



UNIVERSITAS INDONESIA

**ALTERNATIF PENGGUNAAN BASE ISOLATION PADA
GEDUNG BEDAH SENTRAL TERPADU
RUMAH SAKIT DR. SARDJITO YOGYAKARTA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

WIDI PRAMESWARI

040501071X

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

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**ALTERNATIVE USAGE OF BASE ISOLATION TOWARDS
CENTRE OF SURGERY BUILDING AT DR. SARDJITO
HOSPITAL YOGYAKARTA**

THESIS

Proposed as a requirement to get bachelor degree

WIDI PRAMESWARI

040501071X

(Tripartit UI – ITB – UGM Participant, Credit Earning Program in UGM)

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk**

Telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Widi Prameswari

NPM : 040501071X

Tanda Tangan : *Widi Prameswari*

Tanggal : Januari 2010

ORIGINALITY

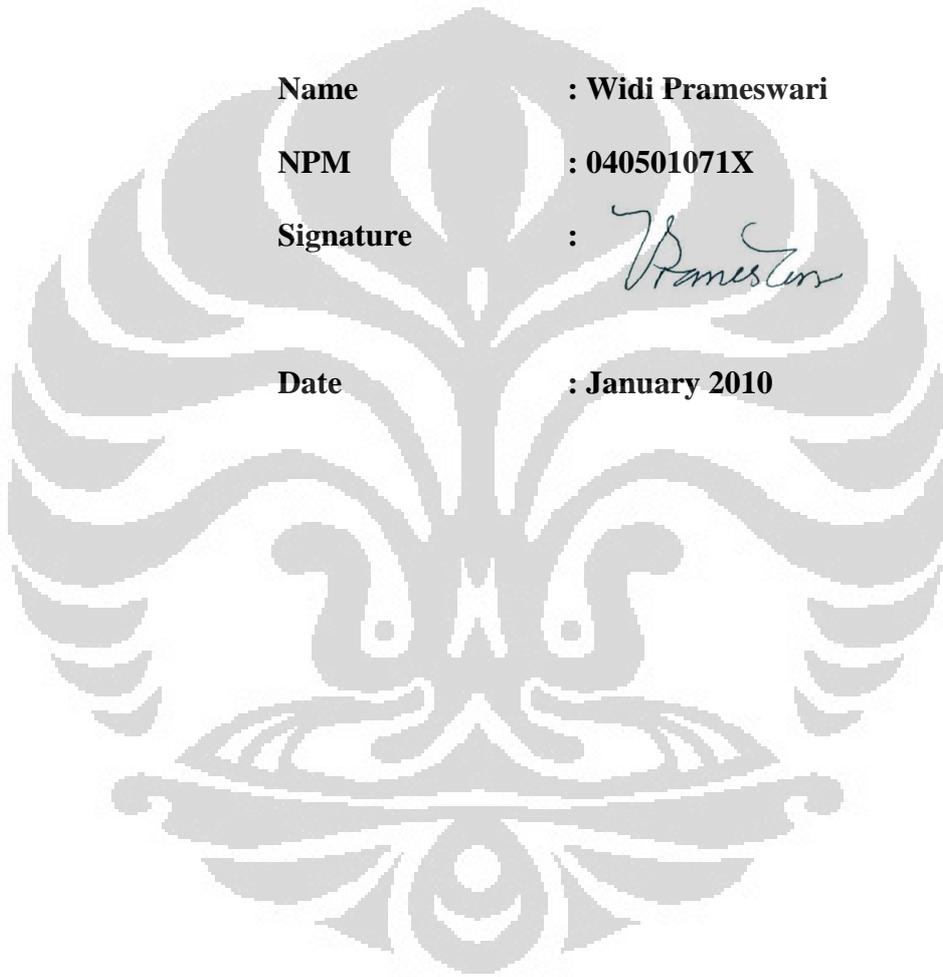
**This final project report is my own creation, and
all sources that is referred and quoted are true.**

Name : Widi Prameswari

NPM : 040501071X

Signature : *W Prameswari*

Date : January 2010



HALAMAN PENGESAHAN

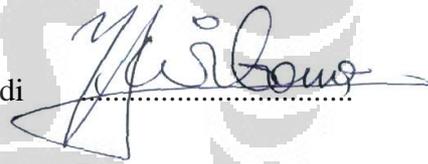
Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Widi Prameswari
NPM : 040501071X
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Seminar Skripsi : Alternatif Penggunaan Base Isolation pada Gedung Bedah Sentral Terpadu Rumah Sakit Dr. Sardjito Yogyakarta

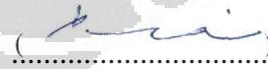
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

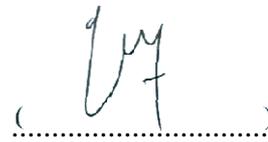
Pembimbing : Dr-Ing. Ir. Henki W. Ashadi



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



Penguji : Mulia Orientilize ST., M.Eng



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Januari 2010

APPROVAL

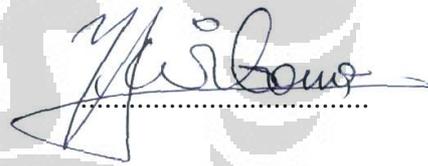
This final project proposed by

Name : Widi Prameswari
NPM : 040501071X
Study Program : Civil Engineering
Title : Alternative Usage of Base Isolation towards
Centre of Surgery Building at Dr. Sardjito
Hospital Yogyakarta

Has been submitted in front of Examiner Board and approved as a part of requirements needed to get Bachelor Degree in Engineering in Civil Engineering Department of Engineering Faculty of University of Indonesia.

EXAMINER BOARD

Counsellor : Dr-Ing. Ir. Henki W. Ashadi



.....

Examiner : Ir. Sjahril A. Rahim M.Eng



.....

Examiner : Mulia Orientilize ST., M.Eng



.....

Stated on : Depok

Date : January 2010

KATA PENGANTAR

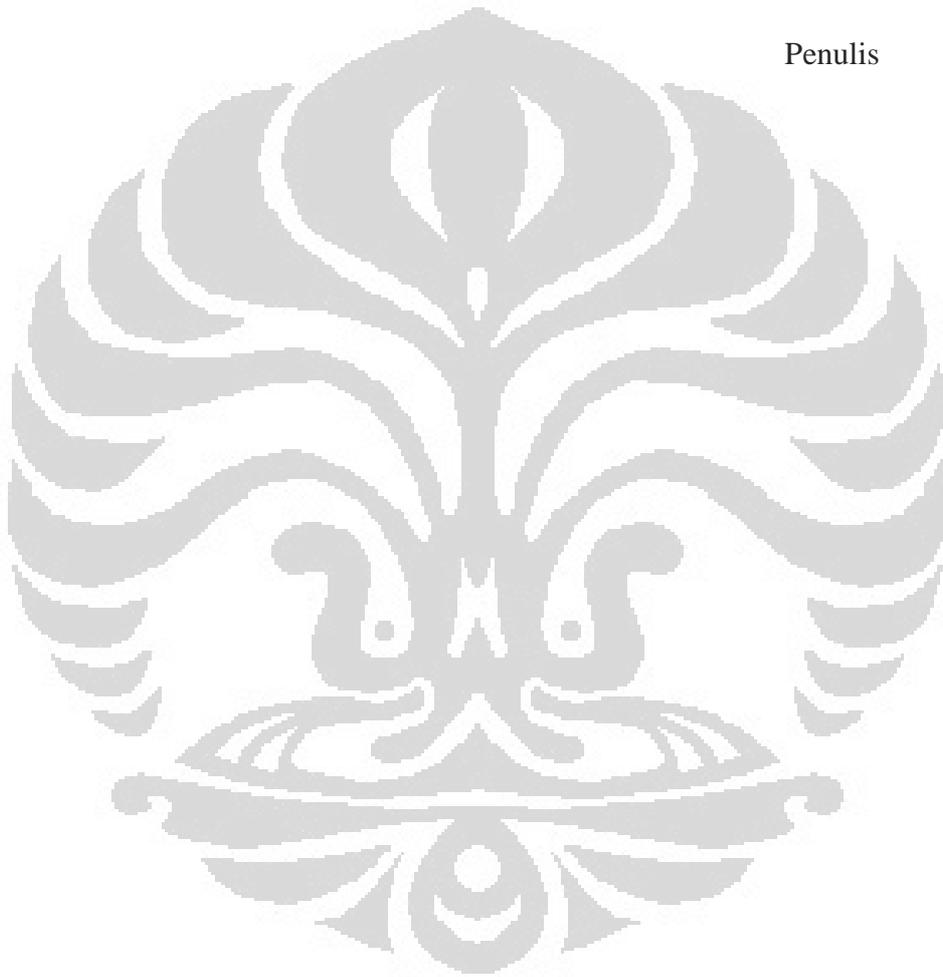
Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan anugerah-Nya, penulis mampu menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr-Ing. Ir. Henki W. Ashadi, selaku dosen pembimbing atas bimbingan, bantuan, pengarahan dan pencerahan dalam penyelesaian skripsi ini;
2. Prof. Dr. Ir. Iman Satyarno, ME., selaku dosen pembimbing di UGM yang telah membantu dalam pemahaman Penulis terhadap skripsi ini;
3. Para dosen penguji UI dan UGM atas waktu dan masukannya dalam perbaikan skripsi saat sidang seminar maupun sidang skripsi;
4. Para dosen UI dan UGM yang telah menularkan ilmu dan pengalaman dalam perjalanan kuliah selama 4,5 tahun ini;
5. Orang tua dan keluarga, yang senantiasa memberi dukungan moril maupun materil yang berlimpah kepada Penulis;
6. Sahabat dan teman-teman Sipil UI dan Sipil UGM (khususnya angkatan 2005) yang memberi semangat, dukungan dan bantuan baik dalam perkuliahan maupun dalam penyelesaian skripsi ini;
7. Staf dan karyawan Departemen Sipil UI maupun Jurusan Teknik Sipil UGM atas bantuannya dalam kelancaran administrasi dan perkuliahan;
8. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, atas kerjasama dan bantuan dalam penyelesaian skripsi.

Akhir kata, Penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun . Penulis mohon maaf bila ada kekeliruan dan kesalahan dalam skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberi manfaat bagi pengembangan ilmu teknik sipil.

Depok, Januari 2010

Penulis



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

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

Nama : Widi Prameswari
NPM : 040501071x
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

ALTERNATIF PENGGUNAAN BASE ISOLATION PADA GEDUNG BEDAH
SENTRAL TERPADU RUMAH SAKIT DR. SARDJITO YOGYAKARTA

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada : Januari 2010

Yang menyatakan



(Widi Prameswari)

ABSTRAK

Nama : Widi Prameswari
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Alternatif Penggunaan Base Isolation Pada Gedung Bedah Sentral Terpadu Rumah Sakit Dr. Sardjito Yogyakarta

Skripsi ini membahas tentang perilaku struktur rumah sakit 5 lantai dengan penambahan isolator jenis *lead rubber bearing* pada perletakan dibanding dengan struktur jepit terhadap gaya Gempa El Centro, Gempa Kern, Gempa Loma Prieta dan Gempa San Fernando. Analisis yang digunakan adalah analisis dinamik riwayat waktu. Penelitian ini adalah penelitian simulasi numerik dengan bantuan program komputer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolator meningkatkan periode getar alami struktur sehingga dapat menghindari kemungkinan terjadinya resonansi akibat gaya gempa; efektif dalam mereduksi kecepatan, percepatan, gaya geser, momen, dan simpangan struktur sehingga dapat membatasi kerusakan struktural pada bangunan rumah sakit.

Kata kunci :
sistem isolasi dasar, rumah sakit, isolator, analisis riwayat waktu

ABSTRACT

Name : Widi Prameswari
Study Program : Civil Engineering
Title : Alternative Usage of Base Isolation towards Centre of Surgery Building at Dr. Sardjito Hospital Yogyakarta

The focus of this study is to discuss the comparison of structural response between a fixed-base structure and an isolated structure at 5-stories hospital towards El Centro Earthquake, Kern Earthquake, Loma Prieta Earthquake, and San Fernando Earthquake. Lead rubber bearing were used as an isolator. The case was solved with time history analysis. This research is a numeric simulation with computer program. The result shows that the isolator increases natural period of a structure which can avoid the structure from being resonance; the isolator also reduce structural velocity, acceleration, shear force, moment and displacement, so that limiting the structural damage towards the building.

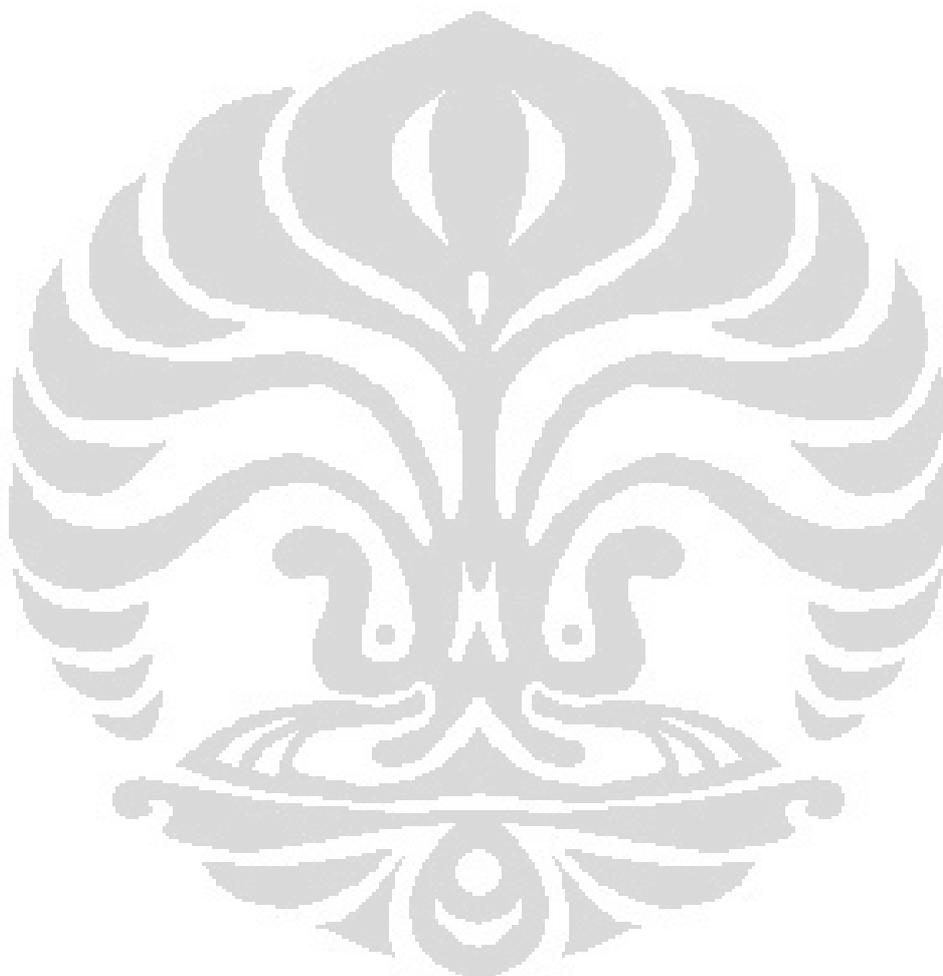
Keywords:

Base isolation, hospital, isolator, time history analysis

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	v
KATA PENGANTAR	vii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	ix
ABSTRAK.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penulisan	2
1.3 Pembatasan Masalah	2
1.4 Metodologi Penelitian	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
2. LANDASAN TEORI	5
2.1 Gempa Bumi	5
2.2 Teori Dinamika Struktur	7
2.2.1 Persamaan Gerak.....	7
2.2.2 Pembentukan Matriks Kekakuan, Massa dan Redaman.....	10
2.2.3 Analisa Struktur	12
2.3 Respon Struktur dengan Isolator	13
2.4 Perkembangan Base Isolation	17
3. MODELISASI STRUKTUR.....	25
3.1 Input Program.....	25
3.2 Parameter Yang Akan Dievaluasi	29
4. HASIL ANALISIS	30
4.1 Periode Getar Alami Struktur.....	31
4.2 Kecepatan Lantai dan Percepatan	32
4.3 Reaksi Perletakan (Base Reaction)	34
4.4 Gaya Dalam Geser	36
4.5 Gaya Dalam Momen	44
4.5.1 Tinjauan terhadap Kolom	44
4.5.2 Tinjauan terhadap Balok	50
4.5 Simpangan.....	588

5. KESIMPULAN DAN SARAN	644
5.1 Kesimpulan.....	64
5.2 Saran.....	65
DAFTAR REFERENSI	666



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Bagan Metodologi Penelitian.....	4
Gambar 2.1	Pelat Tektonik di Penjuru Dunia.....	6
Gambar 2.2	Idealisasi Struktur Satu Lantai	7
Gambar 2.3	Struktur Satu Lantai dengan Gaya Luar yang Bekerja, $p(t)$: (a) idealisasi struktur; (b) freebody diagram.....	8
Gambar 2.4	Struktur Satu Lantai dengan Gerakan Tanah Akibat Gempa: (a) idealisasi struktur; (b) freebody diagram.....	9
Gambar 2.5	Struktur Fixed-Base dan Base-Isolated.....	13
Gambar 2.6	Deformasi Struktur Fixed-Base dan Base-Isolated.....	14
Gambar 2.7	Struktur Satu Lantai: a) Struktur Perletakan Jepit, b) Struktur Terisolasi.....	14
Gambar 2.8	Desain spektrum pada struktur fixed-base dan isolated.....	16
Gambar 2.9	Base Isolator Tipe Elastomeric Bearing.....	18
Gambar 2.10	Lead-Plug Bearing	20
Gambar 2.11	Base Isolator Tipe Sliding/Roller.....	21
Gambar 2.12	Sistem TASS.....	22
Gambar 2.13	Sistem Friction-Pendulum	23
Gambar 3.1	Denah Struktur Gedung Bedah Sentral Terpadu Rumah Sakit Dr.Sardjito.....	26
Gambar 3.2	Diagram force-displacement isolator.....	28
Gambar 4.1	Permodelan Struktur : (a) permodelan struktur jepit; (b) permodelan struktur terisolasi.....	30
Gambar 4.2	Perbandingan Periode Struktur	31
Gambar 4.3	Posisi Kolom yang Ditinjau untuk Gaya Dalam Geser (Tampak Atas)	36
Gambar 4.4	Posisi Kolom yang Ditinjau untuk Gaya Dalam Geser (Tampak Samping).....	36
Gambar 4.5	Gaya Geser Kolom Tengah terhadap Gempa El Centro	38
Gambar 4.6	Gaya Geser Kolom Tengah terhadap Gempa Kern County.....	38
Gambar 4.7	Gaya Geser Kolom Tengah terhadap Gempa Loma Prieta.....	39
Gambar 4.8	Gaya Geser Kolom Tengah terhadap Gempa San Fernando	39
Gambar 4.9	Gaya Geser Kolom Pinggir terhadap Gempa El Centro	41
Gambar 4.10	Gaya Geser Kolom Pinggir terhadap Gempa Kern County.....	41
Gambar 4.11	Gaya Geser Kolom Pinggir terhadap Gempa Loma Prieta	42
Gambar 4.12	Gaya Geser Kolom Pinggir terhadap Gempa San Fernando.....	42
Gambar 4.13	Momen Kolom Tengah terhadap Gempa El Centro	45
Gambar 4.14	Momen Kolom Tengah terhadap Gempa Kern County.....	45
Gambar 4.15	Momen Kolom Tengah terhadap Gempa Loma Prieta	46
Gambar 4.16	Momen Kolom Tengah terhadap Gempa San Fernando.....	46
Gambar 4.17	Momen Kolom Pinggir terhadap Gempa El Centro.....	48
Gambar 4.18	Momen Kolom Pinggir terhadap Gempa Kern County	48
Gambar 4.19	Momen Kolom Pinggir terhadap Gempa Loma Prieta	49
Gambar 4.20	Momen Kolom Pinggir terhadap Gempa San Fernando.....	49
Gambar 4.21	Posisi Balok yang Ditinjau untuk Gaya Dalam	51
Gambar 4.22	Posisi Balok pada Kolom Tengah (Tampak Samping).....	51

Gambar 4.23	Momen Balok pada Kolom Tengah Terhadap Gempa El Centro.....	52
Gambar 4.24	Momen Balok pada Kolom Tengah Terhadap Gempa Kern County.....	53
Gambar 4.25	Momen Balok pada Kolom Tengah Terhadap Gempa Loma Prieta	53
Gambar 4.26	Momen Balok pada Kolom Tengah Terhadap Gempa San Fernando	54
Gambar 4.27	Posisi Balok pada Kolom Pinggir (Tampak Samping)	55
Gambar 4.28	Momen Balok pada Kolom Pinggir Terhadap Gempa El Centro.....	56
Gambar 4.29	Momen Balok pada Kolom Pinggir Terhadap Gempa Kern County.....	56
Gambar 4.29	Momen Balok pada Kolom Pinggir Terhadap Gempa Loma Prieta	57
Gambar 4.30	Momen Balok pada Kolom Pinggir Terhadap Gempa San Fernando	57
Gambar 4.31	Simpangan Struktur terhadap Gempa El Centro.....	60
Gambar 4.32	Simpangan Struktur terhadap Gempa Kern County	61
Gambar 4.33	Simpangan Struktur terhadap Gempa Loma Prieta.....	61
Gambar 4.34	Simpangan Struktur terhadap Gempa San Fernando	62

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Perbandingan Periode Bangunan Fixed Base dan Isolated	31
Tabel 4.2	Perbandingan Kecepatan Arah X pada Lantai Teratas.....	32
Tabel 4.3	Perbandingan Kecepatan Arah Y pada Lantai Teratas.....	33
Tabel 4.4	Perbandingan Percepatan Arah X	33
Tabel 4.5	Perbandingan Percepatan Arah Y	33
Tabel 4.6	Perbandingan Base Reaction	34-35
Tabel 4.7	Gaya Dalam Geser Kolom Tengah (<i>fixed</i>).....	37
Tabel 4.8	Gaya Dalam Geser Kolom Tengah (<i>isolated</i>)	37
Tabel 4.9	Gaya Dalam Geser Kolom Pinggir (<i>fixed</i>)	40
Tabel 4.10	Gaya Dalam Geser Kolom Pinggir (<i>isolated</i>)	41
Tabel 4.11	Gaya Dalam Momen Kolom Tengah Struktur Jepit dan Terisolasi ..	44
Tabel 4.12	Gaya Dalam Momen Kolom Pinggir Struktur Jepit dan Terisolasi ..	47
Tabel 4.13	Momen Balok pada Kolom Tengah Struktur Jepit dan Terisolasi	52
Tabel 4.14	Momen Balok pada Kolom Pinggir Struktur Jepit dan Terisolasi 55-56	
Tabel 4.15	Perbandingan Simpangan pada Lantai Teratas Arah X.....	58
Tabel 4.16	Perbandingan Simpangan pada Lantai Teratas Arah Y.....	58
Tabel 4.17	Simpangan Base Struktur Jepit dan Terisolasi pada Arah X.....	58
Tabel 4.18	Simpangan Base Struktur Jepit dan Terisolasi pada Arah Y.....	59
Tabel 4.19	Rasio Simpangan Lantai Atap	59
Tabel 4.20	Perbandingan Simpangan Antar Tingkat terhadap Base	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Gedung Bedah Sentral Terpadu Rumah Sakit Dr. Sardjito
Lampiran B	Akselerogram Gempa yang Digunakan Sebagai Analisa
Lampiran C	Output SAP2000

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gempa bumi merupakan bencana alam yang tidak dapat diprediksi waktu dan lokasi kejadian. Bencana ini juga dapat mengakibatkan kerugian yang sangat besar. Hal ini disebabkan karena kejadiannya yang tiba-tiba sehingga masyarakat kurang mengantisipasi, maupun bangunan tidak dapat menahan kuatnya gaya gempa tersebut.

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. Yogyakarta adalah provinsi di Indonesia yang terletak di bagian selatan Pulau Jawa dan berbatasan dengan Provinsi Jawa Tengah di sebelah utara. Posisi Yogyakarta dan seluruh pantai selatan Jawa merupakan daerah pertemuan lempeng Indo-Australia dengan Eurasia. Hal ini yang menyebabkan daerah Yogyakarta dan sekitarnya menjadi daerah rawan gempa.

Untuk mengantisipasi kerusakan yang disebabkan oleh bencana gempa bumi, maka bangunan-bangunan yang berada di wilayah Yogyakarta dan sekitarnya, harus didisain sesuai dengan standar perencanaan gempa yang berlaku. Terutama bangunan-bangunan vital yang melayani masyarakat luas, salah satunya adalah bangunan rumah sakit. Mengingat pentingnya kegiatan yang berlangsung di dalam rumah sakit yaitu, melayani kesehatan masyarakat, maka setiap rumah sakit harus dirancang sedemikian rupa sehingga saat terjadinya gempa bumi tidak akan mengganggu kegiatan dan membahayakan manusia maupun peralatan di dalam rumah sakit tersebut.

Usaha yang dapat dilakukan untuk mengurangi tingkat resiko gempa yang akan dialami oleh suatu bangunan yaitu dengan membuat kekuatan dan kekakuan struktur sehingga mengurangi getaran pada struktur. Salah satu metode yang sedang berkembang yaitu penggunaan sistem isolasi dasar (base isolation)

pada struktur. Konsep dasar dari sistem isolasi dasar ini adalah dengan menempelkan suatu sistem isolasi yang memisahkan gedung dengan tanah sehingga mencegah ditransfernya sebagian gerakan horizontal dari tanah akibat beban gempa ke struktur bangunan. Isolator yang digunakan memiliki kekakuan lateral yang jauh lebih kecil dibanding kekakuan struktur di atasnya sehingga energy gempa yang diteruskan ke struktur atas menjadi relatif jauh lebih kecil karena isolator akan menyerap sebagian besar energy gempa. Pada Tugas Akhir ini akan dibahas tentang penggunaan base isolation pada struktur bangunan rumah sakit untuk mengurangi getaran pada struktur yang disebabkan oleh gempa.

1.2 Tujuan Penulisan

Tugas Akhir ini menjelaskan tentang kinerja base isolation pada bangunan rumah sakit terhadap efek gempa dan memberikan perbandingan antara efektivitas base isolator pada bangunan rumah sakit.

1.3 Pembatasan Masalah

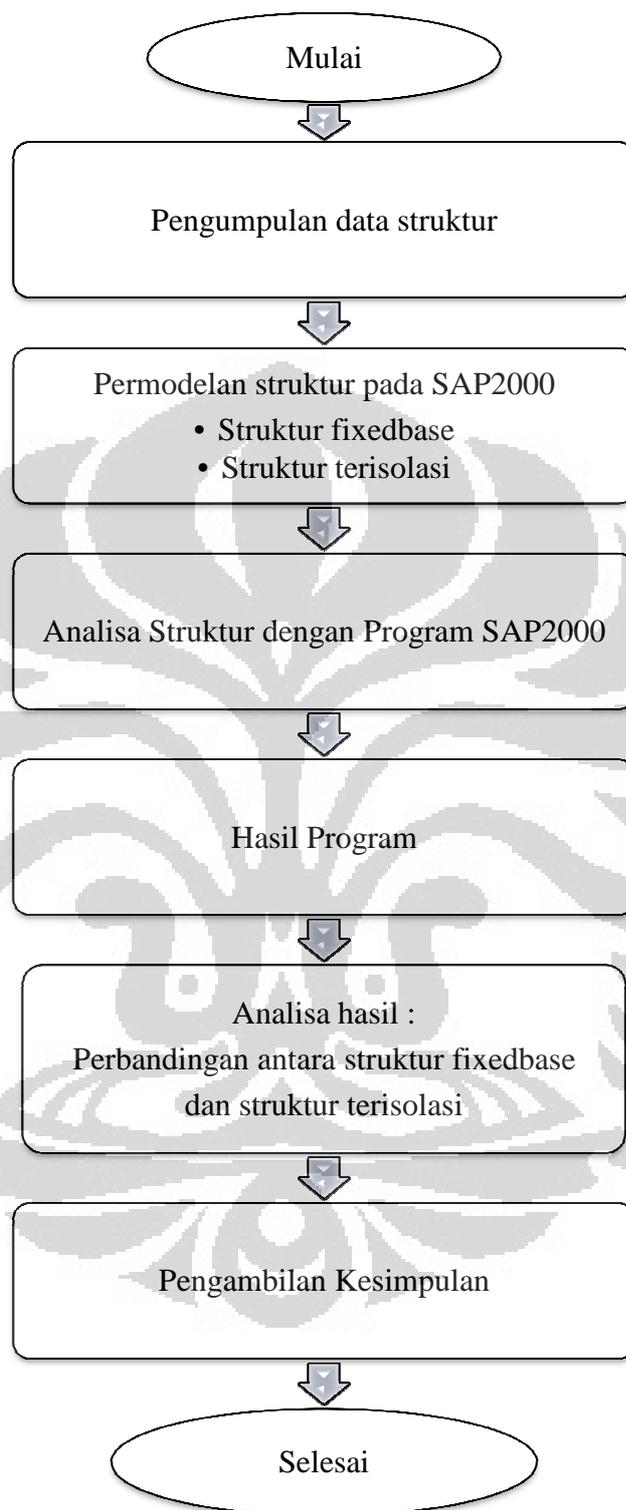
Studi ini membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. Metode penanganan gempa yang dipakai adalah kontrol pasif base isolation.
2. Jenis bangunan adalah bangunan beton bertulang.
3. Parameter yang dibandingkan adalah respon dari struktur terisolasi dengan fixed support.
4. Cara penyelesaian analisis ini adalah dengan simulasi menggunakan program SAP2000.

Batasan masalah lebih lanjut akan dijelaskan pada bab 3.

1.4 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan untuk pembahasan pada Tugas Akhir ini secara umum dapat dijelaskan sebagai berikut :



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 HASIL ANALISA

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

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

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

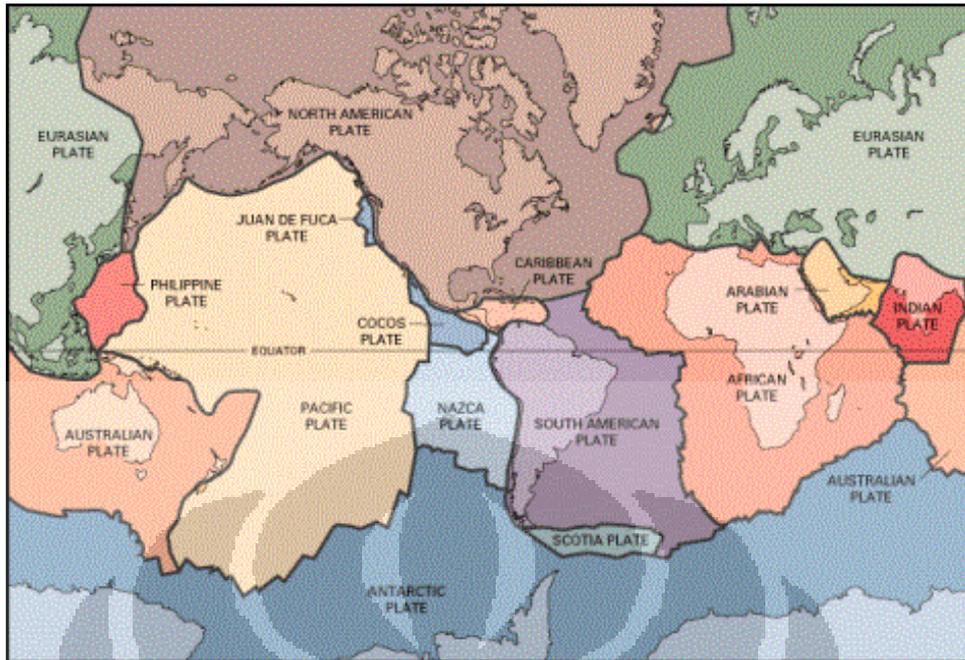
BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan getaran yang terjadi pada permukaan bumi. Getaran ini dapat terjadi disebabkan oleh keruntuhan tanah di dalam gua, tumbukan meteor ke permukaan bumi, meletusnya gunung berapi, dan gerakan pelat tektonik. Dari penyebab terjadinya gempa yang telah disebutkan, adalah gerakan pelat tektonik yang merupakan penyebab gempa yang paling sering menyebabkan kerusakan besar. Gempa akibat gerakan pelat tektonik ini, biasa disebut gempa tektonik. Gempa yang terjadi karena keruntuhan tanah dalam gua dan meletusnya gunung berapi, biasanya hanya menyebabkan gempa kecil, sedangkan gempa akibat tumbukan meteor sangat jarang terjadi.

Struktur kulit luar bumi dibagi menjadi beberapa pelat atau disebut pelat tektonik yang mewakili benua dan samudera di muka bumi ini. Pelat besar yang ada di kulit bumi antara lain Pelat Afrika, Antartika, Australia, Hindia, Eurasia, dan Pasifik. Pelat-pelat tektonik ini cenderung untuk bergerak saling menjauhi, saling mendekat, maupun bergeser. Pergerakan antar pelat ini tertahan karena gesekan antara pelat, sehingga menimbulkan energi potensial diantara pelat. Semakin lama, energi ini semakin bertambah. Saat gaya gesekan antar pelat tersebut tidak dapat menahan pergerakan pelat, maka energi potensial akan dikeluarkan secara tiba-tiba yang dapat menggetarkan daerah sekitarnya. Daerah terjadinya pelepasan energi tiba-tiba ini disebut pusat gempa, sedangkan daerah permukaannya disebut dengan epicenter.



Gambar 2.1. Pelat Tektonik di Penjuru Dunia

Seperti disebutkan sebelumnya bahwa gesekan antar pelat berpotensi menimbulkan gempa, maka daerah-daerah di permukaan bumi yang berada pada sekitar tepi pelat atau perbatasan antar pelat akan sering mengalami gempa tektonik. Daerah-daerah yang sering mengalami gempa tektonik ini membentuk suatu jalur gempa. Jalur utama gempa yang terekam pada peta seismisitas dunia adalah Jalur Sirkum Pasifik (*Circum Pasific Belt*), Jalur Alpide atau Trans-Asia (*Trans Asiatic Belt*) dan Jalur Laut Atlantik (*Mid-Atlantic Oceanic Belt*).

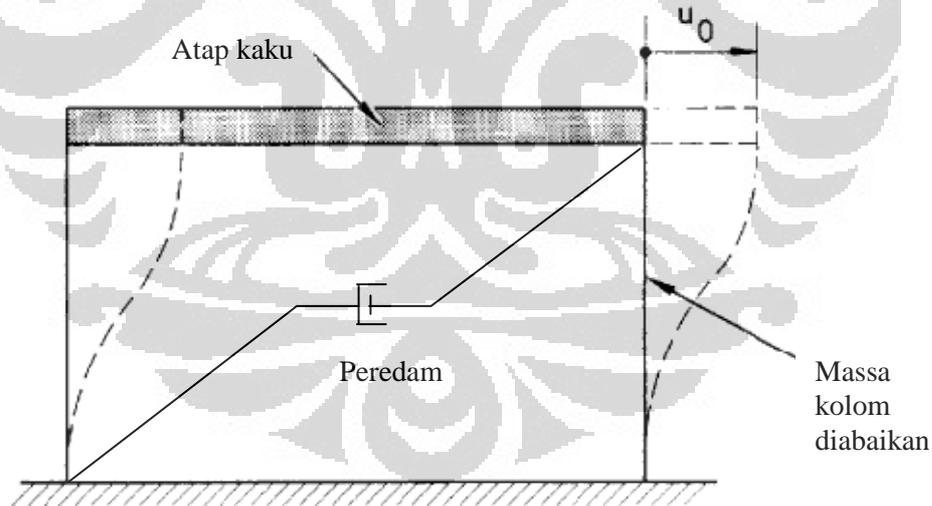
Secara geografis, Indonesia merupakan daerah pertemuan 3 pelat tektonik utama dunia yaitu pelat Pasifik, Indo-Australia, dan Eurasia. Akibat terletak pada pertemuan tiga pelat tersebut, di kawasan Indonesia banyak terdapat patahan-patahan aktif, seperti patahan Semangko di Sumatera, Cimandiri di Jawa, dan banyak patahan lain yang tersebar di seluruh penjuru Indonesia. Sedangkan, bila ditinjau secara geologis, Indonesia berada pada dua jalur gempa dunia, yaitu Jalur Sirkum Pasifik dan Jalur Alpide & Trans-Asia. Oleh karena itu, Indonesia merupakan kawasan dengan aktivitas gempa bumi yang tinggi.

2.2 Teori Dinamika Struktur

Pada sub-bab ini akan dijelaskan secara umum mengenai persamaan gerak; pembentukan matriks kekakuan, massa dan redaman; dan analisa struktur terhadap beban dinamik.

2.2.1 Persamaan Gerak

Untuk memahami teori dinamika struktur, dimodelkan suatu struktur satu lantai dengan satu derajat kebebasan (*single-degree-of-freedom structure*). Derajat kebebasan merupakan jumlah perubahan posisi dari seluruh massa relatif dari suatu struktur terhadap posisinya semula. Tiap elemen struktur (balok, kolom, dinding, dll) pada kondisi aktual, berkontribusi terhadap properti inersia (massa), elastisitas (kekakuan atau fleksibilitas) dan energi disipasi (redaman) pada struktur. Pada sistem yang diidealisasi, properti tersebut dibedakan menjadi tiga komponen yaitu komponen massa, komponen kekakuan, dan komponen redaman.

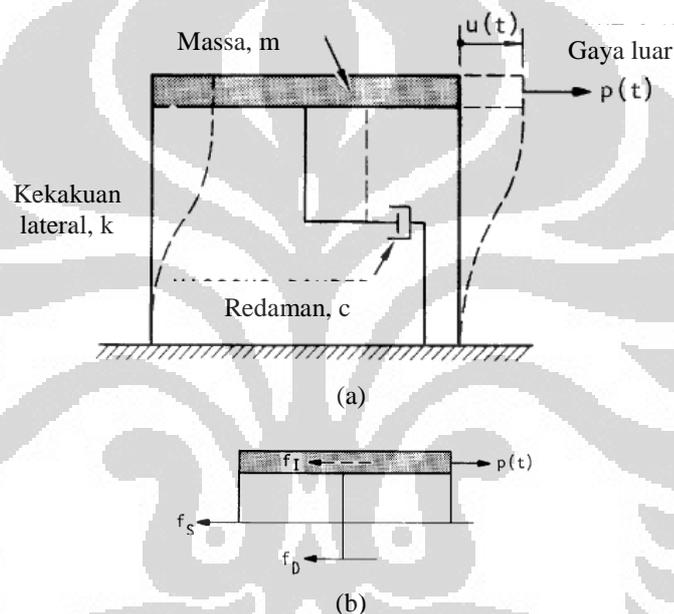


Gambar 2.2. Idealisasi Struktur Satu Lantai

Struktur pada gambar 2.2 adalah struktur portal dengan massa yang diabaikan dan semua massa tergumpal pada bagian atas portal; bagian atas portal sangat kaku sedangkan kolom fleksibel terhadap deformasi lateral namun kaku (*rigid*) pada arah vertikal; dan peredam (*viscous damper*)

yang memisahkan energi getaran pada sistem. Struktur akan ditinjau terhadap gerakan dinamik dalam dua jenis yaitu akibat gaya luar (*external force*) dan gerakan tanah akibat gempa (*earthquake ground motion*).

Struktur yang dibebani suatu gaya $p(t)$ akan mengalami displacement arah lateral sebesar $u(t)$ pada bagian atas struktur yang merupakan deformasi dari struktur (displacement bagian atas relatif terhadap dasar). Notasi t pada gaya, p , dan displacement, u , menandakan bahwa gaya dan displacement bervariasi terhadap waktu.



Gambar 2.3. Struktur Satu Lantai dengan Gaya Luar yang Bekerja, $p(t)$: (a) idealisasi struktur; (b) freebody diagram

Pada free-body diagram (gambar 2.3.b) dapat dilihat gaya-gaya yang bekerja pada struktur yaitu gaya luar $p(t)$, gaya tahanan elastik f_S , gaya redaman f_D , dan gaya inersia f_I . Gaya elastic dan redaman bekerja ke arah kiri (negatif) karena menahan deformasi dan kecepatan yang bekerja ke arah kanan (positif). gaya inersia juga menunjukkan perilaku yang sama yaitu ke kiri karena menahan arah positif dari percepatan. Dari freebody diagram, di dapat persamaan :

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

Untuk struktur yang linear, gaya elastic yaitu

$$f_s = ku \quad (2.2)$$

dengan k adalah kekakuan lateral dari struktur dan u adalah relatif displacement. Gaya redaman merupakan hubungan antara koefisien redaman c dan kecepatan relatif \dot{u} :

$$f_D = c\dot{u} \quad (2.3)$$

Gaya inersia merupakan hubungan antara massa m dan percepatan \ddot{u} :

$$f_I = m\ddot{u} \quad (2.4)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (2.2), (2.3) dan (2.4) ke dalam persamaan (2.1), maka didapat persamaan gerak dinamik

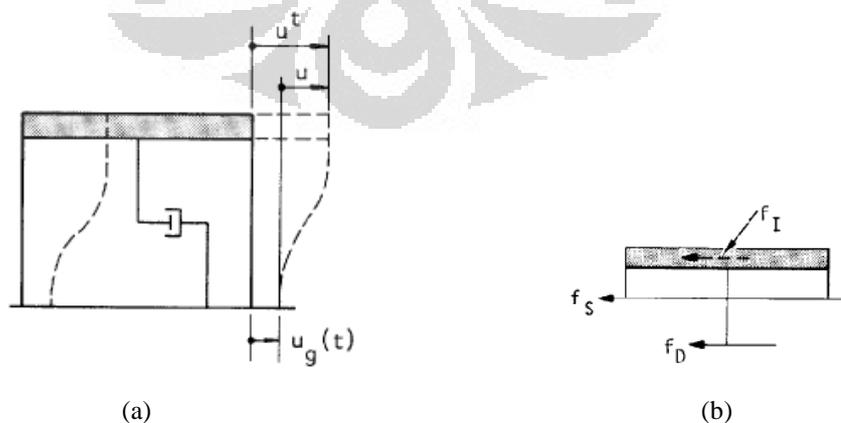
$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t) \quad (2.5)$$

Pada kenyataannya, suatu struktur mempunyai derajat kebebasan lebih dari satu, oleh karena itu persamaan (2.5) diatas menjadi

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + KU = P(t) \quad (2.6)$$

dimana M , C , dan K adalah matriks massa, matriks redaman dan matriks kekakuan dari struktur. $P(t)$ merupakan matriks gaya luar yang bekerja pada struktur yang berubah terhadap waktu t .

Selain perilaku struktur terhadap gaya luar yang bekerja, suatu struktur juga perlu ditinjau terhadap gerakan tanah akibat gaya gempa. Dengan asumsi gerakan gempa terjadi pada arah horizontal, struktur dasar (*base*) akan bergerak sejauh $u_g(t)$ dan struktur akan berdeformasi (relatif terhadap *base*) sejauh $u(t)$.



Gambar 2.4. Struktur Satu Lantai dengan Gerakan Tanah Akibat Gempa: (a) idealisasi struktur; (b) freebody diagram

Displacement total pada bagian atas struktur adalah

$$u^t(t) = u(t) + u_g(t) \quad (2.7)$$

Dari diagram free-body, persamaan keseimbangan pada struktur adalah

$$f_I + f_D + f_S = 0 \quad (2.8)$$

Persamaan gaya elastic dan gaya redaman pada sistem linear masih dapat digunakan karena hanya dipengaruhi oleh perpindahan dan kecepatan. Namun, massa dipengaruhi oleh percepatan \ddot{u} , maka persamaan gaya inersia menjadi

$$f_I = m(\ddot{u}_g + \ddot{u}) \quad (2.9)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (2.2); (2.3) dan (2.9) ke dalam persamaan (2.8) maka didapat persamaan gerak dinamik terhadap gerakan tanah akibat gempa :

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g(t) \quad (2.10)$$

dimana percepatan gempa bervariasi terhadap waktu.

2.2.2 Pembentukan Matriks Kekakuan, Massa dan Redaman

Matriks massa

Matriks massa elemen dapat dinyatakan :

$$m = \begin{bmatrix} m_1 & & & \\ & m_2 & & \\ & & m_3 & \\ & & & m_N \end{bmatrix}$$

dengan N menunjukkan jumlah lantai pada suatu struktur. Persamaan matriks massa yang lebih sederhana adalah matriks massa tergumpal (*lumped mass matrix*), yang mengasumsikan bahwa massa elemen terpusat pada nodalnya. Dengan cara ini, gaya inersia dan derajat kebebasan rotasi diabaikan sehingga matriks massa tergumpal mempunyai bentuk diagonal dimana terdapat suku-suku sebanyak derajat kebebasan.

2.2.3 Analisa Struktur

Gaya inersia atau gaya gempa pada titik-titik pusat massa struktur terjadi baik pada arah vertikal maupun horizontal (Muto, 1974). Gaya gempa horizontal menyerang titik-titik lemah struktur dimana struktur tidak memiliki cukup kekuatan dan akan langsung mengalami kegagalan. Oleh karena itu, prinsip perancangan dasar tahan gempa adalah menyediakan kekuatan bagi struktur yang biasanya kurang dalam menghadapi gaya lateral, atau membatasi getaran (input) akibat gempa ke struktur. Untuk menganalisa suatu gaya gempa yang bekerja pada struktur, dapat digunakan beberapa cara analisa, antara lain :

1. Analisa dinamik (*dynamic analysis*)

Analisa ini dapat dilakukan dengan dua cara yaitu analisa respon riwayat waktu (*time history analysis*) untuk struktur elastik maupun struktur inelastik dan analisa respon spektrum (*response spectrum analysis*) yang hanya dapat dilakukan pada struktur elastik.

Pada analisa respon spektrum, kombinasi spektrum dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain metode CQC (*Complete Quadratic Combination*), metode SRSS (*Square Root of Sum of Squares*), metode ABS (*Absolute*) dengan menjumlahkan nilai mutlak dan respons pola getar sehingga metode ini terlalu konservatif, dan metode GMC (*General Modal Combination*).

Pada analisa riwayat waktu, ada dua metode yang dapat digunakan yaitu metode superposisi modal dan metode integrasi langsung. Untuk metode integrasi langsung (*Direct Intergration Method*), perhitungan dilakukan secara langsung tanpa transformasi.

2. Analisa beban statik ekuivalen (*static equivalent analysis*)

Analisa ini hanya dapat digunakan pada struktur elastik saja. Gaya inersia dalam analisa ini 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. Beban geser dasar nominal, V , harus

didistribusikan sepanjang tinggi gedung menjadi gaya gempa nominal static ekivalen yang bekerja pada titik pusat massa lantai.

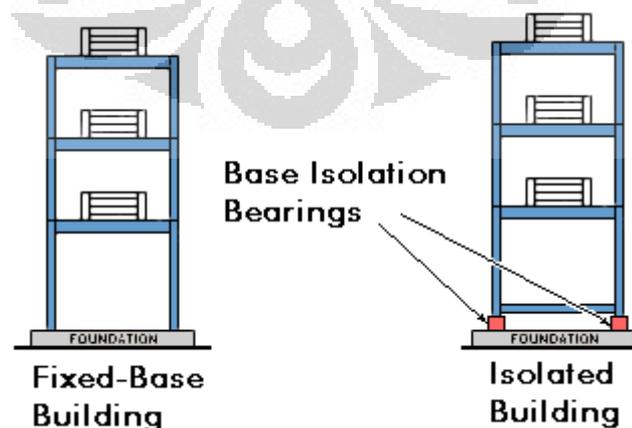
3. Analisa beban statik dorong (*pushover analysis*) yang dapat digunakan baik untuk struktur elastik maupun untuk struktur inelastik.

Analisa pushover merupakan analisa statik nonlinier yang digunakan untuk mengetahui perilaku keruntuhan struktur terhadap beban lateral. Analisa dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian ditingkatkan secara bertahap hingga mencapai suatu target perpindahan lateral yang ditetapkan.

2.3 Respon Struktur dengan Isolator

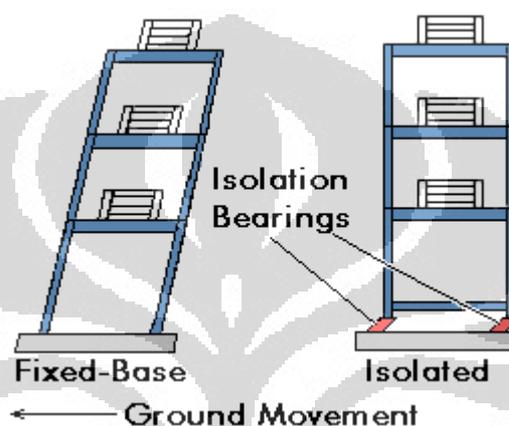
Untuk mengatasi efek gaya yang ditimbulkan oleh gempa pada suatu struktur bangunan yaitu dengan memperbesar daktilitas dan atau kekuatan dan kekakuan struktur. Salah satu metode yang dapat dilakukan dalam usaha mengurangi kerusakan akibat beban gempa adalah dengan penggunaan teknik *base isolation* (Kelly, 1999).

Konsep dari *base isolation* adalah sistem ini memisahkan struktur atas suatu bangunan, dari gerakan horizontal tanah dengan meletakkan elemen struktur dengan kekakuan horizontal yang rendah diantara struktur atas dan pondasi. Perbandingan struktur dengan perletakan jepit (*fixed base*) dengan struktur terisolasi dapat dilihat pada gambar 2.2.



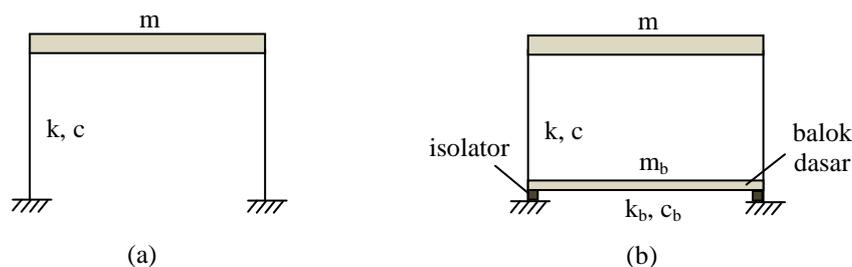
Gambar 2.5. Struktur Fixed-Base dan Base-Isolated

Permasalahan yang terjadi pada struktur dengan perletakan jepit biasa adalah memiliki kekakuan yang besar sehingga pada saat gaya gempa besar terjadi, gaya dalam yang harus ditahan oleh struktur tersebut juga akan sangat besar. Oleh karena itu, untuk mengurangi besarnya gaya dalam yang terjadi di dalam struktur tersebut, kekakuan struktur dapat direduksi dengan mengizinkan *displacement* pada perletakan. Perbedaan reaksi *displacement* yang terjadi pada perletakan saat terjadi gaya gempa, dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.6. Deformasi Struktur Fixed-Base dan Base-Isolated

Bila suatu struktur diberikan isolator, maka respon yang dihasilkan akan menggeser periode alami menjauhi periode alami struktur serta akan mereduksi energi gempa sehingga respon yang didapat tidaklah sebesar sebelum menggunakan isolator. Dengan penambahan isolator ini akan menyebabkan periode alami pertama akan lebih besar dibandingkan dengan periode alami kedua. Untuk memahami pengaruh isolator terhadap perilaku struktur, akan ditinjau struktur satu lantai dengan perletakan jepit (fixed-base) dan struktur satu lantai dengan isolator.



Gambar 2.7. Struktur Satu Lantai: a) Struktur Perletakan Jepit, b) Struktur Terisolasi

Parameter pada bangunan satu lantai yang diidealisasi antara lain : massa m , kekakuan horizontal k , koefisien damping c . Sistem *Single Degree of Freedom* ini memiliki frekuensi alami ω_n , periode/waktu getar alami T_n , dan rasio damping ζ . Subskrip f menunjukkan struktur dengan perletakan jepit tanpa isolasi (*fixed base*).

$$\omega_f = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad T_f = \frac{2\pi}{\omega_f} \quad \zeta_f = \frac{c}{2m\omega_f} \quad (2.14)$$

Pada bangunan satu lantai yang diisolasi, maka dipertimbangkan parameter massa m_b , kekakuan horizontal k_b , dan damping c_b dari plat dasar (*base slab*). T_b diartikan sebagai periode getar alami, dan ζ_b rasio damping, pada bangunan terisolasi dengan bangunan tersebut diasumsikan kaku atau pada sistem isolasi dengan juga diasumsikan bangunan tersebut kaku.

$$\omega_b = \sqrt{\frac{k_b}{m+m_b}} \quad T_b = \frac{2\pi}{\omega_b} \quad \zeta_b = \frac{c_b}{2(m+m_b)\omega_b} \quad (2.15)$$

T_b dapat diartikan sebagai periode getar alami, dan ζ_b sebagai rasio redaman dari bangunan terisolasi yang diasumsikan kaku, atau sistem isolasi dengan bangunan juga kaku. Gaya-gaya yang bekerja pada bangunan dapat berkurang efektif dengan *Base Isolation*, jika T_b jauh lebih panjang daripada T_f .

Dengan m , k dan c seperti yang telah didefinisikan sebelumnya, persamaan $m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g(t)$ memberikan persamaan gerak bagi sistem, periode dan mode getar alami dari sistem dapat ditentukan, dan respon gempa sistem diperkirakan melalui analisa spektrum respon.

Pada tahap memahami dinamika base isolation, rasio redaman yang digunakan dalam analisa adalah sebesar 2% dari redaman kritis, lebih rendah 5% yang biasa digunakan sebagai asumsi dalam analisa dan desain gempa suatu struktur. Nilai redaman yang lebih tinggi berdampak pada tambahan energi disipasi melalui kerusakan nonstruktural yang diharapkan terjadi pada struktur konvensional selama terjadinya gempa. Tujuan base isolation adalah untuk mengurangi gaya yang diteruskan ke struktur hingga tingkat dimana tidak terjadi kerusakan pada struktur maupun elemen nonstruktural, dan karena itu nilai redaman yang lebih rendah cocok untuk keadaan ini.

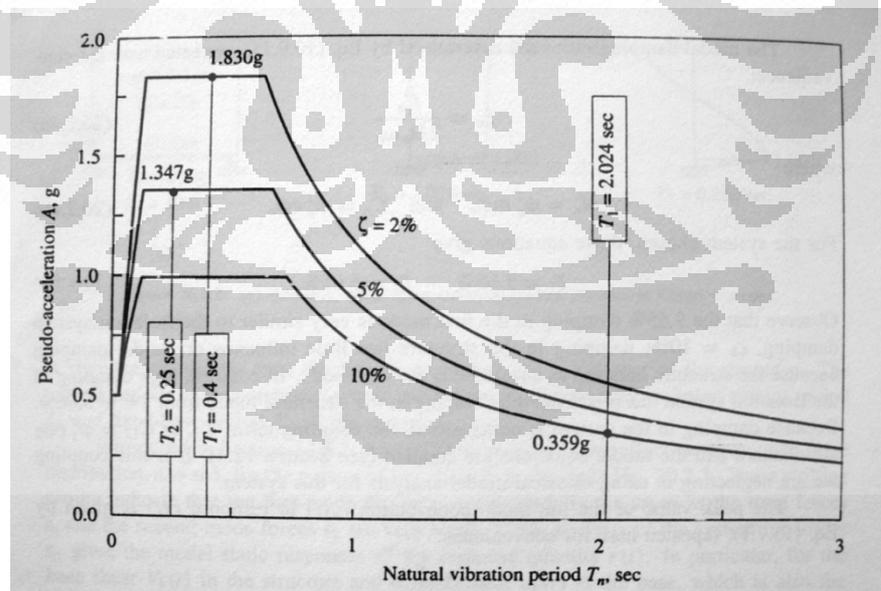
Gaya geser *base* dalam bangunan dan deformasi sistem isolasi dapat diperkirakan dengan analisa yang lebih sederhana dengan menganggap bangunan ini kaku (Chopra,1995). Dengan asumsi ini, sistem gabungan hanya memiliki satu derajat kebebasan. Untuk sistem SDOF ini dengan periode alami T_b dan rasio redaman ζ_b , spectrum desain memberikan percepatan $A(T_b, \zeta_b)$ dengan deformasi $D(T_b, \zeta_b)$. Deformasi isolator adalah

$$u_b = D(T_b, \zeta_b) \quad (2.16)$$

Dan gaya geser *base* pada struktur adalah

$$V_b = mA(T_b, \zeta_b) \quad (2.17)$$

Karena akurasi yang cukup tinggi, perkiraan struktur kaku merupakan cara yang cukup memadai untuk memperkirakan efektivitas sistem Base Isolation dan deformasi isolator. Pertama, rasio $A(T_b, \zeta_b) / A(T_f, \zeta_f)$ dari dua ordinat spectral memberikan gaya geser base pada sistem isolasi sebagai persen dari gaya geser base pada struktur fixed-base. Kedua, ordinat spektrum deformasi $D(T_b, \zeta_b)$ adalah deformasi isolator.



Gambar 2.8. Desain spektrum pada struktur fixed-base dan isolated

Gambar diatas merupakan desain spektrum pada struktur satu lantai. Periode getar alami struktur fixed-base (T_f) yaitu sebesar 0,4 detik. Saat diberi isolator, periode getar alami struktur (T_1) menjadi 2,024 detik. Penambahan periode pada struktur

terisolasi dikarenakan pergerakan isolator pada saat struktur terkena gaya gempa. Periode struktur terisolasi didesain sedemikian rupa sehingga berada pada periode yang lebih besar, hal ini dimaksudkan untuk menghindari resonansi saat terjadi gempa yang pada umumnya mempunyai periode kurang dari 1 detik.

Efektivitas *base isolation* dalam mengurangi gaya-gaya struktural berkaitan erat dengan penambahan periode alami struktur, dan untuk tujuan ini, rasio periode T_b/T_f harus sebesar mungkin selama masih dalam batas-batas dapat dilaksanakan. Periode alami struktur perletakan jepit menempatkan struktur pada puncak spectrum desain terpilih. Dengan adanya *base isolation*, periode alami (dari isolation mode yang memberikan sebagian besar respon) bergeser ke bagian spectrum dengan nilai percepatan kecil. Akibatnya, gaya geser berkurang. Pengurangan gaya-gaya pada struktur akibat pergantian periode ini bergantung pada periode alami struktur perletakan jepit dan bentuk spektrum desain gempa. Analisa berdasarkan asumsi struktur kaku, dan tidak akurat untuk struktur dengan periode alami yang relatif panjang.

2.4 Perkembangan Base Isolation

Ada dua tipe dasar dari base isolation (Chopra, 1995) yaitu *elastomeric bearing* dan sistem geser (*sliding system*). Namun seiring berjalannya waktu, base isolation berkembang menjadi sistem pegas (*spring-type system*), *sleeved-pile isolation system*, dan *rocking system*. (Kelly, 1999)

A. Sistem dengan *Elastomeric Bearing*

Sistem ini menggunakan blok yang terbuat dari karet alami atau *neoprene* yang besar tanpa ada lempengan baja diantaranya. Besar kekakuan vertikal dari karet ini hanya beberapa kali dari kekakuan horizontalnya dan karet tersebut biasanya tanpa redaman. Sistem ini juga dilengkapi dengan blok *foam-glass* yang mengelilingi *rubber bearing* yang digunakan sebagai alat untuk mencegah gedung bergerak karena pengaruh angin, kegiatan yang terjadi di dalam gedung, maupun input seismik yang rendah.

Ide dari *elastomeric bearing* ini adalah memisahkan struktur dari komponen horizontal gerakan tanah akibat gempa, dengan meletakkan beberapa layer (lapisan) dengan kekakuan horizontal rendah (*low lateral stiffness*) diantara

pondasi dan struktur atas. Lapisan terisolasi ini membuat struktur dengan *base isolator* mempunyai waktu getar alami (*natural period*) yang lebih lama dibanding dengan waktu getar alami pada struktur dengan perletakan jepit (*fixed-base*).



Gambar 2.9. Base Isolator Tipe Elastomeric Bearing

(Sumber : www.seismicisolation.com)

Peningkatan waktu getar alami dapat mengurangi kecepatan (*pseudo-acceleration*) dan membatasi pengaruh gaya gempa pada struktur, namun meningkatkan besar deformasi; deformasi total pada seluruh sistem isolasi. Sistem isolasi tidak menyerap energi gempa, namun membiaskannya pada dinamika sistem. Sistem isolasi jenis ini efektif walaupun sistemnya linear dan tanpa redaman (*undamped*). Namun, redaman dapat mengurangi gaya pada struktur dan deformasi pada sistem isolasi secara signifikan.

Pada perkembangan selanjutnya, karet alami tersebut ditambahkan lempengan baja untuk mengurangi gaya lateral yang berlebih dan meningkatkan kekakuan vertikal. *Elastomeric bearing* dengan karet dan dilengkapi oleh lempengan baja ini disebut *laminated elastomeric bearing*.

Laminated elastomeric bearing dapat dibedakan menjadi

- *Low Damping Rubber Bearing*

Low-damping rubber bearing ini dapat menggunakan karet alami maupun karet sintetis. Terdapat dua pelat tebal yang terletak pada ujung atas dan bawah dari isolator serta terdapat pelat-pelat tipis diantara kedua pelat yang bertujuan untuk memperbesar kekakuan vertikal tanpa

mempengaruhi 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 pengetesan yang dilakukan menunjukkan bahwa material ini dapat menahan geser linier sampai pada regangan 150% tanpa redaman sama sekali.

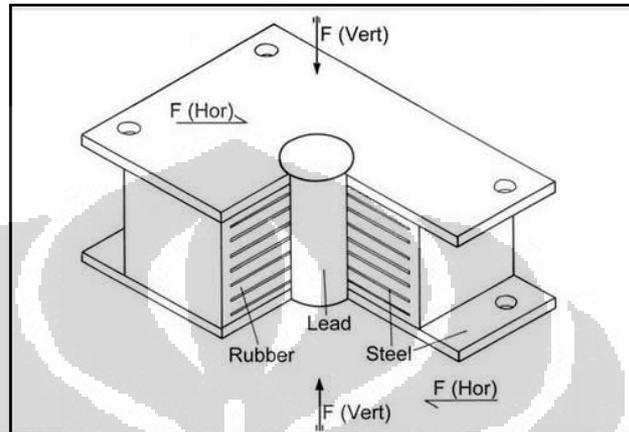
Beberapa keuntungan dari *low-damping elastomeric bearing* antara lain mudah dalam pembuatan, pemasangan dan permodelannya; serta respon mekanik material ini tidak dipengaruhi oleh usia dan suhu lingkungan. Sedangkan kelemahan dari material ini adalah dibutuhkan sistem redaman lain untuk mendukung dalam melaksanakan fungsinya dengan kata lain tidak dapat bekerja dengan baik sendiri.

- *Lead-Plug Bearing*

Lead-plug bearing hampir sama dengan *low damping rubber bearing*, namun terdapat satu atau lebih semacam penyumbat timah (*lead-plug*) 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-plug* tertekan dan berdeformasi pada besar gaya tekan sekitar 10 MPa (berperilaku hampir sebagai *elastic-plastic solid*). Untuk mendeformasi plastik timah pada suhu 20°C dibutuhkan usaha yang sama dengan mendeformasikan secara plastik material besi atau baja pada suhu di atas 400°C. Oleh karena itu, timah memiliki properti fatik (*fatigue*) yang baik, selama *cycling* pada saat tegangan plastik (Robinson and Greenbank, 1975, 1976). Kelebihan lain dari penggunaan timah yaitu karena timah telah digunakan pada baterai, maka timah sudah tersedia pada kemurnian tinggi 99.9 % yang diperlukan untuk properti mekanis.

Penempatan timah diantara lapisan-lapisan baja dan karet, harus dipastikan terpasang kuat dan pas. Untuk dapat memastikan hal tersebut, sangat direkomendasikan volum dari timah harus lebih besar 1% dibandingkan

volum lubang, dan *lead-plug* dapat terpasang dengan kuat pada lubang. Pada saat *elastomeric bearing* berdeformasi horizontal, gaya bekerja pada timah dengan pertautan plat baja yang berdeformasi geser sepanjang keseluruhan volum.



Gambar 2.10. Lead-Plug Bearing

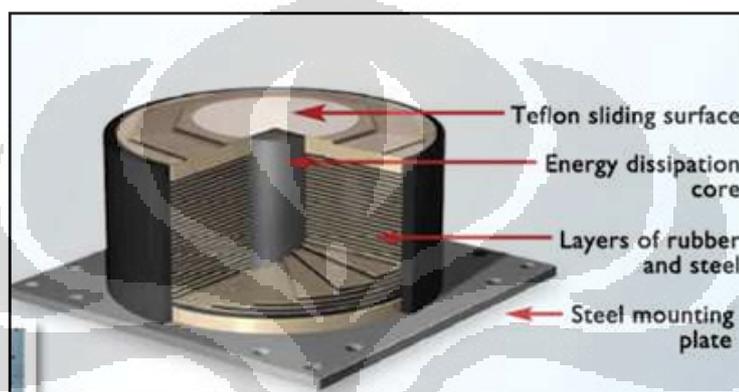
- *High Damping Natural Rubber System (HDNR)*

High-damping 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 material lain yang bersifat sebagai filler/pengisi. Material ini bersifat non-liner bila kondisi regangan di bawah 20% karena dipengaruhi kekakuan dan redaman tinggi yang bertujuan untuk mengurangi respon akibat beban angin dan beban gempa yang kecil. Pada kondisi regangan 20-120% material bersifat linier, yang disebabkan oleh modulus gesernya konstan dan rendah.

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

B. Sistem Geser (*Sliding System*)

Pada sistem isolasi ini, digunakan roller atau slider dari bahan *teflon* atau *stainless steel* yang diletakkan diantara pondasi dan dasar struktur. Cara kerja dari sistem ini yaitu membatasi perpindahan gaya geser pada permukaan isolasi dengan menjaga koefisien gesek serendah koefisien praktis. Bagaimanapun juga, gesekan harus cukup tinggi untuk menahan gaya angin dan gaya gempa tanpa pergeseran (*sliding*).



Gambar 2.11. Base Isolator Tipe Sliding/Roller

(Sumber : www.dis-inc.com)

Berdasarkan penelitian yang ada, diketahui bahwa sistem *sliding bearing* lebih efektif dalam soal biaya daripada sistem *elastomeric 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 > 5cm, sistem ini akan mengalami pergeseran.

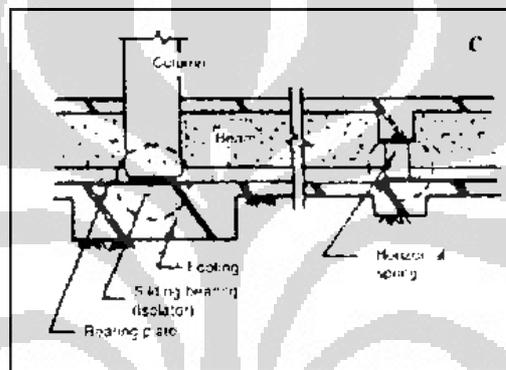
- Sistem kombinasi EERC

Sistem ini adalah kombinasi dari sistem *elastomeric bearing* pada kolom-kolom internal dengan sistem geser 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 geser rendah sampai tinggi.



Gambar 2.12. Sistem TASS

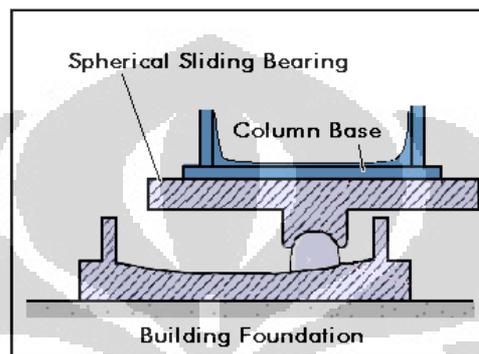
Kelemahan dari sistem ini adalah permodelan yang dibuat untuk sistem ini cukup rumit, selain itu *elastomeric bearing* yang ada tidak dapat menahan beban vertikal.

- Sistem *Resilient-Friction Base Isolation*

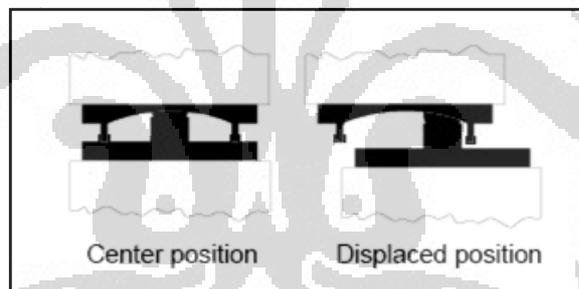
Pada sistem *resilient-friction base isolation*, kelemahan sistem TASS yaitu memiliki koefisien gesek friksi pada stainless dan Teflon yang besar pada kecepatan geser yang tinggi diperbaiki, dengan cara membuat lapisan – lapisan dengan bahan teflon yang ada dari atas ke bawah sehingga permukaan geser 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.



Gambar 2.13. Sistem Friction-Pendulum



Gambar 2.14. Perubahan Posisi pada Sistem Friction-Pendulum

Sistem *friction pendulum* ini memiliki kekuatan dan stabilitas yang melebihi sistem *rubber bearing*. Properti materialnya tidak dipengaruhi oleh usia atau suhu. Dengan kekuatan yang tinggi dan kekakuan vertikal yang besar maka akan mengurangi biaya instalasi.

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.

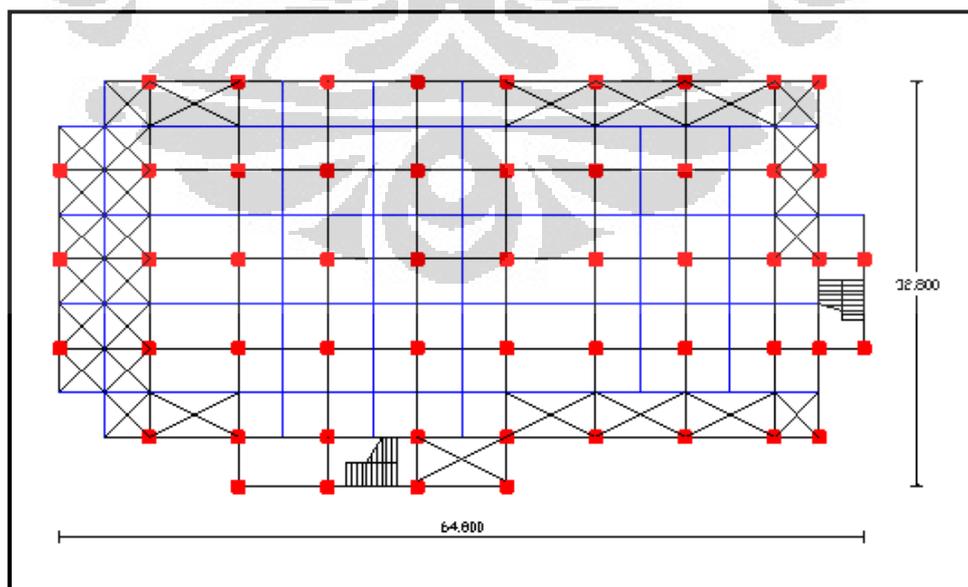
BAB 3

MODELISASI STRUKTUR

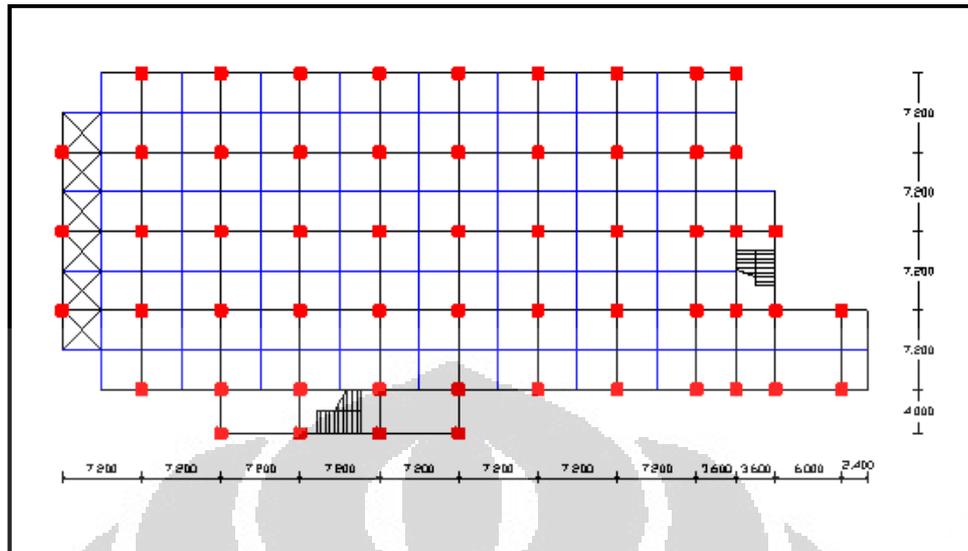
Sebagai langkah awal dari penyelesaian masalah penelitian kinerja base isolator pada struktur gedung ini, modelisasi dari struktur itu sendiri harus dilakukan untuk memberikan gambaran pada struktur yang seperti apakah permodelan sistem base isolation ini akan digunakan. Permodelan struktur ini memiliki batasan-batasan yang meliputi modelisasi struktur hanya untuk struktur atas, tidak termasuk pondasi; dan elemen non-struktural, seperti dinding partisi, tidak termasuk dalam permodelan;

3.1 Input Program

Objek penelitian pada Tugas Akhir ini yaitu Gedung Bedah Sentral Terpadu Rumah Sakit Umum Pemerintah Dr. Sardjito, Yogyakarta. Gedung yang terdiri dari 5 lantai ini, menempati areal seluas $\pm 4000 \text{ m}^2$. Struktur atas diidealisasikan atas 3 elemen utama yaitu kolom, balok dan pelat lantai. Tiga elemen utama ini berfungsi mendukung beban vertikal (gravitasi). Denah struktur balok dan kolom diilustrasikan seperti pada gambar dibawah ini,



(a) Lantai Atas



(b) Lantai 1 s/d Lantai 4

Gambar 3.1. Denah Struktur Gedung Bedah Sentral Terpadu RSUP Dr. Sardjito

A. Input Data Struktur

Beberapa hal yang digunakan dalam permodelan struktur pada program SAP2000 antara lain:

1. Tinggi lantai 1 yaitu 5.9 m; tinggi lantai 2 s/d lantai atap yaitu 4.2 m.
2. Kolom dimodelkan sebagai elemen *frame* dengan hubungan joint yang kaku. Dimensi kolom yang digunakan yaitu 60x60 untuk kolom lantai 1; 50x50 untuk kolom lantai 2 dan 3; 45x45 untuk kolom 4 dan atap.
3. Balok dimodelkan sebagai elemen *frame* dengan hubungan joint yang kaku. Dimensi balok yang digunakan yaitu 40x60, 35x55 untuk balok induk dan 25x60 untuk balok anak.
4. Pelat dimodelkan sebagai pelat *shell* dan *rigid diaphragm* karena lantai dianggap kaku terhadap beban kerja horizontal. Pelat shell memiliki ketebalan 12 cm untuk pelat lantai 1 s/d 4 dan tebal 10 cm untuk pelat lantai atap.
5. Untuk struktur fixedbase, perletakan dimodelkan sebagai perletakan jepit pada ujung-ujung kolom lantai 1.

B. Input Properti Material

Properti material dalam pemodelan struktur dalam program SAP2000, antara lain:

- Jenis material : beton bertulang
- Berat jenis (γ_c) : 2400 kg/m³
- Mutu beton : K-250
- Kuat tekan beton (f_c') : 25 MPa
- Modulus elastisitas beton (E_c) : $4700\sqrt{f_c'} = 22000$ MPa
- Poisson's ratio : 0,2
- Modulus geser (G) : 9.79×10^6 kN/m²
- Jenis material : baja tulangan
- Kuat leleh (f_y) : 400 MPa

C. Input Pembebanan

Input pembebanan pada Tugas Akhir ini dibagi menjadi 3 pembebanan, yaitu beban mati, beban hidup dan beban gempa. Pembebanan ini mengacu pada Peraturan Pembebanan Tahun 1987.

a. Beban mati pada pelat lantai

▪ Adukan tebal 4 cm	: 4 x 21 kg/m ²	=	84.0 kg/m ²
▪ Lantai keramik tebal 7 mm	: 0.7 x 24 kg/m ²	=	16.8 kg/m ²
▪ Penutup langit-langit dan penggantung		=	18.0 kg/m ²
▪ Mekanikal dan elektrik		=	20.0 kg/m ²
SIDL			= 138.8 kg/m ²

Beban hidup pada pelat lantai LL = 250.0 kg/m²

b. Beban mati pada pelat atap

▪ Adukan tebal 4 cm	: 4 x 21 kg/m ²	=	84.0 kg/m ²
▪ Penutup langit-langit dan penggantung		=	18.0 kg/m ²
▪ Mekanikal dan elektrik		=	20.0 kg/m ²
SIDL			= 122.0 kg/m ²

Beban hidup pada pelat lantai LL = 100.0 kg/m²

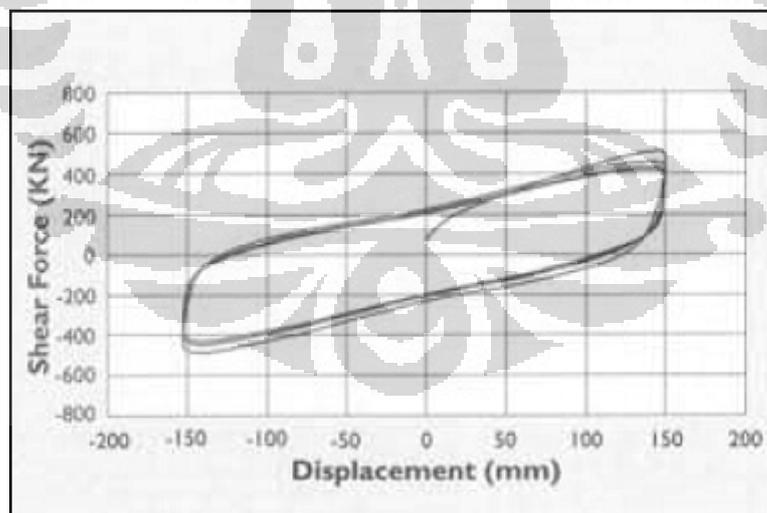
c. Beban Gempa

Sesuai dengan SNI 03-1726-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung. Akselerogram yang digunakan untuk analisis respon dinamik riwayat waktu, paling sedikit 4 akselerogram dari 4 gempa yang berbeda dan salah satunya harus diambil akselerogram Gempa El Centro N-S tahun 1940 di California. Hal ini dilakukan untuk mengurangi ketidakpastian mengenai kondisi lokasi tempat struktur gedung berada.

Pada tugas akhir ini, digunakan 4 akselerogram dari Gempa El Centro 1940, Gempa Kern County 1952, Gempa SanFernando 1971, dan Gempa Loma Prieta 1989. Data dari gempa-gempa yang digunakan dapat dilihat pada lampiran.

D. Modelisasi Base Isolator

Base isolator yang digunakan adalah tipe lead rubber bearing yang akan memberikan fleksibilitas dan redaman pada struktur bangunan. Properti yang digunakan adalah grafik force-displacement hysteresis loops dibawah ini.



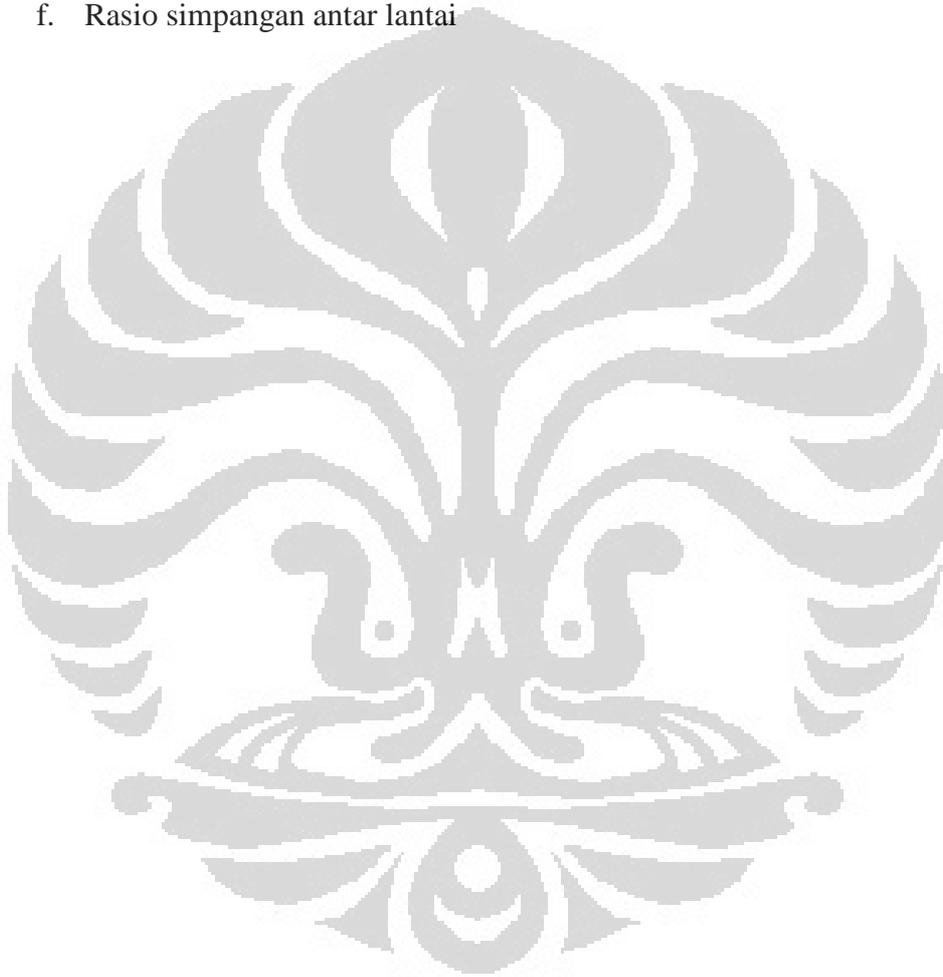
Gambar 3.2 Diagram force-displacement isolator

Displacement pada isolator didisain mencapai 160 mm dengan gaya yang bekerja mencapai 500 kN.

3.2 Parameter Yang Akan Dievaluasi

Parameter yang akan dievaluasi dari analisis struktur bangunan ini yaitu:

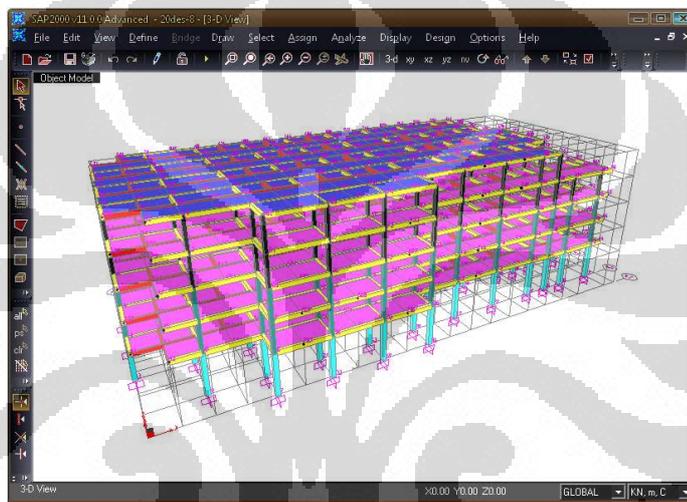
- a. Periode struktur
- b. Percepatan Total
- c. Reaksi perletakan
- d. Momen dan gaya geser lantai
- e. Simpangan
- f. Rasio simpangan antar lantai



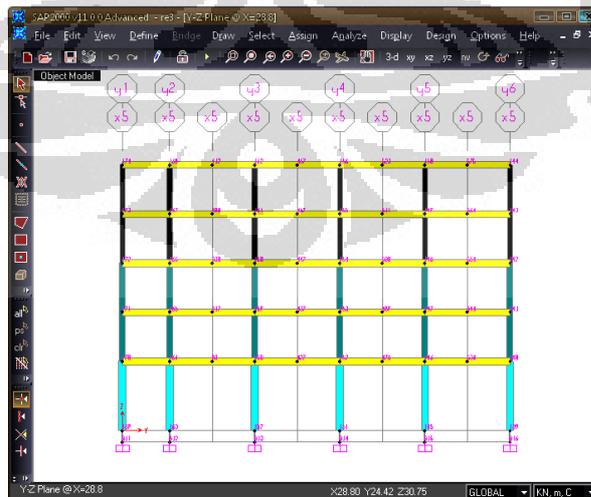
BAB 4

HASIL ANALISIS

Struktur gedung rumah sakit dimodelkan 3D pada program SAP2000 baik untuk struktur perletakan jepit (fixed-base) maupun struktur terisolasi (isolated) dengan memasukkan data seperti yang telah disebutkan pada bab sebelumnya. Berikut ini adalah ilustrasi permodelan struktur pada tampilan SAP2000 :



(a)



(b)

Gambar 4.1 Permodelan Struktur : (a) permodelan struktur jepit; (b) permodelan struktur terisolasi

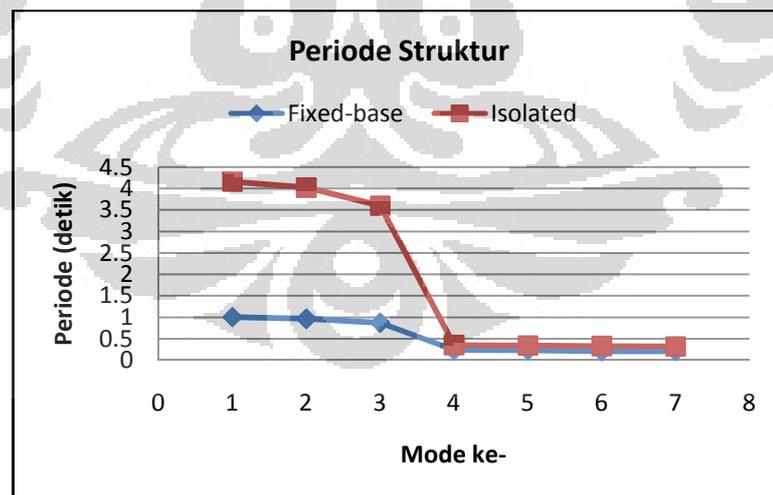
Pada kedua permodelan dianalisis dengan dengan analisis dinamik riwayat waktu terhadap 4 gaya gempa. Dari simulasi yang dilakukan, didapat hasil sebagai berikut :

4.1 Periode Getar Alami Struktur

Perbedaan dasar pada struktur fixed-base dan isolated yaitu pada waktu periode alami pada tiap mode. Berikut hasil analisis struktur periode getar alami struktur perletakan jepit dan isolator:

Tabel 4.1 Perbandingan Periode Bangunan Fixed Base dan Isolated

Mode	Fixed base (detik)	Isolated (detik)
1	1.008	4.157
2	0.969	4.021
3	0.877	3.602
4	0.241	0.353
5	0.239	0.344
6	0.216	0.330
7	0.214	0.321



Gambar 4.2 Perbandingan Periode Struktur

Dapat dilihat, bahwa mode 1 bangunan fixed base berperiode 1.008 detik, sedangkan pada bangunan isolated berperiode 4.157 detik. Pada mode ke 2, bangunan fixed base berperiode 0.97 detik, sedangkan bangunan isolated

berperiode 4.021 detik. Pada mode ke 3, bangunan isolated berperiode 3.602 detik sedangkan periode pada bangunan fixed base yaitu 0.877 detik. Pada mode ke 4, periode pada struktur isolated mengalami penurunan yang sangat signifikan yaitu menjadi 0.353 detik. Maka dapat dilihat bahwa base isolator mempengaruhi periode getar bangunan secara efektif pada mode 1, 2 dan 3.

Periode getar alami merupakan waktu yang dibutuhkan suatu struktur untuk bergerak satu kali putaran. Waktu periode yang lebih besar menunjukkan bahwa struktur tersebut membutuhkan waktu yang lebih lama untuk dapat kembali ke posisi semula (satu kali putaran). Periode alami suatu struktur dipengaruhi oleh kekakuan struktur dan massa struktur tersebut, seperti ditunjukkan oleh persamaan

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (4.1)$$

Dari persamaan diatas dapat diketahui, periode struktur terisolasi lebih besar dibanding dengan periode struktur fixed-base karena kekakuan (dasar) struktur terisolasi lebih kecil dibanding dengan kekakuan (dasar) struktur fixed-base. Dengan adanya isolator, gaya yang bekerja pada struktur, terlebih dahulu bekerja pada isolator dan kemudian akan bekerja pada struktur. Hal ini yang menyebabkan periode getar struktur terisolasi lebih besar dibanding periode getar struktur fixed-base.

4.2 Kecepatan Lantai dan Percepatan

Kecepatan lantai saat terjadi gempa dianalisis pada struktur fixed-base maupun terisolasi. Kecepatan lantai ditinjau dalam arah x dan arah y.

Tabel 4.2 Perbandingan Kecepatan Arah X pada Lantai Teratas

	Fixed base		Isolated	
	Max	Min	Max	Min
El Centro	0.649	-0.769	0.576	-0.424
Kern County	0.28	-0.286	0.167	-0.166
Loma Prieta	0.073	-0.054	0.038	-0.043
San Fernando	0.410	-0.322	0.549	-0.491

(Satuan dalam m/s)

Tabel 4.3 Perbandingan Kecepatan Arah Y pada Lantai Teratas

	Fixed base		Isolated	
	Max	Min	Max	Min
El Centro	0.639	-0.725	0.565	-0.424
Kern County	0.246	-0.267	0.157	-0.166
Loma Prieta	0.071	-0.048	0.038	-0.042
San Fernando	0.547	-0.323	0.568	-0.503

(Satuan dalam m/s)

Dari dua tabel diatas, dapat dilihat tren yang terjadi pada struktur terisolasi dibanding dengan struktur fixed-base. Kecepatan lantai teratas struktur fixed-base dengan analisis gempa El Centro adalah sebesar 0.649 m/s. Dengan penambahan isolator pada struktur, kecepatan lantai teratas menjadi 0.576 m/s. Penurunan nilai kecepatan juga terjadi pada analisis gempa Kern dan Loma. Untuk analisis gempa San Fernando, base isolator kurang efektif dalam mereduksi kecepatan lantai teratas pada struktur.

Tinjauan terhadap percepatan dilakukan untuk mendapatkan hubungan antara periode struktur yang bertambah dan percepatan yang menurun. Dari hasil analisis pada tiap gempa, didapat hasil yang sesuai dengan teori, yaitu penambahan periode struktur (dengan penggunaan isolator) dapat menurunkan percepatan lantai pada struktur. Pada analisis gempa El Centro, percepatan mengalami penurunan dari 6.596 m/s² ke 2.957 m/s².

Tabel 4.4 Perbandingan Percepatan Arah X

	Fixed base		Isolated	
	Max	Min	Max	Min
El Centro	6.596	-5.465	2.957	-3.152
Kern County	2.478	-3.126	1.346	-1.475
Loma Prieta	0.623	-0.375	0.229	-0.302
San Fernando	3.028	-2.555	2.313	-2.140

(Satuan dalam m/s²)

Tabel 4.5 Perbandingan Percepatan Arah Y

	Fixed base		Isolated	
	Max	Min		Max
El Centro	6.467	-5.34	2.959	-3.151
Kern County	2.242	-2.808	1.354	-1.480
Loma Prieta	0.627	-0.375	0.229	-0.301
San Fernando	3.222	-2.636	2.288	-2.110

(Satuan dalam m/s²)

Dari tabel perbandingan percepatan diatas, diketahui percepatan pada struktur terisolasi mengalami penurunan dibanding struktur jepit. Ini menandakan bahwa penambahan isolator dapat mengurangi pengaruh percepatan tanah terhadap percepatan struktur. Besar percepatan suatu struktur dipengaruhi oleh waktu getar alami dan redaman pada struktur tersebut. Dengan penambahan waktu getar pada struktur terisolasi, maka percepatan menjadi berkurang. Pengurangan percepatan pada struktur terisolasi dapat mengurangi potensi kerusakan struktur.

4.3 Reaksi Perletakan (Base Reaction)

Dari hasil analisis yang dilakukan, dapat terlihat bahwa reaksi perletakan baik reaksi lintang maupun momen pada struktur terisolasi, mengalami penurunan yang sangat signifikan. ntuk analisis gempa El Centro, reaksi FX struktur fixed-base yaitu 64664 kN, sedangkan pada struktur terisolasi reaksi FX sebesar 7095 kN. Hal ini menunjukkan penurunan reaksi FX sebesar 80%. Penurunan reaksi juga terlihat pada reaksi FY, FZ, MX, MY, dan MZ. Pada tiap analisis gempa juga menunjukkan kecenderungan yang sama.

Tabel 4.6 Perbandingan Base Reaction

Gempa		FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
<i>Struktur Fixed-base</i>							
El Centro	Max	64664	53867	36	262154	325724	949073
	Min	-59240	-53059	-29	-266173	-298464	-1030720
Kern County	Max	21128	20262	10	119815	106656	513366
	Min	-24844	-24284	-18	-99974	-125157	-531845
Loma Prieta	Max	6007	6045	1	24625	30372	106670
	Min	-5171	-4996	-1	-29803	-26074	-88571
San Fernando	Max	36341	35854	15	141859	182984	757203
	Min	-31785	-28689	-16	-176683	-159885	-554790

Struktur Terisolasi							
El Centro	Max	7095	6959	52	23420	25197	132326
	Min	-7482	-7224	-51	-22423	-26891	-154749
Kern County	Max	2239	2024	22	7364	7972	35405
	Min	-2241	-2222	-20	-6662	-8221	-40011
Loma Prieta	Max	263	253	2	1568	1010	5436
	Min	-466	-459	-2	-886	-1811	-8676
San Fernando	Max	10914	10454	37	24567	38768	170739
	Min	-8206	-7648	-36	-33637	-28869	-119939

Dari tabel diatas, dapat dilihat bahwa isolator mereduksi gaya geser dan momen pada struktur. Sistem isolasi mereduksi gaya geser dasar (*base shear*) karena periode alami pada mode pertama struktur terisolasi lebih lama dibanding periode alami mode pertama struktur jepit, karena menanggung atau menahan hampir keseluruhan respons, sehingga memiliki ordinat spectra lebih kecil (gambar 2.8).

Persamaan dari gaya geser dasar struktur jepit adalah sebagai berikut :

$$V_b = mA(T_f, \zeta_f) \quad (4.2)$$

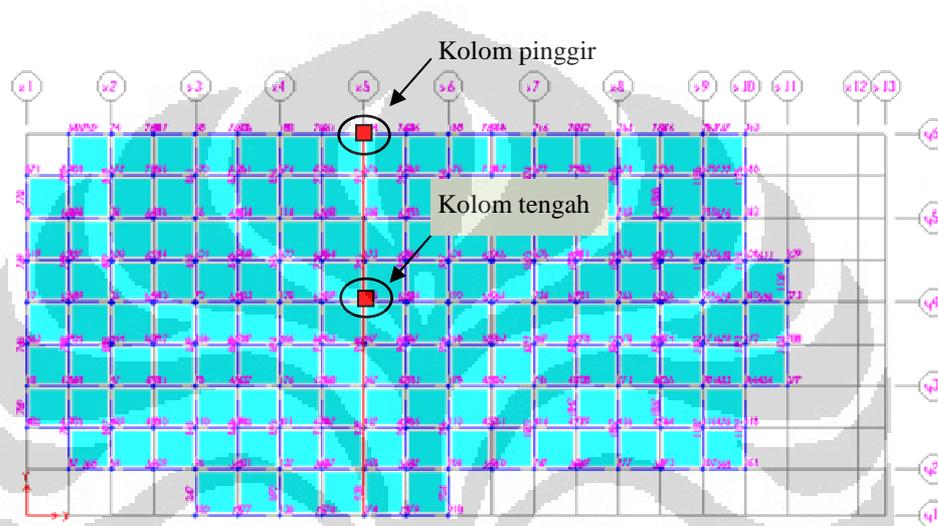
Sedangkan persamaan gaya geser pada struktur terisolasi adalah sebagai berikut :

$$V_{b1} = mA(T_1, \zeta_1) \quad (4.3)$$

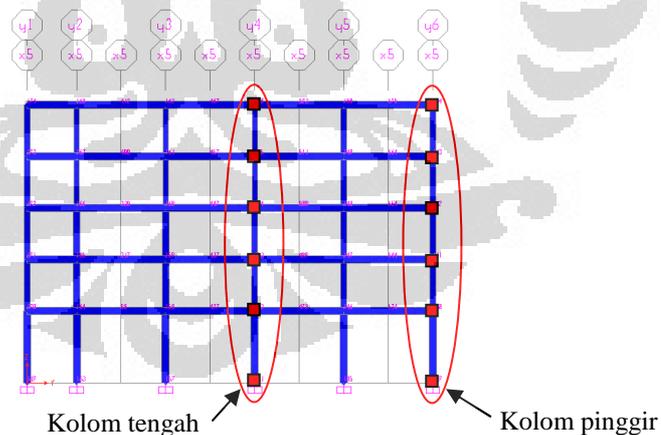
dari persamaan diatas, gaya geser dasar pada suatu struktur dipengaruhi oleh gaya efektif terdistribusi pada tiap modal dan *pseudo-acceleration* dari struktur. Untuk *pseudo-acceleration* pada struktur jepit, $A(T_f, \zeta_f)$ merupakan ordinat dari periode struktur T_f dan damping ratio ζ_f . Untuk *pseudo-acceleration* pada struktur terisolasi, $A(T_1, \zeta_1)$ merupakan ordinat dari periode struktur terisolasi T_1 dan damping ratio ζ_1 . Periode alami struktur isolasi yang lebih lama dibanding struktur jepit, menyebabkan nilai *pseudo-acceleration* yang lebih kecil. Dengan reduksi yang signifikan pada gaya geser dan momen, maka potensi kerusakan struktur akibat gaya gempa menjadi lebih kecil.

4.4 Gaya Dalam Geser

Gaya dalam yang akan dianalisis pada tugas akhir ini adalah gaya dalam geser dan gaya dalam momen. Grafik-grafik pada analisa gaya dalam, merupakan plotting hasil dari program komputer yang digunakan. Pada analisis gaya dalam geser, diambil contoh gaya dalam geser kolom tengah dan kolom pinggir pada bentang Y. Untuk lebih jelas, letak elemen struktur yang ditinjau dapat dilihat pada denah lantai atap berikut ini.



Gambar 4.3 Posisi Kolom yang Ditinjau untuk Gaya Dalam Geser (Tampak Atas)



Gambar 4.4 Posisi Kolom yang Ditinjau untuk Gaya Dalam Geser (Tampak Samping)

Gaya dalam geser pada kolom yang ditinjau yaitu pada titik pertemuan antara kolom dan balok. Kolom yang ditinjau adalah kolom tengah dan kolom pinggir.

A. Gaya Geser Kolom Tengah

Kolom tengah merupakan kolom yang letaknya berada pada tengah bentang x maupun y. Dari hasil yang dikeluarkan pada program SAP2000 dapat dibandingkan reaksi kolom tengah terhadap gempa El Centro, Kern County, Loma Prieta dan San Fernando pada struktur jepit (*fixed*) dan struktur terisolasi (*isolated*).

Tabel 4.7 Gaya Dalam Geser Kolom Tengah (*fixed*)

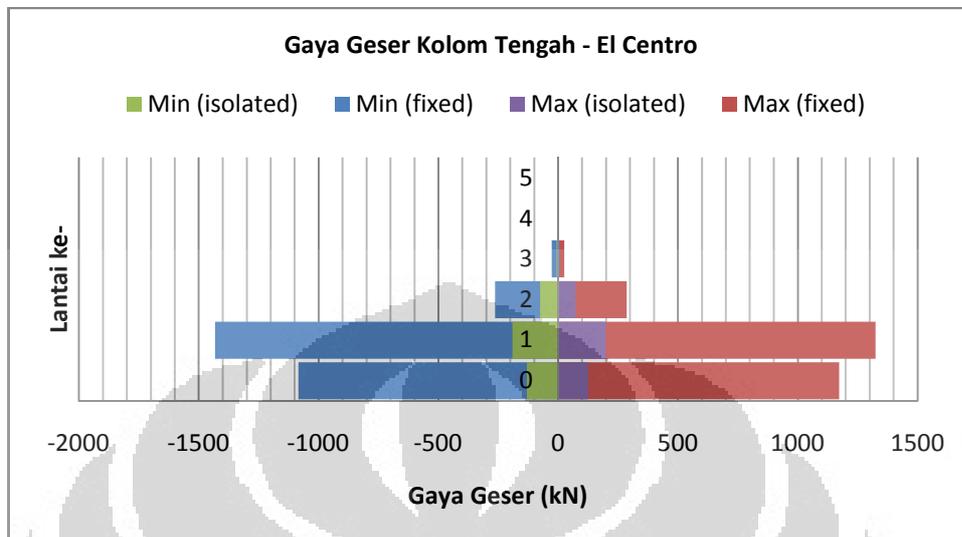
Lantai ke-	El Centro		Kern County		Loma Prieta		San Fernando	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
0	-1083.74	1171.94	-448.72	384.63	-92.11	107.16	-586.06	657.88
1	-1431.45	1323.71	-469.80	548.09	-130.89	112.51	-803.56	715.83
2	-263.74	285.22	-109.21	93.60	-22.42	26.08	-142.62	160.11
3	-27.58	25.50	-9.05	10.56	-2.52	2.17	-15.49	13.79
4	-1.86	2.01	-0.77	0.66	-0.16	0.19	-1.00	1.13
5	-0.13	0.12	-0.05	0.05	-0.01	0.01	-0.08	0.06

(Satuan dalam kN)

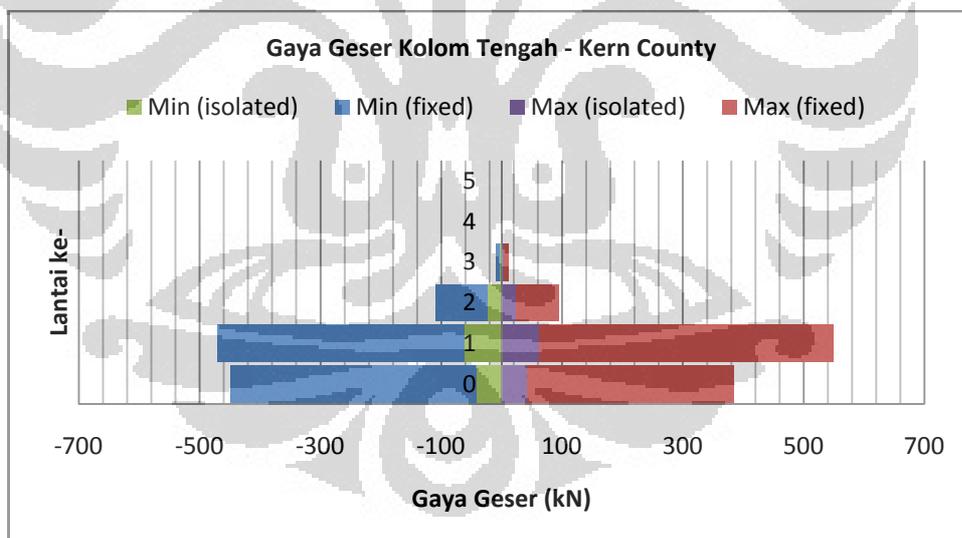
Tabel 4.8 Gaya Dalam Geser Kolom Tengah (*isolated*)

Lantai ke-	El Centro		Kern County		Loma Prieta		San Fernando	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
0	-130.07	125.16	-40.30	40.18	-8.38	4.92	-146.76	192.41
1	-191.13	198.61	-61.31	61.46	-7.50	12.80	-293.84	224.14
2	-75.41	72.54	-23.27	23.26	-4.85	2.84	-85.07	111.52
3	-7.09	7.40	-2.29	2.26	-0.28	0.47	-10.85	8.29
4	-0.65	0.69	-0.21	0.21	-0.04	0.03	-0.71	0.87
5	-0.18	0.12	-0.05	0.05	-0.01	0.01	-0.11	0.10

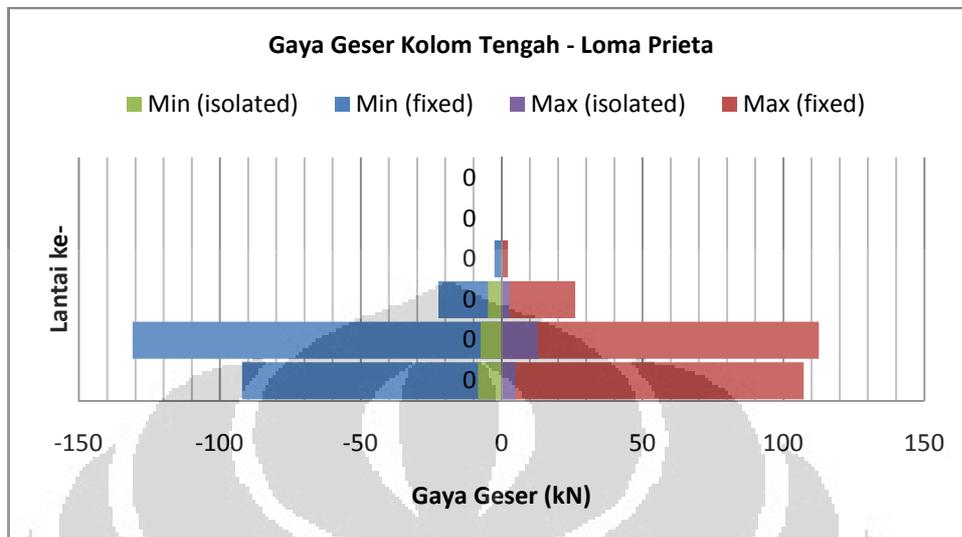
(Satuan dalam kN)



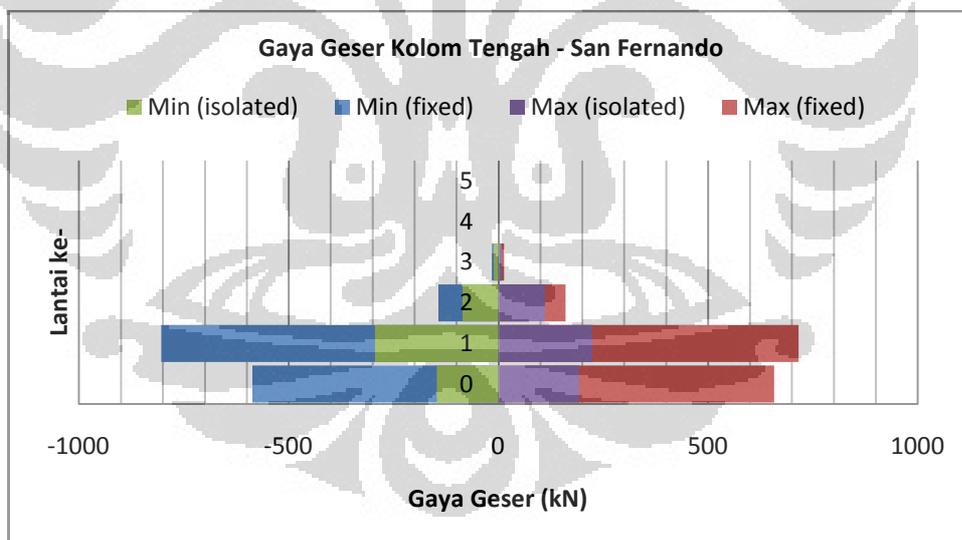
Gambar 4.5 Gaya Geser Kolom Tengah terhadap Gempa El Centro



Gambar 4.6 Gaya Geser Kolom Tengah terhadap Gempa Kern County



Gambar 4.7 Gaya Geser Kolom Tengah terhadap Gempa Loma Prieta



Gambar 4.8 Gaya Geser Kolom Tengah terhadap Gempa San Fernando

Grafik diatas merupakan grafik gaya dalam geser pada kolom tengah terhadap tiap gaya gempa yang dibandingkan antara struktur jepit dan struktur terisolasi. Pada struktur dengan analisis gempa El Centro, dapat dilihat bahwa gaya geser pada tiap lantai mengalami penurunan. Pada lantai dasar, gaya geser struktur fixed base sebesar ± 1300 kN, sedangkan gaya geser pada struktur terisolasi yaitu sebesar ± 130 kN. Pada lantai satu, struktur jepit mengalami gaya geser sebesar ± 1600 kN, sedangkan struktur terisolasi mengalami gaya geser sebesar ± 200 kN. Gaya geser pada lantai 2 juga mengalami penurunan jika dibandingkan pada struktur terisolasi terhadap struktur jepit. Gaya geser sebesar ± 500 kN berkurang menjadi ± 100 kN pada struktur terisolasi. Penurunan nilai gaya geser terjadi sampai lantai atap, tetapi semakin tinggi lantai, pengaruh penurunan gaya geser tidak terlalu signifikan. Kecenderungan yang sama juga terjadi pada analisis dengan gempa Kern County, Loma Prieta dan San Fernando. Pada analisis gempa Kern County dan Loma Prieta, penurunan gaya geser yang terjadi sebesar 90 %, sedangkan pada analisis gempa San Fernando, gaya geser berkurang sebesar 70%.

B. Gaya Geser Kolom Pinggir

Kolom Pinggir yang diambil untuk analisis merupakan kolom yang letaknya berada paling tepi (bentang Y) pada struktur. Dari hasil yang dikeluarkan pada program SAP2000 dapat dibandingkan reaksi kolom pinggir terhadap gempa El Centro, Kern County, Loma Prieta dan San Fernando pada struktur jepit (*fixed*) dan struktur terisolasi (*isolated*).

Tabel 4.9 Gaya Dalam Geser Kolom Pinggir (*fixed*)

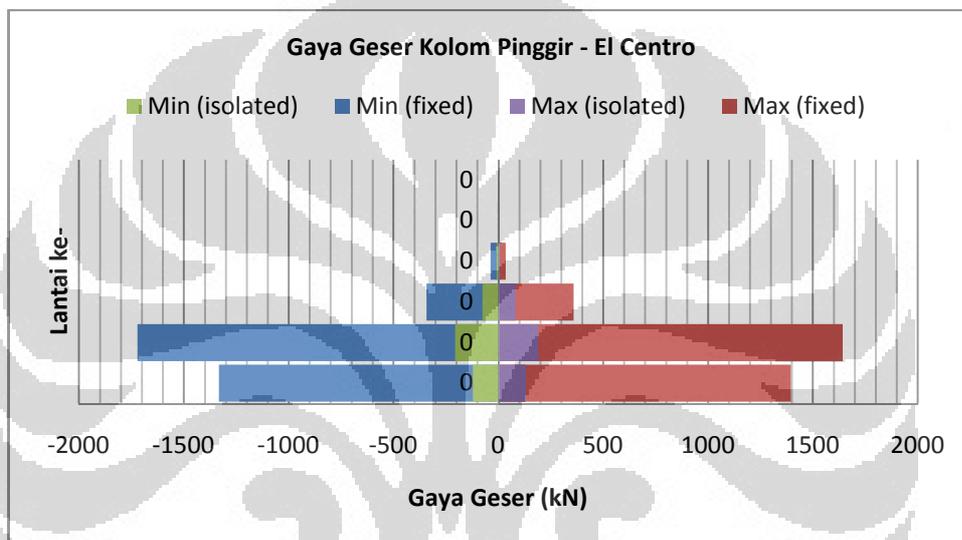
Lantai ke-	El Centro		Kern County		Loma Prieta		San Fernando	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
0	-1332.99	1396	-524.73	468.90	-96.26	110.50	-763.74	769.86
1	-1720.74	1643.05	-577.97	646.78	-136.24	118.68	-949.00	941.32
2	-342.38	358.59	-134.78	120.44	-24.75	28.42	-196.11	197.80
3	-36.34	34.70	-12.20	13.66	-2.88	2.51	-20.05	19.88
4	-2.69	2.82	-1.06	0.95	-0.19	0.22	-1.53	1.55
5	-0.33	0.32	-0.12	0.12	-0.02	0.02	-0.17	0.19

(Satuan dalam kN)

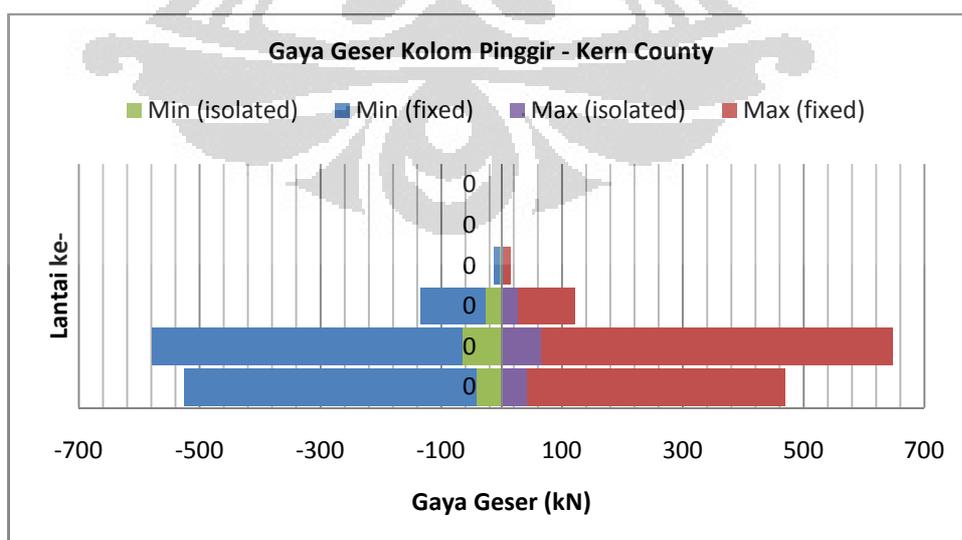
Tabel 4.10 Gaya Dalam Geser Kolom Pinggir (*isolated*)

Lantai ke-	El Centro		Kern County		Loma Prieta		San Fernando	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
0	-121.87	131.80	-41.57	41.35	-8.41	5.37	-174.90	206.37
1	-205.13	190.01	-64.34	64.65	-8.35	13.09	-321.18	271.93
2	-75.12	81.07	-25.49	25.40	-5.17	3.30	-107.50	126.97
3	-8.30	7.61	-2.60	2.59	-0.34	0.52	-12.98	11.07
4	-0.92	0.79	-0.28	0.28	-0.05	0.04	-1.08	1.30
5	-0.23	0.29	-0.10	0.10	-0.01	0.01	-0.48	0.48

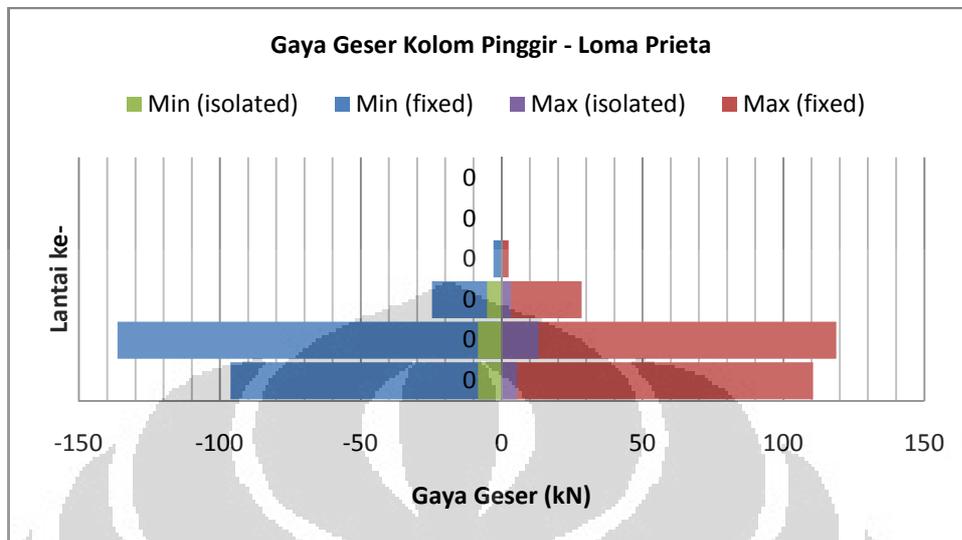
(Satuan dalam kN)



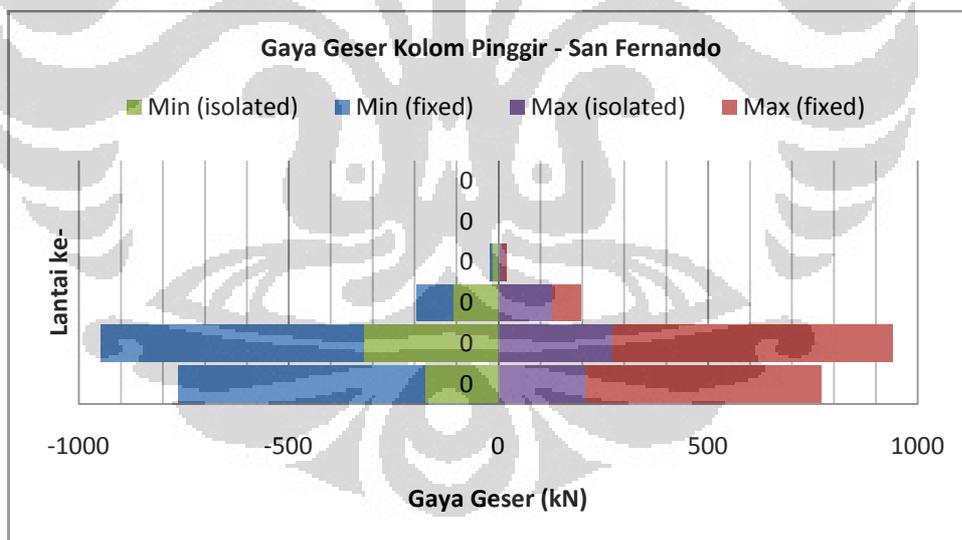
Gambar 4.9 Gaya Geser Kolom Pinggir terhadap Gempa El Centro



Gambar 4.10 Gaya Geser Kolom Pinggir terhadap Gempa Kern County



Gambar 4.11 Gaya Geser Kolom Pinggir terhadap Gempa Loma Prieta



Gambar 4.12 Gaya Geser Kolom Pinggir terhadap Gempa San Fernando

Grafik diatas merupakan grafik gaya dalam geser pada kolom pinggir terhadap tiap gaya gempa yang dibandingkan antara struktur jepit dan struktur terisolasi. Pada struktur dengan analisis gempa El Centro, dapat dilihat bahwa gaya geser pada tiap lantai mengalami penurunan. Pada lantai dasar, gaya geser struktur jepit sebesar ± 1500 kN, sedangkan gaya geser pada struktur terisolasi yaitu sebesar ± 150 kN. Pada lantai 1, struktur jepit mengalami gaya geser sebesar ± 2000 kN, sedangkan struktur terisolasi mengalami gaya geser sebesar ± 200 kN. Gaya geser pada lantai 2 juga mengalami penurunan jika dibandingkan pada struktur terisolasi terhadap struktur jepit. Gaya geser sebesar ± 500 kN berkurang menjadi ± 100 kN pada struktur terisolasi. Penurunan nilai gaya geser terjadi sampai lantai atap, namun tidak terlalu signifikan. Kecenderungan yang sama juga terjadi pada analisis dengan gempa Kern County, Loma Prieta dan San Fernando. Pada analisis gempa Kern County dan Loma Prieta, penurunan gaya geser (pada lantai dasar) yang terjadi sebesar 90 %, sedangkan pada analisis gempa San Fernando, gaya geser berkurang sebesar 75%.

Berkurangnya gaya geser yang dialami struktur terisolasi dibandingkan struktur jepit merupakan indikasi bahwa isolator juga menerima gaya geser. Tiap struktur mempunyai nilai gaya geser dasar nominal yang diterima dari suatu gaya gempa yang bekerja pada tingkat dasar. Gaya geser dasar nominal ini akan dibagikan sepanjang tinggi struktur menjadi gaya geser yang bekerja pada pusat massa lantai. Dengan adanya isolator pada lantai dasar, gaya geser dasar nominal juga diterima oleh isolator ini. Isolator menerima gaya geser yang lebih besar karena kekakuannya yang lebih kecil dibanding struktur atasnya. Hal ini menyebabkan gaya geser yang diterima pada lantai atas lebih kecil jika dibandingkan pada struktur terisolasi dan struktur jepit.

4.5 Gaya Dalam Momen

Pada analisis gaya dalam momen, diambil contoh pada kolom tengah dan kolom pinggir; serta balok induk yang berada melintang pada kolom tengah dan kolom pinggir. Besarnya momen pada suatu struktur mempengaruhi kerusakan struktural yang terjadi. Jika momen yang bekerja pada struktur melebihi kapasitas momen yang dapat ditanggung oleh struktur tersebut, maka kerusakan struktural tidak dapat dihindari.

4.5.1 Tinjauan terhadap Kolom

Kolom yang ditinjau untuk analisis gaya dalam momen ini sama dengan kolom yang ditinjau untuk analisis gaya dalam geser, yaitu kolom tengah dan pinggir (gambar 4.3 dan gambar 4.4). Berikut ini adalah grafik momen pada struktur per lantai pada kolom tengah dan pinggir :

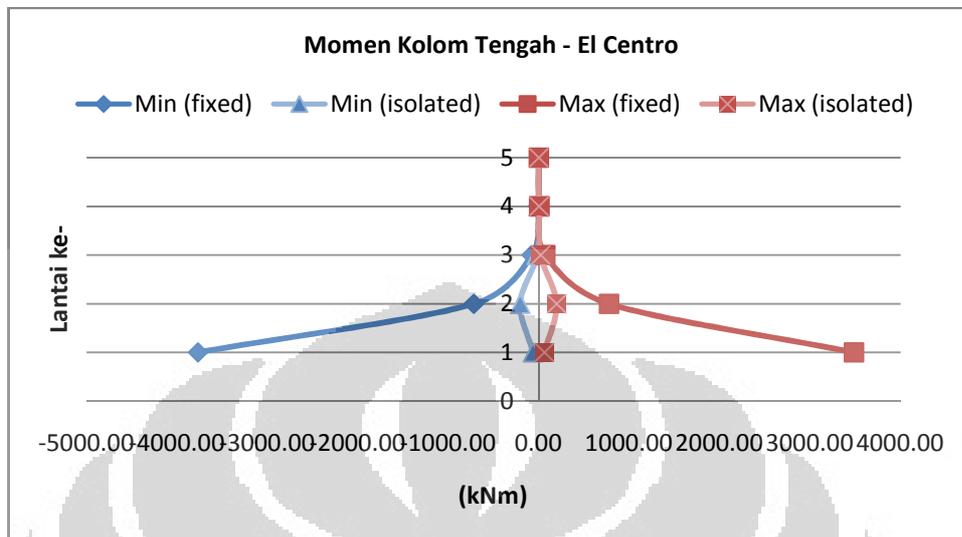
A. Gaya Momen Kolom Tengah

Gaya dalam momen yang terjadi pada kolom tengah akan dianalisis antara struktur jepit dan struktur terisolasi. Berikut adalah tabel dan gambar grafik gaya dalam momen pada tiap struktur :

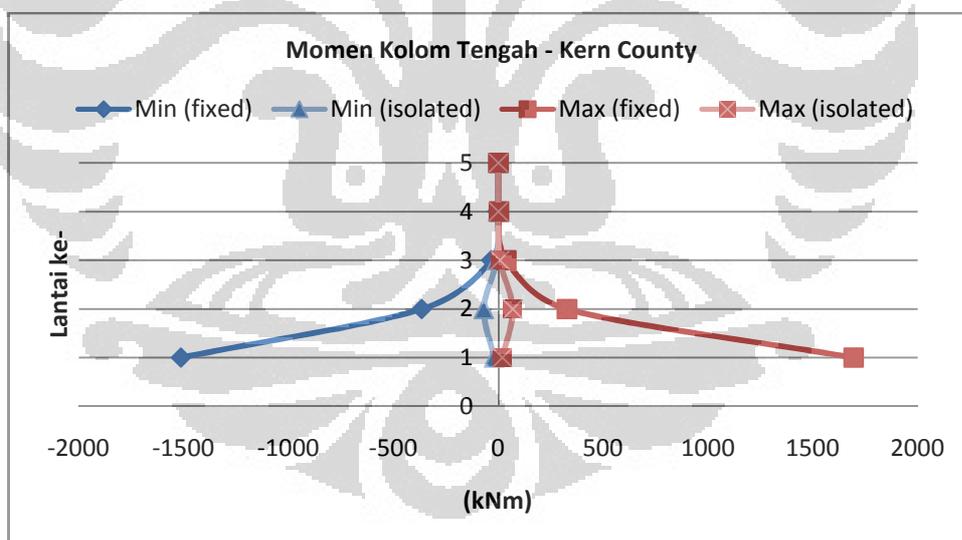
Tabel 4.11 Gaya Dalam Momen Kolom Tengah Struktur Jepit dan Terisolasi

Lantai ke-	El Centro		Kern County		Loma Prieta		San Fernando	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
<i>Struktur Jepit</i>								
1	-3767.26	3483.73	-1236.41	1442.44	-344.48	296.11	-2114.80	1883.91
2	-717.55	775.99	-297.12	254.67	-61.00	70.96	-388.02	435.61
3	-77.19	71.37	-25.33	29.56	-7.06	6.07	-43.33	38.58
4	-5.113	5.529	-2.118	1.817	-0.435	0.506	-2.765	3.105
5	-0.405	0.371	-0.136	0.156	-0.038	0.033	-0.230	0.198
<i>Struktur Terisolasi</i>								
1	-64.46	62.04	-19.56	19.50	-4.05	2.31	-73.09	95.85
2	-205.01	197.28	-63.29	63.21	-13.20	7.72	-231.40	303.34
3	-19.72	20.57	-6.36	6.32	-0.77	1.31	-30.28	23.06
4	-1.508	1.446	-0.452	0.464	-0.100	0.053	-1.742	2.190
5	-0.372	0.254	-0.104	0.104	-0.014	0.015	-0.237	0.223

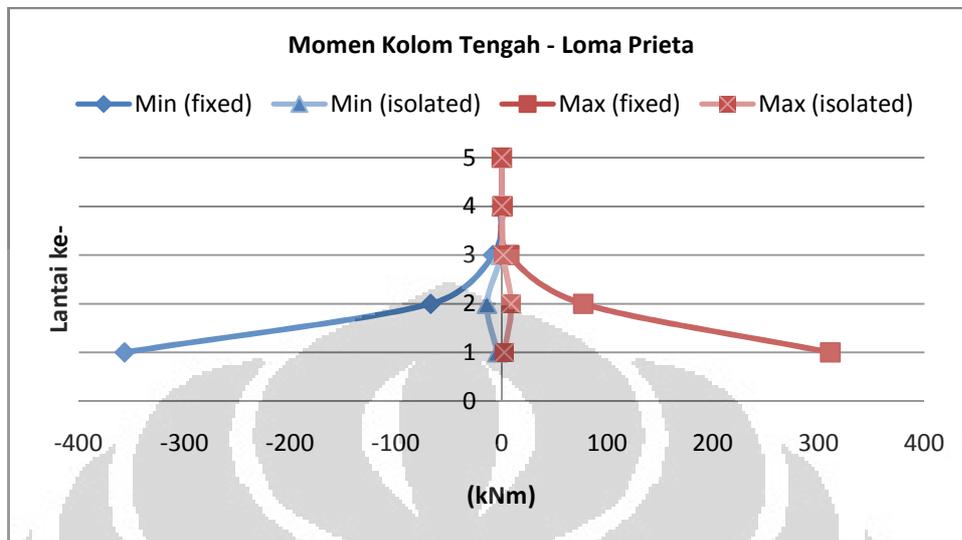
(Satuan dalam kNm)



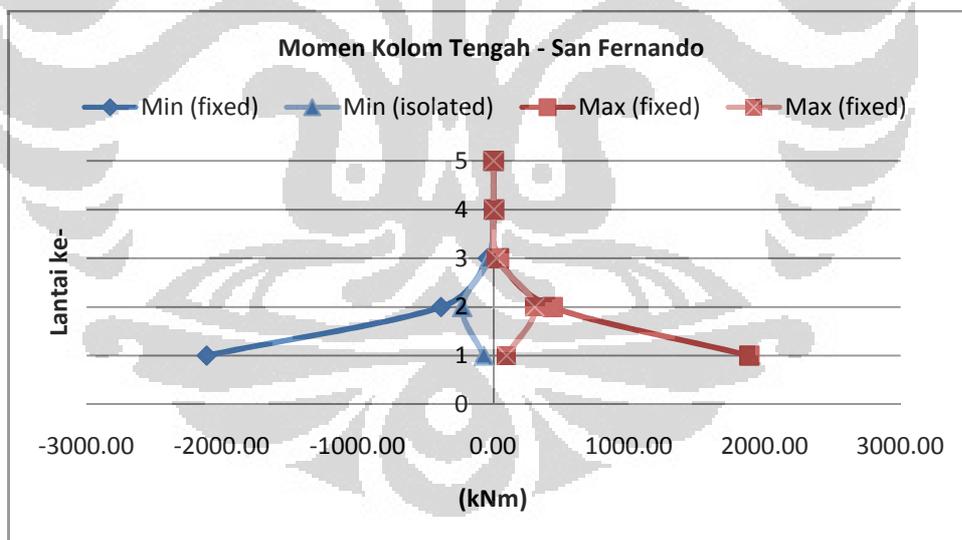
Gambar 4.13 Momen Kolom Tengah terhadap Gempa El Centro



Gambar 4.14 Momen Kolom Tengah terhadap Gempa Kern County



Gambar 4.15 Momen Kolom Tengah terhadap Gempa Loma Prieta



Gambar 4.16 Momen Kolom Tengah terhadap Gempa San Fernando

Grafik-grafik diatas merupakan grafik gaya dalam momen pada kolom tengah struktur jepit dan terisolasi. Pada analisis gempa Kern County, terjadi tren penurunan gaya dalam momen pada struktur terisolasi jika dibandingkan dengan struktur jepit. Pada lantai dasar, momen yang terjadi pada struktur jepit yaitu sebesar ± 1500 kNm sedangkan pada struktur terisolasi sebesar ± 10 kNm. Pada lantai 1, gaya momen mengalami penurunan menjadi ± 300 kNm pada struktur terisolasi dibandingkan struktur jepit dengan gaya momen sebesar ± 1000 kNm. Penurunan nilai gaya dalam momen pada struktur terisolasi jika dibandingkan dengan struktur jepit, terjadi hingga lantai atap namun nilainya tidak terlalu signifikan. Begitu pula pada analisis gempa lainnya. Jika ditinjau pada lantai 1, gaya dalam momen mengalami penurunan 75% terhadap gempa El Centro, 80% terhadap gempa Loma Prieta dan 50% terhadap gempa San Fernando.

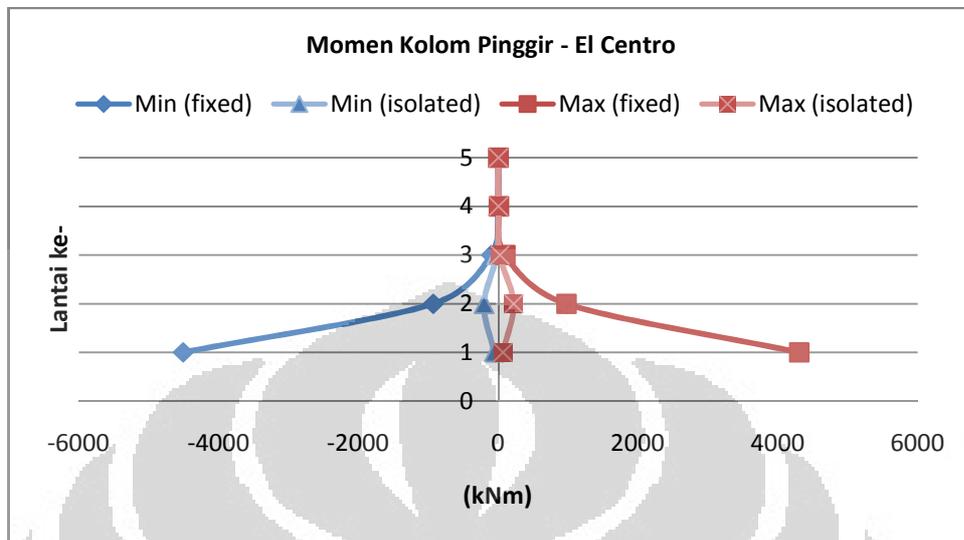
B. Gaya Momen Kolom Pinggir

Gaya dalam momen pada kolom pinggir ditinjau antar struktur jepit dan struktur terisolasi. Berikut adalah tabel dan gambar grafik olahan dari keluaran program komputer yang dipakai:

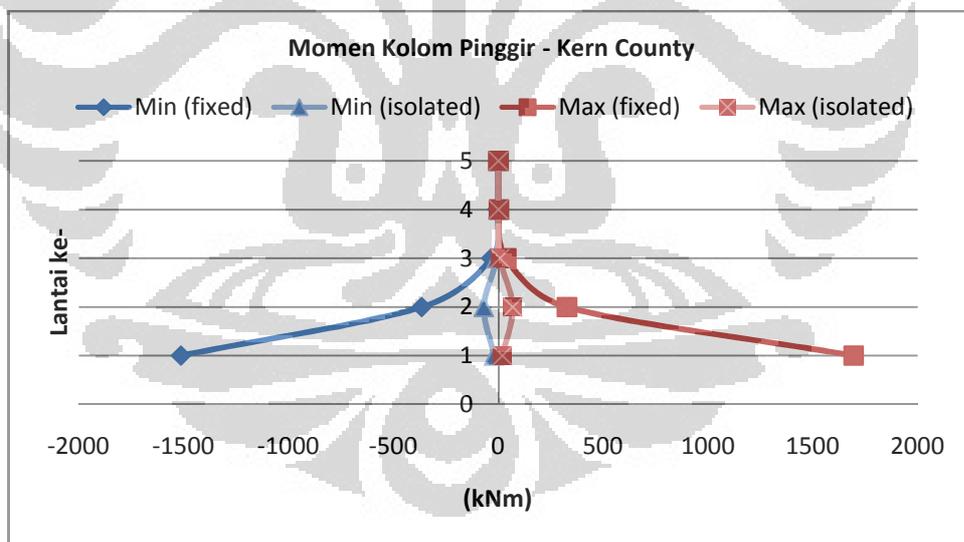
Tabel 4.12 Gaya Dalam Momen Kolom Pinggir Struktur Jepit dan Terisolasi

Lantai ke-	El Centro		Kern County		Loma Prieta		San Fernando	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
<i>Struktur Jepit</i>								
1	-3767.26	3483.73	-1236.41	1442.44	-344.48	296.11	-2114.80	1883.91
2	-717.55	775.99	-297.12	254.67	-61.00	70.96	-388.02	435.61
3	-77.19	71.37	-25.33	29.56	-7.06	6.07	-43.33	38.58
4	-5.113	5.529	-2.118	1.817	-0.435	0.506	-2.765	3.105
5	-0.405	0.371	-0.136	0.156	-0.038	0.033	-0.230	0.198
<i>Struktur Terisolasi</i>								
1	-64.46	62.04	-19.56	19.50	-4.05	2.31	-73.09	95.85
2	-205.01	197.28	-63.29	63.21	-13.20	7.72	-231.40	303.34
3	-19.72	20.57	-6.36	6.32	-0.77	1.31	-30.28	23.06
4	-1.508	1.446	-0.452	0.464	-0.100	0.053	-1.742	2.190
5	-0.372	0.254	-0.104	0.104	-0.014	0.015	-0.237	0.223

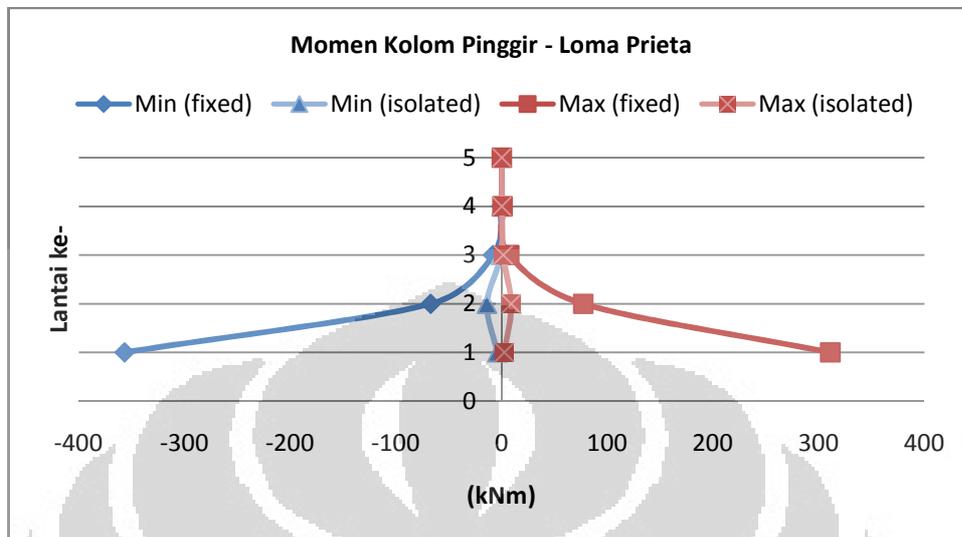
(Satuan dalam kNm)



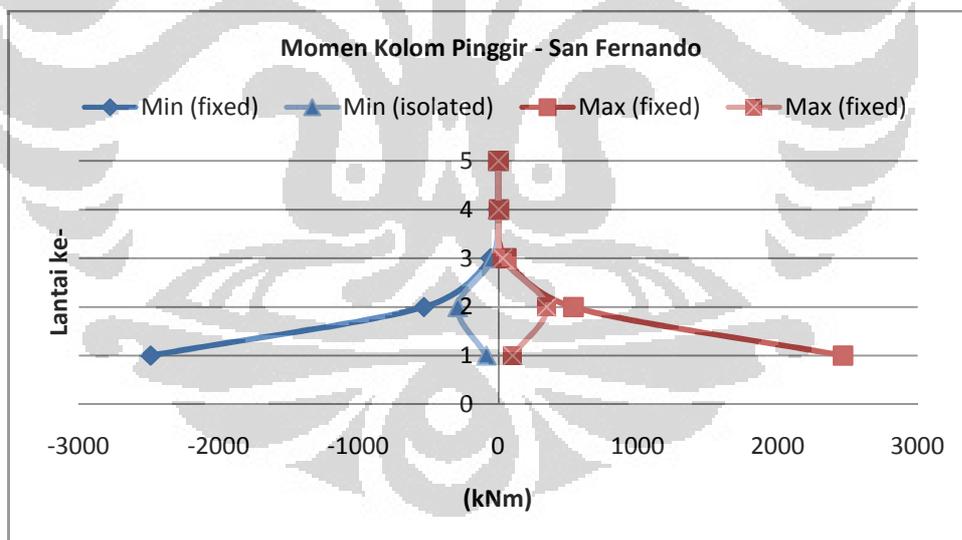
Gambar 4.17 Momen Kolom Pinggir terhadap Gempa El Centro



Gambar 4.18 Momen Kolom Pinggir terhadap Gempa Kern County



Gambar 4.19 Momen Kolom Pinggir terhadap Gempa Loma Prieta



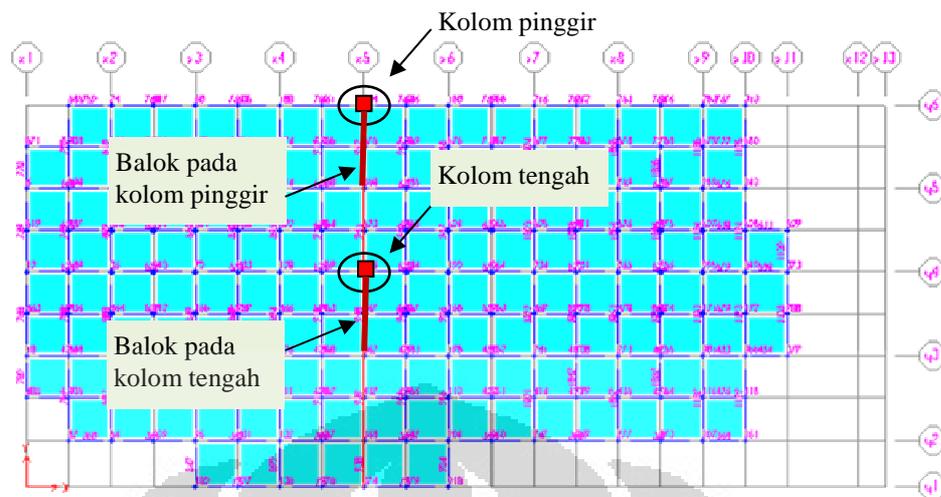
Gambar 4.20 Momen Kolom Pinggir terhadap Gempa San Fernando

Grafik-grafik diatas merupakan grafik gaya dalam momen pada kolom tengah struktur jepit dan terisolasi. Pada analisis gempa Loma Prieta, terjadi tren penurunan gaya dalam momen pada struktur terisolasi jika dibandingkan dengan struktur jepit. Pada lantai dasar, momen yang terjadi pada struktur jepit yaitu sebesar ± 400 kNm sedangkan pada struktur terisolasi sebesar ± 5 kNm. Pada lantai 1, gaya momen mengalami penurunan menjadi ± 60 kNm pada struktur terisolasi dibandingkan struktur jepit dengan gaya momen sebesar ± 300 kNm. Penurunan nilai gaya dalam momen pada struktur terisolasi jika dibandingkan dengan struktur jepit, terjadi hingga lantai atap namun nilainya tidak terlalu signifikan. Begitu pula pada analisis gempa lainnya. Jika ditinjau pada lantai 1, gaya dalam momen mengalami penurunan 60% terhadap gempa El Centro, 80% terhadap gempa Kern County dan 50% terhadap gempa San Fernando.

Penurunan nilai gaya dalam momen pada struktur terisolasi dibandingkan dengan struktur jepit merupakan pengaruh dari penggunaan isolator. Dengan berkurangnya momen pada struktur, maka kemungkinan kerusakan struktur akibat gaya gempa dapat berkurang. Diharapkan struktur tidak mengalami kerusakan struktural saat terjadi gempa.

4.5.2 Tinjauan terhadap Balok

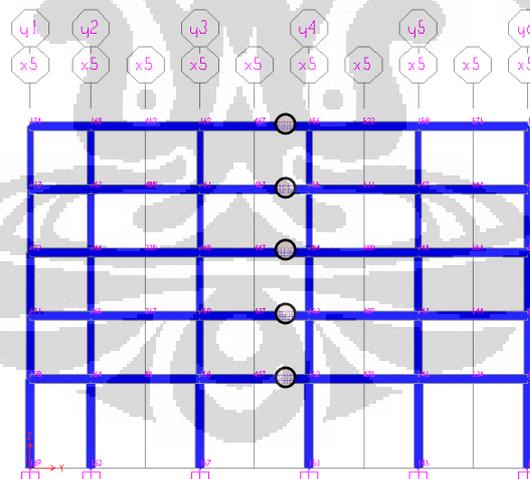
Gaya dalam momen juga ditinjau terhadap balok induk yang bertumpu pada kolom tengah maupun kolom pinggir. Balok diambil satu contoh pada tiap lantai yang membentang ke arah Y. Posisi balok yang ditinjau dapat dilihat pada denah struktur dibawah ini.



Gambar 4.21 Posisi Balok yang Ditinjau untuk Gaya Dalam

A. Gaya Momen Balok pada Kolom Tengah

Balok induk pada tiap lantai ditinjau untuk mengetahui besar gaya dalam momen. Balok yang ditinjau adalah balok induk yang terletak melintang arah Y pada kolom tengah dan pinggir yang sebelumnya disebutkan.



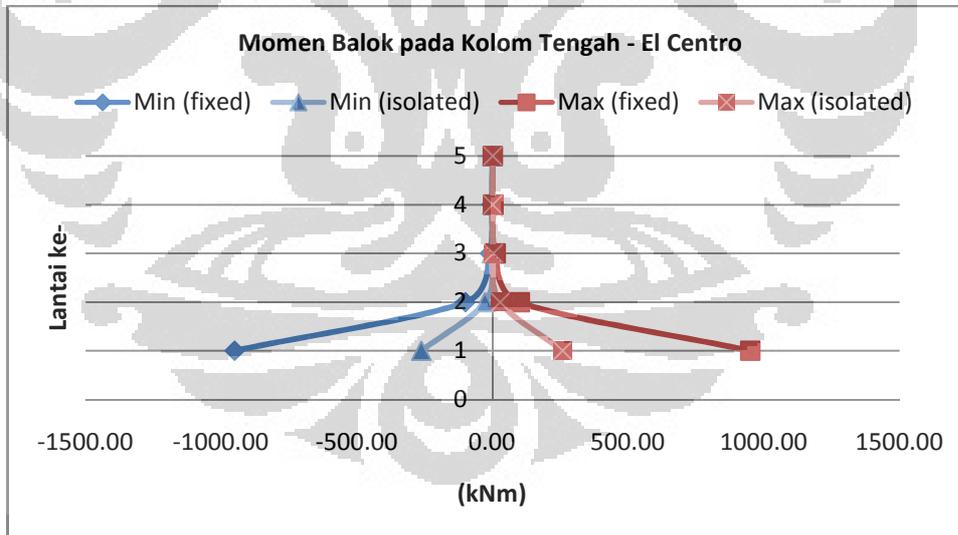
Gambar 4.22 Posisi Balok pada Kolom Tengah (Tampak Samping)

Berikut ini adalah tabel dan gambar grafik olahan gaya momen balok induk pada kolom tengah:

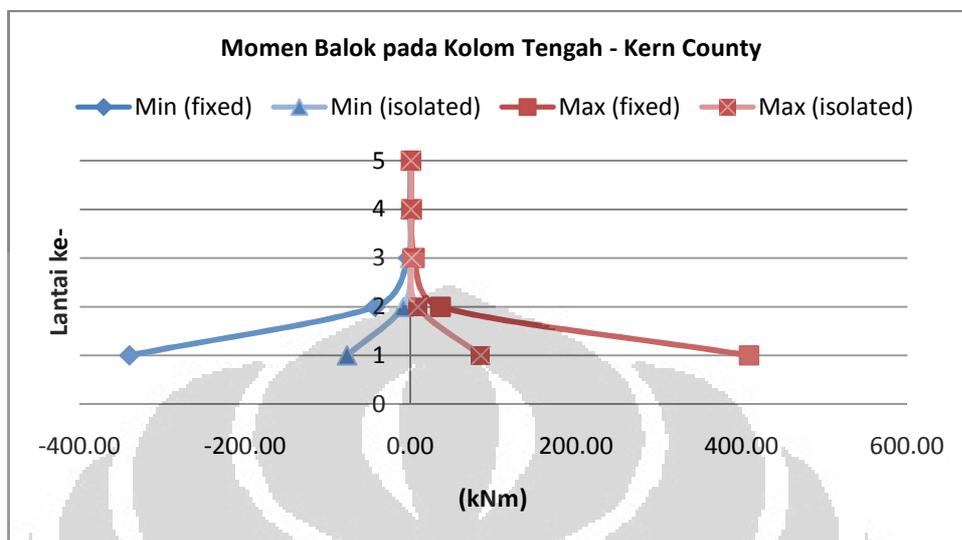
Tabel 4.13 Momen Balok pada Kolom Tengah Struktur Jepit dan Terisolasi

Lantai ke-	El Centro		Kern County		Loma Prieta		San Fernando	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
<i>Struktur Jepit</i>								
1	-950.61	949.67	-339.90	408.49	-97.36	81.02	-566.87	532.93
2	-100.19	100.32	-43.09	35.86	-8.55	10.28	-56.18	59.82
3	-10.45	10.44	-3.73	4.48	-1.07	0.89	-6.23	5.85
4	-2.228	2.233	-0.959	0.796	-0.190	0.231	-1.242	1.334
5	-0.811	0.792	-0.347	0.287	-0.068	0.084	-0.446	0.484
<i>Struktur Terisolasi</i>								
1	-262.22	257.65	-77.11	84.40	-10.26	17.36	-394.75	308.80
2	-27.54	28.19	-9.08	8.32	-1.85	1.10	-33.09	42.33
3	-2.95	2.91	-0.86	0.91	-0.11	0.21	-4.37	3.39
4	-0.801	0.891	-0.283	0.298	-0.056	0.033	-0.940	1.207
5	-0.490	0.530	-0.166	0.193	-0.035	0.021	-0.582	0.751

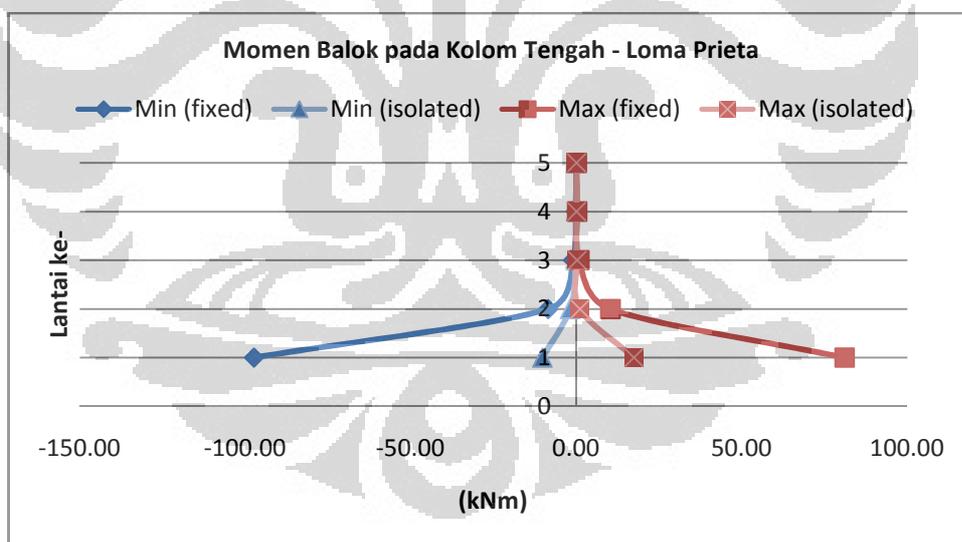
(Satuan dalam kNm)



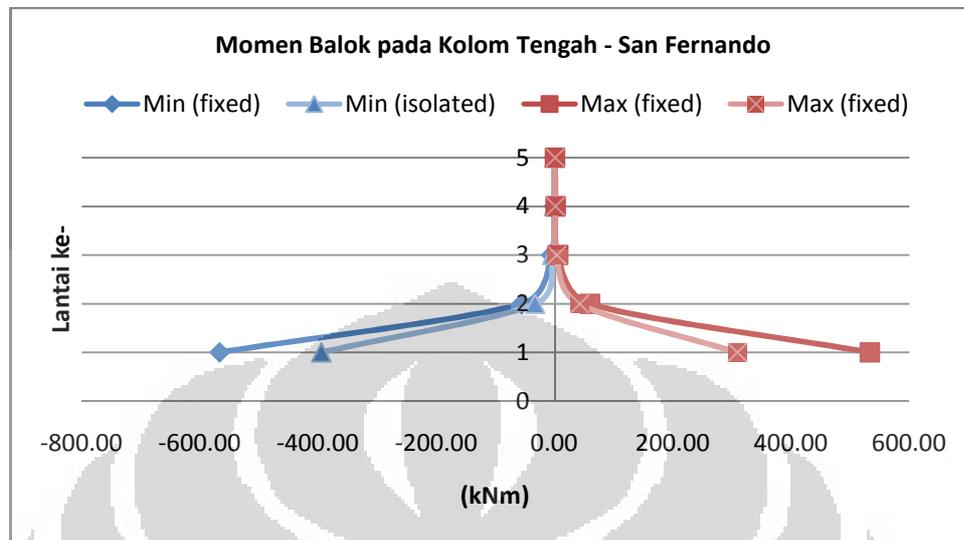
Gambar 4.23 Momen Balok pada Kolom Tengah Terhadap Gempa El Centro



Gambar 4.24 Momen Balok pada Kolom Tengah Terhadap Gempa Kern County



Gambar 4.25 Momen Balok pada Kolom Tengah Terhadap Gempa Loma Prieta

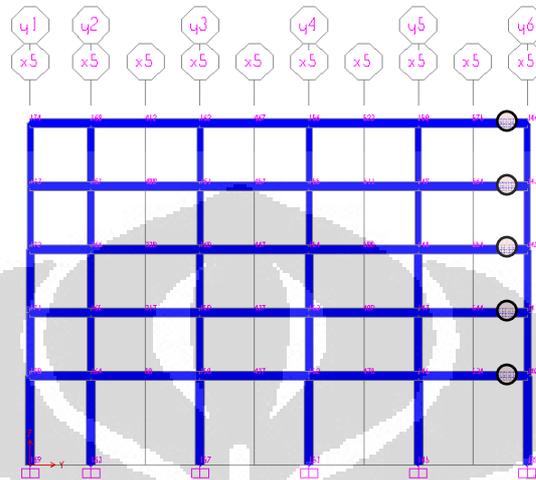


Gambar 4.26 Momen Balok pada Kolom Tengah Terhadap Gempa San Fernando

Grafik-grafik diatas merupakan grafik perbandingan momen balok yang berada pada kolom tengah antara struktur jepit dan struktur terisolasi. Struktur yang dianalisis terhadap gempa San Fernando, mengalami pengurangan besar momen balok pada struktur terisolasi jika dibandingkan dengan struktur jepit. Besar nilai momen pada lantai 1 struktur terisolasi yaitu ± 400 kNm, sedangkan pada struktur jepit sebesar ± 600 kNm. Nilai momen yang terjadi pada lantai 2 struktur terisolasi juga mengalami penurunan menjadi sebesar ± 60 kNm dibandingkan dengan momen balok kolom tengah yang terjadi pada struktur jepit yaitu sebesar ± 45 kNm. Pada lantai 3 sampai dengan lantai teratas, momen balok kolom tengah pada struktur terisolasi tidak mengalami penurunan yang signifikan terhadap struktur jepit. Penurunan nilai momen balok kolom tengah pada struktur terisolasi juga terjadi pada analisis gempa El Centro, Kern County, dan Loma Prieta.

B. Gaya Momen Balok pada Kolom Pinggir

Besar nilai momen juga ditinjau pada balok induk yang menumpu pada kolom pinggir yang digunakan pula pada analisis gaya geser. Berikut ini posisi balok yang ditinjau.



Gambar 4.27 Posisi Balok pada Kolom Pinggir (Tampak Samping)

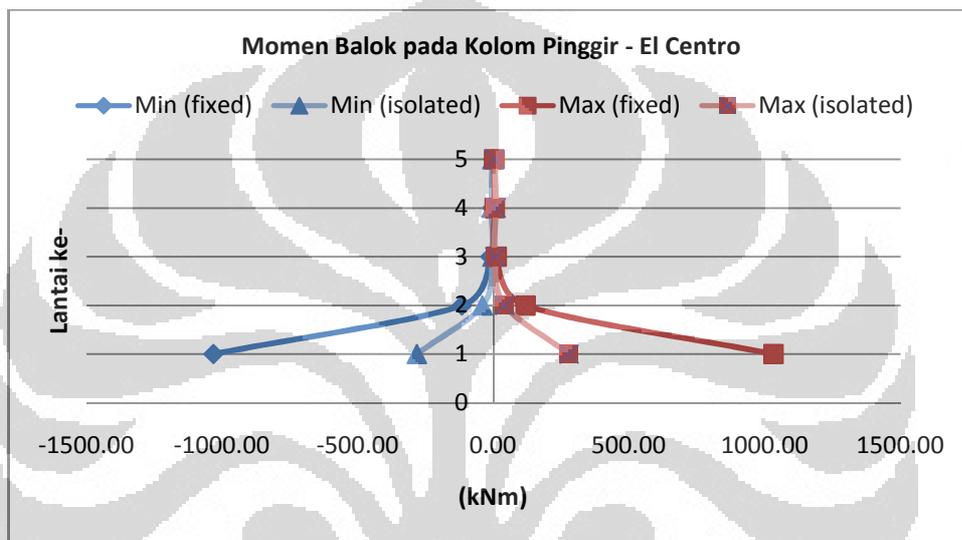
Tren penurunan nilai momen balok pada struktur terisolasi jika dibandingkan pada struktur jepit, terjadi pada struktur dengan analisis gempa El Centro, Kern County, Loma Prieta, dan San Fernando. Isolator efektif mengurangi besarnya momen balok yang terjadi pada lantai 1 dan lantai 2. Gaya dalam momen balok induk pada kolom pinggir dapat dilihat pada tabel dan gambar grafik berikut:

Tabel 4.14 Momen Balok pada Kolom Pinggir Struktur Jepit dan Terisolasi

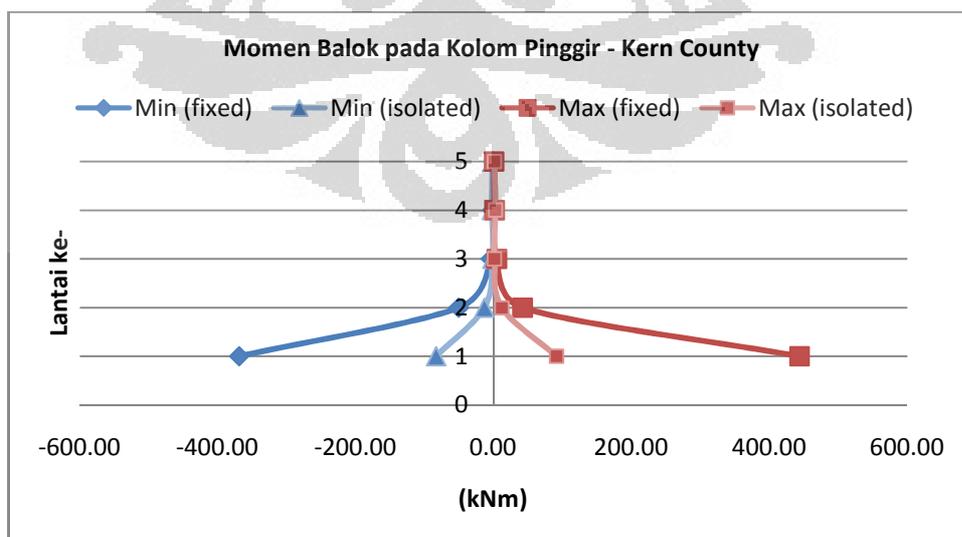
Lantai ke-	El Centro		Kern County		Loma Prieta		San Fernando	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
<i>Struktur Jepit</i>								
1	-1032.73	1030.81	-368.84	443.44	-105.75	87.88	-615.30	578.06
2	-117.25	117.61	-50.42	41.93	-9.98	12.04	-65.65	69.97
3	-10.65	10.68	-3.82	4.56	-1.09	0.91	-6.36	5.99
4	-4.009	4.068	-1.725	1.428	-0.338	0.416	-2.220	2.391
5	-1.594	1.630	-0.682	0.567	-0.134	0.166	-0.877	0.951

Struktur Terisolasi								
1	-283.16	278.25	-83.39	91.27	-11.09	18.77	-426.60	333.70
2	-40.58	41.09	-13.19	12.08	-2.77	1.63	-48.41	62.05
3	-4.446	4.586	-1.525	1.421	-0.330	0.185	-5.226	6.648
4	-7.983	8.128	-2.614	2.388	-0.567	0.325	-9.431	12.081
5	-4.547	4.661	-1.499	1.376	-0.327	0.187	-5.385	6.898

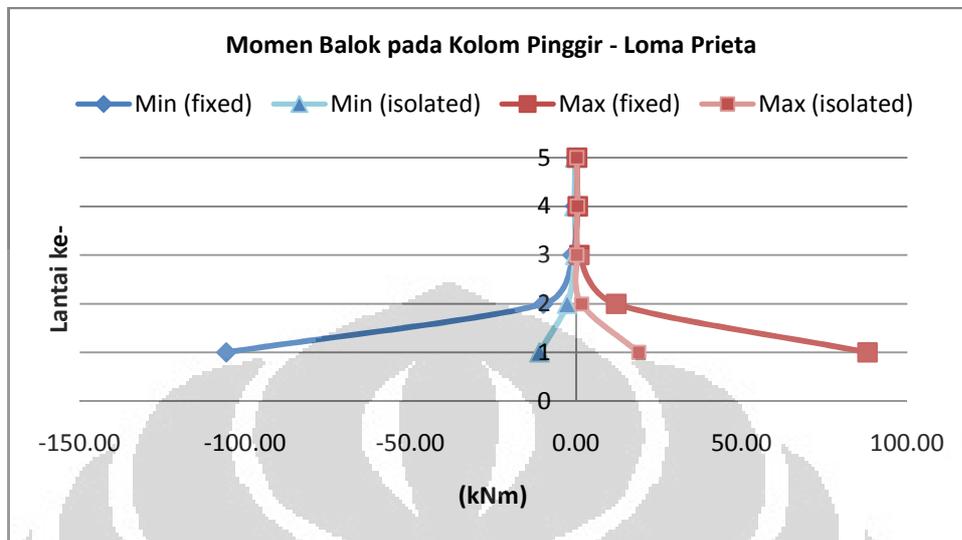
(Satuan dalam kNm)



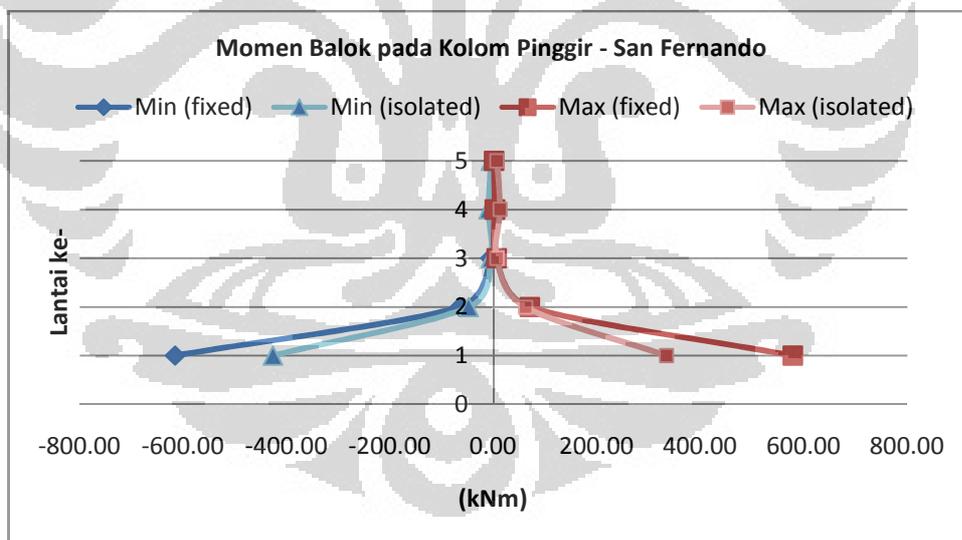
Gambar 4.28 Momen Balok pada Kolom Pinggir Terhadap Gempa El Centro



Gambar 4.29 Momen Balok pada Kolom Pinggir Terhadap Gempa Kern County



Gambar 4.29 Momen Balok pada Kolom Pinggir Terhadap Gempa Loma Prieta



Gambar 4.30 Momen Balok pada Kolom Pinggir Terhadap Gempa San Fernando

4.6 Simpangan

Simpangan merupakan salah satu hal penting untuk dianalisis. Pembatasan nilai simpangan dimaksudkan untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa dan untuk mencegah benturan berbahaya antar-gedung atau antar bagian struktur gedung yang dipisahkan dengan sela pemisah (sela dilatasi). Dari hasil analisis terhadap empat gaya gempa, didapat hasil simpangan pada lantai teratas sebagai berikut :

Tabel 4.15 Perbandingan Simpangan pada Lantai Teratas Arah X

	Fixed base		Isolated	
	Max (cm)	Min (cm)	Max (cm)	Min (cm)
El Centro	10.14	-10.96	20.89	-20.07
Kern County	4.19	-3.59	6.33	-6.35
Loma Prieta	0.86	-1	1.32	-0.76
San Fernando	5.48	-6.15	23.64	-30.97

Tabel 4.16 Perbandingan Simpangan pada Lantai Teratas Arah Y

	Fixed base		Isolated	
	Max (cm)	Min (cm)	Max (cm)	Min (cm)
El Centro	10.26	-10.27	19.33	-20.21
Kern County	4.41	-3.67	6.4	-5.86
Loma Prieta	0.87	-1.05	1.32	-0.76
San Fernando	5.75	-6.12	23.84	-30.77

Simpangan lantai teratas pada struktur terisolasi adalah simpangan yang dihitung dari posisi semula, jadi simpangan ini masih termasuk simpangan yang terjadi pada base isolator. Berikut ini adalah simpangan yang terjadi pada lantai dasar (isolator) :

Tabel 4.17 Simpangan Base Struktur Jepit dan Terisolasi pada Arah X

	Fixed base	Isolated	
		Max (cm)	Min (cm)
El Centro	-	15.45	-14.86
Kern County	-	4.683	-4.677
Loma Prieta	-	0.972	-0.556
San Fernando	-	17.51	-22.96

Tabel 4.18 Simpangan Base Struktur Jepit dan Terisolasi pada Arah Y

	Fixed base	Isolated	
		Max (cm)	Min (cm)
El Centro	-	14.74	-14.94
Kern County	-	4.73	-4.3
Loma Prieta	-	0.96	-0.56
San Fernando	-	17.61	-22.82

Penggunaan isolator mempengaruhi beberapa karakteristik bangunan ini. Pada analisis dengan gempa El Centro, bangunan (dengan perletakan jepit) mengalami displacement (lantai teratas) arah x sebesar 10.96 cm. Saat digunakan isolator pada dasar bangunan, displacement pada lantai atas bertambah menjadi 20.89 cm. Penambahan displacement pada lantai teratas ini terjadi karena isolator pada lantai dasar mengalami displacement sebesar 15.45 cm. Dapat dihitung simpangan lantai teratas terhadap lantai dasar pada struktur terisolasi yaitu sebesar 5.44 cm. Maka jika dibandingkan dengan bangunan dengan perletakan jepit (fixed base), displacement pada lantai teratas, berkurang 5 cm atau 50.4 %. Displacement pada isolator yaitu sebesar 15.45 cm masih berada pada batas maksimum displacement yang dapat terjadi pada isolator yang digunakan yaitu sebesar 160 mm. Pemilihan spesifikasi isolator yang digunakan pada tugas akhir ini dapat digunakan pada analisis gempa El Centro, Kern County dan Loma Prita. Isolator tidak efektif pada analisis gempa San Fernando, karena simpangan isolator yang terjadi melebihi batas maksimum displacement isolator yang digunakan.

Rasio simpangan lantai atap didefinisikan sebagai perbedaan antara displacement lantai teratas (atap) dan lantai dasar yang dibagi dengan tinggi total gedung.

Tabel 4.19 Rasio Simpangan Lantai Atap

	Arah X		Arah Y	
	Fixed base	Isolated	Fixed base	Isolated
El Centro	0.0048	0.0027	0.0045	0.0024
Kern County	0.0018	0.0007	0.0019	0.0009
Loma Prieta	0.0004	0.0003	0.0005	0.0003
San Fernando	0.0027	0.0059	0.0027	0.0058

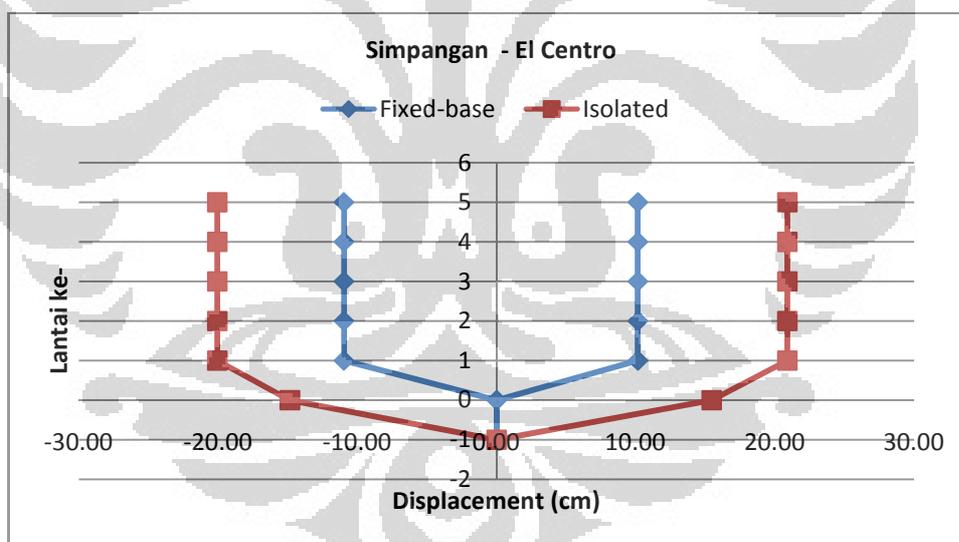
Dari tabel diatas, dapat dilihat penurunan rasio simpangan lantai atap pada struktur terisolasi baik pada arah X maupun arah Y. Nilai rasio simpangan lantai sesuai dengan peraturan adalah 0.02, sehingga nilai rasio simpangan pada struktur

jepit maupun terisolasi masih berada dibawah nilai batas. Simpangan antara lantai dasar (base) dan lantai pada tiap tingkat, diringkas pada tabel berikut ini. Simpangan yang ditinjau adalah simpangan arah X.

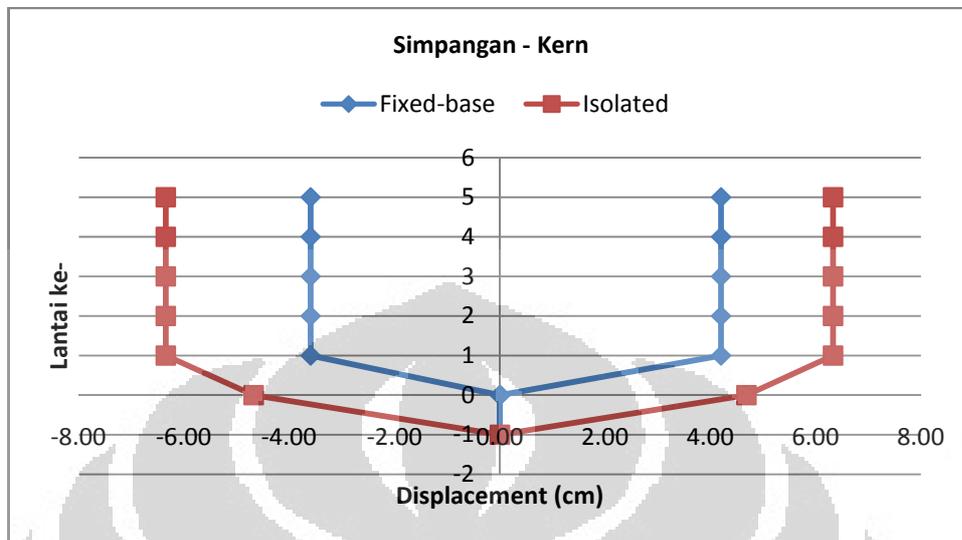
Tabel 4.20 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat terhadap Base

Lantai ke-	El Centro		Kern County		Loma Prieta		San Fernando	
	Fixed	Isolated	Fixed	Isolated	Fixed	Isolated	Fixed	Isolated
0	0	15.45	0	4.683	0	0.972	0	17.51
1	10.96	20.89	4.19	6.329	1	1.323	6.15	22.64
2	10.96	20.89	4.19	6.329	1	1.323	6.15	22.64
3	10.96	20.89	4.19	6.329	1	1.323	6.15	22.64
4	10.96	20.89	4.19	6.329	1	1.323	6.15	22.64
5	10.96	20.89	4.19	6.329	1	1.323	6.15	22.64

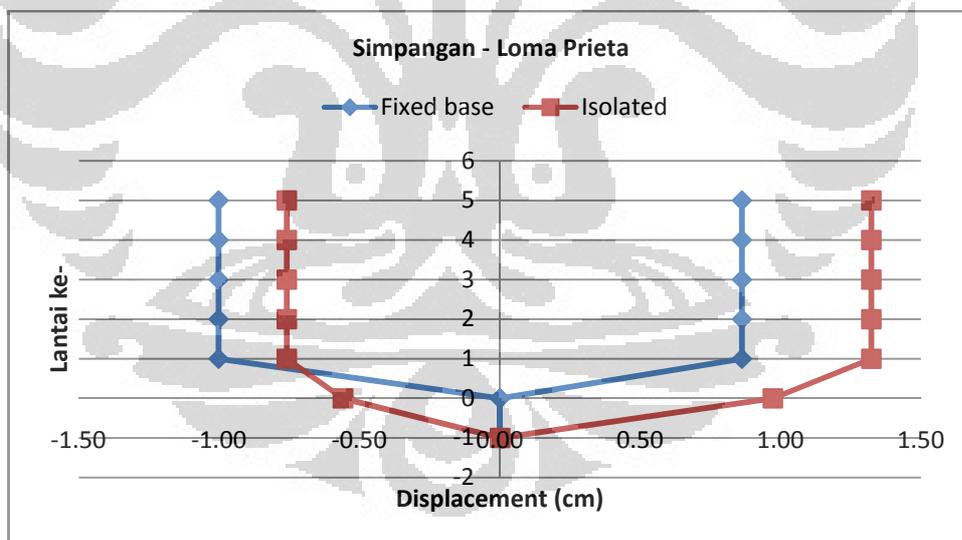
(Satuan dalam cm)



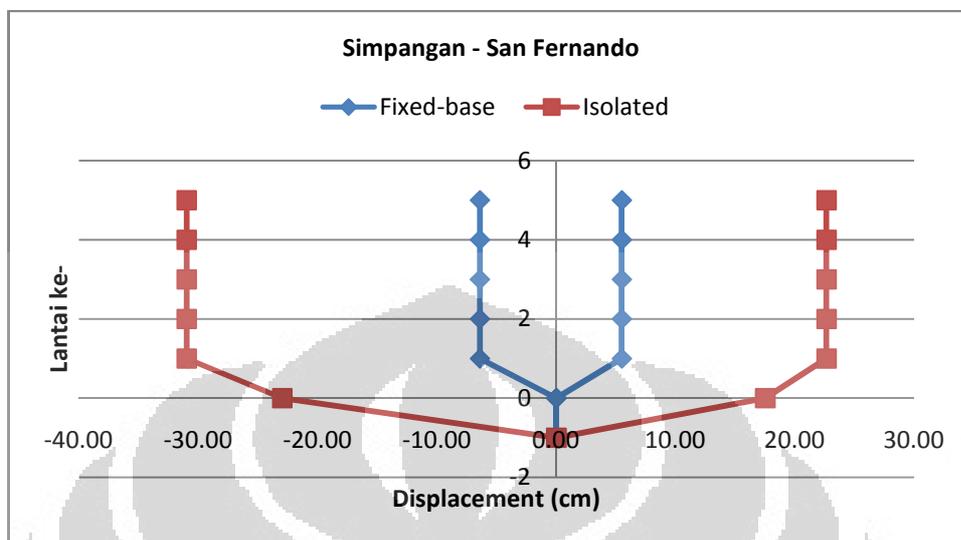
Gambar 4.31 Simpangan Struktur terhadap Gempa El Centro



Gambar 4.32 Simpangan Struktur terhadap Gempa Kern County



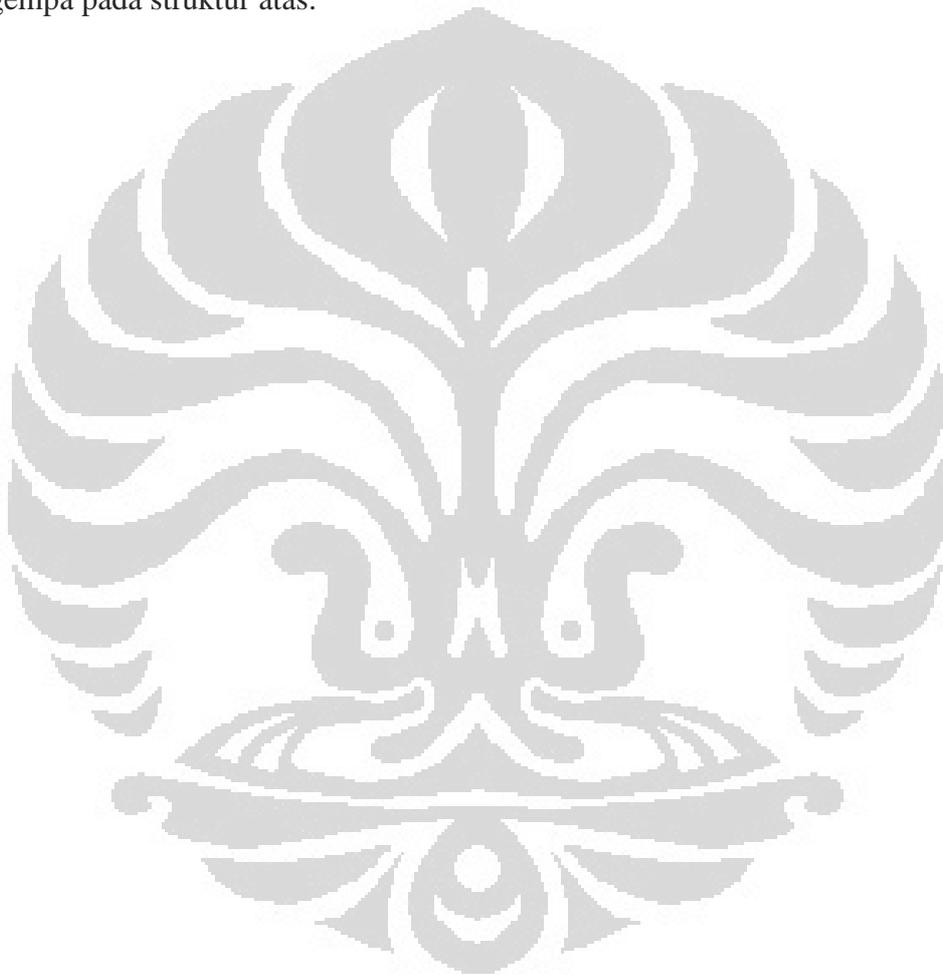
Gambar 4.33 Simpangan Struktur terhadap Gempa Loma Prieta



Gambar 4.34 Simpangan Struktur terhadap Gempa San Fernando

Pada grafik simpangan diatas dapat dilihat bahwa struktur rumah sakit termasuk struktur “*soft/weak*” *first story*. Struktur dengan lantai dasar yang lemah didefinisikan sebagai struktur dengan kekakuan dan kekuatan leleh lantai dasar lebih kecil dibanding lantai-lantai di atasnya. Saat terjadi gerakan pada dasar tanah, lantai dasar struktur mengalami simpangan yang lebih besar (fleksibel) karena kekakuannya lebih kecil dibanding lantai di atasnya. Lantai-lantai di atasnya cenderung tidak mengalami simpangan (terhadap lantai dasar) atau simpangannya sangat kecil. Struktur “*soft/weak*” *first story* ini sangat membahayakan saat terjadi gempa. Struktur lantai satu yang sangat fleksibel dapat meningkatkan kelelahan pada tulangan sehingga struktur lantai satu dapat runtuh. Hal ini merupakan salah satu penyebab utama keruntuhan suatu bangunan pada saat terjadi gempa dan dapat memakan korban jiwa.

Konsep “*soft/weak*” *first story* ini merupakan konsep dasar dari base isolation. Dengan membuat struktur dasar yang sangat fleksibel (dalam arah lateral) yaitu dengan nilai kekakuan yang lebih kecil, maka diharapkan struktur atas mendapat reaksi yang lebih kecil dari gaya gempa. Base isolation merupakan salah satu solusi yang dapat dilakukan pada struktur “*soft/weak*” *first story* ini, selain menambah kekakuan dan kekuatan leleh pada kolom lantai dasar. Isolator dengan kekakuan yang lebih kecil dibanding kekakuan lantai satu, dapat mengurangi efek gempa pada struktur atas.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis dengan bantuan Program SAP2000, dapat disimpulkan :

1. Base isolator bekerja secara efektif pada gedung rumah sakit 5 lantai yaitu dengan menambah periode getar alami struktur sehingga resonansi terhadap gaya gempa dapat dihindari.
2. Periode bangunan yang terisolasi pada mode 1, 2 dan 3 bertambah secara signifikan dibanding bangunan fixed base.
3. Kecepatan lantai teratas pada struktur terisolasi mengalami penurunan sebesar 10-50% dibanding struktur fixed-base.
4. Percepatan struktur terisolasi mengalami penurunan sebesar 15-60%.
5. Gaya geser dasar pada struktur terisolasi mengalami penurunan 60-95% dibanding struktur fixed-base. Sedangkan momen pada struktur terisolasi mengalami penurunan sebesar 70-90%.
6. Gaya dalam geser kolom tengah pada struktur terisolasi mengalami penurunan sebesar 20-95%. Gaya dalam geser kolom pinggir pada struktur terisolasi mengalami penurunan sebesar 10-95%. Pengaruh isolasi terhadap gaya dalam geser semakin berkurang pada lantai teratas.
7. Gaya dalam momen kolom tengah pada struktur terisolasi mengalami penurunan sebesar 5-95%. Gaya dalam momen kolom pinggir pada struktur terisolasi mengalami penurunan sebesar 25-98%.
8. Base isolator dapat mengurangi simpangan antar lantai teratas dan lantai dasar secara signifikan sebesar 50-65% pada analisis gempa El Centro, Kern County dan Loma Prieta.

5.2 Saran

1. Pemilihan spesifikasi base isolator yaitu kekakuan, damping dan maksimum beban, perlu diperhatikan sehingga isolator yang dipilih dapat sesuai dengan kebutuhan.
2. Displacement yang terjadi pada isolator harus diperkirakan dengan seksama, mengingat ruang atau jarak yang tersedia antar gedung.
3. Accelerogram gempa yang digunakan lebih baik dinormalisasi sesuai dengan maksimum percepatan gempa pada daerah tempat struktur berada, dalam tugas akhir ini yaitu Yogyakarta, sehingga didapat respon struktur yang lebih sesuai dengan keadaan sebenarnya. Namun memang tidak menutup kemungkinan kekuatan gempa pada suatu daerah melampaui ketentuan pada peraturan SNI gempa.
4. Struktur dengan lantai dasar yang lemah, perlu ditinjau lebih lanjut dengan mendisain kembali kekuatan struktur. Mengingat kerusakan atau keruntuhan struktur lanantai dasar yang dapat terjadi saat terjadi gempa.

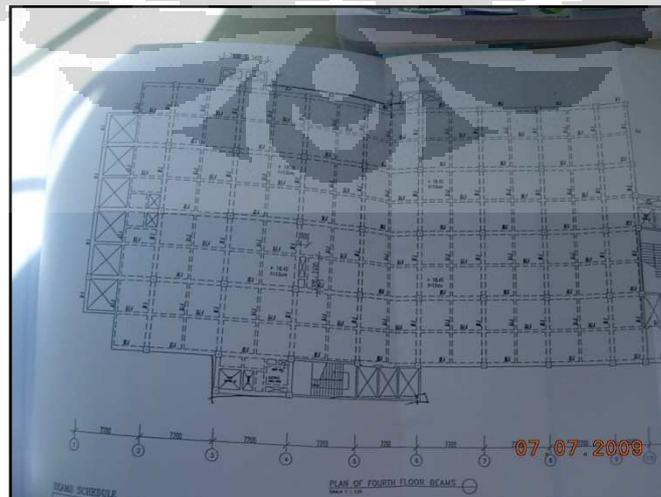
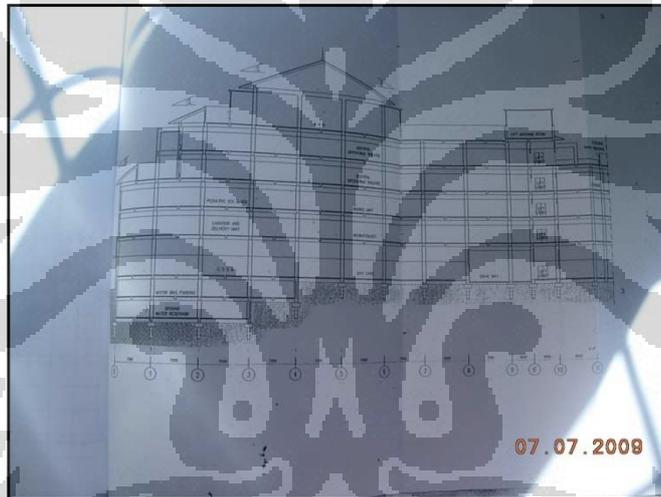
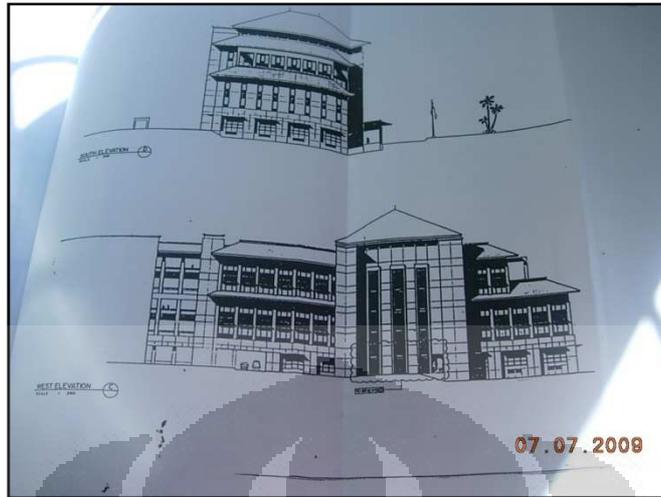
DAFTAR REFERENSI

- Alhan, Cenk, & Metin, A. (2009). *Performance of Nonlinear Base Isolation Systems Designed According to Uniform Building Code*. Paper presented at 5th International Advanced Technologies Symposium, Turkey.
- Base Isolation*. (2008). Illumin : a Review of Engineering in Everyday Life. <http://illumin.usc.edu/article.php?articleID=127&page=3>
- Base Isolation*. (2008, September). Wikipedia database.
- Celebi, Mehmet. (1996). Successful Performance of a Base-Isolated Hospital Building During The 17 January 1994 Northridge Earthquake. *Journal of The Structural Design of Tall Buildings*, 5, 95-109.
- Chopra, Anil K. (1995). *Dynamics of Structures*. New Jersey : Prentice Hall.
- Earthquake Engineering Structures*. (2009, Desember). Wikipedia database. http://www2.bridgestone-dp.jp/global/construction/antiseismic_rubber/
- Naeim, Farzad, & James M. Kelly. (1999). *Design of Seismic Isolated Structures : From Theory to Practice*. John Wiley & Sons, Inc.
- Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*. (1987). Jakarta : Yayasan Badan Penerbit PU.
- Skinner, R.I, Robinson W.H, & McVerry, G.H. (1993). *An Introduction to Seismic Isolation*. England : Wiley and Sons.
- SNI 03-1726. (2002). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung SNI 03-1726*. Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, Bandung, Indonesia.
- SNI 03-1729. (2002). *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1729*. Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, Bandung, Indonesia.
- Wang, Yen-Po. (2007). Fundamentals of Seismic Base Isolation. *International Training Programs for Seismic Design of Building Structures Hosted by National Center for Research on Earthquake Engineering Sponsored by Department of International Programs, National Science Council*.

Gedung Bedah Sentral Terpadu Rumah Sakit Sardjito



Data struktur yang didapat dari literatur :



Akselerogram Gempa yang Digunakan

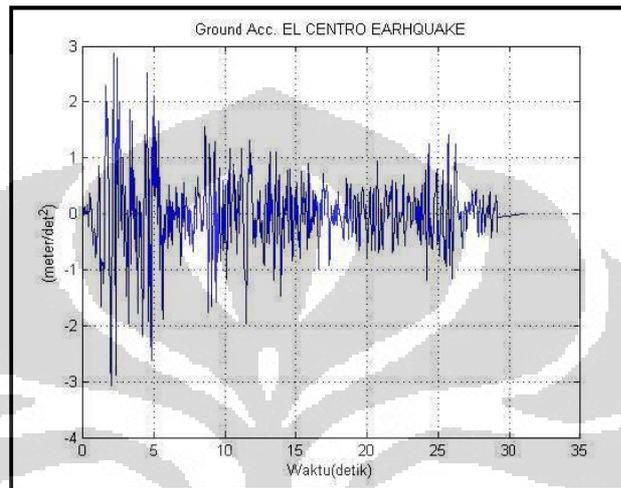
Beban Gempa 1 : El Centro Earthquake

Tanggal : 18 Mei 1940

Jumlah Data : 1559 data

Selang waktu per data : 0.02 detik

Total waktu : 31.16 detik



Akselerogram gempa El Centro

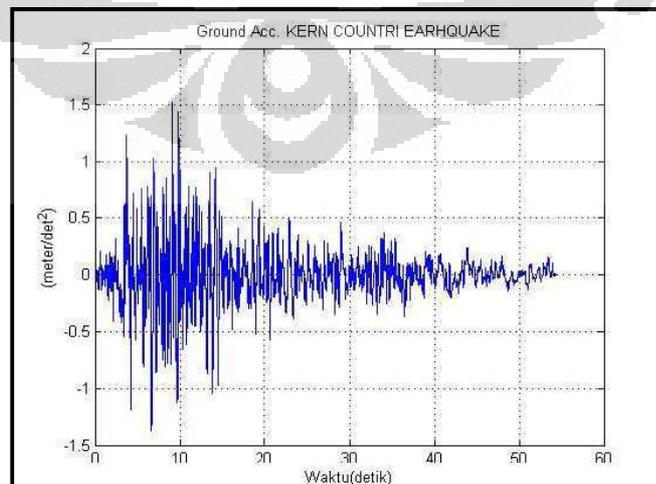
Beban Gempa 2 : Kern County Earthquake – Taft Lincoln Tunnel

Tanggal : 21 Juli 1952

Jumlah Data : 2719 data

Selang waktu per data : 0.02 detik

Total waktu : 54.36



Akselerogram gempa Kern

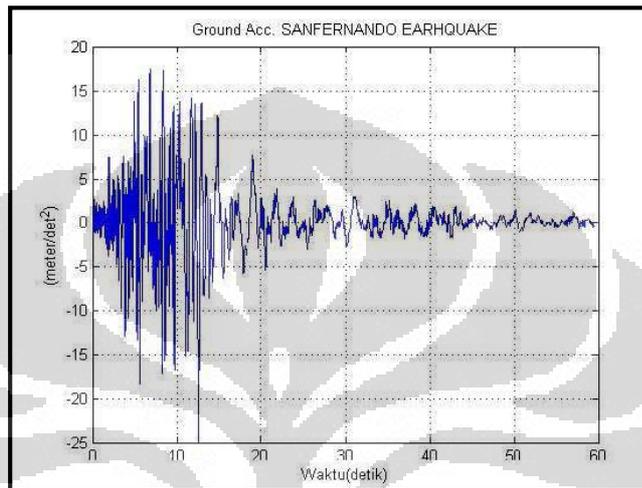
Beban Gempa 3 : San Fernando Earthquake - Orion

Tanggal : 9 Februari 1971

Jumlah Data : 2976 data

Selang waktu per data : 0.02 detik

Total waktu : 59.50 detik



Akselerogram gempa Sanfernando

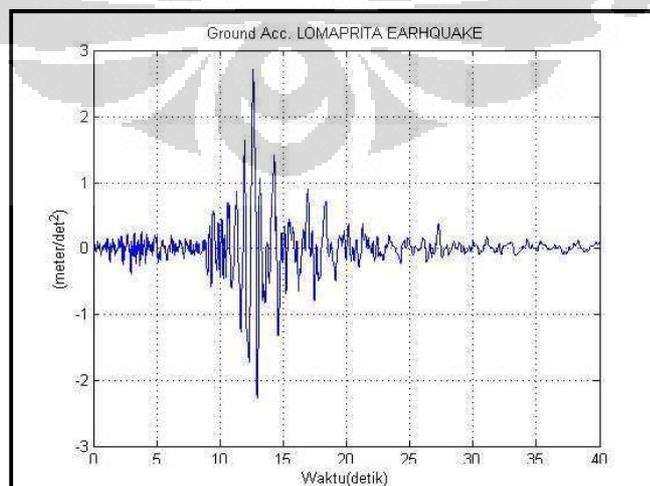
Beban Gempa 4 : Loma Prieta Earthquake – Oakland Outer Harbor Wharf

Tanggal : 17 Oktober 1989

Jumlah Data : 2000 data

Selang waktu per data : 0.02 detik

Total waktu : 39.98



Akselerogram gempa Loma Prieta

Output SAP2000

Untuk Struktur Jepit

TABLE: Modal Participating Mass Ratios (fixed structure)													
Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	1.01	0.03838	0.7927	0	0.03838	0.7927	0	0.26207	0.0044	0.16576	0.26207	0.0044	0.16576
2	0.97	0.94046	0.05658	0	0.97884	0.84928	0	0.01851	0.10677	0.35649	0.28058	0.11118	0.52225
3	0.88	0.021	0.15059	0	0.99984	0.99987	0	0.04712	0.00235	0.47765	0.32769	0.11353	0.9999
4	0.24	7.848E-11	1.062E-07	0	0.99984	0.99987	0	0.00117	4.995E-09	1.225E-08	0.32886	0.11353	0.9999
5	0.24	1.105E-07	3.963E-10	0	0.99984	0.99987	0	0.00297	0.00002254	1.856E-08	0.33183	0.11355	0.9999
6	0.22	8.053E-11	1.134E-07	0	0.99984	0.99987	0	0.00228	8.902E-08	1.176E-08	0.33411	0.11355	0.9999
7	0.21	2.323E-08	5.351E-10	0	0.99984	0.99987	0	0.00588	0.00004602	5.536E-09	0.33999	0.1136	0.9999

TABLE: Modal Participation Factors (fixed structure)									
Mode	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ	ModalMass	ModalStiff
Unitless	Sec	KN-s2	KN-s2	KN-s2	KN-m-s2	KN-m-s2	KN-m-s2	KN-m-s2	KN-m
1	1.007672	23.462	106.622	0.0086	-1469.887	324.04	2095.31	1	38.880
2	0.969947	116.135	-28.485	0.0139	390.602	1595.70	-3072.77	1	41.963
3	0.876693	-17.356	-46.472	0.0388	623.255	-236.86	-3556.85	1	51.365
4	0.240851	0.0011	-0.0390	-0.1562	-98.167	0.3451	-0.5696	1	680.555
5	0.238782	-0.0398	-0.0024	8.6140	156.366	-23.19	0.7012	1	692.401
6	0.215622	0.0011	-0.0403	0.2564	137.005	-1.4570	-0.5581	1	849.127
7	0.214028	0.0183	-0.0028	12.0321	220.193	-33.13	-0.3829	1	861.826

TABLE: Modal Load Participation Ratios (fixed structure)				
OutputCase	ItemType	Item	Static	Dynamic
Text	Text	Text	Percent	Percent
MODAL	Acceleration	UX	99.9996	99.9844
MODAL	Acceleration	UY	99.9996	99.9871
MODAL	Acceleration	UZ	2.74	1.5275

Untuk Struktur Terisolasi

TABLE: Modal Participating Mass Ratios (isolated structure)													
Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	4.16	0.05716	0.76055	5.39E-09	0.05716	0.76055	5.39E-09	0.24647	0.00637	0.13605	0.24647	0.00637	0.13605
2	4.02	0.92344	0.07474	3.32E-08	0.9806	0.83529	3.85E-08	0.02396	0.10149	0.36495	0.27043	0.10786	0.501
3	3.60	0.018	0.16324	4.34E-09	0.9986	0.99853	4.29E-08	0.04965	0.0019	0.49735	0.32009	0.10976	0.99834
4	0.35	5.65E-08	3.52E-08	0.6627	0.9986	0.99853	0.6627	0.38792	0.31454	4.52E-08	0.70801	0.4243	0.99834
5	0.34	2.13E-08	1.06E-09	0.00154	0.9986	0.99853	0.66424	0.00095	0.1226	1.98E-09	0.70896	0.5469	0.99834
6	0.33	8.12E-07	1.2E-09	0.08314	0.9986	0.99853	0.74738	0.05172	0.04879	1.2E-07	0.76068	0.59569	0.99834
7	0.32	1.15E-09	6.69E-07	0.00081	0.9986	0.99853	0.74819	0.07285	0.00034	1.07E-07	0.83353	0.59604	0.99834

TABLE: Modal Participation Factors (isolated structure)

Mode	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ	ModalMass	ModalStiff
Unitless	Sec	KN-s2	KN-s2	KN-s2	KN-m-s2	KN-m-s2	KN-m-s2	KN-m-s2	KN-m
1	4.16	28.93	105.51	-0.0089	-1435.20	393.75	1920.31	1	2.28452
2	4.02	116.27	-33.08	0.0220	447.46	1572.13	-3145.13	1	2.44215
3	3.60	-16.23	-48.88	0.0080	644.18	-215.22	-3671.57	1	3.04266
4	0.35	0.0288	-0.0227	-98.4931	-1800.53	2767.69	-1.1069	1	315.83
5	0.34	0.0177	-0.0039	4.7448	89.02	-1727.88	-0.2316	1	332.80
6	0.33	-0.1090	-0.0042	34.8866	657.45	-1090.08	1.8053	1	362.52
7	0.32	-0.0041	-0.0990	3.4451	-780.25	-91.59	-1.7033	1	382.25

TABLE: Modal Load Participation Ratios (isolated structure)

OutputCase	ItemType	Item	Static	Dynamic
Text	Text	Text	Percent	Percent
MODAL	Acceleration	UX	99.9995	99.8604
MODAL	Acceleration	UY	99.9995	99.8533
MODAL	Acceleration	UZ	85.7351	74.8189