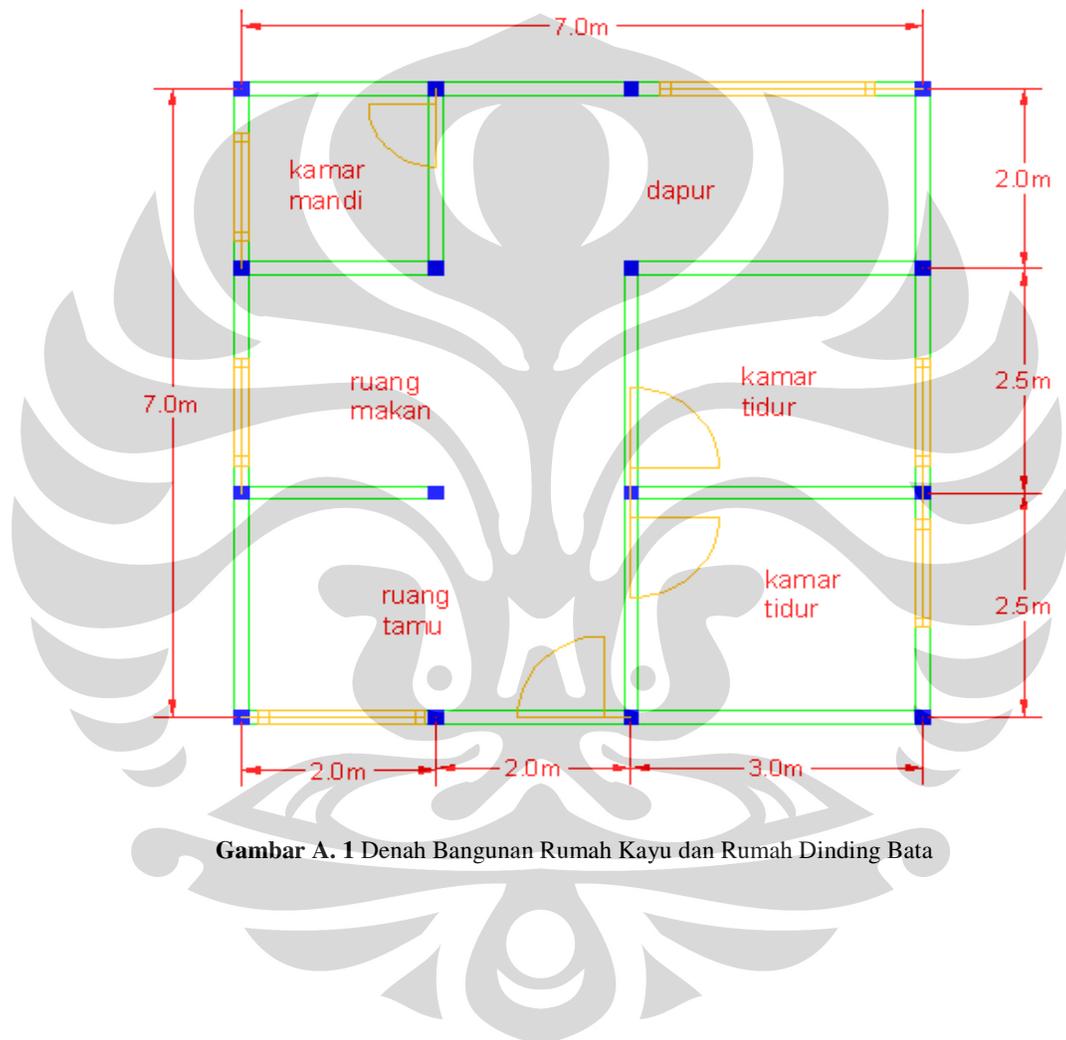
DAFTAR PUSTAKA

- Chopra, Anil. K., "Dynamic of Structure Thoery And Application To Earthquake engineering", Prentice Hall Inc., New Jersey, 1995
- Clough, Ray. W, Penzien, Joseph., "Dynamics Of Structures", Mc Graw-Hill Inc., 1993
- Naeim, Farzad and Kelly James M, "Design of Seismic Isolated Structures From Theory to Paractice" John Wiley & Sons Inc., New York.1998
- Paz, Mario, diterjemahkan Manu A.P., "Dinamika Struktur Teori dan Perhitungan", Erlangga, Jakarta, 1993
- Basoenondo, E. A, "Lateral Load Responce of Cikarang Brick Wall Structures-An Experimental Study", Centre for Built Environment and Engineering Research Queensland University of Technology, 2008
- Departemen Pekerjaan Umum NI-5 PKKI 1961. "Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia", Jakarta, 1961
- Standar SNI "Tata Cara Perencanaan Konstruksi Kayu Indonesia", Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2001
- Standar SNI 03-1726-2002 "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung", Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2001
- Benjamin Lumantarna, "Pengantar Analisa Dinamis dan Gempa", Andi Yogyakarta.2005
- Dewobroto, Wiryanto, "Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP 2000" Penerbit PT. Elex Media Komputindo., Jakarta 2004
- Universitas Indonesia (2009). Pengantar penulisan ilmiah.*



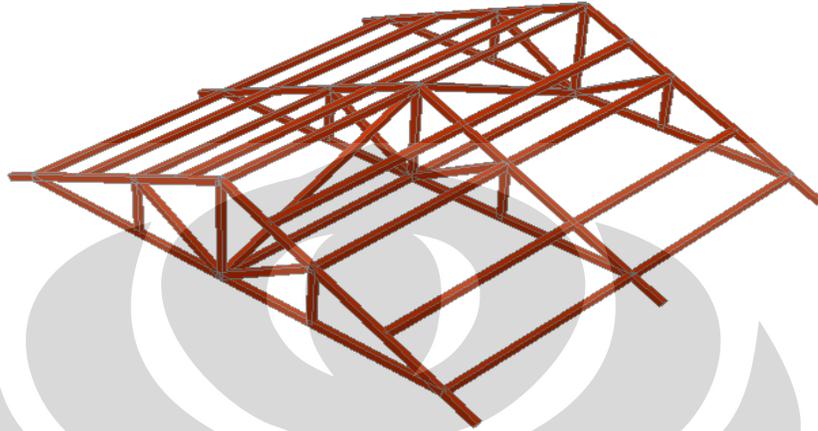
LAMPIRAN A
GEOMETRIK STRUKTUR PERMODELAN

❖ **DENAH BANGUNAN RUMAH KAYU DAN RUMAH DINDING BATA**

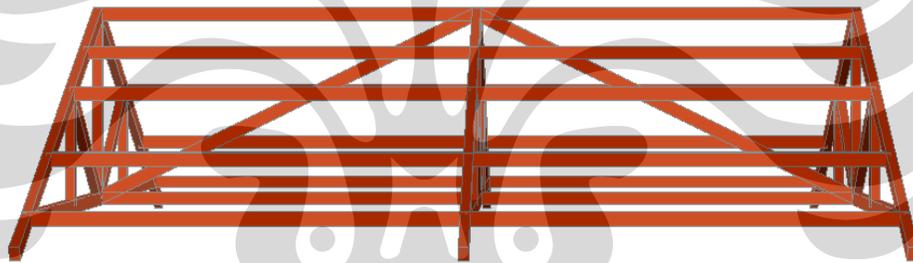


Gambar A. 1 Denah Bangunan Rumah Kayu dan Rumah Dinding Bata

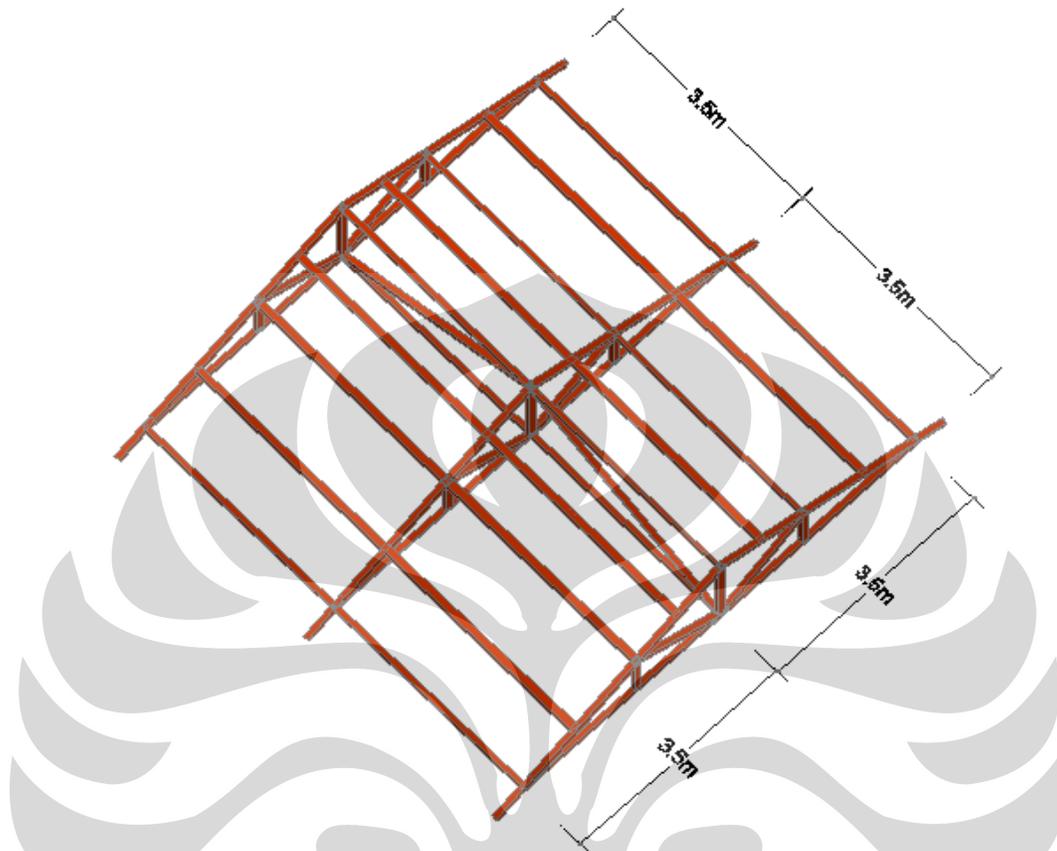
❖ **ATAP RUMAH KAYU DAN RUMAH DINDING BATA**



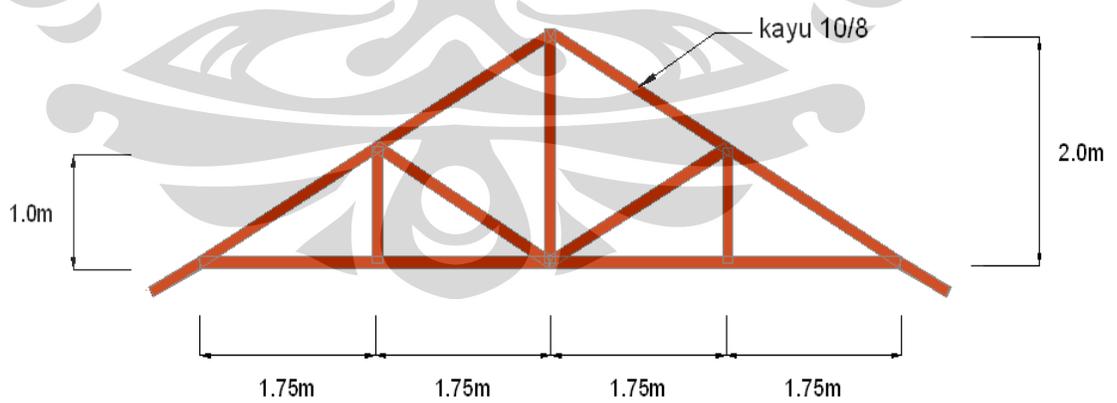
Gambar A. 2 Gambar Permodelan Atap pada Rumah Kayu dan Rumah Dinding Bata



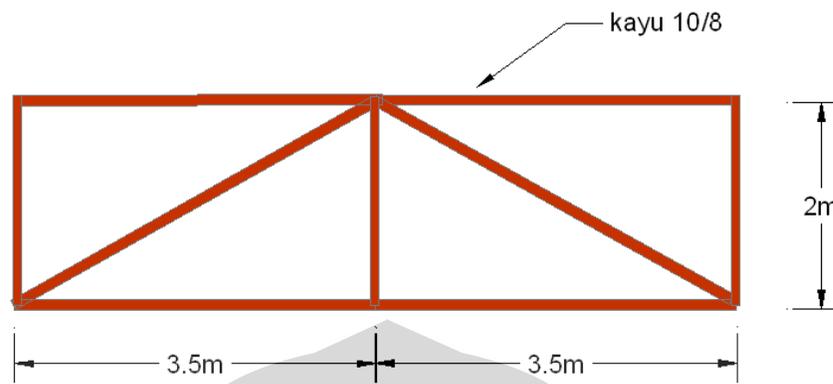
Gambar A. 3 Gambar Permodelan Atap pada Rumah Kayu dan Rumah Dinding Bata Tampak Samping



Gambar A. 4 Gambar Ukuran Panjang dan Lebar Atap

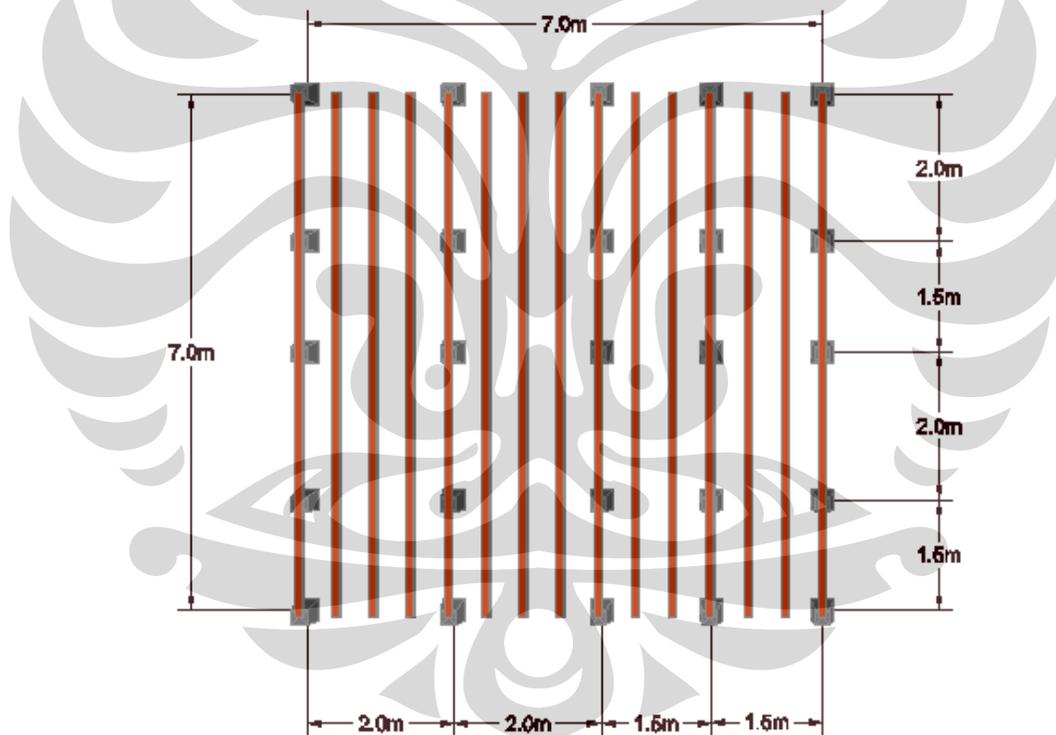


Gambar A. 5 Gambar Ukuran Segitiga Atap

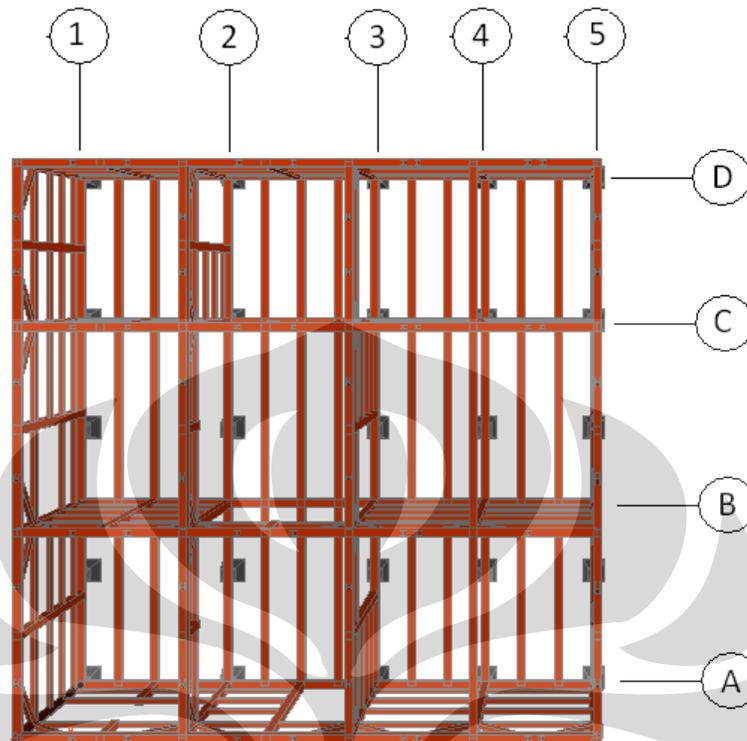


Gambar A. 6 Gambar Ukuran Bagian Tengah Atap

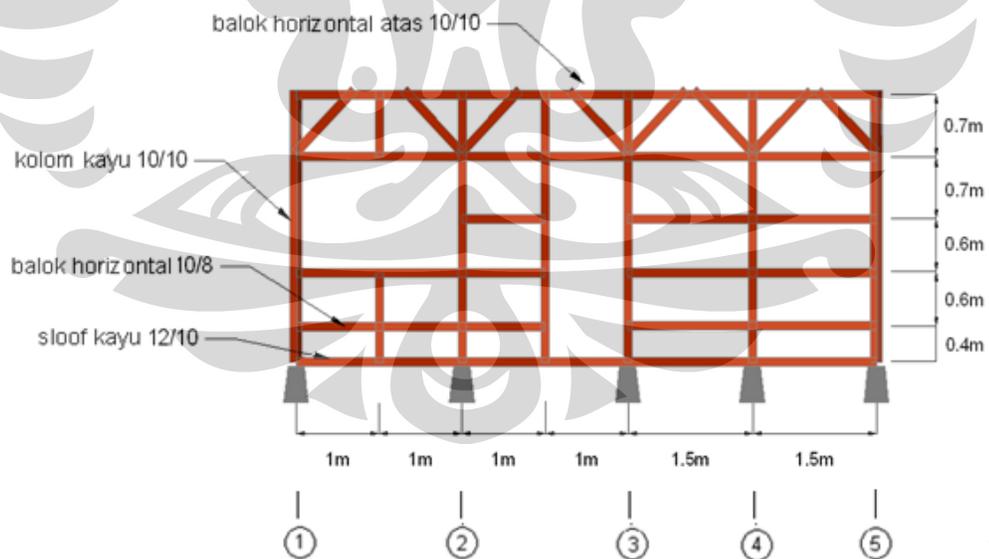
❖ RUMAH KAYU



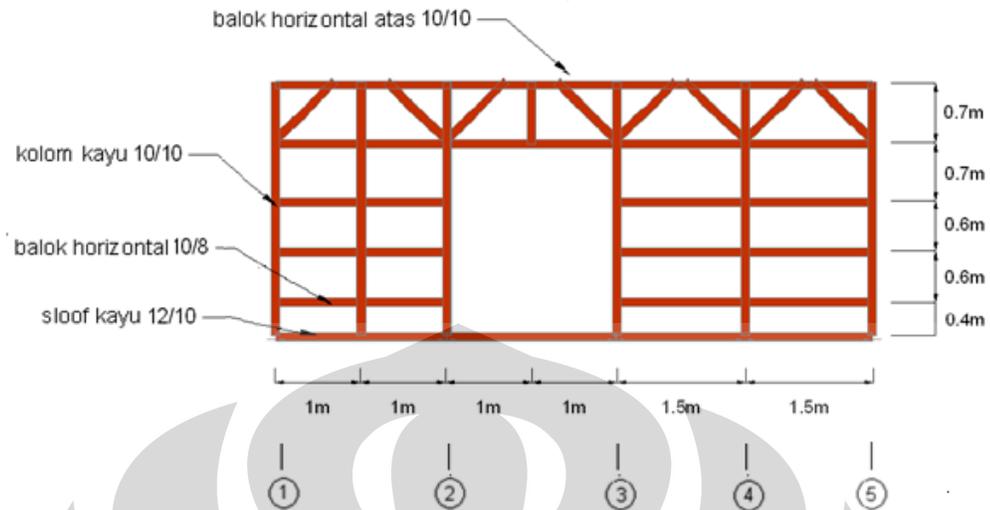
Gambar A. 7 Gambar Denah Penempatan Umpak



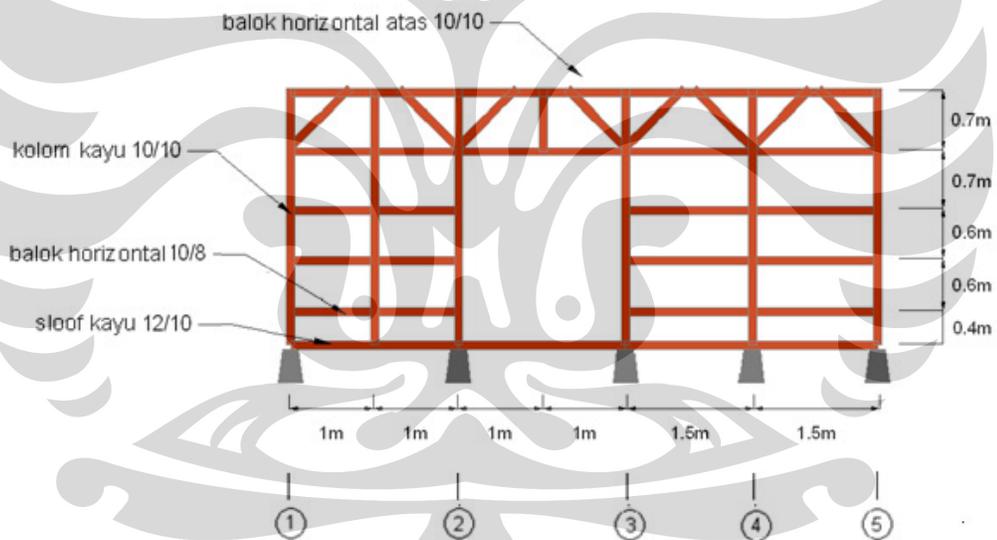
Gambar A. 8 Gambar Potongan pada Permodelan Rumah Kayu



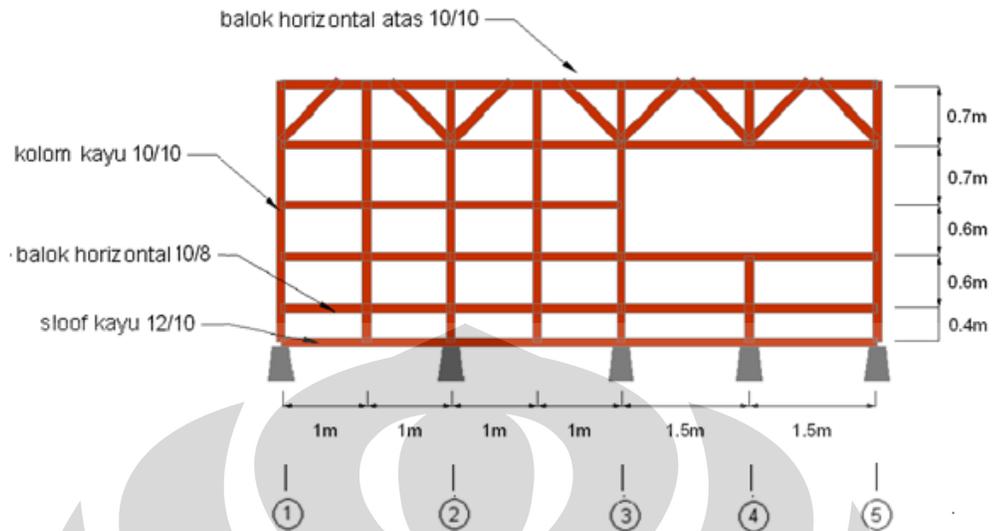
Gambar A. 9 Gambar Kerangka Dinding As- A pada Permodelan Rumah Kayu



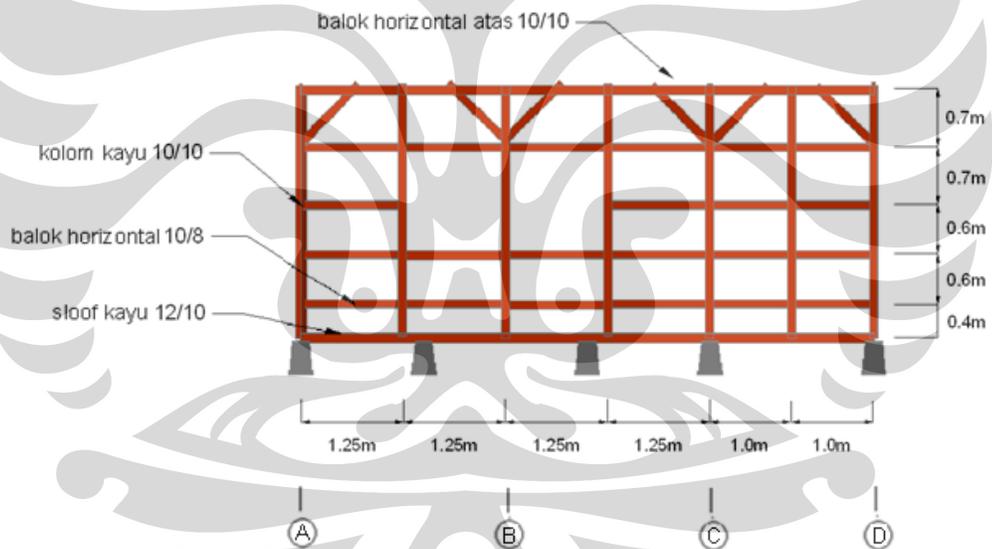
Gambar A. 10 Gambar Kerangka Dinding As- B pada Permodelan Rumah Kayu



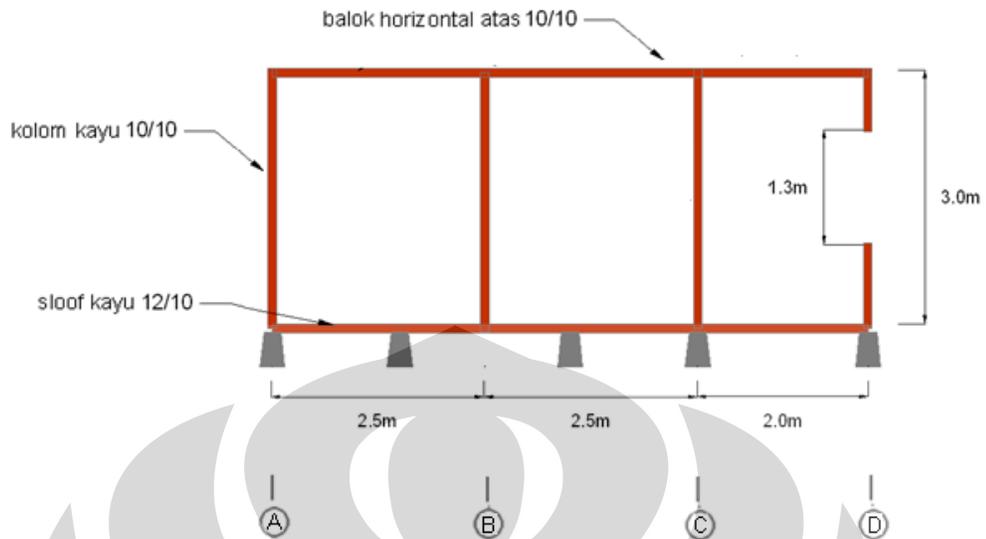
Gambar A. 11 Gambar Kerangka Dinding As- C pada Permodelan Rumah Kayu



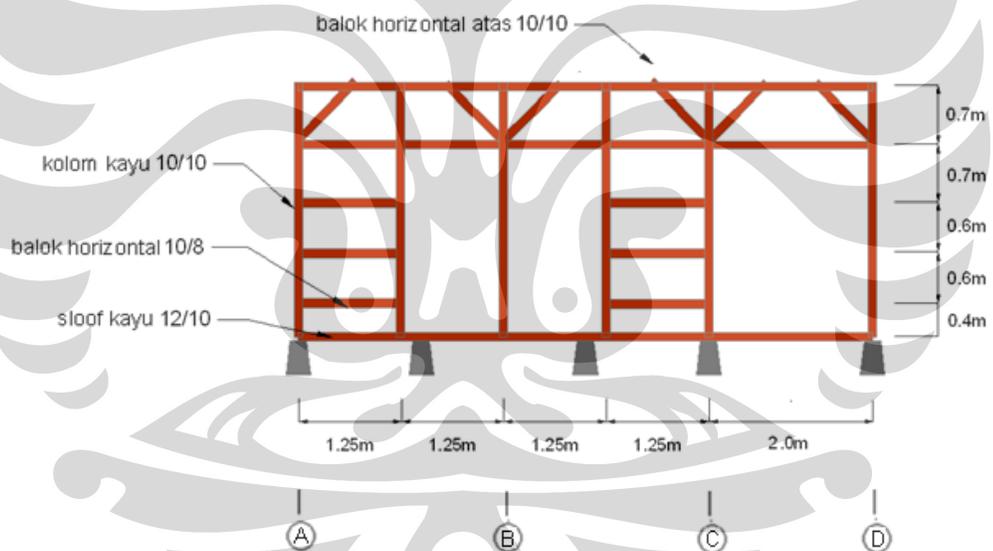
Gambar A. 12 Gambar Kerangka Dinding As- D pada Permodelan Rumah Kayu



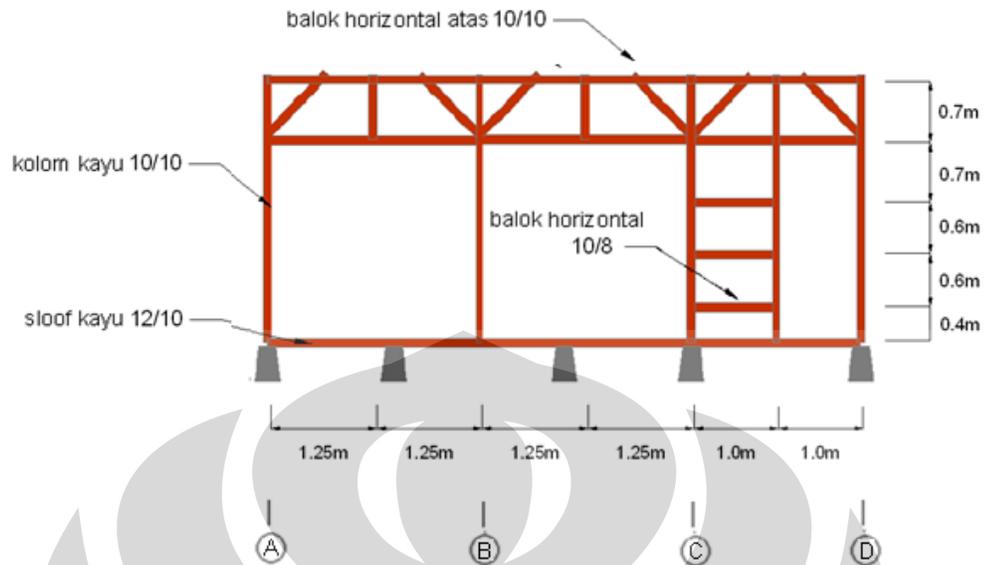
Gambar A. 13 Gambar Kerangka Dinding As- 1 pada Permodelan Rumah Kayu



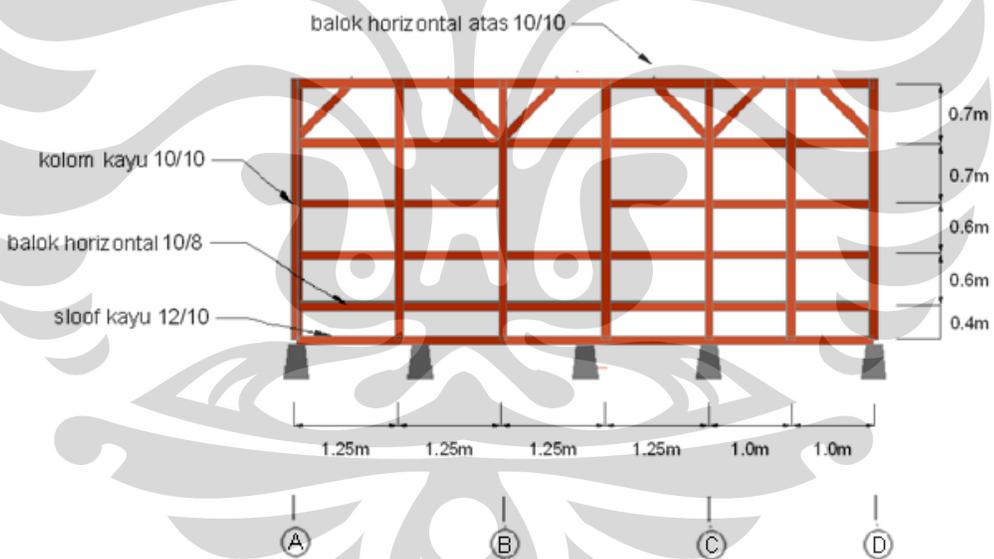
Gambar A. 14 Gambar Kerangka Dinding As- 2 pada Permodelan Rumah Kayu



Gambar A. 15 Gambar Kerangka Dinding As- 3 pada Permodelan Rumah Kayu

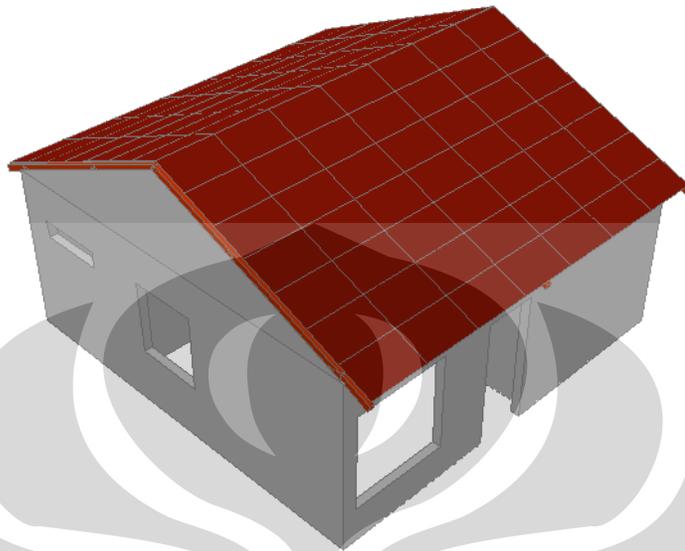


Gambar A. 16 Gambar Kerangka Dinding As- 4 pada Permodelan Rumah Kayu



Gambar A. 17 Gambar Kerangka Dinding As- 5 pada Permodelan Rumah Kayu

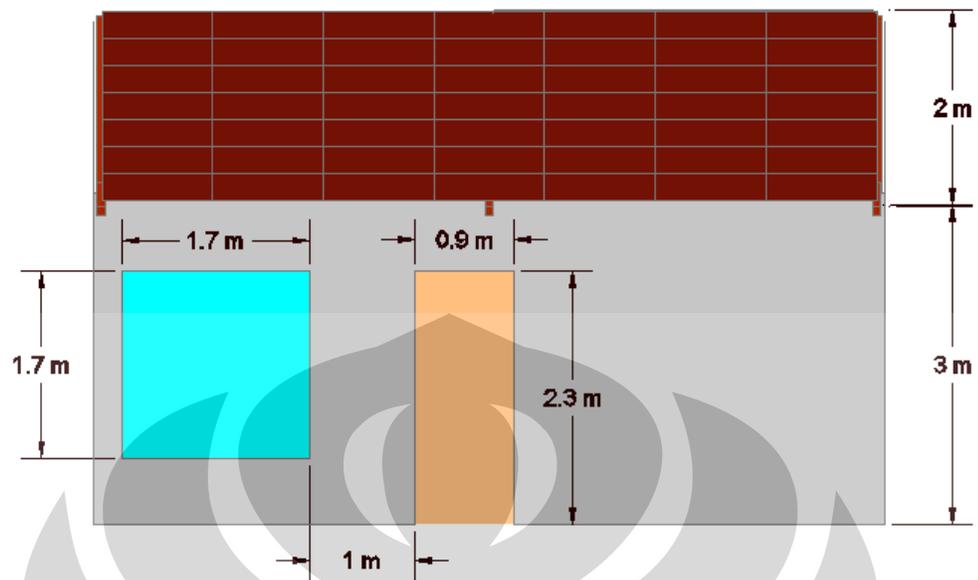
❖ RUMAH DINDING BATA



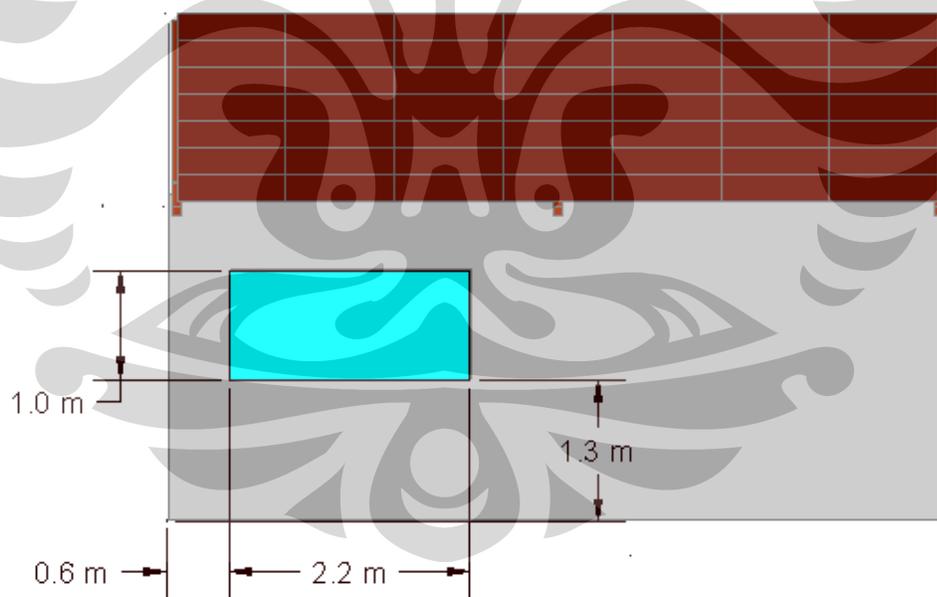
Gambar A. 18 Gambar 3D Rumah Dinding Bata



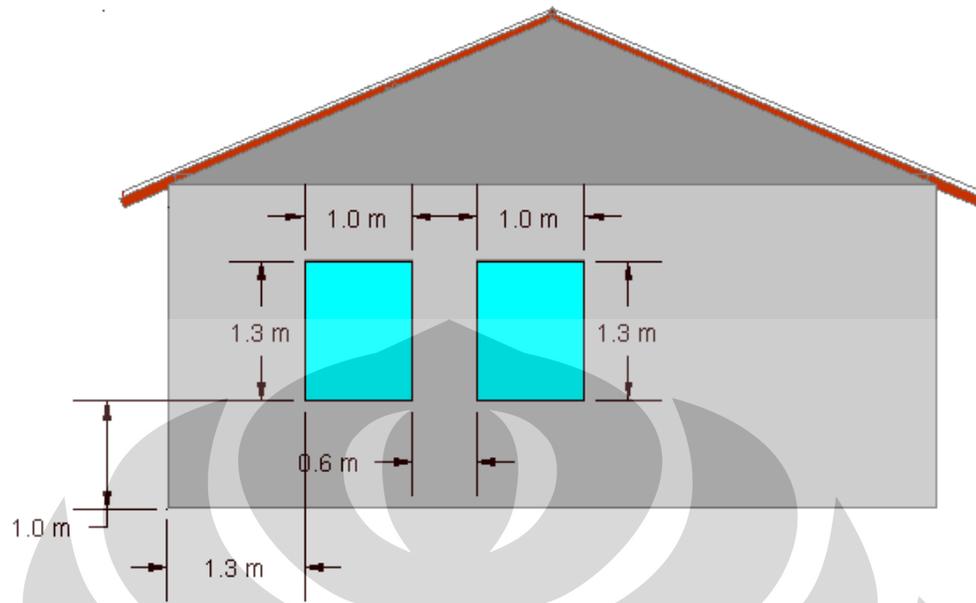
Gambar A. 19 Gambar 3D Ruangan pada Rumah Dinding Bata



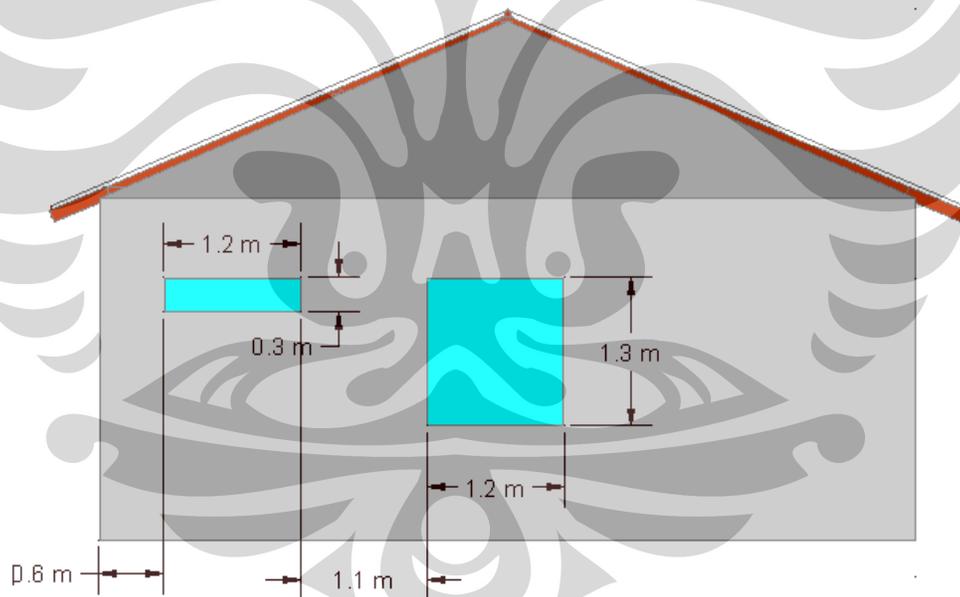
Gambar A. 20 Gambar Tampak Depan Rumah Dinding Bata



Gambar A. 21 Gambar Tampak Belakang Rumah Dinding Bata



Gambar A. 22 Gambar Tampak Samping Kiri Rumah Dinding Bata



Gambar A. 23 Gambar Tampak Samping Kanan Rumah Dinding Bata

LAMPIRAN B
DATA INPUT MATERIAL BATA

Tabel B. 1 Tabel Tipe dan Kategori Mortar

Mortar Type	Composition of Cement : Sand	Water/Cement Ratio	Category
A	1 : 3	0.67	Structural
B	1 : 4	0.85	Structural
C	1 : 5	1.05	Non Structural
D	1 : 6	1.24	Non Structural
E	1 : 7	1.43	Non Structural
F	1 : 8	1.62	Non Structural

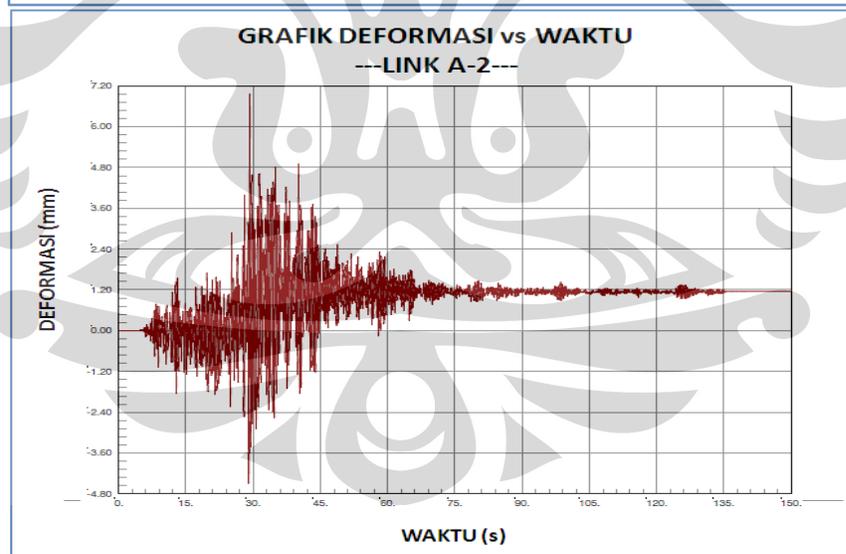
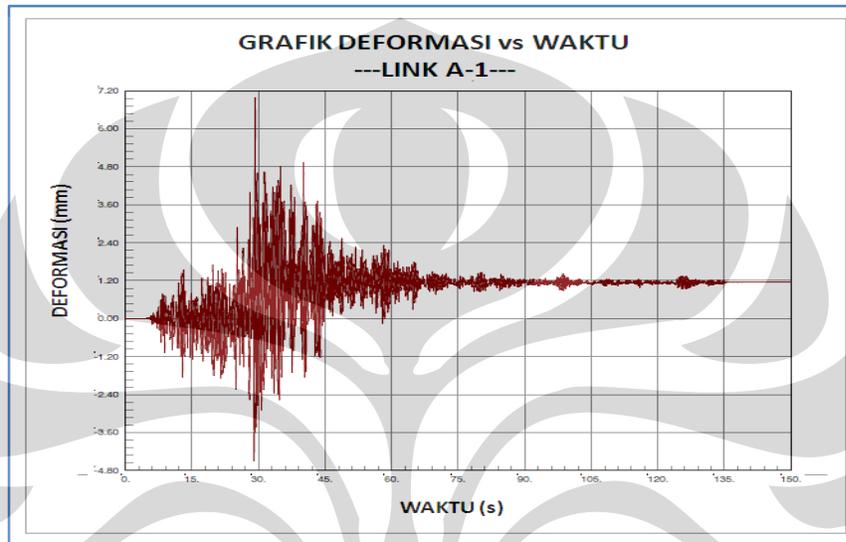
Tabel B. 2 Tabel Modulus Elastisitas Bata

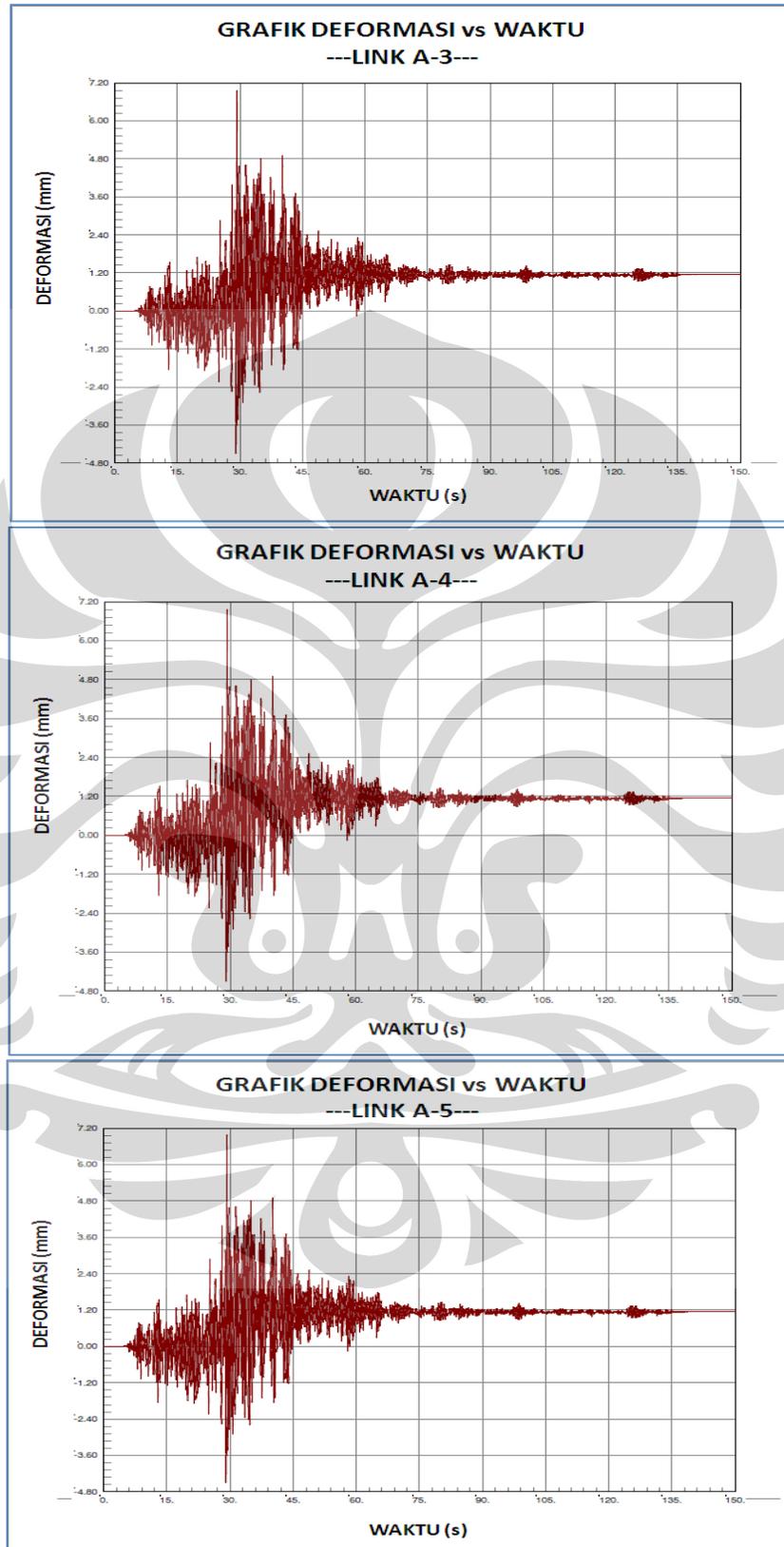
Modulus of elasticity of brick with 6 types of mortar (MPa)							
Compressive stress (MPa)	Mortar type						Average
	A	B	C	D	E	F	
0 – 2	245.04	186.17	199.72	219.49	244.30	245.39	223.35
2 – 6	786.48	476.44	579.68	602.58	506.94	527.47	579.93
6 – 10	936.02	594.24	633.27	666.03	430.40	351.93	601.98
10 – 12	733.07	637.69	527.42	490.15	471.78	354.25	535.73
Max. compressive strength	15.22	13.45	11.78	11.51	10.49	10.28	12.12

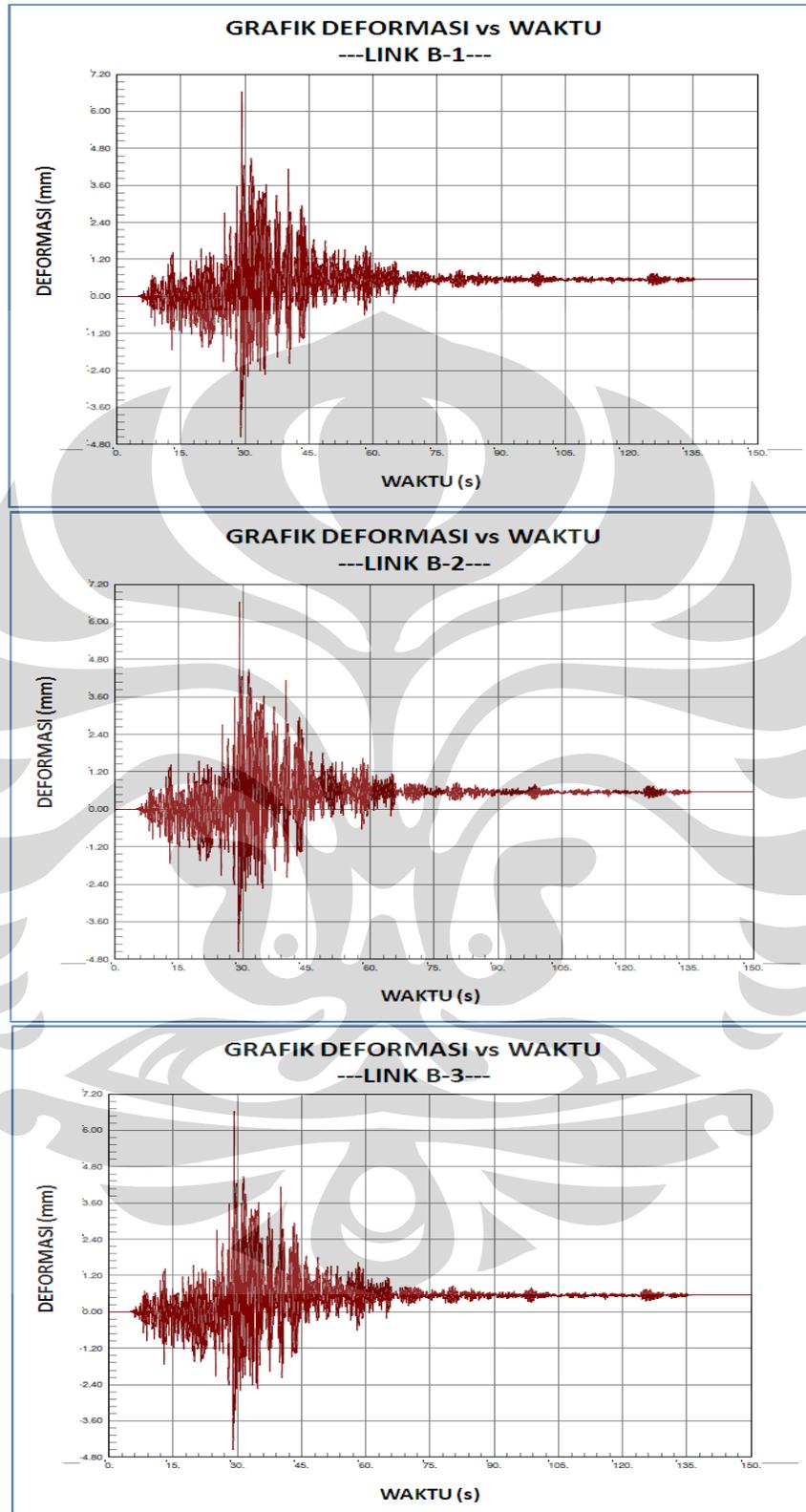
LAMPIRAN C

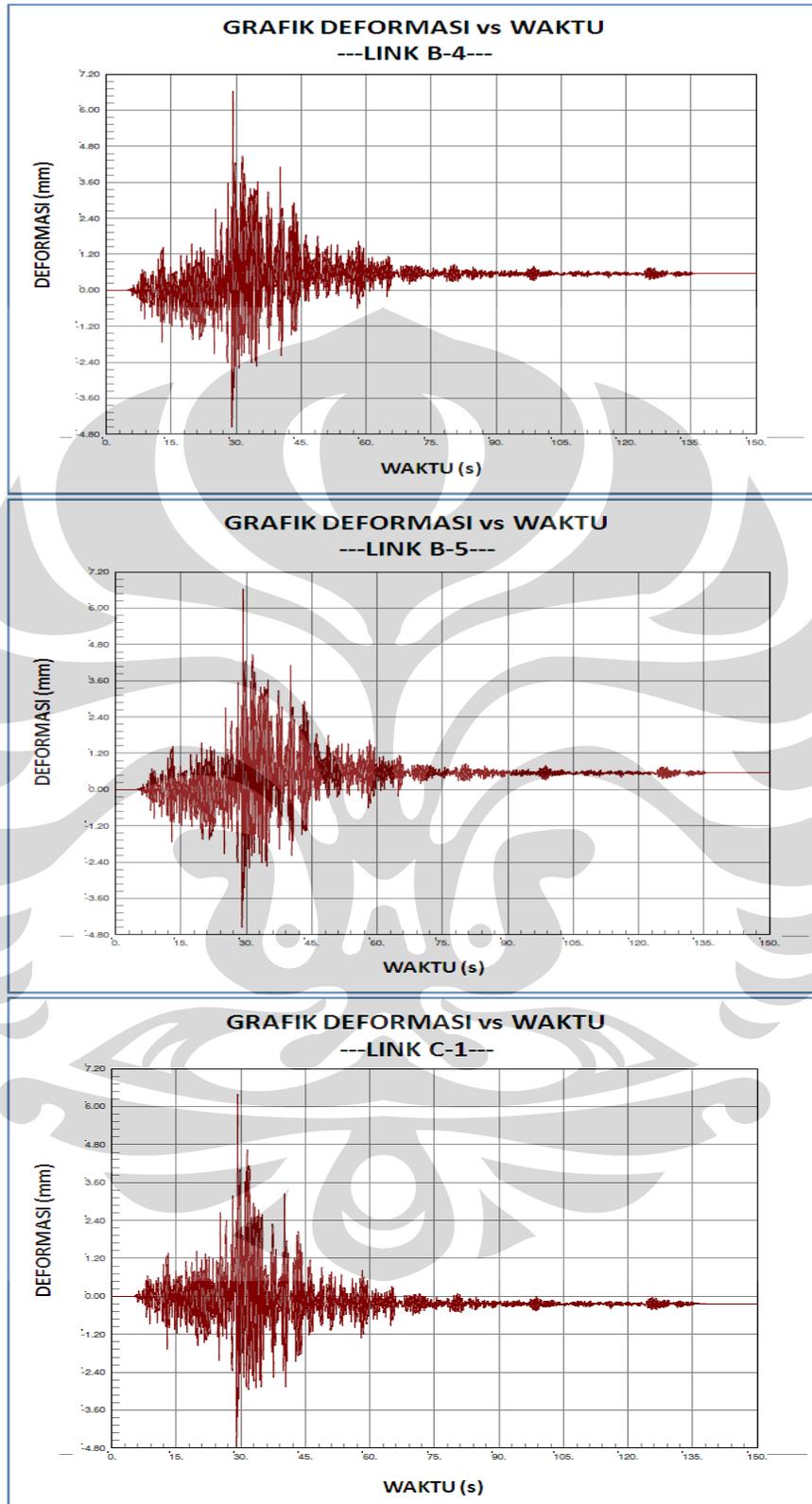
GRAFIK DEFORMASI UMPAK

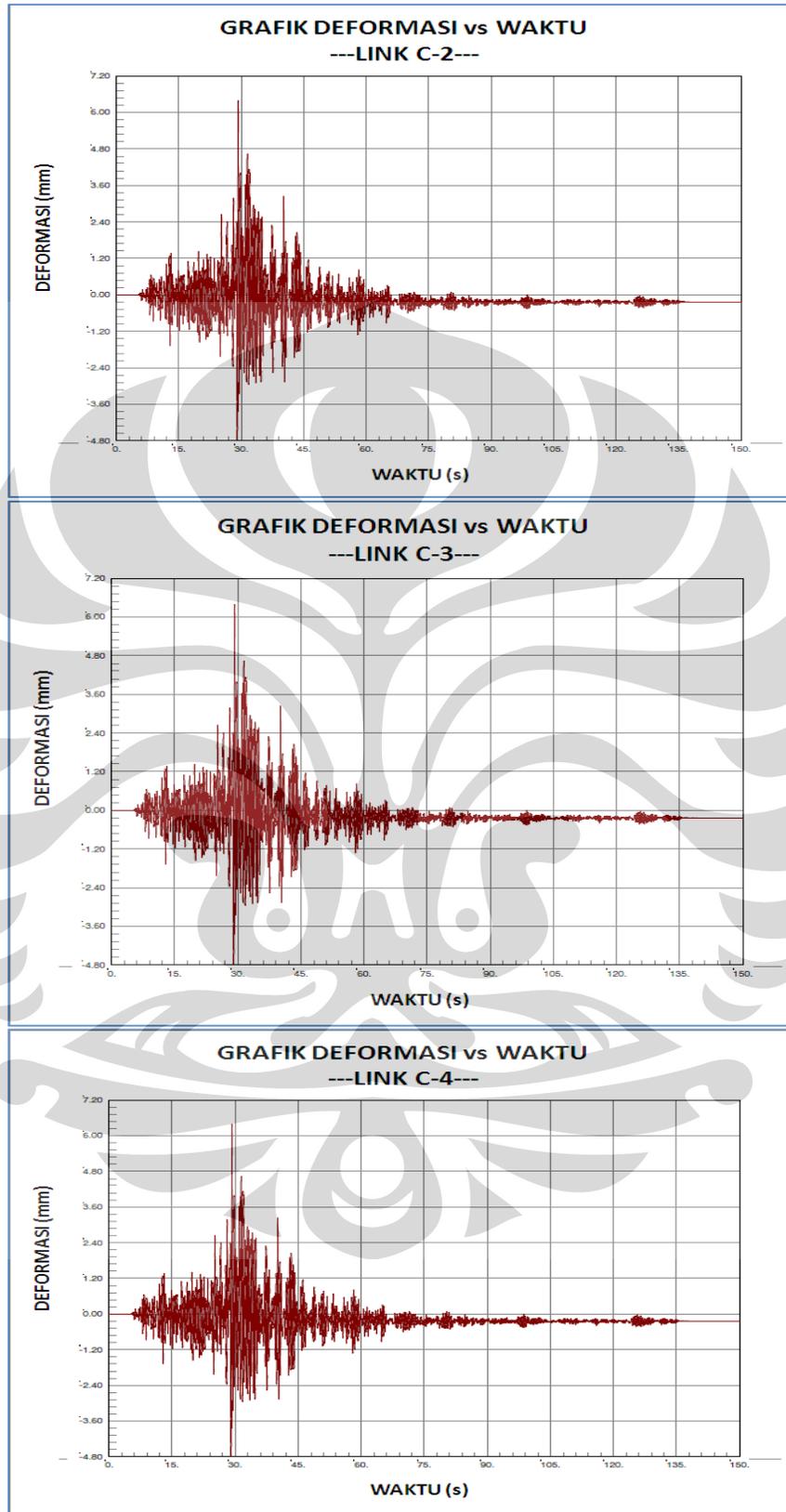
❖ AKIBAT GEMPA TASIKMALAYA ASLI

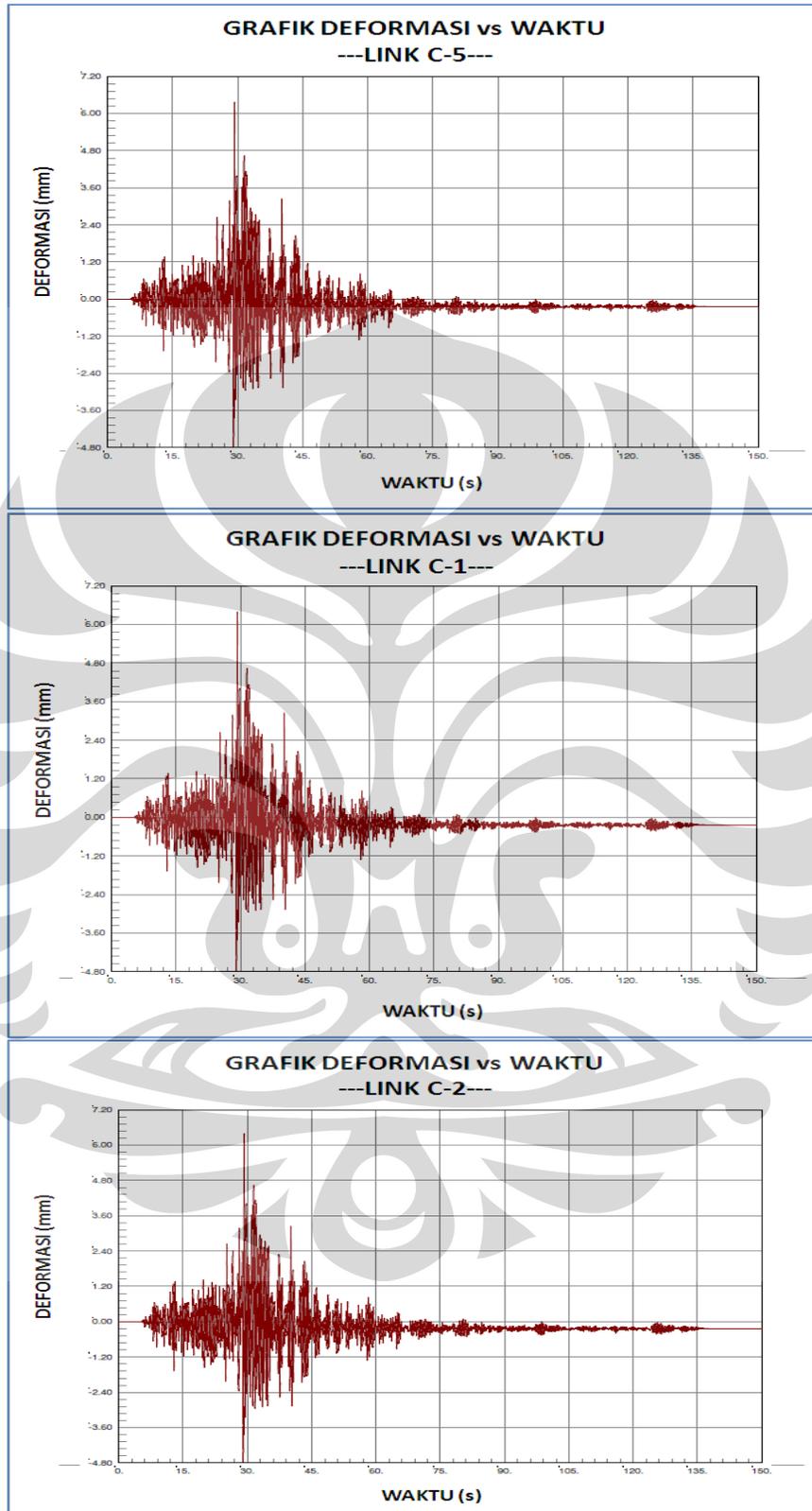


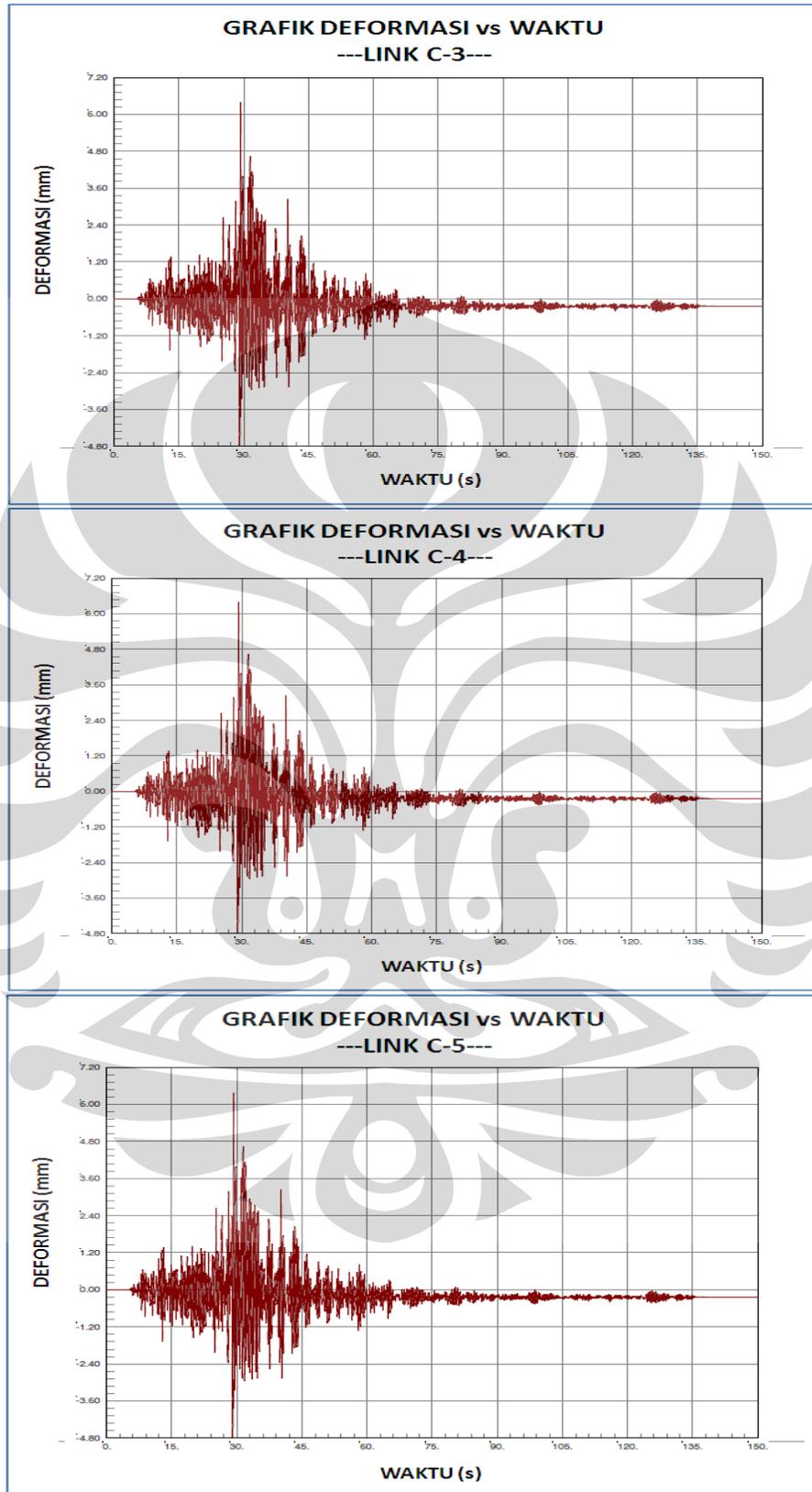


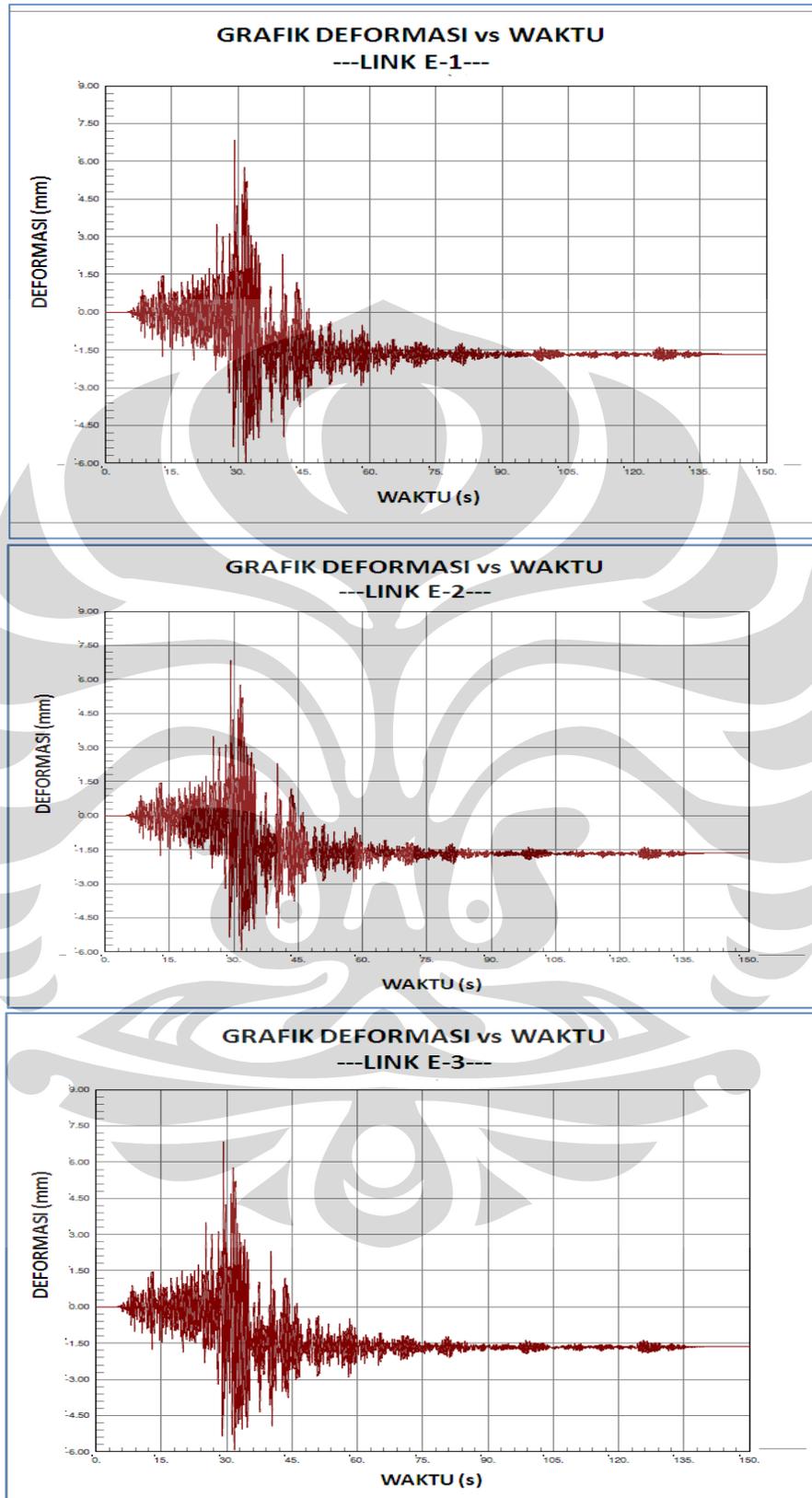


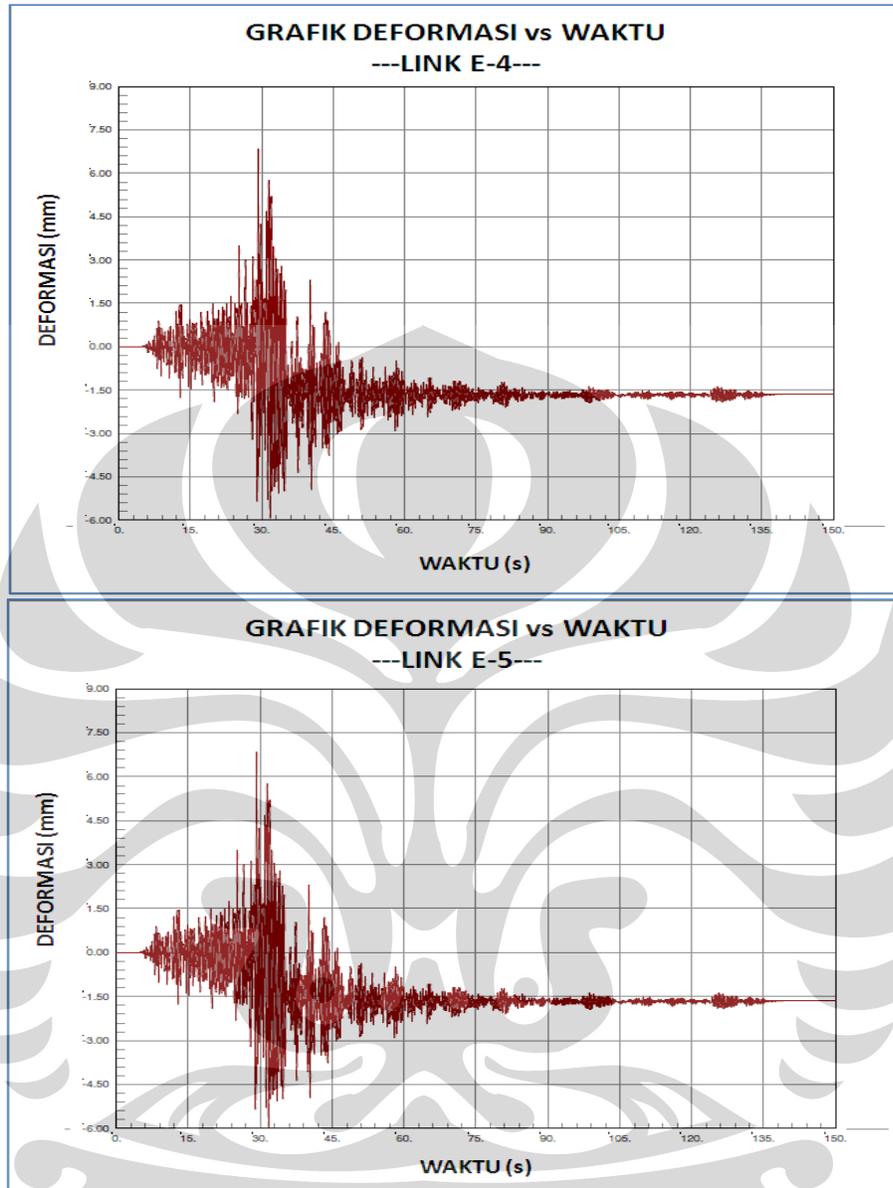


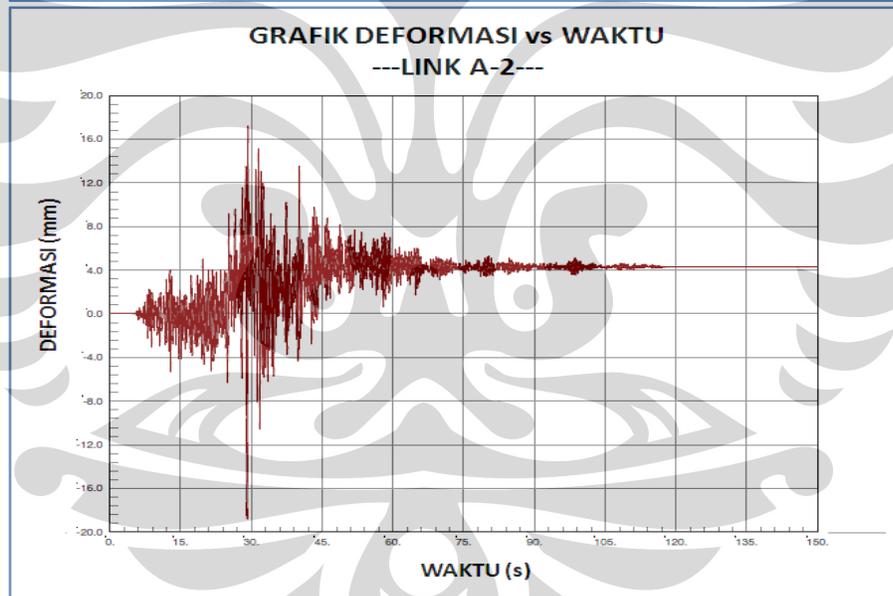
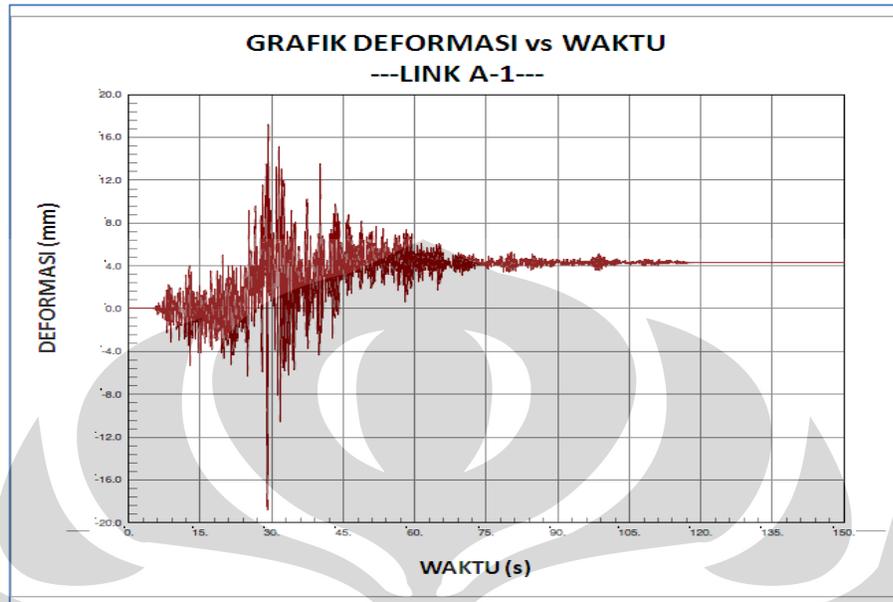


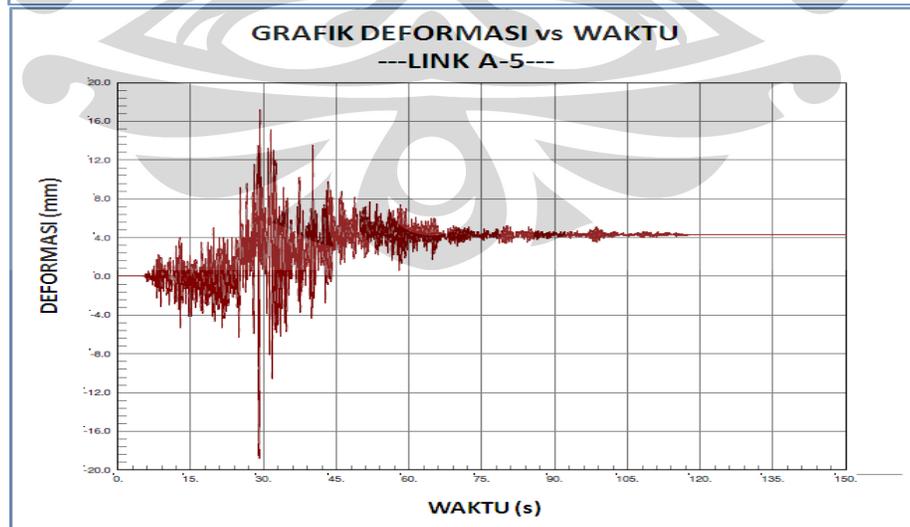
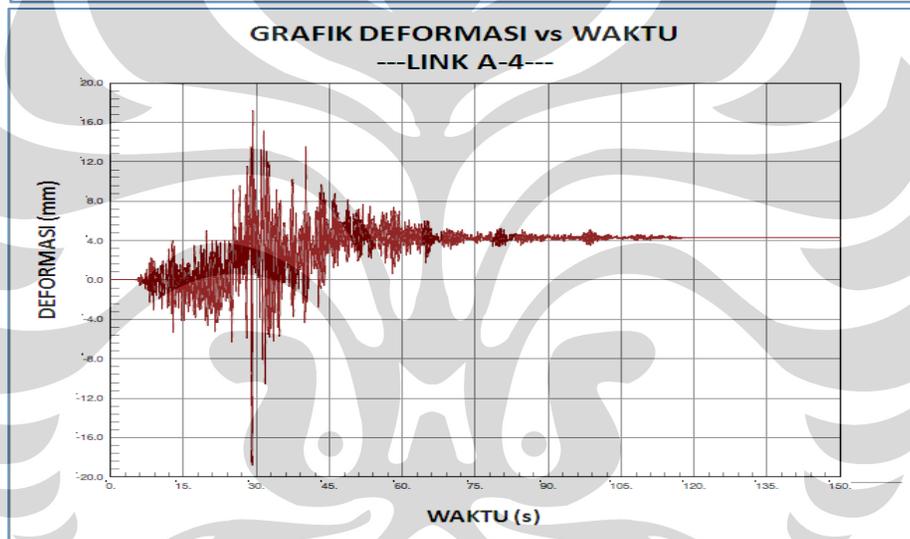
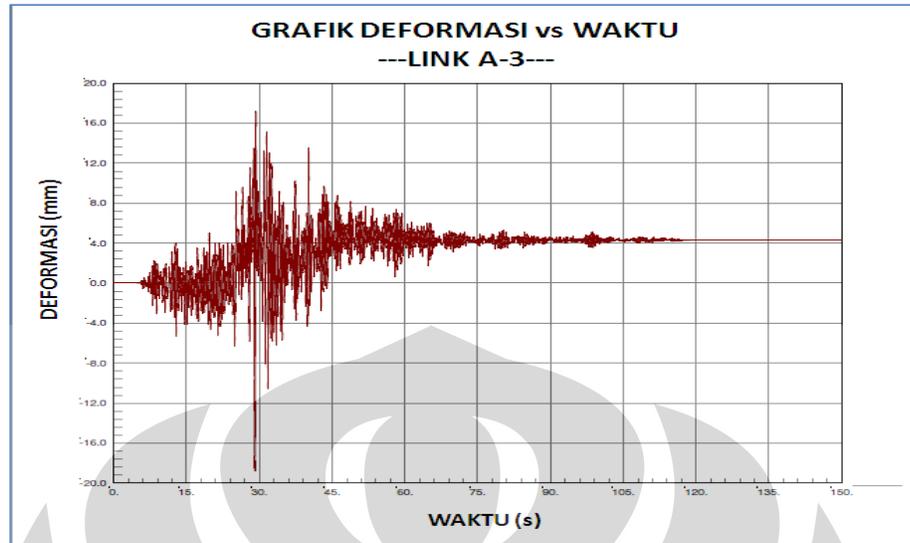


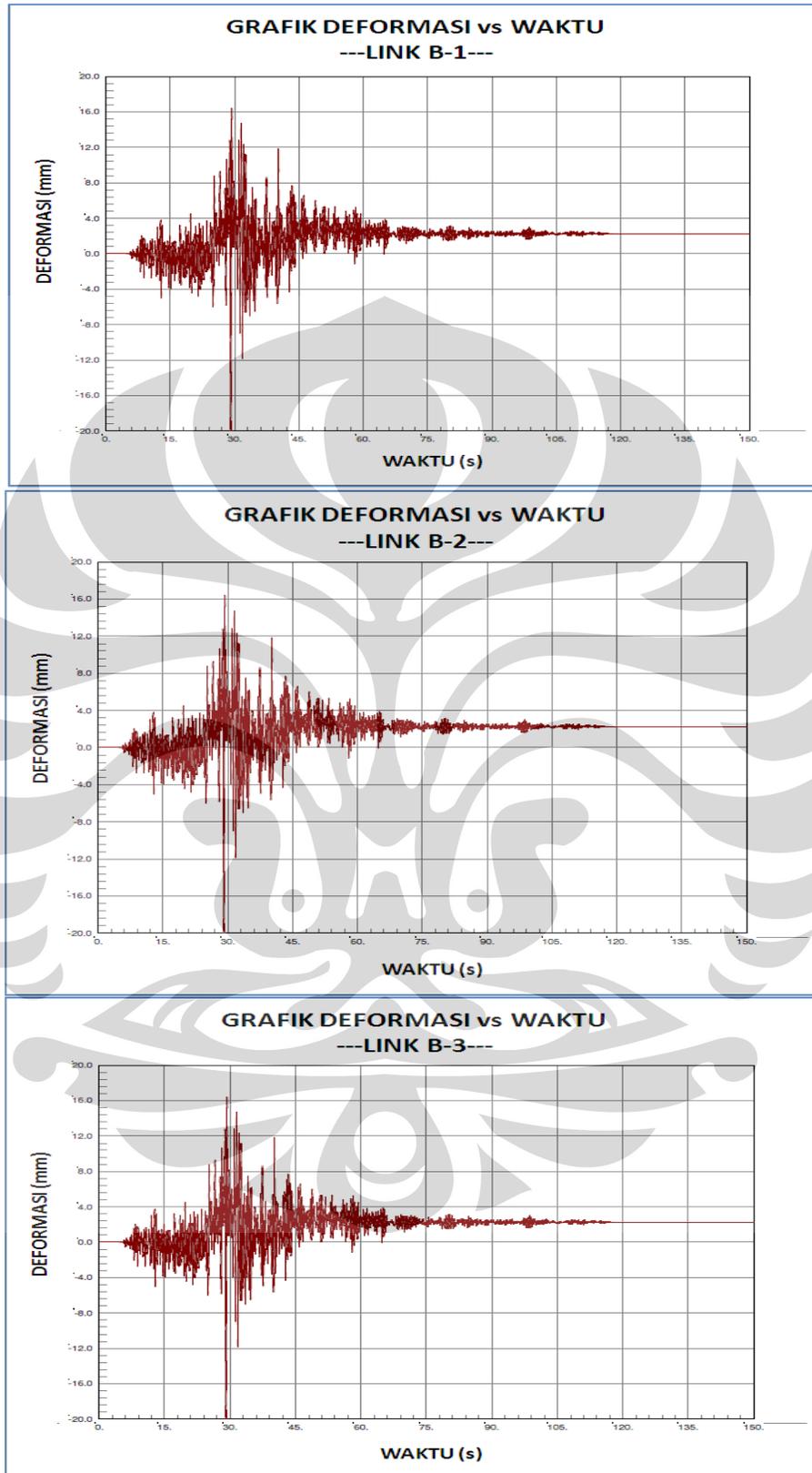


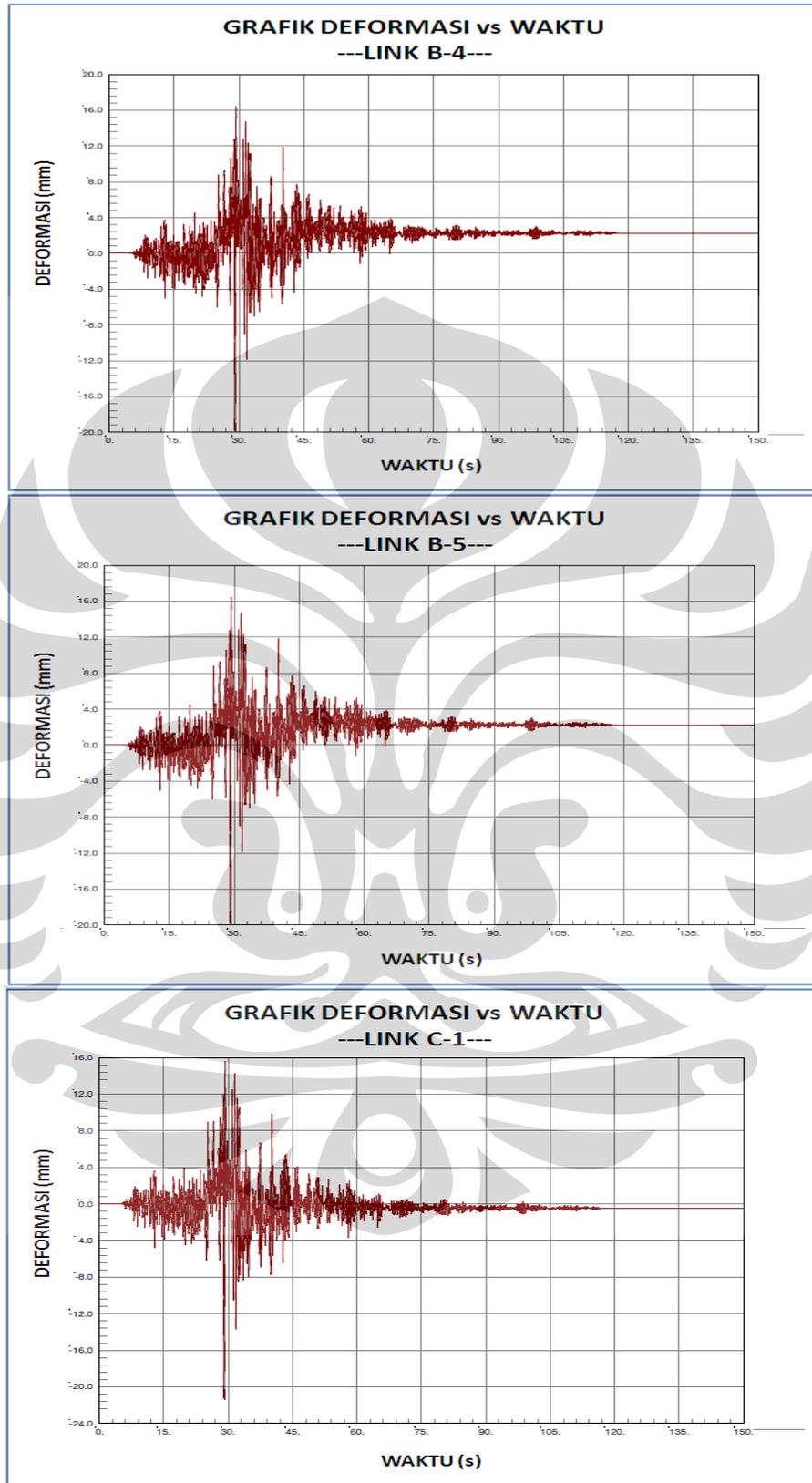


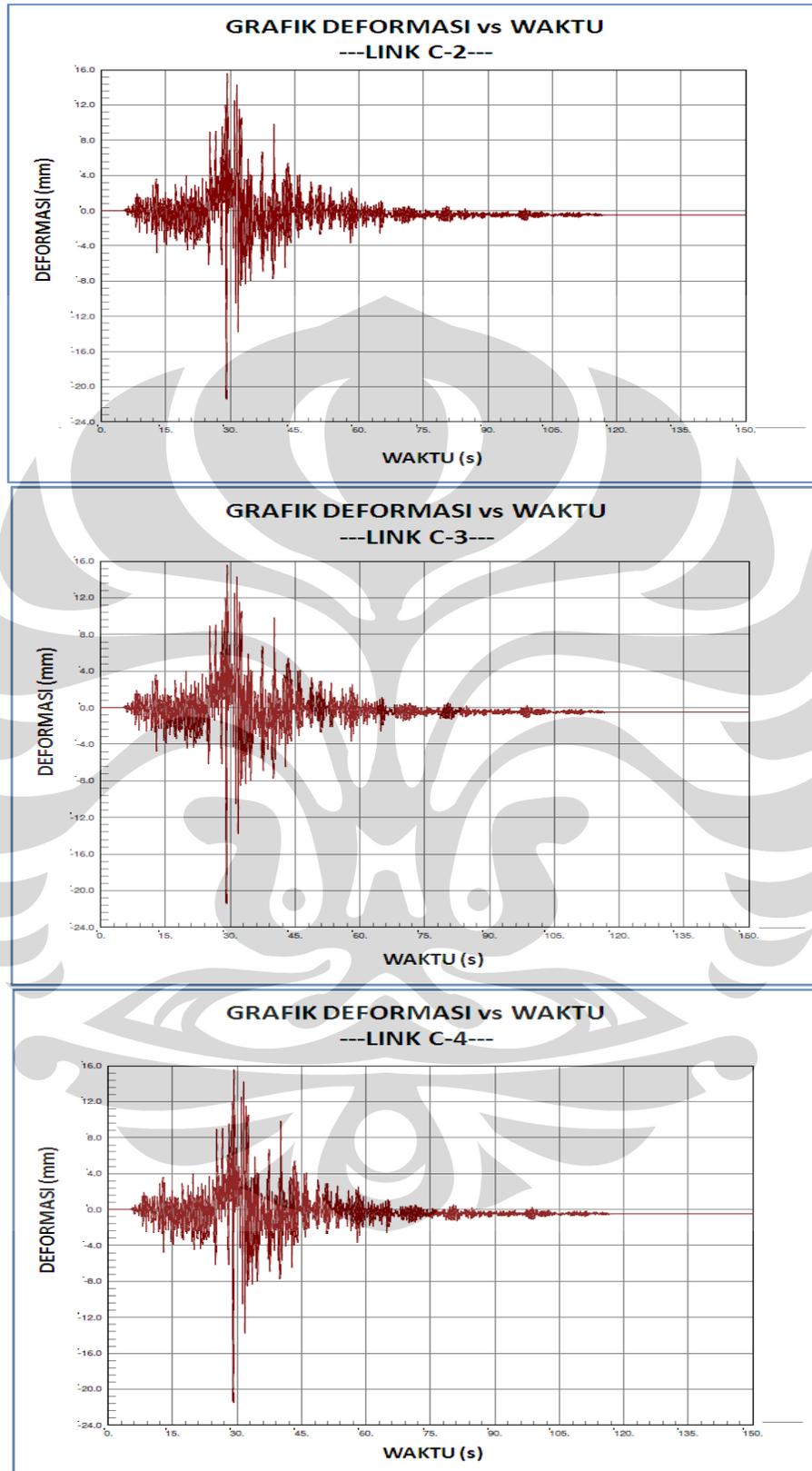


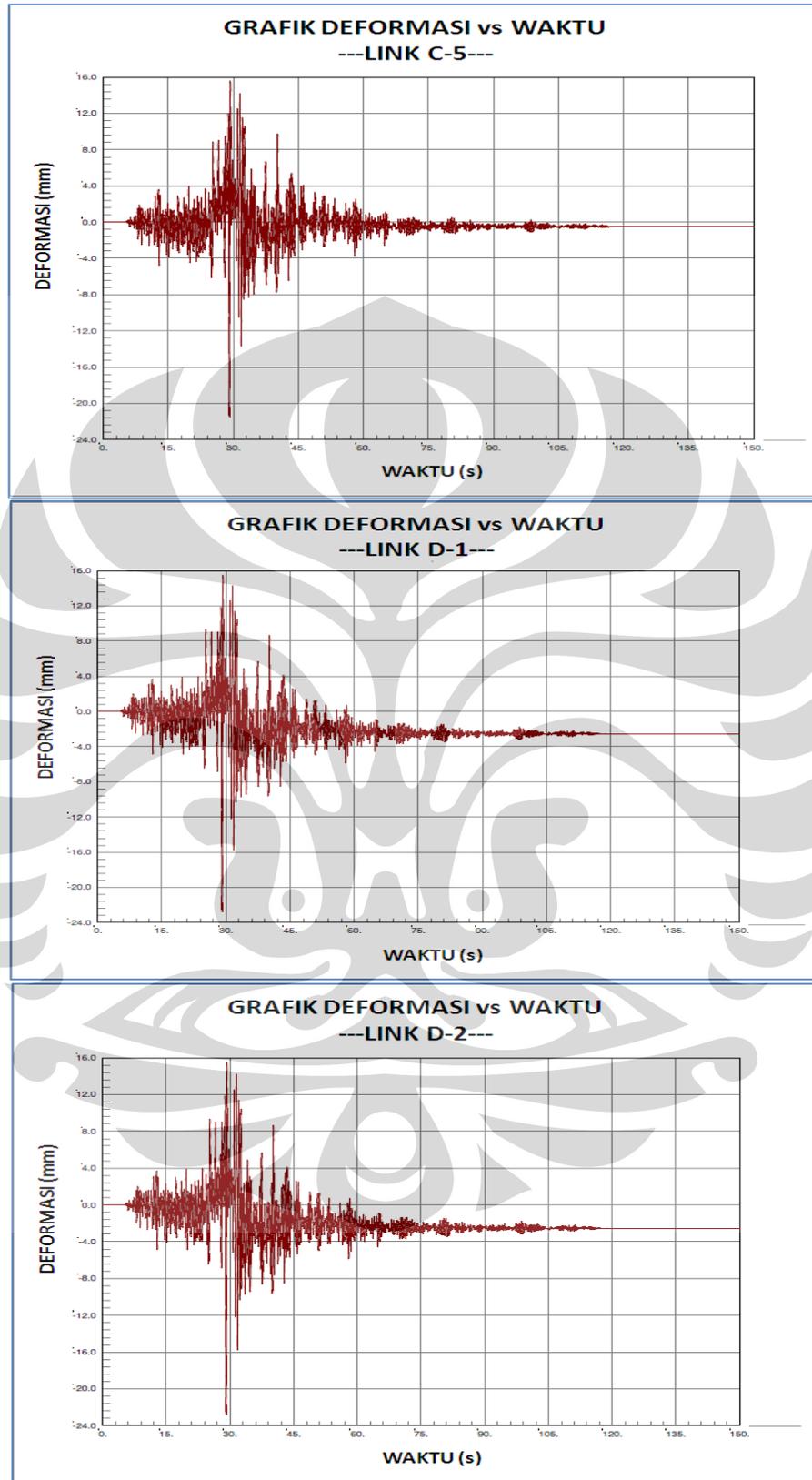
❖ **AKIBAT GEMPA TASIKMALAYA SCALE-UP**

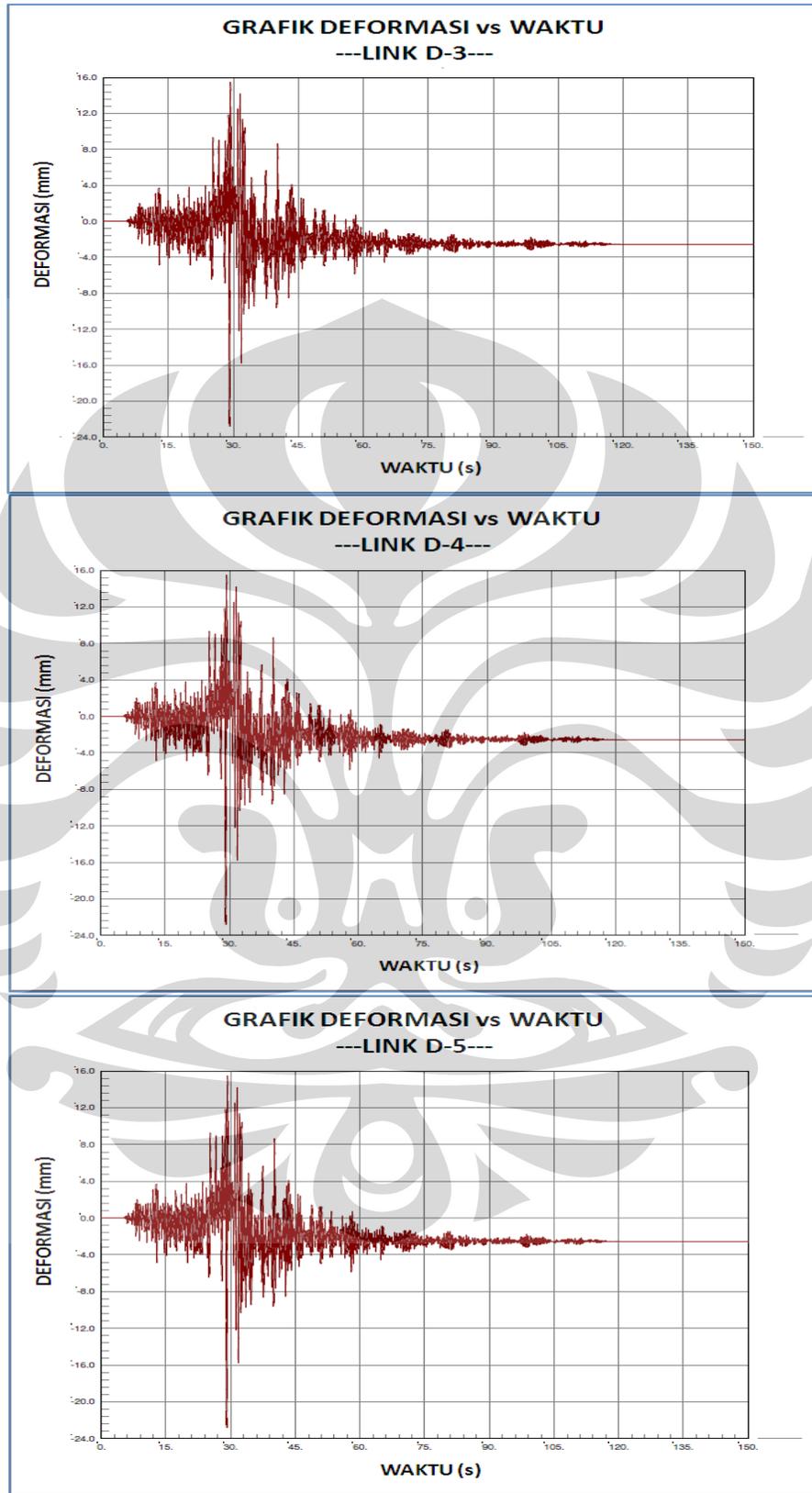


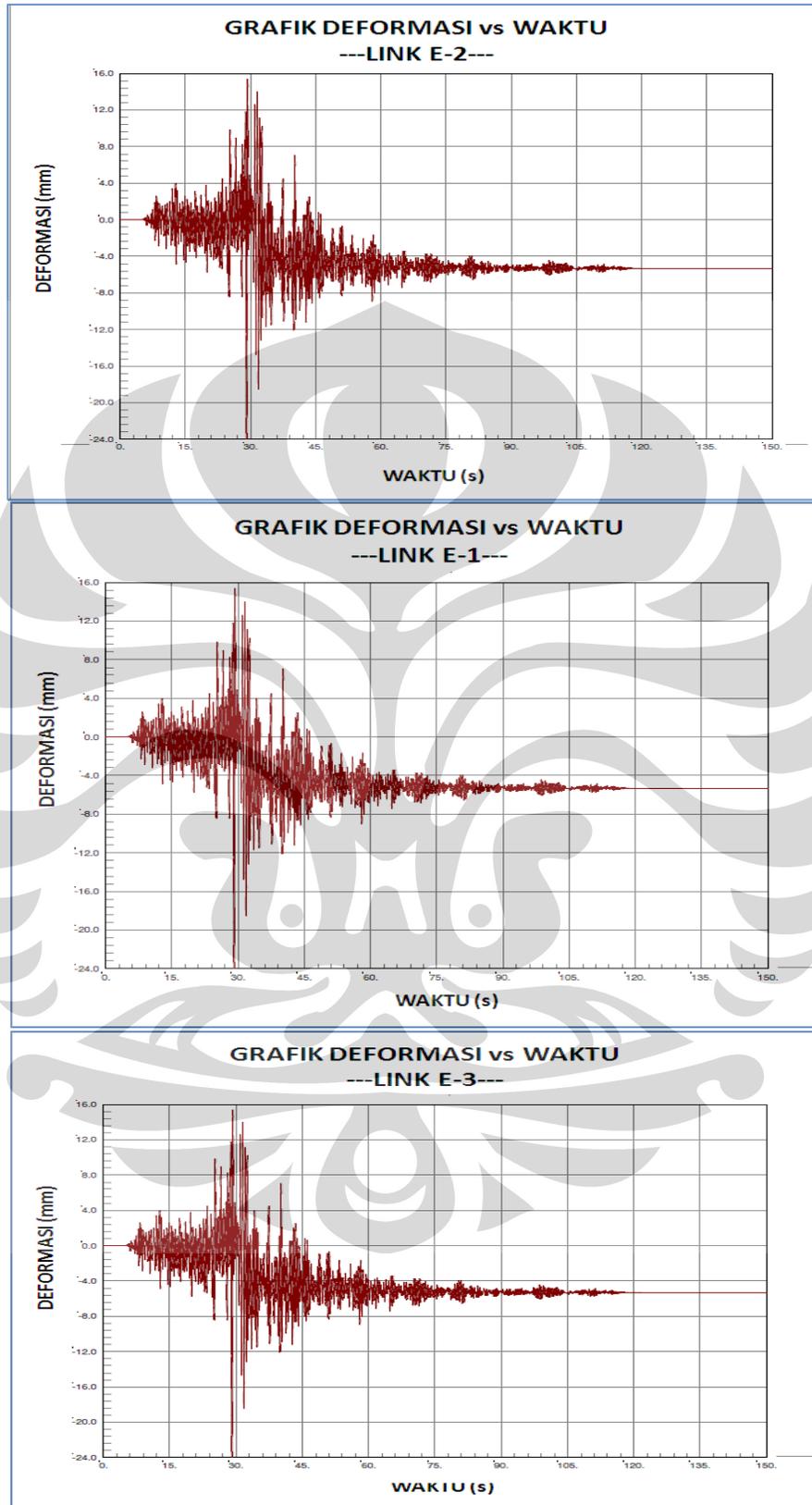


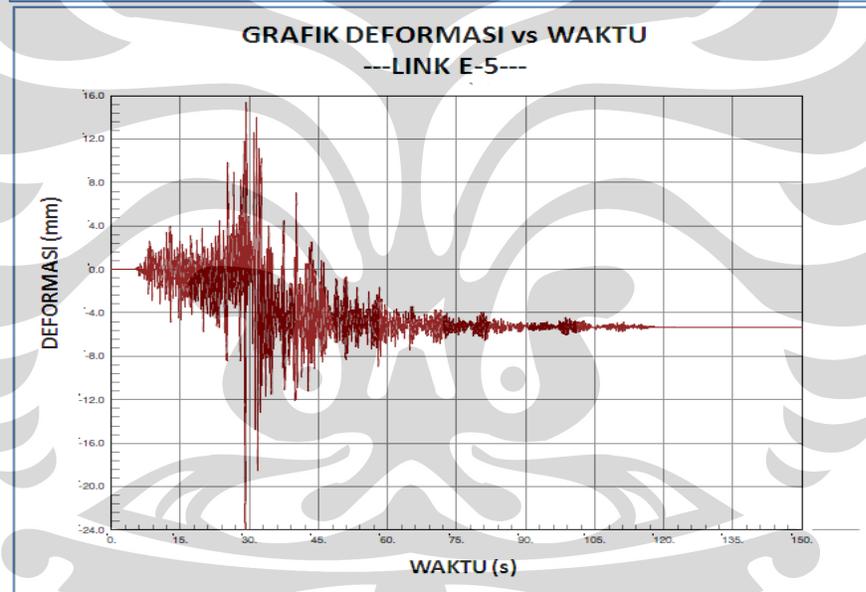
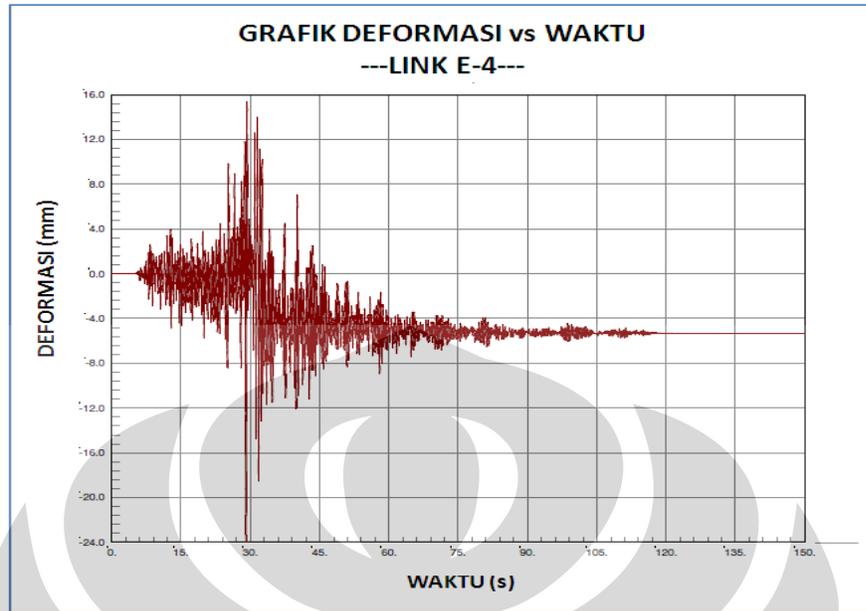












❖ **AKIBAT GEMPA EL CENTRO RESMAT**