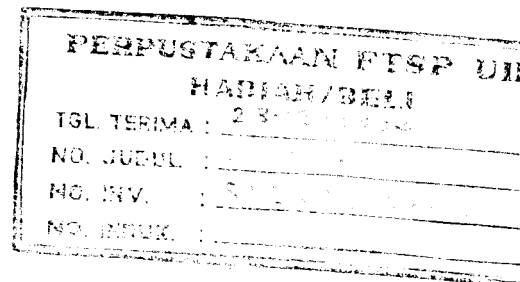
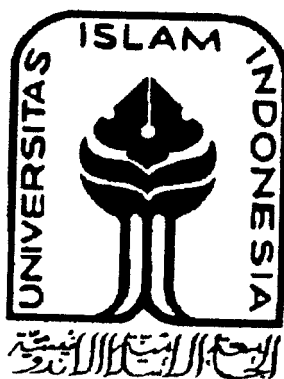


**TUGAS AKHIR**



**PENGARUH PENGGUNAAN ISOLASI DASAR (*BASE ISOLATION*)  
TERHADAP RESPON SEISMIC STRUKTUR RANGKA BAJA  
BERTINGKAT BANYAK**



**Disusun oleh :**

<b>ARDY NUGROHO</b>	<b>99 511 085</b>
<b>DIDIK WAHYU ASMARA</b>	<b>99 511 385</b>

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2004**

**HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

**PENGARUH PENGGUNAAN ISOLASI DASAR (*BASE ISOLATION*)  
TERHADAP RESPON SEISMIK STRUKTUR RANGKA BAJA  
BERTINGKAT BANYAK**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil  
pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,  
Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta**

**Disusun Oleh :**

<b>ARDY NUGROHO</b>	<b>99 511 085</b>
<b>DIDIK WAHYU ASMARA</b>	<b>99 511 385</b>

**Telah diperiksa dan disetujui :**

**Tanggal,**

31/6/09 

**Prof. Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D.**

---

**Dosen Pembimbing**

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh*

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan nikmat, karunia dan rahmat-Nya kepada kita semua, khususnya kepada kami sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tidak lupa sholawat dan salam kami haturkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat serta pengikutnya sampai akhir jaman.

Tugas akhir dengan judul **Pengaruh Penggunaan Isolasi Dasar (*Base Isolation*) Terhadap Respon Seismik Struktur Rangka Baja Bertingkat Banyak** diajukan sebagai syarat guna memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Penyusun menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini tidak lepas dari sumbangan pemikiran dari berbagai pihak yang sangat membantu, sehingga penulis dapat menyelesaikan semua hambatan yang terjadi selama penyusunan hingga terselesaikannya tugas akhir ini. Pada kesempatan ini dengan penuh rasa hormat dan kerendahan hati, penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak – pihak yang telah membantu, yaitu :

## MOTTO

*"Sesungguhnya di dalam kesulitan pasti ada kemudahan"*

*(QS. Asy Syarh : 5)*

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

*(Hadist Rasulullaah SAW)*

*"Ilmu itu ibarat suatu buruan sedangkan tulisan merupakan talinya, oleh karena itu ikatlah buruanmu dengan tali yang kuat dan kokoh"*

*(Imam Syafi'i)*



**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH PENGGUNAAN ISOLASI DASAR (*BASE ISOLATION*)  
TERHADAP RESPON SEISMIK STRUKTUR RANGKA BAJA  
BERTINGKAT BANYAK**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil  
pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta**

**Disusun oleh :**

<b>ARDY NUGROHO</b>	<b>99 511 085</b>
<b>DIDIK WAHYU ASMARA</b>	<b>99 511 385</b>

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2004**

1. Bapak Prof. Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, sekaligus sebagai Dosen Pembimbing Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. H. Sarwidi, MSCE, Ph.D, selaku Dosen Penguji.
3. Bapak Ir. H. Fatkhurrohman N., MT, selaku Dosen Penguji.
4. Bapak Ir. H. Munadhir, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Kedua orang tua kami dan saudara – saudara kami yang telah banyak memberikan bantuan dan dorongan, baik moral maupun material dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Teman - teman *Civil Dept* seperjuanganku yang tidak bisa kami sebut satu persatu, terima kasih atas segala dukungan, informasi, dan segala perhatiannya.
7. Seluruh pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Semoga seluruh amal dan kebaikan yang diberikan dapat diterima dan mendapatkan ridho dari Allah SWT, *amiin*.

Penyusun menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, mengingat keterbatasan ilmu, kemampuan dan pengalaman kami dalam penelitian dan penulisan. Oleh karena itu saran dan kritik yang bersifat membangun sangat kami harapkan guna perbaikan dan pengembangan selanjutnya.

*Assalamu'alaikum Wr. Wb,*

ijinkan insyinyur ini mengucapkan rasa syukurnya yang tiada hentinya kepada pencipta alam semesta ini Allah SWT, atas rahmatmulah aku bisa seperti sekarang ini.

**Kedua orang tuaku** tercinta ibu dan bapak, kasih sayang dan dukungan bapak lan ibu tiada berhenti menuntunku untuk selalu terus maju, menggapai cita2ku, dan membimbingku selama ini.

Adikku tersayang **Mia**, makasih doanya ya, mamas sekarang dah jadi ST nih, kamu cepet lulus ya, ntar gampang kalo mamas dah gajian, mamas kirimin, ok! O ya sukses ya sama usaha barunya ya, mamas selalu dukung.

My Valentine, **Yesi Ocktadini**, uni datang pada saat yang tepat, membawa cinta, *thanx about your love*, makasih banget jadi temen suka dukaku, n cepet lulus ya terus jadi sarjana deh, aku selalu mendukungmu (ayo..ayo..ayo)

My Partner **Didik**, thanx kamu dah jadi temen TA ku yang paling rajin, paling semangat, pokoknya paling segalanya deh (ndase cekeli kuwe mbo' an tiba) he..he..he

Bapak dekan (**Prof. Ir. H. Widodo, MSCE., Ph.D**), terimakasih bimbingan, dorongan, dan kesabarannya hingga aku jadi insyinyur pak.

Bapak Sarwidi, n Bapak Fathur makasih pak atas pertanyaan dan bimbingannya, ya!!Pendadaran dan sidangnya asyik banget pak.

Saudaraku di Godean **Oom Yudi, Tante Ani, Narra, n dek Edwin**, makasih doanya aku sekarang dah jadi instinyur nih. Aku ngga akan nglupain kalian. Dan ngga lupa **mbah Kroya** makasih doanya mbah.

Temen2ku Civil Dept, antara lain :

**Danang**, ayo nang TA pasangan TA lu dah nunggu tuh ngga sabar banget ktnya (pengen nikah tuh), sing sabar yo dab, santai aja jgn stress, pasti kamu jadi sarjana, aku tunggu, jangan pindah kost ya, halo **Tree** (bentar lagi seleb ko, kl dah kenal nova Eliza kenalin yah, n betah di kost dong, kasian tuh kamarmu da yg nunggu, jangan lupain aku yo kl dah jd seleb he..he..he. **Abduh**, maaf bgt sering ngomongin kamu, hbs kamu lucu bgt sih, o.. ya kamu punya pintu kemana saja ngga bilang2, salam dari temen KKNmu, ojo meng warnet wae le, he..he... **Wa One**, he dab sorry printermu rusak, aku ngga bs berkatakata selain lewat tulisan ini, tapi makasih bgt printernya lu, sampai bela2 in kamu nggarap KP ngga pk printermu, cepet nikah ya, slm buat calonnya ya, **ferdy, ST dan gigih, ST** asem iiiiii nduluin aku, ktnya mo bareng, malah dah pd kerja, tp ngga papalah thanx dukungannya., **Sigit ndut** thanx printernya, walaupun printermu dtgnya terlambat, tapi mbantu bgt tuh, kl diajak maen bola jgn kangelan yo, **Bambang**, “aku tau kok kamu ngga tidur”, itu perkataan yg bener sapa toh, aku msh bingung neh, sukses bisnise yo dab, **Windo**, wah tiap hari jd “tkg ojek nih”, tp ngga papa namanya jg perjuangan, sukses TA nya sama calon seleb ya, he..100x, **Yuma**, vokalis kita nih, kalo jd kiper tangannya dipake donk, n sukses Tanya, aku duluin ya, map bgt. **KeSIT** (X Ray, apa kuwe?), piye TA ne karo mas Wahyu, kpn ki buka puasa neng nggonmu meneh? **Arman**, kpn nginep t4mu lg?, mkn otak2 lagi, sukses Wartelnya ya, mana ktnya mo nuker receh ma akuⓈ, dia bukan Civil Dept sih yaitu **HeriSandi**(Ciiiieh), wah striker handal lewat, !!he..he, aku msh penasaran ma kamunih, kph Winning lagi. O ya sampai lupa

Tmn2 KKN ku, **Wiwin, Reza, Ririn, Fridi, Haryo, Tuti, Yunan, Desy, Wigi, Rusmono**, aku ngga lulus terakhir, jadi juaranya bukan aku, ya ngga, jangan lupain aku ya

*Assalamu 'alaikum Wr. Wb,*

ijinkan insyinyur ini mengucapkan rasa syukurnya yang tiada hentinya kepada pencipta alam semesta ini Allah SWT, atas rahmatmulah aku bisa seperti sekarang ini.

**Kedua orang tuaku** tercinta ibu dan bapak, kasih sayang dan dukungan bapak lan ibu tiada berhenti menuntunku untuk selalu terus maju, menggapai cita2ku, dan membimbingku selama ini.

Adikku tersayang **Mia**, makasih doanya ya, mamas sekarang dah jadi ST nih, kamu cepet lulus ya, ntar gampang kalo mamas dah gajian, mamas kirimin, ok!O ya sukses ya sama usaha barunya ya, mamas selalu dukung.

My Valentine, **Yesi Ocktadini**, uni datang pada saat yang tepat, membawa cinta, *thanx about your love*, makasih banget jadi temen suka dukaku, n cepet lulus ya terus jadi sarjana deh, aku selalu mendukungmu (ayo..ayo..ayo)

My Partner **Didik**, thanx kamu dah jadi temen TA ku yang paling rajin, paling semangat, pokoknya paling segalanya deh (ndase cekeli kuwe mbo' an tiba) he..he..he

Bapak dekan (**Prof. Ir. H. Widodo, MSCE., Ph.D**), terimakasih bimbingan, dorongan, dan kesabarannya hingga aku jadi insyinyur pak.

Bapak Sarwidi, n Bapak Fathur makasih pak atas pertanyaan dan bimbingannya, ya!!Pendadaran dan sidangnya asyik banget pak.

Saudaraku di Godean **Oom Yudi, Tante Ani, Narra, n dek Edwin**, makasih doanya aku sekarang dah jadi instinyur nih. Aku ngga akan nglupain kalian. Dan ngga lupa **mbah Kroya** makasih doanya mbah.

Temen2ku Civil Dept, antara lain :

**Danang**, ayo nang TA pasangan TA lu dah nunggu tuh ngga sabar banget ktnya (pengen nikah tuh), sing sabar yo dab, santai aja jgn stress, pasti kamu jadi sarjana, aku tunggu, jangan pindah kost ya, halo **Tree** (bentar lagi seleb ko, kl dah kenal nova Eliza kenalin yah, n betah di kost dong, kasian tuh kamarmu da yg nunggu, jangan lupain aku yo kl dah jd seleb he..he..he. **Abduh**, maaf bgt sering ngomongin kamu, hbs kamu lucu bgt sih, o.. ya kamu punya pintu kemana saja ngga bilang2, salam dari temen KKNmu, ojo meng warnet wae le, he..he... **Wa One**, he dab sorry printermu rusak, aku ngga bs berkatakata selain lewat tulisan ini, tapi makasih bgt printernya lu, sampai bela2 in kamu nggarap KP ngga pk printermu, cepet nikah ya, slm buat calonnya ya, **ferdy, ST dan gigih, ST** asem iiii nduluin aku, ktnya mo bareng, malah dah pd kerja, tp ngga papalah thanx dukungannya., **Sigit ndut** thanx printernya, walaupun printermu dtgnya terlambat, tapi mbantu bgt tuh, kl diajak maen bola jgn kangelan yo, **Bambang**, "aku tau kok kamu ngga tidur", itu perkataan yg bener sapa toh, aku msh bingung neh, sukses bisnise yo dab, **Windo**, wah tiap hari jd "tkg ojek nih", tp ngga papa namanya jg perjuangan, sukses TA nya sama calon seleb ya, he..100x, **Yuma**, vokalis kita nih, kalo jd kiper tangannya dipake donk, n sukses Tanya, aku duluin ya, map bgt. **KeSIT** (X Ray, apa kuwe?), piye TA ne karo mas Wahyu, kpn ki buka puasa neng nggonmu meneh?**Arman**, kpn nginep t4mu lg?, mkn otak2 lagi, sukses Wartelnya ya, mana ktnya mo nuker receh ma aku☹, dia bukan Civil Dept sih yaitu **HeriSandi**(Ciiieh), wah striker handal lewat, !!he..he, aku msh penasaran ma kamunih, kph Winning lagi. O ya sampai lupa

Tmn2 KKN ku, **Wiwin, Reza, Ririn, Fridi, Haryo, Tuti, Yunan, Desy, Wigi, Rusmono**, aku ngga lulus terakhir, jadi juaranya bukan aku, ya ngga, jangan lupain aku ya

*Didik Matur Nuwun Hagem::*

### **ALLAH Swt**

Yang Maha Esa, Maha Besar, Maha Pengasih, Maha Penyayang dan Maha Segalanya yang memberiku ketabahan dalam menjalani hidup ini

Nabi Muhammad Saw, pembawa dan pencerah bagi umat manusia di dunia ini dan yang aku tunggu dan nantikan syafaatnya pada akhir jaman

*Kedua orang tuaku tercinta, Bapak Ngadryo, S.Pd kaliyan ibu k Saryanti wonten ing Rembang, terimakasih atas doa dan restunya selama ini selingga aku menjadi bisa menjadi seperti ini. Aku rindu kalian.....!*

*Adikku Indah, matur nuwun yo nduk atas doanya, moga kamu cepet lulus dan bisa menjadi perawat yang baik, tetep sholat terus, dan bisa menjadi kebanggaan bapak karo ibuk.*

*Pakdhe, Budhe di mblekik, matur nuwun sanget atas tempatnya selama aku berjuang di kota Jogja ini, dan aku minta maaf selama ini aku sangat merepotkan kalian.*

*Adikku sepupu sri, matur nuwun nok atas segalanya dan aku doakan kamu bisa menggapai yang kamu inginkan.*

Bapak Professor Insinyur Haji Widodo, Ph.D, terimakasih banyak atas segala bimbingan, saran dan ilmunya selama kami mengerjakan tugas akhir ini. Bapak tetaplah dosen *is the best* yang aku kenal di FTSP Uii ini.

Bapak Insinyur Haji Sarwidi, Ph.D dan Bapak Insinyur Fathurrohman, MT, terimakasih telah membimbing kami dalam sidang dan pendadaran. Teerimakasih bapak tidak banyak tanya pada kami.....hehehe!!!

*Ardy Nugroho, ST, thank friend atas segalanya. Kamu emang good partner yang aku kenal selama ini. Sorry ya kalau selama ini aku sering mengganggu aktivitasmu!"eh ar kita akhirnya berhasil juga TA ama pak Dekan, meskipun akeh revisine .he2x, oke mbok!"*

Teman2x Civil Dept (jaketnya item apa biru sih?), Danang Mbudi (jangan stress trus, tetaplah berusaha pasti ada jalan deh), Trie "THE ALT"( Eh aku gantiin kamu kos ya??), Gunawan, MS (u masih good friend, n thanx sepatunya, kapan nikahnya??), M. Abduh (teruskanlah dakwahmu prend, tapi jangan pegang-pegang aku terus he..he..)), Ferdi,ST "BogiezZZZ"( pak insinyur tolong donk kasih aku kerjaan, oya met ultah ya!!!), sigit (heh jangan ajari aku yg jelex), windho "dojihatori"( I like the party), kesit(heh...heh..heh..), bambang (mie SO kapan mbang?), Arman (Ndoet), gigih, ST (udah di Bengkulu sih), sopo meneh yo, oya ardho (thanx hem nya), temenku wawan cah UMY (nuwun wan yo, atas semuanya selama aku berjuang di jogja ini) Mas ku sepupu Oonk, matur nuwun yo and tetep kamu blajar moga menjadi sarjana farmasi sing pinter, dan semua all temenku yang belum kusebut namanya, khususnya sipil 99 uii, makasih semuanya!!!!

Emmm, thanx juga untuk tim TPSP FTSP Uii, toek mbak ifi, matur nuwun duit TPSP nya, juga duit pengawas ujian juga dink!! Matur nuwun sanget!!!aku bisa ngrasain cari duit sendiri lho!!

*Makasih juga motor grandku (K 3040 ED), Komputerku (AMD Duron), Simba2ku, Siemens A55 ku, Casio 9850ku, makasih deh!!!*

*Satu lagi deh ...Tuk Bidadari Surgaku .....Aku percaya suatu saat nanti aku akan menjemputmu tuk mengarungi laut biru ini!!!!*

**ALHAMDULILLAH, SEKARANG NAMAKU BERTAMBAH DUA HURUF, JADINYA SI .....DIDIK'ASMARA, ES TE.**

**KAMI PERSEMBAHKAN PENELITIAN INI KEPADA : PROYEK  
TPSDP (*TECHNOLOGICAL PROFESSIONAL SKILL AND  
DEVELOPMENT PROJECT*)**

4.4.5 Perhitungan Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> )	101
4.4.6 Perhitungan Gaya Horisontal Tingkat.....	111
4.4.7 Perhitungan Gaya Horisontal tingkat Kumulatif.....	121
4.4.8 Perhitungan Momen Guling .....	131
4.5 Pembahasan .....	141
4.5.1 <i>Mode Shape</i> .....	141
4.5.2 Simpangan Netto .....	146
4.5.3 Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) .....	176
4.5.4 Gaya Horisontal Tingkat .....	215
4.5.5 Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif.....	243
4.5.6 Momen Guling .....	272
4.4.9 <i>Fundamental Periode</i> .....	301
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	304
5.2 Saran.....	306
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	lv
<b>LAMPIRAN</b> .....	lvi

<b>Gambar 3.8</b>	Bagan Alir ( <i>Flow Chart</i> ) .....	50
<b>Gambar 4.1</b>	Perbandingan <i>mode</i> ke - 1 dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 4 tingkat.....	60
<b>Gambar 4.2</b>	Perbandingan <i>mode</i> ke - 2 dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 4 tingkat.....	60
<b>Gambar 4.3</b>	Perbandingan <i>mode</i> ke - 3 dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 4 tingkat.....	61
<b>Gambar 4.4</b>	Perbandingan <i>mode</i> ke - 4 dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 4 tingkat.....	61
<b>Gambar 4.5</b>	Perbandingan <i>mode</i> ke - 1 dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 7 tingkat.....	62
<b>Gambar 4.6</b>	Perbandingan <i>mode</i> ke - 2 dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 7 tingkat.....	62
<b>Gambar 4.7</b>	Perbandingan <i>mode</i> ke - 3 dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 7 tingkat.....	63
<b>Gambar 4.8</b>	Perbandingan <i>mode</i> ke - 4 dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 7 tingkat.....	63
<b>Gambar 4.9</b>	Perbandingan <i>mode</i> ke - 5 dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 7 tingkat.....	64
<b>Gambar 4.10</b>	Perbandingan <i>mode</i> ke - 6 dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 7 tingkat.....	64



<b>Gambar 4.11</b> Perbandingan <i>mode</i> ke - 7 dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 7 tingkat .....	65
<b>Gambar 4.12</b> Perbandingan <i>mode</i> ke - 1 dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 10 tingkat .....	66
<b>Gambar 4.13</b> Perbandingan <i>mode</i> ke - 2 dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 10 tingkat .....	66
<b>Gambar 4.14</b> Perbandingan <i>mode</i> ke - 3 dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 10 tingkat .....	67
<b>Gambar 4.15</b> Perbandingan <i>mode</i> ke - 4 dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 10 tingkat .....	67
<b>Gambar 4.16</b> Perbandingan <i>mode</i> ke - 5 dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 10 tingkat .....	68
<b>Gambar 4.17</b> Perbandingan <i>mode</i> ke - 6 dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 10 tingkat .....	68
<b>Gambar 4.18</b> Perbandingan <i>mode</i> ke - 7 dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 10 tingkat .....	69
<b>Gambar 4.19</b> Perbandingan <i>mode</i> ke - 8 dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 10 tingkat .....	69
<b>Gambar 4.20</b> Perbandingan <i>mode</i> ke - 9 dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 10 tingkat .....	70
<b>Gambar 4.21</b> Perbandingan <i>mode</i> ke - 10 dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 10 tingkat .....	70

<b>Gambar 4.22</b>	Simpangan horisontal struktur 4 tingkat akibat gempa Koyna ....	72
<b>Gambar 4.23</b>	Simpangan horisontal struktur 7 tingkat akibat gempa Koyna .....	73
<b>Gambar 4.24</b>	Simpangan horisontal struktur 10 tingkat akibat gempa Koyna. ..	74
<b>Gambar 4.25</b>	Simpangan horisontal struktur 4 tingkat akibat gempa Elcentro ..	75
<b>Gambar 4.26</b>	Simpangan horisontal struktur 7 tingkat akibat gempa Elcentro ..	76
<b>Gambar 4.27</b>	Simpangan horisontal struktur 10 tingkat akibat gempa Elcentro. .	77
<b>Gambar 4.28</b>	Simpangan horisontal struktur 4 tingkat akibat gempa Bucharest	78
<b>Gambar 4.29</b>	Simpangan horisontal struktur 7 tingkat akibat gempa Bucharest	79
<b>Gambar 4.30</b>	Simpangan horisontal struktur 10 tingkat akibat gempa Bucharest .....	80
<b>Gambar 4.31</b>	Kecepatan struktur 4 tingkat akibat gempa Koyna .....	82
<b>Gambar 4.32</b>	Kecepatan struktur 7 tingkat akibat gempa Koyna .....	83
<b>Gambar 4.33</b>	Kecepatan struktur 10 tingkat akibat gempa Koyna .....	84
<b>Gambar 4.34</b>	Kecepatan struktur 4 tingkat akibat gempa Elcentro.....	85
<b>Gambar 4.35</b>	Kecepatan struktur 7 tingkat akibat gempa Elcentro.....	86
<b>Gambar 4.36</b>	Kecepatan struktur 10 tingkat akibat gempa Elcentro.....	87
<b>Gambar 4.37</b>	Kecepatan struktur 4 tingkat akibat gempa Bucharest .....	88
<b>Gambar 4.38</b>	Kecepatan struktur 7 tingkat akibat gempa Bucharest .....	89
<b>Gambar 4.39</b>	Kecepatan struktur 10 tingkat akibat gempa Bucharest .....	90
<b>Gambar 4.40</b>	Percepatan struktur 4 tingkat akibat gempa Koyna.....	92
<b>Gambar 4.41</b>	Percepatan struktur 7 tingkat akibat gempa Koyna.....	93
<b>Gambar 4.42</b>	Percepatan struktur 10 tingkat akibat gempa Koyna.....	94

<b>Gambar 4.57</b> Simpangan antar tingkat struktur 10 tingkat akibat gempa Bucharest	110
<b>Gambar 4.58</b> Gaya horisontal tingkat struktur 4 tingkat akibat gempa Koyna.	112
<b>Gambar 4.59</b> Gaya horisontal tingkat struktur 7 tingkat akibat gempa Koyna.	113
<b>Gambar 4.60</b> Gaya horisontal tingkat struktur 10 tingkat akibat gempa Koyna .	114
<b>Gambar 4.61</b> Gaya horisontal tingkat struktur 4 tingkat akibat gempa Elcentro	115
<b>Gambar 4.62</b> Gaya horisontal tingkat struktur 7 tingkat akibat gempa Elcentro	116
<b>Gambar 4.63</b> Gaya horisontal tingkat struktur 10 tingkat akibat gempa Elcentro	117
<b>Gambar 4.64</b> Gaya horisontal tingkat struktur 4 tingkat akibat gempa Bucharest	118
<b>Gambar 4.65</b> Gaya horisontal tingkat struktur 7 tingkat akibat gempa Bucharest	119
<b>Gambar 4.66</b> Gaya horisontal tingkat struktur 10 tingkat akibat gempa Bucharest	120
<b>Gambar 4.67</b> Gaya horisontal tingkat kumulatif struktur 4 tingkat akibat gempa Koyna	122

<b>Gambar 4.68</b> Gaya horisontal tingkat kumulatif struktur 7 tingkat akibat gempa Koyna .....	123
<b>Gambar 4.69</b> Gaya horisontal tingkat kumulatif struktur 10 tingkat akibat gempa Koyna .....	124
<b>Gambar 4.70</b> Gaya horisontal tingkat kumulatif struktur 4 tingkat akibat gempa Elcentro .....	125
<b>Gambar 4.71</b> Gaya horisontal tingkat kumulatif struktur 7 tingkat akibat gempa Elcentro .....	126
<b>Gambar 4.72</b> Gaya horisontal tingkat kumulatif struktur 10 tingkat akibat gempa Elcentro .....	127
<b>Gambar 4.73</b> Gaya horisontal tingkat kumulatif struktur 4 tingkat akibat gempa Bucharest .....	128
<b>Gambar 4.74</b> Gaya horisontal tingkat kumulatif struktur 7 tingkat akibat gempa Bucharest .....	129
<b>Gambar 4.75</b> Gaya horisontal tingkat kumulatif struktur 10 tingkat akibat gempa Bucharest .....	130
<b>Gambar 4.76</b> Momen guling struktur 4 tingkat akibat gempa Koyna .....	132
<b>Gambar 4.77</b> Momen guling struktur 7 tingkat akibat gempa Koyna .....	133
<b>Gambar 4.78</b> Momen guling struktur 10 tingkat akibat gempa Koyna .....	134
<b>Gambar 4.79</b> Momen guling struktur 4 tingkat akibat gempa Elcentro .....	135
<b>Gambar 4.80</b> Momen guling struktur 7 tingkat akibat gempa Elcentro .....	136
<b>Gambar 4.81</b> Momen guling struktur 10 tingkat akibat gempa Elcentro .....	137

<b>Gambar 4.82</b> Momen guling struktur 4 tingkat akibat gempa Bucharest.....	138
<b>Gambar 4.83</b> Momen guling struktur 7 tingkat akibat gempa Bucharest.....	139
<b>Gambar 4.84</b> Momen guling struktur 10 tingkat akibat gempa Bucharest.....	140
<b>Gambar 4.85</b> Grafik perbandingan simpangan maksimum akibat 3 gempa struktur 4 tingkat dengan dan tanpa <i>base isolation</i> .....	147
<b>Gambar 4.86</b> Grafik perbandingan simpangan netto maksimum akibat 3 gempa struktur 7 tingkat dengan dan tanpa <i>base isolation</i> .....	147
<b>Gambar 4.87</b> Grafik perbandingan simpangan netto maksimum akibat 3 gempa struktur 10 tingkat dengan dan tanpa <i>base isolation</i> .....	148
<b>Gambar 4.88</b> Grafik perbandingan simpangan maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 34805,54512 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna.....	149
<b>Gambar 4.89</b> Grafik perbandingan simpangan maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 1183388,534 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna.....	149
<b>Gambar 4.90</b> Grafik perbandingan simpangan maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 78892,56893 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna.....	150
<b>Gambar 4.91</b> Grafik perbandingan simpangan maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 1183388,534 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna.....	150
<b>Gambar 4.92</b> Grafik perbandingan simpangan maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 131487,6149 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna.....	151
<b>Gambar 4.93</b> Grafik perbandingan simpangan maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 1183388,534 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna.....	151

<b>Gambar 4.94</b> Grafik perbandingan simpangan maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 394462,8447 \text{ kg/m}$ akibat gempa Elcentro....	152
<b>Gambar 4.95</b> Grafik perbandingan simpangan maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 2366777,068 \text{ kg/m}$ akibat gempa Elcentro.. .....	152
<b>Gambar 4.96</b> Grafik perbandingan simpangan maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 78892,56893 \text{ kg/m}$ akibat gempa Elcentro....	153
<b>Gambar 4.97</b> Grafik perbandingan simpangan maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 131487,6149 \text{ kg/m}$ akibat gempa Elcentro.. .....	153
<b>Gambar 4.98</b> Grafik perbandingan simpangan maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 47335,54136 \text{ kg/m}$ akibat gempa Elcentro.. .....	154
<b>Gambar 4.99</b> Grafik perbandingan simpangan maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 78892,56893 \text{ kg/m}$ akibat gempa Elcentro.. .....	154
<b>Gambar 4.100</b> Grafik perbandingan simpangan maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 73961,78338 \text{ kg/m}$ akibat gempa Bucharest. .....	155
<b>Gambar 4.101</b> Grafik perbandingan simpangan maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 197231,4223 \text{ kg/m}$ akibat gempa Bucharest. .....	155

<b>Gambar 4.102</b> Grafik perbandingan simpangan maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 118338, 8534 \text{ kg/m}$ akibat gempa Bucharest.	156
<b>Gambar 4.103</b> Grafik perbandingan simpangan maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 591694, 267 \text{ kg/m}$ akibat gempa Bucharest.	156
<b>Gambar 4.104</b> Grafik perbandingan simpangan maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 147923, 5668 \text{ kg/m}$ akibat gempa Bucharest.	157
<b>Gambar 4.105</b> Grafik perbandingan simpangan maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 591694, 267 \text{ kg/m}$ akibat gempa Bucharest.	157
<b>Gambar 4.106</b> Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum akibat 3 gempa struktur 4 tingkat dengan dan tanpa <i>base isolation</i> .	177
<b>Gambar 4.107</b> Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum akibat 3 gempa struktur 7 tingkat dengan dan tanpa <i>base isolation</i> .	177
<b>Gambar 4.108</b> Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum akibat 3 gempa struktur 10 tingkat dengan dan tanpa <i>base isolation</i> .	178
<b>Gambar 4.109</b> Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 34805, 54512 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna.	179

<b>Gambar 4.110</b> Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 34805, 54512 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna.	179
<b>Gambar 4.111</b> Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 1183388, 534 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna.	180
<b>Gambar 4.112</b> Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 1183388, 534 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna.	180
<b>Gambar 4.113</b> Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna.	181
<b>Gambar 4.114</b> Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna.	181
<b>Gambar 4.115</b> Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 1183388, 534 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna.	182
<b>Gambar 4.116</b> Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 1183388, 534 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna.	182



- Gambar 4.117** Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 131487, 6149 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.  
..... 183
- Gambar 4.118** Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 131487, 6149 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.  
..... 183
- Gambar 4.119** Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388, 534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.  
..... 184
- Gambar 4.120** Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388, 534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.  
..... 184
- Gambar 4.121** Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 394462, 8447 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.  
..... 185
- Gambar 4.122** Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 394462, 8447 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.  
..... 185
- Gambar 4.123** Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 2366777, 068 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.  
..... 186

<b>Gambar 4.124</b> Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b$ maks. = 2366777, 068 kg/m akibat gempa Elcentro. .....	186
<b>Gambar 4.125</b> Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b$ min. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro. .....	187
<b>Gambar 4.126</b> Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b$ min. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro. .....	187
<b>Gambar 4.127</b> Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b$ maks. = 131487, 6149 kg/m akibat gempa Elcentro. .....	188
<b>Gambar 4.128</b> Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b$ maks. = 131487, 6149 kg/m akibat gempa Elcentro. .....	188
<b>Gambar 4.129</b> Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b$ min. = 47335, 54136 kg/m akibat gempa Elcentro. .....	189
<b>Gambar 4.130</b> Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b$ min. = 47335, 54136 kg/m akibat gempa Elcentro. .....	189

- Gambar 4.131** Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro. .... 190
- Gambar 4.132** Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro. .... 190
- Gambar 4.133** Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  min. = 73961, 78338 kg/m akibat gempa Bucharest. .... 191
- Gambar 4.134** Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  min. = 73961, 78338 kg/m akibat gempa Bucharest. .... 191
- Gambar 4.135** Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 197231, 4223 kg/m akibat gempa Bucharest. .... 192
- Gambar 4.136** Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 197231, 4223 kg/m akibat gempa Bucharest. .... 192
- Gambar 4.137** Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  min. = 118338, 8534 kg/m akibat gempa Bucharest. .... 193

- Gambar 4.138** Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  min. = 118338, 8534 kg/m akibat gempa Bucharest..... 193
- Gambar 4.139** Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest..... 194
- Gambar 4.140** Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest..... 194
- Gambar 4.141** Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  min. = 147923, 5668 kg/m akibat gempa Bucharest..... 195
- Gambar 4.142** Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  min. = 147923, 5668 kg/m akibat gempa Bucharest..... 195
- Gambar 4.143** Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest..... 196
- Gambar 4.144** Grafik perbandingan simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest..... 196

- Gambar 4.145** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat maksimum akibat 3 gempa struktur 4 tingkat dengan dan tanpa *base isolation*. ..... 216
- Gambar 4.146** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat maksimum akibat 3 gempa struktur 7 tingkat dengan dan tanpa *base isolation*. ..... 216
- Gambar 4.147** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat maksimum akibat 3 gempa struktur 10 tingkat dengan dan tanpa *base isolation*. ..... 217
- Gambar 4.148** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 34805,54512 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna. .... 218
- Gambar 4.149** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388,534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna. .... 218
- Gambar 4.150** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 78892,56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna. .... 219
- Gambar 4.151** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388,534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna. .... 219
- Gambar 4.152** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 131487,6149 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna. .... 220

- Gambar 4.153** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa Koyna.  
..... 220
- Gambar 4.154** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  min. = 394462, 8447 kg/m akibat gempa Elcentro.  
..... 221
- Gambar 4.155** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 2366777, 068 kg/m akibat gempa Elcentro.  
..... 221
- Gambar 4.156** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  min. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro.  
..... 222
- Gambar 4.157** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 131487, 6149 kg/m akibat gempa Elcentro.  
..... 222
- Gambar 4.158** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  min. = 47335, 54136 kg/m akibat gempa Elcentro.  
..... 223
- Gambar 4.159** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro.  
..... 223

<b>Gambar 4.160</b> Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 73961, 78338 \text{ kg/m}$ akibat gempa Bucharest.	224
<b>Gambar 4.161</b> Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 197231, 4223 \text{ kg/m}$ akibat gempa Bucharest.	224
<b>Gambar 4.162</b> Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 118338, 8534 \text{ kg/m}$ akibat gempa Bucharest.	225
<b>Gambar 4.163</b> Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 591694, 267 \text{ kg/m}$ akibat gempa Bucharest.	225
<b>Gambar 4.164</b> Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 147923, 5668 \text{ kg/m}$ akibat gempa Bucharest.	226
<b>Gambar 4.165</b> Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 591694, 267 \text{ kg/m}$ akibat gempa Bucharest.	226
<b>Gambar 4.166</b> Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat kumulatif maksimum akibat 3 gempa struktur 4 tingkat dengan dan tanpa <i>base isolation</i> .	244

- Gambar 4.167** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat kumulatif maksimum akibat 3 gempa struktur 7 tingkat dengan dan tanpa *base isolation*.  
..... 244
- Gambar 4.168** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat kumulatif maksimum akibat 3 gempa struktur 10 tingkat dengan dan tanpa *base isolation*.  
..... 245
- Gambar 4.169** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 34805,54512 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna. .... 246
- Gambar 4.170** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388,534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna. .... 246
- Gambar 4.171** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 78892,56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna. .... 247
- Gambar 4.172** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388,534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna. .... 247
- Gambar 4.173** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat kumulatif maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 131487,6149 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna. .... 248



- Gambar 4.174** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat kumulatif maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa Koyna..... 248
- Gambar 4.175** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  min. = 394462, 8447 kg/m akibat gempa Elcentro. .... 249
- Gambar 4.176** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 2366777, 068 kg/m akibat gempa Elcentro..... 249
- Gambar 4.177** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  min. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro. .... 250
- Gambar 4.178** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 131487, 6149 kg/m akibat gempa Elcentro..... 250
- Gambar 4.179** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat kumulatif maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  min. = 47335, 54136 kg/m akibat gempa Elcentro..... 251
- Gambar 4.180** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat kumulatif maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro..... 251

- Gambar 4.181** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 73961, 78338 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest..... 252
- Gambar 4.182** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 197231, 4223 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest..... 252
- Gambar 4.183** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 118338, 8534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest..... 253
- Gambar 4.184** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 591694, 267 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest..... 253
- Gambar 4.185** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat kumulatif maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 147923, 5668 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest..... 254
- Gambar 4.186** Grafik perbandingan gaya horisontal tingkat kumulatif maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 591694, 267 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest..... 254
- Gambar 4.187** Grafik perbandingan momen guling maksimum akibat 3 gempa struktur 4 tingkat dengan dan tanpa *base isolation*..... 273
- Gambar 4.188** Grafik perbandingan momen guling maksimum akibat 3 gempa struktur 7 tingkat dengan dan tanpa *base isolation*..... 273

- Gambar 4.189** Grafik perbandingan momen guling maksimum akibat 3 gempa struktur 10 tingkat dengan dan tanpa *base isolation*. ..... 274
- Gambar 4.190** Grafik perbandingan momen guling maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 34805,54512 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna..... 275
- Gambar 4.191** Grafik perbandingan momen guling maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388,534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna..... 275
- Gambar 4.192** Grafik perbandingan momen guling maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 78892,56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna..... 276
- Gambar 4.193** Grafik perbandingan momen guling maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388,534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna..... 276
- Gambar 4.194** Grafik perbandingan momen guling maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 131487,6149 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna..... 277
- Gambar 4.195** Grafik perbandingan momen guling maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388,534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna..... 277
- Gambar 4.196** Grafik perbandingan momen guling maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 394462,8447 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.... 278
- Gambar 4.197** Grafik perbandingan momen guling maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 2366777,068 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro..  
..... 278
- Gambar 4.198** Grafik perbandingan momen guling maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 78892,56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.... 279

<b>Gambar 4.199</b> Grafik perbandingan momen guling maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b$ maks. = 131487, 6149 kg/m akibat gempa Elcentro..	279
<b>Gambar 4.200</b> Grafik perbandingan momen guling maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b$ min. = 47335, 54136 kg/m akibat gempa Elcentro....	280
<b>Gambar 4.201</b> Grafik perbandingan momen guling maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b$ maks. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro..	280
<b>Gambar 4.202</b> Grafik perbandingan momen guling maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b$ min. = 73961, 78338 kg/m akibat gempa Bucharest.	281
<b>Gambar 4.203</b> Grafik perbandingan momen guling maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b$ maks. = 197231, 4223 kg/m akibat gempa Bucharest.	281
<b>Gambar 4.204</b> Grafik perbandingan momen guling maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b$ min. = 118338, 8534 kg/m akibat gempa Bucharest.	282
<b>Gambar 4.205</b> Grafik perbandingan momen guling maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b$ maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest.	282

<b>Gambar 4.206</b> Grafik perbandingan momen guling maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 147923,5668 \text{ kg/m}$ akibat gempa Bucharest. .....	283
<b>Gambar 4.207</b> Grafik perbandingan momen guling maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 591694,267 \text{ kg/m}$ akibat gempa Bucharest. .....	283
<b>Gambar 4.208</b> Perbandingan <i>fundamental periode</i> struktur 4, 7, 10 dengan dan tanpa <i>base isolation</i> .....	302

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kapasitas simpan energi beberapa material (Syrotiuk, 1986:244)	17
Tabel 3.1	Dimensi dan profil baja .....	46
Tabel 3.2	Data kandungan frekuensi beban gempa (A/V rasio) .....	48
Tabel 4.1	Hasil perhitungan beban merata pada struktur dengan <i>base isolation</i> .....	53
Tabel 4.2	Hasil perhitungan beban merata pada struktur tanpa <i>base isolation</i> ( <i>fixed base</i> ) .....	54
Tabel 4.3	Hasil perhitungan massa struktur dengan <i>base isolation</i> .....	55
Tabel 4.4	Hasil perhitungan massa struktur tanpa <i>base isolation</i> ( <i>fixed base</i> ) .....	56
Tabel 4.5	Hasil perhitungan kekakuan struktur dengan <i>base isolation</i> .....	57
Tabel 4.6	Hasil perhitungan kekakuan struktur tanpa <i>base isolation</i> ( <i>fixed base</i> ) .....	58
Tabel 4.7	Perbandingan nilai <i>mode shape</i> dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 4 tingkat .....	142
Tabel 4.8	Perbandingan nilai <i>mode shape</i> dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 7 tingkat .....	142
Tabel 4.9	Perbandingan nilai <i>mode shape</i> dengan dan tanpa <i>base isolation</i> struktur 10 tingkat .....	143

<b>Tabel 4.10</b>	Simpanan maksimum struktur 4 tingkat dengan <i>base isolation</i> , $K_b = 1183388, 534 \text{ kg/m}$ akibat 3 gempa .....	158
<b>Tabel 4.11</b>	Simpanan maksimum struktur 4 tingkat tanpa <i>base isolation</i> , ....akibat 3 gempa .....	158
<b>Tabel 4.12</b>	Simpanan maksimum struktur 7 tingkat dengan <i>base isolation</i> , $K_b = 1183388, 534 \text{ kg/m}$ akibat 3 gempa .....	159
<b>Tabel 4.13</b>	Simpanan maksimum struktur 7 tingkat tanpa <i>base isolation</i> , ....akibat 3 gempa .....	159
<b>Tabel 4.14</b>	Simpanan maksimum struktur 10 tingkat dengan <i>base isolation</i> , $K_b = 1183388, 534 \text{ kg/m}$ akibat 3 gempa .....	160
<b>Tabel 4.15</b>	Simpanan maksimum struktur 10 tingkat tanpa <i>base isolation</i> , ....akibat 3 gempa .....	161
<b>Tabel 4.16</b>	Perbandingan Simpanan maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 34805, 54512 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna .....	162
<b>Tabel 4.17</b>	Perbandingan Simpanan maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 1183388, 534 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna .....	162
<b>Tabel 4.18</b>	Perbandingan Simpanan maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna .....	163
<b>Tabel 4.19</b>	Perbandingan Simpanan maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 1183388, 534 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna .....	163

<b>Tabel 4.20</b>	Perbandingan Simpangan maksimum struktur 10 tingkat dengan Kb min. = 131487, 6149 kg/m akibat gempa Koyna .....	164
<b>Tabel 4.21</b>	Perbandingan Simpangan maksimum struktur 10 tingkat dengan Kb maks. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa Koyna .....	165
<b>Tabel 4.22</b>	Perbandingan Simpangan maksimum struktur 4 tingkat dengan ..Kb min. = 394462, 8447 kg/m akibat gempa Elcentro .....	166
<b>Tabel 4.23</b>	Perbandingan Simpangan maksimum struktur 4 tingkat dengan ..Kb maks. = 2366777, 068 kg/m akibat gempa Elcentro .....	166
<b>Tabel 4.24</b>	Perbandingan Simpangan maksimum struktur 7 tingkat dengan ..Kb min. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro .....	167
<b>Tabel 4.25</b>	Perbandingan Simpangan maksimum struktur 7 tingkat dengan ..Kb maks. = 131487, 6149 kg/m akibat gempa Elcentro .....	167
<b>Tabel 4.26</b>	Perbandingan Simpangan maksimum struktur 10 tingkat dengan Kb min. = 47335, 54136 kg/m akibat gempa Elcentro .....	168
<b>Tabel 4.27</b>	Perbandingan Simpangan maksimum struktur 10 tingkat dengan Kb maks. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro .....	169
<b>Tabel 4.28</b>	Perbandingan Simpangan maksimum struktur 4 tingkat dengan ..Kb min. = 73961, 78338 kg/m akibat gempa Bucharest .....	170
<b>Tabel 4.29</b>	Perbandingan Simpangan maksimum struktur 4 tingkat dengan ..Kb maks. = 197231, 4223 kg/m akibat gempa Bucharest .....	170
<b>Tabel 4.30</b>	Perbandingan Simpangan maksimum struktur 7 tingkat dengan ..Kb min. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa Bucharest .....	171



Tabel 4.31	Perbandingan Simpangan maksimum struktur 7 tingkat dengan Kb maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest.....	171
Tabel 4.32	Perbandingan Simpangan maksimum struktur 10 tingkat dengan Kb min. = 147923, 5668 kg/m akibat gempa Bucharest.....	172
Tabel 4.33	Perbandingan Simpangan maksimum struktur 10 tingkat dengan Kb maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest.....	173
Tabel 4.34	Simpangan Antar tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) struktur 4 tingkat dengan base isolation, Kb = 1183388, 534 kg/m akibat 3 gempa.....	197
Tabel 4.35	Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) struktur 4 tingkat tanpa base isolation akibat 3 gempa .....	197
Tabel 4.36	Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) struktur 7 tingkat dengan base isolation, Kb = 1183388, 534 kg/m akibat 3 gempa.....	198
Tabel 4.37	Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) struktur 7 tingkat tanpa base isolation akibat 3 gempa .....	198
Tabel 4.38	Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) struktur 10 tingkat dengan base isolation, Kb = 1183388, 534 kg/m akibat 3 gempa .....	199
Tabel 4.39	Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) struktur 10 tingkat tanpa base isolation akibat 3 gempa .....	200
Tabel 4.40	Perbandingan Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) maksimum struktur 4 tingkat dengan Kb min. = 34805, 54512 kg/m akibat gempa Koyna .....	201

<b>Tabel 4.41</b>	Perbandingan Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b$ maks. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa Koyna.....	201
<b>Tabel 4.42</b>	Perbandingan Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b$ min. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Koyna .....	202
<b>Tabel 4.43</b>	Perbandingan Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b$ maks. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa Koyna.....	202
<b>Tabel 4.44</b>	Perbandingan Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b$ min. = 131487, 6149 kg/m akibat gempa Koyna.....	203
<b>Tabel 4.45</b>	Perbandingan Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b$ maks. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa Koyna.....	204
<b>Tabel 4.46</b>	Perbandingan Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b$ min. = 394462, 8447 kg/m akibat gempa Elcentro .....	205
<b>Tabel 4.47</b>	Perbandingan Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b$ maks. = 2366777, 068 kg/m akibat gempa Elcentro.....	205

<b>Tabel 4.48</b>	Perbandingan Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b$ min. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro .....	206
<b>Tabel 4.49</b>	Perbandingan Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b$ maks. = 131487, 6149 kg/m akibat gempa Elcentro.....	206
<b>Tabel 4.50</b>	Perbandingan Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b$ min. = 47335, 54136 kg/m akibat gempa Elcentro.....	207
<b>Tabel 4.51</b>	Perbandingan Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b$ maks. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro.....	208
<b>Tabel 4.52</b>	Perbandingan Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b$ min. = 73961, 78338 kg/m akibat gempa Bucharest.....	209
<b>Tabel 4.53</b>	Perbandingan Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b$ maks. = 197231, 4223 kg/m akibat gempa Bucharest .....	209
<b>Tabel 4.54</b>	Perbandingan Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b$ min. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa Bucharest.....	210

<b>Tabel 4.55</b>	Perbandingan Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b$ maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest.....	210
<b>Tabel 4.56</b>	Perbandingan Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b$ min. = 147923, 5668 kg/m akibat gempa Bucharest .....	211
<b>Tabel 4.57</b>	Perbandingan Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b$ maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest .....	212
<b>Tabel 4.58</b>	Gaya Horisontal Tingkat struktur 4 tingkat dengan <i>base isolation</i> , $K_b$ = 1183388, 534 kg/m akibat 3 gempa .....	227
<b>Tabel 4.59</b>	Gaya Horisontal Tingkat struktur 4 tingkat tanpa <i>base isolation</i> akibat 3 gempa .....	227
<b>Tabel 4.60</b>	Gaya Horisontal Tingkat struktur 7 tingkat dengan <i>base isolation</i> , $K_b$ = 1183388, 534 kg/m akibat 3 gempa .....	228
<b>Tabel 4.61</b>	Gaya Horisontal Tingkat struktur 7 tingkat tanpa <i>base isolation</i> akibat 3 gempa .....	228
<b>Tabel 4.62</b>	Gaya Horisontal Tingkat struktur 10 tingkat dengan <i>base isolation</i> , $K_b$ = 1183388, 534 kg/m akibat 3 gempa .....	229
<b>Tabel 4.63</b>	Gaya Horisontal Tingkat struktur 10 tingkat tanpa <i>base isolation</i> akibat 3 gempa.....	230

- Tabel 4.64** Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan Kb min. = 34805, 54512 kg/m akibat gempa Koyna..... 231
- Tabel 4.65** Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan Kb maks. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa Koyna..... 231
- Tabel 4.66** Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan Kb min. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Koyna..... 232
- Tabel 4.67** Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan Kb maks. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa Koyna..... 232
- Tabel 4.68** Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan Kb min. = 131487, 6149 kg/m akibat gempa Koyna..... 233
- Tabel 4.69** Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan Kb maks. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa Koyna..... 234
- Tabel 4.70** Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan Kb min. = 394462, 8447 kg/m akibat gempa Elcentro..... 235
- Tabel 4.71** Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan Kb maks. = 2366777, 068 kg/m akibat gempa Elcentro... 235
- Tabel 4.72** Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan Kb min. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro..... 236
- Tabel 4.73** Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan Kb maks. = 131487, 6149 kg/m akibat gempa Elcentro... 236
- Tabel 4.74** Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan Kb min. = 47335, 54136 kg/m akibat gempa Elcentro..... 237

<b>Tabel 4.75</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan Kb maks. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro...	238
<b>Tabel 4.76</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan Kb min. = 73961, 78338 kg/m akibat gempa Bucharest ..	239
<b>Tabel 4.77</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan Kb maks. = 197231, 4223 kg/m akibat gempa Bucharest	239
<b>Tabel 4.78</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan Kb min. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa Bucharest ..	240
<b>Tabel 4.79</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan Kb maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest ..	240
<b>Tabel 4.80</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan Kb min. = 147923, 5668 kg/m akibat gempa Bucharest ..	241
<b>Tabel 4.81</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan Kb maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest ..	242
<b>Tabel 4.82</b>	Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif struktur 4 tingkat dengan menggunakan <i>base isolation</i> , akibat 3 gempa.....	255
<b>Tabel 4.83</b>	Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif struktur 4 tingkat tanpa menggunakan <i>base isolation</i> akibat 3 gempa.....	255
<b>Tabel 4.84</b>	Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif struktur 7 tingkat dengan menggunakan <i>base isolation</i> , akibat 3 gempa.....	256
<b>Tabel 4.85</b>	Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif struktur 7 tingkat tanpa menggunakan <i>base isolation</i> akibat 3 gempa.....	256

<b>Tabel 4.86</b>	Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif struktur 10 tingkat dengan menggunakan <i>base isolation</i> , akibat 3 gempa .....	257
<b>Tabel 4.87</b>	Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif struktur 10 tingkat tanpa menggunakan <i>base isolation</i> akibat 3 gempa.....	257
<b>Tabel 4.88</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 34805,54512 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna .....	258
<b>Tabel 4.89</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 1183388,534 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna .....	258
<b>Tabel 4.90</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 78892,56893 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna .....	259
<b>Tabel 4.91</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 1183388,534 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna .....	259
<b>Tabel 4.92</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 131487,6149 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna .....	260
<b>Tabel 4.93</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 1183388,534 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna .....	261

<b>Tabel 4.94</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b$ min. = 394462, 8447 kg/m akibat gempa Elcentro .....	262
<b>Tabel 4.95</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b$ maks. = 2366777, 068 kg/m akibat gempa Elcentro .....	262
<b>Tabel 4.96</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b$ min. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro .....	263
<b>Tabel 4.97</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b$ maks. = 131487, 6149 kg/m akibat gempa Elcentro .....	263
<b>Tabel 4.98</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b$ min. = 47335, 54136 kg/m akibat gempa Elcentro .....	264
<b>Tabel 4.99</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b$ maks. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro .....	265
<b>Tabel 4.100</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b$ min. = 73961, 78338 kg/m akibat gempa Bucharest .....	266



<b>Tabel 4.101</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b$ maks. = 197231, 4223 kg/m akibat gempa Bucharest .....	266
<b>Tabel 4.102</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b$ min. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa Bucharest .....	267
<b>Tabel 4.103</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b$ maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest .....	267
<b>Tabel 4.104</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b$ min. = 147923, 5668 kg/m akibat gempa Bucharest .....	268
<b>Tabel 4.105</b>	Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b$ maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest .....	269
<b>Tabel 4.106</b>	Momen Guling struktur 4 tingkat dengan <i>base isolation</i> , $K_b$ = 1183388, 534 kg/m akibat 3 gempa .....	284
<b>Tabel 4.107</b>	Momen Guling struktur 4 tingkat tanpa menggunakan <i>base isolation</i> akibat 3 gempa .....	284
<b>Tabel 4.108</b>	Momen Guling struktur 7 tingkat dengan <i>base isolation</i> , $K_b$ = 1183388, 534 kg/m akibat 3 gempa .....	285

Tabel 4.109	Momen Guling struktur 7 tingkat tanpa menggunakan <i>base isolation</i> akibat 3 gempa.....	285
Tabel 4.110	Momen Guling struktur 10 tingkat dengan <i>base isolation</i> , $K_b = 1183388, 534 \text{ kg/m}$ akibat 3 gempa .....	286
Tabel 4.111	Momen Guling struktur 10 tingkat tanpa menggunakan <i>base isolation</i> akibat 3 gempa.....	287
Tabel 4.112	Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 34805, 54512 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna .....	288
Tabel 4.113	Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 1183388, 534 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna .....	288
Tabel 4.114	Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna .....	289
Tabel 4.115	Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 7 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 1183388, 534 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna .....	289
Tabel 4.116	Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 131487, 6149 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna .....	290
Tabel 4.117	Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 10 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 1183388, 534 \text{ kg/m}$ akibat gempa Koyna .....	291
Tabel 4.118	Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b \text{ min.} = 394462, 8447 \text{ kg/m}$ akibat gempa Elcentro .....	292
Tabel 4.119	Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 4 tingkat dengan $K_b \text{ maks.} = 2366777, 068 \text{ kg/m}$ akibat gempa Elcentro .....	292

<b>Tabel 4.120</b>	Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 7 tingkat dengan Kb min. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro .....	293
<b>Tabel 4.121</b>	Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 7 tingkat dengan Kb maks. = 131487, 6149 kg/m akibat gempa Elcentro .....	293
<b>Tabel 4.122</b>	Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 10 tingkat dengan Kb min. = 47335, 54136 kg/m akibat gempa Elcentro .....	294
<b>Tabel 4.123</b>	Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 10 tingkat dengan Kb maks. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro .....	295
<b>Tabel 4.124</b>	Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 4 tingkat dengan Kb min. = 73961, 78338 kg/m akibat gempa Bucharest.....	296
<b>Tabel 4.125</b>	Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 4 tingkat dengan Kb maks. = 197231, 4223 kg/m akibat gempa Bucharest.....	296
<b>Tabel 4.126</b>	Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 7 tingkat dengan Kb min. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa Bucharest.....	297
<b>Tabel 4.127</b>	Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 7 tingkat dengan Kb maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest.....	297
<b>Tabel 4.128</b>	Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 10 tingkat dengan Kb min. = 147923, 5668 kg/m akibat gempa Bucharest .....	298
<b>Tabel 4.129</b>	Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 10 tingkat dengan Kb maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest.....	299

## DAFTAR NOTASI

$b$	: lebar
$c$	: redaman
$C_b$	: redaman <i>base isolation</i>
$E$	: modulus elastisitas
$g$	: percepatan gravitasi
$h$	: tinggi
$I$	: inersia
$k$	: kekakuan
$K_b$	: kekakuan <i>base isolation</i>
$l$	: panjang
$m$	: massa
$m_b$	: massa <i>base isolation</i>
$t$	: waktu
$w$	: berat
$[C]$	: matriks redaman
$[K]$	: matriks kekakuan
$[M]$	: matriks massa
$P(t)$	: gaya luar
$\Delta P_i$	: intensitas pembebanan
$\Delta t$	: interval waktu
$\Delta y$	: perubahan simpangan
$\Delta \dot{y}$	: perubahan kecepatan
$\Delta \ddot{y}$	: perubahan percepatan

$M_G$	: momen guling ke-n
$F_i$	: gaya horisontal tingkat ke-n
$V$	: gaya horisontal tingkat kumulatif
$y$	: simpangan
$\Delta y$	: simpangan antar tingkat
$\dot{y}$	: kecepatan
$\ddot{y}$	: percepatan
$\ddot{y}_b$	: percepatan tanah
$\theta$	: sudut rotasi
$\dot{\lambda}$	: percepatan sudut
$\omega$	: frekuensi sudut
$\Phi$	: mode shape
$\xi$	: rasio redaman

## ABSTRAKSI

Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki perkembangan penduduk yang sangat pesat di dunia. Perkembangan penduduk yang pesat diiringi pula dengan perkembangan kebutuhan tempat tinggal dan bangunan gedung dengan struktur bertingkat tinggi yang pesat pula. Perkembangan struktur bertingkat tinggi memerlukan perlindungan yang besar terhadap pengguna dan pemakai yang ada didalamnya. Salah satu perlindungan adalah dengan memperhatikan efek dan akibat dari guncangan gempa bumi yang terjadi, yaitu dengan pemasangan isolasi dasar (base isolation). Isolasi dasar (base isolation) berfungsi meredam gempa bumi yang terjadi sehingga kerusakan baik jiwa dan struktur itu sendiri dapat dikurangi seminimal mungkin.

Struktur yang dipakai dalam penelitian ini adalah struktur baja karena struktur baja mempunyai massa dan kekakuan yang lebih kecil daripada struktur beton. Struktur baja tersebut diberikan perlakuan yaitu bagian struktur baja diberi perletakan isolasi dasar (base isolation) dibandingkan dengan struktur baja tanpa diberi isolasi dasar (base isolation) atau pondasi dianggap jepit penuh. Perlakuan tersebut dengan memvariasikan tinggi dari struktur baja, yaitu 4 tingkat, 7 tingkat dan 10 tingkat. Beban – beban dinamik berupa beban gempa diberikan dengan memvariasikan 3 beban gempa yaitu gempa koyna yang mempunyai frekuensi tinggi, gempa elcentro yang mempunyai frekuensi sedang dan gempa bucharest yang mempunyai frekuensi rendah. Perlakuan struktur yang diberikan akan diketahui tentang berbagai pola ragam goyangan (mode shape), simpangan netto, simpangan antar tingkat (interstorey drift), gaya horisontal tingkat, gaya horisontal tingkat kumulatif dan momen guling.

Hasil dari penelitian dan perlakuan struktur dapat diketahui tentang fungsi dasar dari isolasi dasar (base isolation) yaitu sebagai peredam terhadap berbagai gempa yang terjadi. Peredaman dapat diketahui dengan membandingkan struktur dengan menggunakan base isolation dan tanpa base isolation yaitu simpangan netto lebih besar tetapi selisih simpangan netto pertingkat sangat kecil bahkan mendekati nol. Sedangkan pengaruh base isolation terhadap simpangan antar tingkat (interstorey drift), gaya horisontal tingkat, gaya horisontal tingkat kumulatif dan momen guling lebih kecil dibandingkan dengan struktur tanpa menggunakan base isolation. Pengaruh ini juga dapat diketahui dengan membandingkan pengaruh gempa frekuensi tinggi dan frekuensi sedang yang sangat baik jika base isolation dipasang pada kondisi ini, dibandingkan dengan pemasangan base isolation pada daerah gempa dengan frekuensi rendah. Dengan diketahuinya keuntungan dan kerugian pemasangan isolasi dasar (base isolation) dapat dijadikan metode teknologi alternatif peredaman gempa bagi bangsa Indonesia sehingga dapat direalisasikan pada tahun-tahun yang akan datang.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang sangat berbahaya bagi kehidupan manusia. Bahaya tersebut tidak langsung dari gempa bumi, tetapi diakibatkan dari guncangan yang timbul akibat gempa bumi tersebut sehingga dapat merusakkan bangunan-bangunan yang ada di atasnya. Indonesia termasuk salah satu negara rawan gempa bumi tektonik karena terletak di daerah pertemuan tiga buah lempeng tektonik utama, yakni lempeng Indo-Australia di sebelah selatan, lempeng Eurasia di sebelah Utara dan lempeng Pasifik di sebelah timur. Pergerakan relatif antar lempeng tersebut mengakibatkan Indonesia mempunyai tingkat aktifitas seismik yang cukup tinggi, sehingga menuntut bangunan-bangunan di Indonesia yang tahan akan bahaya gempa sebagai akibat aktifitas seismik tersebut.

Untuk membuat bangunan tidak rusak akibat gempa pada dasarnya dapat dilakukan dengan tiga prinsip utama, yaitu memperkuat bangunan, memperingan bangunan sehingga gaya gempa kecil, memberi peredam yang dipasang pada struktur bangunan yang berfungsi sebagai pengendali respon (simpangan) gempa.

Prinsip dengan peredam ini yang dibahas lebih jauh dalam penelitian ini, karena redaman penting dalam penyerapan energi yang diakibatkan oleh gempa bumi. Redaman dapat mengurangi simpangan gempa, sehingga bangunan di atasnya dapat menerima simpangan gempa lebih kecil dibandingkan dengan tanpa menggunakan redaman. Secara garis besar, usaha-usaha yang dilakukan untuk memberikan redaman pada suatu bangunan, yaitu :

- a. Pembuatan material yang memiliki redaman tinggi.
- b. Memasang alat peredam.

Alat peredam tersebut dibagi menjadi dua macam yaitu alat peredaman aktif dan alat peredaman pasif. Peredaman aktif dibuat untuk mengontrol tingkah laku elemen dengan menggunakan peralatan mesin. Peralatan tersebut diantaranya adalah memakai *high-speed electro-hydraulic rams* yang dikontrol dengan seismograph, *Active Mass Damper*, *Active Tendon*

El Centro belum dapat memberikan hasil yang dapat mewakili percepatan gempa yang lain sehingga penelitian yang dilakukan kurang akurat.

Imam dan Hafizh (2003) meneliti tentang pengaruh penggunaan pengaku (*bracing*) terhadap respon elastik struktur baja. Penggunaan pengaku (*bracing*) kan menimbulkan rotasi pondasi serta efek terhadap parameter gempa adalah memperkecil simpangan netto dan simpangan antar tingkat, tetapi justru akan memperbesar rotasi pondasi, simpangan rotasi, simpangan total, gaya horisontal, gaya geser tingkat, dan momen guling. Kelemahan penggunaan *bracing* yang dapat menyebabkan rotasi pondasi, serta bangunan lebih kaku karena simpangan yang terjadi makin keatas makin kecil.

Pemasangan *base isolation* sangat baik pada frekuensi gempa yang tinggi dan masih aman untuk frekuensi gempa sedang. Sedangkan pemasangan *base isolation* pada frekuensi gempa rendah tidak aman, tetapi belum diketahui besarnya frekuensi gempa rendah yang termasuk kategori tidak aman. Seperti dijelaskan diatas bahwa penggunaan struktur baja dan beton berbeda pengaruhnya apabila digunakan *base isolation*. Perbedaan tersebut terletak pada periode getar struktur yang berbeda, dimana baja mempunyai periode getar struktur yang lebih panjang dari baja. Penelitian-penelitian sebelumnya membahas tentang penggunaan *base isolation* hanya terbatas pada struktur beton, sehingga diperlukan alternatif penelitian lain yaitu terhadap struktur baja. Seperti telah dijelaskan diatas bahwa struktur baja dan beton memiliki perbedaan sehingga berpengaruh terhadap penggunaan *base isolation* pada struktur baja dan beton. Dari paparan diatas maka diperlukan suatu penelitian tentang pengaruh penggunaan *base isolation* terhadap struktur baja bertingkat banyak dengan menggunakan berbagai variasi frekuensi gempa.

## 1.2 Rumusan Masalah

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

1. Berapa besar pengaruh penggunaan isolasi dasar (*base isolation*) pada suatu bangunan struktur baja bertingkat banyak sebagai pereduksi beban



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

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

Penelitian - penelitian tentang berbagai perilaku bangunan terhadap beban gempa dan pengaruh penggunaan base isolation telah banyak dilakukan. Penelitian tersebut sebagai referensi bagi perkembangan studi kegempaan yang ada di Indonesia. Penelitian-penelitian tersebut digunakan sebagai tinjauan pustaka adalah sebagai berikut :

**1. Paldi dan Hakim (2000) : “Performasi Bantalan Karet (*Rubber Bearing*) sebagai Redaman Pasif untuk Seismik Kontrol pada Bangunan Tahan Gempa” (Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil FTSP UII).**

**a) Permasalahan**

Gempa bumi yang terjadi akan menimbulkan berbagai energi yang berdampak bagi bangunan diatasnya. Energi gempa ini akan diredam dengan menggunakan performasi sistem isolasi dasar (*base isolation*).

**b) Pemecahan Permasalahan**

Mendesain bangunan dengan cara konvensional (*fixed base*), kemudian membandingkan hasil desain tersebut dengan bangunan yang menggunakan sistem isolasi dasar (*base isolation*). Parameter yang dikomparasi yaitu simpangan relatif, simpangan antar tingkat (*inter story drift*), gaya geser tingkat dan momen guling (*overturning moment*).

**c) Hasil Penelitian**

Meneliti performasi bantalan karet (*rubber bearing*) sebagai redaman pasif untuk seismik kontrol pada bangunan tahan gempa dan telah membuat kesimpulan bahwa parameter - parameter seismik ternyata tereduksi secara signifikan, berupa simpangan relatif struktur terhadap pondasi (20,64 %), terhadap pelat dasar (76,43 %), *interstory drift* (59,67 %), gaya geser tingkat (82,52 %), dan momen guling (76,17 %).

**2. Dian Fizaily dan Widyastuti (2002) : “Perletakan Sendi Plastis pada Struktur Beton dengan Analisis Beban Statik Ekuivalen pada Bangunan Bertingkat Sembilan dengan Dua Bentang yang Menggunakan Base Isolation (*Rubber Bearing*)” (Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil FTSP UII).**

**a) Permasalahan**

Perilaku dan perletakan sendi plastis pada suatu struktur beton bertulang diperlukan suatu analisis sebagai sistem kontrol untuk mereduksi efek gempa.

**b) Pemecahan Permasalahan**

Dengan analisis struktur menggunakan program *SAP 2000* bertujuan mengidentifikasi letak sendi plastis pada struktur bangunan bertingkat banyak tahan gempa yang menggunakan *base isolation* berupa *rubber bearing*. Struktur yang digunakan sebagai model adalah beton bertulang bertingkat sembilan, dua dimensi (portal bidang) terdiri dari dua bentang dengan panjang bentang sembilan meter dan berada pada daerah gempa III, dengan kondisi tanah lunak. Perencanaan beban gempa rencana yang digunakan adalah analisis beban statik ekuivalen, bangunan berdaktilitas penuh, direncanakan tanpa menggunakan dinding geser, dianggap tidak terjadi efek torsi dan efek *P-delta* pada bangunan, *seismic control* dengan *base isolation* menggunakan kontrol redaman pasif berupa *rubber bearing* yang ditempatkan pada dasar kolom lantai pertama (*first story columns*).

**c) Hasil Penelitian**

Kesimpulan dari analisis mereka adalah lokasi sendi plastis pada setiap balok dari lantai satu sampai dengan lantai sembilan berada diluar jarak 2h dari muka tumpuan balok.

2. Pemilihan struktur bangunan menggunakan struktur rangka baja bertingkat banyak 4, 7, 10 tingkat (*open frame*).
3. Bangunan menggunakan sistem kontrol pasif yaitu digunakan *rubber bearing* sebagai *base isolation*, dan data-data yang diperlukan dipakai dari data *base isolation* yang digunakan.
4. Membandingkan bangunan dengan *base isolation* dan bangunan tanpa *base isolation*.
5. Untuk mendukung perhitungan, digunakan program *Microsoft Visual Basic 6.0*.

### 2.3 Pengertian *Base Isolation*

Salah satu sistem kontrol gempa yang popularitasnya makin meningkat adalah dengan cara mengisolasi bangunan atas terhadap pondasi bangunan tersebut dengan materi tertentu atau biasa disebut isolasi dasar (*base isolation*).

Isolasi dasar (*base isolation*) adalah suatu cara perlindungan bangunan gempa bumi terhadap getaran gempa bumi. Pada dasarnya, cara perlindungan tersebut dicapai melalui pengurangan getaran gempa bumi kearah horisontal oleh suatu sistem sehingga memungkinkan bangunan untuk bergerak bebas saat berlangsung gempa bumi tanpa tertahan langsung oleh pondasi. (Siswantoro & Buana, 1994, p.6).

Perlindungan bangunan dengan isolasi dasar dinilai lebih unggul dari peningkatan struktur bangunan secara konvensional (*fixed base*), karena sistem tersebut sekaligus dapat melindungi isi bangunan. Pada saat terjadi gempa bumi, bangunan tanpa *base isolation* cenderung terkena energi gempa secara langsung, sehingga mengakibatkan simpangan akibat gempa terhadap bangunan makin keatas makin besar membuat kerusakan yang terjadi sangat besar dan langsung berakibat pada struktur. Hal ini berbeda dengan bangunan yang menggunakan *base isolation*, pada saat terjadinya gempa bumi energi gempa bumi akan diterima oleh *base isolation*, dan simpangan yang terjadi akibat gempa terhadap bangunan diredam oleh *base isolation* sehingga simpangan terbesar terjadi pada *base isolation* tersebut.

*System, Active Bracing System, Active Variable Stiffness, Active Variable Damping*. Sedangkan peredaman pasif dibuat dengan menggunakan *base isolation* yang berupa *rubber bearing*.

Sistem *base isolation* sangat baik dipakai di daerah yang frekuensi getaran gempa yang tinggi dan pada kondisi tanah yang keras. Pemasangan *base isolation* sangat tepat pada kondisi ini karena *base isolation* memperpanjang waktu periode getar  $T$ . Jenis struktur sangat mempengaruhi penggunaan *base isolation*. Hal ini dapat dibedakan antara struktur beton bertulang dengan struktur baja. Perbedaan struktur baja dengan beton yaitu struktur baja memiliki berat lebih ringan dibandingkan beton yang menyebabkan defleksi baja lebih besar dari beton sehingga perlu dilakukan pengendalian yaitu dengan menggunakan *base isolation*. Penelitian tentang *base isolation* telah dilakukan oleh beberapa peneliti.

Pada penelitian *base isolation* terdahulu yang dilakukan Paldi dan Hakim (2000) yaitu performansi bantalan karet (*rubber bearing*) sebagai redaman pasif untuk seismik kontrol pada bangunan tahan gempa sangat berpengaruh terhadap parameter-parameter seismik yaitu simpangan relatif struktur terhadap pondasi, simpangan relatif terhadap pelat dasar, *interstory drift*, gaya geser tingkat, dan momen guling. Data percepatan tanah (*time history*) hanya diambil dari gempa El Centro.

Sedangkan penelitian *base isolation* yang dilakukan Dian Fizaily dan Widyastuti (2002) yang menganalisis perletakan sendi plastis pada struktur beton dengan bangunan bertingkat sembilan menggunakan *base isolation* (*rubber bearing*) diketahui tentang lokasi perletakan dari sendi plastis yang terbentuk. Data diambil kondisi tanah lunak (daerah wilayah gempa III). Penelitian ini dilakukan di lapangan terbuka tanpa memperhitungkan beban angin yang mempengaruhi nilai  $q_{ultimit}$ .

Penelitian *base isolation* lain yang dilakukan oleh Nugroho dan Budiyanto (2002) yaitu memvariasikan kekakuan *base isolation* untuk mencari simpangan relatif, simpangan antar tingkat, gaya geser dan momen guling. Bangunan tersebut kemudian dibandingkan dengan bangunan tanpa *base isolation*. Dengan memasukkan data percepatan tanah (*time history*) dari gempa

### 1.5 Lingkup Penelitian

Untuk memberikan hasil penelitian yang optimal dan kemudahan dalam perencanaan penelitian ini, maka diambil batasan - batasan sebagai berikut.

1. Analisa dan perhitungan struktur, diambil dari struktur rangka baja bertingkat banyak yaitu 4, 7, 10 tingkat (*open frame*).
2. Analisa massa struktur menggunakan sistem massa dianggap menggumpal pada satu titik (*lumped mass*).
3. Perhitungan kekakuan kolom struktur berdasarkan prinsip *Shear Building*.
4. Nilai kekakuan *base isolation* ( $K_b$ ) = 1183388, 534 kg/m, kekakuan horisontal tanah ( $K_h$ ) dan kekakuan putar tanah ( $K_r$ ) diabaikan.
5. Nilai redaman *base isolation* ( $C_b$ ) tergantung dari  $K_b$ , massa *base isolation*, *damping ratio* ( $\xi$ ) dan frekuensi sudut ( $\omega$ ). Sedangkan nilai redaman horisontal tanah ( $C_h$ ) dan redaman putar ( $C_r$ ) tanah diabaikan.
6. Massa *base isolation* sama dengan massa tingkat satu.
7. Kekakuan struktur dianggap pada kondisi linier elastis.
8. Besarnya redaman pada struktur dengan *base isolation* menggunakan redaman konstan, sedangkan pada struktur tanpa *base isolation* menggunakan redaman proporsional dengan massa (*mass proportional damping*).
9. Percepatan tanah diambil dari data gempa yang sudah ada pada kondisi *code level limit state*.
10. Percepatan gempa menggunakan percepatan tiga gempa yaitu gempa Koyna, Elcentro, dan Bucharest.
11. Perhitungan struktur menggunakan integrasi secara langsung menurut  $\beta$  – *Newmark* dengan formulasi untuk analisis linier elastik.
12. Pembuatan program dengan *Microsoft Visual Basic 6.0*.

material yang dapat menjepit secara kaku kolom dari suatu bangunan. Pada *Lumped Parameter Model* kekakuan dan redaman interaksi antara tanah dengan pondasi dimodel sebagai pegas dan *dashpot* (model redaman). Yang menjadi masalah adalah bahwa pemakaian *bracing* akan membuat struktur lebih kaku, sedangkan pada struktur yang kaku, penyaluran gaya horisontal akibat gempa oleh struktur ke pondasi menjadi lebih sempurna. Akibatnya potensi pondasi untuk berotasi menjadi lebih besar.

b) Pemecahan Permasalahan

Analisis dan perhitungan struktur, diambil dari struktur yang sudah ada (*open frame* dengan penambahan pengaku tipe X dan tipe V), analisa massa struktur menggunakan sistem massa dianggap menggumpal pada satu titik (*lumped mass*), kekakuan kolom struktur berdasarkan prinsip *shear building*, nilai redaman horisontal tanah ( $c_h$ ) dan redaman putar tanah ( $c_r$ ) ditetapkan sebesar  $c_h = 7264400 \text{ kg}\cdot\text{dt}/\text{m}$ ,  $c_r = 17878000 \text{ kg}\cdot\text{dt}/\text{rad}$ , dan kekakuan horisontal tanah ( $k_h$ ) =  $2,0420\text{E}+25 \text{ kg}/\text{m}$  dan  $2,0420\text{E}+08 \text{ kg}/\text{m}$ ; kekakuan putar tanah ( $k_r$ ) =  $1,1932\text{E}+25 \text{ kg}/\text{rad}$  dan  $1,19325\text{E}+09 \text{ kg}/\text{rad}$ , sedangkan kekakuan vertikal tanah diabaikan. Besarnya redaman menggunakan analisis redaman proporsional terhadap massa dan kekakuan (*mass and stiffness proportional damping*), percepatan tanah diambil dari data gempa Bucharest, El Centro, Koyna pada kondisi *Code Level Limit State* dengan percepatan maksimum  $70,4 \text{ cm}/\text{det}^2$ . Analisa dan perhitungan struktur menggunakan model bangunan dua dimensi dengan meninjau momen inersia berdasarkan sumbu terkuat, perhitungan struktur menggunakan integrasi secara langsung menurut  $\beta$ -*Newmark* dengan formulasi untuk analisis linier elastik, dan program digunakan *Microsoft Visual Basic 6.0*.

c) Hasil Penelitian

Hasil penelitian menjelaskan bahwa gempa dengan frekuensi rendah dalam hal ini gempa Bucharest dengan A/V rasio  $0,30595 \text{ g}/\text{m}/\text{dt}$  cenderung menyebabkan respon struktur lebih besar dibandingkan gempa El Centro

(gempa sedang) A/V rasio 1,04385 g/m/dt, dan gempa Koyna (gempa kuat) A/V rasio 3,46774 g/m/dt.

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

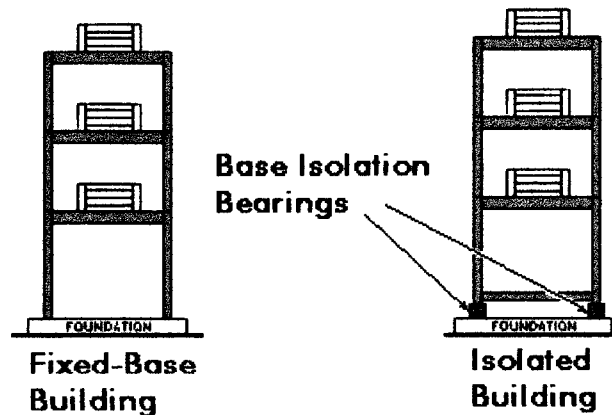
1. Kekurangan pada penelitian Paldi dan Hakim (2000)
  - Data percepatan gempa (*time history*) hanya digunakan data percepatan gempa El Centro.
2. Kekurangan pada penelitian Dian Fizaily dan Widyastuti (2002)
  - Bangunan pada wilayah gempa III, pada kondisi tanah lunak sehingga hasil yang tidak berlaku untuk semua jenis tanah.
  - Tidak memperhitungkan beban angin, padahal prakteknya di lapangan tidak dapat menghindari adanya angin dan mempengaruhi  $q_{ultimit}$ .
3. Kekurangan pada Nugroho dan Budiyanto
  - Data percepatan tanah (*time history*) hanya digunakan satu data yaitu data percepatan tanah akibat gempa El Centro sehingga hasil yang didapat kurang akurat.
4. Kekurangan pada Imam dan Hafizh (2003)
  - Bangunan hanya menggunakan bracing (struktur lebih kaku) tanpa *base isolation* yang sebenarnya membuat penyaluran gaya horisontal semakin sempurna, sehingga terjadi rotasi pondasi.

## 2.2 Keaslian Penelitian

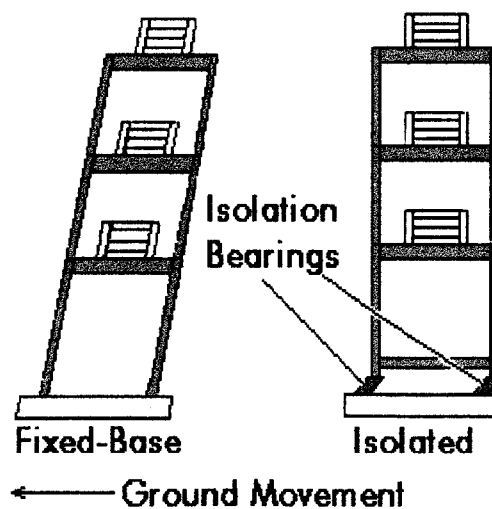
Berdasarkan kekurangan-kekurangan diatas maka pada penelitian selanjutnya akan menggabungkan metode-metode yang terdapat pada penelitian sebelumnya dengan memperbaiki kekurangan-kekurangannya, diantaranya :

1. Dalam analisis, dipakai beberapa riwayat gempa (*time history*), seperti gempa Bucharest, gempa El Centro, gempa Koyna hal tersebut dilakukan karena masing - masing gempa memiliki variasi kandungan frekuensi yang berbeda.

Akibat yang terjadi struktur di atasnya hanya mengalami penggoyangan relatif kecil (karena simpangan yang kecil) dan kerusakan bangunan yang ditimbulkan cenderung kecil pula. Perbandingan perilaku bangunan dengan dan tanpa *base isolation* apabila dikenai beban gempa dapat dilihat pada gambar 2.1. dibawah ini.



a.) bangunan sebelum terjadi gempa bumi



b.) Bangunan setelah terjadinya gempa bumi

**Gambar 2.1** Perbedaan bangunan tanpa dan dengan *base isolation*.



El Centro belum dapat memberikan hasil yang dapat mewakili percepatan gempa yang lain sehingga penelitian yang dilakukan kurang akurat.

Imam dan Hafizh (2003) meneliti tentang pengaruh penggunaan pengaku (*bracing*) terhadap respon elastik struktur baja. Penggunaan pengaku (*bracing*) kan menimbulkan rotasi pondasi serta efek terhadap parameter gempa adalah memperkecil simpangan netto dan simpangan antar tingkat, tetapi justru akan memperbesar rotasi pondasi, simpangan rotasi, simpangan total, gaya horisontal, gaya geser tingkat, dan momen guling. Kelemahan penggunaan *bracing* yang dapat menyebabkan rotasi pondasi, serta bangunan lebih kaku karena simpangan yang terjadi makin keatas makin kecil.

Pemasangan *base isolation* sangat baik pada frekuensi gempa yang tinggi dan masih aman untuk frekuensi gempa sedang. Sedangkan pemasangan *base isolation* pada frekuensi gempa rendah tidak aman, tetapi belum diketahui besarnya frekuensi gempa rendah yang termasuk kategori tidak aman. Seperti dijelaskan diatas bahwa penggunaan struktur baja dan beton berbeda pengaruhnya apabila digunakan *base isolation*. Perbedaan tersebut terletak pada periode getar struktur yang berbeda, dimana baja mempunyai periode getar struktur yang lebih panjang dari beton. Penelitian-penelitian sebelumnya membahas tentang penggunaan *base isolation* hanya terbatas pada struktur beton, sehingga diperlukan alternatif penelitian lain yaitu terhadap struktur baja. Seperti telah dijelaskan diatas bahwa struktur baja dan beton memiliki perbedaan sehingga berpengaruh terhadap penggunaan *base isolation* pada struktur baja dan beton. Dari paparan diatas maka diperlukan suatu penelitian tentang pengaruh penggunaan *base isolation* terhadap struktur baja bertingkat banyak dengan menggunakan berbagai variasi frekuensi gempa.

## 1.2 Rumusan Masalah

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

1. Berapa besar pengaruh penggunaan isolasi dasar (*base isolation*) pada suatu bangunan struktur baja bertingkat banyak sebagai pereduksi beban

gempa dibandingkan dengan tanpa menggunakan isolasi dasar terhadap respon keefektifan bangunan (simpangan, *interstorey drift*, gaya horisontal tingkat, gaya horisontal tingkat kumulatif dan momen guling), dan membandingkan *mode shape* antara struktur dengan dan tanpa *base isolation*.

2. Berapa besar pengaruh penggunaan parameter gerakan tanah, yaitu frekuensi dan percepatan akibat gempa terhadap waktu periode getar  $T$ .

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka tujuan penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan isolasi dasar (*base isolation*) pada suatu bangunan struktur baja bertingkat banyak sebagai pereduksi beban gempa dibandingkan dengan tanpa menggunakan isolasi dasar ditinjau dari respon keefektifan bangunan (simpangan, *interstorey drift*, gaya horisontal tingkat, gaya horisontal tingkat kumulatif, momen guling).
2. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan parameter gerakan tanah, yaitu frekuensi, percepatan akibat gempa terhadap waktu periode getar  $T$ .

### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang diharapkan adalah setelah diketahui kemampuan isolasi dasar (*base isolation*) dalam meredam beban gempa, diharapkan sistem ini dapat dijadikan metode alternatif bagi redaman dalam rangka mengendalikan simpangan struktur bangunan terhadap gempa bumi dan diharapkan dapat direalisasikan pada bangunan-bangunan gedung yang ada di Indonesia. Penggunaan isolasi dasar khususnya yang menggunakan bantalan karet (*rubber bearing*) dapat digunakan untuk bangunan-bangunan berfungsi penting apabila saat terjadi gempa bumi seperti rumah sakit, sekolah, bangunan kimia, pembangkit tenaga listrik dan lainnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu

Penelitian - penelitian tentang berbagai perilaku bangunan terhadap beban gempa dan pengaruh penggunaan base isolation telah banyak dilakukan. Penelitian tersebut sebagai referensi bagi perkembangan studi kegempaan yang ada di Indonesia. Penelitian-penelitian tersebut digunakan sebagai tinjauan pustaka adalah sebagai berikut :

**1. Paldi dan Hakim (2000) : “Performasi Bantalan Karet (*Rubber Bearing*) sebagai Redaman Pasif untuk Seismik Kontrol pada Bangunan Tahan Gempa” (Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil FTSP UII).**

**a) Permasalahan**

Gempa bumi yang terjadi akan menimbulkan berbagai energi yang berdampak bagi bangunan di atasnya. Energi gempa ini akan diredam dengan menggunakan performasi sistem isolasi dasar (*base isolation*).

**b) Pemecahan Permasalahan**

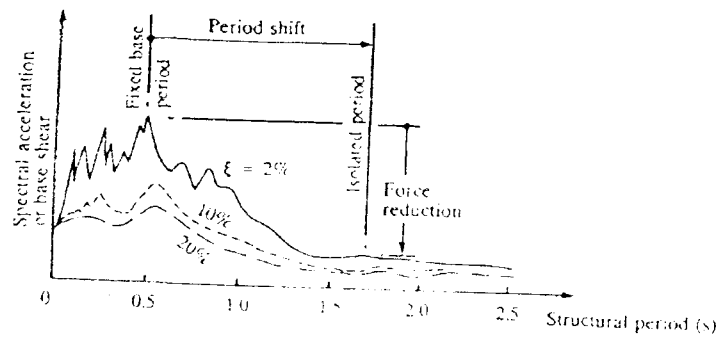
Mendesain bangunan dengan cara konvensional (*fixed base*), kemudian membandingkan hasil desain tersebut dengan bangunan yang menggunakan sistem isolasi dasar (*base isolation*). Parameter yang dikomparasi yaitu simpangan relatif, simpangan antar tingkat (*inter story drift*), gaya geser tingkat dan momen guling (*overturning moment*).

**c) Hasil Penelitian**

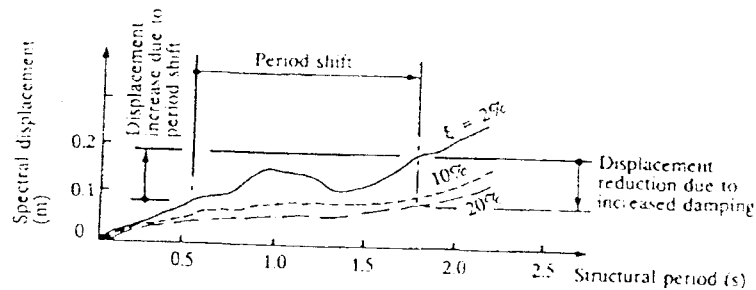
Meneliti performasi bantalan karet (*rubber bearing*) sebagai redaman pasif untuk seismik kontrol pada bangunan tahan gempa dan telah membuat kesimpulan bahwa parameter - parameter seismik ternyata tereduksi secara signifikan, berupa simpangan relatif struktur terhadap pondasi (20,64 %), terhadap pelat dasar (76,43 %), *interstory drift* (59,67 %), gaya geser tingkat (82,52 %), dan momen guling (76,17 %).

## 2.4 Prinsip Sistem *Base Isolation*

Sistem *base isolation* sangat baik dipakai di daerah yang frekuensi getaran gempa yang tinggi dan pada kondisi tanah yang keras. Pada kondisi ini bentuk spektrum percepatan cenderung meningkat secara tajam pada nilai-nilai periode getar  $T$  awal, setelah mencapai puncaknya kemudian cenderung menurun secara terus menerus sampai pada periode getar yang ditinjau. Pemasangan *base isolation* sangat tepat pada kondisi ini karena *base isolation* memperpanjang waktu periode getar  $T$ , sehingga pada kondisi ini respon spektrum cenderung menurun. Hal ini berlaku sebaliknya apabila sistem *base isolation* dipasang pada kondisi gempa dengan frekuensi rendah dan pada kondisi tanah yang lunak. Pada kondisi ini spektrum percepatan cenderung rendah pada nilai-nilai periode getar  $T$  awal. Kemudian akan meningkat secara tajam bersamaan dengan bertambahnya waktu periode getar  $T$ . Pemasangan *base isolation* tidak baik pada kondisi ini karena pada saat *base isolation* memperpanjang waktu periode getar  $T$ , akan jatuh pada puncak dari kondisi gempa ini. Untuk lebih jelasnya lihat pada Gambar 2.2. Pada gambar tersebut menunjukkan sistem-sistem tipe percepatan respon struktur dengan tipe puncak respon periode terjadi pada 0,5 detik. Pemasangan *base isolation* sangat tepat pada kondisi ini karena periode getar  $T$  lebih panjang pada saat kondisi percepatan tanah mencapai periode diatas 0,5 detik yang bersamaan dengan menurunnya puncak respon periode. Hal ini berlaku sebaliknya apabila waktu puncak respon lebih panjang dimana gempa berlangsung pada frekuensi rendah dan tanah yang lunak. Adanya *base isolation* tidak baik digunakan pada kondisi tanah tersebut, karena *base isolation* memperpanjang waktu getar  $T$  sehingga terjadi pada puncak respon maksimum tersebut.



(a) Effect of period shift on design forces



(b) Effect of period shift and damping on relative displacement between ground and structure

**Gambar 2.2** Efek dari *Base Isolation* terhadap waktu getar  $T$  pada saat gempa terjadi

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

## 2.5 Manfaat Sistem *Base Isolation*

Manfaat yang diperoleh dengan pemakaian *base isolation* adalah sebagai berikut :

1. Kemampuan menahan beban bangunan yang diisolasi dan meneruskan defleksi horisontal relatif terhadap bumi/tanah ( BPPP, 1997 ).

2. Mempunyai tenaga pemulihan untuk mengembalikan bangunan pada posisi semula relatif terhadap bumi/tanah ( BPPP, 1997 ).
3. Kemampuan meredam untuk mengurangi akselerasi defleksi horisontal relatif terhadap tanah, sehingga dapat mencegah struktur rusak ataupun runtuh jika terkena gempa ( BPPP, 1997 ).
4. Penggunaan sangat fleksibel karena dapat digunakan pada bangunan baru maupun bangunan lama (*retrofitting*) (Lin, 1997 : 44 – 45).
5. Umur kerja dari isolatornya relatif panjang yakni berkisar 70 -100 tahun sehingga bisa lebih lama dari umur bangunan itu sendiri (Lin, 1997).
6. Biayanya relatif lebih ekonomis, menurut Siswantoro dan Bhuana untuk bangunan baru penambahan sekitar 2,5% - 7% dari total biaya (bandingkan dengan penambahan biaya yang menggunakan konstruksi baja sebesar 20% - 30%), sedangkan menurut Kelly pada bangunan yang menggunakan isolasi dasar dengan cara *retrofitting*, biaya isolatornya hanya 2% - 4% dari total biaya rehabilitasi (*seismic rehabilitation*) dan biaya perbaikan setelah terkena gempa (*post earthquake repair cost*) lebih kecil dibandingkan dengan bangunan sistem konvensional.

## 2.6 Jenis – jenis Isolasi Dasar ( *Base Isolation* )

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

### 2.6.1 *Rubber Type Seismic Isolation*

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

Bantalan karet ini terbuat dari lembaran-lembaran vulkanisat karet yang direkatkan pada plat-plat baja secara berselang-seling. Plat - plat baja tersebut bertujuan meningkatkan kekakuan karet kearah vertikal sehingga karet kearah vertikal sehingga karet tidak menggelembung kesamping karena beban bangunan.

Karet yang dipakai adalah karet alam Hevea (Indonesia adalah produsen terbesar kedua di dunia untuk jenis karet ini) yang dikenal memiliki sifat elastis pada sifat unggul dari semua jenis karet yang ada pada saat ini. Sifat ini sangat diperlukan untuk memberikan respon elastis kearah horisontal yang berarti dapat mengikuti atau tidak menentang pergerakan horisontal permukaan bumi ketika gempa tektonik terjadi dan pada akhirnya berangsur-angsur kembali kedudukan semula.

Menurut hasil penelitian selama ini, sifat yang dimiliki bantalan karet ini mampu meredam sekurang-kurangnya 70% akselerasi di puncak bangunan (BPPP, 1997). Pertanyaan yang sering diajukan adalah berapa umur pemakaian bantalan tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bantalan karet yang dipakai oleh sebuah bangunan di Inggris yang telah terpasang selama lebih dari 50 tahun ternyata lebih relatif masih utuh. Padahal teknologi pembuatan kompon karet pada saat bantalan itu dibuat belum secanggih teknologi sekarang.

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

Di Jepang, daya tahan bantalan karet untuk bangunan tahan gempa minimum 60 tahun (Kojima dan Fukahori, 1998). Selain daya tahan, penggunaan karet sebagai isolator juga karena kapasitas kemampuan simpan energi yang dimiliki karet sangat tinggi bahkan lebih tinggi dari baja (lihat pada Tabel 2.1).

**Tabel 2.1.** Kapasitas simpan energi beberapa material (Syrotiuk, 1986:244)

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

Macam-macam isolasi dasar dengan isolator bantalan karet yang banyak digunakan adalah *Laminated Rubber Lead Containing Bearing* dan *High Damping Laminated Rubber Bearing* seperti yang dilihat di bawah ini :

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

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

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

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

## 2.6.2 *Non-Rubber Seismic Isolation*

*Non-Rubber Type Seismic Isolation* yang paling banyak dikenal antara lain *lead extrusion damper*, *ball roller bearings* dan *sliding bearings*, yang paling banyak digunakan adalah *lead extrusion damper*, sedangkan dua tipe lainnya masih dalam tahapan eksperimen.



## 2.7 Perletakan Isolasi Dasar.

Lokasi perletakan isolasi dasar yang dianjurkan adalah serendah mungkin agar dapat melindungi struktur sebanyak mungkin. Pertimbangan biaya dan praktis juga mempengaruhi pemilihan lokasi penempatan isolasi dasar ini. Pada bangunan pemilihan lokasi biasanya terletak pada lantai dasar (*ground level*) atau dibawah basement (Meyes, 1984).

Tiap lokasi mempunyai keuntungan dan kerugian masing-masing yang berhubungan dengan pertimbangan-pertimbangan desain seperti simpangan geser (*shear displacement*) pada bangunan, partisi dan lain-lain.

Menurut Meyes dan rekan-rekan, ada empat macam perletakan isolator dasar pada bangunan berdasarkan keuntungan dan kerugiannya seperti yang diuraikan berikut ini :

1. Isolator dasar ditempatkan pada dasar kolom lantai pertama. (*first strory columns*). Keuntungan isolator dasar ditempatkan pada dasar kolom lantai pertama (*first strory columns*) adalah :
  - a. penambahan biaya struktur kecil,
  - b. dasar kolom bisa dihubungkan dengan diafragma, dan
  - c. mudah bisa memasukkan sistem cadangan untuk beban vertikal.

Kerugian isolator dasar yang ditempatkan pada dasar kolom lantai pertama (*first story columns*) adalah membutuhkan kantilever khusus.
2. Isolator dasar diletakkan pada puncak dari kolom *basement*. Keuntungan isolator dasar diletakkan pada puncak dari *basement* adalah :
  - a. tidak diperlukan *sub-basement*,
  - b. penambahan biaya struktur yang kecil,
  - c. pada level isolasinya dasar kolom dihubungkan oleh diafragma, dan
  - d. kolom juga berfungsi sebagai system cadangan untuk beban vertikal.

Kerugian isolator diletakkan pada puncak dari kolom *basement* adalah :

  - a. membutuhkan ruang khusus dibawah lantai pertama, dan

- b. membutuhkan perhatian yang khusus untuk tangga dibawah lantai pertama.
- 3. Isolator dasar diletakkan pada tengah-tengah kolom *basement (mid-height of basement columns)*. Keuntungan isolasi dasar diletakkan pada tengah-tengah kolom basement (*mid-height of basement columns*) adalah :
  - a. tidak diperlukan *sub-basement*, dan
  - b. kolom *basement* tidak perlu sekaku seperti pada *base isolator* yang diletakkan pada bagian atas atau bawah kolom.

Kerugian isolasi dasar diletakkan pada tengah-tengah kolom *basement (mid-height of basement columns)* adalah :

- a. diperlukan perhatian khusus untuk *elevator* dan tangga akibat dari simpangan *mid-story*,
- b. tidak terdapat diafragma pada level, dan
- c. sulit untuk memasang sistem cadangan untuk beban vertikal.
- 4. Isolator dasar diletakkan pada *sub-basement*. Keuntungan isolator dasar diletakkan pada *sub-basement* adalah :
  - a. dasar kolom dihubungkan dengan diafragma pada level isolasinya, dan
  - b. mudah untuk memasang system cadangan untuk beban vertikal.

Kerugian isolator dasar diletakkan pada *sub-basement* adalah :

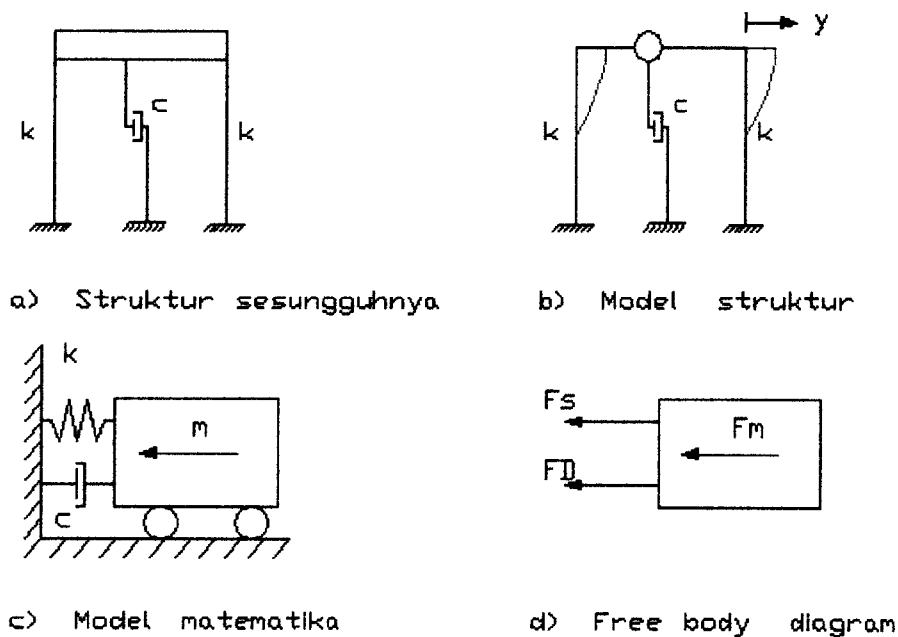
- a. diperlukan penambahan biaya untuk *sub-basement*, kecuali *sub-basement* memang diperlukan, dan
- b. membutuhkan dinding penahan tanah (*retaining wall*).

## 2.8 Landasan Teori

### 2.8.1 Struktur (SDOF) Akibat Gerakan Tanah

Dalam suatu analisis struktur, selain beban mati dan beban hidup yang umum diperhitungkan adalah beban gempa. Gempa bumi akan menyebabkan permukaan tanah menjadi bergetar. Tanah yang bergetar akan menyebabkan semua benda yang

berada di atas tanah ikut bergetar termasuk struktur bangunan di atasnya. (Widodo, 2001). Jika diambil notasi  $m$ ,  $c$ ,  $k$  dan  $y$  berturut-turut adalah massa, koefisien redaman, kekakuan kolom, dan simpangan sedangkan notasi  $F_I$ ,  $F_D$ ,  $F_S$  berturut-turut adalah gaya momen inersia, gaya redaman dan gaya pegas, maka struktur SDOF akibat gerakan tanah dapat dimodelkan sebagai berikut :



**Gambar 2.3** Model sistem SDOF akibat gerakan tanah

Berdasarkan *free body diagram* yang ditunjukkan pada gambar 2.3.d maka persamaan differensial gerakan tanah adalah :

$$m \ddot{y}_1 + c \dot{y}_1 + k y_1 = 0 \quad (2.1)$$

Yang mana  $y_1$ ,  $\dot{y}_1$ ,  $\ddot{y}_1$  adalah simpangan, kecepatan dan percepatan.

Akibat gempa bumi, tanah mempunyai percepatan ( $\ddot{y}_1$ ), kecepatan ( $\dot{y}_1$ ),  $y_1$  simpangan masing-masing sebesar :

$$\ddot{y}_1 = \ddot{y}_b + \ddot{y}, \dot{y}_1 = \dot{y}_b + \dot{y}, y_1 = y_b + y \quad (2.2)$$

dimana  $y_b$ ,  $\dot{y}_b$ ,  $\ddot{y}_b$  adalah simpangan, kecepatan dan percepatan beban gempa.

Dengan mendistribusikan persamaan (2.2) kedalam persamaan (2.1) maka persamaan (3.1) dapat ditulis menjadi :

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = -m\ddot{y}_b - c\dot{y}_b - ky \quad (2.3)$$

Pada kondisi *rigid body motion* dianggap struktur tidak terjadi simpangan dan kecepatan antara tanah dengan struktur. Dengan demikian persamaan (2.3) menjadi :

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = -m\ddot{y}_b \quad (2.4)$$

$$\ddot{y} + \frac{c}{m}\dot{y} + \frac{k}{m}y = -\ddot{y}_b \quad (2.5)$$

Dalam prinsip dinamika struktur diperoleh hubungan :

$$\frac{k}{m} = \omega^2 \quad \frac{c}{m} = 2\xi\omega \quad \xi = \text{damping ratio}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ (rad/dt)} \quad \omega = \text{angular frekuensi} \quad (2.6)$$

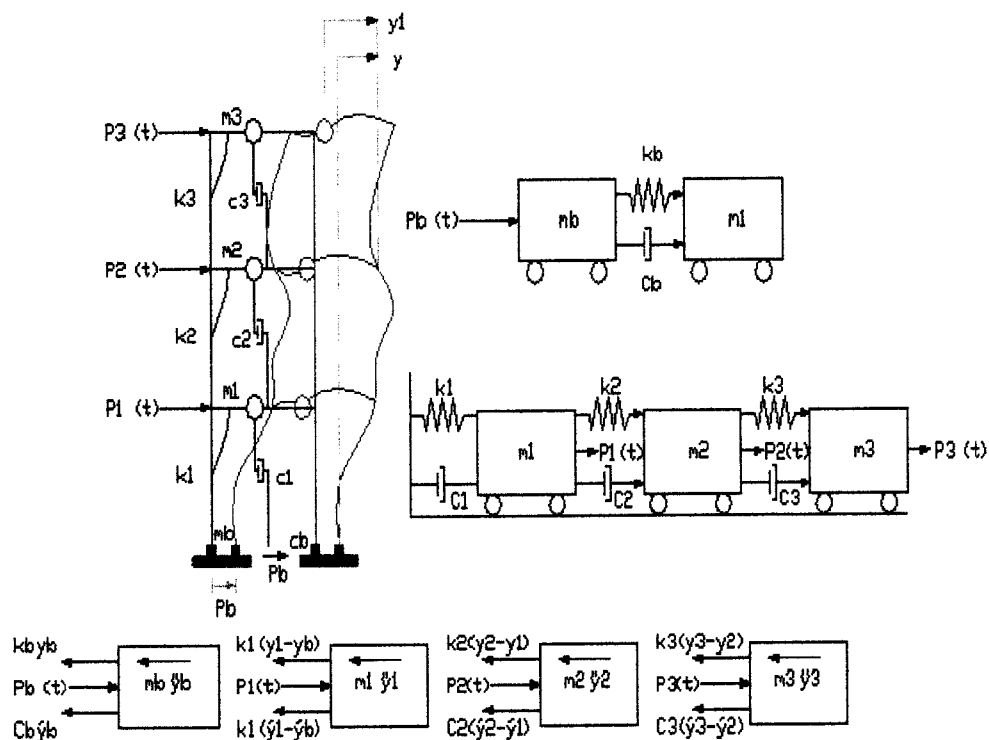
$$T = \frac{2\pi}{\omega} \text{ (dt)} \quad T = \text{Periode} \quad (2.7)$$

### 2.8.2 Struktur Dengan Derajat Kebebasan Banyak (MDOF)

Secara umum struktur bangunan gedung tidak selalu dapat dinyatakan dengan suatu sistem yang mempunyai derajat kebebasan tunggal (SDOF). Struktur bangunan gedung justru mempunyai derajat kebebasan banyak (*Multi Degree of Freedom*).

Pada struktur bangunan gedung bertingkat banyak, umumnya massa struktur dapat digumpalkan pada setiap lantai (*lumped mass*) kedalam tempat-tempat tertentu misalnya pada tiap-tiap muka lantai-tingkat. Banyaknya derajat kebebasan umumnya berasosiasi dengan jumlah massa (Widodo, 2001).

Untuk menyatakan persamaan differensial gerakan pada struktur dengan derajat kebebasan banyak (MDOF), prinsip *shear building* seperti pada struktur dengan derajat kebebasan tunggal masih berlaku. Untuk memperoleh persamaan tersebut maka digunakan model struktur MDOF bangunan bertingkat tiga dengan ditambah *base isolator* dilantai dasarnya, sehingga struktur akan mempunyai tiga derajat kebebasan dan satu massa *base isolator* seperti pada gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Struktur MDOF

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

$$M_b \ddot{y}_b + c_b \dot{y}_b + k_b y_b - c_1(\dot{y}_1 - \dot{y}_b) - k_1(y_1 - y_b) - P_b(t) = 0 \quad (2.8a)$$

$$M_1 \ddot{y}_1 + c_1(\dot{y}_1 - \dot{y}_b) + k_1(y_1 - y_b) - c_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - k_2(y_2 - y_1) - P_1(t) = 0 \quad (2.8b)$$

$$M_2 \ddot{y}_2 + c_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + k_2(y_2 - y_1) - c_3(\dot{y}_3 - \dot{y}_2) - k_3(y_3 - y_2) - P_{2(t)} = 0 \quad (2.8c)$$

$$M_3 \ddot{y}_3 + c_3(\dot{y}_3 - \dot{y}_2) + k_3(y_3 - y_2) - P_{3(t)} = 0 \quad (2.8d)$$

Dari persamaan diatas tampak bahwa untuk memperoleh kesetimbangan dinamik suatu massa yang ditinjau ternyata dipengaruhi oleh kekakuan, redaman, dan simpangan massa sebelum dan sesudahnya. Persamaan differensial dengan sifat-sifat ini disebut *coupled equation* karena persamaan-persamaan tersebut akan bergantung satu sama lain.

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

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

$$M_b \ddot{y}_b + (c_b + c_1) \dot{y}_b - c_1 \dot{y}_1 + (k_b + k_1)y_b - k_1 y_1 = P_{b(t)} \quad (2.9a)$$

$$M_1 \ddot{y}_1 - c_1 \dot{y}_b + (c_1 + c_2) \dot{y}_1 - c_2 \dot{y}_2 - k_1 y_b + (k_1 + k_2)y_1 - k_2 y_2 = P_{1(t)} \quad (2.9b)$$

$$M_2 \ddot{y}_2 - c_2 \dot{y}_1 + (c_2 + c_3) \dot{y}_2 - c_3 \dot{y}_3 - k_2 y_1 + (k_2 + k_3)y_2 - k_3 y_3 = P_{2(t)} \quad (2.9c)$$

$$M_3 \ddot{y}_3 - c_3 \dot{y}_2 + c_3 \dot{y}_3 + k_3 y_3 = P_{3(t)} \quad (2.9d)$$

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

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = \{P(t)\} \quad (2.10)$$

dengan [M], [C], [K], berturut-turut adalah matriks massa, matriks redaman, matriks kekakuan :

$$[M] = \begin{bmatrix} m_b & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_b + k_1 & -k_1 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} c_b + c_1 & -c_1 & 0 & 0 \\ -c_1 & c_1 + c_2 & -c_2 & 0 \\ 0 & -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 \\ 0 & 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

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

$$\{\ddot{y}\} = \begin{bmatrix} \ddot{y}_b \\ \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{bmatrix}, \{\dot{y}\} = \begin{bmatrix} \dot{y}_b \\ \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{bmatrix}, \{y\} = \begin{bmatrix} y_b \\ y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} \text{ dan } \{P_{(t)}\} = \begin{bmatrix} P_{b(t)} \\ P_{1(t)} \\ P_{2(t)} \\ P_{3(t)} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

$\{\ddot{y}\}$ ,  $\{\dot{y}\}$ ,  $\{y\}$  dan  $\{P_{(t)}\}$  adalah vektor percepatan, kecepatan, simpangan, dan gaya.

## 2.9 Massa Struktur

Suatu struktur yang kontinyu akan mempunyai distribusi massa yang kontinyu pula sehingga terdapat beberapa derajat kebebasan pada setiap massa, maka struktur tersebut akan mempunyai derajat kebebasan yang tak terhingga banyaknya. Hal ini akan menyulitkan analisis struktur karena banyaknya persamaan differensial yang perlu diselesaikan. Oleh karena itu perlu adanya asumsi-asumsi untuk

menyederhanakan masalah. Terdapat dua pokok yang umumnya dilakukan untuk mendiskripsikan massa struktur. Pendekatan pertama adalah sistem diskretisasi massa yaitu massa dianggap menggumpal pada tempat-tempat tertentu. Apabila prinsip bangunan geser (*shear building*) dipakai maka setiap massa hanya akan bergerak secara horisontal. Karena percepatan hanya terjadi pada struktur yang mempunyai massa, maka matriks massa merupakan matriks diagonal.

Pendekatan yang kedua adalah menurut prinsip *consistent mass matrix* yang mana elemen struktur akan berdeformasi menurut bentuk fungsi (*shape function*) tertentu. Apabila tiga derajat kebebasan (horisontal, vertikal, dan rotasi) diperhitungkan pada setiap *node* maka standar *consistent mass matrix* dapat diperoleh dengan *off-diagonal matrix* tidak sama dengan nol sebagaimana terjadi pada prinsip *lumped mass*. Pada struktur yang massanya terdistribusi secara merata misalnya analisis getaran balok atau cerobong maka prinsip *consistent mass matrix* menjadi lebih tepat. Namun demikian, pada struktur bangunan gedung bertingkat banyak yang mana massa struktur umumnya terkonsentrasi pada masing-masing tingkat, maka prinsip *lumped mass* banyak dipakai dan cukup akurat. (Carr 1993, dalam Widodo 2001).

Untuk menghitung massa baik yang *single lumped mass* atau *multiple lumped mass* maka dapat dipakai formula sederhana yaitu :

$$m = \frac{W}{g} \quad (2.15)$$

yang mana  $W$  adalah berat dan  $g$  adalah percepatan gravitasi.

## 2.10 Kekakuan Struktur

Kekakuan adalah salah satu dinamik karakteristik struktur bangunan yang sangat penting disamping massa bangunan. Antara massa dan kekakuan struktur akan mempunyai hubungan yang unik yang umumnya disebut karakteristik diri atau *Eigen Problem*. Hubungan tersebut akan menentukan nilai frekuensi sudut dan periode getar



struktur T. Kedua nilai ini merupakan parameter yang sangat penting dan akan sangat mempengaruhi respon dinamik struktur.

Pada prinsip bangunan geser (*shear building*) balok pada lantai tingkat dianggap tetap horisontal baik sebelum maupun sesudah terjadi penggoyangan. Adanya plat lantai yang menyatu secara kaku dengan balok diharapkan dapat membantu kekakuan balok sehingga anggapan tersebut tidak terlalu kasar. Pada prinsip desain bangunan tahan gempa dikehendaki agar kolom lebih kuat dibanding dengan balok (*strong column weak beam*), namun demikian rasio tersebut tidak selalu linier dengan kekakuannya. Dengan prinsip shear building maka dimungkinkan pemakaian *lumped mass model*. Pada prinsip ini, kekakuan setiap kolom dapat dihitung dengan rumus standar sebagai berikut :

$$K_c = \frac{12EI}{H^3} \quad (2.16)$$

Dengan melihat data struktur maka kekakuan dihitung secara paralel yaitu kekakuan tiap tingkat ( $k_t$ ) merupakan jumlah total dari kekakuan kolom tiap tingkat ( $k_c$ ), secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$K_t = \sum k_c \quad (2.17)$$

Pada prinsipnya semakin kaku balok maka semakin besar kemampuannya dalam mengekang rotasi ujung kolom, sehingga akan menambah kekakuan kolom. Pada prinsip Muto (1975), kekakuan joint juga dapat diperhitungkan sehingga hitungan kekakuan baik kekakuan balok maupun kekakuan kolom akan menjadi lebih teliti.

## 2.11 Redaman Struktur

Redaman adalah peristiwa penyerapan energi (*energy dissipation*) oleh struktur akibat adanya berbagai macam sebab. Beberapa penyebab itu diantaranya adalah pelepasan energi oleh adanya gerakan antara molekul di dalam material, pelepasan energi oleh gesekan alat penyambung maupun sistem dukungan, pelepasan energi akibat gesekan dengan udara dan pada respon inelastik pelepasan energi juga

terjadi akibat adanya rotasi sendi plastik. Karena redaman berfungsi menyerap energi, maka hal tersebut akan mengurangi respon struktur.

Untuk memodel kemampuan struktur menyerap energi maka besaran yang dipakai umumnya adalah rasio redaman (*damping ratio*)  $\xi$ . Nilai rasio redaman untuk berbagai macam material dan tingkat respon struktur seperti pada *Respon Dinamik Struktur* (Widodo, 2001, sumber : Newmark N.M, Hall W. J 1982). Untuk memperoleh redaman ada tiga cara yang dapat digunakan, yaitu :

1. Redaman proporsional dengan massa (*mass proportional damping*).
2. Redaman proporsional dengan kekakuan (*stiffness proportional damping*)
3. Redaman proporsional terhadap massa dan kekakuan (*mass and stiffness proportional damping*)

Dalam penelitian ini akan digunakan nilai redaman yang konstan.

## 2.12 Struktur dengan Menggunakan *Base Isolation*

Seperti telah dijelaskan di depan bahwa struktur dengan menggunakan *base isolation* dapat mengurangi simpangan bangunan akibat gempa bumi, dimana simpangan tersebut diredam oleh *base isolation*, sehingga simpangan yang terjadi pada *base isolation* menjadi besar, sedangkan simpangan tingkat di atasnya kecil. Keadaan gedung yang dikenai beban gempa bumi akan mengalami getaran ke tiga arah, yaitu getaran arah horisontal, getaran arah vertikal, dan getaran berputar, akan tetapi bila digunakan *base isolation* sebagai peredam maka tidak terjadi getaran putar. Pada *lumped parameter model* diasumsikan struktur bangunan bergeser ke arah horisontal sedangkan arah vertikal diabaikan dan massa menggumpal (*lumped mass*). Jika gaya inersia, gaya redam, serta gaya kekakuan adalah  $F_i$ ,  $F_c$ ,  $F_k$  maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$F_i + F_c + F_k = 0 \quad (2.18)$$

Dimana,

$$\begin{aligned}
 F_i &= \begin{bmatrix} m_b & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 \\ 0 & 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \{\ddot{y}_j + \ddot{y}_b + \ddot{y}_0\} = 0 \\
 F_c &= \begin{bmatrix} (c_b + c_1) & -c_1 & 0 \\ -c_1 & (c_1 + c_2) & -c_2 \\ 0 & -c_2 & c_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \{\ddot{y}_j + \ddot{y}_b + \ddot{y}_0\} = 0 \\
 F_k &= \begin{bmatrix} k_b + k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \{y_j + y_b + y_0\} = 0
 \end{aligned} \tag{2.19}$$

Sedangkan untuk keseimbangan arah horisontal diperoleh persamaan sebagai berikut,

$$F_{i,H} = \sum_{j=1}^n m_j \{\ddot{y}_j + \ddot{y}_b + \ddot{y}_0\} + m_0 \{\ddot{y}_b + \ddot{y}_0\} = 0$$

$$F_{c,H} = \begin{bmatrix} (c_b + c_1) & -c_1 & 0 \\ -c_1 & (c_1 + c_2) & -c_2 \\ 0 & -c_2 & c_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \{\dot{y}_j + \dot{y}_b + \dot{y}_0\} + 0 \cdot \dot{y}_0 = 0 \tag{2.20}$$

$$F_{k,H} = \begin{bmatrix} k_b + k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \{y_j + y_b + y_0\} + 0 \cdot y_0 = 0$$

Dari persamaan (2.19) dan (2.20) maka akan diperoleh,

$$\begin{aligned}
 [m]\{\ddot{y}\} + [c]\{\dot{y}\} + [k]\{y\} &= -\{m_i \ddot{y}_g\} \\
 \begin{bmatrix} m_b & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 \\ 0 & 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_b \\ \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \end{Bmatrix} + \\
 \begin{bmatrix} (c_b + c_1) & -c_1 & 0 \\ -c_1 & (c_1 + c_2) & -c_2 \\ 0 & -c_2 & c_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{y}_b \\ \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \end{Bmatrix} + \\
 \begin{bmatrix} k_b + k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_b \\ y_1 \\ y_2 \end{Bmatrix} &= -\begin{Bmatrix} m_b \ddot{y}_g \\ m_1 \ddot{y}_g \\ m_2 \ddot{y}_g \end{Bmatrix}
 \end{aligned}
 \tag{2.21}$$

Dimana dalam bentuk matriks adalah sebagai berikut :

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

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

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

$$\ddot{y} = \begin{bmatrix} \ddot{y}_b \\ \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \end{bmatrix}, \quad \dot{y} = \begin{bmatrix} \dot{y}_b \\ \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \end{bmatrix}, \quad y = \begin{bmatrix} y_b \\ y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Untuk matriks redaman pada struktur atas digunakan dengan nilai redaman konstan pada tiap tingkatnya. Sehingga matriks redaman berturut-turut menjadi,

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

$$[C] = \begin{bmatrix} (2.m_b.\omega_b.\xi_b + 2.m_1.\omega_1.\xi) & -2.m_1.\omega_1.\xi & 0 \\ -2.m_1.\omega_1.\xi & (2.m_1.\omega_1.\xi_1 + 2.m_2.\omega_2.\xi) & -2.m_2.\omega_2.\xi \\ 0 & -2.m_2.\omega_2.\xi & 2.m_2.\omega_2.\xi \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

dengan,

$m_b$  = Massa *base isolation*.

$k_b$  = Kekakuan *base isolation*.

$c_b$  = Redaman *base isolation*.

### 2.13 Getaran Bebas pada Struktur Derajat Kebebasan Banyak

Suatu struktur akan bergoyang apabila memperoleh pembebanan dari luar, misalnya akibat beban angin maupun akibat beban gerakan tanah/gempa. Getaran-getaran seperti ini dikelompokkan sebagai getaran dipaksa atau *force vibration system*. Membahas tentang getaran bebas pada struktur dengan derajat kebebasan banyak akan diperoleh beberapa karakter struktur yang penting dan sangat bermanfaat pada analisis dinamika struktur. Karakter-karakter itu adalah frekuensi sudut, periode getar dan frekuensi alam. Pembahasan getaran bebas ini masih diikuti

(2.2)

$$\ddot{y}_1 = \ddot{y}_b + \ddot{y}, \dot{y}_1 = \dot{y}_b + \dot{y}, y_1 = y_b + y$$

dimana  $y_b$ ,  $\dot{y}_b$ ,  $\ddot{y}_b$  adalah simpangan, kecepatan dan percepatan beban gempa.

Dengan mendistribusikan persamaan (2.2) kedalam persamaan (2.1) maka persamaan (3.1) dapat ditulis menjadi :

$$m \ddot{y} + c \dot{y} + ky = -m \ddot{y}_b - c \dot{y}_b - ky \quad (2.3)$$

Pada kondisi *rigid body motion* dianggap struktur tidak terjadi simpangan dan kecepatan antara tanah dengan struktur. Dengan demikian persamaan (2.3) menjadi :

$$m \ddot{y} + c \dot{y} + ky = -m \ddot{y}_b \quad (2.4)$$

$$\ddot{y} + \frac{c}{m} \dot{y} + \frac{k}{m} y = -\ddot{y}_b \quad (2.5)$$

Dalam prinsip dinamika struktur diperoleh hubungan :

$$\frac{k}{m} = \omega^2 \quad \frac{c}{m} = 2\xi\omega$$

$\xi$  = damping ratio

$\omega$  = angular frekuensi (2.6)

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ (rad/dt)}$$

T = Periode (2.7)

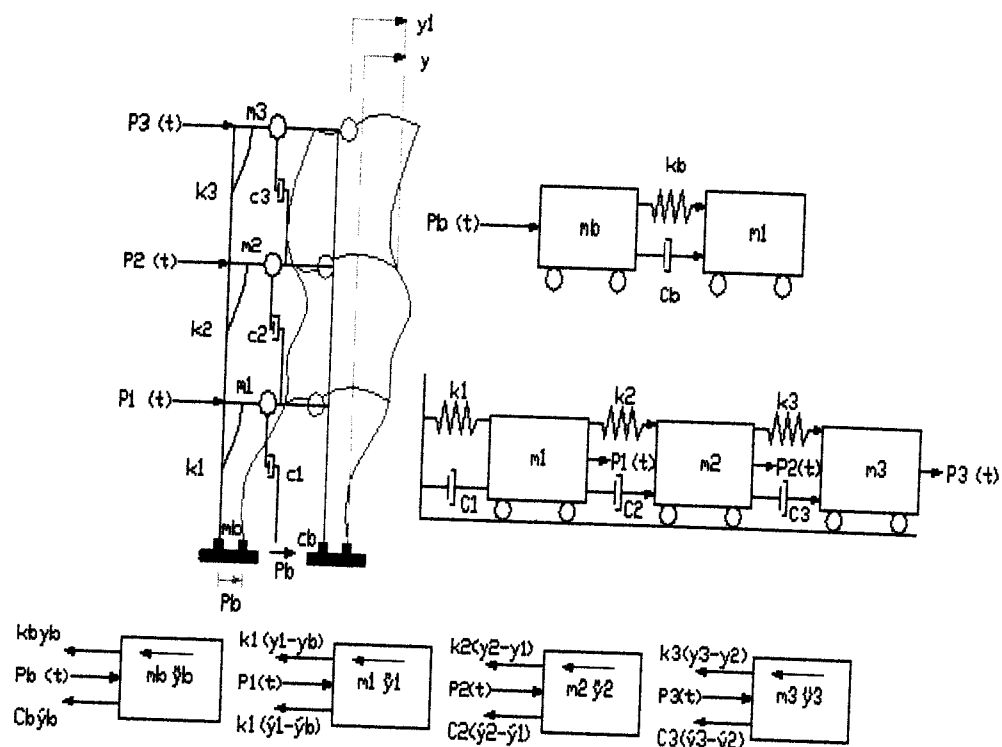
$$T = \frac{2\pi}{\omega} \text{ (dt)}$$

### 2.8.2 Struktur Dengan Derajat Kebebasan Banyak (MDOF)

Secara umum struktur bangunan gedung tidak selalu dapat dinyatakan dengan suatu sistem yang mempunyai derajat kebebasan tunggal (SDOF). Struktur bangunan gedung justru mempunyai derajat kebebasan banyak (*Multi Degree of Freedom*).

Pada struktur bangunan gedung bertingkat banyak, umumnya massa struktur dapat digumpalkan pada setiap lantai (*lumped mass*) kedalam tempat-tempat tertentu misalnya pada tiap-tiap muka lantai-tingkat. Banyaknya derajat kebebasan umumnya berasosiasi dengan jumlah massa (Widodo, 2001).

Untuk menyatakan persamaan differensial gerakan pada struktur dengan derajat kebebasan banyak (MDOF), prinsip *shear building* seperti pada struktur dengan derajat kebebasan tunggal masih berlaku. Untuk memperoleh persamaan tersebut maka digunakan model struktur MDOF bangunan bertingkat tiga dengan ditambah *base isolator* dilantai dasarnya, sehingga struktur akan mempunyai tiga derajat kebebasan dan satu massa *base isolator* seperti pada gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Struktur MDOF

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

$$M_b \ddot{y}_b + c_b \dot{y}_b + k_b y_b - c_1(\dot{y}_1 - \dot{y}_b) - k_1(y_1 - y_b) - P_{b(t)} = 0 \quad (2.8a)$$

$$M_1 \ddot{y}_1 + c_1(\dot{y}_1 - \dot{y}_b) + k_1(y_1 - y_b) - c_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - k_2(y_2 - y_1) - P_{1(t)} = 0 \quad (2.8b)$$

$$M_2 \ddot{y}_2 + c_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + k_2(y_2 - y_1) - c_3(\dot{y}_3 - \dot{y}_2) - k_3(y_3 - y_2) - P_2(t) = 0 \quad (2.8c)$$

$$M_3 \ddot{y}_3 + c_3(\dot{y}_3 - \dot{y}_2) + k_3(y_3 - y_2) - P_3(t) = 0 \quad (2.8d)$$

Dari persamaan diatas tampak bahwa untuk memperoleh kesetimbangan dinamik suatu massa yang ditinjau ternyata dipengaruhi oleh kekakuan, redaman, dan simpangan massa sebelum dan sesudahnya. Persamaan differensial dengan sifat-sifat ini disebut *coupled equation* karena persamaan-persamaan tersebut akan bergantung satu sama lain.

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

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

$$M_b \ddot{y}_b + (c_b + c_1) \dot{y}_b - c_1 \dot{y}_1 + (k_b + k_1)y_b - k_1 y_1 = P_b(t) \quad (2.9a)$$

$$M_1 \ddot{y}_1 - c_1 \dot{y}_b + (c_1 + c_2) \dot{y}_1 - c_2 \dot{y}_2 - k_1 y_b + (k_1 + k_2)y_1 - k_2 y_2 = P_1(t) \quad (2.9b)$$

$$M_2 \ddot{y}_2 - c_2 \dot{y}_1 + (c_2 + c_3) \dot{y}_2 - c_3 \dot{y}_3 - k_2 y_1 + (k_2 + k_3)y_2 - k_3 y_3 = P_2(t) \quad (2.9c)$$

$$M_3 \ddot{y}_3 - c_3 \dot{y}_2 + c_3 \dot{y}_3 + k_3 y_3 = P_3(t) \quad (2.9d)$$

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

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = \{P(t)\} \quad (2.10)$$

dengan [M], [C], [K], berturut-turut adalah matriks massa, matriks redaman, matriks kekakuan :



$$[M] = \begin{bmatrix} m_b & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_b + k_1 & -k_1 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} c_b + c_1 & -c_1 & 0 & 0 \\ -c_1 & c_1 + c_2 & -c_2 & 0 \\ 0 & -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 \\ 0 & 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

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

$$\{\ddot{y}\} = \begin{bmatrix} \ddot{y}_b \\ \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{bmatrix}, \{\dot{y}\} = \begin{bmatrix} \dot{y}_b \\ \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{bmatrix}, \{y\} = \begin{bmatrix} y_b \\ y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} \text{ dan } \{P_{(t)}\} = \begin{bmatrix} P_{b(t)} \\ P_{1(t)} \\ P_{2(t)} \\ P_{3(t)} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

$\{\ddot{y}\}$ ,  $\{\dot{y}\}$ ,  $\{y\}$  dan  $\{P_{(t)}\}$  adalah vektor percepatan, kecepatan, simpangan, dan gaya.

## 2.9 Massa Struktur

Suatu struktur yang kontinu akan mempunyai distribusi massa yang kontinu pula sehingga terdapat beberapa derajat kebebasan pada setiap massa, maka struktur tersebut akan mempunyai derajat kebebasan yang tak terhingga banyaknya. Hal ini akan menyulitkan analisis struktur karena banyaknya persamaan differensial yang perlu diselesaikan. Oleh karena itu perlu adanya asumsi-asumsi untuk

menyederhanakan masalah. Terdapat dua pokok yang umumnya dilakukan untuk mendiskripsikan massa struktur. Pendekatan pertama adalah sistem diskretisasi massa yaitu massa dianggap menggumpal pada tempat-tempat tertentu. Apabila prinsip bangunan geser (*shear building*) dipakai maka setiap massa hanya akan bergerak secara horisontal. Karena percepatan hanya terjadi pada struktur yang mempunyai massa, maka matriks massa merupakan matriks diagonal.

Pendekatan yang kedua adalah menurut prinsip *consistent mass matrix* yang mana elemen struktur akan berdeformasi menurut bentuk fungsi (*shape function*) tertentu. Apabila tiga derajat kebebasan (horisontal, vertikal, dan rotasi) diperhitungkan pada setiap *node* maka standar *consistent mass matrix* dapat diperoleh dengan *off-diagonal matrix* tidak sama dengan nol sebagaimana terjadi pada prinsip *lumped mass*. Pada struktur yang massanya terdistribusi secara merata misalnya analisis getaran balok atau cerobong maka prinsip *consistent mass matrix* menjadi lebih tepat. Namun demikian, pada struktur bangunan gedung bertingkat banyak yang mana massa struktur umumnya terkonsentrasi pada masing-masing tingkat, maka prinsip *lumped mass* banyak dipakai dan cukup akurat. (Carr 1993, dalam Widodo 2001).

Untuk menghitung massa baik yang *single lumped mass* atau *multiple lumped mass* maka dapat dipakai formula sederhana yaitu :

$$m = \frac{W}{g} \quad (2.15)$$

yang mana  $W$  adalah berat dan  $g$  adalah percepatan gravitasi.

## 2.10 Kekakuan Struktur

Kekakuan adalah salah satu dinamik karakteristik struktur bangunan yang sangat penting disamping massa bangunan. Antara massa dan kekakuan struktur akan mempunyai hubungan yang unik yang umumnya disebut karakteristik diri atau *Eigen Problem*. Hubungan tersebut akan menentukan nilai frekuensi sudut dan periode getar

struktur T. Kedua nilai ini merupakan parameter yang sangat penting dan akan sangat mempengaruhi respon dinamik struktur.

Pada prinsip bangunan geser (*shear building*) balok pada lantai tingkat dianggap tetap horisontal baik sebelum maupun sesudah terjadi penggoyangan. Adanya plat lantai yang menyatu secara kaku dengan balok diharapkan dapat membantu kekakuan balok sehingga anggapan tersebut tidak terlalu kasar. Pada prinsip desain bangunan tahan gempa dikehendaki agar kolom lebih kuat dibanding dengan balok (*strong column weak beam*), namun demikian rasio tersebut tidak selalu linier dengan kekakuannya. Dengan prinsip *shear building* maka dimungkinkan pemakaian *lumped mass model*. Pada prinsip ini, kekakuan setiap kolom dapat dihitung dengan rumus standar sebagai berikut :

$$K_c = \frac{12EI}{H^3} \quad (2.16)$$

Dengan melihat data struktur maka kekakuan dihitung secara paralel yaitu kekakuan tiap tingkat ( $k_t$ ) merupakan jumlah total dari kekakuan kolom tiap tingkat ( $k_c$ ), secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$K_t = \sum k_c \quad (2.17)$$

Pada prinsipnya semakin kaku balok maka semakin besar kemampuannya dalam mengekang rotasi ujung kolom, sehingga akan menambah kekakuan kolom. Pada prinsip Muto (1975), kekakuan joint juga dapat diperhitungkan sehingga hitungan kekakuan baik kekakuan balok maupun kekakuan kolom akan menjadi lebih teliti.

## 2.11 Redaman Struktur

Redaman adalah peristiwa penyerapan energi (*energy dissipation*) oleh struktur akibat adanya berbagai macam sebab. Beberapa penyebab itu diantaranya adalah pelepasan energi oleh adanya gerakan antara molekul di dalam material, pelepasan energi oleh gesekan alat penyambung maupun sistem dukungan, pelepasan energi akibat gesekan dengan udara dan pada respon inelastik pelepasan energi juga

terjadi akibat adanya rotasi sendi plastik. Karena redaman berfungsi menyerap energi, maka hal tersebut akan mengurangi respon struktur.

Untuk memodel kemampuan struktur menyerap energi maka besaran yang dipakai umumnya adalah rasio redaman (*damping ratio*)  $\xi$ . Nilai rasio redaman untuk berbagai macam material dan tingkat respon struktur seperti pada *Respon Dinamik Struktur* (Widodo, 2001, sumber : Newmark N.M, Hall W. J 1982). Untuk memperoleh redaman ada tiga cara yang dapat digunakan, yaitu :

1. Redaman proporsional dengan massa (*mass proportional damping*).
2. Redaman proporsional dengan kekakuan (*stiffness proportional damping*)
3. Redaman proporsional terhadap massa dan kekakuan (*mass and stiffness proportional damping*)

Dalam penelitian ini akan digunakan nilai redaman yang konstan.

## 2.12 Struktur dengan Menggunakan *Base Isolation*

Seperti telah dijelaskan di depan bahwa struktur dengan menggunakan *base isolation* dapat mengurangi simpangan bangunan akibat gempa bumi, dimana simpangan tersebut diredam oleh *base isolation*, sehingga simpangan yang terjadi pada *base isolation* menjadi besar, sedangkan simpangan tingkat di atasnya kecil. Keadaan gedung yang dikenai beban gempa bumi akan mengalami getaran ke tiga arah, yaitu getaran arah horisontal, getaran arah vertikal, dan getaran berputar, akan tetapi bila digunakan *base isolation* sebagai peredam maka tidak terjadi getaran putar. Pada *lumped parameter model* diasumsikan struktur bangunan bergeser ke arah horisontal sedangkan arah vertikal diabaikan dan massa menggumpal (*lumped mass*). Jika gaya inersia, gaya redam, serta gaya kekakuan adalah  $F_i$ ,  $F_c$ ,  $F_k$  maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$F_i + F_c + F_k = 0 \quad (2.18)$$

Dimana,

$$\begin{aligned}
 F_i &= \begin{bmatrix} m_b & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 \\ 0 & 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \{ \ddot{y}_j + \ddot{y}_b + \ddot{y}_0 \} = 0 \\
 F_c &= \begin{bmatrix} (c_b + c_1) & -c_1 & 0 \\ -c_1 & (c_1 + c_2) & -c_2 \\ 0 & -c_2 & c_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \{ \ddot{y}_j + \ddot{y}_b + \ddot{y}_0 \} = 0 \\
 F_k &= \begin{bmatrix} k_b + k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \{ y_j + y_b + y_0 \} = 0
 \end{aligned} \tag{2.19}$$

Sedangkan untuk keseimbangan arah horisontal diperoleh persamaan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 F_{i,H} &= \sum_{j=1}^n m_j \{ \ddot{y}_j + \ddot{y}_b + \ddot{y}_0 \} + m_0 \{ \ddot{y}_b + \ddot{y}_0 \} = 0 \\
 F_{c,H} &= \begin{bmatrix} (c_b + c_1) & -c_1 & 0 \\ -c_1 & (c_1 + c_2) & -c_2 \\ 0 & -c_2 & c_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \{ \dot{y}_j + \dot{y}_b + \dot{y}_0 \} + 0 \cdot \dot{y}_0 = 0 \\
 F_{k,H} &= \begin{bmatrix} k_b + k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \{ y_j + y_b + y_0 \} + 0 \cdot y_0 = 0
 \end{aligned} \tag{2.20}$$

Dari persamaan (2.19) dan (2.20) maka akan diperoleh,

$$\begin{aligned}
 [m]\{\ddot{y}\} + [c]\{\dot{y}\} + [k]\{y\} &= -\{m_i \ddot{y}_g\} \\
 \begin{bmatrix} m_b & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 \\ 0 & 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_b \\ \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \end{Bmatrix} + \\
 \begin{bmatrix} (c_b + c_1) & -c_1 & 0 \\ -c_1 & (c_1 + c_2) & -c_2 \\ 0 & -c_2 & c_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{y}_b \\ \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \end{Bmatrix} + \\
 \begin{bmatrix} k_b + k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_b \\ y_1 \\ y_2 \end{Bmatrix} &= -\begin{Bmatrix} m_b \ddot{y}_g \\ m_1 \ddot{y}_g \\ m_2 \ddot{y}_g \end{Bmatrix}
 \end{aligned}
 \tag{2.21}$$

Dimana dalam bentuk matriks adalah sebagai berikut :

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

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

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

$$\ddot{y} = \begin{bmatrix} \ddot{y}_b \\ \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \end{bmatrix}, \quad \dot{y} = \begin{bmatrix} \dot{y}_b \\ \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \end{bmatrix}, \quad y = \begin{bmatrix} y_b \\ y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Untuk matriks redaman pada struktur atas digunakan dengan nilai redaman konstan pada tiap tingkatnya. Sehingga matriks redaman berturut-turut menjadi,

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

$$[C] = \begin{bmatrix} (2.m_b.\omega_b.\xi_b + 2.m_1.\omega_1.\xi) & -2.m_1.\omega_1.\xi & 0 \\ -2.m_1.\omega_1.\xi & (2.m_1.\omega_1.\xi_1 + 2.m_2.\omega_2.\xi) & -2.m_2.\omega_2.\xi \\ 0 & -2.m_2.\omega_2.\xi & 2.m_2.\omega_2.\xi \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

dengan,

$m_b$  = Massa *base isolation*.

$k_b$  = Kekakuan *base isolation*.

$c_b$  = Redaman *base isolation*.

### 2.13 Getaran Bebas pada Struktur Derajat Kebebasan Banyak

Suatu struktur akan bergoyang apabila memperoleh pembebanan dari luar, misalnya akibat beban angin maupun akibat beban gerakan tanah/gempa. Getaran-getaran seperti ini dikelompokkan sebagai getaran dipaksa atau *force vibration system*. Membahas tentang getaran bebas pada struktur dengan derajat kebebasan banyak akan diperoleh beberapa karakter struktur yang penting dan sangat bermanfaat pada analisis dinamika struktur. Karakter-karakter itu adalah frekuensi sudut, periode getar dan frekuensi alam. Pembahasan getaran bebas ini masih diikuti

dengan penyederhanaan masalah yaitu dengan menganggap struktur tidak mempunyai redaman (*undamped system*).

### 2.13.1 Nilai Karakteristik (*Eigenproblem*)

Getaran bebas (*free vibration system*) pada kenyataan jarang terjadi pada struktur MDOF, namun membahas jenis getaran ini akan diperoleh suatu besaran/karakteristik dari struktur yang bersangkutan yang selanjutnya sangat berguna untuk pembahasan-pembahasan respon struktur berikutnya. Pada getaran bebas untuk struktur dengan derajat kebebasan banyak maka persamaan differensial geraknya adalah seperti persamaan berikut ini dengan nilai ruas kanan sama dengan nol,

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = 0 \quad (2.24)$$

Frekuensi sudut pada struktur dengan redaman (*damped frequency*) nilainya hampir sama dengan frekuensi sudut tanpa redaman, apabila nilai *damping ratio* relatif kecil. Jika hal ini diadopsi untuk struktur dengan derajat kebebasan banyak maka untuk nilai  $C = 0$ , persamaan (2.24) menjadi,

$$[M]\{\ddot{y}\} + [K]\{y\} = 0 \quad (2.25)$$

Karena persamaan (2.25) adalah persamaan differensial pada struktur MDOF yang dianggap tidak mempunyai redaman maka sebagaimana penyelesaian persamaan differensial yang sejenis maka penyelesaian persamaan tersebut diharapkan dalam fungsi harmonik menurut bentuk,

$$\begin{aligned} Y &= \{\phi\}_i \sin(\omega t) \\ \dot{Y} &= \omega \{\phi\}_i \cos(\omega t) \end{aligned} \quad (2.26)$$

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

dimana  $\{\phi\}_i$  adalah suatu ordinat massa pada mode ke-i. Persamaan (2.26) disubsitusikan ke dalam persamaan (2.25) maka akan diperoleh,



$$\begin{aligned}
 -\omega^2[M]\{\phi\}_i \sin(\omega t) + [K]\{\phi\}_i \sin(\omega t) &= 0 \\
 \{[K] - \omega^2[M]\}\{\phi\}_i &= 0
 \end{aligned}
 \tag{2.27}$$

Persamaan (2.27) adalah suatu persamaan yang sangat penting dan biasanya disebut dengan persamaan *eigenproblem* atau karakteristik problem atau ada juga yang menyebut *eigenvalue problem*. Persamaan (2.27) tersebut adalah persamaan simultan yang harus dicari penyelesaiannya. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk menyelesaikan persamaan simultan tersebut adalah dengan memakai dalil Cramer (1704-1752). Dalil tersebut menyatakan bahwa penyelesaian persamaan simultan yang homogen akan ada nilainya apabila determinan dari matrik yang merupakan koefisien dari vektor  $\{\phi\}_i$  adalah nol sehingga,

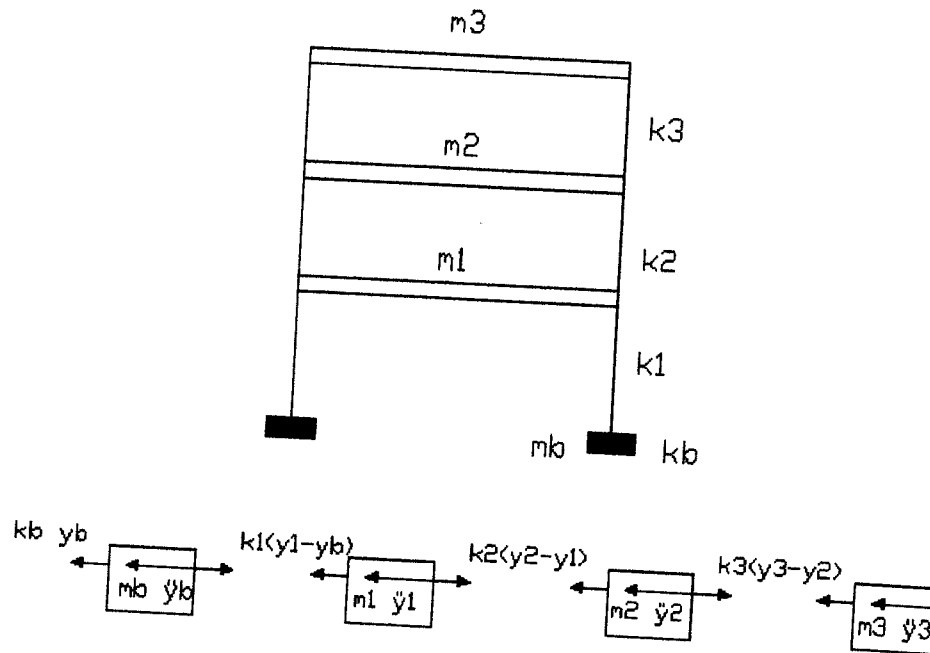
$$\{[K] - \omega^2[M]\} = 0 \tag{2.28}$$

Dengan adanya hubungan antara jumlah mode dengan jumlah massa struktur maka struktur yang mempunyai n-tingkat maka akan mempunyai n-derajat kebebasan. Persamaan (2.22) akan menghasilkan suatu polinomial pangkat n yang selanjutnya akan menghasilkan nilai  $\omega_i^2$  untuk  $i = 1, 2, 3, \dots n$ . Selanjutnya substitusi masing-masing frekuensi sudut  $\omega_i$  kedalam persamaan (2.27) maka akan diperoleh nilai-nilai *mode shape*, sedangkan *mode shape* pada suatu *eigenproblem* diambil dari model struktur yang berada pada tanah dengan letak pondasi diatas *base isolation*.

### 2.13.2 Metode Polinomial

Metode Polinomial pada dasarnya masih menggunakan persamaan *eigenproblem*. Untuk mencari atau menghitung *eigenvalue* (nilai-nilai frekuensi sudut) tidak dapat lagi digunakan cara determinan. Cara yang dipakai adalah dengan mentransfer persamaan simultan *eigenproblem* menjadi suatu persamaan polinomial pangkat banyak. Akar-akar persamaan polinomial inilah yang akan dicari yang seterusnya akan menghasilkan nilai-nilai *eigenvektor*.

Untuk membahas cara polinomial ini maka dapat ditinjau suatu struktur dengan tingkat seperti pada gambar 2.3.



**Gambar 2.5** Struktur bangunan tiga derajat kebebasan

Berdasarkan keseimbangan gaya-gaya *free body diagram* maka dapat disusun persamaan simultan gerakan dibawah ini,

$$M_b \ddot{y}_b + k_b y_b - k_1(y_1 - y_b) = 0$$

$$M_1 \ddot{y}_1 + k_1(y_1 - y_b) - k_2(y_2 - y_1) = 0$$

$$M_2 \ddot{y}_2 + k_2(y_2 - y_1) - k_3(y_3 - y_2) = 0$$

$$M_3 \ddot{y}_3 + k_3(y_3 - y_2) = 0$$

(2.29)

Persamaan (2.29) dapat disederhanakan menjadi seperti dibawah ini,

$$M_b \ddot{y}_b + (k_b + k_1)y_b - k_1 y_1 = 0$$

$$M_1 \ddot{y}_1 - k_1 y_b + (k_1 + k_2)y_1 - k_2 y_2 = 0$$

$$M_2 \ddot{y}_2 - k_2 y_1 + (k_2 + k_3)y_2 - k_3 y_3 = 0$$

$$M_3 \ddot{y}_3 - k_3 y_2 + k_3 y_3 = 0 \quad (2.30)$$

persamaan (2.30) dapat ditulis dalam bentuk matrik sebagai berikut,

$$\begin{bmatrix} m_b & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_b \\ \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_b + k_1 & -k_1 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_b \\ y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2.31)$$

#### 2.14 Metode Transformasi Jacobi

Metode solusi dasar Jacobi telah dikembangkan untuk menyelesaikan masalah-masalah matriks yang riil dan simetris. Metode *Jacobi* berusaha mentransformasikan suatu matriks  $A$  menjadi matriks diagonal  $A_{k+1}$ . Dalam keadaan ini elemen-elemen diagonal utama matriks  $A_{k+1}$  adalah harga-harga *eigen* yang dicari.

Untuk merubah matriks  $A$  menjadi matriks diagonal  $A_{k+1}$  dilakukan transformasi orthogonal. Oleh sebab itu hubungan antara matriks  $A$  dan  $A_{k+1}$  adalah serupa *orthogonal similiar orthogonal*, sehingga harga-harga *eigen* dari matriks  $A_{k+1}$  adalah juga harga-harga *eigen* dari matriks  $A$ .

Andaikan  $A_0 = A$  dan  $U_i$  adalah matriks orthogonal yang memenuhi hubungan,

$$A_1 = U_1^{-1} * A_0 * U_1 \quad (2.32)$$

atau dalam bentuk umum,

$$A_{k+1} = U_{k+1}^{-1} * A_k * U_{k+1} \quad (2.33)$$

yang mana  $U_k = U_1, U_2, U_3, \dots, U_k$ . Untuk  $k = \alpha$ , matriks  $A_{k+1}$  menjadi matriks diagonal.

Masalahnya sekarang, bagaimana mentransformasikan matriks  $A$  menjadi matriks diagonal  $A_{k+1}$ . Jacobi memperkenalkan cara untuk mentransformasikan tersebut yang sering disebut matriks rotasi. Matriks rotasi  $U_{k+1}$  adalah sebuah matriks diagonal yang diubah menjadi,

$$U_{k+1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & - & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & - & 0 \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & - & 0 \\ - & - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & - & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} i \\ j \end{matrix} \quad (2.34)$$

Elemen-elemen untuk baris ke- $i$  dan  $j$  maupun kolom ke- $i$  dan  $j$  diganti dengan  $\cos \alpha$  dan  $\sin \alpha$  seperti pada persamaan berikut,

$$\begin{aligned} U_{ii} &= \cos \alpha & U_{ij} &= -\sin \alpha \\ U_{ji} &= \sin \alpha & U_{jj} &= \cos \alpha \end{aligned} \quad (2.35)$$

Sudut  $\alpha$  dicari dari persamaan,

$$\operatorname{tg} 2\alpha = 2 \cdot \frac{a_{ij}^{(k)}}{a_{ii}^{(k)} - a_{jj}^{(k)}} \quad (2.36)$$

Jadi, dengan demikian dapat diperoleh elemen-elemen dari matriks  $U_{k+1}$  karena matriksnya dalam bentuk orthogonal sehingga  $U_{k+1}^{-1} = U_{k+1}^T$ . Dari sini dapat dihitung  $A_{k+1} = U_{k+1}^{-1} * A_k * U_{k+1}$  untuk  $k = 0$ .

Untuk  $k$  besar matriks  $A_{k+1}$  akan berubah menjadi,

$$A_{k+1} = \begin{bmatrix} a_{11}^{(k)} & 0 & - & 0 \\ 0 & a_{22}^{(k)} & - & 0 \\ - & - & - & - \\ 0 & 0 & - & a_{nn}^{(k)} \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

Dimana harga-harga *eigen* dari matriks  $A_k$  atau  $A_{k+1}$  adalah,

$$\lambda_1 = a_{11}^{(k)}, \lambda_2 = a_{22}^{(k)}, \lambda_n = a_{nn}^{(k)} \quad (2.38)$$

Untuk lebih jelas mengenai metode *Jacobi* diambil contoh matriks dibawah ini,

$$A_0 = \begin{bmatrix} 5 & 2 & 6 \\ 2 & 4 & 3 \\ 6 & 3 & 2 \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

Pertama, diusahakan untuk mengenolkan elemen yang bukan diagonal, misalnya  $a_{12}$  atau  $a_{21}$ . Dalam hal ini  $k = 0$ ,  $i = 1$  dan  $j = 2$  maka diperoleh,

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctg \frac{2 * a_{12}^{(0)}}{a_{11}^{(0)} - a_{22}^{(0)}}$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctg \frac{2 * 2}{5 - 4} = 37,98 \quad (2.40)$$

Setelah nilai  $\alpha$  diperoleh, maka persamaan (2.35) yang merupakan elemen-elemen matriks  $U_{k+1}$  persamaan (2.34) adalah,

$$U_{11} = \cos \alpha = 0,7882 \quad U_{12} = -\sin \alpha = -0,6154$$

$$U_{21} = \sin \alpha = 0,6154 \quad U_{22} = \cos \alpha = 0,7882 \quad (2.41)$$

maka matriks persamaan (2.34) menjadi,

$$U_1 = \begin{bmatrix} 0,7882 & -0,6154 & 0 \\ 0,6154 & 0,7882 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$U_1^{-1} = U_1^T = \begin{bmatrix} 0,7882 & 0,6154 & 0 \\ -0,6154 & 0,7882 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.42)$$

Dengan diketahuinya nilai dari persamaan (2.39) dan persamaan (2.42) maka dari persamaan (2.33) diperoleh,

$$A_1 = \begin{bmatrix} 6,5614 & 0,000 & 6,5754 \\ 0,000 & 2,4384 & -1,3278 \\ 6,5754 & -1,3278 & 2,000 \end{bmatrix} \quad (2.43)$$

Terlihat bahwa  $a_{12}$ ,  $a_{21}$  telah menjadi nol, selanjutnya kita mengenolkan elemen non diagonal yang lain, misalnya  $a_{13}$ , kemudian langkah selanjutnya sama seperti pada saat mengenolkan  $a_{12}$  maka akan diperoleh,

$$A_2 = \begin{bmatrix} 11,2406 & -0,7648 & 0,0001 \\ 0,7648 & 2,4384 & -1,0819 \\ 0,0001 & -1,0819 & -2,6790 \end{bmatrix} \quad (2.44)$$

Terlihat bahwa  $a_{13}$  dan  $a_{31}$  telah mendekati nol maka selanjutnya mengeliminasi  $a_{23}$ . Adapun langkahnya sama seperti pada saat mengeliminasi  $a_{12}$  dan  $a_{13}$ , maka akan diperoleh,

$$A_3 = \begin{bmatrix} 11,2403 & -0,7544 & -0,1528 \\ 0,7544 & 2,6574 & 0,000 \\ 0,1528 & 0,000 & -2,8980 \end{bmatrix} \quad (2.45)$$

Sampai dengan tahap ini baru dilaksanakan satu kali putaran. Untuk putaran selanjutnya mengikuti prosedur yang dilakukan pada putaran pertama. Terlihat bahwa elemen-elemen non diagonal makin mendekati nol. Proses ini dilanjutkan sampai matriks  $A$  berubah menjadi matriks diagonal. Dalam hal ini untuk tiga kali putaran diperoleh matriks diagonal  $A$  sebagai berikut,

$$A = \begin{bmatrix} 11,30 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 2,59 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & -2,90 \end{bmatrix} \quad (2.46)$$

sehingga dapat disimpulkan,

$$\lambda_1 = 11,30, \quad \lambda_2 = 2,59, \quad \lambda_3 = -2,90$$

Pembahasan diatas tampak bahwa metode Jacobi membutuhkan ketelitian dalam setiap rotasi/putaran, sebab hasil matriks putaran sebelumnya mempengaruhi nilai matriks selanjutnya.

## 2.15 Metode $\beta$ – Newmark

Metode  $\beta$  – Newmark dapat dipakai untuk menyelesaikan integrasi persamaan differensial *coupled* struktur MDOF secara langsung. Metode  $\beta$  – Newmark yang dimaksud misalnya adalah metode yang berdasarkan pada *incremental method*, sedangkan untuk struktur yang berperilaku linear elastik maupun non linear inelastik maka perlu dikembangkan model integrasi yang dapat mensimulasikan perubahan kekakuan menurut fungsi dan waktu.

Persamaan differensial yang berlaku saat interval yang ditinjau pada metode  $\beta$  – *Newmark* adalah,

$$m \Delta \ddot{y}_i + c \Delta \dot{y}_i + k \Delta y_i = \Delta P_i \quad (2.47)$$

Apabila beban dinamik yang dipakai adalah beban gempa maka untuk struktur MDOF persamaan differensial adalah,

$$[M] \Delta \ddot{y}_i + [C] \Delta \dot{y}_i + [K] \Delta y_i = \{M\} \Delta \ddot{y}_{b,i} \quad (2.48)$$

Pada metode  $\beta$  – *Newmark* memakai perjanjian notasi untuk perubahan simpangan  $\Delta y$ , perubahan kecepatan  $\Delta \dot{y}$ , perubahan  $\Delta \ddot{y}$  adalah,

$$\Delta y = y_{i+1} - y_i, \Delta \dot{y} = \dot{y}_{i+1} - \dot{y}_i, \Delta \ddot{y} = \ddot{y}_{i+1} - \ddot{y}_i \quad (2.49)$$

Sedangkan perubahan intensitas pembebanan pada interval yang ditinjau adalah,

$$\Delta P_i = \Delta P_{i+1} - P_i \quad (2.50)$$

Untuk struktur MDOF akibat gempa bumi maka persamaan differensial yang digunakan,

$$\Delta P_i = \{M\} \{ \ddot{y}_{b,i+1} - \ddot{y}_{b,i} \} \quad (2.51)$$

Untuk memulai integrasi numerik tersebut digunakan persamaan,

$$\Delta \ddot{y}_i = \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} \Delta y_i - \frac{1}{\beta(\Delta t)} \dot{y}_i - \frac{1}{2\beta} \ddot{y}_i \quad (2.52)$$

dengan  $\Delta \ddot{y}_i$  adalah perubahan percepatan pada langkah ke-i, sedangkan perubahan kecepatan pada langkah yang sama  $\Delta \dot{y}_i$  adalah,

$$\Delta \dot{y}_i = \frac{\gamma}{\beta(\Delta t)} \Delta y_i - \frac{\gamma}{\beta} \dot{y}_i + (\Delta t) \left( 1 - \frac{1}{2\beta} \right) \ddot{y}_i \quad (2.53)$$

Kemudian untuk perubahan simpangan dapat dicari dengan persamaan,

$$\Delta y = \frac{\Delta P_i}{k} \quad (2.54)$$

yang mana,

$$k = \left\{ K + \frac{\gamma}{\beta(\Delta t)} C + \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} M \right\} \quad (2.55)$$

$$\Delta \hat{P}_i = (P_{i+1} - P_i) + a \dot{y}_i + b \ddot{y}_i \quad (2.56)$$

Sedangkan untuk struktur MDOF akibat beban gempa bumi maka persamaan (2.52) akan menjadi,

$$\Delta \hat{P}_i = \{M\}(\ddot{y}_{b,i+1} - \ddot{y}_{b,1}) + a \dot{y}_i + b \ddot{y}_i \quad (2.57)$$

dimana nilai a dan b pada persamaan diatas adalah,

$$a = \left\{ \frac{1}{\beta(\Delta t)} m + \frac{\gamma}{\beta} c \right\} \quad b = \left\{ \frac{1}{2\beta} m + \Delta t \left( \frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) c \right\} \quad (2.58)$$

Pada metode  $\beta$  - *Newmark* terdapat perbedaan nilai koefisien berdasarkan metode yang digunakan, yaitu :

1. Metode percepatan rata-rata, dengan nilai koefisien  $\gamma = 1/2$  dan  $\beta = 1/4$ .
2. Metode percepatan linier, dengan nilai koefisien  $\gamma = 1/2$  dan  $\beta = 1/6$ .

Selanjutnya simpangan, kecepatan, dan percepatan pada akhir interval adalah,

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

$$\dot{y}_{i+1} = \dot{y}_i + \Delta \dot{y}_i$$

$$\ddot{y}_{i+1} = \ddot{y}_i + \Delta \ddot{y}_i \quad (2.59)$$

## 2.16 Analisis Respon Struktur Akibat Beban Gempa

Analisis respon struktur akibat beban gempa meliputi simpangan netto struktur, gaya horisontal tingkat, gaya horisontal tingkat komulatif dan momen guling pada struktur 4, 7, 10 tingkat dengan mengkombinasikan kekakuan horisontal *base isolation* (kb) dan kekakuan putar tanah (kr) diabaikan dengan menggunakan 3 variasi percepatan gempa yaitu Bucharest, Elcentro, Koyna. Adapun untuk nilai kb = 1183388, 534 kg/m.



### 2.16.1 Simpangan Struktur

Simpangan struktur yang terjadi yaitu simpangan horisontal struktur dan simpangan antar tingkat (*interstorey drift*). Nilai dari simpangan horisontal struktur adalah sebagai berikut ini.

$$Y_i = \sum_{j=1}^n [\phi_{ij} Z_j] \quad (2.60)$$

### 2.16.2 Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*)

Simpangan antar tingkat adalah selisih simpangan netto suatu tingkat dengan simpangan netto dibawahnya yang dibagi tinggi tingkat, pada waktu yang bersamaan. Besarnya nilai simpangan antar tingkat dihitung dengan rumus :

$$yy_j(t) = \frac{yy_j(t) - yy_{j-1}(t)}{h} * 100 \% \quad (2.61)$$

dimana  $yy(t)$  dan  $y(t)$  adalah simpangan antar tingkat (*interstorey drift*) dan simpangan netto yang terjadi pada tingkat ke-j yang merupakan fungsi dari waktu serta  $h$  adalah tinggi tingkat.

### 2.16.3 Gaya Horisontal Tingkat

Gaya horisontal tingkat dihitung dengan mengalikan simpangan netto dan kekakuan struktur. Besarnya nilai gaya horisontal tingkat dihitung dengan :

$$F_j = y_j(t) * k_j \quad (2.62)$$

Dimana,  $F$ ,  $y$ , dan  $k$  adalah gaya horisontal tingkat, simpangan netto dan kekakuan tiap tingkat yang merupakan fungsi dari waktu.

#### 2.16.4 Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif

Gaya horisontal tingkat kumulatif diperoleh dengan menjumlahkan gaya horisontal tiap tingkat. Besarnya nilai gaya horisontal tingkat kumulatif tingkat dihitung dengan rumus :

$$V(t) = \sum_{j=1}^n F(t)$$

(2.63)

Dimana,  $V$  dan  $F$  adalah gaya horisontal tingkat kumulatif dan gaya horisontal tingkat yang merupakan fungsi waktu.

#### 2.16.5 Momen Guling (*Overturning Moment*)

Momen guling diperoleh dengan mengalikan gaya horisontal tingkat dan tinggi tingkat yang bersangkutan. Besarnya nilai momen guling dihitung dengan :

(2.64)

$$M_g = F_j(t) * H$$

Dimana  $M_g$  dan  $F$  adalah Momen Guling dan Gaya Horisontal tingkat yang merupakan fungsi waktu sedangkan  $H$  adalah tinggi tingkat.

#### 2.16.6 *Fundamental Periode*

*Fundamental Periode* merupakan perbandingan antara  $2\pi$  dan nilai frekuensi getar struktur ( $\omega$ ). Nilai periode getar struktur (*Fundamental Periode*) ini akan berpengaruh terhadap koefisien gempa dasar pada spektrum respon. Besarnya nilai fundamental periode dihitung dengan rumus berikut ini.

(2.65)

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

*Fundamental Periode* ini akan semakin besar pada mode yang lebih kecil, semakin kecil  $\omega$  maka semakin besar nilai *fundamental periode*.

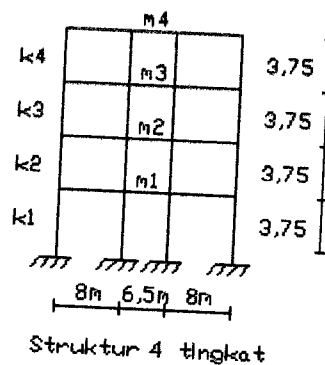
### BAB III

#### PENDEKATAN MODEL/SISTEM

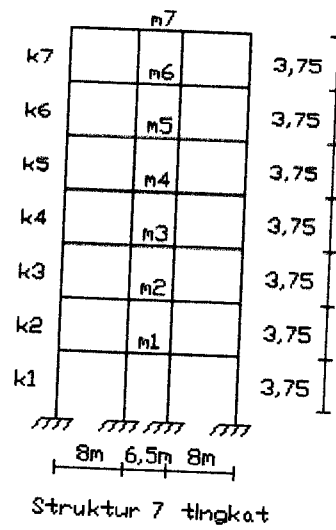
#### 3.1 Pemodelan Bangunan

##### 3.1.1 Pemodelan Tingkat

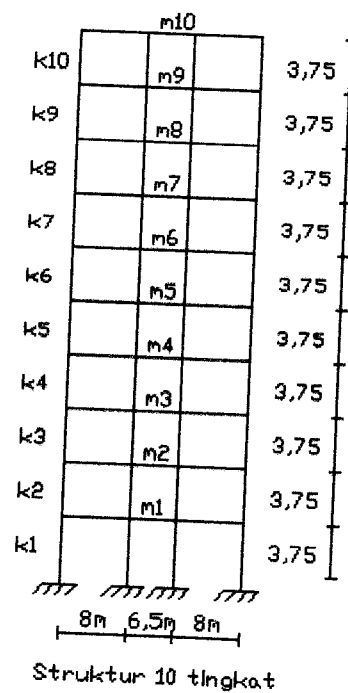
Suatu penelitian dibatasi dengan ukuran bangunan dengan ketinggian tertentu. Bangunan yang dipergunakan pada penelitian ini adalah struktur portal baja bertingkat 4, 7, 10 struktur portal 3 bentang. Model struktur 4, 7, 10 tingkat merupakan struktur baja *open frame* dengan menggunakan *base isolation* dan tanpa *base isolation* sebagai pembanding. Untuk memperjelas model struktur yang digunakan, berikut ini dicantumkan perletakan kolom serta dari model struktur yang terpakai.



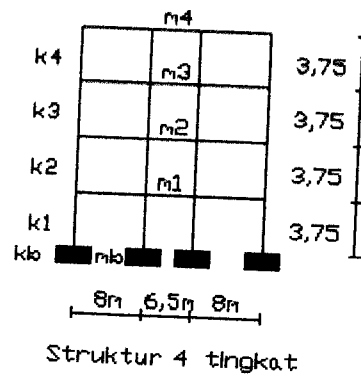
Gambar 3.1 Pemodelan struktur *open frame* baja bertingkat 4 tanpa *base isolation*.



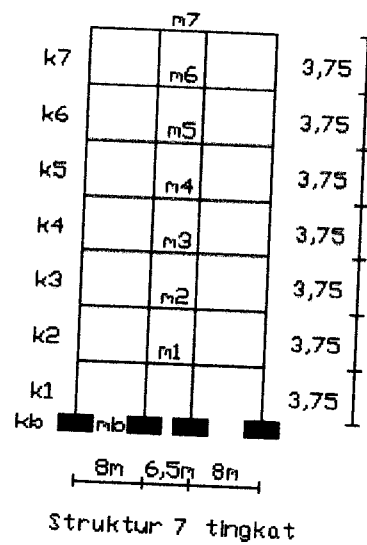
**Gambar 3.2** Pemodelan struktur *open frame* baja bertingkat 7 tanpa *base isolation*.



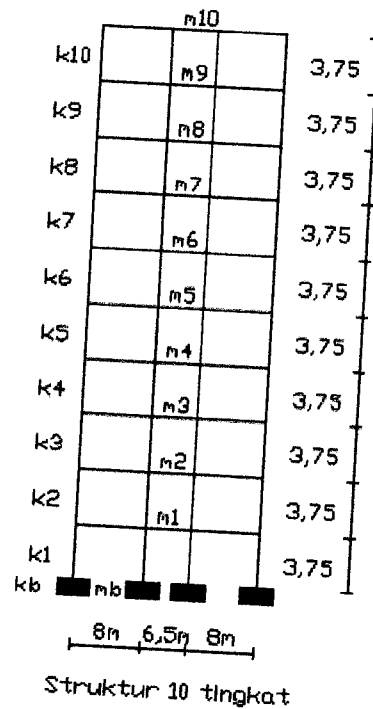
**Gambar 3.3** Pemodelan struktur *open frame* baja bertingkat 10 tanpa *base isolation*.



**Gambar 3.4** Pemodelan struktur *open frame* baja bertingkat 4 dengan *base isolation*.



**Gambar 3.5** Pemodelan struktur *open frame* baja bertingkat 7 dengan *base isolation*.



**Gambar 3.6** Pemodelan struktur *open frame* baja bertingkat 10 dengan *base isolation*.

### 3.1.2. Pemodelan Dimensi dan Profil Baja.

Ukuran-ukuran dimensi dan profil diperoleh dari data yang diperhitungkan dengan analisis tiga dimensi. Data-data tersebut juga diambil dari penelitian Wiwit Budi C. dan Hariyanto. Data-data beban dan spesifikasi dari struktur baja adalah sebagai berikut :

- a. Asumsi fungsi struktur adalah untuk perkantoran, maka data pembebanan adalah :
  - Beban hidup (ql) pada atap gedung :  $100 \text{ kg/m}^2$
  - Beban hidup (ql) pada lantai gedung :  $250 \text{ kg/cm}^2$



b. Perhitungan beban mati diperoleh dari data profil seperti berikut ini :

- Modulus Elastisitas (E) =  $2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

- Tegangan leleh baja (Fy) = 250 Mpa

- Data-data profil dan berat profil tersebut pada tabel 3.1 berikut ini.

**Tabel 3.1 Dimensi dan profil baja**

a) Struktur 4 tingkat

No	Elemen Struktur	Lantai	Profil Baja A36	Berat Profil (kg/m)
1	Balok bentang 8 m	1 - 3	W14X53	78,87
2	Balok bentang 6,5 m	1 - 3	W14X34	50,59
5	Balok bentang 8 m	A	W14X53	78,87
6	Balok bentang 6,5 m	A	W14X26	38,69
7	Kolom tepi lantai	1 - 3	W14X257	382,46
8	Kolom tengah lantai	1 - 3	W14X370	550,63
9	Kolom tepi lantai	A	W14X193	287,22
10	Kolom tengah lantai	A	W14X211	314,00

b) Struktur 7 tingkat

No	Elemen Struktur	Lantai	Profil Baja A36	Berat Profil (kg/m)
1	Balok bentang 8 m	1 - 6	W14X53	78,87
2	Balok bentang 6,5 m	1 - 6	W14X34	50,59
5	Balok bentang 8 m	A	W14X53	78,87
6	Balok bentang 6,5 m	A	W14X26	38,69
7	Kolom tepi lantai	1 - 6	W14X257	382,46
8	Kolom tengah lantai	1 - 6	W14X370	550,63
9	Kolom tepi lantai	A	W14X193	287,22
10	Kolom tengah lantai	A	W14X211	314,00

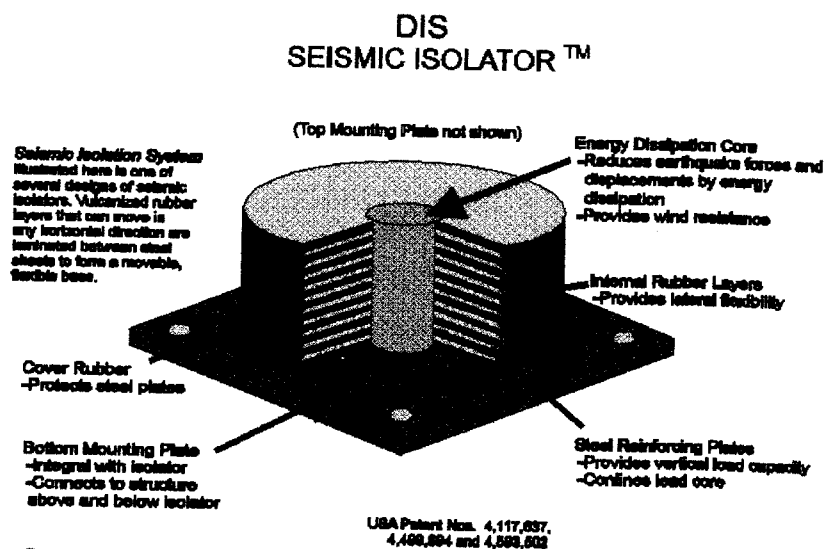
## c) Struktur 10 tingkat

No	Elemen Struktur	Lantai	Profil Baja A36	Berat Profil (kg/m)
1	Balok bentang 8 m	1 - 9	W14X53	78,87
2	Balok bentang 6,5 m	1 - 9	W14X34	50,59
5	Balok bentang 8 m	A	W14X53	78,87
6	Balok bentang 6,5 m	A	W14X26	38,69
7	Kolom tepi lantai	1 - 9	W14X257	382,46
8	Kolom tengah lantai	1 - 9	W14X370	550,63
9	Kolom tepi lantai	A	W14X193	287,22
10	Kolom tengah lantai	A	W14X211	314,00

### 3.2 Pemodelan Alat Peredam (*Base Isolation*)

#### 3.2.1 *High Damping Laminated Rubber Bearing*

Pemodelan alat ini dipasang diantara pondasi dengan lantai satu. Timah hitam (*lead*) dipasang pada sumbu bantalan karet, dibagian atas dan bawah diberi lempengan plat baja seperti terlihat pada Gambar 3.2. Timah hitam digunakan untuk menahan beban angin.



**Gambar 3.7** *High Damping Rubber Bearing* ([www.takenaka.co.jp](http://www.takenaka.co.jp))



### 3.3 Data Gempa

Beban gempa yang dipergunakan pada tugas akhir ini diambil dari data beban gempa yang sudah ada. Analisis yang dipakai pada riwayat gempa Bucharest, El Centro, Koyna. Data kandungan frekuensi beban gempa (A/V rasio) merupakan perbandingan antara percepatan maksimum (A maks.) dengan kecepatan maksimum (V maks.) gerakan tanah akibat gempa. Data A/V rasio dapat dilihat pada tabel 3.3.

**Tabel 3.2** Data kandungan frekuensi beban gempa (A/V rasio)

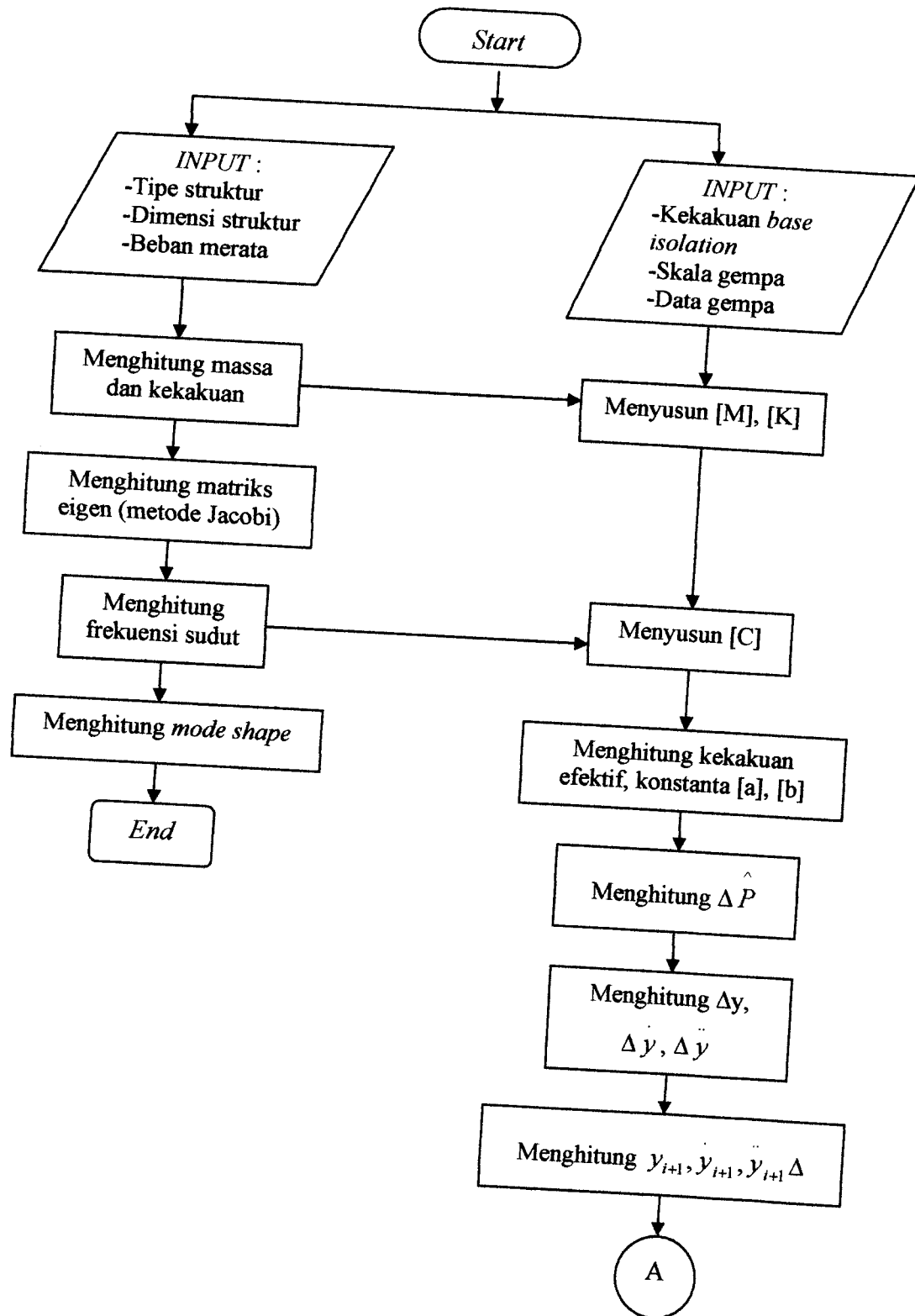
No.	Beban Gempa	A maks. (cm/dt <sup>2</sup> )	V maks. (cm/dt)	A/V rasio (g/m/dt)	Keterangan
1.	Bucharest	225,4	75,1	0,30595	Dari data
2	Tlahuac Bombas	130,4625	40,2011	0,33081	Dari data
3	Ulcinj	258,5	34,0712	0,7734	Dari data
4	Miyagi	202,6549	26,559	0,8605	Dari data
5	Bar Montenegro	371,1	42,93	0,86443	Dari data
6	Coalinga	440,56	49,96	0,88182	Dari data
7	Petrovac	441,7	40,402	1,09876	Dari data
8	Elcentro	342,02	33,4	1,04385	Dari data
9	Parkfield	407,4	42,6573	1,1241	Dari data
10	Corint	281,4	25,10723	1,1425	Dari data
11	Coralitos	436,1	38,44726	1,15625	Dari data
12	Gilroy	401,8	20,56445	1,9917	Dari data
13	St. Cruz	392	15,26268	2,6181	Dari data
14	Koyna India	548,79	16,13209	3,46774	Dari data

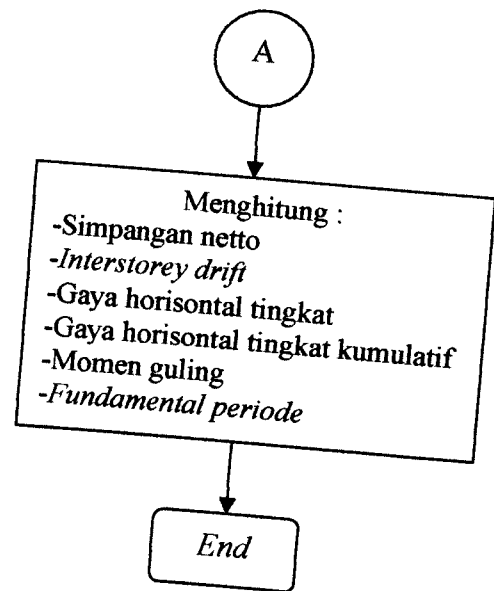
### 3.4 Metode Kajian

Metode kajian adalah langkah-langkah untuk menghitung dan menganalisis perhitungan struktur baja 4, 7, 10 tingkat dengan memasukkan spesifikasi data dari *base isolation*. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan

program komputer *Microsoft Visual Basic 6.0*. Program tersebut merupakan penerapan program yang lama, tetapi telah mengalami penambahan dan modifikasi. Langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut :

1. Menghitung massa dengan prinsip *lumped mass*. (Pers. 2.15)
2. Menghitung nilai kekakuan dengan prinsip *Shear Building*. (Pers. 2.16)
3. Menyusun dan menghitung matriks massa  $[M]$ , matriks kekakuan  $[K]$ , matriks redaman  $[C]$ . (Pers. 2.11 s/d pers. 2.13)
4. Menghitung persamaan eigen. (Pers. 2. 27)
5. Menghitung frekuensi sudut ( $\omega$ ). (Pers. 2.6)
6. Menghitung *mode shape*.
7. Menghitung konstanta - konstanta  $[a]$ ,  $[b]$ . (Pers. 2.58)
8. Menghitung  $\Delta p$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta \dot{y}$ ,  $\Delta \ddot{y}$  ,. (Pers. 2.49 s/d 2.57)
9. Menghitung  $y$ ,  $\dot{y}$ ,  $\ddot{y}$  (Pers. 2.59)
10. Menghitung simpangan netto. (Pers. 2.60)
11. Menghitung simpangan antar tingkat (*interstorey drift*). (Pers. 2.61)
12. Menghitung Gaya horisontal tingkat. (Pers. 2.62)
13. Menghitung Gaya horisontal tingkat kumulatif. (Pers. 2.63)
14. Menghitung momen guling (*overturning moment*). (Pers. 2.64)
15. Menghitung periode getar struktur (*fundamental periode*). (Pers. 2.65)





**Gambar 3.8** Bagan Alir (*Flow Chart*)

## BAB IV

### PENGEMBANGAN DAN KINERJA MODEL/SISTEM

#### 4.1 Pendahuluan

Program ProgSIP 2004 merupakan program yang dibuat dengan bahasa *Microsoft Visual Basic 6.0*, dengan cara mengaplikasikan tahapan hitungan manual yang terdapat dalam landasan teori. Pengaplikasian ke program *Microsoft Visual Basic 6.0* dengan terlebih dahulu dilakukan perhitungan menggunakan *Microsoft Excel*, dan hasilnya sebagai acuan pembuatan program.

Program ini terdiri dua sub perhitungan, yaitu perhitungan massa dan kekakuan yang menghasilkan ragam/pola goyangan struktur (*mode shape*), dan perhitungan respon struktur akibat beban dinamik. *Input* pada program terdiri dari tipe, dimensi struktur dan dimensi elemen-elemen dari struktur tersebut. *Input* yang lain berupa parameter dari *base isolation* yang berupa kekakuan *base isolation*. Sedangkan data percepatan tanah berupa data gempa, skala gempa dan *damping ratio*.

Perhitungan analisa dinamik meliputi perhitungan simpangan, kecepatan, percepatan, simpangan antar tingkat (*interstorey drift*), gaya horisontal tingkat (F), gaya horisontal tingkat kumulatif (V) dan momen guling yang semuanya merupakan respon struktur akibat beban dinamik berupa percepatan tanah. Hal diatas dihitung dengan memvariasikan dari data yang ada.

Variasi-variasi perhitungan dalam tugas akhir ini terdiri dari variasi akibat kekakuan *base isolation* yaitu diambil tingkat maksimum dan minimumnya, variasi dari beban gempa yaitu variasi gempa Bucharest, gempa Elcentro dan gempa Koyna. Variasi yang lain adalah dengan memvariasikan tinggi tingkat struktur yaitu dengan mengambil struktur 4 tingkat, struktur 7 tingkat dan struktur 10 tingkat. Sedangkan struktur tersebut diatas dibedakan menjadi dua jenis yaitu struktur dengan menggunakan peredam gempa yang berupa *base isolation* dan struktur tanpa menggunakan *base isolation* (*fixed base*).

## 4.2 Pembebanan Struktur

Diambil dari data struktur tugas akhir Wiwit Budi C dan Hariyanto (2000). Adapun hasil perhitungan beban merata dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan 4.2 sebagai berikut ini.

**Tabel 4.1** Hasil perhitungan beban merata pada struktur dengan *base isolation*

a. Struktur 4 tingkat

Tingkat	Beban Merata (kg/m)	
	Balok 8 m	Balok 6,5 m
<i>Base Isolation</i>	4001,5	3427
1-2	4001,5	3427
Atap	2112	1716

b. Struktur 7 tingkat

Tingkat	Beban Merata (kg/m)	
	Balok 8 m	Balok 6,5 m
<i>Base Isolation</i>	4001,5	3427
1-5	4001,5	3427
Atap	2112	1716

c. Struktur 10 tingkat

Tingkat	Beban Merata (kg/m)	
	Balok 8 m	Balok 6,5 m
<i>Base Isolation</i>	4001,5	3427
1-8	4001,5	3427
Atap	2112	1716

**Tabel 4.2** Hasil perhitungan beban merata pada struktur tanpa *base isolation* (*fixed base*)

a. Struktur 4 tingkat

Tingkat	Beban Merata (kg/m)	
	Balok 8 m	Balok 6,5 m
1-3	4001,5	3427
Atap	2112	1716

b. Struktur 7 tingkat

Tingkat	Beban Merata (kg/m)	
	Balok 8 m	Balok 6,5 m
1-6	4001,5	3427
Atap	2112	1716

c. Struktur 10 tingkat

Tingkat	Beban Merata (kg/m)	
	Balok 8 m	Balok 6,5 m
1-9	4001,5	3427
Atap	2112	1716

### 4.3 Perhitungan Massa dan Kekakuan

Anggapan perhitungan dalam analisa ini adalah *lumped mass* dan prinsip *shear building*, yaitu massa dihitung pada tiap tingkat dan menggumpal di tengah bentang. Kekakuan dihitung dimana besarnya kekakuan tiap lantai merupakan jumlah dari kekakuan tiap kolomnya.

Perbedaan perhitungan massa dan kekakuan diantara struktur dengan menggunakan *base isolation* dan tanpa menggunakan *base isolation* terletak pada kekakuannya. Kekakuan *base isolation* merupakan data yang diambil dari referensi, sedangkan kekakuan struktur tanpa *base isolation* diperoleh berdasarkan perhitungan. Sedangkan massa struktur pada bangunan yang menggunakan *base*

*isolation* dianggap sama dengan massa struktur pada bangunan tanpa menggunakan *base isolation*.

Massa tingkat dihitung dengan rumus pada persamaan (2.15) dimana massa adalah berat dibagi gravitasi. Dalam perhitungan ini percepatan gravitasi diambil sebesar  $9,81 \text{ m/dt}^2$ .

Dari rumus tersebut maka hasil perhitungan massa tiap lantai dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan 4.4 berikut ini.

**Tabel 4.3** Hasil perhitungan massa struktur dengan *base isolation*

a. Struktur 4 tingkat

Tingkat	Massa struktur (kg.dt <sup>2</sup> /m)
<i>Base isolation</i>	9691, 362597
1 - 2	9691, 362597
3	5119, 233392

b. Struktur 7 tingkat

Tingkat	Massa struktur (kg.dt <sup>2</sup> /m)
<i>Base isolation</i>	9691, 362597
1 - 5	9691, 362597
6	5119, 233392

c. Struktur 10 tingkat

Tingkat	Massa struktur (kg.dt <sup>2</sup> /m)
<i>Base isolation</i>	9691, 362597
1 - 8	9691, 362597
9	5119, 233392



**Tabel 4.4** Hasil perhitungan massa struktur tanpa *base isolation* (*fixed base*)

## a. Struktur 4 tingkat

Tingkat	Massa struktur (kg.dt <sup>2</sup> /m)
1 - 3	9691, 362597
4	5119, 233392

## b. Struktur 7 tingkat

Tingkat	Massa struktur (kg.dt <sup>2</sup> /m)
1 - 6	9691, 362597
7	5119, 233392

## c. Struktur 10 tingkat

Tingkat	Massa struktur (kg.dt <sup>2</sup> /m)
1 - 9	9691, 362597
10	5119, 233392

Kekakuan dihitung menggunakan prinsip *shear building* dimana kekakuan kolom tidak dipengaruhi oleh balok yang menghubungkan kolom-kolom yang ada. Kekakuan tiap kolom dapat dihitung dengan persamaan (2.16). Perhitungannya adalah sebagai berikut.

## a. Kolom tepi (profil W14 x 257)

$$E = 29000 \text{ Ksi} = 2,03890018 \times 10^{10} \text{ kg/m}^2$$

$$I = 0,001415 \text{ m}^4$$

$$H_1 = 3,75 \text{ m}$$

$$\text{Kekakuan kolom tepi} = 2 * \frac{12 * 2,03890018 \times 10^{10} * 0,001415}{(3,75)^3}$$

$$= 13130154,688056 \text{ kg/m}$$

b. Kolom tengah (profil W14 x 370)

$$E = 29000 \text{ Ksi} = 2,03890018 \times 10^{10} \text{ kg/m}^2$$

$$I = 0,002264 \text{ m}^4$$

$$H_1 = 3,75 \text{ m}$$

$$\text{Kekakuan kolom tengah} = 2 * \frac{12 * 2,03890018 \times 10^{10} * 0,002264}{(3,75)^3}$$

$$= 21008247,5 \text{ kg/m}$$

$$\text{Kekakuan total} = 13130154,688056 + 21008247,5 = 34138402,18 \text{ kg/m}$$

Adapun hasil perhitungan kekakuan dapat dilihat pada tabel 4.5 dan 4.6 sebagai berikut.

**Tabel 4.5** Hasil perhitungan kekakuan struktur dengan *base isolation*

a. Struktur 4 tingkat

Tingkat	Kekakuan (kg/m)
<i>Base isolation</i>	1183388,534
1 - 3	34138402,18

b. Struktur 7 tingkat

Tingkat	Kekakuan (kg/m)
<i>Base isolation</i>	1183388,534
1 - 6	34138402,18

## c. Struktur 10 tingkat

Tingkat	Kekakuan (kg/m)
<i>Base isolation</i>	1183388,534
1 - 9	34138402,18

**Tabel 4.6** Hasil perhitungan kekakuan struktur tanpa *base isolation* (*fixed base*)

## a. Struktur 4 tingkat

Tingkat	Kekakuan (kg/m)
1	34138402,18
2 - 4	34138402,18

## b. Struktur 7 tingkat

Tingkat	Kekakuan (kg/m)
1	34138402,18
2 - 7	34138402,18

## c. Struktur 10 tingkat

Tingkat	Kekakuan (kg/m)
1	34138402,18
2 - 10	34138402,18

#### 4.4 Analisis Respon Struktur Akibat Beban Gempa

Analisis ini menggunakan tiga data gempa yaitu gempa Bucharest mewakili gempa dengan frekuensi rendah, gempa Elcentro mewakili gempa dengan frekuensi sedang dan gempa Koyna mewakili gempa dengan frekuensi tinggi.

Analisis-analisis yang dilakukan adalah dengan cara mencari kekakuan *base isolation* dengan cara *trial* dan coba-coba sehingga didapatkan kekakuan

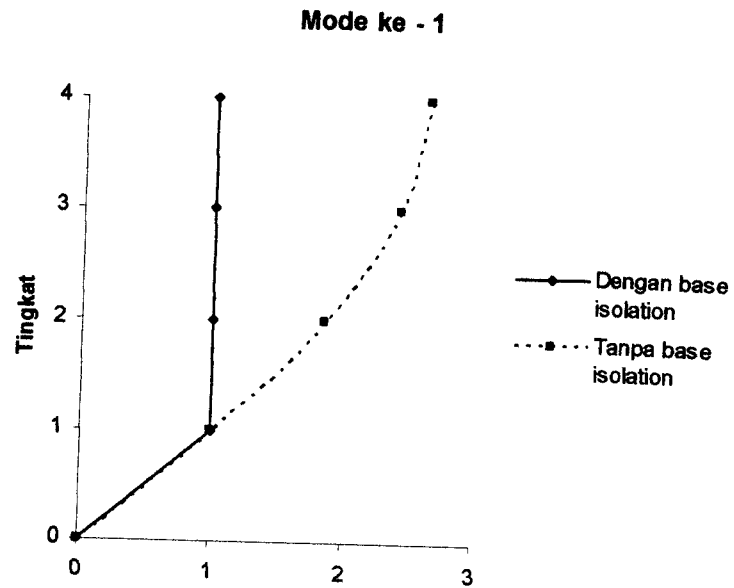
yang maksimum dan kekakuan yang minimum. Dilanjutkan dengan memasukkan variasi 3 gempa yaitu gempa Bucharest, gempa Elcentro dan gempa Koyna. Analisis diatas divariasikan pula dengan variasi struktur, yaitu 4 tingkat, 7 tingkat dan 10 tingkat.

Variasi-variasi diatas diolah pada program sehingga didapatkan *output* yang berupa *mode shape*, simpangan, kecepatan, percepatan, simpangan netto, simpangan antar tingkat, gaya horisontal tingkat, gaya horisontal tingkat kumulatif dan momen guling.

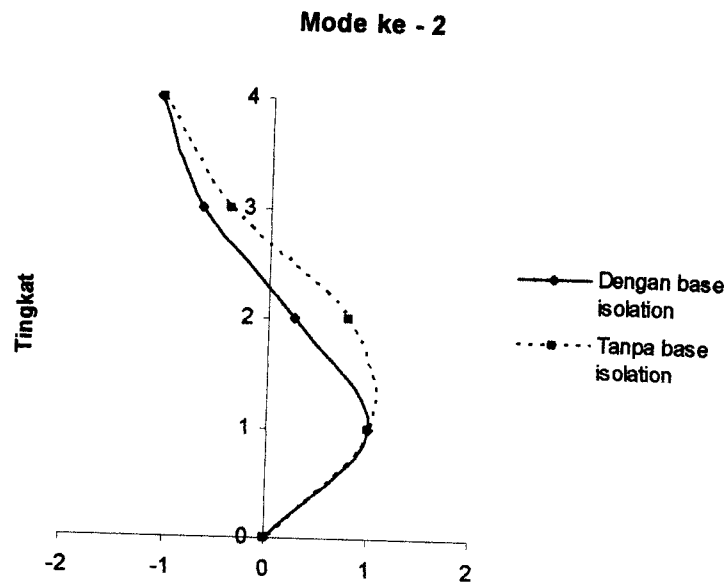
#### **4.4.1 Perhitungan *Mode Shape***

*Mode shape* merupakan ragam pola goyangan dari suatu struktur. Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk grafik dengan variasi tingkat, yaitu 4 tingkat, 7 tingkat dan 10 tingkat, dapat dilihat pada gambar berikut ini.

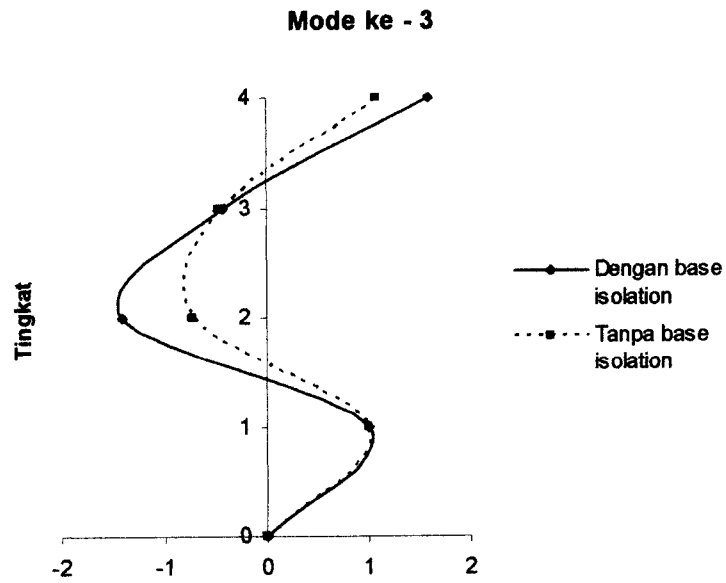
- a. Perbandingan *mode shape* dengan dan tanpa *base isolation* struktur 4 tingkat.



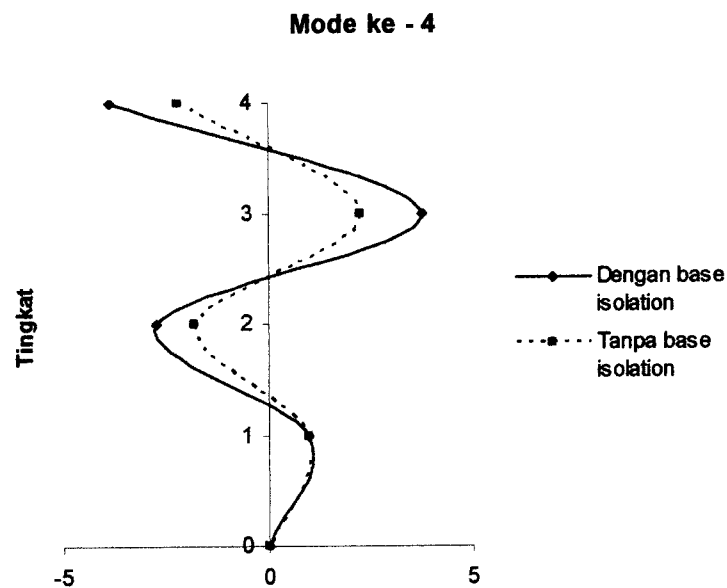
**Gambar 4.1** Perbandingan *mode ke - 1* dengan dan tanpa *base isolation* struktur 4 tingkat.



**Gambar 4.2** Perbandingan *mode ke - 2* dengan dan tanpa *base isolation* struktur 4 tingkat.

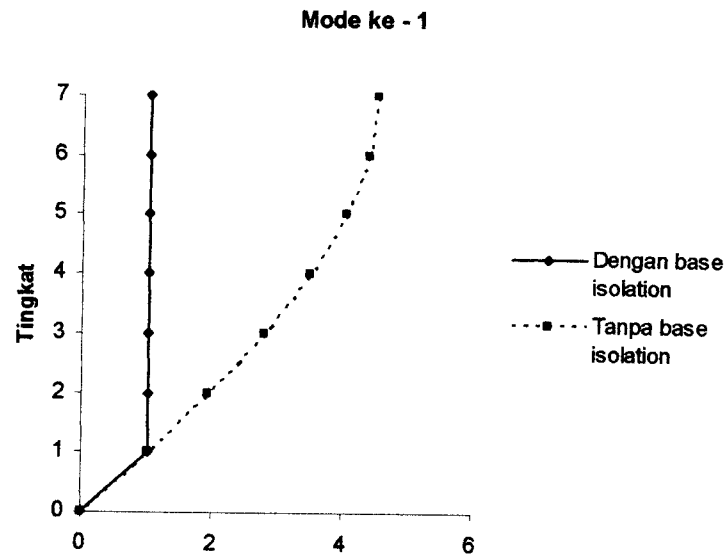


**Gambar 4.3** Perbandingan *mode ke - 3* dengan dan tanpa *base isolation* struktur 4 tingkat.

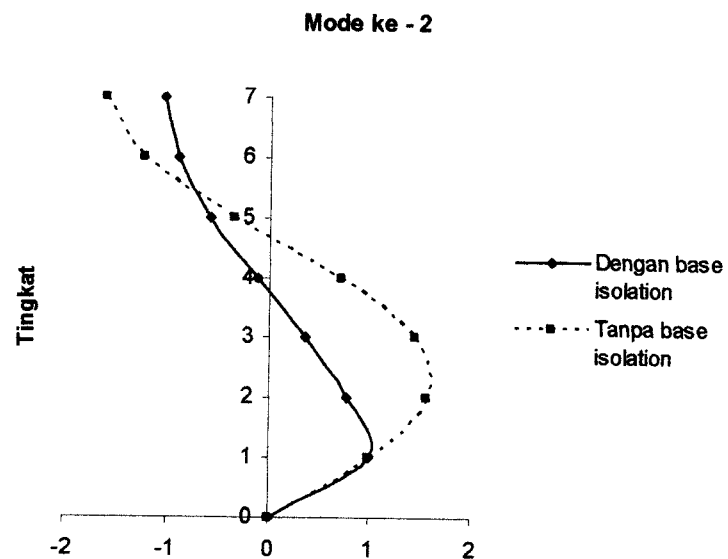


**Gambar 4.4** Perbandingan *mode ke - 4* dengan dan tanpa *base isolation* struktur 4 tingkat.

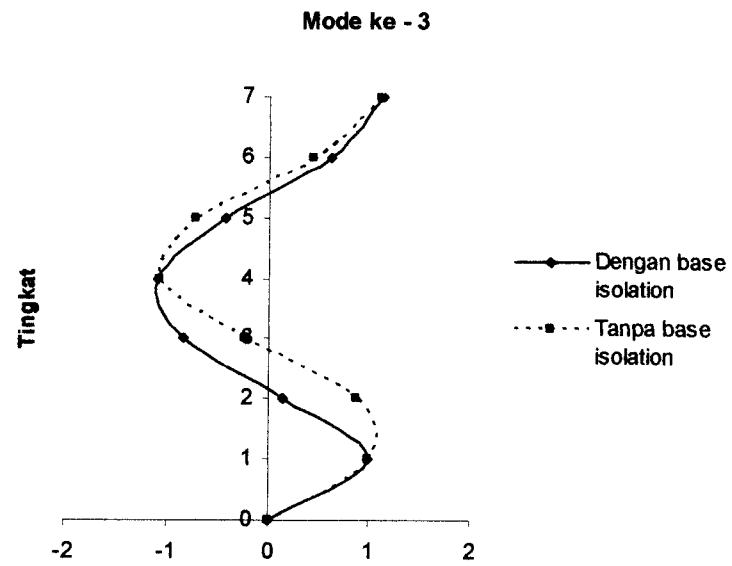
- b. Perbandingan *mode shape* dengan dan tanpa *base isolation* struktur 7 tingkat.



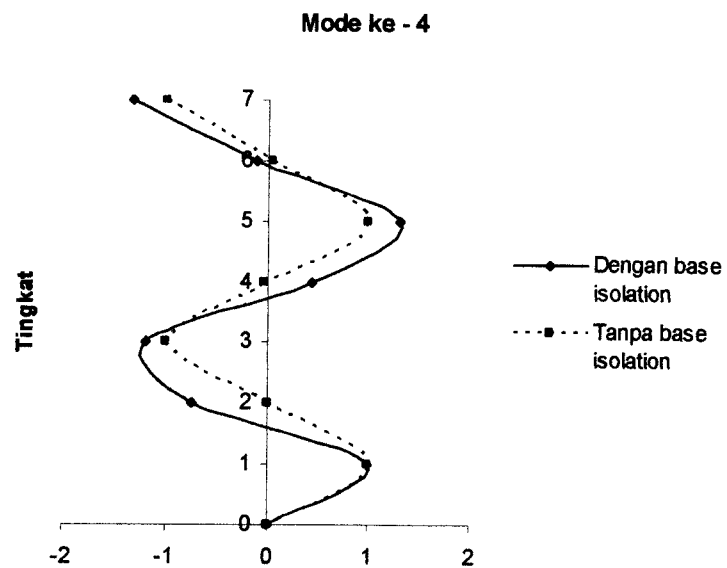
**Gambar 4.5** Perbandingan *mode ke - 1* dengan dan tanpa *base isolation* struktur 7 tingkat.



**Gambar 4.6** Perbandingan *mode ke - 2* dengan dan tanpa *base isolation* struktur 7 tingkat.

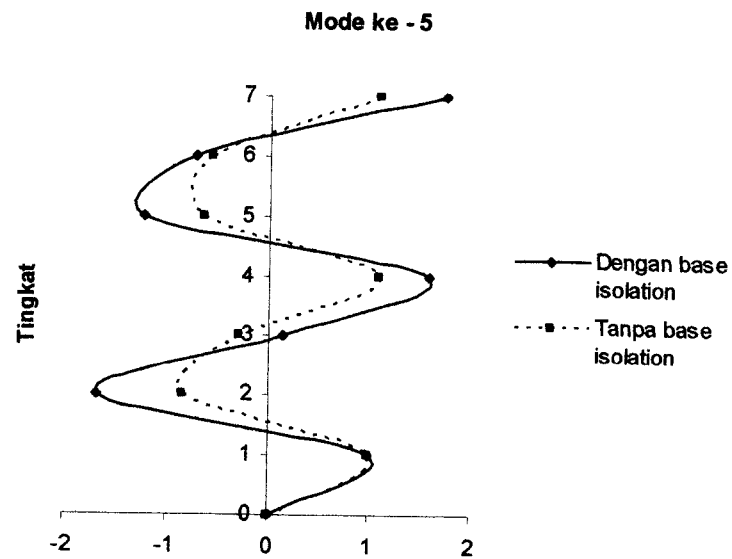


**Gambar 4.7** Perbandingan *mode ke - 3* dengan dan tanpa *base isolation* struktur 7 tingkat.

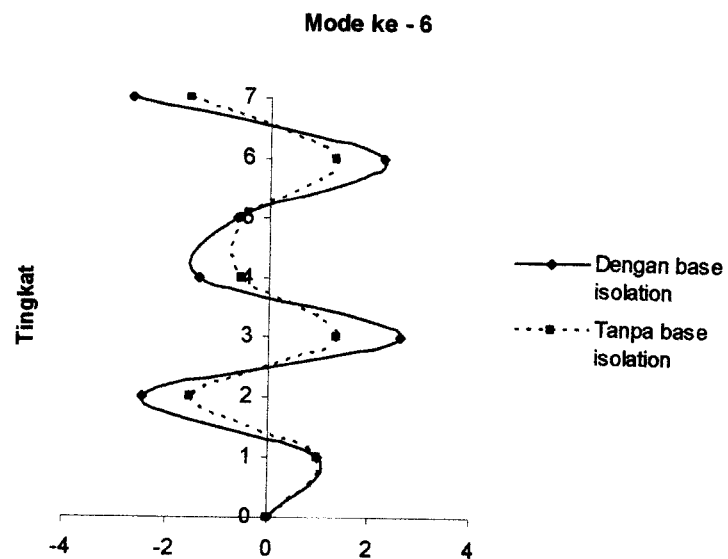


**Gambar 4.8** Perbandingan *mode ke - 4* dengan dan tanpa *base isolation* struktur 7 tingkat.

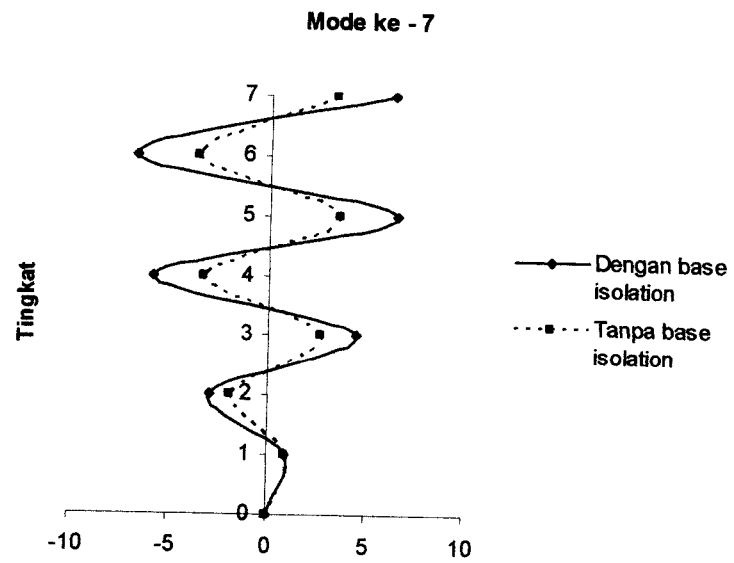




**Gambar 4.9** Perbandingan *mode* ke - 5 dengan dan tanpa *base isolation* struktur 7 tingkat.

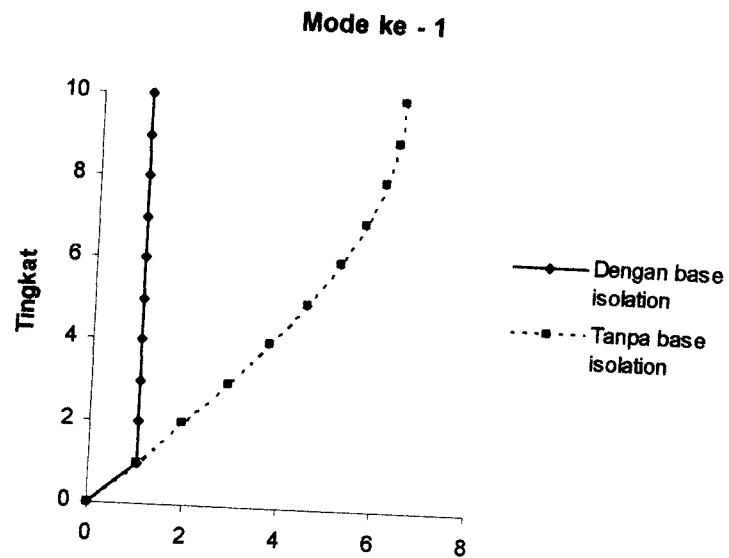


**Gambar 4.10** Perbandingan *mode* ke - 6 dengan dan tanpa *base isolation* struktur 7 tingkat.

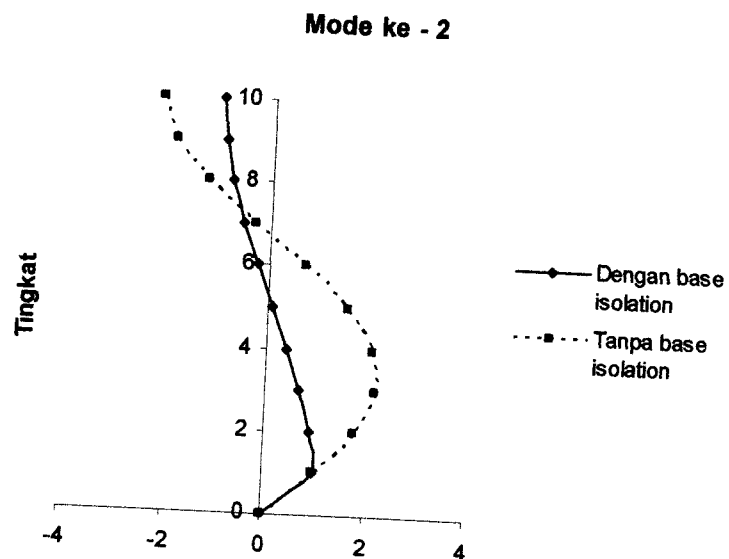


**Gambar 4.11** Perbandingan *mode ke - 7* dengan dan tanpa *base isolation* struktur 7 tingkat.

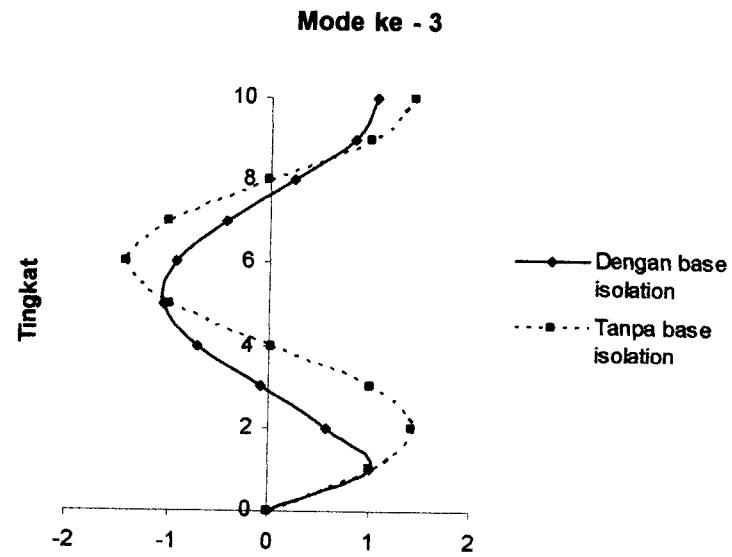
- c. Perbandingan *mode shape* dengan dan tanpa *base isolation* struktur 10 tingkat.



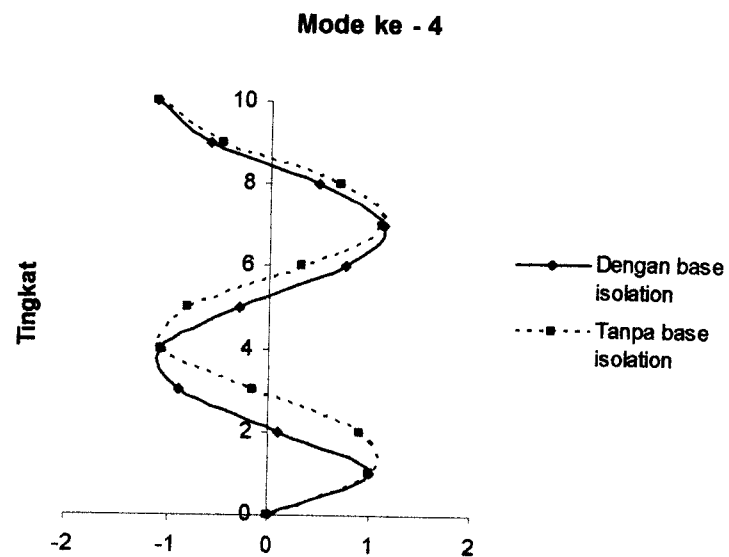
**Gambar 4.12** Perbandingan *mode ke - 1* dengan dan tanpa *base isolation* struktur 10 tingkat.



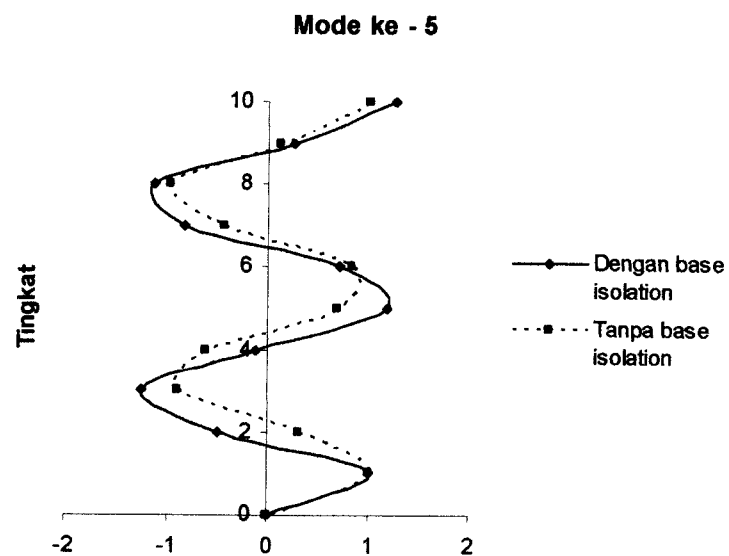
**Gambar 4.13** Perbandingan *mode ke - 2* dengan dan tanpa *base isolation* struktur 10 tingkat.



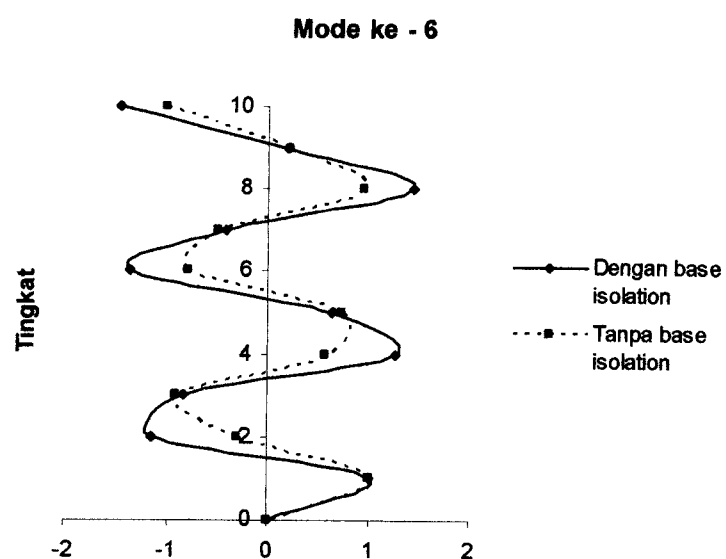
**Gambar 4.14** Perbandingan *mode* ke - 3 dengan dan tanpa *base isolation* struktur 10 tingkat.



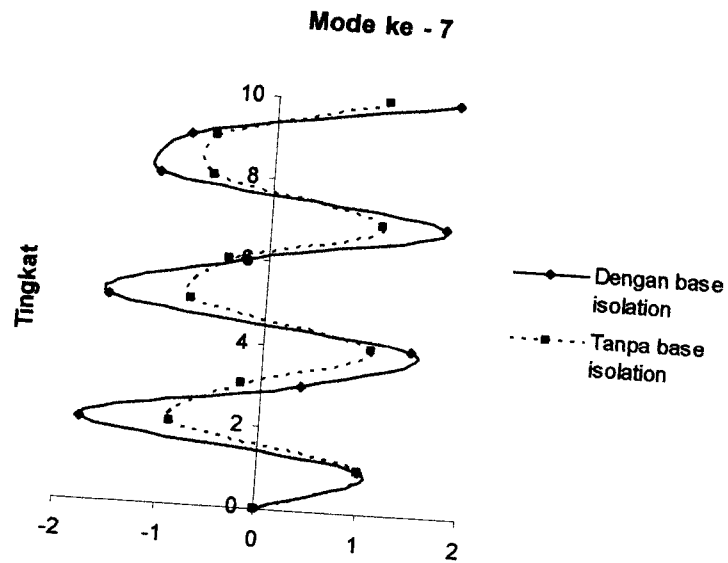
**Gambar 4.15** Perbandingan *mode* ke - 4 dengan dan tanpa *base isolation* struktur 10 tingkat.



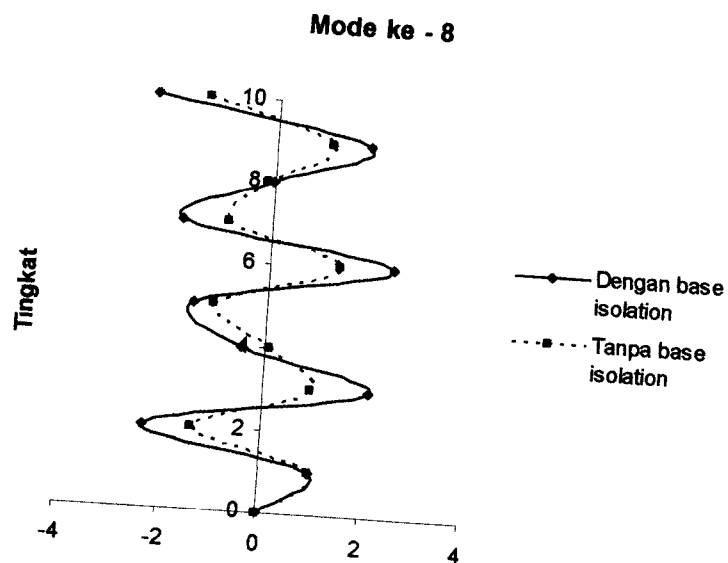
**Gambar 4.16** Perbandingan *mode ke - 5* dengan dan tanpa *base isolation* struktur 10 tingkat.



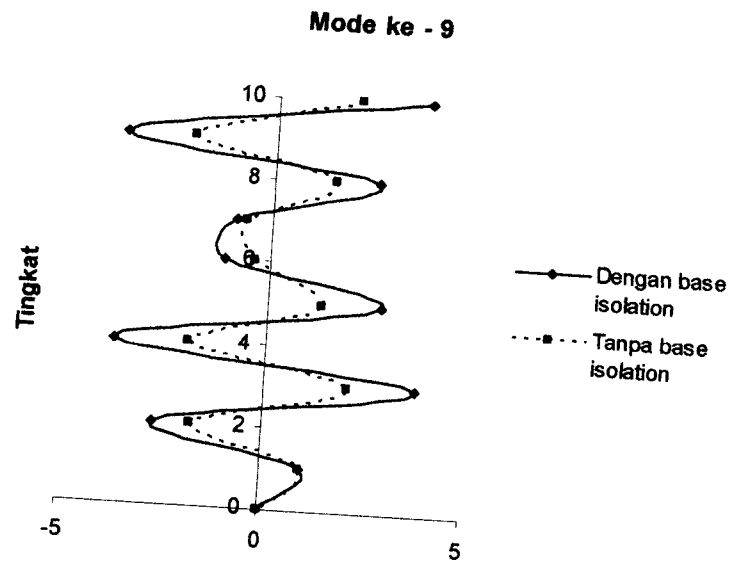
**Gambar 4.17** Perbandingan *mode ke - 6* dengan dan tanpa *base isolation* struktur 10 tingkat.



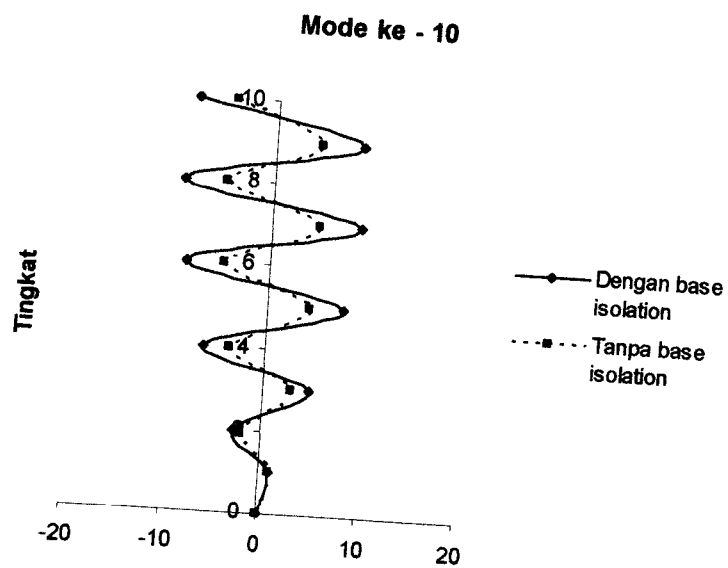
**Gambar 4.18** Perbandingan *mode ke - 7* dengan dan tanpa *base isolation* struktur 10 tingkat.



**Gambar 4.19** Perbandingan *mode ke - 8* dengan dan tanpa *base isolation* struktur 10 tingkat.



**Gambar 4.20** Perbandingan *mode ke - 9* dengan dan tanpa *base isolation* struktur 10 tingkat.

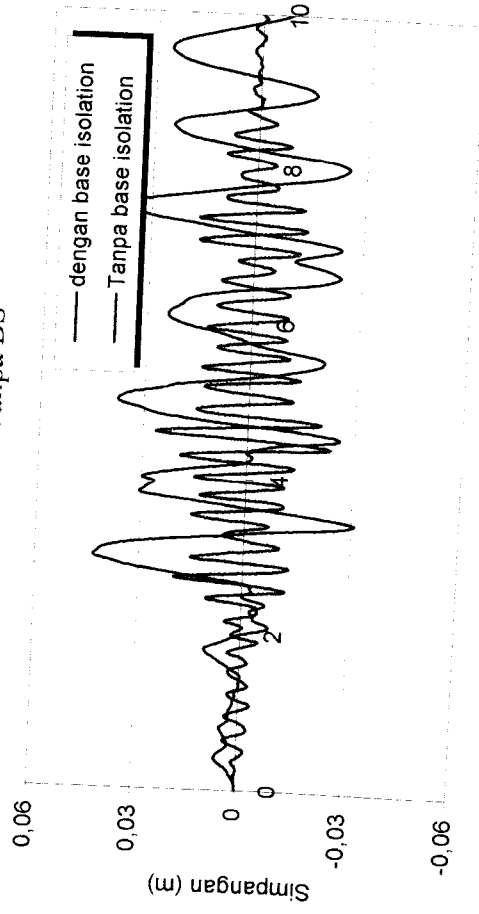
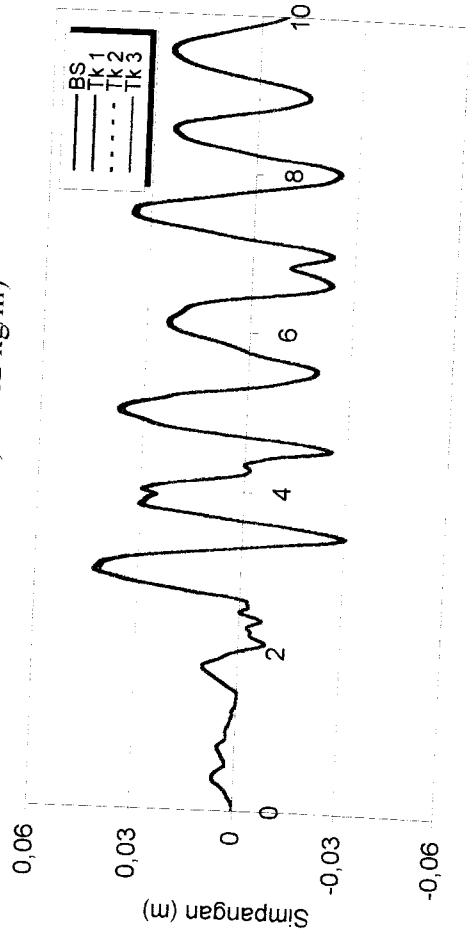
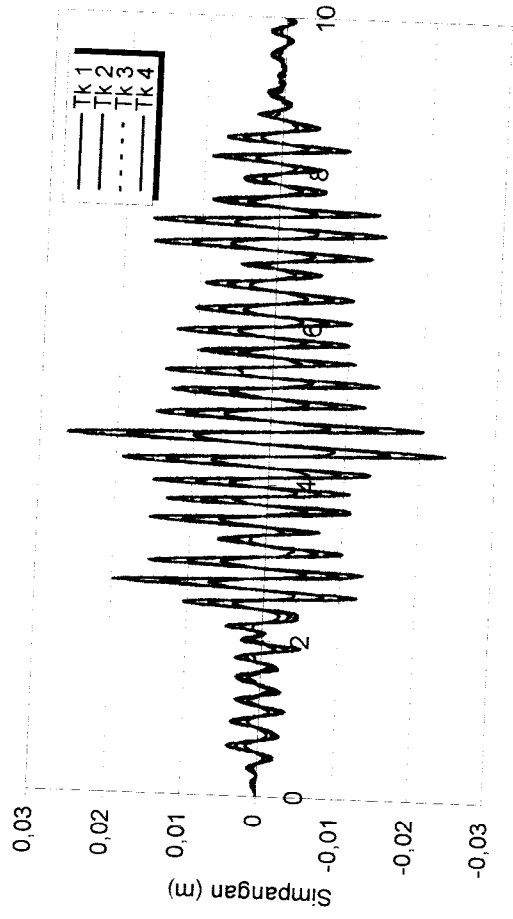
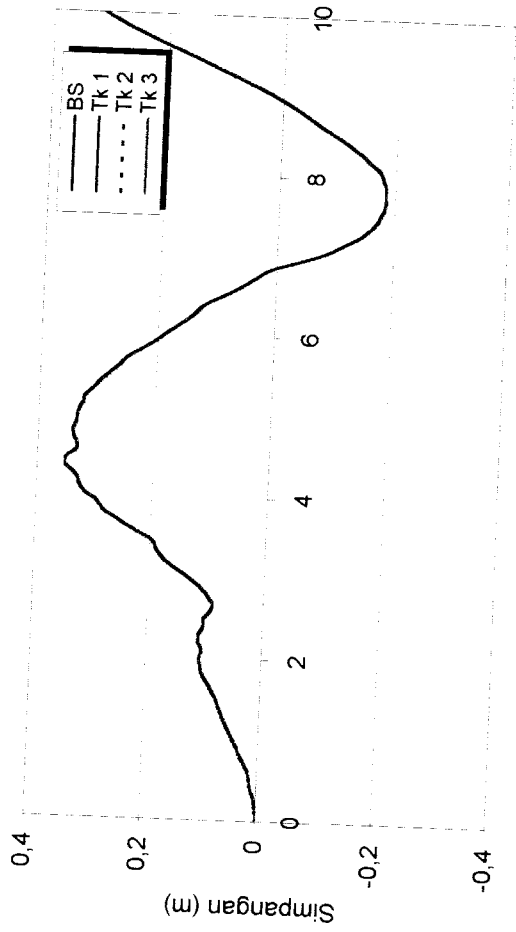


**Gambar 4.21** Perbandingan *mode ke - 10* dengan dan tanpa *base isolation* struktur 10 tingkat.

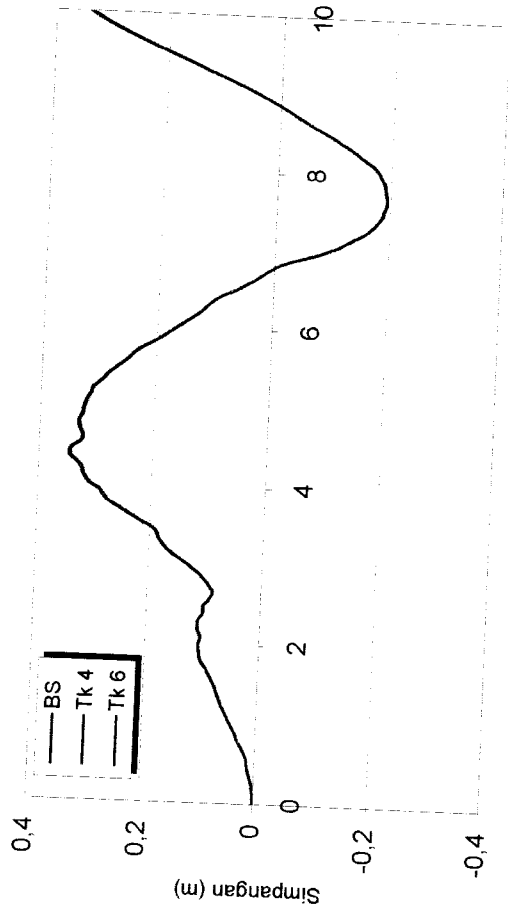
#### **4.4.2 Perhitungan Simpangan Struktur**

Simpangan struktur dihitung berdasarkan persamaan (2.60), hasil analisisnya ditampilkan dalam bentuk grafik antara simpangan struktur lawan waktu, dapat dilihat pada gambar berikut.

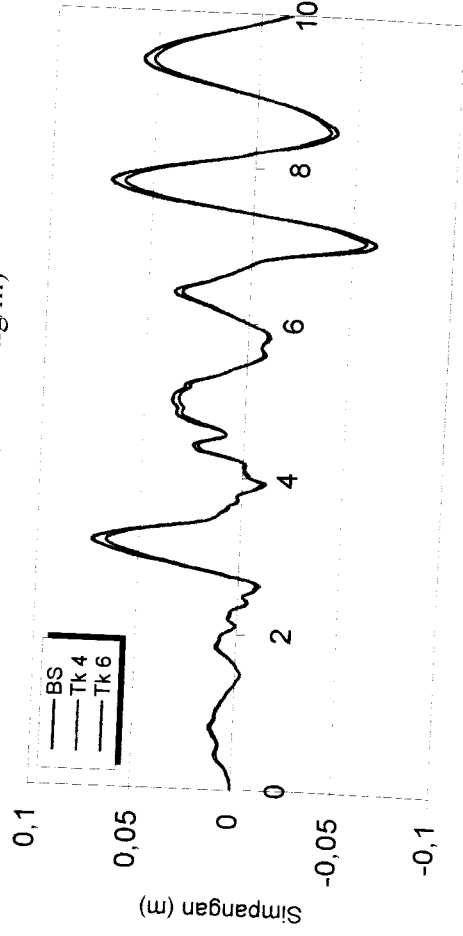




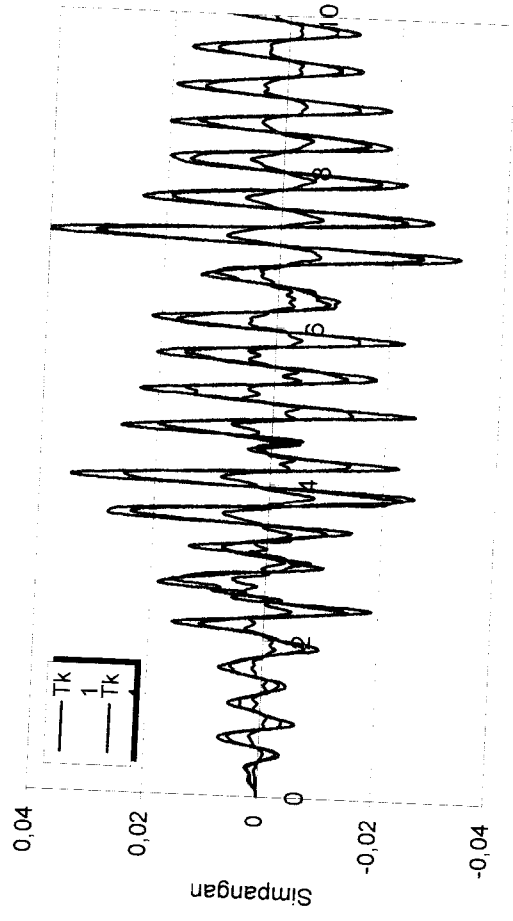
**Gambar 4.22** Simpangan Horizontal struktur 4 tingkat akibat gempa Koyna



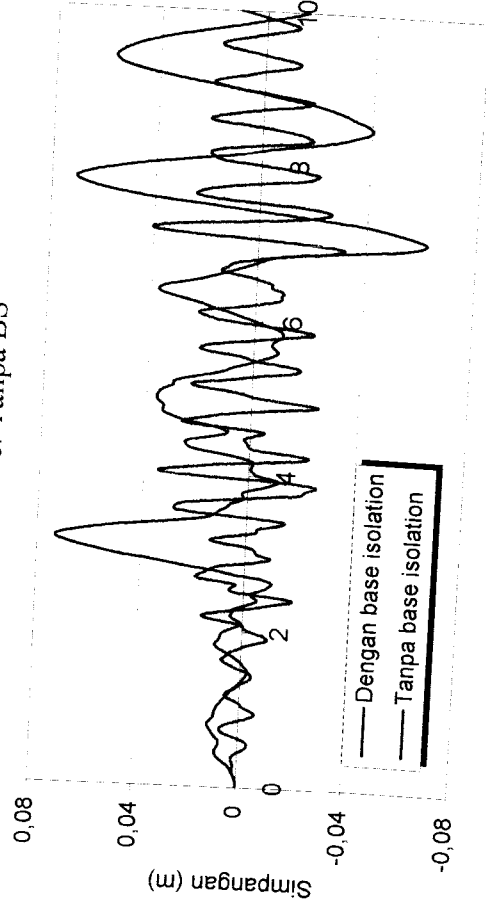
a. BS ( $K_b \text{ min.} = 78892, 56293 \text{ kg/m}$ )



b. BS ( $K_b \text{ maks.} = 1183388, 534 \text{ kg/m}$ )

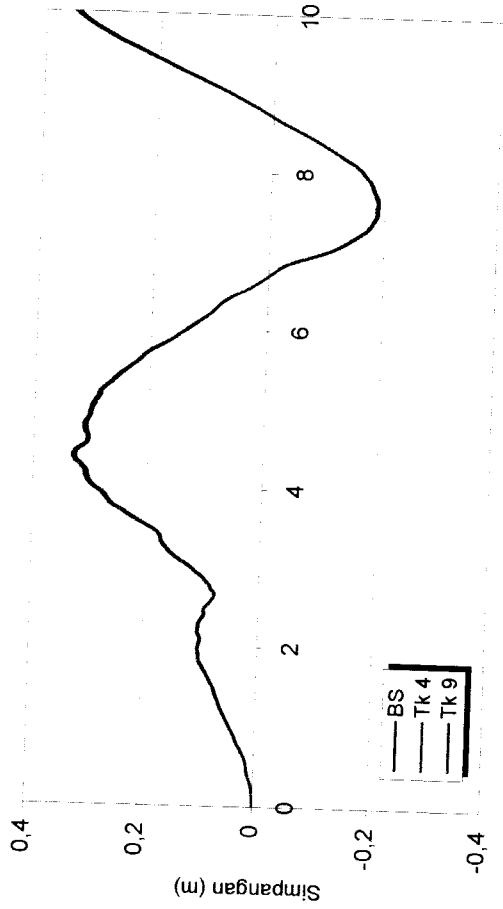


c. Tanpa BS

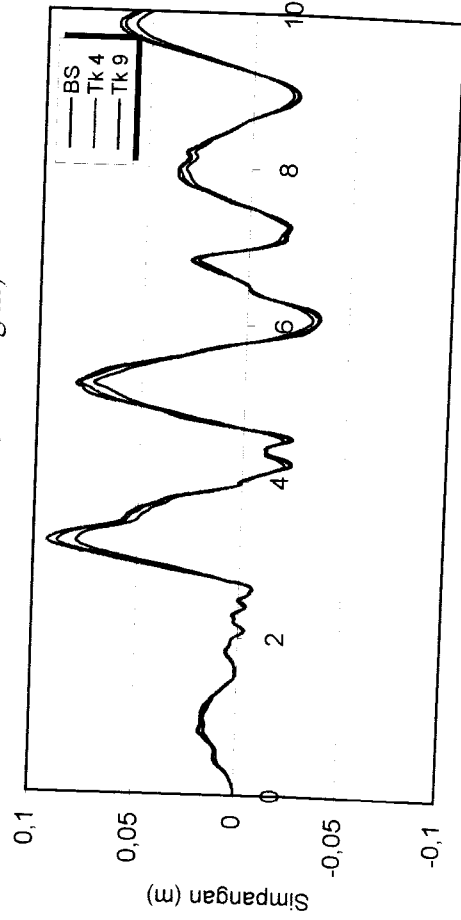


d. Perb. Tk 7 dgn BS dan tanpa BS

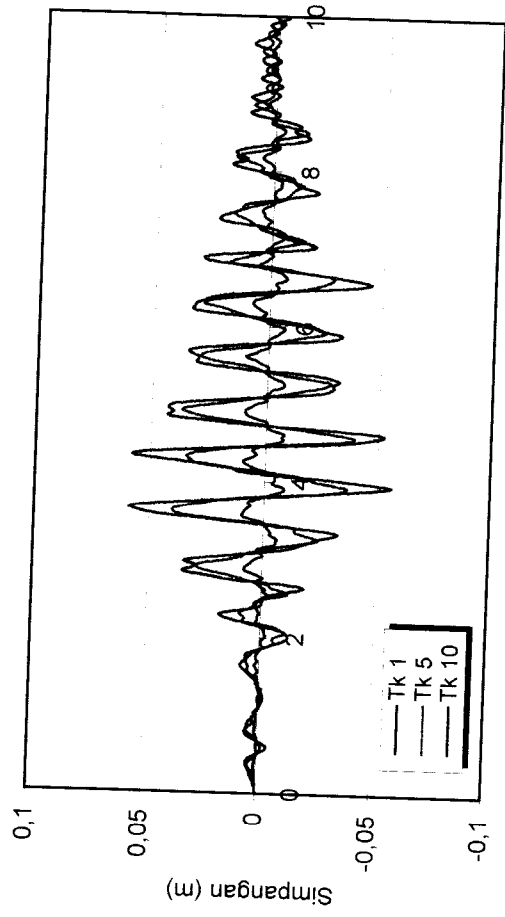
**Gambar 4.23** Simpangan Horizontal struktur 7 tingkat akibat gempa Koyna



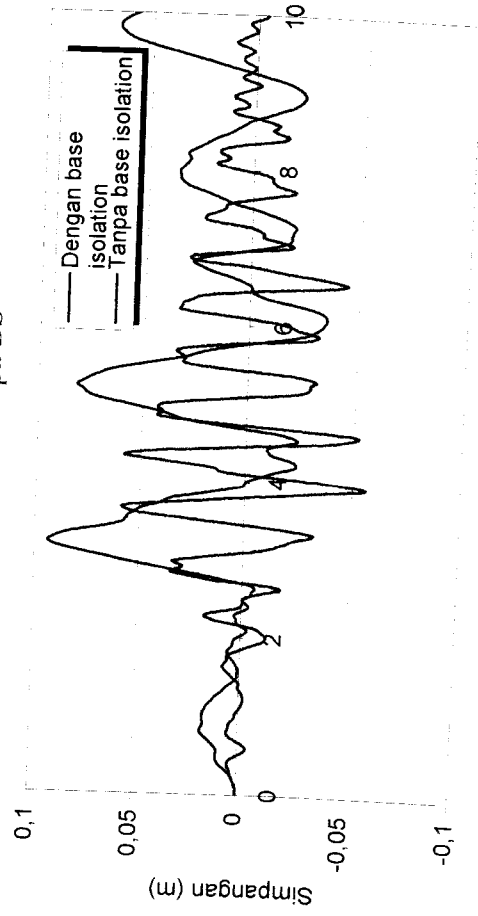
a. BS (Kb min. = 131487, 6149 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 1183388, 534 kg/m)

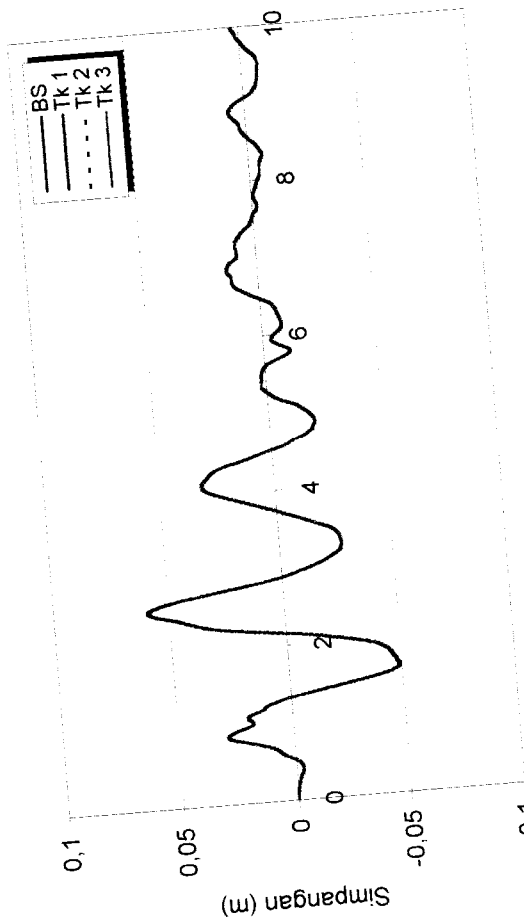


c. Tanpa BS

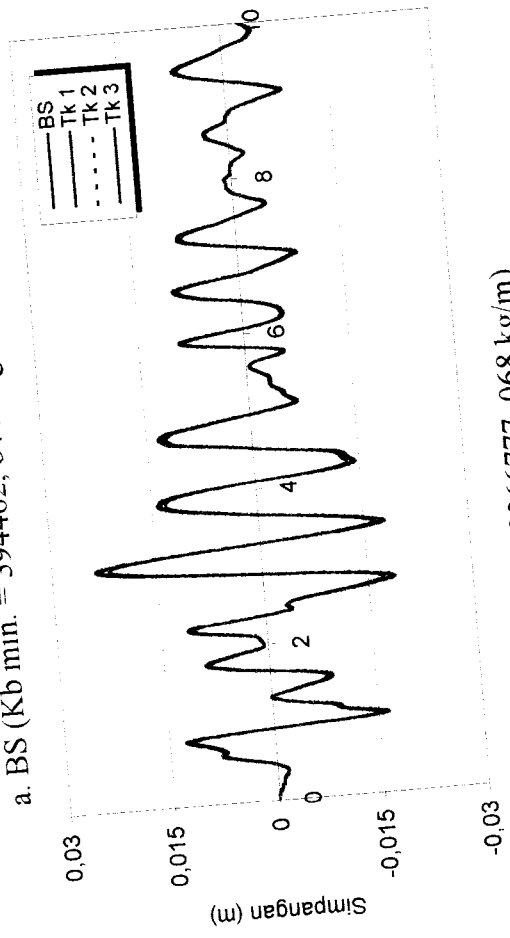


d. Perb. Tk 10 dgn BS dan tanpa BS

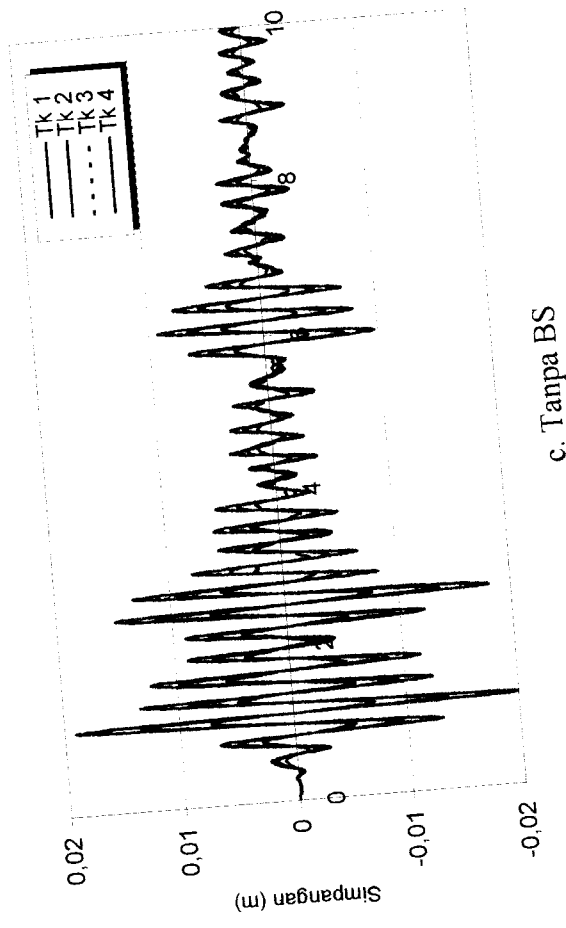
**Gambar 4.24** Simpangan Horizontal struktur 10 tingkat akibat gempa Koyna



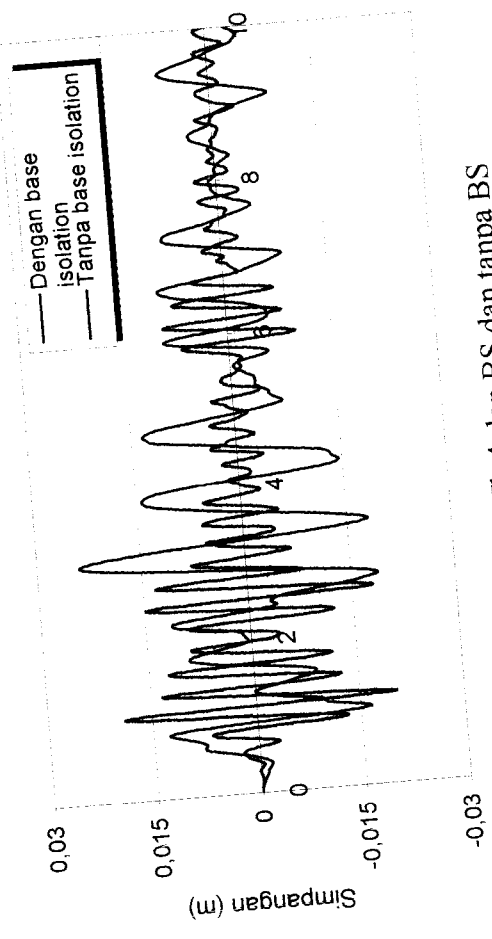
a. BS ( $K_b$  min. = 394462, 8447 kg/m)



b. BS ( $K_b$  maks. = 2366777, 068 kg/m)

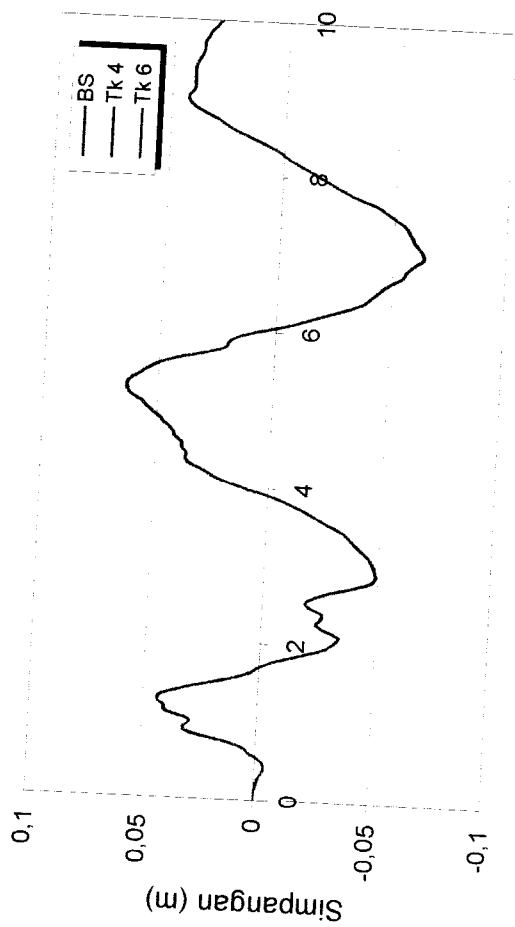


c. Tanpa BS

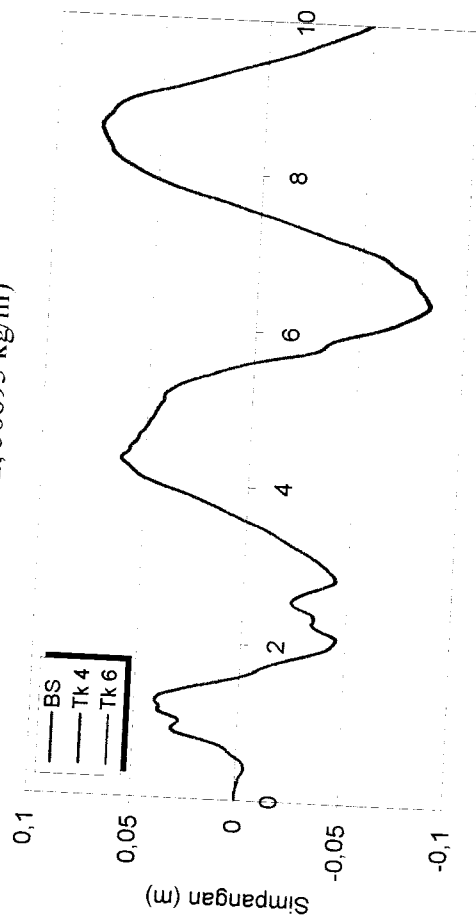


d. Perb. Tk 4 dgn BS dan tanpa BS

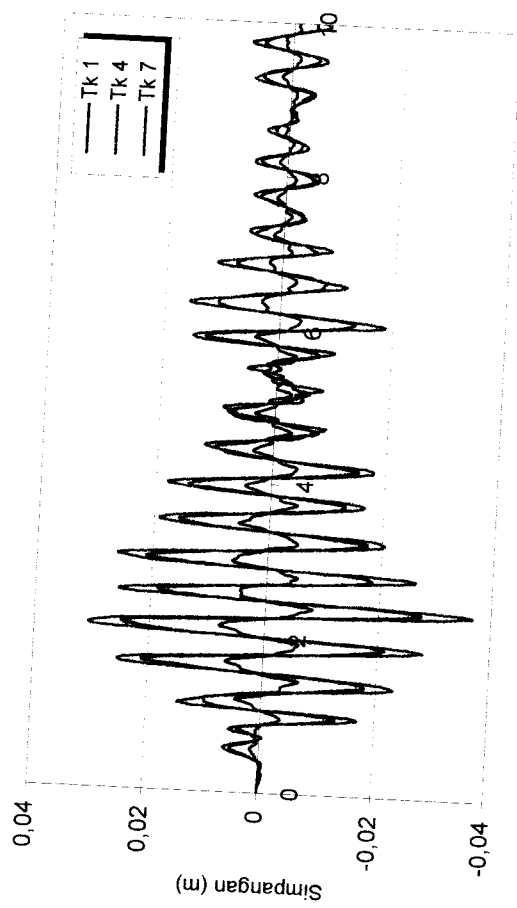
**Gambar 4.25** Simpangan Horizontal struktur 4 tingkat akibat gempa Elcentro



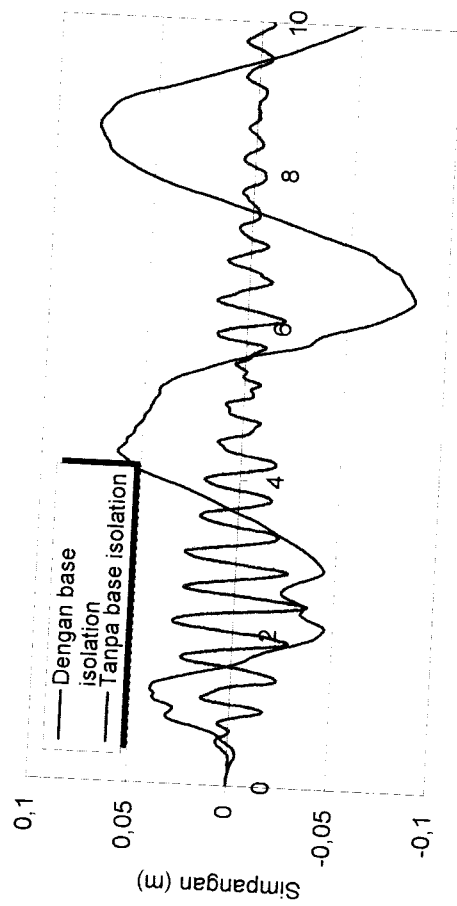
a. BS (Kb min. = 78892, 56893 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 131487, 6149 kg/m)

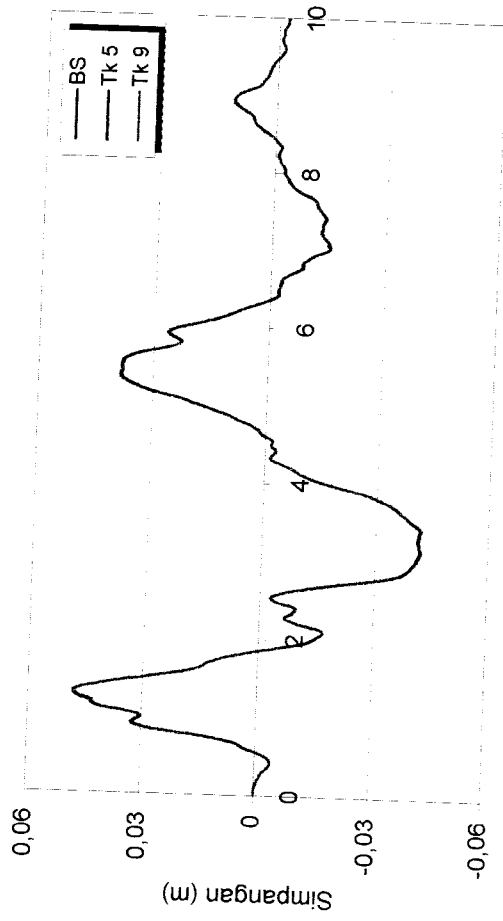


c. Tanpa BS

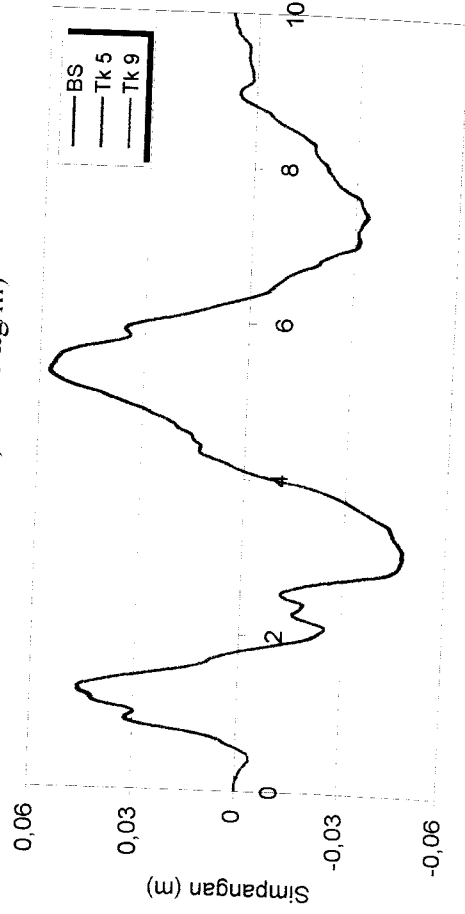


d. Perb. Tk 7 dgn BS dan tanpa BS

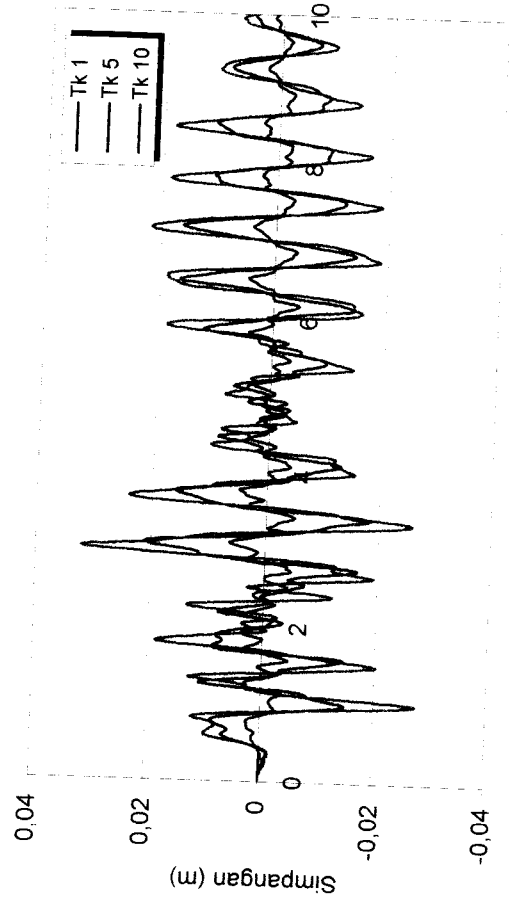
**Gambar 4.26** Simpangan Horizontal struktur 7 tingkat akibat gempa Elcentro



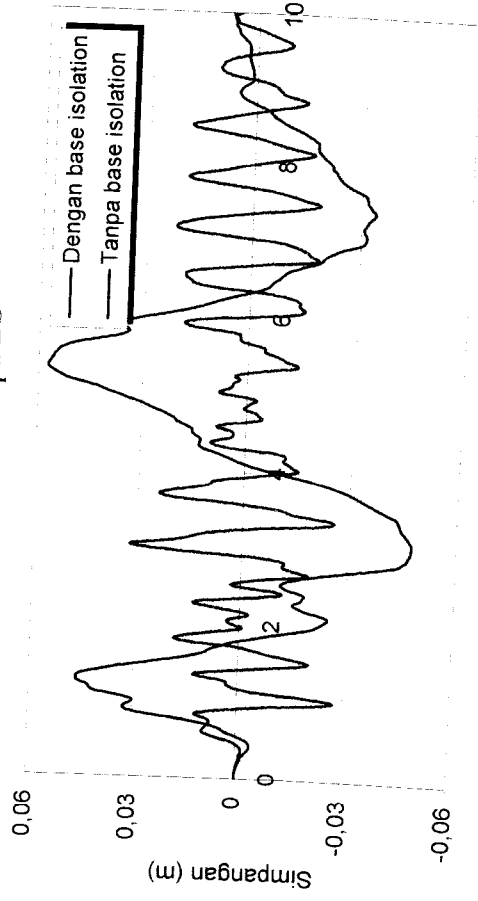
a. BS ( $K_b \text{ min.} = 47335, 54136 \text{ kg/m}$ )



b. BS ( $K_b \text{ maks.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$ )

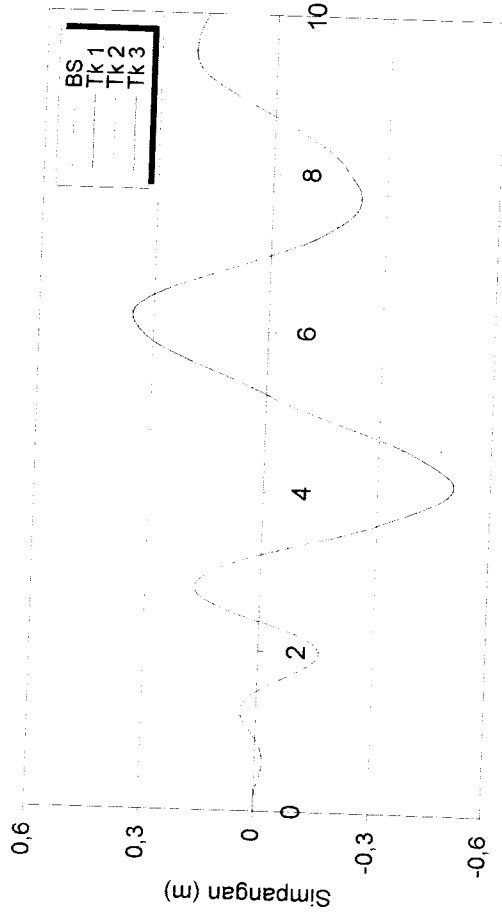


c. Tanpa BS

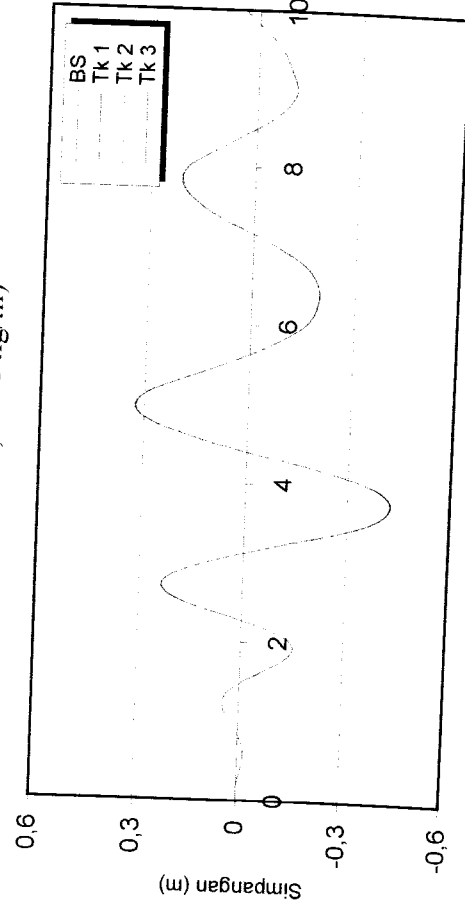


d. Perb. Tk 10 dgn BS dan tanpa BS

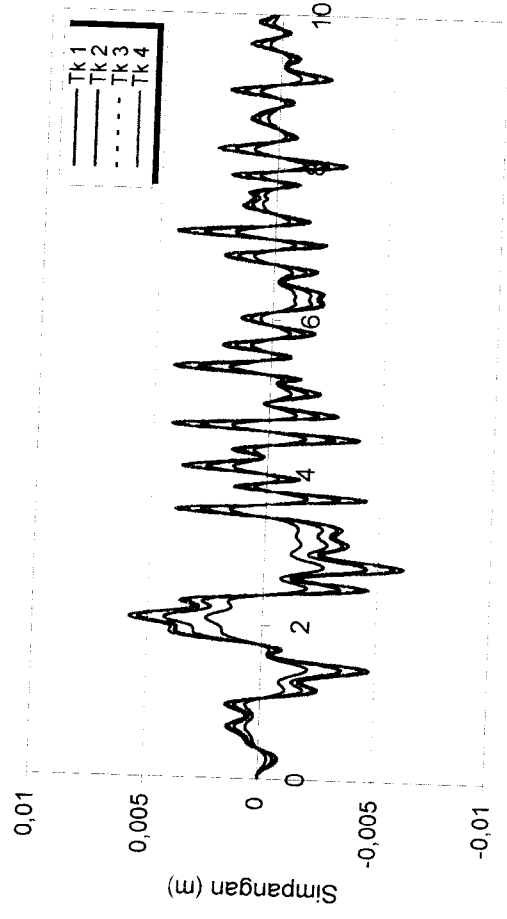
**Gambar 4.27** Simpangan Horizontal struktur 10 tingkat akibat gempa Elcentro



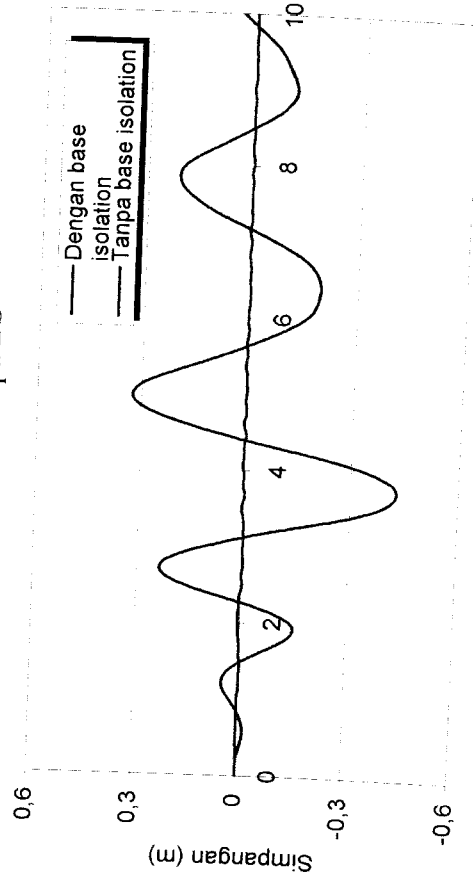
a. BS (Kb min. = 73961, 7838 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 197231, 4223 kg/m)

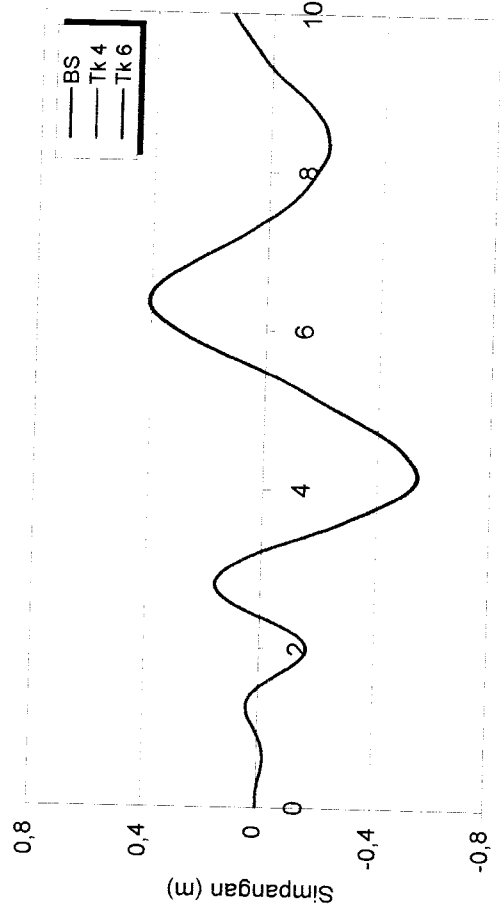


c. Tanpa BS

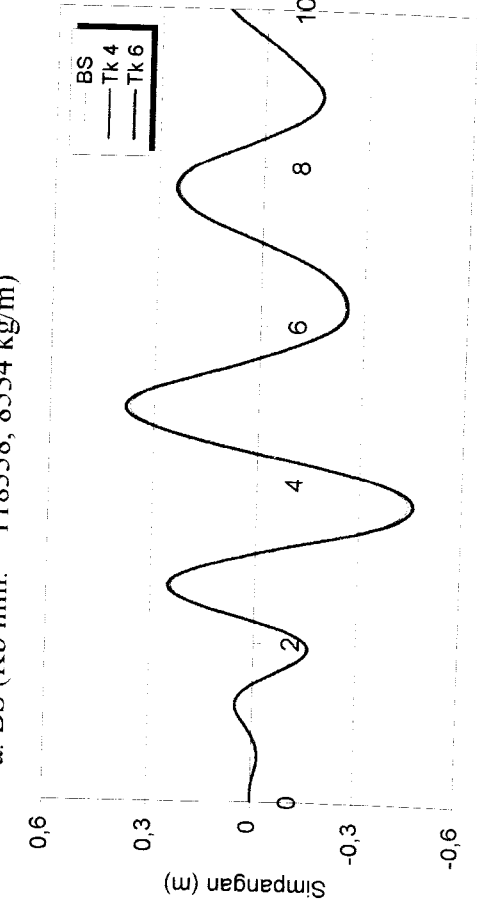


d. Perb. Tk 4 dgn BS dan tanpa BS

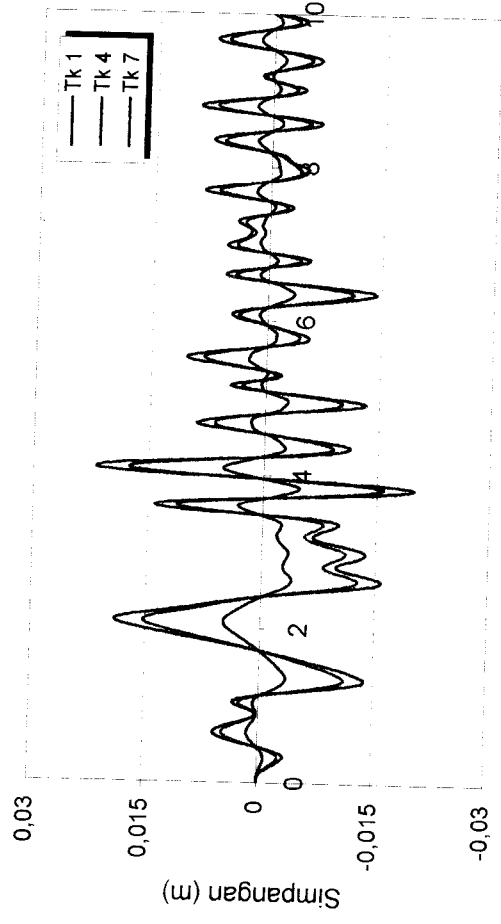
**Gambar 4.28** Simpangan Horizontal struktur 4 tingkat akibat gempa Bucharest



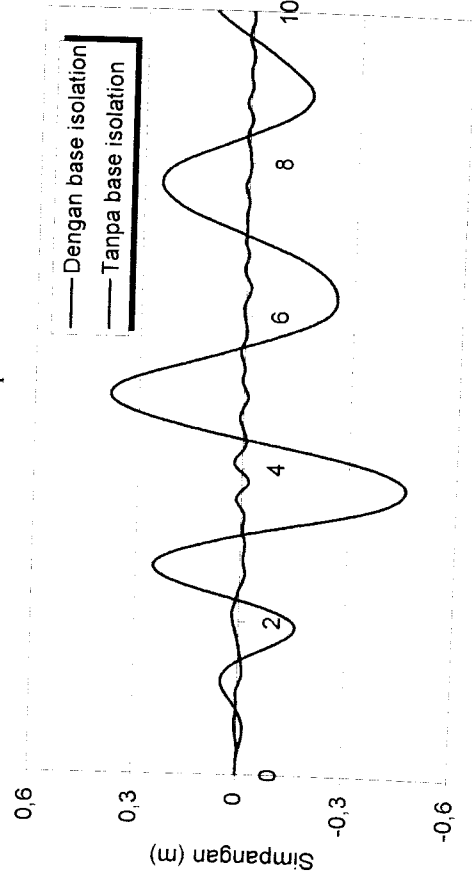
a. BS (Kb min. = 118338, 8534 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 591694, 267 kg/m)



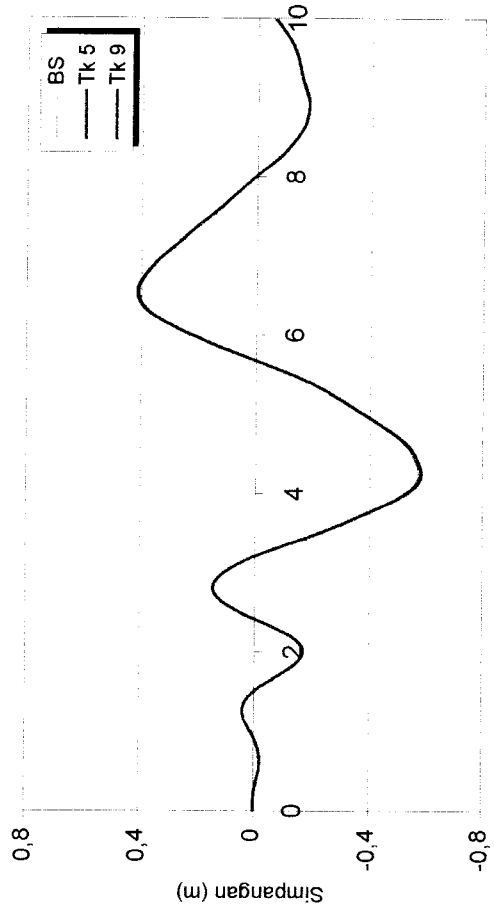
c. Tanpa BS



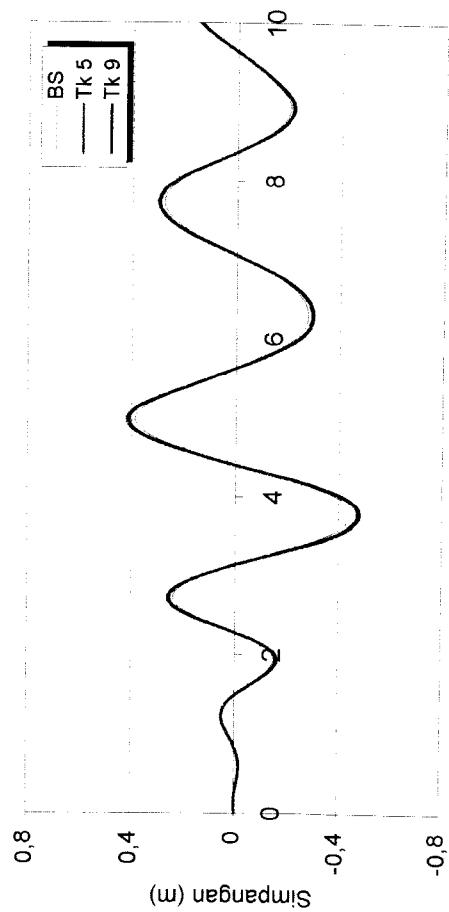
d. Perb. Tk 7 dgn BS dan tanpa BS

**Gambar 4.29** Simpangan Horizontal struktur 7 tingkat akibat gempa Bucharest

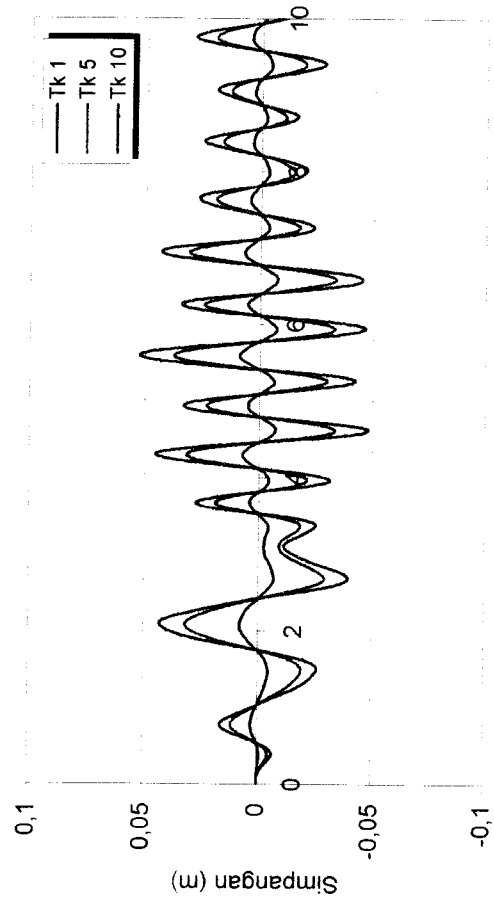




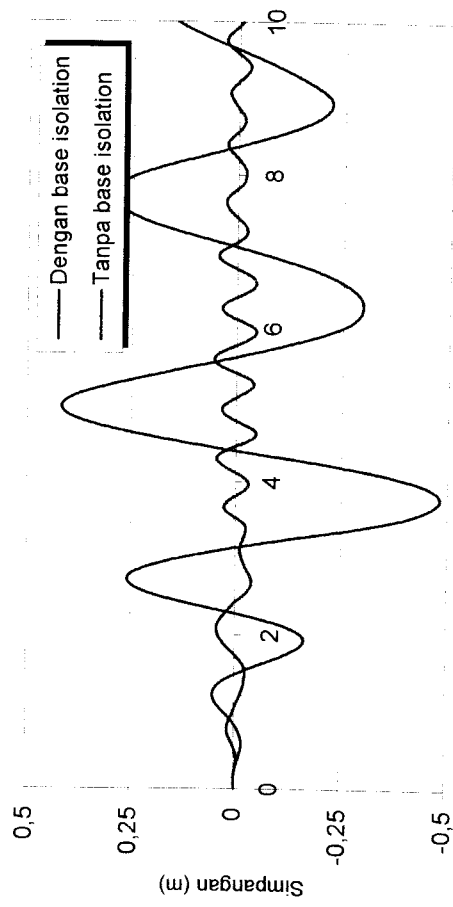
a. BS (Kb min. = 147923, 5668 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 591694, 267 kg/m)



c. Tanpa BS

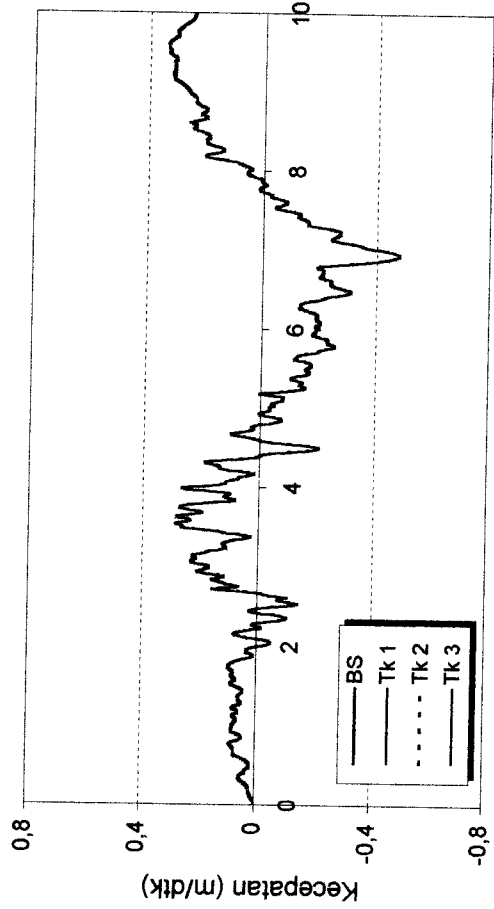


d. Perb. Tk 10 dgn BS dan tanpa BS

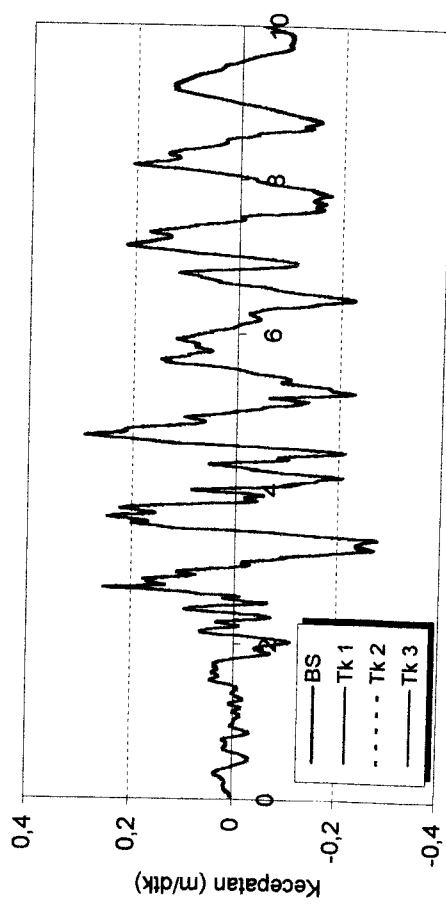
**Gambar 4.30** Simpangan Horisontal struktur 10 tingkat akibat gempa Bucharest

#### **4.4.3 Hasil Perhitungan Kecepatan**

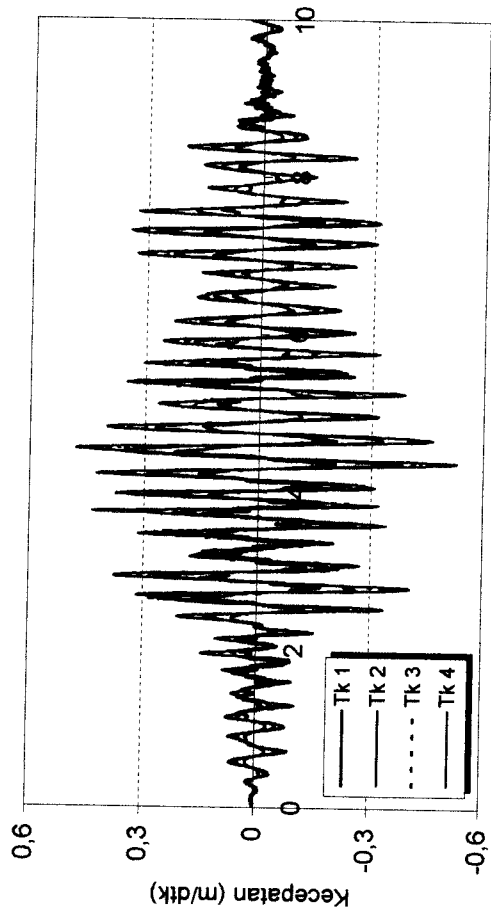
Kecepatan merupakan hasil bagi simpangan dengan waktu. Hasil analisis ditampilkan sebagai grafik antara kecepatan lawan waktu, dapat dilihat pada gambar berikut ini.



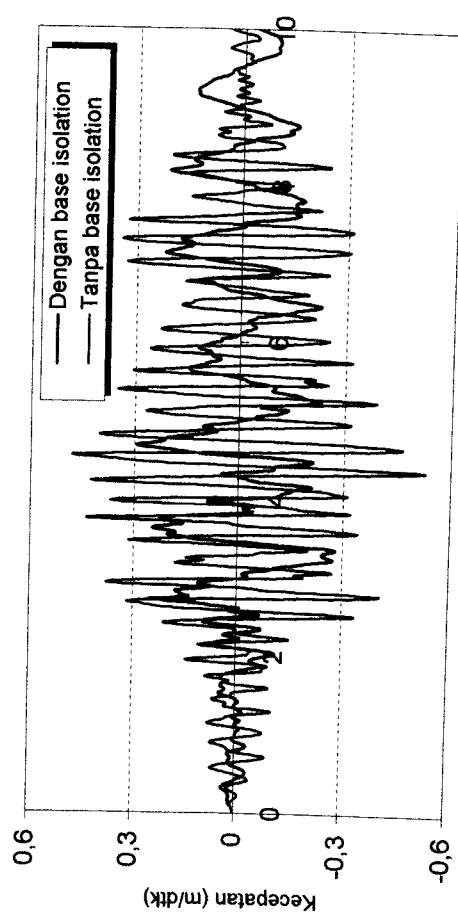
a. BS (Kb min. = 34805, 54512 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 1183388, 534 kg/m)

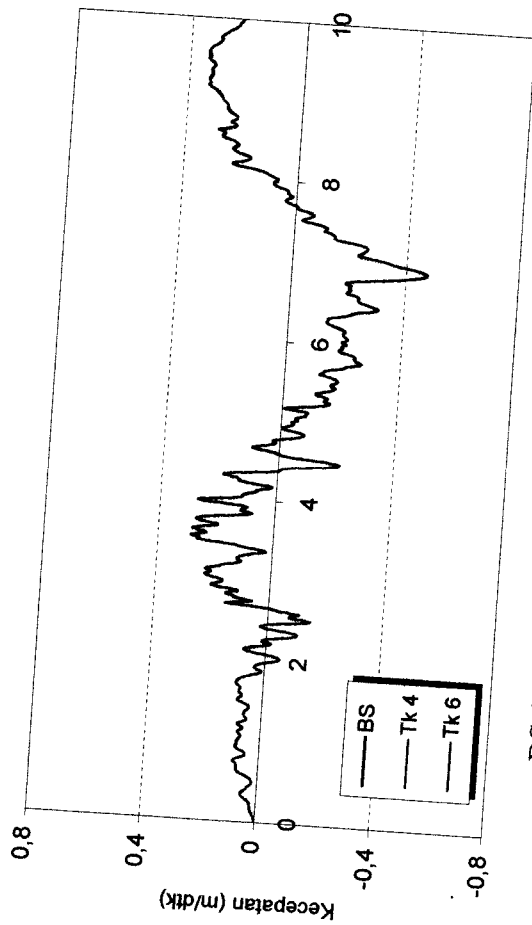


c. Tanpa BS

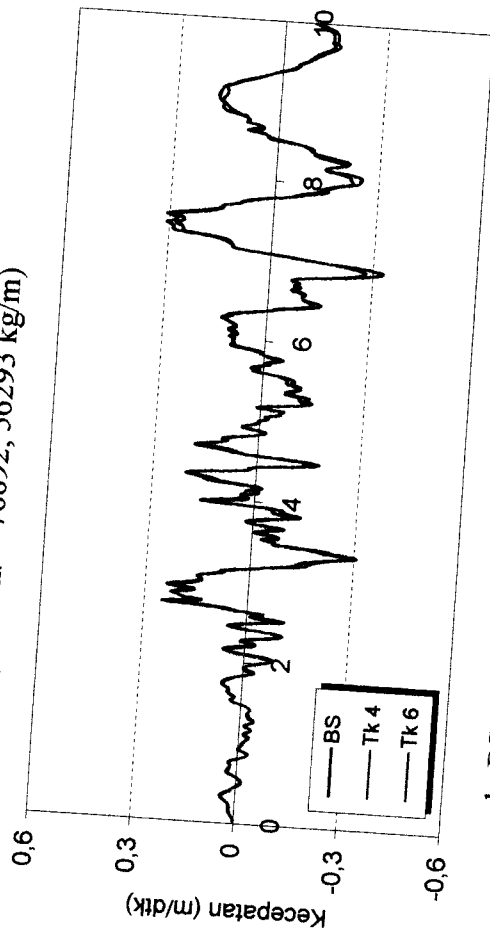


d. Perb. Tk 4 dgn BS dan tanpa BS

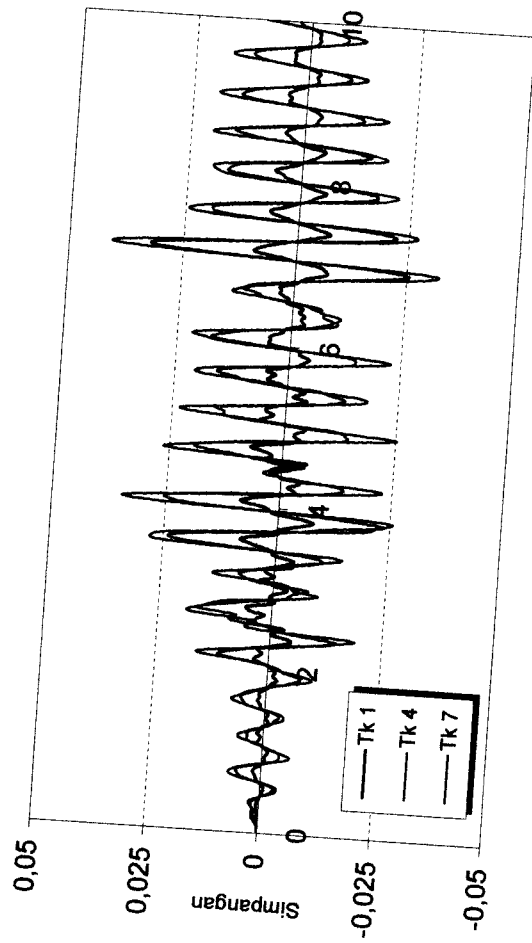
**Gambar 4.31** Kecepatan struktur 4 tingkat akibat gempa Koyna



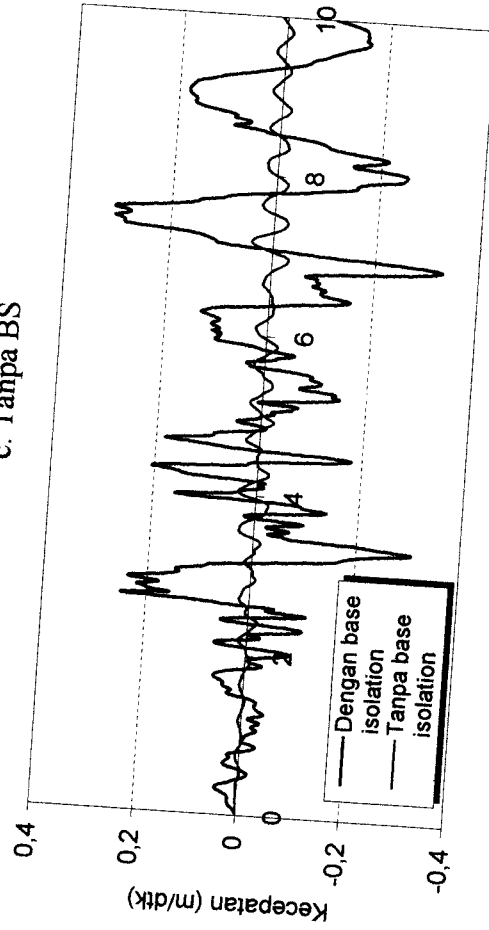
a. BS (Kb min. = 78892, 56293 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 1183388, 534 kg/m)

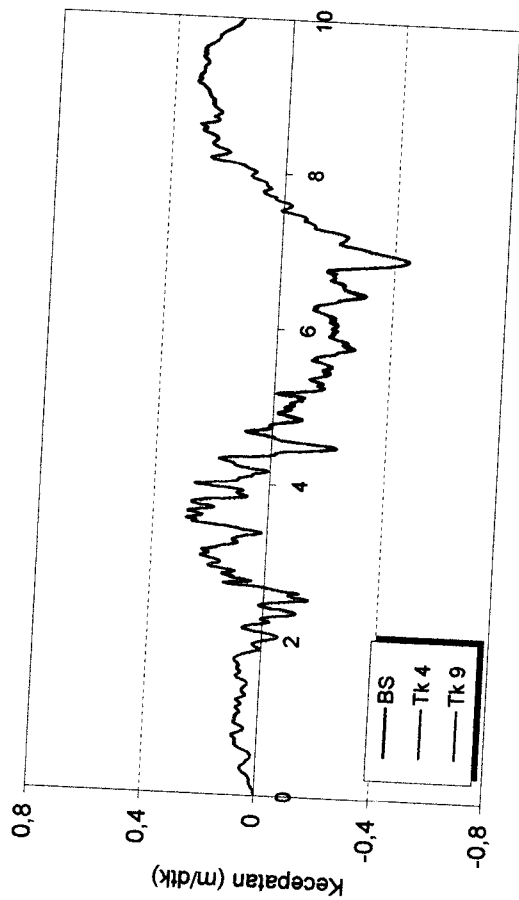


c. Tanpa BS

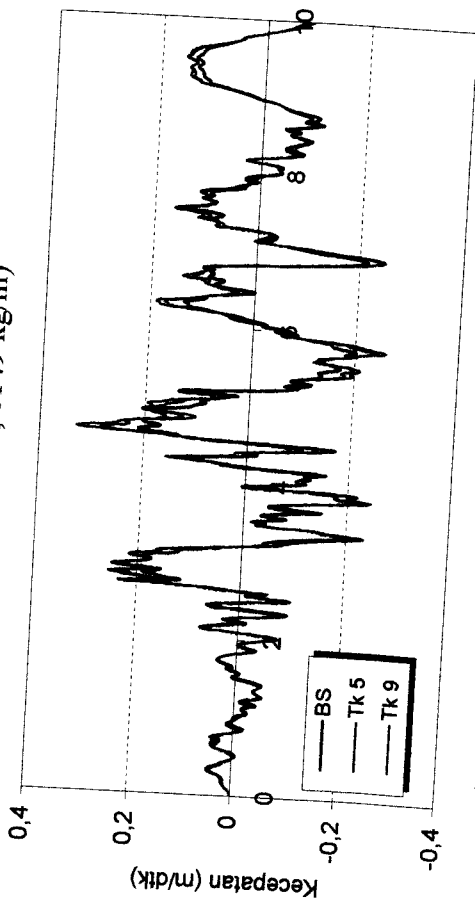


d. Perb. Tk 7 dgn BS dan tanpa BS

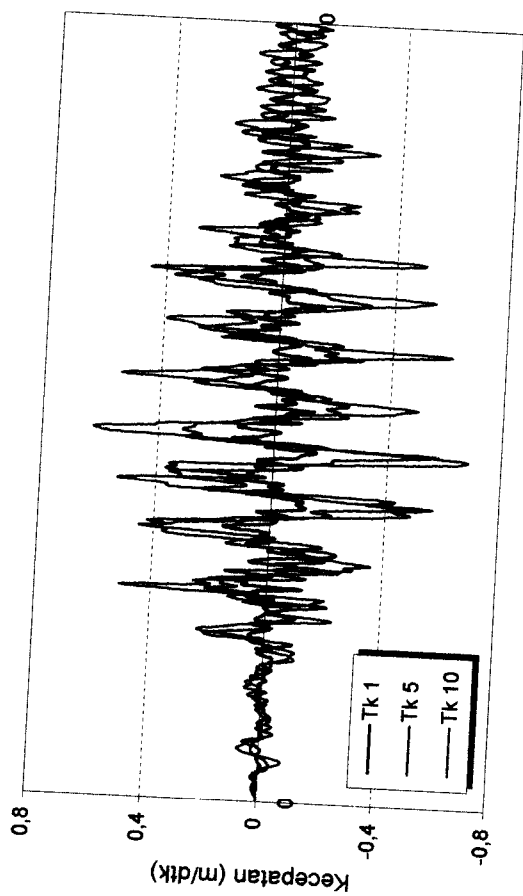
**Gambar 4.32** Kecepatan struktur 7 tingkat akibat gempa Koyna



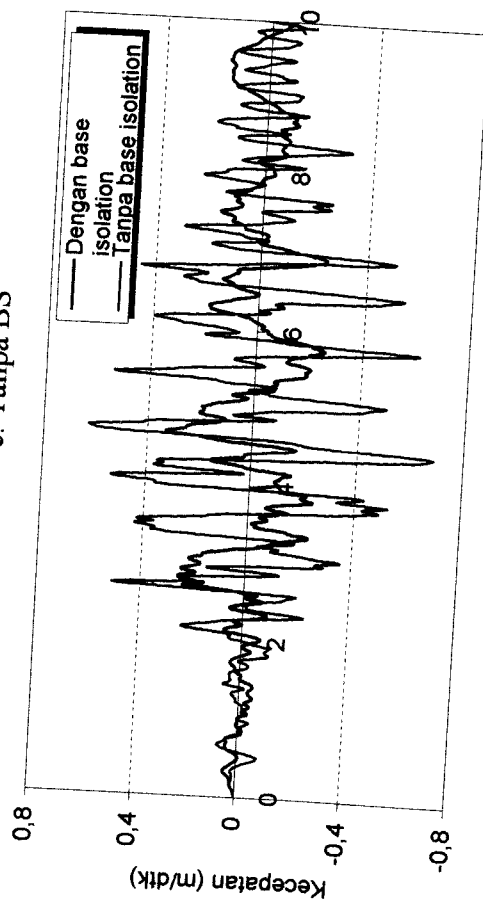
a. BS (Kb min. = 131487, 6149 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 1183388, 534 kg/m)

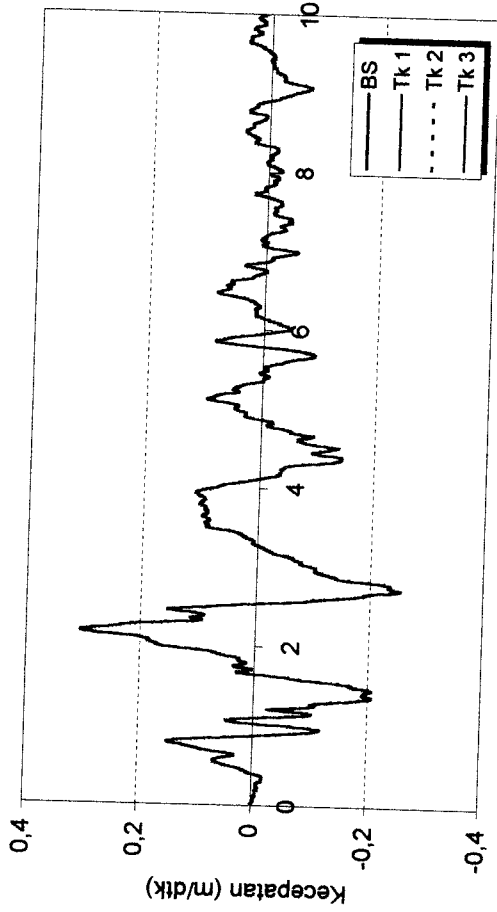


c. Tanpa BS

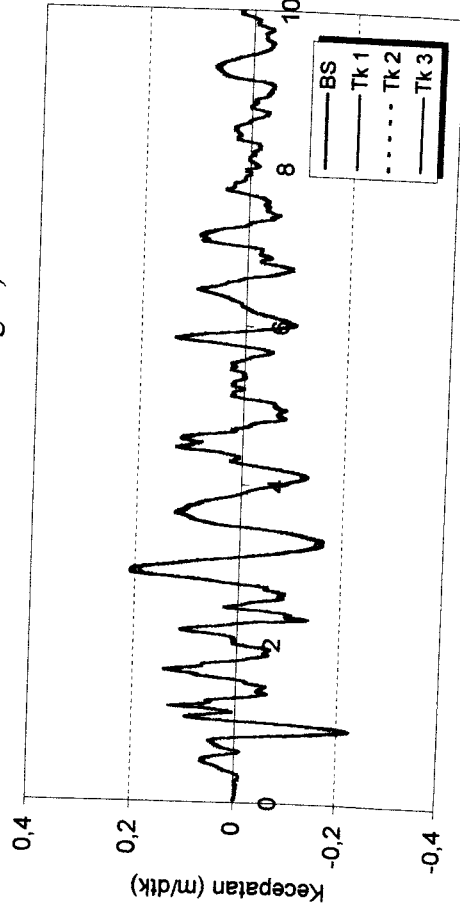


d. Perb. Tk 10 dgn BS dan tanpa BS

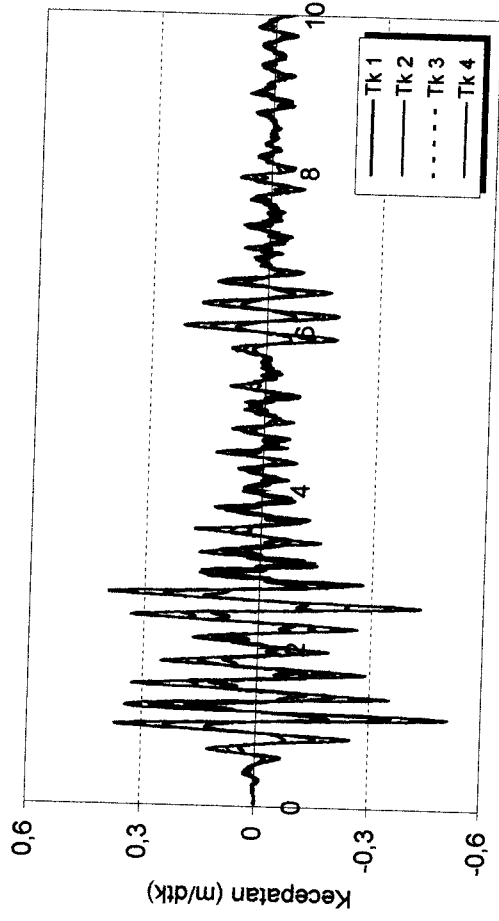
**Gambar 4.33** Kecepatan struktur 10 tingkat akibat gempa Koyna



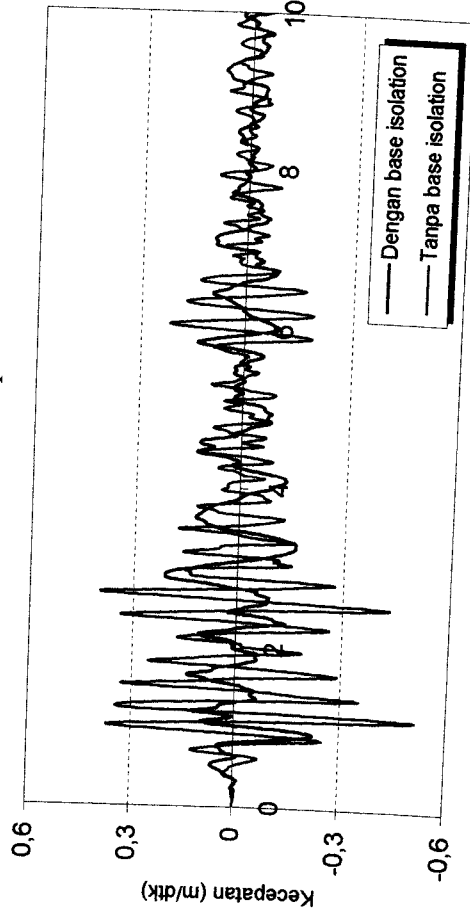
a. BS (Kb min. = 394462, 8447 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 2366777, 068 kg/m)

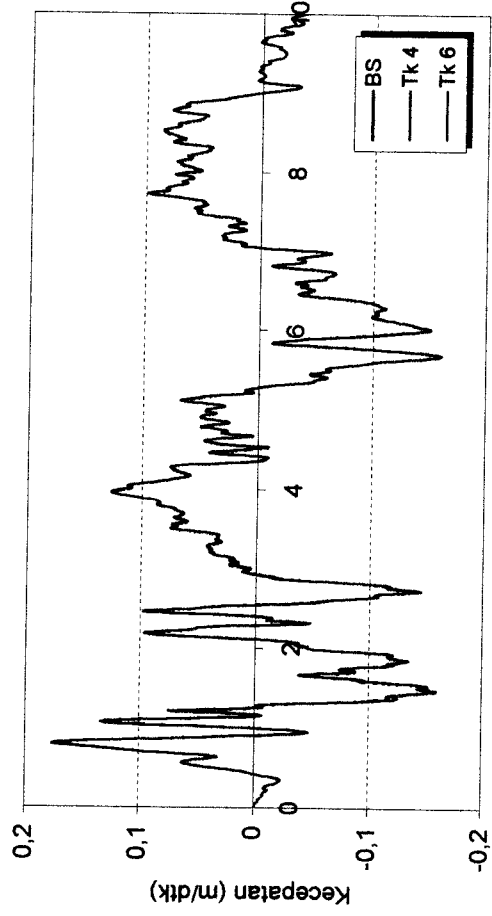


c. Tanpa BS

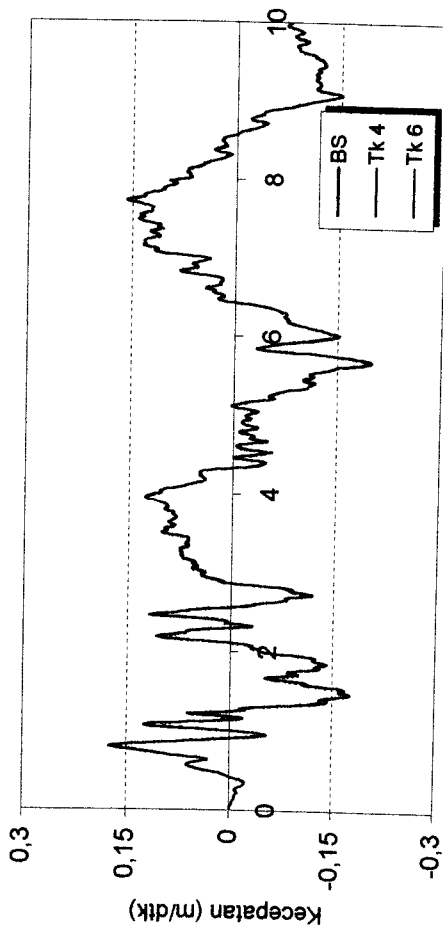


d. Perb. Tk 4 dgn BS dan tanpa BS

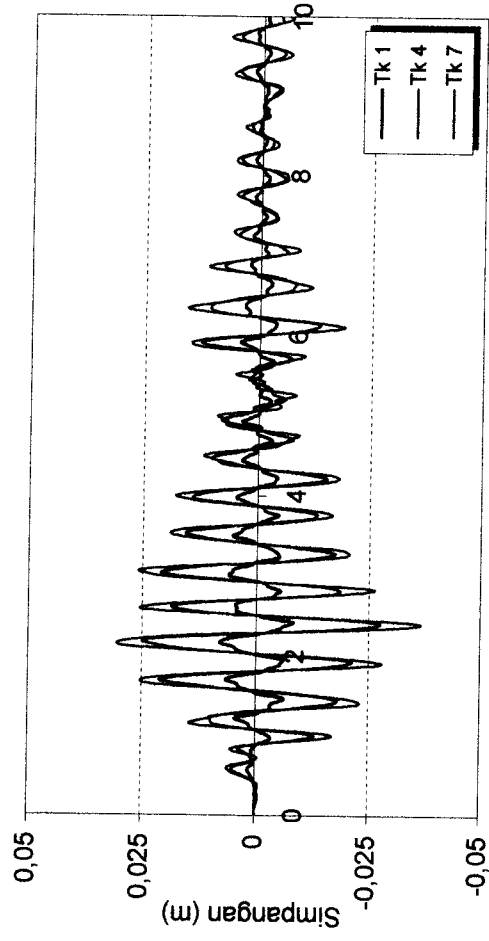
**Gambar 4.34** Kecepatan struktur 4 tingkat akibat gempa Elcentro



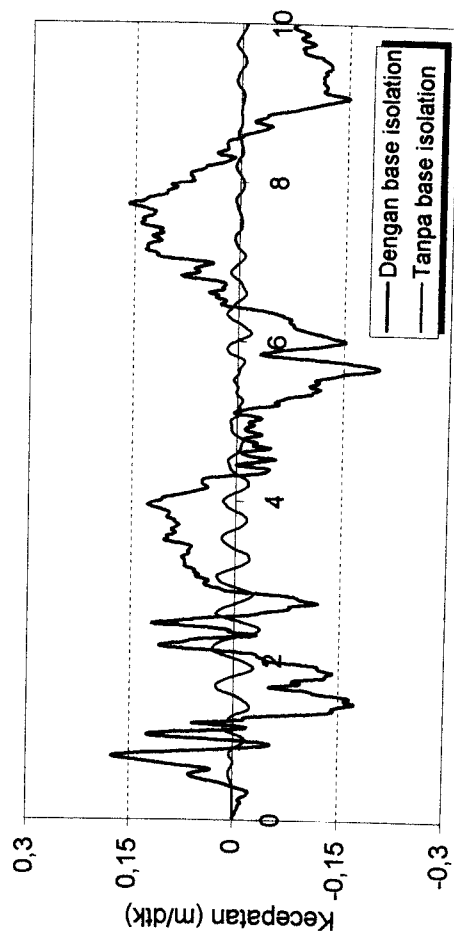
a. BS (Kb min. = 78892, 56893 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 131487, 6149 kg/m)

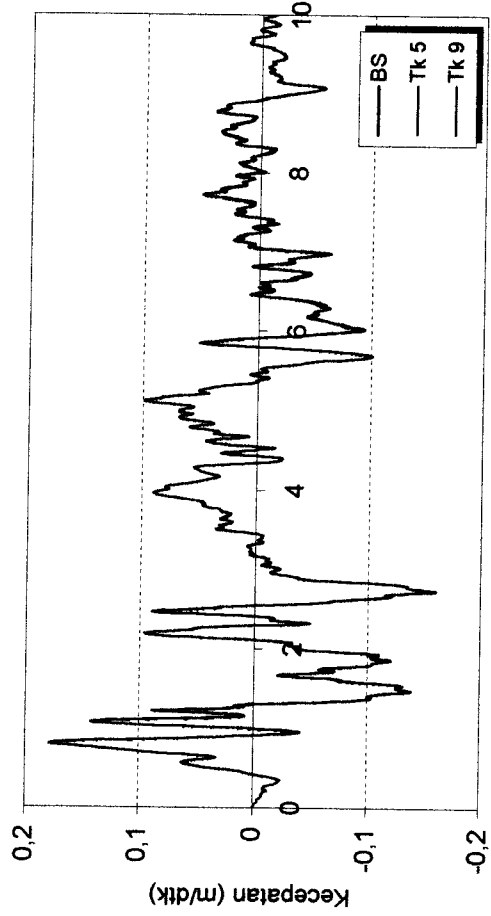


c. Tanpa BS

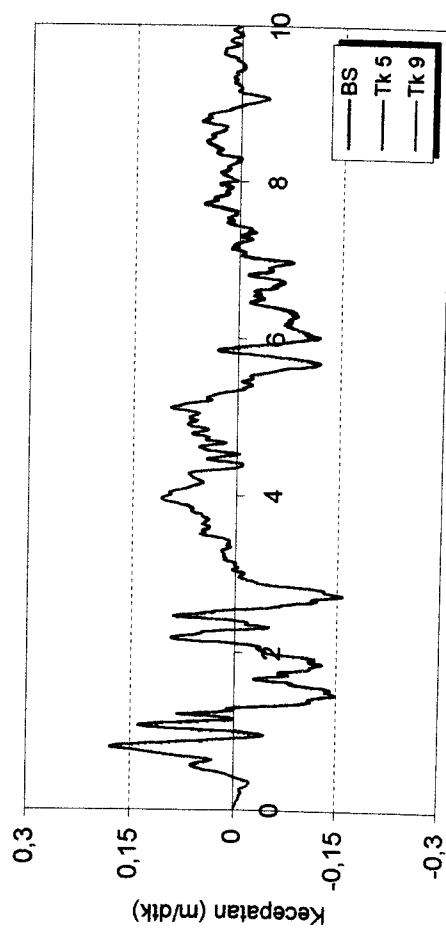


d. Perb. Tk 7 dgn BS dan tanpa BS

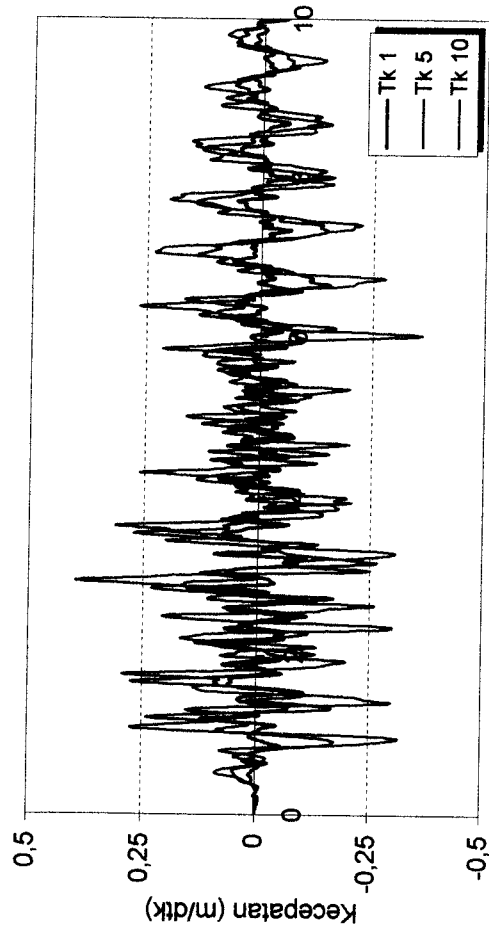
**Gambar 4.35** Kecepatan struktur 7 tingkat akibat gempa Elcentro



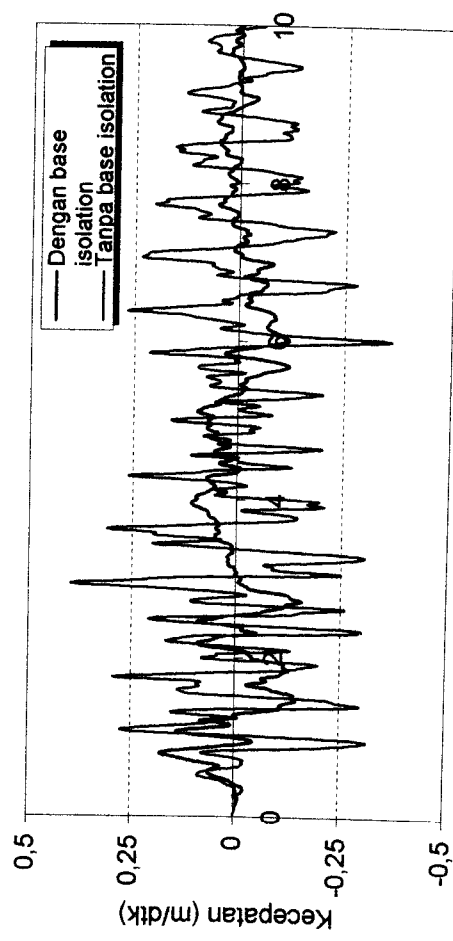
a. BS (Kb min. = 47335, 54136 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 78892, 56893 kg/m)



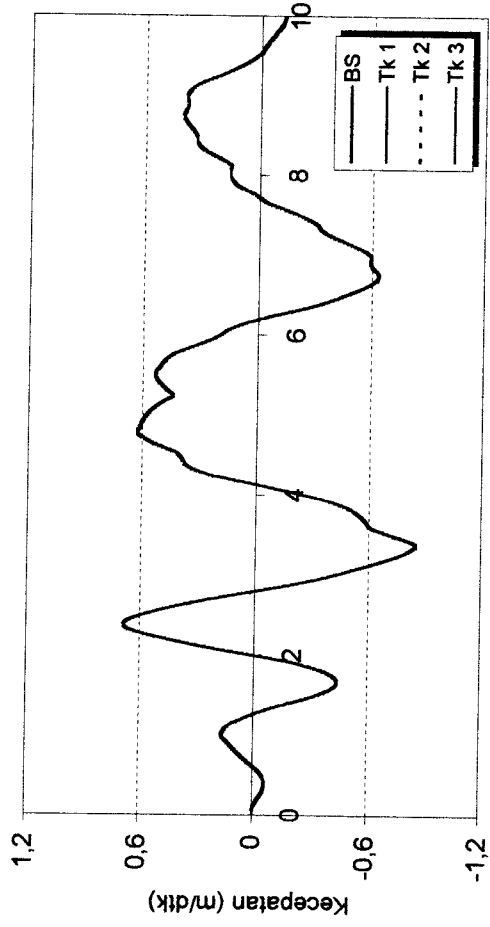
c. Tanpa BS



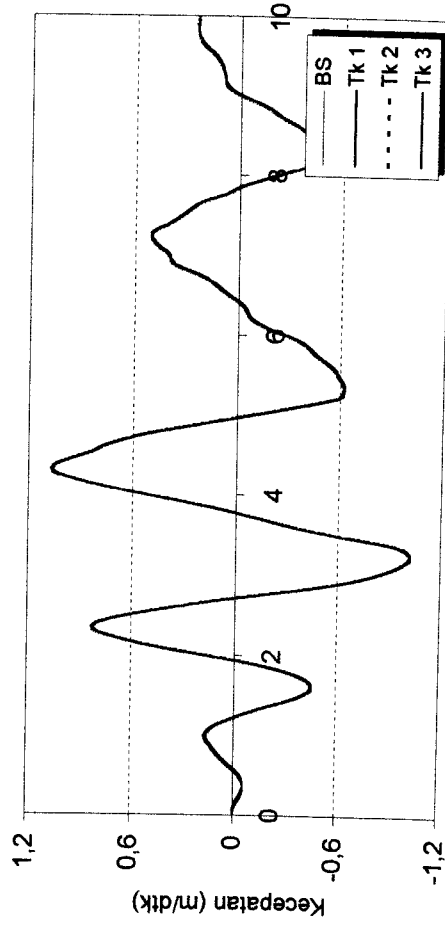
d. Perb. Tk 10 dgn BS dan tanpa BS

**Gambar 4.36** Kecepatan struktur 10 tingkat akibat gempa Elcentro

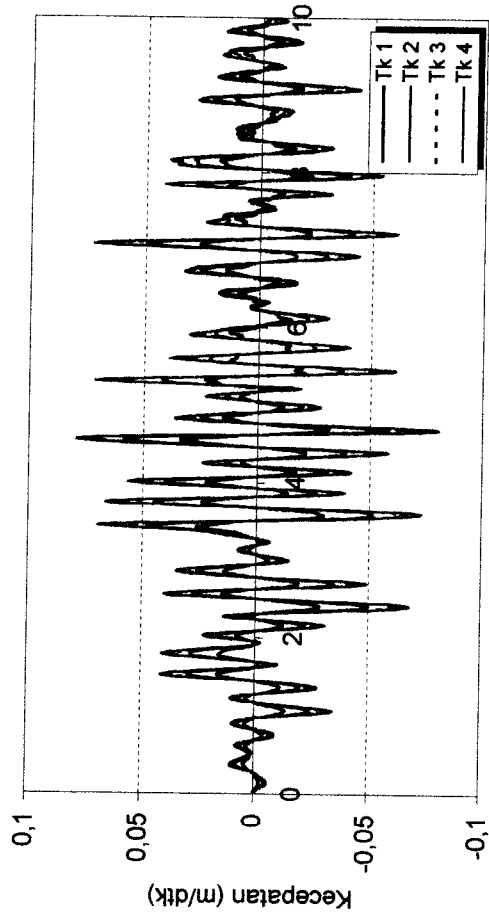




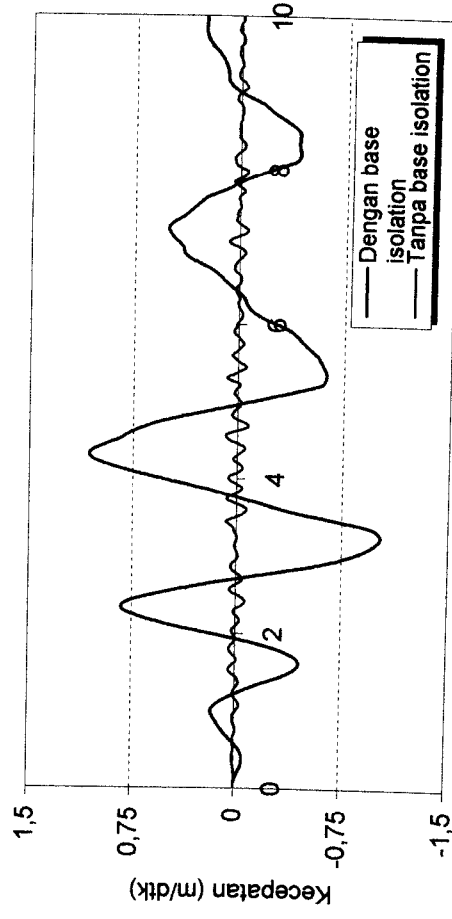
a. BS (Kb min. = 73961, 7838 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 197231, 4223 kg/m)

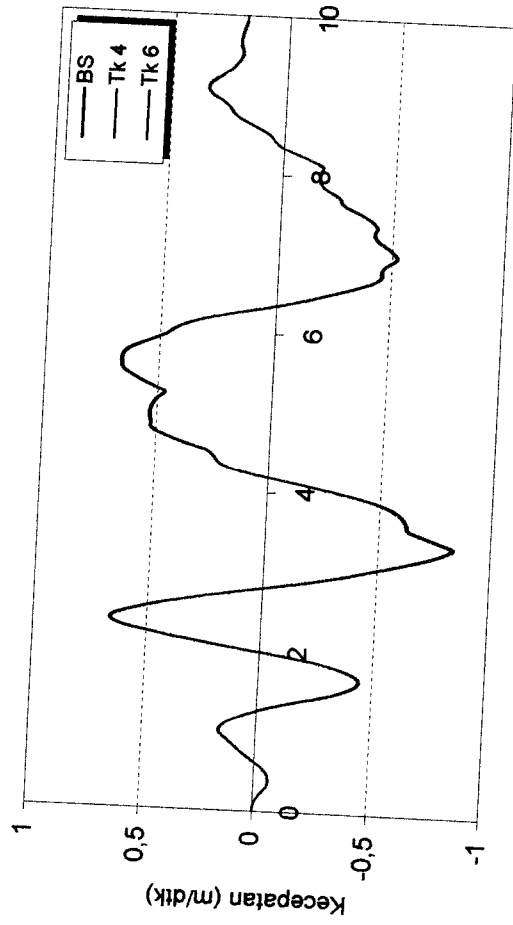


c. Tanpa BS

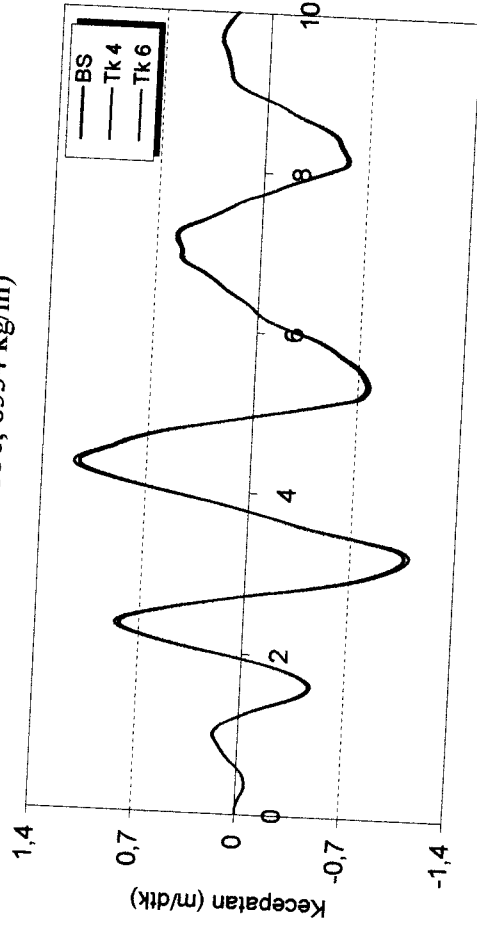


d. Perb. Tk 4 dgn BS dan tanpa BS

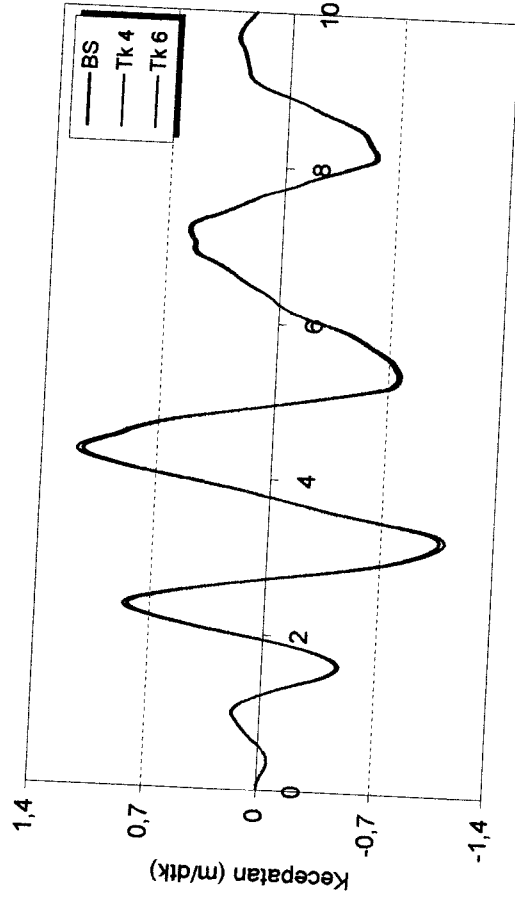
**Gambar 4.37** Kecepatan struktur 4 tingkat akibat gempa Bucharest



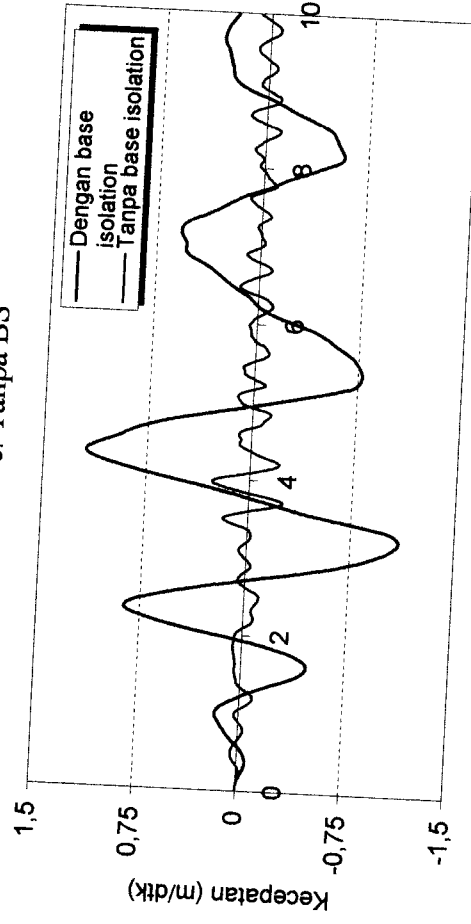
a. BS (Kb min. = 118338, 8534 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 591694, 267 kg/m)



c. Tanpa BS

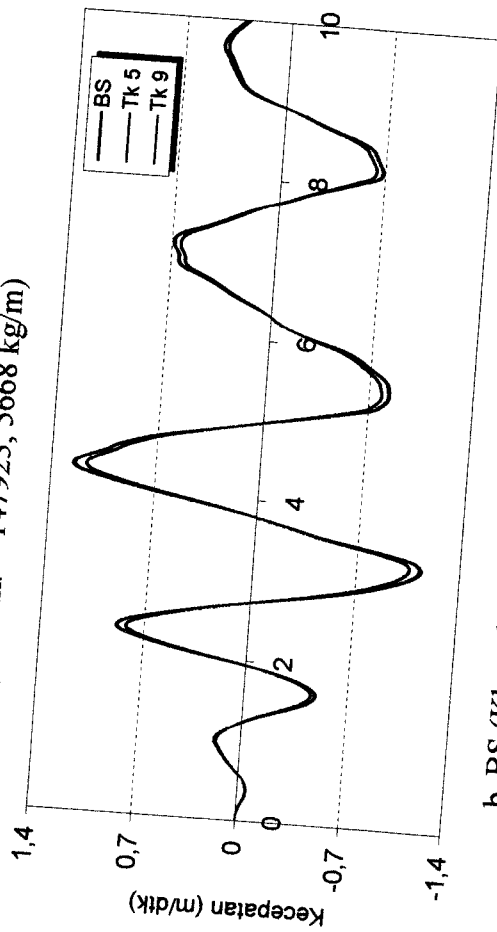


d. Perb. Tk 7 dgn BS dan tanpa BS

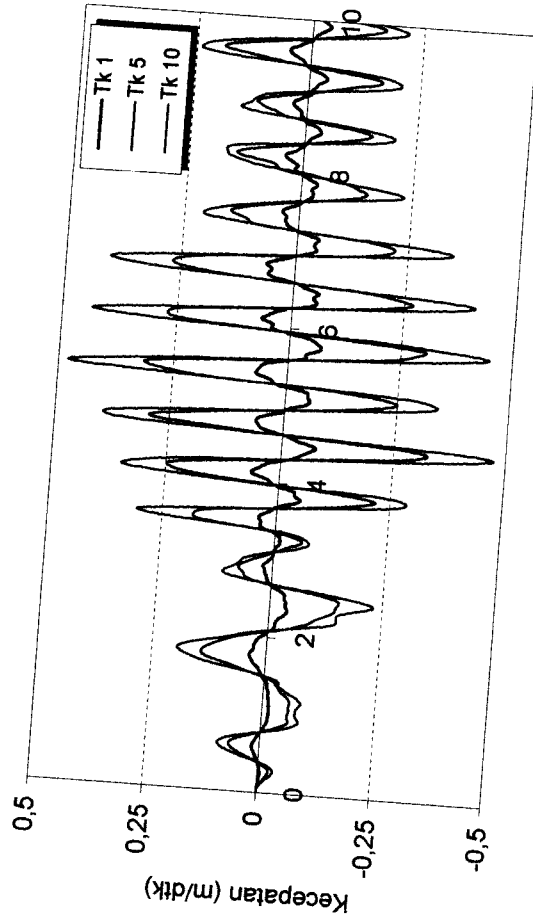
Gambar 4.38 Kecepatan struktur 7 tingkat akibat gempa Bucharest



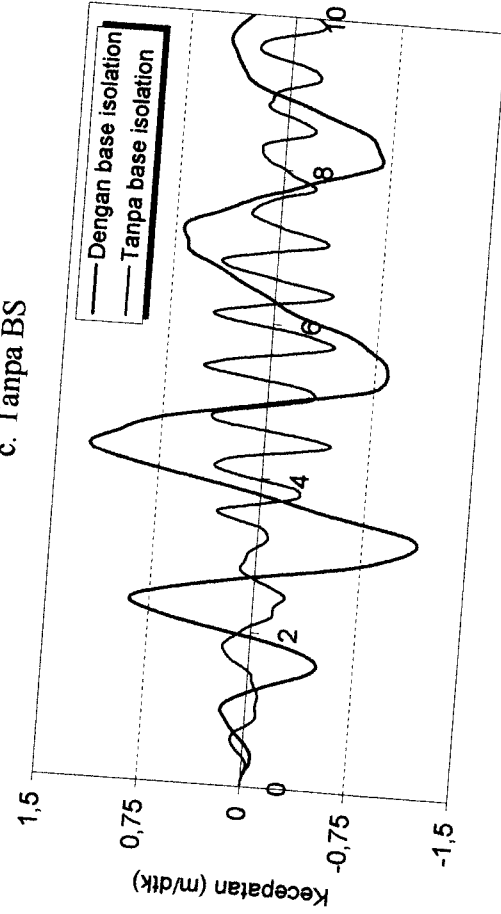
a. BS (Kb min. = 147923, 5668 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 591694, 267 kg/m)



c. Tanpa BS

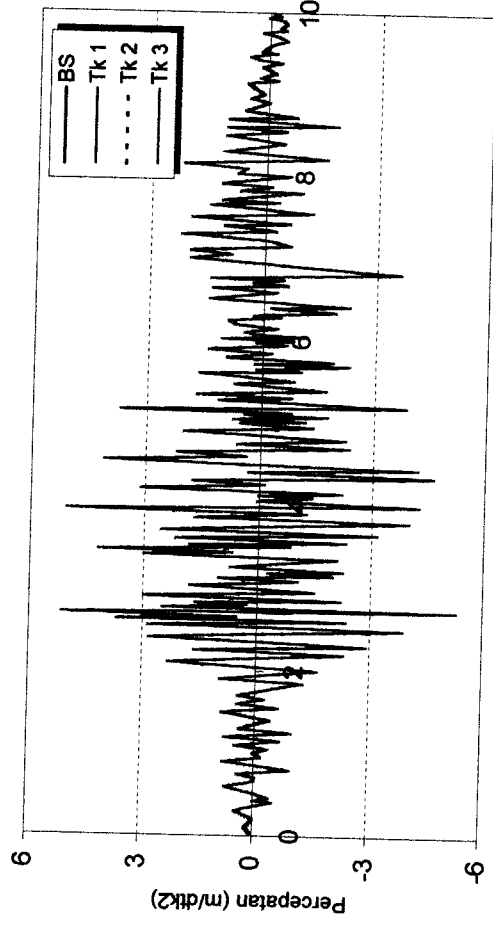


d. Perb. Tk 10 dgn BS dan tanpa BS

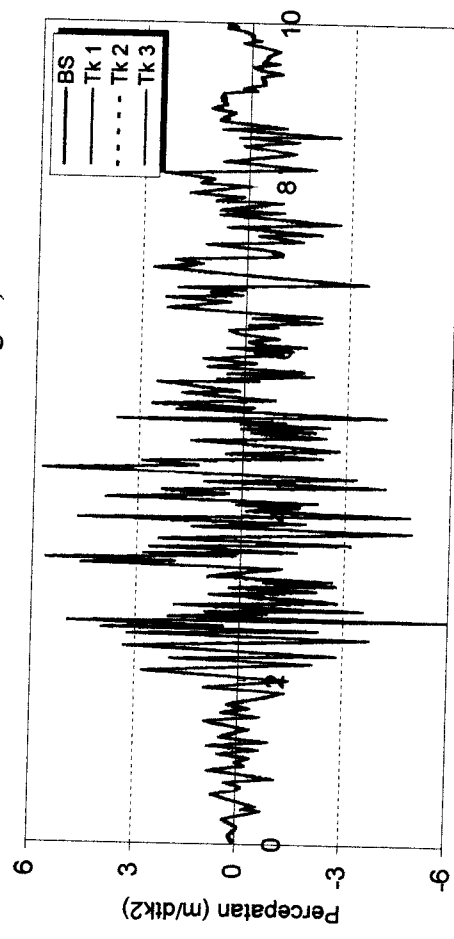
Gambar 4.39 Kecepatan struktur 10 tingkat akibat gempa Bucharest

#### **4.4.4 Hasil Perhitungan Percepatan**

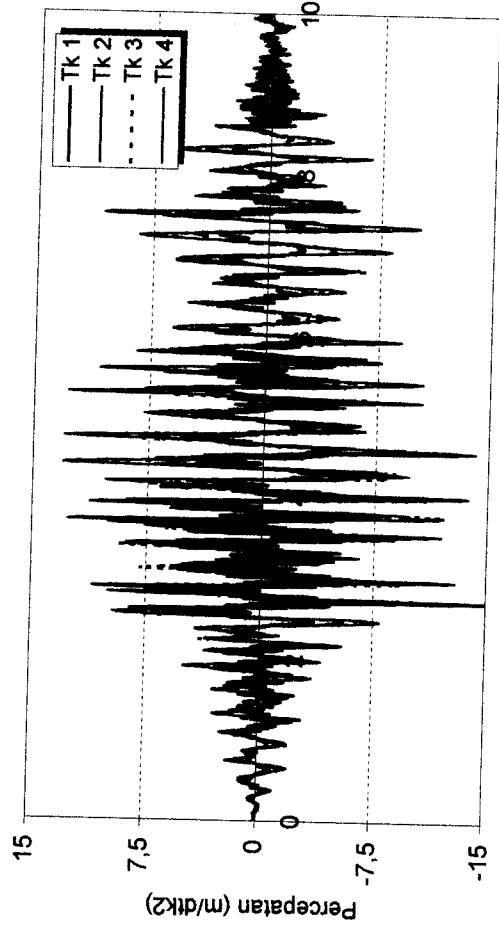
Percepatan merupakan hasil bagi dari kecepatan dengan waktu. Hasil analisis ditampilkan sebagai grafik antara percepatan lawan waktu, dapat dilihat pada gambar berikut ini.



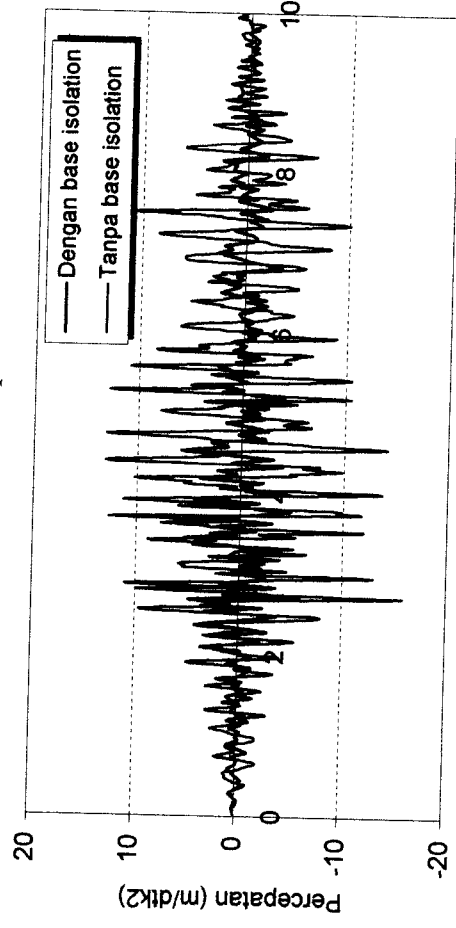
a. BS (Kb min. = 34805, 54512 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 1183388, 534 kg/m)

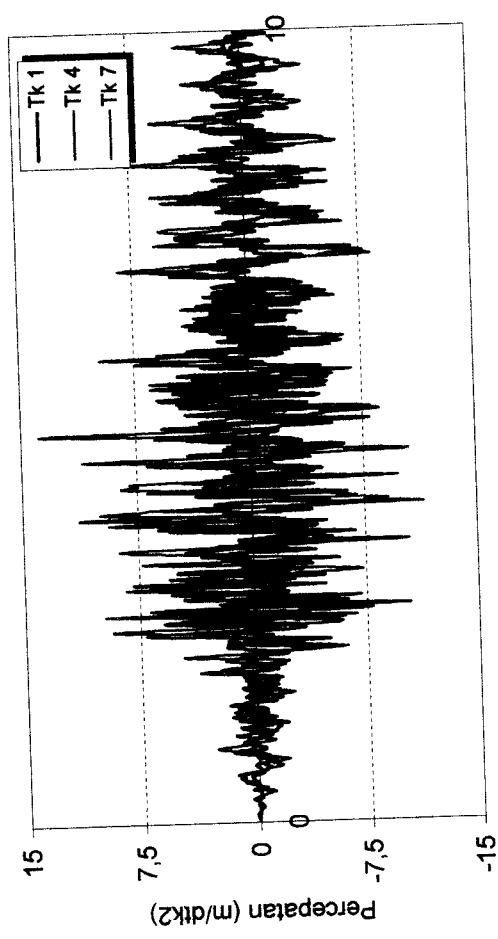


c. Tanpa BS

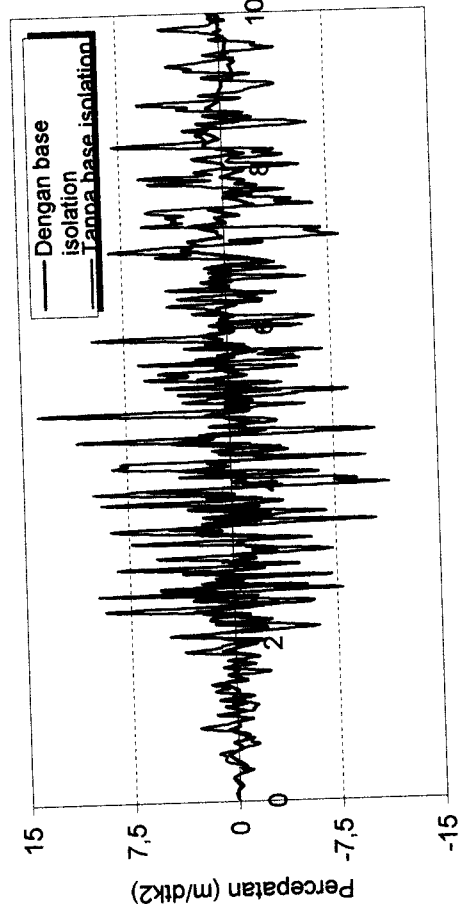


d. Perb. Tk 4 dgn BS dan tanpa BS

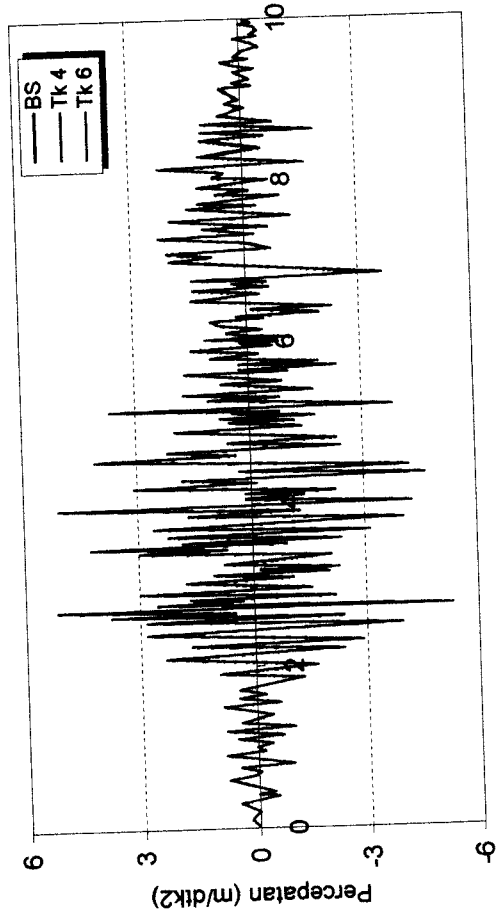
**Gambar 4.40** Percepatan struktur 4 tingkat akibat gempa Koyna



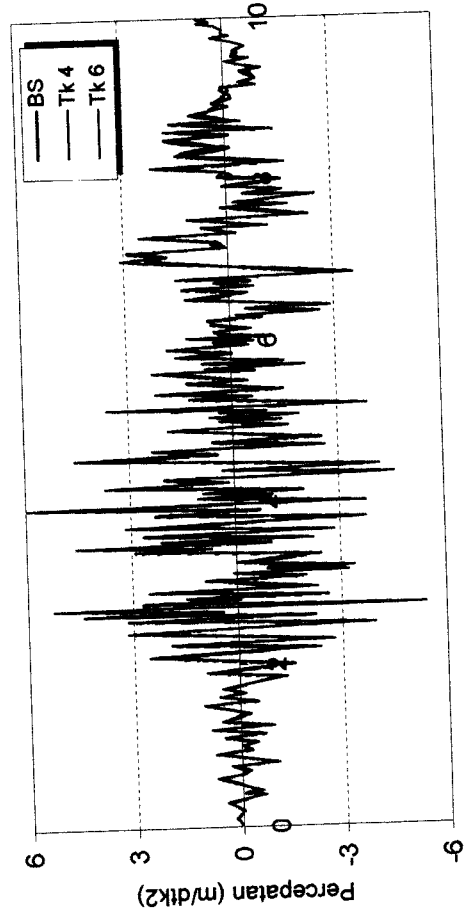
c. Tanpa BS



d. Perb. Tk 7 dgn BS dan tanpa BS

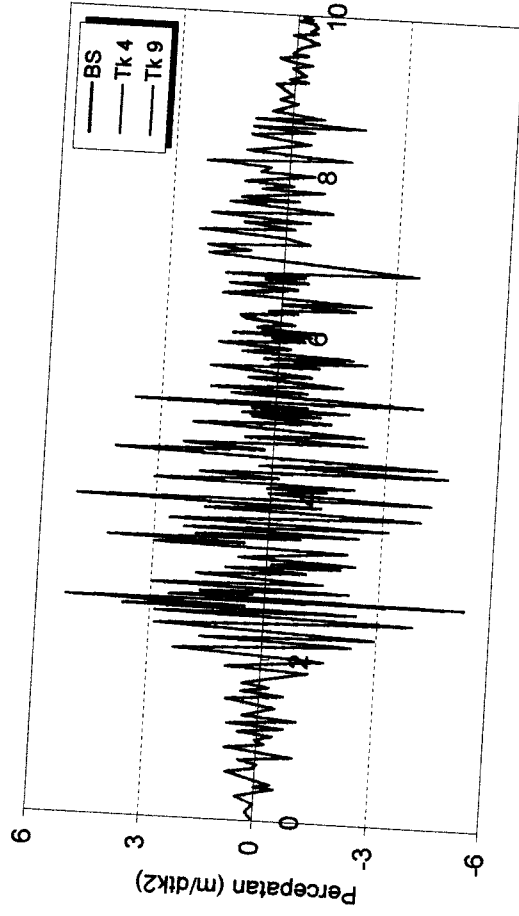


a. BS (Kb min. = 78892, 56293 kg/m)

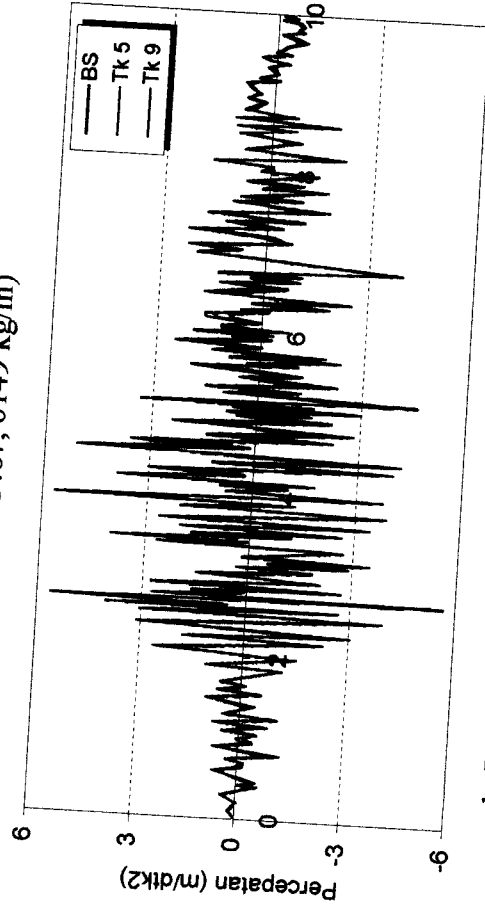


b. BS (Kb maks. = 1183388, 534 kg/m)

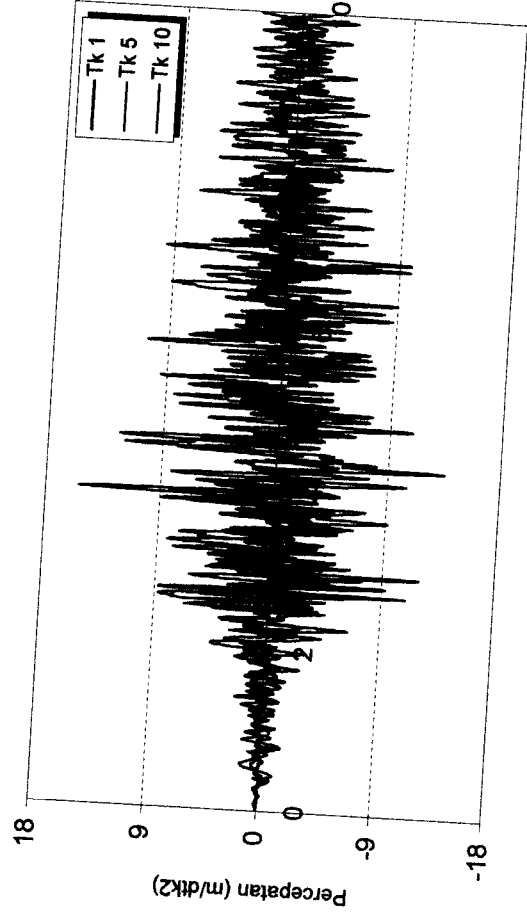
Gambar 4.41 Percepatan struktur 7 tingkat akibat gempa Koyna



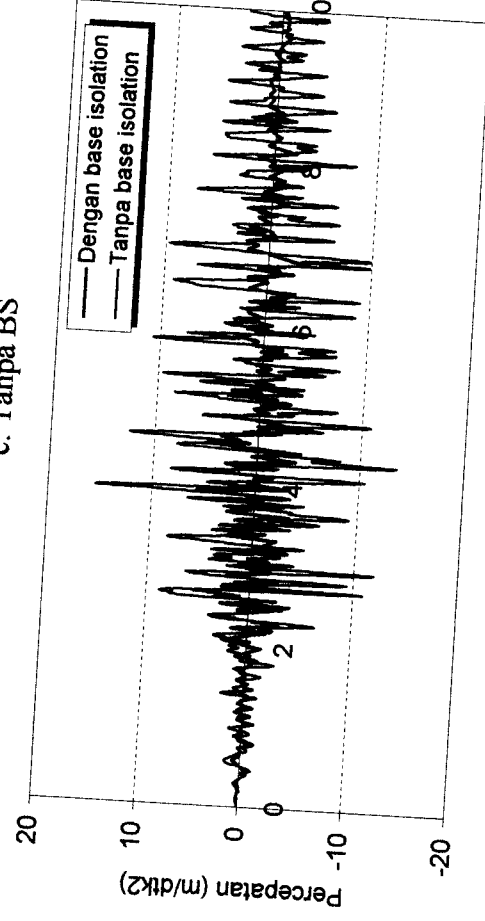
a. BS (Kb min. = 131487, 6149 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 1183388, 534 kg/m)

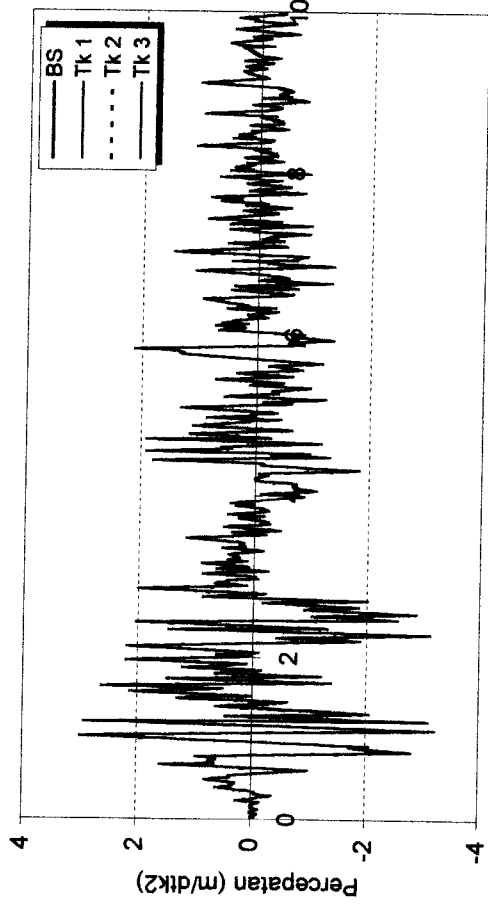


c. Tanpa BS

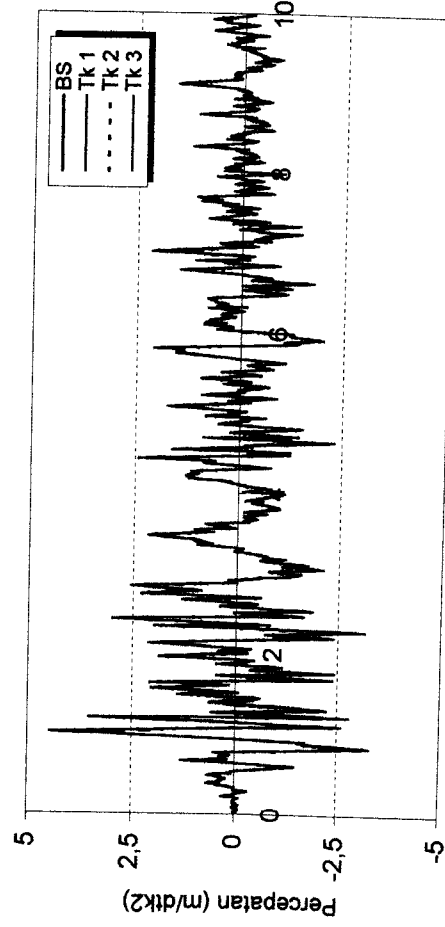


d. Perb. Tk 10 dgn BS dan tanpa BS

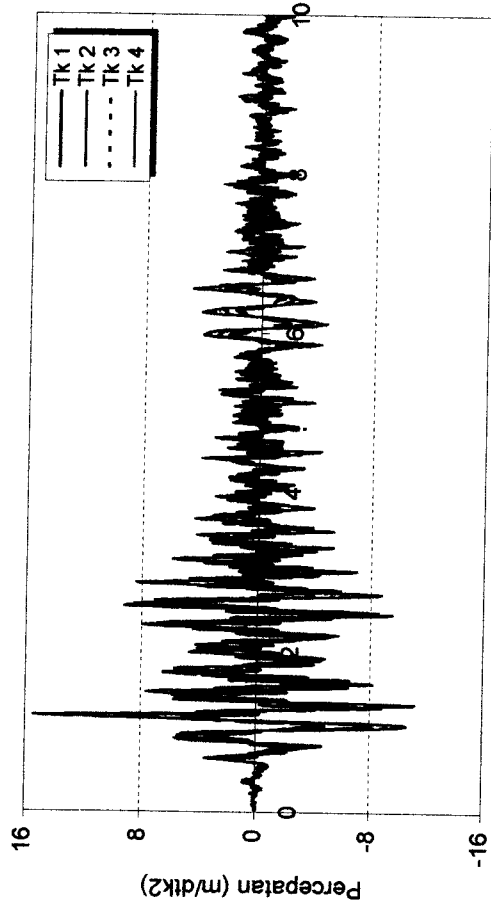
**Gambar 4.42** Percepatan struktur 10 tingkat akibat gempa Koyna



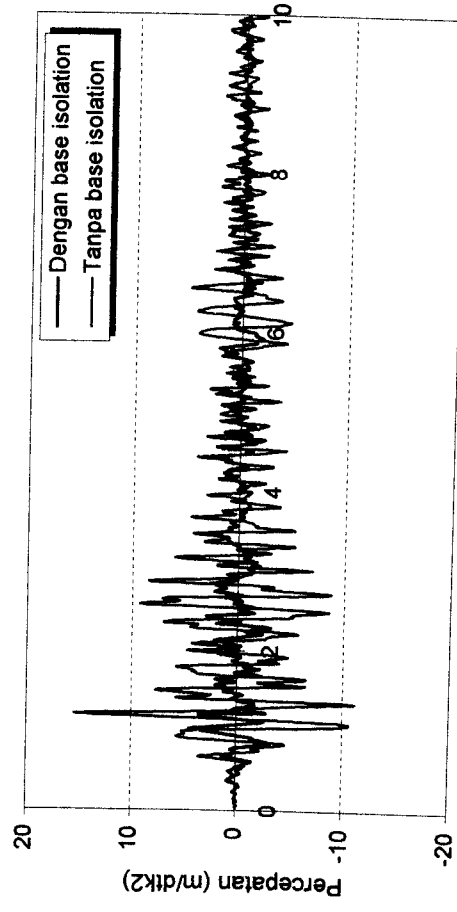
a. BS (Kb min. = 394462, 8447 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 2366777, 068 kg/m)



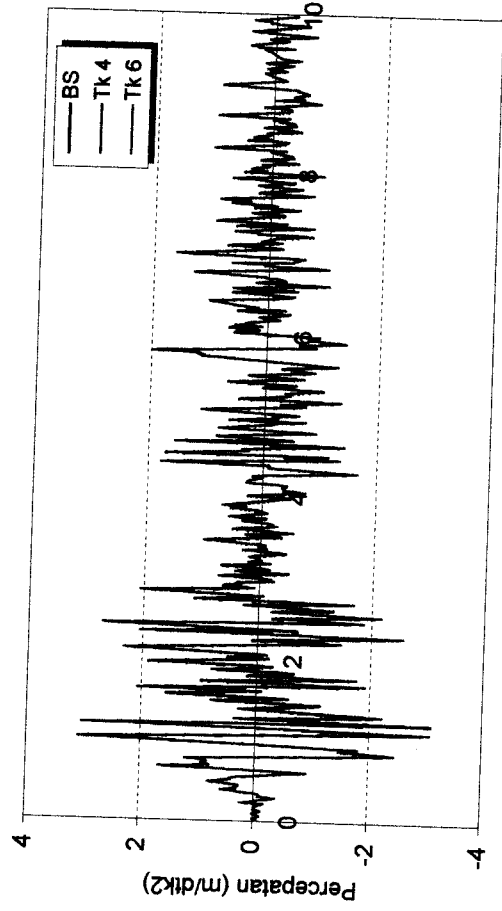
c. Tanpa BS



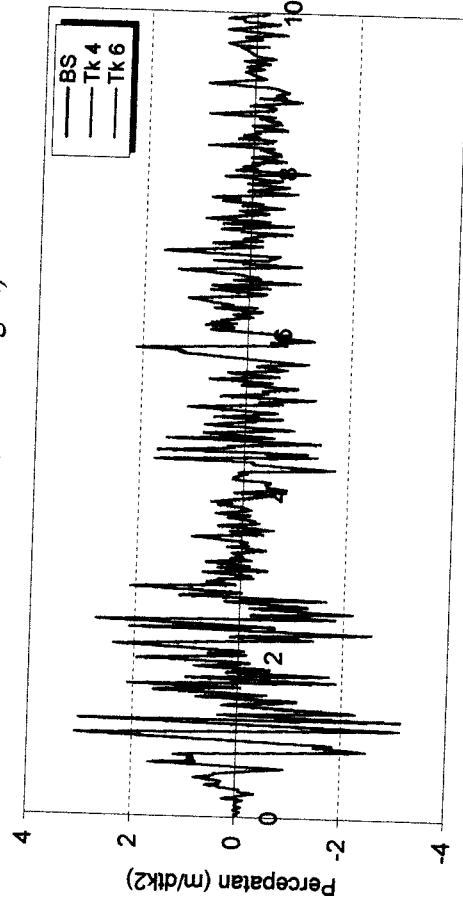
d. Perb. Tk 4 dgn BS dan tanpa BS

**Gambar 4.43** Percepatan struktur 4 tingkat akibat gempa Elcentro

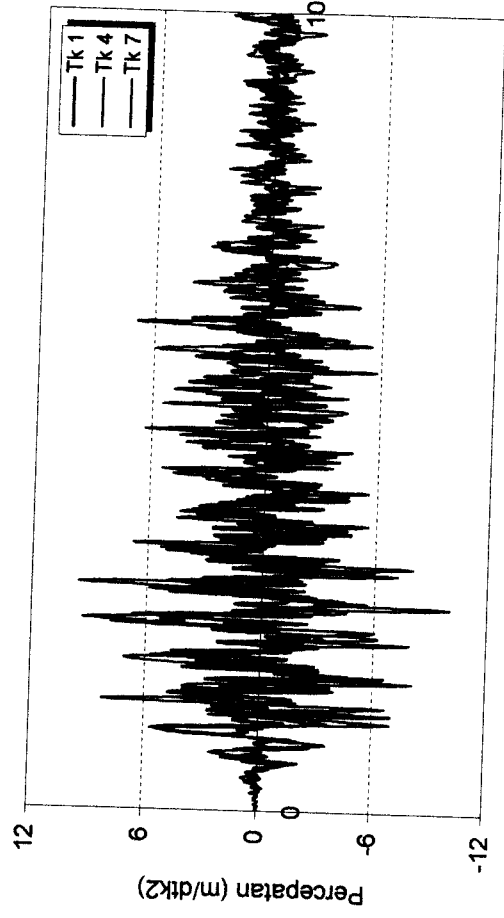




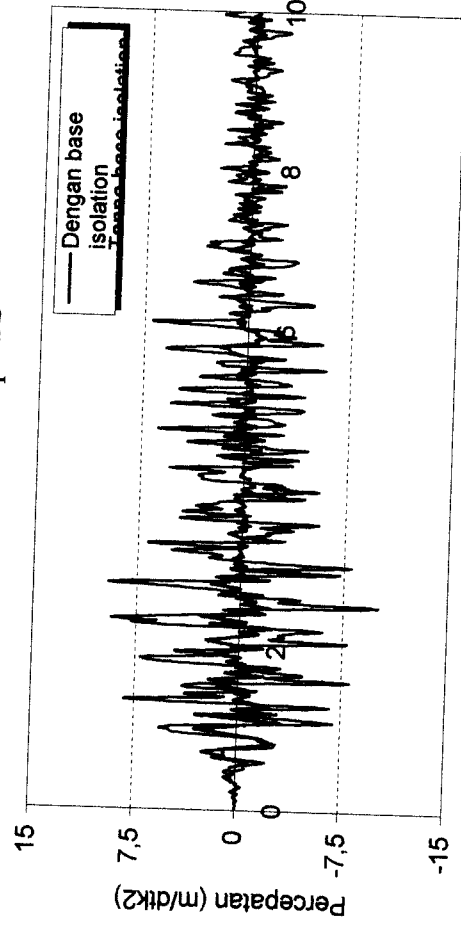
a. BS (Kb min. = 78892, 56893 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 131487, 6149 kg/m)

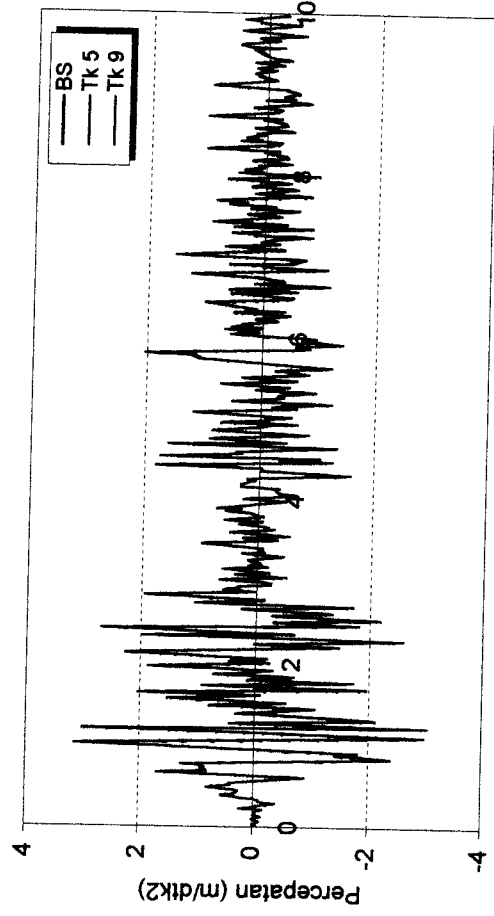


c. Tanpa BS

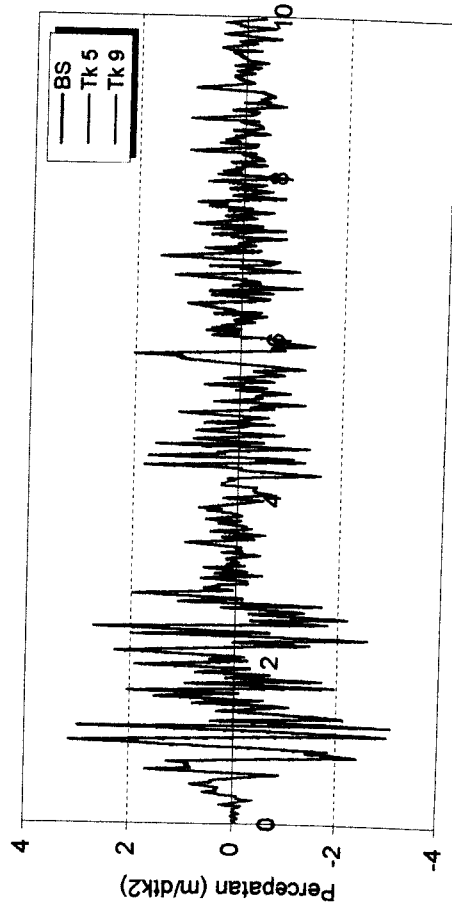


d. Perb. Tk 7 dgn BS dan tanpa BS

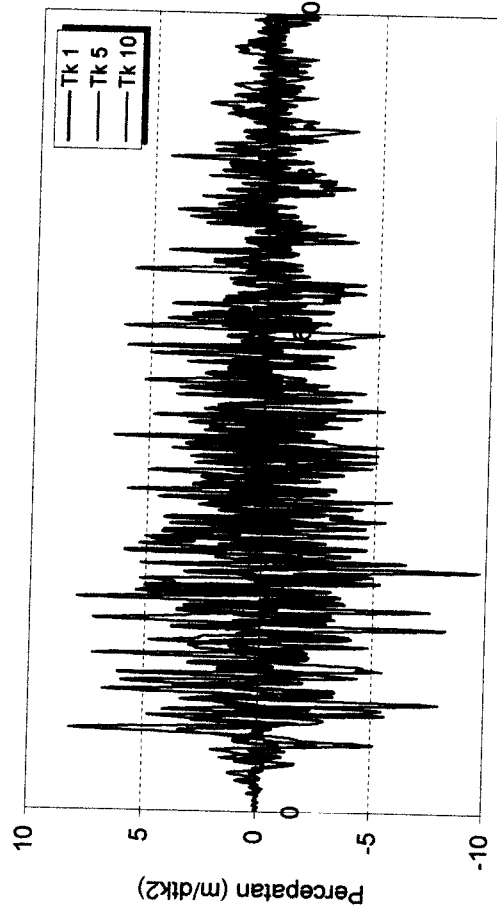
**Gambar 4.44** Percepatan struktur 7 tingkat akibat gempa Elcentro



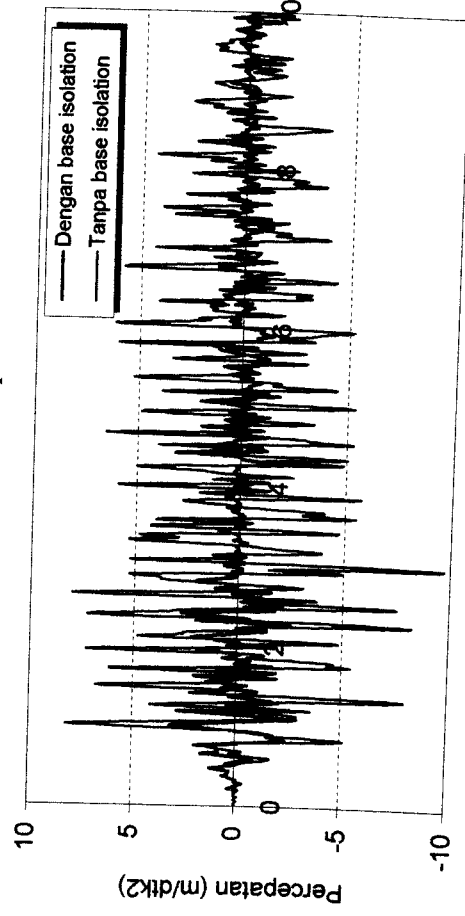
a. BS (Kb min. = 47335, 54136 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 78892, 56893 kg/m)

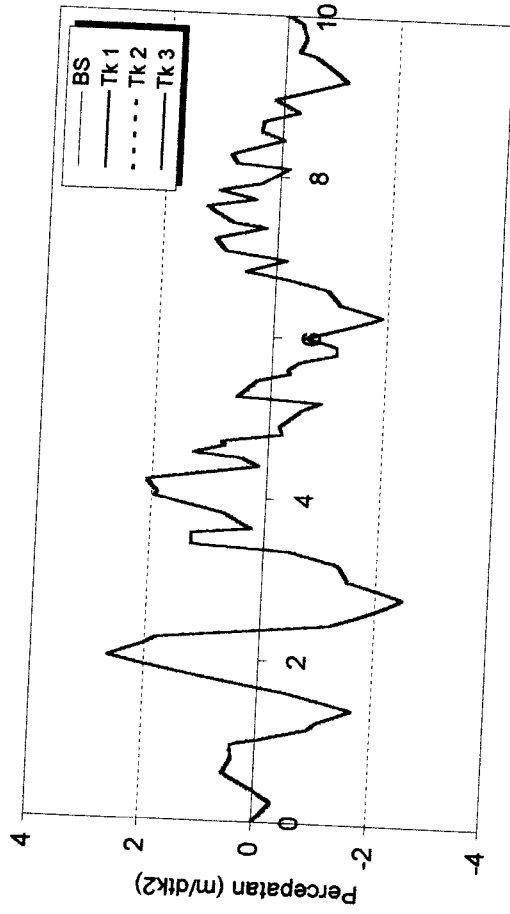


c. Tanpa BS

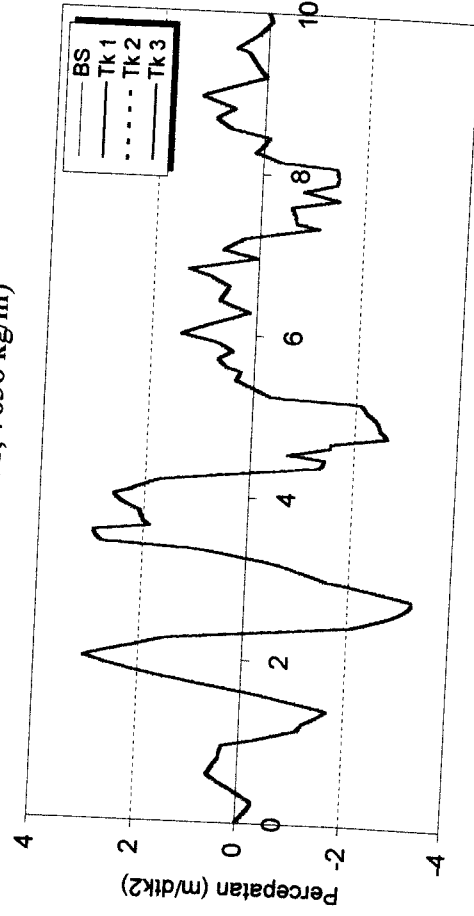


d. Perb. Tk 10 dgn BS dan tanpa BS

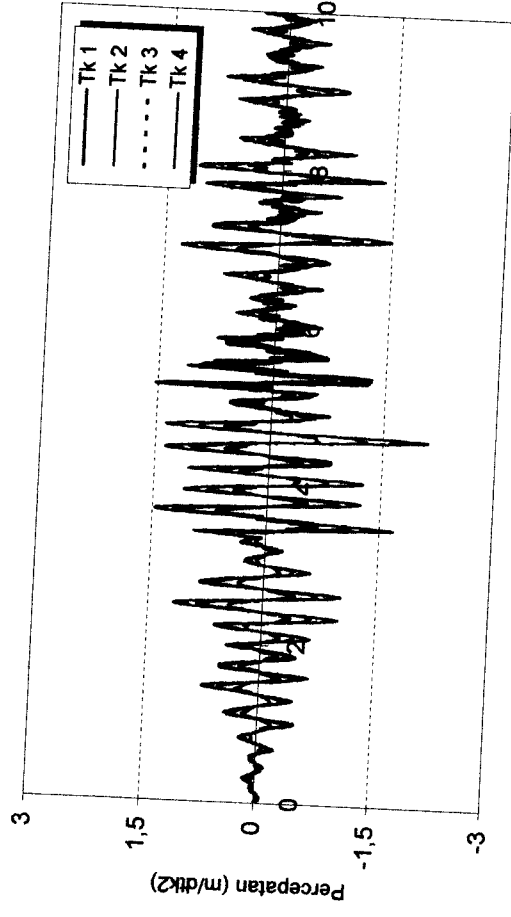
**Gambar 4.45** Percepatan struktur 10 tingkat akibat gempa Elcentro



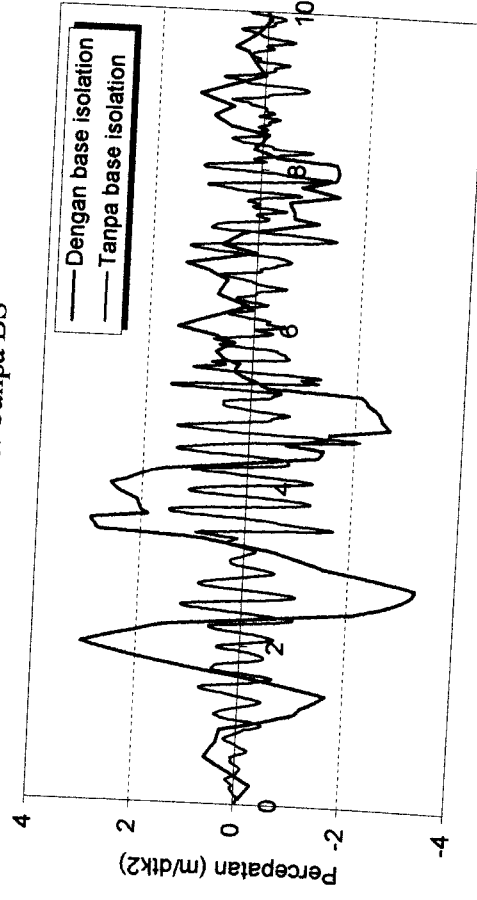
a. BS (Kb min. = 73961, 7838 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 197231, 4223 kg/m)

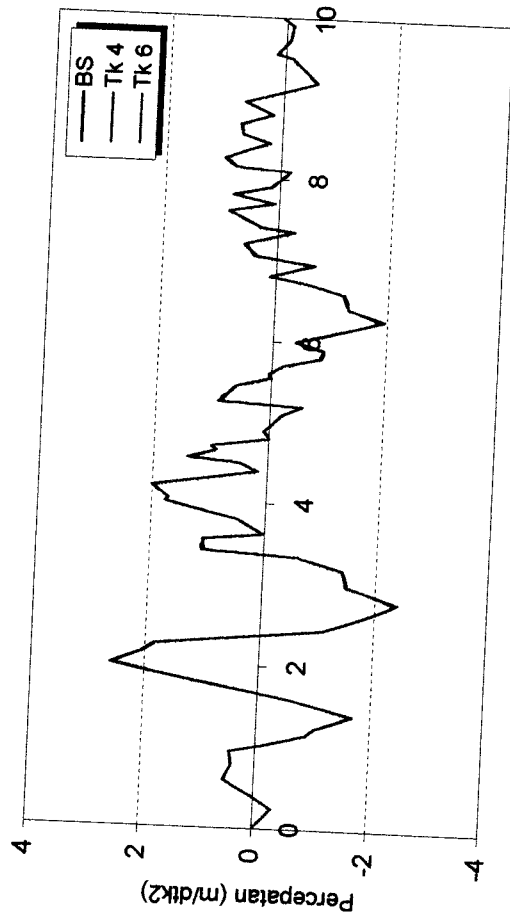


c. Tanpa BS

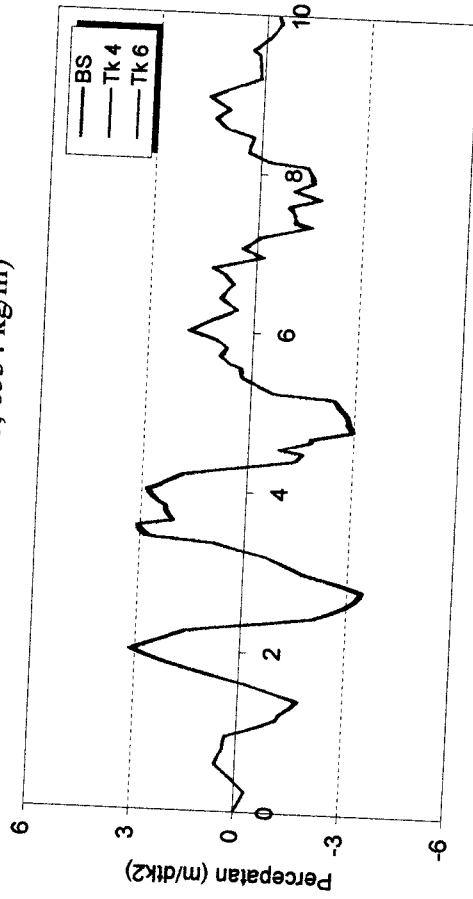


d. Perb. Tk 4 dgn BS dan tanpa BS

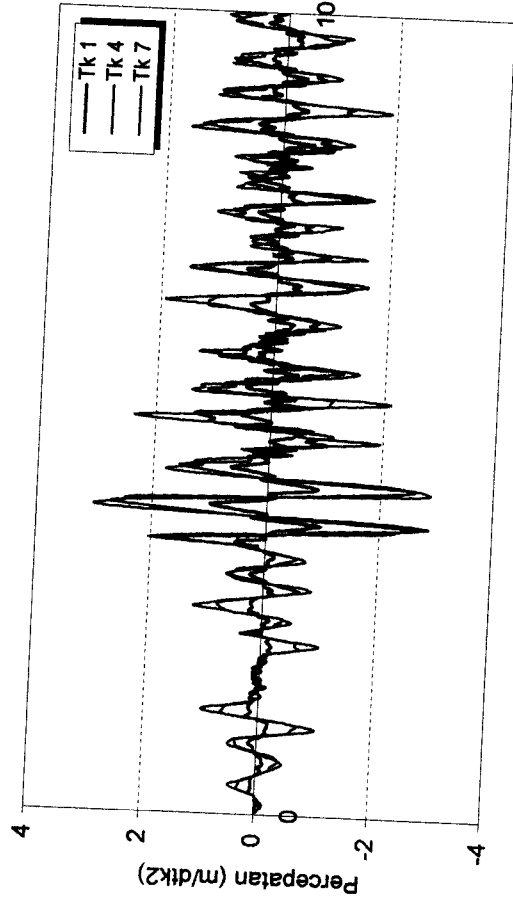
**Gambar 4.46** Percepatan struktur 4 tingkat akibat gempa Bucharest



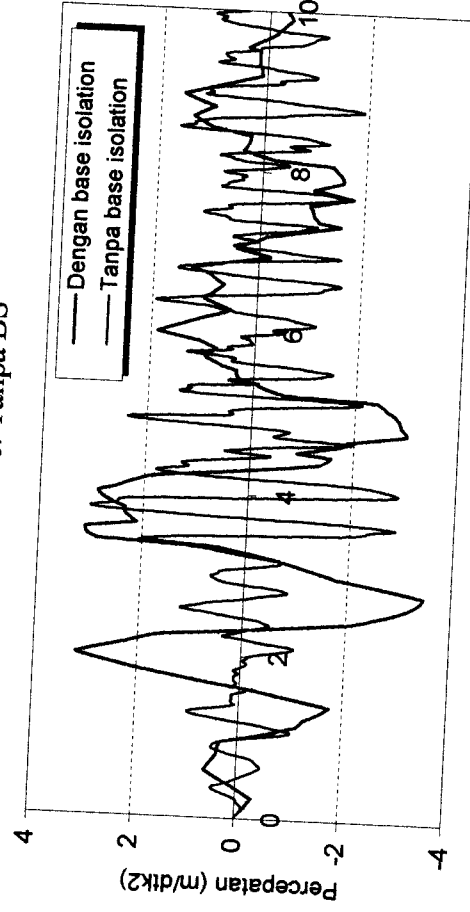
a. BS (Kb min. = 118338, 8534 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 591694, 267 kg/m)

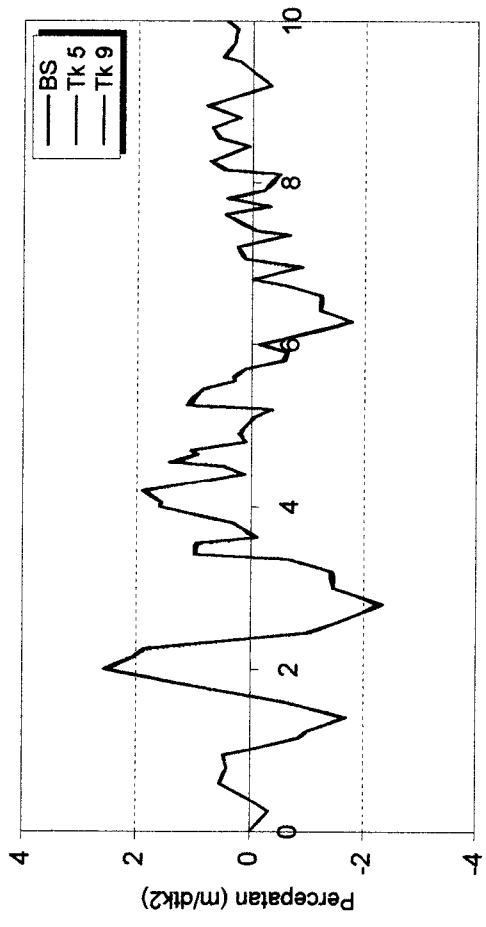


c. Tanpa BS

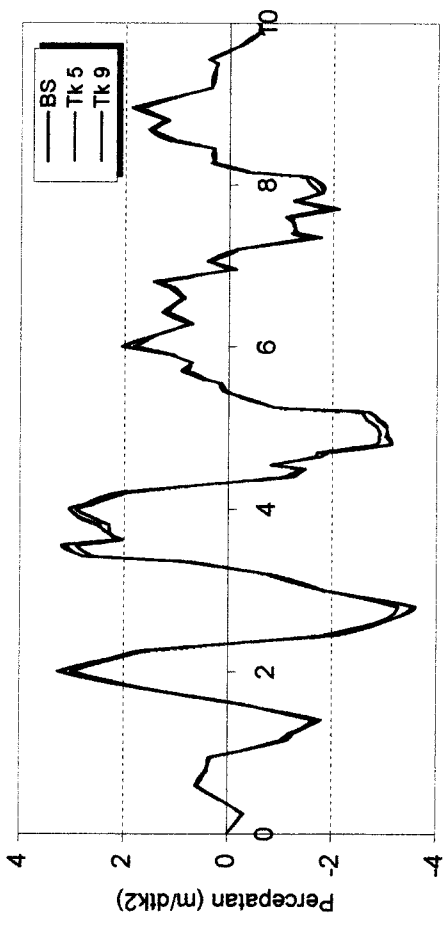


d. Perb. Tk 7 dgn BS dan tanpa BS

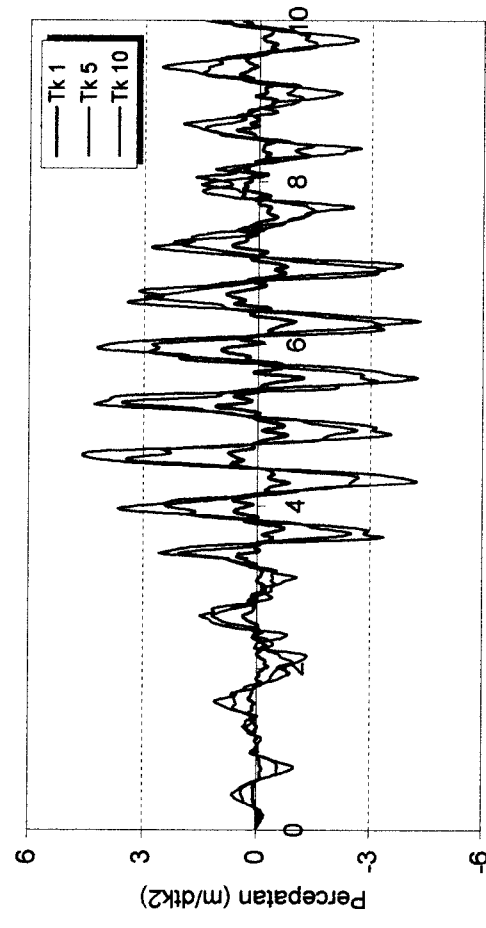
Gambar 4.47 Percepatan struktur 7 tingkat akibat gempa Bucharest



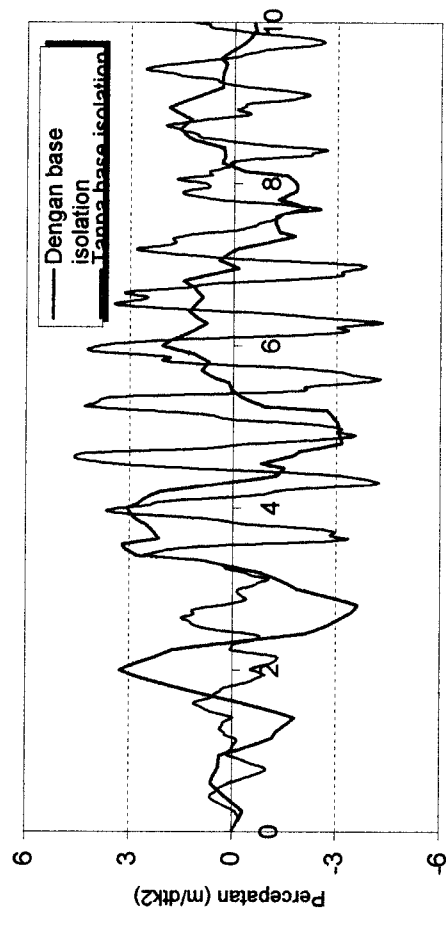
a. BS (Kb min. = 147923, 5668 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 591694, 267 kg/m)



c. Tanpa BS

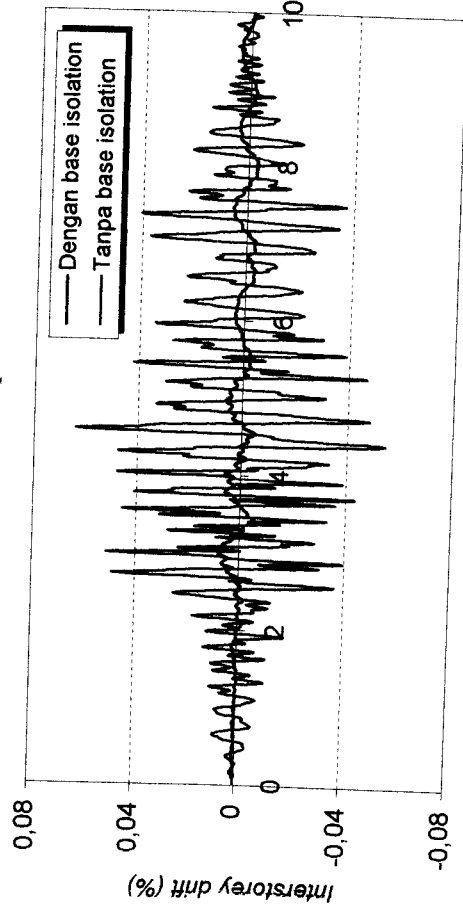
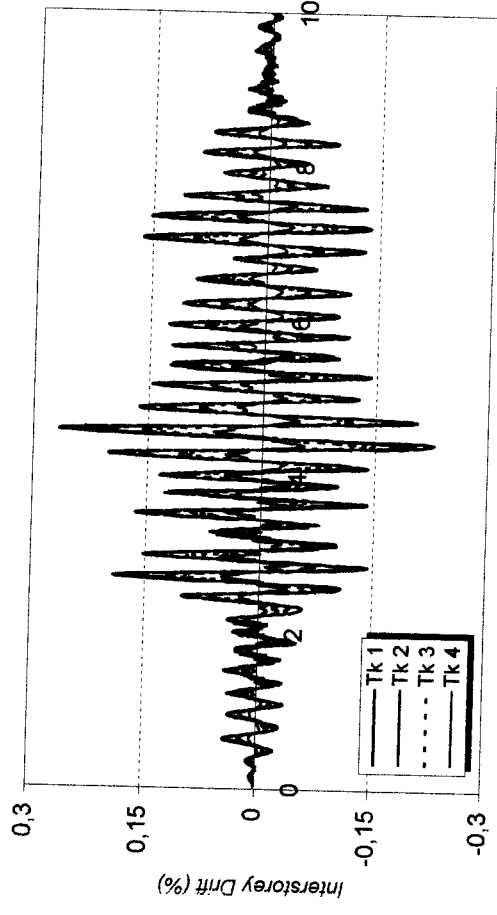
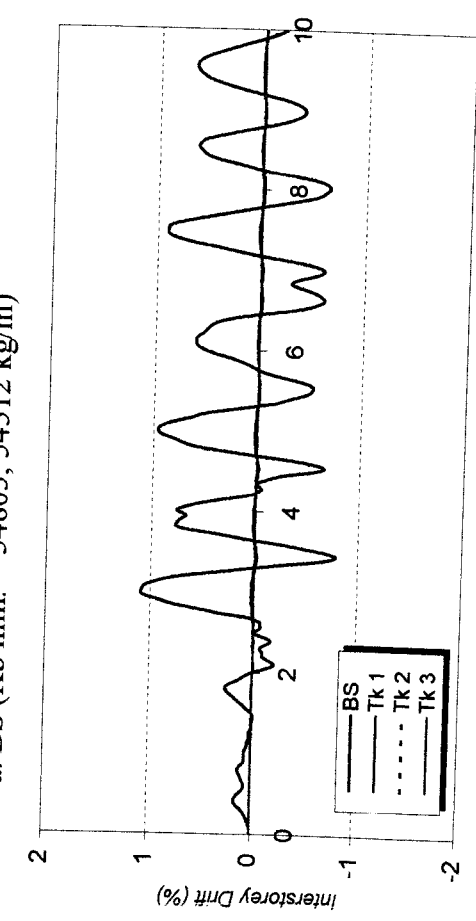
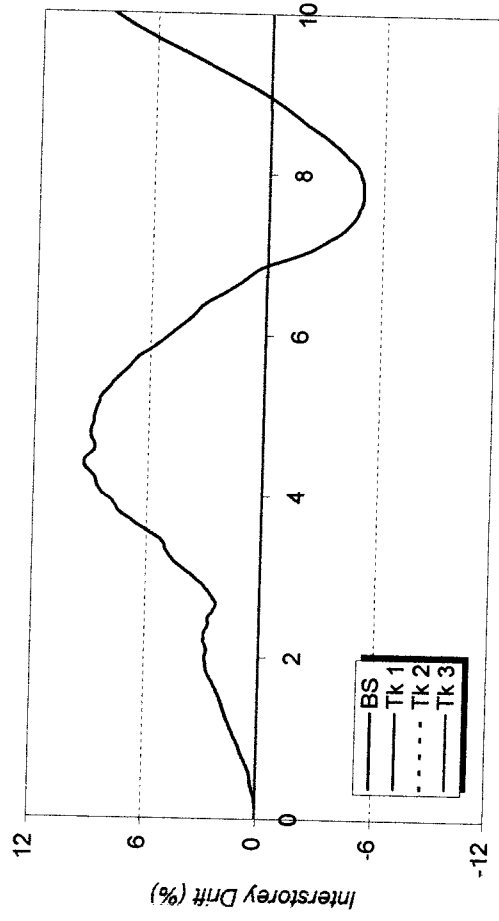


d. Perb. Tk 10 dgn BS dan tanpa BS

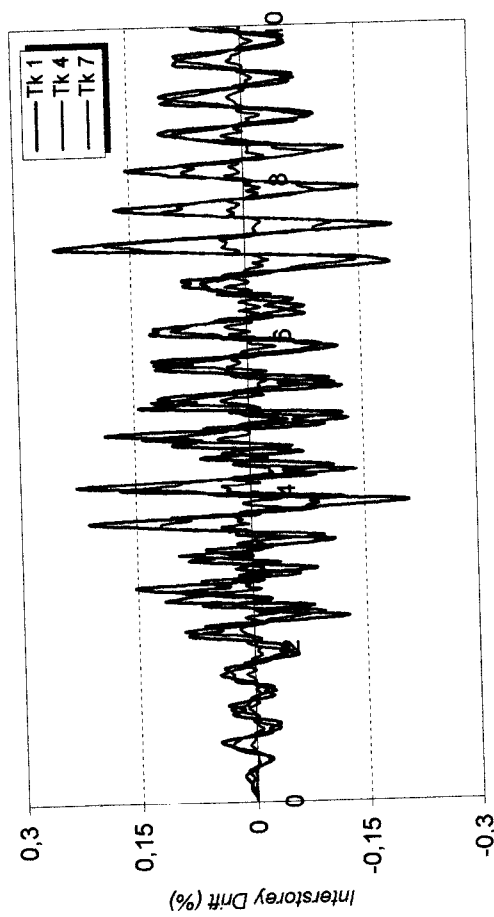
**Gambar 4.48** Percepatan struktur 10 tingkat akibat gempa Bucharest

#### **4.4.5 Perhitungan Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*)**

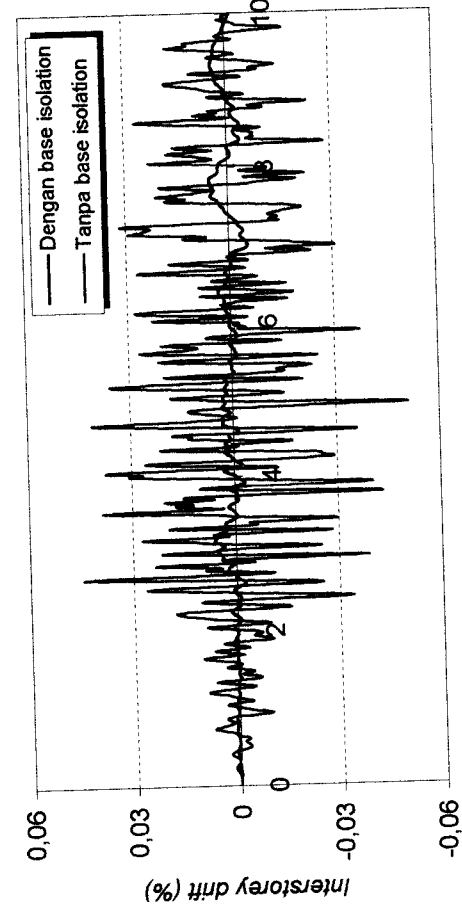
Perhitungan simpangan antar tingkat berdasarkan persamaan (2.61). Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk grafik antara simpangan antar tingkat (*interstorey drift*) lawan waktu, dapat dilihat pada gambar berikut.



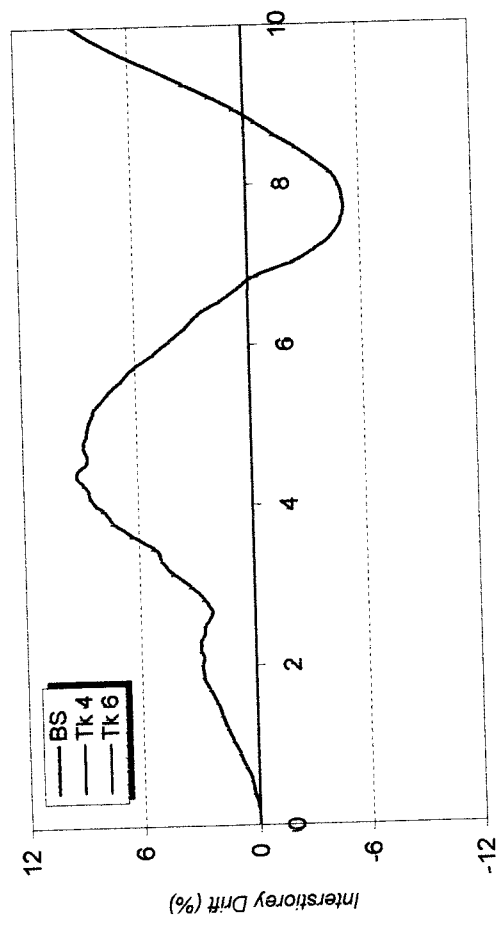
**Gambar 4.49** Simpangan antar tingkat struktur 4 tingkat akibat gempa Koyna



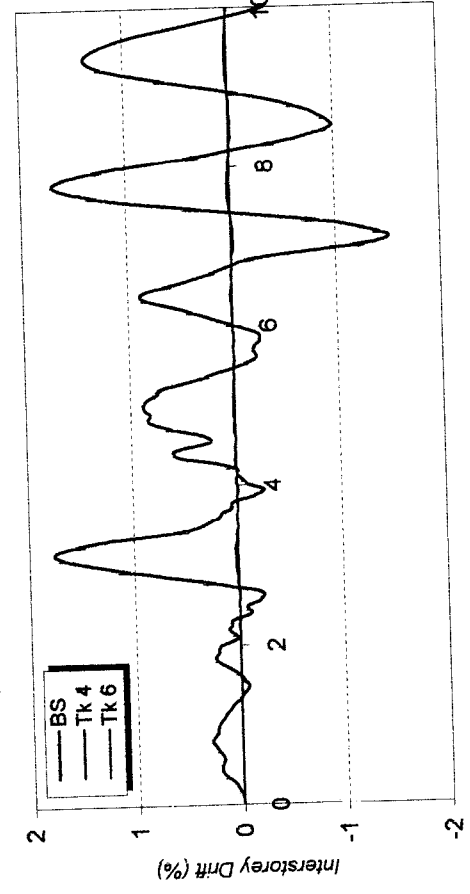
c. Tanpa BS



d. Perb. Tk 7 dgn BS dan tanpa BS



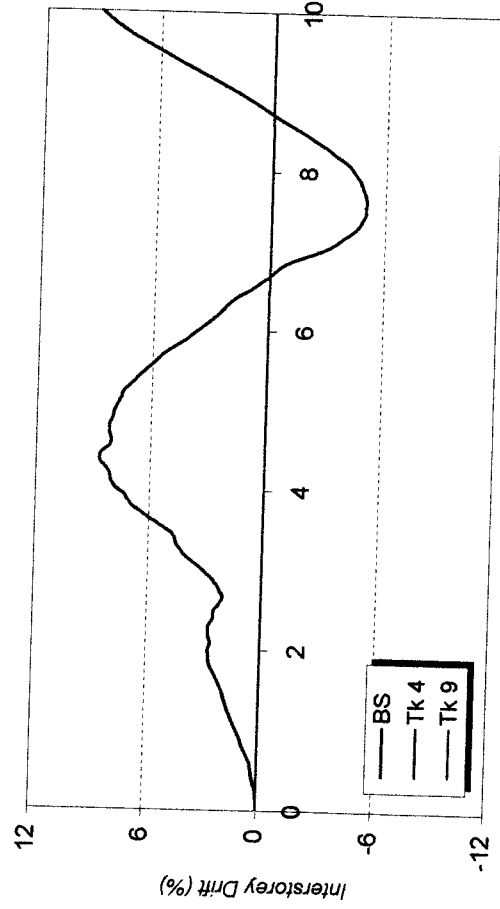
a. BS (Kb min. = 78892, 56293 kg/m)



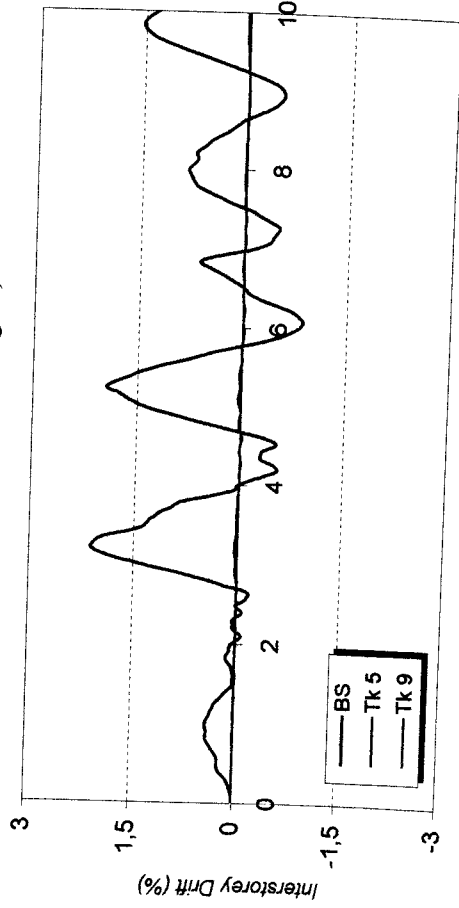
b. BS (Kb maks. = 1183388, 534 kg/m)

**Gambar 4.50** Simpangan antar tingkat struktur 7 tingkat akibat gempa Koyna

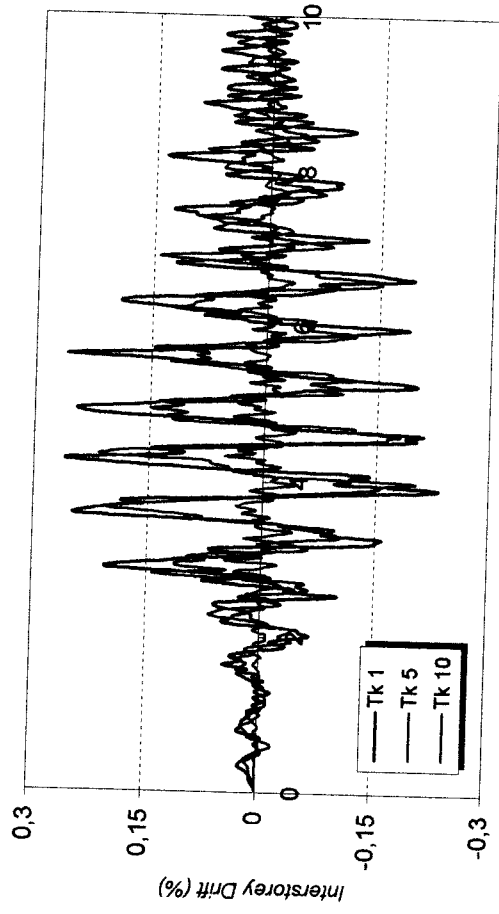




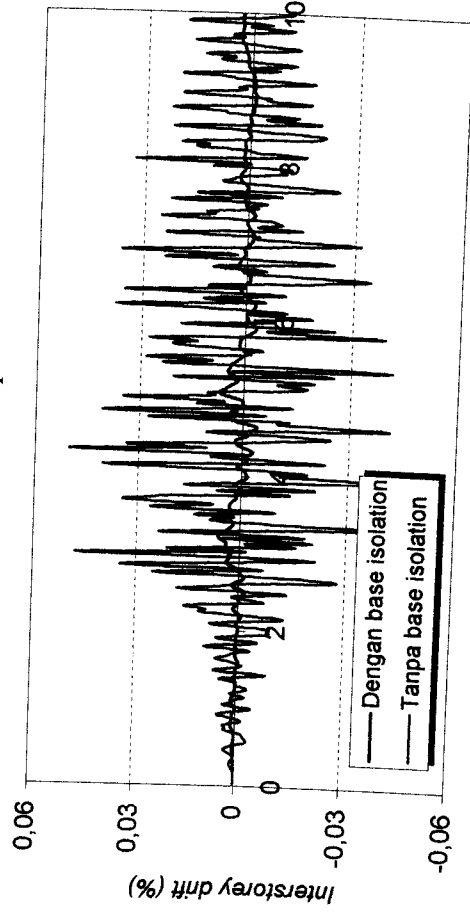
a. BS (Kb min. = 131487, 6149 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 1183388, 534 kg/m)

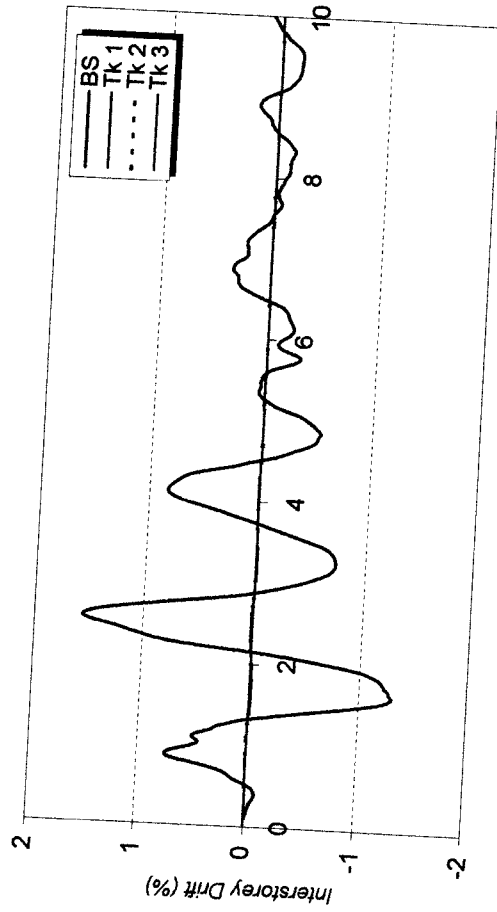


c. Tanpa BS

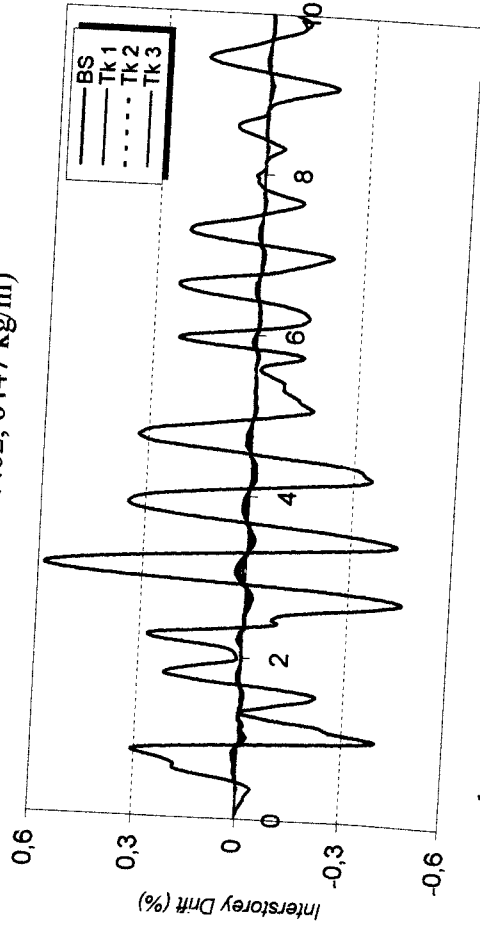


d. Perb. Tk 10 dgn BS dan tanpa BS

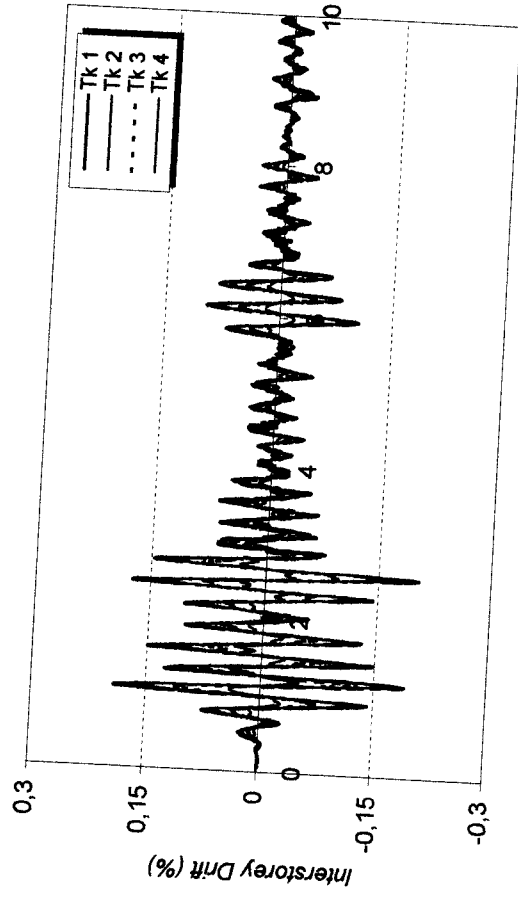
**Gambar 4.51** Simpangan antar tingkat struktur 10 tingkat akibat gempa Koyna



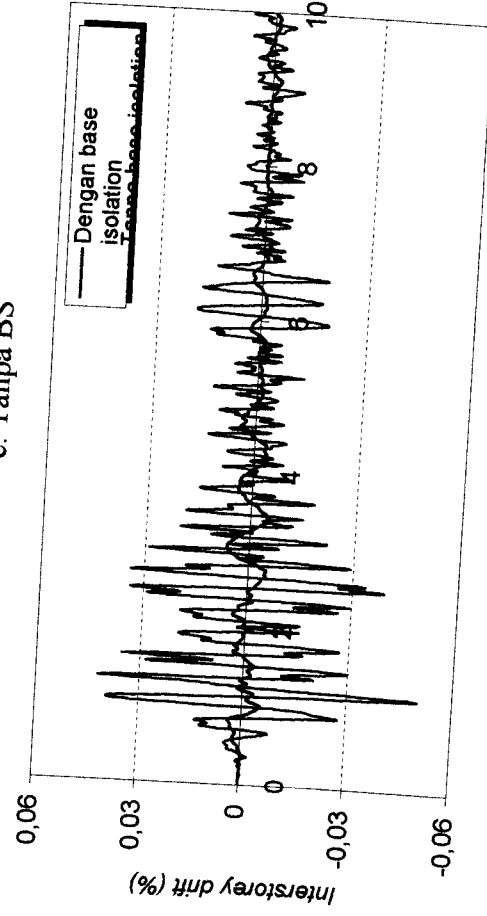
a. BS (Kb min. = 394462, 8447 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 2366777, 068 kg/m)

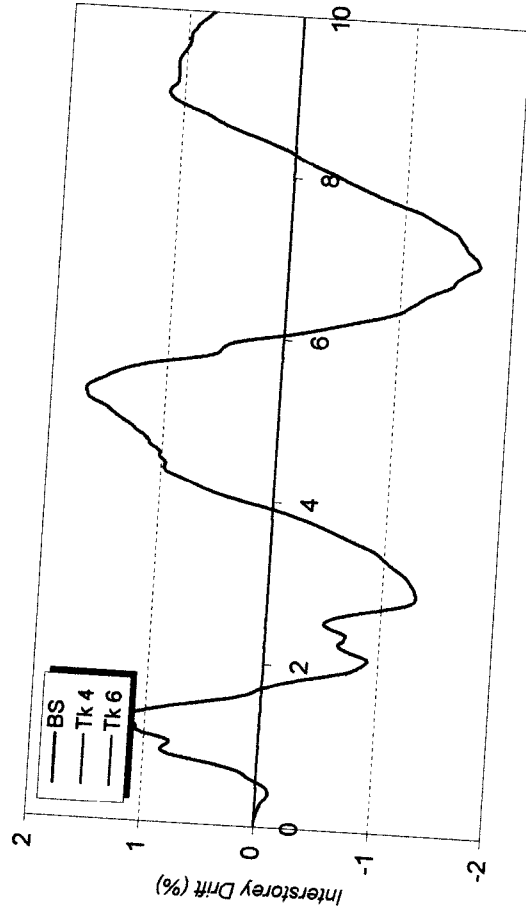


c. Tanpa BS

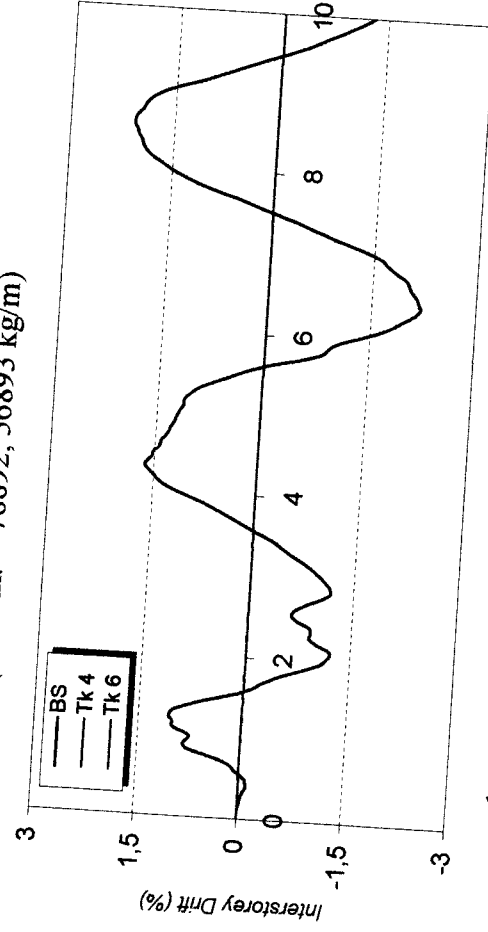


d. Perb. Tk 4 dgn BS dan tanpa BS

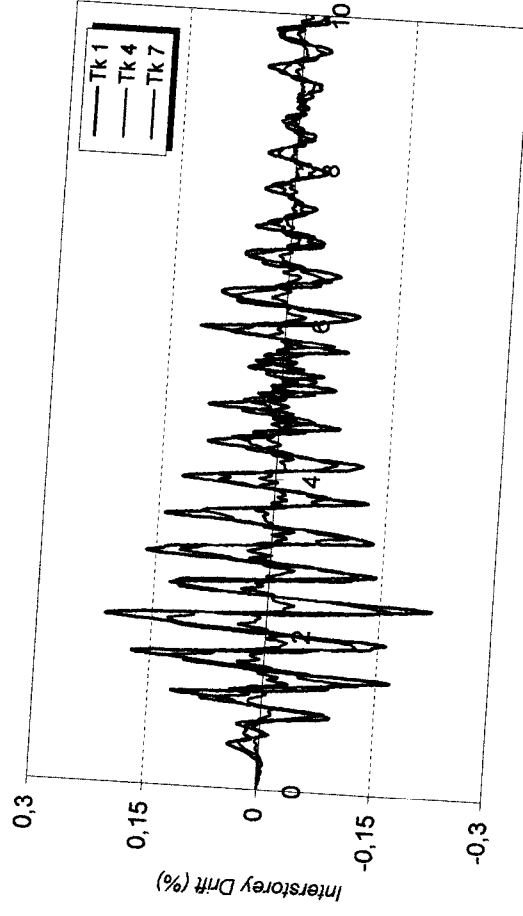
**Gambar 4.52** Simpangan antar tingkat struktur 4 tingkat akibat gempa Elcentro



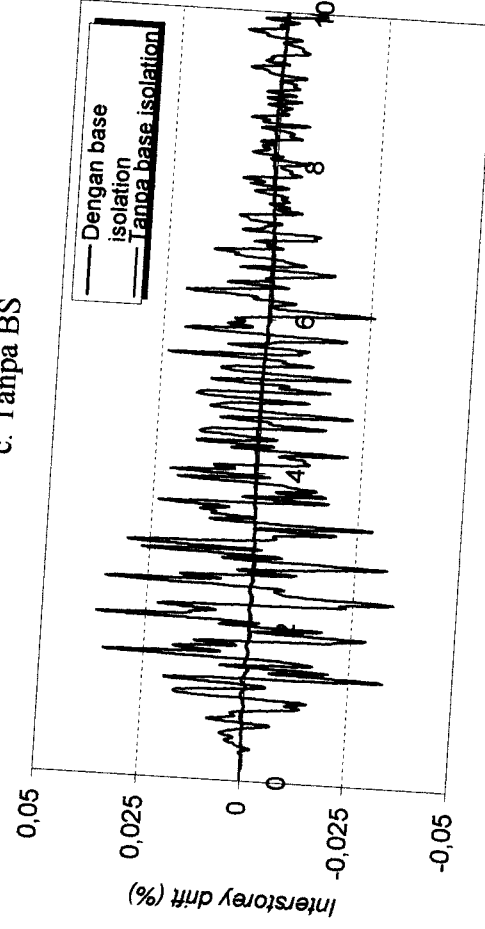
a. BS (Kb min. = 78892, 56893 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 131487, 6149 kg/m)

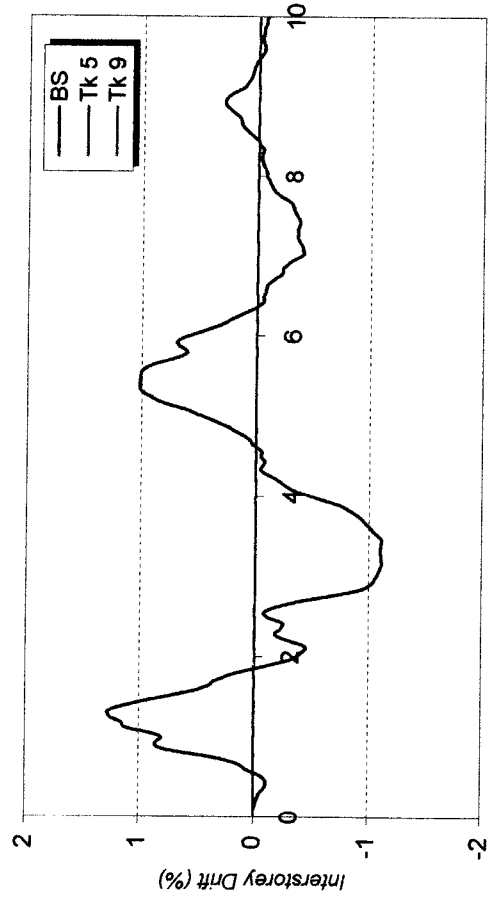


c. Tanpa BS

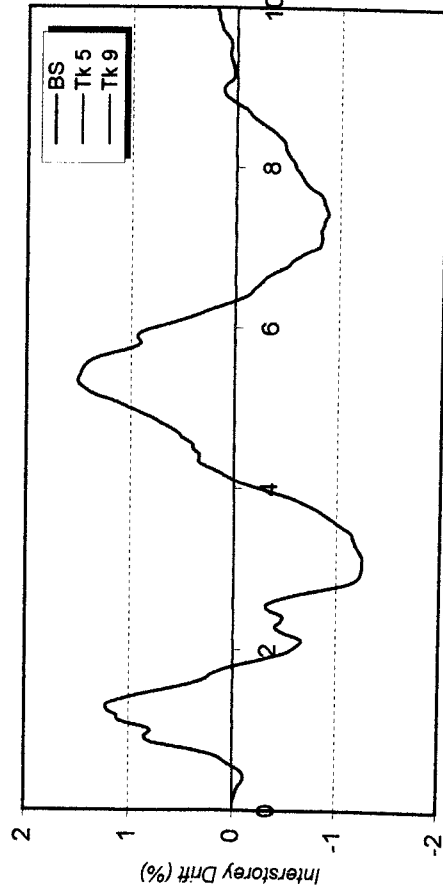


d. Perb. Tk 7 dgn BS dan tanpa BS

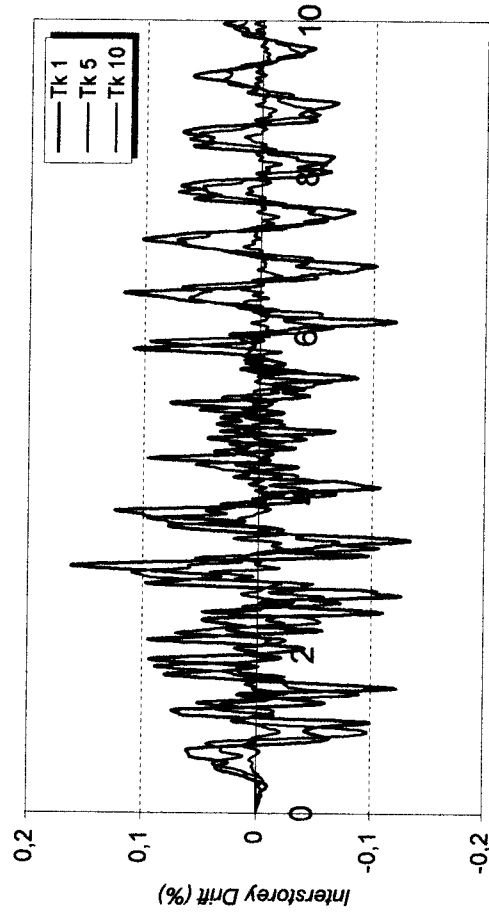
**Gambar 4.53** Simpangan antar tingkat struktur 7 tingkat akibat gempa Elcentro



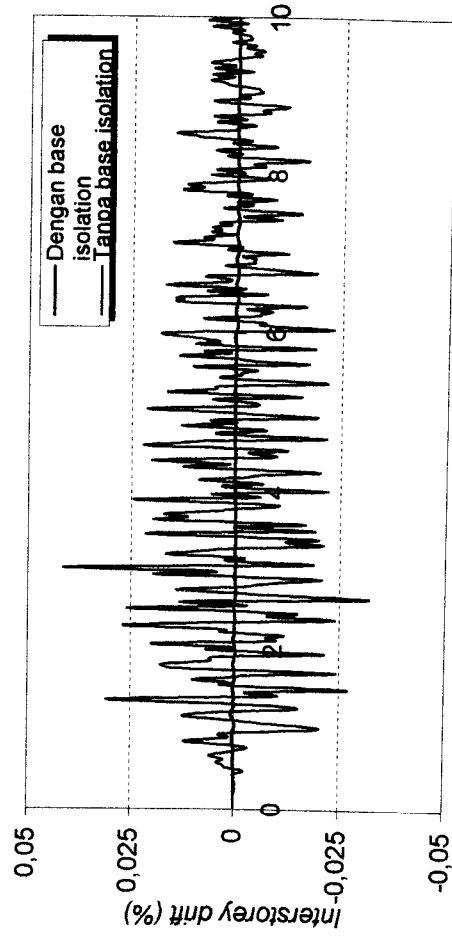
a. BS (Kb min. = 47335, 54136 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 78892, 56893 kg/m)

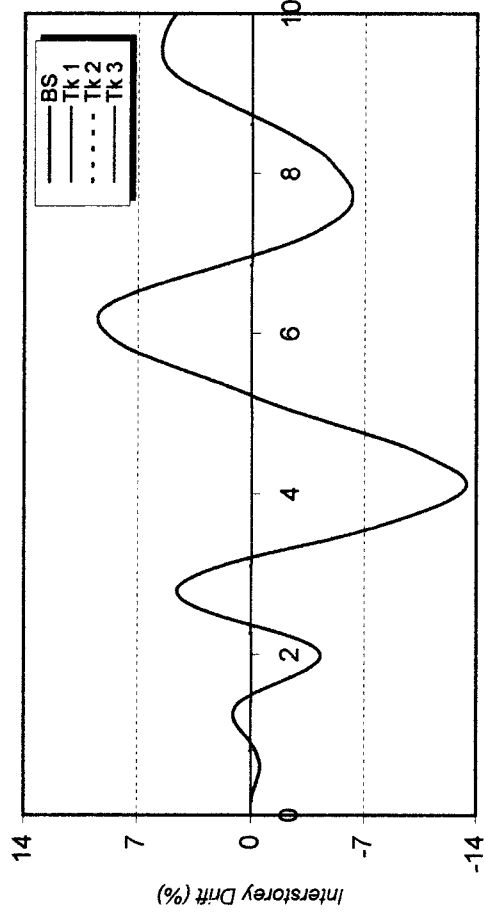


c. Tanpa BS

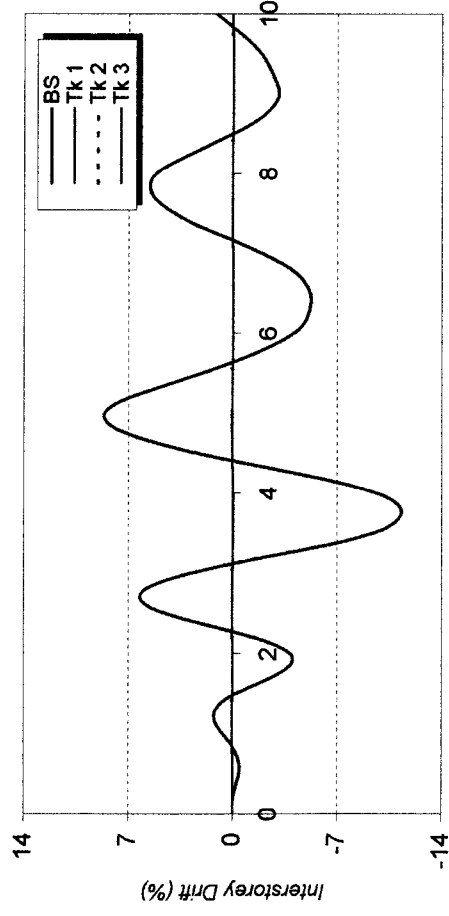


d. Perb. Tk 10 dgn BS dan tanpa BS

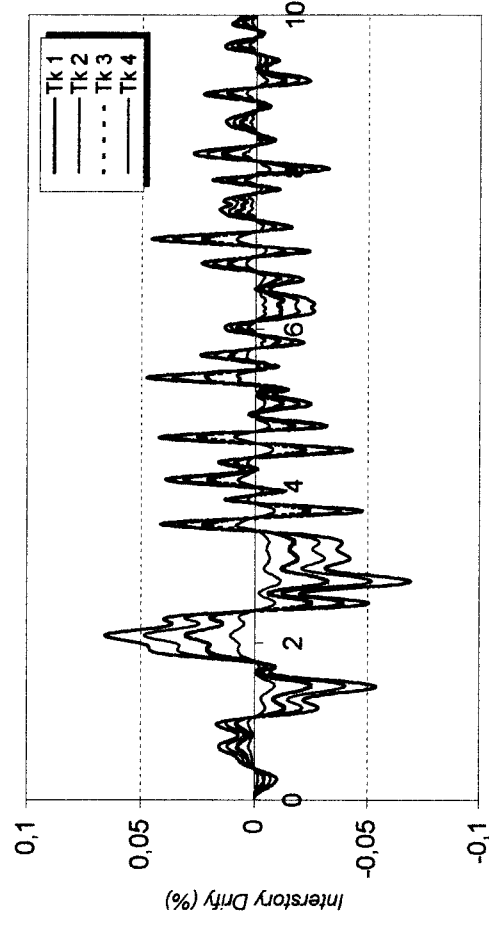
**Gambar 4.54** Simpangan antar tingkat struktur 10 tingkat akibat gempa Elcentro



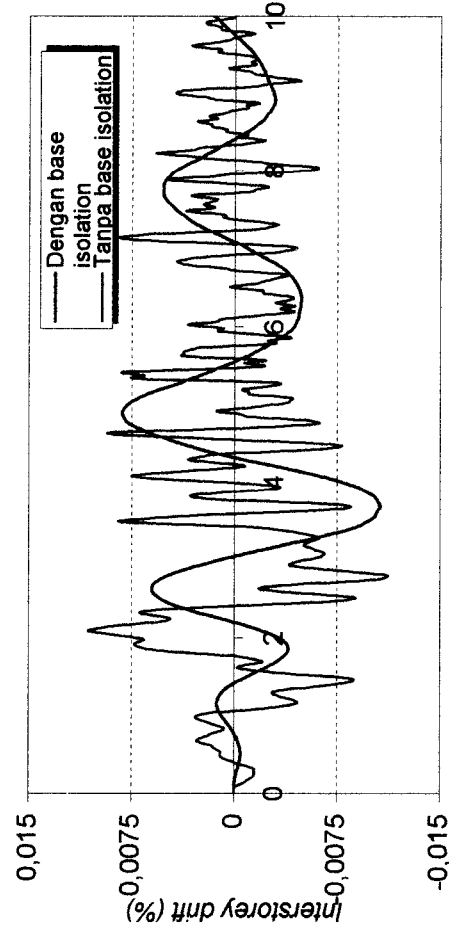
a. BS (Kb min. = 73961, 7838 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 197231, 4223 kg/m)

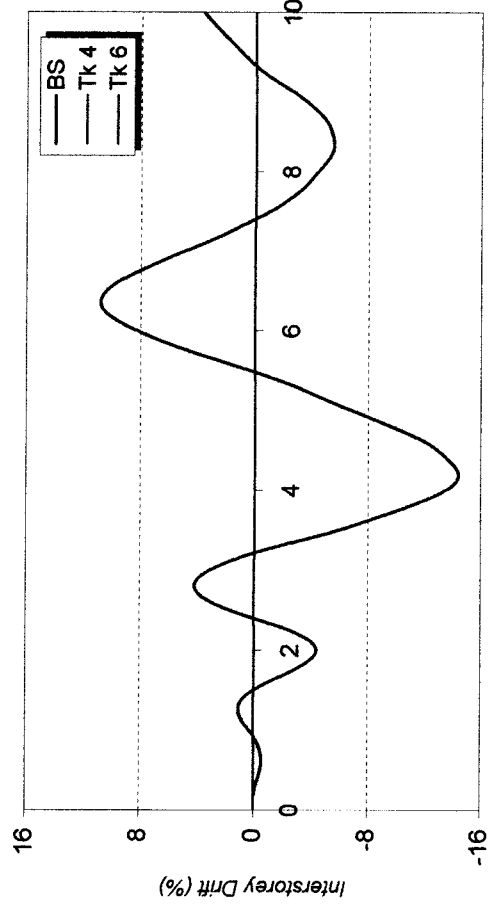


c. Tanpa BS

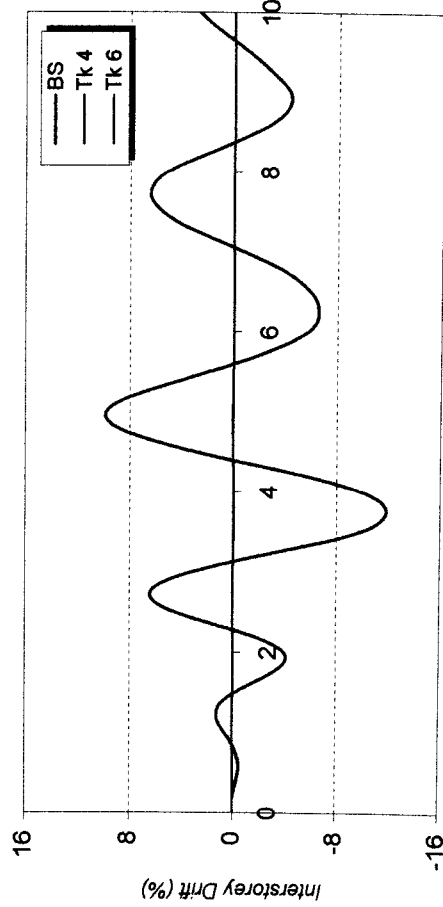


d. Perb. Tk 4 dgn BS dan tanpa BS

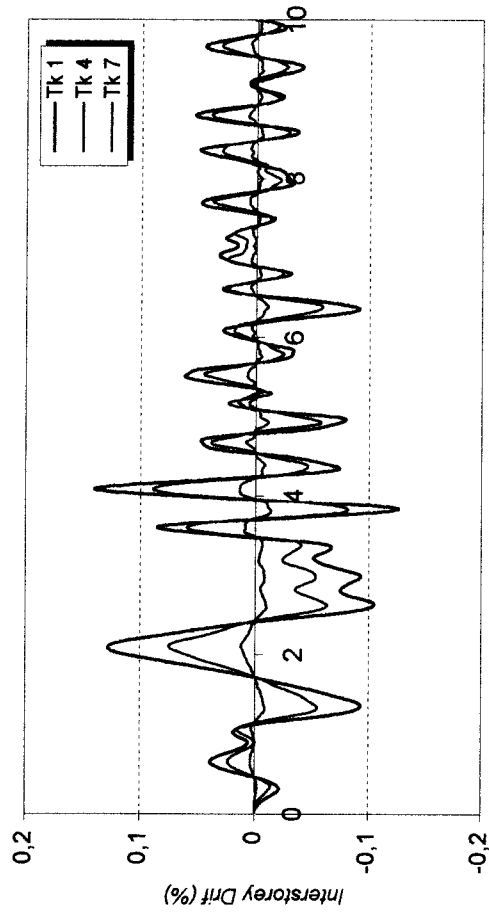
**Gambar 4.55** Simpangan antar tingkat struktur 4 tingkat akibat gempa Bucharest



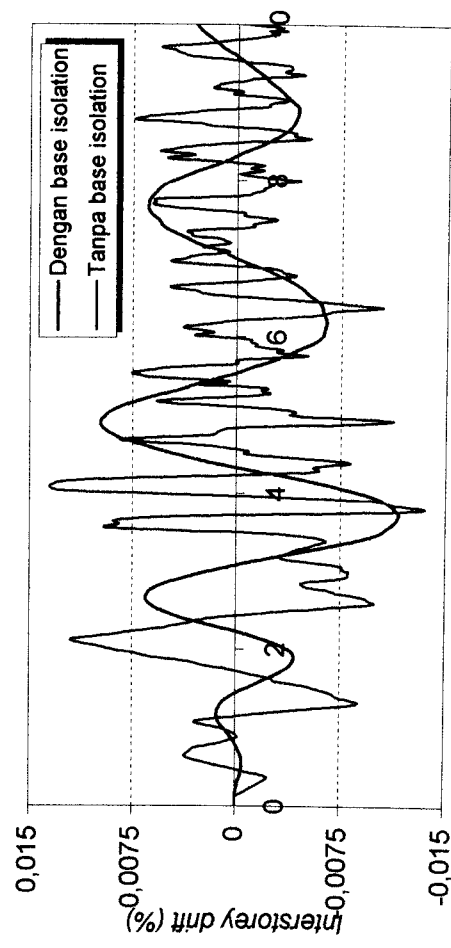
a. BS (Kb min. = 118338, 8534 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 591694, 267 kg/m)

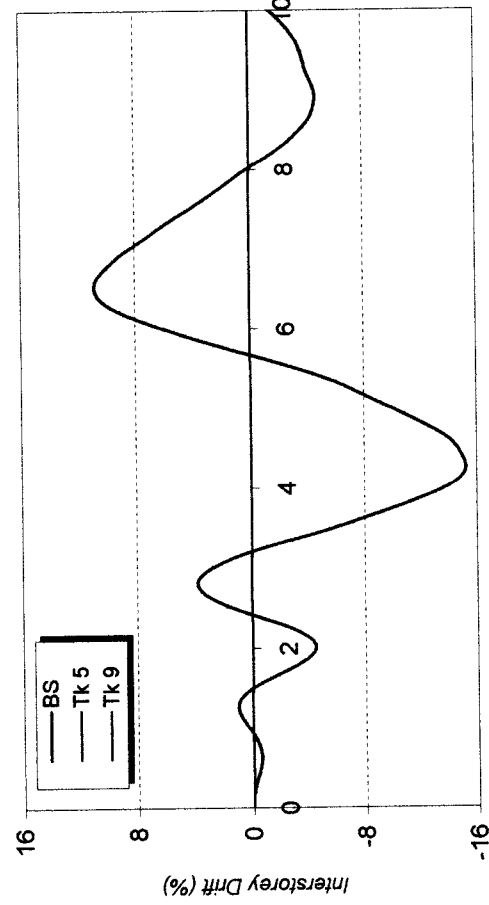


c. Tanpa BS

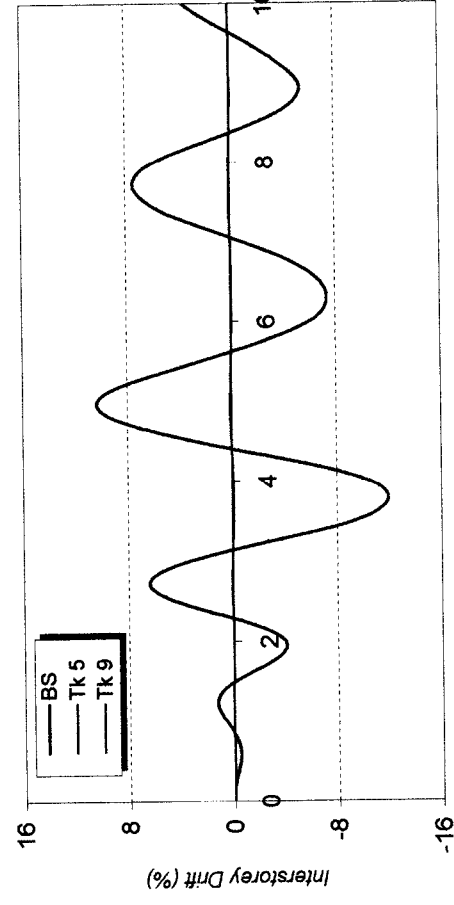


d. Perb. Tk 7 dgn BS dan tanpa BS

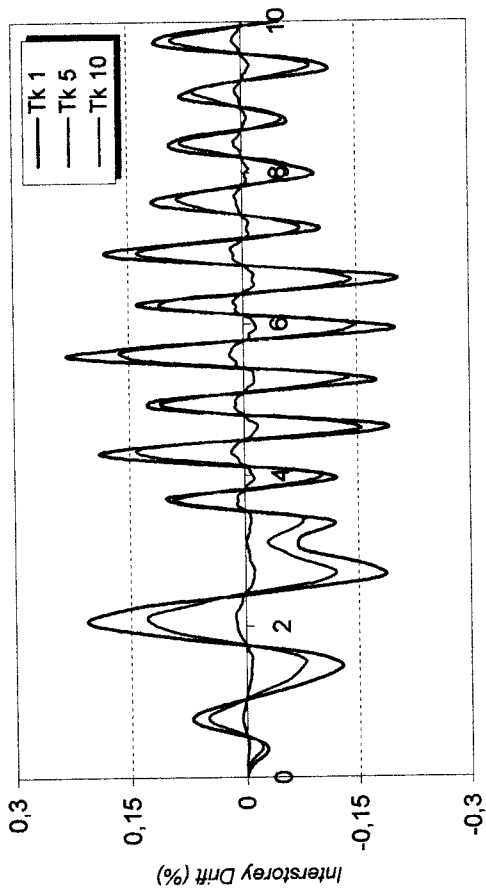
**Gambar 4.56** Simpangan antar tingkat struktur 7 tingkat akibat gempa Bucharest



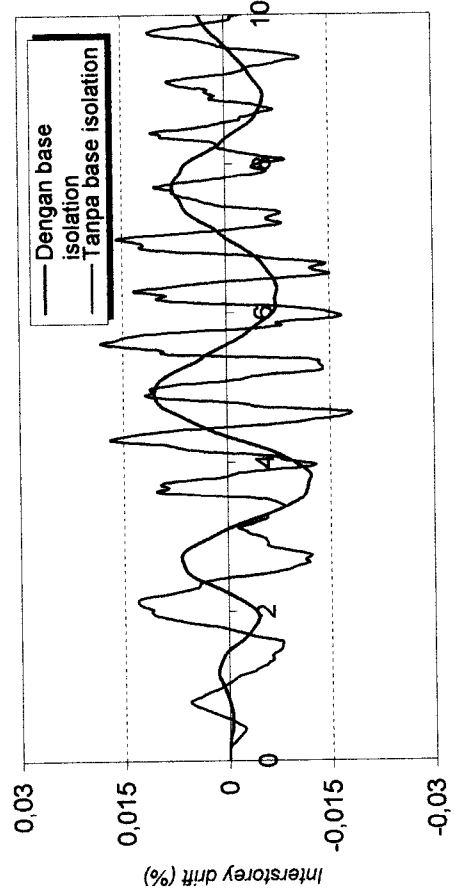
a. BS (Kb min. = 147923, 5668 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 591694, 267 kg/m)



c. Tanpa BS



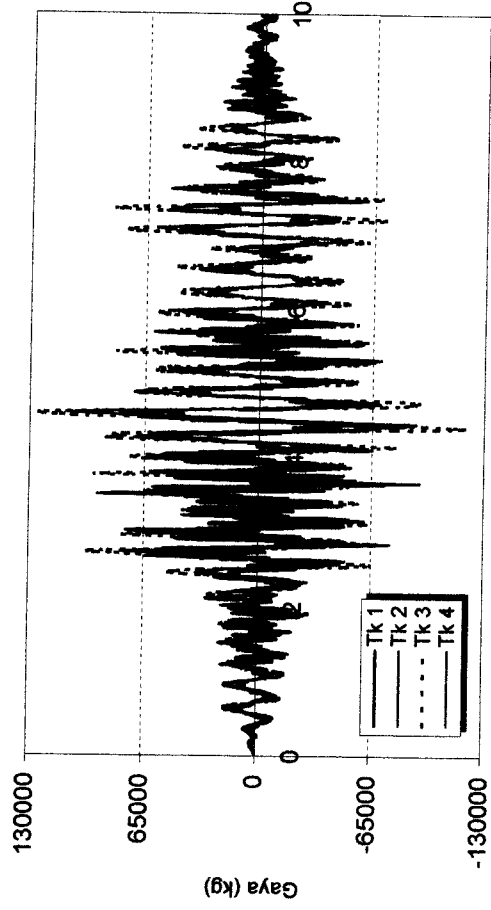
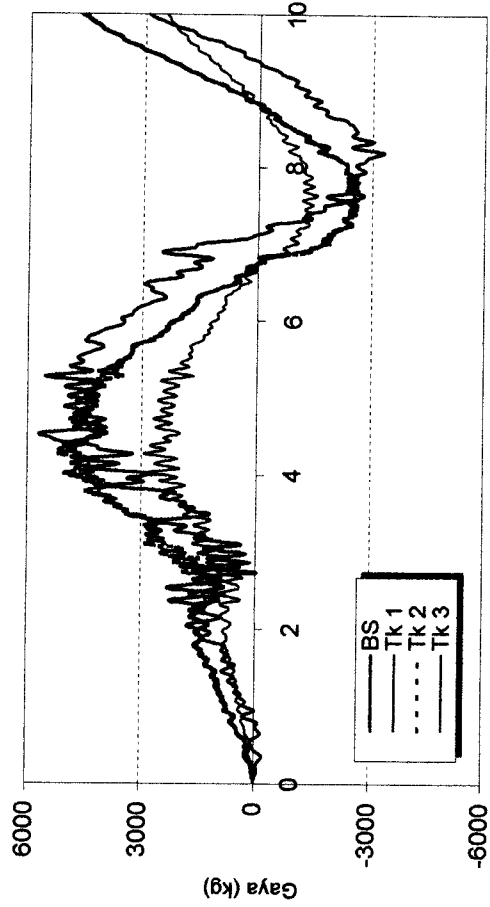
d. Perb. Tk 10 dgn BS dan tanpa BS

**Gambar 4.57** Simpangan antar tingkat struktur 10 tingkat akibat gempa Bucharest

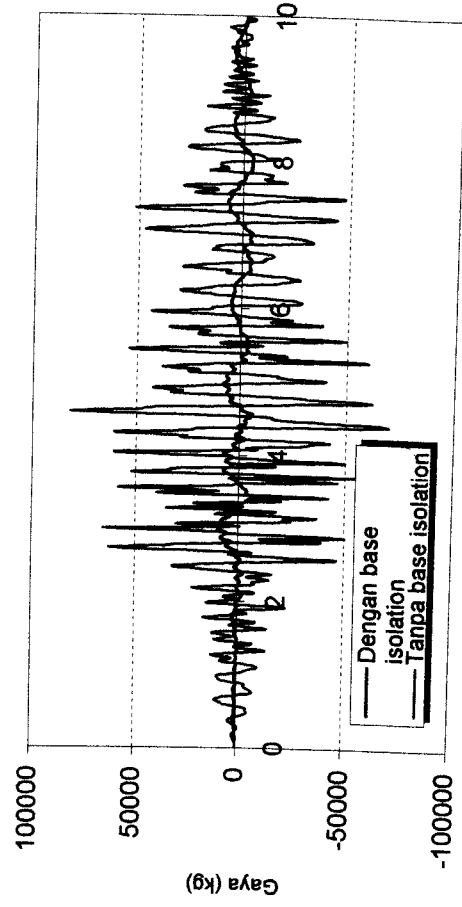
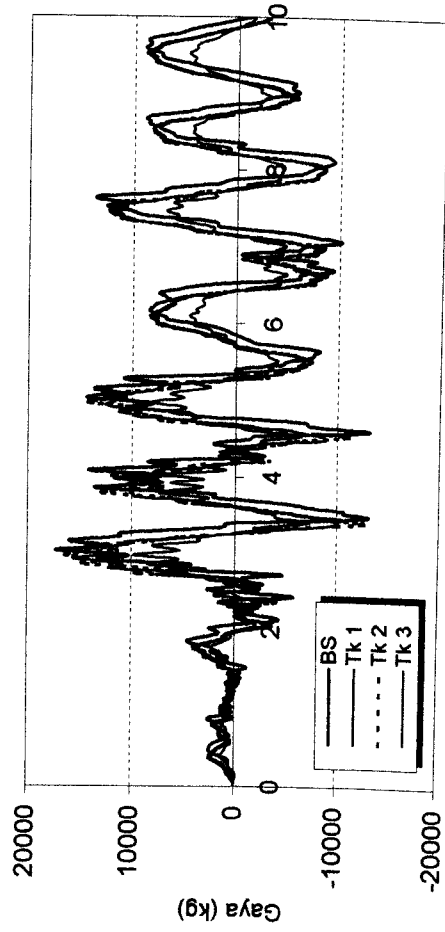
#### **4.4.6 Perhitungan Gaya Horisontal Tingkat**

Gaya horisontal tingkat dihitung dengan mengalikan simpangan netto dan kekakuan struktur, hal tersebut seperti dirumuskan pada persamaan (2.62). Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk grafik antara gaya horisontal tingkat lawan waktu, dapat dilihat pada gambar berikut.



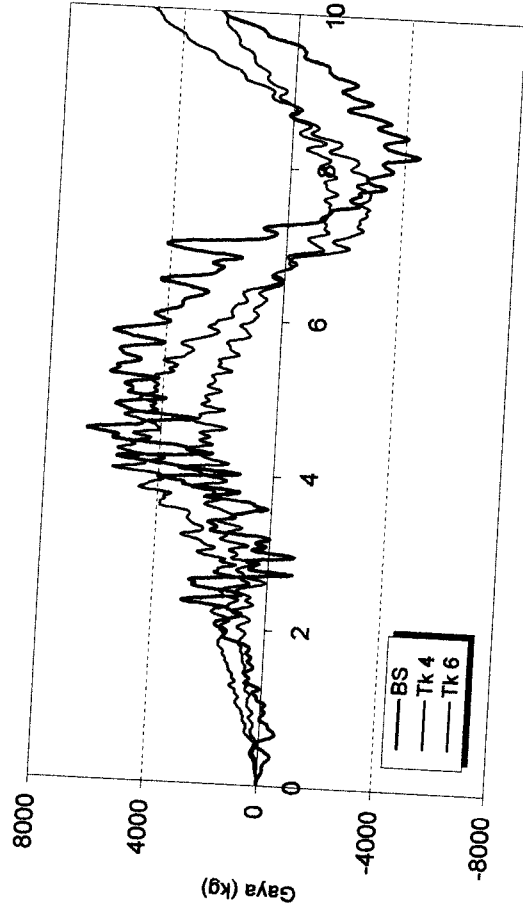


a. BS (Kb min. = 34805, 54512 kg/m)

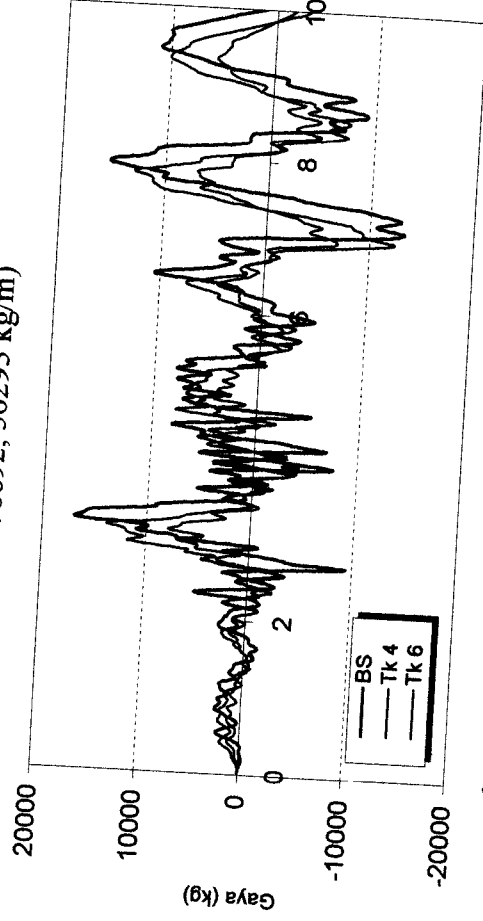


b. BS (Kb maks. = 118338, 534 kg/m)

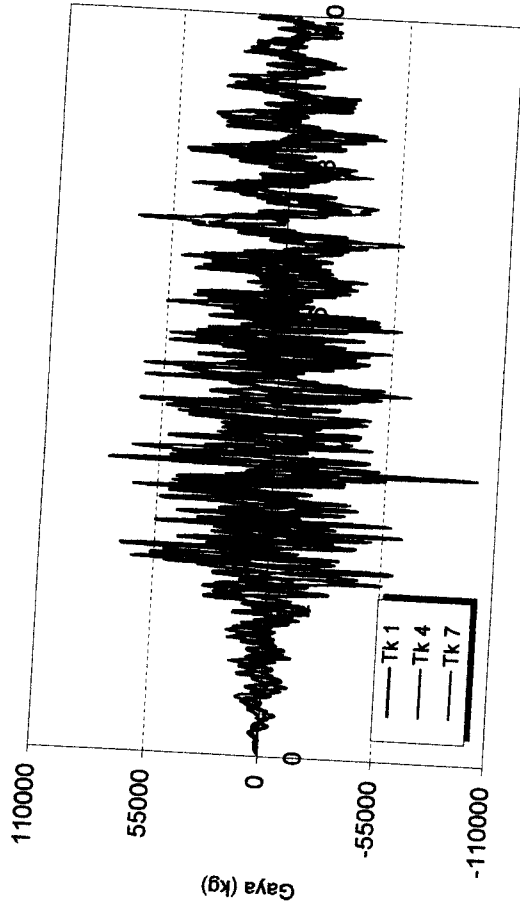
**Gambar 4.58** Gaya horisontal tingkat struktur 4 tingkat akibat gempa Koyna



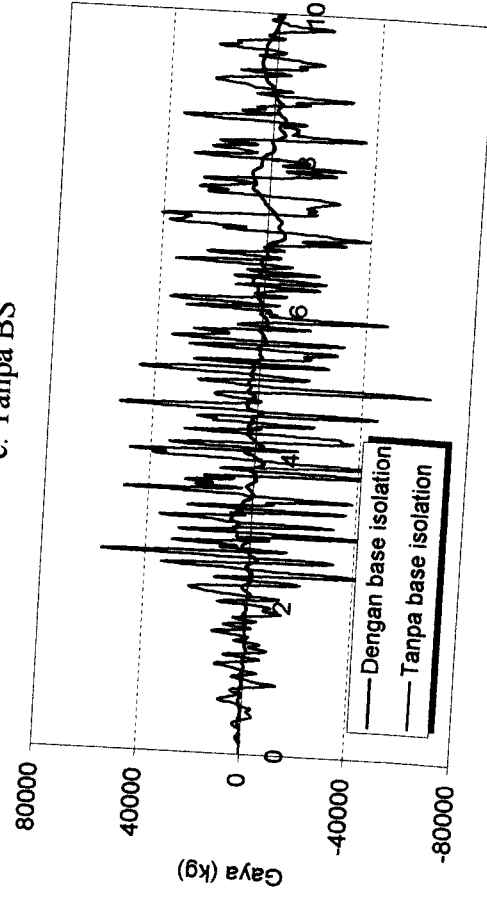
a. BS (Kb min. = 78892, 56293 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 118338, 534 kg/m)

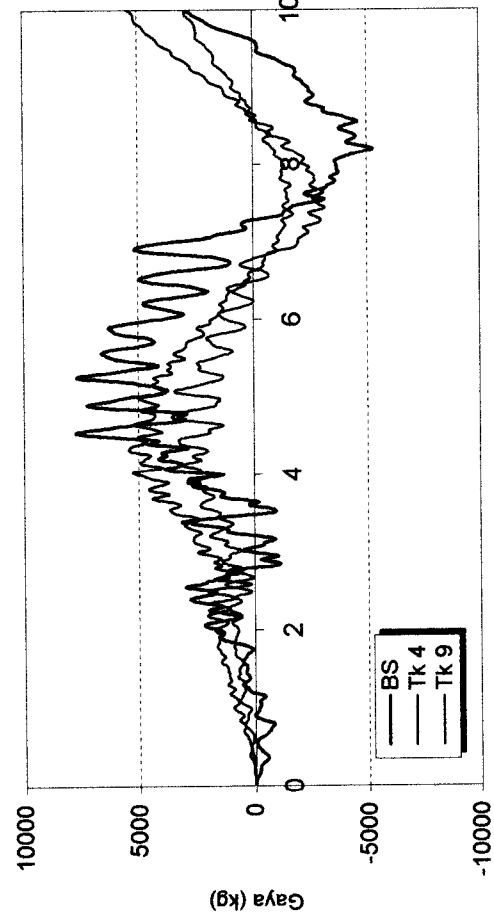


c. Tanpa BS

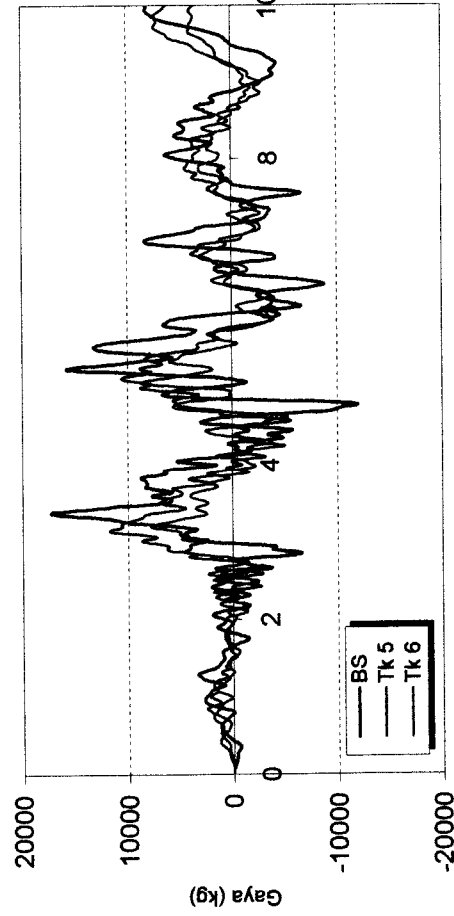


d. Perb. Tk 7 dgn BS dan tanpa BS

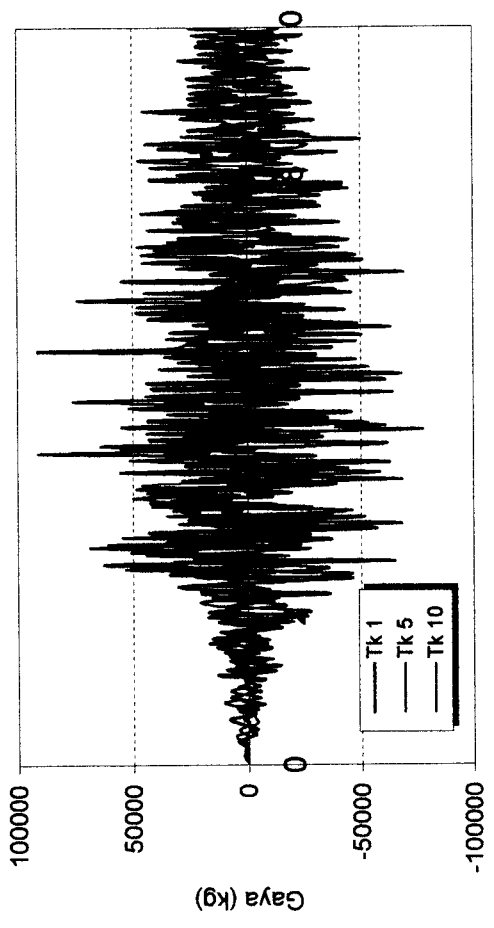
Gambar 4.59 Gaya horizontal tingkat struktur 7 tingkat akibat gempa Koyna



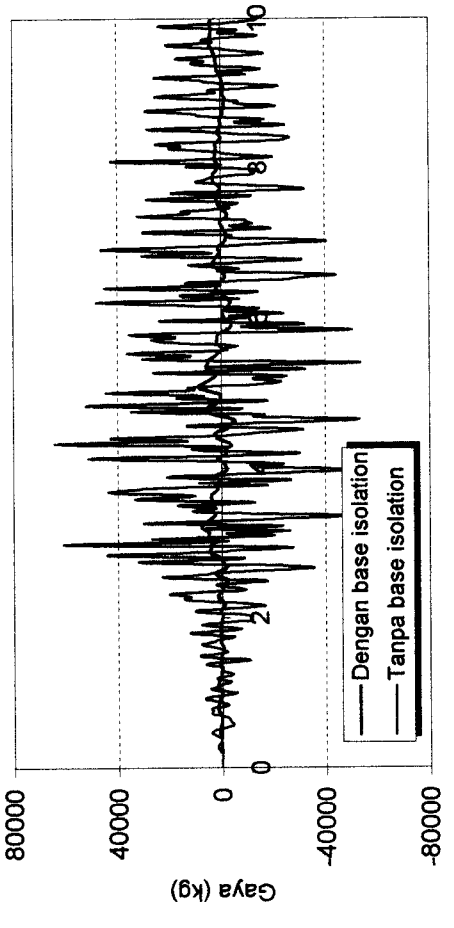
a. BS (Kb min. = 131487, 6149 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 1183388, 534 kg/m)

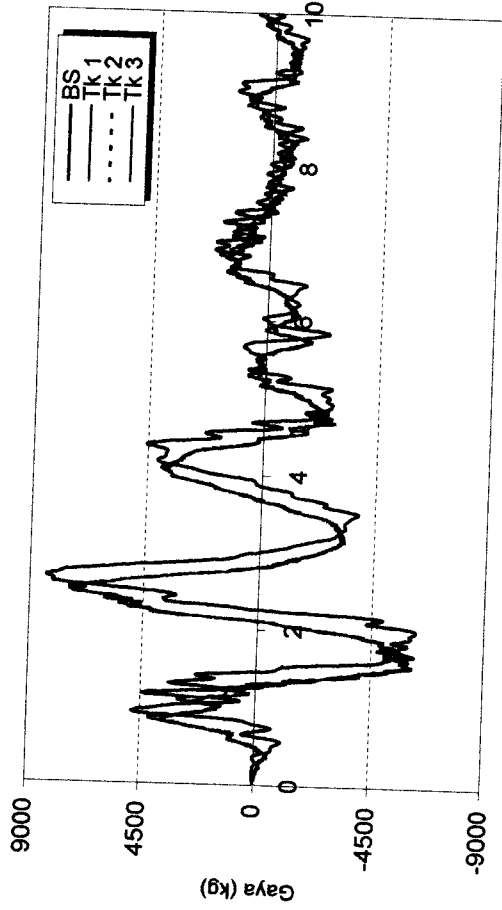


c. Tanpa BS

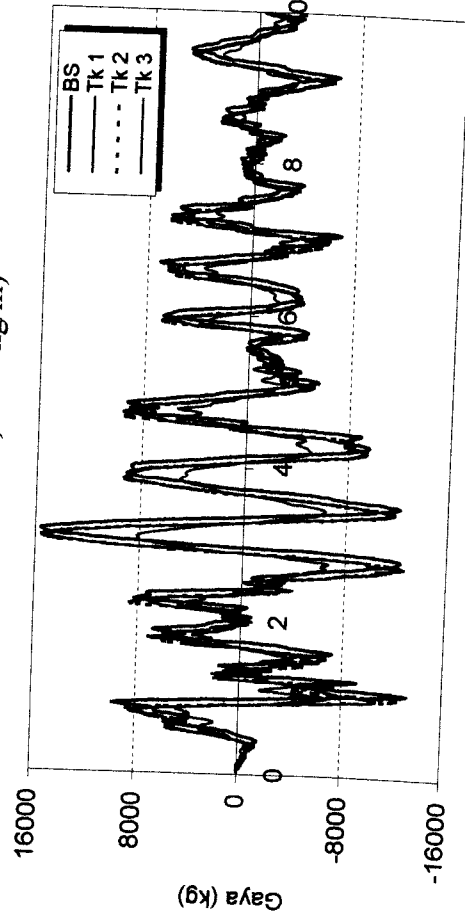


d. Perb. Tk 10 dgn BS dan tanpa BS

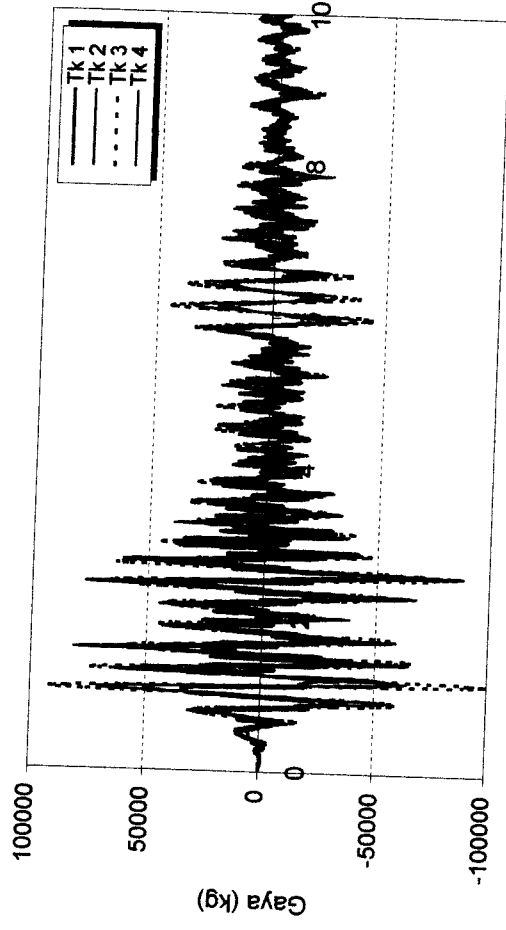
**Gambar 4.60** Gaya horisontal tingkat struktur 10 tingkat akibat gempa Koyna



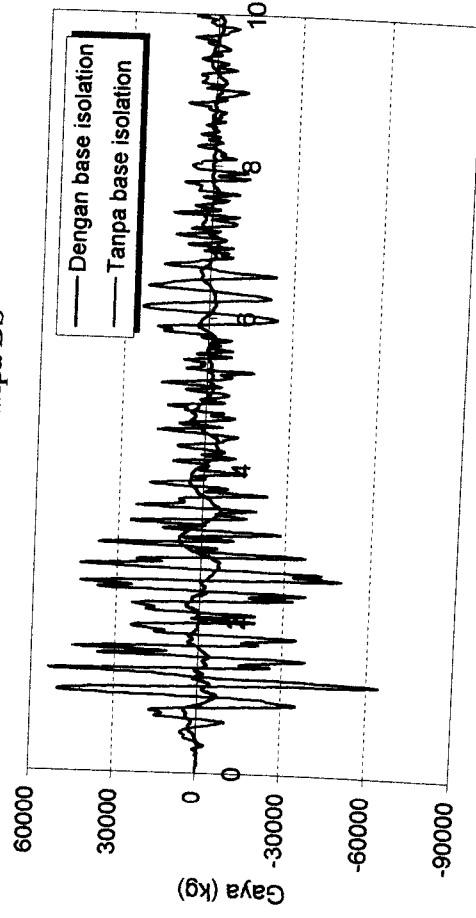
a. BS (Kb min. = 394462, 8447 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 2366777, 068 kg/m)

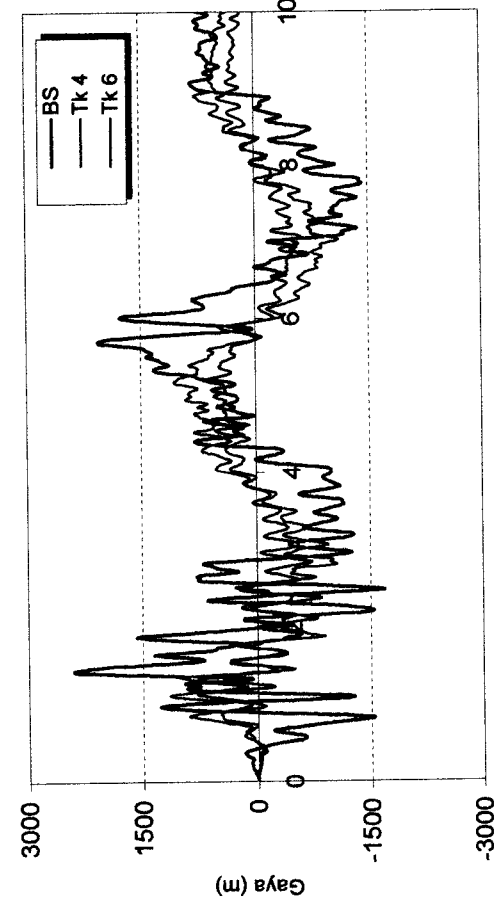


c. Tanpa BS

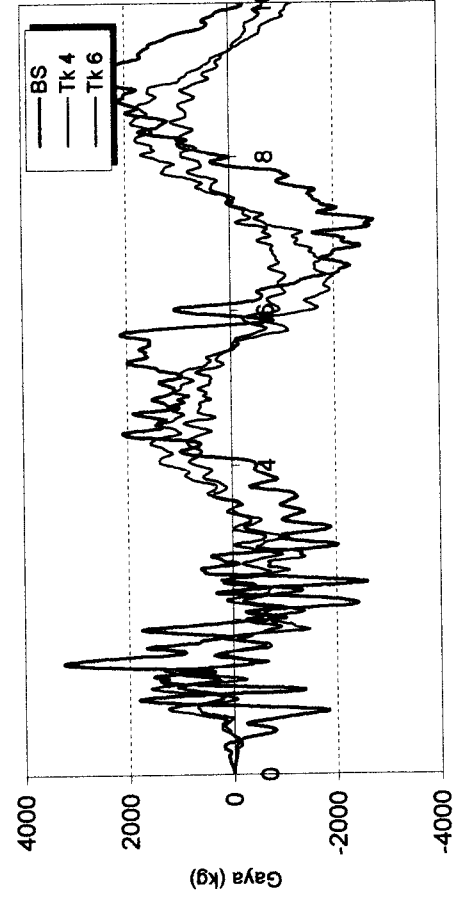


d. Perb. Tk 4 dgn BS dan tanpa BS

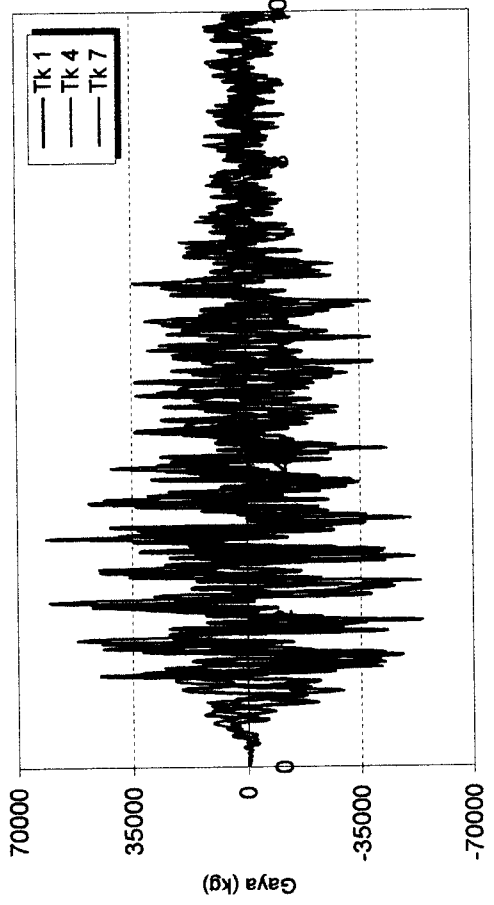
**Gambar 4.61** Gaya horizontal tingkat struktur 4 tingkat akibat gempa Elcentro



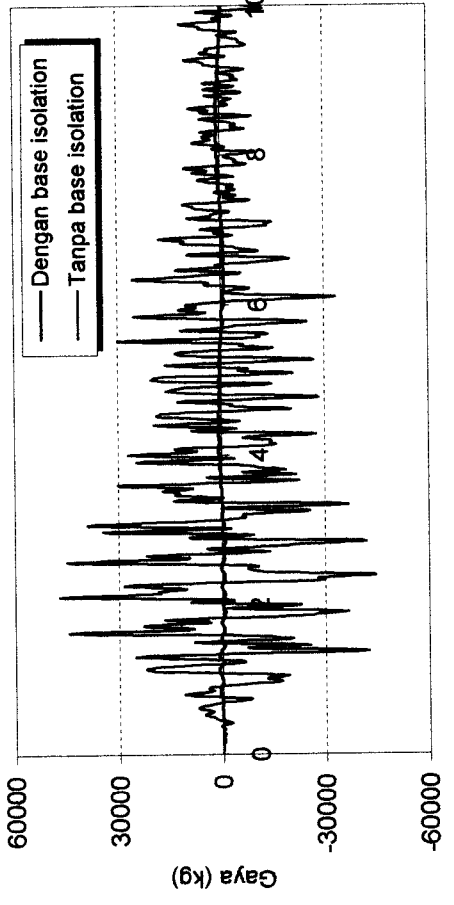
a. BS (Kb min. = 78892, 56893 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 131487, 6149 kg/m)

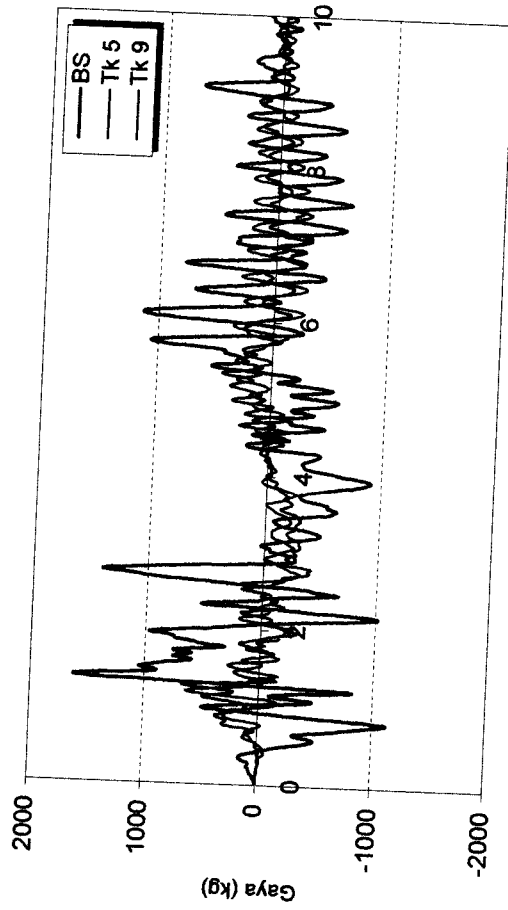


c. Tanpa BS

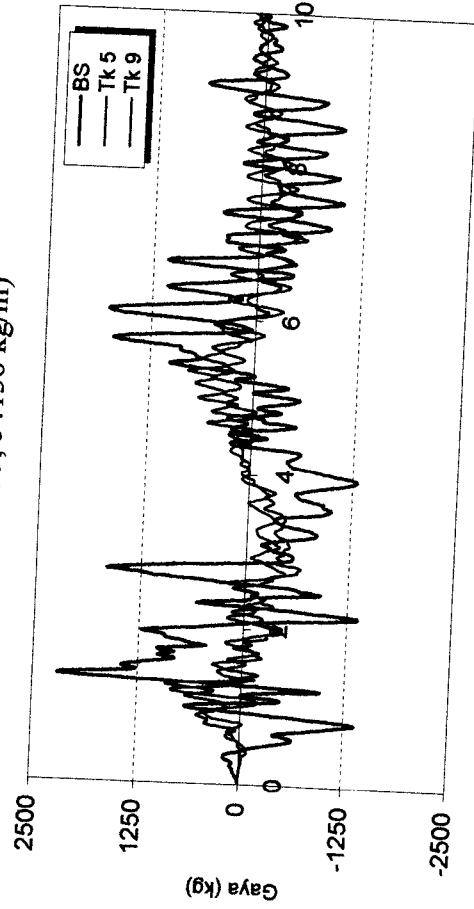


d. Perb. Tk 7 dgn BS dan tanpa BS

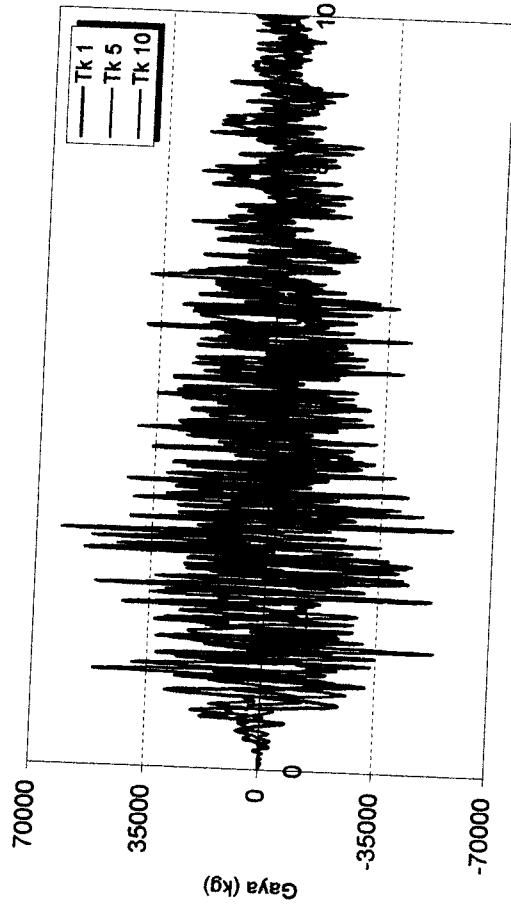
**Gambar 4.62** Gaya horisontal tingkat struktur 7 tingkat akibat gempa Elcentro



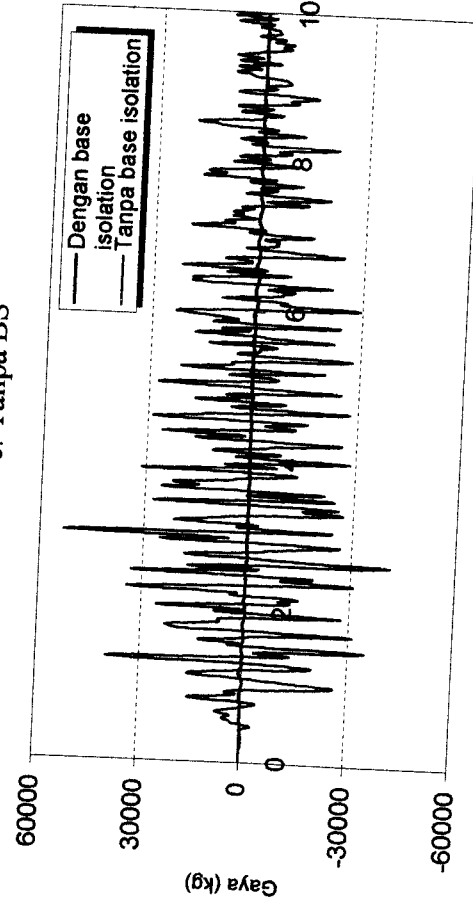
a. BS (Kb min. = 47335, 54136 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 78892, 56893 kg/m)

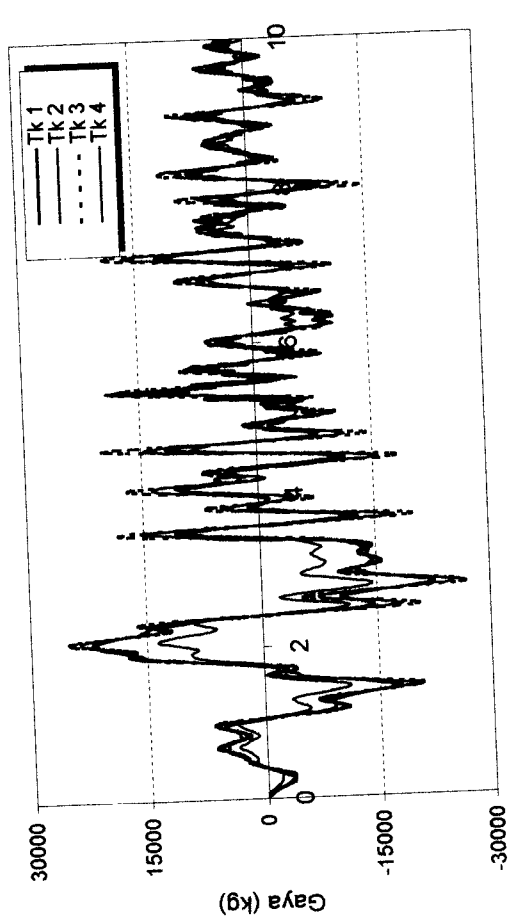


c. Tanpa BS

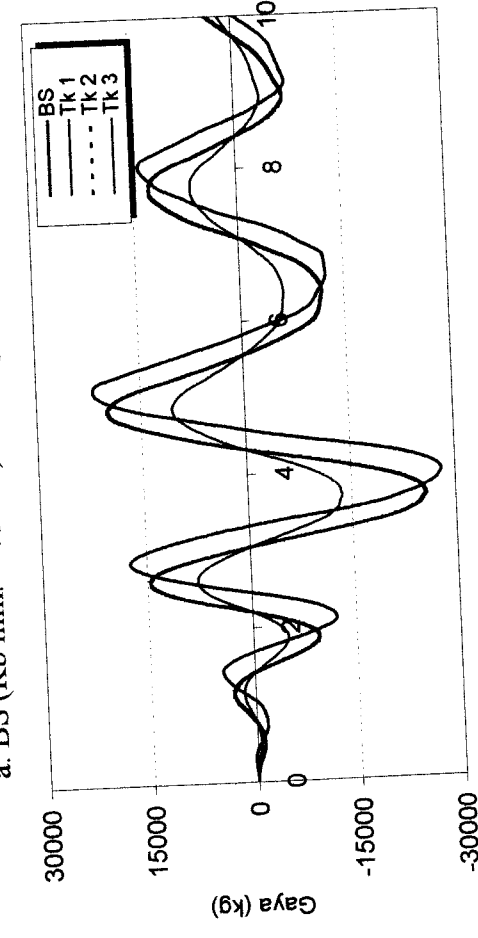


d. Perb. Tk 10 dgn BS dan tanpa BS

**Gambar 4.63** Gaya horisontal tingkat struktur 10 tingkat akibat gempa Elcentro

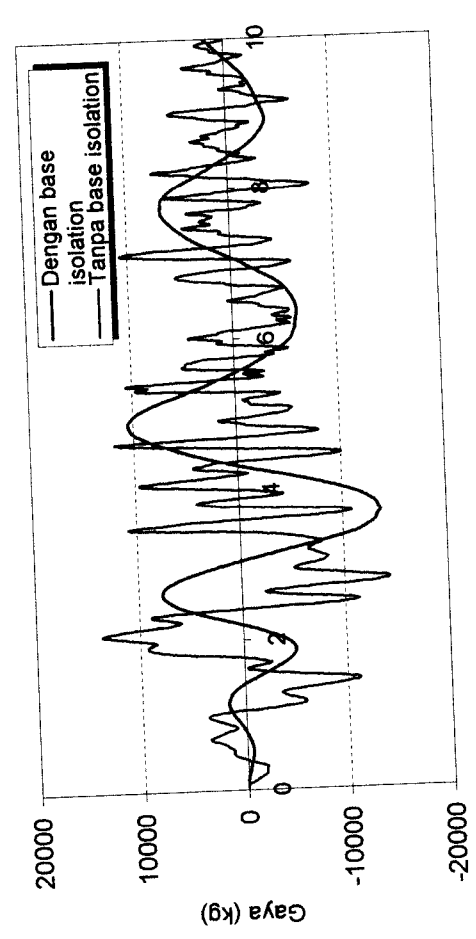


a. BS (Kb min. = 73961, 7838 kg/m)



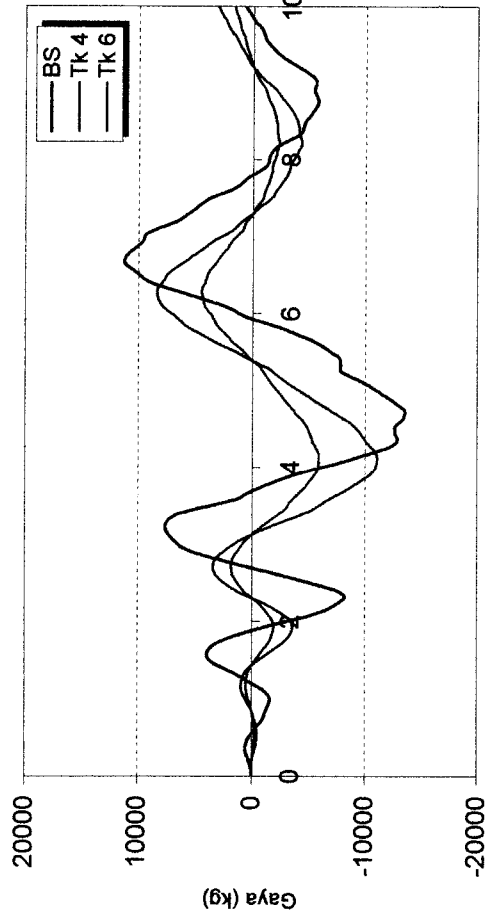
b. BS (Kb maks. = 197231, 4223 kg/m)

c. Tanpa BS

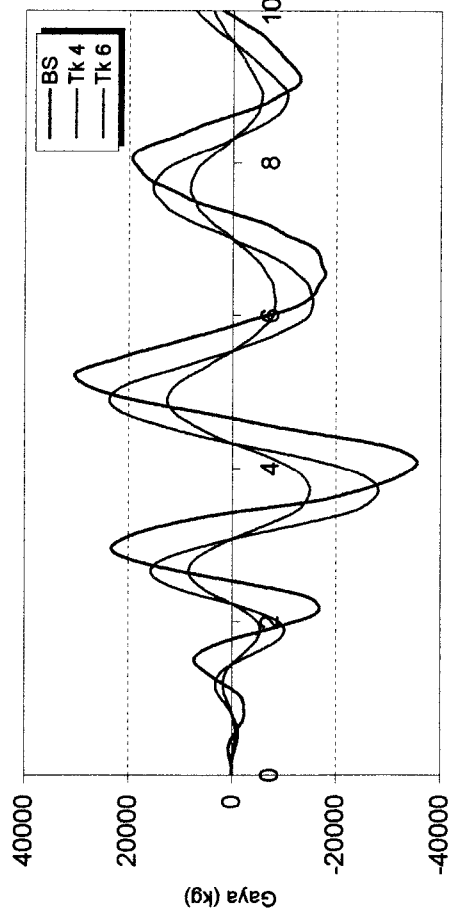


d. Perb. Tk 4 dgn BS dan tanpa BS

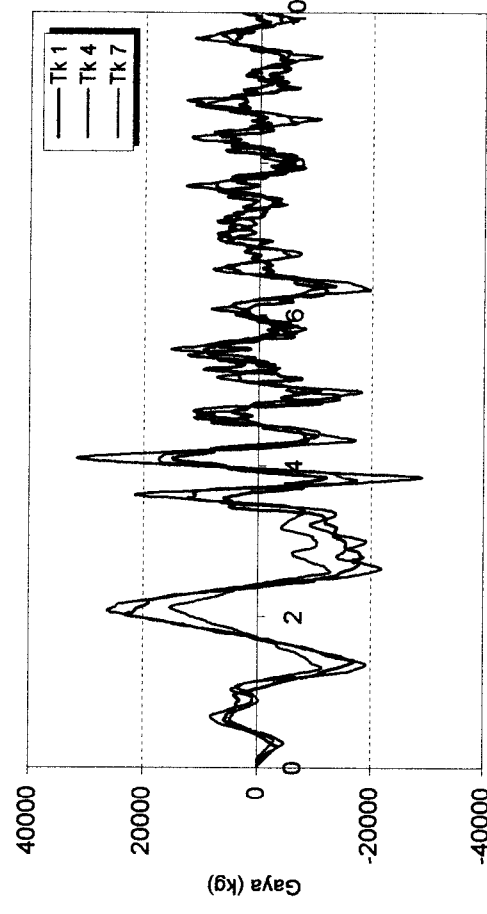
**Gambar 4.64** Gaya horisontal tingkat struktur 4 tingkat akibat gempa Bucharest



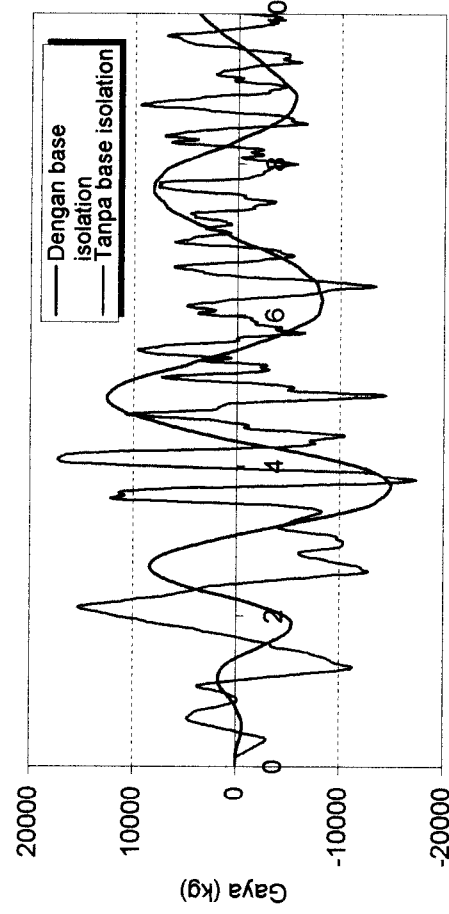
a. BS (Kb min. = 118338, 8534 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 591694, 267 kg/m)



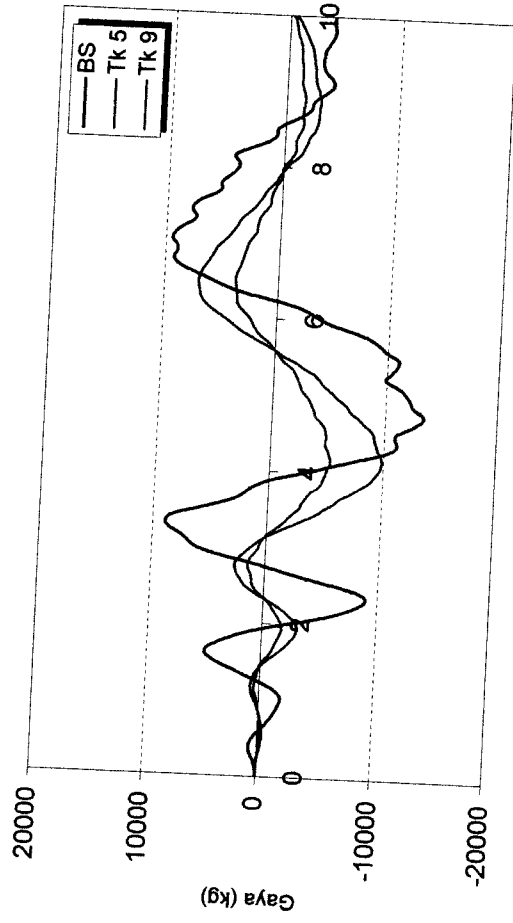
c. Tanpa BS



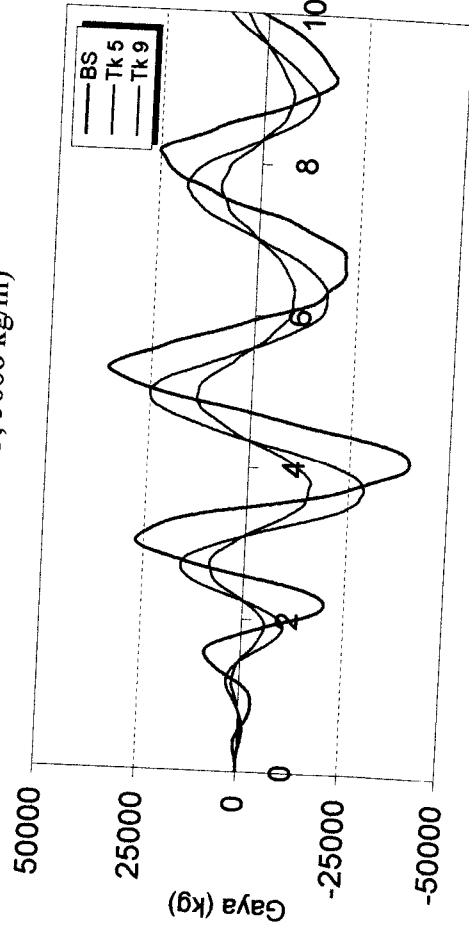
d. Perb. Tk 7 dgn BS dan tanpa BS

**Gambar 4.65** Gaya horisontal tingkat struktur 7 tingkat akibat gempa Bucharest

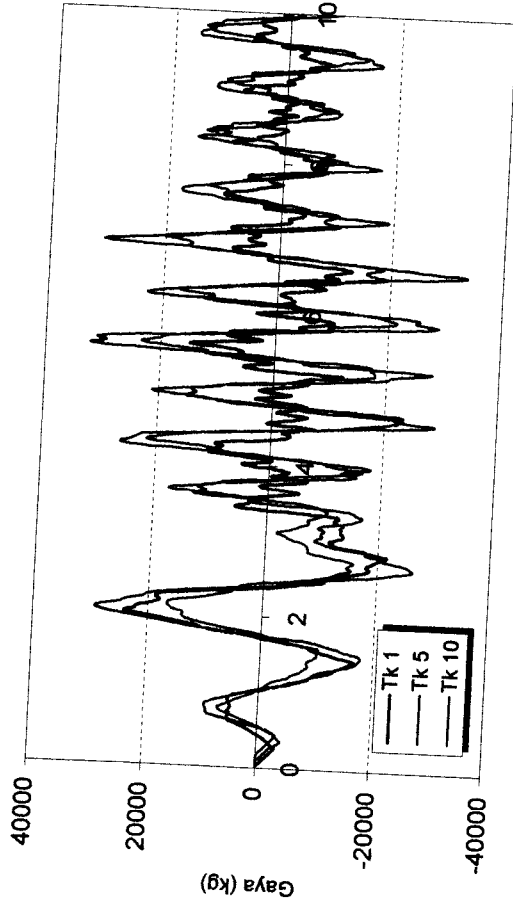




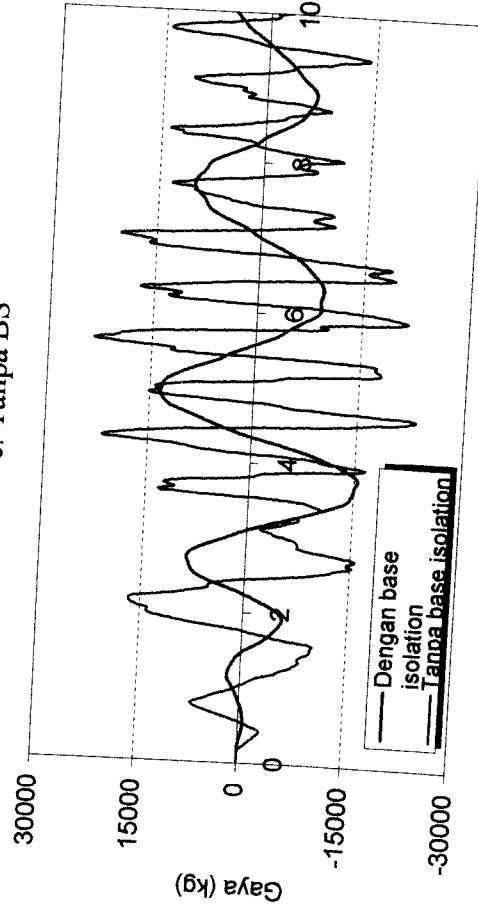
a. BS (Kb min. = 147923, 5668 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 591694, 267 kg/m)



c. Tanpa BS

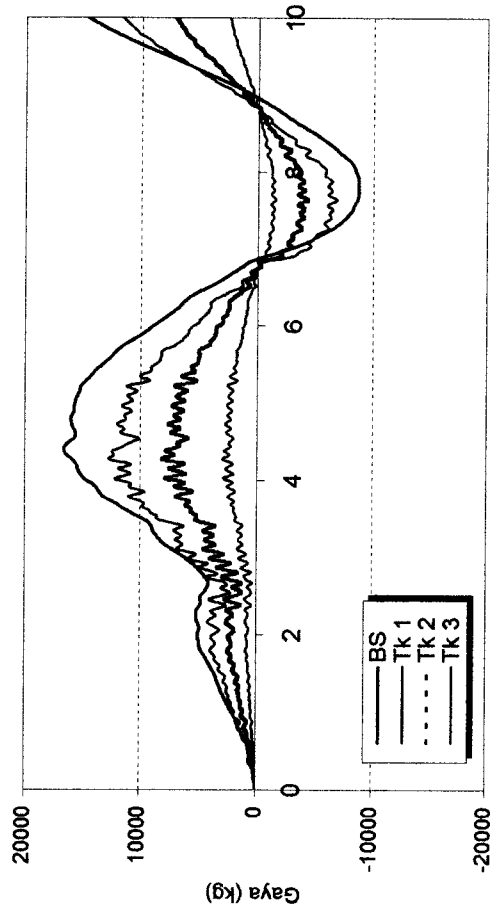


d. Perb. Tk 10 dgn BS dan tanpa BS

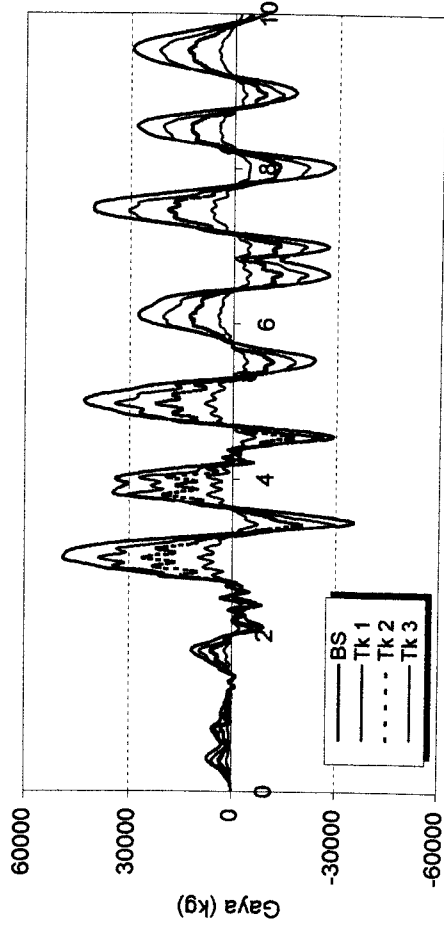
**Gambar 4.66** Gaya horizontal tingkat struktur 10 tingkat akibat gempa Bucharest

#### **4.4.7 Perhitungan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif**

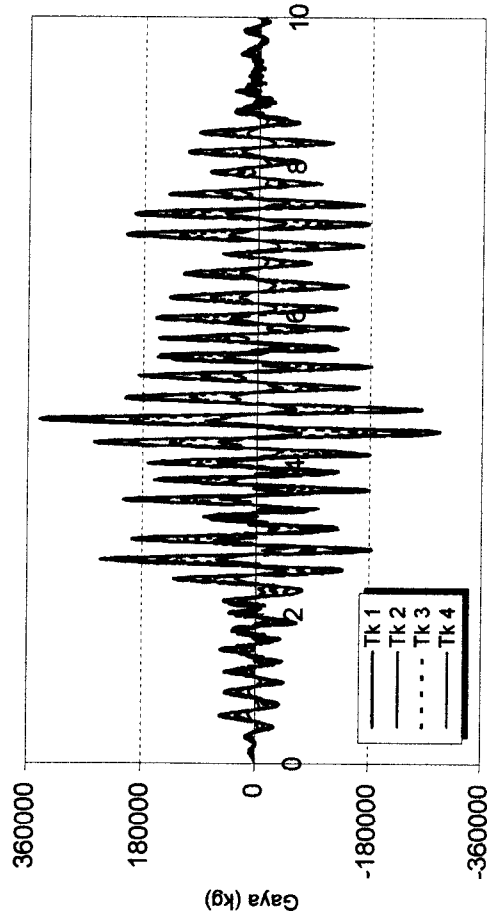
Gaya horisontal tingkat kumulatif diperoleh dengan menjumlahkan gaya horisontal tiap tingkat, hal itu seperti dirumuskan pada persamaan (2.63). Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk grafik antara gaya horisontal tingkat kumulatif lawan waktu, dapat dilihat pada gambar berikut.



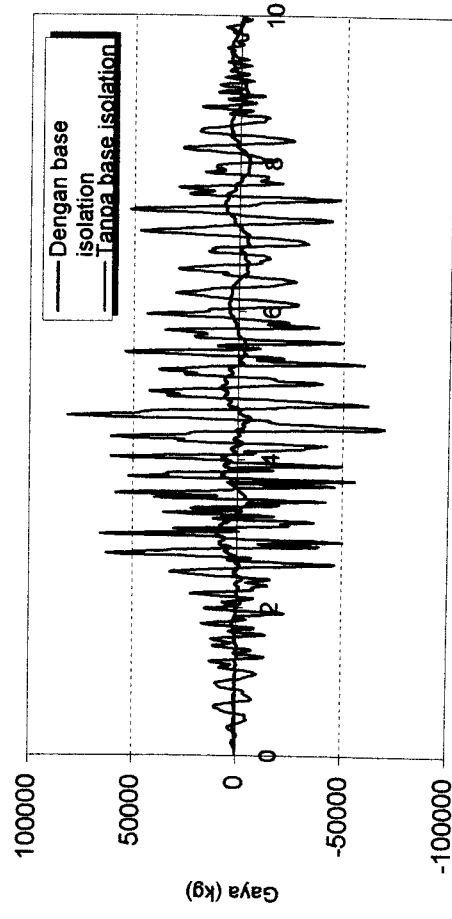
a. BS (Kb min. = 34805, 54512 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 1183388, 534 kg/m)

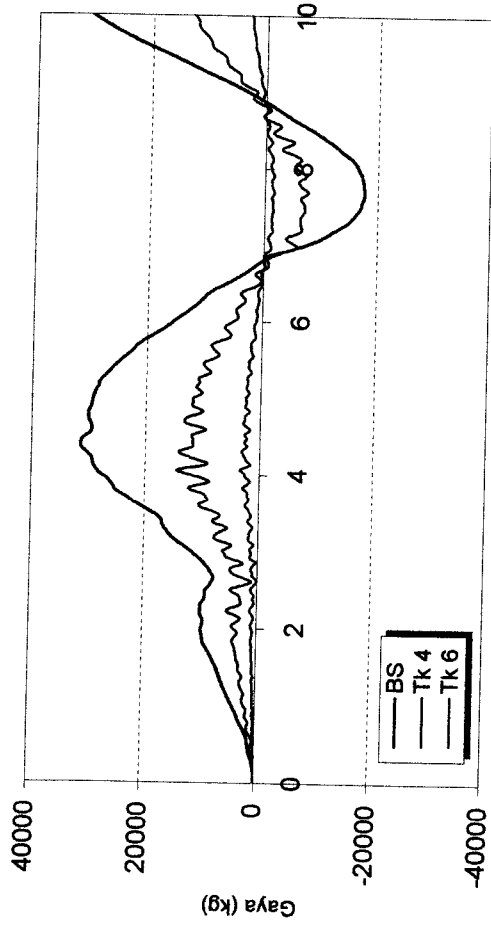


c. Tanpa BS

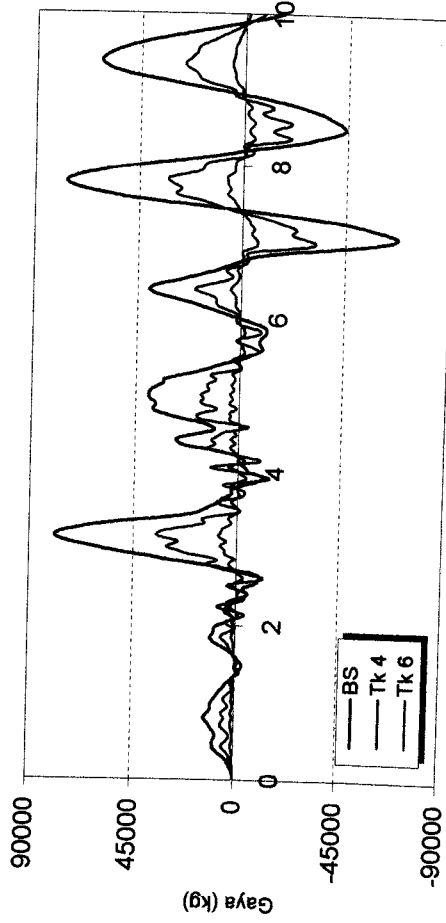


d. Perb. Tk 4 dgn BS dan tanpa BS

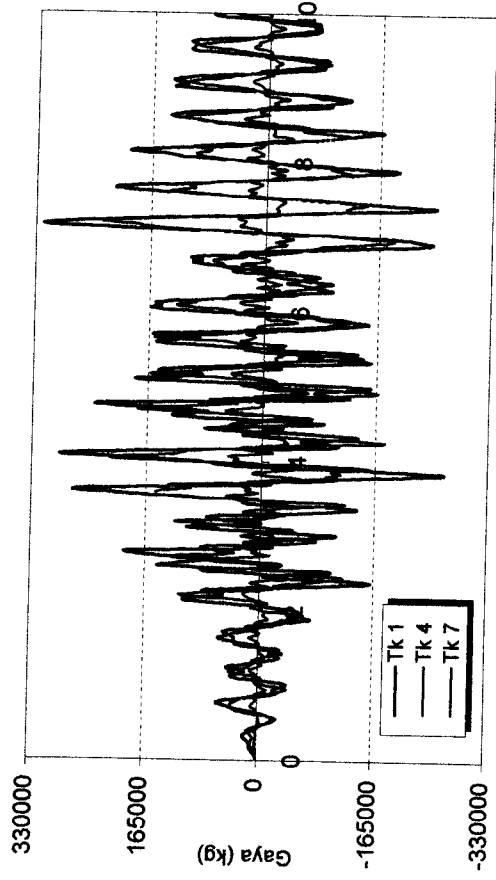
**Gambar 4.67** Gaya horisontal kumulatif tingkat struktur 4 tingkat akibat gempa Koyna



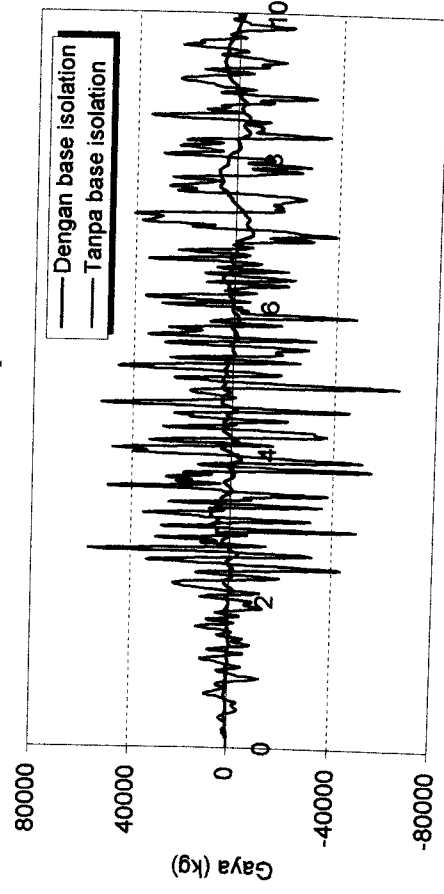
a. BS (Kb min. = 78892, 56293 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 1183388, 534 kg/m)

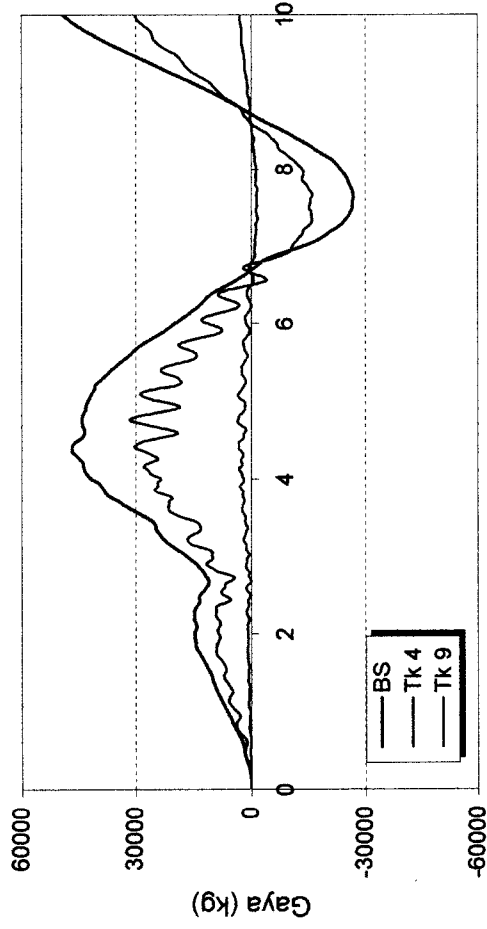


c. Tanpa BS

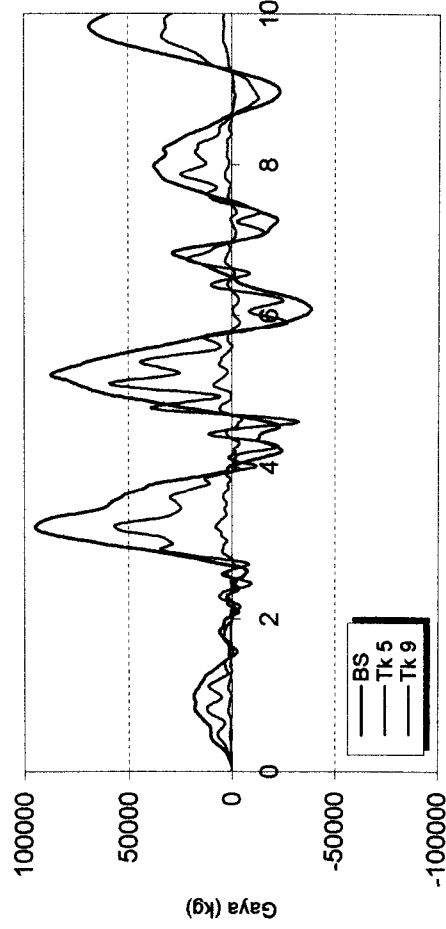


d. Perb. Tk 7 dgn BS dan tanpa BS

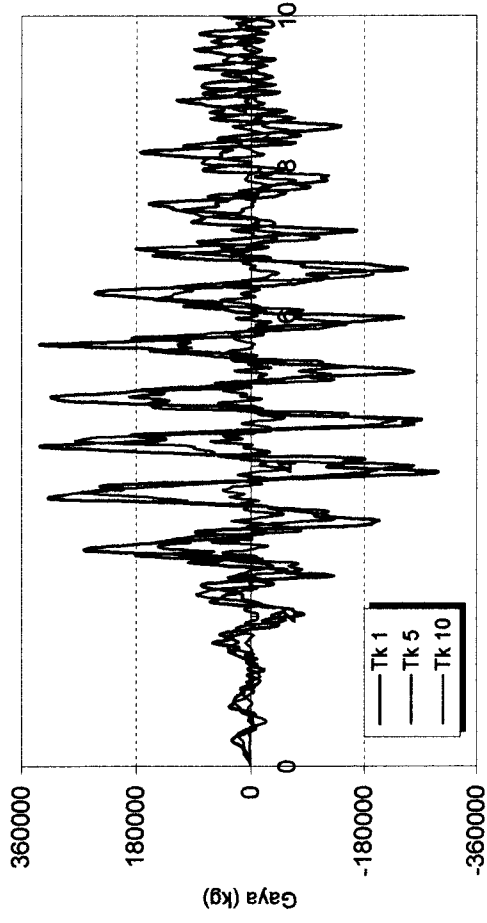
**Gambar 4.68** Gaya horisontal kumulatif tingkat struktur 7 tingkat akibat gempa Koyna



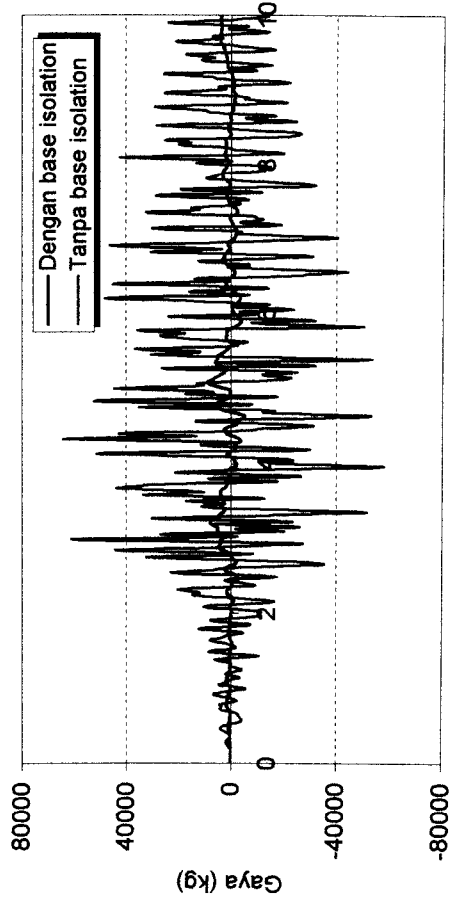
a. BS (Kb min. = 131487, 6149 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 1183388, 534 kg/m)

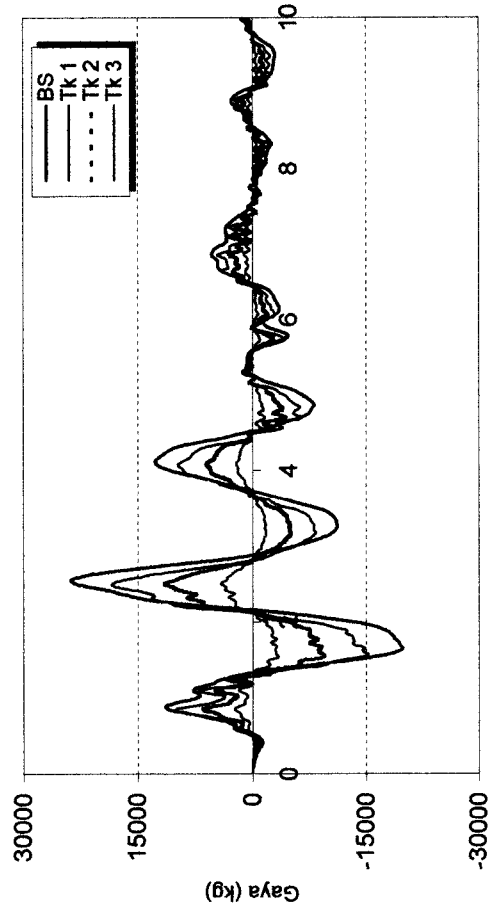


c. Tanpa BS

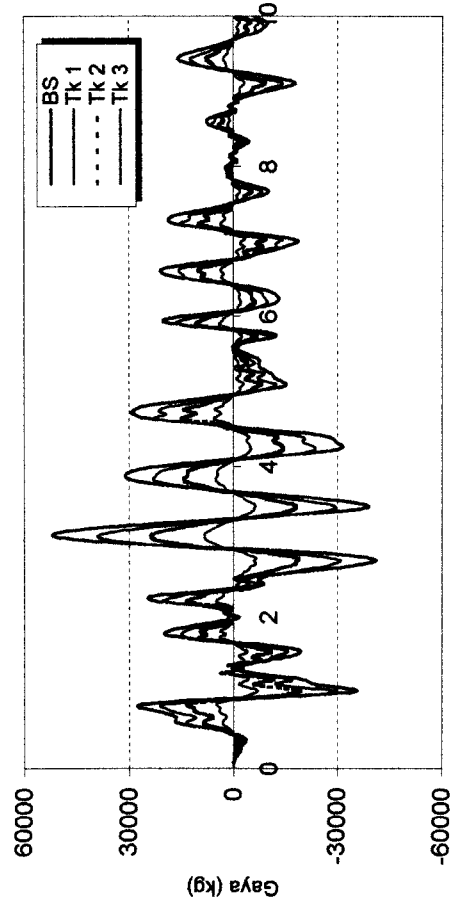


d. Perb. Tk 10 dgn BS dan tanpa BS

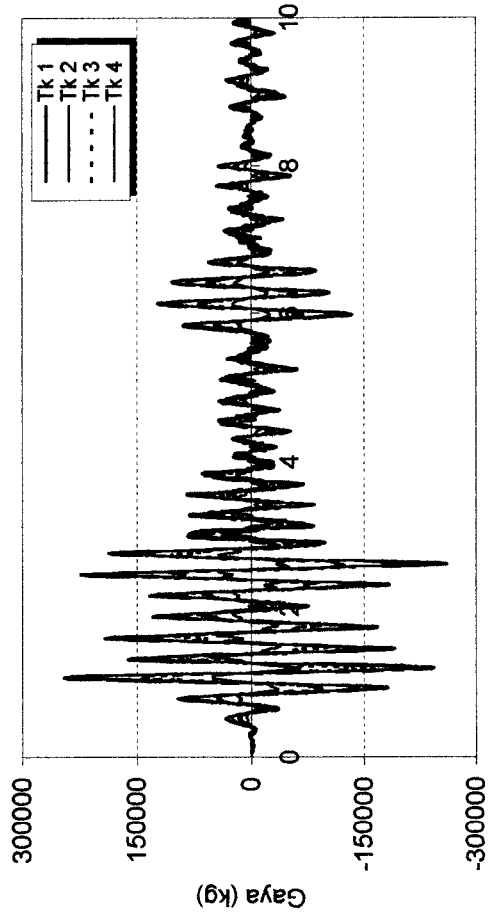
**Gambar 4.69** Gaya horizontal kumulatif tingkat struktur 10 tingkat akibat gempa Koyna



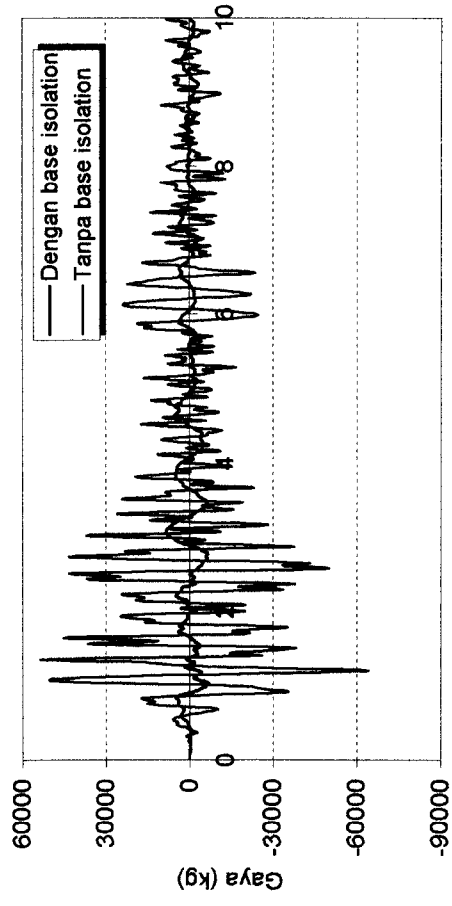
a. BS (Kb min. = 394462, 8447 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 2366777, 068 kg/m)

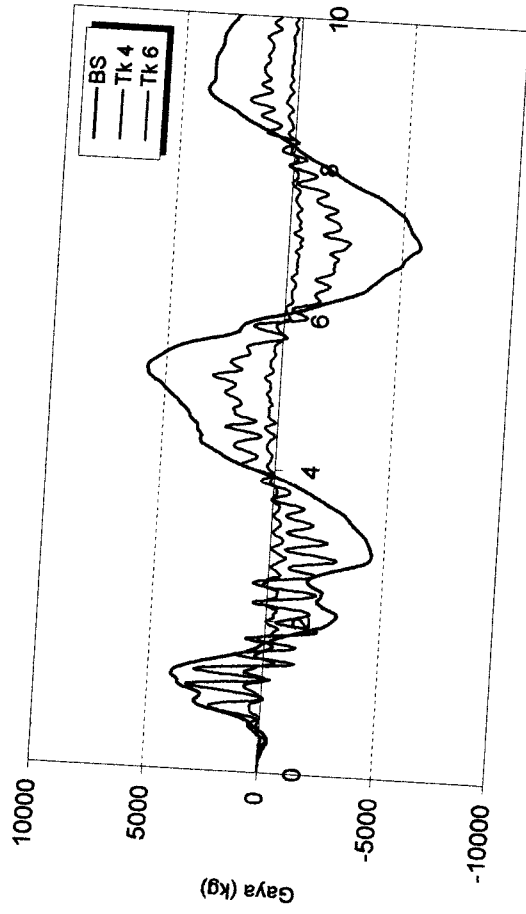


c. Tanpa BS

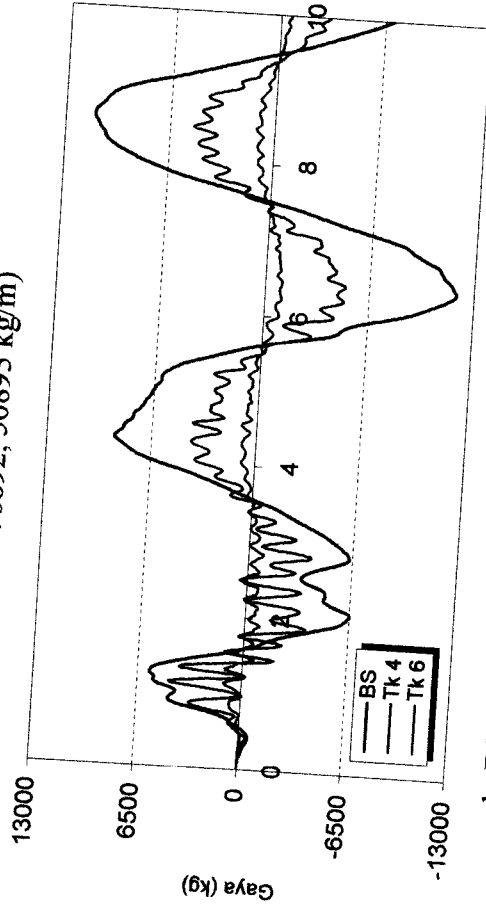


d. Perb. Tk 4 dgn BS dan tanpa BS

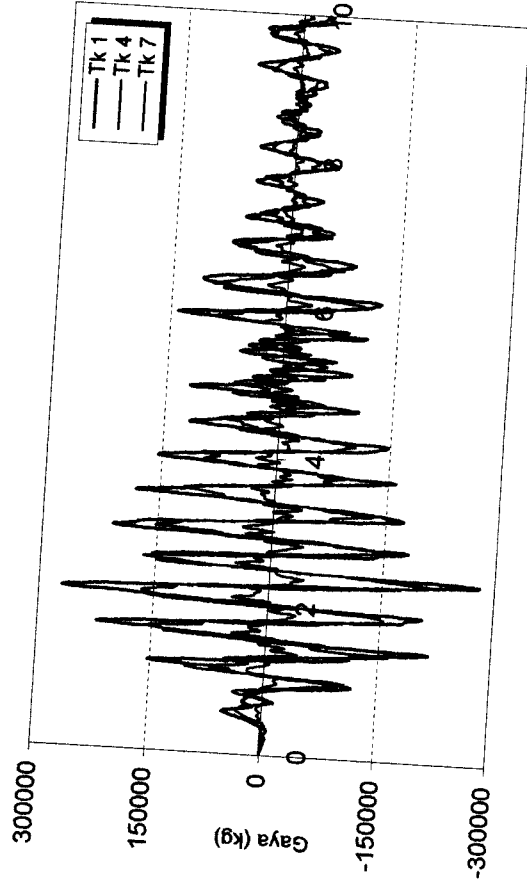
**Gambar 4.70** Gaya horizontal kumulatif tingkat struktur 4 tingkat akibat gempa Elcentro



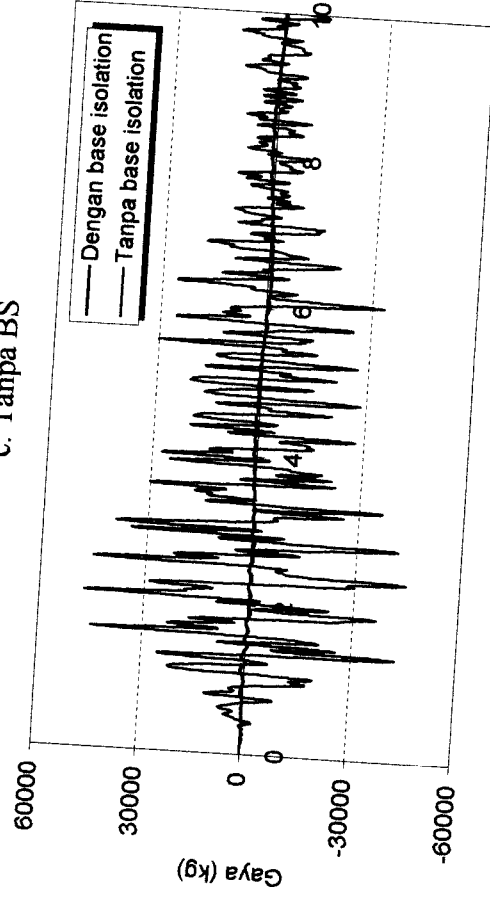
a. BS (Kb min. = 78892, 56893 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 131487, 6149 kg/m)

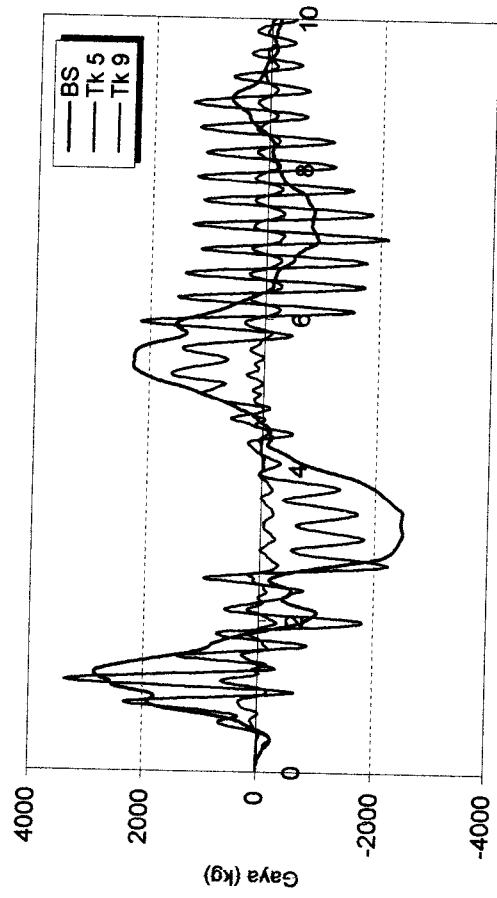


c. Tanpa BS

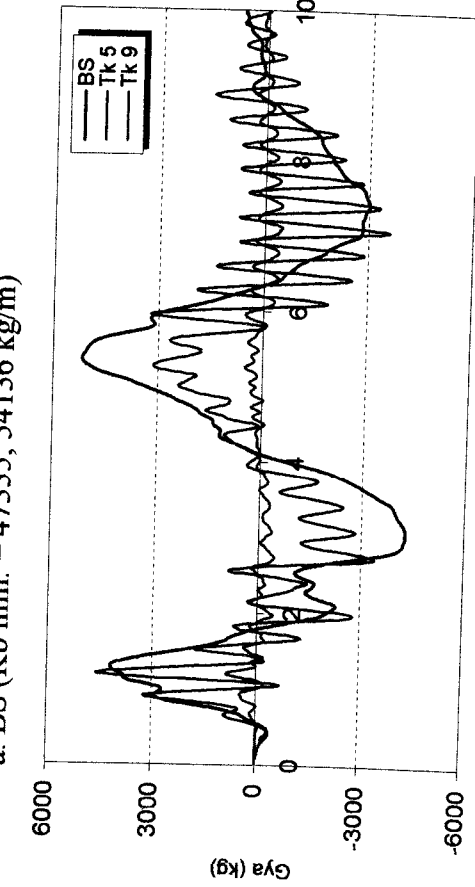


d. Perb. Tk 7 dgn BS dan tanpa BS

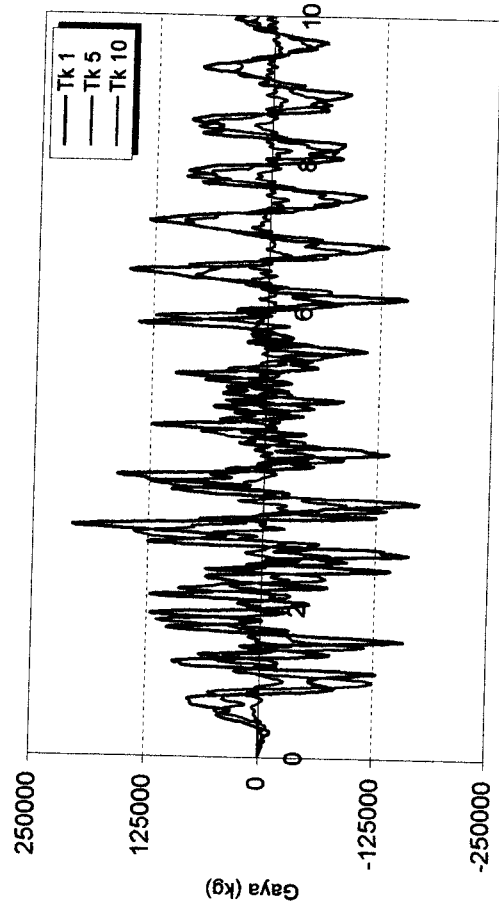
**Gambar 4.71** Gaya horisontal kumulatif tingkat struktur 7 tingkat akibat gempa Elcentro



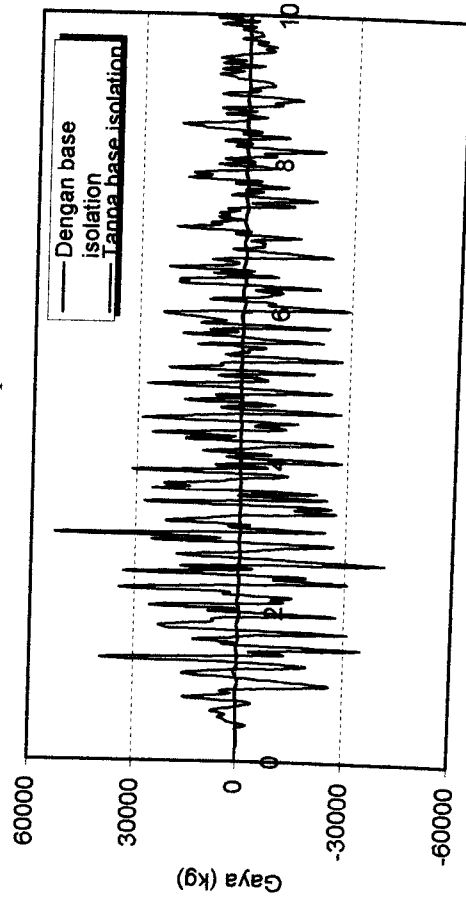
a. BS (Kb min. = 47335, 54136 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 78892, 56893 kg/m)



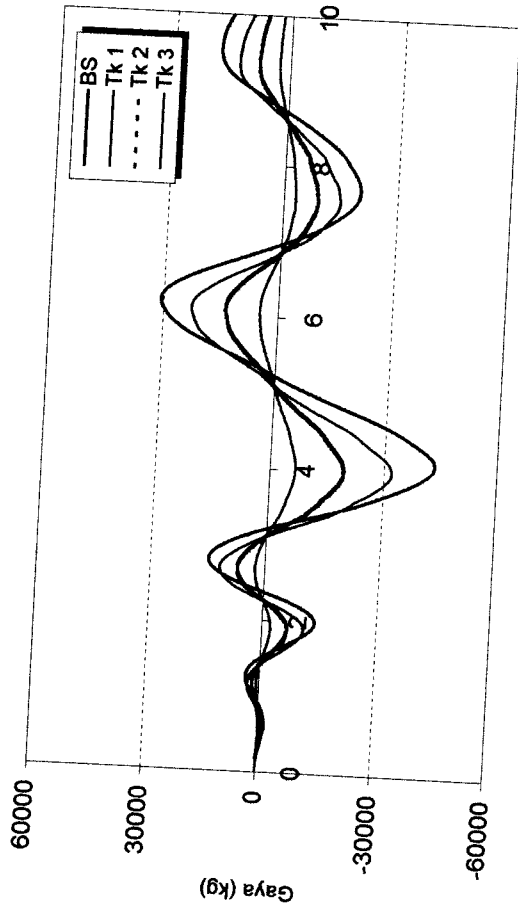
c. Tanpa BS



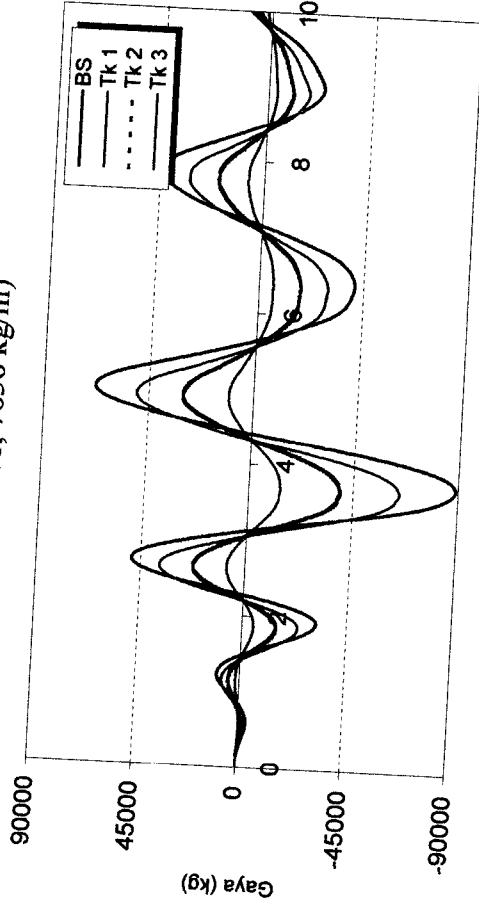
d. Perb. Tk 10 dgn BS dan tanpa BS

**Gambar 4.72** Gaya horizontal kumulatif tingkat struktur 10 tingkat akibat gempa Elcentro

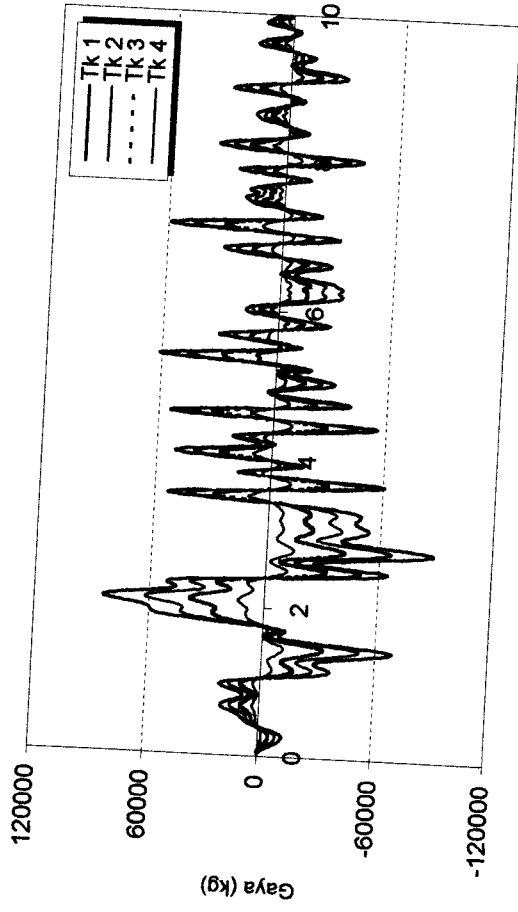




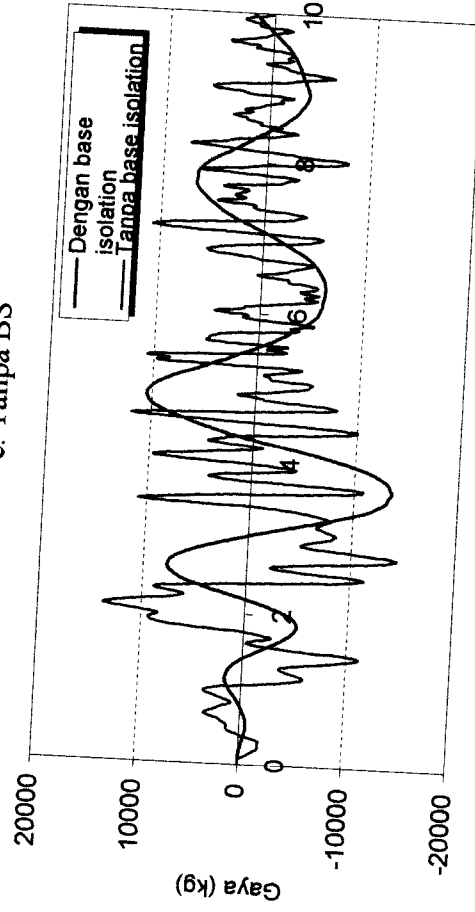
a. BS (Kb min. = 73961, 7838 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 197231, 4223 kg/m)

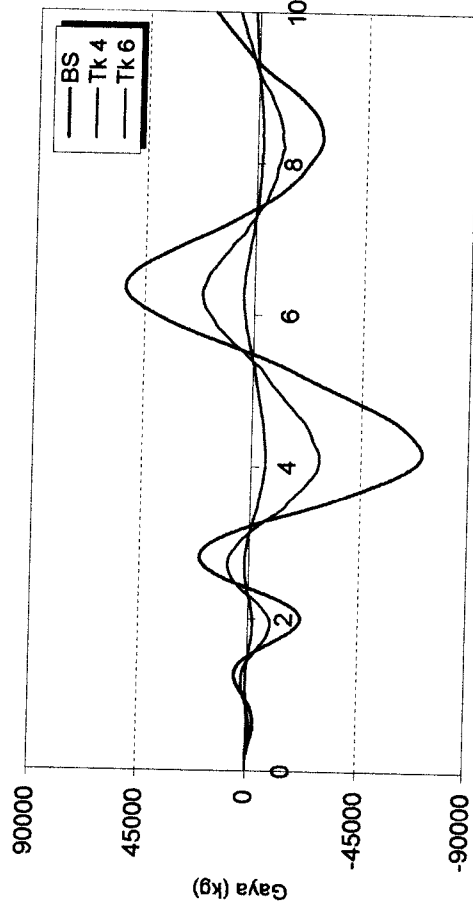


c. Tanpa BS

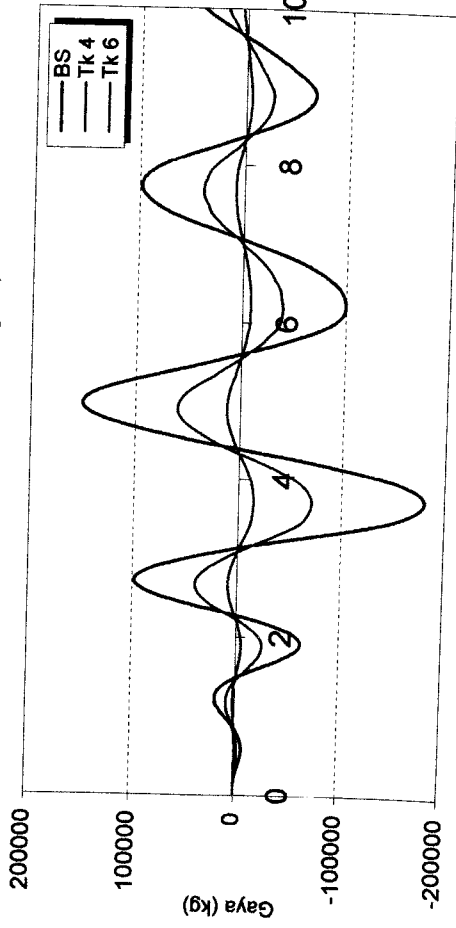


d. Perb. Tk 4 dgn BS dan tanpa BS

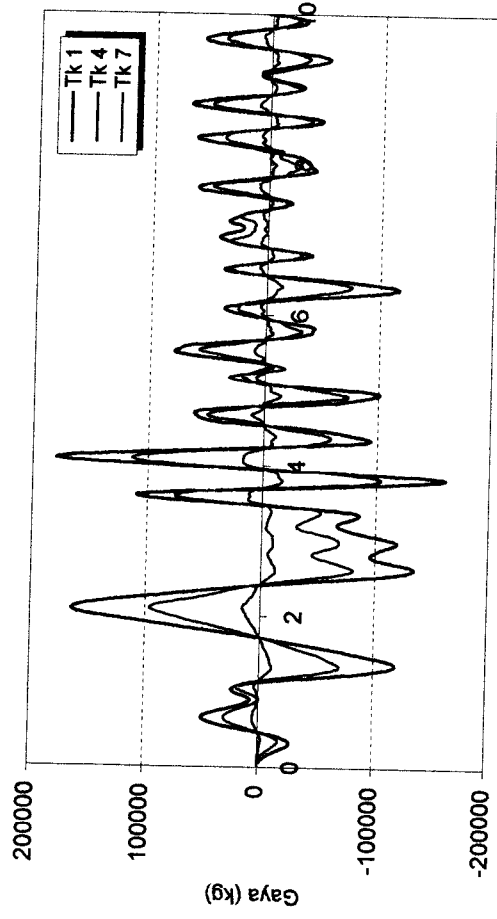
**Gambar 4.73** Gaya horisontal kumulatif tingkat struktur 4 tingkat akibat gempa Bucharest



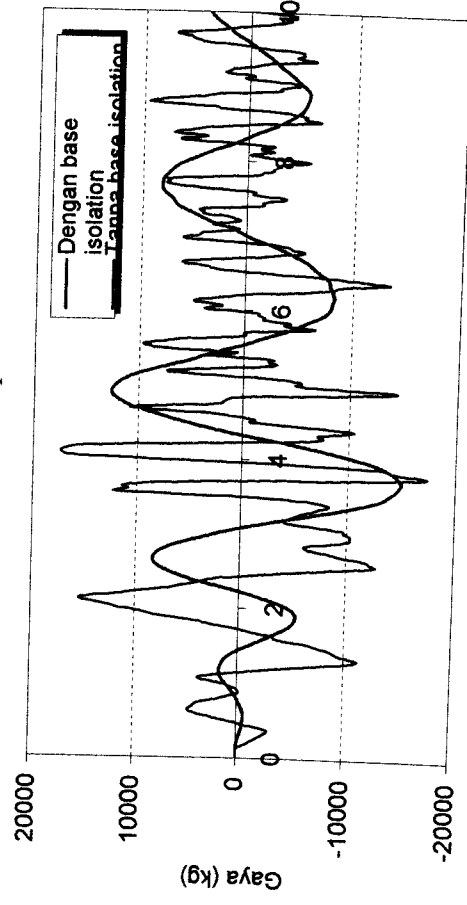
a. BS (Kb min. = 118338, 8534 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 591694, 267 kg/m)



c. Tanpa BS

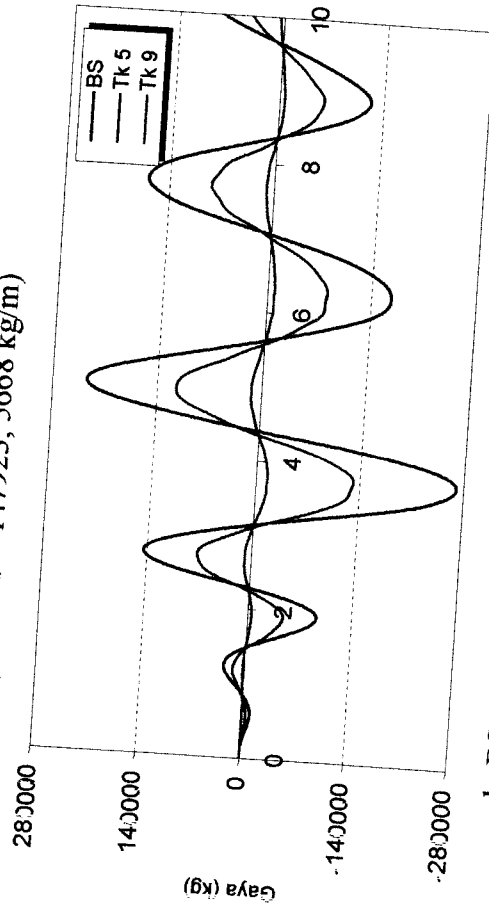


d. Perb. Tk 7 dgn BS dan tanpa BS

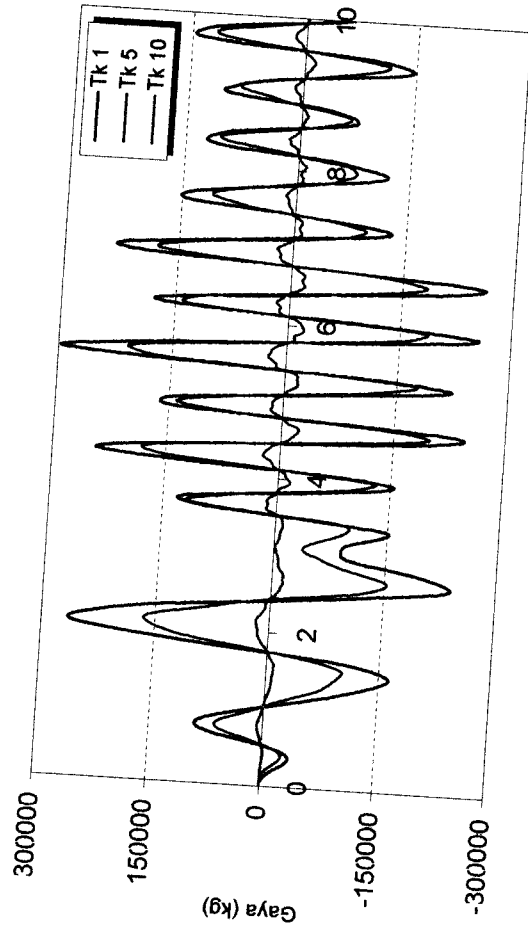
**Gambar 4.74** Gaya horizontal kumulatif tingkat struktur 7 tingkat akibat gempa Bucharest



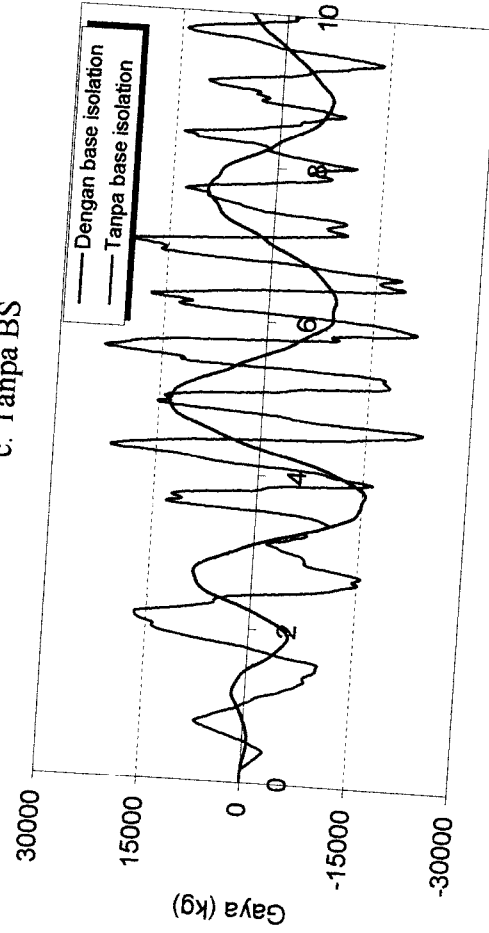
a. BS (Kb min. = 147923, 5668 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 591694, 267 kg/m)



c. Tanpa BS

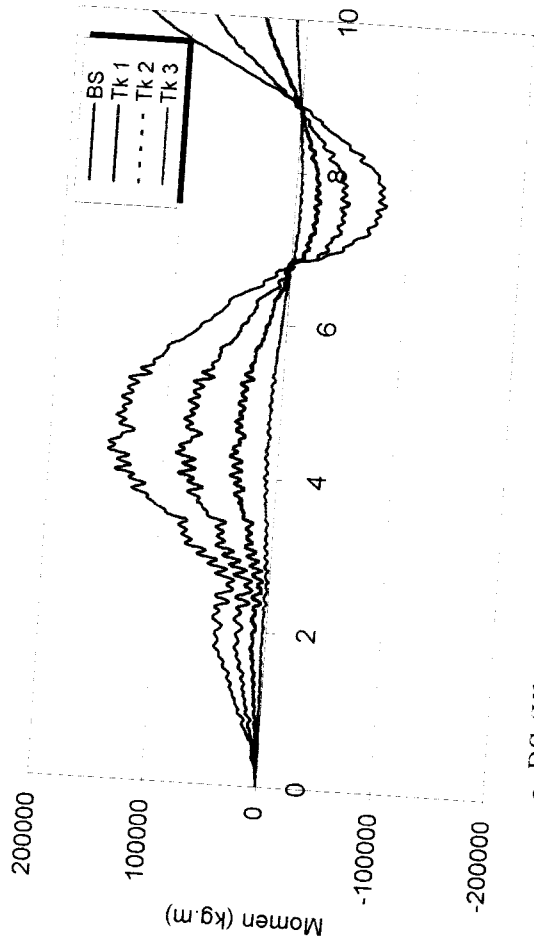


d. Perb. Tk 10 dgn BS dan tanpa BS

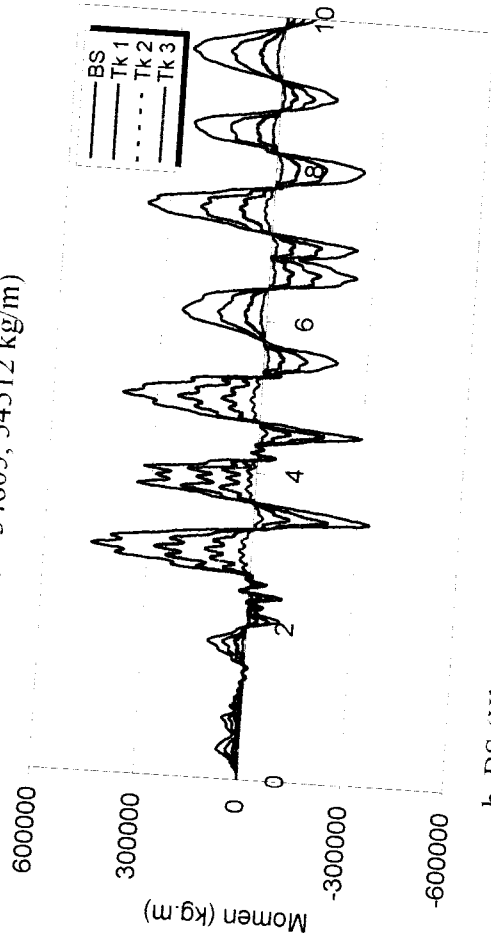
**Gambar 4.75** Gaya horizontal kumulatif tingkat struktur 10 tingkat akibat gempa Bucharest

#### **4.4.8 Perhitungan Momen Guling**

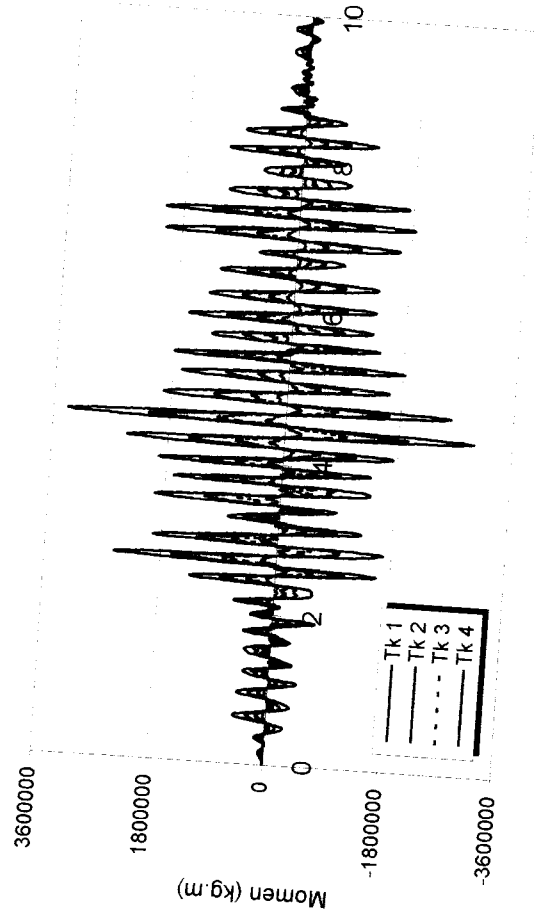
Momen guling diperoleh dengan mengalikan gaya horisontal tingkat dan tinggi tingkat yang bersangkutan, seperti dirumuskan pada persamaan (2.64). Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk grafik antara momen guling lawan waktu, dapat dilihat pada gambar berikut ini.



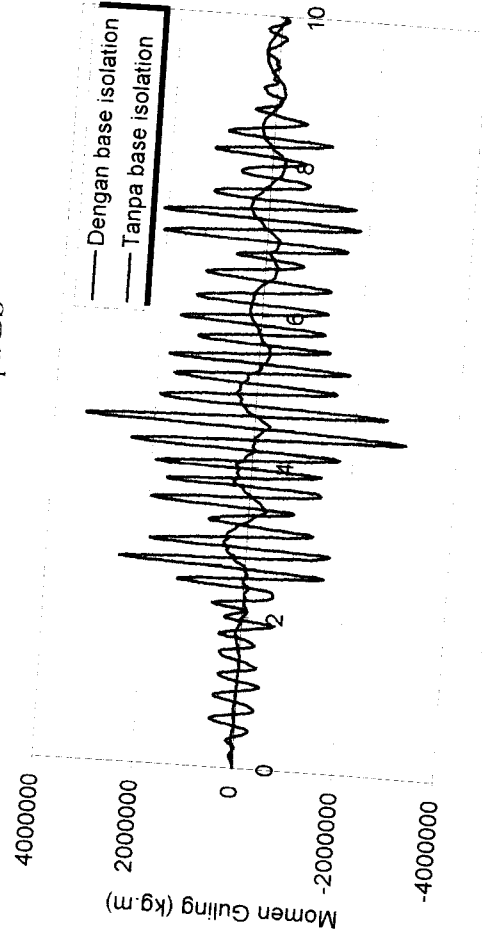
a. BS (Kb min. = 34805, 54512 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 1183388, 534 kg/m)

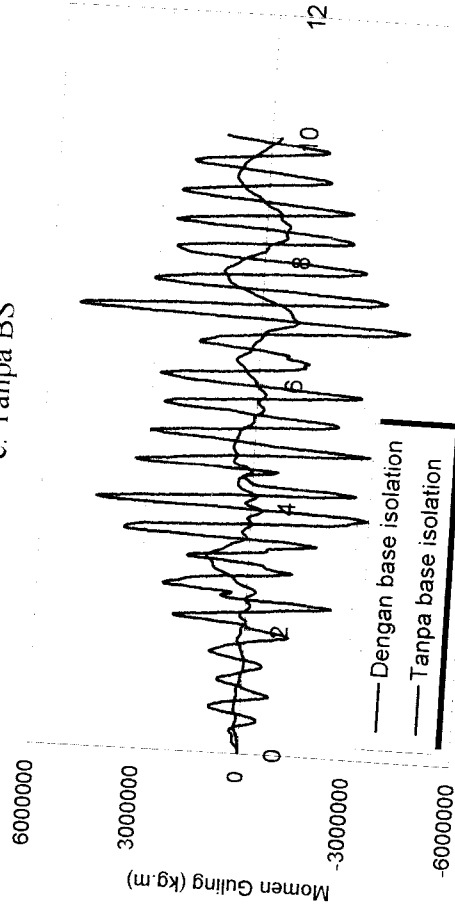
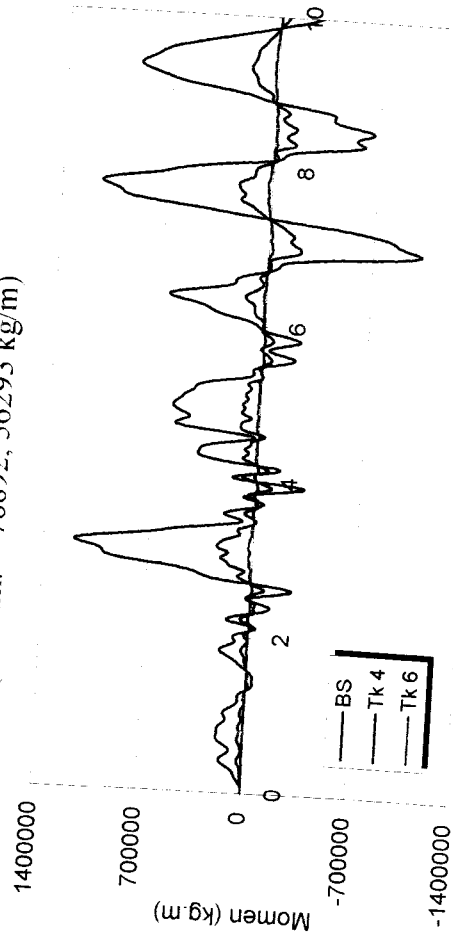
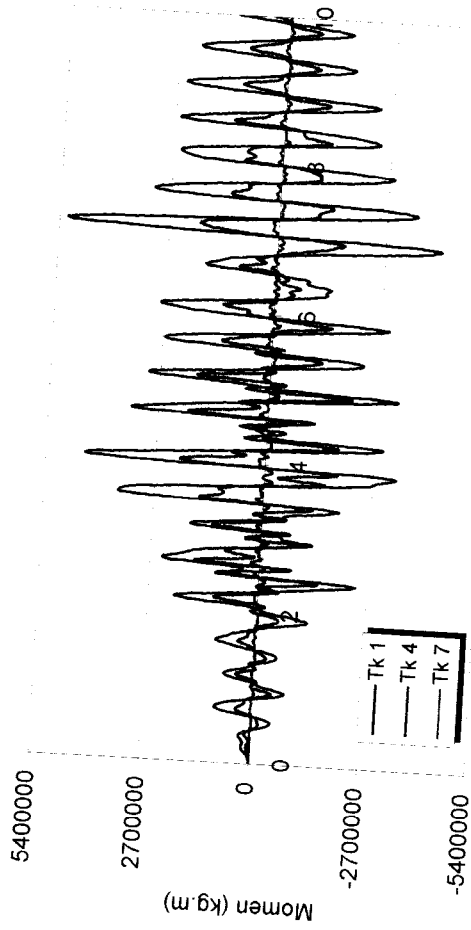
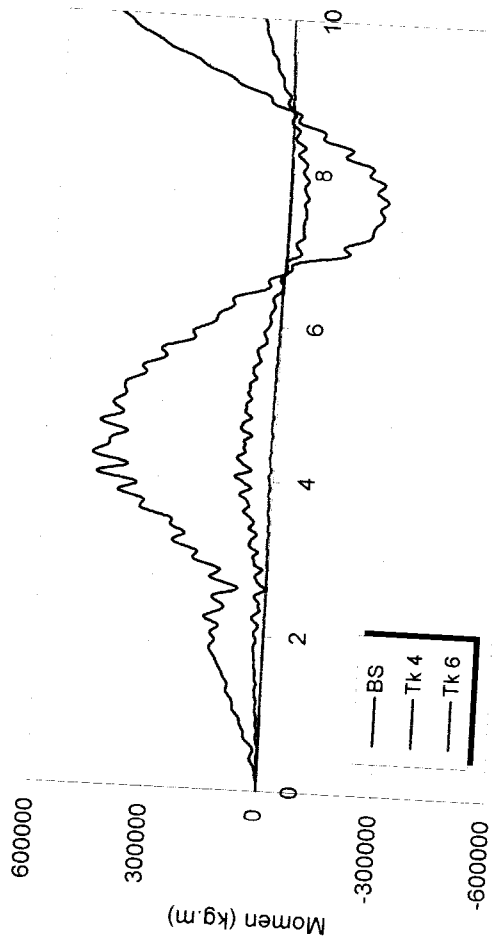


c. Tanpa BS

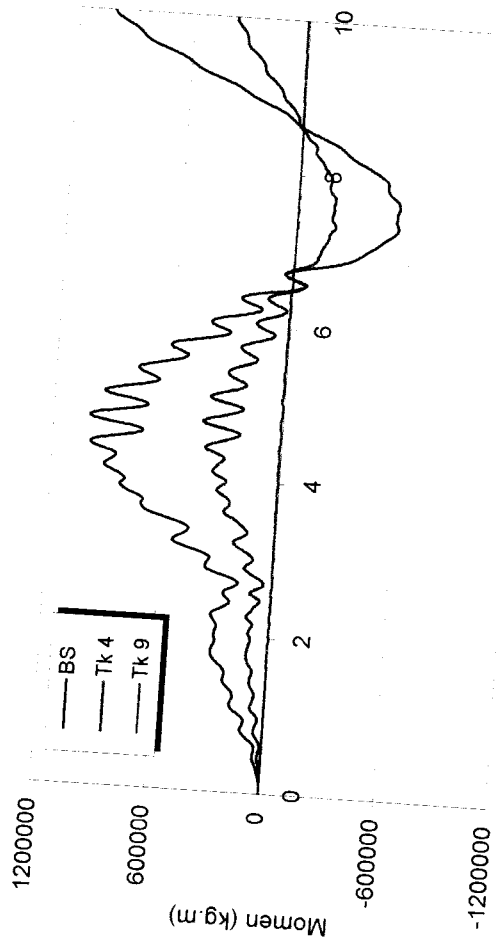


d. Perb. Tk dasar dgn BS dan tanpa BS

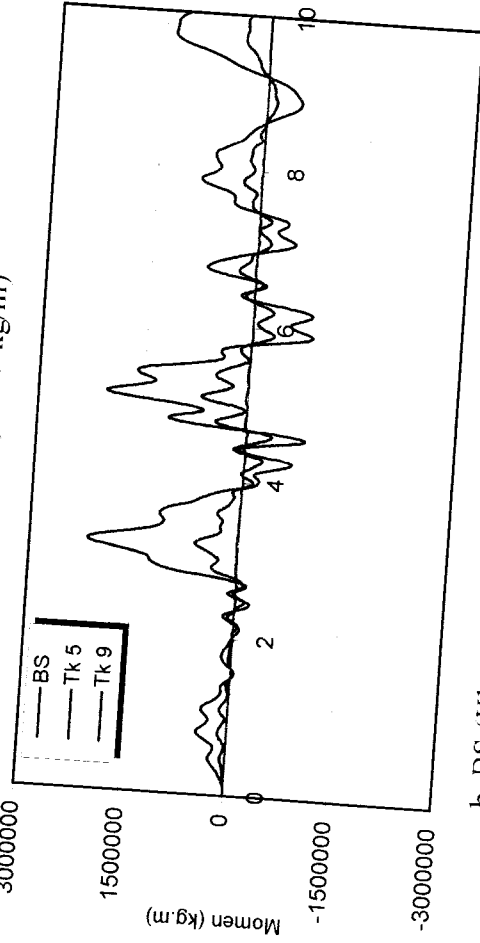
**Gambar 4.76** Momen Guling struktur 4 tingkat akibat gempa Koyna



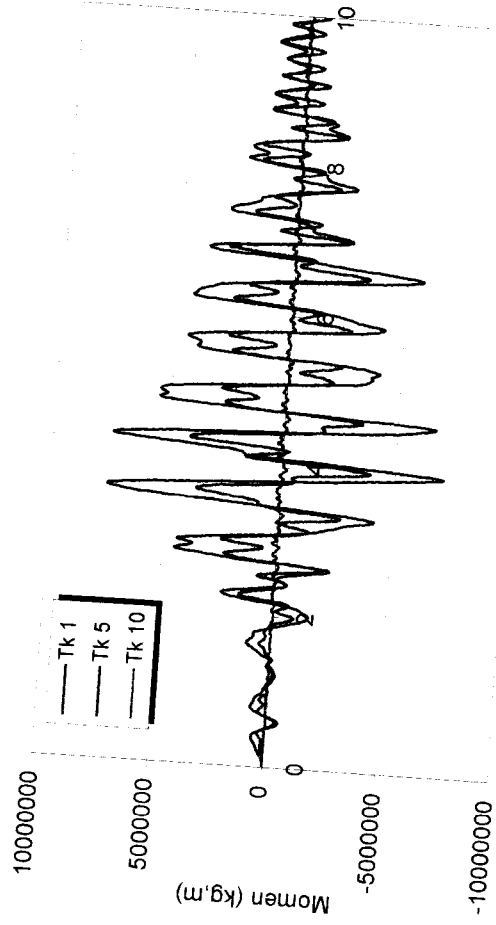
**Gambar 4.77** Momen Guling struktur 7 tingkat akibat gempa Koyna



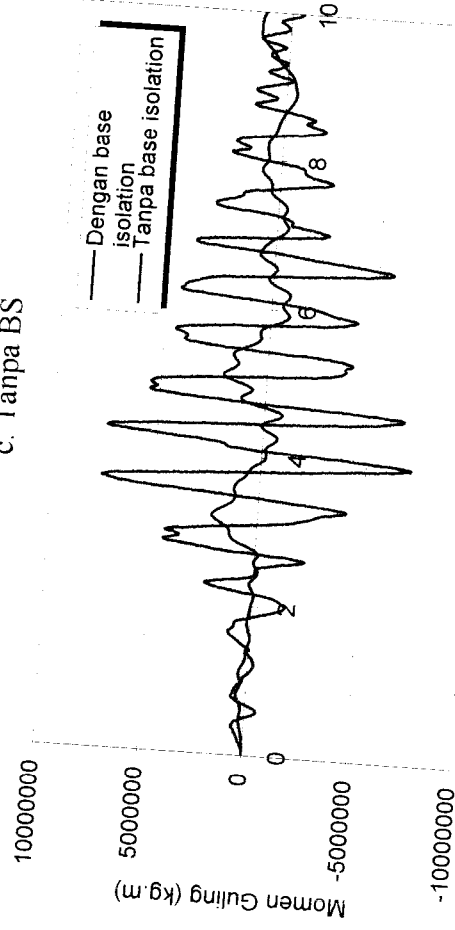
a. BS (Kb min. = 131487, 6149 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 1183388, 534 kg/m)

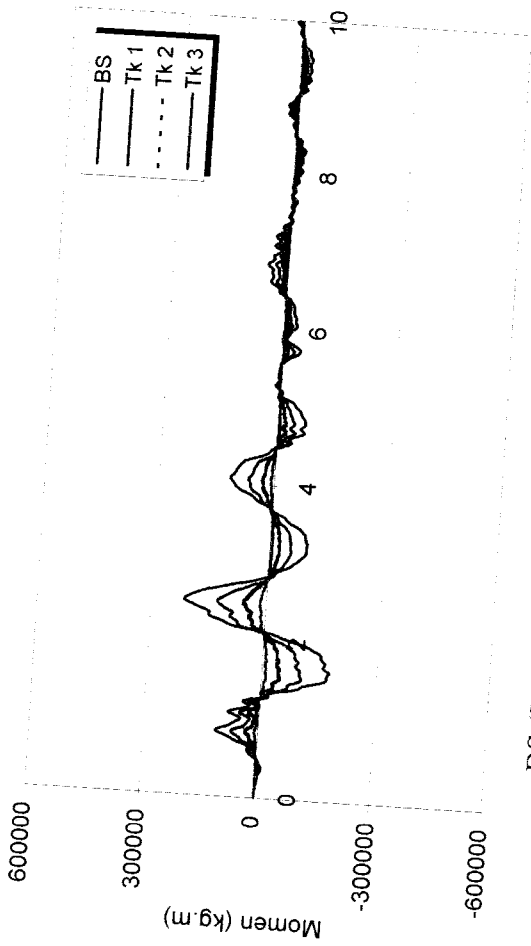


c. Tanpa BS

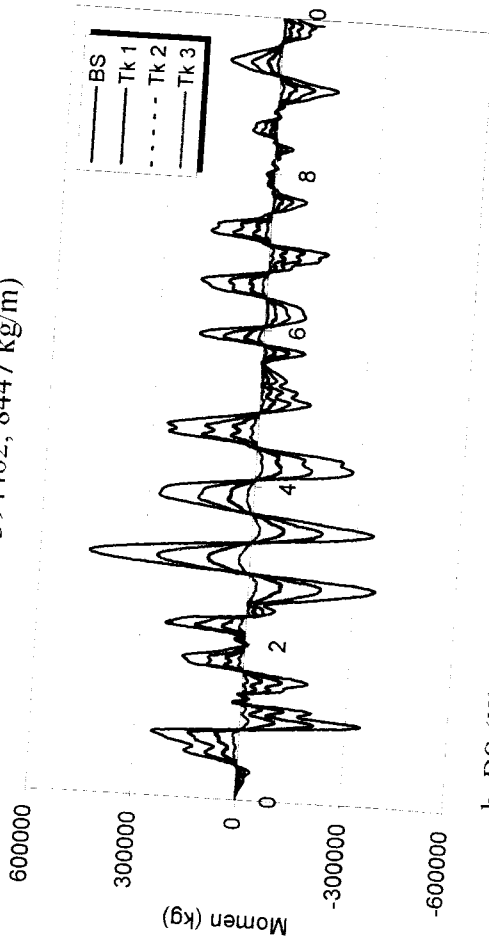


d. Perb. Tk dasar dgn BS dan tanpa BS

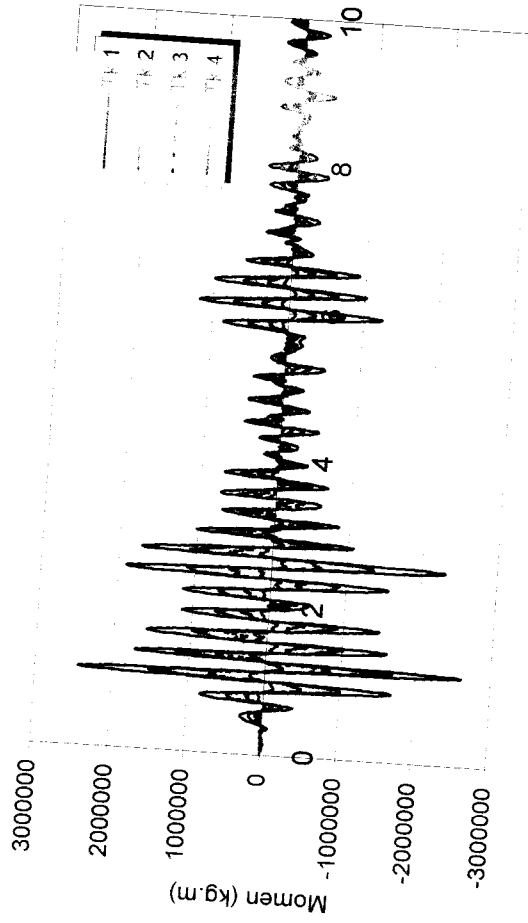
**Gambar 4.78** Momen Guling struktur 10 tingkat akibat gempa Koyna



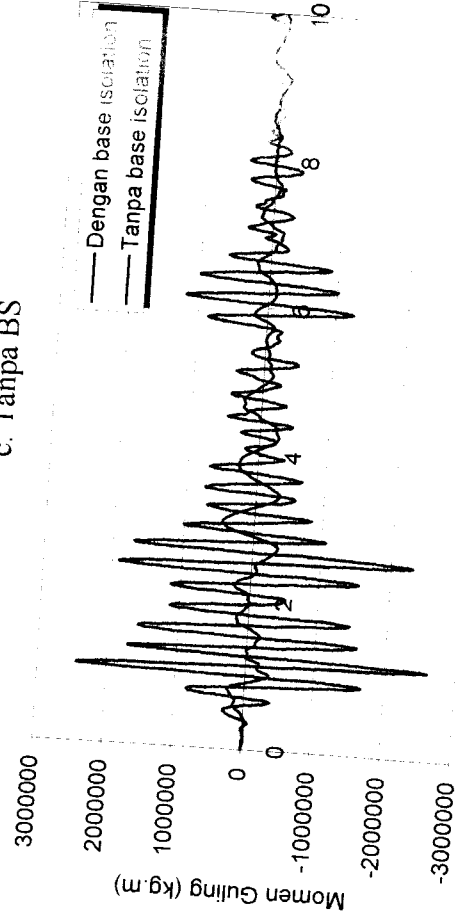
a. BS (Kb min. = 394462, 8447 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 2366777, 068 kg/m)



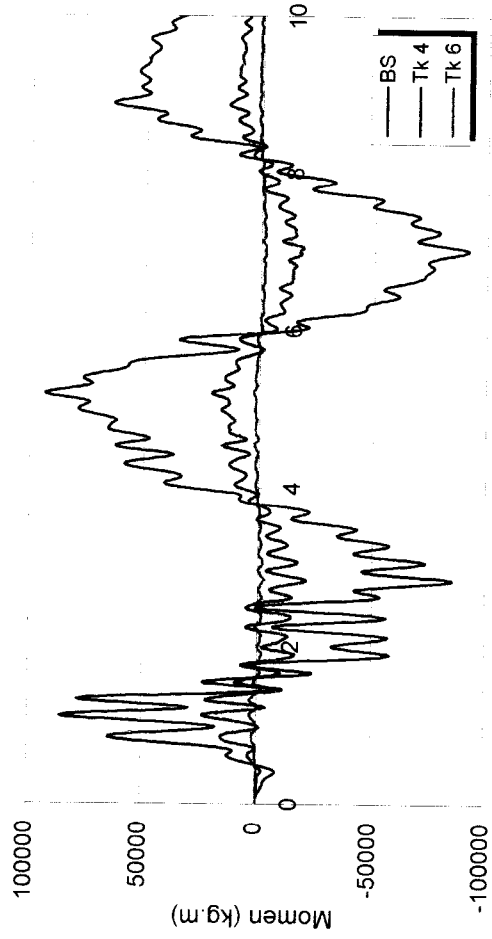
c. Tanpa BS



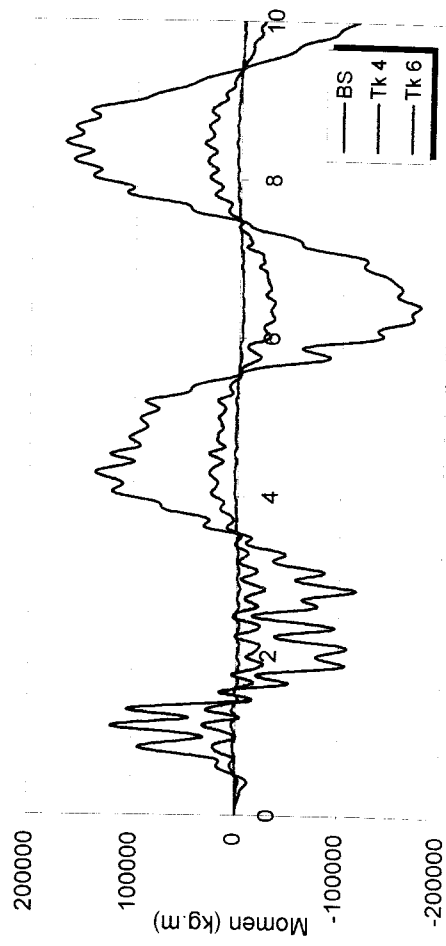
d. Perb. Tk dasar dgn BS dan tanpa BS

**Gambar 4.79** Momen Guling struktur 4 tingkat akibat gempa Elcentro

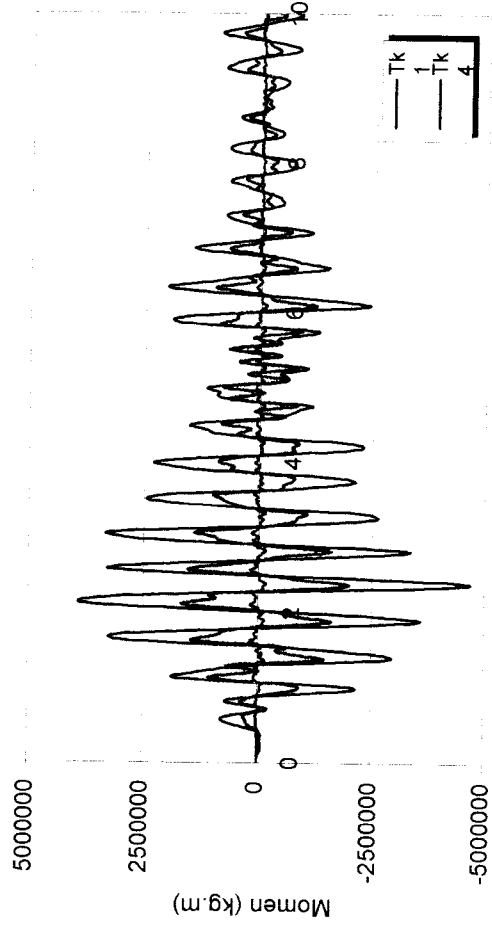




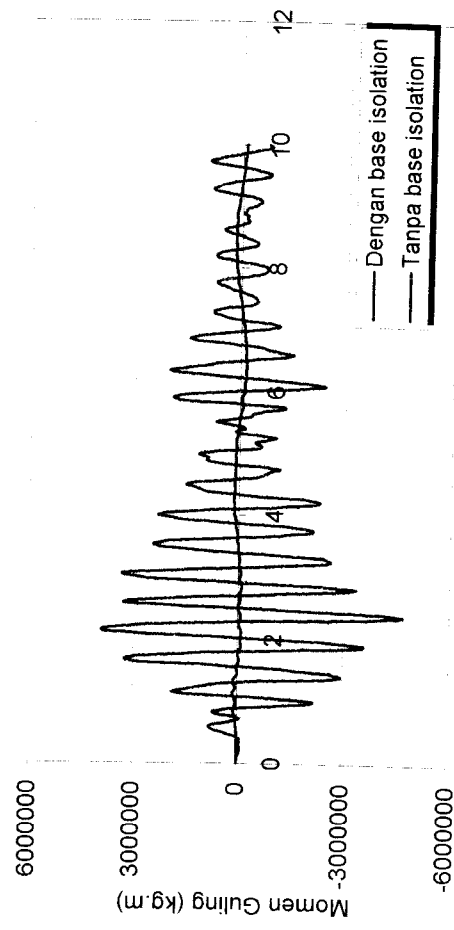
a. BS (Kb min. = 78892, 56893 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 131487, 6149 kg/m)

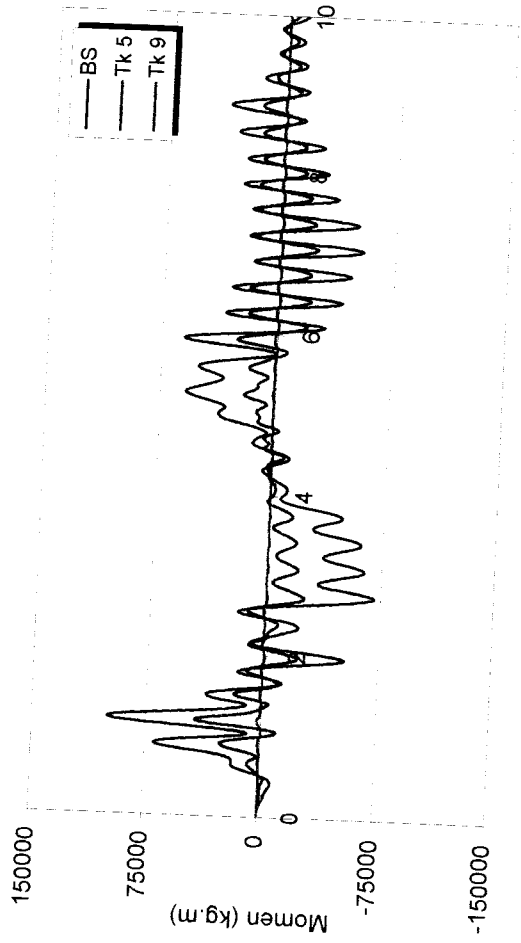


c. Tanpa BS

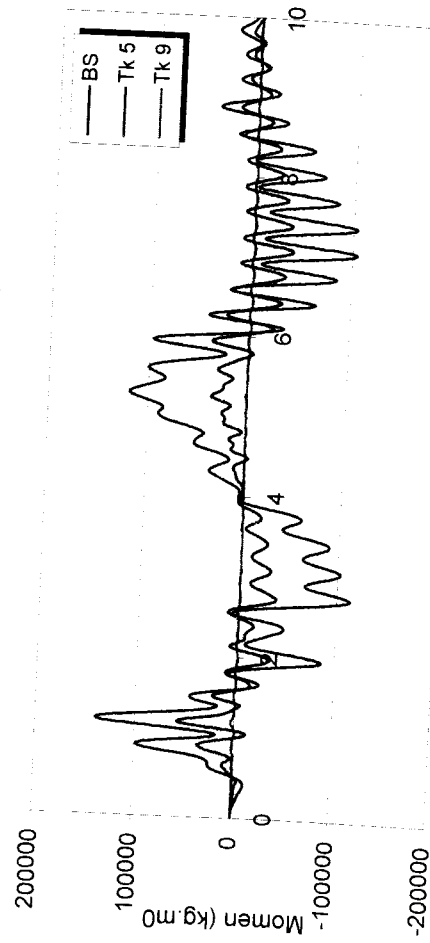


d. Perb. Tk dasar dgn BS dan tanpa BS

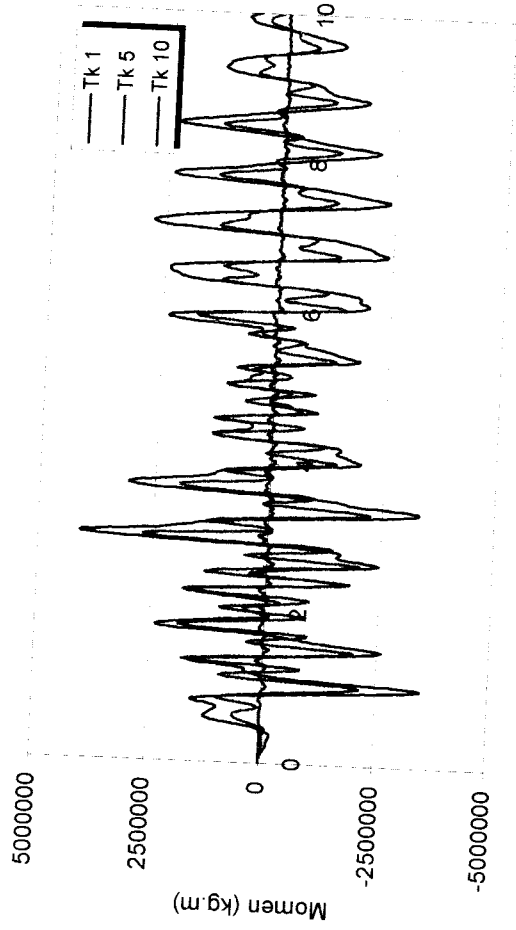
**Gambar 4.80** Momen Guling struktur 7 tingkat akibat gempa Elcentro



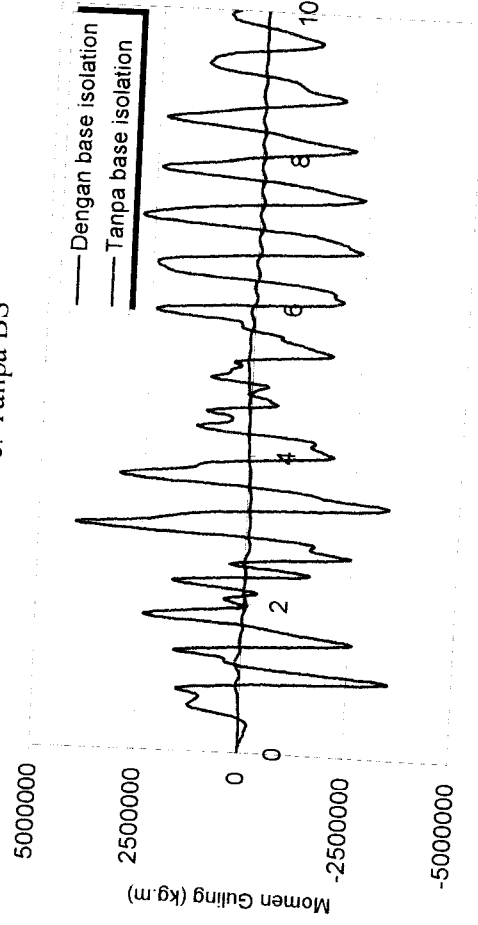
a. BS (Kb min. = 47335, 54136 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 78892, 56893 kg/m)

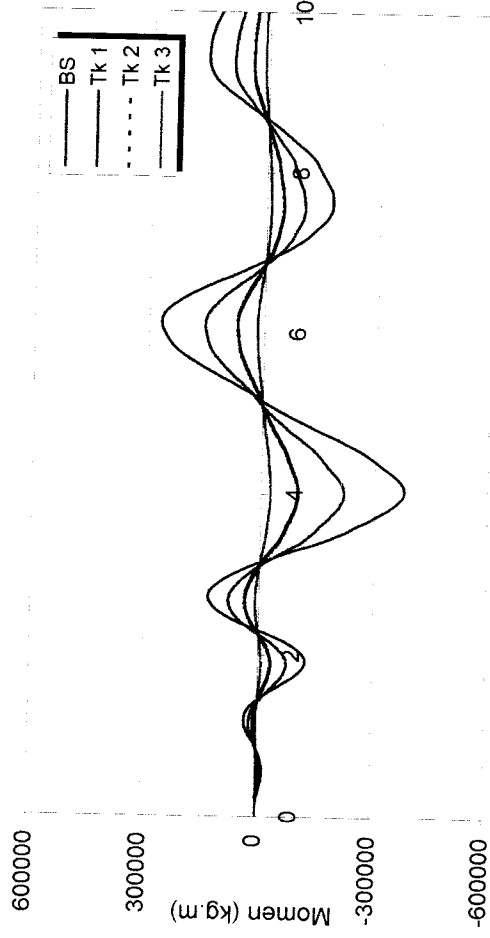


c. Tanpa BS

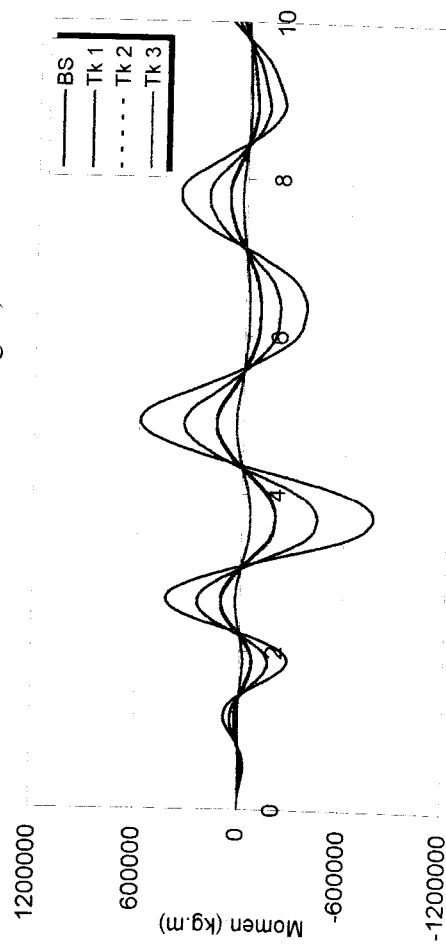


d. Perb. Tk dasar dgn BS dan tanpa BS

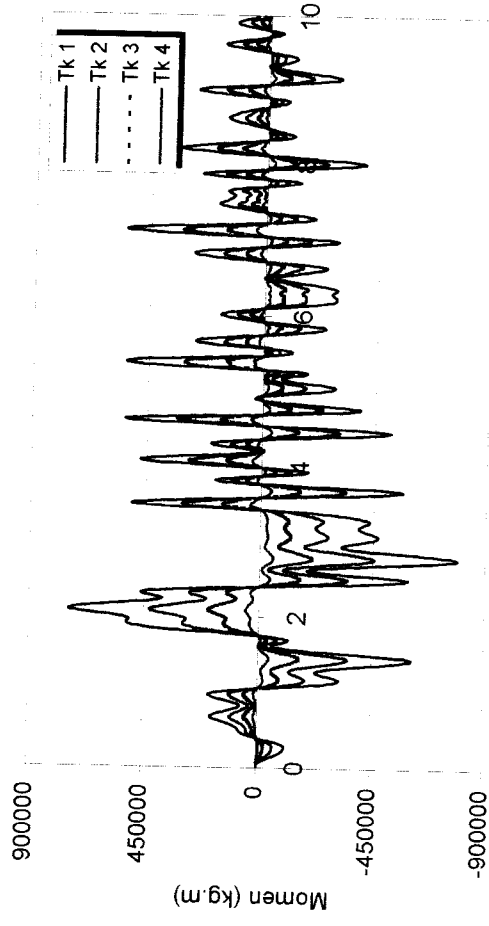
**Gambar 4.81** Momen Guling struktur 10 tingkat akibat gempa Elcentro



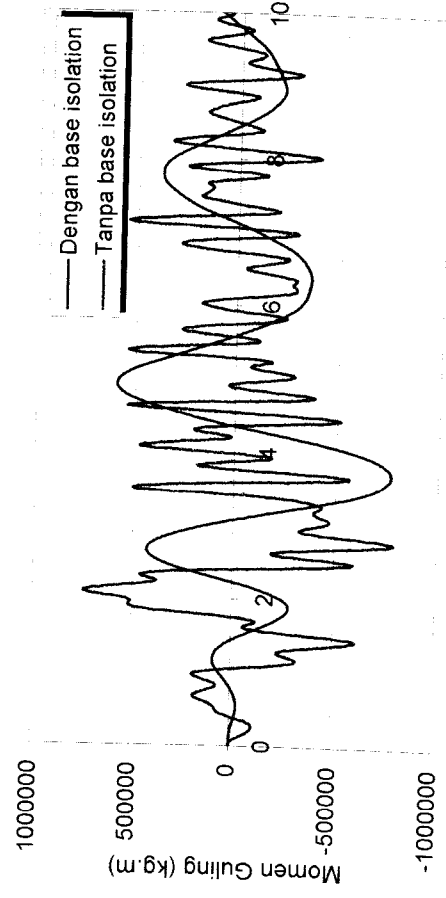
a. BS (Kb min. = 73961, 7838 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 197231, 4223 kg/m)

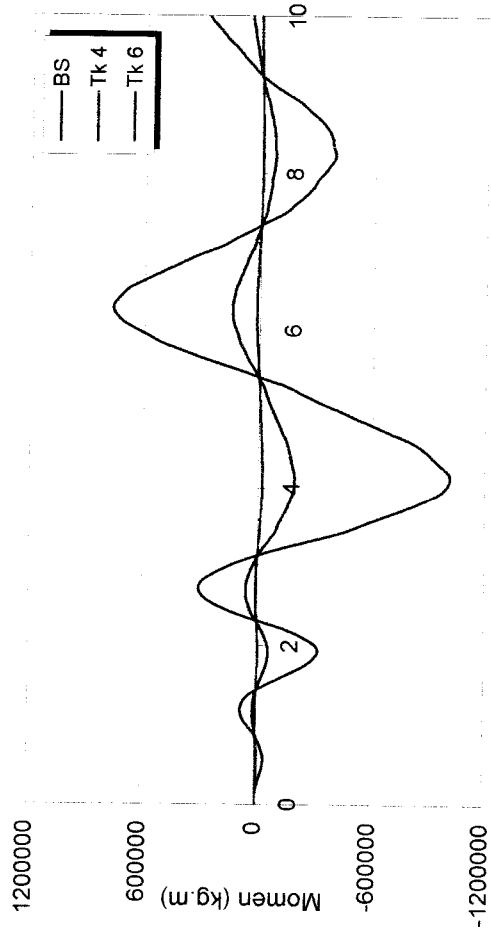


c. Tanpa BS

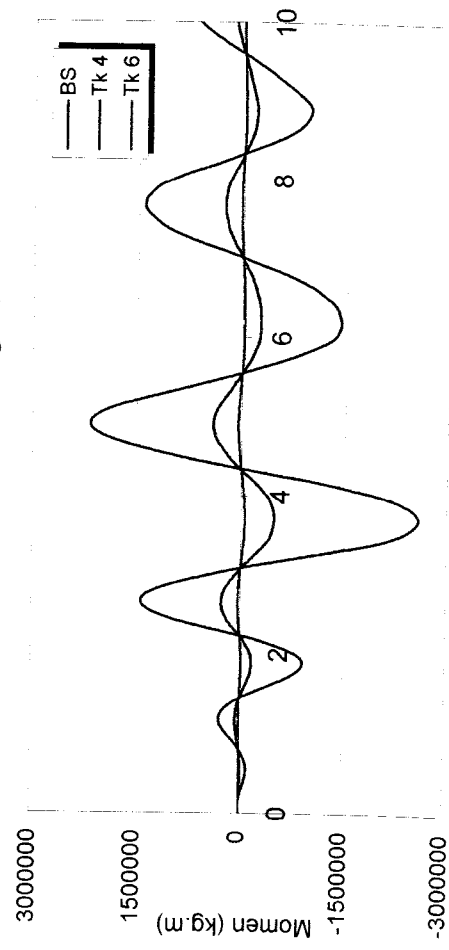


d. Perb. Tk dasar dgn BS dan tanpa BS

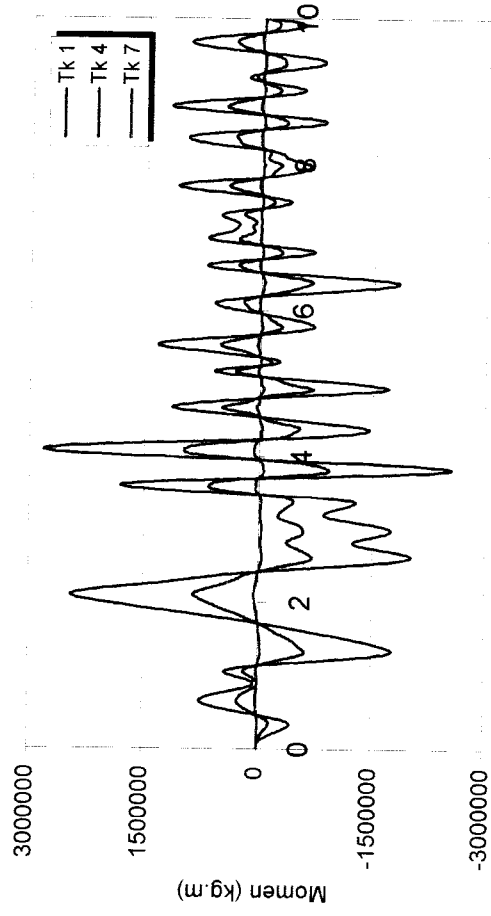
**Gambar 4.82** Momen Guling struktur 4 tingkat akibat gempa Bucharest



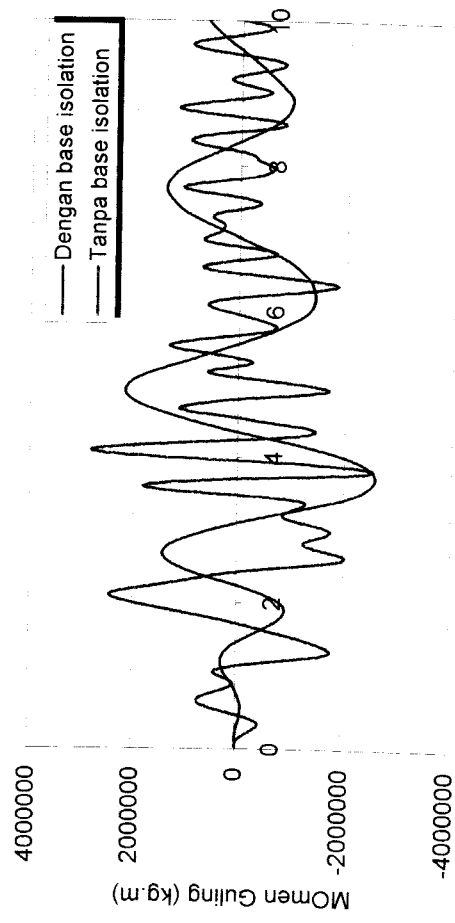
a. BS (Kb min. = 118338, 8534 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 591694, 267 kg/m)

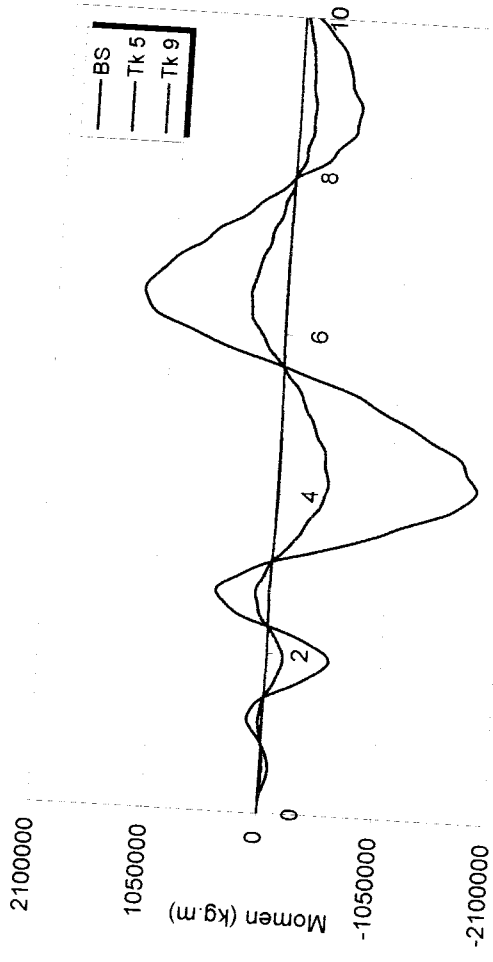


c. Tanpa BS

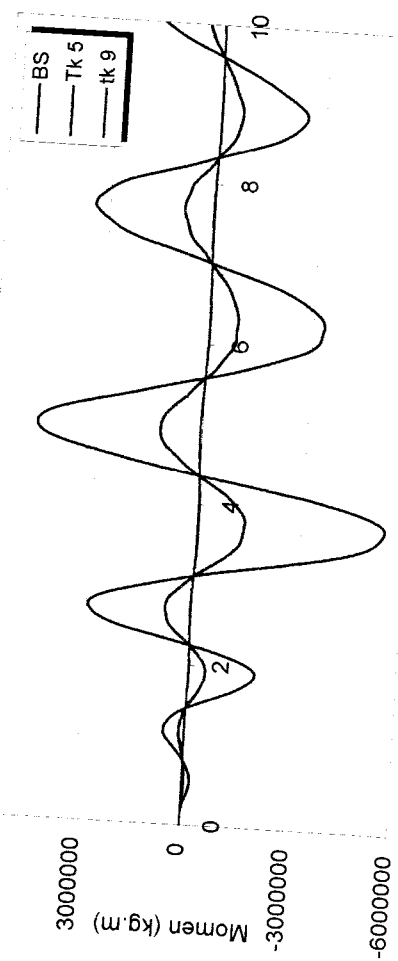


d. Perb. Tk dasar dgn BS dan tanpa BS

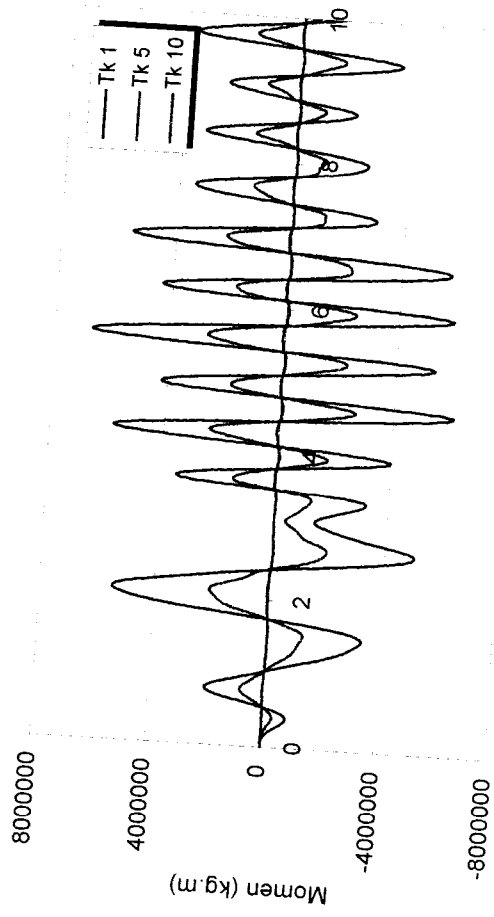
**Gambar 4.83** Momen Guling struktur 7 tingkat akibat gempa Bucharest



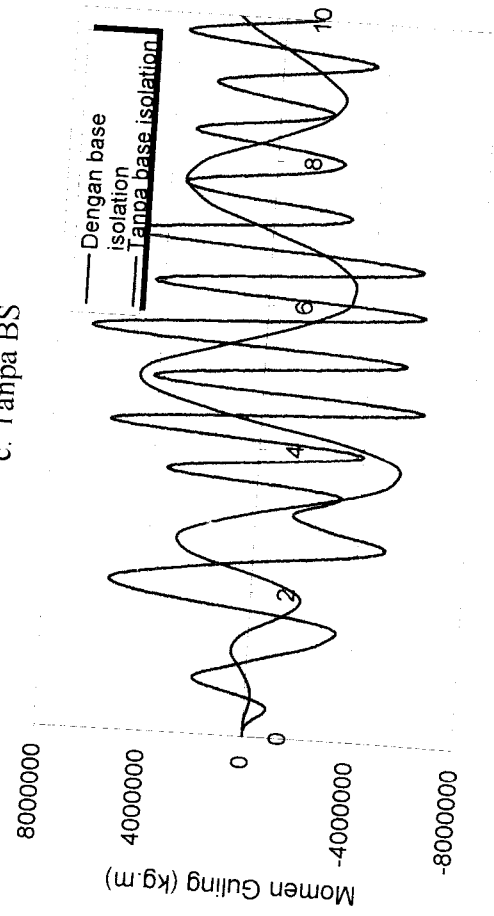
a. BS (Kb min. = 147923, 5668 kg/m)



b. BS (Kb maks. = 591694, 267 kg/m)



c. Tanpa BS



d. Perb. Tk dasar dgn BS dan tanpa BS

**Gambar 4.84** Momen Guling struktur 10 tingkat akibat gempa Bucharest

#### **4.5 Pembahasan**

Pembahasan respon struktur yang ditinjau meliputi *mode shape*, simpangan netto maksimum, simpangan antar tingkat maksimum, gaya horisontal tingkat maksimum, gaya horisontal tingkat kumulatif maksimum dan momen guling maksimum akibat gempa Bucharest, gempa Elcentro dan gempa Koyna pada *code level limit state*.

Nilai kekakuan *base isolation* diambil nilai kekakuan *base isolation* maksimum dan minimum dari tiga variasi gempa yaitu gempa Bucharest, Elcentro dan Koyna.

##### **4.5.1 Mode Shape**

Pembahasan *mode shape* berdasarkan gambar 4.1 sampai dengan 4.21 dan tabel 4.7 sampai dengan 4.9.

**Tabel 4.7** Perbandingan nilai *mode shape* dengan dan tanpa *base isolation* struktur 4 tingkat

Tingkat	Nilai <i>mode shape</i>							
	Mode ke - 1		Mode ke - 2		Mode ke - 3		Mode ke - 4	
	Dengan	Tanpa	Dengan	Tanpa	Dengan	Tanpa	Dengan	Tanpa
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1,00073	1,84989	0,25952	0,78257	-1,4056	-0,7271	-2,7447	-1,7985
3	1,00117	2,42207	-0,6734	-0,3876	-0,4285	-0,4713	3,79165	2,23448
4	1,00133	2,63067	-1,107	-1,0859	1,5798	1,06981	-3,8745	-2,2202

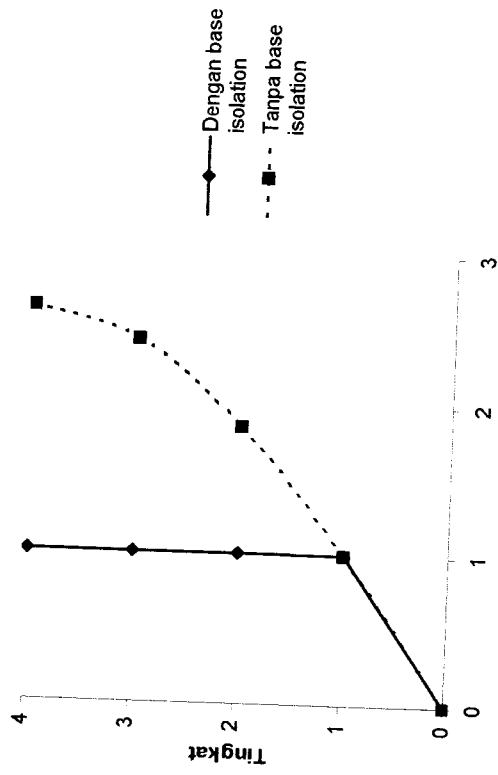
**Tabel 4.8** Perbandingan nilai *mode shape* dengan dan tanpa *base isolation* struktur 7 tingkat

Tingkat	Nilai <i>mode shape</i>													
	Mode ke - 1		Mode ke - 2		Mode ke - 3		Mode ke - 4		Mode ke - 5		Mode ke - 6		Mode ke - 7	
	Dengan	Tanpa	Dengan	Tanpa	Dengan	Tanpa	Dengan	Tanpa	Dengan	Tanpa	Dengan	Tanpa	Dengan	Tanpa
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1,002	1,950	0,775	1,567	0,145	0,877	-0,742	0,016	-1,684	-0,845	-2,465	-1,536	-2,910	-1,923
3	1,004	2,804	0,373	1,456	-0,834	-0,231	-1,190	-0,999	0,156	-0,286	2,618	1,359	4,565	2,697
4	1,005	3,517	-0,114	0,715	-1,098	-1,080	0,438	-0,032	1,577	1,087	-1,377	-0,551	-5,820	-3,262
5	1,006	4,056	-0,575	-0,336	-0,422	-0,715	1,302	0,999	-1,238	-0,632	-0,598	-0,513	6,565	3,575
6	1,006	4,393	-0,905	-1,241	0,616	0,452	-0,105	0,048	-0,728	-0,553	2,254	1,338	-6,735	-3,612
7	1,006	4,512	-1,028	-1,609	1,126	1,112	-1,328	-0,998	1,737	1,099	-2,710	-1,542	6,314	3,369

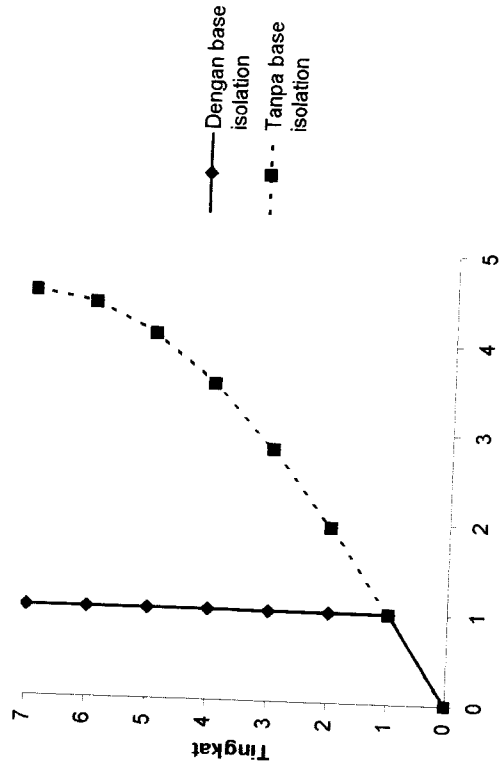
**Tabel 4.9** Perbandingan nilai *mode shape* dengan dan tanpa *base isolation* struktur 10 tingkat

Tingkat	Nilai <i>mode shape</i>																			
	Mode ke - 1		Mode ke - 2		Mode ke - 3		Mode ke - 4		Mode ke - 5		Mode ke - 6		Mode ke - 7		Mode ke - 8		Mode ke - 9		Mode ke - 10	
	Dengan	Tanpa	Dengan	Tanpa	Dengan	Tanpa	Dengan	Tanpa	Dengan	Tanpa	Dengan	Tanpa	Dengan	Tanpa	Dengan	Tanpa	Dengan	Tanpa	Dengan	Tanpa
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1,0012	1,9755	0,8934	1,7832	0,5819	1,4175	0,1004	0,9141	-0,4989	0,3223	-1,1511	-0,2999	-1,7856	-0,892	-2,3337	-1,3953	-2,7361	-1,762	-2,9522	-1,9574
3	1,0023	2,9027	0,6903	2,1799	-0,0803	1,0093	-0,8896	-0,164	-1,2493	-0,8961	-0,8244	-0,9101	0,4053	-0,205	2,1155	0,9468	3,7541	2,1031	4,7673	2,8312
4	1,0033	3,7587	0,4126	2,1041	-0,7088	0,0132	-1,0782	-1,064	-0,1254	-0,6112	1,2769	0,5728	1,4667	1,0744	-0,4906	0,0742	-3,7866	-1,943	-6,3609	-3,5843
5	1,0041	4,5228	0,0904	1,5722	-1,04	-0,9906	-0,2953	-0,809	1,1867	0,6991	0,6297	0,7383	-1,5595	-0,753	-1,4606	-1,0504	2,8252	1,3198	7,6593	4,1846
6	1,0048	5,1761	-0,2416	0,6995	-0,9349	-1,4174	0,7536	0,3253	0,7184	0,8365	-1,3729	-0,7943	-0,2394	-0,403	2,4405	1,3913	-1,1222	-0,382	-8,6021	-4,6063
7	1,0053	5,7026	-0,5475	-0,3249	-0,4377	-1,0186	1,1235	1,1059	-0,8277	-0,4295	-0,4203	-0,5000	1,7479	1,1123	-1,7975	-0,8910	-0,8753	-0,647	9,1456	4,8316
8	1,0056	6,0896	-0,7943	-1,2788	0,2432	-0,0264	0,4812	0,6857	-1,1320	-0,9750	1,4370	0,9442	-1,1362	-0,589	-0,0408	-0,1482	2,6431	1,5219	-9,2645	-4,8508
9	1,0059	6,3274	-0,9553	-1,9555	0,8220	0,9811	-0,5947	-0,479	0,2621	0,1152	0,2011	0,2169	-0,8537	-0,587	1,8519	1,0978	-3,7172	-2,034	8,9533	4,6632
10	1,0059	6,4103	-1,0130	-2,2084	1,0560	1,4171	-1,1348	-1,124	1,2629	1,0121	-1,4677	-1,0093	1,8080	1,1126	-2,4315	-1,3835	3,8154	2,0606	-8,2264	-4,2767

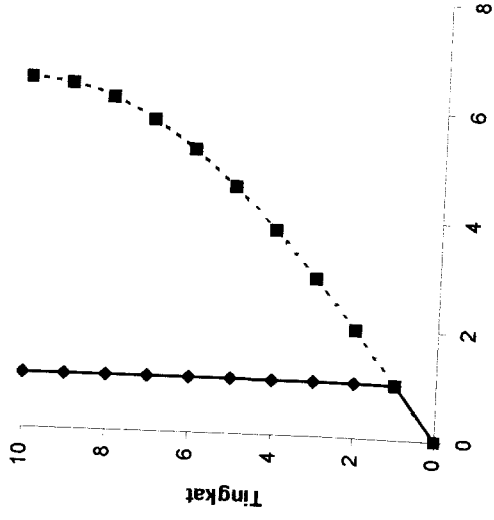




a. Struktur 4 tingkat



b. Struktur 7 tingkat



b. Struktur 7 tingkat

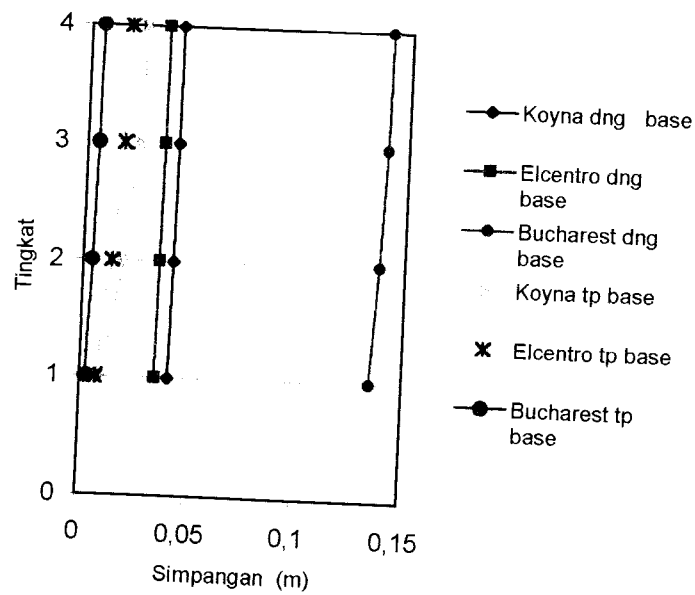
Perbandingan kecenderungan dominasi *mode* ke - 1 dengan dan tanpa *base isolation* struktur 4, 7, 10

Pembahasan *mode shape* berdasarkan gambar 4.1 sampai dengan 4.21 dan tabel 4.7 sampai dengan 4.9. Pada gambar dan tabel tersebut membandingkan *mode shape* struktur dengan menggunakan *base isolation* dan struktur tanpa menggunakan *base isolation*. Kecenderungan yang paling berpengaruh atau paling dominan pada struktur dengan menggunakan *base isolation* adalah *mode* ke - 1. Nilai *mode* pertama tersebut menunjukkan bahwa ordinat *mode shape* pada *base isolation* tersebut cenderung semakin keatas semakin besar, tetapi memiliki selisih antar ordinat *mode shape* yang sangat kecil atau mendekati nol. Hal ini sangat berbeda dengan perilaku goyangan pada struktur tanpa menggunakan *base isolaton* dimana perilaku goyangan pada *mode* yang pertama cenderung semakin besar, dengan selisih antar ordinat *mode shape* sangat besar dengan bertambahnya tinggi tingkat. Dari uraian diatas dapat diketahui bahwa :

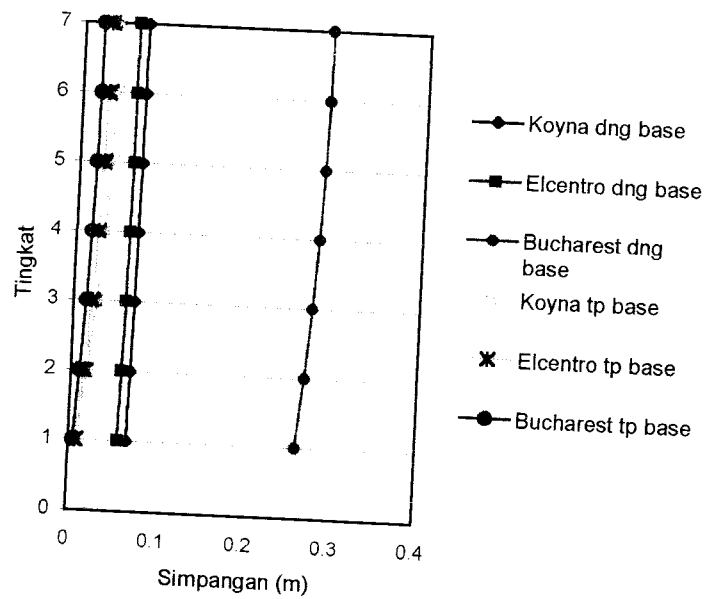
1. Struktur dengan menggunakan *base isolation* mempunyai dominasi pada *mode* pertama lebih kecil dibandingkan dengan struktur tanpa *base isolation*, hal ini dikarenakan struktur dengan menggunakan *base isolation* relatif lebih fleksibel.
2. Sebaliknya struktur tanpa menggunakan *base isolation* mempunyai *mode* pertama yang lebih besar dibandingkan dengan struktur menggunakan *base isolation*, hal ini disebabkan struktur lebih kaku dibandingkan dengan struktur menggunakan *base isolation*.

#### **4.5.2 Simpangan Struktur**

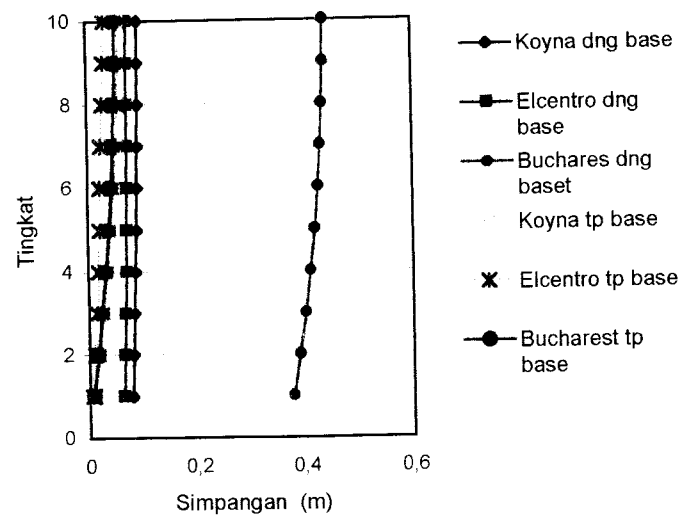
Pembahasan simpangan struktur maksimum berdasarkan gambar 4.85 sampai dengan 4.105 dan tabel 4.10 sampai dengan 4.33 dengan beban 3 gempa dan kombinasi  $K_b$  minimum dan  $K_b$  maksimum.



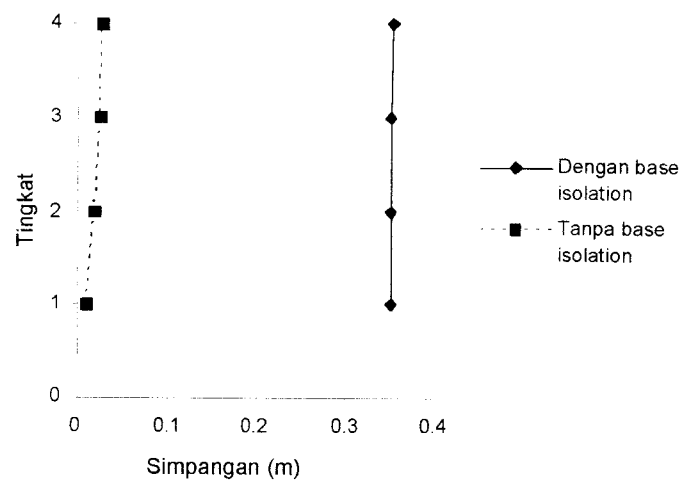
**Gambar 4.85 Grafik Perbandingan Simpangan maksimum akibat 3 gempa struktur 4 tingkat dengan dan tanpa *base isolation*.**



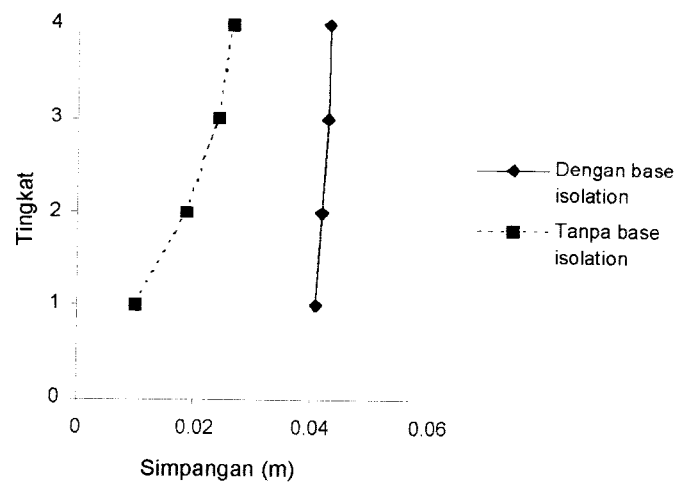
**Gambar 4.86 Grafik Perbandingan Simpangan maksimum akibat 3 gempa struktur 7 tingkat dengan dan tanpa *base isolation*.**



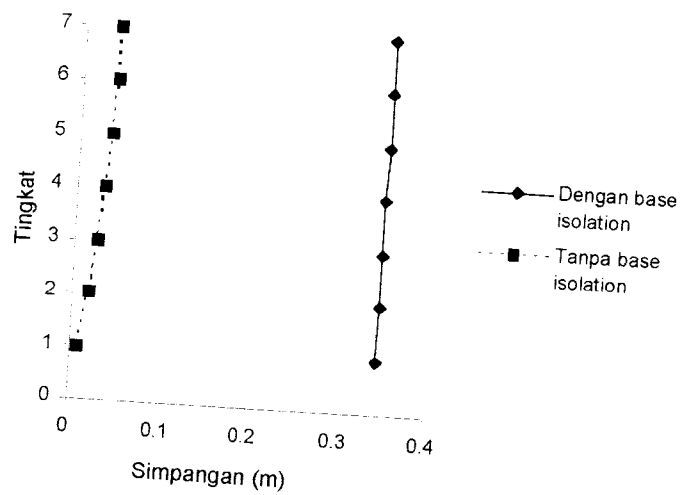
**Gambar 4.87 Grafik Perbandingan Simpangan maksimum akibat 3 gempa struktur 10 tingkat dengan dan tanpa *base isolation*.**



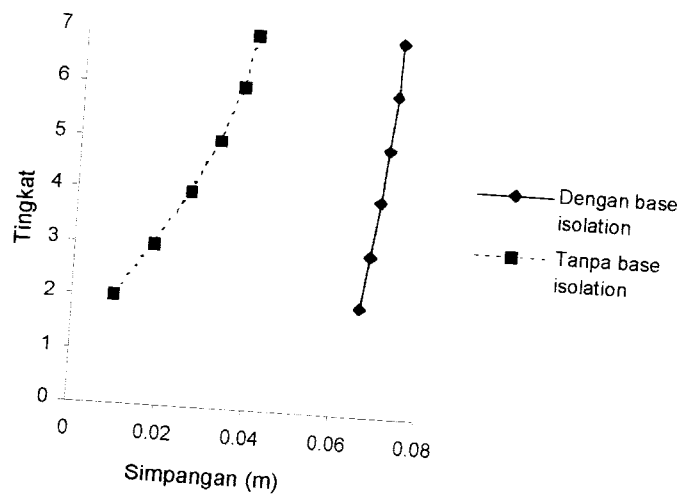
**Gambar 4.88 Grafik Perbandingan Simpangan maksimum** struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 34805, 54512 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Koyna**.



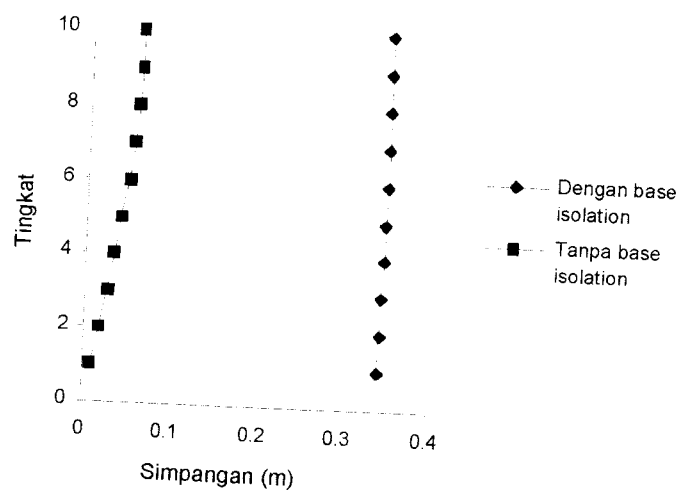
**Gambar 4.89 Grafik Perbandingan Simpangan maksimum** struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388, 534 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Koyna**.



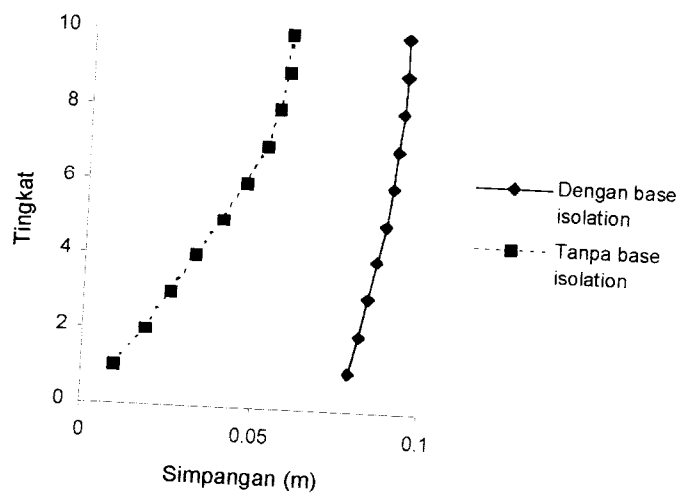
**Gambar 4.90 Grafik Perbandingan Simpangan maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Koyna**.**



**Gambar 4.91 Grafik Perbandingan Simpangan maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388, 534 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Koyna**.**

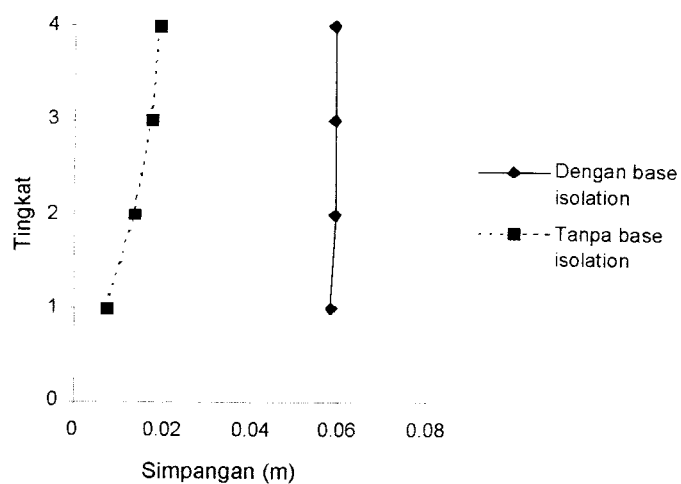


**Gambar 4.92 Grafik Perbandingan Simpangan maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 131487, 6149 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Koyna**.**

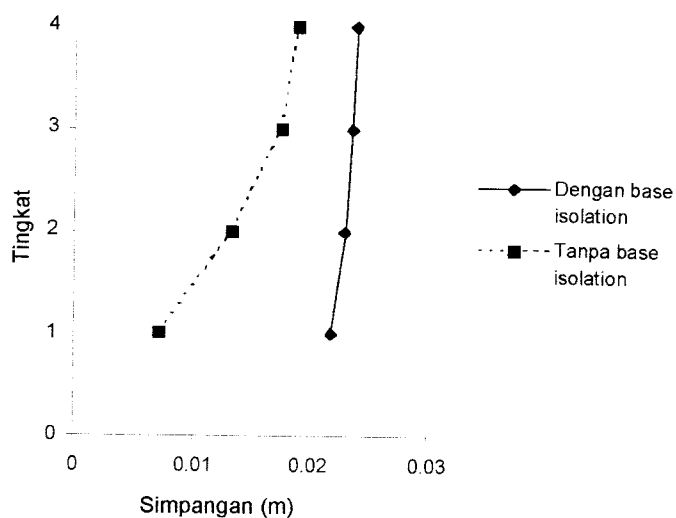


**Gambar 4.93 Grafik Perbandingan Simpangan maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388, 534 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Koyna**.**

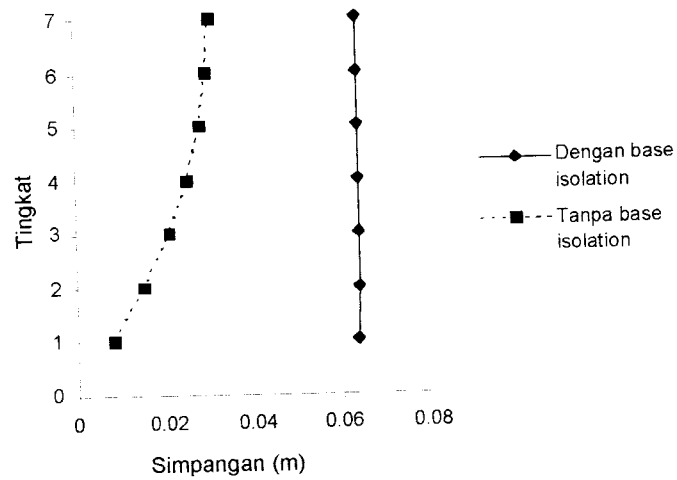




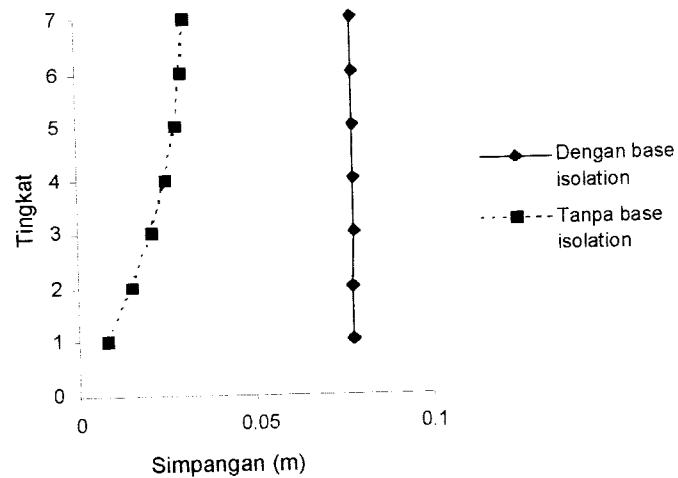
**Gambar 4.94 Grafik Perbandingan Simpangan maksimum** struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 394462, 8447 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Elcentro**.



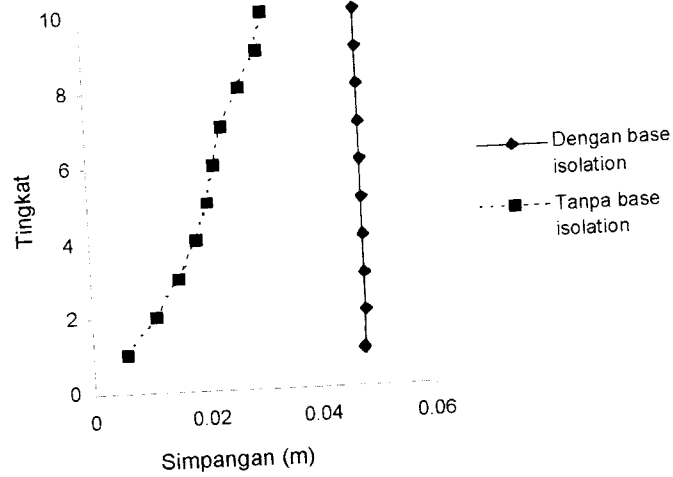
**Gambar 4.95 Grafik Perbandingan Simpangan maksimum** struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 2366777, 068 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Elcentro**.



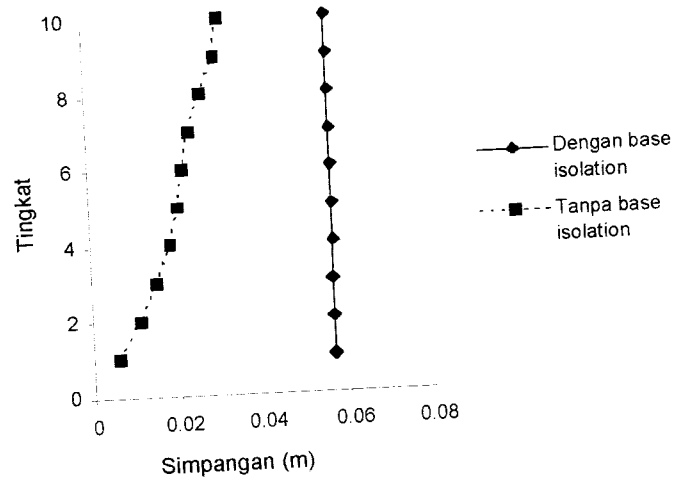
**Gambar 4.96 Grafik Perbandingan Simpangan maksimum** struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Elcentro**.



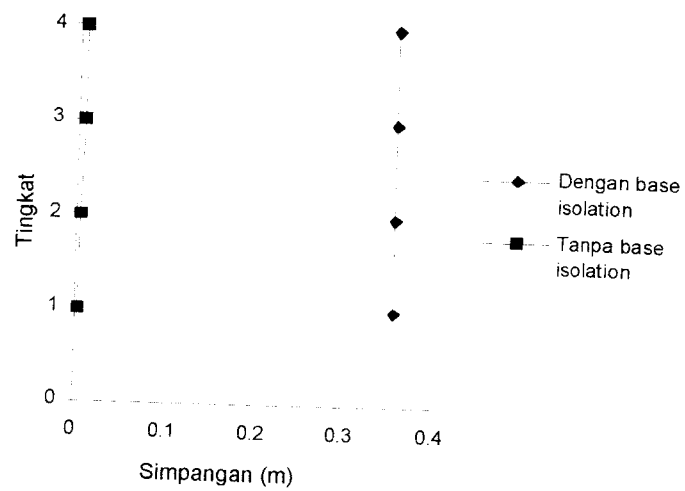
**Gambar 4.97 Grafik Perbandingan Simpangan maksimum** struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 131487, 6149 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Elcentro**.



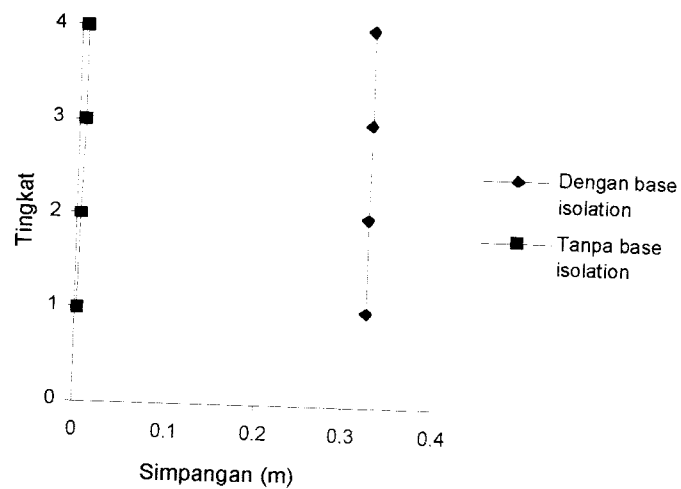
**Gambar 4.98 Grafik Perbandingan Simpangan maksimum** struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 47335, 54136 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Elcentro**.



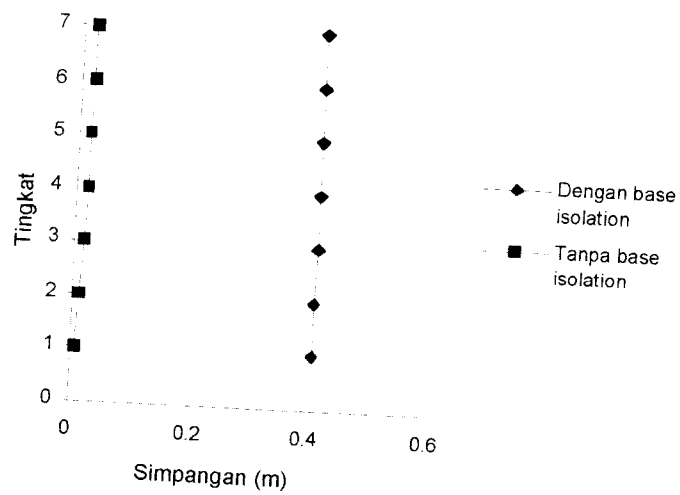
**Gambar 4.99 Grafik Perbandingan Simpangan maksimum** struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Elcentro**.



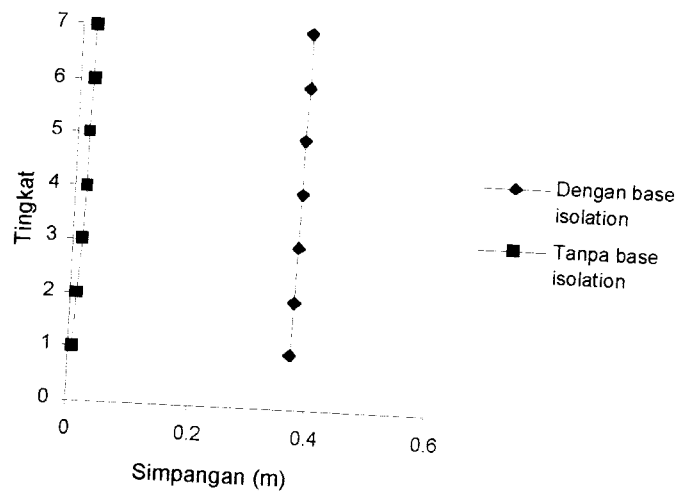
**Gambar 4.100 Grafik Perbandingan Simpangan maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  min. = 73961, 78338 kg/m akibat gempa Bucharest.**



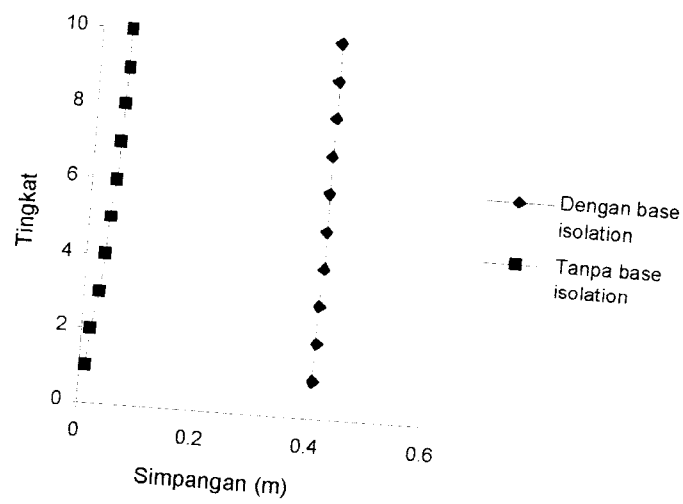
**Gambar 4.101 Grafik Perbandingan Simpangan maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 197231, 4223 kg/m akibat gempa Bucharest.**



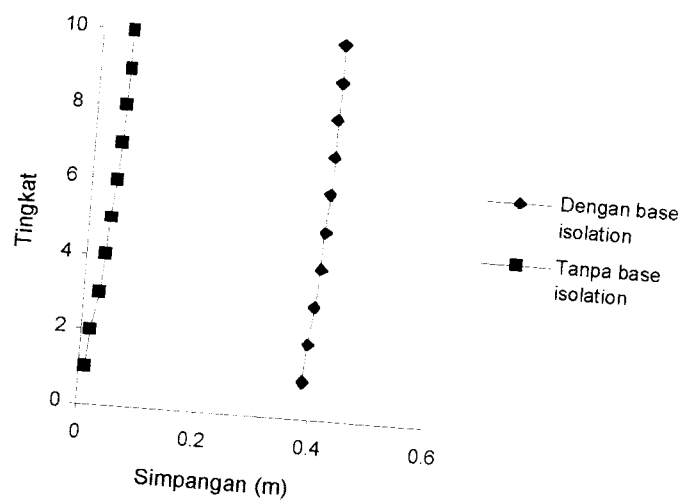
**Gambar 4.102 Grafik Perbandingan Simpangan maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 118338,8534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest.**



**Gambar 4.103 Grafik Perbandingan Simpangan maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 591694,267 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest.**



**Gambar 4.104** Grafik Perbandingan Simpangan maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 147923, 5668 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Bucharest**.



**Gambar 4.105** Grafik Perbandingan Simpangan maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 591694, 267 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Bucharest**.

**Tabel 4.10** Simpangan maksimum struktur 4 tingkat dengan *base isolation*,  $K_b = 1183388,534 \text{ kg/m}$  akibat 3 gempa.

Tingkat	Simpangan (m)		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
<i>Base isolation</i>	0,040947	0,034785	0,134954
1	0,042079	0,035673	0,138363
2	0,042843	0,036216	0,140432
3	0,04313	0,036404	0,141148

**Tabel 4.11** Simpangan maksimum struktur 4 tingkat tanpa *base isolation* akibat 3 gempa.

Tingkat	Simpangan (m)		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
1	0,01	0,0072	0,00246
2	0,01872	0,01343	0,00429
3	0,02431	0,01757	0,00542
4	0,02636	0,01905	0,00582

**Tabel 4.12** Simpangan maksimum struktur 7 tingkat dengan *base isolation*,  $K_b = 1183388,534 \text{ kg/m}$  akibat 3 gempa.

Tingkat	Simpangan (m)		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
<i>Base isolation</i>	0,06608	0,05659	0,26154
1	0,06809	0,05833	0,26937
2	0,06977	0,05982	0,27583
3	0,07111	0,06101	0,28089
4	0,07213	0,06187	0,28453
5	0,07277	0,06239	0,28674
6	0,07300	0,06257	0,28750

**Tabel 4.13** Simpangan maksimum struktur 7 tingkat tanpa *base isolation* akibat 3 gempa.

Tingkat	Simpangan (m)		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
1	0,00935	0,00792	0,00526
2	0,01818	0,01489	0,01008
3	0,0259	0,02078	0,01424
4	0,03211	0,02498	0,01757
5	0,03679	0,02797	0,01997
6	0,03955	0,02994	0,02142
7	0,0405	0,03059	0,02193



**Tabel 4.14** Simpangan maksimum struktur 10 tingkat dengan *base isolation*,  $K_b = 1183388,534 \text{ kg/m}$  akibat 3 gempa.

Tingkat	Simpangan (m)		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
<i>Base isolation</i>	0,07937	0,0636	0,37775
1	0,08200	0,06567	0,38976
2	0,08443	0,06752	0,40049
3	0,08665	0,06916	0,40989
4	0,0886	0,07057	0,41792
5	0,09025	0,07175	0,42455
6	0,0916	0,07268	0,42975
7	0,09262	0,07333	0,43349
8	0,09326	0,07371	0,43576
9	0,09349	0,07384	0,43655

**Tabel 4.15** Simpangan maksimum struktur 10 tingkat tanpa *base isolation* akiba 3 gempa.

Tingkat	Simpangan (m)		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
1	0,00972	0,00608	0,00868
2	0,0184	0,01132	0,01694
3	0,0259	0,01553	0,02451
4	0,03321	0,01875	0,03131
5	0,03999	0,02099	0,03729
6	0,04676	0,02247	0,0424
7	0,05245	0,02415	0,04654
8	0,05598	0,02742	0,04961
9	0,05797	0,03059	0,05153
10	0,05884	0,03204	0,05221

**Tabel 4.16** Perbandingan Simpangan maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  min. = 34805, 54512 kg/m akibat gempa Koyna.

Tingkat	Simpangan	
	Dengan <i>base isolation</i>	Tanpa <i>base isolation</i>
4	0,35266	0,02636
3	0,35258	0,02431
2	0,35236	0,01872
1	0,352	0,01

**Tabel 4.17** Perbandingan Simpangan maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa Koyna.

Tingkat	Simpangan	
	Dengan <i>base isolation</i>	Tanpa <i>base isolation</i>
4	0,04313	0,02636
3	0,04284	0,02431
2	0,04208	0,01872
1	0,04095	0,01

**Tabel 4.18** Perbandingan Simpangan maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  min. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Koyna.

Tingkat	Simpangan	
	Dengan <i>base isolation</i>	Tanpa <i>base isolation</i>
7	0,34659	0,0405
6	0,34652	0,03955
5	0,34632	0,03679
4	0,34598	0,03211
3	0,3455	0,0259
2	0,34487	0,01818
1	0,3441	0,00935

**Tabel 4.19** Perbandingan Simpangan maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa Koyna.

Tingkat	Simpangan	
	Dengan <i>base isolation</i>	Tanpa <i>base isolation</i>
7	0,073	0,0405
6	0,07277	0,03955
5	0,07213	0,03679
4	0,07111	0,03211
3	0,06977	0,0259
2	0,06809	0,01818
1	0,06608	0,00935

**Tabel 4.20** Perbandingan Simpangan maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  min. = 131487, 6149 kg/m akibat gempa Koyna.

Tingkat	Simpangan	
	Dengan <i>base isolation</i>	Tanpa <i>base isolation</i>
10	0,34851	0,05884
9	0,34842	0,05797
8	0,34818	0,05598
7	0,34777	0,05245
6	0,3472	0,04676
5	0,34648	0,03999
4	0,34559	0,03321
3	0,34455	0,0259
2	0,34335	0,0184
1	0,34199	0,00972

**Tabel 4.21** Perbandingan Simpangan maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa Koyna.

Tingkat	Simpangan	
	Dengan <i>base isolation</i>	Tanpa <i>base isolation</i>
10	0,09349	0,05884
9	0,09326	0,05797
8	0,09262	0,05598
7	0,0916	0,05245
6	0,09025	0,04676
5	0,0886	0,03999
4	0,08665	0,03321
3	0,08443	0,0259
2	0,082	0,0184
1	0,07937	0,00972

**Tabel 4.22** Perbandingan Simpangan maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  min. = 394462, 8447 kg/m akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Simpangan	
	Dengan <i>base isolation</i>	Tanpa <i>base isolation</i>
4	0,05934	0,01905
3	0,05924	0,01757
2	0,05894	0,01343
1	0,05844	0,0072

**Tabel 4.23** Perbandingan Simpangan maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 2366777, 068 kg/m akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Simpangan	
	Dengan <i>base isolation</i>	Tanpa <i>base isolation</i>
4	0,02387	0,01905
3	0,02363	0,01757
2	0,02295	0,01343
1	0,02183	0,0072

**Tabel 4.24** Perbandingan Simpangan maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  min. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Simpangan	
	Dengan <i>base isolation</i>	Tanpa <i>base isolation</i>
7	0,06394	0,03059
6	0,06393	0,02994
5	0,0639	0,02797
4	0,06384	0,02498
3	0,06376	0,02078
2	0,06365	0,01489
1	0,06351	0,00792

**Tabel 4.25** Perbandingan Simpangan maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 131487, 6149 kg/m akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Simpangan	
	Dengan <i>base isolation</i>	Tanpa <i>base isolation</i>
7	0,07845	0,03059
6	0,07842	0,02994
5	0,07835	0,02797
4	0,07824	0,02498
3	0,07808	0,02078
2	0,07786	0,01489
1	0,07759	0,00792



**Tabel 4.26** Perbandingan Simpangan maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$   
 $\min. = 47335,54136 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Simpangan	
	Dengan <i>base isolation</i>	Tanpa <i>base isolation</i>
10	0,04821	0,03204
9	0,04820	0,03059
8	0,04819	0,02742
7	0,04818	0,02415
6	0,04817	0,02247
5	0,04814	0,02099
4	0,0481	0,01875
3	0,04805	0,01553
2	0,04799	0,01132
1	0,04791	0,00608

**Tabel 4.26** Perbandingan Simpangan maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$   
 $\min. = 47335, 54136 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Simpangan	
	Dengan <i>base isolation</i>	Tanpa <i>base isolation</i>
10	0,04821	0,03204
9	0,04820	0,03059
8	0,04819	0,02742
7	0,04818	0,02415
6	0,04817	0,02247
5	0,04814	0,02099
4	0,0481	0,01875
3	0,04805	0,01553
2	0,04799	0,01132
1	0,04791	0,00608

**Tabel 4.27** Perbandingan Simpangan maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Simpangan	
	Dengan <i>base isolation</i>	Tanpa <i>base isolation</i>
10	0,05727	0,03204
9	0,05726	0,03059
8	0,05724	0,02742
7	0,0572	0,02415
6	0,05714	0,02247
5	0,05706	0,02099
4	0,05696	0,01875
3	0,05683	0,01553
2	0,0567	0,01132
1	0,05656	0,00608

**Tabel 4.28** Perbandingan Simpangan maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  min. = 73961, 78338 kg/m akibat gempa Bucharest.

Tingkat	Simpangan	
	Dengan <i>base isolation</i>	Tanpa <i>base isolation</i>
4	0,35637	0,00582
3	0,35624	0,00542
2	0,35585	0,00429
1	0,3552	0,00246

**Tabel 4.29** Perbandingan Simpangan maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 197231, 4223 kg/m akibat gempa Bucharest.

Tingkat	Simpangan	
	Dengan <i>base isolation</i>	Tanpa <i>base isolation</i>
4	0,32631	0,00582
3	0,32601	0,00542
2	0,32515	0,00429
1	0,32372	0,00246

**Tabel 4.30** Perbandingan Simpangan maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  min. = 118338, 8534 kg/m akibat gempa Bucharest.

Tingkat	Simpangan	
	Dengan <i>base isolation</i>	Tanpa <i>base isolation</i>
7	0,40966	0,02193
6	0,40954	0,02142
5	0,40917	0,01997
4	0,40856	0,01757
3	0,40772	0,01424
2	0,40664	0,01008
1	0,40532	0,00526

**Tabel 4.31** Perbandingan Simpangan maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest.

Tingkat	Simpangan	
	Dengan <i>base isolation</i>	Tanpa <i>base isolation</i>
7	0,38227	0,02193
6	0,38191	0,02142
5	0,38086	0,01997
4	0,37913	0,01757
3	0,37672	0,01424
2	0,37363	0,01008
1	0,36988	0,00526

**Tabel 4.32** Perbandingan Simpangan maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$   
 min. = 147923, 5668 kg/m akibat gempa Bucharest.

Tingkat	Simpangan	
	Dengan <i>base isolation</i>	Tanpa <i>base isolation</i>
10	0,41435	0,05221
9	0,41424	0,05153
8	0,41392	0,04961
7	0,4134	0,04654
6	0,41268	0,0424
5	0,41175	0,03729
4	0,41063	0,03131
3	0,4093	0,02451
2	0,40778	0,01694
1	0,40607	0,00868

Dari hasil grafik simpangan maksimum pada gambar 4.85 sampai dengan gambar 4.105 dan tabel 4.10 sampai dengan 4.33 maka,

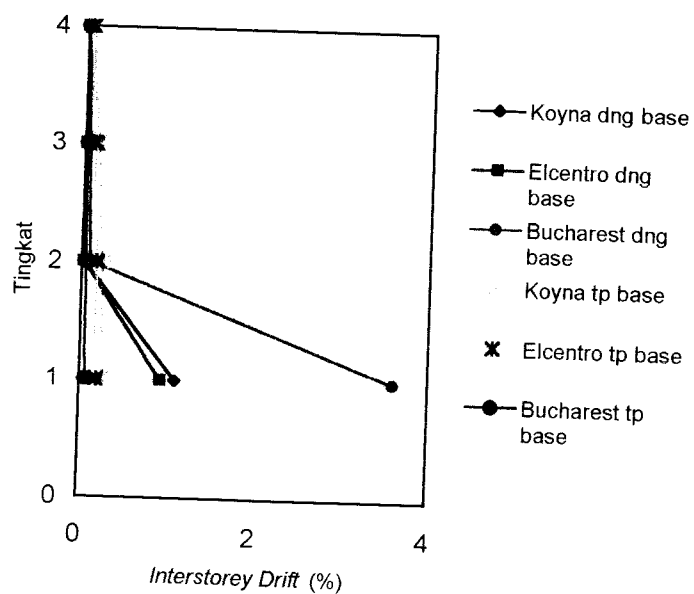
1. Simpangan maksimum tiap tingkat akan semakin besar pada tingkat yang lebih tinggi, karena pada tingkat yang lebih tinggi kekakuan struktur akan semakin kecil dan tinggi tingkat akan semakin besar sehingga simpangan yang terjadi akan semakin besar.
2. Simpangan maksimum pada struktur dengan *base isolation* dengan  $K_b$  yang sama semakin besar pada tingkat yang lebih tinggi, karena semakin tinggi tingkat kekakuan struktur akan semakin kecil sehingga bangunan akan menjadi semakin fleksibel, dan struktur yang fleksibel memiliki simpangan yang besar pula.
3. Pada struktur dengan *base isolation* simpangan maksimum terbesar terjadi pada gempa Bucharest (frekuensi rendah), hal ini menunjukkan bahwa penggunaan struktur dengan *base isolation* kurang baik pada gempa dengan frekuensi rendah karena *base isolation* berfungsi untuk memperpanjang periode getar  $T$ , sebaliknya untuk gempa Koyna (frekuensi tinggi), dan gempa Elcentro (frekuensi sedang) simpangan maksimum yang terjadi lebih kecil, sehingga struktur dengan *base isolation* sangat baik digunakan pada daerah dengan frekuensi tinggi dan sedang.
4. Sebaliknya, pada struktur tanpa *base isolation* (*fixed base*) simpangan maksimum terbesar terjadi pada gempa Koyna disebabkan gempa Koyna memiliki frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan gempa Elcentro dan gempa Bucharest.
5. Struktur dengan *base isolation* mempunyai nilai simpangan yang lebih besar dari struktur tanpa *base isolation* tetapi selisih simpangan antar tingkat pada struktur dengan *base isolation* mendekati nol sehingga struktur tidak cepat mengalami kerusakan pada saat terjadi gempa sebaliknya pada struktur tanpa *base isolation* memiliki simpangan yang lebih kecil tetapi selisih simpangan antar tingkat sangat besar sehingga struktur menjadi cepat rusak.

6. Pada struktur dengan *base isolation* semakin tinggi nilai  $K_b$  dan tingkat simpangan yang terjadi makin besar karena semakin nilai  $K_b$  mendekati kekakuan struktur tanpa *base isolation* dan semakin tinggi tingkat, struktur dengan *base isolation* akan mengalami perlakuan sama dengan struktur tanpa *base isolation*.

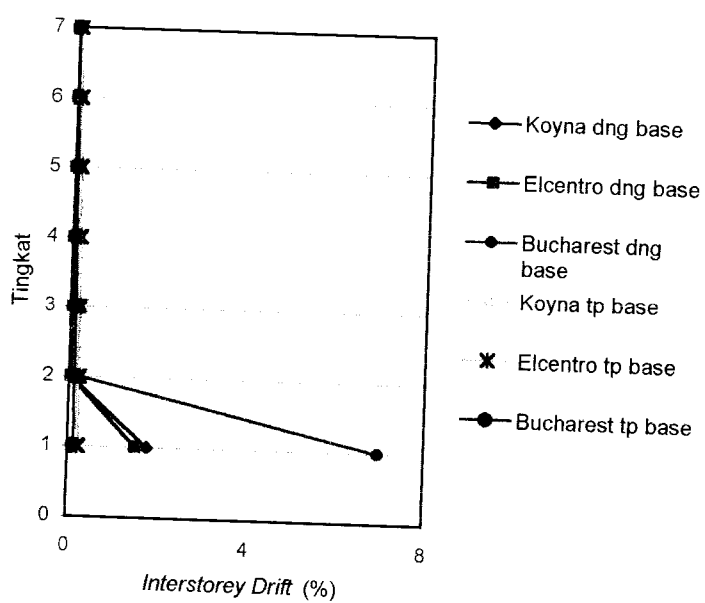


#### **4.5.3 Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*)**

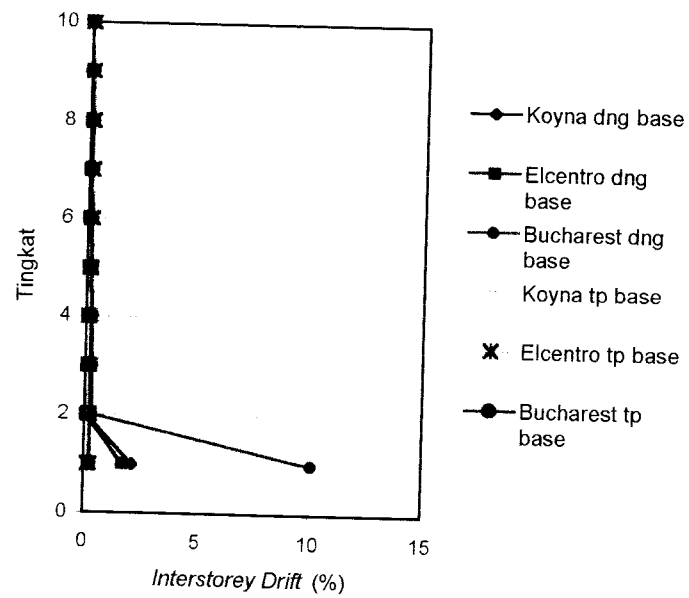
Pembahasan simpangan antar tingkat berdasarkan gambar 4.106 sampai dengan 4.144 dan tabel 4.34 sampai dengan 4.57 dengan variasi 3 gempa dan mengkombinasikan  $K_b$  minimum dan  $K_b$  maksimum.



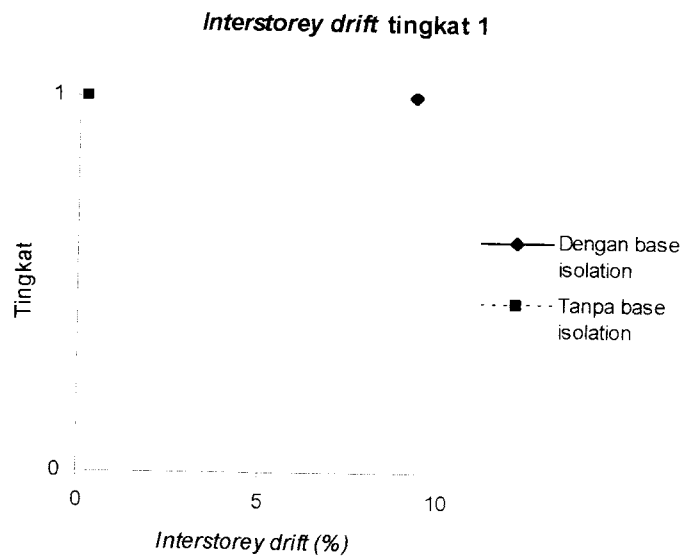
**Gambar 4.106** Grafik Perbandingan *Interstorey Drift* maksimum akibat 3 gempa struktur 4 tingkat dengan dan tanpa *base isolation*.



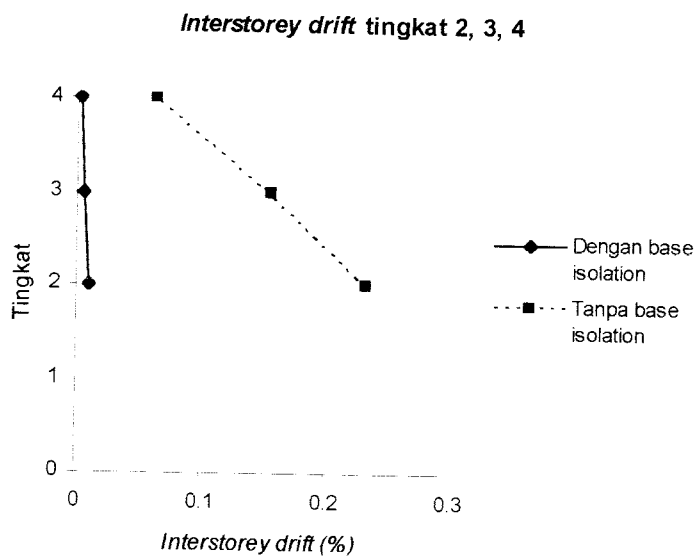
**Gambar 4.107** Grafik Perbandingan *Interstorey Drift* maksimum akibat 3 gempa struktur 7 tingkat dengan dan tanpa *base isolation*.



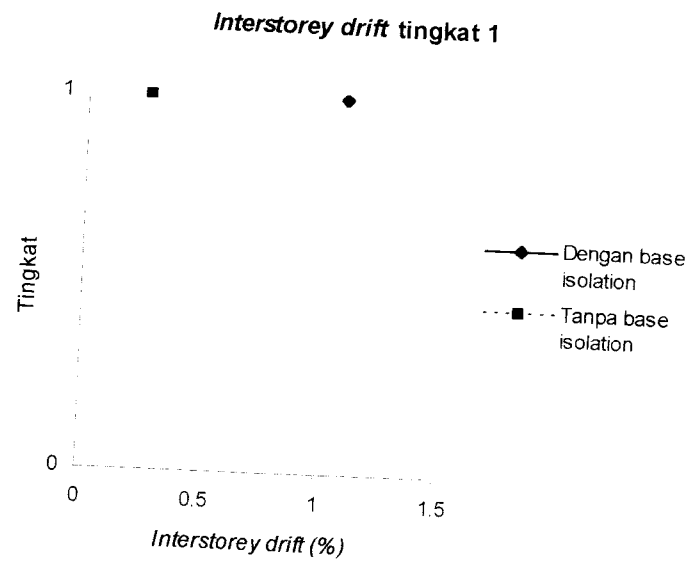
**Gambar 4.108** Grafik Perbandingan *Interstorey Drift* maksimum akibat 3 gempa struktur 10 tingkat dengan dan tanpa *base isolation*.



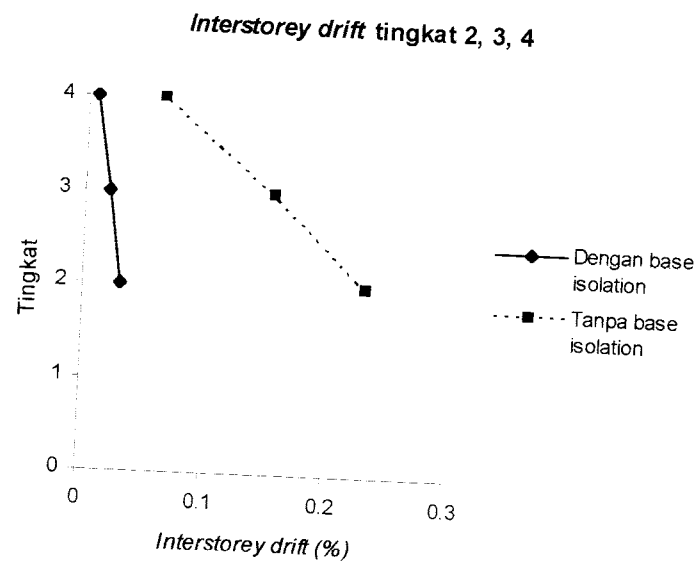
**Gambar 4.109** Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 34805,54512 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Koyna**.



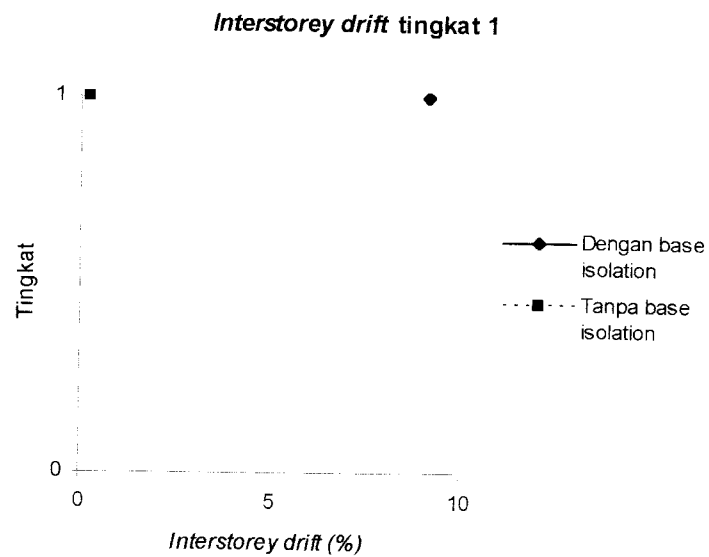
**Gambar 4.110** Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 34805,54512 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Koyna**.



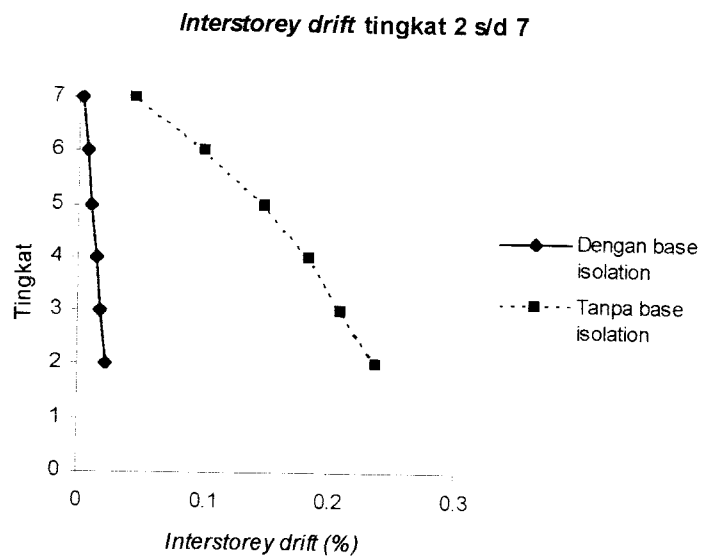
**Gambar 4.111 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 1183388,534 kg/m akibat gempa Koyna.**



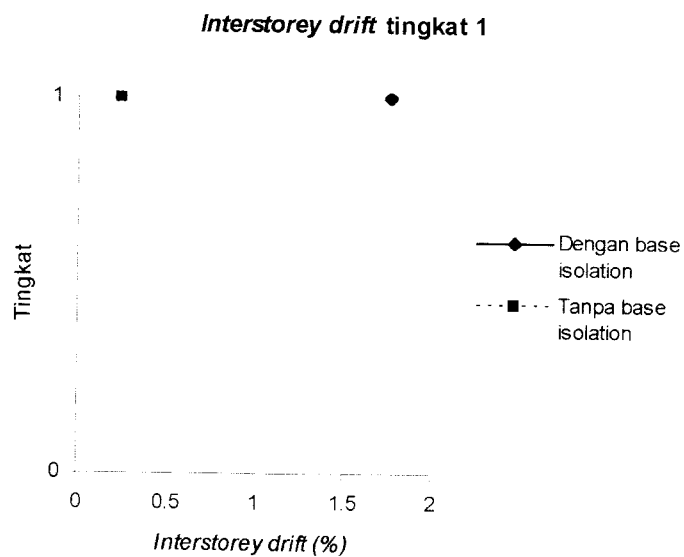
**Gambar 4.112 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 1183388,534 kg/m akibat gempa Koyna.**



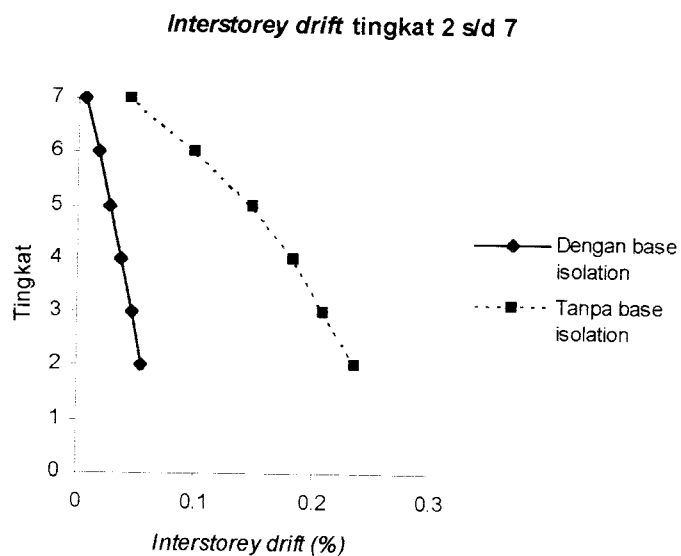
**Gambar 4.113 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Koyna**.**



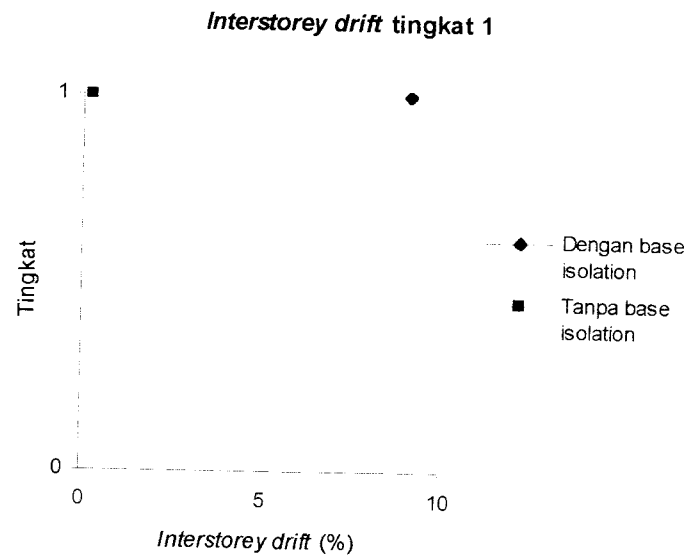
**Gambar 4.114 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Koyna**.**



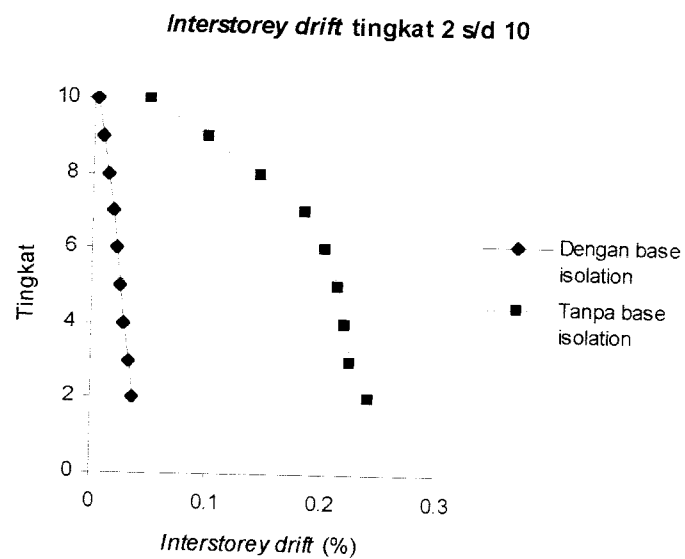
**Gambar 4.115 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa **Koyna**.**



**Gambar 4.116 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa **Koyna**.**

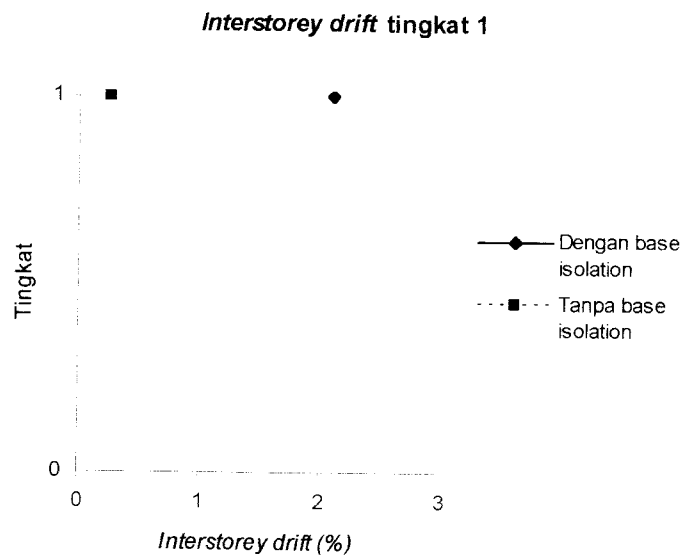


**Gambar 4.117 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 131487, 6149 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Koyna**.**

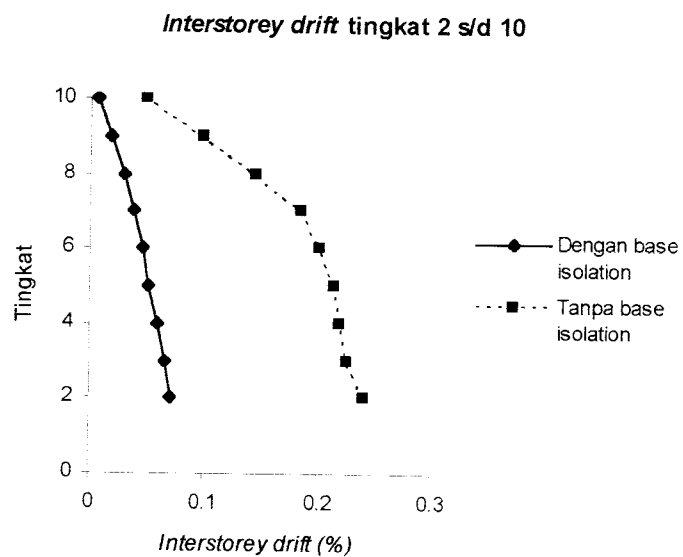


**Gambar 4.118 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 131487, 6149 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Koyna**.**

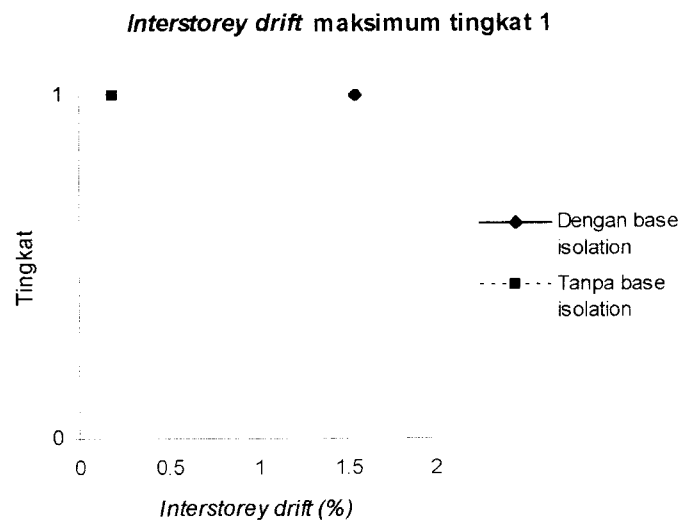




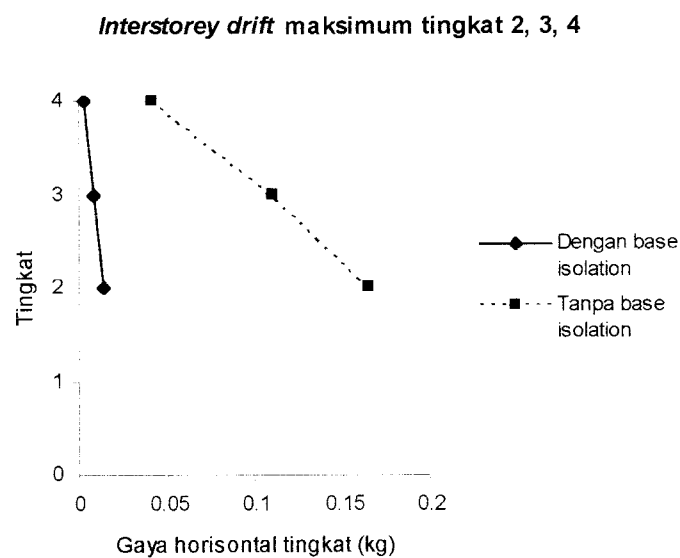
**Gambar 4.119 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa **Koyna**.**



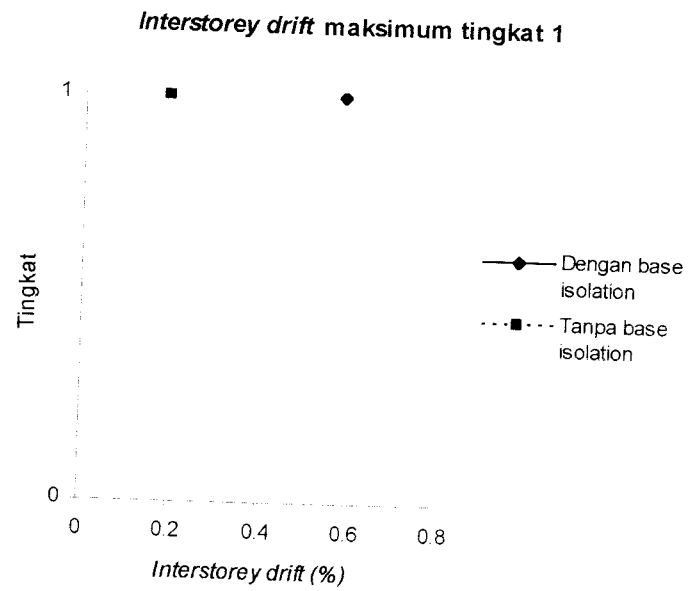
**Gambar 4.120 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa **Koyna**.**



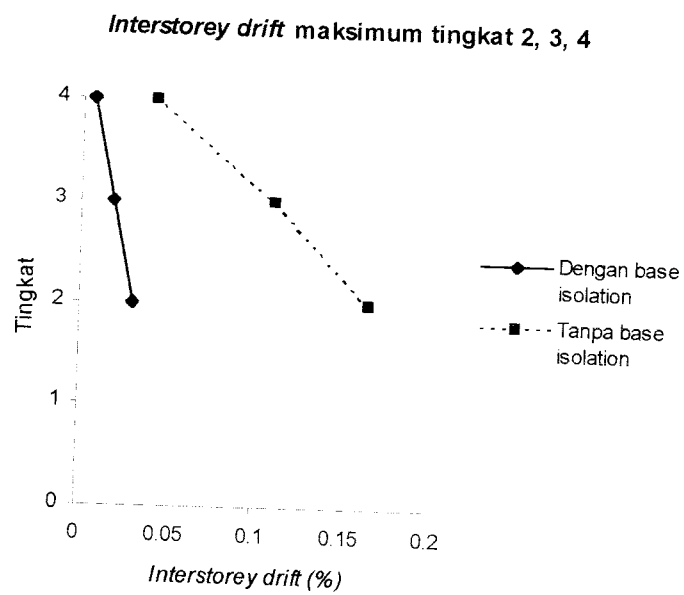
**Gambar 4.121** Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 394462, 8447 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Elcentro**.



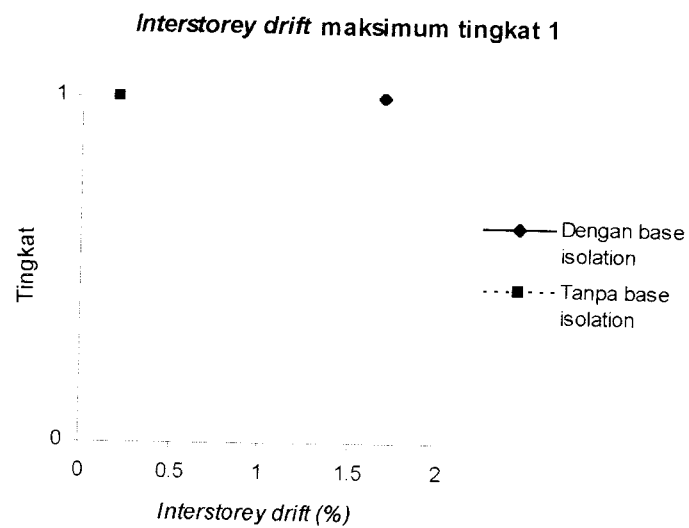
**Gambar 4.122** Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 394462, 8447 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Elcentro**.



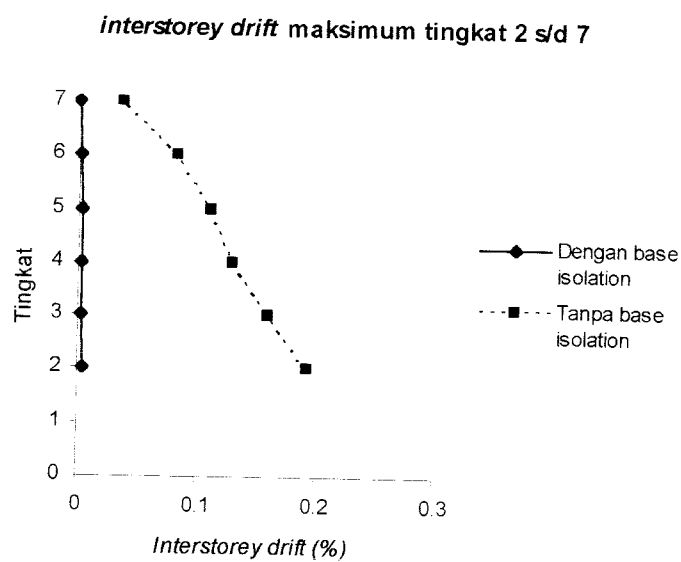
**Gambar 4.123 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 2366777, 068 kg/m akibat gempa Elcentro.**



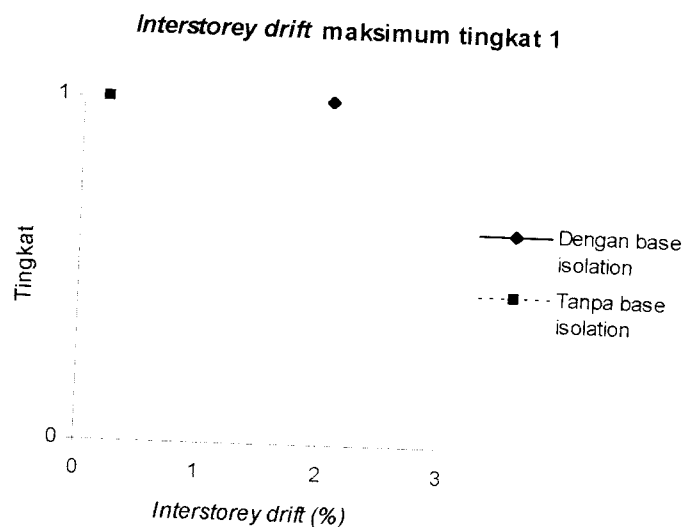
**Gambar 4.124 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 2366777, 068 kg/m akibat gempa Elcentro.**



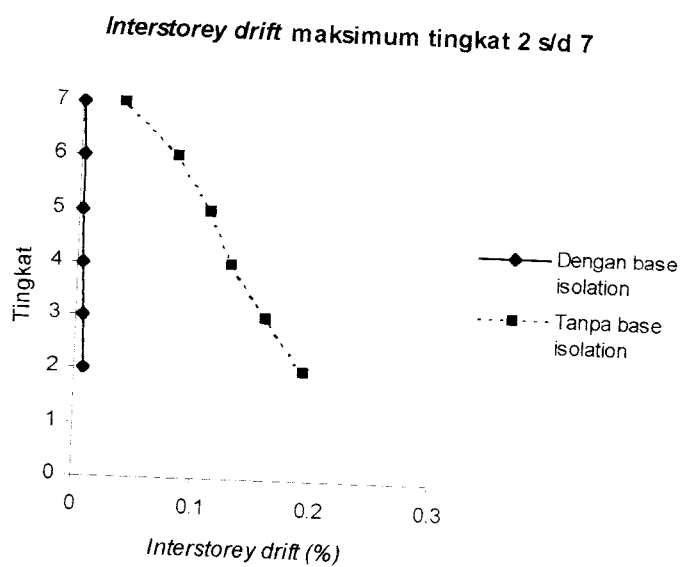
**Gambar 4.125** Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Elcentro**.



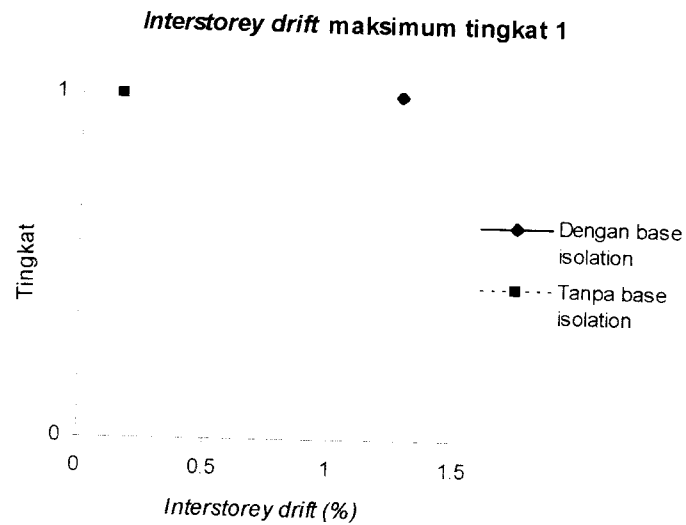
**Gambar 4.126** Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Elcentro**.



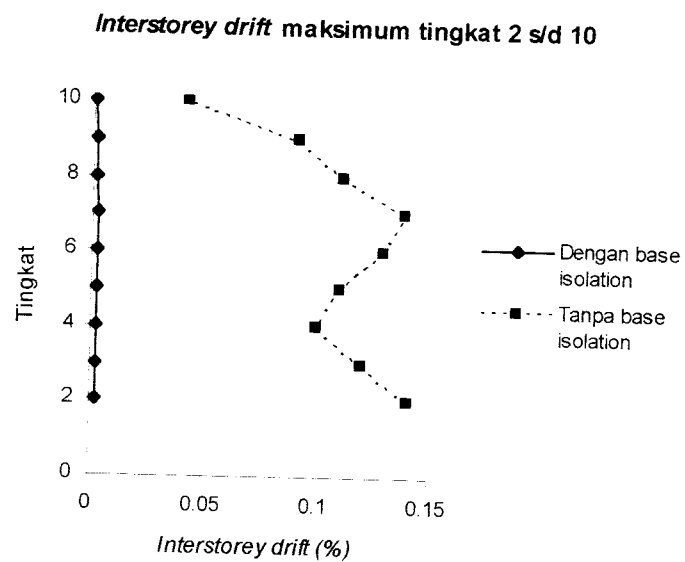
**Gambar 4.127 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 131487, 6149 kg/m akibat gempa Elcentro.**



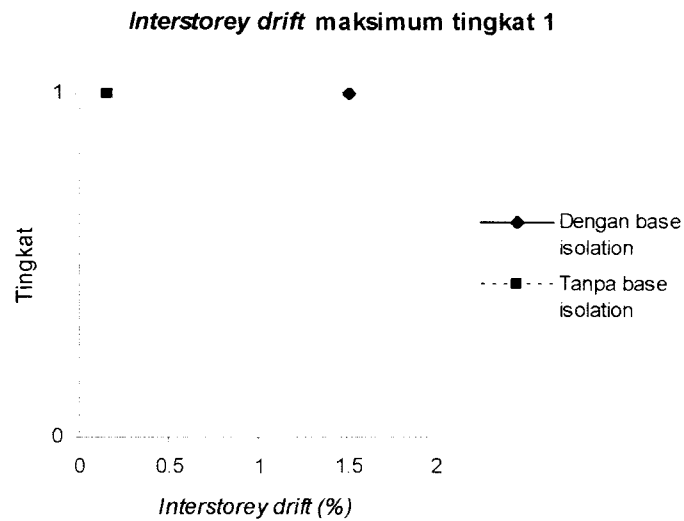
**Gambar 4.128 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 131487, 6149 kg/m akibat gempa Elcentro.**



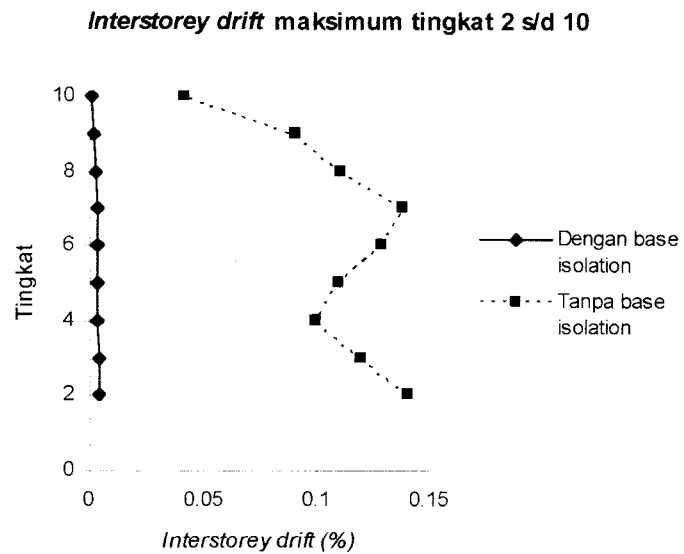
**Gambar 4.129 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 47335, 54136 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.**



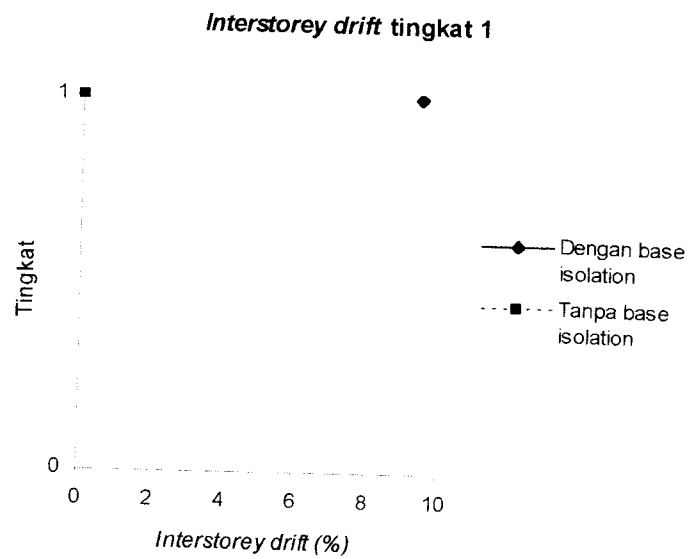
**Gambar 4.130 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 47335, 54136 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.**



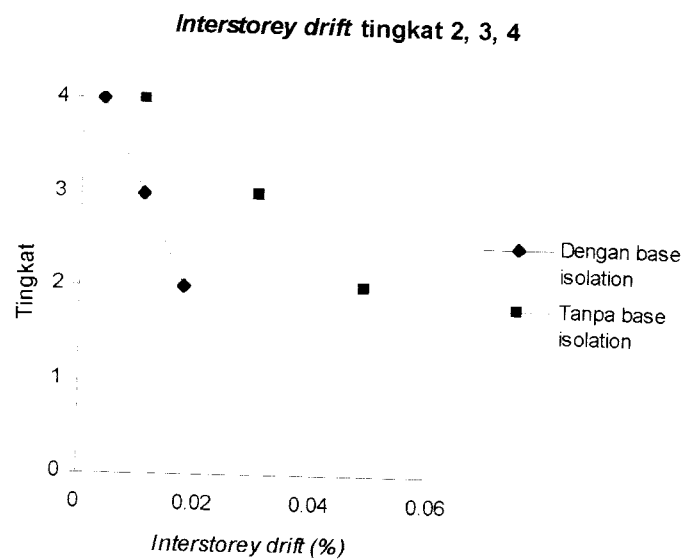
**Gambar 4.131 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro.**



**Gambar 4.132 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro.**

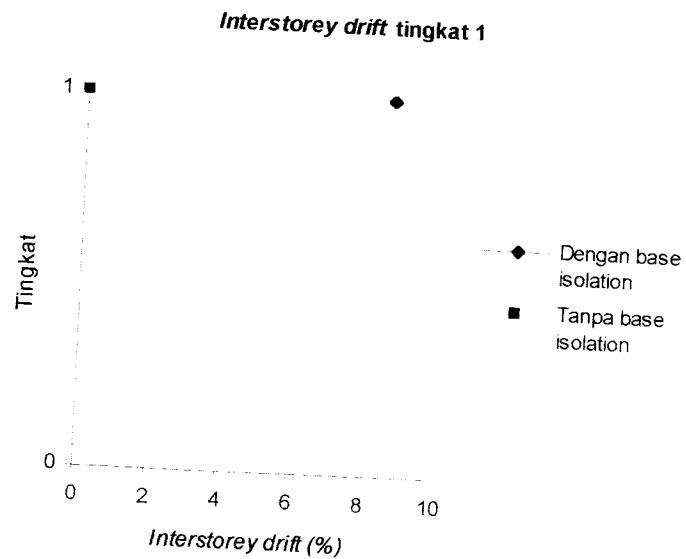


**Gambar 4.133 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  min. = 73961, 78338 kg/m akibat gempa Bucharest.**

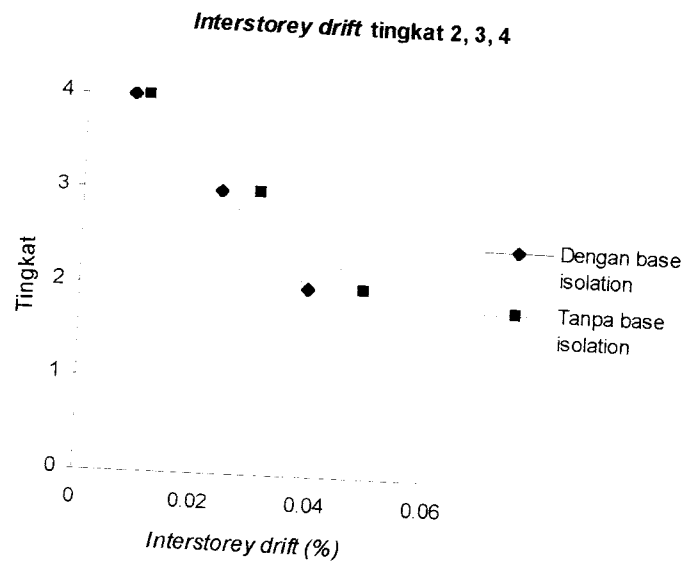


**Gambar 4.134 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  min. = 73961, 78338 kg/m akibat gempa Bucharest.**

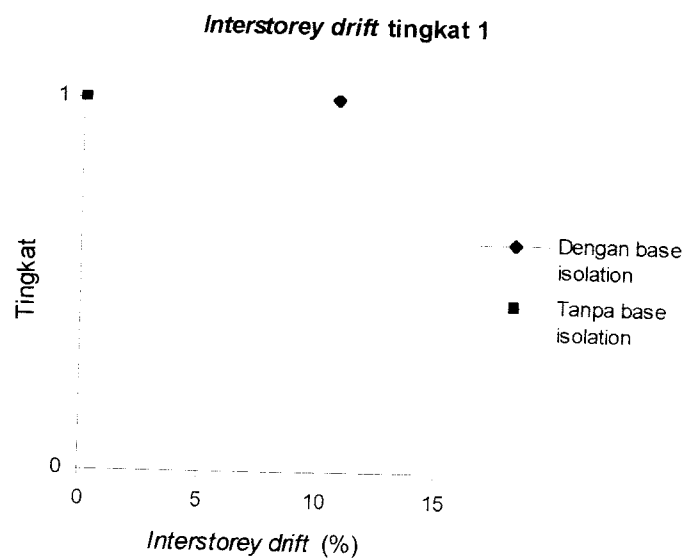




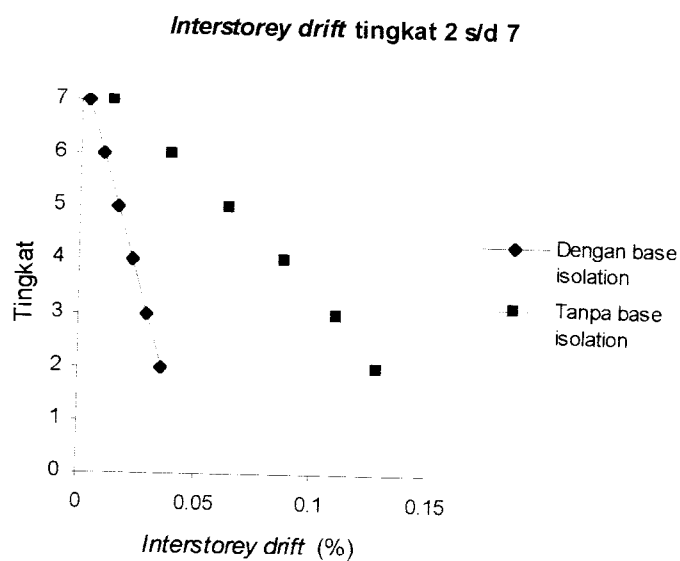
**Gambar 4.135 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 197231, 4223 kg/m akibat gempa Bucharest.**



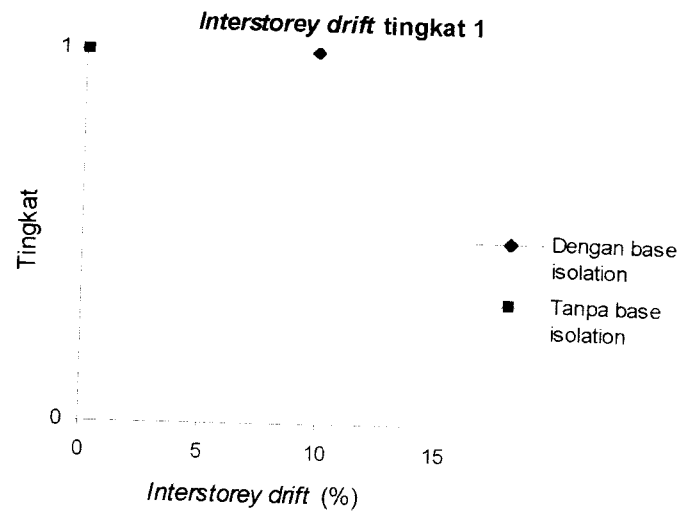
**Gambar 4.136 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 197231, 4223 kg/m akibat gempa Bucharest.**



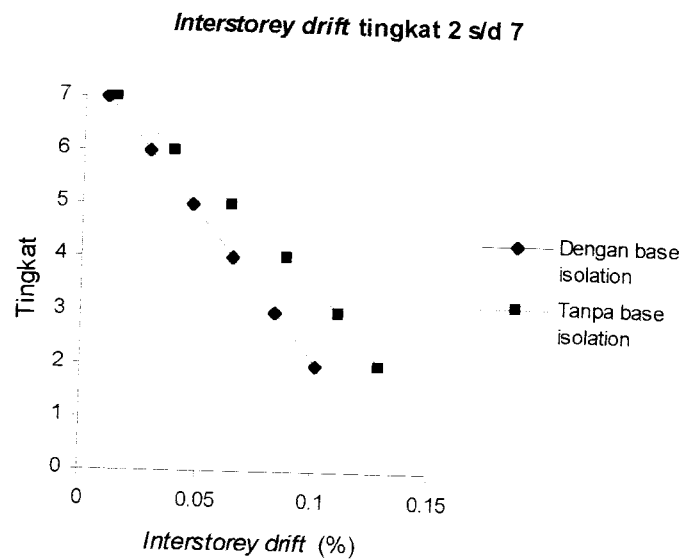
**Gambar 4.137 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 118338, 8534 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Bucharest**.**



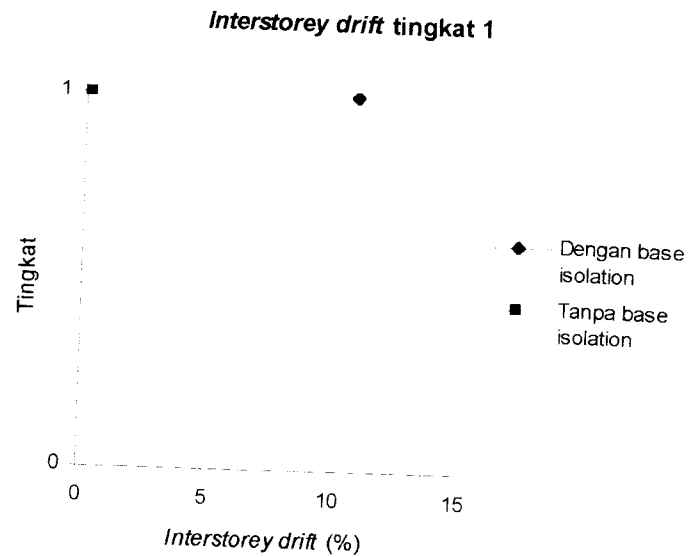
**Gambar 4.138 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 118338, 8534 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Bucharest**.**



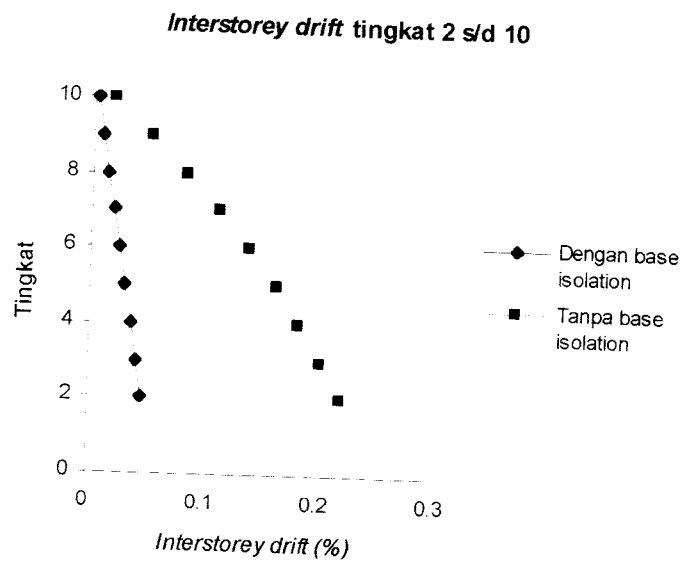
**Gambar 4.139 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest.**



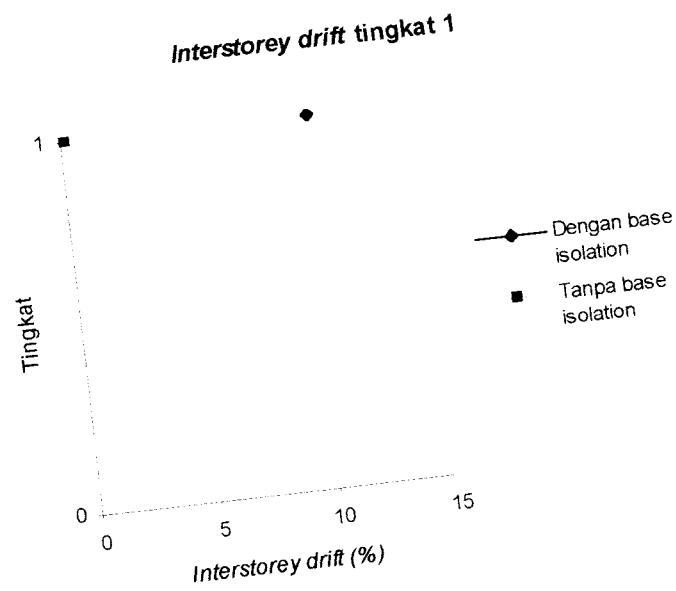
**Gambar 4.140 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest.**



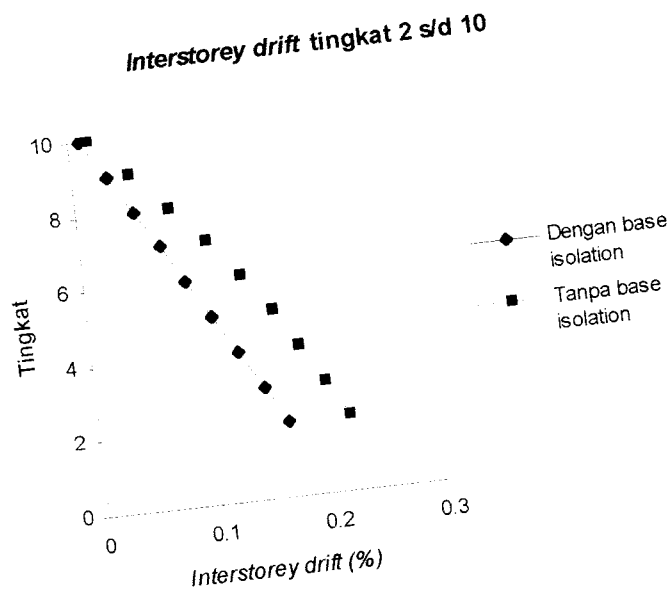
**Gambar 4.141 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 147923, 5668 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest.**



**Gambar 4.142 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 147923, 5668 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest.**



**Gambar 4.143 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 591694,267 kg/m akibat gempa Bucharest.**



**Gambar 4.144 Grafik Perbandingan Simpangan antar tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 591694,267 kg/m akibat gempa Bucharest.**

**Tabel 4.34** Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) struktur 4 tingkat dengan *base isolation*,  $K_b = 1183388,534$  kg/m akibat 3 gempa.

Tingkat	<i>Interstorey Drift (%)</i>		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
<i>Base isolation</i>	1,09191	0,92759	3,59877
1	0,0302	0,02418	0,09214
2	0,02038	0,01483	0,05594
3	0,00765	0,00518	0,01938

**Tabel 4.35** Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) struktur 4 tingkat tanpa *base isolation* akibat 3 gempa.

Tingkat	<i>Interstorey Drift (%)</i>		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
1	0,26661	0,19199	0,06573
2	0,23259	0,16601	0,04858
3	0,15585	0,1106	0,03017
4	0,06383	0,04194	0,01066

**Tabel 4.36** Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) struktur 7 tingkat dengan *base isolation*,  $K_b = 1183388$ , 534 kg/m akibat 3 gempa.

Tingkat	<i>Interstorey Drift (%)</i>		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
<i>Base isolation</i>	1,76221	1,50907	6,97427
1	0,05377	0,04833	0,21092
2	0,04622	0,04099	0,17404
3	0,03731	0,03333	0,13639
4	0,02727	0,02498	0,09815
5	0,01723	0,01566	0,05949
6	0,00615	0,00553	0,02059

**Tabel 4.37** Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) struktur 7 tingkat tanpa *base isolation* akibat 3 gempa.

Tingkat	<i>Interstorey Drift (%)</i>		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
1	0,24928	0,21109	0,14017
2	0,23799	0,19417	0,12853
3	0,21042	0,15975	0,111
4	0,18392	0,13	0,08875
5	0,14922	0,11165	0,06425
6	0,09993	0,08225	0,03901
7	0,04439	0,03679	0,01353

**Tabel 4.38** Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) struktur 10 tingkat dengan *base isolation*,  $K_b = 1183388,534$  kg/m akibat 3 gempa.

Tingkat	<i>Interstorey Drift (%)</i>		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
<i>Base isolation</i>	2,11661	1,69604	10,0733
1	0,07065	0,05504	0,32249
2	0,0657	0,04953	0,28794
3	0,05934	0,04406	0,25226
4	0,05198	0,03863	0,21554
5	0,04602	0,03292	0,17792
6	0,0387	0,0267	0,1395
7	0,02977	0,01999	0,10045
8	0,01905	0,01265	0,06092
9	0,0068	0,00452	0,02109



**Tabel 4.39** Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) struktur 10 tingkat tanpa *base isolation* akibat 3 gempa.

Tingkat	<i>Interstorey Drift (%)</i>		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
1	0,25922	0,1621	0,23156
2	0,24243	0,1407	0,2201
3	0,2268	0,1199	0,20221
4	0,22121	0,10004	0,18239
5	0,21508	0,10961	0,1624
6	0,20275	0,12956	0,13838
7	0,18584	0,13793	0,11125
8	0,14556	0,11069	0,0819
9	0,10027	0,09067	0,05122
10	0,04992	0,04153	0,01824

**Tabel 4.40** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 34805, 54512 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.

Tingkat	<i>Interstorey Drift</i>		<b>Drift Ratio (%)</b>		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan <i>base isolation</i> (X)	Tanpa <i>base isolation</i> (Y)	$B = \frac{X_n - X_{n-1}}{h}$	$NB = \frac{Y_n - Y_{n-1}}{h}$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(4/5)
4	0,00228	0,06383	-0,10827	-2,45387	0,04412
3	0,00634	0,15585	-0,096	-2,0464	0,04691
2	0,00994	0,23259	-250,0448	-0,9072	275,6226
1	9,38662	0,26661	250,30987	7,1096	35,20731

**Tabel 4.41** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388, 534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.

Tingkat	<i>Interstorey Drift</i>		<b>Drift Ratio (%)</b>		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan <i>base isolation</i> (X)	Tanpa <i>base isolation</i> (Y)	$B = \frac{X_n - X_{n-1}}{h}$	$NB = \frac{Y_n - Y_{n-1}}{h}$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(4/5)
4	0,00765	0,06383	-0,33947	-2,45387	0,13834
3	0,02038	0,15585	-0,26187	-2,0464	0,12796
2	0,0302	0,23259	-28,31227	-0,9072	31,2084
1	1,09191	0,26661	29,1176	7,1096	4,09553

**Tabel 4.42** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.

Tingkat	<i>Interstorey Drift</i>		<i>Drift Ratio (%)</i>		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (X)	Tanpa base isolation (Y)	$B = \frac{X_n - X_{n-1}}{h}$	$NB = \frac{Y_n - Y_{n-1}}{h}$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(4/5)
7	0,00258	0,04439	-0,12293	-1,48107	0,08300
6	0,00719	0,09993	-0,10827	-1,3144	0,08237
5	0,01125	0,14922	-0,09973	-0,92533	0,10779
4	0,01499	0,18392	-0,09547	-0,70667	0,13509
3	0,01857	0,21042	-0,08747	-0,7352	0,11897
2	0,02185	0,23799	-244,1112	-0,30107	810,8211
1	9,17602	0,24928	244,69387	6,64747	36,81009

**Tabel 4.43** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388, 534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.

Tingkat	<i>Interstorey Drift</i>		<i>Drift Ratio (%)</i>		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (X)	Tanpa base isolation (Y)	$B = \frac{X_n - X_{n-1}}{h}$	$NB = \frac{Y_n - Y_{n-1}}{h}$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(4/5)
7	0,00615	0,04439	-0,29547	-1,48107	0,1995
6	0,01723	0,09993	-0,26773	-1,3144	0,2037
5	0,02727	0,14922	-0,26773	-0,92533	0,28934
4	0,03731	0,18392	-0,2376	-0,7067	0,33623
3	0,04622	0,21042	-0,20133	-0,7352	0,2738
2	0,05377	0,23799	-45,5584	-0,30107	151,3233
1	1,76221	0,24928	46,99227	6,64747	7,06919

**Tabel 4.44** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 131487,6149 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.

Tingkat	<i>Interstorey Drift</i>		<b>Drift Ratio (%)</b>		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (X)	Tanpa base isolation (Y)	$B = \frac{X_n - X_{n-1}}{h}$	$NB = \frac{Y_n - Y_{n-1}}{h}$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(4/5)
10	0,00278	0,04992	-0,13653	-1,3427	0,10169
9	0,0079	0,10027	-0,1293	-1,20773	0,107088
8	0,01275	0,14556	-0,1213	-1,07413	0,11296
7	0,0173	0,18584	-0,108	-0,45093	0,23950
6	0,02135	0,20275	-0,0888	-0,3288	0,27007
5	0,02468	0,21508	-0,084	-0,16347	0,51387
4	0,02783	0,22121	-0,11147	-0,14907	0,74776
3	0,03201	0,2268	-0,11013	-0,4168	0,26424
2	0,03614	0,24243	-242,23173	-0,44773	541,01787
1	9,11983	0,25922	243,19547	6,91253	35,181815

**Tabel 4.45** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa Koyna.

Tingkat	<i>Interstorey Drift</i>		<b>Drift Ratio (%)</b>		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (X)	Tanpa base isolation (Y)	$B = \frac{X_n - X_{n-1}}{h}$	$NB = \frac{Y_n - Y_{n-1}}{h}$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(4/5)
10	0,0068	0,04992	-0,32667	-1,34267	0,24329
9	0,01905	0,10027	-0,28587	-1,20773	0,23669
8	0,02977	0,14556	-0,23813	-1,07413	0,22169
7	0,0387	0,18584	-0,1952	-0,45093	0,43288
6	0,04602	0,20275	-0,15893	-0,3288	0,48337
5	0,05198	0,21508	-0,19627	-0,16347	1,20065
4	0,05934	0,22121	-0,1696	-0,14907	1,13775
3	0,0657	0,2268	-0,1320	-0,4168	0,31669
2	0,07065	0,24243	-54,55893	-0,44773	121,8559
1	2,11661	0,25922	56,44293	6,91253	8,16530

**Tabel 4.46** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 394462,8447 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.

Tingkat	<i>Interstorey Drift</i>		<b>Drift Ratio (%)</b>		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (X)	Tanpa base isolation (Y)	$B = \frac{X_n - X_{n-1}}{h}$	$NB = \frac{Y_n - Y_{n-1}}{h}$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(4/5)
4	0,0032	0,04194	-0,1544	-1,83093	0,08433
3	0,00899	0,1106	-0,14347	-1,4776	0,0971
2	0,01437	0,16601	-41,1736	-0,6928	59,43072
1	1,55838	0,19199	41,5568	5,11973	8,11698

**Tabel 4.47** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 2366777,068 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.

Tingkat	<i>Interstorey Drift</i>		<b>Drift Ratio (%)</b>		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (X)	Tanpa base isolation (Y)	$B = \frac{X_n - X_{n-1}}{h}$	$NB = \frac{Y_n - Y_{n-1}}{h}$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(4/5)
4	0,0064	0,04194	-0,3224	-1,83093	0,17609
3	0,01849	0,1106	-0,31787	-1,4776	0,21512
2	0,03041	0,16601	-14,71413	-0,6928	21,23865
1	0,58219	0,19199	15,52507	5,11973	3,03239

**Tabel 4.48** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.

Tingkat	<i>Interstorey Drift</i>		<i>Drift Ratio (%)</i>		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (X)	Tanpa base isolation (Y)	$B = \frac{X_n - X_{n-1}}{h}$	$NB = \frac{Y_n - Y_{n-1}}{h}$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(4/5)
7	0,00062	0,03679	-0,02853	-1,21227	0,02354
6	0,00169	0,08225	-0,02347	-0,784	0,0299
5	0,00257	0,11165	-0,016	-0,48933	0,03269
4	0,00317	0,13	-0,0112	-0,79333	0,01412
3	0,00359	0,15975	-0,01627	-0,91787	0,017722
2	0,0042	0,19417	-45,05013	-0,4512	99,84515
1	1,69358	0,21109	45,16213	5,62907	8,02302

**Tabel 4.49** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 131487, 6149 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.

Tingkat	<i>Interstorey Drift</i>		<i>Drift Ratio (%)</i>		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (X)	Tanpa base isolation (Y)	$B = \frac{X_n - X_{n-1}}{h}$	$NB = \frac{Y_n - Y_{n-1}}{h}$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(4/5)
7	0,00087	0,03679	-0,04267	-1,21227	0,03519
6	0,00247	0,08225	-0,03893	-0,7840	0,04966
5	0,00393	0,11165	-0,03467	-0,48933	0,07084
4	0,00523	0,13	-0,03253	-0,79333	0,04101
3	0,00645	0,15975	-0,03173	-0,91787	0,03457
2	0,00764	0,19417	-54,9696	-0,4512	121,8298
1	2,069	0,21109	55,1733	5,62907	9,8015

**Tabel 4.50** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 47335,54136 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.

Tingkat	<i>Interstorey Drift</i>		Drift Ratio (%)		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (X)	Tanpa base isolation (Y)	$B = \frac{X_n - X_{n-1}}{h}$	$NB = \frac{Y_n - Y_{n-1}}{h}$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(4/5)
10	0,00049	0,04153	-0,02293	-1,3104	0,01750
9	0,00135	0,09067	-0,01813	-0,53387	0,03397
8	0,00203	0,11069	-0,01147	-0,7264	0,01579
7	0,00246	0,13793	0,00453	0,2232	0,02031
6	0,00263	0,12956	0,00053	0,532	0,0010
5	0,00261	0,10961	0,00027	0,2552	0,00105
4	0,00262	0,10004	-0,00507	-0,5296	0,00957
3	0,00280	0,1199	0,00027	-0,55467	0,00048
2	0,00281	0,1407	-33,9968	-0,57067	59,57383
1	1,27769	0,1621	34,07173	4,32267	7,8821



**Tabel 4.51** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 788892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro.

Tingkat	<i>Interstorey Drift</i>		<i>Drift Ratio (%)</i>		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (X)	Tanpa base isolation (Y)	$B = \frac{X_n - X_{n-1}}{h}$	$NB = \frac{Y_n - Y_{n-1}}{h}$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(4/5)
10	0,00066	0,04153	-0,030933333	-1,3104	0,02360602
9	0,00182	0,09067	-0,024266667	-0,533866667	0,04545455
8	0,00273	0,11069	-0,015466667	-0,7264	0,02129222
7	0,00331	0,13793	0,0072	0,2232	0,0322581
6	0,00359	0,12956	0,00002667	0,532	0,0005013
5	0,00358	0,10961	0,002666667	0,2552	0,0104493
4	0,00368	0,10004	-0,00693	-0,5296	0,01309
3	0,00394	0,1199	-0,00133	-0,55467	0,00240
2	0,00399	0,1407	-40,11307	-0,57067	70,29159
1	1,50823	0,1621	40,21947	4,32267	9,30431

**Tabel 4.52** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 73961, 78338 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest.

Tingkat	<i>Interstorey Drift</i>		<b>Drift Ratio (%)</b>		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (X)	Tanpa base isolation (Y)	$B = \frac{X_n - X_{n-1}}{h}$	$NB = \frac{Y_n - Y_{n-1}}{h}$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(4/5)
4	0,00369	0,01066	-0,1864	-0,52027	0,35828
3	0,01068	0,03017	-0,18533	-0,49093	0,37751
2	0,01763	0,04858	-252,1160	-0,45733	551,27405
1	9,47198	0,06573	252,58613	1,7528	144,10437

**Tabel 4.53** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 197231, 4223 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest.

Tingkat	<i>Interstorey Drift</i>		<b>Drift Ratio (%)</b>		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (X)	Tanpa base isolation (Y)	$B = \frac{X_n - X_{n-1}}{h}$	$NB = \frac{Y_n - Y_{n-1}}{h}$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(4/5)
4	0,00819	0,01066	-0,41307	-0,52027	0,79395
3	0,02368	0,03017	-0,41093	-0,490933333	0,83704
2	0,03909	0,04858	-229,1560	-0,45733	501,0699
1	8,63244	0,06573	230,1984	1,7528	131,3318

**Tabel 4.54** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  min. = 118338, 8534 kg/m akibat gempa Bucharest.

Tingkat	<i>Interstorey Drift</i>		<i>Drift Ratio (%)</i>		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (X)	Tanpa base isolation (Y)	$B = \frac{X_n - X_{n-1}}{h}$	$NB = \frac{Y_n - Y_{n-1}}{h}$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(4/5)
7	0,00347	0,01353	-0,1752	-0,67947	0,25785
6	0,01004	0,03901	-0,17467	-0,67307	0,25951
5	0,01659	0,06425	-0,17387	-0,65333	0,26612
4	0,02311	0,08875	-0,17253	-0,59333	0,29079
3	0,02958	0,111	-0,1712	-0,46747	0,36623
2	0,036	0,12853	-287,26933	-0,3104	925,48109
1	10,8086	0,14017	288,22933	3,73787	77,11065

**Tabel 4.55** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest.

Tingkat	<i>Interstorey Drift</i>		<i>Drift Ratio (%)</i>		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (X)	Tanpa base isolation (Y)	$B = \frac{X_n - X_{n-1}}{h}$	$NB = \frac{Y_n - Y_{n-1}}{h}$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(4/5)
7	0,00982	0,01353	-0,49493	-0,67947	0,72841
6	0,02838	0,03901	-0,49307	-0,67307	0,73257
5	0,04687	0,06425	-0,4896	-0,65333	0,74938
4	0,06523	0,08875	-0,48533	-0,59333	0,81797
3	0,08343	0,111	-0,47973	-0,46747	1,02624
2	0,10142	0,12853	-250,3184	-0,3104	838,65464
1	9,86336	0,14017	263,0229	3,73787	70,36713

**Tabel 4.56** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 147923, 5668 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest.

Tingkat	<i>Interstorey Drift</i>		<i>Drift Ratio (%)</i>		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (X)	Tanpa base isolation (Y)	$B = \frac{X_n - X_{n-1}}{h}$	$NB = \frac{Y_n - Y_{n-1}}{h}$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(4/5)
10	0,00292	0,01824	-0,14693	-0,87947	0,16707
9	0,00843	0,05122	-0,1464	-0,81813	0,17894
8	0,01392	0,0819	-0,14587	-0,78267	0,18637
7	0,01939	0,11125	-0,1448	-0,723467	0,20015
6	0,02482	0,13838	-0,14427	-0,64053	0,22523
5	0,03023	0,1624	-0,1432	-0,533067	0,26863
4	0,0356	0,18239	-0,14213	-0,52853	0,26892
3	0,04093	0,20221	-0,14133	-0,477067	0,2962
2	0,04623	0,2201	-287,5272	-0,3056	940,86126
1	10,8285	0,23156	288,76	6,17493	46,76326

**Tabel 4.57** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest.

Tingkat	<i>Interstorey Drift</i>		Drift Ratio (%)		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (X)	Tanpa base isolation (Y)	$B = \frac{X_n - X_{n-1}}{h}$	$NB = \frac{Y_n - Y_{n-1}}{h}$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(4/5)
10	0,01051	0,01824	-0,5296	-0,87947	0,60218
9	0,03037	0,05122	-0,52693	-0,81813	0,6441
8	0,05013	0,0819	-0,52373	-0,782667	0,6692
7	0,06977	0,11125	-0,520267	-0,723467	0,7191
6	0,08928	0,13838	-0,5173	-0,64053	0,8076
5	0,10868	0,1624	-0,5144	-0,533067	0,9649
4	0,12797	0,18239	-0,509867	-0,52853	0,9647
3	0,14709	0,20221	-0,503467	-0,477067	1,05534
2	0,16597	0,2201	-271,08347	-0,3056	887,053229
1	10,3316	0,23156	275,50933	6,17493	44,61738

Dari hasil grafik simpangan antar tingkat maksimum pada gambar 4.106 sampai dengan gambar 4.144 dan tabel 4.34 sampai dengan 4.57 maka,

1. Simpangan antar tingkat (*interstorey drift*) akan bertambah besar sesuai dengan penurunan kekakuan yang terjadi, serta pada kekakuan yang sama simpangan antar tingkat akan mengalami penurunan pada tingkat yang lebih tinggi, karena nilai simpangan antar tingkat berbanding terbalik dengan dengan nilai kekakuan tingkat.
2. Simpangan antar tingkat pada struktur dengan *base isolation* nilai terbesar terjadi pada lantai 1, karena lantai 1 merupakan letak *base isolation* sehingga digunakan kekakuan *base isolation* ( $K_b$ ) yang relatif kecil dibandingkan dengan struktur di atasnya. Hal ini merupakan manfaat tersendiri untuk struktur karena struktur di atas *base isolation* terjadi simpangan antar tingkat yang relatif kecil dan sesuai dengan fungsi dari *base isolation* untuk mengurangi adanya simpangan antar tingkat pada struktur yang ditopang di atasnya.
3. Simpangan antar tingkat pada struktur dengan *base isolation* dengan  $K_b$  yang sama akan semakin kecil pada tingkat yang lebih tinggi, karena semakin tinggi tingkat kekakuan struktur akan semakin besar sehingga nilai simpangan antar tingkat akan semakin kecil.
4. Pada struktur dengan *base isolation* simpangan antar tingkat maksimum terbesar terjadi pada gempa Bucharest (frekuensi rendah), hal ini menunjukkan bahwa penggunaan struktur dengan *base isolation* kurang baik pada gempa dengan frekuensi rendah karena *base isolation* berfungsi untuk memperpanjang periode getar  $T$ , sebaliknya untuk gempa Koyna (frekuensi tinggi), dan gempa Elcentro (frekuensi sedang) simpangan antar tingkat maksimum yang terjadi lebih kecil, sehingga struktur dengan *base isolation* sangat baik digunakan pada daerah dengan frekuensi tinggi dan sedang.
5. Sebaliknya, pada struktur tanpa *base isolation* (*fixed base*) simpangan antar tingkat maksimum terbesar terjadi pada gempa Koyna disebabkan

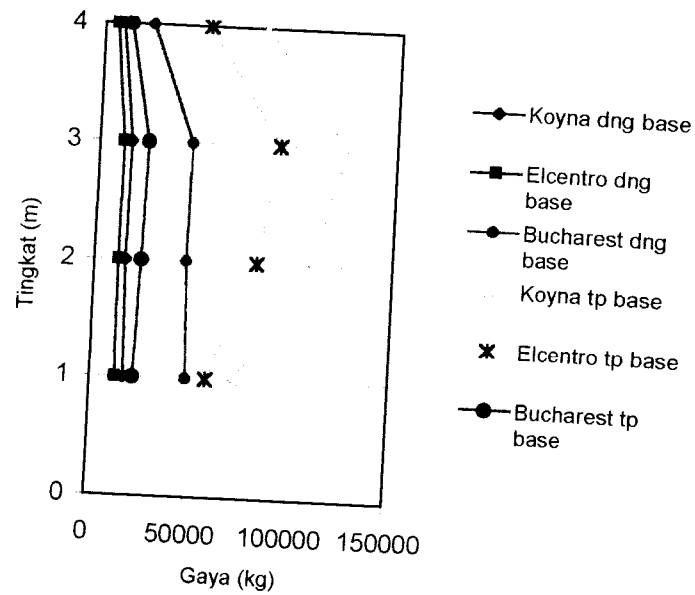
gempa Koyna memiliki frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan gempa Elcentro dan gempa Bucharest.

6. Pada struktur dengan *base isolation* semakin tinggi nilai  $K_b$  dan tingkat, simpangan antar tingkat yang terjadi makin kecil karena semakin nilai  $K_b$  mendekati kekakuan struktur tanpa *base isolation* dan semakin tinggi tingkat, struktur dengan *base isolation* akan mengalami perlakuan sama dengan struktur tanpa *base isolation*. Hal ini menimbulkan kerugian pada struktur yang ditopang *base isolation* tersebut, karena akan mengalami simpangan antar tingkat yang besar yang sifatnya sama dengan struktur tanpa *base isolation*.

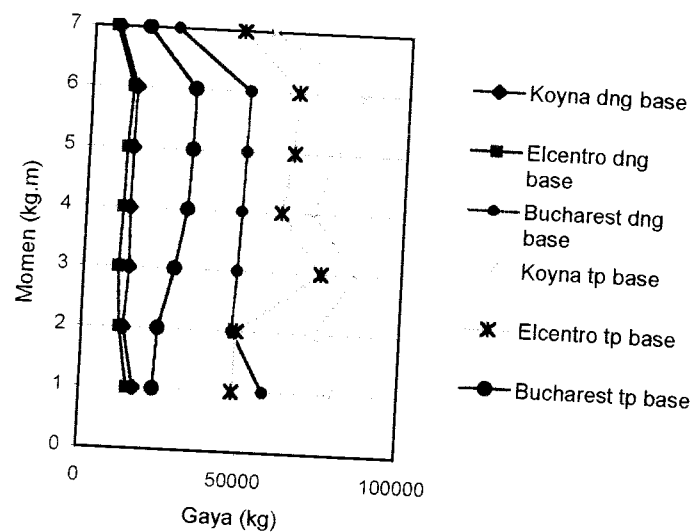
#### **4.5.4 Gaya Horizontal Tingkat**

Pembahasan gaya horizontal tingkat berdasarkan gambar 4.145 sampai dengan 4.165 dan tabel 4.58 sampai dengan 4.81

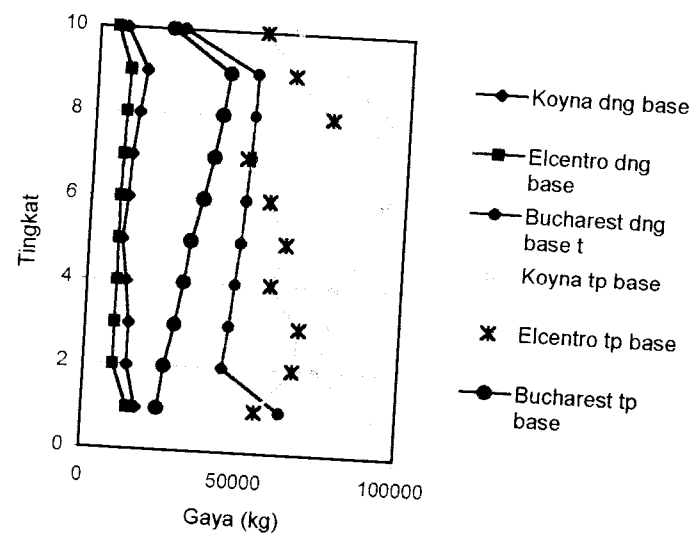




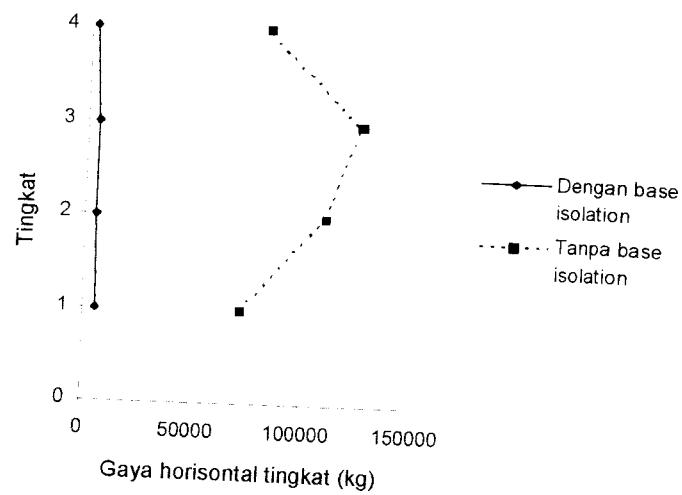
**Gambar 4.145 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat maksimum**  
akibat 3 gempa struktur 4 tingkat dengan dan tanpa *base isolation*.



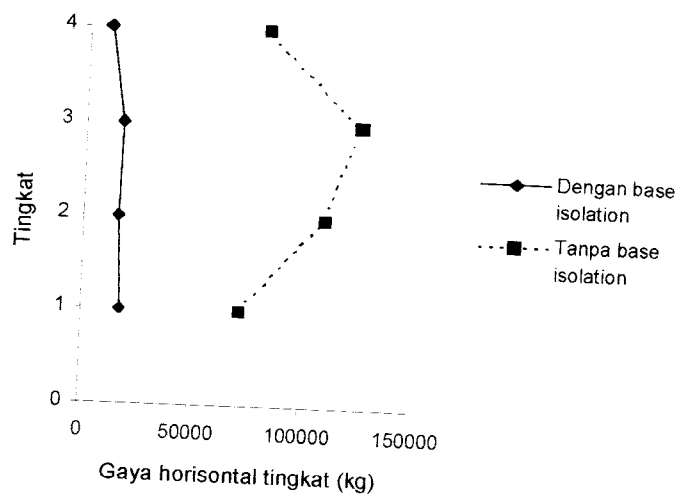
**Gambar 4.146 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat maksimum**  
akibat 3 gempa struktur 7 tingkat dengan dan tanpa *base isolation*.



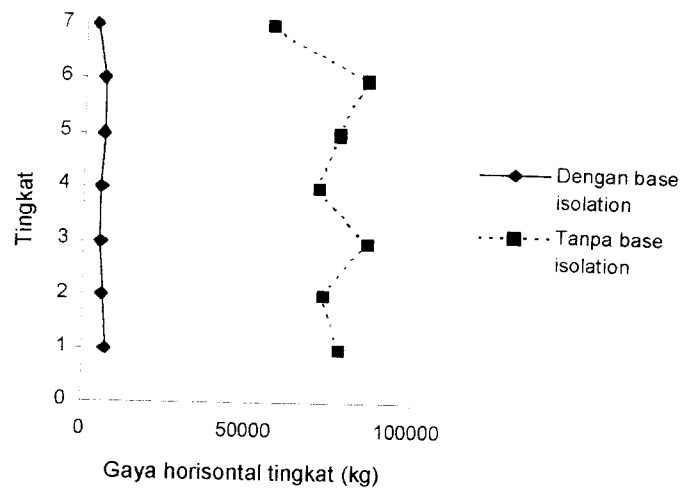
**Gambar 4.147 Grafik Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat maksimum**  
akibat 3 gempa struktur 10 tingkat dengan dan tanpa *base isolation*



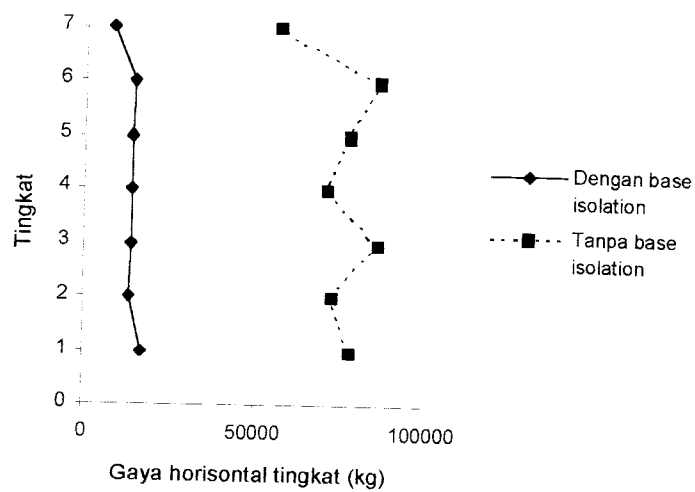
**Gambar 4.148 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 34805, 54512 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.**



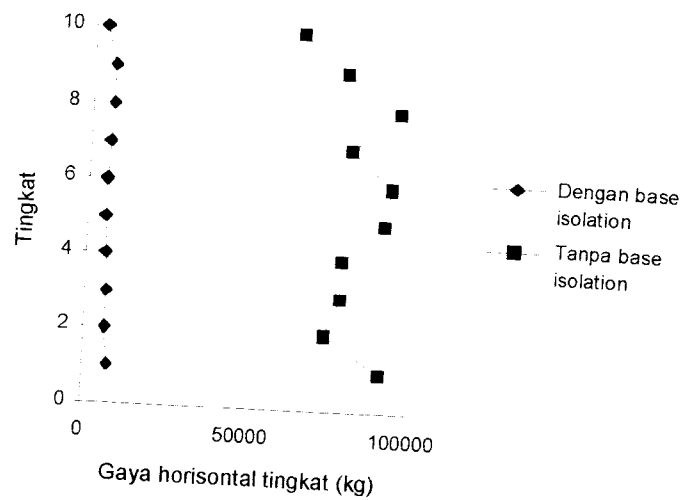
**Gambar 4.149 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388, 534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.**



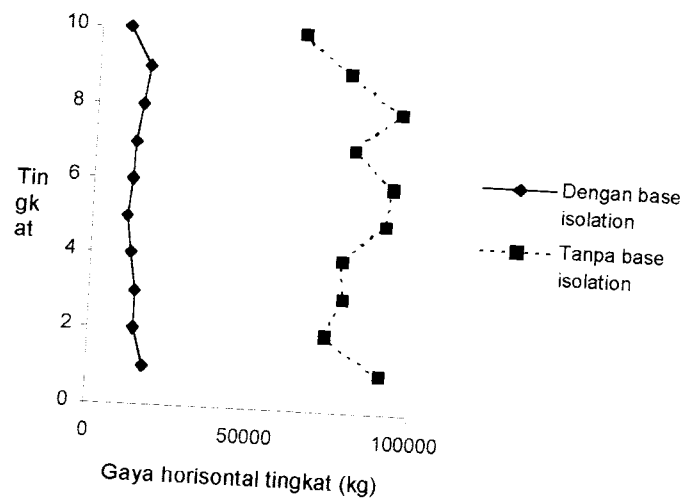
**Gambar 4.150 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  min. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Koyna.**



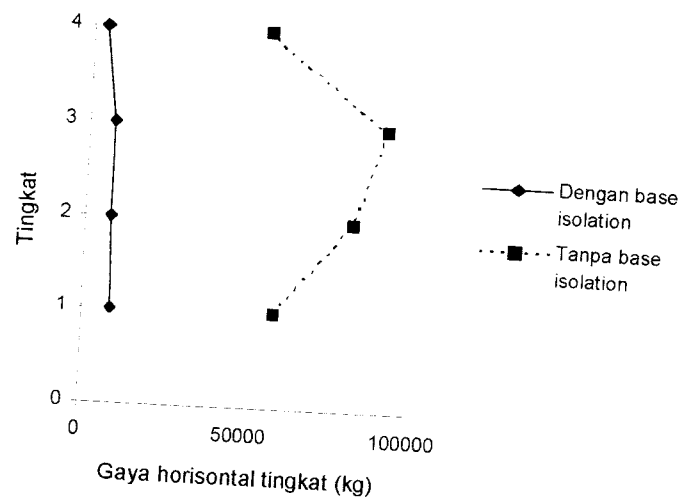
**Gambar 4.151 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 118338, 534 kg/m akibat gempa Koyna.**



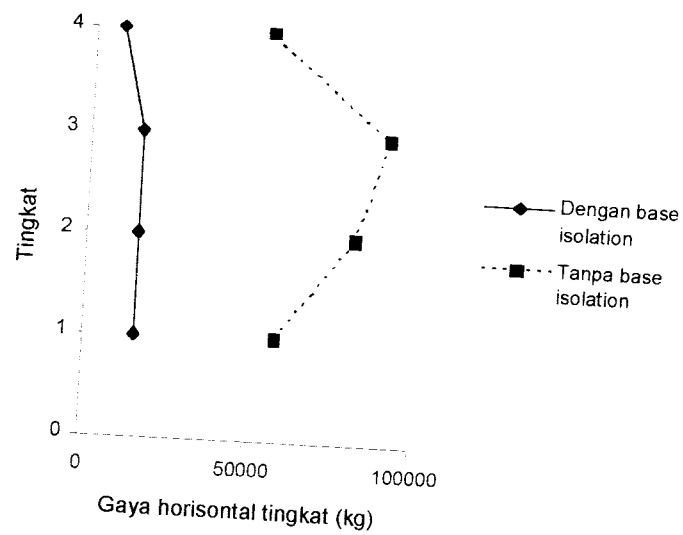
**Gambar 4.152 Grafik Perbandingan Gaya horisontal tingkat maksimum**  
struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 131487,6149 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Koyna**.



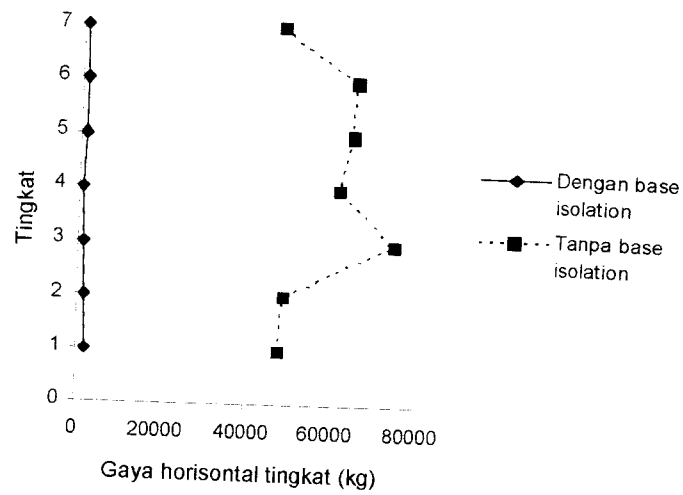
**Gambar 4.153 Grafik Perbandingan Gaya horisontal tingkat maksimum**  
struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388,534 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Koyna**.



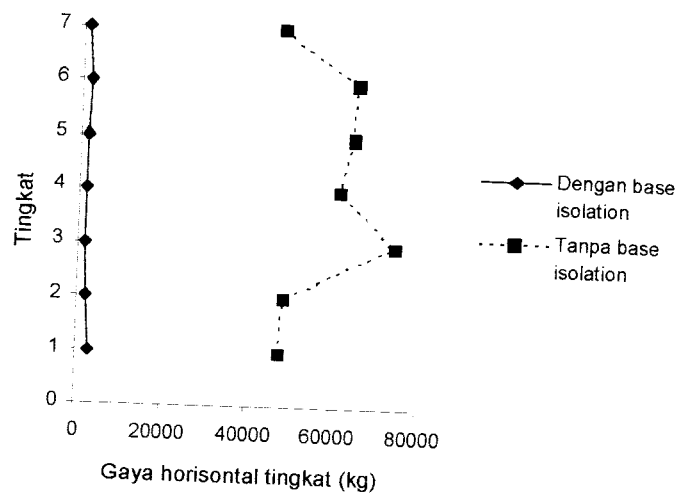
**Gambar 4.154 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat maksimum** struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 394462, 8447 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Elcentro**.



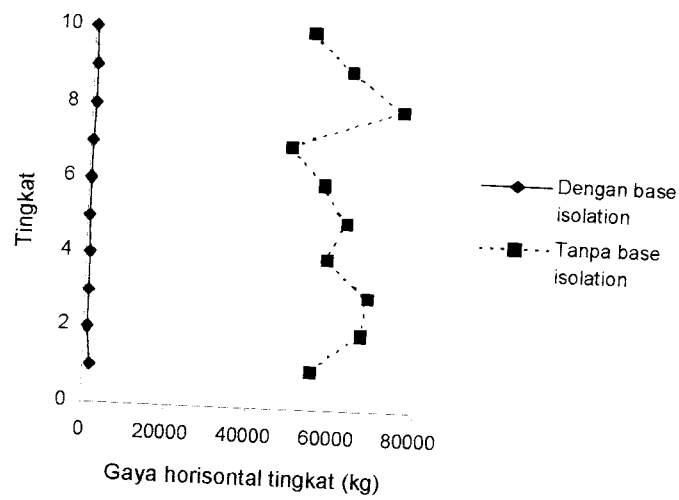
**Gambar 4.155 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat maksimum** struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 2366777, 068 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Elcentro**.



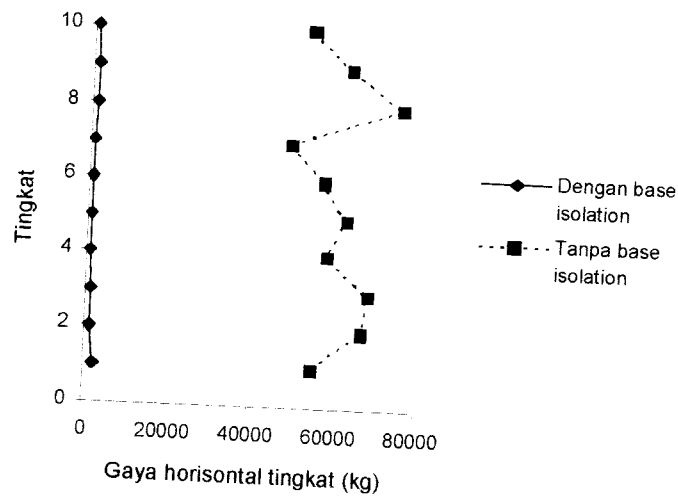
**Gambar 4.156 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.**



**Gambar 4.157 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 131487, 6149 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.**

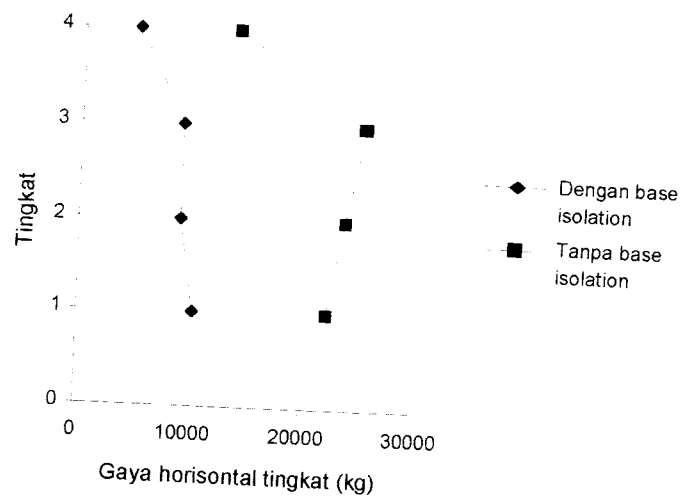


**Gambar 4.158 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  min. = 47335, 54136 kg/m akibat gempa Elcentro.**

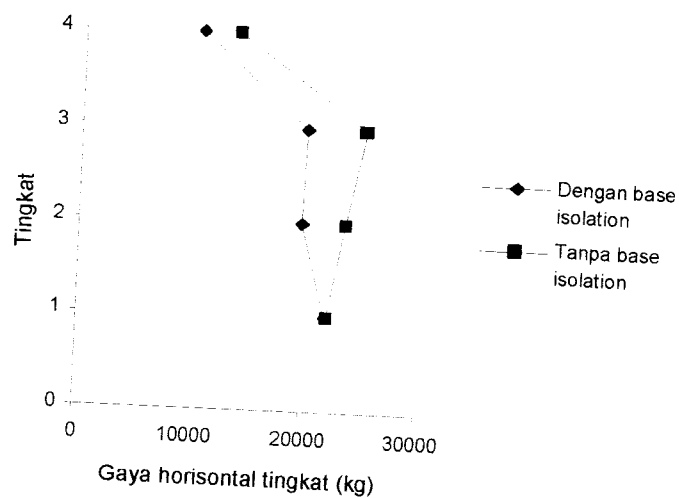


**Gambar 4.159 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro.**

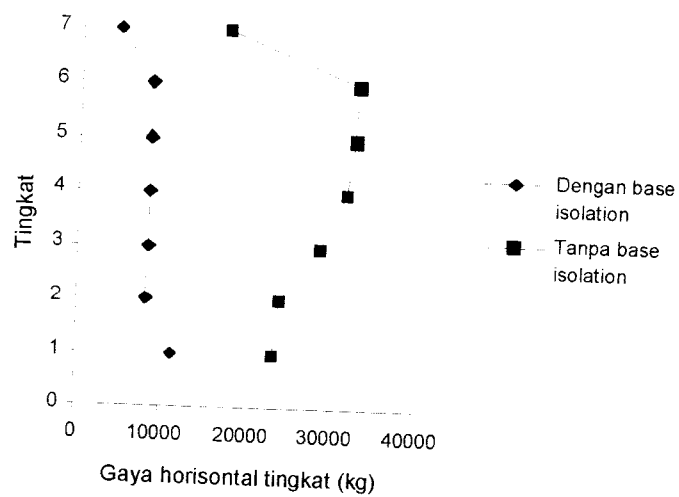




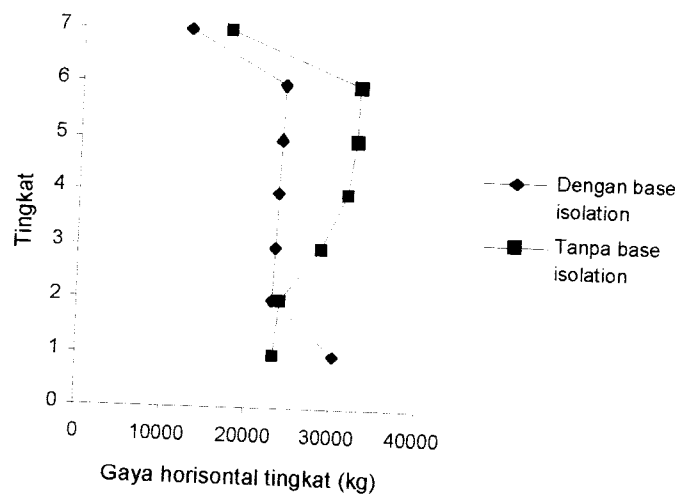
**Gambar 4.160 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 73961, 78338 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest.**



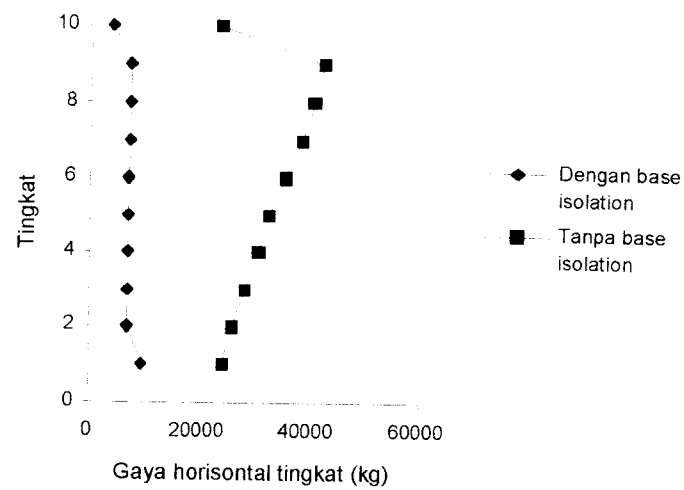
**Gambar 4.161 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 197231, 4223 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest.**



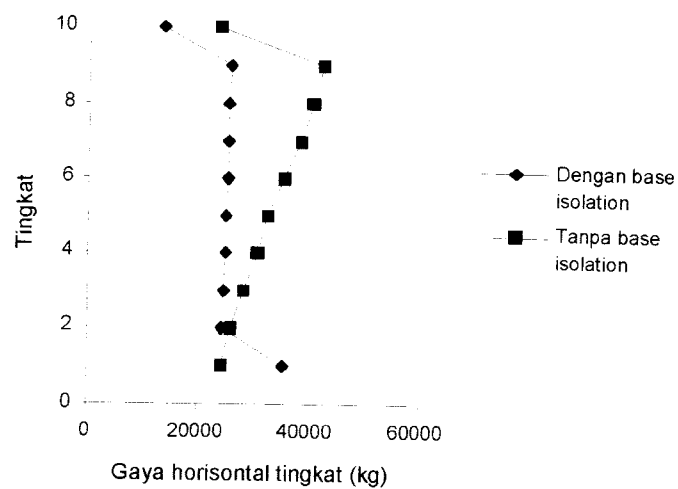
**Gambar 4.162 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 118338, 8534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest.**



**Gambar 4.163 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 591694, 267 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest.**



**Gambar 4.164 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat maksimum**  
struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 147923, 5668 \text{ kg/m}$  akibat gempa  
**Bucharest.**



**Gambar 4.165 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat maksimum**  
struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 591694, 267 \text{ kg/m}$  akibat gempa  
**Bucharest.**

**Tabel 4.58** Gaya Horisontal Tingkat struktur 4 tingkat dengan *base isolation*,  $K_b = 1183388,534 \text{ kg/m}$  akibat 3 gempa.

Tingkat	Gaya Horisontal Tingkat		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
<i>Base isolation</i>	17224,2	12765,8	48425,7
1	15621,5	12057,6	46346,6
2	16291,1	12384,9	46805,2
3	9798,02	6633,02	24811,1

**Tabel 4.59** Gaya Horisontal Tingkat struktur 4 tingkat tanpa *base isolation* akibat 3 gempa.

Tingkat	Gaya Horisontal Tingkat		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
1	72032,9	58319,8	22021,2
2	109710	81636,7	23608,6
3	125155	91131,7	24979,3
4	81709,4	53686,2	13642,9

**Tabel 4.60** Gaya Horizontal Tingkat struktur 7 tingkat dengan *base isolation*,  $K_b = 1183388,534 \text{ kg/m}$  akibat 3 gempa.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
<i>Base isolation</i>	16930,8	14866,6	57694,2
1	13184	11853,3	47262,9
2	14058,4	10748,6	48234,6
3	13559,9	11313,5	48967,7
4	13796,7	11926,9	49488
5	14193	12968,7	49798,5
6	7869,61	7084,47	26360,2

**Tabel 4.61** Gaya Horizontal Tingkat struktur 7 tingkat tanpa *base isolation* akibat 3 gempa.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
1	78366,4	47896,3	23103
2	73012,4	48672,9	23911,2
3	86092,1	74706,3	28491,3
4	71454	61434	31650,1
5	77793,7	64490,4	32446,2
6	85995,9	65141,5	32653
7	56828,5	47093,5	17325,4

**Tabel 4.62** Gaya Horizontal Tingkat struktur 10 tingkat dengan *base isolation*,  
 $K_b = 1183388, 534 \text{ kg/m}$  akibat 3 gempa.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
<i>Base isolation</i>	17324,6	14468,9	63110,7
1	13957,3	9473,49	44223,3
2	13844,6	9477,28	45684,6
3	12268,3	9389,46	47003,4
4	10425,5	9313,69	48169,1
5	11733,8	9144,82	49173,1
6	12248,2	9489,93	49997,3
7	13839,6	9805,79	50609,6
8	15685,4	10414,5	50985,2
9	8708,07	5790,19	27001,7

**Tabel 4.63** Gaya Horizontal Tingkat struktur 10 tingkat tanpa *base isolation*  
 akibat 3 gempa.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
1	91156	55155,5	24160,1
2	73939,3	66595	25793
3	78726,6	68038,3	28420,3
4	78457,5	58295,3	30728,7
5	91187,2	62590,8	32264,2
6	93074,9	56706,5	35587,7
7	80554,7	48842	38395,6
8	94806,2	75545,5	40461,3
9	78236	62914,6	42213,4
10	63906,9	53160,5	23352,7

**Tabel 4.64** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 34805,54512 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
4	2918,54	81709,4	0,03572
3	5195,35	125155	0,04151
2	5193,45	109710	0,04734
1	5707,71	72032,9	0,07924

**Tabel 4.65** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388,534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
4	9798,02	81709,4	0,11991
3	16291,1	125155	0,13017
2	15621,5	109710	0,14239
1	17224,2	72032,9	0,23912

**Tabel 4.66** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
7	3297,47	56828,5	0,05802
6	5907,53	85995,9	0,0687
5	5602,95	77793,7	0,07202
4	5392,66	71454	0,07547
3	5390,63	86092,1	0,06261
2	5443,56	73012,4	0,07456
1	6575,69	78366,4	0,08391

**Tabel 4.67** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388, 534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
7	7869,61	56828,5	0,13848
6	14193	85995,9	0,16504
5	13796,7	77793,7	0,17735
4	13559,9	71454	0,18977
3	14058,4	86092,1	0,16329
2	13184	73012,4	0,18057
1	16930,8	78366,4	0,21605



**Tabel 4.68** Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  min. = 131487, 6149 kg/m akibat gempa Koyna.

Tingkat	Gaya Horisontal Tingkat		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
10	3561,15	63906,9	0,05572
9	6566,33	78236	0,08393
8	6279,02	94806,2	0,06623
7	5917,97	80554,7	0,07347
6	5461,63	93074,9	0,05868
5	5444,29	91187,2	0,0597
4	5760,13	78457,5	0,07342
3	6108,43	78726,6	0,07759
2	6478,23	73939,3	0,08762
1	7739,75	91156	0,08491

**Tabel 4.69** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat struktur 10 tingkat dengan Kb  
maks. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa Koyna.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan <i>base isolation</i> (B)	Tanpa <i>Base Isolation</i> (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
10	8708,07	63906,9	0,13626
9	15685,4	78236	0,20049
8	13839,6	94806,2	0,14598
7	12248,2	80554,7	0,15205
6	11733,8	93074,9	0,12607
5	10425,5	91187,2	0,11433
4	12268,3	78457,5	0,15637
3	13844,6	78726,6	0,17586
2	13957,3	73939,3	0,18877
1	17324,6	91156	0,19005

**Tabel 4.70** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 394462, 8447 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
4	4098,23	53686,2	0,07634
3	7428,72	91131,7	0,08152
2	7318,86	81636,7	0,08965
1	8351,24	58319	0,1432

**Tabel 4.71** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 2366777, 068 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
4	8190,35	53686,2	0,15256
3	15497,9	91131,7	0,17006
2	15299	81636,7	0,1874
1	15604	58319	0,26756

**Tabel 4.72** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
7	794,996	47093,5	0,01688
6	1384,04	65141,5	0,02125
5	1150,16	64490,4	0,01783
4	1053,71	61434	0,01715
3	1243,2	74706,3	0,01664
2	1557,78	48672,9	0,03201
1	2411,75	47896,3	0,05035

**Tabel 4.73** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 131487, 6149 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
7	1117,13	47093,5	0,02372
6	2043,74	65141,5	0,03137
5	1884,42	64490,4	0,02922
4	1811,28	61434	0,02948
3	1860,44	74706,3	0,0249
2	2084,2	48672,9	0,04282
1	3254,18	47896,3	0,06794

**Tabel 4.74** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 47335,54136 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat		$\text{Ratio} = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B) (2)	Tanpa Base Isolation (NB) (3)	
(1)			(2/3)
10	631,72	53160,5	0,01188
9	1104,24	62914,6	0,01755
8	867,64	75545,5	0,01148
7	575,52	48842	0,01178
6	664,37	56706,5	0,01172
5	671,04	62590,8	0,01072
4	758,27	58295,3	0,01301
3	912,43	68038,3	0,01341
2	975,32	66595	0,01465
1	1618,79	55155,5	0,02935

**Tabel 4.74** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 47335,54136 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
10	631,72	53160,5	0,01188
9	1104,24	62914,6	0,01755
8	867,64	75545,5	0,01148
7	575,52	48842	0,01178
6	664,37	56706,5	0,01172
5	671,04	62590,8	0,01072
4	758,27	58295,3	0,01301
3	912,43	68038,3	0,01341
2	975,32	66595	0,01465
1	1618,79	55155,5	0,02935

**Tabel 4.75** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat (kg) maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 788892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
10	848,8	53160,5	0,01597
9	1483,23	62914,6	0,02358
8	1171,48	75545,5	0,01551
7	783,49	48842	0,01604
6	912,29	56706,5	0,01609
5	911,16	62590,8	0,01456
4	1036,02	58295,3	0,01777
3	1239,35	68038,3	0,01822
2	1321,63	66595	0,01985
1	2201,27	55155,5	0,03991

**Tabel 4.76** Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 73961, 78338 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest.

Tingkat	Gaya Horisontal Tingkat		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
4	4729,84	13642,9	0,34669
3	8936,43	24979,3	0,35775
2	8909,09	23608,6	0,37737
1	10345,8	22021,2	0,46981

**Tabel 4.77** Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat (kg) maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 197231, 4223 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest.

Tingkat	Gaya Horisontal Tingkat		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
4	10487,3	13642,9	0,7687
3	19822,9	24979,3	0,79357
2	19742,8	23608,6	0,83625
1	21843,9	22021,2	0,99195



**Tabel 4.78** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 118338, 8534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
7	4448,28	17325,4	0,25675
6	8411,01	32653	0,25759
5	8384,32	32446,2	0,25841
4	8344,3	31650,1	0,26364
3	8305,61	28491,3	0,29151
2	8270,35	23911,2	0,34588
1	11249,7	23103	0,48694

**Tabel 4.79** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 591694, 267 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
7	12568,4	17325,4	0,72543
6	23761,9	32653	0,72771
5	23666,6	32446,2	0,72941
4	23509,4	31650,1	0,74279
3	23306,1	28491,3	0,81801
2	23062	23911,2	0,96449
1	30351,3	23103	1,31374

**Tabel 4.80** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 147923, 5668 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan <i>base isolation</i> (B)	Tanpa <i>Base Isolation</i> (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
10	3732,92	23352,7	0,15985
9	7056,89	42213,4	0,16717
8	7033,85	40461,3	0,17384
7	7006,91	38395,6	0,18249
6	6974,64	35587,7	0,19598
5	6941,29	32264,2	0,21514
4	6923,11	30728,7	0,2253
3	6917,11	28420,3	0,24339
2	6906,33	25793	0,26776
1	9433,11	24160,1	0,39044

**Tabel 4.81** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest.

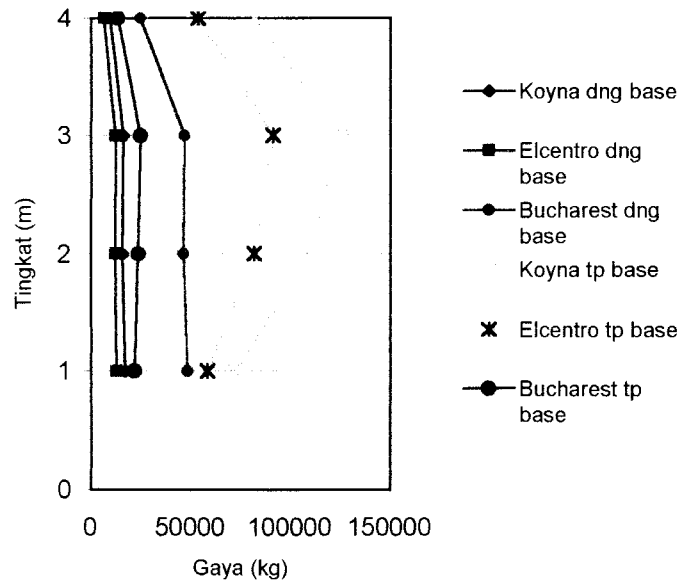
Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
10	13453,6	23352,7	0,5761
9	25422,2	42213,4	0,60223
8	25306	40461,3	0,62544
7	25175,9	38395,6	0,6557
6	25079,1	35587,7	0,70471
5	24945,8	32264,2	0,77317
4	24738,5	30728,7	0,80506
3	24478,9	28420,3	0,86132
2	24173,8	25793	0,93722
1	35520,2	24160,1	1,4702

Dari hasil grafik gaya horisontal tingkat maksimum pada gambar 4.145 sampai dengan gambar 4.165 dan tabel 4.58 sampai dengan 4.81 maka,

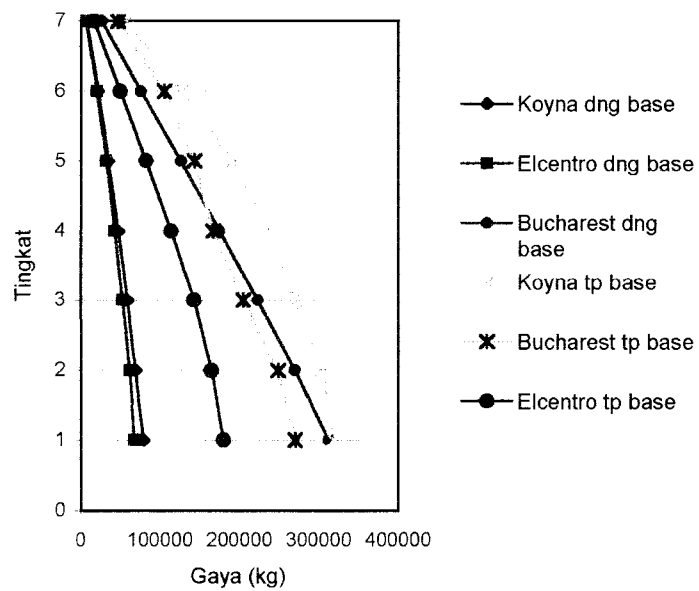
1. Pada struktur dengan *base isolation* dengan  $K_b$  yang sama, gaya horisontal tingkat makin keatas makin kecil, karena gaya horisontal tingkat yang terjadi akibat gempa telah diredam oleh *base isolation* sehingga gaya horisontal terbesar terjadi pada *base isolation* itu sendiri, sebaliknya pada struktur tanpa *base isolation* semakin keatas gaya horisontal tingkat semakin besar dan akan mengecil pada tingkat paling atas, hal itu disebabkan kekakuan pada tingkat paling atas lebih kecil dibandingkan kekakuan tingkat dibawahnya.
2. Gaya horisontal tingkat terbesar pada struktur dengan *base isolation* terjadi pada gempa Bucharest (frekuensi rendah), gempa Bucharest berasosiasi dengan baik pada tanah lunak (kekakuan kecil), sehingga penggunaan *base isolation* pada gempa Bucharest kurang baik. Sedangkan penggunaan *base isolation* pada gempa Koyna (frekuensi tinggi) dan gempa Elcentro (frekuensi sedang) mempunyai gaya horisontal tingkat lebih kecil sehingga penggunaan *base isolation* sangat tepat pada kedua gempa tersebut.
3. Gaya horisontal tingkat struktur dengan *base isolation* semakin tinggi tingkat semakin kecil tetapi masih lebih kecil dari gaya horisontal tingkat struktur tanpa *base isolation* karena kekakuan dari *base isolation* lebih kecil dari kekakuan struktur tanpa *base isolation*.
4. Pada struktur tanpa *base isolation* gempa Bucharest gaya horisontal tingkat yang terjadi lebih kecil dibandingkan gempa Elcentro dan gempa Koyna. Hal ini disebabkan gempa Bucharest memiliki frekuensi yang lebih rendah dibandingkan gempa Elcentro dan gempa Koyna.
5. Gaya horisontal tingkat struktur dengan *base isolation* semakin tinggi  $K_b$  maka gaya horisontal tingkat tersebut semakin besar tetapi nilai tersebut masih lebih kecil dari gaya horisontal tingkat struktur tanpa *base isolation* karena  $K_b$  dari *base isolation* lebih kecil dari kekakuan struktur tanpa *base isolation*.

#### **4.5.6 Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif**

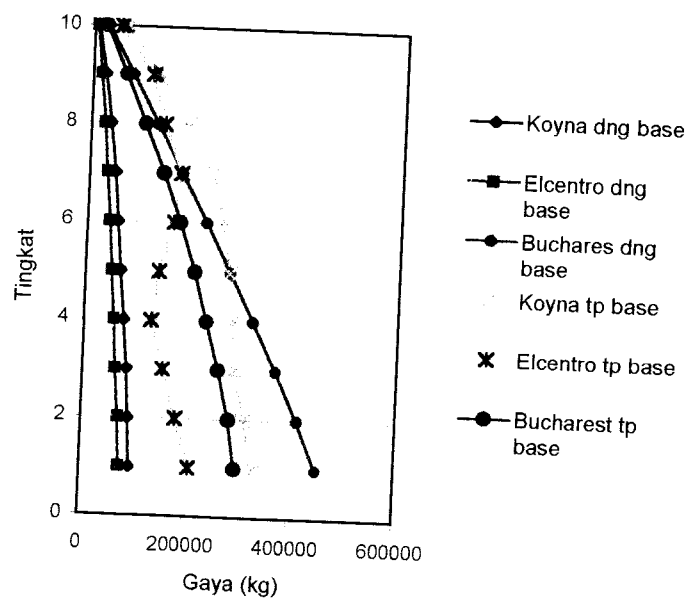
Pembahasan gaya horizontal tingkat kumulatif berdasarkan gambar 4.166 sampai dengan 4.186 dan tabel 4.82 sampai dengan 4.105.



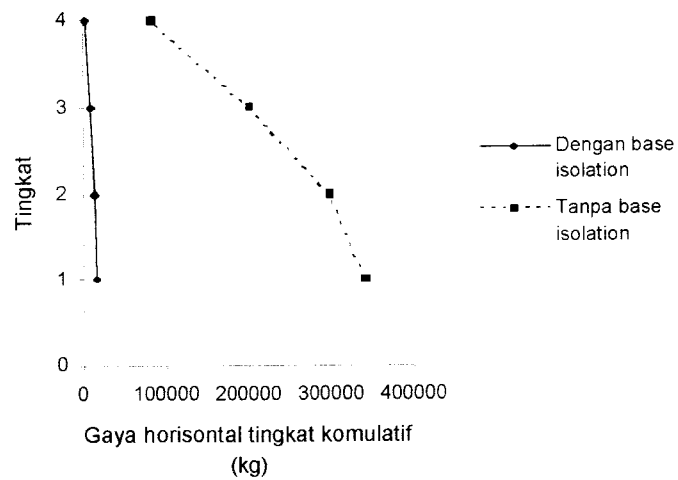
**Gambar 4.166 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif maksimum** akibat 3 gempa struktur 4 tingkat dengan dan tanpa *base isolation*



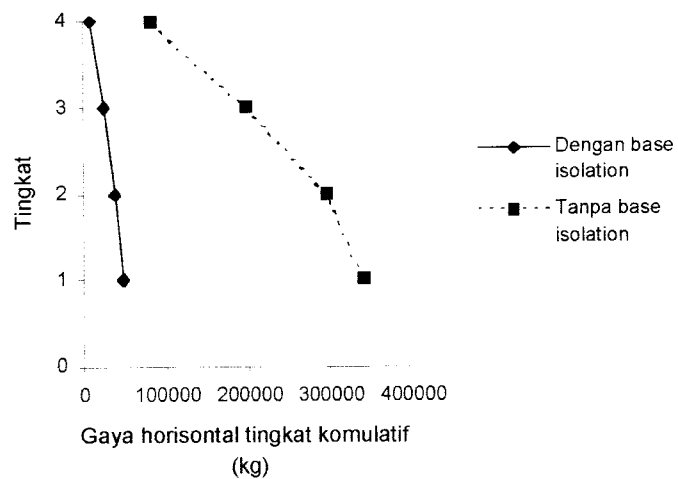
**Gambar 4.167 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif maksimum** akibat 3 gempa struktur 7 tingkat dengan dan tanpa *base isolation*



**Gambar 4.168 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif maksimum akibat 3 gempa struktur 10 tingkat dengan dan tanpa *base isolation***

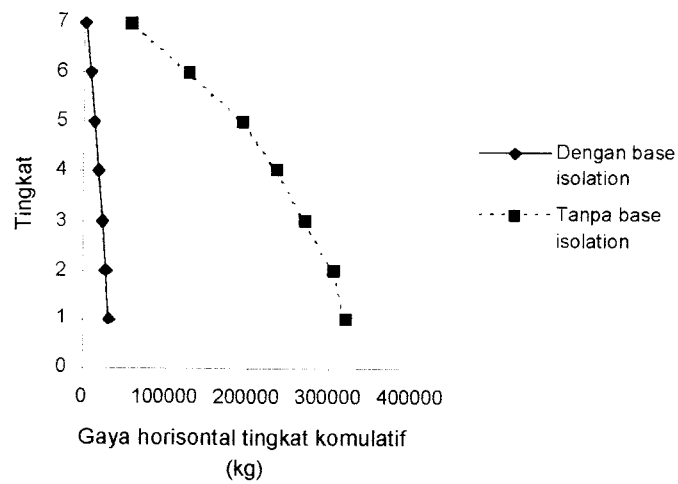


**Gambar 4.169 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 34805, 54512 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.**

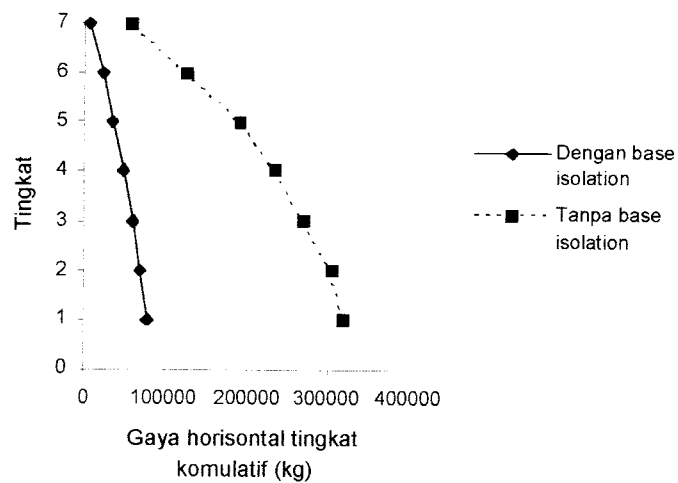


**Gambar 4. 170 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388, 534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.**

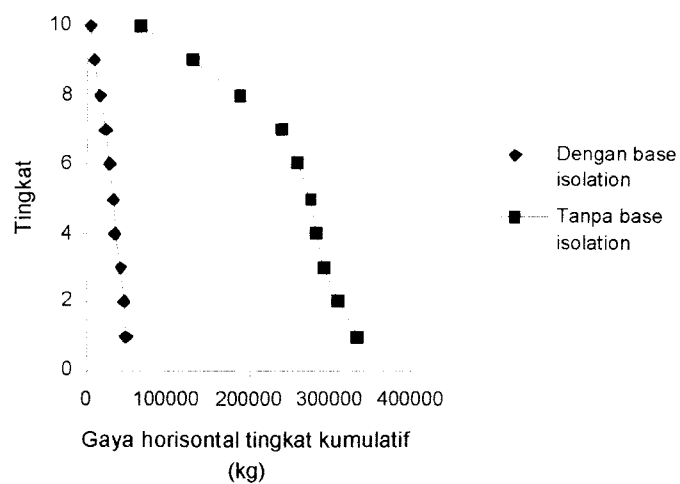




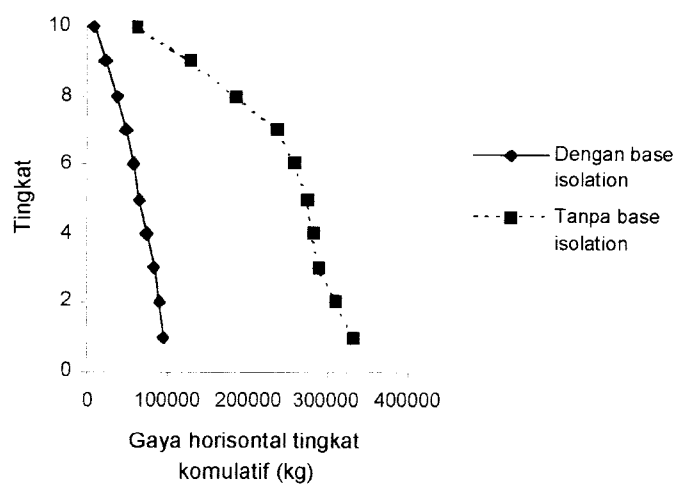
**Gambar 4. 171 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.**



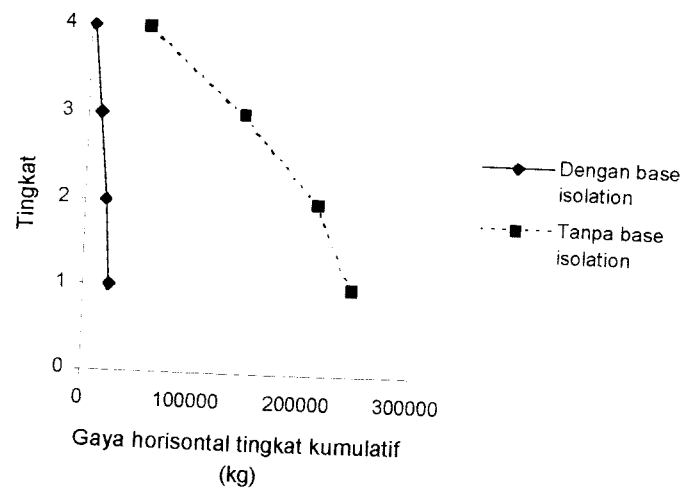
**Gambar 4. 172 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388, 534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.**



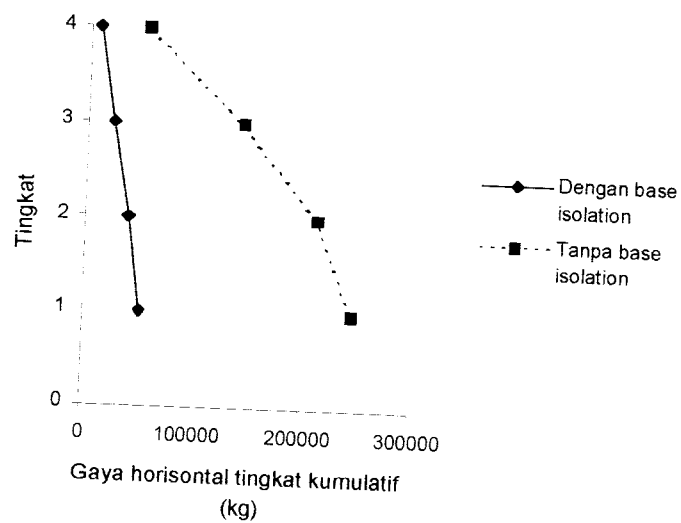
**Gambar 4.173 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat kumulatif maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 131487,6149 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.**



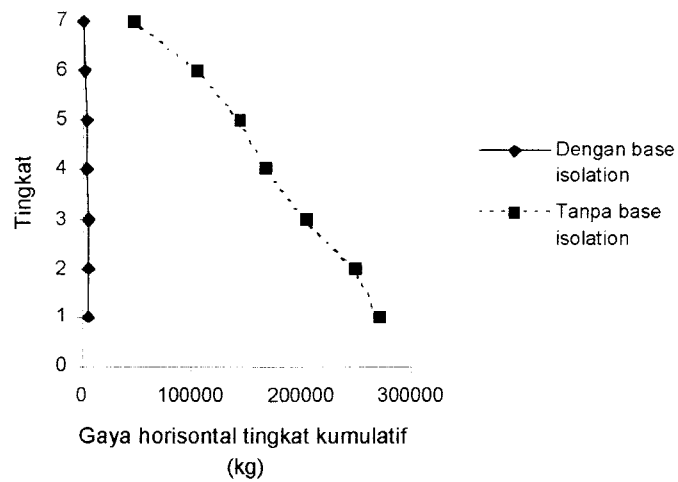
**Gambar 4.174 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat kumulatif maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388,534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.**



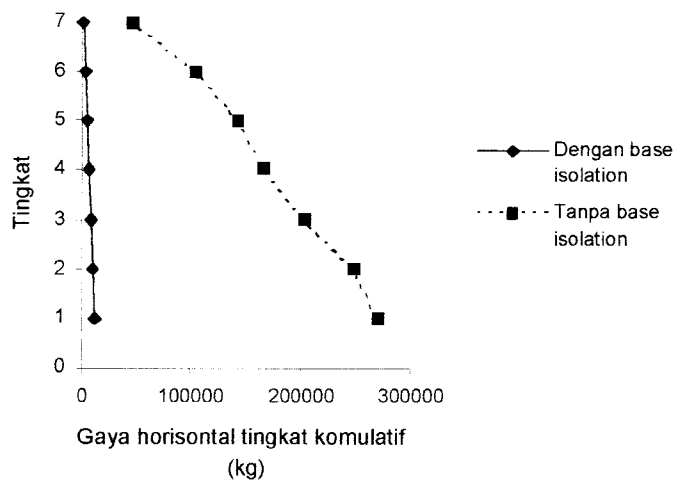
**Gambar 4.175 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 394462, 8447 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.**



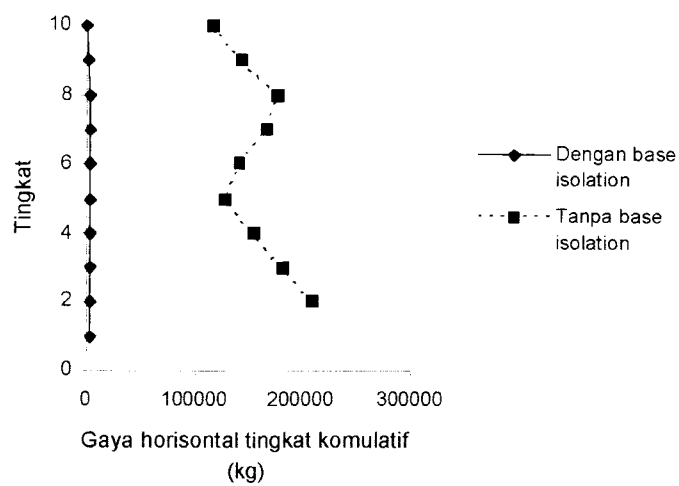
**Gambar 4.176 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 2366777, 068 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.**



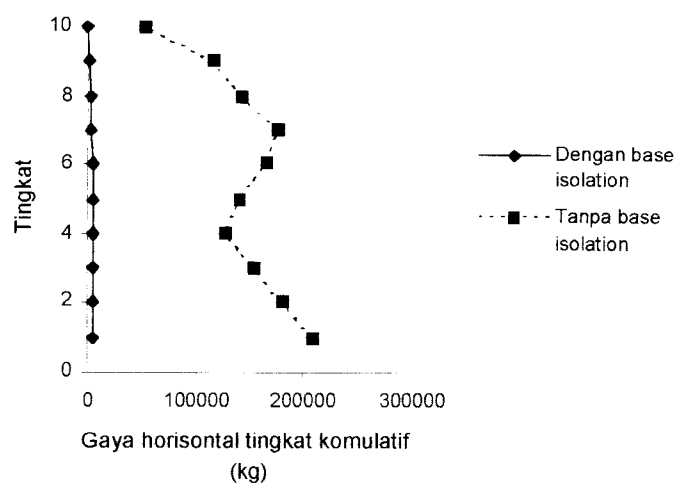
**Gambar 4.177 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.**



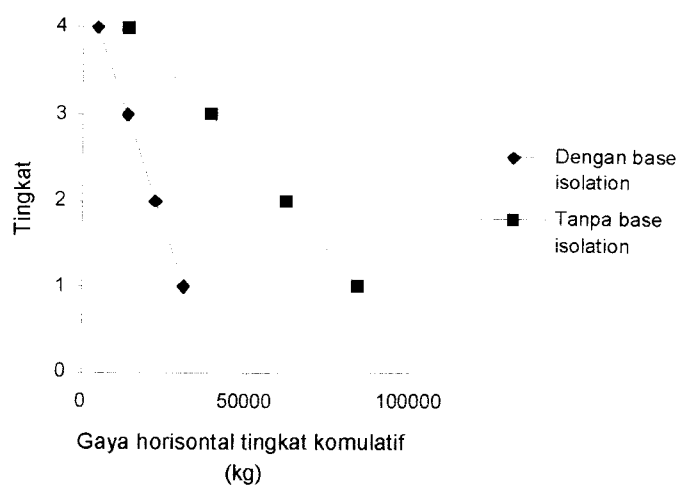
**Gambar 4.178 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 131487, 6149 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.**



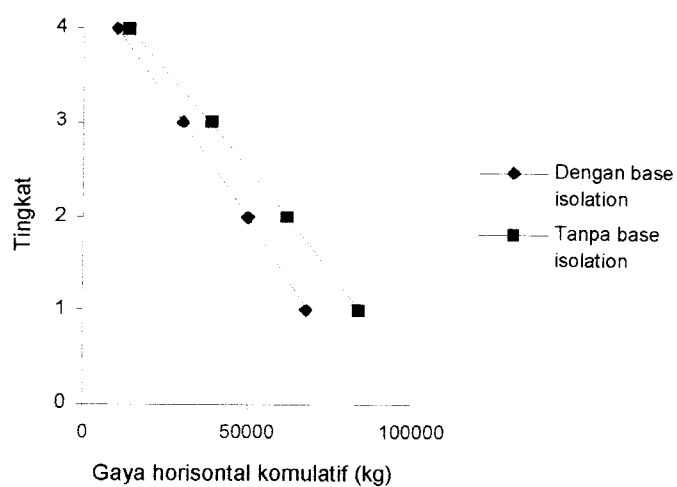
**Gambar 4.179 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat kumulatif maksimum** struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 47335, 54136 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Elcentro**.



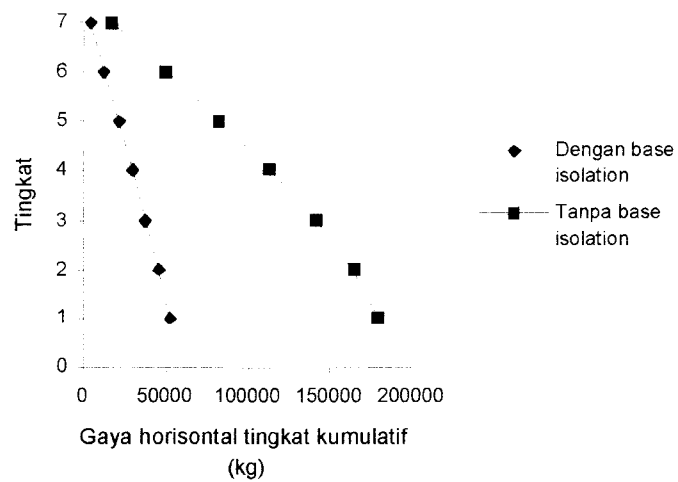
**Gambar 4.180 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat kumulatif maksimum** struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Elcentro**.



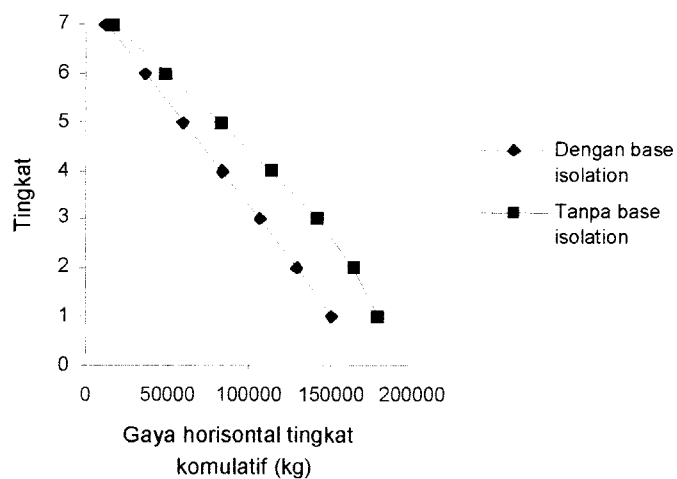
**Gambar 4.181 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  min. = 73961, 78338 kg/m akibat gempa Bucharest.**



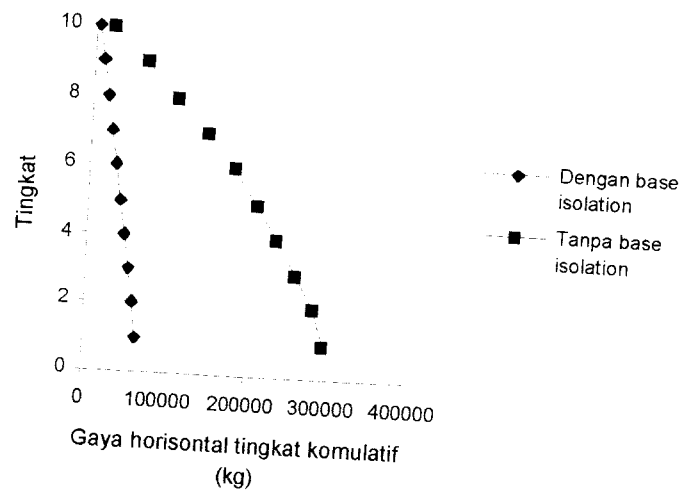
**Gambar 4.182 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 197231, 4223 kg/m akibat gempa Bucharest.**



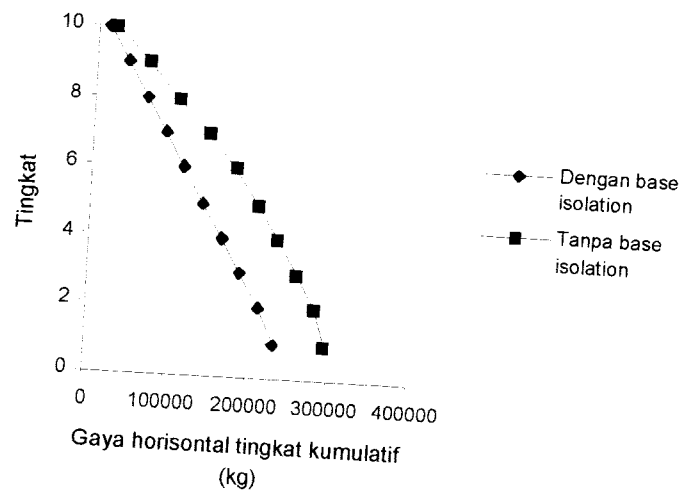
**Gambar 4.183 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  min. = 118338, 8534 kg/m akibat gempa Bucharest.**



**Gambar 4.184 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest.**



**Gambar 4.185 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat kumulatif maksimum** struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 147923, 5668 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Bucharest**.



**Gambar 4.186 Grafik Perbandingan Gaya horizontal tingkat kumulatif maksimum** struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 591694, 267 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Bucharest**.



**Tabel 4.82** Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif struktur 4 tingkat dengan menggunakan *base isolation*, akibat 3 gempa.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
<i>Base isolation</i>	48963,5	41595	161376
1	38664,5	30956,3	117957
2	26089,1	18990,5	71616,3
3	9798,02	6633,02	24811,1

**Tabel 4.83** Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif struktur 4 tingkat tanpa menggunakan *base isolation*, akibat 3 gempa.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
1	341316	245787	84141,1
2	297760	212527	62194,3
3	199520	141592	38622,3
4	81709,4	53686,2	13642,9

**Tabel 4.84** Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif struktur 7 tingkat dengan menggunakan *base isolation*, akibat 3 gempa.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat Komulatif		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
<i>Base isolation</i>	79021,03	67669,82	312740,3
1	68832,87	61873,14	270021,4
2	59168,57	52472,21	222804,3
3	47764,57	42672,98	174604
4	34915,45	31980,1	125646,7
5	22062,6	20053,2	76158,6
6	7869,61	7084,47	26360,2

**Tabel 4.85** Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif struktur 7 tingkat tanpa menggunakan *base isolation*, akibat 3 gempa.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat Komulatif		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
1	319132	270229	179440
2	304674	248572	164538
3	269373	204511	142102
4	235452	166419	113611
5	191027	142929	82248,1
6	127930	105292	49934
7	56828,5	47093,5	17325,4

**Tabel 4.86** Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif struktur 10 tingkat dengan menggunakan *base isolation*, akibat 3 gempa.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
<i>Base isolation</i>	94912,8	76053,7	451707
1	90448,3	70468,1	412846
2	84112,7	63409,3	368623
3	75961,9	56405,1	322938
4	66548,3	49458,3	275935
5	58909	42145,9	227766
6	49547,6	34184,7	178593
7	38111,5	25590,7	128595
8	24393,4	16194,2	77985,7
9	8708,07	5790,19	27001,7

**Tabel 4.87** Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif struktur 10 tingkat tanpa menggunakan *base isolation*, akibat 3 gempa.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
1	331854	207514	296442
2	310360	180123	281772
3	290350	153491	258866
4	283196	128070	233499
5	275337	140319	207899
6	259560	165862	177156
7	237914	176571	142418
8	186345	141699	104842
9	128367	116075	65566,1
10	63906,9	53160,5	23352,7

**Tabel 4.88** Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 34805,54512 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.

Tingkat	Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
4	2918,54	81709,4	0,03572
3	8113,89	199520	0,04067
2	12722	297760	0,04273
1	16615,6	341316	0,04868

**Tabel 4.89** Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388,534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.

Tingkat	Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
4	9798,02	81709,4	0,11991
3	26089,1	199520	0,13076
2	38664,5	297760	0,12985
1	48963,5	341316	0,14346

**Tabel 4.90** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
7	3297,47	56828,5	0,05802
6	9200,14	127930	0,07192
5	14402	191027	0,07539
4	19184,2	235452	0,08148
3	23767,6	269373	0,08823
2	27969,5	304674	0,0918
1	31413,2	319132	0,09843

**Tabel 4.91** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388, 534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
7	7869,61	56828,5	0,13848
6	22062,6	127930	0,17246
5	34915,5	191027	0,18278
4	47764,6	235452	0,20286
3	59168,6	269373	0,21965
2	68832,9	304674	0,22592
1	79021	319132	0,24761

**Tabel 4.92** Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 131487,6149 \text{ kg/m}$  akibat gempa Koyna.

Tingkat	Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
10	3561,15	63906,9	0,05572
9	10114,7	128367	0,0788
8	16319,2	186345	0,08758
7	722142,1	237914	3,03531
6	27329,9	259560	0,10529
5	31590,3	275337	0,11473
4	35628,4	283196	0,12581
3	40976,8	290350	0,14113
2	46267,7	310360	0,14908
1	49208	331854	0,14828

**Tabel 4.93** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa Koyna.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
10	8708,07	63906,9	0,13626
9	24393,4	128367	0,19003
8	38111,5	186345	0,20452
7	49547,6	237914	0,20826
6	58909	259560	0,22696
5	66548,3	275337	0,2417
4	75961,9	283196	0,26823
3	84112,7	290350	0,28969
2	90448,3	310360	0,29143
1	94912,8	331854	0,28601

**Tabel 4.94** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 394462, 8447 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
4	4098,23	53686,2	0,07634
3	11515,2	141592	0,08133
2	18394,5	212527	0,08655
1	23776,7	245787	0,09674

**Tabel 4.95** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 2366777, 068 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(4/5)
4	8190,35	53686,2	0,15256
3	23668,9	141592	0,16716
2	38930,4	212527	0,18318
1	51942,2	245787	0,21133



**Tabel 4.96** Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
7	794,996	47093,5	0,01688
6	2161,65	105292	0,02053
5	3287,02	142929	0,02300
4	4062,53	166419	0,02441
3	4600,41	204511	0,02249
2	5371,73	248572	0,02161
1	5797,78	270229	0,02146

**Tabel 4.97** Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 131487, 6149 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
7	1117,13	47093,5	0,02372
6	3158,75	105292	0,03
5	5033,42	142929	0,03522
4	6697,76	166419	0,04025
3	8253,69	204511	0,04036
2	9784,71	248572	0,03936
1	11163,7	270229	0,04131

**Tabel 4.98** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 47335, 54136 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(4/5)
10	631,718	53160,5	0,01188
9	1734,13	116075	0,01494
8	2601,77	141699	0,01836
7	3145,89	176571	0,01782
6	3369,27	165862	0,02031
5	3343,73	140319	0,02383
4	3358,02	128070	0,02622
3	3598,28	153491	0,02344
2	3601,52	180123	0,01999
1	2862,04	207514	0,01379

**Tabel 4.99** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 788892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
10	848,8	53160,5	0,01597
9	2332,03	116075	0,02009
8	3492,91	141699	0,02465
7	4241,5	176571	0,02402
6	4577,36	165862	0,0276
5	4587,92	140319	0,0327
4	4710,7	128070	0,03678
3	5045,62	153491	0,03287
2	5106,12	180123	0,02835
1	5163,29	207514	0,02488

**Tabel 4.100** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 73961, 78338 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
4	4729,84	13642,9	0,34669
3	13666,3	24979,3	0,54711
2	22567,1	23608,6	0,95588
1	30674,9	22021,2	1,39297

**Tabel 4.101** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 197231, 4223 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
4	10487,3	13642,9	0,7687
3	30310,2	24979,3	1,21341
2	50047,1	23608,6	2,11987
1	67860,5	22021,2	3,0816

**Tabel 4.102** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 118338, 8534 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
7	4448,28	17325,4	0,25675
6	12859,3	49934	0,25753
5	21240,8	82248,1	0,25825
4	29580,6	113611	0,26037
3	37861,8	142102	0,26644
2	46090,8	164538	0,28012
1	52990,4	179440	0,29531

**Tabel 4.103** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 591694, 267 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest.

Tingkat	Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
7	12568,4	17325,4	0,72543
6	36330,3	49934	0,72757
5	59996,9	82248,1	0,72946
4	83506,3	113611	0,73502
3	106804	142102	0,7516
2	129838	164538	0,78911
1	150488	179440	0,83865

**Tabel 4.104** Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 147923, 5668 \text{ kg/m}$  akibat gempa Bucharest.

Tingkat	Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
10	3732,92	23352,7	0,15985
9	10789,8	65566,1	0,16456
8	17820	104842	0,16997
7	24819,7	142418	0,17427
6	31778,2	177156	0,17938
5	38697,6	207899	0,18614
4	45568,4	233499	0,19515
3	52393,7	258866	0,2024
2	59185,5	281772	0,21005
1	65101,3	296442	0,21961

**Tabel 4.105** Perbandingan Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest.

Tingkat	Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
10	13453,6	23352,7	0,5761
9	38875,8	65566,1	0,59293
8	64176,6	104842	0,61213
7	89314,5	142418	0,62713
6	114295	177156	0,64517
5	139136	207899	0,66925
4	163829	233499	0,70163
3	188304	258866	0,72742
2	212478	281772	0,75408
1	234047	296442	0,78952

Dari hasil grafik gaya horisontal tingkat kumulatif maksimum pada gambar 4.166 sampai dengan gambar 4.186 dan tabel 4.82 sampai dengan 4.105 maka,

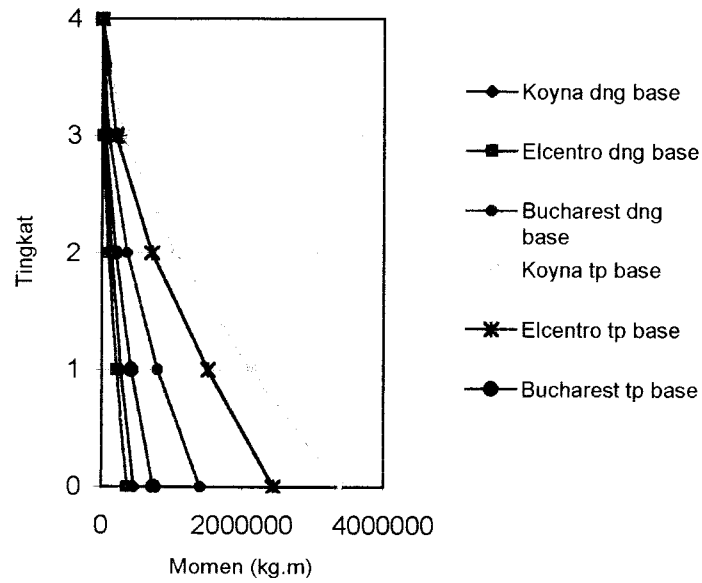
1. Pada struktur dengan *base isolation* dengan  $K_b$  yang sama, gaya horisontal tingkat kumulatif makin keatas makin kecil, karena gaya horisontal tingkat kumulatif merupakan jumlah gaya-gaya dari gaya horisontal tingkat dari tingkat bawah ke tingkat diatasnya. Hal ini berlaku juga untuk struktur tanpa menggunakan *base isolation*, tetapi struktur dengan menggunakan *base isolation* mempunyai nilai gaya horisontal tingkat kumulatif yang lebih kecil daripada nilai gaya horisontal tingkat kumulatif struktur tanpa *base isolation*. Hal ini disebabkan nilai kekakuan *base isolation* yang lebih kecil dibandingkan kekakuan struktur tanpa *base isolation*.
2. Gaya horisontal tingkat kumulatif yang terjadi pada gempa Koyna (frekuensi tinggi) dan gempa Elcentro (frekuensi sedang) mempunyai nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan gempa Bucharest (frekuensi rendah). Hal ini membuktikan bahwa penggunaan *base isolation* sangat cocok untuk gempa dengan frekuensi tinggi dan frekuensi sedang tetapi penggunaan *base isolation* gempa dengan frekuensi rendah justru akan memperbesar nilai gaya horisontal kumulatif struktur.
3. Gaya horisontal tingkat kumulatif struktur dengan *base isolation* semakin tinggi  $K_b$  maka gaya horisontal tingkat kumulatif tersebut semakin besar tetapi nilai tersebut masih lebih kecil dari gaya horisontal tingkat kumulatif struktur tanpa *base isolation* karena  $K_b$  dari *base isolation* lebih kecil dari kekakuan struktur tanpa *base isolation*.
4. Gaya horisontal tingkat kumulatif struktur dengan *base isolation* semakin tinggi tingkat semakin kecil tetapi masih lebih kecil dari gaya horisontal tingkat kumulatif struktur tanpa *base isolation* karena kekakuan dari *base isolation* lebih kecil dari kekakuan struktur tanpa *base isolation*.
5. Pada struktur tanpa *base isolation* pengaruh frekuensi gempa mempengaruhi nilai gaya horisontal tingkat kumulatif yang terjadi. Gempa



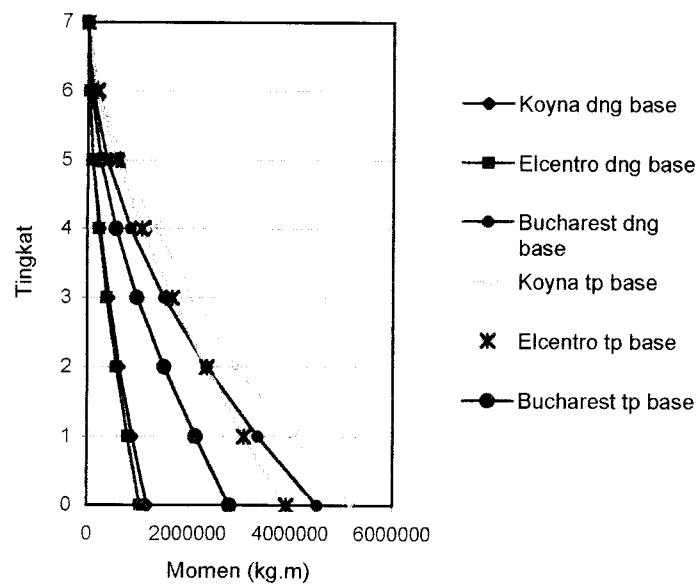
Bucharest cenderung mempunyai nilai gaya horisontal tingkat kumulatif yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai gaya horisontal tingkat kumulatif gempa Elcentro dan gempa Koyna.

#### **4.5.7 Momen Guling**

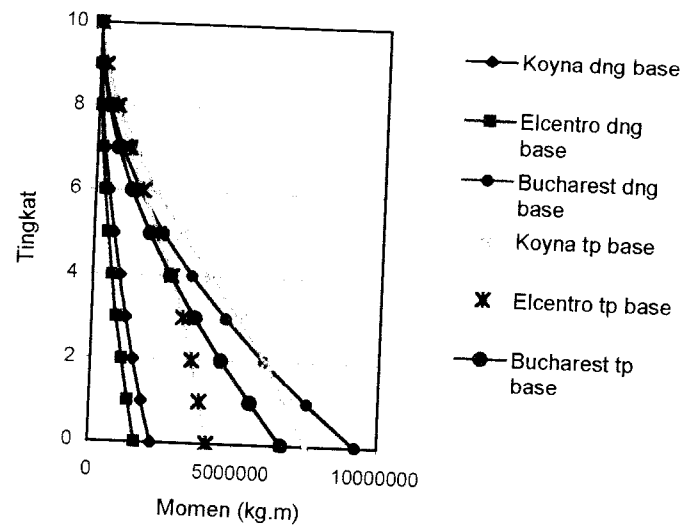
Pembahasan momen guling berdasarkan gambar 4.187 sampai dengan 4.207 dan tabel 4.106 sampai dengan 4.129.



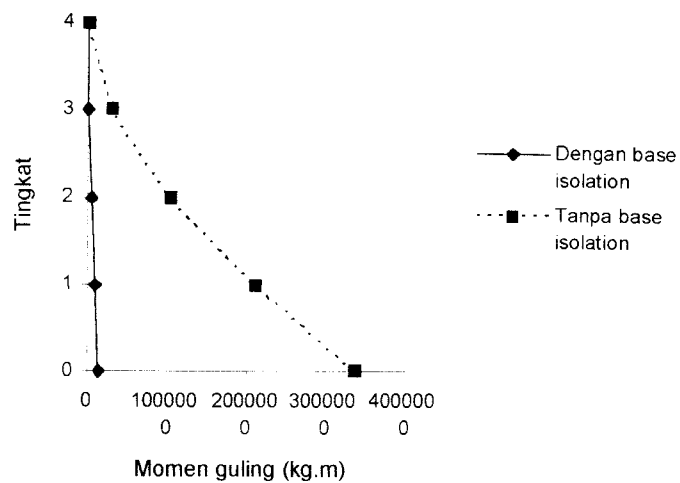
**Gambar 4.187 Grafik Perbandingan Momen Guling maksimum akibat 3 gempa struktur 4 tingkat dengan dan tanpa *base isolation***



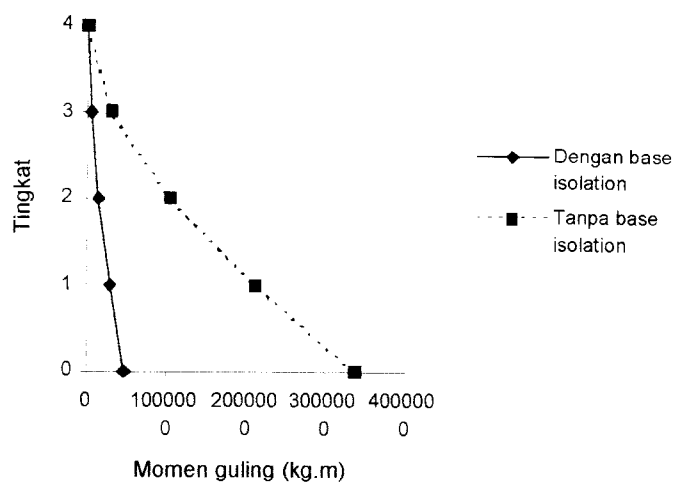
**Gambar 4. 188 Grafik Perbandingan Momen Guling maksimum akibat 3 gempa struktur 7 tingkat dengan dan tanpa *base isolation***



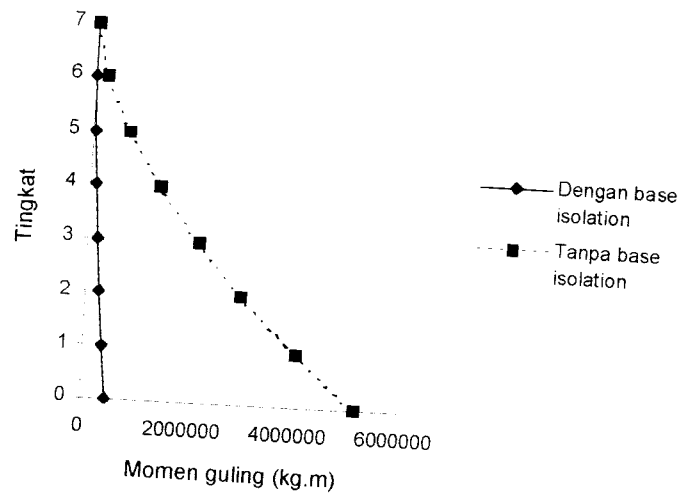
**Gambar 4. 189 Grafik Perbandingan Momen Guling maksimum akibat 3 gempa struktur 10 tingkat dengan dan tanpa *base isolation***



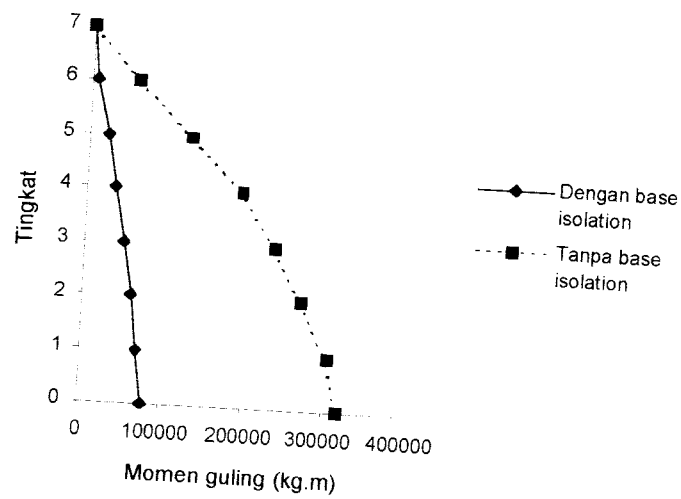
**Gambar 4. 190 Grafik Perbandingan Momen guling maksimum** struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 34805, 54512 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Koyna**.



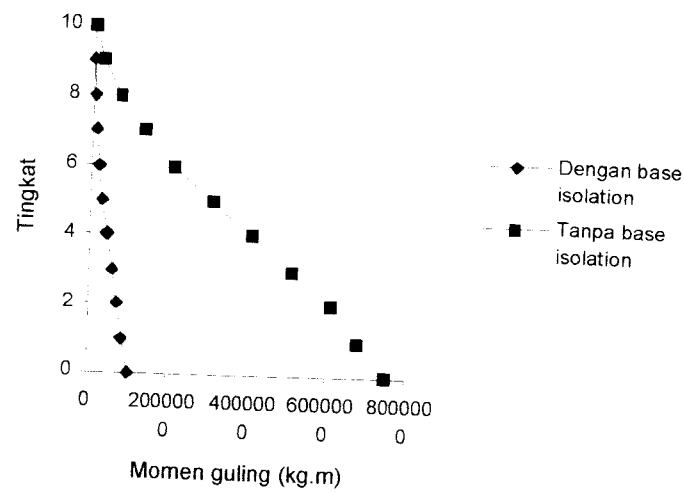
**Gambar 4.191 Grafik Perbandingan Momen guling maksimum** struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388, 534 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Koyna**.



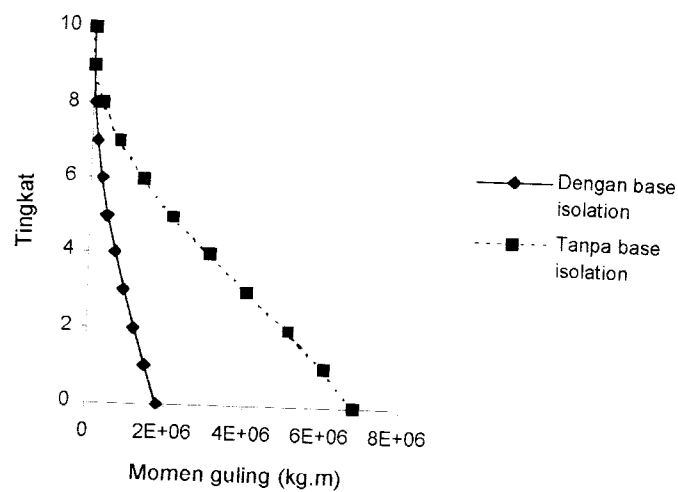
**Gambar 4.192** Grafik Perbandingan Momen guling maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  min. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa **Koyna**.



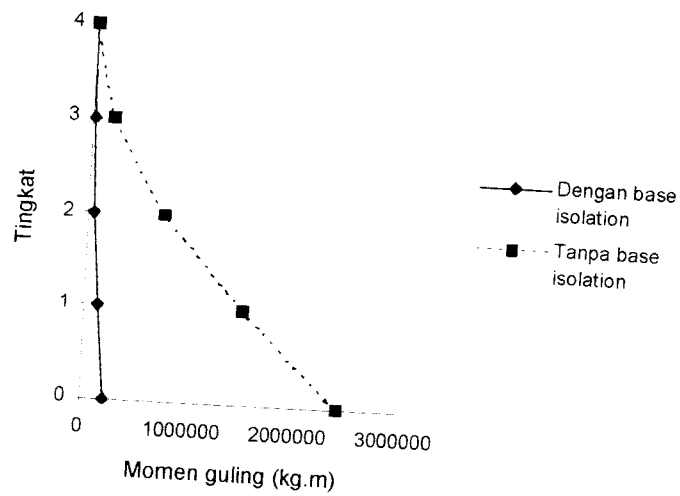
**Gambar 4.193** Grafik Perbandingan Momen guling maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa **Koyna**.



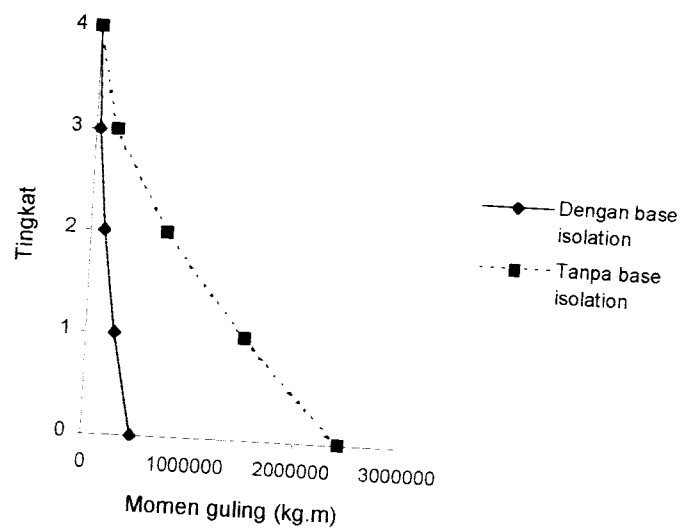
**Gambar 4.194 Grafik Perbandingan Momen guling maksimum** struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 131487,6149 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Koyna**.



**Gambar 4.195 Grafik Perbandingan Momen guling maksimum** struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 1183388,534 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Koyna**.

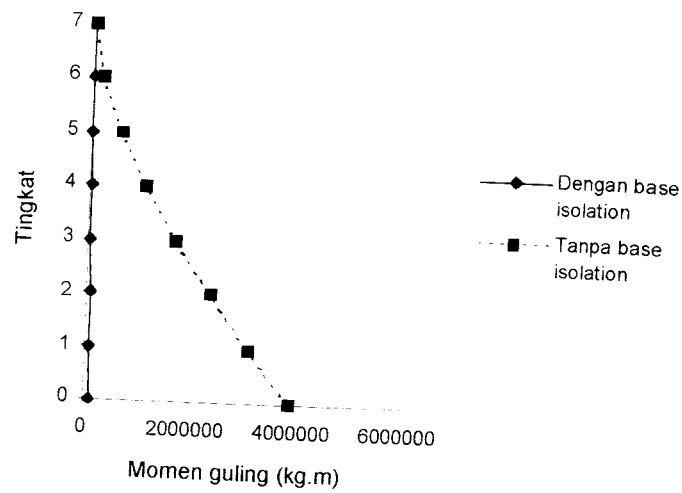


**Gambar 4.196 Grafik Perbandingan Momen guling maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 394462, 8447 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.**

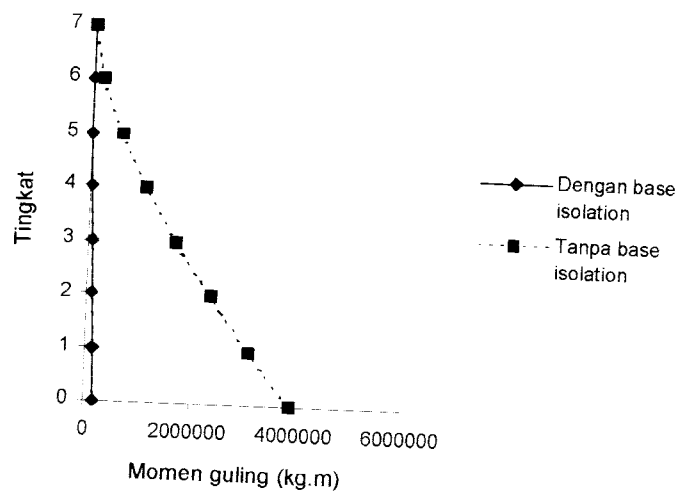


**Gambar 4.197 Grafik Perbandingan Momen guling maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 2366777, 068 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.**

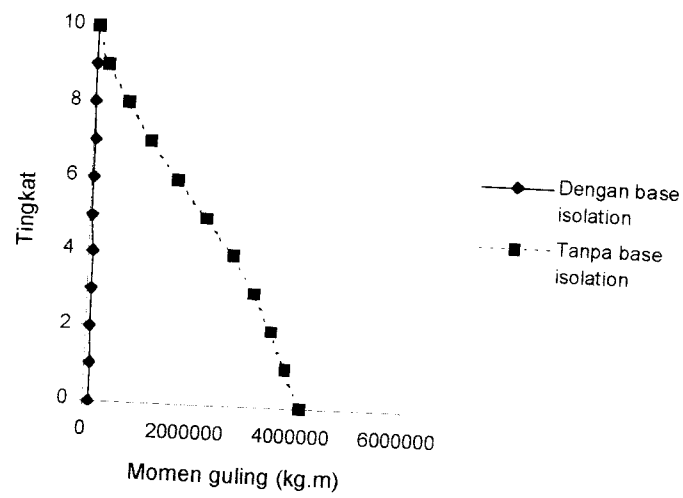




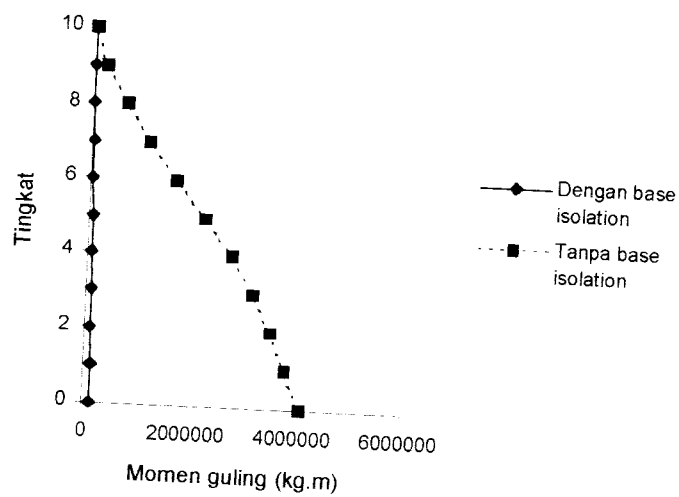
**Gambar 4.198 Grafik Perbandingan Momen guling maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.**



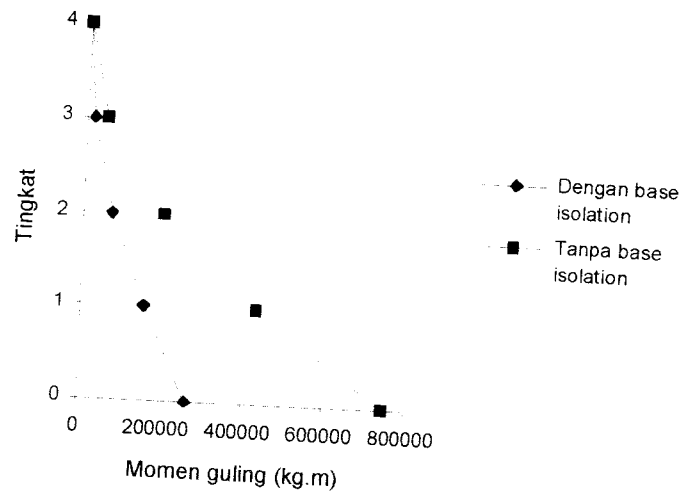
**Gambar 4.199 Grafik Perbandingan Momen guling maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 131487, 6149 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.**



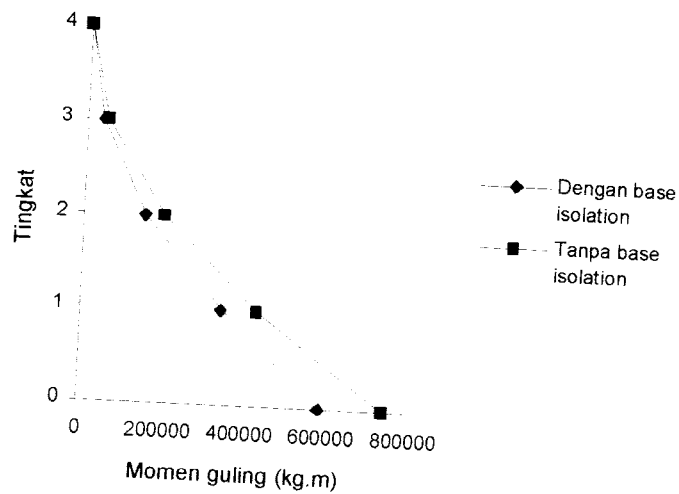
**Gambar 4.200 Grafik Perbandingan Momen Guling Maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ min} = 47335, 54136 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.**



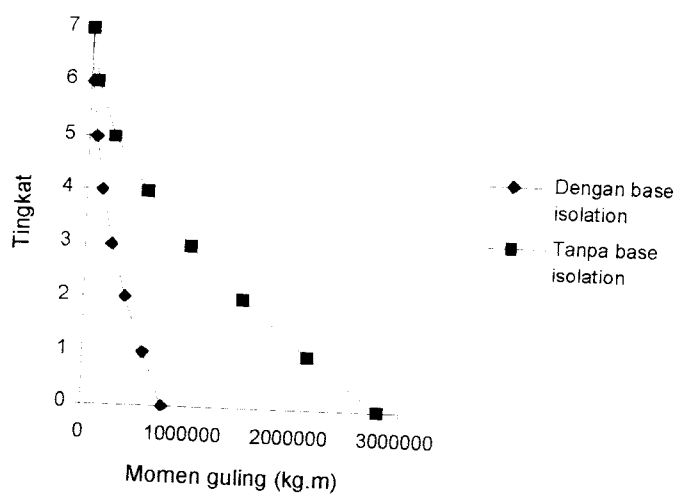
**Gambar 4.201 Grafik Perbandingan Momen guling maksimum struktur 10 tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 78892, 56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.**



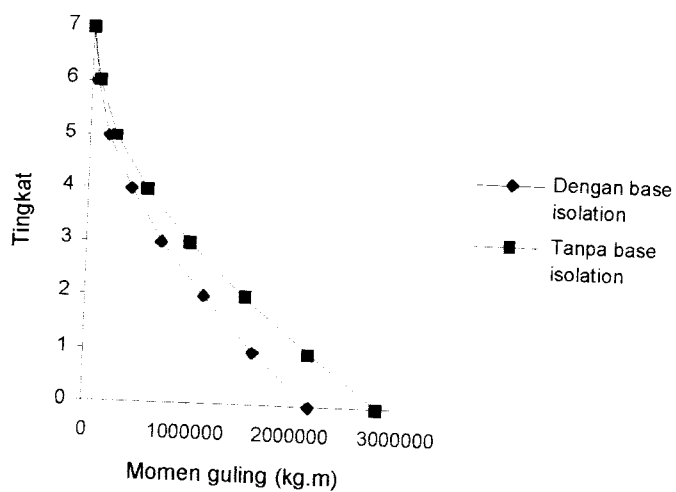
**Gambar 4.202 Grafik Perbandingan Momen guling maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  min. = 73961, 78338 kg/m akibat gempa Bucharest.**



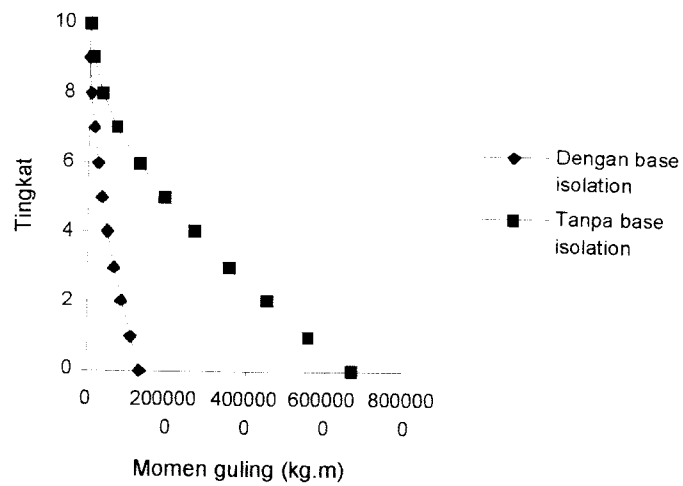
**Gambar 4.203 Grafik Perbandingan Momen guling maksimum struktur 4 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 197231, 4223 kg/m akibat gempa Bucharest.**



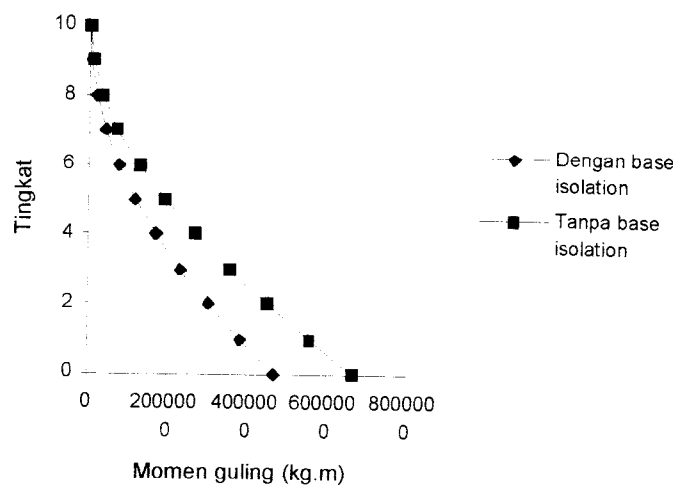
**Gambar 4.204 Grafik Perbandingan Momen guling maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  min. = 118338,8534 kg/m akibat gempa Bucharest.**



**Gambar 4.205 Grafik Perbandingan Momen guling maksimum struktur 7 tingkat dengan  $K_b$  maks. = 591694,267 kg/m akibat gempa Bucharest.**



**Gambar 4.206 Grafik Perbandingan Momen guling maksimum struktur 10**  
tingkat dengan  $K_b \text{ min.} = 147923, 5668 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Bucharest**.



**Gambar 4.207 Grafik Perbandingan Momen guling maksimum struktur 10**  
tingkat dengan  $K_b \text{ maks.} = 591694, 267 \text{ kg/m}$  akibat gempa **Bucharest**.

**Tabel 4.106** Momen Guling struktur 4 tingkat dengan *base isolation*,  $K_b = 1183388,534 \text{ kg/m}$  akibat 3 gempa.

Tingkat	Momen Guling		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
<i>Base isolation</i>	463181,6	366267,3	1404820
1	279569	212071	803943
2	134577	95985,3	361603
3	36742,6	24873,8	93041,5

**Tabel 4.107** Momen Guling struktur 4 tingkat tanpa menggunakan *base isolation*, akibat 3 gempa.

Tingkat	Momen Guling		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
1	3374720	2438875	744752,4
2	2126323	1517173	429223,3
3	1045130	720198,1	195994,6
4	306410	201323	51161

**Tabel 4.108** Momen Guling struktur 7 tingkat dengan *base isolation*,  $K_b = 1183388,534 \text{ kg/m}$  akibat 3 gempa.

Tingkat	Momen Guling		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
<i>Base isolation</i>	1191847,69	1052892.87	4521274,9
1	897040,589	807449.743	3358477,59
2	639301,912	577537.026	2345901,79
3	418224219	381715.221	1510385,66
4	242397	221691,6	855620,6
5	112245,7	101766.2	384445,6
6	29511	26566,8	98850,6

**Tabel 4.109** Momen Guling struktur 7 tingkat tanpa menggunakan *base isolation*, akibat 3 gempa.

Tingkat	Momen Guling		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
1	5185137	3916522	2807054
2	4042795	3081902	2134153
3	2934568	2347462	1517136
4	2100232	1670277	985729
5	1307345	1072567	560158
6	692843	569359	252061
7	213107	176601	64970,3

**Tabel 4.110** Momen Guling struktur 10 tingkat dengan *base isolation*,  $K_b = 1183388,534 \text{ kg/m}$  akibat 3 gempa.

Tingkat	Momen Guling		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
<i>Base isolation</i>	2165952	1616868	9260299
1	1810216	1336648	7576055
2	1471912	1084600	6027883
3	1178150	854815.2	4645547
4	916147	645709	3434529
5	671717	462310	2399774
6	452220	305633	1545652
7	266635	177944	875930
8	124131	82441,3	393698
9	32655,3	21713,2	101256



**Tabel 4.111** Momen Guling struktur 10 tingkat tanpa menggunakan *base isolation*, akibat 3 gempa.

Tingkat	Momen Guling		
	Koyna	Elcentro	Bucharest
1	7532443	4101258	6684370
2	6831444	3800049	5579208
3	6101575	3504454	4534675
4	5130014	3160118	3568255
5	4068029	2723907	2693296
6	3056214	2204635	1918890
7	2103433	1624433	1257211
8	1321475	1104451	726601,1
9	721026	634633	333445
10	239651	199352	87572,6

**Tabel 4.112** Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 4 tingkat dengan  
Kb min. = 34805, 54512 kg/m akibat gempa Koyna.

Tingkat	Momen Guling		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
4	10944,5	3374720	0,00324
3	41371,6	2126323	0,01946
2	89000,1	1045130	0,08516
1	148899	306410	0,48595

**Tabel 4.113** Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 4 tingkat dengan  
Kb maks. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa Koyna.

Tingkat	Momen Guling		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
4	36742,6	3374720	0,01089
3	134577	2126323	0,06329
2	279569	1045130	0,2675
1	463182	306410	1,51164

**Tabel 4.114** Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 7 tingkat dengan  
Kb min. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Koyna.

Tingkat	Momen Guling		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
7	12365,5	213107	0,05802
6	46847,8	692843	0,06762
5	100512	1307345	0,07688
4	170883	2100232	0,08136
3	256283	2934568	0,08733
2	360143	4042795	0,08908
1	474037	5185137	0,09142

**Tabel 4.115** Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 7 tingkat dengan  
Kb maks. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa Koyna.

Tingkat	Momen Guling		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
7	29511	213107	0,13848
6	112246	692843	0,16201
5	242397	1307345	0,18541
4	418224	2100232	0,19913
3	639302	2934568	0,21785
2	897041	4042795	0,22189
1	1191848	5185137	0,22986

**Tabel 4.116** Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 10 tingkat dengan  
Kb min. = 131487, 6149 kg/m akibat gempa Koyna.

Tingkat	Momen Guling		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan <i>base isolation</i> (B)	Tanpa <i>Base Isolation</i> (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
10	13354,3	239651	0,05572
9	51284,4	721026,4	0,07113
8	112409	1321475	0,08506
7	195045	2103433	0,09273
6	297099	3056214	0,09721
5	415563	4068029	0,10215
4	546718	5130014	0,10657
3	688927	6101575	0,11291
2	842573	6831444	0,12334
1	1018153	7532443	0,13517

**Tabel 4.117** Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 10 tingkat dengan  
Kb maks. = 1183388, 534 kg/m akibat gempa Koyna.

Tingkat	Momen Guling		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
10	32655,3	239651	0,13626
9	124131	721026,4	0,17216
8	266635	1321475	0,20177
7	452220	2103433	0,21499
6	671717	3056214	0,21979
5	916147	4068029	0,22521
4	1178150	5130014	0,22966
3	1471912	6101575	0,24123
2	1810216	6831444	0,26498
1	2165952	7532443	0,28755

**Tabel 4.118** Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 4 tingkat dengan  
Kb min. = 394462, 8447 kg/m akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Momen Guling		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
4	15368,4	201323	0,07634
3	58550,3	720198	0,0813
2	127379	1517173	0,08396
1	214007	2438875	0,08775

**Tabel 4.119** Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 4 tingkat dengan  
Kb maks. = 2366777, 068 kg/m akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Momen Guling		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
4	30713,8	201323	0,15256
3	119399	720198	0,16579
2	265388	1517173	0,17492
1	458566	2438875	0,18802

**Tabel 4.120** Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 7 tingkat dengan  
Kb min. = 78892, 56893 kg/m akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Momen Guling		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan <i>base isolation</i> (B)	Tanpa <i>Base Isolation</i> (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
7	2981,23	176601	0,01688
6	11022,2	569359	0,01936
5	23348,5	1072567	0,02177
4	38429,7	1670277	0,02301
3	54816,4	2347462	0,02335
2	72058,9	3081902	0,02338
1	93246,5	3916522	0,02381

**Tabel 4.121** Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 7 tingkat dengan  
Kb maks. = 131487, 6149 kg/m akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Momen Guling		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan <i>base isolation</i> (B)	Tanpa <i>Base Isolation</i> (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
7	4189,24	176601	0,02372
6	16034,5	569359	0,02816
5	34868,8	1072567	0,03251
4	59978,3	1670277	0,03591
3	90889,6	2347462	0,03872
2	127369	3081902	0,04133
1	168349	3916522	0,04298

**Tabel 4.122** Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 10 tingkat dengan  
Kb min. = 47335, 54136 kg/m akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Momen Guling		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan <i>base isolation</i> (B)	Tanpa <i>Base Isolation</i> (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
10	2368,94	199352	0,01188
9	8866,8	634633	0,01397
8	18621,7	1104451	0,01686
7	30418,8	1624433	0,01873
6	43053,6	2204635	0,01953
5	55592,6	2723907	0,02041
4	67519,4	3160118	0,02137
3	79017	3504454	0,02255
2	90650,5	3800049	0,02386
1	100585	4101258	0,02453



**Tabel 4.123** Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 10 tingkat dengan  
 $K_b \text{ maks.} = 788892, 56893 \text{ kg/m}$  akibat gempa Elcentro.

Tingkat	Momen Guling		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
10	3183	199352	0,01597
9	11928,1	634633	0,0188
8	25026,5	1104451	0,02266
7	40887,5	1624433	0,02517
6	57995,3	2204635	0,02631
5	75200	2723907	0,02761
4	91963,1	3160118	0,0291
3	108429	3504454	0,03094
2	124911	3800049	0,03287
1	139611	4101258	0,03404

**Tabel 4.124** Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 4 tingkat dengan  
Kb min. = 73961, 78338 kg/m akibat gempa Bucharest.

Tingkat	Momen Guling		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
4	17736,9	51161	0,34669
3	68985,4	195995	0,35198
2	153600	429223	0,35786
1	266988	744752	0,35849

**Tabel 4.125** Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 4 tingkat dengan  
Kb maks. = 197231, 4223 kg/m akibat gempa Bucharest.

Tingkat	Momen Guling		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
4	39327,5	51161	0,7687
3	152991	195995	0,78059
2	340639	429223	0,79362
1	591529	744752	0,79426

**Tabel 4.126** Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 7 tingkat dengan  
Kb min. = 118338, 8534 kg/m akibat gempa Bucharest.

Tingkat	Momen Guling		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
7	16681	64970,3	0,25675
6	64903,4	252061	0,25749
5	144556	560158	0,25806
4	255455	985729	0,25915
3	397435	1517136	0,26196
2	570200	2134153	0,26718
1	766720	2807054	0,27314

**Tabel 4.127** Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 7 tingkat dengan  
Kb maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest.

Tingkat	Momen Guling		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
7	47131,6	64970,3	0,72543
6	183370	252061	0,72748
5	408359	560158	0,72901
4	721507	985729	0,73195
3	1122022	1517136	0,73957
2	1608917	2134153	0,75389
1	2166460	2807054	0,77179

**Tabel 4.128** Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 10 tingkat dengan  
Kb min. = 147923, 5668 kg/m akibat gempa Bucharest.

Tingkat	Momen Guling		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (B)	Tanpa Base Isolation (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
10	13998,5	87572,6	0,15985
9	54460,2	333445	0,16333
8	121285	726601	0,16692
7	214331	1257211	0,17048
6	333497	1918890	0,1738
5	478571	2693296	0,17769
4	649343	3568255	0,18198
3	845733	4534675	0,1865
2	1067420	5579208	0,19132
1	1310618	6684370	0,19607

**Tabel 4.129** Perbandingan Momen Guling maksimum struktur 10 tingkat dengan  
Kb maks. = 591694, 267 kg/m akibat gempa Bucharest.

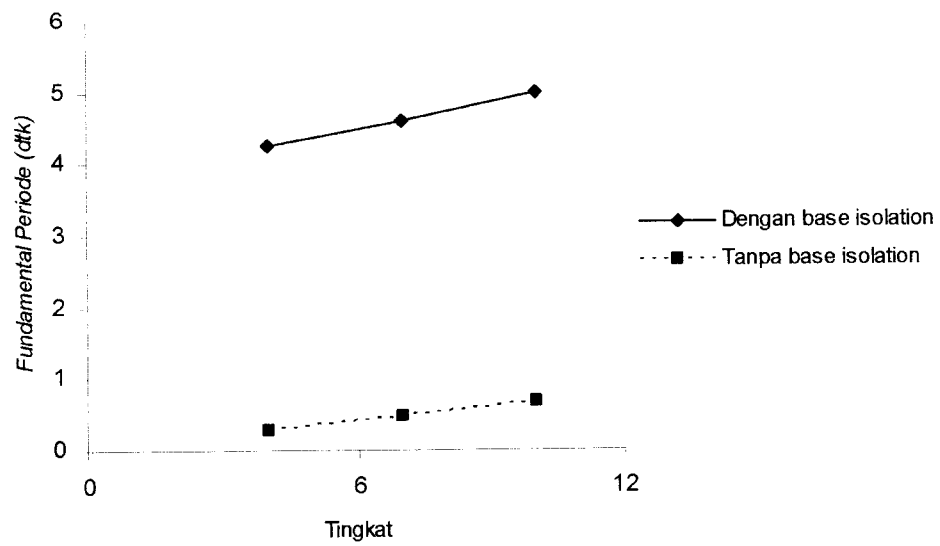
Tingkat	Momen Guling		$Ratio = \frac{B}{NB}$
	Dengan <i>base isolation</i> (B)	Tanpa <i>Base Isolation</i> (NB)	
(1)	(2)	(3)	(2/3)
10	50451,2	87572,6	0,57611
9	196236	333445	0,58851
8	436898	726601	0,60129
7	771808	1257211	0,6139
6	1200237	1918890	0,62549
5	1721834	2693296	0,6393
4	2335742	3568255	0,65459
3	3041424	4534675	0,6707
2	3838013	5579208	0,68791
1	4708075	6684370	0,70434

Dari hasil grafik momen guling maksimum pada gambar 4.187 sampai dengan gambar 4.207 dan tabel 4.106 sampai dengan 4.129 maka,

1. Pada struktur dengan *base isolation* dengan  $K_b$  yang sama, momen guling semakin keatas semakin kecil, karena momen guling merupakan fungsi penjumlahan gaya-gaya yang bekerja diatasnya. Hal ini berlaku juga untuk struktur tanpa menggunakan *base isolation*, tetapi struktur dengan menggunakan *base isolation* mempunyai nilai momen guling yang lebih kecil daripada nilai momen guling struktur tanpa *base isolation*. Hal ini disebabkan nilai gaya horisontal tingkat *base isolation* lebih kecil dibandingkan gaya horisontal tingkat tanpa *base isolation*.
2. Momen guling mempunyai nilai yang kecil terjadi pada gempa Koyna (frekuensi tinggi) dan gempa Elcentro (frekuensi sedang) dibandingkan dengan gempa Bucharest (frekuensi rendah) yang mempunyai nilai momen guling lebih tinggi. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan *base isolation* sangat cocok untuk gempa dengan frekuensi tinggi dan frekuensi sedang tetapi penggunaan *base isolation* gempa dengan frekuensi rendah justru akan memperbesar nilai momen guling struktur.
3. Momen guling struktur dengan *base isolation* semakin tinggi kekakuan tingkat nilai momen guling tersebut semakin besar tetapi nilai tersebut masih lebih kecil dari momen guling struktur tanpa *base isolation* karena kekakuan ( $K_b$ ) dari *base isolation* lebih kecil dari kekakuan struktur tanpa *base isolation*.
4. Pada struktur tanpa *base isolation* pengaruh frekuensi gempa mempengaruhi nilai momen guling yang terjadi. Gempa Bucharest cenderung mempunyai nilai momen guling yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai momen guling gempa Elcentro dan gempa Koyna.

#### **4.6.7 *Fundamental Periode***

Pembahasan *fundamental periode* berdasarkan gambar 4.208, dengan kombinasi tingkat 4, 7, 10.



**Gambar 4.208** Perbandingan fundamental periode struktur 4, 7, 10 dengan dan tanpa base isolation



Dari hasil grafik *fundamental periode* pada gambar 4.208 maka,

1. Perbandingan antara nilai *fundamental periode* dengan nilai omega ( $\omega$ ) merupakan perbandingan terbalik, yaitu apabila nilai *fundamental periode* semakin besar maka nilai omega ( $\omega$ ) atau frekuensi getar struktur akan semakin mengecil, sebaliknya apabila nilai *fundamental periode* semakin kecil maka nilai omega ( $\omega$ ) atau frekuensi getar struktur akan semakin besar.
2. Struktur dengan *base isolation* memiliki *fundamental periode* lebih besar dari struktur tanpa menggunakan *base isolation*. Hal ini dapat dilihat terutama pada bagian *base isolation* yang berbeda sangat signifikan karena memiliki omega yang sangat besar dibandingkan omega tingkat di atasnya.
3. Pengaruh tinggi tingkat terhadap *fundamental periode* yaitu semakin tinggi tingkat maka semakin besar nilai *fundamental periode*, karena dengan bertambahnya tinggi tingkat akan semakin semakin besar omega ( $\omega$ ) atau frekuensi getar struktur.
4. Pada struktur dengan *base isolation* dan tanpa *base isolation* pada tingkat-tingkat tertentu akan mempunyai nilai *fundamental periode* yang hampir sama karena omega ( $\omega$ ) strukturnya mendekati sama.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian Pengaruh Penggunaan Isolasi Dasar (*Base Isolation*) Terhadap Respon Seismik Struktur Baja Bertingkat Banyak adalah sebagai berikut.

1. Struktur dengan menggunakan *base isolation* mempunyai dominasi pada mode pertama lebih kecil dibandingkan dengan struktur tanpa *base isolation*, hal ini dikarenakan struktur dengan menggunakan *base isolation* relatif lebih fleksibel.
2. Sebaliknya struktur tanpa menggunakan *base isolation* mempunyai mode pertama yang lebih besar dibandingkan dengan struktur menggunakan *base isolation*, hal ini disebabkan struktur lebih kaku dibandingkan dengan struktur menggunakan *base isolation*.
3. Penggunaan *base isolation* sangat bermanfaat terhadap struktur yang diberi beban dinamik berupa beban gempa. Struktur yang diberi *base isolation* akan mengurangi beberapa parameter yang ditinjau yaitu simpangan antar tingkat (*interstorey drift*), gaya horisontal tingkat, gaya horisontal tingkat kumulatif dan momen guling dibandingkan dengan struktur tanpa menggunakan *base isolation*. Simpangan netto pada struktur dengan menggunakan *base isolation* akan lebih besar dari struktur tanpa menggunakan *base isolation*, tetapi selisih simpangan netto antar tingkat pada struktur dengan *base isolation* mendekati nol sehingga struktur tidak cepat mengalami kerusakan pada saat terjadi gempa. Hal ini membuktikan tentang fungsi dasar dari *base isolation* untuk memberikan perlindungan terhadap struktur dan mencegah kerusakan yang fatal terhadap struktur.
4. Simpangan antar tingkat (*interstorey drift*) struktur dengan menggunakan *base isolation* pada lantai satu lebih besar daripada struktur yang ada di atasnya. Kondisi ini membuktikan bahwa *base isolation* mampu meredam adanya simpangan antar tingkat struktur di atasnya sehingga

simpangan antar tingkat struktur cenderung kecil dan relatif stabil. Hal ini berbeda dengan simpangan antar tingkat (*interstorey drift*) struktur tanpa menggunakan *base isolation* yang mana simpangan antar tingkat yang terjadi relatif besar sehingga apabila terjadi beban gempa, struktur tersebut akan mengalami kerusakan.

5. *Base isolation* sangat cocok dipakai pada gempa dengan frekuensi tinggi dan pada kondisi tanah yang keras, tetapi tidak cocok digunakan pada kondisi gempa frekuensi rendah dan kondisi tanah lunak. Hal ini dapat dibuktikan dengan perilaku gempa Bucharest yang mempunyai frekuensi rendah yang cenderung lebih besar apabila dipasang *base isolation*, yaitu terhadap parameter simpangan netto, simpangan antar tingkat (*interstorey drift*), gaya horisontal tingkat, gaya horisontal tingkat kumulatif dan momen guling dibandingkan dengan gempa Elcentro (frekuensi sedang) dan gempa Koyna (frekuensi tinggi) yang mana apabila dipasang *base isolation* akan mengecil terhadap parameter yang ditinjau tersebut.
6. Struktur dengan *base isolation* yang harus memiliki pembatasan nilai kekakuan ( $K_b$ ), apabila  $K_b$  semakin besar seiring bertambahnya tingkat maka nilai parameter-parameter gempa juga ikut besar, dan apabila nilai  $K_b$  mendekati nilai kekakuan struktur tanpa *base isolation* akan menimbulkan sifat dan perilaku parameter yang terjadi akan sama dengan sifat dan perilaku struktur tanpa *base isolation* tersebut. Hal ini memerlukan pembatasan terhadap nilai  $K_b$  maksimum yang diambil agar struktur dengan *base isolation* berbeda dengan struktur tanpa *base isolation* dan agar tidak terjadi kerusakan pada *base isolation* tersebut akibat kekakuan yang berlebihan.

## 5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan jenis struktur yang berbeda, yaitu dengan struktur beton. Struktur beton mempunyai massa, kekakuan yang lebih besar dibandingkan dengan struktur baja.
2. Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan variasi tingkat dan variasi gempa yang berbeda.
3. Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan respon nonlinear elastik diantaranya tentang perubahan kekakuan tiap tingkat.
4. Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan pengaku berupa *bracing* yang akan menimbulkan bertambahnya kekakuan.
5. Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan berbagai data spesifikasi *base isolation* yang berbeda atau data *base isolation* yang paling efektif untuk suatu struktur.

## DAFTAR PUSTAKA

- BPPP, 1997, *Bantalan Karet Gempa*, Disampaikan dalam Seminar Sehari Antisipasi Bencana Gempa Bumi dalam Peningkatan Keselamatan Bangunan pada tanggal 20 Nopember 1997.
- Dewobroto, Wiryanto, 2003, *Aplikasi Sain dan Teknologi dengan Visual Basic 6.0*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Direktorat Penyelidikan dan Masalah Bangunan, Jalan Tamansari 84 Bandung, 1982, *Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung 1981*, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- Imam Wibowo dan Hafizh Auzzami, 2003, *Pengaruh Penggunaan Pengaku (Bracing) terhadap Respon Elastik Struktur Baja Bertingkat Banyak dengan Memperhitungkan Rotasi Pondasi*, Tugas Akhir S-1, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Kurniadi, Adi, 1999, *Pemrograman Visual Basic 6*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Lin, Z. F., 1997, *Seismic Control of Structures*, Chinese Seismic Publishing House, Chinese.
- Meyes, R. I., L. R. Jones, T. E. Kelly, and M. R. Button 1984, *Design Guidelines for Base Isolated Buildings with Energy Dissipators*, Earthquake Spectra, 1, No. 1, P41-74.
- Mutho, Kiyoshi, 1987, *Analisa Perancangan Gedung Tahan Gempa*, Erlangga, Jakarta.
- M. Mazzolani, Federico and Gioncu, Victor, 1994, *Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas*, E & FN Spoon An Imprint of Chapman & Hall.
- Nugroho dan Budiyanto, 2002, *Pengaruh high Dumping Rubber Bearing sebagai Isolasi Dasar terhadap Perilaku Dinamika Struktur*, Tugas Akhir S-1, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

- Paldi dan Hakim, 2000, *Performasi Bantalan Karet (Rubber Bearing) sebagai Redaman Pasif untuk Seismik Kontrol pada Bangunan Tahan Gempa*, Tugas Akhir S-1, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Paz, Mario, 1996, *Dinamika Struktur Teori dan Perhitungan*, Erlangga, Jakarta.
- Riefky Zuhdan Prihantoro dan Bebbby Karmadi Yovist, 2002, *Respon Elastik Struktur MDOF dengan Memperhitungkan Rotasi Pondasi*, Tugas Akhir S-1, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Tjokrodinuljo, Kardiyono, IR., M.E., 1993, *Buku Ajar Teknik Gempa*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Widodo, 1996, *Teknik Gempa*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Widodo, *Respon Dinamik Struktur Elastik*, Universitas Islam Indonesia Press, Yogyakarta.

## VERIFIKASI PERHITUNGAN MASSA DAN KEKAKUAN

### A. MENGHITUNG BERAT DAN MASSA TINGKAT

$$M_i = \frac{W_i}{g}, \text{ dimana } g = 9,81 \text{ kg/m}^2$$

#### Rumus umum (Struktur *open frame*)

$$W_n = (\text{Berat profil kolom tepi tingkat } n \times \frac{1}{2} \times 2 \times H_n) + (\text{Berat profil kolom tengah tingkat } n \times \frac{1}{2} \times 2 \times H_n) + (\text{Berat profil kolom tepi tingkat } (n+1) \times \frac{1}{2} \times 2 \times H_n) + (\text{Berat profil kolom tengah tingkat } (n+1) \times \frac{1}{2} \times 2 \times H_n) + (\text{Berat balok tingkat } n \times L_1) + (\text{Berat balok tingkat } n \times L_2) + (\text{Berat balok tingkat } n \times L_3) + (\text{Beban merata } \times L_1) + (\text{Beban merata } \times L_2) + (\text{Beban merata } \times L_3)$$

$$W_i = (\text{Berat profil kolom tepi tingkat } i \times \frac{1}{2} \times 2 \times H_n) + (\text{Berat profil kolom tengah tingkat } i \times \frac{1}{2} \times 2 \times H_n)$$

### B. MENGHITUNG KEKAKUAN TINGKAT

$$\text{Kekakuan tingkat } i = \text{Kekakuan kolom tepi tingkat } i + \text{Kekakuan kolom tengah tingkat } i$$

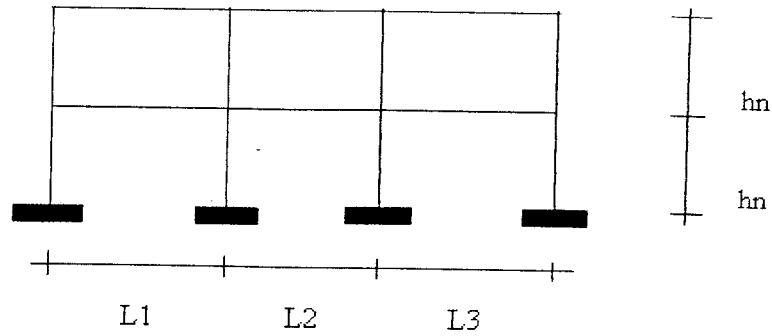
#### Rumus Umum (Struktur *Open Frame*) :

$$\text{Kekakuan kolom tepi} = 2 * \frac{12 * E * I}{(H)^3}$$

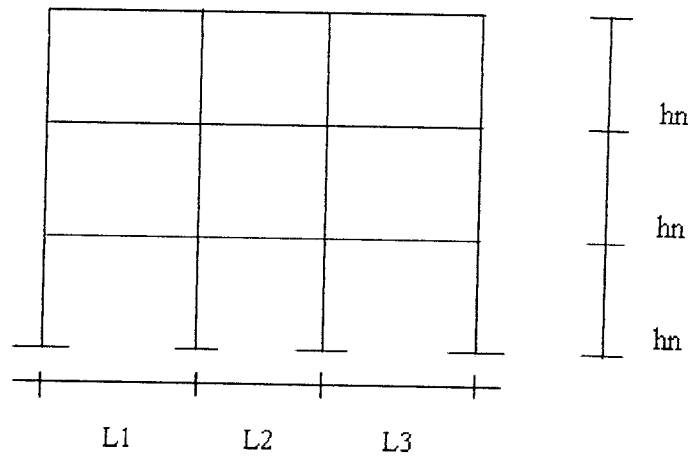
$$\text{Kekakuan kolom tengah} = 2 * \frac{12 * E * I}{(H)^3}$$

### C. CONTOH PERHITUNGAN STRUKTUR *OPEN FRAME* 3 TINGKAT

#### a. Struktur *open frame* dengan *base isolation*



#### b. Struktur *open frame* tanpa *base isolation*



dengan,

$$h_n = 3,75 \text{ m}$$

$$L1 = 8 \text{ m}$$

$$L2 = 6,5 \text{ m}$$

$$L3 = 8 \text{ m}$$



Tabel profil yang digunakan :

No.	Elemen struktur	Tingkat	Profil baja A36	Berat profil (kg/m)
1.	Balok bentang 8 m	1 – 3	W14 x 53	78,87
2.	Balok bentang 6,5m	1 – 3	W14 x 53	78,87
3.	Kolom tepi tingkat	1 – 3	W14 x 257	382,46
4.	Kolom tengah tingkat	1 – 3	W14 x 370	550,63

Tabel beban merata :

Elemen struktur	Tingkat	Beban merata (kg/m)
Balok bentang 8 m	1	4001,5
Balok bentang 6,5m	1	3427
Balok bentang 8 m	2	4001,5
Balok bentang 6,5m	2	3427
Balok bentang 8 m	3	2112
Balok bentang 6,5m	3	1716

#### I. MENGHITUNG MASSA TINGKAT

$$\begin{aligned}
 W_{1-2} &= (382,46 \times \frac{1}{2} \times 2 \times 3,75) + (550,63 \times \frac{1}{2} \times 2 \times 3,75) + (382,46 \times \frac{1}{2} \times 2 \times 3,75) + (550,63 \times \frac{1}{2} \times 2 \times 3,75) + (78,87 \times 8) + (78,87 \times 6,5) + (78,87 \times 8) \\
 &\quad + (4001,5 \times 8) + (3427 \times 6,5) + (4001,5 \times 8) \\
 &= 95072,25 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_3 &= (382,46 \times \frac{1}{2} \times 2 \times 3,75) + (550,63 \times \frac{1}{2} \times 2 \times 3,75) + (78,87 \times 8) + (78,87 \times 6,5) + (78,87 \times 8) + (2112 \times 8) + (1716 \times 6,5) + (2112 \times 8) \\
 &= 50219,6625 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\text{Massa tingkat 1 dan 2} = \frac{95072,25}{9,81} = 9691,3608 \text{ kg} \cdot \text{dt}^2/\text{m}$$

$$\text{Massa tingkat 3} = \frac{50219,6625}{9,81} = 5119,231651 \text{ kg} \cdot \text{dt}^2/\text{m}$$

## II. MENGHITUNG KEKAKUAN TINGKAT

a. Kolom tepi (profil W14 x 257)

$$E = 29000 \text{ Ksi} = 2,03890018 \times 10^{10} \text{ kg/m}^2$$

$$I = 0,001415 \text{ m}^4$$

$$H_1 = 3,75 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Kekakuan kolom tepi} &= 2 * \frac{12 * 2,03890018 \times 10^{10} * 0,001415}{(3,75)^3} \\ &= 13130154,688056 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

b. Kolom tengah (profil W14 x 370)

$$E = 29000 \text{ Ksi} = 2,03890018 \times 10^{10} \text{ kg/m}^2$$

$$I = 0,002264 \text{ m}^4$$

$$H_1 = 3,75 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Kekakuan kolom tengah} &= 2 * \frac{12 * 2,03890018 \times 10^{10} * 0,002264}{(3,75)^3} \\ &= 21008247,5 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Kekakuan total}_{2-3} = 13130154,688056 + 21008247,5 = 34138402,18 \text{ kg/m}$$

## VERIFIKASI

Untuk struktur yang digunakan adalah struktur 3 tingkat dengan beban gempa Koyna, dihitung dengan cara manual dan program PROGSIP 2004.

### DATA STRUKTUR

Struktur yang ditinjau merupakan suatu model *shear building* 3 tingkat dari struktur baja, dimana struktur baja dengan *base isolation* dan tanpa *base isolation*. Perhitungan massa dan kekakuan struktur sudah dihitung terlebih dahulu dengan manual dan PROGSIP 2004 yang hasilnya sebagai berikut :

1. Struktur dengan *base isolation*

Tingkat	Tinggi (m)	Massa (kg.dt <sup>2</sup> /m)	Kekakuan (kg/m)
<i>Base isolation</i>	0,5969	9691,3608	1183388,534
1	3,75	9691,3608	34138402,18
2	3,75	5119,231651	34138402,18

2. Struktur tanpa *base isolation* (*fixed base*)

Tingkat	Tinggi (m)	Massa (kg.dt <sup>2</sup> /m)	Kekakuan (kg/m)
1	3,75	9691,3608	34138402,18
2	3,75	9691,3608	34138402,18
3	3,75	5119,231651	34138402,18

### PERHITUNGAN MANUAL

Dalam perhitungan ini dalam mencari besarnya omega ( $\omega$ ), kami menggunakan metode polinomial. Untuk mencari besarnya simpangan, kecepatan, percepatan, simpangan antar tingkat, gaya horisontal tingkat, gaya horisontal tingkat kumulatif dan momen guling menggunakan metode  $\beta$ -Newmark.

### PENYELESAIAN :

a. Perhitungan *mode shape* struktur 3 tingkat dengan *base isolation*.

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

$$[M] = \begin{bmatrix} 9691,36086 & 0 & 0 \\ 0 & 9691,36068 & 0 \\ 0 & 0 & 5119,231651 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_b + k_1 + k_w & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 35334188,76 & -34138402,18 & 0 \\ -34138402,18 & 68276804,36 & -34138402,18 \\ 0 & -34138402,18 & -34138402,18 \end{bmatrix}$$

misal dipakai unit kekakuan  $K = 34138402,18 \text{ kg/m}$ , maka :

$$[K] = \begin{bmatrix} 1,035k & -1k & 0 \\ -1k & 2k & -1k \\ 0 & -1k & 1k \end{bmatrix}$$

Dengan memperhatikan matrik-matrik diatas, maka persamaan *eigenproblem* dapat disusun sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} 1,035k - 9691,361\omega^2 m & -k & 0 \\ -k & 2k - 9691,361\omega^2 m & -k \\ 0 & -k & k - 5119,232\omega^2 m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi 1 \\ \phi 2 \\ \phi 3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$\phi_3 = 93922478,03\lambda^2 - 29413,28064\lambda + 1,07$$

Sehingga dengan memasukkan nilai persamaan  $\phi_1$ ,  $\phi_2$ ,  $\phi_3$  ke persamaan (1.3) akan diperoleh :

$$4,80810955050E+11\lambda^3 - 244495885,5\lambda^2 + 25199,49788\lambda - 0,035 = 0$$

Persamaan diatas merupakan persamaan polinomial pangkat 3. Akar-akar yang dicari adalah nilai  $\lambda$  dari persamaan tersebut. Maka akar-akar persamaan polinomial diatas adalah :

$$\lambda_1 = 1,408100726E-06$$

$$\lambda_2 = 1,413397934E-04$$

$$\lambda_3 = 3,657594162E-04$$

maka nilai omega ( $\omega$ ) dicari dengan rumus :

$$\omega = \sqrt{\lambda * \frac{k}{m}}$$

$$\omega_1 = \sqrt{1,408100726E-06 * \frac{34138402,18}{1}} = 6,933275481 \text{ rad/detik}$$

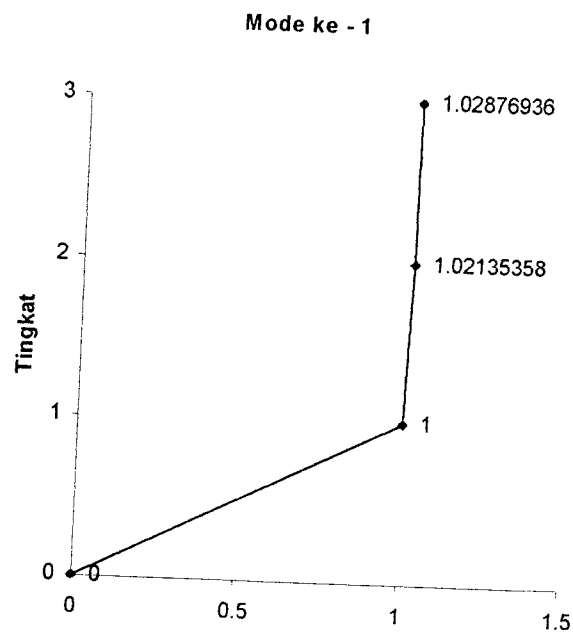
$$\omega_2 = \sqrt{1,413397934E-04 * \frac{34138401,18}{1}} = 69,46304565 \text{ rad/detik}$$

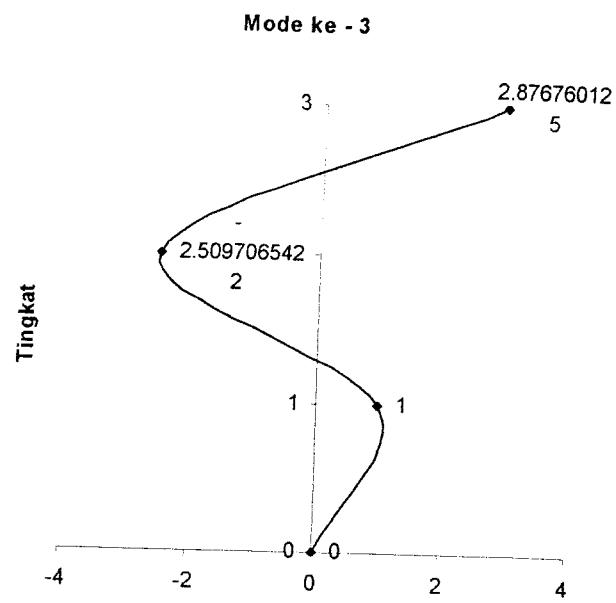
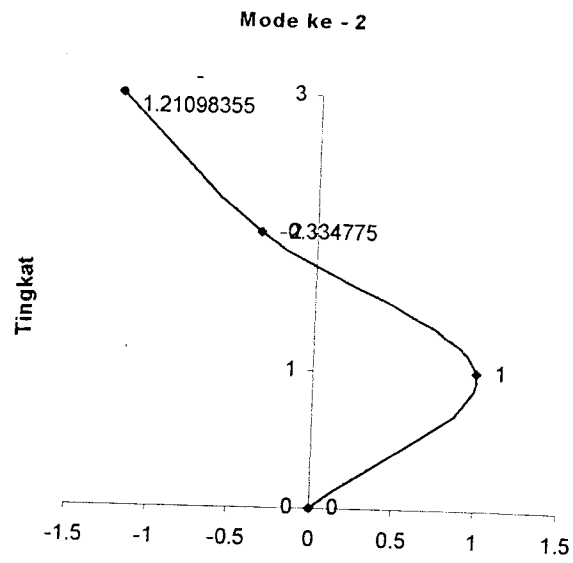
$$\omega_3 = \sqrt{3,657594162E-04 * \frac{34138401,18}{1}} = 111,7427494 \text{ rad/detik}$$

Selain itu akar-akar polinomial digunakan pula untuk menghitung nilai *mode shape*, kemudian ditabelkan seperti dibawah ini :

No.	Fungsi $\phi_i$	Nilai $\phi_i$		
		Mode ke-1 $\lambda_1=1,408100726\text{E-}06$	Mode ke-2 $\lambda_2=1,413397934\text{E-}04$	Mode ke-3 $\lambda_3=3,657594162\text{E-}04$
1.	$\phi_1 = 1$	$\phi_{11} = 1$	$\phi_{12} = 1$	$\phi_{13} = 1$
2.	$\Phi_2 = (1,035 - 9691,361 * \lambda)$	$\Phi_{21} = 1,021353588$	$\Phi_{22} = -0,3347749615$	$\Phi_{23} = -2,509706542$
3.	$\Phi_3 = (93922478,03\lambda^2 - 29413,28064\lambda + 1,07)$	$\Phi_{31} = 1,028769363$	$\Phi_{32} = -1,210983558$	$\Phi_{33} = 2,876760125$

Nilai-nilai ordinat *normal modes*  $\phi_{ij}$  selanjutnya digambar seperti berikut ini :





**b. Perhitungan *mode shape* struktur 3 tingkat tanpa *base isolation*.**

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

$$[M] = \begin{bmatrix} 9691,3608 & 0 & 0 \\ 0 & 9691,3608 & 0 \\ 0 & 0 & 5119,231651 \end{bmatrix}$$

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

$$[K] = \begin{bmatrix} 68276804,36 & -34138402,18 & 0 \\ -34138402,18 & 68276804,36 & -34138402,18 \\ 0 & -34138402,18 & -34138402,18 \end{bmatrix}$$

misal dipakai unit kekakuan  $K = 34138402,18 \text{ kg/m}$ , maka :

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

Dengan memperhatikan matrik-matrik diatas, maka persamaan *eigenproblem* dapat disusun sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} 2k - 9691,361\omega^2 m & -k & 0 \\ -k & 2k - 9691,361\omega^2 m & -k \\ 0 & -k & k - 5119,232\omega^2 m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi 1 \\ \phi 2 \\ \phi 3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$



Persamaan diatas dapat ditulis sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} 2 - 9691,361 \frac{\omega^2}{k/m} & -1 & 0 \\ -1 & 2 - 9691,361 \frac{\omega^2}{k/m} & -1 \\ 0 & -1 & 1 - 5119,232 \frac{\omega^2}{k/m} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

apabila diambil notasi bahwa  $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$  maka persamaan diatas menjadi :

$$\begin{bmatrix} 2 - 9691,361 * \lambda & -1 & 0 \\ -1 & 2 - 9691,361 * \lambda & -1 \\ 0 & -1 & 1 - 5119,232 * \lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

dan apabila persamaan tersebut disederhanakan akan diperoleh :

$$(2 - 9691,361 * \lambda) * \phi_1 - \phi_2 = 0 \dots\dots\dots(1.4)$$

$$-\phi_1 + (2 - 9691,361 * \lambda) * \phi_2 - \phi_3 = 0 \dots\dots\dots(1.5)$$

$$-\phi_2 + (1 - 5119,232 * \lambda) * \phi_3 = 0 \dots\dots\dots(1.6)$$

dengan mengambil :

$$\phi_1 = 1$$

Dengan mensubstitusikan nilai tersebut pada persamaan (1.4) diatas akan diperoleh :

$$\phi_2 = (2 - 9691,361 * \lambda)$$

Selanjutnya dengan mensubstitusikan nilai tersebut pada persamaan (1.5), maka diperoleh :

$$\phi_3 = 93922478,03\lambda^2 - 38765,444\lambda + 3$$

Sehingga dengan memasukkan nilai persamaan  $\phi_1$ ,  $\phi_2$ ,  $\phi_3$ , ke persamaan (1.6) akan diperoleh :

$$4,80810955050E+11\lambda^3 - 292371779,4\lambda^2 + 44431,779\lambda - 1 = 0$$

Persamaan diatas merupakan persamaan polinomial pangkat 3. Akar-akar yang dicari adalah nilai  $\lambda$  dari persamaan tersebut. Maka akar-akar persamaan polinomial diatas adalah :

$$\lambda_1 = 2,71354372E-05$$

$$\lambda_2 = 2,025611225E-04$$

$$\lambda_3 = 3,783839684E-04$$

maka nilai omega ( $\omega$ ) dicari dengan rumus :

$$\omega = \sqrt{\lambda * \frac{k}{m}}$$

$$\omega_1 = \sqrt{2,71354372E-05 * \frac{34138402,18}{1}} = 30,4361704 \text{ rad/detik}$$

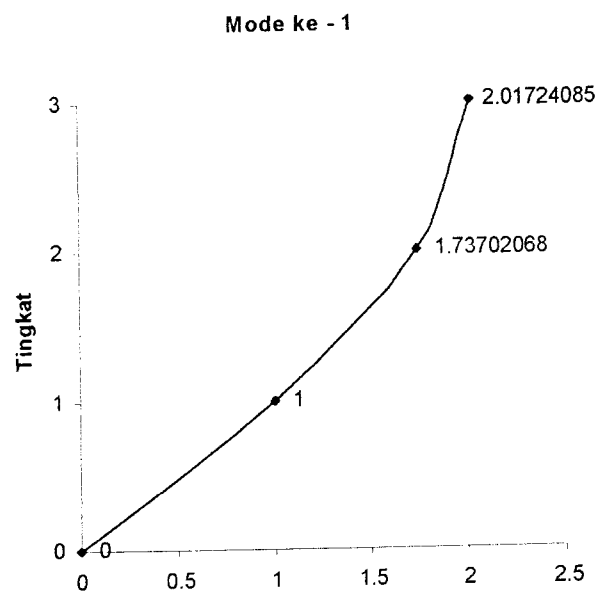
$$\omega_2 = \sqrt{2,025611225E-04 * \frac{34138402,18}{1}} = 83,15715884 \text{ rad/detik}$$

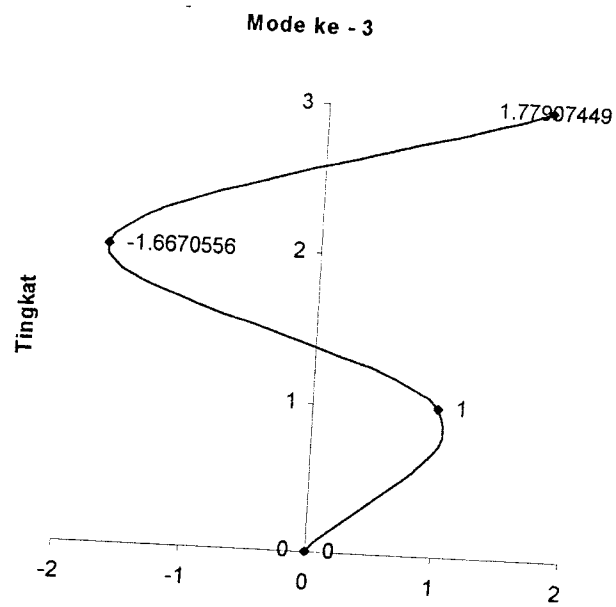
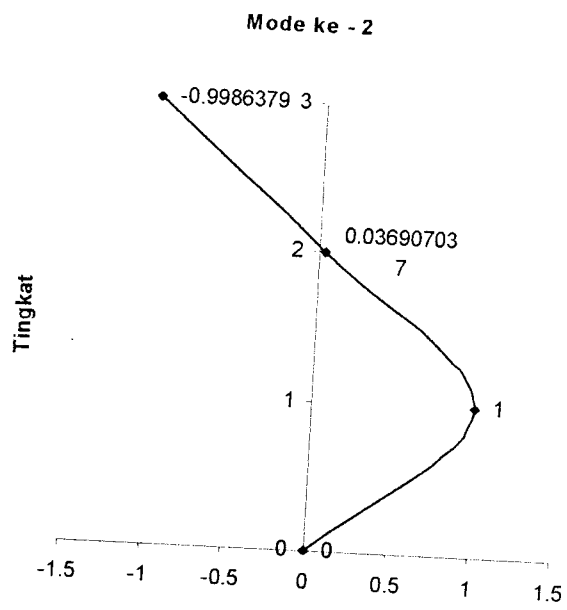
$$\omega_3 = \sqrt{3,783839684E-04 * \frac{34138402,18}{1}} = 113,6548463 \text{ rad/detik}$$

Selain itu akar-akar polinomial digunakan pula untuk menghitung nilai *mode shape*, kemudian ditabelkan seperti dibawah ini :

No.	Fungsi $\phi_i$	Nilai $\phi_i$		
		Mode ke-1 $\lambda_1=2,71354372\text{E-}05$	Mode ke-2 $\lambda_2=2,025611225\text{E-}04$	Mode ke-3 $\lambda_3=3,783839684\text{E-}04$
1.	$\phi_1 = 1$	$\phi_{11} = 1$	$\phi_{12} = 1$	$\phi_{13} = 1$
2.	$\Phi_2=(2-9691,361 * \lambda )$	$\Phi_{21} = 1,737020682$	$\Phi_{22} = 0,036907037$	$\Phi_{23} = -1,667055634$
3.	$\Phi_3=(93922478,03\lambda^2 - 38765,444\lambda + 3)$	$\Phi_{31} = 2,01724085$	$\Phi_{32} = -0,9986378707$	$\Phi_{33} = 1,779074488$

Nilai-nilai ordinat *normal modes*  $\phi_{ij}$  selanjutnya digambar seperti berikut ini :





## METODE $\beta$ - NEWMARK

Metode ini dipakai untuk menghitung struktur dengan menggunakan *base isolation* dan bangunan tanpa menggunakan *base isolation*.

### A. Struktur dengan menggunakan *base isolation*

Matrik massa dan matrik kekakuannya adalah sebagai berikut :

$$[M] = \begin{bmatrix} m_b & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 \\ 0 & 0 & m_2 \end{bmatrix}, \text{ dimana } m_b = m_1$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 9691,361 & 0 & 0 \\ 0 & 9691,361 & 0 \\ 0 & 0 & 5119,232 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_b + k_1 + kw & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 35334188,76 & -34138402,18 & 0 \\ -34138402,18 & 68276804,36 & -34138402,18 \\ 0 & -34138402,18 & -34138402,18 \end{bmatrix}$$

## I. MENCARI MATRIK REDAMAN

Matrik Redaman diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$c_b = 2 * m_b * \xi * \omega_b$$

$$c_b = 2 * 9691,361 * 0,2 * \sqrt{\frac{1183388,534}{9691,361}} = 42836,7048$$

$$c_n = 2 * m_n * \xi * \omega_n$$

$$c_1 = 2 * 9691,361 * 0,05 * 69,46 = 67316,19351$$

$$c_2 = 2 * 5119,232 * 0,05 * 69,46 = 35558,17158$$

$$[C] = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_1 & 0 \\ -c_1 & c_1 + c_2 & -c_2 \\ 0 & -c_2 & c_2 \end{bmatrix}$$

$$[C] = \begin{bmatrix} 110152,889 \text{ 1} & -67316,1935 \text{ 1} & 0 \\ -67316,1935 \text{ 1} & 102874,358 \text{ 1} & -35558,1715 \text{ 8} \\ 0 & -35558,1715 \text{ 8} & 35558,1715 \text{ 8} \end{bmatrix}$$

## II. MENCARI KEKAKUKAN EFEKTIF

Dalam mencari kekakuan efektif ditentukan dahulu nilai  $\gamma = 0,5$  dan  $\beta = 0,25$ , kemudian nilai kekakuan efektif dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$K = [K] + \frac{\gamma}{\beta * \Delta t} [C] + \frac{1}{\beta * (\Delta t)^2} [M]$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 35334188,76 & -34138402,18 & 0 \\ -34138402,18 & 68276804,36 & -34138402,18 \\ 0 & -34138402,18 & 34138402,18 \end{bmatrix}$$

$$+ \frac{0,5}{0,25 * 0,01} \begin{bmatrix} 110152,889 \text{ 1} & -67316,1935 \text{ 1} & 0 \\ -67316,1935 \text{ 1} & 102874,358 \text{ 1} & -35558,1715 \text{ 8} \\ 0 & -35558,1715 \text{ 8} & 35558,1715 \text{ 8} \end{bmatrix}$$

$$+ \frac{1}{0,25 * (0,01)^2} \begin{bmatrix} 9691,361 & 0 & 0 \\ 0 & 9691,361 & 0 \\ 0 & 0 & 5119,232 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} 445019166,6 & -47601639,5 & 0 \\ -47601639,5 & 476506076 & -41250036,5 \\ 0 & -41250036,5 & 246019236,5 \end{bmatrix}$$

Invers matrik kekakuan efektif :

$$K^{-1} = \begin{bmatrix} 2,27173E - 09 & 2,30282E - 10 & 3,86113E - 11 \\ 2,30282E - 10 & 2,15286E - 09 & 3,6097E - 10 \\ 3,86113E - 11 & 3,6097E - 10 & 4,12525E - 09 \end{bmatrix}$$

### III. MENCARI KONSTANTA "a"

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

$$a = \frac{1}{0,25 * 0,01} \begin{bmatrix} 9691,361 & 0 & 0 \\ 0 & 9691,361 & 0 \\ 0 & 0 & 5119,232 \end{bmatrix} + \frac{0,5}{0,25} \begin{bmatrix} 110152,8891 & -67316,19351 & 0 \\ -67316,19351 & 102874,3581 & -35558,17158 \\ 0 & -35558,17158 & 35558,17158 \end{bmatrix}$$

$$a = \begin{bmatrix} 4096849,778 & -134632,3731 & 0 \\ -134632,3731 & 4082292,716 & -71116,34316 \\ 0 & -71116,34316 & 2118808,343 \end{bmatrix}$$

### IV. MENCARI KONSTANTA "b"

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

$$b = \frac{1}{2 * 0,25} \begin{bmatrix} 9691,361 & 0 & 0 \\ 0 & 9691,361 & 0 \\ 0 & 0 & 5119,232 \end{bmatrix} + \left( \frac{0,5}{2 * 0,25} - 1 \right) \begin{bmatrix} 110152,8891 & -67316,19351 & 0 \\ -67316,19351 & 102874,3581 & -35558,17158 \\ 0 & -35558,17158 & 35558,17158 \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} 19382,72 & 0 & 0 \\ 0 & 19382,72 & 0 \\ 0 & 0 & 10238,46 \end{bmatrix}$$

## V. PERHITUNGAN PEMBEBANAN

Perhitungan pembebanan menggunakan beban gempa Koyna, dimana percepatan gempa adalah sebagai berikut :

- Untuk selang waktu 0,01 detik =  $-0,0196 \frac{m}{dt^2}$
- Untuk selang waktu 0,02 detik =  $-0,0392 \frac{m}{dt^2}$
- Untuk selang waktu 0,03 detik =  $-0,0588 \frac{m}{dt^2}$

### 1. Langkah 1 (saat 0,01 detik)

Kondisi pertama diketahui  $y_0 = 0$ ;  $\dot{y}_0 = 0$ ;  $\ddot{y}_0 = 0$

$$\Delta \dot{p}_0 = -\left(\ddot{y}b_1 - \ddot{y}b_0\right) \begin{bmatrix} m_b \\ m_1 \\ m_2 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \dot{p}_0 = -\left(-0,0196 - 0\right) \begin{bmatrix} 9691,361 \\ 9691,361 \\ 5119,232 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \dot{p}_0 = \begin{bmatrix} 189,950656 \\ 189,950656 \\ 100,336908 \end{bmatrix}$$

a. Menghitung pertambahan pembebanan ( $\Delta P_0$ )

$$\Delta P_0 = \Delta \dot{p}_0 + a * \dot{y}_0 + b * \ddot{y}_0 = \begin{bmatrix} 189,950656 \\ 189,950656 \\ 100,336908 \end{bmatrix}$$

b. Menghitung pertambahan simpangan ( $\Delta y_0$ )

$$K * \Delta y_0 = \Delta P_0$$

$$\Delta y_0 = K^{-1} * \Delta P_0$$

$$\Delta y_0 = \begin{bmatrix} 2,27173E-09 & 2,30282E-10 & 3,86113E-11 \\ 2,30282E-10 & 2,15286E-09 & 3,6097E-10 \\ 3,86113E-11 & 3,6097E-10 & 4,12525E-09 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 189,950656 \\ 189,950656 \\ 100,336908 \end{bmatrix}$$



$$\Delta y_0 = \begin{bmatrix} 4,79132\text{E-}07 \\ 4,88898\text{E-}07 \\ 4,89815\text{E-}07 \end{bmatrix}$$

c. Menghitung pertambahan kecepatan ( $\Delta \dot{y}_0$ )

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

$$\Delta \dot{y}_0 = \frac{0,5}{0,25 * 0,01} \begin{bmatrix} 4,79132\text{E-}07 \\ 4,88898\text{E-}07 \\ 4,89815\text{E-}07 \end{bmatrix} - \frac{0,5}{0,25} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + (0,01) \left( 1 - \frac{0,5}{2 * 0,25} \right) \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \dot{y}_0 = \begin{bmatrix} 9,58264\text{E-}05 \\ 9,77797\text{E-}05 \\ 9,79631\text{E-}05 \end{bmatrix}$$

d. Menghitung pertambahan percepatan ( $\Delta \ddot{y}_0$ )

$$\Delta \ddot{y}_0 = \frac{1}{\beta * (\Delta t)^2} \Delta y_0 - \frac{1}{\beta * \Delta t} \dot{y}_0 + (\Delta t) \frac{1}{2 * \beta} \ddot{y}_0$$

$$\Delta \ddot{y}_0 = \frac{1}{0,25 * (0,01)^2} \begin{bmatrix} 4,79132\text{E-}07 \\ 4,88898\text{E-}07 \\ 4,89815\text{E-}07 \end{bmatrix} - \frac{1}{0,25 * 0,01} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + (0,01) \frac{1}{2 * 0,25} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \ddot{y}_0 = \begin{bmatrix} 0,019165289 \\ 0,019555934 \\ 0,019592611 \end{bmatrix}$$

e. Menghitung simpangan ( $y_1$ )

$$y_1 = y_0 + \Delta y_0$$

$$y_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 4,79132\text{E-}07 \\ 4,88898\text{E-}07 \\ 4,89815\text{E-}07 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4,79132\text{E-}07 \\ 4,88898\text{E-}07 \\ 4,89815\text{E-}07 \end{bmatrix}$$

f. Menghitung kecepatan ( $\dot{y}_1$ )

$$\dot{y}_1 = \dot{y}_0 + \Delta \dot{y}_0$$

$$\dot{y}_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 9,58264E-05 \\ 9,77797E-05 \\ 9,79631E-05 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9,58264E-05 \\ 9,77797E-05 \\ 9,79631E-05 \end{bmatrix}$$

g. Menghitung percepatan ( $\ddot{y}_1$ )

$$\ddot{y}_1 = \ddot{y}_0 + \Delta \ddot{y}_0$$

$$\ddot{y}_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,019165289 \\ 0,019555934 \\ 0,019592611 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,019165289 \\ 0,019555934 \\ 0,019592611 \end{bmatrix}$$

h. Menghitung simpangan netto

Simpangan netto dapat dilihat pada perhitungan simpangan ( $y_1$ ), yaitu :

1. Base Isolation,  $y = 4,79132E-07 \text{ m} = 4,79132E-05 \text{ cm}$

2. Lantai 1,  $y = 4,88898E-07 \text{ m} = 4,88898E-05 \text{ cm}$

3. Lantai 2,  $y = 4,89815E-07 \text{ m} = 4,89815E-05 \text{ cm}$

i. Menghitung simpangan antar tingkat,  $yy$  (interstorey drift)

Simpangan antar tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$yy_j(t) = \frac{yy_j(t) - yy_{j-1}(t)}{h}$$

$$1. \text{ Base Isolation, } yy_1 = \frac{Y_{\text{nettoBaseIsolation}}}{\text{tinggitingkat1}} * 100\%$$

$$= \frac{4,79132E-07}{3,75} * 100\%$$

$$= 1,27769E-05 \%$$

$$2. \text{ Lantai 1, } yy_2 = \frac{Y_{\text{nettolantai1}} - Y_{\text{nettoBase Isolation}}}{\text{tinggitingkat2}} * 100\%$$

$$= \frac{(4,88898E-07) - (4,79132E-07)}{3,75} * 100\%$$

$$= 2,6043E-07 \%$$

$$\begin{aligned}
3. \text{ Lantai 2, } y_{y3} &= \frac{Y_{\text{nettolant ai2}} - Y_{\text{nettolant ai1}}}{\text{tinggiting kat3}} * 100\% \\
&= \frac{(4,89815E-07) - (4,88898E-07)}{3,75} * 100\% \\
&= 2,44517E-08 \%
\end{aligned}$$

j. Menghitung gaya horisontal tingkat ( F )

Gaya horisontal tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
F_j &= k_j * y_j(t) \\
F_j &= \begin{bmatrix} 35334188,76 & -34138402,18 & 0 \\ -34138402,18 & 68276804,36 & -34138402,18 \\ 0 & -34138402,18 & -34138402,18 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 4,79132E-07 \\ 4,88898E-07 \\ 4,89815E-07 \end{bmatrix} \\
F_j &= \begin{bmatrix} 0,239539688 \\ 0,302097386 \\ 0,031302799 \end{bmatrix} \text{ kg}
\end{aligned}$$

k. Menghitung gaya horisontal tingkat kumulatif ( V )

Gaya horisontal tingkat kumulatif merupakan jumlah gaya horisontal tingkat pada tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V(t) = \sum_{j=1}^n F(t)$$

$$\begin{aligned}
1. \text{ Base Isolation, } V_1 &= F_1 + F_2 + F_3 \\
&= 0,239539688 + 0,302097386 + 0,031302799 \\
&= 0,572939872 \text{ kg}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
2. \text{ Lantai 1, } V_2 &= F_2 + F_3 \\
&= 0,302097386 + 0,031302799 \\
&= 0,333400184 \text{ kg}
\end{aligned}$$

$$3. \text{ Lantai 2, } V_3 = F_3 = 0,031302799 \text{ kg}$$

l. Menghitung momen guling ( Mg )

Momen guling merupakan perkalian antara gaya horisontal tingkat dengan tinggi tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$M_g = F_j(t) * H$$

$$1. \text{ Dasar, } Mg_0 = F_1 * H_1 + F_2 * H_2 + F_3 * H_3$$

$$0,239539688*(3,75) + 0,302097386*(7,5) + 0,031302799*(11,25)$$

$$3,516160706 \text{ kg.m}$$

$$2. \text{ Base Isolation, } Mg_1 = F_2 * H_2 + F_3 * H_3$$

$$= 0,302097386*(3,75) + 0,031302799*(7,5)$$

$$= 1,367636186 \text{ kg.m}$$

$$3. \text{ Lantai 1, } Mg_2 = F_3 * H_3$$

$$= 0,031302799*(3,75)$$

$$= 0,117385495 \text{ kg.m}$$

$$4. \text{ Lantai 2, } Mg_3 = 0 \text{ kg.m}$$

## 2. Langkah 2 (saat 0,02 detik)

$$\Delta \dot{p}_1 = - \left( \ddot{y}b_2 - \ddot{y}b_1 \right) \begin{bmatrix} m_b \\ m_1 \\ m_2 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \dot{p}_1 = - (-0,0392 - (-0,0196)) \begin{bmatrix} 9691,361 \\ 9691,361 \\ 5119,232 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \dot{p}_1 = \begin{bmatrix} 189.950656 \\ 189.950656 \\ 100.336908 \end{bmatrix}$$

a. Menghitung pertambahan pembebanan ( $\Delta P_1$ )

$$\Delta P_1 = \Delta \dot{p}_1 + a * \dot{y}_1 + b * \ddot{y}_1$$

$$= \begin{bmatrix} 189.950656 \\ 189.950656 \\ 100.336908 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 379,4222326 \\ 379,2971172 \\ 200,6112104 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 371,4754225 \\ 379,0471915 \\ 200,5981685 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 940,8483111 \\ 948,2949648 \\ 501,546287 \end{bmatrix}$$

b. Menghitung pertambahan simpangan ( $\Delta y_1$ )

$$K * \Delta y_1 = \Delta P_1$$

$$\Delta y_1 = K^{-1} * \Delta P_1$$

$$\Delta y_1 = \begin{bmatrix} 2,27173E-09 & 2,30282E-10 & 3,86113E-11 \\ 2,30282E-10 & 2,15286E-09 & 3,6097E-10 \\ 3,86113E-11 & 3,6097E-10 & 4,12525E-09 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 940,8483111 \\ 948,2949648 \\ 501,546287 \end{bmatrix}$$

$$\Delta y_1 = \begin{bmatrix} 2,37509E-06 \\ 2,43925E-06 \\ 2,44764E-06 \end{bmatrix}$$

c. Menghitung pertambahan kecepatan ( $\Delta \dot{y}_1$ )

$$\Delta \dot{y}_1 = \frac{\gamma}{\beta * \Delta t} \Delta y_1 - \frac{\gamma}{\beta} \dot{y}_1 + (\Delta t) \left( 1 - \frac{\gamma}{2 * \beta} \right) \ddot{y}_1$$

$$\Delta \dot{y}_1 = \frac{0,5}{0,25 * 0,01} \begin{bmatrix} 2,37509E-06 \\ 2,43925E-06 \\ 2,44764E-06 \end{bmatrix} - \frac{0,5}{0,25} \begin{bmatrix} 9,58264E-05 \\ 9,77797E-05 \\ 9,79631E-05 \end{bmatrix}$$

$$+ (0,01) \left( 1 - \frac{0,5}{2 * 0,25} \right) \begin{bmatrix} 0,019165289 \\ 0,019555934 \\ 0,019592611 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \dot{y}_1 = \begin{bmatrix} 0,000283365 \\ 0,000292291 \\ 0,000293601 \end{bmatrix}$$

d. Menghitung pertambahan percepatan ( $\Delta \ddot{y}_1$ )

$$\Delta \ddot{y}_1 = \frac{1}{\beta * (\Delta t)^2} \Delta y_1 - \frac{1}{\beta * \Delta t} \dot{y}_1 - \frac{1}{2 * \beta} \ddot{y}_1$$

$$\Delta \ddot{y}_1 = \frac{1}{0,25 * (0,01)^2} \begin{bmatrix} 4,79132E-07 \\ 4,88898E-07 \\ 4,89815E-07 \end{bmatrix} - \frac{1}{0,25 * 0,01} \begin{bmatrix} 9,58264E-05 \\ 9,77797E-05 \\ 9,79631E-05 \end{bmatrix} - \frac{1}{2 * 0,25} \begin{bmatrix} 0,019165289 \\ 0,019555934 \\ 0,019592611 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \ddot{y}_1 = \begin{bmatrix} 0,018342456 \\ 0,01934633 \\ 0,019534989 \end{bmatrix}$$

e. Menghitung simpangan ( $y_2$ )

$$y_2 = y_1 + \Delta y_1$$

$$y_2 = \begin{bmatrix} 4,79132E-07 \\ 4,88898E-07 \\ 4,89815E-07 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2,37509E-06 \\ 2,43925E-06 \\ 2,44764E-06 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,85422E-06 \\ 2,92815E-06 \\ 2,93745E-06 \end{bmatrix}$$

f. Menghitung kecepatan ( $\dot{y}_2$ )

$$\dot{y}_2 = \dot{y}_1 + \Delta \dot{y}_1$$

$$\dot{y}_2 = \begin{bmatrix} 9,58264E-05 \\ 9,77797E-05 \\ 9,79631E-05 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,000283365 \\ 0,000292291 \\ 0,000293601 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,000379192 \\ 0,000390071 \\ 0,000391564 \end{bmatrix}$$

g. Menghitung percepatan ( $\ddot{y}_2$ )

$$\ddot{y}_2 = \ddot{y}_1 + \Delta \ddot{y}_1$$

$$\ddot{y}_2 = \begin{bmatrix} 0,019165289 \\ 0,019555934 \\ 0,019592611 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,018342456 \\ 0,01934633 \\ 0,019534989 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,037507745 \\ 0,038902264 \\ 0,0391276 \end{bmatrix}$$

h. Menghitung simpangan netto

Simpangan netto dapat dilihat pada perhitungan simpangan ( $y_2$ ), yaitu :

1. Base Isolation,  $y = 2,85422E-06 \text{ m} = 2,85422E-04 \text{ cm}$
2. Lantai 1,  $y = 2,92815E-06 \text{ m} = 2,92815E-04 \text{ cm}$
3. Lantai 2,  $y = 2,93745E-06 \text{ m} = 2,93745E-04 \text{ cm}$

i. Menghitung simpangan antar tingkat,  $yy$  (*interstorey drift*)

Simpangan antar tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$yy_j(t) = \frac{yy_j(t) - yy_{j-1}(t)}{h}$$

$$1. \text{ Base Isolation, } yy_1 = \frac{Y_{\text{nettoBaseIsolation}}}{\text{tinggitingkat1}} * 100\%$$

$$= \frac{2,85422E-06}{3,75} * 100\%$$

$$= 7,61126E-05 \%$$

$$2. \text{ Lantai 1, } yy_2 = \frac{Y_{\text{nettolantai1}} - Y_{\text{nettoBase Isolation}}}{\text{tinggitingkat2}} * 100\%$$

$$= \frac{(2,92815E-06) - (2,85422E-06)}{3,75} * 100\%$$

$$= 1,9714E-06 \%$$

$$3. \text{ Lantai 2, } yy_3 = \frac{Y_{\text{nettolantai2}} - Y_{\text{nettolantai1}}}{\text{tinggitingkat3}} * 100\%$$

$$= \frac{(2,93745E-06) - (2,92815E-06)}{3,75} * 100\%$$

$$= 2,48031E-07 \%$$

j. Menghitung gaya horisontal tingkat ( F )

Gaya horisontal tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$F_j = k_j * y_j(t)$$

$$F_j = \begin{bmatrix} 35334188,76 & -34138402,18 & 0 \\ -34138402,18 & 68276804,36 & -34138402,18 \\ 0 & -34138402,18 & -34138402,18 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 2,85422E-06 \\ 2,92815E-06 \\ 2,93745E-06 \end{bmatrix}$$

$$F_j = \begin{bmatrix} 0,889274004 \\ 2,206239948 \\ 0,317526976 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

k. Menghitung gaya horizontal tingkat kumulatif ( V )

Gaya horizontal tingkat kumulatif merupakan jumlah gaya horizontal tingkat pada tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V(t) = \sum_{j=1}^n F(t)$$

$$\begin{aligned} 1. \text{ Base Isolation, } V_1 &= F_1 + F_2 + F_3 \\ &= 0,889274004 + 2,206239948 + 0,317526976 \\ &= 3,413040929 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Lantai 1, } V_2 &= F_2 + F_3 \\ &= 2,206239948 + 0,317526976 \\ &= 2,523766925 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$3. \text{ Lantai 2, } V_3 = F_3 = 0,317526976 \text{ kg}$$

l. Menghitung momen guling ( Mg )

Momen guling merupakan perkalian antara gaya horizontal tingkat dengan tinggi tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$M_g = F_j(t) * H$$

$$\begin{aligned} 1. \text{ Dasar, } Mg_0 &= F_1 * H_1 + F_2 * H_2 + F_3 * H_3 \\ &= 0,889274004*(3,75) + 2,206239948*(7,5) + \\ &\quad 0,317526976*(11,25) \\ &= 23,45375561 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Base Isolation, } Mg_1 &= F_2 * H_2 + F_3 * H_3 \\ &= 2,206239948*(3,75) + 0,317526976*(7,5) \\ &= 10,65485213 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \text{ Lantai 1, } Mg_2 &= F_3 * H_3 \\ &= 0,317526976*(3,75) \\ &= 1,190726162 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$4. \text{ Lantai 2, } Mg_3 = 0 \text{ kg.m}$$



### 3. Langkah 3 (saat 0,03 detik)

$$\Delta p_2 = -\left(\ddot{y}b_3 - \ddot{y}b_2\right) \begin{bmatrix} m_b \\ m_1 \\ m_2 \end{bmatrix}$$

$$\Delta p_2 = -(-0,0588 - (-0,0392)) \begin{bmatrix} 9691,361 \\ 9691,361 \\ 5119,232 \end{bmatrix}$$

$$\Delta p_2 = \begin{bmatrix} 189,950656 \\ 189,950656 \\ 100,336908 \end{bmatrix}$$

a. Menghitung pertambahan pembebanan ( $\Delta P_2$ )

$$\begin{aligned} \Delta P_2 &= \Delta p_2 + a * \ddot{y}_2 + b * \ddot{y}_2 \\ &= \begin{bmatrix} 189,950656 \\ 189,950656 \\ 100,336908 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1500,974921 \\ 1513,484527 \\ 801,9089151 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 727,0021117 \\ 754,0316814 \\ 400,6063688 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 2417,927689 \\ 2457,466865 \\ 1302,852192 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

b. Menghitung pertambahan simpangan ( $\Delta y_2$ )

$$K * \Delta y_2 = \Delta P_2$$

$$\Delta y_2 = K^{-1} * \Delta P_2$$

$$\Delta y_2 = \begin{bmatrix} 2,27173E-09 & 2,30282E-10 & 3,86113E-11 \\ 2,30282E-10 & 2,15286E-09 & 3,6097E-10 \\ 3,86113E-11 & 3,6097E-10 & 4,12525E-09 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 2417,927689 \\ 2457,466865 \\ 1302,852192 \end{bmatrix}$$

$$\Delta y_2 = \begin{bmatrix} 6,10908E-06 \\ 6,31768E-06 \\ 6,35502E-06 \end{bmatrix}$$

c. Menghitung pertambahan kecepatan ( $\Delta \dot{y}_2$ )

$$\Delta \dot{y}_2 = \frac{\gamma}{\beta * \Delta t} \Delta y_2 - \frac{\gamma}{\beta} \dot{y}_2 + (\Delta t) \left( 1 - \frac{\gamma}{2 * \beta} \right) \ddot{y}_2$$

$$\Delta \dot{y}_2 = \frac{0,5}{0,25 * 0,01} \begin{bmatrix} 6,10908E-06 \\ 6,31768E-06 \\ 6,35502E-06 \end{bmatrix} - \frac{0,5}{0,25} \begin{bmatrix} 0,000379192 \\ 0,000390071 \\ 0,000391564 \end{bmatrix}$$

$$+ (0,01) \left( 1 - \frac{0,5}{2 * 0,25} \right) \begin{bmatrix} 0,037507745 \\ 0,038902264 \\ 0,0391276 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \dot{y}_2 = \begin{bmatrix} 0,000463434 \\ 0,000483395 \\ 0,000487875 \end{bmatrix}$$

d. Menghitung pertambahan percepatan ( $\Delta \ddot{y}_2$ )

$$\Delta \ddot{y}_2 = \frac{1}{\beta * (\Delta t)^2} \Delta y_2 - \frac{1}{\beta * \Delta t} \dot{y}_2 - \frac{1}{2 * \beta} \ddot{y}_2$$

$$\Delta \ddot{y}_2 = \frac{1}{0,25 * (0,01)^2} \begin{bmatrix} 6,10908E-06 \\ 6,31768E-06 \\ 6,35502E-06 \end{bmatrix}$$

$$- \frac{1}{0,25 * 0,01} \begin{bmatrix} 0,000379192 \\ 0,000390071 \\ 0,000391564 \end{bmatrix} - \frac{1}{2 * 0,25} \begin{bmatrix} 0,037507745 \\ 0,038902264 \\ 0,0391276 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \ddot{y}_2 = \begin{bmatrix} 0,01767125 \\ 0,018874507 \\ 0,019319897 \end{bmatrix}$$

e. Menghitung simpangan ( $y_3$ )

$$y_3 = y_2 + \Delta y_2$$

$$y_3 = \begin{bmatrix} 2,85422E-06 \\ 2,92815E-06 \\ 2,93745E-06 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 6,10908E-06 \\ 6,31768E-06 \\ 6,35502E-06 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8,96331E-06 \\ 9,24583E-06 \\ 9,29247E-06 \end{bmatrix}$$

f. Menghitung kecepatan ( $\dot{y}_3$ )

$$\dot{y}_3 = \dot{y}_2 + \Delta \dot{y}_2$$

$$\dot{y}_3 = \begin{bmatrix} 0,000379192 \\ 0,000390071 \\ 0,000391564 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,000463434 \\ 0,000483395 \\ 0,000487875 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,000842625 \\ 0,000873466 \\ 0,00087944 \end{bmatrix}$$

g. Menghitung percepatan ( $\ddot{y}_3$ )

$$\ddot{y}_3 = \ddot{y}_2 + \Delta \ddot{y}_2$$

$$\ddot{y}_3 = \begin{bmatrix} 0,037507745 \\ 0,038902264 \\ 0,0391276 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,01767125 \\ 0,018874507 \\ 0,019319897 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,055178995 \\ 0,05777677 \\ 0,058447498 \end{bmatrix}$$

h. Menghitung simpangan netto

Simpangan netto dapat dilihat pada perhitungan simpangan ( $y_3$ ), yaitu :

1. Base Isolation,  $y = 8,96331E-06 \text{ m} = 8,96331E-04 \text{ cm}$

2. Lantai 1,  $y = 9,24583E-06 \text{ m} = 9,24583E-04 \text{ cm}$

3. Lantai 2,  $y = 9,29247E-06 \text{ m} = 9,29247E-04 \text{ cm}$

i. Menghitung simpangan antar tingkat,  $yy$  (*interstorey drift*)

Simpangan antar tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$yy_j(t) = \frac{yy_j(t) - yy_{j-1}(t)}{h}$$

$$1. \text{ Base Isolation, } yy_1 = \frac{Y_{\text{nettoBaseIsolation}}}{\text{tinggitingkat1}} * 100\%$$

$$= \frac{8,96331E-06}{3,75} * 100\%$$

$$= 0,000239022 \%$$

$$2. \text{ Lantai 1, } yy_2 = \frac{Y_{\text{nettolantai1}} - Y_{\text{nettoBase Isolation}}}{\text{tinggitingkat2}} * 100\%$$

$$= \frac{(9,24583E-06) - (8,96331E-06)}{3,75} * 100\%$$

$$= 7,53401E-06 \%$$

$$\begin{aligned}
 3. \text{ Lantai 2, } y_{y3} &= \frac{Y_{nettolant ai2} - Y_{nettolant ai1}}{\text{tinggiting kat3}} * 100\% \\
 &= \frac{(9,29247E-06) - (9,24583E-06)}{3,75} * 100\% \\
 &= 1,24366E-06 \%
 \end{aligned}$$

j. Menghitung gaya horisontal tingkat ( F )

Gaya Horisontal tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 F_j &= k_j * y_j(t) \\
 F_j &= \begin{bmatrix} 35334188,76 & -34138402,18 & 0 \\ -34138402,18 & 68276804,36 & -34138402,18 \\ 0 & -34138402,18 & -34138402,18 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 8,96331E-06 \\ 9,24583E-06 \\ 9,29247E-06 \end{bmatrix} \\
 F_j &= \begin{bmatrix} 1,073238762 \\ 8,052838999 \\ 1,592124522 \end{bmatrix} \text{ kg}
 \end{aligned}$$

k. Menghitung gaya horisontal tingkat kumulatif ( V )

Gaya horizontal tingkat kumulatif merupakan jumlah gaya horizontal tingkat pada tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V(t) = \sum_{j=1}^n F(t)$$

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Base Isolation, } V_1 &= F_1 + F_2 + F_3 \\
 &= 1,073238762 + 8,052838999 + 1,592124522 \\
 &= 10,71820228 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \text{ Lantai 1, } V_2 &= F_2 + F_3 \\
 &= 8,052838999 + 1,592124522 \\
 &= 9,64496352 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$3. \text{ Lantai 2, } V_3 = F_3 = 1,592124522 \text{ kg}$$

l. Menghitung momen guling ( Mg )

Momen guling merupakan perkalian antara gaya horisontal tingkat dengan tinggi tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$M_g = F_j(t) * H$$

$$\begin{aligned} 1. \text{ Dasar, } Mg_0 &= F_1 * H_1 + F_2 * H_2 + F_3 * H_3 \\ &= 1,073238762*(3,75) + 8,052838999*(7,5) + \\ &\quad 1,592124522*(11,25) \\ &= 82,33233871 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Base Isolation, } Mg_1 &= F_2 * H_2 + F_3 * H_3 \\ &= 8,052838999*(3,75) + 1,592124522*(7,5) \\ &= 42,13908016 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \text{ Lantai 1, } Mg_2 &= F_3 * H_3 \\ &= 1,592124522*(3,75) \\ &= 5,970466956 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$4. \text{ Lantai 2, } Mg_3 = 0 \text{ kg.m}$$

### B. Struktur tanpa menggunakan *base isolation (fixed base)*

Matrik massa dan matrik kekakuannya adalah sebagai berikut :

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

$$[M] = \begin{bmatrix} 9691,361 & 0 & 0 \\ 0 & 9691,361 & 0 \\ 0 & 0 & 5119,232 \end{bmatrix}$$

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

$$[K] = \begin{bmatrix} 68276804,36 & -34138402,18 & 0 \\ -34138402,18 & 68276804,36 & -34138402,18 \\ 0 & -34138402,18 & -34138402,18 \end{bmatrix}$$

## I. MENCARI MATRIK REDAMAN

Matrik redaman diperoleh menggunakan jenis *mass proportional damping* dengan rumus sebagai berikut :

$$c_n = 2 * m_n * \xi * \omega_n$$

$$c_1 = 2 * 9691,361 * 0,05 * 69,46 = 67316,19351$$

$$c_2 = 2 * 9691,361 * 0,05 * 69,46 = 67316,19351$$

$$c_3 = 2 * 5119,232 * 0,05 * 69,46 = 35558,17158$$

$$[C] = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & 0 \\ 0 & 0 & c_3 \end{bmatrix}$$

$$[C] = \begin{bmatrix} 67316,19351 & 0 & 0 \\ 0 & 67316,19315 & 0 \\ 0 & 0 & 35558,17158 \end{bmatrix}$$

## II. MENCARI KEKAKUKAN EFEKTIF

Dalam mencari kekakuan efektif ditentukan dahulu nilai  $\gamma = 0,5$  dan  $\beta = 0,25$ , kemudian nilai kekakuan efektif dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$K = [K] + \frac{\gamma}{\beta * \Delta t} [C] + \frac{1}{\beta * (\Delta t)^2} [M]$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 68276804,36 & -34138402,18 & 0 \\ -34138402,18 & 68276804,36 & -34138402,18 \\ 0 & -34138402,18 & 34138402,18 \end{bmatrix}$$

$$+ \frac{0,5}{0,25 * 0,01} \begin{bmatrix} 67316,19351 & 0 & 0 \\ 0 & 67316,19315 & 0 \\ 0 & 0 & 35558,17158 \end{bmatrix}$$

$$+ \frac{1}{0,25 * (0,01)^2} \begin{bmatrix} 9691,361 & 0 & 0 \\ 0 & 9691,361 & 0 \\ 0 & 0 & 5119,232 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} 461843702,4 & -34138402,18 & 0 \\ -34138402,2 & 461831304,3 & -34138402,18 \\ 0 & -34138402,18 & 242024189,4 \end{bmatrix}$$

Invers matrik kekakuan efektif :

$$K^{-1} = \begin{bmatrix} 2,17726E-09 & 1,62638E-10 & 2,29407E-11 \\ 1,62638E-10 & 2,20026E-09 & 3,10354E-10 \\ 2,29407E-11 & 3,10354E-10 & 4,1756E-09 \end{bmatrix}$$

### III. MENCARI KONSTANTA "a"

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

$$a = \frac{1}{0,25 * 0,01} \begin{bmatrix} 9691,361 & 0 & 0 \\ 0 & 9691,361 & 0 \\ 0 & 0 & 5119,232 \end{bmatrix}$$

$$+ \frac{0,5}{0,25} \begin{bmatrix} 67316,19351 & 0 & 0 \\ 0 & 67316,19315 & 0 \\ 0 & 0 & 35558,17158 \end{bmatrix}$$

$$a = \begin{bmatrix} 3935545 & 0 & 0 \\ 0 & 3935545 & 0 \\ 0 & 0 & 2078857,872 \end{bmatrix}$$

### IV. MENCARI KONSTANTA "b"

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

$$b = \frac{1}{2 * 0,25} \begin{bmatrix} 9691,361 & 0 & 0 \\ 0 & 9691,361 & 0 \\ 0 & 0 & 5119,232 \end{bmatrix}$$

$$+ \left( \frac{0,5}{2 * 0,25} - 1 \right) \begin{bmatrix} 67316,1935 & 0 & 0 \\ 0 & 67316,1931 & 0 \\ 0 & 0 & 35558,1715 \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} 19382,72 & 0 & 0 \\ 0 & 19382,72 & 0 \\ 0 & 0 & 10238,46 \end{bmatrix}$$

## V. PERHITUNGAN PEMBEBANAN

Perhitungan pembebanan menggunakan beban gempa Koyna, dimana percepatan gempa adalah sebagai berikut :

- Untuk selang waktu 0,01 detik =  $-0,0196 \frac{m}{dt^2}$
- Untuk selang waktu 0,02 detik =  $-0,0392 \frac{m}{dt^2}$
- Untuk selang waktu 0,03 detik =  $-0,0588 \frac{m}{dt^2}$

### 1. Langkah 1 (saat 0,01 detik)

Kondisi pertama diketahui  $y_0 = 0$ ;  $\dot{y} = 0$ ;  $\ddot{y} = 0$

$$\Delta p_0 = - \left( \ddot{y} b_1 - \ddot{y} b_0 \right) \begin{bmatrix} m_b \\ m_1 \\ m_2 \end{bmatrix}$$

$$\Delta p_0 = - \left( -0,0196 - 0 \right) \begin{bmatrix} 9691,361 \\ 9691,361 \\ 5119,232 \end{bmatrix}$$

$$\Delta p_0 = \begin{bmatrix} 189,950656 \\ 189,950656 \\ 100,336908 \end{bmatrix}$$



a. Menghitung pertambahan pembebanan ( $\Delta P_0$ )

$$\Delta P_0 = \Delta \dot{p}_0 + a * \dot{y}_0 + b * \ddot{y}_0 = \begin{bmatrix} 189,950656 \\ 189,950656 \\ 100,336908 \end{bmatrix}$$

b. Menghitung pertambahan simpangan ( $\Delta y_0$ )

$$K * \Delta y_0 = \Delta P_0$$

$$\Delta y_0 = K^{-1} * \Delta P_0$$

$$\Delta y_0 = \begin{bmatrix} 2,17726E-09 & 1,62638E-10 & 2,29407E-11 \\ 1,62638E-10 & 2,20026E-09 & 3,10354E-10 \\ 2,29407E-11 & 3,10354E-10 & 4,1756E-09 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 189,950656 \\ 189,950656 \\ 100,336908 \end{bmatrix}$$

$$\Delta y_0 = \begin{bmatrix} 4,46766E-07 \\ 4,79973E-07 \\ 4,82276E-07 \end{bmatrix}$$

c. Menghitung pertambahan kecepatan ( $\Delta \dot{y}_0$ )

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

$$\Delta \dot{y}_0 = \frac{0,5}{0,25 * 0,01} \begin{bmatrix} 4,46766E-07 \\ 4,79973E-07 \\ 4,82276E-07 \end{bmatrix} - \frac{0,5}{0,25} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + (0,01) \left( 1 - \frac{0,5}{2 * 0,25} \right) \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \dot{y}_0 = \begin{bmatrix} 8,93532E-05 \\ 9,59946E-05 \\ 9,64552E-05 \end{bmatrix}$$

d. Menghitung pertambahan percepatan ( $\Delta \ddot{y}_0$ )

$$\Delta \ddot{y}_0 = \frac{1}{\beta * (\Delta t)^2} \Delta y_0 - \frac{1}{\beta * \Delta t} \dot{y}_0 + (\Delta t) \frac{1}{2 * \beta} \ddot{y}_0$$

$$\Delta \ddot{y}_0 = \frac{1}{0,25 * (0,01)^2} \begin{bmatrix} 4,46766E-07 \\ 4,79973E-07 \\ 4,82276E-07 \end{bmatrix}$$

$$- \frac{1}{0,25 * 0,01} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + (0,01) \frac{1}{2 * 0,25} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \ddot{y}_0 = \begin{bmatrix} 0,01787065 \\ 0,01919893 \\ 0,019291035 \end{bmatrix}$$

e. Menghitung simpangan ( $y_1$ )

$$y_1 = y_0 + \Delta y_0$$

$$y_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 4,46766E-07 \\ 4,79973E-07 \\ 4,82276E-07 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4,46766E-07 \\ 4,79973E-07 \\ 4,82276E-07 \end{bmatrix}$$

f. Menghitung kecepatan ( $\dot{y}_1$ )

$$\dot{y}_1 = \dot{y}_0 + \Delta \dot{y}_0$$

$$\dot{y}_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 8,93532E-05 \\ 9,59946E-05 \\ 9,64552E-05 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8,93532E-05 \\ 9,59946E-05 \\ 9,64552E-05 \end{bmatrix}$$

g. Menghitung percepatan ( $\ddot{y}_1$ )

$$\ddot{y}_1 = \ddot{y}_0 + \Delta \ddot{y}_0$$

$$\ddot{y}_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,01787065 \\ 0,01919893 \\ 0,019291035 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,01787065 \\ 0,01919893 \\ 0,019291035 \end{bmatrix}$$

h. Menghitung simpangan netto

Simpangan netto dapat dilihat pada perhitungan simpangan ( $y_i$ ), yaitu :

1. Lantai 1,  $y = 4,46766E-07 \text{ m} = 4,46766E-05 \text{ cm}$

2. Lantai 2,  $y = 4,79973E-07 \text{ m} = 4,79973E-05 \text{ cm}$

3. Lantai 3,  $y = 4,82276E-07 \text{ m} = 4,82276E-05 \text{ cm}$

i. Menghitung simpangan antar tingkat,  $yy$  (*interstorey drift*)

Simpangan antar tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$yy_j(t) = \frac{yy_j(t) - yy_{j-1}(t)}{h}$$

$$\begin{aligned} 1. \text{ Lantai 1, } yy_1 &= \frac{Y_{nettoLantai1}}{tinggitingkat1} * 100\% \\ &= \frac{4,46766E-07}{3,75} * 100\% \\ &= 1,19138E-05 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Lantai 2, } yy_2 &= \frac{Y_{nettoLantai2} - Y_{nettoLantai1}}{tinggitingkat2} * 100\% \\ &= \frac{(4,79973E-07) - (4,46766E-07)}{3,75} * 100\% \\ &= 8,8552E-07 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \text{ Lantai 3, } yy_3 &= \frac{Y_{nettoLantai3} - Y_{nettoLantai2}}{tinggitingkat3} * 100\% \\ &= \frac{(4,82276E-07) - (4,79973E-07)}{3,75} * 100\% \\ &= 6,14035E-08 \% \end{aligned}$$

j. Menghitung gaya horisontal tingkat ( F )

Gaya horisontal tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$F_j = k_j * y_j(t)$$

$$F_j = \begin{bmatrix} 68276804,36 & -34138402,18 & 0 \\ -34138402,18 & 68276804,36 & -34138402,18 \\ 0 & -34138402,18 & 34138402,18 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 4,46766E-07 \\ 4,79973E-07 \\ 4,82276E-07 \end{bmatrix}$$

$$F_j = \begin{bmatrix} 14,12379073 \\ 1,055025849 \\ 0,078608124 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

k. Menghitung gaya horisontal tingkat kumulatif ( V )

Gaya horisontal tingkat kumulatif merupakan jumlah gaya horisontal tingkat pada tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V(t) = \sum_{j=1}^n F(t)$$

$$1. \text{ Lantai 1, } V_1 = F_1 + F_2 + F_3$$

$$= 14,12379073 + 1,055025849 + 0,078608124 \\ = 15,25742471 \text{ kg}$$

$$2. \text{ Lantai 2, } V_2 = F_2 + F_3$$

$$= 1,055025849 + 0,078608124 \\ = 1,133633973 \text{ kg}$$

$$3. \text{ Lantai 3, } V_3 = F_3 = 0,078608124 \text{ kg}$$

l. Menghitung momen guling ( Mg )

Momen guling merupakan pekalian antara gaya horisontal tingkat dengan tinggi tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$M_g = F_j(t) * H$$

$$1. \text{ Dasar, } Mg_0 = F_1 * H_1 + F_2 * H_2 + F_3 * H_3$$

$$= 14,12379073*(3,75) + 1,055025849*(7,5) + \\ 0,078608124*(11,25) \\ = 61,76125051 \text{ kg.m}$$

$$2. \text{ Lantai 1, } Mg_1 = F_2 * H_2 + F_3 * H_3$$

$$= 1,055025849*(3,75) + 0,078608124*(7,5) \\ = 4,545907866 \text{ kg.m}$$

$$3. \text{ Lantai 2, } Mg_2 = F_3 * H_3$$

$$= 0,078608124*(3,75) \\ = 0,294780465 \text{ kg.m}$$

$$4. \text{ Lantai 3, } Mg_3 = 0 \text{ kg.m}$$

2. Langkah 2 (saat 0,02 detik)

$$\Delta \dot{p}_1 = - \left( \ddot{y} h_2 - \ddot{y} h_1 \right) \begin{bmatrix} m_b \\ m_1 \\ m_2 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \dot{p}_1 = - \left( -0,0392 - (-0,0196) \right) \begin{bmatrix} 9691,361 \\ 9691,361 \\ 5119,232 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \dot{p}_1 = \begin{bmatrix} 189.950656 \\ 189.950656 \\ 100.336908 \end{bmatrix}$$

a. Menghitung pertambahan pembebanan ( $\Delta P_1$ )

$$\begin{aligned} \Delta P_1 &= \Delta \dot{p}_1 + a * \dot{y}_1 + b * \ddot{y}_1 \\ &= \begin{bmatrix} 189.950656 \\ 189.950656 \\ 100.336908 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 351,6537305 \\ 377,7912603 \\ 200,5165998 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 346,3817995 \\ 372,1274801 \\ 197,5104901 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 887,9861861 \\ 939,8693964 \\ 498,3639978 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

b. Menghitung pertambahan simpangan ( $\Delta y_1$ )

$$K * \Delta y_1 = \Delta P_1$$

$$\Delta y_1 = K^{-1} * \Delta P_1$$

$$\Delta y_1 = \begin{bmatrix} 2,17726E-09 & 1,62638E-10 & 2,29407E-11 \\ 1,62638E-10 & 2,20026E-09 & 3,10354E-10 \\ 2,29407E-11 & 3,10354E-10 & 4,1756E-09 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 887,9861861 \\ 939,8693964 \\ 498,3639978 \end{bmatrix}$$

$$\Delta y_1 = \begin{bmatrix} 2,09766E-06 \\ 2,36704E-06 \\ 2,39303E-06 \end{bmatrix}$$

c. Menghitung pertambahan kecepatan ( $\Delta \dot{y}_1$ )

$$\Delta \dot{y}_1 = \frac{\gamma}{\beta * \Delta t} \Delta y_1 - \frac{\gamma}{\beta} \dot{y}_1 + (\Delta t) \left( 1 - \frac{\gamma}{2 * \beta} \right) \ddot{y}_1$$

$$\Delta \dot{y}_1 = \frac{0,5}{0,25 * 0,01} \begin{bmatrix} 2,09766E-06 \\ 2,36704E-06 \\ 2,39303E-06 \end{bmatrix} - \frac{0,5}{0,25} \begin{bmatrix} 8,93532E-05 \\ 9,59946E-05 \\ 9,64552E-05 \end{bmatrix}$$

$$+ (0,01) \left( 1 - \frac{0,5}{2 * 0,25} \right) \begin{bmatrix} 0,01787065 \\ 0,01919893 \\ 0,019291035 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \dot{y}_1 = \begin{bmatrix} 0,000240826 \\ 0,000281419 \\ 0,000285696 \end{bmatrix}$$

d. Menghitung pertambahan percepatan ( $\Delta \ddot{y}_1$ )

$$\Delta \ddot{y}_1 = \frac{1}{\beta * (\Delta t)^2} \Delta y_1 - \frac{1}{\beta * \Delta t} \dot{y}_1 - \frac{1}{2 * \beta} \ddot{y}_1$$

$$\Delta \ddot{y}_1 = \frac{1}{0,25 * (0,01)^2} \begin{bmatrix} 2,09766E-06 \\ 2,36704E-06 \\ 2,39303E-06 \end{bmatrix}$$

$$- \frac{1}{0,25 * 0,01} \begin{bmatrix} 8,93532E-05 \\ 9,59946E-05 \\ 9,64552E-05 \end{bmatrix} - \frac{1}{2 * 0,25} \begin{bmatrix} 0,01787065 \\ 0,01919893 \\ 0,019291035 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \ddot{y}_1 = \begin{bmatrix} 0,012423991 \\ 0,017885998 \\ 0,018557046 \end{bmatrix}$$

e. Menghitung simpangan ( $y_2$ )

$$y_2 = y_1 + \Delta y_1$$

$$y_2 = \begin{bmatrix} 4,46766E-07 \\ 4,79973E-07 \\ 4,82276E-07 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2,09766E-06 \\ 2,36704E-06 \\ 2,39303E-06 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,54443E-06 \\ 2,84702E-06 \\ 2,87531E-06 \end{bmatrix}$$

f. Menghitung kecepatan ( $\dot{y}_2$ )

$$\dot{y}_2 = \dot{y}_1 + \Delta \dot{y}_1$$

$$\dot{y}_2 = \begin{bmatrix} 8,93532E-05 \\ 9,59946E-05 \\ 9,64552E-05 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,000240826 \\ 0,000281419 \\ 0,000285696 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,00033018 \\ 0,000377414 \\ 0,000382151 \end{bmatrix}$$

g. Menghitung percepatan ( $\ddot{y}_2$ )

$$\ddot{y}_2 = \ddot{y}_1 + \Delta \ddot{y}_1$$

$$\ddot{y}_2 = \begin{bmatrix} 0,01787065 \\ 0,01919893 \\ 0,019291035 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,012423991 \\ 0,017885998 \\ 0,018557046 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,03029464 \\ 0,037084928 \\ 0,037848081 \end{bmatrix}$$

h. Menghitung simpangan netto

Simpangan netto dapat dilihat pada perhitungan simpangan ( $y_2$ ), yaitu :

1. Lantai 1,  $y = 2,54443E-06 \text{ m} = 2,54443E-04 \text{ cm}$
2. Lantai 2,  $y = 2,84702E-06 \text{ m} = 2,84702E-04 \text{ cm}$
3. Lantai 3,  $y = 2,87531E-06 \text{ m} = 2,87531E-04 \text{ cm}$

i. Menghitung simpangan antar tingkat,  $yy$  (*interstorey drift*)

Simpangan antar tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$yy_j(t) = \frac{yy_j(t) - yy_{j-1}(t)}{h}$$

$$1. \text{ Lantai 1, } yy_1 = \frac{Y_{\text{nettoLantai1}}}{\text{tinggitingkat1}} * 100\%$$

$$= \frac{2,54443E-06}{3,75} * 100\%$$

$$= 6,78515E-05 \%$$

$$2. \text{ Lantai 2, } yy_2 = \frac{Y_{\text{nettoLantai2}} - Y_{\text{nettoLantai1}}}{\text{tinggitingkat2}} * 100\%$$

$$= \frac{(2,84702E-06) - (2,54443E-06)}{3,75} * 100\%$$

$$= 8,06894E-06 \%$$

$$\begin{aligned}
 3. \text{ Lantai 3, } y_{y3} &= \frac{Y_{\text{nettolantai3}} - Y_{\text{nettolantai2}}}{\text{tinggitingkat3}} * 100\% \\
 &= \frac{(2,87531\text{E} - 06) - (2,84702\text{E} - 06)}{3,75} * 100\% \\
 &= 7,54383\text{E} - 07 \%
 \end{aligned}$$

j. Menghitung gaya horizontal tingkat ( F )

Gaya horizontal tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 F_j &= k_j * y_j(t) \\
 F_j &= \begin{bmatrix} 68276804,36 & -34138402,18 & 0 \\ -34138402,18 & 68276804,36 & -34138402,18 \\ 0 & -34138402,18 & 34138402,18 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 2,54443\text{E} - 06 \\ 2,84702\text{E} - 06 \\ 2,87531\text{E} - 06 \end{bmatrix} \\
 F_j &= \begin{bmatrix} 76,56457895 \\ 9,364022246 \\ 0,965752996 \end{bmatrix} \text{ kg}
 \end{aligned}$$

k. Menghitung gaya horizontal tingkat kumulatif ( V )

Gaya horizontal tingkat kumulatif merupakan jumlah gaya horizontal tingkat pada tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V(t) = \sum_{j=1}^n F(t)$$

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Lantai 1, } V_1 &= F_1 + F_2 + F_3 \\
 &= 76,56457895 + 9,364022246 + 0,965752996 \\
 &= 86,89435419 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \text{ Lantai 2, } V_2 &= F_2 + F_3 \\
 &= 9,364022246 + 0,965752996 \\
 &= 10,32977524 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$3. \text{ Lantai 3, } V_3 = F_3 = 0,965752996 \text{ kg}$$

l. Menghitung momen guling ( Mg )

Momen guling merupakan perkalian antara gaya horizontal tingkat dengan tinggi tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :



$$M_g = F_j(t) * H$$

$$\begin{aligned} 1. \text{ Dasar, } Mg_0 &= F_1 * H_1 + F_2 * H_2 + F_3 * H_3 \\ &= 76,56457895*(3,75) + 9,364022246*(7,5) + \\ &\quad 0,965752996*(11,25) \\ &= 368,2120591 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Lantai 1, } Mg_1 &= F_2 * H_2 + F_3 * H_3 \\ &= 9,364022246*(3,75) + 0,965752996*(7,5) \\ &= 42,35823089 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \text{ Lantai 2, } Mg_2 &= F_3 * H_3 \\ &= 0,965752996*(3,75) \\ &= 3,621573736 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$4. \text{ Lantai 3, } Mg_3 = 0 \text{ kg.m}$$

### 3. Langkah 3 (saat 0,03 detik)

$$\Delta p_2 = - \left( \ddot{y} b_3 - \ddot{y} b_2 \right) \begin{bmatrix} m_b \\ m_1 \\ m_2 \end{bmatrix}$$

$$\Delta p_2 = -(-0,0588 - (-0,0392)) \begin{bmatrix} 9691,361 \\ 9691,361 \\ 5119,232 \end{bmatrix}$$

$$\Delta p_2 = \begin{bmatrix} 189,950656 \\ 189,950656 \\ 100,336908 \end{bmatrix}$$

a. Menghitung pertambahan pembebanan ( $\Delta P_2$ )

$$\begin{aligned} \Delta P_2 &= \Delta p_2 + a * \ddot{y}_2 + b * \ddot{\ddot{y}}_2 \\ &= \begin{bmatrix} 189,950656 \\ 189,950656 \\ 100,336908 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1299,437065 \\ 1485,32954 \\ 794,4371062 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 587,1925338 \\ 718,8067798 \\ 387,5060644 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$= \begin{bmatrix} 2076,580255 \\ 2394,086975 \\ 1282,280079 \end{bmatrix}$$

b. Menghitung pertambahan simpangan ( $\Delta y_2$ )

$$K * \Delta y_2 = \Delta P_2$$

$$\Delta y_2 = K^{-1} * \Delta P_2$$

$$\Delta y_2 = \begin{bmatrix} 2,17726E-09 & 1,62638E-10 & 2,29407E-11 \\ 1,62638E-10 & 2,20026E-09 & 3,10354E-10 \\ 2,29407E-11 & 3,10354E-10 & 4,1756E-09 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 2076,580255 \\ 2394,086975 \\ 1282,280079 \end{bmatrix}$$

$$\Delta y_2 = \begin{bmatrix} 4,94003E-06 \\ 6,0033E-06 \\ 6,14494E-06 \end{bmatrix}$$

c. Menghitung pertambahan kecepatan ( $\Delta \dot{y}_2$ )

$$\Delta \dot{y}_2 = \frac{\gamma}{\beta * \Delta t} \Delta y_2 - \frac{\gamma}{\beta} \dot{y}_2 + (\Delta t) \left( 1 - \frac{\gamma}{2 * \beta} \right) \ddot{y}_2$$

$$\Delta \dot{y}_2 = \frac{0,5}{0,25 * 0,01} \begin{bmatrix} 4,94003E-06 \\ 6,0033E-06 \\ 6,14494E-06 \end{bmatrix} - \frac{0,5}{0,25} \begin{bmatrix} 0,00033018 \\ 0,000377414 \\ 0,000382151 \end{bmatrix}$$

$$+ (0,01) \left( 1 - \frac{0,5}{2 * 0,25} \right) \begin{bmatrix} 0,03029464 \\ 0,037084928 \\ 0,037848081 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \dot{y}_2 = \begin{bmatrix} 0,000327647 \\ 0,000445831 \\ 0,000464686 \end{bmatrix}$$

d. Menghitung pertambahan percepatan ( $\Delta \ddot{y}_2$ )

$$\Delta \ddot{y}_2 = \frac{1}{\beta * (\Delta t)^2} \Delta y_2 - \frac{1}{\beta * \Delta t} \dot{y}_2 - \frac{1}{2 * \beta} \ddot{y}_2$$

$$\Delta \ddot{y}_2 = \frac{1}{0,25 * (0,01)^2} \begin{bmatrix} 4,94003E-06 \\ 6,0033E-06 \\ 6,14494E-06 \end{bmatrix} - \frac{1}{0,25 * 0,01} \begin{bmatrix} 0,00033018 \\ 0,000377414 \\ 0,000382151 \end{bmatrix} - \frac{1}{2 * 0,25} \begin{bmatrix} 0,03029464 \\ 0,037084928 \\ 0,037848081 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \ddot{y}_2 = \begin{bmatrix} 0,004940165 \\ 0,014996414 \\ 0,017240953 \end{bmatrix}$$

e. Menghitung simpangan ( $y_3$ )

$$y_3 = y_2 + \Delta y_2$$

$$y_3 = \begin{bmatrix} 2,54443E-06 \\ 2,84702E-06 \\ 2,87531E-06 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 4,94003E-06 \\ 6,0033E-06 \\ 6,14494E-06 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7,48446E-06 \\ 8,85031E-06 \\ 9,02024E-06 \end{bmatrix}$$

f. Menghitung kecepatan ( $\dot{y}_3$ )

$$\dot{y}_3 = \dot{y}_2 + \Delta \dot{y}_2$$

$$\dot{y}_3 = \begin{bmatrix} 0,00033018 \\ 0,000377414 \\ 0,000382151 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,000327647 \\ 0,000445831 \\ 0,000464686 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,000657827 \\ 0,000823245 \\ 0,000846836 \end{bmatrix}$$

g. Menghitung percepatan ( $\ddot{y}_3$ )

$$\ddot{y}_3 = \ddot{y}_2 + \Delta \ddot{y}_2$$

$$\ddot{y}_3 = \begin{bmatrix} 0,03029464 \\ 0,037084928 \\ 0,037848081 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,004940165 \\ 0,014996414 \\ 0,017240953 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,035234805 \\ 0,052081342 \\ 0,055089034 \end{bmatrix}$$

h. Menghitung simpangan netto

Simpangan netto dapat dilihat pada perhitungan simpangan ( $y_3$ ), yaitu :

1. Lantai 1,  $y = 7,48446E-06 \text{ m} = 7,48446E-04 \text{ cm}$

2. Lantai 2,  $y = 8,85031E-06 \text{ m} = 8,85031E-04 \text{ cm}$

3. Lantai 3,  $y = 9,02024E-06 \text{ m} = 9,02024E-04 \text{ cm}$

i. Menghitung simpangan antar tingkat,  $yy$  (*interstorey drift*)

Simpangan antar tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$yy_j(t) = \frac{yy_j(t) - yy_{j-1}(t)}{h}$$

$$\begin{aligned} 1. \text{ Lantai 1, } yy_1 &= \frac{Y_{\text{nettoLantai1}}}{\text{tinggitingkat1}} * 100\% \\ &= \frac{7,48446E-06}{3,75} * 100\% \\ &= 0,000199586 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Lantai 2, } yy_2 &= \frac{Y_{\text{nettoLantai2}} - Y_{\text{nettoLantai1}}}{\text{tinggitingkat2}} * 100\% \\ &= \frac{(8,85031E-06) - (7,48446E-06)}{3,75} * 100\% \\ &= 3,64226E-05 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \text{ Lantai 3, } yy_3 &= \frac{Y_{\text{nettoLantai3}} - Y_{\text{nettoLantai2}}}{\text{tinggitingkat3}} * 100\% \\ &= \frac{(9,02024E-06) - (8,85031E-06)}{3,75} * 100\% \\ &= 4,53143E-06 \% \end{aligned}$$

j. Menghitung gaya horisontal tingkat ( F )

Gaya Horisontal tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$F_j = k_j * y_j(t)$$

$$F_j = \begin{bmatrix} 68276804,36 & -34138402,18 & 0 \\ -34138402,18 & 68276804,36 & -34138402,18 \\ 0 & -34138402,18 & 34138402,18 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 7,48446E-06 \\ 8,85031E-06 \\ 9,02024E-06 \end{bmatrix}$$

$$F_j = \begin{bmatrix} 208,9725633 \\ 40,82678377 \\ 5,801091823 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

k. Menghitung gaya horisontal tingkat kumulatif ( V )

Gaya horizontal tingkat kumulatif merupakan jumlah gaya horizontal tingkat pada tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V(t) = \sum_{j=1}^n F(t)$$

$$1. \text{ Lantai 1, } V_1 = F_1 + F_2 + F_3$$

$$= 208,9725633 + 40,82678377 + 5,801091823$$

$$= 255,6004389 \text{ kg}$$

$$2. \text{ Lantai 2, } V_2 = F_2 + F_3$$

$$= 40,82678377 + 5,801091823$$

$$= 46,6278756 \text{ kg}$$

$$3. \text{ Lantai 3, } V_3 = F_3 = 5,801091823 \text{ kg}$$

l. Menghitung momen guling ( Mg )

Momen guling merupakan perkalian antara gaya horisontal tingkat dengan tinggi tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$M_g = F_j(t) * H$$

$$1. \text{ Dasar, } Mg_0 = F_1 * H_1 + F_2 * H_2 + F_3 * H_3$$

$$= 208,9725633*(3,75) + 40,82678377*(7,5) +$$

$$5,801091823*(11,25)$$

$$= 1155,110274 \text{ kg.m}$$

$$2. \text{ Lantai 1, } Mg_1 = F_2 * H_2 + F_3 * H_3$$

$$= 40,82678377*(3,75) + 5,801091823*(7,5)$$

$$= 196,6086278 \text{ kg.m}$$

$$3. \text{ Lantai 2, } Mg_2 = F_3 * H_3$$

$$= 5,801091823*(3,75)$$

$$= 21,75409434 \text{ kg.m}$$

$$4. \text{ Lantai 3, } Mg_3 = 0 \text{ kg.m}$$

## LISTING PROGRAM PROGSIP 2004

```
Option Explicit
' Deklarasikan variabel global
Public intJumlahData As Integer
Public DenganBase As Boolean

Public intJumlahTinggi As Integer
Public intJumlahBentang As Integer
Public decH1 As Double
Public decHN As Double
Public decMb As Double
Public decKb As Double
Public decQ1 As Double
Public decQN As Double
Public decQT1 As Double
Public decQTN As Double
Public decLTepi As Double
Public decLTengah As Double
Public decProfilKolomTepi,
decProfilKolomTengah As Double
Public decProfilBalokTepi,
decProfilBalokTengah As Double
Public decInertiaKolomTepi,
decInertiaKolomTengah As Double
Public decInertiaBalokTepi,
decInertiaBalokTengah As Double
Public decKekakuanTepi,
decKekakuanTengah As Double
Public decKekakuanTotal As Double
Public decKhh, decChh As Double
Public decSkalaGempa As Double

Public Const intUnitMassa = 1000
Public Const decG = 9.81
Public Const E = 2.03890018 * 10 ^ 10
Public Const TOLERANCE = 1E-24

Public arrW() As Double
Public arrM() As Double

Public arrW0() As Double ' Omega

Public MatrikMassa() As Double
Public MatrikKekakuan() As Double
Public MatrikEigen() As Double

Public arrAkarPolinomial() As Double
Public decU0, decV0 As Double

Public decDR As Double

Public MatrikModeShape() As Double

Public Sub SetVariabel()
    intJumlahTinggi =
    frmBentangTinggi.txtTinggi1.Text
    intJumlahBentang =
    frmBentangTinggi.txtJumlahBentang.Text

    decH1 = frmBentangTinggi.txtTinggi1.Text

    decHN =
    frmBentangTinggi.txtTinggiN.Text
    ' decMb =
    frmBentangTinggi.txtMasaBase.Text
    decKb =
    frmBentangTinggi.txtKekakuanBase.Text
    decQ1 =
    frmBentangTinggi.txtBebanMerata1.Text
    decQN =
    frmBentangTinggi.txtBebanMerataN.Text
    decQT1 =
    frmBentangTinggi.txtBebanMerataTengah1.Te
    xt
    decQTN =
    frmBentangTinggi.txtBebanMerataTengahN.T
    ext
    decLTepi =
    frmBentangTinggi.txtBentangTepi.Text

    If
    frmBentangTinggi.txtBentangTengah.Text <>
    "" Then
        decLTengah =
        frmBentangTinggi.txtBentangTengah.Text
    End If

    decProfilKolomTepi =
    frmBentangTinggi.txtKolomTepi.Text
    decProfilKolomTengah =
    frmBentangTinggi.txtKolomTengah.Text
    decProfilBalokTepi =
    frmBentangTinggi.txtBalokTepi.Text
    If frmBentangTinggi.txtBalokTengah.Text
    <> "" Then
        decProfilBalokTengah =
        frmBentangTinggi.txtBalokTengah.Text
    End If

    'decKhh = frmBentangTinggi.txtKhh.Text
    'decChh = frmBentangTinggi.txtChh.Text

    ' decCBase =
    frmBentangTinggi.txtCBase.Text

    If frmBentangTinggi.opt1.Value = True
    Then
        DenganBase = True
        intJumlahData = intJumlahTinggi + 1
        ' set panjang array w
        ReDim arrW(intJumlahTinggi)
        ReDim arrM(intJumlahTinggi)
    Else
        DenganBase = False
        intJumlahData = intJumlahTinggi
        ' set panjang array w
        ReDim arrW(intJumlahTinggi)
        ReDim arrM(intJumlahTinggi)
    End If
    decDR = frmBentangTinggi.txtDR.Text
End Sub
```

```

Public Sub CariW()
    Dim i As Integer
    ' Cari w1 - wn-1
    If DenganBase Then
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 2
            arrW(i) = (2 * decProfilKolomTepi *
decHN) + ((intJumlahBentang - 1) *
decProfilKolomTengah * decHN) + (2 *
decProfilBalokTepi * decLTepi) +
((intJumlahBentang - 2) *
decProfilBalokTengah * decLTengah) + (2 *
decQ1 * decLTepi) + ((intJumlahBentang - 2)
* decQT1 * decLTengah) ' + (2 *
decProfilKolomTepi * decHN) +
((intJumlahBentang - 1) *
decProfilKolomTengah * decHN)
'MsgBox (2 * decProfilKolomTepi *
decHN) & " + " & ((intJumlahBentang - 1) *
decProfilKolomTengah * decHN) & " + " & (2
* decProfilBalokTepi * decLTepi) & " + " &
((intJumlahBentang - 2) *
decProfilBalokTengah * decLTengah) & " + "
& (2 * decQ1 * decLTepi) & " + " &
((intJumlahBentang - 2) * decQT1 *
decLTengah) & " = " & arrW(i)
        Next i
        arrW(intJumlahTinggi - 1) = (2 *
decProfilKolomTepi * decHN / 2) +
((intJumlahBentang - 1) *
decProfilKolomTengah * decHN / 2) + (2 *
decProfilBalokTepi * decLTepi) +
((intJumlahBentang - 2) *
decProfilBalokTengah * decLTengah) + (2 *
decQN * decLTepi) + ((intJumlahBentang - 2)
* decQTN * decLTengah)
'MsgBox (2 * decProfilKolomTepi *
decHN) & " + " & ((intJumlahBentang - 1) *
decProfilKolomTengah * decHN) & " + " & (2
* decProfilBalokTepi * decLTepi) & " + " &
((intJumlahBentang - 2) *
decProfilBalokTengah * decLTengah) & " + "
& (2 * decQN * decLTepi) & " + " &
((intJumlahBentang - 2) * decQTN *
decLTengah) & " = " & arrW(intJumlahTinggi
- 1)
    Else
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 2
            arrW(i) = (2 * decProfilKolomTepi *
decHN) + ((intJumlahBentang - 1) *
decProfilKolomTengah * decHN) + (2 *
decProfilBalokTepi * decLTepi) +
((intJumlahBentang - 2) *
decProfilBalokTengah * decLTengah) + (2 *
decQ1 * decLTepi) + ((intJumlahBentang - 2)
* decQT1 * decLTengah) ' + (2 *
decProfilKolomTepi * decHN) +
((intJumlahBentang - 1) *
decProfilKolomTengah * decHN)

```

```

'MsgBox (2 * decProfilKolomTepi *
decHN) & " + " & ((intJumlahBentang - 1) *
decProfilKolomTengah * decHN) & " + " & (2
* decProfilBalokTepi * decLTepi) & " + " &
((intJumlahBentang - 2) *
decProfilBalokTengah * decLTengah) & " + "
& (2 * decQ1 * decLTepi) & " + " &
((intJumlahBentang - 2) * decQT1 *
decLTengah) & " = " & arrW(i)
        Next i
        arrW(intJumlahTinggi - 1) = (2 *
decProfilKolomTepi * decHN / 2) +
((intJumlahBentang - 1) *
decProfilKolomTengah * decHN / 2) + (2 *
decProfilBalokTepi * decLTepi) +
((intJumlahBentang - 2) *
decProfilBalokTengah * decLTengah) + (2 *
decQN * decLTepi) + ((intJumlahBentang - 2)
* decQTN * decLTengah)
    End If
End Sub

```

```

Public Sub CariM()
    Dim i As Integer
    ' cari nilai m
    If DenganBase Then
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            arrM(i) = arrW(i) / decG
            'MsgBox "Nilai M ke " & (i + 1) & " =
" & arrM(i)
        Next i
    Else
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            arrM(i) = arrW(i) / decG
            'MsgBox "Nilai M ke " & (i + 1) & " =
" & arrM(i)
        Next i
    End If
    decCBase = 2 * arrM(0) * (Sqr(decKb /
arrM(0))) * 0.2
End Sub

```

```

Public Sub CariK()
    ' cari nilai kekakuan tepi
    decKekakuanTepi = (2 * 12 * E *
decInertiaKolomTepi) / (decHN ^ 3)
    'MsgBox "Kekakuan tepi = " &
decKekakuanTepi
    decKekakuanTengah = ((intJumlahBentang
- 1) * 12 * E * decInertiaKolomTengah) /
(decHN ^ 3)
    'MsgBox "Kekakuan tengah = " &
decKekakuanTengah
    decKekakuanTotal = decKekakuanTepi +
decKekakuanTengah
    'InputBox "", "", decKekakuanTotal
    'MsgBox "Kekakuan Total = " &
decKekakuanTotal

```

End Sub

```
Public Sub SetMatrikMassa()  
    Dim i, j As Integer  
    ReDim MatrikMassa(intJumlahTinggi,  
intJumlahTinggi)
```

' set nilai matrik massa

If DenganBase Then

For i = 0 To intJumlahTinggi - 1

For j = 0 To intJumlahTinggi - 1

If i = j Then

MatrikMassa(i, j) = arrM(i)

Else

MatrikMassa(i, j) = 0

End If

Next j

Next i

Else

For i = 0 To intJumlahTinggi - 1

For j = 0 To intJumlahTinggi - 1

If i = j Then

MatrikMassa(i, j) = arrM(i)

Else

MatrikMassa(i, j) = 0

End If

Next j

Next i

End If

End Sub

```
Public Sub SetMatrikKekakuan()
```

Dim i, j As Integer

```
ReDim MatrikKekakuan(intJumlahTinggi +  
1, intJumlahTinggi + 1)
```

' set nilai matrik massa

If DenganBase Then

For i = 0 To intJumlahTinggi

For j = 0 To intJumlahTinggi

If i = j Then

If i = 0 Then

MatrikKekakuan(i, j) = decKb +

decKekakuanTotal

ElseIf i > 0 And i <

intJumlahTinggi Then

MatrikKekakuan(i, j) = 2

Else

MatrikKekakuan(i, j) = 1

End If

ElseIf (j - 1 = i) Or (i - 1 = j) Then

MatrikKekakuan(i, j) = -1

Else

MatrikKekakuan(i, j) = 0

End If

Next j

Next i

Else

For i = 0 To intJumlahTinggi

For j = 0 To intJumlahTinggi

If i = j Then

If i = 0 Then

MatrikKekakuan(i, j) =

decKekakuanTotal + decKekakuanTotal

ElseIf i > 0 And i <

intJumlahTinggi Then

MatrikKekakuan(i, j) = 2

Else

MatrikKekakuan(i, j) = 1

End If

ElseIf (j - 1 = i) Or (i - 1 = j) Then

MatrikKekakuan(i, j) = -1

Else

MatrikKekakuan(i, j) = 0

End If

Next j

Next i

End If

End Sub

```
Public Sub SetMatrikEigen()
```

Dim i, j As Integer

```
ReDim MatrikEigen(intJumlahTinggi,  
intJumlahTinggi)
```

' set nilai matrik massa

For i = 0 To intJumlahTinggi - 1

For j = 0 To intJumlahTinggi - 1

MatrikEigen(i, j) = MatrikKekakuan(i,  
j) / MatrikMassa(i, i)

Next j

Next i

End Sub

```
Public Sub Jacobi(Mat, Optional MaxLoops)
```

End Sub

```
Public Sub ShowMatrik(Matrik() As Double,  
Optional strCaption As String = "Matrik")
```

frmMatrik.Caption = strCaption

Dim i, j As Integer

Dim lvItem As ListItem

Dim lvSItem As ListSubItem

Dim lvColHeader As ColumnHeader

frmMatrik.lvMatrik.ListItems.Clear

For i = 0 To UBound(Matrik) - 1

Set lvColHeader =

frmMatrik.lvMatrik.ColumnHeaders.Add(, ,  
"Colom " & i + 1)

Set lvItem =

frmMatrik.lvMatrik.ListItems.Add(, , Matrik(i,  
0))

For j = 1 To UBound(Matrik) - 1

Set lvSItem =

lvItem.ListSubItems.Add(, , Matrik(i, j))

Next j

Next i

frmMatrik.Show vbModal

End Sub



```

Public Sub ShowArray(Arr() As Double,
Optional strCaption As String = "Array")
    Dim lvSItem As ListSubItem
    frmMatrik.Caption = strCaption
    Dim i As Integer
    Dim lvItem As ListItem
    Dim lvColHeader As ColumnHeader
    Set lvColHeader =
frmMatrik.lvMatrik.ColumnHeaders.Add
    lvColHeader.Text = "Colom 1"
    frmMatrik.lvMatrik.ListItems.Clear
    For i = 0 To UBound(Arr) - 1
        Set lvItem =
frmMatrik.lvMatrik.ListItems.Add(, Arr(i))
    Next i
    frmMatrik.Show vbModal
End Sub

```

```

Public Sub ShowDataGempa()
    frmMatrik.Caption = "Data Gempa"
    Dim i, j As Integer
    Dim lvItem As ListItem
    Dim lvSItem As ListSubItem
    Dim lvColHeader As ColumnHeader
    frmMatrik.lvMatrik.ListItems.Clear
    For i = 0 To UBound(Matrik) - 1
        Set lvColHeader =
frmMatrik.lvMatrik.ColumnHeaders.Add(,
"Nama Data")
        Set lvColHeader =
frmMatrik.lvMatrik.ColumnHeaders.Add(,
"Data")
        For j = 0 To UBound(arrDataGempa) - 1
            Set lvItem =
frmMatrik.lvMatrik.ListItems.Add(, "Data ke
" & j + 1)
            Set lvSItem =
lvItem.ListSubItems.Add(, arrDataGempa(j))
        Next j
    Next i
    frmMatrik.Show vbModal
End Sub
' Metode Newmark
' Public variabel
Public arrC() As Double
Public decCBase As Double

```

```

Public MatrikMassaN() As Double
Public MatrikRedamanN() As Double
Public MatrikKekakuanN() As Double
Public MatrikKekakuanEfektifN() As Double
Public MatrikAN() As Double
Public MatrikBN() As Double

```

```

Public MatrikHasilAkhir() As Double
Public MatrikSimpanganAkhir() As Double
Public MatrikKecepatanAkhir() As Double
Public MatrikPercepatanAkhir() As Double

```

```

Public Const decDeltaT = 0.01
Public Const decGamma = 0.5
Public Const decBeta = 0.25
Public arrDataGempa() As Double
Public Const decKW = 12398.049

```

```

Public decDataGempa As Double
Public arrY0() As Double
Public arrY1() As Double
Public arrY2() As Double

```

```

Public arrDeltaP0() As Double
Public arrDeltaP1() As Double

```

```

Public arrDeltaY0() As Double
Public arrDeltaY1() As Double
Public arrDeltaY2() As Double

```

```

Public arrY10() As Double
Public arrY11() As Double
Public arrY12() As Double

```

```

Public arrSimpanganNetto() As Double
Public arrYY() As Double
Public arrF() As Double
Public arrV() As Double
Public arrMg() As Double

```

```

Dim myExcel As New Excel.Application
Dim myBook As Excel.Workbook
Dim mySheet As Excel.Worksheet
Dim mySheet2 As Excel.Worksheet
Dim mySheet3 As Excel.Worksheet
Dim mySheet4 As Excel.Worksheet
Dim mySheet5 As Excel.Worksheet
Dim mySheet6 As Excel.Worksheet
Public strExcelFileName As String

```

```

Public iterasi As Integer

```

```

Dim fso As New FileSystemObject

```

```

Public Sub SetMatrikMassaN()
    Dim i, j, k As Integer
    Dim decTmp As Double
    ReDim MatrikMassaN(intJumlahTinggi,
intJumlahTinggi)

```

```

    MatrikMassaN = MatrikMassa

```

```

End Sub

```

```

Public Sub SetMatrikKekakuanN()
    Dim i, j, k As Integer
    Dim decTmp As Double
    ReDim MatrikKekakuanN(intJumlahTinggi,
intJumlahTinggi)
    ' Kosongkan MatrikKekakuanN
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        For j = 0 To intJumlahTinggi - 1

```

```

        MatrikKekakuanN(i, j) = 0
    Next j
Next i
'MsgBox decKekakuanTotal
If DenganBase Then
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        ' Diagonal
        If i = 0 Then
            MatrikKekakuanN(i, i) = (decKb +
decKekakuanTotal + decKW)
            'MatrikKekakuanN(i, i) = (decKb +
decKekakuanTotal)
            MatrikKekakuanN(i + 1, i) = -
decKekakuanTotal
            MatrikKekakuanN(i, i + 1) = -
decKekakuanTotal
        ElseIf i = intJumlahTinggi - 1 Then
            MatrikKekakuanN(i, i) =
decKekakuanTotal
        Else
            MatrikKekakuanN(i, i) = 2 *
decKekakuanTotal
            If i < intJumlahTinggi Then
                MatrikKekakuanN(i + 1, i) = -
decKekakuanTotal
                MatrikKekakuanN(i, i + 1) = -
decKekakuanTotal
            End If
        End If
    Next i
    ' decTmp = 0
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 2
        decTmp = decTmp + MatrikKekakuan
    Next i
    MatrikKekakuanN(intJumlahTinggi - 1,
intJumlahTinggi - 1) = decKb +
((intJumlahTinggi - 2) * decKekakuanTotal)
    Else
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            ' Diagonal
            If i = 0 Then
                MatrikKekakuanN(i, i) =
(decKekakuanTotal + decKekakuanTotal)
                MatrikKekakuanN(i + 1, i) = -
decKekakuanTotal
                MatrikKekakuanN(i, i + 1) = -
decKekakuanTotal
            ElseIf i = intJumlahTinggi - 1 Then
                MatrikKekakuanN(i, i) =
decKekakuanTotal
            Else
                MatrikKekakuanN(i, i) = 2 *
decKekakuanTotal
                If i < intJumlahTinggi Then
                    MatrikKekakuanN(i + 1, i) = -
decKekakuanTotal
                    MatrikKekakuanN(i, i + 1) = -
decKekakuanTotal
                End If
            End If
        End If
    End If

```

```

        Next i
    End If
'ShowMatrik MatrikKekakuan
'ShowMatrik MatrikKekakuanN
End Sub

Public Sub SetMatrikRedamanN()
    Dim i, j, k, Wpos As Integer
    Dim decTmp As Double
    Dim arrTmp() As Double
    ReDim arrTmp(intJumlahTinggi)
    Wpos = Round(((intJumlahTinggi) / 4) * 3)
- 1
    If DenganBase Then
        arrTmp(0) = decCBase
        For i = 1 To intJumlahTinggi - 1
            'arrTmp(i) = 2 * arrM(i - 1) *
arrW0(Wpos) * decDR
            arrTmp(i) = 2 * arrM(i - 1) *
arrW0(Wpos) * decDR
        Next i
        ReDim
        MatrikRedamanN(intJumlahTinggi,
intJumlahTinggi)
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
                MatrikRedamanN(i, j) = 0
            Next j
        Next i
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 2
            MatrikRedamanN(i, i) = arrTmp(i) +
arrTmp(i + 1)
            ' atas
            MatrikRedamanN(i, i + 1) = -arrTmp(i
+ 1)
            ' bawah
            MatrikRedamanN(i + 1, i) = -arrTmp(i
+ 1)
        Next i
        MatrikRedamanN(intJumlahTinggi - 1,
intJumlahTinggi - 1) =
arrTmp(intJumlahTinggi - 1)
        Else
            For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
                'arrTmp(i) = 2 * arrM(i) *
arrW0(Wpos) * decDR
                arrTmp(i) = 2 * arrM(i) * arrW0(0) *
decDR
            Next i

            ReDim
            MatrikRedamanN(intJumlahTinggi,
intJumlahTinggi)
            For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
                For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
                    MatrikRedamanN(i, j) = 0
                Next j
            Next i
            For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
                MatrikRedamanN(i, i) = arrTmp(i)
            Next i
        End If
    End If

```

```

        ' atas
        'MatrikRedamanN(i, i + 1) = -arrTmp(i
+ 1)
        ' bawah
        'MatrikRedamanN(i + 1, i) = -arrTmp(i
+ 1)
    Next i
    'decTmp = 0
    'For i = 0 To intJumlahTinggi - 2
        ' decTmp = decTmp +
MatrikRedamanN(i, i)
    Next i
    'MatrikRedamanN(intJumlahTinggi - 1,
intJumlahTinggi - 1) = decTmp
    End If
    'ShowMatrik MatrikRedamanN
End Sub

```

```

Public Sub SetMatrikKekakuanEfektifN()
    Dim i, j, k As Integer
    Dim decTmp As Double
    'ShowMatrik MatrikKekakuanN
    ReDim
MatrikKekakuanEfektifN(intJumlahTinggi,
intJumlahTinggi)
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
            MatrikKekakuanEfektifN(i, j) =
MatrikKekakuanN(i, j) + ((decGamma /
(decBeta * decDeltaT)) * MatrikRedamanN(i,
j)) + ((1 / (decBeta * (decDeltaT ^ 2))) *
MatrikMassaN(i, j))
        Next j
    Next i
End Sub

```

```

Public Sub InvertMatrix(A() As Double)
    Dim MatrikIdentitas() As Double
    Dim i, j, k As Integer
    Dim decPembagi As Double
    Dim decPengali As Double
    ' Set matrik identitas
    'ShowMatrik A
    ReDim MatrikIdentitas(UBound(A),
UBound(A))
    For i = 0 To UBound(A) - 1
        For j = 0 To UBound(A) - 1
            If i = j Then
                MatrikIdentitas(i, j) = 1
            Else
                MatrikIdentitas(i, j) = 0
            End If
        Next j
    Next i
    'ShowMatrik MatrikIdentitas
    For i = 0 To UBound(A) - 1
        ' Untuk baris ke i ' absiskan baris ke i
        decPembagi = 1 / A(i, i)
        ' absis
        For j = 0 To UBound(A) - 1

```

```

            A(i, j) = A(i, j) * decPembagi
            MatrikIdentitas(i, j) = MatrikIdentitas(i,
j) * decPembagi
        Next j
        ' baris lainnya
        For j = 0 To UBound(A) - 1
            If j <> i Then
                decPengali = -A(j, i)
                For k = 0 To UBound(A) - 1
                    A(j, k) = (decPengali * A(i, k)) +
A(j, k)
                    MatrikIdentitas(j, k) = (decPengali
* MatrikIdentitas(i, k)) + MatrikIdentitas(j, k)
                Next k
            End If
        Next j
    Next i
    MatrikKekakuanEfektifN = MatrikIdentitas
    'ShowMatrik MatrikIdentitas
End Sub

```

```

Public Sub SetMatrikA()
    Dim i, j, k As Integer
    Dim decTmp As Double
    ReDim MatrikAN(intJumlahTinggi,
intJumlahTinggi)
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
            MatrikAN(i, j) = ((1 / (decBeta *
decDeltaT)) * MatrikMassaN(i, j)) +
((decGamma / decBeta) * MatrikRedamanN(i,
j))
        Next j
    Next i
End Sub

```

```

Public Sub SetMatrikB()
    Dim i, j, k As Integer
    Dim decTmp As Double
    ReDim MatrikBN(intJumlahTinggi,
intJumlahTinggi)
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
            MatrikBN(i, j) = ((1 / (2 * decBeta)) *
MatrikMassaN(i, j)) + (decDeltaT *
((decGamma / (2 * decBeta)) - 1) *
MatrikRedamanN(i, j))
        Next j
    Next i
End Sub

```

```

Public Sub Pembebanan()
    Dim i, j, x As Integer
    Dim Tmp1, Tmp2, Tmp3 As String
    ReDim arrY0(intJumlahTinggi),
arrY1(intJumlahTinggi),
arrY2(intJumlahTinggi)
    ReDim MatrikSimpanganAkhir(1000,
intJumlahTinggi)

```

```

ReDim MatrikKecepatanAkhir(1000,
intJumlahTinggi)
ReDim MatrikPercepatanAkhir(1000,
intJumlahTinggi)
ReDim MatrikHasilAkhir(1000, ((4 *
(intJumlahTinggi)) + (intJumlahTinggi + 1)))
For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    arrY0(i) = 0
    arrY1(i) = 0
    arrY2(i) = 0
Next i
iterasi = 0
decDataGempa = arrDataGempa(0)
' Open excel file
'ShowMatrik MatrikMassaN
'MsgBox decDataGempa
For iterasi = 0 To 999
    ' MsgBox (iterasi + 1) & " : " &
decDataGempa
    ' Langkah 1
    ' MsgBox decDataGempa
    LangkahA
    'ShowArray arrY0, "Iterasi ke " & iterasi
+ 1 & " Y0"
    'ShowArray arrY1, "Iterasi ke " & iterasi
+ 1 & " Y0 aksen"
    'ShowArray arrY2, "Iterasi ke " & iterasi
+ 1 & " Y0 Dobel aksen"
    'ShowArray arrDeltaP1, "Iterasi ke " &
iterasi + 1 & " Delta P0"
    LangkahB
    'ShowMatrik MatrikKekakuanEfektifN
    'ShowArray arrDeltaY0, "Iterasi ke " &
iterasi + 1 & " Delta Y0"
    LangkahC
    'ShowArray arrDeltaY1, "Iterasi ke " &
iterasi + 1 & " Delta Y0 aksen"
    LangkahD
    'ShowArray arrDeltaY2, "Iterasi ke " &
iterasi + 1 & " Delta Y0 dobel aksen"
    LangkahE
    ' ShowArray arrY10, "Iterasi ke " &
iterasi + 1 & " Simpangan"
    LangkahF
    'ShowArray arrY11, "Iterasi ke " & iterasi
+ 1 & " Kecepatan"
    LangkahG
    'ShowArray arrY12, "Iterasi ke " & iterasi
+ 1 & " Percepatan"
    LangkahH
    'ShowArray arrSimpanganNetto, "Iterasi
ke " & iterasi + 1 & " Simpangan netto"
    LangkahL
    'ShowArray arrYY, "Iterasi ke " & iterasi
+ 1 & " Insterstorey"
    LangkahM
    'ShowArray arrF, "Iterasi ke " & iterasi +
1 & " GHT"
    LangkahN

```

```

'ShowArray arrV, "Iterasi ke " & iterasi +
1 & " GHT Komulatif"
LangkahO
'ShowArray arrMg, "Iterasi ke " & iterasi
+ 1 & " Momen Guling"
arrY0 = arrY10
arrY1 = arrY11
arrY2 = arrY12
' hasil simpangan netto
Tmp1 = ""
Tmp2 = ""
Tmp3 = ""
For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    MatrikSimpanganAkhir(iterasi, i) =
arrY10(i)
    MatrikKecepatanAkhir(iterasi, i) =
arrY11(i)
    MatrikPercepatanAkhir(iterasi, i) =
arrY12(i)
    MatrikHasilAkhir(iterasi, i) =
arrSimpanganNetto(i)
    MatrikHasilAkhir(iterasi, (i + (1 *
intJumlahTinggi))) = arrYY(i)
    MatrikHasilAkhir(iterasi, (i + (2 *
intJumlahTinggi))) = arrF(i)
    MatrikHasilAkhir(iterasi, (i + (3 *
intJumlahTinggi))) = arrV(i)
Next i
' hasil momen guling
For i = 0 To intJumlahTinggi
    MatrikHasilAkhir(iterasi, (i + (4 *
intJumlahTinggi))) = arrMg(i)
Next i
decDataGempa = arrDataGempa(iterasi +
1) - arrDataGempa(iterasi)
Next iterasi

'ShowMatrik MatrikHasilAkhir, "Hasil
Akhir"
'Exit Sub

frmBentangTinggi.cd.DialogTitle =
"Simpan Hasil Akhir Dalam Excel"
frmBentangTinggi.cd.InitDir = App.Path &
"\Hasil"
frmBentangTinggi.cd.Filter = "Hasil
Perhitungan (Excel)*.xls"
frmBentangTinggi.cd.FileName = ""
frmBentangTinggi.cd.ShowSave
strExcelFileName =
frmBentangTinggi.cd.FileName
' Set Kolom 1 Untuk title
If fso.FileExists(strExcelFileName) Then
    x = MsgBox("File " & strExcelFileName
& " Sudah ada" & vbCrLf & "Apakah akan di
replace?", vbQuestion + vbYesNo, "Simpan
File Excel")
    If x = 6 Then
        fso.DeleteFile strExcelFileName
    Else

```

```

Exit Sub
End If
End If
If Trim(strExcelFileName) <> "" Then
    ' Set Baris Header
    Set myBook = myExcel.Workbooks.Add
    myBook.Worksheets.Add
    myBook.Worksheets.Add
    myBook.Worksheets.Add
    Set mySheet = myBook.Worksheets(1)
    mySheet.Name = "Hasil Perhitungan"
    Set mySheet3 = myBook.Worksheets(3)
    mySheet3.Name = "Simpangan"
    Set mySheet4 = myBook.Worksheets(4)
    mySheet4.Name = "kecepatan"
    Set mySheet5 = myBook.Worksheets(5)
    mySheet5.Name = "percepatan"
    frmBentangTinggi.pbExcel.Visible =
True
    mySheet.Cells(1, 1) = "Iterasi"
    mySheet.Cells(1, 2) = "Simpangan Netto"
    mySheet.Cells(1, (intJumlahTinggi) * 1 +
2) = "Interstorey Drift"
    mySheet.Cells(1, (intJumlahTinggi) * 2 +
2) = "Gaya Horizontal Tingkat (F)"
    mySheet.Cells(1, (intJumlahTinggi) * 3 +
2) = "Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif (V)"
    mySheet.Cells(1, (intJumlahTinggi) * 4 +
2) = "Momen Guling (Mg)"
    For i = 0 To 999
        ' Iterasi
        DoEvents
        mySheet.Cells(i + 2, 1) = i * 0.01 +
0.01
        mySheet3.Cells(i + 1, 1) = i * 0.01 +
0.01
        mySheet4.Cells(i + 1, 1) = i * 0.01 +
0.01
        mySheet5.Cells(i + 1, 1) = i * 0.01 +
0.01
        ' Simpangan
        For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
            mySheet.Cells(i + 2, j + 2) =
MatrikHasilAkhir(i, j)
            mySheet.Cells(i + 2,
(intJumlahTinggi * 1) + j + 2) =
MatrikHasilAkhir(i, j + (intJumlahTinggi * 1))
            mySheet.Cells(i + 2,
(intJumlahTinggi * 2) + j + 2) =
MatrikHasilAkhir(i, j + (intJumlahTinggi * 2))
            mySheet.Cells(i + 2,
(intJumlahTinggi * 3) + j + 2) =
MatrikHasilAkhir(i, j + (intJumlahTinggi * 3))
            mySheet3.Cells(i + 1, j + 2) =
MatrikSimpanganAkhir(i, j)
            mySheet4.Cells(i + 1, j + 2) =
MatrikKecepatanAkhir(i, j)
            mySheet5.Cells(i + 1, j + 2) =
MatrikPercepatanAkhir(i, j)
        Next j
    Next i

```

```

' Momen Guling
For j = 0 To intJumlahTinggi
    mySheet.Cells(i + 2,
(intJumlahTinggi * 4) + j + 2) =
MatrikHasilAkhir(i, j + (intJumlahTinggi * 4))
Next j
' Progre bar
frmBentangTinggi.pbExcel.Value = ((i
+ 1) / 1000) * 100
Next i
frmBentangTinggi.pbExcel.Visible =
False
' Modeshape
Set mySheet = myBook.Worksheets(2)
mySheet.Name = "Hasil Mode Shape"
frmBentangTinggi.pbExcel.Visible =
True
x = 1

For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
        DoEvents
        mySheet.Cells(i + 1, j + 1) =
MatrikModeShape(i, j)
        frmBentangTinggi.pbExcel.Value =
Round((x / (intJumlahTinggi + 1) ^ 2) * 100)
        x = x + 1
    Next j
Next i
Set mySheet6 = myBook.Worksheets(6)
mySheet6.Name = "Omega"

For i = 0 To UBound(arrW0) - 1
    mySheet6.Cells(i + 1, 1) = "W(" & i &
")"
    mySheet6.Cells(i + 1, 2) = arrW0(i)
Next i
frmBentangTinggi.pbExcel.Visible =
False
myBook.SaveAs strExcelFileName
myBook.Close False
myExcel.Quit
End If
End Sub
Option Explicit

Public Sub LangkahA()
    Dim i, j As Integer
    Dim decTemp, decTemp1 As Double
    ReDim arrDeltaP0(intJumlahTinggi)
    ReDim arrDeltaP1(intJumlahTinggi)
    If DenganBase Then
        'arrDeltaP0(0) = -(decDataGempa) *
arrM(0)
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            arrDeltaP0(i) = -(decDataGempa) *
MatrikMassaN(i, i)
        Next i
        ' Cari
        decTemp = 0

```

```

For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    decTemp = decTemp + arrM(i)
Next i

' Cari DeltaP0
For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    decTemp = 0
    For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
        decTemp = decTemp + (MatrikAN(i,
j) * arrY1(j))
    Next j
    decTemp1 = 0
    For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
        decTemp1 = decTemp1 +
(MatrikBN(i, j) * arrY2(j))
    Next j
    arrDeltaP1(i) = arrDeltaP0(i) +
decTemp + decTemp1
    Next i
Else
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        arrDeltaP0(i) = -(decDataGempa) *
arrM(i)
    Next i

' Cari DeltaP0
For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    decTemp = 0
    For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
        decTemp = decTemp + (MatrikAN(i,
j) * arrY1(j))
    Next j
    decTemp1 = 0
    For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
        decTemp1 = decTemp1 +
(MatrikBN(i, j) * arrY2(j))
    Next j
    arrDeltaP1(i) = arrDeltaP0(i) +
decTemp + decTemp1
    Next i
End If
End Sub

```

```

Public Sub LangkahB()
' Cari MatrikDeltaY0
Dim decTemp As Double
ReDim arrDeltaY0(intJumlahTinggi)
Dim i, j As Integer
For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    decTemp = 0
    For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
        decTemp = decTemp +
(MatrikKekakuanEfektifN(i, j) * arrDeltaP1(j))
    Next j
    arrDeltaY0(i) = decTemp
Next i
End Sub

```

```

Public Sub LangkahC()
' Pertambahan kecepatan (Delta Y0 aksen)

```

```

Dim i As Integer
ReDim arrDeltaY1(intJumlahTinggi)
For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    arrDeltaY1(i) = ((decGamma / (decBeta *
decDeltaT)) * arrDeltaY0(i)) - ((decGamma /
decBeta) * arrY1(i)) + (decDeltaT * (1 -
(decGamma / (2 * decBeta))) * arrY2(i))
Next i
End Sub

```

```

Public Sub LangkahD()
' Pertambahan percepatan (Delta Y0 dobel
aksen)
Dim i As Integer
ReDim arrDeltaY2(intJumlahTinggi)
For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    arrDeltaY2(i) = ((1 / (decBeta *
(decDeltaT ^ 2))) * arrDeltaY0(i)) - ((1 /
(decBeta * decDeltaT)) * arrY1(i)) - ((1 / (2 *
decBeta)) * arrY2(i))
Next i
End Sub

```

```

Public Sub LangkahE()
' Pertambahan simpangan (Delta Y1 )
Dim i As Integer
ReDim arrY10(intJumlahTinggi)
For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    arrY10(i) = (arrY0(i) + arrDeltaY0(i))
Next i
'ShowArray arrY10
End Sub

```

```

Public Sub LangkahF()
' Pertambahan kecepatan (Delta Y1 aksen)
Dim i As Integer
ReDim arrY11(intJumlahTinggi)
For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    arrY11(i) = (arrY1(i) + arrDeltaY1(i))
Next i
End Sub

```

```

Public Sub LangkahG()
' Pertambahan percepatan (Delta Y1 doble
aksen)
Dim i As Integer
ReDim arrY12(intJumlahTinggi)
For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    arrY12(i) = (arrY2(i) + arrDeltaY2(i))
Next i
End Sub

```

```

Public Sub LangkahH()
' Menghitung simpangan netto
Dim i As Integer
ReDim
arrSimpanganNetto(intJumlahTinggi)
For i = 0 To intJumlahTinggi - 2
    arrSimpanganNetto(i) = arrY10(i)
Next i

```

```

'arrSimpanganNetto(intJumlahTinggi) =
arrY10(intJumlahTinggi) * 100
arrSimpanganNetto(intJumlahTinggi - 1) =
arrY10(intJumlahTinggi - 1)

```

End Sub

```

Public Sub LangkahL()
ReDim arrYY(intJumlahTinggi)
Dim i As Integer
arrYY(0) = arrY10(0) / decH1 * 100
For i = 1 To intJumlahTinggi - 1
MsgBox arrY10(i) & " - " & arrY10(i - 1)
& " / " & decHN
arrYY(i) = (arrY10(i) - arrY10(i - 1)) /
decHN * 100
Next i

```

End Sub

```

Public Sub LangkahM()
ReDim arrF(intJumlahTinggi)
Dim i, j As Integer
Dim decTmp As Double
For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
decTmp = 0
For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
decTmp = decTmp +
(MatrikKekakuanN(i, j)) *
(arrSimpanganNetto(j))
Next j
arrF(i) = decTmp
Next i
End Sub

```

```

Public Sub LangkahN()
ReDim arrV(intJumlahTinggi)
Dim i, j As Integer
Dim decTmp As Double
For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
decTmp = 0
For j = i To intJumlahTinggi - 1
decTmp = decTmp + arrF(j)
Next j
arrV(i) = decTmp
Next i
End Sub

```

```

Public Sub LangkahO()
ReDim arrMg(intJumlahTinggi + 1)
Dim i, j As Integer
Dim decTmp, decTmp1 As Double
decTmp1 = decH1
decTmp = arrF(0) * decTmp1
For i = 1 To intJumlahTinggi - 1
decTmp1 = decTmp1 + decHN
decTmp = decTmp + (arrF(i) * decTmp1)
Next i
arrMg(0) = decTmp

```

```

For i = 1 To intJumlahTinggi - 1
decTmp = 0
decTmp1 = 0
For j = i To intJumlahTinggi - 1
decTmp1 = decTmp1 + decHN
decTmp = decTmp + (arrF(j) *
decTmp1)
Next j
arrMg(i) = decTmp
Next i
arrMg(intJumlahTinggi) = 0
End Sub
Public Sub KaliMatrik(A(), B(), C) As
Double)
' Perkalian MatrikA * MatrikB = MatrikC
Dim i, j, k As Integer
Dim decTemp As Double
Dim MatrikHasil() As Double
ReDim MatrikHasil(UBound(B),
UBound(B))
For i = 0 To UBound(B) - 1
For j = 0 To UBound(B) - 1
decTemp = 0
For k = 0 To UBound(B) - 1
decTemp = decTemp + (A(i, k) *
B(j, k))
Next k
MatrikHasil(i, j) = decTemp
Next j
Next i
C = MatrikHasil
End Sub

```

**TABEL PERBANDINGAN HASIL PERHITUNGAN MANUAL DENGAN  
HASIL PERHITUNGAN PROGSIP 2004**

**1. STRUKTUR DENGAN BASE ISOLATION**

Tingkat	Waktu	Simpangan Netto (m)		
		Manual (MS. Excel)	PROGSIP 2004	Ketelitian (%)
<i>Base isolation</i>	<b>0,01</b>	4, 79132E - 07	4, 79133E - 07	0, 000209
1	<b>0,01</b>	4, 88898E - 07	4, 88908E - 07	0, 002045
2	<b>0,01</b>	4, 89815E - 07	4, 89794E - 07	0, 004287
<i>Base isolation</i>	<b>0,02</b>	2, 85422E - 06	2, 85424E - 06	0, 000701
1	<b>0,02</b>	2, 92815E - 06	2, 92826E - 06	0, 003786
2	<b>0,02</b>	2, 93745E - 06	2, 93721E - 06	0, 00817
<i>Base isolation</i>	<b>0,03</b>	8, 96331E - 06	8, 96341E - 06	0, 001116
1	<b>0,03</b>	9, 24583E - 06	9, 24642E - 06	0, 006381
2	<b>0,03</b>	9, 29247E - 06	9, 29116E - 06	0, 014097

Tingkat	Waktu	Simpangan Antar Tingkat (%)		
		Manual (MS. Excel)	PROGSIP 2004	Ketelitian (%)
<i>Base isolation</i>	<b>0,01</b>	1, 27769E - 05	1, 3E - 05	1, 716154
1	<b>0,01</b>	2, 6043E - 07	2, 60671E - 07	0, 092454
2	<b>0,01</b>	2, 44517E - 08	2, 36181E - 08	3, 40917
<i>Base isolation</i>	<b>0,02</b>	7, 61126E - 05	7, 6E - 05	0, 147939
1	<b>0,02</b>	1, 9714E - 06	1, 97395E - 06	0, 129183
2	<b>0,02</b>	2, 48031E - 07	2, 38701E - 07	3, 761627
<i>Base isolation</i>	<b>0,03</b>	0, 000239022	0, 00024	0, 043661
1	<b>0,03</b>	7, 53401E - 06	7, 54692E - 06	0, 171063
2	<b>0,03</b>	1, 24366E - 06	1, 19298E - 06	4, 075069



Tingkat	Waktu	Gaya Horizontal Tingkat (kg)		
		Manual (MS. Excel)	PROGSIP 2004	Ketelitian (%)
<i>Base isolation</i>	<b>0,01</b>	0,239539688	0,23923	0,129285
1	<b>0,01</b>	0,302097386	0,30347	0,452306
2	<b>0,01</b>	0,031302799	0,03024	3,39522
<i>Base isolation</i>	<b>0,02</b>	0,889274004	0,88602	0,369157
1	<b>0,02</b>	2,206239948	2,22145	0,68469
2	<b>0,02</b>	0,317526976	0,30558	3,762507
<i>Base isolation</i>	<b>0,03</b>	1,073238762	1,05683	1,528901
1	<b>0,03</b>	8,052838999	8,13426	1,000964
2	<b>0,03</b>	1,592124522	1,52724	4,075342

Tingkat	Waktu	Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif (kg)		
		Manual (MS. Excel)	PROGSIP 2004	Ketelitian (%)
<i>Base isolation</i>	<b>0,01</b>	0,572939872	0,57294	0,0000223
1	<b>0,01</b>	0,333400184	0,33371	0,09284
2	<b>0,01</b>	0,031302799	0,03024	3,39522
<i>Base isolation</i>	<b>0,02</b>	3,413040929	3,41306	0,000559
1	<b>0,02</b>	2,523766925	2,52704	0,129522
2	<b>0,02</b>	0,317526976	0,30558	3,762507
<i>Base isolation</i>	<b>0,03</b>	10,71820228	10,7183	0,000912
1	<b>0,03</b>	9,64496352	9,6615	0,171159
2	<b>0,03</b>	1,592124522	1,52724	4,075342

Tingkat	Waktu	Momen Guling (kg.m)		
		Manual (MS. Excel)	PROGSIP 2004	Ketelitian (%)
Dasar	0,01	3, 516160706	3, 51332	0, 08079
<i>Base isolation</i>	0,01	1, 367636186	1, 36479	0, 20811
1	0,01	0, 117385495	0, 11338	3, 412257
2	0,01	0	0	0
Dasar	0,02	23, 45375561	23, 4213	0, 138381
<i>Base isolation</i>	0,02	10, 65485213	10, 6223	0, 305515
1	0,02	1, 190726162	1, 14593	3, 762088
2	0,02	0	0	0
Dasar	0,03	82, 33233871	82, 1515	0, 219645
<i>Base isolation</i>	0,03	42, 13908016	41, 9577	0, 430432
1	0,03	5, 970466956	5, 72714	4, 07551
2	0,03	0	0	0

## 2. STRUKTUR TANPA *BASE ISOLATION*

Tingkat	Waktu	Simpangan Netto (m)		
		Manual (MS. Excel)	PROGSIP 2004	Ketelitian (%)
1	0,01	4,46766E - 07	4,468E - 07	0,00761
2	0,01	4,79973E - 07	4,8E - 07	0,005625
3	0,01	4,82276E - 07	4,8228E - 07	0,000829
1	0,02	2,54443E - 06	2,545E - 06	0,02397
2	0,02	2,84702E - 06	2,847E - 06	0,000702
3	0,02	2,87531E - 06	2,8753E - 06	0,000348
1	0,03	7,48446E - 06	7,485E - 06	0,007214
2	0,03	8,85031E - 06	8,85E - 06	0,003503
3	0,03	9,02024E - 06	9,0203E - 06	0,000665

Tingkat	Waktu	Simpangan Antar Tingkat (%)		
		Manual (MS. Excel)	PROGSIP 2004	Ketelitian (%)
1	0,01	1,19138E - 05	1,191E - 05	0,031896
2	0,01	8,8552E - 07	8,85225E - 07	0,033314
3	0,01	6,14035E - 08	6,13831E - 08	0,033223
1	0,02	6,78515E - 05	6,785E - 05	0,002211
2	0,02	8,06894E - 06	8,06634E - 06	0,032222
3	0,02	7,54383E - 07	7,54139E - 07	0,032344
1	0,03	0,000199586	0,0001996	0,007014
2	0,03	3,64226E - 05	3,64114E - 05	0,03075
3	0,03	4,53143E - 06	4,53001E - 06	0,031337

Tingkat	Waktu	Gaya Horisontal Tingkat (kg)		
		Manual (MS. Excel)	PROGSIP 2004	Ketelitian (%)
1	0,01	14, 12379073	14, 1191	0, 033212
2	0,01	1, 055025849	1, 05467	0, 033729
3	0,01	0, 078608124	0, 07858	0, 035777
1	0,02	76, 56457895	76, 5403	0, 03171
2	0,02	9, 364022246	9, 36101	0, 032168
3	0,02	0, 965752996	0, 96544	0, 03241
1	0,03	208, 9725633	208, 912	0, 028981
2	0,03	40, 82678377	40, 8142	0, 030822
3	0,03	5, 801091823	5, 79928	0, 031232

Tingkat	Waktu	Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif (kg)		
		Manual (MS. Excel)	PROGSIP 2004	Ketelitian (%)
1	0,01	15, 25742471	15, 2523	0, 033588
2	0,01	1, 133633973	1, 13326	0, 03299
3	0,01	0, 078608124	0, 07858	0, 03578
1	0,02	86, 89435419	86, 8668	0, 03171
2	0,02	10, 32977524	10, 3264	0, 03267
3	0,02	0, 965752996	0, 96544	0, 03241
1	0,03	255, 6004389	255, 525	0, 02951
2	0,03	46, 6278756	46, 6135	0, 03083
3	0,03	5, 801091823	5, 79928	0, 03123

Tingkat	Waktu	Momen Guling (kg.m)		
		Manual (MS. Excel)	PROGSIP 2004	Ketelitian (%)
Dasar	0,01	61,76125051	61,7406	0,03344
1	0,01	4,545907866	4,54439	0,03339
2	0,01	0,294780465	0,29468	0,03408
3	0,01	0	0	0
Dasar	0,02	368,2120591	368,095	0,03179
1	0,02	42,35823089	42,3446	0,03218
2	0,02	3,621573736	3,6204	0,03241
3	0,02	0	0	0
Dasar	0,03	1155,110274	1154,77	0,02946
1	0,03	196,6086278	196,548	0,03084
2	0,03	21,75409434	21,7473	0,03123
3	0,03	0	0	0

**1. Modal Effective Weight Struktur 3 tingkat dengan base isolation**

Mode	Model Effective Weight Ew					
	$\sum w_i \Phi_{ij}$	$(\sum w_i \Phi_{ij})^2$	$\sum w_i \Phi_{ij}^2$	Ew	%Jumlah	Akumulasi
3	-51.89	2692.2	1480.5	1.8185	0.48384	100
2	129.97	16892	190.11	88.851	23.6404	99.51616
1	289.98	84090	294.87	285.18	75.8758	75.87579
			Jumlah	375.85	100	

**2. Modal Effective Weight Struktur 3 tingkat tanpa base isolation**

Mode	Model Effective Weight Ew					
	$\sum w_i \Phi_{ij}$	$(\sum w_i \Phi_{ij})^2$	$\sum w_i \Phi_{ij}^2$	Ew	%Jumlah	Akumulasi
3	3.6383	13.237	660.09	0.0201	0.00618	100
2	105.72	11177	190.11	58.792	18.1147	99.99382
1	452	204303	768.8	265.74	81.8791	81.87914
			Jumlah	324.55	100	