



UNIVERSITAS INDONESIA

**RESPON SEISMIK DARI STRUKTUR PORTAL TIGA
DIMENSI DENGAN VAULTROOM SEBAGAI PEREDAM
GESER EKSENTRIS**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

STEPHEN VALENTINO

0606072723

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Stephen valentino

NPM : 0606072723

Tanda Tangan :

Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Stephen Valentino

NPM : 0606072723

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Respon Seismik dari Struktur Portal Tiga Dimensi dengan Vaultroom sebagai Peredam Geser Eksentris

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. Ir. Yuskar Lase DEA. ()

Penguji : Dr. Ing. Josia I. Rastandi, ST, MT. ()

Penguji : Mulia Orientilize, ST, M.Eng. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Juli 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah Bapa, karena atas anugrah-Nya semata, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Yuskar Lase, DEA. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Ir. Sjahril A. Rahim, M.Eng dan Dr. Ing. Josia I. Rastandi, ST, MT. selaku dosen penguji seminar yang telah memberikan saran untuk pengembangan skripsi ini;
3. Dr. Ing. Josia I. Rastandi, ST, MT dan Mulia Orientilize, ST, M.Eng. selaku dosen penguji skripsi yang telah menyediakan waktu untuk menguji skripsi saya;
4. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan bantuan material dan moral;
5. Andini Pramudita, Batta Septo V.B. Damanik, Dodi Ikhsan Shaleh, dan Garlan Ramadhan sebagai teman seperjuangan dalam pembuatan dan penyelesaian skripsi ini;
6. Chandra Wim, Edwin Christian, Hansen Wijaya, dan Jackson Pantja sebagai teman KTB yang selalu mendukung dalam doa.
7. Teman-teman departemen teknik sipil, Universitas Indonesia, yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Akhir kata, saya berharap Tuhan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Kiranya skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Jakarta, 28 Juni 2010

Penulis

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

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

Nama : Stephen Valentino
NPM : 0606072723
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 :

Respon Seismik dari Struktur Portal Tiga Dimensi
dengan Vaultroom sebagai Peredam Geser Eksentris.

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 : Jakarta
Pada tanggal : 28 Juni 2010

Yang menyatakan

(Stephen Valentino)

ABSTRAK

Nama : Stephen Valentino
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Respon Seismik dari Struktur Portal Tiga Dimensi dengan Vaultroom sebagai Peredam Geser Eksentris

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk menganalisis respons dari struktur portal tiga dimensi (3D) yang memiliki peredam geser akibat dari eksitasi seismik. Respons yang dimaksud adalah respons kinematik yaitu lendutan, kecepatan dan percepatan serta respons mekanik berupa gaya dalam dan reaksi perletakan dari struktur yang ditinjau. Struktur portal tiga dimensi dimodelkan sebagai struktur portal lima lantai untuk bangunan perbankan dengan *vaultroom* sebagai ruang penyimpanan. *Vaultroom* dibentuk dari tembok beton dengan ketebalan minimum 30 cm, sehingga memiliki kekakuan yang sangat besar dibandingkan dengan kekakuan bangunan. Penempatan *vaultroom* pada bagian tertentu dari struktur akan mengakibatkan eksentrisitas pusat massa dan pusat rotasi struktur sehingga menimbulkan efek torsi pada saat pembebanan dinamik. Peredam geser akan diletakkan di antara *vaultroom* dan pelat *vaultroom*. Peredam geser yang digunakan diharapkan dapat mengurangi respons dari struktur akibat kekakuan eksentris struktur saat gempa.

Kata kunci: Seismik, Dinamik, Vaultroom, Torsi, Eksentrisitas, Peredam Geser

ABSTRACT

Name : Stephen Valentino
Study Program : Civil Engineering
Title : Seismic Responses of Three Dimensional Eccentric Frame with Vaultroom as Friction Damper

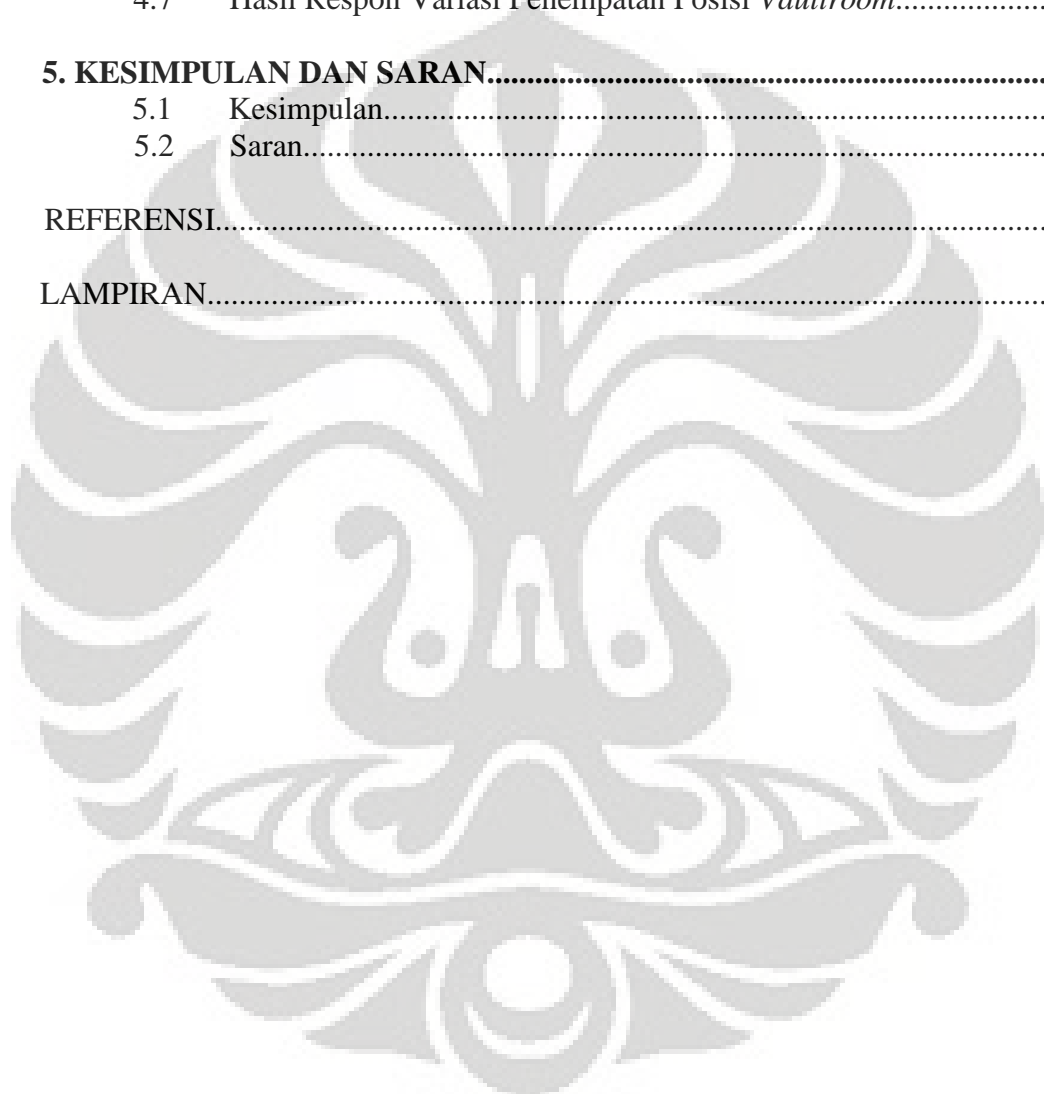
The aim of this research is to analyze the responses of eccentric structure with friction damper. The responses are kinematic and mechanic responses of the structure. The kinematic and mechanic responses consist of deflection, velocity, acceleration, element force, and base reaction. The three dimensional frame is modeled as a five-story building for a bank with vault. The room is made from 30 cm-thick mass concrete as a wall. Vaultroom will stiffen some part of structure. Eccentricity of center of mass and center of rotation will then occur. This will emerge torsion effect when dynamic excitation is applied to the building. Friction damper will placed between vaultroom and vaultroom plate. Seismic responses of structure are expected to be reduced by using this friction damper.

Key Words: Seismic, Dynamic, Vaultroom, Torsion, Eccentricity, Friction Damper

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xiv
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Maksud dan Tujuan.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
2. STUDI LITERATUR.....	5
2.1 Pendahuluan.....	5
2.2 Karakteristik Dinamis Struktur.....	5
2.2.1 Definisi Massa.....	5
2.2.2 Definisi Redaman.....	6
2.2.3 Definisi Kekakuan.....	7
2.3 Respon Dinamis Struktur.....	7
2.4 Karakteristik Beban Dinamis.....	8
2.5 Formulasi Persamaan.....	9
2.6 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa.....	11
2.6.1 Dasar Perencanaan.....	11
2.6.2 Metode Analisis.....	14
2.7 Teori Pengendalian Struktur.....	16
2.7.1 Teori Pengendalian Struktur Klasik dan Modern.....	16
2.7.2 Teori Pengendalian Struktur Secara Aktif.....	17
2.7.3 Teori Pengendalian Struktur Secara Semi-Aktif.....	17
2.7.4 Teori Pengendalian Struktur Secara Pasif.....	17
2.7.5 Teori Pengendalian Struktur Hibrid.....	20
3. METODE PENELITIAN.....	21
3.1 Pendahuluan.....	21
3.2 Analisis Linier dan Non-Linier.....	22
3.3 Permodelan.....	22
3.3.1 Permodelan Struktur.....	23
3.3.2 Permodelan Dinding <i>Vaultroom</i>	27
3.3.3 Permodelan Peredam Geser.....	27
3.3.4 Variasi Parameter.....	32

3.4	Hasil Respon yang Dianalisis.....	37
4.	ANALISIS RESPON STRUKTUR.....	38
4.1	Pengolahan Data.....	38
4.2	Hasil Respon Variasi Permodelan <i>Vaultroom</i>	38
4.3	Hasil Respon Variasi Kekakuan Material Elastis.....	44
4.4	Hasil Respon Variasi Koefisien Friksi Material Geser.....	50
4.5	Hasil Respon Variasi Bukaan (<i>Open</i>) Elemen <i>Gap</i> dan <i>Hook</i>	55
4.6	Hasil Respon Variasi Pembebanan.....	59
4.7	Hasil Respon Variasi Penempatan Posisi <i>Vaultroom</i>	63
5.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	69
5.1	Kesimpulan.....	69
5.2	Saran.....	71
	REFERENSI.....	72
	LAMPIRAN.....	73



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah untuk masing-masing Wilayah Gempa Indonesia.....	13
Tabel 3.1.	Variasi Parameter yang akan dimodelkan.....	36



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Hubungan antara Durasi dengan Frekuensi Konten.....	9
Gambar 2.2.	Wilayah Gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan periode ulang 500 tahun.....	14
Gambar 2.3.	Peredam Model P-F.....	18
Gambar 2.4.	Peredam Model LBR.....	18
Gambar 2.5.	Peredam Model R-FBI.....	19
Gambar 2.6.	Peredam Model EDF.....	19
Gambar 2.7.	Peredam Model NZ.....	19
Gambar 2.8.	Peredam Model SR-F.....	20
Gambar 3.1.	Diagram Alir Metode Penelitian.....	21
Gambar 3.2.	Permodelan Tiga Dimensi Struktur.....	24
Gambar 3.3.	Denah Struktur.....	25
Gambar 3.4.	Potongan Memanjang Struktur (A-A).....	26
Gambar 3.5.	Potongan Melintang Struktur (B-B).....	26
Gambar 3.6.	Variasi Penempatan <i>Vaultroom</i> untuk Tiap Lantai.....	28
Gambar 3.7.	Variasi Penempatan <i>Vaultroom</i> dari Potongan B-B.....	29
Gambar 3.8.	Gambar Potongan untuk Detailing Box <i>Vaultroom</i>	30
Gambar 3.9.	Gambar Tiga Dimensi Permodelan Box <i>Vaultroom</i>	31
Gambar 3.10.	Gambar Detailing Peredam Secara Tiga Dimensi.....	31
Gambar 3.11.	Catatan Riwayat Waktu Gempa El-Centro <i>Modified</i>	34
Gambar 3.12.	Perbandingan Respon Spektra El-Centro <i>Modified</i> dengan Wilayah 3 Tanah Lunak.....	34
Gambar 3.13.	Gambar Penempatan Posisi <i>Vaultroom</i>	35
Gambar 4.1.	Periode Getar Alami Variasi Permodelan <i>Vaultroom</i>	39
Gambar 4.2.	Lendutan Pusat Denah Arah X pada Variasi Permodelan <i>Vaultroom</i>	40
Gambar 4.3.	Rotasi Pusat Denah Arah Z pada Variasi Permodelan <i>Vaultroom</i>	41
Gambar 4.4.	Gaya Geser Dasar Arah X pada Variasi Permodelan <i>Vaultroom</i>	41

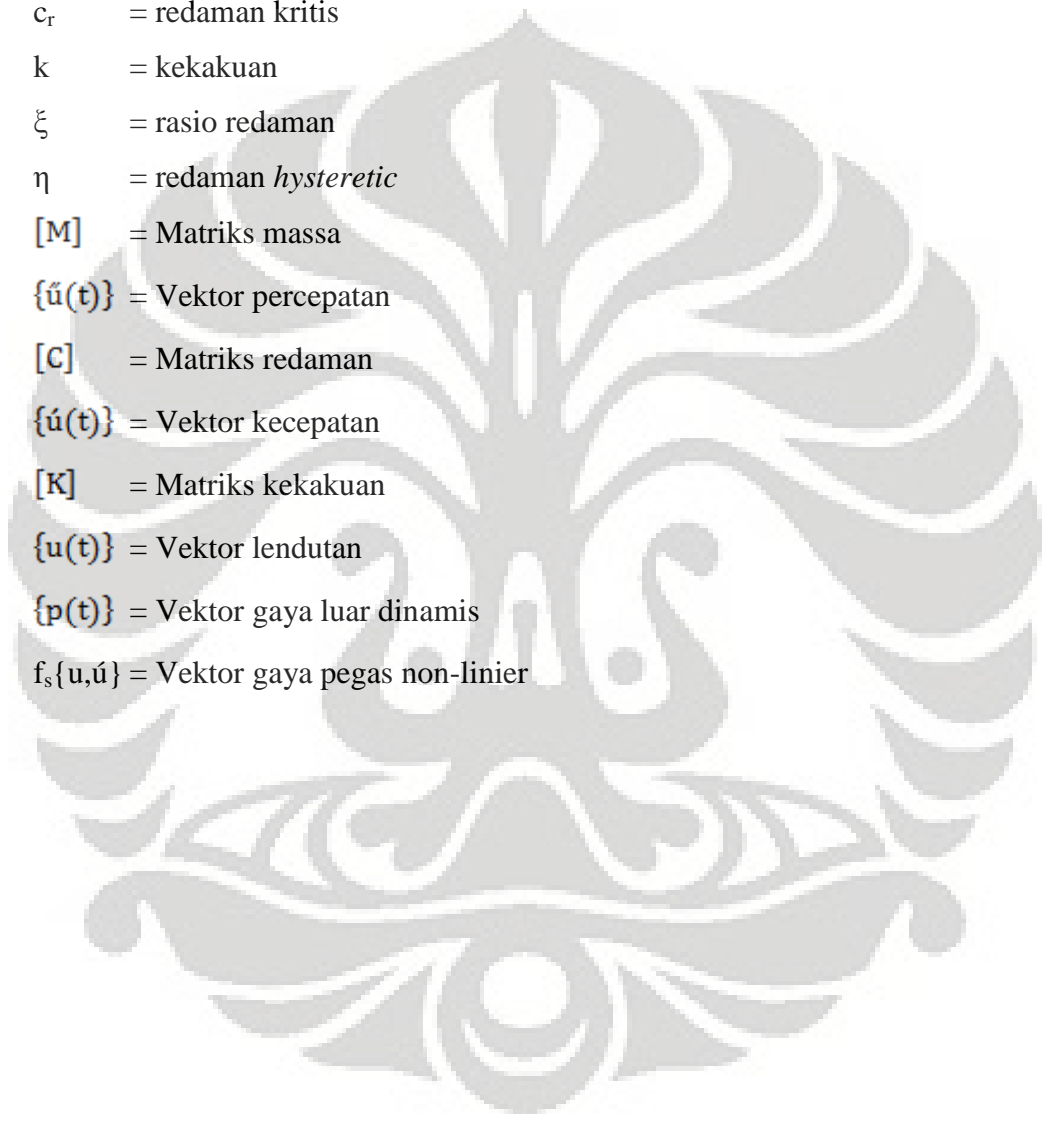
Gambar 4.5.	Momen Guling Dasar Arah Y pada Variasi Permodelan <i>Vaultroom</i>	42
Gambar 4.6.	Momen Torsi Dasar Arah Z pada Variasi Permodelan <i>Vaultroom</i>	43
Gambar 4.7.	Periode Getar Alami Variasi Kekakuan Material Elastis.....	44
Gambar 4.8.	Lendutan Pusat Denah Arah X Variasi Kekakuan Material Elastis.....	45
Gambar 4.9.	Rotasi Pusat Denah Arah Z Variasi Kekakuan Material Elastis....	45
Gambar 4.10.	Deformasi Elemen <i>Link</i> Arah X pada Pusat <i>Vaultroom</i> Sepanjang Waktu pada Variasi Kekakuan Material Elastis.....	46
Gambar 4.11.	Deformasi dan Gaya Elemen <i>Link</i> Arah X pada Pusat <i>Vaultroom</i> pada Variasi Kekakuan Material Elastis.....	46
Gambar 4.12.	Gaya Geser Dasar Arah X pada Variasi Kekakuan Material Elastis.....	47
Gambar 4.13.	Momen Guling Dasar Arah Y pada Variasi Kekakuan Material Elastis.....	48
Gambar 4.14.	Momen Torsi Dasar Arah Z pada Variasi Kekakuan Material Elastis.....	48
Gambar 4.15.	Periode Getar Alami Variasi Koefisien Friksi.....	50
Gambar 4.16.	Lendutan Pusat Denah Arah X Variasi Koefisien Friksi.....	51
Gambar 4.17.	Rotasi Pusat Denah Arah Z Variasi Koefisien Friksi.....	51
Gambar 4.18.	Deformasi dan Gaya Elemen <i>Link</i> Arah X pada Pusat <i>Vaultroom</i> pada Variasi Koefisien Friksi.....	52
Gambar 4.19.	Gaya Geser Dasar Arah X pada Variasi Koefisien Friksi.....	53
Gambar 4.20.	Momen Guling Dasar Arah Y pada Variasi Koefisien Friksi.....	53
Gambar 4.21.	Momen Torsi Dasar Arah Z pada Variasi Koefisien Friksi.....	54
Gambar 4.22.	Rotasi Pusat Denah Arah Z Variasi Bukaan (<i>Open</i>).....	55
Gambar 4.23.	Deformasi dan Gaya Elemen <i>Link</i> Arah X pada Pusat <i>Vaultroom</i> pada Variasi Bukaan (<i>Open</i>).....	56
Gambar 4.24.	Gaya Geser Dasar Arah X pada Variasi Bukaan (<i>Open</i>).....	56
Gambar 4.25.	Momen Guling Dasar Arah Y pada Variasi Bukaan (<i>Open</i>).....	57
Gambar 4.26.	Momen Torsi Dasar Arah Z pada Variasi Bukaan (<i>Open</i>).....	57

Gambar 4.27. Lendutan Pusat Denah Arah X Variasi Pembebanan Gempa.....	60
Gambar 4.28. Rotasi Pusat Denah Arah Z Variasi Pembebanan Gempa.....	60
Gambar 4.29. Deformasi Elemen <i>Link</i> Arah X pada Pusat <i>Vaultroom</i> Sepanjang Waktu pada Variasi Pembebanan Gempa.....	60
Gambar 4.30. Gaya Geser Dasar Arah X pada Variasi Pembebanan Gempa.....	61
Gambar 4.31. Momen Guling Dasar Arah Y pada Variasi Pembebanan Gempa.....	62
Gambar 4.32. Momen Torsi Dasar Arah Z pada Variasi Pembebanan Gempa....	62
Gambar 4.33. Periode Getar Alami pada Variasi Posisi <i>Vaultroom</i>	63
Gambar 4.34a. Lendutan Pusat Denah Arah X pada Variasi Posisi <i>Vaultroom</i> Terhadap Denah di Lantai 4.....	64
Gambar 4.34b. Lendutan Pusat Denah Arah X pada Variasi Posisi <i>Vaultroom</i> Terhadap Lantai di Posisi Denah A.....	64
Gambar 4.35. Rotasi Pusat Denah Arah Z Variasi Posisi <i>Vaultroom</i>	65
Gambar 4.36. Deformasi dan Gaya Maksimum Elemen Penghubung pada Variasi Posisi <i>Vaultroom</i>	66
Gambar 4.37. Gaya Geser Dasar Arah X pada Variasi Posisi <i>Vaultroom</i>	67
Gambar 4.38. Momen Guling Dasar Arah Y pada Variasi Posisi <i>Vaultroom</i>	67
Gambar 4.39. Momen Torsi Dasar Arah Z pada Variasi Posisi <i>Vaultroom</i>	68

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Gambar - Gambar Respon Dari Variasi Kekakuan Material Elastis.....	73
Lampiran 2.	Gambar - Gambar Respon Dari Variasi Koefisien Friksi.....	75
Lampiran 3.	Gambar - Gambar Respon Dari Variasi Bukaannya (Open) Elemen Link.....	77
Lampiran 4.	Gambar - Gambar Respon Dari Variasi Beban Gempa.....	79
Lampiran 5.	Gambar - Gambar Respon Dari Variasi Posisi Vaultroom.....	81
Lampiran 6.	Periode Getar Pada 5 Pola Getar Awal Dari Setiap Variasi Parameter.....	83
Lampiran 7.	Partisipasi Massa Variasi Permodelan Vaultroom Posisi 3C.....	84
Lampiran 8.	Partisipasi Massa Variasi Permodelan Vaultroom Posisi 5C.....	85
Lampiran 9.	Partisipasi Massa Variasi Kekakuan Material Elastis.....	86
Lampiran 10.	Partisipasi Massa Variasi Koefisien Friksi, Bukaannya (Open), Dan Pembebanan Gempa.....	87
Lampiran 11.	Partisipasi Massa Variasi Posisi.....	88
Lampiran 12.	Lendutan Maksimum Pusat Denah Arah X Setiap Variasi.....	92
Lampiran 13.	Lendutan Maksimum Pusat Denah Arah Y Setiap Variasi.....	94
Lampiran 14.	Rotasi Maksimum Pusat Denah Arah Z Setiap Variasi.....	96
Lampiran 15.	Deformasi Dan Gaya Maksimum Dari Elemen Link Arah X Dan Arah Y.....	98
Lampiran 16.	Reaksi Dasar Maksimum Dari Setiap Variasi.....	100

DAFTAR NOTASI



m	= massa
c	= redaman
c_r	= redaman kritis
k	= kekakuan
ξ	= rasio redaman
η	= redaman <i>hysteretic</i>
$[M]$	= Matriks massa
$\{\ddot{u}(t)\}$	= Vektor percepatan
$[C]$	= Matriks redaman
$\{\dot{u}(t)\}$	= Vektor kecepatan
$[K]$	= Matriks kekakuan
$\{u(t)\}$	= Vektor lendutan
$\{p(t)\}$	= Vektor gaya luar dinamis
$f_s\{u, \dot{u}\}$	= Vektor gaya pegas non-linier

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Di dalam dunia konstruksi, banyak sekali bangunan-bangunan yang membutuhkan pekerjaan *non*-standar untuk memenuhi kebutuhan dan tujuan masing-masing dari bangunan tersebut. Bangunan perbankan merupakan salah satu bangunan yang membutuhkan pekerjaan *non*-standar. Pekerjaan *non*-standar yang dimaksud adalah pekerjaan pembuatan ruangan khusus untuk tempat penyimpanan benda-benda berharga seperti uang tunai, emas, dokumen-dokumen berharga, atau benda-benda lain dari nasabah bank. Tempat penyimpanan ini biasa disebut dengan istilah *strongroom* atau *vaultroom* (*Bank Vault*, n.d.). Sebagai tempat penyimpanan benda-benda berharga, maka spesifikasi teknis dari *vaultroom* akan berbeda-beda sesuai dengan tingkat keamanan yang dipilih oleh pihak bank. *Vaultroom* dapat dibuat dari struktur beton atau struktur baja serta memiliki ketebalan yang disesuaikan dengan tingkat keamanan masing-masing bank. Pada umumnya, *vaultroom* dari struktur beton memiliki ketebalan minimal 1 ft (0.31 m) dan ketebalan pintu minimal 3.5 ft (1.1 m) (*Bank Vault*, n.d.).

Vaultroom yang semakin tebal akan semakin meningkatkan level keamanan tetapi juga meningkatkan nilai kekakuan dan massa dari struktur. Posisi *vaultroom* pada struktur seringkali tidak simetris. Penempatan yang tidak simetris mengakibatkan terjadinya konsentrasi kekakuan pada daerah *vaultroom* karena kekakuan *vaultroom* yang sangat besar dibandingkan dengan kekakuan struktur. Konsentrasi ini kemudian menyebabkan pergeseran pusat kekakuan dari pusat massa yang berada pada posisi yang sama pada struktur simetris.

Pembebanan statis dalam hal ini beban gravitasi tidak menimbulkan masalah bagi struktur perbankan beserta *vaultroom*. Permasalahan akan timbul saat terjadi pembebanan dinamis atau gempa. Gaya gempa akan bekerja pada pusat massa dari struktur, sedangkan gaya gempa ditahan oleh kekakuan dari struktur, redaman struktur dan massa inersia dari struktur. Pusat tahanan struktur atau pusat rotasi

struktur tidak berada pada posisi yang sama dengan pusat massa dari struktur. Hal ini mengakibatkan eksentrisitas gaya yang bekerja pada struktur. Arah gempa yang pada umumnya adalah horizontal dan akan bekerja pada pusat massa struktur tetapi ditahan oleh kekakuan struktur yang eksentris sehingga menimbulkan permasalahan torsi pada keseluruhan struktur.

1.2 Permasalahan

Kekakuan struktur yang eksentris akan mengakibatkan persamaan ragam pola getar *transversal* horizontal dan ragam pola getar torsi menjadi berpasangan (*coupled*). Hal ini berarti gaya-gaya atau lendutan-lendutan dari arah *transversal* yang berasal dari gempa akan menghasilkan respon torsi pada struktur dan demikian juga sebaliknya (Dowdell, 2005). Permasalahan torsi pada keseluruhan struktur akibat pembebanan dinamis akan menyebabkan lendutan pada elemen balok dan kolom pada struktur sehingga elemen-elemen tersebut mengalami gaya torsi, gaya lentur dan efek P-delta. Bangunan portal tiga dimensi yang ditinjau pada skripsi ini merupakan struktur beton, dimana struktur beton rentan terhadap keruntuhan geser karena keruntuhan geser bersifat tiba-tiba dan getas (Wight, & MacGregor, 2009). Mekanisme gaya geser dan gaya torsi memiliki kesamaan, yaitu bekerja sejajar dengan penampang sehingga keruntuhan torsi juga memiliki sifat yang tiba-tiba dan getas.

Pada kondisi seperti ini, perkuatan struktur dengan cara konservatif, yaitu dengan hanya memperbesar dimensi balok dan kolom tidak akan efektif mereduksi respon akibat pembebanan dinamis. Perkuatan struktur dengan cara konservatif akan meningkatkan biaya proyek tetapi tidak sebanding dengan kontribusi terhadap perbaikan respon struktur. Perkuatan struktur dengan cara konservatif bahkan berpotensi memperbesar respon struktur jika frekuensi natural struktur dengan perkuatan konservatif ternyata beresonansi dengan frekuensi beban. Respon seismik yang terjadi akibat eksentrisitas kekakuan dan massa dari struktur dapat direduksi dengan lebih efektif menggunakan metode pengendalian struktur. Metode pengendalian struktur yang dipilih pada skripsi ini adalah pengendalian struktur secara pasif dengan menggunakan peredam geser.

1.3 Batasan Masalah

Struktur yang ditinjau pada skripsi ini adalah struktur portal beton 3 dimensi untuk bangunan perbankan dengan 5 lantai tanpa tangga. Spesifikasi teknis dari struktur ini adalah sebagai berikut:

- a. Luas bangunan : 540 m²
- b. Tinggi bangunan : 20 m
- c. Jumlah lantai : 5 lantai dan 1 atap
- d. Jarak tiap lantai : 4 m
- e. Jumlah bentang arah x : 3 bentang
- f. Jumlah bentang arah y : 5 bentang
- g. Jarak antar bentang : 6 m
- h. Ukuran kolom : 400 x 600 mm
- i. Ukuran balok induk : 300 x 600 mm
- j. Ukuran balok anak : 200 x 400 mm
- k. Tebal pelat : 120 mm
- l. Tebal dinding *vaultroom* : 30 mm
- m. Posisi *vaultroom* : 16 variasi (4 variasi pada setiap lantai, kecuali lantai 1)
- n. Kuat tekan beton : 29 Mpa (K350)
- o. Tulangan besi leleh : 400 Mpa

Pembebanan yang diberikan pada struktur adalah beban sinusoidal dengan periode getar 0.5T_n, 1T_n dan 2T_n, dimana T_n adalah waktu getar alami struktur pada arah pembebanan dan percepatan 0.3g serta beban gempa El-centro arah E-W yang telah direkam pada tanggal 15 Mei 1940 di California dan dinormalisasi amplitudonya dengan program RESMAT (Lumantarna, & Lukito, 1997), sehingga memiliki respon spektra sesuai dengan wilayah Jakarta dengan asumsi tanah lunak. Durasi setiap beban adalah 20 detik.

1.4 Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan dari skripsi ini adalah untuk melihat respon struktur portal tiga dimensi, dalam hal ini bangunan bank 5 lantai beserta *vaultroom* yang memiliki

kekakuan struktur eksentris jika diberikan peredam geser pada pertemuan antara dinding *vaultroom* dengan struktur utama. Penempatan posisi dan variabel peredam akan divariasikan sehingga diperoleh efektifitas dari setiap variasi.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dari skripsi mengenai respon seismik dari portal tiga dimensi dengan peredam geser eksentris ini adalah:

Bab 1 Pendahuluan

Membahas mengenai latar belakang masalah, permasalahan yang ada, batasan masalah, maksud dan tujuan serta sistematika penulisan dari skripsi ini.

Bab 2 Studi Literatur

Membahas tentang teori-teori dasar dari dinamika struktur dan keempaan serta teori pengendalian struktur yang digunakan sebagai dasar teori dari skripsi ini.

Bab 3 Metode Penelitian

Membahas mengenai metode yang digunakan untuk meneliti tentang respon seismik dari portal tiga dimensi dengan peredam geser eksentris.

Bab 4 Analisis Respon Struktur

Membahas respon seismik dari portal tiga dimensi dengan *vaultroom* sebagai peredam geser eksentris berdasarkan metode penelitian yang digunakan.

Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan dan saran dari keseluruhan tulisan skripsi ini.

BAB 2

STUDI LITERATUR

2.1 Pendahuluan

Dinamika struktur dan kegempaan merupakan salah satu topik penting dalam bidang teknik sipil. Dalam kehidupan nyata, struktur-struktur teknik sipil mengalami berbagai pembebanan baik beban statis maupun beban dinamis. Pembebanan dinamis akan menghasilkan respon yang sangat berbeda dari pembebanan statis. Pada umumnya respon dari struktur pada pembebanan dinamis lebih besar daripada pembebanan statis. Akibatnya analisis respon dari struktur secara statis tidak layak untuk diaplikasikan pada struktur dengan pembebanan dinamis.

Analisis dinamik mutlak dibutuhkan untuk memperoleh respon yang sesuai dengan keadaan sebenarnya. Oleh karena itu, teori dasar dinamika struktur dan kegempaan sangat diperlukan sebagai pengetahuan dasar dalam tulisan ini. Teori dasar dinamika struktur dan kegempaan yang akan dibahas pada bab ini meliputi karakteristik dinamis dari struktur, respon-respon dari struktur, karakteristik pembebanan dinamis, formulasi persamaan dinamis, perencanaan dasar bangunan tahan gempa, serta teori pengendalian struktur.

2.2 Karakteristik Dinamis Struktur

Struktur dengan beban dinamis akan memiliki perilaku yang berbeda dari struktur dengan beban statis. Respon struktur dari beban statis dapat diperoleh hanya dengan menggunakan karakteristik kekakuan dari struktur yang ditinjau. Pada struktur dengan pembebanan dinamis, karakteristik dari struktur yang diperlukan untuk menganalisis respon dari struktur adalah massa, kekakuan dan redaman dari struktur yang ditinjau.

2.2.1 Definisi Massa

Massa (m) adalah satuan yang menunjukkan jumlah partikel, atom atau molekul yang terdapat dalam suatu benda (*Mass*, n.d.). Semakin banyak jumlah partikel

dalam suatu benda, maka semakin besar massa dari benda tersebut. Suatu benda bermassa yang diam atau bergerak dengan kecepatan konstan akan mempertahankan keadaannya sedemikian sehingga akan timbul gaya ketika eksitasi bekerja pada benda tersebut baik berupa percepatan atau perlambatan. Hal ini dikenal dengan istilah inersia atau kelembaman.

Gaya yang dikerjakan pada suatu benda bermassa akan menghasilkan percepatan pada benda, demikian juga sebaliknya percepatan yang bekerja pada suatu massa akan menghasilkan gaya, ini merupakan ringkasan dari hukum kedua Newton. Besarnya gaya pada suatu benda bermassa yang diberikan percepatan sama dengan massa benda tersebut dikalikan dengan percepatan yang bekerja, tetapi arahnya berlawanan dengan arah percepatan yang diberikan pada benda. Gaya ini disebut sebagai gaya inersia.

Setiap jenis struktur pada bidang teknik sipil pada umumnya memiliki massa yang besar. Eksitasi dinamis baik berupa beban gempa, angin ataupun mesin memiliki percepatan atau perlambatan yang bekerja pada struktur sehingga mengganggu kelembaman dari struktur. Oleh karena itu, akan timbul gaya inersia pada struktur yang melawan eksitasi dari luar.

2.2.2 Definisi Redaman

Redaman dapat didefinisikan sebagai semua pengaruh yang cenderung mengurangi amplitudo getaran dari suatu sistem (*Damping*, n.d.). Pengaruh-pengaruh tersebut dapat berasal dari gesekan suatu benda dengan benda lain, gaya-gaya internal pada material benda, serta sifat viskous dari material benda itu sendiri. Redaman umumnya dinyatakan dalam suatu koefisien redaman (c) atau dengan rasio redaman (ξ) yang merupakan perbandingan antara koefisien redaman (c) dengan redaman kritis (c_r).

Permodelan sederhana untuk redaman adalah menggunakan redaman viskous, dimana eksitasi atau getaran bebas dapat diredam dengan gaya yang sebanding antara koefisien redaman viskous dan kecepatan dari sistem. Permodelan lebih

kompleks adalah menggunakan redaman *hysteretic* (η) yang menunjukkan kehilangan energi setiap siklus dalam suatu getaran.

Struktur pada bidang teknik sipil memiliki total redaman yang terdiri dari redaman-redaman dari berbagai mekanisme sehingga perumusan redaman akan menjadi sangat kompleks dan hampir tidak mungkin diperoleh nilai eksaknya. Hal ini dapat diatasi dengan memodelkan semua redaman pada struktur dengan redaman viskous ekuivalen.

2.2.1 Definisi Kekakuan

Kekakuan (k) merupakan karakteristik yang umum untuk analisis struktur dengan beban statis. Kekakuan merupakan tahanan dari sebuah benda dalam berdeformasi akibat tegangan-tegangan yang terjadi dan disebabkan oleh gaya luar (*Stiffness*, n.d.). Kekakuan didefinisikan sebagai gaya satu satuan yang bekerja pada benda dan mengakibatkan deformasi satu satuan pada benda ataupun sebaliknya. Gaya yang dimaksud adalah gaya *axial*, gaya geser, momen lentur dan momen torsi. Deformasi yang dimaksud adalah lendutan dan putaran sudut baik tegak lurus penampang maupun sejajar penampang. Kekakuan merupakan fungsi dari modulus elastisitas, modulus geser, inersia penampang, luas penampang dan panjang elemen.

2.3 Respon Dinamis Struktur

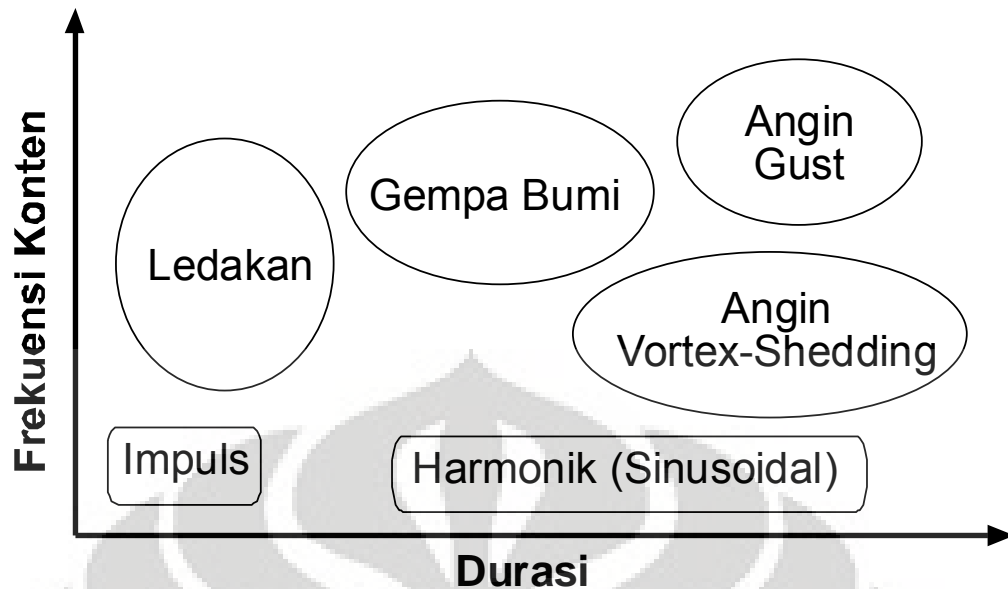
Eksitasi dinamis dan getaran bebas dari struktur akan menghasilkan respon dinamis kinematik dan mekanik. Respon kinematik terdiri dari lendutan, kecepatan dan percepatan baik dalam bentuk translasi maupun rotasi, sedangkan respon mekanik terdiri dari gaya *axial*, gaya geser, momen lentur dan momen torsi berupa gaya dalam elemen struktur maupun reaksi perletakan. Eksitasi dinamis baik berupa eksitasi mekanik atau eksitasi kinematik akan menyebabkan respon kinematik dan respon mekanik pada struktur. Hubungan antara respon kinematik dan respon mekanik ada dalam bentuk gaya, dimana karakteristik dinamis struktur dikalikan dengan respon kinematik sama dengan respon mekanik.

2.4 Karakteristik Beban Dinamis

Sebuah beban dikategorikan sebagai beban dinamis jika beban tersebut bervariasi terhadap waktu dan respon dari sistem terhadap beban tersebut tidak cukup dikarakteristikan dengan menggunakan karakteristik pembebanan statis (*Dynamic Load*, n.d.). Ini merupakan kasus ketika gaya inersia dari struktur memberikan kontribusi besar terhadap gaya total yang dialami oleh struktur. Karakteristik dari pembebanan dinamis adalah:

- Intensitas, karakteristik yang menggambarkan besarnya eksitasi yang bekerja pada struktur.
- Durasi, karakteristik yang menggambarkan lamanya eksitasi, atau jumlah siklus dari beban yang bekerja.
- Frekuensi konten, karakteristik yang menggambarkan frekuensi pada eksitasi, apakah merupakan eksitasi dengan frekuensi tunggal atau eksitasi dengan frekuensi pita lebar yang terdiri dari beberapa frekuensi.

Beban angin merupakan contoh beban dinamis dan dapat menghasilkan pembebanan yang besar pada beberapa struktur, tergantung pada bentuk geometri dan keterbukaan dari struktur (*exposure*). Beban ledakan dan gempa umumnya berada pada frekuensi konten pita lebar yaitu memiliki banyak jenis frekuensi yang berbeda. Ledakan memiliki durasi yang sangat singkat sedangkan gempa memiliki durasi yang cukup lama. Beban gempa memiliki frekuensi antara 0.2-50 Hz dan dapat mengandung satu atau beberapa getaran (Dowdell, 2005). Grafik di bawah ini menunjukkan hubungan antara durasi dengan frekuensi konten dari sistem pada jenis-jenis pembebanan dinamis.



Gambar 2.1. Hubungan antara Durasi dengan Frekuensi Konten.

2.5 Formulasi Persamaan

Sistem struktur dapat dibedakan menjadi struktur dengan satu derajat kebebasan (SDOF) dan struktur dengan multi derajat kebebasan (MDOF). Derajat kebebasan adalah keadaan kebebasan gerak, baik translasi maupun rotasi dari suatu sistem. Suatu sistem tiga dimensi memiliki tak hingga derajat kebebasan karena setiap elemen pada sistem tersebut yang diwakili oleh nodal-nodal tak hingga banyaknya dapat berdeformasi sesuai dengan kekakuan sistem dan gaya yang bekerja pada sistem tersebut. Derajat kebebasan yang ada pada struktur dapat direduksi dengan cara memilih titik-titik ujung dan pertemuan antar elemen pembentuk struktur yang selanjutnya disebut sebagai nodal.

Formulasi persamaan dinamis sederhana untuk sistem multi derajat kebebasan (MDOF) adalah sebagai berikut:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{p(t)\} \quad (2.1)$$

dimana,

$[M]$ = Matriks massa

$\{\ddot{u}(t)\}$ = Vektor percepatan

$[C]$ = Matriks redaman

$\{\dot{u}(t)\}$ = Vektor kecepatan

$[K]$ = Matriks kekakuan

$\{u(t)\}$ = Vektor lendutan

$\{p(t)\}$ = Vektor gaya luar dinamis

Matriks massa terbentuk dari dari berbagai koefisien pengaruh massa (m_{ij}), dimana i merupakan nodal dimana gaya inersia bekerja akibat percepatan pada nodal j . Matriks massa adalah matriks yang simetris karena $m_{ij} = m_{ji}$ dan merupakan matrix diagonal jika diasumsikan massa terkumpul pada titik-titik nodal. Matriks massa untuk struktur MDOF adalah sebagai berikut, dimana N adalah jumlah derajat kebebasan:

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & \dots & m_{1N} \\ m_{21} & m_{22} & \dots & \dots & \vdots \\ m_{31} & \vdots & & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & & \vdots \\ m_{N1} & \dots & \dots & \dots & m_{NN} \end{bmatrix}$$

Matriks redaman dan matriks kekakuan memiliki koefisien pengaruh masing-masing (c_{ij} dan k_{ij}) dimana kedua matriks tersebut merupakan matriks yang simetris. Identik dengan koefisien pengaruh massa, maka nodal i menunjukkan nodal dimana gaya bekerja akibat lendutan atau kecepatan, sedangkan nodal j merupakan nodal dimana lendutan atau kecepatan yang terjadi. Matriks redaman dan kekakuan untuk struktur MDOF adalah sebagai berikut, dimana N adalah jumlah derajat kebebasan:

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & \dots & c_{1N} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & \dots & \vdots \\ c_{31} & \vdots & & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & & \vdots \\ c_{N1} & \dots & \dots & \dots & c_{NN} \end{bmatrix} \quad K = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & \dots & k_{1N} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & \dots & \vdots \\ k_{31} & \vdots & & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & & \vdots \\ k_{N1} & \dots & \dots & \dots & k_{NN} \end{bmatrix}$$

Matriks gaya atau eksitasi dinamis terdiri dari gaya-gaya yang bekerja pada nodal. Penggabungan persamaan dinamis untuk struktur dengan N derajat kebebasan adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} m_{11} & \dots & m_{1N} \\ \vdots & & \vdots \\ m_{N1} & \dots & m_{NN} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \vdots \\ \ddot{u}_N \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{11} & \dots & c_{1N} \\ \vdots & & \vdots \\ c_{N1} & \dots & c_{NN} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u}_1 \\ \vdots \\ \dot{u}_N \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{11} & \dots & k_{1N} \\ \vdots & & \vdots \\ k_{N1} & \dots & k_{NN} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_N \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} p(t)_1 \\ \vdots \\ p(t)_N \end{Bmatrix} \quad (2.2)$$

Pada beban dinamis berupa gempa, maka gaya $p(t)$ yang bekerja adalah yang terletak pada nodal perletakan dan nilainya adalah sebesar massa total struktur dikalikan percepatan gempa dengan arah yang berlawanan dengan arah datangnya gempa dan umumnya dinyatakan sebagai gaya efektif.

$$([p_{eff}] = - [M]\{\ddot{u}_g\}) \quad (2.3)$$

2.6 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa

Perencanaan bangunan tahan gempa yang digunakan di Indonesia adalah berdasarkan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung atau SNI – 1726 – 2002 yang diterbitkan oleh Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

2.6.1 Dasar Perencanaan

Secara umum perencanaan bangunan tahan gempa dibagi menjadi perencanaan untuk struktur gedung beraturan dan perencanaan untuk struktur gedung tidak beraturan. Struktur gedung beraturan dapat dianalisis menggunakan metode statik ekuivalen. Sedangkan gedung tidak beraturan harus dianalisis berdasarkan analisis respon dinamis (Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, Standar Nasional Indonesia, 2002). Ringkasan persyaratan untuk struktur gedung beraturan berdasarkan SNI – 1726 – 2002 pasal 4.2.1 sebagai berikut:

- a) Tinggi struktur gedung diukur dari taraf penjepitan lateral tidak lebih dari 10 tingkat atau 40 m.
- b) Denah struktur gedung adalah persegi panjang dengan tonjolan tidak lebih dari 25% dari ukuran terbesar denah struktur gedung.
- c) Denah struktur gedung dengan coakan tidak lebih dari 15% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah sisi coakan tersebut.
- d) Sistem struktur gedung terbentuk oleh subsistem-subsistem penahan beban lateral yang arahnya saling tegak lurus dan sejajar dengan sumbu-sumbu utama orthogonal denah struktur gedung secara keseluruhan.
- e) Sistem struktur gedung tidak menunjukkan loncatan bidang muka yang berarti.
- f) Sistem struktur gedung memiliki kekakuan lateral yang beraturan.
- g) Sistem struktur gedung memiliki berat lantai tingkat yang beraturan dengan maksimum perbedaan tiap lantai adalah 150%.
- h) Sistem struktur gedung memiliki unsur-unsur vertikal dari sistem penahan beban lateral yang menerus, tanpa perpindahan titik beratnya yang berarti.
- i) Sistem struktur gedung memiliki lantai tingkat yang menerus, tanpa lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh lantai tingkat.

Gedung-gedung dikategorikan berdasarkan probabilitas keruntuhan selama umur gedung berdasarkan faktor keutamaan (I). Semakin besar faktor keutamaan, maka desain perencanaan untuk bangunan tersebut akan semakin besar sehingga meminimalkan probabilitas keruntuhan pada bangunan sepanjang umur rencana.

Faktor daktilitas struktur gedung (μ) adalah rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat gempa rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan (δ_m) dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama (δ_y). Semakin besar nilai dari daktilitas, maka nilai reduksi gempa (R) akan semakin besar. Nilai daktilitas dapat dikategorikan dalam jenis sistem dan subsistem struktur serta sistem pemikul beban gempa pada suatu struktur. Nilainya dapat diambil dari tabel 3 pada SNI – 1726 – 2002.

Penetapan beban terfaktor beserta kombinasinya dan penetapan kuat nominal terfaktor harus berdasarkan standar pembebanan dan standar beton atau standar baja yang berlaku di Indonesia. Reduksi beban hidup untuk setiap jenis bangunan diperbolehkan berdasarkan standar pembebanan yang berlaku. Kombinasi beban yang digunakan adalah kombinasi yang menghasilkan pembebanan paling besar. Perencanaan kapasitas harus memenuhi persyaratan “kolom kuat balok lemah”, artinya ketika struktur gedung memikul pengaruh Gempa Rencana, sendi-sendi plastis di dalam struktur gedung tersebut hanya boleh terjadi pada ujung-ujung balok dan pada kaki kolom dan kaki dinding geser saja.

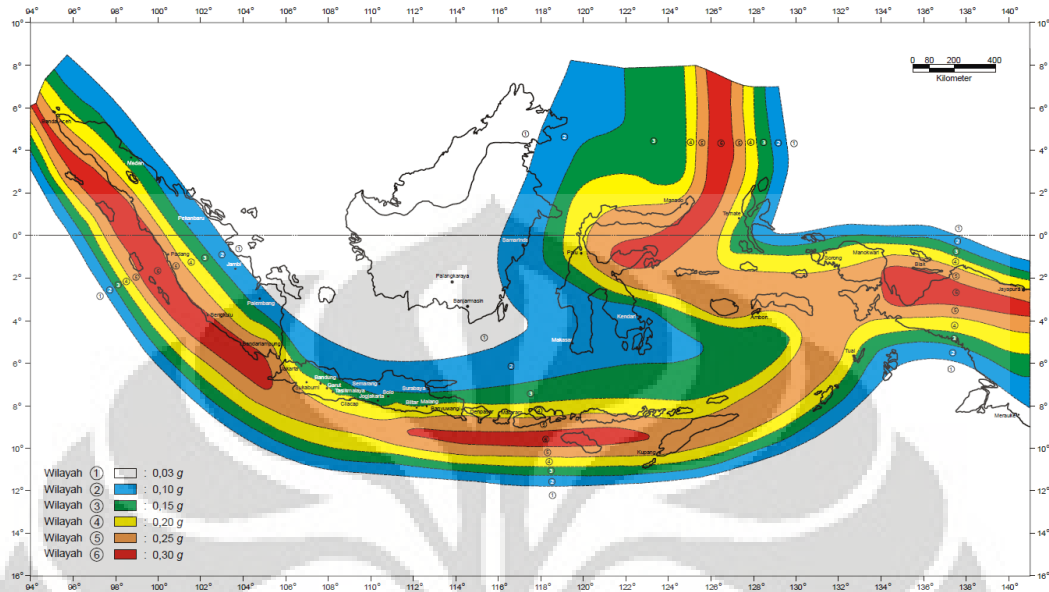
Jenis tanah dapat dibedakan menjadi empat yaitu tanah keras, tanah sedang, tanah lunak dan tanah khusus. Identifikasi jenis tanah pada lokasi dapat ditentukan dengan tiga cara yaitu berdasarkan kecepatan rambat gelombang geser rata-rata, nilai hasil Test Penetrasi Standar rata-rata dan kuat geser niralir rata-rata. Wilayah Indonesia dibagi menjadi 6 wilayah gempa dengan percepatan dasar batuan yang berbeda-beda. Percepatan gempa pada dasar batuan akan merambat ke permukaan tanah dan mengalami amplifikasi berdasarkan jenis tanah. Nilai percepatan puncak muka tanah untuk masing-masing wilayah gempa di Indonesia beserta peta wilayah gempa Indonesia adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1. Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah untuk masing-masing Wilayah Gempa Indonesia

Wilayah Gempa	Percepatan puncak batuan dasar (g)	Percepatan puncak muka tanah A_0 (g)			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0.03	0.04	0.05	0.08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0.1	0.12	0.15	0.2	
3	0.15	0.18	0.23	0.3	
4	0.20	0.24	0.28	0.34	
5	0.25	0.28	0.32	0.36	

6	0.30	0.33	0.36	0.38	
---	------	------	------	------	--

Sumber: SNI – 1726 – 2002.



Sumber: SNI – 1726 – 2002.

Gambar 2.2. Wilayah Gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan periode ulang 500 tahun

Dalam perencanaan struktur gedung, arah utama pengaruh Gempa Rencana harus ditentukan sedemikian rupa, sehingga memberi pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur subsistem dan sistem struktur gedung secara keseluruhan. Berdasarkan SNI – 1726 – 2002 pasal 5.8, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitas hanya 30%.

2.6.2 Metode Analisis

Metode analisis untuk mendapatkan respon dari struktur akibat pembebanan dinamis dapat dilakukan dengan dua cara yaitu metode statik ekuivalen dan metode analisis dinamis. Fungsi penyelesaian untuk metode statik ekuivalen dan metode analisis dinamis dapat menggunakan fungsi spektrum respon atau fungsi respon sejarah.

Spektrum respon adalah sebuah grafik sederhana yang menunjukkan hubungan antara respon puncak (lendutan, kecepatan atau percepatan) dari serangkaian getaran yang bervariasi dalam frekuensi natural, yang dipaksa bergerak dengan getaran dasar yang sama (*Response Spectrum*, n.d.). Kelebihan spektrum respon adalah penggunaannya yang mudah dan sederhana dalam perhitungan serta hasil responnya maksimum. Kekurangan dari spektrum respon adalah penggunaannya yang terbatas pada sistem linear.

Respon sejarah (Time History) adalah catatan gempa berdasarkan catatan sejarah berupa percepatan tanah. Respon penuh dari struktur dapat diperoleh dengan menyelesaikan persamaan dinamis dari struktur. Penyelesaian untuk respon sejarah dilakukan dengan metode numerik dan iterasi. Kelebihan respon sejarah adalah dapat memperoleh respon yang akurat untuk suatu gempa tertentu dan dapat diaplikasikan untuk sistem non-linear. Kekurangan respon sejarah adalah hanya dapat memperoleh respon untuk gempa tertentu dan tidak memperoleh respon maksimum yang berpotensi timbul. Selain itu metode penyelesaian secara iterasi numerik dengan bantuan komputer akan memerlukan waktu yang lebih lama.

Metode statik ekuivalen dapat diaplikasikan pada struktur yang dikategorikan bangunan beraturan. Periode getar dari struktur dapat diperkirakan dengan perumusan Reyleigh dan diasumsikan merupakan periode getar dengan partisipasi massa lebih dari 90% sehingga dapat langsung dipakai untuk mendapatkan respon pada dasar struktur dari spektrum respon. Respon pada dasar struktur dalam hal ini adalah gaya geser dasar yang kemudian disebar ke setiap lantai dalam bentuk gaya luar. Kemudian respon dari struktur diperoleh dengan cara analisis statik biasa.

Metode analisis dinamis harus dilakukan untuk struktur bangunan yang tidak beraturan atau sistem non-linier. Metode analisis dinamis ini dapat dilakukan dengan menggunakan fungsi spektrum respon dan fungsi respon sejarah. Pada metode analisis dinamis dengan fungsi spektrum respon, terlebih dahulu harus

dilakukan analisis modal untuk mendapatkan partisipasi massa dari masing-masing modal. Kemudian masing-masing modal dicari responnya menggunakan fungsi spektrum respon. Partisipasi massa minimal dari modal-modal yang dianalisis adalah 90% dari total massa dan responnya dikombinasikan dengan metode Kombinasi Kuadratik Lengkap (Complete Quadratic Combination) atau dengan metode Akar Jumlah Kuadrat (Square Root of Sum of Squares). Pada metode analisis dinamis dengan fungsi respon sejarah, disyaratkan untuk menggunakan 4 buah data gempa dan salah satunya adalah gempa El-Centro. Percepatan maksimum dari masing-masing gempa harus diskalakan kedalam percepatan maksimum dari kondisi tanah setempat. Data percepatan kemudian diselesaikan dengan persamaan dinamis untuk memperoleh respon pada struktur.

2.7 Teori Pengendalian Struktur

Pengendalian struktur adalah cabang ilmu yang muncul pada sekitar tahun 1970. Konsep dari pengendalian struktur berasal dari rekayasa sistem dan rekayasa kelistrikan (Dowdell, 2005). Pada awalnya pengendalian struktur hanya mencakup pembelajaran pada struktur dengan peralatan yang memberikan kemampuan kepada struktur untuk merasakan deformasinya sendiri dan atau beban luar. Kemudian peralatan pada struktur akan memberikan respon yang terbaik untuk meningkatkan kinerja dari struktur. Pada perkembangan selanjutnya, konsep dari pengendalian struktur meluas dan mencakup berbagai jenis sistem dari sistem aktif sampai sistem pasif untuk perbaikan kinerja struktur.

2.7.1 Teori Pengendalian Struktur Klasik dan Modern

Pengendalian struktur klasik berhubungan dengan rekayasa mekanikal dan kelistrikan. Pengendalian struktur klasik hanya mempertimbangkan satu jenis variabel pada suatu waktu sehingga pada sistem dengan multi derajat kebebasan (MDOF), desain lebih menjadi suatu seni daripada sains (Dowdell, 2005). Pengendalian struktur modern dapat diaplikasikan untuk struktur multi derajat kebebasan (MDOF) dengan memperhitungkan banyak variabel pada suatu waktu. Pengendalian struktur modern terkadang disebut dengan pengendalian struktur

optimum karena menggabungkan antara desain dari sistem pengendali dengan prinsip dari optimasi.

2.7.2 Pengendalian Struktur Secara Aktif

Pengendalian struktur secara aktif adalah pengendalian struktur dengan menggunakan peralatan yang terintegrasi dengan struktur (*Vibration Control*, n.d.). Peralatan ini menggabungkan rekaman penuh waktu (*real-time*) dari tanah dengan peralatan yang memproses input gempa dengan penggerak (*actuator*) yang berfungsi untuk meningkatkan kinerja dari struktur. Penggerak (*actuator*) adalah sebuah peralatan mekanik yang digunakan untuk menggerakkan atau mengendalikan mekanisme getar atau sistem dari suatu benda. Prinsip dari penggerak (*actuator*) adalah menyerap energi yang dapat berasal dari angin atau gempa dan mengubahnya dalam bentuk gerakan (*Actuator*, n.d.). Kekurangan dari pengendalian struktur secara aktif biaya yang dikeluarkan besar karena membutuhkan peralatan-peralatan yang canggih dan algoritma yang kompleks. Selain itu, pengendalian struktur secara aktif juga membutuhkan energi listrik yang besar untuk menjalankan mesin, yang belum tentu tersedia pasca gempa.

2.7.3 Pengendalian Struktur Secara Semi-Aktif

Pengendalian struktur secara semi-aktif adalah pengendalian struktur yang tidak memberikan gaya pengendali secara langsung terhadap suatu struktur, tetapi justru memperbaiki kinerja dari struktur dengan memodifikasi karakteristik dari elemen-elemen pengendali pada saat struktur berdeformasi (Dowdell, 2005). Keuntungan pengendalian struktur secara semi-aktif dibandingkan dengan pengendalian struktur secara aktif adalah bahwa pengendalian struktur secara semi-aktif mereduksi konsumsi energi yang besar yang dibutuhkan pada pengendalian struktur secara aktif.

2.7.4 Pengendalian Struktur Secara Pasif

Pengendalian struktur secara pasif adalah pengendalian struktur yang tidak menggunakan peralatan khusus tetapi pada umumnya menggunakan berbagai macam peredam atau isolator. Pengendalian struktur secara pasif dipandang lebih

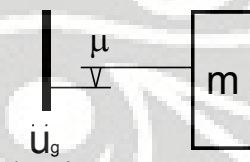
praktis dan dapat diandalkan daripada pengendalian struktur secara aktif. Hal ini karena pengendalian struktur secara pasif tidak membutuhkan peralatan yang kompleks seperti pada pengendalian struktur secara aktif. Beberapa jenis sistem dengan pengendalian struktur pasif antara lain:

- a) Isolasi Dasar (Base Isolation)
- b) Peredam Massa (Tuned Mass Damper)
- c) Peredam Geser
- d) Peredam Viskous
- e) Peredam Viskous-elastik
- f) Peredam Hysteretik

Isolasi dasar bertujuan untuk menggeser periode struktur sedemikian rupa agar periode struktur berada diluar jangkauan periode dominan gempa sehingga membatasi eksitasi yang diteruskan kepada struktur. Peredam massa bertujuan untuk mengubah frekuensi respon dan memberikan redaman pada pola ragam getar yang utama. Sedangkan tujuan dari peredam-peredam lain adalah untuk meningkatkan tingkat redaman sehingga menekan deformasi pada struktur utama. Beberapa modelisasi untuk pengendalian struktur secara pasif adalah sebagai berikut:

- a) Sistem P-F (*Pure Friction*)

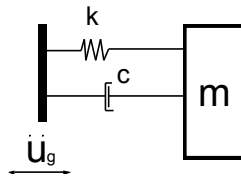
Merupakan modelisasi untuk sistem dengan struktur yang sangat kaku dan diberi peredam Coulomb murni.



Gambar 2.3. Peredam Model P-F

- b) Sistem LBR (*Laminated Rubber Bearing*)

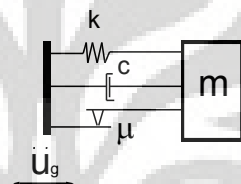
Merupakan modelisasi untuk sistem struktur dengan peredam material viskous. Material viskous yang umumnya digunakan adalah karet (rubber bearing).



Gambar 2.4. Peredam Model LBR

c) Sistem R-FBI (*Resilient – Friction Base Isolator*)

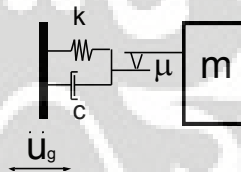
Merupakan modelisasi untuk sistem struktur dengan peredam yang memiliki sifat viskous dan sifat friksi.



Gambar 2.5. Peredam Model R-FBI

d) Sistem EDF (*Electricite de France*)

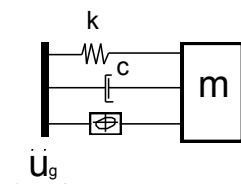
Merupakan modelisasi untuk sistem dengan menggunakan peredam gabungan antara elastomerik dan pelat friksi.



Gambar 2.6. Peredam Model EDF

e) Sistem NZ

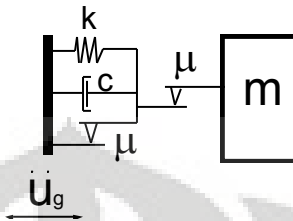
Merupakan modelisasi untuk sistem struktur dengan peredam viskous-elastik dan diberi material untuk disipasi energi secara histeretik.



Gambar 2.7. Peredam Model NZ

f) Sistem SR-F (*Sliding Resilient – Friction*)

Merupakan modelisasi untuk sistem struktur dengan peredam gabungan dari modelisasi R – FBI dan EDF, dimana terdapat dua koefisien gesek yang berbeda.



Gambar 2.8. Peredam Model SR-F

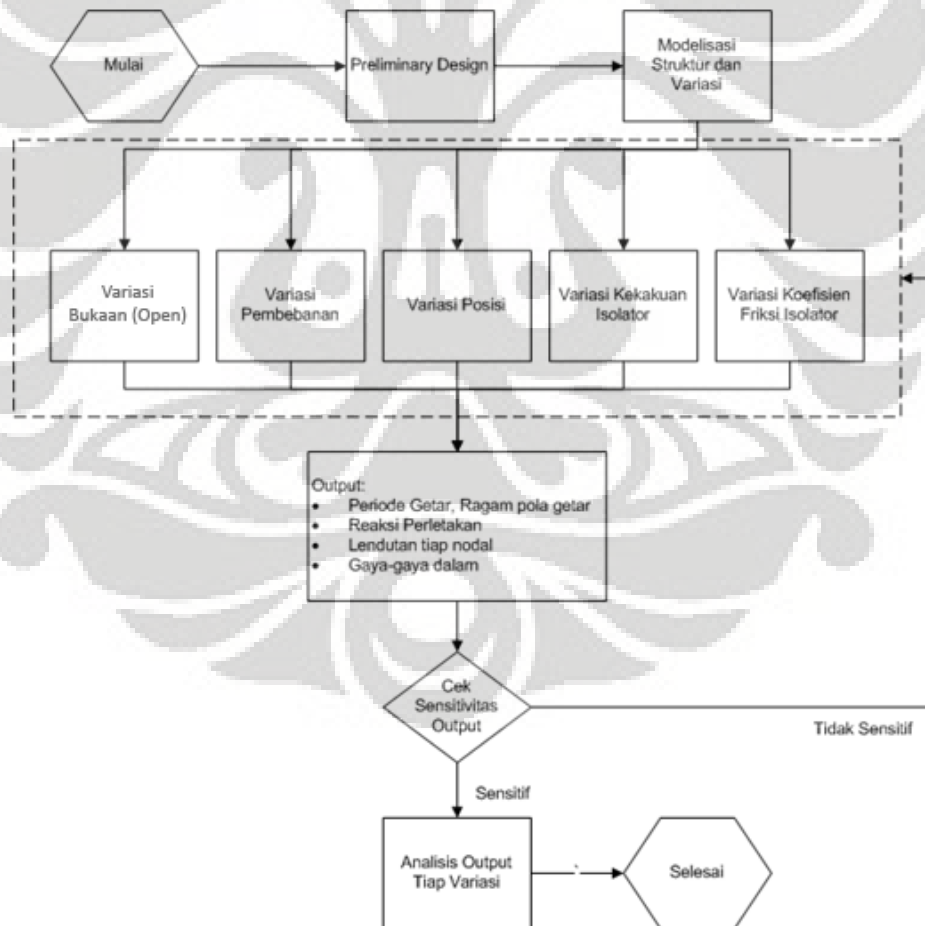
2.7.5 Sistem Hibrid

Sistem Hibrid adalah gabungan dari dua atau lebih sistem pengendalian struktur. Sistem hibrid memiliki potensi keunggulan kinerja, namun harus dibayar dengan biaya yang mahal untuk menyediakan peralatan gabungan serta kompleksitas dari algoritma penggabungan dua atau lebih sistem pengendalian struktur yang berbeda.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Penelitian ini dikerjakan dengan menggunakan perangkat lunak SAP 2000, yang dibuat oleh Computers and Structures, Inc. University of California Berkley. Struktur akan dimodelkan secara tiga dimensi dan dianalisis secara dinamik dengan menggunakan metode analisis integrasi langsung *non*-linier dari catatan percepatan gempa. Peredam geser pada struktur dimodelkan dengan menggunakan fasilitas elemen penghubung *non*-linier (*Link Element*) pada perangkat lunak SAP 2000. Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1. Diagram Alir Metode Penelitian.

3.2 Analisis Linier dan Non-Linier

Teori klasik pada analisis struktur didasarkan pada teori linier, yaitu diasumsikan bahwa elemen struktur memiliki kemampuan menghasilkan gaya pemulih yang proporsional terhadap deformasi yang terjadi pada elemen struktur. Gaya pemulih ini memiliki nilai yang tetap dan dapat berulang sepanjang umur struktur. Elemen struktur *non*-linier adalah semua struktur yang tidak memenuhi persyaratan elemen struktur linear.

Sifat linier yang dimaksudkan di atas adalah sifat linier material dan bentuk geometri dari struktur. Pada kenyataannya, struktur serta elemen pembentuknya seringkali melewati batas linier akibat dari berbagai mekanisme seperti mendapatkan pembebanan siklik, mengalami lendutan atau kecepatan yang melewati keadaan linier, susut, rangkai, perubahan temperatur secara tiba-tiba atau material dan geometri struktur yang tidak linier. Oleh karena itu, analisis secara linier tidak cukup untuk mendapatkan hasil yang baik, sehingga dibutuhkan analisis secara *non*-linier.

Solusi dari permasalahan dinamik *non*-linear akan sangat sulit diselesaikan. Solusi-solusi masalah dinamik akan unik. Karena kesulitan untuk menemukan formulasi dan solusi secara analitis, solusi dengan metode iterasi menjadi andalan. Analisis untuk sistem struktur *non*-linier pada umumnya menggunakan analisis sejarah waktu (*Time-History*).

3.3 Permodelan

Struktur utama dan elemen-elemennya diasumsikan berada pada batas linier tetapi material peredam geser merupakan material yang memberikan respon antara gaya dan deformasi yang *non*-linier. Jika salah satu elemen pembentuk struktur *non*-linier, maka solusi dinamis harus diselesaikan secara *non*-linier. Persamaan dinamis untuk masalah non-linear adalah:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + f_s\{u, \dot{u}\} = \{p(t)\} \quad (3.1)$$

dimana,

$[M]$ = Matriks massa

$\{\ddot{u}\}$ = Vektor percepatan

$[C]$ = Matriks redaman

$\{\dot{u}\}$ = Vektor kecepatan

$f_s\{u, \dot{u}\}$ = Vektor gaya pegas non-linier

$\{p(t)\}$ = Vektor gaya luar dinamis

Pada penelitian ini, vektor gaya pegas *non*-linier merupakan gabungan dari matriks kekakuan struktur linier yang dikalikan dengan lendutan dan vektor gaya pegas *non*-linier dari elemen penghubung peredam geser yang *non*-linier sehingga diperoleh hubungan:

$$f_s\{u, \dot{u}\} = [K]\{\dot{u}\} + \{f_{FD}\} \quad (3.2)$$

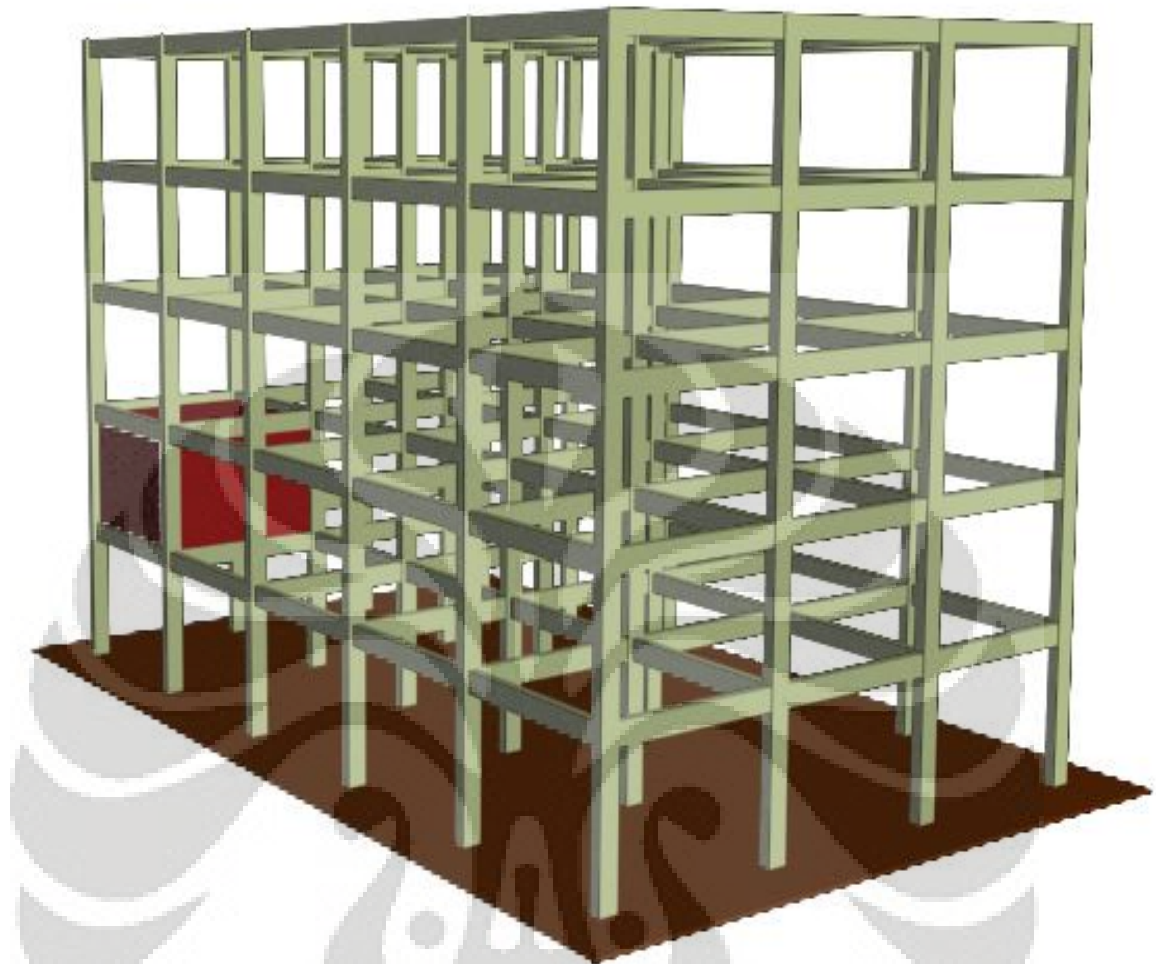
dimana,

$\{f_{FD}\}$ = Vektor gaya material peredam geser (FD = *Friction Damping*)

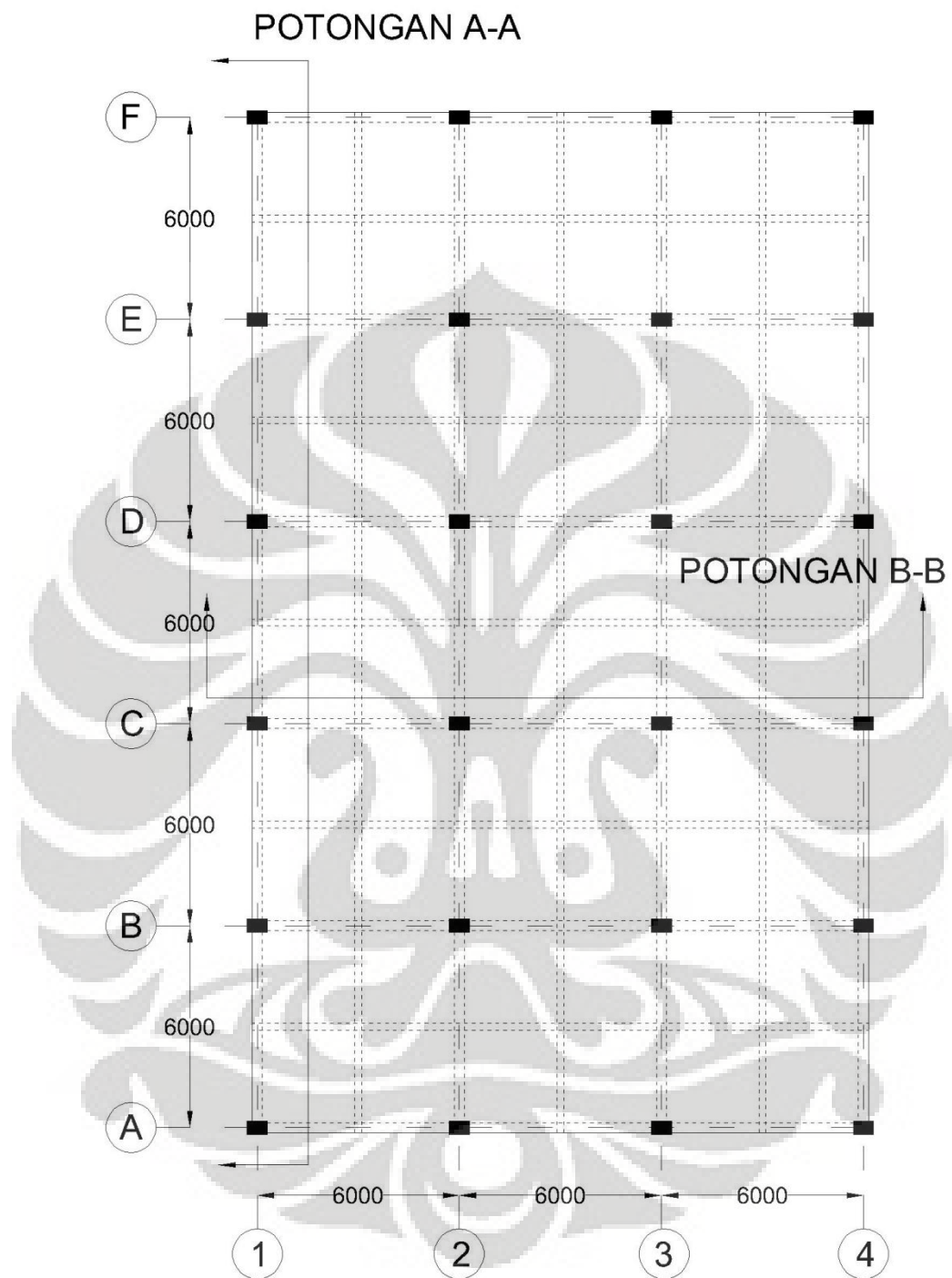
$[K]$ = Matriks kekakuan struktur

3.3.1 Permodelan Struktur

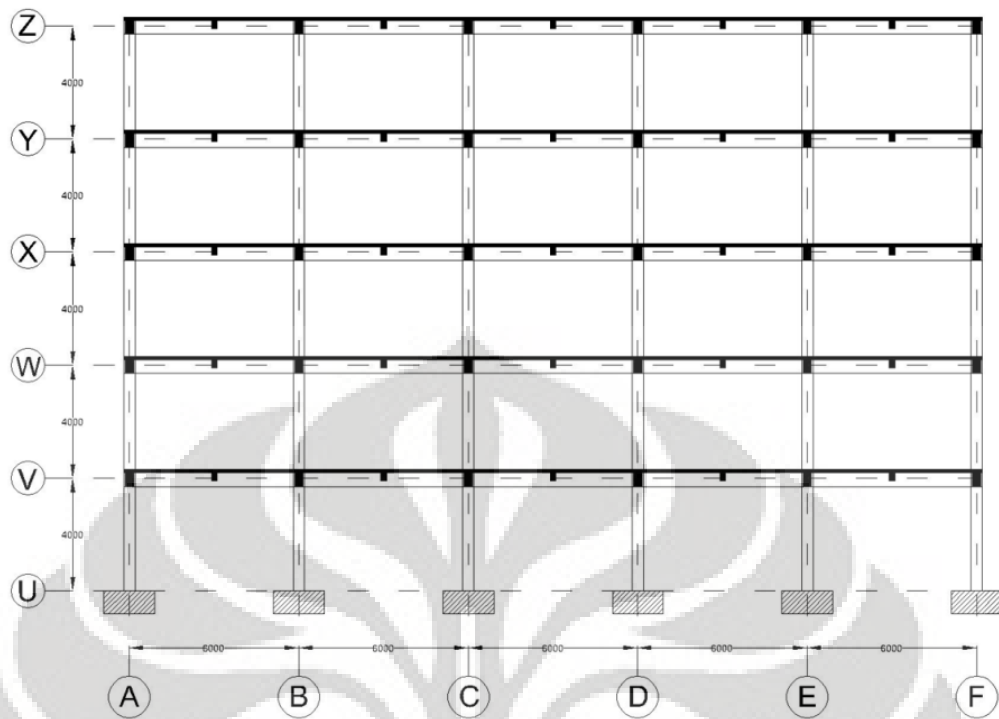
Struktur dimodelkan sebagai portal beton lima (5) lantai dengan spesifikasi teknis telah tertera pada bagian Batasan Masalah. Spesifikasi teknis untuk penelitian ini telah diuji dengan menggunakan perangkat lunak SAP 2000 dengan gaya gempa statik ekuivalen pada wilayah Jakarta dengan tanah lunak. Redaman dari portal beton diasumsikan sebesar 5%. Permodelan tiga dimensi, denah dan potongan struktur dapat dilihat seperti pada gambar di bawah ini:



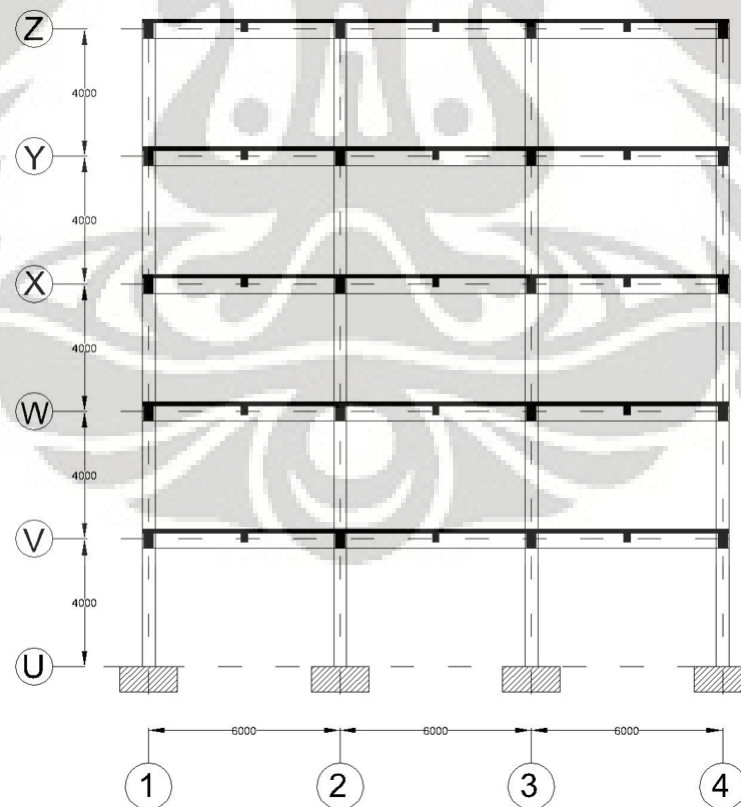
Gambar 3.2. Permodelan Tiga Dimensi Struktur.



Gambar 3.3. Denah Struktur.



Gambar 3.4. Potongan Memanjang Struktur (A-A).



Gambar 3.5. Potongan Melintang Struktur (B-B).

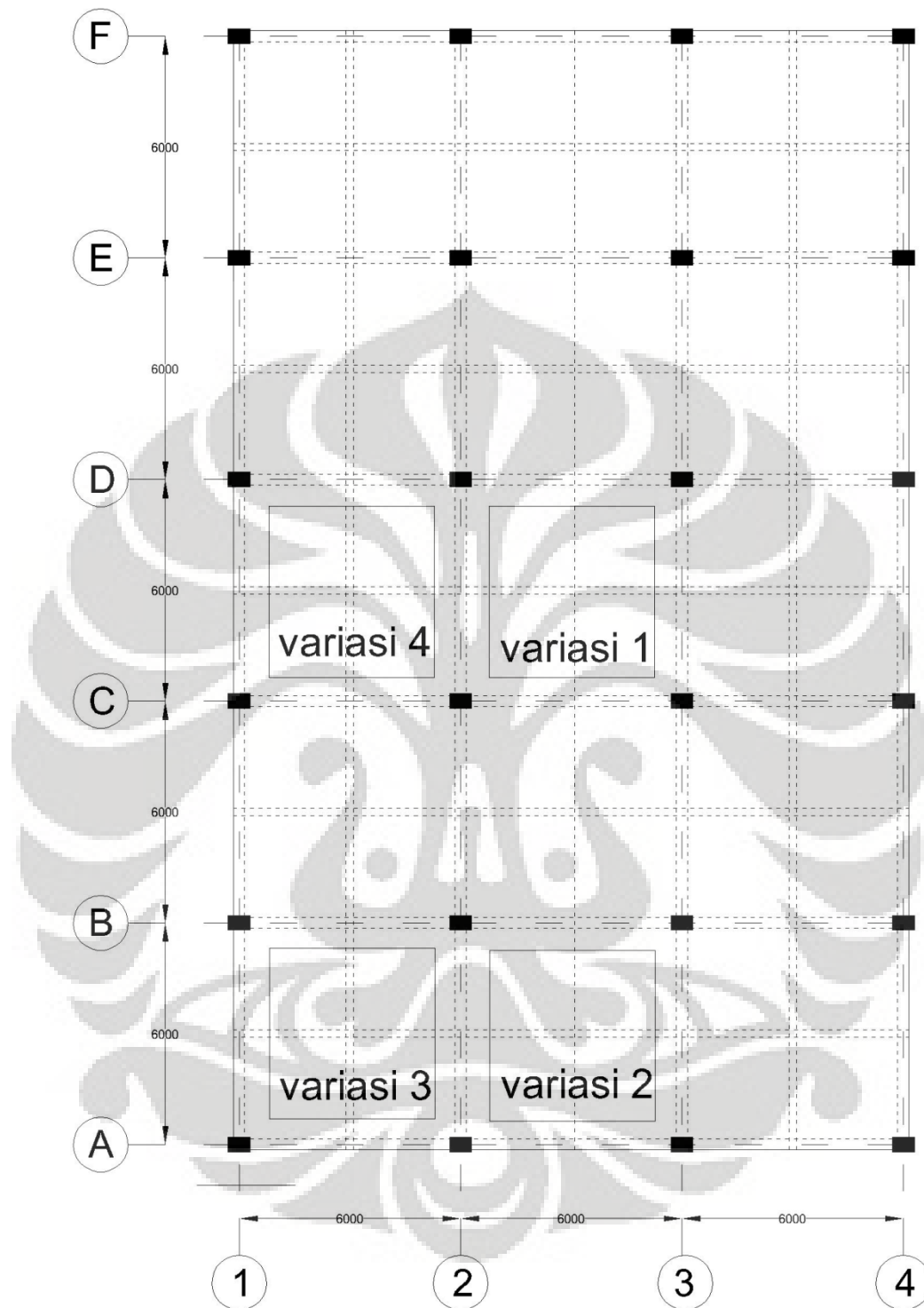
3.3.2 Permodelan Dinding Vaultroom

Vaultroom berbentuk kotak (*box*) dengan ukuran 5 m x 5 m x 4 m dan tebal 30 cm tetapi pada penelitian ini dimodelkan sebagai suatu kotak *solid (box)* dengan ukuran 4 m x 4 m x 4 m. Tujuan memodelkan *vaultroom* dengan ukuran yang lebih kecil adalah agar hasil meshing simetris sehingga diharapkan hasil perhitungan lebih akurat. Karena ada perubahan ukuran *vaultroom* pada saat melakukan permodelan di program SAP 2000, maka material baru untuk *vaultroom* akan dibuat dengan perhitungan sebagai berikut:

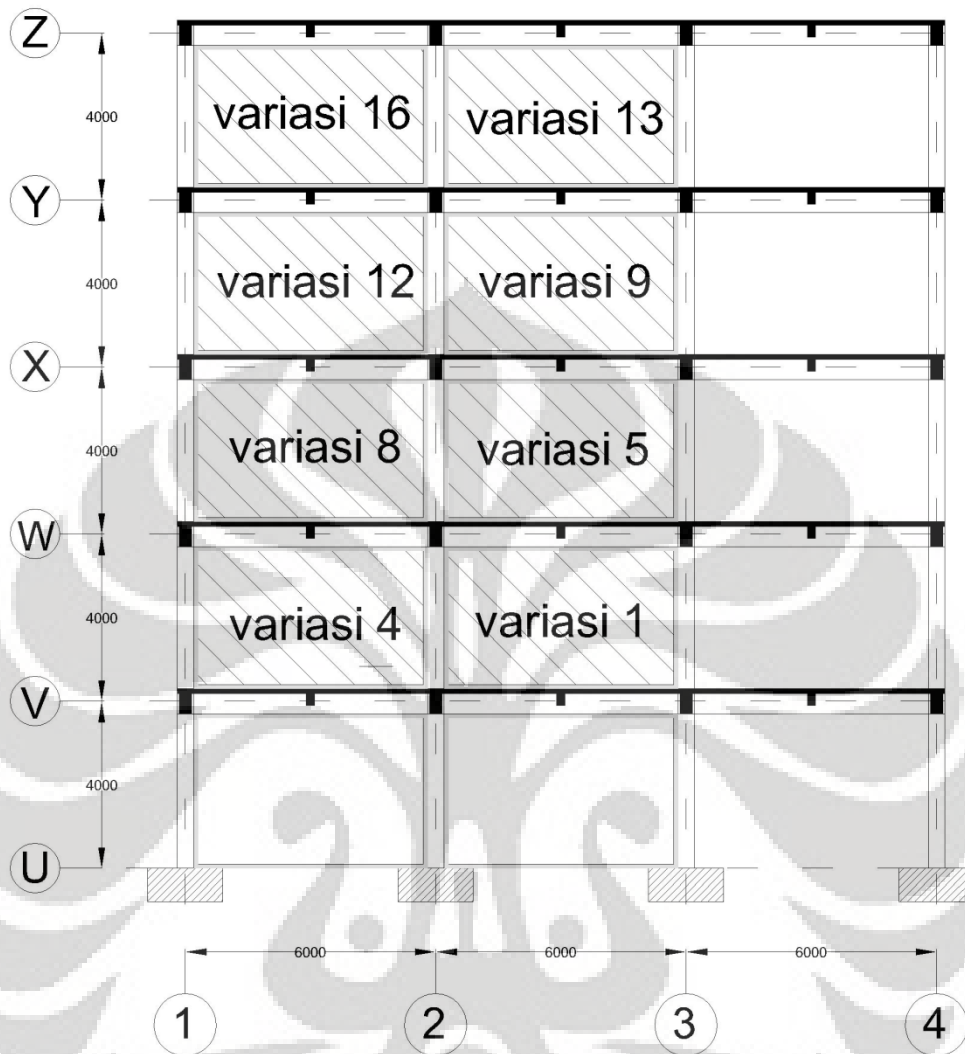
- Berat sebenarnya dari *vaultroom* adalah:
Luas Area x tebal x massa jenis beton=
 $(5 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 2 + 5 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 4) \times 0.3 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 936 \text{ kN}$
- Beban mati (dead load) dari *vaultroom* ditetapkan 10 kPa
- Total Beban Mati adalah: $5 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 10 \text{ kPa} = 250 \text{ kN}$
- Maka Berat total *vaultroom* adalah $250 \text{ kN} + 936 \text{ kN} = 1186 \text{ kN}$

Material baru untuk elemen *solid* seberat 1186 kN dan ukuran 4 m x 4 m x 4 m akan memiliki berat jenis sebesar 18.53 kN/m^3 yang akan dimasukkan ke dalam *input* perangkat lunak SAP 2000.

Penempatan dari *vaultroom* divariasikan sebanyak 16 variasi, masing-masing 4 variasi setiap lantai, mulai dari lantai 2 sampai lantai 5. Variasi-variasi tersebut ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.6. Variasi Penempatan *Vaultroom* untuk Tiap Lantai.



Gambar 3.7. Variasi Penempatan *Vaultroom* dari Potongan B-B.

Variasi ke tujuh (7) dari variasi posisi akan dijadikan sebagai posisi standar saat parameter lain divariasikan.

3.3.3 Permodelan Peredam (*Link Element*)

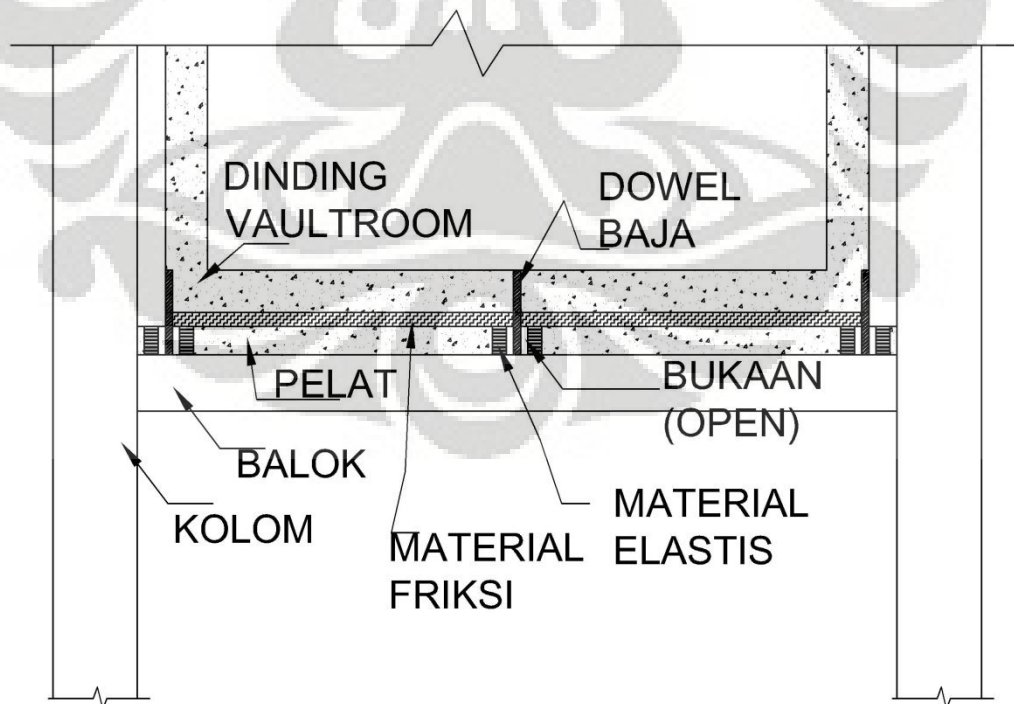
Peredam geser dimodelkan sebagai suatu material isolasi yang memiliki koefisien friksi dan kekakuan saja. Pada perangkat lunak SAP 2000, digunakan tiga elemen penhubung (*link*) yaitu *friction*, *gap* dan *hook* yang bekerja secara paralel. Elemen penhubung isolasi friksi digunakan untuk memodelkan friksi antara *vaultroom*

dengan lantai *vaultroom*. Elemen penghubung *Gap* adalah elemen penghubung yang hanya bekerja pada saat ditekan sedangkan elemen *Hook* hanya bekerja pada keadaan tarik. Pada keadaan non-linier, elemen *Gap* dan *Hook* memiliki fasilitas bukaan (*open*) sebelum kekakuan dari elemen tersebut bekerja. Elemen *Gap* dan *Hook* digunakan untuk memodelkan material elastik. Permodelan matematika untuk elemen *Gap* dan *Hook* adalah sebagai berikut:

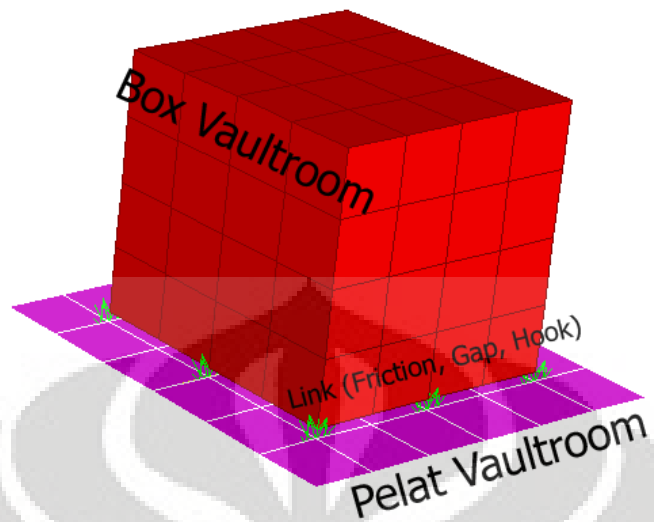
$$f_{GAP} = \begin{cases} k(d + open), & d + open < 0 \\ 0, & d + open \geq 0 \end{cases}$$

$$f_{HOOK} = \begin{cases} k(d - open), & d - open > 0 \\ 0, & d - open \leq 0 \end{cases}$$

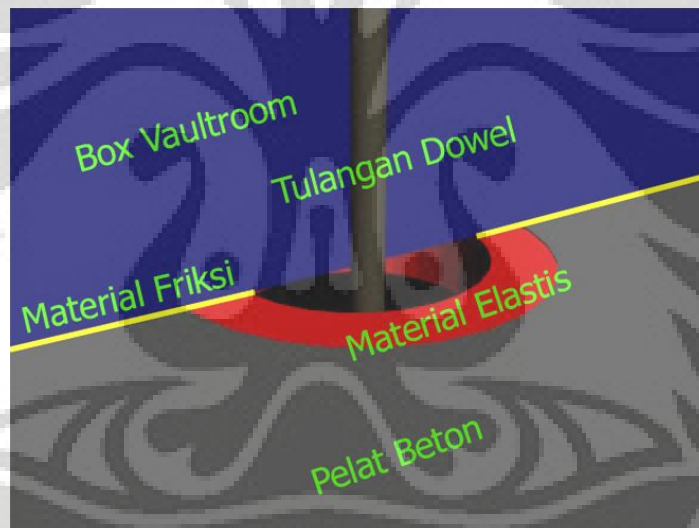
Material geser diletakkan di bawah *vaultroom*. *Vaultroom* dapat bergerak sejauh bukaan (*open*) tertentu sambil mengalami gesekan kemudian membentur material elastik. Redaman viskous pada material elastik ini diasumsikan bernilai nol agar tidak mengganggu hasil respon seismik pada struktur dengan peredam geser. Nilai kekakuan, bukaan (*open*) dan koefisien friksi dari material peredam akan divariasikan untuk mendapatkan respon dari setiap variasi. Di bawah ini adalah gambar dari permodelan peredam geser yang dibatasi pergerakannya:



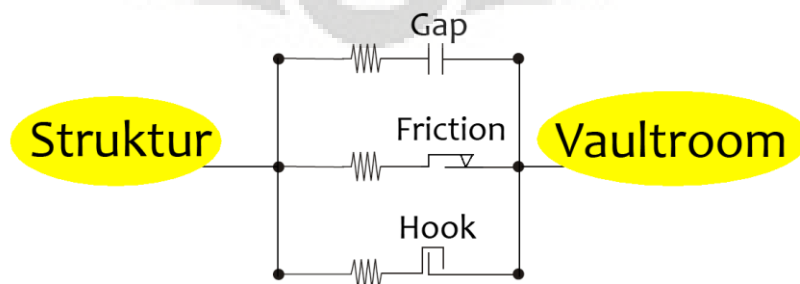
Gambar 3.8. Gambar Potongan untuk Detailing Box *Vaultroom*.



Gambar 3.9. Gambar Tiga Dimensi Permodelan Box *Vaultroom*.



Gambar 3.10. Gambar Detailing Peredam Secara Tiga Dimensi



Gambar 3.11. Gambar Skematik Permodelan Peredam

3.3.4 Variasi Parameter

Beberapa variasi parameter akan dilakukan pada penelitian ini. Ketika satu parameter divariasikan, parameter-parameter yang tidak divariasikan ditetapkan konstan. Parameter-parameter yang akan divariasikan adalah:

1. Parameter Kekakuan dari *Link Hook* dan *Link Gap* (Material elastis)

Nilai kekakuan ditetapkan berdasarkan logika sederhana seperti berikut ini:

Jika:

Gaya Inersia ($F_I = m \cdot a$)

Gaya Elastis Material ($F_s = k \cdot u$)

Gaya Friksi ($f_s = \mu \cdot N$)

dimana,

m = massa *vaultroom* = 1186 kN/g

a = percepatan gempa, ambil nilai max = 0.75 g

k = kekakuan elastis material

u = lendutan pada material, asumsikan max = 100 mm

μ = koefisien friksi, asumsikan 0.15

N = Berat Normal *Vaultroom* = 1186 kN

dan:

Gaya inersia - Gaya friksi = Gaya Elastis Material

Setelah melakukan perhitungan berdasarkan rumus di atas, maka diperoleh nilai kekakuan material sebesar 7116 kN/m. Bulatkan hasil kekakuan material elastik menjadi 8000 kN/m dan gunakan sebagai parameter yang konstan saat parameter lain divariasikan. Tetapkan variasi kekakuan sebesar 4000 kN/m, 6000 kN/m, 8000 kN/m, 10000 kN/m dan 12000 kN/m.

2. Parameter Bukaannya (*Open*) dari *Link Hook* dan *Link Gap*

Nilai bukannya (*open*) yang divariasikan pada skripsi ini adalah 2 x 10 mm, 2 x 20 mm, 2 x 30 mm, 2 x 40 mm, dan 2 x 50 mm. Tetapkan nilai 2 x 30 mm sebagai parameter konstan saat parameter lain divariasikan.

3. Parameter Koefisien Friksi dari *Link Friction*

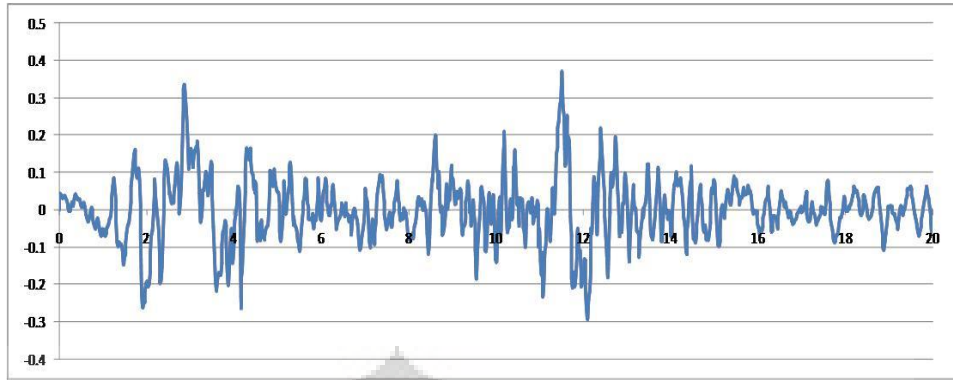
Nilai Koefisien Friksi dari *Link Friction* yang divariasikan pada skripsi ini adalah 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 serta 0.9, yaitu sebuah nilai besar yang digunakan sebagai pembandingan keefektifan variasi koefisien gesek. Tetapkan nilai 0.15 sebagai parameter konstan saat parameter lain divariasikan.

4. Parameter Percepatan (Beban Gempa) yang diaplikasikan

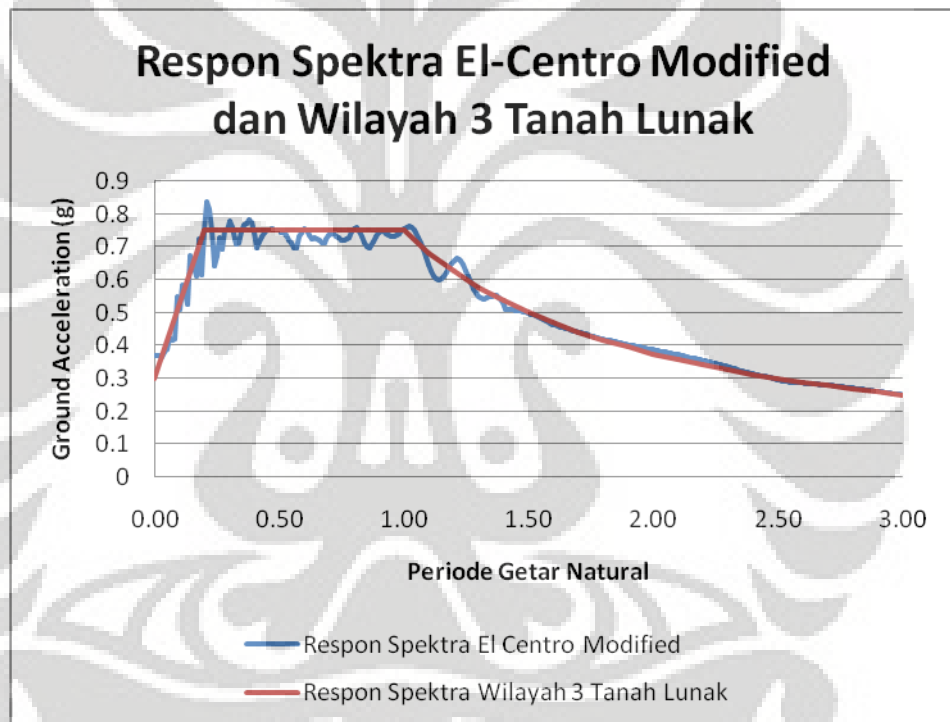
Semua percepatan gempa berdurasi 20 detik dan diaplikasikan pada sumbu X dari denah bangunan. 4 variasi percepatan gempa yaitu:

- Percepatan Gempa El-Centro yang telah dimodifikasi dengan perangkat lunak RESMAT sedemikian sehingga respon spektranya sesuai dengan respon spektra wilayah 3 untuk kondisi tanah lunak.
- Percepatan Gempa Sinusoidal 0.3g dengan periode 0.5 kali periode alami struktur pada arah gempa yang diberikan.
- Percepatan Gempa Sinusoidal 0.3g dengan periode 1 kali periode alami struktur pada arah gempa yang diberikan.
- Percepatan Gempa Sinusoidal 0.3g dengan periode 2 kali periode alami struktur pada arah gempa yang diberikan.

Beban Gempa El-Centro *modified* ditetapkan menjadi parameter konstan saat parameter lain divariasikan. Di bawah ini adalah gambar dari catatan riwayat waktu gempa El-Centro arah timur barat yang telah dimodifikasi dengan perangkat lunak RESMAT dan respons spektranya dibandingkan dengan wilayah Jakarta dengan kondisi tanah lunak:



Gambar 3.12. Catatan Riwayat Waktu Gempa El-Centro yang Dimodifikasi.

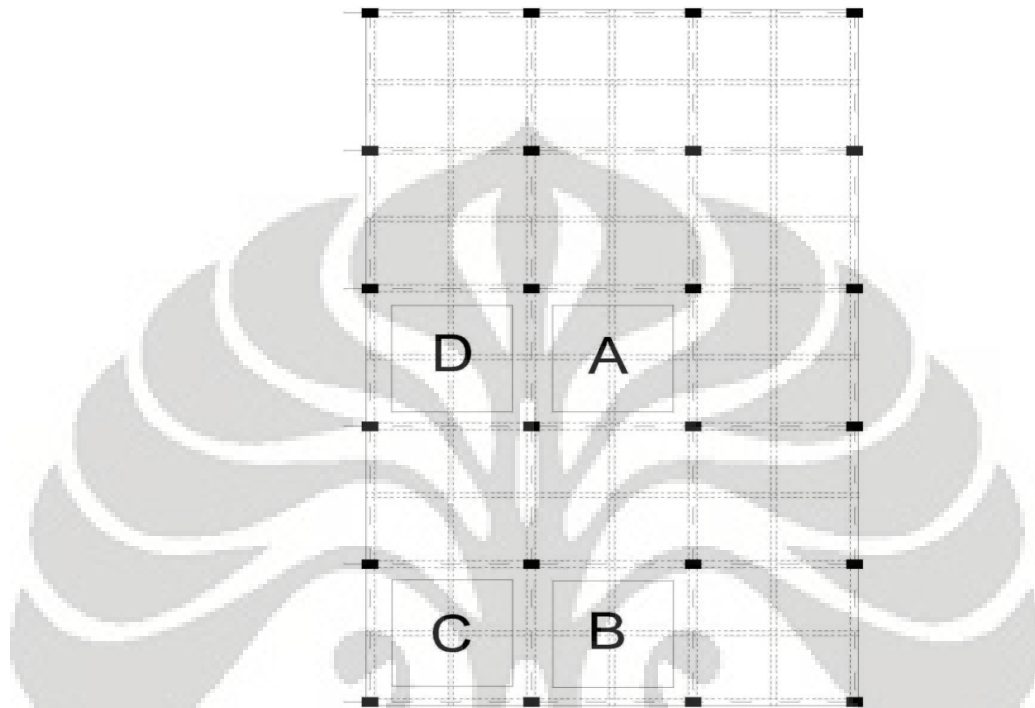


Gambar 3.13. Perbandingan Respon Spektra El-Centro *Modified* dengan Wilayah 3 Tanah Lunak.

5. Parameter Posisi Penempatan *Vaultroom*

Pada penelitian ini, terdapat 16 variasi posisi mulai dari lantai dua (2) sampai lantai lima (5), setiap lantai memiliki 4 variasi posisi. Posisi *vaultroom* tidak divariasikan di lantai satu (1) karena pergerakan dari *vaultroom* tidak mempengaruhi respon bangunan pada saat *vaultroom* berdiri di atas tanah. Penamaan untuk variasi posisi *vaultroom* adalah

variasi 2A, 2B, 2C, 2D, 3A, 3B, 3C, 3D, 4A, 4B, 4C, 4D, 5A, 5B, 5C, dan 5D. Angka pada nama variasi posisi menunjukkan lantai tempat *vaultroom* berada sedangkan huruf menunjukkan posisi pada denah. Posisi huruf pada denah ditunjukkan gambar di bawah ini:



Gambar 3.14. Gambar Penempatan Posisi *Vaultroom*.

Posisi 3C akan dijadikan sebagai parameter konstan karena letaknya di lantai tengah bangunan (lantai 3) dan posisinya di sudut denah.

6. Parameter Permodelan *Vaultroom*

Struktur portal pada variasi parameter permodelan *vaultroom* akan ditempatkan pada dua posisi yaitu posisi 3C dan 5C serta akan dimodelkan sebagai:

- Struktur portal biasa tanpa *vaultroom*,
- Struktur portal dengan *vaultroom* sebagai beban,
- Struktur portal dengan *vaultroom* sebagai dinding kaku,
- Struktur portal dengan *vaultroom* sebagai *box* tanpa peredam,
- Struktur portal dengan *vaultroom* sebagai *box* dan peredam geser.

Variasi-variasi yang akan dilakukan pada penelitian ini diringkas dalam tabel di bawah ini:

Tabel 3.1. Variasi Parameter yang akan dimodelkan

Parameter	Permodelan	Kekakuan	Open	Koef. Friksi	Beban	Posisi
Permodelan	Bangunan biasa	-			El-Centro Modified	3C dan 5C
	Bangunan + beban					
	Bangunan + <i>vaultroom kaku</i>					
	Bangunan + <i>vaultroom box</i> tanpa peredam					
	Bangunan + <i>vaultroom box</i> + peredam geser					
Kekakuan	Bangunan + <i>vaultroom</i> + peredam geser	4000 KN/m	2 x 3 cm	0.15	El-Centro Modified	3C
		6000 KN/m				
		8000 KN/m				
		10000 KN/m				
		12000 KN/m				
Open	Bangunan + <i>vaultroom</i> + peredam geser	8000 KN/m	2 x 1 cm	0.15	El-Centro Modified	3C
			2 x 2 cm			
			2 x 3 cm			
			2 x 4 cm			
			2 x 5 cm			
Koef. Friksi	Bangunan + <i>vaultroom</i> + peredam geser	8000 KN/m	2 x 3 cm	0.5	El-Centro Modified	3C
				0.1		
				0.15		
				0.2		
				0.25		
				0.9		
Beban	Bangunan + <i>vaultroom</i> + peredam geser	8000 KN/m	2 x 3 cm	0.15	El-Centro Modified	3C
					0.3g Sin (0.5Tn)	
					0.3g Sin (1Tn)	
					0.3g Sin (2Tn)	
Posisi	Bangunan + <i>vaultroom</i> + Link	8000 KN/m	2 x 3 cm	0.15	El-Centro Modified	2A
						2B
						2C

						2D
						3A
						3B
						3C
						3D
						4A
						4B
						4C
						4D
						5A
						5B
						5C
						5D

3.4 Hasil Respon yang Dianalisis

Semua variasi dimodelkan dalam perangkat lunak SAP 2000 dan kemudian dijalankan. Hasil respon yang diperoleh dari perangkat lunak SAP 2000 berupa periode getar bangunan, reaksi dasar bangunan, gaya-gaya dalam, lendutan, kecepatan dan percepatan pada nodal-nodal. Respon yang akan dipilih untuk dianalisis adalah:

1. Periode getar beserta pola-pola getar,
2. Lendutan dan rotasi maksimum pusat denah tiap lantai,
3. Gaya dan deformasi maksimum material elastis (elemen Gap & Hook / Link),
4. Reaksi maksimum dasar bangunan.

BAB 4

ANALISIS RESPON STRUKTUR

4.1 Pengolahan Data

Setelah semua variasi dari setiap parameter dimodelkan dan dijalankan pada perangkat lunak SAP 2000, kemudian hasil respon dari perangkat lunak SAP 2000 diolah dengan menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel*. Hasil respon yaitu periode getar, lendutan dan rotasi maksimum tingkat, gaya dan deformasi maksimum elemen material elastis, dan reaksi dasar maksimum bangunan akan dibandingkan menurut parameternya masing-masing, yaitu:

- Permodelan *vaultroom*,
- Kekakuan material elastis,
- Koefisien friksi material friksi,
- Bukaan (*open*) dari elemen *Gap* dan *Hook*,
- Pembebanan, dan
- Penempatan posisi *vaultroom*.

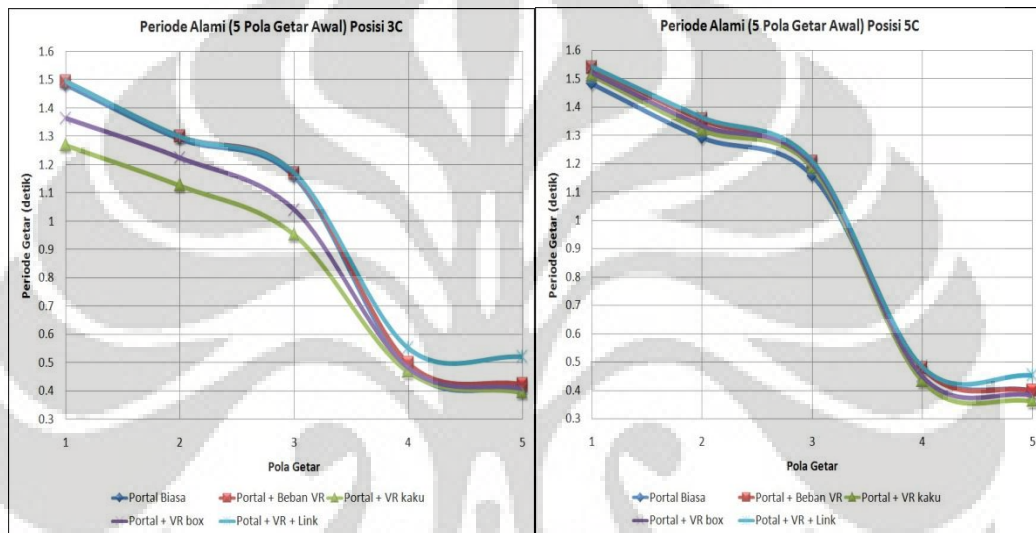
Setiap parameter akan diolah secara terpisah. Tujuannya agar perbedaan respon pada suatu parameter dapat terlihat dengan jelas, sehingga diperoleh suatu nilai yang efektif untuk mereduksi respon seismik struktur berdasarkan masing-masing parameter.

Hanya respon pada arah yang dominan terhadap percepatan gempa yang akan dianalisis karena hasil responnya akan besar dibandingkan dengan respon pada arah yang tidak dominan. Respon pada arah yang tidak dominan terhadap percepatan gempa serta respon lain yang tidak dianalisis akan diberikan pada bagian lampiran.

4.2 Hasil Respon Variasi Permodelan *Vaultroom*

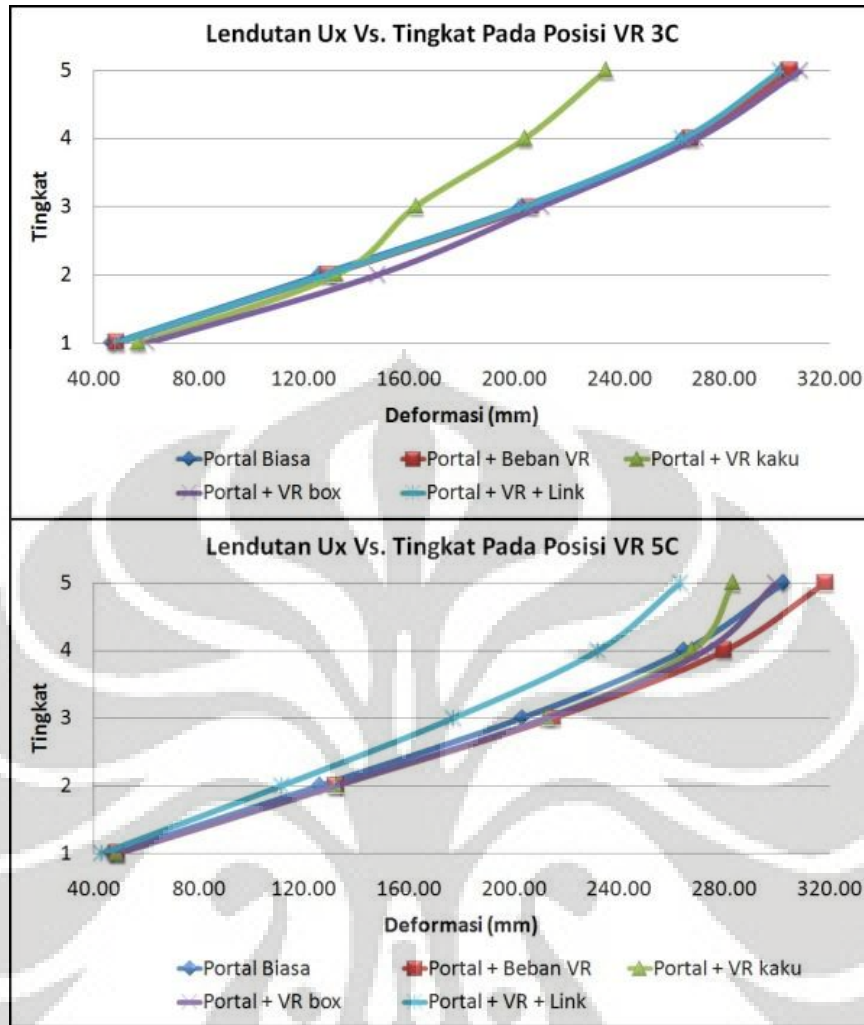
Portal dengan *vaultroom* sebagai dinding kaku pada posisi 3C memiliki periode getar pada pola-pola getar awal yang lebih dekat dengan periode predomnan respon spektra untuk wilayah Jakarta dengan tanah lunak yaitu 0.2 - 1 detik

dibandingkan dengan permodelan yang lain. Semakin dekat periode getar bangunan dengan periode dominan dari suatu respon spektra, maka responnya akan semakin besar. Oleh karena itu, permodelan *vaultroom* sebagai dinding kaku pada posisi 3C diduga akan memberikan respon terbesar. Sementara itu perbedaan nilai periode getar dari variasi permodelan *vaultroom* pada posisi 5C tidak signifikan sehingga diduga perbedaan nilai responnya tidak jauh berbeda satu sama lain.

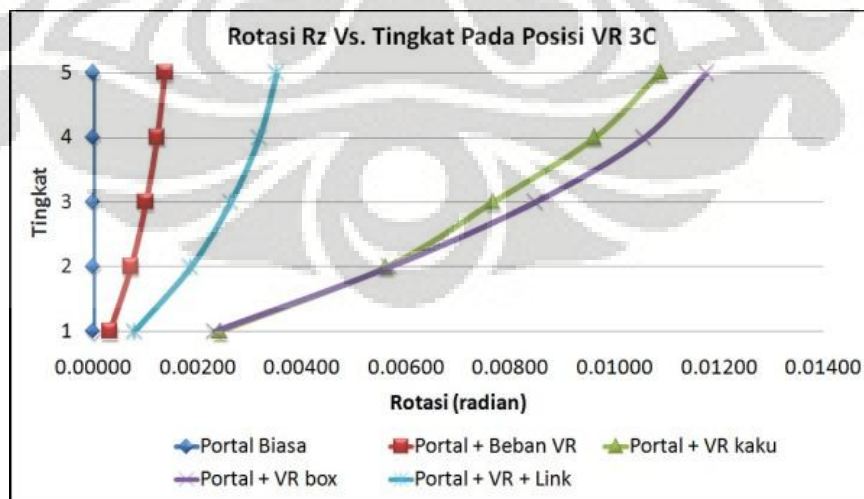


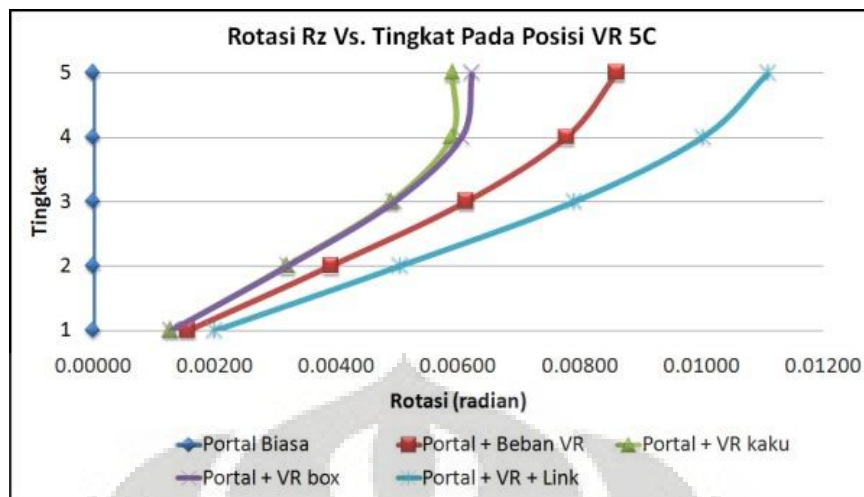
Gambar 4.1. Periode Getar Alami Variasi Permodelan *Vaultroom*.

Lendutan pusat denah arah X pada posisi 3C bernilai paling besar saat memodelkan struktur dengan *vaultroom box* tanpa peredam sedangkan pada posisi 5C bernilai maksimum pada saat memodelkan struktur dengan *vaultroom* hanya sebagai beban. Terjadi pengurangan lendutan pada saat memodelkan struktur dengan *vaultroom* kaku, baik pada posisi 3C maupun posisi 5C, karena kekakuan *vaultroom* yang sangat besar menyatu secara *monolit* dengan struktur. Rotasi pusat denah arah Z pada posisi 3C bernilai maksimum saat memodelkan struktur dengan *vaultroom box* tanpa peredam sedangkan pada pada posisi 5C bernilai maksimum saat memodelkan struktur dengan *vaultroom* dan peredam geser. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



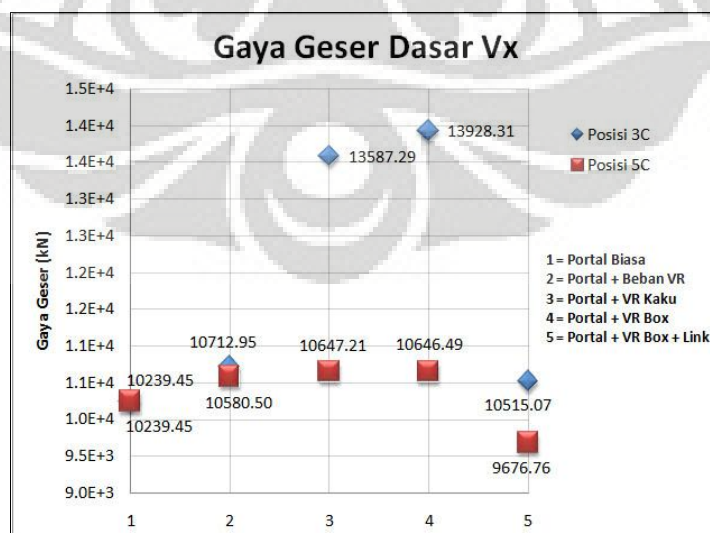
Gambar 4.2. Lendutan Pusat Denah Arah X pada Variasi Permodelan Vaultroom.





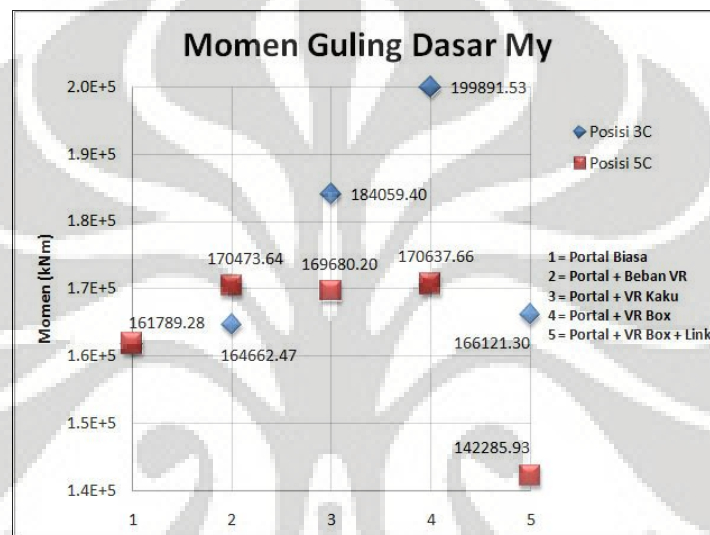
Gambar 4.3. Rotasi Pusat Denah Arah Z pada Variasi Permodelan *Vaultroom*.

Gaya geser dasar X dari bangunan saat *vaultroom* ditempatkan pada posisi 3C akan bernilai maksimum ketika memodelkan struktur dengan *vaultroom box* tanpa peredam dan mendapatkan reduksi 25% saat menggunakan peredam. Ketika posisi *vaultroom* ditempatkan pada posisi 5C gaya geser dasar X maksimum terjadi saat memodelkan *vaultroom* sebagai dinding kaku dan mendapatkan reduksi 9% saat menggunakan peredam. Nilai gaya geser dasar X pada posisi 5C lebih kecil daripada posisi 3C. Oleh karena itu, diduga bahwa untuk memperoleh respon gaya geser dasar X yang baik, penempatan *vaultroom* dengan peredam pada lantai yang lebih tinggi akan lebih baik, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



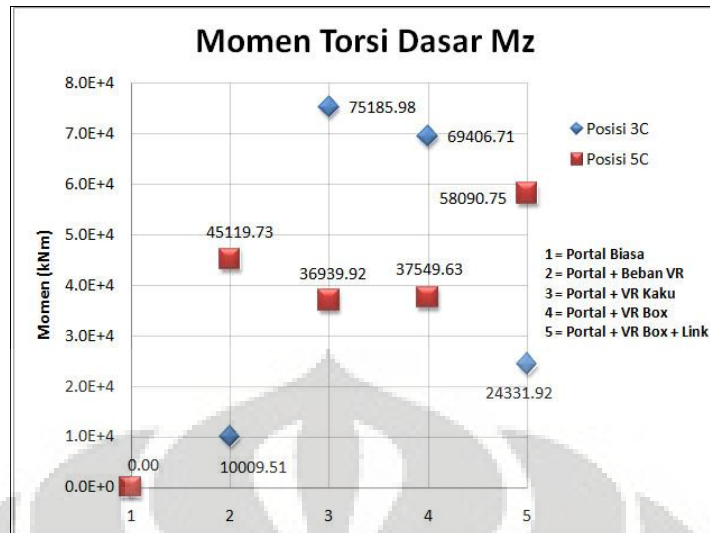
Gambar 4.4. Gaya Geser Dasar Arah X pada Variasi Permodelan *Vaultroom*.

Momen guling dasar arah Y bernilai lebih kecil ketika *vaultroom* ditempatkan pada posisi 5C dibandingkan pada posisi 3C untuk semua variasi permodelan *vaultroom* kecuali permodelan *vaultroom* sebagai beban. Terjadi reduksi momen guling dasar sebesar 16% saat memodelkan *vaultroom box* dengan peredam dibandingkan dengan *vaultroom box* tanpa peredam. *Vaultroom* dengan peredam dan ditempatkan pada lantai yang lebih atas akan menghasilkan respon momen guling dasar Y yang terkecil seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 4.5. Momen Guling Dasar Arah Y pada Variasi Permodelan *Vaultroom*.

Respon momen torsi dasar arah Z ketika *vaultroom* ditempatkan pada posisi 3C bernilai maksimum saat memodelkan *vaultroom* sebagai dinding kaku dan bernilai minimum saat memodelkan *vaultroom box* yang menggunakan peredam dengan reduksi respon hingga 67%. Ketika *vaultroom* berada pada posisi 5C, penggunaan peredam geser ternyata menghasilkan nilai respon 57% lebih besar daripada penggunaan *vaultroom* kaku yang monolit. Oleh karena itu, penggunaan peredam geser pada *vaultroom* untuk mereduksi respon momen torsi dasar lebih cocok ketika *vaultroom* ditempatkan pada lantai bawah. Jika *vaultroom* ditempatkan secara eksentris pada lantai atas, maka pilihan *vaultroom* yang kaku dan monolit dengan struktur akan menghasilkan respon torsi dasar yang lebih baik. Gambar respon momen torsi dasar arah Z terlihat pada gambar di bawah ini:



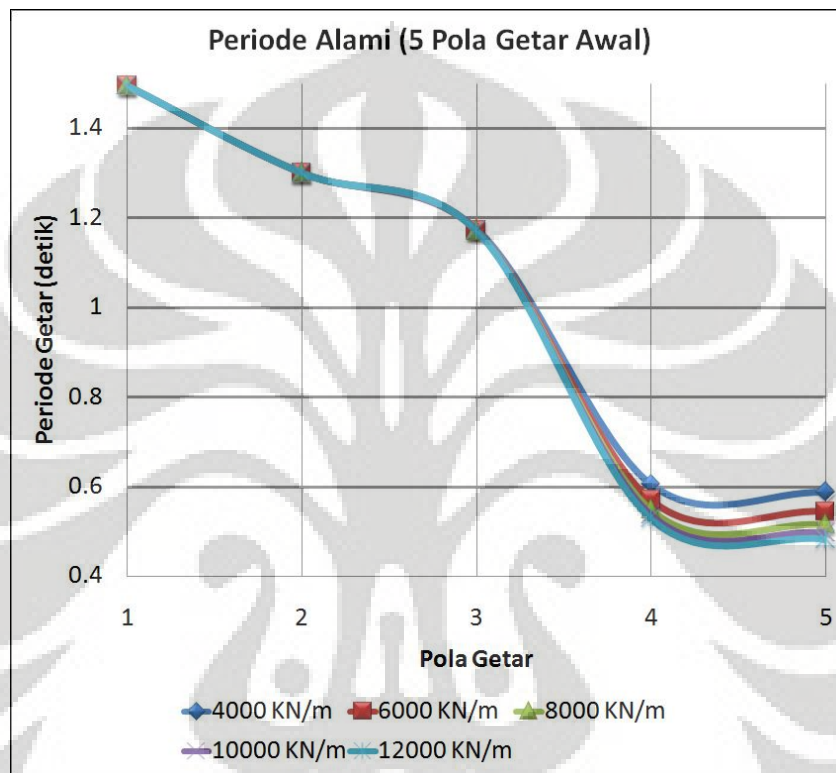
Gambar 4.6. Momen Torsi Dasar Arah Z pada Variasi Permodelan *Vaultroom*.

Penggunaan *vaultroom* dengan peredam geser pada posisi 5C akan memberikan respon gaya geser dasar X dan momen guling dasar Y yang minimal dengan reduksi tertinggi 30% terhadap respon maksimalnya. Namun penggunaan peredam geser pada posisi 5C harus dibayar dengan peningkatan respon momen torsi dasar sampai dengan 57%. Posisi 3C dengan permodelan struktur dengan *vaultroom* dan peredam akan memberikan respon momen torsi yang terkecil, tetapi akan terjadi peningkatan gaya geser dasar X dan momen guling dasar Y sampai dengan 15% jika dibandingkan dengan posisi 5C.

Oleh karena itu, penggunaan peredam geser pada *vaultroom* akan lebih efektif ketika *vaultroom* berada pada lantai yang lebih rendah atau pada lantai yang lebih tinggi dengan syarat posisinya harus sentris terhadap struktur dan pembebanan. Jika posisi *vaultroom* terpaksa ditempatkan pada lantai atas dengan posisi yang eksentris, maka *vaultroom* lebih baik dibuat kaku atau menyatu (monolit) dengan struktur daripada menggunakan peredam geser.

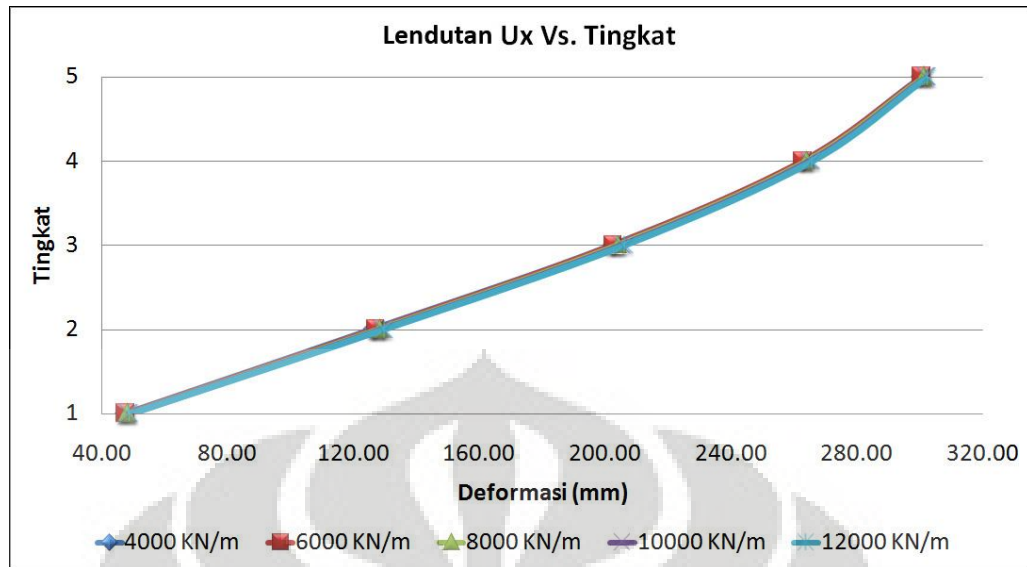
4.3 Hasil Respon Variasi Kekakuan Material Elastis

Variasi kekakuan dari material elastis antara 4000 kN/m – 12000 kN/m dengan perubahan variasi setiap 2000 kN/m sehingga total ada lima (5) variasi. Sementara kekakuan material elastik divariasikan, parameter lain dijadikan konstan dan nilainya telah ditetapkan di bab 3 bagian variasi permodelan.

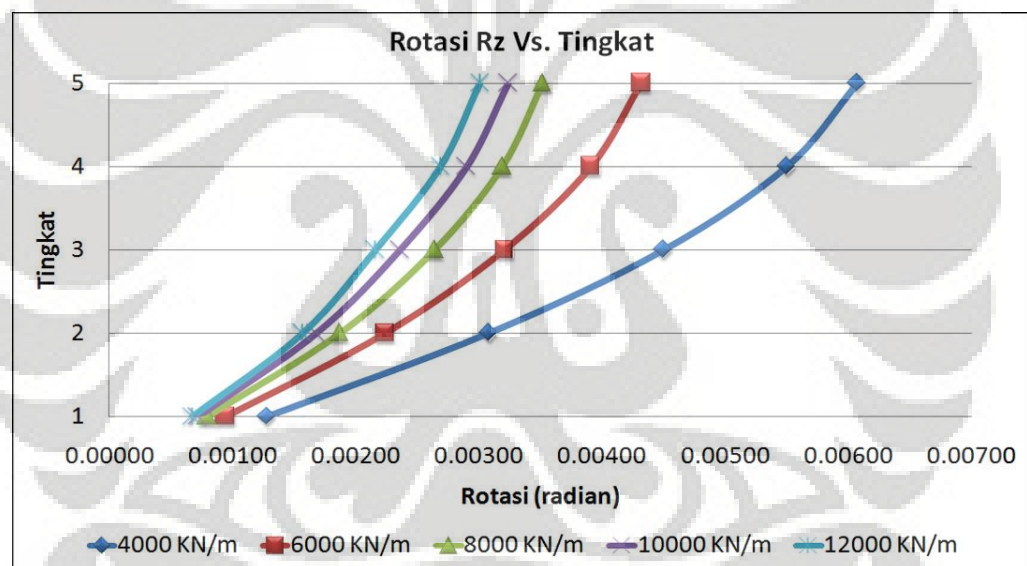


Gambar 4.7. Periode Getar Alami Variasi Kekakuan Material Elastis.

Berdasarkan gambar di atas, terlihat bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan pada periode getar pola – pola getar awal dari setiap variasi kekakuan. Perbedaan baru mulai terlihat pada pola getar keempat dan kelima. Berdasarkan pengamatan periode getar bangunan, dapat diperkirakan bahwa respon – respon dari variasi kekakuan material elastis tidak akan berbeda secara signifikan.

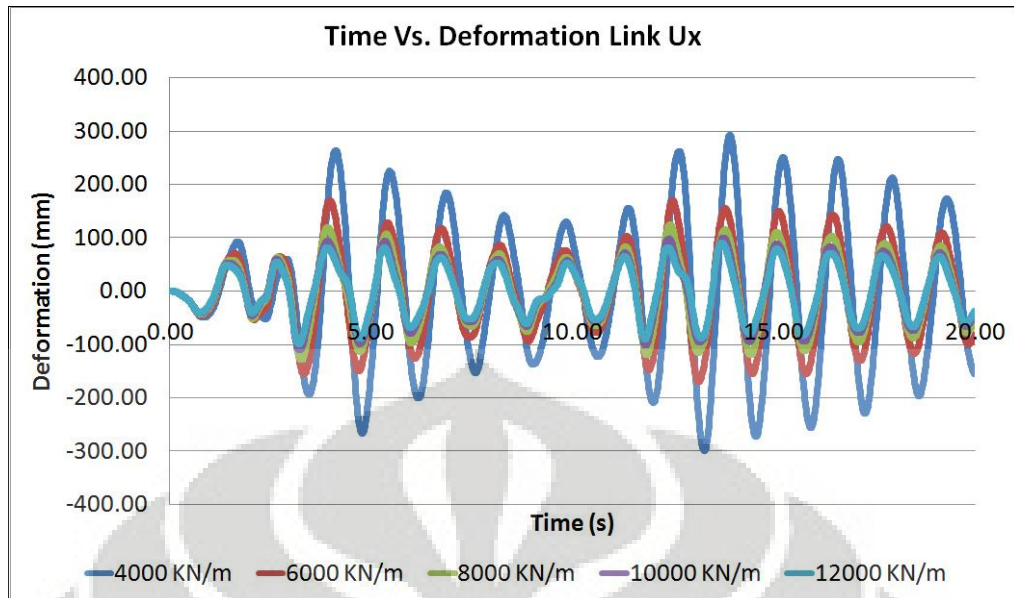


Gambar 4.8. Lendutan Pusat Denah Arah X Variasi Kekakuan Material Elastis.

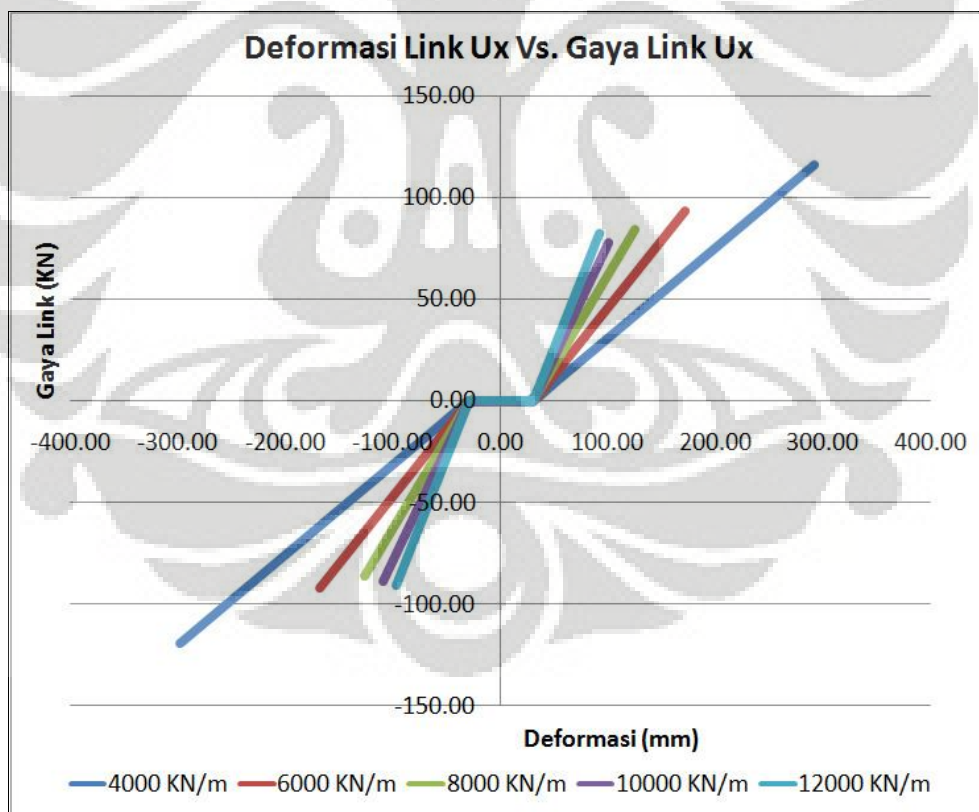


Gambar 4.9. Rotasi Pusat Denah Arah Z Variasi Kekakuan Material Elastis.

Dua gambar di atas menunjukkan lendutan arah X dan rotasi arah Z dari pusat denah bangunan. Dari gambar 4.8, terlihat bahwa variasi kekakuan material elastis tidak banyak berpengaruh terhadap lendutan pusat denah pada arah X. Hal ini terjadi karena kekakuan dari material elastis yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan kekakuan struktur. Pada gambar 4.9 terlihat adanya penurunan rotasi pusat denah arah Z yang bersifat eksponensial ketika kekakuan dari material elastis diperbesar secara konstan.



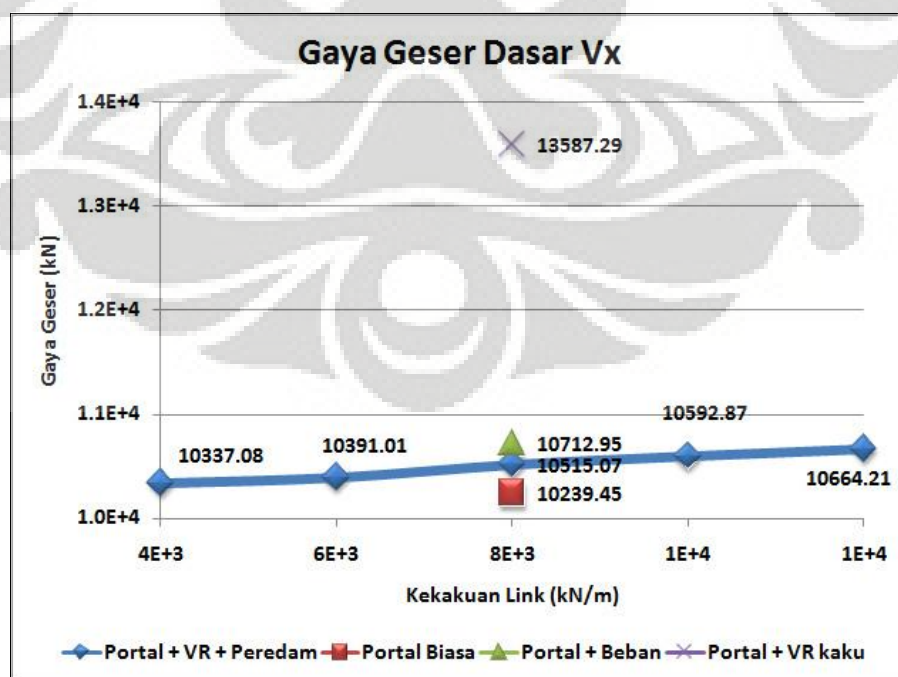
Gambar 4.10. Deformasi Elemen *Link* Arah X pada Pusat *Vaultroom* Sepanjang Waktu pada Variasi Kekakuan Material Elastis



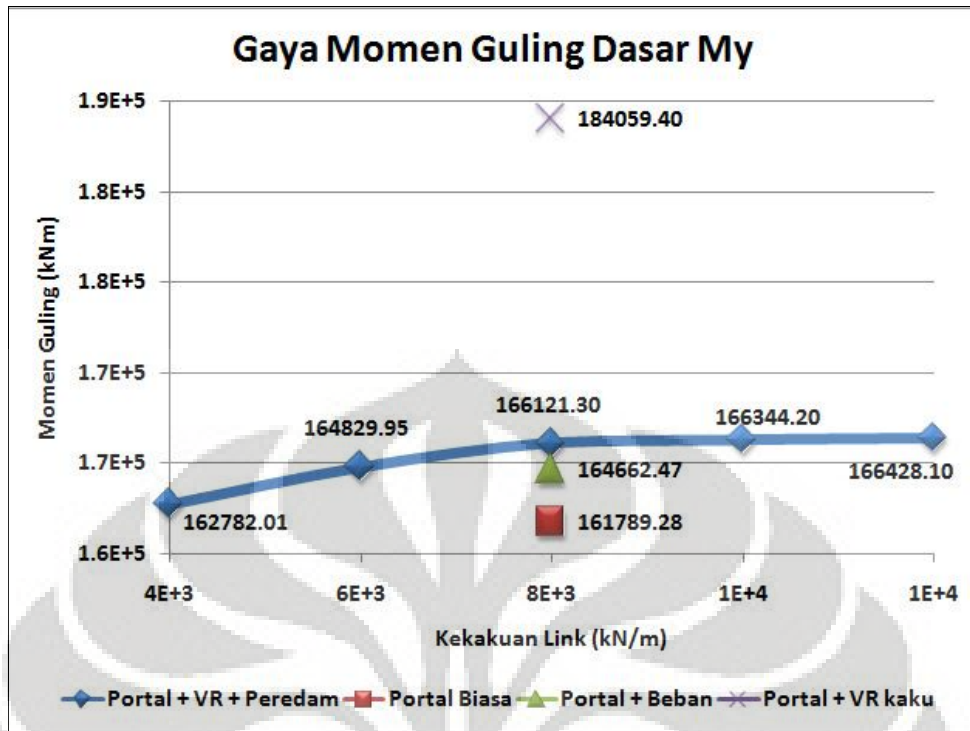
Gambar 4.11. Deformasi dan Gaya Elemen *Link* Arah X pada Pusat *Vaultroom* pada Variasi Kekakuan Material Elastis

Gambar 4.10 dan gambar 4.11 menunjukkan deformasi setiap waktu serta hubungan deformasi – gaya dari elemen penghubung (material elastik). Dua gambar di atas menunjukkan bahwa kenaikan nilai kekakuan dari material elastik secara konstan akan menurunkan deformasi dari elemen penghubung secara eksponensial. Deformasi dari elemen penghubung juga menunjukkan lendutan antara *vaultroom* dengan pelat di bawah *vaultroom*. Gambar 4.11 juga menunjukkan variasi kekakuan yang diwakili oleh kemiringan garis (gradien) yang menggambarkan hubungan deformasi – gaya serta memperjelas adanya bukaan sebesar 2 x 30 mm yang ditunjukkan oleh garis $Y = 0$.

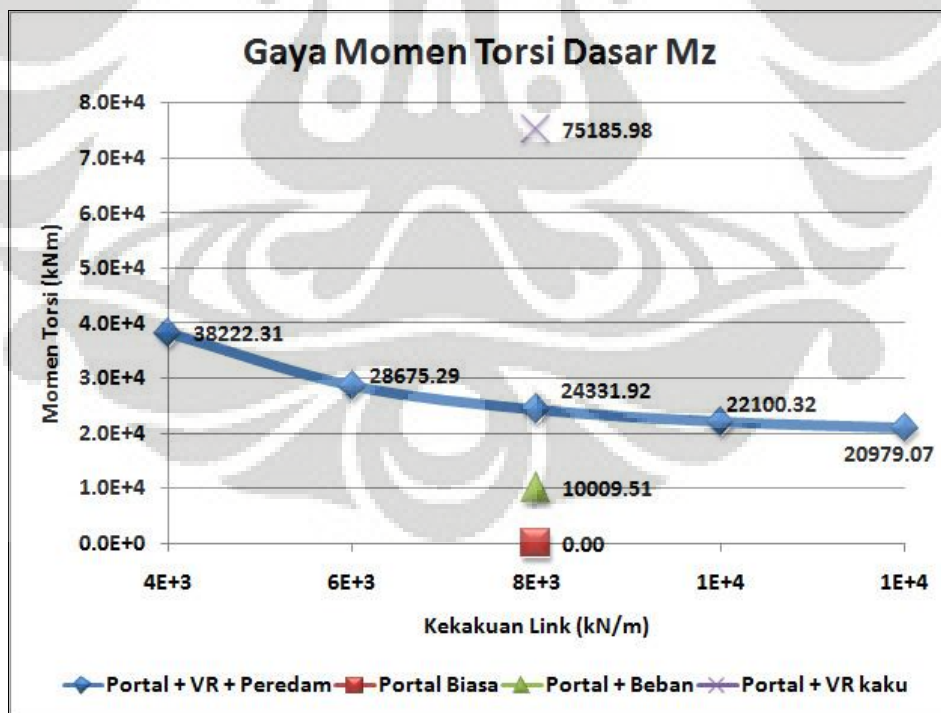
Gaya geser dasar arah X dan momen guling dasar arah Y cenderung meningkat ketika kekakuan dari elemen penghubung (material elastis) ditingkatkan. Peningkatan gaya geser dasar dan momen guling dasar dari struktur sangat kecil dengan rata-rata peningkatan yang terjadi dibawah 2%. Namun hal yang berbeda terjadi pada momen torsi dasar. Peningkatan kekakuan dari 4000 kN/m menjadi 6000 kN/m akan mengurangi momen torsi dasar sebesar 25% tetapi peningkatan kekakuan dari 10000 kN/m menjadi 12000 kN/m hanya mengurangi torsi dasar sebesar 5%. Peningkatan kekakuan secara konstan akan mengurangi momen torsi dasar secara eksponensial. Di bawah ini adalah gambar gaya reaksi dasar:



Gambar 4.12. Gaya Geser Dasar Arah X pada Variasi Kekakuan Material Elastis.



Gambar 4.13. Momen Guling Dasar Arah Y pada Variasi Kekakuan Material Elastis.



Gambar 4.14. Momen Torsi Dasar Arah Z pada Variasi Kekakuan Material Elastis.

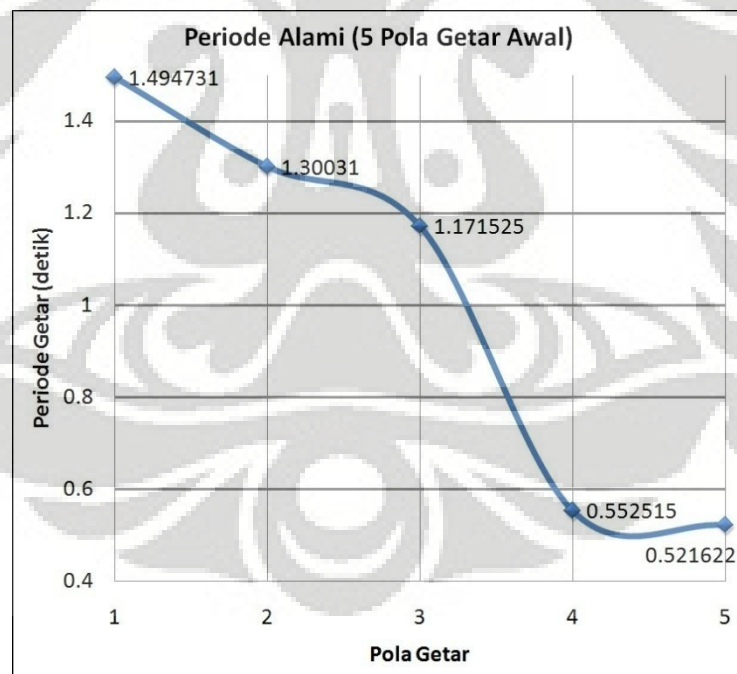
Berdasarkan analisis di atas, kekakuan material elastik yang bernilai besar akan lebih berguna. Meskipun kekakuan material elastik yang besar akan meningkatkan gaya geser dasar arah X dan momen guling dasar arah Y, tetapi momen torsi dasar akan direduksi dengan lebih signifikan. Nilai kekakuan di atas 12000 kN/m diduga tidak akan mengurangi respon torsi secara besar.



4.4 Hasil Respon Variasi Koefisien Friksi Material Geser

Variasi yang dilakukan adalah memvariasikan koefisien friksi dari material peredam geser mulai dari 0.05 sampai 0.25 dengan perubahan setiap variasi sebesar 0.05 serta 0.9 sehingga total ada enam (6) variasi. Sementara koefisien friksi material peredam geser divariasikan, parameter lain dijadikan konstan dan nilainya telah ditetapkan di bab 3 bagian variasi permodelan.

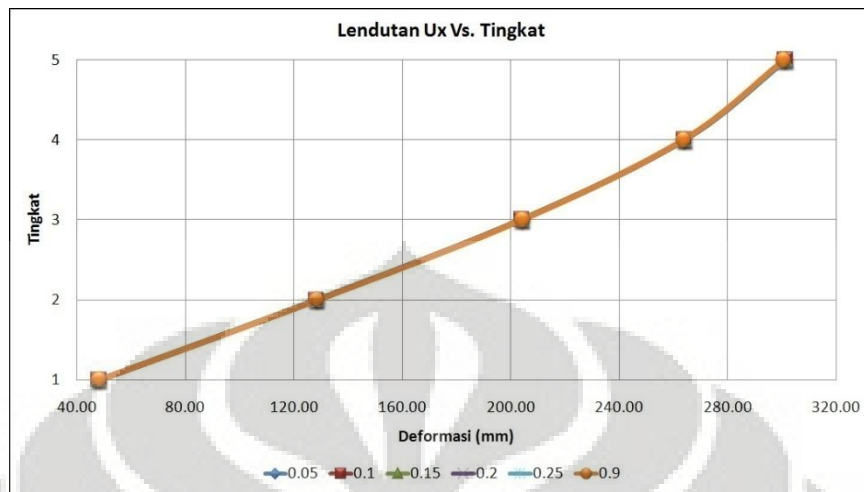
Periode getar dan pola – pola getar dari variasi koefisien friksi tidak menunjukkan hasil yang berbeda. Hal ini terjadi karena variasi koefisien friksi tidak berpengaruh pada periode getar struktur. Periode getar struktur hanya memperhitungkan parameter massa dan kekakuan sehingga ketika koefisien friksi divariasikan, nilai periode getar dan pola – pola getar tidak berubah seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



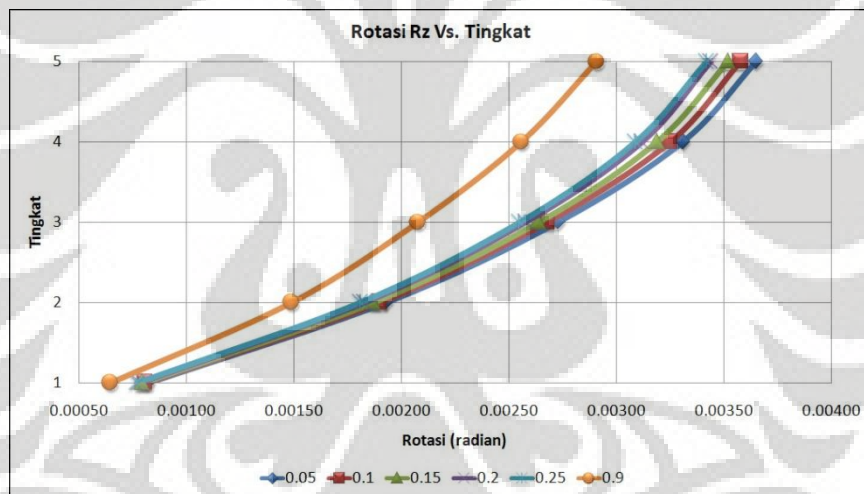
Gambar 4.15 Periode Getar Alami Variasi Koefisien Friksi.

Lendutan maksimum pusat denah yang sejajar dengan arah gempa nilainya tidak sensitif terhadap perubahan koefisien friksi. Tetapi rotasi maksimum pusat denah

nilainya akan semakin besar ketika koefisien friksi diperkecil. Kedua hal ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

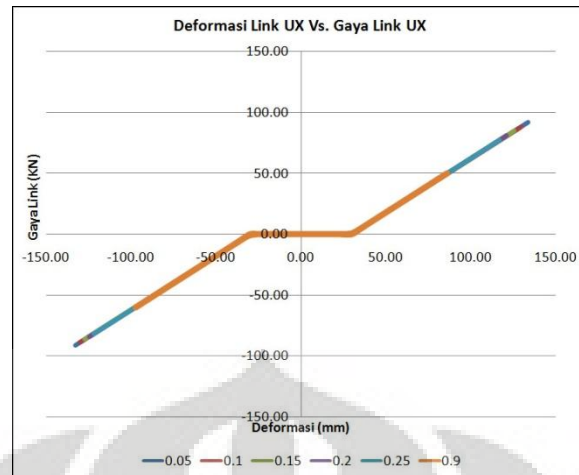


Gambar 4.16. Lendutan Pusat Denah Arah X Variasi Koefisien Friksi



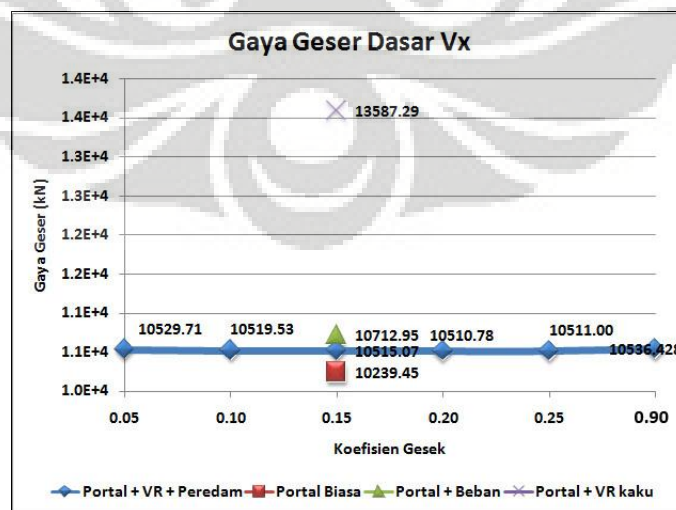
Gambar 4.17. Rotasi Pusat Denah Arah Z Variasi Koefisien Friksi.

Semakin besar koefisien friksi maka deformasi dari elemen penghubung (material elastis) akan semakin kecil. Akan tetapi, Penurunan deformasi akibat peningkatan variasi koefisien friksi tidak signifikan kecuali menggunakan koefisien friksi 0.9, seperti yang ditunjukkan oleh gambar di bawah ini:

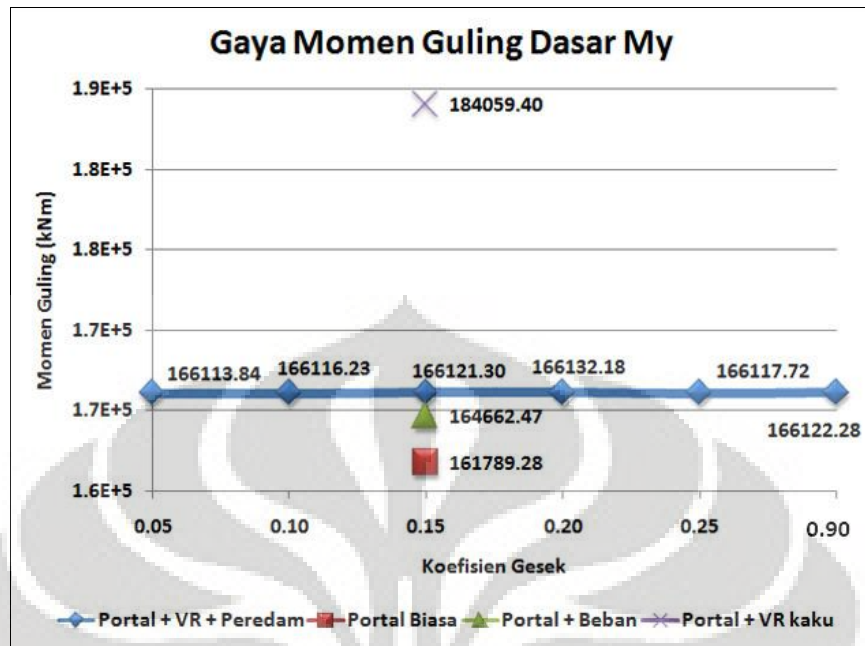


Gambar 4.18. Deformasi dan Gaya Elemen *Link* Arah X pada Pusat *Vaultroom* pada Variasi Koefisien Friksi.

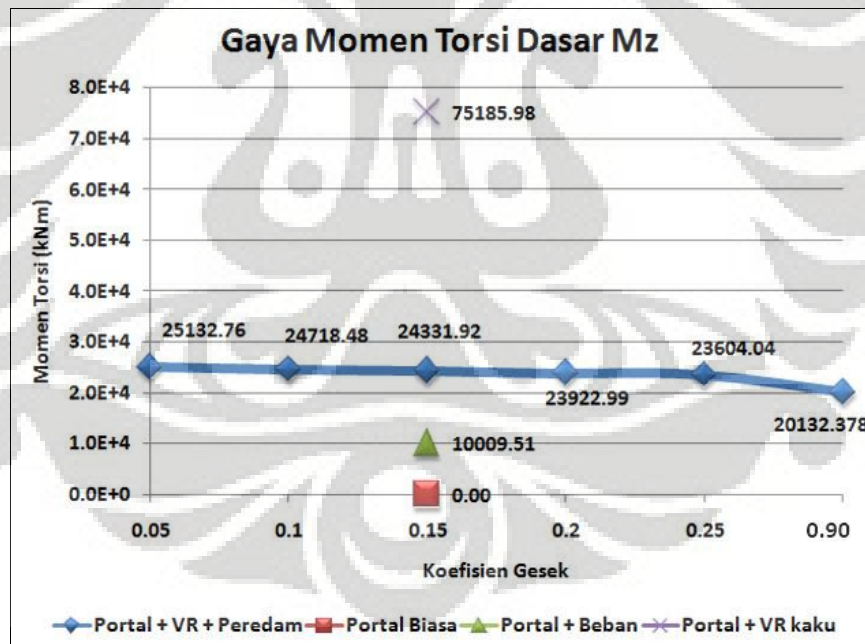
Nilai dari gaya geser dasar arah X bernilai minimum dan nilai momen guling dasar arah Y bernilai maksimum pada saat koefisien gesek bernilai 0.2. Perbedaan di antara setiap variasi koefisien gesek pada gaya geser dasar arah X dan momen guling dasar arah Y sangat tidak signifikan dan persentase perbedaannya di bawah 0.1% bahkan ketika menggunakan koefisien friksi 0.9. Nilai momen torsi dasar cenderung menurun saat nilai koefisien friksi ditingkatkan. Penurunan nilai momen torsi dasar ketika koefisien friksi ditingkatkan juga tidak signifikan yaitu dengan persentase penurunan di bawah 2% untuk koefisien friksi 0.05 – 0.25. Gambar dari reaksi dasar struktur adalah sebagai berikut:



Gambar 4.19. Gaya Geser Dasar Arah X pada Variasi Koefisien Friksi.



Gambar 4.20. Momen Guling Dasar Arah Y pada Variasi Koefisien Friksi



Gambar 4.21. Momen Torsi Dasar Arah Z pada Variasi Koefisien Friksi

Variasi dari koefisien friksi ternyata kurang signifikan dalam mereduksi respon reaksi dasar dari bangunan. Salah satu penyebab kurang efektifnya parameter koefisien friksi dalam mereduksi gempa adalah massa *vaultroom* yang kecil

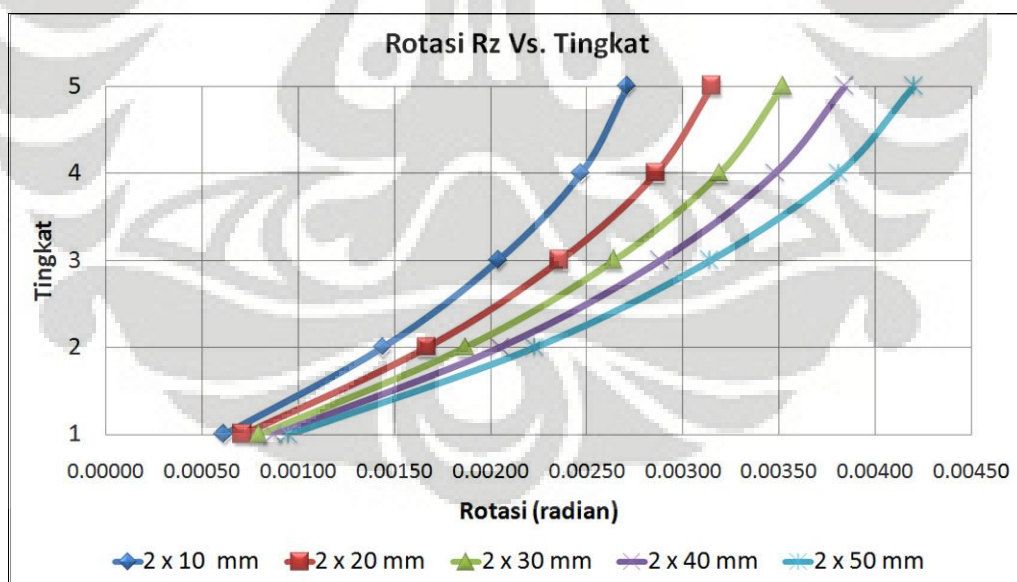
dibandingkan dengan massa dari struktur. Gaya geser untuk mereduksi gempa timbul dari perkalian antara berat *vaultroom* dengan suatu koefisien friksi yang nilainya lebih kecil dari 1. Berat *vaultroom* adalah 1186 kN dan berat total bangunan adalah 30124 kN. Jika koefisien friksi 0.15 dijadikan parameter konstan, artinya hanya tersedia gaya gesek sebesar 177.9 kN untuk mereduksi bangunan dengan berat 169 kali lebih besar daripada gaya gesek peredamnya.



4.5 Hasil Respon Variasi Bukaannya (*Open*) Elemen *Gap* dan *Hook*

Variasi yang dilakukan adalah memvariasikan bukaan (*open*) pada elemen *Gap* dan *Hook*. Variasi bukaan (*open*) yaitu 2 x 10 mm, 2 x 20 mm, 2 x 30 mm, 2 x 40 mm, dan 2 x 50 mm. Sementara bukaan (*open*) elemen *Gap* dan *Hook* divariasikan, parameter lain dijadikan konstan dan nilainya telah ditetapkan di bab 3 bagian variasi permodelan.

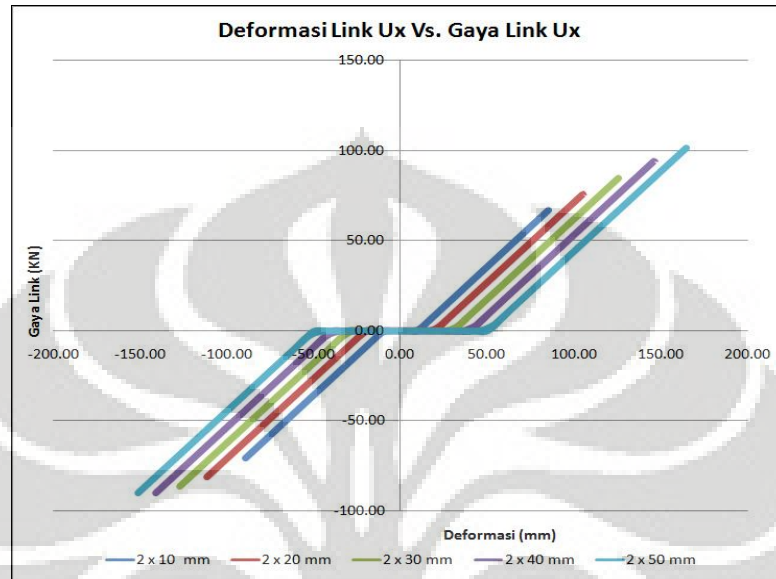
Periode getar dari variasi bukaan (*open*) dari elemen penghubung nilainya sama dengan periode getar pada variasi koefisien friksi (gambar 4.15) karena parameter bukaan (*open*) tidak mempengaruhi periode getar dari bangunan. Lendutan dari pusat denah bangunan pada arah X juga tidak memberikan perbedaan yang signifikan, sehingga gambarnya kurang lebih sama dengan gambar 4.16 (gambar lendutan arah X saat memvariasikan koefisien friksi). Nilai dari rotasi pusat denah saat memvariasikan bukaan (*open*) cukup signifikan terlihat pada gambar 4.22. Semakin besar bukaan (*open*) maka rotasi dari pusat denah juga akan semakin besar. Gambar dari rotasi pusat denah arah Z dapat dilihat sebagai berikut:



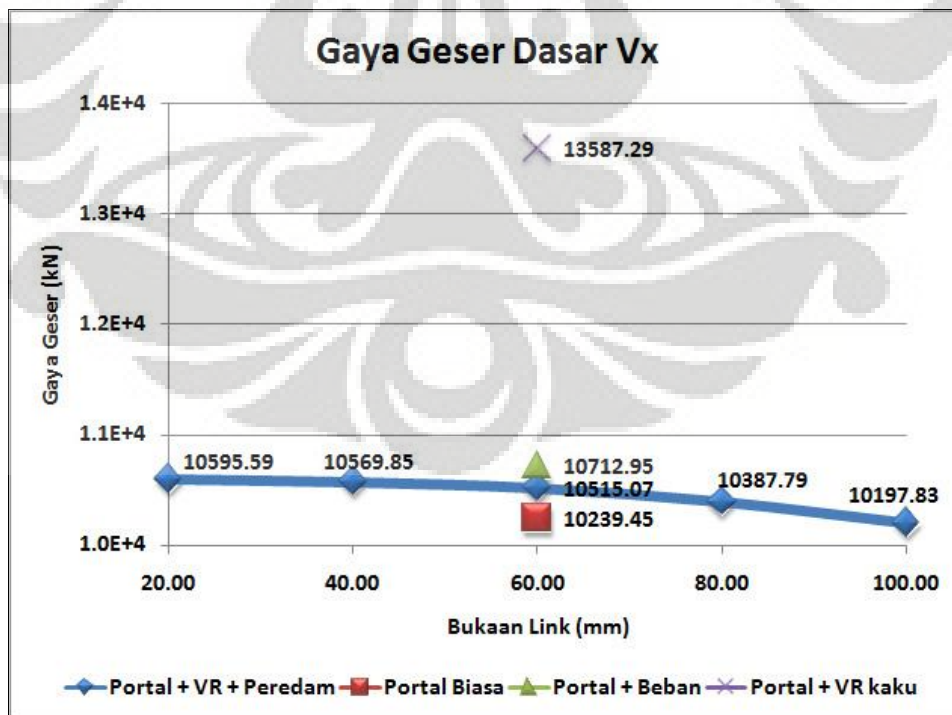
Gambar 4.22. Rotasi Pusat Denah Arah Z Variasi Bukaannya (*Open*).

Semakin besar bukaan (*open*) dari elemen penghubung (*Gap* dan *Hook*) maka gaya dan deformasi dari elemen penghubung akan semakin besar seperti yang

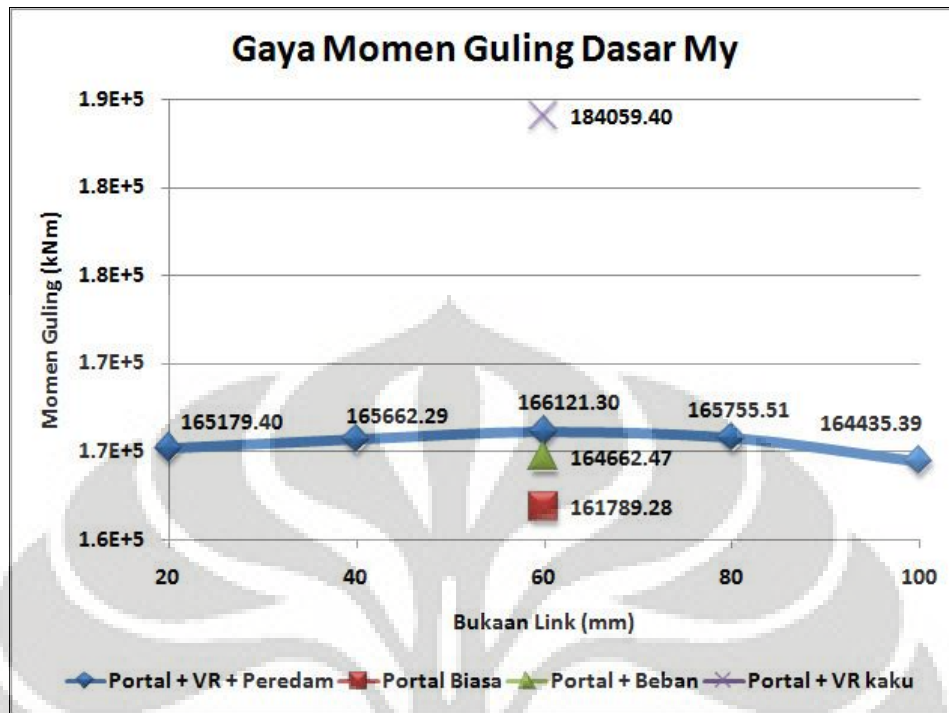
ditunjukkan pada gambar 4.23. Variasi bukaan (*open*) terlihat dengan jelas sebagai garis lurus $Y = 0$ dan kemiringan (gradien) garis – garis menunjukkan kekakuan material elastis yang konstan. Gambar hubungan deformasi – gaya pada arah X dari elemen penghubung ditunjukkan sebagai berikut:



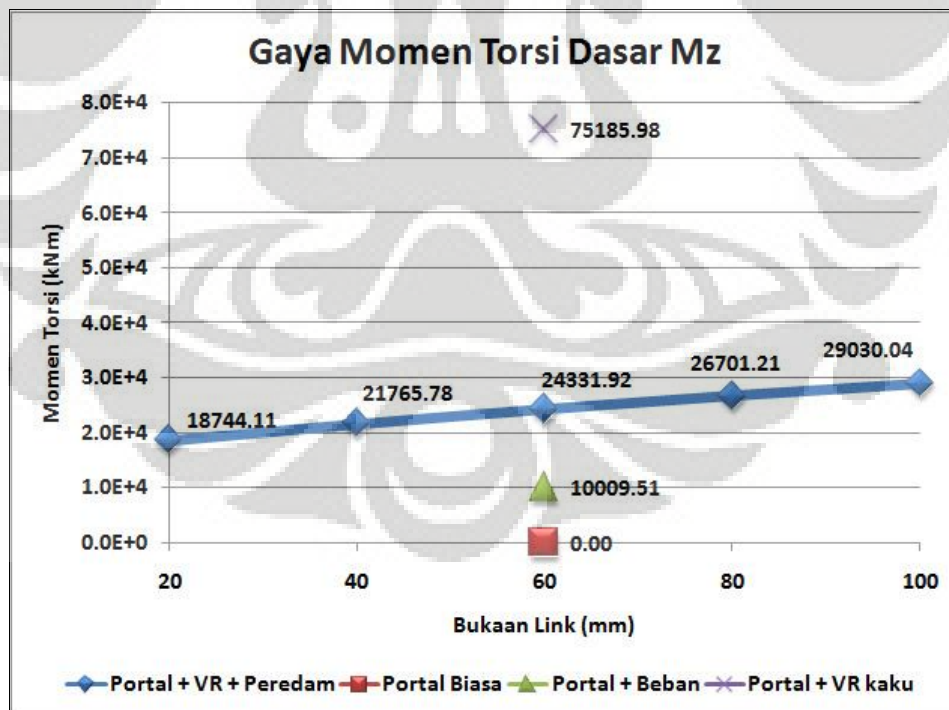
Gambar 4.23. Deformasi dan Gaya Elemen *Link* Arah X pada Pusat *Vaultroom* pada Variasi Bukaan (*Open*).



Gambar 4.24. Gaya Geser Dasar Arah X pada Variasi Bukaan (*Open*).



Gambar 4.25. Momen Guling Dasar Arah Y pada Variasi Bukaannya (*Open*).



Gambar 4.26. Momen Torsi Dasar Arah Z pada Variasi Bukaannya (*Open*).

Dari tiga gambar reaksi dasar di atas terlihat bahwa gaya geser dasar bangunan arah X cenderung menurun pada saat bukaan (*open*) diperbesar. Hal ini terjadi karena pada saat bukaan (*open*) diperbesar, kesempatan bergesekan antara *vaultroom* dengan material friksi sebelum membentur material elastis menjadi lebih jauh. Namun persentase penurunan gaya geser dasar antar variasi sangat kecil yaitu di bawah 2%. Nilai momen guling maksimum terjadi pada saat bukaan (*open*) bernilai 2 x 30 mm. Perbedaan nilai momen guling antar satu variasi dengan variasi lain dalam parameter bukaan (*open*) juga sangat kecil yaitu di bawah 1%. Hanya momen torsi yang nilainya sensitif terhadap variasi bukaan. Nilai momen torsi dasar akan meningkat jika bukaan (*open*) diperbesar. Persentase kenaikan momen torsi dari satu variasi ke variasi lainnya nilainya bervariasi antara 8 – 16 %.

Berdasarkan analisis di atas, bukaan (*open*) yang kecil akan memberikan respon yang lebih baik. Bukaan (*open*) yang kecil meskipun meningkatkan gaya geser dasar, tetapi peningkatannya tidak signifikan dibandingkan kontribusinya terhadap penurunan momen torsi dasar dari bangunan.

4.6 Hasil Respon Variasi Pembebanan

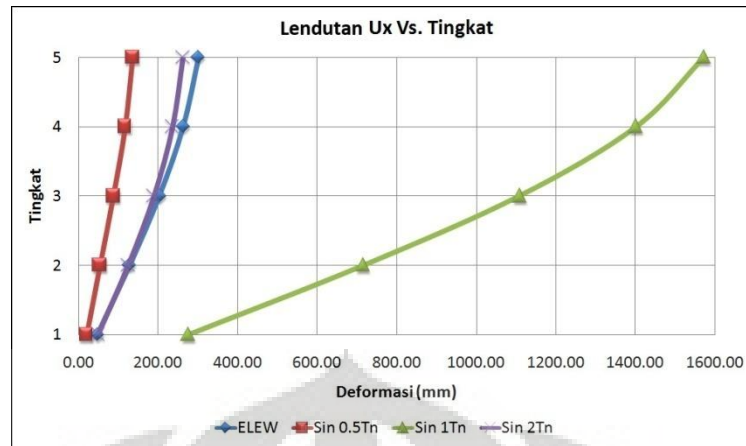
Variasi yang dilakukan adalah pembebanan dengan percepatan gempa El-Centro *modified*, percepatan gempa Sinusoidal 0.3 g dengan periode getar 0.5 Tn, 1 Tn dan 2 Tn, dimana Tn adalah periode getar alami portal biasa pada arah pembebanan (Arah X). Sementara semua percepatan gempa divariasikan, parameter lain dijadikan konstan dan nilainya telah ditetapkan di bab 3 bagian variasi permodelan.

Periode getar alami struktur tidak berubah akibat variasi pembebanan dengan percepatan gempa yang berbeda. Beban gempa tidak mempengaruhi periode getar alami dan pola-pola getar struktur. Nilai periode getar struktur dapat dilihat pada gambar periode getar struktur pada variasi koefisien friksi (gambar 4.15).

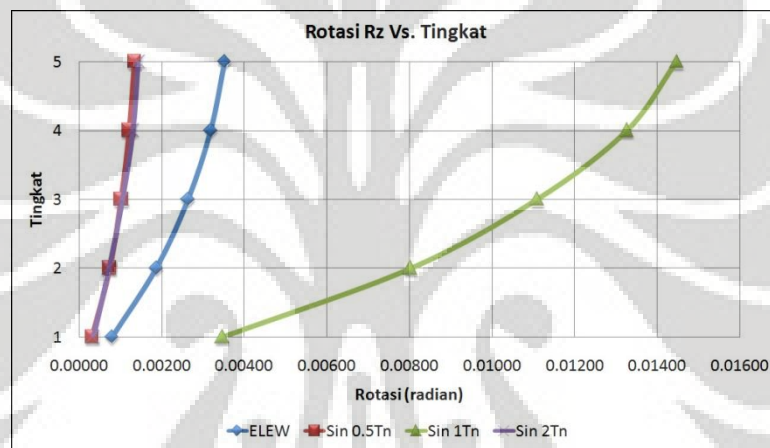
Semua respon pada pembebanan gempa dengan percepatan sinusoidal 0.3g dan periode getar 1Tn bernilai paling besar. Hal tersebut terjadi karena periode getar alami dari bangunan beresonansi dengan periode getar dari beban. Jika respon kinematik pada struktur saat beban dengan percepatan 0.3g Sin (1Tn) dibandingkan dengan percepatan gempa El-Centro *modified* maka diperoleh:

- Lendutan pusat denah arah X pada beban dengan percepatan 0.3g Sin (1Tn) bernilai 5.33 kali lebih besar daripada percepatan gempa El-centro *modified*.
- Rotasi pusat denah arah Z pada beban dengan percepatan 0.3g Sin (1Tn) bernilai 4.15 kali lebih besar daripada percepatan gempa El-Centro *modified*.
- Deformasi arah X dari elemen penghubung pada beban dengan percepatan 0.3g Sin (1Tn) bernilai 4.1 kali lebih besar daripada percepatan gempa El-Centro *modified*.

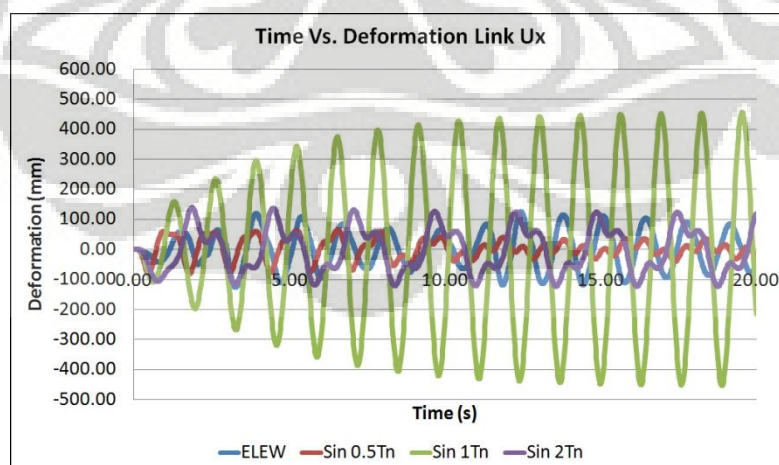
Respon – respon tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 4.27. Lendutan Pusat Denah Arah X Variasi Pembebanan Gempa.



Gambar 4.28. Rotasi Pusat Denah Arah Z Variasi Pembebanan Gempa.

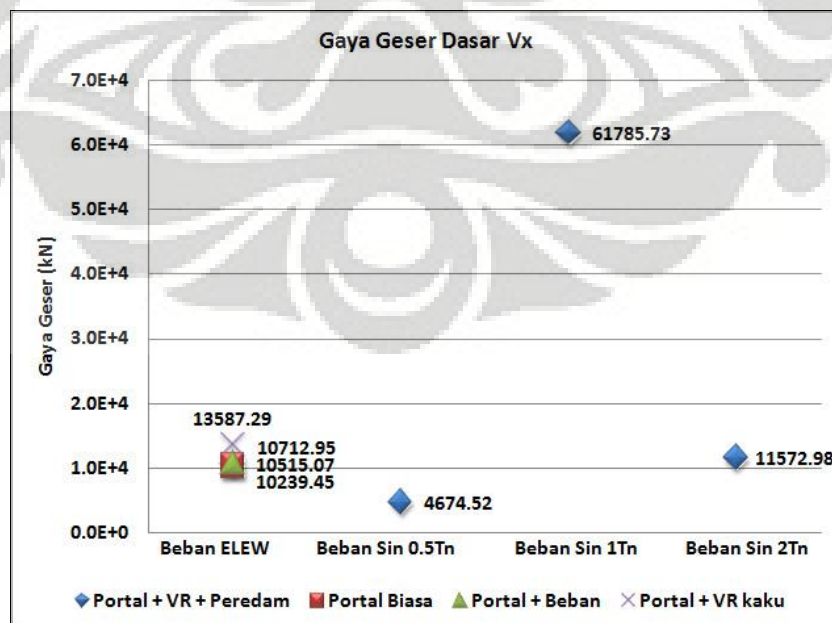


Gambar 4.29. Deformasi Elemen *Link* Arah X pada Pusat *Vaultroom* Sepanjang Waktu pada Variasi Pembebanan Gempa.

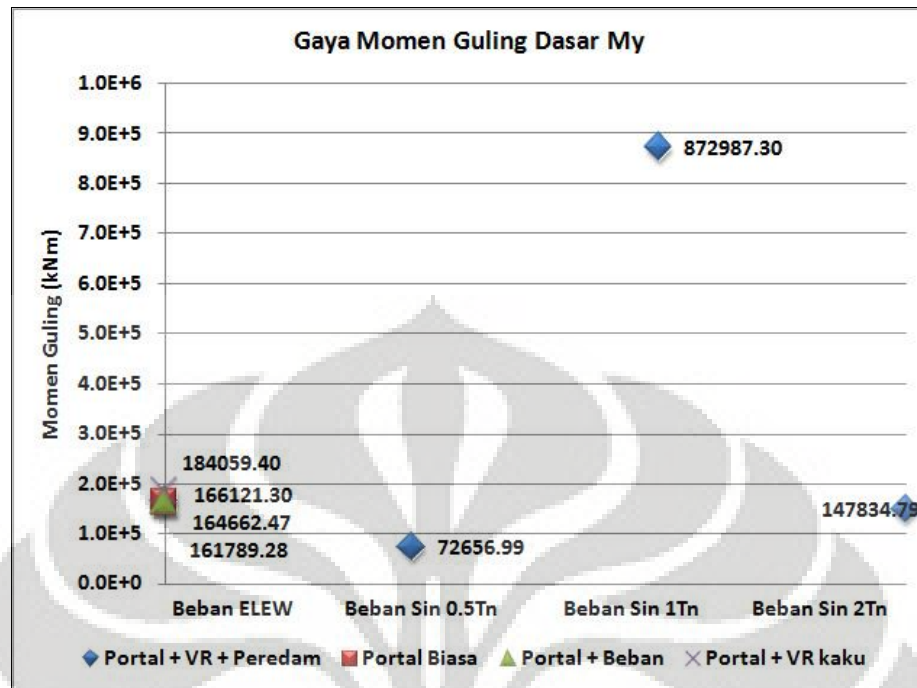
Gaya geser dasar arah X pada beban dengan percepatan gempa 0.3g Sin (1Tn) kurang lebih enam (6) kali lebih besar jika dibandingkan dengan percepatan gempa El-Centro *modified*. Nilai gaya geser dasar arah X pada beban dengan percepatan 0.3g Sin (2Tn) mendekati nilai gaya geser dasar arah X pada beban dengan percepatan El-Centro *modified*. Momen guling dasar arah Y pada beban dengan percepatan 0.3g Sin (1Tn) kurang lebih lima (5) kali lebih besar jika dibandingkan dengan percepatan gempa El-Centro *modified*.

Nilai momen guling dasar arah Y pada beban dengan percepatan 0.3g Sin (2Tn) mendekati nilai momen guling dasar arah Y pada percepatan gempa El-Centro *modified*. Nilai Momen torsi dasar arah Z pada beban dengan percepatan 0.3g Sin (1Tn) kurang lebih empat koma empat (4.4) kali lebih besar jika dibandingkan dengan nilai dari beban dengan percepatan El-Centro *modified*.

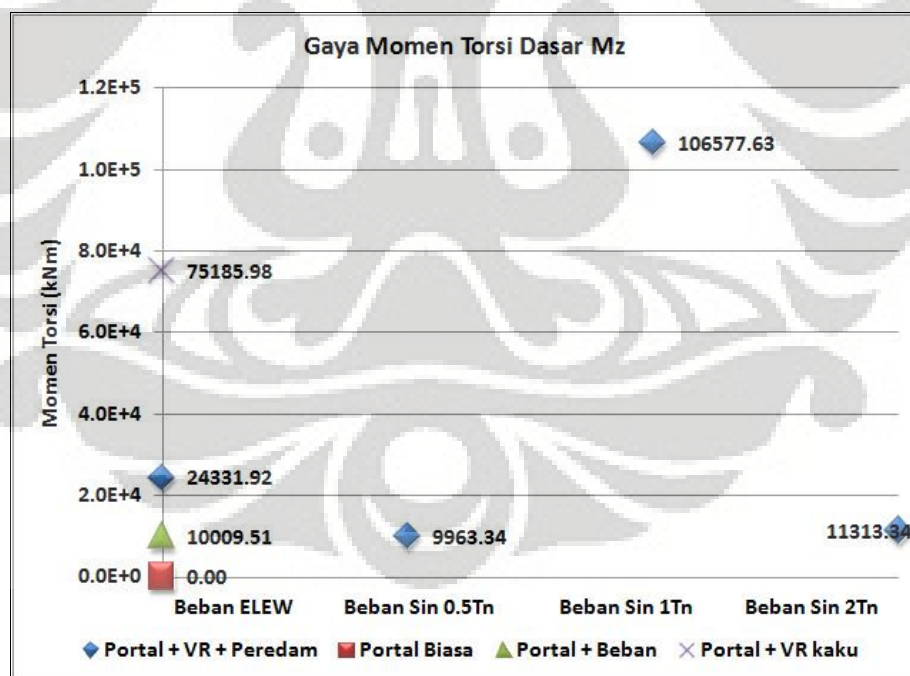
Pembebanan dengan percepatan gempa 0.3g Sin (1Tn) akan menghasilkan respon-respon antara empat sampai enam kali (4 – 6) lebih besar daripada respon-respon dari beban dengan percepatan gempa El-Centro *modified*. Respon-respon dari beban dengan percepatan gempa 0.3g Sin (0.5Tn), 0.3g Sin (2Tn) dan El-Centro *modified* memiliki hasil yang nilainya berdekatan. Di bawah ini adalah gambar – gambar reaksi dasar dari variasi pembebanan gempa:



Gambar 4.30. Gaya Geser Dasar Arah X pada Variasi Pembebanan Gempa.



Gambar 4.31. Momen Guling Dasar Arah Y pada Variasi Pembebanan Gempa.

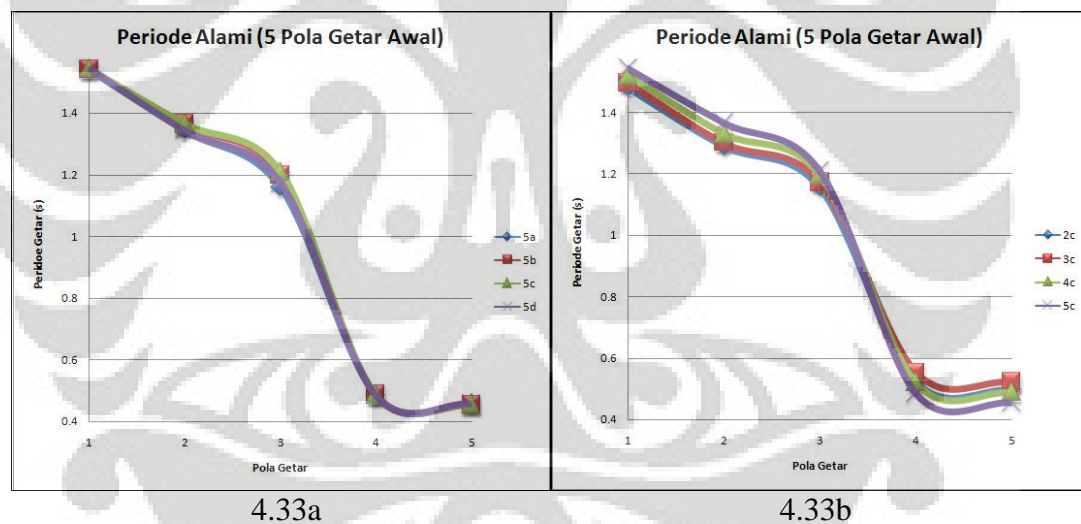


Gambar 4.32. Momen Torsi Dasar Arah Z pada Variasi Pembebanan Gempa.

4.7 Hasil Respon Variasi Penempatan Posisi *Vaultroom*

Variasi yang dilakukan adalah posisi atau letak dari *vaultroom*. Posisi *vaultroom* divariasikan menjadi 4 variasi untuk setiap lantai dan divariasikan pada lantai 2, 3, 4, dan 5. Tata cara penamaan posisi terdapat pada bab 3 bagian variasi permodelan. Sementara posisi *vaultroom* divariasikan, parameter lain dijadikan konstan dan nilainya telah ditetapkan di bab 3 bagian variasi permodelan.

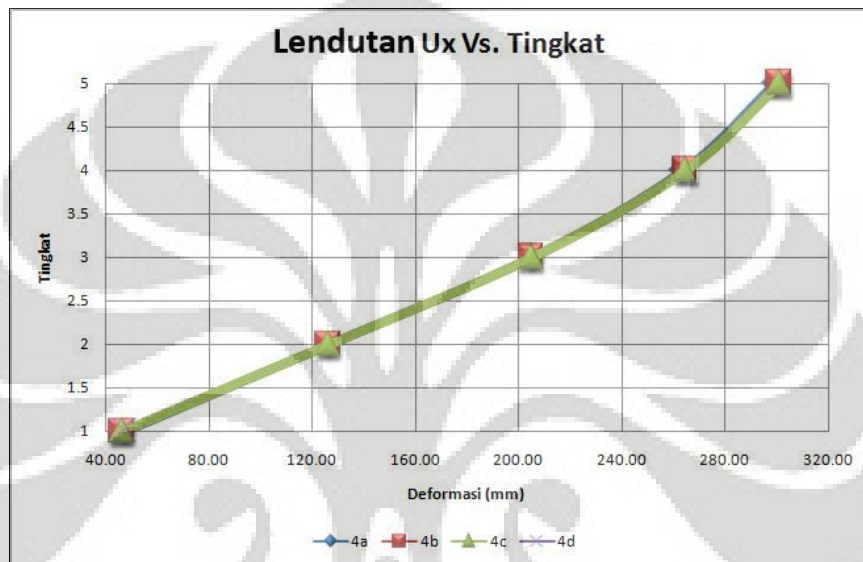
Periode getar dari enambelas (16) variasi akan sulit dibaca jika ditampilkan dalam sebuah grafik. Oleh karena itu, gambar periode getar dibagi menjadi dua gambar. Gambar pertama adalah variasi posisi pada lantai yang sama pada denah dan gambar kedua adalah variasi posisi pada lantai yang berbeda tetapi dengan posisi yang tetap pada denah (posisi C). Dua gambar tersebut ditunjukkan sebagai berikut:



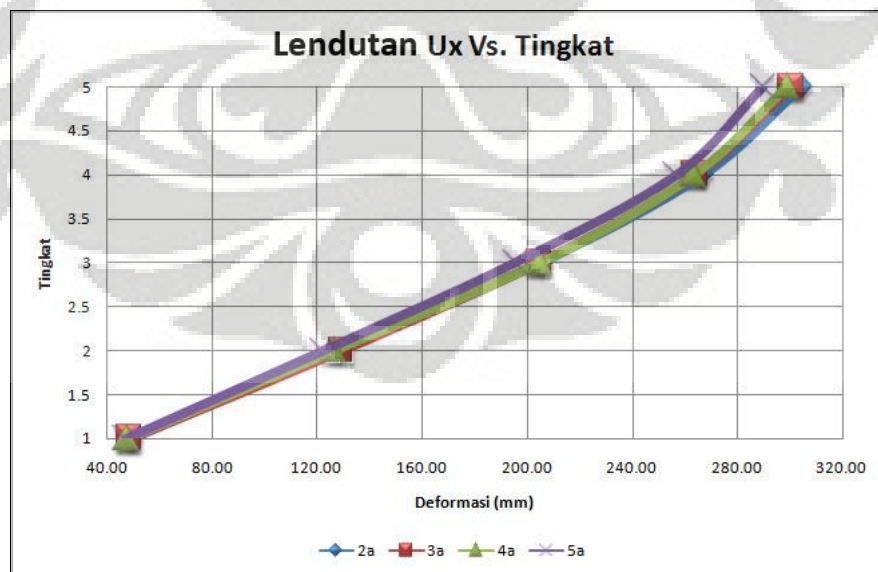
Gambar 4.33a. dan 4.33b. Periode Getar Alami pada Variasi Posisi *Vaultroom*

Pada kedua gambar di atas terlihat bahwa variasi posisi *vaultroom* terhadap denah pada lantai yang sama tidak menghasilkan perbedaan periode getar alami yang signifikan, sedangkan variasi posisi *vaultroom* terhadap lantai pada posisi denah yang sama akan menghasilkan perbedaan yang lebih besar pada periode getar alami. Dari gambar tampak bahwa semakin tinggi posisi *vaultroom* pada bangunan maka tiga periode getar pertama dari bangunan semakin besar.

Lendutan pusat denah pada arah X ketika *vaultroom* divariasikan terhadap denah pada satu lantai yang sama juga tidak menunjukkan perbedaan yang berarti. Tetapi ketika *vaultroom* divariasikan terhadap ketinggian pada posisi denah yang sama, terjadi perbedaan yang cukup signifikan pada lendutan pusat denah arah X seperti yang ditunjukkan dua gambar di bawah ini:



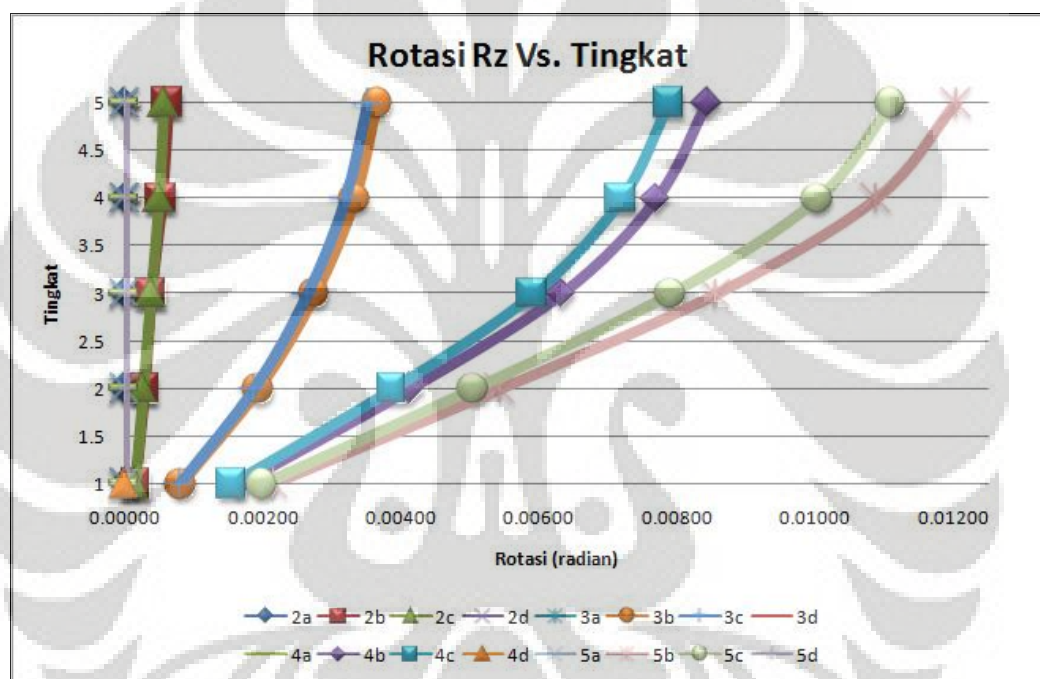
4.34a



4.34b

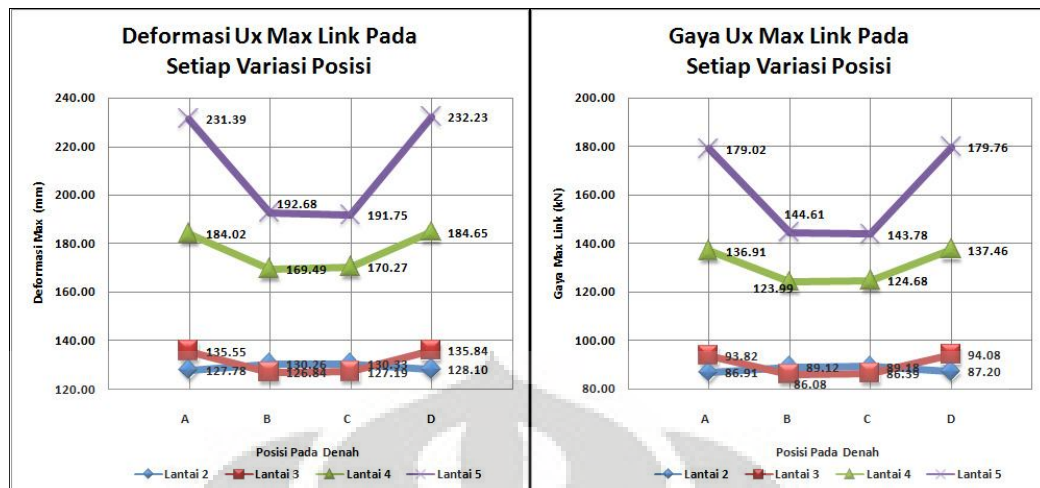
Gambar 4.34. Lendutan Pusat Denah Arah X pada Variasi Posisi *Vaultroom*

Rotasi pusat denah arah Z pada variasi posisi *vaultroom* membentuk suatu pola. Posisi *vaultroom* ketika berada pada posisi A dan D di denah pada setiap lantai tidak menghasilkan rotasi pusat denah arah Z karena tidak timbul eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan. Posisi B di denah akan menghasilkan rotasi yang lebih besar daripada posisi C di denah. Semakin tinggi posisi *vaultroom*, rotasi pusat denah juga akan semakin besar. Pola yang dibentuk dari variasi posisi *vaultroom* pada respon rotasi pusat denah ditunjukkan dalam gambar berikut:



Gambar 4.35. Rotasi Pusat Denah Arah Z Variasi Posisi *Vaultroom*.

Posisi *vaultroom* yang sentris terhadap beban percepatan gempa (Posisi A dan D) akan memberikan respon gaya – deformasi yang lebih besar pada elemen penghubung (*Gap* dan *Hook*) sedangkan posisi *vaultroom* yang eksentris terhadap beban percepatan gempa (Posisi B dan C) akan memberikan respon gaya – deformasi yang lebih kecil. Kedua hal di atas berlaku untuk penempatan *vaultroom* pada lantai 3, 4, dan 5 serta berlaku sebaliknya pada lantai 2. Perilaku gaya – deformasi dari elemen penghubung ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



4.36a

4.36b

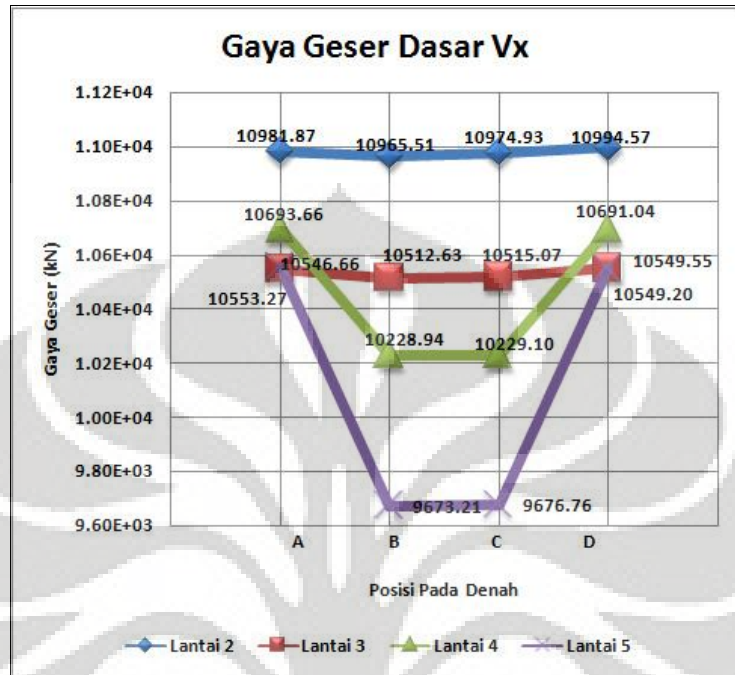
Gambar 4.36. Deformasi dan Gaya Maksimum Elemen Penghubung pada Variasi Posisi *Vaultroom*.

Gaya geser dasar arah X cenderung memberikan nilai yang kecil pada saat posisi *vaultroom* eksentris terhadap beban gempa (Posisi B dan C) tetapi reduksi gaya geser dasar baru mulai efektif ketika menempatkan *vaultroom* pada lantai 4 dan lantai 5 pada posisi eksentris (posisi B dan C). Posisi 2D memberikan respon gaya geser dasar arah X yang maksimum sedangkan posisi 5B memberikan respon gaya geser dasar arah X yang minimum. Terjadi reduksi gaya geser dasar arah X dari posisi 2D terhadap posisi 5B sebesar $\pm 12\%$.

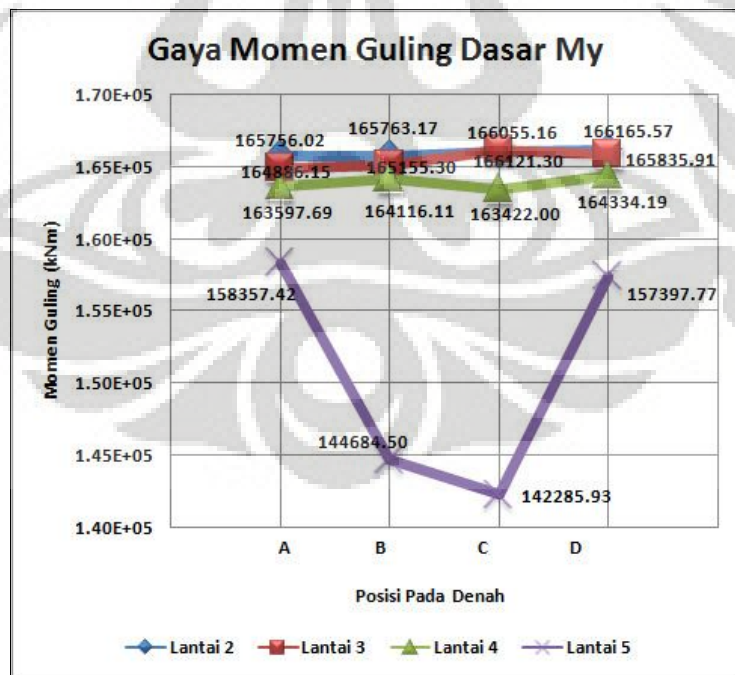
Momen guling dasar arah Y hanya efektif di reduksi pada saat penempatan *vaultroom* di lantai 5. Penempatan *vaultroom* di lantai 5 pada posisi eksentris (posisi B dan C) dapat mereduksi momen guling dasar lebih efektif lagi. Posisi 2D menghasilkan nilai maksimum sedangkan posisi 5C menghasilkan nilai minimum pada momen guling dasar arah Y serta terjadi penurunan sebesar $\pm 14\%$.

Momen torsi dasar arah Z akan bernilai nol saat posisi *vaultroom* sentris terhadap arah pembebanan gempa (posisi A dan D) tetapi akan bernilai positif saat posisi *vaultroom* eksentris terhadap pembebanan gempa (posisi B dan C). Semakin tinggi posisi *vaultroom* yang eksentris, semakin besar pula momen torsi dasar yang terjadi. Peningkatan momen torsi dasar ketika posisi *vaultroom* dinaikan satu

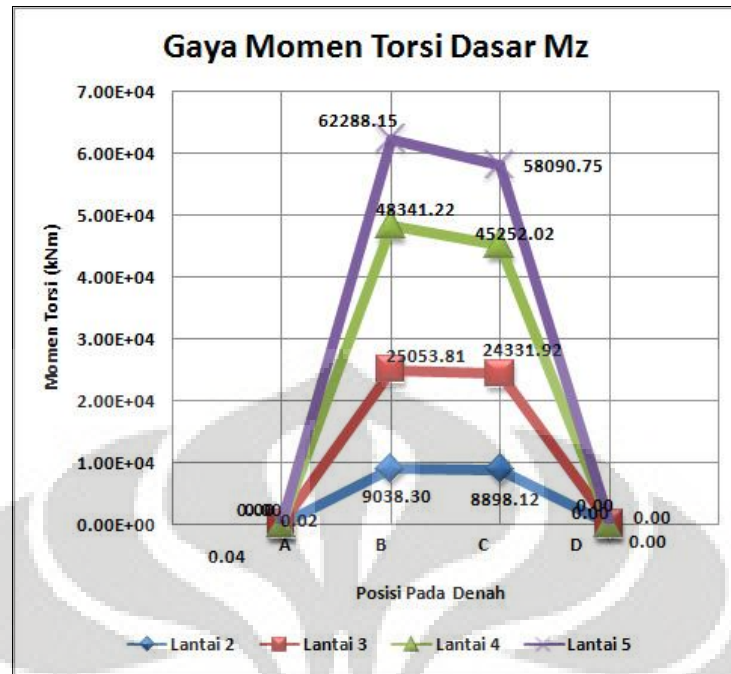
lantai bervariasi antara 130% – 270%. Gambar dari reaksi dasar *vaultroom* adalah sebagai berikut:



Gambar 4.37. Gaya Geser Dasar Arah X pada Variasi Posisi *Vaultroom*.



Gambar 4.38. Momen Guling Dasar Arah Y pada Variasi Posisi *Vaultroom*.



Gambar 4.39. Momen Torsi Dasar Arah Z pada Variasi Posisi *Vaultroom*.

Semakin tinggi posisi *vaultroom* pada bangunan maka respon gaya geser dasar arah X dan momen guling dasar arah Y akan semakin kecil terutama jika posisi *vaultroom* eksentris (posisi B dan C) terhadap arah pembebanan gempa. Sebaliknya respon momen torsi dasar dari bangunan akan semakin besar ketika posisi *vaultroom* yang eksentris terhadap pembebanan gempa (posisi B dan C) semakin tinggi, tetapi bernilai nol saat posisi *vaultroom* sentris terhadap pembebanan gempa. Penurunan gaya geser dasar arah X dan momen guling dasar arah Y tidak sebanding dengan peningkatan momen torsi dasar arah Z pada saat posisi *vaultroom* eksentris (posisi B dan C) terhadap pembebanan gempa divariasikan terhadap ketinggian. Oleh karena itu, posisi terbaik untuk penempatan *vaultroom* adalah pada posisi yang sentris terhadap arah pembebanan gempa dan berada pada lantai tertinggi dari bangunan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis terhadap respon seismik dari portal tiga dimensi dengan *vaultroom* sebagai peredam geser eksentris yang telah dilakukan pada bab sebelumnya dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu:

- a. Penggunaan peredam geser pada *vaultroom* akan lebih efektif ketika *vaultroom* berada pada lantai yang lebih rendah atau pada lantai yang tinggi dengan syarat posisinya harus sentris terhadap struktur dan pembebanan. Jika posisi *vaultroom* terpaksa ditempatkan pada lantai atas dengan posisi yang eksentris, maka *vaultroom* lebih baik dibuat kaku atau menyatu (monolit) dengan struktur daripada menggunakan peredam geser.
- b. Peningkatan kekakuan material elastik akan meningkatkan gaya geser dasar arah X dan momen guling dasar arah Y sebesar 1 – 2%, tetapi menurunkan momen torsi dasar arah Z sebesar 15 – 25%. Oleh karena itu, penggunaan kekakuan material elastik yang bernilai lebih besar akan lebih efektif meredam respon struktur.
- c. Peningkatan nilai koefisien friksi material geser akan menurunkan nilai momen torsi dasar arah Z sebesar $\pm 2\%$. Gaya geser dasar arah X dan momen guling dasar arah Y tidak sensitif terhadap nilai koefisien friksi dan hanya bergerak naik atau turun dalam persentase di bawah 0.1%. Penggunaan nilai koefisien friksi yang besar lebih dipilih untuk menurunkan momen torsi dasar meskipun pada dasarnya parameter koefisien friksi kurang efektif mereduksi respon seismik dari struktur karena perbandingan massa *vaultroom* dengan massa struktur sangat kecil, yaitu 1 : 25.4.
- d. Peningkatan bukaan (*open*) dapat mereduksi respon gaya geser dasar arah X dalam kisaran 2%. Momen guling dasar arah Y tidak memberikan pola

tertentu terhadap variasi bukaan (*open*) tetapi bernilai maksimum pada saat nilai bukaan (*open*) sebesar 2 x 30 mm. Momen torsi dasar arah Z cenderung meningkat dengan kisaran 8 – 16% saat bukaan (*open*) diperkecil. Oleh karena itu, bukaan (*open*) yang kecil akan lebih baik untuk digunakan.

- e. Pembebanan gempa dengan periode $Sin\ 1\ T_n$ akan beresonansi dengan periode getar alami dari bangunan sehingga respon – respon dari bangunan saat diberikan percepatan gempa 0.3g $Sin\ (1\ T_n)$ akan sangat besar dibandingkan dengan bangunan saat diberikan percepatan beban El-Centro *modified*, dengan kelipatan 4 – 6 kali lebih besar. Nilai dari gaya geser dasar arah X dan momen guling dasar arah Y berdekatan saat percepatan gempa El-Centro dan percepatan gempa 0.3g $Sin\ (2T_n)$ dibandingkan. Nilai momen torsi dasar arah Z berdekatan saat percepatan gempa 0.3g $Sin\ (0.5T_n)$ dan 0.3g $Sin\ (2T_n)$ dibandingkan tetapi nilai keduanya lebih kecil dibandingkan dengan nilai pada percepatan gempa El-Centro.
- f. Semakin tinggi posisi *vaultroom* pada bangunan maka respon gaya geser dasar arah X dan momen guling dasar arah Y akan semakin kecil tetapi respon momen torsi dasar arah Z akan semakin besar pada saat penempatan *vaultroom* eksentris terhadap gempa. Oleh karena itu, posisi terbaik untuk *vaultroom* adalah pada lantai teratas dari bangunan sehingga respon gaya geser dasar dan momen guling dapat direduksi, serta dengan penempatan secara sentris pada bangunan sehingga respon momen torsi dasar menjadi kecil.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, penulis melihat bahwa respon seismik dari struktur perbankan belum tereduksi secara maksimal dengan penggunaan material geser dan material elastik pada *vaultroom*. Oleh karena itu, penulis menyarankan beberapa hal yaitu:

- a. Melakukan penelitian mengenai perbandingan yang efektif dari massa antara *vaultroom* dengan struktur utama untuk mereduksi respon pada bangunan dengan menganggap *vaultroom* sebagai peredam massa (mass damper).
- b. Memperbesar massa *vaultroom* sehingga gaya gesekan yang timbul untuk mereduksi respon gempa lebih besar.
- c. Melakukan pembebanan dalam dua, yaitu arah X dan arah Y dengan perbandingan yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan penelitian.
- d. Menambah posisi pada variasi permodelan *vaultroom* sehingga diperoleh permodelan *vaultroom* yang cocok untuk posisi tertentu.

DAFTAR REFERENSI

Chopra, Ak. (1995). Dynamics of Structure: Theory and Applications to Earthquake Engineering. New Jersey: Prentice Hall.

Dowdell, DJA. (2005, May). Design of Viscous and Friction Damper Systems for the Optimal Control of the Seismic Response of Structures. A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy, University of British Columbia, Canada. (Page 177).

SNI – 176 – 2002. (2002, April). Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung. Bandung.

Wight, JK. & MacGregor, JG. (2009). Reinforced Concrete: Mechanism & Design (5th ed.). Singapore: Pearson Prentice Hall. (Page 249).

<http://enotes.com/how-products-encyclopedia/bank-vault>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Actuator>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Damping>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Mass>

http://en.wikipedia.org/wiki/Response_spectrum

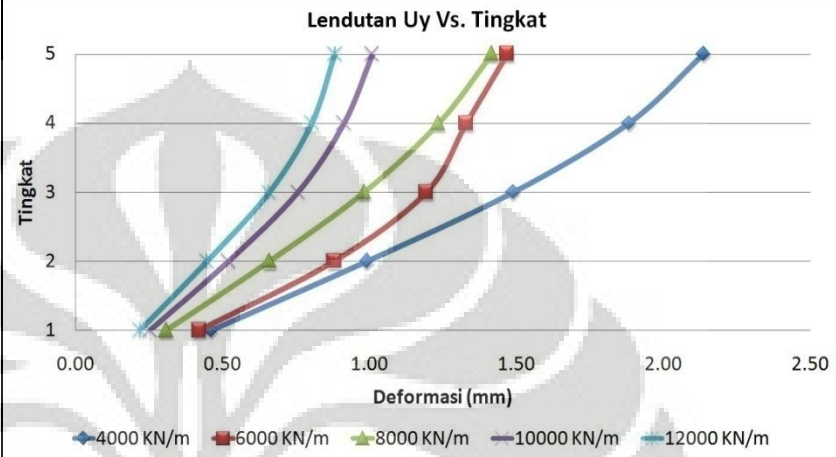
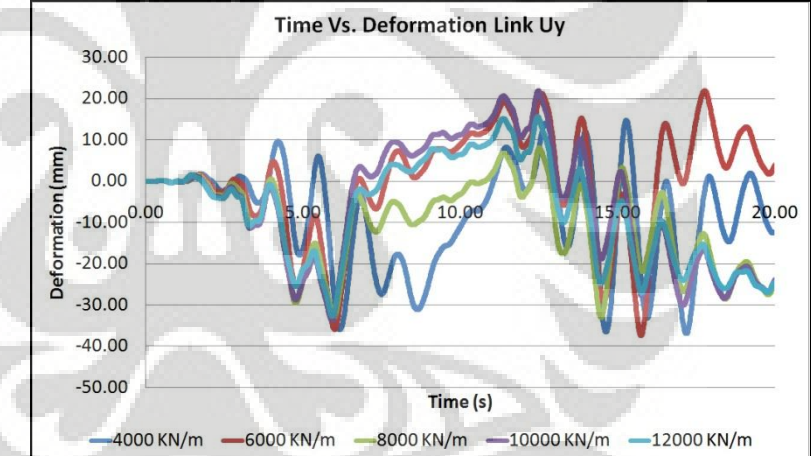
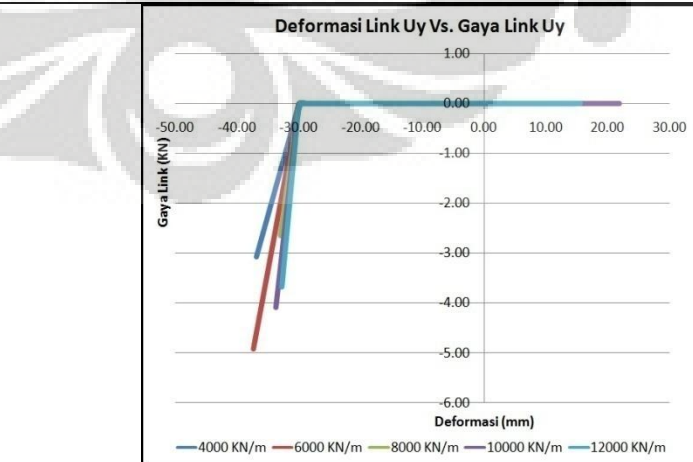
<http://en.wikipedia.org/wiki/Stiffness>

http://en.wikipedia.org/wiki/Vibration_control

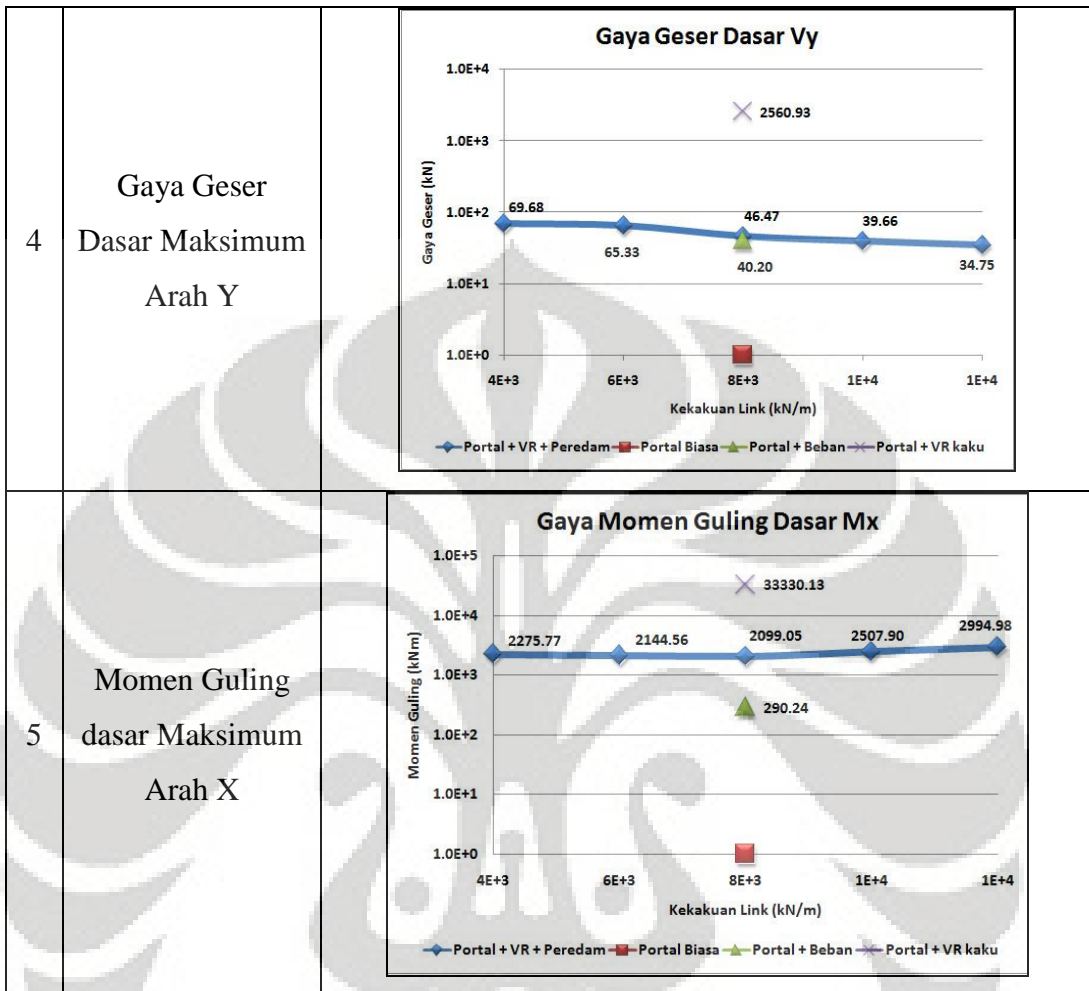
http://www.daviddarling.info/encyclopedia/D/dynamic_load.html

LAMPIRAN 1

GAMBAR - GAMBAR RESPON DARI VARIASI KEKAKUAN MATERIAL ELASTIS

No	Keterangan	Gambar
1	Lendutan Maksimum Tingkat Pusat Denah Arah Y	 <p>Lendutan Uy Vs. Tingkat</p> <p>The graph plots 'Tingkat' (Level) on the y-axis (ranging from 1 to 5) against 'Deformasi (mm)' (Deflection in mm) on the x-axis (ranging from 0.00 to 2.50). Five data series are shown for different stiffness values: 4000 KN/m (blue diamonds), 6000 KN/m (red squares), 8000 KN/m (green triangles), 10000 KN/m (purple crosses), and 12000 KN/m (cyan asterisks). All series show an upward trend, indicating that deflection increases with level. Higher stiffness values result in lower deflection values across all levels.</p>
2	Deformasi Link Arah Y Sepanjang Waktu Gempa	 <p>Time Vs. Deformation Link Uy</p> <p>The graph plots 'Deformation (mm)' on the y-axis (ranging from -50.00 to 30.00) against 'Time (s)' on the x-axis (ranging from 0.00 to 20.00). Five data series represent different stiffness values: 4000 KN/m (blue), 6000 KN/m (red), 8000 KN/m (green), 10000 KN/m (purple), and 12000 KN/m (cyan). The plot shows complex, oscillatory time histories. Higher stiffness values generally correspond to higher peak deformations and shorter periods of oscillation.</p>
3	Hubungan Gaya – Deformasi Arah Y dari Elemen Link	 <p>Deformasi Link Uy Vs. Gaya Link Uy</p> <p>The graph plots 'Gaya Link (kN)' on the y-axis (ranging from -6.00 to 1.00) against 'Deformasi (mm)' on the x-axis (ranging from -50.00 to 30.00). Five data series represent different stiffness values: 4000 KN/m (blue), 6000 KN/m (red), 8000 KN/m (green), 10000 KN/m (purple), and 12000 KN/m (cyan). The plot shows a linear relationship between force and deformation. For a given force, higher stiffness values result in smaller deformations.</p>

(lanjutan)

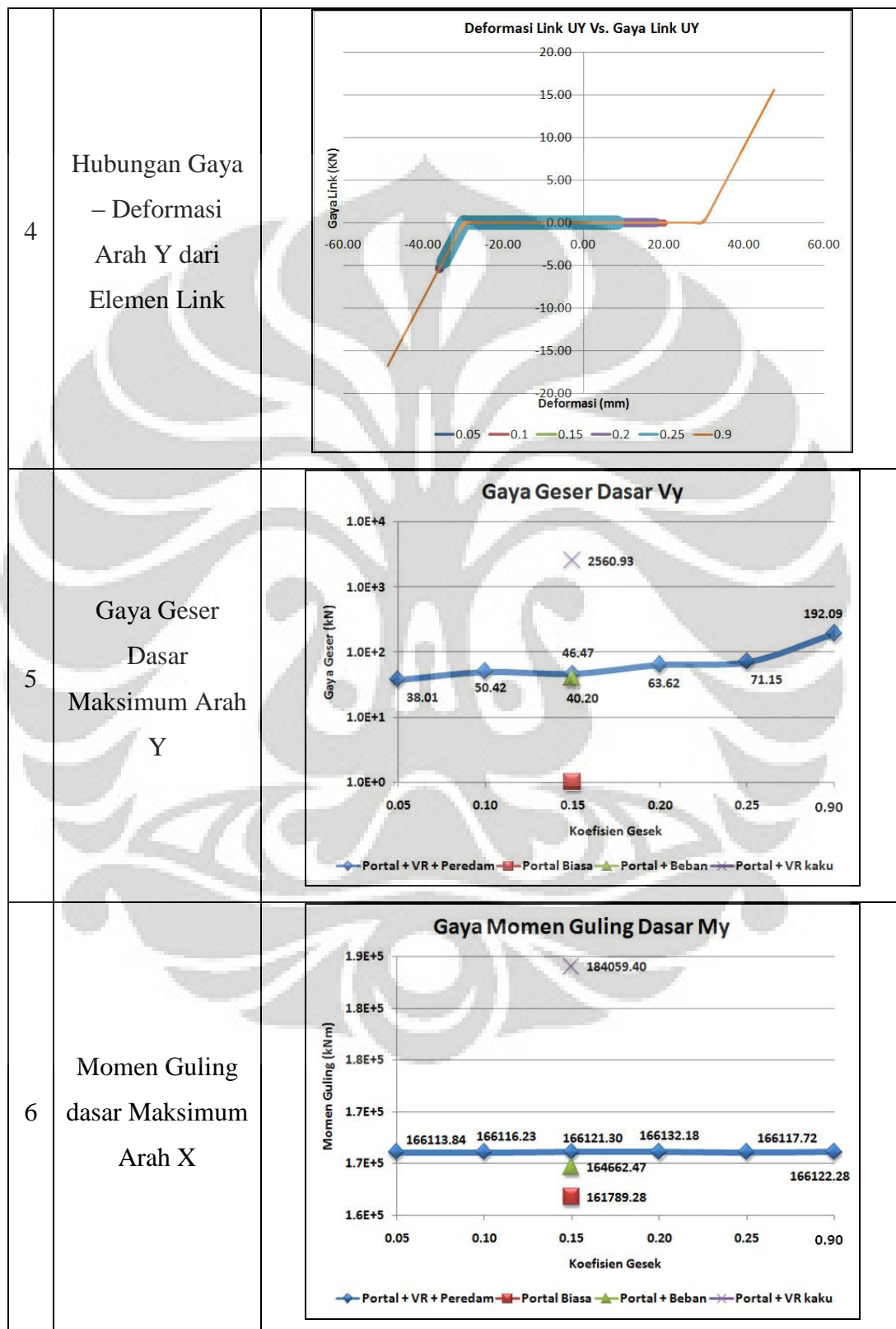


LAMPIRAN 2

GAMBAR - GAMBAR RESPON DARI VARIASI KOEFISIEN FRIKSI

No	Keterangan	Gambar
1	Lendutan Maksimum Tingkat Pusat Denah Arah Y	<p>The graph shows the relationship between the level (Tingkat) and the maximum deflection (Deformasi) in millimeters for different friction coefficients. The x-axis represents the level from 0.00 to 9.00, and the y-axis represents the deflection from 1 to 5 mm. Six data series are plotted for friction coefficients of 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, and 0.9. The 0.9 coefficient consistently shows the highest deflection, increasing from about 1.2 mm at level 1 to 5.0 mm at level 5. Other coefficients show lower deflection values that also increase with level, with 0.05 having the lowest deflection.</p>
2	Deformasi Link Arah X Sepanjang Waktu Gempa	<p>This graph displays the time-varying deformation of the link in the X-direction (Link UX) over a 20-second earthquake duration. The y-axis shows deformation in millimeters, ranging from -150.00 to 150.00. The x-axis shows time in seconds from 0.00 to 20.00. Six curves represent different friction coefficients. The 0.9 coefficient exhibits the most significant oscillations, with peaks reaching approximately 130 mm and troughs reaching -130 mm. As the friction coefficient decreases, the amplitude of the oscillations also decreases.</p>
3	Deformasi Link Arah Y Sepanjang Waktu Gempa	<p>This graph shows the time-varying deformation of the link in the Y-direction (Link UY) over a 20-second earthquake duration. The y-axis represents deformation in millimeters, ranging from -60.00 to 60.00. The x-axis represents time in seconds from 0.00 to 20.00. Six curves are shown for different friction coefficients. The 0.9 coefficient shows the largest oscillations, with peaks around 45 mm and troughs around -45 mm. The amplitude of the oscillations decreases as the friction coefficient is lowered.</p>

(lanjutan)



LAMPIRAN 3
GAMBAR - GAMBAR RESPON DARI VARIASI BUKAAN (OPEN)
ELEMEN LINK

No	Keterangan	Gambar
1	Lendutan Maksimum Tingkat Pusat Denah Arah Y	<p style="text-align: center;">Lendutan Uy Vs. Tingkat</p>
2	Deformasi Link Arah X Sepanjang Waktu Gempa	<p style="text-align: center;">Time Vs. Deformation Link Ux</p>
3	Deformasi Link Arah Y Sepanjang Waktu Gempa	<p style="text-align: center;">Time Vs. Deformation Link Uy</p>

(lanjutan)

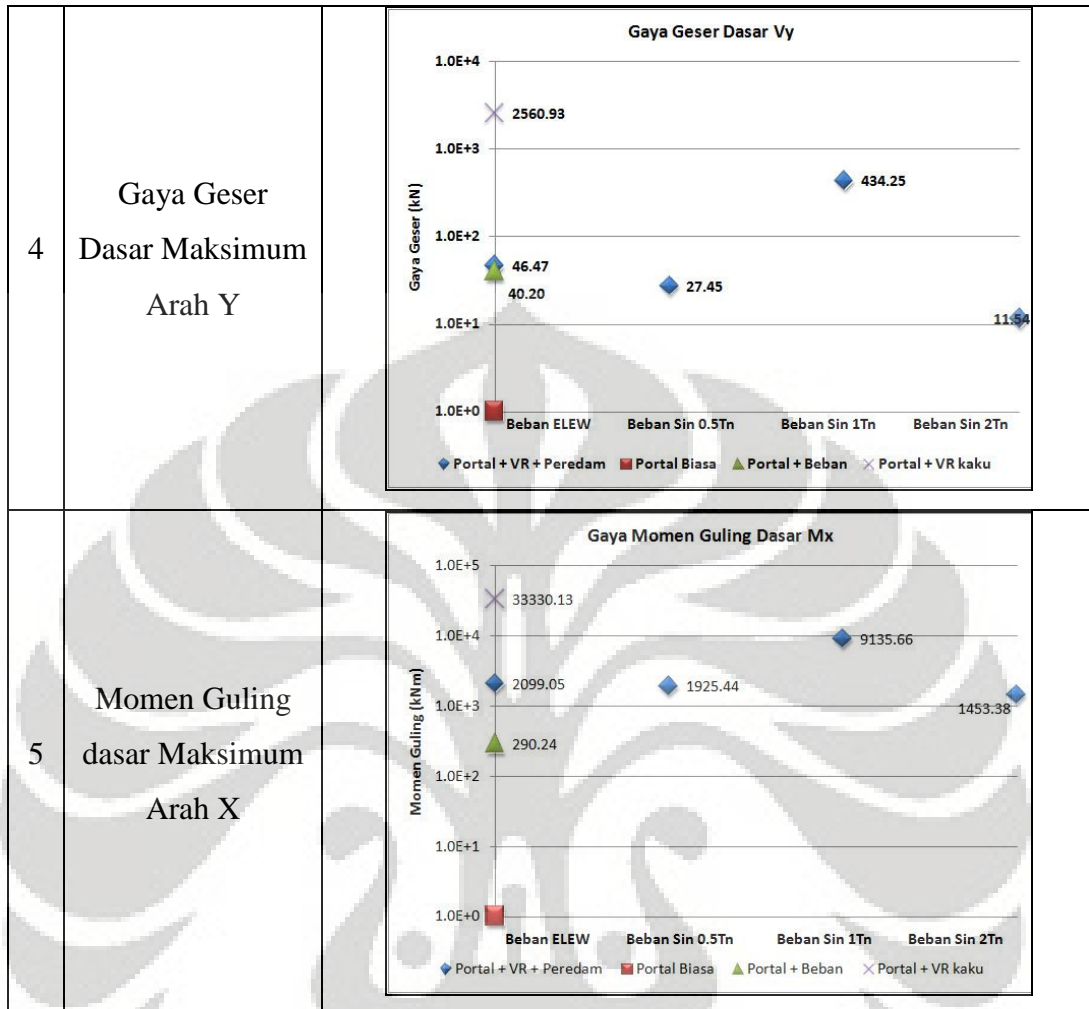
<p>4</p>	<p>Hubungan Gaya – Deformasi Arah Y dari Elemen Link</p>																															
<p>5</p>	<p>Gaya Geser Dasar Maksimum Arah Y</p>	<table border="1"> <caption>Data for Gaya Geser Dasar Vy</caption> <thead> <tr> <th>Bukaan Link (mm)</th> <th>Portal + VR + Peredam (kN)</th> <th>Portal Biasa (kN)</th> <th>Portal + Beban (kN)</th> <th>Portal + VR kaku (kN)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20</td> <td>97.24</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>53.03</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>46.47</td> <td></td> <td>40.20</td> <td>2560.93</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>68.18</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>69.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Bukaan Link (mm)	Portal + VR + Peredam (kN)	Portal Biasa (kN)	Portal + Beban (kN)	Portal + VR kaku (kN)	20	97.24				40	53.03				60	46.47		40.20	2560.93	80	68.18				100	69.00			
Bukaan Link (mm)	Portal + VR + Peredam (kN)	Portal Biasa (kN)	Portal + Beban (kN)	Portal + VR kaku (kN)																												
20	97.24																															
40	53.03																															
60	46.47		40.20	2560.93																												
80	68.18																															
100	69.00																															
<p>6</p>	<p>Momen Guling dasar Maksimum Arah X</p>	<table border="1"> <caption>Data for Gaya Momen Guling Dasar Mx</caption> <thead> <tr> <th>Bukaan Link (mm)</th> <th>Portal + VR + Peredam (kNm)</th> <th>Portal Biasa (kNm)</th> <th>Portal + Beban (kNm)</th> <th>Portal + VR kaku (kNm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20</td> <td>2097.15</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>1753.22</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>2099.05</td> <td></td> <td>290.24</td> <td>33330.13</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>2344.76</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>2565.34</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Bukaan Link (mm)	Portal + VR + Peredam (kNm)	Portal Biasa (kNm)	Portal + Beban (kNm)	Portal + VR kaku (kNm)	20	2097.15				40	1753.22				60	2099.05		290.24	33330.13	80	2344.76				100	2565.34			
Bukaan Link (mm)	Portal + VR + Peredam (kNm)	Portal Biasa (kNm)	Portal + Beban (kNm)	Portal + VR kaku (kNm)																												
20	2097.15																															
40	1753.22																															
60	2099.05		290.24	33330.13																												
80	2344.76																															
100	2565.34																															

LAMPIRAN 4

GAMBAR - GAMBAR RESPON DARI VARIASI BEBAN GEMPA

No	Keterangan	Gambar
1	Lendutan Maksimum Tingkat Pusat Denah Arah Y	<p>Lendutan Uy Vs. Tingkat</p>
2	Deformasi Link Arah Y Sepanjang Waktu Gempa	<p>Time Vs. Deformation Link Uy</p>
3	Hubungan Gaya – Deformasi Arah Y dari Elemen Link	<p>Deformasi Link Uy Vs. Gaya Link Uy</p>

(lanjutan)

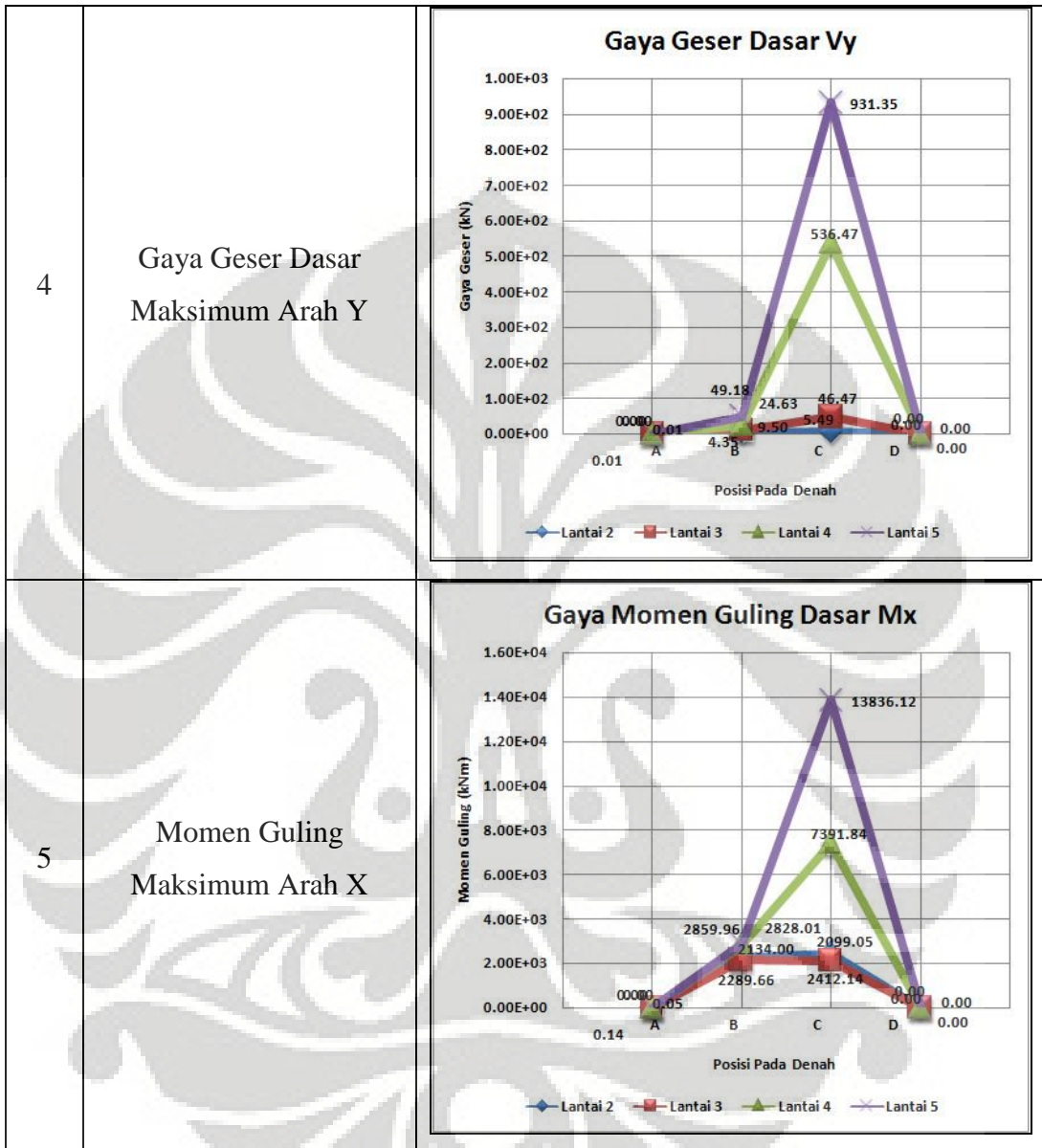


LAMPIRAN 5

GAMBAR - GAMBAR RESPON DARI VARIASI POSISI VAULTROOM

No	Keterangan	Gambar																																		
1	Lendutan Maksimum Tingkat Pusat Denah Arah Y	<p>Lendutan Uy Vs. Tingkat</p> <table border="1"> <caption>Data for Lendutan Uy Vs. Tingkat</caption> <thead> <tr> <th>Tingkat</th> <th>Deformasi (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2a</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2b</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2c</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>2d</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>3a</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>3b</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>3c</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>3d</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>4a</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>4b</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>4c</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>4d</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>5a</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>5b</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>5c</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>5d</td><td>0.00</td></tr> </tbody> </table>	Tingkat	Deformasi (mm)	2a	0.00	2b	0.00	2c	0.00	2d	0.00	3a	0.00	3b	0.00	3c	0.00	3d	0.00	4a	0.00	4b	0.00	4c	0.00	4d	0.00	5a	0.00	5b	0.00	5c	0.00	5d	0.00
Tingkat	Deformasi (mm)																																			
2a	0.00																																			
2b	0.00																																			
2c	0.00																																			
2d	0.00																																			
3a	0.00																																			
3b	0.00																																			
3c	0.00																																			
3d	0.00																																			
4a	0.00																																			
4b	0.00																																			
4c	0.00																																			
4d	0.00																																			
5a	0.00																																			
5b	0.00																																			
5c	0.00																																			
5d	0.00																																			
2	Deformasi Maksimum Elemen Link Arah Y	<p>Deformasi Uy Max Link Pada Setiap Variasi Posisi</p> <table border="1"> <caption>Data for Deformasi Uy Max Link</caption> <thead> <tr> <th>Posisi</th> <th>Lantai 2 (mm)</th> <th>Lantai 3 (mm)</th> <th>Lantai 4 (mm)</th> <th>Lantai 5 (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>B</td><td>8.81</td><td>32.24</td><td>31.11</td><td>30.74</td></tr> <tr><td>C</td><td>7.95</td><td>32.98</td><td>67.74</td><td>82.09</td></tr> <tr><td>D</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td></tr> </tbody> </table>	Posisi	Lantai 2 (mm)	Lantai 3 (mm)	Lantai 4 (mm)	Lantai 5 (mm)	A	0.00	0.00	0.00	0.00	B	8.81	32.24	31.11	30.74	C	7.95	32.98	67.74	82.09	D	0.00	0.00	0.00	0.00									
Posisi	Lantai 2 (mm)	Lantai 3 (mm)	Lantai 4 (mm)	Lantai 5 (mm)																																
A	0.00	0.00	0.00	0.00																																
B	8.81	32.24	31.11	30.74																																
C	7.95	32.98	67.74	82.09																																
D	0.00	0.00	0.00	0.00																																
3	Gaya Maksimum Elemen Link Arah Y	<p>Gaya Uy Max Link Pada Setiap Variasi Posisi</p> <table border="1"> <caption>Data for Gaya Uy Max Link</caption> <thead> <tr> <th>Posisi</th> <th>Lantai 2 (kN)</th> <th>Lantai 3 (kN)</th> <th>Lantai 4 (kN)</th> <th>Lantai 5 (kN)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>B</td><td>1.95</td><td>0.89</td><td>0.80</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>C</td><td>2.65</td><td>2.65</td><td>33.55</td><td>46.30</td></tr> <tr><td>D</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td></tr> </tbody> </table>	Posisi	Lantai 2 (kN)	Lantai 3 (kN)	Lantai 4 (kN)	Lantai 5 (kN)	A	0.00	0.00	0.00	0.00	B	1.95	0.89	0.80	0.00	C	2.65	2.65	33.55	46.30	D	0.00	0.00	0.00	0.00									
Posisi	Lantai 2 (kN)	Lantai 3 (kN)	Lantai 4 (kN)	Lantai 5 (kN)																																
A	0.00	0.00	0.00	0.00																																
B	1.95	0.89	0.80	0.00																																
C	2.65	2.65	33.55	46.30																																
D	0.00	0.00	0.00	0.00																																

(lanjutan)



LAMPIRAN 6
PERIODE GETAR PADA 5 POLA GETAR AWAL DARI SETIAP
VARIASI PARAMETER

No	Variabel	Variasi	Periode Getar (s)				
			Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5
1	Permodelan Vaultroom Posisi 3C	Portal Biasa	1.4820	1.2911	1.1569	0.4783	0.3988
		Portal + Beban VR	1.4939	1.2994	1.1700	0.4993	0.4227
		Portal + VR kaku	1.2683	1.1269	0.9525	0.4672	0.3954
		Portal + VR Box	1.3650	1.2249	1.0403	0.4808	0.4075
		Portal + VR Box + Peredam	1.4947	1.3003	1.1715	0.5525	0.5216
2	Permodelan Vaultroom Posisi 5C	Portal Biasa	1.4820	1.2911	1.1569	0.4783	0.3988
		Portal + Beban VR	1.4939	1.2994	1.1700	0.4993	0.4227
		Portal + VR kaku	1.2683	1.1269	0.9525	0.4672	0.3954
		Portal + VR Box	1.5214	1.3344	1.1970	0.4502	0.3832
		Portal + VR Box+ Peredam	1.4947	1.3003	1.1715	0.5525	0.5216
3	Kekakuan Material Elastis	4000 kN/m	1.4952	1.3008	1.1726	0.6050	0.5871
		6000 kN/m	1.4946	1.3001	1.1715	0.5690	0.5436
		8000 kN/m	1.4942	1.2997	1.1709	0.5483	0.5151
		10000 kN/m	1.4940	1.2994	1.1704	0.5360	0.4958
		12000 kN/m	1.4938	1.2992	1.1701	0.5282	0.4822
4	Koefisien Friksi, Bukaannya (open), Pembebanan	Semua variasi	1.4942	1.2997	1.1709	0.5483	0.5151
5	Posisi	2a	1.4817	1.2896	1.1567	0.5211	0.4855
		2b	1.4804	1.2895	1.1556	0.5208	0.4980
		2c	1.4802	1.2887	1.1547	0.5234	0.4974
		2d	1.4815	1.2888	1.1568	0.5229	0.4857
		3a	1.4958	1.3004	1.1569	0.5488	0.5046
		3b	1.4948	1.3011	1.1687	0.5489	0.5229
		3c	1.4947	1.3003	1.1715	0.5525	0.5216
		3d	1.4958	1.2996	1.1604	0.5513	0.5047
		4a	1.5187	1.3216	1.1574	0.5197	0.4852
		4b	1.5182	1.3292	1.1864	0.5197	0.4879
		4c	1.5190	1.3292	1.1941	0.5196	0.4876
		4d	1.5194	1.3214	1.1662	0.5196	0.4852
		5a	1.5406	1.3436	1.1580	0.4849	0.4569
		5b	1.5406	1.3630	1.1974	0.4849	0.4530
		5c	1.5430	1.3644	1.2082	0.4842	0.4541
		5d	1.5426	1.3438	1.1713	0.4837	0.4574

LAMPIRAN 7
PARTISIPASI MASSA PERMODELAN VAULTROOM POSISI 3C

Mode	PORTAL BIASA						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.481972	0.00%	83.86%	0.00%	67.25%	0.00%	0.00%
2	1.291071	81.58%	83.86%	0.00%	67.25%	84.24%	0.00%
3	1.156861	81.58%	83.86%	0.00%	67.25%	84.24%	82.06%
4	0.47832	81.58%	93.97%	0.00%	67.50%	84.24%	82.06%
5	0.398828	92.50%	93.97%	0.00%	67.50%	84.34%	82.06%

Mode	PORTAL DENGAN VAULTROOM SEBAGAI BEBAN						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.493935	0.00%	84.30%	0.00%	65.77%	0.00%	0.09%
2	1.299394	81.81%	84.30%	0.00%	65.77%	83.38%	0.87%
3	1.169975	81.95%	84.30%	0.00%	65.78%	83.69%	82.74%
4	0.499347	81.95%	94.33%	0.00%	66.07%	83.69%	82.84%
5	0.422715	91.40%	94.35%	0.00%	66.07%	83.80%	84.89%

Mode	PORTAL DENGAN VAULTROOM KAKU						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.268333	2.71%	85.59%	0.00%	61.85%	2.80%	0.62%
2	1.126942	67.80%	90.14%	0.00%	64.76%	67.17%	13.65%
3	0.952531	87.04%	90.26%	0.00%	64.79%	83.08%	88.41%
4	0.467209	87.06%	95.12%	0.00%	66.03%	83.08%	88.44%
5	0.395372	93.79%	95.13%	0.00%	66.03%	83.84%	88.53%

Mode	PORTAL DENGAN VAULTROOM BOX						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.364968	1.92%	83.57%	0.00%	62.92%	2.04%	0.93%
2	1.224935	69.97%	87.23%	0.00%	65.44%	71.09%	10.06%
3	1.0403	84.56%	87.81%	0.00%	65.72%	83.77%	86.05%
4	0.480844	84.56%	94.59%	0.00%	66.46%	83.77%	86.06%
5	0.407456	92.55%	94.59%	0.00%	66.46%	84.16%	86.15%

Mode	PORTAL DENGAN VAULTROOM BOX DAN PEREDAM						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.494732	0.00%	84.50%	0.00%	66.03%	0.00%	0.11%
2	1.300311	82.02%	84.50%	0.00%	66.03%	83.49%	1.07%
3	1.171526	82.21%	84.50%	0.00%	66.04%	83.83%	83.27%
4	0.552525	82.30%	90.63%	0.00%	66.12%	83.83%	83.86%
5	0.521635	85.48%	91.11%	0.00%	66.12%	83.83%	85.67%

LAMPIRAN 8
PARTISIPASI MASSA PERMODELAN VAULTROOM POSISI 5C

Mode	PORTAL BIASA						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.481972	0.00%	83.86%	0.00%	67.25%	0.00%	0.00%
2	1.291071	81.58%	83.86%	0.00%	67.25%	84.24%	0.00%
3	1.156861	81.58%	83.86%	0.00%	67.25%	84.24%	82.06%
4	0.47832	81.58%	93.97%	0.00%	67.50%	84.24%	82.06%
5	0.398828	92.50%	93.97%	0.00%	67.50%	84.34%	82.06%

Mode	PORTAL DENGAN VAULTROOM SEBAGAI BEBAN						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.537577	0.04%	83.88%	0.00%	66.62%	0.04%	0.90%
2	1.354972	73.77%	84.04%	0.00%	66.74%	76.02%	12.47%
3	1.204984	82.28%	84.39%	0.00%	66.98%	84.38%	83.11%
4	0.478089	82.28%	94.27%	0.00%	67.19%	84.38%	83.11%
5	0.397939	92.84%	94.27%	0.00%	67.19%	84.47%	83.12%

Mode	PORTAL DENGAN VAULTROOM KAKU						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.509674	0.06%	85.15%	0.00%	66.49%	0.07%	0.75%
2	1.318203	77.72%	85.31%	0.00%	66.60%	78.58%	9.51%
3	1.184557	83.62%	85.56%	0.00%	66.76%	84.07%	84.46%
4	0.432466	83.66%	95.61%	0.00%	67.06%	84.07%	84.47%
5	0.361442	93.02%	95.67%	0.00%	67.06%	84.26%	85.47%

Mode	PORTAL DENGAN VAULTROOM BOX						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.521352	0.05%	84.72%	0.00%	66.89%	0.06%	0.71%
2	1.334414	77.14%	84.86%	0.00%	66.99%	79.09%	9.39%
3	1.197006	82.92%	85.08%	0.00%	67.12%	84.44%	83.74%
4	0.450237	82.97%	95.07%	0.00%	67.42%	84.44%	83.79%
5	0.383236	92.19%	95.16%	0.00%	67.42%	84.58%	84.89%

Mode	PORTAL DENGAN VAULTROOM BOX TANPA PEREDAM						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.542962	0.05%	83.53%	0.00%	66.99%	0.06%	1.08%
2	1.364414	71.70%	83.77%	0.00%	67.16%	75.00%	14.45%
3	1.208157	82.07%	84.20%	0.00%	67.42%	84.65%	82.62%
4	0.484216	82.08%	93.46%	0.00%	67.58%	84.65%	82.64%
5	0.454138	82.32%	94.29%	0.00%	67.63%	84.65%	82.65%

LAMPIRAN 9
PARTISIPASI MASSA VARIASI KEKAKUAN MATERIAL ELASTIS

Mode	4000 kN/m						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.495157	0.00%	84.60%	0.00%	66.04%	0.00%	0.11%
2	1.300817	82.12%	84.60%	0.00%	66.04%	83.44%	1.18%
3	1.172597	82.34%	84.60%	0.00%	66.05%	83.84%	83.52%
4	0.604981	82.47%	87.91%	0.00%	66.09%	83.84%	84.10%
5	0.58705	84.24%	88.32%	0.00%	66.10%	83.84%	85.01%

Mode	6000 kN/m						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.494601	0.00%	84.53%	0.00%	66.04%	0.00%	0.11%
2	1.300117	82.07%	84.53%	0.00%	66.04%	83.50%	1.06%
3	1.171531	82.25%	84.53%	0.00%	66.05%	83.83%	83.35%
4	0.568964	82.36%	89.54%	0.00%	66.11%	83.83%	83.99%
5	0.543552	84.96%	90.05%	0.00%	66.11%	83.83%	85.42%

Mode	8000 kN/m						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.494249	0.00%	84.48%	0.00%	66.04%	0.00%	0.10%
2	1.299686	82.03%	84.48%	0.00%	66.04%	83.53%	0.98%
3	1.170873	82.19%	84.49%	0.00%	66.05%	83.82%	83.23%
4	0.548277	82.27%	90.98%	0.00%	66.13%	83.82%	83.80%
5	0.515145	85.70%	91.44%	0.00%	66.13%	83.82%	85.78%

Mode	10000 kN/m						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.494004	0.00%	84.45%	0.00%	66.03%	0.00%	0.10%
2	1.299391	82.00%	84.45%	0.00%	66.03%	83.55%	0.93%
3	1.170425	82.14%	84.45%	0.00%	66.05%	83.82%	83.14%
4	0.535952	82.20%	91.99%	0.00%	66.14%	83.82%	83.63%
5	0.495803	86.40%	92.37%	0.00%	66.15%	83.82%	86.05%

Mode	12000 kN/m						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.493826	0.00%	84.43%	0.00%	66.03%	0.00%	0.10%
2	1.299178	81.98%	84.43%	0.00%	66.03%	83.56%	0.89%
3	1.170101	82.11%	84.43%	0.00%	66.04%	83.81%	83.08%
4	0.528205	82.15%	92.65%	0.00%	66.16%	83.81%	83.49%
5	0.482211	87.02%	92.96%	0.00%	66.16%	83.81%	86.24%

LAMPIRAN 10**PARTISIPASI MASSA VARIASI KOEFISIEN FRIKSI, BUKAAN (OPEN),
DAN PEMBEBANAN GEMPA**

Mode	SEMUA VARIASI						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.494731	0.00%	84.50%	0.00%	66.03%	0.00%	0.11%
2	1.30031	82.02%	84.50%	0.00%	66.03%	83.49%	1.07%
3	1.171525	82.21%	84.50%	0.00%	66.04%	83.83%	83.27%
4	0.552515	82.30%	90.63%	0.00%	66.12%	83.83%	83.86%
5	0.521622	85.48%	91.11%	0.00%	66.12%	83.83%	85.67%



LAMPIRAN 11
PARTISIPASI MASSA VARIASI POSISI

Mode	POSISI 2A						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.481695	0.00%	82.27%	0.00%	67.34%	0.00%	0.00%
2	1.289623	79.75%	82.27%	0.00%	67.34%	84.12%	0.00%
3	1.156693	79.75%	82.27%	0.00%	67.34%	84.12%	82.02%
4	0.521097	79.75%	93.91%	0.00%	67.34%	84.12%	82.02%
5	0.485481	86.91%	93.91%	0.00%	67.34%	84.26%	82.02%

Mode	POSISI 2B						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.480392	0.00%	82.23%	0.00%	65.58%	0.00%	0.00%
2	1.289502	79.72%	82.23%	0.00%	65.58%	84.10%	0.00%
3	1.155646	79.76%	82.23%	0.00%	65.58%	84.12%	79.88%
4	0.520806	79.76%	93.86%	0.00%	65.58%	84.12%	79.88%
5	0.497986	86.02%	93.86%	0.00%	65.58%	84.27%	85.74%

Mode	POSISI 2C						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.480158	0.00%	82.22%	0.00%	65.58%	0.00%	0.00%
2	1.28868	79.66%	82.22%	0.00%	65.58%	83.39%	0.00%
3	1.154723	79.73%	82.23%	0.00%	65.58%	83.42%	79.38%
4	0.523384	79.88%	93.16%	0.00%	65.58%	83.43%	81.03%
5	0.497449	85.90%	93.67%	0.00%	65.58%	83.57%	86.09%

Mode	POSISI 2D						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.481482	0.00%	82.26%	0.00%	67.34%	0.00%	0.01%
2	1.288752	79.73%	82.26%	0.00%	67.34%	83.42%	0.01%
3	1.156786	79.73%	82.27%	0.00%	67.34%	83.42%	81.49%
4	0.522861	79.73%	93.66%	0.00%	67.34%	83.42%	82.35%
5	0.48565	86.82%	93.66%	0.00%	67.34%	83.56%	82.35%

(lanjutan)

Mode	POSISI 3A						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.495847	0.00%	84.48%	0.00%	67.79%	0.00%	0.00%
2	1.300368	82.16%	84.48%	0.00%	67.79%	84.51%	0.00%
3	1.156925	82.16%	84.48%	0.00%	67.79%	84.51%	82.08%
4	0.548803	82.16%	91.30%	0.00%	67.87%	84.51%	82.08%
5	0.504603	86.66%	91.30%	0.00%	67.87%	84.51%	82.08%

Mode	POSISI 3B						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.494807	0.00%	84.49%	0.00%	66.04%	0.00%	0.00%
2	1.301124	81.98%	84.49%	0.00%	66.04%	84.14%	1.02%
3	1.168739	82.20%	84.49%	0.00%	66.04%	84.51%	83.02%
4	0.548878	82.20%	91.29%	0.00%	66.13%	84.51%	83.02%
5	0.522855	85.51%	91.29%	0.00%	66.13%	84.51%	85.24%

Mode	POSISI 3C						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.494731	0.00%	84.50%	0.00%	66.03%	0.00%	0.11%
2	1.30031	82.02%	84.50%	0.00%	66.03%	83.49%	1.07%
3	1.171525	82.21%	84.50%	0.00%	66.04%	83.83%	83.27%
4	0.552515	82.30%	90.63%	0.00%	66.12%	83.83%	83.86%
5	0.521622	85.48%	91.11%	0.00%	66.12%	83.83%	85.67%

Mode	POSISI 3D						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.495791	0.00%	84.49%	0.00%	67.78%	0.00%	0.11%
2	1.299615	82.17%	84.49%	0.00%	67.78%	83.83%	0.11%
3	1.160405	82.17%	84.49%	0.00%	67.79%	83.83%	82.32%
4	0.551267	82.17%	91.03%	0.00%	67.87%	83.83%	82.63%
5	0.50471	86.63%	91.03%	0.00%	67.87%	83.83%	82.63%

(lanjutan)

Mode	POSISI 4A						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.518705	0.00%	84.86%	0.00%	68.34%	0.00%	0.00%
2	1.321648	82.73%	84.86%	0.00%	68.34%	84.84%	0.00%
3	1.157449	82.73%	84.86%	0.00%	68.34%	84.84%	82.10%
4	0.51968	82.73%	89.01%	0.00%	68.52%	84.84%	82.10%
5	0.485162	84.02%	89.01%	0.00%	68.52%	84.88%	82.10%

Mode	POSISI 4B						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.518181	0.00%	84.88%	0.00%	66.61%	0.00%	0.00%
2	1.329233	79.11%	84.88%	0.00%	66.61%	81.01%	6.16%
3	1.186353	82.71%	84.88%	0.00%	66.61%	84.84%	83.46%
4	0.51968	82.71%	88.97%	0.00%	66.80%	84.84%	83.46%
5	0.487868	83.74%	88.97%	0.00%	66.80%	84.88%	83.71%

Mode	POSISI 4C						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.518961	0.01%	84.71%	0.00%	66.47%	0.01%	0.48%
2	1.329223	78.72%	84.74%	0.00%	66.49%	79.95%	7.10%
3	1.194115	82.73%	84.88%	0.00%	66.61%	84.16%	83.77%
4	0.519612	82.73%	88.90%	0.00%	66.79%	84.16%	83.78%
5	0.487588	83.72%	88.91%	0.00%	66.79%	84.21%	84.01%

Mode	POSISI 4D						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.519421	0.00%	84.74%	0.00%	68.23%	0.00%	0.41%
2	1.321353	82.74%	84.74%	0.00%	68.23%	84.16%	0.41%
3	1.166221	82.74%	84.86%	0.00%	68.34%	84.16%	82.45%
4	0.519569	82.74%	88.94%	0.00%	68.52%	84.16%	82.46%
5	0.485208	84.00%	88.94%	0.00%	68.52%	84.22%	82.46%

(lanjutan)

Mode	POSISI 5A						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.540605	0.00%	84.17%	0.00%	69.12%	0.00%	0.00%
2	1.343611	82.00%	84.17%	0.00%	69.12%	85.30%	0.00%
3	1.157987	82.00%	84.17%	0.00%	69.12%	85.30%	82.08%
4	0.48485	82.00%	93.46%	0.00%	69.30%	85.30%	82.08%
5	0.45693	83.00%	93.46%	0.00%	69.30%	85.30%	82.08%

Mode	POSISI 5B						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.540606	0.00%	84.18%	0.00%	67.42%	0.00%	0.00%
2	1.362982	72.96%	84.18%	0.00%	67.42%	76.84%	12.27%
3	1.197353	82.08%	84.18%	0.00%	67.42%	85.30%	82.51%
4	0.484881	82.08%	93.39%	0.00%	67.57%	85.30%	82.51%
5	0.452965	82.08%	94.32%	0.00%	67.64%	85.30%	82.51%

Mode	POSISI 5C						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.542962	0.05%	83.53%	0.00%	66.99%	0.06%	1.08%
2	1.364414	71.70%	83.77%	0.00%	67.16%	75.00%	14.45%
3	1.208157	82.07%	84.20%	0.00%	67.42%	84.65%	82.62%
4	0.484216	82.08%	93.46%	0.00%	67.58%	84.65%	82.64%
5	0.454138	82.32%	94.29%	0.00%	67.63%	84.65%	82.65%

Mode	POSISI 5D						
	Tn	SUM UX	SUM UY	SUM UZ	SUM RX	SUM RY	SUM RZ
1	1.54256	0.00%	83.78%	0.00%	68.88%	0.00%	0.79%
2	1.343823	81.99%	83.78%	0.00%	68.88%	84.64%	0.79%
3	1.171314	81.99%	84.20%	0.00%	69.12%	84.64%	82.15%
4	0.483731	81.99%	93.73%	0.00%	69.30%	84.64%	82.21%
5	0.457382	83.04%	93.73%	0.00%	69.30%	84.65%	82.21%

LAMPIRAN 12**LENDUTAN MAKSIMUM PUSAT DENAH ARAH X SETIAP VARIASI**

No	Variabel	Variasi	Lendutan Max Arah X (mm)				
			Lt. 1	Lt. 2	Lt. 3	Lt. 4	Lt. 5
1	Permodelan Vaultroom Posisi 3C	Portal Biasa	46.944	125.965	203.107	264.455	302.496
		Portal + Beban VR	48.692	129.292	206.350	267.284	304.835
		Portal + VR kaku	57.027	132.414	162.651	203.976	234.953
		Portal + VR Box	60.328	148.098	210.497	269.168	308.897
		Portal + VR Box + Peredam	48.175	128.357	204.116	264.015	301.367
2	Permodelan Vaultroom Posisi 5C	Portal Biasa	46.944	125.965	203.107	264.455	302.496
		Portal + Beban VR	48.692	129.292	206.350	267.284	304.835
		Portal + VR kaku	57.027	132.414	162.651	203.976	234.953
		Portal + VR Box	48.721	131.737	212.750	272.508	299.516
		Portal + VR Box + Peredam	48.175	128.357	204.116	264.015	301.367
3	Kekakuan Material Elastis	4000 kN/m	47.243	126.130	202.230	262.748	300.346
		6000 kN/m	47.651	127.117	202.569	262.824	300.631
		8000 kN/m	48.175	128.357	204.116	264.015	301.367
		10000 kN/m	48.511	129.174	205.241	264.932	301.865
		12000 kN/m	48.793	129.795	206.045	265.614	302.294
4	Koefisien Friksi	0.05	48.220	128.420	204.120	263.990	301.320
		0.1	48.190	128.370	204.100	264.000	301.360
		0.15	48.170	128.360	204.120	264.020	301.370
		0.2	48.160	128.340	204.130	264.040	301.390
		0.25	48.170	128.360	204.180	264.060	301.360
		0.9	48.285	128.595	204.348	263.809	300.739
5	Bukaan (open)	2 x 10 mm	48.390	128.720	204.750	264.660	301.740
		2 x 20 mm	48.350	128.670	204.500	264.280	301.340
		2 x 30 mm	48.170	128.360	204.120	264.020	301.370
		2 x 40 mm	47.700	127.360	202.930	263.140	300.990
		2 x 50 mm	46.970	125.770	201.000	261.530	299.830

(lanjutan)

6	Pembebanan	El-centro	48.170	128.360	204.120	264.020	301.370
		Sin 0.5 Tn	20.530	54.380	88.140	117.120	136.480
		Sin 1 Tn	276.250	716.110	1110.02	1401.86	1572.40
		Sin 2 Tn	50.040	125.550	190.070	236.340	262.880
7	Posisi	2A	48.678	128.061	205.428	266.542	304.257
		2B	48.502	128.219	205.756	267.020	304.853
		2C	48.416	128.115	205.778	267.176	305.105
		2D	48.553	127.937	205.436	266.690	304.508
		3A	48.377	129.121	204.649	263.968	300.533
		3B	48.179	128.524	204.453	264.348	301.650
		3C	48.175	128.357	204.116	264.015	301.367
		3D	48.379	128.909	204.314	263.672	300.312
		4A	47.395	126.279	204.948	263.423	299.102
		4B	46.370	126.297	204.885	264.529	300.952
		4C	46.199	125.847	204.053	263.347	299.640
		4D	47.386	126.290	204.739	263.105	298.801
		5A	47.005	122.004	195.663	256.559	289.884
		5B	43.011	111.507	178.971	234.571	266.411
		5C	43.031	111.561	176.946	231.859	263.250
		5D	46.994	121.984	195.471	256.170	289.516

LAMPIRAN 13

LENDUTAN MAKSIMUM PUSAT DENAH ARAH Y SETIAP VARIASI

No	Variabel	Variasi	Lendutan Max Arah Y (mm)				
			Lt. 1	Lt. 2	Lt. 3	Lt. 4	Lt. 5
1	Permodelan Vaultroom Posisi 3C	Portal Biasa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Portal + Beban VR	0.251	0.489	0.579	0.625	0.801
		Portal + VR kaku	16.958	34.699	33.721	41.517	47.713
		Portal + VR Box	15.342	32.224	34.902	43.181	48.959
		Portal + VR Box + Peredam	0.309	0.661	0.984	1.236	1.417
2	Permodelan Vaultroom Posisi 5C	Portal Biasa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Portal + Beban VR	0.251	0.489	0.579	0.625	0.801
		Portal + VR kaku	16.958	34.699	33.721	41.517	47.713
		Portal + VR Box	2.521	5.819	8.381	9.900	10.397
		Portal + VR Box + Peredam	0.309	0.661	0.984	1.236	1.417
3	Kekakuan Material Elastis	4000 kN/m	0.463	0.992	1.490	1.884	2.138
		6000 kN/m	0.422	0.881	1.195	1.331	1.469
		8000 kN/m	0.309	0.661	0.984	1.236	1.417
		10000 kN/m	0.255	0.522	0.759	0.914	1.011
		12000 kN/m	0.221	0.448	0.660	0.805	0.884
4	Koefisien Friksi	0.05	0.240	0.490	0.680	0.800	0.890
		0.1	0.320	0.650	0.880	1.020	1.150
		0.15	0.310	0.660	0.980	1.240	1.420
		0.2	0.410	0.880	1.270	1.600	1.880
		0.25	0.460	0.940	1.270	1.450	1.660
		0.9	0.001	0.001	0.002	0.003	0.003
5	Bukaan (open)	2 x 10 mm	0.640	1.410	2.030	2.590	3.040
		2 x 20 mm	0.350	0.740	1.060	1.350	1.600
		2 x 30 mm	0.310	0.660	0.980	1.240	1.420
		2 x 40 mm	0.430	0.910	1.300	1.630	1.900
		2 x 50 mm	0.440	0.920	1.330	1.660	1.920

(lanjutan)

6	Pembebanan	El-centro	0.310	0.660	0.980	1.240	1.420
		Sin 0.5 Tn	0.180	0.380	0.520	0.690	0.830
		Sin 1 Tn	2.930	6.980	11.470	14.260	15.800
		Sin 2 Tn	0.070	0.150	0.190	0.210	0.260
7	Posisi	2A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		2B	0.031	0.052	0.038	0.029	0.055
		2C	0.030	0.070	0.077	0.091	0.113
		2D	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		3A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		3B	0.059	0.113	0.131	0.153	0.183
		3C	0.309	0.661	0.984	1.236	1.417
		3D	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		4A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		4B	0.165	0.378	0.536	0.703	0.837
		4C	3.655	8.538	12.716	16.016	17.893
		4D	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		5A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		5B	0.334	0.775	1.137	1.392	1.519
		5C	6.406	15.209	22.819	28.262	31.272
		5D	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

LAMPIRAN 14
ROTASI MAKSIMUM PUSAT DENAH ARAH Z SETIAP VARIASI

No	Variabel	Variasi	Rotasi Max Arah Z (radian)				
			Lt. 1	Lt. 2	Lt. 3	Lt. 4	Lt. 5
1	Permodelan Vaultroom Posisi 3C	Portal Biasa	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		Portal + Beban VR	0.00032	0.00073	0.00101	0.00123	0.00138
		Portal + VR kaku	0.00243	0.00561	0.00767	0.00961	0.01088
		Portal + VR Box	0.00233	0.00568	0.00848	0.01056	0.01176
		Portal + VR Box + Peredam	0.00080	0.00187	0.00264	0.00319	0.00352
2	Permodelan Vaultroom Posisi 5C	Portal Biasa	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		Portal + Beban VR	0.00032	0.00073	0.00101	0.00123	0.00138
		Portal + VR kaku	0.00243	0.00561	0.00767	0.00961	0.01088
		Portal + VR Box	0.00128	0.00321	0.00495	0.00606	0.00623
		Portal + VR Box + Peredam	0.00080	0.00187	0.00264	0.00319	0.00352
3	Kekakuan Material Elastis	4000 kN/m	0.00128	0.00308	0.00450	0.00550	0.00607
		6000 kN/m	0.00095	0.00224	0.00321	0.00391	0.00432
		8000 kN/m	0.00080	0.00187	0.00264	0.00319	0.00352
		10000 kN/m	0.00072	0.00168	0.00236	0.00290	0.00324
		12000 kN/m	0.00068	0.00157	0.00216	0.00269	0.00301
4	Koefisien Friksi	0.05	0.00082	0.00193	0.00273	0.00331	0.00365
		0.1	0.00081	0.00190	0.00268	0.00325	0.00358
		0.15	0.00080	0.00187	0.00264	0.00319	0.00352
		0.2	0.00078	0.00183	0.00258	0.00312	0.00344
		0.25	0.00077	0.00181	0.00255	0.00309	0.00342
		0.9	0.00077	0.00181	0.00255	0.00309	0.00342
5	Bukaan (open)	2 x 10 mm	0.00061	0.00144	0.00204	0.00247	0.00271
		2 x 20 mm	0.00071	0.00167	0.00236	0.00286	0.00315
		2 x 30 mm	0.00080	0.00187	0.00264	0.00319	0.00352
		2 x 40 mm	0.00087	0.00205	0.00288	0.00348	0.00384
		2 x 50 mm	0.00095	0.00223	0.00314	0.00381	0.00420

(lanjutan)

6	Pembebanan	El-centro	0.00080	0.00187	0.00264	0.00319	0.00352
		Sin 0.5 Tn	0.00032	0.00074	0.00102	0.00121	0.00135
		Sin 1 Tn	0.00347	0.00802	0.01109	0.01326	0.01447
		Sin 2 Tn	0.00034	0.00073	0.00105	0.00130	0.00143
7	Posisi	2A	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		2B	0.00016	0.00028	0.00039	0.00054	0.00063
		2C	0.00014	0.00026	0.00038	0.00049	0.00057
		2D	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		3A	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		3B	0.00082	0.00194	0.00275	0.00333	0.00366
		3C	0.00080	0.00187	0.00264	0.00319	0.00352
		3D	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		4A	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		4B	0.00166	0.00413	0.00632	0.00769	0.00843
		4C	0.00155	0.00387	0.00591	0.00719	0.00788
		4D	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		5A	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		5B	0.00215	0.00544	0.00856	0.01088	0.01204
		5C	0.00200	0.00505	0.00791	0.01003	0.01110
		5D	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

LAMPIRAN 15
DEFORMASI DAN GAYA MAKSIMUM DARI ELEMEN LINK ARAH X
DAN ARAH Y

No	Variabel	Variasi	Deformasi (mm)		Gaya (kN)	
			X	Y	X	Y
1	Permodelan Vaultroom Posisi 3C	Portal Biasa	-			
		Portal + Beban VR	-			
		Portal + VR kaku	-			
		Portal + VR Box	-			
		Portal + VR Box + Peredam	127.190	32.980	86.390	2.650
2	Permodelan Vaultroom Posisi 5C	Portal Biasa	-			
		Portal + Beban VR	-			
		Portal + VR kaku	-			
		Portal + VR Box	-			
		Portal + VR Box + Peredam	191.750	82.090	143.780	46.300
3	Kekakuan Material Elastis	4000 kN/m	298.131	36.921	119.168	3.076
		6000 kN/m	170.742	37.380	93.828	4.920
		8000 kN/m	127.193	32.982	86.394	2.650
		10000 kN/m	109.745	33.676	88.605	4.084
		12000 kN/m	98.022	32.758	90.696	3.677
4	Koefisien Friksi	0.05	133.692	33.321	92.171	2.952
		0.1	129.935	33.988	88.831	3.545
		0.15	127.193	32.982	86.394	2.650
		0.2	124.491	35.976	83.992	5.312
		0.25	122.096	35.071	81.863	4.508
		0.9	97.532	48.909	60.029	16.808
5	Bukaan (open)	2 x 10 mm	89.176	19.551	70.379	8.490
		2 x 20 mm	111.502	24.808	81.335	4.274
		2 x 30 mm	127.193	32.982	86.394	2.650
		2 x 40 mm	146.148	46.774	94.354	6.021
		2 x 50 mm	164.340	56.021	101.635	5.352

(lanjutan)

6	Pembebanan	El-centro	127.193	32.982	86.394	2.650
		Sin 0.5 Tn	82.677	32.806	46.824	2.494
		Sin 1 Tn	454.945	66.655	377.729	32.582
		Sin 2 Tn	138.230	30.645	96.205	0.574
7	Posisi	2A	127.780	0.000	86.910	0.000
		2B	130.260	8.810	89.120	0.000
		2C	130.330	7.950	89.180	0.000
		2D	128.100	0.000	87.200	0.000
		3A	135.550	0.010	93.820	0.000
		3B	126.840	30.740	86.080	0.660
		3C	127.190	32.980	86.390	2.650
		3D	135.840	0.000	94.080	0.000
		4A	184.020	0.000	136.910	0.000
		4B	169.490	32.240	123.990	1.990
		4C	170.270	67.740	124.680	33.550
		4D	184.650	0.000	137.460	0.000
		5A	231.390	0.020	179.020	0.000
		5B	192.680	31.110	144.610	0.990
		5C	191.750	82.090	143.780	46.300
		5D	232.230	0.000	179.760	0.000

LAMPIRAN 16
REAKSI DASAR MAKSIMUM DARI SETIAP VARIASI

No	Variabel	Variasi	Reaksi Dasar Maksimum				
			Geser X	Geser Y	Momen X	Momen Y	Torsi Z
1	Permodelan Vaultroom Posisi 3C	Portal Biasa	10239.45	0.00	0.00	161789.28	0.00
		Portal + Beban VR	10712.95	40.20	290.24	164662.47	10009.51
		Portal + VR kaku	13587.29	2560.93	33330.13	184059.40	75185.98
		Portal + VR Box	13928.31	2302.81	30472.26	199891.53	69406.71
		Portal + VR Box + Peredam	10515.07	46.47	2099.05	166121.30	24331.92
2	Permodelan Vaultroom Posisi 5C	Portal Biasa	10239.45	0.00	0.00	161789.28	0.00
		Portal + Beban VR	10580.50	387.38	5334.50	170473.64	45119.73
		Portal + VR kaku	10647.21	408.53	5121.84	169680.20	36939.92
		Portal + VR Box	10646.49	371.69	4645.89	170637.66	37549.63
		Portal + VR Box + Peredam	9676.76	931.35	13836.12	142285.93	58090.75
3	Kekakuan Material Elastis	4000 kN/m	10337.08	69.68	2275.77	162782.01	38222.31
		6000 kN/m	10391.01	65.33	2144.56	164829.95	28675.29
		8000 kN/m	10515.07	46.47	2099.05	166121.30	24331.92
		10000 kN/m	10592.87	39.66	2507.90	166344.20	22100.32
		12000 kN/m	10664.21	34.75	2994.98	166428.10	20979.07
4	Koefisien Friksi	0.05	10529.71	38.01	1906.86	166113.84	25132.76
		0.1	10519.53	50.42	2011.08	166116.23	24718.48
		0.15	10515.07	46.47	2099.05	166121.30	24331.92
		0.2	10510.78	63.62	2182.92	166132.18	23922.99
		0.25	10511.00	71.15	2252.78	166117.72	23604.04
		0.9	10536.43	192.09	3664.70	166122.28	20132.38
5	Bukaan (open)	2 x 10 mm	10595.59	97.24	2097.15	165179.40	18744.11
		2 x 20 mm	10569.85	53.03	1753.22	165662.29	21765.78
		2 x 30 mm	10515.07	46.47	2099.05	166121.30	24331.92
		2 x 40 mm	10387.79	68.18	2344.76	165755.51	26701.21
		2 x 50 mm	10197.83	69.00	2565.34	164435.39	29030.04

(lanjutan)

6	Pembebanan	El-centro	10515.07	46.47	2099.05	166121.30	24331.92
		Sin 0.5 Tn	4674.52	27.45	1925.44	72656.99	9963.34
		Sin 1 Tn	61785.73	434.25	9135.66	872987.30	106577.63
		Sin 2 Tn	11572.98	11.54	1453.38	147834.79	11313.34
7	Posisi	2A	10981.87	0.00	0.00	165756.02	0.00
		2B	10965.51	4.35	2289.66	165763.17	9038.30
		2C	10974.93	5.49	2412.14	166055.16	8898.12
		2D	10994.57	0.00	0.00	166165.57	0.00
		3A	10546.66	0.01	0.05	164886.15	0.02
		3B	10512.63	9.50	2134.00	165155.30	25053.81
		3C	10515.07	46.47	2099.05	166121.30	24331.92
		3D	10549.55	0.00	0.00	165835.91	0.00
		4A	10693.66	0.00	0.00	163597.69	0.00
		4B	10228.94	24.63	2828.01	164116.11	48341.22
		4C	10229.10	536.47	7391.84	163422.00	45252.02
		4D	10691.04	0.00	0.00	164334.19	0.00
		5A	10553.27	0.01	0.14	158357.42	0.04
		5B	9673.21	49.18	2859.96	144684.50	62288.15
		5C	9676.76	931.35	13836.12	142285.93	58090.75
		5D	10549.20	0.00	0.00	157397.77	0.00