

**TUGAS AKHIR**

PERPUSTAKAAN FTSP UIN
HAMBA/DELI
TGL. TERIMA : 23/10/2004
NO. SURAT : _____
IS. NY. : _____
NO. PISAN : _____

**EFEK VARIASI MASSA BANGUNAN TERHADAP RESPON  
SEISMIK LAPISAN TANAH NON LINIER ELASTIS DAN  
LINIER ELASTIS AKIBAT GEMPA**



**Disusun oleh :**

**FERDI FADLAN HAMDANI**

**99 511 044**

**GIGIH HIMBAWAN**

**99 511 246**

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

**2004**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**EFEK VARIASI MASSA BANGUNAN  
TERHADAP RESPON SEISMIK LAPISAN  
TANAH NON LINIER ELASTIS DAN LINIER  
ELASTIS AKIBAT GEMPA**

**Disusun Oleh :**

**FERDI FADLAN HAMDANI**


**99 511 044**

**GIGIH HIMBAWAN**

**99 511 246**

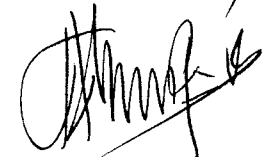
Telah diperiksa dan disetujui oleh :

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

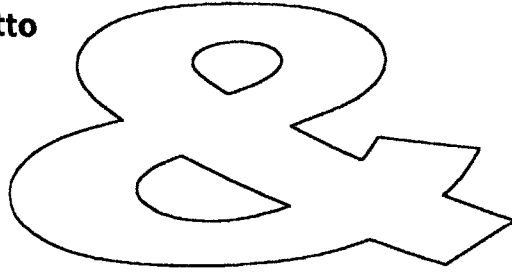
  
Tanggal :

23/8/04

**Ir. TRI FAJAR BUDIYONO, MT.**  
Dosen Pembimbing II

  
Tanggal : 23/8/04

**Motto**



**Landasan Ayat Suci Al Qur'an**



**Asy Syarh ayat 5**

Sesungguhnya di dalam kesulitan pasti ada kemudahan

**Hadist Rasulullah S.A.W.**

Barang siapa menempuh jalan untuk menuntut ilmu maka Allah akan memudahkan baginya jalan ke surga

**Al Anbiyaa' ayat 31**

Dan Kami jadikan di bumi gunung-gunung yang tegak berdiri agar tidak guncang bersama mereka, juga Kami jadikan di bumi jalan-jalan yang lebar agar mereka dapat petunjuk dalam perjalanan.

**An Nahl ayat 15**

Dia pula yang menancapkan gunung-gunung untuk keseimbangan bumi, juga sungai-sungai dan jalan agar kamu mendapat petunjuk.

**An Naba' ayat 6 dan 7**

Bukankah Kami telah menciptakan bumi sebagai hamparan. Dan gunung-gunung sebagai pancangan.

## FERdi Fh, Dedicates & Thanks

Allah S.W.T. dan Nabi besar Muhammad S.A.W. yang telah memberikan Rahmat dan Hidayah-Nya hingga terselesaikannya Penelitian yang Indah ini....

Kedua orangtuaku Drs. H. Andarus Darahim, MPA dan Hj. Nurlimpa Andarus juga keluarga tersayang abang agung, kakak endah, nodo kasmu dan wak tino, & 'black' ~~BOGLOZ~~

Skripsi ini untuk Kalian....  
dukungan dan kesabaran adalah kebahagiaan tak ternilai....

Bapak Prof Widodo yang terhormat terima kasih sebesar-besarnya sudah membimbing kami, ilmu yang Bapak ajarkan adalah bekal bagi kami dimasa depan..

Bapak Tri Fajar dan Bapak Harsoyo yang terhormat terima kasih atas nasihat dan kritiknya semoga bisa bermanfaat bagi kami,...  
tapi pak jangan terlalu serius ngomongnya..... jadi grogi nih...

Bapak Munadhir, Bapak Lalu Makrup dan Bapak-bapak dosen Teknik Sipil yang lain terima kasih sudah mendukung penelitian kami, semoga makin pintar dan bisa lebih baik untuk membangun FTSP-UII....

Hidup.. UII....  
Hidup Teknik Sipilnya..

Yang tidak mungkin aku lupa untuk mba Ifi dan staf pengurus TPSDP FTSP-UII, walaupun permohonan rancangan biayanya banyak disunat-sunat tapi Alhamdulillah kami telah terpilih..

Temen seperjuangan dan pemenang TPSDP *student grant* periode Mei-Oktober '04 duitnya jangan diabisin dulu...

Kekasihku Dewi Yuni,.. kamu datang dengan bunga dan berkah...  
ayo yang semangat kuliahnya n cepetan lulus...aku tunggu...

Partner gue Gigih Hibawan..  
oke deh programnya emang top abiezzz....  
makasih banget atas ke-gigih-an mu.....  
Jangan lupain gue.....

Pelatih dan Pengajar Program Borland Delphi Mas Uus, Mas Ardi dan adiknya, dan Mas Ari... "*the man behind stage*".....

Yang **ka**gak mungkin dilupain yaa.. temen-temen sesama kuliah Danang "Rais",  
Trie darma "4,5juta" & *the alt*, Ardi Nugross, Didik XXX, Yumamira, Valentikno Rutin,  
Bambang "SBY", Kesit "Raseed", Armanto "yoyo", Gunawan "Ndul", Sigit "Ndut", sar-  
Wawan, Windhojonk *the dojihatori's*, Heri "Halim", Edi Jul, Leonard, Dewi, Nur,  
Vicke, Bert, Galib, Saleh, Andi, Erik, temen kos Brontoseno<sub>3</sub>, anak<sup>2</sup> IMTY, dan temen<sup>2</sup>  
yang lain yang gak bisa disebut..  
Teruslah berusaha....jangan menyerah....& jangan lupain gue...

Temen-temen alumni Sipil 99,98,97,96..dst , pada kemana ya....



Wassalamu'alaikum.wr.wb.

## Gigih Hibawan's Dedicates & Thanks

*Assalamualaikum Wr. Wb.*

Alhamdulillahirobbil Alamin, segala puji bagi Allah. Sujud syukurku kepada-Nya Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat, hidayah dan kekuatan kepada saya sehingga pada akhirnya saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Sholawat dan salam semoga tercurahkan untuk junjungan besar kita nabi Muhammad saw.

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya yang tercinta papa Drs. Nasirwan dan mama Sudiyati, Spd. Karena dengan cinta dan pengorban mereka sampai hari ini saya bisa berbahagia dan menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik untuk meraih gelar sarjana teknik yang dicita citakan oleh beliau berdua. Juga kepada saudara-saudaraku, ayuk Erla Arisandi, Spd, Mpd. Kakaku Edwin Sudiono, ST. dan adikku Yuana Manise, yang masih berjuang melesaikan kuliahnya. Atas semua dukungan dan motivasi kalian semua. Tanpa dukungan kalian sekeluarga saya tidak mungkin dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Terima kasih saya yang sebesar-bearnya kepada Prof. Ir. Widodo, MSCE. PhD. Selaku dekan FTSP Universitas Islam Indonesia sekaligus sebagai dosen pembimbing utama dalam tugas akhir saya, atas bimbingan, pengajaran dan didikannya, tanpa bimbingan bapak mungkin saya dan rekan saya tidak akan dapat menyelesaikan tugas akhir dengan materi penelitian sebaik tugas akhir ini. Semoga bapak akan selalu menjadi pendidik yang terbaik dan menjadi dosen favorit bagi mahasiswa yang selangkah ingin maju.

Terima kasih juga kepada bapak Ir. Tri Fajar Budiyo, MT. Selaku dosen pembimbing kedua atas pengarahan dan koreksinya terutama pada persoalan flowchart pemrograman computer yang menjadi jantung dari penelitian tugas akhir ini. Terimakasih juga kepada bapak Dr. Ir. Harsoyo, Msc. Atas semua masukan dan koreksinya pada penelitian ini dan seluruh dosen serta karyawan diseluruh lingkungan Fakultas teknik sipil Universitas Islam Indonesia atas jasa-jasanya, tidak lupa juga terimakasih saya kepada lembaga **TPSDP** (*Technological And Professional Skills Development Sector Project*) atas kepercayaannya kepada kami sebagai pemenang *studentgrand* dan bantuan serta penghargaananya berupa materil dalam penyelesaian penelitian ini.

Untuk teman-temanku, Ardi Nugros, Tri Dharmawan, Yuma, Danang, Didik, Hendrik, Widadi, Sigit, Wan Abduh, dan Ferdi Fadlan Hamdani ST, yang telah menjadi rekanku dalam menyelesaikan tugas akhir ini, terima kasih telah menjadi rekan yang baik, dan temanku yang lainnya yang tergabung dalam "*The Black Jacket*" yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, terimakasih atas suasana dan pertemanannya selama saya berada dan menempuh pendidikan dikota jogja yang indah, kalian semua adalah teman terbaikku. *Thanks For All.*



Gigih Hibawan  
Agustus, 2004

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

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

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

Selama menyelesaikan tugas akhir ini penyusun banyak mendapatkan masukan yang berharga, sehingga penyusun mempunyai kesempatan untuk menambah pengetahuan yang tidak didapat pada waktu masa kuliah. Penyusun menyadari laporan ini sangat terbatas dan jauh dari sempurna, untuk itu penyusun tidak menutup kritik dan saran yang sifatnya membangun dari pembaca.

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

1. **Bapak Prof. Ir. H. Widodo, MSCE. Ph.D**, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, sekaligus Dosen Pembimbing I tugas akhir,
2. **Bapak Ir. H. Munadhir, MT**, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
3. **Bapak Ir. Tri Fajar Budiyo, MT**, selaku Dosen Pembimbing II tugas akhir,
4. **Bapak DR. Ir. H. Harsoyo, MSc**, selaku Dosen Tamu Penguji tugas akhir,
5. Seluruh staf pengajar di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
6. Seluruh pengurus **TPSDP** Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, terima kasih banyak atas penghargaannya yang tidak bisa kami lupakan,
7. Seluruh karyawan dan rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
8. Orang tua dan keluarga kami tercinta dengan dukungan dan kasih sayangnya,
9. Teman-teman seperjuangan "**Civil DEPT**" *the black jacket* UII angkatan '99 yang masih berjuang di skripsi dan kuliah,
10. Untuk sesama pejuang program dinamik bimbingan Pak Dekan dan seluruh pemenang proposal *student grant TPSDP* 2004,

11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu dalam penyusunan laporan ini.

Semoga laporan penelitian tugas akhir ini bermanfaat, khususnya bagi penyusun dan semua pihak yang membutuhkan pada umumnya, mudah-mudahan Allah SWT membalas semua amal dan kebaikan kita semua. *Amien..*

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, Juli 2004

*Penyusun*

**Ferdi Fadlan Hamdani**

**Gigih Himbawan**



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b>	
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	xxi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xxxv
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xxxvi
<b>ABSTRAKSI</b> .....	
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan Penelitian .....	5
1.4. Batasan Penelitian .....	5
1.5. Manfaat Penelitian .....	6

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

2.1. Tinjauan Penelitian Terdahulu .....	8
2.2. Keaslian Penelitian .....	14

## **BAB III LANDASAN TEORI**

3.1. Beban Gempa Bumi .....	16
3.1.1. Rambatan gelombang gempa dan percepatan tanah .....	18
3.1.2. Kondisi geologi dan tanah setempat .....	19
3.3.3. Faktor amplifikasi gempa pada tanah endapan .....	22
3.2. Karakteristik Statik dan Dinamik .....	25
3.2.1. Karakteristik statik .....	25
3.2.2. Karakteristik dinamik .....	27
3.3. Pengaruh Massa Bangunan Terhadap Lapisan Tanah .....	35
3.4. Fungsi Regangan Geser Tanah .....	37
3.5. Analisis Dinamika Struktur .....	38
3.5.1. Persamaan differensial struktur SDOF .....	39
3.5.2. Persamaan differensia struktur MDOF .....	40
3.6. Analisis Respon Seismik Lapisan Tanah Non Linier Elastis .....	52
3.6.1. Regangan geser non linier elastis .....	53
3.6.2. Modulus geser dan kekakuan non linier elastis .....	54

## **BAB IV METODE PENELITIAN**

4.1. Lokasi Penelitian .....	57
------------------------------	----

4.2. Data yang Diperlukan .....	57
4.2.1. Data tanah dan data massa bangunan .....	57
4.2.2. Data gempa .....	58
4.3. Cara Memperoleh Data .....	58
4.4. Pengolahan dan Analisis Data .....	63
4.4.1. Analisis non linier elastis .....	63
4.4.2. Analisis linier elastis .....	66

## **BAB V ANALISIS VALIDITAS PROGRAM**

5.1. Validitas Program .....	68
5.1.1. Iterasi (putaran) pertama .....	69
5.1.2. Iterasi (putaran) kedua dan seterusnya .....	77
5.2. Perbandingan Hasil Validitas Program dengan Manual .....	78

## **BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN**

6.1. Rekaman Percepatan Gempa .....	80
6.2. Hasil Analisis Respon Seismik Untuk Data Tanah Tawang Sari I ...	82
6.2.1. Tegangan dan Regangan Untuk Data Tanah Tawang Sari I .....	83
6.2.2. Frekuensi Untuk Data Tanah Tawang Sari I .....	85
6.2.3. Hasil Simpangan Untuk Data Tanah Tawang Sari I .....	86
6.2.4. Hasil Kecepatan Untuk Data Tanah Tawang Sari I .....	86
6.2.5. Hasil Percepatan Untuk Data Tanah Tawang Sari I .....	87
6.3. Hasil Analisis Respon Seismik Untuk Data Tanah Tawang Sari II ...	194

6.3.1. Tegangan dan Regangan Untuk Data Tanah Tawang Sari II .....	194
6.3.2. Frekuensi Untuk Data Tanah Tawang Sari II .....	196
6.3.3. Hasil Simpangan Untuk Data Tanah Tawang Sari II .....	197
6.3.4. Hasil Kecepatan Untuk Data Tanah Tawang Sari II .....	198
6.3.5. Hasil Percepatan Untuk Data Tanah Tawang Sari II .....	199

## **BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN**

7.1. Kesimpulan .....	306
7.2. Saran .....	309

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	310
-----------------------------	-----

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1.	Hubungan Antara Lokasi Gempa Dan Geometri Plat Tektonik	16
Gambar 3.2.	Terjadinya Gempa Bumi Menurut Teori <i>Elastic Rebound Theory</i>	17
Gambar 3.3.	Rambatan Gelombang Gempa	18
Gambar 3.4.	Potongan Memanjang Tanah	20
Gambar 3.5.	Pengaruh Indeks Plastisitas Terhadap Spektrum Percepatan..	23
Gambar 3.6.	Pengaruh Kedalaman Lapisan Tanah Terhadap Spektrum Percepatan	24
Gambar 3.7.	Hubungan Antara Tegangan Geser Dan Regangan Geser Tanah	28
Gambar 3.8.	Nilai $G/G_{max}$ untuk Nilai Regangan Geser Tertentu pada Semua Jenis Tanah	32
Gambar 3.9.	Nilai $N_{Equivalent}$	34
Gambar 3.10.	Pendekatan Nilai $N$	34
Gambar 3.11.	Penyebaran Beban 2V : 1H	36
Gambar 3.12.	Perubahan Propertis Tanah dengan Regangan Geser, Prinsip <i>corresponding modelling</i> dan Metode Respon Analisis	38
Gambar 3.13.	Model Matematik Untuk Sistim Berderajat Kebebasan Tunggal	39
Gambar 3.14.	Massa Tergumpal Pada Lapisan Horizontal	41

Gambar 3.15. Sistem Struktur Tanah MDOF Empat Lapis .....	43
Gambar 3.16. Derivatif Pertama dengan Metode <i>Central Difference</i> .....	50
Gambar 3.17. Lapisan dan Regangan Geser Tanah Non Linier Elastis .....	53
Gambar 4.1. Profil Tanah Tawang Sari I Sukoharjo .....	59
Gambar 4.2. Profil Tanah Tawang Sari II Sukoharjo .....	60
Gambar 4.3. Profil Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Dengan Massa Bangunan .....	61
Gambar 4.4. Profil Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Dengan Massa Bangunan .....	62
Gambar 4.5. <i>Flow Chart</i> Analisis Data Tanah Non Linier Elastis .....	65
Gambar 4.6. <i>Flow Chart</i> Analisis Data Tanah Linier Elastis .....	67
Gambar 5.1. Data Tanah Lempung Tiga Lapis .....	68
Gambar 5.2. Perbandingan Simpangan antara Hasil Program dengan Manual .....	79
Gambar 6.1. Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada Tanah Tawang Sari I Akibat Gempa Elcentro .....	120
Gambar 6.2. Amplifikasi Kecepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada Tanah Tawang Sari I Akibat Gempa Elcentro .....	121
Gambar 6.3. Amplifikasi Simpangan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada	

	Tanah Tawangsari I Akibat Gempa Elcentro .....	122
Gambar 6.4.	Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Gempa Elcentro .....	123
Gambar 6.5.	Amplifikasi Kecepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Gempa Elcentro .....	124
Gambar 6.6.	Amplifikasi Simpangan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Gempa Elcentro .....	125
Gambar 6.7.	Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Gempa Elcentro .....	126
Gambar 6.8.	Amplifikasi Kecepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Gempa Elcentro .....	127
Gambar 6.9.	Amplifikasi Simpangan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Gempa Elcentro .....	128
Gambar 6.10.	Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Gempa Koyna .....	147
Gambar 6.11.	Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka	

	Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Gempa Koyna .....	148
Gambar 6.12.	Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Gempa Koyna .....	149
Gambar 6.13.	Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Gempa Kobe .....	168
Gambar 6.14.	Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Gempa Kobe .....	169
Gambar 6.15.	Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Gempa Kobe .....	170
Gambar 6.16.	Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Gempa Bucharest .....	189
Gambar 6.17.	Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Gempa Bucharest .....	190
Gambar 6.18.	Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Gempa Bucharest .....	191



Gambar 6.19. Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Gempa Elcentro .....	232
Gambar 6.20. Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Gempa Elcentro .....	233
Gambar 6.21. Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Gempa Elcentro .....	234
Gambar 6.22. Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Gempa Elcentro .....	235
Gambar 6.23. Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Gempa Elcentro .....	236
Gambar 6.24. Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Gempa Elcentro .....	237
Gambar 6.25. Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Gempa Elcentro .....	238
Gambar 6.26. Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada	

	Tanah Tawangsari II Akibat Gempa Elcentro .....	239
Gambar 6.27.	Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Gempa Elcentro .....	240
Gambar 6.28.	Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Gempa Koyna .....	259
Gambar 6.29.	Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Gempa Koyna .....	260
Gambar 6.30.	Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Gempa Koyna .....	261
Gambar 6.31.	Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Gempa Kobe .....	280
Gambar 6.32.	Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Gempa Kobe .....	281
Gambar 6.33.	Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Gempa Kobe .....	282
Gambar 6.34.	Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka	

	Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada Tanah Tawang Sari II Akibat Gempa Bucharest .....	301
Gambar 6.35.	Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawang Sari II Akibat Gempa Bucharest .....	302
Gambar 6.36.	Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada Tanah Tawang Sari II Akibat Gempa Bucharest .....	303

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Nilai $PI$ dan nilai $k$ .....	29
Tabel 3.2.	Nilai $PI$ , $k$ , $\gamma_h$ , dan $\alpha$ .....	32
Tabel 3.3	Nilai Damping Rasio Maksimum ( $C_{max}$ ) untuk Beberapa Jenis Tanah .....	33
Tabel 5.1	Nilai Ordinat Tiap Pola/Ragam Mode .....	73
Tabel 5.2.	Selisih Respon Nonlinier Elastis antara Manual dengan Program	79
Tabel 6.1.	Perbandingan Percepatan Maksimum Antara Tanah Linier Elastis Dan Non Linier Elastis Pada Massa Maupun Tanpa Massa Tawangsari I Lapis Teratas .....	89
Tabel 6.2.	Perbandingan Kecepatan Maksimum Antara Tanah Linier Elastis Dan Non Linier Elastis Pada Massa Maupun Tanpa Massa Tawangsari I Lapis Teratas .....	89
Tabel 6.3.	Perbandingan Simpangan Maksimum Antara Tanah Linier Elastis Dan Non Linier Elastis Pada Massa Maupun Tanpa Massa Tawangsari I Lapis Teratas .....	90
Tabel 6.4.	Perbandingan Frekuensi Maksimum Antara Tanah Linier Elastis Dan Non Linier Elastis Pada Massa Maupun Tanpa Massa Tawangsari I Lapis Teratas .....	90
Tabel 6.5.	Perbandingan Percepatan Maksimum Antara Massa dan Tanpa	

	Massa Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tanah	
	Tawang Sari I Lapis Teratas .....	91
Tabel 6.6.	Perbandingan Kecepatan Maksimum Antara Massa dan Tanpa Massa Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tanah	
	Tawang Sari I Lapis Teratas .....	91
Tabel 6.7.	Perbandingan Simpangan Maksimum Antara Massa dan Tanpa Massa Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tanah	
	Tawang Sari I Lapis Teratas .....	92
Tabel 6.8.	Perbandingan Frekuensi Maksimum Antara Massa dan Tanpa Massa Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tanah	
	Tawang Sari I Lapis Teratas .....	92
Tabel 6.9.	Perbandingan Percepatan Maksimum Antara Tanah Dengan Massa Yang Divariasikan Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tawang Sari I Lapis Teratas .....	93
Tabel 6.10.	Perbandingan Kecepatan Maksimum Antara Tanah Dengan Massa Yang Divariasikan Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tawang Sari I Lapis Teratas .....	93
Tabel 6.11.	Perbandingan Simpangan Maksimum Antara Tanah Dengan Massa Yang Divariasikan Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tawang Sari I Lapis Teratas .....	94
Tabel 6.12.	Perbandingan Frekuensi Maksimum Antara Tanah Dengan Massa Yang Divariasikan Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tawang Sari I Lapis Teratas .....	94

Tabel 6.13. Perbandingan Regangan Maksimum Antara Massa dan Tanpa Massa Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tanah Tawangsari I Lapis Teratas .....	95
Tabel 6.14. Perbandingan Tegangan Maksimum Antara Massa dan Tanpa Massa Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tanah Tawangsari I Lapis Teratas .....	95
Tabel 6.15. Perbandingan Regangan Maksimum Antara Massa dan Tanpa Massa Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tanah Tawangsari I Lapis Teratas .....	96
Tabel 6.16. Perbandingan Tegangan Maksimum Antara Massa dan Tanpa Massa Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tanah Tawangsari I Lapis Teratas .....	96
Tabel 6.17. Perbandingan Regangan Maksimum Antara Tanah Dengan Massa Yang Divariasikan Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tawangsari I Lapis Teratas .....	97
Tabel 6.18. Perbandingan Tegangan Maksimum Antara Tanah Dengan Massa Yang Divariasikan Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tawangsari I Lapis Teratas .....	97
Tabel 6.19. Besarnya Amplifikasi Tanah Tawangsari I Kodisi Linier dan Non Linier Elastis Tanpa Massa dan Dengan Massa .....	98
Tabel 6.20. Besarnya Amplifikasi Tanah Tawangsari I Kodisi Linier dan Non Linier Elastis Tanpa Massa dan Dengan Variasi Massa ..	99
Tabel 6.21. Respon Seismik Gempa ElCentro Tanah Tawangsari I .....	100

Tabel 6.22.	Respon Seismik Gempa Koyna Tanah Tawang Sari I .....	100
Tabel 6.23.	Respon Seismik Gempa Kobe Tanah Tawang Sari I .....	101
Tabel 6.24.	Respon Seismik Gempa Bucharest Tanah Tawang Sari I .....	101
Tabel 6.25.	Perbandingan Percepatan Maksimum Antara Tanah Linier Elastis Dan Non Linier Elastis Pada Massa Maupun Tanpa Massa Tawang Sari II Lapis Teratas .....	201
Tabel 6.26.	Perbandingan Kecepatan Maksimum Antara Tanah Linier Elastis Dan Non Linier Elastis Pada Massa Maupun Tanpa Massa Tawang Sari II Lapis Teratas .....	201
Tabel 6.27.	Perbandingan Simpangan Maksimum Antara Tanah Linier Elastis Dan Non Linier Elastis Pada Massa Maupun Tanpa Massa Tawang Sari II Lapis Teratas .....	202
Tabel 6.28.	Perbandingan Frekuensi Maksimum Antara Tanah Linier Elastis Dan Non Linier Elastis Pada Massa Maupun Tanpa Massa Tawang Sari II Lapis Teratas .....	202
Tabel 6.29.	Perbandingan Percepatan Maksimum Antara Massa dan Tanpa Massa Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tanah Tawang Sari II Lapis Teratas .....	203
Tabel 6.30.	Perbandingan Kecepatan Maksimum Antara Massa dan Tanpa Massa Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tanah Tawang Sari II Lapis Teratas .....	203
Tabel 6.31.	Perbandingan Simpangan Maksimum Antara Massa dan Tanpa Massa Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tanah	

	Tawang Sari II Lapis Teratas .....	204
Tabel 6.32.	Perbandingan Frekuensi Maksimum Antara Massa dan Tanpa Massa Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tanah	
	Tawang Sari II Lapis Teratas .....	204
Tabel 6.33.	Perbandingan Percepatan Maksimum Antara Tanah Dengan Massa Yang Divariasikan Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tawang Sari II Lapis Teratas .....	205
Tabel 6.34.	Perbandingan Kecepatan Maksimum Antara Tanah Dengan Massa Yang Divariasikan Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tawang Sari II Lapis Teratas .....	205
Tabel 6.35.	Perbandingan Simpangan Maksimum Antara Tanah Dengan Massa Yang Divariasikan Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tawang Sari II Lapis Teratas .....	206
Tabel 6.36.	Perbandingan Frekuensi Maksimum Antara Tanah Dengan Massa Yang Divariasikan Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tawang Sari II Lapis Teratas .....	206
Tabel 6.37.	Perbandingan Regangan Maksimum Antara Massa dan Tanpa Massa Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tanah Tawang Sari II Lapis Teratas .....	207
Tabel 6.38.	Perbandingan Tegangan Maksimum Antara Massa dan Tanpa Massa Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tanah Tawang Sari II Lapis Teratas .....	207
Tabel 6.39.	Perbandingan Regangan Maksimum Antara Massa dan Tanpa	



	Massa Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tanah	
	Tawang Sari II Lapis Teratas .....	208
Tabel 6.40.	Perbandingan Tegangan Maksimum Antara Massa dan Tanpa Massa Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tanah	
	Tawang Sari II Lapis Teratas .....	208
Tabel 6.41.	Perbandingan Regangan Maksimum Antara Tanah Dengan Massa Yang Divariasikan Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tawang Sari II Lapis Teratas .....	209
Tabel 6.42.	Perbandingan Tegangan Maksimum Antara Tanah Dengan Massa Yang Divariasikan Pada Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tawang Sari II Lapis Teratas .....	209
Tabel 6.43.	Besarnya Amplifikasi Tanah Tawang Sari II Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tanpa Massa dan Dengan Massa .....	210
Tabel 6.44.	Besarnya Amplifikasi Tanah Tawang Sari II Kondisi Linier dan Non Linier Elastis Tanpa Massa dan Dengan Variasi Massa ..	211
Tabel 6.45.	Respon Seismik Gempa ElCentro Tanah Tawang Sari II .....	212
Tabel 6.46.	Respon Seismik Gempa Koyna Tanah Tawang Sari II .....	212
Tabel 6.47.	Respon Seismik Gempa Kobe Tanah Tawang Sari II .....	213
Tabel 6.48.	Respon Seismik Gempa Bucharest Tanah Tawang Sari II .....	213

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 6.1.	Rekaman Gempa Koyna <i>Scale Down</i> 0,365 .....	81
Grafik 6.2.	Rekaman Gempa Kobe <i>Scale Down</i> 0,332 .....	81
Grafik 6.3.	Rekaman Gempa Elcentro <i>Scale Down</i> 0,64 .....	82
Grafik 6.4.	Rekaman Gempa Bucharest <i>Scale Down</i> 0,9 .....	82
Grafik 6.5.	Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa Tawangsari I Akibat Gempa Elcentro .....	102
Grafik 6.6.	Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa Tawangsari I Akibat Gempa Elcentro .....	103
Grafik 6.7.	Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa Tawangsari I Akibat Gempa Elcentro .....	104
Grafik 6.8.	Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa Tawangsari I Akibat Gempa Elcentro .....	105
Grafik 6.9.	Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Massa 20000 ton Tawangsari I Akibat Gempa Elcentro .....	106
Grafik 6.10.	Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Massa 20000 ton Tawangsari I Akibat Gempa Elcentro .....	107
Grafik 6.11.	Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Massa 20000 ton Tawangsari I Akibat Gempa Elcentro .....	108
Grafik 6.12.	Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	

Massa 20000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Elcentro .....	109
Grafik 6.13. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 40000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Elcentro .....	110
Grafik 6.14. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 40000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Elcentro .....	111
Grafik 6.15. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 40000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Elcentro .....	112
Grafik 6.16. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 40000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Elcentro .....	113
Grafik 6.17. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 60000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Elcentro .....	114
Grafik 6.18. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 60000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Elcentro .....	115
Grafik 6.19. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 60000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Elcentro .....	116
Grafik 6.20. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 60000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Elcentro .....	117
Grafik 6.21. Perbandingan Tegangan-Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa dan Massa 20000 ton Tanah Tawang Sari I Akibat Gempa Elcentro .....	118
Grafik 6.22. Perbandingan Tegangan-Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Massa 40000 ton dan Massa 60000 ton Tanah Tawang Sari I Akibat Gempa Elcentro .....	119

Grafik 6.23. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Tanpa Massa Tawangsari I Akibat Gempa Koyna	129
Grafik 6.24. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Tanpa Massa Tawangsari I Akibat Gempa Koyna	130
Grafik 6.25. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Tanpa Massa Tawangsari I Akibat Gempa Koyna	131
Grafik 6.26. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Tanpa Massa Tawangsari I Akibat Gempa Koyna	132
Grafik 6.27. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 20000 ton Tawangsari I Akibat Gempa Koyna	133
Grafik 6.28. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 20000 ton Tawangsari I Akibat Gempa Koyna	134
Grafik 6.29. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 20000 ton Tawangsari I Akibat Gempa Koyna	135
Grafik 6.30. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 20000 ton Tawangsari I Akibat Gempa Koyna	136
Grafik 6.31. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 40000 ton Tawangsari I Akibat Gempa Koyna	137
Grafik 6.32. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 40000 ton Tawangsari I Akibat Gempa Koyna	138
Grafik 6.33. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 40000 ton Tawangsari I Akibat Gempa Koyna	139
Grafik 6.34. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	

Massa 40000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Koyna	.....	140
Grafik 6.35. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 60000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Koyna	.....	141
Grafik 6.36. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 60000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Koyna	.....	142
Grafik 6.37. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 60000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Koyna	.....	143
Grafik 6.38. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 60000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Koyna	.....	144
Grafik 6.39. Perbandingan Tegangan-Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa dan Massa 20000 ton Tanah Tawang Sari I Akibat Gempa Koyna	.....	145
Grafik 6.40. Perbandingan Tegangan-Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Massa 40000 ton dan Massa 60000 ton Tanah Tawang Sari I Akibat Gempa Koyna	.....	146
Grafik 6.41. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa Tawang Sari I Akibat Gempa Kobe	.....	150
Grafik 6.42. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa Tawang Sari I Akibat Gempa Kobe	.....	151
Grafik 6.43. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa Tawang Sari I Akibat Gempa Kobe	.....	152
Grafik 6.44. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa Tawang Sari I Akibat Gempa Kobe	.....	153

Grafik 6.45. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 20000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Kobe	.....	154
Grafik 6.46. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 20000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Kobe	.....	155
Grafik 6.47. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 20000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Kobe	.....	156
Grafik 6.48. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 20000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Kobe	.....	157
Grafik 6.49. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 40000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Kobe	.....	158
Grafik 6.50. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 40000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Kobe	.....	159
Grafik 6.51. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 40000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Kobe	.....	160
Grafik 6.52. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 40000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Kobe	.....	161
Grafik 6.53. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 60000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Kobe	.....	162
Grafik 6.54. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 60000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Kobe	.....	163
Grafik 6.55. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 60000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Kobe	.....	164
Grafik 6.56. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		

Massa 60000 ton Tawangsari I Akibat Gempa Kobe .....	165
Grafik 6.57. Perbandingan Tegangan-Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa dan Massa 20000 ton Tanah Tawangsari I Akibat Gempa Kobe .....	166
Grafik 6.58. Perbandingan Tegangan-Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Massa 40000 ton dan Massa 60000 ton Tanah Tawangsari I Akibat Gempa Kobe .....	167
Grafik 6.59. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa Tawangsari I Akibat Gempa Bucharest .....	171
Grafik 6.60. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa Tawangsari I Akibat Gempa Bucharest .....	172
Grafik 6.61. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa Tawangsari I Akibat Gempa Bucharest .....	173
Grafik 6.62. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa Tawangsari I Akibat Gempa Bucharest .....	174
Grafik 6.63. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Massa 20000 ton Tawangsari I Akibat Gempa Bucharest .....	175
Grafik 6.64. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Massa 20000 ton Tawangsari I Akibat Gempa Bucharest .....	176
Grafik 6.65. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Massa 20000 ton Tawangsari I Akibat Gempa Bucharest .....	177
Grafik 6.66. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Massa 20000 ton Tawangsari I Akibat Gempa Bucharest .....	178

Grafik 6.67. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 40000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Bucharest .....	179
Grafik 6.68. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 40000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Bucharest .....	180
Grafik 6.69. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 40000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Bucharest .....	181
Grafik 6.70. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 40000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Bucharest .....	182
Grafik 6.71. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 60000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Bucharest .....	183
Grafik 6.72. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 60000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Bucharest .....	184
Grafik 6.73. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 60000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Bucharest .....	185
Grafik 6.74. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 60000 ton Tawang Sari I Akibat Gempa Bucharest .....	186
Grafik 6.75. Perbandingan Tegangan-Regangan Tanah Non Linier dan	
Linier Elastis Tanpa Massa dan Massa 20000 ton Tanah	
Tawang Sari I Akibat Gempa Bucharest .....	187
Grafik 6.76. Perbandingan Tegangan-Regangan Tanah Non Linier dan	
Linier Elastis Massa 40000 ton dan Massa 60000 ton Tanah	
Tawang Sari I Akibat Gempa Bucharest .....	188
Grafik 6.77. Perbandingan Amplifikasi Tanah Non Linier dan Linier Elastis	



Tanpa Massa dan Massa 20000 ton Tanah Tawangsari I .....	192
Grafik 6.78. Perbandingan Amplifikasi Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 40000 ton dan Massa 60000 ton Tanah Tawangsari I ..	193
Grafik 6.79. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Tanpa Massa Tawangsari II Akibat Gempa Elcentro .....	214
Grafik 6.80. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Tanpa Massa Tawangsari II Akibat Gempa Elcentro .....	215
Grafik 6.81. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Tanpa Massa Tawangsari II Akibat Gempa Elcentro .....	216
Grafik 6.82. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Tanpa Massa Tawangsari II Akibat Gempa Elcentro .....	217
Grafik 6.83. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 20000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Elcentro .....	218
Grafik 6.84. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 20000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Elcentro .....	219
Grafik 6.85. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 20000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Elcentro .....	220
Grafik 6.86. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 20000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Elcentro .....	221
Grafik 6.87. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 40000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Elcentro .....	222
Grafik 6.88. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 40000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Elcentro .....	223

Grafik 6.89. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 40000 ton Tawang Sari II Akibat Gempa Elcentro .....	224
Grafik 6.90. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 40000 ton Tawang Sari II Akibat Gempa Elcentro .....	225
Grafik 6.91. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 60000 ton Tawang Sari II Akibat Gempa Elcentro .....	226
Grafik 6.92. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 60000 ton Tawang Sari II Akibat Gempa Elcentro .....	227
Grafik 6.93. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 60000 ton Tawang Sari II Akibat Gempa Elcentro .....	228
Grafik 6.94. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 60000 ton Tawang Sari II Akibat Gempa Elcentro .....	229
Grafik 6.95. Perbandingan Tegangan-Regangan Tanah Non Linier dan	
Linier Elastis Tanpa Massa dan Massa 20000 ton Tanah	
Tawang Sari II Akibat Gempa Elcentro .....	230
Grafik 6.96. Perbandingan Tegangan-Regangan Tanah Non Linier dan	
Linier Elastis Massa 40000 ton dan Massa 60000 ton Tanah	
Tawang Sari II Akibat Gempa Elcentro .....	231
Grafik 6.97. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Tanpa Massa Tawang Sari I Akibat Gempa Koyna .....	241
Grafik 6.98. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Tanpa Massa Tawang Sari II Akibat Gempa Koyna .....	242
Grafik 6.99. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	

Tanpa Massa Tawangsari II Akibat Gempa Koyna .....	243
Grafik 6.100.Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Tanpa Massa Tawangsari I Akibat Gempa Koyna .....	244
Grafik 6.101.Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 20000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Koyna .....	245
Grafik 6.102.Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 20000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Koyna .....	246
Grafik 6.103.Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 20000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Koyna .....	247
Grafik 6.104. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 20000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Koyna .....	248
Grafik 6.105.Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 40000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Koyna .....	249
Grafik 6.106.Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 40000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Koyna .....	250
Grafik 6.107.Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 40000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Koyna .....	251
Grafik 6.108. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 40000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Koyna .....	252
Grafik 6.109.Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 60000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Koyna .....	253
Grafik 6.110.Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 60000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Koyna .....	254

Grafik 6.111.Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 60000 ton Tawang Sari II Akibat Gempa Koyna .....	255
Grafik 6.112. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 60000 ton Tawang Sari II Akibat Gempa Koyna .....	256
Grafik 6.113.Perbandingan Tegangan-Regangan Tanah Non Linier dan	
Linier Elastis Tanpa Massa dan Massa 20000 ton Tanah	
Tawang Sari II Akibat Gempa Koyna .....	257
Grafik 6.114.Perbandingan Tegangan-Regangan Tanah Non Linier dan	
Linier Elastis Massa 40000 ton dan Massa 60000 ton Tanah	
Tawang Sari II Akibat Gempa Koyna .....	258
Grafik 6.115.Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Tanpa Massa Tawang Sari II Akibat Gempa Kobe .....	262
Grafik 6.116.Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Tanpa Massa Tawang Sari II Akibat Gempa Kobe .....	263
Grafik 6.117.Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Tanpa Massa Tawang Sari II Akibat Gempa Kobe .....	264
Grafik 6.118. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Tanpa Massa Tawang Sari II Akibat Gempa Kobe .....	265
Grafik 6.119.Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 20000 ton Tawang Sari II Akibat Gempa Kobe .....	266
Grafik 6.120.Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 20000 ton Tawang Sari II Akibat Gempa Kobe .....	267
Grafik 6.121.Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	

Massa 20000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Kobe	.....	268
Grafik 6.122. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 20000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Kobe	.....	269
Grafik 6.123. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 40000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Kobe	.....	270
Grafik 6.124. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 40000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Kobe	.....	271
Grafik 6.125. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 40000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Kobe	.....	272
Grafik 6.126. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 40000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Kobe	.....	273
Grafik 6.127. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 60000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Kobe	.....	274
Grafik 6.128. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 60000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Kobe	.....	275
Grafik 6.129. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 60000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Kobe	.....	276
Grafik 6.130. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis		
Massa 60000 ton Tawangsari II Akibat Gempa Kobe	.....	277
Grafik 6.131. Perbandingan Tegangan-Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa dan Massa 20000 ton Tanah Tawangsari II Akibat Gempa Kobe	.....	278
Grafik 6.132. Perbandingan Tegangan-Regangan Tanah Non Linier dan		

Linier Elastis Massa 40000 ton dan Massa 60000 ton Tanah Tawang Sari II Akibat Gempa Kobe .....	279
Grafik 6.133. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa Tawang Sari II Akibat Gempa Bucharest .....	283
Grafik 6.134. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa Tawang Sari II Akibat Gempa Bucharest .....	284
Grafik 6.135. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa Tawang Sari II Akibat Gempa Bucharest .....	285
Grafik 6.136. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa Tawang Sari II Akibat Gempa Bucharest .....	286
Grafik 6.137. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Massa 20000 ton Tawang Sari II Akibat Gempa Bucharest .....	287
Grafik 6.138. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Massa 20000 ton Tawang Sari II Akibat Gempa Bucharest .....	288
Grafik 6.139. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Massa 20000 ton Tawang Sari II Akibat Gempa Bucharest.....	289
Grafik 6.140. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Massa 20000 ton Tawang Sari II Akibat Gempa Bucharest.....	290
Grafik 6.141. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Massa 40000 ton Tawang Sari II Akibat Gempa Bucharest .....	291
Grafik 6.142. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Massa 40000 ton Tawang Sari II Akibat Gempa Bucharest .....	292
Grafik 6.143. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	

Massa 40000 ton Tawang Sari II Akibat Gempa Bucharest.....	293
Grafik 6.144. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 40000 ton Tawang Sari II Akibat Gempa Bucharest.....	294
Grafik 6.145. Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 60000 ton Tawang Sari II Akibat Gempa Bucharest .....	295
Grafik 6.146. Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 60000 ton Tawang Sari II Akibat Gempa Bucharest .....	296
Grafik 6.147. Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 60000 ton Tawang Sari II Akibat Gempa Bucharest.....	297
Grafik 6.148. Perbandingan Regangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 60000 ton Tawang Sari II Akibat Gempa Bucharest.....	298
Grafik 6.149. Perbandingan Tegangan-Regangan Tanah Non Linier dan	
Linier Elastis Tanpa Massa dan Massa 20000 ton Tanah	
Tawang Sari II Akibat Gempa Bucharest .....	299
Grafik 6.150. Perbandingan Tegangan-Regangan Tanah Non Linier dan	
Linier Elastis Massa 40000 ton dan Massa 60000 ton Tanah	
Tawang Sari II Akibat Gempa Bucharest .....	300
Grafik 6.151. Perbandingan Amplifikasi Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Tanpa Massa dan Massa 20000 ton Tanah Tawang Sari II .....	304
Grafik 6.152. Perbandingan Amplifikasi Tanah Non Linier dan Linier Elastis	
Massa 40000 ton dan Massa 60000 ton Tanah Tawang Sari II..	305

## DAFTAR LAMPIRAN

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



## DAFTAR NOTASI

- $\mathbf{a} = \mathbf{b}$  = notasi dinamik
- $\tilde{k}$  = notasi dinamik
- $B$  = Lebar (m)
- $C = c$  = "Dumping ratio"
- $Dr$  = Kerapatan relatif
- $e$  = Angka pori
- $f$  = Frekuensi (putaran per detik)
- $F(t)$  = Beban dinamik
- $F_{(I)}$  = Gaya Inersia
- $F_{(D)}$  = Gaya Redaman
- $F_{(S)}$  = Gaya Kekakuan
- $G$  = Modulus geser ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $G_{max}$  = Modulus geser max ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $G_{equivalen}$  = Modulus geser equivalent/rata-rata ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $g$  = Percepatan gravitasi ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $\ddot{g}_j$  = Iterasi notasi percepatan
- $\dot{g}_j$  = Iterasi notasi kecepatan
- $g_j$  = Iterasi notasi simpangan
- $H$  = Tebal lapisan tanah (cm)

- $h$  = Setengah tebal lapisan tanah (cm)  
 $i$  = Iterasi  
 $\gamma_t$  = Berat volume tanah efektif ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )  
 $\gamma_b$  = Berat volume tanah kering ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )  
 $\gamma'$  = Berat volume tanah terendam air ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )  
 $\gamma^s$  = Regangan geser tanah  
 $\gamma_h$  = Koefisien regangan geser tanah  
 $k$  = Kekakuan ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )  
 $k_t$  = Koefisien tanah  
 $k_o$  = *Coefficient of lateral earth pressure at rest*  
 $[K]$  = Matrik kekakuan  
 $L$  = Panjang (m)  
 $m$  = Massa ( $\text{kg} \cdot \text{cm}^2 / \text{dt}$ )  
 $[M]$  = Matrik massa  
 $N$  = Number equivalent of cycles at  $0.65 \tau_{\max}$   
 $OCR$  = *Over Consolidation Ratio*  
 $PI$  = Indeks Plastisitas (%)  
 $q$  = beban terbagi rata pada dasar pondasi ( $\text{kg}/\text{cm}^1$ )  
 $\phi$  = Sudut geser tanah (°)  
 $\Phi = \phi$  = Mode shape  
 $T$  = Periode getar (dt)  
 $\Gamma$  = Partisipasi setiap mode  
 $\Delta t$  = Selisih waktu gempa (dt)

## **Abstraksi**

*Pada saat gempa bumi terjadi gelombang getaran akan merambat secara vertikal melalui media tanah dari fokus gempa sampai ke dasar pondasi bangunan. Adanya variasi tinggi bangunan akan berpengaruh terhadap beban yang diteruskan ke dalam tanah. Semakin tinggi bangunan maka menambah berat bangunan sehingga akan mempengaruhi besarnya tegangan vertikal tanah. Dimana tegangan vertikal akan berpengaruh langsung terhadap besarnya nilai modulus geser tanah yang akan menambah kekakuan tiap-tiap lapisan tanah. Dengan meningkatnya nilai kekakuan diduga kuat akan mempengaruhi respon seismik lapisan tanah dibawah pondasi bangunan bila dibandingkan dengan respon seismik pada muka tanah asli (free field motion). Dalam penelitian ini akan membandingkan perbedaan antara respon seismik lapisan tanah tanpa massa bangunan dan dibawah pondasi bangunan dengan variasi massa pada kondisi non linier elastis dan linier elastis akibat gempa.*

*Penelitian ini menggunakan dua data profil tanah yang berlokasi di Tawanghari Sukoharjo dengan kedalaman tanah keras -20 meter dan -25 meter dari muka tanah asli. Variasi massa sebesar 20000 ton, 40000 ton, dan 60000 ton dengan kedalaman pondasi adalah -6 meter. Gempa yang digunakan yaitu gempa Elcentro, Koyna, Kobe, dan Bucharest yang di normalisasi sehingga mempunyai percepatan maksimum yang sama sebesar  $200 \text{ cm/dt}^2$ . Analisis digunakan dengan metode "Multi Degree of Freedom", pemodelan matematis lapisan tanah berupa model "Shear Building", dan penelitian dibantu dengan program Borland Delphi.*

*Hasil analisis menunjukkan bahwa metode respon seismik non linier elastis lebih efisien dibandingkan metode linier elastis pada kondisi tanpa massa maupun dengan massa yang divariasikan. Pada gempa dengan frekuensi yang semakin tinggi semakin berat massa bangunannya, maka percepatan tanah pada titik pondasi bangunan akan cenderung semakin meningkat (terjadi amplifikasi) dibanding dengan percepatan tanah pada tanah bebas (free field motion), tetapi simpangannya semakin mengecil pada massa bangunan yang lebih berat.*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Negara Indonesia termasuk daerah rawan gempa karena wilayah Indonesia terletak pada tiga pertemuan plat-plat tektonik yaitu lempeng Indo Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Akibat dari tumbukan antara lempeng-lempeng tersebut wilayah Indonesia sering terjadi gempa bumi. Apabila terjadi gempa energi yang terakumulasi akan dilepaskan menuju segala arah dalam bentuk energi gelombang gempa. Gelombang gempa yang merambat dari fokus (lokasi terjadinya pusat gempa karena tumbukan antara lempeng tektonik) ke situs atau *site effect* akan melalui media tanah sampai pada *base rock* (lapisan tanah keras), dari *base rock* gelombang gempa akan merambat secara vertikal sampai ke permukaan tanah.

Pada umumnya struktur tanah bagian atas berupa endapan tanah yang terletak diatas *base rock*. Tanah endapan tersebut mempunyai karakteristik tersendiri seperti adanya nilai indeks plastisitas ( $PI$ ), nilai kohesi tanah ( $c$ ), sudut gesek dalam tanah ( $\phi$ ), berat volume tanah ( $\gamma_{tanah}$ ), dan kedalaman tanah endapan. Besarnya nilai karakteristik tanah endapan tersebut akan sangat berpengaruh terhadap terjadinya amplifikasi gelombang gempa yang merambat dari *base rock* ke atas melalui lapisan tanah endapan sampai ke permukaan tanah. Yang

dimaksud dengan amplifikasi yaitu pembesaran gelombang yang berupa percepatan tanah apabila sampai dipermukaan tanah.

Rekaman percepatan tanah akibat gempa pada umumnya diambil dari permukaan tanah bebas (*free field*). Data rekaman percepatan tanah sangat penting untuk mendesain bangunan tahan gempa dengan prinsip analisis dinamik (analisis riwayat waktu) sebagai *input motion*. Ada suatu kebiasaan dalam desain bangunan tahan gempa dimana data rekaman percepatan tanah dipermukaan tanah bebas (*free field*) langsung dipakai sebagai *input motion*, sebenarnya hal ini kurang tepat karena para ahli mengatakan bahwa percepatan tanah yang direkam dipermukaan tanah bebas akan berbeda dengan rekaman percepatan dibawah bangunan.

Adanya variasi tinggi bangunan akan berpengaruh terhadap beban yang diteruskan kedalam tanah, begitu juga dengan beban sejenis yang membebani lapisan tanah yang berupa gundukan-gundukan tanah seperti bukit dan gunung. Adanya beban bangunan dan beban gundukan tanah seperti bukit dan gunung akan mempengaruhi besarnya tegangan tanah vertikal yaitu  $\bar{\sigma}_1$ , hal ini sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Boussinesq, tentang penyebaran massa diatas lapisan tanah terhadap tiap-tiap lapisan tanah. Selanjutnya tegangan vertikal ( $\bar{\sigma}_1$ ) akan berpengaruh langsung terhadap besarnya nilai modulus geser tanah ( $G_{max}$ ) yang pada akhirnya nilai  $G_{max}$  tersebut akan menambah kekakuan geser tiap-tiap lapisan tanah. Dengan meningkatnya nilai kekakuan diduga kuat akan mempengaruhi respon seismik lapisan tanah, respon yang dimaksud adalah percepatan, kecepatan, dan simpangan tanah.

Dari penelitian terdahulu yang dilakukan Arief Nur Rokhman dan Farkhan Widodo (2000) dalam tugas akhirnya menyimpulkan bahwa ada perbedaan antara percepatan tanah pada kondisi *free field* dengan percepatan tanah yang terdapat massa di atasnya. Tetapi dalam penelitiannya perbedaan yang terjadi tidak terlalu signifikan. Dengan memasukan input percepatan tanah (*time history*) seperti riwayat gempa El Centro, Kobe, Koyna, dan Miyaki dalam analisisnya masih didapatkan kecendrungan terjadinya amplifikasi yang besar hal ini diperkirakan karena massa yang dipakai oleh peneliti adalah massa tunggal sebesar 13000 ton yang tidak begitu signifikan pengaruhnya terhadap perubahan respon seismik lapisan tanah yang tanpa massa di atasnya, sehingga dengan menggunakan massa tunggal tersebut hasil yang didapatkan belum dapat mewakili keadaan yang sebenarnya. Disamping itu kekurangan dalam penelitian tersebut bahwa tanah diasumsikan masih bersifat linier elastis, yaitu massa tanah dan kekakuan tetap walaupun lapisan tanah telah dibebani beban gempa.

Sedangkan As'at Pujiyanto (2003) dalam tesisnya, menyimpulkan masih terjadi amplifikasi terhadap riwayat gempa yang menjadi input analisis seperti riwayat gempa Kobe, El Centro, dan Koyna pada tanah linier elastis maupun pada tanah yang diasumsikan non linier elastis baik dengan massa bangunan maupun pada kondisi *free field*. Masih terjadi amplifikasi ini diduga karena pada penelitiannya massa yang digunakan masih merupakan massa tunggal yang bebannya masih sama dengan beban pada penelitian Arief Nur Rokhman dan Farkhan Widodo (2000) yaitu 13000 ton dengan ukuran bangunan  $60 \times 18 \text{ m}^2$ , hal ini juga belum mewakili keadaan sebenarnya.

Dari hasil penelitian terdahulu maka perlu diadakan penelitian dengan memperhitungkan massa bangunan yang berbeda dan bervariasi untuk itulah penelitian kali ini difokuskan pada efek variasi massa bangunan terhadap respon seismik lapisan tanah.

### **1.2. Rumusan Masalah**

Melihat dari latar belakang penelitian maka dapat dirumuskan suatu permasalahan yang akan menjadi objek penelitian ini, yaitu :

1. Apakah variasi massa bangunan mempunyai efek atau pengaruh terhadap respon sismik tanah non linier elastis maupun linier elastis dibawah bangunan akibat gempa.
2. Apakah jenis tanah mempengaruhi respon seismik tanah non linier elastis dan linier elastis akibat gempa.
3. Apakah frekuensi gempa mempengaruhi respon seismik tanah non linier elastis dan linier elastis.

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan perumusan masalah tersebut, maka penelitian ini mempunyai tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui efek atau pengaruh variasi massa bangunan terhadap respon seismik tanah (besarnya simpangan, kecepatan, percepatan, dan amplifikasi) non linier elastis maupun linier elastis dibawah bangunan akibat gempa.

2. Mengetahui sejauh mana jenis tanah yang ditinjau mempengaruhi respon seismik tanah non linier elastis maupun linier elastis akibat gempa.
3. Mengetahui sejauh mana frekuensi gempa mempengaruhi respon seismik tanah non linier elastis maupun linier elastis pada tanah bebas (*free field*) dan bawah pondasi bangunan.

#### 1.4. Batasan Penelitian

Besar magnitude gempa, jarak episenter gempa, properti lapisan tanah, kondisi topografi lapisan tanah, ketebalan lapisan tanah, jenis mekanisme terjadinya gempa, dan kondisi geologi tanah yang dilalui gelombang gempa adalah faktor-faktor yang mempengaruhi respon seismik lapisan tanah.

Melihat banyaknya variabel diatas sementara penelitian ini memiliki keterbatasan agar menjadi lebih sederhana dan mudah dipahami namun mengupayakan tetap realistis.

Pembatasan permasalahan tersebut meliputi hal-hal sebagai berikut ini :

1. Tanah dengan beban bangunan dan evaluasi pengaruhnya pada karakteristik gelombang getaran yang merambat keatas dari batuan dasar merambat ke permukaan tanah.
2. Bangunan menggunakan basement dengan kedalaman berkisar 6 meter dari permukaan tanah asli.
3. Asumsi berat gedung ditentukan dengan variasi beban ( $w$ ) yaitu : 20000 ton, 40000 ton, dan 60000 ton.



4. Tidak memperhitungkan adanya perubahan massa tanah setelah terjadinya gempa.
5. Tidak memperhitungkan adanya peningkatan tekanan air pori tanah akibat terjadinya gempa (terjadinya likuifaksi).
6. Kondisi geologi tanah yang dilalui gelombang gempa dari sumber gempa sampai lokasi lapisan tanah yang ditinjau dianggap sama.
7. Tidak memperhitungkan jenis mekanisme terjadinya gempa.
8. Lapisan tanah dianggap tidak mengalami defleksi dalam arah vertikal.
9. Lapisan tanah ditinjau dalam dua dimensi.
10. Lapisan tanah dimodel berperilaku seperti *Shear Building*.
11. Data gempa yang dipakai adalah : Koyna, Kobe, El Centro, dan Bucharest.
12. Pondasi bawah bangunan pondasi rakit dan berfungsi juga sebagai basement.
13. Jenis tanah dibagi dalam dua kategori yaitu tanah kohesif dan non-kohesif

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Seperti dikemukakan sebelumnya bahwa percepatan tanah akibat gempa sangat diperlukan pada analisis struktur bangunan tanah gempa, oleh karena itu manfaat penelitian ini adalah sebagai bahan pertimbangan didalam menentukan percepatan tanah akibat gempa yang lebih rasional dalam analisis struktur dengan menggunakan riwayat waktu (*time history analisis*). Perencanaan rasional yang dimaksud adalah dengan mempertimbangkan adanya kemungkinan amplifikasi (membesar) atau deamplifikasi (mengecil) percepatan tanah pada titik dibawah

pondasi bangunan dari percepatan tanah pada lapisan muka tanah asli (*free field motion*).

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Tinjauan Penelitian Terdahulu**

Penelitian-penelitian mengenai sifat-sifat dari gempa itu sendiri telah banyak dilakukan. Berbagai penelitian memberikan suatu referensi untuk suatu perencanaan. Di Indonesia bangunan tahan gempa masih jarang dilakukan sehingga perlu adanya suatu penelitian mengenai respon tanah dengan adanya bangunan di atasnya akibat gempa. Sehingga di dalam penelitian ini digunakan tinjauan pustaka penelitian sebagai berikut ini :

#### **1. Arif Setiawan dan Yulismar (1999) :”Respon Lapis-lapisan Tanah Akibat Gempa” (Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil FTSP UII)**

##### **a) Permasalahan**

Gempa bumi yang terjadi akibat tumbukan plat-plat tektonik akan menyebarkan gelombangnya ke segala arah melalui media tanah. Tanah sebagai perantara gelombang memiliki karakteristik tersendiri. Parameter penting mengenai jenis tanah tersebut meliputi keadaan geologi dan kondisi tanah setempat, yang mana akan menyebabkan respon tanah akibat gempa menjadi berlainan antara tempat yang satu dengan yang lain. Dengan

keadaan seperti itu maka akan diteliti sejauh mana pengaruh respon lapis-lapisan tanah tersebut akibat gempa.

b) Pemecahan permasalahan

Pemecahan permasalahan dengan menggunakan metode analisis dinamik lapis-lapisan tanah mulai dari pemahaman persamaan dasar yaitu persamaan gerak tanah, persamaan berderajat kebebasan banyak, dan matriks kekakuan geser tanah. Persamaan tersebut diurutkan sampai mendapatkan hasil percepatan tanah pada tiap lapisnya dengan bantuan program komputer Quick Basic. Data tanah yang digunakan dalam penelitian adalah berjumlah 4 lapis dengan beban gempa bumi adalah riwayat waktu gempa Montana.

c) Hasil penelitian

Hasil penelitian mendapatkan perbedaan percepatan tanah antara lapisan dasar tanah (*base rock*) dengan muka tanah bebas (*free field*) pada saat terjadi gempa bumi, yaitu bila dibandingkan dengan dasar tanah maka terjadi amplifikasi percepatan (kenaikan nilai maksimum) pada lapis teratas mencapai 150 %.

**2. Arif Nur Rokhman dan Farkhan Widodo (2000) : “Pengaruh Massa Bangunan Terhadap Respon Seismik Lapisan Tanah”**(Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil FTSP UII)

a) Permasalahan

Gelombang gempa yang merambat melalui media tanah, tentu akan merambat juga sampai lapis teratas tanah. Hingga pada akhirnya akan

mempengaruhi stabilitas bangunan yang ada di atasnya. Penelitian ini beranggapan bahwa bila ada bangunan di atas tanah maka berat bangunan yang membebani tanah akan mempengaruhi karakteristik tanah dibawah bangunan tersebut. Tentunya rambatan gempa yang sampai pada bawah pondasi bangunan akan berbeda dengan rambatan yang sampai pada muka tanah bebas (*free field*). Maka akan diteliti sejauh mana pengaruh massa bangunan terhadap respon seismik lapisan tanah.

b) Pemecahan permasalahan

Pemecahan permasalahan dihitung dengan menggunakan metode analisis dinamik lapis-lapisan tanah yaitu persamaan gerak statik dan dinamik tanah, persamaan berderajat kebebasan banyak (MDOF), dan matriks kekakuan geser tanah. Persamaan tersebut kemudian diurutkan sampai mendapatkan hasil percepatan, kecepatan, dan simpangan tanah pada tiap lapisnya dengan bantuan program komputer Borland Delphi. Data tanah yang digunakan sebagai objek penelitian adalah menggunakan 3 wilayah berbeda dengan kedalaman *base rock* mencapai -25 meter dan menggunakan analisis riwayat gempa El Centro, Koyna, Kobe, dan Miyaki. Massa yang digunakan sebesar 13000 ton dengan kedalaman pondasi bangunan -3 meter.

c) Hasil penelitian

Dari keempat riwayat gempa yang digunakan maka amplifikasi percepatan tanah terbesar ada pada gempa Kobe yang paling signifikan/berarti pengaruhnya. Diketahui juga bahwa terjadi penurunan (*deamplifikasi*)

percepatan tanah yang ada pada bawah pondasi bangunan bila dibandingkan dengan tanpa massa bangunan diatas lapisan tanah (*free field*).

**3. As'at Pujiyanto (2003) : “Respon Seismik Lapisan Tanah Linier Elastis dan Non Linier Elastis Akibat Beban Gempa”**(Tesis Jurusan Magister Teknik Sipil FTSP UII)

a) Permasalahan

Respon seismik lapisan tanah akibat gempa merupakan suatu parameter gerakan tanah akibat gempa. Selama getaran menjalar dari pusat gempa sampai permukaan tanah, faktor tanah sebagai media penghantar merupakan parameter yang sangat penting. Tanah bukan material yang kaku dan mempunyai kekakuan maupun massa yang yang bervariasi. Pada penelitian terdahulu tanah dianggap berperilaku linier elastis (kekakuan tetap dan massa tetap) padahal pada kondisi sebenarnya akibat getaran gempa tanah memiliki kekakuan dan massa yang berubah-ubah. Maka As'at Pujiyanto memfokuskan penelitiannya pada perilaku tanah yang lebih realistis yaitu lapisan lapisan tanah berperilaku non linier elastis (kekakuan berubah-ubah dan massa tetap) dan bagaimana perbedaannya bila tanah tersebut dibebani massa bangunan.

b) Pemecahan permasalahan

Dengan menggunakan program komputer Quick Basic penelitian ini bertujuan mengetahui perbedaan respon seismik antara tanah Linier Elastis dengan Non Linier Elastis baik tanpa massa bangunan maupun dengan

massa bangunan. Metode pemecahan permasalahan dengan menggunakan metode analisis dinamik yaitu persamaan gerakan lapisan tanah tergumpal, persamaan berderajat kebebasan banyak, modulus geser tanah dan matriks kekakuan struktur tanah.

Penelitian menggunakan 3 data profil tanah yang berlokasi di Dermaga Pelabuhan Pangkal Balam Bangka, dengan massa bangunan seberat 13000 ton. Analisis riwayat gempa menggunakan 4 data gempa yaitu : El Centro, Koyna, Kobe, dan Bucharest yang telah dinormalisasi sehingga mempunyai percepatan maksimum yang sama sebesar  $156,8 \text{ cm/dt}^2$ .

c) Hasil Penelitian

Dari ketiga tanah objek penelitian, maka respon tanah terbesar terjadi pada profil tanah kedua yaitu tanah yang mempunyai indeks plastisitas paling tinggi, dimana besarnya amplifikasi (bila dibandingkan dengan *base rock*) percepatan tanah lapis teratas untuk tanah linier elastis tanpa massa sebesar 49,59 % - 216,54 %, untuk tanah nonlinier elastis tanpa massa sebesar 39,42 % - 239 %, untuk tanah linier elastis dengan massa sebesar 36,85 % - 192,54 %, dan untuk tanah non linier elastis dengan massa bangunan sebesar 16,55 % - 190 %.

Dari hasil tersebut didapat perbedaan cukup signifikan/berarti bila tanah diperhitungkan dengan metode non linier dan linier elastis.

Dari penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya dari masing-masing peneliti terdapat kekurangan-kekurangan yang perlu disempurnakan, kekurangan-kekurangan tersebut antara lain :

1. Kekurangan pada penelitian Arif Setiawan dan Yulismar (1999)
  - a) Dalam analisis riwayat gempa yang dipakai hanya menggunakan riwayat gempa Montana.
  - b) Tidak memperhitungkan terdapatnya massa bangunan diatas lapisan tanah.
  - c) Tanah berperilaku linier elastis walaupun telah terkena beban gempa padahal anggapan ini kurang realistis karena lapisan lapisan tanah yang terkena beban gempa akan mengalami perubahan perilaku baik kekakuan maupun massanya (non linier elastis atau non linier inelastis).
  - d) Dalam mendukung penelitiannya menggunakan program Quick Basic yang hanya mampu menganalisis 4 lapisan tanah.
  - e) Terdapat kesalahan dalam memperhitungkan besarnya massa tanah dengan teori yang dikemukakan, yaitu dengan menjumlahkan massa lapisan atas dengan massa lapisan dibawahnya, metode yang benar adalah menggunakan prinsip massa tergumpal (*lump mass*) dengan menganggap massa terkonsentrasi pada suatu titik massa sehingga yang dijumlahkan adalah setengah massa lapisan atas dan setengah massa lapisan dibawahnya.
2. Kekurangan pada penelitian Arif Nur Rokhman dan Farkhan Widodo (2000)
  - a) Tanah dianggap berperilaku linier elastis.
  - b) Massa yang digunakan adalah massa tunggal sebesar 13000 ton saja.



- c) Sama halnya dengan penelitian Arif Setiawan dan Yulismar (1999) Terdapat kesalahan dalam memperhitungkan besarnya massa tanah, dimana massa tanah lapisan atas dijumlahkan dengan massa tanah lapisan dibawahnya.
3. Kekurangan dalam penelitian tesis As'at Pujianto (2003)
    - a) Massa yang digunakan massa tunggal yang besarnya persis sama seperti pada penelitian tugas akhir Arif Nur Rokhman dan Farkhan Widodo (2000) yaitu 13000 ton.

## 2.2. Keaslian Penelitian

Dari kekurangan-kekurangan tersebut maka pada penelitian selanjutnya akan menggabungkan metode-metode yang terdapat pada penelitian sebelumnya dengan memperbaiki kekurangan-kekurangannya, diantaranya :

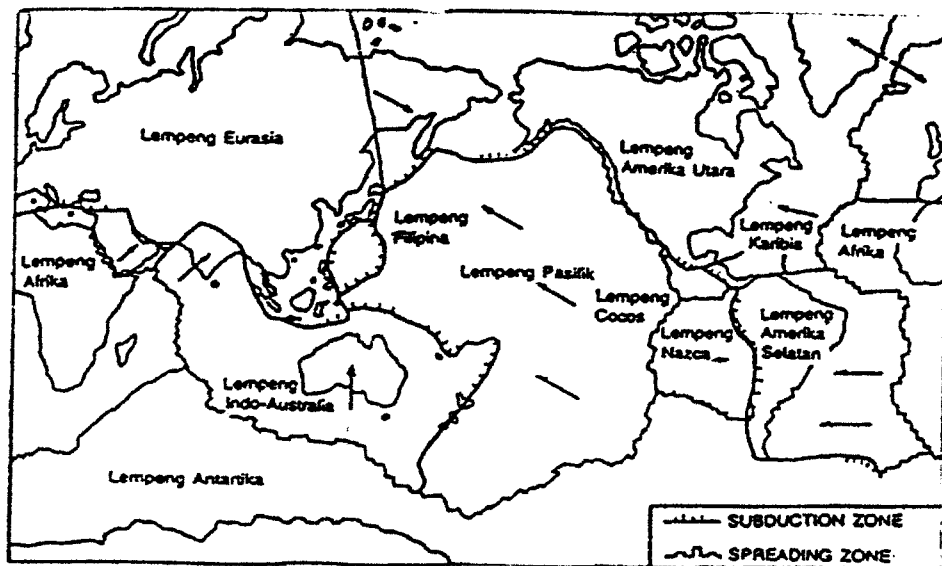
1. Dalam analisis dipakai riwayat gempa Elcentro, Kobe, Koyna, dan Bucharest.
2. Tanah dianggap berperilaku non linier elastis dan linier elastis.
3. Untuk mendukung perhitungan analisis diformat dengan program *Borland Delphi 7.0* yang aplikasinya dapat dijalankan melalui *Windows 98/2000/XP*.
4. Massa tanah yang diperhitungkan adalah massa tanah tergumpal (*lump mass*) dimana massa tiap lapis tanah tidak mempengaruhi massa tanah dibawahnya, sehingga tanah dapat diasumsikan berperilaku seperti massa tiap lantai pada bangunan gedung.

5. Penelitian ini memperhitungkan berat massa diatas lapisan tanah, bukan hanya massa tunggal tetapi massanya divariasikan yaitu 20000 ton, 40000 ton, dan 60000 ton.
6. Membandingkan respon seismik lapisan tanah akibat besar massa diatas lapisan tanah yang divariasikan.

**BAB III**  
**LANDASAN TEORI**

**3.1. Beban Gempa Bumi**

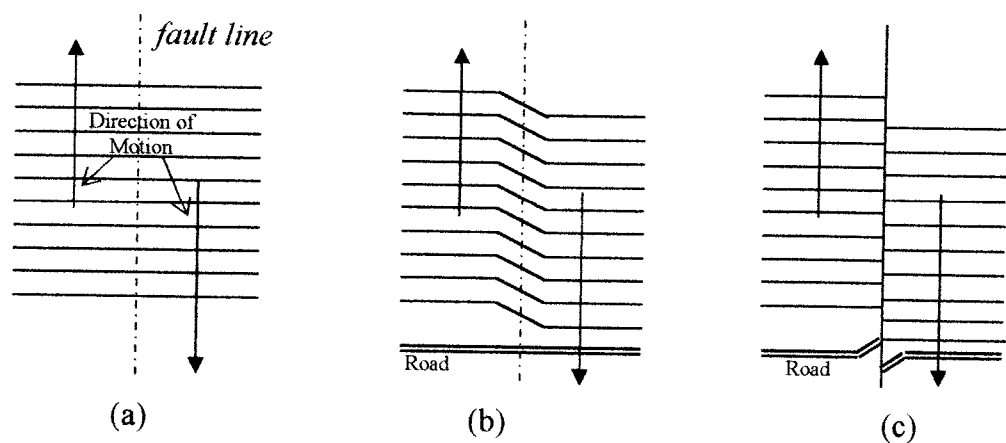
Gempa bumi terjadi karena adanya kerusakan kerak bumi yang terjadi secara tiba-tiba yang umumnya diikuti dengan terjadinya patahan/sesar (*fault*). Timbulnya patahan atau sesar tersebut karena adanya gerakan plat-plat tektonik/lapis kerak bumi yang saling bertumbukan, bergeser atau saling menyusup satu dengan yang lain (subdaksi). Struktur batuan/tanah akan patah/rusak secara tiba-tiba bila batuan tersebut sudah tidak dapat menahan akumulasi energi/tegangan yang terjadi (Widodo, 1999).



**Gambar 3.1.** Hubungan Antara Lokasi Gempa dan Geometri Plat Tektonik (Widodo, 1999)

Tegangan geser dan tegangan lentur tersebut terjadi karena plat-plat tektonik bergerak menurut arahnya masing-masing. Patahan (*fault*) terjadi umumnya berupa suatu bidang (yang belum tentu merata dan teratur bentuknya) dengan luasan tertentu.

Para ahli berpendapat bahwa bentuk dan luas bidang patahan berpengaruh terhadap karakter getaran gempa yang ditimbulkan. Bidang patahan dapat terjadi sampai permukaan tanah walaupun hanya terjadi didalam tanah. Seorang peneliti dari Inggris menjelaskan mekanisme terjadinya gempa bumi melalui suatu teori yang disebut *Elastic Rebound Theory*. Gambar 3.2.a menunjukkan suatu kondisi tanah yang belum mengalami tegangan. Sedangkan Gambar 3.2.b menggambarkan adanya suatu gerakan kerak bumi dari tampak atas maupun tampak samping yang mulai menimbulkan tegangan. Tegangan tanah tersebut akan menyebabkan terjadinya akumulasi energi manakala gerakan kerak bumi terus berlanjut. Gambar 3.2.c adalah patahan yang terjadi bila batuan kerak bumi sudah tidak dapat menahan tegangan yang terjadi, batuan rusak/pecah maka terjadilah patahan.

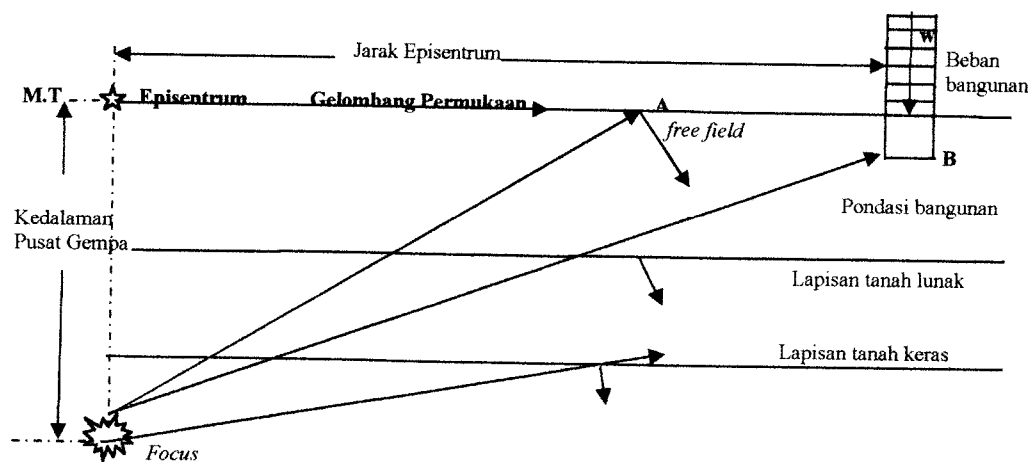


**Gambar 3.2.** Gempa Bumi menurut *Elastic Rebound Theory* (Widodo,2001)

Setelah terjadinya patahan/kerusakan batuan pada peristiwa gempa bumi, maka energi yang selama ini terakumulasi kemudian dipancarkan ke segala arah. Energi mekanik akibat batuan yang patah/pecah kemudian diubah menjadi energi gelombang. Hal ini seperti suatu benda yang dijatuhkan ke dalam air. Energi mekanik yang terjadi karena tumbukan antara benda dengan air kemudian diubah menjadi energi gelombang yang menyebar ke segala arah. Energi gelombang akibat gempa akan melewati massa batuan/tanah yang mempunyai kondisi geologi yang berbeda-beda antara tempat yang satu dengan tempat yang lain. Oleh karena itu, rekaman percepatan tanah akibat gempa di beberapa tempat akan berbeda-beda walaupun yang dicatat adalah gempa yang sama.

### 3.1.1. Rambatan gelombang gempa dan percepatan tanah yang ditinjau

Getaran energi gempa yang berasal dari pusat gempa (fokus gempa) diteruskan ke segala arah melalui lapisan batuan/tanah sebagai media penghantar. Secara skematis, energi gempa tersebut dapat digambarkan dengan Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Rambatan Gelombang Gempa (As'at 2003)

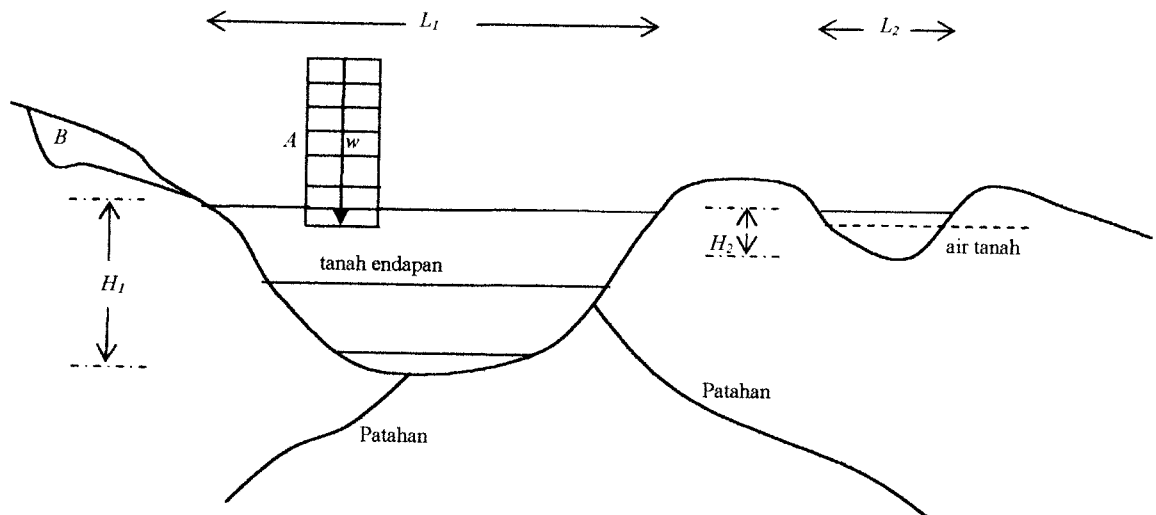
Gelombang gempa yang merambat dari pusat gempa (*focus*) sampai pada permukaan tanah (titik A) atau dibawah fondasi bangunan (titik B) akan melewati kondisi tanah/geologi tertentu. Media tanah yang dilewati gelombang gempa akan berfungsi sebagai filter/peredam getaran gelombang.

Pada Gambar 3.3 percepatan gelombang gempa yang sampai pada permukaan tanah *free field* (titik A) akan berbeda pada percepatan yang sampai pada bawah fondasi bangunan (titik B) karena pada titik B terdapat massa bangunan ( $w$ ) yang akan mempengaruhi kekakuan tanah tersebut. Percepatan tanah yang sampai pada titik B akan mengalami amplifikasi atau deamplifikasi percepatan tanah bila dibandingkan pada titik A, hal ini tergantung kondisi karakteristik tanah dibawah fondasi bangunan. Oleh karena itu dalam perencanaan bangunan gedung, percepatan tanah yang ditinjau adalah pada titik B yaitu tepat dibawah pondasi bangunan (Arif dan Farkhan, 2000).

### **3.1.2. Kondisi geologi dan tanah setempat**

Permukaan tanah pada kondisi tanah bebas (*free field*) merupakan bahan endapan tanah pada kerak bumi yang telah terbentuk sangat lama dan bertahap sehingga membentuk lapisan di atas tanah keras (*base rock*). Kondisi geologi dan tanah setempat sangat mempengaruhi gerakan permukaan tanah saat terjadi gempa. Karakteristik lapisan-lapisan endapan tanah tersebut mempunyai pengaruh yang harus diperhitungkan terhadap getaran energi gempa yang melaluinya. Oleh karena itu dalam perencanaan bangunan tahan gempa mengenal kondisi tanah dibawah bangunan adalah mutlak diperlukan.

Untuk mengetahui perilaku tanah endapan akibat gempa pada suatu daerah, adalah seperti pada gambar dibawah ini.



**Gambar 3.4.** Potongan Memanjang Tanah (Widodo, 1999)

Menurut Widodo (1999) mengatakan bahwa tanah endapan yang terletak diatas lapisan tanah keras mempunyai perilaku tersendiri apabila gempa terjadi. Dari gambar diatas yang mempengaruhi respon tanah endapan tersebut adalah :

1. Panjang tanah endapan ( $L_1$  dan  $L_2$ ).

Semakin panjang/luas tanah endapan di atas lapisan tanah keras ( $L_1$ ) maka di antara respon tanah endapan dan respon tanah keras akan semakin berbeda.

2. Kedalaman tanah endapan ( $H_1$  dan  $H_2$ ).

Semakin dalam lapisan tanah endapan, maka semakin besar periode getar ( $T$ ) lapisan tanah permukaan. Tanah yang tidak padat tentunya mempunyai kekakuan ( $k$ ) yang relatif tidak besar, dan sebaliknya. Dari kondisi tersebut maka untuk tanah permukaan yang semakin tidak padat dan  $H_1$  semakin

akan menghasilkan kekakuan yang relatif lebih kecil, sehingga menurut teori getaran, yang dirumuskan dengan Persamaan 3.1 dan 3.2 akan menghasilkan frekuensi alam yang lebih kecil dan periode getar yang lebih besar.

$$\omega = \lambda \sqrt{\frac{k}{m}} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \dots\dots\dots(3.2)$$

dimana,

$\omega$  = frekuensi alam

$m$  = massa

$k$  = kekakuan

$\lambda$  = notasi *eigenvalues*

Dengan demikian apabila periode getar besar, dan nilai frekuensi alam kecil maka menurut teori getaran simpangan horizontal dan percepatan permukaan tanah akan menjadi lebih besar. Sedangkan endapan tanah yang semakin tebal, akan memungkinkan pembesaran respon tanah.

### 3. Perubahan jenis tanah.

Bila bangunan terletak pada dua atau lebih jenis tanah yang berbeda (misalnya bangunan A pada Gambar 3.4) maka respon yang timbul tidak akan sama sepanjang bangunan.

### 4. Keadaan topografi (ciri-ciri fisik tanah) dan geologi lapisan tanah.

Pada lapisan tanah keras/lapisan batu kadang-kadang juga tidak seragam, dan ada kemungkinan adanya patahan pada lapisan tanah keras tersebut.

### 5. Kandungan air tanah.

Kandungan air tanah mempunyai pengaruh positif terhadap runtuhnya tanah (terutama tanah deposit pada lereng). Kandungan air tanah yang berlebihan



akan mengurangi daya dukung tanah, sehingga tanah menjadi mudah tidak stabil apabila dibebani beban gempa dan akan mengalami peristiwa likuifaksi bila tekanan air pori terus meningkat.

#### 6. Pengaruh jenis tanah.

Gerakan permukaan tanah akan berbeda satu sama lain walaupun letaknya relatif berdekatan apabila jenis tanahnya berbeda juga. Pada tanah lempung yang lunak, percepatan tanah lebih besar dari pada tanah lempung yang lebih keras. Menurut Vucetic & Dobry (1991) tanah yang lebih lunak memberikan efek respon yang lebih besar dari pada tanah yang lebih keras.

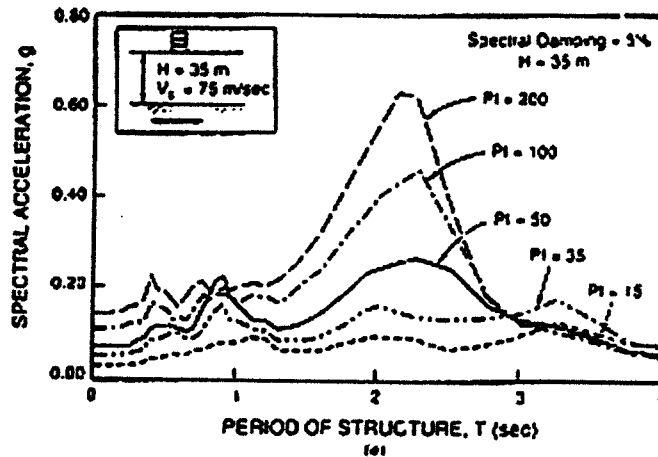
### **3.1.3. Faktor amplifikasi gempa pada tanah endapan**

Widodo (1999) menjelaskan bahwa selain kondisi geologi tanah endapan ada beberapa faktor yang mempengaruhi amplifikasi, diantaranya adalah indeks plastisitas (PI), kedalaman lapisan tanah, dan kandungan frekuensi getaran gempa.

#### **a. Indeks plastisitas**

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Vucetic & Dobry (1991) menyimpulkan bahwa respon tanah akibat gempa akan semakin besar pengaruhnya pada tanah yang lunak. Tanah yang lunak adalah tanah yang memiliki indeks plastisitas (PI) yang tinggi dan bersifat elastis. Karena sifat ke-elastisitasnya yang tinggi maka kapasitas menahan beban geser akan berkurang akibat dari berkurangnya redaman material butir-butir tanah dalam menahan beban getaran gempa yang bersifat siklik. Maka percepatan tanah yang sampai

pada muka tanah asli akan membesar (aplifikasi). Sebagaimana terlihat pada Gambar 3.5.(Vucetic & Dobry, 1991).



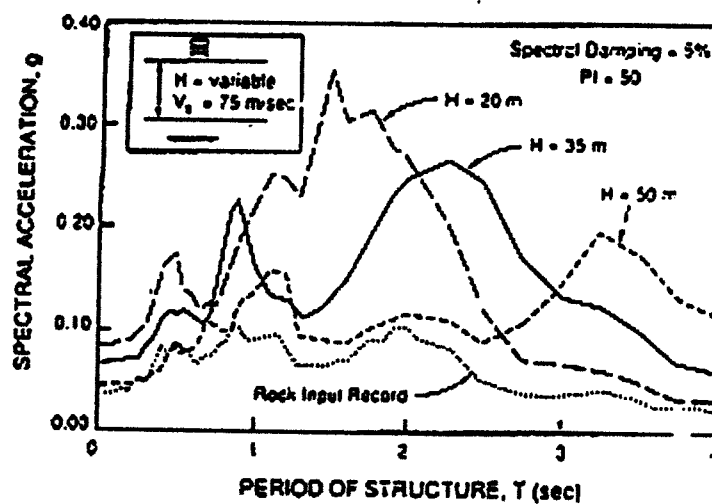
Gambar 3.5. Pengaruh Prosentase Indeks Plastisitas Terhadap Percepatan

#### b. Kedalaman tanah endapan

Faktor yang kemudian saling terkait dengan indeks plastisitas adalah kedalaman tanah endapan. Para peneliti pernah menyimpulkan bahwa kerusakan bangunan gedung akibat gempa semakin besar terlihat pada daerah yang memiliki kedalaman tanah endapan  $\geq 100$  meter jika dibandingkan dengan daerah yang memiliki kedalaman tanah endapan  $< 90$  meter. Sebagai anggapan bila tanah endapan tersebut adalah lunak maka kekakuan struktur tanah akan kecil, semakin dalam tanah endapan tersebut maka akan semakin elastis pada saat menerima beban siklik. Seperti pada Persamaan 3.1, bila kekakuan geser tanah ( $k$ ) kecil maka frekuensi alam ( $\omega$ ) akan mengecil, pada Persamaan 3.2 dengan mengecilnya frekuensi alam ( $\omega$ ) akan memperbesar waktu getar tanah ( $T$ ).

Widodo (1999) menjelaskan bila waktu getar tanah endapan ( $T$ ) meningkat maka akan berkecendrungan terjadinya amplifikasi getaran struktur

(resonansi) pada bangunan-bangunan tinggi. Peristiwa resonansi akan mengakibatkan simpangan struktur menjadi sangat besar sehingga akan menyebabkan kerusakan yang lebih hebat terhadap bangunan. Pada Gambar 3.6. terlihat percepatan tanah yang tinggi tidak mempengaruhi kerusakan struktur bangunan pada ketebalan tanah endapan yang tinggi juga, melainkan percepatan tanah yang rendah dengan ketebalan tanah endapan tinggi yang akan merusak bangunan diatas tanah.



**Gambar 3.6.** Pengaruh Kedalaman Lapisan Tanah Endapan Terhadap Percepatan (Vucetic & Dobry, 1991)

### c. Kandungan frekuensi getaran gempa

Getaran gempa merambat melalui media tanah endapan dari tanah dasar (*base rock*) sampai ke permukaan tanah. Tanah yang dilalui rambatan gempa akan meredam frekuensi getaran gempa yang sampai pada permukaan tanah tersebut. Bila percepatan tanah mengalami peningkatan nilai maksimumnya,

maka frekuensi getaran yang sampai pada permukaan tanah akan menurun seiring juga dengan naiknya kecepatan tanah. Frekuensi getaran gempa yang menurun maka akan menyebabkan periode getar ( $T$ ) tanah naik. Pada bangunan-bangunan yang tinggi periode getar struktur juga tinggi, sehingga akan mendekati periode getar tanah. Menurut Widodo (1999), resonansi akan terjadi bila periode getar struktur bangunan dan tanah berdekatan/sama yang akan menyebabkan simpangan struktur bangunan membesar dan berakibat keruntuhan pada bangunan tinggi.

### **3.2. Karakteristik Statik dan Dinamik Tanah**

Dalam meneliti pengaruh kondisi tanah endapan terhadap getaran gempa yang merambat maka perlu ditelaah lebih lanjut tentang karakteristik statik dan dinamik tanah tersebut.

#### **3.2.1. Karakteristik statik**

Karakteristik statik tanah adalah karakteristik umum yang dimiliki tanah, berupa tanah pasir (non-kohefif) dan tanah kohefif. Pada kondisi tanah sebenarnya yang dijumpai adalah perpaduan antara tanah pasir (non-kohefif) dan tanah kohefif (*c- $\phi$  soils*) tetapi dalam analisisnya tanah dianggap murni pasir atau murni kohefif, anggapan ini untuk menyederhanakan perhitungan dengan menggunakan rumusan yang telah ada (Widodo, 1999).

**a. Tanah pasir (*cohesionless soils*)**

Tanah pasir (non-kohefif) adalah tanah yang tidak mempunyai kohesi ( $c=0$ ), pada saat terjadi gempa butir-butir pasir dapat memadat ataupun bahkan mengembang. Butir-butir pasir bersifat kasar maka tahanan geser tanah pasir bertambah sehingga akan menambah pula sudut gesek alamnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat geser tanah pasir yaitu : ukuran butir, kekerasan butiran, angka pori, distribusi ukuran butir, dan bentuk butiran.

Dari faktor-faktor yang mempengaruhi kuat geser tanah pasir tersebut, yang paling mempengaruhi adalah nilai angka pori ( $e$ ), dimana angka pori akan berpengaruh terhadap kerapatan relatif ( $Dr$ ). Pada pengujian geser langsung maupun triaksial pada suatu sampel tanah, bila angka pori rendah ( $e \ll$ ) dan kerapatan relatif tinggi ( $Dr \gg$ ), maka nilai sudut gesek alam ( $\phi$ ) akan tinggi juga. Nilai sudut gesek alam pasir adalah nilai statik yang sangat diperlukan dalam analisis getaran tanah akibat gempa. Menurut Das (1993) apabila terjadi gempa bumi maka nilai sudut gesek alam akan berkurang sehingga akan mempengaruhi daya dukung tanah tersebut.

**b. Tanah kohesif (*cohesion soils*)**

Tanah kohesif adalah tanah yang memiliki nilai kohesi ( $c \neq 0$ ), menurut Das (1994) ukuran butir tanah kohesif sangat kecil dimana ukuran butirnya  $\leq 0,05$  mm. Das juga mengkalsifikasikan diameter ukuran butir :

*Sand-size* : 2,0 – 0,05 mm

*Silt-size* : 0,05 – 0,002 mm

*Clay-size* :  $\leq 0,002$  mm

Dari ukuran butir diatas maka dalam penelitian ini tanah lumpur (*silt*) dan tanah lempung (*clay*) dapat dikategorikan sebagai tanah kohesif. Selain itu hasil uji laboratorium, tanah lumpur (*silt*) memiliki nilai indeks plastisitas (*PI*) yang tinggi dan bersifat kohesif ( $c \neq 0$ ). Sifat kohesif inilah yang membedakan antara tanah pasir dan tanah kohesif (*lempung* dan *silt*).

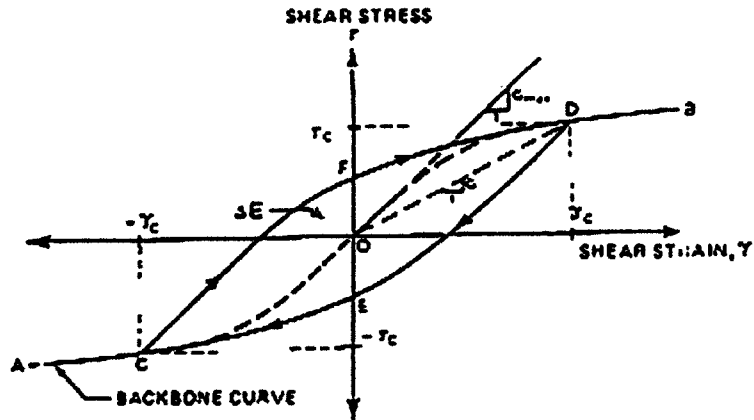
### 3.2.2. Karakteristik dinamik

Perilaku suatu elemen tanah pada kedalaman tertentu akibat getaran gelombang gempa mengakibatkan elemen tanah tersebut berubah-ubah bentuk akibat adanya gaya geser bolak-balik. Karakteristik dinamik tanah terdiri dari parameter-parameter kekuatan tanah dalam menahan gaya geser gempa yaitu modulus geser ( $G$ ) dan rasio redaman ( $C$ ).

#### a. Modulus geser tanah ( $G$ )

Beban geser siklik (*bolak-balik*) pada suatu elemen tanah akan menyebabkan timbulnya perubahan bentuk yang ditandai timbulnya regangan relatif (*relative displacement*) diantara sisi atas dan sisi bawahnya. Derajat regangan inilah yang umumnya disebut dengan regangan geser (*shear strain*,  $\gamma^s$ ). Akibat beban geser ini juga akan menimbulkan suatu perlawanan dari elemen tanah tersebut pada suatu luas bidang geser tertentu yang dinyatakan dengan tegangan geser (*shear stress*,  $\tau$ ). Menurut Das (1993) modulus geser adalah perbandingan tegangan geser dengan regangan geser tanah, seperti yang di tunjukan pada Gambar 3.7.

Modulus geser akan menurun di saat regangan geser meningkat, jadi di saat regangan geser bernilai sangat rendah (berkisar antara  $10^{-6}$ ) maka nilai modulus geser adalah berada pada maksimum ( $G = G_{max}$ ) dengan demikian  $G_{max}$  adalah modulus geser pada kondisi tanah yang masih elastis.



**Gambar 3.7.** Hubungan antara Tegangan Geser dengan Regangan Geser Tanah (Das,1993)

Modulus geser tanah ( $G$ ) dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu : tegangan kekang efektif tanah “*effective confining pressure*” ( $\bar{\sigma}_o$ ), derajat konsolidasi (OCR), angka pori ( $e$ ) ,yang besarnya dapat dirumuskan melalui suatu persamaan empirik dalam unit satuan internasional (SI).

- 1) Nilai modulus geser maksimum untuk tanah lempung dan silt ( $\text{kg/cm}^2$ ),

$$G_{max} = 331ocr^k \frac{(2,973 - e)^2}{(1 + e)} \cdot \bar{\sigma}_o^{0.5} \dots\dots\dots(3.3)$$

dalam penelitian ini tanah lumpur (*silt*) dapat dikategorikan sama seperti lempung dan  $k_r$  (koefisien tanah) dipengaruhi oleh prosentase indeks plastisitas (PI) yaitu,

**Tabel 3.1** Nilai PI dan nilai  $k_t$  (Braja M. Das, 1993)

Indeks Plastisitas (%)	$k_t$
0	0
20	0,18
40	0,30
60	0,41
80	0,48
≥100	0,50

2) Nilai modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ) untuk tanah pasir ( $\text{kg/cm}^2$ ) dengan  $e < 0,80$  dapat diperoleh dengan Persamaan 3.4 atau 3.5.

a) Pasir bersih berbutir halus ( $\text{kg/cm}^2$ ).

$$G_{max} = 700 \frac{(2,17 - e)^2}{(1 + e)} \bar{\sigma}_o^{0.5} \dots\dots\dots(3.4)$$

b) Pasir bersih berbutir tajam ( $\text{kg/cm}^2$ ).

$$G_{max} = 326 \frac{(2,97 - e)^2}{(1 + e)} \bar{\sigma}_o^{0.5} \dots\dots\dots(3.5)$$

Menurut Das (1993), suatu sampel elemen tanah bila di bebani maka tegangan tanah tersebut berada pada kondisi dimana  $\bar{\sigma}_1 \neq \bar{\sigma}_2 \neq \bar{\sigma}_3$ , sehingga dicari nilai rata-rata untuk mendapatkan nilai  $\bar{\sigma}$  yang efektif. Untuk itu nilai tegangan kekang efektif ( $\bar{\sigma}_o$ ) diperoleh dengan rumus rata-rata :

$$\bar{\sigma}_o = \frac{(\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2 + \bar{\sigma}_3)}{3} \dots\dots\dots(3.6)$$

dimana :

– untuk tanah dengan satu lapisan

$$\bar{\sigma}_1 = \gamma_t \cdot H \dots\dots\dots(3.7)$$

$$\bar{\sigma}_2 = \bar{\sigma}_3 = k_o \cdot \bar{\sigma}_1 \dots\dots\dots(3.8)$$



- untuk tanah berlapis banyak

$$\bar{\sigma}_{1n} = \gamma_{ti} \cdot H_i + \bar{\sigma}_{1(n-1)} \dots\dots\dots(3.9)$$

$$\bar{\sigma}_{2n} = \bar{\sigma}_{3n} = k_o \cdot \bar{\sigma}_{1n} \dots\dots\dots(3.10)$$

keterangan :

$e$  = angka pori.

$\bar{\sigma}_o$  = tegangan kekang efektif ( $\text{kg/cm}^2$ ).

$OCR$  = *over consolidation ratio*.

$k_t$  = koefisien tanah (Tabel 3.1).

$\bar{\sigma}_1$  = tegangan vertikal efektif ( $\text{kg/cm}^2$ )

$\bar{\sigma}_2 = \bar{\sigma}_3$  = tegangan horizontal efektif ( $\text{kg/cm}^2$ )

$n$  = lapisan ke-1,2,3,...

$\gamma_t$  = berat volume tanah efektif ( $\text{kg/cm}^3$ )

$PI$  = indeks plastisitas (%)

$H$  = tebal lapisan tanah (cm)

Das (1993) menjelaskan bahwa nilai  $k_o$  adalah koefisien tekanan horizontal tanah saat diam dapat dilihat Persamaan 3.11 s/d 3.14.

- a)  $k_o$  untuk tanah pasir

Besarnya  $k_o$  untuk tanah pasir dapat menggunakan Persamaan 3.11, dimana  $\phi$  adalah nilai sudut geser dalam pasir.

$$k_o = 1 - \sin \phi' \dots\dots\dots(3.11)$$

Sedangkan untuk pasir kondisi *over consolidated (OCR)*, dinyatakan dengan Persamaan 3.12, dimana  $h$  adalah nilai eksponen empiris yang

berkisar antara 0,4 - 0,5 dan dapat mencapai 0,6 untuk pasir sangat padat.

$$k_o' = k_o (OCR)^h \dots\dots\dots(3.12)$$

b)  $k_o$  untuk tanah lempung

Nilai  $k_o$  untuk tanah lempung *normally consolidated* diberikan dalam Persamaan 3.13 dan 3.14.

$$k_o = 0,40 + 0,007 (PI) \text{ untuk } 0\% \leq PI \leq 40\% \dots\dots\dots(3.13)$$

$$k_o = 0,68 + 0,001 (PI) \text{ untuk } 40\% \leq PI \leq 80\% \dots\dots\dots(3.14)$$

Sedangkan untuk lempung pada kondisi tanpa pembebanan (*unloading*) dan pembebanan (*preloading*) nilai  $k_o$  diberikan seperti Persamaan 3.8 dengan nilai  $h = 0,4$  untuk  $PI = 20 \%$  adalah sedang untuk  $PI = 80 \%$  nilai  $h = 0,32$ .

Untuk mencari besarnya nilai modulus geser ( $G$ ) dengan cara manual dapat digunakan grafik hubungan modulus geser tanah dengan regangan geser tanah pada Gambar 3.8 dengan berbagai variasi nilai Indeks Plastisitas (Vucetic & Dobry,1991). Namun jika akan menggunakan bantuan program komputer akan dihitung secara *looping* (berulang-ulang untuk setiap iterasinya) maka grafik tidak dapat digunakan. Sehingga digunakan rumus pendekatan pada Persamaan 3.15 (Widodo, 1999), dimana nilai-nilai koefisien tanah  $k$ , koefisien berat volume  $\gamma_h$  dan koefisien  $\alpha$  dapat diambil dari Tabel 3.2.

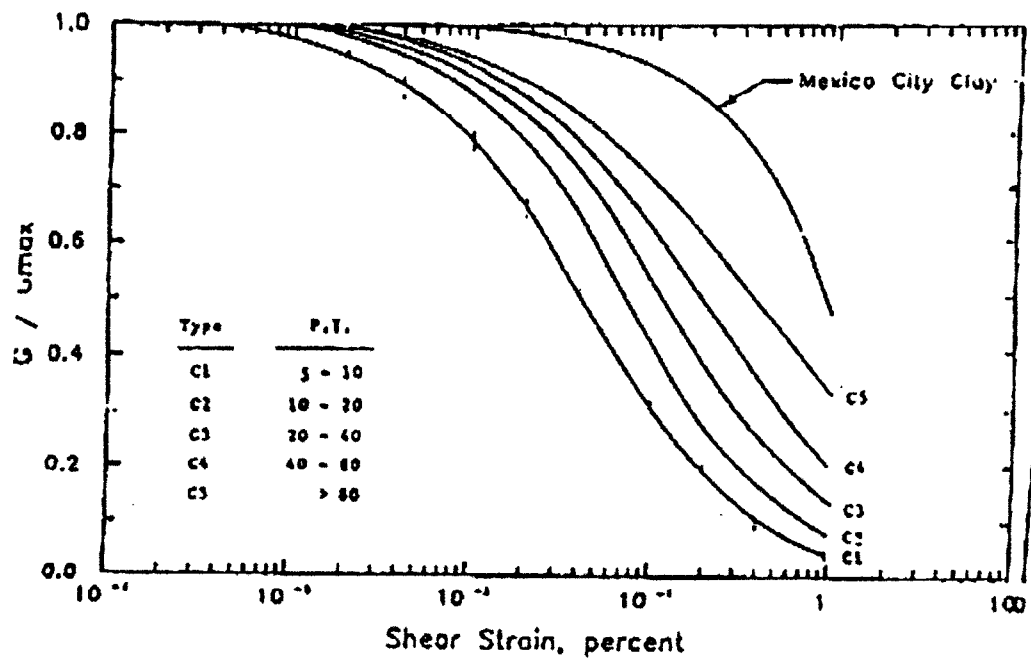
$$\frac{G}{G_{max}} \Rightarrow \frac{I}{I + \alpha \left\{ \frac{\gamma^s}{\gamma_h} \right\}}$$

menjadi,

$$G = \frac{I}{1 + \alpha \left\{ \frac{\gamma^s}{\gamma_h} \right\}^{\frac{1}{\alpha}}} \times G_{max} \quad \dots\dots\dots(3.15)$$

**Tabel 3.2.** Nilai  $PI$ ,  $k_t$ ,  $\gamma_h$ , dan  $\alpha$  (Widodo, 1999)

Type	Indeks Plastisitas (%)	$k_t$	$\gamma_h$	$\alpha$
c <sub>1</sub>	5 – 9	0	0,04	1,00
c <sub>2</sub>	10 – 19	0,18	0,07	1,00
c <sub>3</sub>	20 – 39	0,30	0,12	0,95
c <sub>4</sub>	40 – 79	0,41	0,20	0,87
c <sub>5</sub>	80 - 99	0,48	0,38	0,75
Mexico	$\geq 100$	0,50	1,10	0,97



**Gambar 3.8.** Nilai  $G/G_{max}$  untuk Nilai Regangan Geser Tertentu pada Semua Jenis Tanah (Vucetic & Dobry,1991)

#### b. Damping rasio

Redaman merupakan peristiwa penyerapan energi (*energy dissipation*) suatu elemen tertentu yang diakibatkan adanya beban geser terhadap partikel-

partikel elemen tersebut. Parameter redaman pada tanah disebut damping ratio ( $C$ ), Das (1993) mengklasifikasikan rumusan empirik damping ratio maksimum berdasarkan jenis tanahnya yaitu :

a) Pasir kering bersih

$$C_{max} = 33 - 1,5 (\log N) \dots\dots\dots(3.16)$$

b) Pasir basah bersih

$$C_{max} = 28 - 1,5 (\log N) \dots\dots\dots(3.17)$$

c) Lanau

$$C_{max} = 26 - 4 \bar{\sigma}_o^{0.5} + 0,7f^{0.5} - 1,5 (\log N) \dots\dots\dots(3.18)$$

d) Lempung/kohesif

$$C_{max} = 31 - (3 + 0,03f) \bar{\sigma}_o^{0.5} + 1,5f^{0.5} - 1,5 (\log N) \dots\dots\dots(3.19)$$

Dimana :  $f = 1/T =$  frekuensi alam (putaran per detik, cps).

$N =$  Nilai siklik equivalen saat  $0,65\tau_{max}$

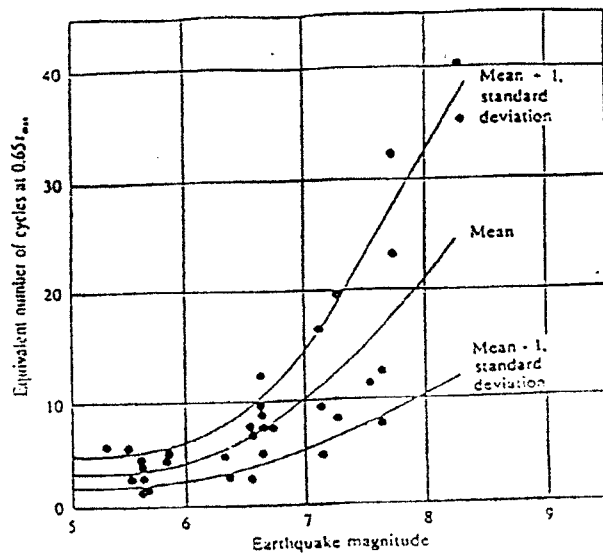
Untuk mencari besarnya nilai  $N$  dengan cara manual dapat digunakan grafik pada Gambar 3.9. Tetapi untuk rumus pendekatan dapat digunakan rumus pada Persamaan 3.20, dengan mengambil nilai  $N$  rata-rata (Seed & Idriss, 1975).

$$N = 0,0387 e^{0,7876.M} \dots\dots\dots(3.20)$$

dimana :

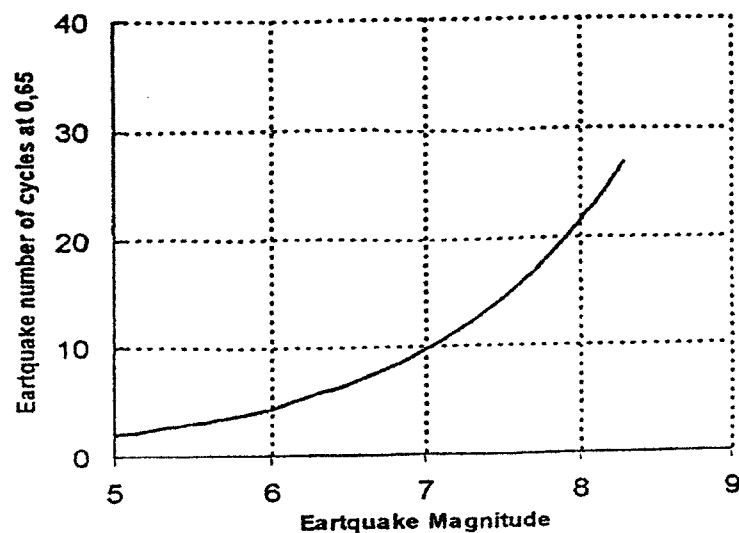
$M =$  Magnitudo gempa (dalam satuan Richter).

$e =$  Nilai eksponensial.



**Gambar 3.9.** Nilai  $N$  Equivalent (Seed & Idriss, 1975)

Menurut As'at (2003) dari Persamaan 3.20 tersebut bila dibuat grafiknya akan menghasilkan grafik yang hampir sama dengan grafik Gambar 3.9. Nilai  $N$  Equivalent (Seed & Idriss, 1975). Grafik pendekatan tersebut disajikan pada Gambar 3.10. Dengan demikian Persamaan 3.20 dapat digunakan sebagai persamaan pendekatan.



**Gambar 3.10.** Pendekatan Nilai  $N$  (As'at, 2003)

### c. Hubungan antara damping rasio dan modulus geser

Menurut Das (1993) hubungan antara damping rasio ( $C$ ) tanah dengan modulus geser ( $G$ ) tanah adalah seperti pada persamaan berikut ini :

$$C = C_{max} \left( 1 - \frac{G}{G_{max}} \right) \dots\dots\dots(3.21)$$

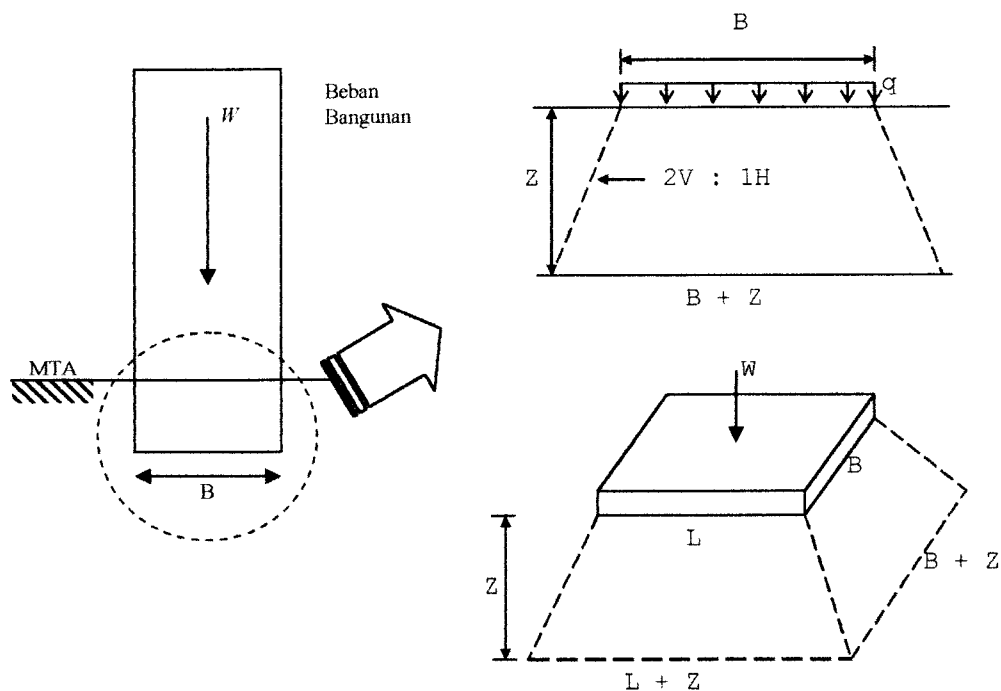
### 3.3. Pengaruh Massa Bangunan Terhadap Lapisan Tanah

Diduga kuat oleh para peneliti sebelumnya bahwa massa bangunan akan berpengaruh secara signifikan/berarti terhadap percepatan tanah didasar fondasi. Hal ini terjadi karena adanya interaksi (*coupling*) antara massa bangunan dengan tanah yang mendukungnya. Dengan adanya massa bangunan diatas lapisan tanah akan menambah besarnya tegangan vertikal ( $\bar{\sigma}_l$ ) yang pada akhirnya akan memperbesar kekakuan tanah.

Salah satu cara pendekatan yang sangat sederhana untuk menghitung tambahan tegangan beban adalah dengan menggunakan teori Boussinesq (Hardiyatmo, 2002). Caranya dengan membuat garis penyebaran beban 2V:1H (2 vertikal dibanding 1 horizontal). Anggapan dengan cara ini beban pondasi  $Q$  didukung oleh piramid yang mempunyai kemiringan sisi 2V :1H.

Dengan cara pendekatan ini, nilai tambahan tegangan vertikal dinyatakan oleh persamaan:

$$\Delta\sigma_z = \frac{W}{(L+z)(B+z)} \dots\dots\dots(3.22)$$



**Gambar 3.11.** Penyebaran Beban 2V : 1H (Hardiyatmo, 2002)

$$\Delta\sigma_z = \frac{qLB}{(L+z)(B+z)} \dots\dots\dots(3.23)$$

dengan :

$\Delta\sigma_z$  = tambahan tegangan vertikal ( $\text{kg/cm}^2$ ).

$W$  = beban total pada dasar pondasi (Ton).

$q$  = beban terbagi rata pada dasar pondasi ( $\text{kg/cm}^2$ ).

$L$  = panjang area pondasi (m).

$B$  = lebar area pondasi (m).

$z$  = kedalaman yang ditinjau (m).

Cara ini dapat juga untuk menghitung pondasi berbentuk jalur memanjang. Dalam hal ini, bentuk penyebaran beban yang berupa piramid

berubah menjadi berbentuk trapesiodal. Selanjutnya, tambahan tegangan vertikal pada pondasi memanjang dinyatakan oleh :

$$\Delta\sigma_z = \frac{qB}{(B+z)} \dots\dots\dots(3.24)$$

Dalam menghitung besarnya tegangan total yang terjadi di dalam tanah, setelah tegangan vertikal yang diperoleh dari persamaan teori Boussinesq yaitu teori penyebaran beban 2V:1H diperoleh, hasilnya masih harus ditambahkan dengan tegangan akibat beban tanah (tegangan vertikal,  $\sigma_v$ ) di kedalaman yang ditinjau (yaitu tekanan overburden). Sehingga rumusnya adalah sebagai berikut :

$$\bar{\sigma}_1(total) = \sigma_v + \Delta\sigma_z \dots\dots\dots(3.25)$$

dimana

$$\sigma_v = \bar{\sigma}_1 = \text{tegangan vertikal efektif (kg/cm}^2\text{)}$$

### 3.4. Fungsi Regangan Geser Tanah

Pemodelan dari perilaku tanah pada kondisi *random & cyclic loading* harus dibuat sedemikian rupa hingga model dapat di duplikasikan pada karakteristik deformasi yang berbeda. Ketika perilaku tanah pada daerah *small strain*, penggunaan elastis model dapat digunakan. Ketika kondisi tanah pada *medium range of strain* yang kurang lebih di bawah level  $10^{-3}$ , perilaku tanah menjadi *Visco-elastic* yang berarti modulus geser tanah cenderung berkurang mengikuti pertambahan nilai dari regangan geser. Menurut As'at (2003), bila tanah pada kondisi seperti yang dijelaskan tersebut maka penggunaan *linier*



*viscoelastic theory* dapat digunakan, yang berarti modulus geser dan damping rasio dapat ditentukan sebagai fungsi dari regangan geser.

Untuk lebih jelasnya pemodelan tanah dan teori respon analisisnya pada berbagai kondisi tanah dapat dilihat pada Gambar 3.12.

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

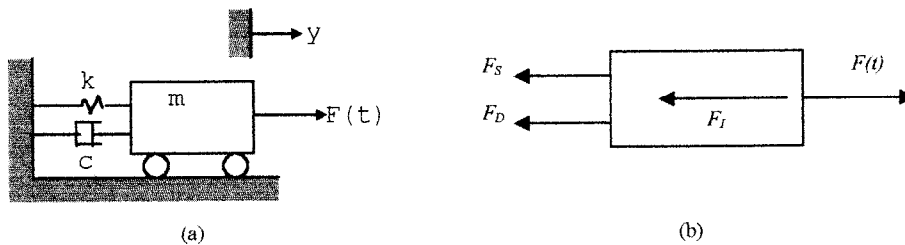
**Gambar 3.12.** Perubahan Propertis Tanah dengan Regangan Geser, Prinsip *corresponding modelling* dan Metode Respon Analisis (K. Ishihara, 1982)

### 3.5. Analisis Dinamika Struktur

Pada saat getaran gempa bumi sampai pada batuan dasar (*base rock*) dimana parameter lapisan tanah diketahui, maka percepatan tanah atau gerak tanah bebas dapat diperoleh dengan memperlakukan lapisan tanah persis seperti suatu sistem struktur (Das, 1993).

### 3.5.1. Persamaan differensial struktur SDOF

Sifat-sifat fisik dari setiap sistem struktur yang elastik secara linier yang dikenakan pada beban dinamik meliputi massa, sifat elastik (kelenturan atau kekakuan), mekanisme kehilangan energi atau peredaman dan sumber luar eksitasi atau pembebanannya (Widodo,2001). Dalam model yang paling sederhana dari suatu sistem derajat kebebasan tunggal (*single degree of freedom* "SDOF"), masing-masing sifat tersebut dianggap terpusat pada elemen fisik tunggal.



**Gambar 3.13.** Model Struktur Berderajat Kebebasan Tunggal (Widodo,2001)

Berdasarkan Gambar 3.13.(a) diatas, apabila beban dinamik  $F(t)$  bergerak ke kanan maka akan ada perlawanan dari pegas, damper, dan gaya inersia. Gambar 3.13.(b) adalah gambar keseimbangan dinamik yang disebut *free body diagram* yang mana hubungannya adalah :

$$F_I + F_D + F_S = F(t) \quad \dots\dots\dots(3.26)$$

dimana,

$$F_I = m \cdot \ddot{y} = \text{Gaya Inersia (Inertia)}$$

$$F_D = c \cdot \dot{y} = \text{Gaya Redaman (Damping)}$$

$$F_S = k \cdot y = \text{Gaya kekakuan (Stiffness)}$$

kemudian Persamaan 3.26 disubstitusikan menjadi :

$$m.\ddot{y} + c.\dot{y} + k.y = F(t) \quad \dots\dots\dots(3.27)$$

Sedangkan persamaan differensial gerakan suatu massa dengan derajat kebebasan tunggal akibat gerakan tanah *base motion* adalah :

$$m.\ddot{y} + c.\dot{y} + k.y = -m.\ddot{y}_t \quad \dots\dots\dots(3.28)$$

dimana,

$y$  = simpangan.

$\dot{y}$  = kecepatan.

$\ddot{y}$  = percepatan.

$c$  = redaman.

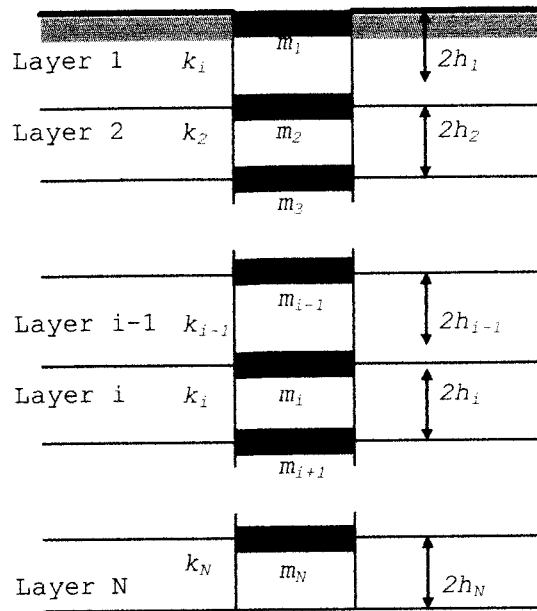
$m$  = massa.

$\ddot{y}_t$  = beban percepatan gempa.

### 3.5.2. Persamaan differensial struktur MDOF

Menurut Das (1993) lapisan-lapisan tanah dapat di analogi-kan seperti sistim struktur pada bangunan, maka respon lapisan-lapisan tanah akibat gempa dianalisis melalui pendekatan sistim berderajat kebebasan banyak (*Multy Degree of Freedom* "MDOF") sesuai dengan jumlah lapisannya.

Pada struktur dengan derajat kebebasan tunggal berarti hanya mempunyai satu massa. Sedangkan struktur dengan derajat kebebasan banyak berarti dikaitkan dengan jumlah massa yang banyak. Misalnya suatu properti tanah yang memiliki empat lapis berarti mempunyai empat massa dan empat derajat kebebasan.



**Gambar 3.14.** Massa Tergumpal Pada Lapisan Horizontal (Das,1993)

Suatu profil tanah yang terdiri dari beberapa lapis, satu lapis tanah tersebut dianggap homogen dan dimodel sebagai suatu massa tergumpal (*lump mass*) seperti pada Gambar 3.14. Dari gambar tersebut massa ( $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ ) dan kekakuan ( $k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$ ) lapisan tanah dapat dihitung dengan rumus pendekatan seperti pada Persamaan 3.29, 3.30, dan 3.31 (Das, 1993).

$$m = \frac{W_{tanah}}{g} = \frac{\gamma_k \cdot h}{g} \dots\dots\dots(3.29)$$

$$m_n = \frac{\gamma_{n-1}h_{n-1} + \gamma_n h_n}{g} \quad \text{dengan } n = 1,2,\dots,N \dots\dots\dots(3.30)$$

$$k_n = \frac{G_n}{2h_n} \quad \text{dengan } n = 1,2,\dots,N \dots\dots\dots(3.31)$$

dimana :

$m_n$  = massa tergumpal pada lapisan tanah ke- $n$  (kg .dt<sup>2</sup>/cm).

$K_n$  = kekakuan yang menghubungkan massa  $m_n$  dan  $m_{n+1}$ . (kg/cm<sup>2</sup>)

$\gamma_n$  = berat volume tanah pada lapisan ke- $n$ . ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )

$h_n$  =  $\frac{1}{2} \cdot H_n$  = setengah kedalaman tanah pada lapisan ke- $n$ . (cm)

$g$  = percepatan gravitasi ( $980 \text{ cm}/\text{dt}^2$ ).

Persamaan differensial gerakan dapat dicari dengan menggunakan prinsip keseimbangan dinamik pada suatu massa yang ditinjau. Untuk memperoleh persamaan tersebut maka diambil model struktur MDOF seperti pada Gambar 3.15. Dengan memperhatikan diagram kesetimbangan (*free body diagram*) Gambar 3.15.(b) maka didapat simultan gerakan massa. Ada perbedaan pada Gambar 3.15.(b) dengan Gambar 3.13.(a) dimana tidak terdapat *damping* ( $c$ ) dalam persamaannya, hal ini dimaksudkan untuk menyederhanakan hitungan aljabarnya. Pada frekuensi sudut struktur yang memiliki redaman (*damped frequency*,  $\omega_d$ ) nilainya hampir sama dengan frekuensi sudut pada struktur yang dianggap tanpa redaman (*undamped frequency*,  $\omega$ ),

$$\omega_d \cong \omega$$

karena diperoleh sebelumnya bahwa nilai *damping ratio* ( $C$ ) relatif sangat kecil dan dapat dianggap  $C = 0$  (Widodo, 2001).

Kemudian seperti yang dijabarkan pada *free body diagram* Gambar 3.15.(b), selanjutnya dapat dirumuskan dalam Persamaan 3.32 s/d Persamaan 3.35.

$$m_1 \ddot{y}_1 + k_1 y_1 - k_2 (y_2 - y_1) = 0 \quad \dots\dots\dots(3.32)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 + k_2 (y_2 - y_1) - k_3 (y_3 - y_2) = 0 \quad \dots\dots\dots(3.33)$$

$$m_3 \ddot{y}_3 + k_3 (y_3 - y_2) - k_4 (y_4 - y_3) = 0 \quad \dots\dots\dots(3.34)$$

$$m_4 \ddot{y}_4 + k_4 (y_4 - y_3) = 0 \quad \dots\dots\dots(3.35)$$

Persamaan 3.32 s/d Persamaan 3.35 dapat disusun secara matematis menjadi Persamaan 3.36 s/d Persamaan 3.39.

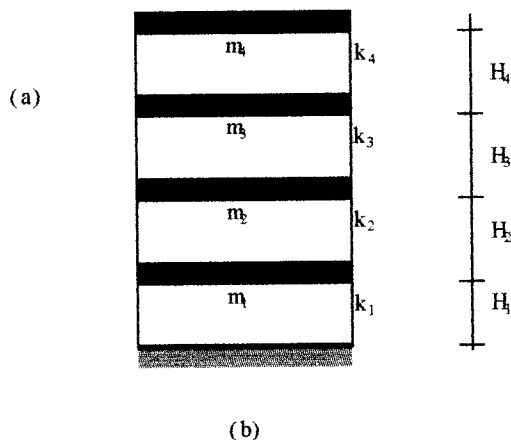
$$m_1 \ddot{y}_1 + (k_1 + k_2)y_1 - k_2 y_2 = 0 \quad \dots\dots\dots(3.36)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 - k_2 y_1 + (k_2 + k_3)y_2 - k_3 y_3 = 0 \quad \dots\dots\dots(3.37)$$

$$m_3 \ddot{y}_3 - k_3 y_2 + (k_3 + k_4)y_3 - k_4 y_4 = 0 \quad \dots\dots\dots(3.38)$$

$$m_4 \ddot{y}_4 - k_4 y_3 - k_4 y_4 = 0 \quad \dots\dots\dots(3.39)$$

Dimana nilai  $m$  dan  $k$  dapat dicari dengan menggunakan Persamaan 3.30 dan Persamaan 3.31 sesuai dengan nomor letak lapisan yang ditinjaunya.



**Gambar 3.15.** Sistem Struktur Tanah MDOF Empat Lapis

(a) Model Struktur Tanah, (b) Diagram Kesetimbangan (*free body diagram*).

Persamaan diatas disusun menjadi sebuah matriks, yaitu :

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \\ \ddot{y}_4 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_3 & (k_3 + k_4) & -k_4 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad \dots\dots\dots(3.40)$$

dimana :

$m$  = massa tiap lapis tanah (kg dt<sup>2</sup>/cm).

$k$  = kekakuan tiap lapis tanah (kg/cm).

$y$  = simpangan (cm).

$\ddot{y}$  = percepatan tanah (cm/dt<sup>2</sup>).

### a. Persamaan *eigenproblem* dan *mode shape*

Persamaan *eigenproblem* adalah nilai karakteristik/besaran yang sudah memiliki frekuensi sudut ( $\omega$ ), periode getar ( $T$ ), frekuensi ( $f$ ) dan *normal modes* ( $\Phi$ ) (Widodo, 2001). Persamaan *eigenproblem* tersebut adalah :

$$\begin{bmatrix} (k_1 + k_2) - \omega^2 m_1 & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) - \omega^2 m_2 & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_3 & (k_3 + k_4) - \omega^2 m_3 & -k_4 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 - \omega^2 m_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad \dots(3.41)$$

dimana :

$\Phi$  = mode shape lapisan tanah

$\omega$  = frekuensi sudut (rad/dt)

Untuk penyederhanaan perhitungan maka diambil suatu notasi besaran, yaitu nilai unit untuk  $k$  (unit kekakuan) dan  $m$  (unit massa), maka  $k_1 = k_2 = k_3 = k_4 = k$  dan  $m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = m$  sehingga,

$$\begin{bmatrix} 2k - \omega^2 m & -k & 0 & 0 \\ -k & 2k - \omega^2 m & -k & 0 \\ 0 & -k & 2k - \omega^2 m & -k \\ 0 & 0 & -k & k - \omega^2 m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(3.42)$$

Persamaan 3.42 dapat ditulis menjadi :

$$\begin{bmatrix} 2 - \frac{\omega^2 m}{k} & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 2 - \frac{\omega^2 m}{k} & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 2 - \frac{\omega^2 m}{k} & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 - \frac{\omega^2 m}{k} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(3.43)$$

Jika  $\lambda = \frac{\omega^2 m}{k}$  (*initial eigenvalue*), maka

$$\begin{bmatrix} (2 - \lambda) & -1 & 0 & 0 \\ -1 & (2 - \lambda) & -1 & 0 \\ 0 & -1 & (2 - \lambda) & -1 \\ 0 & 0 & -1 & (1 - \lambda) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(3.44)$$

Persamaan 3.44 jika disederhanakan menjadi persamaan aljabar *polynomial* biasa, yaitu akan diperoleh Persamaan 3.45 s/d Persamaan 3.48.

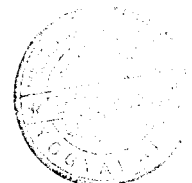
$$(2 - \lambda)\phi_1 - \phi_2 = 0 \dots\dots\dots(3.45)$$

$$-\phi_1 + (2 - \lambda)\phi_2 - \phi_3 = 0 \dots\dots\dots(3.46)$$

$$-\phi_2 + (2 - \lambda)\phi_3 - \phi_4 = 0 \dots\dots\dots(3.47)$$

$$-\phi_3 + (1 - \lambda)\phi_4 = 0 \dots\dots\dots(3.48)$$

Persamaan *polynomial* diatas kemudian di selesaikan dengan cara substitusi untuk mendapatkan nilai *mode shape*  $\Phi_4, \Phi_3, \Phi_2,$  dan  $\Phi_1$ . Setelah *mode*





*shape* di dapat maka nilai percepatan tanah, kecepatan tanah dan simpangan tanah kemudian dapat dicari (Widodo, 2001).

#### b. Percepatan, kecepatan dan simpangan tanah

Setelah nilai *mode shape* didapat maka dengan mudah nilai percepatan tanah, kecepatan tanah dan simpangan tanah diperoleh berdasarkan pada Persamaan *uncoupling (independent)* (Widodo 2001). Dengan memakai prinsip hubungan orthogonal maka persamaan *coupling (dependent)* dapat ditransfer ke Persamaan *uncoupling (independent)* untuk memudahkan penyelesaian seperti pada struktur SDOF. Pada persamaan *coupling (dependent)* seperti struktur MDOF akibat beban dinamik adalah :

$$[M]\{\ddot{Y}\} + [C]\{\dot{Y}\} + [K]\{Y\} = -[M]\{1\}\ddot{y}_g \quad \dots\dots\dots(3.49)$$

Pada kondisi shear building masing-masing modes akan memberikan kontribusi sebagai berikut :

$$\{Y\} = [\phi] * \{Z\} \quad \dots\dots\dots(3.50)$$

dengan derivatif pertama dan kedua adalah :

$$\{\dot{Y}\} = [\phi] * \{\dot{Z}\} \quad \dots\dots\dots(3.51)$$

$$\{\ddot{Y}\} = [\phi] * \{\ddot{Z}\} \quad \dots\dots\dots(3.52)$$

Pers.3.49 disubstitusi ke Pers. 3.50 s/d 3.52 maka didapat :

$$[M]\{\phi\}\{\ddot{Z}\} + [C]\{\phi\}\{\dot{Z}\} + [K]\{\phi\}\{Z\} = -[M]\{1\}\ddot{y}_g \quad \dots\dots\dots(3.53)$$

Persamaan 3.53 adalah 1-set persamaan simultan *dependent non-homogen*. Untuk dapat mentransfer persamaan *dependent* ke persamaan

*independent*, maka Pers 3.53 di *premultiply* dengan transpose suatu mode  $\{\phi\}^T$  sehingga diperoleh,

$$\{\phi\}^T [M][\phi] \ddot{Z} + \{\phi\}^T [C][\phi] \dot{Z} + \{\phi\}^T [K][\phi] Z = -\{\phi\}^T [M][1] \ddot{y}, \dots(3.54)$$

apabila *i* tidak sama dengan *j* maka hubungan orthogonal persamaan differensial *independent* adalah sebagai berikut :

$$\{\phi\}_j^T [M][\phi]_j \ddot{Z}_j + \{\phi\}_j^T [C][\phi]_j \dot{Z}_j + \{\phi\}_j^T [K][\phi]_j Z_j = -\{\phi\}_j^T [M][1] \ddot{y}_j, \dots(3.55)$$

Jika :

$$\begin{aligned} M_j^* &= \{\phi\}_j^T [M][\phi]_j \ddot{Z}_j & P_j^* &= \{\phi\}_j^T [M][1] \ddot{y}_j \\ C_j^* &= \{\phi\}_j^T [C][\phi]_j \dot{Z}_j & K_j^* &= \{\phi\}_j^T [K][\phi]_j Z_j \end{aligned}$$

maka Persamaan 3.55 dapat menjadi Persamaan 3.56.

$$M_j^* \ddot{Z}_j + C_j^* \dot{Z}_j + K_j^* Z_j = -P_j^* \ddot{y}_j, \dots(3.56)$$

jika Persamaan 3.56 dibagi dengan  $M_j^*$ , dengan

$$\frac{C_j^*}{M_j^*} = 2.c.\omega_j, \frac{K_j^*}{M_j^*} = \omega_j^2, \text{ dan } \frac{P_j^*}{M_j^*} = \Gamma_j$$

maka dapat ditulis dalam bentuk differensial menjadi Persamaan 3.57

$$\ddot{Z}_j + 2.c_j \omega_j \dot{Z}_j + \omega_j^2 Z_j = -\Gamma_j \ddot{y}_j, \dots(3.57)$$

dengan :

- $\ddot{Z}$  = modal amplitudo
- $\Gamma$  = partisipasi mode

$$Z = g_j * \Gamma_j, \quad \dot{Z} = \dot{g}_j * \Gamma_j, \quad \ddot{Z} = \ddot{g}_j * \Gamma_j$$

Dengan mensubstitusi persamaan diatas ke dalam Persamaan 3.57, maka didapat Persamaan 3.58.

$$\ddot{g}_j + 2.c_j \omega_j \dot{g}_j + \omega_j^2 g_j = -\ddot{y}_t \dots\dots\dots(3.58)$$

Untuk menghitung nilai  $\ddot{g}_j$  dengan memakai metode *central difference*, diperoleh hubungan sebagai berikut,

$$\dot{g}_j = \frac{g_{j+1} - g_{j-1}}{2\Delta t} \text{ dan } \ddot{g}_j = \frac{g_{j+1} - 2g_j + g_{j-1}}{(\Delta t)^2} \dots\dots\dots(3.59)$$

Untuk mencari nilai  $g_{j+1}$  substitusi Persamaan 3.59 kedalam Persamaan 3.58, sehingga diperoleh persamaan,

$$\frac{g_{j+1} - 2g_j + g_{j-1}}{(\Delta t)^2} + 2c\omega_j \frac{g_{j+1} - g_{j-1}}{2\Delta t} + \omega_j^2 g_j = -\ddot{y}_t \dots\dots\dots(3.60)$$

Persamaan 3.60 dapat ditulis menjadi,

$$\left[ \frac{1}{(\Delta t)^2} + \frac{2c\omega_j}{2\Delta t} \right] g_{j+1} = -\ddot{y}_t \left[ \omega_j^2 - \frac{2}{(\Delta t)^2} \right] g_j - \left[ \frac{1}{(\Delta t)^2} - \frac{2c\omega_j}{2\Delta t} \right] g_{j-1} \dots\dots\dots(3.61)$$

Persamaan 3.61 dapat ditulis menjadi,

$$g_{j+1} = \frac{-\ddot{y}_t - ag_j - bg_{j-1}}{\hat{k}} \dots\dots\dots(3.62)$$

dengan,

$$a = \left[ \omega_j^2 - \frac{2}{(\Delta t)^2} \right], \quad b = \left[ \frac{1}{(\Delta t)^2} - \frac{2c\omega_j}{2\Delta t} \right], \quad \hat{k} = \left[ \frac{1}{(\Delta t)^2} + \frac{2c\omega_j}{2\Delta t} \right]$$

Dari seluruh persamaan diatas dimana,

$$\Delta t = \text{step integrasi (0,01 dt).}$$

$\omega$  = frekuensi sudut (rad/dt).

$\ddot{y}_i$  = data rekaman gempa (percepatan tanah, cm/dt<sup>2</sup>).

Dengan demikian diperoleh persamaan simpangan, kecepatan, dan percepatan yang ditulis berturut-turut menjadi Persamaan 3.63 s/d 3.65.

$$y = [\phi] * \{Z\} \dots\dots\dots(3.63)$$

$$\dot{y} = [\phi] * \{\dot{Z}\} \dots\dots\dots(3.64)$$

$$\ddot{y} = [\phi] * \{\ddot{Z}\} \dots\dots\dots(3.65)$$

dimana :

$\phi$  = mode shape.  $\ddot{g}_j$  = iterasi notasi percepatan

$y$  = simpangan tanah.  $\dot{g}_j$  = iterasi notasi kecepatan

$\dot{y}$  = kecepatan tanah.  $g_j$  = iterasi notasi simpangan

$\ddot{y}$  = percepatan tanah.  $c$  = rasio redaman

### c. Integrasi numerik metode *central difference*

Metode numerik adalah teknik untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang diformulasikan secara matematik dengan cara operasi hitungan (aritmatik). Dalam metode numerik dilakukan operasi hitungan dalam jumlah yang sangat banyak dan berulang-ulang. Oleh karena itu diperlukan bantuan program komputer untuk melaksanakan operasi tersebut (As'at, 2003).

Persyaratan yang harus dipenuhi dalam proses integrasi numerik adalah harus stabil, sehingga kesalahan yang mungkin muncul diawal integrasi tidak ter-amplifikasi (menjadi besar atau bahkan sangat besar) pada akhir integrasi

numerik. Metode yang dapat menimbulkan kesalahan amplifikasi pada akhir integrasi numerik adalah *Central Difference*. Namun metode *conditional stable* dalam hal ini adalah metode *central difference* akan dapat menjadi *unconditional stable* apabila interval waktu  $\Delta t$  yang dipakai tidak lebih dari 0,01 dari periode getar struktur (Widodo 2001).

Dengan mempertimbangkan adanya kemudahan dalam proses analisisnya maka didalam penelitian ini metode yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan differensial gerakan adalah metode *central difference* yang berdasarkan pada nilai pendekatan derivatif atas fungsi waktu, baik untuk parameter kecepatan maupun percepatan sebagaimana tampak pada Gambar 3.16. Kedua parameter tersebut kemudian dinyatakan dalam fungsi simpangan. Apabila diambil waktu interval ( $\Delta t$ ) secara konstan selama waktu pembebanan, maka menurut prinsip *central difference*, kecepatan dan percepatan dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.66 dan Persamaan 3.67.

$$\dot{y}_i = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2 \Delta t} \dots\dots\dots(3.66)$$

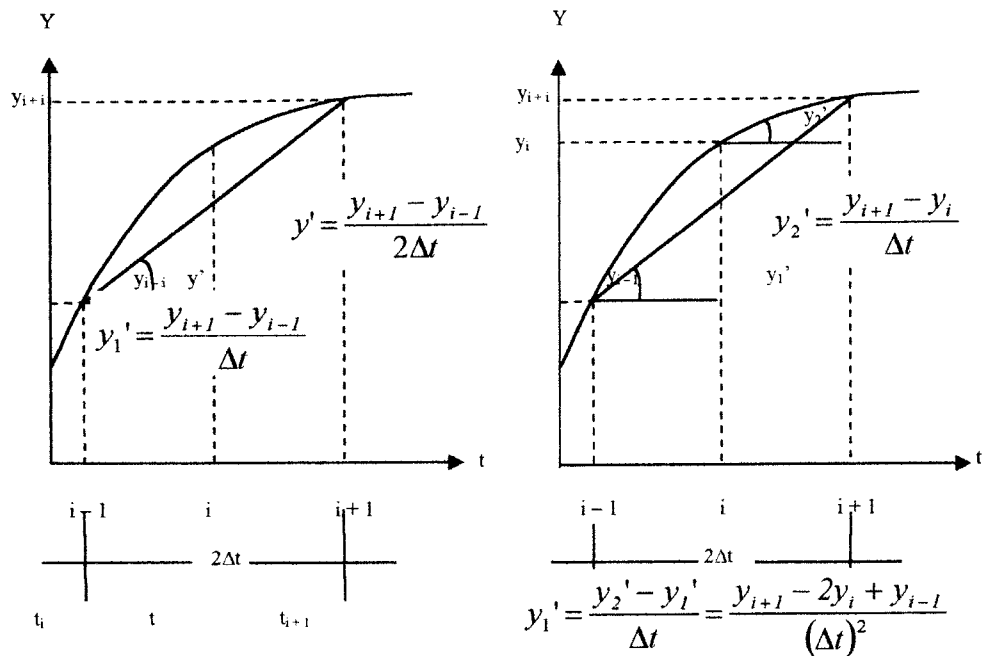
$$\ddot{y}_i = \frac{y_{i+1} - 2\Delta t + y_{i-1}}{(\Delta t)^2} \dots\dots\dots(3.67)$$

Jika Persamaan 3.66 dan 3.67 disubstitusikan kedalam Persamaan 3.28 maka akan diperoleh Persamaan 3.68.

$$m \left( \frac{y_{i+1} - 2\Delta t + y_{i-1}}{(\Delta t)^2} \right) + c \left( \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2 \Delta t} \right) + ky = -m\ddot{y}_{t,i} \dots\dots\dots(3.68)$$

Persamaan 3.68 mengandung nilai-nilai  $y_{i-1}$ ,  $y_i$  dan  $y_{i+1}$  dan yang akan dihitung adalah nilai  $y_{i+1}$ . Agar nilai  $y_{i+1}$  dapat dihitung, maka nilai-nilai  $y_i$  dan  $y_{i-1}$ .

, harus sudah diketahui. Untuk itu Persamaan 3.68 dapat disederhanakan menjadi Persamaan 3.69.



**Gambar 3.16.** Derivatif Pertama dengan Metode *Central Difference* (Widodo,2001)

$$\left[ \frac{m}{(\Delta t)^2} + \frac{c}{2\Delta t} \right] y_{i+1} = -m\ddot{y}_{t_i} - \left[ k - \frac{2m}{(\Delta t)^2} \right] y_i - \left[ \frac{m}{(\Delta t)^2} - \frac{c}{2\Delta t} \right] y_{i-1} \quad \text{..(3.69)}$$

Apabila Persamaan 3.69 diambil suatu notasi  $\hat{k} = \left[ \frac{m}{(\Delta t)^2} + \frac{c}{2\Delta t} \right]$ ,

$$a = \left[ k - \frac{2m}{(\Delta t)^2} \right], \quad b = \left[ \frac{m}{(\Delta t)^2} - \frac{c}{2\Delta t} \right] \text{ maka akan didapat Persamaan 3.70, serta}$$

dapat ditulis menjadi Persamaan 3.71.

$$\hat{k}y_{i+1} = -m\ddot{y}_{t_i} - ay_i - by_{i-1} \quad \text{.....(3.70)}$$

$$y_{i+1} = \frac{-m\ddot{y}_{t_i} - ay_i - by_{i-1}}{k} \quad \text{.....(3.71)}$$

Persamaan 3.71 memperlihatkan bahwa simpangan pada point  $i+1$  dapat dihitung apabila simpangan pada point  $i$ ,  $y_i$  dan point  $i-1$ ,  $y_{i-1}$  sudah diketahui. Apabila proses integrasi numerik dimulai dari  $i=0$ , maka simpangan prasyarat yang harus ada adalah  $y_0$  dan  $y_{-1}$ . Umumnya terdapat suatu kondisi awal  $y_0$  dan  $\dot{y}_0$  yaitu simpangan dan kecepatan pada saat  $t=0$ , atau dalam perkataan lain  $y_0$  dan  $\dot{y}_0$  sudah diketahui. Dengan demikian tinggal mencari besarnya  $y_{-1}$ . Untuk itu pembahasan kembali pada Persamaan 3.66 dan Persamaan 3.67 dengan indeks  $i=0$  menjadi Persamaan 3.72 dan Persamaan 3.73.

$$\dot{y}_i = \frac{y_i - y_{i-1}}{2\Delta t} \quad \dots\dots\dots(3.72)$$

$$\ddot{y}_i = \frac{y_i - 2y_0 - y_{i-1}}{(\Delta t)^2} \quad \dots\dots\dots(3.73)$$

Nilai  $y_i$  yang diperoleh dari Persamaan 3.71 yang disubstitusi ke Persamaan 3.73, sehingga diperoleh Persamaan 3.74 dan Persamaan 3.75.

$$\ddot{y}_0 = \frac{2\Delta t\dot{y}_0 + y_{-1} - 2y_0 + y_{-1}}{(\Delta t)^2} \quad \dots\dots\dots(3.74)$$

$$y_{-1} = y_0 - \Delta t\dot{y}_0 + (\Delta t)^2 \ddot{y}_0 \quad \dots\dots\dots(3.75)$$

Untuk mencari besarnya  $y_{-1}$  menurut Persamaan 3.74 dan Persamaan 3.75, maka tinggal besarnya  $\ddot{y}_0$  yang belum diketahui. Untuk itu dengan mengambil persamaan differensial gerakan saat  $t=0$ , yang ditulis dalam Persamaan 3.76 didapat Persamaan 3.77.

$$m\ddot{y}_0 + c\dot{y}_0 + ky_0 = -m\ddot{y}_{ti} \quad \dots\dots\dots(3.76)$$

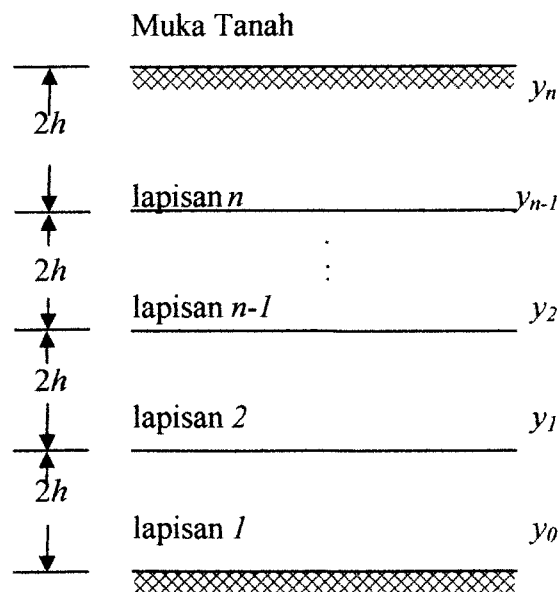
$$\ddot{y}_0 = \frac{-\ddot{y}_0 - c\dot{y}_0 - ky_0}{m} \quad \dots\dots\dots(3.77)$$

### 3.6. Analisis Respon Seismik Lapisan Tanah Non Linier Elastis

Pada awal step integrasi non linier elastis modulus geser yang dipakai adalah  $G = G_{max}$  kemudian dianalisis dinamik seperti pada persamaan-persamaan yang ada pada subbab 3.5., didapatkan simpangan, kecepatan, dan percepatan tanah non linier elastis untuk step integrasi pertama ( $t = 0,01$  detik), setelah itu maka masuk ke analisis non linier elastis untuk step integrasi yang kedua.

#### 3.6.1. Regangan geser non linier elastis

Untuk masuk ke step integrasi kedua dibutuhkan nilai simpangan dari step integrasi yang pertama, dari nilai simpangan tersebut dicari nilai regangan geser non linier elastis untuk step integrasi yang selanjutnya (yang kedua) seperti pada Persamaan 3.78. Setelah didapatkan nilai regangan geser kemudian dicari nilai modulus gesernya untuk step integrasi tersebut.



**Gambar 3.17.** Lapisan dan Regangan Geser Tanah Non Linier Elastis



$$\gamma^s_{lap1(i)} = \frac{y_{1(i)} - y_{0(i)}}{2h_n} \quad , \quad \gamma^s_{lap2(i)} = \frac{y_{2(i)} - y_{1(i)}}{2h_n}$$

$$\gamma^s_{lapn(i)} = \frac{y_{n(i)} - y_{n-1(i)}}{2h_n} \quad \dots\dots\dots(3.78)$$

dimana :

$\gamma^s_{lapn(i)}$  = regangan geser tanah lapisan ke- $n$  pada iterasi ke- $i$ . (cm)

$y_{n(i)}$  = simpangan lapisan tanah ke- $n$  pada iterasi ke- $i$ .(cm)

$2h_n$  = tebal lapisan tanah ke- $n$ . (cm)

Dari Gambar 3.17 dapat dihasilkan rumus untuk regangan geser tanah non linier elastis pada Persamaan 3.78 dengan tinjauan perbedaan simpangan tiap lapisan tanah.

### 3.6.2. Modulus geser dan kekakuan non linier elastis

Seperti dijelaskan pada subbab 3.6.1. setelah didapatkan nilai regangan geser untuk step yang kedua maka dicari nilai modulus gesernya untuk step yang sama (kedua). Nilai modulus geser tersebut dapat dicari seperti pada Persamaan 3.79. setelah nilai modulus geser kedua didapat maka dicari nilai kekakuan untuk step yang kedua. Setelah nilai kekakuan didapat maka proses selanjutnya adalah menghitung analisis dinamikanya seperti persamaan-persamaan yang ada pada subbab 3.5. sampai selesai hingga didapatkan simpangan, kecepatan, dan percepatan untuk step integrasi kedua. Sampai disini step integrasi kedua selesai dilakukan. Seterusnya di analisis kembali step integrasi ketiga yaitu mulai dengan mencari nilai regangan geser yang baru seperti pada Persamaan 3.78

dimana nilai simpangan pada rumus tersebut adalah nilai simpangan untuk step integrasi yang kedua.

Setelah didapat nilai regangan geser yang baru untuk step integrasi yang ketiga dicari nilai modulus geser dan kekakuan yang baru untuk step yang ketiga seperti pada Persamaan 3.79 dan Persamaan 3.80, dari nilai kekakuan yang baru tersebut dihitung analisis dinamikanya seperti persamaan-persamaan yang ada pada subbab 3.5, sampai didapatkan nilai simpangan, kecepatan, dan percepatan untuk step yang ketiga begitulah seterusnya untuk step berikutnya dilakukan seperti yang sudah-sudah, sampai pada step integrasi yang terakhir yaitu  $t = t_g$ ,

$$G_{lapn(i)} = \frac{I}{1 + \alpha \left\{ \frac{\gamma_{lapn(i)}^s}{\gamma_h} \right\}} \times G_{max lap n} \dots\dots\dots(3.79)$$

dimana,

$G_{lapn(i)}$  = modulus geser tanah lapisan ke- $n$  pada iterasi ke- $i$  ( $\text{kg/cm}^2$ ).

$\gamma_{lapn(i)}^s$  = regangan geser tanah lapisan ke- $n$  pada iterasi ke- $i$  (cm).

$G_{max lap n}$  = modulus geser maksimum tanah lapisan ke- $n$  ( $\text{kg/cm}^2$ ).

$t$  = waktu (dt)

$t_g$  = waktu gempa (dt)

$$k_{lapn(i)} = \frac{G_{lapn(i)}}{2h_n} \dots\dots\dots(3.80)$$

dimana,

$k_{lapn(i)}$  = kekakuan tanah lapisan ke- $n$  pada iterasi ke- $i$  ( $\text{kg/cm}^2$ )

dari step integrasi awal sampai  $t = t_g$  bila diplotkan maka didapatkan simpangan, kecepatan, dan percepatan untuk perilaku tanah non linier elastis.

Adapun untuk mendapatkan perilaku tanah linier elastis yaitu dengan mengambil nilai modulus geser tanah non linier elastis secara rata-rata. Seperti pada Persamaan 3.81. Nilai modulus geser tersebut juga disebut nilai modulus geser *equivalent* ( $G_{equivalent}$ ), setelah didapat nilai  $G_{equivalent}$  seterusnya dicari nilai kekakuan linier elastis seperti pada Persamaan 3.31, dari nilai kekakuan tersebut kemudian dihitung analisis dinamikanya seperti persamaan-persamaan yang ada subbab 3.5., hingga didapatkan simpangan, kecepatan, dan percepatan linier elastis sampai dengan step integrasi terakhir.

Yang perlu diketahui dalam analisis linier elastis bahwa nilai modulus geser yang dipakai dari step awal sampai akhir adalah nilai modulus geser yang sama yaitu nilai modulus geser *equivalent* dan kekakuan yang sama pula.

$$G_{equivalent} = \frac{\sum G_{i \text{ non linier}}}{N} \dots\dots\dots(3.81)$$

keterangan :

$G_{i \text{ non linier}}$  = modulus geser non linier pada step ke- $i$  ( $\text{kg/cm}^2$ )

$N$  = jumlah step integrasi.

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

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

#### **4.1. Lokasi Penelitian**

Data tanah yang dipergunakan didalam analisis ini diambil dari daerah Tawanghari Sukoharjo Semarang, pada dua titik pengambilan data.

#### **4.2. Data Yang Diperlukan**

##### **4.2.1. Data tanah dan data massa bangunan**

Profil tanah yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.1. Struktur bangunan merupakan struktur beton bertulang, terdiri dari beberapa lantai berbentuk empat persegi panjang, dengan massa bangunan 20000 ton, 40000 ton, dan 60000 Ton. Dengan luas bangunan  $60 \times 18 \text{ m}^2$ , maka :

$$q_1 = 20000 / (60 \times 18) = 18,5185 \text{ t/m}^2 = 1,85185 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_2 = 40000 / (60 \times 18) = 37,7037 \text{ t/m}^2 = 3,77037 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_3 = 60000 / (60 \times 18) = 55,5556 \text{ t/m}^2 = 5,55556 \text{ kg/cm}^2$$

Bangunan memiliki kedalaman basement fondasi yaitu dengan kedalaman 6 meter.

#### 4.2.2. Data gempa

Untuk data input percepatan tanah pada *base rock* dipakai input respon riwayat waktu (*time history*) gempa dengan *scale down* percepatan maksimum sebesar  $200 \text{ cm/dt}^2$  untuk gempa berikut ini :

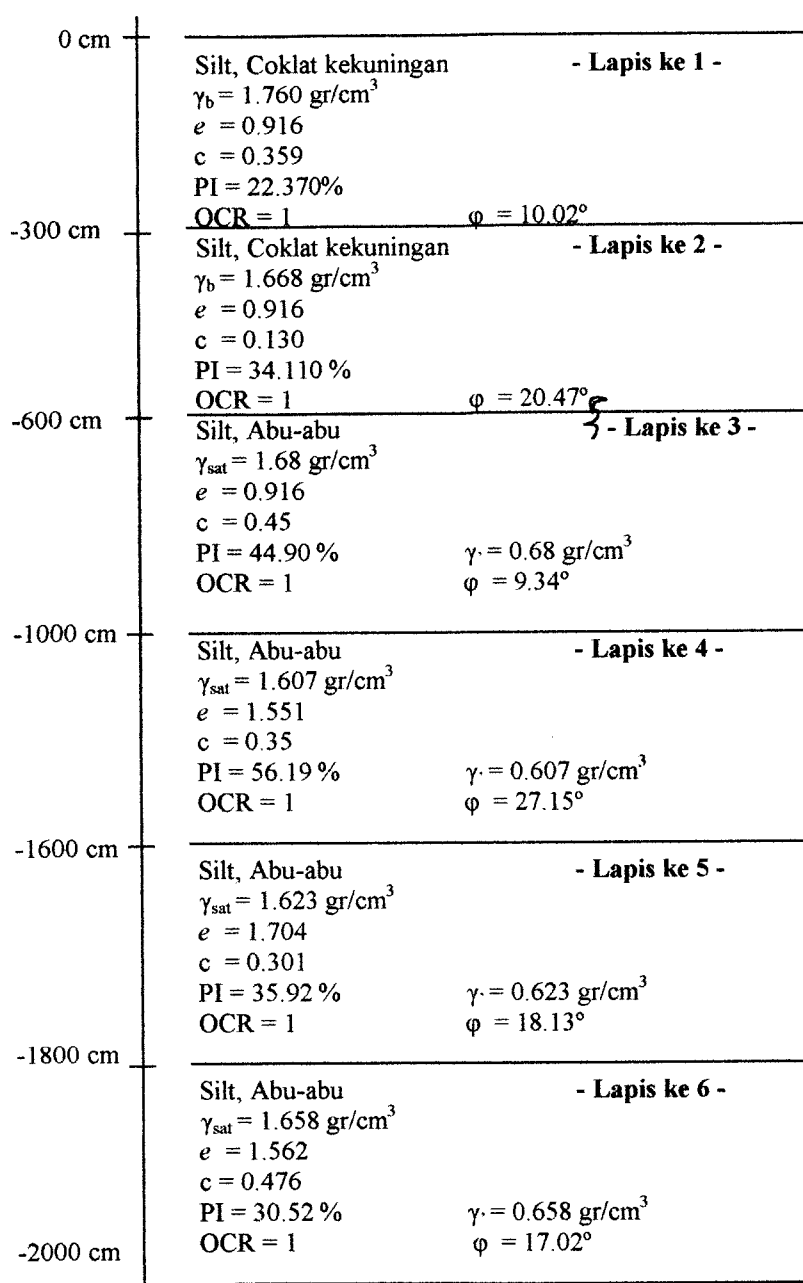
- a. Koyna dengan Magnitude 6,5 Richter dan jarak episentrum 5,6 Km,
- b. Kobe dengan Magnitude 7,2 Richter dan jarak episentrum 19,2 Km,
- c. El Centro dengan Magnitude 7,1 Richter dan jarak episentrum 9,0 Km,
- d. Bucharest dengan Magnitude 7,1 Richter dan jarak episentrum 100 Km.

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

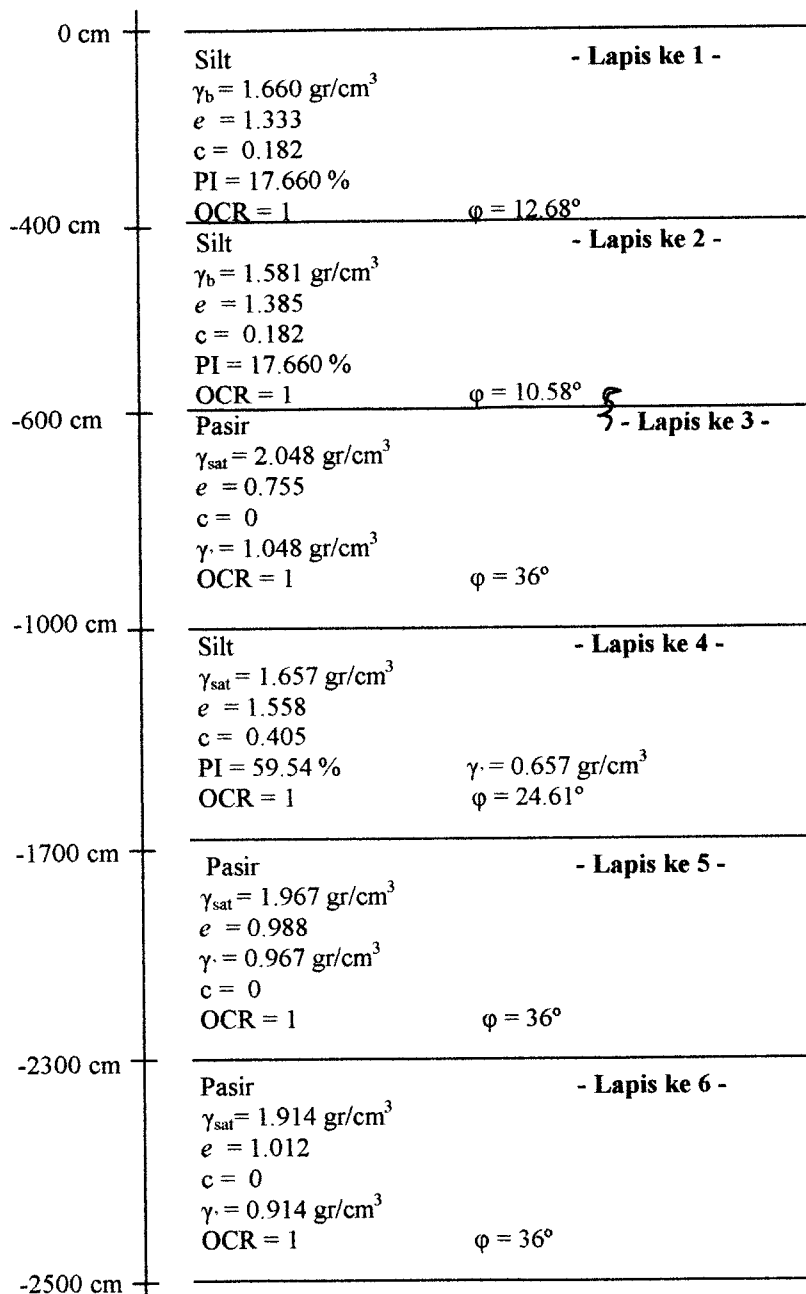
#### 4.3. Cara Memperoleh Data

Data dalam penulisan tugas akhir ini diperoleh dari :

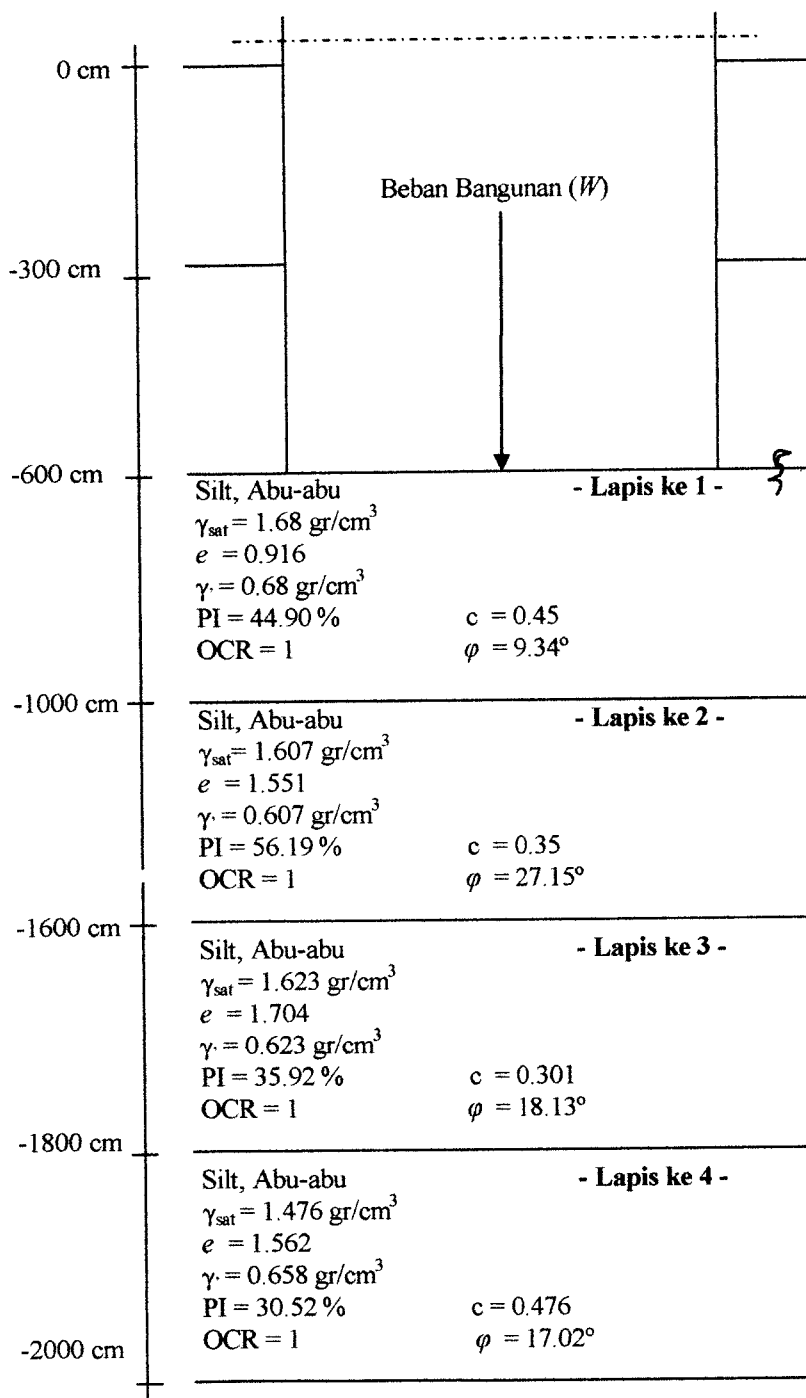
- Untuk data tanah dari Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Diponegoro, Semarang.
- Sedangkan data input riwayat waktu gempa yang dipakai adalah respon riwayat gempa yang diperoleh dari buku-buku literatur.



**Gambar 4.1.** Profil Tanah Tawang Sari I Sukoharjo

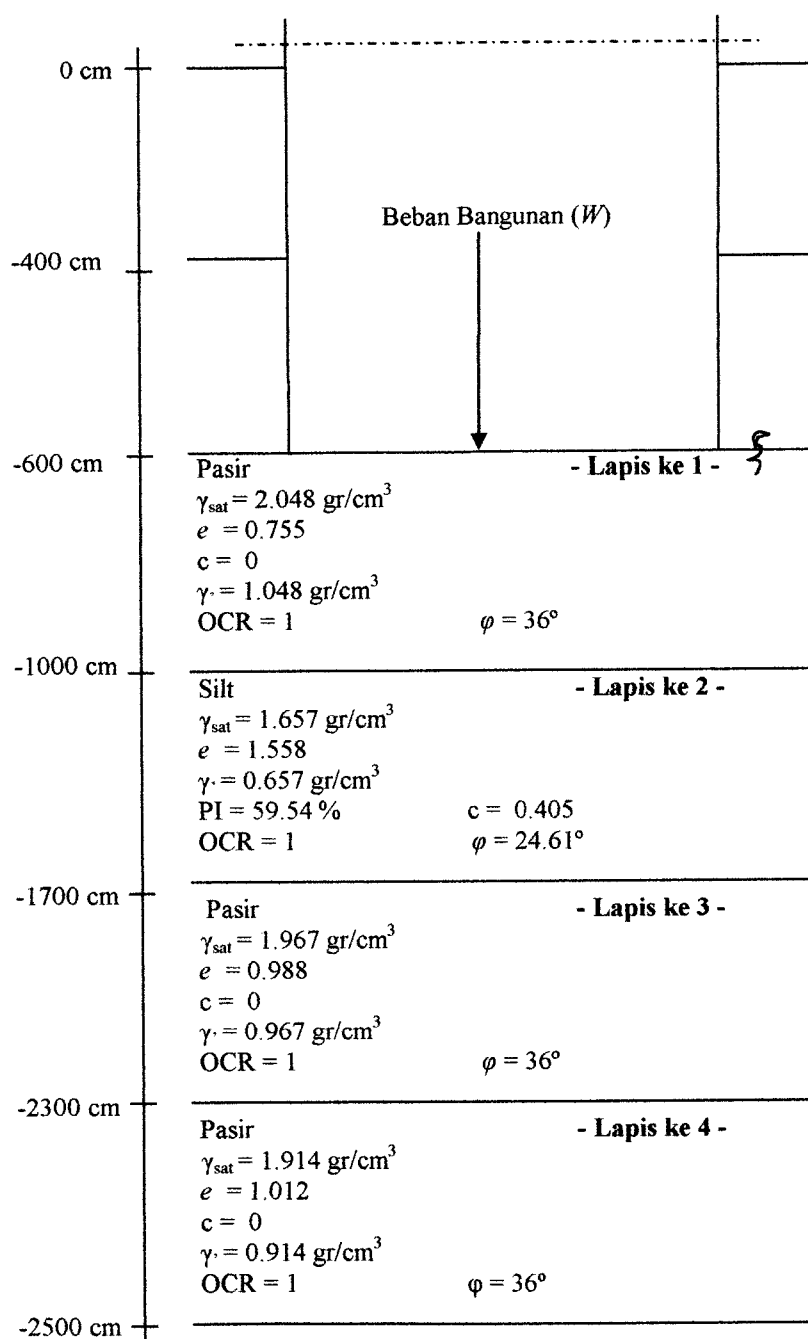


**Gambar 4.2.** Profil Tanah Tawang Sari II Sukoharjo.



**Gambar 4.3.** Profil Tanah Tawanghari Sukoharjo Dengan Massa Bangunan





**Gambar 4.4.** Profil Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Dengan Massa Bangunan

#### 4.4. Pengolahan dan Analisis Data

##### 4.4.1. Analisis non linier elastis

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

1. Menentukan data-data propertis tanah, meliputi :
  - a. Tebal lapisan tanah ( $H$  atau  $2h$ ).
  - b. Angka pori  $e$
  - c. Berat volume tanah efektif  $\gamma_t$  (berupa  $\gamma_b$  atau  $\gamma'$ ), pakai  $\gamma_b$  bila kondisi tanah tidak terendam air dan pakai  $\gamma_{\text{sat}}$  dan  $\gamma'$  bila kondisi tanah terendam air.
  - d. Sudut gesek dalam  $\phi$
  - e. Indeks plastisitas PI
2. Menghitung  $\bar{\sigma}_1, \bar{\sigma}_2, \bar{\sigma}_3$  dan  $\bar{\sigma}_o$  (Pers. 3.9, 3.10, dan 3.6)
3. Menghitung modulus geser  $G=G_{\text{max}}$  (Pers. 3.3 s/d Pers. 3.5 dan Pers. 3.15)
4. Menghitung massa tiap-tiap lapis tanah  $m$  (Pers. 3.29 dan Pers. 3.30)
5. Menghitung kekakuan tanah  $k$  (Pers. 3.31)
6. Menghitung “dumping ratio max” tanah  $C_{\text{max}}$  (Pers. 3.16 s/d Pers. 3.19)
7. Menghitung “dumping ratio” tanah  $C$  (Pers. 3.21)
8. Membuat model persamaan keseimbangan dinamik (Pers. 3.36 s/d Pers. 3.39)
9. Menghitung mode shape tiap lapisan tanah  $\phi$ . (Pers. 3.40 s/d Pers. 3.48)
10. Menghitung partisipasi setiap mode  $\Gamma$  (Pers. 3.54)
11. Menghitung model amplitudo  $\ddot{Z}$  (Pers. 3.55 s/d Pers. 3.56)
12. Menghitung simpangan tanah (Pers. 3.63)
13. Menghitung kecepatan tanah (Pers. 3.64)

14. Menghitung percepatan tanah (Pers. 3.77)

Sampai disini step pertama selesai kemudian dilanjutkan step kedua yaitu dengan menghitung :

15. Menghitung regangan geser (Pers. 3.78)

16. Menghitung modulus geser  $G$  (Pers. 3.79)

17. Menghitung kekakuan tanah  $k$  (Pers. 3.80)

18. Menghitung “damping ratio max” tanah  $C_{max}$  (Pers. 3.16 s/d Pers. 3.19)

19. Menghitung “damping ratio” tanah  $C$  (Pers. 3.21)

20. Membuat model persamaan keseimbangan dinamik (Pers. 3.36 s/d Pers. 3.39)

21. Menghitung mode shape tiap lapisan tanah  $\phi$ . (Pers. 3.40 s/d Pers. 3.48)

22. Menghitung partisipasi setiap mode  $\Gamma$  (Pers. 3.54)

23. Menghitung model amplitudo  $\ddot{Z}$  (Pers. 3.55 s/d Pers. 3.57)

24. Menghitung simpangan tanah (Pers. 3.63)

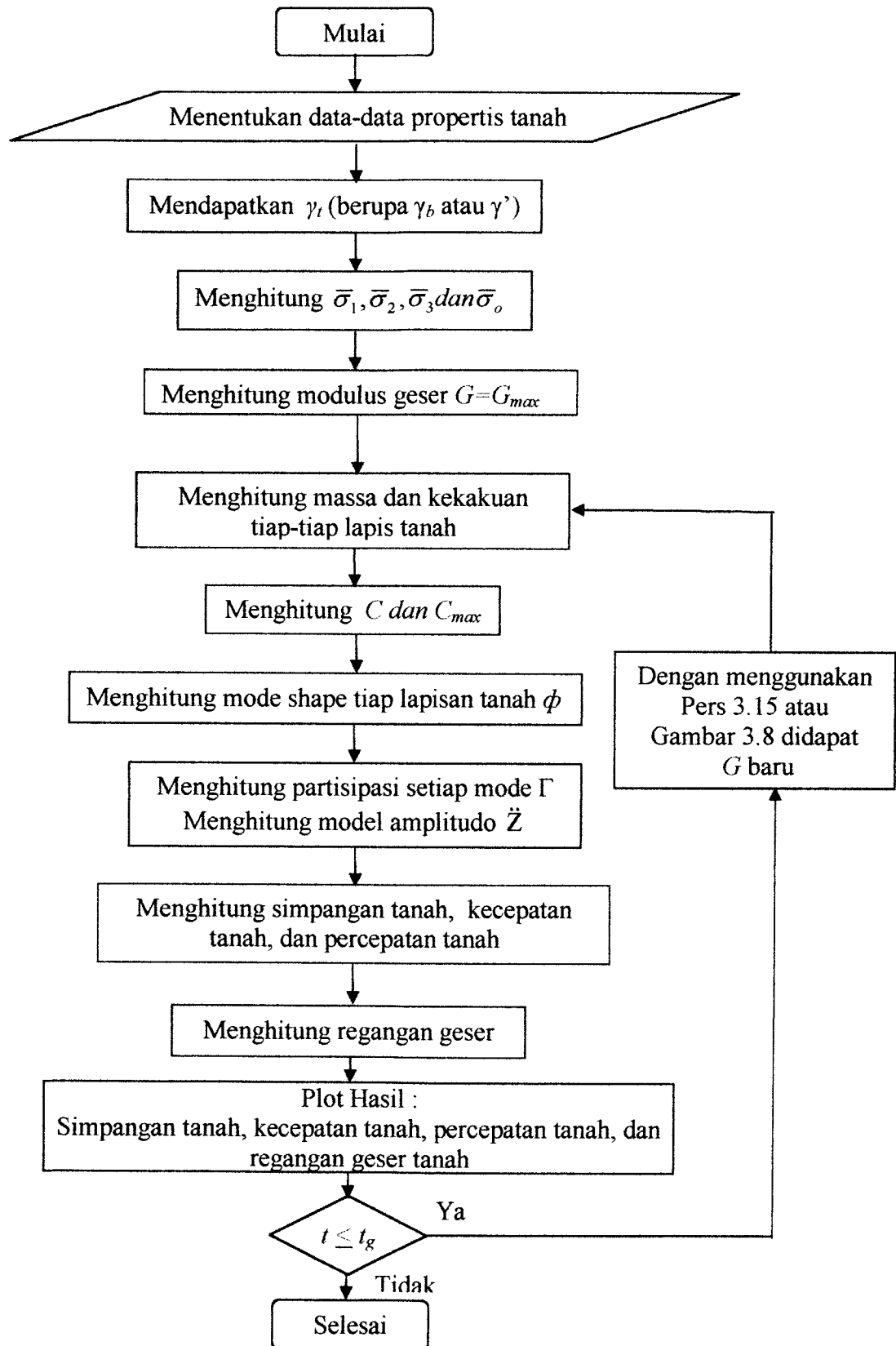
25. Menghitung kecepatan tanah (Pers. 3.64)

26. Menghitung percepatan tanah (Pers. 3.77)

Untuk step selanjutnya diulang mulai dari step kedua dan berakhir sampai iterasi waktu sama dengan waktu gempa  $t = t_g$

27. Pembahasan.

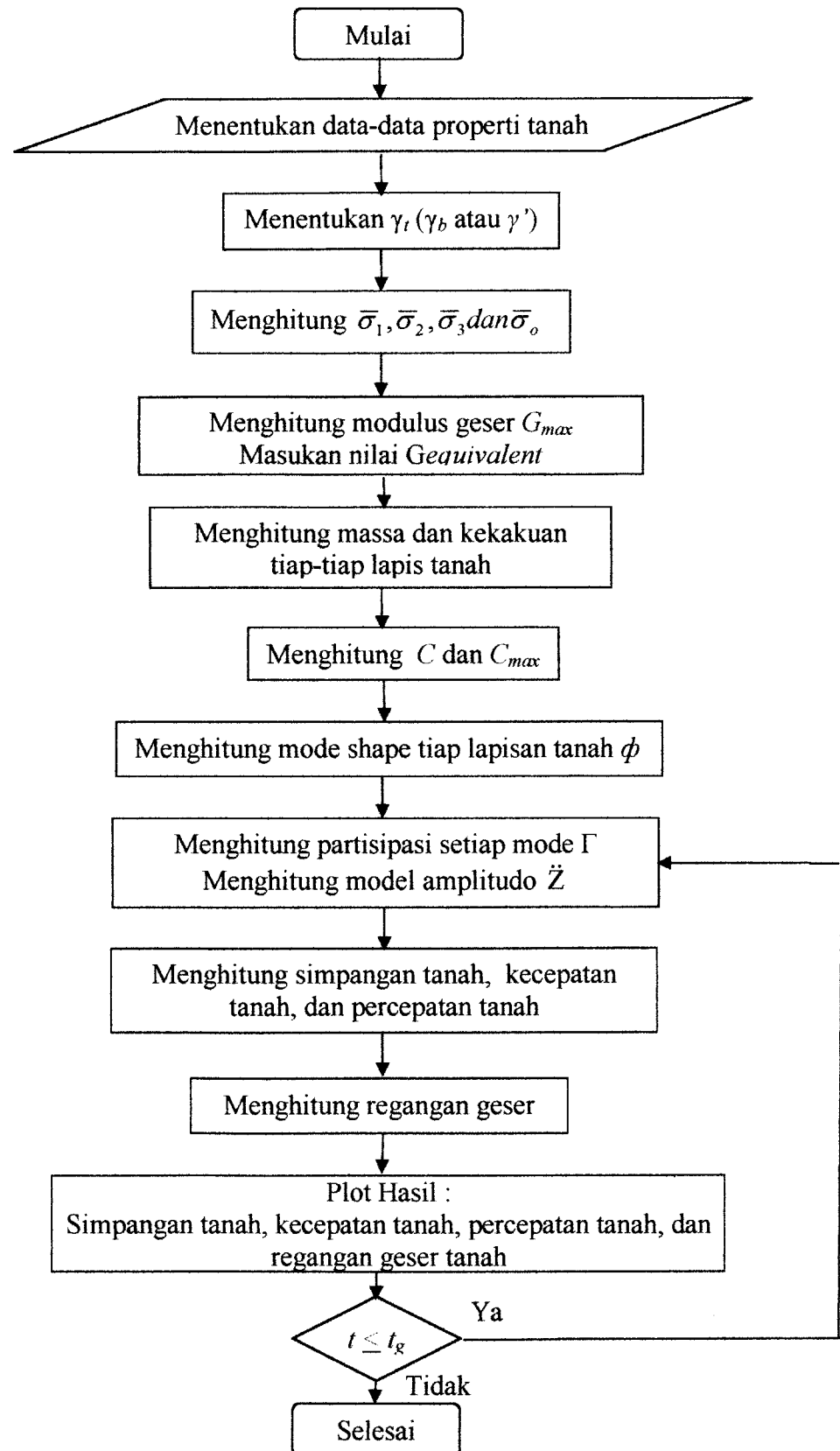
Untuk tanah non linier elastis dilakukan pengolahan dan analisis data seperti terlihat pada *flow chart* Gambar 4.5. dan alur untuk analisis respon linier elastis lapisan tanah akibat beban gempa adalah seperti yang ditunjukkan pada *flow chart* Gambar 4.6 berikut ini :



**Gambar 4.5.** Flow Chart Analisis Data Tanah Non Linier Elastis

#### 4.4.2. Analisis linier elastis

1. Menentukan data-data propertis tanah, meliputi :
  - a. Tebal lapisan tanah ( $H$  atau  $2h$ ).
  - b. Angka pori  $e$
  - c. Berat volume tanah efektif  $\gamma_t$  (berupa  $\gamma_b$  atau  $\gamma'$ )
  - d. Sudut gesek dalam  $\phi$
  - e. Indeks plastisitas PI
2. Menghitung  $\bar{\sigma}_1, \bar{\sigma}_2, \bar{\sigma}_3$  dan  $\bar{\sigma}_o$  (Pers. 3.9, 3.10, dan 3.6)
3. Menghitung modulus geser  $G_{max}$  (Pers. 3.3 s/d Pers. 3.5 dan Pers. 3.16)
4. Menghitung nilai modulus geser  $G$ , nilai  $G$  diambil dari  $G_{equivalent}$  dari perhitungan non linier elastis seperti pada Persamaan 3.81.
5. Menghitung massa tiap-tiap lapis tanah  $m$  (Pers. 3.29 dan Pers. 3.30)
6. Menghitung kekakuan tanah  $k$  (Pers. 3.31)
7. Menghitung “dumping ratio max” tanah  $C_{max}$  (Pers. 3.16 s/d Pers. 3.19)
8. Menghitung “dumping ratio” tanah  $C$  (Pers. 3.21)
9. Membuat model persamaan keseimbangan dinamik (Pers. 3.36 s/d Pers. 3.39)
10. Menghitung mode shape tiap lapisan tanah  $\phi$ . (Pers. 3.40 s/d Pers. 3.48)
11. Menghitung partisipasi setiap mode  $\Gamma$  (Pers. 3.54)
12. Menghitung model amplitudo  $\ddot{Z}$  (Pers. 3.55 s/d Pers. 3.57)
13. Menghitung simpangan tanah (Pers. 3.63)
14. Menghitung kecepatan tanah (Pers. 3.64)
15. Menghitung percepatan tanah (Pers. 3.77)
16. Menghitung regangan geser (Pers. 3.78)
17. Pembahasan.



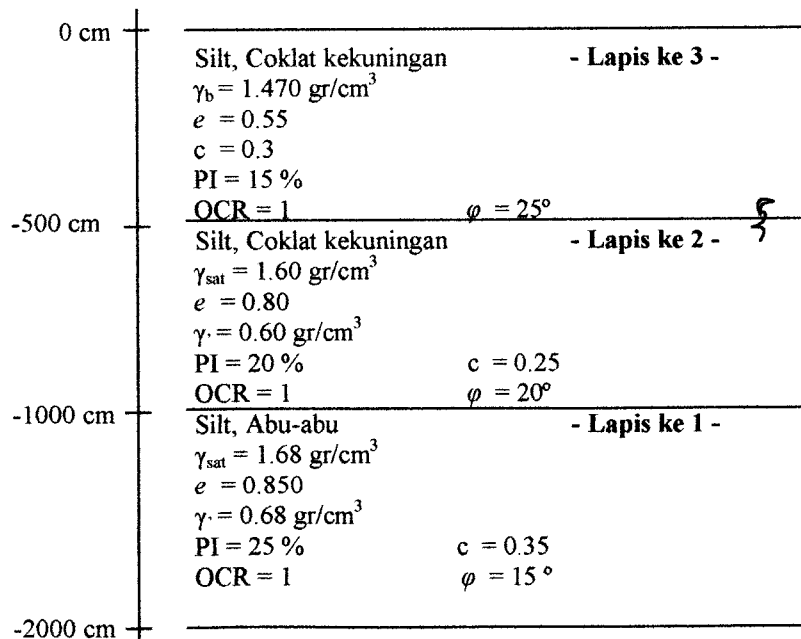
**Gambar 4.6** Flow Chart Analisis Data Tanah Linier Elastis

## BAB V

### ANALISIS VALIDITAS PROGRAM

#### 5.1. Validitas Program

Sebelum program ini menjadi program siap pakai maka perlu di uji validitasnya (keabsahannya). Untuk menguji validitasnya, maka akan digunakan struktur tanah yang sebelumnya telah dianalisis secara manual kemudian hasilnya dibandingkan dengan hasil dari program ini. Dari pengujian secara sederhana ini diharap diperoleh keabsahan dan tingkat keakuratan hitungan dengan program komputer.



**Gambar 5.1.** Data Tanah Endapan Tiga Lapis

Data tanah endapan seperti pada Gambar 5.1, dengan data percepatan tanah diambil dari Gempa El Centro dengan Magnitude Gempa  $M = 7,1$  dan  $g = 980 \text{ cm/dt}^2$ . Perhitungan dengan cara manual adalah seperti berikut ini.

### 5.1.1. Iterasi (putaran) pertama

- a. Koefisien tekanan tanah horizontal  $k_o$  (Pers. 3.11 s/d 3.14)

Untuk tanah lempung *normally consolidated* dengan  $PI$  antara 0 s/d 40 %.

$$k_{o3} = 0,40 + 0,007 (PI) = 0,40 + 0,007 \times 15 = 0,505$$

$$k_{o2} = 0,40 + 0,007 (PI) = 0,40 + 0,007 \times 20 = 0,540$$

$$k_{o1} = 0,40 + 0,007 (PI) = 0,40 + 0,007 \times 25 = 0,575$$

- b. Koefisien tanah  $k_t$ , berdasarkan Tabel 3.1, dengan nilai  $PI$  antara 20 s/d 40 %.

Untuk  $PI = 25$  didapat  $k_t = 0,135$ .

Untuk  $PI = 20$  didapat  $k_t = 0,180$ .

Untuk  $PI = 15$  didapat  $k_t = 0,210$ .

- c. Tegangan efektif vertikal,  $\bar{\sigma}_1 = (\text{berat volume tanah, } \gamma_t \text{ (berupa } \gamma_b \text{ atau } \gamma') \times \text{tebal lapis}) + \text{tegangan vertikal atasnya. (Pers. 3.9)}$

$$\bar{\sigma}_1 \text{ untuk lapis 3} = (1,470 \times 500)/1000 = 0,735 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_1 \text{ untuk lapis 2} = (0,60 \times 500)/1000 + 0,735 = 1,035 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_1 \text{ untuk lapis 1} = (0,68 \times 1000)/1000 + 1,035 = 1,715 \text{ kg/cm}^2$$

- d. Tegangan kekang vertikal,  $\bar{\sigma}_o$ . (Pers. 3.6)

$$\text{Untuk lapis 3, } \bar{\sigma}_2 = \bar{\sigma}_3 = k_o \times \bar{\sigma}_1 = 0,505 \times 0,735 = 0,371 \text{ kg/cm}^2$$



$$\bar{\sigma}_o = \frac{(\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2 + \bar{\sigma}_3)}{3} = \frac{(0,735 + 0,371 + 0,371)}{3} = 0,492 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk lapis 2,  $\bar{\sigma}_2 = \bar{\sigma}_3 = k_o \times \bar{\sigma}_1 = 0,540 \times 1,035 = 0,5589 \text{ kg/cm}^2$

$$\bar{\sigma}_o = \frac{(\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2 + \bar{\sigma}_3)}{3} = \frac{(1,035 + 0,5589 + 0,5589)}{3} = 0,7176 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk lapis 1,  $\bar{\sigma}_2 = \bar{\sigma}_3 = k_o \times \bar{\sigma}_1 = 0,575 \times 1,715 = 0,9861 \text{ kg/cm}^2$

$$\bar{\sigma}_o = \frac{(\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2 + \bar{\sigma}_3)}{3} = \frac{(1,715 + 0,9861 + 0,9861)}{3} = 1,2291 \text{ kg/cm}^2$$

e. Nilai  $G_{max}$  untuk tanah lempung (Pers. 3.3 s/d 3.5) ( $\text{kg/cm}^2$ )

$$G_{max} = 331 \text{OCR}^k \frac{(2,973 - e)^2}{1 + e} \sigma_o^{0,5}$$

Untuk lapis 3,  $G_{max} = 331 \cdot 1^{0,135} \frac{(2,973 - 0,55)^2}{1 + 0,55} 0,4924^{0,5} = 879,7558 \text{ kg/cm}^2$

Untuk lapis 2,  $G_{max} = 331 \cdot 1^{0,180} \frac{(2,973 - 0,80)^2}{1 + 0,80} 0,7176^{0,5} = 735,5567 \text{ kg/cm}^2$

Untuk lapis 1,  $G_{max} = 331 \cdot 1^{0,210} \frac{(2,973 - 0,85)^2}{1 + 0,85} 1,2291^{0,5} = 894,0254 \text{ kg/cm}^2$

f. Damping rasio awal untuk iterasi pertama dianggap sangat kecil jadi diperkirakan sebesar 0,5 %.

g. Untuk nilai modulus geser maka pada iterasi awal menggunakan  $G = G_{max}$ .

h. Kekakuan tanah. (Pers. 3.31 dan 3.80)

Kekakuan lapis 3,  $k_3 = \frac{879,7558 \times 100 \times 100}{500} = 17595,116 \text{ kg/cm}$

Kekakuan lapis 2,  $k_2 = \frac{735,5567 \times 100 \times 100}{500} = 14711,134 \text{ kg/cm}$

$$\text{Kekakuan lapis 1, } k_1 = \frac{894,0254 \times 100 \times 100}{1000} = 8940,254 \text{ kg/cm}$$

i. Massa tiap lapis tanah. (Pers. 3.30)

$$m_3 = \frac{\gamma_{t3} h_3}{g} = \frac{1,47 \times 250 \times 10^4}{980 \times 10^3} = 3,75 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

$$m_2 = \frac{\gamma_{t3} h_3 + \gamma_{sat2} h_2}{g} = \frac{1,47 \times 250 \times 10^4 + 1,60 \times 250 \times 10^4}{980 \times 10^3} = 7,83163 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

$$m_1 = \frac{\gamma_{sat2} h_2 + \gamma_{sat1} h_1}{g} = \frac{1,60 \times 250 \times 10^4 + 1,68 \times 500 \times 10^4}{980 \times 10^3} = 12,653 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

j. Mencari *mode shape* (Pers 4.41 s/d 3.48)

Jika dipakai unit massa  $m = 3,75 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$  dan unit kekakuan  $k = 8940,254 \text{ kg/cm}$ , maka matriks massa :

$$[M] = \begin{bmatrix} 3,37413m & 0 & 0 \\ 0 & 2,08843m & 0 \\ 0 & 0 & m \end{bmatrix}, \text{ dan matriks kekakuannya :}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 2,64549k & -1,64549k & 0 \\ -1,64549k & 3,61357k & -1,96808k \\ 0 & -1,96808k & 1,96808k \end{bmatrix},$$

dengan demikian dapat disusun persamaan *eigen-problem* sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} 2,64549k - 3,37413\omega^2 m & -1,64549k & 0 \\ -1,64549k & 3,61357k - 2,08843\omega^2 m & -1,96808k \\ 0 & -1,96808k & 1,96808k - \omega^2 m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_3 \\ \phi_2 \\ \phi_1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

kemudian dapat ditulis menjadi :

$$\begin{bmatrix} 2,64549 - \frac{3,37413\omega^2}{k/m} & -1,64549 & 0 \\ -1,64549 & 3,61357 - \frac{2,08843\omega^2}{k/m} & -1,96808 \\ 0 & -1,96808 & 1,96808 - \frac{\omega^2}{k/m} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

apabila diambil notasi (*initial eigen-value*)  $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$ ,

maka menjadi,

$$\begin{bmatrix} 2,64549 - 3,37413\lambda & -1,64549 & 0 \\ -1,64549 & 3,61357 - 2,08843\lambda & -1,96808 \\ 0 & -1,96808 & 1,96808 - \lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

kemudian persamaan tersebut disederhanakan, maka akan diperoleh,

$$(2,64549 - 3,37413\lambda)\phi_1 - 1,64549\phi_2 = 0$$

$$-1,64549\phi_1 + (3,61357 - 2,08843\lambda)\phi_2 - 1,96808\phi_3 = 0$$

$$-1,96808\phi_2 + (1,96808 - \lambda)\phi_3 = 0$$

Penyelesaian persamaan simultan homogen tidaklah memberikan nilai-nilai yang pasti/definitif, tetapi hasil-hasil yang diperoleh hanya merupakan perbandingan antara yang satu dengan yang lain. Oleh karena itu dengan mengambil nilai,

$$\phi_1 = 1$$

dan dengan substitusi kedalam baris pertama pada persamaan diatas maka,

$$\phi_2 = (1,60772 - 2,05053\lambda)$$

kemudian disubstitusi ke persamaan pada baris kedua,

$$\Phi_3 = 2,11583 - 5,47099\lambda + 2,17592\lambda^2$$

selanjutnya disubstitusi ke persamaan pada baris ketiga sehingga bila disusun akan mendapatkan persamaan polynomial berikut ini,

$$\lambda^3 - 4,48241\lambda^2 + 4,06613\lambda - 0,45958 = 0$$

berdasarkan persamaan tersebut akar-akarnya dapat dicari kemudian menghitung percepatan sudutnya yaitu,

$$\lambda_1 = 0,13154, \text{ maka } \omega_1 = \sqrt{0,13154 \frac{8940,254}{3,75}} = 17,70876 \text{ rad/dt}$$

$$\lambda_2 = 1,06246, \text{ maka } \omega_2 = \sqrt{1,06246 \frac{8940,254}{3,75}} = 50,32869 \text{ rad/dt}$$

$$\lambda_3 = 3,28841, \text{ maka } \omega_3 = \sqrt{3,28841 \frac{8940,254}{3,75}} = 88,5426 \text{ rad/dt}$$

Dengan demikian nilai ordinat tiap pola/ragam *mode shape*  $\Phi_i$  dapat diperoleh sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 5.1.

**Tabel 5.1.** Nilai Ordinat Tiap Pola/Ragam Mode

No.	Fungsi $\Phi_i$	Nilai $\Phi_i$		
		Mode ke-1 $\lambda_1 = 0,13154$	Mode ke-2 $\lambda_2 = 1,06246$	Mode ke-3 $\lambda_3 = 3,28841$
1.	$\Phi_1 = 1$	$\Phi_{11} = 1$	$\Phi_{12} = 1$	$\Phi_{13} = 1$
2.	$\Phi_2 = (1,60772 - 2,05053\lambda)$	$\Phi_{21} = 1,33799$	$\Phi_{22} = -0,57089$	$\Phi_{23} = -5,13526$
3.	$\Phi_3 = 2,11583 - 5,47099\lambda + 2,17592\lambda^2$	$\Phi_{31} = 1,43383$	$\Phi_{32} = -1,24065$	$\Phi_{33} = 7,65459$

k. Kontrol dengan kondisi Orthogonal. (Pers 3.49 s/d 3.55).

$$[\phi] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1,33799 & -0,57089 & -5,13526 \\ 1,43383 & -1,24066 & 7,65463 \end{bmatrix}$$

Karena *matriks massa* merupakan *matriks diagonal*, dan *matriks kekakuan* adalah *matriks yang simetri* maka dapat diselesaikan sebagai berikut,

1) Untuk mode ke-1

$$\{\phi\}_1^T [M] \{\phi\}_1 = \{1 \quad 1,33799 \quad 1,43383\} \begin{bmatrix} 12,653 & 0 & 0 \\ 0 & 7,83163 & 0 \\ 0 & 0 & 3,75 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,33799 \\ 1,43383 \end{Bmatrix} = 34,38287$$

2) Untuk mode ke-2

$$\{\phi\}_1^T [M] \{\phi\}_2 = \{1 \quad 1,33799 \quad 1,43383\} \begin{bmatrix} 12,653 & 0 & 0 \\ 0 & 7,83163 & 0 \\ 0 & 0 & 3,75 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,57089 \\ -1,24066 \end{Bmatrix} = -0,0900$$

3) Untuk mode ke-3

$$\{\phi\}_1^T [M] \{\phi\}_3 = \{1 \quad 1,33799 \quad 1,43383\} \begin{bmatrix} 12,653 & 0 & 0 \\ 0 & 7,83163 & 0 \\ 0 & 0 & 3,75 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ -5,13526 \\ 7,65463 \end{Bmatrix} = -0,08967$$

Dari hasil tersebut terbukti bahwa indeks mode  $i$  tidak sama dengan  $j$  maka hubungan orthogonal terpenuhi, *memenuhi syarat*.

1. Partisipasi Mode, dimana  $P_i^* = \{\phi\}_i^T [M] \{I\}$  dan  $M_i^* = \{\phi\}_i^T [M] \{I\}$

1) Untuk mode ke-1

$$P_1^* = \{1 \quad 1,33799 \quad 1,43383\} \begin{bmatrix} 12,653 & 0 & 0 \\ 0 & 7,83163 & 0 \\ 0 & 0 & 3,75 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} = 28,50852 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

$$M_1^* = \{1 \quad 1,33799 \quad 1,43383\} \begin{bmatrix} 12,653 & 0 & 0 \\ 0 & 7,83163 & 0 \\ 0 & 0 & 3,75 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,33799 \\ 1,43383 \end{Bmatrix}$$

$$= 34,38287 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

$$\text{Partisipasi mode ke-1, } \Gamma_1 = \frac{P_1^*}{M_1^*} = \frac{28,50852}{34,38287} = 0,82915 = 82,915 \%$$

2) Untuk mode ke-2

$$P_2^* = \{1 \quad -0,57089 \quad -1,24066\} \begin{bmatrix} 12,653 & 0 & 0 \\ 0 & 7,83163 & 0 \\ 0 & 0 & 3,75 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} = 3,5295 \text{ kgdt}^2/\text{cm}$$

$$M_2^* = \{1 \quad -0,57089 \quad -1,24066\} \begin{bmatrix} 12,653 & 0 & 0 \\ 0 & 7,83163 & 0 \\ 0 & 0 & 3,75 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,57089 \\ -1,24066 \end{Bmatrix}$$

$$= 20,97758 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

$$\text{Partisipasi mode ke-2, } \Gamma_2 = \frac{P_2^*}{M_2^*} = \frac{3,52952}{20,97758} = 0,16825 = 16,825 \%$$

3) Untuk mode ke-3

$$P_3^* = \{1 \quad -5,13526 \quad 7,65463\} \begin{bmatrix} 12,653 & 0 & 0 \\ 0 & 7,83163 & 0 \\ 0 & 0 & 3,75 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} = 1,14043 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

$$M_3^* = \{1 \quad -5,13526 \quad 7,65463\} \begin{bmatrix} 12,653 & 0 & 0 \\ 0 & 7,83163 & 0 \\ 0 & 0 & 3,75 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ -5,13526 \\ 7,65463 \end{Bmatrix}$$

$$= 430,90488 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

Partisipasi mode ke-3,  $\Gamma_3 = \frac{P_3^*}{M_3^*} = \frac{1,14043}{430,90488} = 0,0026 = 0,26 \%$

Sebagai kontrol partisipasi mode harus sama dengan satu maka,

$$\Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3 = 0,82915 + 0,16825 + 0,0026 = 1,0000 \approx \text{memenuhi syarat}$$

m. Modal Amplitudo,  $Z_j$  dan Modal Displacement  $Y_{ij}$ , (Pers.3.62 s/d 3.65)

Rumus yang digunakan :

$$g_{j+1} = \frac{-\ddot{y}_t - ag_j - bg_{j-1}}{\hat{k}} \quad Z = g_j \times \Gamma_j \quad y = [\phi] \times \{Z\}$$

dengan :

$$a = \left[ \omega_j^2 - \frac{2}{(\Delta t)^2} \right], \quad b = \left[ \frac{1}{(\Delta t)^2} - \frac{2c_j \omega_j}{2 \Delta t} \right], \quad \hat{k} = \left[ \frac{1}{(\Delta t)^2} + \frac{2c_j \omega_j}{2 \Delta t} \right]$$

n. Nilai  $a$ ,  $b$ , dan  $\hat{k}$

Untuk lapis 1,

$$a = \left[ 21,88623^2 - \frac{2}{(0,01)^2} \right] = -19686,39982$$

$$b = \left[ \frac{1}{(0,01)^2} - \frac{2,0,005 \cdot 21,88623}{2,0,01} \right] = 9991,14562$$

$$\hat{k} = \left[ \frac{1}{(0,01)^2} + \frac{2,0,005 \cdot 21,88623}{2,0,01} \right] = 10008,8544$$

Untuk lapis 2, analog dengan lapis 1, didapat

$$a = -17467,02296 \quad b = 9974,83566 \quad \hat{k} = 10025,1644$$

Untuk lapis 3, analog dengan lapis 1, didapat

$$a = -12160,20799 \quad b = 9955,7287 \quad \hat{k} = 10044,2713$$

o. Selanjutnya nilai  $g_j$

$$g_{j(1)} = \frac{(-3,955392) - (-19686,3998).(0) - 9991,145.(0)}{10008,8544} = -3,95189.10^{-4}$$

$$g_{j(2)} = \frac{(-3,955392) - (-17467,023).(0) - 9974,83566.(0)}{10025,1644} = -3,94546.10^{-4}$$

$$g_{j(3)} = \frac{(-3,955392) - (-12160,20799).(0) - 9955,729.(0)}{10044,2713} = -3,93796.10^{-4}$$

p. Selanjutnya nilai  $Z$

$$Z_{(1)} = -3,95189.10^{-4} \times 0,82915 = -3,27671.10^{-4}$$

$$Z_{(2)} = -3,94546.10^{-4} \times 0,16825 = -6,63824.10^{-5}$$

$$Z_{(3)} = -3,93796.10^{-4} \times 0,0026 = -1,02387.10^{-6}$$

q. Selanjutnya  $y$  (simpangan)

$$y_{(1)} = (-3,27671.10^{-4} \times 1) + (-6,63824.10^{-5} \times 1) +$$

$$(-1,02387.10^{-6} \times 1) = -5,95077.10^{-4} \text{ cm}$$

$$y_{(2)} = (-3,27671.10^{-4} \times 1,33799) + (-6,63824.10^{-5} \times -0,57089) +$$

$$(-1,02387.10^{-6} \times -5,13526) = -3,952656.10^{-4} \text{ cm}$$

$$y_{(3)} = (-3,27671.10^{-4} \times 1,43383) + (-6,63824.10^{-5} \times -1,24066) +$$

$$(-1,02387.10^{-6} \times 7,65463) = -4,61686.10^{-4} \text{ cm}$$

### 5.1.2. Iterasi (putaran) kedua dan seterusnya

Setelah didapatkan nilai simpangan pada tiap lapis dari iterasi pertama maka untuk dilanjutkan mencari regangan geser dan modulus geser baru tiap lapis tanah, yaitu :



a. Mencari regangan geser seperti pada Persamaan 3.75.

$$\gamma_{lap1}^s = \frac{5,95077 \cdot 10^{-4} - 0}{1000} = 5,95077 \cdot 10^{-7}$$

$$\gamma_{lap2}^s = \frac{3,952656 \cdot 10^{-4} - 5,95077 \cdot 10^{-4}}{500} = 3,996228 \cdot 10^{-7}$$

$$\gamma_{lap3}^s = \frac{4,61686 \cdot 10^{-4} - 3,952656 \cdot 10^{-4}}{500} = 1,32841 \cdot 10^{-7}$$

b. Selanjutnya mencari nilai  $G$  yang baru (sesuai Persamaan 3.15 atau 3.76) , dan nilai  $k$ ,  $\gamma_h$ , dan  $\alpha$  ada pada Tabel 3.2.

$$G_{lapis1} = \frac{I}{1 + 0,95 \left\{ \frac{(5,95077 \cdot 10^{-7})^{0,95}}{0,12} \right\}} \times 894,7558 = 894,74717 \text{ kg/cm}^2$$

$$G_{lapis2} = 735,551839 \text{ kg/cm}^2 \quad ; \quad G_{lapis3} = 897,7541305 \text{ kg/cm}^2$$

Selanjutnya dapat mencari nilai kekakuan tanah kembali, dan perhitungan seterusnya sama untuk iterasi-iterasi berikutnya.

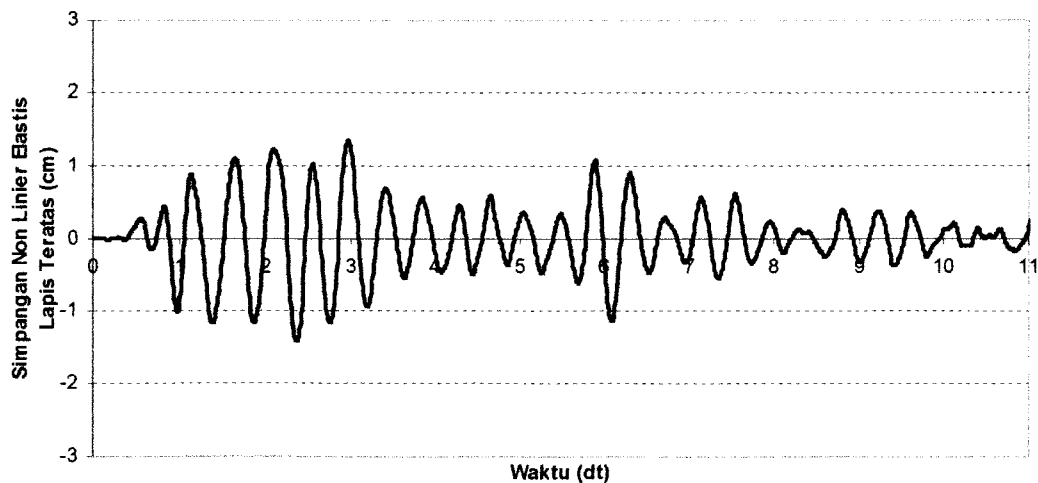
## 5.2. Perbandingan Hasil Validitas Program dengan Manual

Perbandingan antara hasil manual dan dengan hasil program dinamik lapisan tanah menunjukkan selisih yang relatif kecil yaitu sebesar 2,044 %, sebagaimana tercantum pada Tabel 5.2 yang membandingkan respon maksimum antara hasil manual dan program, kesalahan ini dapat diakibatkan oleh adanya pembulatan angka dibelakang koma. Disamping itu respon maksimum juga terjadi pada periode waktu yang sama yaitu pada periode waktu 1,11 detik untuk percepatan, periode waktu 2,47 detik untuk kecepatan, dan pada periode waktu 2,99 detik untuk simpangan pada lapis teratas.

**Tabel 5.2.** Selisih Respon Nonlinier Elastis antara Manual dengan Program

Respon	Lapis	Periode Waktu	Manual	Program	Selisih (%)
Simpangan	1	2.99	0.922655644	0.922338339	0.03173
	2	2.99	1.256548648	1.259058486	0.25098
	3	2.99	1.316987864	1.31379389	0.3194
Kecepatan	1	2.47	13.75549453	13.75144009	0.4054
	2	2.47	20.41164365	20.41932367	0.768
	3	2.47	22.10565945	22.10807825	0.24188
Percepatan	1	1.11	-261.602154	-261.602102	0.0052
	2	1.11	-384.982336	-384.982332	0.0004
	3	1.11	-418.133654	-418.133864	0.021
Selisih rata-rata (%)					2,04404

Kesalahan dapat diijinkan asal lebih kecil atau sama dengan 5 % (Widodo, 2001). Dengan demikian faktor kesalahan program ini adalah 2,04404 % < 5 % maka hasil analisis program dapat dianggap valid. Perbandingan simpangan untuk nonlinier elastis antara hasil analisis program dan hasil analisis manual dapat dilihat pada Gambar 5.2, dimana hasil program dinamik dengan hasil manual saling berimpit.

**Gambar 5.2.** Perbandingan Simpangan antara Hasil Program dengan Manual

## **BAB VI**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

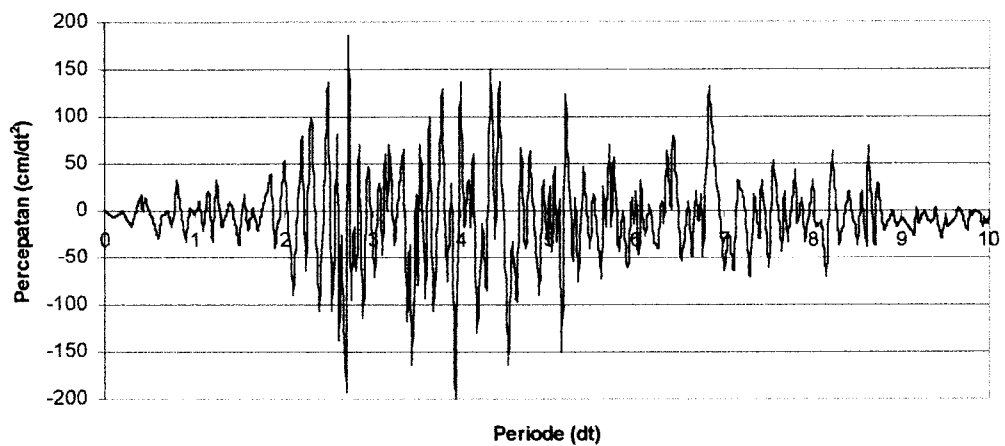
Pembahasan yang dilakukan dimulai dari pembahasan tentang normalisasi rekaman gempa, yang dibahas pada sub-bab 6.1., kemudian profil tanah dibahas satu persatu terlebih dahulu, yang terdapat pada sub-bab 6.2. untuk profil tanah Tawang Sari I, dan sub-bab 6.3. untuk profil tanah Tawang Sari II. Masing-masing tanah akan diteliti mengenai perubahan kandungan frekuensinya akibat perubahan massa yang membebani lapisan tanah tersebut.

Terjadinya amplifikasi atau deamplifikasi getaran akan dapat terlihat pada tiap-tiap lapisnya sehingga akan diteliti pula seberapa besar pengaruhnya antara kondisi tanah bebas (*free field*) dan kondisi tanah terbebani bangunan yang bervariasi, dan yang terpenting adalah membuktikan bahwa terdapat perbedaan yang jelas antara perhitungan non linier elastis dan linier elastis respon seismik lapisan tanah akibat gempa.

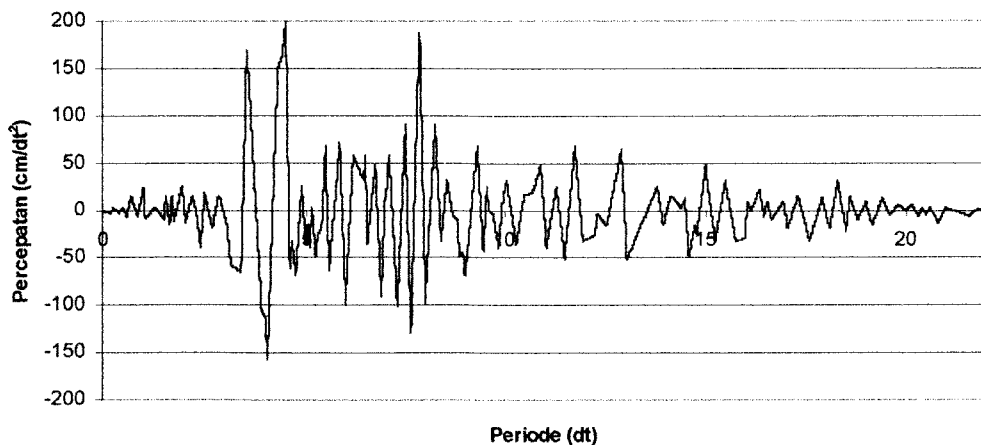
#### **6.1. Rekaman Percepatan Gempa**

Rekaman gempa yang dipergunakan di dalam penelitian ini adalah percepatan gempa Koyna, Kobe, El Centro, dan Bucharest yang telah dinormalisasi (*scale down*) terlebih dahulu sebelum di jadikan input beban percepatan gempa pada tanah dasar (*base rock*), sehingga akan memiliki nilai

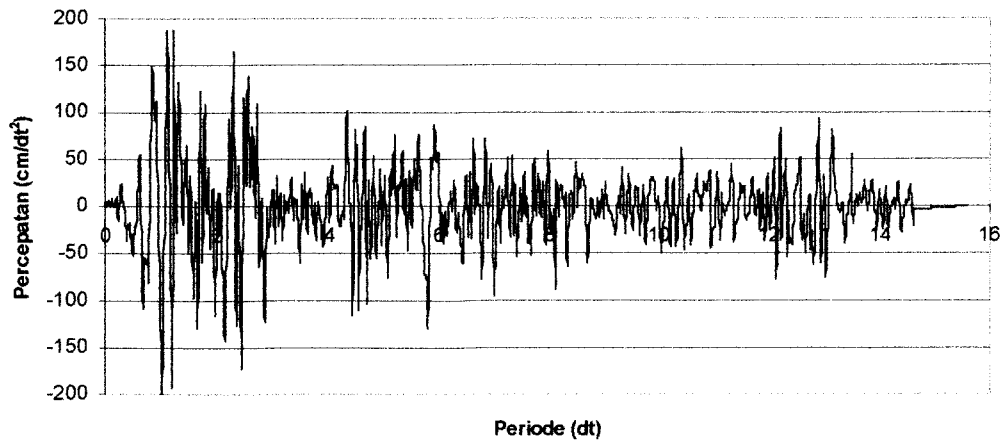
percepatan maksimum yang sama yaitu sebesar  $200 \text{ cm/dt}^2$ . Hal ini dimaksudkan karena data rekaman gempa tersebut merupakan rekaman dipermukaan, sehingga hasilnya dianggap sebagai rekaman di *base rock*. Hasil rekaman tersebut dapat dilihat pada Grafik 6.1 untuk gempa Koyna, Grafik 6.2 untuk gempa Kobe, Grafik 6.3 untuk gempa Elcentro, dan Grafik 6.4 untuk gempa Bucharest.



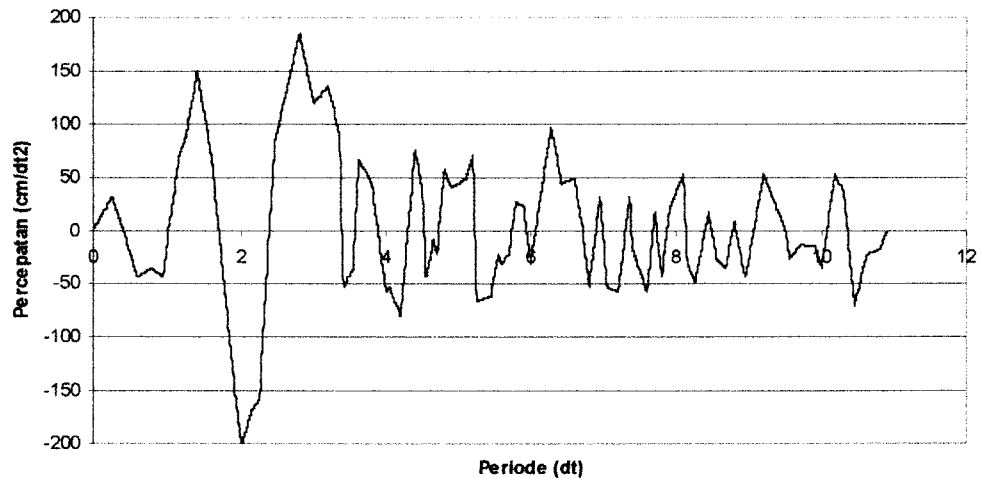
**Grafik 6.1.** Rekaman Gempa Koyna *Scale Down 0,365*



**Grafik 6.2.** Rekaman Gempa Kobe *Scale Down 0,332*



**Grafik 6.3.** Rekaman Gempa El Centro *Scale Down 0,64*



**Grafik 6.4.** Rekaman Gempa Bucharest *Scale Down 0,9*

## 6.2. Hasil Analisis Respon Seismik Untuk Data Tanah Tawang Sari Satu

Hasil analisis respon serta perbandingan yang berupa frekuensi, simpangan, kecepatan, percepatan, regangan, dan tegangan untuk data tanah Tawang Sari I untuk lapis teratas dengan beban gempa Elcentro, Koyna, Kobe, dan Bucharest pada kondisi tanah tanpa massa bangunan maupun dengan massa yang divariasikan 20000 ton, 40000 ton dan 60000 ton, untuk tanah linear elastis

maupun non linear elastis dapat dilihat pada table 6.1 sampai dengan table 6.24. Sedangkan grafik respon seismik maksimum yang berupa regangan, simpangan, kecepatan dan percepatan tiap lapis tanah serta grafik respon seismik lapisan tanah teratas selengkapnya dapat dilihat pada grafik 6.5 sampai grafik 6.78.

### **6.2.1 Tegangan Dan Regangan Untuk Tanah Tawang Sari Satu**

Jika terjadi gempa maka kekakuan tanah akan berubah sehingga sifat tanahnya juga akan berubah, yang semula bersifat linear elastis (kekakuan dan massa tetap) maka akan berubah menjadi non linear elastis (kekakuan berubah-ubah dan massa tetap) bahkan bisa berubah menjadi non linear non elastis (kekakuan dan massa berubah-ubah).

Jika kekakuan tanah berubah maka respon seismiknya juga akan berubah dan jika dibandingkan antara respon seismik tanah pada kondisi linear elastis dengan kondisi non linear elastis akan menghasilkan selisih yang cukup besar, umumnya kondisi linear elastis respon seismiknya lebih besar dari respon non linear elastis.

Perbandingan regangan maksimum pada lapis teratas antara tanah pada kondisi linear elastis dan non linear elastis hasilnya dapat dilihat pada Tabel 6.13 dari data tersebut terlihat bahwa regangan yang terjadi pada kondisi linear elastis lebih besar dibanding pada kondisi non linear elastis baik keadaan tanpa massa maupun dengan massa. Sedangkan dari data Tabel 6.15 dapat juga disimpulkan bahwa dengan bertambahnya massa maka regangan yang terjadi akan semakin kecil baik pada kondisi linear elastis maupun kondisi non linear elastis hal ini

disebabkan dengan bertambahnya massa maka akan menambah tegangan vertikal sehingga modulus geser maksimum akan membesar, modulus geser besar berarti kekakuan akan membesar dan simpangan akan mengecil pada akhirnya regangan akan mengecil karena regangan merupakan fungsi dari simpangan seperti pada Persamaan 3.75.

Grafik regangan terhadap waktu akibat gempa Elcentro terlihat pada Grafik 6.5 sampai dengan Grafik 6.22 , akibat gempa Koyna pada Grafik 6.23 sampai dengan Grafik 6.40, akibat gempa Kobe pada Grafik 6.41 sampai dengan Grafik 6.58 sedangkan akibat gempa Bucharest pada grafik 6.59 sampai dengan Grafik 6.76. Dari semua grafik tersebut didapat regangan minimum dengan massa maupun tanpa massa sebesar 0,0048% ( $0,48 \cdot 10^{-5}$ ) untuk kondisi non linier elastis dan sebesar 0,0068% ( $0,68 \cdot 10^{-5}$ ) untuk kondisi linier elastis. Sedangkan regangan maksimum dengan massa maupun tanpa massa sebesar 0,027% ( $0,27 \cdot 10^{-4}$ ) untuk kondisi non linier elastis dan sebesar 0,013% ( $0,13 \cdot 10^{-3}$ ) untuk kondisi linier elastis. Berdasarkan gambar 3.12 (K.Ishihara, 1982) karena regangan yang terjadi  $< 10^{-3}$  maka regangannya termasuk regangan menengah (*medium strain*). Ketika kondisi tanah masuk pada daerah medium strain, maka penggunaan *Visco-elastic Model* dan *Equivalent Linear Method* dapat digunakan, yang berarti modulus geser dan damping rasio dapat ditentukan sebagai fungsi dari regangan geser.

Perbandingan tegangan maksimum pada lapis teratas antara tanah linear elastis dan non liner elastis hasilnya dapat dilihat pada Tabel 6.14, Tabel 6.16, dan Tabel 6.18. Dari Tabel tersebut terlihat bahwa hasil tegangan yang terjadi pada

divariasikan, tegangan tanah linear elastis lebih besar dari pada tegangan tanah non linear elastis.

### 6.2.2. Frekuensi Untuk Data Tanah Tawang Sari Satu

Dari Tabel 6.4 terlihat bahwa tanah pada kondisi tanah linear elastis frekuensi yang terjadi cenderung lebih besar dari pada frekuensi pada tanah non linear elastis baik tanpa massa maupun dengan bertambahnya massa. Pada tabel yang sama apabila dibandingkan besarnya frekuensi antara tanah tanpa massa dengan tanah yang terdapat massanya maka akan didapatkan bahwa tanah tanpa massa frekuensinya akan lebih kecil dari pada tanah yang terdapat massa diatasnya, begitu juga dengan bertambahnya massa maka akan ada kecenderungan nilai kandungan frekuensinya membesar.

Terjadinya perubahan kandungan frekuensi diakibatkan adanya perubahan modulus geser dan juga adanya perubahan *initial eigen-value* ( $\lambda$ ), semakin besar modulus gesernya maka kekakuan tanahnya juga akan semakin besar. Pada tanah yang mempunyai massa tetap namun kekakuan tanah serta  $\lambda$ nya semakin besar maka frekuensinya akan semakin besar pula. Tetapi jika *initial eigen-value* ( $\lambda$ ) semakin kecil, massanya tetap dan kekakuannya semakin besar maka kandungan frekuensi yang didapat belum tentu besar namun dapat pula lebih kecil.



### **6.2.3. Hasil Simpangan Untuk Data Tanah Tawang Sari Satu**

Hasil analisis simpangan maksimum serta perbandingan antara tanah linear elastis dengan non linear elastis pada kondisi tanpa massa maupun dengan massa yang divariasikan dapat dilihat pada Tabel 6.3. Dari Tabel tersebut terlihat bahwa kondisi tanah linear elastis untuk gempa dengan frekuensi tinggi simpangan maksimumnya lebih besar jika dibanding dengan kondisi non linear elastis, sedangkan untuk gempa dengan frekuensi rendah simpangan maksimum pada kondisi linear elastis lebih kecil dari pada kondisi non linear elastis.

Pada Tabel 6.7. adalah perbandingan simpangan maksimum antara tanah tanpa massa dengan tanah yang terdapat massa yang divariasikan, dari tabel tersebut terlihat bahwa kondisi tanah tanpa massa simpangan maksimumnya akan lebih besar dari pada tanah dengan kondisi terdapat massa di atasnya dan umumnya akan semakin kecil bila massa tanah diperbesar, baik pada kondisi linier elastis maupun dengan kondisi non linier elastis.

Selain itu pada Tabel 6.11. adalah perbandingan antara tanah pada kondisi linear elastis maupun non linear elastis dengan massa yang divariasikan, dari Tabel tersebut dapat disimpulkan dengan bertambahnya massa maka simpangan secara umum akan terus mengecil baik pada kondisi linear elastis maupun kondisi non linear elastis.

### **6.2.4. Hasil Kecepatan Untuk Data Tanah Tawang Sari Satu**

Hasil analisis kecepatan maksimum serta perbandingan antara tanah linear elastis dengan non linear elastis pada kondisi tanpa massa maupun dengan massa

yang divariasikan dapat dilihat pada Tabel 6.2. Dari Tabel tersebut terlihat bahwa kondisi tanah linear elastis untuk gempa dengan frekuensi tinggi kecepatan maksimum umumnya lebih besar jika dibanding dengan kondisi non linear elastis dan gempa dengan frekuensi rendah kecepatan maksimum linear elastis lebih kecil jika dibanding dengan kondisi non linear elastis.

Pada Tabel 6.6. adalah perbandingan kecepatan maksimum antara tanah tanpa massa dengan tanah yang terdapat massa yang divariasikan, dari tabel tersebut terlihat bahwa kondisi linier elastis tanpa massa untuk gempa dengan frekuensi tinggi kecepatan maksimumnya akan lebih kecil dari pada tanah dengan kondisi terdapat massa di atasnya. Dan pada kondisi linier elastis tanpa massa untuk gempa dengan frekuensi rendah kecepatan maksimumnya akan lebih besar dari pada tanah dengan kondisi terdapat massa di atasnya.

Selain itu pada Tabel 6.10. adalah perbandingan antara massa tanah kecil dan dengan massa tanah besar pada kondisi linear elastis maupun non linear elastis, dari Tabel tersebut dapat disimpulkan dengan bertambahnya massa maka kecepatan secara umum akan terus mengecil baik pada kondisi linear elastis maupun kondisi non linear elastis.

#### **6.2.5. Hasil Percepatan Untuk Data Tanah Tawang Sari Satu**

Hasil analisis percepatan maksimum serta perbandingan antara tanah linear elastis dengan non linear elastis pada kondisi tanpa massa maupun dengan massa yang divariasikan dapat dilihat pada Tabel 6.1. Dari Tabel tersebut terlihat bahwa kondisi tanah linear elastis untuk gempa dengan frekuensi tinggi

percepatan maksimumnya lebih besar jika dibanding dengan kondisi non linear elastis dan gempa dengan frekuensi rendah percepatan maksimum linear elastis lebih kecil jika dibanding dengan kondisi non linear elastis.

Pada Tabel 6.5. adalah perbandingan percepatan maksimum antara tanah tanpa massa dengan tanah yang terdapat massa yang divariasikan, dari tabel tersebut terlihat bahwa kondisi tanah tanpa massa untuk semua gempa percepatan maksimumnya akan lebih kecil dari pada tanah dengan kondisi terdapat massa di atasnya.

Selain itu pada Tabel 6.9. adalah perbandingan antara massa tanah yang kecil dan dengan massa tanah yang lebih besar pada kondisi linear elastis maupun non linear elastis, dari Tabel tersebut dapat disimpulkan dengan bertambahnya massa maka percepatan akan terus membesar pada gempa dengan frekuensi tinggi baik pada kondisi linear elastis maupun kondisi non linear elastis dan percepatan akan mengecil pada gempa dengan frekuensi rendah baik pada kondisi linear elastis maupun kondisi non linear elastis.

**Tabel 6.1.** Perbandingan Percepatan Maksimum Antara Tanah Linear dan Nonlinear Elastis Pada Kondisi Tanpa Massa dan Dengan Massa Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari I Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanpa Massa Bangunan			Massa Bangunan 20000 Ton		
		Linear Elastis (cm/dt <sup>2</sup> )	Non Linear Elastis (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Linear Elastis (cm/dt <sup>2</sup> )	Non Linear Elastis (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	358.5224	309.6144	13.6416	446.8812	317.7923	28.8866
2. Koyna	200.0000	375.0799	321.4204	14.3062	285.0050	289.0619	-1.4235
3. Kobe	200.0000	670.4704	288.9172	56.9083	401.3452	311.1324	22.4776
4. Bucharest	200.0000	174.1491	249.5231	-43.2814	255.6466	259.4201	-1.4761
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa Bangunan 40000 Ton			Massa Bangunan 60000 Ton		
		Linear Elastis (cm/dt <sup>2</sup> )	Non Linear Elastis (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Linear Elastis (cm/dt <sup>2</sup> )	Non Linear Elastis (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	499.9996	324.8668	35.0266	482.4625	376.5560	21.9512
2. Koyna	200.0000	381.6154	262.0415	31.3336	497.4796	310.7881	37.5275
3. Kobe	200.0000	490.9138	314.7110	35.8928	704.3302	375.0189	46.7552
4. Bucharest	200.0000	221.7936	290.5509	-31.0005	229.9105	158.3822	31.1114

**Tabel 6.2.** Perbandingan Kecepatan Maksimum Antara Tanah Linear dan Nonlinear Elastis Pada Kondisi Tanpa Massa dan Dengan Massa Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari I Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanpa Massa Bangunan			Massa Bangunan 20000 Ton		
		Linear Elastis (cm/dt)	Non Linear Elastis (cm/dt)	Selisih (%)	Linear Elastis (cm/dt)	Non Linear Elastis (cm/dt)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	16.41992	16.87950	-2.79891	29.87104	17.88227	40.13509
2. Koyna	200.0000	22.69958	18.76972	17.31247	18.62400	16.72690	10.18628
3. Kobe	200.0000	74.71246	60.35291	19.21975	27.24199	59.13035	-117.05587
4. Bucharest	200.0000	33.26667	95.45904	-186.95099	20.16112	61.39941	-204.54364
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa Bangunan 40000 Ton			Massa Bangunan 60000 Ton		
		Linear Elastis (cm/dt)	Non Linear Elastis (cm/dt)	Selisih (%)	Linear Elastis (cm/dt)	Non Linear Elastis (cm/dt)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	29.09699	17.75179	38.99099	21.61471	20.99243	2.87898
2. Koyna	200.0000	16.61197	16.89378	-1.69644	24.73852	14.89437	39.79282
3. Kobe	200.0000	35.21552	51.12179	-45.16835	42.73216	43.98458	-2.93085
4. Bucharest	200.0000	16.64108	38.39388	-130.71752	17.71935	27.40240	-54.64673

**Tabel 6.3.** Perbandingan Simpangan Maksimum Antara Tanah Linear dan Nonlinear Elastis Pada Kondisi Tanpa Massa dan Dengan Massa Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari I Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanpa Massa Bangunan			Massa Bangunan 20000 Ton		
		Linear Elastis (cm)	Non Linear Elastis (cm)	Selisih (%)	Linear Elastis (cm)	Non Linear Elastis (cm)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	1.6002789	1.5259871	4.6424	2.1164206	1.2264626	42.0501
2. Koyna	200.0000	1.8404495	1.8333219	0.3873	1.4651994	1.3852818	5.4544
3. Kobe	200.0000	8.5814851	7.7445798	9.7525	2.7602646	8.477719	-207.1343
4. Bucharest	200.0000	6.1209216	31.572561	-415.8138	2.1274864	16.399561	-670.8421
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa Bangunan 40000 Ton			Massa Bangunan 60000 Ton		
		Linear Elastis (cm)	Non Linear Elastis (cm)	Selisih (%)	Linear Elastis (cm)	Non Linear Elastis (cm)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	2.0835471	1.2876075	38.2012	1.4428018	1.231268	14.6613
2. Koyna	200.0000	1.1623864	1.1152911	4.0516	1.5869306	1.074583	32.2854
3. Kobe	200.0000	1.9360695	7.864582	-306.2138	2.7249478	6.3410804	-132.7047
4. Bucharest	200.0000	1.6494211	6.8950893	-318.0309	1.3225632	3.3639891	-154.3537

**Tabel 6.4.** Perbandingan Frekuensi Maksimum Antara Tanah Linear dan Nonlinear Elastis Pada Kondisi Tanpa Massa dan Dengan Massa Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari I Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Tanpa Massa Bangunan			Massa Bangunan 20000 Ton		
		Linear Elastis (cps)	Non Linear Elastis (cps)	Selisih (%)	Linear Elastis (cps)	Non Linear Elastis (cps)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	2.2280	1.8717	15.9928	1.5266	1.8134	-18.7897
2. Koyna	200.0000	1.6861	1.7474	-3.6357	1.5615	1.7634	-12.9265
3. Kobe	200.0000	0.9157	0.4885	46.6556	1.5033	0.5369	64.2846
4. Bucharest	200.0000	0.5342	0.2667	50.0677	1.2939	0.4311	66.6793
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa Bangunan 40000 Ton			Massa Bangunan 60000 Ton		
		Linear Elastis (cps)	Non Linear Elastis (cps)	Selisih (%)	Linear Elastis (cps)	Non Linear Elastis (cps)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	1.7535	1.8674	-6.4981	2.2777	1.8304	19.6376
2. Koyna	200.0000	2.3441	1.5828	32.4791	2.0520	2.1292	-3.7626
3. Kobe	200.0000	1.4225	0.6282	55.8394	1.6819	0.8700	48.2713
4. Bucharest	200.0000	1.3600	0.7722	43.2204	1.3240	0.5898	55.4542

**Tabel 6.5.** Perbandingan Percepatan Maksimum Antara Tanah Tanpa Massa dan Dengan Massa Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari I Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa 20000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Tanpa Massa (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa 20000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	358.5224	446.8812	-24.6453	309.6144	317.7923	-2.6413
2. Koyna	200.0000	375.0799	285.0050	24.0149	321.4204	289.0619	10.0673
3. Kobe	200.0000	670.4704	401.3452	40.1398	288.9172	311.1324	-7.6891
4. Bucharest	200.0000	174.1491	255.6466	-46.7976	249.5231	259.4201	-3.9663
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa 40000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Tanpa Massa (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa 40000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	358.5224	499.9996	-39.4612	309.6144	324.8668	-4.9263
2. Koyna	200.0000	375.0799	381.6154	-1.7424	321.4204	262.0415	18.4739
3. Kobe	200.0000	670.4704	490.9138	26.7807	288.9172	314.7110	-8.9277
4. Bucharest	200.0000	174.1491	221.7936	-27.3585	249.5231	290.5509	-16.4424
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa 60000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Tanpa Massa (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa 60000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	358.5224	482.4625	-34.5697	309.6144	376.5560	-21.6210
2. Koyna	200.0000	375.0799	497.4796	-32.6330	321.4204	310.7881	3.3079
3. Kobe	200.0000	670.4704	704.3302	-5.0502	288.9172	375.0189	-29.8015
4. Bucharest	200.0000	174.1491	229.9105	-32.0194	249.5231	158.3822	36.5260

**Tabel 6.6.** Perbandingan Kecepatan Maksimum Antara Tanah Tanpa Massa dan Dengan Massa Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari I Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa (cm/dt)	Massa 20000 Ton (cm/dt)	Selisih (%)	Tanpa Massa (cm/dt)	Massa 20000 Ton (cm/dt)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	16.4199	29.8710	-81.9195	16.8795	17.8823	-5.9407
2. Koyna	200.0000	22.6996	18.6240	17.9545	18.7697	16.7269	10.8836
3. Kobe	200.0000	74.7125	27.2420	63.5376	60.3529	59.1303	2.0257
4. Bucharest	200.0000	33.2667	20.1611	39.3954	95.4590	61.3994	35.6798
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa (cm/dt)	Massa 40000 Ton (cm/dt)	Selisih (%)	Tanpa Massa (cm/dt)	Massa 40000 Ton (cm/dt)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	16.4199	20.9924	-27.8473	16.8795	17.7518	-5.1677
2. Koyna	200.0000	22.6996	16.6120	26.8182	18.7697	16.8938	9.9945
3. Kobe	200.0000	74.7125	35.2155	52.8653	60.3529	51.1218	15.2952
4. Bucharest	200.0000	33.2667	16.6411	49.9767	95.4590	38.3939	59.7797
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa (cm/dt)	Massa 60000 Ton (cm/dt)	Selisih (%)	Tanpa Massa (cm/dt)	Massa 60000 Ton (cm/dt)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	16.4199	21.6147	-31.6371	16.8795	20.9924	-24.3664
2. Koyna	200.0000	22.6996	24.7385	-8.9823	18.7697	14.8944	20.6469
3. Kobe	200.0000	74.7125	42.7322	42.8045	60.3529	43.9846	27.1210
4. Bucharest	200.0000	33.2667	17.7194	46.7354	95.4590	18.2276	80.9053

**Tabel 6.7.** Perbandingan Simpangan Maksimum Antara Tanah Tanpa Massa dan Dengan Massa Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari I Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa (cm)	Massa 20000 Ton (cm)	Selisih (%)	Tanpa Massa (cm)	Massa 20000 Ton (cm)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	1.6003	2.1164	-32.2532	1.5260	1.2265	19.6282
2. Koyna	200.0000	1.8404	1.4652	20.3890	1.8333	1.3853	24.4387
3. Kobe	200.0000	8.5815	2.7603	67.8347	7.7446	8.4777	-9.4665
4. Bucharest	200.0000	6.1209	2.1275	65.2424	31.5726	16.3996	48.0576
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa (cm)	Massa 40000 Ton (cm)	Selisih (%)	Tanpa Massa (cm)	Massa 40000 Ton (cm)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	1.6003	2.0835	-30.1990	1.5260	1.2876	15.6213
2. Koyna	200.0000	1.8404	1.1624	36.8423	1.8333	1.1153	39.1656
3. Kobe	200.0000	8.5815	1.9361	77.4390	7.7446	7.8646	-1.5495
4. Bucharest	200.0000	6.1209	1.6494	73.0527	31.5726	6.8951	78.1611
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa (cm)	Massa 60000 Ton (cm)	Selisih (%)	Tanpa Massa (cm)	Massa 60000 Ton (cm)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	1.6003	1.4428	9.8406	1.5260	1.2313	19.3133
2. Koyna	200.0000	1.8404	1.5869	13.7748	1.8333	1.0746	41.3860
3. Kobe	200.0000	8.5815	2.7249	68.2462	7.7446	6.3411	18.1223
4. Bucharest	200.0000	6.1209	1.3226	78.3927	31.5726	3.3640	89.3452

**Tabel 6.8.** Perbandingan Frekuensi Maksimum Antara Tanah Tanpa Massa dan Dengan Massa Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari I Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa (cps)	Massa 20000 Ton (cps)	Selisih (%)	Tanpa Massa (cps)	Massa 20000 Ton (cps)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	2.2280	1.5266	31.4833	1.8717	1.8134	3.1144
2. Koyna	200.0000	1.6861	1.5615	7.3866	1.7474	1.7634	-0.9159
3. Kobe	200.0000	0.9157	1.5033	-64.1695	0.4885	0.5369	-9.9157
4. Bucharest	200.0000	0.5342	1.2939	-142.2220	0.2667	0.4311	-61.6388
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa (cps)	Massa 40000 Ton (cps)	Selisih (%)	Tanpa Massa (cps)	Massa 40000 Ton (cps)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	2.2280	2.4304	-9.0842	1.8717	1.8674	0.2296
2. Koyna	200.0000	1.6861	2.3441	-39.0269	1.7474	1.5828	9.4210
3. Kobe	200.0000	0.9157	1.4225	-55.3405	0.4885	0.6282	-28.5970
4. Bucharest	200.0000	0.5342	1.3600	-154.5985	0.2667	0.7722	-189.5118
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa (cps)	Massa 60000 Ton (cps)	Selisih (%)	Tanpa Massa (cps)	Massa 60000 Ton (cps)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	2.2280	2.2777	-2.2278	1.8717	1.8304	2.2075
2. Koyna	200.0000	1.6861	2.0520	-21.7014	1.7474	2.1292	-21.8504
3. Kobe	200.0000	0.9157	1.6819	-83.6686	0.4885	0.8700	-78.1056
4. Bucharest	200.0000	0.5342	1.3240	-147.8559	0.2667	0.8866	-232.4170

**Tabel 6.9.** Perbandingan Percepatan Maksimum Antara Tanah dengan Massa yang di Variasikan Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari I Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa 40000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Massa 20000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa 40000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)
		1. Elcentro	200.0000	446.8812	499.9996	-11.8865	317.7923
2. Koyna	200.0000	285.0050	381.6154	-33.8978	289.0619	262.0415	9.3476
3. Kobe	200.0000	401.3452	490.9138	-22.3171	311.1324	314.7110	-1.1502
4. Bucharest	200.0000	255.6466	221.7936	13.2421	259.4201	290.5509	-12.0001
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa 60000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Massa 20000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa 60000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)
		1. Elcentro	200.0000	446.8812	482.4625	-7.9621	317.7923
2. Koyna	200.0000	285.0050	497.4796	-74.5512	289.0619	310.7881	-7.5161
3. Kobe	200.0000	401.3452	704.3302	-75.4924	311.1324	375.0189	-20.5335
4. Bucharest	200.0000	255.6466	229.9105	10.0670	259.4201	158.3822	38.9476
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 40000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa 60000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Massa 40000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa 60000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)
		1. Elcentro	200.0000	499.9996	482.4625	3.5074	324.8668
2. Koyna	200.0000	381.6154	497.4796	-30.3615	262.0415	310.7881	-18.6026
3. Kobe	200.0000	490.9138	704.3302	-43.4733	314.7110	375.0189	-19.1629
4. Bucharest	200.0000	221.7936	229.9105	-3.6597	290.5509	158.3822	45.4890

**Tabel 6.10.** Perbandingan Kecepatan Maksimum Antara Tanah dengan Massa yang di Variasikan Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari I Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton (cm/dt)	Massa 40000 Ton (cm/dt)	Selisih (%)	Massa 20000 Ton (cm/dt)	Massa 40000 Ton (cm/dt)	Selisih (%)
		1. Elcentro	200.0000	29.8710	20.9924	29.7231	17.8823
2. Koyna	200.0000	18.6240	16.6120	10.8034	16.7269	16.8938	-0.9977
3. Kobe	200.0000	27.2420	35.2155	-29.2692	59.1303	51.1218	13.5439
4. Bucharest	200.0000	20.1611	16.6411	17.4595	61.3994	38.3939	37.4686
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton (cm/dt)	Massa 60000 Ton (cm/dt)	Selisih (%)	Massa 20000 Ton (cm/dt)	Massa 60000 Ton (cm/dt)	Selisih (%)
		1. Elcentro	200.0000	29.8710	21.6147	27.6399	17.8823
2. Koyna	200.0000	18.6240	24.7385	-32.8314	16.7269	14.8944	10.9556
3. Kobe	200.0000	27.2420	42.7322	-56.8613	59.1303	43.9846	25.6142
4. Bucharest	200.0000	20.1611	17.7194	12.1113	61.3994	18.2276	70.3131
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 40000 Ton (cm/dt)	Massa 60000 Ton (cm/dt)	Selisih (%)	Massa 40000 Ton (cm/dt)	Massa 60000 Ton (cm/dt)	Selisih (%)
		1. Elcentro	200.0000	20.9924	21.6147	-2.9643	17.7518
2. Koyna	200.0000	16.6120	24.7385	-48.9199	16.8938	14.8944	11.8352
3. Kobe	200.0000	35.2155	42.7322	-21.3447	51.1218	43.9846	13.9612
4. Bucharest	200.0000	16.6411	17.7194	-6.4796	38.3939	18.2276	52.5247



**Tabel 6.11.** Perbandingan Simpangan Maksimum Antara Tanah dengan Massa yang di Variasikan Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari I Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton (cm)	Massa 40000 Ton (cm)	Selisih (%)	Massa 20000 Ton (cm)	Massa 40000 Ton (cm)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	2.1164	2.0835	1.5533	1.2265	1.2876	-4.9855
2. Koyna	200.0000	1.4652	1.1624	20.6670	1.3853	1.1153	19.4899
3. Kobe	200.0000	2.7603	1.9361	29.8593	8.4777	7.8646	7.2323
4. Bucharest	200.0000	2.1275	1.6494	22.4709	16.3996	6.8951	57.9556
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton (cm)	Massa 60000 Ton (cm)	Selisih (%)	Massa 20000 Ton (cm)	Massa 60000 Ton (cm)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	2.1164	1.4428	31.8282	1.2265	1.2313	-0.3918
2. Koyna	200.0000	1.4652	1.5869	-8.3082	1.3853	1.0746	22.4286
3. Kobe	200.0000	2.7603	2.7249	1.2795	8.4777	6.3411	25.2030
4. Bucharest	200.0000	2.1275	1.3226	37.8345	16.3996	3.3640	79.4873
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 40000 Ton (cm)	Massa 60000 Ton (cm)	Selisih (%)	Massa 40000 Ton (cm)	Massa 60000 Ton (cm)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	2.0835	1.4428	30.7526	1.2876	1.2313	4.3755
2. Koyna	200.0000	1.1624	1.5869	-36.5235	1.1153	1.0746	3.6500
3. Kobe	200.0000	1.9361	2.7249	-40.7464	7.8646	6.3411	19.3717
4. Bucharest	200.0000	1.6494	1.3226	19.8165	6.8951	3.3640	51.2118

**Tabel 6.12.** Perbandingan Frekuensi Maksimum Antara Tanah dengan Massa yang di Variasikan Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari I Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton (cps)	Massa 40000 Ton (cps)	Selisih (%)	Massa 20000 Ton (cps)	Massa 40000 Ton (cps)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	1.5266	2.4304	-59.2081	1.8134	1.8674	-2.9776
2. Koyna	200.0000	1.5615	2.3441	-50.1154	1.7634	1.5828	10.2431
3. Kobe	200.0000	1.5033	1.4225	5.3780	0.5369	0.6282	-16.9960
4. Bucharest	200.0000	1.2939	1.3600	-5.1096	0.4311	0.7722	-79.1104
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton (cps)	Massa 60000 Ton (cps)	Selisih (%)	Massa 20000 Ton (cps)	Massa 60000 Ton (cps)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	1.5266	2.2777	-49.2012	1.8134	1.8304	-0.9360
2. Koyna	200.0000	1.5615	2.0520	-31.4080	1.7634	2.1292	-20.7444
3. Kobe	200.0000	1.5033	1.6819	-11.8774	0.5369	0.8700	-62.0384
4. Bucharest	200.0000	1.2939	1.3240	-2.3259	0.4311	0.8866	-105.6542
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 40000 Ton (cps)	Massa 60000 Ton (cps)	Selisih (%)	Massa 40000 Ton (cps)	Massa 60000 Ton (cps)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	2.4304	2.2777	6.2854	1.8674	1.8304	1.9825
2. Koyna	200.0000	2.3441	2.0520	12.4620	1.5828	2.1292	-34.5238
3. Kobe	200.0000	1.4225	1.6819	-18.2362	0.6282	0.8700	-38.4991
4. Bucharest	200.0000	1.3600	1.3240	2.6483	0.7722	0.8866	-14.8198

**Tabel 6.13.** Perbandingan Regangan Maksimum Antara Tanah Linear dan Nonlinear Elastis Pada Kondisi Tanpa Massa dan Dengan Massa Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari I Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Tanpa Massa Bangunan			Massa Bangunan 20000 Ton		
		Linear Elastis	Non Linear Elastis	Selisih (%)	Linear Elastis	Non Linear Elastis	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	0.000134	0.000156	-16.150068	0.000158	0.000069	56.133159
2. Koyna	200.0000	0.000169	0.000083	50.727056	0.000106	0.000057	46.141900
3. Kobe	200.0000	0.000420	0.000079	81.241168	0.000161	0.000073	54.704293
4. Bucharest	200.0000	0.000205	0.000092	55.258311	0.000097	0.000072	25.062821
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa Bangunan 40000 Ton			Massa Bangunan 60000 Ton		
		Linear Elastis	Non Linear Elastis	Selisih (%)	Linear Elastis	Non Linear Elastis	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	0.000133	0.000050	62.388908	0.000088	0.000049	44.368583
2. Koyna	200.0000	0.000076	0.000048	37.651523	0.000097	0.000042	56.622172
3. Kobe	200.0000	0.000114	0.000066	41.849213	0.000160	0.000060	62.537301
4. Bucharest	200.0000	0.000074	0.000059	19.307024	0.000068	0.000050	25.471554

**Tabel 6.14.** Perbandingan Tegangan Maksimum Antara Tanah Linear dan Nonlinear Elastis Pada Kondisi Tanpa Massa dan Dengan Massa Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari I Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanpa Massa Bangunan			Massa Bangunan 20000 Ton		
		Linear Elastis (kg/cm <sup>2</sup> )	Non Linear Elastis (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Linear Elastis (kg/cm <sup>2</sup> )	Non Linear Elastis (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	5.8419231	6.0346321	-3.2987	13.341849	5.6285719	57.8127
2. Koyna	200.0000	7.378586	3.4334551	53.4673	8.9551721	4.6766031	47.7776
3. Kobe	200.0000	18.228878	3.2562761	82.1367	13.526213	5.9113036	56.2974
4. Bucharest	200.0000	8.717041	3.7457058	57.0301	8.0556117	5.8773562	27.0402
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa Bangunan 40000 Ton			Massa Bangunan 60000 Ton		
		Linear Elastis (kg/cm <sup>2</sup> )	Non Linear Elastis (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Linear Elastis (kg/cm <sup>2</sup> )	Non Linear Elastis (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	15.306905	5.5976104	63.4308	12.203092	6.607386	45.8548
2. Koyna	200.0000	8.7646375	5.3283782	39.2059	13.441675	5.6995946	57.5976
3. Kobe	200.0000	13.074281	7.3391733	43.8656	22.106354	8.0219881	63.7118
4. Bucharest	200.0000	8.3490127	6.5845859	21.1334	9.3186083	6.7884908	27.1512

**Tabel 6.15.** Perbandingan Regangan Maksimum Antara Tanah Tanpa Massa dan Dengan Massa Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari I Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa	Massa 20000 Ton	Selisih (%)	Tanpa Massa (cm)	Massa 20000 Ton (cm)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	0.0001343	0.0001579	-17.5979	0.0001560	0.0000693	55.5864
2. Koyna	200.0000	0.0001694	0.0001060	37.4698	0.0000835	0.0000571	31.6510
3. Kobe	200.0000	0.0004204	0.0001610	61.7014	0.0000789	0.0000729	7.5228
4. Bucharest	200.0000	0.0002051	0.0000967	52.8277	0.0000917	0.0000725	20.9919
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa	Massa 40000 Ton	Selisih (%)	Tanpa Massa (cm)	Massa 40000 Ton (cm)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	0.0001343	0.0001332	0.7634	0.0001560	0.0000501	67.8657
2. Koyna	200.0000	0.0001694	0.0000764	54.9266	0.0000835	0.0000476	42.9655
3. Kobe	200.0000	0.0004204	0.0001143	72.8095	0.0000789	0.0000665	15.7118
4. Bucharest	200.0000	0.0002051	0.0000735	64.1374	0.0000917	0.0000593	35.3207
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa	Massa 60000 Ton	Selisih (%)	Tanpa Massa (cm)	Massa 60000 Ton (cm)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	0.0001343	0.0000880	34.4288	0.0001560	0.0000490	68.5939
2. Koyna	200.0000	0.0001694	0.0000969	42.8101	0.0000835	0.0000420	49.6524
3. Kobe	200.0000	0.0004204	0.0001600	61.9449	0.0000789	0.0000599	24.0013
4. Bucharest	200.0000	0.0002051	0.0000676	67.0386	0.0000917	0.0000504	45.0946

**Tabel 6.16.** Perbandingan Tegangan Maksimum Antara Tanah Tanpa Massa dan Dengan Massa Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari I Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa (kg/cm <sup>2</sup> )	Massa 20000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Tanpa Massa (kg/cm <sup>2</sup> )	Massa 20000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	5.8419	13.3418	-128.3811	6.0346	5.6286	6.7288
2. Koyna	200.0000	7.3786	8.9552	-21.3670	3.4335	4.6766	-36.2069
3. Kobe	200.0000	18.2289	13.5262	25.7979	3.2563	5.9113	-81.5357
4. Bucharest	200.0000	8.7170	8.0556	7.5878	3.7457	5.8774	-56.9092
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa (kg/cm <sup>2</sup> )	Massa 40000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Tanpa Massa (kg/cm <sup>2</sup> )	Massa 40000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	5.8419	15.3069	-162.0183	6.0346	5.5976	7.2419
2. Koyna	200.0000	7.3786	8.7646	-18.7848	3.4335	5.3284	-55.1900
3. Kobe	200.0000	18.2289	13.0743	28.2771	3.2563	7.3392	-125.3855
4. Bucharest	200.0000	8.7170	8.3490	4.2219	3.7457	6.5846	-75.7903
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa (kg/cm <sup>2</sup> )	Massa 60000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Tanpa Massa (kg/cm <sup>2</sup> )	Massa 60000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	5.8419	12.2031	-108.8883	6.0346	6.6074	-9.4911
2. Koyna	200.0000	7.3786	13.4417	-82.1714	3.4335	5.6996	-66.0017
3. Kobe	200.0000	18.2289	22.1064	-21.2711	3.2563	8.0220	-146.3547
4. Bucharest	200.0000	8.7170	9.3186	-6.9010	3.7457	6.7885	-81.2340

**Tabel 6.17.** Perbandingan Regangan Maksimum Antara Tanah dengan Massa yang di Variasikan Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari I Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton	Massa 40000 Ton	Selisih (%)	Massa 20000 Ton	Massa 40000 Ton	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	0.0001579	0.0001332	15.6136	0.0000693	0.0000501	27.6478
2. Koyna	200.0000	0.0001060	0.0000764	27.9174	0.0000571	0.0000476	16.5541
3. Kobe	200.0000	0.0001610	0.0001143	29.0040	0.0000729	0.0000665	8.8551
4. Bucharest	200.0000	0.0000967	0.0000735	23.9753	0.0000725	0.0000593	18.1359
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton	Massa 60000 Ton	Selisih (%)	Massa 20000 Ton	Massa 60000 Ton	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	0.0001579	0.0000880	44.2412	0.0000693	0.0000490	29.2873
2. Koyna	200.0000	0.0001060	0.0000969	8.5404	0.0000571	0.0000420	26.3376
3. Kobe	200.0000	0.0001610	0.0001600	0.6359	0.0000729	0.0000599	17.8189
4. Bucharest	200.0000	0.0000967	0.0000676	30.1255	0.0000725	0.0000504	30.5066
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 40000 Ton	Massa 60000 Ton	Selisih (%)	Massa 40000 Ton	Massa 60000 Ton	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	0.0001332	0.0000880	33.9243	0.0000501	0.0000490	2.2660
2. Koyna	200.0000	0.0000764	0.0000969	-26.8817	0.0000476	0.0000420	11.7243
3. Kobe	200.0000	0.0001143	0.0001600	-39.9575	0.0000665	0.0000599	9.8347
4. Bucharest	200.0000	0.0000735	0.0000676	8.0898	0.0000593	0.0000504	15.1113

**Tabel 6.18.** Perbandingan Tegangan Maksimum Antara Tanah dengan Massa yang di Variasikan Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari I Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Massa 40000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Massa 20000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Massa 40000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	13.3418	15.3069	-14.7285	5.6286	5.5976	0.5501
2. Koyna	200.0000	8.9552	8.7646	2.1276	4.6766	5.3284	-13.9369
3. Kobe	200.0000	13.5262	13.0743	3.3412	5.9113	7.3392	-24.1549
4. Bucharest	200.0000	8.0556	8.3490	-3.6422	5.8774	6.5846	-12.0331
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Massa 60000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Massa 20000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Massa 60000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	13.3418	12.2031	8.5352	5.6286	6.6074	-17.3901
2. Koyna	200.0000	8.9552	13.4417	-50.0996	4.6766	5.6996	-21.8747
3. Kobe	200.0000	13.5262	22.1064	-63.4334	5.9113	8.0220	-35.7059
4. Bucharest	200.0000	8.0556	9.3186	-15.6785	5.8774	6.7885	-15.5025
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 40000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Massa 60000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Massa 40000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Massa 60000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	15.3069	12.2031	20.2772	5.5976	6.6074	-18.0394
2. Koyna	200.0000	8.7646	13.4417	-53.3626	5.3284	5.6996	-6.9668
3. Kobe	200.0000	13.0743	22.1064	-69.0827	7.3392	8.0220	-9.3037
4. Bucharest	200.0000	8.3490	9.3186	-11.6133	6.5846	6.7885	-3.0967

**Tabel 6.19.** Besarnya Amplifikasi Untuk Data Tanah Tawang Sari I Kondisi Linear Elastis dan Nonlinear Elastis Tanpa Massa Maupun dengan Massa Yang di Variasi

Gempa	Kondisi	Percepatan (cm/dt <sup>2</sup> )	Amplifikasi Percepatan (%)	Kecepatan (cm/dt)	Simpangan (cm)
Elcentro	Linear elastis tanpa massa	358.5224	79.2612	16.4199	1.6003
	Non linear elastis tanpa massa	309.6144	54.8072	16.8795	1.5260
	Linear elastis massa 20000 Ton	446.8812	123.4406	29.8710	2.1164
	Non linear elastis massa 20000 Ton	317.7923	58.8961	17.8823	1.2265
	Linear elastis massa 40000 Ton	499.9996	149.9998	20.9924	2.0835
	Non linear elastis massa 40000 Ton	324.8668	62.4334	17.7518	1.2876
	Linear elastis massa 60000 Ton	482.4625	141.2312	21.6147	1.4428
	Non linear elastis massa 60000 Ton	376.5560	88.2780	20.9924	1.2313
Koyna	Linear elastis tanpa massa	375.0799	87.5399	22.6996	1.8404
	Non linear elastis tanpa massa	321.4204	60.7102	18.7697	1.8333
	Linear elastis massa 20000 Ton	285.0050	42.5025	18.6240	1.4652
	Non linear elastis massa 20000 Ton	289.0619	44.5310	16.7269	1.3853
	Linear elastis massa 40000 Ton	381.6154	90.8077	16.6120	1.1624
	Non linear elastis massa 40000 Ton	262.0415	31.0207	16.8938	1.1153
	Linear elastis massa 60000 Ton	497.4796	148.7398	24.7385	1.5869
	Non linear elastis massa 60000 Ton	310.7881	55.3940	14.8944	1.0746
Kobe	Linear elastis tanpa massa	670.4704	235.2352	74.7125	8.5815
	Non linear elastis tanpa massa	288.9172	44.4586	60.3529	7.7446
	Linear elastis massa 20000 Ton	401.3452	100.6726	27.2420	2.7603
	Non linear elastis massa 20000 Ton	311.1324	55.5662	59.1303	8.4777
	Linear elastis massa 40000 Ton	490.9138	145.4569	35.2155	1.9361
	Non linear elastis massa 40000 Ton	314.7110	57.3555	51.1218	7.8646
	Linear elastis massa 60000 Ton	704.3302	252.1651	42.7322	2.7249
	Non linear elastis massa 60000 Ton	375.0189	87.5094	43.9846	6.3411
Bucharest	Linear elastis tanpa massa	174.1491	-12.9255	33.2667	6.1209
	Non linear elastis tanpa massa	249.5231	24.7616	95.4590	31.5726
	Linear elastis massa 20000 Ton	255.6466	27.8233	20.1611	2.1275
	Non linear elastis massa 20000 Ton	259.4201	29.7100	61.3994	16.3996
	Linear elastis massa 40000 Ton	221.7936	10.8968	16.6411	1.6494
	Non linear elastis massa 40000 Ton	290.5509	45.2754	38.3939	6.8951
	Linear elastis massa 60000 Ton	229.9105	14.9553	17.7194	1.3226
	Non linear elastis massa 60000 Ton	158.3822	-20.8089	18.2276	3.3640

**Tabel 6.20.** Besarnya Amplifikasi Untuk Data Tanah Tawang Sari I Kondisi Linear Elastis dan Kondisi Nonlinear Elastis Tanpa Massa Maupun dengan Massa Yang di Variasi

Gempa	Kondisi	Percepatan (cm/dt <sup>2</sup> )	Amplifikasi Percepatan (%)	Kecepatan (cm/dt)	Simpangan (cm)
Elcentro	Linear elastis tanpa massa	358.5224	79.2612	16.4199	1.6003
Koyna		375.0799	87.5399	22.6996	1.8404
Kobe		670.4704	235.2352	74.7125	8.5815
Bucharest		174.1491	-12.9255	33.2667	6.1209
Elcentro	Non linear elastis tanpa massa	309.6144	54.8072	16.8795	1.5260
Koyna		321.4204	60.7102	18.7697	1.8333
Kobe		288.9172	44.4586	60.3529	7.7446
Bucharest		249.5231	24.7616	95.4590	31.5726
Elcentro	Linear elastis massa 20.000 Ton	446.8812	123.4406	29.8710	2.1164
Koyna		285.0050	42.5025	18.6240	1.4652
Kobe		401.3452	100.6726	27.2420	2.7603
Bucharest		255.6466	27.8233	20.1611	2.1275
Elcentro	Non linear elastis massa 20.000 Ton	317.7923	58.8961	17.8823	1.2265
Koyna		289.0619	44.5310	16.7269	1.3853
Kobe		311.1324	55.5662	59.1303	8.4777
Bucharest		259.4201	29.7100	61.3994	16.3996
Elcentro	Linear elastis massa 40.000 Ton	499.9996	149.9998	20.9924	2.0835
Koyna		381.6154	90.8077	16.6120	1.1624
Kobe		490.9138	145.4569	35.2155	1.9361
Bucharest		221.7936	10.8968	16.6411	1.6494
Elcentro	Non linear elastis massa 40.000 Ton	324.8668	62.4334	17.7518	1.2876
Koyna		262.0415	90.8077	16.8938	1.1153
Kobe		314.7110	57.3555	51.1218	7.8646
Bucharest		290.5509	45.2754	38.3939	6.8951
Elcentro	Linear elastis massa 60.000 Ton	482.4625	141.2312	21.6147	1.4428
Koyna		497.4796	148.7398	24.7385	1.5869
Kobe		704.3302	252.1651	42.7322	2.7249
Bucharest		229.9105	14.9553	17.7194	1.3226
Elcentro	Non linear elastis massa 60.000 Ton	376.5560	88.2780	20.9924	1.2313
Koyna		310.7881	55.3940	14.8944	1.0746
Kobe		375.0189	87.5094	43.9846	6.3411
Bucharest		158.3822	-20.8089	18.2276	3.3640

**Tabel 6.21. Respon Seismik Pada Kondisi Linear Elastis dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa *Elcentro* Untuk Data Tanah Tawangsari**

Kondisi	Percepatan (cm/dt <sup>2</sup> )	Kecepatan (cm/dt)	Simpangan (cm)	Regangan	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )
Linear Elastis Tanpa Massa	358.5224150	16.4199242	1.6002789	0.0001343	5.8419231
Non Linear Elastis Dengan Massa	309.6143946	16.8795033	1.5259871	0.0001560	6.0346321
Linear Elastis Dengan Massa 20.000 Ton	446.8811655	29.8710365	2.1164206	0.0001579	13.3418495
Non Linear Elastis Dengan Massa 20.000 Ton	317.7922788	17.8822703	1.2264626	0.0000693	5.6285719
Linear Elastis Dengan Massa 40.000 Ton	499.9995779	29.0969904	2.0835471	0.0001332	15.3069051
Non Linear Elastis Dengan Massa 40.000 Ton	324.8667908	17.7517852	1.2876075	0.0000501	5.5976104
Linear Elastis Dengan Massa 60.000 Ton	482.4624801	21.6147092	1.4428018	0.0000880	12.2030923
Non Linear Elastis Dengan Massa 60.000 Ton	376.5559947	20.9924255	1.2312680	0.0000490	6.6073860

**Tabel 6.22. Respon Seismik Pada Kondisi Linear Elastis dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa *Koyna* Untuk Data Tanah Tawangsari I**

Kondisi	Percepatan (cm/dt <sup>2</sup> )	Kecepatan (cm/dt)	Simpangan (cm)	Regangan	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )
Linear Elastis Tanpa Massa	375.0798814	22.6995825	1.8404495	0.0001694	7.3785860
Non Linear Elastis Dengan Massa	321.4203729	18.7697250	1.8333219	0.0000835	3.4334551
Linear Elastis Dengan Massa 20.000 Ton	285.0049987	18.6239961	1.4651994	0.0001060	8.9551721
Non Linear Elastis Dengan Massa 20.000 Ton	289.0619090	16.7269043	1.3852818	0.0000571	4.6766031
Linear Elastis Dengan Massa 40.000 Ton	381.6154131	16.6119690	1.1623864	0.0000764	8.7646375
Non Linear Elastis Dengan Massa 40.000 Ton	262.0414726	16.8937816	1.1152911	0.0000476	5.3283782
Linear Elastis Dengan Massa 60.000 Ton	497.4795911	24.7385219	1.5869306	0.0000969	13.4416748
Non Linear Elastis Dengan Massa 60.000 Ton	310.7880748	14.8943656	1.0745830	0.0000420	5.6995946

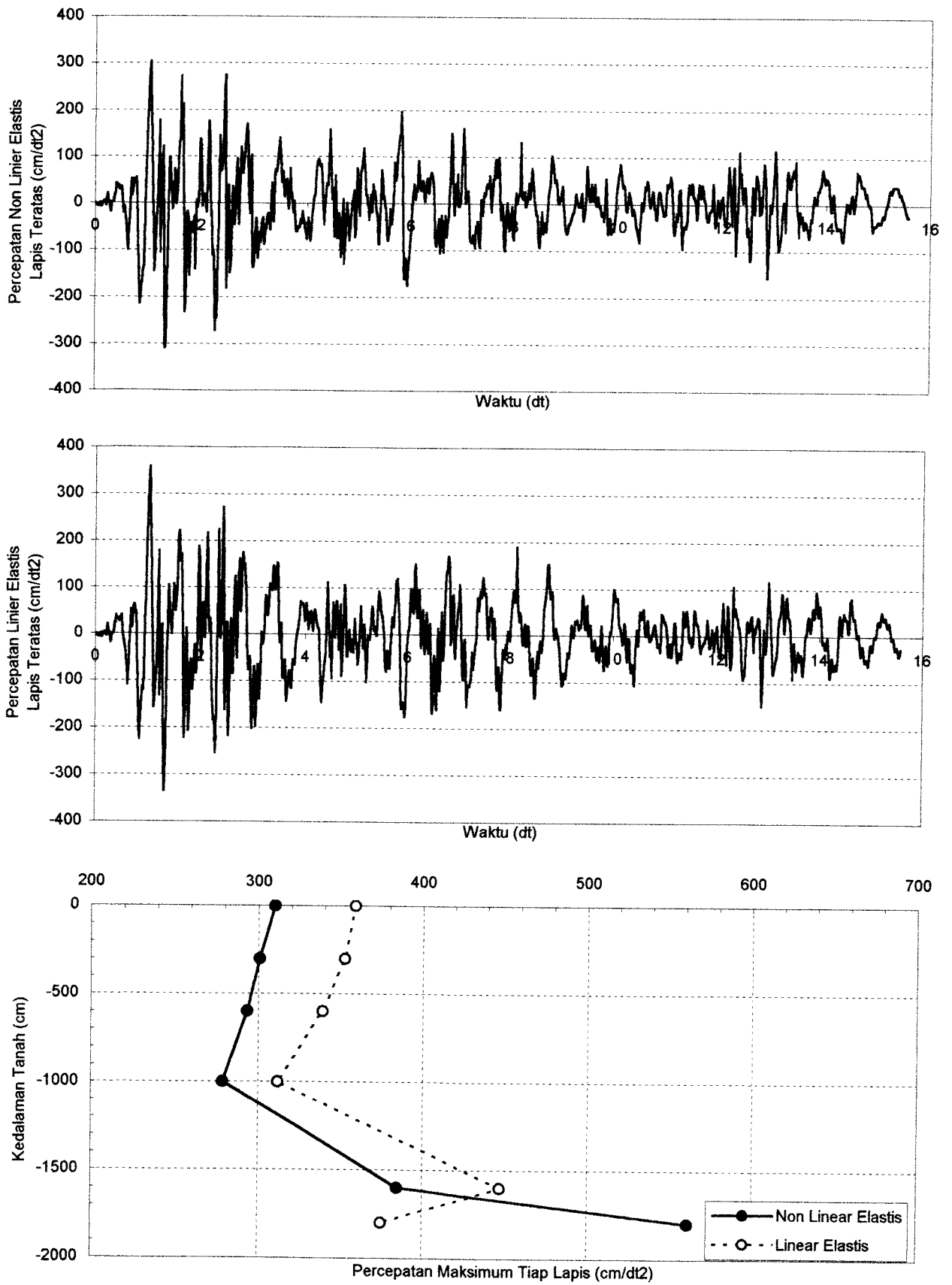
**Tabel 6.23.** Respon Seismik Pada Kondisi Linear Elastis dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa **Kobe** Untuk Data Tanah Tawang Sari I

Kondisi	Percepatan (cm/dt <sup>2</sup> )	Kecepatan (cm/dt)	Simpangan (cm)	Regangan	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )
Linear Elastis Tanpa Massa	670.4704064	74.7124633	8.5814851	0.0004204	18.2288778
Non Linear Elastis Dengan Massa	288.9172185	60.3529127	7.7445798	0.0000789	3.2562761
Linear Elastis Dengan Massa 20.000 Ton	401.3451663	27.2419945	2.7602646	0.0001610	13.5262127
Non Linear Elastis Dengan Massa 20.000 Ton	311.1323901	59.1303477	8.4777190	0.0000729	5.9113036
Linear Elastis Dengan Massa 40.000 Ton	490.9137928	51.1217895	1.9360695	0.0001143	13.0742815
Non Linear Elastis Dengan Massa 40.000 Ton	314.7110045	51.1217895	7.8645820	0.0000665	7.3391733
Linear Elastis Dengan Massa 60.000 Ton	704.3301978	42.7321603	2.7249478	0.0001600	22.1063541
Non Linear Elastis Dengan Massa 60.000 Ton	375.0188918	43.9845775	6.3410804	0.0000599	8.0219881

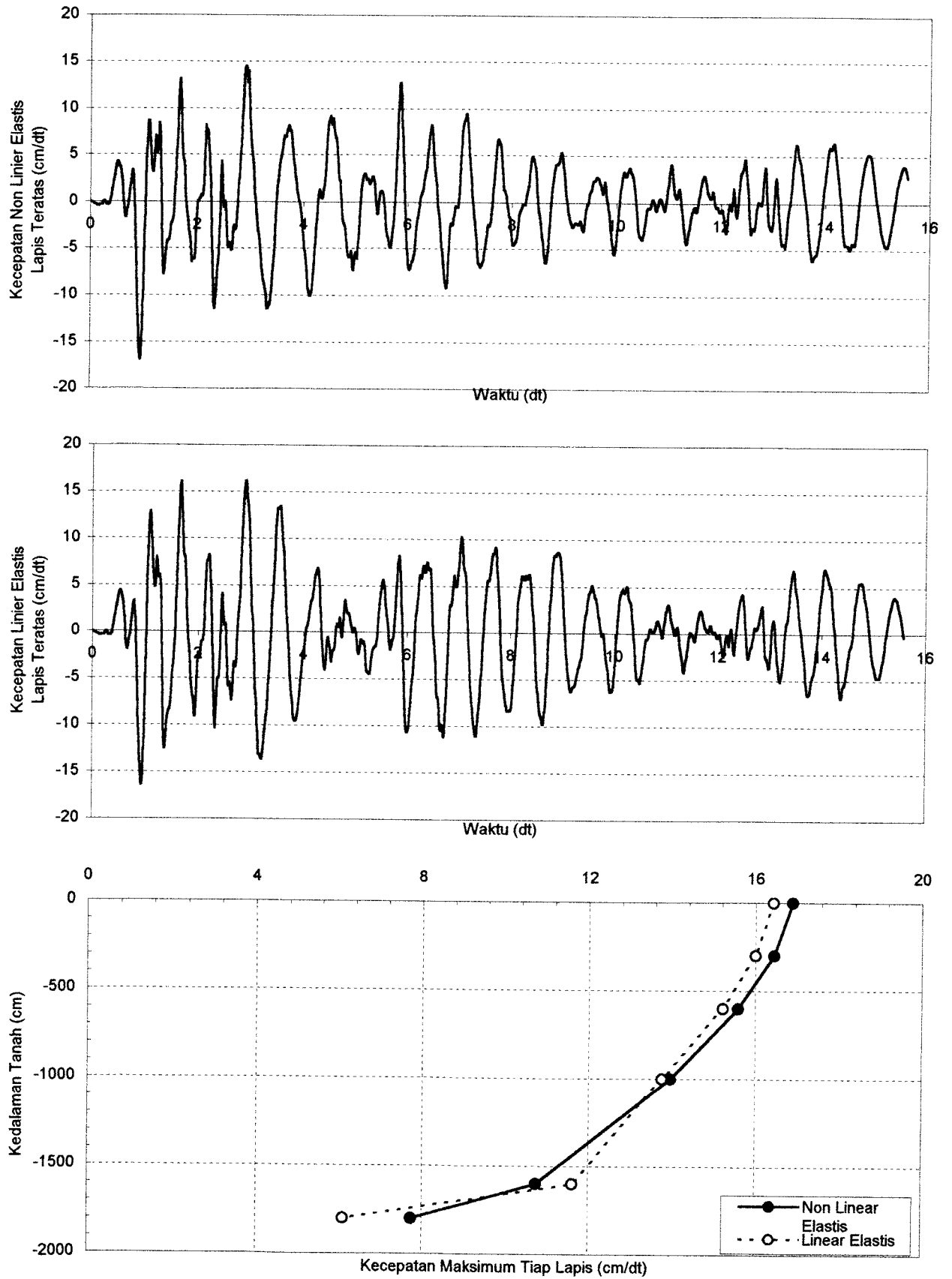
**Tabel 6.24.** Respon Seismik Pada Kondisi Linear Elastis dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa **Buoharest** Untuk Data Tanah Tawang Sari

Kondisi	Percepatan (cm/dt <sup>2</sup> )	Kecepatan (cm/dt)	Simpangan (cm)	Regangan	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )
Linear Elastis Tanpa Massa	174.1490518	33.2666713	6.1209216	0.0002051	8.7170410
Non Linear Elastis Dengan Massa	249.5231448	95.4590416	31.5725606	0.0000917	3.7457058
Linear Elastis Dengan Massa 20.000 Ton	255.6465550	20.1611193	2.1274864	0.0000967	8.0556117
Non Linear Elastis Dengan Massa 20.000 Ton	259.4200572	61.3994066	16.3995608	0.0000725	5.8773562
Linear Elastis Dengan Massa 40.000 Ton	221.7936458	16.6410787	1.6494211	0.0000735	8.3490127
Non Linear Elastis Dengan Massa 40.000 Ton	290.5508505	38.3938845	6.8950893	0.0000593	6.5845859
Linear Elastis Dengan Massa 60.000 Ton	229.9105398	17.7193531	1.3225632	0.0000676	9.3186083
Non Linear Elastis Dengan Massa 60.000 Ton	158.3822407	27.4023993	3.3639891	0.0000504	6.7884908

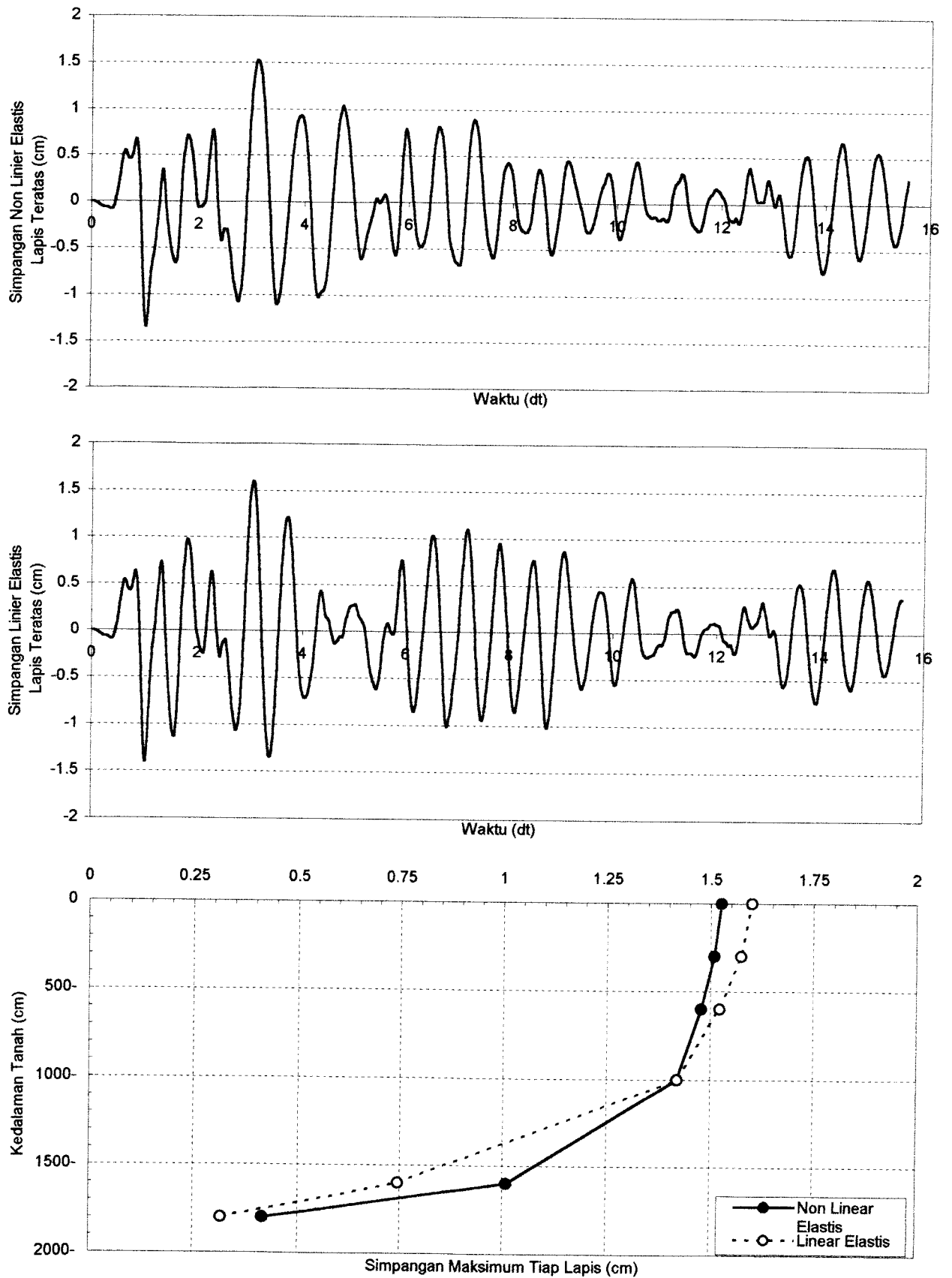




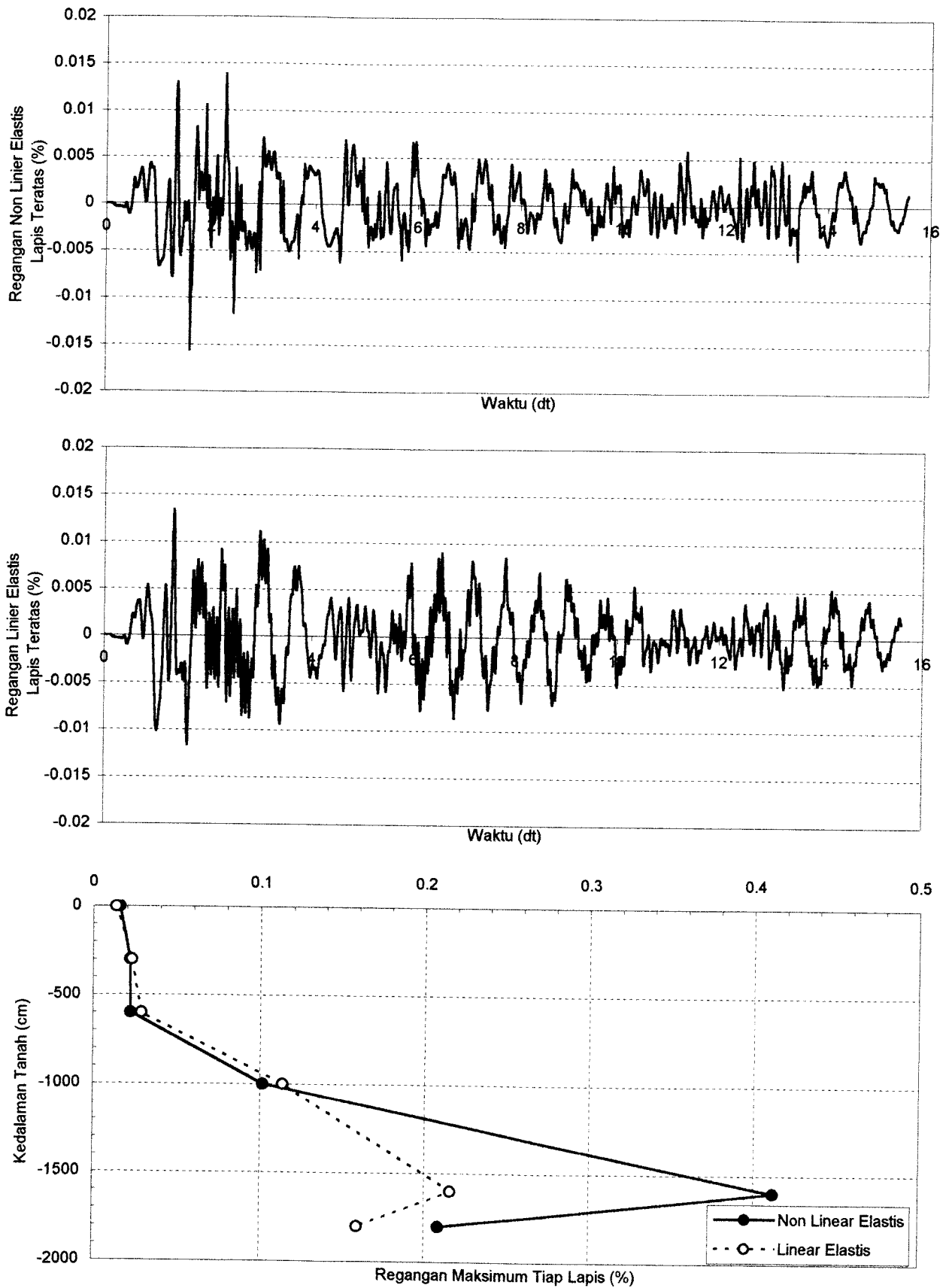
**Grafik 6.5.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



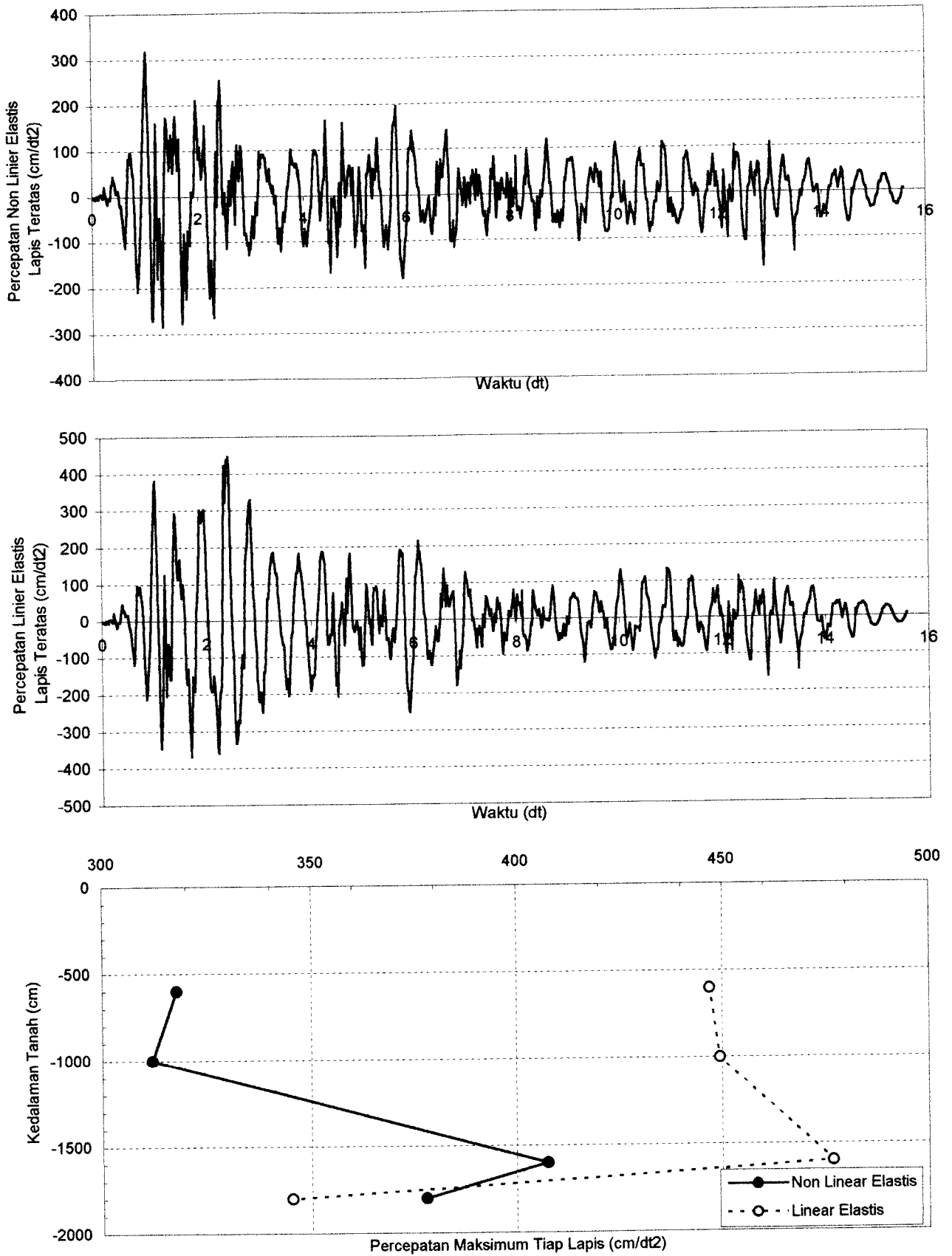
**Grafik 6.6.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



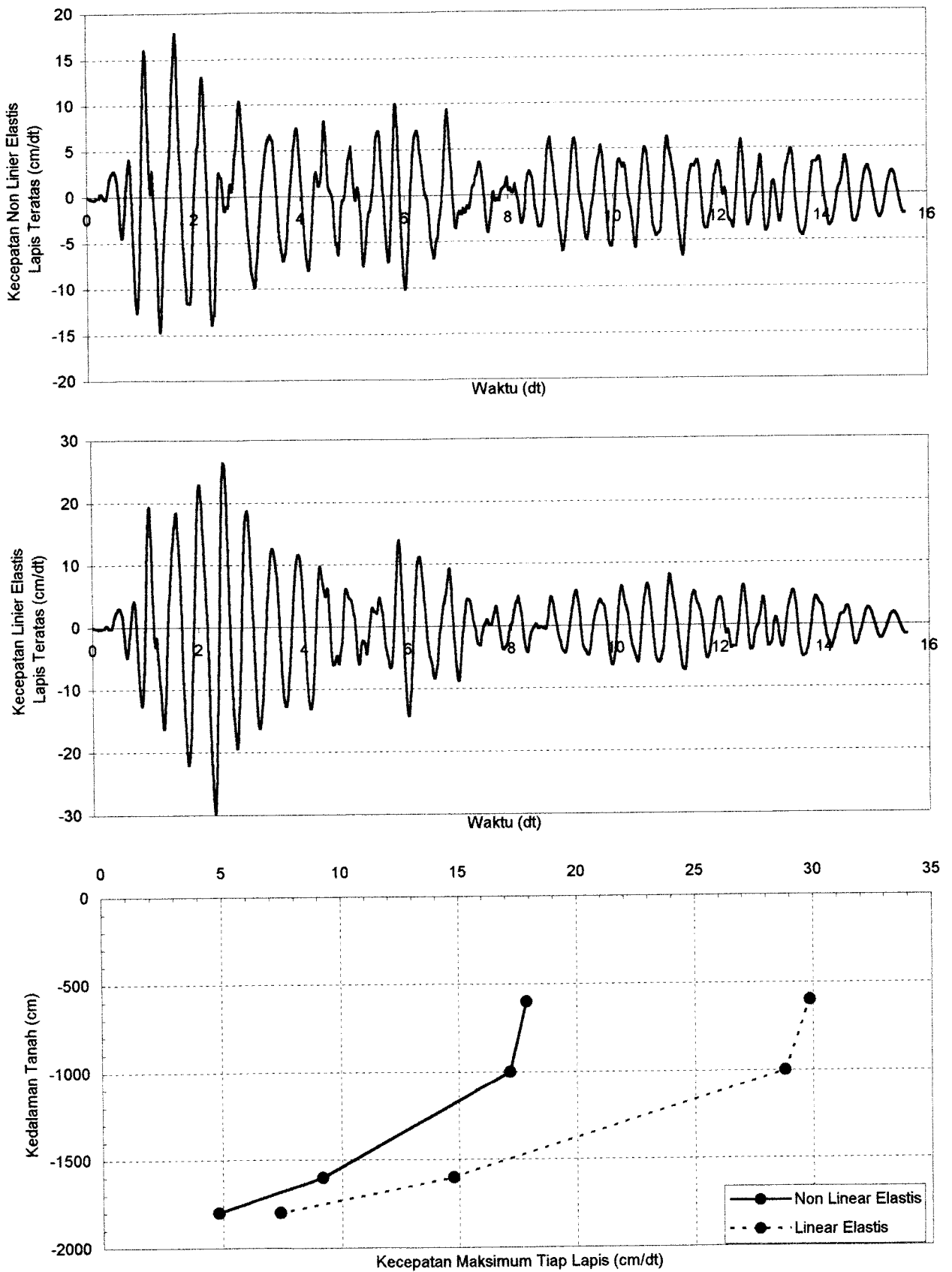
**Grafik 6.7.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



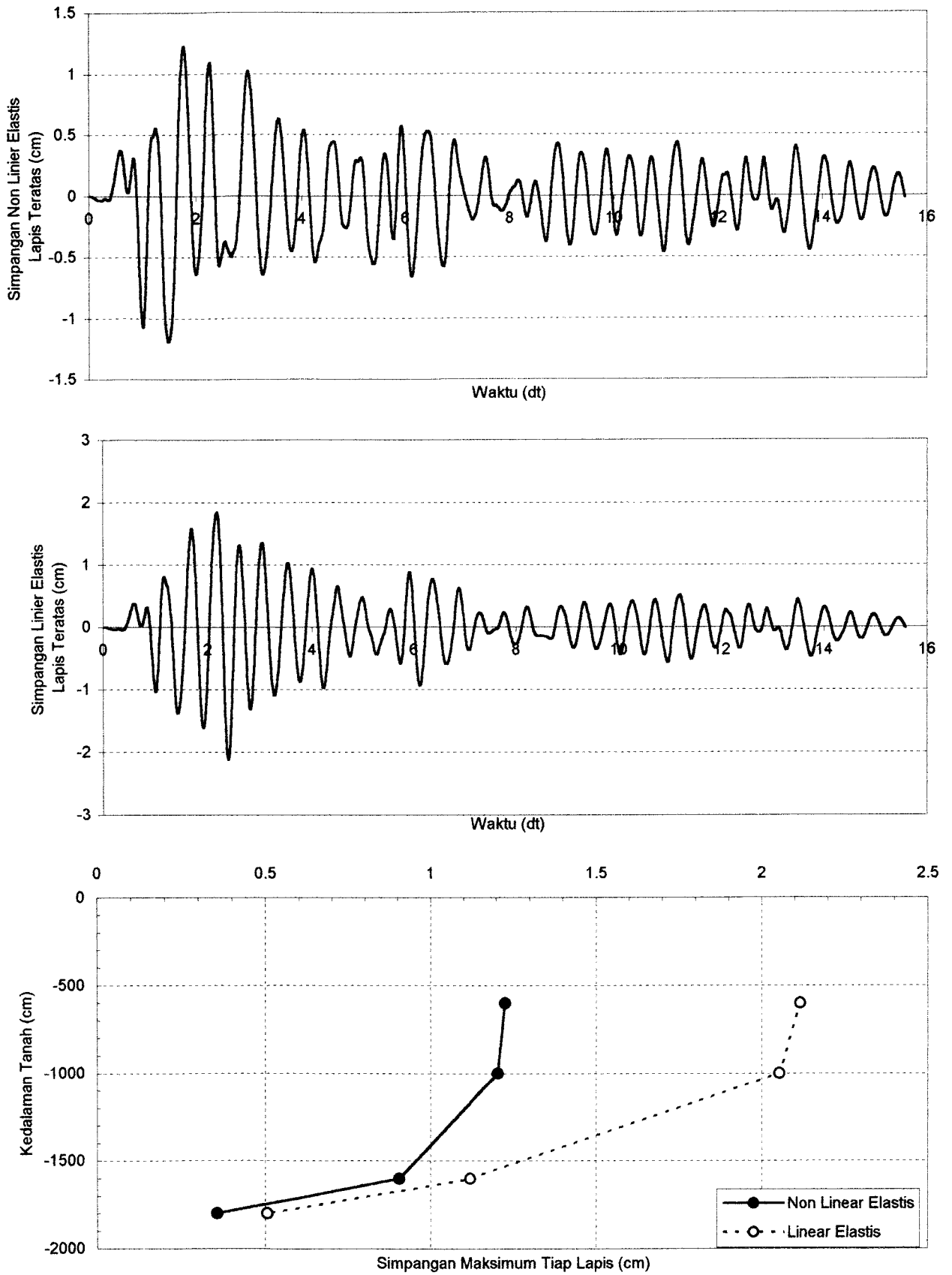
**Grafik 6.8.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



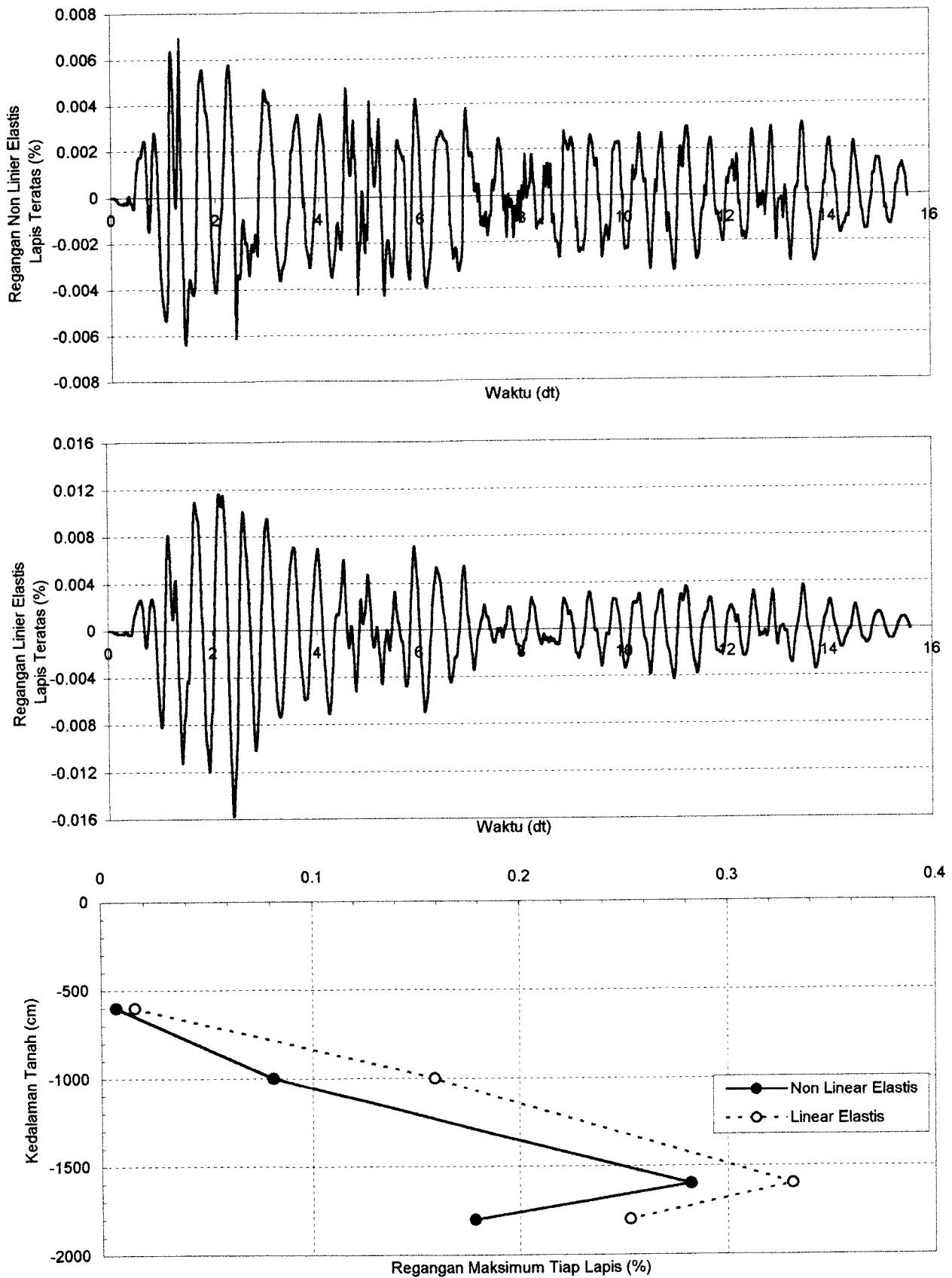
**Grafik 6.9.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



**Grafik 6.10.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa El Centro

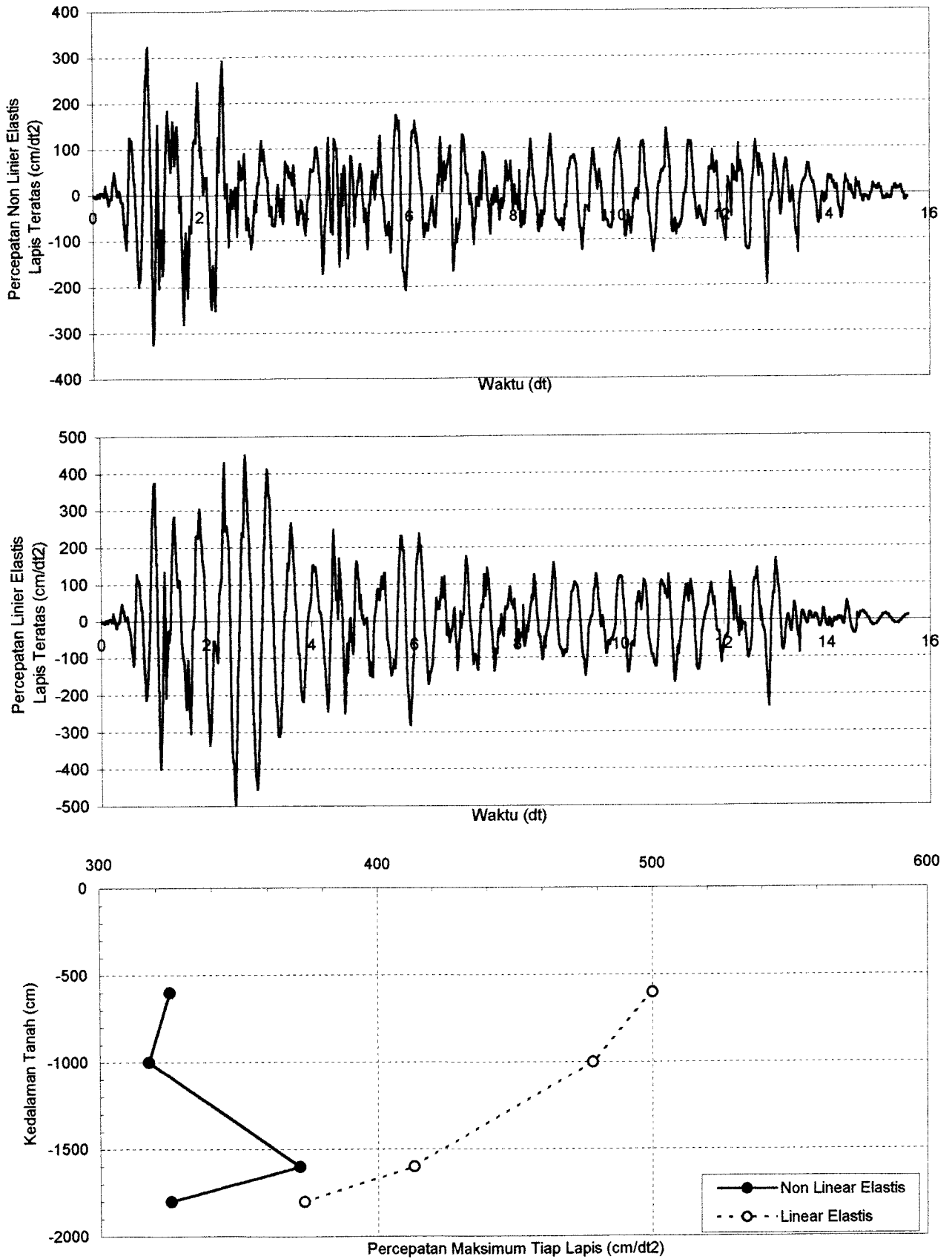


**Grafik 6.11.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa El Centro

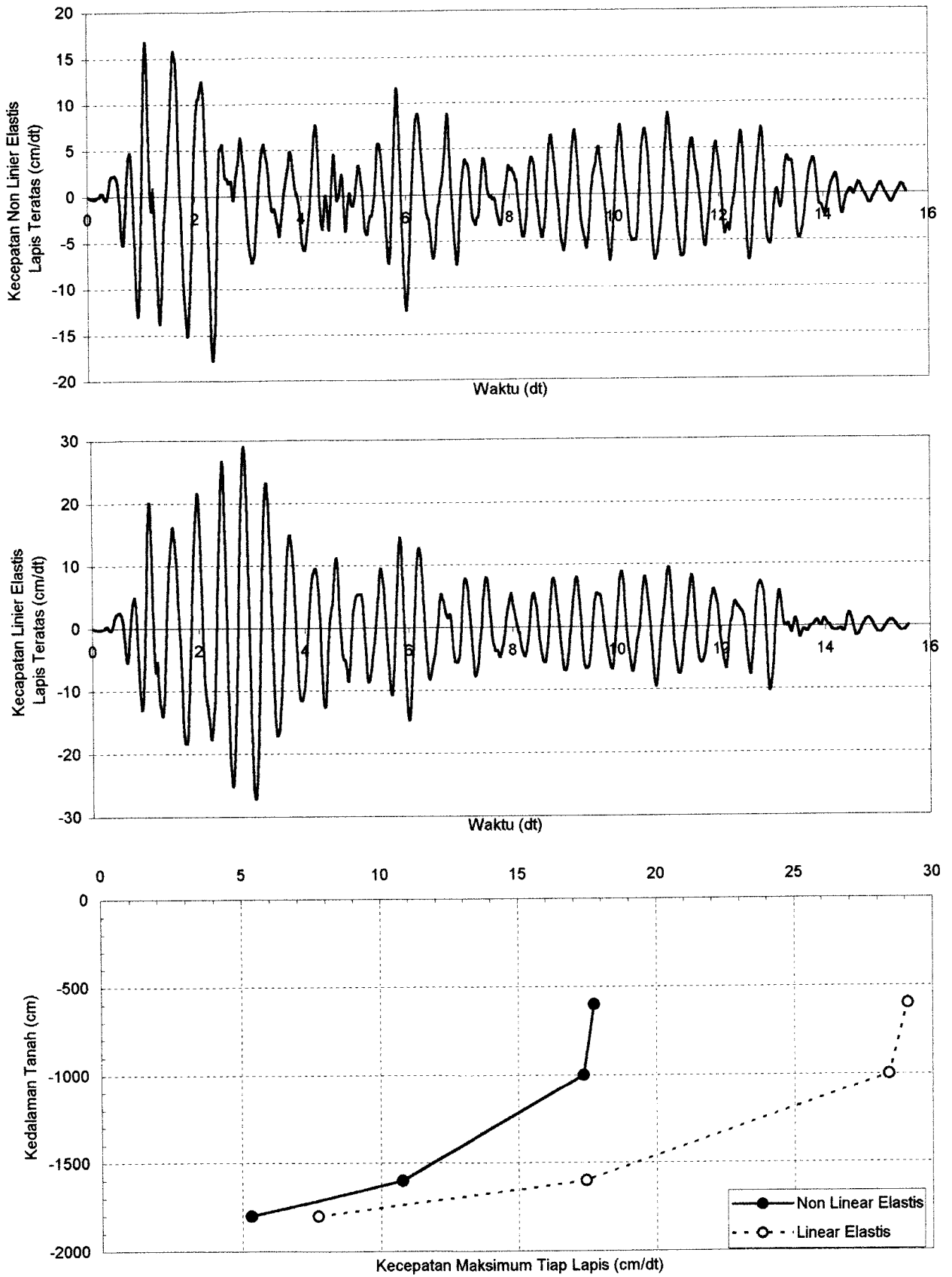


**Grafik 6.12.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawangsari I Sukoharjo Akibat Gempa El Centro

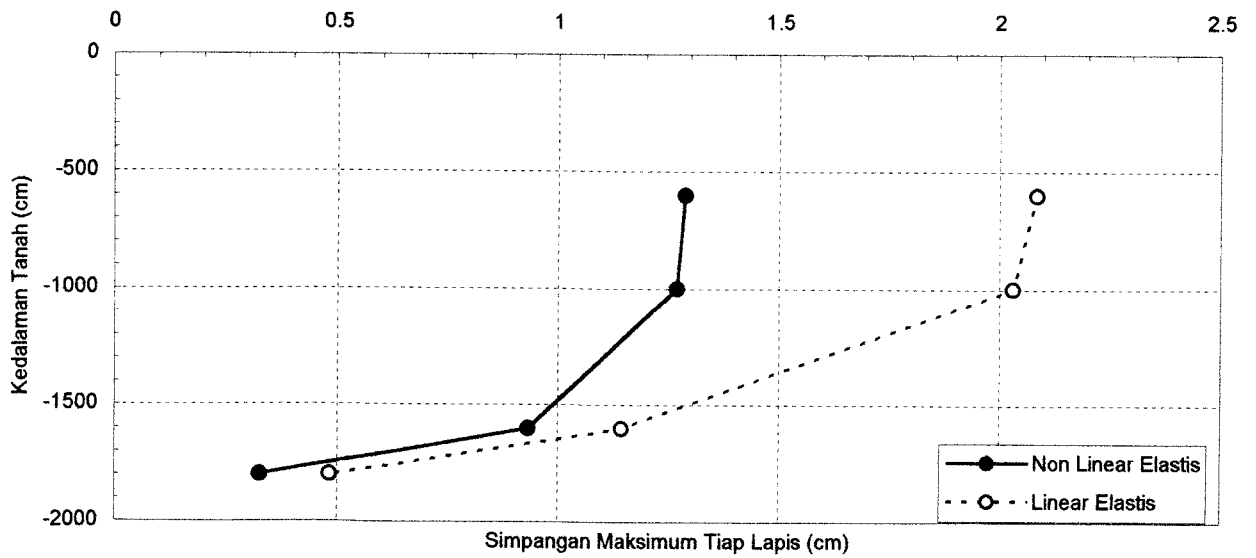
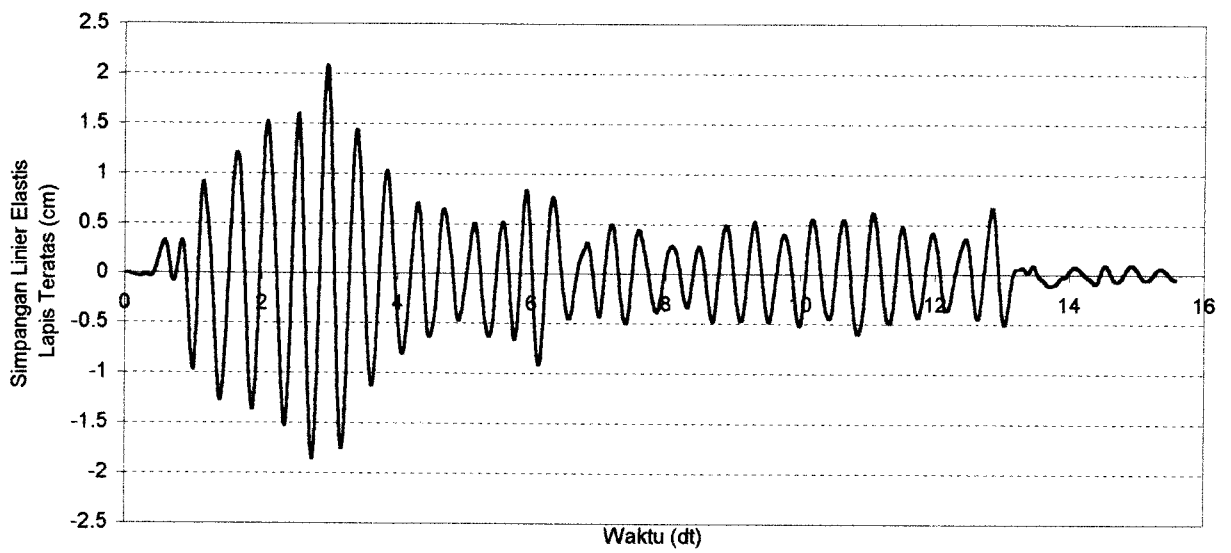
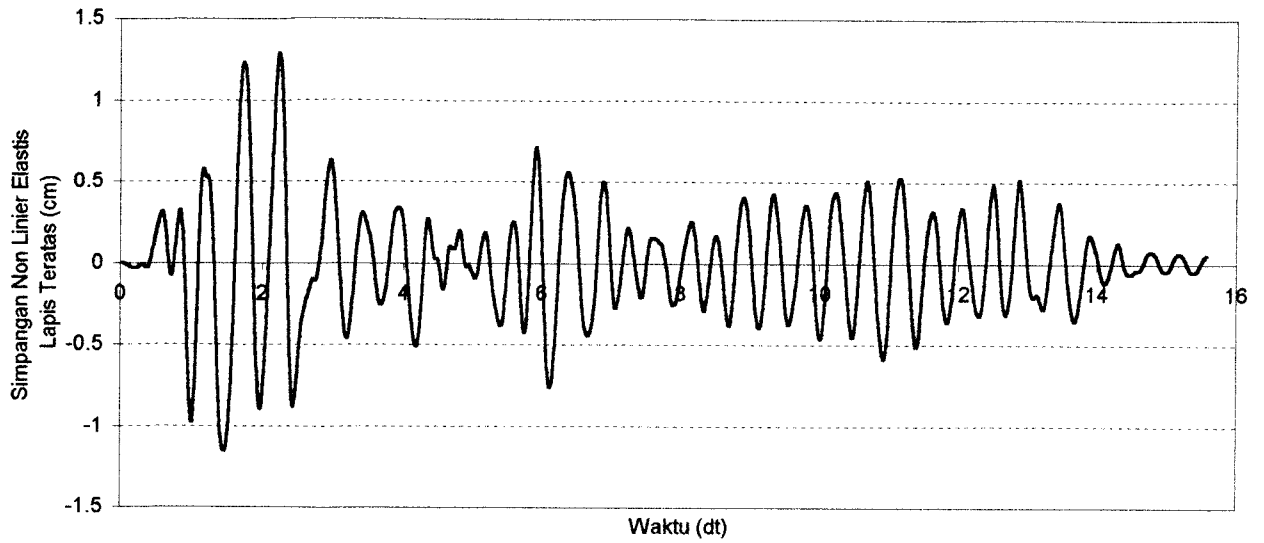




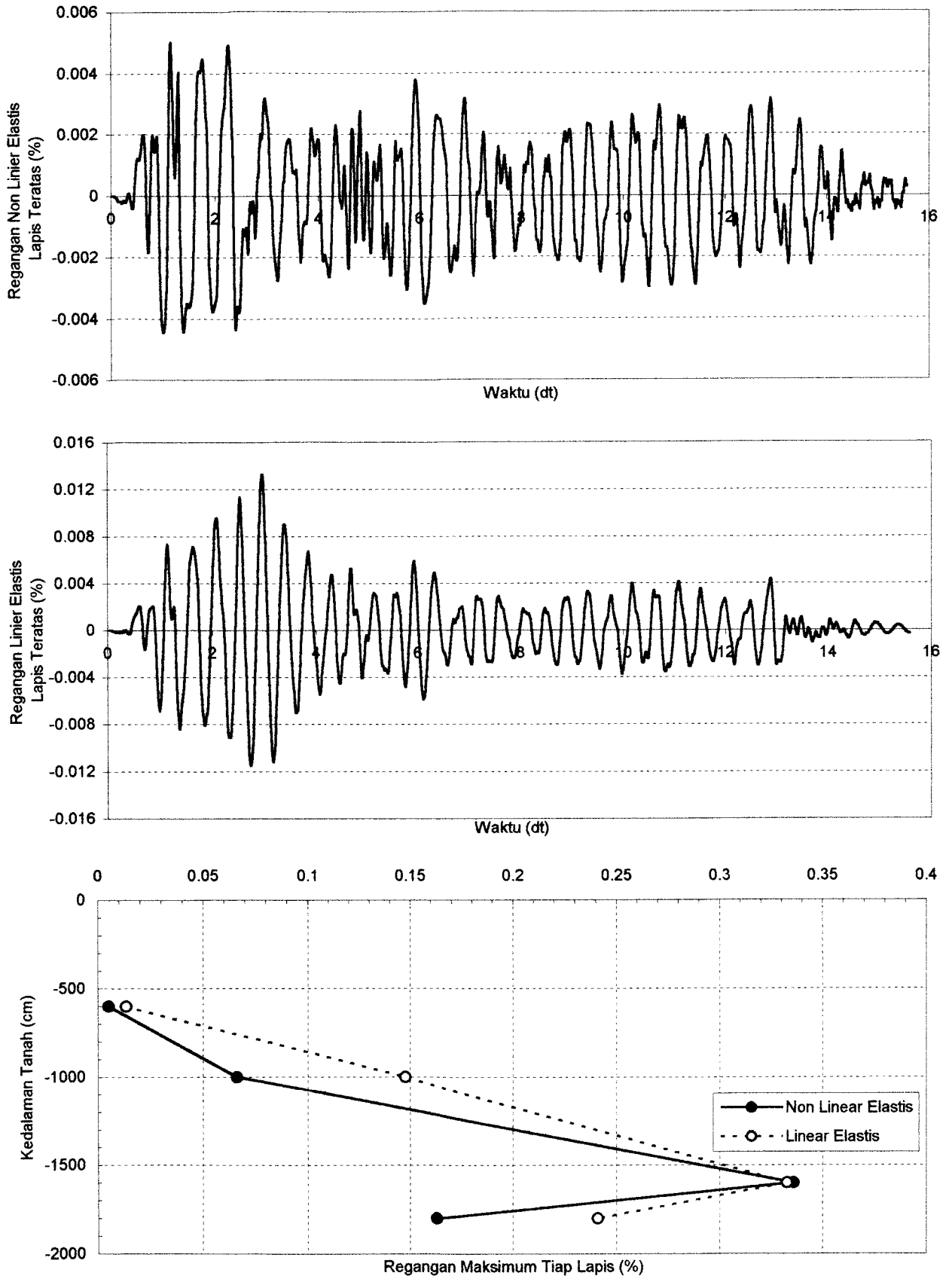
**Grafik 6.13.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawangsari I Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



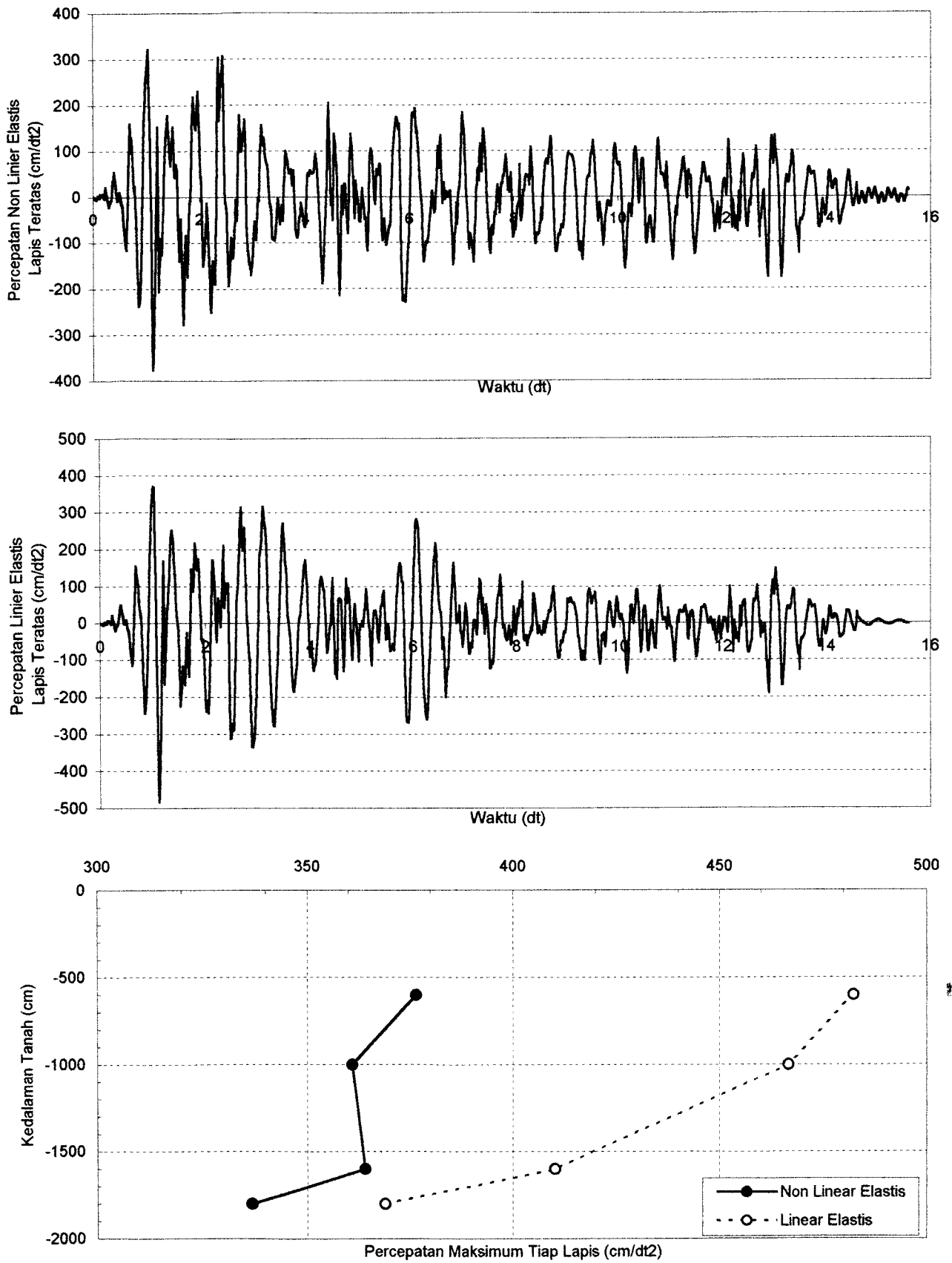
**Grafik 6.14.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



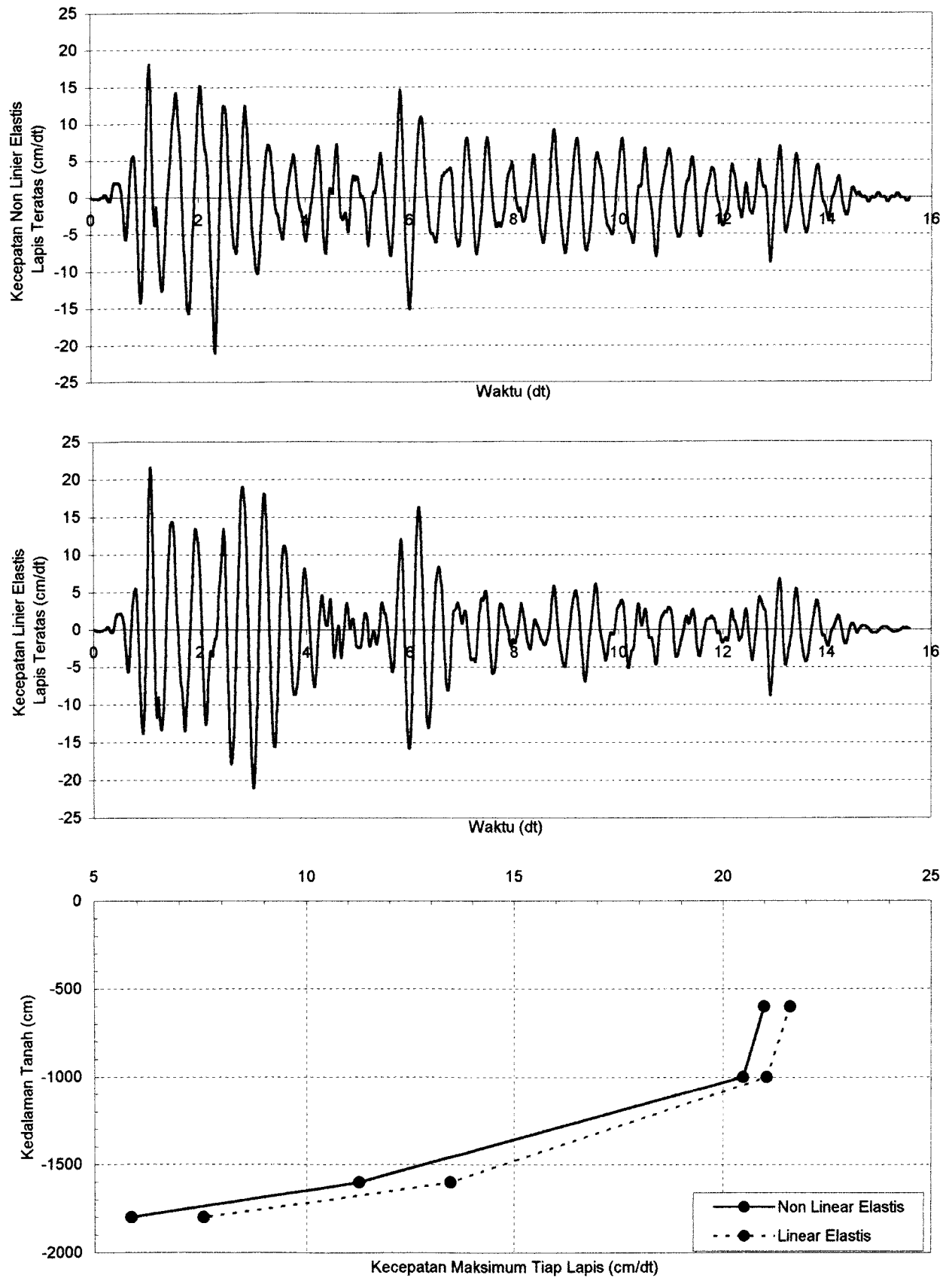
**Grafik 6.15.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



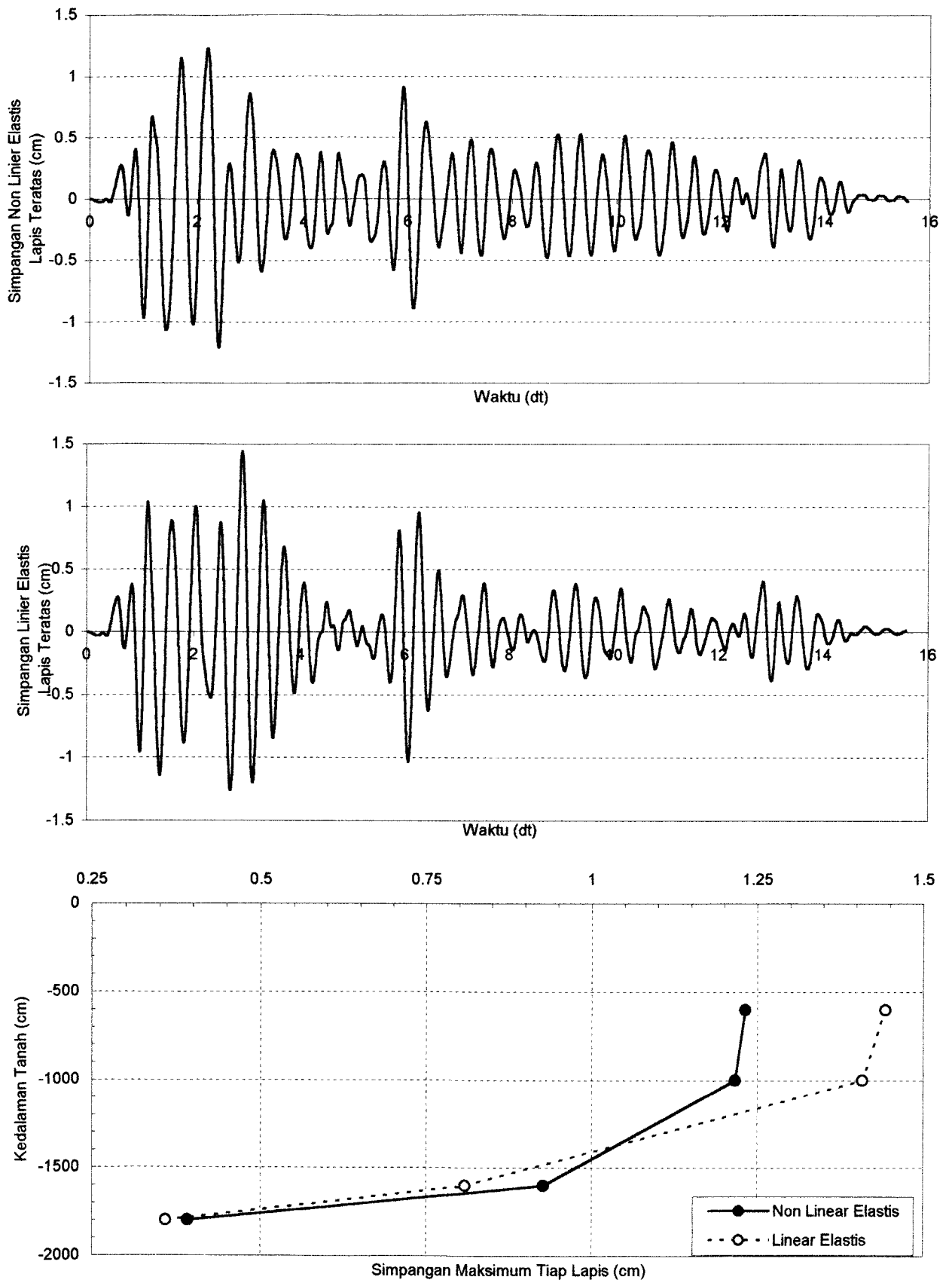
**Grafik 6.16.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



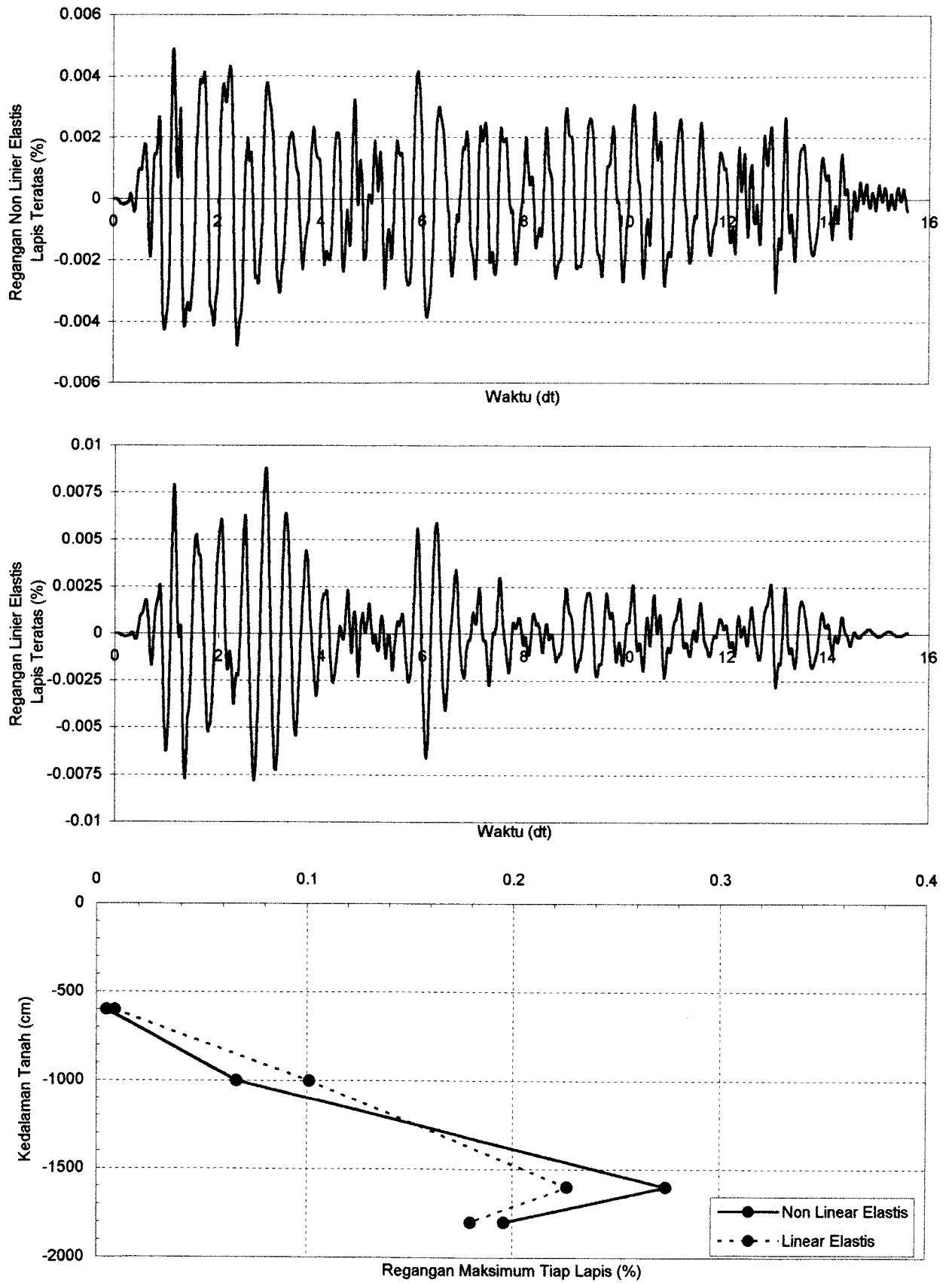
**Grafik 6.17.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



**Grafik 6.18.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa El Centro

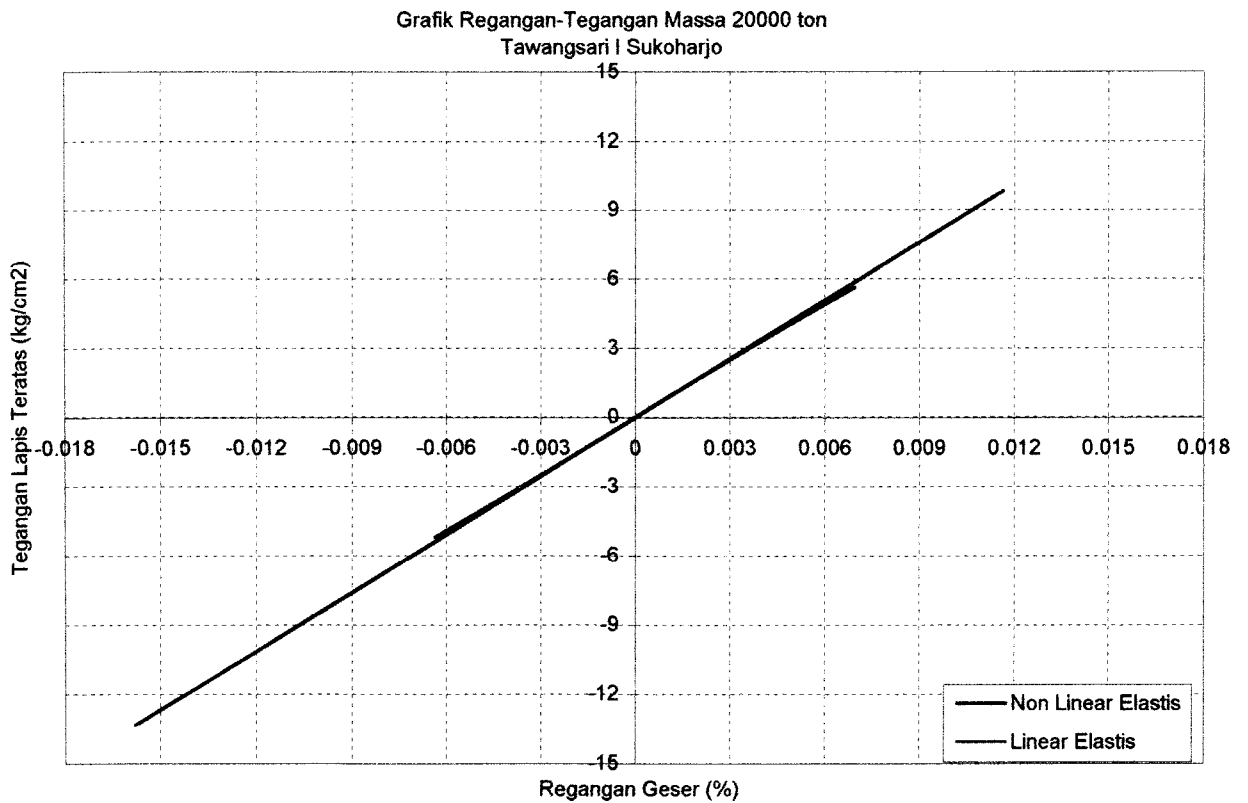
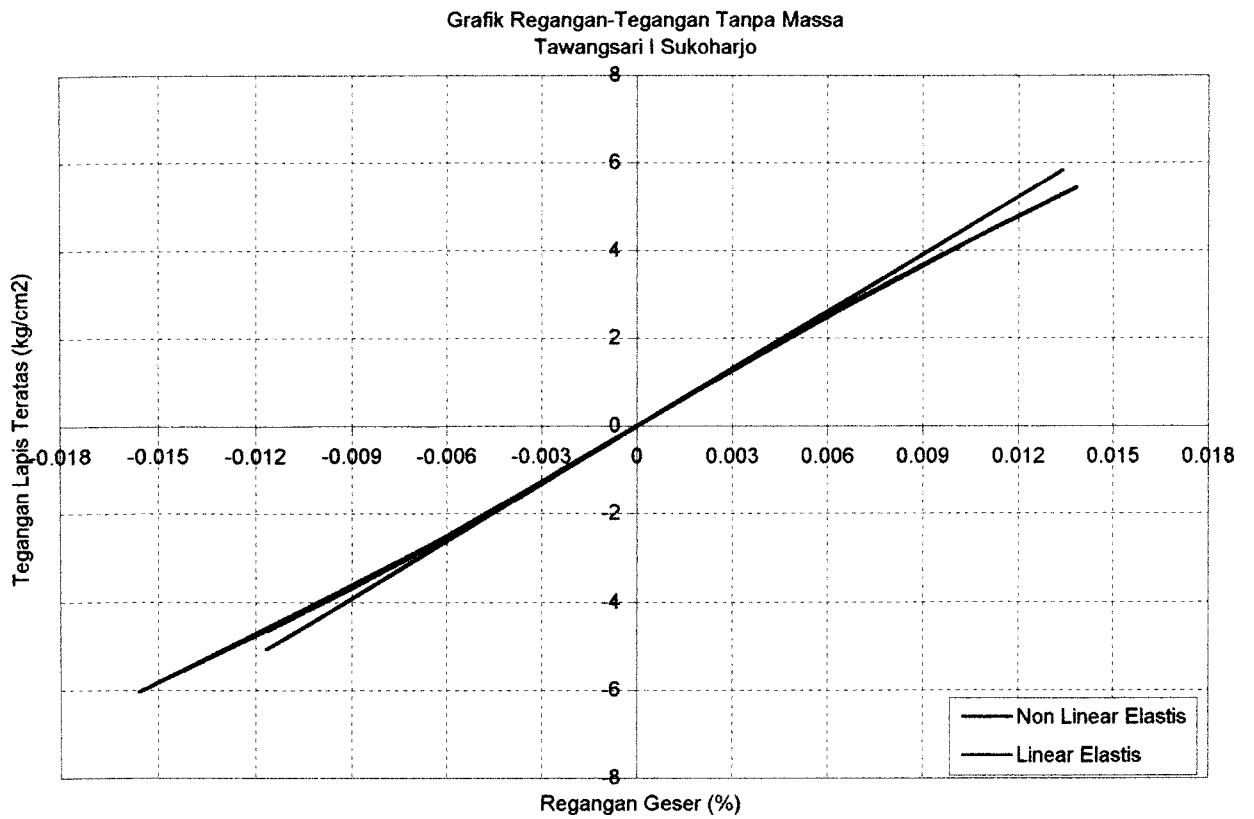


**Grafik 6.19.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa El Centro

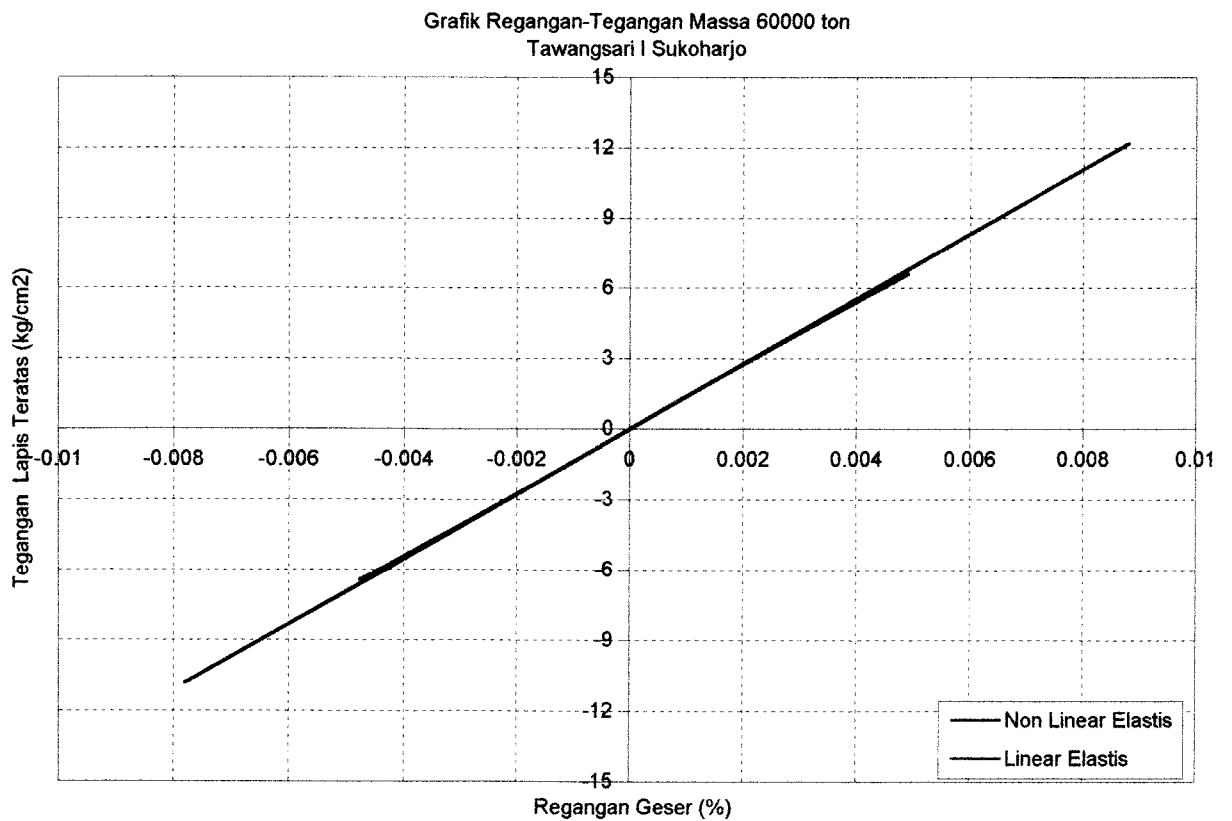
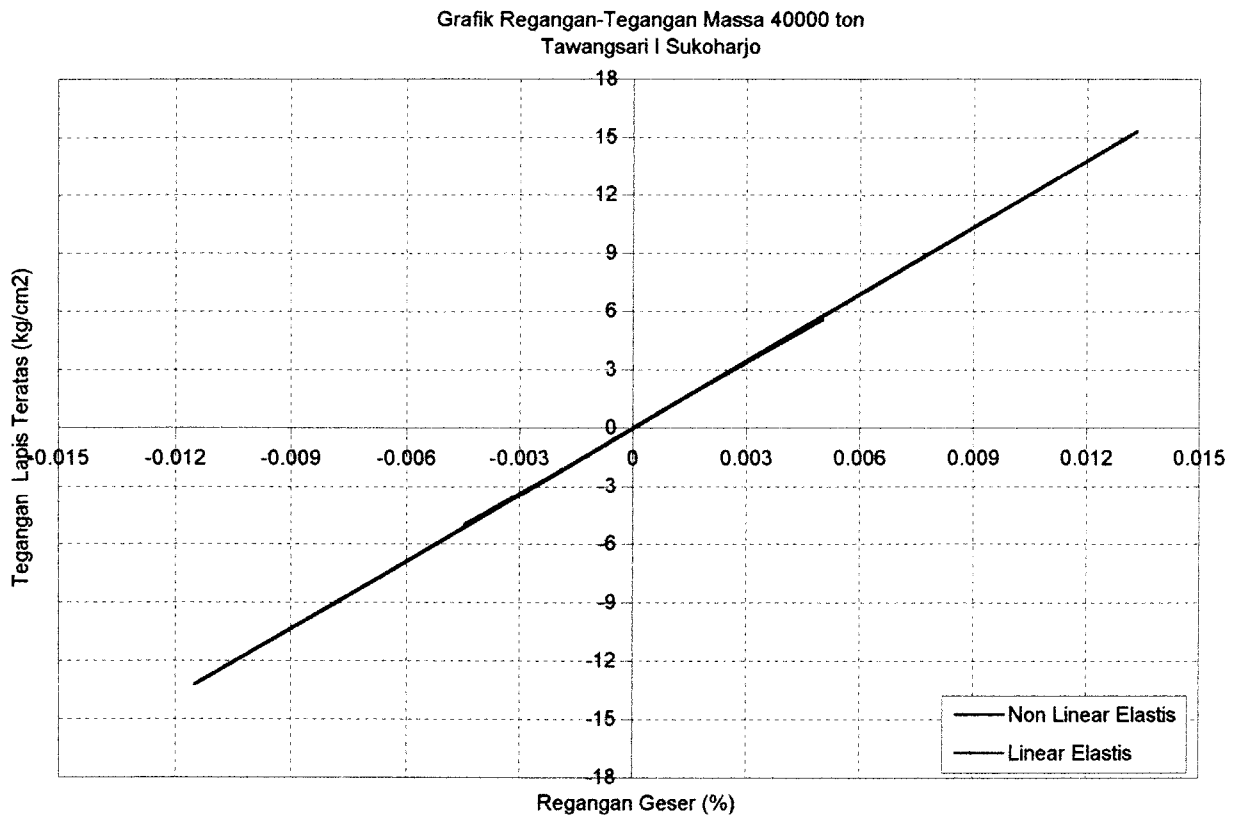


**Grafik 6.20.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa El Centro

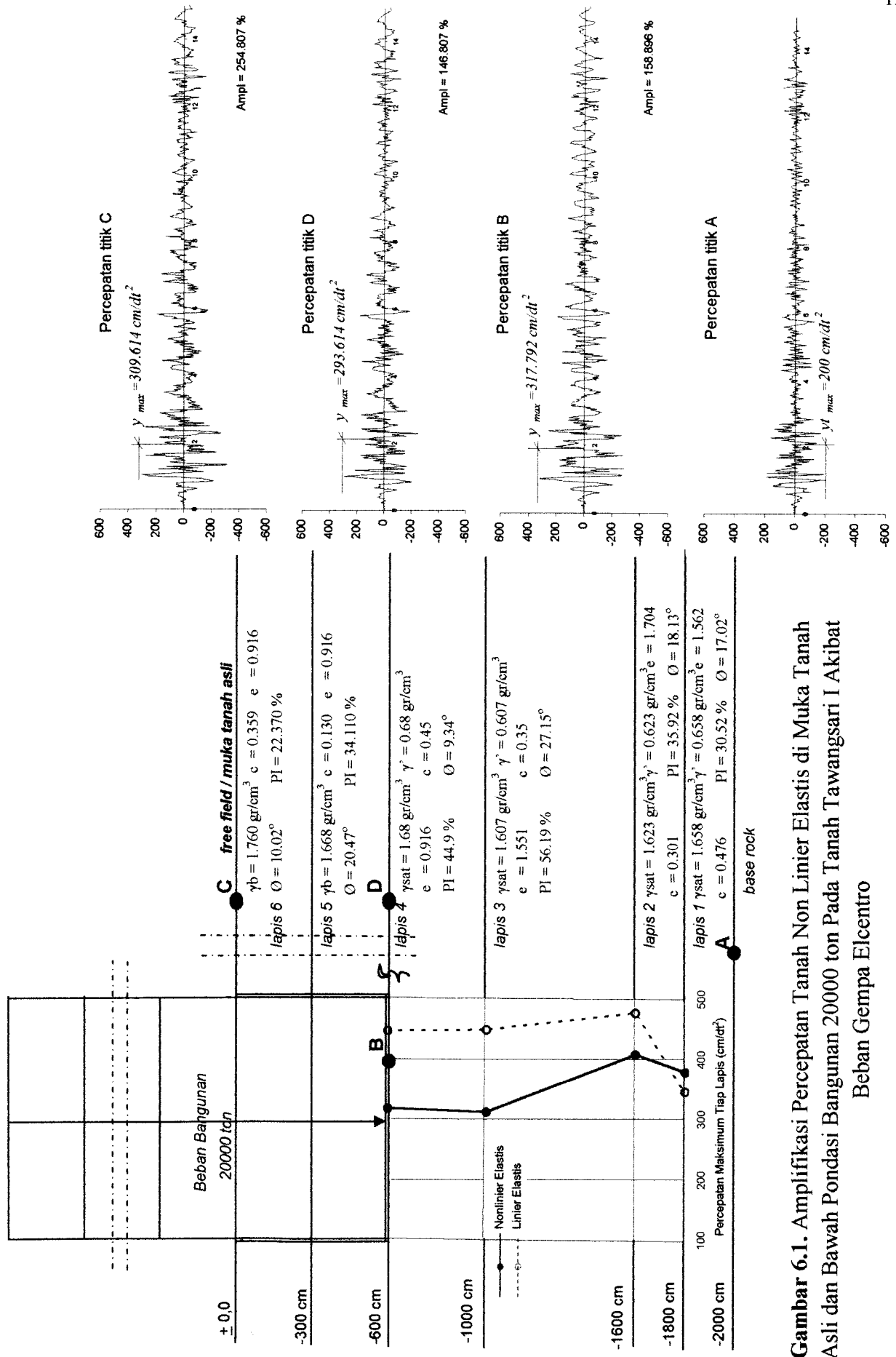




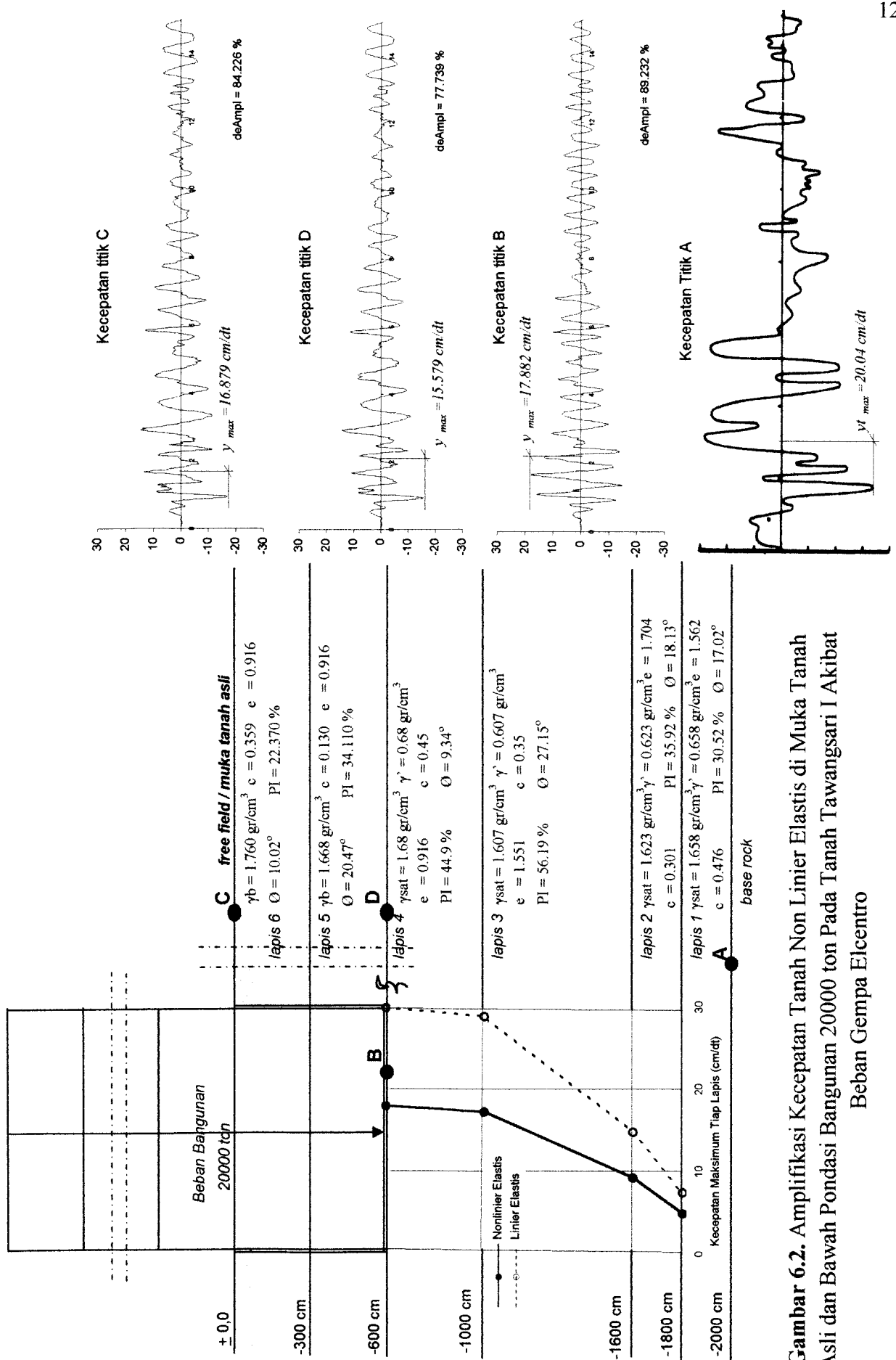
**Grafik 6.21.** Perbandingan Regangan-Tegangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa dan Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



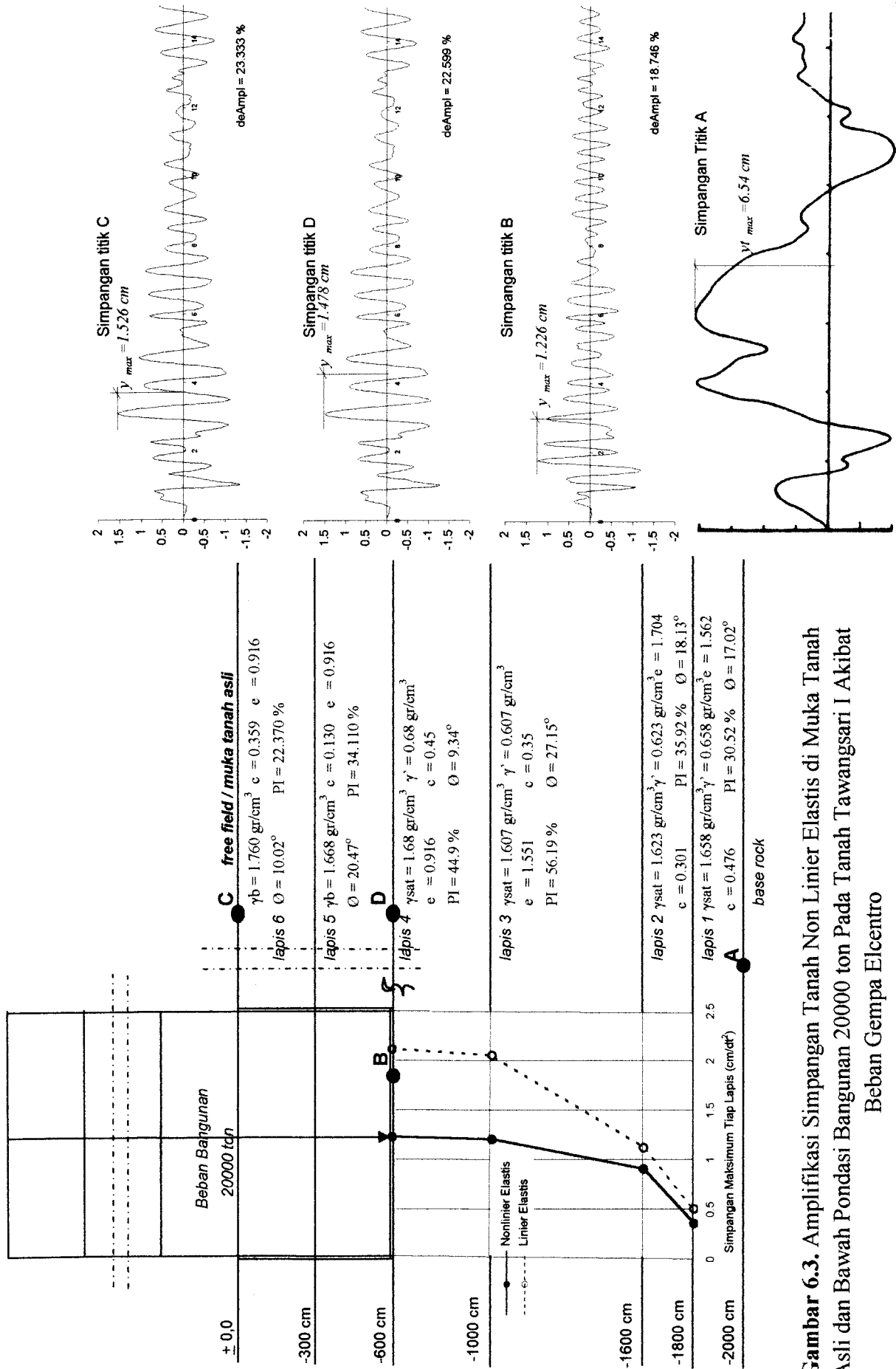
**Grafik 6.22.** Perbandingan Regangan-Tegangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton dan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



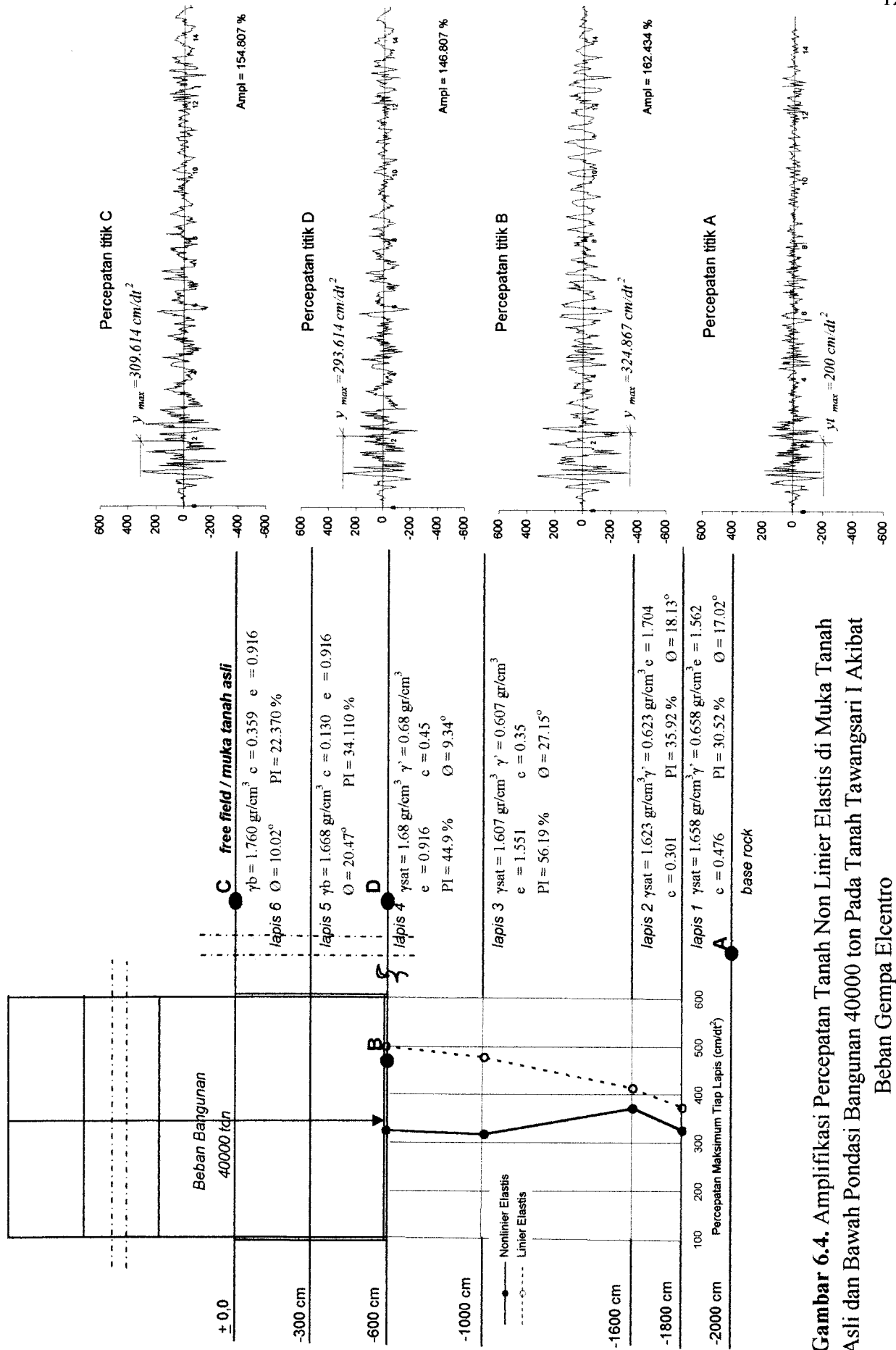
**Gambar 6.1.** Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Beban Gempa Elcentro



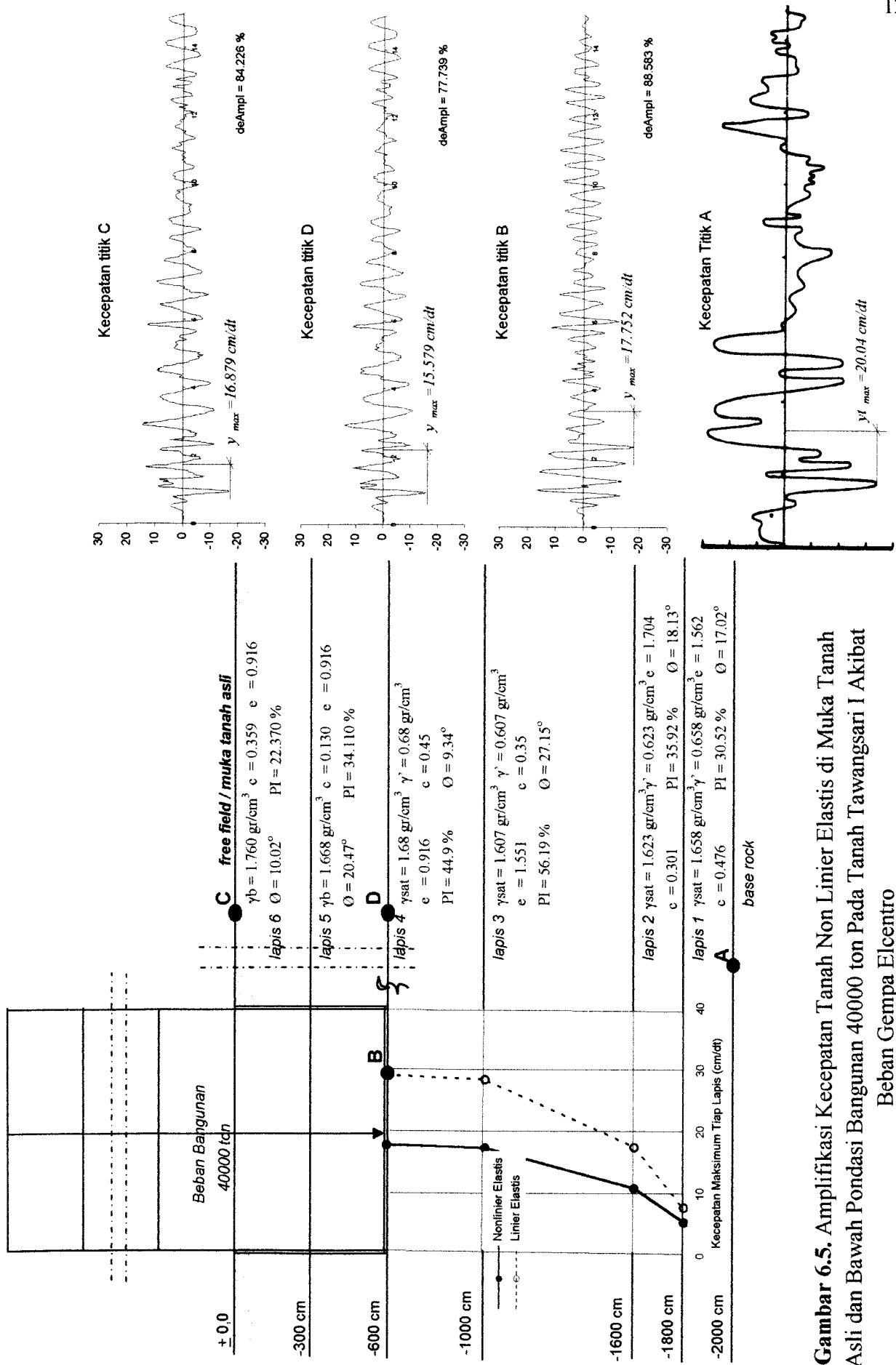
**Gambar 6.2.** Amplifikasi Kecepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Beban Gempa Elcentro



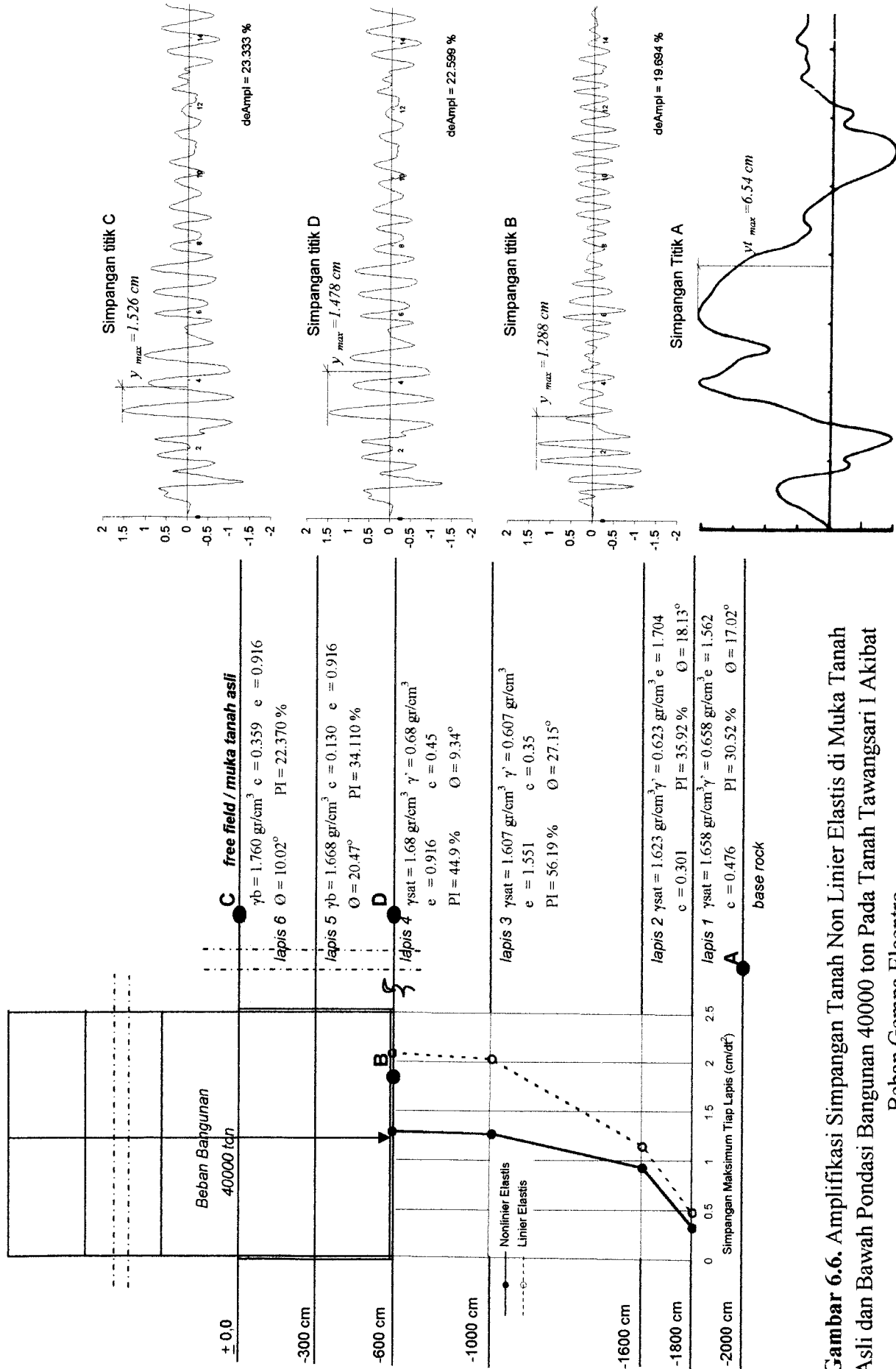
**Gambar 6.3.** Amplifikasi Simpangan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Beban Gempa Elcentro



**Gambar 6.4.** Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Beban Gempa Elcentro

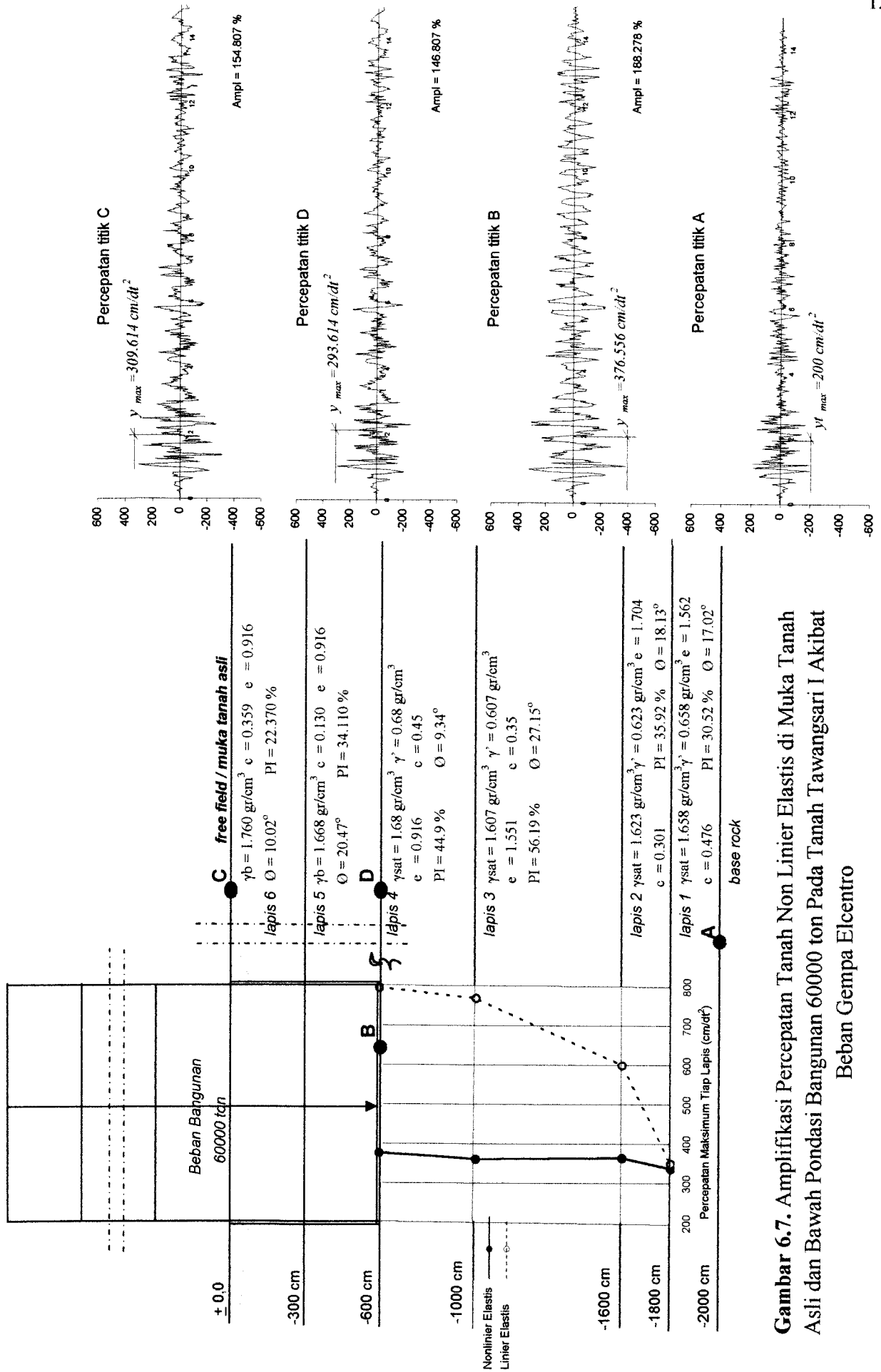


**Gambar 6.5.** Amplifikasi Kecepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Beban Gempa Elcentro

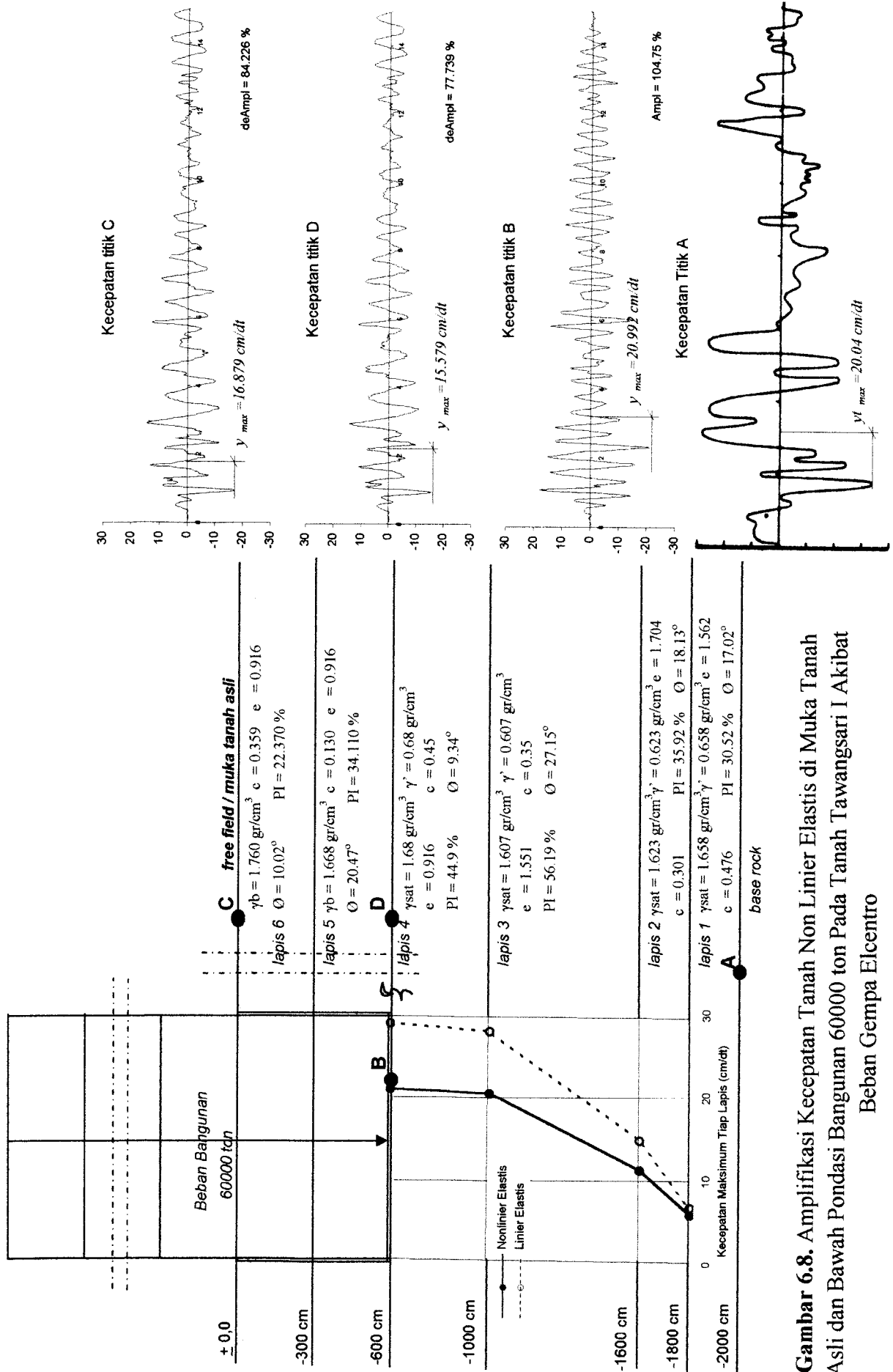


**Gambar 6.6.** Amplifikasi Simpangan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Beban Gempa Elcentro

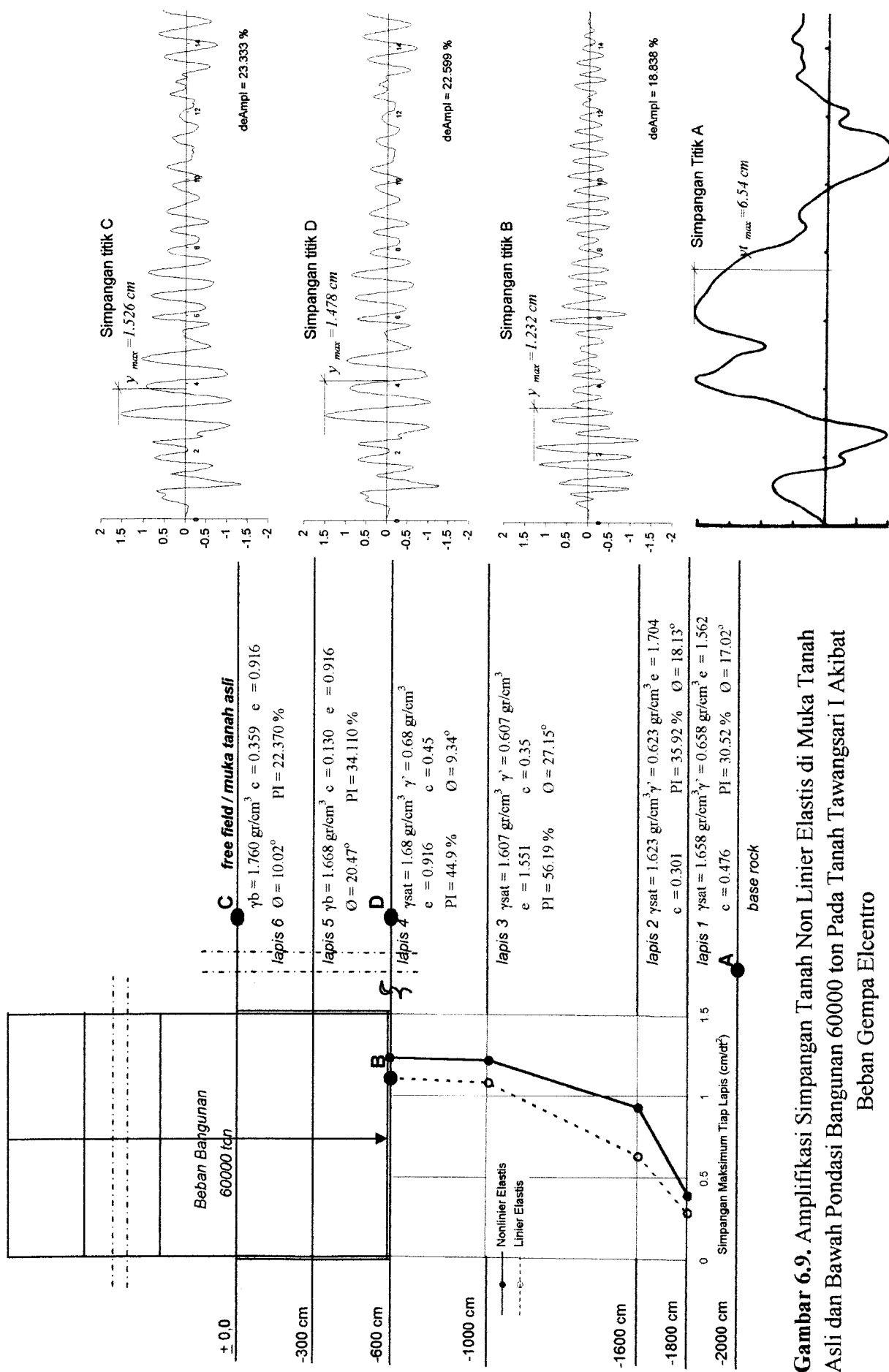




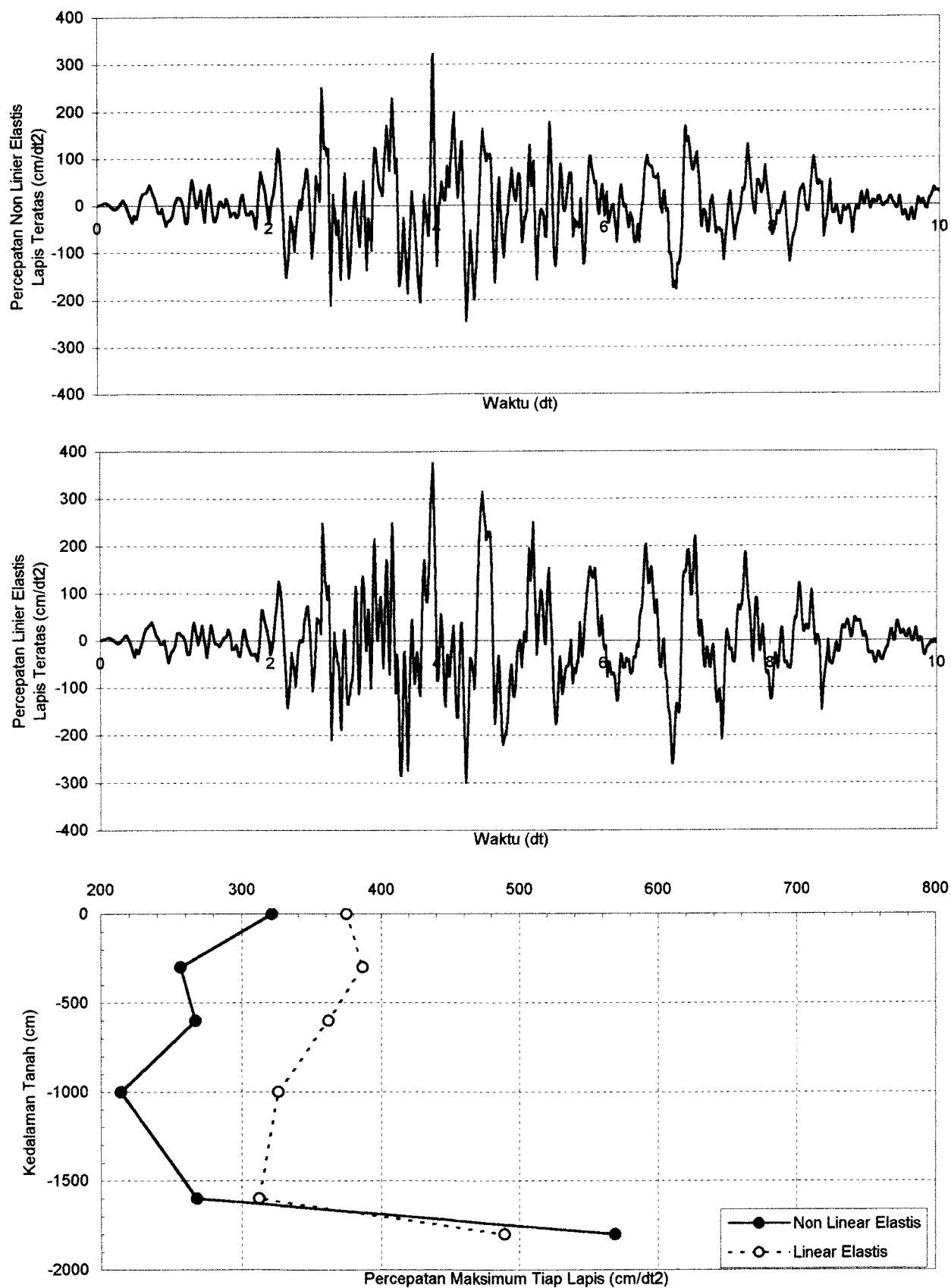
**Gambar 6.7.** Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Beban Gempa Elcentro



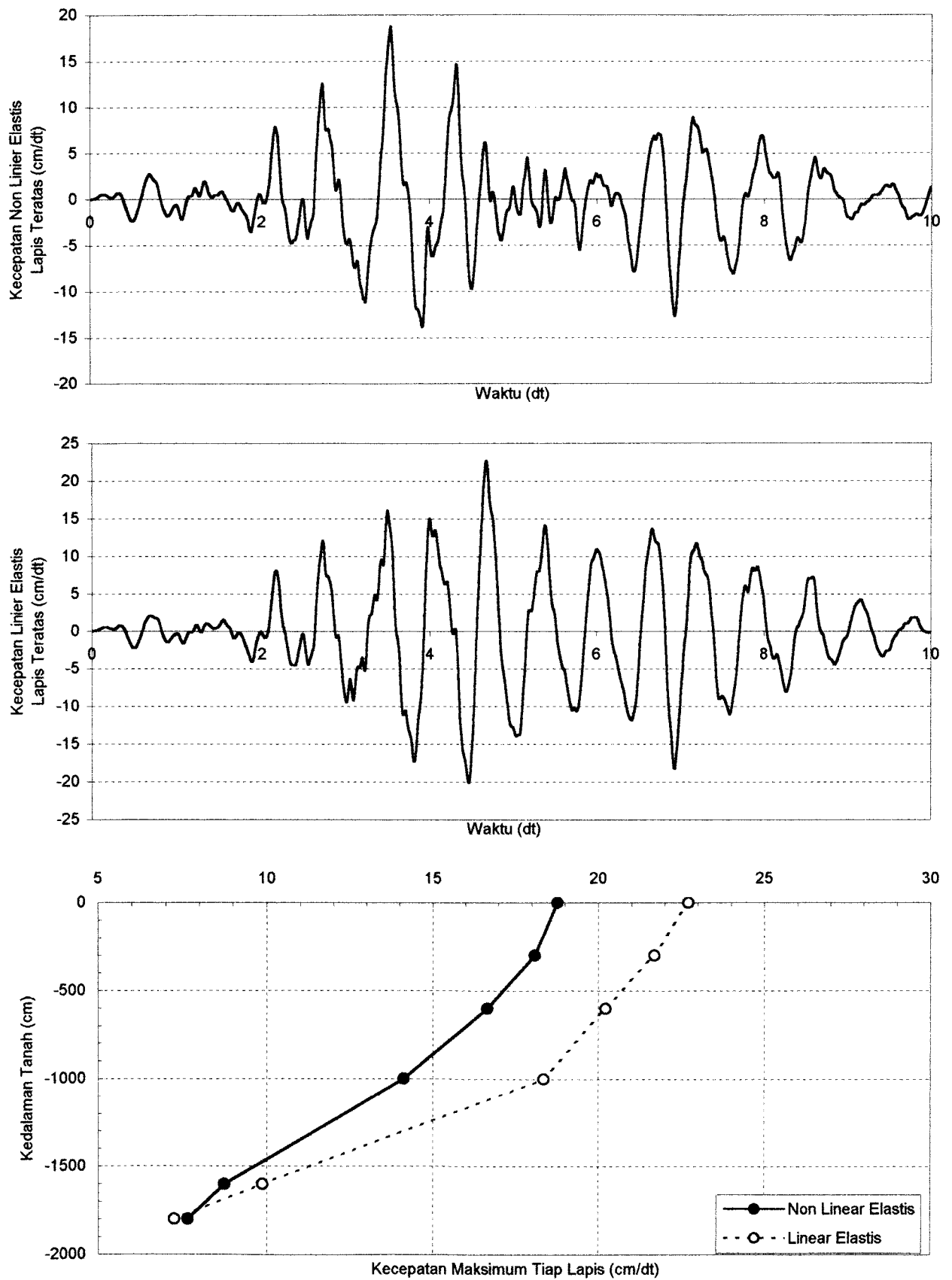
**Gambar 6.8.** Amplifikasi Kecepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Beban Gempa Elcentro



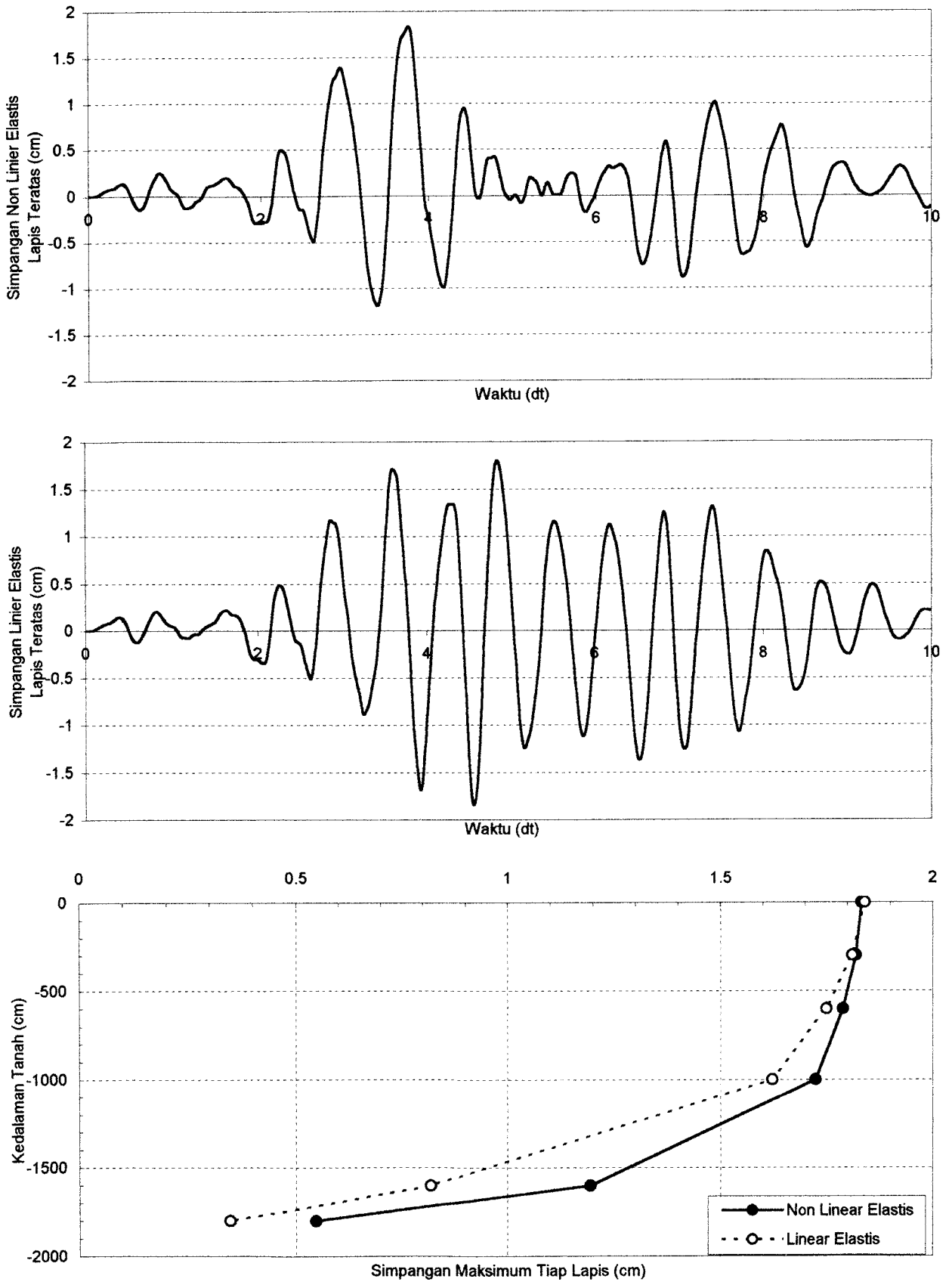
**Gambar 6.9.** Amplifikasi Simpangan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Beban Gempa Elcentro



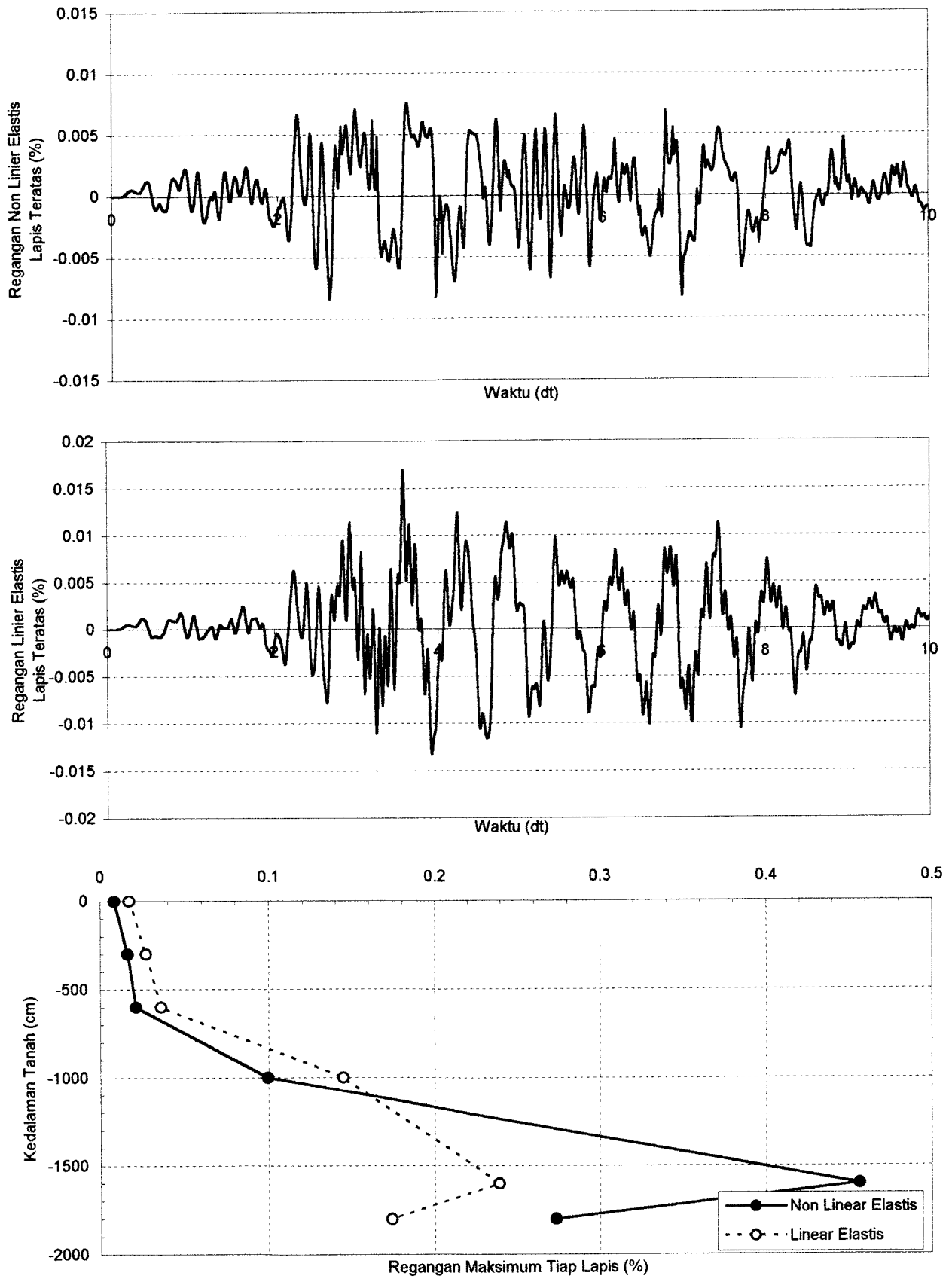
**Grafik 6.23.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Koyna



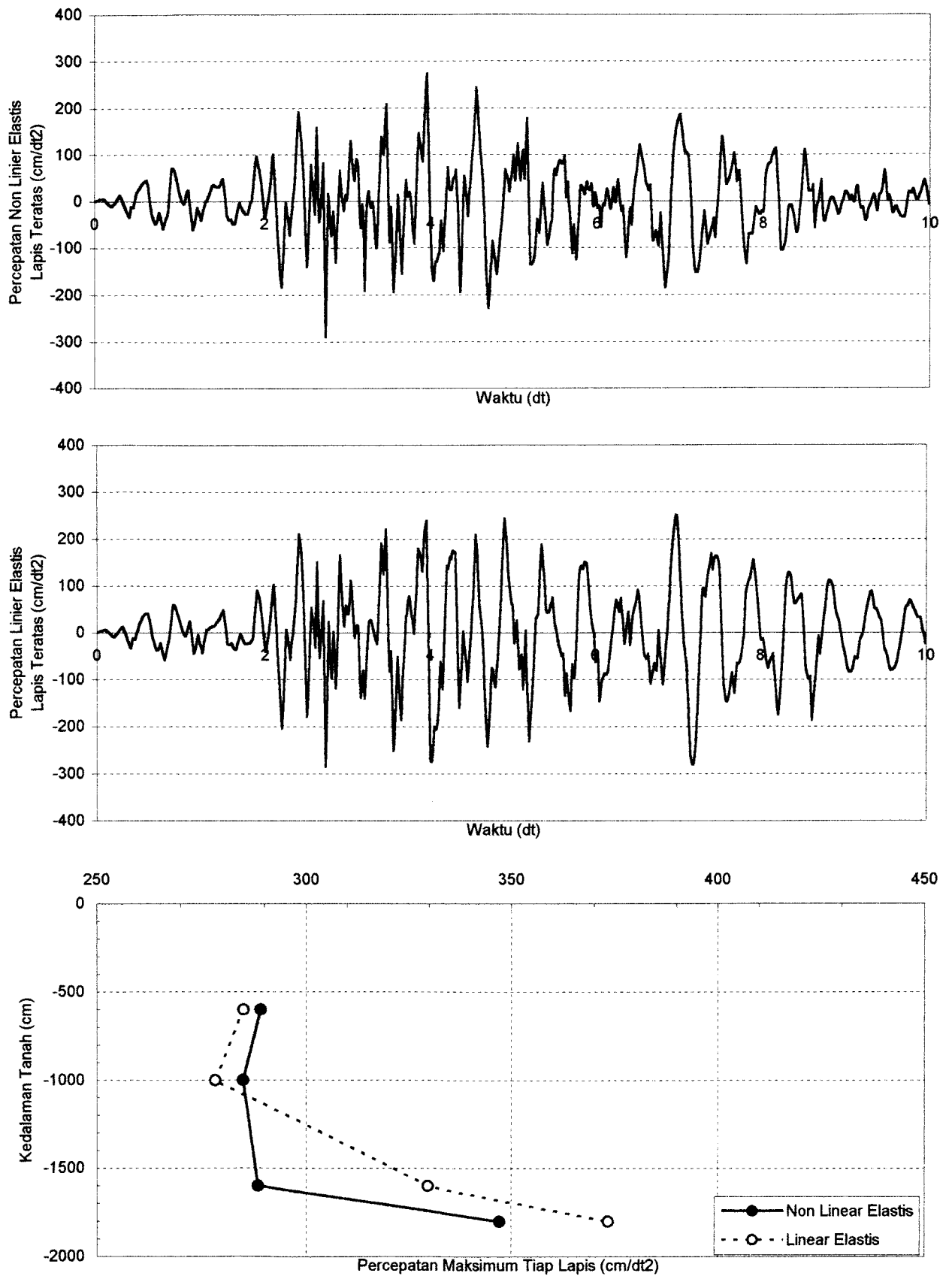
**Grafik 6.24.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Koyna



**Grafik 6.25.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Koyna

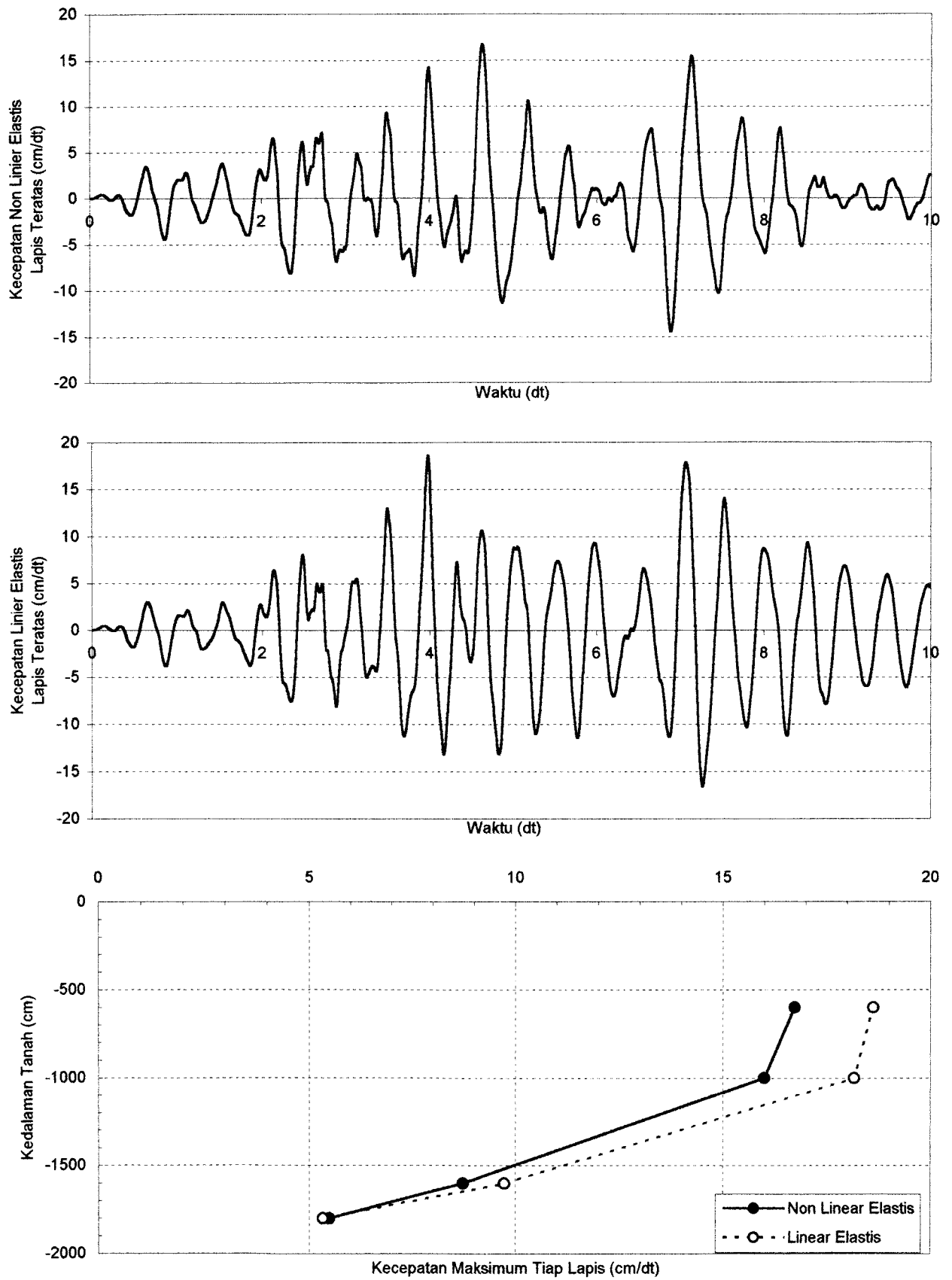


**Grafik 6.26.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Koyna

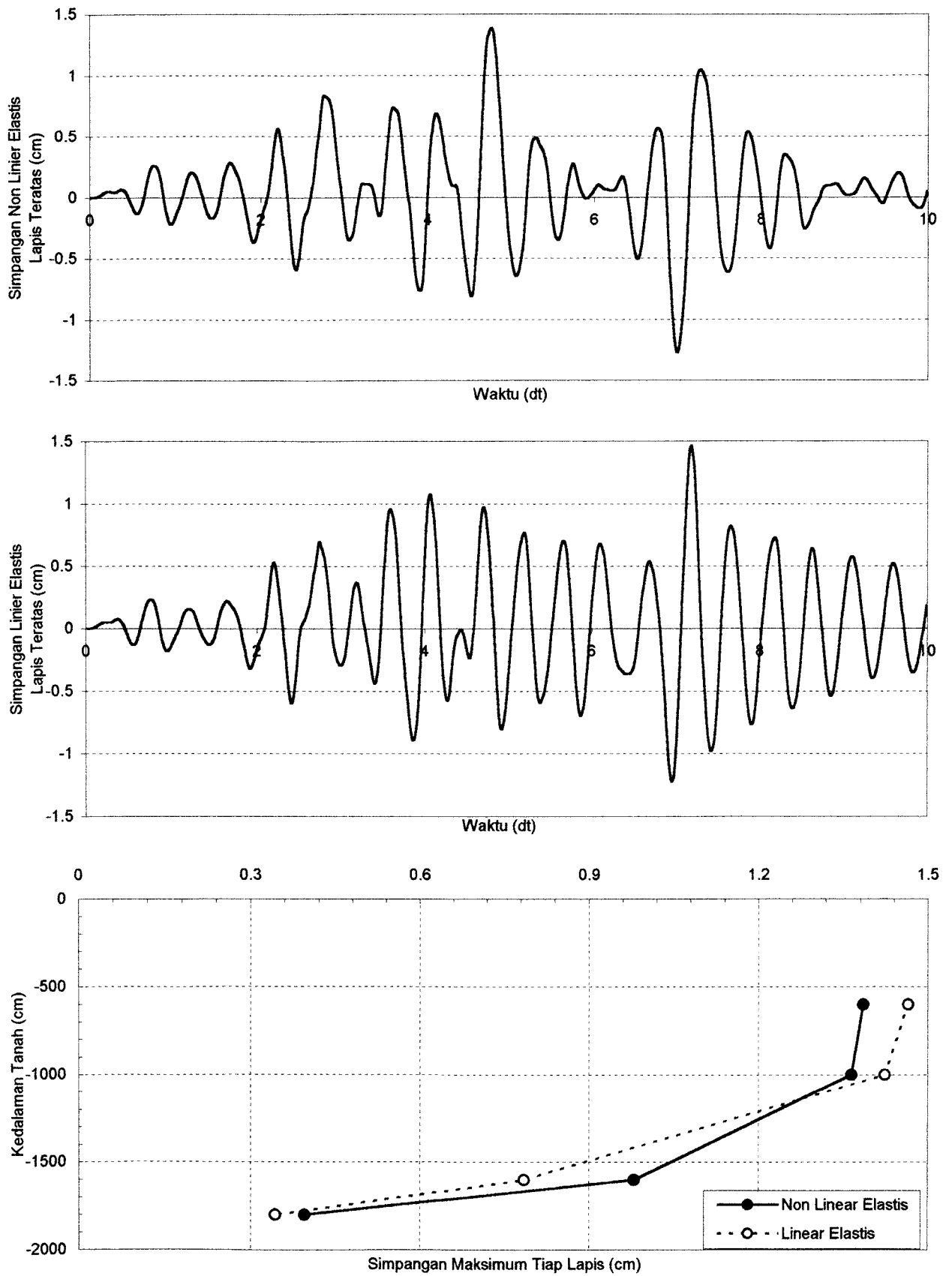


**Grafik 6.27.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Koyna

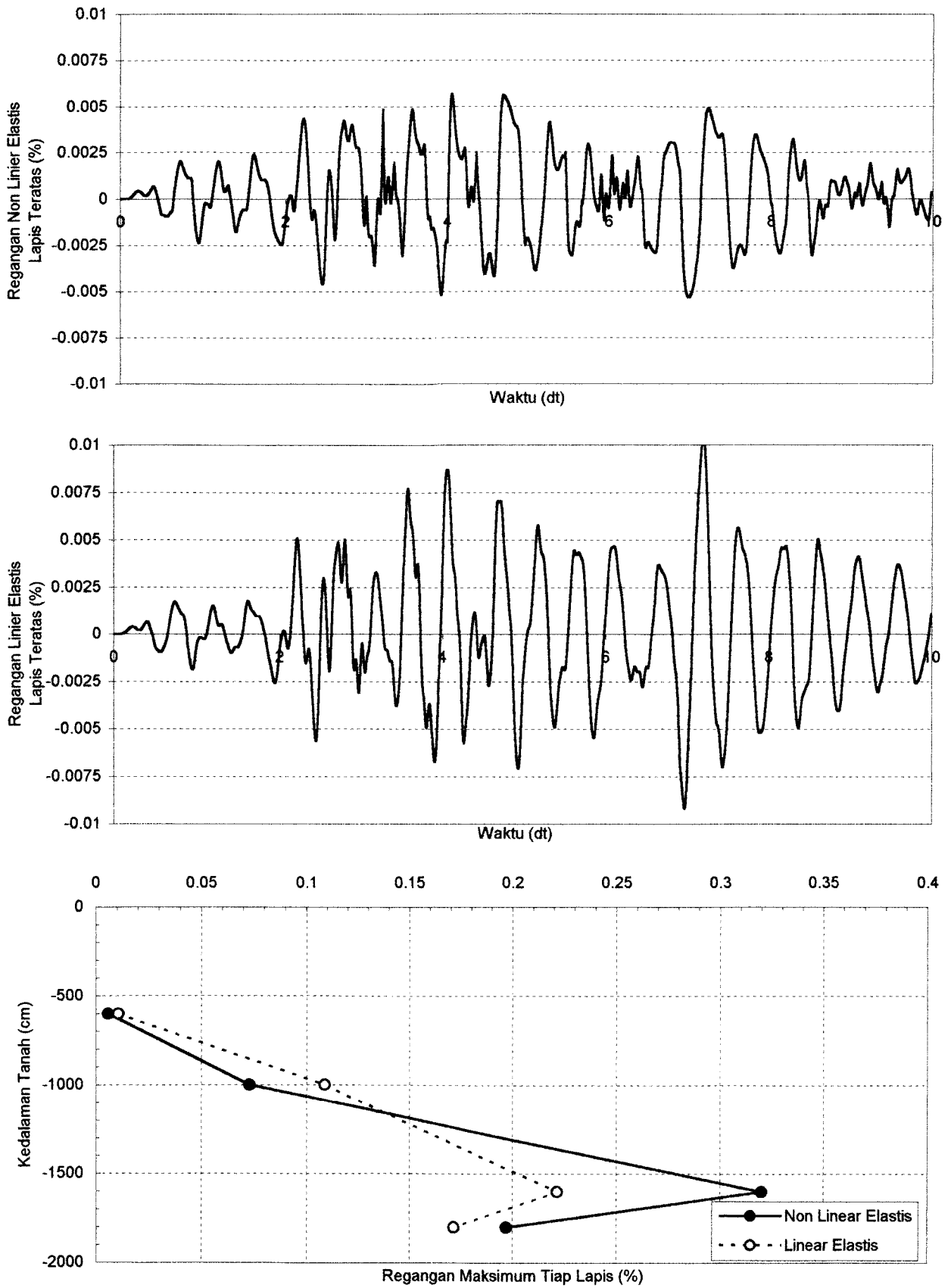




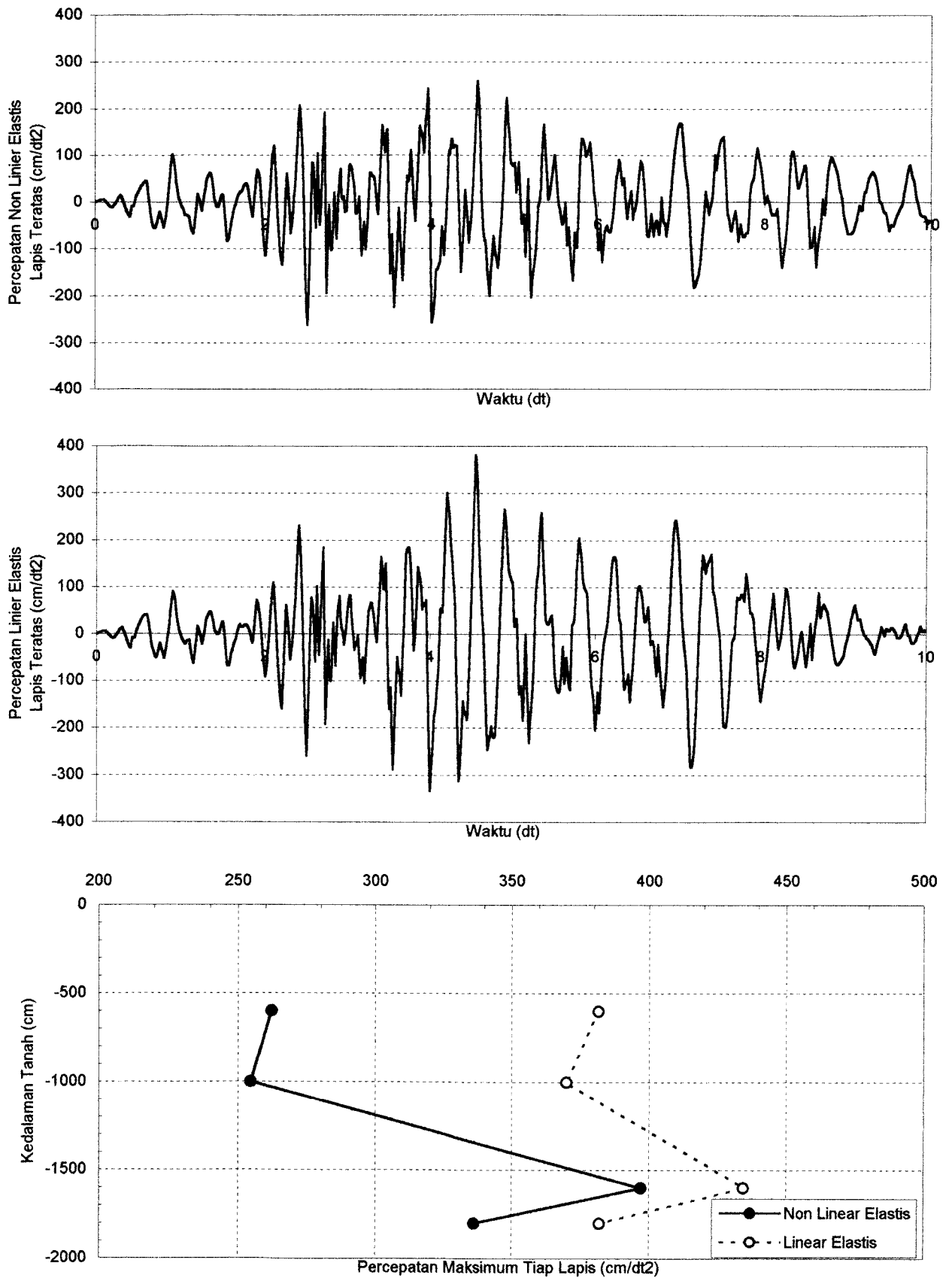
**Grafik 6.28.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Koyna



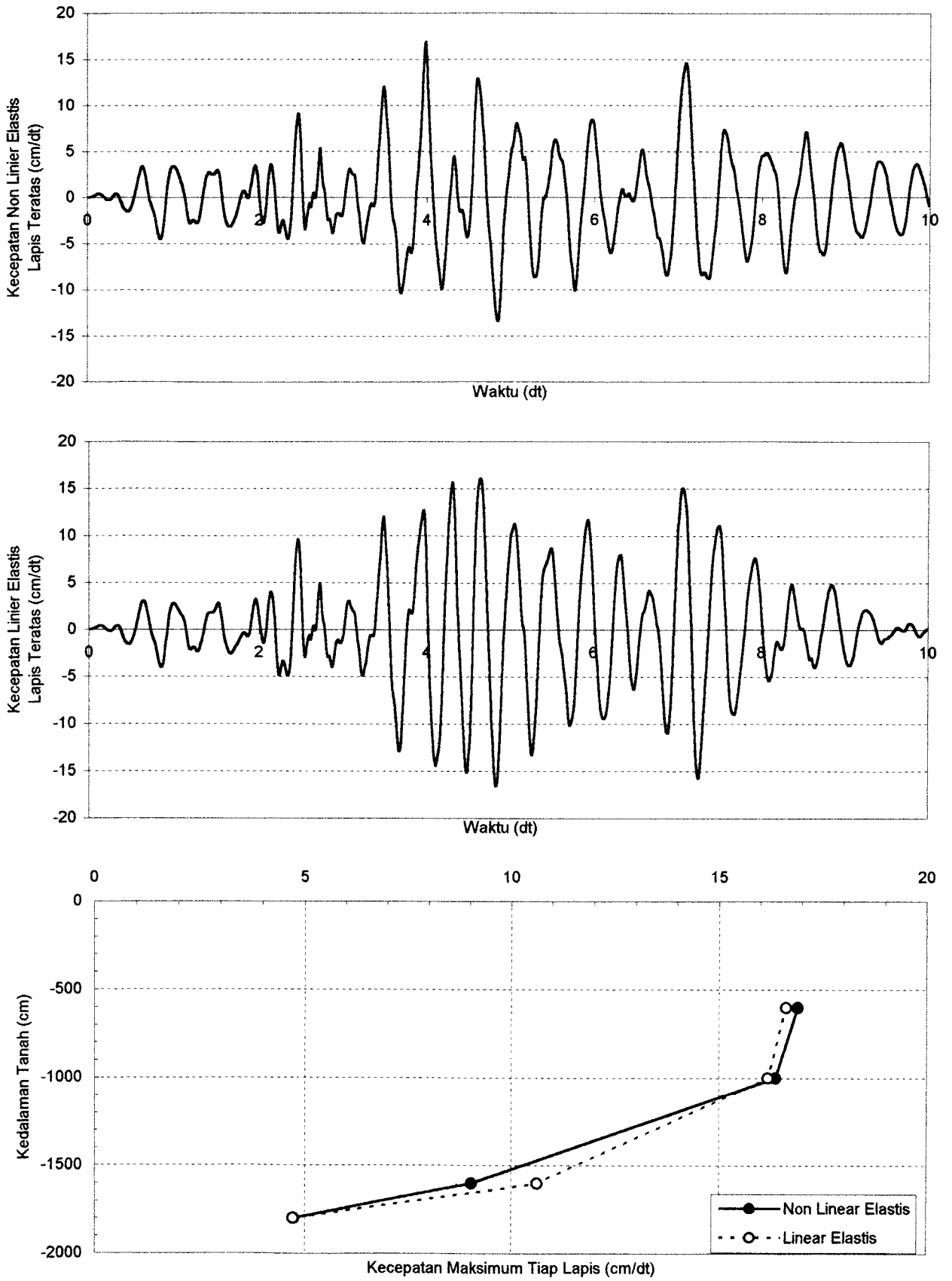
**Grafik 6.29.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Koyna



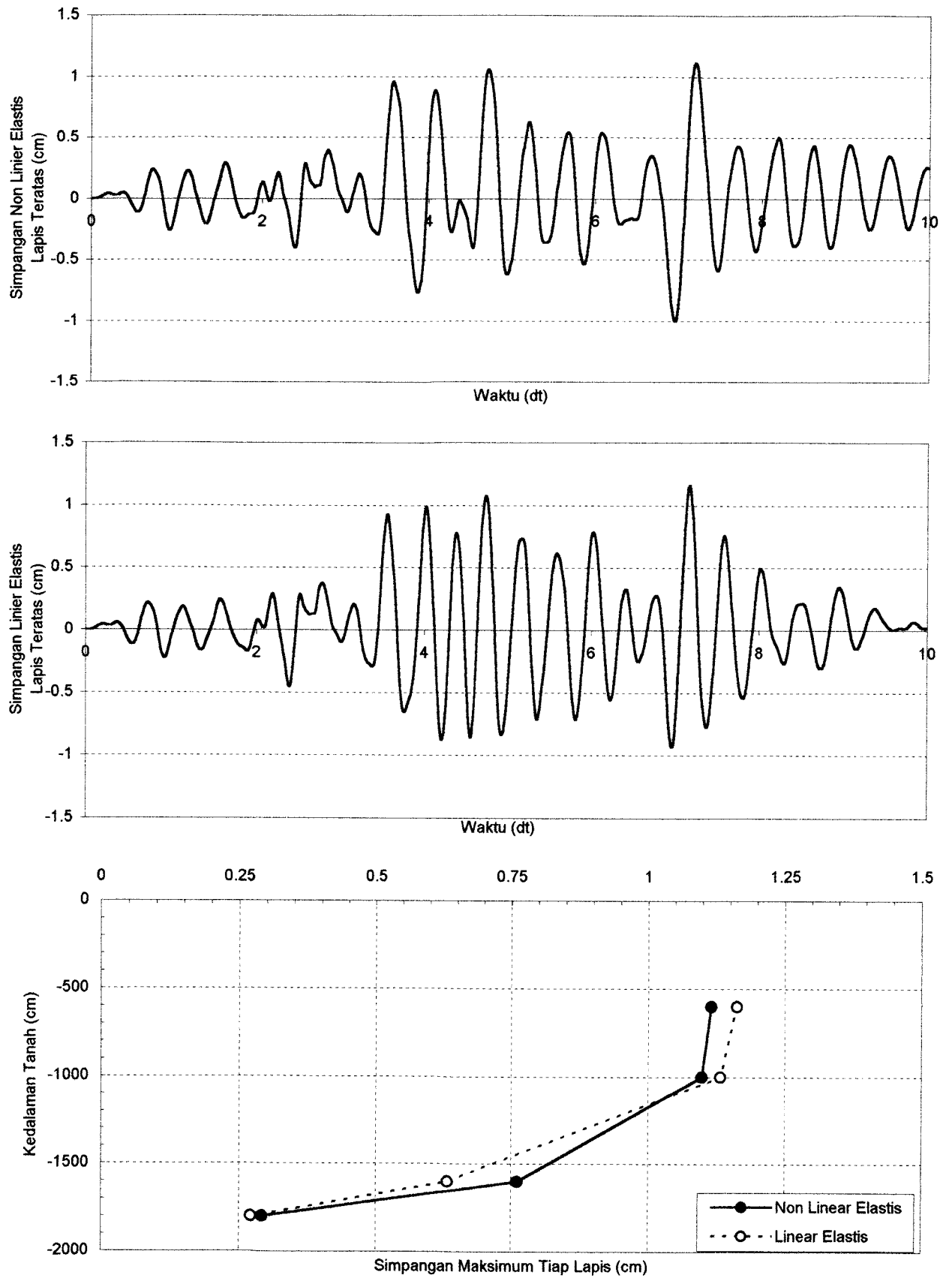
**Grafik 6.30.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Koyna



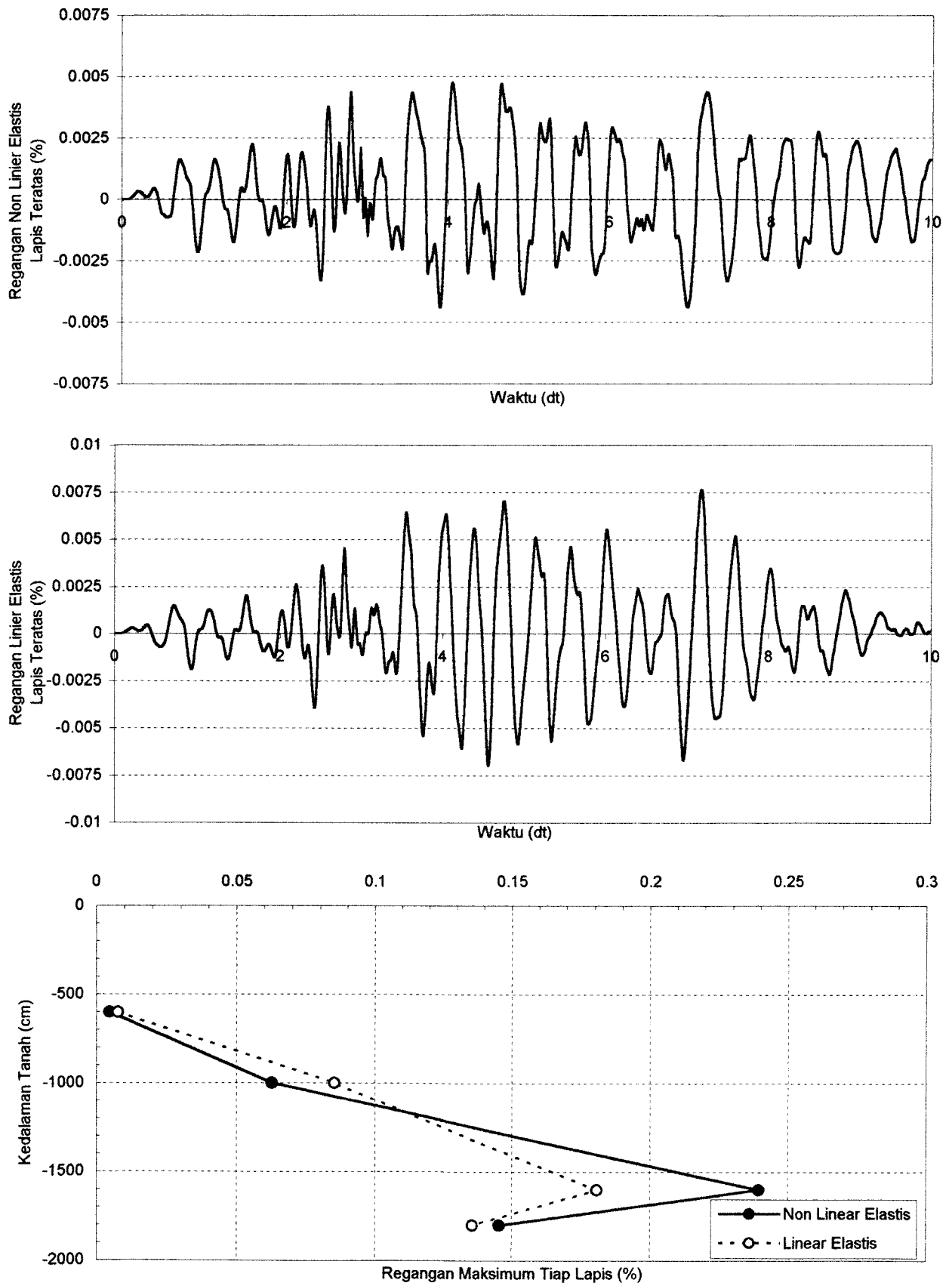
**Grafik 6.31.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Koyna



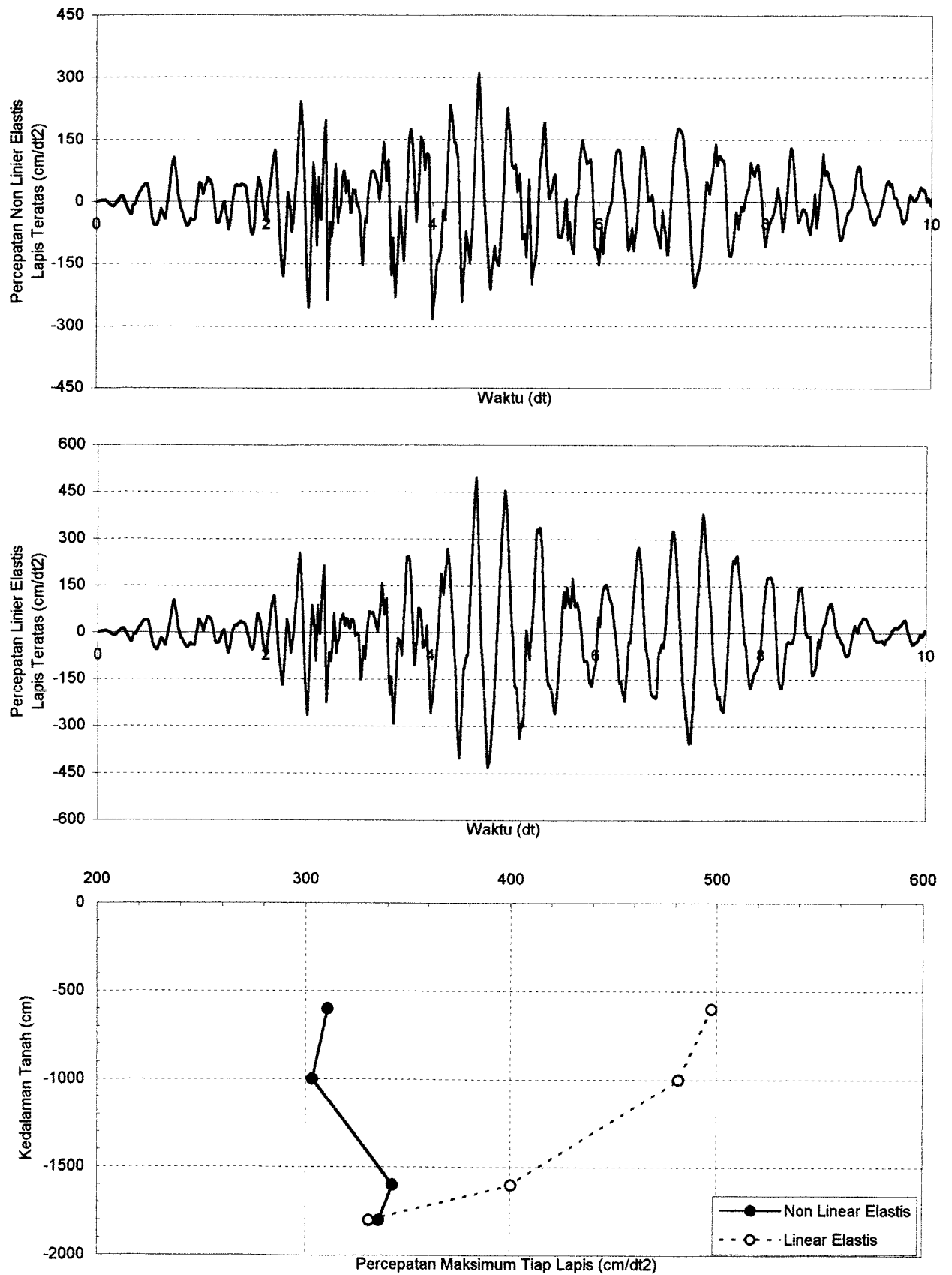
**Grafik 6.32.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Koyna



**Grafik 6.33.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Koyana

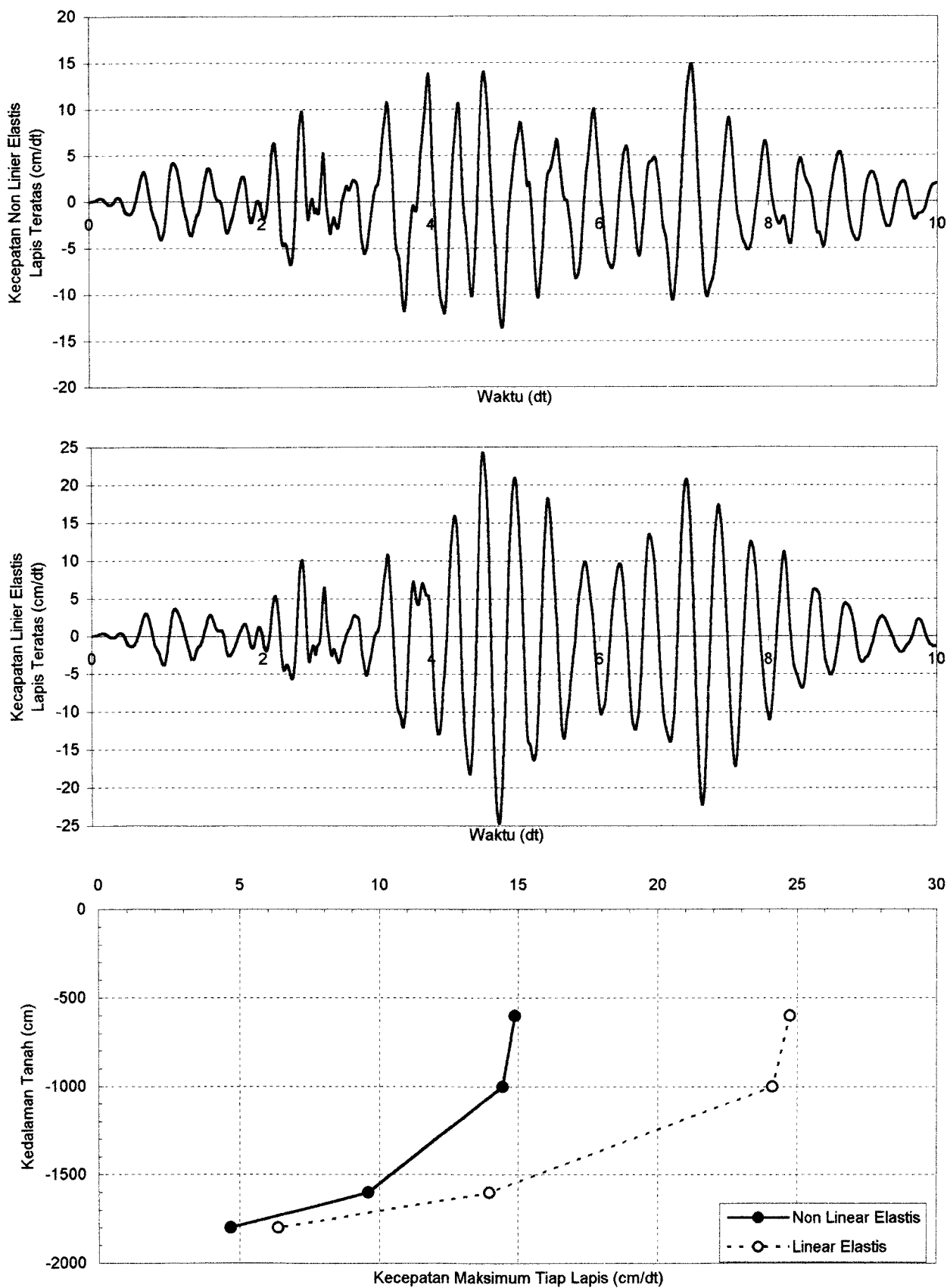


**Grafik 6.34.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Koyna

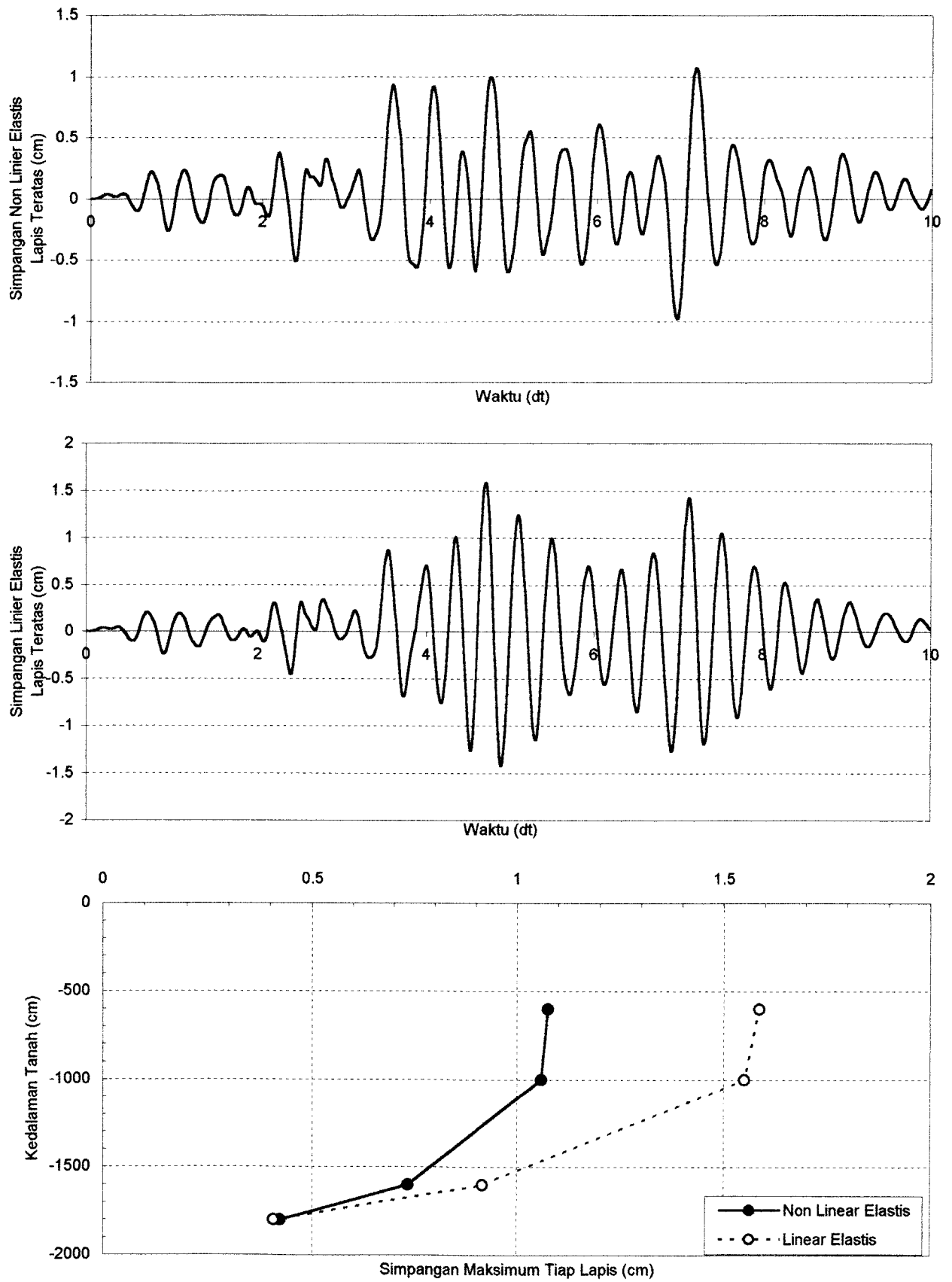


**Grafik 6.35.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Koyna

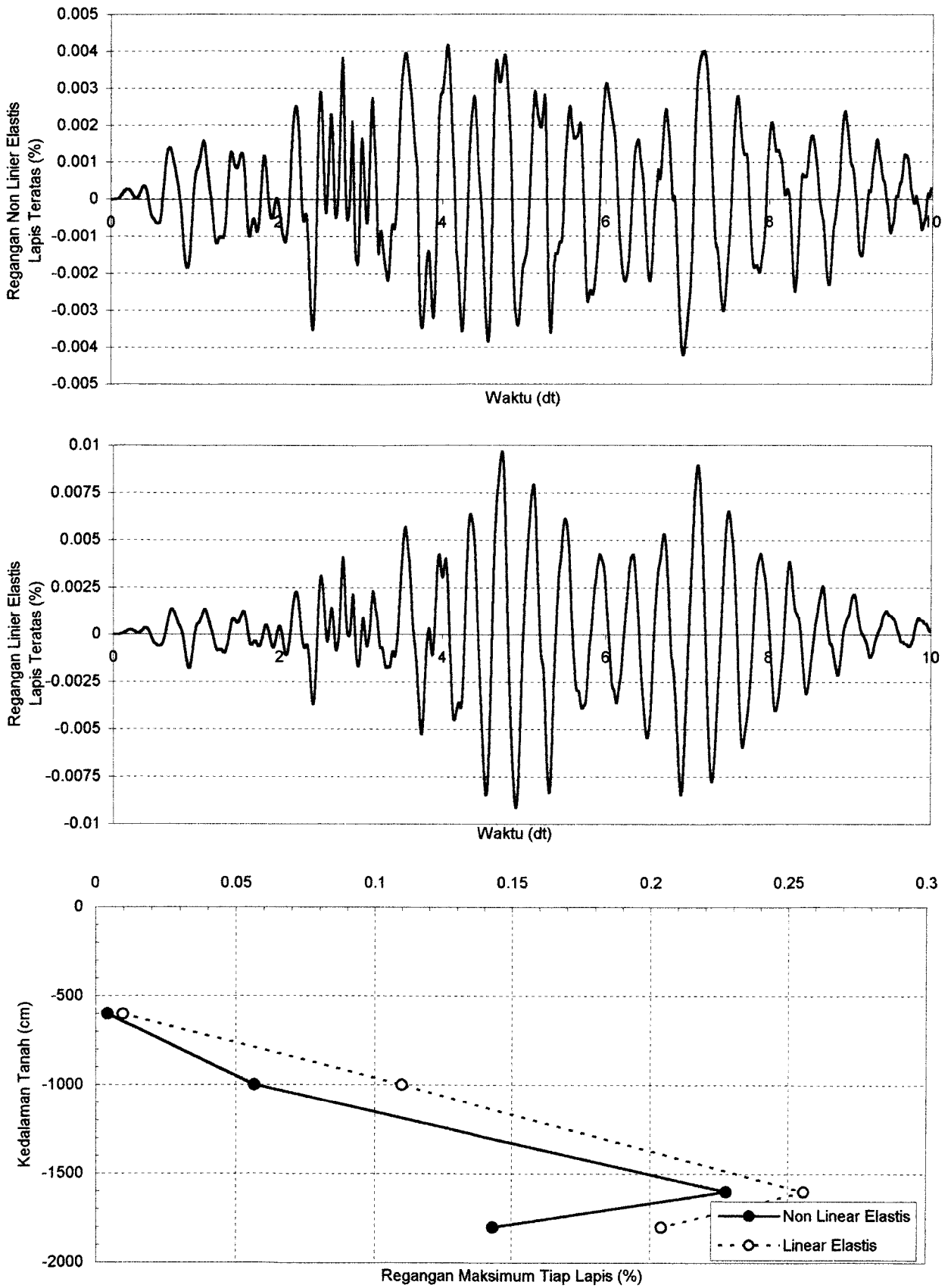




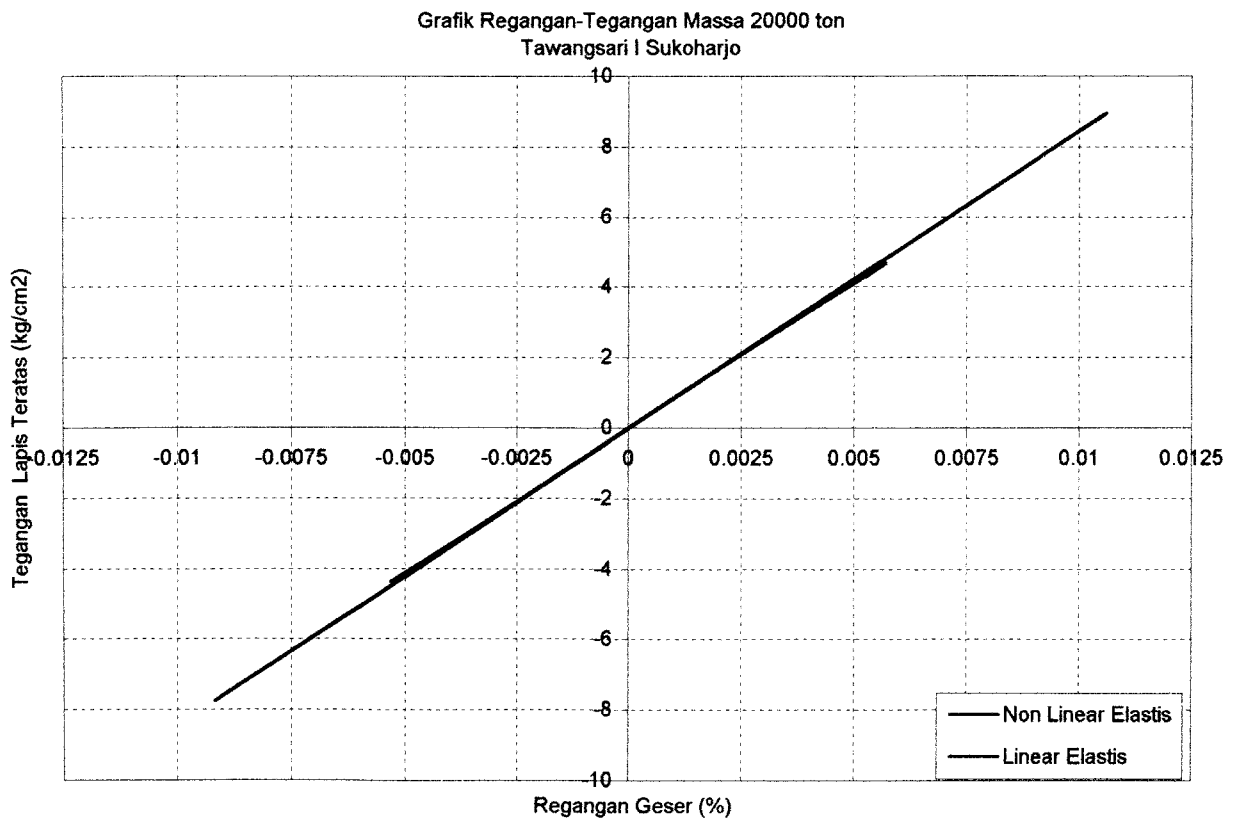
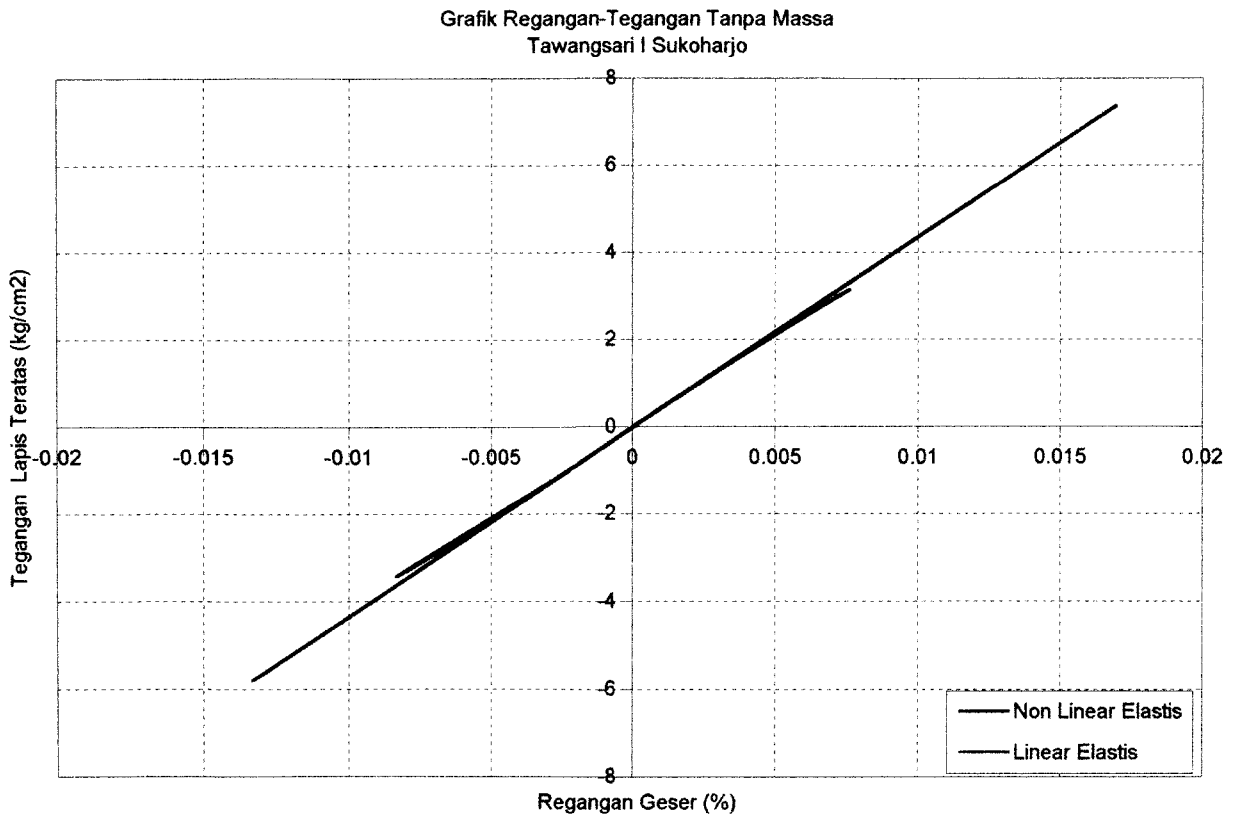
**Grafik 6.36.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Koyna



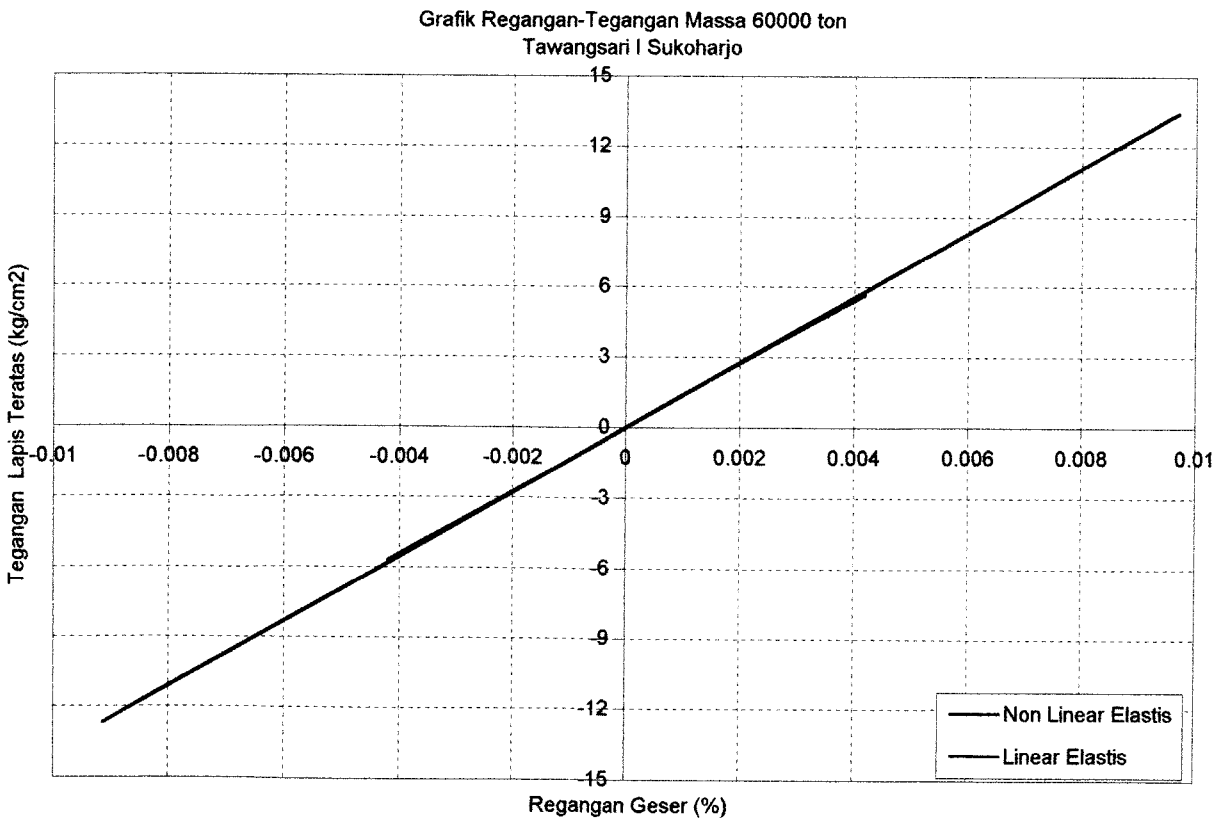
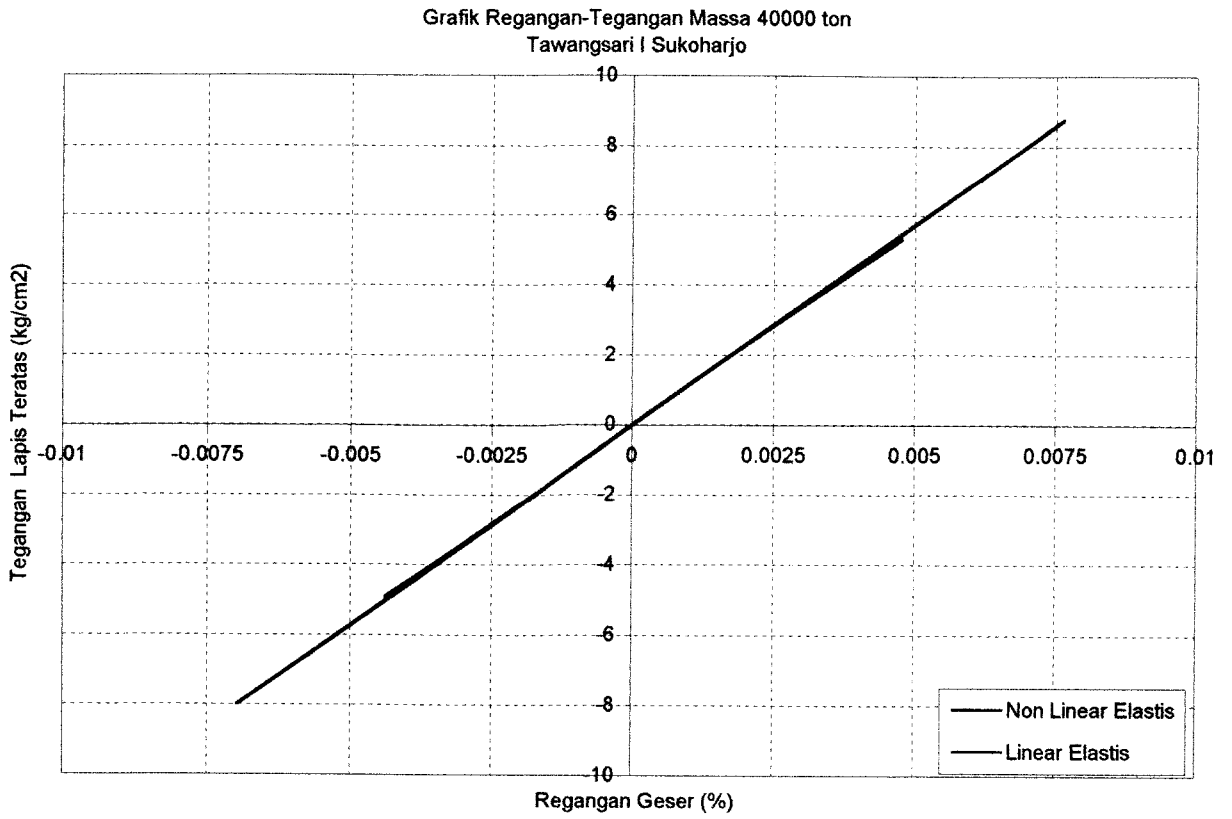
**Grafik 6.37.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Koyna



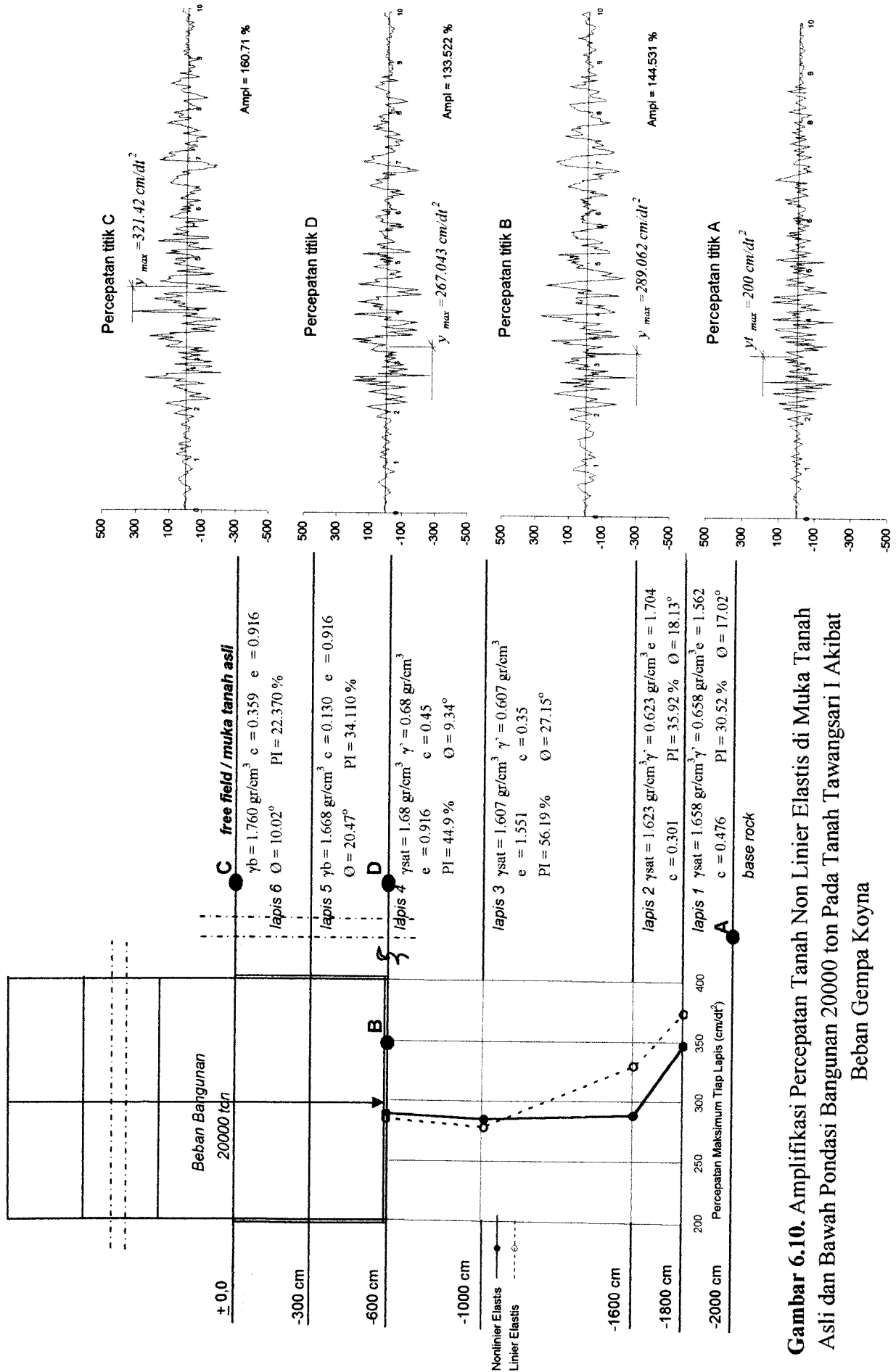
**Grafik 6.38.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Koyna



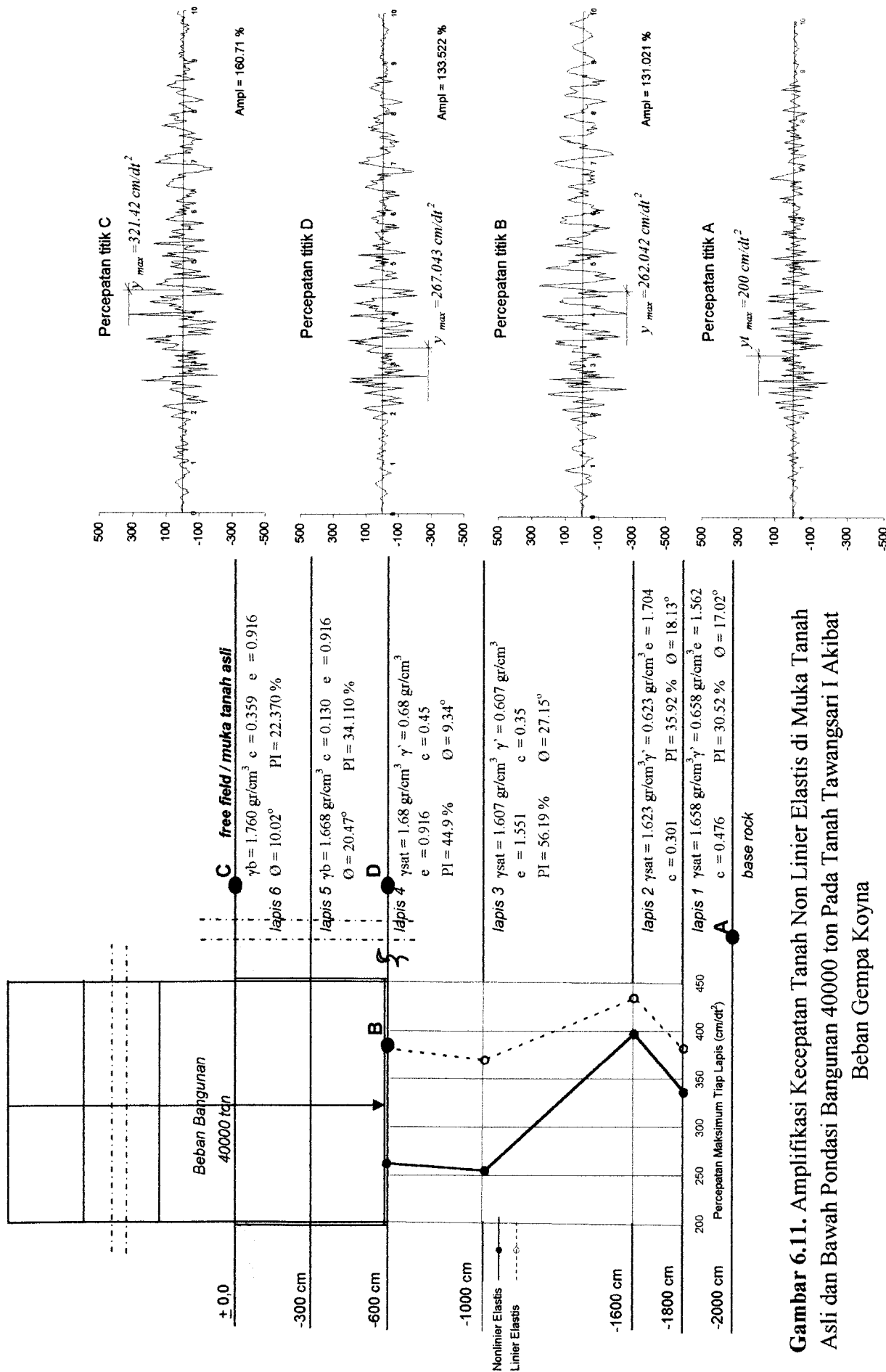
**Grafik 6.39.** Perbandingan Regangan-Tegangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa dan Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Koyna



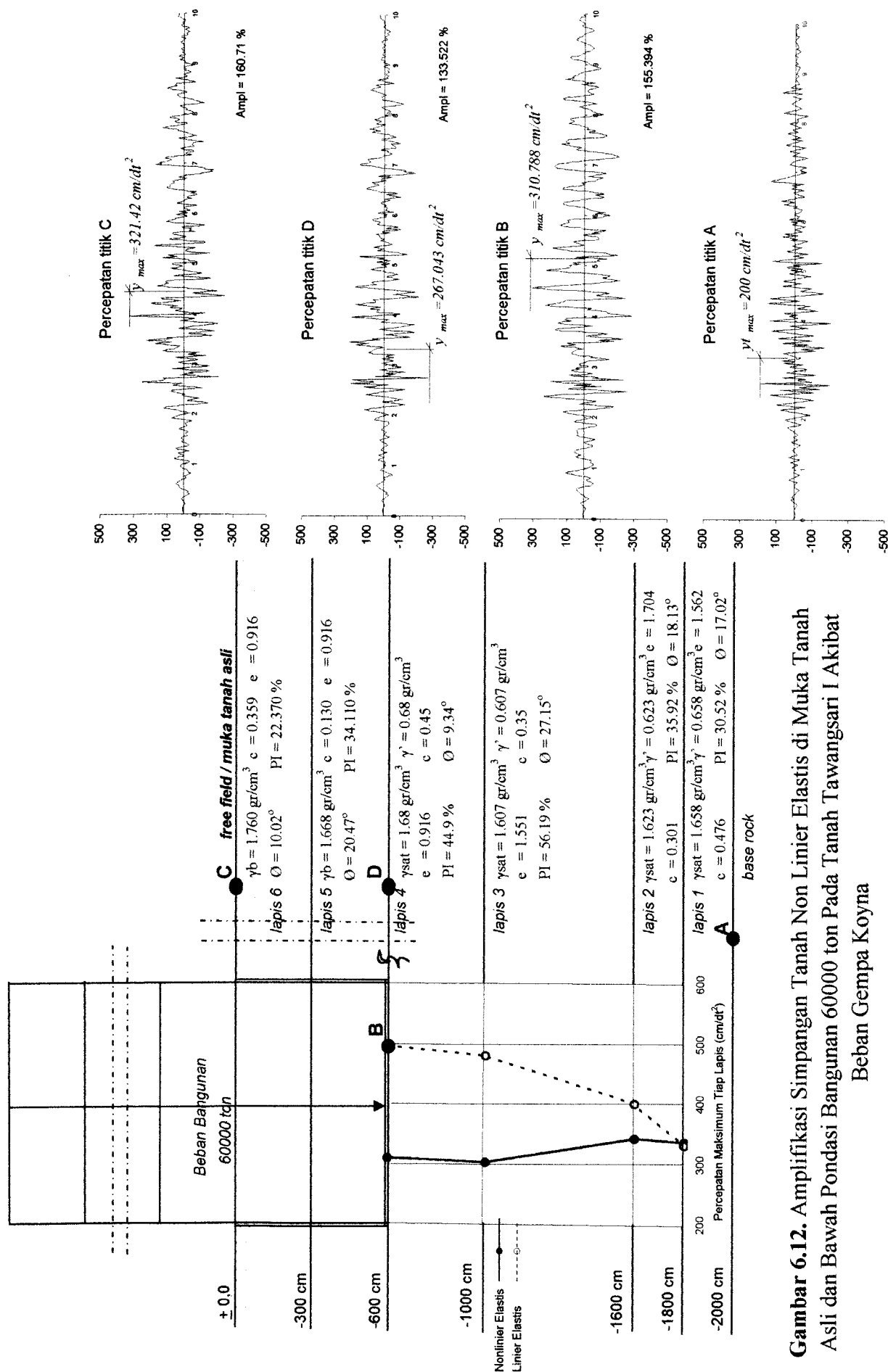
**Grafik 6.40.** Perbandingan Regangan-Tegangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton dan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Koyna



**Gambar 6.10.** Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Beban Gempa Koyna

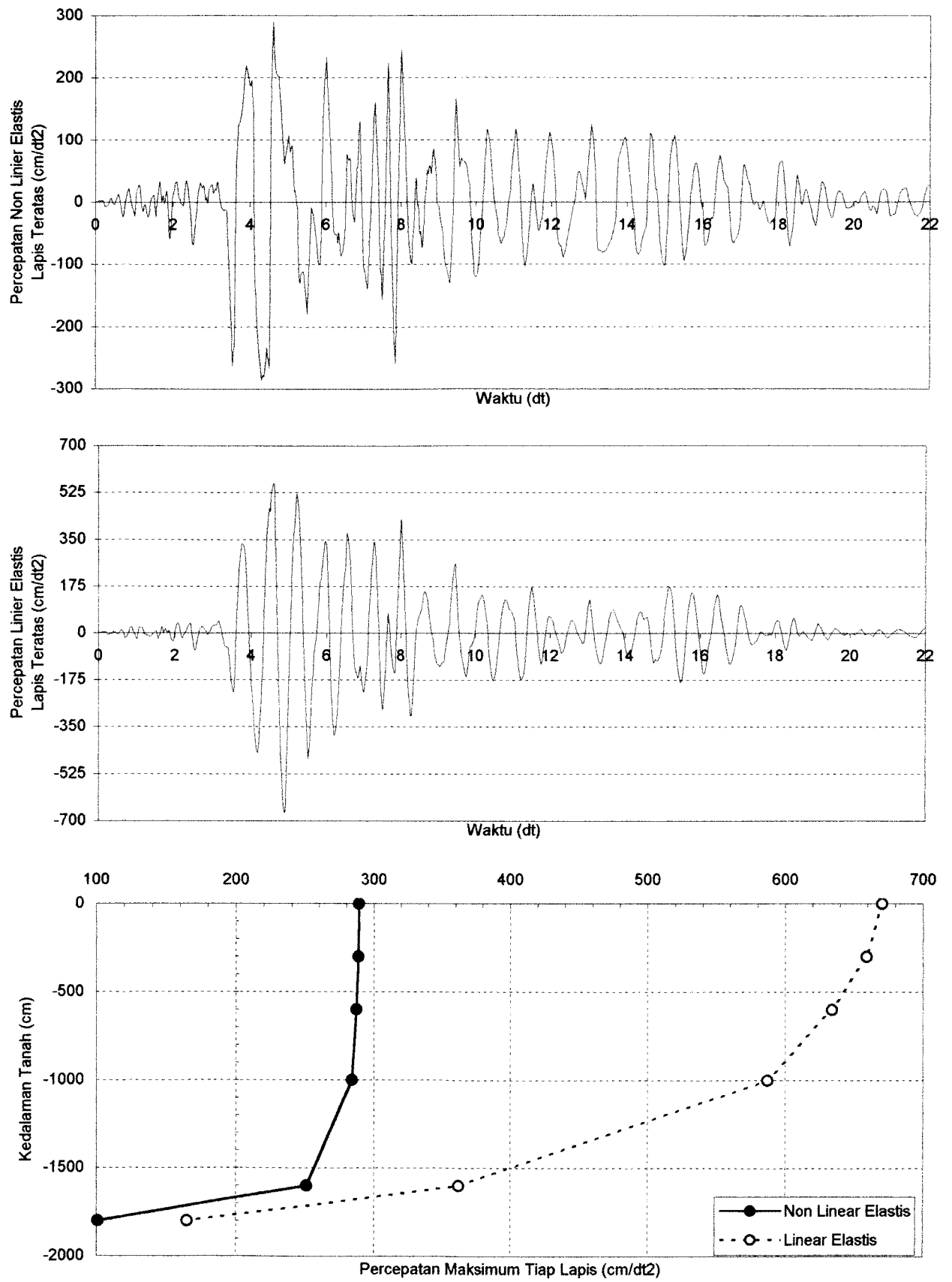


**Gambar 6.11.** Amplifikasi Kecepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Beban Gempa Koyna

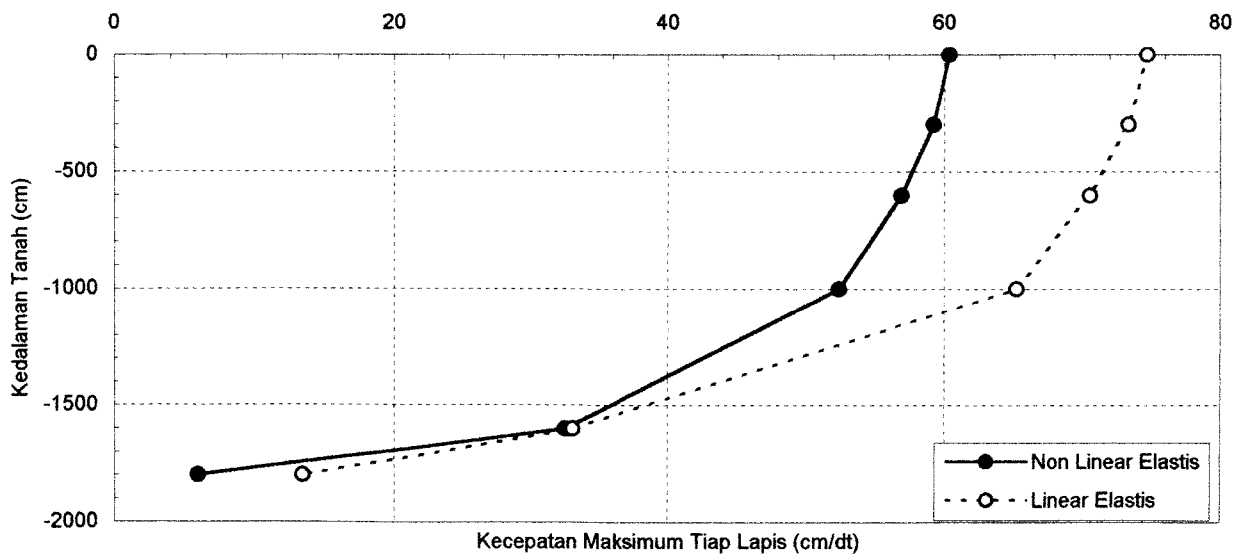
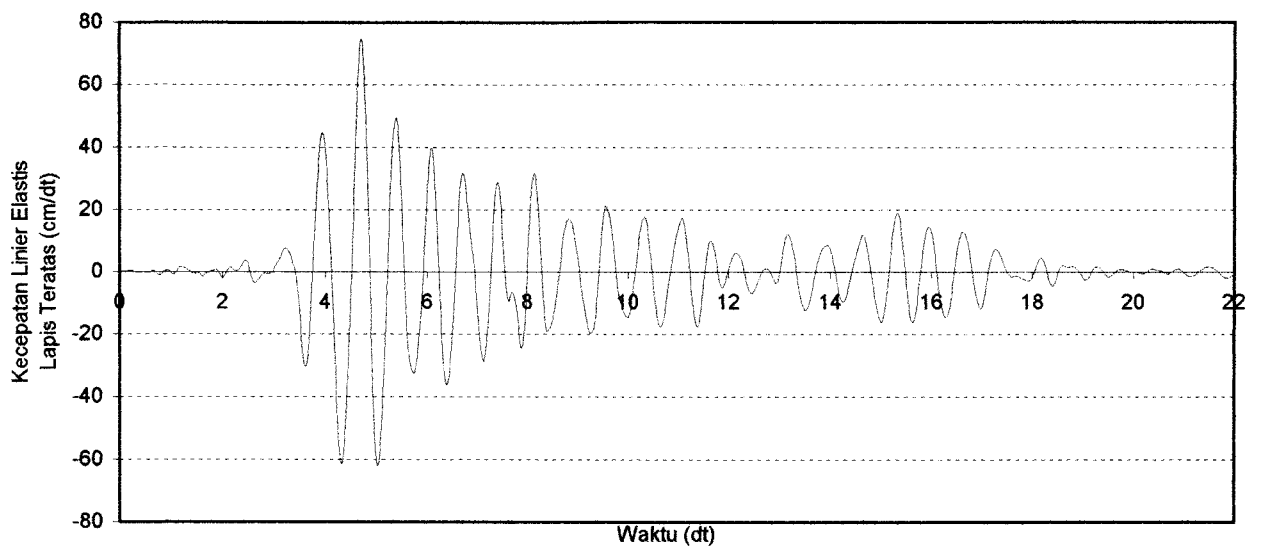
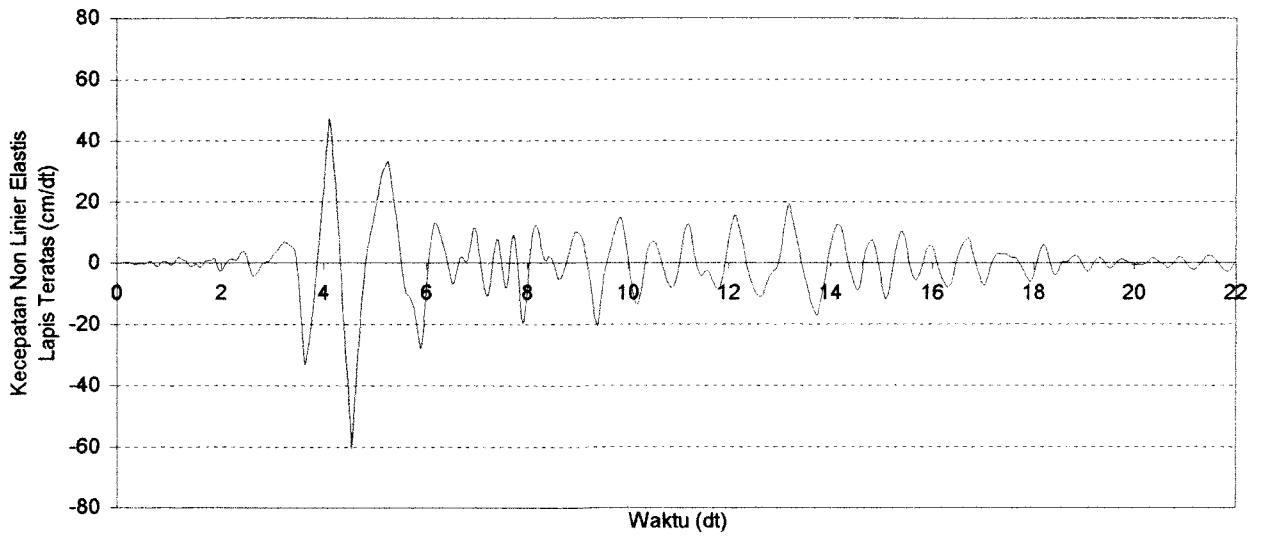


**Gambar 6.12.** Amplifikasi Simpangan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Beban Gempa Koyna

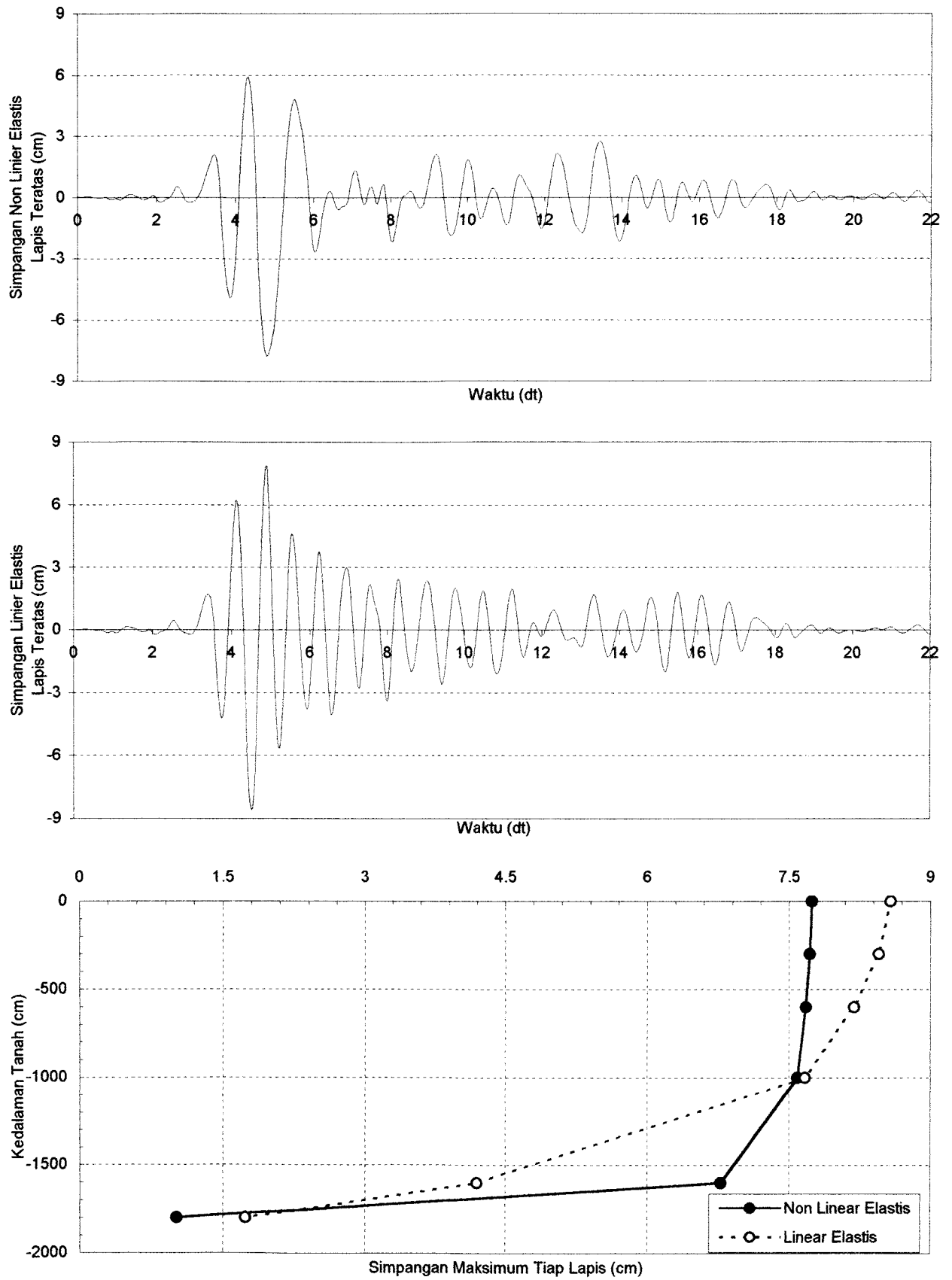




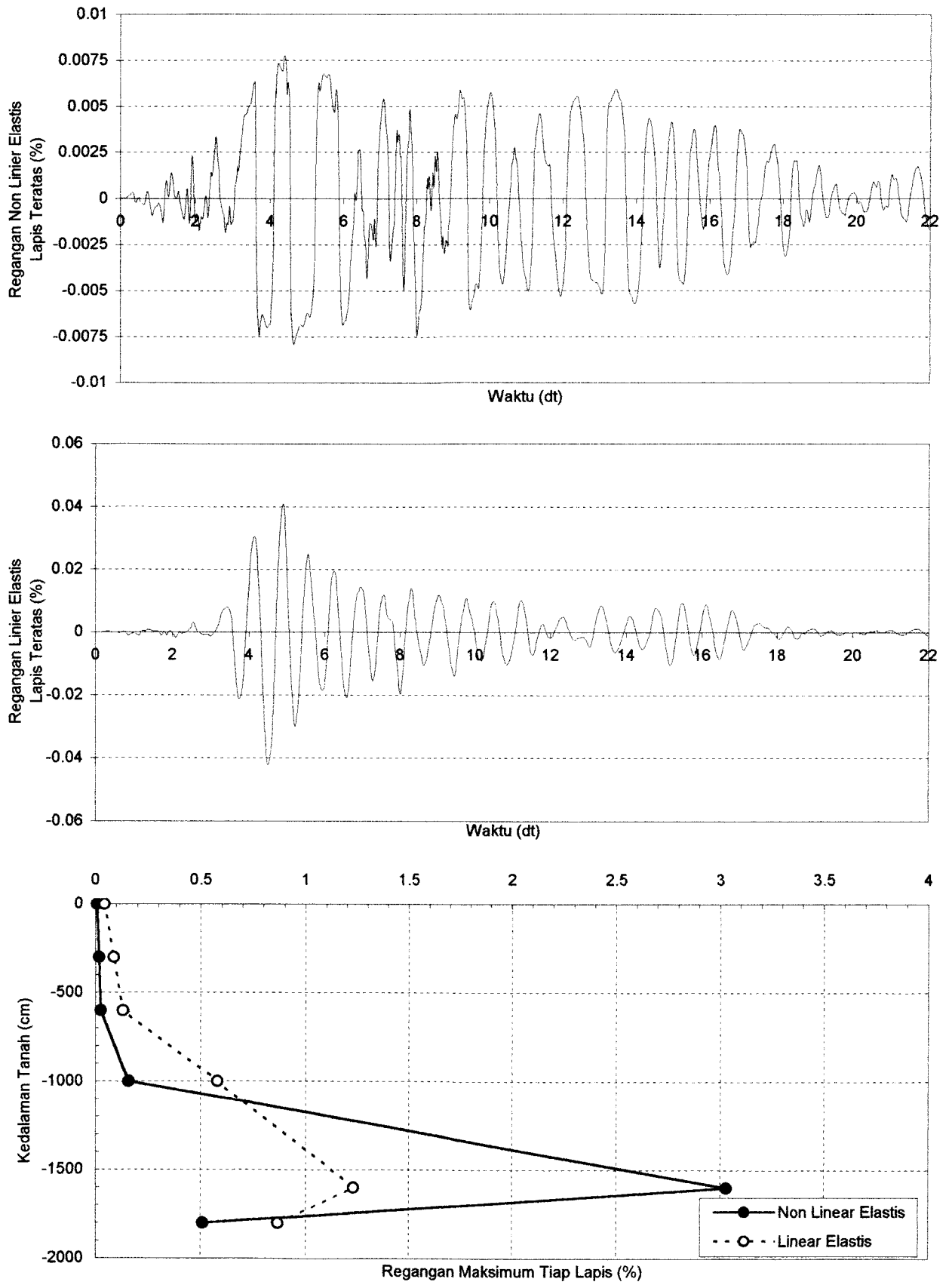
**Grafik 6.41.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



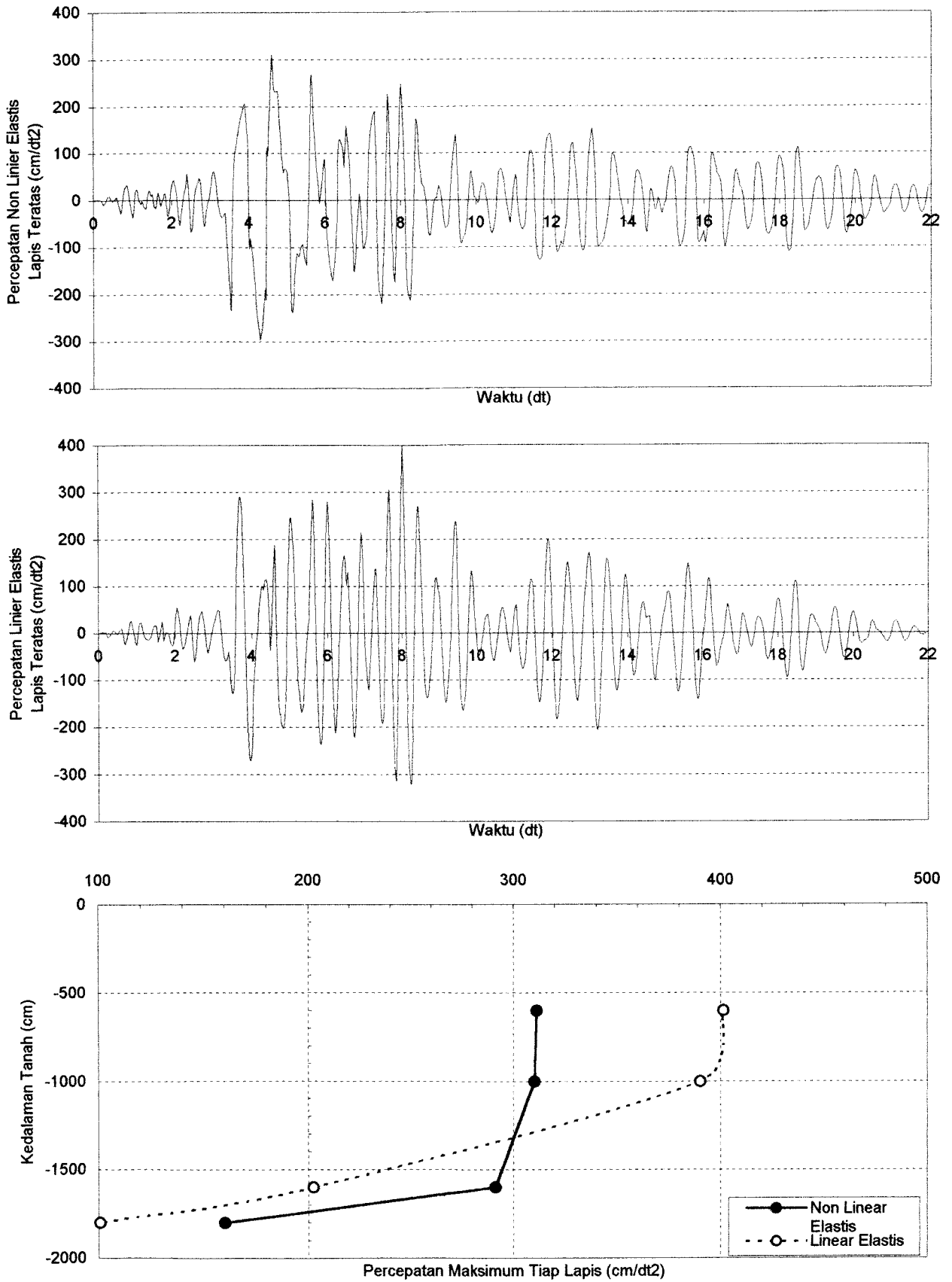
**Grafik 6.42.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



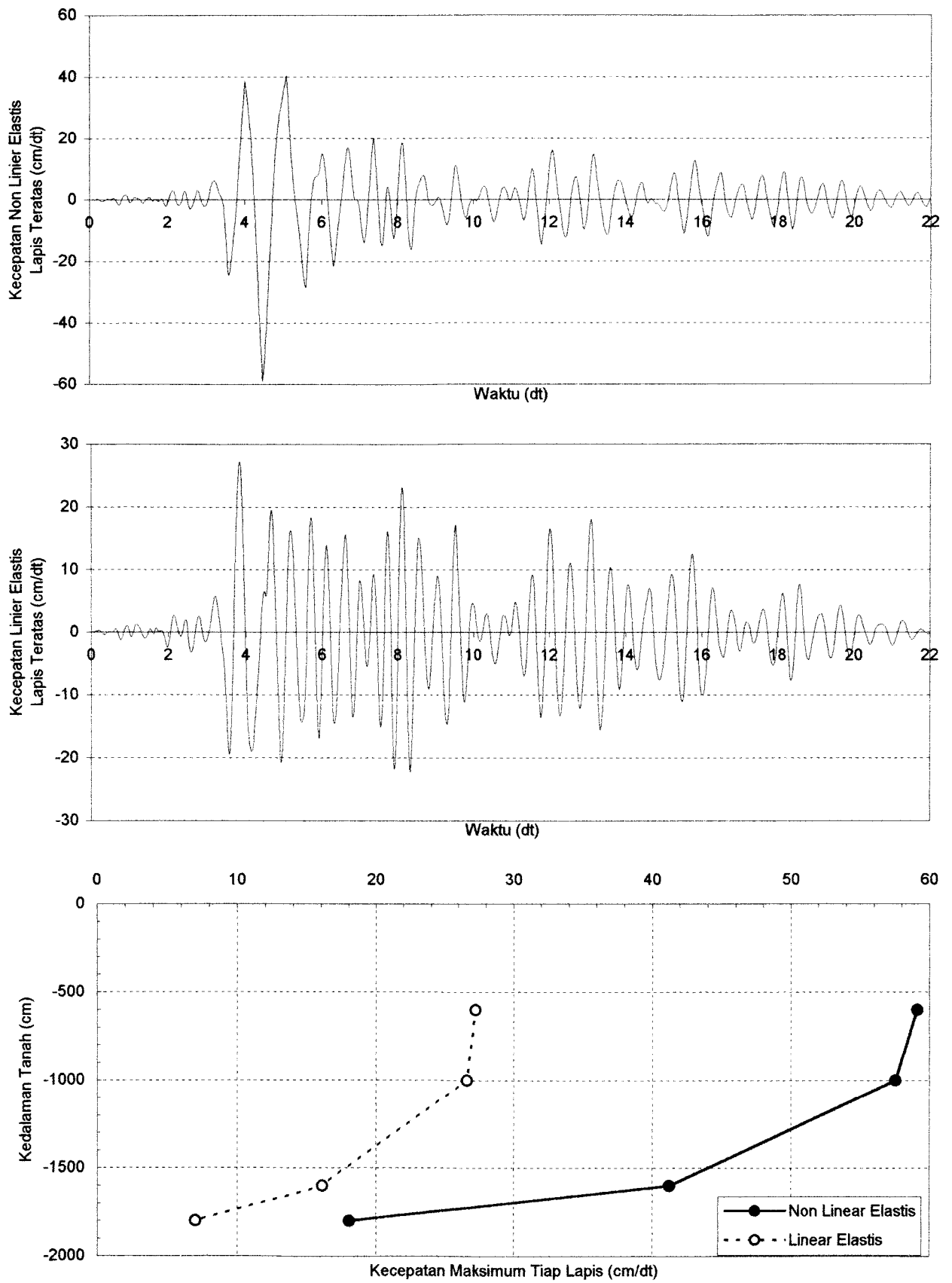
**Grafik 6.43.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



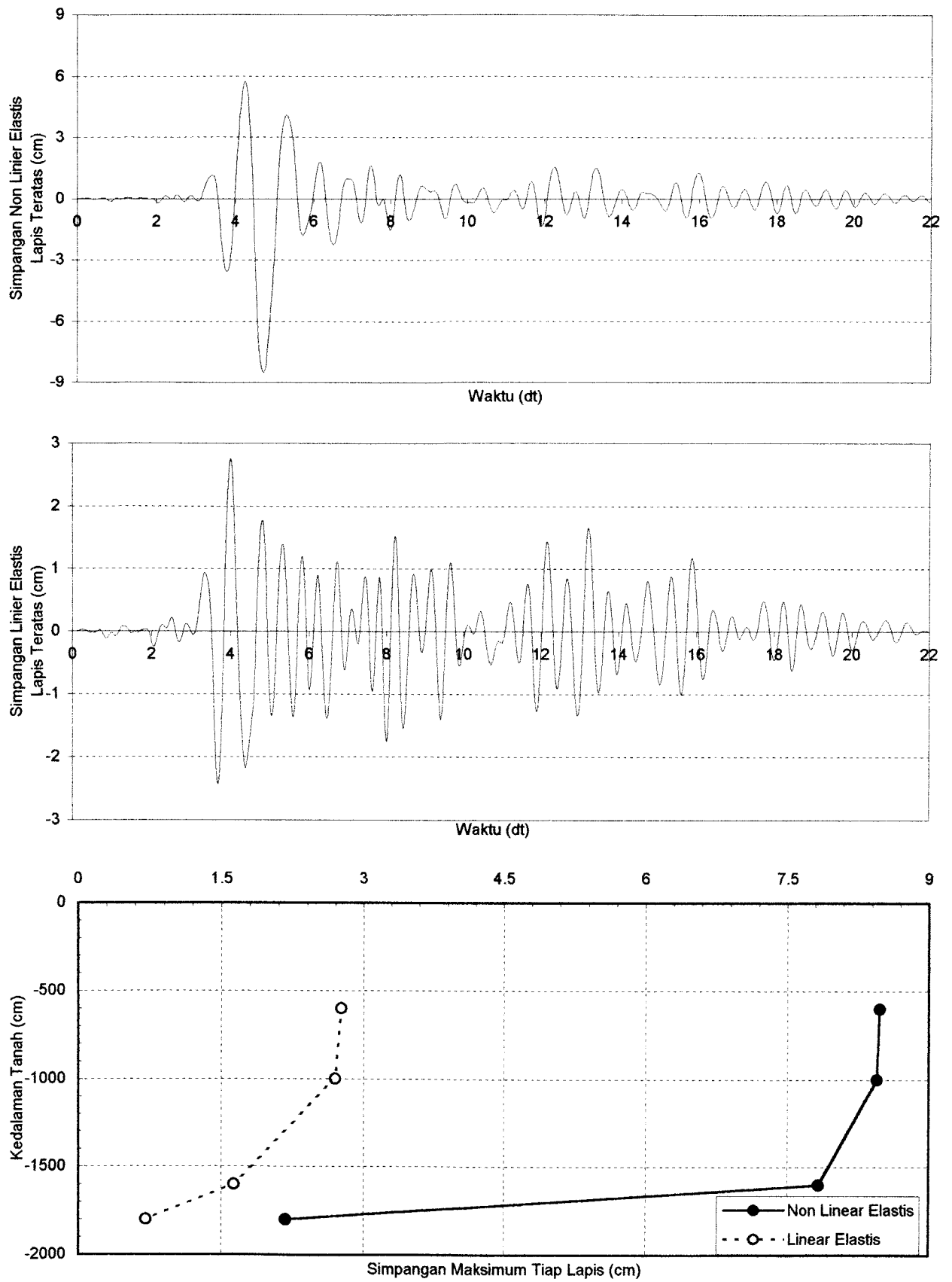
**Grafik 6.44.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



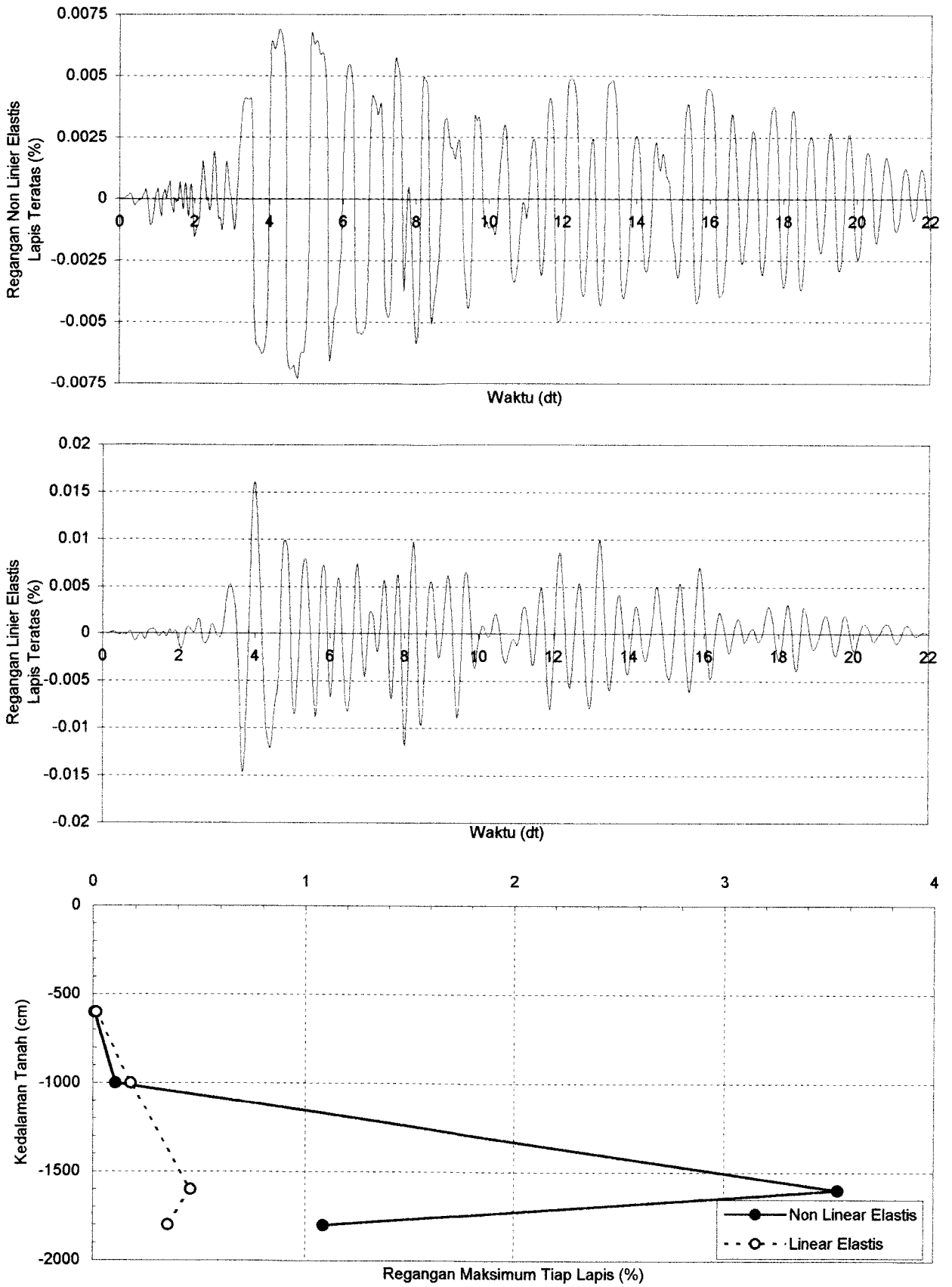
**Grafik 6.45.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



**Grafik 6.46.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Kobe

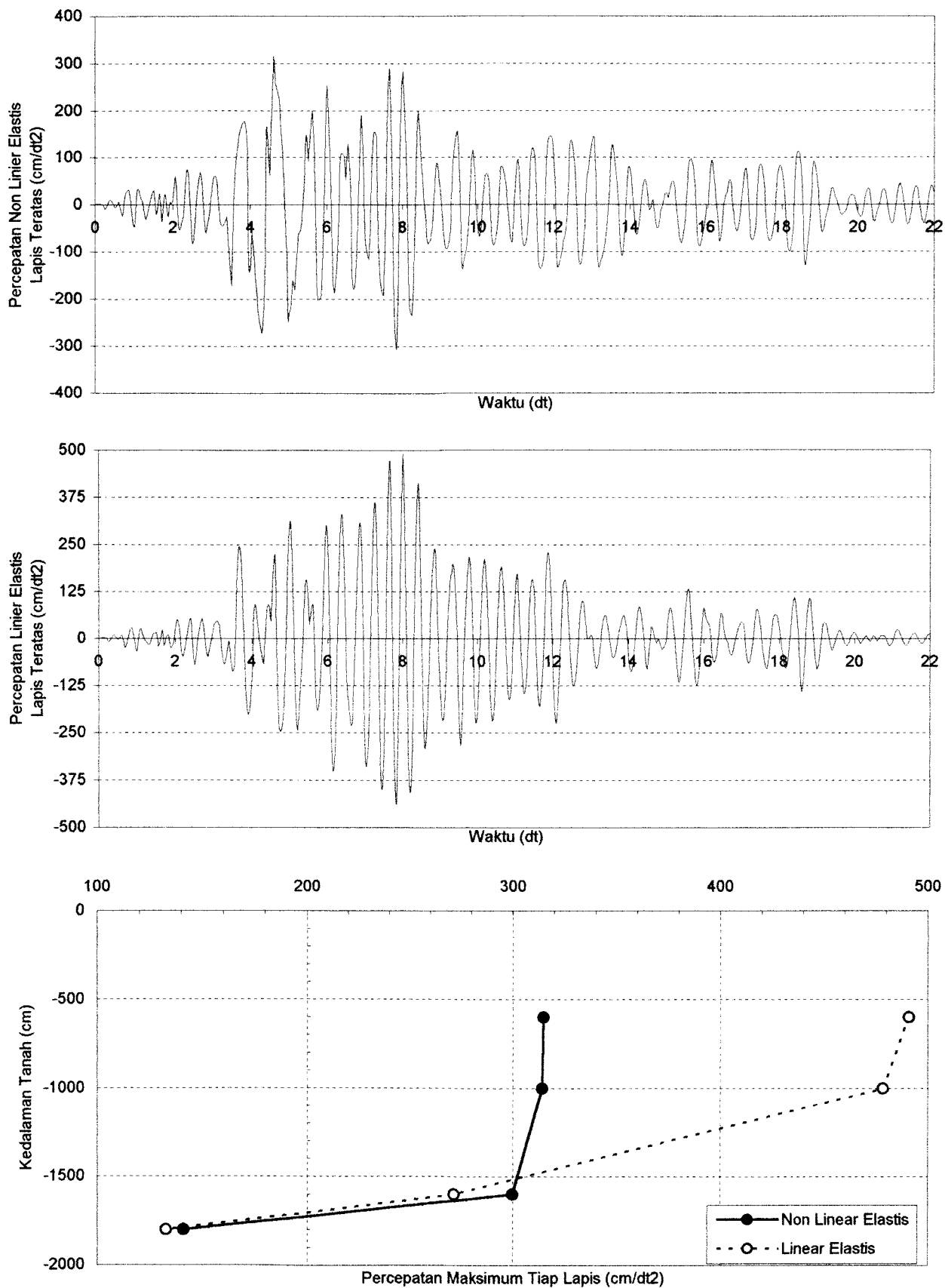


**Grafik 6.47.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Kobe

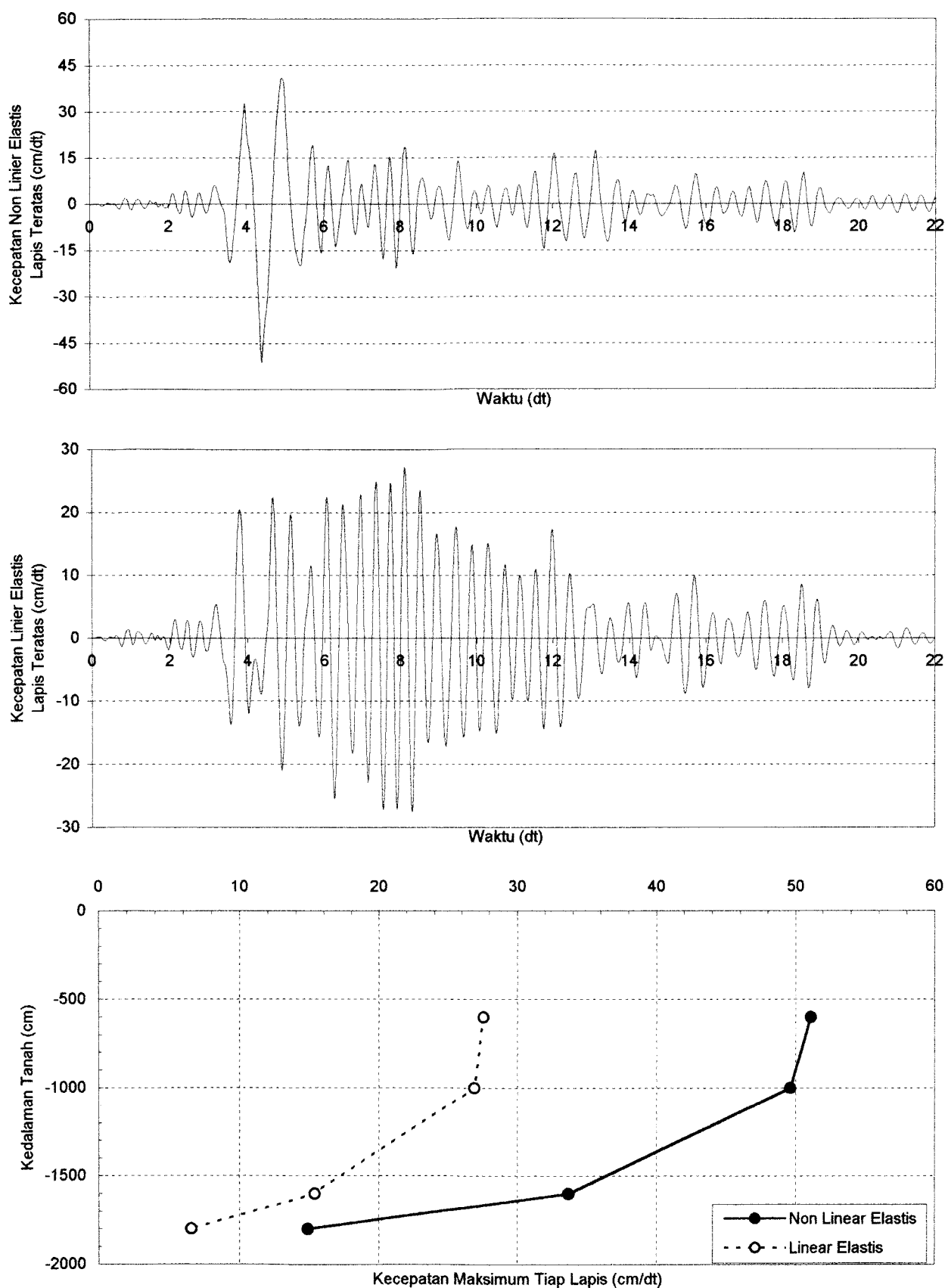


**Grafik 6.48.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Kobe

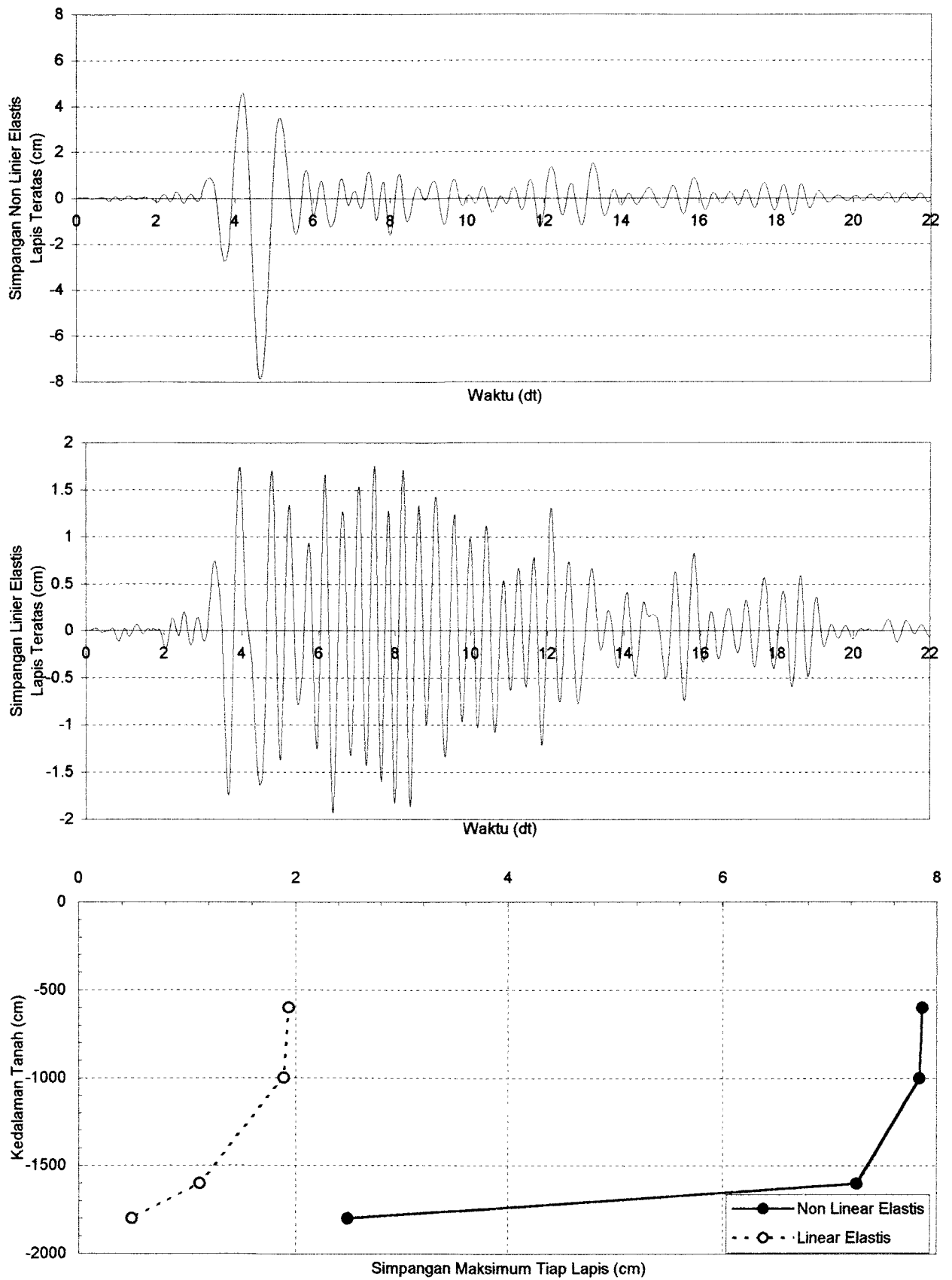




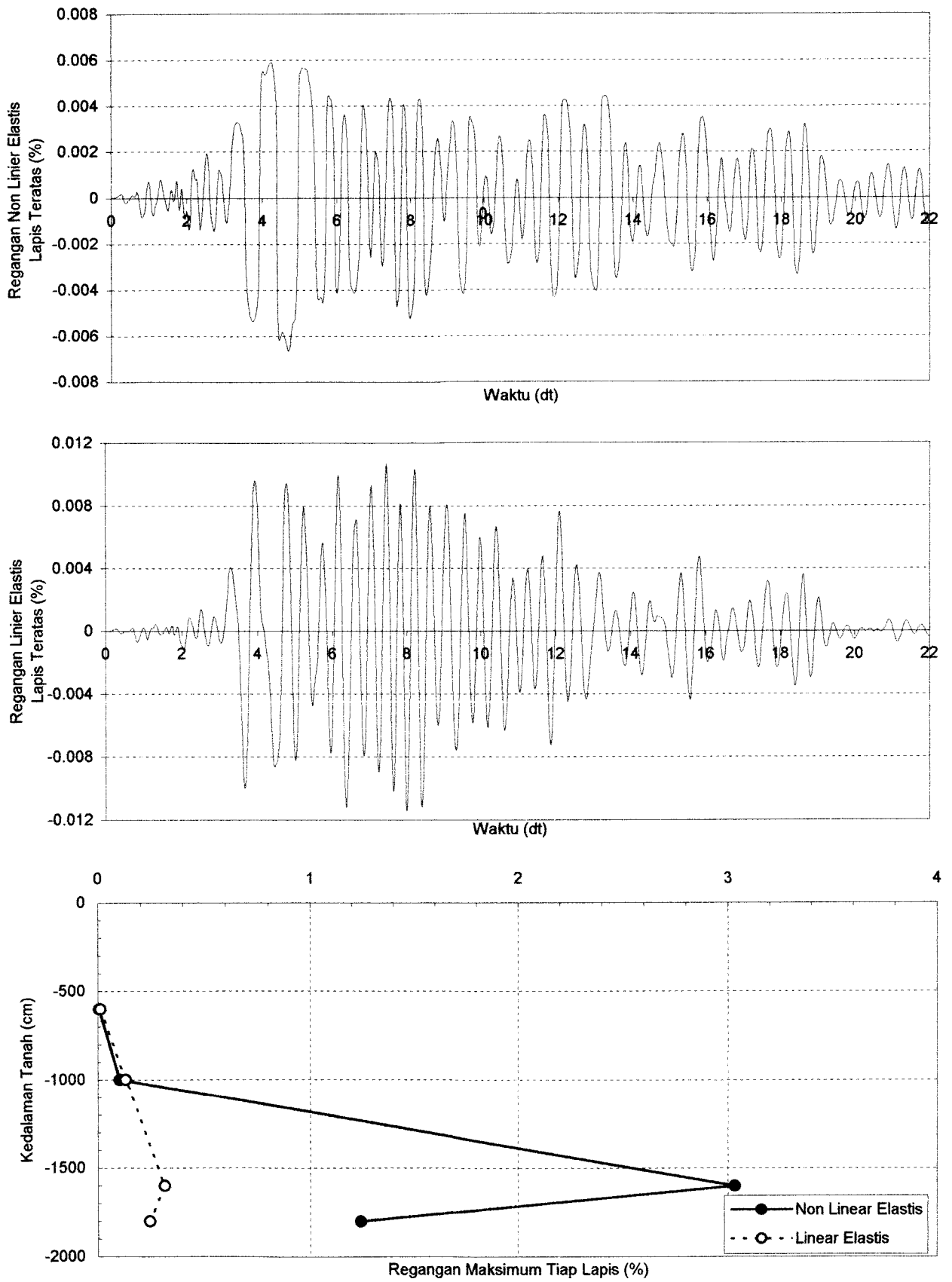
**Grafik 6.49.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



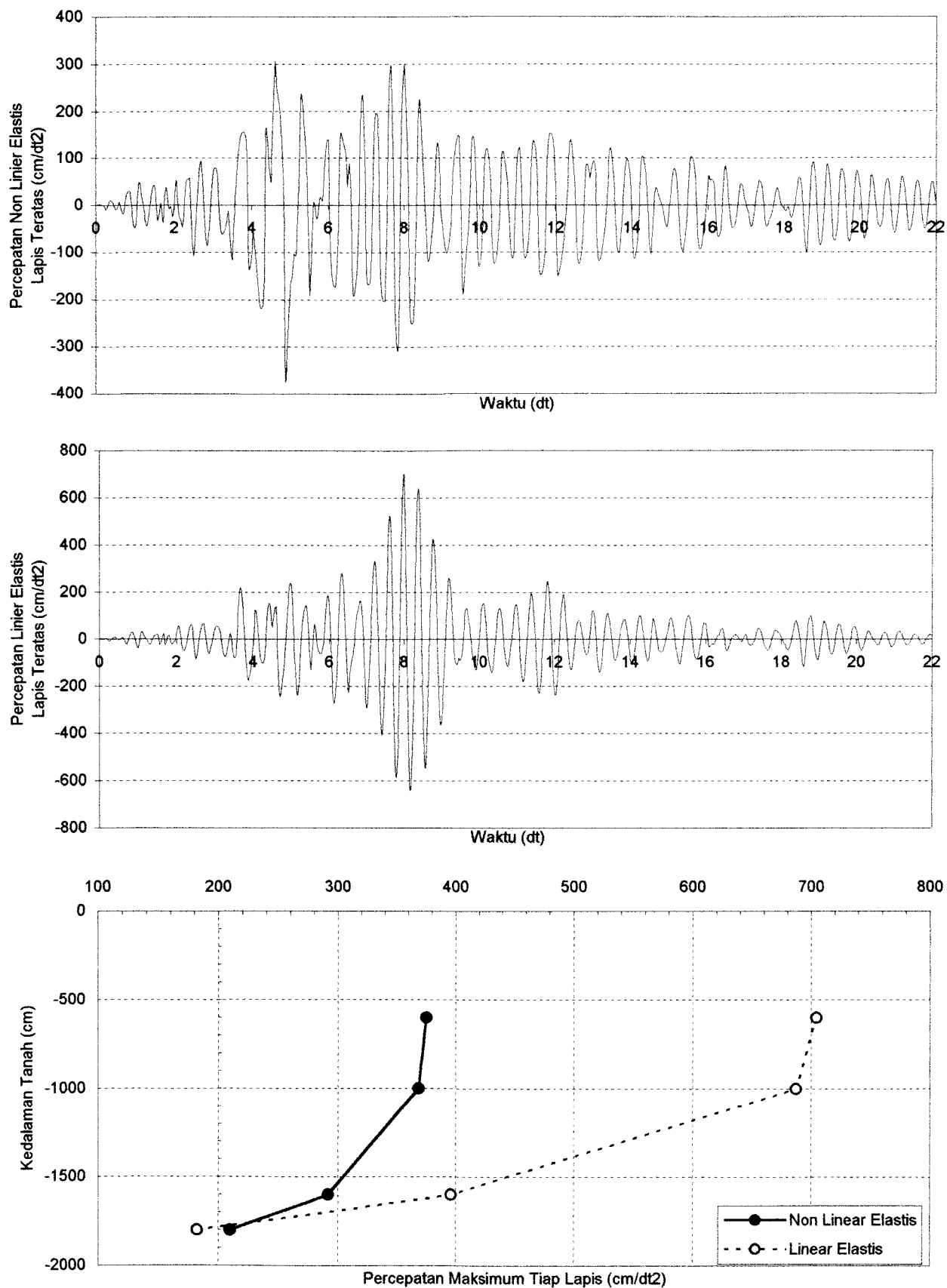
**Grafik 6.50.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



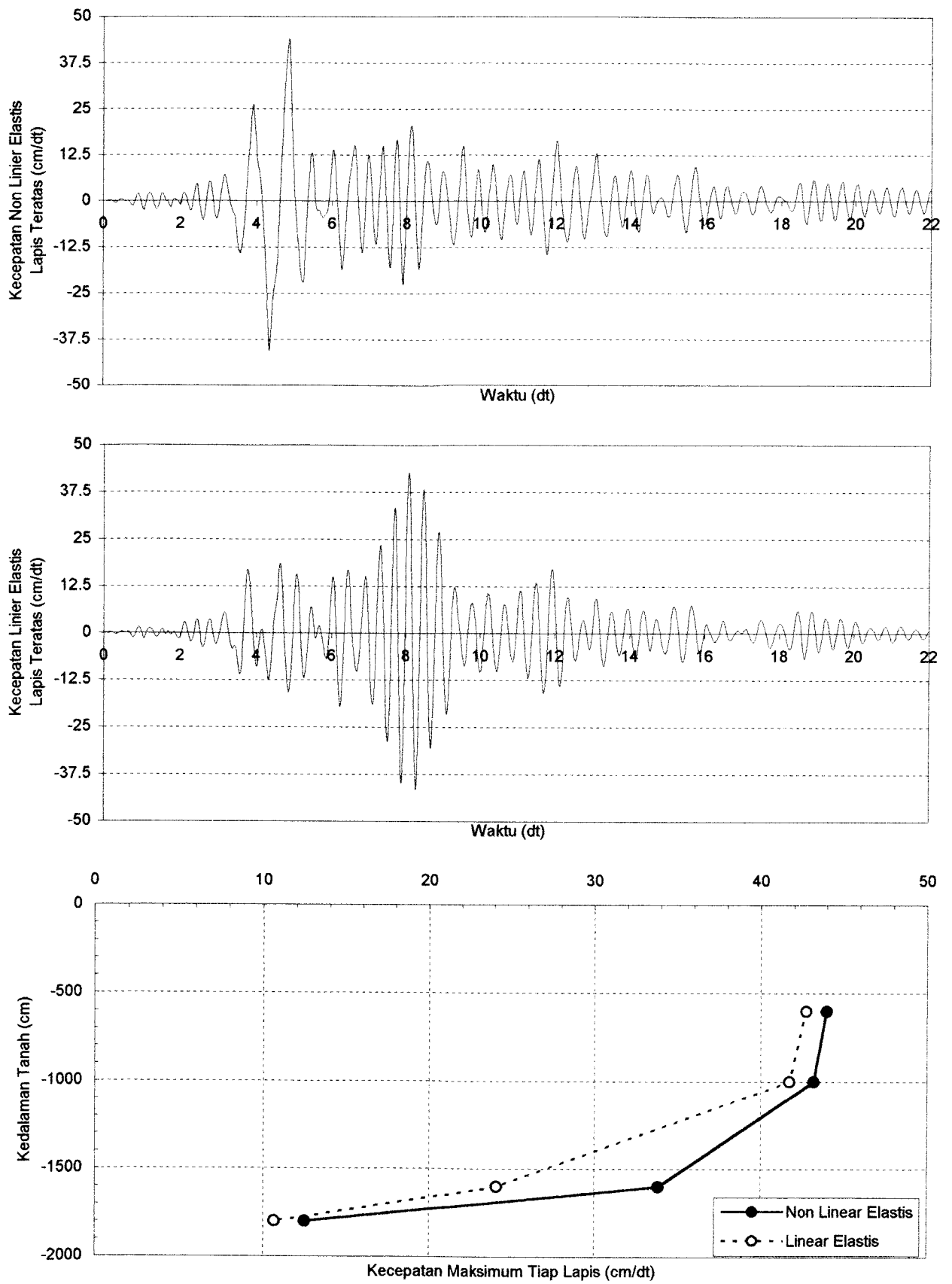
**Grafik 6.51.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



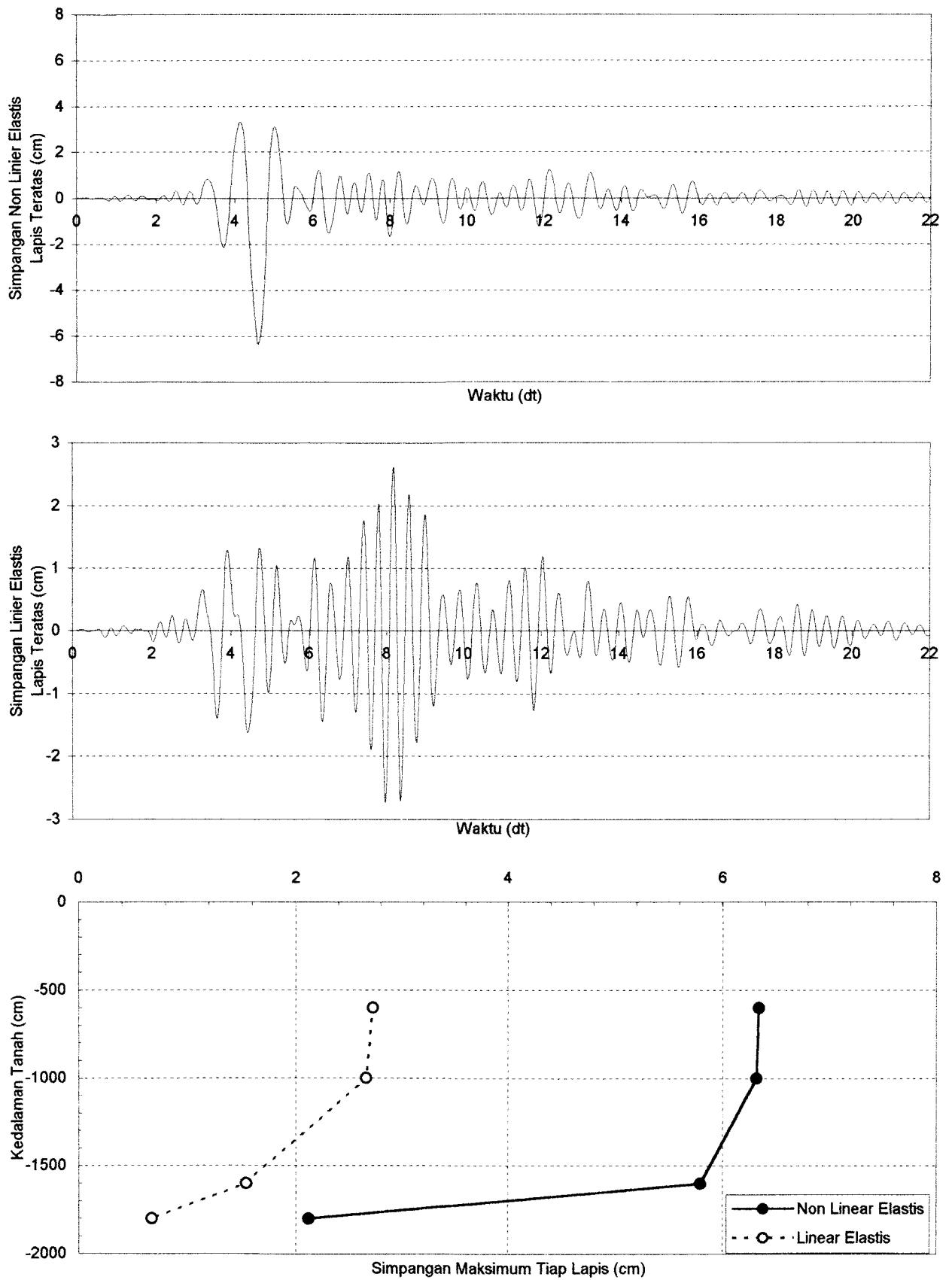
**Grafik 6.52.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



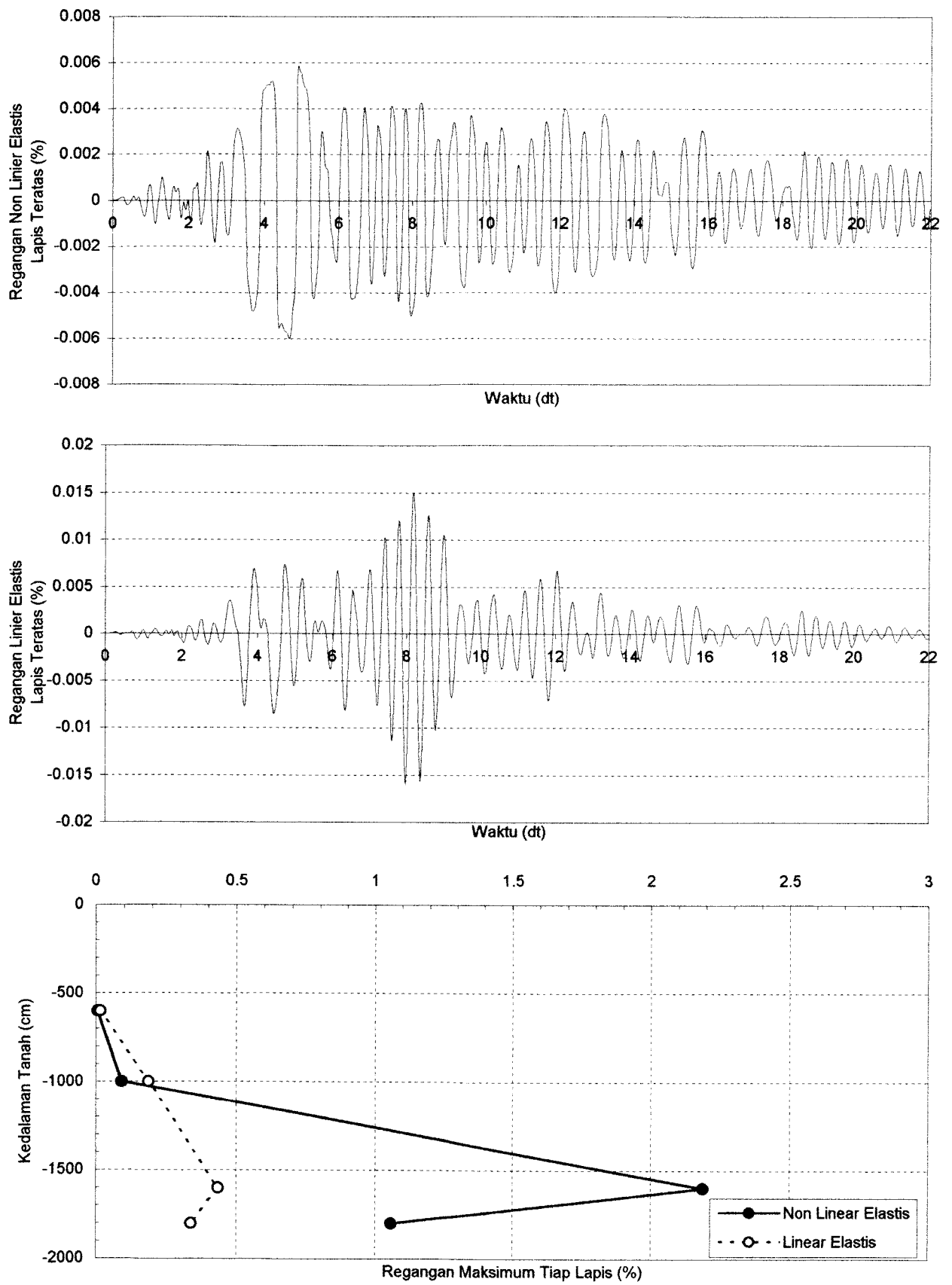
**Grafik 6.53.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



**Grafik 6.54.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Kobe

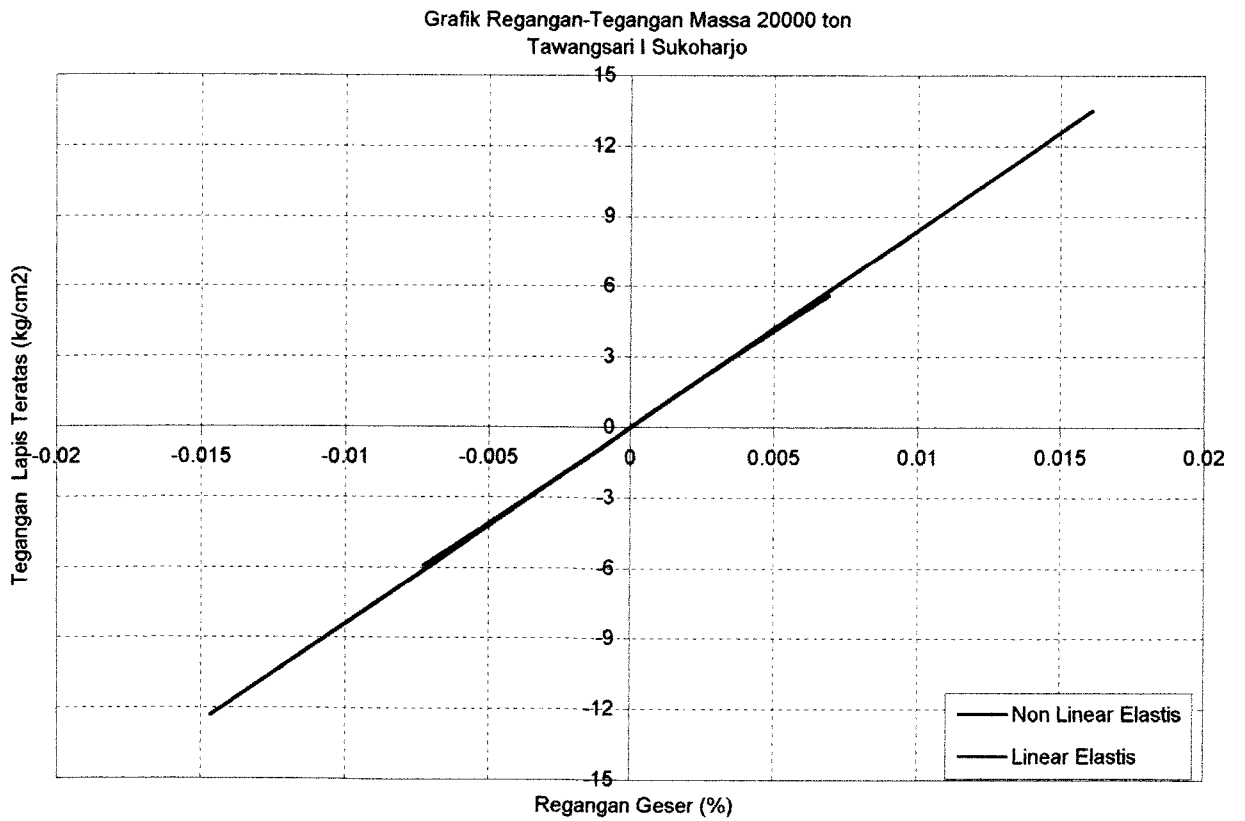
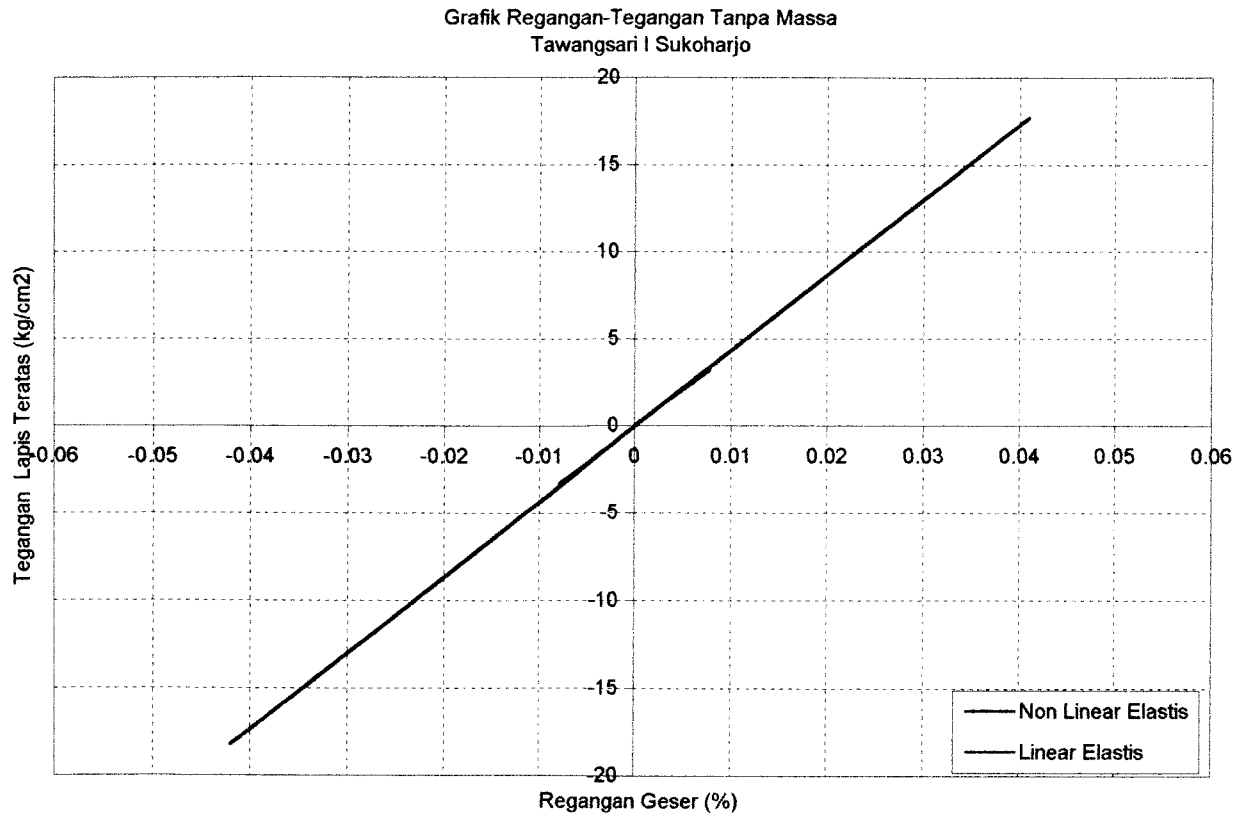


**Grafik 6.55.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Kobe

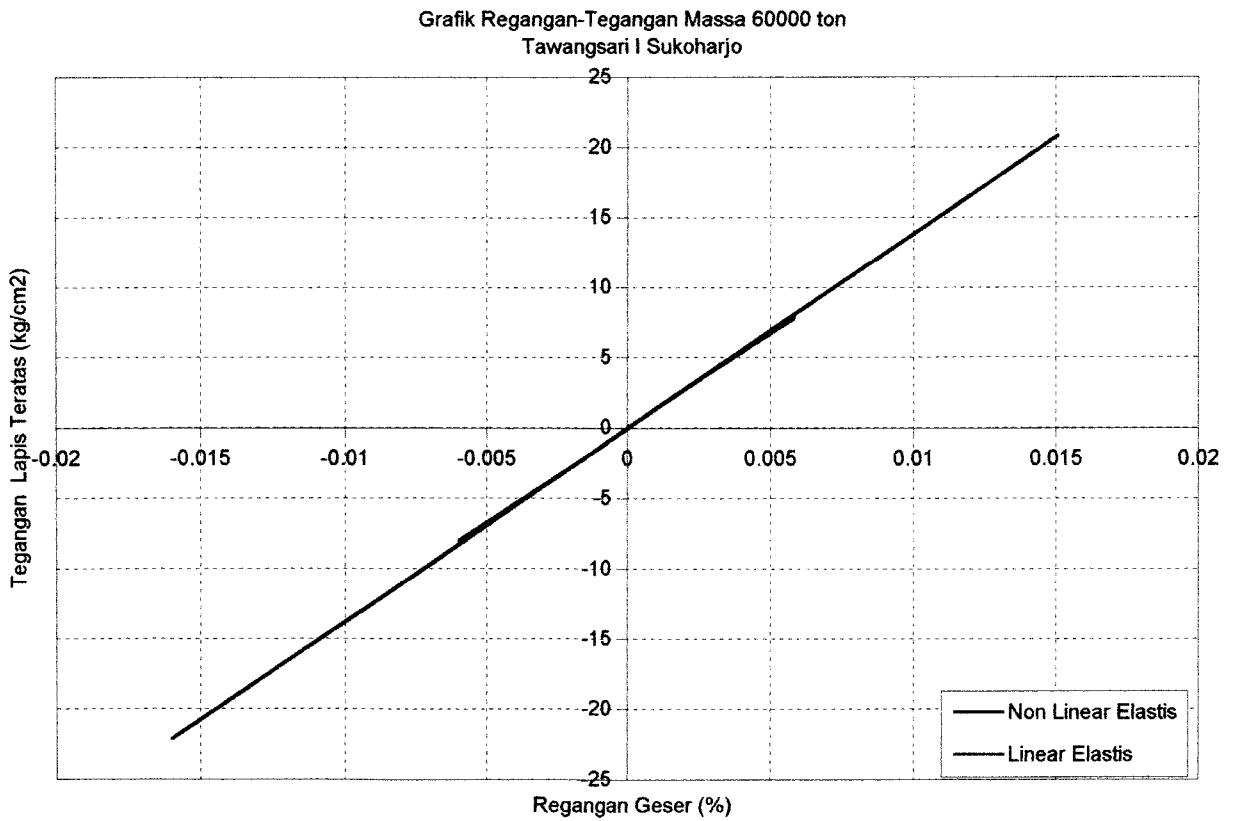
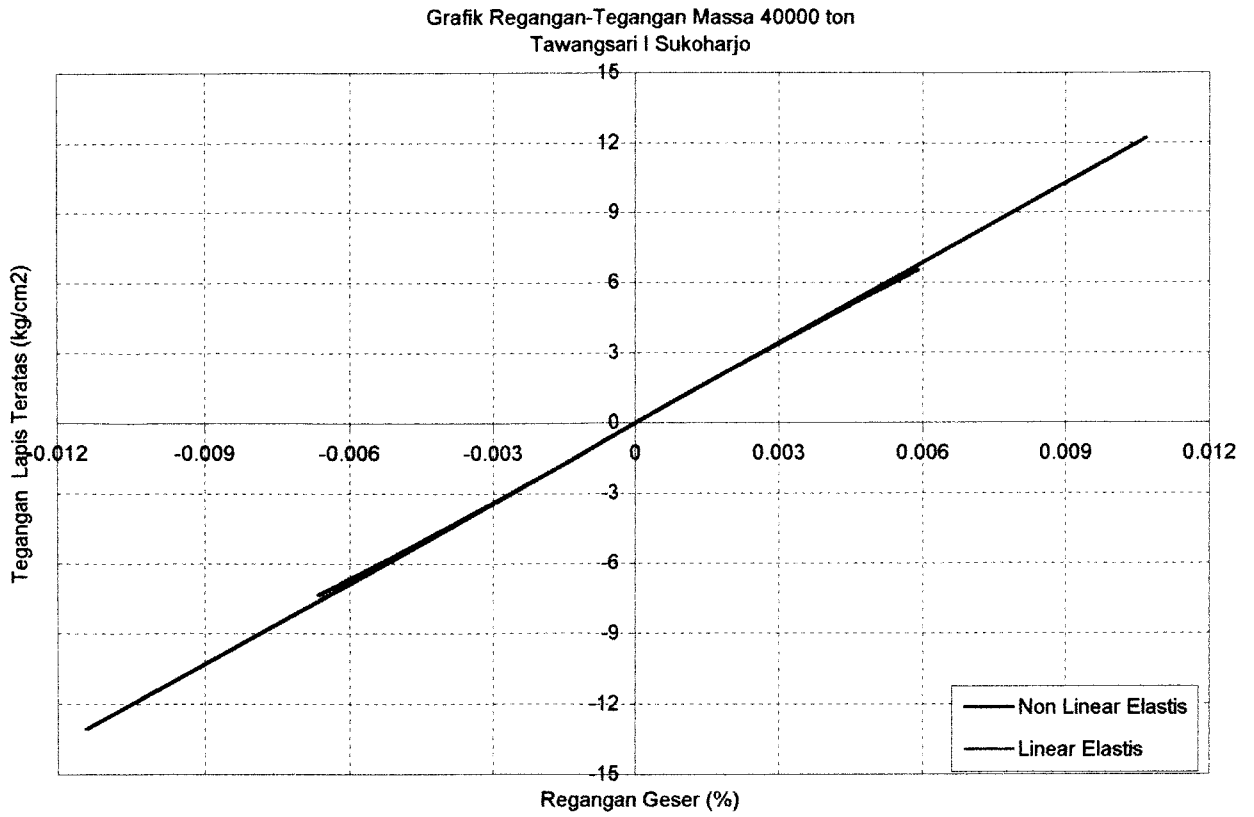


**Grafik 6.56.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Kobe

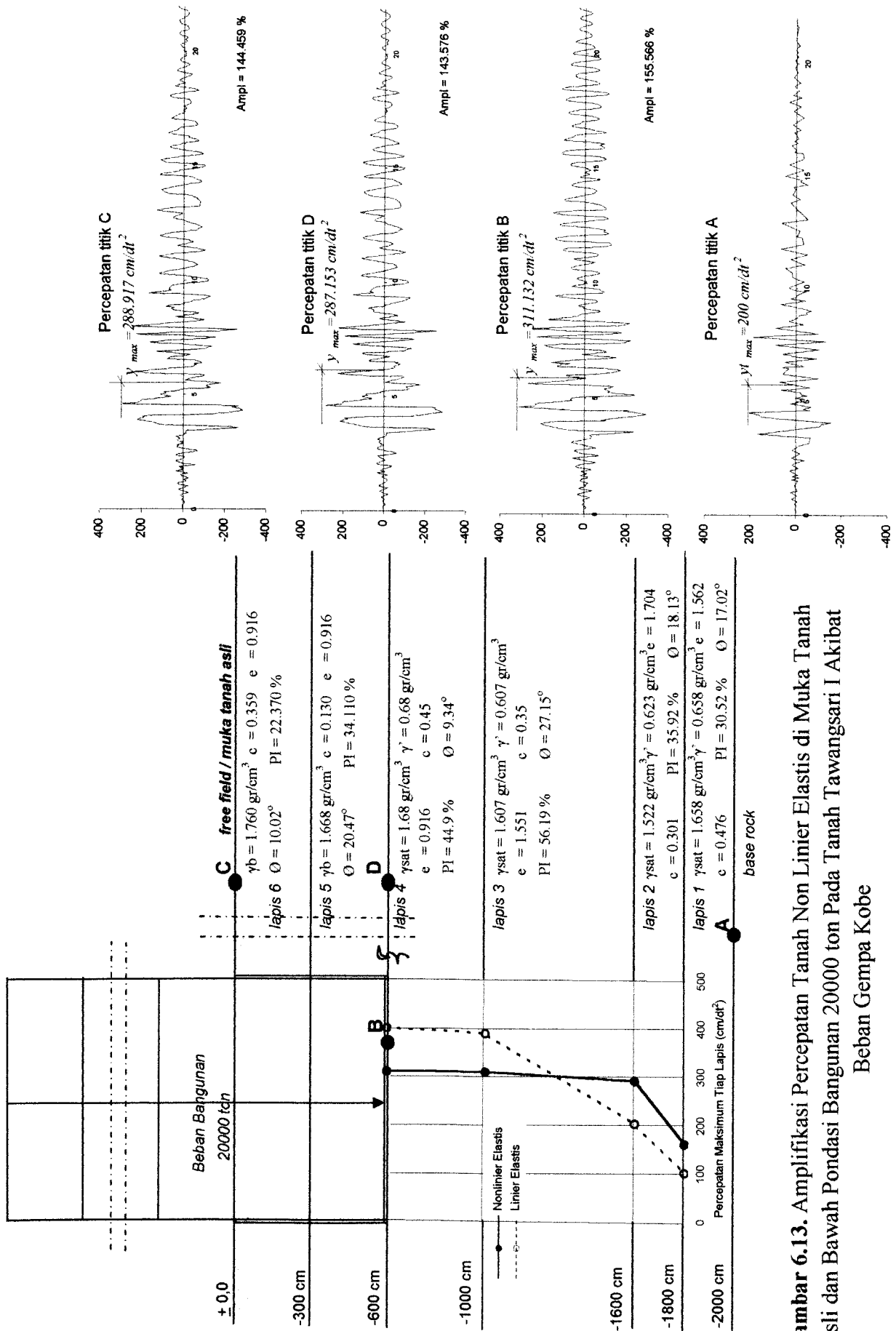




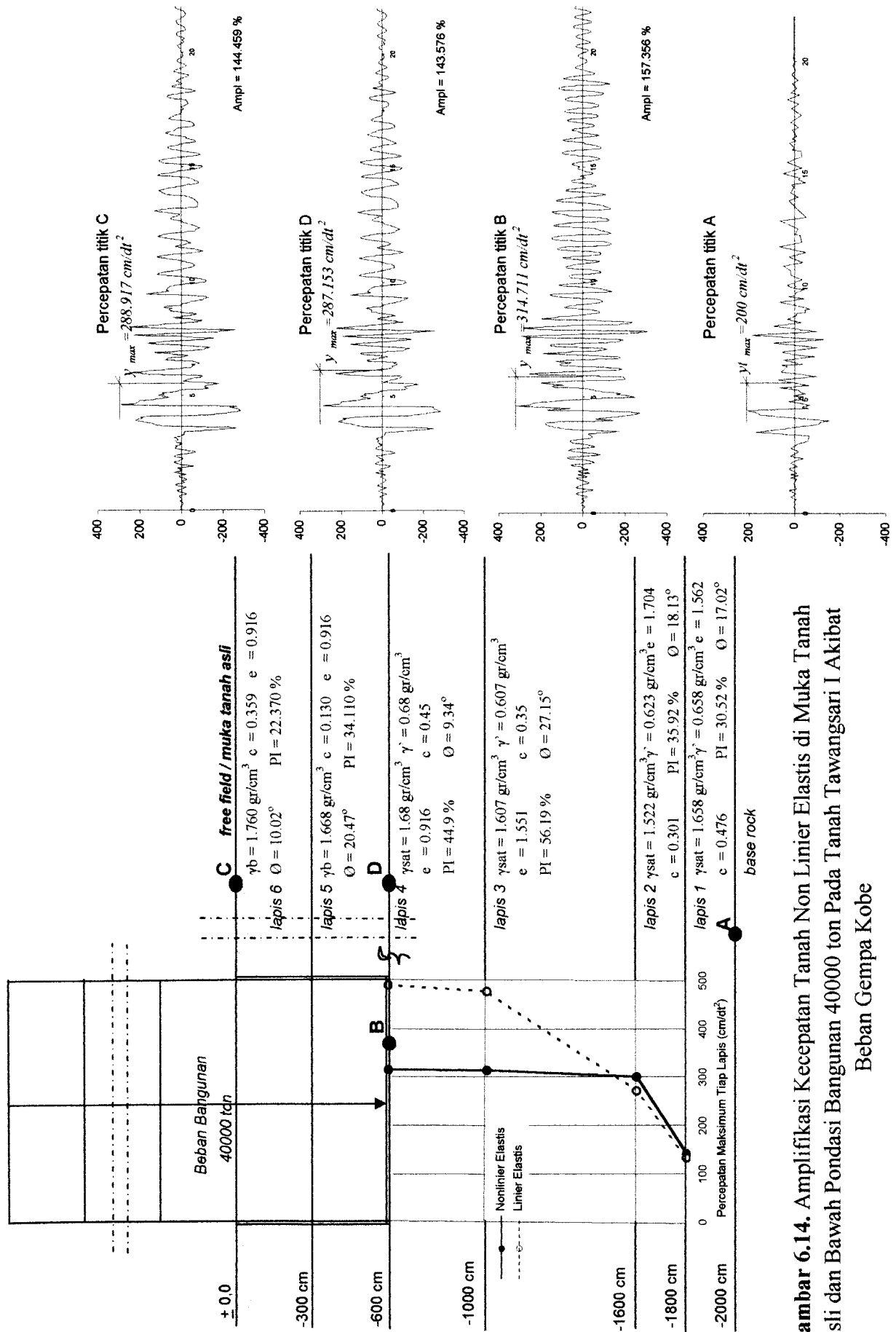
**Grafik 6.57.** Perbandingan Regangan-Tegangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa dan Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



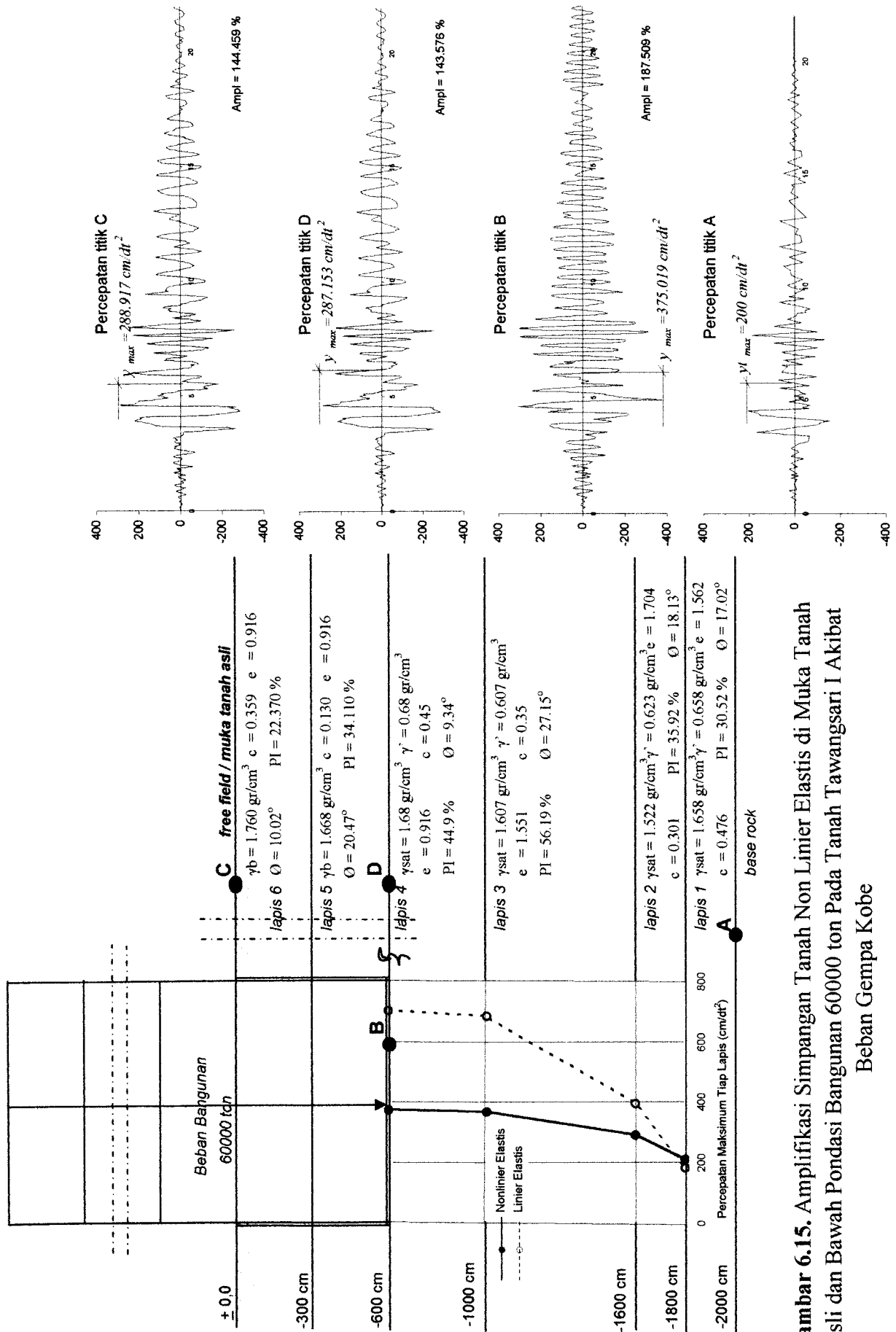
**Grafik 6.58.** Perbandingan Regangan-Tegangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton dan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



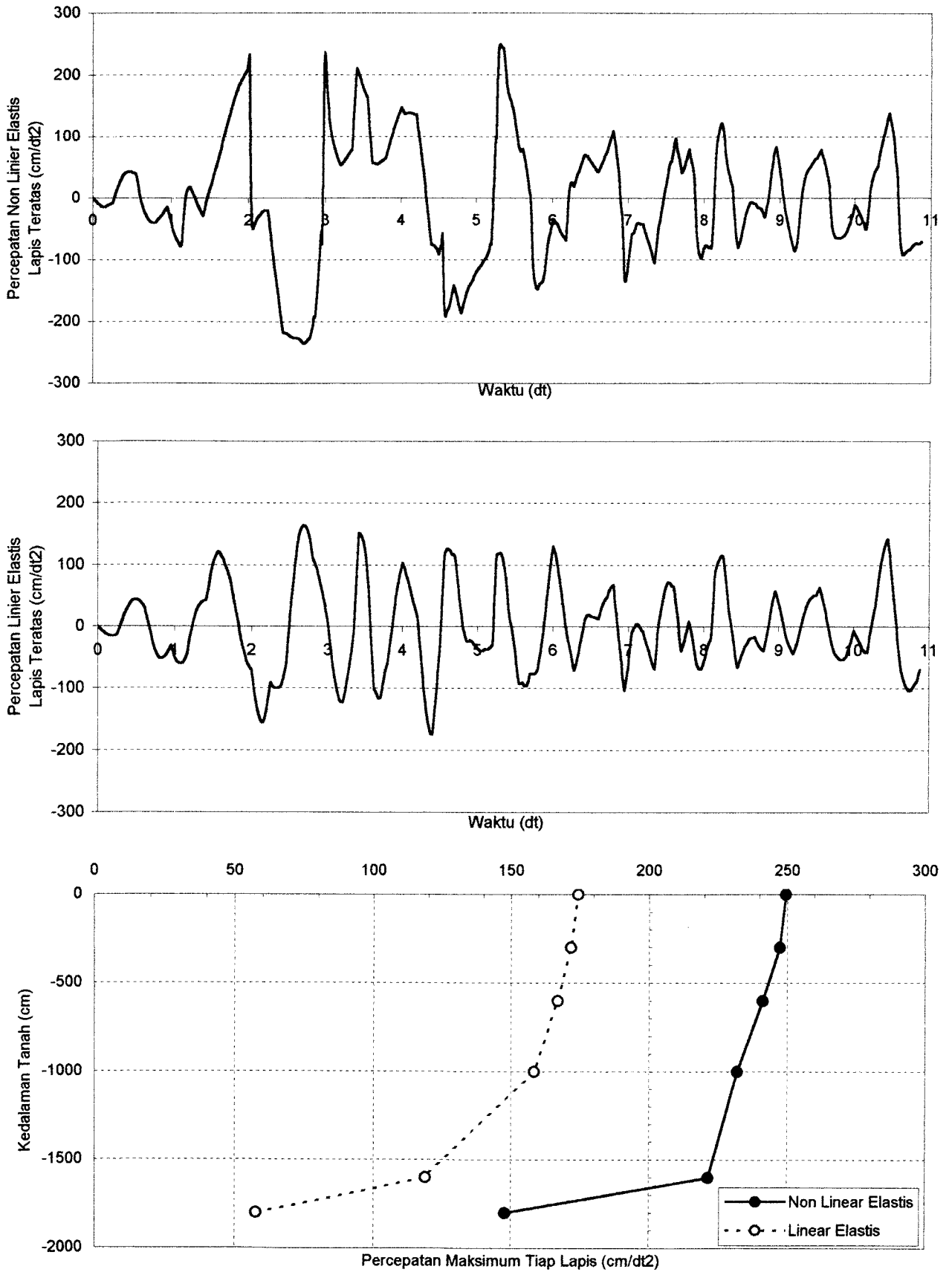
**Gambar 6.13.** Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Beban Gempa Kobe



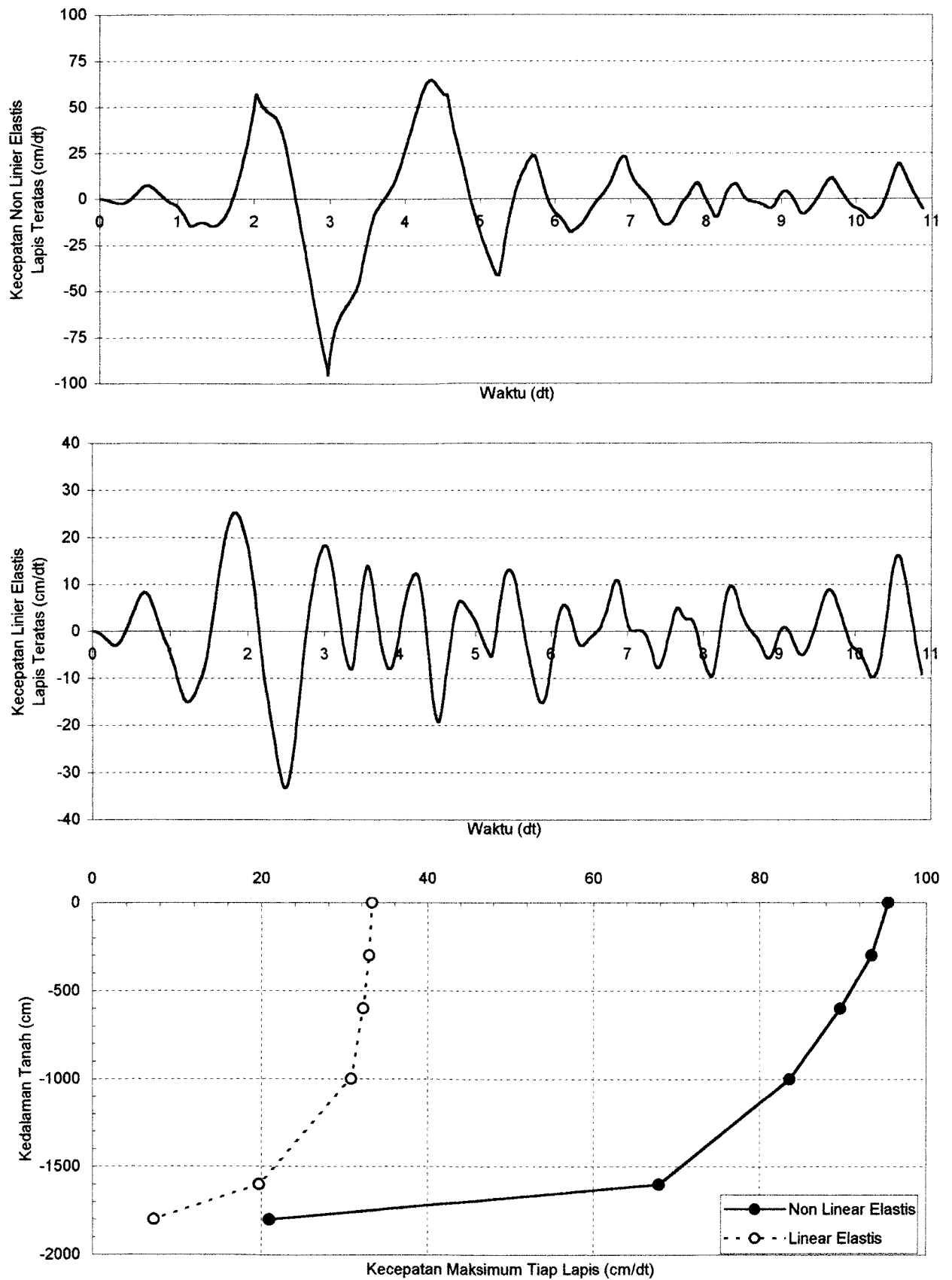
**Gambar 6.14.** Amplifikasi Kecepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Beban Gempa Kobe



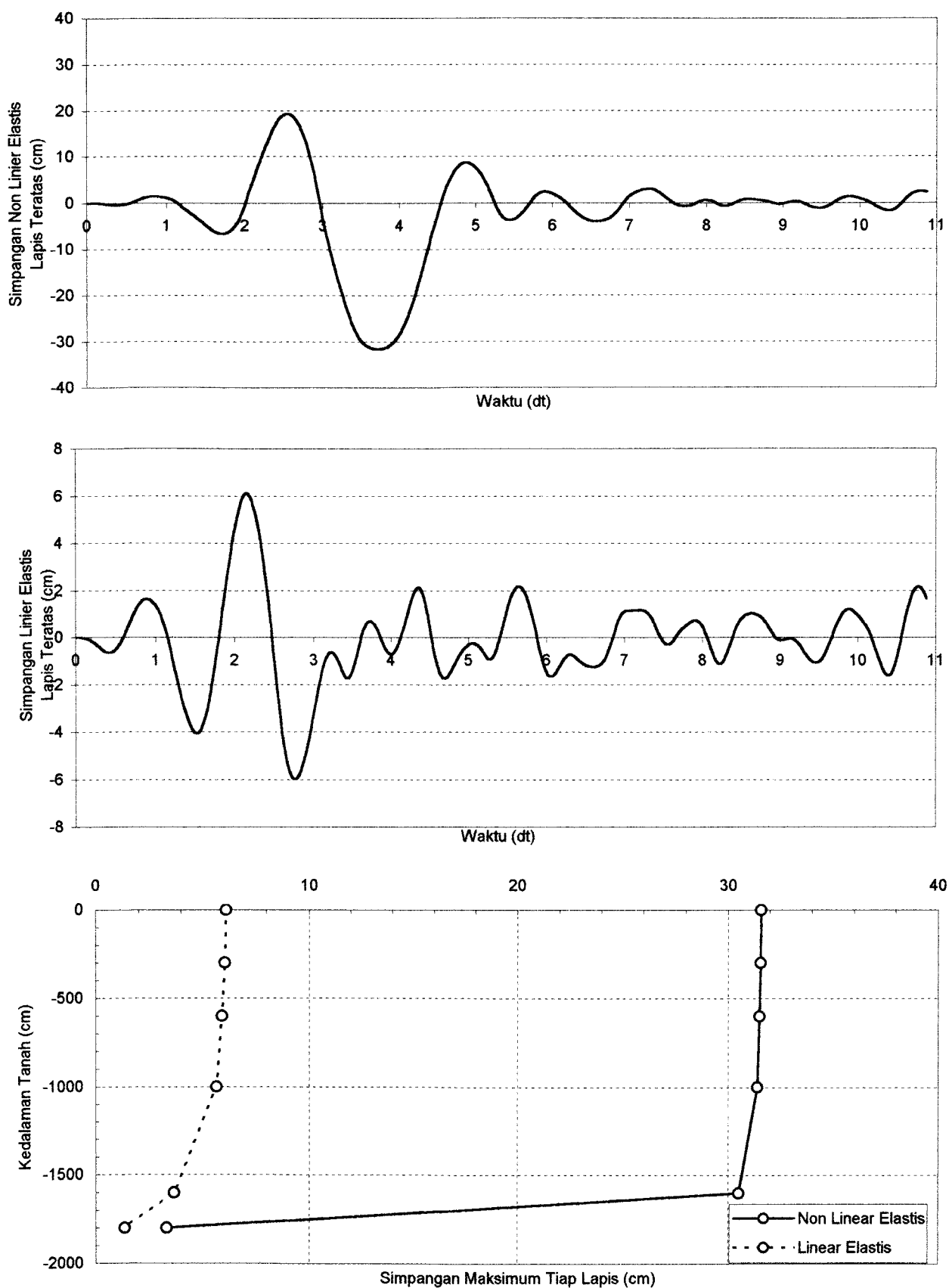
**Gambar 6.15.** Amplifikasi Simpangan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Beban Gempa Kobe



**Grafik 6.59.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawangarsi I Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest

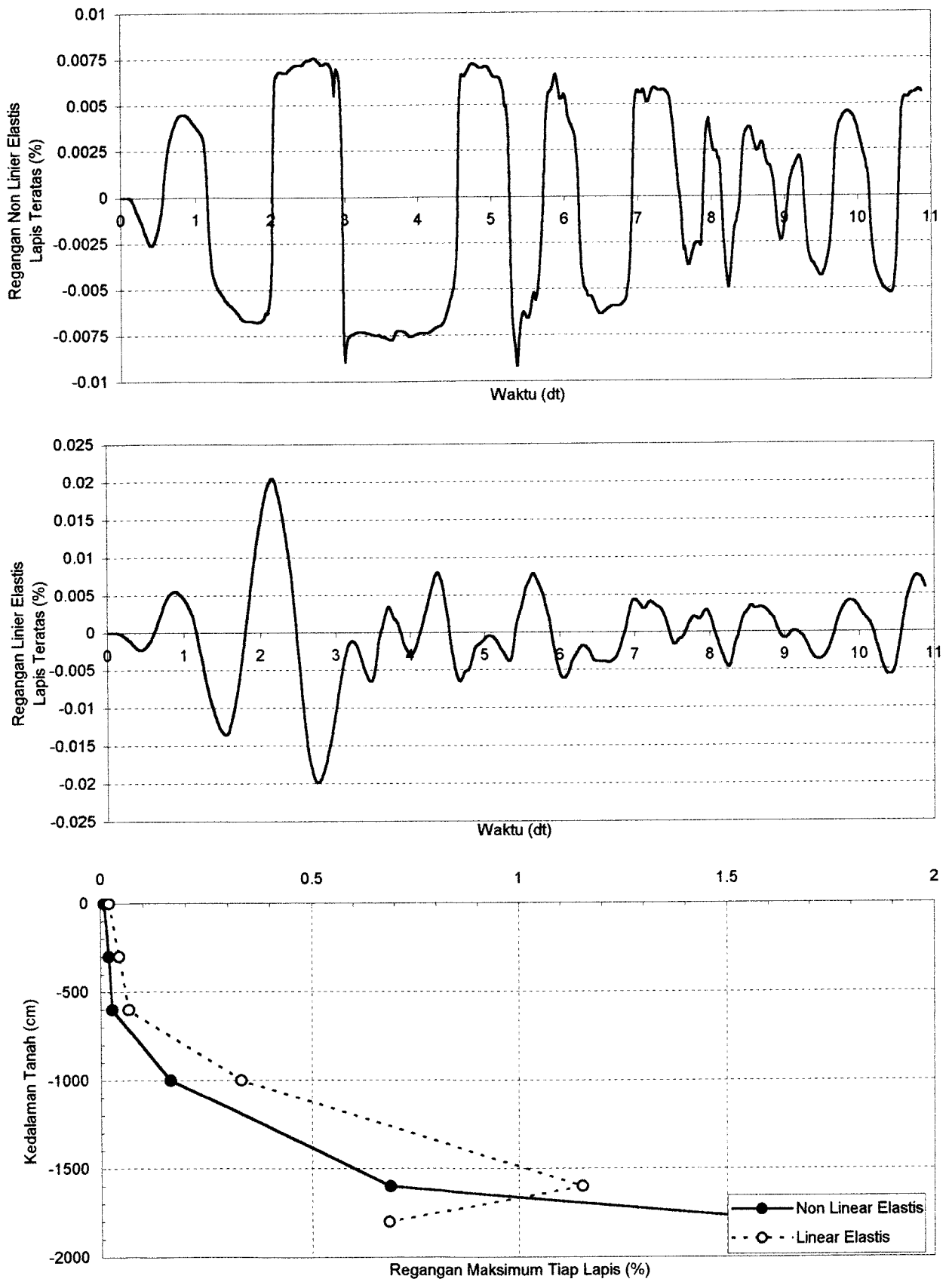


**Grafik 6.60.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest

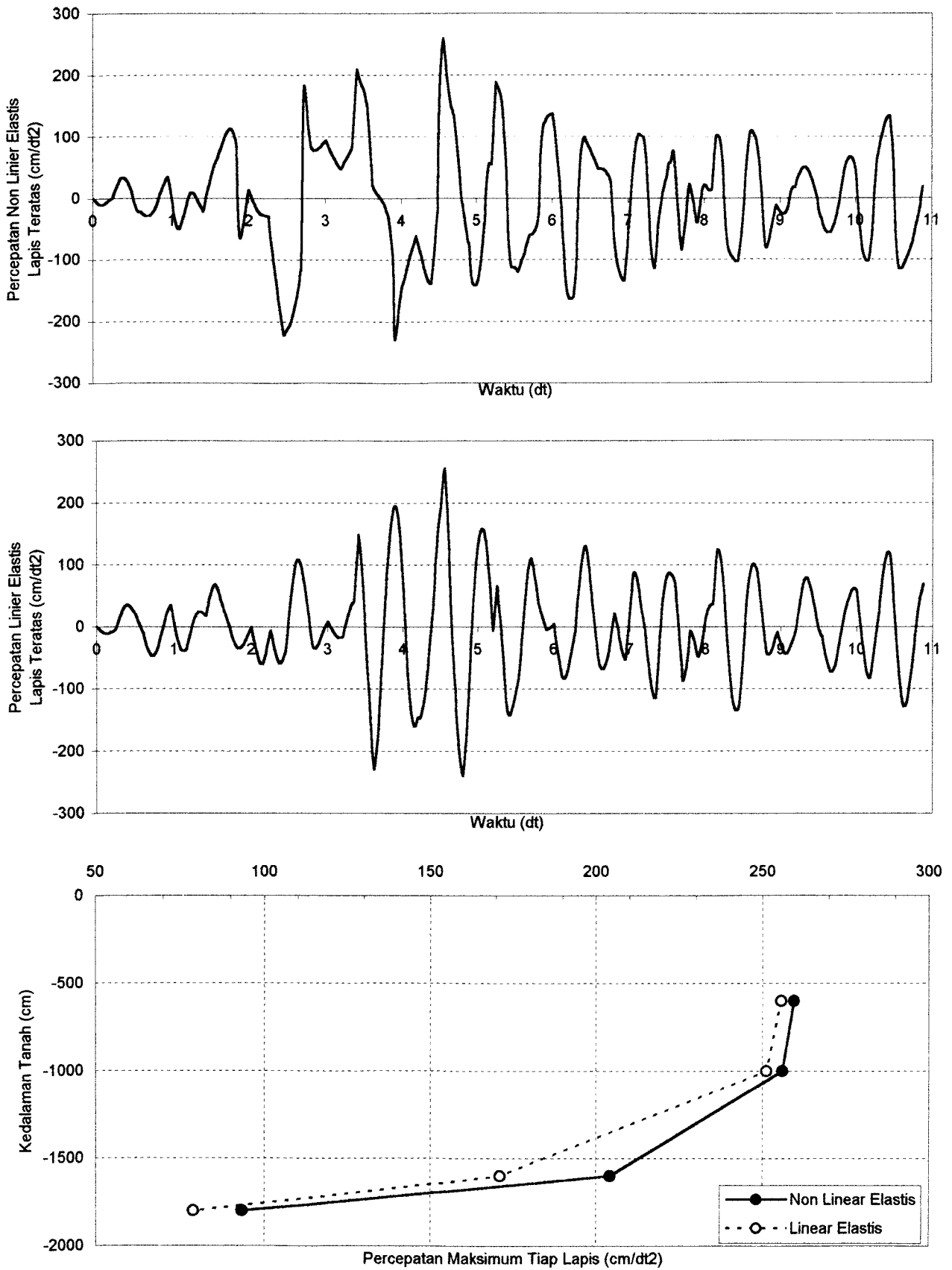


**Grafik 6.61.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest

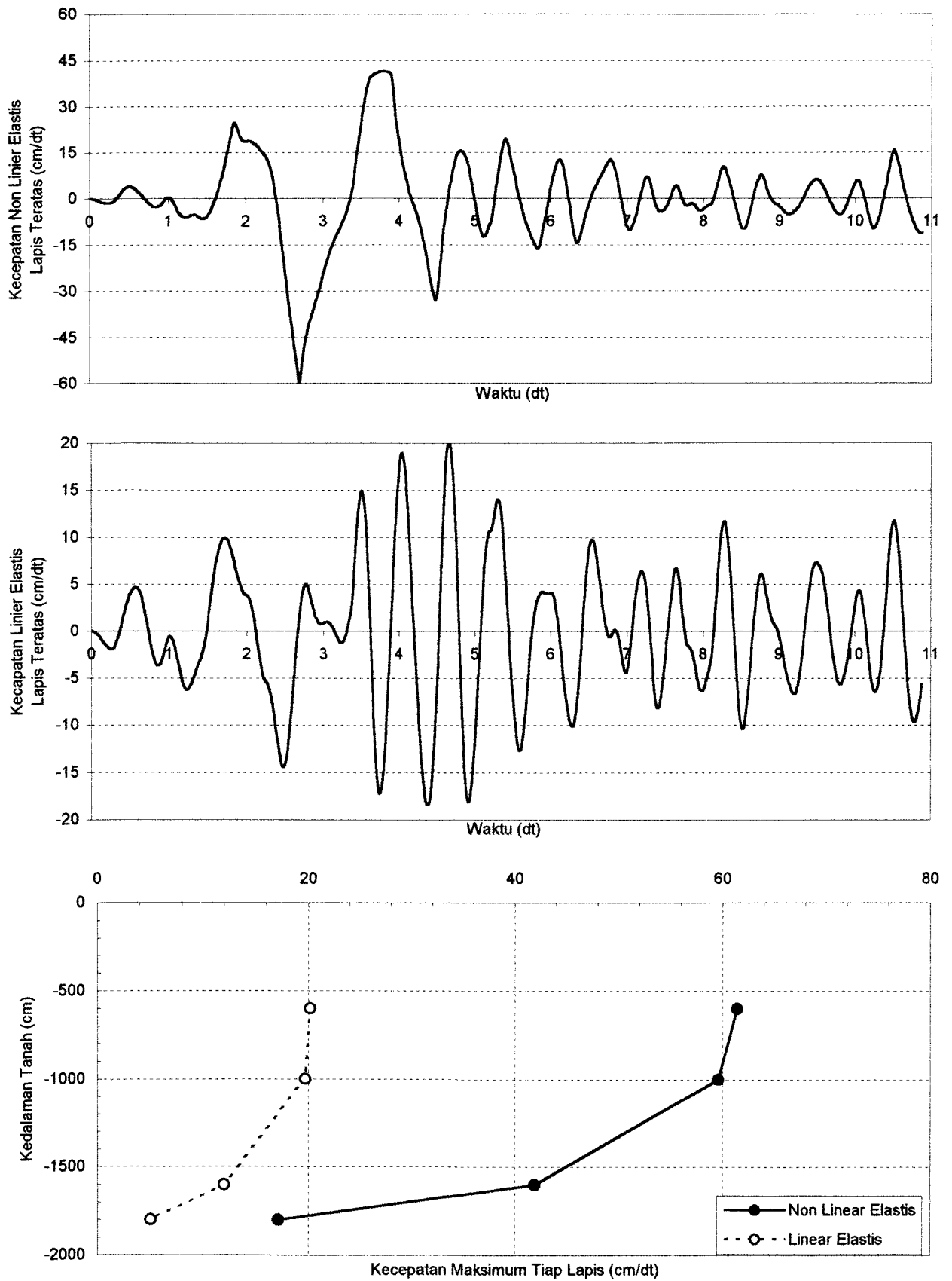




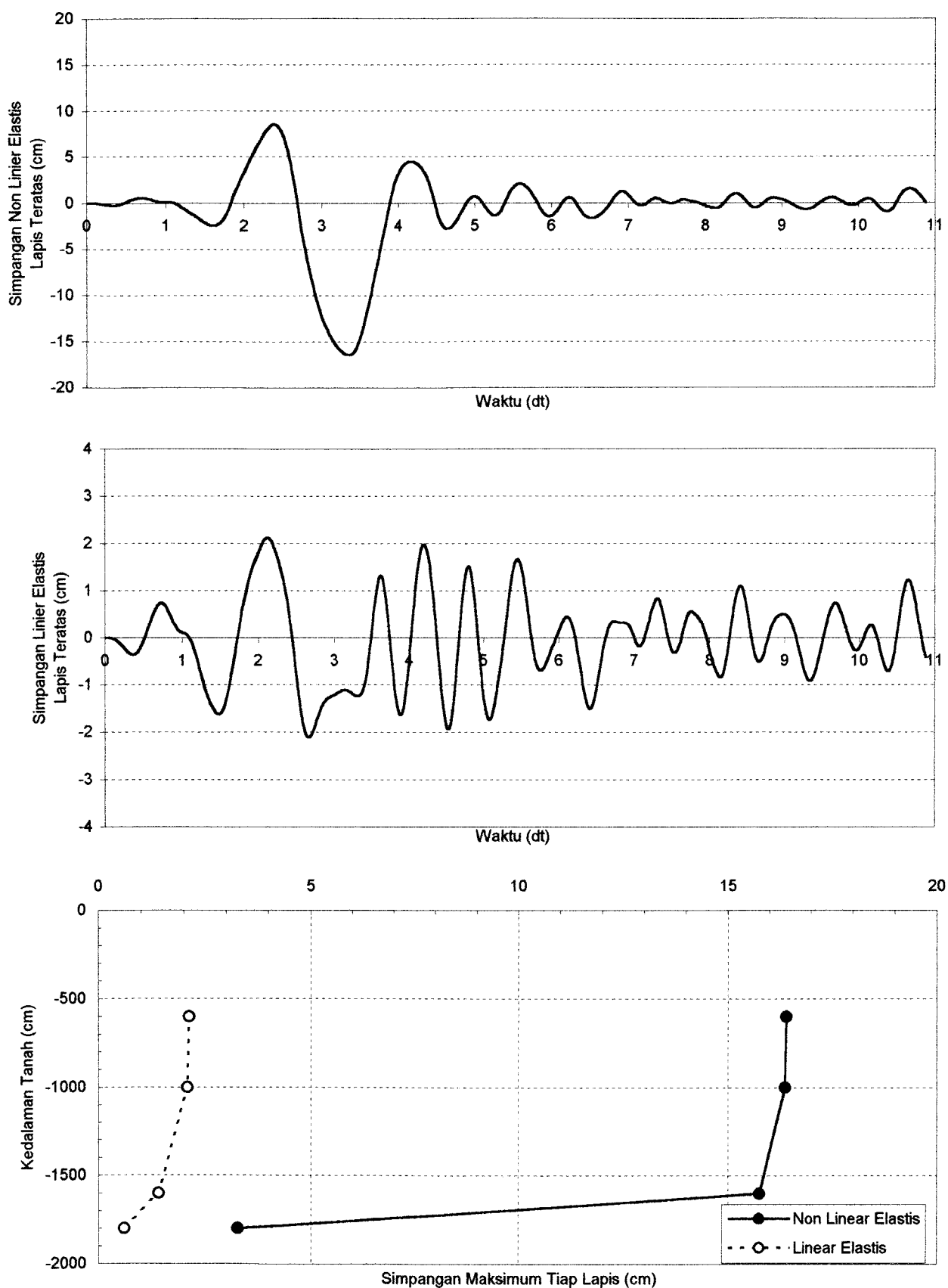
**Grafik 6.62.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest



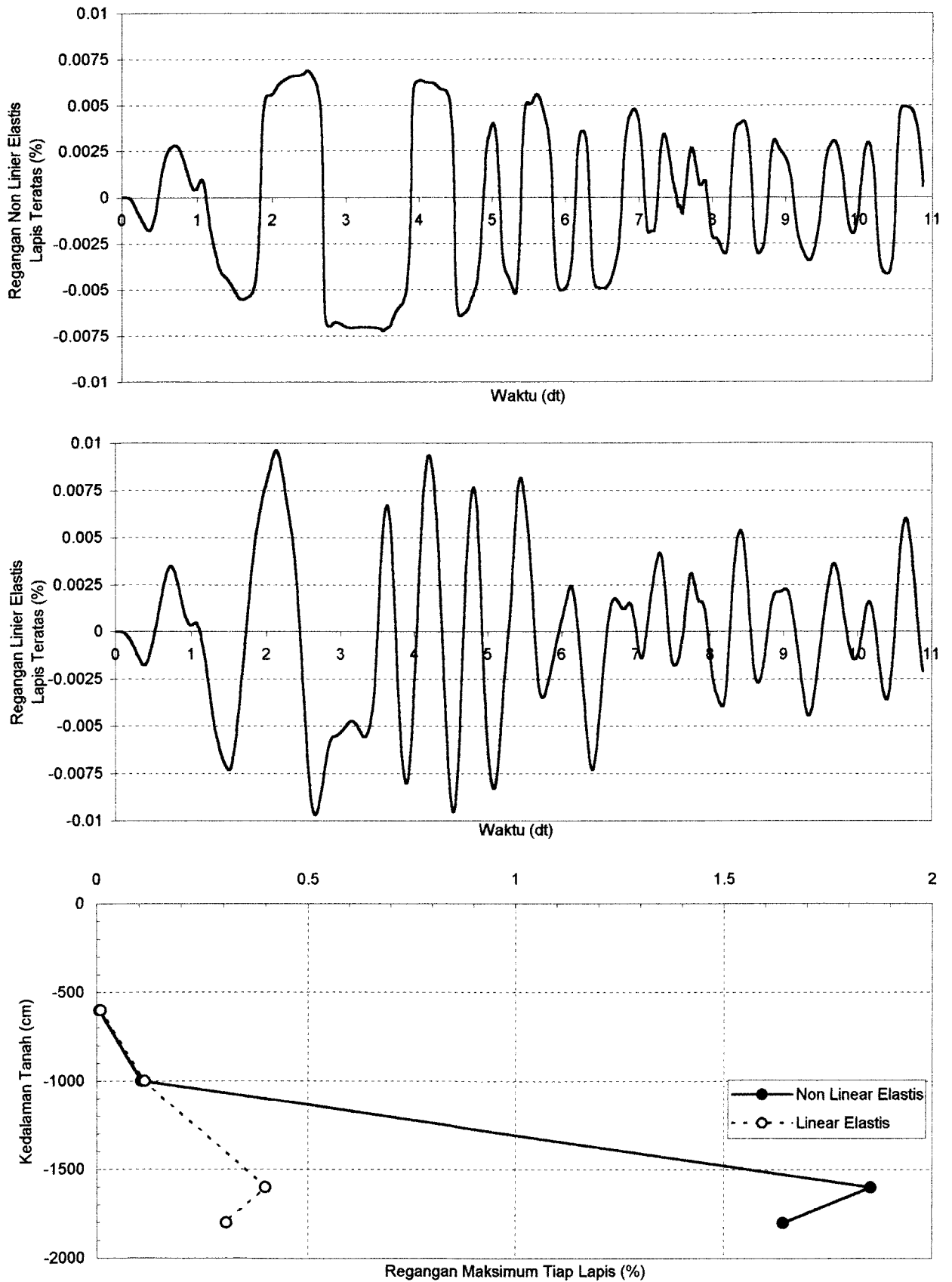
**Grafik 6.63.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest



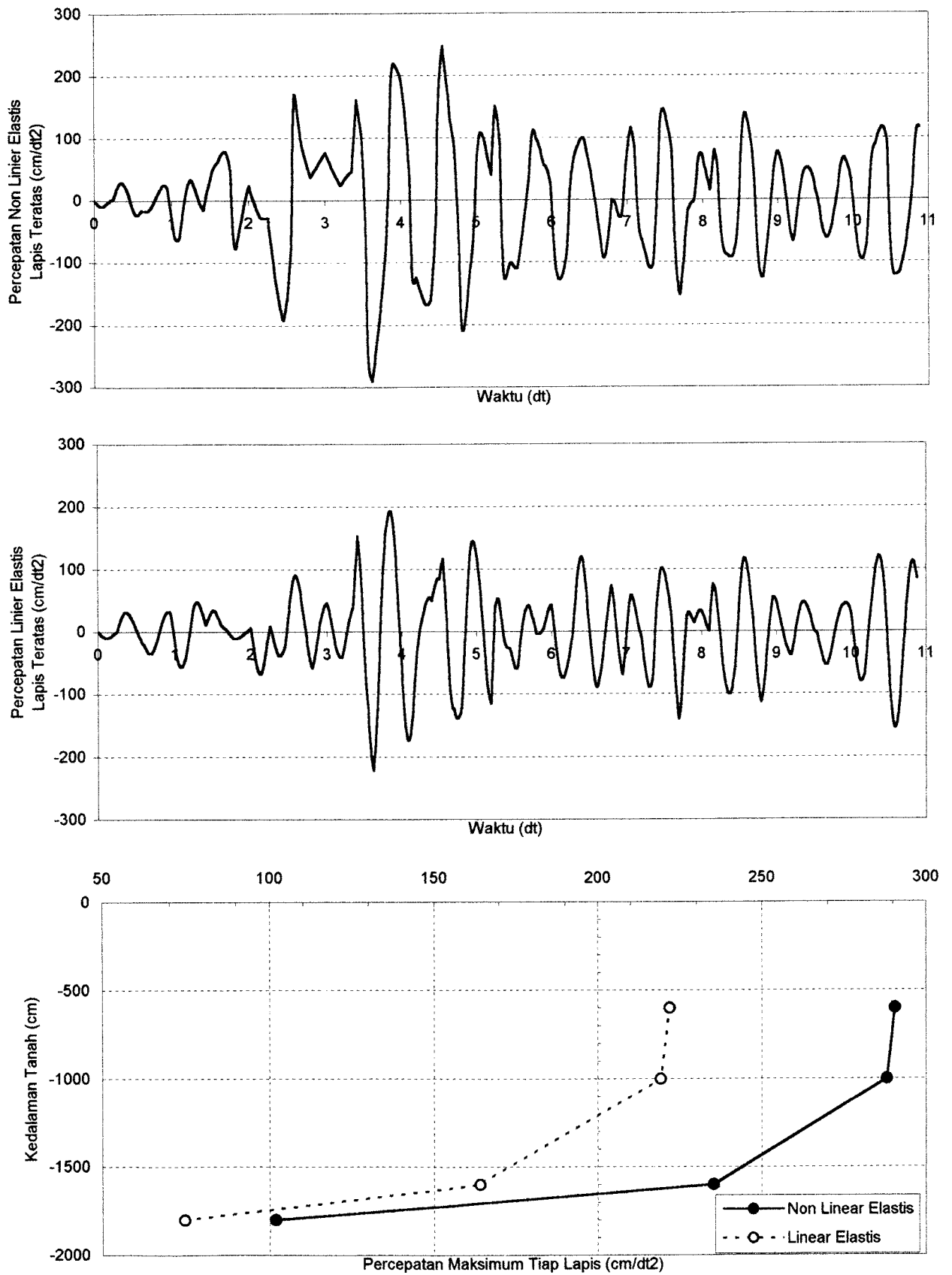
**Grafik 6.64.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest



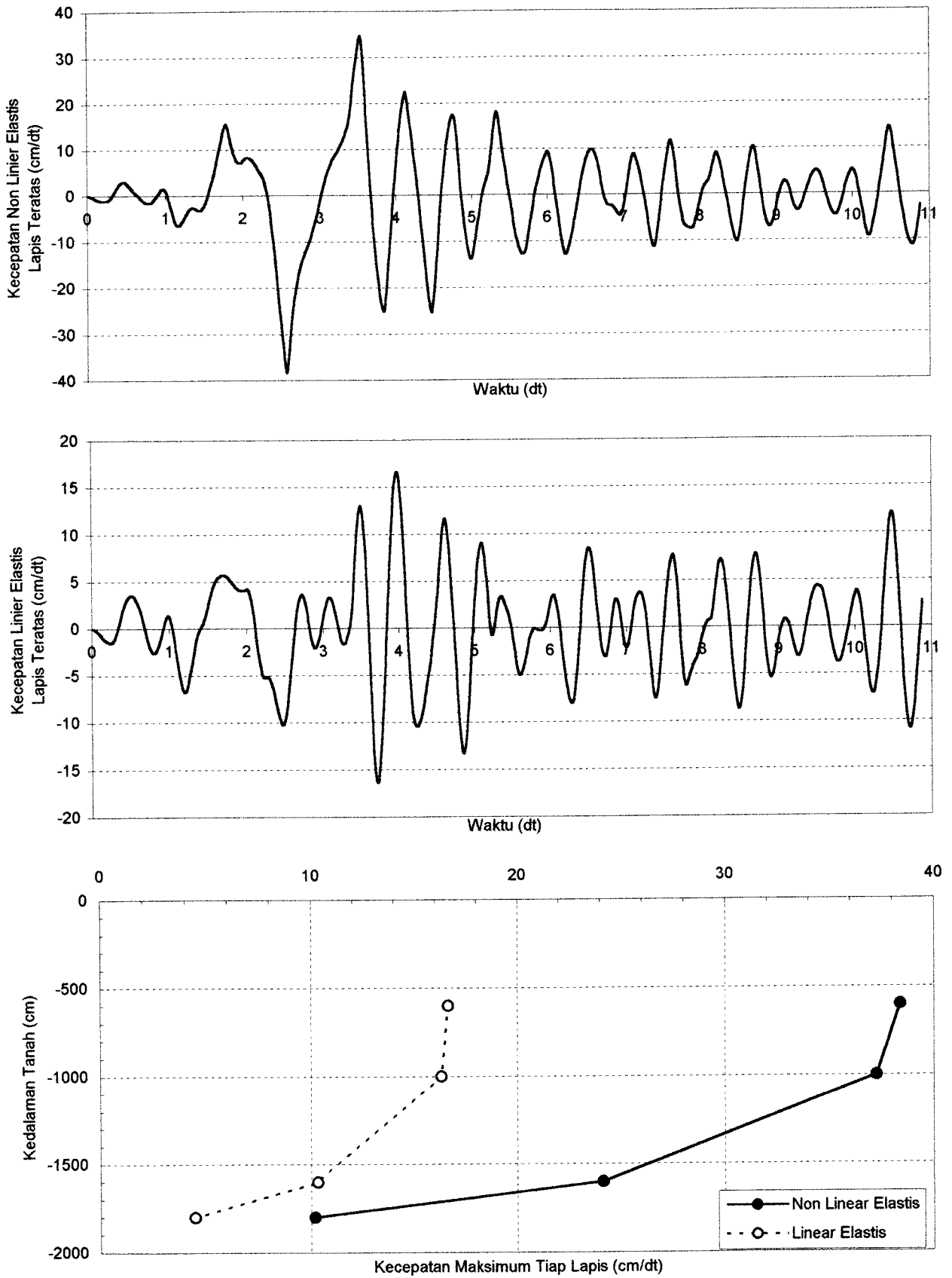
**Grafik 6.65.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest



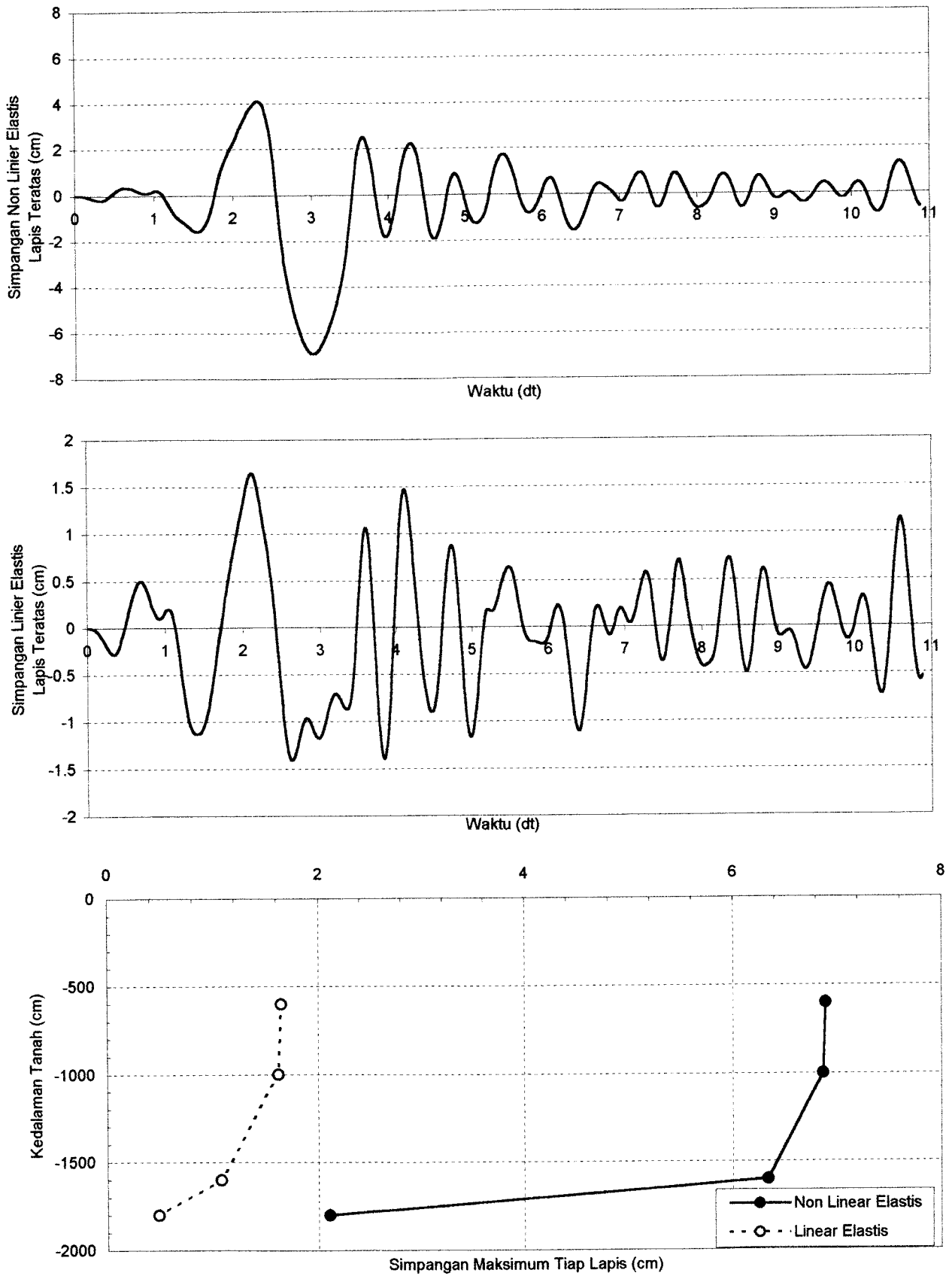
**Grafik 6.66.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest



**Grafik 6.67.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa BucharestBucharest

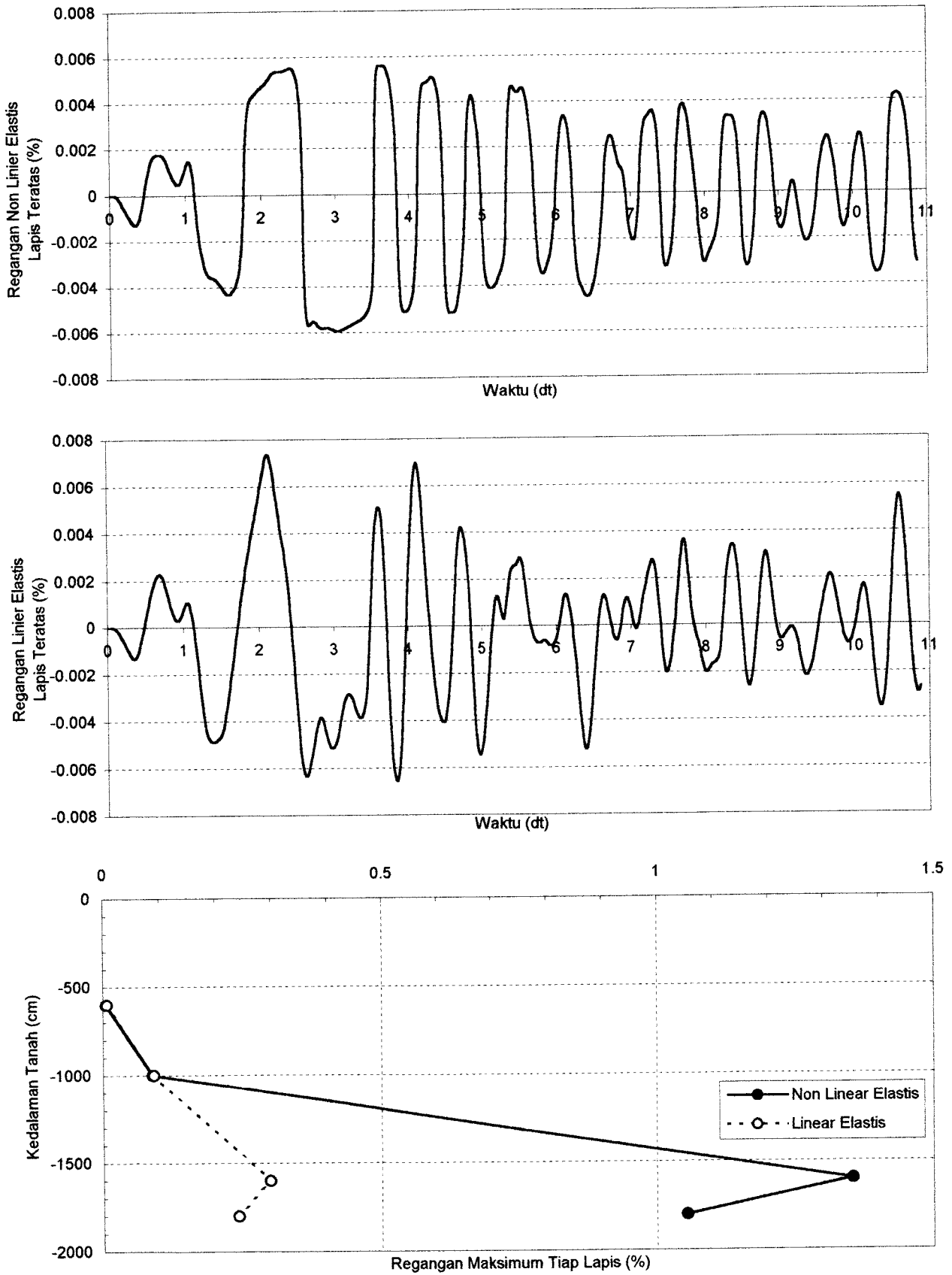


**Grafik 6.68.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest

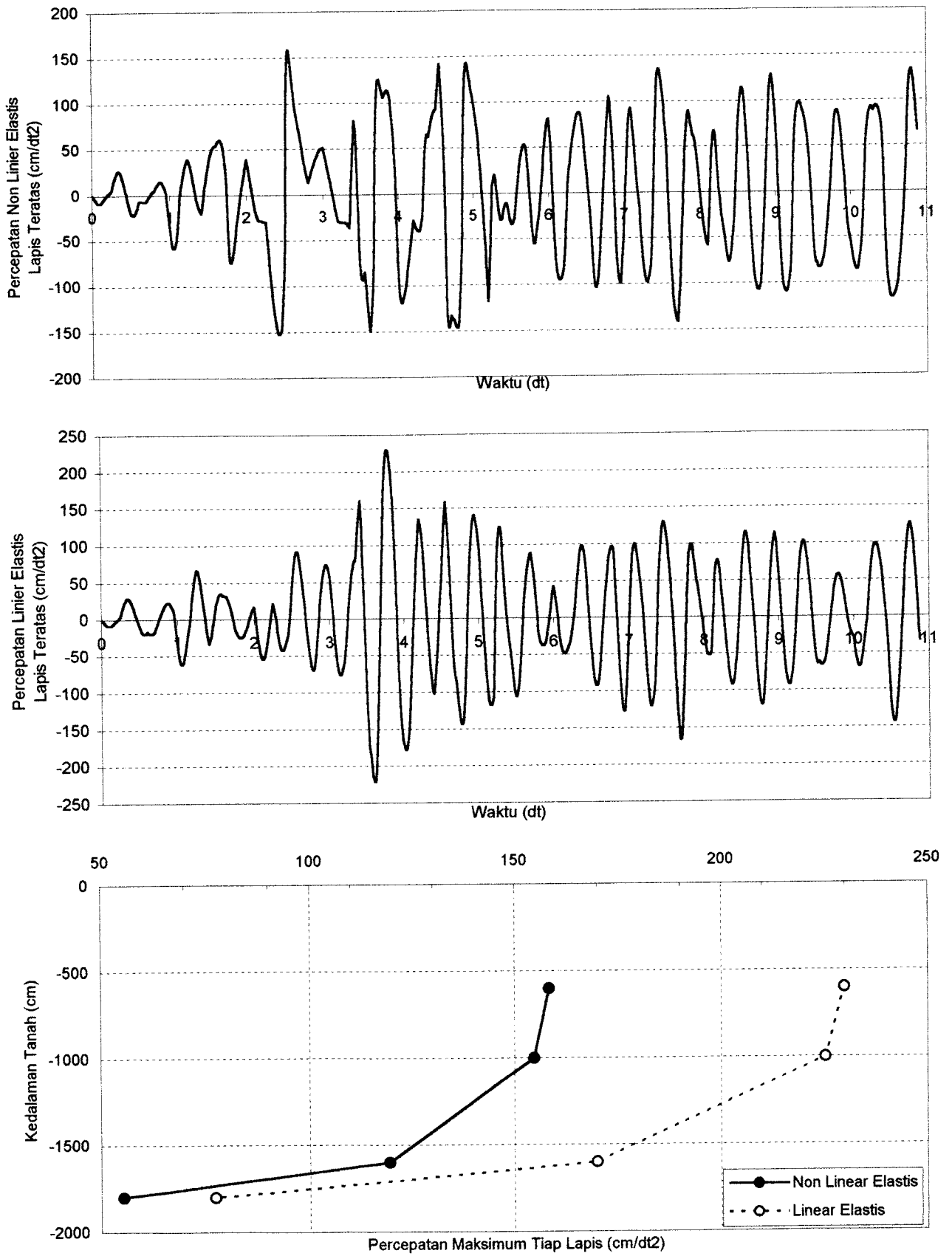


**Grafik 6.69.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawangsari I Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest

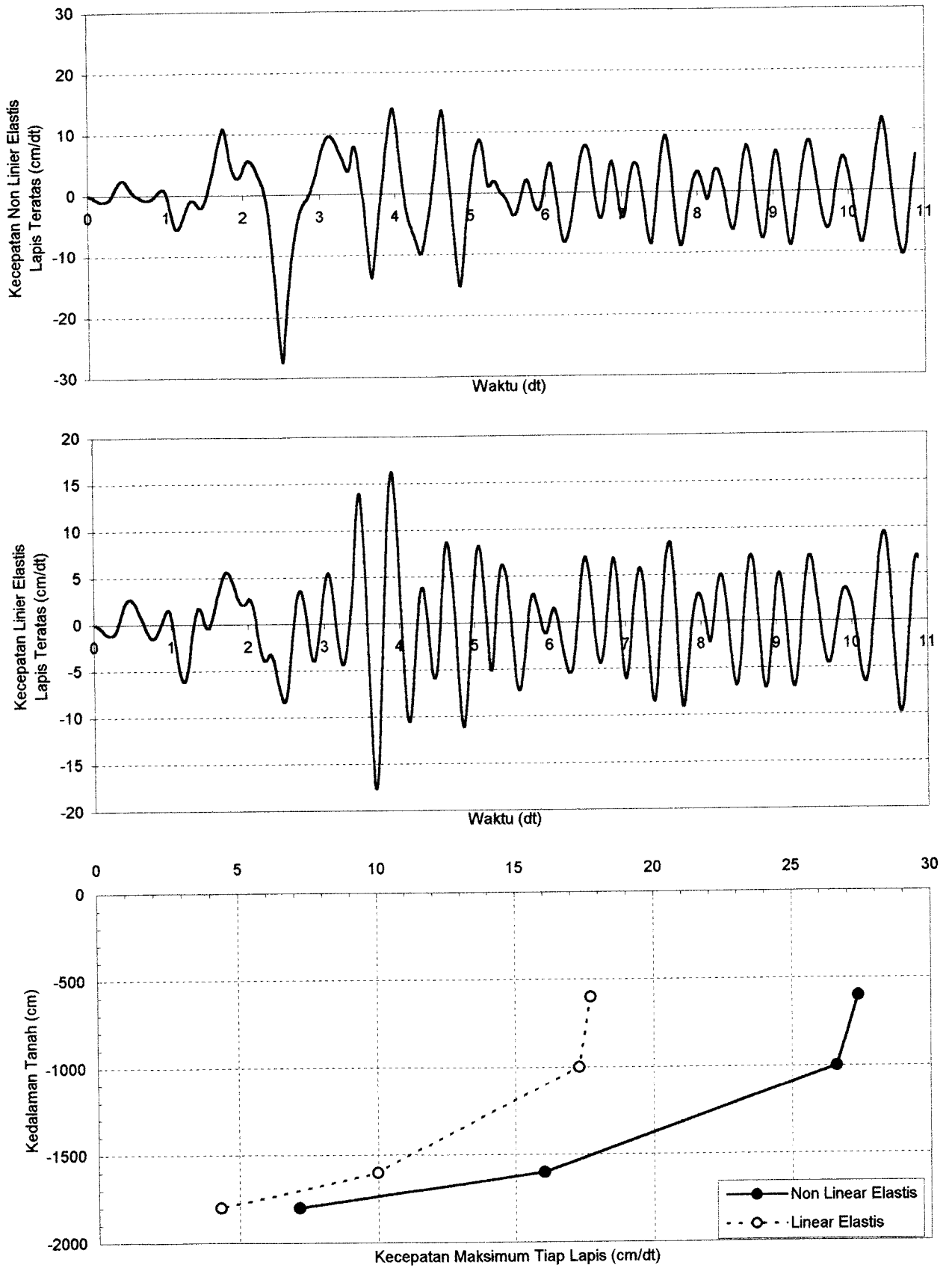




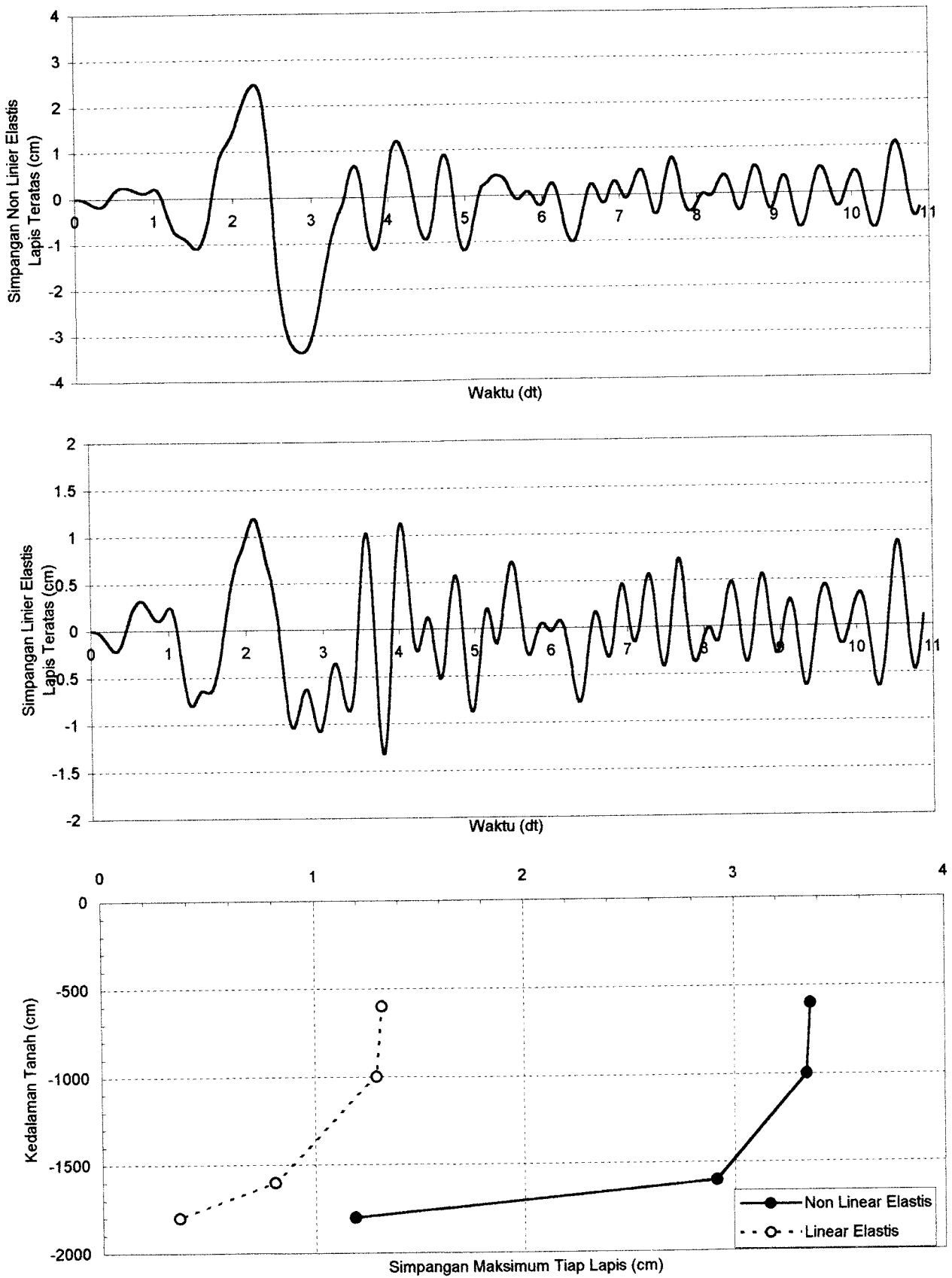
**Grafik 6.70.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawangsari I Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest



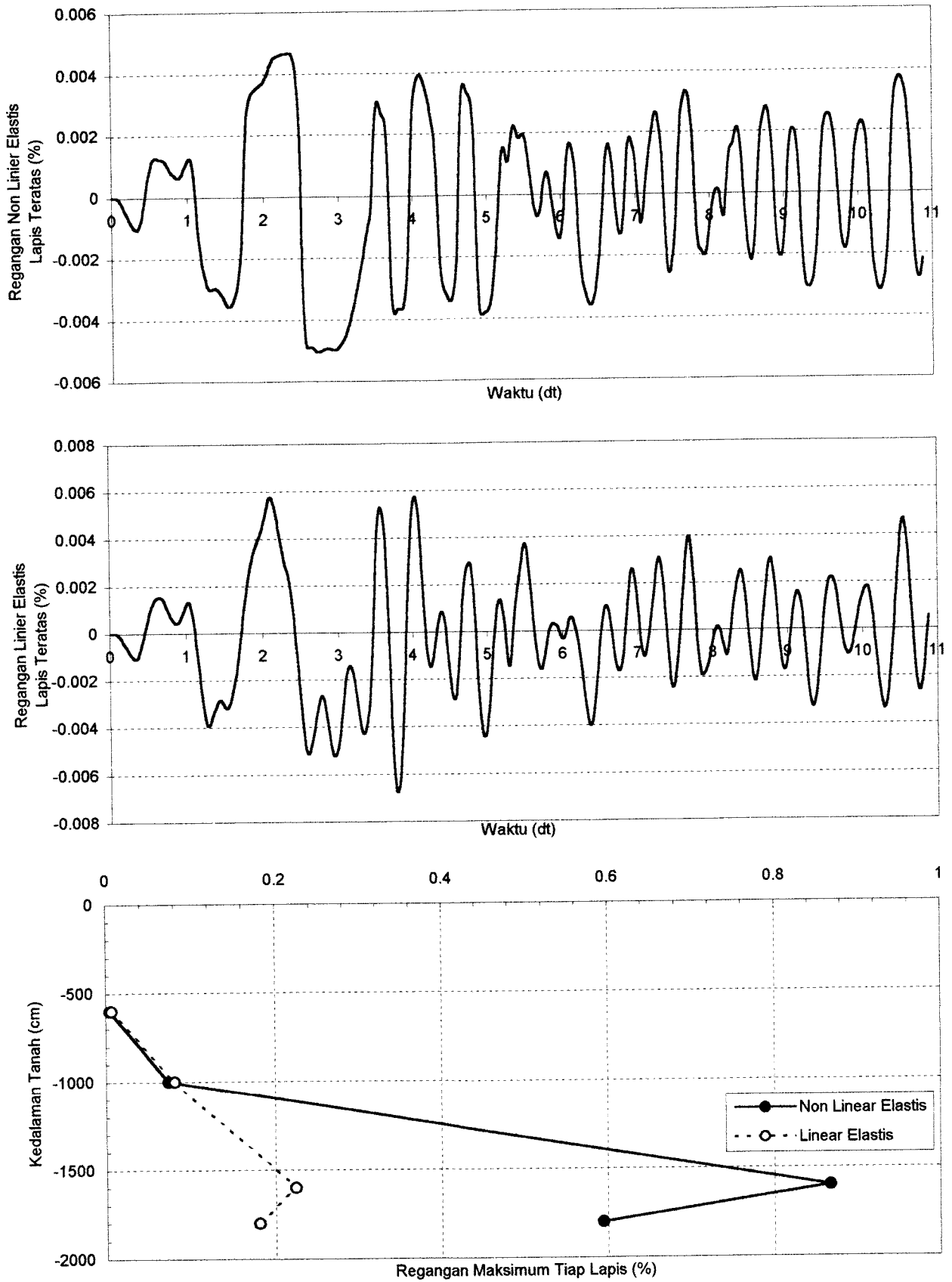
**Grafik 6.71.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest



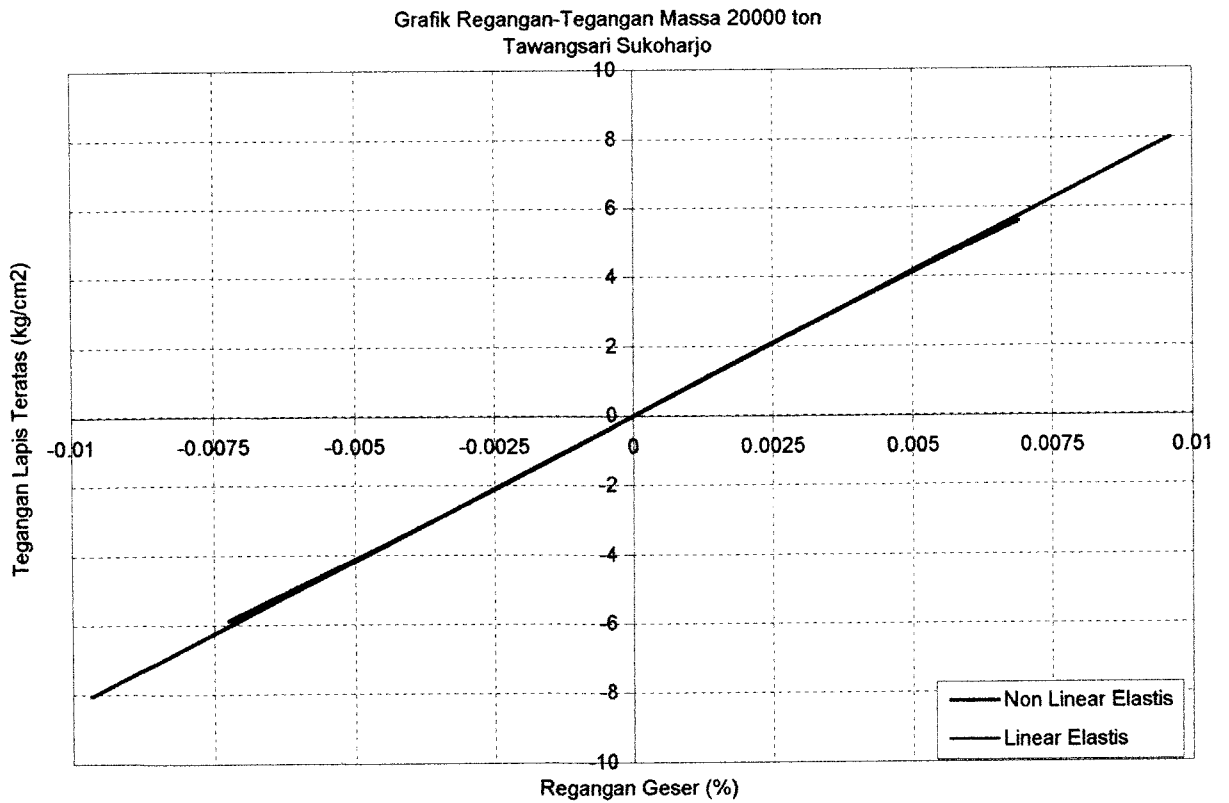
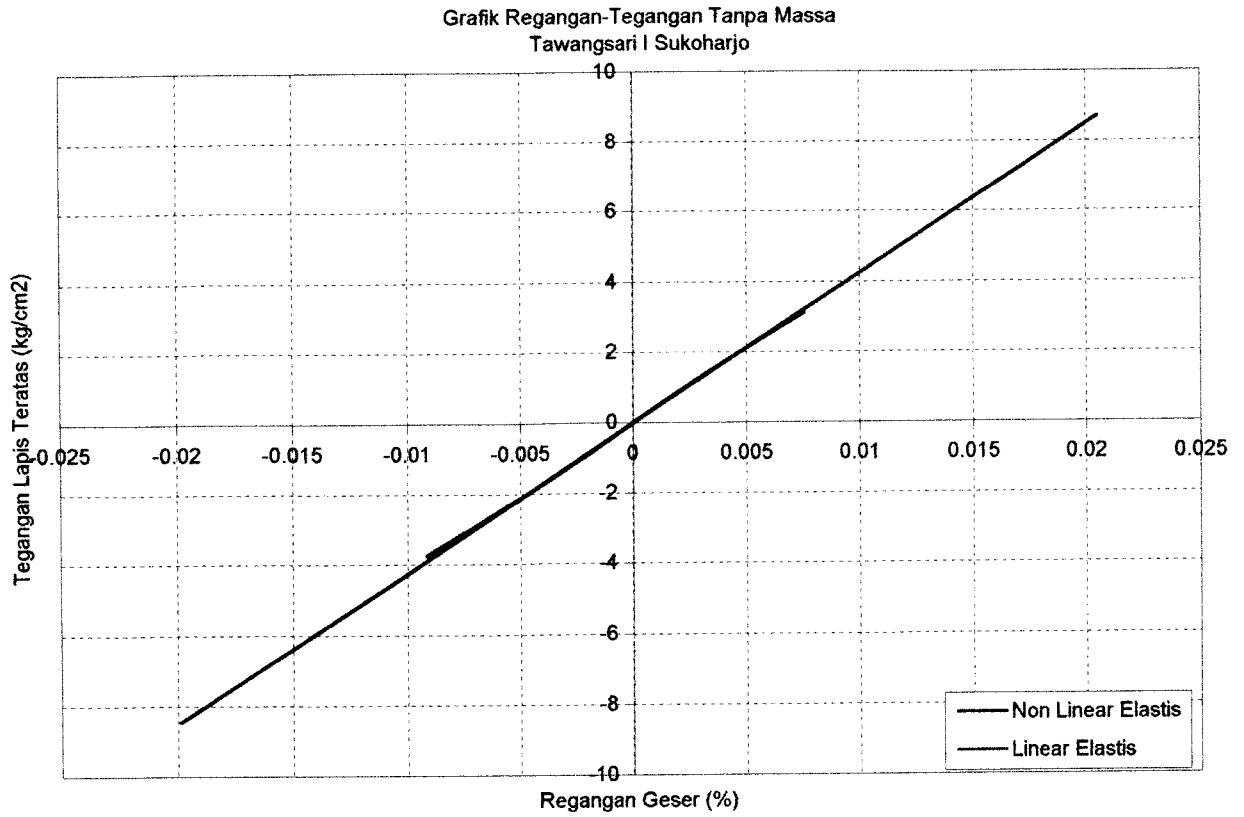
**Grafik 6.72.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawangsari I Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest



**Grafik 6.73.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawangsari I Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest

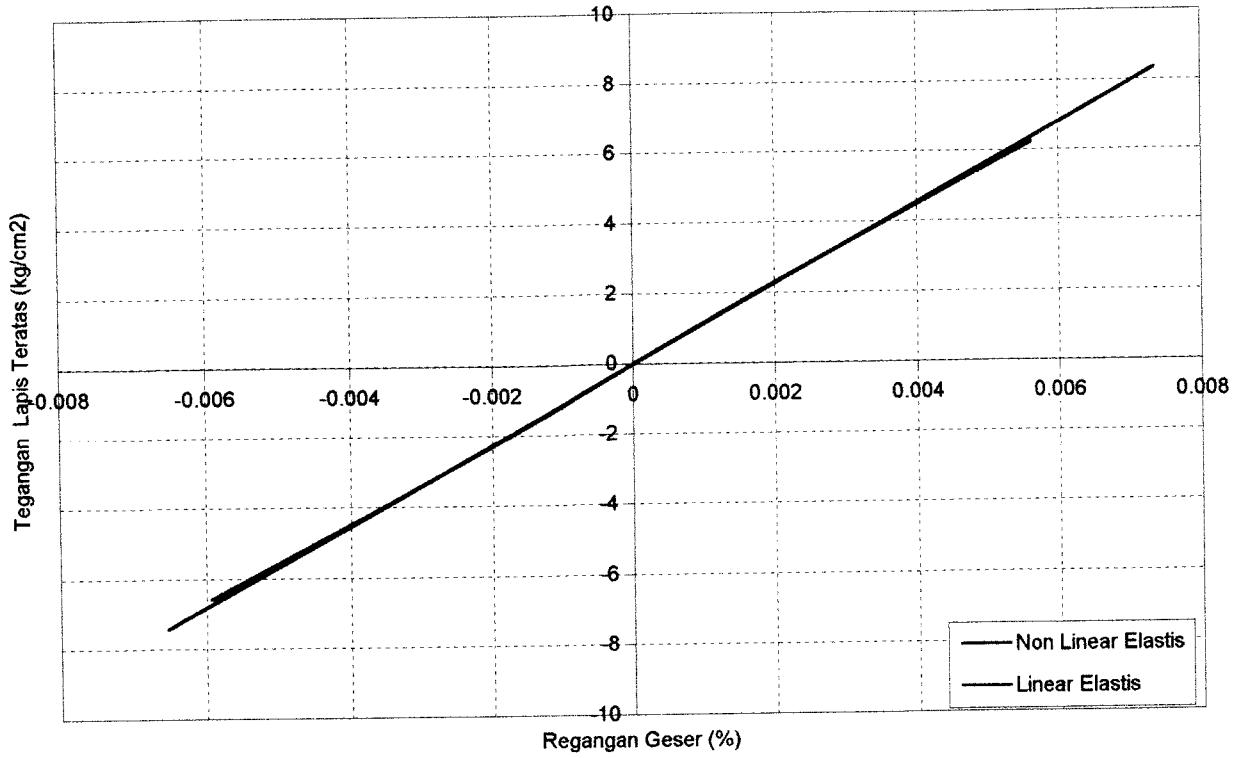


**Grafik 6.74.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawangsari I Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest

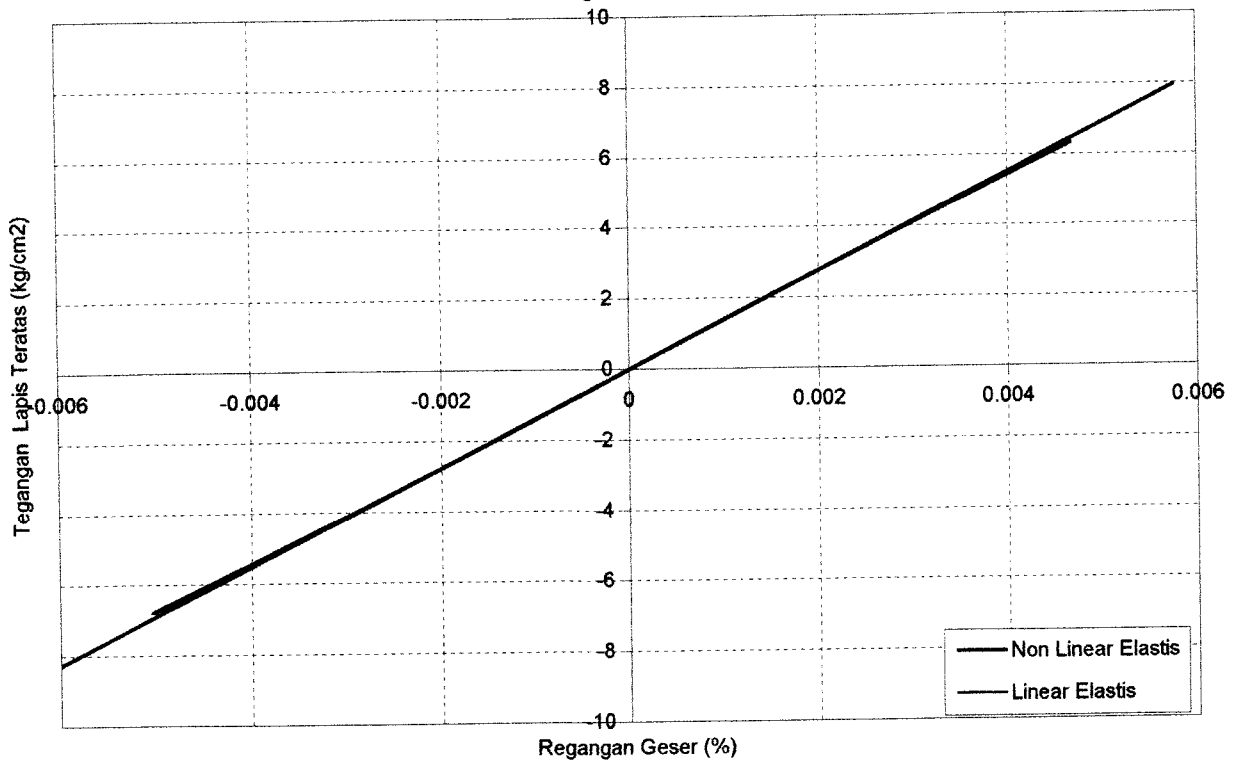


**Grafik 6.75.** Perbandingan Regangan-Tegangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa dan Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest

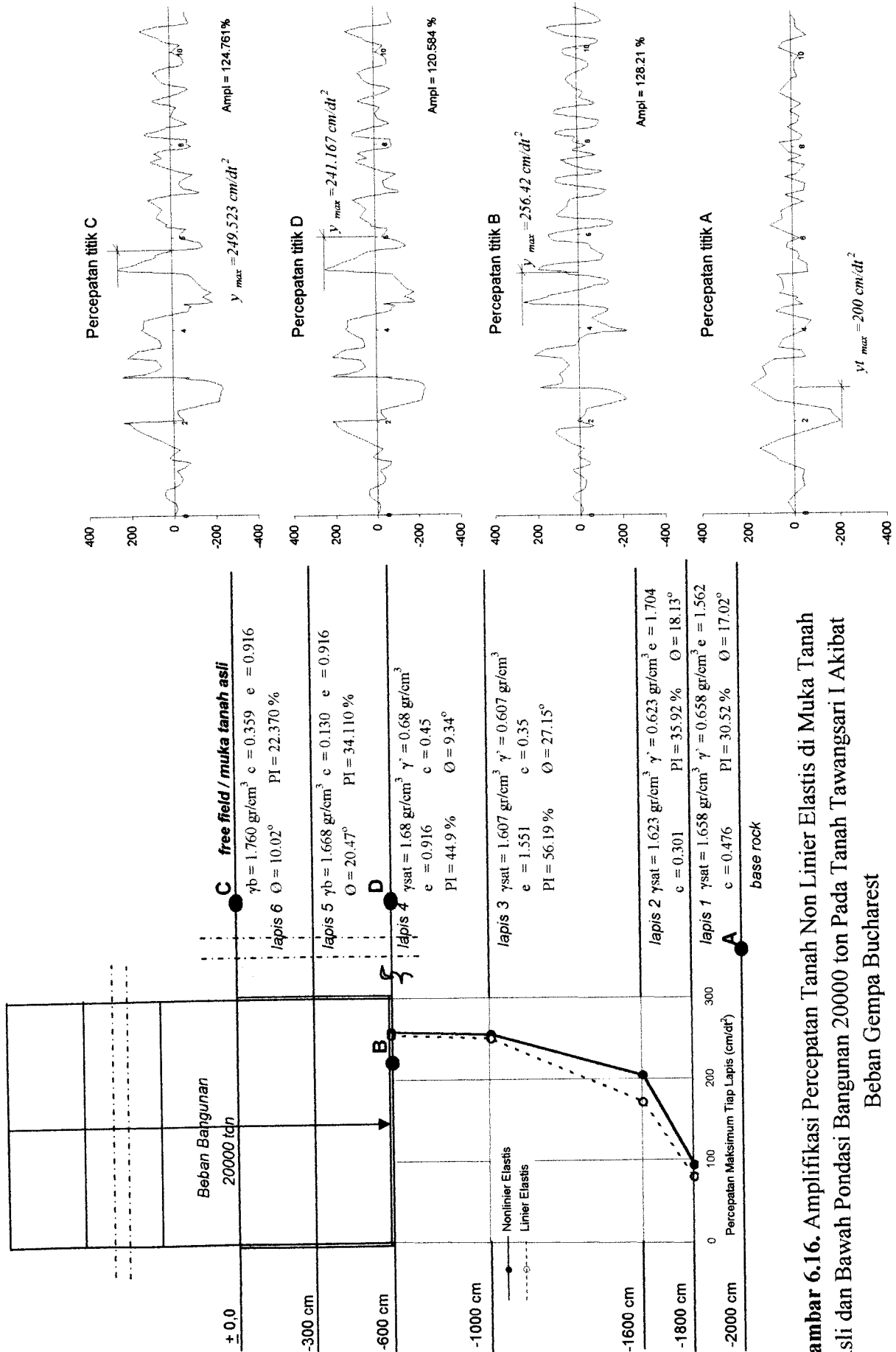
Grafik Regangan-Tegangan Massa 40000 ton  
Tawang Sari I Sukoharjo



Grafik Regangan-Tegangan Massa 60000 ton  
Tawang Sari I Sukoharjo

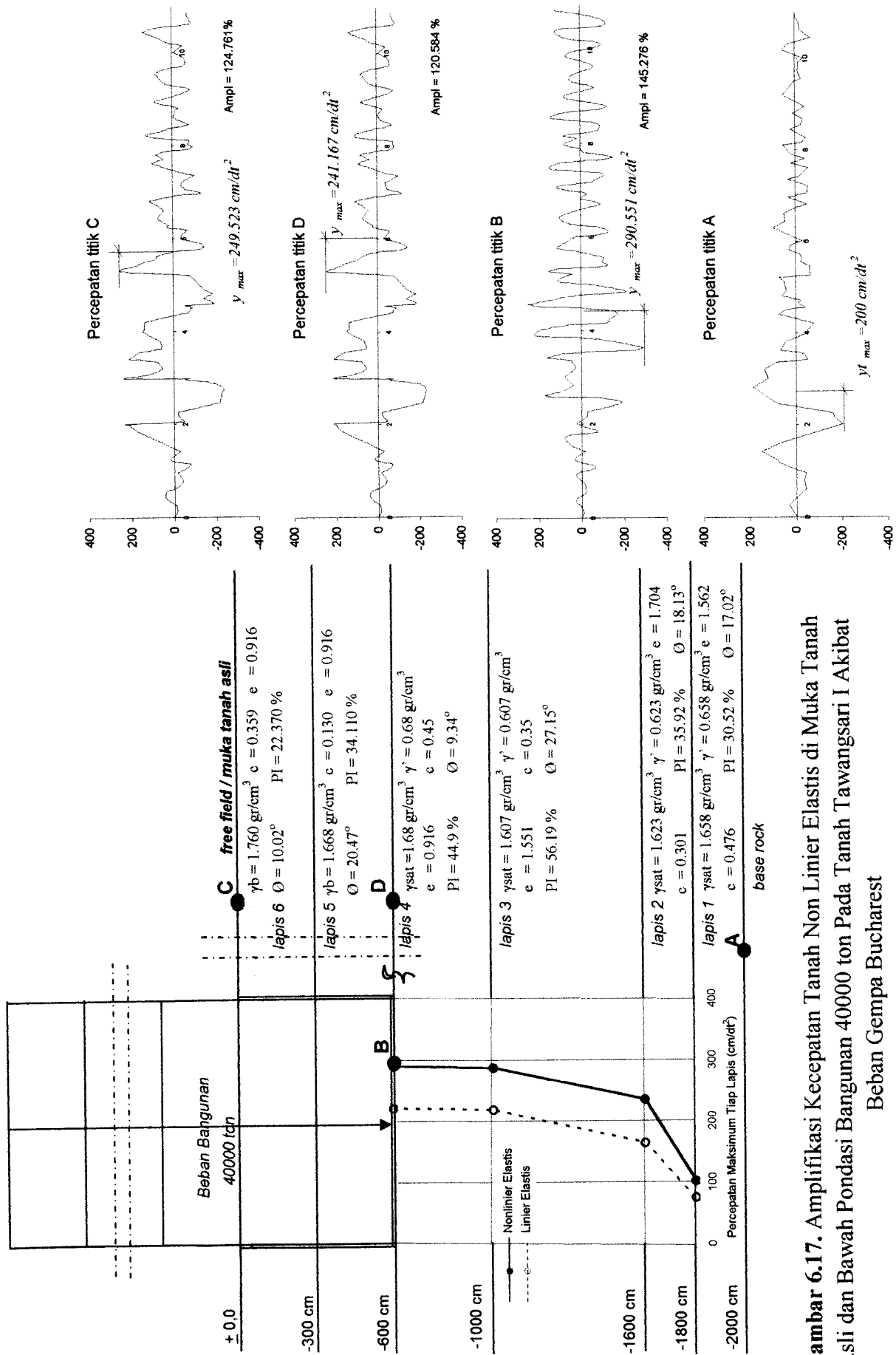


**Grafik 6.76.** Perbandingan Regangan-Tegangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton dan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Tanah Tawang Sari I Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest

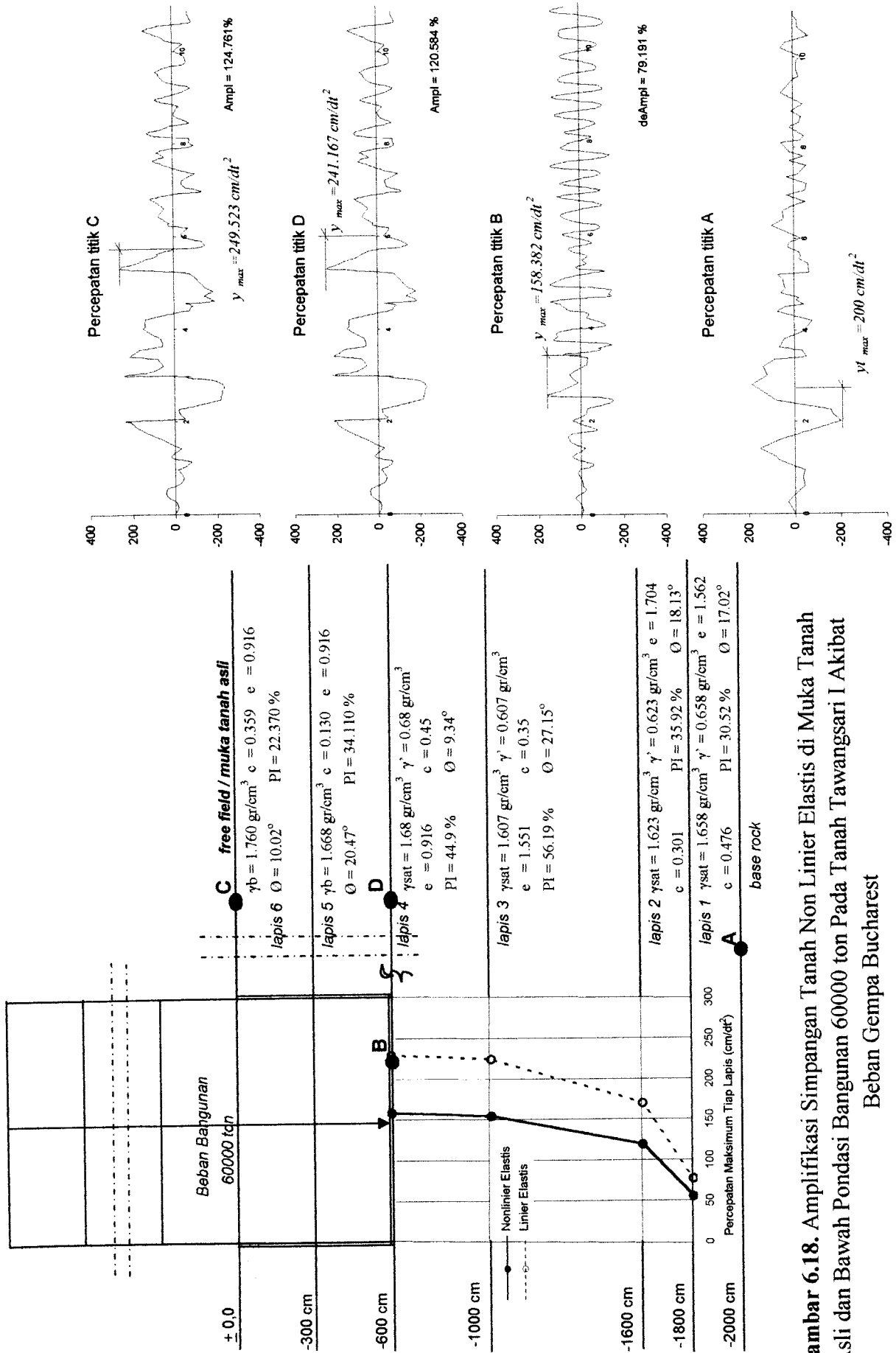


**Gambar 6.16.** Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Beban Gempa Bucharest



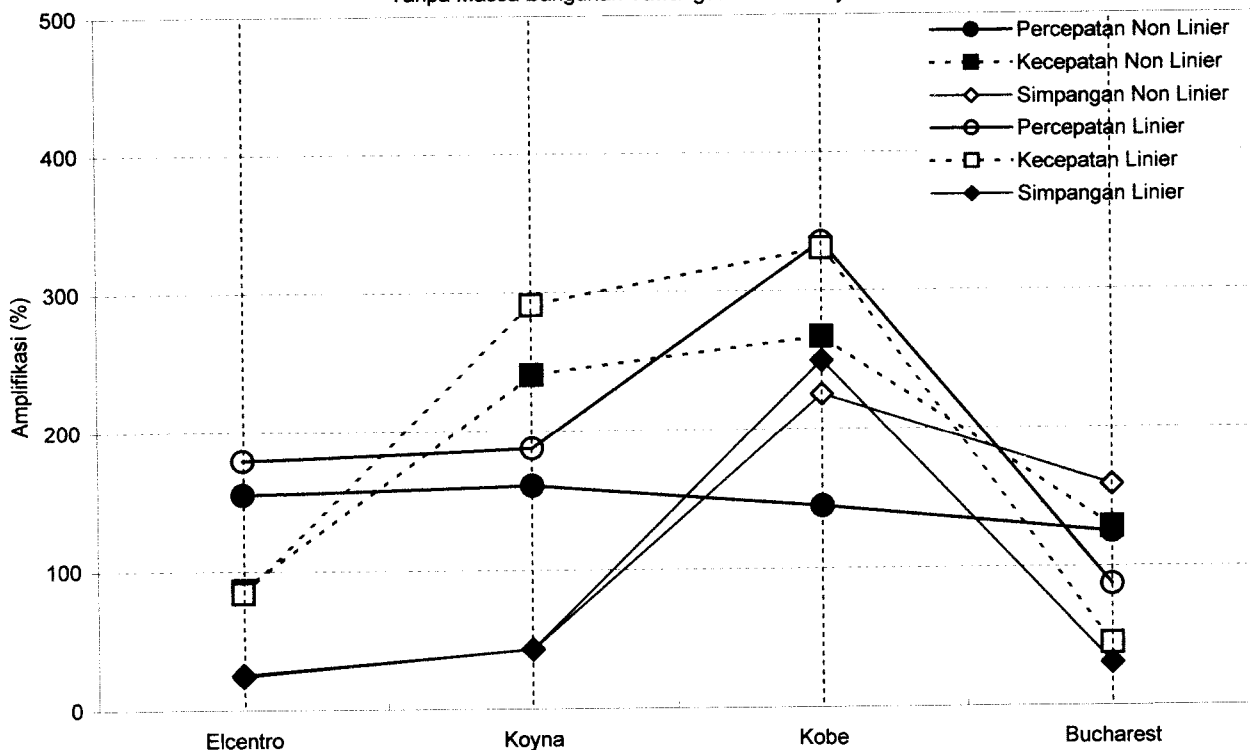


**Gambar 6.17.** Amplifikasi Kecepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Beban Gempa Bucharest

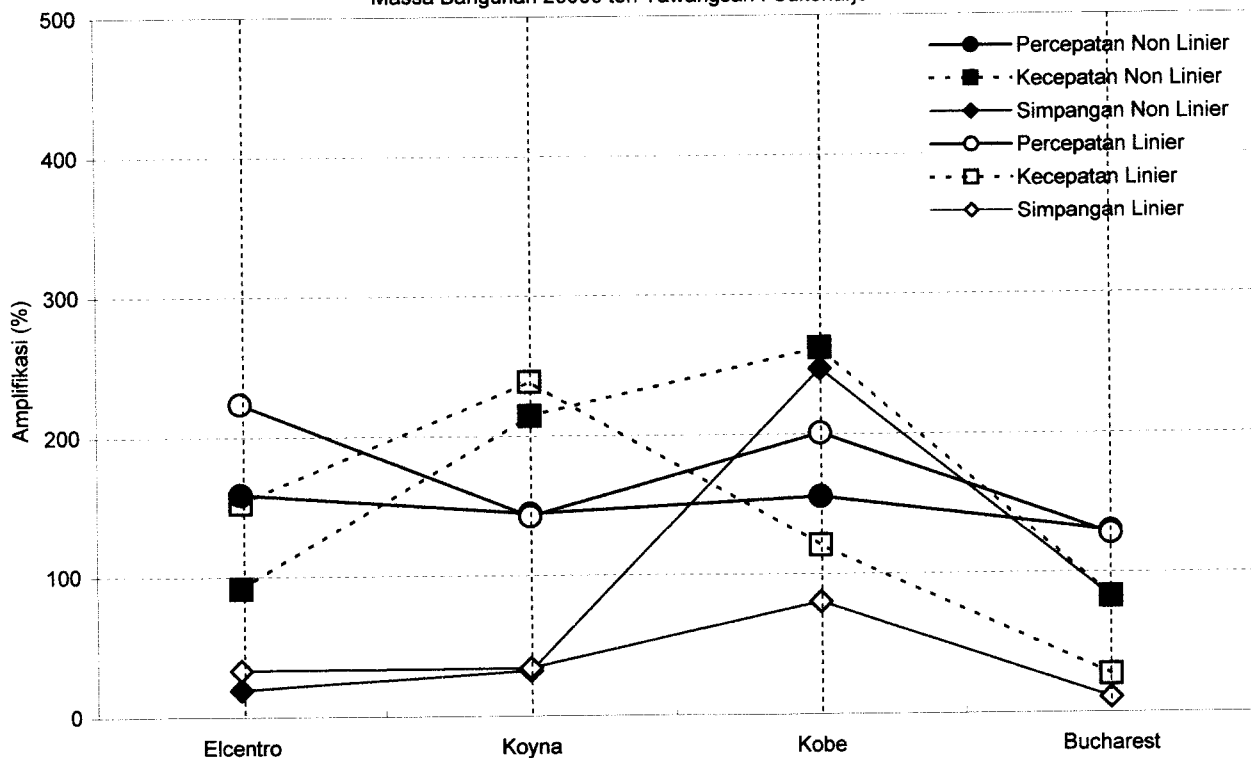


**Gambar 6.18.** Amplifikasi Simpangan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada Tanah Tawangsari I Akibat Beban Gempa Bucharest

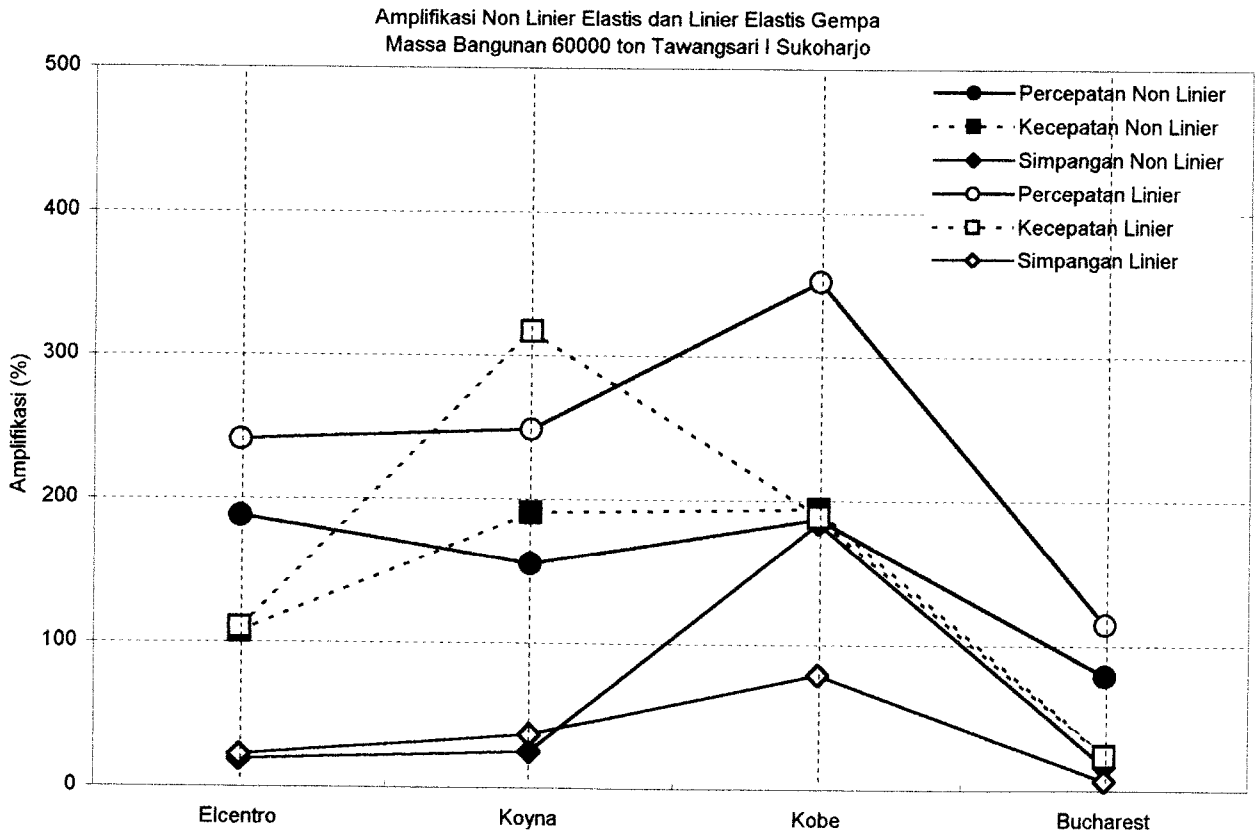
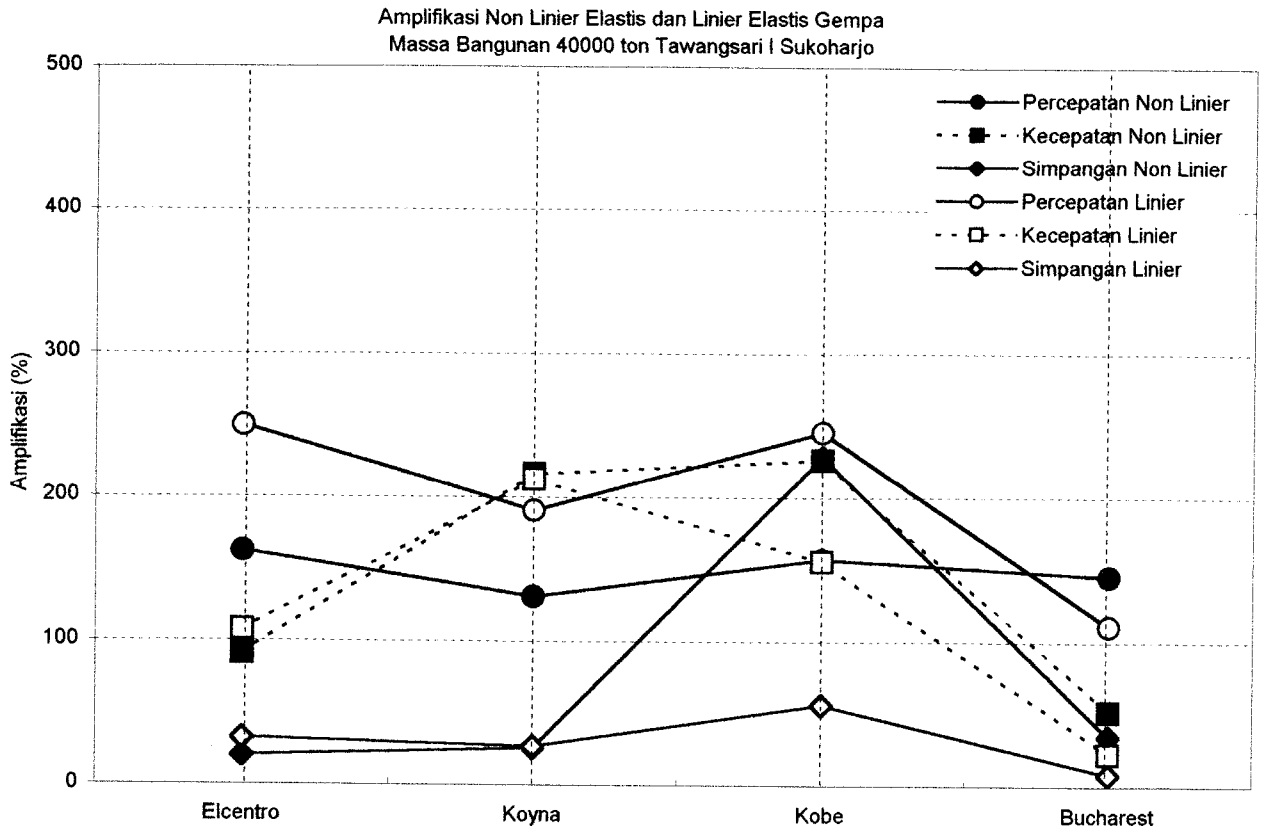
Amplifikasi Non Linier Elastis dan Linier Elastis Gempa Tanpa Massa Bangunan Tawangsari I Sukoharjo



Amplifikasi Non Linier Elastis dan Linier Elastis Gempa Massa Bangunan 20000 ton Tawangsari I Sukoharjo



**Grafik 6.77.** Perbandingan Amplifikasi Percepatan, Kecepatan, dan Simpangan Non Linier dan Linier Elastis Tanah Tawangsari I Pada Kondisi Tanpa Massa dan Dengan Massa Bangunan 20000 ton Akibat Gempa



**Grafik 6.78.** Perbandingan Amplifikasi Percepatan, Kecepatan, dan Simpangan Non Linier dan Linier Elastis Tanah Tawang Sari I Pada Kondisi Massa Bangunan 40000 ton dan Massa 60000 ton Akibat Gempa

### **6.3. Hasil Analisis Respon Seismik Untuk Data Tanah Tawangsari Dua**

Hasil analisis respon serta perbandingan yang berupa frekuensi, simpangan, kecepatan, percepatan, regangan, dan tegangan untuk data tanah Tawangsari II untuk lapis teratas dengan beban gempa Elcentro, Koyna, Kobe, dan Bucharest pada kondisi tanah tanpa massa bangunan maupun dengan massa yang divariasikan 20000 ton, 40000 ton dan 60000 ton, untuk tanah linear elastis maupun non linear elastis dapat dilihat pada Tabel 6.25 sampai dengan Tabel 6.48. Sedangkan grafik respon seismik maksimum yang berupa regangan, simpangan, kecepatan dan percepatan tiap lapis tanah serta grafik respon seismik lapisan tanah teratas selengkapnya dapat dilihat pada Grafik 6.81 sampai Grafik 6.152.

#### **6.3.1. Tegangan Dan Regangan Untuk Tanah Tawangsari Dua**

Jika terjadi gempa maka kekakuan tanah akan berubah sehingga sifat tanahnya juga akan berubah, yang semula bersifat linear elastis (kekakuan dan massa tetap) maka akan berubah menjadi non linear elastis (kekakuan berubah-ubah dan massa tetap) bahkan bisa berubah menjadi non linear non elastis (kekakuan dan massa berubah-ubah).

Jika kekakuan tanah berubah maka respon seismiknya juga akan berubah dan jika dibandingkan antara respon seismik tanah pada kondisi linear elastis dengan kondisi non linear elastis akan menghasilkan selisih yang cukup besar, umumnya kondisi linear elastis respon seismiknya lebih besar dari respon non linear elastis.

Perbandingan regangan maksimum pada lapis teratas antara tanah pada kondisi linear elastis dan non linear elastis hasilnya dapat dilihat pada Tabel 6.37 dari data tersebut terlihat bahwa regangan yang terjadi pada kondisi non linear elastis lebih besar dibanding pada kondisi linear elastis untuk keadaan tanpa massa dan keadaan dengan massa pada kondisi linear elastis lebih besar dibanding pada kondisi non linear elastis.

Sedangkan dari data Tabel 6.39 dapat juga disimpulkan bahwa dengan bertambahnya massa maka regangan yang terjadi akan semakin kecil baik pada kondisi linear elastis maupun kondisi non linear elastis hal ini disebabkan dengan bertambahnya massa maka akan menambah tegangan vertikal sehingga modulus geser maksimum akan membesar, modulus geser besar berarti kekakuan akan membesar dan simpangan akan mengecil pada akhirnya regangan akan mengecil karena regangan merupakan fungsi dari simpangan seperti pada Persamaan 3.70.

Grafik regangan terhadap waktu akibat gempa Elcentro terlihat pada Grafik 6.81 sampai dengan Grafik 6.96 , akibat gempa Koyna pada Grafik 6.99 sampai dengan Grafik 6.114, akibat gempa Kobe pada Grafik 6.117 sampai dengan Grafik 6.132 sedangkan akibat gempa Bucharest pada grafik 6.135 sampai dengan Grafik 6.150. Dari semua grafik tersebut didapat regangan minimum dengan massa maupun tanpa massa sebesar 0,0077% ( $0,77 \cdot 10^{-5}$ ) untuk kondisi non linier elastis dan sebesar 0.0089% ( $0,89 \cdot 10^{-5}$ ) untuk kondisi linier elastis. Sedangkan regangan maksimum dengan massa maupun tanpa massa sebesar 0,074% ( $0,74 \cdot 10^{-4}$ ) untuk kondisi non linier elastis dan sebesar 0,065% ( $0,65 \cdot 10^{-4}$ ) untuk kondisi linier elastis. Berdasarkan gambar 3.12 (K.Ishihara, 1982) karena

regangan yang terjadi  $< 10^{-3}$  maka regangannya termasuk regangan menengah (*medium strain*). Ketika kondisi tanah masuk pada daerah medium strain, maka penggunaan *Visco-elastic Model* dan *Equivalent Linear Method* dapat digunakan, yang berarti modulus geser dan damping rasio dapat ditentukan sebagai fungsi dari regangan geser.

Perbandingan tegangan maksimum pada lapis teratas antara tanah linear elastis dan non linear elastis hasilnya dapat dilihat pada Tabel 6.38, Tabel 6.40, dan Tabel 6.42. Dari Tabel tersebut terlihat bahwa hasil tegangan yang terjadi pada kondisi tanpa massa maupun dengan massa dan juga dengan massa yang divariasikan, tegangan tanah linear elastis lebih besar dari pada tegangan tanah non linear elastis.

### 6.3.2. Frekuensi Untuk Data Tanah Tawangsari Dua

Dari Tabel 6.28 terlihat bahwa tanah pada kondisi tanah linear elastis frekuensi yang terjadi cenderung lebih besar dari pada frekuensi pada tanah non linear elastis baik tanpa massa maupun dengan bertambahnya massa. Pada tabel yang sama apabila dibandingkan besarnya frekuensi antara tanah tanpa massa dengan tanah yang terdapat massanya maka akan didapatkan bahwa tanah tanpa massa frekuensinya akan lebih kecil dari pada tanah yang terdapat massa di atasnya, begitu juga dengan bertambahnya massa maka akan ada kecenderungan nilai kandungan frekuensinya membesar.

Terjadinya perubahan kandungan frekuensi diakibatkan adanya perubahan modulus geser dan juga adanya perubahan *initial eigen-value* ( $\lambda$ ), semakin

besar modulus gesernya maka kekakuan tanahnya juga akan semakin besar. Pada tanah yang mempunyai massa tetap namun kekakuan tanah serta lamdanya semakin besar maka frekuensinya akan semakin besar pula. Tetapi jika *initial eigen-value* ( $\lambda$ ) semakin kecil, massanya tetap dan kekakuannya semakin besar maka kandungan frekuensi yang didapat belum tentu besar namun dapat pula lebih kecil.

### 6.3.3. Hasil Simpangan Untuk Data Tanah Tawangsari Dua

Hasil analisis simpangan maksimum serta perbandingan antara tanah linear elastis dengan non linear elastis pada kondisi tanpa massa maupun dengan massa yang divariasikan dapat dilihat pada Tabel 6.27. Dari Tabel tersebut terlihat bahwa kondisi tanah linear elastis untuk gempa dengan frekuensi tinggi simpangan maksimumnya lebih besar jika dibanding dengan kondisi non linear elastis, sedangkan untuk gempa dengan frekuensi rendah simpangan maksimum pada kondisi linear elastis lebih kecil dari pada kondisi non linear elastis.

Pada Tabel 6.31. adalah perbandingan simpangan maksimum antara tanah tanpa massa dengan tanah yang terdapat massa yang divariasikan, dari tabel tersebut terlihat bahwa kondisi tanah tanpa massa simpangan maksimumnya akan lebih besar dari pada tanah dengan kondisi terdapat massa di atasnya dan selisihnya akan semakin membesar bila massa tanah diperbesar, baik pada kondisi linier elastis maupun dengan kondisi non linier elastis.

Selain itu pada Tabel 6.35. adalah perbandingan antara tanah pada kondisi linear elastis maupun non linear elastis dengan massa yang divariasikan, dari



Tabel tersebut dapat disimpulkan dengan bertambahnya massa maka simpangan akan terus mengecil baik pada kondisi linear elastis maupun kondisi non linear elastis.

#### **6.3.4. Hasil Kecepatan Untuk Data Tanah Tawangsari Dua**

Hasil analisis kecepatan maksimum serta perbandingan antara tanah linear elastis dengan non linear elastis pada kondisi tanpa massa maupun dengan massa yang divariasikan dapat dilihat pada Tabel 6.26. Dari Tabel tersebut terlihat bahwa kondisi tanah dengan massa bangunan linear elastis untuk gempa dengan frekuensi tinggi kecepatan maksimumnya lebih besar jika dibanding dengan kondisi non linear elastis, dan gempa dengan frekuensi rendah kecepatan maksimum linear elastis lebih kecil jika dibanding dengan kondisi non linear elastis dengan massa bangunan.

Pada Tabel 6.30. adalah perbandingan kecepatan maksimum antara tanah tanpa massa dengan tanah yang terdapat massa yang divariasikan, dari tabel tersebut terlihat bahwa kondisi tanah tanpa massa baik linier maupun non linier elastis untuk semua gempa kecepatan maksimumnya cenderung lebih kecil dari pada tanah dengan kondisi terdapat massa di atasnya dan selisihnya akan lebih besar bila massanya lebih besar.

Selain itu pada Tabel 6.34. adalah perbandingan antara massa tanah kecil dan dengan massa tanah besar pada kondisi linear elastis maupun non linear elastis, dari Tabel tersebut dapat disimpulkan dengan bertambahnya massa maka

kecepatan akan terus mengecil baik pada kondisi linear elastis maupun kondisi non linear elastis.

### **6.3.5. Hasil Percepatan Untuk Data Tanah Tawangsari Dua**

Hasil analisis percepatan maksimum serta perbandingan antara tanah linear elastis dengan non linear elastis pada kondisi tanpa massa maupun dengan massa yang divariasikan dapat dilihat pada Tabel 6.25. Dari Tabel tersebut terlihat bahwa kondisi linear elastis tanah tanpa massa dan dengan massa bangunan untuk gempa dengan frekuensi tinggi percepatan maksimumnya lebih besar, sedangkan untuk gempa dengan frekuensi rendah percepatan maksimumnya cenderung lebih besar.

Pada Tabel 6.29. adalah perbandingan percepatan maksimum antara tanah tanpa massa dengan tanah yang terdapat massa bangunan yang divariasikan, dari tabel tersebut terlihat bahwa kondisi tanah tanpa massa bangunan untuk gempa frekuensi tinggi percepatan maksimumnya cenderung akan lebih kecil, sedangkan pada gempa dengan frekuensi rendah percepatan maksimum cenderung lebih besar.

Selain itu pada Tabel 6.33. adalah perbandingan antara massa tanah yang kecil dan dengan massa tanah yang lebih besar pada kondisi linear elastis maupun non linear elastis, dari Tabel tersebut dapat disimpulkan dengan bertambahnya massa maka percepatan akan terus membesar pada gempa dengan frekuensi tinggi baik pada kondisi linear elastis maupun kondisi non linear elastis dan percepatan

akan terus mengecil pada gempa dengan frekuensi rendah baik pada kondisi linear elastis maupun kondisi non linear elastis.

**Tabel 6.25.** Perbandingan Percepatan Maksimum Antara Tanah Linear dan Nonlinear Elastis Pada Kondisi Tanpa Massa dan Dengan Massa Akibat Gempa Untuk Tanah Tawang Sari II Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanpa Massa Bangunan			Massa Bangunan 20000 Ton		
		Linear Elastis (cm/dt <sup>2</sup> )	Non Linear Elastis (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Linear Elastis (cm/dt <sup>2</sup> )	Non Linear Elastis (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	458.3074	433.8936	5.3269	622.3303	481.5928	22.6146
2. Koyna	200.0000	494.2531	389.2588	21.2430	314.4805	494.76	-57.3261
3. Kobe	200.0000	657.6263	397.9574	39.4858	410.6519	360.1495	12.2981
4. Bucharest	200.0000	202.2135	378.8722	-87.3625	257.3952	364.1101	-41.4596
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa Bangunan 40000 Ton			Massa Bangunan 60000 Ton		
		Linear Elastis (cm/dt <sup>2</sup> )	Non Linear Elastis (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Linear Elastis (cm/dt <sup>2</sup> )	Non Linear Elastis (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	760.0159	493.1207	35.1171	914.4477	748.4477	18.1530
2. Koyna	200.0000	345.1534	323.5549	6.2577	412.821	268.4396	34.9743
3. Kobe	200.0000	497.0368	328.4191	33.9246	613.3309	334.4144	45.4757
4. Bucharest	200.0000	228.3321	346.4275	-51.7209	218.4961	270.4123	-23.7607

**Tabel 6.26.** Perbandingan Kecepatan Maksimum Antara Tanah Linear dan Nonlinear Elastis Pada Kondisi Tanpa Massa dan Dengan Massa Akibat Gempa Untuk Tanah Tawang Sari II Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanpa Massa Bangunan			Massa Bangunan 20000 Ton		
		Linear Elastis (cm/dt)	Non Linear Elastis (cm/dt)	Selisih (%)	Linear Elastis (cm/dt)	Non Linear Elastis (cm/dt)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	21.6328	21.6788	-0.2126	24.4279	20.9238	14.3447
2. Koyna	200.0000	23.5761	23.9633	-1.6423	19.4518	17.0879	12.1526
3. Kobe	200.0000	73.8646	64.5543	12.6045	27.9453	63.8457	-128.4667
4. Bucharest	200.0000	30.0699	73.2952	-143.7494	19.1293	84.2521	-340.4348
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa Bangunan 40000 Ton			Massa Bangunan 60000 Ton		
		Linear Elastis (cm/dt)	Non Linear Elastis (cm/dt)	Selisih (%)	Linear Elastis (cm/dt)	Non Linear Elastis (cm/dt)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	25.8236	21.7167	15.9037	33.4191	21.8292	34.6805
2. Koyna	200.0000	22.6992	20.6561	9.0008	21.6619	15.7555	27.2663
3. Kobe	200.0000	26.4538	60.5832	-129.0151	34.3179	54.8632	-59.8676
4. Bucharest	200.0000	16.232	69.6695	-329.2108	15.8629	55.5914	-250.4492

**Tabel 6.27.** Perbandingan Simpangan Maksimum Antara Tanah Linear dan Nonlinear Elastis Pada Kondisi Tanpa Massa dan Dengan Massa Akibat Gempa Untuk Tanah Tawang Sari II Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanpa Massa Bangunan			Massa Bangunan 20000 Ton		
		Linear Elastis (cm)	Non Linear Elastis (cm)	Selisih (%)	Linear Elastis (cm)	Non Linear Elastis (cm)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	1.8169	1.6332	10.1106	1.2442	1.0795	13.2374
2. Koyna	200.0000	1.9705	1.9269	2.2126	1.5063	1.3559	9.9847
3. Kobe	200.0000	8.4312	8.3744	0.6737	2.8929	7.8038	-169.7570
4. Bucharest	200.0000	5.4078	28.582	-428.5329	2.3492	24.8939	-959.6756
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa Bangunan 40000 Ton			Massa Bangunan 60000 Ton		
		Linear Elastis (cm)	Non Linear Elastis (cm)	Selisih (%)	Linear Elastis (cm)	Non Linear Elastis (cm)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	1.3322	1.0091	24.2531	1.3353	0.9727	27.1549
2. Koyna	200.0000	1.6356	1.5908	2.7391	1.3521	1.1162	17.4469
3. Kobe	200.0000	1.9983	7.6608	-283.3659	2.2974	8.1201	-253.4474
4. Bucharest	200.0000	1.9052	21.1563	-1010.4503	1.6099	16.4612	-922.4983

**Tabel 6.28.** Perbandingan Frekuensi Maksimum Antara Tanah Linear dan Nonlinear Elastis Pada Kondisi Tanpa Massa dan Dengan Massa Akibat Gempa Untuk Tanah Tawang Sari II Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanpa Massa Bangunan			Massa Bangunan 20000 Ton		
		Linear Elastis (cps)	Non Linear Elastis (cps)	Selisih (%)	Linear Elastis (cps)	Non Linear Elastis (cps)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	2.1618	2.0423	5.5278	2.5996	2.3486	9.6549
2. Koyna	200.0000	2.1392	1.6575	22.5156	1.6497	2.9545	-79.0903
3. Kobe	200.0000	0.9085	0.6291	30.7582	1.4995	0.5756	61.6128
4. Bucharest	200.0000	0.6862	0.5275	23.1332	1.3730	0.4410	67.8818
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa Bangunan 40000 Ton			Massa Bangunan 60000 Ton		
		Linear Elastis (cps)	Non Linear Elastis (cps)	Selisih (%)	Linear Elastis (cps)	Non Linear Elastis (cps)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	3.0032	2.3170	22.8469	2.7921	3.4986	-25.3024
2. Koyna	200.0000	1.5516	1.5984	-3.0144	1.9446	1.7386	10.5976
3. Kobe	200.0000	1.9172	0.5532	71.1480	1.8237	0.6220	65.8941
4. Bucharest	200.0000	1.4354	0.5074	64.6512	1.4055	0.4964	64.6851

**Tabel 6.29.** Perbandingan Percepatan Maksimum Antara Tanah Tanpa Massa dan Dengan Massa Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari II Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa	Massa 20000 Ton	Selisih (%)	Tanpa Massa	Massa 20000 Ton	Selisih (%)
		(cm/dt <sup>2</sup> )	(cm/dt <sup>2</sup> )	(cm/dt <sup>2</sup> )	(cm/dt <sup>2</sup> )	(cm/dt <sup>2</sup> )	(%)
1. Elcentro	200.0000	502.3366	785.1845	-56.3064	439.8213	532.4491	-21.0603
2. Koyna	200.0000	402.4483	542.2188	-34.7301	388.2155	347.9148	10.3810
3. Kobe	200.0000	342.3171	572.6111	-67.2750	341.3089	363.7469	-6.5741
4. Bucharest	200.0000	315.5406	240.2756	23.8527	298.2546	193.2581	35.2036
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa	Massa 40000 Ton	Selisih (%)	Tanpa Massa	Massa 40000 Ton	Selisih (%)
		(cm/dt <sup>2</sup> )	(cm/dt <sup>2</sup> )	(%)	(cm/dt <sup>2</sup> )	(cm/dt <sup>2</sup> )	(%)
1. Elcentro	200.0000	502.3366	803.7638	-60.0050	439.8213	554.3042	-26.0294
2. Koyna	200.0000	402.4483	569.3125	-41.4623	388.2155	437.4674	-12.6867
3. Kobe	200.0000	342.3171	361.3619	-5.5635	341.3089	395.4673	-15.8679
4. Bucharest	200.0000	315.5406	185.6558	41.1626	298.2546	182.1304	38.9346
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa	Massa 60000 Ton	Selisih (%)	Tanpa Massa	Massa 60000 Ton	Selisih (%)
		(cm/dt <sup>2</sup> )	(cm/dt <sup>2</sup> )	(%)	(cm/dt <sup>2</sup> )	(cm/dt <sup>2</sup> )	(%)
1. Elcentro	200.0000	502.3366	914.4477	-82.0388	439.8213	535.9026	-21.8455
2. Koyna	200.0000	402.4483	599.3707	-48.9311	388.2155	460.0708	-18.5091
3. Kobe	200.0000	342.3171	360.5006	-5.3119	341.3089	387.0326	-13.3966
4. Bucharest	200.0000	315.5406	151.0497	52.1299	298.2546	185.6097	37.7680

**Tabel 6.30.** Perbandingan Kecepatan Maksimum Antara Tanah Tanpa Massa dan Dengan Massa Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari II Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa	Massa 20000 Ton	Selisih (%)	Tanpa Massa	Massa 20000 Ton	Selisih (%)
		(cm/dt)	(cm/dt)	(%)	(cm/dt)	(cm/dt)	(%)
1. Elcentro	200.0000	28.1427	27.8721	0.9615	21.6788	24.5397	-13.1968
2. Koyna	200.0000	20.0241	23.5905	-17.8105	23.9633	21.6812	9.5233
3. Kobe	200.0000	31.3307	31.5886	-0.8232	64.5543	29.3499	54.5346
4. Bucharest	200.0000	24.1764	16.6495	31.1333	73.2952	11.5513	84.2400
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa	Massa 40000 Ton	Selisih (%)	Tanpa Massa	Massa 40000 Ton	Selisih (%)
		(cm/dt)	(cm/dt)	(%)	(cm/dt)	(cm/dt)	(%)
1. Elcentro	200.0000	28.1427	32.8723	-16.8058	21.6788	24.9794	-15.2250
2. Koyna	200.0000	20.0241	20.3545	-1.6500	23.9633	22.0417	8.0189
3. Kobe	200.0000	31.3307	18.2182	41.8519	64.5543	27.8959	56.7869
4. Bucharest	200.0000	24.1764	11.8226	51.0986	73.2952	8.5712	88.3059
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa	Massa 60000 Ton	Selisih (%)	Tanpa Massa	Massa 60000 Ton	Selisih (%)
		(cm/dt)	(cm/dt)	(%)	(cm/dt)	(cm/dt)	(%)
1. Elcentro	200.0000	28.1427	33.4192	-18.7491	21.6788	24.6383	-13.6516
2. Koyna	200.0000	20.0241	19.7269	1.4842	23.9633	21.3825	10.7698
3. Kobe	200.0000	31.3307	17.7594	43.3163	64.5543	25.5283	60.4545
4. Bucharest	200.0000	24.1764	7.6198	68.4825	73.2952	7.2229	90.1455

**Tabel 6.31.** Perbandingan Simpangan Maksimum Antara Tanah Tanpa Massa dan Dengan Massa Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari II Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa	Massa 20000 Ton	Selisih (%)	Tanpa Massa	Massa 20000 Ton	Selisih (%)
		(cm)	(cm)	(%)	(cm)	(cm)	(%)
1. Elcentro	200.0000	2.0510	1.3974	31.8674	1.5066	1.0774	28.4880
2. Koyna	200.0000	1.4882	1.3175	11.4702	1.8257	1.2998	28.8054
3. Kobe	200.0000	3.6991	1.8042	51.2260	8.6251	1.9552	77.3313
4. Bucharest	200.0000	2.6565	1.4683	44.7280	20.1282	0.9011	95.5232
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa	Massa 40000 Ton	Selisih (%)	Tanpa Massa	Massa 40000 Ton	Selisih (%)
		(cm)	(cm)	(%)	(cm)	(cm)	(%)
1. Elcentro	200.0000	2.0510	1.3973	31.8723	1.5066	1.1469	23.8750
2. Koyna	200.0000	1.4882	1.1831	20.5013	1.8257	1.1741	35.6904
3. Kobe	200.0000	3.6991	0.9553	74.1748	8.6251	1.7743	79.4286
4. Bucharest	200.0000	2.6565	1.1168	57.9597	20.1282	0.6591	96.7255
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa	Massa 60000 Ton	Selisih (%)	Tanpa Massa	Massa 60000 Ton	Selisih (%)
		(cm)	(cm)	(%)	(cm)	(cm)	(%)
1. Elcentro	200.0000	2.0510	1.3353	34.8952	1.5066	1.1615	22.9059
2. Koyna	200.0000	1.4882	1.0226	31.2861	1.8257	1.0805	40.8172
3. Kobe	200.0000	3.6991	0.9378	74.6479	8.6251	1.4678	82.9822
4. Bucharest	200.0000	2.6565	0.8238	68.9893	20.1282	0.5558	97.2387

**Tabel 6.32.** Perbandingan Frekuensi Maksimum Antara Tanah Tanpa Massa dan Dengan Massa Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari II Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa	Massa 20000 Ton	Selisih (%)	Tanpa Massa	Massa 20000 Ton	Selisih (%)
		(cps)	(cps)	(%)	(cps)	(cps)	(%)
1. Elcentro	200.0000	1.8214	2.8746	-57.8240	2.0702	2.2140	-6.9468
2. Koyna	200.0000	2.0508	2.3454	-14.3616	1.6531	1.6374	0.9480
3. Kobe	200.0000	1.1149	1.8497	-65.9094	0.5395	1.2646	-134.4068
4. Bucharest	200.0000	1.3318	1.4726	-10.5719	0.4152	1.7072	-311.1452
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa	Massa 40000 Ton	Selisih (%)	Tanpa Massa	Massa 40000 Ton	Selisih (%)
		(cps)	(cps)	(%)	(cps)	(cps)	(%)
1. Elcentro	200.0000	1.8214	2.4950	-36.9838	2.0702	2.2643	-9.3768
2. Koyna	200.0000	2.0508	2.8541	-39.1660	1.6531	2.0252	-22.5108
3. Kobe	200.0000	1.1149	2.0240	-81.5425	0.5395	1.4466	-168.1315
4. Bucharest	200.0000	1.3318	1.6024	-20.3184	0.4152	2.1683	-422.1908
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Tanpa Massa	Massa 60000 Ton	Selisih (%)	Tanpa Massa	Massa 60000 Ton	Selisih (%)
		(cps)	(cps)	(%)	(cps)	(cps)	(%)
1. Elcentro	200.0000	1.8214	2.7921	-53.2970	2.0702	2.2195	-7.2097
2. Koyna	200.0000	2.0508	3.1003	-51.1749	1.6531	2.1955	-32.8128
3. Kobe	200.0000	1.1149	2.0713	-85.7887	0.5395	1.5470	-186.7499
4. Bucharest	200.0000	1.3318	2.0228	-51.8842	0.4152	2.6222	-531.5060

**Tabel 6.33.** Perbandingan Percepatan Maksimum Antara Tanah dengan Massa yang di Variasikan Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawang Sari II Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa 40000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Massa 20000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa 40000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	622.3303	760.0159	-22.1242	481.5928	493.1207	-2.3937
2. Koyna	200.0000	314.4805	345.1534	-9.7535	494.76	323.5549	34.6037
3. Kobe	200.0000	410.6519	467.0368	-13.7306	360.1495	328.4191	8.8103
4. Bucharest	200.0000	257.3952	228.3321	11.2912	364.11	346.4275	4.8564
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa 60000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Massa 20000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa 60000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	622.3303	914.4477	-46.9393	481.5928	748.3825	-55.3974
2. Koyna	200.0000	314.4805	412.821	-31.2708	494.76	268.4396	45.7435
3. Kobe	200.0000	410.6519	613.3309	-49.3554	360.1495	334.4144	7.1457
4. Bucharest	200.0000	257.3952	218.4961	15.1126	364.11	270.4123	25.7333
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 40000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa 60000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Massa 40000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa 60000 Ton (cm/dt <sup>2</sup> )	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	760.0159	914.4477	-20.3195	493.1207	748.3825	-51.7646
2. Koyna	200.0000	345.1534	412.821	-19.6051	323.5549	268.4396	17.0343
3. Kobe	200.0000	467.0368	613.3309	-31.3239	328.4191	334.4144	-1.8255
4. Bucharest	200.0000	228.3321	218.4961	4.3078	346.4275	270.4123	21.9426

**Tabel 6.34.** Perbandingan Kecepatan Maksimum Antara Tanah dengan Massa yang di Variasikan Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawang Sari II Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton (cm/dt)	Massa 40000 Ton (cm/dt)	Selisih (%)	Massa 20000 Ton (cm/dt)	Massa 40000 Ton (cm/dt)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	24.4279	25.8236	-5.7135	20.9239	21.7167	-3.7890
2. Koyna	200.0000	19.4518	22.6992	-16.6946	17.0879	20.6561	-20.8814
3. Kobe	200.0000	27.9453	1.9983	92.8492	63.8457	60.5832	5.1100
4. Bucharest	200.0000	19.1293	1.9042	90.0456	84.2521	69.6695	17.3083
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton (cm/dt)	Massa 60000 Ton (cm/dt)	Selisih (%)	Massa 20000 Ton (cm/dt)	Massa 60000 Ton (cm/dt)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	24.4279	33.4192	-36.8075	20.9239	21.8292	-4.3266
2. Koyna	200.0000	19.4518	21.6629	-11.3671	17.0879	15.7555	7.7973
3. Kobe	200.0000	27.9453	34.3179	-22.8038	63.8457	54.8632	14.0691
4. Bucharest	200.0000	19.1293	15.8629	17.0754	84.2521	16.4612	80.4620
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 40000 Ton (cm/dt)	Massa 60000 Ton (cm/dt)	Selisih (%)	Massa 40000 Ton (cm/dt)	Massa 60000 Ton (cm/dt)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	25.8236	33.4192	-29.4134	21.7167	21.8292	-0.5180
2. Koyna	200.0000	22.6992	21.6629	4.5654	20.6561	15.7555	23.7247
3. Kobe	200.0000	1.9983	34.3179	-1617.3548	60.5832	54.8632	9.4416
4. Bucharest	200.0000	1.9042	15.8629	-733.0480	69.6695	16.4612	76.3724



**Tabel 6.35.** Perbandingan Simpangan Maksimum Antara Tanah dengan Massa yang di Variasikan Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawang Sari II Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton (cm)	Massa 40000 Ton (cm)	Selisih (%)	Massa 20000 Ton (cm)	Massa 40000 Ton (cm)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	1.2442	1.3322	-7.0728	1.0795	1.0091	6.5215
2. Koyna	200.0000	1.5063	1.6357	-8.5906	1.3559	1.5908	-17.3243
3. Kobe	200.0000	2.8929	1.9983	30.9240	7.8038	7.6608	1.8324
4. Bucharest	200.0000	2.3492	1.9042	18.9426	24.8939	21.1563	15.0141
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton (cm)	Massa 60000 Ton (cm)	Selisih (%)	Massa 20000 Ton (cm)	Massa 60000 Ton (cm)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	1.2442	1.3353	-7.3220	1.0795	0.9727	9.8935
2. Koyna	200.0000	1.5063	1.3521	10.2370	1.3559	1.1162	17.6783
3. Kobe	200.0000	2.8929	2.2974	20.5849	7.8038	8.1201	-4.0532
4. Bucharest	200.0000	2.3492	1.6099	31.4703	24.8939	16.4612	33.8746
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 40000 Ton (cm)	Massa 60000 Ton (cm)	Selisih (%)	Massa 40000 Ton (cm)	Massa 60000 Ton (cm)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	1.3322	1.3353	-0.2327	1.0091	0.9727	3.6072
2. Koyna	200.0000	1.6357	1.3521	17.3381	1.5908	1.1162	29.8340
3. Kobe	200.0000	1.9983	2.2974	-14.9677	7.6608	8.1201	-5.9955
4. Bucharest	200.0000	1.9042	1.6099	15.4553	21.1563	16.4612	22.1924

**Tabel 6.36.** Perbandingan Frekuensi Maksimum Antara Tanah dengan Massa yang di Variasikan Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawang Sari II Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton (cps)	Massa 40000 Ton (cps)	Selisih (%)	Massa 20000 Ton (cps)	Massa 40000 Ton (cps)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	2.5996	3.0032	-15.5237	2.3486	2.3170	1.3443
2. Koyna	200.0000	1.6497	1.5516	5.9481	2.9545	1.5984	45.9004
3. Kobe	200.0000	1.4995	23.8487	-1490.4695	0.5756	0.5532	3.8996
4. Bucharest	200.0000	1.3730	12.2357	-791.1546	0.4410	0.5074	-15.0583
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton (cps)	Massa 60000 Ton (cps)	Selisih (%)	Massa 20000 Ton (cps)	Massa 60000 Ton (cps)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	2.5996	2.7921	-7.4059	2.3486	3.4983	-48.9527
2. Koyna	200.0000	1.6497	1.9445	-17.8722	2.9545	1.7386	41.1551
3. Kobe	200.0000	1.4995	1.8237	-21.6211	0.5756	0.6220	-8.0569
4. Bucharest	200.0000	1.3730	1.4055	-2.3669	0.4410	1.6763	-280.1133
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 40000 Ton (cps)	Massa 60000 Ton (cps)	Selisih (%)	Massa 40000 Ton (cps)	Massa 60000 Ton (cps)	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	3.0032	2.7921	7.0270	2.3170	3.4983	-50.9824
2. Koyna	200.0000	1.5516	1.9445	-25.3267	1.5984	1.7386	-8.7714
3. Kobe	200.0000	23.8487	1.8237	92.3531	0.5532	0.6220	-12.4418
4. Bucharest	200.0000	12.2357	1.4055	88.5130	0.5074	1.6763	-230.3660

**Tabel 6.37.** Perbandingan Regangan Maksimum Antara Tanah Linear dan Nonlinear Elastis Pada Kondisi Tanpa Massa dan Dengan Massa Akibat Gempa Untuk Tanah Tawang Sari II Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanpa Massa Bangunan			Massa Bangunan 20000 Ton		
		Linear Elastis	Non Linear Elastis	Selisih (%)	Linear Elastis	Non Linear Elastis	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	0.0006471	0.000744	-14.9745	0.00028	0.000205	26.7857
2. Koyna	200.0000	0.0005402	0.000442	18.1785	0.000148	0.000228	-54.0541
3. Kobe	200.0000	0.001002	0.000412	58.8822	0.000239	0.000187	21.7573
4. Bucharest	200.0000	0.0004696	0.000407	13.3305	0.000147	0.000181	-23.1293
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa Bangunan 40000 Ton			Massa Bangunan 60000 Ton		
		Linear Elastis	Non Linear Elastis	Selisih (%)	Linear Elastis	Non Linear Elastis	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	0.000104	0.000148	-42.3077	0.000132	0.000104	21.2121
2. Koyna	200.0000	0.000124	0.000099	20.1613	0.000116	0.000077	33.6207
3. Kobe	200.0000	0.000086	0.000098	-13.9535	0.000184	0.000086	53.2609
4. Bucharest	200.0000	0.000108	0.000084	22.2222	0.000089	0.000078	12.3596

**Tabel 6.38.** Perbandingan Tegangan Maksimum Antara Tanah Linear dan Nonlinear Elastis Pada Kondisi Tanpa Massa dan Dengan Massa Akibat Gempa Untuk Tanah Tawang Sari II Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanpa Massa Bangunan			Massa Bangunan 20000 Ton		
		Linear Elastis (kg/cm <sup>2</sup> )	Non Linear Elastis (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Linear Elastis (kg/cm <sup>2</sup> )	Non Linear Elastis (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	14.7802	9.2649	37.3155	19.8659	10.4466	47.4144
2. Koyna	200.0000	12.4549	6.9639	44.0871	10.7775	11.2181	-4.0881
3. Kobe	200.0000	23.1262	6.6599	71.2019	16.9085	9.8403	41.8026
4. Bucharest	200.0000	10.34	6.6091	36.0822	10.1071	9.6289	4.7313
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Massa Bangunan 40000 Ton			Massa Bangunan 60000 Ton		
		Linear Elastis (kg/cm <sup>2</sup> )	Non Linear Elastis (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Linear Elastis (kg/cm <sup>2</sup> )	Non Linear Elastis (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	17.1627	11.1229	35.1914	15.5527	10.1523	34.7232
2. Koyna	200.0000	12.1333	8.206	32.3679	13.669	7.9888	41.5553
3. Kobe	200.0000	15.287	8.0945	47.0498	21.4375	8.7079	59.3801
4. Bucharest	200.0000	10.1345	7.1242	29.7035	10.1575	8.0327	20.9185

**Tabel 6.39.** Perbandingan Regangan Maksimum Antara Tanah Tanpa Massa dan Dengan Massa Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari II Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis			
		Tanpa	Massa	Massa	Selisih	Tanpa	Massa	Selisih
				20000 Ton	(%)	(cm)	20000 Ton	(%)
1. Elcentro	200.0000	0.000633	0.000177	72.0379	0.000821	0.000113	86.2363	
2. Koyna	200.0000	0.000486	0.000152	68.7243	0.000506	0.000103	79.6443	
3. Kobe	200.0000	0.000656	0.000183	72.1037	0.000577	0.000103	82.1490	
4. Bucharest	200.0000	0.000423	0.00008	81.0875	0.000516	0.000073	85.8527	
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis			
		Tanpa	Massa	Massa	Selisih	Tanpa	Massa	Selisih
				40000 Ton	(%)	(cm)	40000 Ton	(%)
1. Elcentro	200.0000	0.000633	0.000149	76.4613	0.000821	0.000089	89.1596	
2. Koyna	200.0000	0.000486	0.000134	72.4280	0.000506	0.000085	83.2016	
3. Kobe	200.0000	0.000656	0.000089	86.4329	0.000577	0.000085	85.2686	
4. Bucharest	200.0000	0.000423	0.000054	87.2340	0.000516	0.000053	89.7287	
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis			
		Tanpa	Massa	Massa	Selisih	Tanpa	Massa	Selisih
				60000 Ton	(%)	(cm)	60000 Ton	(%)
1. Elcentro	200.0000	0.000633	0.000132	79.1469	0.000821	0.000076	90.7430	
2. Koyna	200.0000	0.000486	0.000102	79.0123	0.000506	0.000075	85.1779	
3. Kobe	200.0000	0.000656	0.000079	87.9573	0.000577	0.000071	87.6950	
4. Bucharest	200.0000	0.000423	0.000045	89.3617	0.000516	0.000042	91.8605	

**Tabel 6.40.** Perbandingan Tegangan Maksimum Antara Tanah Tanpa Massa dan Dengan Massa Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawangsari II Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis			
		Tanpa	Massa	Massa	Selisih	Tanpa	Massa	Selisih
				20000 Ton	(%)	(kg/cm <sup>2</sup> )	20000 Ton	(%)
1. Elcentro	200.0000	14.4195	12.8526	10.8665	9.7013	6.8179	29.7218	
2. Koyna	200.0000	11.0678	11.0815	-0.1238	7.5405	6.3252	16.1170	
3. Kobe	200.0000	14.7212	13.4027	8.9565	8.1249	6.3093	22.3461	
4. Bucharest	200.0000	9.0449	5.7069	36.9048	7.6335	4.7887	37.2673	
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis			
		Tanpa	Massa	Massa	Selisih	Tanpa	Massa	Selisih
				40000 Ton	(%)	(kg/cm <sup>2</sup> )	40000 Ton	(%)
1. Elcentro	200.0000	14.4195	14.6937	-1.9016	9.7013	7.4805	22.8918	
2. Koyna	200.0000	11.0678	13.1156	-18.5023	7.5405	7.2187	4.2676	
3. Kobe	200.0000	14.7212	8.8807	39.6741	8.1249	7.1941	11.4561	
4. Bucharest	200.0000	9.0449	5.3158	41.2288	7.6335	4.8082	37.0119	
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis			
		Tanpa	Massa	Massa	Selisih	Tanpa	Massa	Selisih
				60000 Ton	(%)	(kg/cm <sup>2</sup> )	60000 Ton	(%)
1. Elcentro	200.0000	14.4195	15.5527	-7.8588	9.7013	7.8835	18.7377	
2. Koyna	200.0000	11.0678	12.0466	-8.8437	7.5405	7.7686	-3.0250	
3. Kobe	200.0000	14.7212	9.5384	35.2064	8.1249	7.4212	8.6610	
4. Bucharest	200.0000	9.0449	5.389	40.4195	7.6335	4.6449	39.1511	

**Tabel 6.41.** Perbandingan Regangan Maksimum Antara Tanah dengan Massa yang di Variasikan Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawang Sari II Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton	Massa 40000 Ton	Selisih (%)	Massa 20000 Ton	Massa 40000 Ton	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	0.00028	0.000176	37.1429	0.000204	0.000148	27.4510
2. Koyna	200.0000	0.000148	0.000124	16.2162	0.000228	0.000099	56.5789
3. Kobe	200.0000	0.0002386	0.000159	33.3613	0.000187	0.000098	47.5936
4. Bucharest	200.0000	0.000147	0.000108	26.5306	0.000181	0.000084	53.5912
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton	Massa 60000 Ton	Selisih (%)	Massa 20000 Ton	Massa 60000 Ton	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	0.00028	0.000132	52.8571	0.000204	0.000104	49.0196
2. Koyna	200.0000	0.000148	0.000116	21.6216	0.000228	0.0000774	66.0526
3. Kobe	200.0000	0.0002386	0.000184	22.8835	0.000187	0.0000859	54.0642
4. Bucharest	200.0000	0.000147	0.000089	39.4558	0.000181	0.000078	56.9061
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 40000 Ton	Massa 60000 Ton	Selisih (%)	Massa 40000 Ton	Massa 60000 Ton	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	0.000176	0.000132	25.0000	0.000148	0.000104	29.7297
2. Koyna	200.0000	0.000124	0.000116	6.4516	0.000099	0.0000774	21.8182
3. Kobe	200.0000	0.000159	0.000184	-15.7233	0.000098	0.0000859	12.3469
4. Bucharest	200.0000	0.000108	0.000089	17.5926	0.000084	0.000078	7.1429

**Tabel 6.42.** Perbandingan Tegangan Maksimum Antara Tanah dengan Massa yang di Variasikan Pada Kondisi Linear Dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa Untuk Tanah Tawang Sari II Lapis Teratas

Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Massa 40000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Massa 20000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Massa 40000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	19.8659	17.1627	13.6072	10.4466	11.1229	-6.4739
2. Koyna	200.0000	10.7775	12.1333	-12.5799	11.2181	8.2061	26.8495
3. Kobe	200.0000	16.9085	15.287	9.5899	9.8403	8.0945	17.7413
4. Bucharest	200.0000	10.1071	10.1345	-0.2711	9.6289	7.1242	26.0123
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 20000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Massa 60000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Massa 20000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Massa 60000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	19.8659	15.5527	21.7116	10.4466	10.1523	2.8172
2. Koyna	200.0000	10.7775	13.669	-26.8290	11.2181	7.9888	28.7865
3. Kobe	200.0000	16.9085	21.4375	-26.7853	9.8403	8.7079	11.5078
4. Bucharest	200.0000	10.1071	10.1575	-0.4987	9.6289	8.0326	16.5782
Gempa	Percepatan Maksimum Base Rock (cm/dt <sup>2</sup> )	Kondisi Tanah Linear Elastis			Kondisi Tanah Non Linear Elastis		
		Massa 40000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Massa 60000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)	Massa 40000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Massa 60000 Ton (kg/cm <sup>2</sup> )	Selisih (%)
1. Elcentro	200.0000	17.1627	15.5527	9.3808	11.1229	10.1523	8.7261
2. Koyna	200.0000	12.1333	13.669	-12.6569	8.2061	7.9888	2.6480
3. Kobe	200.0000	15.287	21.4375	-40.2335	8.0945	8.7079	-7.5780
4. Bucharest	200.0000	10.1345	10.1575	-0.2269	7.1242	8.0326	-12.7509

**Tabel 6.43.** Besarnya Amplifikasi Untuk Data Tanah Tawangsari II Kondisi Linear Elastis dan Nonlinear Elastis Tanpa Massa Maupun dengan Massa Yang di Variasi

Gempa	Kondisi	Percepatan (cm/dt <sup>2</sup> )	Amplifikasi Percepatan (%)	Kecepatan (cm/dt)	Simpangan (cm)
Elcentro	Linear elastis tanpa massa	458.8936	229.4468	21.6328	1.8169
	Non linear elastis tanpa massa	433.8936	216.9468	19.6898	1.6332
	Linear elastis massa 20000 Ton	622.3303	311.1652	24.4279	1.2442
	Non linear elastis massa 20000 Ton	481.5928	240.7964	20.9239	1.0795
	Linear elastis massa 40000 Ton	760.0159	380.0080	25.8236	1.3322
	Non linear elastis massa 40000 Ton	493.1207	246.5604	21.7167	1.0091
	Linear elastis massa 60000 Ton	914.4477	457.2239	33.4192	1.3353
	Non linear elastis massa 60000 Ton	748.3825	374.1913	21.8292	0.9727
Koyna	Linear elastis tanpa massa	494.2531	247.1266	23.5761	1.9705
	Non linear elastis tanpa massa	389.2588	194.6294	18.7438	1.9269
	Linear elastis massa 20000 Ton	314.4805	157.2403	19.4518	1.5063
	Non linear elastis massa 20000 Ton	494.76	247.3800	17.0879	1.3559
	Linear elastis massa 40000 Ton	345.1534	172.5767	22.6992	1.6356
	Non linear elastis massa 40000 Ton	323.5549	161.7775	20.6561	1.5908
	Linear elastis massa 60000 Ton	412.821	206.4105	21.6619	1.3521
	Non linear elastis massa 60000 Ton	268.4396	134.2198	15.7556	1.1162
Kobe	Linear elastis tanpa massa	657.6263	328.8132	73.8646	8.4312
	Non linear elastis tanpa massa	397.9574	198.9787	73.4138	8.3744
	Linear elastis massa 20000 Ton	410.6519	205.3260	27.9453	2.8929
	Non linear elastis massa 20000 Ton	360.1495	180.0748	63.8457	7.8038
	Linear elastis massa 40000 Ton	467.0368	233.5184	26.45384	1.9983
	Non linear elastis massa 40000 Ton	328.4191	164.2096	60.5832	7.6608
	Linear elastis massa 60000 Ton	613.3309	306.6655	34.3179	2.2974
	Non linear elastis massa 60000 Ton	334.4144	167.2072	54.8632	8.1201
Bucharest	Linear elastis tanpa massa	202.2135	101.1068	30.0699	5.4078
	Non linear elastis tanpa massa	378.8722	189.4361	102.3032	28.5815
	Linear elastis massa 20000 Ton	257.3952	128.6976	19.1293	2.3492
	Non linear elastis massa 20000 Ton	364.1101	182.0551	84.2521	24.8939
	Linear elastis massa 40000 Ton	228.3321	114.1661	16.232	1.9042
	Non linear elastis massa 40000 Ton	346.4275	173.2138	69.6695	21.1563
	Linear elastis massa 60000 Ton	218.4961	109.2481	15.8629	1.6099
	Non linear elastis massa 60000 Ton	270.4123	135.2062	55.5914	16.4612

**Tabel 6.44.** Besarnya Amplifikasi Untuk Data Tanah Tawangsari II Kondisi Linear Elastis dan Kondisi Nonlinear Elastis Tanpa Massa Maupun dengan Massa Yang di Variasi

Gempa	Kondisi	Percepatan (cm/dt <sup>2</sup> )	Amplifikasi Percepatan (%)	Kecepatan (cm/dt)	Simpangan (cm)
Elcentro	Linear elastis tanpa massa	458.8936	229.4468	21.6328	1.8169
Koyna		494.2531	247.1266	23.5761	1.9705
Kobe		657.6263	328.8132	73.8646	8.4312
Bucharest		202.2135	101.1068	30.0699	5.4078
Elcentro	Non linear elastis tanpa massa	433.8936	216.9468	19.6898	1.6332
Koyna		389.2588	194.6294	18.7438	1.9269
Kobe		397.9574	198.9787	73.4138	8.3744
Bucharest		378.8722	189.4361	102.3032	28.5815
Elcentro	Linear elastis massa 20.000 Ton	622.3303	311.1652	24.4279	1.2442
Koyna		314.4805	157.2403	19.4518	1.5063
Kobe		410.6519	205.3260	27.9453	2.8929
Bucharest		257.3952	128.6976	19.1293	2.3492
Elcentro	Non linear elastis massa 20.000 Ton	481.5928	240.7964	20.9239	1.0795
Koyna		494.76	247.3800	17.0879	1.3559
Kobe		360.1495	180.0748	63.8457	7.8038
Bucharest		364.1101	182.0551	84.2521	24.8939
Elcentro	Linear elastis massa 40.000 Ton	760.0159	380.0080	25.8236	1.3322
Koyna		345.1534	172.5767	22.6992	1.6356
Kobe		467.0368	233.5184	26.45384	1.9983
Bucharest		228.3321	114.1661	16.232	1.9042
Elcentro	Non linear elastis massa 40.000 Ton	493.1207	246.5604	21.7167	1.0091
Koyna		323.5549	161.7775	20.6561	1.5908
Kobe		328.4191	164.2096	60.5832	7.6608
Bucharest		346.4275	173.2138	69.6695	21.1563
Elcentro	Linear elastis massa 60.000 Ton	914.4477	457.2239	33.4192	1.3353
Koyna		412.821	206.4105	21.6619	1.3521
Kobe		613.3309	306.6655	34.3179	2.2974
Bucharest		218.4961	109.2481	15.8629	1.6099
Elcentro	Non linear elastis massa 60.000 Ton	748.3825	374.1913	21.8292	0.9727
Koyna		268.4396	134.2198	15.7556	1.1162
Kobe		334.4144	167.2072	54.8632	8.1201
Bucharest		270.4123	135.2062	55.5914	16.4612

**Tabel 6.45.** Respon Seismik Pada Kondisi Linear Elastis dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa *Elcentro* Untuk Data Tanah Tawang Sari II

Kondisi	Percepatan (cm/dt <sup>2</sup> )	Kecepatan (cm/dt)	Simpangan (cm)	Regangan	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )
Linear Elastis Tanpa Massa	458.8936	21.6328	1.8169	0.000647	14.7802
Non Linear Elastis Dengan Massa	433.8936	19.6898	1.6332	0.000744	9.2649
Linear Elastis Dengan Massa 20.000 Ton	622.3303	24.4279	1.2442	0.00028	19.8659
Non Linear Elastis Dengan Massa 20.000 Ton	481.5928	20.9239	1.0795	0.000204	10.4466
Linear Elastis Dengan Massa 40.000 Ton	760.0159	25.8236	1.3322	0.000176	17.1627
Non Linear Elastis Dengan Massa 40.000 Ton	493.1207	21.7167	1.0091	0.000148	11.1229
Linear Elastis Dengan Massa 60.000 Ton	914.4477	33.4192	1.3353	0.000132	15.5527
Non Linear Elastis Dengan Massa 60.000 Ton	748.3825	21.8292	0.9727	0.000104	10.1523

**Tabel 6.46.** Respon Seismik Pada Kondisi Linear Elastis dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa *Koyna* Untuk Data Tanah Tawang Sari II

Kondisi	Percepatan (cm/dt <sup>2</sup> )	Kecepatan (cm/dt)	Simpangan (cm)	Regangan	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )
Linear Elastis Tanpa Massa	494.2531	23.5761	1.9705	0.00054	12.4548
Non Linear Elastis Dengan Massa	389.2588	18.7438	1.9269	0.0004	6.9639
Linear Elastis Dengan Massa 20.000 Ton	314.4805	19.4518	1.5063	0.000148	10.7775
Non Linear Elastis Dengan Massa 20.000 Ton	494.76	17.0879	1.3559	0.000228	11.2181
Linear Elastis Dengan Massa 40.000 Ton	345.1534	22.6992	1.6356	0.000124	12.1333
Non Linear Elastis Dengan Massa 40.000 Ton	323.5549	20.6561	1.5908	0.0000997	8.206
Linear Elastis Dengan Massa 60.000 Ton	412.821	21.6619	1.3521	0.000116	13.669
Non Linear Elastis Dengan Massa 60.000 Ton	268.4396	15.7556	1.1162	0.000077	7.9888

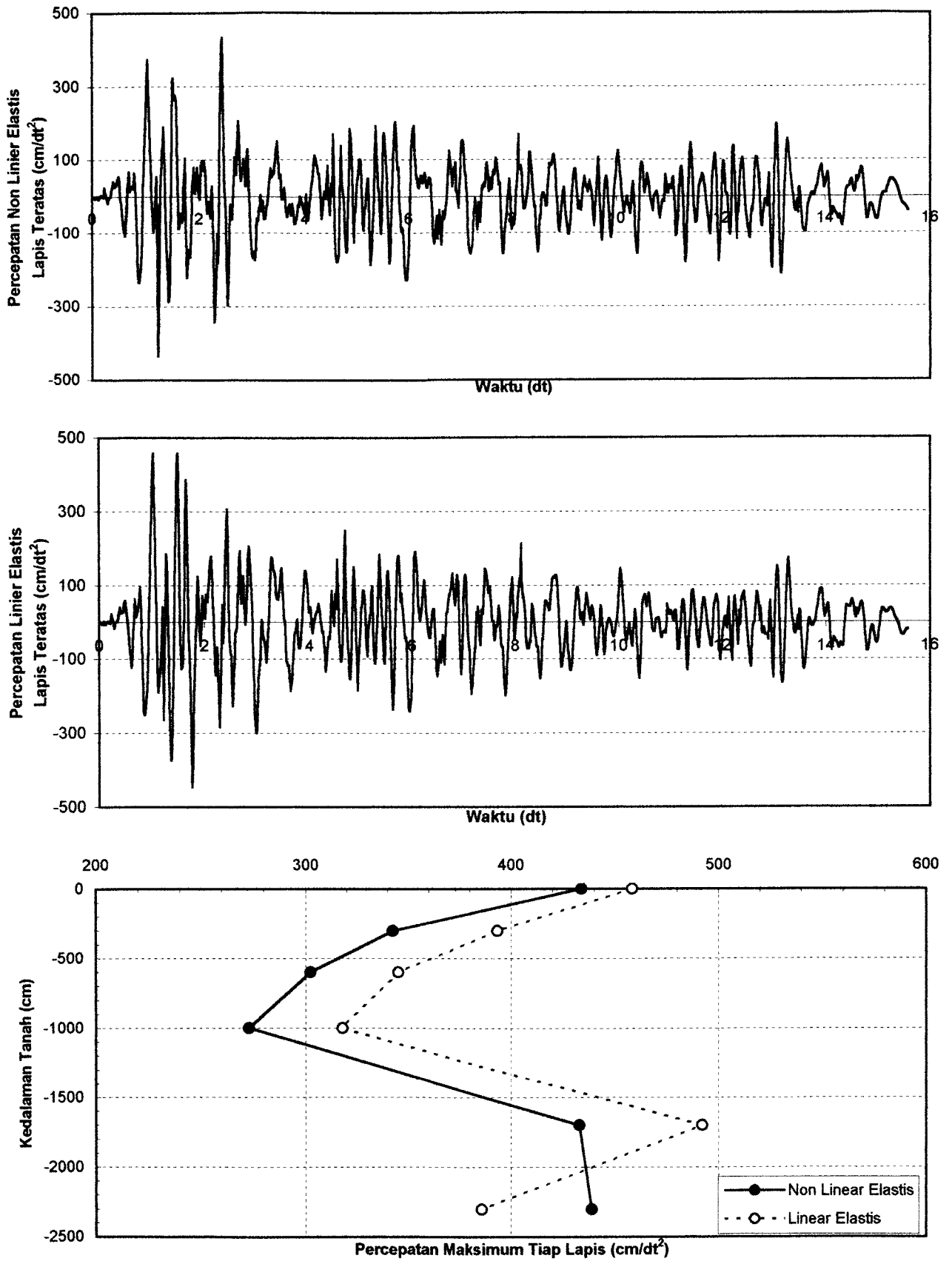
**Tabel 6.47.** Respon Seismik Pada Kondisi Linear Elastis dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa **Kobe** Untuk Data Tanah Tawang Sari II

Kondisi	Percepatan (cm/dt <sup>2</sup> )	Kecepatan (cm/dt)	Simpangan (cm)	Regangan	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )
Linear Elastis Tanpa Massa	657.6263	73.8646	8.4312	0.001	23.1262
Non Linear Elastis Dengan Massa	397.9574	73.4138	8.3744	0.000412	6.6599
Linear Elastis Dengan Massa 20.000 Ton	410.6519	27.9453	2.8929	0.000239	16.9085
Non Linear Elastis Dengan Massa 20.000 Ton	360.1495	63.8457	7.8038	0.000187	9.8403
Linear Elastis Dengan Massa 40.000 Ton	467.0368	26.45384	1.9983	0.0001586	15.287
Non Linear Elastis Dengan Massa 40.000 Ton	328.4191	60.5832	7.6608	0.000098	8.0945
Linear Elastis Dengan Massa 60.000 Ton	613.3309	34.3179	2.2974	0.000185	21.4376
Non Linear Elastis Dengan Massa 60.000 Ton	334.4144	54.8632	8.1201	0.0000859	8.7079

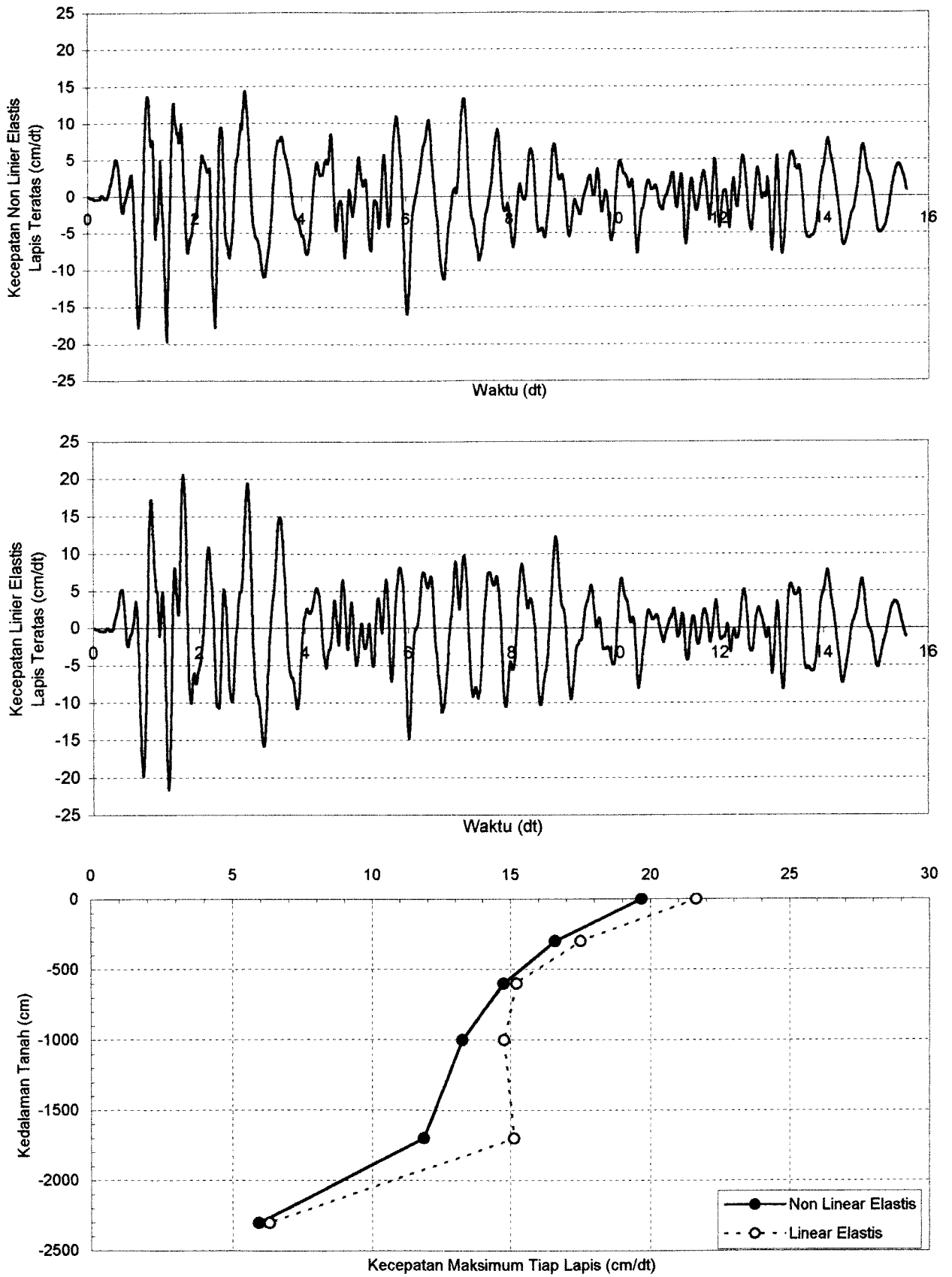
**Tabel 6.48.** Respon Seismik Pada Kondisi Linear Elastis dan Nonlinear Elastis Akibat Gempa **Buclarest** Untuk Data Tanah Tawang Sari II

Kondisi	Percepatan (cm/dt <sup>2</sup> )	Kecepatan (cm/dt)	Simpangan (cm)	Regangan	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )
Linear Elastis Tanpa Massa	202.2135	30.0699	5.4078	0.000469	10.34
Non Linear Elastis Dengan Massa	378.8722	102.3032	28.5815	0.0004068	6.6092
Linear Elastis Dengan Massa 20.000 Ton	257.3952	19.1293	2.3492	0.0001467	10.1071
Non Linear Elastis Dengan Massa 20.000 Ton	364.1101	84.2521	24.8939	0.0001811	9.6289
Linear Elastis Dengan Massa 40.000 Ton	228.3321	16.232	1.9042	0.000108	10.1345
Non Linear Elastis Dengan Massa 40.000 Ton	346.4275	69.6695	21.1563	0.0000838	7.1242
Linear Elastis Dengan Massa 60.000 Ton	218.4961	15.8629	1.6099	0.0000894	10.1575
Non Linear Elastis Dengan Massa 60.000 Ton	270.4123	55.5914	16.4612	0.0000779	8.0327

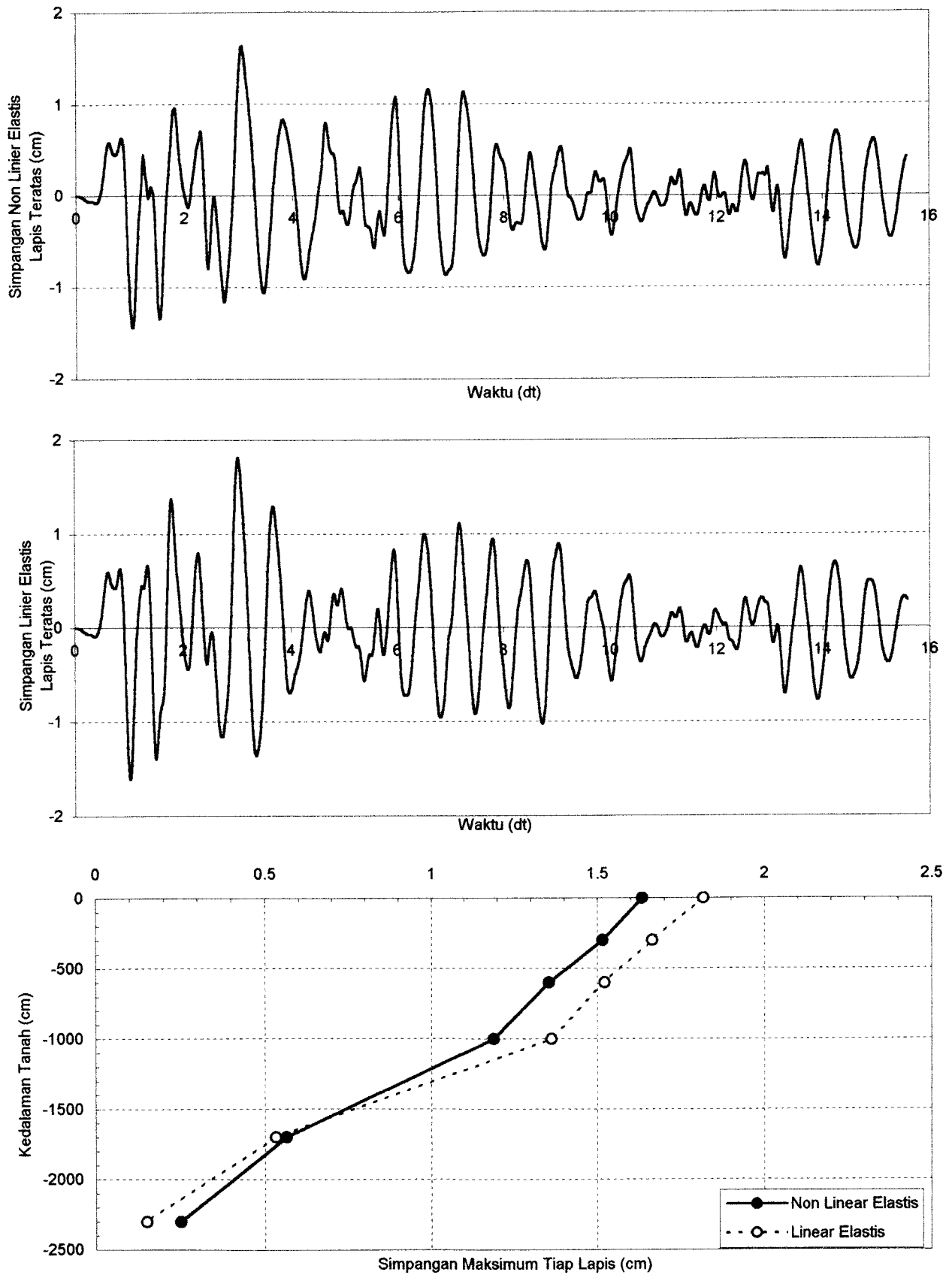




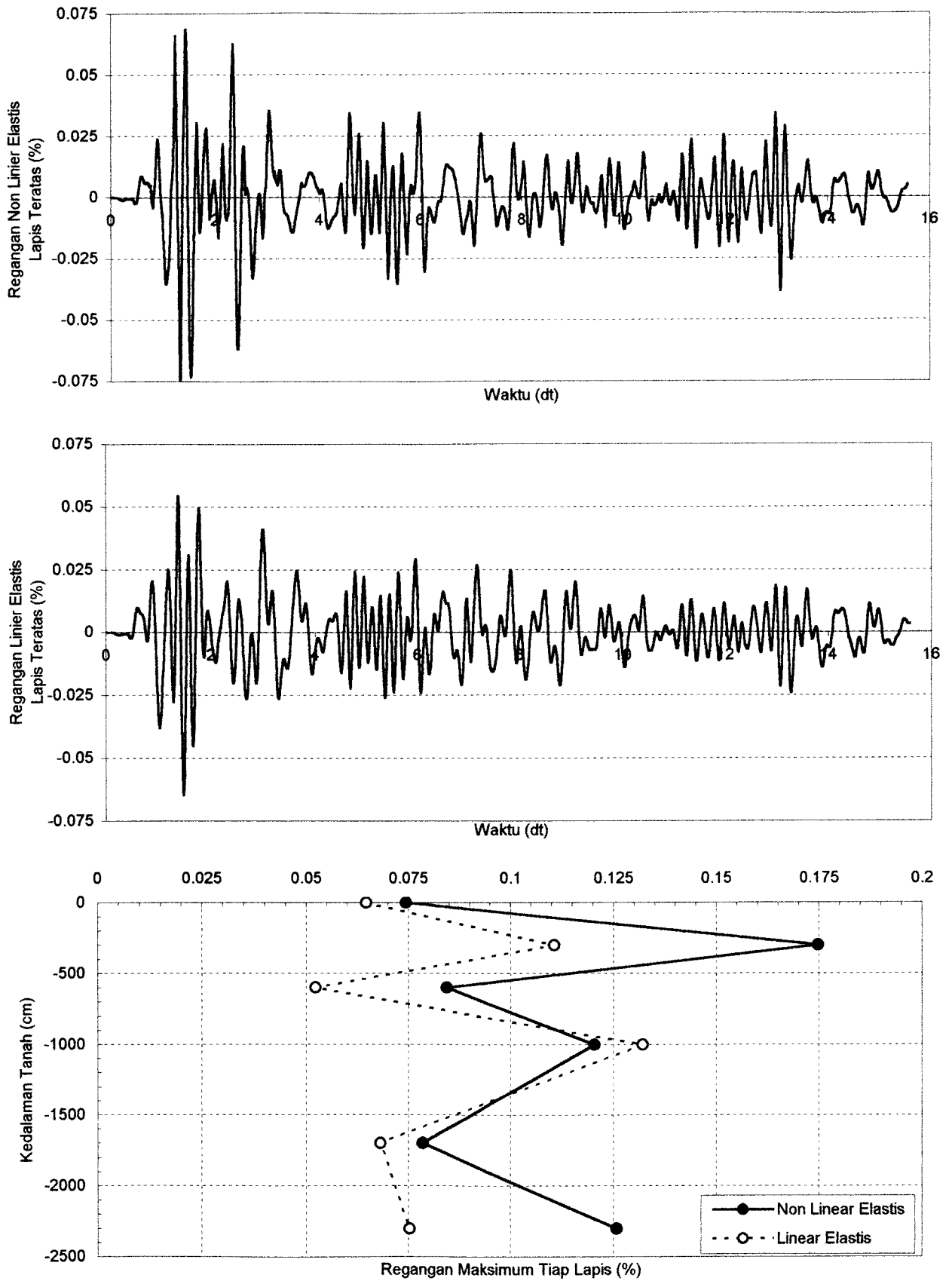
**Grafik 6.79.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



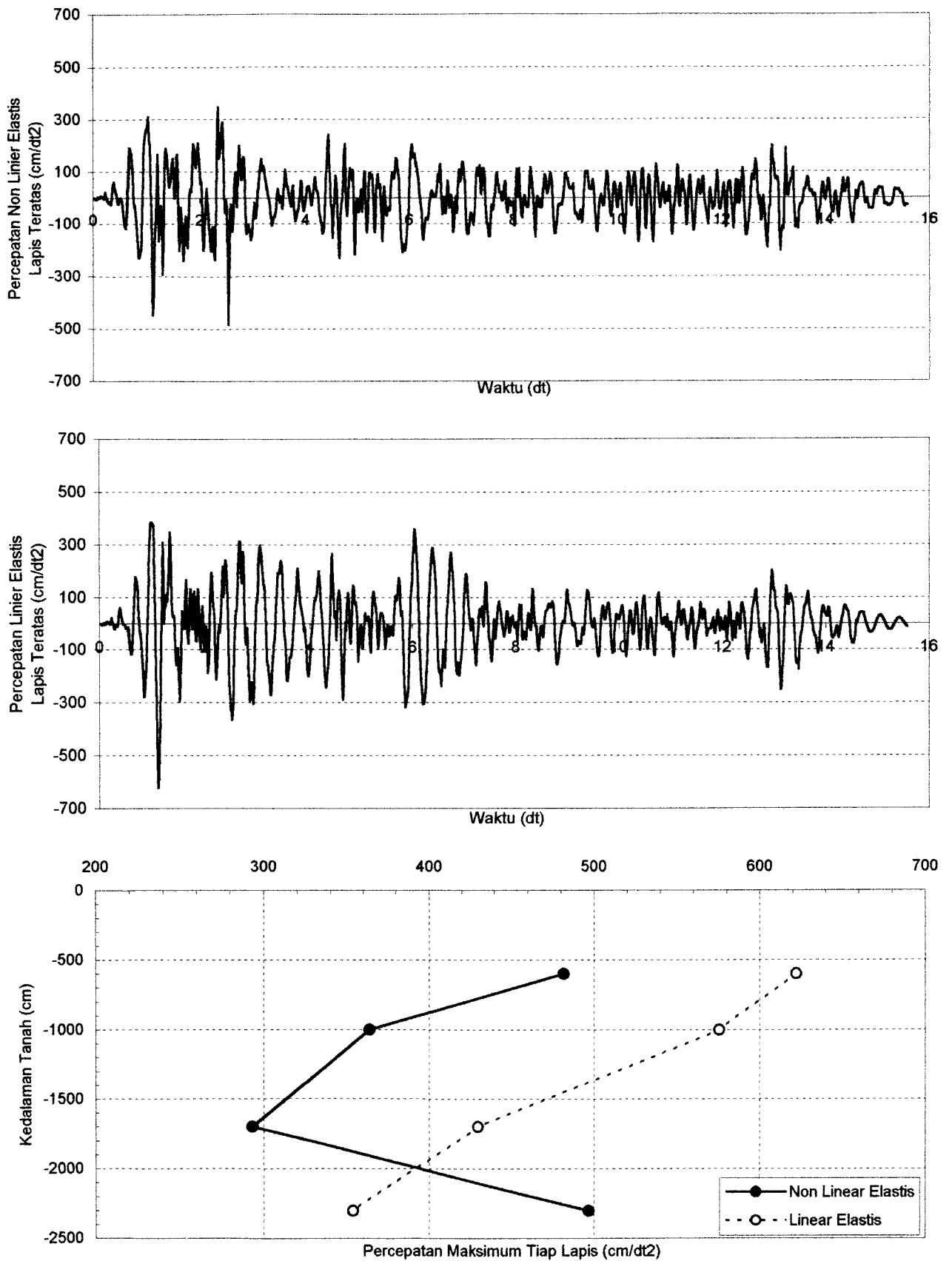
**Grafik 6.80.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



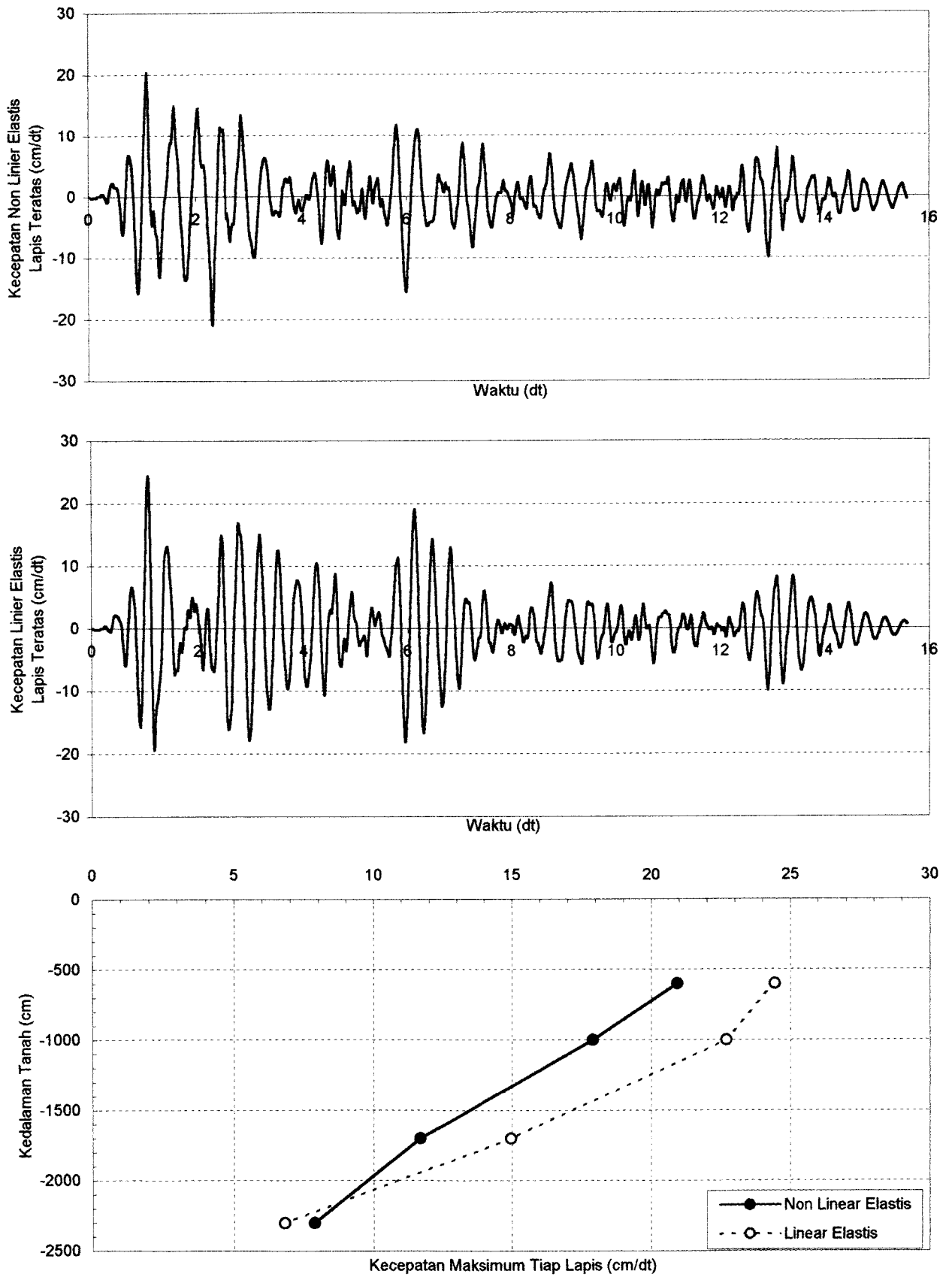
**Grafik 6.81.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



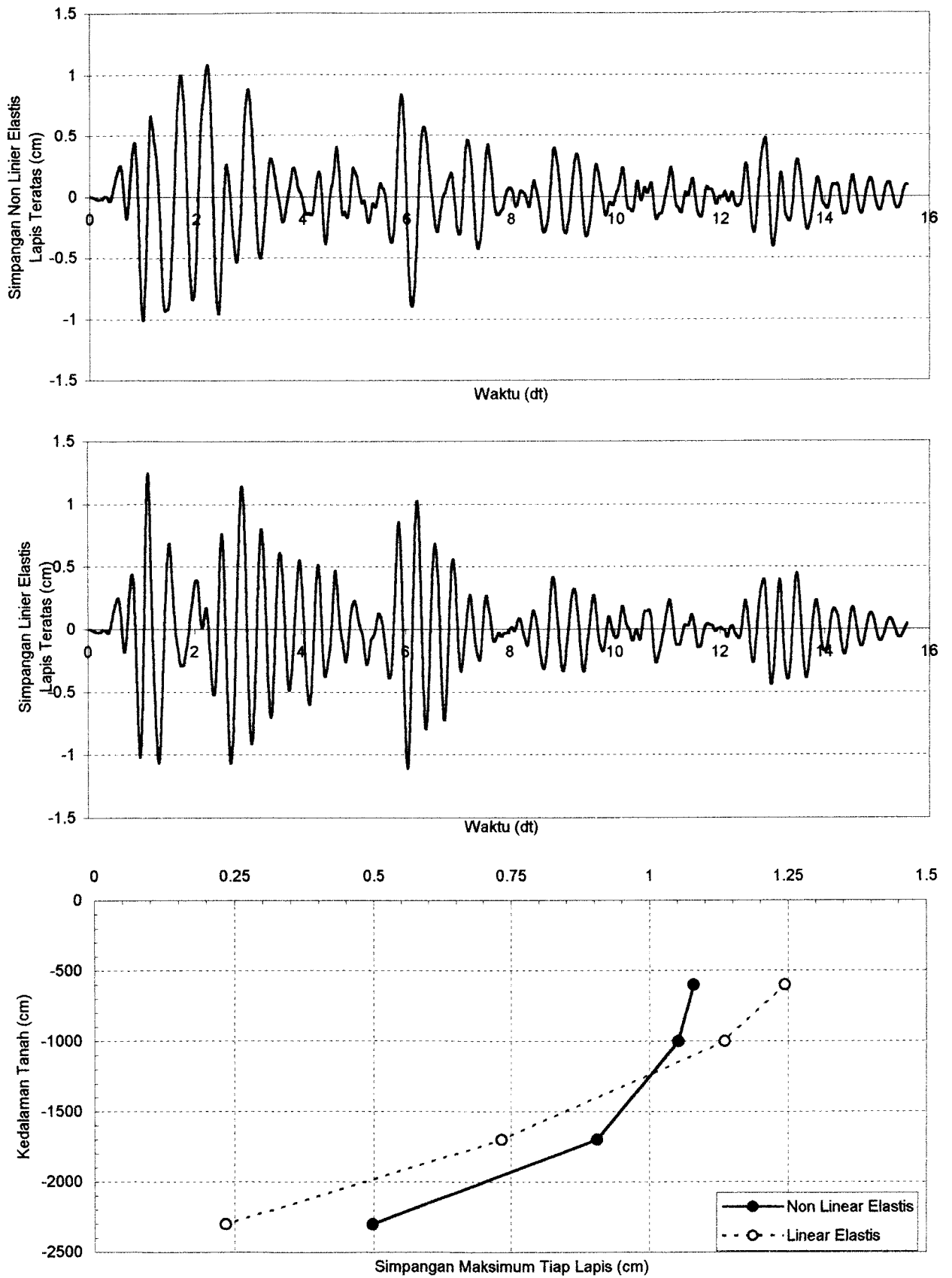
**Grafik 6.82.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



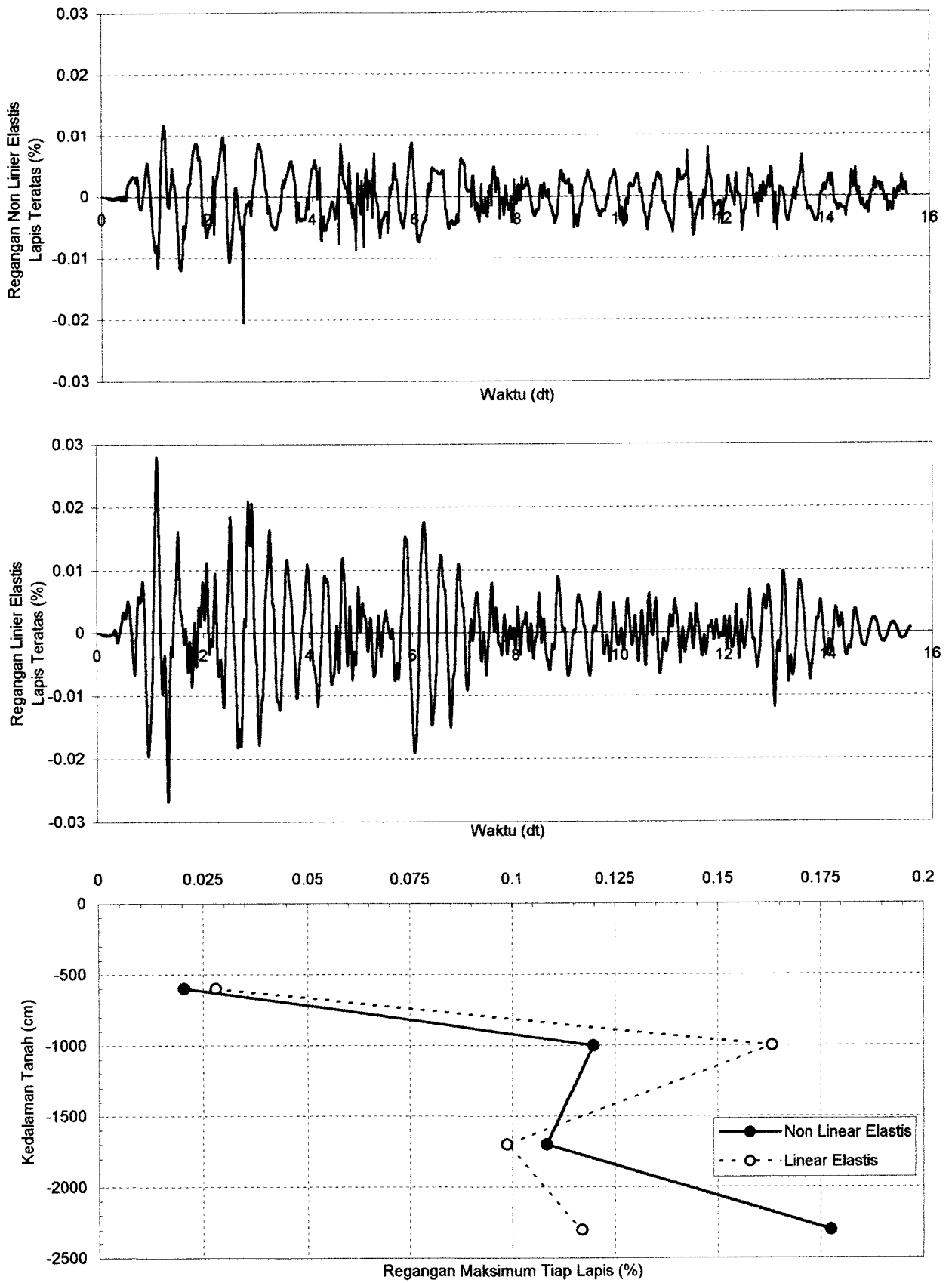
**Grafik 6.83.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



**Grafik 6.84.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa El Centro

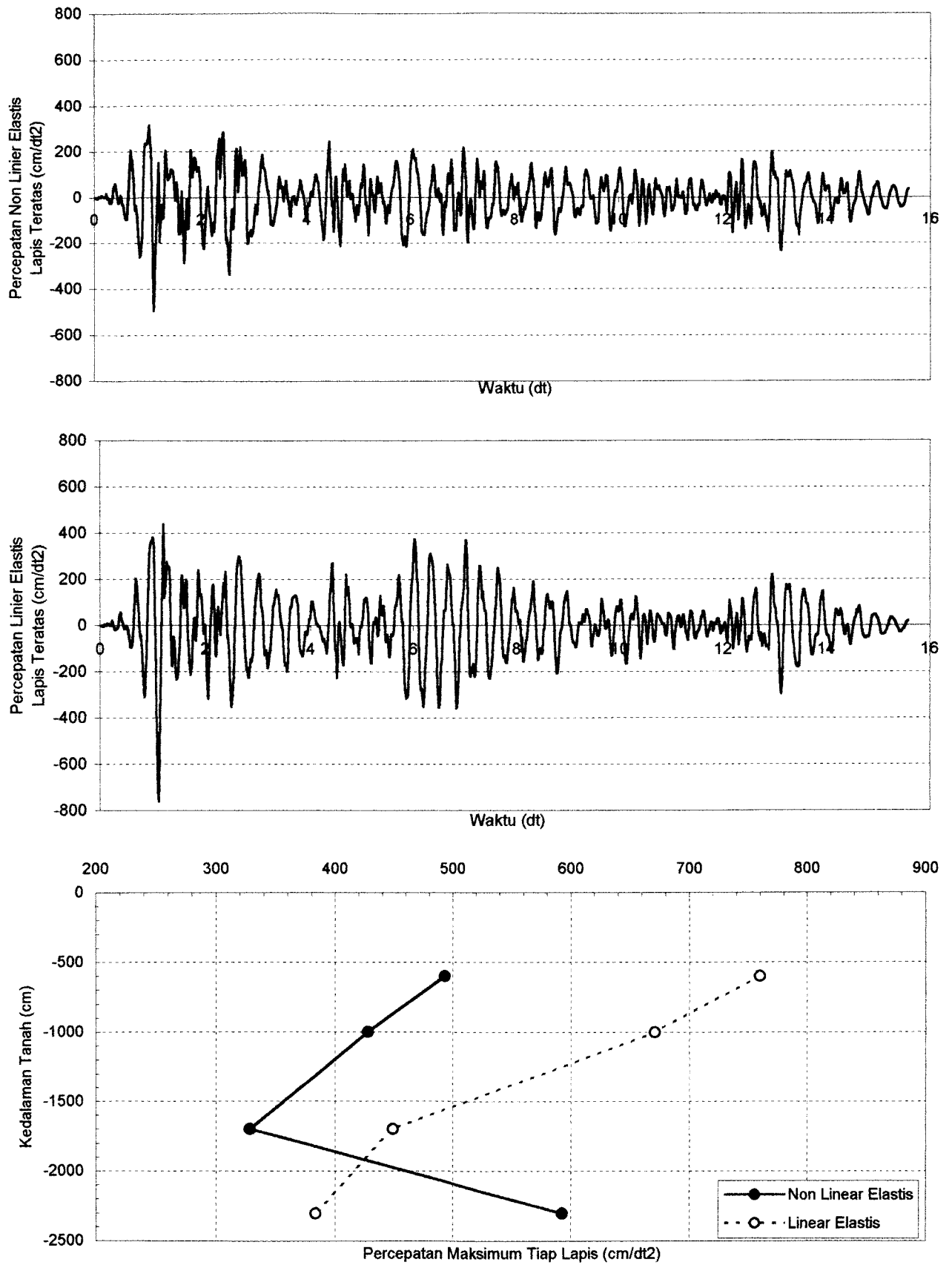


**Grafik 6.85.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa El Centro

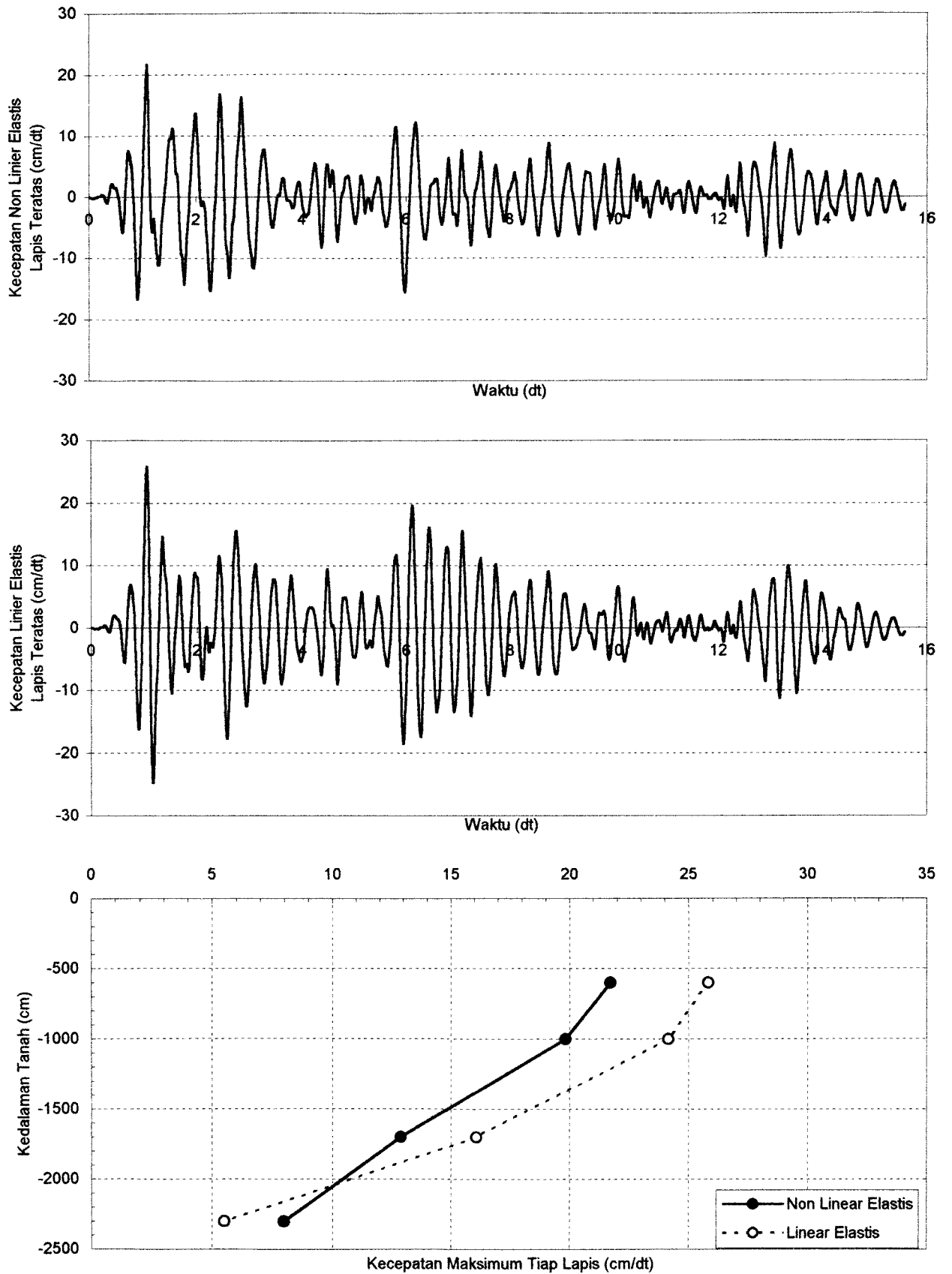


**Grafik 6.86.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa El Centro

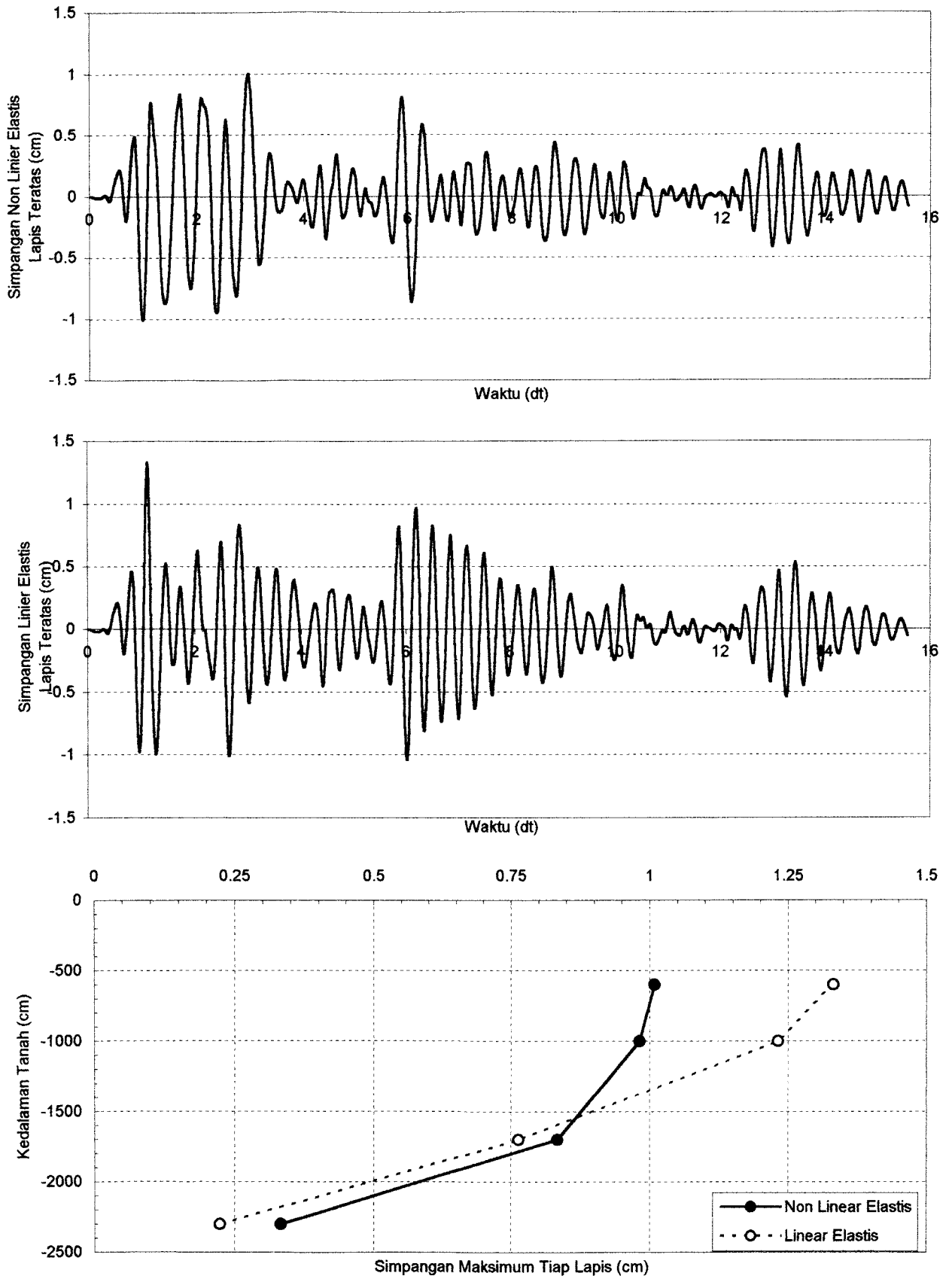




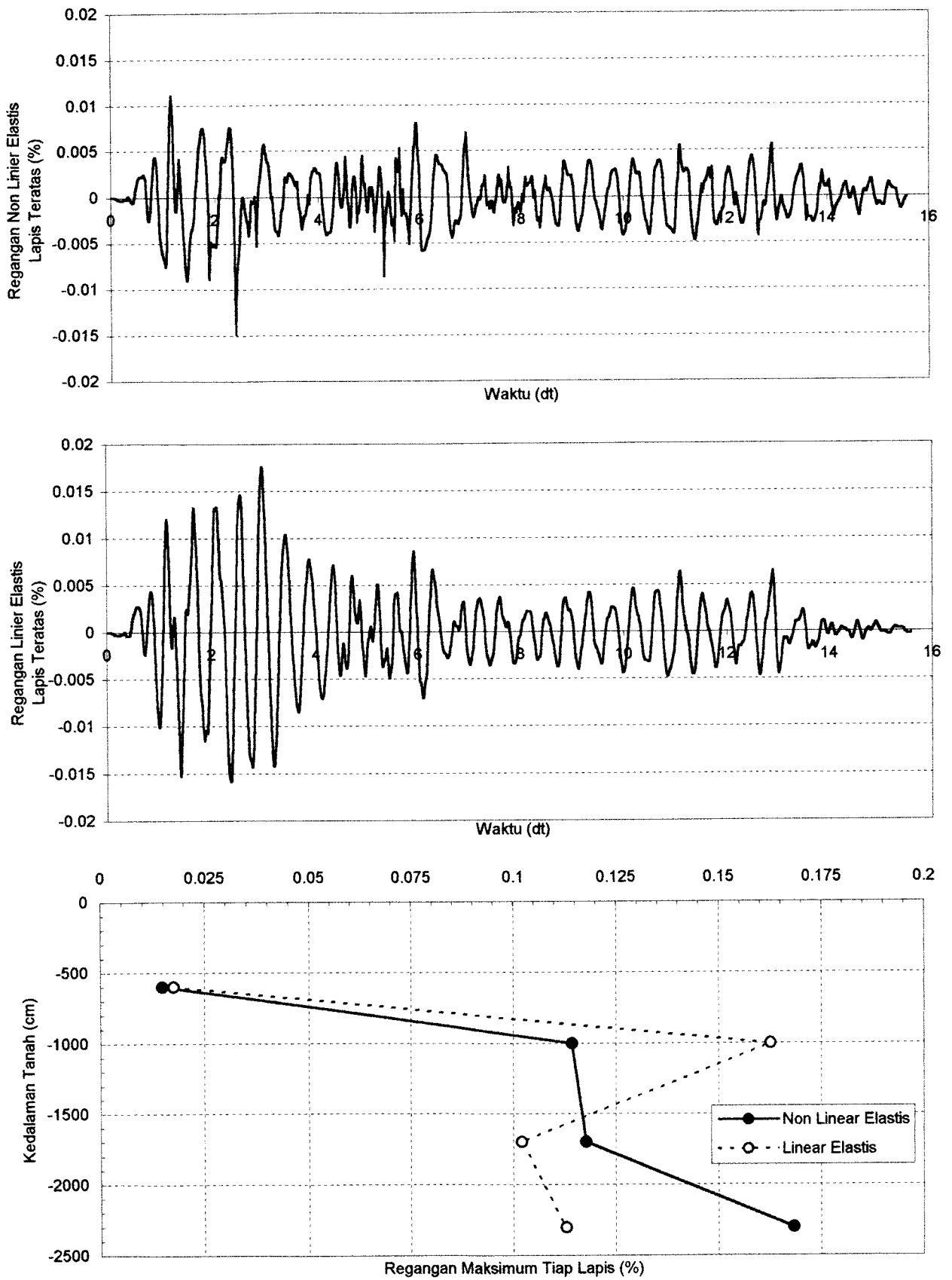
**Grafik 6.87.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



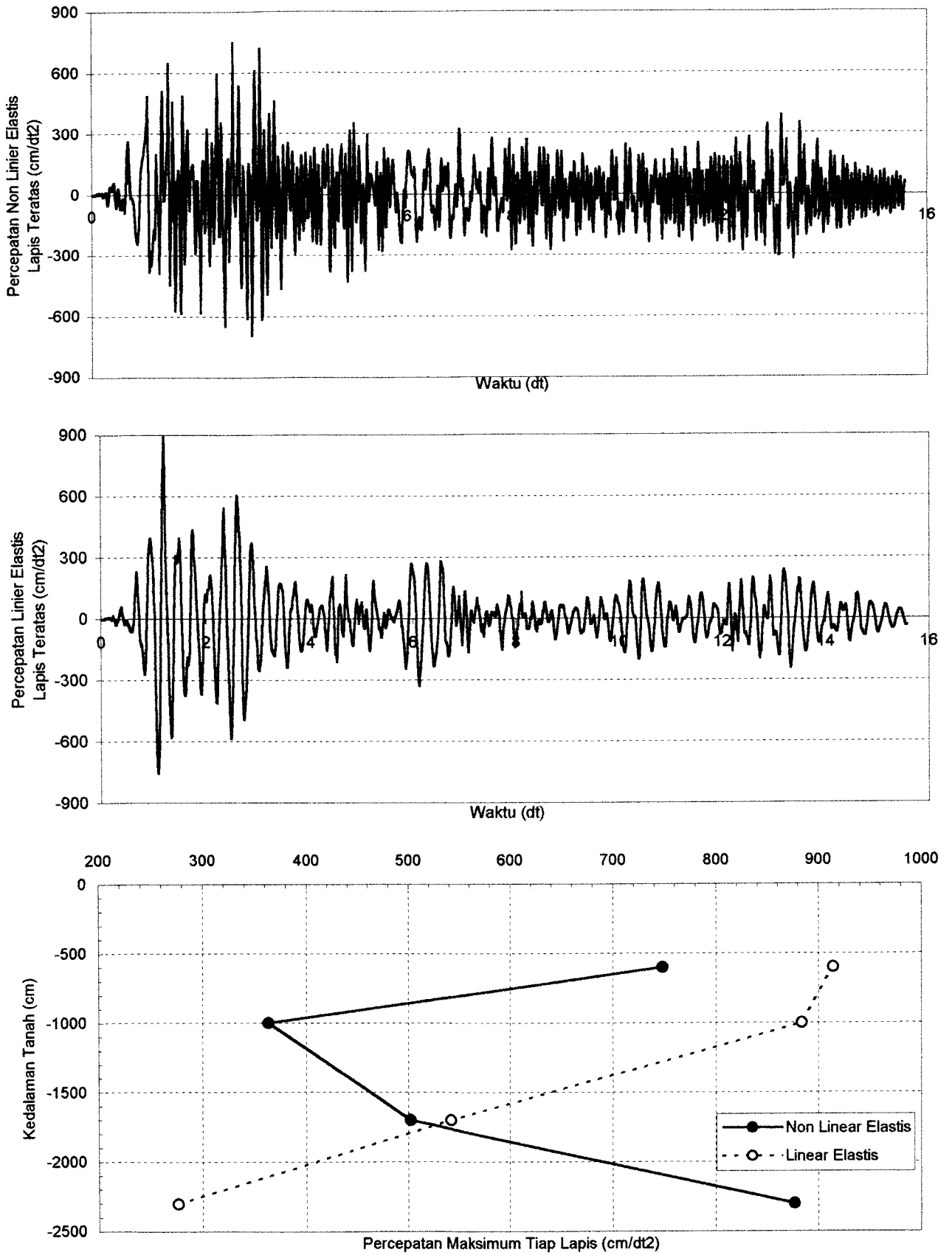
**Grafik 6.88.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



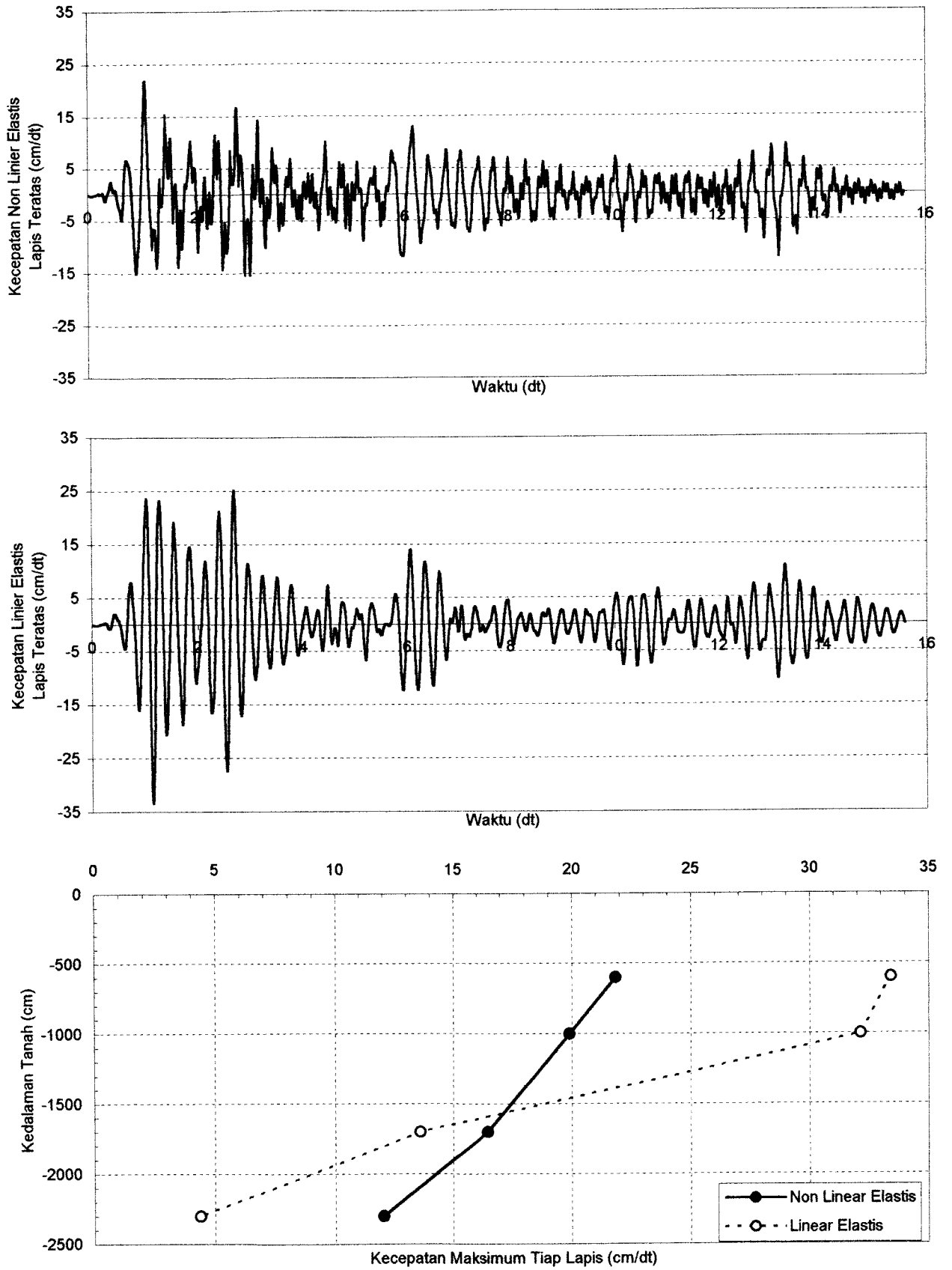
**Grafik 6.89.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



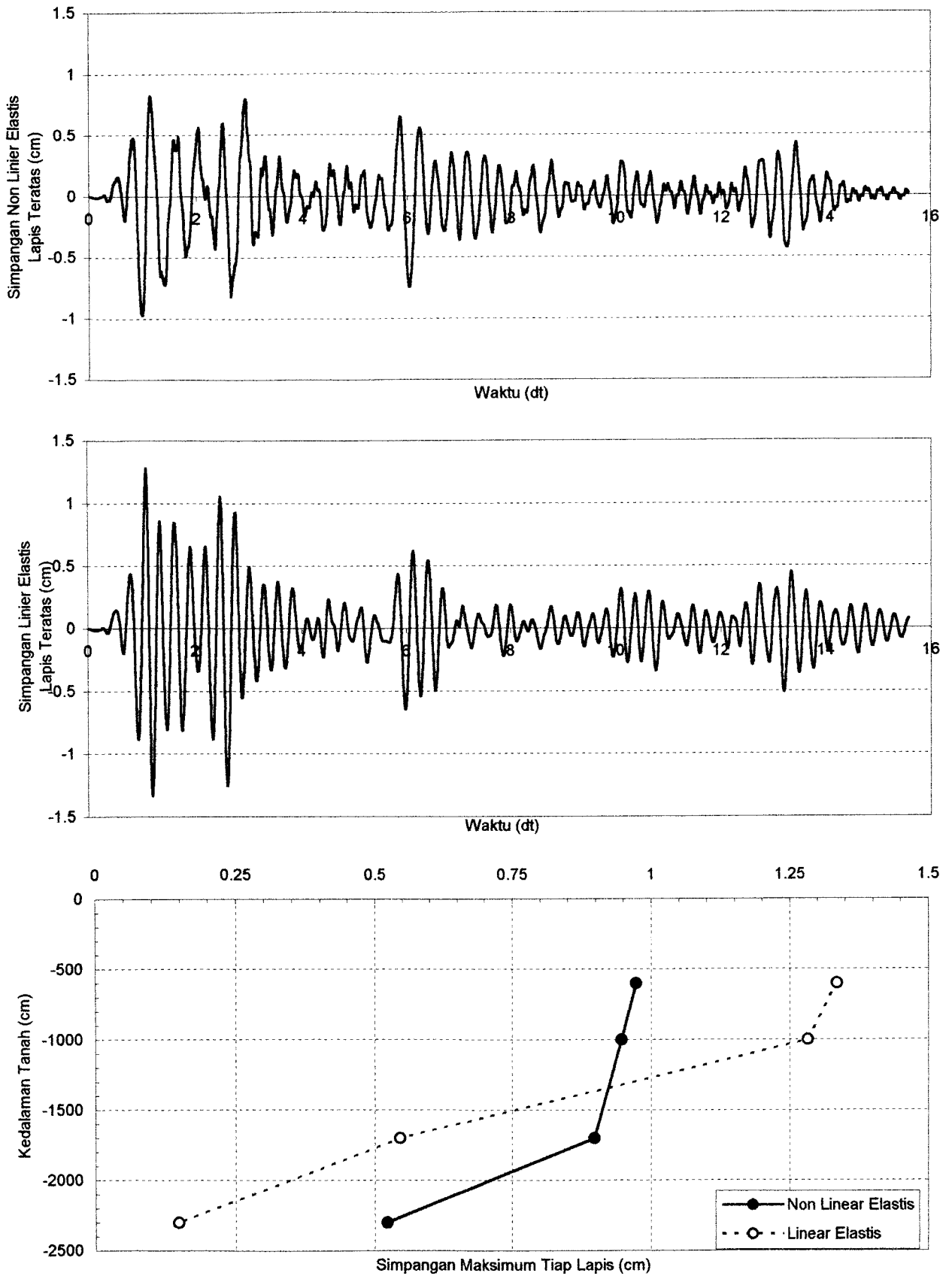
**Grafik 6.90.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



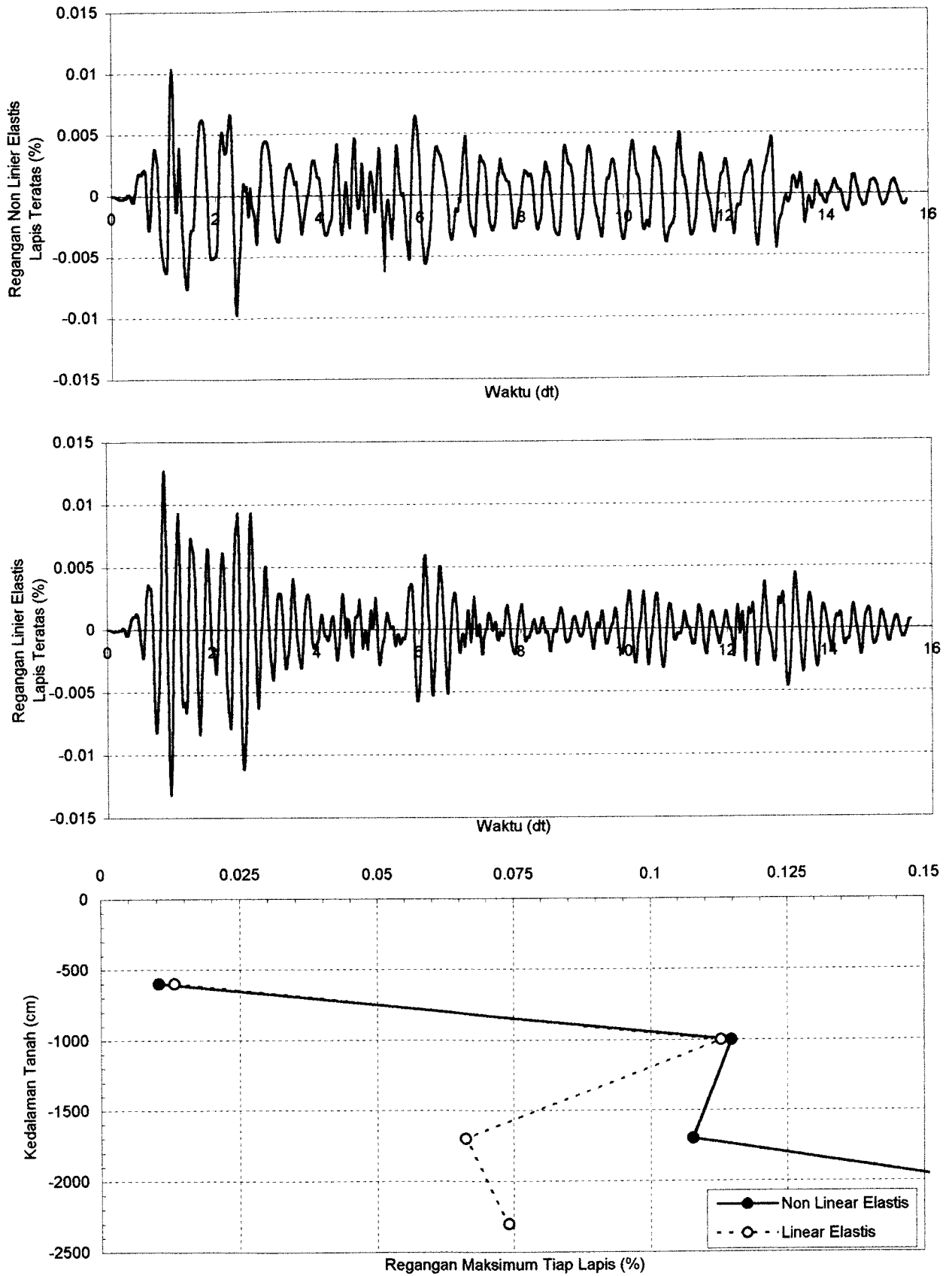
**Grafik 6.91.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



**Grafik 6.92.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa El Centro

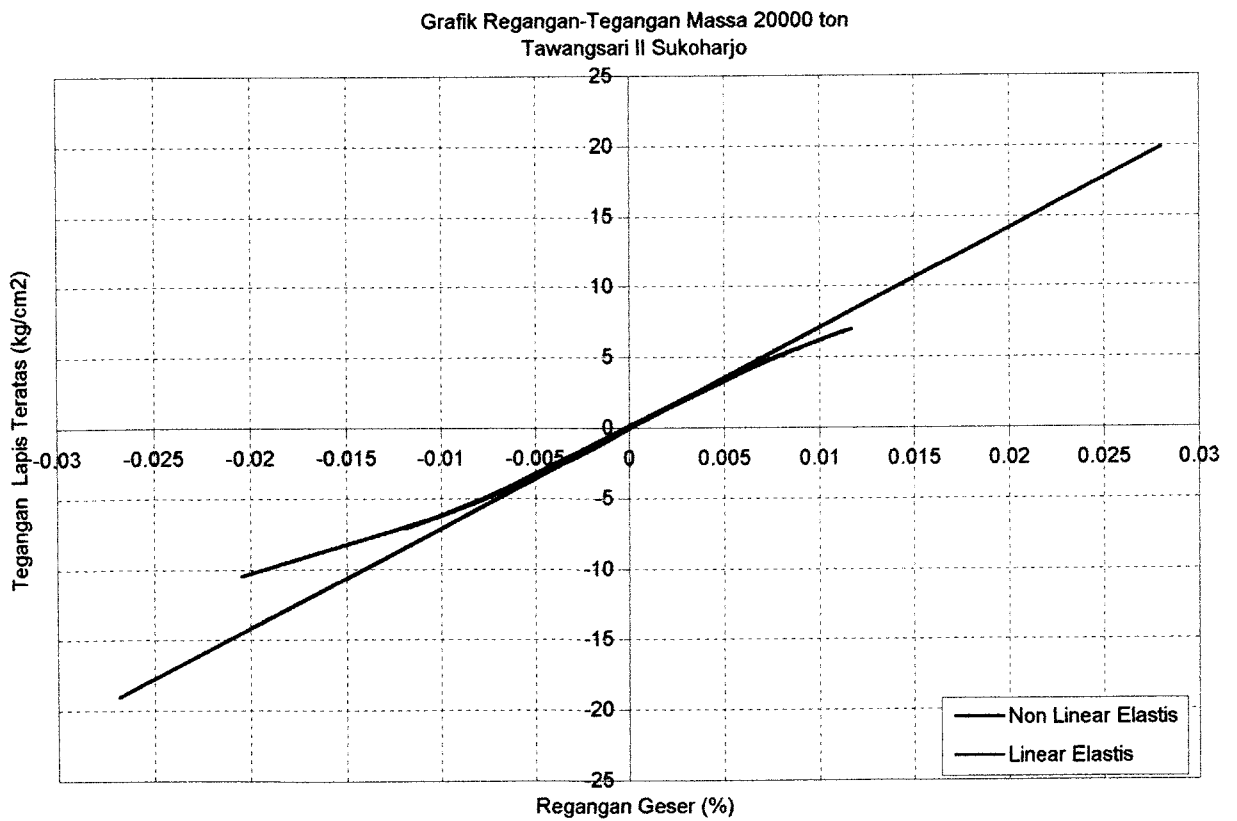
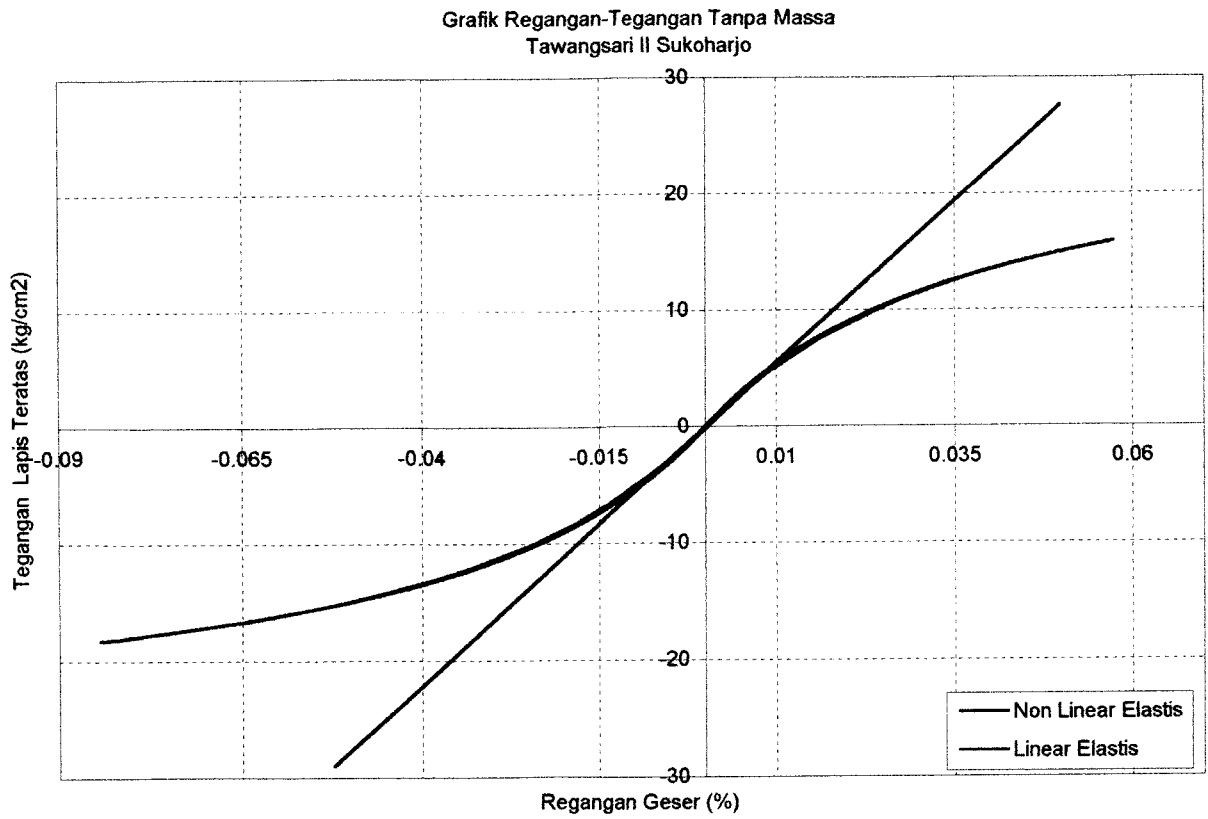


**Grafik 6.93.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa El Centro

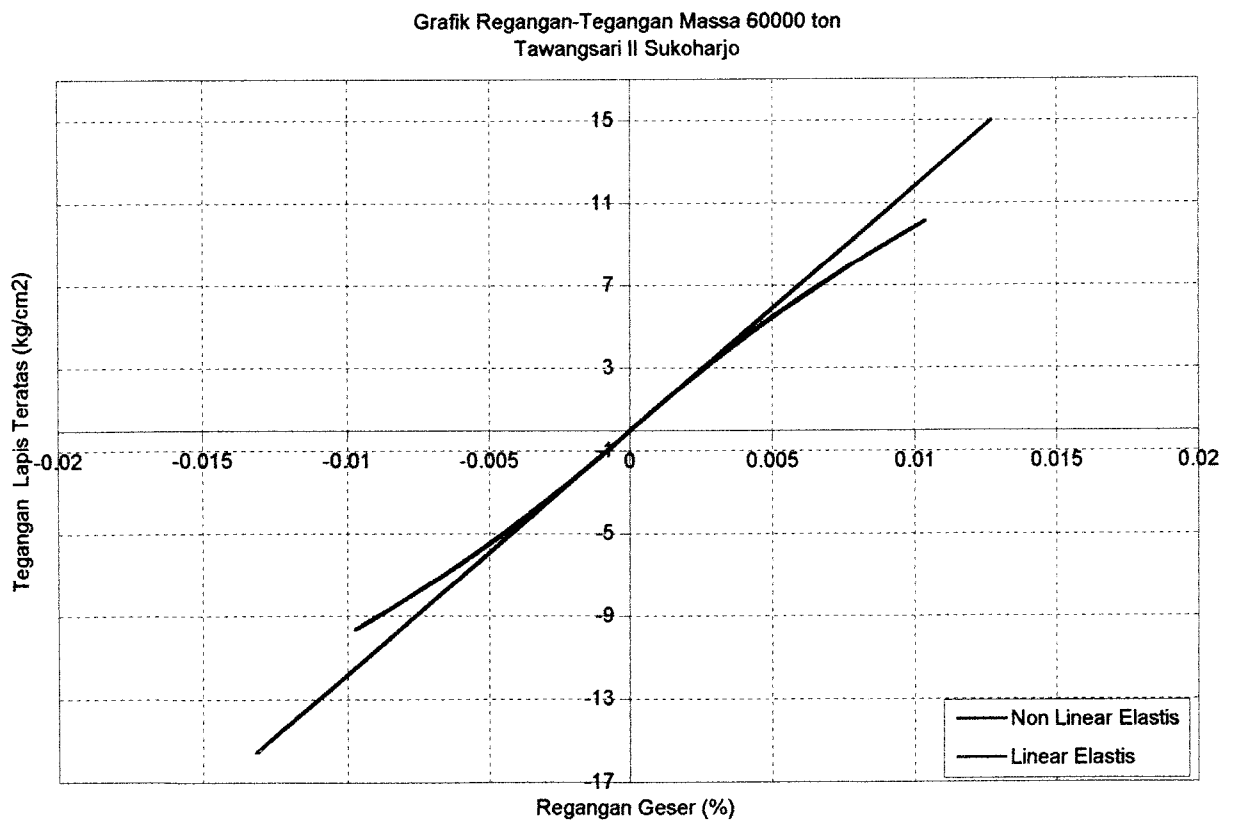
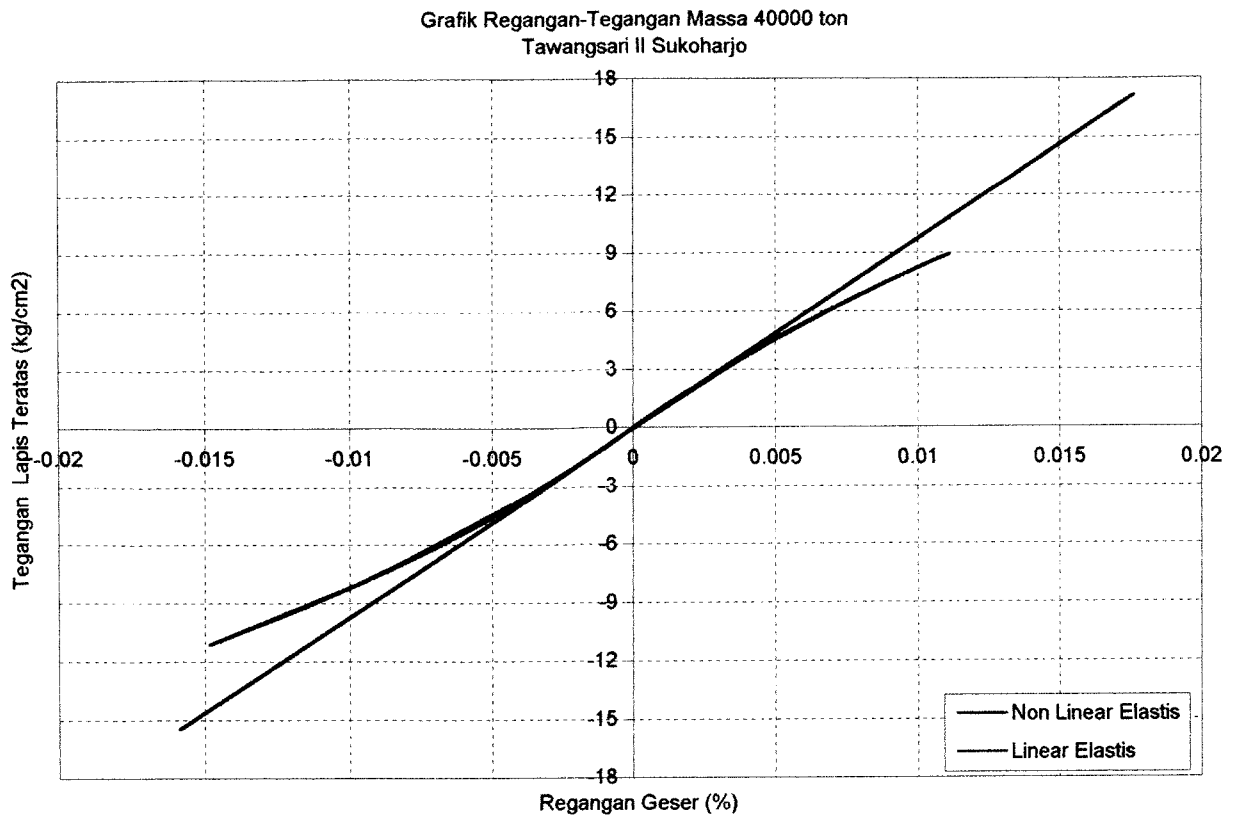


**Grafik 6.94.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa El Centro

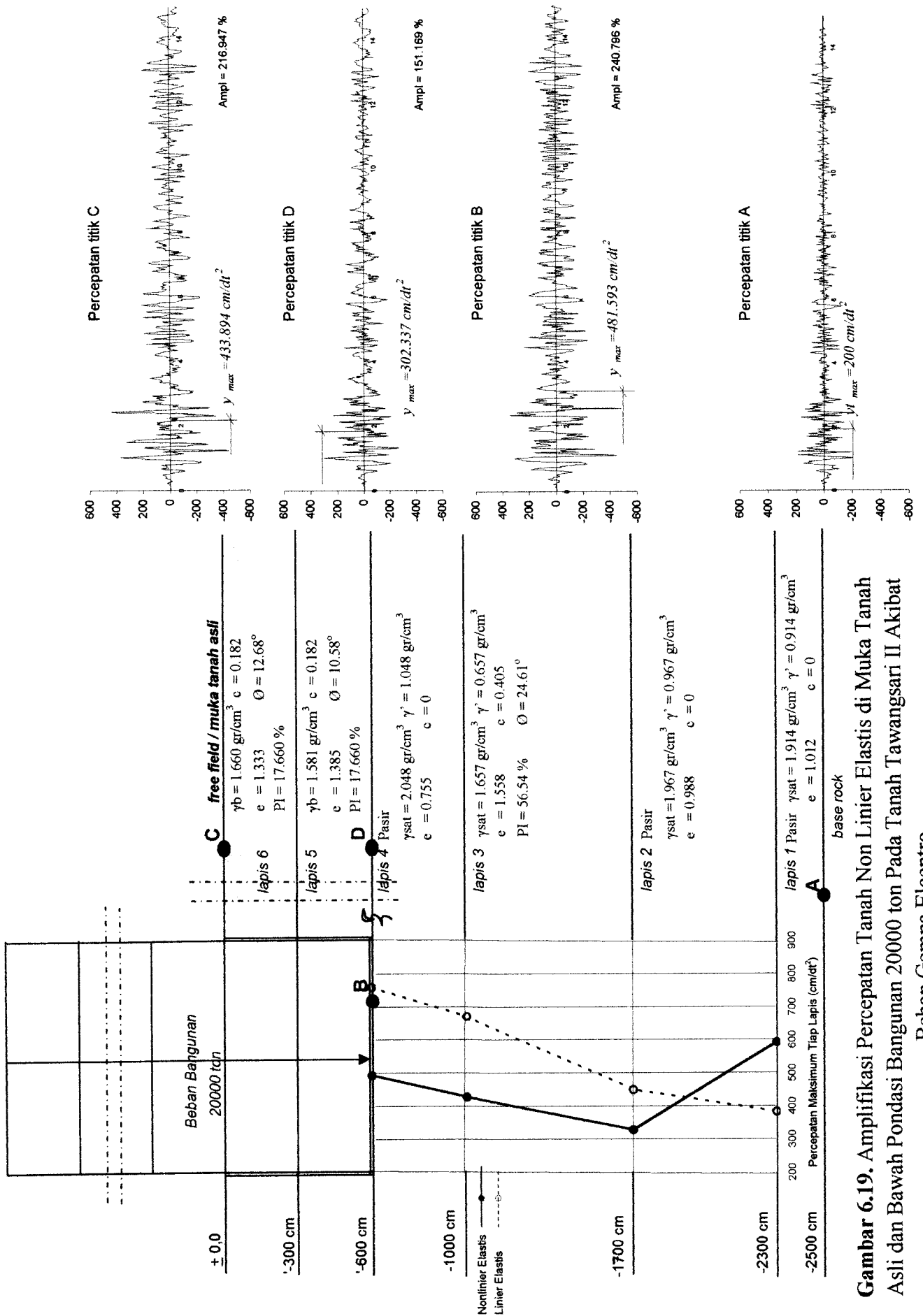




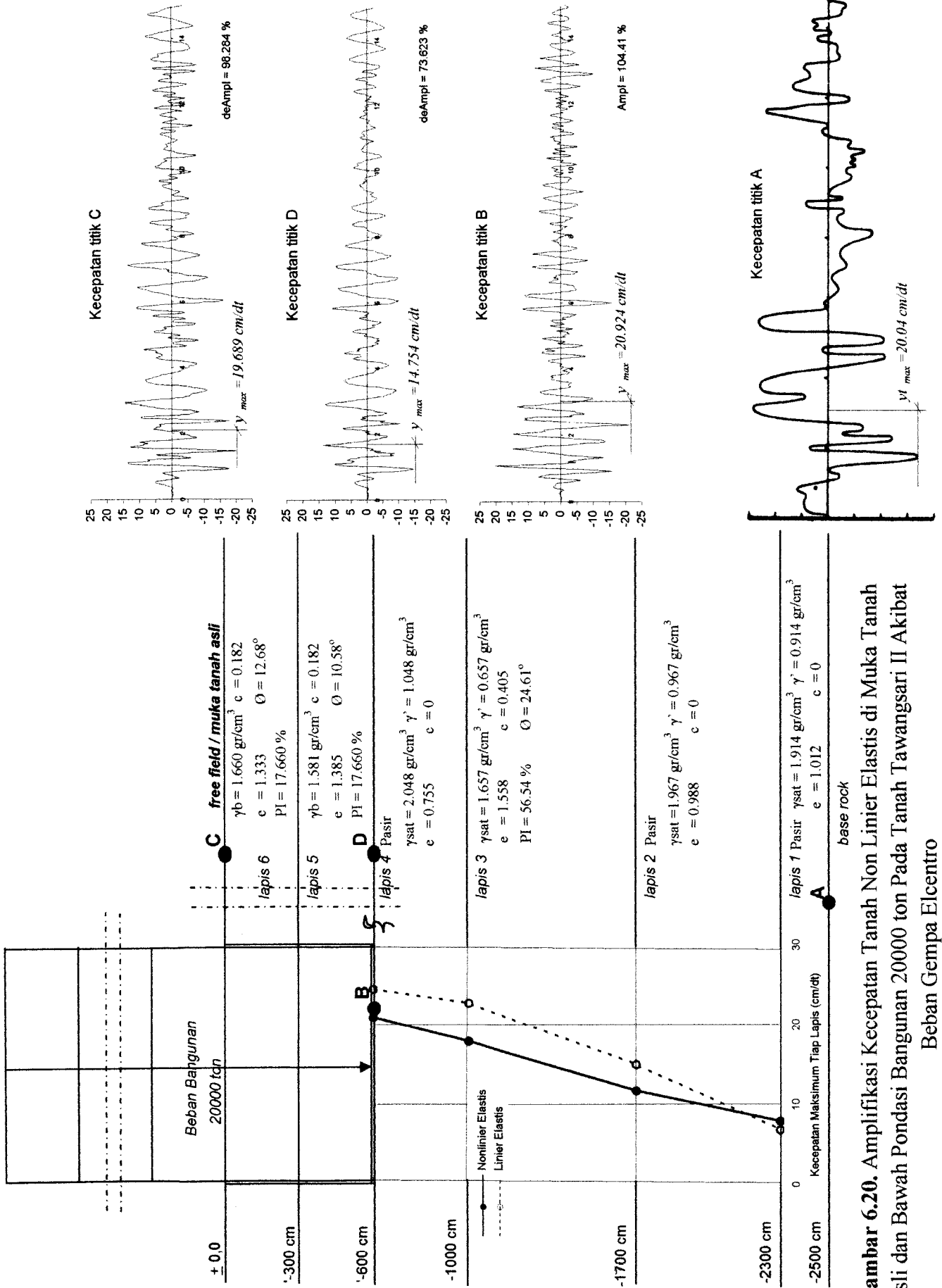
**Grafik 6.95.** Perbandingan Regangan-Tegangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa dan Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



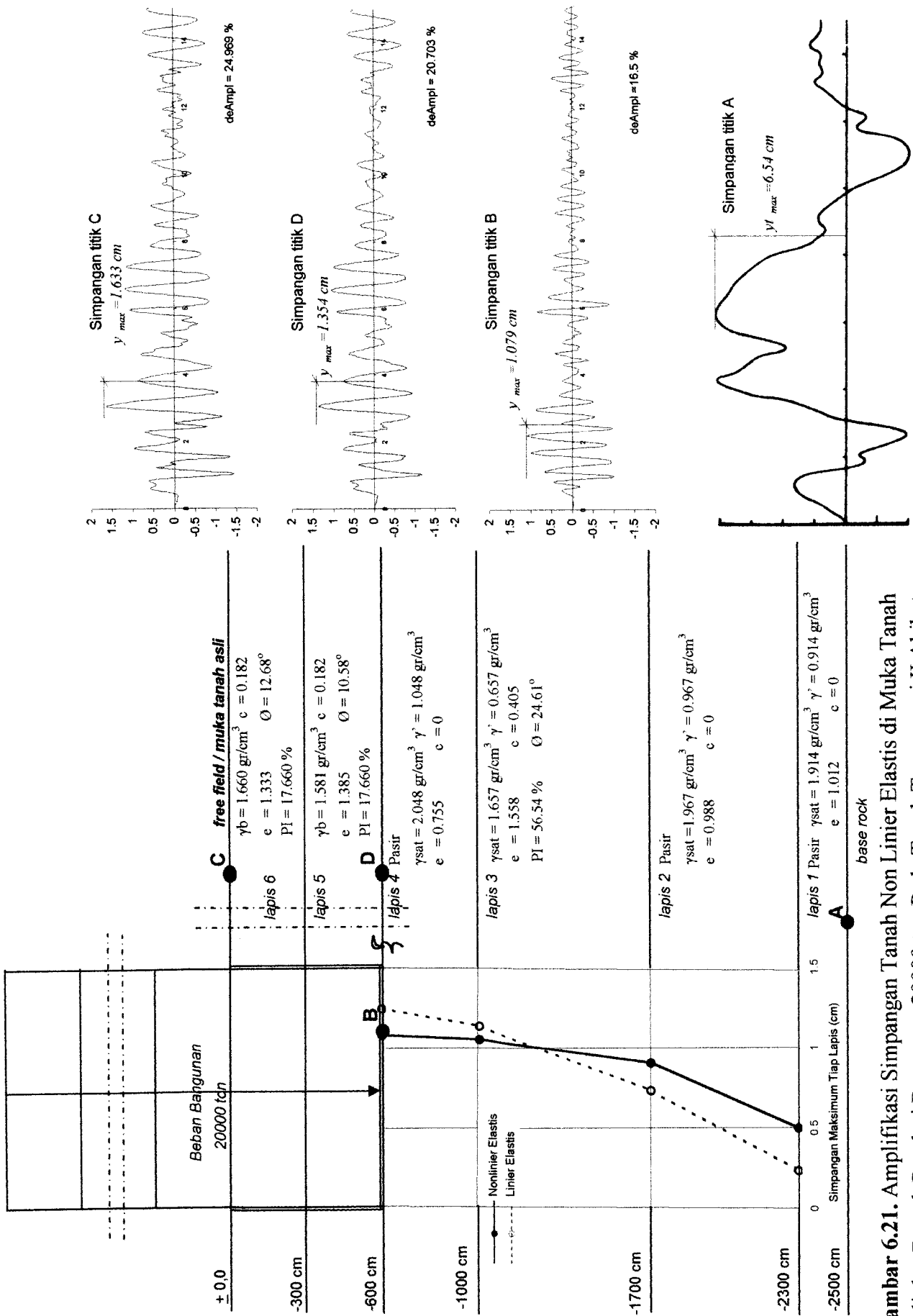
**Grafik 6.96.** Perbandingan Regangan-Tegangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton dan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa El Centro



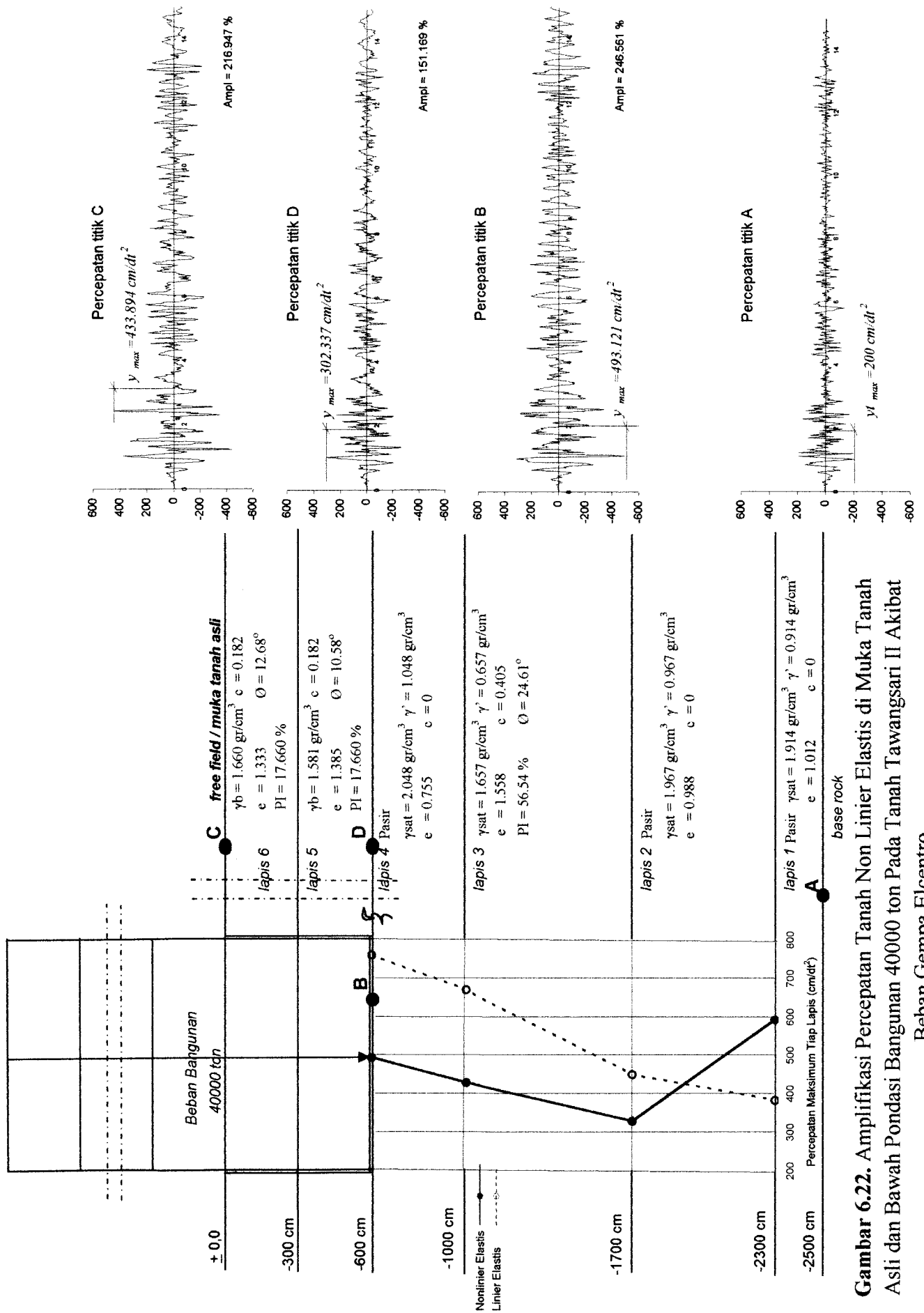
**Gambar 6.19.** Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Beban Gempa Elcentro



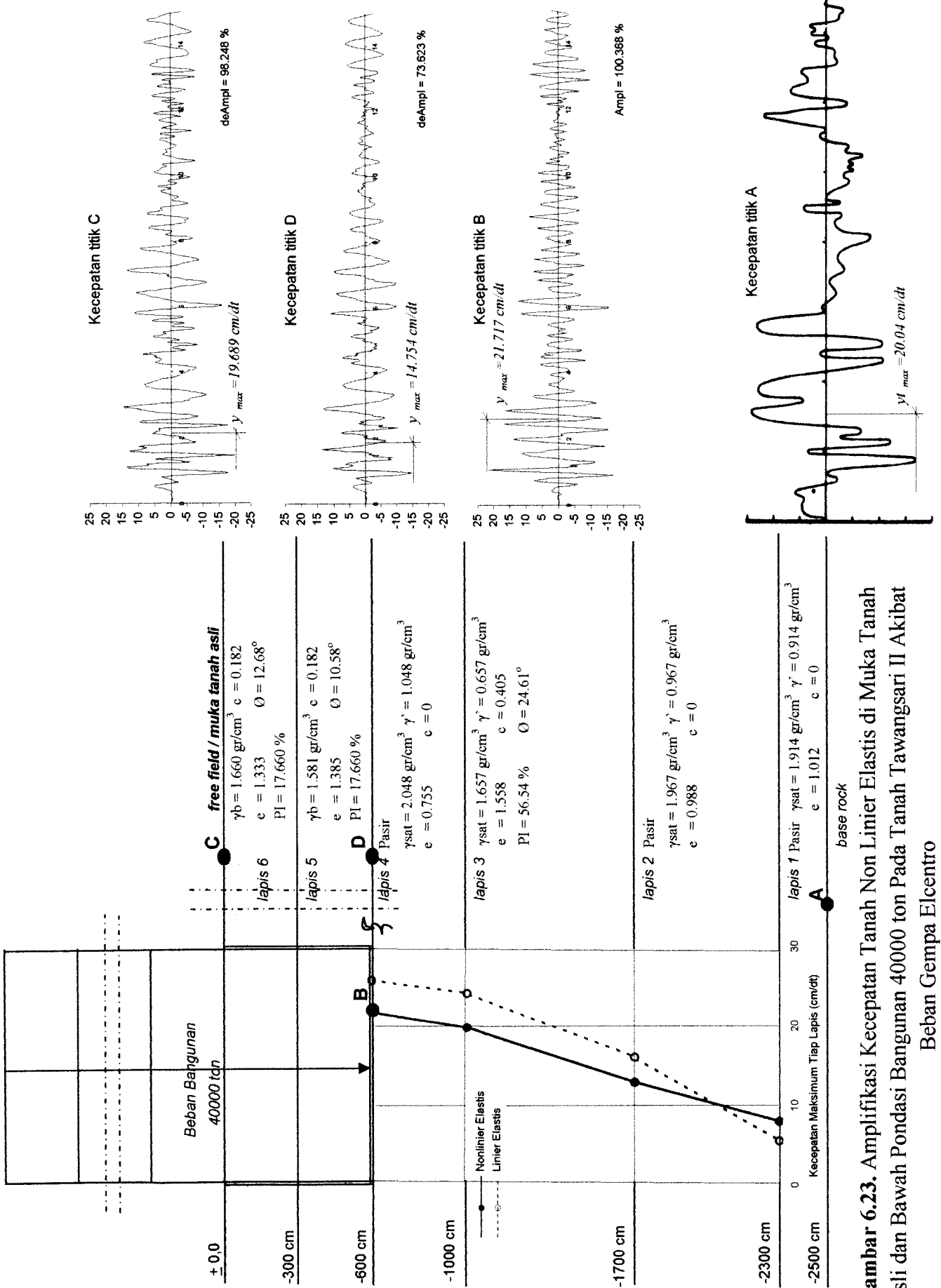
**Gambar 6.20.** Amplifikasi Kecepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Beban Gempa Elcentro



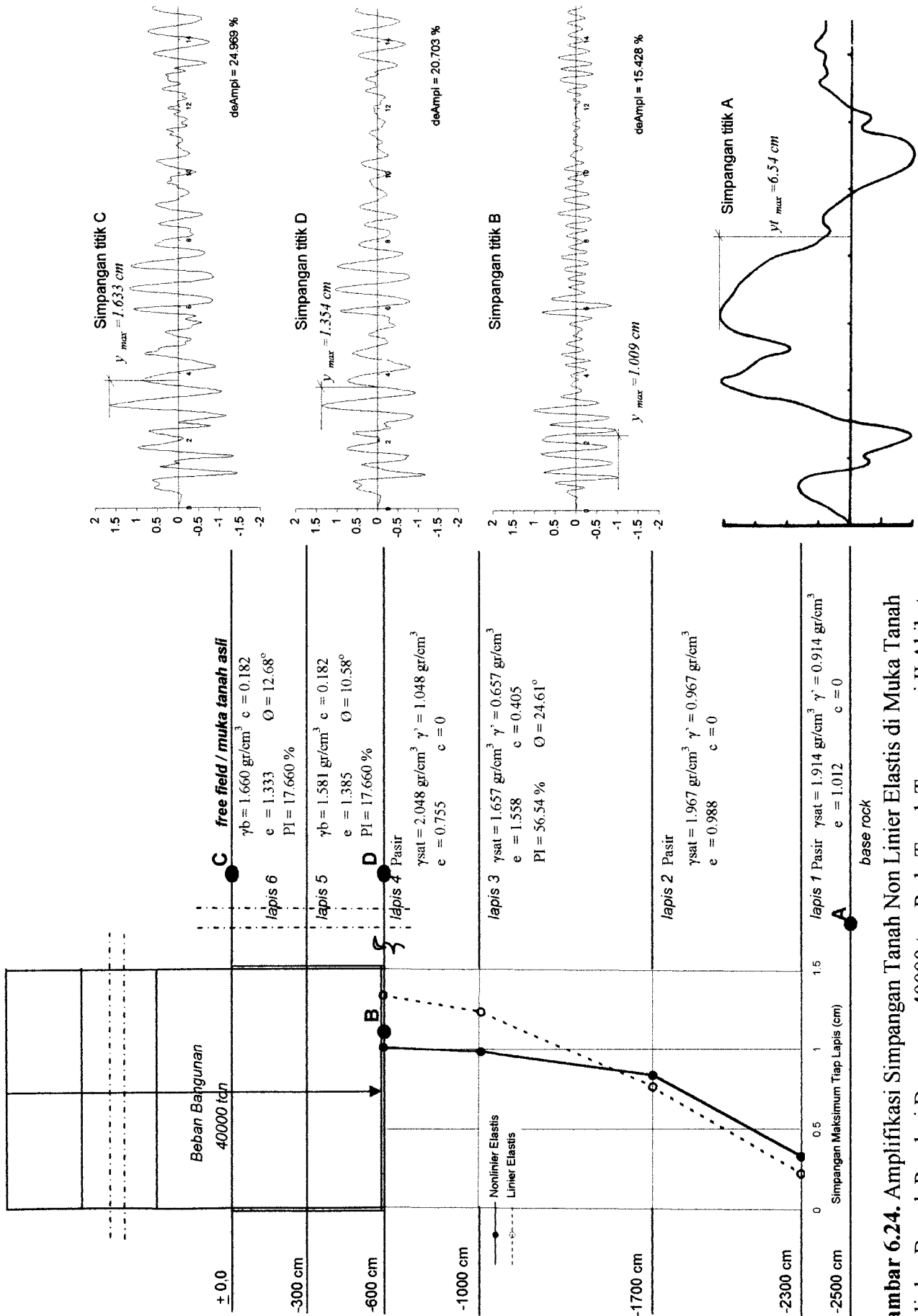
**Gambar 6.21.** Amplifikasi Simpangan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Beban Gempa Elcentro



**Gambar 6.22.** Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawang Sari II Akibat Beban Gempa Elcentro

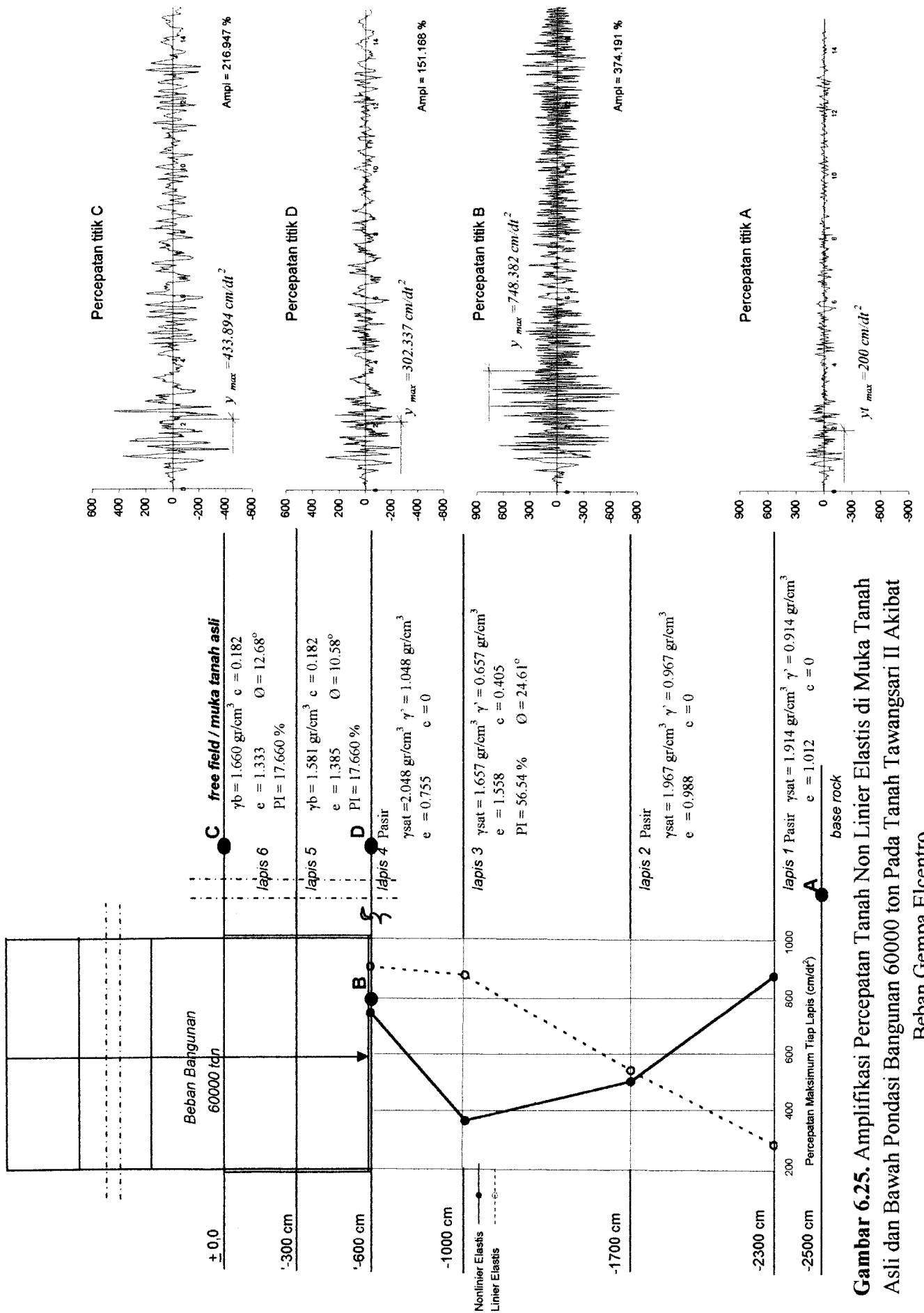


**Gambar 6.23.** Amplifikasi Kecepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Beban Gempa Elcentro

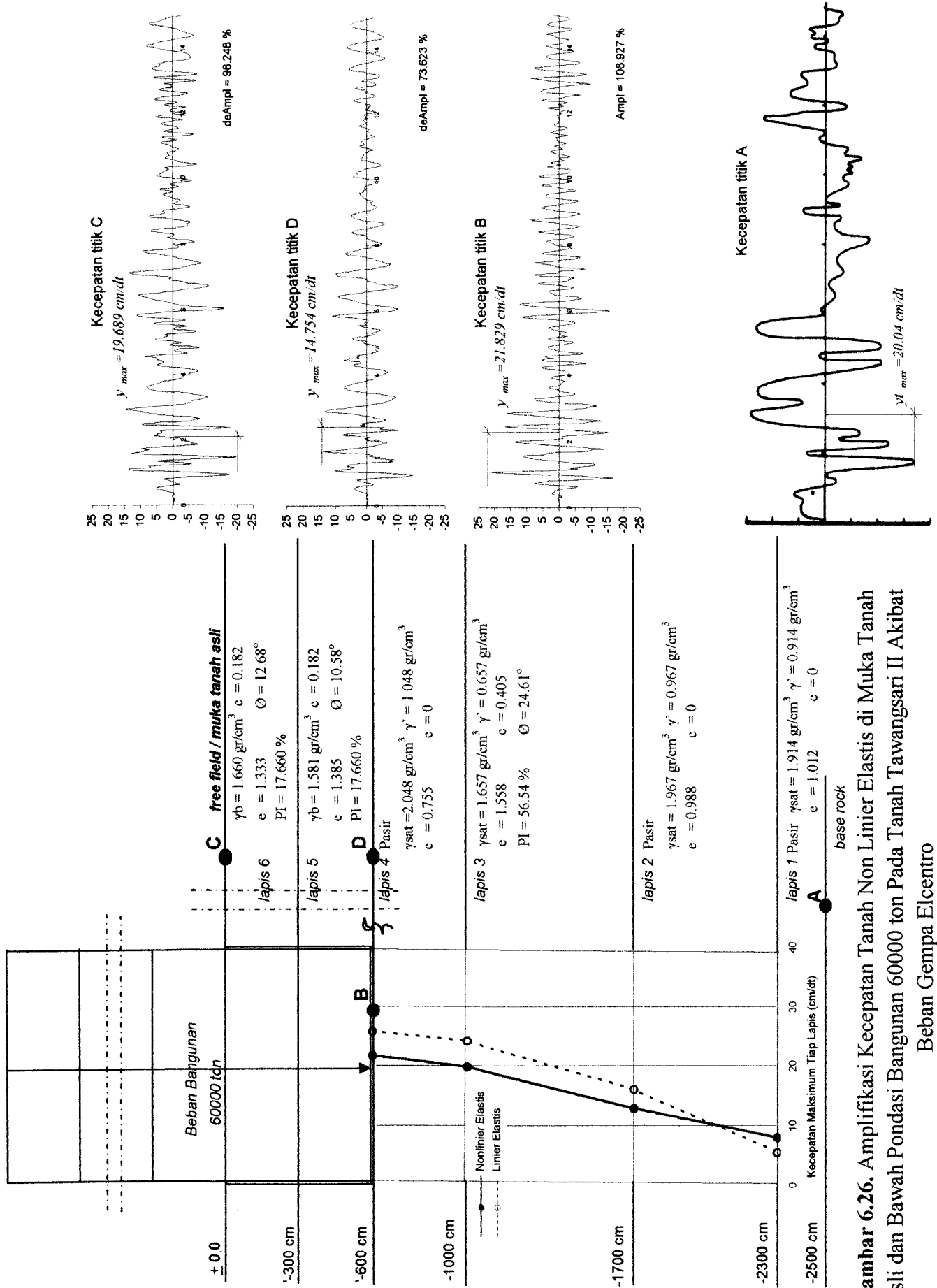


**Gambar 6.24.** Amplifikasi Simpangan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Beban Gempa Elcentro

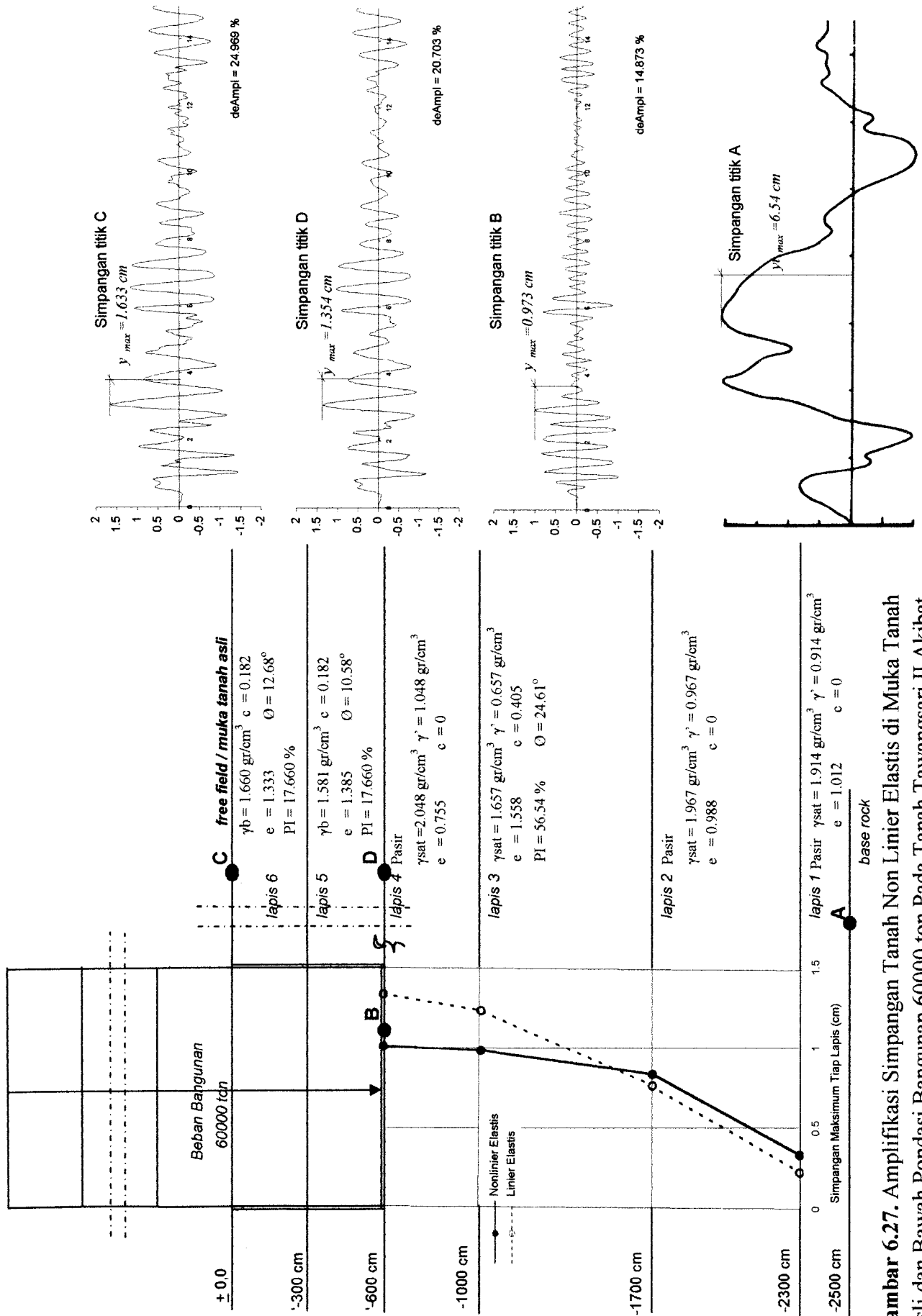




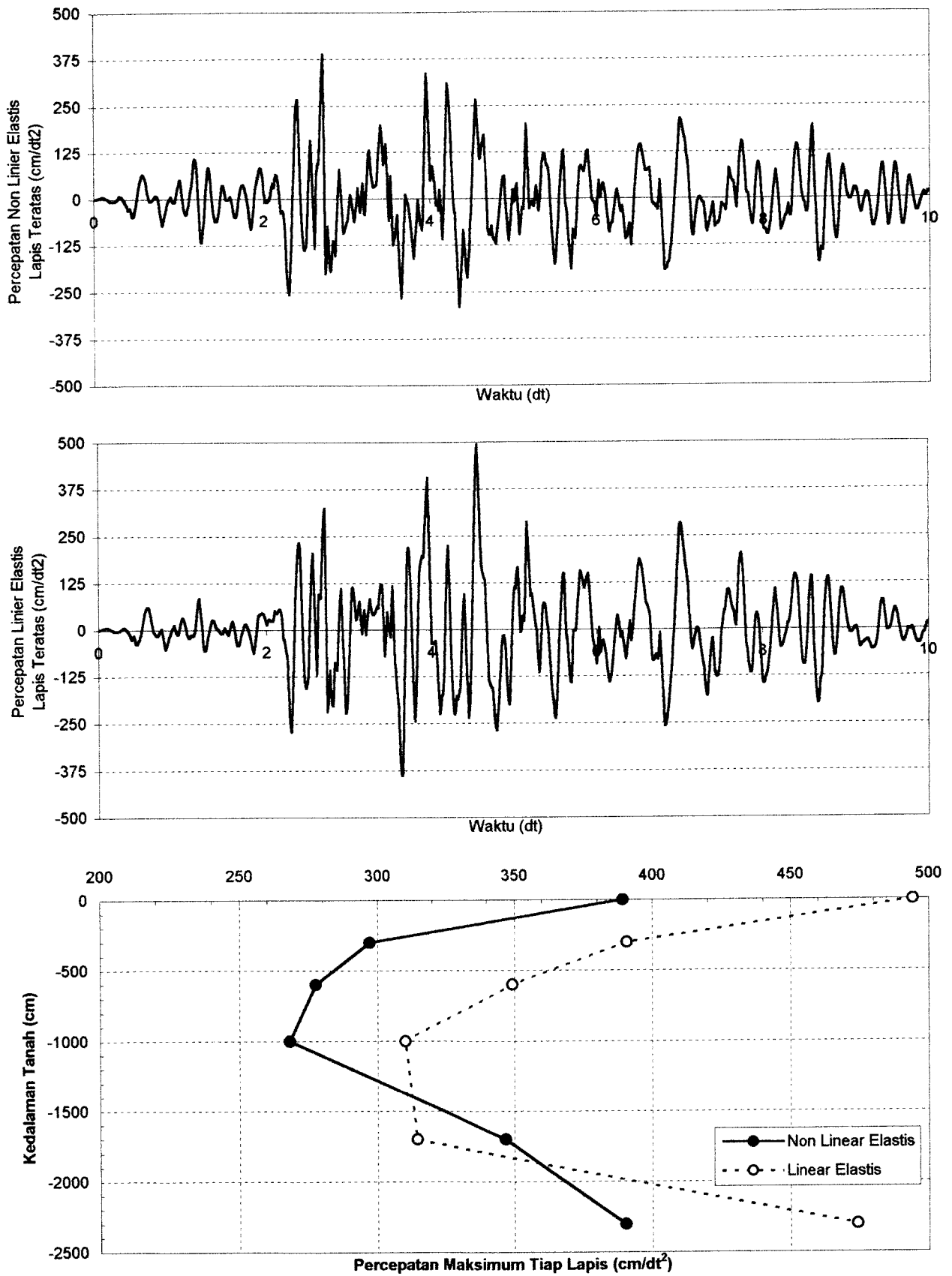
**Gambar 6.25.** Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Beban Gempa Elcentro



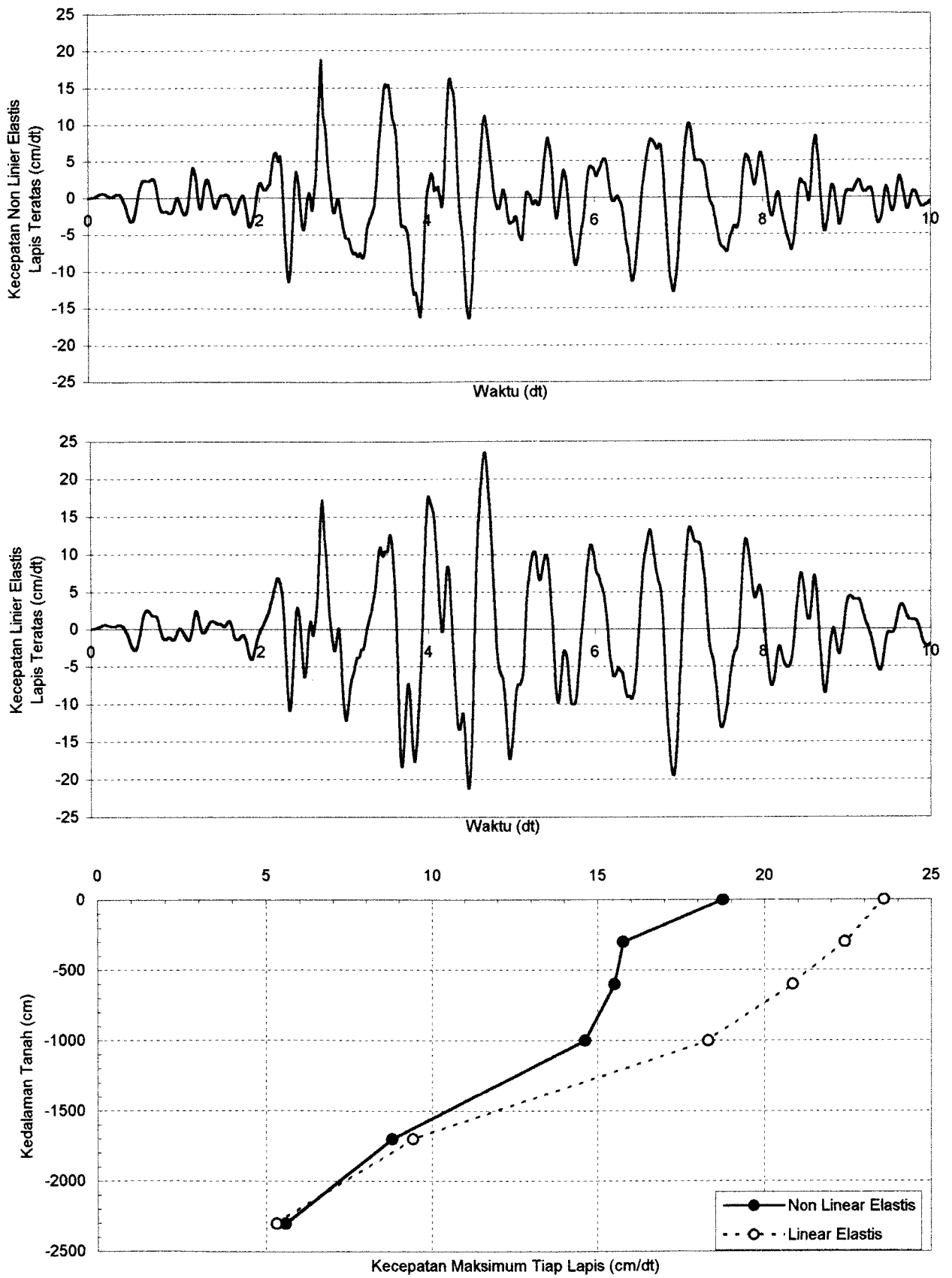
**Gambar 6.26.** Amplifikasi Kecepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Beban Gempa Elcentro



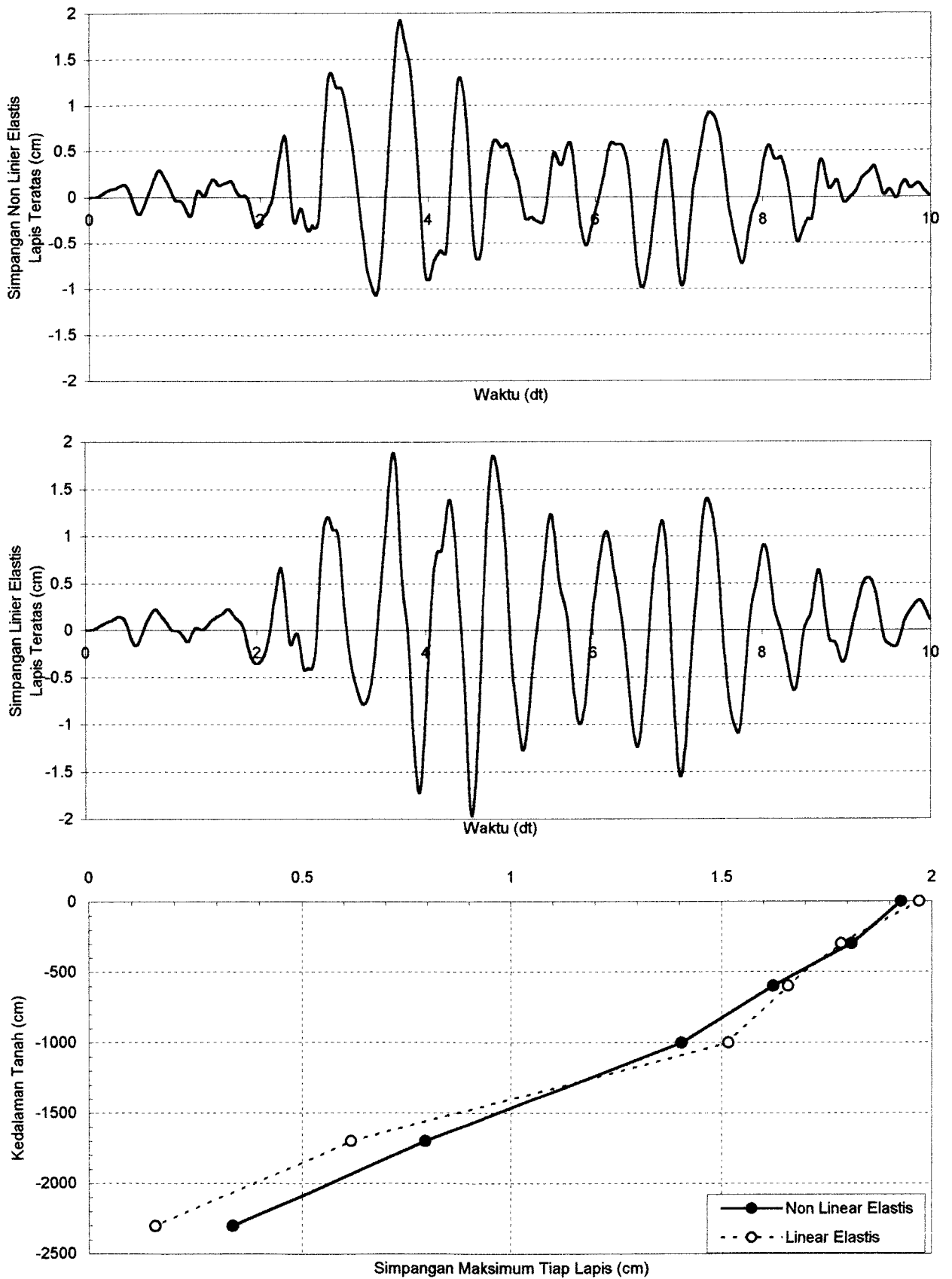
**Gambar 6.27.** Amplifikasi Simpangan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Beban Gempa Elcentro



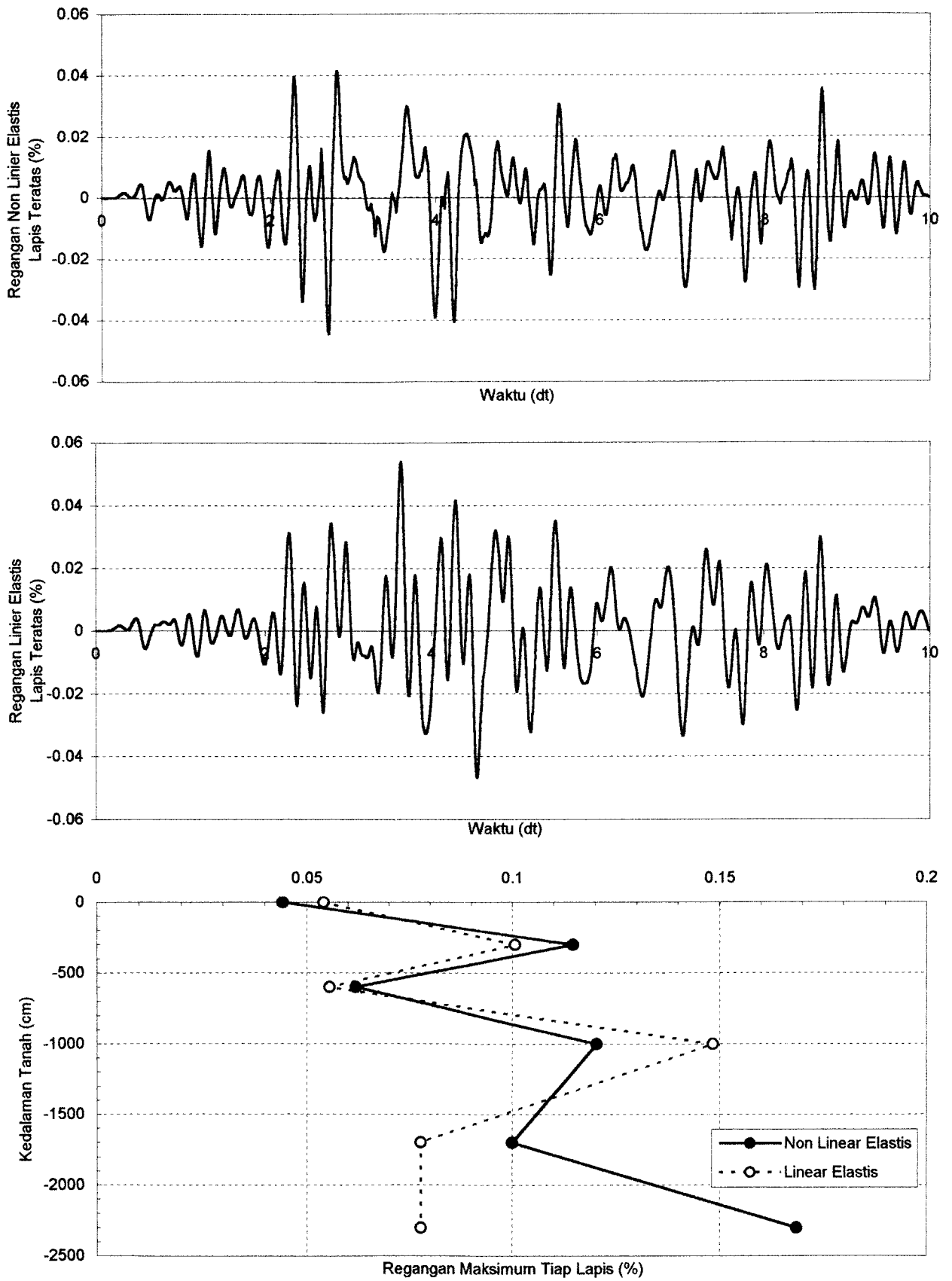
**Grafik 6.97.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Koyna



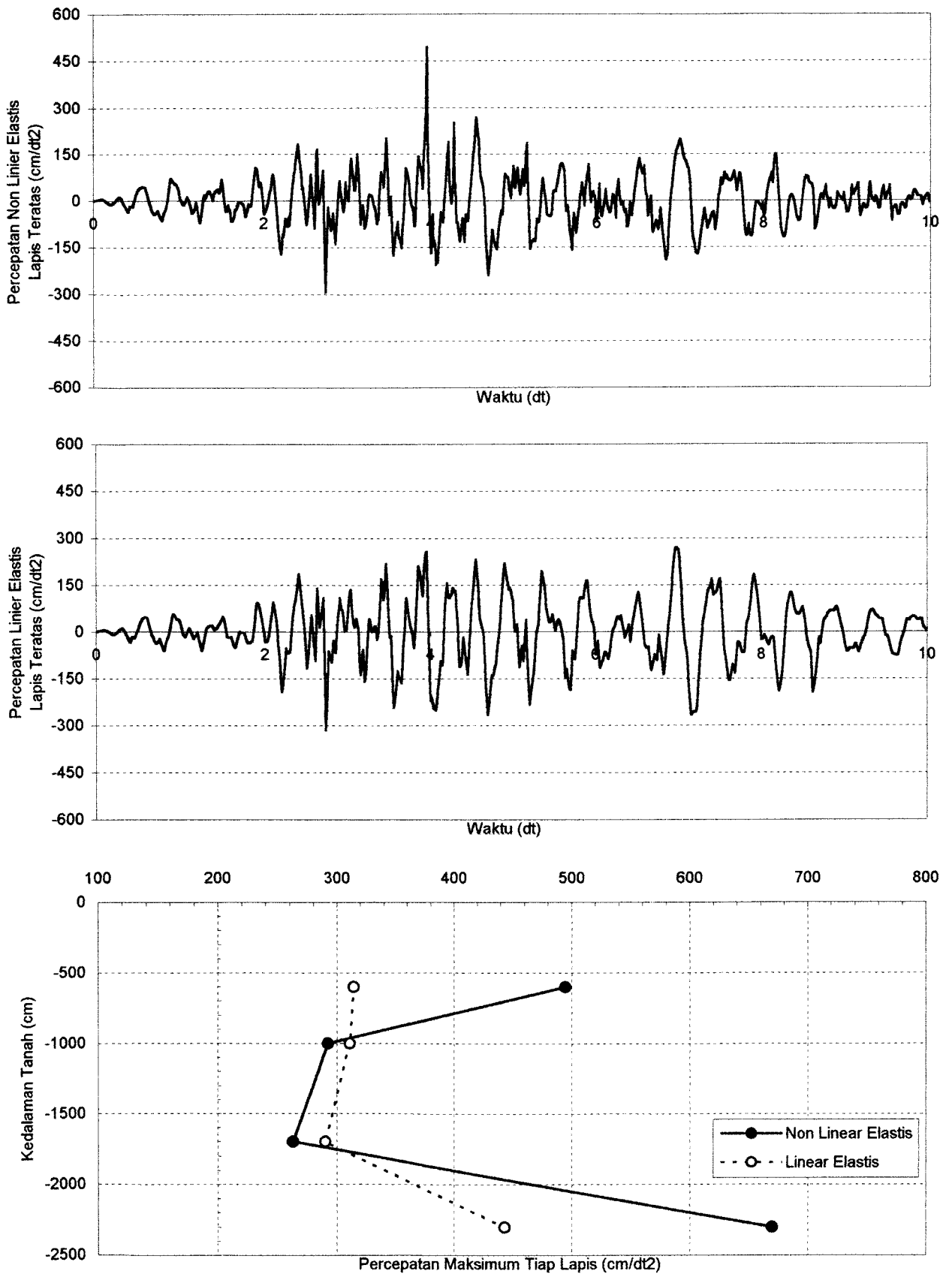
**Grafik 6.98.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Koyna



**Grafik 6.99.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Koyna

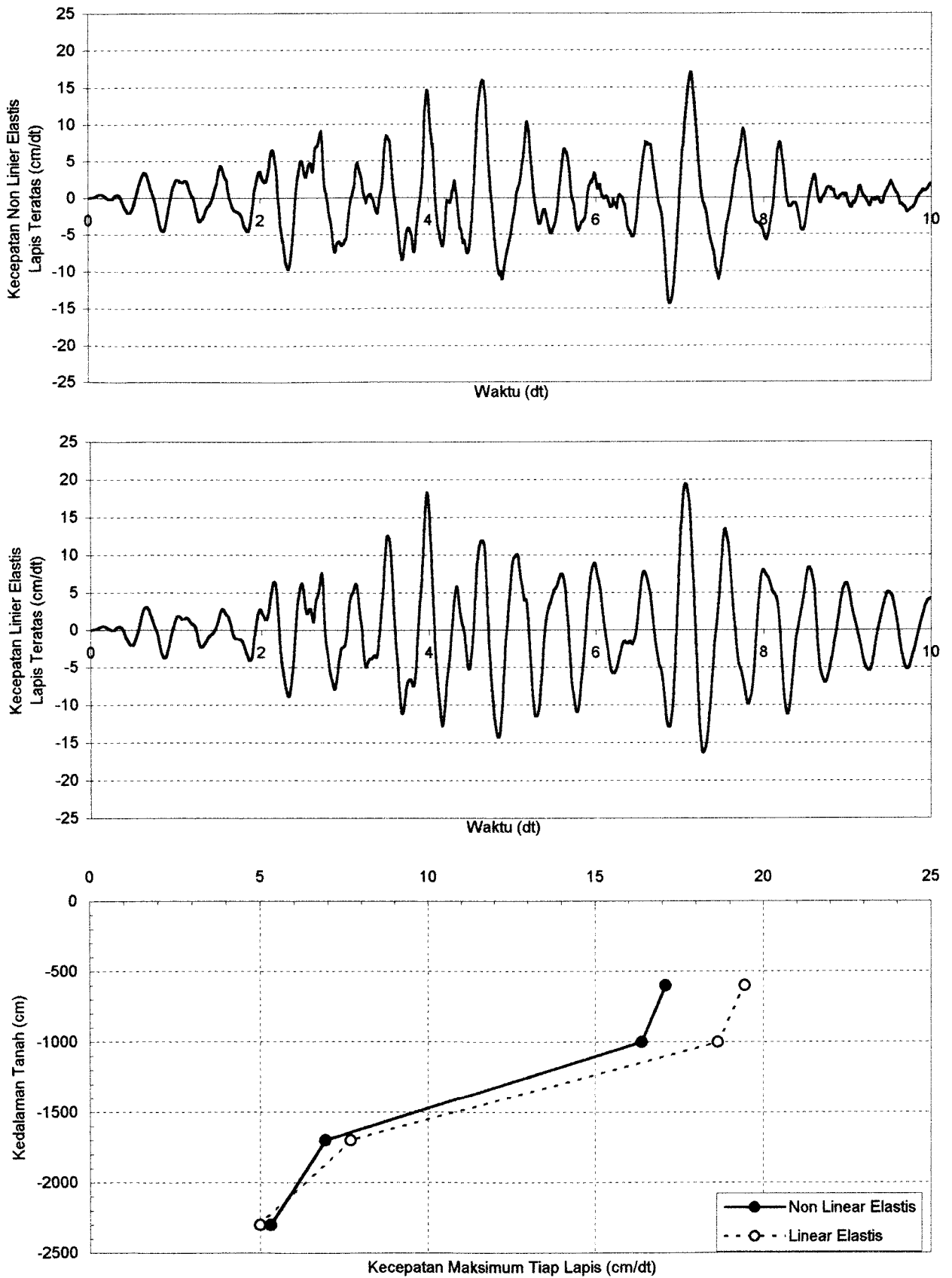


**Grafik 6.100.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Koyna

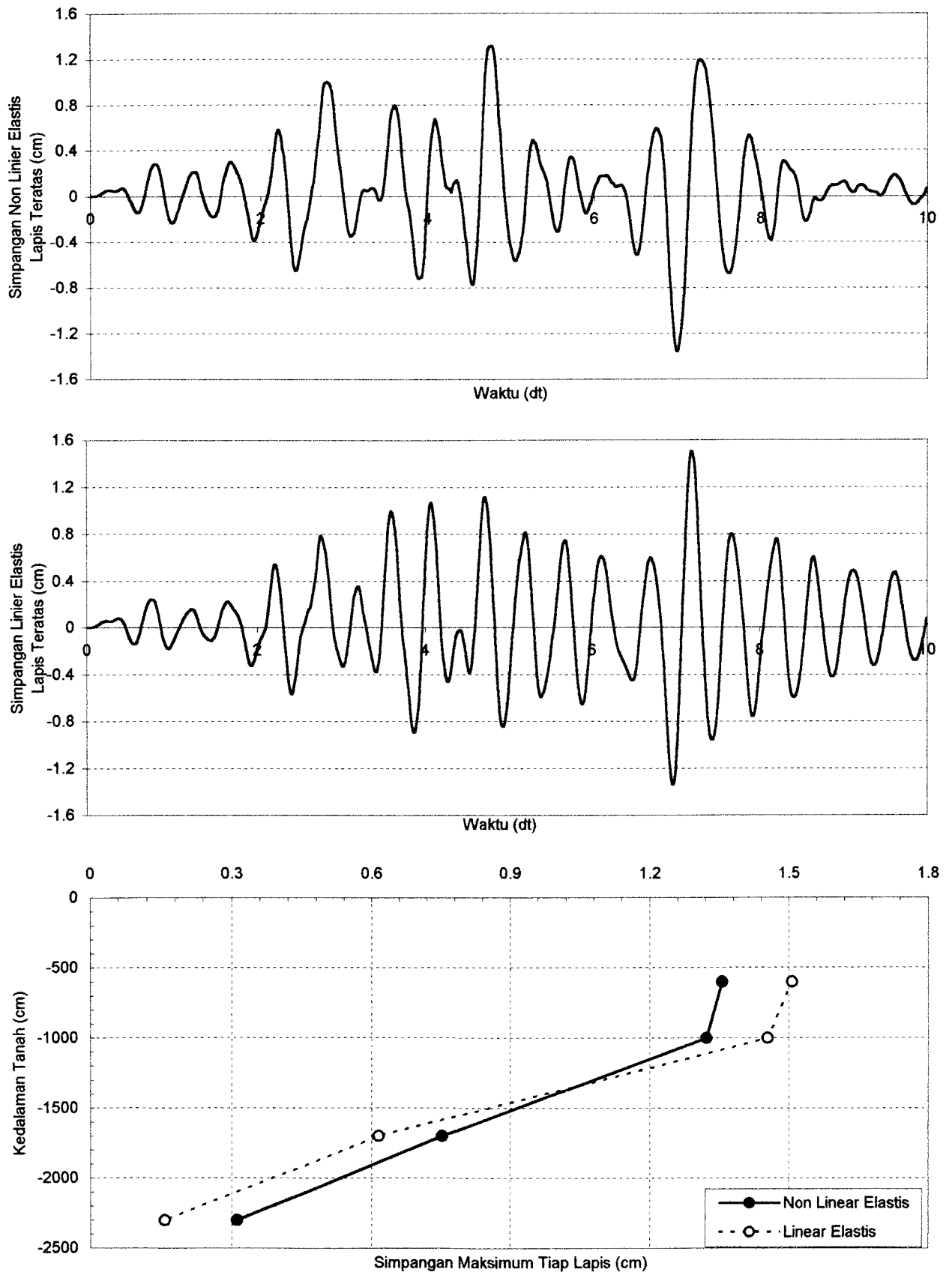


**Grafik 6.101.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Koyna

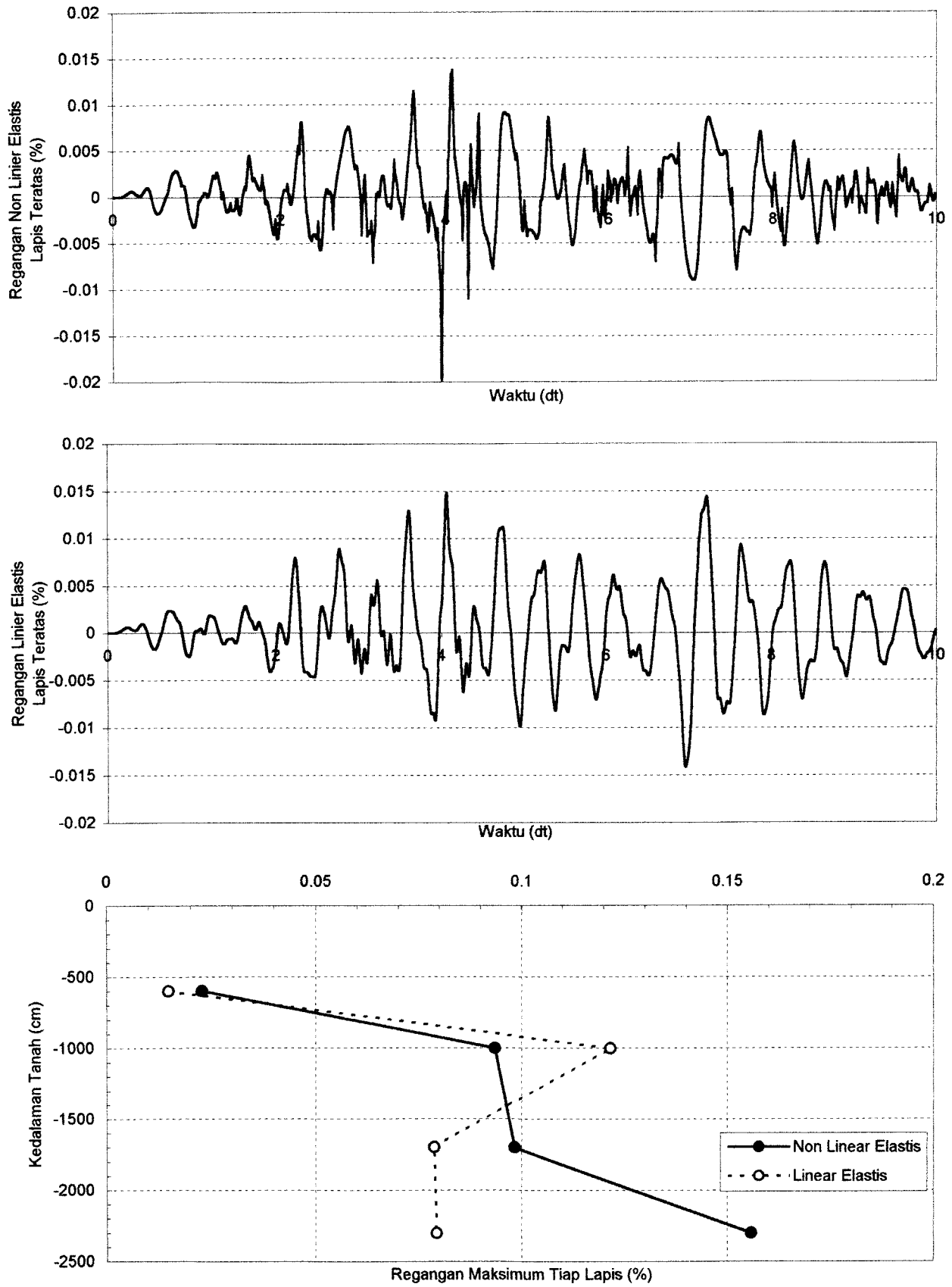




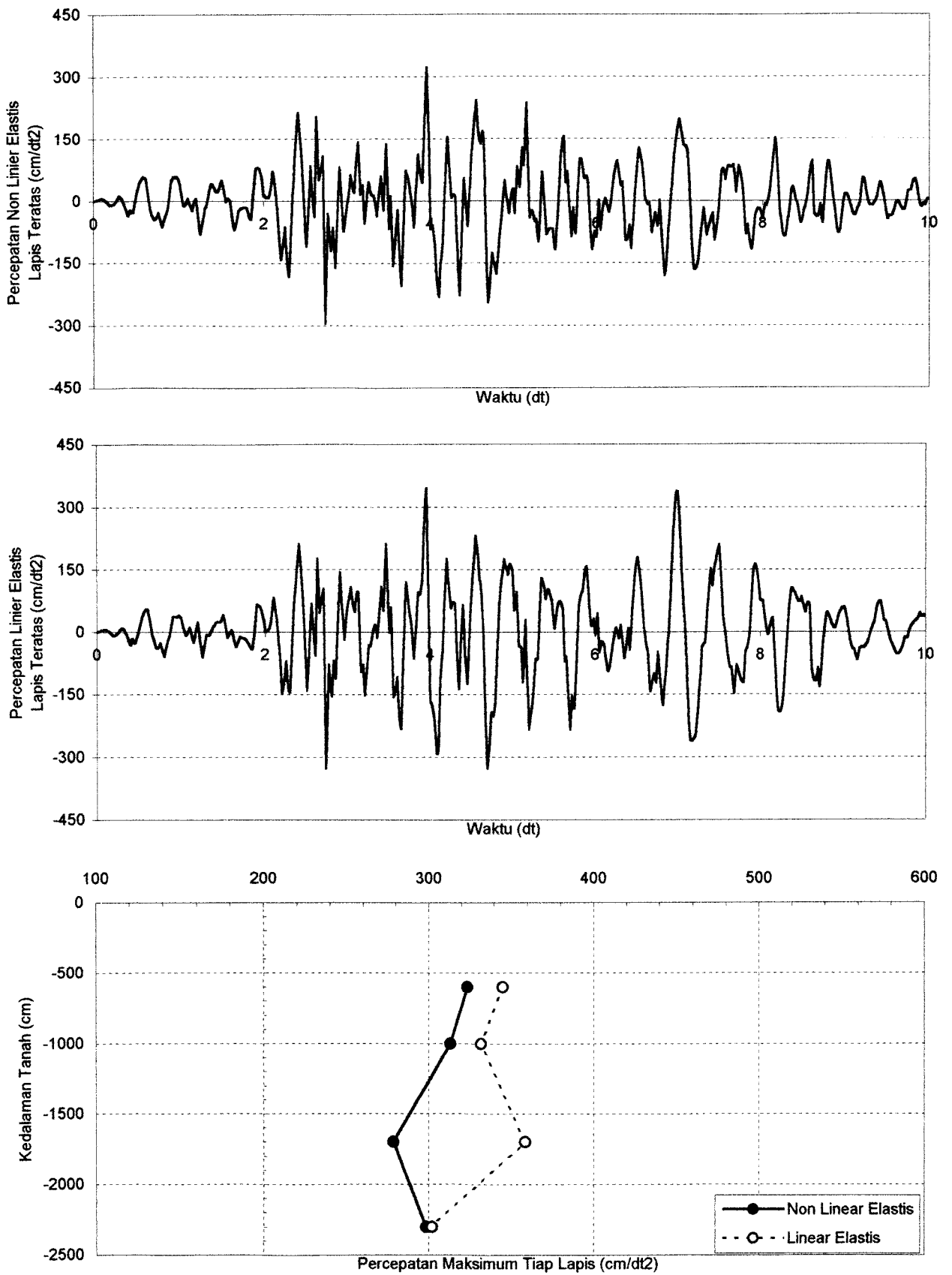
**Grafik 6.102.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Koyna



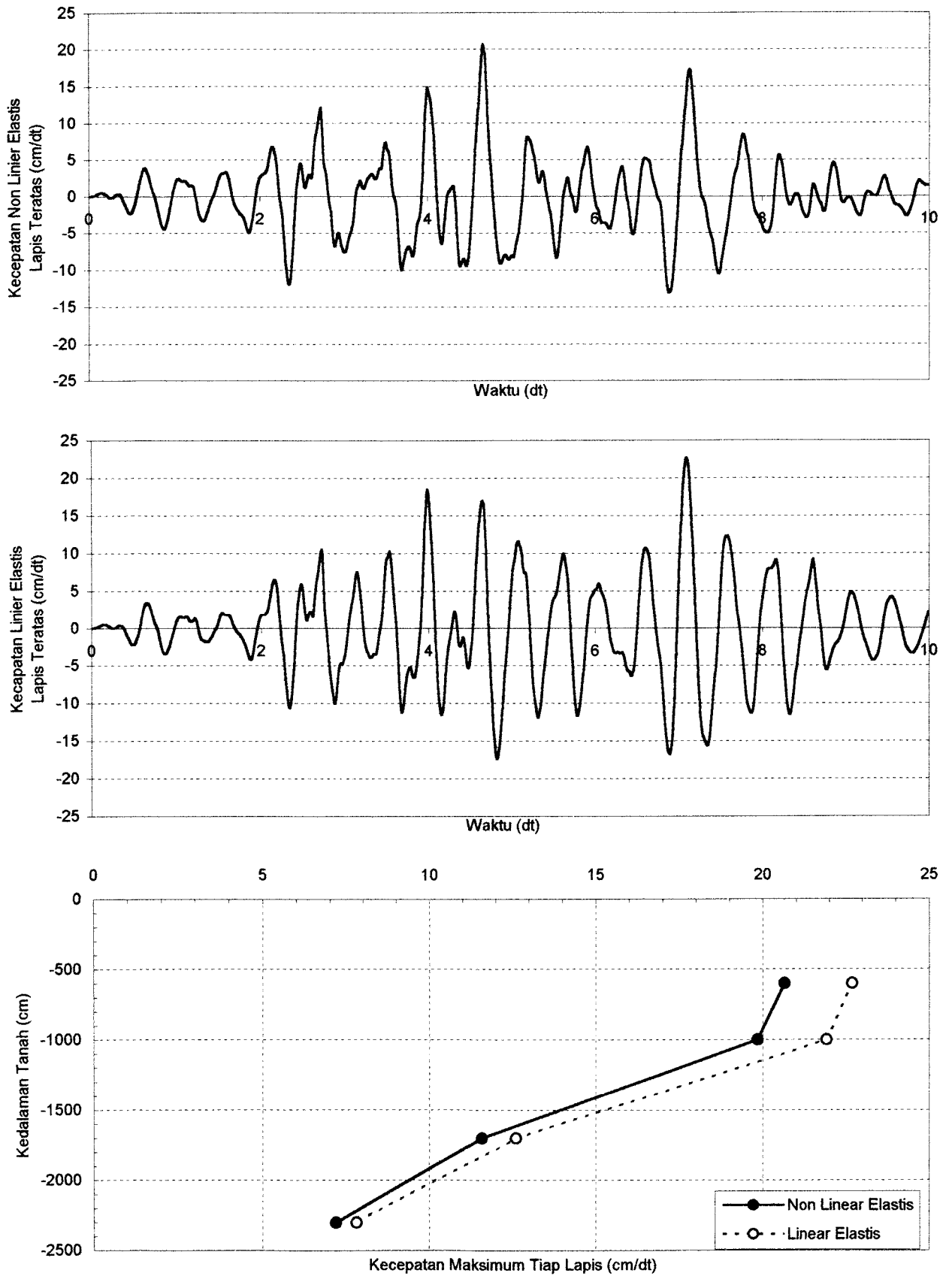
**Grafik 6.103.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Koyna



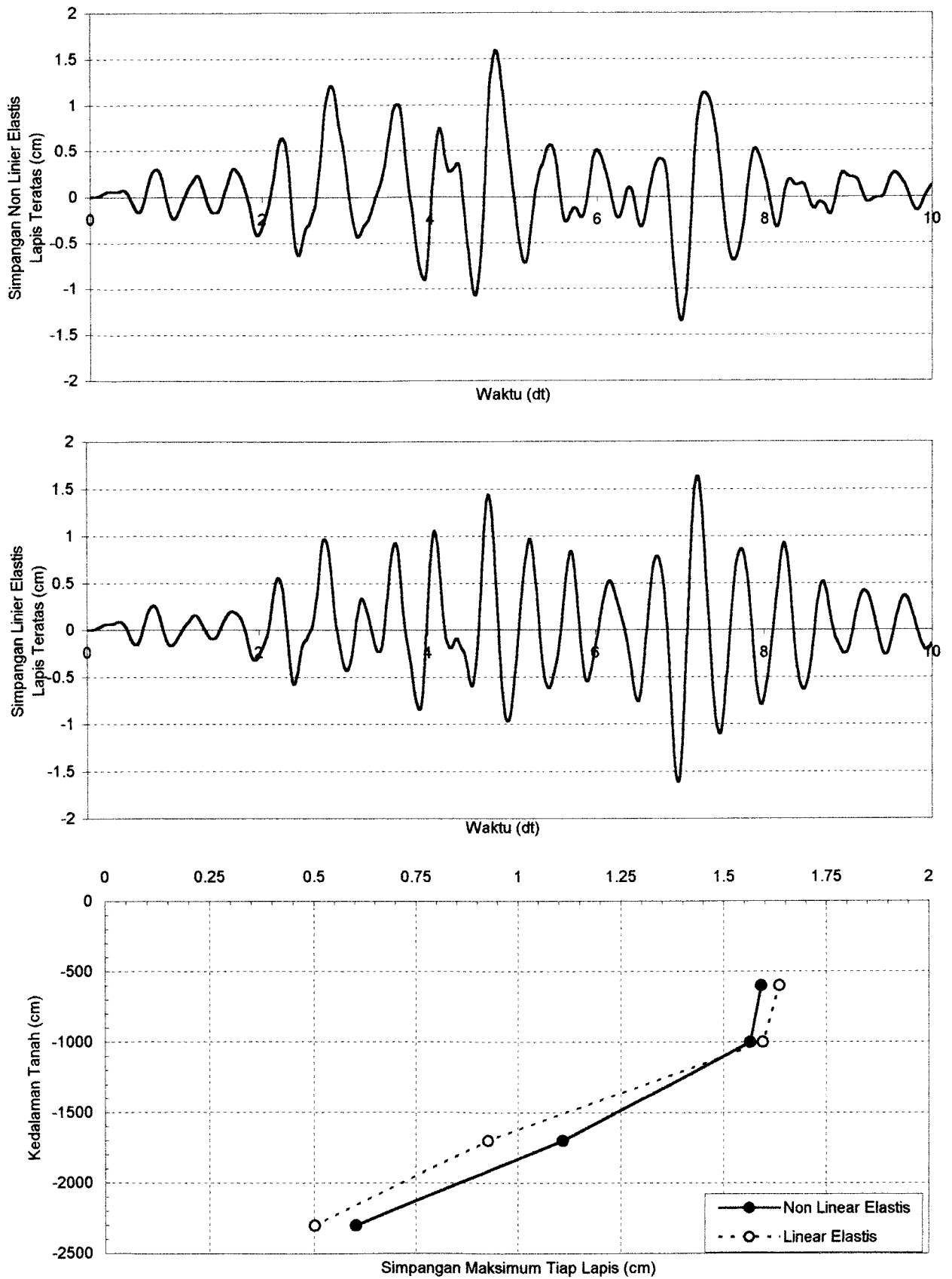
**Grafik 6.104.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Koyna



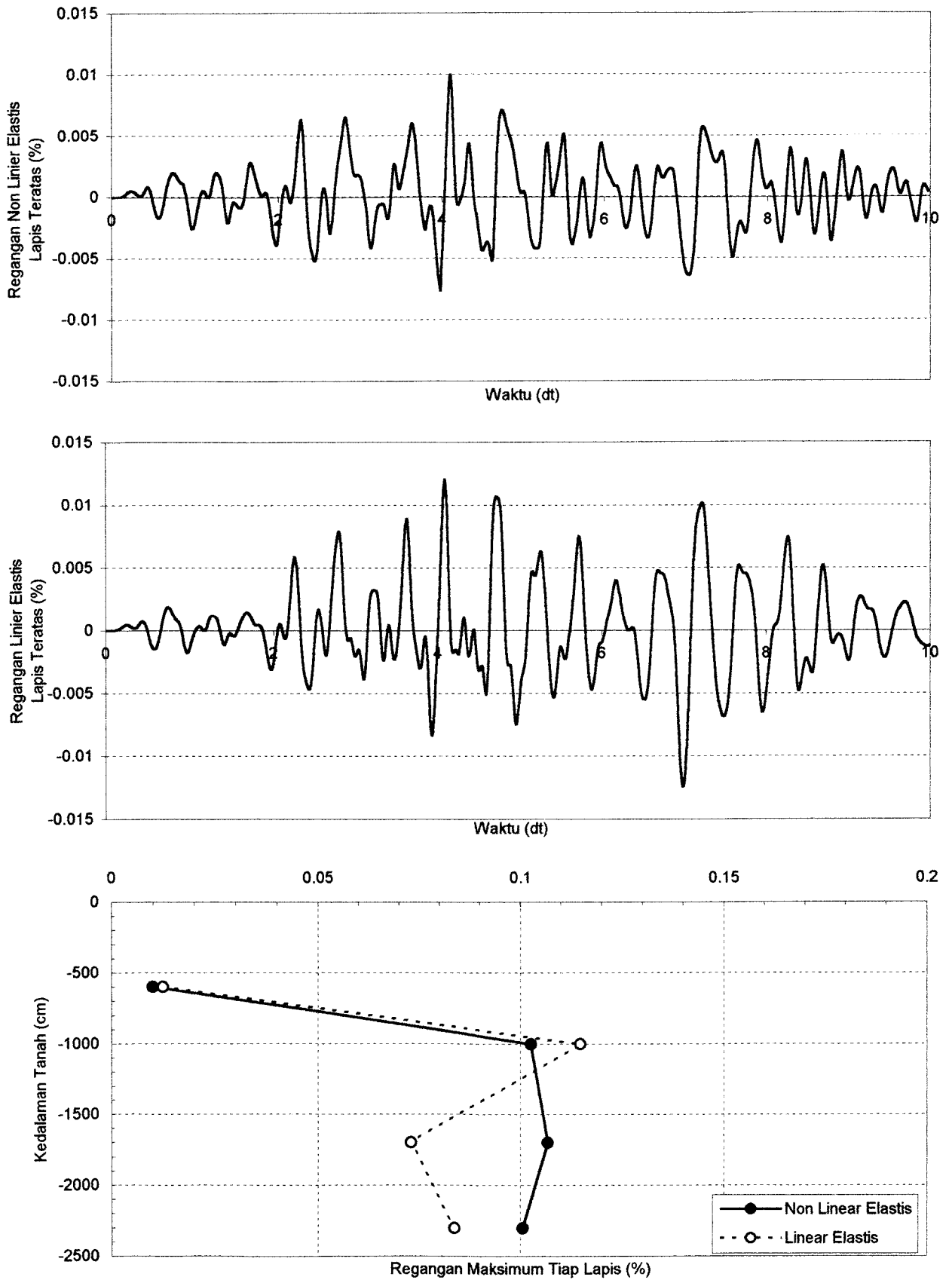
**Grafik 6.105.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Koyna



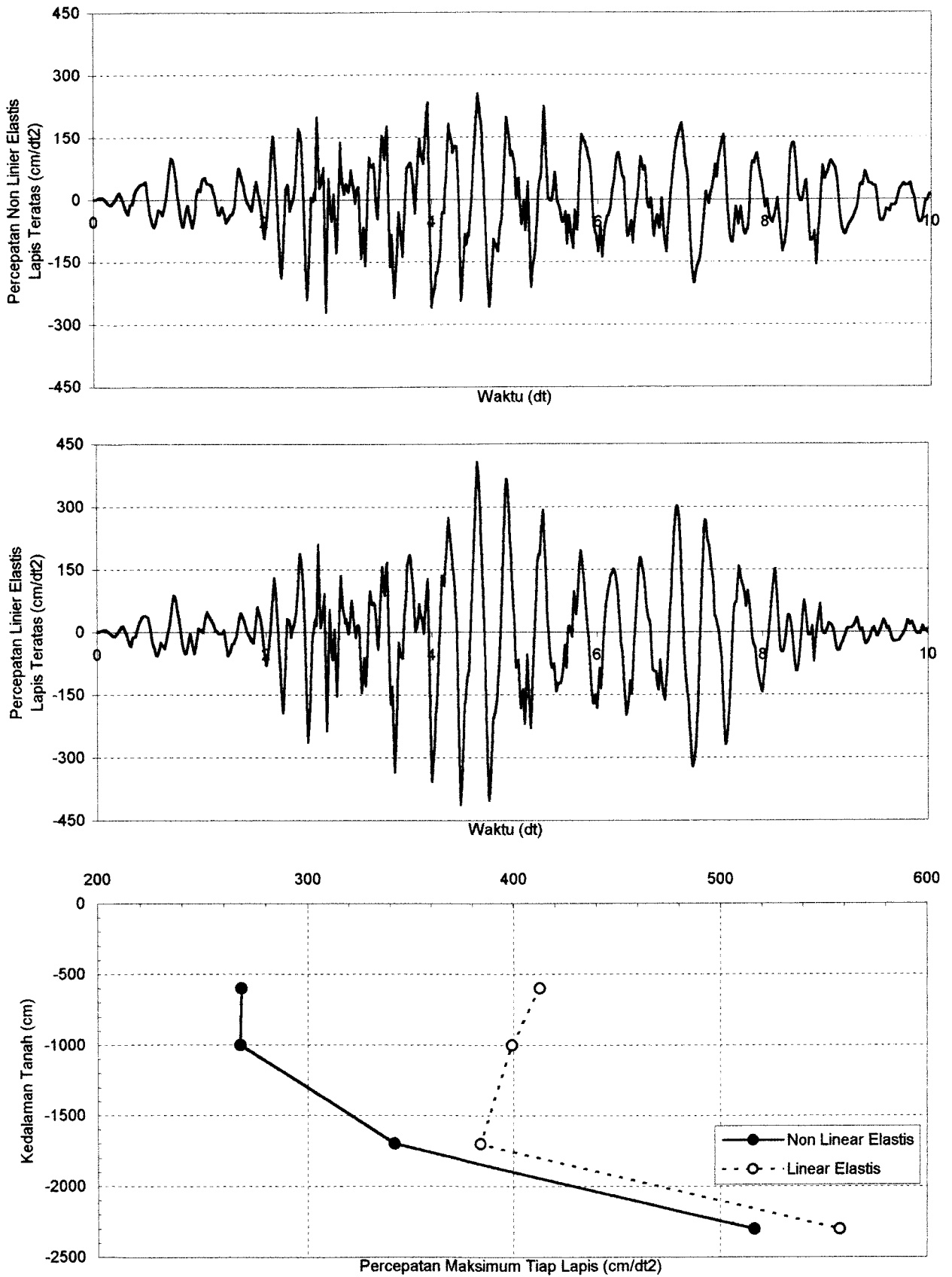
**Grafik 6.106.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Koyna



**Grafik 6.107.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Koyna

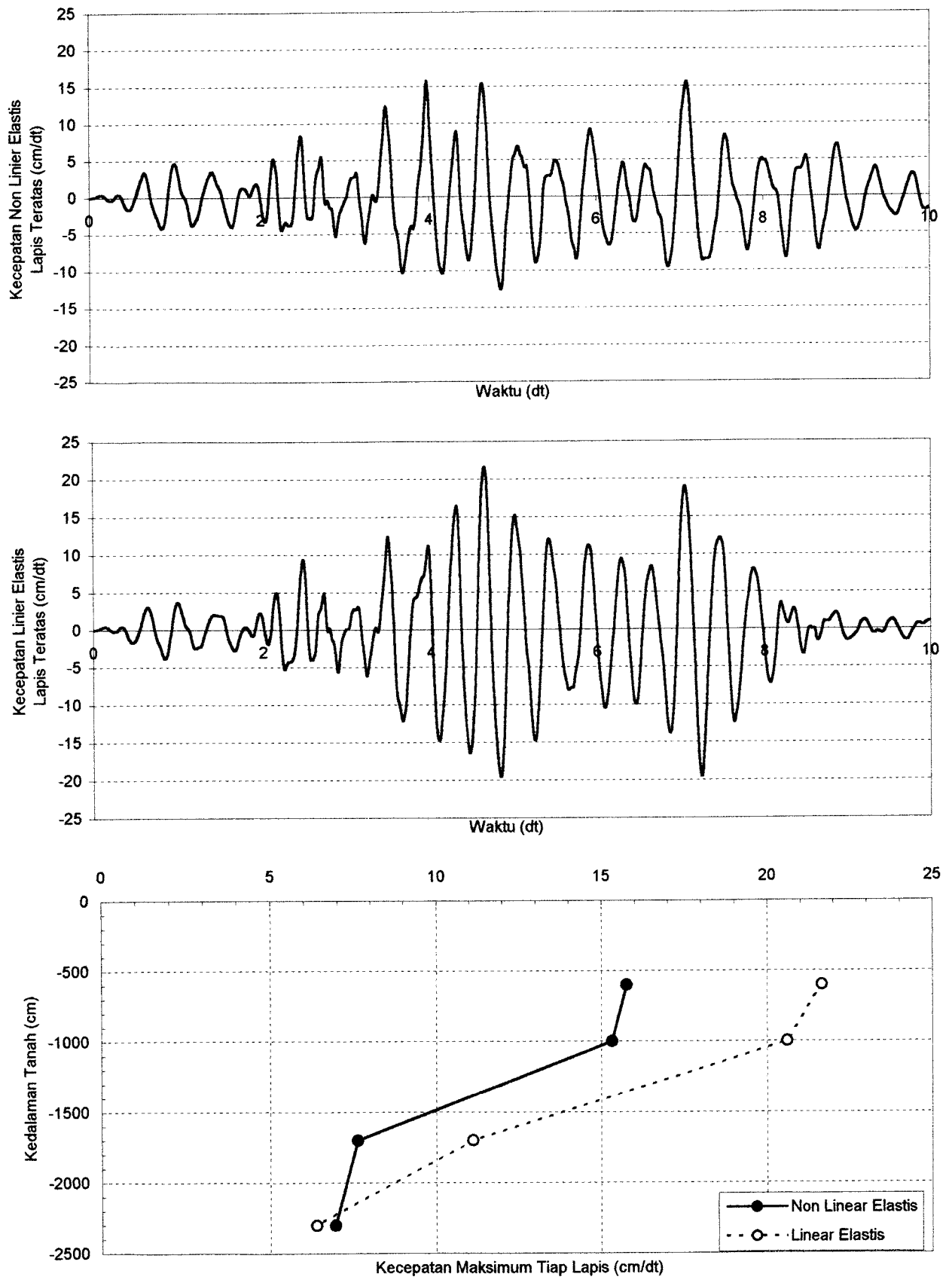


**Grafik 6.108.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Koyna

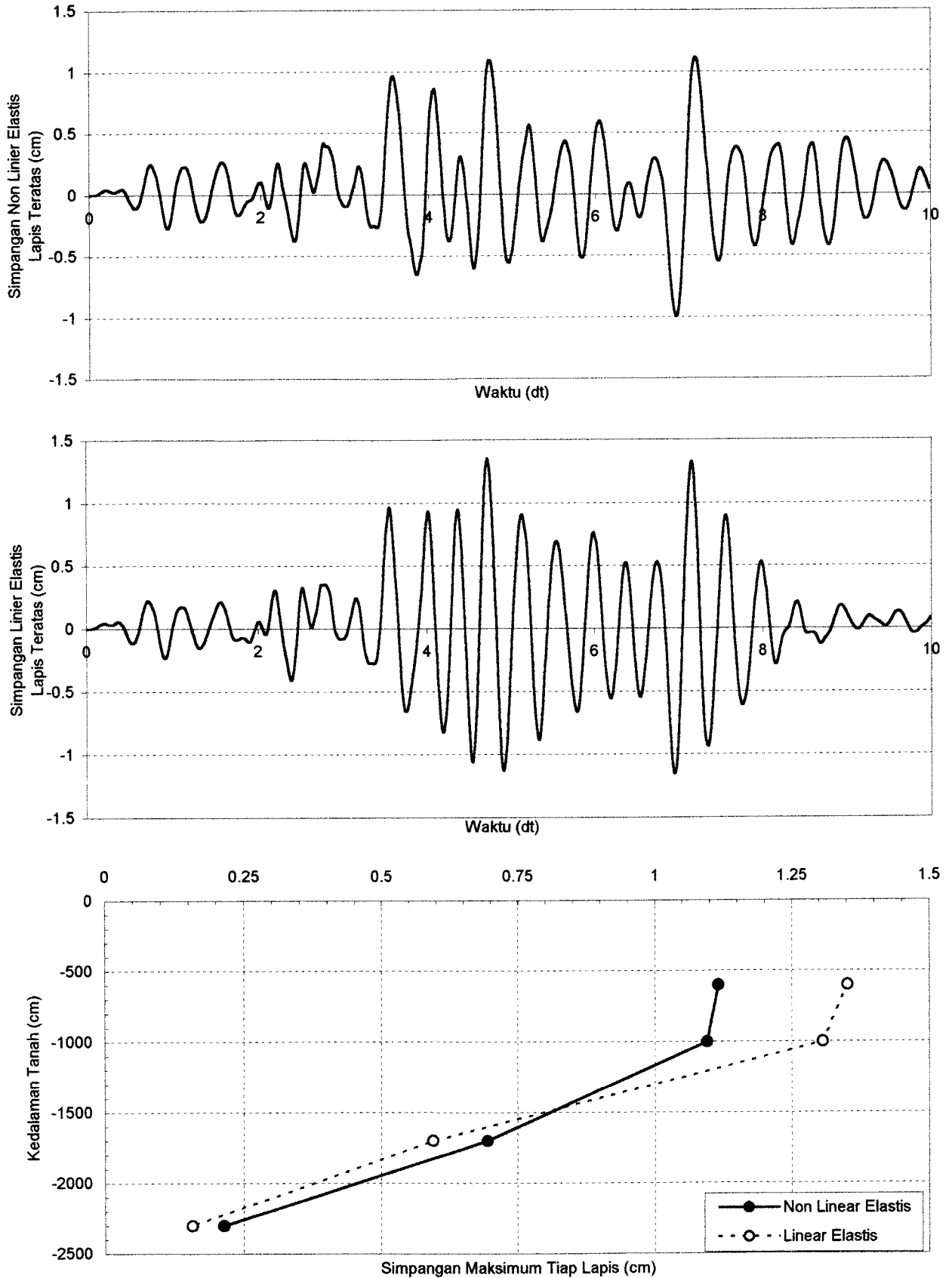


**Grafik 6.109.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Koyna

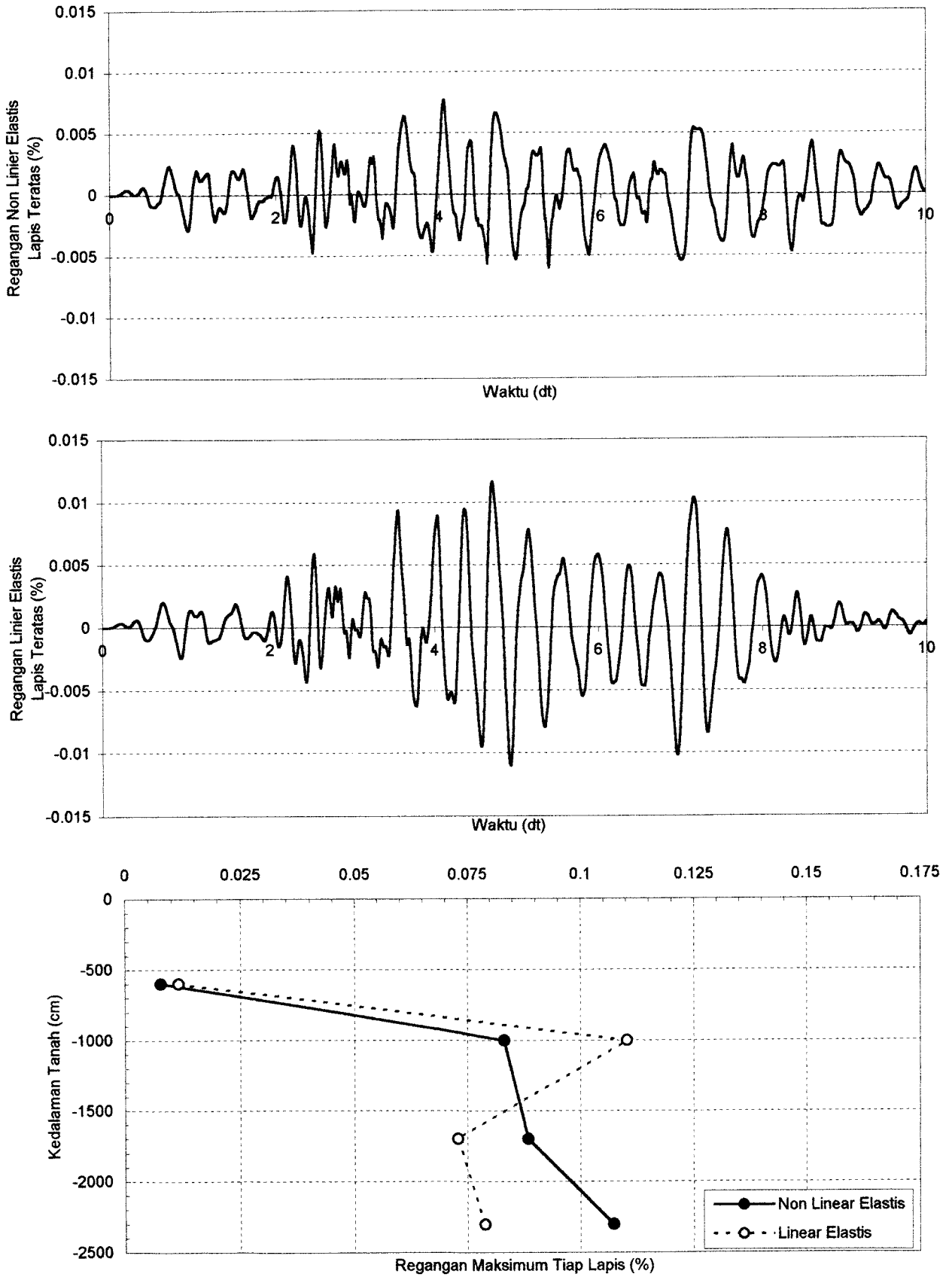




**Grafik 6.110.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawangsari II Sukoharjo Akibat Gempa Koyna

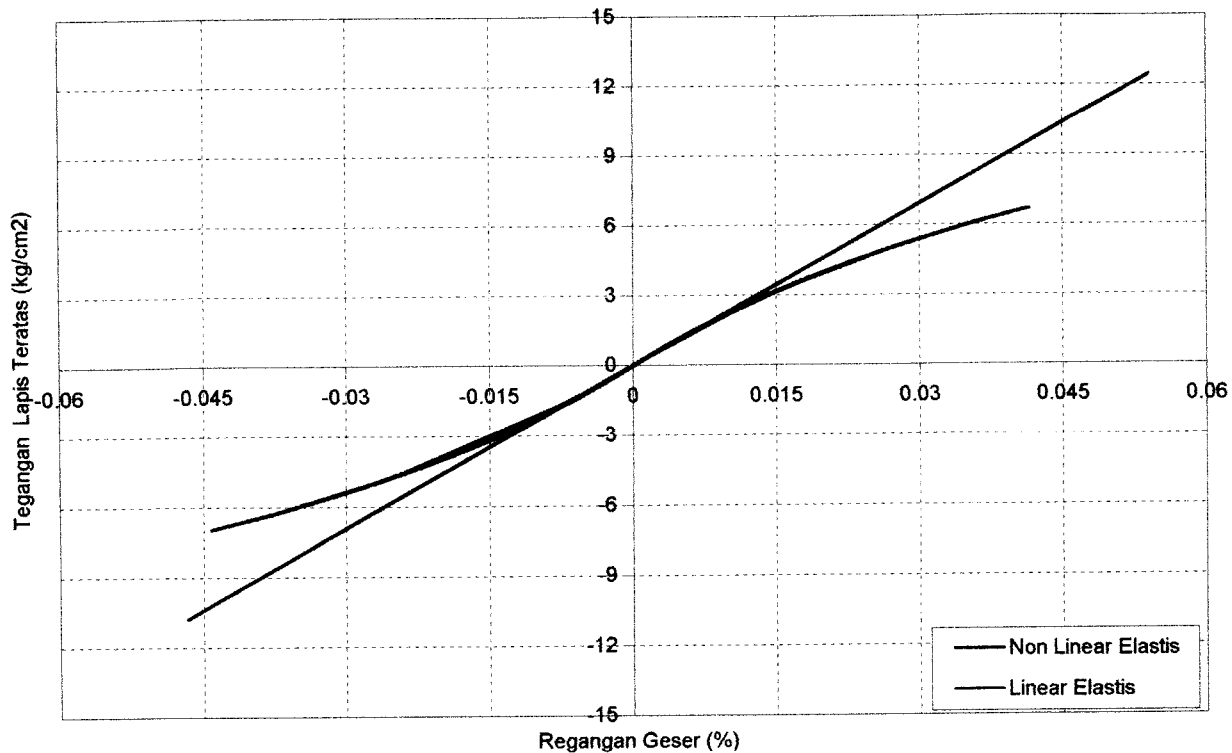


**Grafik 6.111.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Koyana

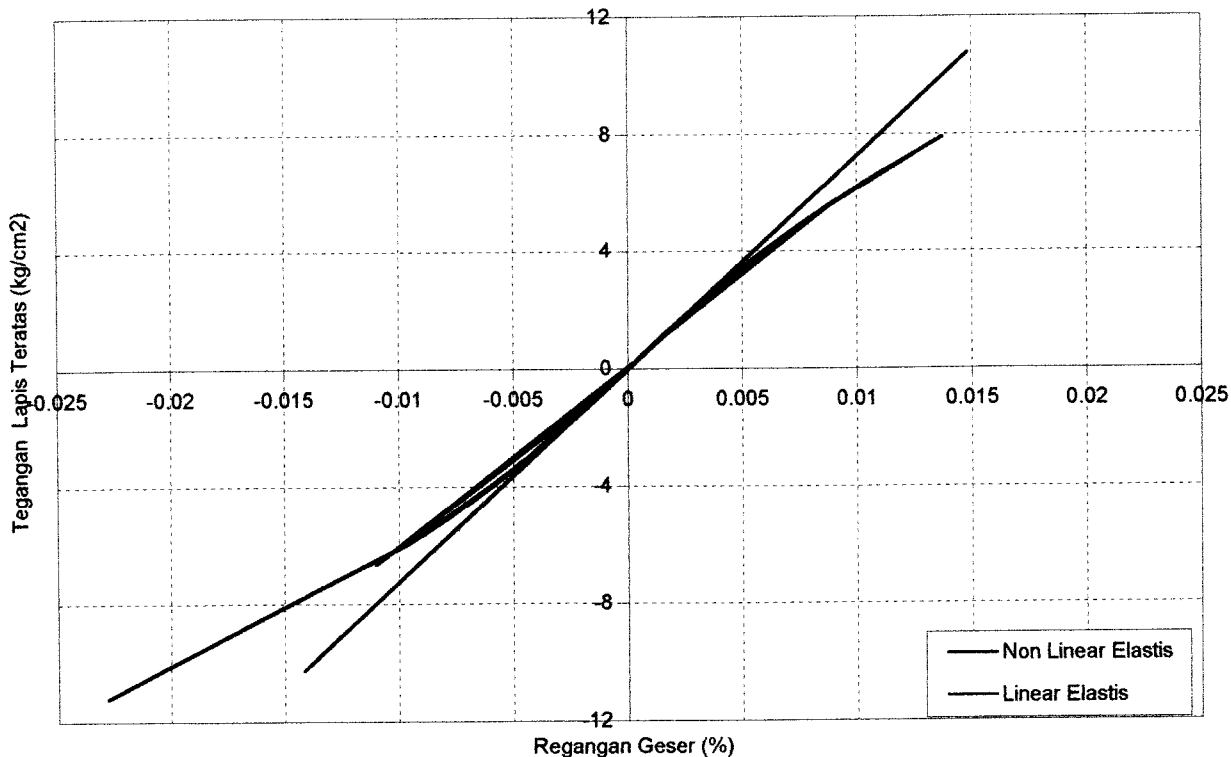


**Grafik 6.112.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Koyana

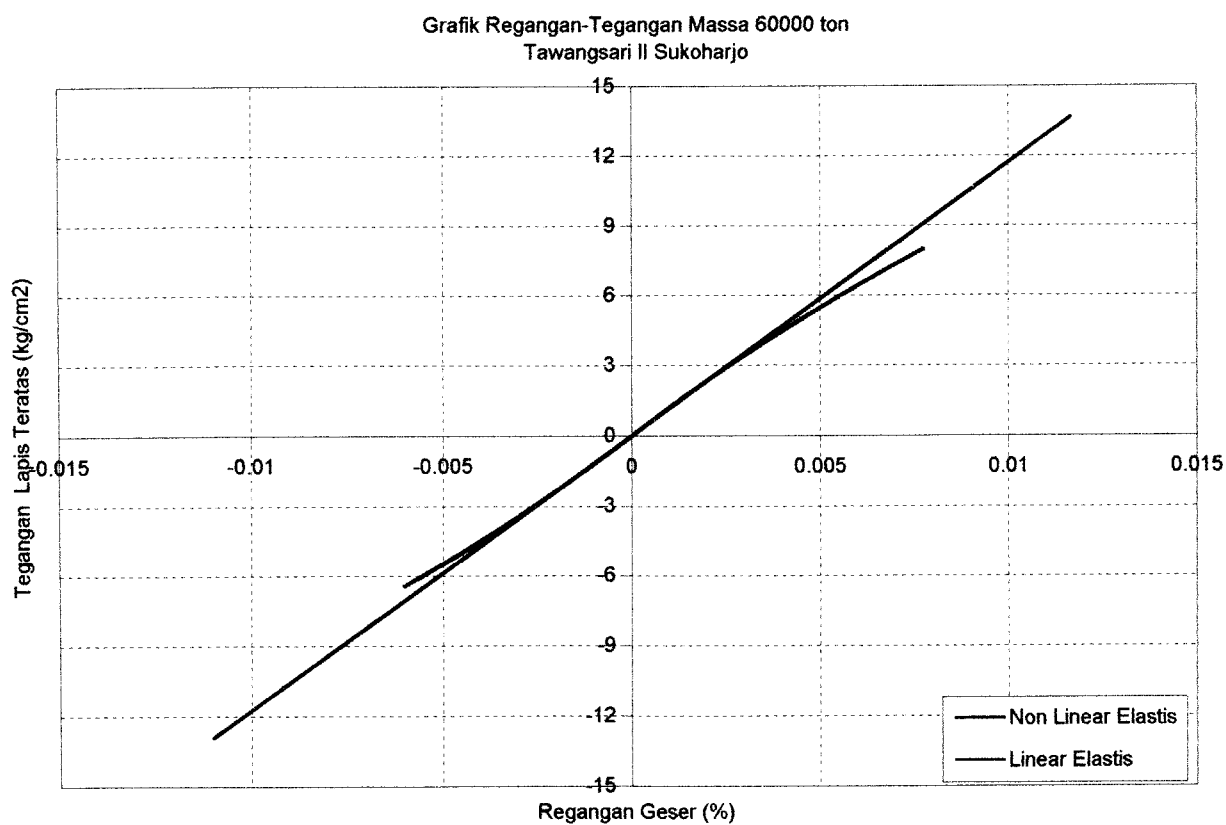
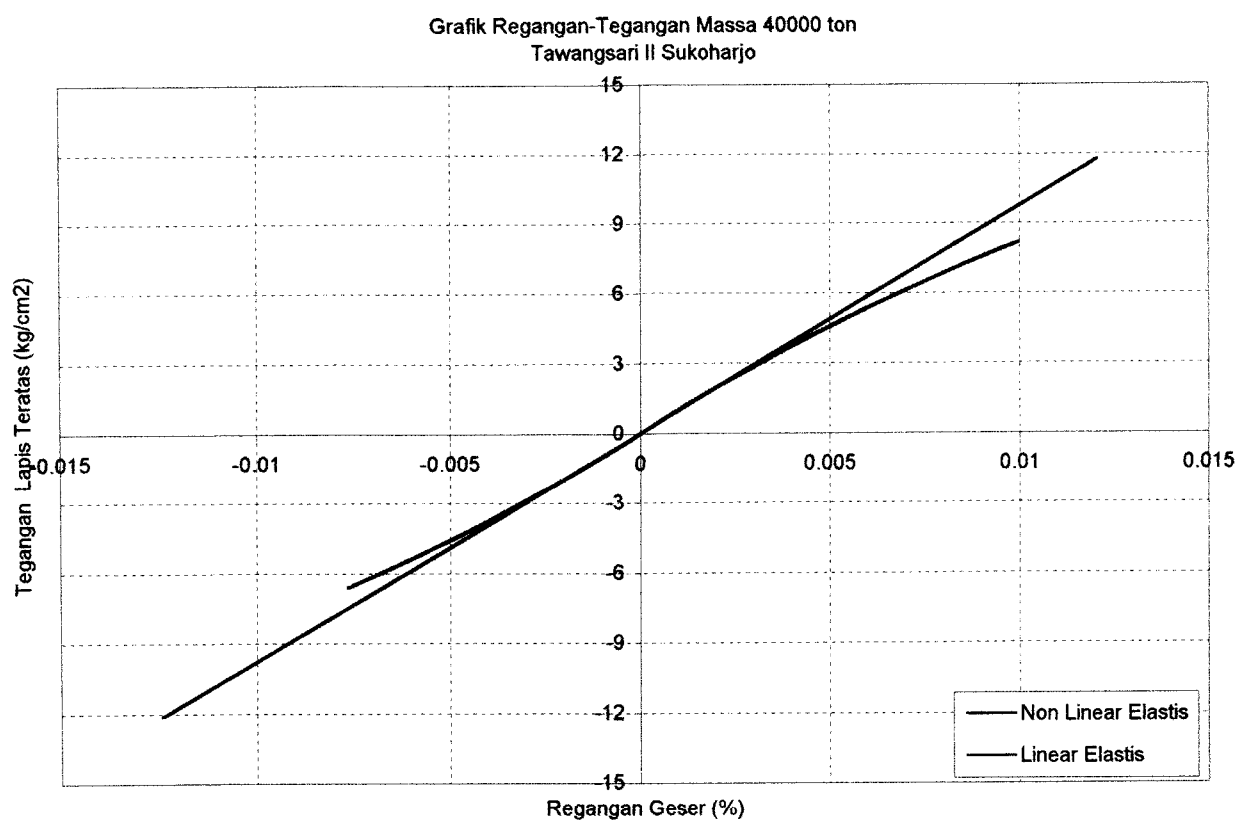
Grafik Regangan-Tegangan Tanpa Massa  
Tawang Sari II Sukoharjo



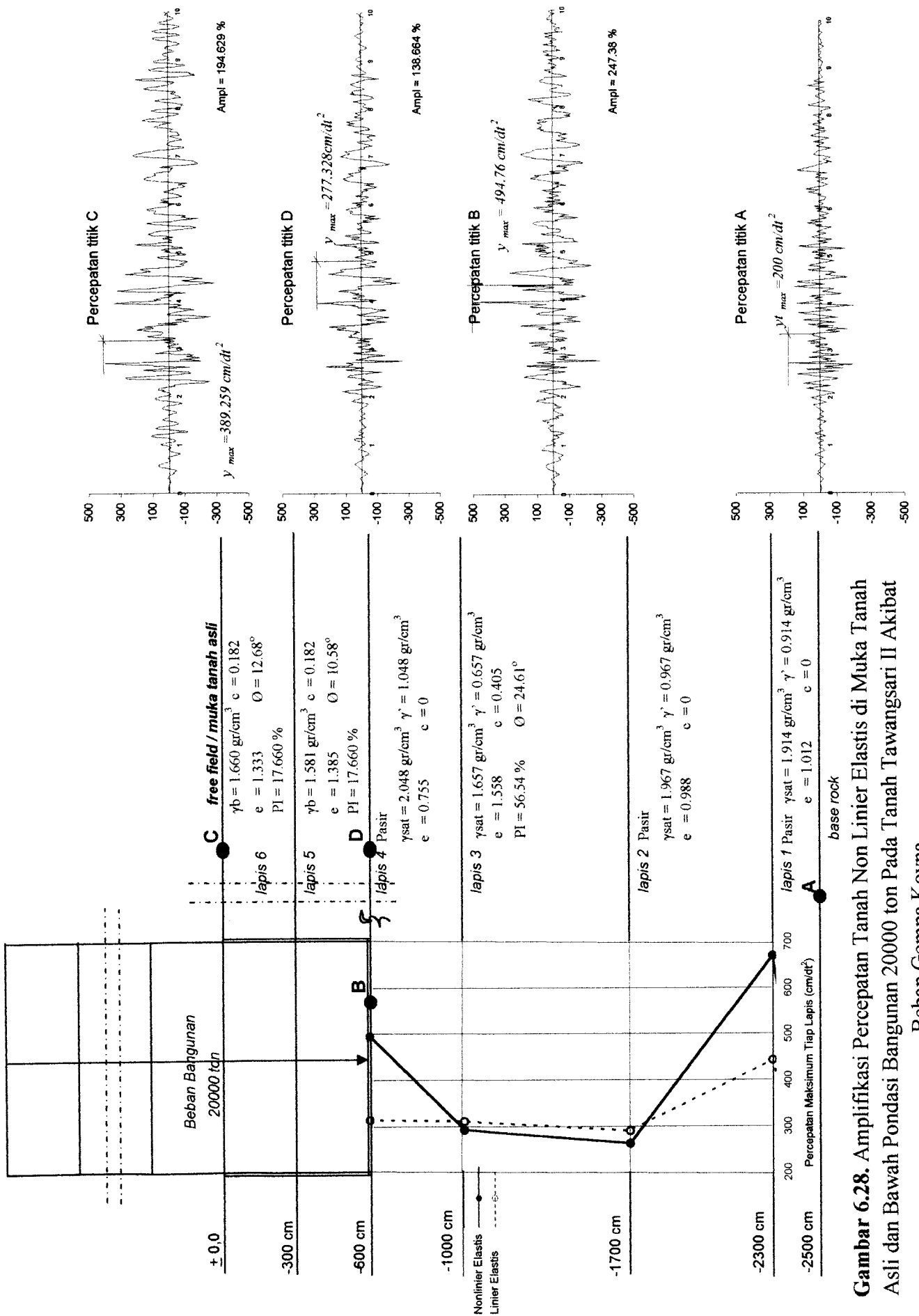
Grafik Regangan-Tegangan Massa 20000 ton  
Tawang Sari II Sukoharjo



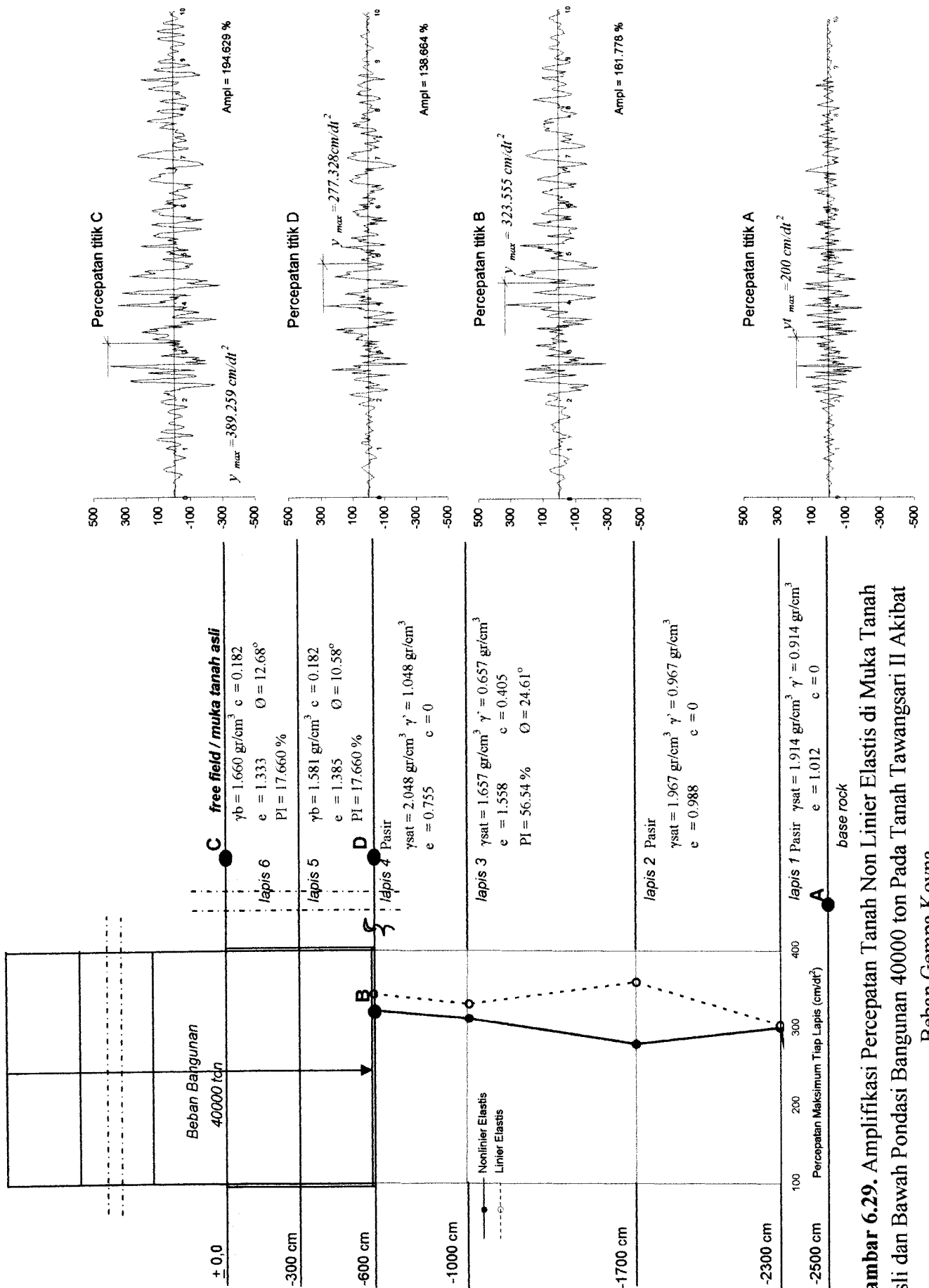
**Grafik 6.113.** Perbandingan Regangan-Tegangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa dan Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Koyna



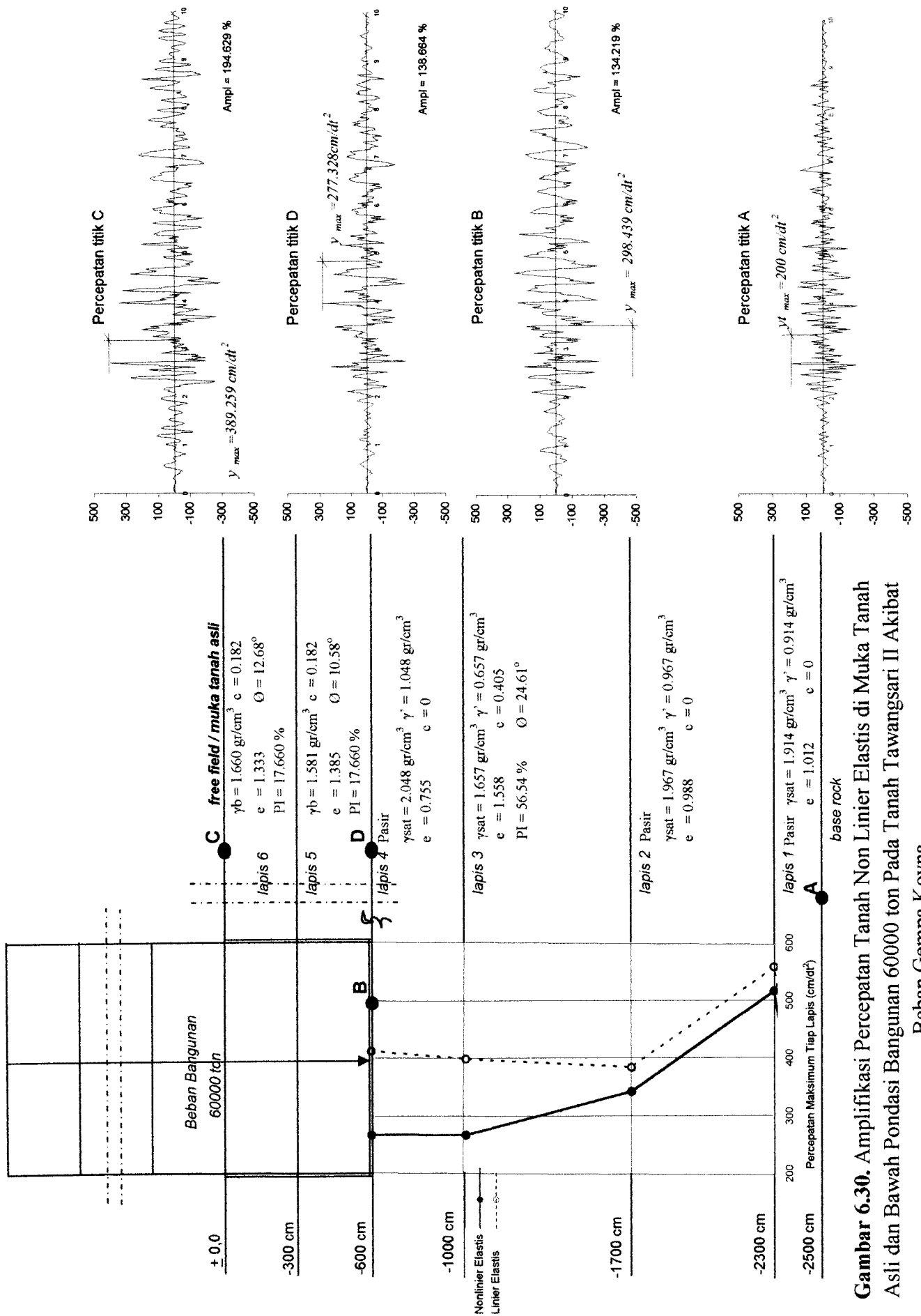
**Grafik 6.114.** Perbandingan Regangan-Tegangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton dan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Koyna



**Gambar 6.28.** Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada Tanah Tawang Sari II Akibat Beban Gempa Koyna

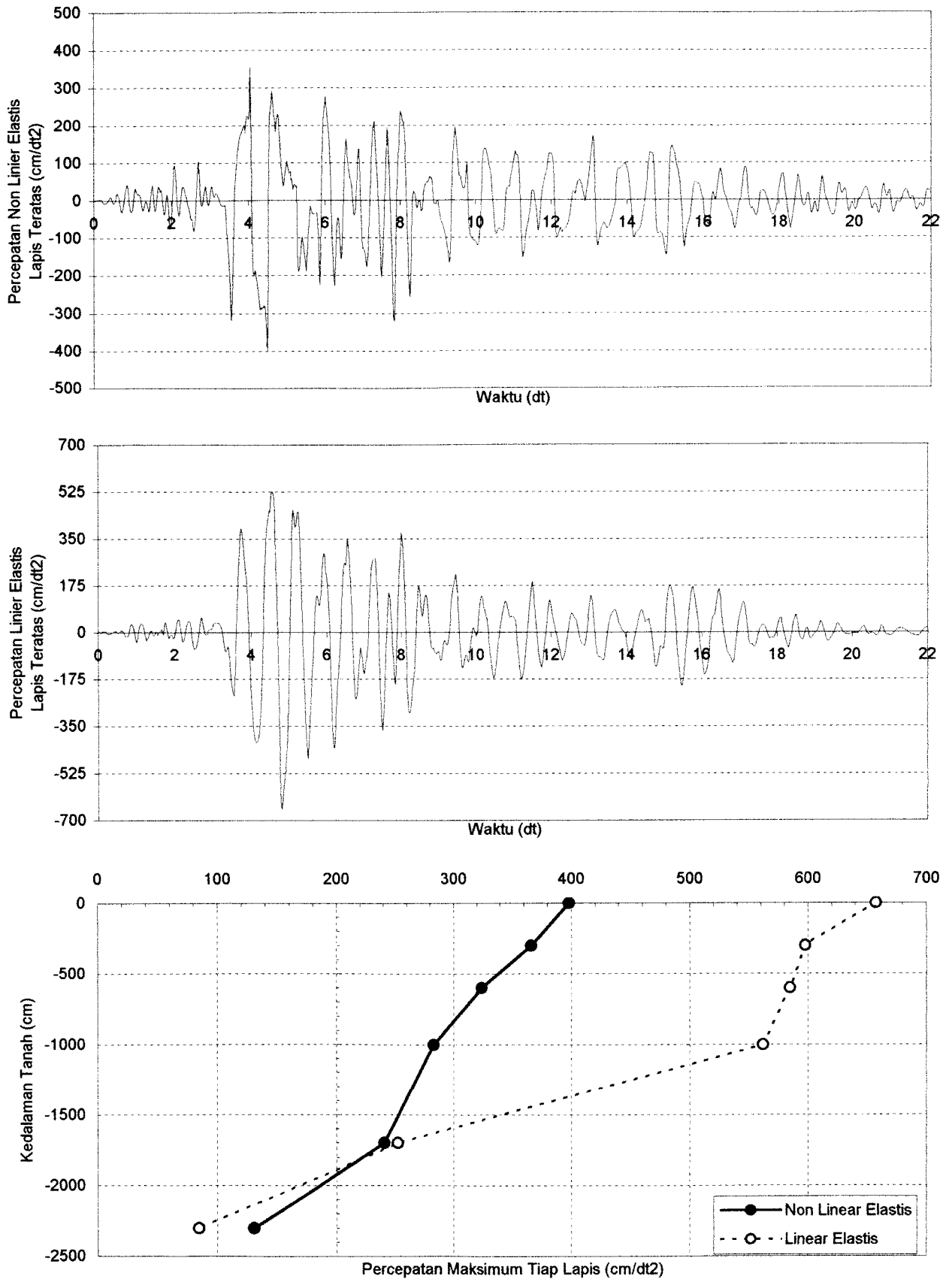


**Gambar 6.29.** Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Beban Gempa Koyna

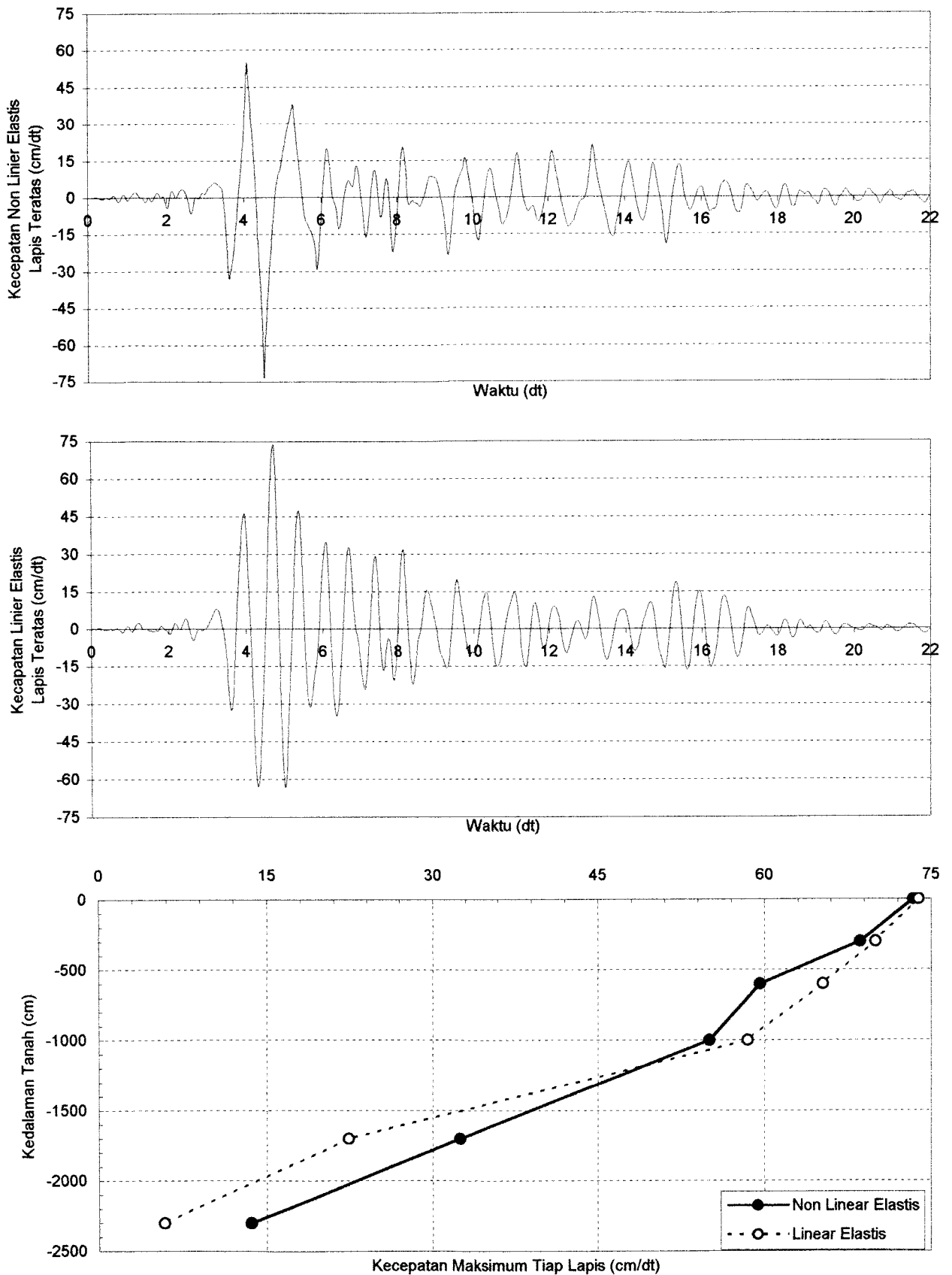


**Gambar 6.30.** Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Beban Gempa Koyna

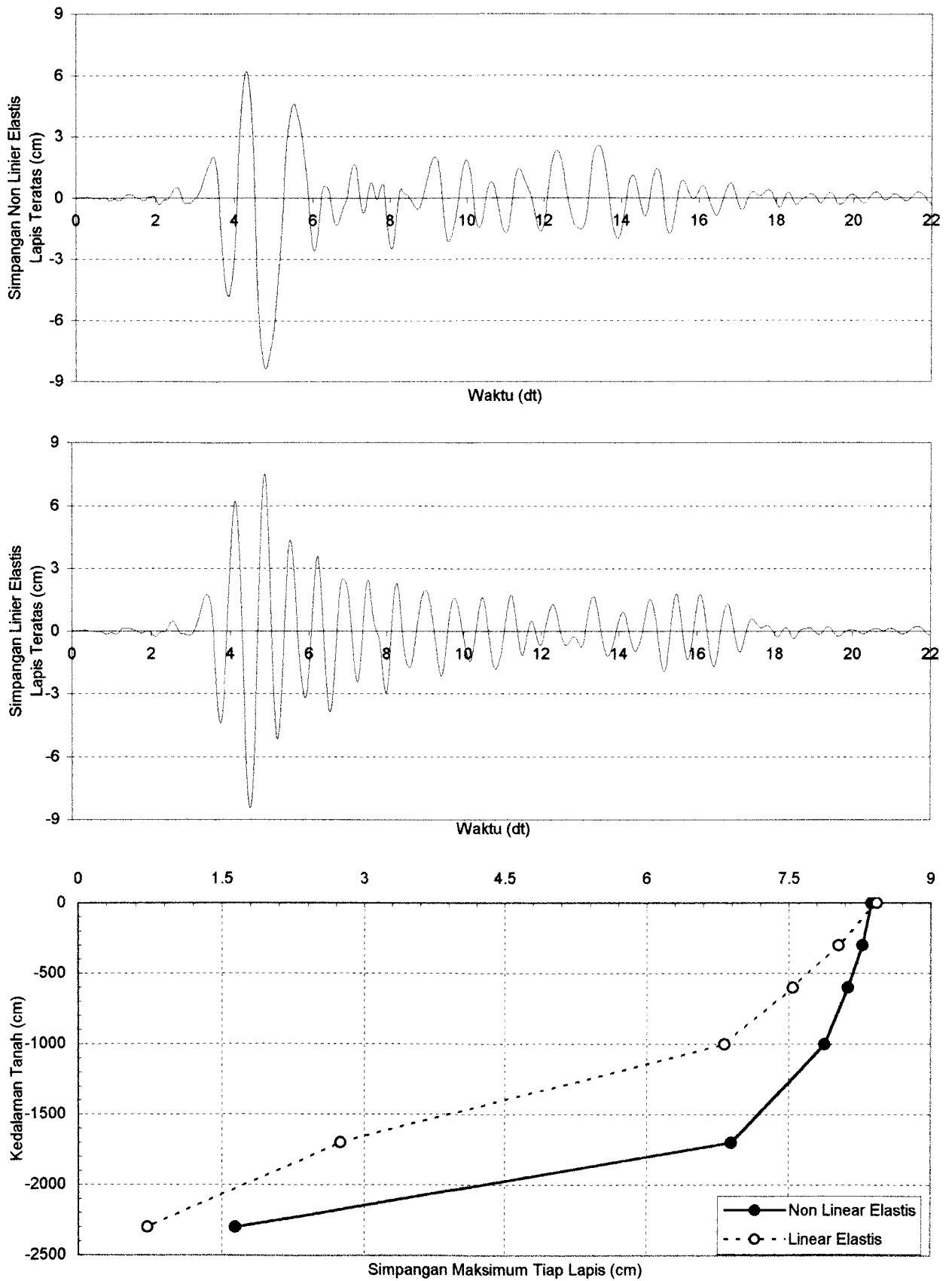




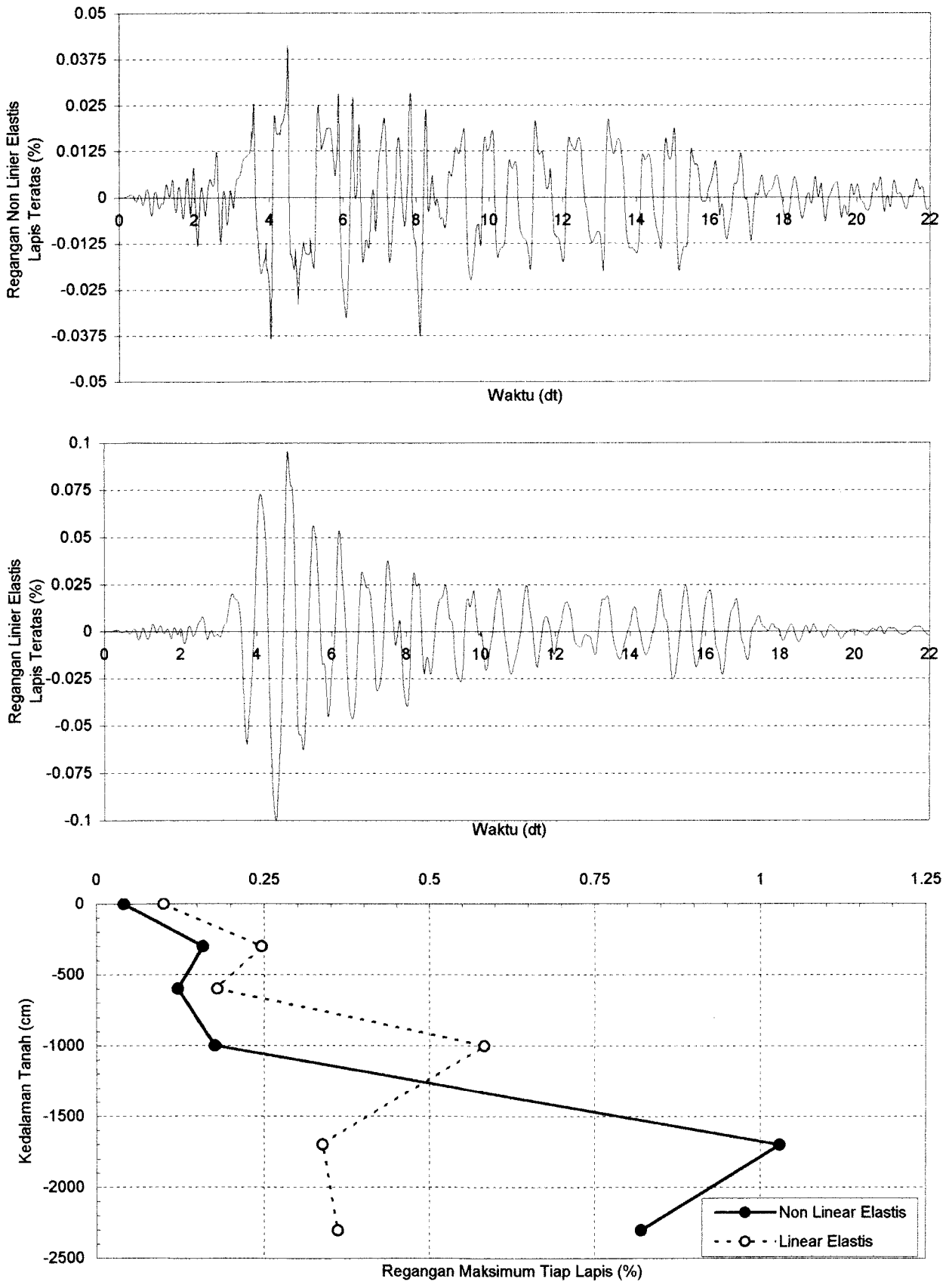
**Grafik 6.115.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



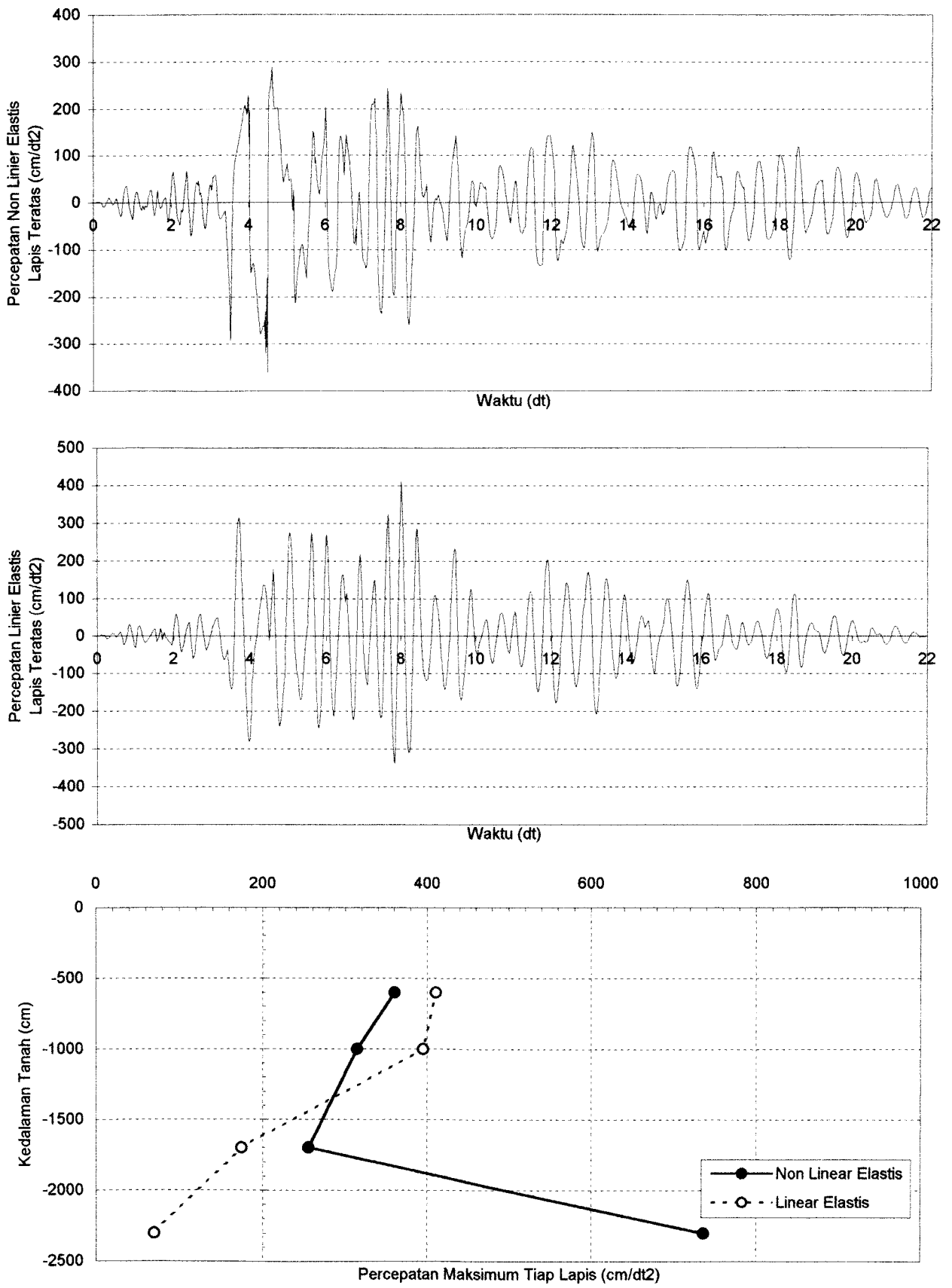
**Grafik 6.116.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



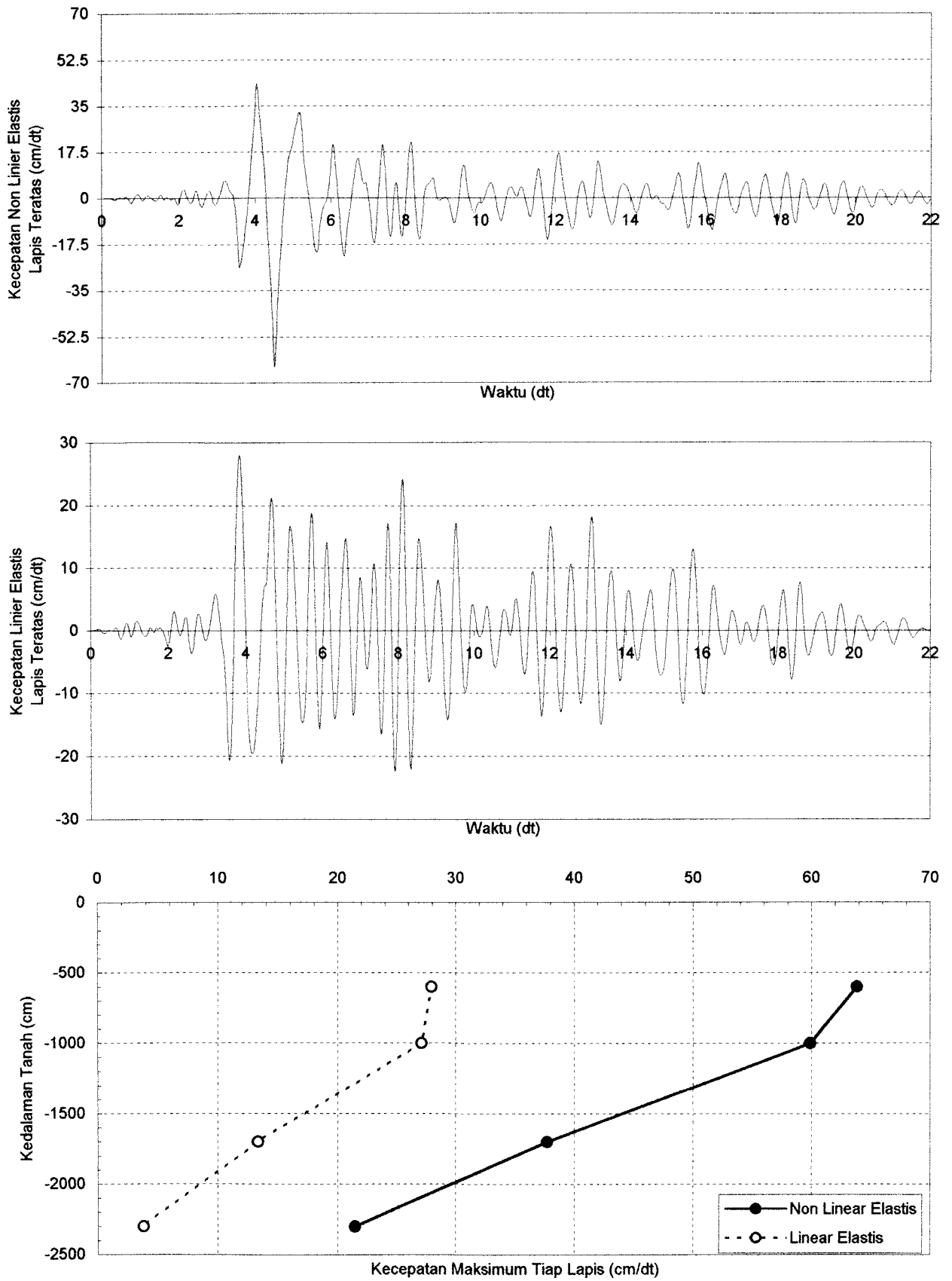
**Grafik 6.117.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawangsari II Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



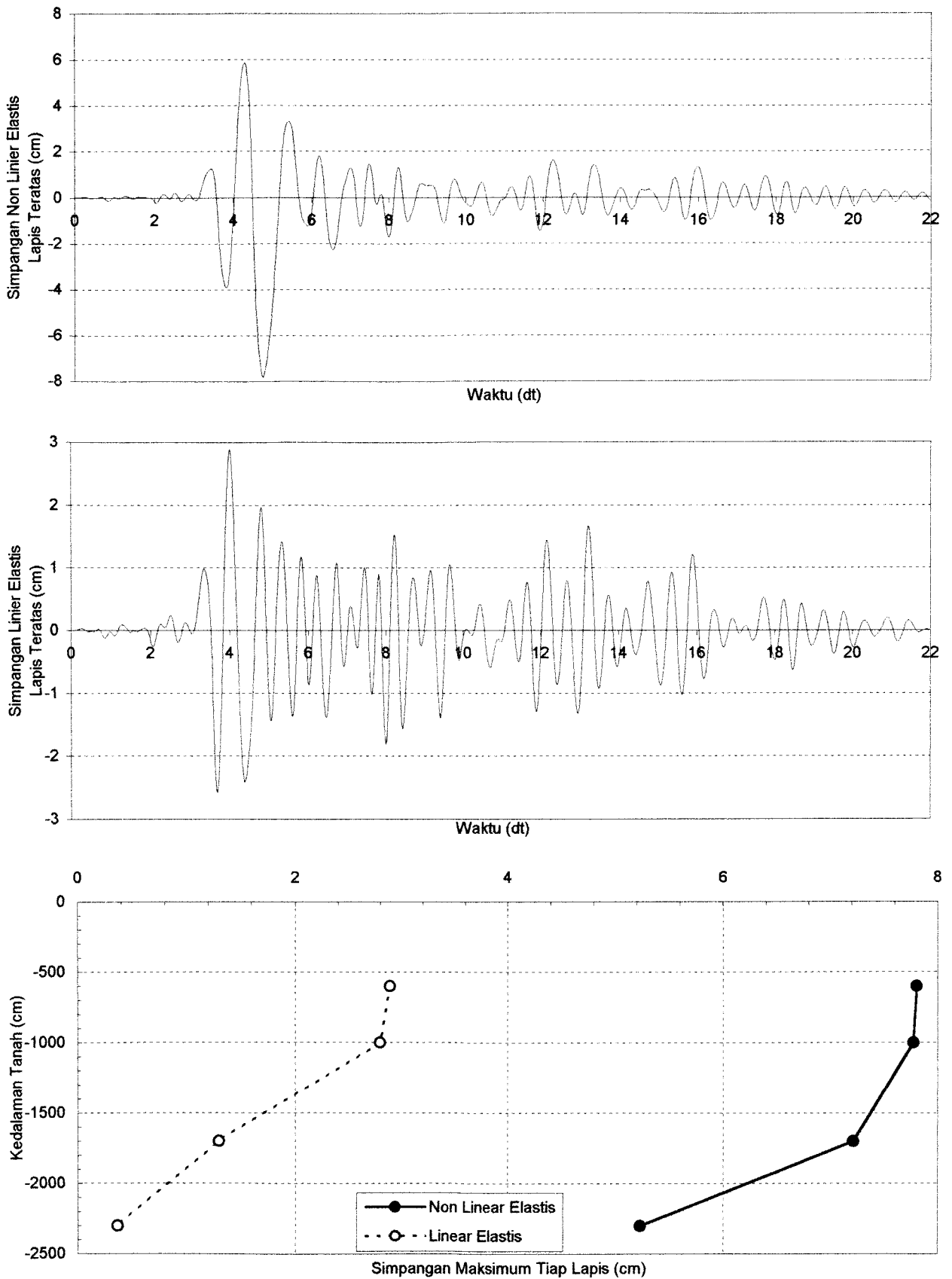
**Grafik 6.118.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



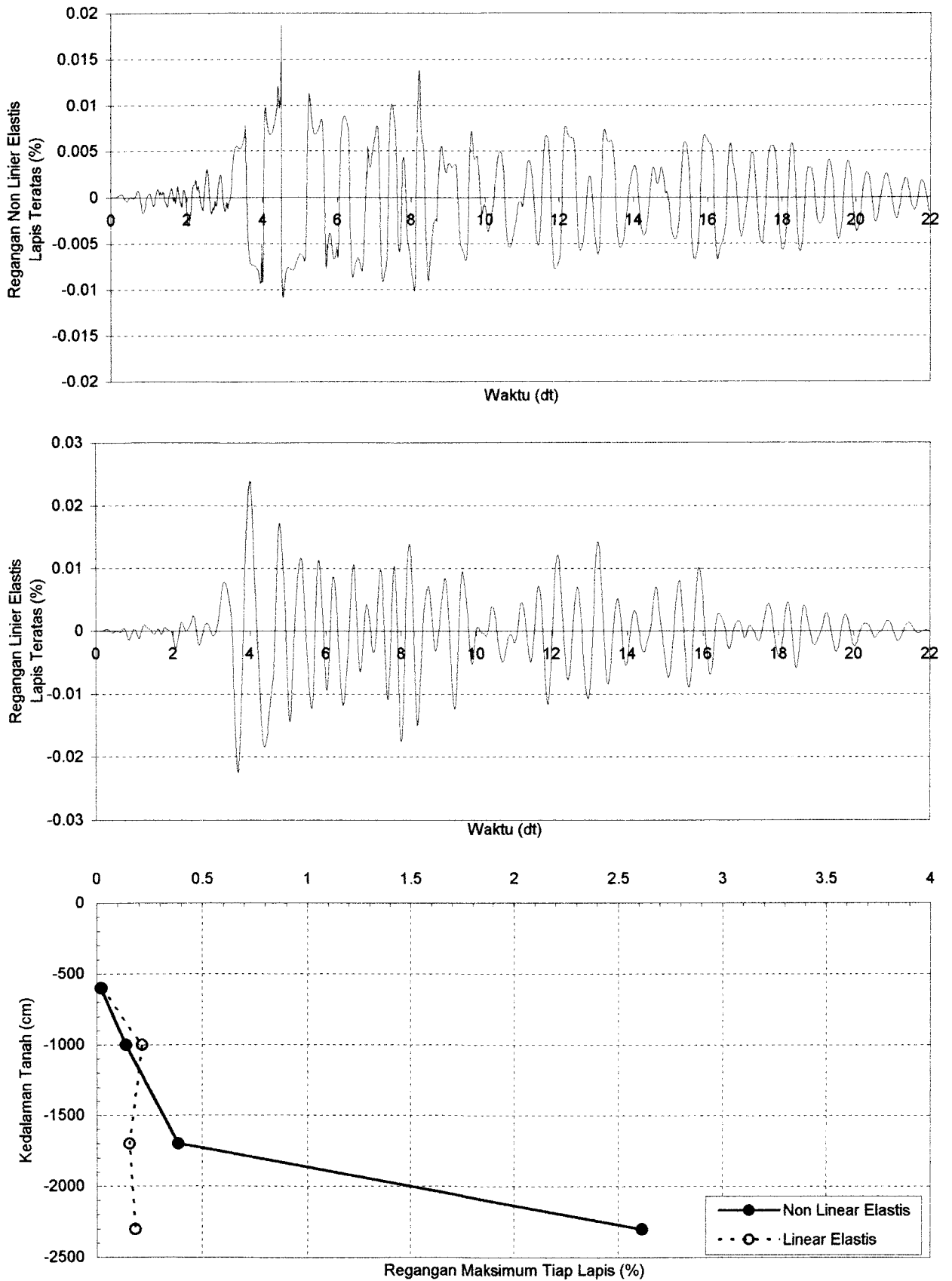
**Grafik 6.119.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



**Grafik 6.120.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawangarsi II Sukoharjo Akibat Gempa Kobe

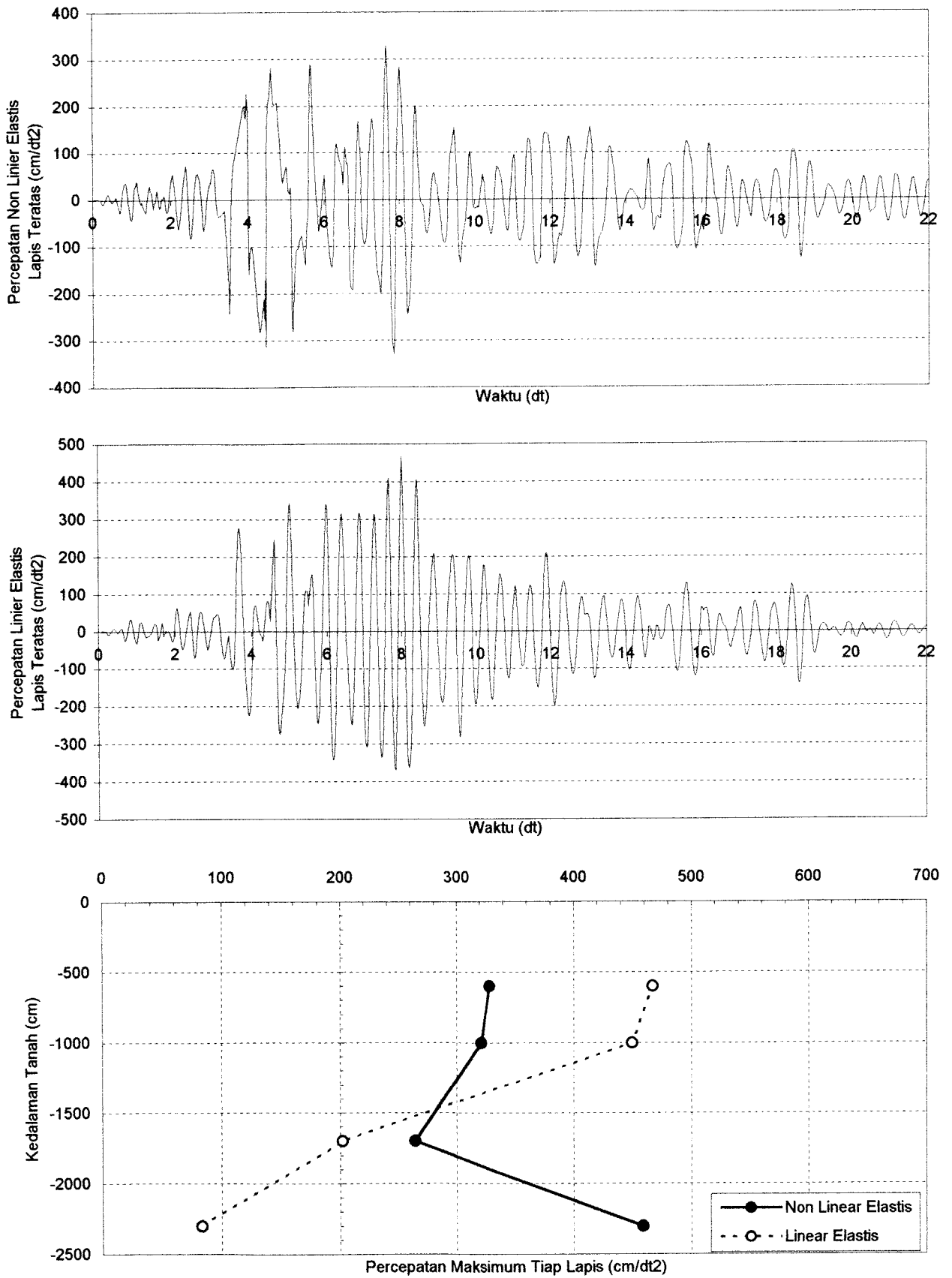


**Grafik 6.121.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Kobe

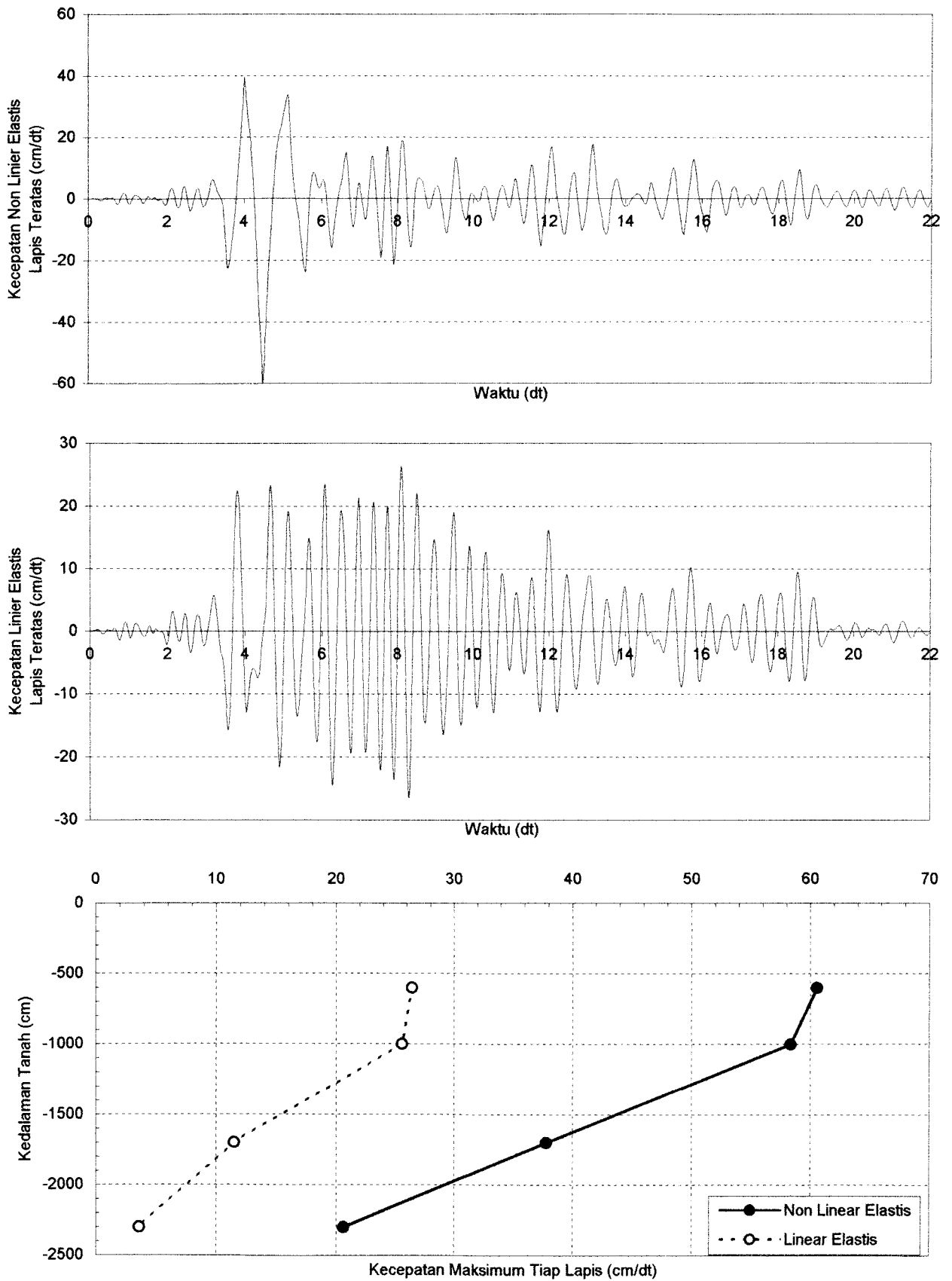


**Grafik 6.122.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawangarsi II Sukoharjo Akibat Gempa Kobe

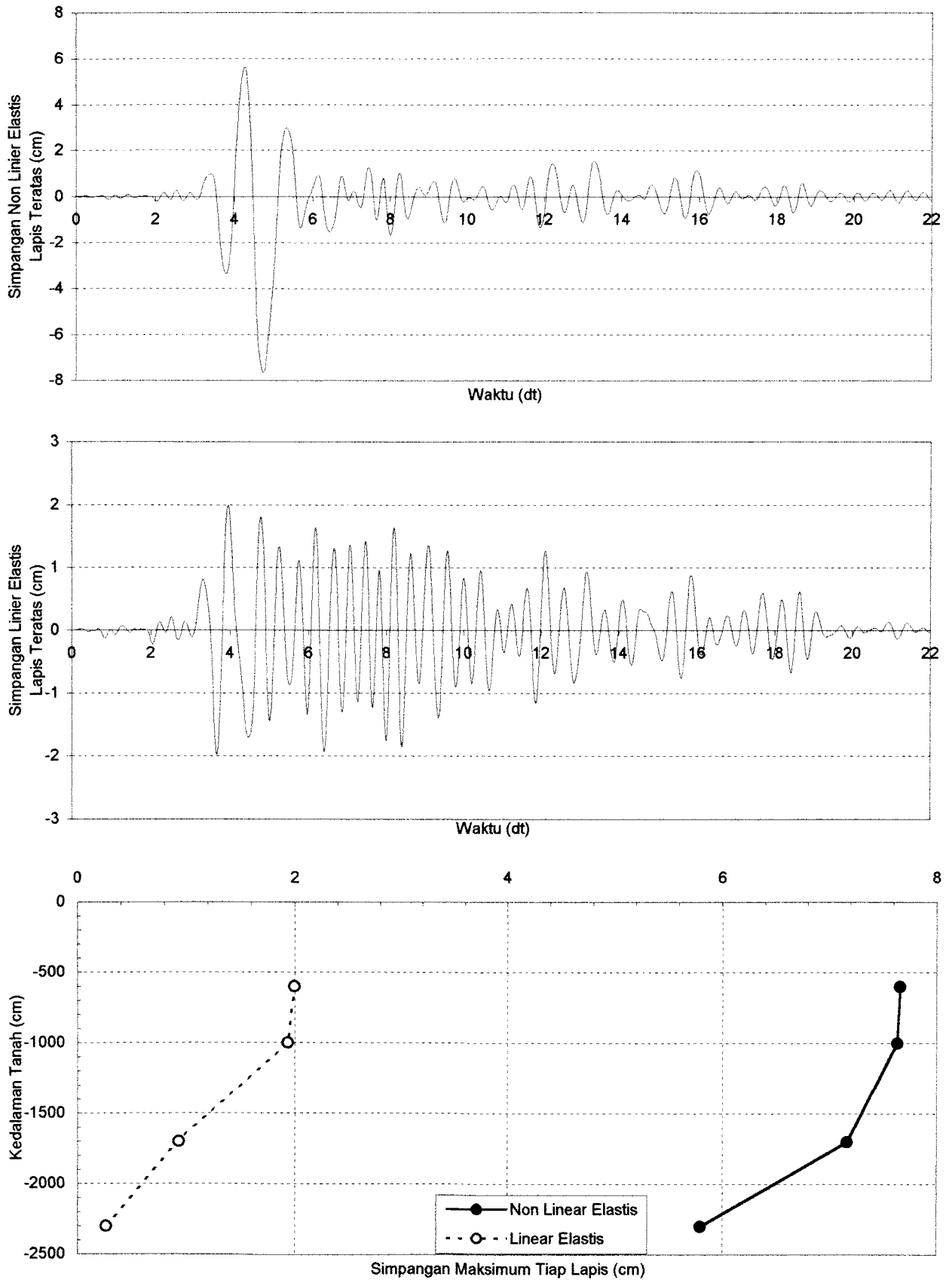




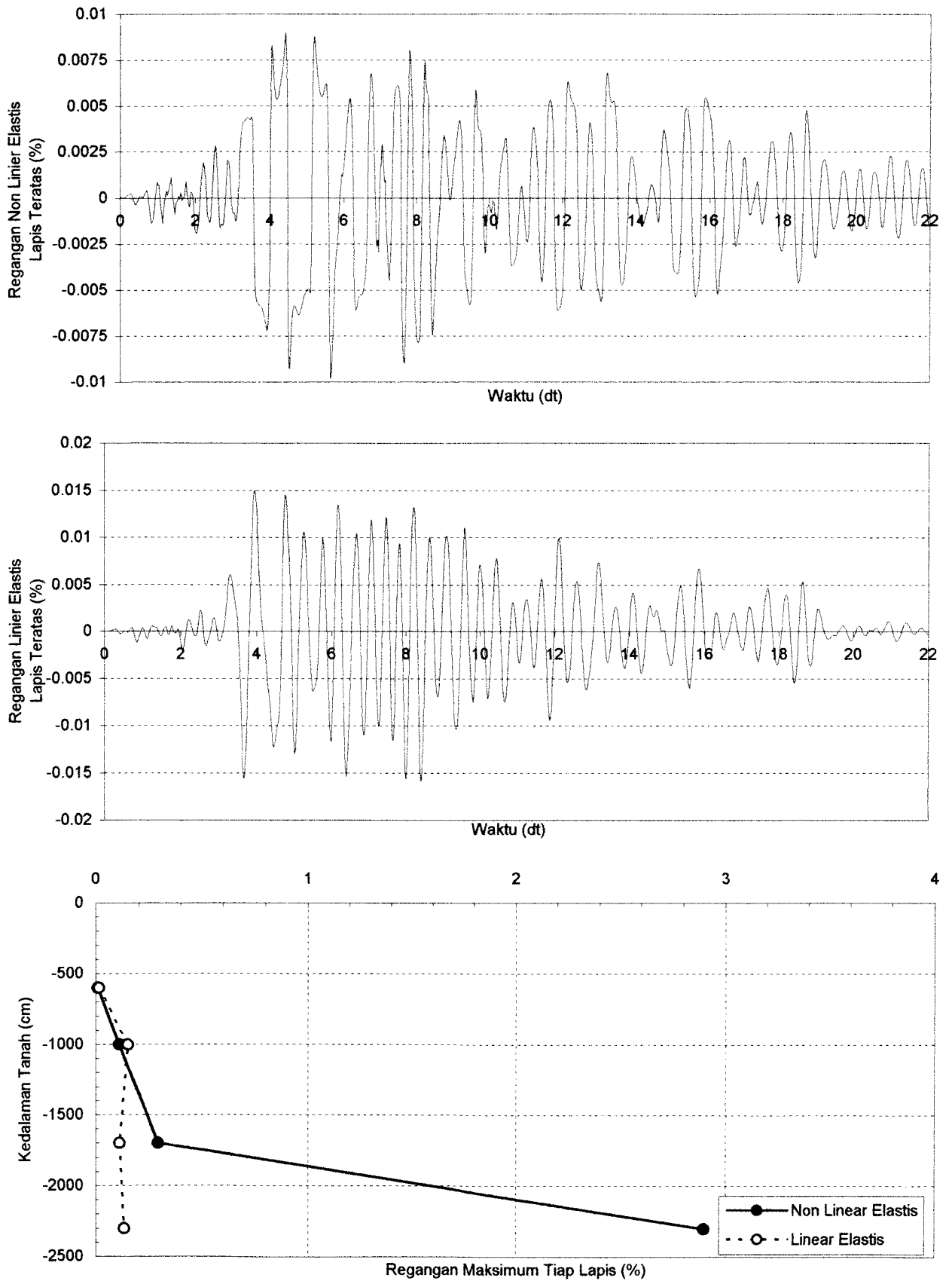
**Grafik 6.123.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



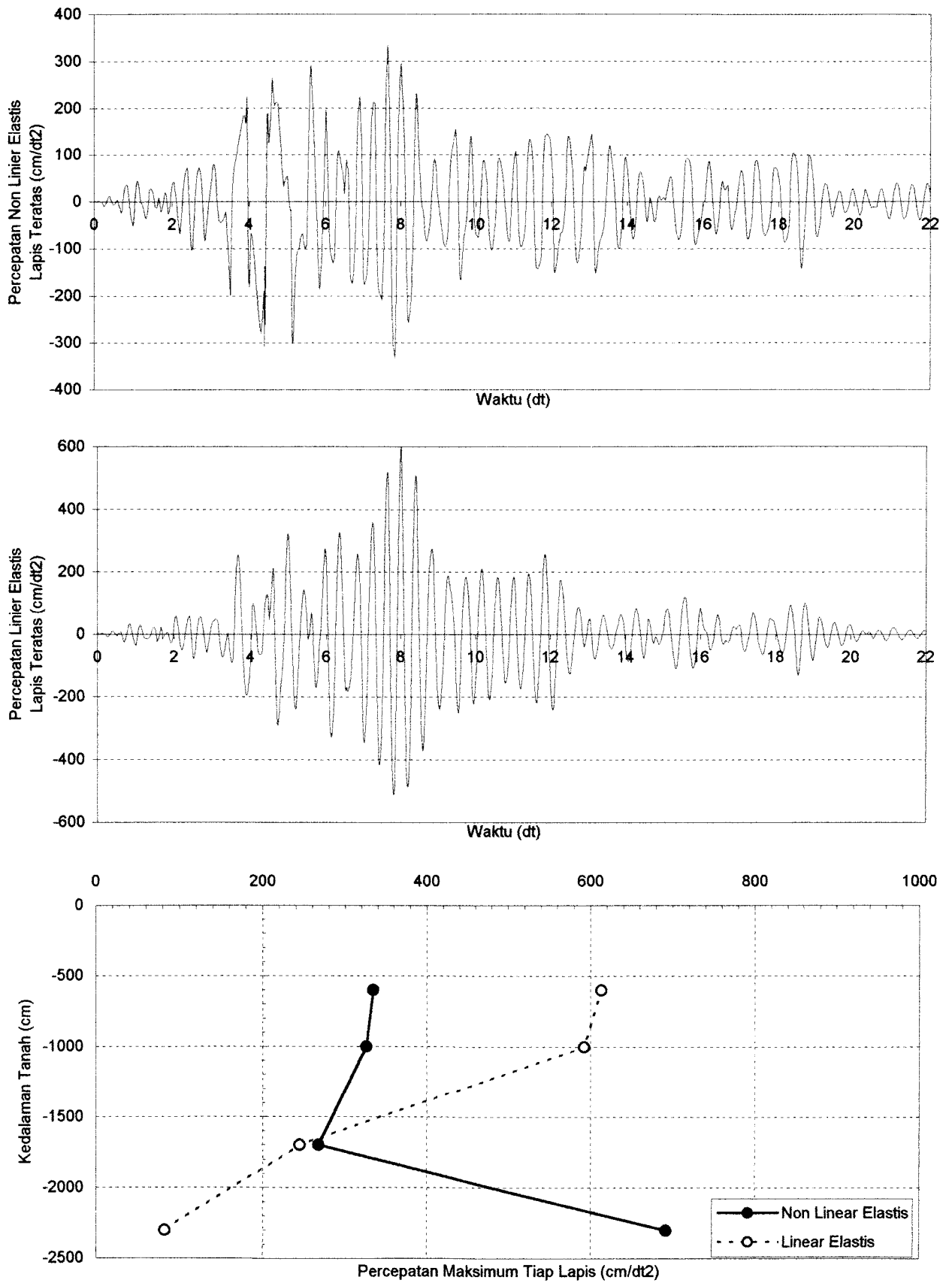
**Grafik 6.124.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



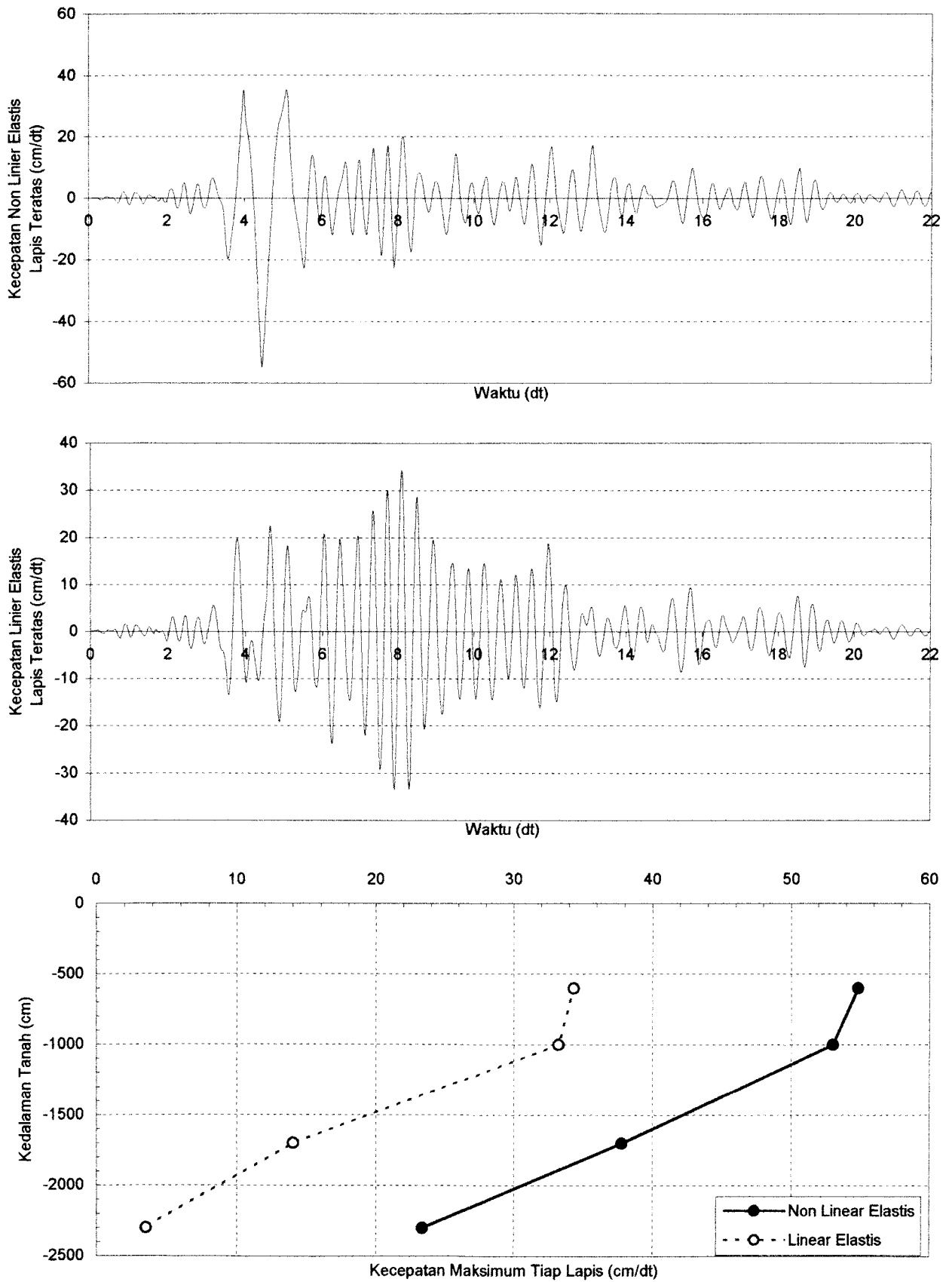
**Grafik 6.125.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



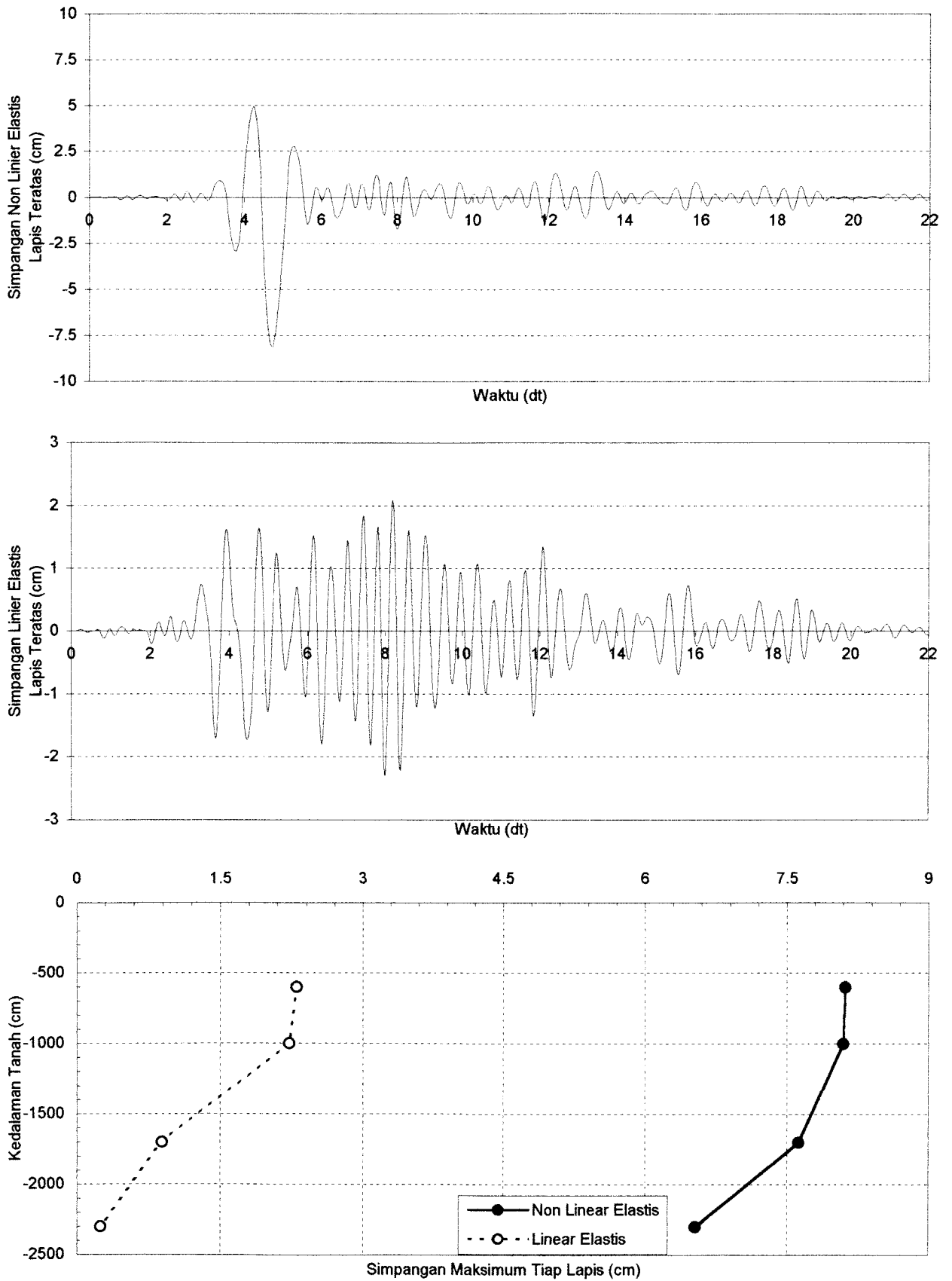
**Grafik 6.126.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



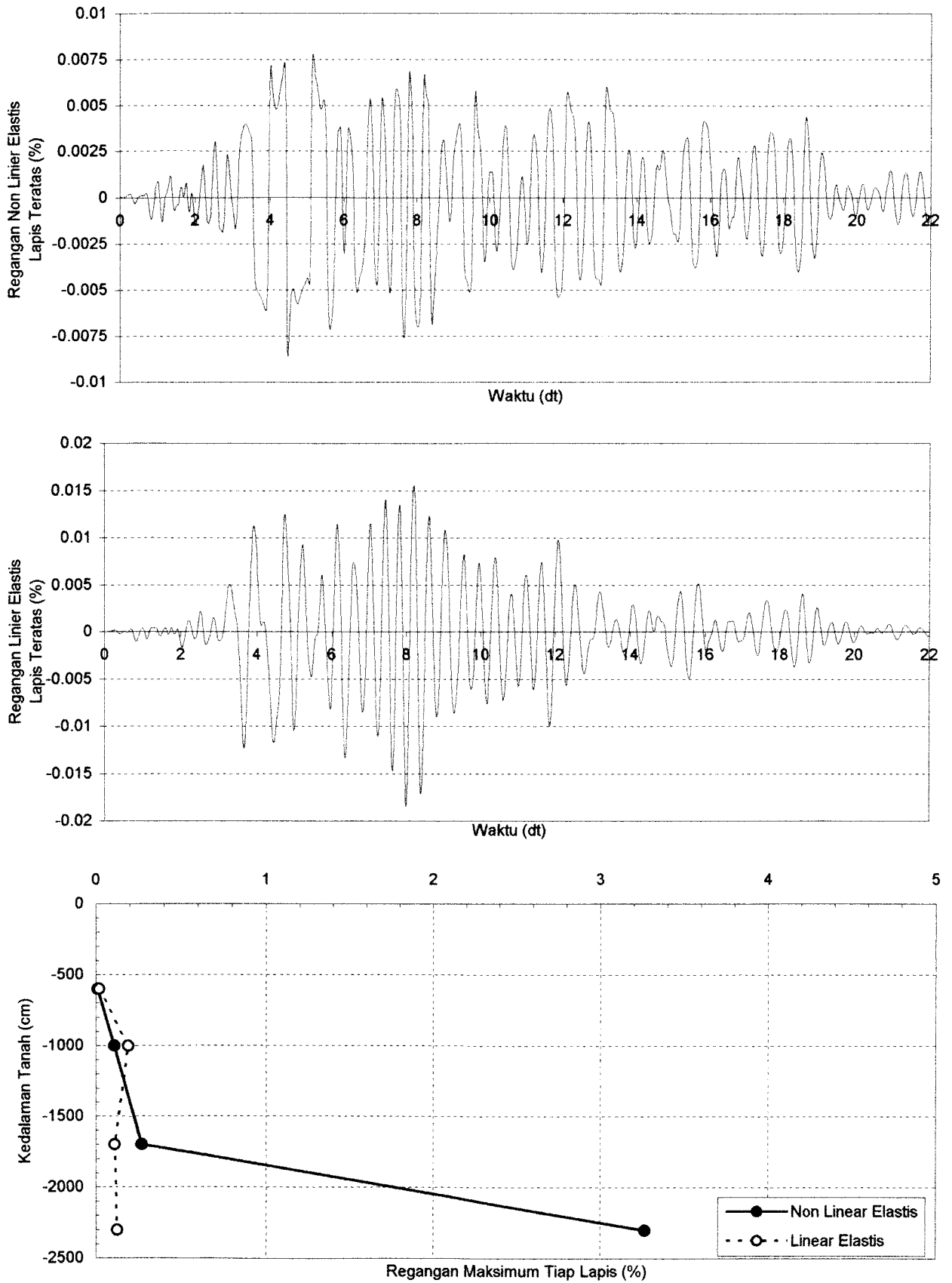
**Grafik 6.127.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



**Grafik 6.128.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Kobe

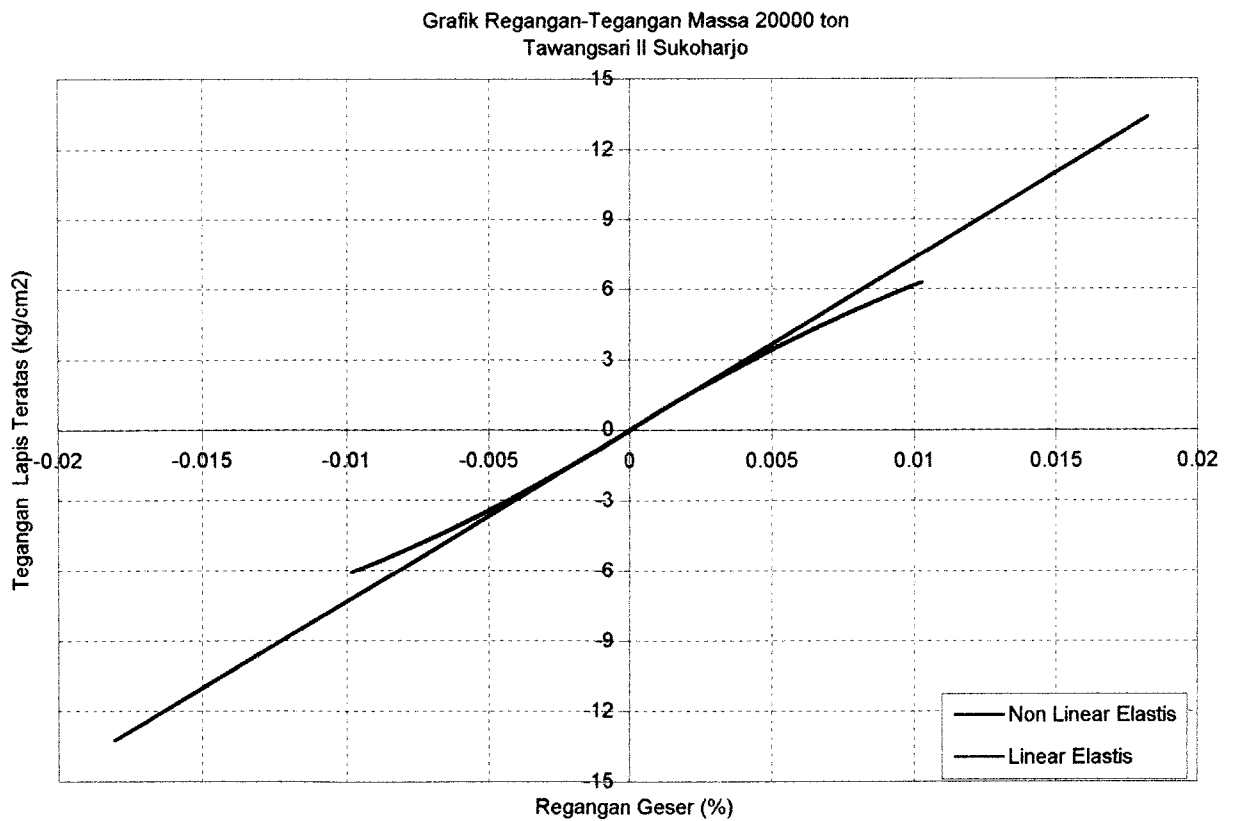
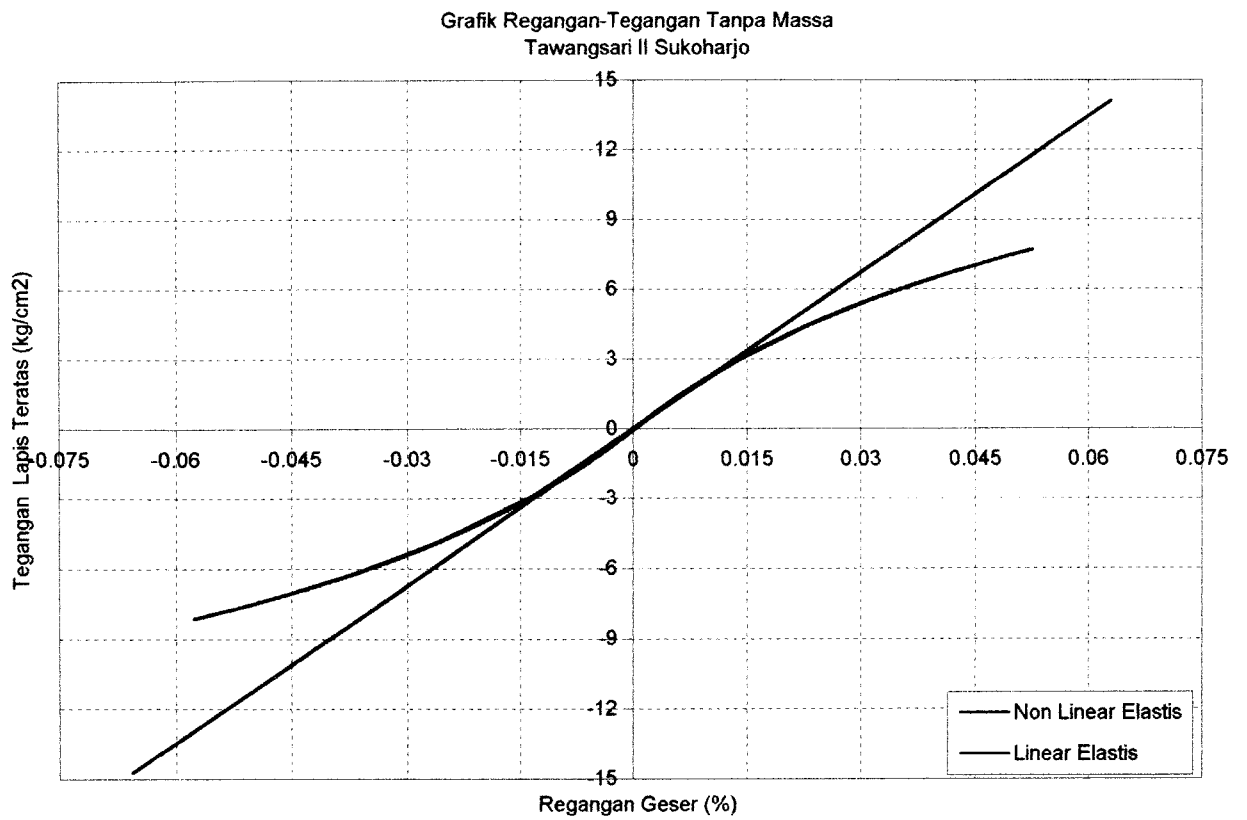


**Grafik 6.129.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Kobe

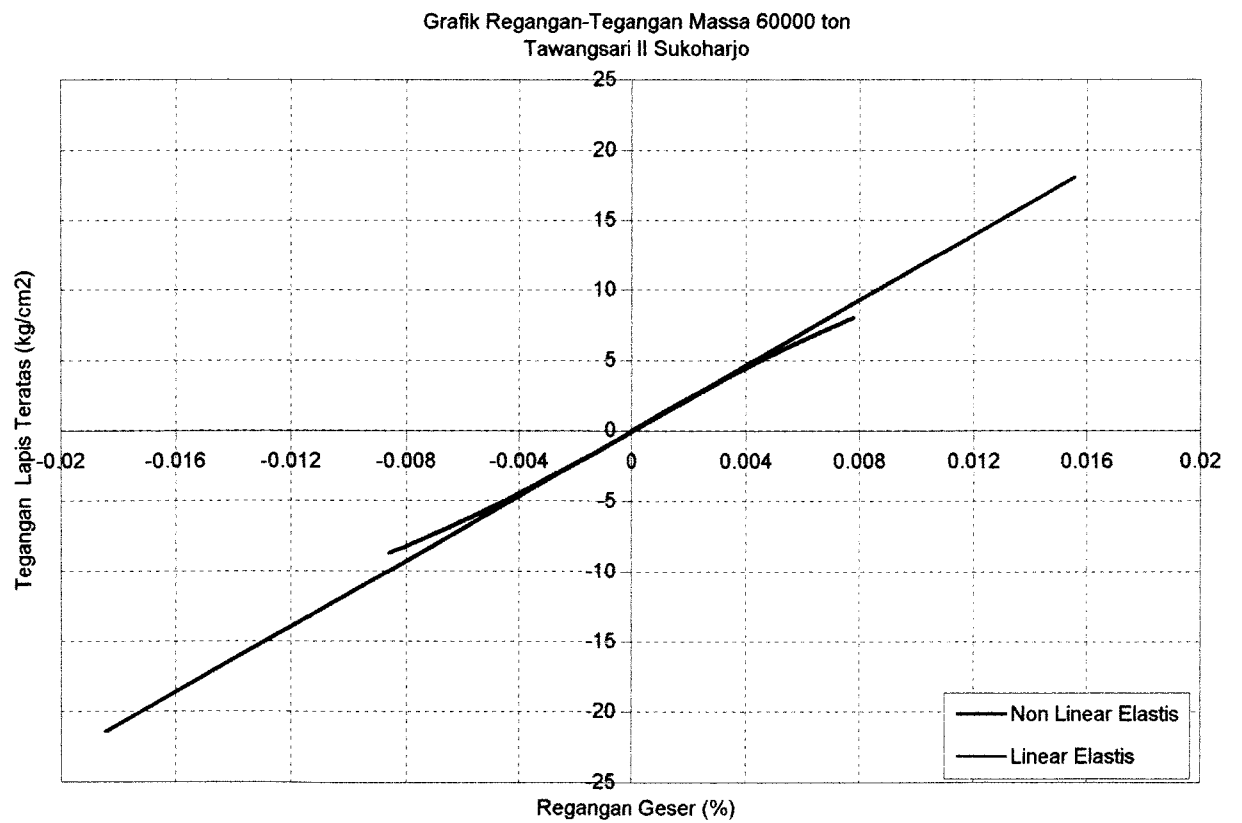
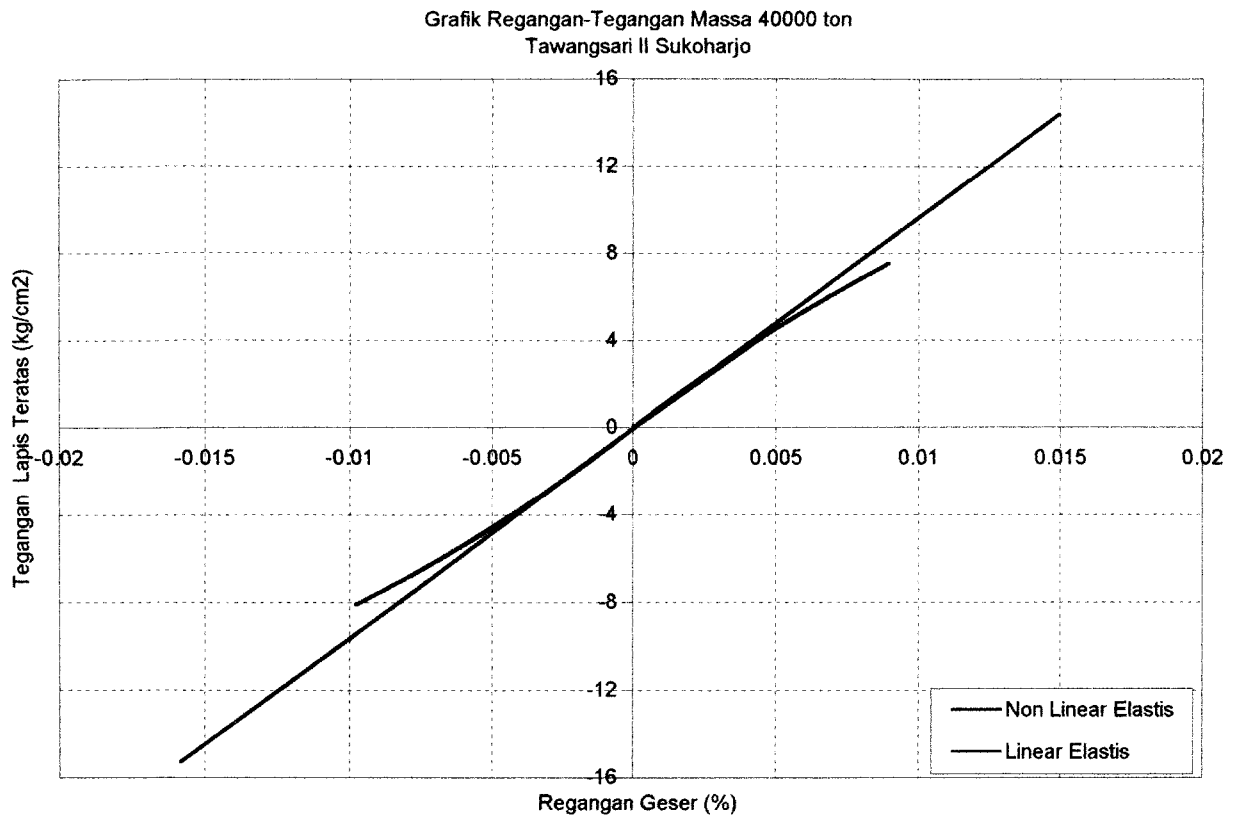


**Grafik 6.130.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Kobe

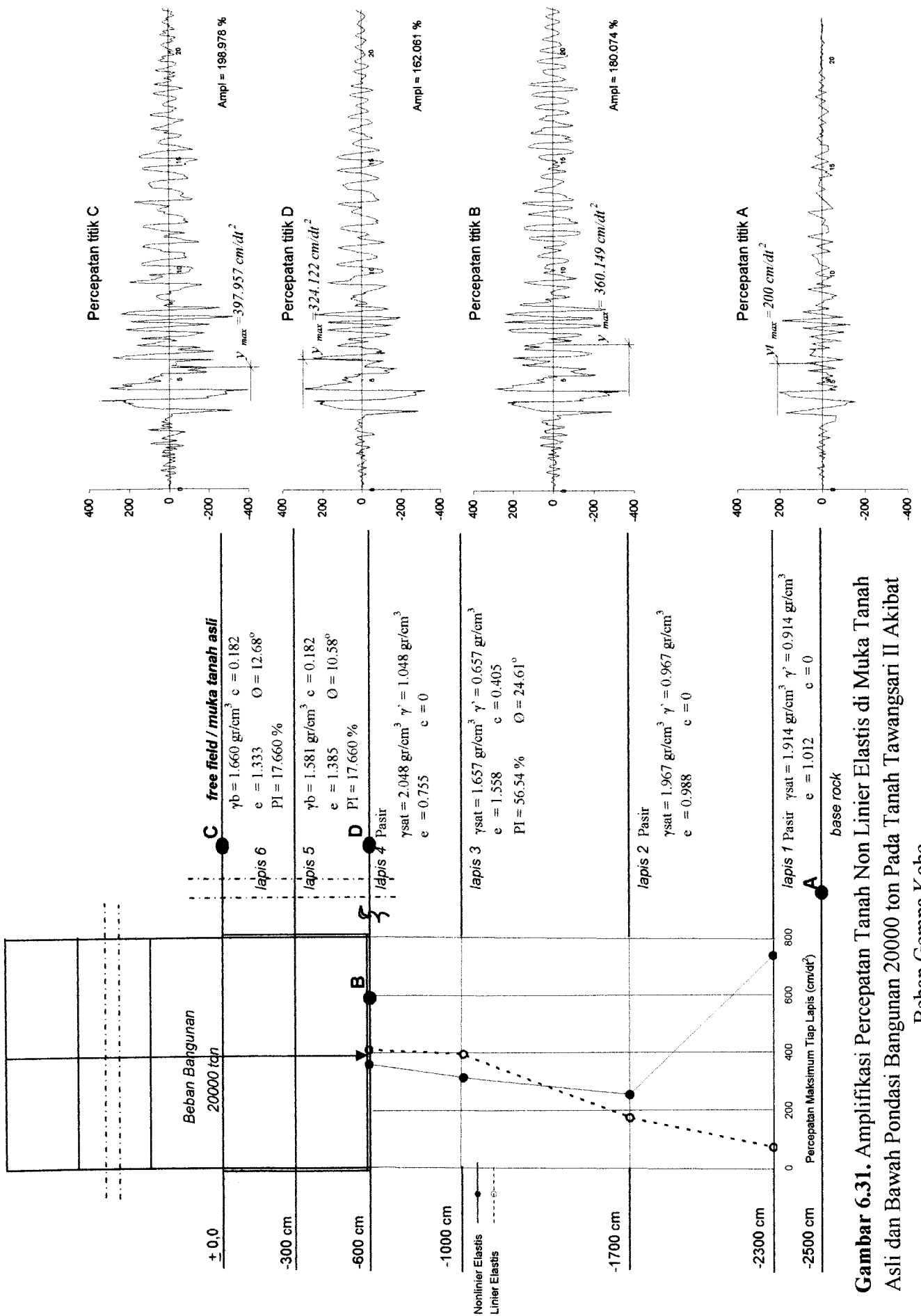




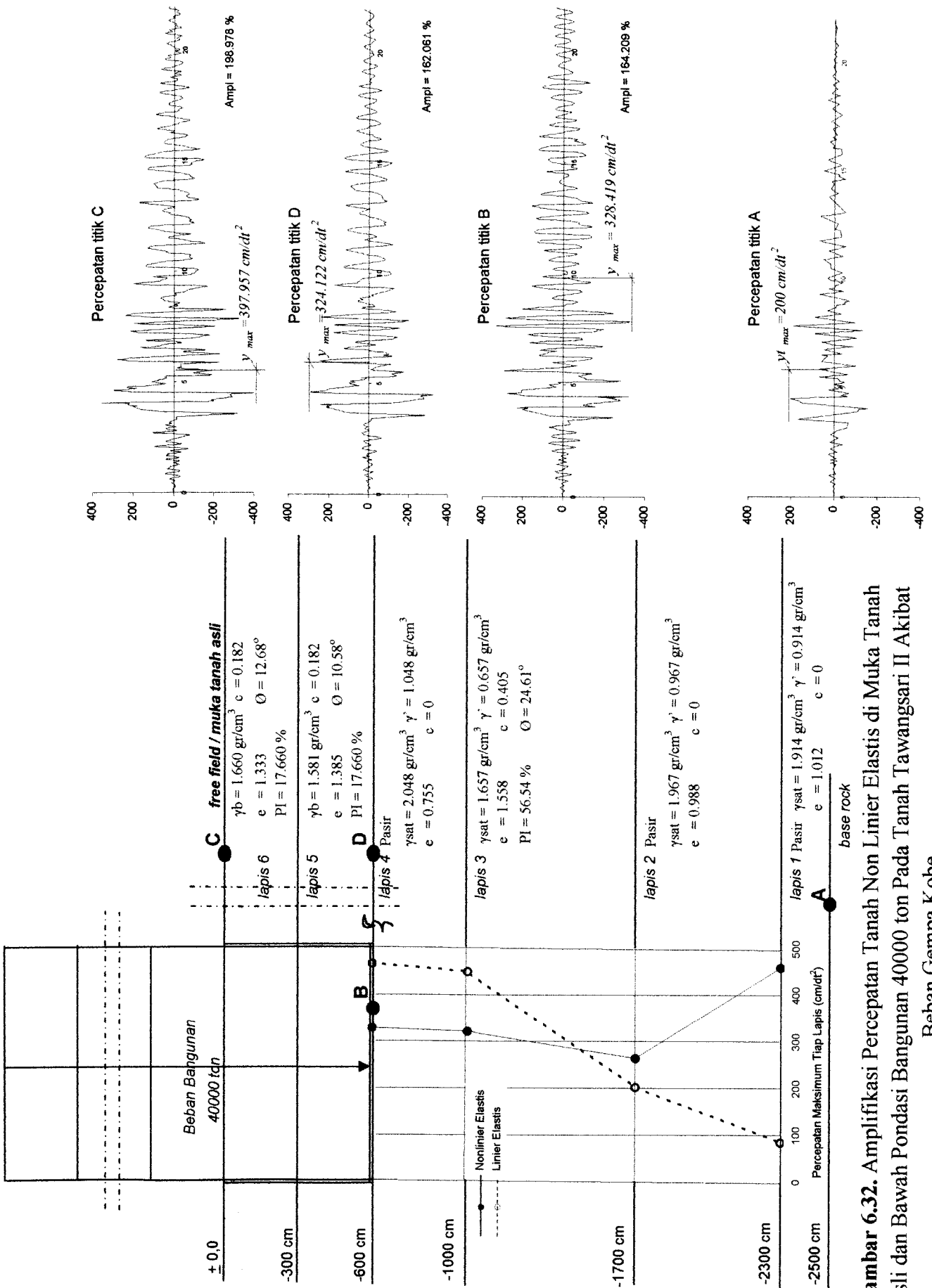
**Grafik 6.131.** Perbandingan Regangan-Tegangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa dan Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



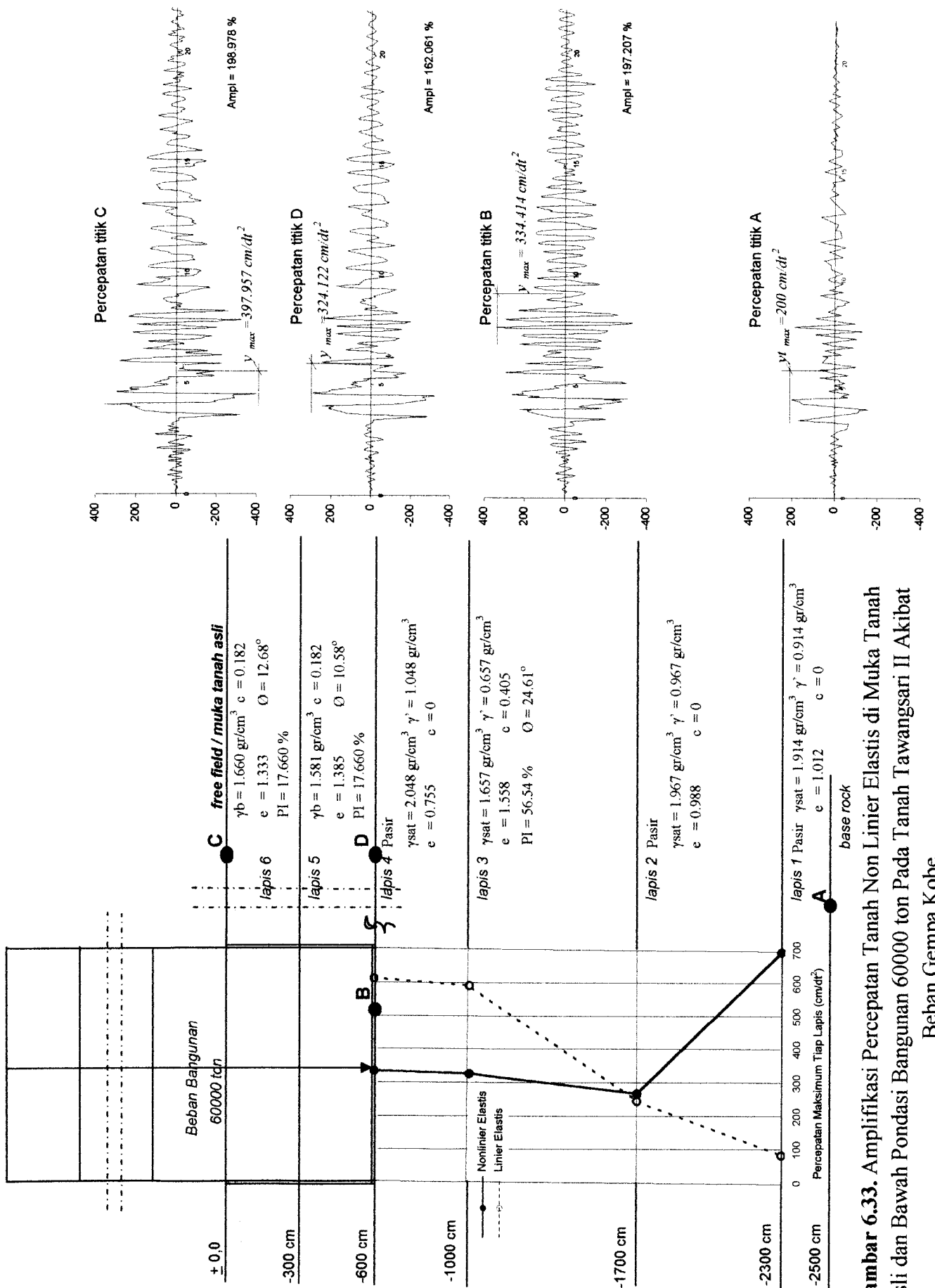
**Grafik 6.132.** Perbandingan Regangan-Tegangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton dan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Kobe



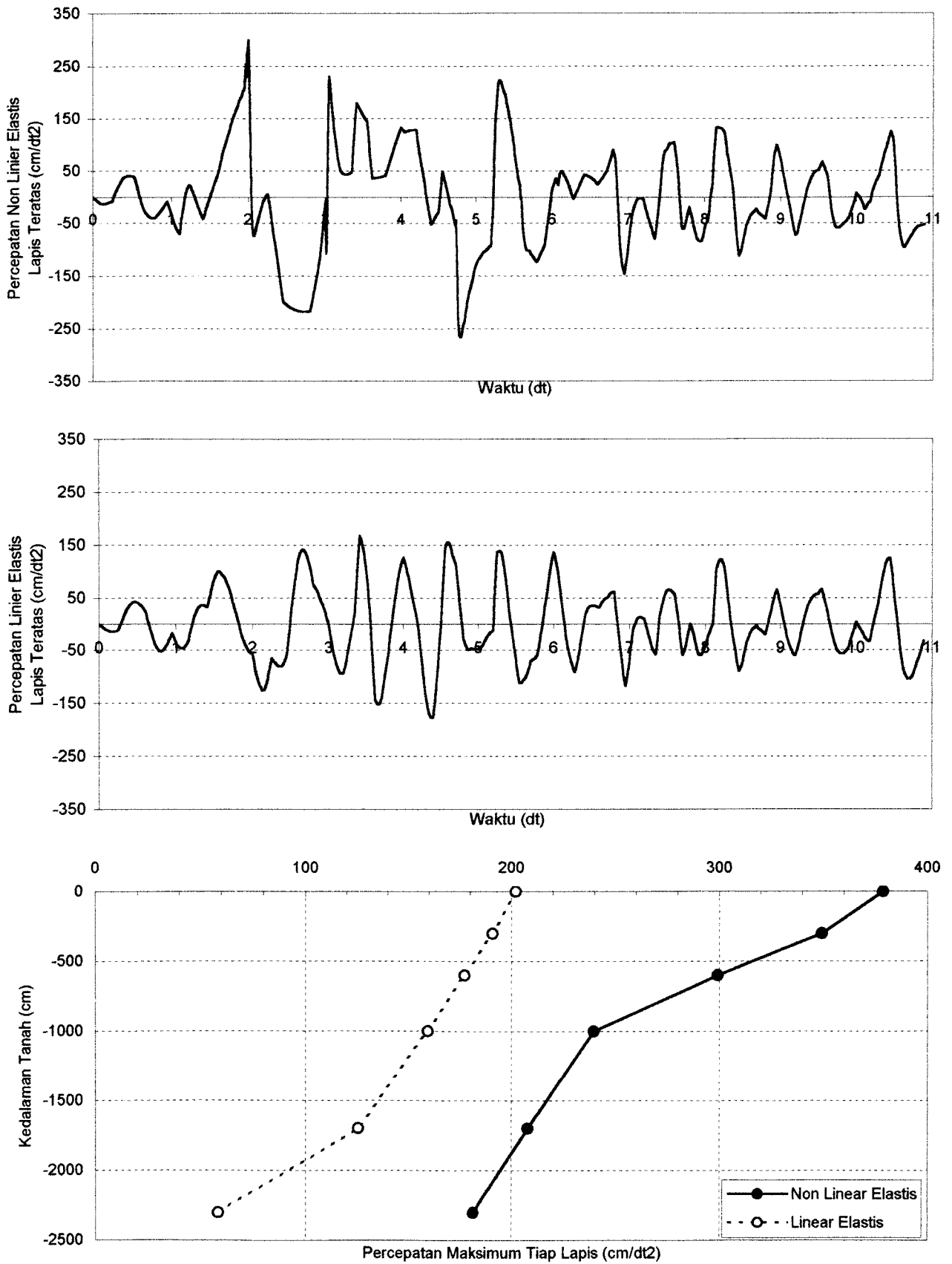
**Gambar 6.31.** Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Beban Gempa Kobe



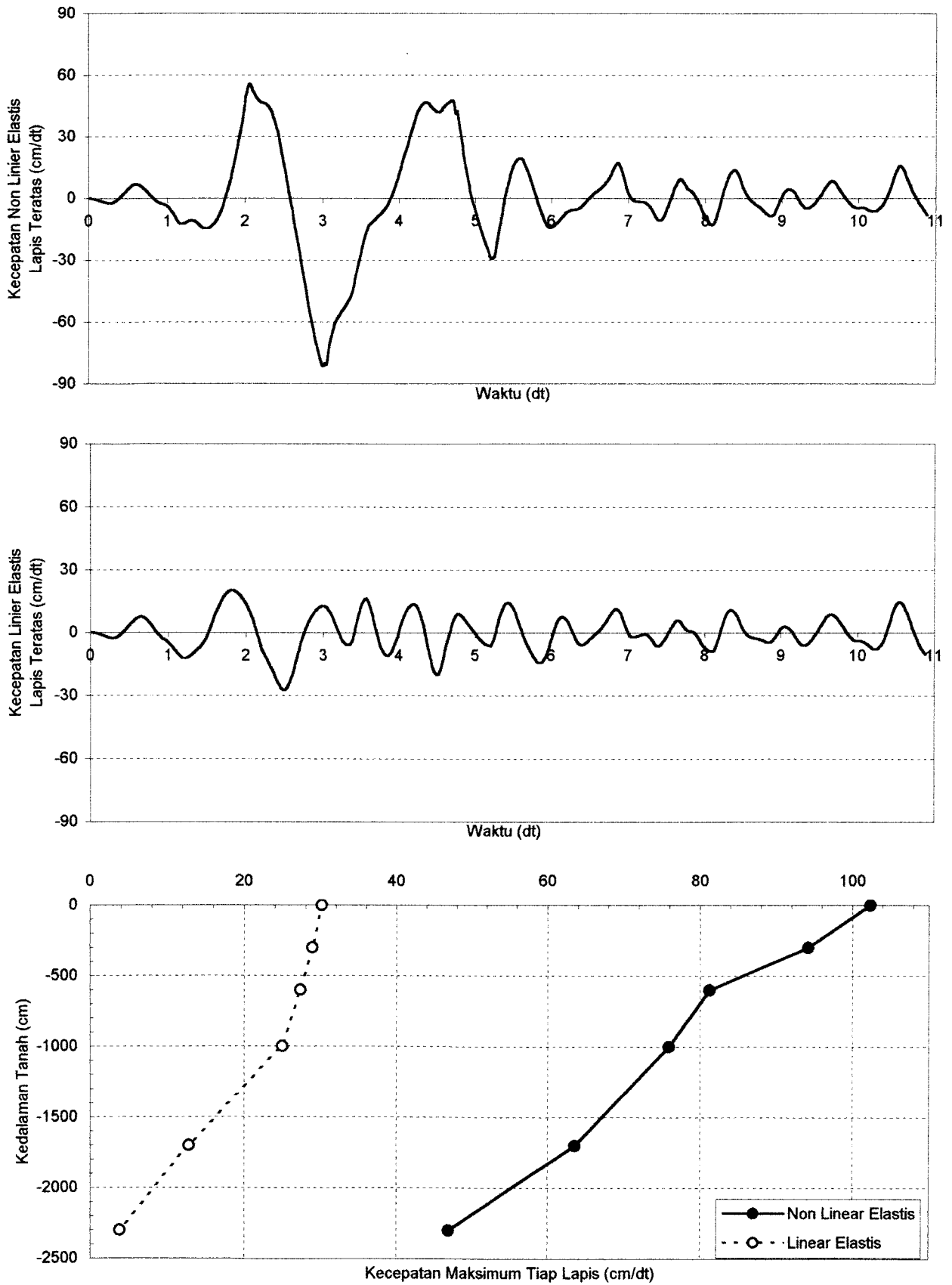
**Gambar 6.32.** Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Beban Gempa Kobe



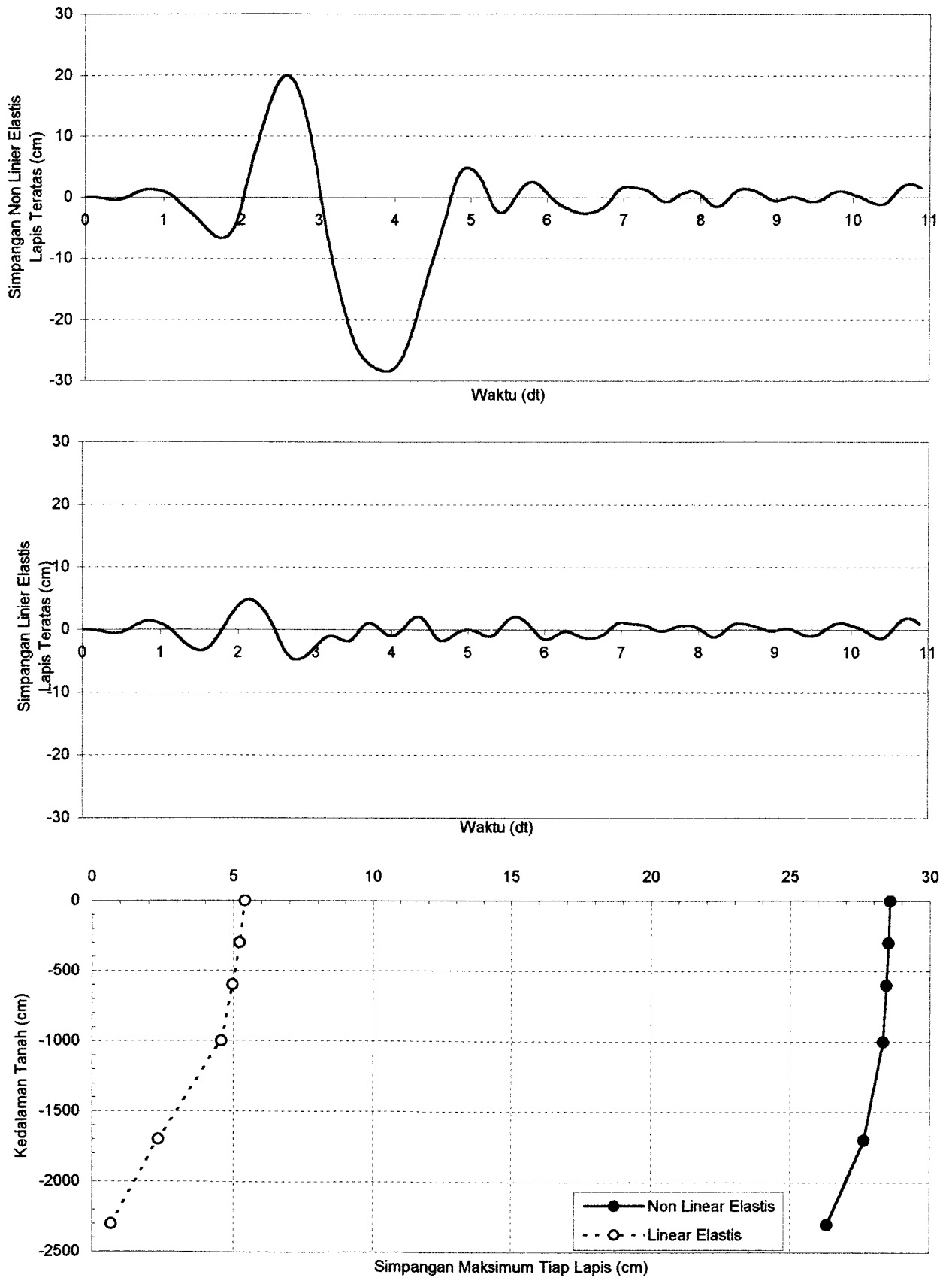
**Gambar 6.33.** Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Beban Gempa Kobe



**Grafik 6.133.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest

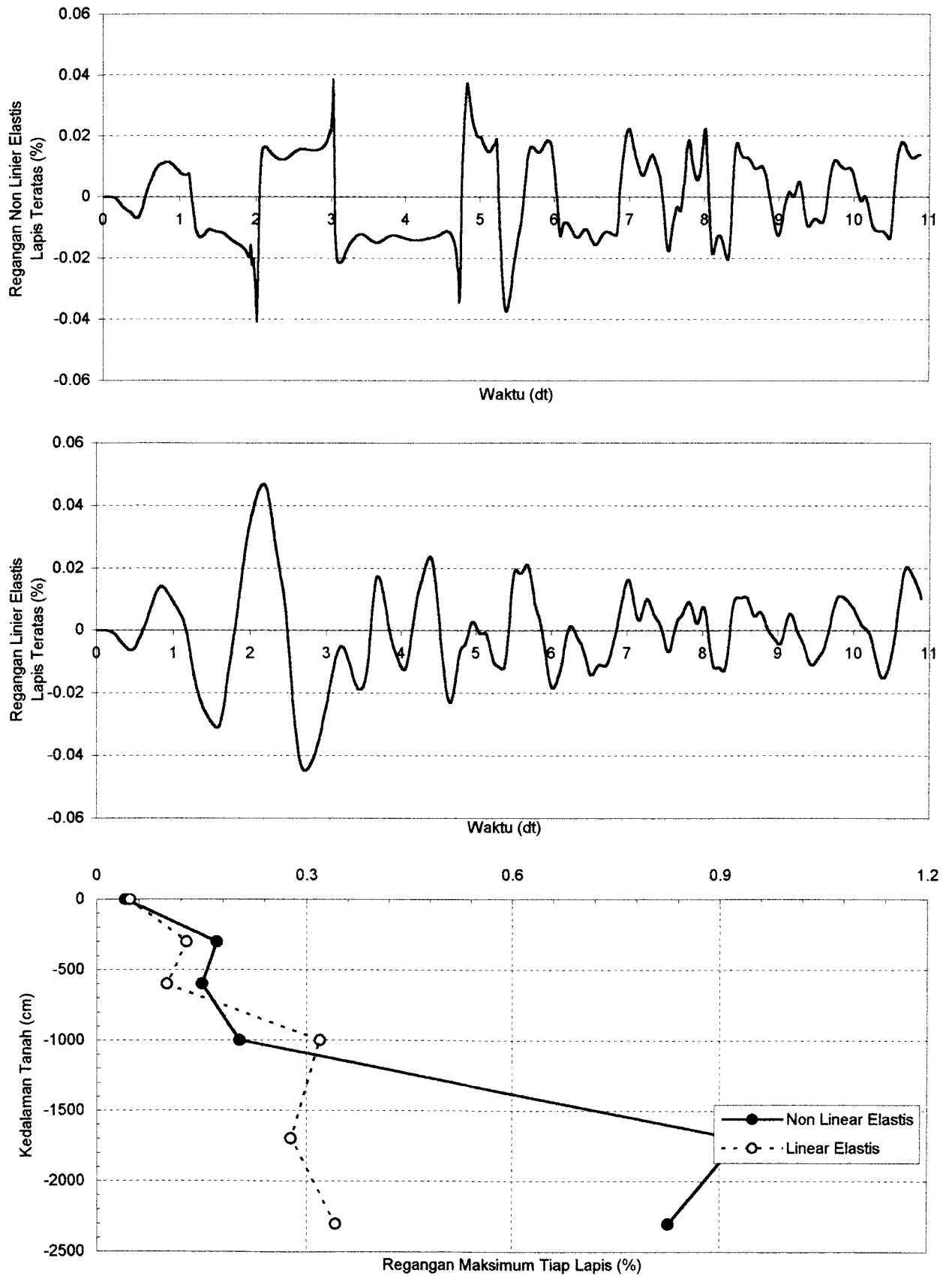


**Grafik 6.134.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest

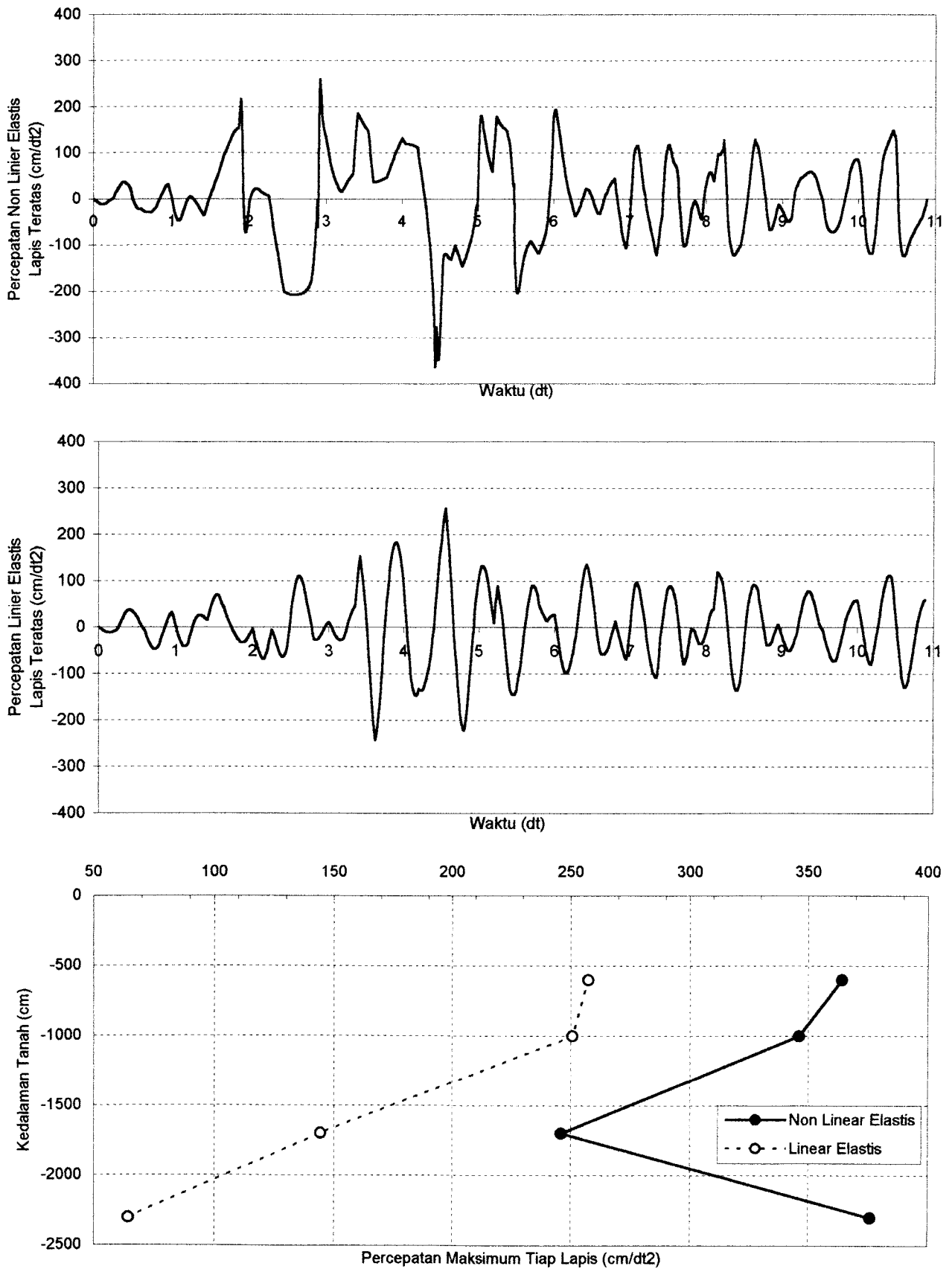


**Grafik 6.135.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest

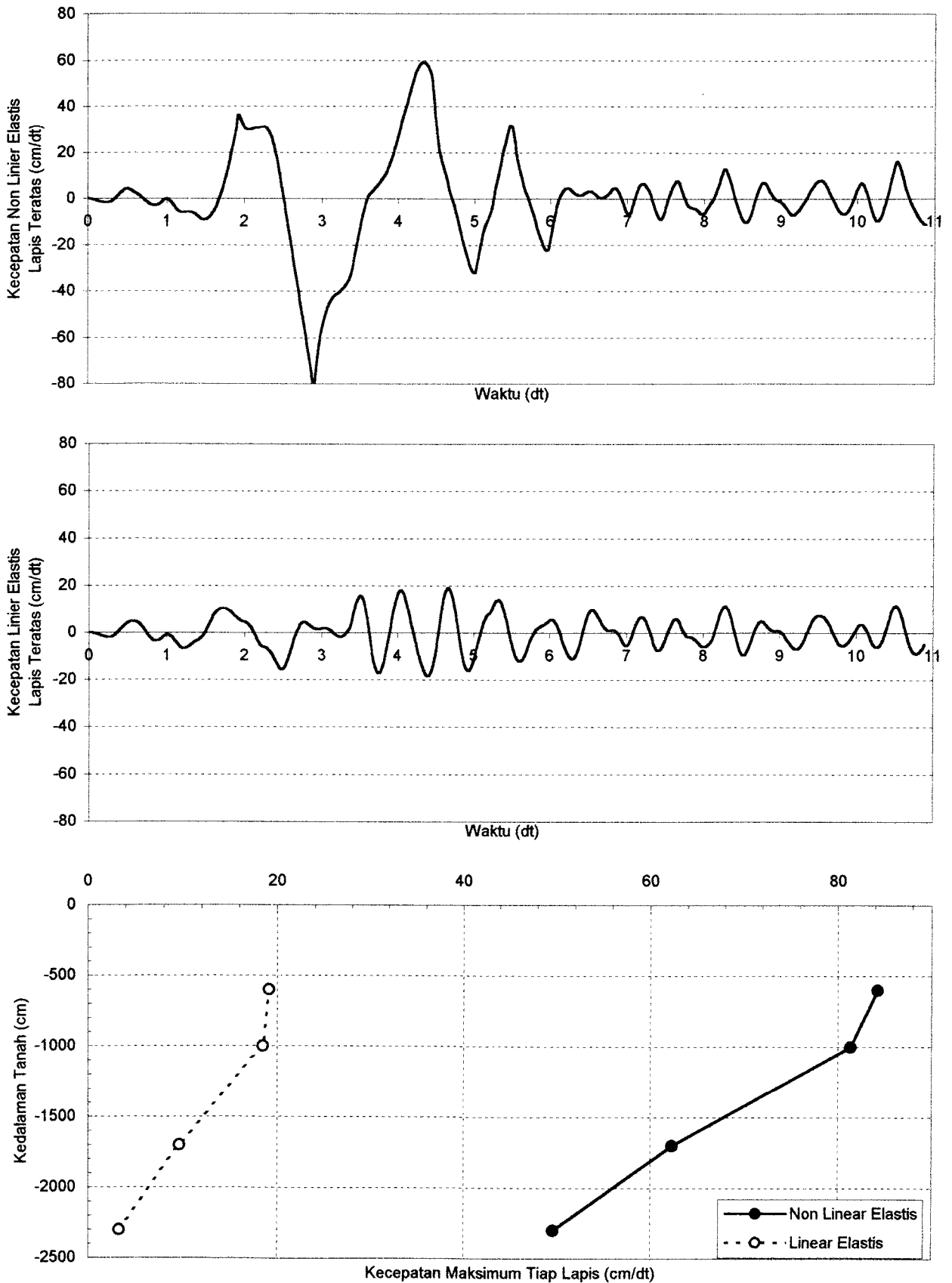




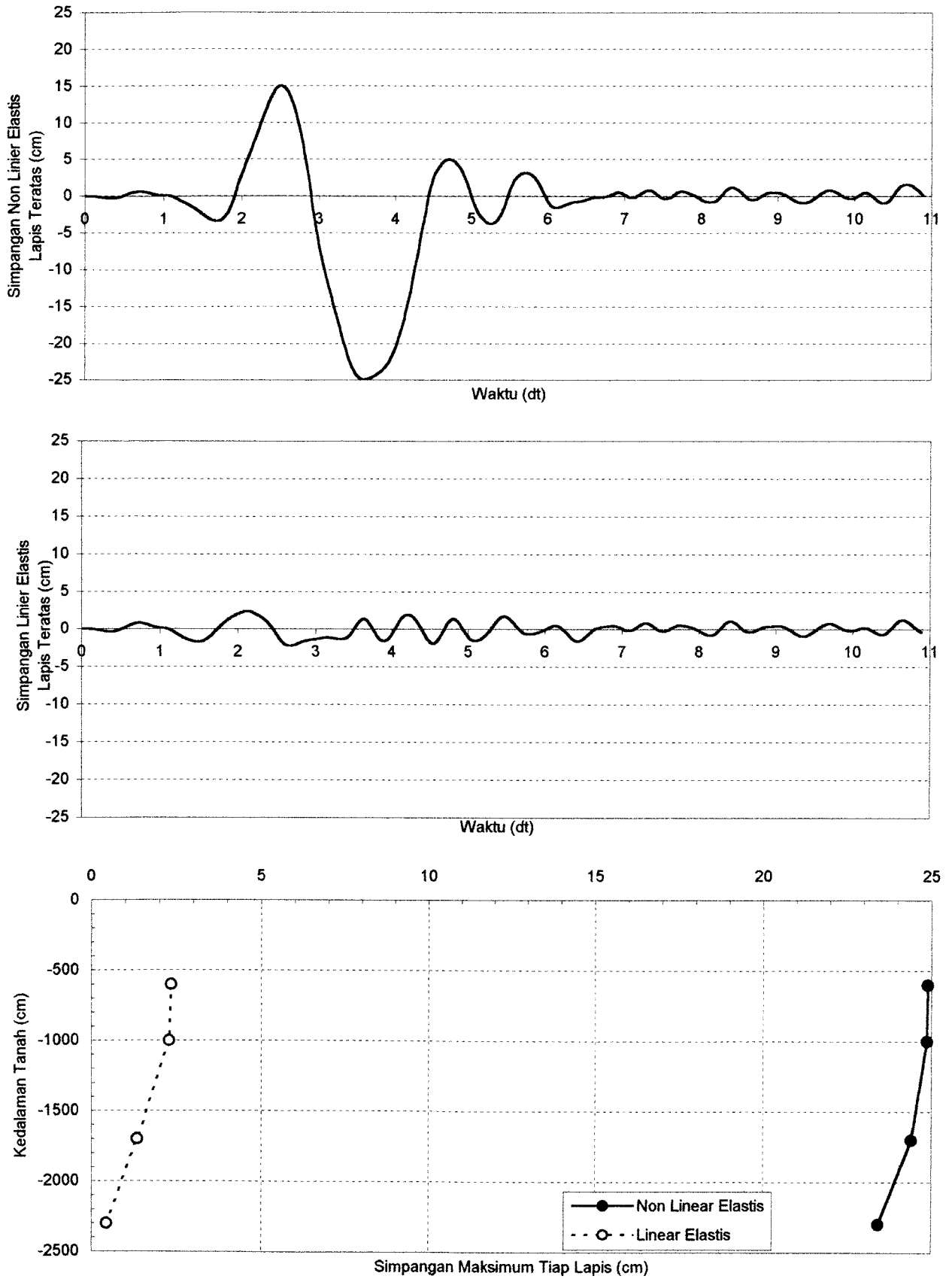
**Grafik 6.136.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Tanpa Massa Bangunan Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest



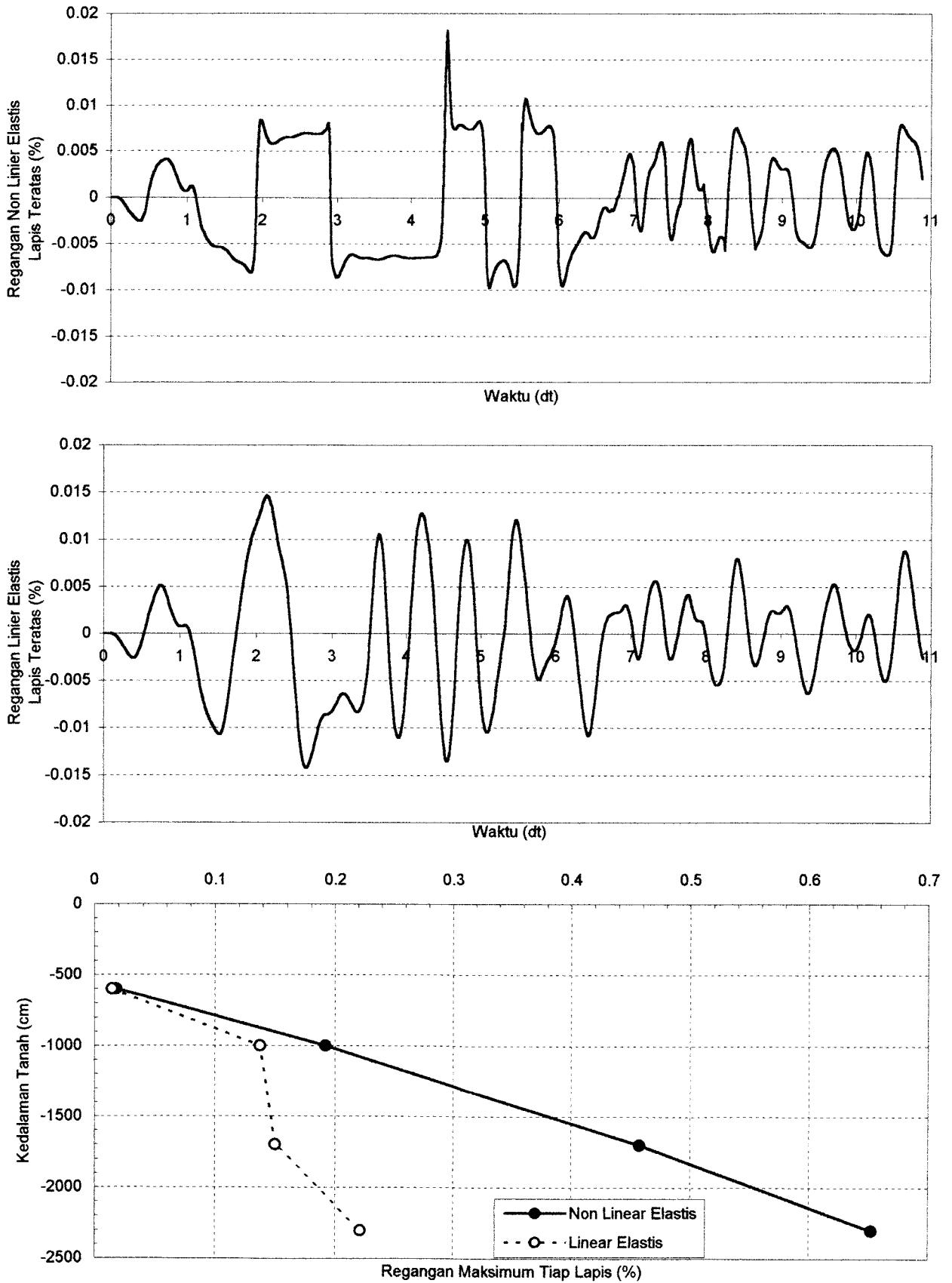
**Grafik 6.137.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest



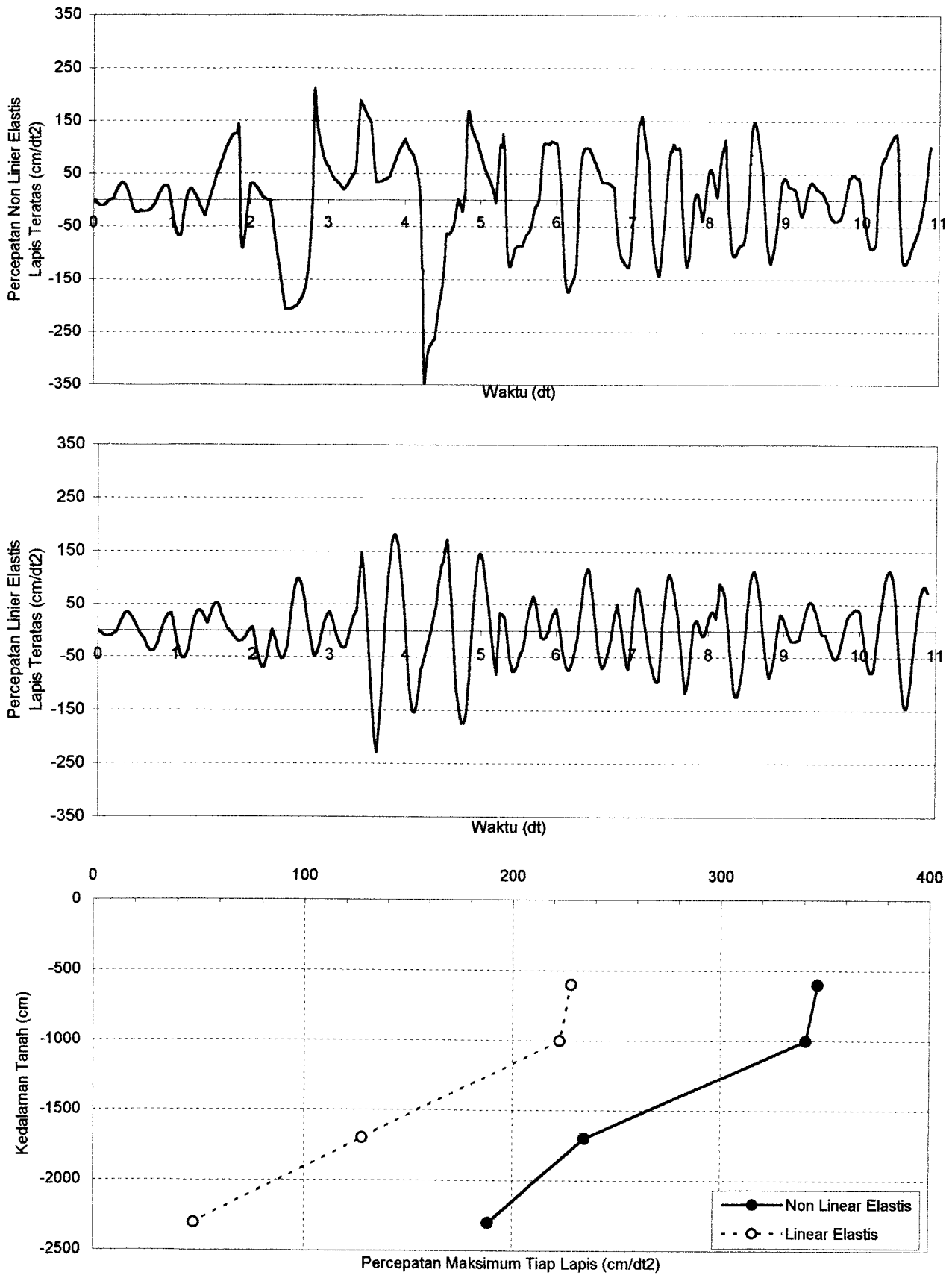
**Grafik 6.138.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest



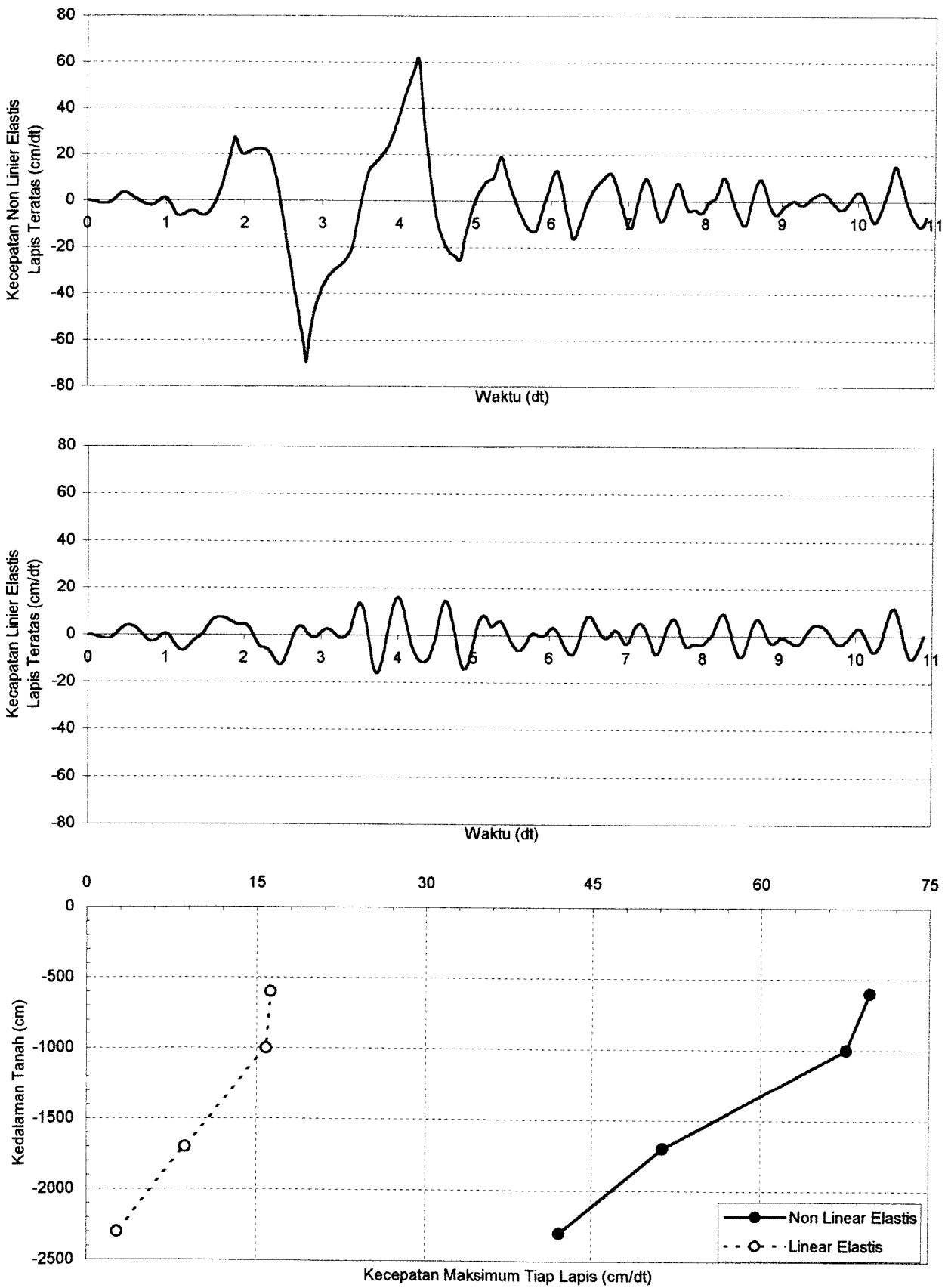
**Grafik 6.139.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest



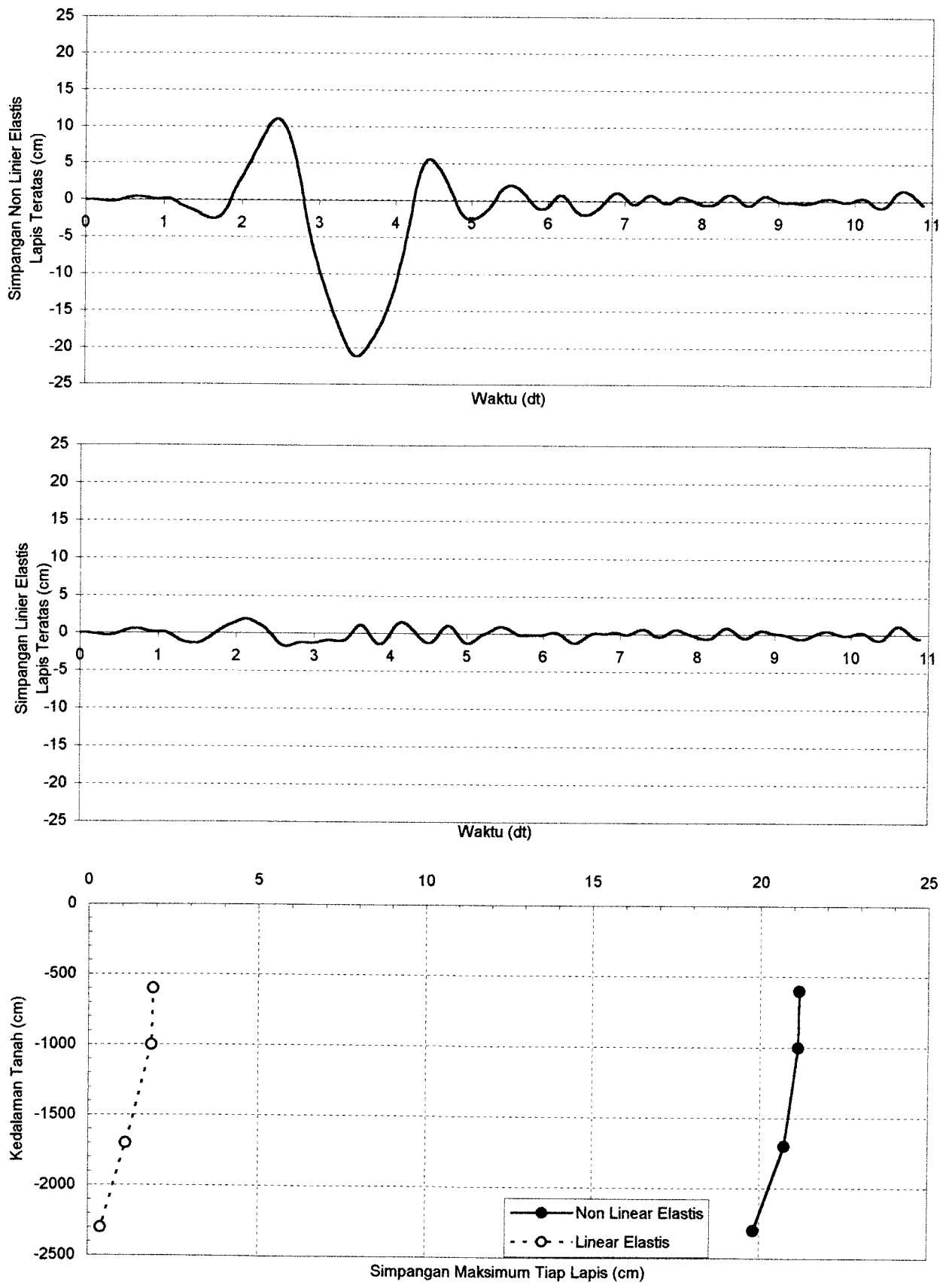
**Grafik 6.140.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest



**Grafik 6.141.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa BucharestBucharest

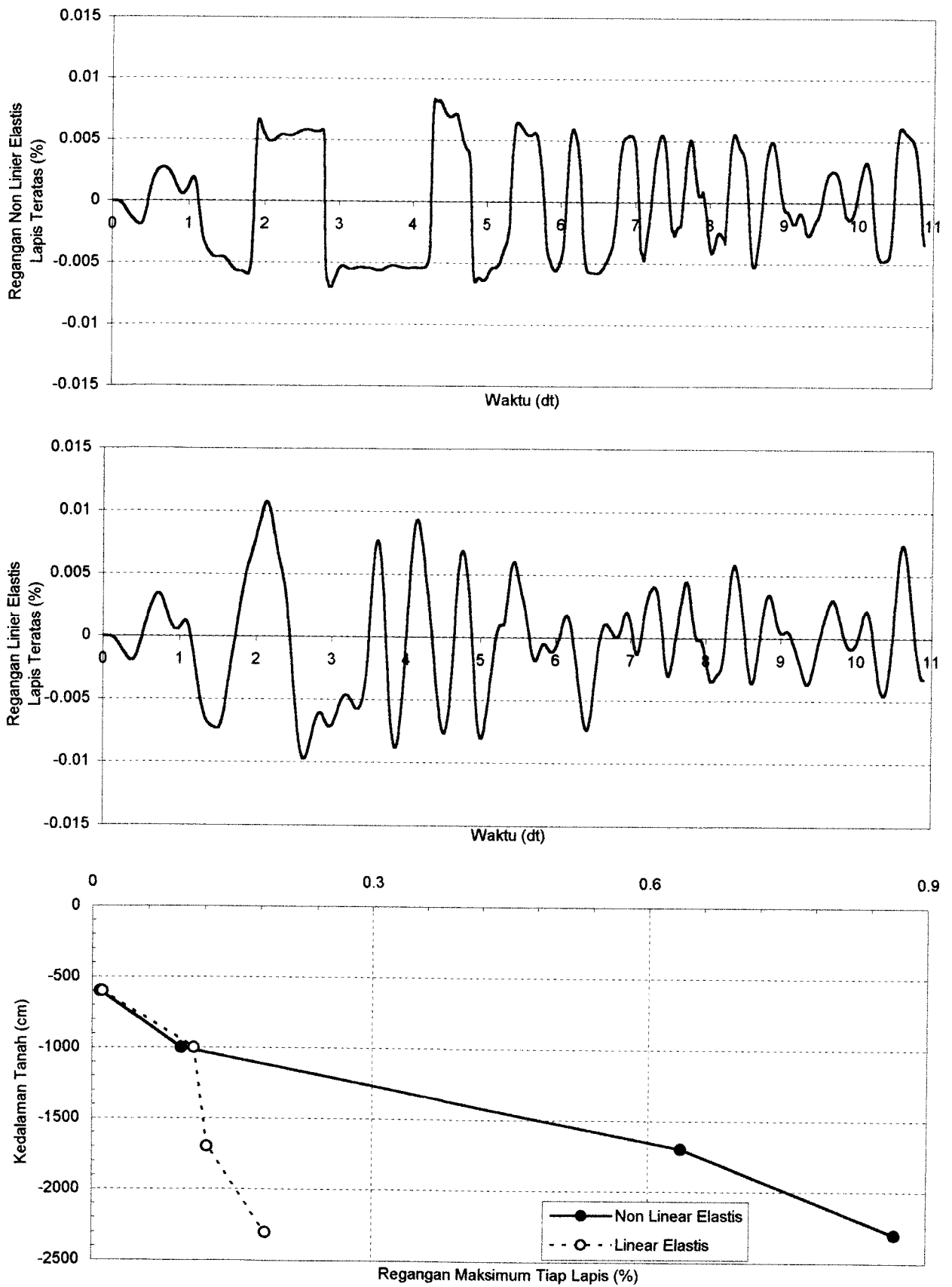


**Grafik 6.142.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest

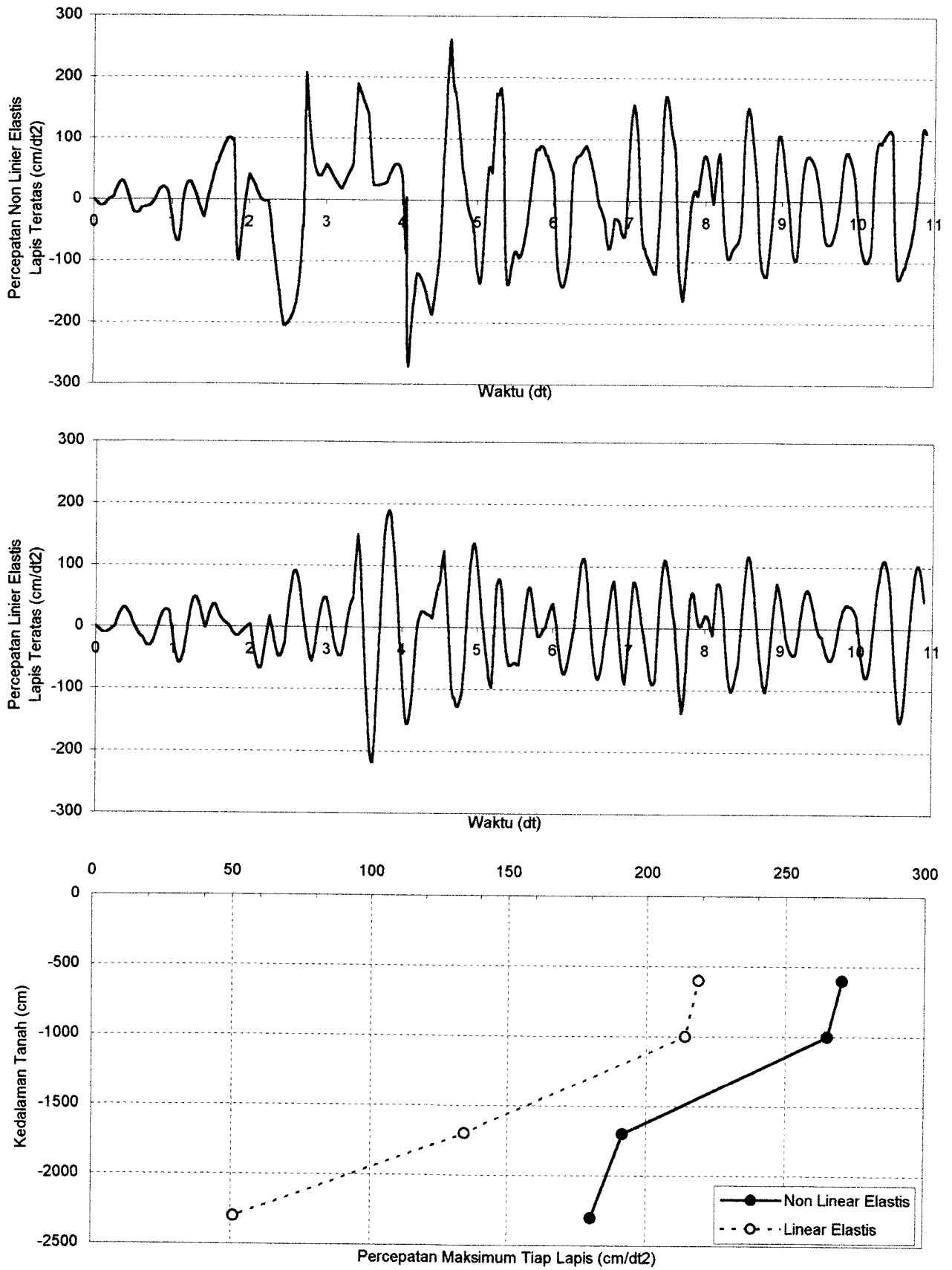


**Grafik 6.143.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest

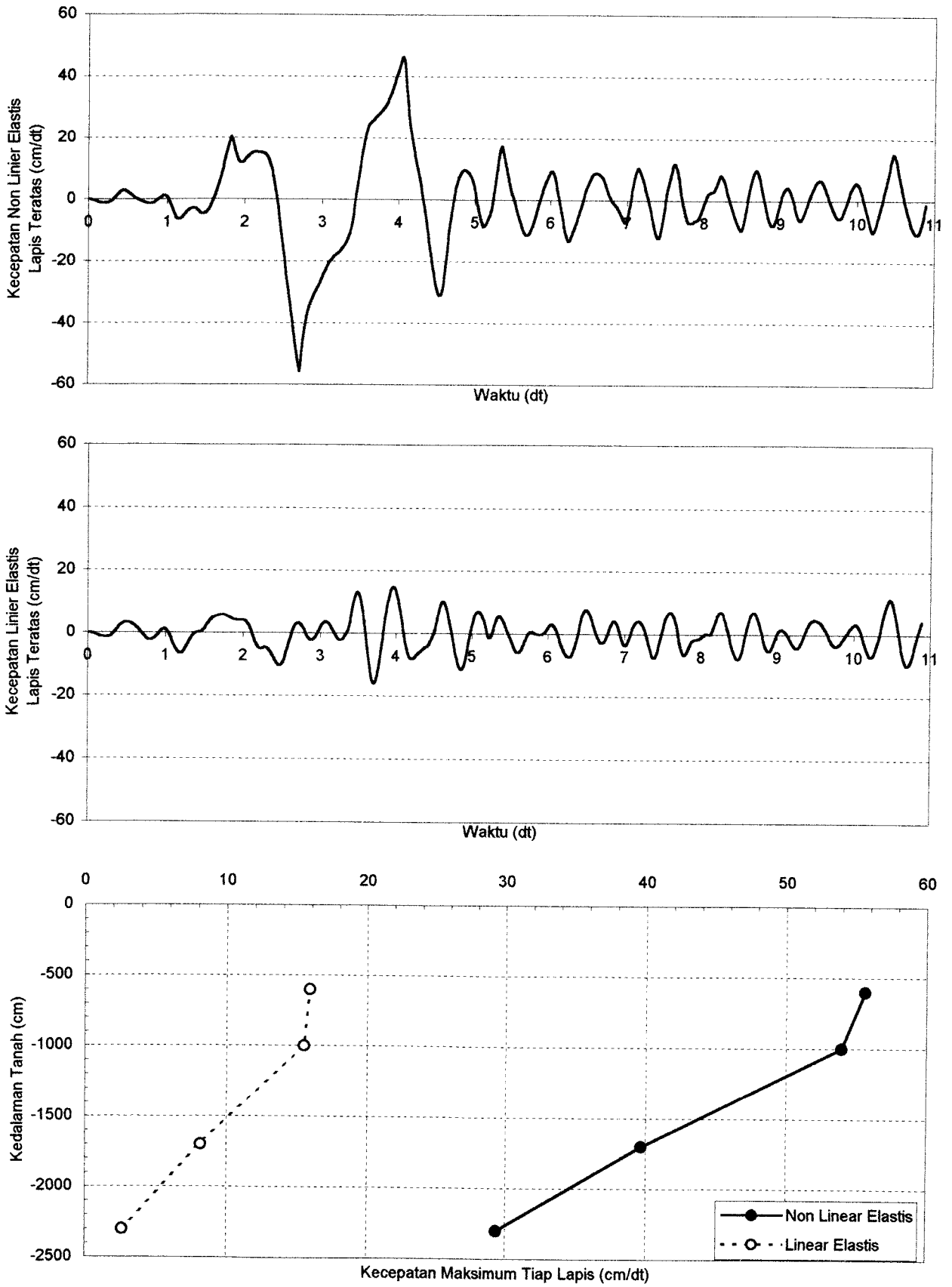




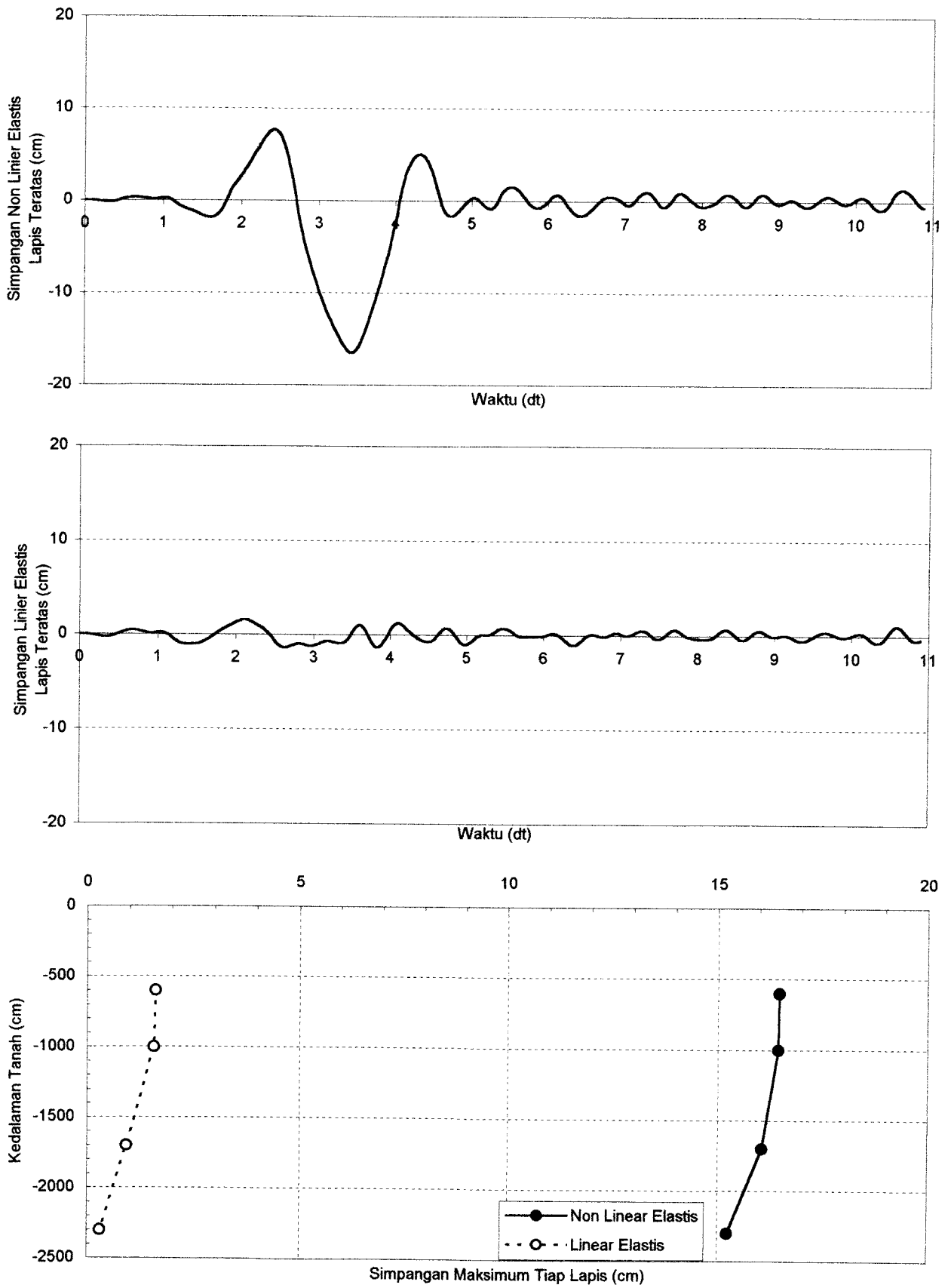
**Grafik 6.144.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest



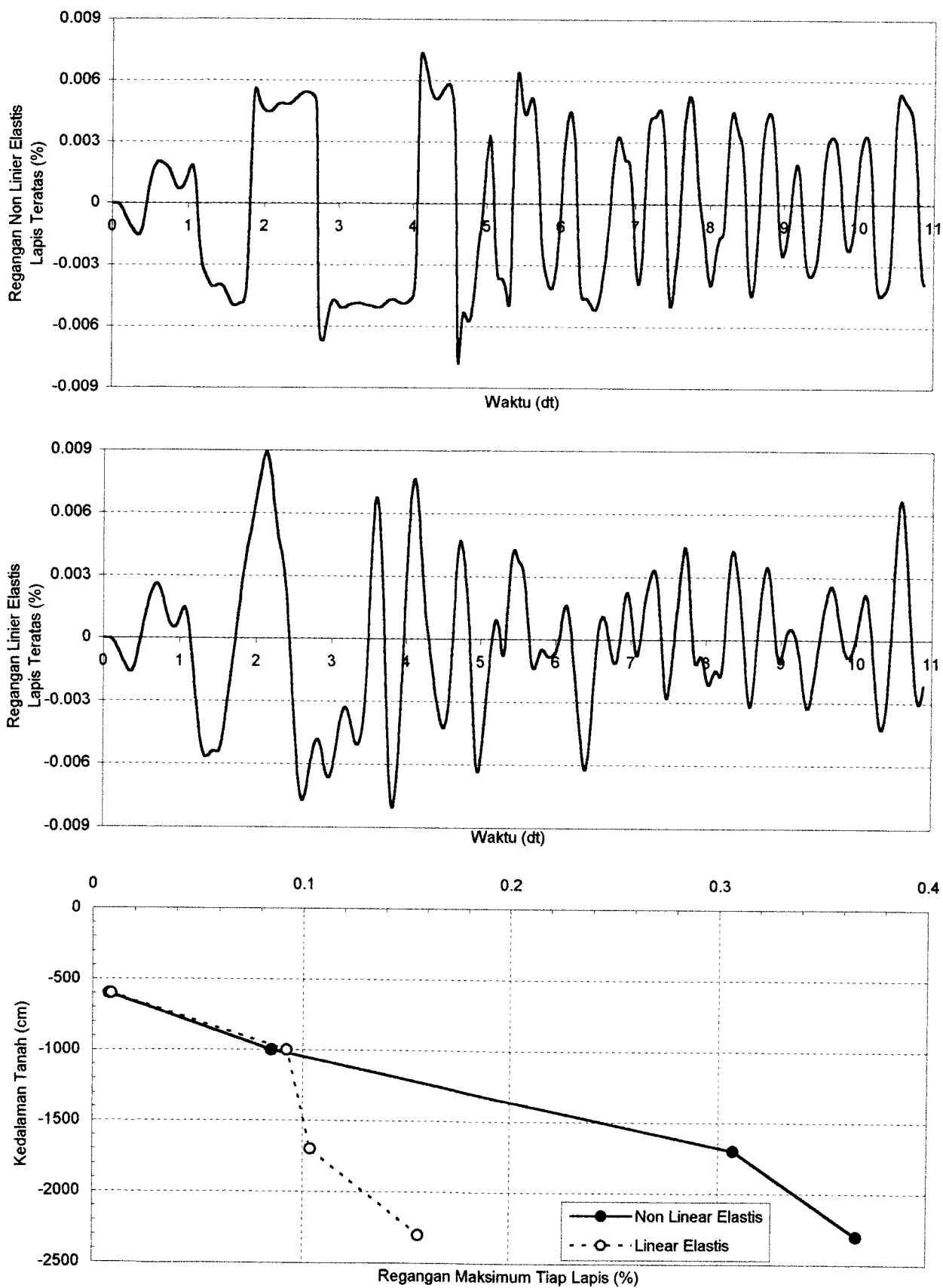
**Grafik 6.145.** Perbandingan Percepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest



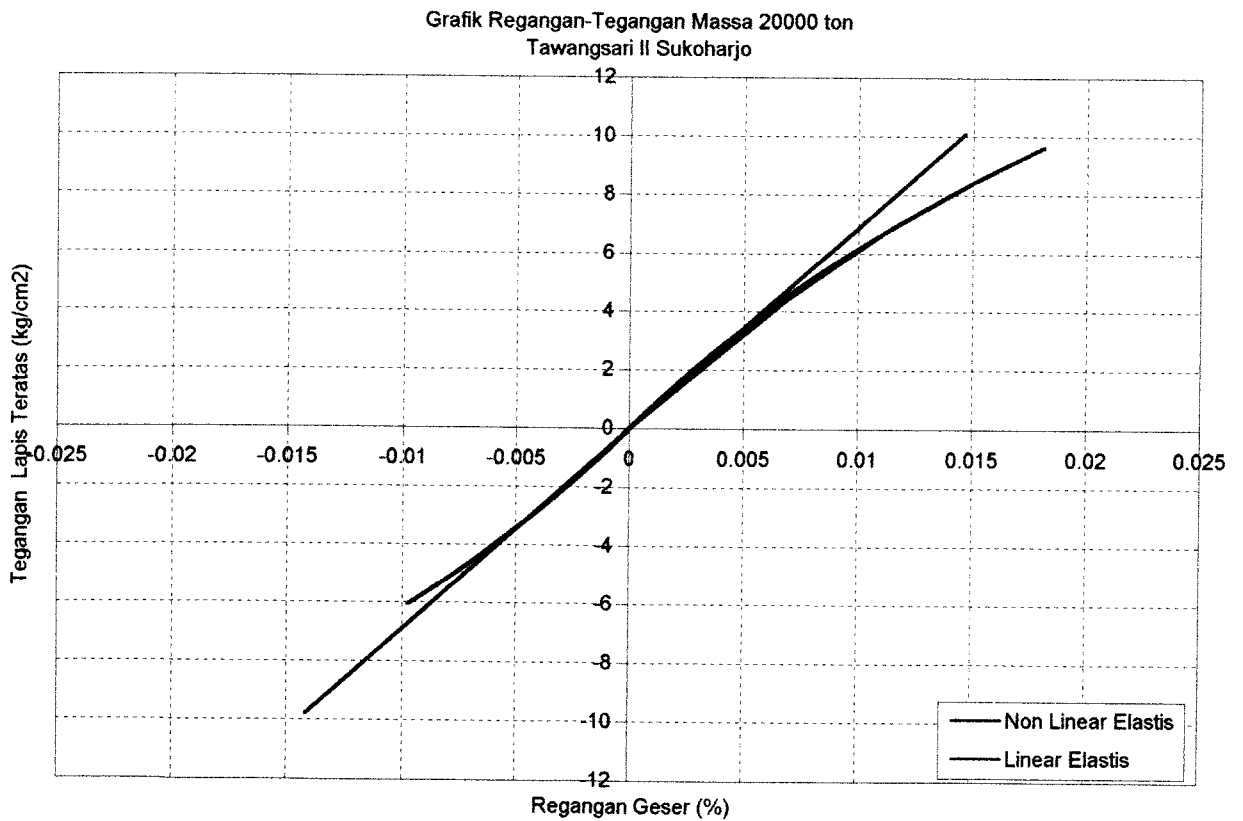
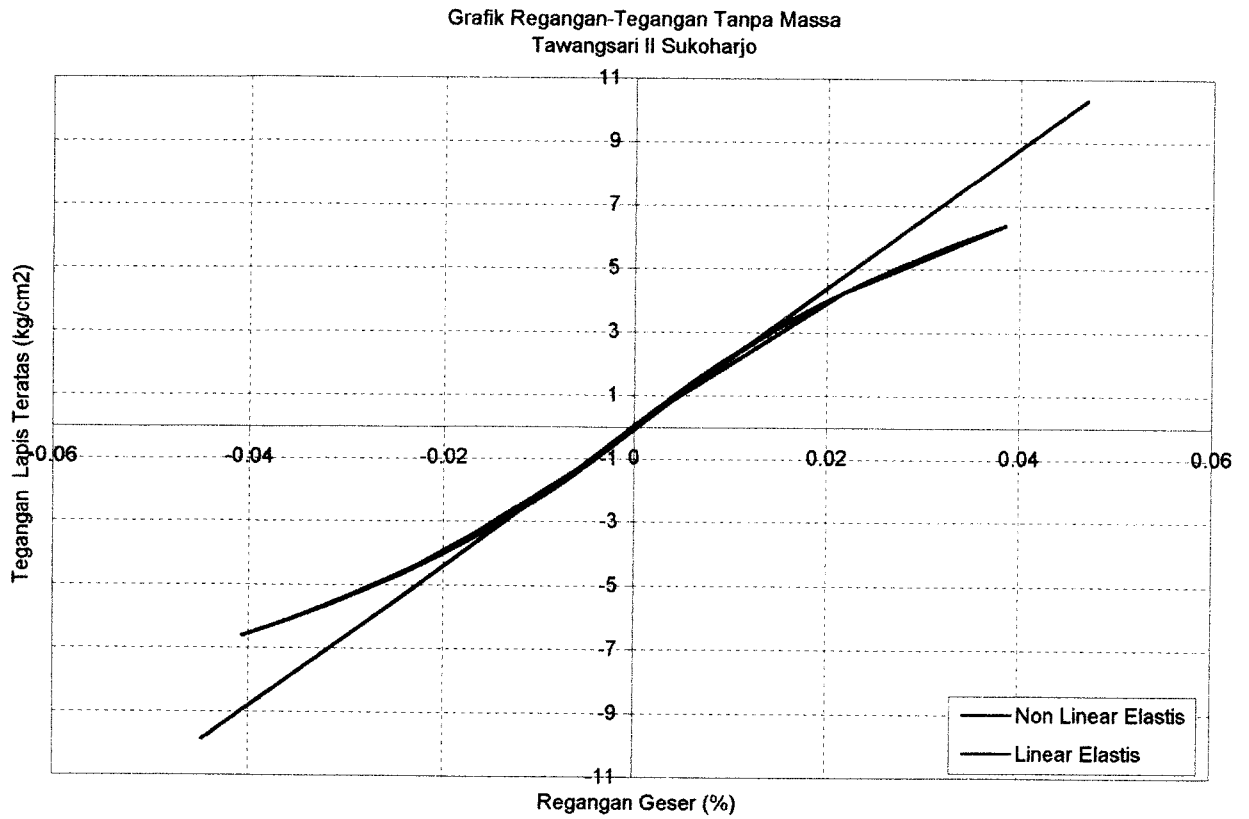
**Grafik 6.146.** Perbandingan Kecepatan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest



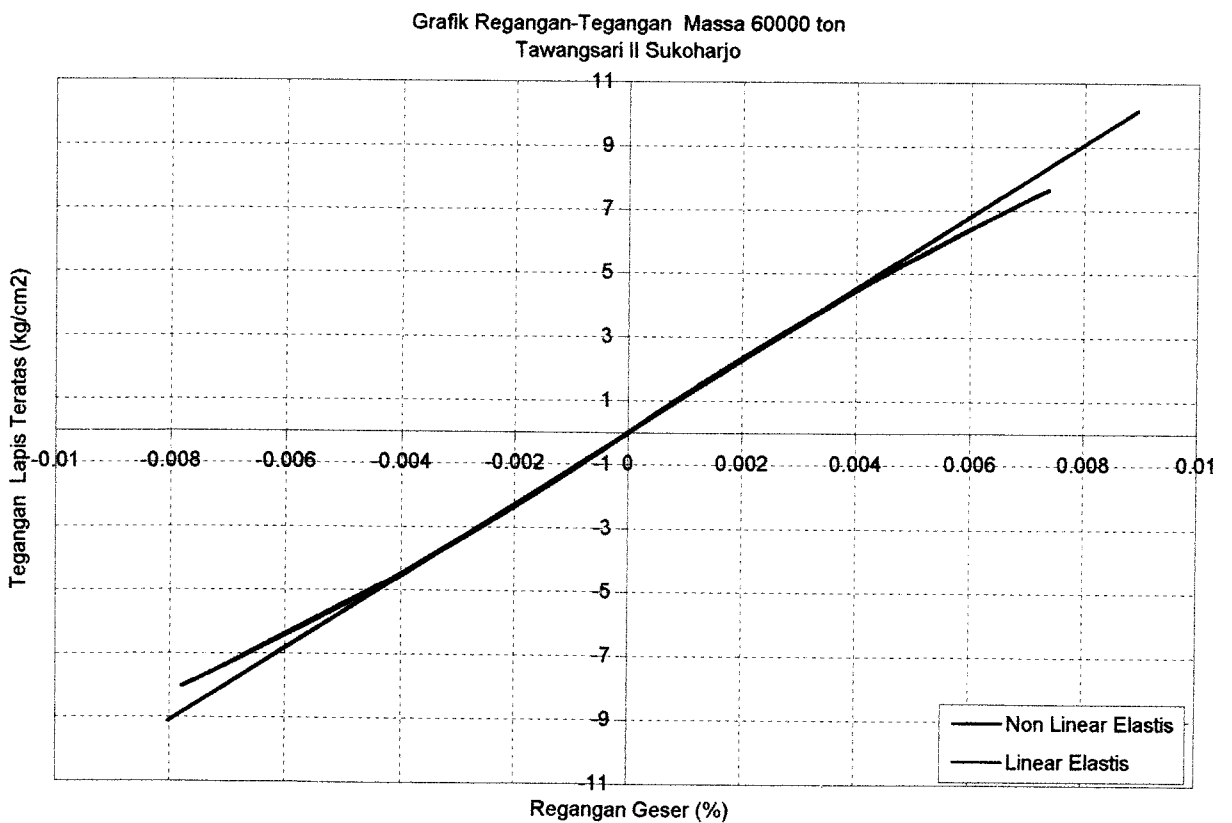
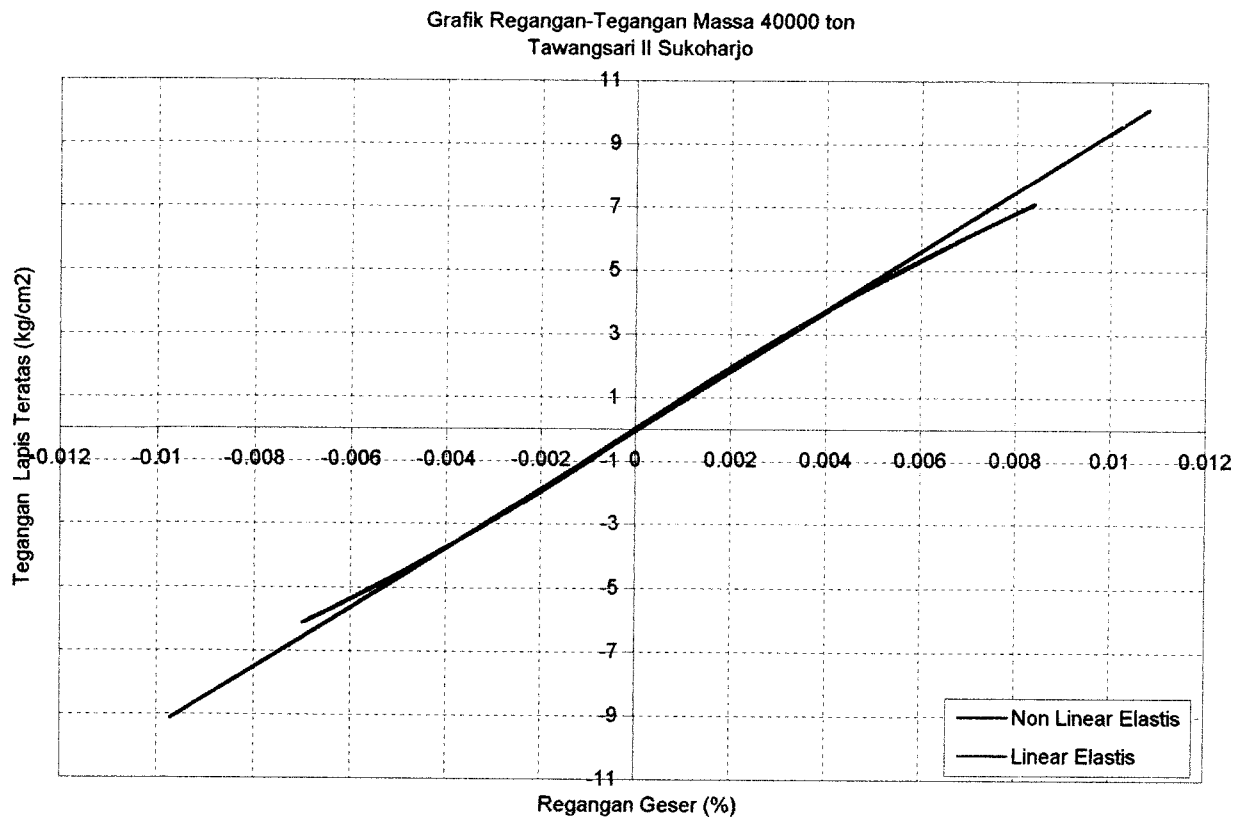
**Grafik 6.147.** Perbandingan Simpangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest



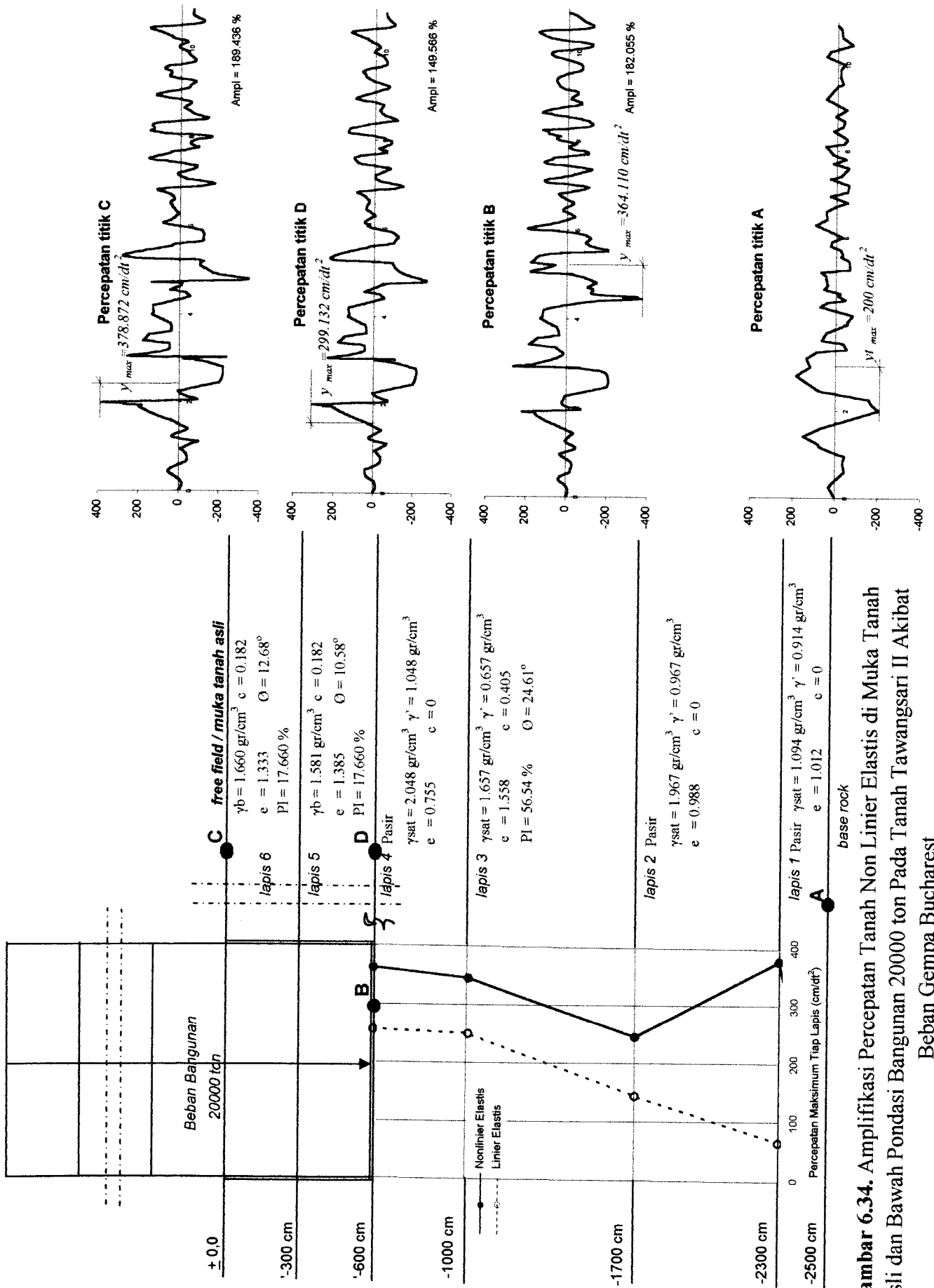
**Grafik 6.148.** Perbandingan Regangan Tanah Non Linier Elastis dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Data Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest



**Grafik 6.149.** Perbandingan Regangan-Tegangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Tanpa Massa dan Dengan Massa Bangunan 20000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest

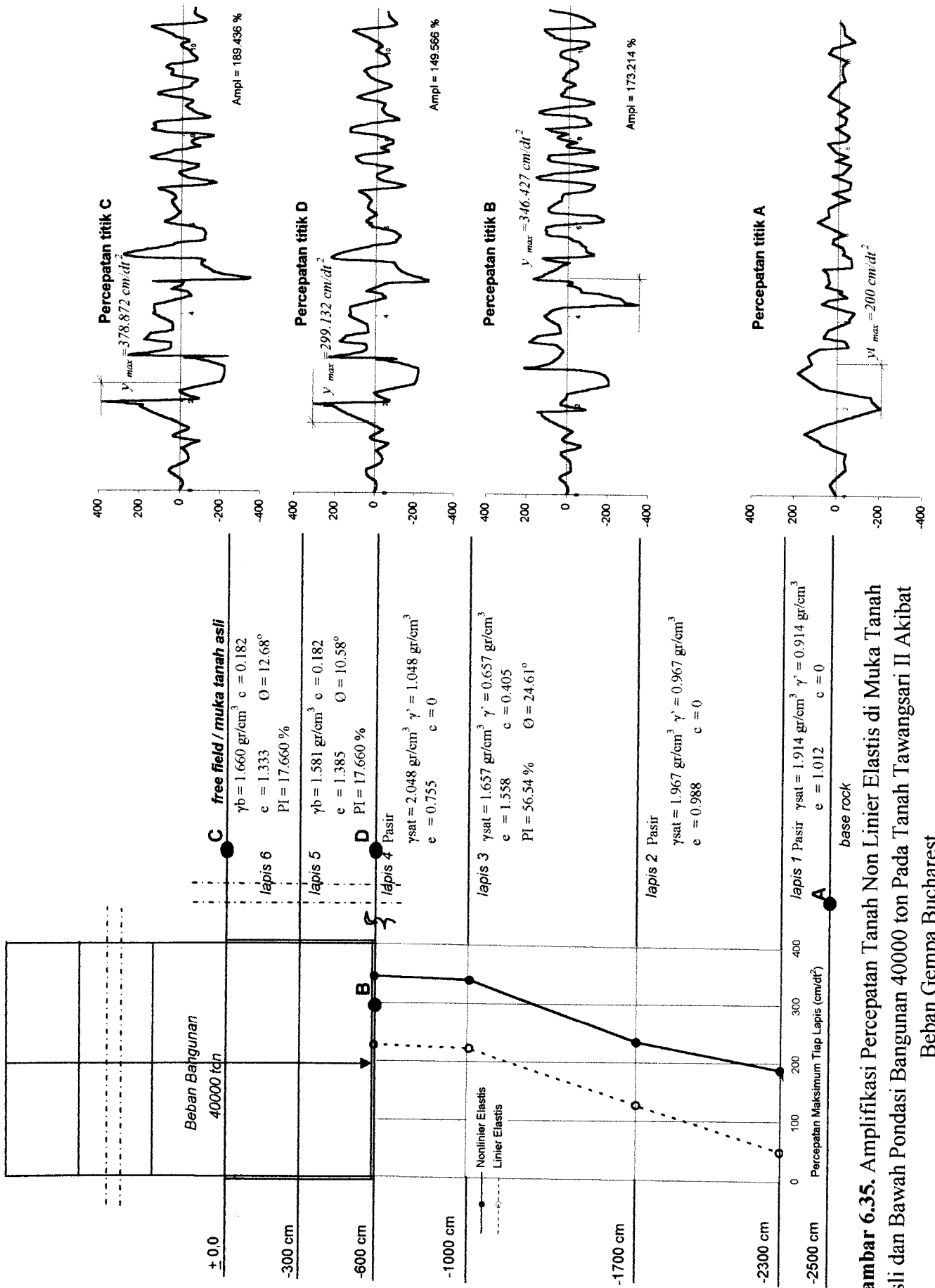


**Grafik 6.150.** Perbandingan Regangan-Tegangan Tanah Non Linier dan Linier Elastis Dengan Massa Bangunan 40000 ton dan 60000 ton Pada Lapis Teratas Untuk Tanah Tawang Sari II Sukoharjo Akibat Gempa Bucharest

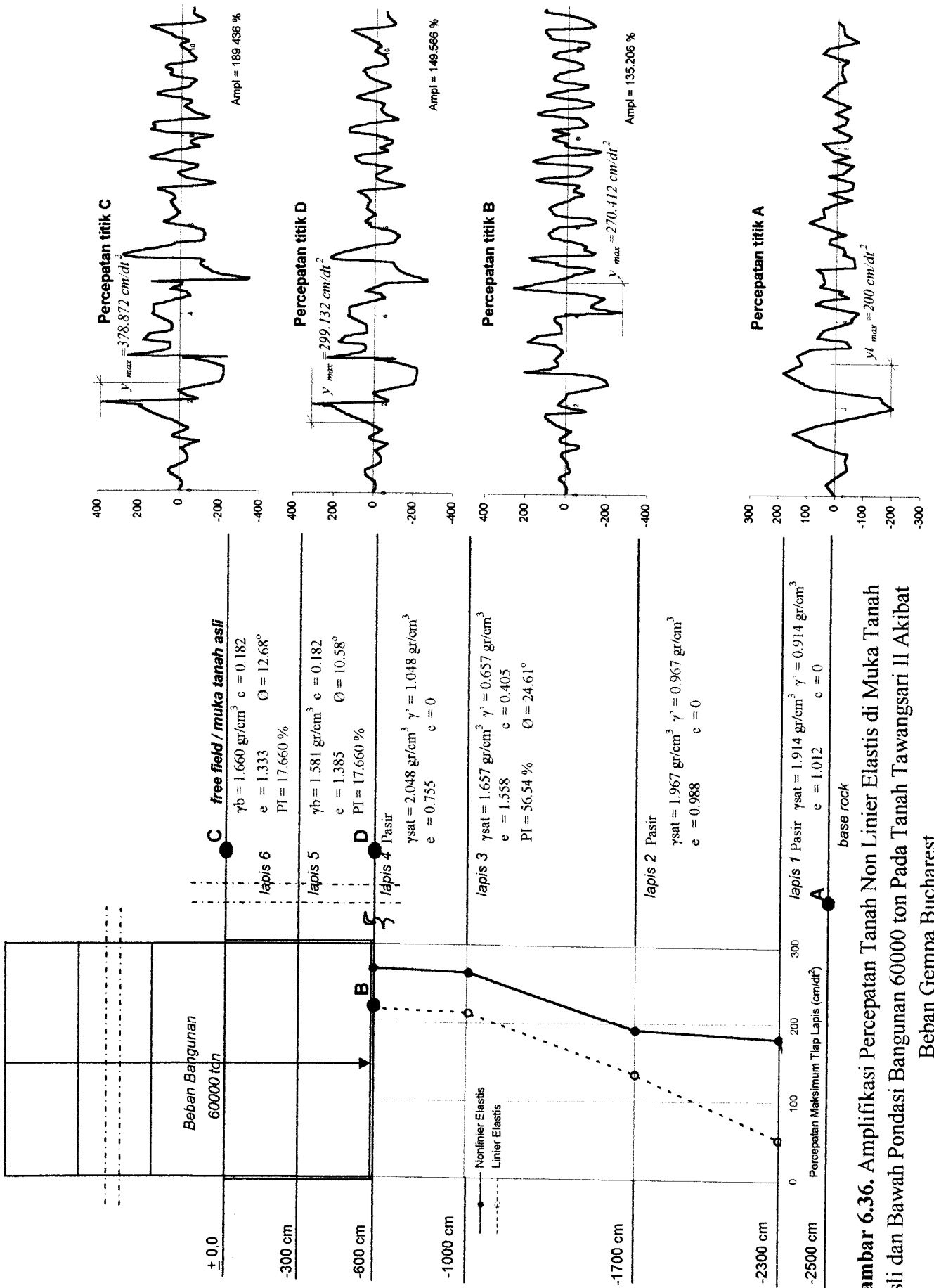


**Gambar 6.34.** Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 20000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Beban Gempa Bucharest

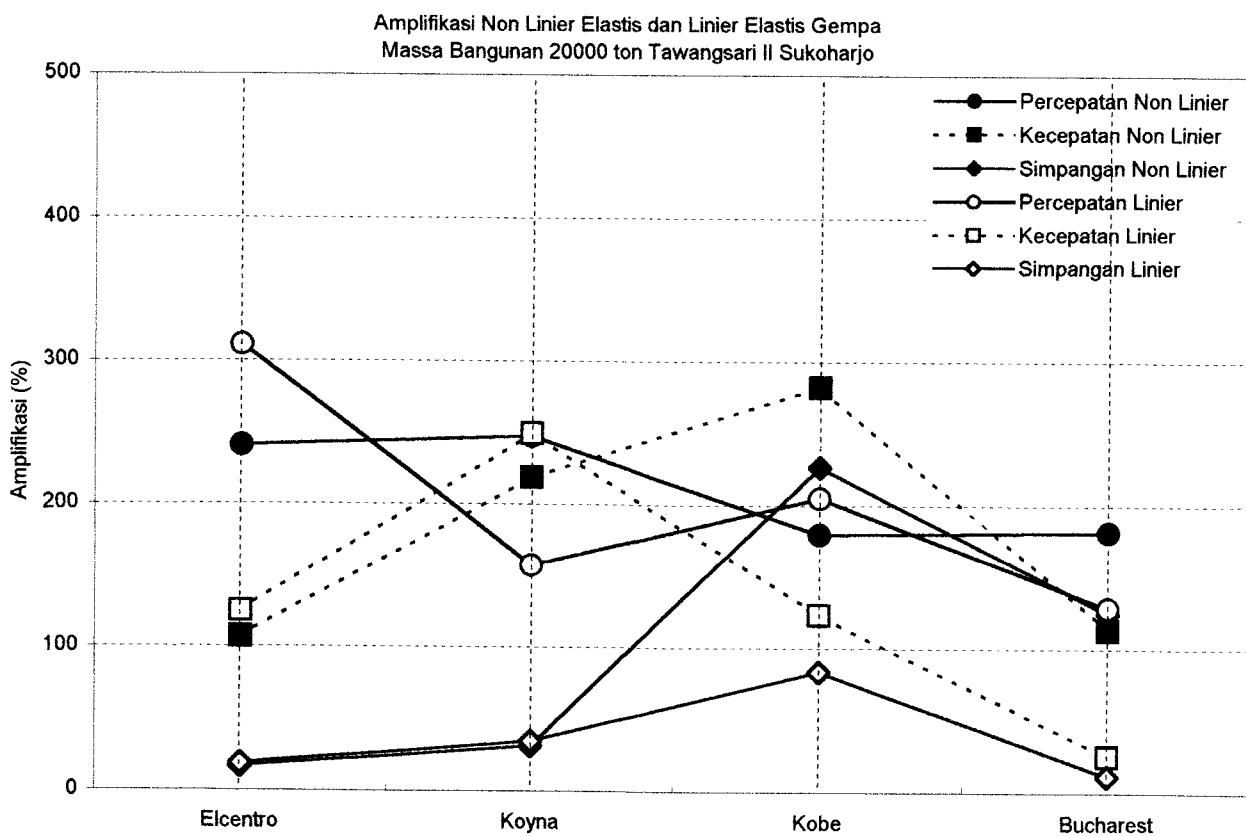
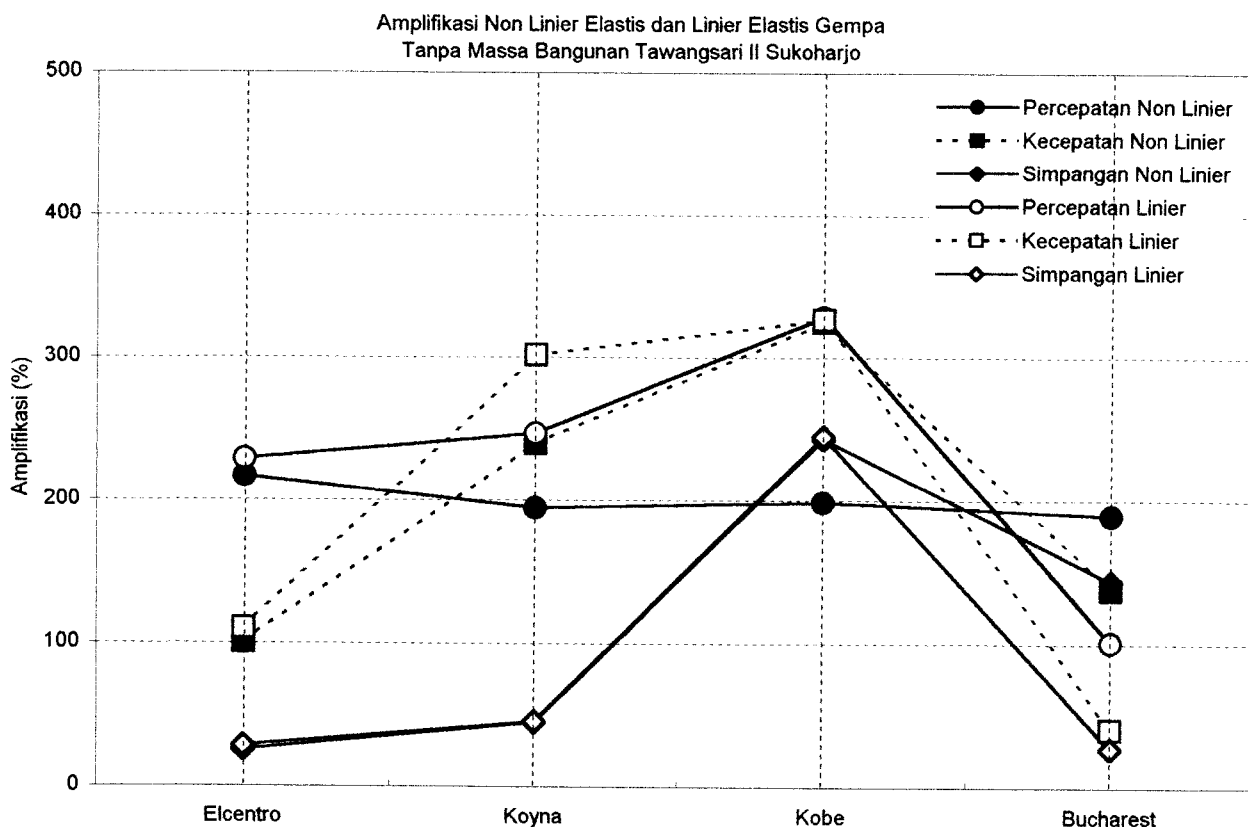




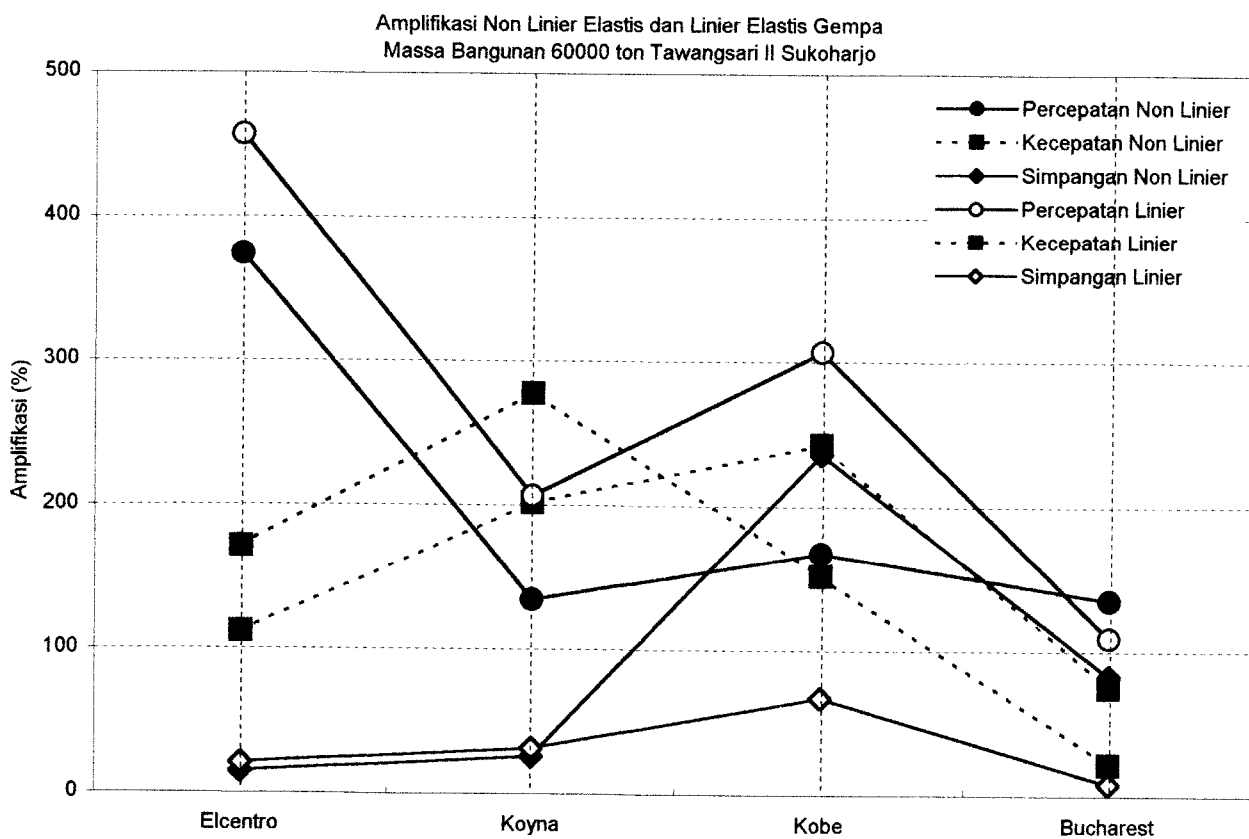
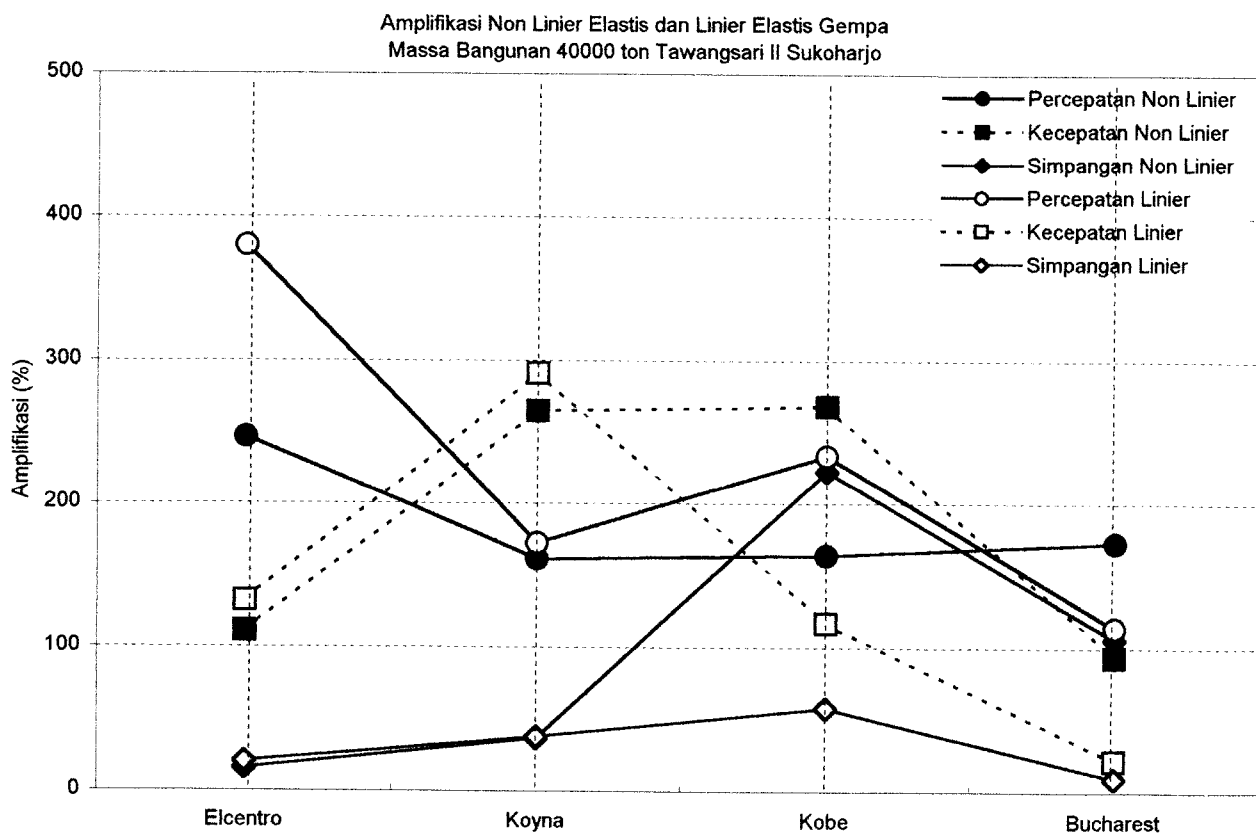
**Gambar 6.35.** Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 40000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Beban Gempa Bucharest



**Gambar 6.36.** Amplifikasi Percepatan Tanah Non Linier Elastis di Muka Tanah Asli dan Bawah Pondasi Bangunan 60000 ton Pada Tanah Tawangsari II Akibat Beban Gempa Bucharest



**Grafik 6.151.** Perbandingan Amplifikasi Percepatan, Kecepatan, dan Simpangan Non Linier dan Linier Elastis Tanah Tawang Sari II Pada Kondisi Tanpa Massa dan Dengan Massa Bangunan 20000 ton Akibat Gempa



**Grafik 6.152.** Perbandingan Amplifikasi Percepatan, Kecepatan, dan Simpangan Non Linier dan Linier Elastis Tanah Tawang Sari II Pada Kondisi Massa Bangunan 40000 ton dan Massa 60000 ton Akibat Gempa

## **BAB VII**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Dari hasil analisis hitungan respon percepatan tanah akibat gempa pada berbagai macam kondisi dan jenis properti tanah dan berbagai macam gempa dapat diambil beberapa kesimpulan dan saran yang akan disampaikan untuk kesinambungan penelitian tugas akhir ini.

#### **1.1. Kesimpulan**

Dari hasil analisis hitungan dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Simpangan tanah linier elastis ada yang lebih kecil ada juga yang lebih besar dari pada tanah non linier elastis. Akibat gempa dengan frekuensi tinggi tanah linier elastis cenderung lebih besar dari pada tanah non linier elastis, dengan perbedaan simpangan antara 0,38 % sampai dengan 39,87 %. Sedangkan akibat gempa dengan frekuensi rendah tanah linier elastis cenderung lebih kecil dari pada non linier elastis dengan perbedaan simpangan antara 87,3625 % sampai dengan 428,533 %.
2. Kecepatan tanah linier elastis ada yang lebih kecil ada juga yang lebih besar dari pada tanah non linier elastis. Akibat gempa dengan frekuensi tinggi maupun rendah tanah non linier elastis cenderung lebih besar dari pada tanah

linier elastis, dengan perbedaan kecepatan antara 0,213 % sampai dengan 186,951 %.

3. Percepatan tanah linier elastis ada yang lebih kecil ada juga yang lebih besar dari pada tanah non linier elastis. Akibat gempa dengan frekuensi tinggi tanah linier elastis cenderung lebih besar dari pada tanah non linier elastis, dengan perbedaan percepatan antara 5,327 % sampai dengan 56,908 %. Sedangkan akibat gempa dengan frekuensi rendah tanah linier elastis cenderung lebih kecil dari pada non linier elastis dengan perbedaan percepatan antara 43,281 % sampai dengan 87,363 %.
4. Amplifikasi percepatan terbesar baik tanah tanpa massa maupun dengan massa terjadi pada profil tanah Tawangsari II. Dimana besarnya amplifikasi adalah sebagai berikut :
  - a. Untuk kondisi tanpa massa tanah linier elastis berkisar 101,107 % sampai dengan 328,8132 % dan tanah non linier elastis berkisar 194,629 % sampai dengan 216,947 %.
  - b. Untuk kondisi beban massa 20000 ton tanah linier elastis berkisar 128,698 % sampai dengan 311,165 % dan tanah non linier elastis berkisar 180,075 % sampai dengan 247,38 %.
  - c. Untuk kondisi beban massa 40000 ton tanah linier elastis berkisar 114,166 % sampai dengan 380,008 % dan tanah non linier elastis berkisar 161,778 % sampai dengan 246,56 %.

- d. Untuk kondisi beban massa 60000 ton tanah linier elastis berkisar 109,248 % sampai dengan 457,224 % dan tanah non linier elastis berkisar 134,2198 % sampai dengan 374,1913 %.
5. Semakin besar massa bangunan maka akan semakin menambah kekakuan lapis-lapisan tanah. Pada kondisi linier elastis maupun non linier elastis akibat gempa dengan frekuensi yang semakin tinggi maka amplifikasi percepatan yang terjadi cenderung semakin besar dan sebaliknya akibat gempa dengan frekuensi yang semakin rendah maka amplifikasi percepatan yang terjadi juga akan cenderung semakin kecil.
  6. Amplifikasi respon seismik tanah dipengaruhi adanya perubahan kekakuan yang diakibatkan oleh beberapa faktor diantaranya yaitu penambahan massa bangunan yang signifikan, perbedaan ketebalan lapisan tanah, perbedaan indeks plastisitas, perbedaan jenis tanah, dan perbedaan frekuensi gempa.
  7. Simpangan yang terjadi pada tanah bebas akan lebih besar jika dibandingkan dengan tanah yang di atasnya terdapat beban massa bangunan, dan simpangan akan terus mengecil apabila beban massa di atas tanah meningkat, hal ini dikarenakan dengan bertambahnya massa di atas lapisan tanah maka akan menambah tegangan vertikal, seterusnya akan menambah nilai modulus geser yang berarti akan memperbesar kekakuan tanah, apabila kekakuan besar maka simpangan yang terjadi akan semakin kecil.
  8. Regangan yang terjadi pada kondisi linear elastis akan cenderung lebih lebih besar dibandingkan pada kondisi non linear elastis baik tanpa massa maupun dengan massa. Nilai regangan yang terjadi pada tanah bebas akan lebih besar

dibanding dengan tanah yang terdapat massa di atasnya, dan nilai regangan akan terus mengecil bila terjadi peningkatan masa di atas lapisan tanah baik pada kondisi linear elastis maupun non linear elastis

## 7.2. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian dan pembahasan lebih lanjut tentang tanah non linier inelastis (massa tanah dan kekakuan yang berubah-ubah) dengan kondisi tanah terbebani dan tanpa massa serta dengan variasi jenis dan kondisi tanah yang berbeda-beda.
2. Perlu dilakukan penelitian dan pembahasan tentang kondisi tanah pada lapisan dasar gunung atau bukit dimana tidak lagi menggunakan metode penyebaran 2V : 1H tetapi dengan penyeragaman pembebanan vertikal tiap lapisnya.
3. Perlu dilakukan penelitian dan pembahasan yang lebih lanjut tentang pengaruh kandungan frekuensi gempa.
4. Perlu dilakukan penelitian dan pembahasan yang lebih lanjut tentang interaksi respon tanah dan respon pondasi bangunan.
5. Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan model matematis yang berbeda dalam perhitungan ini.
6. Perlunya variasi kedalaman basement bangunan.
7. Perlunya mengkondisikan beban gempa yang pernah terjadi di Indonesia.
8. Efek interaksi antara jenis fondasi dalam terhadap lapisan tanah yang terbebani getaran gempa perlu dikaji lebih lanjut.



## DAFTAR PUSTAKA

- Arif Setiawan dan Yulismar, *Respon Lapis-lapisan Tanah Akibat Gempa*, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta, 1999.
- Arif dan Farkhan., *Pengaruh Massa Bangunan Terhadap Respon Seismik Lapisan Tanah*, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta, 2000.
- As'at., *Respon Seismik Lapisan Tanah Linier Elastis dan Non Linier Elastis Akibat Beban Gempa*, Tesis, Magister Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta, 2003.
- Bowles, J.E., *Sifat-sifat Fisik dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Terjemahan, Erlangga, Jakarta, 1986.
- Clough, R.W. dan Penzien, J., *Dinamika Struktur I dan II*, Terjemahan, Erlangga, Jakarta, 1988.
- Das, B.M., *Principles of Geotechnical Engineering*, Shouthern Illinois University at Curbandale, PWS-Kent Publishing Company, USA, 1994.
- Das, B.M., *Principles of Soil Dynamics*, Shouthern Illinois University at Curbandale, PWS-Kent Publishing Company, USA, 1993.
- Hardiyatmo, H.C., *Mekanika Tanah I dan II*, Beta Offset, Jogjakarta, 2002.

- K. Ishihara, *Attenuation Characteristic of Ground Strains Induced During Earthquake*, Proceedings : Second International Conference on Recent Advances in Geotechnical EQ and Soil Dynamik Engineering, St. Lois, Missouri, 1982.
- Paz, M., *Dinamika Struktur Teori dan Perhitungan*, Terjemahan, Erlangga, Jakarta, 1990.
- Pranata, A., *Pemrograman Borland Delphi 6*, Edisi 4, Andi Offset, Yogyakarta, 2003.
- Seed & Idriss., *Ground Motion And Soil Liquefaction During Earthquake*, Earthquake Engineering Research Institute, University of California, Barkeley, 1982.
- Seed & Idriss., *Representation of Irregular Stress – Time Histories by Equivalent Uniform Stress Series In Liquefaction of Analysis*, Earthquake Engineering Research Institute, University of California, Barkeley, 1975.
- Vucetic & Dobry., *Effect of Plasticity on Cyclic Response*, Journal of Geotechnical Engineering , ASCE, Vol 117, No.1, pp 89-107, 1991.
- Widodo, *Pengantar Teknik Gempa I dan II*, Diktat Kuliah Teknik Gempa, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta, 1999.
- Widodo, *Respon Dinamik Struktur Elastik*, UII Press, Jogjakarta, 2001.

# **LAMPIRAN**



### KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO. URUT	NAMA	NO. MHS	BID. STUDI
1	2	3	4

### II. DATA TUGAS AKHIR

1. Judul Tugas Akhir: \_\_\_\_\_

2. Tanggal Pengumpulan: \_\_\_\_\_

3. Lokasi Pengumpulan: \_\_\_\_\_

No.	Nama	No. MHS	Bidang Studi	Bulan Ke			
				Jan	Feb	Mar	Apr
1	2	3	4				
5	6	7	8				
9	10	11	12				
13	14	15	16				
17	18	19	20				
21	22	23	24				
25	26	27	28				
29	30	31	32				
33	34	35	36				
37	38	39	40				
41	42	43	44				
45	46	47	48				
49	50	51	52				
53	54	55	56				
57	58	59	60				
61	62	63	64				
65	66	67	68				
69	70	71	72				
73	74	75	76				
77	78	79	80				
81	82	83	84				
85	86	87	88				
89	90	91	92				
93	94	95	96				
97	98	99	100				



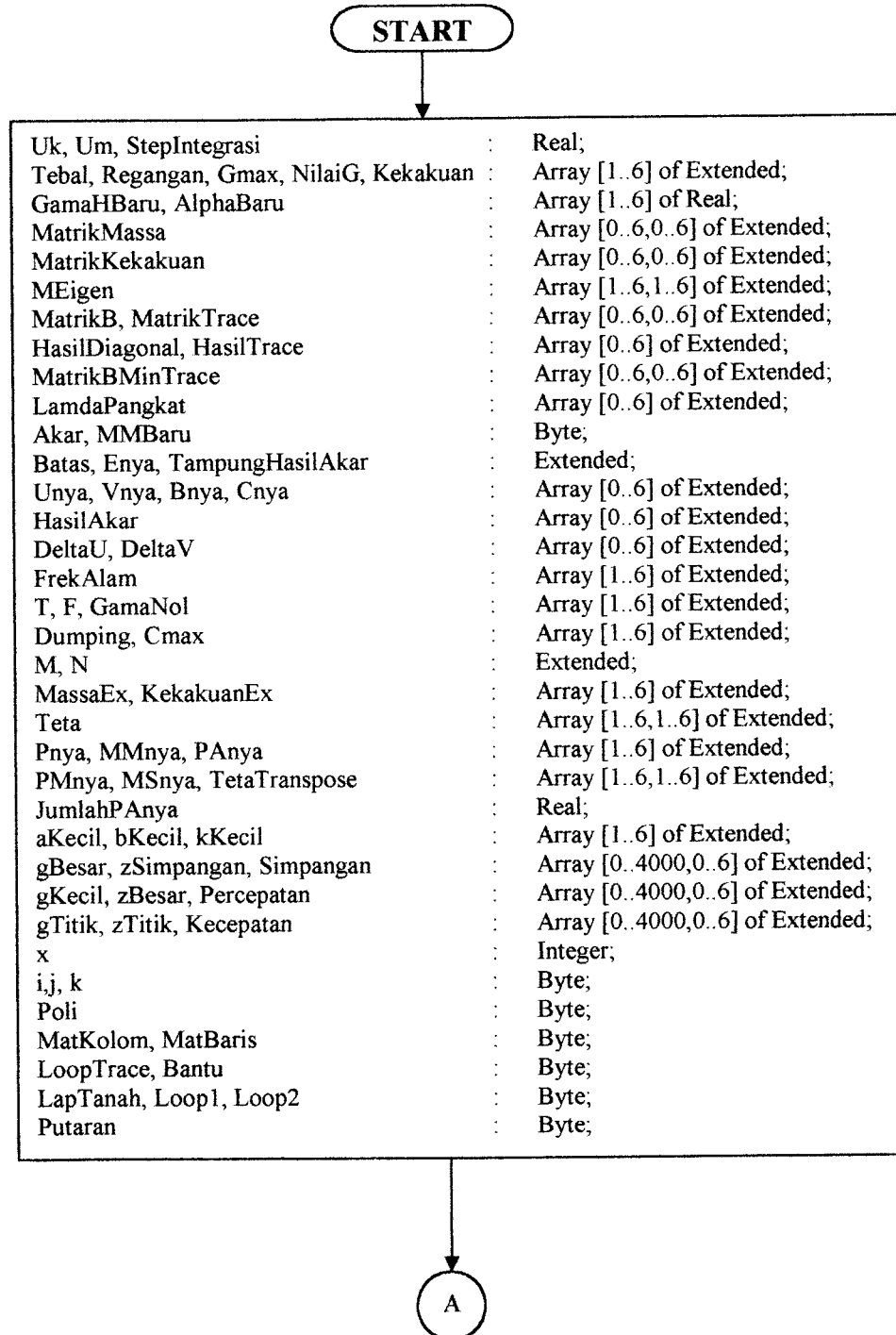
Uji Kompetensi  
in-Dalam

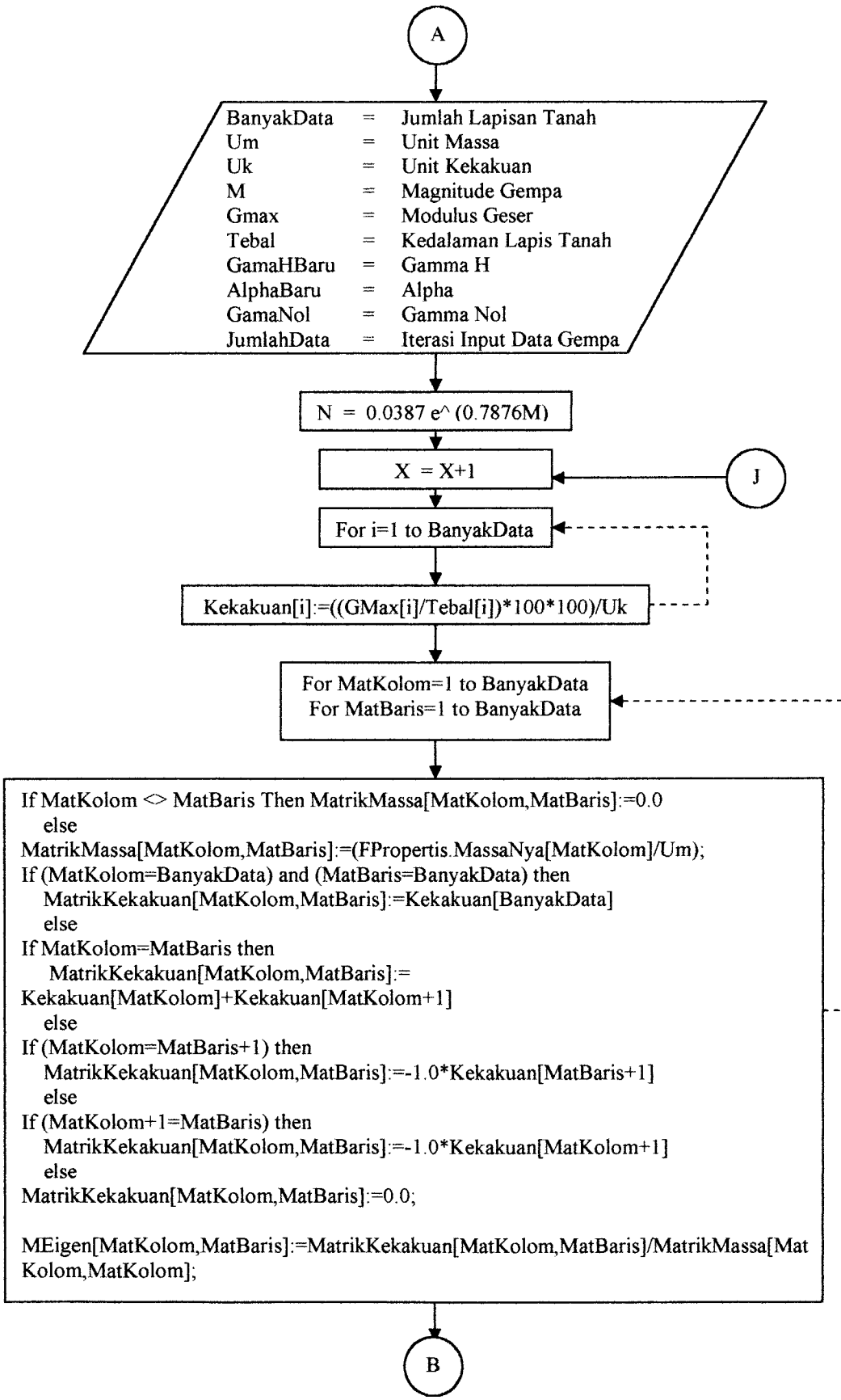
1. Nama: \_\_\_\_\_  
 2. NIM: \_\_\_\_\_  
 3. Tempat: \_\_\_\_\_

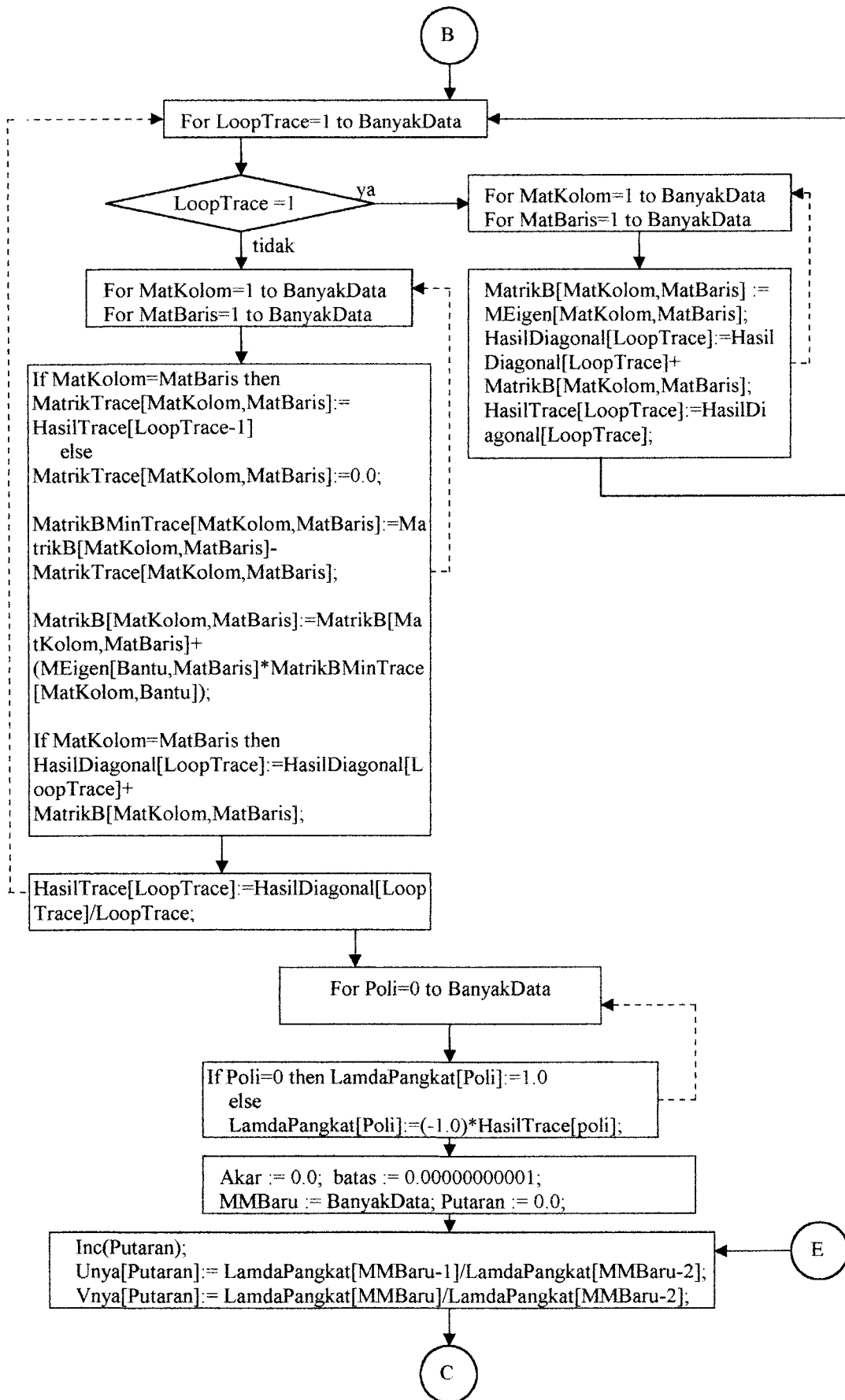
*Diperpanjang s/d akhir Agustus 2004*

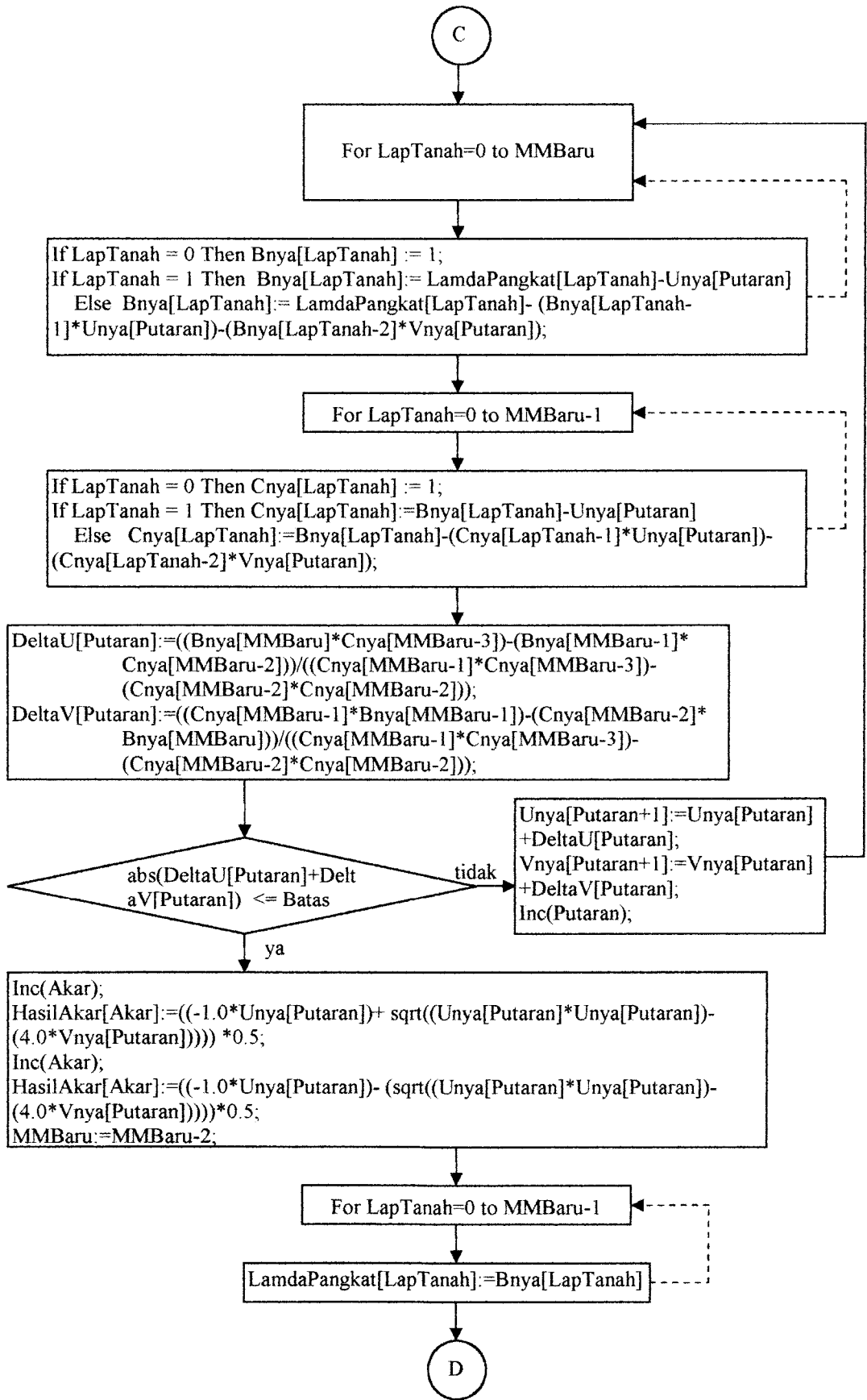
*(Signature)*

## Flow Chart Program Non Linier Elastis

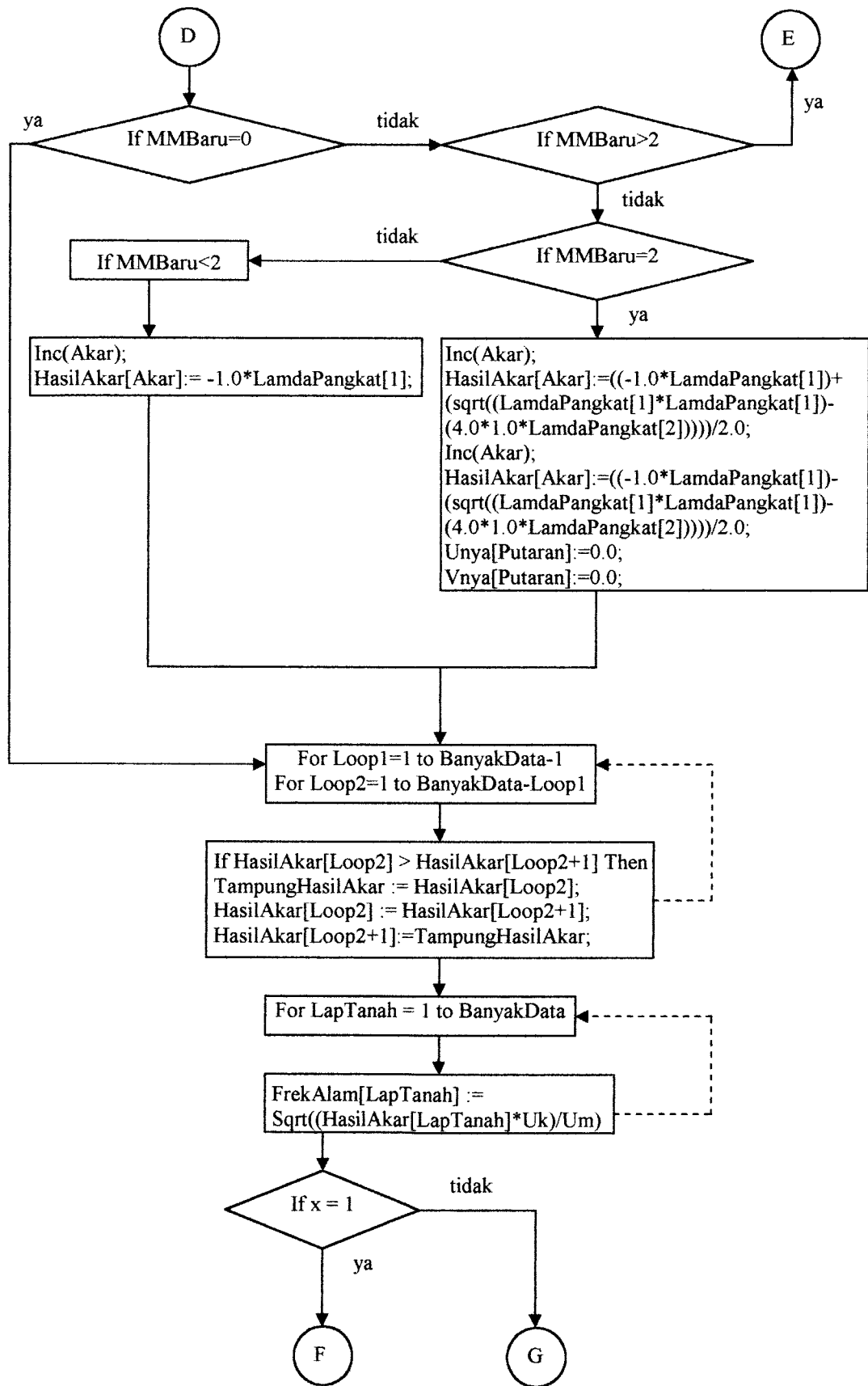


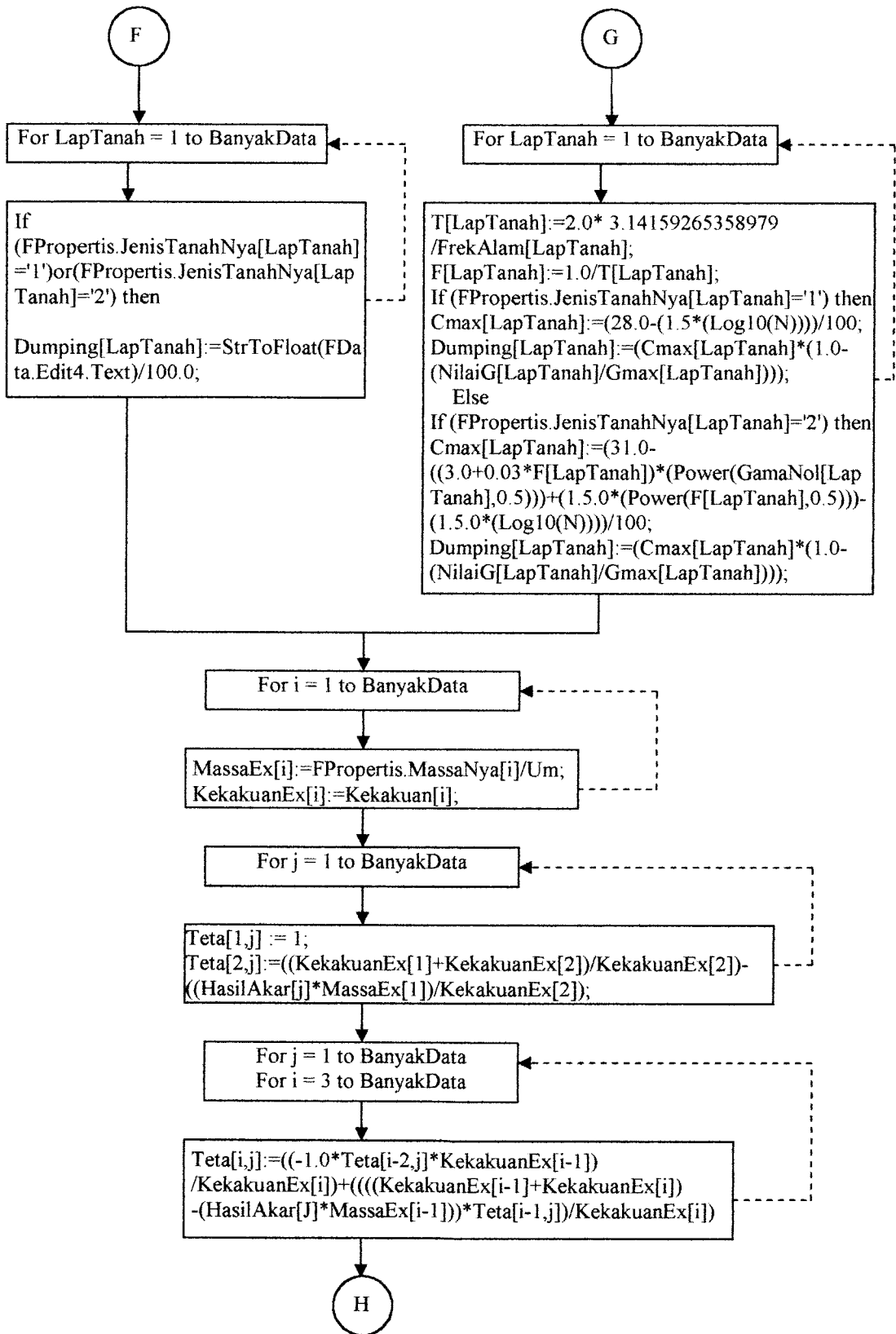


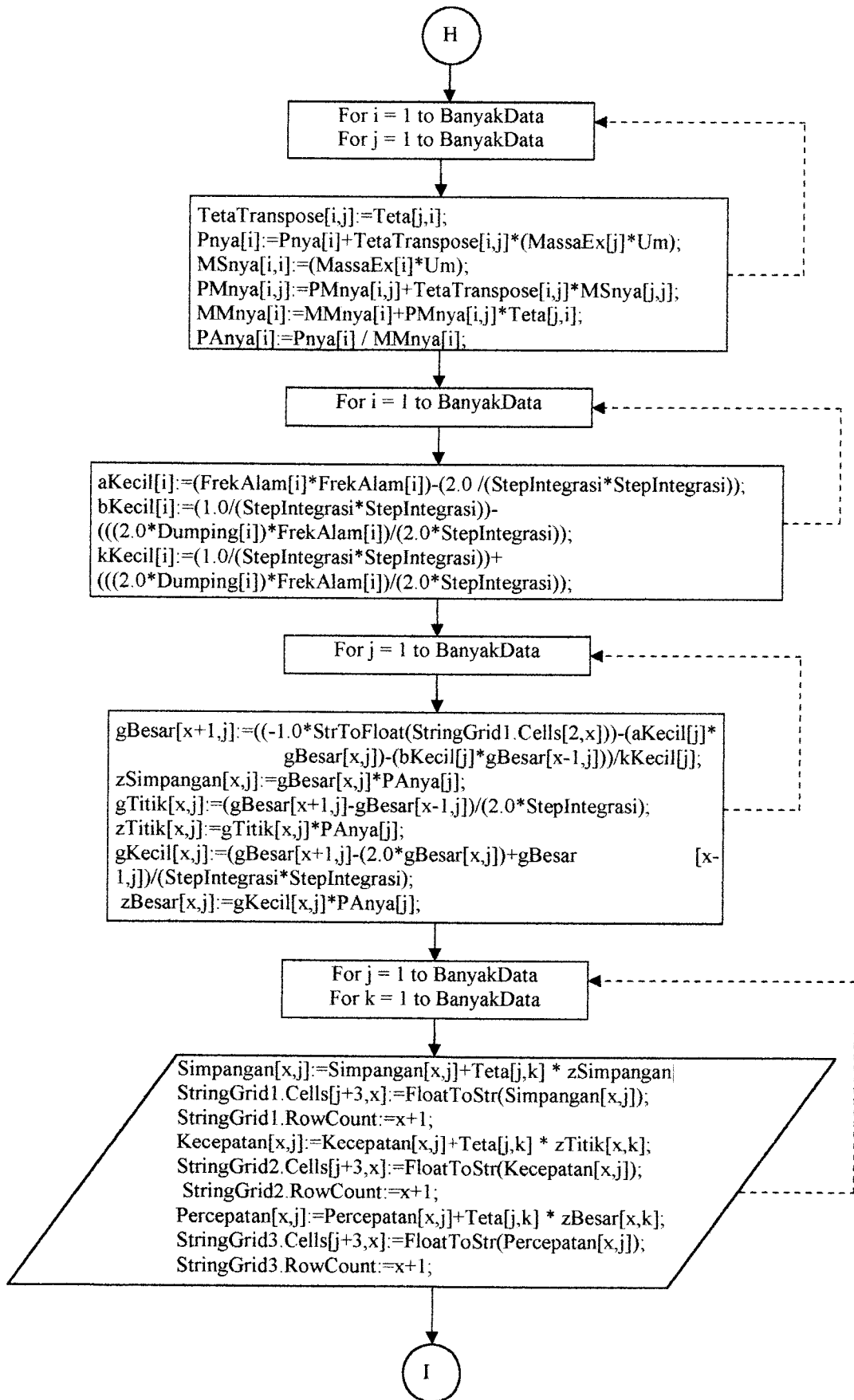


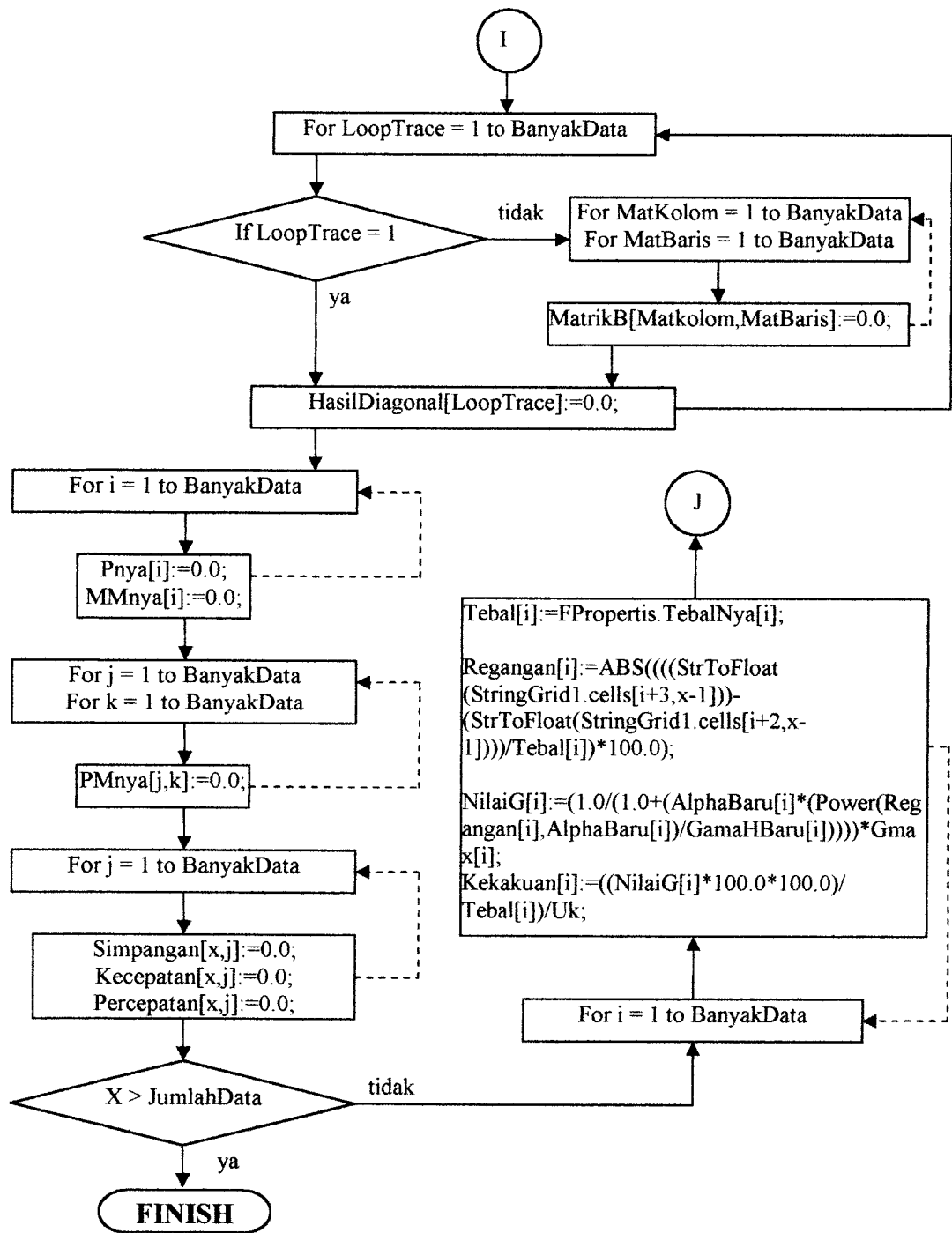




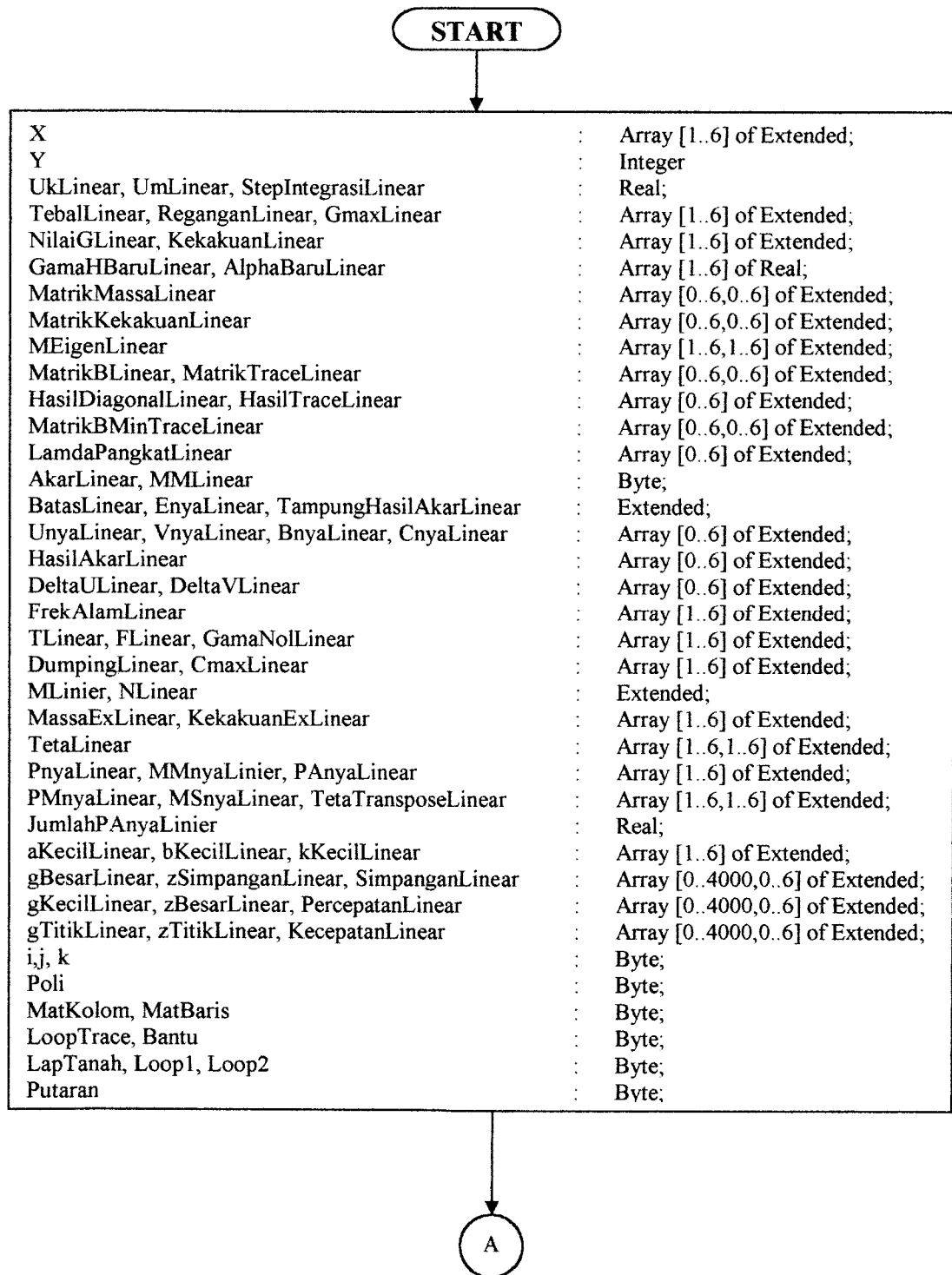








## Flow Chart Program Linier Elastis



A

BanyakDataLinear	=	Jumlah Lapisan Tanah Linie
UmLinear	=	Unit Massa Linier
UkLinear	=	Unit Kekakuan Linier
MLinear	=	Magnitude Gempa
GmaxLinear	=	Modulus Geser Linier
TebalLinear	=	Kedalaman Lapis Tanah
GamaHBaruLinear	=	Gamma H Linier
AlphaBaruLinear	=	Alpha Linier
GamaNolLinear	=	Gamma Nol Linier
JumlahDataLinear	=	Iterasi Input Data Gempa

$$NLinear = 0.0387 e^{(0.7876MLinear)}$$

Y = Y+1

For i=1 to BanyakDataLinear

x[j]:=x[i]+ StrToFloat(FResponNonLinear.StringGrid4.Cells[i+1,Y]);

tidak

Y = JumlahDataLinear-1

For i=1 to BanyakDataLinear

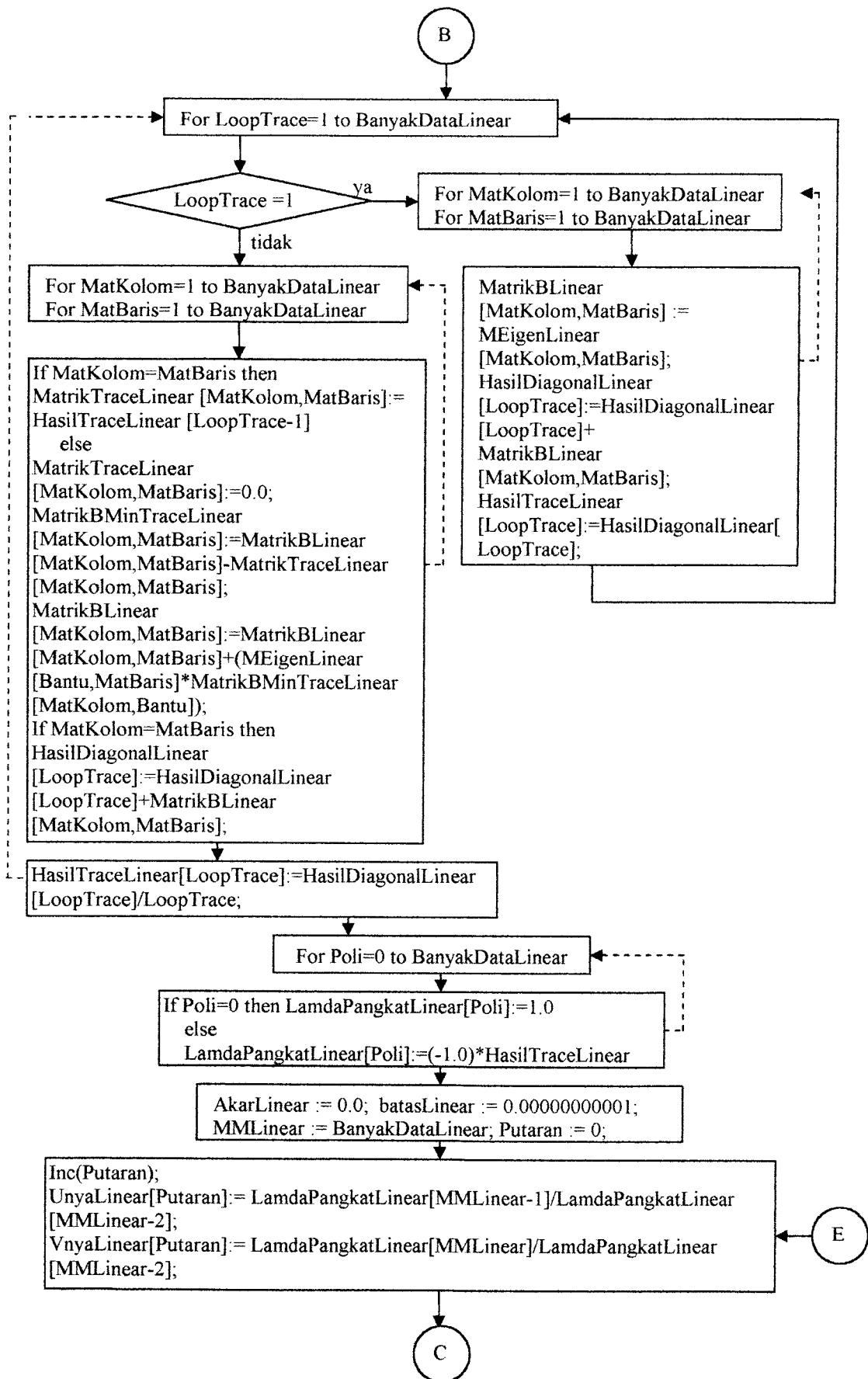
ModulusGeserEquivalen[i]:=x[i]/(JumlahDataLinear-1);  
 KekakuanLinear[i]:=((GMaxLinear[i]/TebalLinear[i])\*100.0\*100.0)/UkLinear

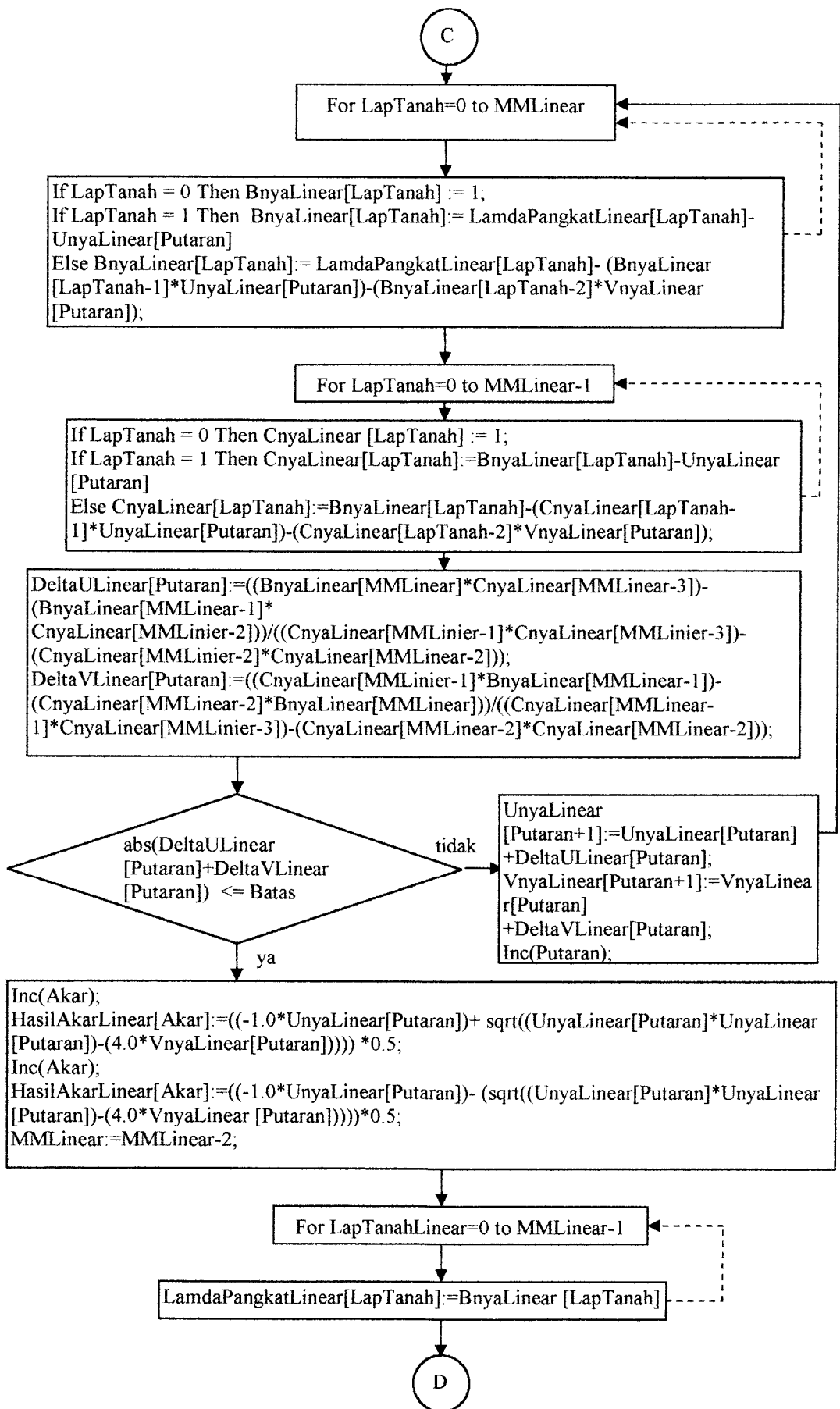
For MatKolom=1 to BanyakDataLinear  
 For MatBaris=1 to BanyakDataLinear

```

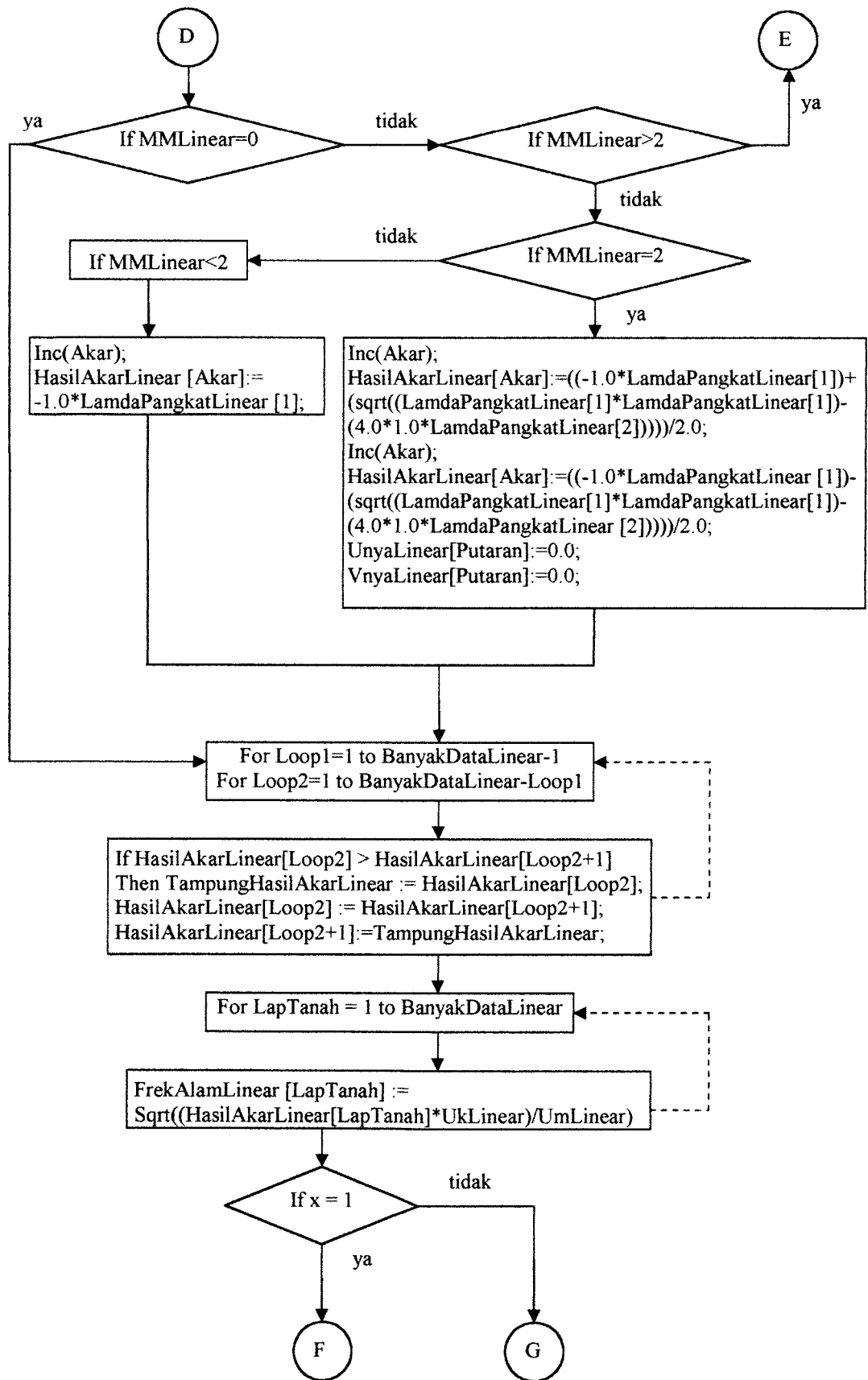
If MatKolom <> MatBaris Then MatrikMassaLinear[MatKolom,MatBaris]:=0.0
else
MatrikMassaLinear[MatKolom,MatBaris]:=(FPropertis.MassaNya[MatKolom]/UmLinear);
If (MatKolom=BanyakDataLinear) and (MatBaris=BanyakDataLinear) then
  MatrikKekakuanLinear[MatKolom,MatBaris]:=KekakuanLinear[BanyakData]
else
If MatKolom=MatBaris then MatrikKekakuanLinear
[MatKolom,MatBaris]:=KekakuanLinear[MatKolom]+KekakuanLinear[MatKolom+1]
else
If (MatKolom=MatBaris+1) then
  MatrikKekakuanLinear[MatKolom,MatBaris]:=-1.0*KekakuanLinear[MatBaris+1]
else
If (MatKolom+1=MatBaris) then
  MatrikKekakuanLinear[MatKolom,MatBaris]:=-1.0*KekakuanLinear[MatKolom+1]
else
MatrikKekakuanLinear[MatKolom,MatBaris]:=0.0;
MEigenLinear[MatKolom,MatBaris]:=MatrikKekakuanLinear
[MatKolom,MatBaris]/MatrikMassaLinear[MatKolom,MatKolom];
  
```

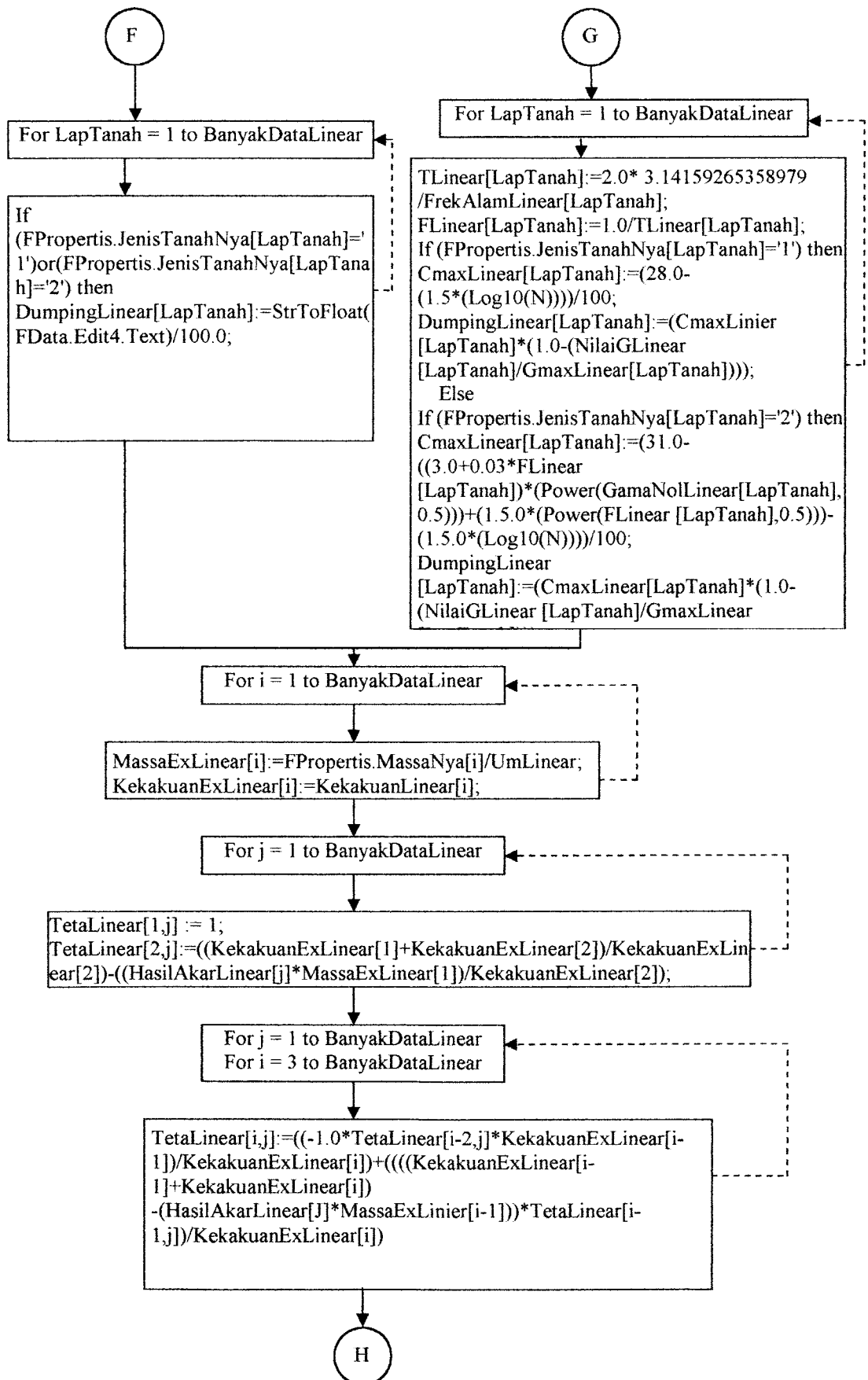
B











H

For i = 1 to BanyakDataLinear  
For j = 1 to BanyakDataLinear

TetaTransposeLinear[i,j]:=TetaLinear[j,i];  
PnyaLinear[i]:=PnyaLinear[i]+TetaTransposeLinear[i,j]\*(MassaExLinear[j]\*UmLinear);  
MSnyaLinear[i,i]:= (MassaExLinear[i]\*UmLinear);  
PMnyaLinear[i,j]:=PMnyaLinear[i,j]+TetaTransposeLinear[i,j]\*MSnyaLinear[j,j];  
MMnyaLinear[i]:=MMnyaLinear[i]+PMnyaLinear[i,j]\*TetaLinear[j,i];  
PAnyalinear[i]:=PnyaLinear[i] / MMnyaLinear[i];

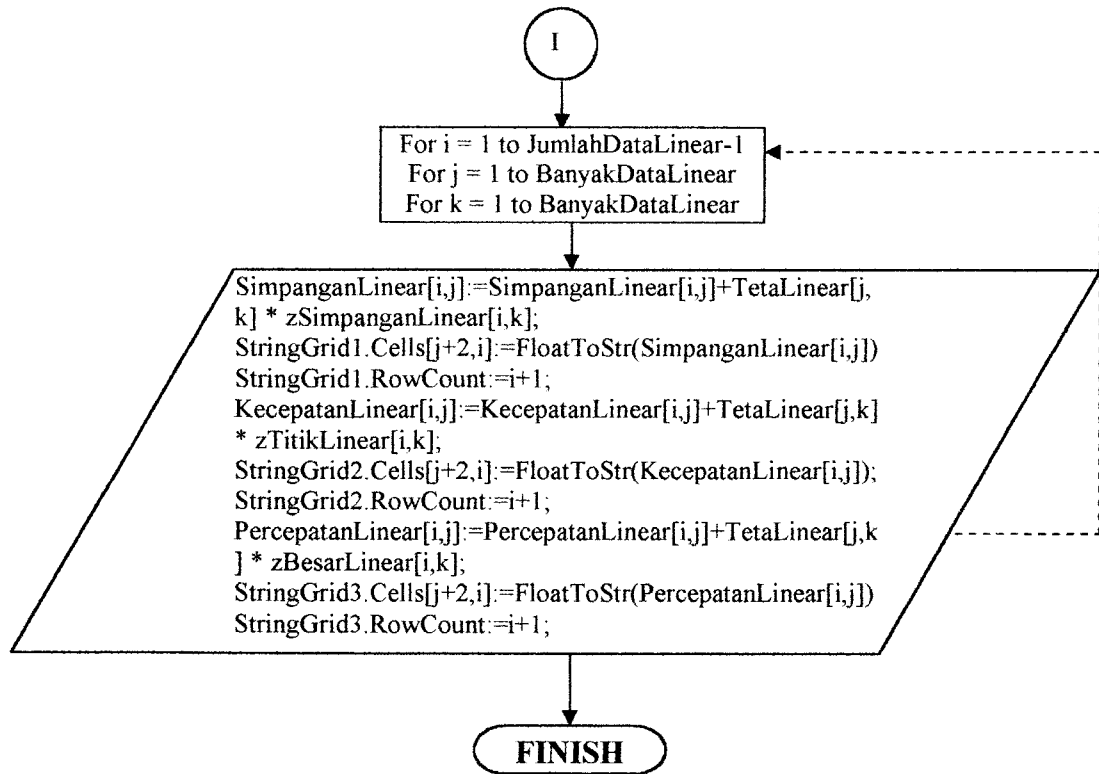
For i = 1 to BanyakDataLinear

aKecilLinear[i]:= (FrekAlamLinear[i]\*FrekAlamLinear[i])-(2.0 / (StepIntegrasiLinear\*StepIntegrasiLinear));  
bKecilLinear[i]:= (1.0 / (StepIntegrasiLinear\*StepIntegrasiLinear))-  
(((2.0\*DumpingLinear[i])\*FrekAlamLinear[i]) / (2.0\*StepIntegrasiLinear));  
kKecilLinear[i]:= (1.0 / (StepIntegrasiLinear\*StepIntegrasiLinear))+  
(((2.0\*DumpingLinear[i])\*FrekAlamLinear[i]) / (2.0\*StepIntegrasiLinear));

For i = 1 to (JumlahDataLinear-1)  
For j = 1 to BanyakDataLinear

gBesarLinear[i+1,j]:= (-1\*StrToFloat(StringGrid1.Cells[2,i])-(aKecilLinear[j]\*gBesarLinear[i,j])-(bKecilLinear[j]\*gBesarLinear[i-1,j]))/kKecilLinear[j];  
zSimpanganLinear[i,j]:=gBesarLinear[i,j]\*PAnyalinear[j];  
gTitikLinear[i,j]:= (gBesarLinear[i+1,j]-gBesarLinear[i-1,j]) / (2\*StepIntegrasiLinear);  
zTitikLinear[i,j]:=gTitikLinear[i,j]\*PAnyalinear[j];  
gKecilLinear[i,j]:= (gBesarLinear[i+1,j]-(2\*gBesarLinear[i,j])+gBesarLinear[i-1,j]) / (StepIntegrasiLinear\*StepIntegrasiLinear);  
zBesarLinear[i,j]:=gKecilLinear[i,j]\*PAnyalinear[j];

I



interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,  
Dialogs, Grids, ExtCtrls, ToolWin, ComCtrls, Buttons, StdCtrls, Math;

type

```
TFResponNonLinear = class(TForm)
  CoolBar1: TCoolBar;
  Panel1: TPanel;
  StringGrid1: TStringGrid;
  CoolBar2: TCoolBar;
  Panel2: TPanel;
  StringGrid2: TStringGrid;
  CoolBar3: TCoolBar;
  Panel3: TPanel;
  StringGrid3: TStringGrid;
  ToolBar1: TToolBar;
  SpeedButton1: TSpeedButton;
  SpeedButton2: TSpeedButton;
  SpeedButton3: TSpeedButton;
  SpeedButton4: TSpeedButton;
  SpeedButton5: TSpeedButton;
  SpeedButton6: TSpeedButton;
  CoolBar4: TCoolBar;
  Panel4: TPanel;
  StringGrid4: TStringGrid;
  OpenDialog1: TOpenDialog;
  procedure SpeedButton1Click(Sender: TObject);
  procedure SpeedButton2Click(Sender: TObject);
  procedure SpeedButton3Click(Sender: TObject);
  procedure SpeedButton4Click(Sender: TObject);
  procedure SpeedButton5Click(Sender: TObject);
  procedure SpeedButton6Click(Sender: TObject);
```

private

{ Private declarations }

public

{ Public declarations }

JumlahData : Integer;

BanyakData : Byte;

end;

var

```
FResponNonLinear: TFResponNonLinear;
//Listing Program X
Uk, Um, StepIntegrasi : Real;
Tebal, Regangan, Gmax, NilaiG, Kekakuan : Array [1..6] of Extended;
GamaHBaru, AlphaBaru : Array [1..6] of Real;
//HRMM Baru
MatrikMassa : Array [0..6,0..6] of Extended;
MatrikKekakuan : Array [0..6,0..6] of Extended;
MEigen : Array [1..6,1..6] of Extended;
//Variabel Untuk Mencari Persamaan Polinomial
MatrikB, MatrikTrace : Array [0..6,0..6] of Extended;
HasilDiagonal, HasilTrace : Array [0..6] of Extended;
MatrikBMinTrace : Array [0..6,0..6] of Extended;
LamdaPangkat : Array [0..6] of Extended;
//Variabel Untuk Mencari Akar Persamaan Polinomial
Akar, MMBaru : Byte;
Batas, Enya, TampungHasilAkar : Extended;
Unya, Vnya, Bnya, Cnya : Array [0..6] of Extended;
HasilAkar : Array [0..6] of Extended;
DeltaU, DeltaV : Array [0..6] of Extended;
//Variabel Yg Digunakan Untuk Mencari Frekuensi Sudut
FrekAlam : Array [1..6] of Extended;
//Variabel Yg Digunakan Untuk Mencari Dumping Ratio:
T, F, GamaNol : Array [1..6] of Extended;
Dumping, Cmax : Array [1..6] of Extended;
M, N : Extended;
//Variabel Untuk Mencari Mode Shape
MassaEx, KekakuanEx : Array [1..6] of Extended;
Teta : Array [1..6,1..6] of Extended;
//Variabel Untuk Mencari Partisipasi Mode
```

```

mnya, MSnya, TetaTranspose : Array [1..6,1..6] of Extended;
umlahPanya : Real;
/Variabel Untuk Mencari aKecil, bKecil, kKecil
Kecil, bKecil, kKecil : Array [1..6] of Extended;
/Variabel Untuk Mencari Simpangan,kecepatan,Percepatan
besar, zSimpangan, Simpangan : Array [0..4000,0..6] of Extended;
Kecil, zBesar, Percepatan : Array [0..4000,0..6] of Extended;
Titik, zTitik, Kecepatan : Array [0..4000,0..6] of Extended;

```

**Implementation**

```

; UData, UPropertis, UMemol;

*.dfm}

procedure TFResponNonLinear.SpeedButton1Click(Sender: TObject);
step:String;
in
[InputQuery('Step Integrasi','Masukkan Step Integrasi yang digunakan',step);
stepIntegrasi:=StrToFloat(step);
:
procedure TFResponNonLinear.SpeedButton2Click(Sender: TObject);

: TextFile;
: string;
:LongInt;
in
:=0;
if OpenFileDialog1.Execute then
begin
AssignFile(F, OpenFileDialog1.FileName);
Reset(F);
While not eof(F) do
Begin
Inc(i);
Readln(F, S);
StringGrid1.Cells[0,i]:=IntToStr(i-1);
StringGrid2.Cells[0,i]:=IntToStr(i-1);
StringGrid3.Cells[0,i]:=IntToStr(i-1);
StringGrid4.Cells[0,i]:=IntToStr(i-1);
StringGrid1.Cells[3,i]='0';
StringGrid2.Cells[3,i]='0';
StringGrid3.Cells[3,i]='0';
JumlahData:=i;
StringGrid1.Cells[1,i]:=s;
StringGrid2.Cells[1,i]:=s;
StringGrid3.Cells[1,i]:=s;
StringGrid4.Cells[1,i]:=s;
StringGrid1.RowCount:=i+1;
StringGrid2.RowCount:=i+1;
StringGrid3.RowCount:=i+1;
StringGrid4.RowCount:=i+1;
End;
CloseFile(F);
end;
;

procedure TFResponNonLinear.SpeedButton3Click(Sender: TObject);
:
: TextFile;
: string;
:LongInt;
in
//Open file data gempa
:=0;
if OpenFileDialog1.Execute then
begin
AssignFile(F, OpenFileDialog1.FileName);
Reset(F);
While not eof(F) do
Begin
Inc(i);
Readln(F, S);
StringGrid1.Cells[2,i]:=s;

```

```

StringGrid2.RowCount:=i+1;
StringGrid3.RowCount:=i+1;
End;
CloseFile(F);
end;
;

procedure TFResponNonLinear.SpeedButton4Click(Sender: TObject);
Kolom      : Byte;
Banyak     : Byte;
in
banyak:=StrToInt(FData.Edit1.Text);
//Menampilkan data ke StringGrid Simpangan
StringGrid1.ColCount:=4;
StringGrid1.Cells[0,0]:='Nomor';
StringGrid1.Cells[1,0]:='Waktu';
StringGrid1.ColWidths[2]:=100;
StringGrid1.ColWidths[3]:=100;
StringGrid1.Cells[2,0]:='Data Gempa';
StringGrid1.Cells[3,0]:='Simpangan ke-0';
for Kolom := 1 to Banyak do
  begin
    StringGrid1.ColCount:=StringGrid1.ColCount+1; //Kolom+4;
    StringGrid1.Cells[Kolom+3,0]:='Simpangan ke-'+IntToStr(Kolom);
    if Kolom > 0 then
      StringGrid1.ColWidths[Kolom+3]:=150;
  end;
//Menampilkan data ke StringGrid Percepatan
StringGrid2.ColCount:=4;
StringGrid2.Cells[0,0]:='Nomor';
StringGrid2.Cells[1,0]:='Waktu';
StringGrid2.ColWidths[2]:=100;
StringGrid2.ColWidths[3]:=100;
StringGrid2.Cells[2,0]:='Data Gempa';
StringGrid2.Cells[3,0]:='Kecepatan ke-0';
for Kolom := 1 to Banyak do
  begin
    StringGrid2.ColCount:=StringGrid2.ColCount+1; //Kolom+4;
    StringGrid2.Cells[Kolom+3,0]:='Kecepatan ke-'+IntToStr(Kolom);
    if Kolom > 0 then
      StringGrid2.ColWidths[Kolom+3]:=150;
  end;
//Menampilkan data ke StringGrid Kecepatan
StringGrid3.ColCount:=4;
StringGrid3.Cells[0,0]:='Nomor';
StringGrid3.Cells[1,0]:='Waktu';
StringGrid3.ColWidths[2]:=100;
StringGrid3.ColWidths[3]:=100;
StringGrid3.Cells[2,0]:='Data Gempa';
StringGrid3.Cells[3,0]:='Percepatan ke-0';
for Kolom := 1 to Banyak do
  begin
    StringGrid3.ColCount:=StringGrid3.ColCount+1; //Kolom+4;
    StringGrid3.Cells[Kolom+3,0]:='Percepatan ke-'+IntToStr(Kolom);
    if Kolom > 0 then
      StringGrid3.ColWidths[Kolom+3]:=150;
  end;
//Menampilkan data ke StringGrid Simpangan
StringGrid4.ColCount:=2;
StringGrid4.Cells[0,0]:='Nomor';
StringGrid4.Cells[1,0]:='Waktu';
for Kolom := 1 to Banyak do
  begin
    StringGrid4.ColCount:=StringGrid4.ColCount+1; //Kolom+4;
    StringGrid4.Cells[Kolom+1,0]:='Nilai G-'+IntToStr(Kolom);
    if Kolom > 0 then
      StringGrid4.ColWidths[Kolom+1]:=150;
  end;
;

procedure TFResponNonLinear.SpeedButton5Click(Sender: TObject);
x          : Integer;
i,j, k    : Byte;
Poli      : Byte;

```

```

LoopTrace, Bantu      : Byte;
LapTanah, Loop1, Loop2 : Byte;
Putaran              : Byte;
Label MM, UU, Selesai;
.n
x:=0;
BanyakData:=StrToInt(FData.Edit1.Text);
m:=StrToFloat(FData.Edit2.Text);//Unit Massa
k:=StrToFloat(FData.Edit3.Text);//Unit Kekakuan
f:=StrToFloat(FData.Edit5.Text);
I:=0.0387*(Exp(0.7876*M));
for i:= 1 to BanyakData do
begin
  Gmax[i]:=FPropertis.ModulusGeserNya[i];
  Tebal[i]:=FPropertis.TebalNya[i];
  GamaHBaru[i]:=FPropertis.GamaH[i];
  AlphaBaru[i]:=FPropertis.Alpha[i];
  GamaNol[i]:=FPropertis.GamaNolNya[i];
  //ShowMessage(FloatToStr(GamaNol[i]));
end;

repeat
  X:=X+1;
  //ShowMessage(IntToStr(x));
  If (x=1) then
  begin
    For i:= 1 to BanyakData do
    begin
      Kekakuan[i]:=((GMax[i]/Tebal[i])*100*100)/Uk;
      //ShowMessage(FloatToStr(Kekakuan[i]));
    end;
  end
  Else
  begin
    For i:= 1 to BanyakData do
    begin
      Tebal[i]:=FPropertis.TebalNya[i];
      Regangan[i]:=ABS(((StrToFloat(StringGrid1.cells[i+3,x-1]))
        - (StrToFloat(StringGrid1.cells[i+2,x-1])))/
        Tebal[i])*100);
      //ShowMessage(FloatToStr(Regangan[i]));
      NilaiG[i]:=(1/(1+(AlphaBaru[i]*(Power(Regangan[i],AlphaBaru[i])/GamaHBaru[i]))));
      //ShowMessage(FloatToStr(NilaiG[i]));
      Kekakuan[i]:=((NilaiG[i]*100*100)/Tebal[i])/Uk;
      //ShowMessage(FloatToStr(Kekakuan[i]));
    end;
  end;

  //HRMM
  For MatKolom:=1 to BanyakData do
  For MatBaris:=1 to BanyakData do
  Begin
    //Menyusun Matrik Massa
    If MatKolom <> MatBaris Then MatrikMassa[MatKolom,MatBaris]:=0
    else
      MatrikMassa[MatKolom,MatBaris]:=(FPropertis.MassaNya[MatKolom]/Um);
      //ShowMessage(FloatToStr(MassaBesarBaru[MatKolom,MatBaris]));
      //Menyusun Matrik Kekakuan
      If (MatKolom=BanyakData) and (MatBaris=BanyakData) then
        MatrikKekakuan[MatKolom,MatBaris]:=Kekakuan[BanyakData]
      else
        If MatKolom=MatBaris then
          MatrikKekakuan[MatKolom,MatBaris]:=Kekakuan[MatKolom]+Kekakuan[MatKolom+1]
        else
          If (MatKolom=MatBaris+1) then
            MatrikKekakuan[MatKolom,MatBaris]:=-1*Kekakuan[MatBaris+1]
          else
            If (MatKolom+1=MatBaris) then
              MatrikKekakuan[MatKolom,MatBaris]:=-1*Kekakuan[MatKolom+1]
            else
              MatrikKekakuan[MatKolom,MatBaris]:=0;
              //ShowMessage(FloatToStr(MatrikKekakuan[MatKolom,MatBaris]));
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;

```



```

For MatKolom:=1 to BanyakData do
  For MatBaris:=1 to BanyakData do
    Begin
      MEigen[MatKolom,MatBaris]:=MatrikKekakuan[MatKolom,MatBaris]/
        MatrikMassa[MatKolom,MatKolom];
      //ShowMessage(FloatToStr(MEigen[MatKolom,MatBaris]));
    end;
  end;

//Menyusun Nilai Koefisien Polinomial .
For LoopTrace :=1 to BanyakData do
  begin
    If LoopTrace=1 then
      begin
        For MatKolom:=1 to BanyakData do
          For MatBaris:=1 to BanyakData do
            MatrikB[MatKolom,MatBaris] :=MEigen[MatKolom,MatBaris];
          //Trace B1
          For MatKolom:= 1 to BanyakData do
            begin
              For MatBaris:=1 to BanyakData do
                If MatKolom=MatBaris then
                  begin
                    HasilDiagonal[LoopTrace]:=HasilDiagonal[LoopTrace]+
                      MatrikB[MatKolom,MatBaris];
                    //ShowMessage(FloatToStr(HasilDiagonal[LoopTrace]));
                    HasilTrace[LoopTrace]:=HasilDiagonal[LoopTrace];
                    //ShowMessage(FloatToStr(HasilTrace[LoopTrace]));
                  end;
                end;
              end;
            end;
          else
            begin
              //Matrik PI
              For MatKolom:=1 to BanyakData do
                For MatBaris:=1 to BanyakData do
                  begin
                    If MatKolom=MatBaris then
                      MatrikTrace[MatKolom,MatBaris]:=HasilTrace[LoopTrace-1]
                    else
                      MatrikTrace[MatKolom,MatBaris]:=0;
                    //ShowMessage(FloatToStr(MatrikTrace[MatKolom,MatBaris]));
                  end;
                end;
              //Matrik  $B(n-1) - (P(n-1)*I)$ 
              For MatKolom:=1 to BanyakData do
                For MatBaris:=1 to BanyakData do
                  MatrikBMinTrace[MatKolom,MatBaris]:=MatrikB[MatKolom,MatBaris]-
                    MatrikTrace[MatKolom,MatBaris];
                  //ShowMessage(FloatToStr(MatrikBMinTrace[MatKolom,MatBaris]));
                //A(( $Bn-1$ ) - ( $P(n-1)*I$ ))
                For MatKolom:=1 to BanyakData do
                  For MatBaris:=1 to BanyakData do
                    begin
                      MatrikB[MatKolom,MatBaris]:=0;
                      For Bantu:=1 to BanyakData do
                        MatrikB[MatKolom,MatBaris]:=MatrikB[MatKolom,MatBaris]+
                          (MEigen[Bantu,MatBaris]*MatrikBMinTrace[MatKolom,Bantu]);
                      //ShowMessage(FloatToStr(MatrikB[MatKolom,MatBaris]));
                    end;
                  end;
                //Trace  $Bn Pn$ 
                For MatKolom:=1 to BanyakData do
                  For MatBaris:=1 to BanyakData do
                    If MatKolom=MatBaris then
                      HasilDiagonal[LoopTrace]:=HasilDiagonal[LoopTrace]+
                        MatrikB[MatKolom,MatBaris];
                    HasilTrace[LoopTrace]:=HasilDiagonal[LoopTrace]/LoopTrace;
                    //ShowMessage(FloatToStr(HasilTrace[LoopTrace]));
                  end;
                end;
              end;
            end; //end of loop trace

//Mencari Persamaan Polinomial
//Pangkat Lamda

```

```

begin
  If Poli=0 then
    LamdaPangkat[Poli]:=1
  else
    begin
      LamdaPangkat[Poli]:=(-1)*HasilTrace[poli];
      //ShowMessage(FloatToStr(LamdaPangkat[Poli]));
    end;
  end;
end;

//mencari akar persamaan polinomial
Akar := 0;
batas := 0.00000000001; //10 digit
MMBaru := BanyakData;

MM:
  Putaran := 0;
  Inc(Putaran);
  //ShowMessage(FloatToStr(Putaran));
  Unya[Putaran]:= LamdaPangkat[MMBaru-1]/LamdaPangkat[MMBaru-2];
  //ShowMessage(FloatToStr(Unya[Putaran]));
  Vnya[Putaran]:= LamdaPangkat[MMBaru]/LamdaPangkat[MMBaru-2];
  //ShowMessage(FloatToStr(Vnya[Putaran]));
UU:
  For LapTanah := 0 to MMBaru do
    Begin
      If LapTanah = 0 Then Bnya[LapTanah] := 1;
      If LapTanah = 1 Then
        Bnya[LapTanah]:= LamdaPangkat[LapTanah]-Unya[Putaran]
      Else
        Bnya[LapTanah]:= LamdaPangkat[LapTanah]- (Bnya[LapTanah-1]*Unya[Putaran]) -
          (Bnya[LapTanah-2]*Vnya[Putaran]);
      End;
      For LapTanah := 0 to MMBaru-1 do
        Begin
          If LapTanah = 0 Then Cnya[LapTanah] := 1;
          If LapTanah = 1 Then
            Cnya[LapTanah]:=Bnya[LapTanah]-Unya[Putaran]
          Else
            Cnya[LapTanah]:=Bnya[LapTanah]- (Cnya[LapTanah-1]*Unya[Putaran]) -
              (Cnya[LapTanah-2]*Vnya[Putaran]);
          End;
          //Menghitung Delta U dan Delta V
          DeltaU[Putaran]:=( (Bnya[MMBaru]*Cnya[MMBaru-3]) - (Bnya[MMBaru-1]*Cnya[MMBaru-2])) -
            ((Cnya[MMBaru-1]*Cnya[MMBaru-3]) - (Cnya[MMBaru-2]*Cnya[MMBaru-2]));
          DeltaV[Putaran]:=( (Cnya[MMBaru-1]*Bnya[MMBaru-1]) - (Cnya[MMBaru-2]*Bnya[MMBaru])) -
            ((Cnya[MMBaru-1]*Cnya[MMBaru-3]) - (Cnya[MMBaru-2]*Cnya[MMBaru-2]));
          If abs(DeltaU[Putaran]+DeltaV[Putaran])<=Batas Then
            Begin
              //r1,2
              Inc(Akar);
              HasilAkar[Akar]:=( (-1*Unya[Putaran])+(sqrt((Unya[Putaran]*Unya[Putaran]) -
                (4*Vnya[Putaran]))) *0.5;
              //ShowMessage(FloatToStr(HasilAkar[AkarBaru]));
              Inc(Akar);
              HasilAkar[Akar]:=( (-1*Unya[Putaran])-1*(sqrt((Unya[Putaran]*Unya[Putaran]) -
                (4*Vnya[Putaran]))) *0.5;
              MMBaru:=MMBaru-2;
              If MMBaru=0 Then Goto Selesai;
              For LapTanah:= 0 to MMBaru do
                LamdaPangkat[LapTanah]:=Bnya[LapTanah];
              If MMBaru>2 Then
                Begin
                  Goto MM
                End;
              If MMBaru=2 Then
                Begin
                  Inc(Akar);
                  HasilAkar[Akar]:=( (-LamdaPangkat[1]) +
                    (sqrt((LamdaPangkat[1]*LamdaPangkat[1]) - (4*1*LamdaPangkat[2]))) )/2;
                  Inc(Akar);
                  HasilAkar[Akar]:=( (-LamdaPangkat[1]) -

```

```

        Unya[Putaran]:=0;
        Vnya[Putaran]:=0;
    End;

    If MMBaru<2 Then
        Begin
            Inc(Akar);
            HasilAkar[Akar]:= -LamdaPangkat[1];
        End;
    End //end of abs <= batas
Else
    Begin
        Unya[Putaran+1]:=Unya[Putaran]+DeltaU[Putaran];
        //ShowMessage(FloatToStr(Unya[Putaran+1]));
        Vnya[Putaran+1]:=Vnya[Putaran]+DeltaV[Putaran];
        //ShowMessage(FloatToStr(Vnya[Putaran+1]));
        Inc(Putaran);
        //ShowMessage(FloatToStr(Putaran));
        Goto UU;
    End;
selesai:
    //Proses sorting
    For Loop1 := 1 to BanyakData-1 do
        For Loop2 := 1 to BanyakData-Loop1 do
            Begin
                If HasilAkar[Loop2] > HasilAkar[Loop2+1] Then
                    Begin
                        TampungHasilAkar := HasilAkar[Loop2];
                        HasilAkar[Loop2] := HasilAkar[Loop2+1];
                        HasilAkar[Loop2+1]:=TampungHasilAkar;
                    End; //end if
                End; //end loop2
            End;
        End;
    //Mencari hasil frekuensi Sudut
    For LapTanah := 1 to BanyakData do
        Begin
            //ShowMessage(FloatToStr(HasilAkar[LapTanah]));
            FrekAlam[LapTanah] := Sqrt((HasilAkar[LapTanah]*Uk)/Um);
            //ShowMessage(FloatToStr(FrekAlam[LapTanah]));
        End;
    //Mencari Dumping Ratio
    If x=1 Then
        begin
            For LapTanah := 1 to BanyakData do
                If (FPropertis.JenisTanahNya[LapTanah]='1') or (FPropertis.JenisTanahNya[LapTanah]='2') then
                    Dumping[LapTanah]:=StrToFloat(FData.Edit4.Text)/100;
                End;
            end;
        If x>1 Then
            begin
                For LapTanah := 1 to BanyakData do
                    Begin
                        T[LapTanah]:=(2* 3.14159265358979 )/FrekAlam[LapTanah];
                        F[LapTanah]:=1/T[LapTanah];
                        If (FPropertis.JenisTanahNya[LapTanah]='1') then
                            Begin
                                Cmax[LapTanah]:=(28-(1.5*(Log10(N))))/100;
                                Dumping[LapTanah]:=(Cmax[LapTanah]*(1-(NilaiG[LapTanah]/Gmax[LapTanah])));
                            end
                        Else
                            If (FPropertis.JenisTanahNya[LapTanah]='2') then
                                begin
                                    Cmax[LapTanah]:=(31-((3+0.03*F[LapTanah])*(Power(GamaNol[LapTanah],0.5)
                                    +(1.5*(Power(F[LapTanah],0.5)))-(1.5*(Log10(N)))))/100;
                                    //ShowMessage(FloatToStr(Cmax[LapTanah]));
                                    Dumping[LapTanah]:=(Cmax[LapTanah]*(1-(NilaiG[LapTanah]/Gmax[LapTanah])));
                                    //ShowMessage(FloatToStr(Dumping[LapTanah]));
                                end;
                            end;
                    end;
                end;
            end;
        //Mencari Mode Shape

```

```

For i := 1 to BanyakData do
  Begin
    MassaEx[i]:=FPropertis.MassaNya[i]/Um;
    KekakuanEx[i]:=Kekakuan[i];
  End;

//Mencari hasil mode shape untuk baris pertama
For J := 1 to BanyakData do
  Teta[1,J] := 1;

//Mencari hasil mode shape untuk baris Kedua
For J := 1 to BanyakData do
  Begin
    Teta[2,J]:=((KekakuanEx[1]+KekakuanEx[2])/KekakuanEx[2])
    -((HasilAkar[J]*MassaEx[1])/KekakuanEx[2]);
  End;

//Mencari hasil mode shape untuk baris ketiga dan seterusnya
For J := 1 to BanyakData do
  For i := 3 to BanyakData do
    Begin
      Teta[i,j]:=(-Teta[i-2,j]*KekakuanEx[i-1])/KekakuanEx[i]+(((KekakuanEx[i-1]+K
      -(HasilAkar[J]*MassaEx[i-1]))*Teta[i-1,j])/KekakuanEx[i]);
    End;

{for i := 1 to BanyakData do
  for j := 1 to BanyakData do
    begin
      ShowMessage(FloatToStr(Teta[i,j]));
    end;}

//Menghitung Partisipasi Mode :
//mencari transpose teta
for i := 1 to BanyakData do
  for j := 1 to BanyakData do
    begin
      TetaTranspose[i,j]:=Teta[J,i];
      Pnya[i]:=Pnya[i]+TetaTranspose[i,j]*(MassaEx[j]*Um);
    end;
//mencari nilai MS
for i := 1 to BanyakData do
  MSnya[i,i]:=(MassaEx[i]*Um);

//mencari PM
for i := 1 to BanyakData do
  for j := 1 to BanyakData do
    begin
      PMnya[i,j]:=PMnya[i,j]+TetaTranspose[i,j]*MSnya[j,j];
      MMnya[i]:=MMnya[i]+PMnya[i,j]*Teta[j,i];
      //mencari Partisipasi mode
      PAnyai:=Pnya[i] / MMnya[i];
    end;

{for i := 1 to BanyakData do
  begin
    ShowMessage(FloatToStr(Pnya[i]));
    ShowMessage(FloatToStr(MMnya[i]));
    ShowMessage(FloatToStr(PAnyai));
  end;
for i := 1 to BanyakData do
  for j := 1 to BanyakData do
    begin
      ShowMessage(FloatToStr(PMnya[i,j]));
    end;}

For i := 1 to BanyakData do
  Begin
    aKecil[i]:=(FrekAlam[i]*FrekAlam[i])-(2 /((StepIntegrasi*StepIntegrasi)));
    //ShowMessage(FloatToStr(aKecil[i]));
    bKecil[i]:=(1/(StepIntegrasi*StepIntegrasi))-(((2*Dumping[i])*FrekAlam[i])/(2*StepIntegrasi));
    //ShowMessage(FloatToStr(bKecil[i]));
    kKecil[i]:=(1/(StepIntegrasi*StepIntegrasi))+(((2*Dumping[i])*FrekAlam[i])/(2*StepIntegrasi));
    //ShowMessage(FloatToStr(kKecil[i]));
  End;

```

```

For j := 1 to BanyakData do
  Begin
    //Simpangan
    gBesar[x+1,j] := ((-1*StrToFloat(StringGrid1.Cells[2,x])) - (aKecil[j]*
      gBesar[x,j]) - (bKecil[j]*gBesar[x-1,j]))/kKecil[j];
    zSimpangan[x,j] := gBesar[x,j]*PAnya[j];
    //Kecepatan
    gTitik[x,j] := (gBesar[x+1,j] - gBesar[x-1,j]) / (2*StepIntegrasi);
    zTitik[x,j] := gTitik[x,j]*PAnya[j];
    //Percepatan
    gKecil[x,j] := (gBesar[x+1,j] - (2*gBesar[x,j]) + gBesar[x-1,j]) / (StepIntegrasi*StepIntegrasi);
    zBesar[x,j] := gKecil[x,j]*PAnya[j];
  end;
For j := 1 to BanyakData do
  For k:=1 to BanyakData do
    Begin
      Simpangan[x,j] := Simpangan[x,j] + Teta[j,k] * zSimpangan[x,k];
      StringGrid1.Cells[j+3,x] := FloatToStr(Simpangan[x,j]);
      StringGrid1.RowCount := x+1;
      //ShowMessage(FloatToStr(Simpangan[x,j]));
      //SimpanganBaru[x+2,j] := 0;
      //Kecepatan
      Kecepatan[x,j] := Kecepatan[x,j] + Teta[j,k] * zTitik[x,k];
      StringGrid2.Cells[j+3,x] := FloatToStr(Kecepatan[x,j]);
      StringGrid2.RowCount := x+1;
      //KecepatanBaru[x+2,j] := 0;
      //Percepatan
      Percepatan[x,j] := Percepatan[x,j] + Teta[j,k] * zBesar[x,k];
      StringGrid3.Cells[j+3,x] := FloatToStr(Percepatan[x,j]);
      StringGrid3.RowCount := x+1;
      //PercepatanBaru[x+2,j] := 0;

      //StringGrid4.Cells[j+1,x+1] := FloatToStr(NilaiG1[j]);
    end;
  end;
For LoopTrace:=1 to BanyakData do
  begin
    If LoopTrace=1 then
      HasilDiagonal[LoopTrace] := 0
    Else
      begin
        For MatKolom:=1 to BanyakData do
          For MatBaris:=1 to BanyakData do
            Begin
              MatrikB[Matkolom,MatBaris] := 0;
              //ShowMessage(FloatToStr(MatrikBBaru[Matkolom,MatBaris]));
            end;
          HasilDiagonal[LoopTrace] := 0;
        end;
      end;
    end;
  end;
for i := 1 to BanyakData do
  begin
    Pnya[i] := 0;
    MMnya[i] := 0;
  end;
for i := 1 to BanyakData do
  for j := 1 to BanyakData do
    begin
      PMnya[i,j] := 0;
    end;
  end;
For j := 1 to BanyakData do
  begin
    ShowMessage(FloatToStr(Simpangan[x,j]));
    Simpangan[x,j] := 0;
    Kecepatan[x,j] := 0;
    Percepatan[x,j] := 0;
  end;
//Until (x>JumlahData);
Until (x=4);
;

```



arface

Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs, Buttons, ToolWin, ComCtrls, Grids, ExtCtrls, Math;

```
TFResponLinear = class(TForm)
  OpenDialog1: TOpenDialog;
  ToolBar1: TToolBar;
  SpeedButton1: TSpeedButton;
  SpeedButton2: TSpeedButton;
  SpeedButton3: TSpeedButton;
  SpeedButton4: TSpeedButton;
  SpeedButton5: TSpeedButton;
  SpeedButton6: TSpeedButton;
  CoolBar3: TCoolBar;
  Panel1: TPanel;
  StringGrid1: TStringGrid;
  CoolBar4: TCoolBar;
  Panel2: TPanel;
  StringGrid2: TStringGrid;
  CoolBar5: TCoolBar;
  Panel3: TPanel;
  StringGrid3: TStringGrid;
  procedure SpeedButton1Click(Sender: TObject);
  procedure SpeedButton2Click(Sender: TObject);
  procedure SpeedButton3Click(Sender: TObject);
  procedure SpeedButton4Click(Sender: TObject);
  procedure SpeedButton5Click(Sender: TObject);
  procedure SpeedButton6Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
  JumlahDataLinear : Integer;
  BanyakDataLinear : Byte;
  ModulusGeserEquivalen: Array [1..6] of Extended;
end;
```

```
ResponLinear: TFResponLinear;
/Listing Program X
: Array [1..6] of Extended;
: Integer;
kLinear, UmLinear, StepIntegrasiLinear : Real;
eballLinear, GmaxLinear, NilaiGLinear, KekakuanLinear : Array [1..6] of Extended;
amaHLinear, AlphaLinear : Array [1..6] of Real;
/HRMM Baru
atrikMassaLinear : Array [0..6,0..6] of Extended;
atrikKekakuanLinear : Array [0..6,0..6] of Extended;
EigenLinear : Array [1..6,1..6] of Extended;
/Variabel Untuk Mencari Persamaan Polinomial
atrikBLinear, MatrikTraceLinear : Array [0..6,0..6] of Extended;
hasilDiagonalLinear, HasilTraceLinear : Array [0..6] of Extended;
atrikBMInTraceLinear : Array [0..6,0..6] of Extended;
lamdaPangkatLinear : Array [0..6] of Extended;
/Variabel Untuk Mencari Akar Persamaan Polinomial
karLinear, MMLinear : Byte;
atasLinear, TampungHasilAkarLinear : Extended;
nyaLinear, VnyaLinear, BnyaLinear, CnyaLinear : Array [0..6] of Extended;
hasilAkarLinear : Array [0..6] of Extended;
deltaULinear, DeltaVLinear : Array [0..6] of Extended;
/Variabel Yg Digunakan Untuk Mencari Frekuensi Sudut
rekAlamLinear : Array [1..6] of Extended;
/Variabel Yg Digunakan Untuk Mencari Dumping Ratio:
Linear, FLinear, GamaNolLinear : Array [1..6] of Extended;
umpingLinear, CmaxLinear : Array [1..6] of Extended;
lLinear, NLinear : Extended;
/Variabel Untuk Mencari Mode Shape
massaExLinear, KekakuanExLinear : Array [1..6] of Extended;
etaLinear : Array [1..6,1..6] of Extended;
/Variabel Untuk Mencari Partisipasi Mode
```

```

tnyaLinear, MSnyaLinear, TetaTransposeLinear : Array [1..6,1..6] of Extended;
umlahPanyaLinear : Real;
/Variabel Untuk Mencari aKecil, bKecil, kKecil
KecilLinear, bKecilLinear, kKecilLinear : Array [1..6] of Extended;
/Variabel Untuk Mencari Simpangan,kecepatan,Percepatan
BesarLinear, zSimpanganLinear, SimpanganLinear : Array [0..4000,0..6] of Extended;
KecilLinear, zBesarLinear, PercepatanLinear : Array [0..4000,0..6] of Extended;
TitikLinear, zTitikLinear, KecepatanLinear : Array [0..4000,0..6] of Extended;

```

**lementation**

```

s UResponNonLinear, UPropertis, UData, UMemo3;

```

```

*.dfm}

```

```

cedure TFResponLinear.SpeedButton1Click(Sender: TObject);

```

```

step:String;

```

```

in

```

```

InputQuery('Step Integrasi','Masukkan Step Integrasi yang digunakan',step);

```

```

StepIntegrasiLinear:=StrToFloat(step);

```

```

;

```

```

cedure TFResponLinear.SpeedButton2Click(Sender: TObject);

```

```

: TextFile;

```

```

: string;

```

```

:LongInt;

```

```

in

```

```

:=0;

```

```

f OpenFileDialog1.Execute then

```

```

egin

```

```

AssignFile(F, OpenFileDialog1.FileName);

```

```

Reset(F);

```

```

While not eof(F) do

```

```

Begin

```

```

Inc(i);

```

```

Readln(F, S);

```

```

StringGrid1.Cells[0,i]:=IntToStr(i);

```

```

StringGrid2.Cells[0,i]:=IntToStr(i);

```

```

StringGrid3.Cells[0,i]:=IntToStr(i);

```

```

JumlahDataLinear:=i;

```

```

StringGrid1.Cells[1,i]:=s;

```

```

StringGrid2.Cells[1,i]:=s;

```

```

StringGrid3.Cells[1,i]:=s;

```

```

StringGrid1.RowCount:=i+1;

```

```

StringGrid2.RowCount:=i+1;

```

```

StringGrid3.RowCount:=i+1;

```

```

End;

```

```

CloseFile(F);

```

```

nd;

```

```

;

```

```

cedure TFResponLinear.SpeedButton3Click(Sender: TObject);

```

```

: TextFile;

```

```

: string;

```

```

:LongInt;

```

```

in

```

```

//Open file data gempa

```

```

:=0;

```

```

f OpenFileDialog1.Execute then

```

```

egin

```

```

AssignFile(F, OpenFileDialog1.FileName);

```

```

Reset(F);

```

```

While not eof(F) do

```

```

Begin

```

```

Inc(i);

```

```

Readln(F, S);

```

```

StringGrid1.Cells[2,i]:=s;

```

```

StringGrid2.Cells[2,i]:=s;

```

```

StringGrid3.Cells[2,i]:=s;

```

```

StringGrid1.RowCount:=i+1;

```

```

StringGrid2.RowCount:=i+1;

```

```

StringGrid3.RowCount:=i+1;

```

```

End;

```



```

nd;
;

cedure TFResponLinear.SpeedButton4Click(Sender: TObject);
    Kolom      : Byte;
in
    /Menampilkan data ke StringGrid Simpangan
    StringGrid1.ColCount:=3;
    StringGrid1.Cells[0,0]='Nomor';
    StringGrid1.Cells[1,0]='Waktu';
    StringGrid1.ColWidths[2]:=100;
    StringGrid1.Cells[2,0]='Data Gempa';
    For Kolom := 1 to FResponNonLinear.BanyakData do
        Begin
            StringGrid1.ColCount:=StringGrid1.ColCount+1; //Kolom+4;
            StringGrid1.Cells[Kolom+2,0]='Simpangan ke-'+IntToStr(Kolom);
            If Kolom > 0 Then
                StringGrid1.ColWidths[Kolom+2]:=150;
            End;
        //Menampilkan data ke StringGrid Percepatan
        StringGrid2.ColCount:=3;
        StringGrid2.Cells[0,0]='Nomor';
        StringGrid2.Cells[1,0]='Waktu';
        StringGrid2.ColWidths[2]:=100;
        StringGrid2.Cells[2,0]='Data Gempa';
        For Kolom := 1 to FResponNonLinear.BanyakData do
            Begin
                StringGrid2.ColCount:=StringGrid2.ColCount+1; //Kolom+4;
                StringGrid2.Cells[Kolom+2,0]='Kecepatan ke-'+IntToStr(Kolom);
                If Kolom > 0 Then
                    StringGrid2.ColWidths[Kolom+2]:=150;
                End;
            //Menampilkan data ke StringGrid Kecepatan
            StringGrid3.ColCount:=3;
            StringGrid3.Cells[0,0]='Nomor';
            StringGrid3.Cells[1,0]='Waktu';
            StringGrid3.ColWidths[2]:=100;
            StringGrid3.Cells[2,0]='Data Gempa';
            For Kolom := 1 to FResponNonLinear.BanyakData do
                Begin
                    StringGrid3.ColCount:=StringGrid3.ColCount+1; //Kolom+4;
                    StringGrid3.Cells[Kolom+2,0]='Percepatan ke-'+IntToStr(Kolom);
                    If Kolom > 0 Then
                        StringGrid3.ColWidths[Kolom+2]:=150;
                    End;
                End;
            ;

cedure TFResponLinear.SpeedButton5Click(Sender: TObject);
    i          : integer;
    j, k       : Byte;
    Poli       : Byte;
    MatKolom, MatBaris : Byte;
    LoopTrace, Bantu : Byte;
    LapTanah, Loop1, Loop2 : Byte;
    Putaran    : Byte;
    Label MM1, UU1, Selesail;
in
    BanyakDataLinear:=StrToInt(FData.Edit1.Text);
    UmLinear:=StrToFloat(FData.Edit2.Text);//Unit Massa
    UkLinear:=StrToFloat(FData.Edit3.Text);//Unit Kekakuan
    MLinear:=StrToFloat(FData.Edit5.Text);
    NLinear:=0.0387*(Exp(0.7876*M));
    For i:= 1 to BanyakDataLinear do
        begin
            GmaxLinear[i]:=FPropertis.ModulusGesernya[i];
            TebalLinear[i]:=FPropertis.Tebalnya[i];
            GamaHLinear[i]:=FPropertis.GamaH[i];
            AlphaLinear[i]:=FPropertis.Alpha[i];
            GamaNolLinear[i]:=FPropertis.GamaNolnya[i];
            //ShowMessage(FloatToStr(GamaNol[i]));
        end;

    For i :=1 to BanyakDataLinear do
        x[i]:=0;

```





```

//ShowMessage(FloatToStr(Unya[Putaran]));
VnyaLinear[Putaran]:=LamdaPangkatLinear[MMLinear]/LamdaPangkatLinear[MMLinear-2]
//ShowMessage(FloatToStr(Vnya[Putaran]));
UU1:
For LapTanah := 0 to MMLinear do
Begin
If LapTanah = 0 Then
begin
BnyaLinear[LapTanah] := 1;
//ShowMessage(FloatToStr(LapTanah));
//ShowMessage(FloatToStr(Bnya[LapTanah]));
end
Else
If LapTanah = 1 Then
begin
BnyaLinear[LapTanah]:= LamdaPangkatLinear[LapTanah]-UnyaLinear[Putaran];
//ShowMessage(FloatToStr(LapTanah));
//ShowMessage(FloatToStr(Bnya[LapTanah]));
end
Else
begin
BnyaLinear[LapTanah]:= LamdaPangkatLinear[LapTanah]- (BnyaLinear[LapTanah-1]
(BnyaLinear[LapTanah-2]*VnyaLinear[Putaran]));
//ShowMessage(FloatToStr(LapTanah));
//ShowMessage(FloatToStr(Bnya[LapTanah]));
end;
//ShowMessage(FloatToStr(LapTanah));
End;
For LapTanah := 0 to MMLinear-1 do
Begin
If LapTanah = 0 Then
begin
CnyaLinear[LapTanah] := 1;
//ShowMessage(FloatToStr(LapTanah));
//ShowMessage(FloatToStr(Cnya[LapTanah]));
end
Else
If LapTanah = 1 Then
begin
CnyaLinear[LapTanah]:=BnyaLinear[LapTanah]-UnyaLinear[Putaran];
//ShowMessage(FloatToStr(LapTanah));
//ShowMessage(FloatToStr(Cnya[LapTanah]));
end
Else
begin
CnyaLinear[LapTanah]:=BnyaLinear[LapTanah]- (CnyaLinear[LapTanah-1]*UnyaLinear
(CnyaLinear[LapTanah-2]*VnyaLinear[Putaran]));
//ShowMessage(FloatToStr(LapTanah));
//ShowMessage(FloatToStr(Cnya[LapTanah]));
end;
End;
//Menghitung Delta U dan Delta V
DeltaULinear[Putaran]:= ((BnyaLinear[MMLinear]*CnyaLinear[MMLinear-3])-(BnyaLinear
((CnyaLinear[MMLinear-1]*CnyaLinear[MMLinear-3])-(CnyaLinear
//ShowMessage(FloatToStr(DeltaU[Putaran]));
DeltaVLinear[Putaran]:= ((CnyaLinear[MMLinear-1]*BnyaLinear[MMLinear-1])-(CnyaLinear
( (CnyaLinear[MMLinear-1]*CnyaLinear[MMLinear-3])-(CnyaLinear
//ShowMessage(FloatToStr(DeltaV[Putaran]));
If abs(DeltaULinear[Putaran]+DeltaVLinear[Putaran])<=BatasLinear Then
Begin
//r1,2

Inc(AkarLinear);
HasilAkarLinear[AkarLinear]:=((-1*UnyaLinear[Putaran])+(sqrt((UnyaLinear
(4*VnyaLinear[Putaran]))))*0.5;
//ShowMessage(FloatToStr(Akar));
//ShowMessage(FloatToStr(Unya[Putaran]));
//ShowMessage(FloatToStr(HasilAkar[Akar]));
Inc(AkarLinear);
HasilAkarLinear[AkarLinear]:=((-1*UnyaLinear[Putaran])-1*(sqrt((UnyaLinear
(4*VnyaLinear[Putaran]))))*0.5;
//ShowMessage(FloatToStr(Akar));
//ShowMessage(FloatToStr(HasilAkar[Akar]));

```

```

MMLinear:=MMLinear-1;
If MMLinear=0 Then Goto Selesai;
For LapTanah:= 0 to MMLinear do
  LamdaPangkatLinear[LapTanah]:=BnyaLinear[LapTanah];
If MMLinear>2 Then
  Begin
    Goto MM1
  End;

If MMLinear=2 Then
  Begin
    Inc(AkarLinear);
    HasilAkarLinear[AkarLinear]:=((-LamdaPangkatLinear[1])+
    (sqrt((LamdaPangkatLinear[1]*LamdaPangkatLinear[1])-(4*1*LamdaPangkat
    //ShowMessage(FloatToStr(Akar)));
    //ShowMessage(FloatToStr(HasilAkar[Akar]));
    Inc(AkarLinear);
    HasilAkarLinear[AkarLinear]:=((-LamdaPangkatLinear[1])-
    (sqrt((LamdaPangkatLinear[1]*LamdaPangkatLinear[1])-(4*1*LamdaPangkat
    //ShowMessage(FloatToStr(Akar)));
    //ShowMessage(FloatToStr(HasilAkar[Akar]));

    //Unya[Putaran]:=0;
    //Vnya[Putaran]:=0;
  End;

If MMLinear<2 Then
  Begin
    Inc(AkarLinear);
    HasilAkarLinear[AkarLinear]:= -LamdaPangkatLinear[1];
  End;
End //end of abs <= batas
Else
  Begin
    UnyaLinear[Putaran+1]:=UnyaLinear[Putaran]+DeltaULinear[Putaran];
    //ShowMessage(FloatToStr(Unya[Putaran+1]));
    VnyaLinear[Putaran+1]:=VnyaLinear[Putaran]+DeltaVLinear[Putaran];
    //ShowMessage(FloatToStr(Vnya[Putaran+1]));
    Inc(Putaran);
    //ShowMessage(FloatToStr(Putaran));
    Goto UU1;
  End;
selesai:
  //Proses sorting
  For Loop1 := 1 to BanyakDataLinear-1 do
    For Loop2 := 1 to BanyakDataLinear-Loop1 do
      Begin
        If HasilAkarLinear[Loop2] > HasilAkarLinear[Loop2+1] Then
          Begin
            TampungHasilAkarLinear := HasilAkarLinear[Loop2];
            HasilAkarLinear[Loop2] := HasilAkarLinear[Loop2+1];
            HasilAkarLinear[Loop2+1]:=TampungHasilAkarLinear;
          End;
        End; //end if
      End; //end loop2

//Mencari hasil frekuensi Sudut
For LapTanah := 1 to BanyakDataLinear do
  Begin
    //ShowMessage(FloatToStr(HasilAkar[LapTanah]));
    FrekAlamLinear[LapTanah] := Sqrt((HasilAkarLinear[LapTanah]*UkLinear)/UmLinear);
    //ShowMessage(FloatToStr(FrekAlam[LapTanah]));
  End;

//Mencari Dumping Ratio
For LapTanah := 1 to BanyakDataLinear do
  Begin
    TLinear[LapTanah]:=(2* 3.14159265358979 )/FrekAlamLinear[LapTanah];
    FLinear[LapTanah]:=1/TLinear[LapTanah];
    If (FPropertis.JenisTanahNya[LapTanah]='1') then
      Begin
        CmaxLinear[LapTanah]:=(28-(1.5*(Log10(NLinear))))/100;
        DumpingLinear[LapTanah]:=(CmaxLinear[LapTanah]*(1-(ModulusGeserEquivalen[Lap
      end
    End;
  Else

```

```

If (FPropertis.JenisTanahNya[LapTanah] = 2) Then
begin
  CmaxLinear[LapTanah] := (31 - ((3 + 0.03 * FLinear[LapTanah]) * (Power(GamaNolLinear
+ (1.5 * (Power(FLinear[LapTanah], 0.5))) - (1.5 * (Log10(NLinear)))))) / 100;
  // ShowMessage(FloatToStr(Cmax[LapTanah]));
  DumpingLinear[LapTanah] := (CmaxLinear[LapTanah] * (1 - (ModulusGeserEquivalen[Lap
// ShowMessage(FloatToStr(Dumping[LapTanah]));
end;
end;

// Mencari Mode Shape
For i := 1 to BanyakDataLinear do
begin
  MassaExLinear[i] := FPropertis.MassaNya[i] / UmLinear;
  KekakuanExLinear[i] := KekakuanLinear[i];
end;

// Mencari hasil mode shape untuk baris pertama
For J := 1 to BanyakDataLinear do
  TetaLinear[1, J] := 1;

// Mencari hasil mode shape untuk baris kedua
For J := 1 to BanyakDataLinear do
begin
  TetaLinear[2, J] := ((KekakuanExLinear[1] + KekakuanExLinear[2]) / KekakuanExLinear[2])
- ((HasilAkarLinear[J] * MassaExLinear[1]) / KekakuanExLinear[2]);
  // ShowMessage(FloatToStr(Teta[2, J]));
end;

// Mencari hasil mode shape untuk baris ketiga dan seterusnya
For J := 1 to BanyakDataLinear do
  For i := 3 to BanyakDataLinear do
begin
  TetaLinear[i, j] := ((-TetaLinear[i-2, j] * KekakuanExLinear[i-1]) / KekakuanExLinear[i]
- (HasilAkarLinear[J] * MassaExLinear[i-1]) * TetaLinear[i-1, j]) / KekakuanExLinear[i];
end;

{for i := 1 to BanyakData do
  for j := 1 to BanyakData do
  begin
    ShowMessage(FloatToStr(Teta[i, j]));
  end;}

// Menghitung Partisipasi Mode :
// mencari transpose teta
for i := 1 to BanyakDataLinear do
  for j := 1 to BanyakDataLinear do
  begin
    TetaTransposeLinear[i, j] := TetaLinear[J, i];
    // ShowMessage(FloatToStr(TetaTranspose[i, j]));
    PnyaLinear[i] := PnyaLinear[i] + TetaTransposeLinear[i, j] * (MassaExLinear[j] * Um);
    // ShowMessage(FloatToStr(Pnya[i]));
  end;

// mencari nilai MS
for i := 1 to BanyakDataLinear do
begin
  MSnyaLinear[i, i] := (MassaExLinear[i] * UmLinear);
  // ShowMessage(FloatToStr(MSnya[i, i]));
end;

// mencari PM
for i := 1 to BanyakDataLinear do
  for j := 1 to BanyakDataLinear do
  begin
    PMnyaLinear[i, j] := PMnyaLinear[i, j] + TetaTransposeLinear[i, j] * MSnyaLinear[j, j];
    // ShowMessage(FloatToStr(TetaTranspose[i, j]));
    // ShowMessage(FloatToStr(MSnya[j, j]));
    // ShowMessage(FloatToStr(PMnya[i, j]));
    MMnyaLinear[i] := MMnyaLinear[i] + PMnyaLinear[i, j] * TetaLinear[j, i];
    // ShowMessage(FloatToStr(Teta[j, i]));
  end;

// mencari Partisipasi mode
for i := 1 to BanyakDataLinear do
  begin

```

```

//ShowMessage(FloatToStr(PMnya[i]));
PAnyaLinear[i]:=PnyaLinear[i] / MMnyaLinear[i];
//ShowMessage(FloatToStr(PAnya[i]));
end;

//Cek Partisipasi Mode (harus = 1)
for i := 1 to BanyakDataLinear do
begin
JumlahPAnyaLinear:=JumlahPAnyaLinear+PAnyaLinear[i];
//ShowMessage(FloatToStr(JumlahPAnya));
end;
//ShowMessage(FloatToStr(JumlahPAnya));

(for i := 1 to BanyakData do
begin
ShowMessage(FloatToStr(Pnya[i]));
ShowMessage(FloatToStr(MMnya[i]));
ShowMessage(FloatToStr(PAnya[i]));
end;
for i := 1 to BanyakData do
for j := 1 to BanyakData do
begin
ShowMessage(FloatToStr(PMnya[i,j]));
end;})

For i := 1 to BanyakDataLinear do
Begin
aKecilLinear[i]:=(FrekAlamLinear[i]*FrekAlamLinear[i])-(2 / (StepIntegrasiLinear*StepIntegrasiLinear));
//ShowMessage(FloatToStr(aKecil[i]));
bKecilLinear[i]:=(1/ (StepIntegrasiLinear*StepIntegrasiLinear))-(((2*DumpingLinear[i]*StepIntegrasiLinear)));
//ShowMessage(FloatToStr(bKecil[i]));
kKecilLinear[i]:=(1/ (StepIntegrasiLinear*StepIntegrasiLinear))+(((2*DumpingLinear[i]*StepIntegrasiLinear)));
//ShowMessage(FloatToStr(kKecil[i]));
End;

For i := 1 to (JumlahDataLinear-1) do
For j := 1 to BanyakDataLinear do
Begin
//Simpangan
gBesarLinear[i+1,j]:=(-1*StrToFloat(StringGrid1.Cells[2,i]))-(aKecilLinear[j]*gBesarLinear[i,j]);
//ShowMessage(FloatToStr(gBesar[i+1,j]));
zSimpanganLinear[i,j]:=gBesarLinear[i,j]*PAnyaLinear[j];
//Kecepatan
gTitikLinear[i,j]:=(gBesarLinear[i+1,j]-gBesarLinear[i-1,j])/(2*StepIntegrasiLinear);
zTitikLinear[i,j]:=gTitikLinear[i,j]*PAnyaLinear[j];
//Percepatan
gKecilLinear[i,j]:=(gBesarLinear[i+1,j)-(2*gBesarLinear[i,j])+gBesarLinear[i-1,j])/(2*StepIntegrasiLinear);
zBesarLinear[i,j]:=gKecilLinear[i,j]*PAnyaLinear[j];
end;
or i := 1 to (JumlahDataLinear-1) do
For j := 1 to BanyakDataLinear do
For k:=1 to BanyakDataLinear do
Begin
SimpanganLinear[i,j]:=SimpanganLinear[i,j]+TetaLinear[j,k] * zSimpanganLinear[i,j];
StringGrid1.Cells[j+2,i]:=FloatToStr(SimpanganLinear[i,j]);
StringGrid1.RowCount:=i+1;
//Kecepatan
KecepatanLinear[i,j]:=KecepatanLinear[i,j]+TetaLinear[j,k] * zTitikLinear[i,k];
StringGrid2.Cells[j+2,i]:=FloatToStr(KecepatanLinear[i,j]);
StringGrid2.RowCount:=i+1;
//Percepatan
PercepatanLinear[i,j]:=PercepatanLinear[i,j]+TetaLinear[j,k] * zBesarLinear[i,k];
StringGrid3.Cells[j+2,i]:=FloatToStr(PercepatanLinear[i,j]);
StringGrid3.RowCount:=i+1;
end;
i;

procedure TFResponLinear.SpeedButton6Click(Sender: TObject);
jin
Memo3.ShowModal;
i;
i.

```