



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUNAAN *BASE ISOLATION* SEBAGAI PEREDAM
PASIF PADA STRUKTUR BANGUNAN YANG DIKENAKAN
BEBAN GEMPA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

TRIA PURNAMA SARI

NPM: 0405010701

(Peserta Tripartit UI – ITB – UGM Program *Credit Earning* di ITB)

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN REKAYASA STRUKTUR
DEPOK
JULI 2009**

PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Tria Purnama Sari

NPM : 0405010701

Tanda Tangan :



Tanggal : 9 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Tria Purnama Sari
NPM : 0405010701
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Penggunaan Base Isolation Sebagai Peredam
Pasif Pada Struktur Bangunan Yang Dikenakan
Beban Gempa

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.- Ing.Ir. Henki Wibowo Ashadi ii

Pembimbing : Dr. Herlien D Setio

Penguji : Mulia Orientilize, M.Eng

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 9 Juli 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat, ridho dan karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Penggunaan Base Isolation Sebagai Peredam Pasif Pada Struktur Bangunan Yang Dikenakan Beban Gempa”. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi persyaratan untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1). Dr.-Ing.Ir. Henki Wibowo Ashadi selaku dosen pembimbing I dan Pembimbing Akademis yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini dan untuk bimbingannya selama 4 tahun di sipil;
- (2). Dr. Herlien D Setio Selaku Kepala Jurusan Teknik Sipil ITB dan dosen pembimbing II yang telah banyak membimbing dalam penelitian saya dan membantu kelancaran kuliah saya selama mengikuti Program TRIPATIT di ITB Bandung;
- (3). Keluarga tercinta, ibu, Isrowiyah; bapak, Ahmad Ghofuri; kakak, Yulia Dwi Ardhani, Meyta Eka Rahmawati, dan Meiqo Arifta Yudha yang telah memberikan doa, perhatian, dukungan moral dan material serta kasih sayang yang menemani setiap langkah penulis;
- (4). Para dosen penguji pada saat sidang seminar dan sidang skripsi atas waktu dan masukannya untuk menyempurnakan skripsi ini;
- (5). Para Dosen di UI dan ITB yang telah membimbing dan mengajarkan saya sampai skripsi ini selesai;
- (6). Sahabat saya Widi, Sheila, Tiara, Nohan, Zae, Nita, Youla, Dea, teman-teman saya di Teknik Sipil UI dan ITB terutama angkatan 2005, yang telah memberikan bantuan dalam pengumpulan data dan dukungan moral serta doa untuk kelancaran penyusunan skripsi ini;

- (7). seluruh teman seperjuangan dan panitia TRIPATIT yang memperikan pelajaran, wawasan dan pengalaman baru serta semangat dan kelancaran selama mengikuti program ini;
- (8). para Karyawan Tata Usaha Teknik Sipil Universitas Indonesia dan Institut Teknologi Bandung yang selalu siap sedia untuk membantu kelancaran administrasi saya selama kuliah sampai sidang skripsi;
- (9). dan semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu untuk bantuan-bantuan kecil yang berarti dalam penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT , berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu saya. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu, khususnya dalam ilmu teknik sipil.

Depok, 9 Juli 2009

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Tria Purnama Sari

NPM : 0405010701

Program Studi : Teknik Sipil

Departemen : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

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

PENGUNAAN BASE ISOLATION SEBAGAI PEREDAM PASIF PADA STUKTUR BANGUNAN YANG DIKENAKAN BEBAN GEMPA


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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 9 Juli 2009

Yang menyatakan


(Tria Purnama Sari)

ABSTRAK

Nama : Tria Purnama Sari
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Penggunaan Base Isolation Sebagai Peredam Pasif Pada Struktur Bangunan Yang Dikenakan Beban Gempa

Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang menimbulkan kerugian yang sangat besar di dunia. Berbagai metode dikembangkan untuk dapat meningkatkan kemampuan struktur dalam menerima beban gempa. Salah satu cara mengurangi energi gempa yang diterima oleh struktur yaitu dengan menggunakan sistem base isolation. Sistem ini memisahkan gedung dengan tanah sehingga mencegah ditransfernya sebagian gerakan horizontal dari tanah akibat beban gempa ke struktur bangunan. Pada penelitian ini, base isolation menggunakan Low Damping Rubber Bearing yang digunakan sebagai peredam respon struktur. Sistem ini digunakan pada struktur bangunan bertingkat 5 lantai yang dianalisa secara linier dengan variasi beban gempa. Nilai kekakuan dari base isolation diambil dari nilai kekakuan struktur pada lantai di atas base isolation. Beban harmonik berupa percepatan berbentuk sinus dengan frekuensi dan amplitudo yang ditentukan, digunakan untuk pengecekan terhadap ketepatan kerja program yang dibuat. Dengan menggunakan program MATLAB akan didapatkan nilai perpindahan dari struktur awal dan struktur dengan base isolation akibat setiap beban gempa yang diberikan. Dari hasil perbandingan ini, dapat dievaluasi keefektifan penggunaan sistem base isolation pada struktur. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa struktur yang menggunakan base isolation memiliki displacement yang sangat besar dibagian base isolation, sedangkan story drift yang terjadi pada lantai-lantai di atasnya kecil. Maka dapat disimpulkan bahwa base isolation dapat meredam respon struktur dari beban gempa. Sistem base isolation yang paling efektif digunakan pada studi kasus ini adalah base isolation yang memiliki nilai kekakuan seper lima puluh kekakuan pada lantai di atasnya.

Kata kunci: respon struktur, kontrol struktur, redaman, base isolation, gaya gempa, MATLAB.

ABSTRACT

Name : Tria Purnama Sari

Study Program : Civil Engineering

Tittle :The Application of Base Isolation as Passive Damper on Building
Structure Imposed by Earthquake Load

Earthquake is one of natural disaster that caused huge loss. There are many researches that have been discovered and developed to strengthening the capability of structure when received the earthquake forces. One of the researches is base isolation system. This system separate the building and the ground motion, so that prevent the transfer of the ground motion by earthquake to upper structure. In this research, low damping rubber bearing is used as a damper of structural response. This system is applied in five-story building which analyzed linearly with some earthquake load. The stiffness of the base isolation is similar with the floor stiffness above the base isolation system. A harmonic load sine-shaped form of the acceleration with specified frequency and amplitudo, is used to check the accuracy of the program. Matlab program can obtain the displacement of the fixed-base structure and the isolated structure due to earthquake loads. The result of this comparison, can be evaluated effectiveness of the use of base isolation on the structure. The result shows that the base isolated structure have a very large displacement at the base isolation, while the story drift that occurred on the above floors is very small. So it can be concluded that the base isolation structure can be muted response from the burden of the earthquake. The effective base isolation that used in this research is the base isolation which stiffness is 2% from the floor above.

Keywords: response structure, control structure, damper, base isolation, earthquake load, MATLAB.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vii
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR NOTASI.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penulisan.....	3
1.3 Batasan Permasalahan.....	4
1.4 Metodologi Penelitian.....	5
1.2 Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TEORI.....	7
2.1 Sistem Dinamik.....	7
2.1.1 Sistem Dinamik dengan Satu Derajat Kebebasan.....	7
2.1.2 Sistem Dinamika dengan Banyak Derajat Kebebasan.....	9
2.2 Redaman pada Struktur.....	12
2.2.1 Redaman Kritis.....	13
2.2.2 Sistem <i>Underdamped</i>	13
2.2.3 Sistem Redaman Berlebih (<i>overdamped system</i>).....	14
2.3 Analisa Struktur Terhadap Beban Dinamik.....	14
2.3.1 Analisa Statik Ekuivalen.....	14
2.3.2 Analisa Dinamik (Dengan Metode <i>Runge-Kutta</i>).....	14
2.4 Peredam Struktur.....	16

2.5 Prinsip <i>Base Isolation</i>	20
2.6 Beban Gempa	27
BAB III METODELOGIPENELITIAN	29
3.1 Modelisasi Struktur	29
3.2 Struktur tanpa <i>Base Isolation</i>	29
3.2.1 Struktur SDOF tanpa <i>Base Isolation</i>	30
3.2.2 Struktur MDOF tanpa <i>Base Isolation</i>	31
3.2 Struktur dengan <i>Base Isolation</i>	33
3.2.1 Struktur SDOF dengan <i>Base Isolation</i>	33
3.2.2 Struktur MDOF dengan <i>Base Isolation</i>	34
3.4 Struktur Program Secara Keseluruhan Pada MATLAB	38
3.5 Beban Harmonik yang digunakan	39
3.6 Beban Gempa yang digunakan	39
BAB IV STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN	46
4.1 Umum	46
4.2 Studi Kasus Bangunan Satu Lantai	46
4.2.1 Deskripsi Bangunan	46
4.2.2 Bangunan Satu Lantai Tanpa <i>Base Isolation</i>	50
4.2.3 Bangunan Satu Lantai Dengan <i>Base Isolation</i>	55
4.3 Studi Kasus Bangunan Lima Lantai.....	66
4.3.1 Deskripsi Bangunan	66
4.3.2 Bangunan Lima Lantai Tanpa <i>Base Isolation</i>	69
4.3.3 Bangunan Lima Lantai Dengan <i>Base Isolation</i>	73
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	87
4.1 Kesimpulan	87
4.2 Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	xxi

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Bagan Metodologi Penelitian	5
Gambar 2.1. Sistem dinamik SDOF tanpa redaman.....	9
Gambar 2.2 Sistem dinamik SDOF dengan redaman	9
Gambar 2.3 Sistem dinamik MDOF tanpa redaman	10
Gambar 2.4 Sistem dinamik MDOF dengan redaman.....	11
Gambar 2.5 Bagan Metode-Metode Kontrol Struktur	17
Gambar 2.6 Struktur <i>fixed-base</i> dan <i>base isolation</i>	20
Gambar 2.7 Deformasi yang terjadi pada <i>fixed-base</i> dan <i>base isolation</i>	20
Gambar 2.8 Bagan <i>Base Isolation</i>	21
Gambar 2.9 <i>Laminated rubber bearing base isolator</i>	22
Gambar 2.10 Sistem TASS	25
Gambar 2.11 Sistem Friction-Pendulum.....	26
Gambar 2.12 Gempa El Centro (0.33g)	28
Gambar 3.1. Permodelan SDOF tanpa <i>base isolation</i>	30
Gambar 3.2 Diagram aliran program SDOF tanpa <i>base isolation</i>	30
Gambar 3.3 Permodelan MDOF tanpa <i>base isolation</i>	31
Gambar 3.4 Diagram alir program MDOF 5 lantai tanpa <i>base isolation</i>	32
Gambar 3.5 Permodelan SDOF dengan <i>base isolation</i>	33
Gambar 3.6 Diagram alir program SDOF dengan <i>base isolation</i>	34
Gambar 3.7 Modelisasi Struktur MDOF dengan <i>base isolator</i>	35
Gambar 3.8 Diagram alir program MDOF dengan <i>base isolation</i>	37
Gambar 3.9 Beban sinusoidal yang digunakan	39
Gambar 3.10 Akselerogram gempa El Centro	40
Gambar 3.11 Kandungan frekuensi gempa El Centro	40
Gambar 3.12 Akselerogram gempa Kern	41
Gambar 3.13 Kandungan frekuensi gempa Kern	41
Gambar 3.14 Akselerogram gempa Sanfernando.....	42
Gambar 3.15 Kandungan frekuensi gempa Sanfernando	42
Gambar 3.16 Akselerogram gempa Loma Prieta	43

Gambar 3.17 Kandunga frekuensi gempa Loma Prieta	43
Gambar 3.18 Akselerogram gempa Northridge	44
Gambar 3.19 Kandunga frekuensi gempa Northridge	44
Gambar 3.22 Akselerogram gempa Parkfield	45
Gambar 3.23 Kandunga frekuensi gempa Parkfield	45
Gambar 4.1 Layout bangunan	46
Gambar 4.2 Permodelan struktur SDOF sebagai <i>lump mass</i>	47
Gambar 4.3 Pengaruh Nilai Rasio Redaman (ξ) Pada Struktur dengan gempa El Centro	50
Gambar 4.4 Perpindahan struktur SDOF tanpa base isolation terhadap beban gempa Sinusoidal	51
Gambar 4.5 Perpindahan struktur SDOF tanpa base isolation terhadap beban gempa El Centro	51
Gambar 4.6 Perpindahan struktur SDOF tanpa base isolation terhadap beban gempa Kern	52
Gambar 4.7 Perpindahan struktur SDOF tanpa base isolation terhadap beban San Fernando	52
Gambar 4.8 Perpindahan struktur SDOF tanpa base isolation terhadap beban Loma Prieta	53
Gambar 4.9 Perpindahan struktur SDOF tanpa base isolation terhadap beban Northridge	53
Gambar 4.10 Perpindahan struktur SDOF tanpa base isolation terhadap beban Parkfield	54
Gambar 4.11 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K/10$) terhadap beban gempa El Centro	56
Gambar 4.12 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K/10$) terhadap beban gempa Kern	56
Gambar 4.13 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K/10$) terhadap beban San Fernando	57
Gambar 4.14 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K/10$) terhadap beban Loma Prieta	57

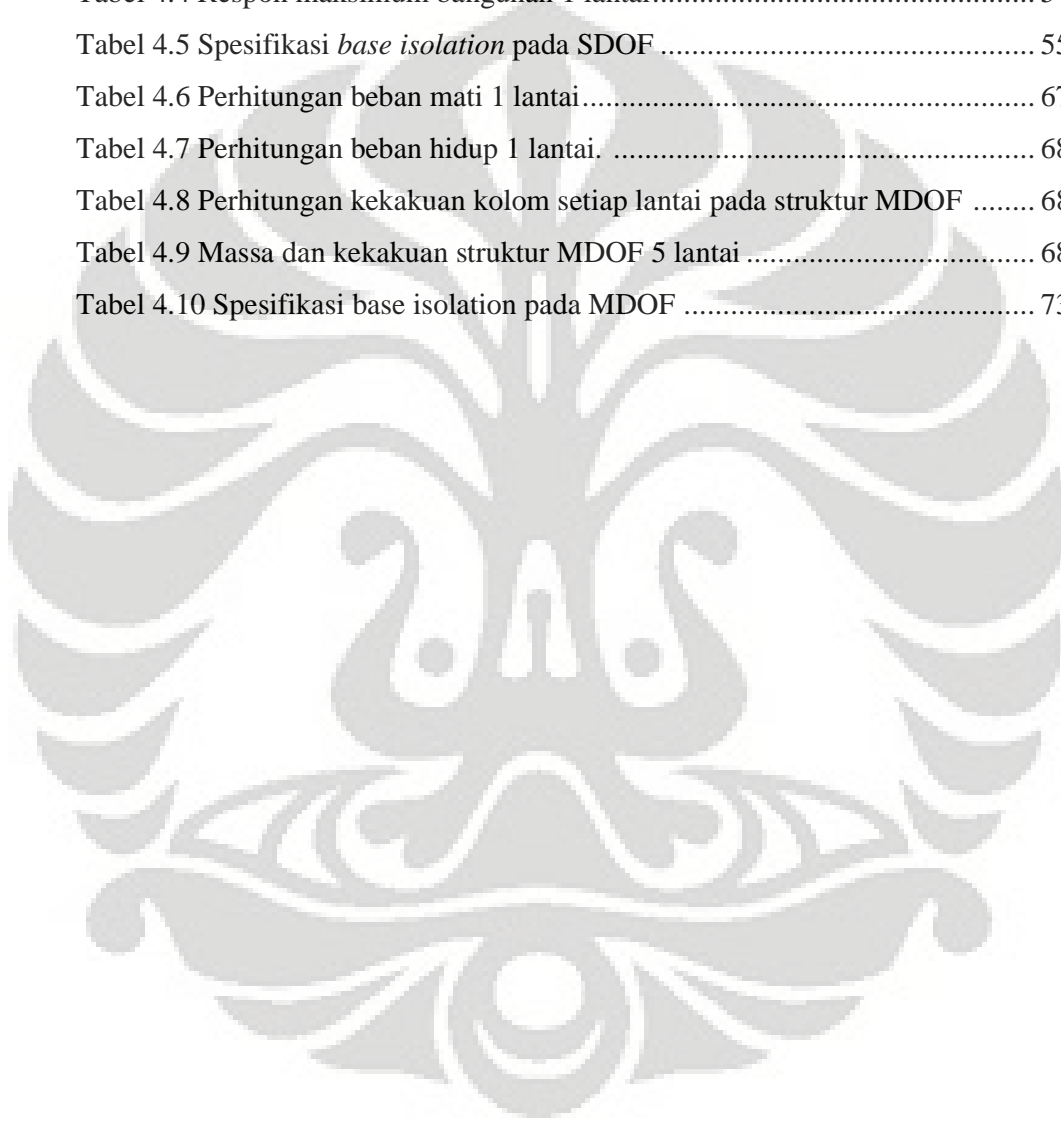
Gambar 4.15 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/10$) terhadap beban Northridge	58
Gambar 4.16 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/10$) terhadap beban Parkfield.....	58
Gambar 4.17 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/50$) terhadap beban gempa El Centro.....	59
Gambar 4.18 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/50$) terhadap beban gempa Kern.....	60
Gambar 4.19 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/50$) terhadap beban San Fernando.....	60
Gambar 4.20 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/50$) terhadap beban Loma Prieta.....	61
Gambar 4.21 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/50$) terhadap beban Northridge.....	61
Gambar 4.22 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/50$) terhadap beban Parkfield.....	62
Gambar 4.23 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/100$) terhadap beban gempa El Centro.....	63
Gambar 4.24 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/100$) terhadap beban gempa Kern.....	63
Gambar 4.25 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/100$) terhadap beban San Fernando.....	64
Gambar 4.26 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/100$) terhadap beban Loma Prieta.....	64
Gambar 4.27 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/100$) terhadap beban Northridge.....	65
Gambar 4.28 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/100$) terhadap beban Parkfield.....	65
Gambar 4.29 Layout bangunan 5 Lantai.....	66
Gambar 4.30 Permodelan struktur MDOF <i>lump mass</i> tanpa base isolation dan dengan <i>base isolation</i>	69

Gambar 4.31 Perpindahan struktur MDOF tanpa base isolation terhadap beban gempa El Centro	69
Gambar 4.32 Perpindahan struktur MDOF tanpa base isolation terhadap beban gempa Kern	70
Gambar 4.33 Perpindahan struktur MDOF tanpa base isolation terhadap beban San Fernando	70
Gambar 4.34 Perpindahan struktur MDOF tanpa base isolation terhadap beban Loma Prieta	71
Gambar 4.35 Perpindahan struktur MDOF tanpa base isolation terhadap beban Northridge	71
Gambar 4.36 Perpindahan struktur MDOF tanpa base isolation terhadap beban Parkfield	72
Gambar 4.37 Mode getar MDOF lima lantai tanpa <i>base isolation</i>	72
Gambar 4.38 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/10$) terhadap beban gempa El Centro	74
Gambar 4.39 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/10$) beban gempa Kern	74
Gambar 4.40 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/10$) beban San Fernando	75
Gambar 4.41 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/10$) beban Loma Prieta	75
Gambar 4.42 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/10$) beban Northridge	76
Gambar 4.43 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/10$) beban Parkfield	76
Gambar 4.44 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/50$) beban gempa El Centro	77
Gambar 4.45 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/50$) beban gempa Kern	78
Gambar 4.46 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/50$) beban San Fernando	78

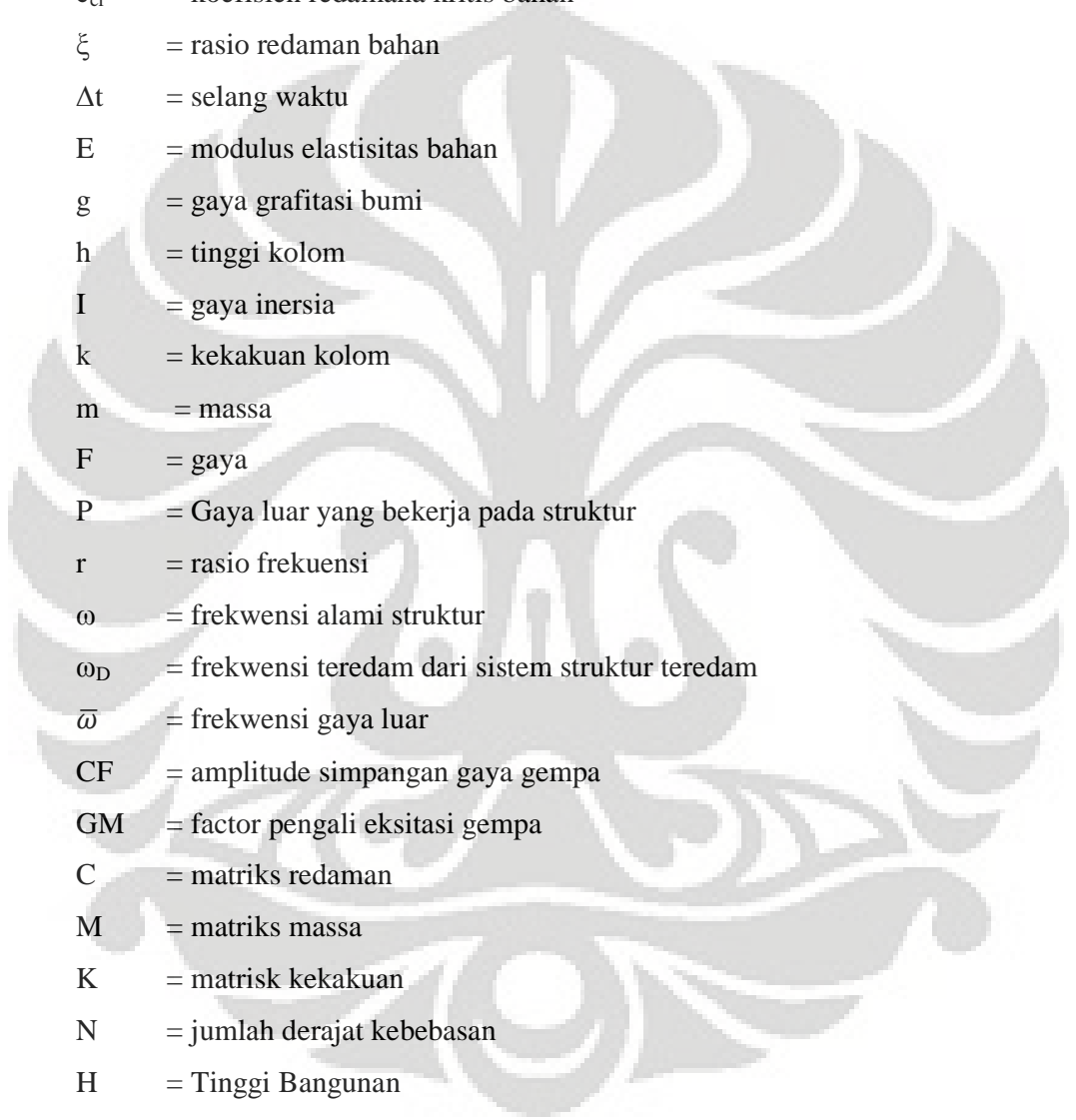
Gambar 4.47 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K/50$) beban Loma Prieta	79
Gambar 4.48 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K/50$) beban Northridge	79
Gambar 4.49 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K/50$) beban Parkfield	80
Gambar 4.50 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K/100$) beban gempa El Centro	81
Gambar 4.51 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K/100$) terhadap beban gempa Kern	81
Gambar 4.52 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K/100$) terhadap beban San Fernando	82
Gambar 4.53 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K/100$) terhadap beban Loma Prieta	82
Gambar 4.54 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K/100$) terhadap beban Northridge	83
Gambar 4.55 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K/100$) terhadap beban Parkfield	83
Gambar 4.56 Perbandingan <i>displacement</i> pada bangunan tanpa <i>base isolation</i> dengan <i>displacement</i> maksimal struktur	85
Gambar 4.57 Perbandingan <i>displacement</i> pada bangunan dengan <i>base isolation</i> dengan <i>displacement</i> maksimal struktur	85

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Perhitungan beban mati struktur SDOF	48
Tabel 4.2 Perhitungan beban hidup struktur SDOF.....	48
Tabel 4.3 Perhitungan kekakuan kolom struktur SDOF	49
Tabel 4.4 Respon maksimum bangunan 1 lantai.....	54
Tabel 4.5 Spesifikasi <i>base isolation</i> pada SDOF	55
Tabel 4.6 Perhitungan beban mati 1 lantai.....	67
Tabel 4.7 Perhitungan beban hidup 1 lantai.	68
Tabel 4.8 Perhitungan kekakuan kolom setiap lantai pada struktur MDOF	68
Tabel 4.9 Massa dan kekakuan struktur MDOF 5 lantai	68
Tabel 4.10 Spesifikasi <i>base isolation</i> pada MDOF	73



DAFTAR NOTASI



a	= percepatan
c	= koefisien redaman bahan
c_{cr}	= koefisien redamana kritis bahan
ξ	= rasio redaman bahan
Δt	= selang waktu
E	= modulus elastisitas bahan
g	= gaya grafitasi bumi
h	= tinggi kolom
I	= gaya inersia
k	= kekakuan kolom
m	= massa
F	= gaya
P	= Gaya luar yang bekerja pada struktur
r	= rasio frekuensi
ω	= frekwensi alami struktur
ω_D	= frekwensi teredam dari sistem struktur teredam
$\bar{\omega}$	= frekwensi gaya luar
CF	= amplitude simpangan gaya gempa
GM	= factor pengali eksitasi gempa
C	= matriks redaman
M	= matriks massa
K	= matrisk kekakuan
N	= jumlah derajat kebebasan
H	= Tinggi Bangunan
x	= perpindahan struktur
\dot{x}	= kecepatan struktur
\ddot{x}	= percepatan struktur
X	= matriks perpindahan
\dot{X}	= matriks kecepatan

\ddot{X} = matrisk percepatan
 M_b = massa *base isolation*
 k_b = kekakuan *base isolation*
 \ddot{x}_b = percepatan pada *base isolation*
SDOF = *Single Degree of Freedom*
MDOF = *Multi Degree of Freedom*



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam perancangan bangunan sipil banyak faktor yang mempengaruhi pembebanan. Faktor tersebut antara lain adalah jenis dan besar beban. Jenis beban yang bekerja pada struktur bergantung dari tipe bangunan, kegunaan bangunan, dan lokasi atau daerah pendirian bangunan. Untuk tipe bangunan yang berbeda maka jenis dan besar beban yang ditanggung akan berbeda. Begitu juga dengan lokasi pembangunan yang berbeda, maka beban-beban yang diperhitungkan akan berbeda pula. Contohnya saja bangunan yang didirikan pada lokasi gempa maka akan berbeda dalam hal perencanaannya dibandingkan dengan bangunan yang dibangun tidak pada lokasi gempa. Hal ini sangat penting karena beban gempa sangat berpengaruh pada perhitungan beban pada bangunan.

Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang menimbulkan kerugian yang sangat besar di dunia, salah satunya adalah Indonesia. Indonesia merupakan negara dengan variasi intensitas gempa menengah sampai tinggi, hal ini disebabkan karena letak Negara Indonesia yang berada pada pertemuan tiga lempeng besar di dunia, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Australia, dan lempeng Pasifik yang membuat kawasan Indonesia dipenuhi oleh titik-titik terjadinya gempa.

Hal ini yang membuat rancangan bangunan di Indonesia sepatutnya memperhitungkan kemungkinan terjadinya gempa. Kriteria dari gedung tahan gempa adalah:

- Gempa Ringan : Tidak ada kerusakan baik elemen struktural dan non struktural
- Gempa Sedang : Elemen struktural tidak rusak sedangkan non struktural boleh rusak tetapi dapat diperbaiki

- Gempa Kuat : Elemen struktural dan non struktural rusak (terjadi sendi plastis pada struktur) tetapi struktur tidak runtuh (mekanisme runtuh didesain).

Perencanaan struktur bangunan tahan gempa secara umum telah banyak dikenal yaitu dengan cara mengoptimalkan kemampuan bangunan dalam menahan beban lateral, yaitu dengan menggunakan shear wall, braced frames, atau dengan membuat struktur kuat secara berlebihan (*overdesigned*). Dengan metode ini diharapkan respon struktur terhadap beban gempa dapat diminimalisasikan. Tetapi seiring dengan perkembangan teknologi metode ini dirasa kurang efektif.

Saat ini telah banyak metode lain yang dikembangkan untuk dapat meningkatkan kemampuan struktur dalam menerima beban gempa. Salah satunya dengan mengurangi energy gempa yang diterima oleh struktur. Pada metode ini terdiri dari dua cara yaitu dengan dengan *passive control* dan *active control*. Contoh dari *passive control* adalah dengan menggunakan *tuned mass damper* dan *base isolation*. Sedangkan *active control* adalah perpaduan antara *passive control* yang dihubungkan dengan computer sebagai pengontrol aktif. Tetapi karena harga yang cukup mahal masih jarang penggunaan *active control* sebagai peredam beban gempa. Yang banyak dikembangkan saat ini adalah dengan metode *passive control*. Metode yang dipakai dengan menempelkan suatu sistem isolasi yang memisahkan gedung dengan tanah sehingga mencegah ditrasfernya sebagian gerakan horizontal dari tanah akibat beban gempa ke struktur bangunan, konsep ini yang dikenal dengan sistem isolasi dasar (*base isolation*).

Dalam pembangunan gedung fasilitas umum di Indonesia perlu dibuat dengan desain yang tahan terhadap gempa. Salah satunya adalah rumah sakit sebagai fasilitas penunjang masyarakat yang sangat vital keberadaannya, sehingga ketika peristiwa gempa terjadi kegiatan operasional di rumah sakit tidak terganggu dan dapat mencegah banyaknya korban jiwa ketika peristiwa gempa berlangsung.

Dalam tugas akhir ini penulis mencoba untuk menawarkan suatu metode dalam menganalisis dan mengurangi respon struktur terhadap beban gempa. Metode yang ditawarkan adalah penggunaan *base isolation* sebagai peredam respon struktur terhadap beban gempa. Dengan pemakaian *base isolation* pada bangunan diharapkan respon bangunan terhadap beban gempa yang terjadi dapat lebih kecil yang dapat meminimalisasi kerugian akibat kerusakan bangunan yang disebabkan oleh beban gempa.

1.2 Tujuan Penulisan

Tugas akhir ini menjelaskan tentang *base isolation* sebagai peredam beban gempa secara pasif pada bangunan dengan studi kasus disini adalah bangunan bertingkat. Pada tugas akhir ini ditawarkan cara mengurangi respon getaran dari beban gempa yang terjadi pada permukaan tanah, dengan menggunakan *base isolation* ini diharapkan lebih efektif dan menguntungkan dari segi keamanan dari struktur maupun dari segi biaya dibandingkan metode lainnya. Tugas akhir ini menggunakan program yang dibangun dalam bahasa Matlab, sedangkan untuk memudahkan perhitungan respon dari struktur digunakan metode Runge-Kutta. Program ini diharapkan dapat digunakan dan dikembangkan oleh para pembaca dalam melakukan perhitungan struktur dengan menggunakan *base isolation*. Setelah dilakukan analisis pada akhir dari tugas akhir ini diharapkan dapat diketahui penggunaan *base isolation* untuk bangunan dapat efektif dalam meredam gempa dan layak untuk digunakan.

Laporan tugas akhir ini diharapkan juga dapat membuka wawasan berfikir khususnya bagi para pekerja teknik sipil dalam mendesain bangunan tahan yang tahan terhadap beban gempa yang sering terjadi di Indonesia. Selain itu tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi langkah awal yang nyata bagi penulis untuk masuk ke dalam dunia keprofesian teknik sipil.

1.3 Batasan Permasalahan

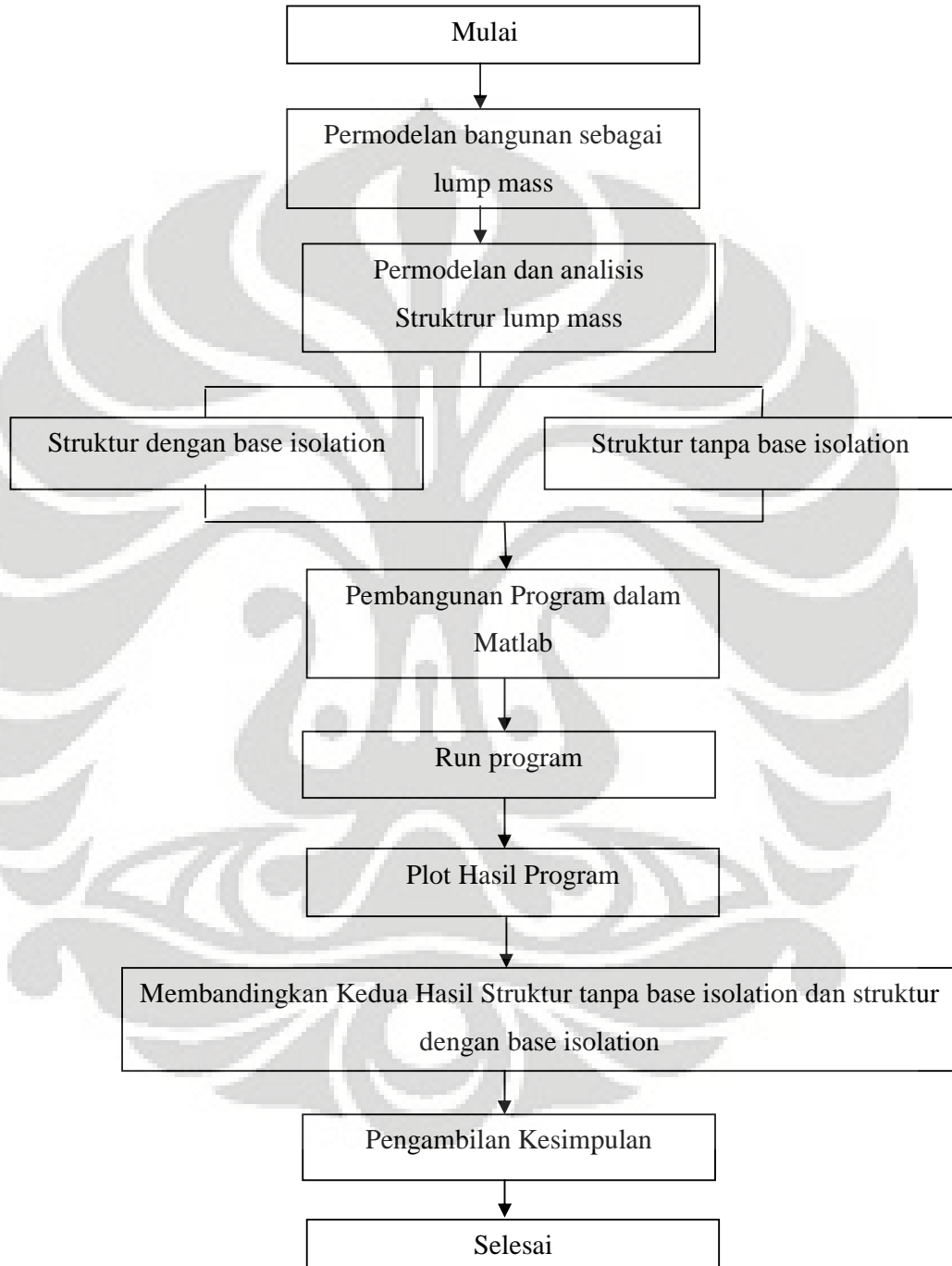
Pada penelitian ini struktur bangunan yang ditinjau adalah struktur bangunan penahan geser (*shear frame*) dengan sistem berderajat kebebasan banyak (*multi degree of freedom*). Definisi dari bangunan penahan geser disini adalah struktur bangunan di mana tidak terjadi rotasi pada penampang horizontal bidang lantainya.

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Metode penanganan gaya gempa yang dipakai adalah kontrol pasif dengan *base isolation* yang berupa *Low Damping Rubber Bearing*.
2. Bentuk struktur yang dibahas adalah struktur bertingkat yang dimodelkan sebagai bangunan geser.
3. Perilaku struktur dengan beban dinamik yang ditinjau gaya geser dasar dan perpindahan lateral pada lantai-lantai di atasnya.
4. Analisa struktur gedung dengan variasi properties system isolasi dasar yaitu massa dan kekakuan dari *base isolation*.
5. Parameter yang akan dibandingkan adalah respon dari struktur yang terisolasi dengan *fixed support*.
6. Cara menyelesaikan analisa ini adalah dengan simulasi atau permodelan menggunakan program MATLAB.

1.4 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang ditempuh dalam pembahasan tugas ini secara umum, dapat diuraikan seperti dibawah ini:



Gambar 1.1

Bagan

Metodologi Penelitian

1.5 Sistematika Penulisan

Sistem penulisan tugas akhir ini, secara garis besar adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan mengenai latar belakang dari permasalahan yang akan dibahas, tujuan dari penulisan, batasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini berisikan mengenai dasar teori yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan. Dasar teori disini terdiri dari sistem dengan satu derajat kebebasan, prinsip dari *base isolation*, sistem dengan banyak derajat kebebasan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan mengenai metode yang dipakai untuk memodelkan permasalahan ini agar dapat dianalisis hasil yang didapatkan. Permodelan yang dilakukan adalah permodelan bangunan tidak dengan *base isolation* atau tidak teredam maupun permodelan bangunan dengan *base isolation* atau bangunan teredam.

BAB IV STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang studi kasus pada struktur bangunan 5 lantai secara nyata dalam mendesain bangunan baik tanpa menggunakan *base isolation* maupun dengan menggunakan *base isolation*.

BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan mengenai kesimpulan dari penjelasan-penjelasan yang sudah dipaparkan dalam bab-bab sebelumnya, dan saran-saran yang dapat diberikan

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Sistem Dinamik

Getaran merupakan gerakan osilasi dari benda yang disebabkan oleh gaya. Semua benda yang memiliki massa dan elastisitas dapat bergetar bila mendapatkan gangguan dari luar berupa gaya. Getaran dapat dibedakan menjadi dua yaitu getaran bebas dan getaran paksa.

- Getaran bebas

Getaran bebas adalah getaran yang terjadi bila suatu sistem bergetar akibat gaya yang terdapat dari sistem tersebut tanpa ada gaya luar. Sistem ini akan memiliki frekuensi alaminya akibat getaran bebas yang dipengaruhi oleh besarnya massa dan kekakuan atau elastisitas.

- Getaran paksa

Getaran paksa adalah getaran akibat beban luar, sistem akan berosilasi pada frekuensi gaya luarnya. Sehingga pada sistem terdapat dua getaran akibat dua frekuensi yang bekerja, yaitu frekuensi alami sistem dan frekuensi gaya luar pada sistem.

Jika frekuensi gaya luar sama dengan frekuensi alami sistem, maka pada sistem tersebut akan mengalami resonansi yang dapat menyebabkan getaran yang besar dan berbahaya bagi sistem. Maka perhitungan frekuensi alami sistem sangat mendasar dalam analisis getaran.

Diperlukan permodelan dalam menganalisa respon struktur terhadap beban gempa.

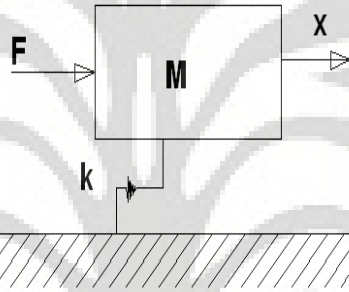
Pada pembahasan dalam tugas ini struktur akan dibedakan menjadi dua jenis, yaitu struktur dinamik dengan satu derajat kebebasan (*single degree of freedom*) dan struktur dengan banyak derajat kebebasan (*multi degree of freedom*).

2.1.1 Sistem Dinamik dengan Satu Derajat Kebebasan

Pada sistem dinamik dengan satu derajat kebebasan akan dibagi menjadi dua bahasan, yaitu struktur dengan redaman dan struktur tanpa redaman.

1. Sistem Dinamik Satu Derajat Kebebasan Tanpa Redaman

Pada bangunan dengan satu lantai dip 7 a dengan satu derajat kebebasan. Persamaan gerak untuk sistem dengan satu derajat kebebasan atau yang dikenal dengan *single degrees of freedom* (SDOF) dapat diperoleh dengan prinsip kesetimbangan dari gaya – gaya yang bekerja pada sistem tersebut. Gaya yang bekerja pada sistem yaitu gaya luar dan gaya – gaya yang disebabkan oleh getaran pada sistem tersebut, yang dipengaruhi oleh gaya inersia, dan gaya elastik atau kekakuan yang bekerja pada sistem, seperti dimodelkan dibawah ini:



Gambar 2.1. Sistem dinamik SDOF tanpa redaman

Dari gambar di atas dapat dibuat persamaan kesetimbangan dari gaya-gaya yang bekerja pada sistem, yaitu:

$$F_I + F_S = F(t) \quad (2-1)$$

Dimana f_I adalah gaya inersia, f_S adalah gaya elastic dan $f(t)$ adalah beban dinamik yang bekerja pada sistem. Gaya inersia dan gaya elastik/ pegas dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$(2-2)$$

Maka dengan mensubtitusi persamaan (2-2) kedalam persamaan (2-1) maka persamaan gerak sistem dengan satu derajat kebebasan tanpa redaman adalah :

$$(2-3)$$

Dimana:

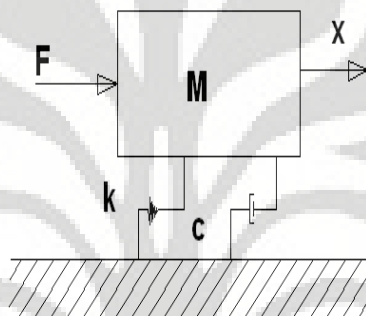
(t) = percepatan fungsi dari waktu

$x(t)$ = perpindahan fungsi dari waktu

$F(t)$ = beban luar dinamik fungsi dari waktu

Dengan m adalah massa dan k adalah kekakuan sistem. Syarat untuk mendapat persamaan di atas adalah struktur harus dimodelkan dengan lump mass atau massa terkumpul, yaitu m merupakan massa struktur terkumpul termasuk setengah dari massa kolom ditambah dengan massa pelat lantai, massa balok, dan analisa massa beban yang bekerja pada sistem tersebut.

2. Sistem Dinamik Satu Derajat Kebebasan dengan Redaman



Gambar 2.2 Sistem dinamik SDOF dengan redaman

Pada sistem satu derajat kebebasan dengan redaman persamaan gerak yang bekerja pada sistem dapat ditulis sebagai berikut:

$$F_I + F_D + F_S = F(t)$$

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = F(t) \quad (2-4)$$

Dimana:

$\ddot{x}(t)$ = percepatan fungsi dari waktu

$\dot{x}(t)$ = kecepatan fungsi dari waktu

$x(t)$ = perpindahan fungsi dari waktu

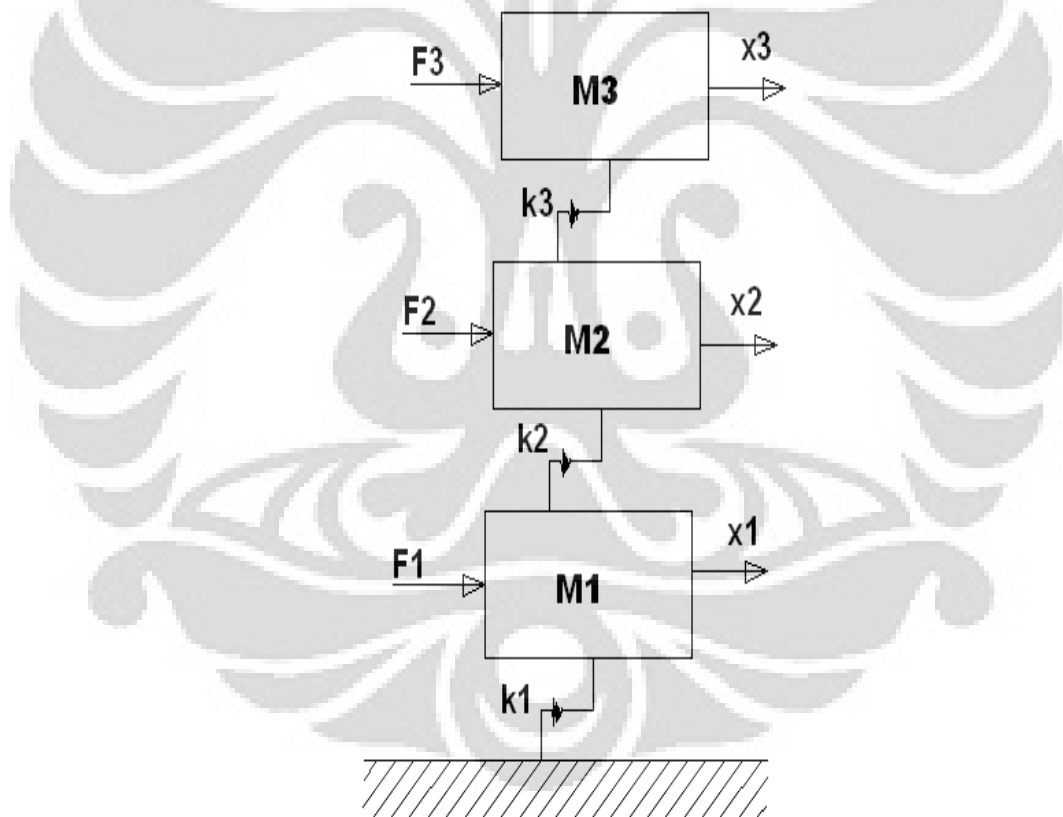
$F(t)$ = beban luar dinamik fungsi dari waktu

2.1.2 Sistem Dinamika dengan Banyak Derajat Kebebasan

Frekuensi alami yang dimiliki suatu struktur memiliki jumlah yang sama dengan jumlah derajat kebebasan pada suatu struktur. Sedangkan sebenarnya struktur memiliki jumlah derajat kebebasan yang tidak terhingga, maka untuk dapat memudahkan dalam menganalisa dan melakukan perhitungan dari struktur maka

derajat kebebasan yang terjadi pada struktur dibatasi. Cara membatasi derajat kebebasan struktur ini adalah dengan memodelkan struktur sebagai sistem *lump mass* dengan mengasumsikan bahwa derajat kebebasan yang terjadi pada struktur searah dengan gaya luar yang bekerja pada sistem tersebut. Pada permodelan lump mass itu sebuah bangunan gedung jumlah derajat kebebasan sama dengan banyak lantai bangunan, dengan massa lantai dan beban-beban yang terjadi pada lantai yaitu beban mati dan beban mati dianggap menjadi satu massa yang terkumpul pada setiap lantai. Maka semakin banyak jumlah lantai maka akan semakin banyak jumlah derajat kebebasan pada suatu bangunan.

1. Getaran Bebas pada Sistem Banyak Derajat Kebebasan tanpa Redaman



Gambar 2.3 Sistem dinamik MDOF tanpa redaman

Pada Sistem banyak derajat kebebasan persamaan gerak yang terjadi dipengaruhi oleh letak setiap komponen. Pada gambar diatas merupakan sistem dengan dua derajat kebebasan, dari gambar ini didapat persamaan gerak, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + (k_1 + k_2)x_1 - k_2 x_2 &= F_1 \\ m_2 \ddot{x}_2 + (k_2 + k_3)x_2 - k_2 x_1 - k_3 x_3 &= F_2 \\ m_3 \ddot{x}_3 + k_3 x_3 - k_3 x_2 &= F_3 \end{aligned} \quad (2-5)$$

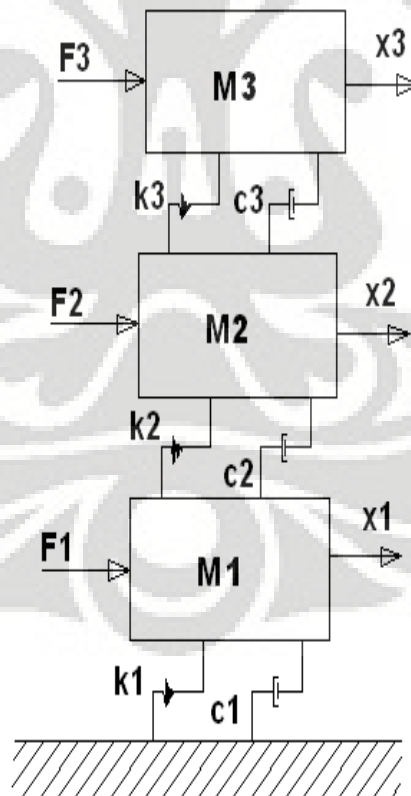
Persamaan (2-5) dapat ditulis dalam bentuk matrik sebagai berikut.

$$\begin{pmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \end{Bmatrix} + \begin{pmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix} \quad (2-6)$$

Bentuk sederhana dari persamaan di atas adalah sebagai berikut:

$$M\ddot{X} + KX = F \quad (2-7)$$

2. Getaran Bebas pada Sistem Banyak Derajat Kebebasan dengan Redaman



Gambar 2.4 Sistem dinamik MDOF dengan redaman

Persamaan gerak untuk sistem dengan banyak derajat kebebasan, MDOF (*Multiple Degree of Freedom*), diperoleh dari prinsip keseimbangan gaya – gaya yang bekerja pada sistem tersebut, yaitu gaya luar, gaya inersia, gaya elastik pegas, dan gaya redaman.

Contohnya untuk persamaan gerak sistem MDOF dengan redaman seperti gambar di atas persamaan geraknya dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + (c_1 + c_2) \dot{x}_1 - c_2 \dot{x}_2 + (k_1 + k_2)x_1 - k_2 x_2 &= F_1 \\ m_2 \ddot{x}_2 + (c_2 + c_3) \dot{x}_2 - c_2 \dot{x}_1 - c_3 \dot{x}_3 + (k_2 + k_3)x_2 - k_2 x_1 - k_3 x_3 &= F_2 \quad (2-8) \\ m_3 \ddot{x}_3 + c_3 \dot{x}_3 - c_3 \dot{x}_2 + k_3 x_3 - k_3 x_2 &= F_3 \end{aligned}$$

Persamaan (2-5) dapat ditulis dalam bentuk matrik sebagai berikut.

$$\begin{pmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \end{Bmatrix} + \begin{pmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 \\ c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{Bmatrix} + \begin{pmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix} \quad (2-9)$$

Bentuk sederhana dari persamaan di atas adalah sebagai berikut:

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = F \quad (2-10)$$

2.2 Redaman pada Struktur

Pada pembahasan sebelumnya telah dibahas persamaan gerak sistem dinamik dengan redaman. Untuk sistem dinamik bebas dengan redaman, persamaan gerak dari sistem dapat ditulis sebagai berikut:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (2-11)$$

Jawaban dari persamaan di atas adalah :

$$\begin{aligned} x(t) &= Ce^{st} \\ \dot{x}(t) &= sCe^{st} \\ \ddot{x}(t) &= s^2Ce^{st} \end{aligned} \quad (2-12)$$

Dimana: $s = \text{bilangan laplace} = \pm j\Omega$

$j = \text{bilangan imajiner}$

Jika persamaan (2-12) disubstitusi kedalam persamaan (2-11) maka didapatkan

$$(ms^2 + cs + k)Ce^{st} = 0 \quad (2-13)$$

Karena nilai C tidak sama dengan nol, maka persamaan (2-13) akan memiliki jawaban bila.

$$(ms^2 + cs + k) = 0 \quad (2-14)$$

Dari persamaan kuadrat (2-14) dapat dihitung harga s_1 dan s_2 sebagai berikut.

$$s_1, s_2 = \frac{-c}{2m} \pm \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{4mk}{4m^2}} \quad (2-15)$$

$$s_1, s_2 = \frac{-c}{2m} \pm \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \Omega^2}$$

2.2.1. Redaman Kritis

Redaman kritis dapat didefinisikan sebagai redaman yang didapat jika harga di dalam akar pada persamaan (2-15) sama dengan nol, sehingga persamaan (2-15) hanya mempunyai satu harga s .

$$\sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \Omega^2} = 0 \quad (2-16)$$

Dari persamaan di atas akan didapat redaman $c = c_{cr}$ adalah

$$c_{cr} = 2m\Omega \quad (2-17)$$

2.2.2. Sistem Underdamped

Pada umumnya struktur memiliki redaman walaupun tidak terlalu besar. Dalam hal praktis nilai redaman suatu sistem sering dibandingkan dengan nilai redaman kritisnya yaitu $c_{cr} = 2m\Omega$. Perbandingan nilai redaman didefinisikan sebagai:

$$\xi = \frac{c}{c_{cr}} = \frac{c}{2m\Omega} \quad (2-18)$$

Jika digunakan dalam bentuk persen, maka nilai redaman ξ dari persamaan (2-18) di atas harus dikalikan dengan seratus. Besaran tanpa dimensi ini sering disebut dengan factor redaman viskus (*viscous damping factor*).

Substitusi persamaan (2-18) ke dalam persamaan (2-15) maka didapat:

$$\begin{aligned} s_1, s_2 &= -\xi\Omega \pm \sqrt{(\xi\Omega)^2 - \Omega^2} \\ s_1, s_2 &= -\xi\Omega \pm i\Omega_D \\ \Omega_D &= \sqrt{1 - \xi^2} \end{aligned} \quad (2-19)$$

Ω_D disebut juga sebagai frekuensi teredam, dan $\Omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ merupakan frekuensi alami dari struktur.

2.2.3. Sistem Redaman Berlebih (*overdamped system*)

Suatu sistem dinamis disebut memiliki redaman berlebih bila koefisien redamannya melebihi koefisien redaman kritis. Peristiwa ini sangat jarang ditemui dalam kondisi normal. Dalam hal $\xi = 1$ harga di bawah akar dari persamaan (2-15) mempunyai nilai positif, sehingga persamaan (2-20) dapat ditulis dalam bentuk:

$$\begin{aligned} s_1, s_2 &= -\xi\omega \pm \sqrt{(\xi\omega)^2 - \omega^2} \\ s_1, s_2 &= -\xi\omega \pm \hat{\omega} \\ \hat{\omega} &= \omega\sqrt{\xi^2 - 1} \end{aligned} \quad (2-20)$$

2.3 Analisa Struktur Terhadap Beban Dinamik

Untuk menganalisis respons struktur terhadap beban dinamik, ada 2 cara yaitu analisa statik ekivalen dan analisa dinamik.

2.3.1 Analisa Statik Ekivalen

Dalam analisa statik ekivalen, gaya inersia dapat dianggap sebagai gaya statik dengan menggunakan perumusan empiris dimana gaya inersia ini bekerja pada titik pusat massa. Analisa ini sesuai dengan peraturan ketahanan gempa untuk bangunan gedung tahun 2002.

2.3.2 Analisa Dinamik (Dengan Metode Runge-Kutta)

Analisa dinamik dapat digunakan untuk menganalisa struktur regular maupun ireguler (massa dan kekakuan tidak terdistribusi secara merata). Prinsip dari analisa dinamik ini adalah memberikan solusi dari persamaan kesetimbangan dinamik:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = [M]\{R\ddot{u}_g\} \quad (2-21)$$

Untuk menyelesaikan persamaan di atas terdapat banyak cara, salah satunya yang dapat digunakan adalah dengan metode integrasi Runge-Kutta. Sistem ini dapat

digunakan untuk menghitung system dinamika dengan banyak derajat kebebasan yang mengalami beban sembarang seperti beban gempa. Metode ini banyak digunakan karena ketepatan dan kemudahannya. Metode ini digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial tingkat satu. Sedangkan untuk menyelesaikan persamaan dinamik dinamik yang merupakan persamaan diferensial tingkat dua, maka persamaan tersebut harus dibuat menjadi persamaan diferensial tingkat satu.

Persamaan diferensial tingkat dua dari suatu system dinamika dengan satu-derajat-kebebasan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\ddot{x} = \frac{1}{m} [f(t) - c\dot{x} - kx] = g(x, \dot{x}, t) \quad (2-22)$$

Dengan membuat $\dot{x} = y$, maka persamaan (2-22) dapat ditulis menjadi dua persamaan diferensial tingkat satu:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= y \\ \dot{y} &= f(x, y, t) \end{aligned} \quad (2-23)$$

Kedua suku x dan y di sekitar x_i dan y_i dapat dinyatakan dengan deret Taylor. Dengan mengambil pertambahan waktu $h = \Delta t$, didapat:

$$\begin{aligned} x &= x_i + \left(\frac{dx}{dt}\right)_i h + \left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)_i \frac{h^2}{2} + \dots \\ y &= y_i + \left(\frac{dy}{dt}\right)_i h + \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)_i \frac{h^2}{2} + \dots \end{aligned} \quad (2-24)$$

Dengan menggunakan deret dari persamaan (2-24), dapat diambil turunan pertama sebagai rata-rata kemiringan, sehingga turunan yang lebih tinggi dapat dihilangkan.

$$\begin{aligned} x &= x_i + \left(\frac{dx}{dt}\right)_i^{av} h \\ y &= y_i + \left(\frac{dy}{dt}\right)_i^{av} h \end{aligned} \quad (2-25)$$

Dengan menggunakan metode Simson rata-rata kemiringan dalam interval waktu h menjadi:

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)_i^{av} = \frac{1}{6} \left[\left(\frac{dy}{dt}\right)_{ti} + 4 \left(\frac{dy}{dt}\right)_{ti+\frac{h}{2}} + \left(\frac{dy}{dt}\right)_{ti+h} \right] \quad (2-26)$$

Metode Runge-Kutta menggunakan persamaan (2-26) dan mengubah bagian tengah dari persamaan tersebut menjadi dua bagian, sehingga mempunyai empat parameter. Keempat parameter dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{array}{llll} T_1 = t_i & X_1 = x_i & Y_1 = y_i & F_1 = g(T_1, X_1, Y_1) \\ T_2 = t_i + \frac{h}{2} & X_2 = x_i + Y_1 \frac{h}{2} & Y_2 = x_i + F_1 \frac{h}{2} & F_2 = g(T_2, X_2, Y_2) \\ T_3 = t_i + \frac{h}{2} & X_3 = x_i + Y_2 \frac{h}{2} & Y_3 = x_i + F_2 \frac{h}{2} & F_3 = g(T_3, X_3, Y_3) \\ T_4 = t_i + h & X_4 = x_i + Y_3 h & Y_4 = y_i + F_3 h & F_4 = g(T_4, X_4, Y_4) \end{array} \quad (2-27)$$

Dari persamaan (2-27), terdapat bahwa empat nilai Y_i dibagi enam merupakan rata-rata kemiringan dx/dt , dan empat dari nilai F_i dibagi enam merupakan rata-rata kemiringan dy/dt .

Dengan kondisi awal:

$$\begin{array}{l} x(t_0) = x_0 \\ \dot{x}(t_0) = \dot{x}_0 = y_0 \end{array} \quad (2-28)$$

Substitusi kondisi awal pada persamaan (2-28). Respon struktur sebagai fungsi waktu untuk setiap interval waktu h atau (Δt) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

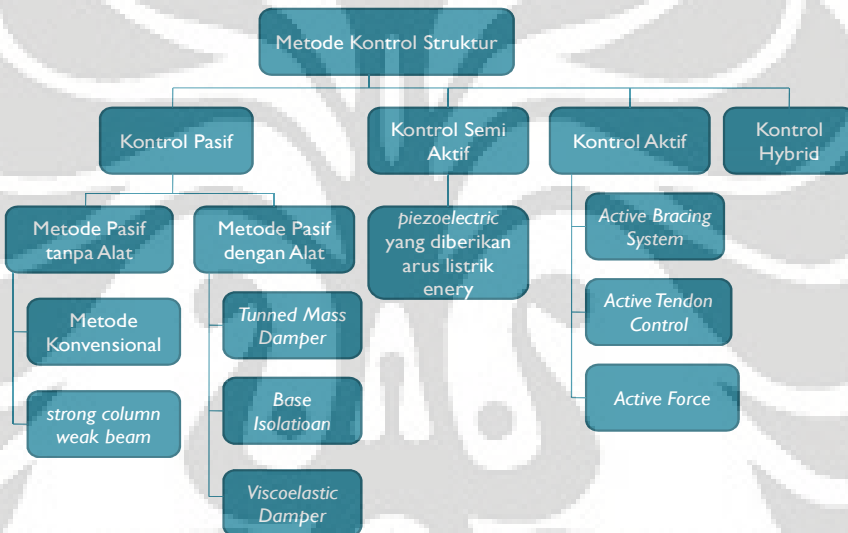
$$\begin{array}{l} x(t_n + h) = x(t_n) + \frac{1}{6} h (Y_1, 2Y_2, 2Y_3, Y_4) \\ \dot{x}(t_n + h) = \dot{x}(t_n) + \frac{1}{6} h (F_1, 2F_2, 2F_3, F_4) \\ \ddot{x}(t_n) = \frac{1}{m} [f(t_n) - c\dot{x}(t_n) - kx(t_n)] \end{array} \quad (2-29)$$

Dengan:

$$\begin{array}{l} h = \Delta t \\ \dot{x}(t_n) = y(t_n) \end{array} \quad (2-30)$$

2.4 Peredam Struktur

Pada saat beban gempa bekerja pada tanah dasar, banyak sekali kemungkinan bangunan mengalami kerusakan atau kehancuran baik sebagian atau keseluruhan bangunan. Hal ini merupakan akibat dari respon struktur dalam menghadapi gaya gempa yang terjadi. Untuk meminimalisasi kerusakan yang ada maka diperlukan cara untuk meredam dan mengontrol gaya struktur tersebut agar tidak terlalu besar. Cara yang dipakai dalam meredam gaya ini dapat dilakukan secara konvensional dengan membuat kekakuan dan kekuatan struktur tersebut tanpa alat (*without devices*) atau dengan cara yang lebih modern yaitu melakukan kontrol dengan alat (*with devices*) pada struktur tersebut. Berikut bagan dari metode-metode kontrol struktur.



Gambar 2.5 Bagan Metode-Metode Kontrol Struktur

Motode – Metode Kontrol Struktur

a. Kontrol Pasif

Pada konsepnya metode kontrol pasif pada struktur dalam mereduksi reaksi struktur terhadap beban gempa memiliki 2 sifat, yaitu:

1. Meningkatkan kelenturan (*flexibility*) dan periode alami (*natural period*) dari struktur.
2. Meningkatkan redaman

Metode kontrol pasif sendiri dibedakan menjadi 2, yaitu:

1. Kontrol Pasif Tanpa Alat (*without devices*)

- Metode konvensional, yaitu dengan memperbesar kekuatan dan kekakuan dari struktur. Metode ini masih menggunakan teori lama yang menyatakan bahwa struktur akan kuat pada saat terjadi gempa bila struktur memiliki kekuatan yang besar.
- Metode yang dikembangkan dari metode konvensional yang ada sebelumnya, yaitu dengan perancangan struktur sendi plastis pada balok sehingga kolom dibuat tidak akan runtuh sebelum balok mengalami keruntuhan (*strong column weak beam*), pada perancangannya selain memperhatikan kekuatan dan kekakuan struktur, daktilitas juga sangat diperhatikan karena memiliki peranan yang penting.

2. Kontrol Pasif Dengan Alat (*with devices*)

- *Tuned Mass Damper*, metode kontrol pasif pada *tuned mass damper* adalah menambahkan massa pada struktur, biasanya pada bagian atas struktur yang dihubungkan dengan pegas dengan kekakuan tertentu, massa ini dapat bergerak melawan gerakan struktur akibat dari gempa sehingga dapat mereduksi gaya struktur akibat gaya reaksi dari gaya gempa.
- *Base Isolation*, metode kontrol pasif dengan *base isolation* adalah dengan membuat *base isolator* yang bertujuan mereduksi kekakuan struktur agar daktil. Cara kerja *base isolator* adalah dengan mereduksi getaran gempa dengan mengubah kekakuan struktur di atasnya. Isolator ini bekerja mengisolasi struktur yang ada di atasnya terhadap pergerakan yang terjadi di dalam tanah/pondasi.
- *Viscoelastic Damper*, metode kontrol pasif dengan metode viscoelastic damper adalah memberikan material dengan *viscositas* tertentu di bawah pondasi sehingga dapat meningkatkan redaman pada struktur, sehingga gaya yang disalurkan pada struktur atas akan tereduksi.

b. Kontrol Semi Aktif

Prinsip kerja pada metode kontrol semi aktif hampir sama dengan metode kontrol pasif, namun material yang dipakai berbeda. Pada control semi aktif material yang dipakai memiliki karakteristik yang unik karena material bersifat pasif (kekakuan

dan sifat redaman tertentu) namun bila diberikan energy pada material tersebut baik berupa kalor atau aliran listrik, material tersebut dapat berubah sifat (redaman dan sedikit kekakuan) sehingga ini dapat dimanfaatkan untuk disesuaikan dengan gempa yang terjadi. Contoh dari kontrol semi aktif adalah *piezoelectric* yang diberikan arus listrik akan meningkatkan redamannya.

Keuntungan dari metode ini adalah energy yang diperlukan untuk mengubah sifat dari material tidak besar, namun material yang dipakai relative lebih mahal dalam pemeliharaan dan percobaannya serta sulit untuk didapatkan yang menjadi kelemahan metode ini.

c. Kontrol Aktif

Beberapa metode yang ada antara lain adalah:

- *Active Bracing System*, metode ini memanfaatkan bracing sebagai penahan gaya lateral, Bracing ini dihubungkan dengan akuator agar tenaganya dapat disesuaikan dengan kebutuhan berdasarkan besarnya gempa yang terjadi. *Bracing* ini berfungsi 2 arah yaitu menahan tarik dan tekan.
- *Active Tendon Control*, metode ini memiliki prinsip yang hampir sama dengan *Active Bracing System*, namun tendon hanya berfungsi untuk menahan tarik saja atau dengan kata lain sistem hanya bekerja 1 arah.
- *Active Force*, metode ini menggunakan prinsip kerja dengan memberikan gaya langsung pada lantai struktur dengan menggunakan *actuator hidrolis*.

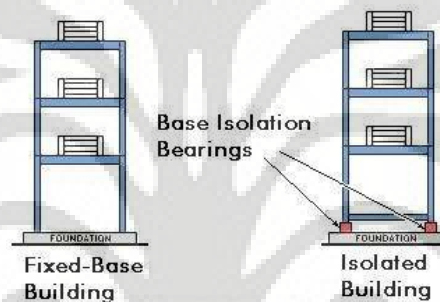
Kelemahan dari metode kontrol aktif adalah pada metode ini dapat menyebabkan gaya axial yang cukup besar pada kolom akibat adanya *bracing* tersebut. Selain itu kontrol aktif memerlukan energi yang sangat besar dalam operasinya, dalam hal ini energi listrik, sehingga membutuhkan biaya besar dan sumber energi yang perlu dipertimbangkan. Pada waktu terjadinya gempa, alat ini membutuhkan waktu untuk meresponnya sebelum dapat bekerja sesuai dengan yang kita inginkan, karena alat ini hanya bekerja pada saat gempa terjadi, dimana biasanya dalam rentang siklus yang cukup panjang.

d. Kontrol Hybrid

Metode Hybrid adalah metode gabungan antara metode aktif kontrol dan metode pasif kontrol, Pada metode ini sangat baik karena dapat mengatasi kelemahan-kelemahan dari masing-masing metode yang dipakai karena memiliki sifat yang adaptif dengan kekuatan gempa yang terjadi.

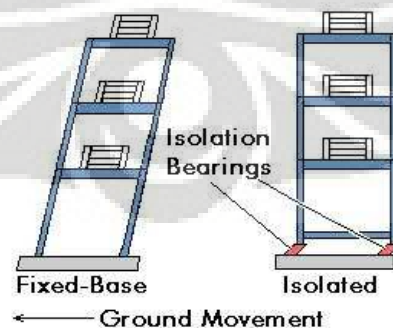
2.5 Prinsip Base Isolation

Base Isolation merupakan teknologi redaman struktur yang paling sederhana dibandingkan dengan teknologi yang lain. Isolator yang digunakan pada struktur yang menggunakan prinsip *base isolation* sebagai peredamnya diletakan diantara gedung dengan perletakan pondasi.



Gambar 2.6 Struktur *fixed-base* dan *base isolation*

Pengaruh dari *base isolator* bila gaya gempa terjadi dapat dilihat seperti pada gambar 2.5, dapat dibandingkan dengan struktur dengan perletakan jepit biasa tanpa base isolator dapat dilihat pada gambar 2.6. Perubahan bentuk terjadi bukan pada struktur yang ada melainkan ditahan oleh *base isolator* yang ada sehingga kerusakan pada struktur atas akibat gaya gempa yang besar dapat direduksi.



Gambar 2.7 Deformasi yang terjadi pada *fixed-base* dan *base isolation*

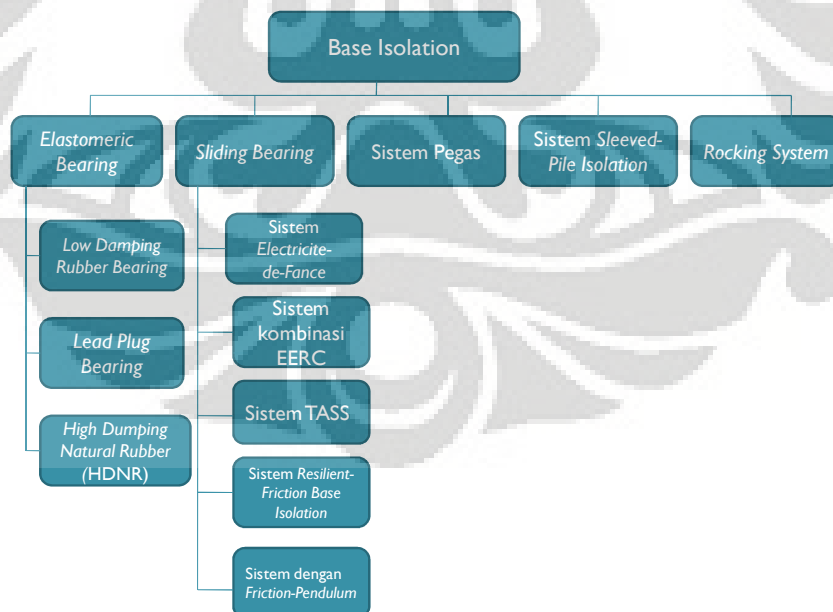
Sistem Komponen Base Isolation

Pada gambar – gambar sebelumnya, permasalahan yang terjadi pada struktur dengan perletakan jepit biasa adalah kekakuan yang dimiliki struktur besar, sehingga pada saat gaya gempa besar terjadi, besar gaya dalam yang harus ditahan oleh struktur tersebut akan sangat besar karena besar gaya dalam berbanding lurus dengan besar kekakuan struktur. Oleh karena itu, untuk mengurangi besarnya gaya dalam yang terjadi di dalam struktur tersebut, kekakuan dari struktur dapat direduksi dengan mengizinkan terjadinya *displacement* pada perletakan.

Sistem *base isolation* yang berkembang saat ini antara lain:

- a. *Elastomeric Bearing*, yang menggunakan karet
- b. *Sliding Bearing*, yang menggunakan Teflon atau baja stainless
- c. Sistem Pegas
- d. Sistem *Sleeved-Pile Isolation*
- e. *Rocking System*

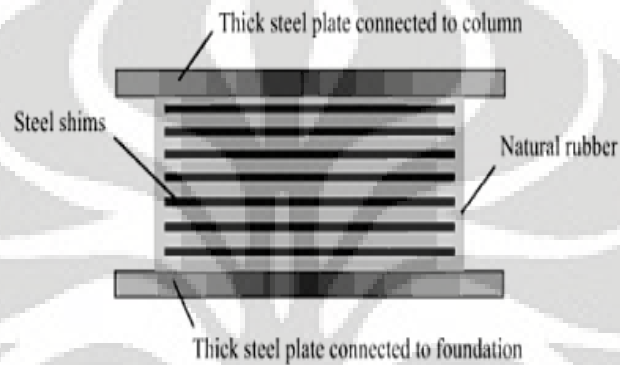
Sistem – sistem ini pada intinya membiarkan displacement itu terjadi dengan memperkecil kekuatan horizontal base isolation yang ditempatkan pada perletakan, tanpa mengurangi kekakuan vertikalnya agar kemampuan struktur dalam menahan beban vertikal tidak berkurang. Berikut bagan dari pembagian *base isolation*.



Gambar 2.8 Bagan Base Isolation

a. Sistem dengan *Elastomeric Bearing*

Pertama digunakan sistem *Elastomeric Bearing* pada tahun 1969 untuk bangunan sekolah di Macedonia. Sistem ini menggunakan natural rubber bearing yang merupakan blok yang terbuat dari karet yang besar tanpa adanya lempengan baja diantaranya. Besar kekakuan vertikal dari karet ini hanya beberapa kali dari kekakuan horizontalnya yang mengakibatkan penurunan kekakuan yang cukup besar pada struktur bangunan akibat karet yang tertekan. Pada awalnya karet ini tidak dapat banyak mereduksi struktur.



Gambar 2.9 *Elastomeric bearing base isolator*

Untuk perkembangan selanjutnya, setelah menjalani beberapa percobaan, pada karet ditambahkan lempengan baja untuk meningkatkan kekuatan vertikalnya yang bertujuan menahan beban vertikal. Material pembentuk sistem ini disebut dengan nama *Laminated Elastomeric Bearing*.

Laminated Elastomeric Bearing dapat dibagi menjadi:

- *Low Damping Rubber Bearing*

Low Damping Rubber Bearing dapat menggunakan karet sintesis ataupun karet alami. Terdapat dua pelat yang terletak pada ujung atas dan bawah dari isolator serta terdapat pelat-pelat tipis diantara kedua pelat yang bertujuan untuk memperbesar kekakuan vertikal tanpa mengubah kekakuan horizontal, hal ini dipengaruhi oleh modulus geser material yang rendah.

Material ini memiliki karakteristik dapat menahan geser yang linier sampai pada regangan geser 100% dengan rasio redaman 2-3%, dan memiliki stabilitas yang baik. selain itu material ini dapat diproduksi tanpa redaman, seperti yang telah digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir

(PLTN) di Inggris. Dari hasil pengujian yang dilakukan ditunjukkan bahwa material ini dapat menahan geser linier sampai pada regangan 150% tanpa redaman sama sekali.

Adapun keuntungan dari *low damping rubber bearing* adalah cukup mudah dalam pembuatan, pemasangan dan permodelannya, selain itu material ini tidak dipengaruhi oleh usia dan suhu lingkungan. Sedangkan kelemahan dari material ini adalah dibutuhkan sistem lain untuk mendukung dalam melaksanakan fungsinya dengan kata lain tidak dapat bekerja dengan baik sendiri.

- *Lead Plug Bearing*

Prinsip dari sistem *lead plug bearing* hampir sama dengan *low damping rubber bearing*, perbedaannya terletak pada adanya semacam *lead-plugs* yang dimasukkan ke dalam lubang di tengah – tengah karet dengan keadaan lubang yang dibuat lebih kecil dari diameter *lead-plugs* yang ada, hal ini membuat *lead-plugs* tertekan dan membuat batang tersebut berdeformasi pada besar gaya tekan sekitar 10 MPa.

- *High Dumping Natural Rubber (HDNR)*

High dumping natural rubber ditemukan pada tahun 1982, pada penemuannya sistem ini memiliki redaman sekitar 10-20% pada kondisi regangan 100%. Pada sistem ini ditambahkan material karbon yang sangat halus, minyak atau resin dan sebagainya yang bersifat sebagai filler/pengisi. Material ini bersifat linier pada kondisi regangan 20-120%, yang disebabkan oleh modulus gesernya konstan rendah, akan tetapi material ini akan bersifat non-linier bila kondisi regangan di bawahi 20%

Keuntungan dari sistem *high dumping natural bearing* adalah memiliki material yang dapat menyebabkan disipasi energy yang cukup besar. Selain itu material ini dapat mereduksi getaran dengan frekuensi yang tinggi.

b. Sistem dengan *Sliding Bearing*

Sistem dengan *sliding bearing* pertama kali ditemukan oleh ilmuwan Inggris bernama Johannes Avetican C pada tahun 1909. Sistem ini yang paling sederhana dan sistem yang pertama ditemukan. Pendekatan yang digunakan pada sistem ini

adalah dengan membiarkan pergeseran terjadi pada perletakan semacam rol pada dasar kolom. Pendekatan lain yang digunakan adalah dengan memberlakukan perletakan jepit, yang kemudian diberikan lapisan pasir pada bagian bawahnya dan memberikan beban geser pada perencanaan bangunan.

Berdasarkan penelitian di India setelah terjadi beberapa gempa, diketahui bahwa bangunan yang tidak hancur adalah bangunan yang mampu mengalami pergeseran pada perletakannya, sedangkan bangunan yang memiliki perletakan jepit tidak dapat bertahan.

Berdasarkan penelitian yang ada juga diketahui bahwa elastomeric bearing tidak lebih efektif dalam soal biaya dibandingkan dengan sistem sliding bearing untuk struktur bangunan yang rendah, inilah salah satu keuntungan dari sistem ini.

Sistem Sliding Bearing dibagi menjadi beberapa, yaitu:

- Sistem *Electricite-de-Fance*

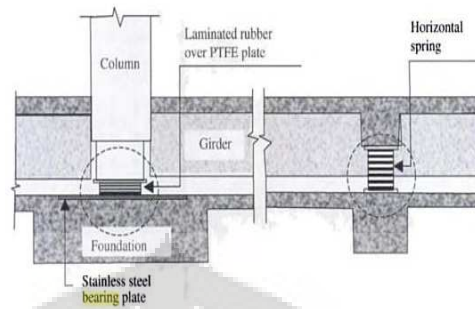
Pada sistem ini digunakan material gabungan antara laminated neoprene bearing dengan lead-bronze alloy yang menempel dengan besi stainless. Prinsip yang digunakan pada sistem ini adalah memanfaatkan neoprene yang tidak akan kuat menerima displacement > 5 cm sehingga setelah mencapai displacement > 5 cm, sistem ini akan mengalami pergeseran.

- Sistem kombinasi EERC

Sistem ini adalah kombinasi dari sistem *elastomeric bearing* pada kolom-kolom internal dengan sistem sliding dari material Teflon pada kolom-kolom eksternal, sehingga pada saat gaya lateral terjadi, translasi dan torsi yang mungkin terjadi akan ditahan oleh elastomeric bearing sedangkan Teflon tidak menyebabkan friksi (bekerja seperti rol).

- Sistem TASS

Yang digunakan pada sistem ini adalah material Teflon dengan baja stainless yang ditambah dengan *laminated neoprene bearings* untuk menempatkan beban tepat di tengah namun tidak dapat menahan gaya vertikal tersebut. Gaya tekan pada permukaan Teflon adalah sekitar 10 MPa dengan koefisien friksi bervariasi antara 0,05-0,15 untuk tingkat kecepatan *sliding* rendah sampai tinggi.



Gambar 2.10 Sistem TASS

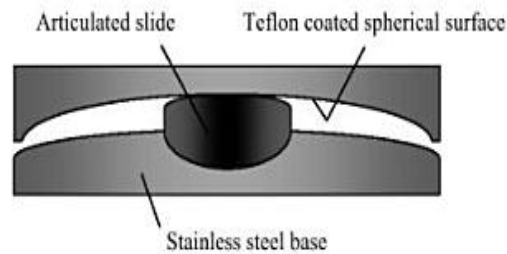
Kelemahan dari sistem ini adalah permodelan yang dibuat untuk sistem ini cukup rumit, selain itu elastomeric bearing yang ada tidak dapat menahan beban vertikal.

- Sistem *Resilient-Friction Base Isolation*

Pada sistem *resilient-friction base isolation* menutupi kelemahan sistem TASS yaitu memiliki koefisien gesek friksi pada stainless dan Teflon yang besar pada kecepatan geser yang tinggi diperbaiki, dengan cara membuat lapisan – lapisan dengan bahan teflon yang ada dari atas ke bawah sehingga permukaan geser yang ada cukup banyak dan pergeseran yang terjadi dapat terbagi setebal lapisan total dari atas sampai bawah. Sedangkan pada bagian tengah dari sistem ini dipasang karet dengan batang besi sebagai penjaga bentuk yang tidak mempengaruhi distribusi pergeseran setebal lapisan yang ada.

- Sistem dengan *Friction-Pendulum*

Sistem ini bekerja dengan memanfaatkan kelengkungan dari pelat bawah yang menyebabkan pergeseran dapat dibatasi dengan kelengkungan tersebut. Kelengkungan pelat ini dapat mempengaruhi besarnya gaya reaksi yang melawan jika terjadi pergeseran. Sedangkan gaya geser friksi pada permukaan lengkung tersebut berfungsi sebagai peredam isolator ini.



Gambar 2.11 Sistem Friction-Pendulum

c. Sistem dengan Pegas (Sistem *Gerb*)

Sistem dengan pegas yang banyak digunakan adalah sistem *Gerb* yang banyak digunakan untuk meredam getaran pada turbin atau generator. Selain memberikan isolasi horizontal seperti pada sistem *sliding* dan *elastomeric bearing*, sistem ini juga memberikan isolasi vertikal.

Material yang digunakan pada sistem ini adalah pegas baja helical, yang memiliki frekuensi vertikal 3-5 kali dari frekuensi horizontal. Pada sistem ini tidak memiliki redaman sama sekali sehingga pada pemasangannya dipasang bersama *viscodamper*. Sistem ini bekerja sangat efektif pada struktur sipil yang memiliki titik pusat massa dan kekuatan yang sama, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir.

d. Sistem dengan *Sleeved-Pile Isolation*

Sistem dengan *sleeved-pile isolation* biasa digunakan pada struktur yang menggunakan tiang pancang sebagai pondasi, contohnya struktur pada tanah yang lunak. Tiang pancang diisolasi secara horizontal dengan cara memasukkan tiang pancang ke dalam semacam *tube* pancang yang memiliki diameter atau dimensi sedikit lebih besar dari tiang pancang, lalu celah yang ada diisi dengan semacam fluida yang berfungsi sebagai isolator dan peredam.

e. Sistem *Rocking*

Pada sistem *rocking* digunakan 2 tiang panjang penyangga yang memiliki sifat disipasi energi yang besar, contohnya yaitu South Rangitikei River Bridge yang ada di New Zealand. Kedua tiang ini berfungsi sebagai penahan momen akibat gempa yang terjadi, sehingga tiang–tiang yang ada dapat bergerak naik atau turun yang bekerja saling berlawanan yang akan dapat saling menyeimbangkan.

2.6 Beban Gempa

Gempa adalah getaran yang terjadi di permukaan bumi. Sedangkan beban gempa merupakan beban pada struktur yang ditimbulkan akibat gempa yang terjadi. Beban akibat gempa sangat berpengaruh terhadap ketahanan struktur, karena beban gempa memiliki energy yang sangat besar. Penyebab – penyebab terjadinya gempa antara lain:

1. Gempa bumi runtuhan

Gempa yang terjadi karena keruntuhan yang terjadi di atas ataupun di bawah permukaan bumi. Contoh dari penyebab gempa bumi runtuhan adalah tanah longsor.

2. Gempa bumi vulkanik

Gempa yang terjadi karena kegiatan gunung berapi yang masih aktif pada waktu sebelum atau pada saat gunung tersebut meletus.

3. Gempa bumi tektonik

Gempa yang terjadi karena pergeseran kerak bumi (lithosphere) yang sering terjadi di sekitar lempengan tektonik atau disebut daerah patahan kulit bumi.

Gempa yang sangat merugikan dan paling sering terjadi adalah gempa tektonik. Gempa yang kuat sering terjadi di sekitar tapal batas lempeng-lempeng tektonik. Lempengan-lempengan tektonik ini selalu bergerak dan saling mendesak satu sama lain. Pergerakan lempengan-lempengan tektonik ini menyebabkan terjadinya penimbunan energi secara perlahan-lahan pada kerak bumi yang didominasi oleh komponen silika yang terbagi – bagi dalam sejumlah lempeng kaku. Gempa tektonik kemudian terjadi karena adanya pelepasan energi yang telah lama tertimbun tersebut yang mengakibatkan pergerakan pada kulit bumi yang kaku.

Deformasi yang disebabkan oleh interaksi antar lempeng dapat berupa:

1. *Subdaction*

Interaksi antar lempeng yang memiliki ketebalan yang hampir sama dan saling mendorong, yang menyebabkan salah satu lempeng tenggelam di bawah lempeng yang lain. Terjadi disepanjang busur pulau.

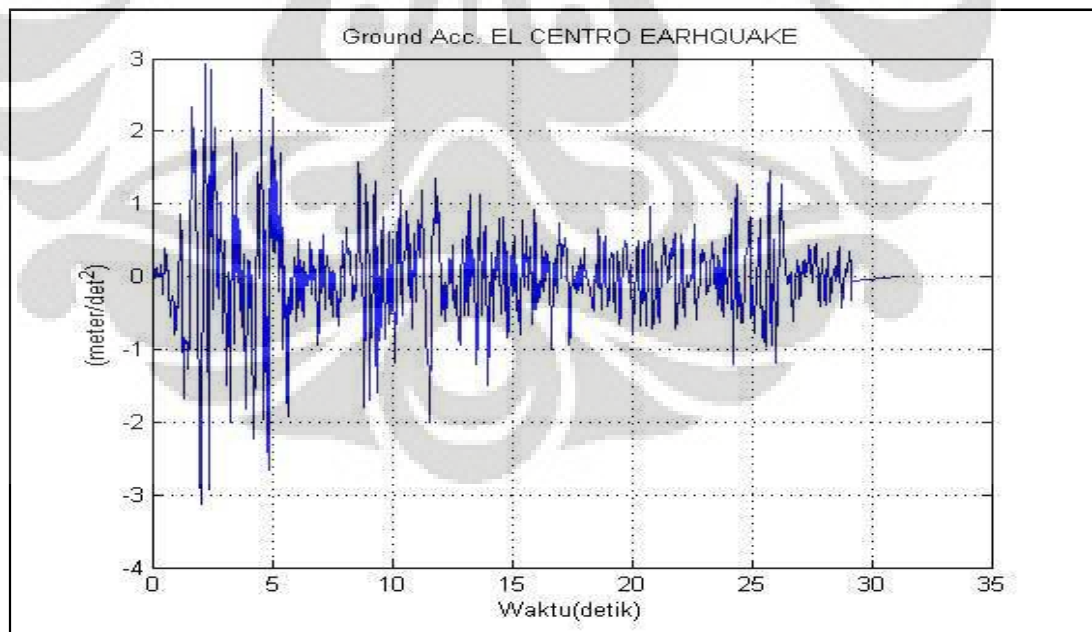
2. *Transcursion*

Interaksi antar lempeng, dengan kedua lempeng dapat berupa lempeng benua atau lempeng laut maupun antar lempeng benua dengan lempeng laut yang bergerak secara horizontal satu sama lain.

3. *Extrusion*

Interaksi antar lempeng tipis yang saling menjauhi.

Peristiwa gempa ini akan menghasilkan energy yang sangat besar yang dapat ditransfer melalui benda-benda yang ada di sekitarnya, seperti batuan dasar ke tempat lain dengan cara merambat. Transfer energy ini terjadi dalam bentuk getaran (gelombang). Gelombang ini juga akan ditransfer ke lapisan tanah di atasnya, yang akhirnya akan dirasakan oleh manusia dan komponen yang ada di permukaan bumi. Gelombang ini akan menimbulkan goyangan yang memiliki percepatan. Percepatan ini akan menimbulkan gaya geser pada pondasi yang besarnya sama dengan hukum Newton ($F = m \cdot a$), dengan nilai m adalah massa bangunan. Gelombang gempa dapat diketahui dengan alat seismograf yang berfungsi untuk merekam percepatan dari gempa.



Gambar 2.12 Gempa El Centro

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Modelisasi Struktur

Pada bab tiga ini akan dibahas tentang metodologi penelitian, hal ini berhubungan dengan cara yang dipakai untuk menyelesaikan penelitian ini. Sebagai langkah awal dari penyelesaian masalah penelitian kinerja base isolator pada struktur gedung ini, modelisasi dari struktur itu sendiri harus dilakukan untuk memberikan gambaran pada struktur yang seperti apakah permodelan sistem base isolation ini akan digunakan. Permodelan awal struktur gedung didasarkan pada asumsi sebagai berikut:

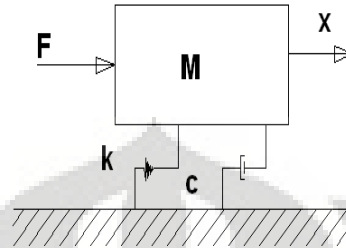
1. Modelisasi struktur untuk struktur pada tugas akhir ini, tidak termasuk pondasi,
2. Massa struktur merupakan massa yang tergumpal pada lantai (lumped mass),
3. Balok dan kolom dari gedung dimodelkan sebagai elemen struktur satu dimensi yang bertemu dalam satu titik disebut joint, dan sangat kaku sehingga tidak terjadi rotasi,
4. Struktur hanya memiliki derajat kebebasan perpindahan lateral,
5. Elemen non-struktural, seperti dinding partisi, tidak termasuk dalam permodelan,
6. Perletakan dari bangunan dianggap jepit (fixed restrains) dengan mengasumsikan kekuatan tanah dan pondasi yang sangat besar.

3.2 Struktur tanpa Base Isolation

Dalam menganalisa pengaruh dari base isolation terhadap bangunan perlu dilakukan perbandingan antara bangunan yang tanpa base isolation dan bangunan yang menggunakan base isolation. Dengan melakukan perbandingan ini maka akan dapat diketahui pengaruh dari base isolation terhadap bangunan itu sendiri. Pada tugas ini akan ditinjau struktur *single degree of freedom* (SDOF) dan *multi degree of freedom* (MDOF).

3.2.1 Struktur SDOF tanpa *Base Isolation*

Pada bagian ini akan membahas mengenai analisa dari struktur SDOF tanpa base isolation yang akan dianalisa dalam tugas akhir ini.



Gambar 3.1.Permodelan SDOF tanpa *base isolation*

Persamaan gerak yang digunakan pada analisa ini adalah persamaan gerak SDOF tanpa peredaman seperti pada persamaan (2-4) dengan gaya luar F yang bekerja adalah percepatan gempa dikalikan dengan massa struktur, seperti berikut:

$$M(\ddot{x} + \ddot{x}_g) + c\dot{x} + kx = 0 \quad (3-1)$$

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + kx = -M\ddot{x}_g \quad (3-2)$$

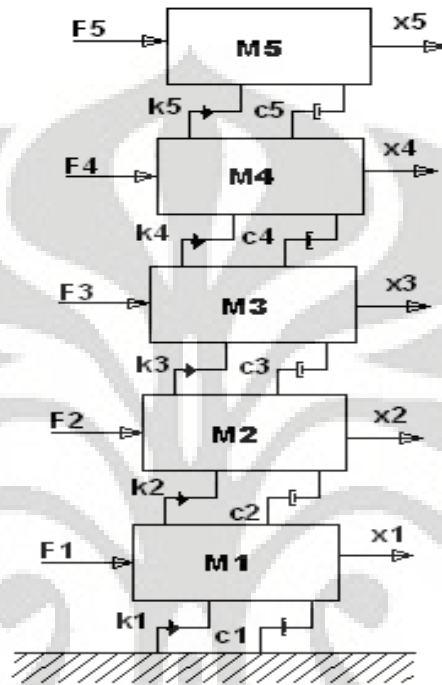
Pada analisis ini menggunakan bantuan program dalam bahasa Matlab. Program dapat dipisah-pisah sesuai dengan fungsi dari program tersebut. Namun dalam menjalankan program secara keseluruhan, program-program tersebut akan disatukan kembali. Diagram alir khusus program struktur *Single Degree of Freedom* tanpa Base Isolation dapat dilihat pada gambar digram alir dibawah ini:



Gambar 3.2 Diagram aliran program SDOF tanpa *base isolation*

3.2.2 Struktur 5 Lantai tanpa *Base Isolation*

Dalam menganalisa struktur 5 lantai tanpa base isolation yang akan digunakan pada tugas akhir ini, mengacu pada teori dinamika struktur yang telah dibahas pada bab sebelumnya yaitu gerak dinamik MDOF dengan redaman.



Gambar 3.3 Permodelan MDOF tanpa *base isolation*

Seperti persamaan gerak pada sistem dinamik SDOF tanpa *base isolation*, pada struktur 5 lantai ini menggunakan persamaan gerak sistem dinamik MDOF pada bab 2, sedangkan nilai F pada persamaan gerak dinamik MDOF (2-8) merupakan nilai percepatan gempa yang dikalikan dengan masa struktur, maka untuk menganalisa struktur bangunan 5 lantai pada tugas akhir ini persamaan *Lagrange* pada lantai 1 sampai 5 dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 M_1(\ddot{x}_1 + \ddot{x}_g) + (c_1 + c_2)\dot{x}_1 - c_2\dot{x}_2 + (k_1 + k_2)x_1 - k_2x_2 &= 0 \\
 M_2(\ddot{x}_2 + \ddot{x}_g) - c_2\dot{x}_1 + (c_2 + c_3)\dot{x}_2 - c_3\dot{x}_3 - k_2x_1 + (k_2 + k_3)x_2 - k_3x_3 &= 0 \\
 M_3(\ddot{x}_3 + \ddot{x}_g) - c_3\dot{x}_2 + (c_3 + c_4)\dot{x}_3 - c_4\dot{x}_4 - k_3x_2 + (k_3 + k_4)x_3 - k_4x_4 &= 0 \\
 M_4(\ddot{x}_4 + \ddot{x}_g) - c_4\dot{x}_3 + (c_4 + c_5)\dot{x}_4 - c_5\dot{x}_5 - k_4x_3 + (k_4 + k_5)x_4 - k_5x_5 &= 0 \\
 M_5(\ddot{x}_5 + \ddot{x}_g) - c_5\dot{x}_4 + (c_5)\dot{x}_5 - k_5x_4 + (k_5)x_5 &= 0
 \end{aligned} \tag{3-3}$$

Dari persamaan gerak dinamik MDOF di atas, maka dapat disederhanakan persamaan di atas dalam bentuk matriks seperti berikut ini :

$$\begin{bmatrix} M_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & M_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & M_5 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \\ \ddot{x}_4 \\ \ddot{x}_5 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3+k_4 & -k_4 & 0 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4+k_5 & -k_5 \\ 0 & 0 & 0 & -k_5 & k_5 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{Bmatrix} +$$

$$\begin{bmatrix} c_1+c_2 & -c_2 & 0 & 0 & 0 \\ -c_2 & c_2+c_3 & -c_3 & 0 & 0 \\ 0 & -c_3 & c_3+c_4 & -c_4 & 0 \\ 0 & 0 & -c_4 & c_4+c_5 & -c_5 \\ 0 & 0 & 0 & -c_5 & c_5 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ \dot{x}_5 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -M_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -M_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -M_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -M_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -M_5 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_{\text{g}} \\ \ddot{x}_{\text{g}} \\ \ddot{x}_{\text{g}} \\ \ddot{x}_{\text{g}} \\ \ddot{x}_{\text{g}} \end{Bmatrix} \quad (3-4)$$

Diagram alir khusus program struktur *Multi Degree of Freedom* tanpa *Base Isolation* yang memiliki 5 jumlah lantai dapat dilihat pada gambar diagram alir dibawah ini:



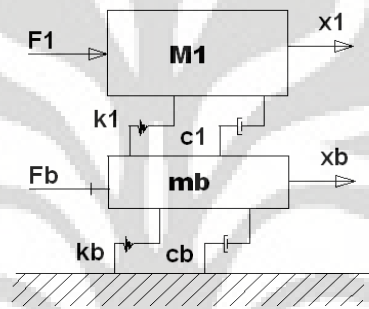
Gambar 3.4 Diagram alir program MDOF 5 lantai tanpa *base isolation*

3.3 Struktur dengan *Base Isolation*

Pada bagian ini akan dianalisa struktur SDOF dan MDOF yang menggunakan *base isolation* berupa *Low Damping Rubber Bearing* yang diletakan pada bagian dasar gedung, analisa yang dilakukan secara linier.

3.3.1 Struktur SDOF dengan *Base Isolation*

Permodelan struktur SDOF dengan base Isolation dapat dilihat seperti gambar berikut:



Gambar 3.5 Permodelan SDOF dengan *base isolation*

Pada bab sebelumnya telah diterangkan sistem SDOF dengan redaman, sedangkan pada bab ini jumlah *Degree of Freedom* (DOF) pada gedung akan bertambah satu karena adanya *base isolation* yang diletakkan pada dasar bangunan, sehingga system ini memiliki 2 DOF. Sistem persamaan gerak yang didapatkan dengan menurunkannya dari persamaan Lagrange.

Untuk gaya-gaya yang bekerja pada base isolation, persamaan Lagrange dapat ditulis sebagai berikut:

$$M_b \ddot{x}_b + (c_b + c_1) \dot{x}_b - c_1 \dot{x}_1 + (k_b + k_1)x_1 - k_1 x_b = F_b \quad (3-5)$$

Untuk gaya-gaya yang bekerja pada Massa M_1 , persamaan Lagrange dapat ditulis sebagai berikut:

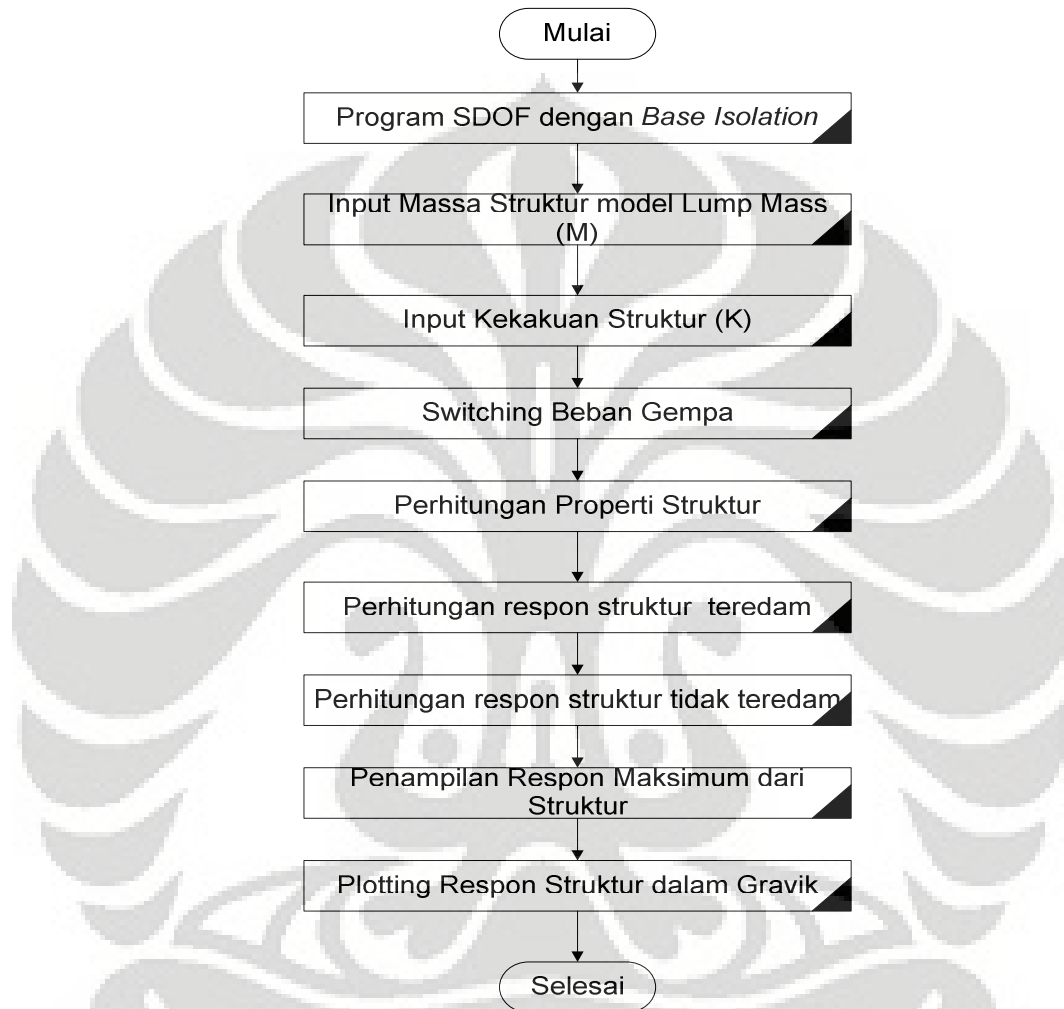
$$M_1 \ddot{x}_1 - c_1 \dot{x}_b + c_1 \dot{x}_1 + -k_1 x_b + k_1 x_1 = F_1 \quad (3-6)$$

Maka dapat ditulis persamaan gerak dinamik pada sistem SDOF dengan *base isolation* dalam bentuk matriks adalah sebagai berikut:

$$\begin{pmatrix} M_b & 0 \\ 0 & M_1 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_b \\ \ddot{x}_1 \end{Bmatrix} + \begin{pmatrix} c_b + c_1 & -c_1 \\ -c_1 & c_1 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_b \\ \dot{x}_1 \end{Bmatrix} + \begin{pmatrix} k_b + k_1 & -k_1 \\ -k_1 & k_1 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} x_b \\ x_1 \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} F_b \\ F_1 \end{pmatrix} \quad (3-7)$$

Persamaan di atas digunakan dalam metode numeric Runge-Kutta sehingga diperoleh respon dari struktur .

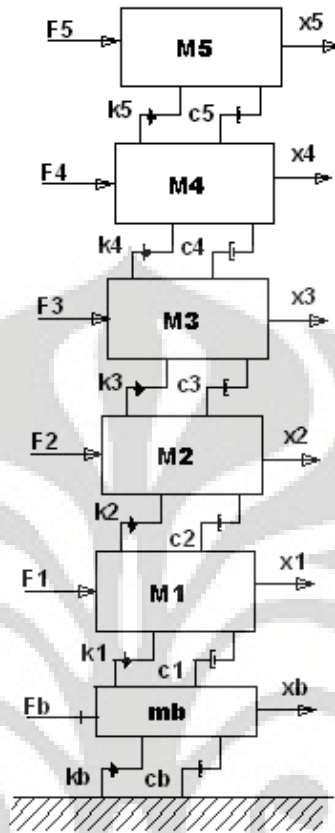
Diagram aliran program untuk menghitung respon struktur SDOF dengan base isolation adalah sebagai berikut:



Gambar 3.6 Diagram alir program SDOF dengan *base isolation*

3.3.2 Struktur MDOF dengan Base Isolation

Pada analisa struktur MDOF dengan menggunakan base isolation berupa *Low Damping Rubber Bearing* akan dianalisa struktur 5 lantai dengan base isolation dapat dimodelkan seperti gambar di bawah ini.



Gambar 3.7 Modelisasi Struktur MDOF dengan *base isolator*

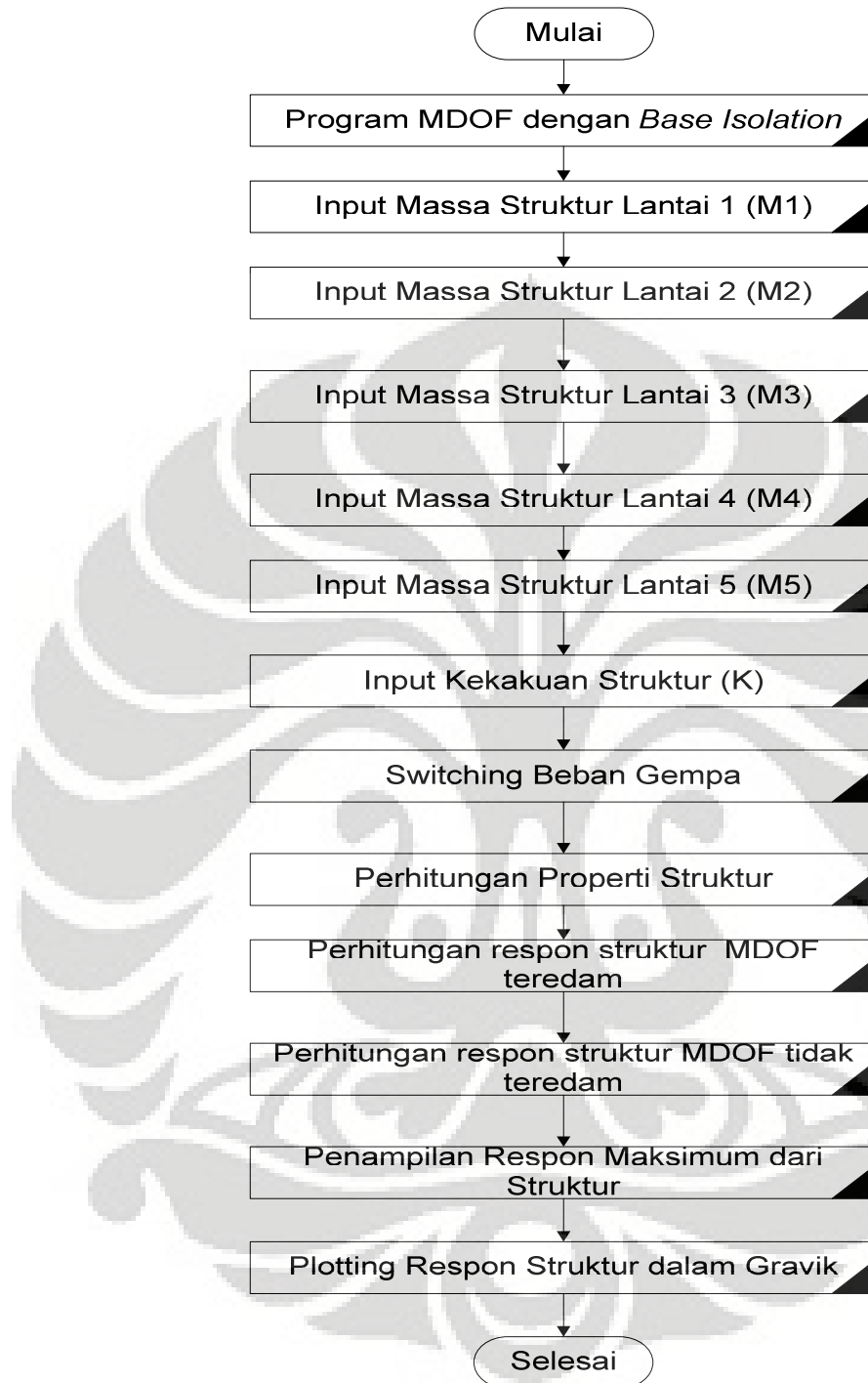
Dengan menggunakan base isolator, DOF struktur akan bertambah karena lantai dasar yang berupa base isolation dapat bergerak. Oleh karena itu struktur geser yang menggunakan *base isolator* mendapat tambahan *Degree of Freedom*. Dengan demikian terjadi perubahan pada matriks massa, matriks redaman dan matriks kekakuan pada struktur ini. Pada persamaan dinamik MDOF dengan base isolation dapat ditulis dengan persamaan *Langrange* pada base isolation dan pada tiap lantai adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 M_b(\ddot{x}_b) + (c_b + c_1)\dot{x}_b - c_1\dot{x}_1 + (k_b + k_1)x_b - k_1x_1 &= F_b \\
 M_1(\ddot{x}_1) - c_1\dot{x}_b + (c_1 + c_2)\dot{x}_1 - c_2\dot{x}_2 - k_1x_b + (k_1 + k_2)x_1 - k_2x_2 &= F_1 \\
 M_2(\ddot{x}_2) - c_2\dot{x}_1 + (c_2 + c_3)\dot{x}_2 - c_3\dot{x}_3 - k_2x_1 + (k_2 + k_3)x_2 - k_3x_3 &= F_2 \\
 M_3(\ddot{x}_3) - c_3\dot{x}_2 + (c_3 + c_4)\dot{x}_3 - c_4\dot{x}_4 - k_3x_2 + (k_3 + k_4)x_3 - k_4x_4 &= F_3 \\
 M_4(\ddot{x}_4) - c_4\dot{x}_3 + (c_4 + c_5)\dot{x}_4 - c_5\dot{x}_5 - k_4x_3 + (k_4 + k_5)x_4 - k_5x_5 &= F_4 \\
 M_5(\ddot{x}_5) - c_5\dot{x}_4 + (c_5)\dot{x}_5 - k_5x_4 + (k_5)x_5 &= F_5
 \end{aligned} \tag{3-8}$$

Maka dengan menyederhanakan persamaan di atas dalam bentuk matriks persamaan gerak dinamik MDOF gedung 5 lantai dengan base isolation adalah sebagai berikut:

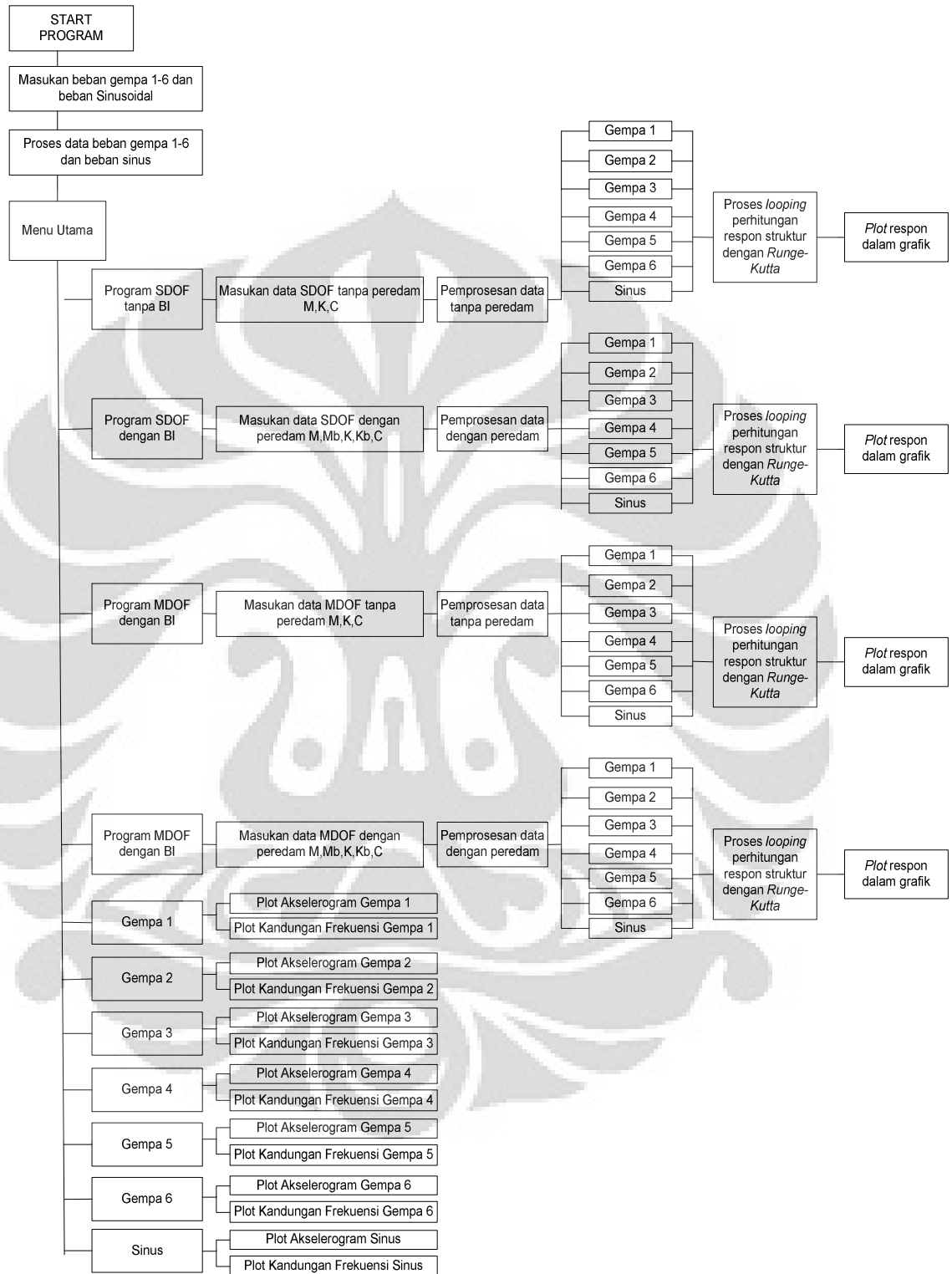
$$\begin{bmatrix} M_b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & M_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & M_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & M_5 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_b \\ \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \\ \ddot{x}_4 \\ \ddot{x}_5 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_b+k_1 & -k_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1+k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3+k_4 & -k_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -k_4 & k_4+k_5 & -k_5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -k_5 & k_5 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_b \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_b+c_1 & -c_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -c_1 & c_1+c_2 & -c_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -c_2 & c_2+c_3 & -c_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -c_3 & c_3+c_4 & -c_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -c_4 & c_4+c_5 & -c_5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -c_5 & c_5 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_b \\ \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ \dot{x}_5 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -M_b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -M_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -M_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -M_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -M_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -M_5 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_g \\ \ddot{x}_g \\ \ddot{x}_g \\ \ddot{x}_g \\ \ddot{x}_g \\ \ddot{x}_g \end{Bmatrix} \quad (3-9)$$

Diagram aliran program untuk menghitung respon struktur MDOF dengan base isolation adalah sebagai berikut:



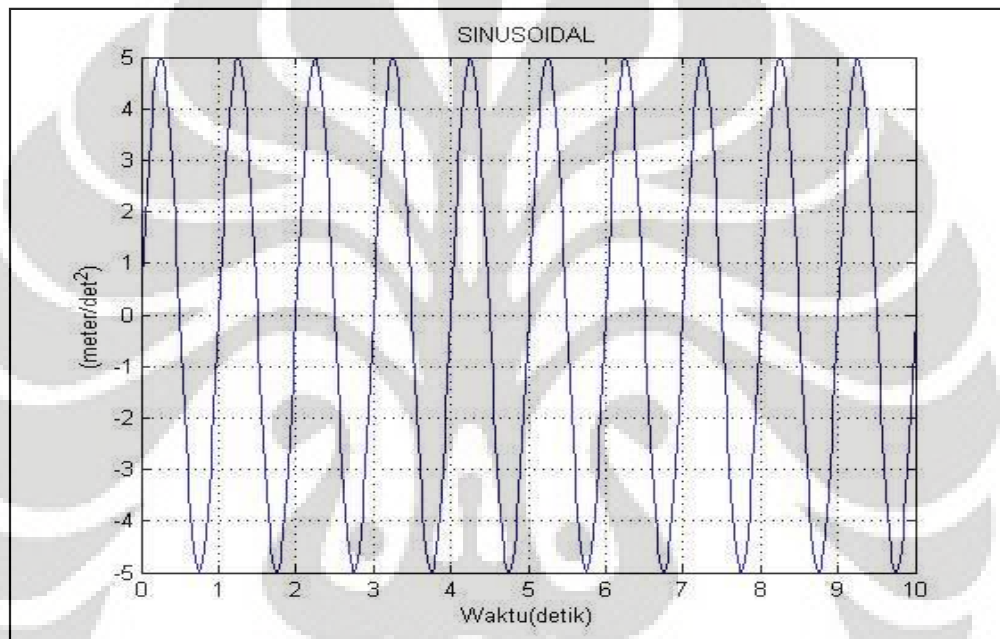
Gambar 3.8 Diagram alir program MDOF dengan *base isolation*

3.4 Struktur Program Secara Keseluruhan Pada MATLAB



3.5 Beban Harmonik yang digunakan

Pada tugas akhir ini dilakukan analisa dengan beban harmonik yang bertujuan untuk melakukan pengecekan terhadap ketepatan kerja program yang dibuat. Beban harmonik yang digunakan adalah percepatan berbentuk sinus dengan frekuensi dan amplitudo yang ditentukan. Pada gambar dibawah ini dapat dilihat lebih jelas frekuensi dan amplitudo dari beban sinusoidal yang digunakan yang merupakan grafik output dari program yang dibuat.



Gambar 3.9 Beban sinusoidal yang digunakan

3.6 Beban Gempa yang digunakan

Pada tugas akhir ini akan digunakan 7 jenis beban gempa sebagai studi kasus yang akan diberikan kepada setiap permodelan struktur yang dibuat. Pemberian macam-macam gempa ini bertujuan untuk dapat melihat dengan jelas respon struktur untuk masing-masing beban yang berbeda. Data beban gempa yang dimasukkan ke dalam analisis ini adalah dalam bentuk beban percepatan dan diubah berdasarkan keperluan analisis yang dipakai pada studi kasus, contohnya saja adalah data satuan dan selang waktu pada beban gempa yang dipakai. Data-data dari beban gempa yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Beban Gempa 1

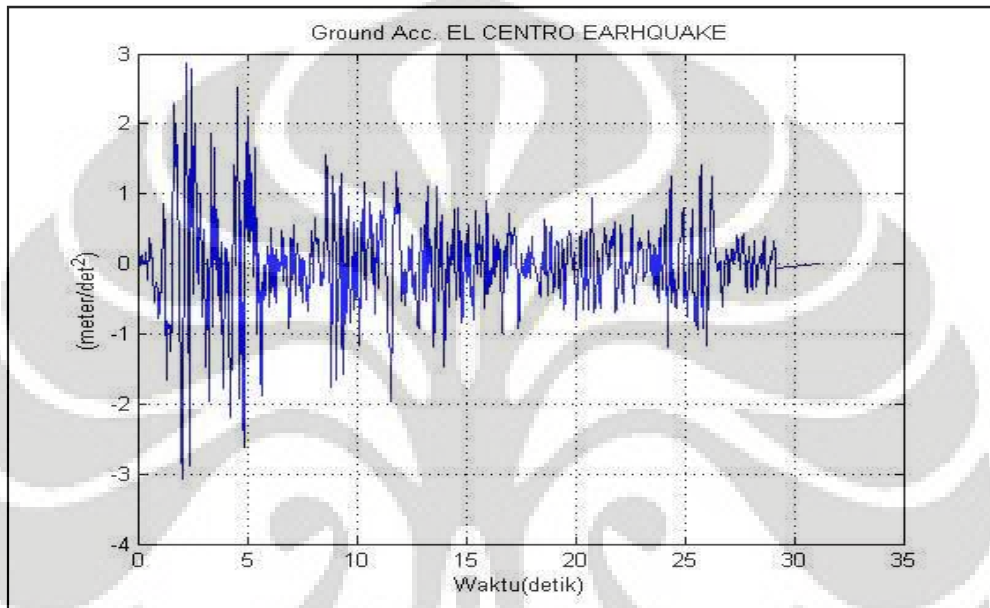
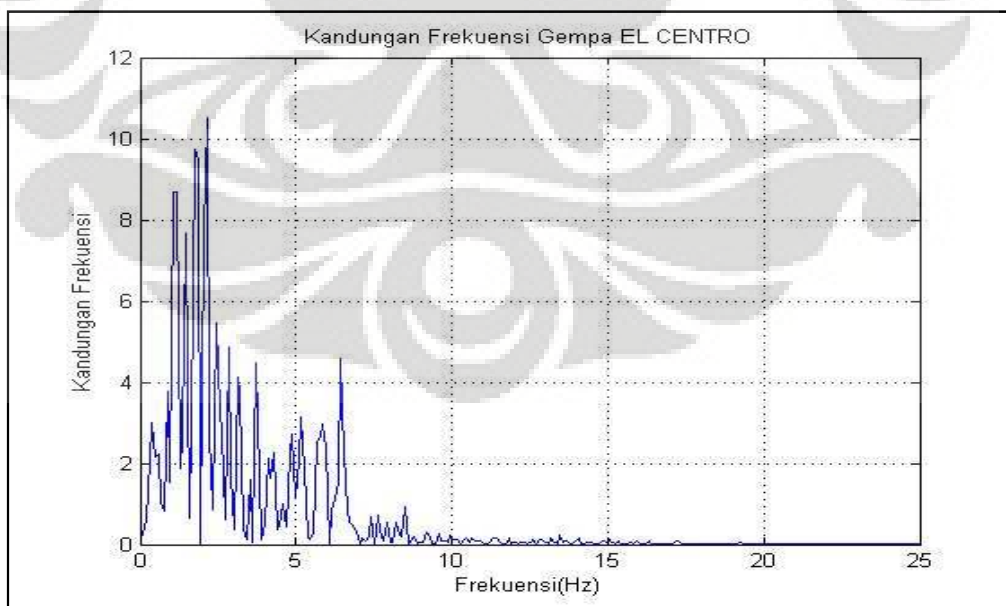
Nama Gempa : El Centro Earthquake

Tanggal : 18 Mei 1940

Jumlah Data : 1559 data

Selang waktu per data : 0.02 detik

Total waktu : 31.16 detik

**Gambar 3.10 Akselerogram gempa El Centro****Gambar 3.11 Kandungan frekuensi gempa El Centro**

Beban Gempa 2

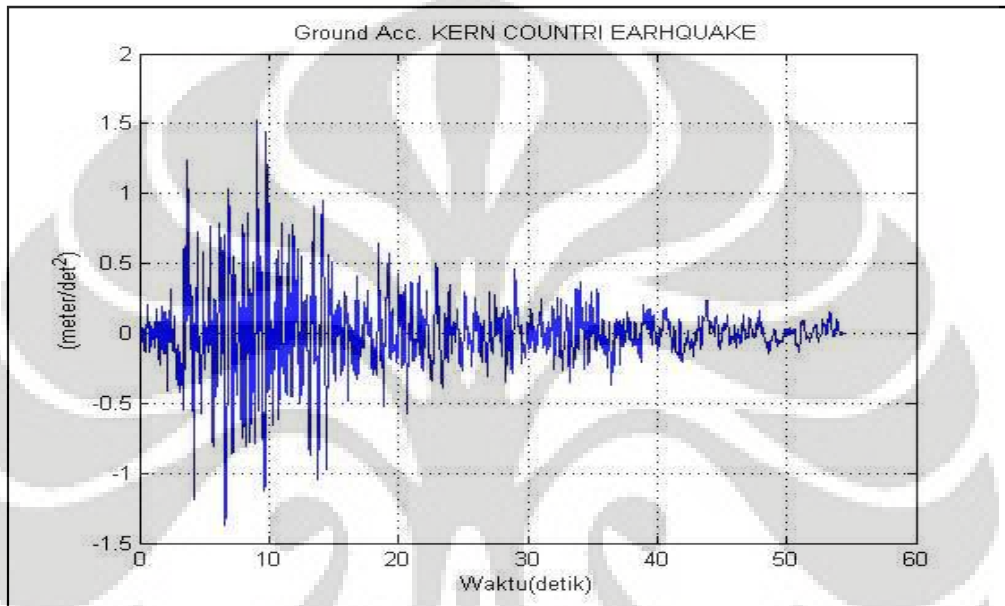
Nama Gempa : Kern County Earthquake – Taft Lincoln Tunnel

Tanggal : 21 Juli 1952

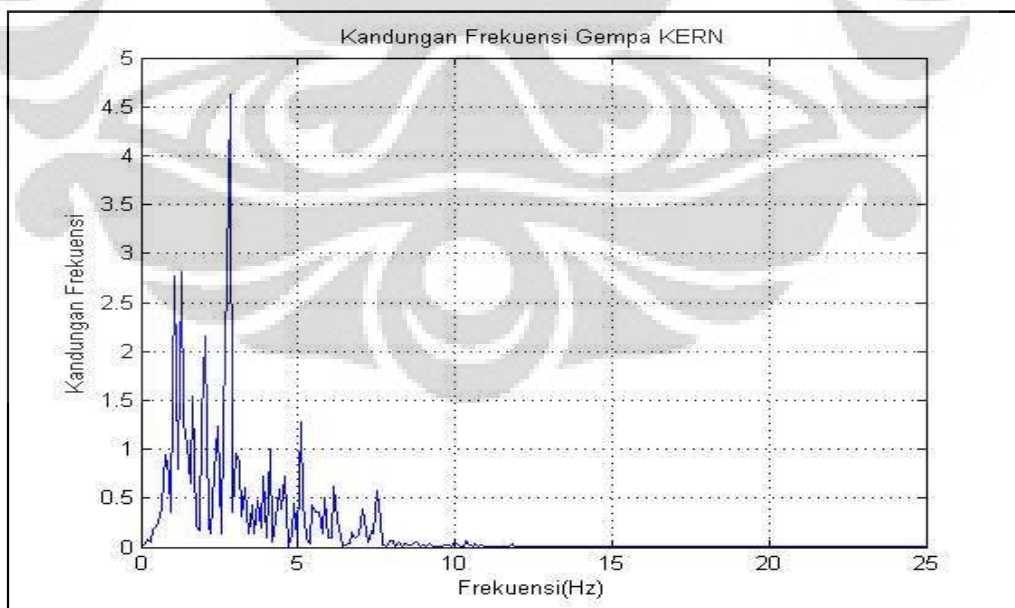
Jumlah Data : 2719 data

Selang waktu per data : 0.02 detik

Total waktu : 54.36



Gambar 3.12 Akselerogram gempa Kern



Gambar 3.13 Kandungan frekuensi gempa Kern

Beban Gempa 3

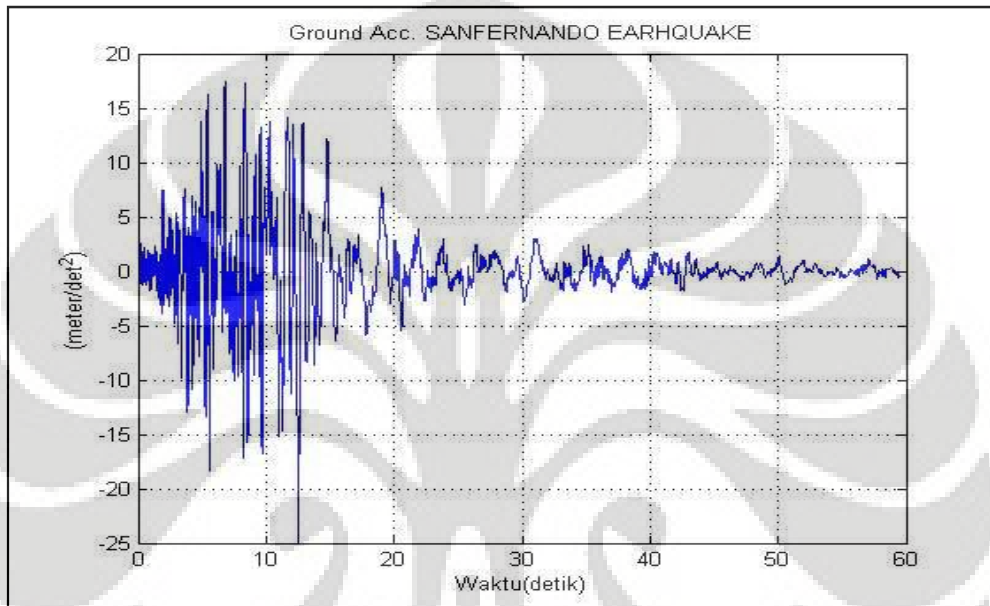
Nama Gempa : San Fernando Earthquake - Orion

Tanggal : 9 Februari 1971

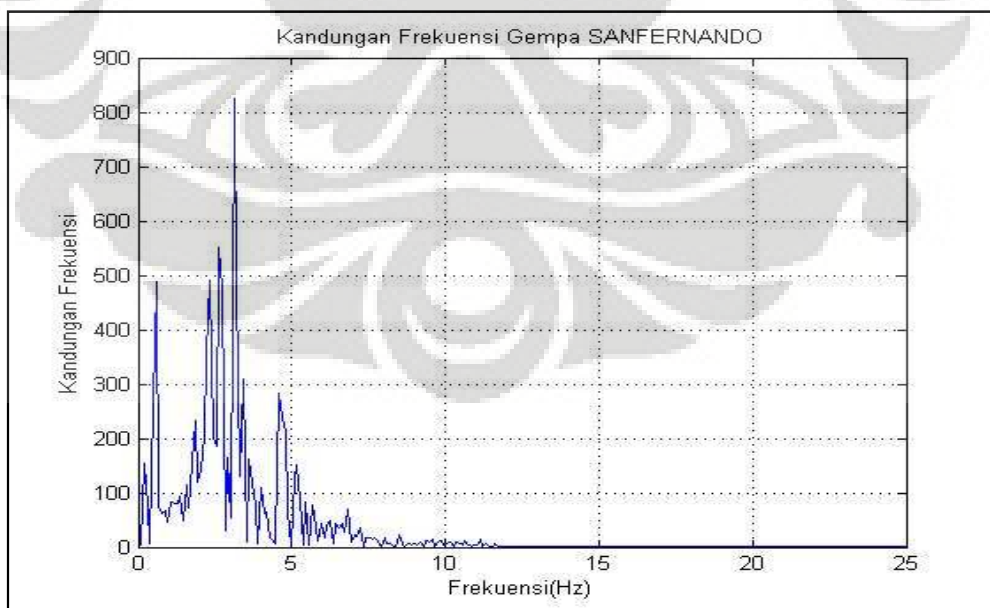
Jumlah Data : 2976 data

Selang waktu per data : 0.02 detik

Total waktu : 59.50 detik



Gambar 3.14 Akselerogram gempa Sanfernando



Gambar 3.15 Kandungan frekuensi gempa Sanfernando

Beban Gempa 4

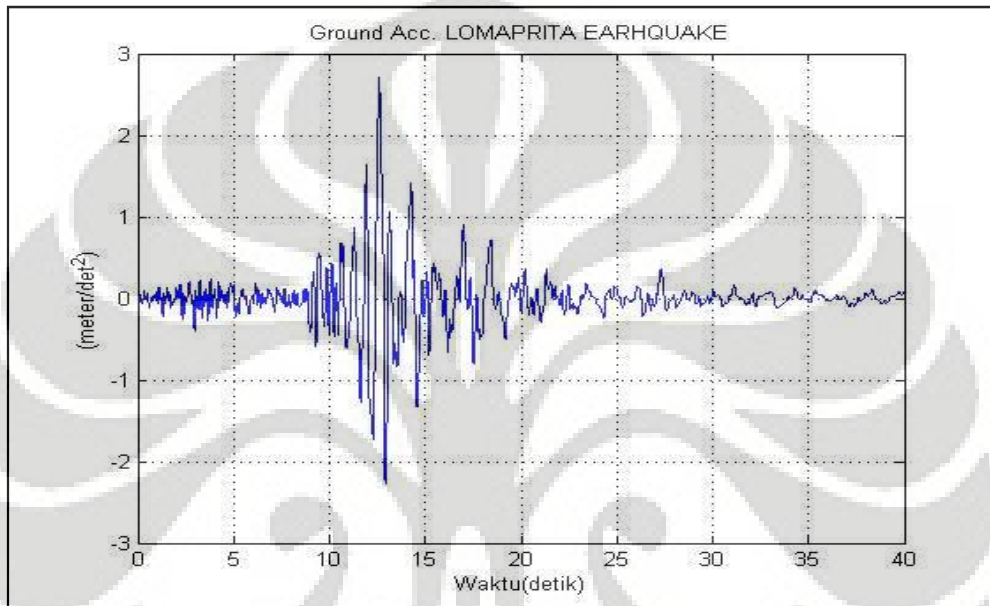
Nama Gempa : Loma Prieta Earthquake – Oakland Outer Harbor Wharf

Tanggal : 17 Oktober 1989

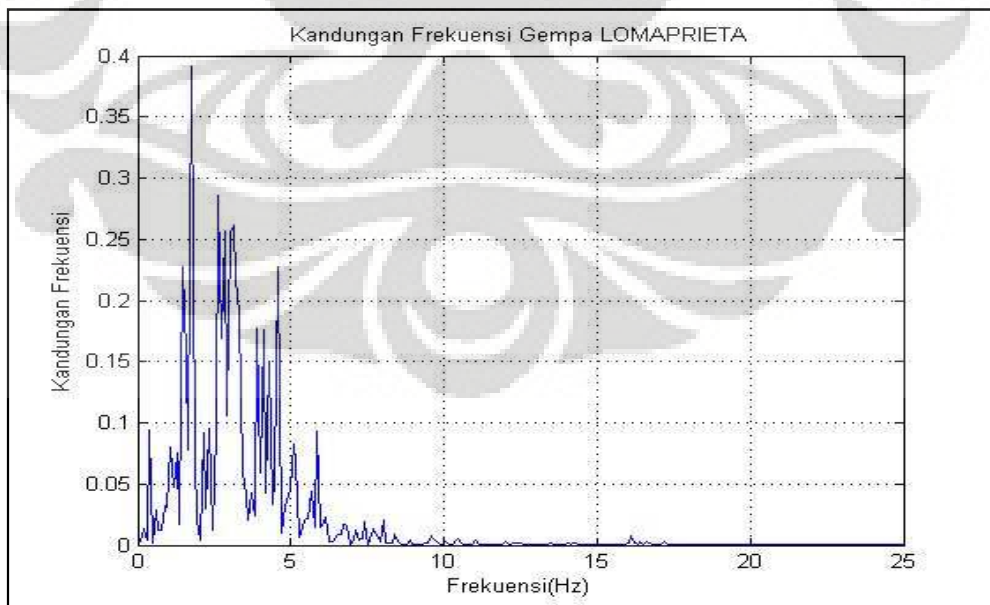
Jumlah Data : 2000 data

Selang waktu per data : 0.02 detik

Total waktu : 39.98



Gambar 3.16 Akselerogram gempa Loma Prieta



Gambar 3.17 Kandungan frekuensi gempa Loma Prieta

Beban Gempa 5

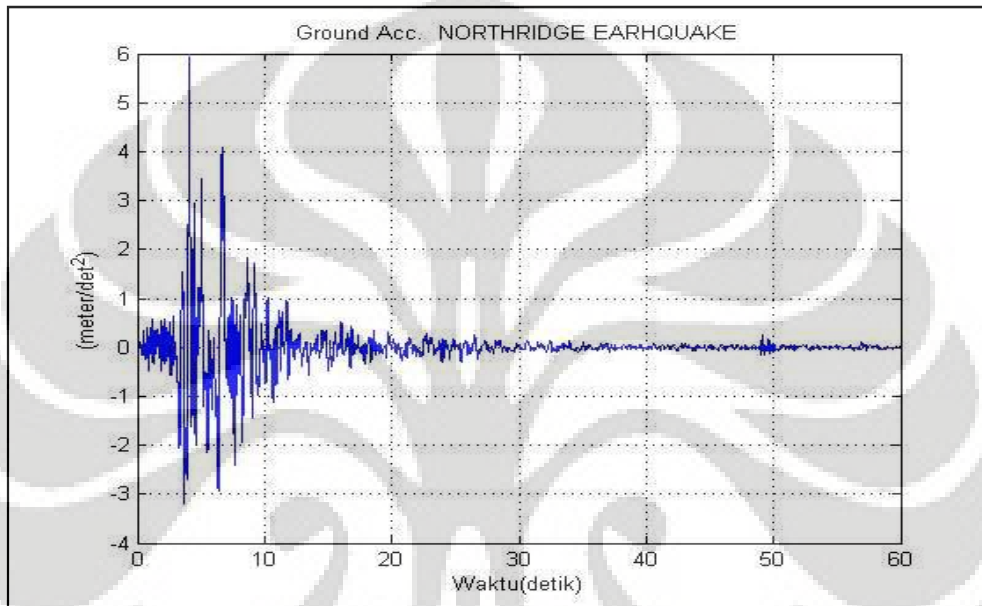
Nama Gempa : Northridge Earthquake – Sylmar County Hospital

Tanggal : 17 Januari 1994

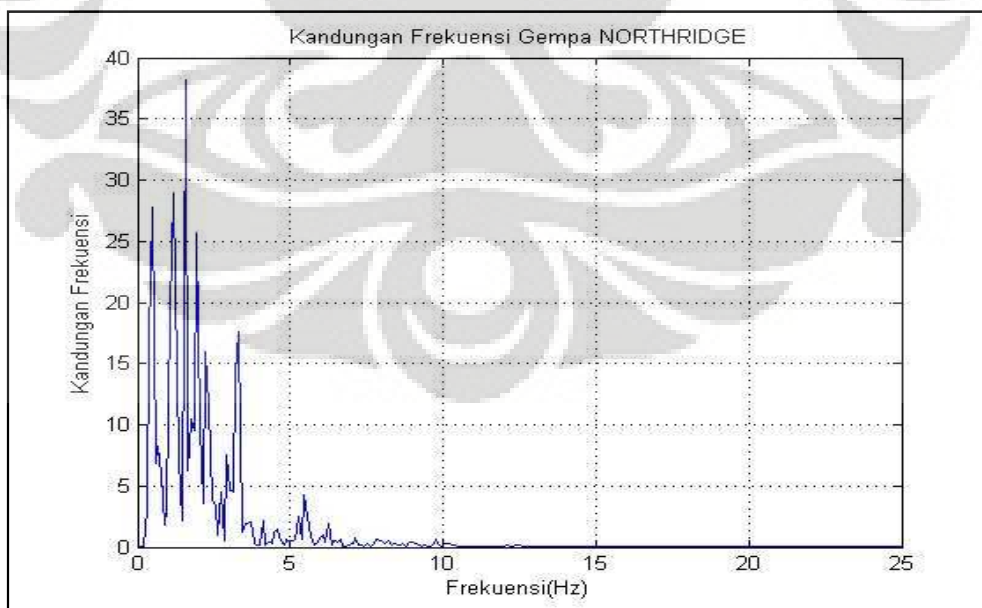
Jumlah Data : 2999 data

Selang waktu per data : 0.02 detik

Total waktu : 59.96 detik



Gambar 3.18 Akselerogram gempa Northridge



Gambar 3.19 Kandunga frekuensi gempa Northridge

Beban Gempa 6

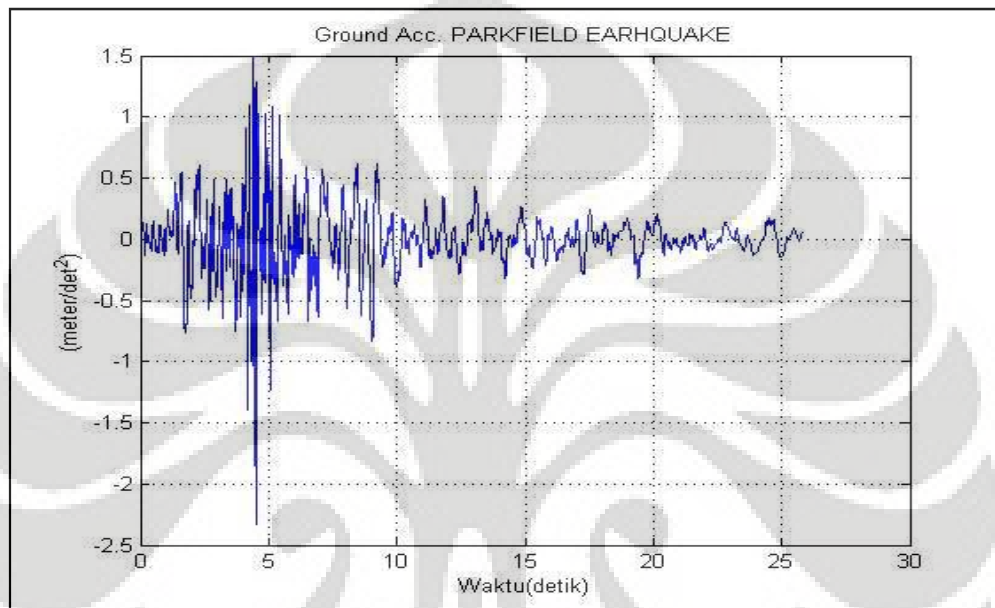
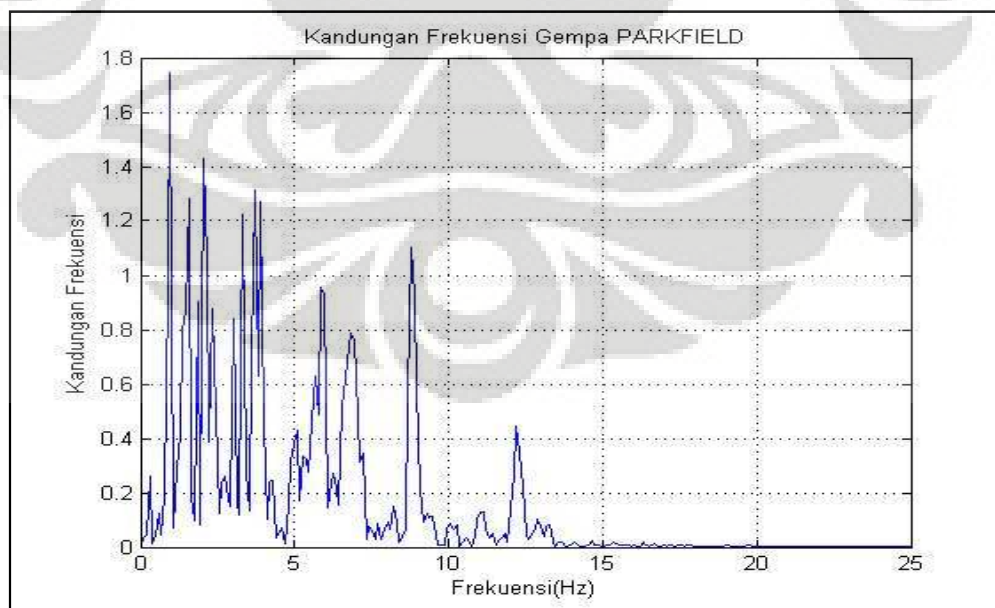
Nama Gempa : Parkfield Earthquake - Cholame

Tanggal : 27 Juni 1966

Jumlah Data : 1292 data

Selang waktu per data : 0.02 detik

Total waktu : 25.82 detik

**Gambar 3.20 Akselerogram gempa Parkield****Gambar 3.21 Kandunga frekuensi gempa Parkield**

BAB IV STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Pada bab ini akan dibahas sistem isolasi dasar pada struktur gedung dengan menggunakan persamaan-persamaan yang telah dibahas pada bab-bab sebelumnya. Permodelan dari struktur gedung dilakukan untuk mengetahui respon struktur ketika mendapatkan beban gempa. Pada permodelan *fixed base* akan dianalisis yang kemudian akan dibandingkan dengan gedung dengan menggunakan *base isolation* berupa *Low Damping Rubber Bearing*.

4.2 Studi Kasus Bangunan Satu Lantai

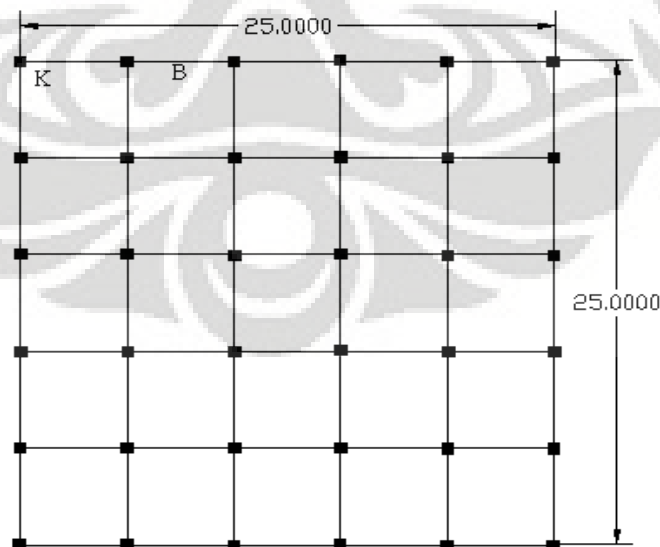
4.2.1 Deskripsi Bangunan

Dalam studi kasus 1 akan dimodelkan sebuah struktur gedung gedung lantai kaku yang memiliki spesifikasi sebagai berikut, dengan asumsi bahwa struktur memenuhi syarat kekuatan terhadap pembebanan yang terjadi, maka disini tidak akan dianalisa tentang kekuatan dari bangunan yang dipakai pada studi kasus.

Deskripsi bangunan

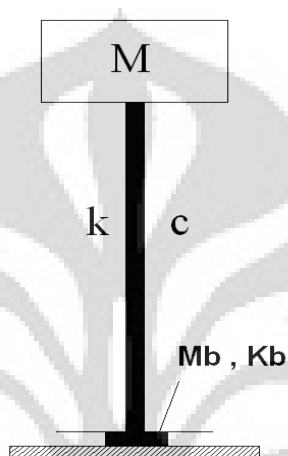
Luas bangunan = 25 meter x 25 meter

Layout dari bangunan dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1 Layout bangunan

Jumlah lantai	= 1 lantai
Tinggi bangunan	= 4 meter
Jumlah kolom	= 36 buah
Jumlah balok	= 25 buah



Gambar 4.2 Permodelan struktur SDOF sebagai *lump mass*

Desain Dimensi Elemen Struktur

Dimensi kolom	= 30 cm x 30 cm
Dimensi balok	= 30 cm x 40 cm
Tebal pelat lantai	= 15 cm
Tebal langit-langit	= 5 mm
Mutu beton (f_c')	= 25 Mpa

Pembebanan pada struktur diambil pada studi kasus ini sesuai dengan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1987, Departemen Pekerjaan Umum, sebagai berikut:

Beban mati

Beban mati terdiri dari berat sendiri struktur seperti berat pelat lantai, berat kolom, berat balok, berat langit-langit dan berat mati super imposed.

Berat sendiri struktur terdiri dari pelat lantai, kolom dan balok diasumsikan terbuat dari beton bertulang dengan massa jenis 2400 kg/m^3 . Sedangkan berat dari super imposed diasumsikan sebesar 20 kg/m^2 .

Beban hidup

Beban hidup yang diasumsikan pada studi kasus ini adalah beban lantai yang bekerja pada setiap lantai bangunan, yang diasumsikan sebesar 200 kg/m^2 .

Tabel 4.1 Perhitungan beban mati struktur SDOF.

Jenis Beban Mati	Luas Total	Tebal (meter)	Volume (m ³)	Massa Jenis (Kg/m ³)	Massa Total (kg)	
Luas lantai	25 m x 25 m	625	0.15	93.75	2400	225000
Kolom	0.3 m x 0.3 m x 36 buah	12.96	4	51.84	2400	31104
Balok	0.3 m x 0.4 m x 25 buah	3	5	15	2400	36000
Langit - langit dari eternity	25 m x 25 m	625	0.005	3.125	2400	7500
Super Imposed	25 m x 25 m	625			20	12500
						312104

Tabel 4.2 Perhitungan beban hidup struktur SDOF.

Jenis Beban Hidup	Luas Total	Beban Hidup (kg/m ²)	Massa Total (kg)
Beban Hidup	25 m x 25 m	200	125000

Pada studi kasus ini beban total merupakan penjumlahan langsung dari beban mati dan beban hidup. Beban total struktur pada studi kasus satu lantai adalah $437.104 \text{ Kg} \approx 440.000 \text{ kg}$. Dengan mengasumsikan nilai gravitasi adalah 10 m/s^2 , maka massa dari struktur adalah

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Struktur} &= \text{berat} / \text{gravitasi}^{[1]} && 4-1 \\
 &= 440.000 \text{ kg} / 10 \text{ m/s}^2 \\
 &= 44.000 \text{ kg.s}^2/\text{m} = 440.000 \text{ N.s}^2/\text{m}.
 \end{aligned}$$

Kekakuan pada struktur lantai 1 adalah kekakuan dari kolom yang diasumsikan berupa tumpuan jepit-jepit, sehingga nilai kekakuan yang dipakai pada studi kasus ini adalah

$$K = 12 EI/L^3 \quad 4-2$$

Dengan: K = Kekakuan Kolom

E = Modulus Elastisitas

I = Momen Inersia

L = Tinggi Lantai

Perhitungan kekakuan struktur kolom ditunjukkan oleh tabel 4.3 di bawah.

$$\begin{aligned} \text{Momen Inersia} &= 1/12 \times b \times h^3 & 4-3 \\ &= 1/12 \times 0.3 \times 0.3^3 \\ &= 0.000675 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Modulus Elastisitas } E_c &= 4700 \sqrt{f_c'} & 4-4 \\ &= 23.500 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kekakuan Total} &= n \times 12 EI/L^3 & 4-5 \\ &= 36 \times 2974 \text{ N/m} \\ &= 107.072 \text{ N/m} \end{aligned}$$

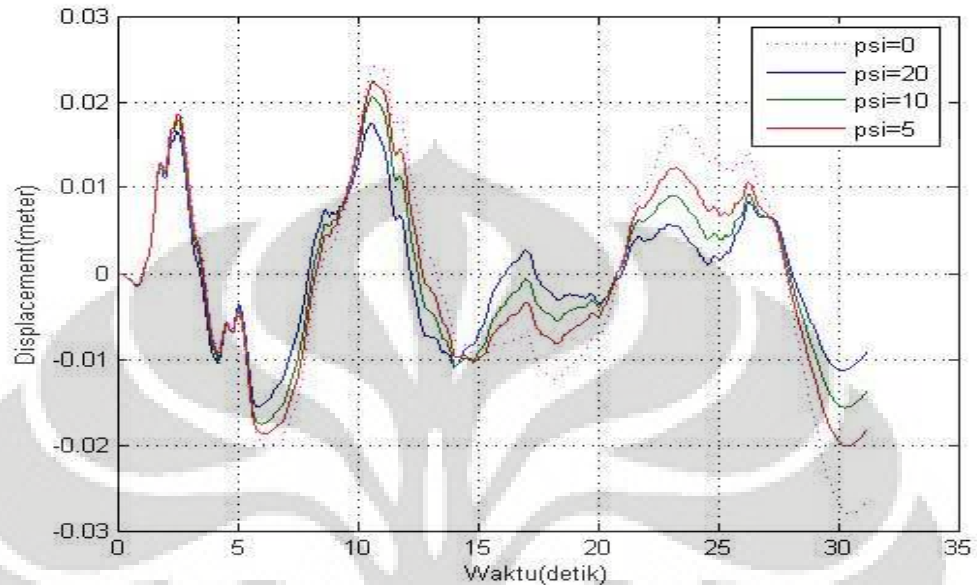
Tabel 4.3 Perhitungan kekakuan kolom struktur SDOF

Kakakuan Kolom	Modulus Elastisitas (MPa)	Momen Inersia (m ⁴)	Jumlah kolom	Tinggi kolom(m)	Total K (N/m)
Lantai 1	2.35E+04	0.000675	36	4	107.072

Pada studi kasus ini perhitungan kekakuan hanya dari kekakuan kolom karena bangunan dianalisa sebagai bangunan geser yang menganggap bahwa balok dan pelat lantai bersifat sangat kaku dan terjepit pada kolom sehingga displacement hanya terjadi secara horizontal, jadi dalam perhitungan nilai kekakuan setiap lantai kekakuan dari balok dan pelat lantai tidak diperhitungkan.^[1]

Pada studi kasus ini bangunan yang dimodelkan memiliki redaman bangunan yang dimiliki dari material yang digunakan atau redaman kritis, berikut ini

merupakan beberapa nilai rasio redaman (ξ) yang berpengaruh pada struktur SDOF yang dibebani gempa El Centro.



Gambar 4.3 Pengaruh Nilai Rasio Redaman (ξ) Pada Struktur dengan gempa El Centro

Pada studi kasus permodelan bangunan merupakan bangunan beton yang memiliki nilai rasio redaman (ξ) sebesar 10 % yang selanjutnya akan dipakai pada setiap studi kasus pada penelitian ini.^[1]

4.2.2 Bangunan Satu Lantai tanpa Base Isolation

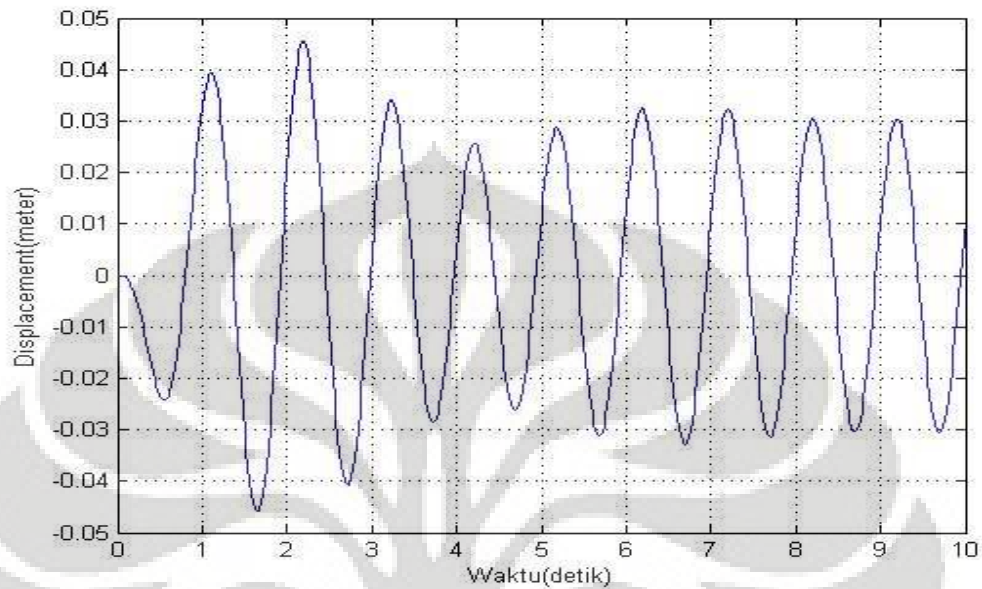
Parameter struktur satu lantai tanpa *base isolation* sebagai input program SDOF tanpa *base isolation* adalah sebagai berikut:

1. Massa Struktur (M) = 440.000 N.s²/m
2. Kekakuan (K) = 107.072 N/m
3. Rasio Redaman (ξ) = 10 %

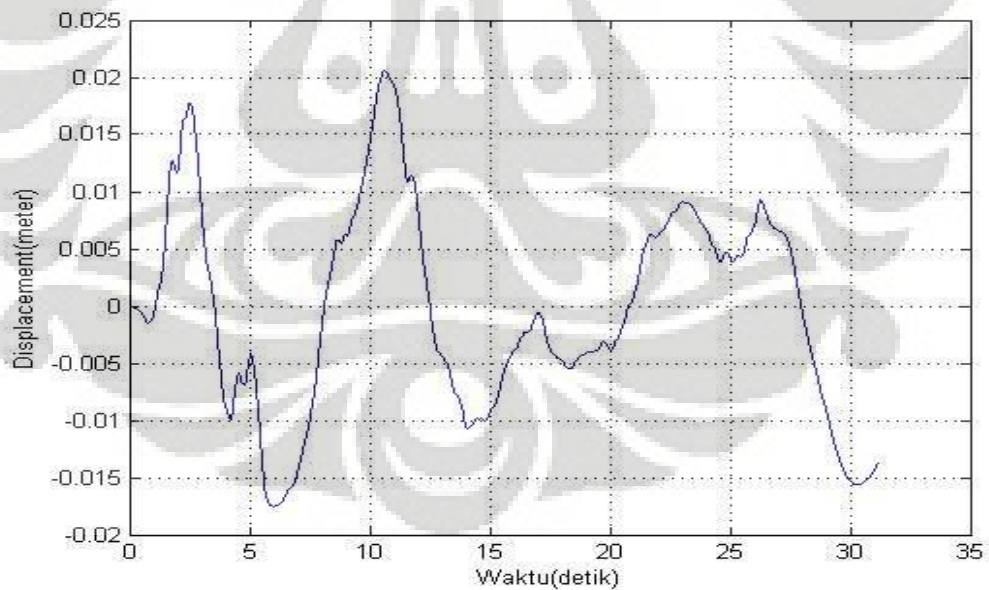
Dengan parameter tersebut, respon terhadap masing – masing beban gempa ditunjukkan pada gambar berikut ini.

Gambar 4.4 merupakan respon struktur yang dikenakan oleh beban sinusoidal yang dipakai, dapat dilihat bahwa displacement struktur terdiri dari positif dan negative yang menunjukkan bahwa struktur bergerak secara bolak balik dari negatif

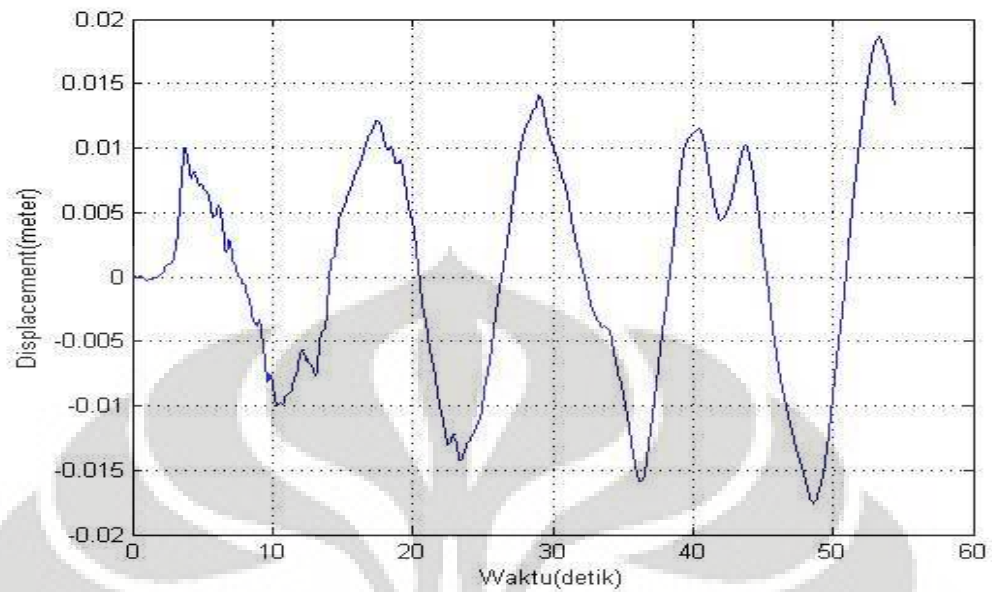
ke positif kebalikan dari percepatan sinusoidal yang diberikan yang bekerja dari positif ke negatif.



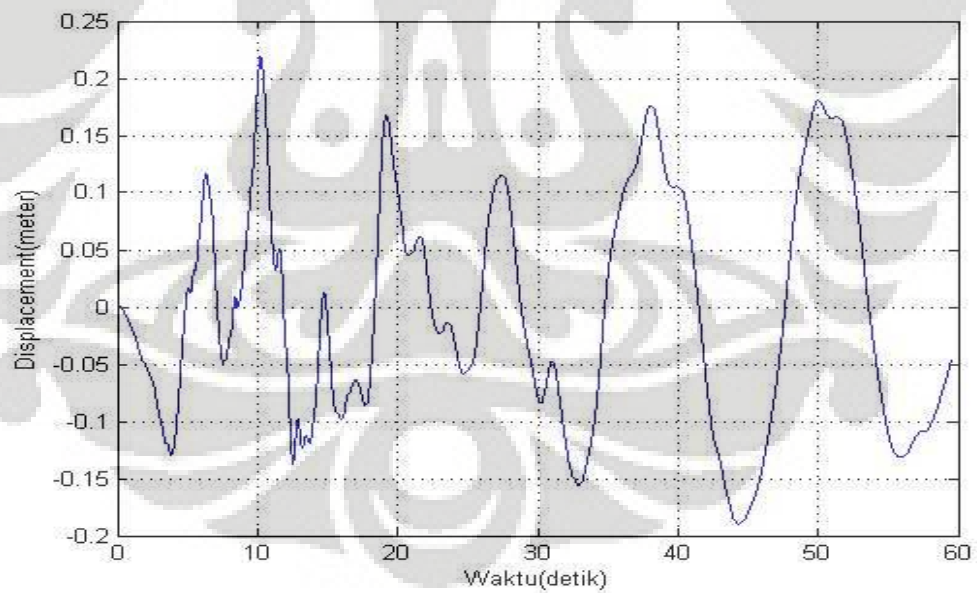
Gambar 4.4 Perpindahan struktur SDOF tanpa base isolation terhadap beban genpa Sinusoidal



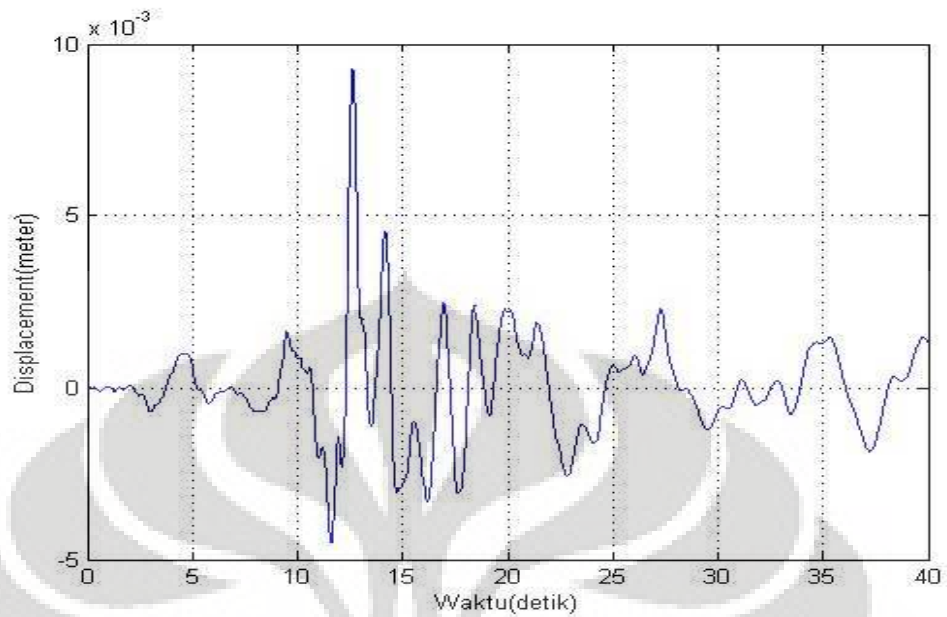
Gambar 4.5 Perpindahan struktur SDOF tanpa base isolation terhadap beban genpa El Centro



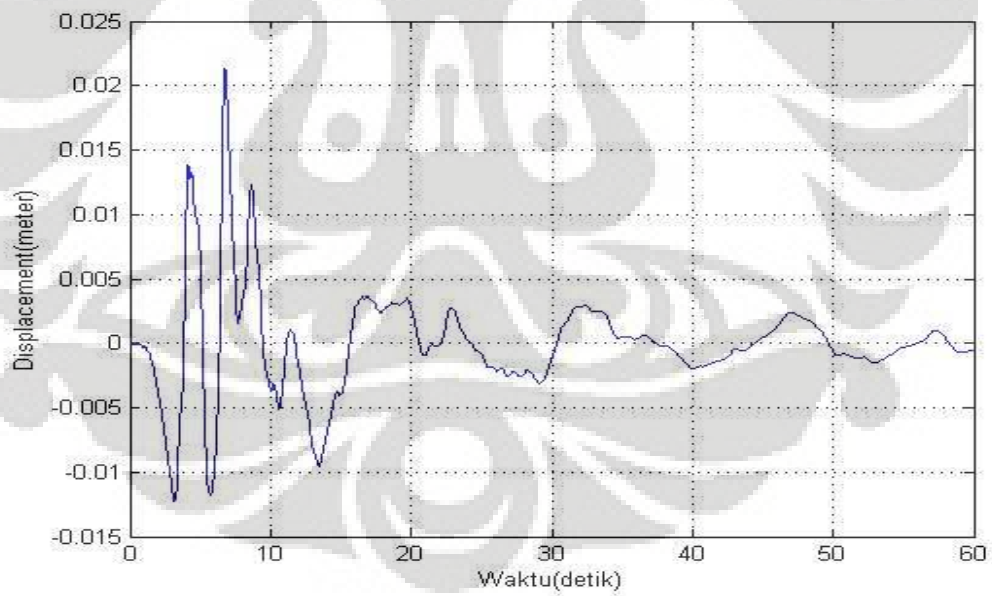
Gambar 4.6 Perpindahan struktur SDOF tanpa base isolation terhadap beban gempa Kern



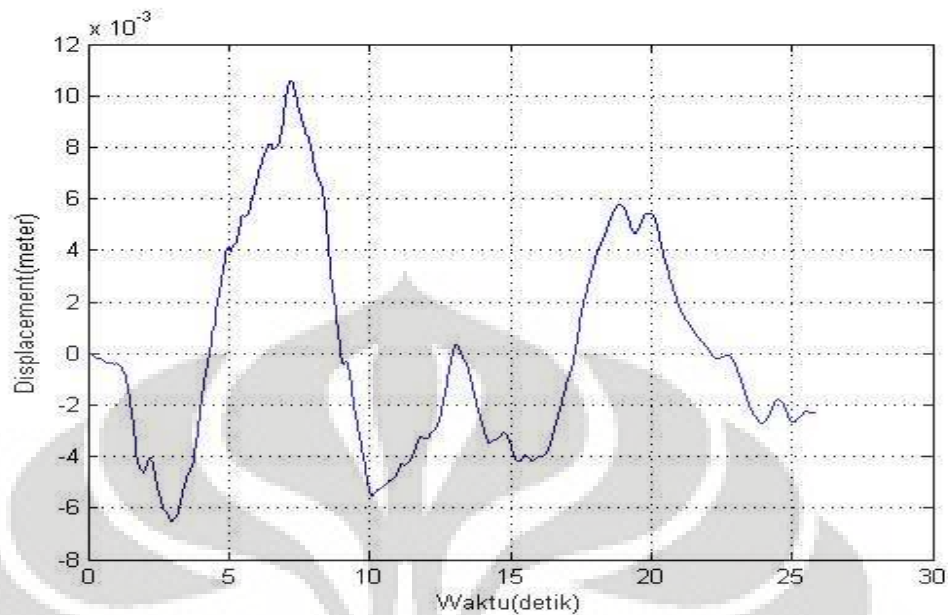
Gambar 4.7 Perpindahan struktur SDOF tanpa base isolation terhadap beban San Fernando



Gambar 4.8 Perpindahan struktur SDOF tanpa base isolation terhadap beban Loma Prieta



Gambar 4.9 Perpindahan struktur SDOF tanpa base isolation terhadap beban Northridge



Gambar 4.10 Perpindahan struktur SDOF tanpa base isolation terhadap beban Parkfield

Respon maksimum dari struktur SDOF tanpa *base isolation* untuk masing–masing gempa dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 4.4 Respon maksimum bangunan 1 lantai

Gempa	<i>Displacement</i> (meter)	<i>Velocity</i> (m/s ²)	<i>Ground Acceleration</i> (m/s ²)
El Centro	0.0206	0.3442	3.0619
Kern	0.0186	0.1706	1.527
San Fernando	0.2193	3.1223	25
Loma Prieta	0.0093	0.3814	2.7036
Northridge	0.0213	0.7966	5.9264
Parkfield	0.0106	0.1441	2.326

Dapat dilihat dari table 4.4 bahwa *displacement* terbesar bangunan sebesar 0.3243 meter dikarenakan beban gempa San Fernando.

4.2.3 Bangunan Satu Lantai dengan *Base Isolation*

Pada pembahasan bangunan satu lantai dengan *base isolation*, studi kasus *base isolation* yang dipakai adalah *Elastomeric Bearing* yang berupa *Low Damping Rubber Bearing* (LDRB) yang materialnya adalah gabungan karet dan lempengan besi, sistem ini dianalisa secara linier, parameter tambahan dalam penghitungan respon struktur adalah massa dan kekakuan dari *base isolation* itu sendiri. Spesifikasi *base isolation* yang dipakai dapat dilihat pada table 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Spesifikasi *base isolation* pada SDOF

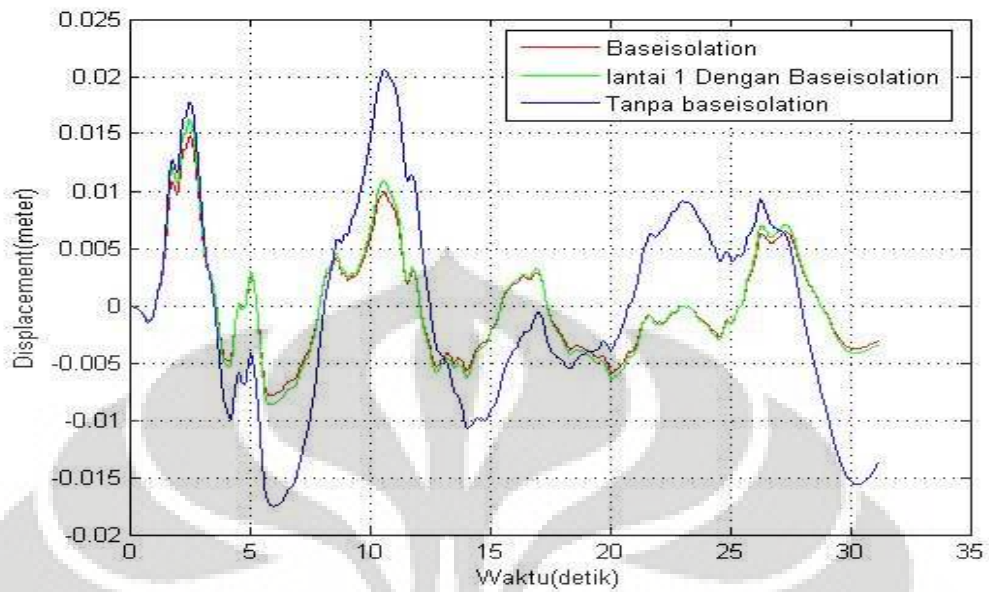
No	Massa (N.s ² /m.)	Tinggi (m)	Kekakuan	Nilai Kekakuan (N/m)
1	100	0.5	K/10	10707.1875
2	100	0.5	K/50	2141.4375
3	100	0.5	K/100	1070.71875

K adalah nilai kekakuan pada lantai dasar dari struktur. Nilai kekakuan *base isolation* lebih kecil dibanding kekakuan lantai di atasnya dimaksudkan karena percepatan gempa yang terjadi tidak langsung mengenai struktur melainkan mengenai *base isolation* yang berada pada bagian bawah struktur. Dengan adanya *base isolation* yang memiliki kekakuan yang kecil, maka *grond motion* yang terjadi pada dasar struktur dapat teredam yang disebabkan oleh deformasi yang terjadi pada *base isolation* sehingga *grond motion* yang masuk pada struktur di atasnya menjadi sangat kecil, sehingga respon struktur yang terjadi di atas *base isolation* menjadi lebih kecil.

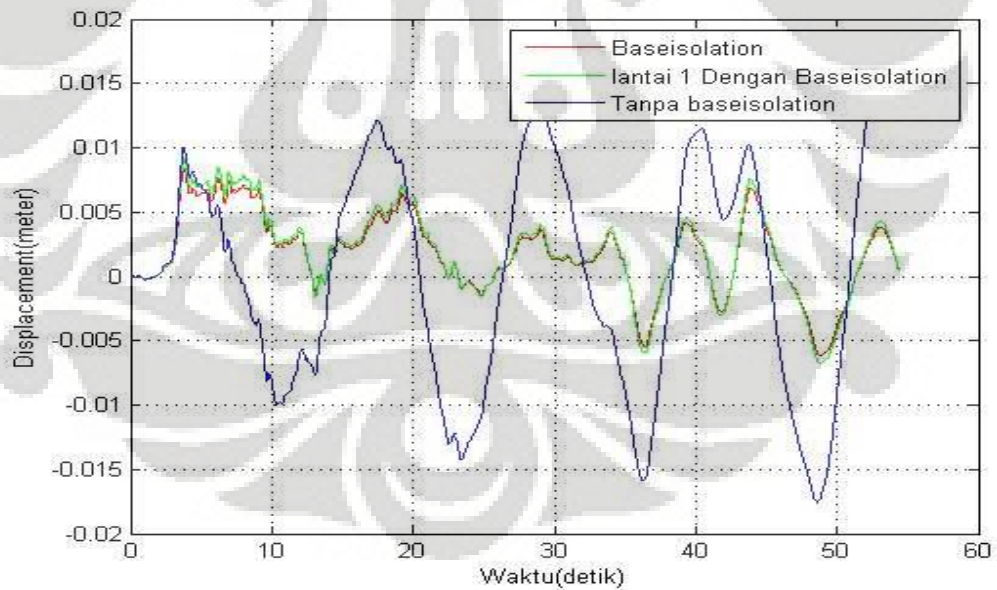
Berikut merupakan reaksi struktur yang menggunakan *base isolation* dengan variasi nilai K, pada nilai massa tidak divariasikan karena nilai massa pada *base isolation* tidak memiliki pengaruh yang terlihat pada respon struktur.

4.2.3.1 Respon struktur dengan *base isolation* 1 ($K_b=K/10$)

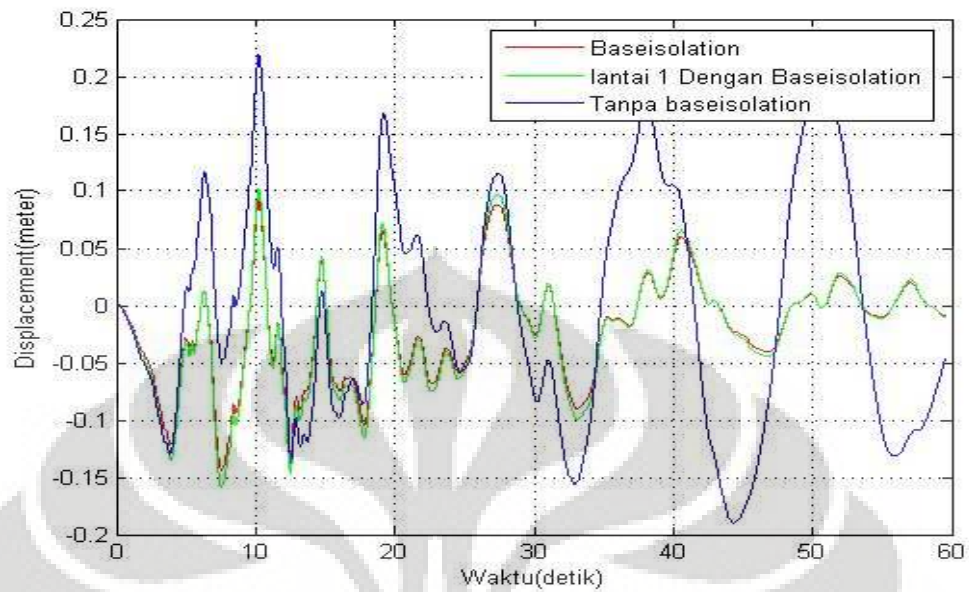
Perbedaan respon dari bangunan SDOF tanpa *base isolation* dan dengan *base isolation* yang memiliki kekakuan sepersepuluh dari kekakuan lantai di atas *base isolation* dapat dilihat pada gambar 4.11 sampai 4.16 berikut ini.



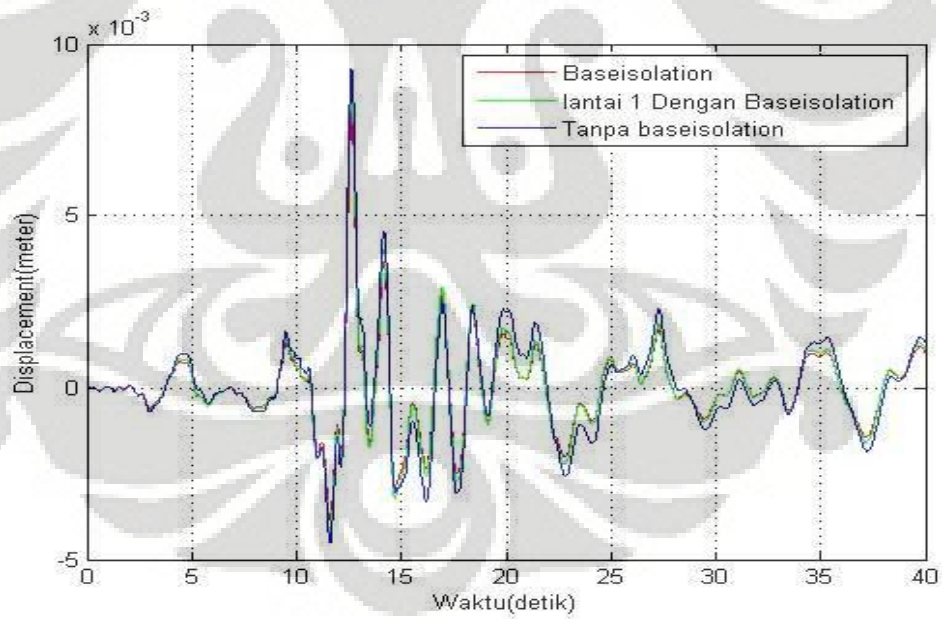
Gambar 4.11 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K/10$) terhadap beban gempa El Centro



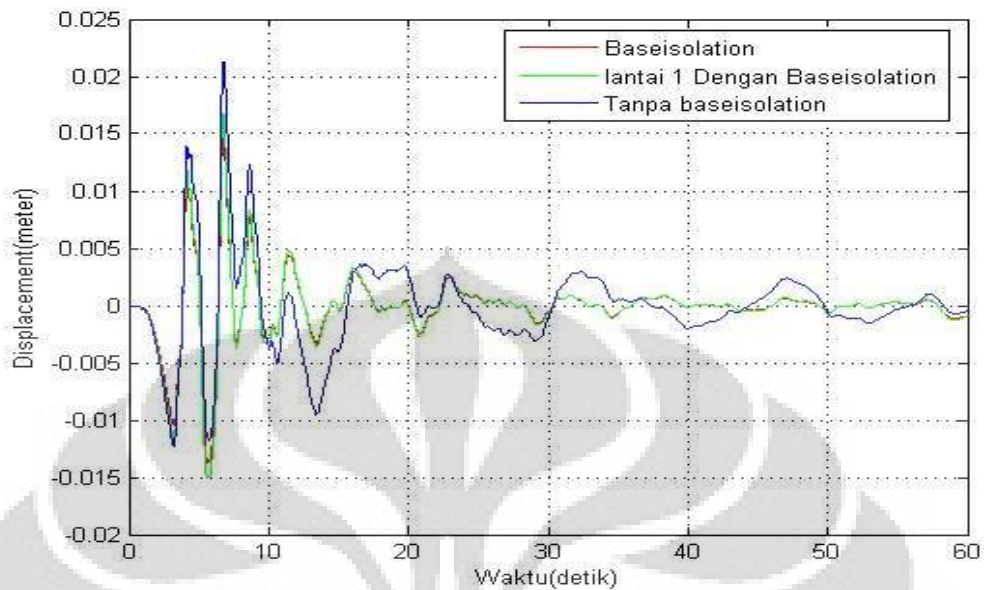
Gambar 4.12 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K/10$) terhadap beban gempa Kern



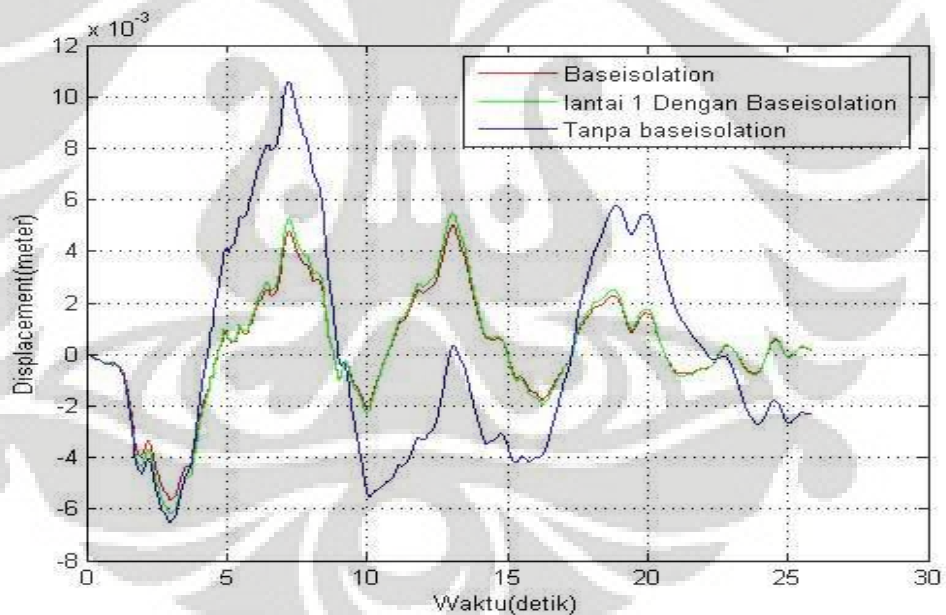
Gambar 4.13 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K/10$) terhadap beban San Fernando



Gambar 4.14 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K/10$) terhadap beban Loma Prieta



Gambar 4.15 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K/10$) terhadap beban Northridge



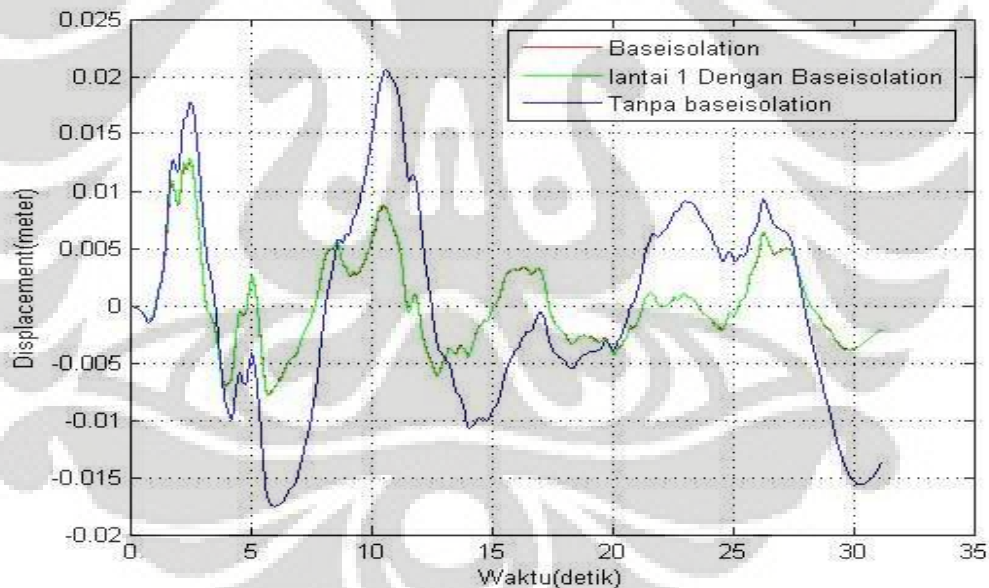
Gambar 4.16 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K/10$) terhadap beban Parkfield

Pada gambar 4.10 sampai gambar 4.16 dapat dilihat bahwa *base isolation* memberikan pengaruh pada struktur SDOF yang menyebabkan respon dari struktur lebih kecil, sehingga *displacement* struktur lebih kecil. Pada grafik dapat

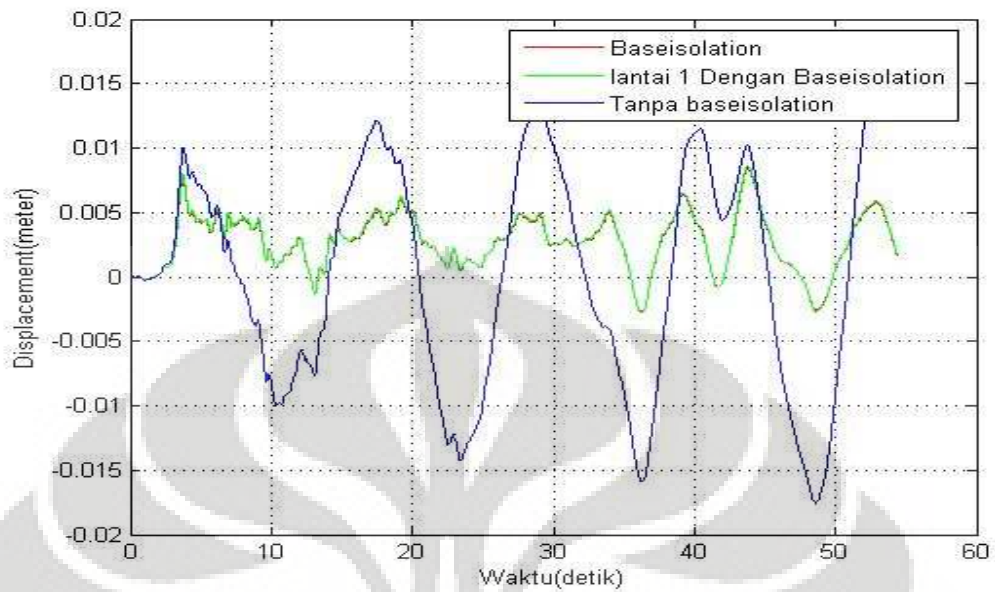
dilihat adanya tiga grafik yang memiliki warna yang berbeda untuk warna biru merupakan respon struktur yang tidak memakai *base isolation* sedangkan warna merah merupakan perpindahan dari *base isolation* dan warna hijau merupakan perpindahan dari lantai. Pada gambar dapat dilihat grafik merah dan hijau tidak menumpuk yang berarti bahwa terjadi perpindahan sendiri pada struktur yang berada di atas *base isolation*. Pada nilai $K_b=K/10$ perbedaan *displacement* pada setiap lantai kecil yang berarti *displacement* struktur juga kecil.

4.2.3.2 Respon struktur dengan *base isolation* 2 ($K_b=K/50$)

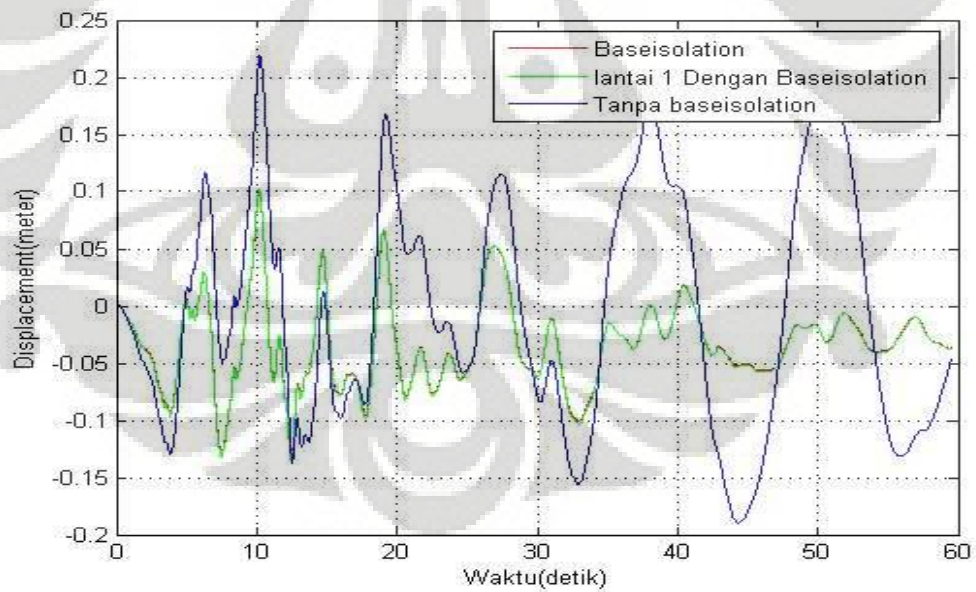
Setelah menjalankan program dan mengganti nilai kekakuan dari *base isolation* maka perbedaan respon dari bangunan SDOF tanpa *base isolation* dan dengan *base isolation* yang memiliki kekakuan seperlimapuluh dari kekakuan lantai di atas *base isolation* dapat dilihat pada gambar 4.16 sampai 4.22 berikut ini.



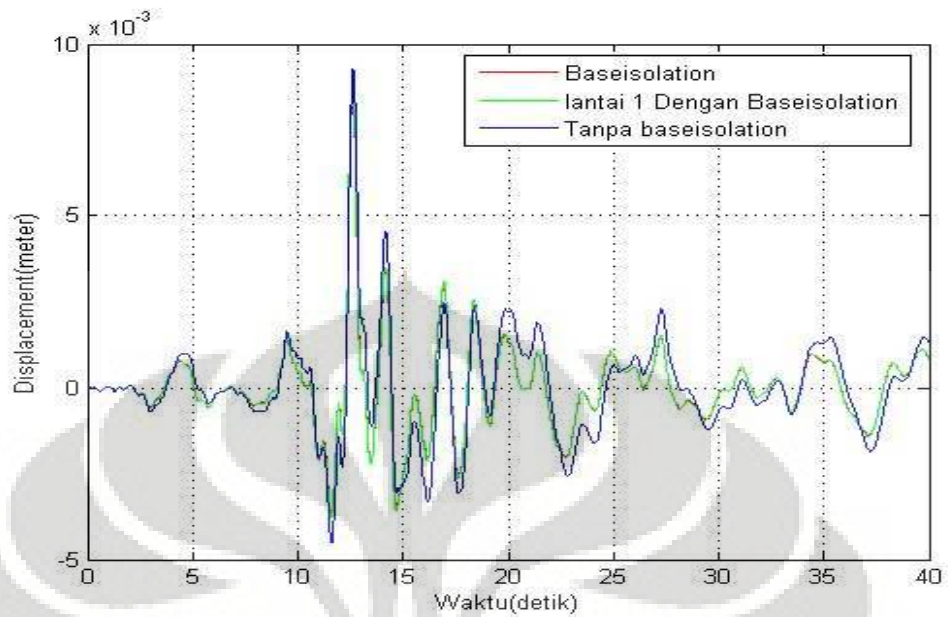
Gambar 4.17 Perpindahan struktur SDOF dengan *base isolation* ($K_b=K/50$) terhadap beban gempa El Centro



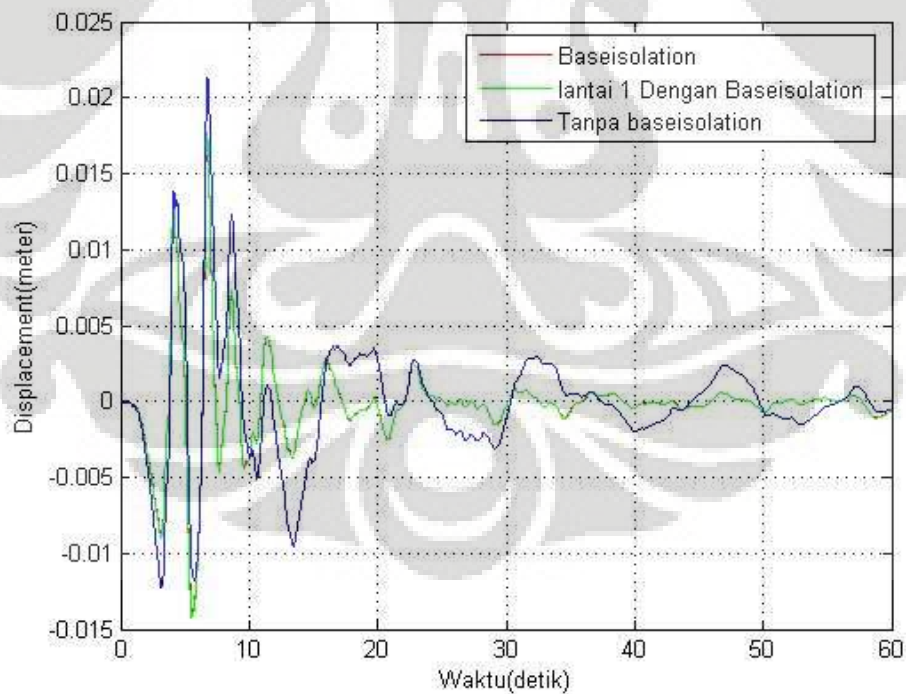
Gambar 4.18 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K/50$) terhadap beban gempa Kern



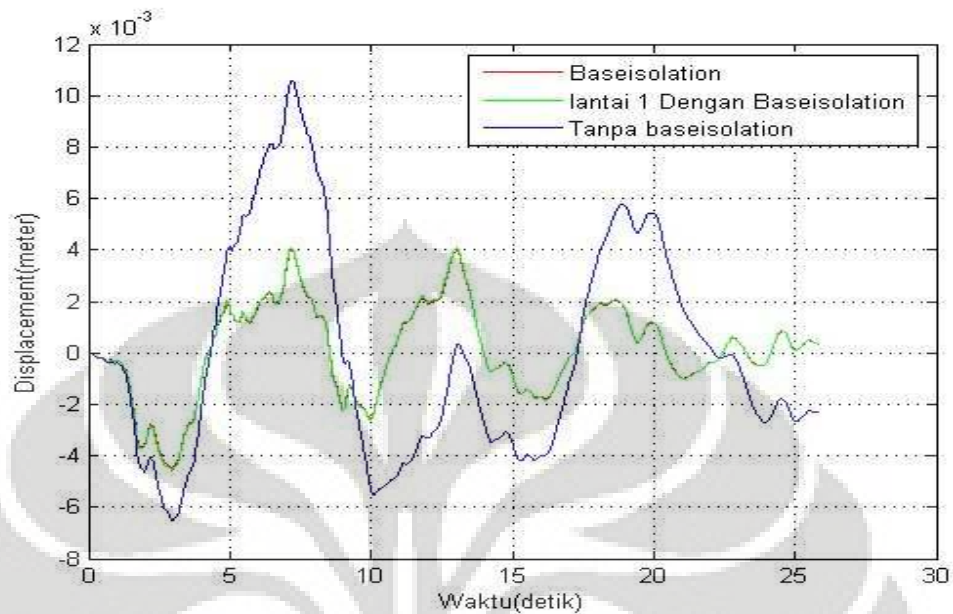
Gambar 4.19 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K/50$) terhadap beban San Fernando



Gambar 4.20 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K/50$) terhadap beban Loma Prieta



Gambar 4.21 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K/50$) terhadap beban Northridge

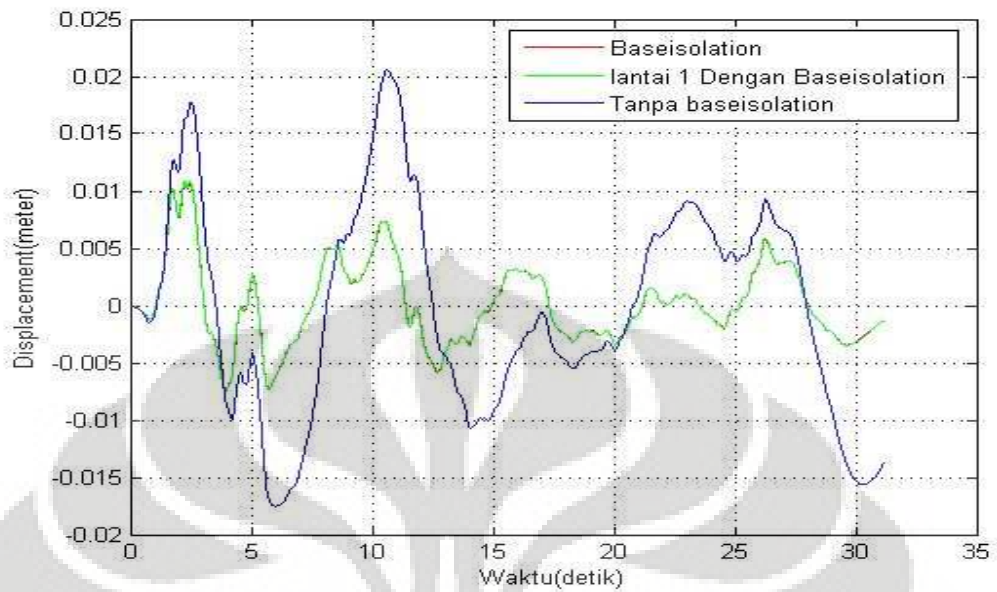


Gambar 4.22 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K/50$) terhadap beban Parkfield

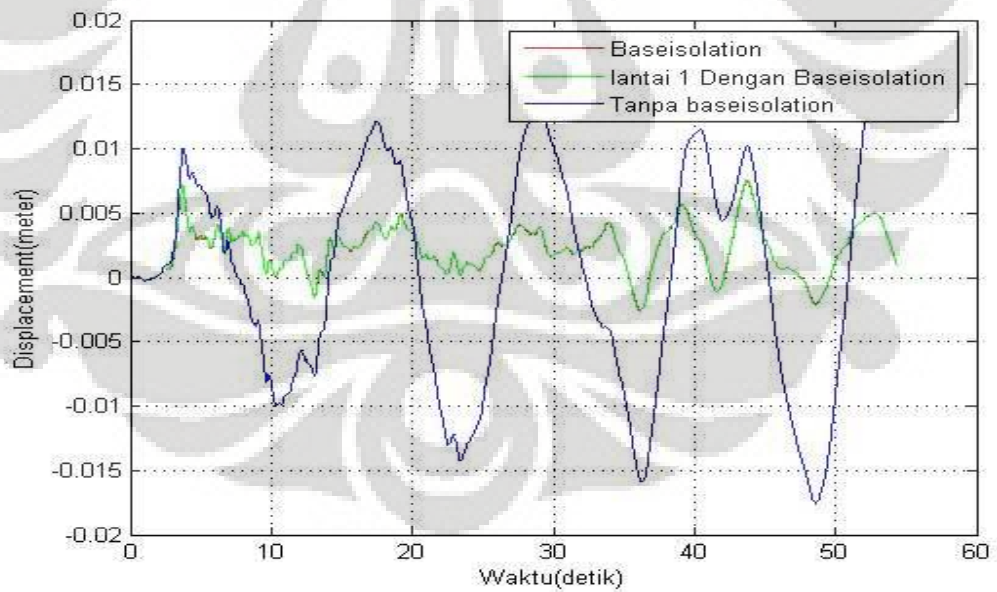
Pada gambar 4.17 sampai gambar 4.22 dapat dilihat bahwa *base isolation* memberikan pengaruh pada struktur SDOF yang menyebabkan respon dari struktur lebih kecil, sehingga *displacement* struktur lebih kecil. Pada gambar dapat dilihat bahwa respon struktur dengan nilai kekakuan *base isolation* yang lebih kecil dapat memperkecil respon dari struktur. Selain itu pada gambar dapat dilihat bahwa pada grafik yang menunjukkan *displacement* dari *base isolation* menumpuk dengan grafik respon lantai 1 struktur, maka dapat disimpulkan *base isolation* bekerja dengan sangat baik sehingga pada struktur hanya terjadi perpindahan pada *base isolation* sedangkan pada strukturnya sendiri tidak terjadi perpindahan.

4.2.3.3 Respon struktur dengan base isolation 3 ($K_b=K/100$)

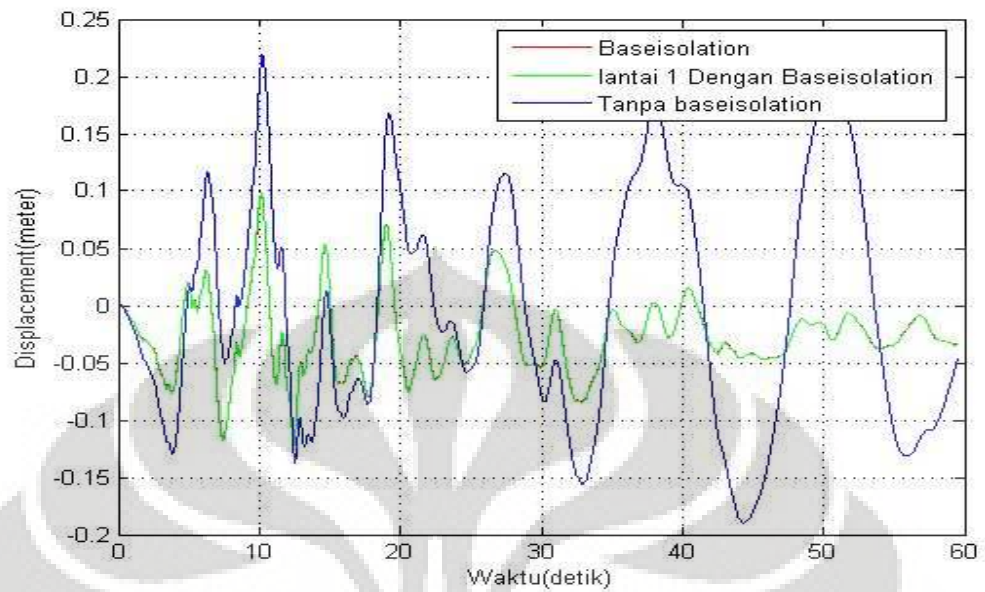
Perbedaan respon dari bangunan SDOF tanpa *base isolation* dan dengan *base isolation* yang memiliki kekakuan seperseratus dari kekakuan lantai diatas *base isolation* dapat dilihat pada gambar 4.23 sampai 4.28 berikut ini.



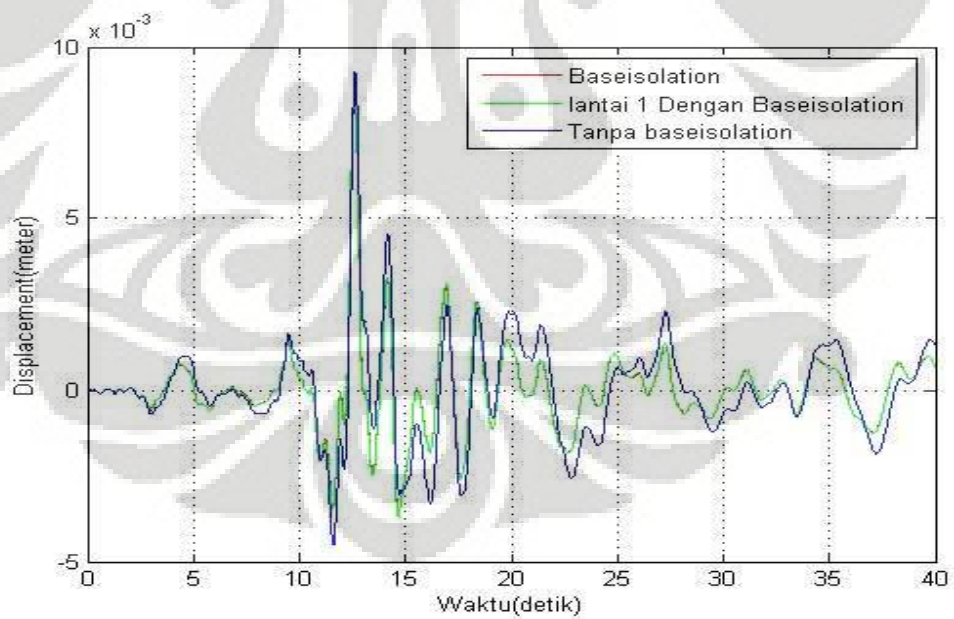
Gambar 4.23 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K/100$) terhadap beban gempa El Centro



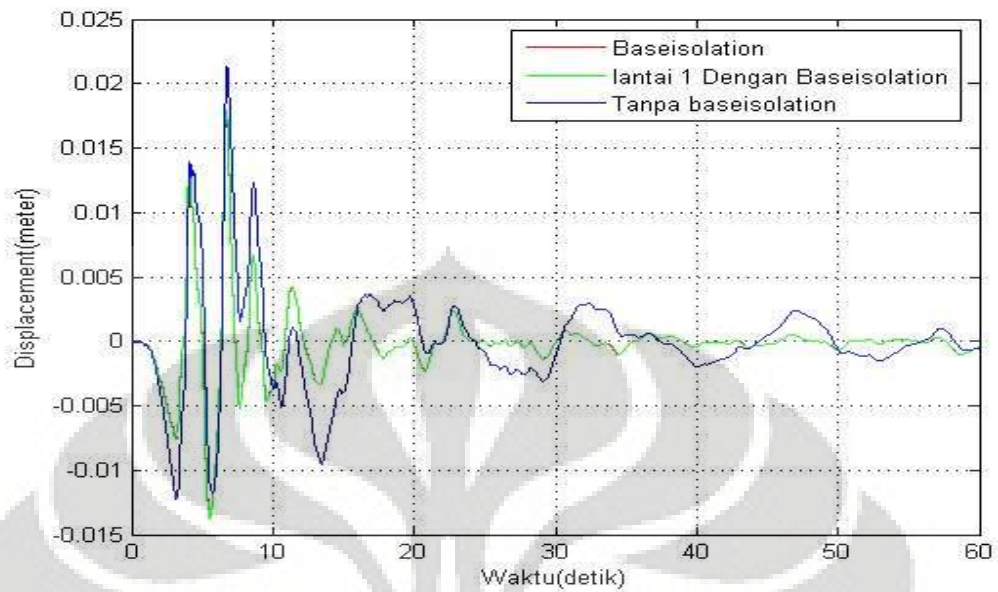
Gambar 4.24 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K/100$) terhadap beban gempa Kern



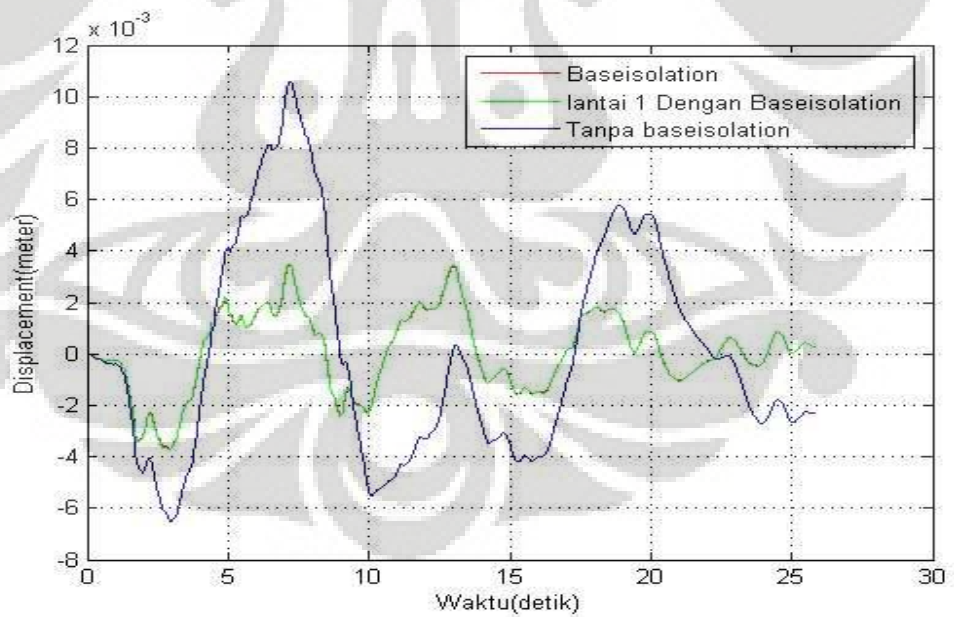
Gambar 4.25 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K/100$) terhadap beban San Fernando



Gambar 4.26 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K/100$) terhadap beban Loma Prieta



Gambar 4.27 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K/100$) terhadap beban Northridge



Gambar 4.28 Perpindahan struktur SDOF dengan base isolation ($K_b=K/100$) terhadap beban Parkfield

Pada gambar 4.22 sampai gambar 4.28 dapat dilihat bahwa *base isolation* memberikan pengaruh pada struktur SDOF yang menyebabkan respon dari struktur lebih kecil, sehingga *displacement* yang terjadi pada struktur lebih kecil.

Pada nilai kekakuan yang sangat kecil yaitu seperseratus dari kekakuan struktur lantai satu respon bangunan tidak jauh berbeda dengan bangunan yang nilai kekakuan *base isolation*nya seperlima puluh dari kekakuan lantai satu. Maka pada ketiga nilai kekakuan dapat disimpulkan bahwa nilai kekakuan dari *base isolation* yang paling efektif dalam meredam respon struktur akibat beban-beban gempa yang diberikan adalah seper lima puluh dari nilai kekakuan lantai di atas *base isolation* ($K_b = K_1/50$).

4.3 Studi Kasus Bangunan Lima Lantai

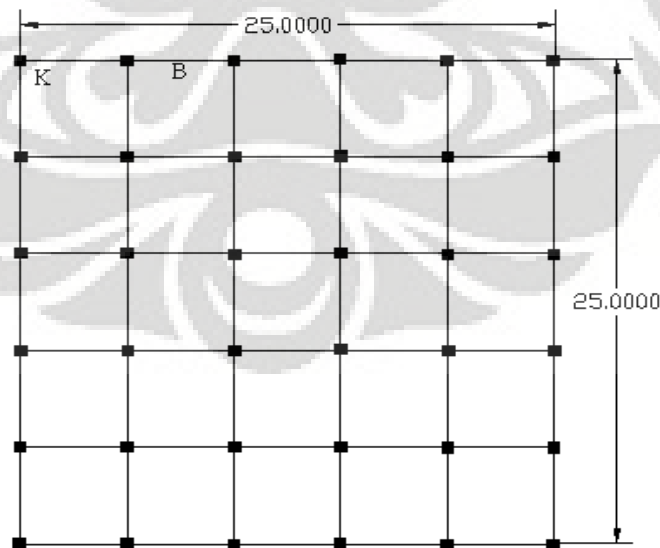
4.3.1 Deskripsi Bangunan

Dalam studi kasus 2 akan dimodelkan sebuah struktur gedung gedung lantai kaku yang memiliki spesifikasi sebagai berikut, dengan asumsi bahwa struktur memenuhi syarat kekuatan terhadap pembebanan yang terjadi, maka disini tidak akan dianalisa tentang kekuatan dari bangunan yang dipakai pada studi kasus.

Deskripsi bangunan

Luas bangunan = 25 meter x 25 meter

Layout dari bangunan dapat dilihat pada gambar 4.32 dibawah ini.



Gambar 4.29 Layout bangunan 5 Lantai

Jumlah lantai = 5 lantai
 Tinggi bangunan = 4 meter
 Jumlah kolom = 36 buah
 Jumlah balok = 25 buah

Desain Dimensi Elemen Struktur

Dimensi kolom = 60 cm x 60 cm
 Dimensi balok = 30 cm x 40 cm
 Tebal pelat lantai = 15 cm
 Tebal langit-langit = 5 mm
 Mutu beton (f_c') = 25 Mpa

Pembebanan pada struktur diambil pada studi kasus ini sesuai dengan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1987, Departemen Pekerjaan Umum, sebagai berikut:

Beban mati

Beban mati terdiri dari berat sendiri struktur seperti berat pelat lantai, berat kolom, berat balok, berat langit-langit dan berat mati super imposed. Berat sendiri struktur terdiri dari pelat lantai, kolom dan balok diasumsikan terbuat dari beton bertulang dengan massa jenis 2400 kg/m^3 . Sedangkan berat dari super imposed diasumsikan sebesar 20 kg/m^2 .

Beban hidup

Beban hidup yang diasumsikan pada studi kasus ini adalah beban lantai yang bekerja pada setiap lantai bangunan, yang diasumsikan sebesar 200 kg/m^2 .

Tabel 4.6 Perhitungan beban mati 1 lantai.

Jenis Beban Mati	Luas Total	Tebal (meter)	Volume (m ³)	Massa Jenis (Kg/m ³)	Massa Total (kg)	
Luas lantai	25 m x 25 m	625	0.15	93.75	2400	225000
Kolom	0.6 m x 0.6 m x 36 buah	12.96	4	51.84	2400	124416
Balok	0.3 m x 0.4 m x 25 buah	3	5	15	2400	36000
Langit - langit dari eternity	25 m x 25 m	625	0.005	3.125	2400	7500
Super Imposed	25 m x 25 m	625			20	12500
						405416

Tabel 4.7 Perhitungan beban hidup 1 lantai.

Jenis Beban Hidup	Luas Total		Beban Hidup (kg/m ²)	Massa Total (kg)
Beban Hidup	25 m x 25 m	625	200	125000

Pada studi kasus ini beban total merupakan penjumlahan langsung dari beban mati dan beban hidup. Beban total lantai 1 pada studi kasus lima lantai adalah 530416 Kg \approx 530.000 kg, dengan mengasumsikan nilai g adalah 10 m/s², maka massa dari struktur adalah 53.000 kg.s²/m = 530.000 N.s²/m. Perhitungan kekakuan struktur kolom ditunjukkan oleh tabel 4.7 di bawah.

Tabel 4.8 Perhitungan kekakuan kolom setiap lantai pada struktur MDOF

Kakakuan Kolom	Modulus Elastisitas (MPa)	Momen Inersia (m ⁴)	Jumlah kolom	Tinggi kolom(m)	Total K (N/m)
Lantai 1	2.35E+04	0.0108	36	4	1.713.150

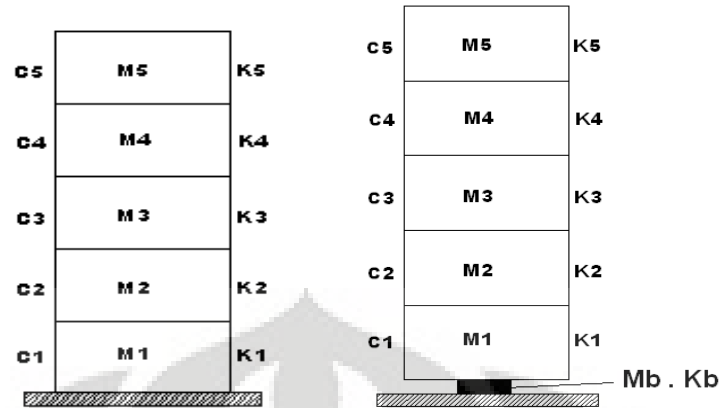
Untuk memudahkan dalam memasukan data-data nilai kekakuan dan massa dapat dilihat seperti table di bawah ini.

Tabel 4.9 Massa dan kekakuan struktur MDOF 5 lantai

Lantai	Massa Total (N.s ² /m.)	Kakakuan (N/m)
Lantai 1	530.000	1.713.150
Lantai 2	530.000	1.713.150
Lantai 3	530.000	1.713.150
Lantai 4	530.000	1.713.150
Lantai 5	530.000	1.713.150

Massa dan kekakuan struktur lima lantai pada tabel 4.8 dapat langsung dimasukan ke dalam program MDOF sebagai input baik untuk MDOF tanpa *base isolation* maupun program MDOF dengan *base isolation*, sehingga dapat diketahui respon dari struktur tersebut.

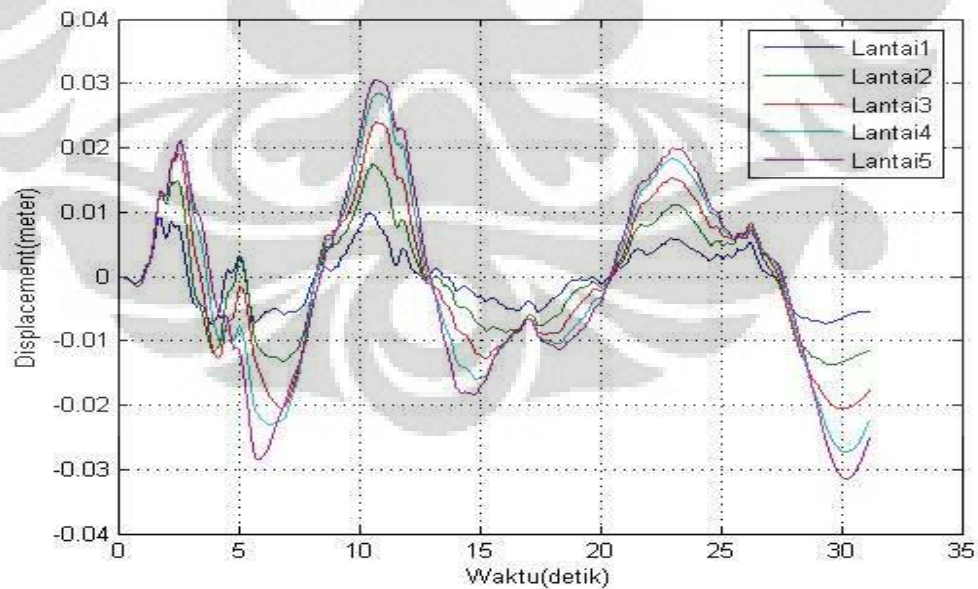
Permodelan struktur *lump mass* bangunan lima lantai dapat dilihat pada gambar 4.33 di bawah ini.



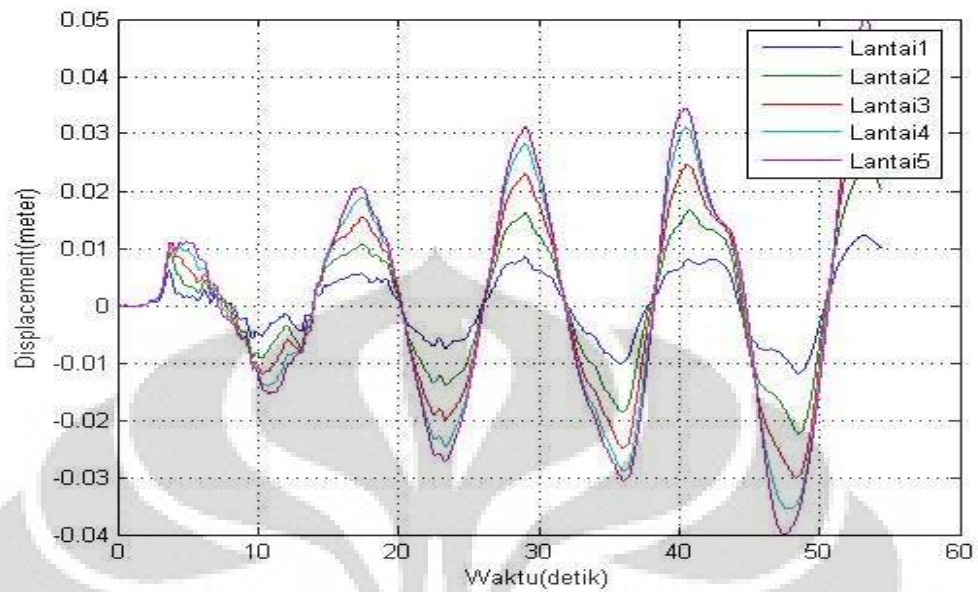
Gambar 4.30 Permodelan struktur MDOF *lump mass* tanpa base isolation dan dengan *base isolation*

4.3.2 Bangunan Lima Lantai Tanpa Base Isolation

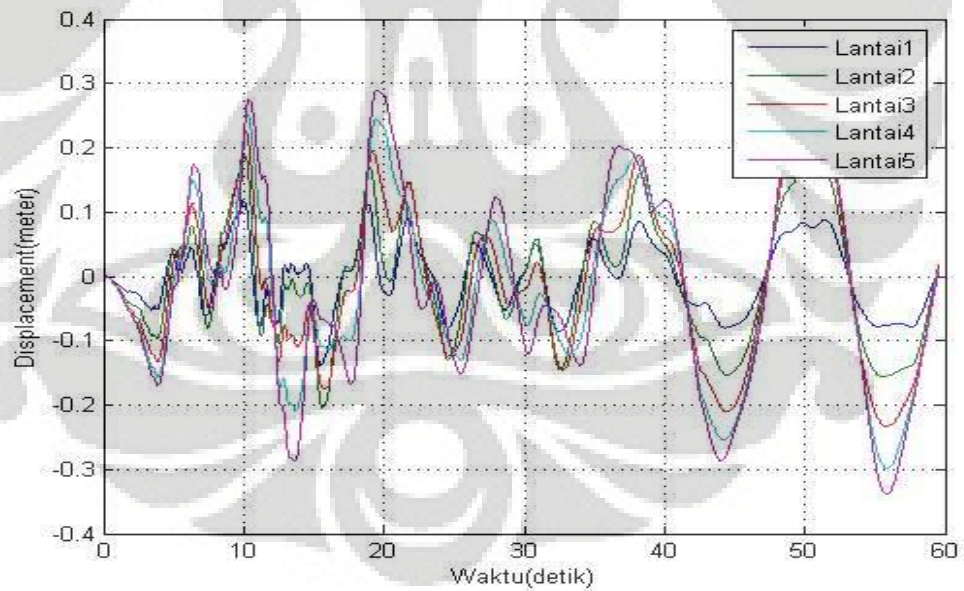
Dalam mencari respon struktur 5 lantai dapat langsung dengan memasukan nilai massa dan kekakuan pada setiap lantai pada table 4.8 ke dalam program MDOF tanpa base isolation. Dengan memasukan data-data yang telah ada dan menjalankan program tersebut maka akan didapatkan respon struktur pada setiap lantai (lantai 1 sampai lantai 5) yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini untuk setiap gempa yang dianalisa.



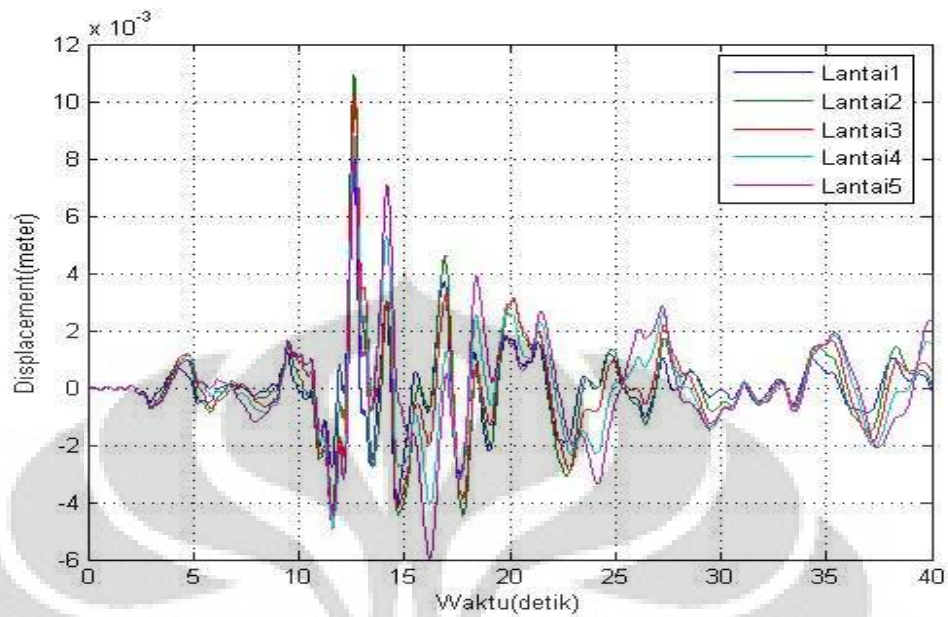
Gambar 4.31 Perpindahan struktur MDOF tanpa base isolation terhadap beban gempa El Centro



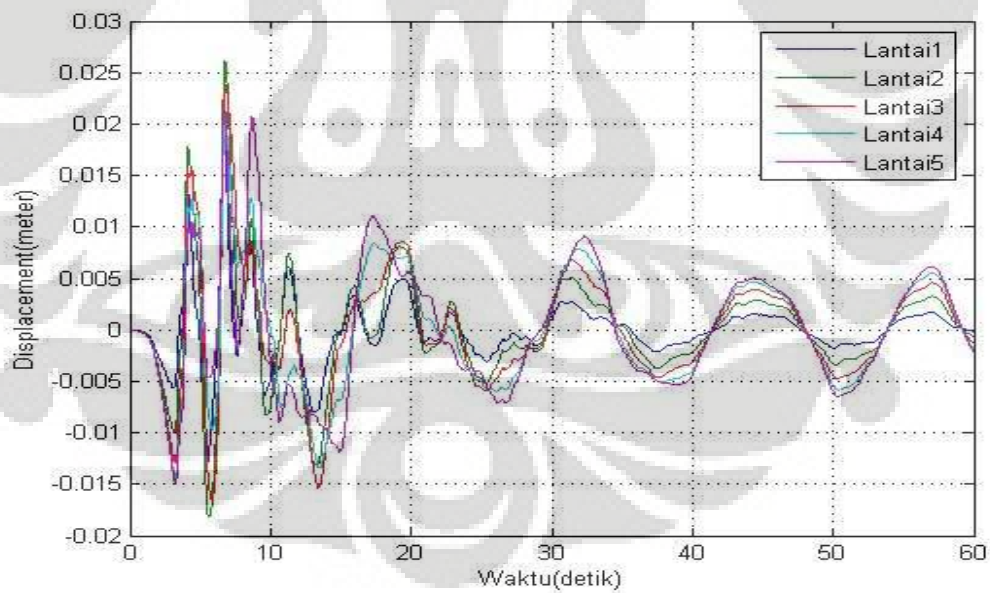
Gambar 4.32 Perpindahan struktur MDOF tanpa base isolation terhadap beban gempa Kern



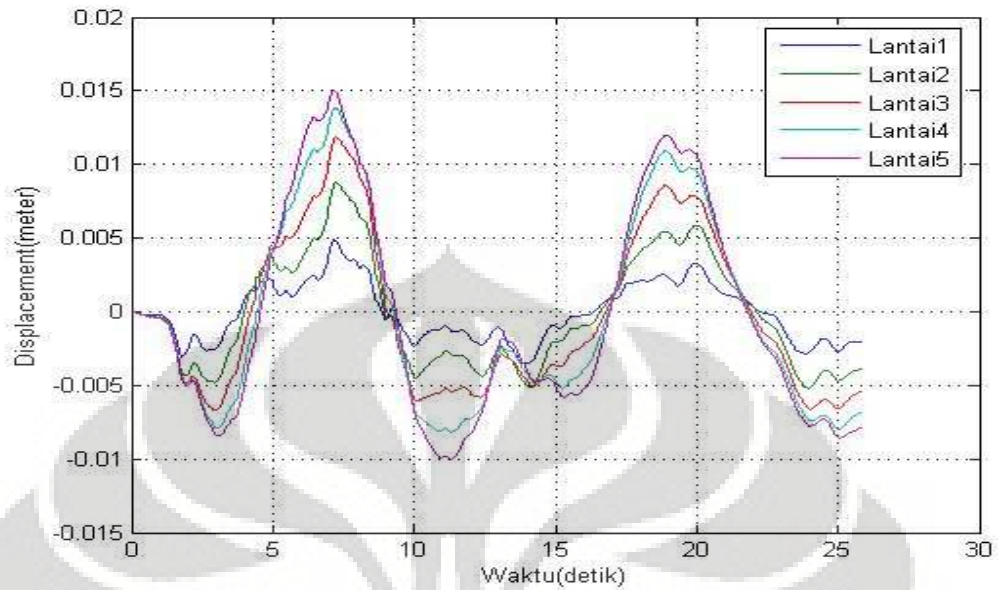
Gambar 4.33 Perpindahan struktur MDOF tanpa base isolation terhadap beban San Fernando



Gambar 4.34 Perpindahan struktur MDOF tanpa base isolation terhadap beban Loma Prieta

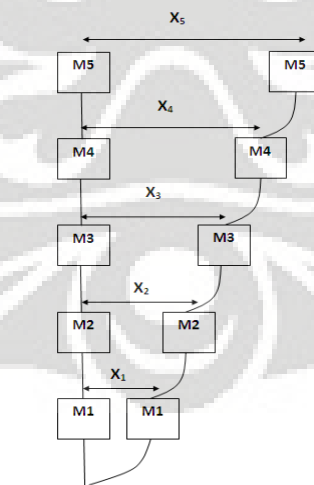


Gambar 4.35 Perpindahan struktur MDOF tanpa base isolation terhadap beban Northridge



Gambar 4.36 Perpindahan struktur MDOF tanpa base isolation terhadap beban Parkfield

Dari gambar 4.31 sampai dengan Gambar 4.36 Dapat dilihat perpindahan struktur MDOF 5 lantai tanpa *base isolation* dengan masing-masing beban gempa yang berbeda. Dari gambar-gambar respon struktur MDOF pada setiap beban gempa yang ada, dapat disimpulkan bahwa struktur bergetar dengan mode seperti gambar 4.41 di bawah ini.



Gambar 4.37 Mode getar MDOF lima lantai tanpa *base isolation*

Pada mode getar MDOF dapat dilihat terjadi pertambahan respon struktur pada setiap lantai, yang mengakibatkan respon total dari struktur akan semakin besar pada lantai selanjutnya. Pada grafik respon yang diberikan gempa San Fernando tetap yang menyebabkan struktur mengalami *displacement* yang paling besar, yaitu pada lantai 5, *displacement* yang terjadi mencapai 0,324 meter, sedangkan *displacement* maksimum (Q_{\max}) yang diperbolehkan adalah koefisien perpindahan (γ) dikalikan dengan tinggi bangunan (H), adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_{\max} &= \gamma \times H \\ &= (1/200) \times (4 \times 5) \\ &= 0.1 \text{ meter} \end{aligned} \quad 4-6$$

Sedangkan *displacement* izin tiap lantai adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_{\text{lantai}} &= \gamma \times H \\ &= (1/200) \times (4) \\ &= 0.02 \text{ meter} \end{aligned} \quad 4-7$$

Dapat dilihat bahwa pada studi kasus ini *displacement* yang disebabkan oleh gempa San Fernando melebihi dari *displacement* yang diizinkan sedangkan pada beban gempa yang lain *displacement* yang terjadi masih dibawah yang diizinkan. Maka dari nilai di atas diketahui bahwa struktur membutuhkan peredam untuk mengurangi respon dari gaya gempa yang diberikan.

4.3.3 Bangunan Lima Lantai dengan *Base Isolation*

Pada pembahasan bangunan satu lantai dengan *base isolation*, parameter tambahan dalam penghitungan respon struktur adalah massa dan kekakuan dari *base isolation* itu sendiri. Spesifikasi *base isolation* yang dipakai dapat dilihat pada table 4.10 berikut.

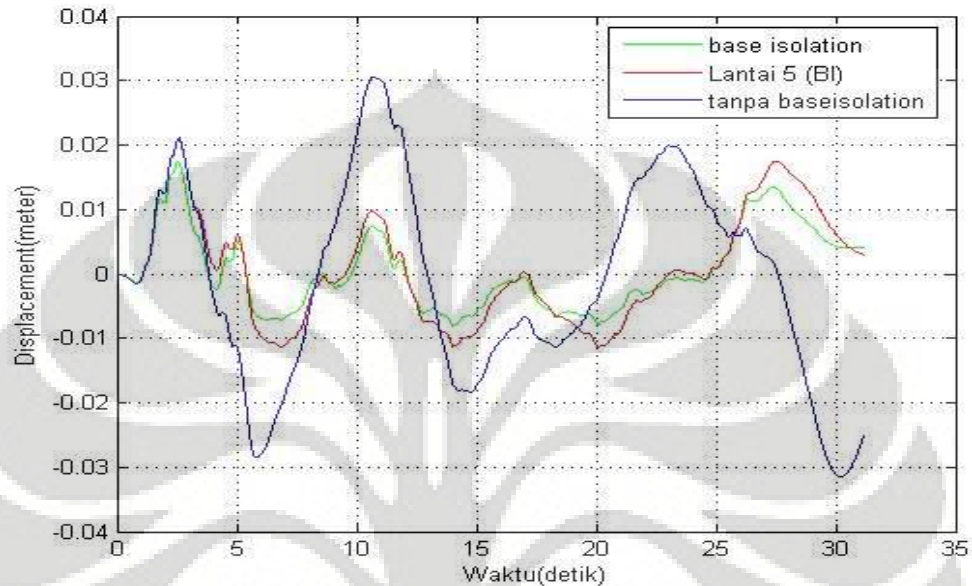
Tabel 4.10 Spesifikasi base isolation pada MDOF

No	Massa (N.s ² /m)	Tinggi (m)	Kekakuan	Nilai Kekakuan (N/m)
1	500	1	K1/10	171315
2	500	1	K1/50	34263
3	500	1	K1/100	17131.5

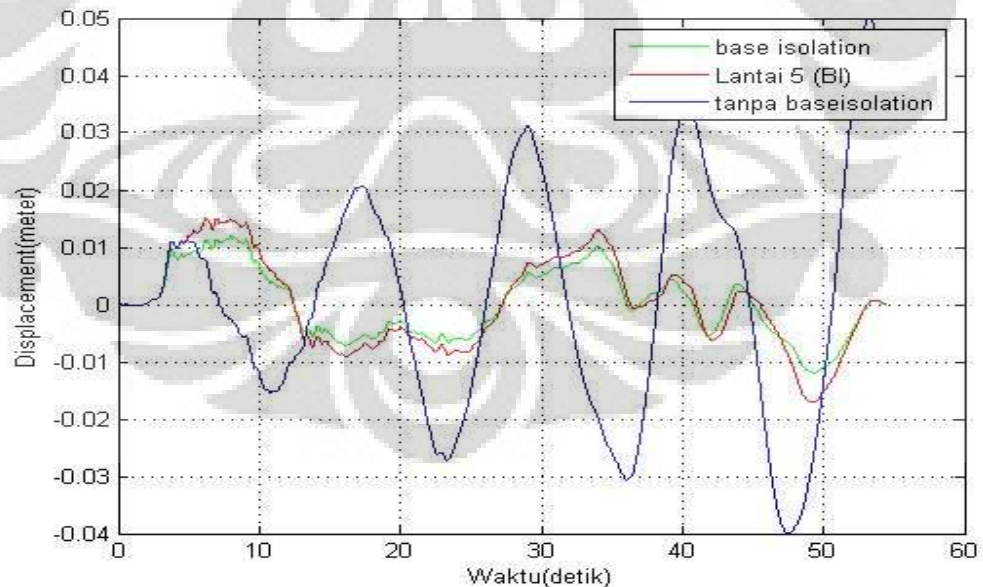
Berikut merupakan reaksi struktur yang menggunakan *base isolation* dengan variasi nilai K.

4.3.3.1. Kekakuan *base isolation* (K_b) = $K/10$

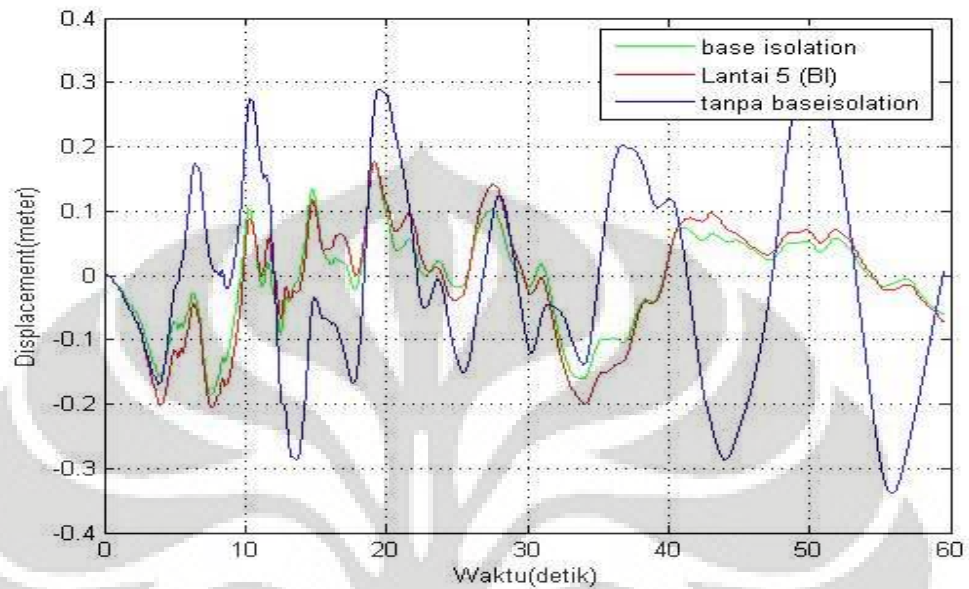
Respon dari struktur 5 lantai dengan menggunakan *base isolation* yang memiliki kekakuan $1/10$ dari kekakuan struktur pada lantai di atas *base isolation* dapat dilihat pada gambar 4.38 sampai dengan gambar 4.43.



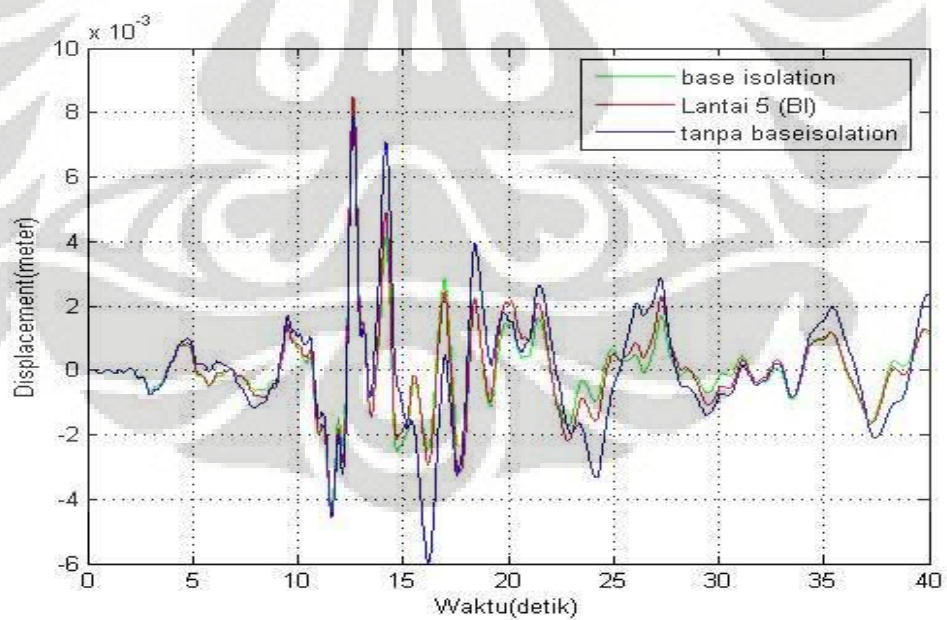
Gambar 4.38 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K/10$) terhadap beban gempa El Centro



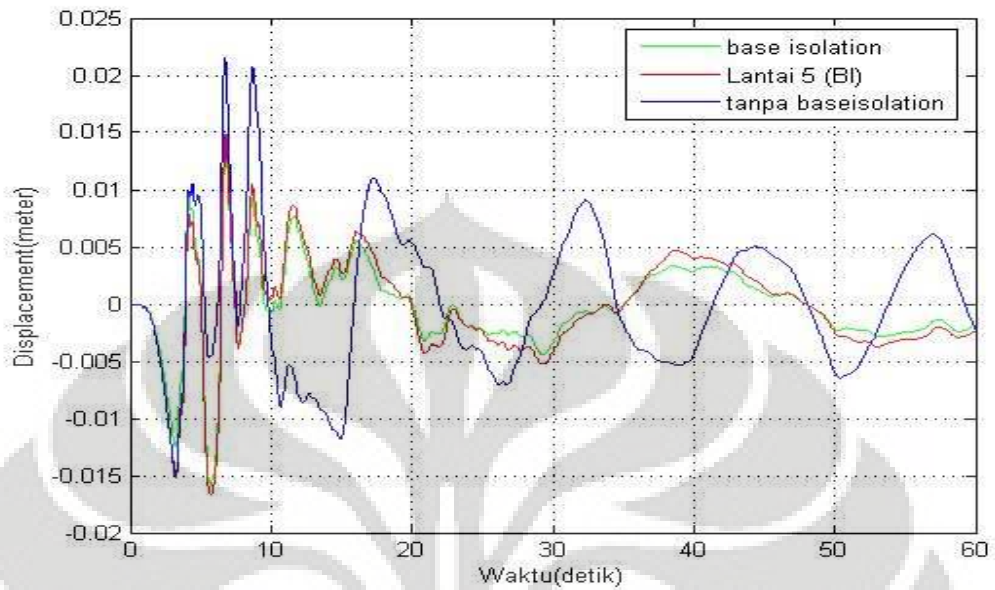
Gambar 4.39 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K/10$) beban gempa Kern



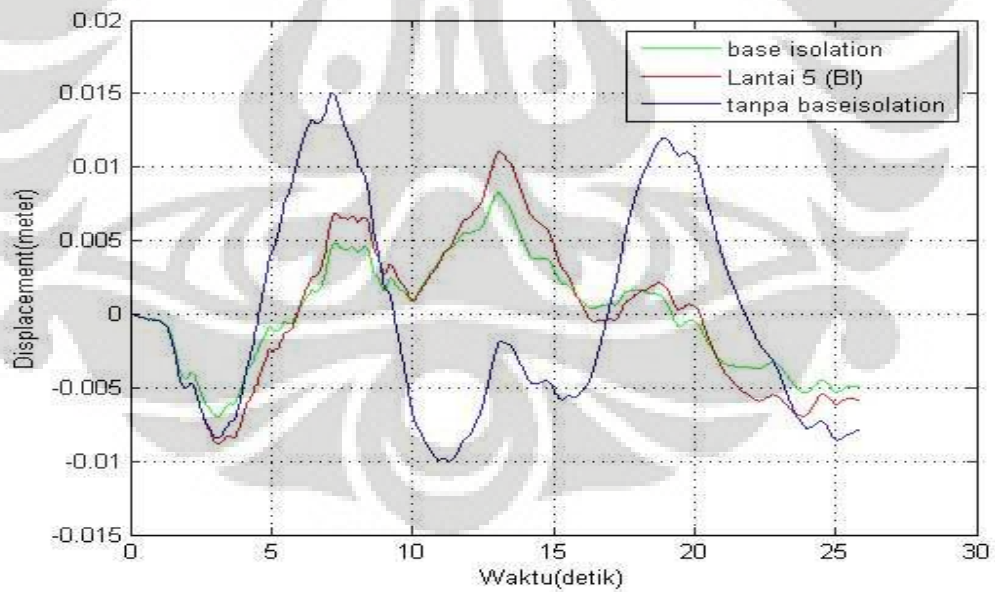
Gambar 4.40 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/10$)
beban San Fernando



Gambar 4.41 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/10$)
beban Loma Prieta



Gambar 4.42 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/10$)
beban Northridge

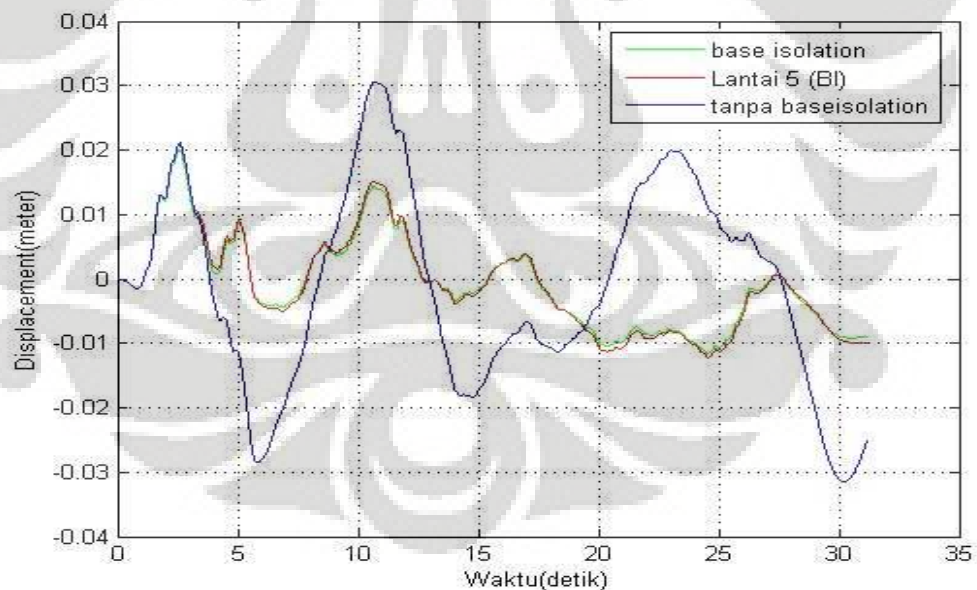


Gambar 4.43 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/10$)
beban Parkfield

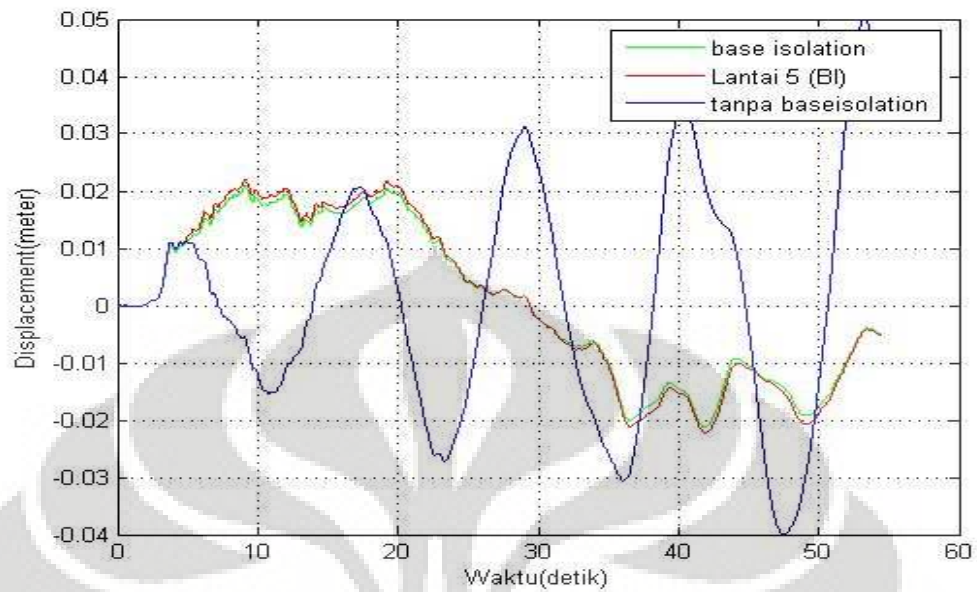
Pada gambar 4.38 sampai gambar 4.43 dapat dilihat bahwa *base isolation* memberikan pengaruh pada struktur MDOF yang menyebabkan respon dari struktur lebih kecil, sehingga *displacement* struktur lebih kecil. Pada gambar-gambar respon struktur MDOF dengan *base isolation* terdapat tiga garis yang menunjukkan perpindahan dari *base isolation*, perpindahan lantai 5 dengan *base isolation* dan garis yang terakhir adalah perpindahan lantai 5 tanpa *base isolation*. Pada gambar dapat dilihat struktur masih mengalami perpindahan selain dari perpindahan *base isolation* walau telah diredam. Dan pada beberapa gempa struktur masih mengalami *displacement* yang besar dibandingkan sebelum diberi *base isolation*, maka *base isolation* dengan nilai $K_b = K/10$ belum efektif dalam meredam struktur bangunan 5 lantai.

4.3.3.2. Kekakuan *base isolation* (K_b) = $K/50$

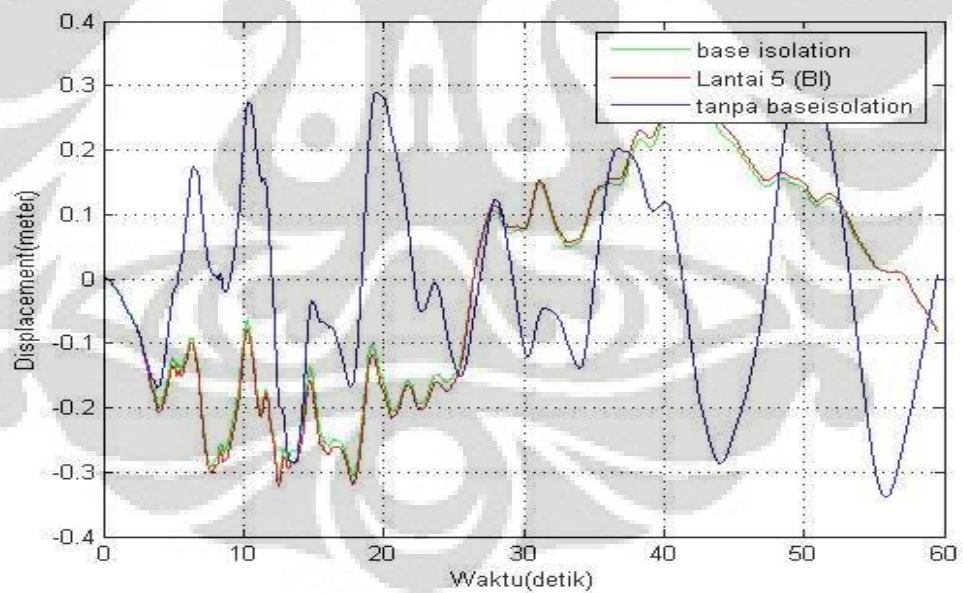
Respon dari struktur 5 lantai dengan menggunakan *base isolation* yang memiliki kekakuan $1/50$ dari kekakuan struktur pada lantai di atas *base isolation* dapat dilihat pada gambar 4.49 sampai dengan gambar 4.55.



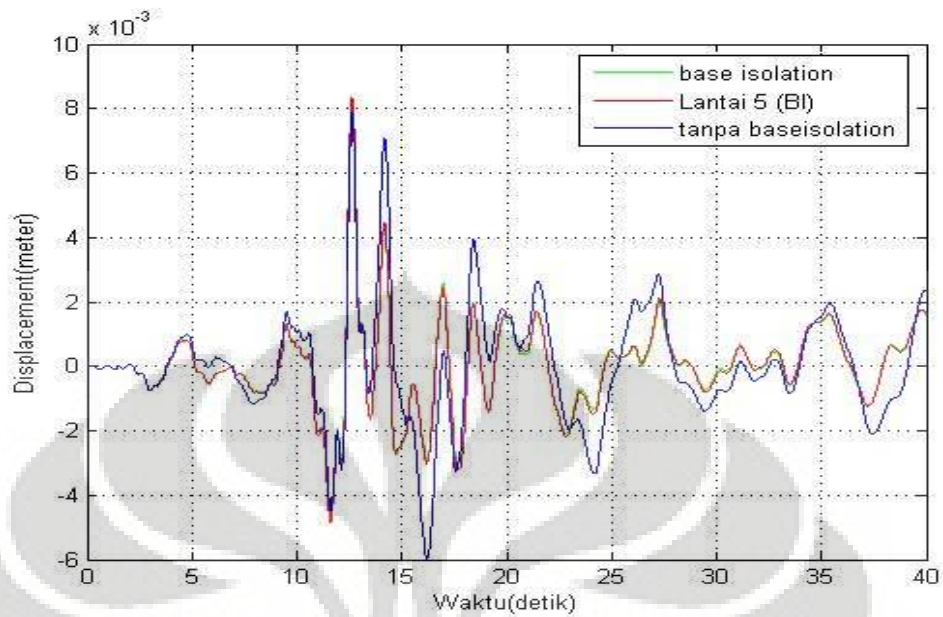
Gambar 4.44 Perpindahan struktur MDOF dengan *base isolation* ($K_b=K/50$) beban gempa El Centro



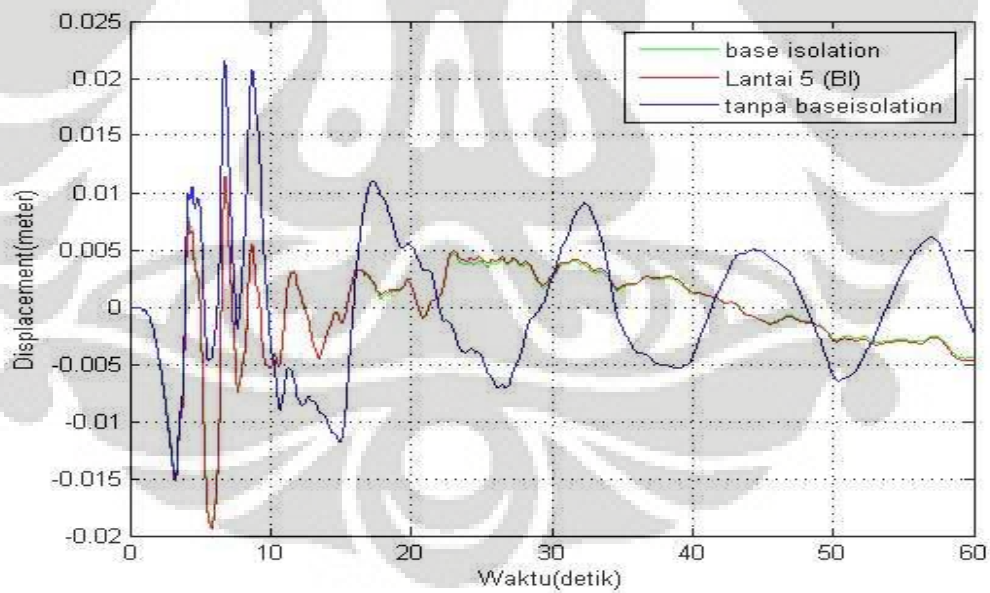
Gambar 4.45 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/50$)
beban gempa Kern



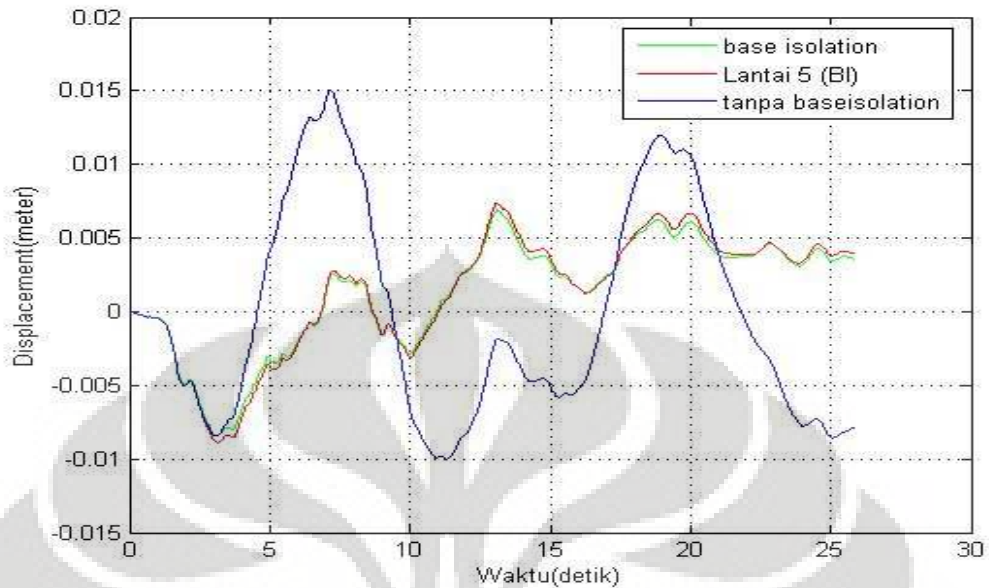
Gambar 4.46 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/50$)
beban San Fernando



Gambar 4.47 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/50$)
beban Loma Prieta



Gambar 4.48 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/50$)
beban Northridge

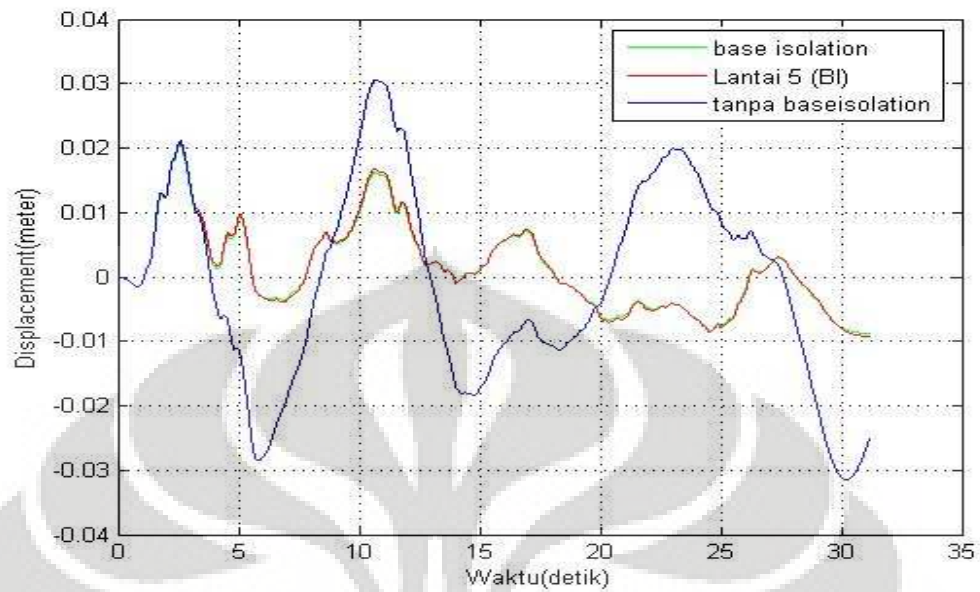


Gambar 4.49 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/50$) beban Parkfield

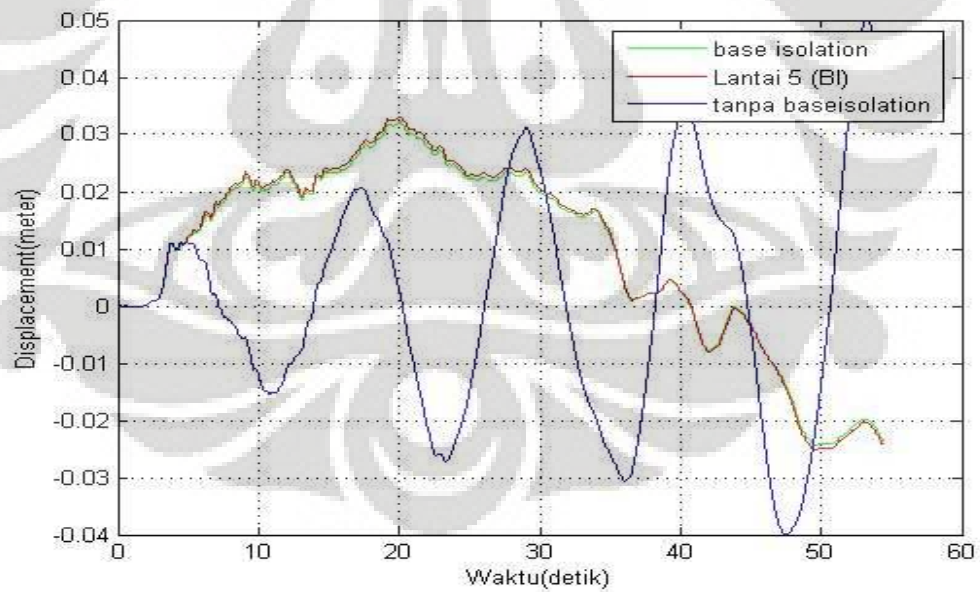
Pada gambar 4.42 sampai gambar 4.48 dapat dilihat bahwa *base isolation* memberikan pengaruh pada struktur MDOF dapat dilihat bahwa grafik respon yang digambarkan pada pada *base isolation* dan lantai 5 di atasnya hampir menumpuk yang membuktikan bahwa struktur hanya mengalami perpindahan sedikit, yang menyebabkan respon dari struktur lebih kecil, sehingga displacement struktur lebih kecil dibandingkan dengan bangunan tanpa *base isolation*.

4.3.3.3. Kekakuan *base isolation* (K_b) = $K_1/100$

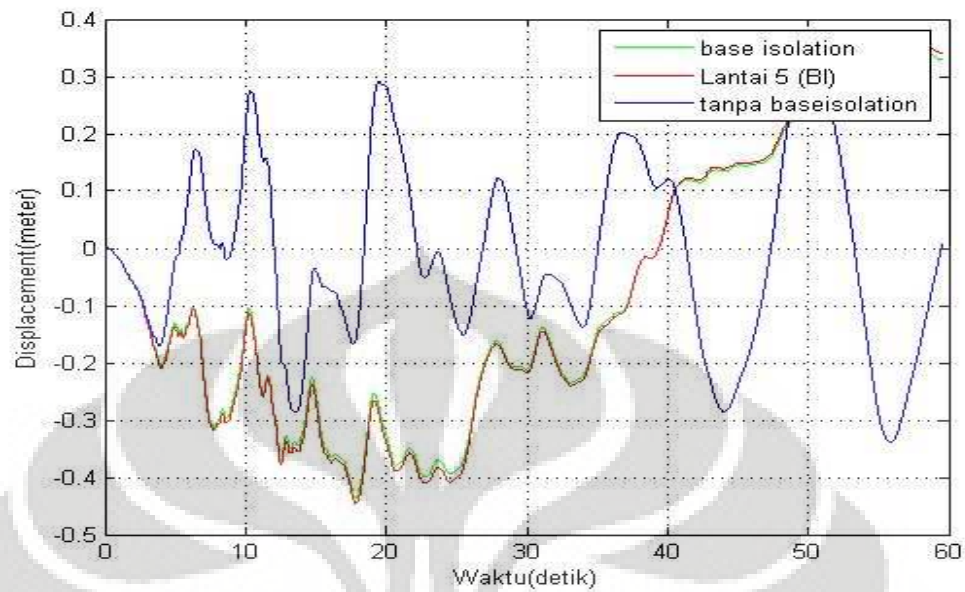
Respon dari struktur 5 lantai dengan menggunakan *base isolation* yang memiliki kekakuan 1/100 dari kekakuan struktur pada lantai di atas *base isolation* dapat dilihat pada gambar 4.49 sampai dengan gambar 4.54.



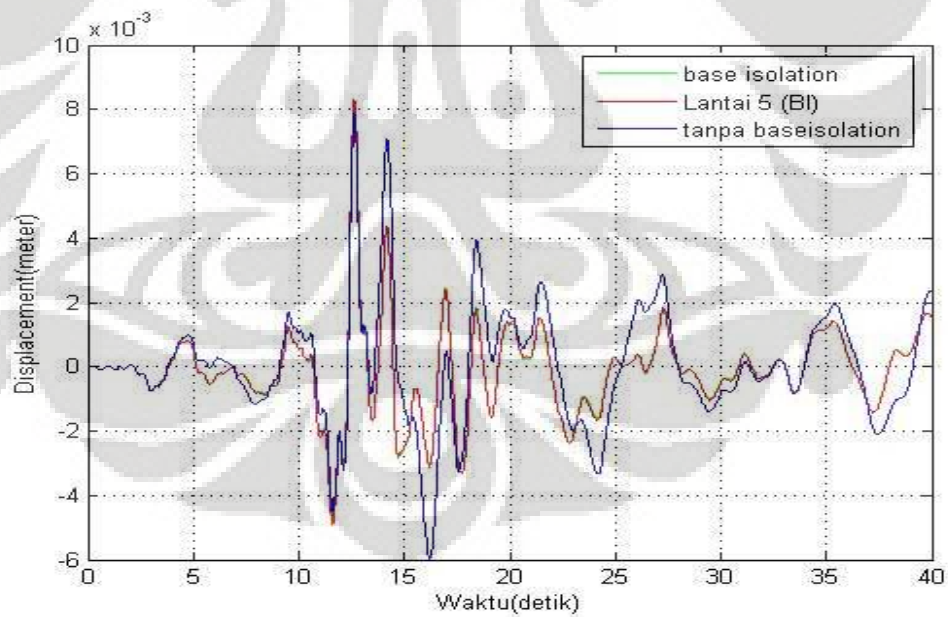
Gambar 4.50 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/100$)
beban gempa El Centro



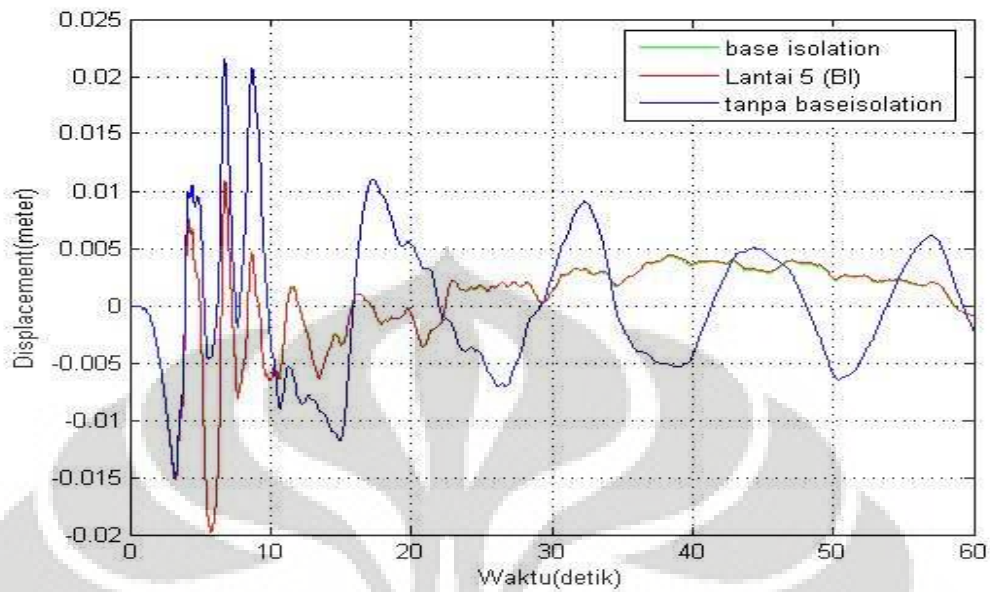
Gambar 4.51 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/100$)
terhadap beban gempa Kern



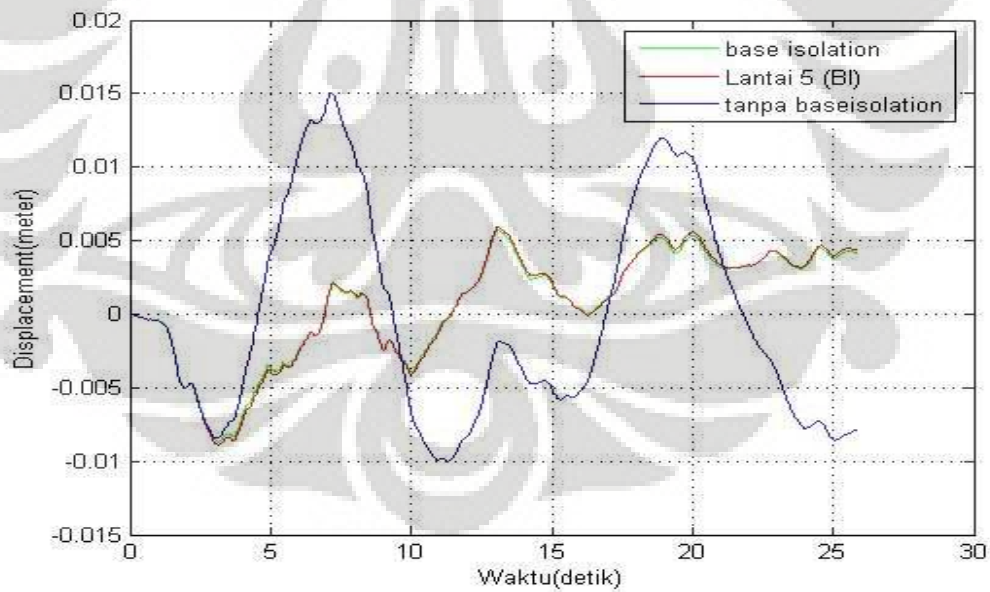
Gambar 4.52 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/100$) terhadap beban San Fernando



Gambar 4.53 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/100$) terhadap beban Loma Prieta



Gambar 4.54 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/100$) terhadap beban Northridge



Gambar 4.55 Perpindahan struktur MDOF dengan base isolation ($K_b=K_1/100$) terhadap beban Parkfield

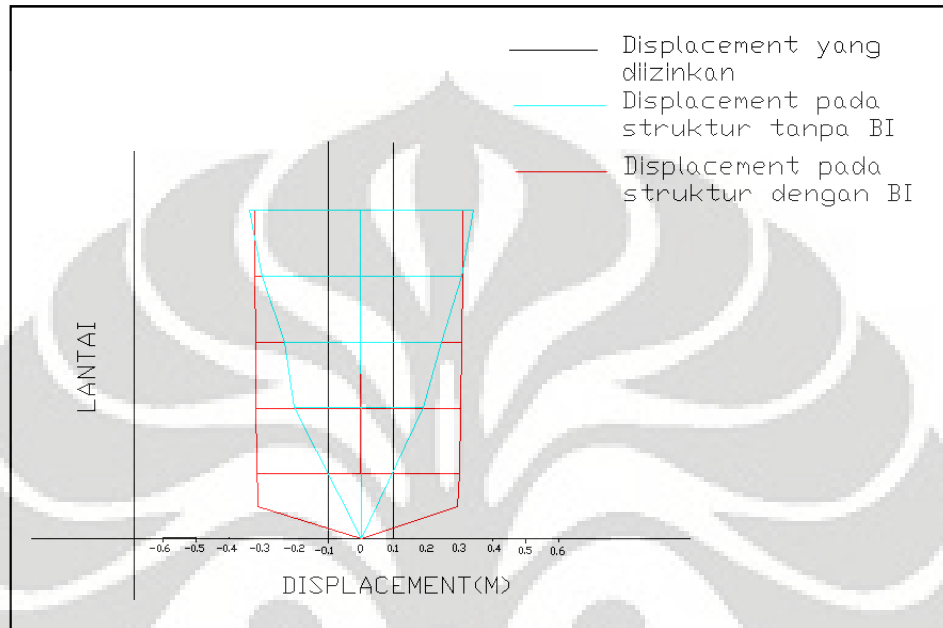
Pada gambar 4.49 sampai gambar 4.54 dapat dilihat bahwa *base isolation* dengan nilai kekakuan seper seratus dari kekakuan pada lantai 1 memberikan pengaruh pada struktur MDOF yang menyebabkan respon dari struktur lebih kecil, sehingga *displacement* dari tiap lantai struktur lebih kecil. Displacemen yang paling besar terjadi hanya pada base isolation.

Dapat dilihat terjadi penumpukan garis antara respon *base isolation* dengan respon struktur pada lantai 5, sehingga dapat diketahui bahwa perpindahan hanya terjadi pada *base isolation* sedangkan pada struktur tidak terjadi perpindahan, sehingga dapat dikatakan bahwa *base isolation* efektif untuk meredam struktur yang disebabkan oleh beban gempa.

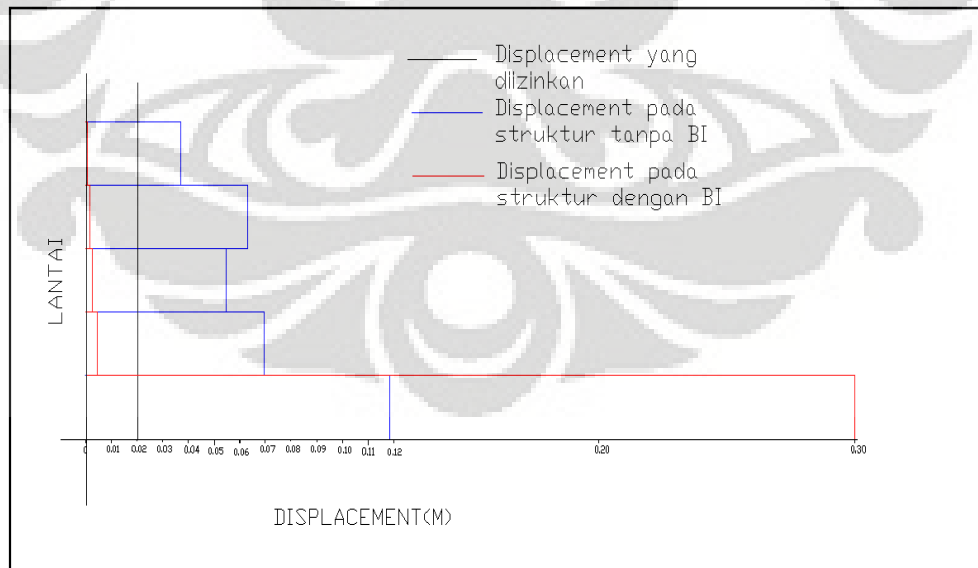
Sedangkan dari ketiga nilai kekakuan *base isolation* yang ada dapat dilihat bahwa *base isolation* yang paling efektif dalam meredam respon struktur 5 lantai pada studi kasus ini adalah *base isolation* yang memiliki kekakuan seper lima puluh dari kekakuan pada lantai di atasnya. Hal ini dilihat dari besar *displacement* yang terjadi pada struktur dan kekuatan dari *base isolation* sendiri. Pada *base isolation* yang memiliki kekakuan seperlima puluh dari kekakuan lantai di atasnya besar perpindahannya hampir sama dengan *displacement* yang terjadi pada *base isolation* dengan kekakuan seperseratus dari nilai kekakuan pada lantai satu. Jadi diambil nilai kekakuan *base isolation* yang lebih besar, karena semakin kecil nilai kekakuan dari *base isolation* maka semakin kecil nilai kekuatan dari material tersebut. Sehingga material *base isolation* kurang tahan terhadap gaya yang diberikan maka material kurang dapat tahan lama. Selain itu sangat mahal dalam pembuatan rubber bearing yang memiliki kekakuan yang kecil dengan kekuatan yang besar. Maka dibutuhkan material yang memiliki nilai kekakuan besar tetapi memiliki *displacement* yang disebabkan beban gempa kecil.

Pada respon struktur karena beban gempa San Fernando dengan menggunakan *base isolation* nilai K seperlima puluh dari kekakuan pada lantai di atas dapat dilihat perpindahan maksimum struktur pada lantai 5 adalah sebesar 0,015 meter sedangkan perpindahan maksimum pada struktur tanpa *base isolation* adalah 0,3248 meter maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan *base isolation* sangat efektif dalam meredam gempa sehingga struktur memiliki perpindahan setiap lantai yang lebih kecil dari perpindahan struktur tanpa *base isolation*.

Berikut merupakan gambar perpindahan maksimal struktur tanpa base isolation dan dengan base isolation dengan nilai $K_b=1/50 K$, yang dikarenakan oleh beban gempa San Fernando.



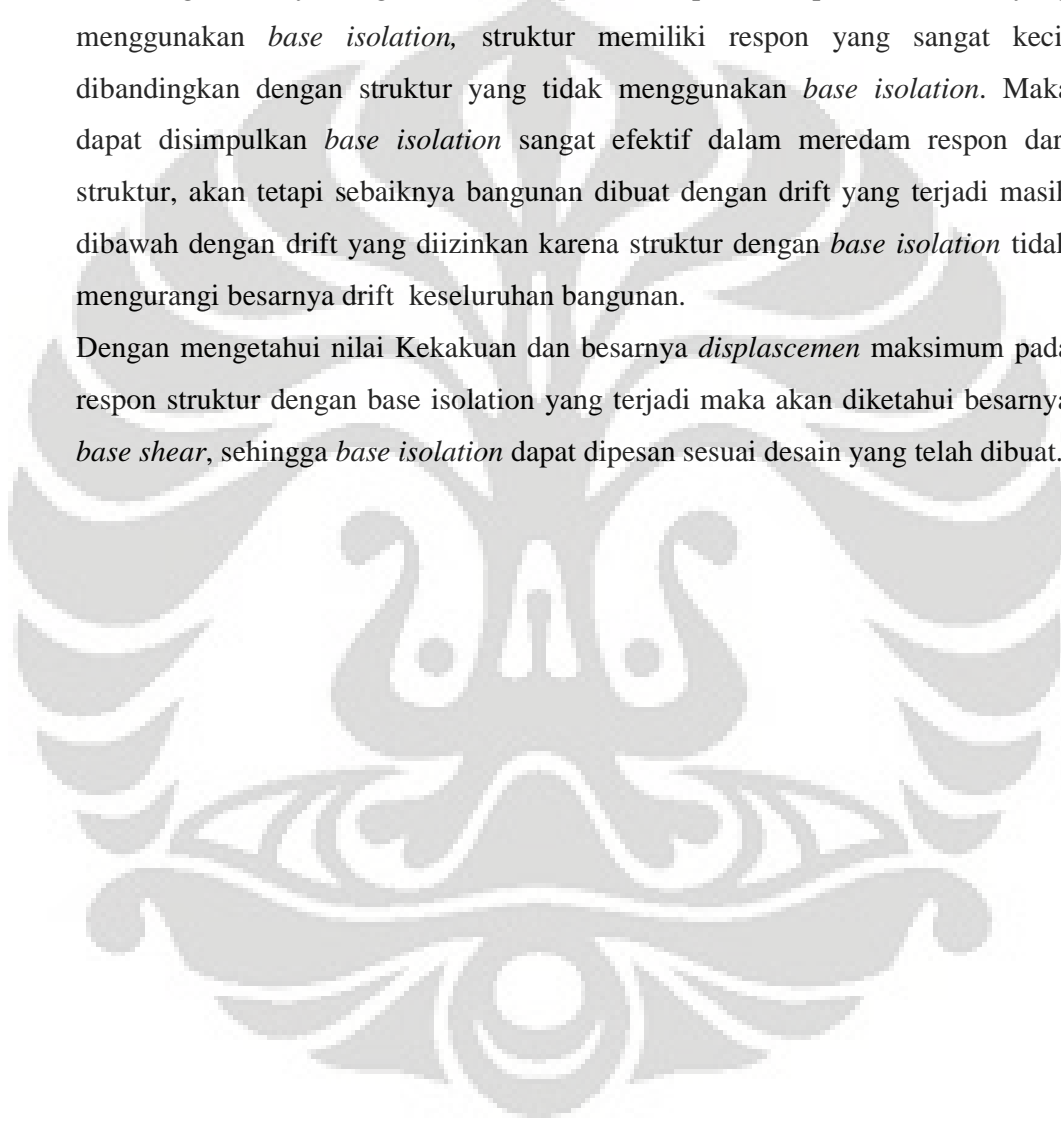
Gambar 4.56 Perbandingan *Displacement* maksimum pada bangunan tanpa *base isolation* dan bangunan dengan *base isolation*



Gambar 4.57 Perbandingan *Displacement* tiap lantai pada bangunan tanpa *base isolation* dan bangunan dengan *base isolation*

Pada gambar dapat dilihat dengan jelas bahwa penggunaan *base isolation* sangat berpengaruh pada struktur, pada perbandingan *displacement* maksimum yang terjadi pada seluruh struktur, besar *displacement* yang terjadi pada *base isolation* masih melebihi besar *displacement* yang diizinkan pada struktur, tetapi ketika kita menganalisanya dengan melihat *displacement* pada setiap lantai struktur yang menggunakan *base isolation*, struktur memiliki respon yang sangat kecil dibandingkan dengan struktur yang tidak menggunakan *base isolation*. Maka dapat disimpulkan *base isolation* sangat efektif dalam meredam respon dari struktur, akan tetapi sebaiknya bangunan dibuat dengan drift yang terjadi masih dibawah dengan drift yang diizinkan karena struktur dengan *base isolation* tidak mengurangi besarnya drift keseluruhan bangunan.

Dengan mengetahui nilai Kekakuan dan besarnya *displascemen* maksimum pada respon struktur dengan *base isolation* yang terjadi maka akan diketahui besarnya *base shear*, sehingga *base isolation* dapat dipesan sesuai desain yang telah dibuat.



BAB V PENUTUP

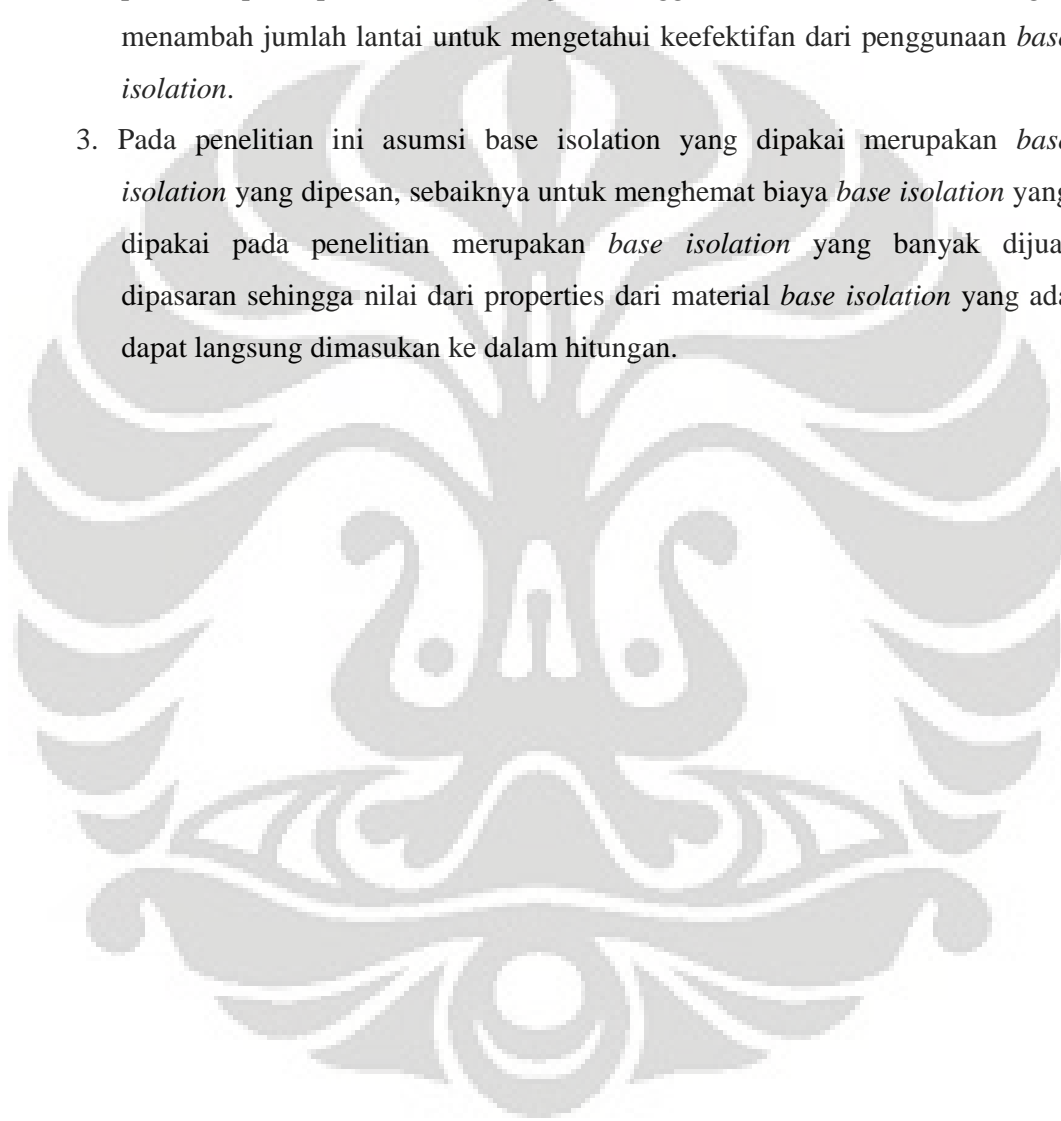
5.1 Kesimpulan

Dari dari keseluruhan laporan tentang penggunaan *base isolation* sebagai peredam pasif pada stuktur bangunan bertingkat yang dikenakan beban gempa maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. *Base Isolation* berpengaruh sangat besar pada stuktur, dengan memberikan *base isolation* yang berupa *Low Damper Rubber Bearing* pada stuktur maka respon akibat beban gempa yang diberikan dari stuktur dapat diperkecil sehingga kerusakan pada stuktur yang disebabkan oleh beban gempa dapat dimilimalisasi. Penggunaan *base isolation* tidak hanya berpengaruh pada stuktur SDOF tetapi juga berpengaruh pada stuktur MDOF, pada studi kasus ini adalah 5 lantai.
2. Dalam perhitungan dinamik yang harus diperhatikan adalah nilai massa, kekakuan dan redaman, selain itu beban gempa yang diberikan, karena setiap beban gempa memiliki karakteristik yang berbeda dan menyebabkan respon stuktur yang berbeda pula.
3. *Base Isolation* yang paling efektif sebagai peredam stuktur pada studi kasus ini dengan berbagai macam jenis gempa yang diberikan adalah *base isolation* yang memiliki nilai kekakuan seperlima puluh dari kekakuan stuktur pada lantai di atas *base isolation*. Hal ini berlaku pada bangunan yang dianalisa sebagai bangunan geser dengan ketentuan sesuai dengan ketentuan yang ada pada penelitian ini.
4. Stuktur dengan *base isolation* tidak dapat mengurangi drift pada keseluruhan bangunan melainkan dapat mengurangi *displacement* yang terjadi pada tiap lantai stuktur di atas *base isoalation*. Maka pada desain awal harus diperhatikan bahwa drift yang terjadi pada stuktur tidak lebih dari drift yang diperbolehkan, sehingga penggunaan *base isolation* efektif dalam meredam respon bangunan.
5. Dengan mengetahui nilai kekakuan dan *displacement* yang terjadi maka akan dapat dicari *base shear* sehingga *base isolation* dapat dibuat.

5.2 Saran

1. Hendaknya dilakukan permodelan atau studi eksperimental struktur dengan *base isolation* pada laboratorium sehingga dapat dilihat dengan lebih jelas pengaruh penggunaan *base isolation* pada struktur.
2. Hendaknya dilakukan penelitian lebih lanjut tentang penggunaan sistem peredam pasif pada struktur dengan menggunakan *base isolation* dengan menambah jumlah lantai untuk mengetahui keefektifan dari penggunaan *base isolation*.
3. Pada penelitian ini asumsi *base isolation* yang dipakai merupakan *base isolation* yang dipesan, sebaiknya untuk menghemat biaya *base isolation* yang dipakai pada penelitian merupakan *base isolation* yang banyak dijual dipasaran sehingga nilai dari properties dari material *base isolation* yang ada dapat langsung dimasukkan ke dalam hitungan.



DAFTAR PUSTAKA

1. Chopra, Anil K., 1995, Dynamics of Structures, Prentice Hall, Mc Graw, Prentice-Hall Inc, New Jersey.
2. Clough, Ray W. and Penzien, J., 1993, Dynamics of Structure, Mc Graw, Singapore.
3. Setio, Herlien D, 2008, Catatan Kuliah Dinamika Struktur, Penerbit ITB, Bandung.
4. Paz, Mario, 1995, Structural Dynamics, Van Nostrand.
5. Skinner, R.I., W.H.Robinson, dan G.H.McVerry, 1993, An Introduction to Seismic Isolation, John Wiley & Sons, England.
6. Ogawa, Katsuhito, 1994, Solving Control Engineering Problems with MATLAB, Prentice-Hall, New Jersey.
7. El Jabbar, Fourier and Ibnu F.,2008, Fundamental Matlab Programmer, Comlabs ITB, Bandung.
8. Tim Penyusun, 2002, SNI 03-xxx-2002, Tatacara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, Badan Standar Nasional.
9. Ramallo. C. J, 2002, Smart Base Isolation System, Journal of Engineering Mechanics Oktober 2002.
10. Kelly, James M. "Base Isolation: Origins and Development." National Information Service for Earthquake Engineering (NISEE) Website. 28 October, 1998. 25 March, 2004.
<<http://nisee.berkeley.edu/lessons/kelly.html>>

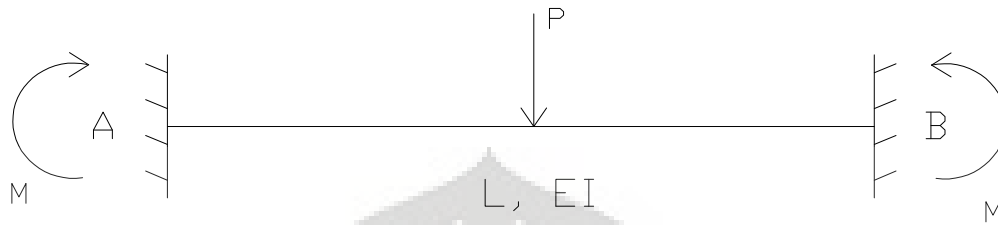


LAMPIRAN 1
TURUNAN KEKAKUAN

Universitas Indonesia

Lampiran 1

Turunan Sederhana Rumus Kekakuan



Pada Penelitian ini nilai kekakuan berasal dari kekakuan kolom dengan perletakan jepit-jepit. Maka dengan menggunakan rumusan dari Slope-Deflection dapat diturunkan secara sederhana nilai dari kekakuan (K) jepit-jepit adalah :

Momen Jepit-Jepit:

$$M = \frac{6EI\Delta}{L^2}$$

Atau:

$$M = \frac{PL}{2}$$

Kekakuan:

$$K = \frac{P}{\Delta}$$

Maka dengan memasukan persamaan kedua rumusan momen pada kolom, akan didapat nilai kekakuan:

$$M = M$$

$$\frac{PL}{2} = \frac{6EI\Delta}{L^2}$$

$$\frac{P}{\Delta} = \frac{12EI}{L^3}$$

$$K = \frac{12EI}{L^3}$$

Dengan:

- K = Kekakuan
- M = Momen pada kolom
- P = Gaya yang diberikan
- L = Tinggi Kolom
- E = Modulus Elastisitas
- I = Momen Inersia Penampang
- Δ = Perpindahan yang terjadi(delta)



Universitas Indonesia

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% PERHITUNGAN RESPON STRUKTUR %%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% CREATE TRIA PURNAMA SARI %%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% 0405010701/15008901 %%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Depok-Bandung %%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% 2009 %%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```
clc;clear all;close all;
```

```
%MEMASUKAN DATA GEMPA
```

```
load ('ELCENTRO.txt');
load ('KERN.txt');
load('SANFERNANDO.txt');
load('LOMAPRITA.txt');
load('NORTHRIDGE.txt');
load('MEXICO.txt');
load('PARKFIELD.txt');
load('SINUS.txt')
```

```
ag1=([ELCENTRO]);
tt1=0:0.02:31.16;
ndata1=length(ag1)-1;
```

```
ag2=([KERN]);
tt2=0:0.02:54.36;
ndata2=length(ag2)-1;
```

```
ag3=([SANFERNANDO]);
tt3=0:0.02:59.50;
ndata3=length(ag3)-1;
```

```
ag4=([LOMAPRITA]);
tt4=0:0.02:39.98;
ndata4=length(ag4)-1;
```

```
ag5=([NORTHRIDGE]);
tt5=0:0.02:59.96;
ndata5=length(ag5)-1;
```

```
ag6=([MEXICO]);
tt6=0:0.02:180.28;
ndata6=length(ag6)-1;
```

```
ag7=([PARKFIELD]);
tt7=0:0.02:25.82;
ndata7=length(ag7)-1;
```

```
ag8=([SINUS]);
tt8=0:0.02:10;
ndata8=length(ag8)-1;
```

```
Pilihan=menu('Silikan Pilih Menu di Bawah ini',...
'SDOF TANPA BASE ISOLATION',...
'SDOF DENGAN BASE ISOLATION',...
'MDOF TANPA BASE ISOLATION',...
'MDOF DENGAN BASE ISOLATION',...

```

```
'LIHAT GEMPA ELCENTRO',...
'LIHAT GEMPA KERN',...
'LIHAT GEMPA SANFERNANDO',...
'LIHAT GEMPA LOMAPRIETA',...
'LIHAT GEMPA NORTHRIDGE',...
'LIHAT GEMPA MEXICO',...
'LIHAT GEMPA PARKFIELD',...
'LIHAT BEBAN SINUS',...
'EXIT MATLAB')
```

```
switch Pilihan;
case(1)
    clc;
    input PROPERTI STRUKTUR
    M1=input('Masukkan Massa Lantai(N)=');
    K1=input('Masukkan Kekakuan Struktur(N/m)=');

    %KHUSUS STUDI KASUS
    %M1= 44000;%Massa Struktur
    %K1=107072;%Kekakuan Struktur
    psi=10;%Redaman(psi)

    %PERHITUNGAN PROPERTI STRUKTUR
    M=M1;
    K=K1;
    [v,d]=eig(inv(M)*K);
    W=sqrt(d),%disp(W);
    F=W/(2*pi), T=(2*pi)/W,
    alpha=(0.01*psi*2*v*M*v*W)/(v*K*v),%disp(alpha);
    C=alpha*K,

    %SWITCHING JENIS GEMPA
    gempa=menu('Silakan Pilih Jenis Beban Gempa',...
    'ELCENTRO',...
    'KERN',...
    'SANFERNANDO',...
    'LOMAPRIETA',...
    'NORTHRIDGE',...
    'MEXICO',...
    'PARKFIELD',...
    'BEBAN SINUS');

    switch gempa;

    case(1)
        ag=ag1;
        tt=tt1;
        ndata=ndata1;

    case(2)
        ag=ag2;
        tt=tt2;
        ndata=ndata2;

    case(3)
        ag=ag3;
        tt=tt3;
        ndata=ndata3;
```



```
case(4)
    ag=ag4;
    tt=tt4;
    ndata=ndata4;
```

```
case(5)
    ag=ag5;
    tt=tt5;
    ndata=ndata5;
```

```
case(6)
    ag=ag6;
    tt=tt6;
    ndata=ndata6;
```

```
case(7)
    ag=ag7;
    tt=tt7;
    ndata=ndata7;
```

```
case(8)
    ag=ag8;
    tt=tt8;
    ndata=ndata8;
end
```

```
%PERHITUNGAN RESPON STRUKTUR DENGAN RUNGE-KUTTA%
```

```
dt=0.02;
```

```
t=0;
```

```
x=[0];
```

```
v=[0];
```

```
perpindahan1(1)=x;
```

```
kecepatan1(1)=v;
```

```
for i=1:ndata;
```

```
    t1=t;
```

```
    x1=x;
```

```
    v1=v;
```

```
    f1=inv(M)*((-1)*M*ag(i)-(C*v1)-(K*x1));
```

```
    t2=t+dt/2;
```

```
    x2=x+v1*dt/2;
```

```
    v2=v+f1*dt/2;
```

```
    f2=inv(M)*((-1)*M*0.5*(ag(i)+ag(i+1))-(C*v2)-(K*x2));
```

```
    t3=t+dt/2;
```

```
    x3=x+v2*dt/2;
```

```
    v3=v+f2*dt/2;
```

```
    f3=inv(M)*((-1)*M*0.5*(ag(i)+ag(i+1))-(C*v3)-(K*x3));
```

```
    t4=t+dt/2;
```

```
    x4=x+v3*dt/2;
```

```
    v4=v+f3*dt/2;
```

```
    f4=inv(M)*((-1)*M*ag(i+1))-(C*v4)-(K*x4));
```

```
x=x+1/6*dt*(v1+2*v2+2*v3+v4);
v=v+1/6*dt*(f1+2*f2+2*f3+f4);
```

```
t=t+0.02;
```

```
perpindahan(i+1)=x;
kecepatan(i+1)=v*10;
```

```
end
```

```
%NILAI MAKSIMUM DARI RESPON%
```

```
disp(max(abs(perpindahan)));
disp(max(abs(kecepatan)));
disp(max(abs(ag*10)));
```

```
%PLOT RESPON STRUKTUR DALAM GRAFIK;
```

```
figure(1);subplot(1,1,1),plot(tt,perpindahan(1,:)),xlabel('Waktu(detik)'),ylabel('Displacemen
t(meter)'),hold on,grid on;
figure(2);subplot(1,1,1),plot(tt,kecepatan*10),xlabel('Waktu(detik)'),ylabel('Kecepatan(met
er/s)'),grid on;
```

```
case(2),
```

```
clc;
```

```
M1=input('Masukkan Massa Lantai 1(N)M1=');
Mb=input('Masukkan Massa Baseisolation (N)mb=');
K1=input('Masukkan Nilai Kekakuan Struktur(N/m)=');
Kb=input('Masukkan Nilai Kekakuan Baseisolation(N/m)=');
```

```
% KHUSUS STUDI KASUS
```

```
%M1=44000;%Massa Struktur
%Mb=100;%Massa Base isolation
%K1=107072;%Kekakuan Struktur
%Kb=K1/50;%Kekakuan Base Isolation
```

```
%SWITCHING JENIS GEMPA%
```

```
gempa=menu('Silakan Pilih Jenis Beban Gempa',...
'ELCENTRO',...
'KERN',...
'SANFERNANDO',...
'LOMAPRITA',...
'NORTHRIDGE',...
'MEXICO',...
'PARKFIELD',...
'BEBAN SINUS');
```

```
switch gempa;
```

```
case(1)
```

```
ag=ag1;
tt=tt1;
ndata=ndata1;
```

```
case(2)
```

```
ag=ag2;
tt=tt2;
ndata=ndata2;
```

```
case(3)
```

```
ag=ag3;
```

```

tt=tt3;
ndata=ndata3;

case(4)
ag=ag4;
tt=tt4;
ndata=ndata4;

case(5)
ag=ag5;
tt=tt5;
ndata=ndata5;

case(6)
ag=ag6;
tt=tt6;
ndata=ndata6;

case(7)
ag=ag7;
tt=tt7;
ndata=ndata7;

case(8)
ag=ag8;
tt=tt8;
ndata=ndata8;

end

for Kb=Kb;
M1=M1;
K1=K1;
Mb=Mb;
psi=10;

M=[Mb 0
0 M1];

K=[Kb+K1 -K1
-K1 K1];

[V,D]=eig(inv(M)*K);
W=sqrt(D),%disp(W);
alpha=(0.01*psi*2*V'*M*V*W)/(V'*K*V),%disp(alpha);
C=alpha*K;
Wb=sqrt(Kb/(M1+Mb));
Cb=0.1*2*(M1+Mb)*Wb;
Tb=(2*pi)/Wb;

C=alpha*K1;
dt=0.02;
t=0;
x=[0
0];
v=[0
0];

```

```

perpindahan2(:,1)=x;
kecepatan2(:,1)=v;

l=ones(2,1);
for i=1:ndata;

    t1=t;
    x1=x;
    v1=v;
    f1=inv(M)*((-1)*M*I*ag(i)-(C*v1)-(K*x1));

    t2=t+dt/2;
    x2=x+v1*dt/2;
    v2=v+f1*dt/2;
    f2=inv(M)*((-1)*M*I*0.5*(ag(i)+ag(i+1))-(C*v2)-(K*x2));

    t3=t+dt/2;
    x3=x+v2*dt/2;
    v3=v+f2*dt/2;
    f3=inv(M)*((-1)*M*I*0.5*(ag(i)+ag(i+1))-(C*v3)-(K*x3));

    t4=t+dt/2;
    x4=x+v3*dt/2;
    v4=v+f3*dt/2;
    f4=inv(M)*((-1)*M*I*ag(i+1))-(C*v4)-(K*x4);

    x=x+1/6*dt*(v1+2*v2+2*v3+v4);
    v=v+1/6*dt*(f1+2*f2+2*f3+f4);

    t=t+0.02;

    perpindahan2(:,i+1)=x;
    kecepatan2(:,i+1)=v*10;

end

M=M1;
K=K1;
[V,D]=eig(inv(M)*K);
W=sqrt(D);disp(W);
alpha=(0.01*psi^2*V'*M*V*W)/(V'*K*V);disp(alpha);
C=alpha*K;

%PERHITUNGAN RESPON STRUKTUR DENGAN RUNGE-KUTTA%
dt=0.02;
t=0;
x=[0];
v=[0];

perpindahan1(1)=x;
kecepatan1(1)=v;

for i=1:ndata;
    t1=t;
    x1=x;
    v1=v;
    f1=inv(M)*((-1)*M*ag(i)-(C*v1)-(K*x1));

```

```

t2=t+dt/2;
x2=x+v1*dt/2;
v2=v+f1*dt/2;
f2=inv(M)*((-1)*M*0.5*(ag(i)+ag(i+1))-(C*v2)-(K*x2));

t3=t+dt/2;
x3=x+v2*dt/2;
v3=v+f2*dt/2;
f3=inv(M)*((-1)*M*0.5*(ag(i)+ag(i+1))-(C*v3)-(K*x3));

t4=t+dt/2;
x4=x+v3*dt/2;
v4=v+f3*dt/2;
f4=inv(M)*((-1)*M*ag(i+1))-(C*v4)-(K*x4);

x=x+1/6*dt*(v1+2*v2+2*v3+v4);
v=v+1/6*dt*(f1+2*f2+2*f3+f4);

t=t+0.02;

perpindahan(i+1)=x;
kecepatan(i+1)=v*10;

end

%NILAI MAKSIMUM DARI RESPON%
disp(max(abs(perpindahan2(1,:))));
disp(max(abs(perpindahan2(2,:))));
disp(max(abs(perpindahan(1,:))));
disp(max(abs(kecepatan(1,:))));

%PLOT RESPON STRUKTUR DALAM GRAFIK
figure(1);tria=plot(tt,perpindahan2(1,:),'r',
tt,perpindahan2(2,:),'g',tt,perpindahan(1,:),'b',xlabel('Waktu(detik)'),ylabel('Displacement(
meter)'),hold on,grid on,legend('Baseisolation ','Dengan Baseisolation lantai 1','Tanpa
baseisolation')
figure(2);subplot(1,1,1),plot(tt,kecepatan2(1,:),tt,kecepatan(1,:),xlabel('Waktu(detik)'),ylab
el('Kecepatan(meter/s)'),grid on;
end

case(3)
clc;
M1=input('Masukkan Massa lantai 1(N)M1=');
M2=input('Masukkan Massa lantai 2(N)M2=');
M3=input('Masukkan Massa lantai 3(N)M3=');
M4=input('Masukkan Massa lantai 4(N)M4=');
M5=input('Masukkan Massa lantai 5(N)M5=');
K1=input('Masukkan Nilai Kekakuan Struktur(N/m)=');

%KHUSUS STUDI KASUS
%M1=53000;M2=M1;M3=M1;M4=M1;M5=M1;
%K=1713150;
%K1=K;
%K2=K;K3=K;K4=K;K5=K;

%SWITCHING JENIS GEMPA
gempa=menu('Silahkan Pilih Jenis Beban Gempa',...
'ELCENTRO',...

```

```

'KERN',...
'SANFERNANDO',...
'LOMAPRITA',...
'NORTHRIDGE',...
'MEXICO',...
'PARKFIELD',...
'BEBAN SINUS');

switch gempa;
case(1)
ag=ag1;
tt=tt1;
ndata=ndata1;
case(2)
ag=ag2;
tt=tt2;
ndata=ndata2;
case(3)
ag=ag3;
tt=tt3;
ndata=ndata3;
case(4)
ag=ag4;
tt=tt4;
ndata=ndata4;
case(5)
ag=ag5;
tt=tt5;
ndata=ndata5;
case(6)
ag=ag6;
tt=tt6;
ndata=ndata6;
case(7)
ag=ag7;
tt=tt7;
ndata=ndata7;
case(8)
ag=ag8;
tt=tt8;
ndata=ndata8;
end

M=[M1 0 0 0 0
0 M2 0 0 0
0 0 M3 0 0
0 0 0 M4 0
0 0 0 0 M5];

K=[K1+K2 -K2 0 0 0
-K2 K2+K3 -K3 0 0
0 -K3 K3+K4 -K4 0
0 0 -K4 K4+K5 -K5
0 0 0 -K5 K5];
psi=10;

[V,D]=eig(inv(M)*K);

```

```

W=sqrt(D),%disp(W);
alpha=(0.01*psi*2*V*M*V*W)/(V*K*V),%disp(alpha);
C=alpha*K,

dt=0.02;
t=0;
x=[0
0
0
0
0];
v=[0
0
0
0
0];

perpindahan3(:,1)=x;
kecepatan3(:,1)=v*10;

l=ones(5,1);
for i=1:ndata;

t1=t;
x1=x;
v1=v;
f1=inv(M)*((-1)*M*I*ag(i)-(C*v1)-(K*x1));

t2=t+dt/2;
x2=x+v1*dt/2;
v2=v+f1*dt/2;
f2=inv(M)*((-1)*M*I*0.5*(ag(i)+ag(i+1))-(C*v2)-(K*x2));

t3=t+dt/2;
x3=x+v2*dt/2;
v3=v+f2*dt/2;
f3=inv(M)*((-1)*M*I*0.5*(ag(i)+ag(i+1))-(C*v3)-(K*x3));

t4=t+dt/2;
x4=x+v3*dt/2;
v4=v+f3*dt/2;
f4=inv(M)*((-1)*M*I*ag(i+1)-(C*v4)-(K*x4));

x=x+1/6*dt*(v1+2*v2+2*v3+v4);
v=v+1/6*dt*(f1+2*f2+2*f3+f4);

t=t+0.02;

perpindahan3(:,i+1)=x;
kecepatan3(:,i+1)=v*10;

end

%NILAI MAKSIMUM DARI RESPON%
disp(max(perpindahan3(5,:)));
disp(max(perpindahan3(4,:)));
disp(max(perpindahan3(3,:)));
disp(max(perpindahan3(2,:)));

```

```

disp(max(perpindahan3(1,:)));
disp(min(perpindahan3(5,:)));
disp(min(perpindahan3(4,:)));
disp(min(perpindahan3(3,:)));
disp(min(perpindahan3(2,:)));
disp(min(perpindahan3(1,:)));
disp(max(abs(kecepatan3(1,:))));
disp(max(abs(ag)));

%PLOT RESPON STRUKTUR DALAM GRAFIK
figure(1);tria=plot(tt,perpindahan3,xlabel('Waktu(detik)'),ylabel('Displacement(meter)'),grid on, legend('Lantai1','Lantai2','Lantai3','Lantai4','Lantai5');
figure(2);subplot(1,1,1),plot(tt,kecepatan3,xlabel('Waktu(detik)'),ylabel('Kecepatan(meter/s)'),grid on;

case(4)
clc;
M1=input('Masukkan Massa lantai 1(N)M1=');
M2=input('Masukkan Massa lantai 2(N)M2=');
M3=input('Masukkan Massa lantai 3(N)M3=');
M4=input('Masukkan Massa lantai 4(N)M4=');
M5=input('Masukkan Massa lantai 5(N)M5=');
Mb=input('Masukkan Massa baseisolation (N)Mb=');
K1=input('Masukkan Nilai Kekakuan Struktur(N/m)=');
Kb=input('Masukkan Nilai Kekakuan baseisolation (N/m)=');

%KHUSUS STUDI KASUS
%M1=53000;M2=M1;M3=M1;M4=M1;M5=M1;
%Mb= 100*5;
%K1=1713150;
%Kb=5*K1/100;

%SWITCHING JENIS GEMPA
gempa=menu('Silakan Pilih Jenis Beban Gempa',...
'ELCENTRO',...
'KERN',...
'SANFERNANDO',...
'LOMAPRITA',...
'NORTHRIDGE',...
'MEXICO',...
'PARKFIELD',...
'BEBAN SINUS');

switch gempa;
case(1)
ag=ag1;
tt=tt1;
ndata=ndata1;
case(2)
ag=ag2;
tt=tt2;
ndata=ndata2;
case(3)
ag=ag3;
tt=tt3;
ndata=ndata3;
case(4)

```



```

    ag=ag4;
    tt=tt4;
    ndata=ndata4;
case(5)
    ag=ag5;
    tt=tt5;
    ndata=ndata5;
case(6)
    ag=ag6;
    tt=tt6;
    ndata=ndata6;
case(7)
    ag=ag7;
    tt=tt7;
    ndata=ndata7;
case(8)
    ag=ag8;
    tt=tt8;
    ndata=ndata8;
end

for Kb=Kb;
M1=M1;M2=M2;M3=M3;M4=M4;M5=M5
K1=K1;K2=K1;K3=K1;K4=K1;K5=K1;
Mb=Mb;
Kb=Kb;
psi=10;

M=[Mb 0 0 0 0
    0 M1 0 0 0
    0 0 M2 0 0
    0 0 0 M3 0 0
    0 0 0 0 M4 0
    0 0 0 0 0 M5];

K=[Kb+K1 -K1 0 0 0 0
   -K1 K1+K2 -K2 0 0 0
    0 -K2 K2+K3 -K3 0 0
    0 0 -K3 K3+K4 -K4 0
    0 0 0 -K4 K4+K5 -K5
    0 0 0 0 -K5 K5];

[V,D]=eig(inv(M)*K);
W=sqrt(D),%disp(W);
alpha=(0.01*psi*2*V'*M*V*W)/(V'*K*V),%disp(alpha);
C=alpha*K;

dt=0.02;
t=0;
x=[0
   0
   0
   0
   0
   0];
v=[0
   0
   0
   0
   0
   0];

```

```

0
0
0];

perpindahan4(:,1)=x;
kecepatan4(:,1)=v*10;

l=ones(6,1);
for i=1:ndata;

    t1=t;
    x1=x;
    v1=v;
    f1=inv(M)*((-1)*M*I*ag(i)-(C*v1)-(K*x1));

    t2=t+dt/2;
    x2=x+v1*dt/2;
    v2=v+f1*dt/2;
    f2=inv(M)*((-1)*M*I*0.5*(ag(i)+ag(i+1))-(C*v2)-(K*x2));

    t3=t+dt/2;
    x3=x+v2*dt/2;
    v3=v+f2*dt/2;
    f3=inv(M)*((-1)*M*I*0.5*(ag(i)+ag(i+1))-(C*v3)-(K*x3));

    t4=t+dt/2;
    x4=x+v3*dt/2;
    v4=v+f3*dt/2;
    f4=inv(M)*((-1)*M*I*ag(i+1))-(C*v4)-(K*x4));

    x=x+1/6*dt*(v1+2*v2+2*v3+v4);
    v=v+1/6*dt*(f1+2*f2+2*f3+f4);

    t=t+0.02;

    perpindahan4(:,i+1)=x;
    kecepatan4(:,i+1)=v;

end

M=[M1 0 0 0 0
    0 M2 0 0 0
    0 0 M3 0 0
    0 0 0 M4 0
    0 0 0 0 M5];

K=[K1+K2 -K2 0 0 0
   -K2 K2+K3 -K3 0 0
    0 -K3 K3+K4 -K4 0
    0 0 -K4 K4+K5 -K5
    0 0 0 -K5 K5];
psi=10;

[V,D]=eig(inv(M)*K);
W=sqrt(D),%disp(W);
alpha=(0.01*psi^2*V'*M*V*W)/(V'*K*V),%disp(alpha);
C=0.0164*K;
dt=0.02;

```

```

t=0;
x=[0
  0
  0
  0
  0];
v=[0
  0
  0
  0
  0];

perpindahan3(:,1)=x;
kecepatan3(:,1)=v*10;

l=ones(5,1);
for i=1:ndata;

    t1=t;
    x1=x;
    v1=v;
    f1=inv(M)*((-1)*M*I*ag(i)-(C*v1)-(K*x1));

    t2=t+dt/2;
    x2=x+v1*dt/2;
    v2=v+f1*dt/2;
    f2=inv(M)*((-1)*M*I*0.5*(ag(i)+ag(i+1))-(C*v2)-(K*x2));

    t3=t+dt/2;
    x3=x+v2*dt/2;
    v3=v+f2*dt/2;
    f3=inv(M)*((-1)*M*I*0.5*(ag(i)+ag(i+1))-(C*v3)-(K*x3));

    t4=t+dt/2;
    x4=x+v3*dt/2;
    v4=v+f3*dt/2;
    f4=inv(M)*((-1)*M*I*ag(i+1)-(C*v4)-(K*x4));

    x=x+1/6*dt*(v1+2*v2+2*v3+v4);
    v=v+1/6*dt*(f1+2*f2+2*f3+f4);

    t=t+0.02;

    perpindahan3(:,i+1)=x;
    kecepatan3(:,i+1)=v;

end
disp(max(perpindahan4(5,:)));
disp(max(perpindahan4(4,:)));
disp(max(perpindahan4(3,:)));
disp(max(perpindahan4(2,:)));
disp(max(perpindahan4(1,:)));
disp(min(perpindahan4(5,:)));
disp(min(perpindahan4(4,:)));
disp(min(perpindahan4(3,:)));
disp(min(perpindahan4(2,:)));
disp(min(perpindahan4(1,:)));
disp(max(abs(kecepatan4(1,:))));

```

```

disp(max(abs(ag)));

%PLOT RESPON STRUKTUR DALAM GRAFIK
figure(1);tria=plot(tt,perpindahan4(1,:), 'g', tt,perpindahan4(6,:), 'r', tt,perpindahan3(5,:), 'b'),xl
abel('Waktu(detik)'),ylabel('Displacement(meter)'),grid on, legend('base isolation','Lantai 5
(BI)', 'tanpa baseisolation');
figure(2);subplot(1,1,1),plot(tt,kecepatan4),xlabel('Waktu(detik)'),ylabel('Kecepatan(meter/
s)'),grid on;
end

case(5)
pilih=menu('Sub Menu',...
'Plot Akselerogram',...
'Lihat Kandungan Frekuensi'),
switch pilih
case(1)

subplot(1,1,1),plot(tt1,ag1*10),xlabel('Waktu(detik)'),ylabel('(meter/det^2)'),title('Ground
Acc. EL CENTRO EARTHQUAKE'),grid on;
case(2)
Y=fft(ag1*10,512);
Pyy=Y.*conj(Y)/512;f=50*(0:256)/512;
plot(f,Pyy(1:257))
title('Kandungan Frekuensi Gempa EL CENTRO');ylabel('Kandungan
Frekuensi');xlabel('Frekuensi(Hz)');grid on;
end

case(6)
pilih=menu('Sub Menu',...
'Plot Akselerogram',...
'Lihat Kandungan Frekuensi'),
switch pilih
case(1)

subplot(1,1,1),plot(tt2,ag2*10),xlabel('Waktu(detik)'),ylabel('(meter/det^2)'),title('Ground
Acc. KERN COUNTRI EARTHQUAKE'),grid on;
case(2)
Y=fft(ag2*10,512);
Pyy=Y.*conj(Y)/512;f=50*(0:256)/512;
plot(f,Pyy(1:257))
title('Kandungan Frekuensi Gempa KERN');ylabel('Kandungan
Frekuensi');xlabel('Frekuensi(Hz)');grid on;
end

case(7)
pilih=menu('Sub Menu',...
'Plot Akselerogram',...
'Lihat Kandungan Frekuensi'),
switch pilih
case(1)

subplot(1,1,1),plot(tt3,ag3*10),xlabel('Waktu(detik)'),ylabel('(meter/det^2)'),title('Ground
Acc. SANFERNANDO EARTHQUAKE'),grid on;
case(2)
Y=fft(ag3*10,512);
Pyy=Y.*conj(Y)/512;f=50*(0:256)/512;
plot(f,Pyy(1:257))

```

```

        title('Kandungan Frekuensi Gempa SANFERNANDO');ylabel('Kandungan
Frekuensi');xlabel('Frekuensi(Hz)');grid on;
    end

    case(8)
        pilih=menu('Sub Menu',...
        'Plot Akselerogram',...
        'Lihat Kandungan Frekuensi'),
        switch pilih
            case(1)

subplot(1,1,1),plot(tt4,ag4*10),xlabel('Waktu(detik)'),ylabel('(meter/det^2)'),title('Ground
Acc. LOMAPRIETA EARHQUAKE'),grid on;
            case(2)
                Y=fft(ag4*10,512);
                Pyy=Y.*conj(Y)/512;f=50*(0:256)/512;
                plot(f,Pyy(1:257))
                title('Kandungan Frekuensi Gempa LOMAPRIETA');ylabel('Kandungan
Frekuensi');xlabel('Frekuensi(Hz)');grid on;
            end

        case(9)
            pilih=menu('Sub Menu',...
            'Plot Akselerogram',...
            'Lihat Kandungan Frekuensi'),
            switch pilih
                case(1)

subplot(1,1,1),plot(tt5,ag5*10),xlabel('Waktu(detik)'),ylabel('(meter/det^2)'),title('Ground
Acc. NORTHRIDGE EARHQUAKE'),grid on;
                case(2)
                    Y=fft(ag5*10,512);
                    Pyy=Y.*conj(Y)/512;f=50*(0:256)/512;
                    plot(f,Pyy(1:257))
                    title('Kandungan Frekuensi Gempa NORTHRIDGE');ylabel('Kandungan
Frekuensi');xlabel('Frekuensi(Hz)');grid on;
                end

            case(10)
                pilih=menu('Sub Menu',...
                'Plot Akselerogram',...
                'Lihat Kandungan Frekuensi'),
                switch pilih
                    case(1)

subplot(1,1,1),plot(tt6,ag6*10),xlabel('Waktu(detik)'),ylabel('(meter/det^2)'),title('Ground
Acc. MEXICO EARHQUAKE'),grid on;
                    case(2)
                        Y=fft(ag6*10,512);
                        Pyy=Y.*conj(Y)/512;f=50*(0:256)/512;
                        plot(f,Pyy(1:257))
                        title('Kandungan Frekuensi Gempa MEXICO');ylabel('Kandungan
Frekuensi');xlabel('Frekuensi(Hz)');grid on;
                    end

                case(11)
                    pilih=menu('Sub Menu',...
                    'Plot Akselerogram',...

```

```

'Lihat Kandungan Frekuensi'),
switch pilih
case(1)

subplot(1,1,1),plot(tt7,ag7*10),xlabel('Waktu(detik)'),ylabel('(meter/det^2)'),title('Ground
Acc. PARKFIELD EARTHQUAKE'),grid on;
case(2)
Y=fft(ag7*10,512);
Pyy=Y.*conj(Y)/512;f=50*(0:256)/512;
plot(f,Pyy(1:257))
title('Kandungan Frekuensi Gempa PARKFIELD');ylabel('Kandungan
Frekuensi');xlabel('Frekuensi(Hz)');grid on;
end
case(12)
pilih=menu('Sub Menu',...
'Plot Akselerogram',...
'Lihat Kandungan Frekuensi'),
switch pilih
case(1)

subplot(1,1,1),plot(tt8,ag8*10),xlabel('Waktu(detik)'),ylabel('(meter/det^2)'),title('SINUSOI
DAL'),grid on;
case(2)
Y=fft(ag8*10,512);
Pyy=Y.*conj(Y)/512;f=50*(0:256)/512;
plot(f,Pyy(1:257))
title('Kandungan Frekuensi SINUS');ylabel('Kandungan
Frekuensi');xlabel('Frekuensi(Hz)');grid on;
end
case(13)
exit;
end

```