



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RESPON SEISMIK DARI DUA STRUKTUR TUBULAR KAKU  
DAN FLEKSIBEL YANG DIHUBUNGKAN DENGAN  
PEREDAM VISKOELASTIS**

**SKRIPSI**

**GARLAN RAMADHAN  
0606072276**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RESPON SEISMIK DARI DUA STRUKTUR TUBULAR KAKU  
DAN FLEKSIBEL YANG DIHUBUNGAN DENGAN  
PEREDAM VISKOELASTIS**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik**

**GARLAN RAMADHAN  
0606072276**

**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 : Garlan Ramadhan**

**NPM : 0606072276**

**Tanda Tangan : .....**

**Tanggal : 1 Juli 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Garlan Ramadhan  
NPM : 0606072276  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Respon Seismik dari Dua Struktur Tubular Kaku dan Fleksibel yang Dihubungkan dengan Peredam Viskoelastis

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 Irwan Rastandi (.....)

Penguji : Mulia Orientilize S.T., M.Eng (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Juli 2010



## KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya lah, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, 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 yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan dan penyempurnaan skripsi ini;
- (2) Bapak Eddy Yusuf dan Ibu Suzanna Farianty Yodhian, kedua orangtua saya yang terus memberikan dukungan moral dan materiil;
- (3) Gilang Ramadhan dan Gressa Ramadhanty, kedua saudara dan saudari saya yang juga selalu memberikan dukungan kepada saya;
- (4) Batta Septo Damanik, Andini Pramudita, dan Stephen Valentino, teman satu bimbingan dan seperjuangan dalam menyelesaikan dalam skripsi ini. Dukungan, diskusi, pengetahuan, dan bantuan kalian sangat berarti dalam menyelesaikan skripsi ini;
- (5) Feri Frastiansyah, atas bantuan *software converter* yang digunakan untuk data *input* Resmat;
- (6) Diyah Utama Putri, atas kesabarannya dalam membangunkan saya tiap pagi serta dukungan yang diberikan sampai skripsi ini selesai;
- (7) Teman – teman seangkatan Sipil dan Lingkungan 2006 yang tidak dapat disebutkan semuanya; terima kasih atas dukungan dan pengetahuannya.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 1 Juli 2010

Penulis

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

---

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

Nama : Garlan Ramadhan  
NPM : 0606072276  
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 Dua Struktur Tubular Kaku dan Fleksibel yang  
Dihubungkan dengan Peredam Viskoelastis**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 1 Juli 2010  
Yang menyatakan

(Garlan Ramadhan)

## ABSTRAK

Nama : Garlan Ramadhan  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul : Respon Seismik dari Dua Struktur Tubular Kaku dan Fleksibel yang Dihubungkan dengan Peredam Viskoelastis

*Chimney* merupakan struktur tubular yang terdiri dari *windshield* (struktur beton) dan *inner flue* (struktur baja). Karena bentuknya yang tinggi dan langsing, *chimney* sangat rentan terhadap beban lateral. Tantangannya adalah bagaimana mendesain *chimney* yang tidak memakan biaya besar, namun tetap efektif dalam menahan gaya gempa. Penggunaan *elastomeric rubber* sebagai sambungan antara kedua struktur tubular diharapkan mampu mereduksi respon seismik struktur dengan menggeser periode getar alami sehingga semakin menjauhi periode dominan gempa. Hasil studi menunjukkan penggunaan *elastomeric rubber* dengan kekakuan 6 *KN/mm* memberikan respon seismik yang paling baik. Namun kekakuan yang lebih kecil dan perubahan orientasi letak peredam perlu dilakukan untuk mendapatkan respon seismik struktur yang lebih baik lagi.

Kata kunci:

*Chimney*, *windshield*, *inner flue*, peredam viskoelastis, *elastomeric rubber*, respon seismik.

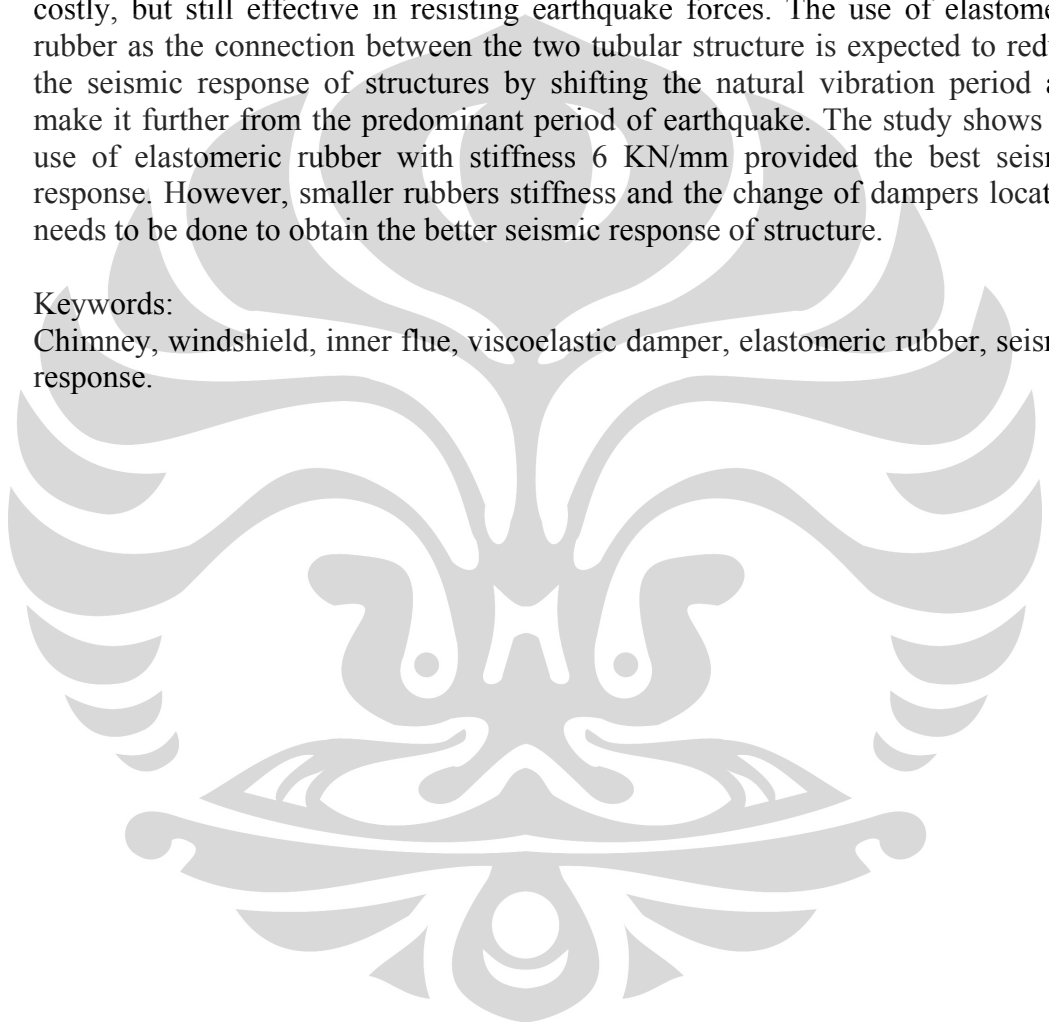
## ABSTRACT

Name : Garlan Ramadhan  
Study Program: Civil Engineering  
Title : Seismic Response of Two Rigid and Flexible Tubular Structures  
Connected by Viscoelastic Dampers

Chimney is a tubular structure consisting of windshield (concrete structure) and inner flue (steel structure). Because of its tall and slender figure, chimney highly vulnerable to lateral loads. The challenge is how to design chimney that is not costly, but still effective in resisting earthquake forces. The use of elastomeric rubber as the connection between the two tubular structure is expected to reduce the seismic response of structures by shifting the natural vibration period and make it further from the predominant period of earthquake. The study shows the use of elastomeric rubber with stiffness 6 KN/mm provided the best seismic response. However, smaller rubbers stiffness and the change of dampers location needs to be done to obtain the better seismic response of structure.

**Keywords:**

Chimney, windshield, inner flue, viscoelastic damper, elastomeric rubber, seismic response.



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
DAFTAR SIMBOL.....	xviii
<b>1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Pembatasan Masalah.....	2
1.5 Hipotesis.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
<b>2. DASAR TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 Teori Dinamika Struktur.....	5
2.1.1 Persamaan Dinamik.....	5
2.1.2 Analisis Riwayat Waktu.....	5
2.1.3 Analisis Respons Spektrum.....	8
2.1.4 Analisis Riwayat Waktu Nonlinier.....	9
2.2 Teori Gempa Menurut SNI – 1726 – 2003.....	11
2.3 Data Gempa El Centro.....	15
2.4 Teori Peredam Viskoelastis.....	16
2.4.1 Permodelan Linier Umum.....	17
2.4.2 Permodelan Modulus Kompleks.....	18
2.4.3 <i>Elastomeric Rubber</i> Sebagai Peredam Viskoelastis.....	20
2.5 Teori Elemen Hingga.....	23
2.5.1 Teori Elemen Hingga untuk Portal / <i>Frame</i> .....	23
2.5.2 Teori Elemen Hingga Untuk Cangkang / <i>Shell</i> .....	24
<b>3. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>27</b>
3.1 Prosedur Analisis.....	27
3.2 Geometri dan Properti Struktur.....	29
3.2.1 Dimensi Struktur.....	29
3.2.2 Properti Material.....	30
3.2.3 Pembebanan.....	31
3.3 Modelisasi Struktur.....	32
3.3.1 Permodelan <i>Chimney</i> Sebagai Sistem Struktur <i>Frame</i> .....	33
3.3.2 Permodelan <i>Chimney</i> Sebagai Sistem Struktur <i>Shell</i> .....	35

3.4	Modelisasi Sambungan antara <i>Windshield</i> dan <i>Inner Flue</i> .....	38
3.4.1	Baja D50 .....	38
3.4.2	<i>Elastomeric Bearing Pad</i> .....	38
3.5	Parameter Lain yang Divariasikan.....	40
3.5.1	Variasi Fungsi Gempa .....	40
3.5.2	Variasi Redaman.....	45
3.5.3	Variasi Lain .....	46
<b>4.</b>	<b>HASIL SIMULASI DAN ANALISIS .....</b>	<b>48</b>
4.1	Metode Pengambilan Data.....	48
4.1.1	Gaya Geser Dasar <i>Inner Flue</i> dan <i>Windshield</i> .....	48
4.1.2	Respon Tingkat <i>Inner Flue</i> dan <i>Windshield</i> .....	50
4.1.3	Perpindahan Puncak Struktur <i>Chimney</i> .....	53
4.2	Analisis Hasil Simulasi.....	56
4.2.1	Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	56
4.2.1.1	Karakteristik Dinamik .....	56
4.2.1.2	Reaksi Dasar Struktur.....	58
4.2.1.3	Respon Tingkat Struktur .....	64
4.2.1.4	Respon Sambungan .....	73
4.2.1.5	Perpindahan Puncak.....	78
4.2.2	Variasi Fungsi Gempa .....	81
4.2.2.1	Reaksi Dasar Struktur.....	81
4.2.2.2	Reaksi Tingkat Struktur.....	84
4.2.2.3	Respon Sambungan .....	85
4.2.2.4	Perpindahan Puncak .....	87
4.2.3	Variasi Redaman Sambungan <i>Elastomeric Rubber</i> .....	88
<b>5.</b>	<b>PENUTUP.....</b>	<b>92</b>
5.1	Kesimpulan .....	92
5.2	Saran .....	94
	<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>95</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Wilayah Gempa Indonesia dengan Percepatan Puncak Batuan Besar dengan Periode Ulang 500 tahun .....	11
Gambar 2. 2 Respons Spektrum Gempa Rencana .....	12
Gambar 2. 3 Diagram beban-simpangan (diagram $V-\delta$ ) struktur gedung.....	14
Gambar 2. 4 Data Riwayat Waktu Gempa El Centro East West .....	16
Gambar 2. 5 Konfigurasi Tipikal Peredam Viskoelastis.....	17
Gambar 2. 6 Maxwell Model .....	18
Gambar 2. 7 Kelvin – Voigt Model .....	18
Gambar 2. 8 Bantalan Karet <i>Elastomeric</i> dan Contoh Penggunaannya pada Jembatan .....	20
Gambar 2. 9 Elemen Portal Bidang pada Sumbu Lokal $x-y$ .....	23
Gambar 2. 10 Elemen Cangkang Persegi Panjang.....	25
Gambar 3. 1 Diagram Alir .....	28
Gambar 3. 2 Potongan Melintang Chimney ( $X=$ No Platform).....	30
Gambar 3. 3 Platform pada Modelisasi <i>Chimney</i> Sebagai Frame.....	34
Gambar 3. 4 Modelisasi Struktur <i>Chimney</i> Sebagai <i>Frame</i> .....	34
Gambar 3. 5 Penempatan <i>Constraint</i> pada Model .....	36
Gambar 3. 6 Modelisasi Struktur <i>Chimney</i> Sebagai <i>Shell</i> .....	37
Gambar 3. 7 Detail Sambungan Baja D50 .....	38
Gambar 3. 8 Model Matematis <i>Link</i> .....	39
Gambar 3. 9 Detail Sambungan <i>Link</i> .....	39
Gambar 3. 10 Respons Spektrum Asli Gempa ELEW .....	40
Gambar 3. 11 Respons Spektrum El Centro <i>East - West</i> yang telah Dimodifikasi .....	41

Gambar 3. 12 Data Riwayat Waktu El Centro <i>East West</i> yang telah Dimodifikasi .....	41
Gambar 3. 13 Data Riwayat Waktu $a\sin 0.5Tg$ ( $a= 0.3g$ ) .....	42
Gambar 3. 14 Data Riwayat Waktu $a\sin Tg$ ( $a= 0.3g$ ) .....	43
Gambar 3. 15 Data Riwayat Waktu $a\sin 2Tg$ ( $a= 0.3g$ ) .....	43
Gambar 3. 16 Data Gempa Sinusoidal Berupa Respons Spektrum ( $a= 0.3g$ ) .....	44
Gambar 3. 17 Grafik Percepatan Spektrum Rencana .....	45
Gambar 4. 1 (a) Gaya Geser Dasar <i>Inner Flue</i> dan <i>Windshield</i> ; (b) Sumbu Lokal dan Arah Positif Komponen Gaya Geser dan Momen pada Elemen <i>Frame</i> .....	48
Gambar 4. 2 <i>Joint</i> dan Nomor <i>Joint</i> Struktur <i>Chimney</i> .....	49
Gambar 4. 3 Gaya Geser Tingkat pada <i>Windshield</i> .....	51
Gambar 4. 4 Tampak Sumbu Lokal Pada Permukaan <i>Windshield</i> .....	52
Gambar 4. 5 Sumbu Lokal dan Arah Positif Komponen Gaya Area Elemen Shell .....	52
Gambar 4. 6 Gaya Area yang Ditinjau .....	53
Gambar 4. 7 Titik Puncak <i>Inner Flue</i> (Hijau) dan <i>Windshield</i> (Merah) .....	54
Gambar 4. 8 Titik Puncak <i>Inner flue</i> dan <i>Windshield</i> yang Ditinjau .....	55
Gambar 4. 9 Periode Getar Alami - <i>Frame</i> .....	57
Gambar 4. 10 Periode Getar Alami - <i>Shell</i> .....	57
Gambar 4. 11 Gaya Geser Dasar Total Metode Riwayat Waktu (Gempa Maksimum) - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	59
Gambar 4. 12 Gaya Geser Dasar Total Metode Respons Spektrum (Gempa Nominal $R = 2,2$ ) - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	59
Gambar 4. 13 Momen Guling Total Metode Riwayat Waktu (Gempa Maksimum) - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	60
Gambar 4. 14 Momen Guling Total Metode Respons Spektrum (Gempa Nominal $R = 2,2$ ) - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	60

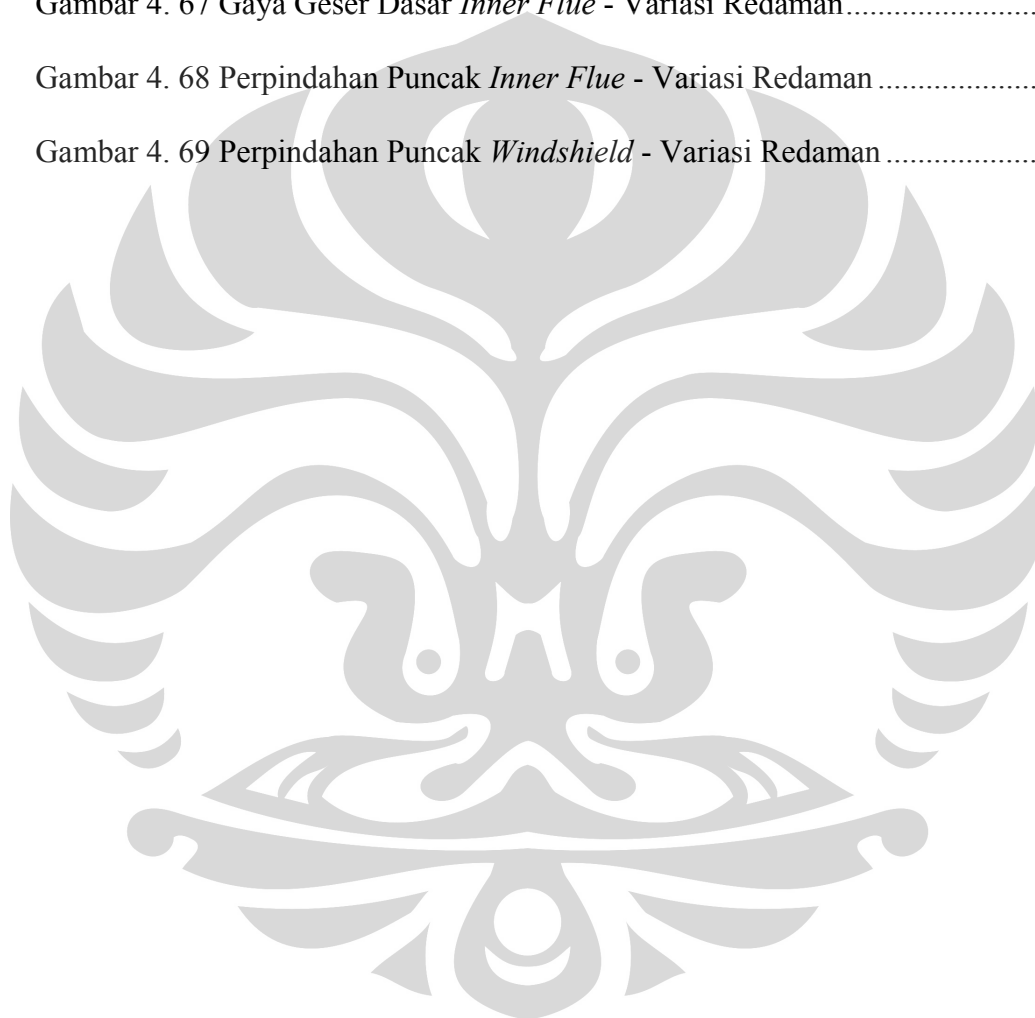


Gambar 4. 15 Gaya Geser Dasar <i>Inner Flue</i> Metode Riwayat Waktu (Gempa Maksimum) - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	62
Gambar 4. 16 Gaya Geser Dasar <i>Inner Flue</i> Metode Respons Spektrum (Gempa Nominal R = 2,2) - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	63
Gambar 4. 17 Momen Guling <i>Inner flue</i> dengan Sistem Struktur <i>Frame</i> - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	63
Gambar 4. 18 Gaya Geser Tingkat <i>Inner Flue</i> Metode Riwayat Waktu (Gempa Maksimum) - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	65
Gambar 4. 19 Gaya Geser Tingkat <i>Inner Flue</i> Metode Respons Spektrum (Gempa Nominal R = 2,2) - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	65
Gambar 4. 20 Gaya Geser Tingkat <i>Windshield</i> Metode Riwayat Waktu (Gempa Maksimum) - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	65
Gambar 4. 21 Gaya Geser Dasar <i>Windshield</i> Metode Respons Spektrum (Gempa Nominal R = 2,2) - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	65
Gambar 4. 22 Gaya Langsung Membran <i>Inner Flue</i> (F11) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	67
Gambar 4. 23 Gaya Langsung Membran <i>Inner Flue</i> (F22) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	67
Gambar 4. 24 Gaya Geser Membran <i>Inner Flue</i> (F12) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	68
Gambar 4. 25 Momen Tekuk Pelat <i>Inner Flue</i> (M11) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	68
Gambar 4. 26 Momen Tekuk Pelat <i>Inner Flue</i> (M22) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	68
Gambar 4. 27 Gaya Geser Transversal <i>Inner Flue</i> (V13) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	69
Gambar 4. 28 Gaya Geser Transversal <i>Inner Flue</i> (V23) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	69
Gambar 4. 29 Gaya Langsung Membran <i>Windshield</i> (F11) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	70
Gambar 4. 30 Gaya Langsung Membran <i>Windshield</i> (F22) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	70

Gambar 4. 31 Gaya Geser Membran <i>Windshield</i> (F12) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	71
Gambar 4. 32 Momen Tekuk Pelat <i>Windshield</i> (M11) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	71
Gambar 4. 33 Momen Tekuk Pelat <i>Windshield</i> (M22) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	71
Gambar 4. 34 Gaya Geser Transversal <i>Windshield</i> (V13) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	72
Gambar 4. 35 Gaya Geser Transversal <i>Windshield</i> (V23) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	72
Gambar 4. 36 Deformasi <i>Elastomeric Rubber</i> Model Struktur <i>Frame</i> Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan .....	73
Gambar 4. 37 Deformasi <i>Elastomeric Rubber</i> Model Struktur <i>Frame</i> Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan .....	73
Gambar 4. 38 Deformasi <i>Elastomeric Rubber</i> Model Struktur <i>Shell</i> Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan .....	74
Gambar 4. 39 Deformasi <i>Elastomeric Rubber</i> Model Struktur <i>Shell</i> Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan .....	74
Gambar 4. 40 Gaya Aksial Sambungan Model Struktur <i>Frame</i> Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	75
Gambar 4. 41 Gaya Aksial Sambungan Model Struktur <i>Frame</i> Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	75
Gambar 4. 42 Gaya Aksial Sambungan Model Struktur <i>Shell</i> Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	75
Gambar 4. 43 Gaya Aksial Sambungan Model Struktur <i>Shell</i> Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	75
Gambar 4. 44 Gaya Aksial Terhadap Deformasi <i>Elastomeric Rubber</i> 2-1 Model <i>Frame</i> - Variasi Kekakuan .....	76
Gambar 4. 45 Gaya Aksial Terhadap Deformasi <i>Elastomeric Rubber</i> 2-1 Model <i>Shell</i> - Variasi Kekakuan .....	76

Gambar 4. 46 Gaya Aksial Elemen <i>Gap</i> dan <i>Hook</i> Model Struktur <i>Frame</i> Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan .....	77
Gambar 4. 47 Gaya Aksial Elemen <i>Gap</i> dan <i>Hook</i> Model Struktur <i>Shell</i> Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan .....	78
Gambar 4. 48 Perpindahan Puncak <i>Inner Flue</i> Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	78
Gambar 4. 49 Perpindahan Puncak <i>Inner Flue</i> Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	79
Gambar 4. 50 Perpindahan Puncak <i>Windshield</i> Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	80
Gambar 4. 51 Perpindahan Puncak <i>Windshield</i> Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan <i>Link</i> .....	80
Gambar 4. 52 Gaya Geser Dasar Total <i>Elastomeric Rubber</i> Model <i>Frame</i> - Variasi Fungsi Gempa .....	82
Gambar 4. 53 Gaya Geser Dasar Total - Variasi Fungsi Gempa ( $a = 0,3g$ ) .....	82
Gambar 4. 54 Momen Guling Total - Variasi Fungsi Gempa ( $a = 0,3g$ ) .....	83
Gambar 4. 55 Gaya Geser Dasar <i>Inner Flue</i> - Variasi Fungsi Gempa ( $a = 0,3g$ ) .....	83
Gambar 4. 56 Momen Guling <i>Inner Flue</i> - Variasi Fungsi Gempa ( $a = 0,3g$ ) ....	84
Gambar 4. 57 Gaya Geser Tingkat <i>Inner Flue Elastomeric Rubber</i> - Variasi Fungsi Gempa ( $a = 0,3g$ ) .....	85
Gambar 4. 58 Gaya Geser Tingkat <i>Windshield Elastomeric Rubber</i> - Variasi Fungsi Gempa ( $a = 0,3g$ ) .....	85
Gambar 4. 59 Gaya Aksial Sambungan Baja D50 - Variasi Fungsi Gempa ( $a = 0,3g$ ) .....	86
Gambar 4. 60 Gaya Aksial Sambungan <i>Elastomeric Rubber</i> - Variasi Fungsi Gempa ( $a = 0,3g$ ) .....	86
Gambar 4. 61 Gaya Aksial <i>Link</i> 3-1 - Fungsi Gempa $a\sin Tg$ .....	87
Gambar 4. 62 Gaya Aksial Elemen <i>Gap</i> dan <i>Hook</i> - Variasi Fungsi Gempa ( $a = 0,3g$ ) .....	87

Gambar 4. 63 Perpindahan Puncak <i>Inner Flue</i> - Variasi Fungsi Gempa ( $a = 0,3g$ ) .....	88
Gambar 4. 64 Perpindahan Puncak <i>Windshield</i> - Variasi Fungsi Gempa ( $a = 0,3g$ ) .....	88
Gambar 4. 65 Gaya Geser Dasar Total - Variasi Redaman .....	89
Gambar 4. 66 Momen Guling Total - Variasi Redaman.....	90
Gambar 4. 67 Gaya Geser Dasar <i>Inner Flue</i> - Variasi Redaman.....	90
Gambar 4. 68 Perpindahan Puncak <i>Inner Flue</i> - Variasi Redaman.....	91
Gambar 4. 69 Perpindahan Puncak <i>Windshield</i> - Variasi Redaman .....	91



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Faktor Keutamaan I.....	12
Tabel 2. 2 Faktor daktilitas maksimum, faktor reduksi gempa maksimum, faktor tahanan lebih struktur dan faktor tahanan lebih total beberapa jenis sistem dan subsistem struktur gedung .....	13
Tabel 2. 3 Sifat dari Bantalan <i>Elastomeric</i> .....	21
Tabel 3. 1 Data Dimensi Struktur <i>Windshield</i> .....	29
Tabel 3. 2 Data Dimensi Struktur <i>Inner Flues</i> .....	29
Tabel 3. 3 Properti Material Karet Alam .....	31
Tabel 3. 4 Beban Mati pada Platform – Permodelan Frame .....	35
Tabel 3. 5 Beban Hidup pada Platform - Permodelan Frame .....	35
Tabel 3. 6 Perhitungan Percepatan Spektrum Rencana .....	44
Tabel 3. 7 Tabel Variasi <i>Frame</i> - Metode Riwayat Waktu.....	46
Tabel 3. 8 Tabel Variasi <i>Frame</i> - Metode Respons Spektrum.....	46
Tabel 3. 9 Tabel Variasi Shell - Metode Riwayat Waktu .....	47
Tabel 3. 10 Tabel Variasi Shell - Metode Respons Spektrum .....	47
Tabel 4. 1 Persentase Pengurangan Reaksi Dasar Penggunaan Sambungan Elastomeric Rubber $K=6$ KN/mm daripada Baja D50 .....	61
Tabel 4. 2 Gaya Area <i>Windshield Platform</i> 1 .....	73

## DAFTAR LAMPIRAN

**Lampiran A : Tampak dan Potongan Chimney**

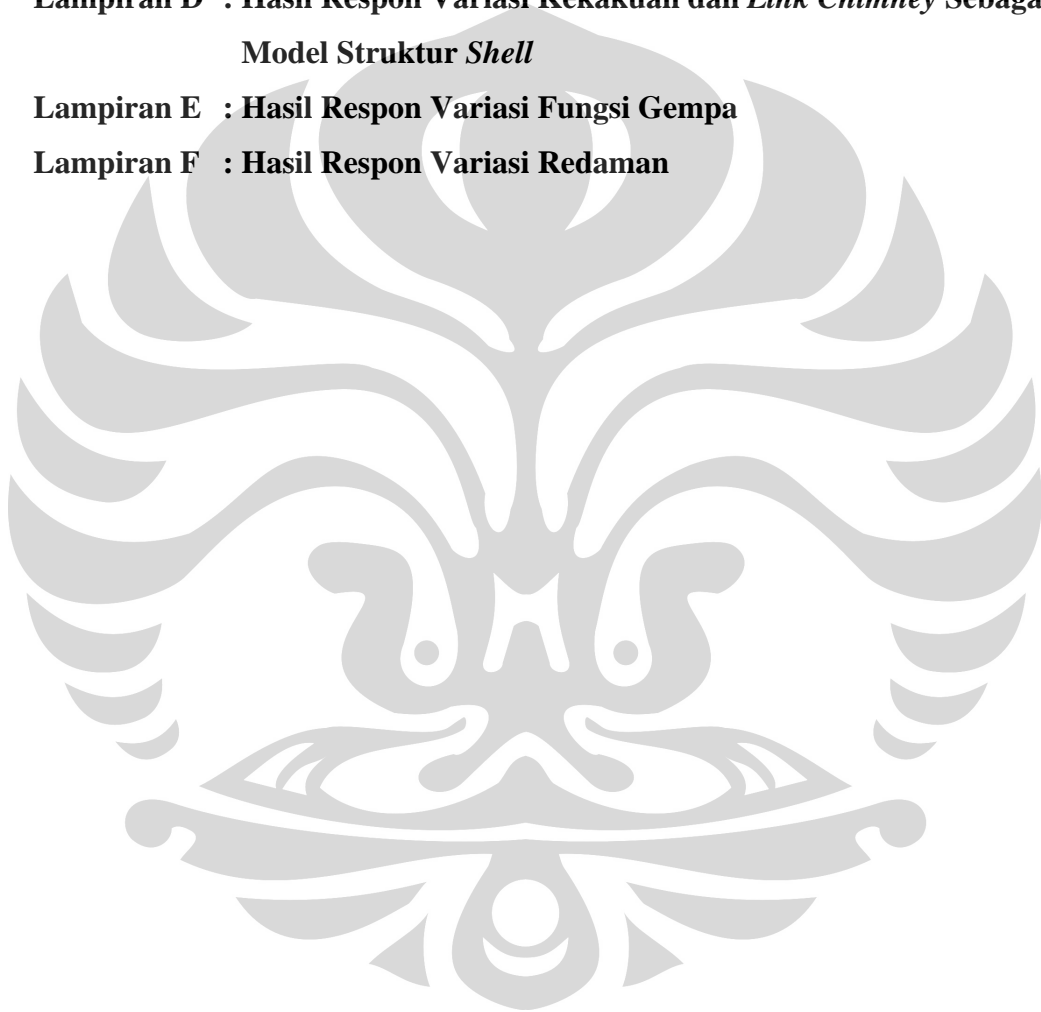
**Lampiran B : Massa Inner Flue Per Platform dan Redaman Karet**

**Lampiran C : Hasil Respon Variasi Kekakuan dan *Link Chimney* Sebagai Model Struktur *Frame***

**Lampiran D : Hasil Respon Variasi Kekakuan dan *Link Chimney* Sebagai Model Struktur *Shell***

**Lampiran E : Hasil Respon Variasi Fungsi Gempa**

**Lampiran F : Hasil Respon Variasi Redaman**



## DAFTAR SIMBOL

ABS MAX	Absolut maksimum
$A_n$	Konstanta integrasi yang dapat dihitung berdasarkan kondisi awal
$B_n$	Konstanta integrasi yang dapat dihitung berdasarkan kondisi awal
$[C]$	Matriks redaman
$C_l$	Nilai faktor respons gempa yang didapat dari spektrum respons gempa rencana untuk waktu getar alami pertama.
$d_e$	Vektor perpindahan.
$E_c$	Modulus elastisitas beton
$E_s$	Modulus elastisitas baja
$f_c'$	Kuat tekan beton
$f_y$	Tegangan leleh
$f_u$	Tegangan putus
$G''$	Modulus kehilangan dari peredam viskoelastis
$G'$	Modulus penyimpanan dari peredam viskoelastis
$G_e$	Modulus karet pada peredam viskoelastis
$G_g$	Modulus gelas pada peredam viskoelastis
$\rho$	Massa jenis benda
$I$	Faktor keutamaan
$\{l\}$	Vektor pengaruh
$[K]$	Matriks kekakuan struktur
$[k]_{lokal}$	Matriks kekakuan secara lokal
$K_{vi}$	Kekakuan vertikal dari lapisan dalam <i>elastomeric rubber</i>
$K_{vs}$	Kekakuan vertikal yang disumbangkan oleh lembaran baja
$K_{vl}$	Kekakuan vertikal yang disumbangkan oleh <i>loading &amp; fixing plate</i>
$K_v$	Kekakuan vertikal <i>elastomeric rubber</i> total
$K_h$	Kekakuan horisontal <i>bearing</i>
$\lambda_n$	Nilai eigen
$[M]$	Matriks massa
$\eta_v$	Faktor kehilangan

$\{\phi_n\}$	Vektor fungsi bentuk yang tidak bervariasi terhadap waktu
$\{p_{eff}(t)\}$	Vektor gaya dinamik
$\{p_i\}$	Vektor eksitasi gempa
$q_{n(t)}$	Koordinat modal ke-n yang bervariasi terhadap waktu
$R$	Faktor reduksi gempa berdasarkan daktilitas dan fungsi sistem struktur
$\{R_E\}$	Gaya luar yang bekerja pada persamaan getaran bebas tak teredam
RSP MAX	Nilai respon maksimum yang didapat dari analisa respons spektrum
$\{S\}$	Hasil perkalian antara matriks massa dan vektor pengaruh
$T_g$	Periode getar alami
$\{u\}$	Vektor lendutan struktur
$\{\ddot{u}\}$	Vektor percepatan struktur
$\{\dot{u}\}$	Vektor kecepatan struktur
$\ddot{u}_g$	Percepatan tanah akibat gempa.
$V$	Beban geser dasar nominal statik ekuivalen
$\omega_n$	Frekuensi modal



# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

*Chimney* merupakan struktur yang tinggi dan langsing yang memiliki fungsi yang penting, yaitu sebagai cerobong yang sengaja didesain sebagai penyalur gas hasil kerja industri. Terdiri dari *windshield* (struktur beton) dan *inner flue* (struktur baja), dimana *windshield* tersebut harus dirancang kuat terhadap beban lateral dari angin dan dapat menahan gaya geser dari gempa, dan struktur *inner flue* tidak boleh memiliki deformasi yang terlalu besar dan harus tahan terhadap panas dan korosi. Perbedaan temperatur di dalam dan luar struktur *windshield* pun tidak boleh melebihi  $\pm 15^{\circ}\text{C}$ .

Karena bentuk strukturnya yang tinggi dan langsing, struktur *chimney* biasanya sangat rentan terhadap gempa dan angin. Karena itu, struktur harus didesain secara hati – hati agar dapat menahan gaya gempa dan angin tersebut. Namun pada laporan penelitian ini, hanya akan ditekankan mengenai gaya gempa tersebut terhadap *chimney*.

Indonesia termasuk dalam wilayah yang rawan gempa, karena Indonesia terletak di pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng tektonik Hindia – Australia, lempeng Pasifik, dan lempeng Eurasia. Karena itu, perancangan struktur *Chimney* di Indonesia harus benar – benar didesain untuk tahan terhadap gempa pada daerah dengan percepatan muka tanah masing – masing menurut peta wilayah gempa Indonesia pada Standar Perencanaan Ketahanan Gempa yang dirancang oleh Dep. PU. Bila hal ini tidak ditaati, maka kerusakan bangunan akibat gempa dapat mengakibatkan kerusakan infrastruktur yang tidak kecil, terganggunya kegiatan usaha yang tidak sebentar, dan kehilangan nyawa manusia yang tidak sedikit.

Penggunaan peredam viskoelastis dapat diterapkan untuk menekan tingkat resiko kerusakan akibat gempa tersebut. Peredam viskoelastis adalah salah satu metode kontrol Gempa dengan alat, merupakan peredam yang dikerjakan dengan memberikan material - material dengan viskositas tertentu pada struktur bangunan sehingga dapat meningkatkan redaman agar gaya yang terdistribusi di sepanjang

struktur dapat tereduksi. Disini akan digunakan *elastomeric rubber* sebagai peredam viskoelastis tersebut.

## 1.2 Permasalahan

Perancangan struktur *chimney* harus benar – benar ditekankan pada *seismic design*. Perancangan *chimney* ini harus dilakukan secara efektif dan efisien agar tidak memakan biaya yang terlalu besar dikarenakan penggunaan material yang berlebihan. Penggunaan *elastomeric rubber* diharapkan dapat mereduksi efek geser yang diberikan oleh gempa tersebut sehingga struktur yang ada menjadi cukup kuat untuk menahan gempa yang terjadi.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menunjukkan perbandingan antara struktur *chimney* yang diberi kekakuan tambahan dengan adanya *platform* baja dan sambungan baja yang dipasang di antara *windshield* (struktur beton) dan *inner flue* (struktur baja) di dalam *chimney* tersebut, dan struktur *chimney* yang diberi peredam *elastomeric bearing pad* sebagai ganti sambungan baja tersebut. Akan dilakukan permodelan struktur dengan program SAP 2000 v11, dan analisis respon struktur akibat gaya gempa untuk mengetahui respon tiap – tiap variasi permodelan struktur dan sambungan terhadap berbagai jenis beban gempa rencana yang diberikan.

## 1.4 Pembatasan Masalah

Penelitian ini membatasi masalah dalam hal – hal sebagai berikut:

1. Bentuk struktur yang digunakan adalah gabungan dua struktur tubular kaku (*windshield* beton) dan fleksibel (*inner flue* baja).
2. Dilakukan dua permodelan struktur *chimney* dimana dianalisis sebagai struktur *frame* dan sebagai struktur *shell*.
3. Dilakukan variasi sambungan antara struktur *windshield* dan *inner flue* dengan menggunakan sambungan baja biasa dan menggunakan sambungan *elastomeric rubber*.

4. Struktur *Windshield* menggunakan material beton K350, sedangkan *inner flue*, *platform*, cacing pengaku, dan sambungan baja menggunakan material baja BJ41.
5. Analisis dilakukan terhadap beban dinamik gempa akibat gempa el – centro yang sudah dimodifikasi agar sesuai dengan gempa Indonesia; beban gempa sinusoidal dengan tiga variasi yaitu setengah, sama, dan dua kali dari periode bangunan; serta respons spektrum gempa rencana berdasarkan SNI – 1726 – 2002.
6. Beban lateral yang diperhitungkan hanya beban gempa.
7. Arah beban gempa yang diberikan hanya UX.
8. Tidak memperhitungkan faktor tulangan dan pondasi.
9. Wilayah gempa yang digunakan adalah wilayah 3 dengan jenis tanah lunak.
10. Penyelesaian analisis penelitian ini adalah dengan simulasi permodelan menggunakan program SAP 2000 v11.

### **1.5 Hipotesis**

Struktur *chimney* dengan menggunakan peredam viskoelastis dan kekakuan yang cocok akan dapat menerima gaya gempa lebih baik daripada struktur *chimney* yang tidak menggunakan peredam viskoelastis, yaitu menggunakan sambungan baja pada *platform* nya. Hal ini akan dilihat pada hasil respon seismik yang terjadi pada masing – masing *windshield* dan *inner flue*.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Laporan penelitian ini terdiri dari 5 bab, dan diharapkan dapat menjelaskan masalah respon seismik dari dua struktur tubular kaku dan fleksibel yang dihubungkan dengan peredam viskoelastis.

### **BAB 1** : Pendahuluan

Terdiri dari latar belakang, permasalahan, tujuan penelitian, pembatasan masalah, hipotesis, sistematika penulisan.

### **BAB 2** : Dasar Teori

Terdiri dari teori dinamika, teori gempa menurut SNI – 1726 – 2002, teori peredam viskoelastis, teori Elemen Hingga untuk *Frame* dan *Shell*.

### **BAB 3** : Metodologi Penelitian

Terdiri dari prosedur analisis, geometri dan properti struktur, modelisasi struktur, modelisasi sambungan antara *windshield* dan *inner flue*, serta parameter lain yang divariasikan.

### **BAB 4** : Hasil Simulasi dan Analisis

Berisi metode pengambilan data dan analisis hasil simulasi.

### **BAB 5** : Penutup

Terdiri dari kesimpulan dan saran.

## BAB 2 DASAR TEORI

### 2.1 Teori Dinamika Struktur

#### 2.1.1 Persamaan Dinamik

Persamaan umum dinamik untuk respon sistem MDOF (*Multi Degree of Freedom*) terhadap gempa, dapat dilihat sebagai berikut:

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

Dimana

$$\{p_{eff}(t)\} = -\{M\}\{l\}\ddot{u}_g(t) \quad (2.2)$$

$[M]$ ,  $[C]$ , dan  $[K]$  masing – masing merupakan matriks massa, redaman, dan kekakuan, dan  $\{l\}$  merupakan *influence vector* yaitu vektor yang nilainya dipengaruhi oleh pergerakan struktur akibat percepatan gempa yang terjadi.

Dari persamaan (2.1) tersebut, dapat kita ketahui bahwa beban gempa pada dasarnya adalah gaya inersia yang bekerja di pusat massa akibat percepatan tanah yang disebabkan oleh gempa. Struktur yang diberi beban dinamik dari luar memberi respon yaitu gaya inersia atau kelembaman (perkalian massa dan percepatan), gaya redaman (perkalian redaman dan kecepatan), dan gaya elastik (perkalian kekakuan dan perpindahan).

Penyelesaian persamaan tersebut diperlukan untuk mengetahui respon kinematik struktur yang berupa percepatan, kecepatan, dan lendutan. Dengan demikian, dibutuhkan modelisasi massa, redaman, dan kekakuan struktur untuk mengetahui matriks massa, redaman, dan kekakuannya.

#### 2.1.2 Analisis Riwayat Waktu

Penyelesaian problem dinamik yang linear dapat menggunakan metode superposisi modal. Penjelasan lebih lanjut dapat dilihat sebagai berikut:

- Karakteristik Modal

Persamaan dinamik biasa untuk MDOF, dapat dilihat sebagai berikut:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{R_E\} \quad (2.3)$$

Pada persamaan getaran bebas tak teredam, dengan gaya luar yang bekerja  $\{R_E\} = 0$  dan struktur tidak teredam ( $[C] = 0$ ), permasalahan struktur diformulasikan:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{0\} \quad (2.4)$$

Untuk menyelesaikan persamaan diatas, maka diambil persamaan lendutan sebagai berikut:

$$\{u_n(t)\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_n(t) \quad (2.5)$$

dimana:  $\{\phi_n\}$  = vektor fungsi bentuk yang tidak bervariasi terhadap waktu  
 $q_n(t)$  = Koordinat modal ke-n yang bervariasi terhadap waktu

Fungsi  $q_n(t)$  merupakan fungsi lendutan harmonik sederhana yaitu:

$$q_n(t) = A_n \cos(\omega_n t) + B_n \sin(\omega_n t) \quad (2.6)$$

dimana  $A_n$  dan  $B_n$  adalah konstanta integrasi yang dapat dihitung berdasarkan kondisi awal. Dengan mengkombinasikan persamaan (2.3) dan (2.4) serta mensubstitusikannya ke dalam persamaan (2.2), maka akan diperoleh persamaan berikut:

$$[k\phi_n - \omega_n^2 m\phi_n]\{q_n(t)\} = 0 \quad (2.7)$$

Solusi trivial dari persamaan diatas saat  $q_n(t) = 0$  akan menghasilkan  $u(t) = 0$  yang berarti tidak ada pergerakan dalam struktur. Solusi non trivial persamaan diatas adalah sebagai berikut:

$$([K] - \omega_n^2 [M])\{\phi_n\} = 0 \quad (2.8)$$

$$|[K] - \omega_n^2 [M]| = 0 \quad (2.9)$$

$$|[K] - \lambda_n [M]| = 0 \quad (2.10)$$

dimana  $\lambda_n = \omega_n^2$  merupakan *eigenvalue*.

Penyelesaian persamaan polinomial ini akan menghasilkan N akar real dan positif untuk masing-masing  $\lambda_n$ , karena matriks massa dan matriks kekakuan struktur merupakan matriks simetris dan definitif positif. Akar-akar real ini akan menghasilkan n buah frekuensi getar alami yang disebut sebagai nilai eigen dimana  $\lambda_1 \leq \lambda_2 \leq \lambda_3 \leq \dots \leq \lambda_n$ . Jika nilai eigen tersebut dimasukkan

ke dalam persamaan (2.5), maka akan diperoleh N buah vektor independen  $\phi_n$ , yang dikenal sebagai eigen vektor atau pola getar alami.

- **Persamaan Modal**

Persamaan modal, akan diturunkan dari persamaan kesetimbangan dinamik biasa (2.3) merupakan persamaan yang berhubungan (*coupled equation*) sehingga harus ditransformasikan menjadi persamaan yang tidak saling berhubungan (*uncoupled equation*) dengan mensubstitusikan persamaan (2.5) ke persamaan (2.3), sehingga:

$$\sum_{n=1}^N [M] \{\phi_n\} \ddot{q}_n + \sum_{n=1}^N [C] \{\phi_n\} \dot{q}_n + \sum_{n=1}^N [K] \{\phi_n\} q_n = \{R_E\} \quad (2.11)$$

Dengan mengalikan persamaan diatas dengan  $\{\phi_r\}^T$ , maka:

$$\sum_{n=1}^N \{\phi_r\}^T [M] \{\phi_n\} \ddot{q}_n + \sum_{n=1}^N \{\phi_r\}^T [C] \{\phi_n\} \dot{q}_n + \sum_{n=1}^N \{\phi_r\}^T [K] \{\phi_n\} q_n = \{\phi_r\}^T \{R_E\} \quad (2.12)$$

Karena sifat ortogonalitas, maka setiap elemen perkalian dimana  $r \neq n$  akan bernilai nol, misal  $\{\phi_r\}^T [M] \{\phi_n\} = 0$ . Maka yang ada nilainya hanya  $r = n$ , sehingga persamaan (2.12) dapat disederhanakan menjadi:

$$M_n \ddot{q}_n + C_n \dot{q}_n + K_n q_n = P_{n(t)} \quad (2.13)$$

dimana:

- $M_n = \{\phi_n\}^T [M] \{\phi_n\}$
- $C_n = \{\phi_n\}^T [C] \{\phi_n\}$
- $K_n = \{\phi_n\}^T [K] \{\phi_n\}$
- $P_{n(t)} = \{\phi_n\}^T \{R_E\}$

- **Respon Modal**

Untuk mencari respons dari tiap mode, harus dicari nilai  $\Gamma_n$ , yaitu koefisien yang menggunakan properti ortogonalitas dari tiap mode. Rumusnya adalah:

$$\Gamma_n = \frac{\{\phi_n\}^T \{S\}}{\{\phi_n\}^T [M] \{\phi_n\}} \quad (2.14)$$

Dimana  $\{S\}$  merupakan merupakan hasil perkalian antara matriks massa  $[M]$  dan vektor pengaruh atau *influence vector*  $\{t\}$  merupakan vektor yang nilainya dipengaruhi oleh pergerakan struktur akibat percepatan gempa yang terjadi. Rumus  $\{S\}$  dapat dilihat sebagai berikut:

$$\{S\} = [M] \cdot \{t\} \quad (2.15)$$

Setelah itu, kita dapat menghitung kontribusi modal untuk masing – masing mode dengan persamaan berikut:

$$S_n = \Gamma_n \cdot [M] \cdot \{\phi_n\} \quad (2.16)$$

Kemudian kita juga dapat menghitung respon perpindahan (*displacement*) struktur dari setiap mode:

$$\{u_n(t)\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} \Gamma_n D_n(t) \quad (2.17)$$

### 2.1.3 Analisis Respon Spektrum

Respon spektrum menggambarkan respons maksimum dari semua struktur linear dengan satu derajat kebebasan terhadap suatu percepatan gempa. Respon maksimum dapat digambarkan sebagai fungsi respons percepatan, kecepatan, dan peralihan terhadap periode atau frekuensi dari struktur SDOF. Setiap respon spektrum digambarkan dengan suatu rasio redaman, sehingga variasi respon dapat ditulis sebagai berikut:

$$u_0(T_n, \xi) \equiv \max |u(t, T_n, \xi)|$$

$$\dot{u}_0(T_n, \xi) \equiv \max |\dot{u}(t, T_n, \xi)|$$

$$\ddot{u}_0(T_n, \xi) \equiv \max |\ddot{u}(t, T_n, \xi)|$$

Menggunakan konsep superposisi modal untuk kasus linear seperti telah dijabarkan diatas, struktur MDOF dapat diuraikan menjadi n buah struktur SDOF seperti dalam persamaan (2.11), sehingga respon maksimum dari setiap mode dapat dianalisis secara terpisah. Untuk mendapatkan respon total dapat menggunakan dari salah satu metode berikut:



- Metode ABS (*Absolute Sum*)

Dengan menjumlahkan nilai mutlak dari setiap respon pola getar sehingga ini merupakan metode konservatif yang akan memberikan nilai respon lebih besar dibandingkan metode lainnya.

$$r_0 \approx \sum_{n=1}^N |r_{n0}| \quad (2.18)$$

- Metode SRSS (*Square Root of the Sum Squares*)

Termasuk metode yang sering dipakai. Memiliki hasil yang akan semakin mendekati hasil dari *Respon Time History Analysis* bila struktur mempunyai frekuensi natural yang teratur.

$$r_0 \approx \sqrt{\sum_{n=1}^N r_{n0}^2} \quad (2.19)$$

- Metode CQC (*Complete Quadratic Combination*)

Metode yang akan dipakai dalam laporan penelitian ini. Hasil dari metode ini adalah yang paling mendekati *Respon Time History Analysis*. Metode ini akan memberikan hasil yang optimal bila jarak antara Periode Natural ( $T_n$ ) saling berdekatan. Jika periode nya berjauhan, maka hasil dari total respons nya akan mirip dengan metode SRSS

$$r_0 \approx \sqrt{\left( \sum_{n=1}^N r_{n0}^2 + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq n}}^N \sum_{n=1}^N \rho_{in} r_{i0} r_{n0} \right)} \quad (2.20)$$

Dimana:

- $r_0$  = Respon maksimum total
- $r_{n0}$  = Respon maksimum mode ke n
- $r_{i0}$  = Respon maksimum mode ke i
- $\rho_{in} = \frac{8\xi^2(1+\beta_{in})\beta_{in}^{3/2}}{(1-\beta_{in}^2)+4\xi^2\beta_{in}(1+\beta_{in})^2}$  ;  $\beta_{in} = \frac{\omega_i}{\omega_n} = \frac{T_n}{T_i}$

#### 2.1.4 Analisis Riwayat Waktu Nonlinier

Solusi analitis untuk persamaan getaran tidak selalu berhasil apabila eksitasi atau gaya dinamik yang diberikan  $\{p_{\text{eff}}(t)\}$  bervariasi terhadap waktu atau jika ada salah satu parameter dalam sistem tidak linier. Masalah ini dapat

diatasi dengan metode numerik “*Time-Stepping Methods*” untuk integrasi persamaan diferensial.

Untuk sistem yang *inelastic*, persamaan getaran yang harus diselesaikan secara numerik adalah

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + \{f_s(u, \dot{u})\} = \{p(t)\} \quad (2.21)$$

Dimana kondisi awal

$$\{u\} = \{u(0)\} \text{ dan } \{\dot{u}\} = \{\dot{u}(0)\} \quad (2.22)$$

Gaya dinamik yang ada merupakan kumpulan dari nilai – nilai diskrit  $\{p_i\} = \{p(t_i)\}$  dimana  $i = 0$  to  $N$ . Interval waktunya (berupa durasi konstan):

$$\Delta t_i = t_{i+1} - t_i \quad (2.23)$$

Kemudian dengan diasumsikan sudah mengetahui nilai – nilai respon dari sistem, maka persamaan (2.21) pada waktu ke- $i$  adalah

$$[M]\{\ddot{u}\}_i + [C]\{\dot{u}\}_i + \{f_s\}_i = \{p\}_i \quad (2.24)$$

Dimana  $\{f_s\}_i$  merupakan gaya lawan pada waktu ke- $i$ . Prosedur numerik ini akan memungkinkan kita untuk menentukan kuantitas respon  $\{u\}_{i+1}$ ,  $\{\dot{u}\}_{i+1}$ , dan  $\{\ddot{u}\}_{i+1}$  pada saat  $i + 1$  yang memenuhi persamaan (2.21) pada waktu  $i + 1$  :

$$[M]\{\ddot{u}\}_{i+1} + [C]\{\dot{u}\}_{i+1} + \{f_s\}_{i+1} = \{p\}_{i+1} \quad (2.25)$$

Bila diaplikasikan dengan  $i = 0, 1, 2, 3, \dots$ , prosedur metode “*Time-Stepping*” akan memberikan respon yang diinginkan saat pada tiap waktu instan  $i = 1, 2, 3, \dots$ . Informasi kondisi awal sangat dibutuhkan untuk memulai prosedur ini.

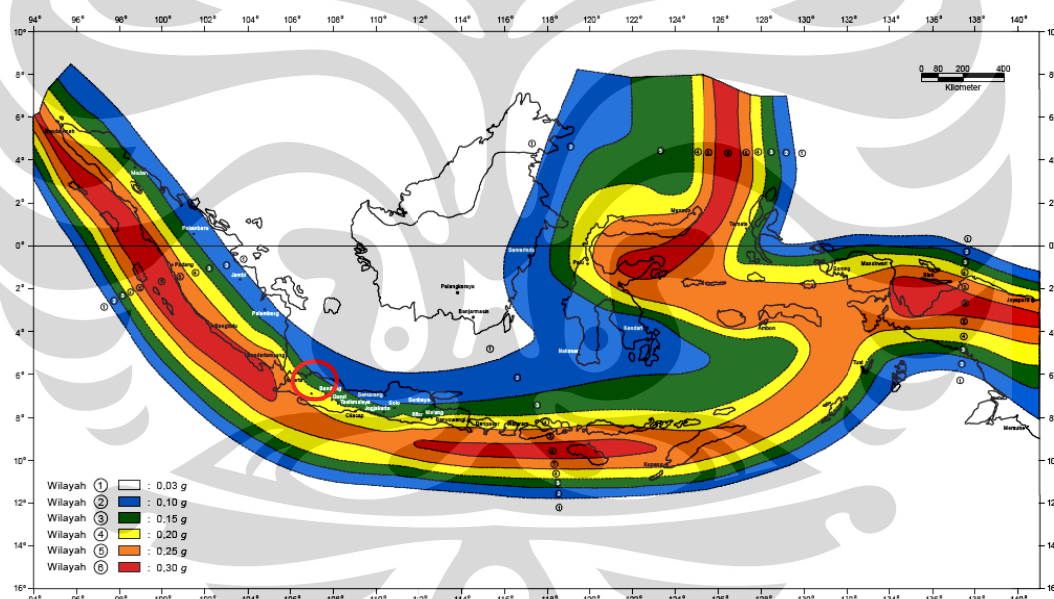
Penyelesaian metode “*Time-Stepping*” ini dapat menggunakan metode interpolasi dari eksitasi, metode *Central Difference*, dan metode *Newmark*.

## 2.2 Teori Gempa Menurut SNI – 1726 – 2002

Dalam laporan ini, seperti dalam penjelasan sebelumnya, akan digunakan analisis spektrum respons untuk menganalisis struktur terhadap gempa. Maka rumus inti yang akan digunakan adalah dari pasal 6.1.2 yaitu beban geser dasar nominal statik ekuivalen ( $V$ ) dari perencanaan struktur gedung beraturan, dapat dilihat pada persamaan berikut:

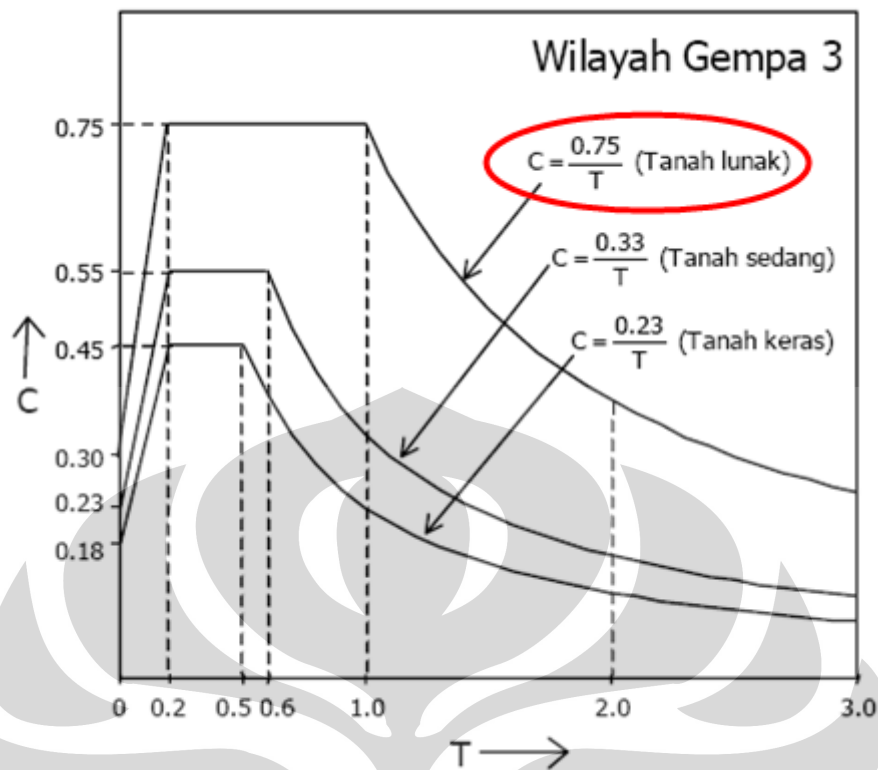
$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t \quad (2.26)$$

$C_1$  adalah yang disebut dengan nilai Faktor Respons Gempa yang didapat dari Spektrum Respons Gempa Rencana untuk waktu getar alami pertama  $T_1$ . Nilai ini bergantung terhadap tiga variabel, yaitu di wilayah mana struktur bangunan tersebut berada, fungsi periode getar, dan jenis tanah. Struktur chimney tersebut berada di Lampung, maka dari gambar wilayah gempa Indonesia ini:



Gambar 2. 1 Wilayah Gempa Indonesia dengan Percepatan Puncak Batuan Besar dengan Periode Ulang 500 tahun

Dari daerah yang sudah dilingkari tersebut, dapat terlihat bahwa *chimney* berada pada wilayah gempa 3, untuk jenis tanah diasumsikan tanah lunak. Maka dapat kita tentukan grafik respons spektrum gempa rencana yang menentukan nilai  $C_1$  nya:



Gambar 2. 2 Respons Spektrum Gempa Rencana

$I$  merupakan faktor keutamaan gedung, nilai ini bergantung pada  $I_1$  yaitu faktor keutamaan gedung untuk menyesuaikan perioda ulang gempa yang berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa itu selama umur gedung, dan  $I_2$  yaitu faktor keutamaan untuk menyesuaikan perioda ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian umur gedung tersebut. Maka  $I$  dapat dilihat dalam rumus berikut:

$$I = I_1 \cdot I_2 \quad (2.27)$$

Faktor – faktor keutamaan  $I_1$ ,  $I_2$ , dan  $I$  telah ditetapkan dalam SNI – 1726 – 2002, untuk bangunan cerobong, dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 2. 1 Faktor Keutamaan  $I$

Kategori Gedung	Faktor Keutamaan		
	$I_1$	$I_2$	$I$
Cerobong, tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5

R adalah faktor reduksi gempa. Dapat ditentukan dari dua kondisi, yaitu fungsi daktilitas dan fungsi sistem struktur. Bila dibahas dalam fungsi daktilitas, faktor reduksi gempa nya mempunyai rumus:

$$R = \mu \cdot f_1 \quad (2.28)$$

Dimana  $\mu$  adalah nilai faktor daktilitas gedung, mempunyai nilai minimum sebesar 1,0 jika taraf kinerja struktur gedung elastik penuh, mempunyai nilai maksimum sebesar 5,3 jika taraf kinerja struktur gedung adalah daktail penuh, dan merupakan daktail parsial bila memiliki nilai  $\mu$  diantara itu. Sedangkan  $f_1$  merupakan faktor kuat lebih beban dan bahan yang terkandung di dalam struktur gedung dan nilainya sudah ditetapkan sebesar 1,6. Maka nilai R dapat dipastikan berkisar antara 1,6 sampai dengan 8,5.

Menentukan R sudah disederhanakan dalam SNI – 1726 – 2002, yaitu digolongkan dalam masing – masing tipe struktur yang ditinjau. Dari tabel berikut, kita langsung dapat mengetahui berapa nilai faktor reduksi gempa nya:

**Tabel 2. 2 Faktor daktilitas maksimum, faktor reduksi gempa maksimum, faktor tahanan lebih struktur dan faktor tahanan lebih total beberapa jenis sistem dan subsistem struktur gedung**

Sistem dan subsistem struktur gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	$\mu_m$	Rm	f (faktor kuat lebih total)
5. Sistem struktur gedung kolom kantilever: (Sistem struktur yang memanfaatkan kolom kantilever untuk memikul beban lateral)	Sistem struktur kolom kantilever	1,4	2,2	2

Akan dipakai Rm sebagai faktor reduksi gempa untuk sistem strktur gedung kolom kantilever ini, karena kita tentu memerlukan struktur yang hemat dan murah. Pemilihan R maksimum ini tentu akan memperkecil nilai gaya geser dasar V.

$W_t$  merupakan berat total bangunan termasuk beban hidup yang sesuai. Berat total bangunan yang dimaksud adalah jumlah dari beban mati yang ada pada bangunan, misal beban sendiri kolom, balok, pelat, dan beban dinding.

Perlu diketahui juga bahwa nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 80% nilai respons ragam yang pertama. Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal  $V$ , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

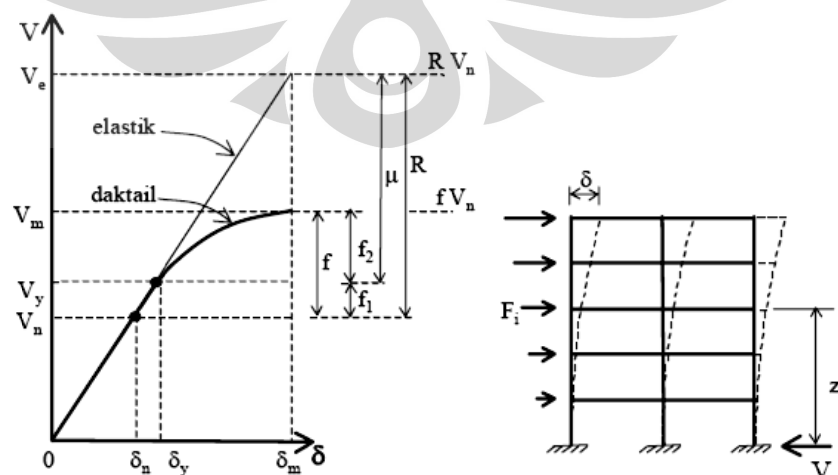
$$V \geq 0,8 \cdot V_1 \quad (2.29)$$

$V_1$  adalah gaya geser dasar nominal sebagai respons ragam yang pertama terhadap pengaruh gempa rencana menurut persamaan (2.).

Dalam perhitungan respons dinamik pun, jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam respons ragam harus memiliki kontribusi massa  $> 90\%$  dalam menghasilkan respons total.

### Daktalitas Struktur Gedung dan Pembebanan Gempa Nominal

SNI – 1726 – 2002 menganut asumsi bahwa struktur gedung daktail dan elastik penuh akibat pengaruh gempa rencana menunjukkan simpangan maksimum  $\delta_m$  yang sama dalam kondisi di ambang keruntuhan (*constant maximum displacement rule*). Asumsi ini adalah konservatif, karena dalam keadaan sesungguhnya struktur gedung yang daktail memiliki  $\delta_m$  yang relatif lebih besar daripada struktur gedung yang elastik, sehingga memiliki  $\mu$  yang relatif lebih besar daripada yang diasumsikan. Hal ini dilakukan agar didapat hubungan yang sederhana antara  $V_y$  dan  $V_e$  melalui  $\mu$ . Asumsi tersebut dapat divisualisasikan dalam diagram beban – simpangan (diagram  $V - \delta$ ) berikut:



Gambar 2. 3 Diagram beban-simpangan (diagram  $V-\delta$ ) struktur gedung

$f_2$  merupakan faktor kuat lebih struktur akibat kehiperstatikan struktur gedung. Dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$f_2 = 0,83 + 0,17\mu \quad (2.30)$$

Kemudian dari grafik diatas, kita juga dapat mengetahui korelasi – korelasi berikut:

$$\frac{V_y}{V_n} = f_1 \quad (2.31)$$

$$\frac{V_m}{V_y} = f_2 \quad (2.32)$$

$$\frac{V_e}{V_y} = \mu \quad (2.33)$$

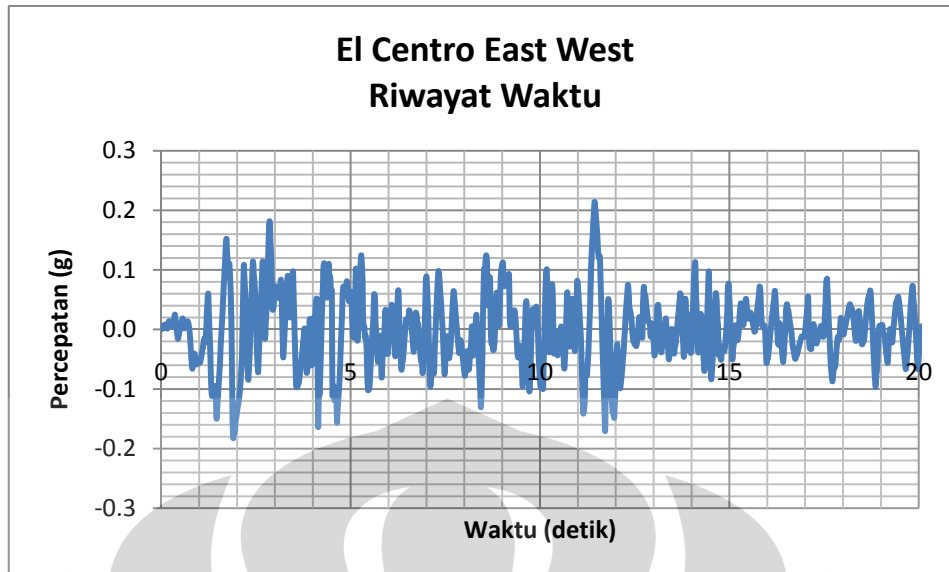
$$\frac{V_e}{V_n} = R \quad (2.34)$$

Dimana:

- $V_n$  = Pengaruh gempa rencana pada taraf pembebanan gempa nominal
- $V_y$  = Pembebanan yang menyebabkan pelelehan pertama
- $V_m$  = Pembebanan gempa maksimum akibat pengaruh gempa rencana yang dapat diserap oleh struktur gedung dalam kondisi ambang keruntuhan
- $V_e$  = Pembebanan gempa maksimum akibat pengaruh gempa rencana yang dapat diserap oleh struktur gedung elastik penuh dalam kondisi ambang keruntuhan

### 2.3 Data Gempa El Centro

Dalam laporan penelitian ini, penulis membutuhkan data eksitasi percepatan gempa terhadap waktu untuk melakukan analisis gempa dengan menggunakan metode riwayat waktu. Dengan demikian, diambil salah satu data gempa yan terdapat dalam literatur yang akan dijadikan salah satu input beban gempa dalam laporan penelitian ini. Adapun jenis gempa yang dipakai adalah gempa “*El Centro East West*”:



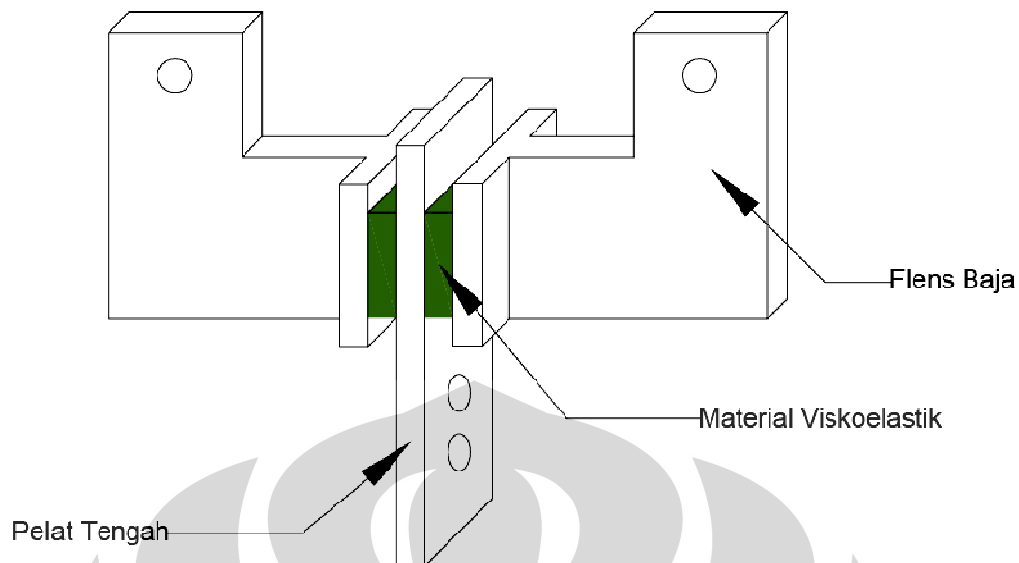
**Gambar 2. 4 Data Riwayat Waktu Gempa El Centro East West**

Namun karena gempa ini adalah gempa dari luar negeri, maka akan dilakukan proses penyesuaian agar gempa ini sesuai dengan standar gempa yang terjadi pada Wilayah 3 dengan jenis tanah lunak. Proses penyesuaian akan dilakukan dengan program “Resmat”.

#### **2.4 Teori Peredam Viskoelastis**

Peredam viskoelastis merupakan satu dari beberapa peredam pasif yang ada. Material viskos seperti madu, menahan geser dan regangan. Material elastik meregang secara instan bila ditarik dan kembali secara semula dengan cepat bila tegangannya dilepas. Material viskoelastis mempunyai elemen yang memiliki kedua sifat tersebut.





**Gambar 2. 5 Konfigurasi Tipikal Peredam Viskoelastis**

Properti dari peredam viskoelastis biasanya berupa modulus storage (modulus simpanan)  $G'$ , loss modulus (modulus kehilangan)  $G''$ , dan loss factor (faktor kehilangan)  $\eta_v$  (Mahmoodi 1969). Pada umumnya, properti – properti tersebut bergantung pada frekuensi beban dan temperatur lingkungan dan dapat dideskripsikan metode permodelan peredam viskoelastis yang berbeda – beda. Masing – masing peredam viskoelastis memiliki properti – properti yang relatif berbeda tergantung tipe nya.

Berikut akan dijelaskan tentang permodelan peredam viskoelastis untuk permodelan linier umum dan Permodelan Modulus Kompleks.

#### 2.4.1 Permodelan Linier Umum

Merupakan persamaan konvensional untuk material viskoelastis yang bersifat linier. Berbentuk persamaan diferensial yang menghubungkan turunan waktu dari tegangan geser  $\tau(t)$  dan regangan geser  $\gamma(t)$ .

$$\tau(t) + \sum_{m=1}^M a_m \frac{d^m \tau(t)}{dt^m} = b_0 \gamma(t) + \sum_{n=1}^N b_n \frac{d^n \tau(t)}{dt^n} \quad (2.35)$$

$a_m$  dan  $b_n$  merupakan koefisien konstan. Maxwell dan Kelvin – Voigt memberikan dua persamaan sederhana yang menggunakan satu suku turunan orde pertama saja:

- Maxwell Model

Persamaannya adalah:

$$\tau(t) + a \frac{d\tau(t)}{dt} = G\gamma(t) \quad (2.36)$$

Maxwell model merupakan model peredam fluida. Gambarnya adalah sebagai berikut:



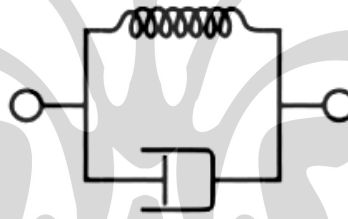
**Gambar 2. 6 Maxwell Model**

- Kelvin – Voigt Model

Persamaannya adalah:

$$\tau(t) = G_0\gamma(t) + G_1 \frac{d\gamma(t)}{dt} \quad (2.37)$$

Kelvin model merupakan model peredam viskoelastis padat. Secara matematika, persamaan (2.31) lebih mudah diterapkan pada analisis struktural, tapi properti material berdasarkan Kelvin – Voigt Model adalah bergantung pada frekuensi karenanya dianggap tidak memadai untuk rincian desain struktural. Ilustrasinya dapat dilihat sebagai berikut:



**Gambar 2. 7 Kelvin – Voigt Model**

#### 2.4.2 Permodelan Modulus Kompleks

Alternatif lain dalam menggambarkan perilaku material viskoelastis dalam pengaruh beban dinamik. Merupakan fungsi dari frekuensi eksitasi untuk menghubungkan tegangan dan regangan. Jika material viskoelastis yang linier diberi beban sinusoidal dengan frekuensi  $\omega$ , maka respon tegangan geser dan regangannya juga akan berupa harmonik dengan frekuensi yang sama namun berbeda fase. Zhang et al. (1989) menunjukkan hubungan tegangan dan regangan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\tau(t) = G'(\omega)\gamma(t) + \frac{G''(\omega)}{\omega} \dot{\gamma}(t) \quad (2.38)$$

$G'(\omega)$ , merupakan modulus elastis yang didefinisikan sebagai modulus simpanan dari material, menyatakan besar energi yang pulih selama deformasi.  $G''(\omega)/\omega$

adalah koefisien redaman dan  $G''(\omega)$  adalah modulus kehilangan yang menyatakan besar energi yang terdisipasi selama siklus gerakan terjadi. Variabel penting lainnya adalah faktor kehilangan  $\eta$ , yang didefinisikan sebagai  $\eta(\omega) = G''(\omega)/G'(\omega)$ , yang memberikan tolak ukur dari kapasitas energi yang terdisipasi oleh material viskoelastis. Berikut merupakan kompleks modulus nya:

$$G(\omega) = G'(\omega) + iG''(\omega) \quad (2.39)$$

Kemudian kita dapat membuat hubungan gaya-perpindahan berdasarkan persamaan (2.32). Gaya yang disediakan oleh tiap peredam viskoelastik direpresentasikan sebagai fungsi linier dari perpindahan  $u$  dan kecepatan  $\dot{u}$  dari peredam,

$$F = \bar{k}(\omega)u + \bar{c}(\omega)\dot{u} \quad (2.40)$$

di mana kekakuan  $\bar{k}$  dan redaman  $\bar{c}$  merupakan fungsi dari modulus simpanan dan modulus kehilangan sebagai berikut:

$$\bar{k}(\omega) = bG'(\omega), \quad \bar{c}(\omega) = bG''(\omega)/\omega \quad (2.41)$$

dengan  $b$  adalah faktor ukuran dari perangkat yaitu rasio luas dengan ketebalan lapisan viskoelastis. Sehingga, persamaan gerakan dari keseluruhan sistem dapat ditulis sebagai berikut:

$$[M]\{\ddot{u}(t)\} + ([C] + [\bar{C}])\{\dot{u}(t)\} + ([K] + [\bar{K}])\{u(t)\} = \{f(t)\} \quad (2.42)$$

di mana  $[M]$ ,  $[C]$ ,  $[K]$  adalah matriks massa, redaman dan kekakuan dari struktur,  $f(t)$  adalah eksitasi,  $[\bar{C}]$  dan  $[\bar{K}]$  adalah redaman dan kekakuan yang disumbangkan oleh peredam viskoelastik.

Soong et al (1995) mengimplementasikan pendekatan modal strain energy (modal energi regangan) untuk memperkirakan frekuensi modal dan rasio redaman yang baru. Prosedurnya dimulai dari analisis nilai eigen dari struktur untuk menghitung frekuensi  $\omega_n$  dan mode bentuk  $\phi_n$  untuk tiap modal ke- $n$ . Rasio redaman modal yang baru dihitung berdasarkan pertimbangan energi:

$$\bar{\xi}_n = \frac{\eta(\omega_n) E_v}{2 E_n} \quad (2.43)$$

dengan  $\eta(\omega_n)$  adalah factor kehilangan pada frekuensi mode ke- $n$ ,  $E_v$  adalah energi maksimum yang tersimpan pada peredam viskoelastis, dan  $E_n$  adalah

energi regangan total dari sistem termasuk peredam untuk mode ke-n. Kedua energi ini dapat dihitung dalam persamaan berikut:

$$E_v = \{\phi_n\}^T [\bar{K}] \{\phi_n\}, \quad E_n = \{\phi_n\}^T ([K] + [\bar{K}]) \{\phi_n\} \quad (2.44)$$

Maka frekuensi modal yang baru untuk mode ke-n diperkirakan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\bar{\omega}_n = \sqrt{\frac{\{\phi_n\}^T ([K] + [\bar{K}]) \{\phi_n\}}{\{\phi_n\}^T [M] \{\phi_n\}}} \quad (2.45)$$

### 2.4.3 Elastomeric Rubber sebagai Peredam Viskoelastis

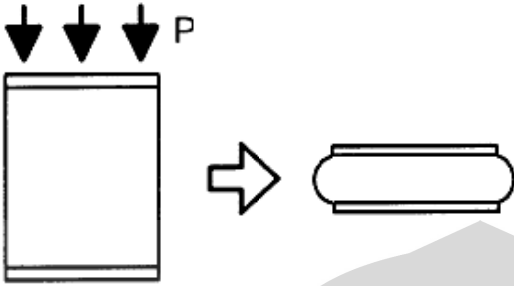
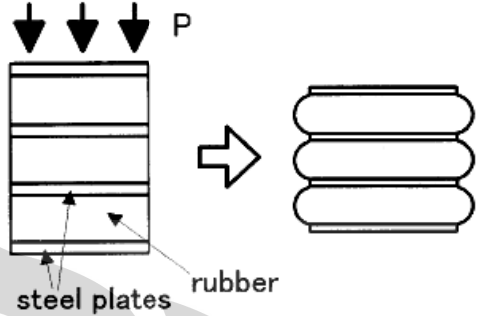
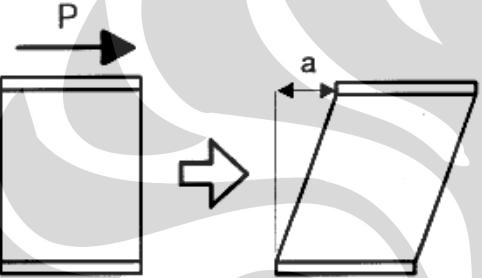
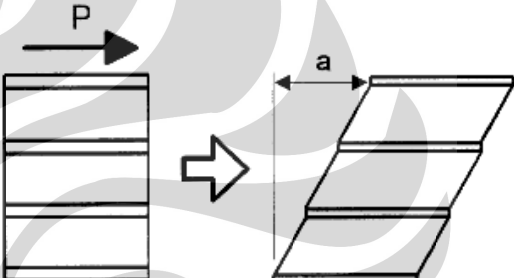
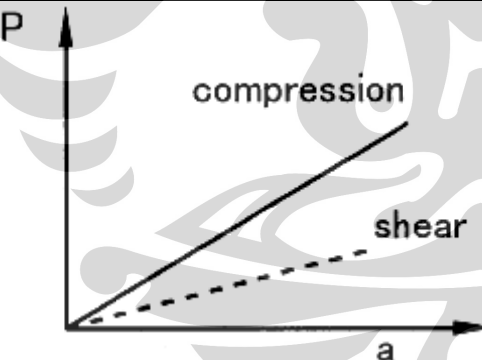
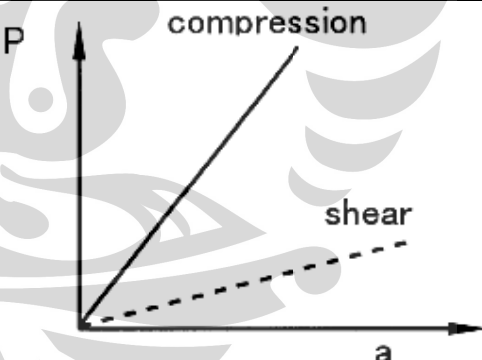
Karet *elastomeric* merupakan salah satu jenis dari viskoelastik damper yang ada. Sering dipakai sebagai bantalan perletakan dari jembatan. Berbentuk seperti roti lapis dimana memiliki bentuk yang berlapis – lapis dan dipisahkan oleh pelat baja di setiap lapisnya. Di bawah ini dapat dilihat gambar sebuah bantalan karet elastomeric yang digunakan sebagai perletakan jembatan:



**Gambar 2. 8 Bantalan Karet *Elastomeric* dan Contoh Penggunaannya pada Jembatan**

Fleksibilitas dari karet elastomeric memungkinkan gerakan rotasi dan gerakan horizontal. Berikut tabel yang memperlihatkan prinsip bantalan karet berlapis-lapis dengan membandingkannya dengan bantalan karet satuan:

Tabel 2. 3 Sifat dari Bantalan *Elastomeric*

Bantalan Karet Satuan	Bantalan Karet Berlapis
Respon Vertikal	
	
Respon Horizontal	
	
Hubungan Gaya dan Deformasi / Perpindahan	
	
<p>Dari gambar diatas, dapat kita simpulkan bahwa pelat baja mengurangi deformasi vertikal dari karet, tapi tidak untuk deformasi horizontalnya.</p>	

Dari tabel tersebut, dapat diketahui bahwa bantalan karet berlapis lebih kaku, tidak seperti bantalan karet satuan berdasarkan gaya tekan vertikal karena pelat baja yang ditempatkan di antara karet menahan deformasi vertikal dari karet tersebut, tapi tetap fleksibel terhadap gaya geser horizontal seperti bantalan karet

satuan. Fleksibilitas tersebut menyerap gaya seismik horizontal dan sangat ideal untuk melawan gaya gempa.

Untuk mengetahui rumus perhitungan kekakuan dari *elastomeric bearing pad*, akan dijelaskan sebagai berikut:

- Kekakuan Vertikal

Kekakuan vertikal untuk *internal layer* ( $K_{vi}$ ) adalah ( $t_i$  adalah tebal *rubber* pada *layer i*, dan  $A$  adalah luas penampang):

$$K_{vi} = \frac{E_c \cdot A}{t_i} \quad (2.46)$$

Dimana  $E_c$  (*compressive modulus*) merupakan fungsi dari *shape factor* ( $S_i$ ) dan *material constant* ( $k$ ).

$$E_c = E \cdot (1 + 2kS_i^2) \quad (2.47)$$

*Shape factor* untuk *bearing* berbentuk bujur sangkar atau lingkaran ( $B$  adalah *overall dimension* dari *bearing*):

$$S_i = \frac{B}{4t_i} \quad (2.48)$$

Kemudian, untuk kekakuan vertikal, kita juga harus menghitung sumbangan kekakuan dari lembaran pelat baja (*shim*)  $K_{vs}$ :

$$K_{vs} = \frac{E_s \cdot A}{t_s} \quad ; \quad E_s = \text{Modulus elastisitas baja} \quad ; \quad t_s = \text{tebal shim} \quad (2.49)$$

Dan sumbangan kekakuan dari *loading & fixing plate*  $K_{vl}$ :

$$K_{vl} = \frac{E_s \cdot A}{t_s} \quad ; \quad t_l = \text{tebal loading & fixing plate} \quad (2.50)$$

Maka akan didapat kekakuan vertikal total  $K_v$ :

$$K_v = \frac{1}{\frac{n}{K_{vi}} + \frac{n-1}{K_{vs}} + \frac{2}{K_{vl}}} \quad ; \quad n = \text{jumlah layer} \quad (2.51)$$

- Kapasitas Tekan

*Shear Strain* dari beban vertikal ( $\varepsilon_{sc}$ ):

$$\varepsilon_{sc} = 6S_i \varepsilon_c \quad ; \quad \varepsilon_c (\text{compressive strain}) = \frac{P}{K_{vi} t_i} \quad (2.52)$$

*Shear Strain* dari beban lateral ( $\varepsilon_{sh}$ ):

$$\varepsilon_{sh} = \frac{\Delta}{T_r} \quad ; \quad T_r = \text{tebal total rubber} \quad (2.53)$$

Cek *strain* berdasarkan AASHTO 14.5.1 P ( $\varepsilon_u$  adalah *Min. Elongation at break* dari properti material *rubber*):

- $0,33\varepsilon_u \geq \varepsilon_{sc}$                       untuk beban mati + hidup  
 $0,75\varepsilon_u \geq \varepsilon_{sc} + \varepsilon_{sh}$               untuk beban gempa

- Kekakuan Horisontal

Kekakuan horisontal *bearing* ( $K_h$ ):

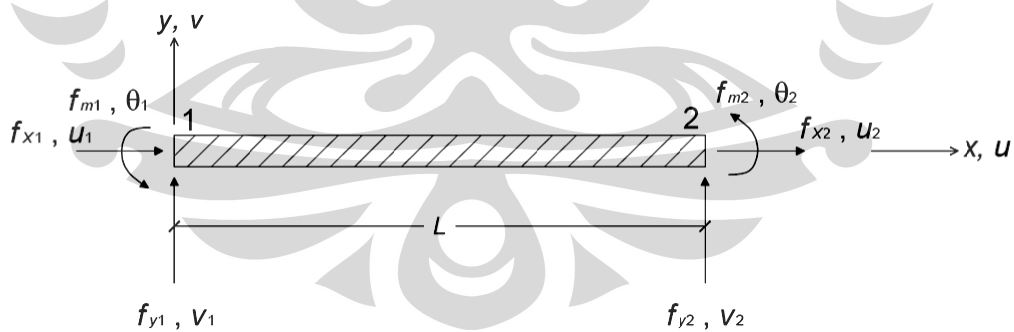
$$K_h = \frac{G \cdot A_r}{T_r} \quad (2.54)$$

## 2.5 Teori Elemen Hingga

Dalam laporan penelitian ini, akan dibahas sedikit tentang metode elemen hingga karena struktur yang dipakai disini bukan biasa, yaitu struktur tubular yang merupakan elemen cangkang. Dibawah ini, akan dijelaskan teori elemen hingga untuk tipe – tipe elemen berikut:

### 2.5.1 Teori Elemen Hingga untuk Portal / Frame

Elemen portal merupakan kombinasi dari elemen rangka dan balok, yaitu dapat mengalami perpindahan secara horisontal ( $u$ ), vertikal ( $v$ ), dan putaran sudut ( $\theta$ ) pada setiap nodal nya. Maka untuk mencari matriks kekakuan elemen portal ini, kita memerlukan fungsi bentuk dan matriks kekakuan untuk elemen rangka dan balok.



Gambar 2. 9 Elemen Portal Bidang pada Sumbu Lokal x-y

Matriks kekakuan pada sumbu lokal  $[k]_{lokal}$  untuk elemen rangka diambil untuk *displacement*  $u$ , adalah sebagai berikut:

$$[k]_{lokal} = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.55)$$

Dan matriks kekakuan  $[k]$  untuk elemen balok yang digunakan untuk mengekspresikan *displacement*  $v$  dan  $\theta$  diketahui sebagai berikut:

$$[k] = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (2.56)$$

Setelah kita mengetahui, kekakuan dari elemen rangka dan balok, kita pun dapat menyusun matriks kekakuan untuk elemen portal. Derajat kebebasannya dari elemen portal di atas dapat dideskripsikan sebagai berikut:

$$\mathbf{d}_e = \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ v_1 \\ \theta_1 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} \quad (2.57)$$

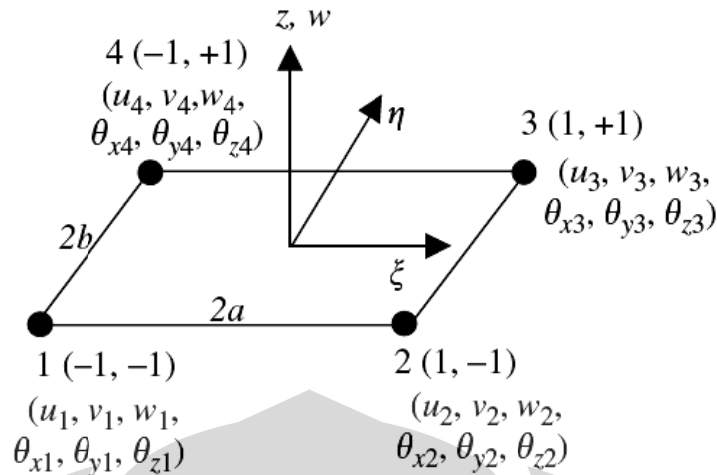
Maka, persamaan kekakuannya adalah sebagai berikut:

$$[k]_{\text{lokal}} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{EA}{L} & \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ 0 & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \quad (2.58)$$

### 2.5.2 Teori Elemen Hingga untuk Cangkang / Shell

Untuk analisis cangkang pada metode elemen hingga, pada umumnya elemen dibagi – bagi menjadi bagian yang lebih kecil. Untuk laporan penelitian ini, penulis akan menggunakan elemen persegi panjang dengan nodal pojok. Dibawah ini akan diberikan sebuah elemen persegi panjang berupa cangkang 1234.





Gambar 2. 10 Elemen Cangkang Persegi Panjang

Vektor displacement  $d_{ei}$  dimana  $i = 1, 2, 3, 4$  adalah sebagai berikut:

$$d_{ei} = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ w_i \\ \theta_{xi} \\ \theta_{yi} \\ \theta_{zi} \end{Bmatrix} \tag{2.59}$$

Elemen cangkang sebenarnya merupakan gabungan dari elemen membran dan pelat dimana mengambil sifat membran untuk DOF  $u$  dan  $v$  ( $k_e^m$ ), dan sifat pelat untuk DOF  $w$ ,  $\theta_x$ , dan  $\theta_y$  ( $k_e^b$ ). Matriks kekakuan secara lokal ( $k_e$ ) dapat diekspresikan dalam bentuk matriks  $24 \times 24$  dimana komponen  $\theta_z$  bernilai nol karena berada dalam sumbu lokal.

$$k_e = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{node 1} & \text{node 2} & \text{node 3} & \text{node 4} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{node 1} \\ \text{node 2} \\ \text{node 3} \\ \text{node 4} \end{matrix} & \begin{bmatrix} k_{11}^m & 0 & 0 & k_{12}^m & 0 & 0 & k_{13}^m & 0 & 0 & k_{14}^m & 0 & 0 \\ 0 & k_{11}^b & 0 & 0 & k_{12}^b & 0 & 0 & k_{13}^b & 0 & 0 & k_{14}^b & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{21}^m & 0 & 0 & k_{22}^m & 0 & 0 & k_{23}^m & 0 & 0 & k_{24}^m & 0 & 0 \\ 0 & k_{21}^b & 0 & 0 & k_{22}^b & 0 & 0 & k_{23}^b & 0 & 0 & k_{24}^b & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{31}^m & 0 & 0 & k_{32}^m & 0 & 0 & k_{33}^m & 0 & 0 & k_{34}^m & 0 & 0 \\ 0 & k_{31}^b & 0 & 0 & k_{32}^b & 0 & 0 & k_{33}^b & 0 & 0 & k_{34}^b & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{41}^m & 0 & 0 & k_{42}^m & 0 & 0 & k_{43}^m & 0 & 0 & k_{44}^m & 0 & 0 \\ 0 & k_{41}^b & 0 & 0 & k_{42}^b & 0 & 0 & k_{43}^b & 0 & 0 & k_{44}^b & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \tag{2.60}$$

Dimana  $B$  merupakan matriks regangan (*strain matrix*), penjelasan lebih lanjut dapat dilihat dibawah ini:

- $\mathbf{k}_e^m = \int_A h \mathbf{B}^T \mathbf{c} \mathbf{B} dA = \int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} abh \mathbf{B}^T \mathbf{c} \mathbf{B} d\xi d\eta$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} -\frac{1-\eta}{a} & 0 & \frac{1-\eta}{a} & 0 & \frac{1+\eta}{a} & 0 & -\frac{1+\eta}{a} & 0 \\ 0 & -\frac{1-\xi}{b} & 0 & -\frac{1+\xi}{b} & 0 & \frac{1+\xi}{b} & 0 & \frac{1-\xi}{b} \\ -\frac{1-\xi}{b} & -\frac{1-\eta}{a} & -\frac{1+\xi}{b} & \frac{1-\eta}{a} & \frac{1+\xi}{b} & \frac{1+\eta}{a} & \frac{1-\xi}{b} & -\frac{1+\eta}{a} \end{bmatrix}$$

- $\mathbf{k}_e^b = \int_{A_e} \frac{h^3}{12} [\mathbf{B}^I] \mathbf{c} \mathbf{B}^I dA = \int_{A_e} \kappa h [\mathbf{B}^O] \mathbf{c}_s \mathbf{B}^O dA$

Dimana:

- $\mathbf{B}^I = [\mathbf{B}_1^I \quad \mathbf{B}_2^I \quad \mathbf{B}_3^I \quad \mathbf{B}_4^I] \quad ; \quad \mathbf{B}_j^I = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\partial N_j / \partial x \\ 0 & \partial N_j / \partial y & 0 \\ 0 & \partial N_j / \partial x & -\partial N_j / \partial y \end{bmatrix}$
- $\mathbf{B}^O = [\mathbf{B}_1^O \quad \mathbf{B}_2^O \quad \mathbf{B}_3^O \quad \mathbf{B}_4^O] \quad ; \quad \mathbf{B}_j^O = \begin{bmatrix} \partial N_j / \partial x & 0 & N_j \\ \partial N_j / \partial y & -N_j & 0 \end{bmatrix}$

Dengan menggunakan ekspresi fungsi bentuk ( $j = 1, 2, 3, 4$ ):

$$\frac{\partial N_j}{\partial x} = \frac{1}{4a} \xi i (1 + \eta i \eta) \quad ; \quad \frac{\partial N_j}{\partial y} = \frac{1}{4b} \eta i (1 + \xi i \xi)$$

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Prosedur Analisis

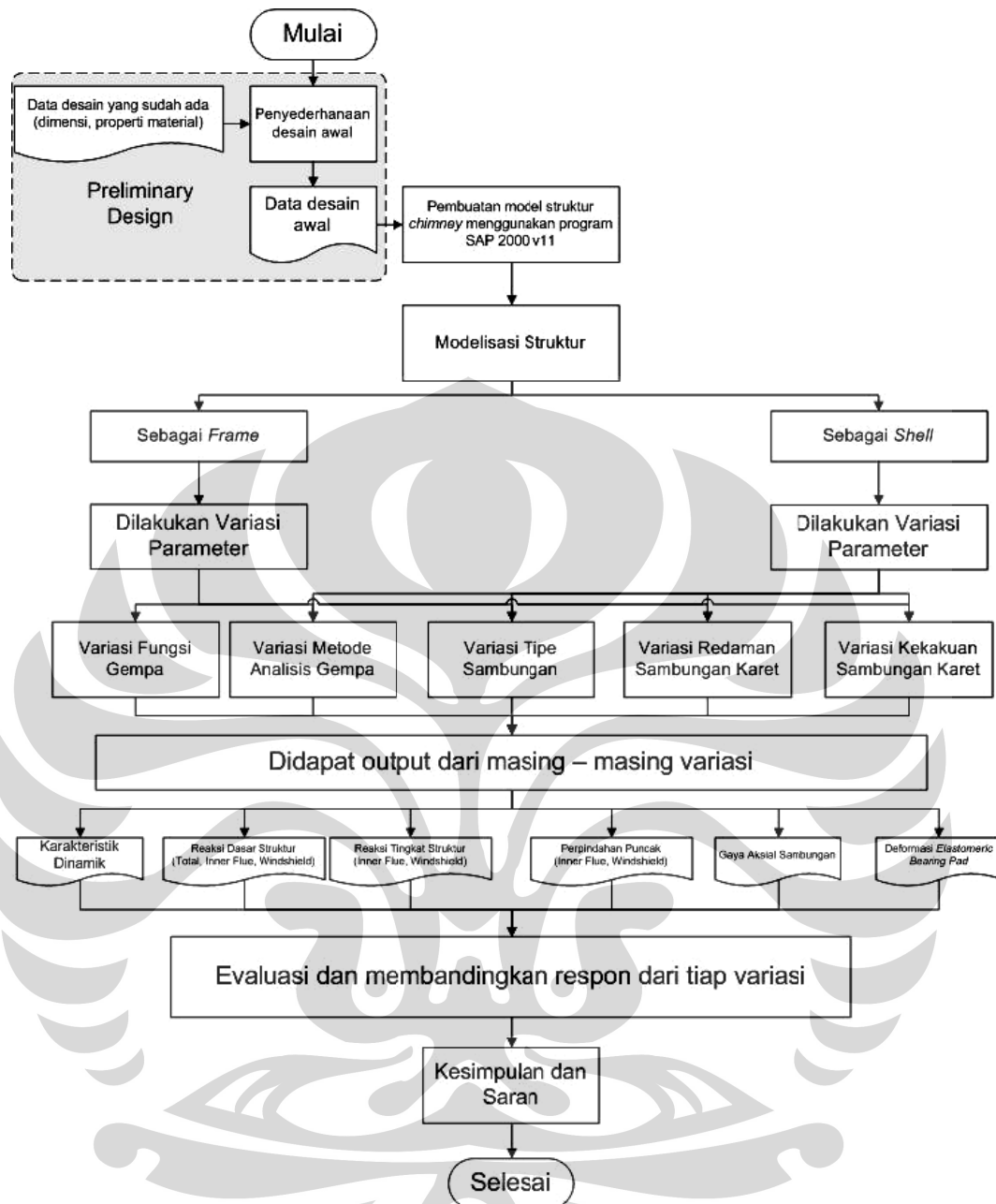
Model struktur *chimney* yang dianalisis ini diambil dari PLTU Tarahan yang berlokasi di Lampung. Desainnya disederhanakan sedemikian rupa sehingga didapatkan desain sekarang.

Struktur *Chimney* dimodelkan sebagai 2 sistem struktur, yaitu sebagai struktur *frame* dan struktur *shell*. Struktur akan dibebani dengan beban mati, beban hidup, dan beberapa macam beban gempa berupa data riwayat waktu dan spektrum respons gempa. Dalam analisis nantinya hanya akan menganalisis respons struktur terhadap beban gempa, beban mati dan hidup diberikan hanya untuk memperhitungkan massa total bangunan.

Dalam masing – masing tipe struktur permodelan, akan dilakukan berbagai variasi yaitu variasi tipe *link*, kekakuan, dan redaman karet. Khusus untuk permodelan *chimney* sebagai sistem struktur *frame*, dilakukan pula variasi fungsi gempa. Saat memvariasikan fungsi gempa, kekakuan dan redaman, parameter yang lain dianggap tetap, hal ini dilakukan untuk mereduksi variasi yang ada. *Output* yang diambil berupa karakteristik dinamik, reaksi dasar (*inner flue*, *windshield*, dan total), reaksi tingkat (*inner flue*, *windshield*), perpindahan puncak (*inner flue* dan *windshield*), deformasi dan gaya – gaya aksial dari *link*.

Kemudian dari hasil tersebut, akan dievaluasi dan didapat perbedaan antara modelisasi *chimney* sebagai *frame* atau *shell*, dan kesimpulan sistem sambungan mana yang memberi respon yang paling baik, apakah yang memakai pengaku biasa, atau memakai peredam *elastomeric rubber*.

Jika ditampilkan dalam bentuk diagram alir adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir

## 3.2 Geometri dan Properti Struktur

### 3.2.1 Dimensi Struktur

Seperti yang telah dibahas sebelumnya, struktur *chimney* ini terdiri dari dua bagian penting, yaitu struktur beton (*windshield*) dan struktur baja (*inner flue*). Kemudian terdapat juga elemen – elemen struktur pelengkap seperti *platform* baja dan cincin pengaku *inner flues*. Akan dijelaskan secara lebih rinci sebagai berikut:

#### 1. *Windshield*

Tabel 3. 1 Data Dimensi Struktur *Windshield*

Elevasi (mm)	Diameter (mm)	Tebal (mm)	Tinggi (mm)
+000.000	12000,00	500,00	
+036.000	11312,50	437,50	
+073.000	10625,00	375,00	148000
+110.000	9937,50	312,50	
+146.000	9250,00	250,00	

#### 2. *Inner Flues*

Tabel 3. 2 Data Dimensi Struktur *Inner Flues*

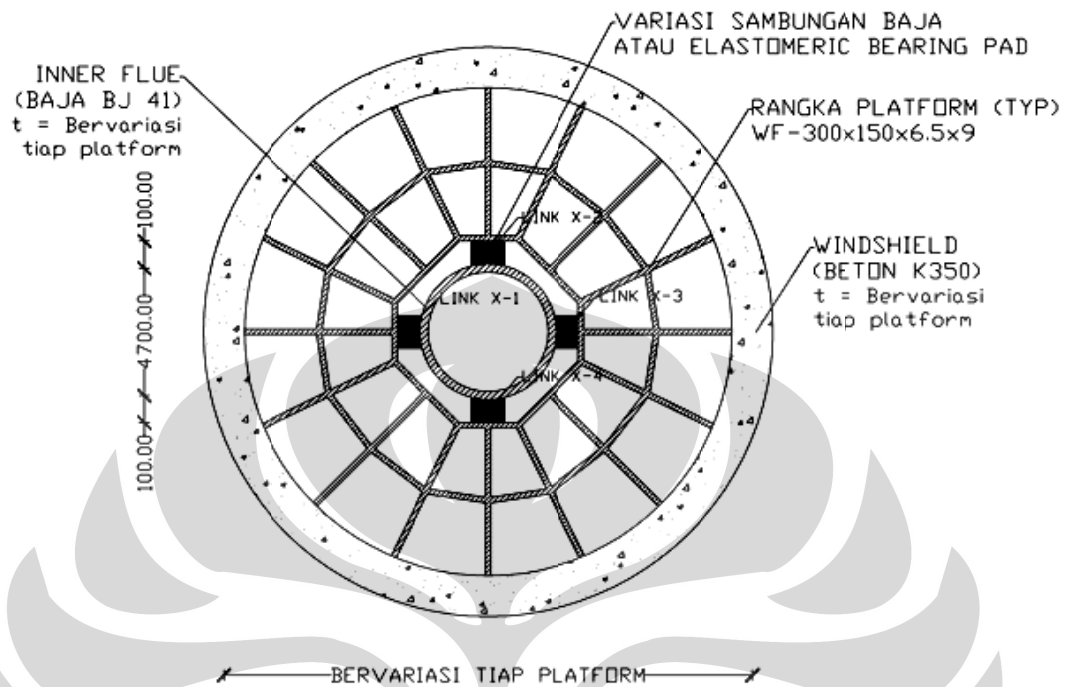
Elevasi (mm)	Diameter (mm)	Tebal (mm)	Tinggi (mm)
+000.000		16,00	
+036.000		14,00	
+073.000	4700	12,00	150000
+110.000		10,00	
+146.000		08,00	

#### 3. Elemen Pelengkap Struktural

- Cincin pengaku *inner flues* profil baja C-80×45×6×8 (jarak antara cincin dapat dilihat pada lampiran A)
- Platform Baja profil WF-300×150×6,5×9

#### 4. Sambungan antara *windshield* dan *inner flue* sebagai parameter struktural yang divariasikan

- Baja D50 mm
- *Elastomeric Bearing Pad*



Gambar 3. 2 Potongan Melintang Chimney (X= No Platform)

### 3.2.2 Properti Material

Properti material struktur yang akan digunakan dalam permodelan adalah:

#### 1. Windshield Beton (K350)

- Kuat tekan ( $f_c'$ ) : 29,05 Mpa
- Massa jenis ( $\rho$ ) : 2400 ton/m<sup>3</sup>
- Modulus Elastisitas ( $E_c$ ) : 25000 MPa

#### 2. Inner flues, platform, cincin pengaku inner flues, sambungan pengaku (BJ 41)

- Modulus Elastisitas ( $E_s$ ) :  $2.1 \cdot 10^5$  MPa
- Poisson's ratio ( $\nu$ ) : 0,3
- Tegangan Leleh ( $f_y$ ) : 250 MPa
- Tegangan Putus ( $f_u$ ) : 400 MPa

#### 3. Bahan Elastomer Karet Alam

Berikut merupakan tabel pilihan properti material karet alam tipikal yang digunakan pada *elastomeric bearing pad* untuk sambungan struktur *chimney* tersebut:

**Tabel 3. 3 Properti Material Karet Alam**

Hardness IRHD±2	Young's Modulus (E), MPa	Shear Modulus (G), MPa	Material Constant (k)	Min. Elongation at Break ( $\epsilon_u$ ), %
37	1.35	0.40	0.87	650
40	1.50	0.45	0.85	600
45	1.80	0.54	0.80	600
50	2.20	0.64	0.73	500
55	3.25	0.81	0.64	500
60	4.45	1.06	0.57	400

### 3.2.3 Pembebanan

Respon struktur akibat beban statik seperti beban mati dan beban hidup tidak dimasukkan dalam analisis ini, namun tetap diperhitungkan untuk perhitungan massa total bangunan. Pembebanan meliputi:

#### 1. Beban Mati

##### a. Pada Tiap platform

- Beban *Metalbar Grating* + pagar pembatas =  $35 \text{ kg/m}^2$

##### b. Pada Struktur *Inner Flues*

- Beban *wiremesh* + batu tahan api ( $t = 7 \text{ cm}$ ) =  $2200 \text{ kg/m}^3$
- Beban *chicken mesh* + *glass wool* =  $5 \text{ kg/m}^2$

#### 2. Beban Hidup

Beban hidup dianggap bekerja pada tiap platform, beban hidup disumbangkan dari beban manusia + alat perawatan *chimney* =  $300 \text{ kg/m}^2$ .

Peluang untuk terjadinya beban hidup penuh yang membebani semua unsur struktur bangunan secara serempak selama umur gedung adalah sangat kecil, sehingga untuk menentukan beban gempa, beban hidup terbagi rata dapat dikalikan dengan koefisien reduksi yang bergantung pada gedung. Untuk bangunan industri koefisien reduksi adalah 0,9.

#### 3. Beban Gempa

Akan dijelaskan secara rinci pada subbab 3.5.1 variasi fungsi gempa.

### 3.3 Modelisasi Struktur

Cerobong memiliki faktor keutamaan  $I = 1,5$ . Dianalisis sebagai sistem struktur gedung kantilever. Permodelan dilakukan dengan program SAP 2000 v11. Permodelan struktur *Chimney* ini meliputi:

1. Modelisasi struktur hanya dilakukan pada struktur atas.
2. Baja tulangan tidak diperhitungkan untuk struktur beton pada modelisasi struktur *windshield*.
3. Struktur *windshield* dan *inner flues* dianggap tidak berlubang.
4. Pada permodelan sebagai *shell*, struktur *windshield* dianalisis sebagai *thin shell* dari beton K350 ( $f'_c = 29,05 \text{ MPa}$ ) dibagi 16 bagian dengan pembagian arah sumbu  $z$  adalah setiap  $\leq 1.5 \text{ m}$  dan sebagai pipa *hollow* pada permodelan sebagai *frame*, tebal 50 cm pada bagian bawah dan 25 cm pada bagian atas, tinggi 148 m, diameter bervariasi pada setiap *platform*.
5. Pada permodelan sebagai *shell*, struktur *inner flue* dianalisis sebagai *thin shell* dari baja BJ41 ( $f_y = 250 \text{ MPa}$ ,  $f_u = 400 \text{ MPa}$ ) dibagi 16 bagian dengan pembagian arah sumbu  $z$  adalah setiap  $\leq 1.5 \text{ m}$  dan sebagai pipa *hollow* pada permodelan sebagai *frame*, tebal 16 mm pada bagian bawah dan 8 mm pada bagian atas, tinggi 150 m.
6. Perletakan pondasi dianggap sebagai jepit, dan sambungan antar *joint* pada *platform* baja dianggap kaku (*rigid*).
7. Asumsi *rigid diaphragm* digunakan untuk permodelan karena *platform* dianggap bergerak bersama. Asumsi ini diaplikasikan ke kondisi aslinya dengan dilakukan pengelasan *metal bar grating* ke rangka *platform* sehingga menghasilkan *platform* yang kaku.
8. *Platform* baja berada pada setiap ketinggian +36 m, +73 m, +110 m, dan +146 m.
9. *Inner flue* memiliki cincin dari profil baja C-80×45×6×8 sebagai tambahan kekakuan dengan ketinggian yang bervariasi. Dalam model struktur *frame*, cincin ini diabaikan.



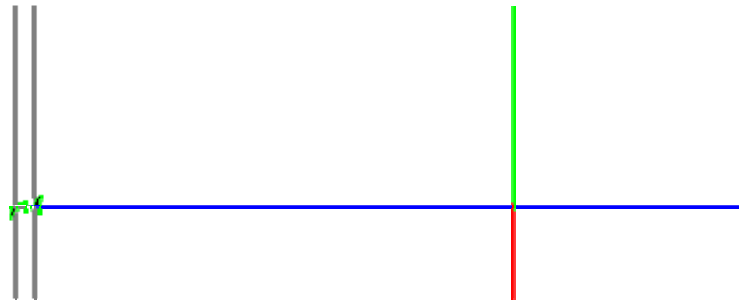
10. Beban lateral yang diperhitungkan hanya beban gempa karena sangat menentukan oleh sambungan antar *windshield* dan *inner flues* pada *chimney*.
11. Untuk keperluan analisis dinamik, struktur *chimney* diasumsikan memiliki rasio redaman  $\xi = 5\%$ .

### 3.3.1 Permodelan Chimney Sebagai Sistem Struktur Frame

Modelisasi ini digunakan karena merupakan cara yang dapat dikatakan paling lazim dilakukan oleh insinyur. Memiliki keuntungan yaitu lebih cepat dalam proses analisis program (jauh lebih cepat daripada sebagai *shell*), dan lebih mudah untuk mengambil dan menganalisis respon – respon yang ada seperti gaya geser dasar dan tingkat dari masing – masing struktur tubular.

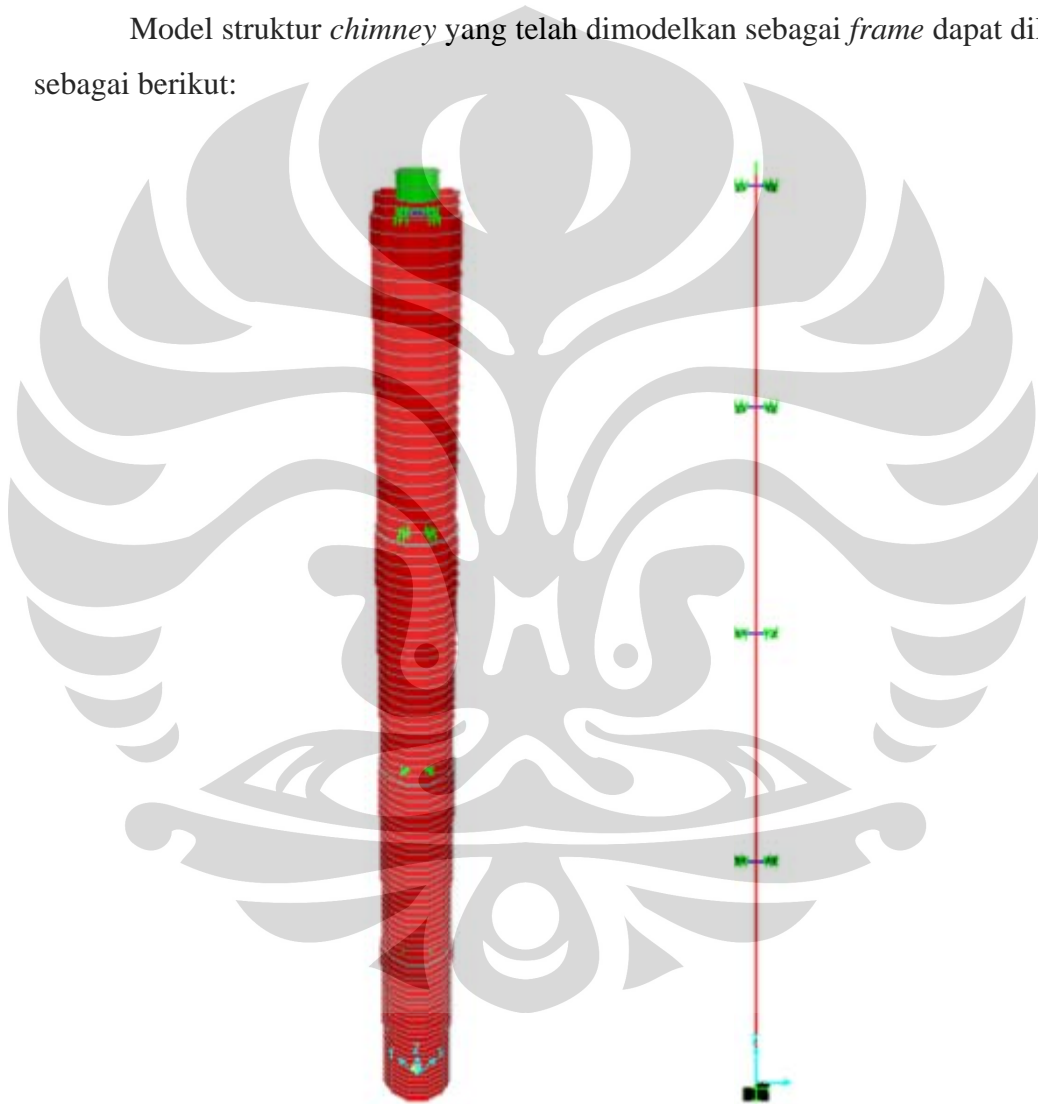
Permodelan *chimney* sebagai sistem struktur *frame* ini merupakan penyederhanaan dari bangunan *chimney* yang ada. Modelisasi *chimney* sebagai sistem struktur *frame* dilakukan sebagai berikut:

1. Cincin – cincin pengaku diabaikan.
2. *Platform* tidak dimodelkan dan semua beban yang ada pada *platform* ditransfer ke struktur *windshield* sebagai beban titik.
3. Sumbu *windshield* dan *inner flue* dibedakan jaraknya sebesar 10 mm secara horizontal.
4. Jarak *Platform* antara *windshield* dan *inner flue* dibedakan sebesar 10 mm secara vertikal.
5. Digunakan balok yang sangat kaku ( $E = 2,1 \cdot 10^{15} \text{ MPa}$ ) dan tidak bermassa antara masing – masing sumbu *windshield* dan *inner flue* pada titik – titik *platform* sebagai visualisasi permukaan *shell*. Kemudian diantara balok pengaku yang menghubungkan sumbu *windshield* dan *inner flue* tersebut diberi *link*. Balok pengaku yang dipakai menggunakan profil baja WF-300×150×6,5×9.



**Gambar 3. 3 Platform pada Modelisasi *Chimney* Sebagai *Frame***

Model struktur *chimney* yang telah dimodelkan sebagai *frame* dapat dilihat sebagai berikut:



**Gambar 3. 4 Modelisasi Struktur *Chimney* Sebagai *Frame***

Karena *inner flue* dan *windshield* dalam struktur ini hanya merupakan sumbu, dan rangka *platform* tidak ikut dimodelkan, maka harus dihitung pembebanan baru. Berikut pembebanan yang dilakukan untuk struktur *frame* ini:

## 1. Beban Mati

### a. Pada Tiap platform

- Beban *Metalbar Grating* + pagar pembatas ( $l = 1.2 \text{ m}$ ) = 42 kg/m
- Berat Sendiri Platform (WF-300x150x6.5x9) = 36,7 kg/m

Dijadikan beban titik:

**Tabel 3. 4 Beban Mati pada Platform – Permodelan Frame**

Platform	Total Panjang Platform (m)	Metalbar Grating + pagar pembatas (kg)	Berat Sendiri Platform(kg)
I - elev +036000,00	91,8802192	3858,969206	3372,004045
II - elev +073000,00	85,3112048	3583,070602	3130,921216
III - elev +110000,00	78,7429344	3307,203245	2889,865692
IV - elev +146000,00	72,1757136	3031,379971	2648,848689

### b. Pada Struktur *Inner Flues*

- Beban *wiremesh* + batu tahanan api ( $t = 7 \text{ cm}$ ) = 154 kg/m<sup>2</sup>
  - Beban *chicken mesh* + *glass wool* = 5 kg/m<sup>2</sup>
- Jumlah = 159 kg/m<sup>2</sup>

Dijadikan Beban Merata:

Beban total pada struktur *Inner Flues*:

$$\begin{aligned} \text{Keliling Inner Flue} * \text{Beban Area Total} &= \pi \cdot 4,7 \cdot 159 \\ &= 2348,657 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

## 2. Beban Hidup

Pada platform, beban pekerja + alat perawatan = 360 kg/m

Dijadikan beban titik:

**Tabel 3. 5 Beban Hidup pada Platform - Permodelan Frame**

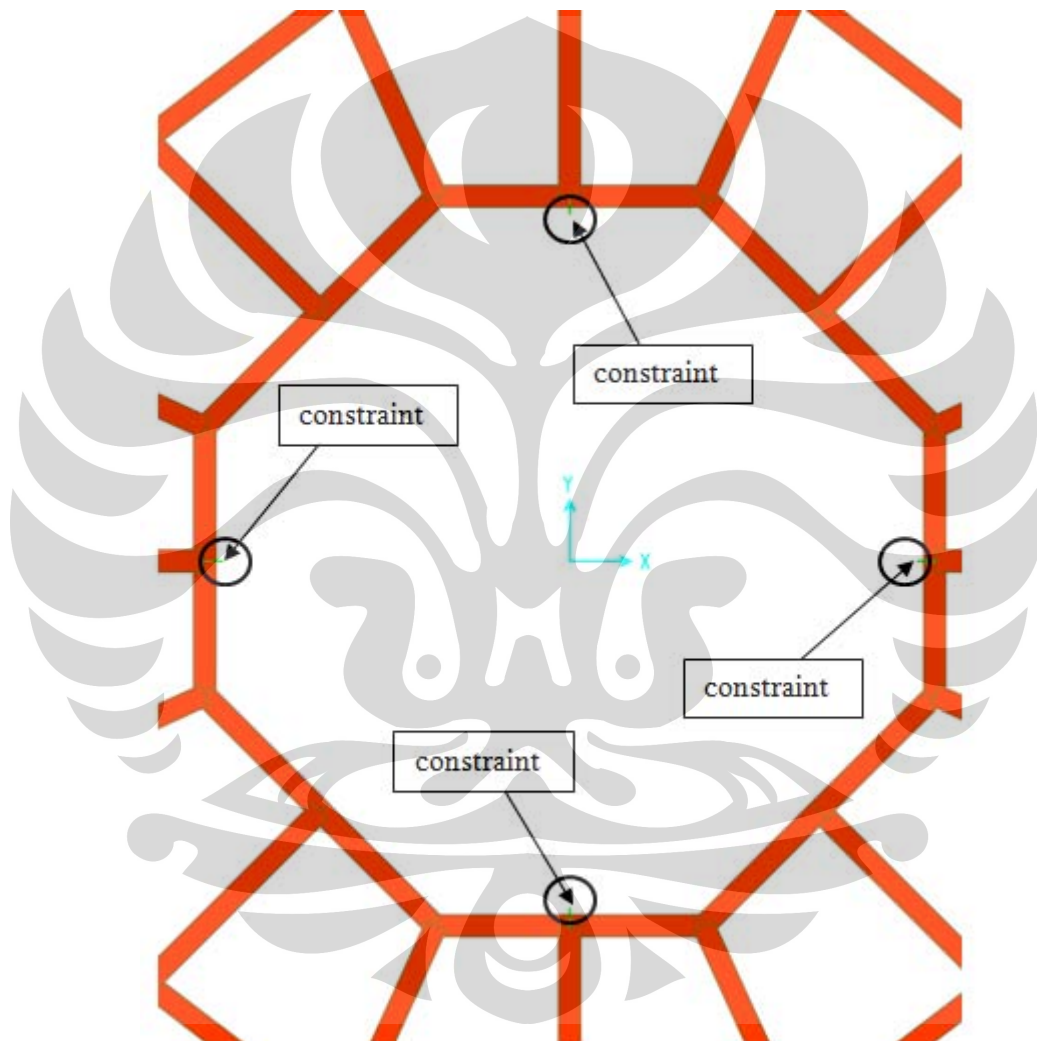
Platform	Total Panjang Platform (m)	Beban Pekerja + Alat Perawatan (kg)
I - elev +036000,00	91,8802192	33076,87891
II - elev +073000,00	85,3112048	30712,03373
III - elev +110000,00	78,7429344	28347,45638
IV - elev +146000,00	72,1757136	25983,2569

### 3.3.2 Permodelan Chimney Sebagai Sistem Struktur Shell

Modelisasi ini lebih detil daripada model struktur *frame*, namun dibutuhkan lebih banyak waktu untuk analisis programnya. Hal ini karena struktur

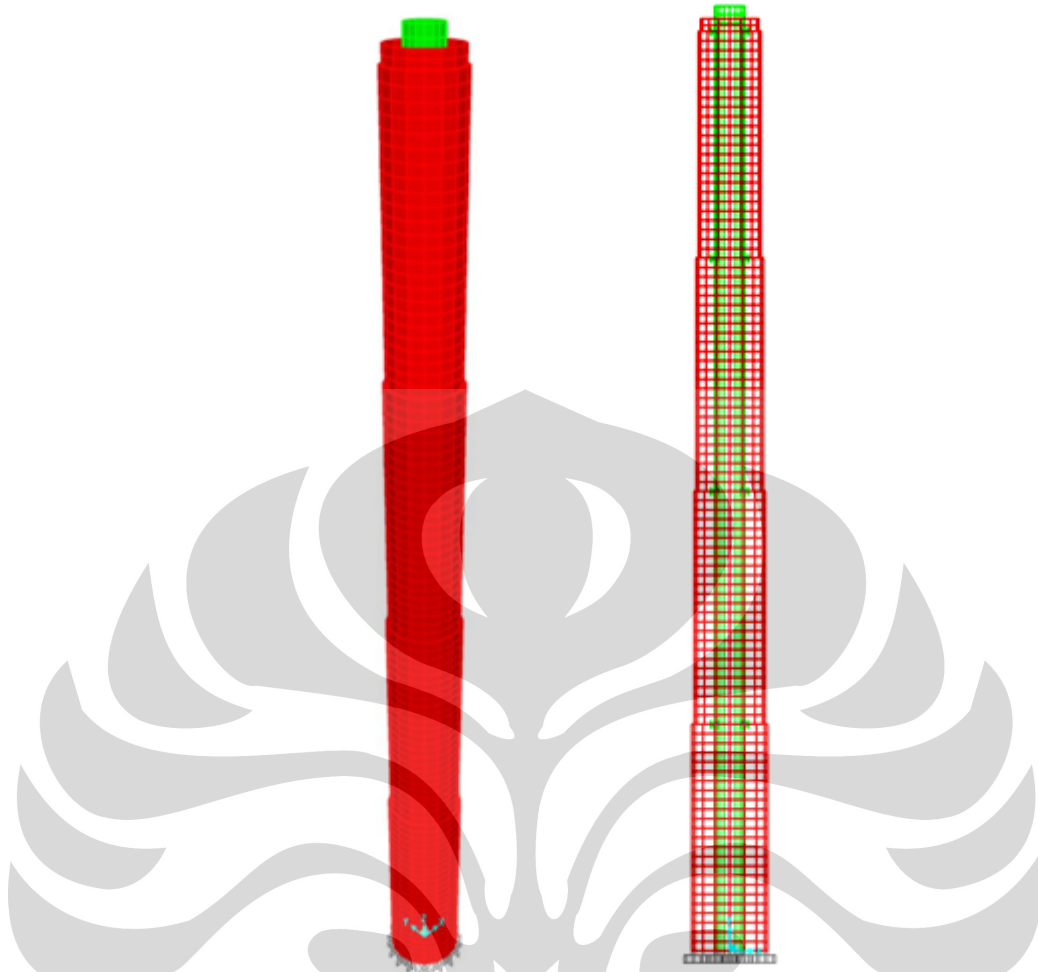
*shell* yang mempunyai 6 derajat kebebasan tiap titik *joint* nya. Analisis gempa riwayat waktu dengan integrasi langsung, jumlah, kekakuan dan redaman *link* yang dipakai menambah lamanya waktu yang dibutuhkan untuk menganalisis model ini.

Untuk mengaplikasikan kondisi *rigid diaphragm*, titik *inner flue* yang mengalami kontak dengan sambungan akan di-*constraint* terhadap arah translasi sumbu X.



**Gambar 3. 5 Penempatan *Constraint* pada Model**

Penjelasan lain mengenai permodelan ini kurang lebih sama dengan subbab 3.2. Maka model *chimney* sebagai sistem struktur *shell*, dapat dilihat sebagai berikut:



**Gambar 3. 6 Modelisasi Struktur *Chimney* Sebagai *Shell***

Pembebanan untuk permodelan ini, dapat dilihat sebagai berikut:

1. Beban Mati

a. Pada Tiap platform

- Beban *Metalbar Grating* + pagar pembatas = 35 kg/m<sup>2</sup>  
 Lebar platform ( $l = 1,2\text{m}$ ), maka = 35 kg/m<sup>2</sup> × 1,2 m = 42 kg/m

b. Pada Struktur *Inner Flues*

- Beban *wiremesh* + batu tahan api ( $t = 7\text{ cm}$ ) = 2200 kg/m<sup>3</sup>  
 Maka beban area = 2200 kg/m<sup>3</sup> × 0.07 m = 154 kg/m<sup>2</sup>
- Beban *chicken mesh* + *glass wool* = 5 kg/m<sup>2</sup>

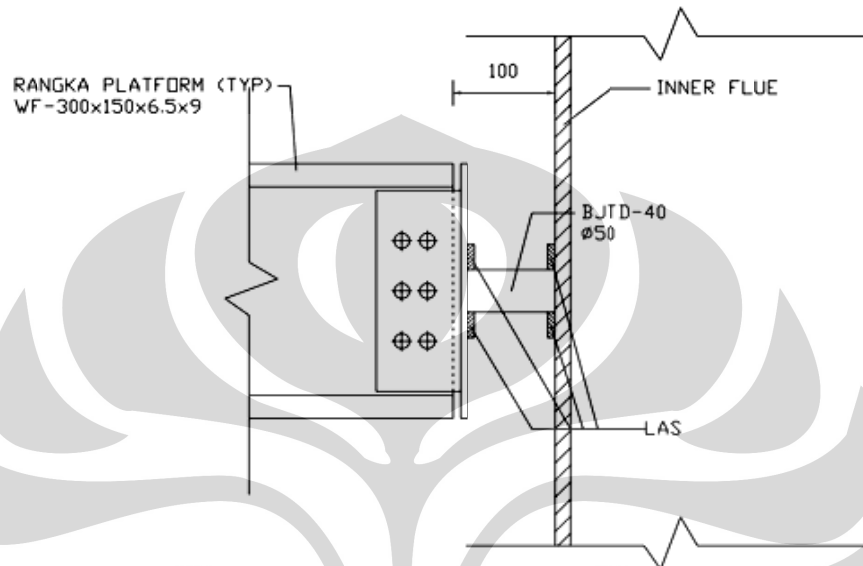
2. Beban Hidup

- Beban *Metalbar Grating* + pagar pembatas = 300 kg/m<sup>2</sup>  
 Lebar platform ( $l = 1,2\text{m}$ ), maka = 300 kg/m<sup>2</sup> × 1,2 m = 360 kg/m

### 3.4 Modelisasi Sambungan antara *Windshield* dan *Inner Flue*

#### 3.4.1 Baja D50

Sambungan ini merupakan salah satu yang dipakai dalam laporan penelitian ini. Dimodelkan sebagai batang baja dengan sambungan *pinned* pada ujung – ujungnya. Detail sambungannya dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 3. 7 Detail Sambungan Baja D50

Panjang sambungan yang hanya 10 cm, diameter baja 50 mm, dan modulus elastisitas  $E = 2,1 \times 10^5 \text{ MPa}$  menghasilkan kekakuan yang sangat besar untuk tipe sambungan ini. Perhitungannya:

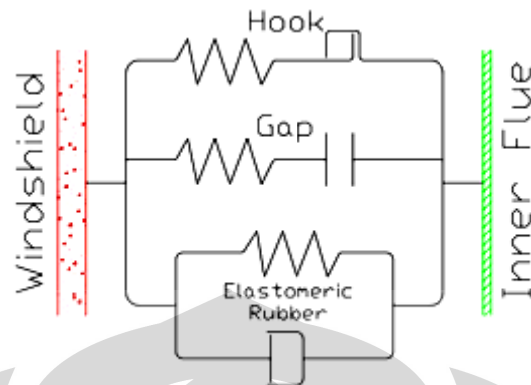
$$k = \frac{EA}{L} = \frac{2,1 \times 10^5 \cdot \pi/4 \times 50^2}{100} = 4123,34 \text{ KN/mm} \quad (3.1)$$

#### 3.4.2 *Elastomeric Bearing Pad*

Penggunaan sambungan ini dapat dikatakan sebagai alternatif sambungan antara *windshield* dan *chimney*. Diharapkan dengan pemakaian *elastomeric bearing pad* ini, akan menggeser periode getar alami struktur sehingga semakin menjauhi periode dominan, mereduksi gaya geser dasar struktur dan tegangan geser yang terjadi pada permukaan *shell*.

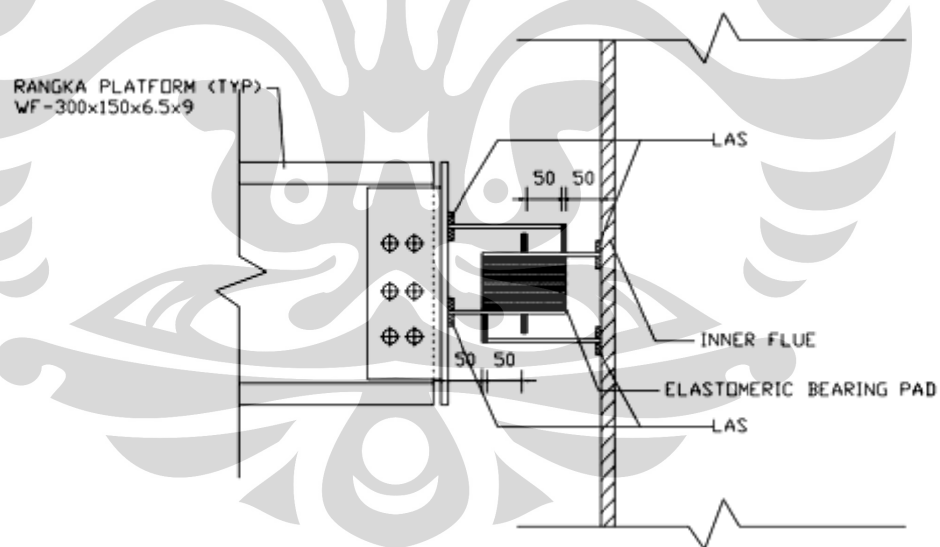
Untuk membatasi deformasi *elastomeric rubber*, dipasang juga *link gap* dan *hook*. *Link* ini akan bekerja setelah *elastomeric rubber* mengalami deformasi dengan batasan yang telah ditentukan yaitu 50 mm (50% dari tebal karet). *Link*

*gap* akan bekerja terhadap tekan, dan *link hook* terhadap tarik. Model matematisnya dapat dilihat sebagai berikut:



**Gambar 3. 8 Model Matematis Link**

Sambungan *elastomeric rubber* yang digunakan adalah *elastomeric bearing pad* yaitu peredam yang biasa dipakai untuk perletakan jembatan, kekakuannya vertikalnya terlalu besar. Maka digunakan orientasi sedemikian rupa sehingga kekakuan horizontal karet tersebut menjadi kekakuan aksialnya, ilustrasinya:



**Gambar 3. 9 Detail Sambungan Link**

Dalam permodelan pada program SAP 2000 v11, *elastomeric rubber* dimodelkan sebagai *rubber isolator* dan kekakuan yang dipakai hanya dalam arah U1 yaitu arah aksialnya saja.

Untuk analisis gempa dengan metode respons spektrum, *link gap* dan *hook* dan redaman *rubber isolator* akan dihilangkan agar dapat dianalisis secara linier.

### 3.5 Parameter Lain yang Divariasikan

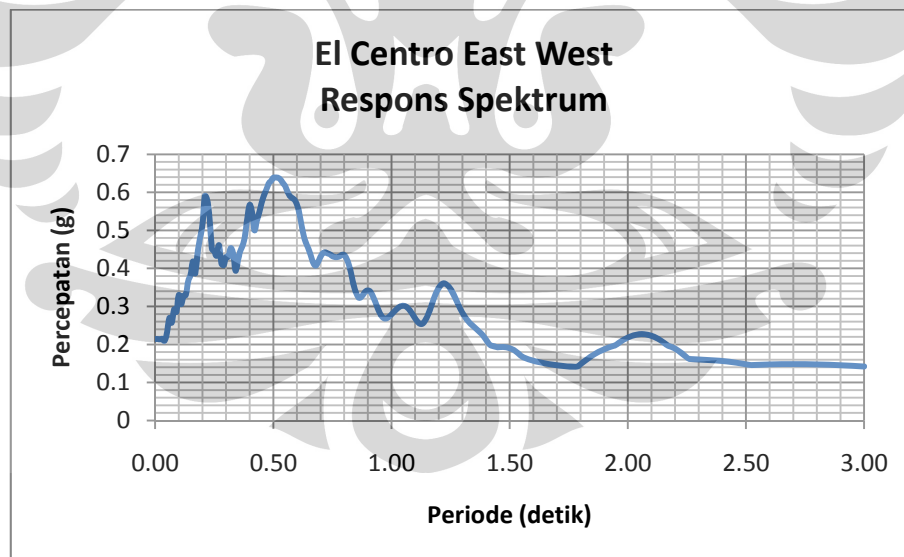
#### 3.5.1 Variasi Fungsi Gempa

Seperti yang dijelaskan pada subbab 3.1 ; laporan penelitian ini menggunakan 2 metode analisis gempa yaitu metode respons spektrum dan riwayat waktu. Pada metode riwayat waktu *chimney* yang menggunakan *link* baja D50 akan menggunakan analisis gempa riwayat waktu linier integrasi langsung, sedangkan untuk *link* lainnya menggunakan analisis gempa riwayat waktu nonlinier integrasi langsung.

a. Fungsi Gempa “El Centro *East-West* (ELEW)” yang Dimodifikasi

Dimodifikasi dalam konteks ini adalah dilakukan penyamaan respons spektrum dari data riwayat waktu gempa ELEW terhadap respons spektrum wilayah 3 tanah lunak. Untuk mewujudkan ini, digunakan program “Resmat”.

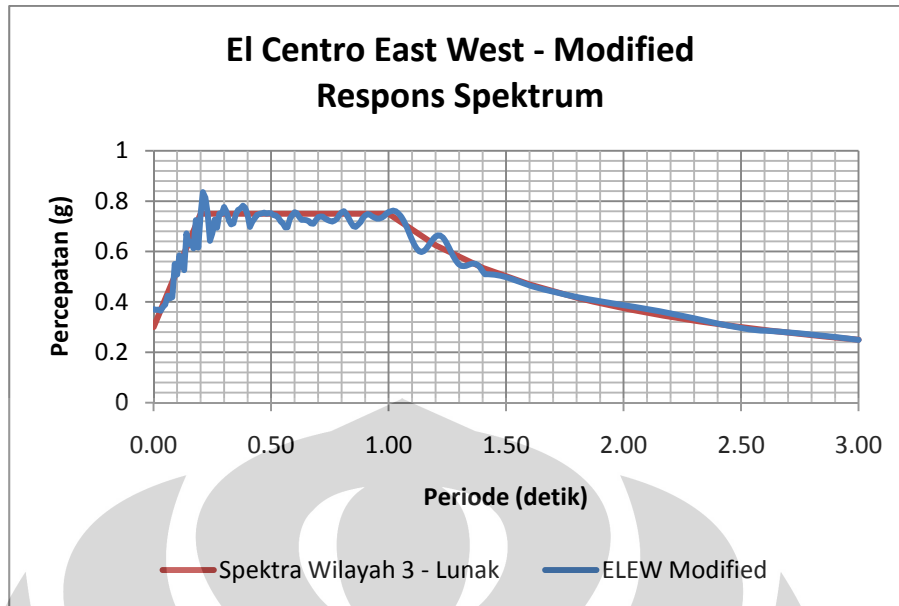
Grafik respons spektrum awal dari fungsi gempa ELEW tersebut, dapat dilihat sebagai berikut:



**Gambar 3. 10 Respons Spektrum Asli Gempa ELEW**

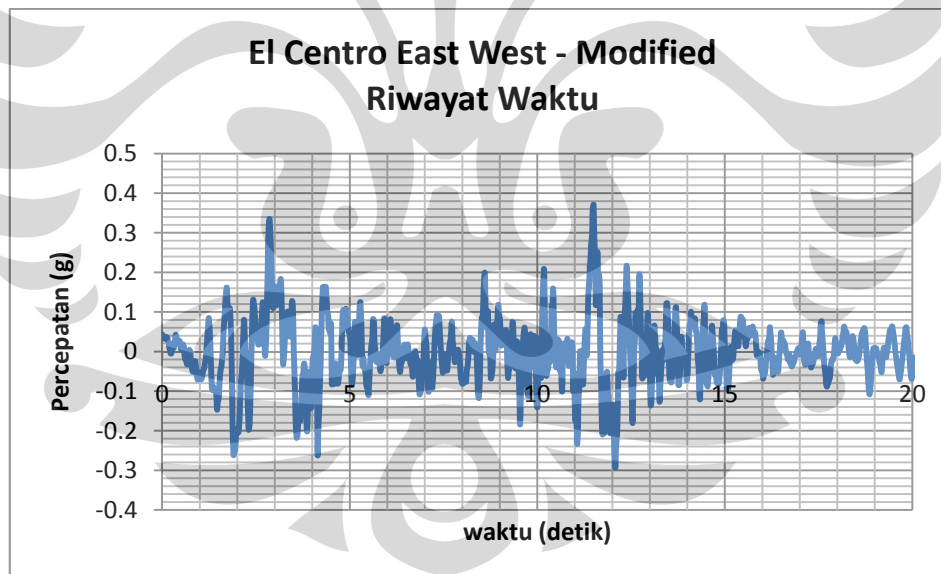
Dengan menggunakan program Resmat, grafik respons spektrum tersebut akan disamakan sehingga mendekati respons spektrum target (yang dalam hal ini adalah respons spektrum wilayah 3 tanah lunak). Hasil akhir grafik spektranya:





**Gambar 3. 11 Respons Spektrum El Centro *East - West* yang telah Dimodifikasi**

Kemudian, akan didapat data gempa riwayat hasil modifikasi fungsi gempa ELEW yang siap dijadikan input data gempa model:



**Gambar 3. 12 Data Riwayat Waktu El Centro *East West* yang telah Dimodifikasi**

b. Fungsi Gempa Sinusoidal

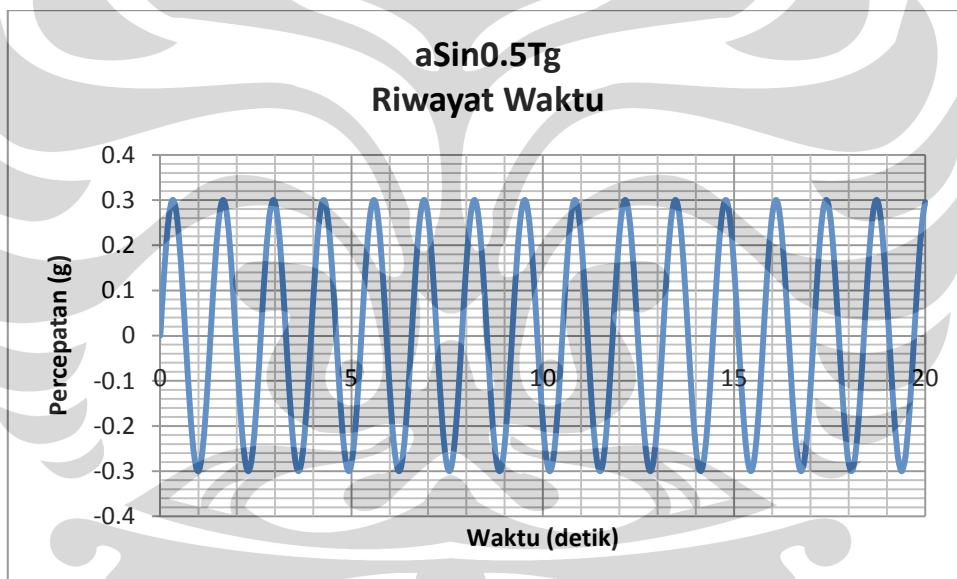
Funsgi gempa lain yang akan digunakan adalah fungsi gempa sinusoidal dengan periode gaya sebesar setengah, satu, dan dua kali periode getar alami struktur. Periode getar alami yang dijadikan sebagai acuan adalah periode getar alami dari struktur *chimney* yang dimodelkan sebagai *shell* dengan *link* baja D50, yaitu  $T_g = 2,62805$  detik.

Rumus untuk menghitung bebannya adalah sebagai berikut:

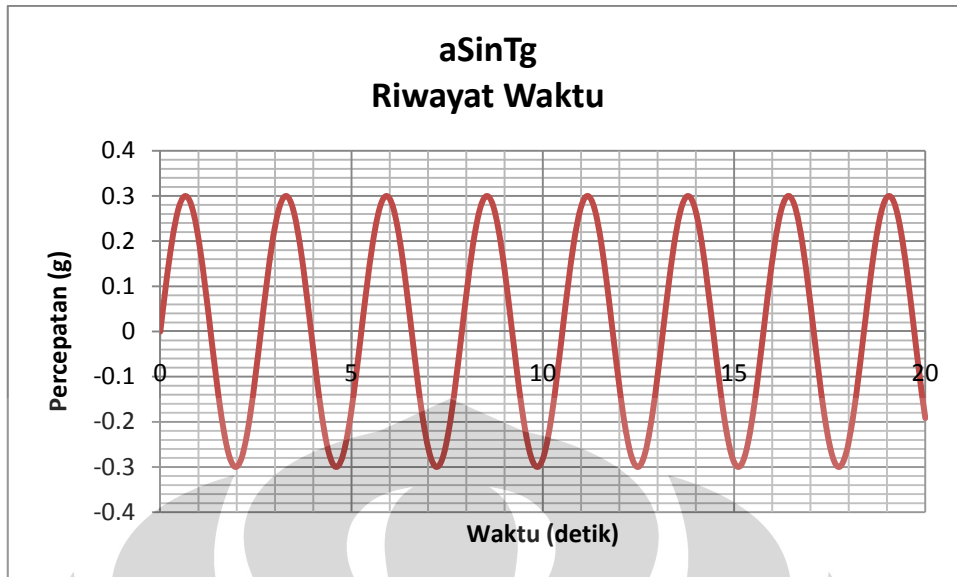
$$\ddot{U}_g = a \sin \frac{2\pi t}{T_g} \quad (3.2)$$

Dengan  $a = 0.3g$  (wilayah 3 tanah lunak)

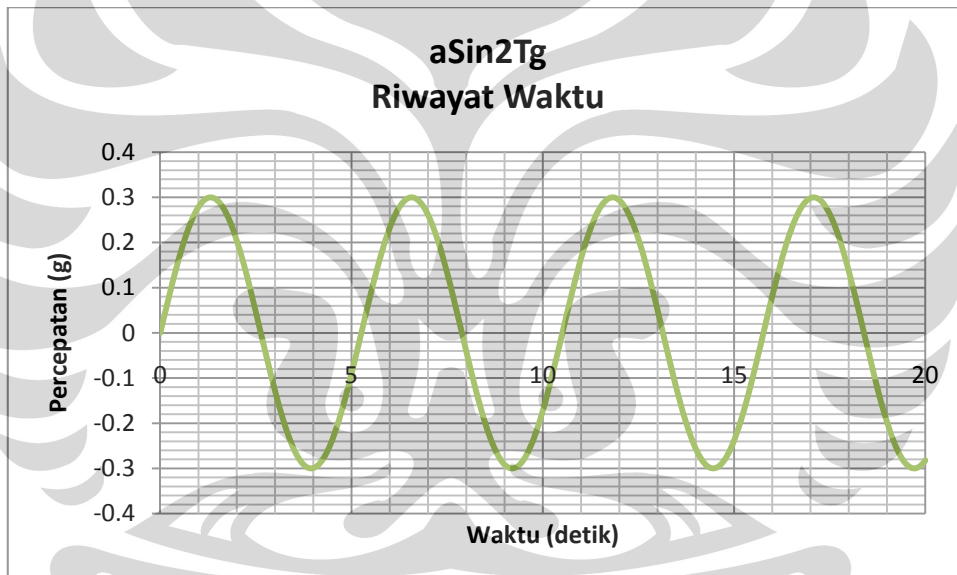
Maka grafik riwayat waktunya berturut – turut sebagai berikut:



Gambar 3. 13 Data Riwayat Waktu  $a\text{Sin}0.5T_g$  ( $a= 0.3g$ )

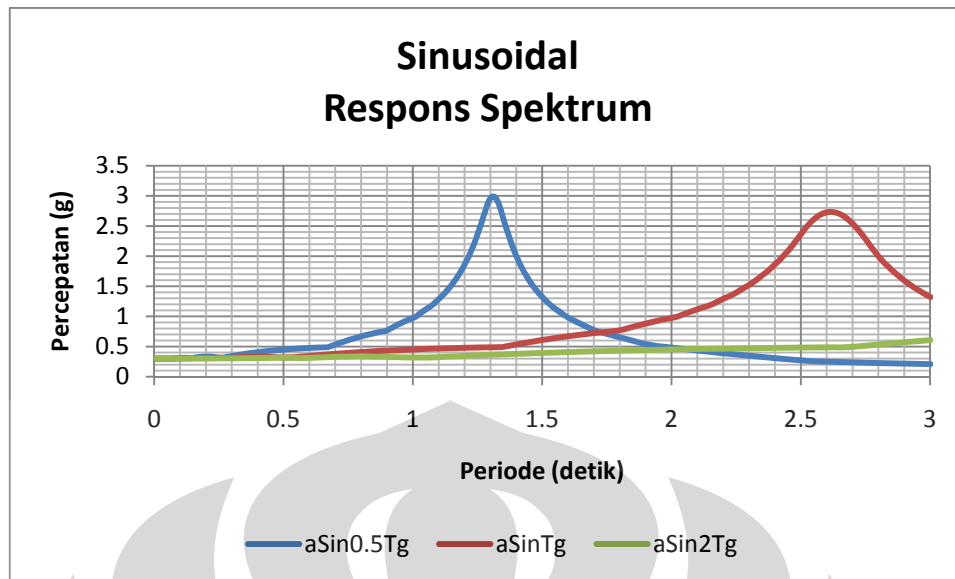


**Gambar 3.14 Data Riwayat Waktu aSinTg (a= 0.3g)**



**Gambar 3.15 Data Riwayat Waktu aSin2Tg (a= 0.3g)**

Untuk keperluan analisis, grafik respons spektrum dari tiap data riwayat waktu fungsi gempa sinusoidal tersebut juga dibutuhkan. Grafik respons spektrum ini didapat dengan menggunakan program resmat.



Gambar 3. 16 Data Gempa Sinusoidal Berupa Respons Spektrum ( $a= 0.3g$ )

c. Fungsi Gempa berupa Percepatan Respons Spektra

Spektrum respons gempa yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari peraturan ketahanan gempa SNI – 1726 – 2002 dengan asumsi struktur terletak pada wilayah 3 dengan tanah lunak. Spektrum yang ada pun akan dikonversi agar dapat dimasukkan kedalam fungsi perhitungan SAP 2000 v11, rumusnya adalah:

$$S_a = \frac{C \cdot I}{R} \cdot g \quad (3.3)$$

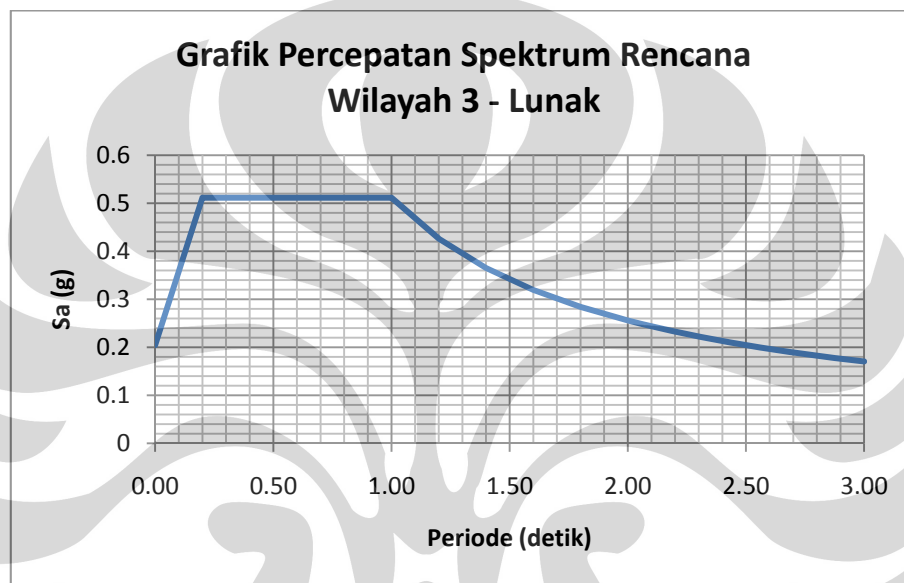
Dimana  $S_a$  adalah respon percepatan spektrum rencana,  $C$  nilai faktor respons gempa yang didapat dari gambar (2.2),  $I$  merupakan faktor keutamaan yaitu bernilai 1,5 untuk cerobong,  $R$  merupakan faktor reduksi gempa yaitu bernilai 2,2 untuk sistem struktur kolom kantilever, dan  $g$  merupakan gravitasi.

Maka tabel dan grafik percepatan spektrum rencana nya adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 6 Perhitungan Percepatan Spektrum Rencana

T (sec)	C (g)	Sa (g)
0.00	0.3	0.204545
0.20	0.75	0.511364
1.00	0.75	0.511364
1.20	0.625	0.426136

<b>1.40</b>	0.535714	0.36526
<b>1.60</b>	0.46875	0.319602
<b>1.80</b>	0.416667	0.284091
<b>2.00</b>	0.375	0.255682
<b>2.20</b>	0.340909	0.232438
<b>2.40</b>	0.3125	0.213068
<b>2.60</b>	0.288462	0.196678
<b>2.80</b>	0.267857	0.18263
<b>3.00</b>	0.25	0.170455



Gambar 3. 17 Grafik Percepatan Spektrum Rencana

### 3.5.2 Variasi Redaman

Untuk mendapatkan nilai redaman karet, digunakan konsep redaman massa (*mass damper*).

$$\frac{c}{m} = 2\xi\omega_n \quad (3.3)$$

Dimana:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3.4)$$

Massa yang dipakai merupakan massa dari setengah *inner flue* ke atas dan ke bawah dihitung per platform. Tabel massa *inner flue* dan nilai redaman yang dipakai, dapat dilihat pada lampiran B.

### 3.5.3 Variasi Lain

Variasi – variasi lain yang dilakukan pada laporan penelitian ini adalah kekakuan. Pembagian tabel resume variasi akan digolongkan berdasarkan tipe struktur dan metode analisis gempa:

#### a. Sebagai *Frame*

**Tabel 3. 7 Tabel Variasi *Frame* - Metode Riwayat Waktu**

Variasi	Tipe Link	Kekakuan	Redaman	Fungsi Gempa
<b>Tipe Link</b>	Baja D50	-	-	El-Centro East West Modified Sinusoidal 0.5Tg Sinusoidal Tg Sinusoidal 2Tg
<b>Kekakuan</b>	Rubber Isolator	6 KN/mm 12 KN/mm 18 KN/mm 24 KN/mm	5%	El-Centro East West Modified
<b>Redaman</b>	Rubber Isolator	12 KN/mm	5% 10% 15% 20%	El-Centro East West Modified
<b>Fungsi Gempa</b>	Rubber Isolator	12 KN/mm	5%	El-Centro East West Modified Sinusoidal 0.5Tg Sinusoidal Tg Sinusoidal 2Tg

**Tabel 3. 8 Tabel Variasi *Frame* - Metode Respons Spektrum**

Variasi	Tipe Link	Kekakuan	Redaman	Fungsi Gempa
<b>Tipe Link</b>	Baja D50	-	-	Spektra Wilayah 3 Lunak
<b>Kekakuan</b>	Rubber Isolator	6 KN/mm 12 KN/mm 18 KN/mm 24 KN/mm	5%	Spektra Wilayah 3 Lunak

b. Sebagai *Shell*

Tabel 3. 9 Tabel Variasi Shell - Metode Riwayat Waktu

Variasi	Tipe Link	Kekakuan	Redaman	Fungsi Gempa
<b>Tipe Link</b>	Baja D50	-	-	El-Centro East West Modified
<b>Kekakuan</b>	Rubber Isolator	6 <i>KN/mm</i> 12 <i>KN/mm</i> 18 <i>KN/mm</i> 24 <i>KN/mm</i>	5%	El-Centro East West Modified
<b>Redaman</b>	Rubber Isolator	12 <i>KN/mm</i>	5% 10%	El-Centro East West Modified

Tabel 3. 10 Tabel Variasi Shell - Metode Respons Spektrum

Variasi	Tipe Link	Kekakuan	Redaman	Fungsi Gempa
<b>Tipe Link</b>	Baja D50	-	-	Spektra Wilayah 3 Lunak
<b>Kekakuan</b>	Rubber Isolator	6 <i>KN/mm</i> 12 <i>KN/mm</i> 18 <i>KN/mm</i> 24 <i>KN/mm</i>	5%	Spektra Wilayah 3 Lunak

## BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

### 4.1 Metode Pengambilan Data

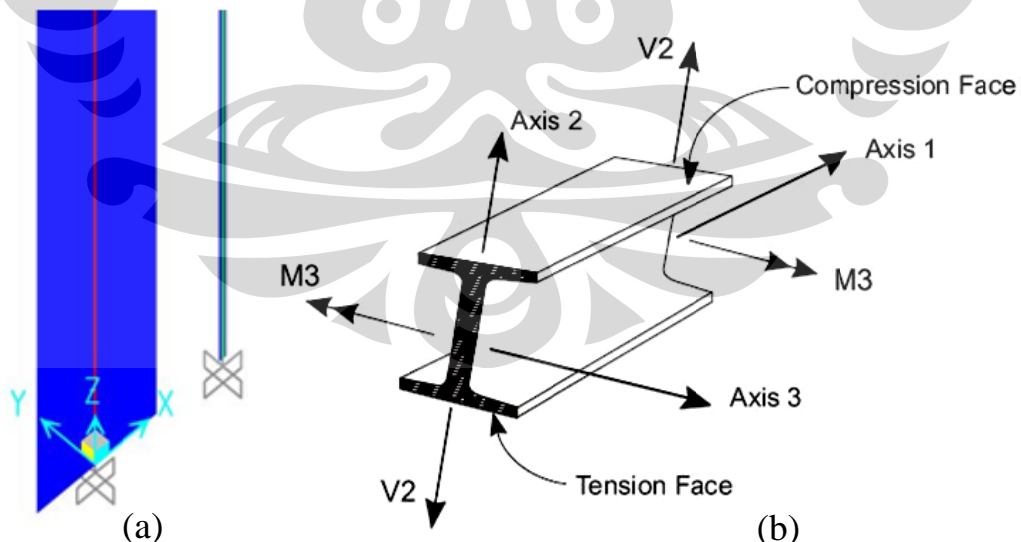
Dari berbagai macam output yang diinginkan, ada beberapa yang tidak bisa langsung didapat dari program SAP 2000 v11 seperti gaya geser tingkat dan gaya geser dasar masing – masing *inner flue* dan *windshield*. Subbab ini akan menjelaskan hal tersebut.

#### 4.1.1 Gaya Geser Dasar *Inner Flue* dan *Windshield*

Data gaya geser dasar masing – masing *inner flue* dan *windshield* penting untuk mengetahui perilaku kedua struktur tubular. Gaya geser yang terdistribusi ke *inner flue* sangat dipengaruhi oleh sambungan yang dipakai, apakah itu sambungan baja atau *elastomeric rubber* dengan kekakuan tertentu.

##### A. *Chimney* sebagai sistem struktur *frame*

Hal yang perlu dilakukan untuk mendapatkan data gaya geser dasar *inner flue* dan *windshield* dalam sistem struktur ini cukup simpel. Periksa gaya geser (*Shear 2-2*) yang terjadi pada masing – masing *inner flue* dan *windshield*.



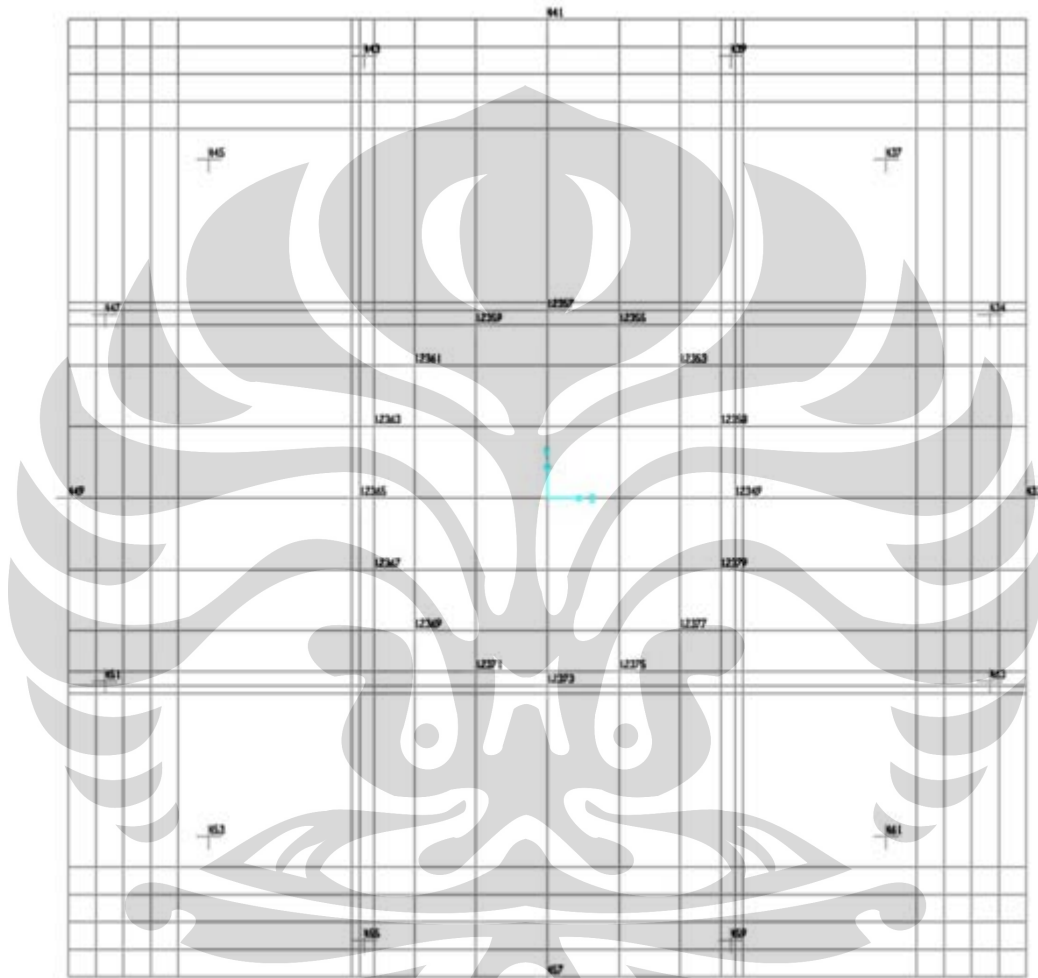
Gambar 4. 1 (a) Gaya Geser Dasar *Inner Flue* dan *Windshield* ; (b) Sumbu Lokal dan Arah Positif Komponen Gaya Geser dan Momen pada Elemen *Frame*

Metode ini juga dapat diaplikasikan untuk mengambil data momen guling masing – masing struktur.



### B. *Chimney* sebagai sistem struktur *shell*

Untuk mendapatkan data gaya geser dasar *inner flue* dan *windshield* pada permodelan *chimney* sebagai sistem struktur *shell* adalah dengan melakukan superposisi data reaksi gaya horizontal UX per waktu masing – masing *joint shell* yang bersangkutan akibat eksitasi gempa.



Gambar 4. 2 *Joint* dan Nomor *Joint* Struktur *Chimney*

Kumpulan *Joint* yang berada ditengah merupakan milik *inner flue*, sedangkan yang berada di pinggir adalah milik *windshield*.

Dalam metode respons spektrum, data gaya horizontal UX *joint* per waktu tidak bisa didapatkan melainkan hanya gaya maksimumnya saja. Gaya geser dasar per struktur didapatkan dengan menjumlahkan gaya – gaya maksimum tersebut terhadap *joint* yang bersangkutan. Hasil ini tidak begitu valid karena nilai maksimum masing – masing reaksi *joint* tersebut

Universitas Indonesia

belum tentu berada pada periode yang sama. Hasil ini masih dapat dikatakan layak digunakan sebagai data penelitian karena hasilnya tidak begitu jauh dengan nilai asli, tapi tidak untuk data desain struktur

Data momen guling untuk masing – masing struktur *inner flue* dan *windshield* tidak dapat didapatkan.

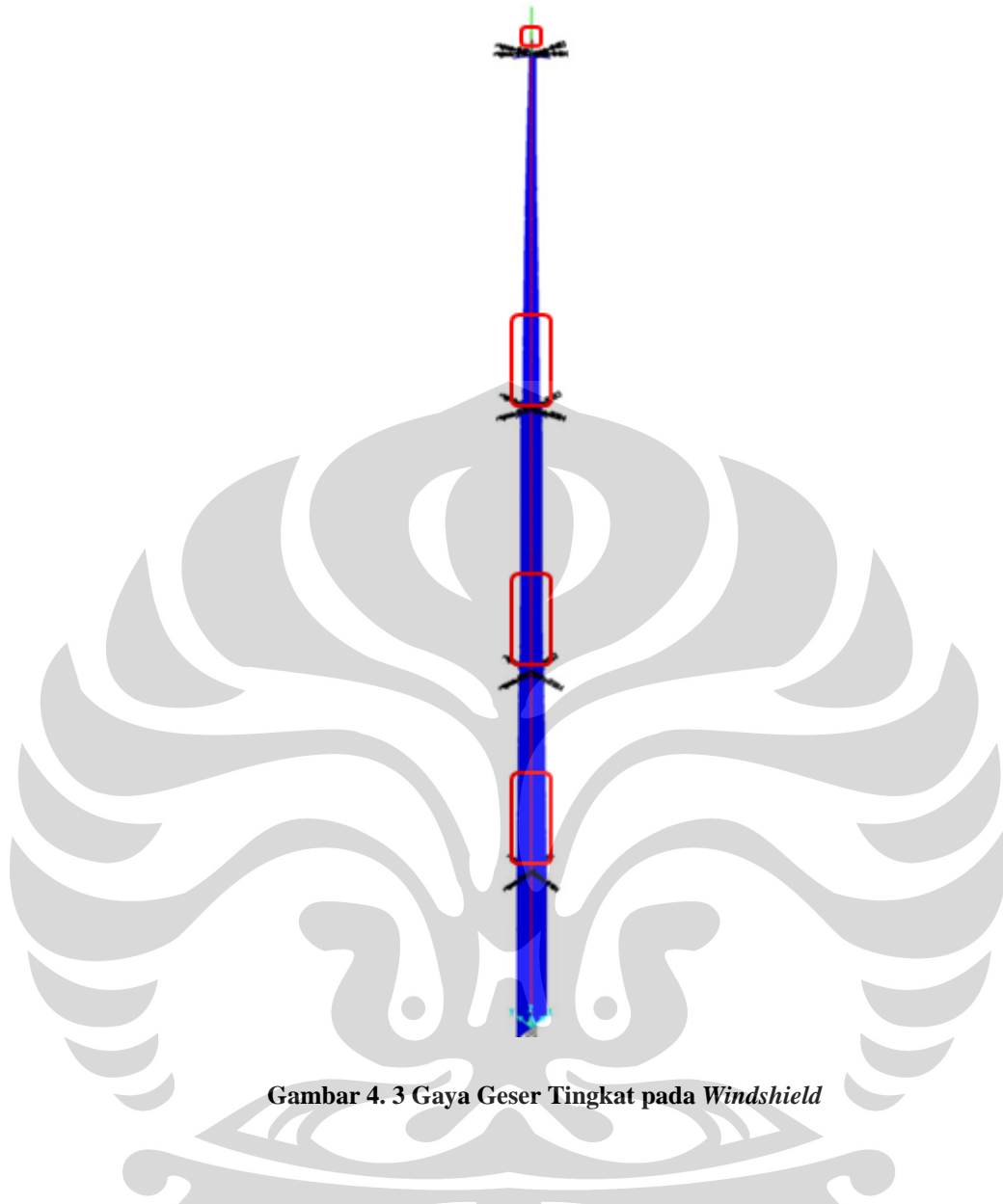
#### 4.1.2 Respon Tingkat Inner Flue dan Windshield

Untuk model struktur *frame*, respon tingkat akan diberikan dalam bentuk gaya geser tingkat. Sedangkan untuk model struktur *shell*, respon tingkat akan diberikan dalam bentuk gaya area per *platform*. Subbab ini akan menjelaskan bagaimana data respon tingkat masing – masing struktur tubular didapat.

##### A. *Chimney* sebagai sistem struktur *frame*

Dalam permodelan *chimney* sebagai sistem struktur *frame*, *chimney* terdiri dari dua sumbu *inner flue* dan *windshield* dimana dengan mudah bisa didapat gaya geser tingkat per struktur.

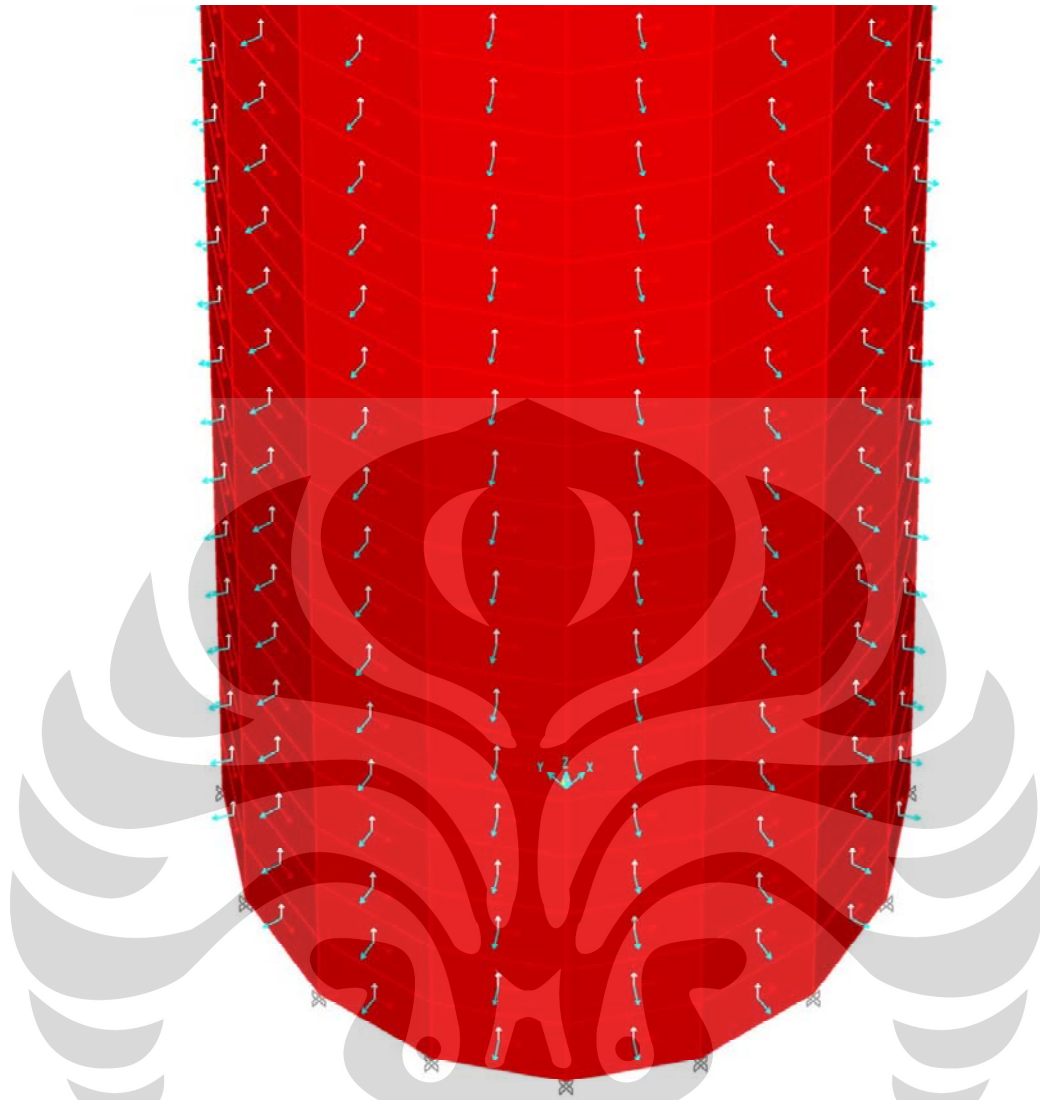
Hampir sama dengan cara mendapat gaya geser dasar masing – masing *inner flue* dan *windshield*, tampilkanlah gaya geser (*shear 2-2*) struktur, kemudian ceklah sumbu – sumbu *inner flue* dan *windshield* yang berada di atas *platform*.



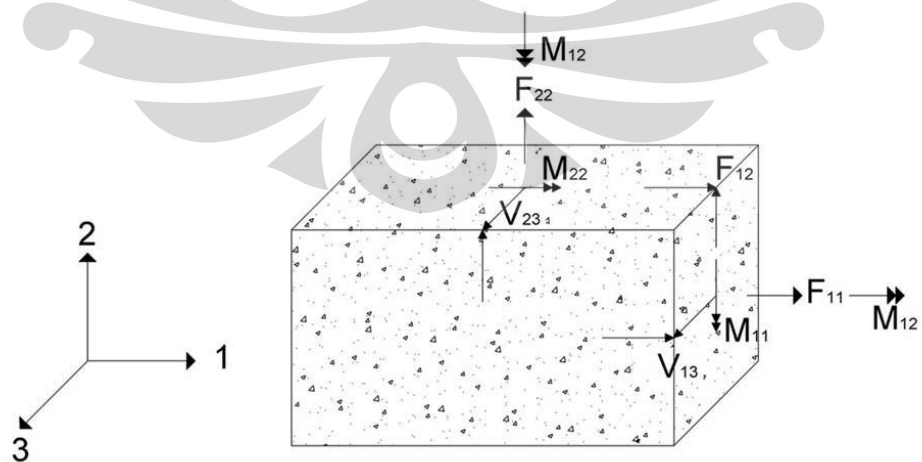
**Gambar 4. 3 Gaya Geser Tingkat pada *Windshield***

B. *Chimney* sebagai sistem struktur *shell*

Gaya geser tingkat tidak bisa didapatkan dalam sistem struktur *shell*, sebagai gantinya data respon yang akan diambil adalah berupa gaya area *shell* yang berada di atas platform. Gaya area yang akan diambil adalah gaya langsung membran arah  $F_{11}$  dan  $F_{22}$ , gaya geser membran  $F_{12}$ , momen lentur pelat arah  $M_{11}$  dan  $M_{22}$ , serta gaya geser dasar transversal arah  $V_{13}$  dan  $V_{23}$ . Karena struktur *chimney* dan kekakuan simetris, Momen puntir pelat arah  $M_{12}$  tidak diperiksa karena nilainya terlalu kecil.

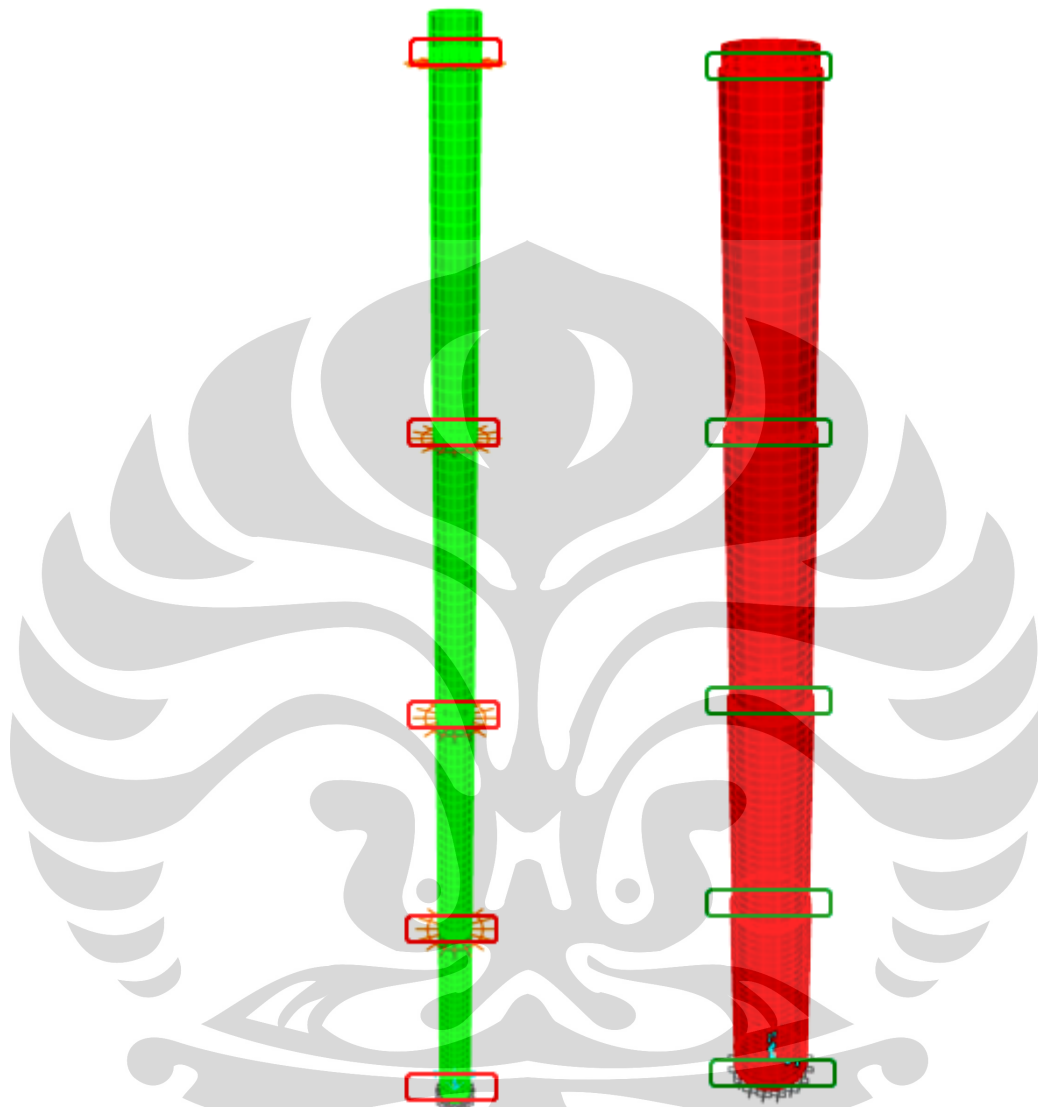


Gambar 4. 4 Tampak Sumbu Lokal Pada Permukaan Windshield



Gambar 4. 5 Sumbu Lokal dan Arah Positif Komponen Gaya Area Elemen Shell

Area yang akan diperiksa adalah yang berada di atas *platform* dan pada *base*. Berikut merupakan gambar area *shell* yang akan ditinjau:



Gambar 4. 6 Gaya Area yang Ditinjau

Tiap tingkat memiliki 16 elemen area *shell*, namun data per tingkat yang diambil adalah yang maksimum secara absolut saja.

#### 4.1.3 Perpindahan Puncak Struktur Chimney

Jika dalam gedung biasa perpindahan puncak digunakan untuk menentukan parameter kenyamanan dan *pounding* terhadap gedung lain. Dalam *chimney* ini, perpindahan puncak digunakan sebagai parameter deformasi *inner flue*. Tidak boleh terjadi perpindahan terlalu besar pada *inner flue* karena di

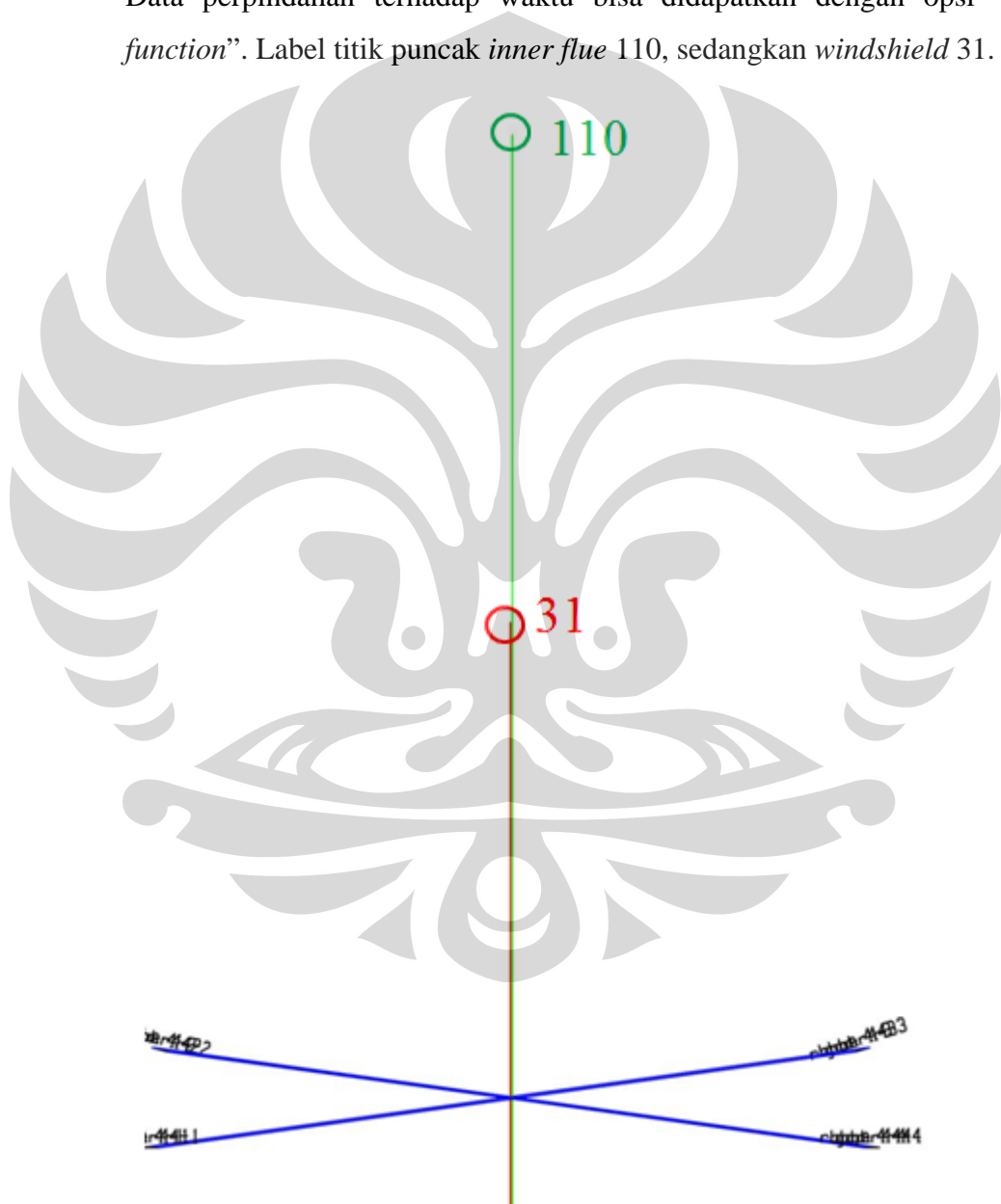
**Universitas Indonesia**

permukaan dalamnya terdapat batu tahan api yang jika berdeformasi terlalu besar, akan mengakibatkan keruntuhan pada batu tahan api tersebut.

A. *Chimney* sebagai sistem struktur *frame*

Karena struktur *inner flue* dan *windshield* hanya berbentuk sumbu, maka data lendutan puncak bisa didapatkan dari dengan menyorot titik yang bersangkutan saat kondisi “*deformed shape*”.

Data perpindahan terhadap waktu bisa didapatkan dengan opsi “*plot function*”. Label titik puncak *inner flue* 110, sedangkan *windshield* 31.

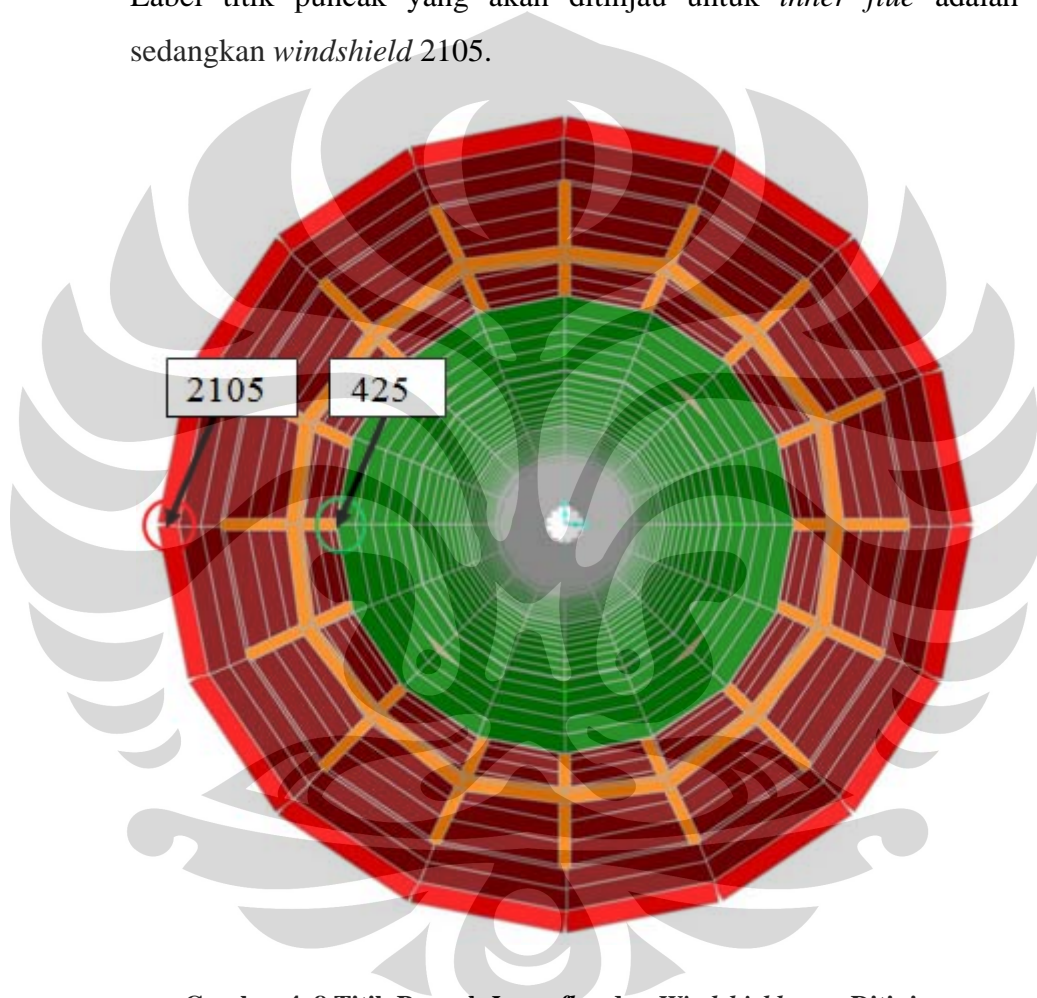


Gambar 4. 7 Titik Puncak Inner Flue (Hijau) dan Windshield (Merah)

B. *Chimney* sebagai sistem struktur *shell*

Dalam permodelan *chimney* sebagai sistem struktur *shell*, terdapat 16 titik puncak terhadap masing – masing struktur. Titik yang dipilih adalah yang searah sumbu X saja. Hal ini dikarenakan adanya kemungkinan *inner flue* untuk mengalami puntir saat terjadi gempa, maka besar perpindahan arah X dari titik yang ditinjau selain pada arah sumbu X menjadi tidak valid.

Label titik puncak yang akan ditinjau untuk *inner flue* adalah 425, sedangkan *windshield* 2105.



Gambar 4. 8 Titik Puncak *Inner flue* dan *Windshield* yang Ditinjau

## 4.2 Analisis Hasil Simulasi

Subbab ini akan menjelaskan hasil yang didapat dari simulasi yang telah dilakukan. Pembahasan hasil simulasi akan dikelompokkan berdasarkan variasi kekakuan dan *link*, variasi redaman, dan variasi fungsi gempa. Variasi permodelan sistem struktur yaitu *chimney* sebagai sistem struktur *frame* atau *shell* akan dibandingkan langsung pada variasi kekakuan, *link*, dan redaman; sedangkan variasi metode analisis gempa akan dibandingkan langsung pada variasi kekakuan dan *link*. Variasi fungsi gempa tidak dilakukan pada permodelan *chimney* sebagai *shell*.

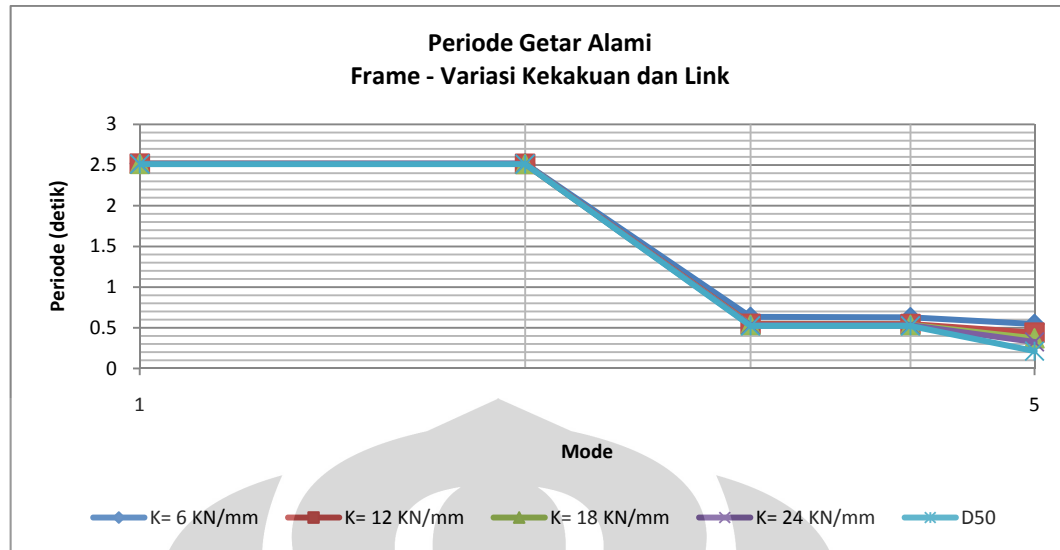
Hasil – hasil respon yang didapat dari masing – masing parameter variasi yaitu karakteristik dinamik, gaya geser dasar dan tingkat, lendutan puncak, dan respon sambungan akan dibandingkan. Tujuannya adalah untuk menunjukkan perbedaan antara variasi permodelan struktur, variasi metode analisis gempa, serta mencari nilai yang secara efektif dapat mereduksi respon seismik struktur tubular ini berdasarkan variasi parameter kekakuan, *link*, dan redaman.

### 4.2.1 Variasi Kekakuan dan *Link*

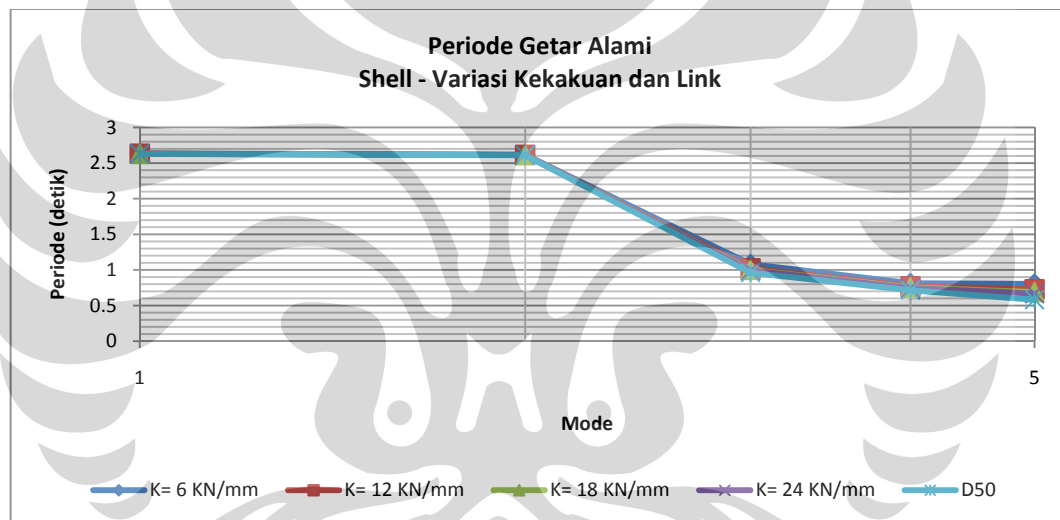
#### 4.2.1.1 Karakteristik Dinamik

Pada permodelan *chimney* sebagai sistem struktur *frame*, jumlah mode yang diambil adalah 30 mode. Hal ini dilakukan sebagai upaya untuk pencapaian target partisipasi massa 90% arah UX, UY, dan RZ dari struktur. Untuk permodelan *chimney* sebagai sistem struktur *shell*, jumlah mode yang dibutuhkan untuk mencapai 90% partisipasi massa akan sangat besar, maka hanya dipakai 70 mode yaitu dengan jumlah partisipasi massa  $\pm 84\%$  arah UX dan UY, serta  $\pm 70\%$  arah RZ. Namun untuk ditampilkan dalam laporan penelitian ini, pola getar yang ada hanya ditampilkan sampai 5 mode saja.





**Gambar 4. 9 Periode Getar Alami - Frame**



**Gambar 4. 10 Periode Getar Alami - Shell**

Periode getar pertama untuk permodelan *chimney* sebagai struktur *frame* untuk variasi kekakuan dan *link* memiliki batas antara 2,512 – 2,52 detik dengan nilai paling kecil dimiliki oleh sambungan baja D50 dan paling besar dimiliki oleh sambungan *elastomeric rubber*  $k = 6 \text{ KN/mm}$ . Maka kecenderungan yang terjadi adalah nilai kekakuan berbanding lurus dengan nilai periode getar alami.

Dalam permodelan *chimney* sebagai struktur *shell*, periode getar pertamanya lebih  $\pm 0,1$  detik daripada permodelan *chimney* sebagai struktur *frame*. Hal ini terjadi karena jika dimodelkan sebagai struktur *shell*, *chimney* akan menjadi semakin elastis dikarenakan pergerakan, gaya, dan deformasi permukaan masing – masing struktur tubular diperhitungkan. Memiliki 6 derajat kebebasan di

setiap sudut *shell* sehingga derajat kebebasan dari strukturnya menjadi sangat banyak. Sedangkan jika dimodelkan sebagai struktur *frame*, *windshield* dan *inner flue* hanya berbentuk sumbu dan hanya mempunyai 3 derajat kebebasan masing – masing ujung sumbu, hal inilah yang membuat model struktur *shell* lebih elastis daripada *frame*.

Pola getar pertama dan kedua pada kedua variasi permodelan bersifat translasi. Pola getar pertama umumnya bersifat translasi arah Y, sedangkan pola getar kedua translasi arah X. Ada perbedaan pada struktur *chimney* yang menggunakan sambungan D50 dan *elastomeric rubber*  $k = 6 \text{ KN/mm}$  dengan permodelan struktur sebagai *frame* yaitu pola getar pertama mereka translasi arah X dan pola getar kedua translasi arah Y, ini terjadi karena pemberian selisih sumbu *windshield* dan *inner flue* sebesar 10 mm arah X.

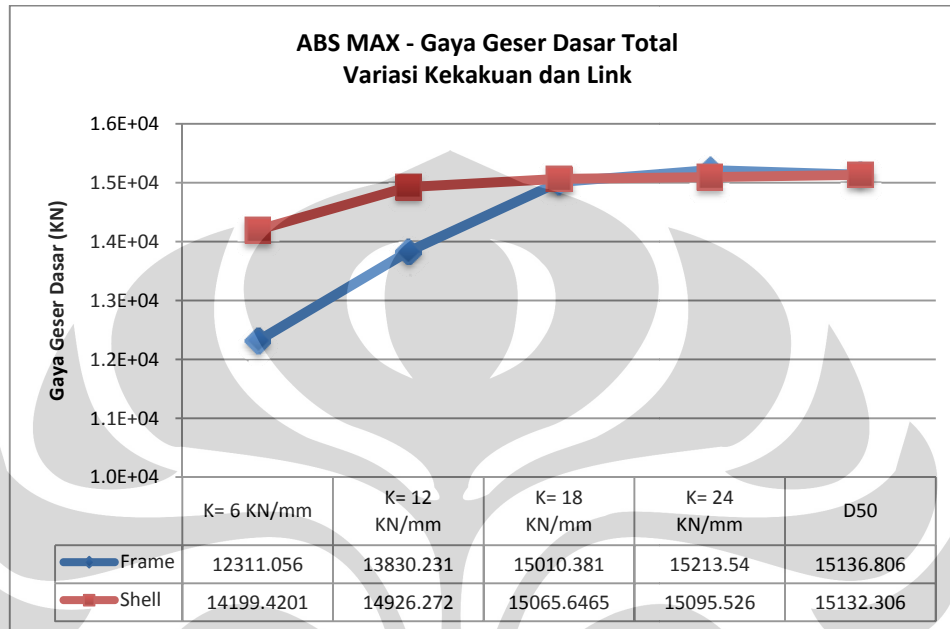
Jika dilihat dari grafik respons spektrum dari wilayah gempa 3 dengan jenis tanah lunak, dapat diprediksi bahwa jika struktur semakin kaku, respon yang akan diterima struktur menjadi semakin besar. Permodelan *chimney* sebagai *frame* dengan sambungan baja D50 akan menghasilkan respon struktur yang terbesar.

#### 4.2.1.2 Reaksi Dasar Struktur

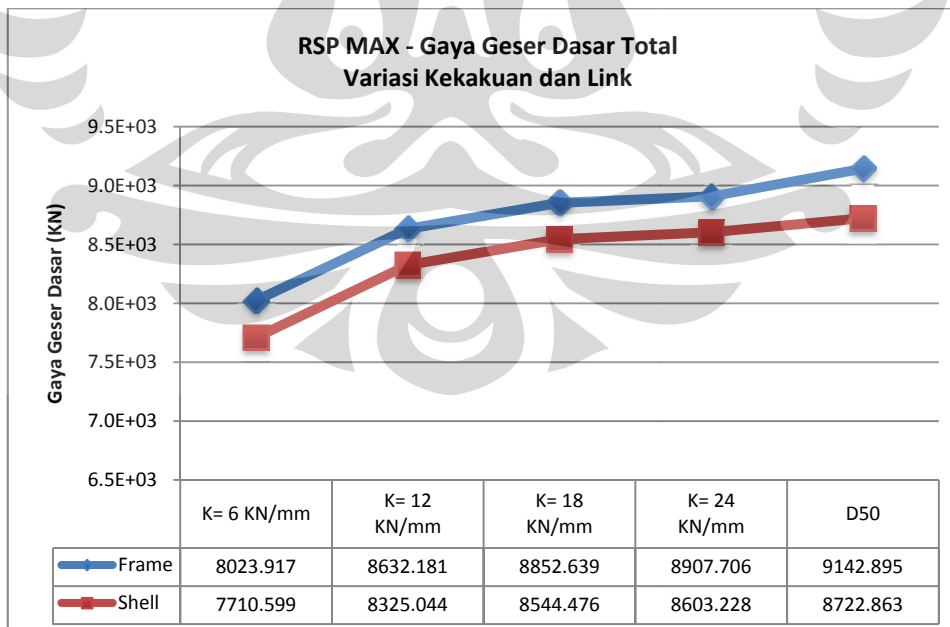
Dalam bagian ini, gaya geser dasar *windshield* menunjukkan kecenderungan yang sama dengan gaya geser dasar total. Hal ini dikarenakan  $\pm 95\%$  gaya geser dasar total diterima oleh *windshield*. Momen guling pun memiliki sifat sama yaitu sekitar  $\pm 97\%$  gaya momen guling diterima oleh struktur *windshield*. Maka dari itu, yang akan ditampilkan dalam subbab ini adalah reaksi dasar total dan *inner flue*, data reaksi dasar dari struktur *windshield* dapat dilihat pada lampiran C dan D.

### A. Reaksi Dasar Total

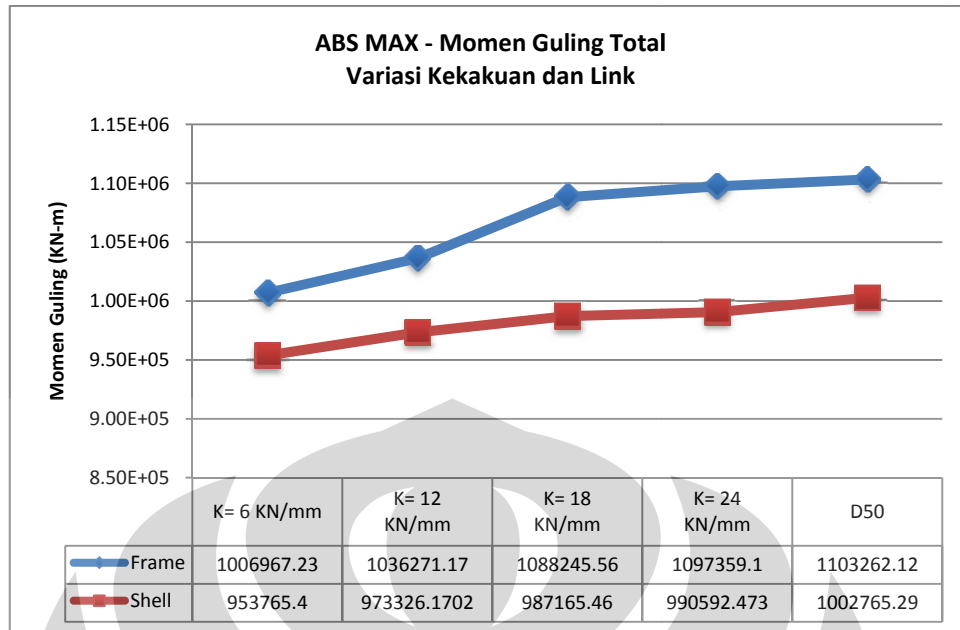
Dengan metode riwayat waktu dan respons spektrum, didapatkan perbandingan gaya geser dasar dan momen guling total untuk masing – masing variasi permodelan sistem struktur sebagai berikut:



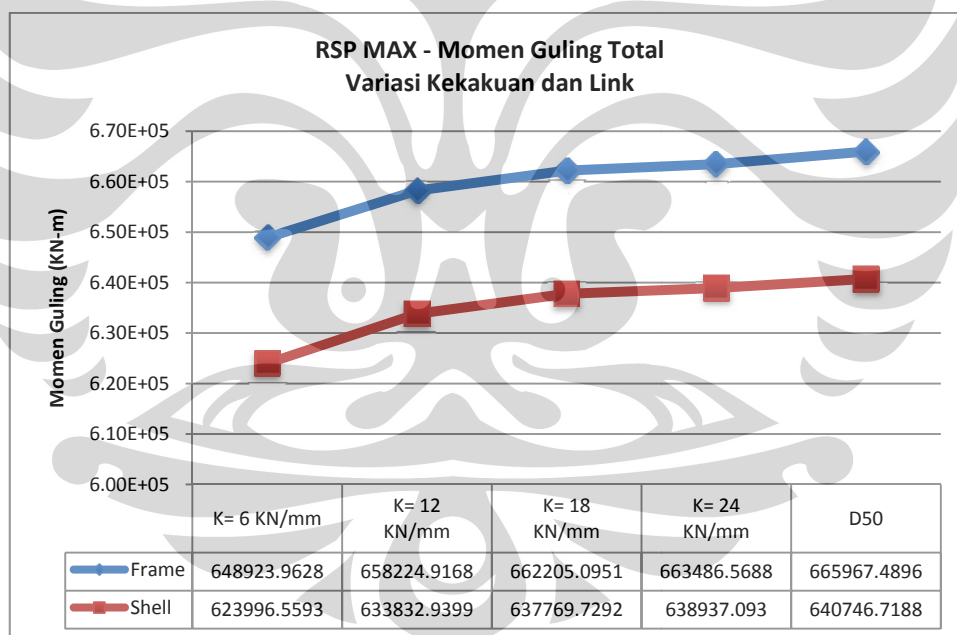
**Gambar 4. 11 Gaya Geser Dasar Total Metode Riwayat Waktu (Gempa Maksimum) - Variasi Kekakuan dan Link**



**Gambar 4. 12 Gaya Geser Dasar Total Metode Respons Spektrum (Gempa Nominal R = 2,2) - Variasi Kekakuan dan Link**



**Gambar 4. 13 Momen Guling Total Metode Riwayat Waktu (Gempa Maksimum) - Variasi Kekakuan dan Link**



**Gambar 4. 14 Momen Guling Total Metode Respons Spektrum (Gempa Nominal R = 2,2) - Variasi Kekakuan dan Link**

Penggunaan *elastomeric rubber* dengan kekakuan kecil terlihat sangat efektif untuk mereduksi gaya reaksi dasar. Persentasi pengurangan respon gaya reaksi dasar dengan penggunaan sambungan *elastomeric ruber*  $k = 6 \text{ KN/mm}$  daripada sambungan baja D50 dapat dilihat sebagai berikut:

**Universitas Indonesia**

Tabel 4. 1 Persentase Pengurangan Reaksi Dasar Penggunaan Sambungan Elastomeric Rubber K=6 KN/mm daripada Baja D50

Metode Analisis Gempa	Gaya Geser Dasar Total (KN)		Momen Guling Total (KN-m)	
	Frame	Shell	Frame	Shell
Riwayat Waktu	18.67%	6.16%	8.73%	4.89%
Respons Spektrum	12.24%	11.60%	2.56%	2.61%

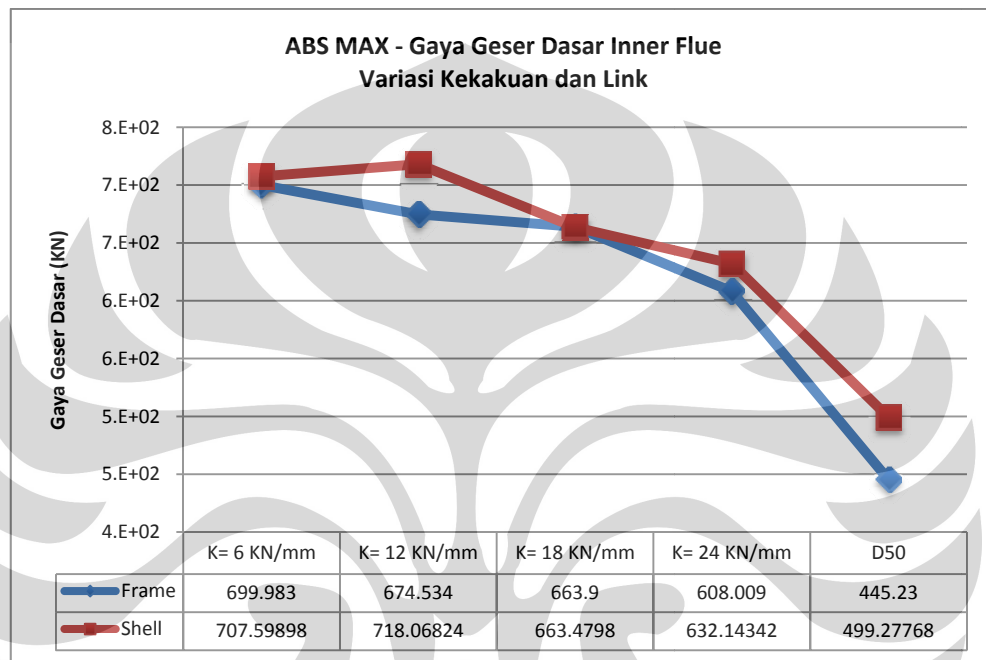
Pada permodelan *chimney* sebagai sistem struktur *frame*, penggunaan *elastomeric rubber* dengan kekakuan aksial saja menunjukkan pengurangan gaya geser dasar yang cukup tinggi yaitu 18,67 %, sedangkan persentase pengurangan gaya momen guling 8,73 %. Jika menggunakan metode respons spektrum, gaya geser dasar total berkurang 12,24 % sedangkan momen guling tidak berkurang signifikan yaitu 2,56 %.

Pada permodelan *chimney* sebagai sistem struktur *shell*, pengurangan gaya geser dasar dan momen guling yang ada tidak sebesar saat *chimney* dimodelkan sebagai sistem struktur *frame*. Ini terjadi karena saat dimodelkan sebagai sistem struktur *shell*, *elastomeric rubber* yang hanya diasumsikan menahan gaya aksial tidak dapat meredam semua nilai – nilai gaya area yang bekerja pada kepingan – kepingan *shell*. Dengan metode riwayat waktu, gaya geser dasar total berkurang 6.16% sedangkan momen gulingnya berkurang 4.89%. Namun jika menggunakan metode respons spektrum pengurangan yang terjadi bernilai mirip dengan saat *chimney* dimodelkan sebagai sistem struktur *frame* yaitu gaya geser dasar total berkurang 11,6% dan momen guling total berkurang 2,61%.

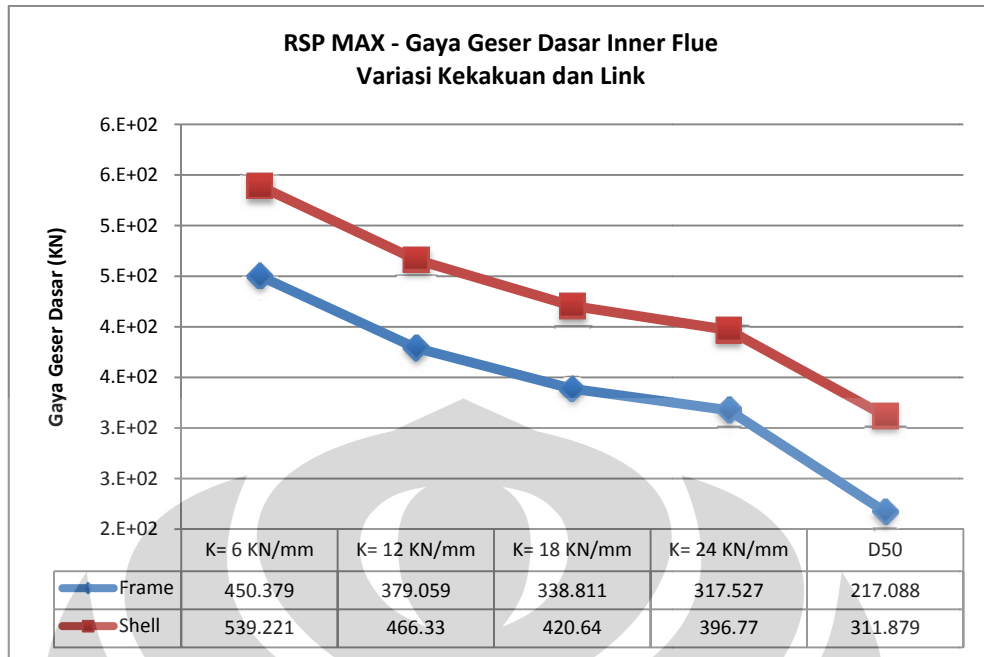
Dapat disimpulkan bahwa kekakuan *elastomeric rubber* yang kecil secara efektif dapat mereduksi respon reaksi dasar struktur. Penggunaan kekakuan *elastomeric rubber* yang lebih kecil dari 6 KN/mm kemungkinan akan memberikan respon yang lebih baik lagi.

### B. Reaksi Dasar *Inner Flue*

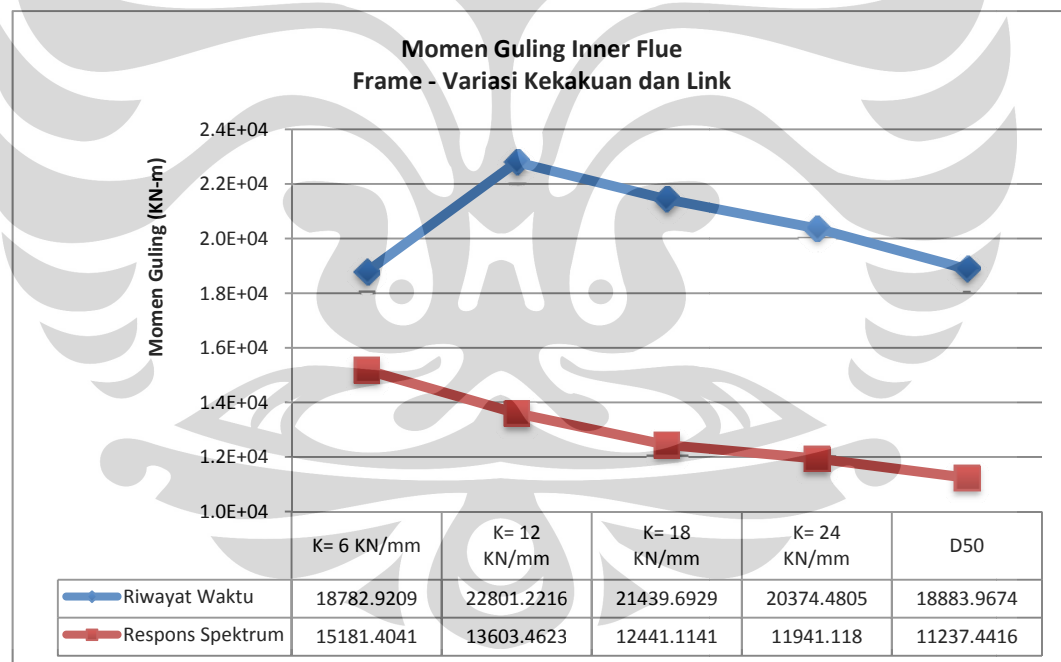
Sambungan yang digunakan mengalami kontak langsung dengan permukaan *inner flue*, maka respon tersendiri dari struktur tubular ini akibat penggunaan sambungan yang berbeda perlu diperhatikan. Untuk mengingatkan kembali, data momen guling *inner flue* dari permodelan *chimney* sebagai struktur *shell* tidak bisa didapatkan.



**Gambar 4. 15 Gaya Geser Dasar *Inner Flue* Metode Riwayat Waktu (Gempa Maksimum) - Variasi Kekakuan dan Link**



**Gambar 4. 16 Gaya Geser Dasar Inner Flue Metode Respons Spektrum (Gempa Nominal R = 2,2) - Variasi Kekakuan dan Link**



**Gambar 4. 17 Momen Guling Inner flue dengan Sistem Struktur Frame - Variasi Kekakuan dan Link**

Respon gaya geser dasar yang terjadi pada *inner flue* memiliki kecenderungan yang berbeda dari gaya geser dasar total yaitu semakin besar kekakuan sambungan, gaya geser dasar *inner flue* semakin kecil dan gaya geser dasar yang terdistribusi ke *inner flue* semakin kecil.

Dengan metode riwayat waktu, persentase kenaikan gaya geser dasar *inner flue* yang terjadi antara penggunaan sambungan *elastomeric ruber*  $k = 6 \text{ KN/mm}$  dan baja D50 adalah 57,22% untuk model struktur *frame* dan 41,725% untuk model struktur *shell*.

Metode respons spektrum menunjukkan persentase kenaikan gaya geser dasar *inner flue* sebesar 107,464% untuk model struktur *frame* sedangkan untuk model struktur *shell* bernilai 72,895%.

Momen guling *inner flue* menunjukkan kecenderungan yang sama dengan gaya geser dasarnya, tetapi terjadi anomali pada penggunaan sambungan *elastomeric ruber*  $k = 6 \text{ KN/mm}$  dimana nilai momen guling *inner flue* nya lebih kecil dari variasi yang lain yaitu senilai 18782,92 KNm. Hal ini kemungkinan terjadi karena adanya tumbukan struktur *inner flue* dengan elemen *link gap* dan *hook*.

Penggunaan *elastomeric rubber* dengan kekakuan yang kecil akan memperbesar gaya geser dasar yang terjadi pada *inner flue*, namun kelemahan ini masih dapat ditolerir dengan kontribusinya mengurangi gaya geser dasar pada *windshield*.

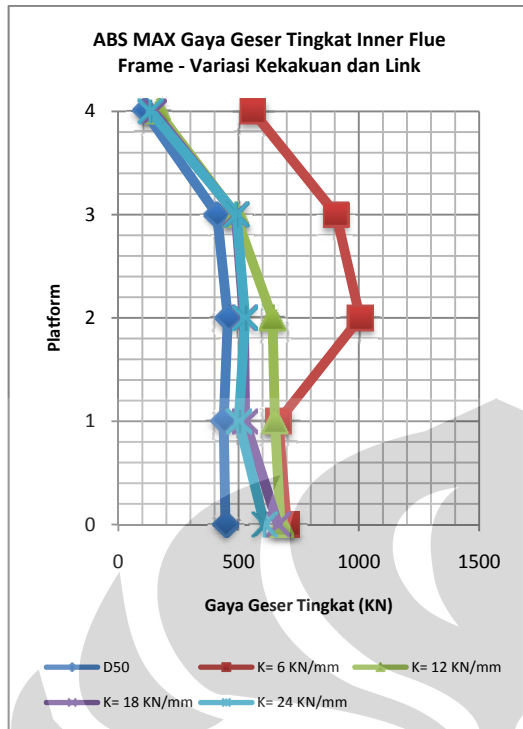
#### 4.2.1.3 Respon Tingkat Struktur

Subbab ini akan dibagi berdasarkan tipe struktur karena respon tingkat struktur yang dibahas dalam masing - masing permodelan *frame* dan *shell* berbeda.

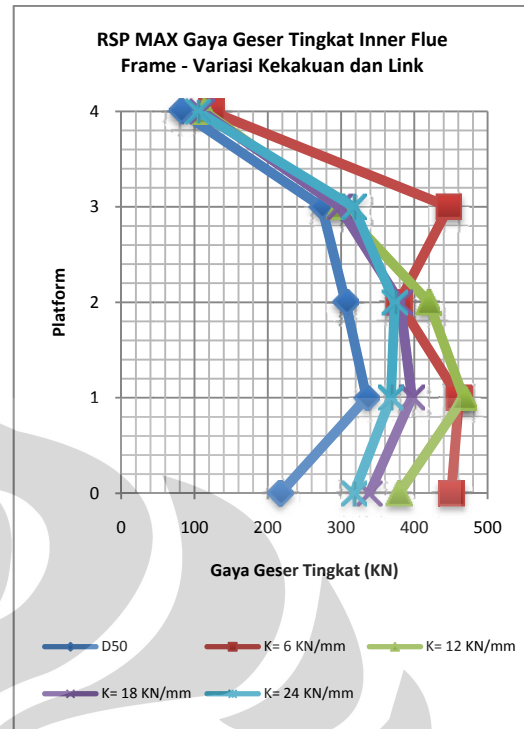
##### A. *Chimney* sebagai sistem struktur *frame*

Data gaya geser tingkat yang akan diberikan pada subbab ini adalah gaya geser tingkat dari masing – masing struktur tubular. Grafik akan dibagi berdasarkan metode analisis gempa dan struktur tubular yang ditinjau.

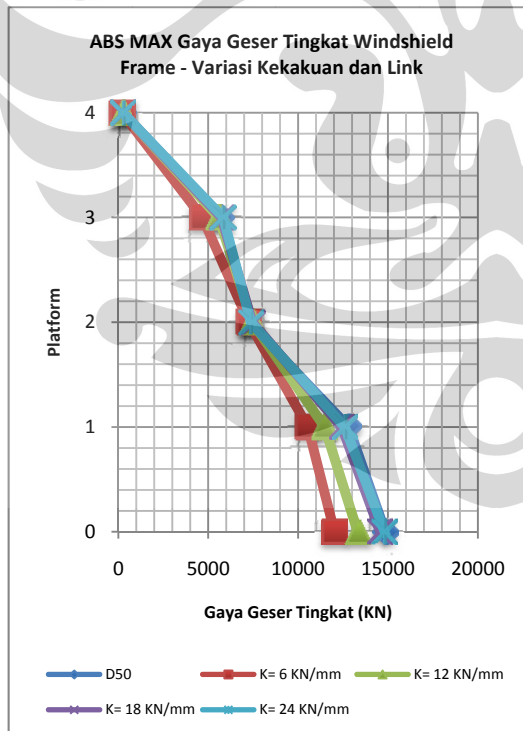




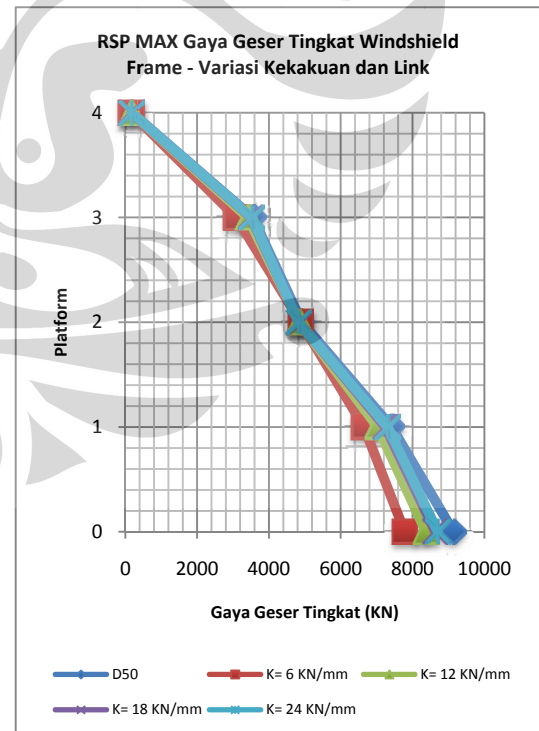
**Gambar 4. 18 Gaya Geser Tingkat Inner Flue Metode Riwayat Waktu (Gempa Maksimum) - Variasi Kekakuan dan Link**



**Gambar 4. 19 Gaya Geser Tingkat Inner Flue Metode Respons Spektrum (Gempa Nominal R = 2,2) - Variasi Kekakuan dan Link**



**Gambar 4. 20 Gaya Geser Tingkat Windshield Metode Riwayat Waktu (Gempa Maksimum) - Variasi Kekakuan dan Link**



**Gambar 4. 21 Gaya Geser Dasar Windshield Metode Respons Spektrum (Gempa Nominal R = 2,2) - Variasi Kekakuan dan Link**

Pada struktur *inner flue* terjadi sedikit perbedaan tren dari gaya geser tingkat pada variasi metode analisis gempa. Pola yang paling berbeda adalah saat penggunaan sambungan *elastomeric rubber*  $k = 6 \text{ KN/mm}$  yaitu pada *platform 2*. Pada metode riwayat waktu, gaya geser tingkat naik secara tiba – tiba menjadi  $1005,2957 \text{ KN}$  dari  $665,70461 \text{ KN}$ . Peristiwa ini terjadi karena metode respons spektrum tidak dapat mengakomodir parameter non linier yang dalam hal ini adalah elemen *link gap* dan *hook*.

Struktur *inner flue* memberikan respon gaya geser yang berbeda tiap *platform* tergantung kekakuan sambungan *elastomeric rubber* yang dipakai. Penulis membaginya menjadi kekakuan kecil ( $k = 6 \text{ KN/mm}$ ), sedang ( $k = 12 \text{ KN/mm}$ ), dan besar ( $k = 18 \text{ KN/mm}$  dan  $k = 24 \text{ KN/mm}$ ) ; sambungan baja D50 dapat digolongkan dalam kekakuan sangat besar ( $k = 4123,34 \text{ KN/mm}$ ).

Dengan mempertimbangkan hasil dari metode riwayat waktu, kekakuan kecil mempunyai kecenderungan kenaikan gaya geser yang besar secara tiba – tiba (meningkat 51% dari *platform* sebelumnya) pada *platform 2* dan kemudian berkurang pada *platform* berikutnya. Kekakuan sedang tidak mengalami pengurangan yang berarti pada *platform 1* dan 2 (berkurang  $\pm 3\%$  dari *platform* sebelumnya), baru terjadi pengurangan yang cukup signifikan pada *platform 3* (berkurang  $\pm 24\%$ ). Kekakuan besar sedikit berbeda dari sedang, dimana pengurangan yang cukup signifikan terjadi pada *platform 1* (berkurang  $\pm 21\%$ ), kemudian mengalami perubahan yang tidak begitu berarti pada *platform* berikutnya kecuali *platform 4* dimana sisa panjang *inner flue* adalah 4 meter.

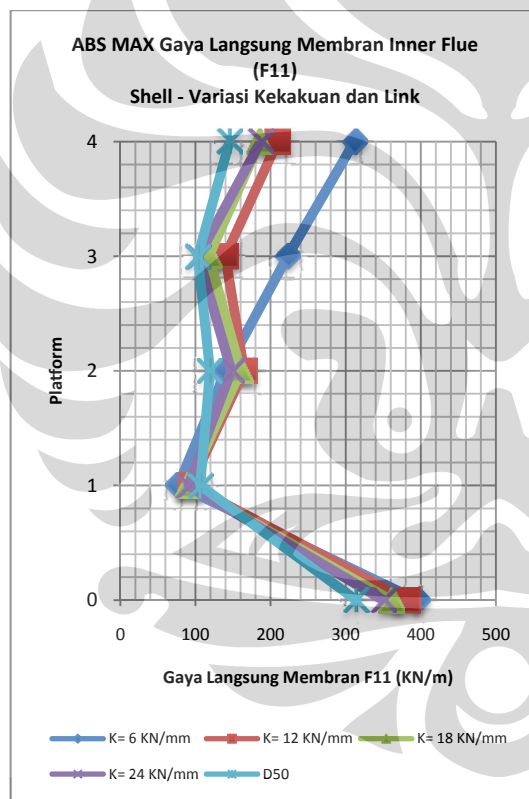
Perilaku struktur *windshield* tidak begitu berubah terhadap kekakuan sambungan karena strukturnya yang terlalu kaku dan massanya yang besar. Dari grafik terlihat bahwa penggunaan kekakuan sambungan yang kecil akan mereduksi gaya geser tingkat *windshield* secara signifikan.

Dapat disimpulkan bahwa dibutuhkan persyaratan desain struktur *inner flue* yang lebih tinggi terhadap geser pada *platform 1* keatas untuk

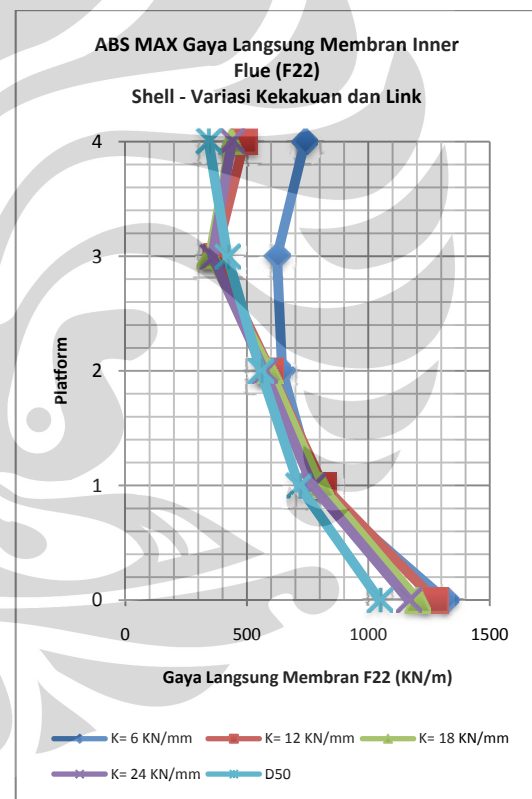
mendesain *chimney* ini menggunakan sambungan *elastomeric rubber* dengan kekakuan yang kecil ( $k \leq 6 \text{ KN/mm}$ ).

### B. *Chimney* sebagai sistem struktur *shell*

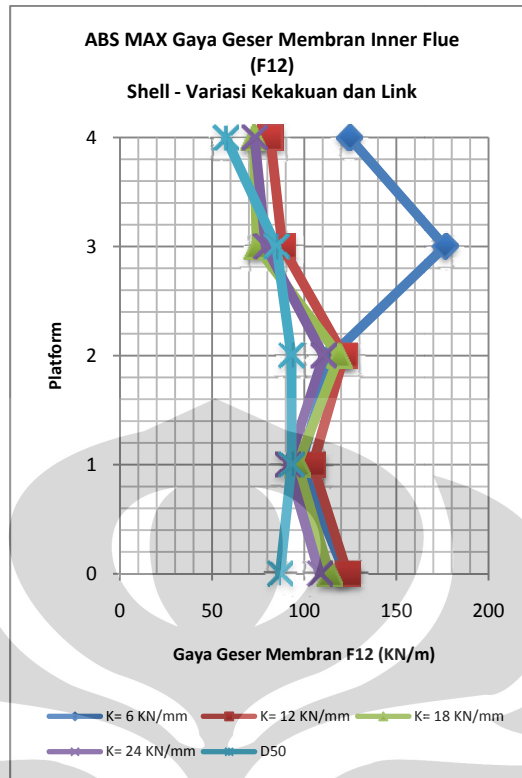
Respon tingkat struktur yang akan ditampilkan pada bagian ini adalah gaya area *shell* per *platform* seperti yang telah dijelaskan pada subbab 4.1.2. Grafik yang akan ditampilkan adalah hasil dari analisis gempa dengan metode riwayat waktu saja, gaya area hasil dari analisis gempa metode respons spektrum dapat dilihat pada lampiran no D.



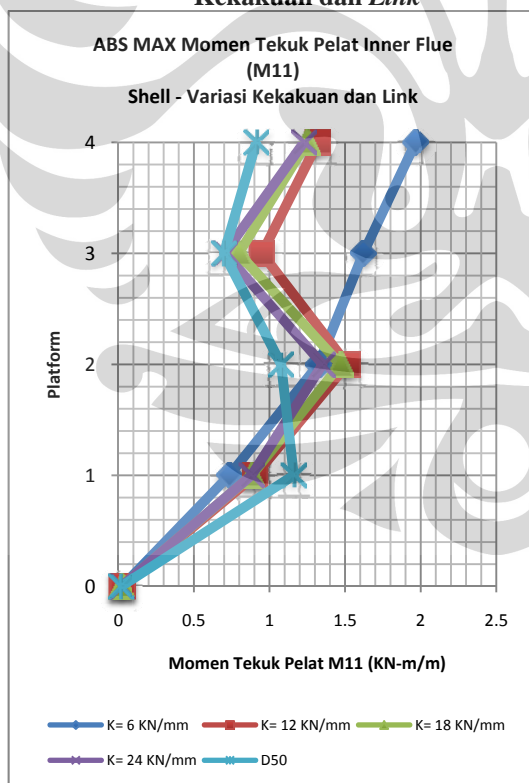
**Gambar 4. 22** Gaya Langsung Membran *Inner Flue* (F11) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link*



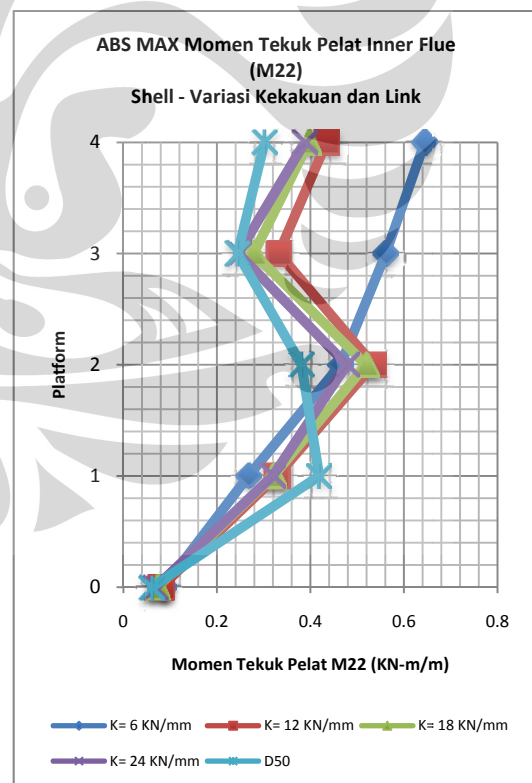
**Gambar 4. 23** Gaya Langsung Membran *Inner Flue* (F22) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link*



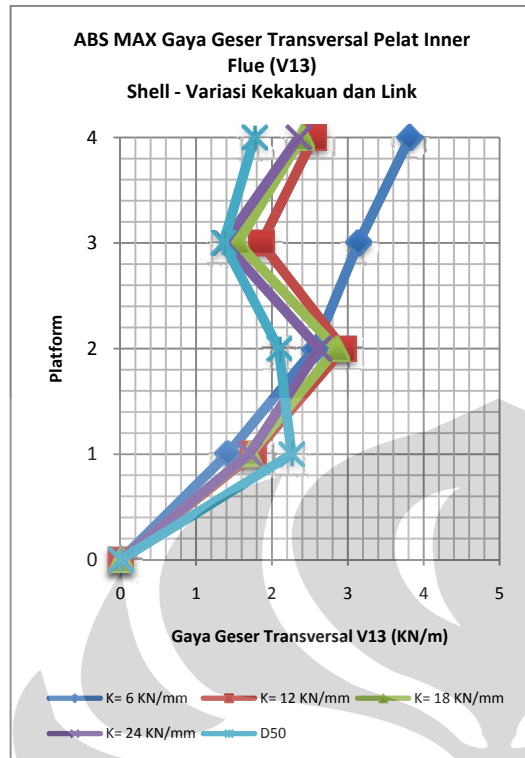
Gambar 4. 24 Gaya Geser Membran *Inner Flue* (F12) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan Link



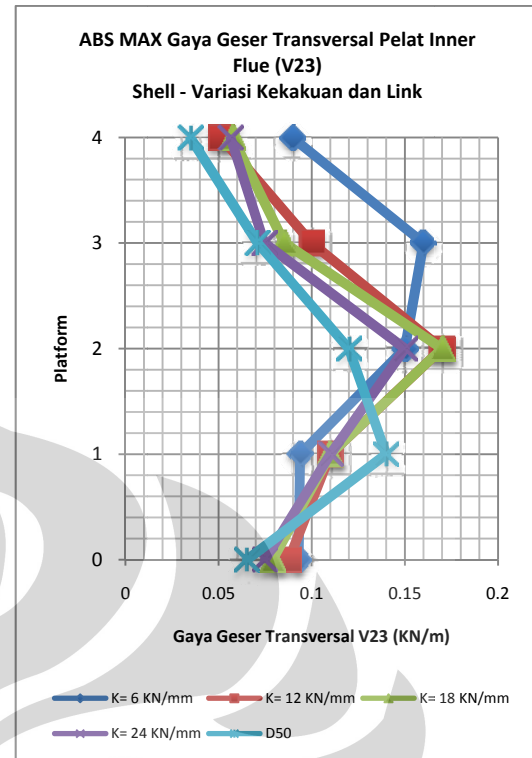
Gambar 4. 25 Momen Tekuk Pelat *Inner Flue* (M11) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan Link



Gambar 4. 26 Momen Tekuk Pelat *Inner Flue* (M22) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan Link



**Gambar 4. 27** Gaya Geser Transversal *Inner Flue* (V13) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan Link



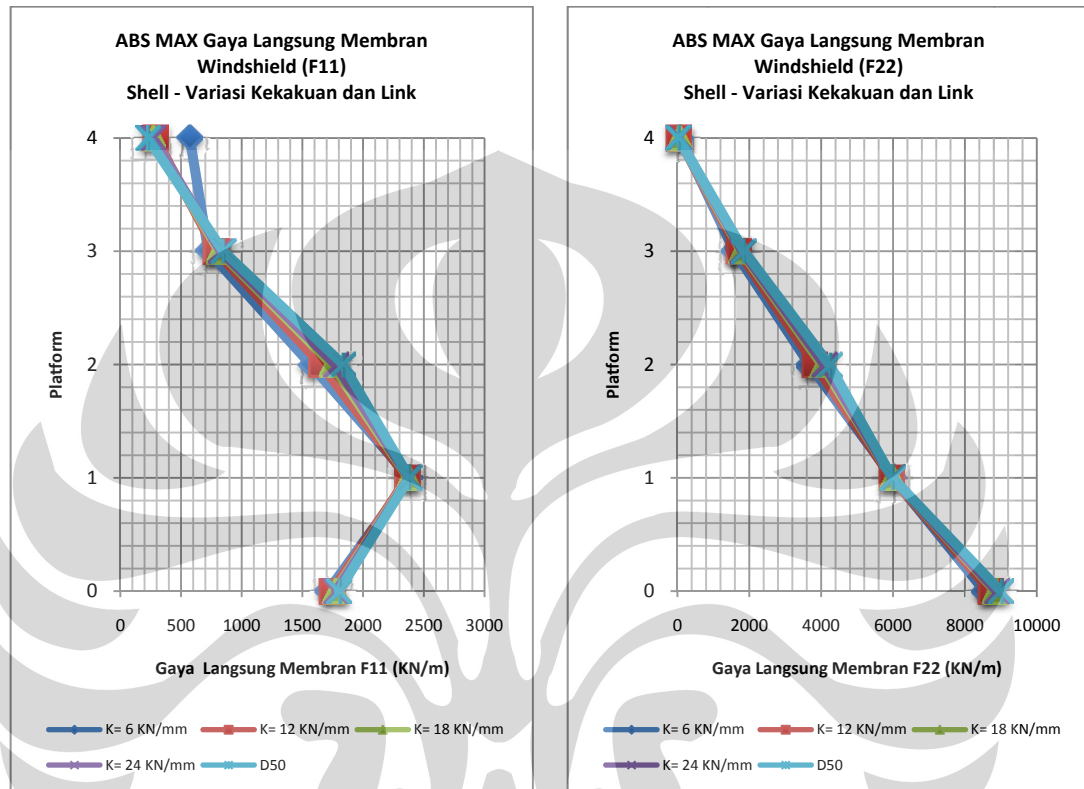
**Gambar 4. 28** Gaya Geser Transversal *Inner Flue* (V23) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan Link

Respon tingkat *inner flue* pada permodelan sebagai *shell* tetap memiliki kecenderungan bahwa pemakaian sambungan dengan kekakuan yang kecil akan mengakibatkan respon seismik yang paling besar pada struktur tubular *inner flue*.

Pola reaksi per tingkat pada permodelan sebagai *shell* agak berbeda dengan *frame*. Respon tingkat yang disebabkan oleh penggunaan sambungan *elastomeric rubber* dengan kekakuan 12 *KN/mm*, 18 *KN/mm*, dan 24 *KN/mm* memiliki pola yang mirip. Penggunaan sambungan baja D50 menghasilkan respon dengan pola berbeda dengan sambungan *elastomeric rubber*, namun sambungan ini secara keseluruhan menghasilkan respon tingkat *inner flue* yang lebih kecil daripada sambungan *elastomeric rubber*.

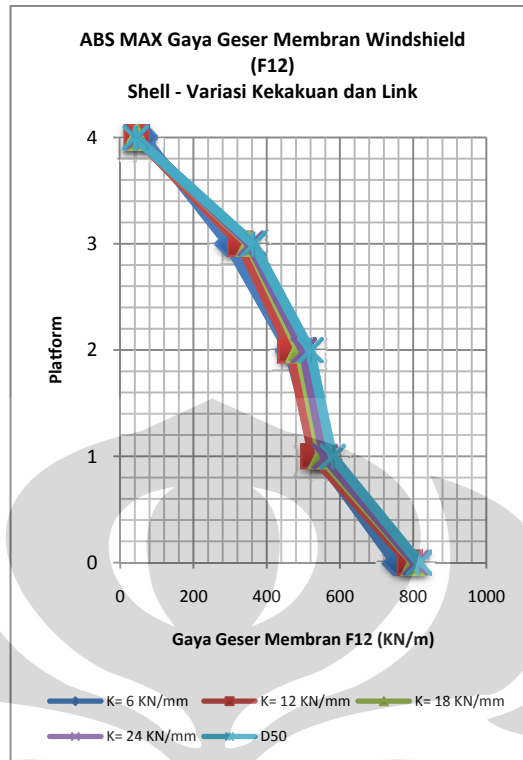
Secara keseluruhan, yang perlu diwaspadai pada reaksi tingkat *inner flue* adalah gaya membran baik langsung maupun geser karena nilainya jauh

lebih besar dari gaya tekuk dan geser pelat. Menggunakan sambungan *elastomeric rubber* dengan kekakuan  $k = 6 \text{ KN/mm}$  menghasilkan respon tingkat paling tinggi dan pola yang berbeda dari kekakuan *elastomeric rubber* lain yang dipakai dalam variasi.

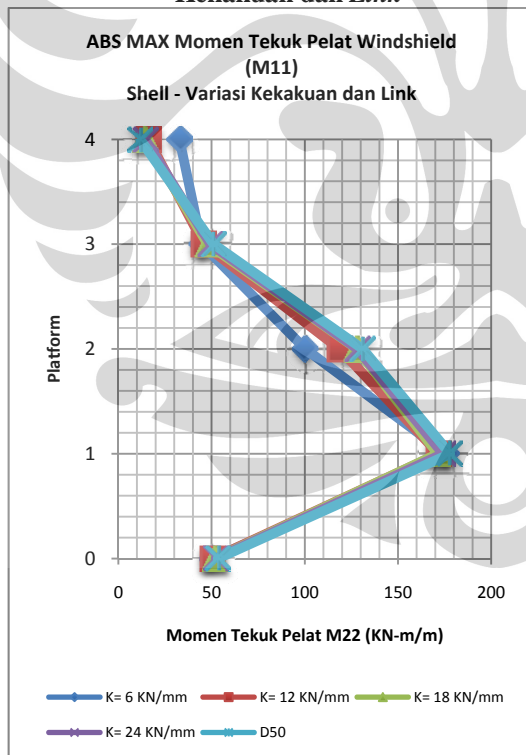


**Gambar 4. 29 Gaya Langsung Membran Windshield (F11) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan Link**

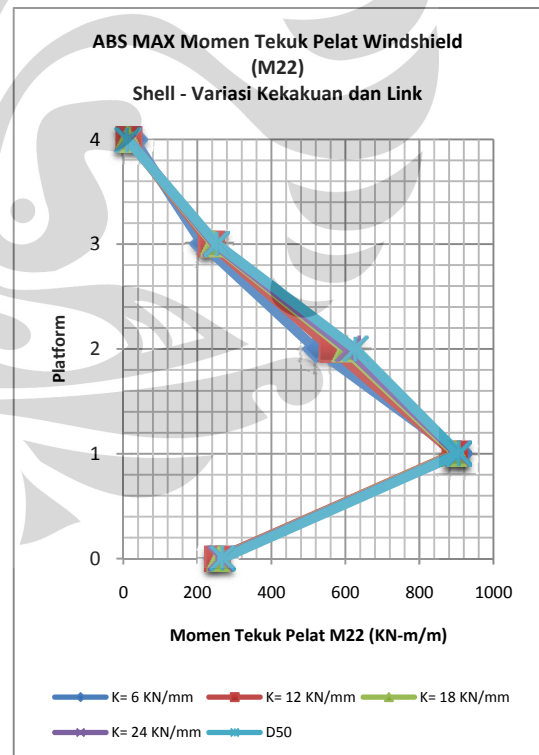
**Gambar 4. 30 Gaya Langsung Membran Windshield (F22) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan Link**



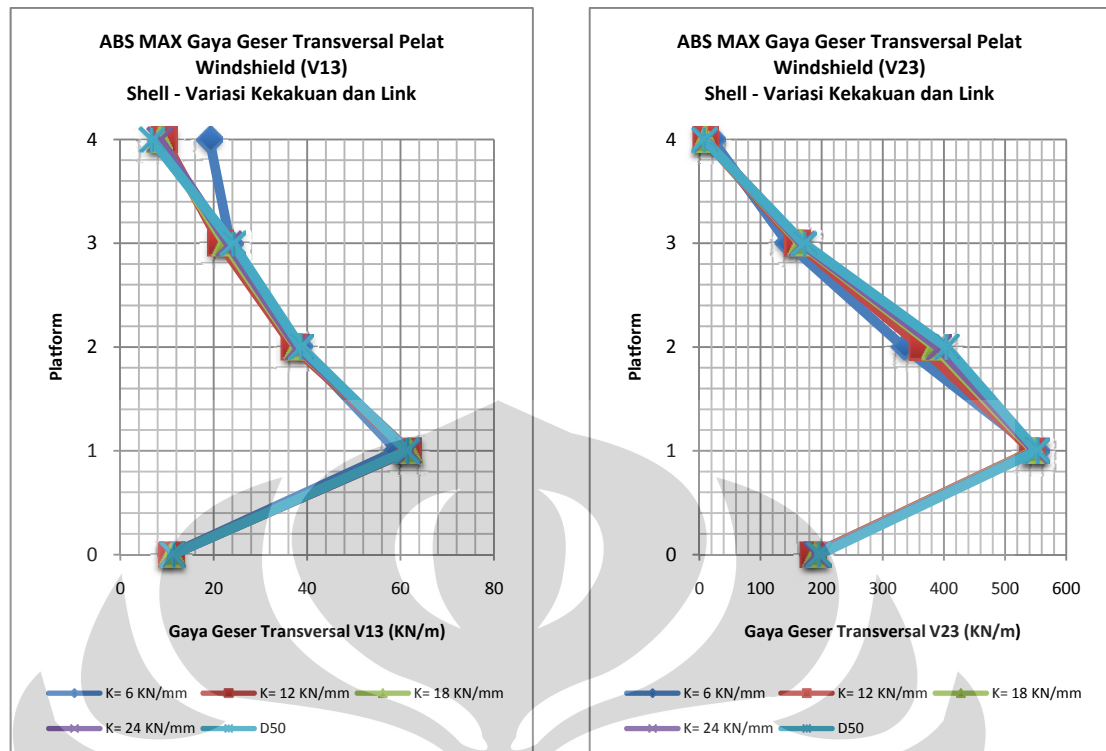
Gambar 4. 31 Gaya Geser Membran *Windshield* (F12) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link*



Gambar 4. 32 Momen Tekuk Pelat *Windshield* (M11) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link*



Gambar 4. 33 Momen Tekuk Pelat *Windshield* (M22) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link*



**Gambar 4. 34 Gaya Geser Transversal Windshield (V13) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan Link**

**Gambar 4. 35 Gaya Geser Transversal Windshield (V23) Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan Link**

Pemakaian sambungan dengan kekakuan yang kecil akan mereduksi respon tingkat struktur *windshield*, hal ini dapat terlihat pada grafik gaya geser membran (F12) *windshield*. Grafik lain menunjukkan bahwa kekakuan yang kecil akan mereduksi respon tingkat pada *platform 2* secara signifikan. Sebagai contoh, penggunaan sambungan *elastomeric rubber*  $k = 6 \text{ KN/mm}$  akan mereduksi gaya langsung membran F11 pada *platform 2* sebesar 14,57% daripada sambungan baja D50.

Pada *platform 1*, terjadi peningkatan gaya dalam area F11, M11, M22, V13, dan V23 dimana sebagian besar nilai gaya paling tinggi pada *platform* tersebut malah didapat dari pemakaian sambungan *elastomeric rubber*  $k = 6 \text{ KN/mm}$ . Nilai – nilai gaya area tersebut akibat pemakaian sambungan *elastomeric rubber* dapat dilihat sebagai berikut:



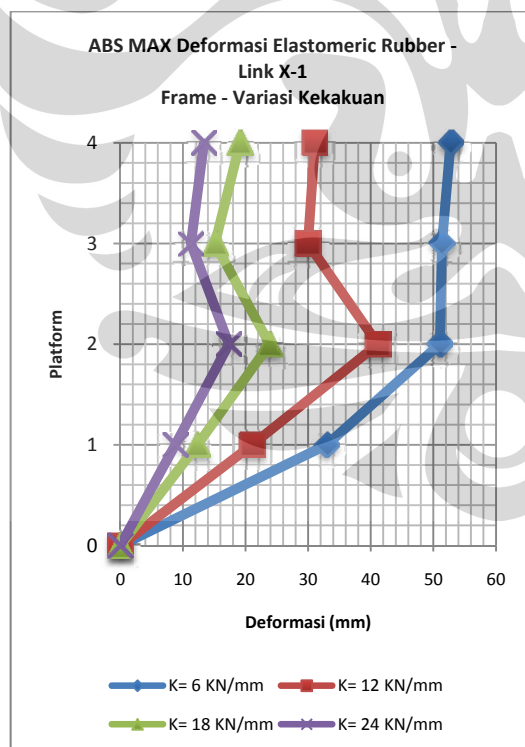
Tabel 4. 2 Gaya Area *Windshield Platform 1*

Kekakuan <i>Elastomeric Rubber</i>	Gaya Area <i>Windshield Platform 1</i>				
	F11 (KN/m)	M11 (KN-m/m)	M22 (KN-m/m)	V13 (KN/m)	V23 (KN/m)
K= 6 KN/mm	2381.65	175.9503	906.1724	59.22	551.61
K= 12 KN/mm	2365.05	171.8312	894.8858	61.71	544.14
K= 18 KN/mm	2372.02	171.4077	899.0769	61.86	546.9
K= 24 KN/mm	2378.43	174.2047	903.2007	61.81	549.6

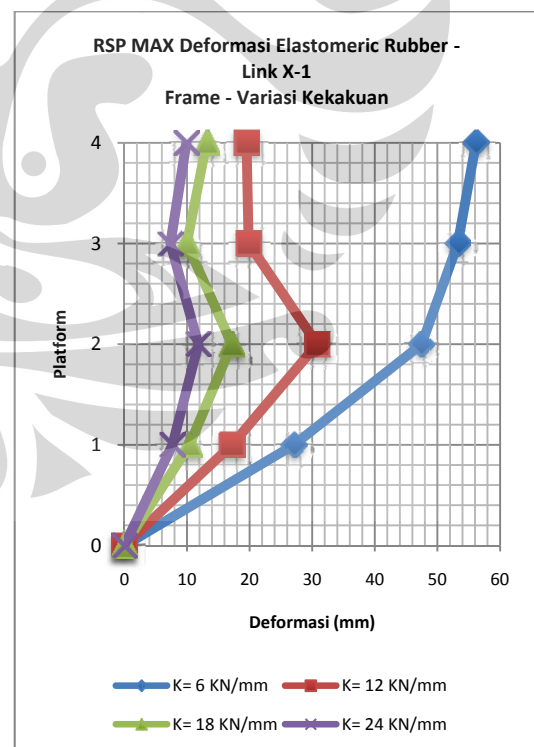
Maka dalam mendesain struktur *windshield* ini, dibutuhkan persyaratan desain yang tinggi pada tingkat dasar – *platform 1* untuk gaya langsung membran F11, gaya momen tekuk, dan geser transversal pelat.

#### 4.2.1.4 Respon Sambungan

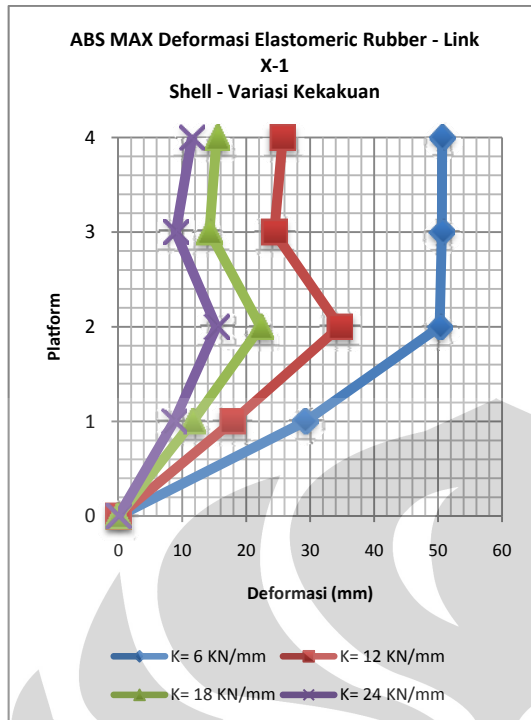
Hasil yang dibahas pada bagian ini adalah deformasi *elastomeric rubber* dan gaya aksial sambungan. Grafik akan ditampilkan berdasarkan variasi model struktur dan metode analisis gempa.



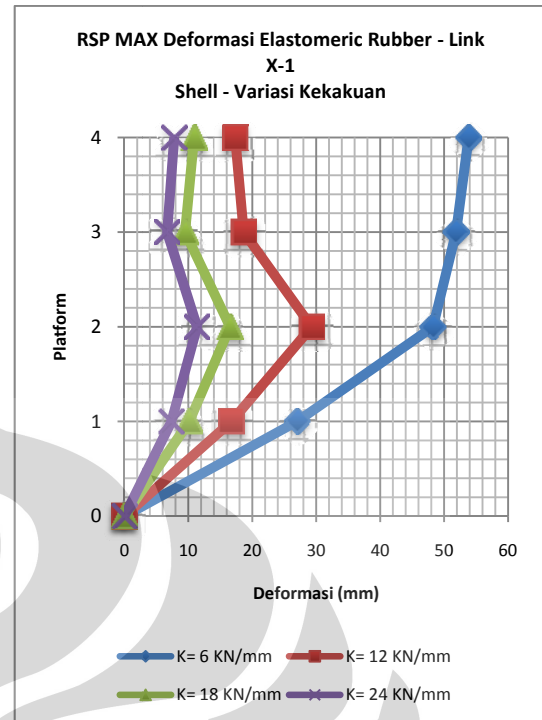
Gambar 4. 36 Deformasi *Elastomeric Rubber* Model Struktur *Frame* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan



Gambar 4. 37 Deformasi *Elastomeric Rubber* Model Struktur *Frame* Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan



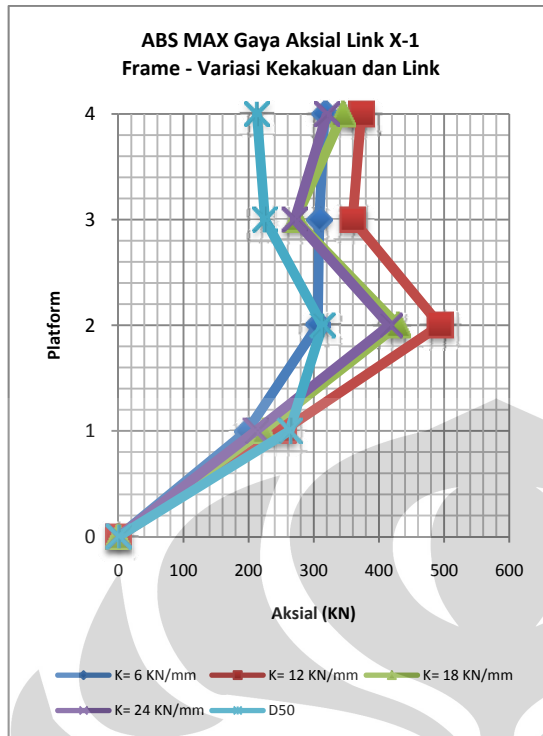
**Gambar 4. 38** Deformasi *Elastomeric Rubber* Model Struktur Shell Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan



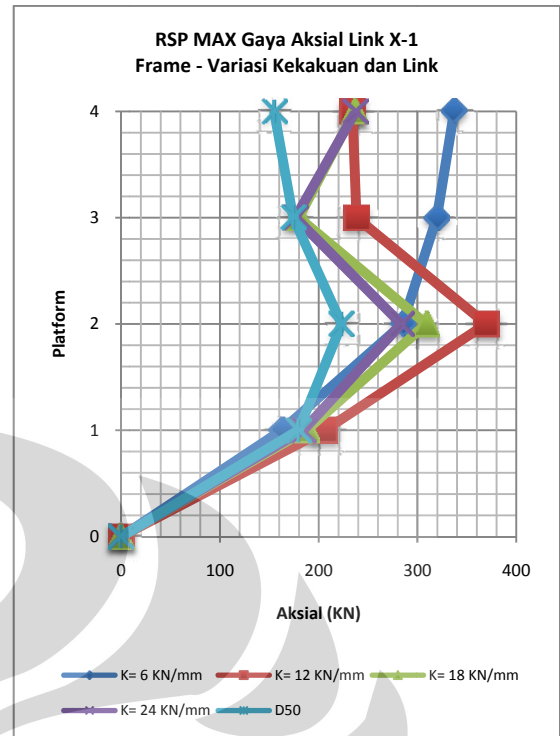
**Gambar 4. 39** Deformasi *Elastomeric Rubber* Model Struktur Shell Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan

Pola yang diberikan pada masing – masing variasi model struktur terhadap metode analisis gempa adalah sama, hanya berbeda pada nilai maksimumnya saja. Kekakuan sambungan yang kecil ( $k = 6 \text{ KN/mm}$ ) kembali memberikan pola yang berbeda dari kekakuan sambungan lainnya dimana deformasi maksimumnya terjadi pada *platform* 4, sedangkan kekakuan lainnya memberikan respon deformasi maksimum pada *platform* 3.

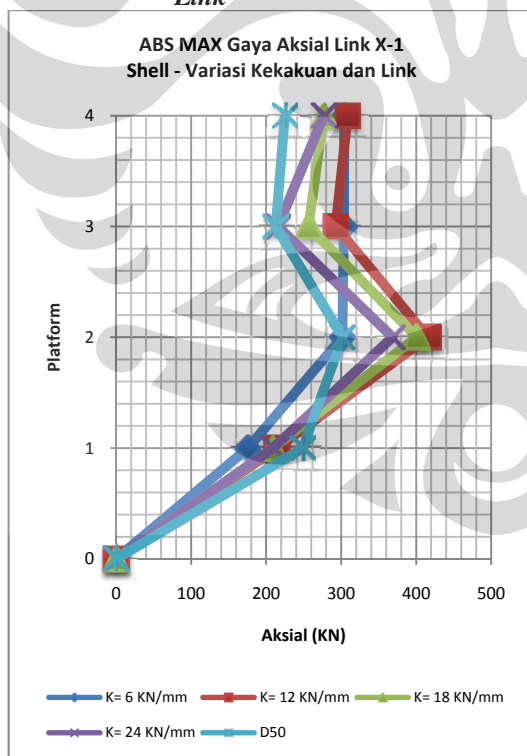
Pada metode analisis gempa riwayat waktu, perubahan deformasi *elastomeric rubber*  $k = 6 \text{ KN/mm}$  pada *platform* 2, 3, dan 4 hampir tidak ada karena dibatasi oleh elemen *gap* dan *hook*. Metode respons spektrum tidak memiliki pola yang sama karena elemen *gap* dan *hook* merupakan parameter non linier.



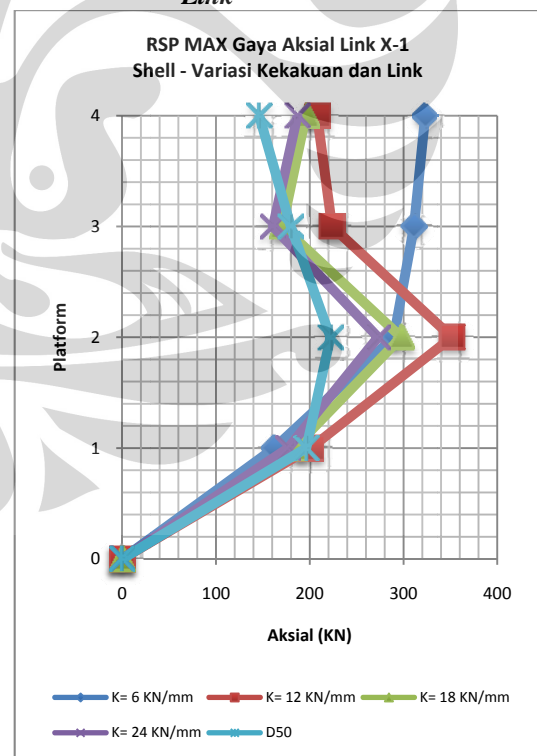
Gambar 4. 40 Gaya Aksial Sambungan Model Struktur *Frame* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link*



Gambar 4. 41 Gaya Aksial Sambungan Model Struktur *Frame* Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link*

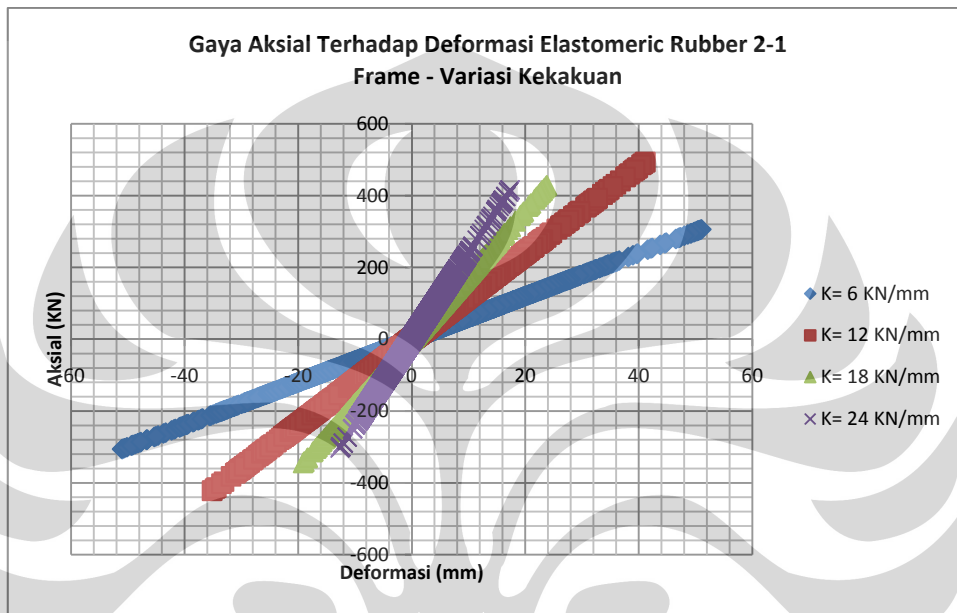


Gambar 4. 42 Gaya Aksial Sambungan Model Struktur *Shell* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link*

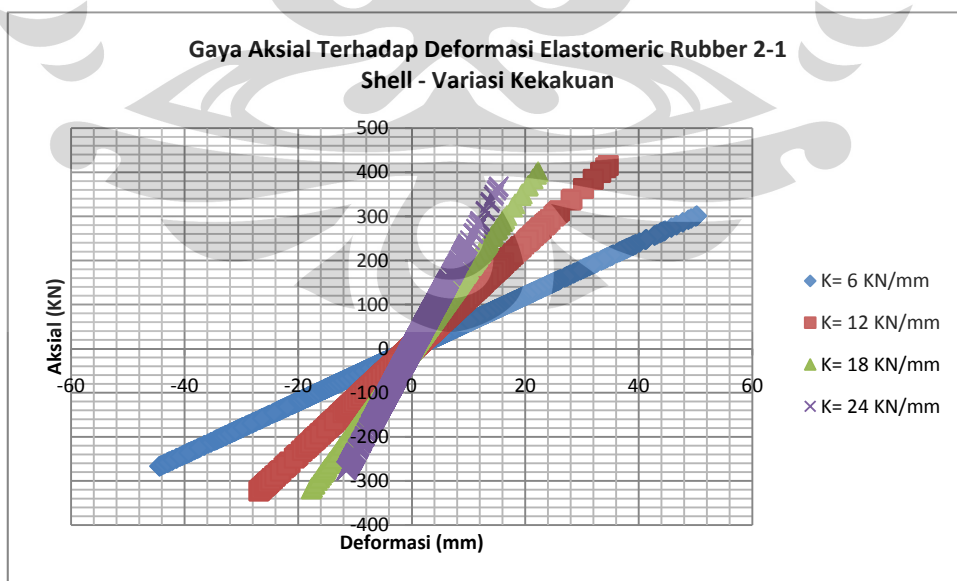


Gambar 4. 43 Gaya Aksial Sambungan Model Struktur *Shell* Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link*

Respon gaya aksial sambungan terhadap variasi kekakuan memiliki pola yang sama untuk setiap model struktur dan metode analisis gempa, hanya berbeda pada nilai maksimumnya saja. Untuk sambungan *elastomeric rubber* berlaku pernyataan semakin besar kekakuan, maka gaya yang dibutuhkan untuk mencapai deformasi maksimum semakin besar sesuai dengan rumus  $F = k \cdot d$ . Grafik respon gaya aksial terhadap deformasi karet dapat dilihat sebagai berikut:



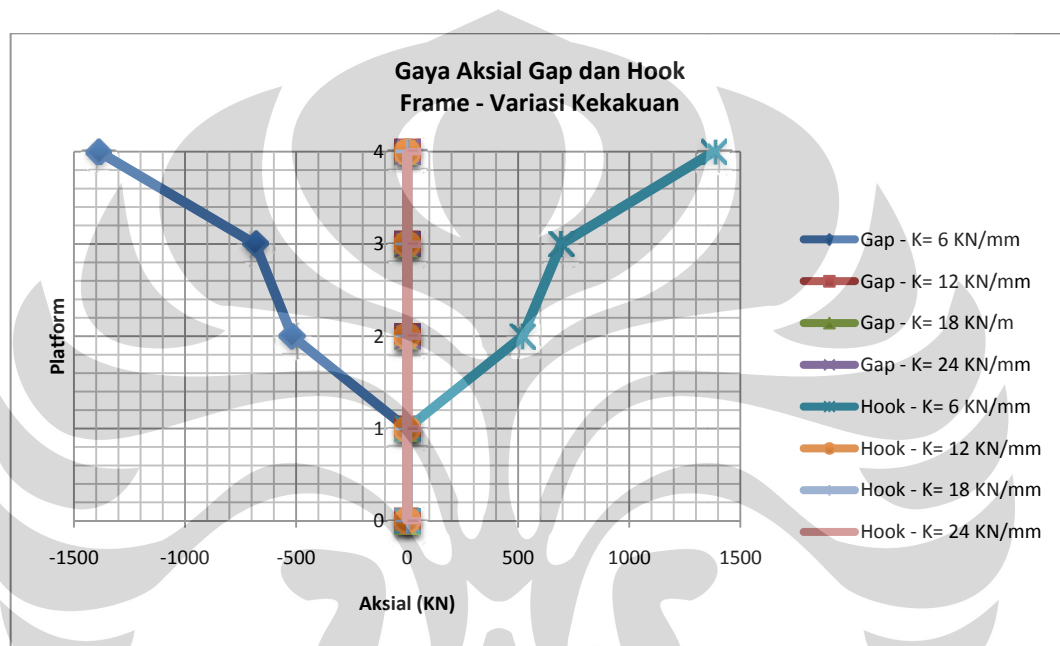
Gambar 4. 44 Gaya Aksial Terhadap Deformasi *Elastomeric Rubber* 2-1 Model *Frame* - Variasi Kekakuan



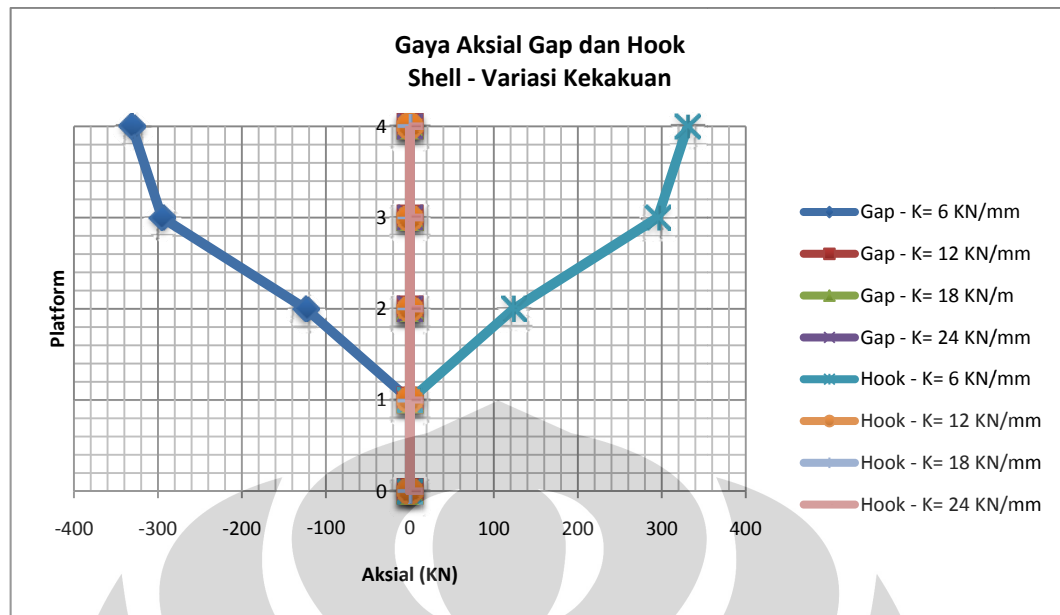
Gambar 4. 45 Gaya Aksial Terhadap Deformasi *Elastomeric Rubber* 2-1 Model *Shell* - Variasi Kekakuan

Dalam grafik diatas, terlihat bahwa semakin kecil kekakuan, gaya yang dibutuhkan untuk mencapai deformasi tertentu semakin kecil. Saat mencapai gaya aksial 300 KN, *elastomeric rubber*  $k = 6 \text{ KN/mm}$  telah berdeformasi sebesar 50 mm, sedangkan  $k = 12 \text{ KN/mm}$  baru berdeformasi 25 mm.

Pada sambungan *elastomeric rubber*  $k = 6 \text{ KN/mm}$ , deformasi 50 mm sudah dicapai saat sambungan menerima gaya aksial 300 KN. Peristiwa ini dapat dilihat pada *platform* 2, 3, dan 4.



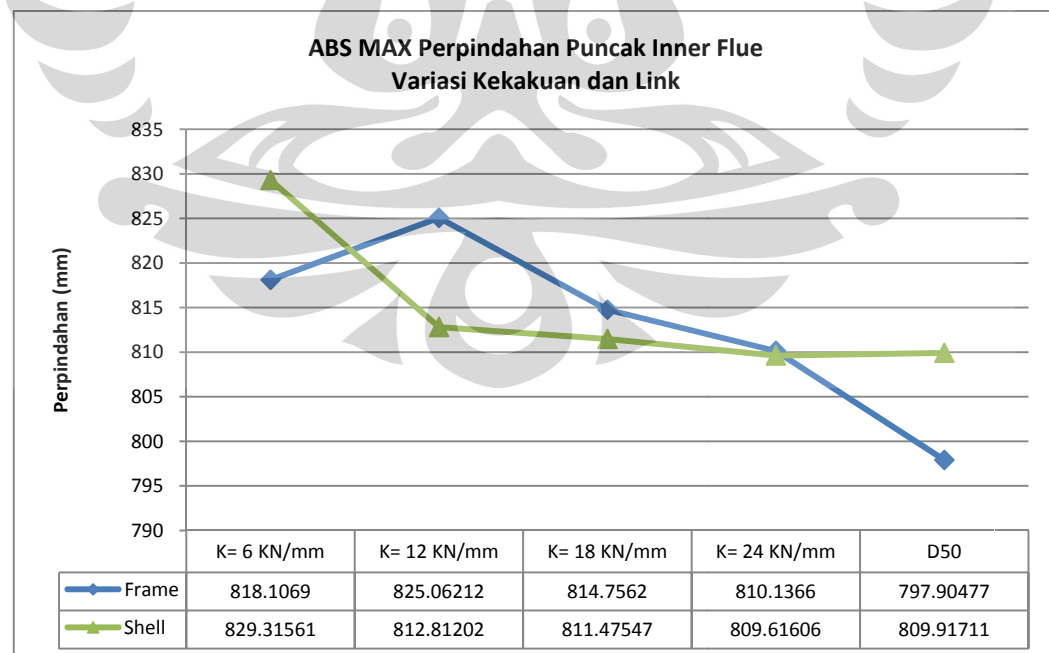
Gambar 4. 46 Gaya Aksial Elemen *Gap* dan *Hook* Model Struktur *Frame* Metode *Riwayat Waktu* - Variasi Kekakuan



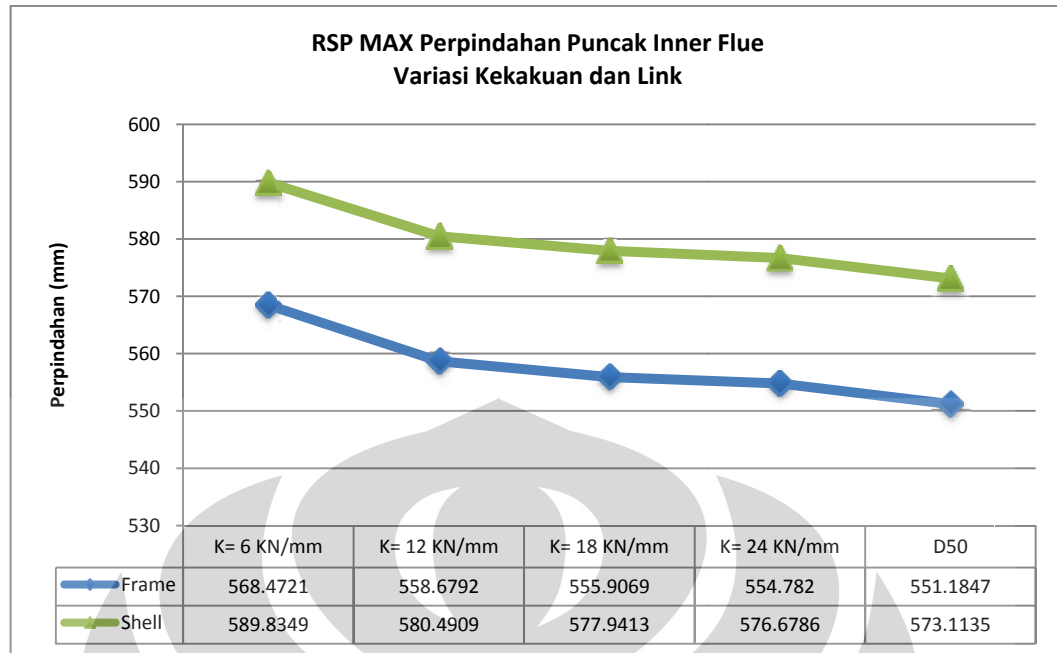
Gambar 4. 47 Gaya Aksial Elemen *Gap* dan *Hook* Model Struktur *Shell* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan

Elemen *gap* dan *hook* hanya bekerja saat kekakuan sambungan  $k = 6 \text{ KN/mm}$ . Deformasi  $50 \text{ mm}$  belum dicapai oleh sambungan *elastomeric rubber* lain. Gaya aksial *gap* dan *hook* mencapai nilai maksimum pada *platform* 4.

#### 4.2.1.5 Perpindahan Puncak



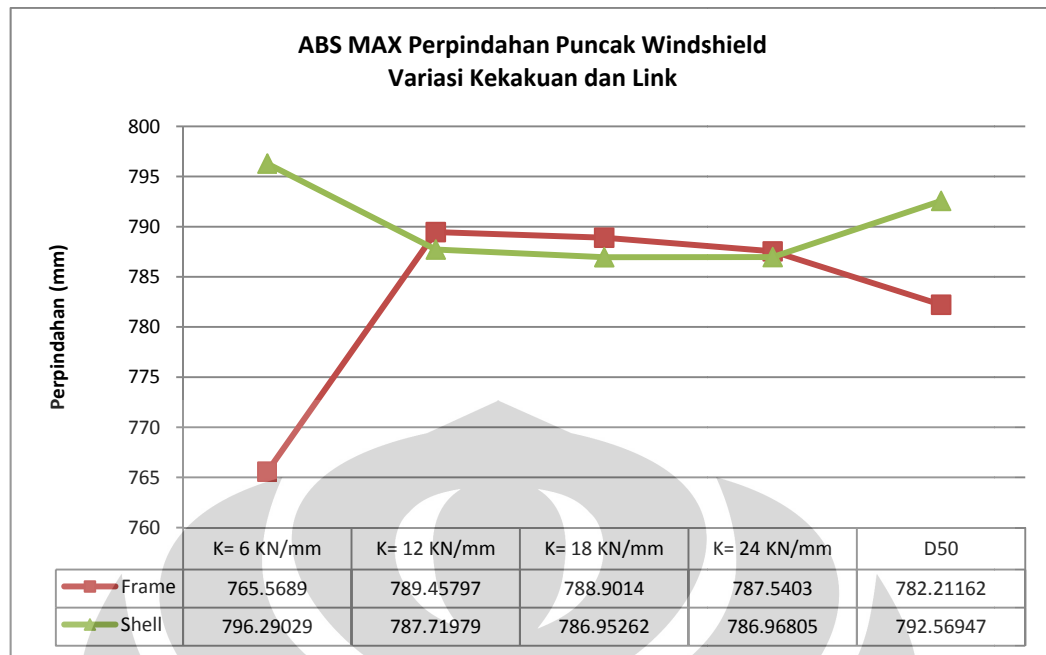
Gambar 4. 48 Perpindahan Puncak *Inner Flue* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link*



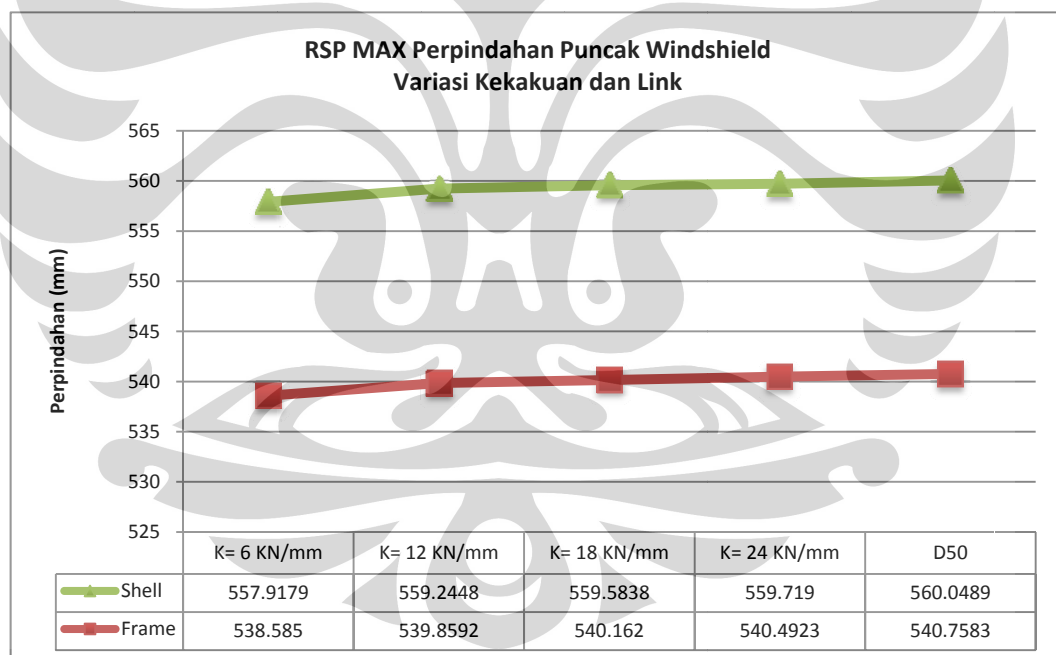
**Gambar 4. 49 Perpindahan Puncak Inner Flue Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan Link**

Hasil analisis metode riwayat waktu untuk perpindahan puncak *inner flue* mengalami pola yang tidak teratur, namun perpindahan cenderung berkurang seiring dengan penambahan kekakuan sambungan. Anomali terjadi pada model struktur *frame* dengan kekakuan sambungan  $k = 6 \text{ KN/mm}$  karena interaksi maksimal dengan elemen *gap* dan *hook* meredam pergerakan puncak dari *inner flue*. Hal yang sama tidak terjadi pada model struktur *shell* karena gaya aksial elemen *gap* dan *hook* yang ada di *platform 4* model *shell*  $\ll$  model *frame*.

Analisis respons spektrum memberikan respon perpindahan puncak *inner flue* yang teratur karena parameter – parameter nonlinier seperti elemen *gap*, *hook*, dan peredam viskos tidak dapat diperhitungkan. Kecenderungan yang terjadi adalah semakin kecil kekakuan sambungan, maka perpindahan puncak akan semakin jauh. Nilai perpindahan *inner flue* paling besar didapat dari model struktur *shell* dengan sambungan *elastomeric rubber*  $k = 6 \text{ KN/mm}$  yaitu 589,8349 mm.



**Gambar 4. 50** Perpindahan Puncak *Windshield* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link*



**Gambar 4. 51** Perpindahan Puncak *Windshield* Metode Respon Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link*

Respon perpindahan puncak *windshield* dengan metode analisis gempa riwayat waktu kembali memberikan pola yang tidak teratur. Model struktur *frame* dengan sambungan *elastomeric rubber*  $k = 6 \text{ KN/mm}$  memberikan nilai respon



perpindahan paling kecil yaitu 765,5689 mm karena penyebab yang sama dengan perpindahan *inner flue* nya.

Metode respons spektrum memberikan pola yang teratur dengan kecenderungan semakin besar kekakuan, maka semakin besar pula perpindahan puncak *windshield*. Hal ini dikarenakan kekakuan yang besar akan memperbesar gaya seismik yang terdistribusi ke struktur *windshield* sehingga perpindahan *windshield* yang terjadi akan semakin jauh.

Jika dilihat dari model struktur *frame*, penggunaan *elastomeric rubber* dengan kekakuan kecil masih menjadi pilihan yang baik. Model struktur *shell* membutuhkan bukaan elemen *gap* dan *hook* lebih kecil untuk mereduksi jarak perpindahan puncak, namun dengan konsekuensi gaya geser dasar yang akan bertambah seiring dengan pengurangan bukaan.

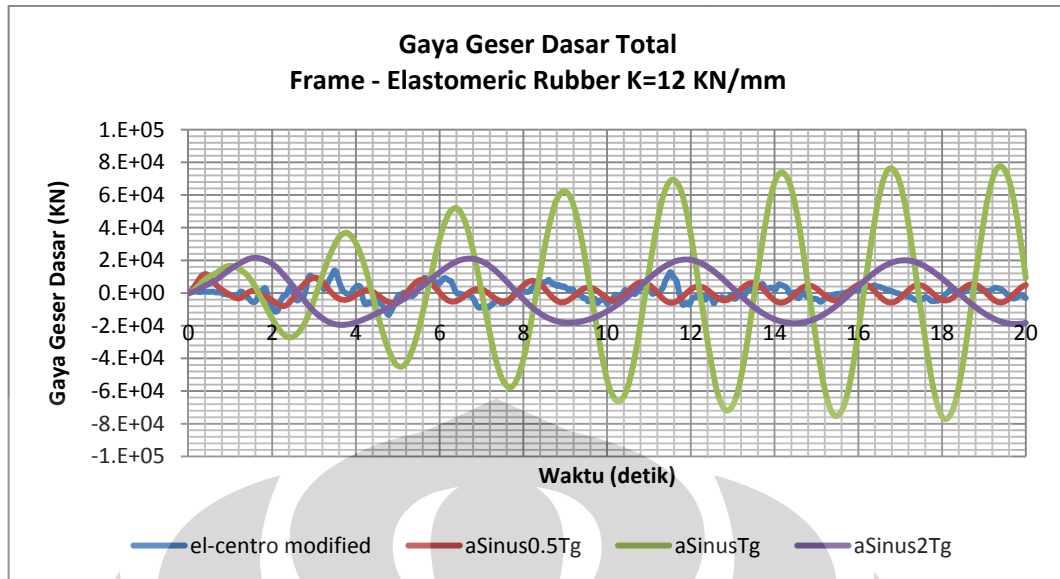
#### 4.2.2 Variasi Fungsi Gempa

Variasi yang dilakukan adalah pembebanan gempa dengan fungsi gempa El Centro yang sudah dimodifikasi, fungsi gempa sinusoidal 0,3g dengan periode getar  $0,5T_g$  ;  $T_g$  ; dan  $2T_g$ ; dimana  $T_g$  merupakan periode getar alami pertama dari *Chimney* yang dimodelkan sebagai sistem struktur *shell* dengan sambungan baja D50 , dan fungsi respons spektra wilayah 3 tanah lunak. Variasi fungsi gempa hanya dilakukan pada model *chimney* sebagai sistem struktur *frame*, sambungan yang digunakan dalam variasi ini adalah baja D50 dan *elastomeric rubber*  $k = 12 \text{ KN/mm}$ .

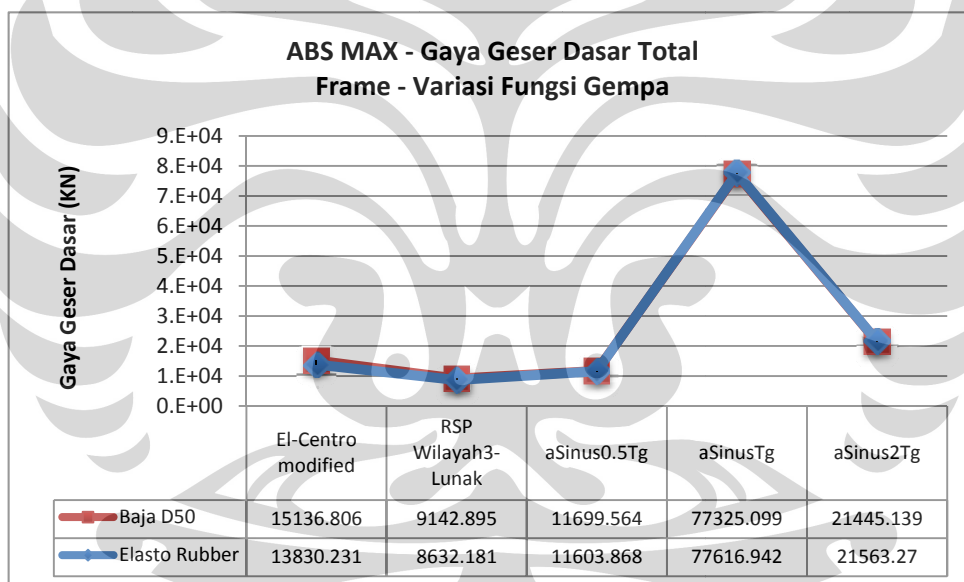
Fungsi gempa sinusoidal 0,3g dengan periode getar  $T_g$  menghasilkan respon yang paling besar. Hal ini terjadi karena periode getar alami *chimney* mendekati periode predomnan  $a\text{Sin}T_g$ . Grafik spektra dari fungsi gempa  $a\text{Sin}T_g$  dapat dilihat pada bab 3.

##### 4.2.2.1 Reaksi Dasar Struktur

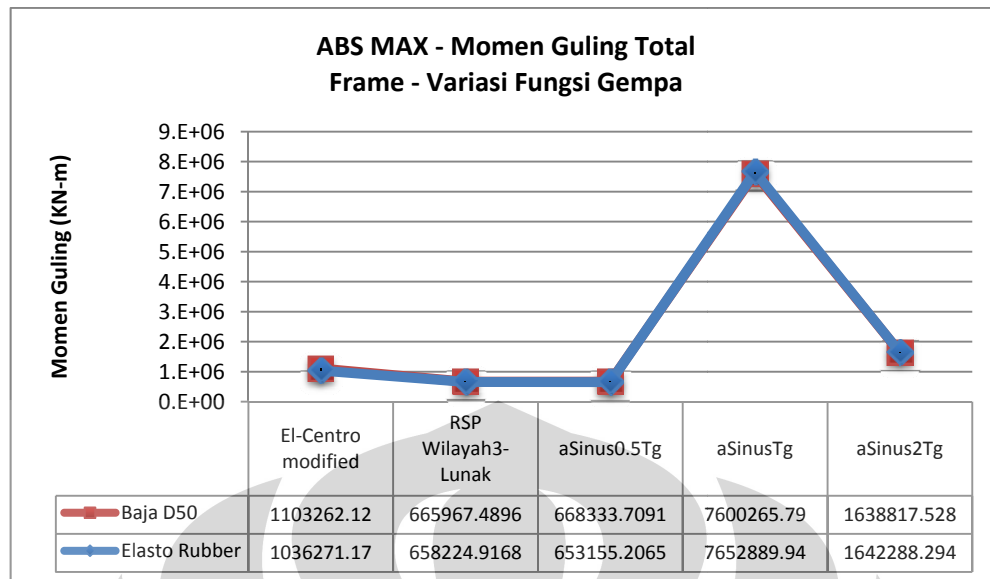
Pada beban dari fungsi gempa  $a\text{Sin}T_g$  gaya geser dasar total bernilai 5,61 kali lebih besar dan momen guling total bernilai 7,39 kali lebih besar daripada fungsi gempa El Centro yang telah dimodifikasi.



Gambar 4. 52 Gaya Geser Dasar Total *Elastomeric Rubber Model Frame* - Variasi Fungsi Gempa



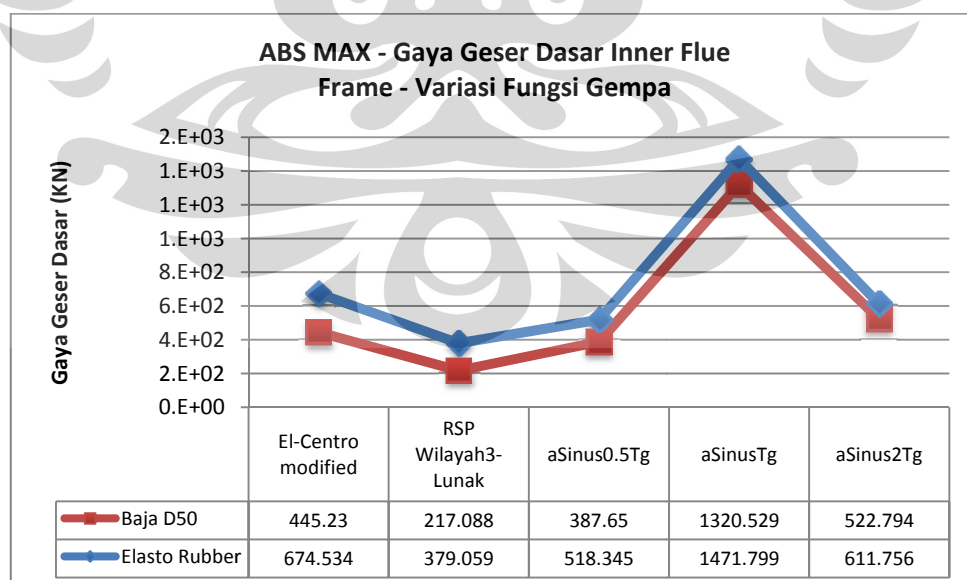
Gambar 4. 53 Gaya Geser Dasar Total - Variasi Fungsi Gempa ( $a = 0,3g$ )



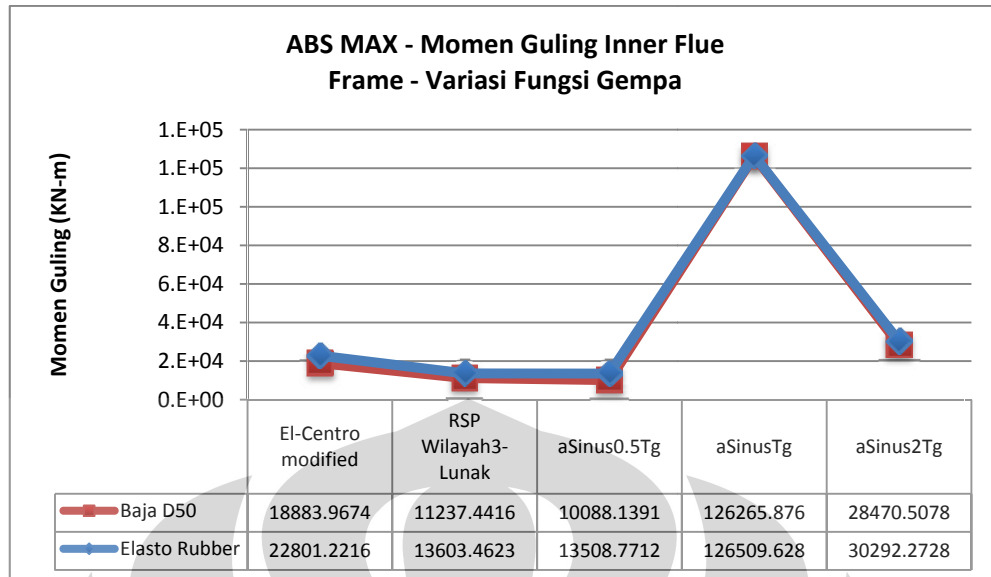
**Gambar 4. 54 Momen Guling Total - Variasi Fungsi Gempa ( $a = 0,3g$ )**

Reaksi dasar struktur akibat fungsi gempa aSinTg saat penggunaan sambungan *elastomeric rubber* lebih besar daripada baja D50 karena periode getar alami pertama struktur semakin mendekati periode dominan dari fungsi gempa aSinTg. Nilai – nilai reaksinya dapat dilihat pada grafik.

Gaya geser dasar *inner flue* akibat beban dari fungsi gempa aSinTg meningkat  $\pm 2,18$  kali daripada fungsi gempa El Centro yang telah dimodifikasi, sedangkan momen guling *inner flue* meningkat 5,55 kali.



**Gambar 4. 55 Gaya Geser Dasar Inner Flue - Variasi Fungsi Gempa ( $a = 0,3g$ )**



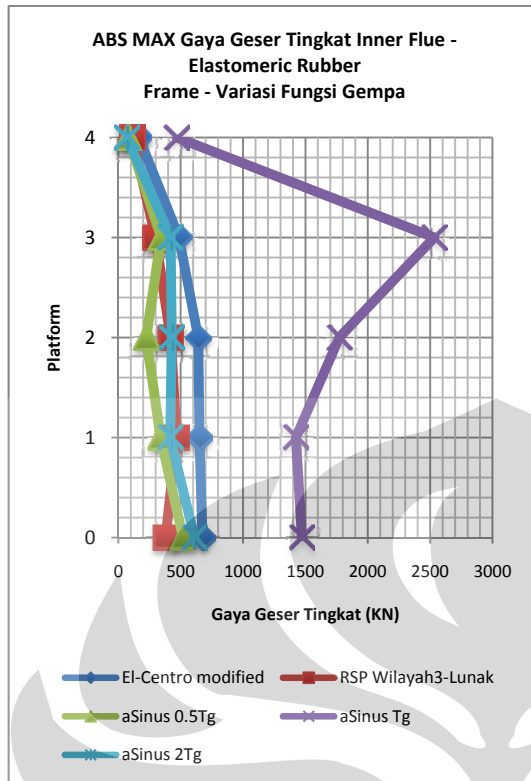
**Gambar 4. 56 Momen Guling *Inner Flue* - Variasi Fungsi Gempa ( $a = 0,3g$ )**

#### 4.2.2.2 Reaksi Tingkat Struktur

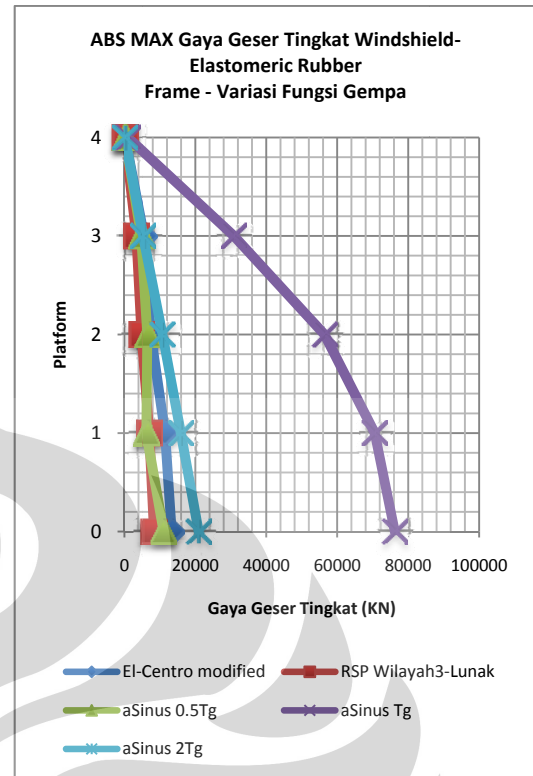
Karena sambungan baja D50 dan *elastomeric rubber* memiliki kecenderungan respon tingkat yang hampir sama, maka subbab ini akan menampilkan data respon tingkat dengan menggunakan sambungan *elastomeric rubber* saja.

Pada struktur *inner flue*, gaya geser tingkat akibat beban fungsi gempa aSinTg tetap menjadi yang paling tinggi. Gaya geser tingkat mengalami nilai maksimum akibat beban aSinTg pada *platform 3* yaitu mengalami peningkatan sebesar 6.11 kali lebih besar daripada fungsi gempa El Centro yang telah dimodifikasi.

Gaya geser tingkat *windshield* akibat beban fungsi gempa aSinTg pada *platform 3* mengalami peningkatan sebesar 7,69 kali daripada fungsi gempa El Centro yang telah dimodifikasi.



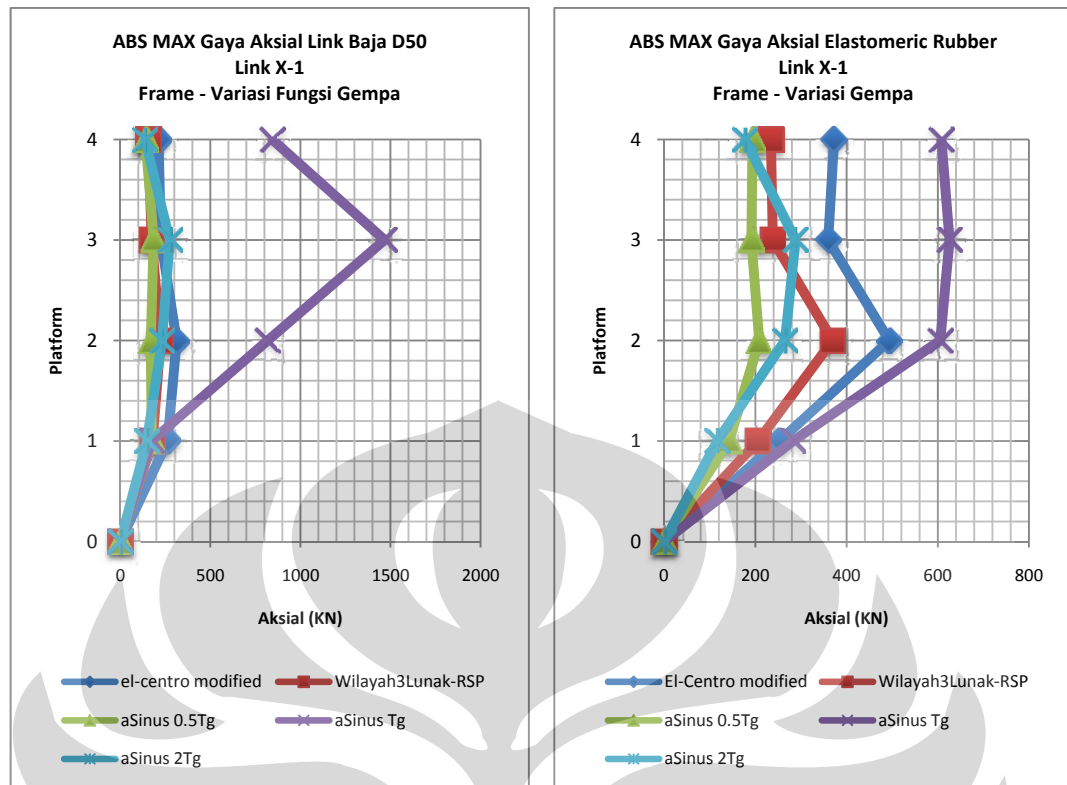
**Gambar 4. 57** Gaya Geser Tingkat *Inner Flue Elastomeric Rubber* - Variasi Fungsi Gempa ( $a = 0,3g$ )



**Gambar 4. 58** Gaya Geser Tingkat *Windshield Elastomeric Rubber* - Variasi Fungsi Gempa ( $a = 0,3g$ )

#### 4.2.2.3 Respon Sambungan

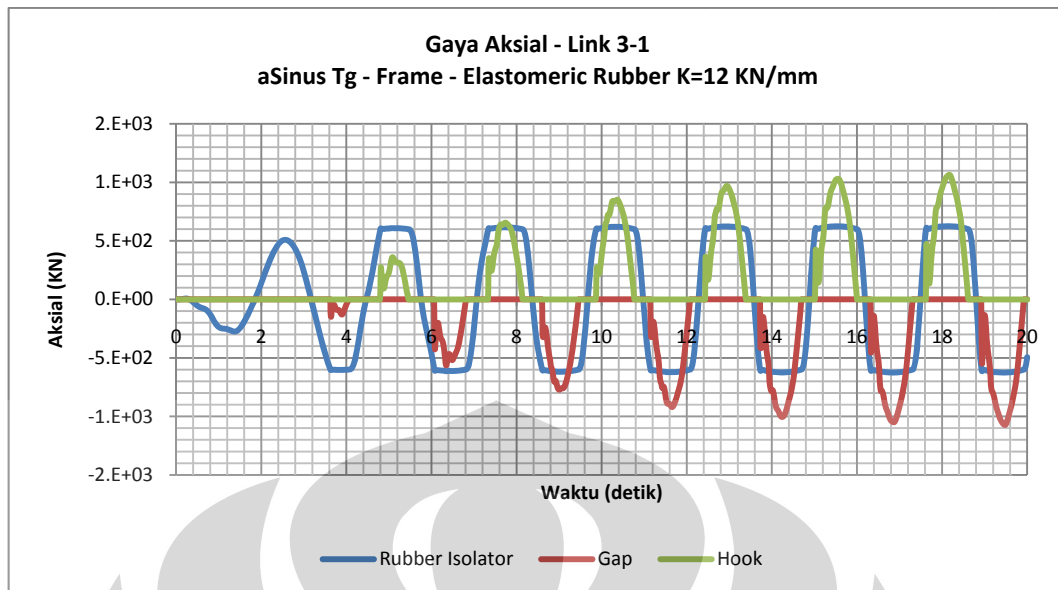
Respon gaya aksial dari sambungan baja akibat beban fungsi gempa aSinTg mengalami maksimum pada *platform 3* dan nilainya 6,52 kali daripada fungsi gempa El Centro yang telah dimodifikasi. Gaya aksial maksimum dari *elastomeric rubber* berada pada *platform 3* yaitu 625,739 KN, nilainya pasti  $\pm 600$  KN karena pada saat itu *elastomeric rubber* akan mencapai deformasi 50 mm yaitu deformasi batas yang diberikan.



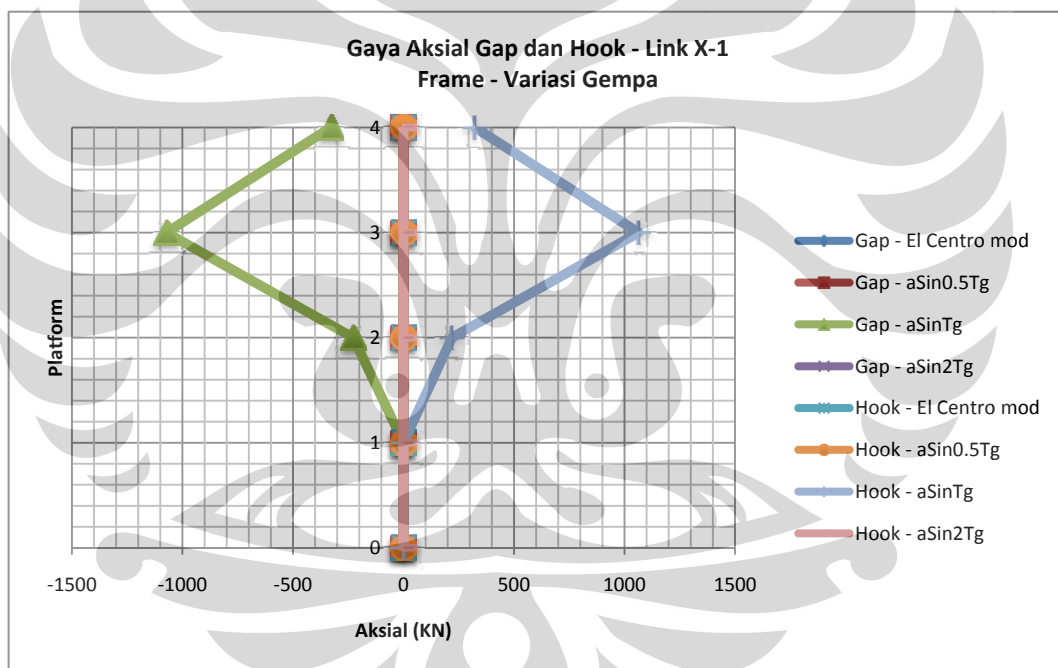
**Gambar 4. 59 Gaya Aksial Sambungan Baja D50 - Variasi Fungsi Gempa ( $a = 0,3g$ )**

**Gambar 4. 60 Gaya Aksial Sambungan Elastomeric Rubber - Variasi Fungsi Gempa ( $a = 0,3g$ )**

Akibat beban fungsi gempa aSinTg, respon gaya aksial *gap* dan *hook* maksimum diderita pada *platform 3* yaitu  $\pm 1072,48$  KN. Beban dari fungsi gempa lain tidak ada yang sampai menyebabkan terjadinya deformasi karet  $> 50$  mm.



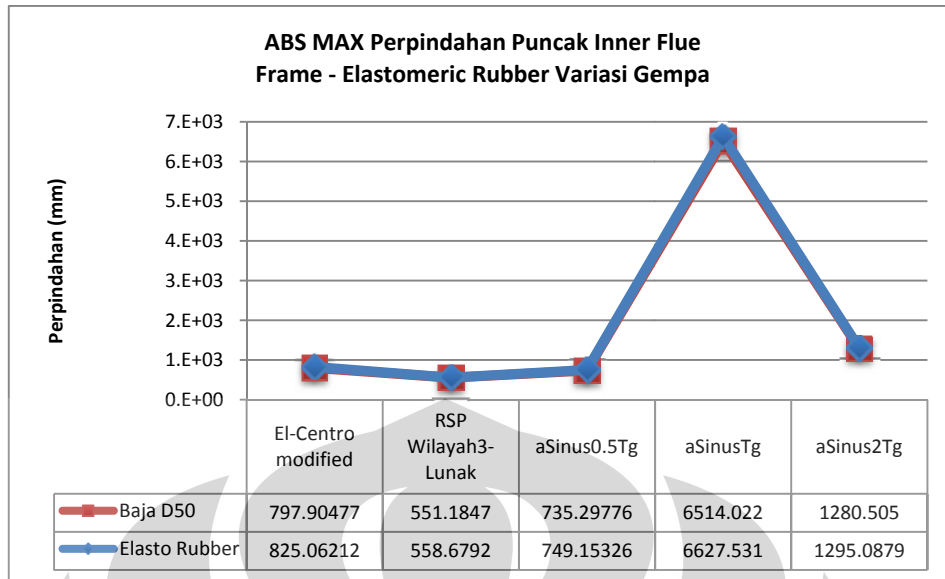
**Gambar 4. 61 Gaya Aksial Link 3-1 - Fungsi Gempa aSinTg**



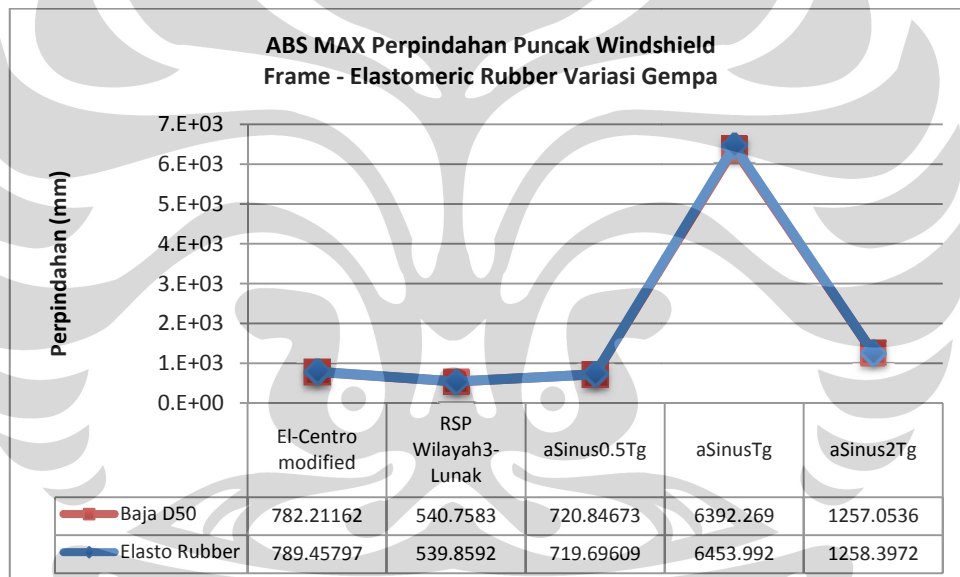
**Gambar 4. 62 Gaya Aksial Elemen Gap dan Hook - Variasi Fungsi Gempa ( $a = 0,3g$ )**

#### 4.2.2.4 Perpindahan Puncak

Beban fungsi gempa aSinTg tetap memberikan respon terbesar, lendutan puncak *inner flue* mengalami peningkatan sebesar  $\pm 8,033$  kali dan lendutan puncak *windshield* meningkat sebesar  $\pm 8,18$  kali daripada fungsi gempa El Centro yang telah dimodifikasi



Gambar 4. 63 Perpindahan Puncak *Inner Flue* - Variasi Fungsi Gempa ( $a = 0,3g$ )



Gambar 4. 64 Perpindahan Puncak *Windshield* - Variasi Fungsi Gempa ( $a = 0,3g$ )

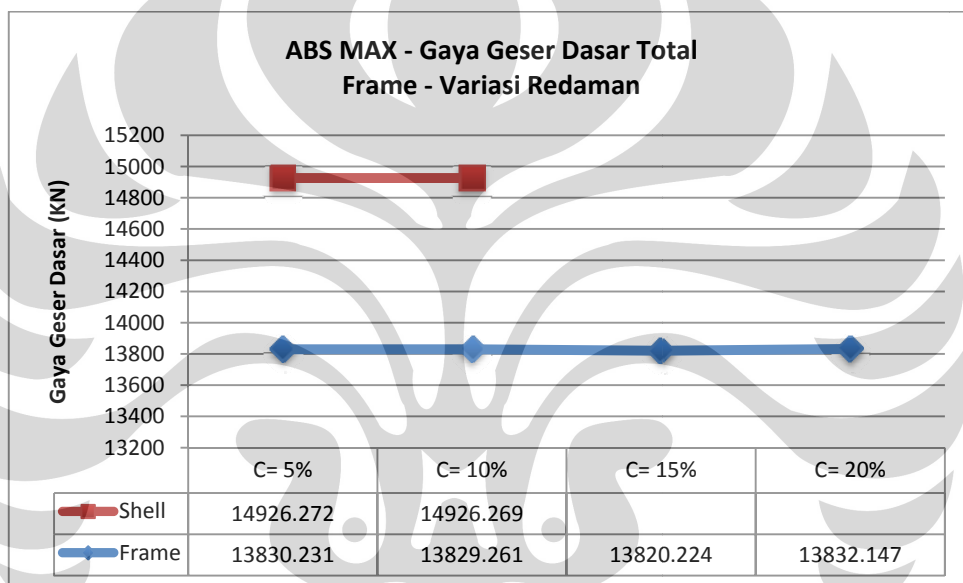
#### 4.2.3 Variasi Redaman Sambungan *Elastomeric Rubber*

Variasi yang dilakukan adalah dengan memvariasikan persentase redaman sambungan *elastomeric rubber* sebagai 5%, 10%, 15%, dan 25% untuk model struktur *chimney* sebagai *frame*; dan 5%, 10% untuk model struktur *chimney* sebagai *shell*. Saat variasi redaman dilakukan, nilai kekakuan karet yang digunakan adalah  $k = 12 \text{ KN/mm}$ . Metode perhitungan koefisien redaman dapat dilihat pada bab 3.

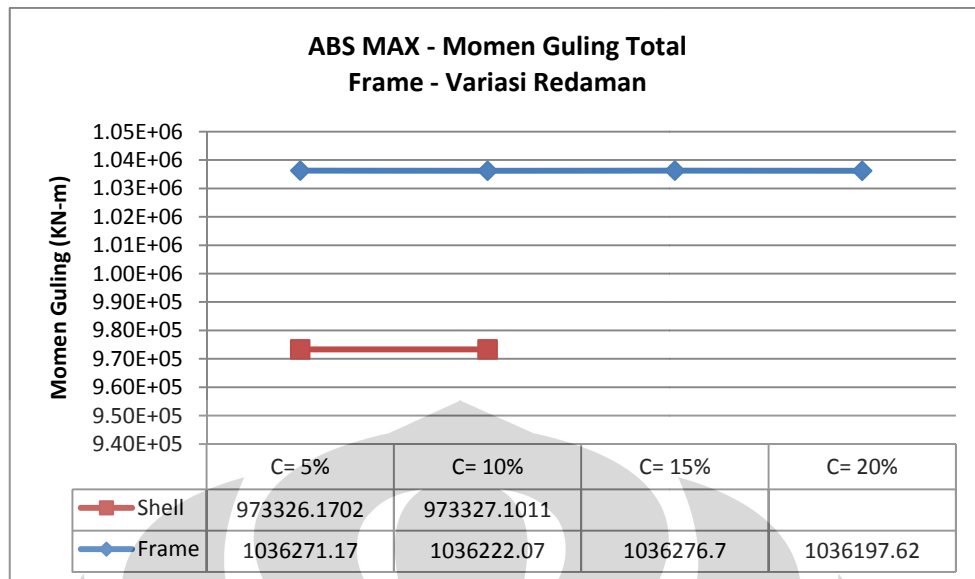


Periode getar alami dan pola – pola getar tidak berpengaruh dengan perubahan redaman, hal ini terjadi karena periode getar alami hanya memperhitungkan parameter massa dan kekakuan. Nilai periode getar alami sama dengan model struktur yang menggunakan sambungan *elastomeric rubber*  $k = 12 \text{ KN/mm}$ , grafiknya dapat dilihat pada subbab 4.2.1.1.

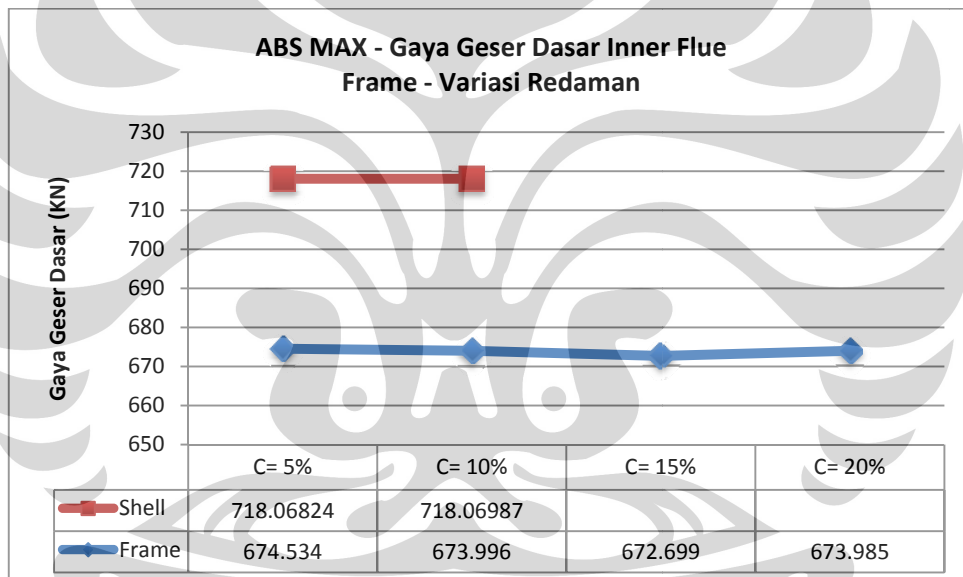
Perubahan respon – respon seismik yang ada tidak sensitif terhadap perubahan nilai redaman. Reaksi dasar pada model struktur *shell* nilainya hampir tidak berubah. Namun pada model struktur *frame* persentase perubahan reaksi dasarnya adalah  $\pm 0,08\%$ .



**Gambar 4. 65 Gaya Geser Dasar Total - Variasi Redaman**

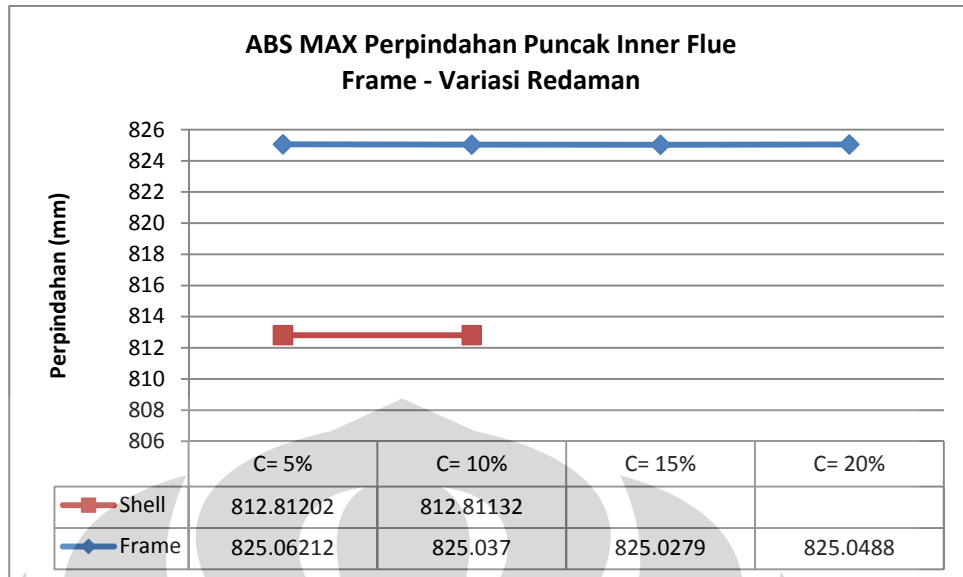


**Gambar 4. 66 Momen Guling Total - Variasi Redaman**

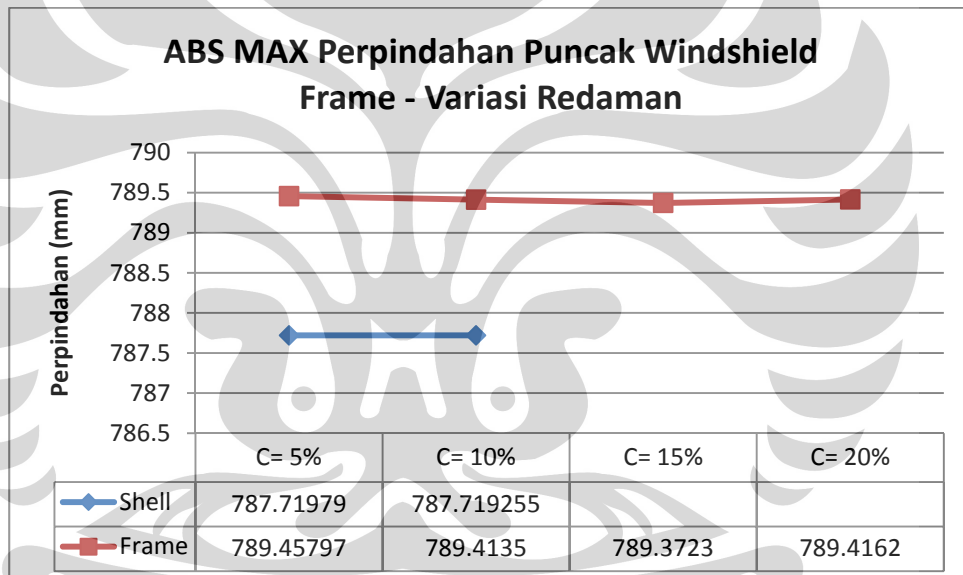


**Gambar 4. 67 Gaya Geser Dasar Inner Flue - Variasi Redaman**

Perpindahan puncak struktur juga tidak sensitif dengan perubahan nilai redaman. Persentase perubahan nilai perpindahan puncak terhadap perubahan redaman terhitung sangat kecil, grafik perpindahan puncak *inner flue* dan *windshield* dapat dilihat sebagai berikut:



**Gambar 4. 68** Perpindahan Puncak *Inner Flue* - Variasi Redaman



**Gambar 4. 69** Perpindahan Puncak *Windshield* - Variasi Redaman

Variasi redaman ternyata tidak berpengaruh secara signifikan untuk mereduksi respon seismik bangunan. Hal ini terjadi karena penggunaan sistem peredam massa tidak efektif untuk orientasi letak peredam seperti pada struktur *chimney* yang dianalisis. Massa *inner flue* yang dipakai untuk perhitungan peredam massa sangat kecil dibandingkan dengan massa *windshield* sehingga menghasilkan koefisien redaman yang tidak cukup untuk mereduksi respon seismik struktur secara signifikan.

## BAB 5 PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi dan analisis yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Analisis seismik dengan menggunakan model *chimney* sebagai sistem struktur *frame* dapat digunakan karena nilai – nilai respon yang ada cenderung lebih besar atau setara dengan model *chimney* sebagai sistem struktur *shell*.
- Metode analisis gempa respons spektrum menghasilkan nilai respon yang kecil dibandingkan riwayat waktu karena memakai percepatan spektrum rencana gempa nominal (sudah dibagi  $R = 2,2$ ), sedangkan metode riwayat waktu menggunakan gempa maksimum.
- Berdasarkan metode riwayat waktu dan permodelan *chimney* sebagai sistem struktur *frame*, penggunaan sambungan *elastomeric rubber* dengan kekakuan  $k = 6 \text{ KN/mm}$  mengurangi gaya geser dasar total sebesar 18,67%, dan momen guling total sebesar 8,73% daripada sambungan baja D50. Kemudian jika dimodelkan sebagai sistem struktur *shell*, gaya geser dasar total berkurang 6,16% , dan momen guling total sebesar 4,89% daripada sambungan baja D50.
- Reaksi dasar *inner flue* meningkat seiring dengan pengurangan kekakuan sambungan. Penggunaan sambungan *elastomeric rubber*  $k = 6 \text{ KN/mm}$  dibandingkan sambungan baja D50 meningkatkan gaya geser dasar *inner flue* sebesar 57,22% pada model struktur *frame* dan 41,725% pada model struktur *shell*.
- Penggunaan sambungan *elastomeric rubber* dengan kekakuan kecil ( $k \leq 6 \text{ KN/mm}$ ) membutuhkan persyaratan desain geser struktur *inner flue* yang lebih tinggi pada *platform 1* keatas.
- Dalam mendesain struktur *windshield*, persyaratan desain yang tinggi dibutuhkan pada tingkat dasar – *platform 1* untuk gaya langsung membran F11, gaya momen tekuk, dan geser transversal pelat.

- Perpindahan puncak *inner flue* mengalami peningkatan seiring dengan pengurangan kekakuan, namun terjadi anomali pada model struktur *frame* dengan kekakuan sambungan  $k = 6 \text{ KN/mm}$  dimana perpindahan puncaknya berkurang daripada variasi kekakuan sebelumnya. Hal ini terjadi karena interaksi maksimal dengan elemen *gap* dan *hook* meredam pergerakan puncak dari *inner flue*. Hal yang sama tidak terjadi pada model struktur *shell* karena gaya aksial elemen *gap* dan *hook* yang ada di *platform 4* model *shell*  $\ll$  model *frame*.
- Penggunaan sambungan *elastomeric rubber* dengan kekakuan  $k = 6 \text{ KN/mm}$  menghasilkan respon seismik yang paling bagus dari tiap variasi kekakuan. Peningkatan reaksi dasar dan tingkat pada *inner flue* akibat pemakaian sambungan ini masih dapat ditolerir dibandingkan dengan kontribusinya dalam mereduksi reaksi dasar dan tingkat *windshield*.
- Pada variasi fungsi gempa, aSinTg memberikan respon seismik paling besar daripada fungsi gempa yang lain. Hal ini terjadi karena aSinTg merupakan fungsi gempa dengan satu frekuensi dan periode getar alami *chimney* mendekati periode dominan aSinTg. Sebagian besar respon – respon yang terjadi mengalami peningkatan  $\pm 5 - 8$  kali daripada fungsi gempa El Centro yang telah dimodifikasi.
- Variasi redaman tidak memberikan perbedaan yang signifikan terhadap respon seismik struktur. Hal ini terjadi karena penggunaan sistem peredam massa tidak efektif untuk orientasi letak peredam seperti pada struktur *chimney* yang dianalisis dimana massa *inner flue* yang digunakan untuk meredam respon struktur sangat kecil dibandingkan massa *windshield*.

## 5.2 Saran

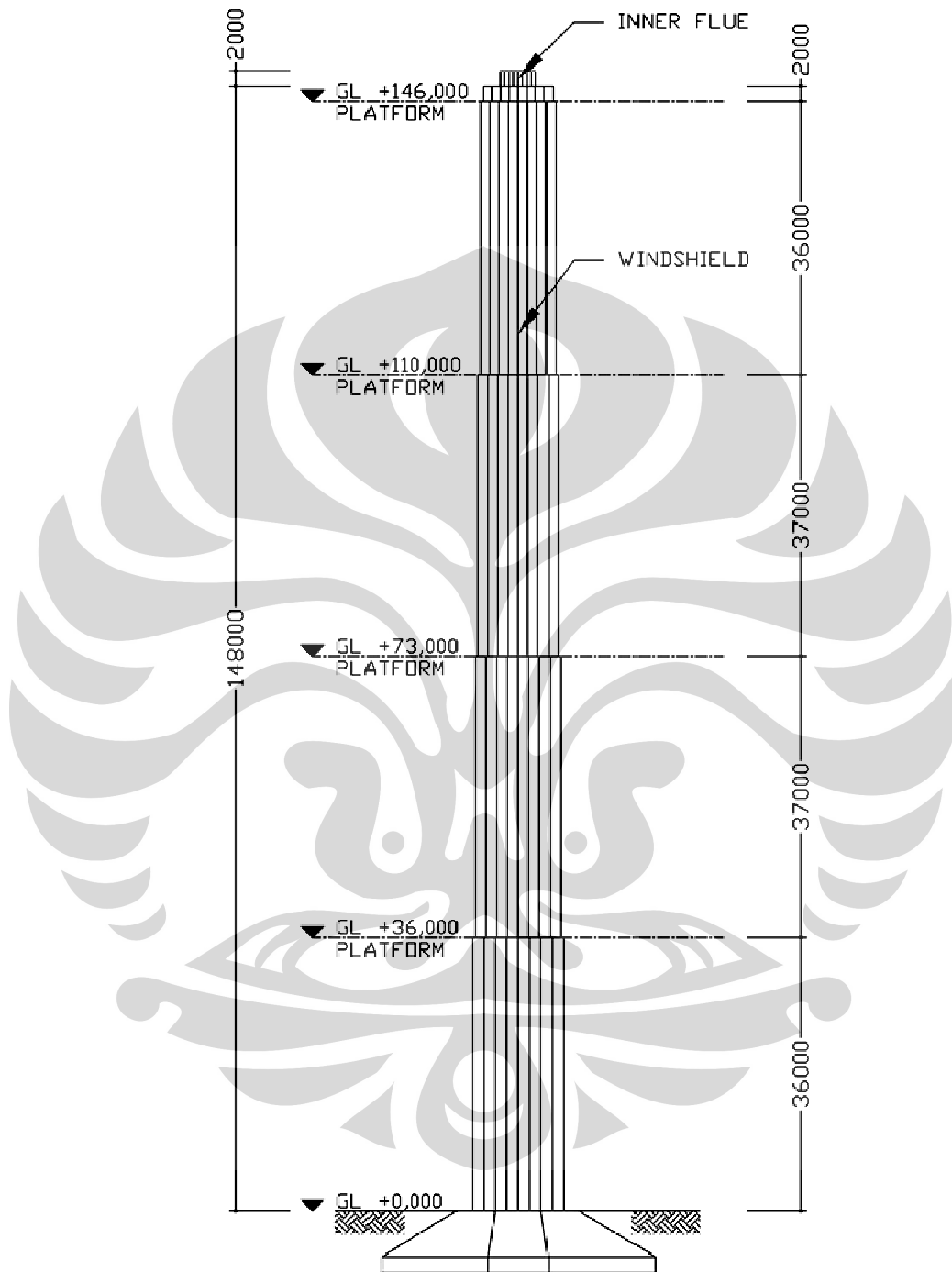
Setelah melakukan penelitian ini, penulis menyadari bahwa respon seismik dari struktur *chimney* ini belum tereduksi sempurna. Maka untuk penyempurnaan penelitian ini kedepannya, penulis menyarankan beberapa hal berikut:

- Melakukan variasi kekakuan *elastomeric rubber* dengan nilai dibawah  $k = 6 \text{ KN/mm}$  untuk mendapatkan respon seismik struktur yang lebih baik.
- Melakukan variasi bukaan (*open*) untuk elemen *gap* dan *hook* untuk mendapatkan variasi nilai respon seismik yang lebih baik.
- Merubah orientasi letak peredam menjadi perletakan *inner flue*, hal ini dilakukan untuk mendapatkan massa yang besar sehingga sistem peredam massa dapat memberikan pengurangan respon seismik yang lebih baik.
- Melakukan permodelan *chimney* dengan *inner flue* yang digantung sehingga berfungsi sebagai pendulum, karena sistem ini kemungkinan dapat memberikan respon yang lebih baik terhadap gempa.

## DAFTAR PUSTAKA

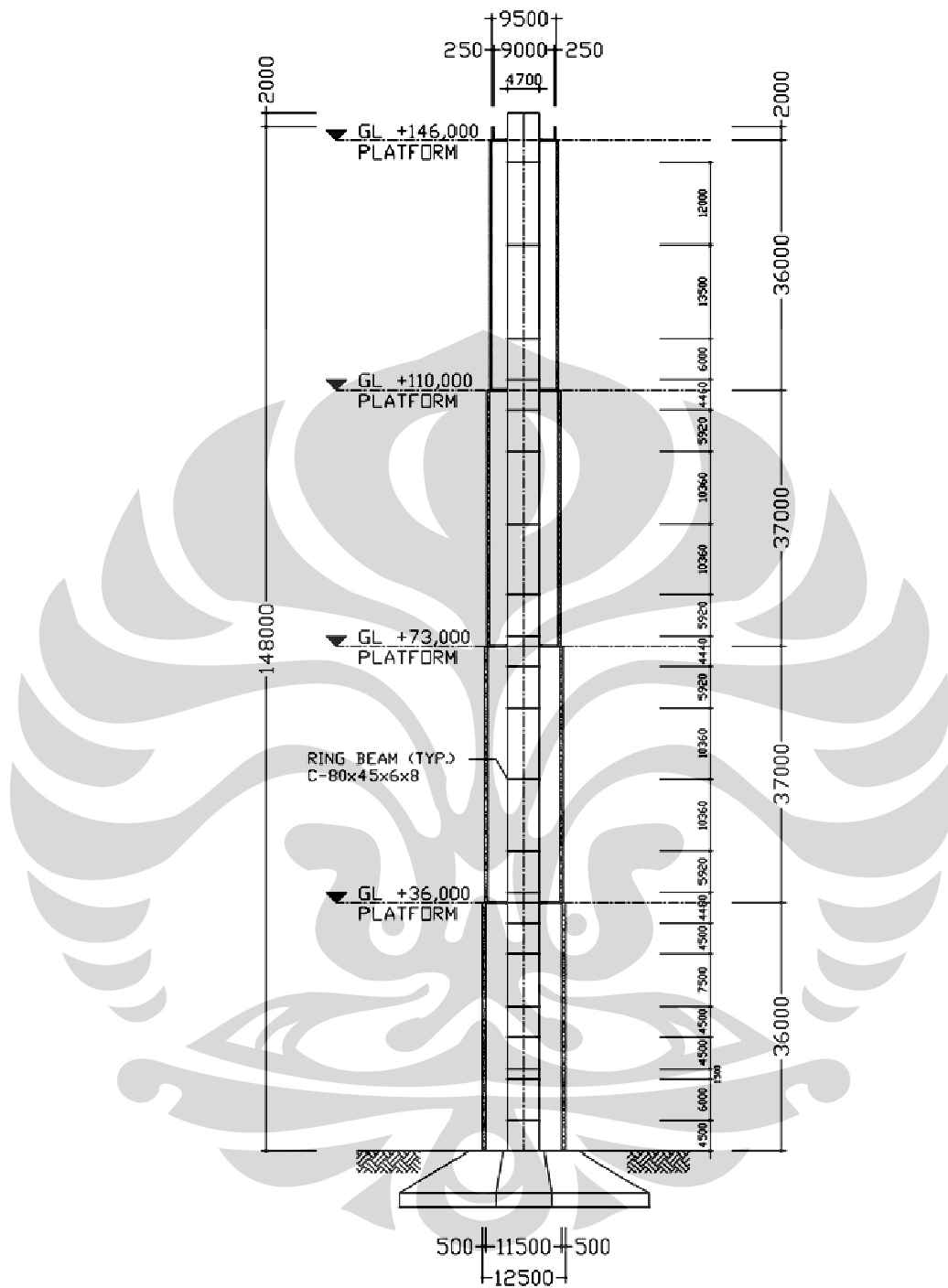
- Chopra, Anil K. (1995). *Dynamics of structure*. New Jersey: Prentice Hall.
- Computer and Structures, Inc. (2007). *CSI Analysis Reference Manual for SAP2000<sup>®</sup>, ETABS<sup>®</sup>, and SAFE<sup>TM</sup>*. Berkeley: Author
- Computers and Structures, Inc. (1995). *SAP2000 Advanced 11.0.0* [Computer Software]. Berkeley, CA: Computers and Structures, Inc
- G. R. Liu, S. S. Quek. (2003). *The finite element method: a practical course*. Jordan Hill: Elsevier Science.  
<http://proquest.umi.com/pqdweb?RQT=302&cfc=1>
- Katili, Irwan. (2008). *Metode elemen hingga untuk skeletal*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- Kelly, T.E. (2001). *Base isolation of structures design guidelines*. Holmes Consulting Group Ltd, Wellington, New Zealand.  
<http://www.holmesgroup.com>
- Lase, Yuskar., Hernandar, Agus. (2006). *Perbandingan Nilai Kekakuan Elastomeric Bearing Berdasarkan Pemodelan Finite Element Dengan Perhitungan Analitis*. Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Lukito, Martin A. (1995). *RESMAT* [Computer Software]. Surabaya: Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Petra
- Manohar, S. N. (1985). *Tall chimneys: design and construction*. New Delhi: McGraw – Hill.
- SNI 1726 – 2002, *Standar perencanaan ketahanan gempa untuk Struktur bangunan gedung*, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Oktober 2001.
- Toma, S., Duan, L., & Chen, W.F. (1999). *Handbook of structural engineering* (Chap.10 Bridge Structures). Boca Raton: CRC Press LLC.
- Tsu Sheng Chang. (2002). *Seismic response of structures with added viscoelastic dampers*. September 19, 2002. ProQuest Information and Learning Company database.
- Viscoelasticity*. Wikipedia the Free Encyclopedia. Desember 11, 2009.  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Viscoelasticity>

Lampiran A : Tampak dan Potongan *Chimney*

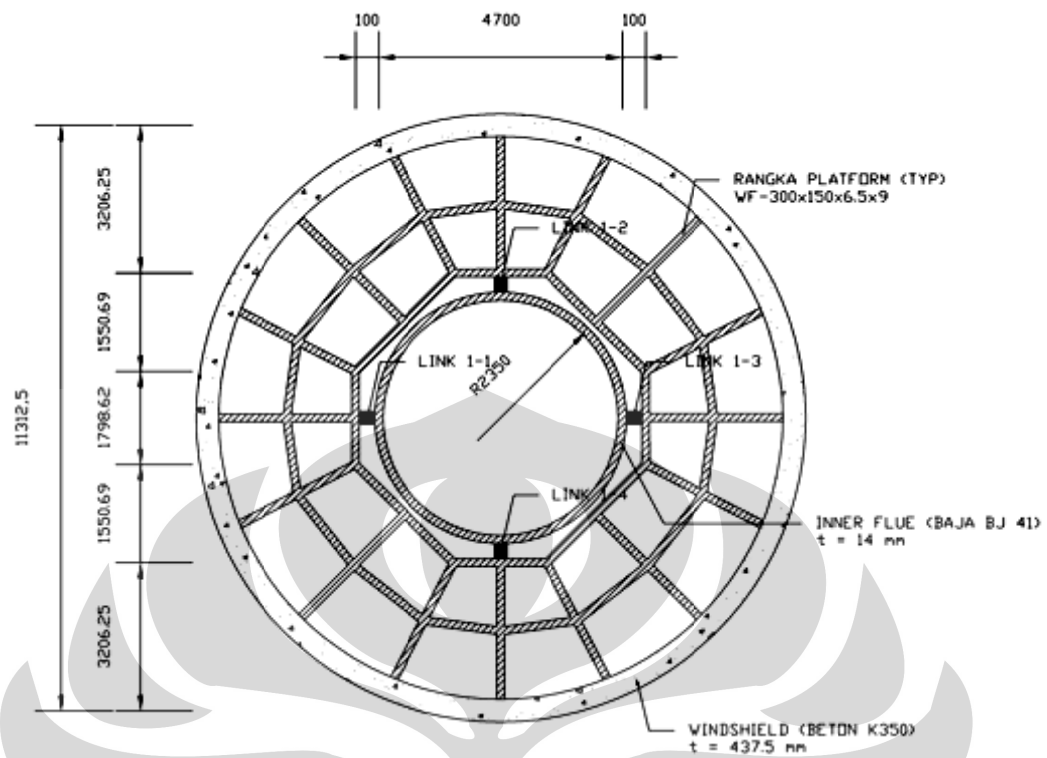


Gambar A. 1 Tampak Depan *Chimney* (Satuan mm)

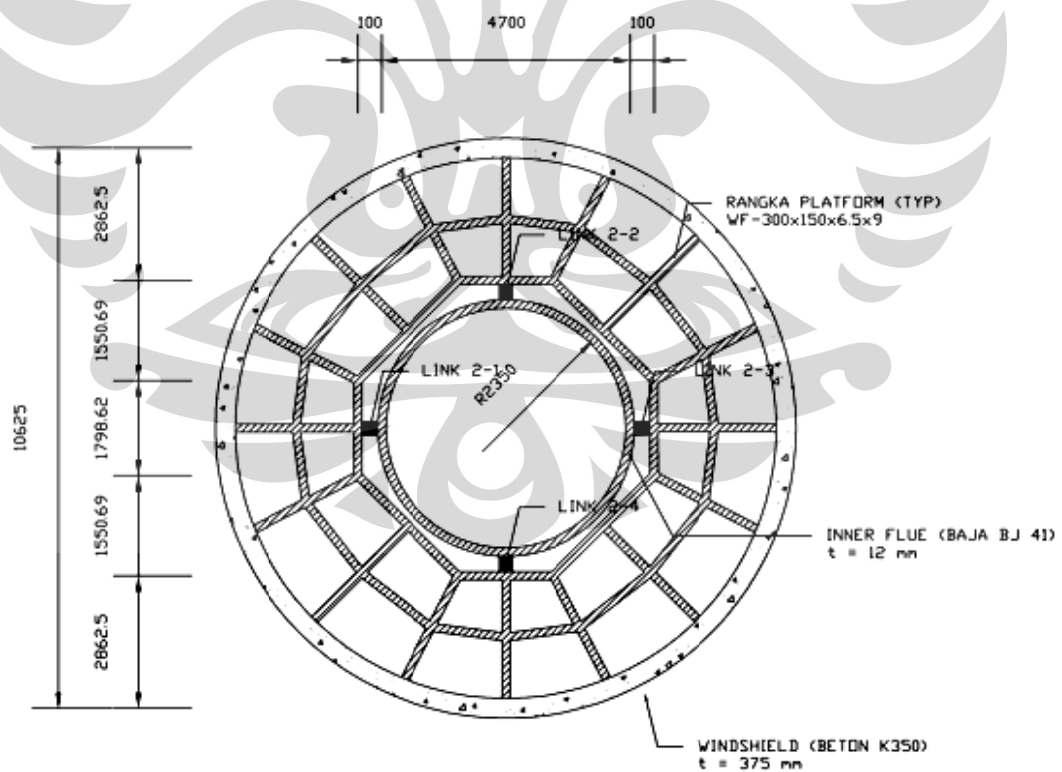




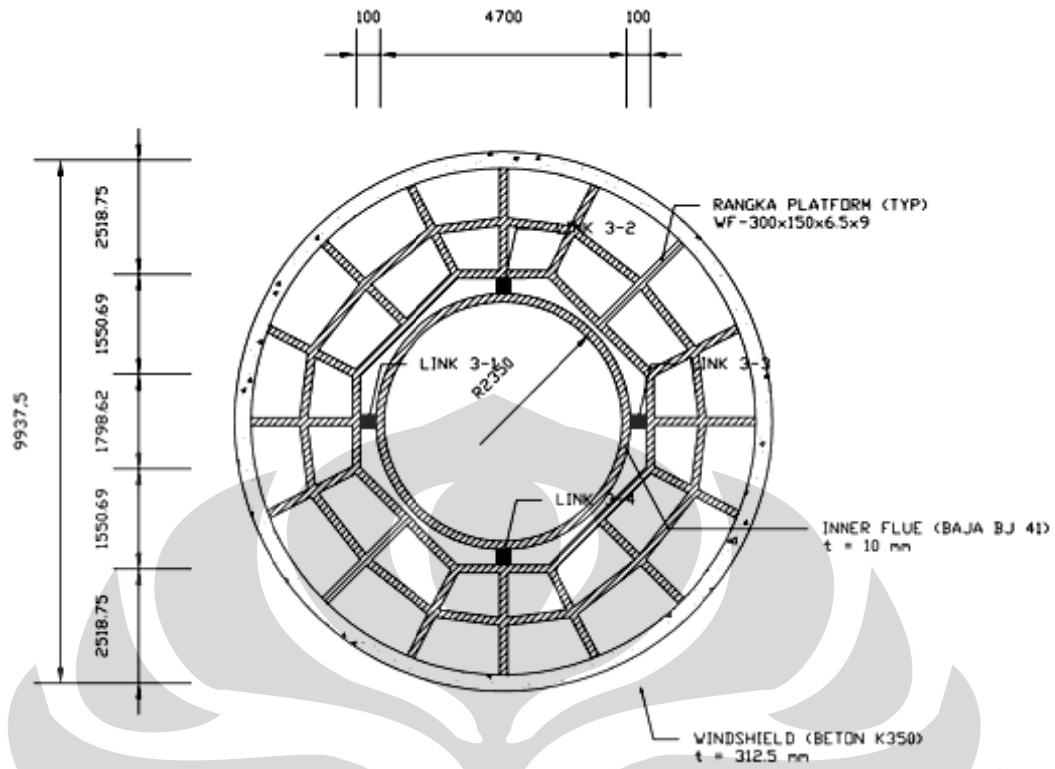
Gambar A. 2 Potongan Melintang *Chimney* (Satuan mm)



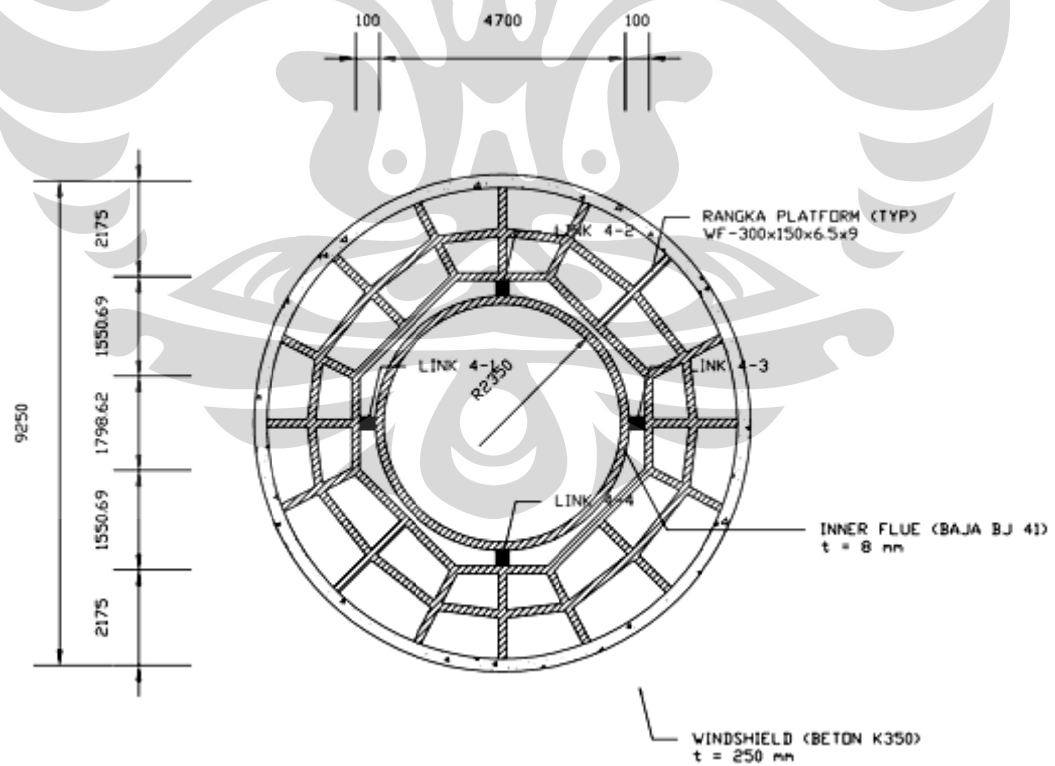
Gambar A. 3 Platform 1 Pada GL+36000,00 (Satuan mm)



Gambar A. 4 Platform 2 Pada GL+73000,00 (Satuan mm)



Gambar A. 5 Platform 3 Pada GL+110000,00 (Satuan mm)



Gambar A. 6 Platform 4 Pada GL+146000,00 (Satuan mm)

## Lampiran B : Massa *Inner Flue* Per *Platform* dan Redaman Karet

Tabel B. 1 Massa *Inner Flue* per *Platform* Dihitung 1/2 Keatas dan 1/2 Kebawah

Platform	Massa <i>Inner Flue</i> (Ton)
I	212.0348497
II	197.9689863
III	178.5526097
IV	92.23189486

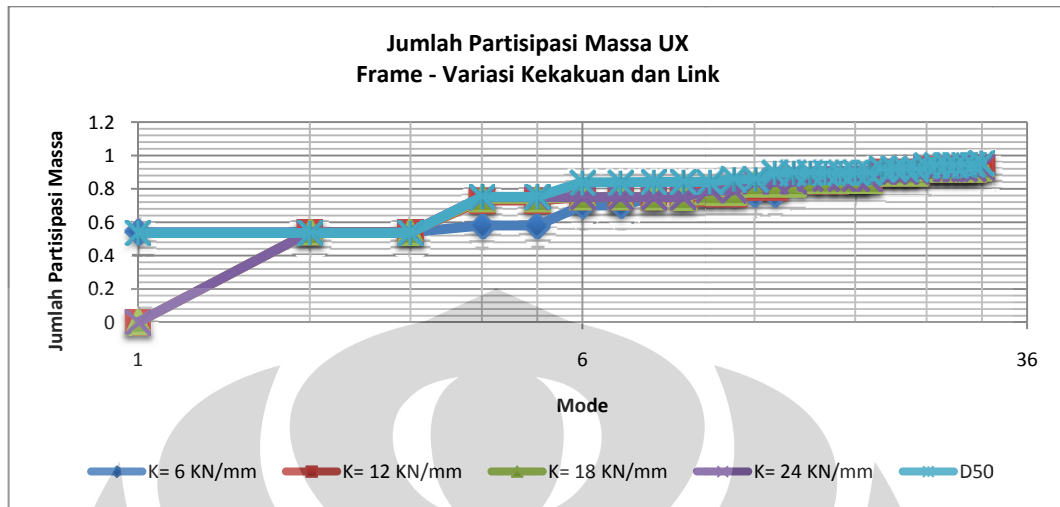
Tabel B. 2 Koefisien Redaman ( $\xi = 5\%$ ) untuk Variasi Kekakuan

Platform	C untuk $\xi = 5\%$ (KN-s/mm)			
	k= 6KN/mm	k= 12KN/mm	k= 18KN/mm	k= 24KN/mm
I	3.56680403	5.044222632	6.177885799	7.133608058
II	3.44646764	4.874041275	5.969457055	6.892935275
III	3.27309587	4.628856572	5.669168347	6.546191743
IV	2.35242719	3.326834439	4.074523417	4.704854383

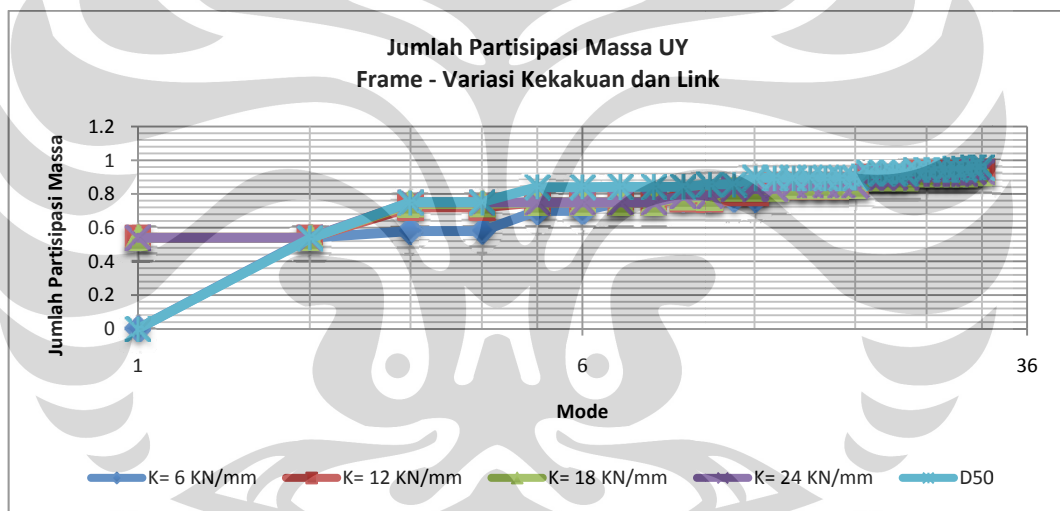
Tabel B. 3 Koefisien Redaman untuk Variasi Redaman Karet

Platform	Variasi C untuk k=12 KN/mm (KN-s/mm)			
	$\xi = 5\%$	$\xi = 10\%$	$\xi = 15\%$	$\xi = 20\%$
I	5.04422263	10.08844526	15.1326679	20.17689053
II	4.87404128	9.748082551	14.62212383	19.4961651
III	4.62885657	9.257713144	13.88656972	18.51542629
IV	3.32683444	6.653668878	9.980503316	13.30733776

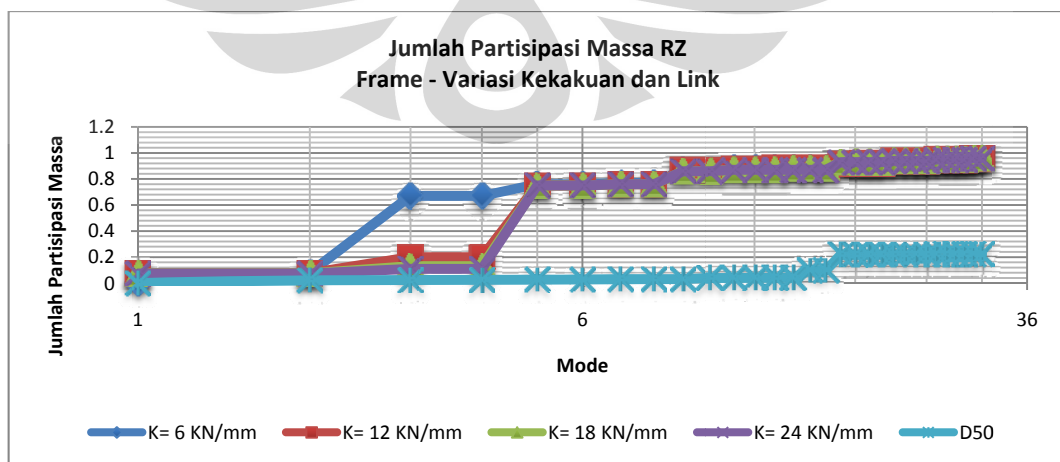
Lampiran C : Hasil Respon Variasi Kekakuan dan *Link Chimney* Sebagai Model Struktur *Frame*



Gambar C. 1 Jumlah Partisipasi Massa UX - Model Struktur *Frame*

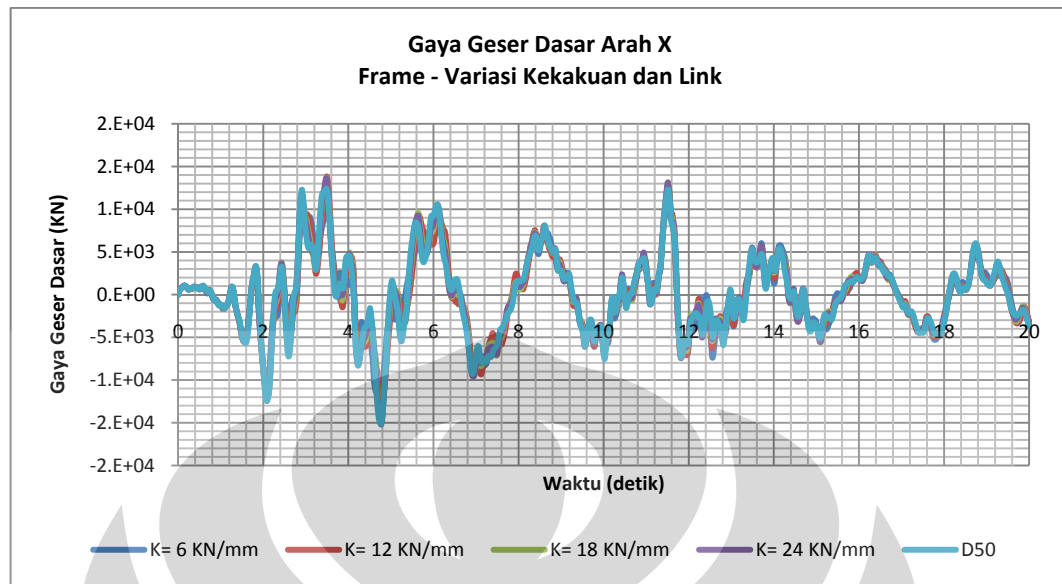


Gambar C. 2 Jumlah Partisipasi Massa UY - Model Struktur *Frame*

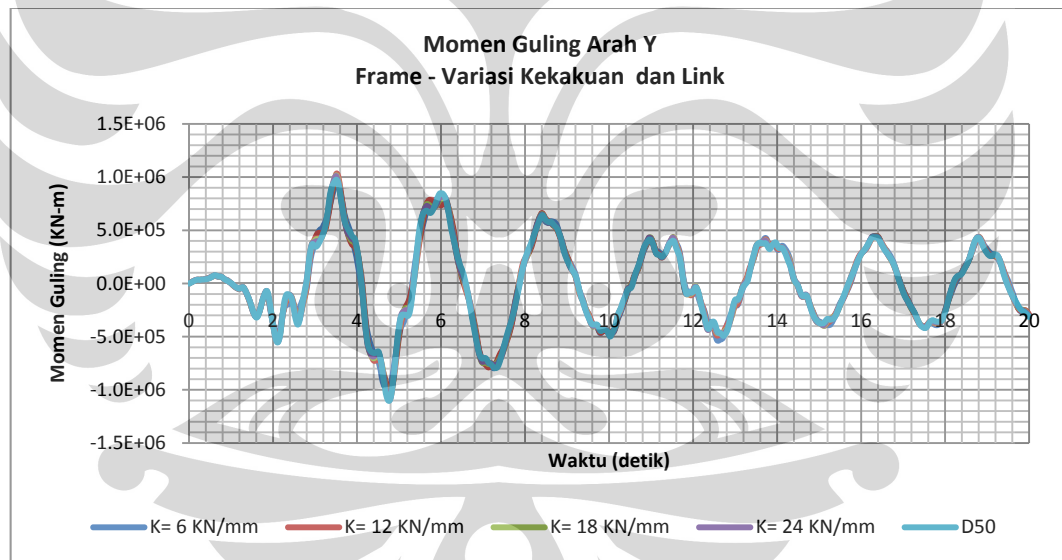


Gambar C. 3 Jumlah Partisipasi Massa RZ - Model Struktur *Frame*

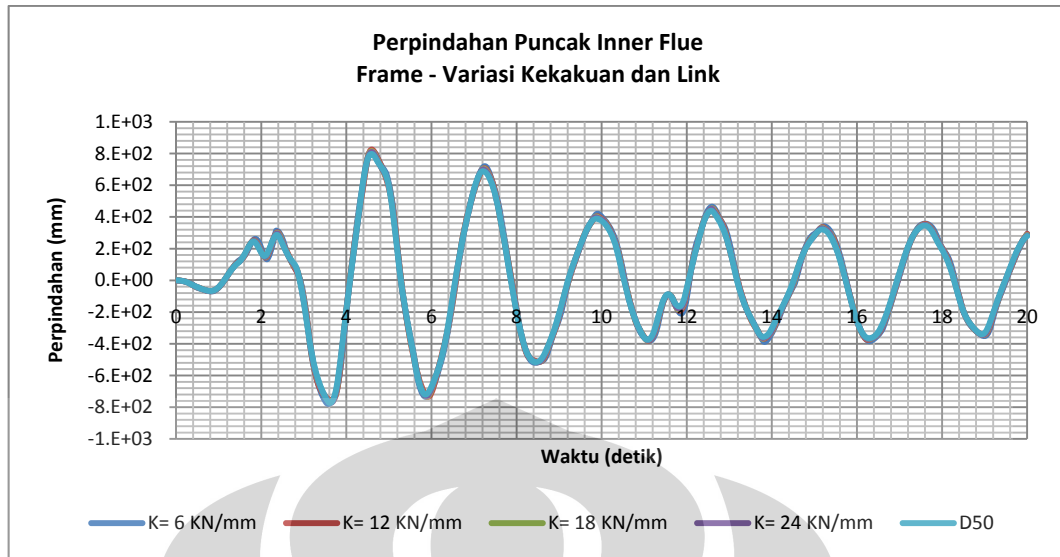
## Metode Riwayat Waktu



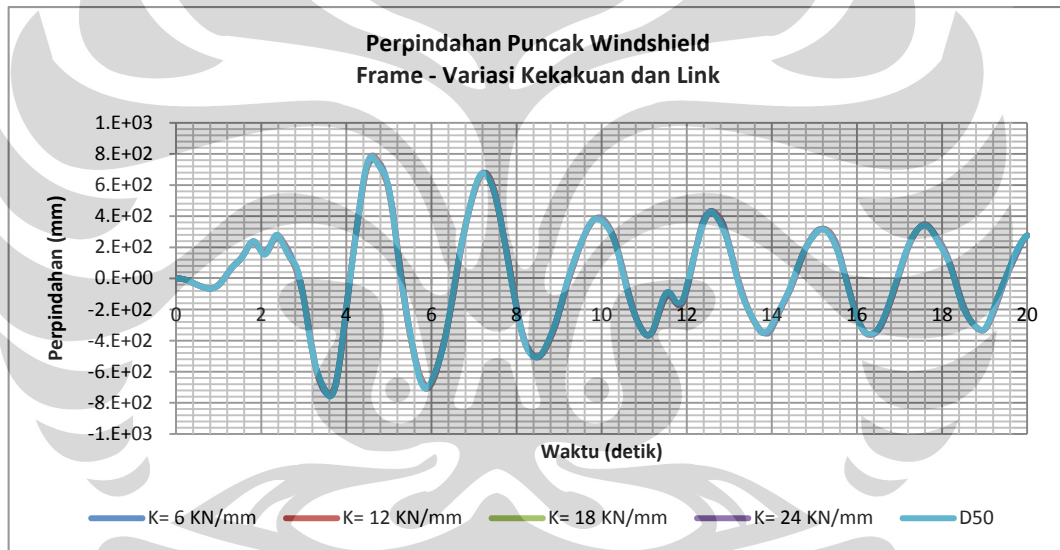
Gambar C. 4 Gaya Geser Dasar Terhadap Waktu Model Struktur *Frame* - Variasi Kekakuan dan *Link*



Gambar C. 5 Momen Guling Terhadap Waktu Model Struktur *Frame* - Variasi Kekakuan dan *Link*



Gambar C. 6 Perpindahan Puncak *Inner Flue* Terhadap Waktu Model Struktur *Frame* - Variasi Kekakuan dan *Link*



Gambar C. 7 Perpindahan Puncak *Windshield* Terhadap Waktu Model Struktur *Frame* - Variasi Kekakuan dan *Link*

Tabel C. 1 Reaksi Dasar Total Model Struktur *Frame* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link*

TABLE: Base Reactions Total			
Link	StepType	GlobalFX	GlobalMY
Text	Text	KN	KN-m
K= 6 KN/mm	ABS MAX	12311.056	1006967.23
K= 12 KN/mm	ABS MAX	13830.231	1036271.17
K= 18 KN/mm	ABS MAX	15010.381	1088245.56
K= 24 KN/mm	ABS MAX	15213.54	1097359.1
D50	ABS MAX	15136.806	1103262.12

**Tabel C. 2 Reaksi Dasar *Inner Flue* Model Struktur *Frame* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Base Reactions Inner Flue Only</b>			
<b>Link</b>	<b>StepType</b>	<b>GlobalFX</b>	<b>GlobalMY</b>
Text	Text	KN	KN-m
K= 6 KN/mm	ABS MAX	699.983	18782.9209
K= 12 KN/mm	ABS MAX	674.534	22801.2216
K= 18 KN/mm	ABS MAX	663.9	21439.6929
K= 24 KN/mm	ABS MAX	608.009	20374.4805
D50	ABS MAX	445.23	18883.9674

**Tabel C. 3 Reaksi Dasar *Windshield* Model Struktur *Frame* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Base Reactions Windshield Only</b>			
<b>Link</b>	<b>StepType</b>	<b>GlobalFX</b>	<b>GlobalMY</b>
Text	Text	KN	KN-m
K= 6 KN/mm	ABS MAX	12021.481	989895.2754
K= 12 KN/mm	ABS MAX	13317.606	1013114.886
K= 18 KN/mm	ABS MAX	14560.861	1066080.258
K= 24 KN/mm	ABS MAX	14805.946	1075661.232
D50	ABS MAX	14852.452	1084407.07

**Tabel C. 4 Perpindahan Puncak Model Struktur *Frame* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Peak Displacement</b>			
<b>Link</b>	<b>StepType</b>	<b>Inner Flue</b>	<b>Windshield</b>
Text	Text	mm	mm
K= 6 KN/mm	ABS MAX	818.1069	765.5689
K= 12 KN/mm	ABS MAX	825.06212	789.45797
K= 18 KN/mm	ABS MAX	814.7562	788.9014
K= 24 KN/mm	ABS MAX	810.1366	787.5403
D50	ABS MAX	797.90477	782.21162

**Tabel C. 5 Gaya Geser Tingkat *Inner Flue* Model Struktur *Frame* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Story Shear Inner Flue Only</b>						
<b>Platform</b>	<b>StepType</b>	<b>D50</b>	<b>K= 6 KN/mm</b>	<b>K= 12 KN/mm</b>	<b>K= 18 KN/mm</b>	<b>K= 24 KN/mm</b>
Text	Text	KN	KN	KN	KN	KN
4	ABS MAX	110.881	559.28521	164.15107	146.5444	133.96604
3	ABS MAX	411.122	905.65828	487.32906	488.54723	491.88769
2	ABS MAX	455.193	1005.2957	640.90649	521.75083	527.14128
1	ABS MAX	438.048	665.70461	651.20752	527.04557	500.59816
0	ABS MAX	445.23	699.983	674.534	663.9	608.009



**Tabel C. 6 Gaya Geser Tingkat *Windshield* Model Struktur *Frame* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Story Shear Windshield Only</b>						
Platform	StepType	D50	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm
Text	Text	KN	KN	KN	KN	KN
4	ABS MAX	259.337	211.26239	249.07406	256.36736	258.31401
3	ABS MAX	5714.572	4676.488	5581.901	5737.21548	5836.34303
2	ABS MAX	7253.497	7256.307	7454.39	7452.353	7378.284
1	ABS MAX	12821.843	10545.1451	11481.131	12429.6587	12603.1032
0	ABS MAX	14852.452	12021.481	13317.606	14560.861	14805.946

**Tabel C. 7 Deformasi *Elastomeric Rubber* Model Struktur *Frame* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan**

<b>TABLE: ABS MAX Rubber Isolator U1 Deformations - Link X-1</b>				
Platform	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm
Text	mm	mm	mm	mm
4	52.763427	31.06322	19.136567	13.343662
3	51.366565	29.97833	15.129501	11.284417
2	51.031591	41.152266	23.82624	17.33447
1	32.958633	21.058926	12.324721	8.78554
0	0	0	0	0

**Tabel C. 8 Gaya Aksial Sambungan Model Struktur *Frame* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: ABS MAX Rubber Isolator &amp; D50 Axial Forces - Link X-1</b>					
Platform	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	KN	KN	KN	KN	KN
4	316.581	372.759	344.458	320.248	212.841
3	308.32	359.74	272.331	270.826	225.056
2	306.19	493.827	428.872	416.027	313.364
1	197.752	252.707	221.845	210.853	262.702
0	0	0	0	0	0

Tabel C. 9 Gaya Aksial *Link Gap* Model Struktur *Frame* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan

TABLE:MIN GAP Axial Forces				
Platform	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm
Text	KN	KN	KN	KN
4	-1389.131	0	0	0
3	-683.282	0	0	0
2	-517.544	0	0	0
1	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Tabel C. 10 Gaya Aksial *Link Hook* Model Struktur *Frame* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan

TABLE:MAX HOOK Axial Forces				
Platform	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm
Text	KN	KN	KN	KN
4	1381.714	0	0	0
3	693.329	0	0	0
2	520.11	0	0	0
1	0	0	0	0
0	0	0	0	0

### Metode Respons Spektrum

Tabel C. 11 Reaksi Dasar Total Model Struktur *Frame* Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link*

TABLE: Base Reactions Total			
Link	StepType	GlobalFX	GlobalMY
Text	Text	KN	KN-m
K= 6 KN/mm	RSP MAX	8023.917	648923.9628
K= 12 KN/mm	RSP MAX	8632.181	658224.9168
K= 18 KN/mm	RSP MAX	8852.639	662205.0951
K= 24 KN/mm	RSP MAX	8907.706	663486.5688
D50	RSP MAX	9142.895	665967.4896

**Tabel C. 12 Reaksi Dasar *Inner Flue* Model Struktur *Frame* Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Base Reactions Inner Flue Only</b>			
<b>Link</b>	<b>StepType</b>	<b>GlobalFX</b>	<b>GlobalMY</b>
Text	Text	KN	KN-m
K= 6 KN/mm	RSP MAX	450.379	15181.4041
K= 12 KN/mm	RSP MAX	379.059	13603.4623
K= 18 KN/mm	RSP MAX	338.811	12441.1141
K= 24 KN/mm	RSP MAX	317.527	11941.118
D50	RSP MAX	217.088	11237.4416

**Tabel C. 13 Reaksi Dasar *Windshield* Model Struktur *Frame* Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Base Reactions Windshield Only</b>			
<b>Link</b>	<b>StepType</b>	<b>GlobalFX</b>	<b>GlobalMY</b>
Text	Text	KN	KN-m
K= 6 KN/mm	RSP MAX	7783.599	636997.0545
K= 12 KN/mm	RSP MAX	8370.028	646136.3747
K= 18 KN/mm	RSP MAX	8631.789	650640.7747
K= 24 KN/mm	RSP MAX	8704.099	652201.2957
D50	RSP MAX	8968.27	654803.9413

**Tabel C. 14 Perpindahan Puncak Model Struktur *Frame* Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Peak Displacement</b>			
<b>Link</b>	<b>StepType</b>	<b>Inner Flue</b>	<b>Windshield</b>
Text	Text	mm	mm
K= 6 KN/mm	RSP MAX	568.4721	538.585
K= 12 KN/mm	RSP MAX	558.6792	539.8592
K= 18 KN/mm	RSP MAX	555.9069	540.162
K= 24 KN/mm	RSP MAX	554.782	540.4923
D50	RSP MAX	551.1847	540.7583

Tabel C. 15 Gaya Geser Tingkat *Inner Flue* Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link*

TABLE: Story Shear Inner Flue Only						
Platform	StepType	D50	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm
Text	Text	KN	KN	KN	KN	KN
4	RSP MAX	81.336	122.783	113.595	110.049	103.745
3	RSP MAX	273.776	447.038	297.994	297.917	316.843
2	RSP MAX	306.268	378.998	419.763	380.667	373.313
1	RSP MAX	334.761	460.983	467.352	396.637	368.108
0	RSP MAX	217.088	450.379	379.059	338.811	317.527

Tabel C. 16 Gaya Geser Tingkat *Windshield* Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link*

TABLE: Story Shear Windshield Only						
Platform	StepType	D50	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm
Text	Text	KN	KN	KN	KN	KN
4	RSP MAX	188.947	160.237	173.317	177.59	178.073
3	RSP MAX	3553.293	3086.111	3413.253	3497.255	3518.058
2	RSP MAX	4921.351	4883.564	4842.311	4830.975	4826.324
1	RSP MAX	7422.406	6649.356	7028.628	7240.755	7310.375
0	RSP MAX	9142.895	7783.599	8370.028	8631.789	8704.099

Tabel C. 17 Deformasi *Elastomeric Rubber* Model Struktur *Frame* Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan

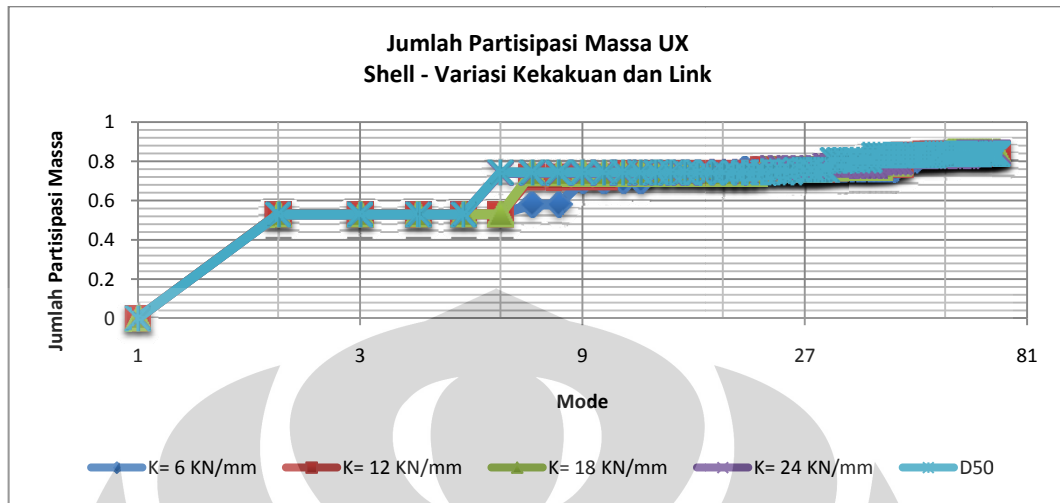
TABLE: RSP MAX Rubber Isolator U1 Deformations - Link X-1				
Platform	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm
Text	mm	mm	mm	mm
4	56.183257	19.511323	13.124468	9.89454
3	53.265669	19.851366	9.988909	7.346972
2	47.476384	30.788603	17.158165	11.813368
1	27.084734	17.18004	10.412035	7.683005
0	0	0	0	0

**Tabel C. 18 Gaya Aksial Sambungan Model Struktur *Frame* Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link***

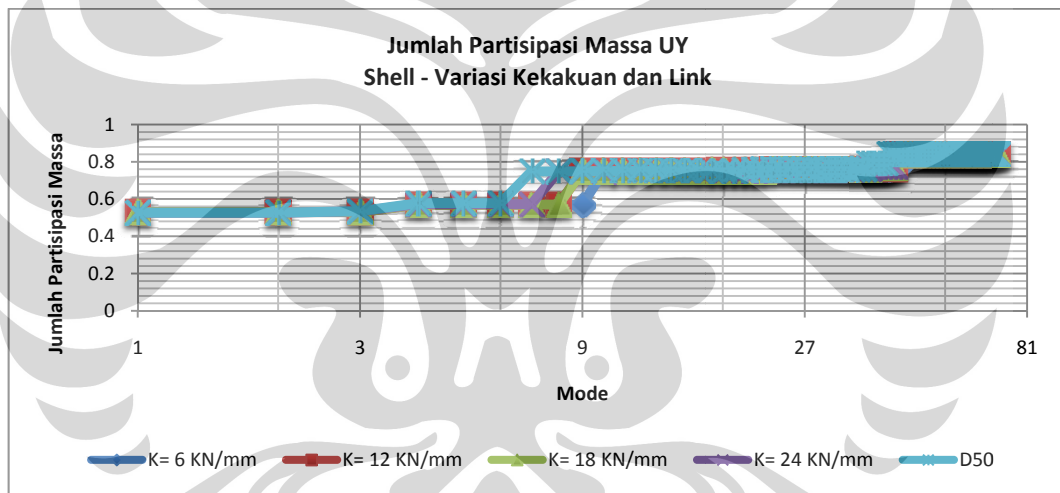
<b>TABLE: RSP MAX Rubber Isolator &amp; D50 Axial Forces - Link X-1</b>					
<b>Platform</b>	<b>K= 6 KN/mm</b>	<b>K= 12 KN/mm</b>	<b>K= 18 KN/mm</b>	<b>K= 24 KN/mm</b>	<b>D50</b>
<b>Text</b>	<b>KN</b>	<b>KN</b>	<b>KN</b>	<b>KN</b>	<b>KN</b>
4	337.09954	234.13587	236.24043	237.46897	154.844
3	319.59401	238.21639	179.80037	176.32733	174.165
2	284.85831	369.46323	308.84697	283.52084	223.12
1	162.5084	206.16048	187.41663	184.39212	179.475
0	0	0	0	0	0



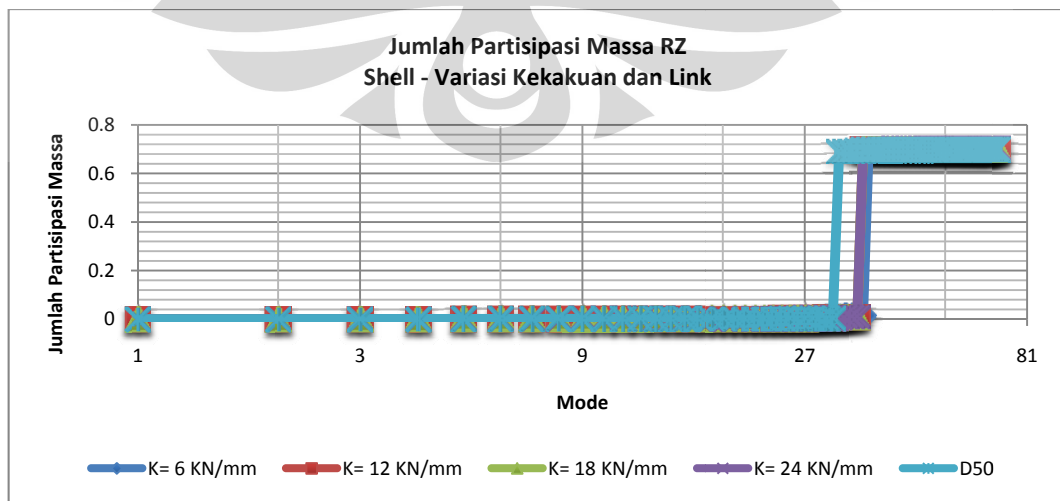
**Lampiran D : Hasil Respon Variasi Kekakuan dan *Link Chimney* Sebagai Model Struktur *Shell***



**Gambar D. 1 Jumlah Partisipasi Massa UX - Model Struktur *Shell***

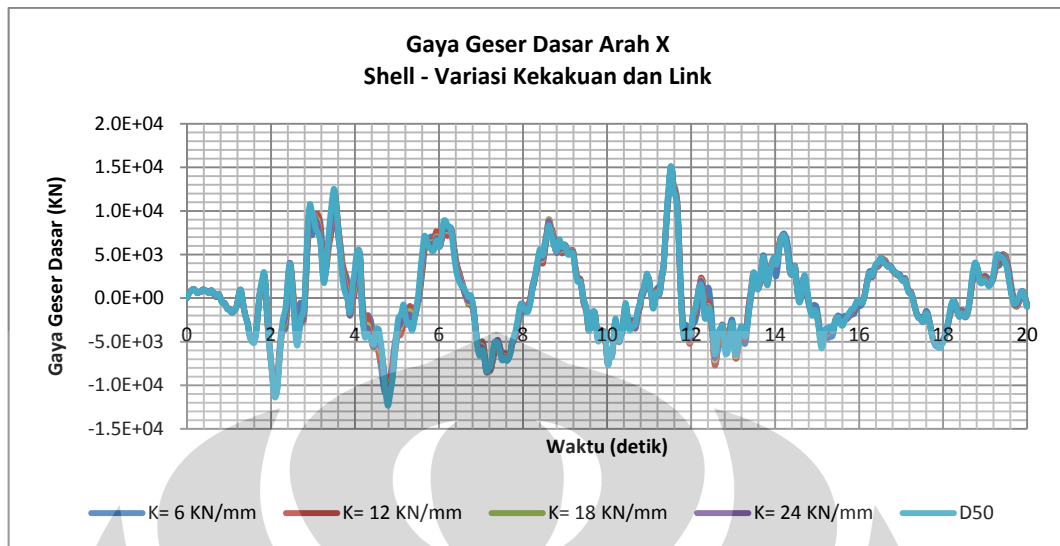


**Gambar D. 2 Jumlah Partisipasi Massa UY - Model Struktur *Shell***

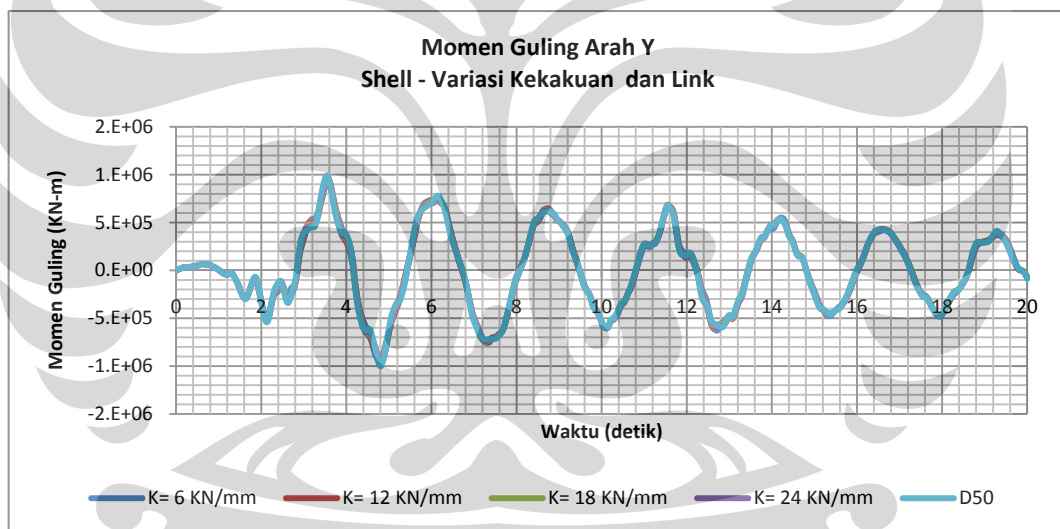


**Gambar D. 3 Jumlah Partisipasi Massa RZ - Model Struktur *Shell***

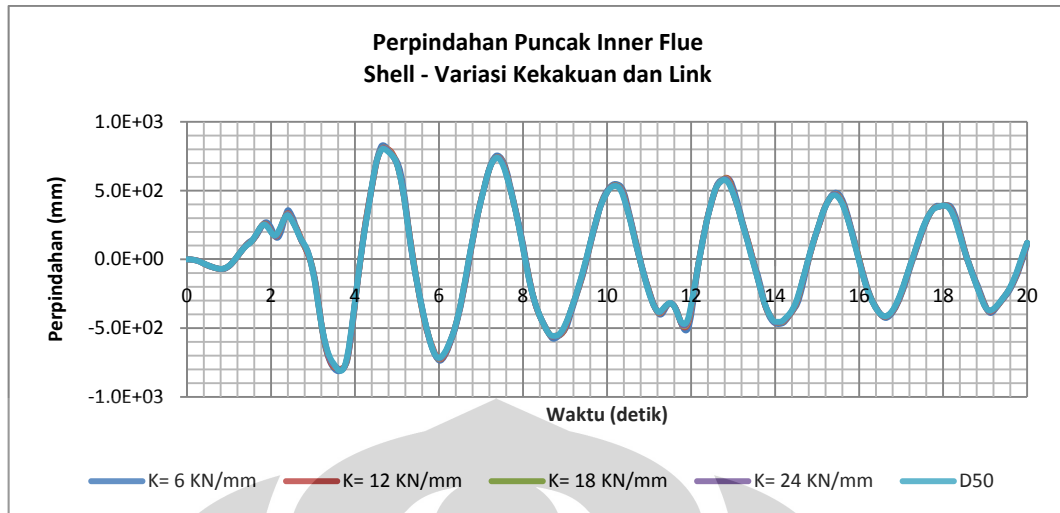
## Metode Riwayat Waktu



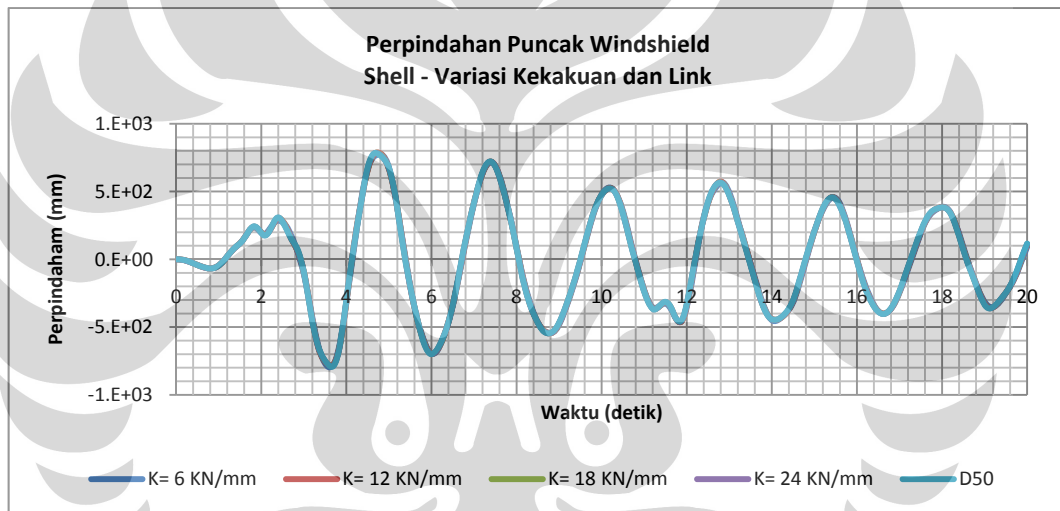
Gambar D. 4 Gaya Geser Dasar Terhadap Waktu Model Struktur *Shell* - Variasi Kekakuan dan *Link*



Gambar D. 5 Momen Guling Terhadap Waktu Model Struktur *Shell* - Variasi Kekakuan dan *Link*



Gambar D. 6 Perpindahan Puncak *Inner Flue* Terhadap Waktu Model Struktur *Shell* - Variasi Kekakuan dan *Link*



Gambar D. 7 Perpindahan Puncak *Windshield* Terhadap Waktu Model Struktur *Shell* - Variasi Kekakuan dan *Link*

Tabel D. 1 Reaksi Dasar Total Model Struktur *Shell* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link*

TABLE: Base Reactions Total			
Link	StepType	GlobalFX	GlobalMY
Text	Text	KN	KN-m
K= 6 KN/mm	ABS MAX	14199.4201	953765.4
K= 12 KN/mm	ABS MAX	14926.272	973326.1702
K= 18 KN/mm	ABS MAX	15065.6465	987165.46
K= 24 KN/mm	ABS MAX	15095.526	990592.473
D50	ABS MAX	15132.306	1002765.29



**Tabel D. 2 Reaksi Dasar *Inner Flue* Model Struktur *Shell* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

TABLE: Base Reactions Inner Flue Only		
Link	StepType	GlobalFX
Text	Text	KN
K= 6 KN/mm	ABS MAX	707.59898
K= 12 KN/mm	ABS MAX	718.06824
K= 18 KN/mm	ABS MAX	663.4798
K= 24 KN/mm	ABS MAX	632.14342
D50	ABS MAX	499.27768

**Tabel D. 3 Reaksi Dasar *Windshield* Model Struktur *Shell* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

TABLE: Base Reactions Windshield Only		
Link	StepType	GlobalFX
Text	Text	KN
K= 6 KN/mm	ABS MAX	13655.91876
K= 12 KN/mm	ABS MAX	14327.91816
K= 18 KN/mm	ABS MAX	14523.69364
K= 24 KN/mm	ABS MAX	14583.9264
D50	ABS MAX	14641.1076

**Tabel D. 4 Perpindahan Puncak Model Struktur *Shell* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

TABLE: Peak Displacement			
Link	StepType	Inner Flue	Windshield
Text	Text	mm	mm
K= 6 KN/mm	ABS MAX	829.31561	796.29029
K= 12 KN/mm	ABS MAX	812.81202	787.71979
K= 18 KN/mm	ABS MAX	811.47547	786.95262
K= 24 KN/mm	ABS MAX	809.61606	786.96805
D50	ABS MAX	809.91711	792.56947

**Tabel D. 5 Gaya Langsung Membran *Inner Flue* F11 Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Inner Flue - Membrane Direct Force (F11)</b>						
Platform	StepType	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	Text	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m
4	ABS MAX	311.77	209.36	185.87	186.85	145.32
3	ABS MAX	222.8	139.91	117.93	103.99	103.25
2	ABS MAX	140.22	164.8	160.29	147.67	119.33
1	ABS MAX	77.13	93.67	90.61	90.54	106.35
0	ABS MAX	395.75	382.53	360.89	350.24	314.08

**Tabel D. 6 Gaya Langsung Membran *Inner Flue* F22 Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Inner Flue - Membrane Direct Force (F22)</b>						
Platform	StepType	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	Text	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m
4	ABS MAX	738.64	488.78	436.03	438.36	342.8
3	ABS MAX	624.46	371.79	347.87	358.06	419.75
2	ABS MAX	645.07	597.22	595.62	571.53	556.98
1	ABS MAX	776.88	813.82	802.42	770.05	713.8
0	ABS MAX	1319.17	1275.09	1202.96	1167.48	1046.93

**Tabel D. 7 Gaya Geser Membran *Inner Flue* F12 Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Inner Flue - Membrane Shear Force (F12)</b>						
Platform	StepType	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	Text	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m
4	ABS MAX	124.41	81.67	72.7	73.01	57.39
3	ABS MAX	176.38	88.12	74.25	79.1	84.9
2	ABS MAX	114.64	121.55	118.94	110.54	93.11
1	ABS MAX	98.07	104.67	96.4	91.19	93.22
0	ABS MAX	122.29	123.54	113.8	108.39	86.85

**Tabel D. 8 Momen Tekuk Pelat *Inner Flue* M11 Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

TABLE: Inner Flue - Plate Bending Moment (M11)						
Platform	StepType	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	Text	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m
4	ABS MAX	1.9668	1.3199	1.2482	1.2273	0.9117
3	ABS MAX	1.6199	0.9504	0.7963	0.7037	0.6996
2	ABS MAX	1.3235	1.5141	1.4688	1.351	1.0771
1	ABS MAX	0.7337	0.9052	0.8836	0.8811	1.1612
0	ABS MAX	0.0257	0.0242	0.0218	0.0207	0.0182

**Tabel D. 9 Momen Tekuk Pelat *Inner Flue* M22 Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

TABLE: Inner Flue - Plate Bending Moment (M22)						
Platform	StepType	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	Text	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m
4	ABS MAX	0.6442	0.4345	0.396	0.3879	0.3019
3	ABS MAX	0.5613	0.3321	0.2786	0.246	0.2441
2	ABS MAX	0.4644	0.5349	0.5191	0.4777	0.3811
1	ABS MAX	0.2675	0.3289	0.3207	0.3196	0.4189
0	ABS MAX	0.0857	0.0807	0.0727	0.0689	0.0607

**Tabel D. 10 Gaya Geser Transversal Pelat *Inner Flue* V13 Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

TABLE: Inner Flue - Plate Transverse Shear Force (V13)						
Platform	StepType	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	Text	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m
4	ABS MAX	3.82	2.55	2.39	2.35	1.77
3	ABS MAX	3.14	1.86	1.55	1.37	1.36
2	ABS MAX	2.56	2.94	2.85	2.62	2.09
1	ABS MAX	1.41	1.75	1.71	1.7	2.26
0	ABS MAX	0.008096	0.007801	0.007328	0.007077	0.006394

**Tabel D. 11 Gaya Geser Transversal Pelat *Inner Flue* V23 Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Inner Flue - Plate Transverse Shear Force (V23)</b>						
Platform	StepType	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	Text	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m
4	ABS MAX	0.08954	0.05143	0.05758	0.05649	0.03483
3	ABS MAX	0.16	0.1	0.08533	0.07462	0.071
2	ABS MAX	0.15	0.17	0.17	0.15	0.12
1	ABS MAX	0.09373	0.11	0.11	0.11	0.14
0	ABS MAX	0.09297	0.08773	0.07907	0.07494	0.06528

**Tabel D. 12 Gaya Langsung Membran *Windshield* F11 Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Windshield - Membrane Direct Force (F11)</b>						
Platform	StepType	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	Text	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m
4	ABS MAX	572.87	291.19	268.46	269.91	227.67
3	ABS MAX	724.42	788.04	815.1	829.07	848.34
2	ABS MAX	1568.82	1654.94	1744.37	1775.49	1836.45
1	ABS MAX	2381.65	2365.05	2372.02	2378.43	2381.41
0	ABS MAX	1708.74	1743.44	1770.04	1777.73	1799.94

**Tabel D. 13 Gaya Langsung Membran *Windshield* F22 Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Windshield - Membrane Direct Force (F22)</b>						
Platform	StepType	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	Text	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m
4	ABS MAX	81.29	36.56	32.5	32.49	27.52
3	ABS MAX	1581.21	1702.63	1778.85	1813.17	1859.97
2	ABS MAX	3670.97	3820.85	4018.32	4089.77	4229.49
1	ABS MAX	5990.35	5960.41	5972.4	5983.57	5985.36
0	ABS MAX	8543.72	8717.19	8850.21	8888.67	8999.7

**Tabel D. 14 Gaya Geser Membran *Windshield* F12 Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Windshield - Membrane Shear Force (F12)</b>						
Platform	StepType	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	Text	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m
4	ABS MAX	65.88	44.94	44.08	44.73	41.21
3	ABS MAX	294.44	327.84	350.25	354.37	363.35
2	ABS MAX	459.31	464.49	488.52	499.79	518.6
1	ABS MAX	538.89	526.77	547.63	557.28	579.85
0	ABS MAX	750.34	790.33	801.86	805.48	815.64

**Tabel D. 15 Momen Tekuk Pelat *Windshield* M11 Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Windshield - Plate Bending Moment (M11)</b>						
Platform	StepType	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	Text	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m
4	ABS MAX	32.848	16.2461	14.492	14.4888	11.665
3	ABS MAX	44.65	45.8008	47.9481	49.4048	51.1035
2	ABS MAX	100.3266	118.6726	128.0031	128.2844	131.0418
1	ABS MAX	175.9503	171.8312	171.4077	174.2047	177.9711
0	ABS MAX	50.4126	50.6831	51.9379	52.3175	53.3548

**Tabel D. 16 Momen Tekuk Pelat *Windshield* M22 Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Windshield - Plate Bending Moment (M22)</b>						
Platform	StepType	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	Text	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m
4	ABS MAX	29.2649	14.6678	13.236	13.251	10.8898
3	ABS MAX	214.044	237.1722	245.0734	248.0826	252.6713
2	ABS MAX	519.8331	563.9354	597.2759	606.4672	626.5872
1	ABS MAX	906.1724	894.8858	899.0769	903.2007	906.8944
0	ABS MAX	252.0628	253.4154	259.6896	261.5876	266.7739

**Tabel D. 17 Gaya Geser Transversal Pelat *Windshield* V13 Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

TABLE: Windshield - Plate Transverse Shear Force (V13)						
Platform	StepType	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	Text	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m
4	ABS MAX	19.11	9.38	8.37	8.37	6.74
3	ABS MAX	23.54	21.39	22.38	23.12	24.08
2	ABS MAX	38.28	37.11	37.75	37.92	38.72
1	ABS MAX	59.22	61.71	61.86	61.81	61.34
0	ABS MAX	10.67	10.91	11.04	11.07	11.16

**Tabel D. 18 Gaya Geser Transversal Pelat *Windshield* V23 Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

TABLE: Windshield - Plate Transverse Shear Force (V23)						
Platform	StepType	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	Text	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m
4	ABS MAX	21.15	10.08	9.26	9.29	7.87
3	ABS MAX	144.66	160.24	165.48	167.54	170.64
2	ABS MAX	334.36	363.79	385.44	391.3	404.26
1	ABS MAX	551.61	544.14	546.9	549.6	552.17
0	ABS MAX	184.89	185.96	190.33	191.6	195.34

**Tabel D. 19 Deformasi *Elastomeric Rubber* Model Struktur *Shell* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan**

TABLE: ABS MAX Rubber Isolator U1 Deformations - Link X-1				
Platform	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm
Text	mm	mm	mm	mm
4	50.66171	25.723379	15.366314	11.528985
3	50.59034	24.383417	14.253533	8.994738
2	50.24779	34.638706	22.266963	15.356697
1	29.28378	17.874415	11.637482	8.711897
0	0	0	0	0

**Tabel D. 20 Gaya Aksial Sambungan Model Struktur *Shell* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan dan *Link***

TABLE: ABS MAX Rubber Isolator & D50 Axial Forces - Link X-1					
Platform	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	KN	KN	KN	KN	KN
4	303.97	308.681	276.594	276.696	224.83
3	303.542	292.601	256.564	215.874	212.642
2	301.487	415.664	400.805	368.561	301.918
1	175.703	214.493	209.475	209.086	248.79
0	0	0	0	0	0

**Tabel D. 21 Gaya Aksial *Link Gap* Model Struktur *Shell* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan**

TABLE:MIN GAP Axial Forces				
Platform	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm
Text	KN	KN	KN	KN
4	-330.856	0	0	0
3	-295.169	0	0	0
2	-123.894	0	0	0
1	0	0	0	0
0	0	0	0	0

**Tabel D. 22 Gaya Aksial *Link Hook* Model Struktur *Shell* Metode Riwayat Waktu - Variasi Kekakuan**

TABLE:MAX HOOK Axial Forces				
Platform	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm
Text	KN	KN	KN	KN
4	330.856	0	0	0
3	295.169	0	0	0
2	123.894	0	0	0
1	0	0	0	0
0	0	0	0	0

## Metode Respons Spektrum

Tabel D. 23 Reaksi Dasar Total Model Struktur Shell Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link*

TABLE: Base Reactions Total			
Link	StepType	GlobalFX	GlobalMY
Text	Text	KN	KN-m
K= 6 KN/mm	RSP MAX	7710.599	623996.5593
K= 12 KN/mm	RSP MAX	8325.044	633832.9399
K= 18 KN/mm	RSP MAX	8544.476	637769.7292
K= 24 KN/mm	RSP MAX	8603.228	638937.093
D50	RSP MAX	8722.863	640746.7188

Tabel D. 24 Reaksi Dasar *Inner Flue* Model Struktur Shell Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link*

TABLE: Base Reactions Inner Flue Only		
Link	StepType	GlobalFX
Text	Text	KN
K= 6 KN/mm	RSP MAX	539.221
K= 12 KN/mm	RSP MAX	466.33
K= 18 KN/mm	RSP MAX	420.64
K= 24 KN/mm	RSP MAX	396.77
D50	RSP MAX	311.879

Tabel D. 25 Reaksi Dasar *Windshield* Model Struktur *Shell* Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link*

TABLE: Base Reactions Windshield Only		
Link	StepType	GlobalFX
Text	Text	KN
K= 6 KN/mm	RSP MAX	7858.9
K= 12 KN/mm	RSP MAX	8490.344
K= 18 KN/mm	RSP MAX	8747.655
K= 24 KN/mm	RSP MAX	8824.379
D50	RSP MAX	8995.731



**Tabel D. 26 Perpindahan Puncak Model Struktur *Shell* Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link***

TABLE: Peak Displacement			
Link	StepType	Inner Flue	Windshield
Text	Text	mm	mm
K= 6 KN/mm	RSP MAX	589.8349	557.9179
K= 12 KN/mm	RSP MAX	580.4909	559.2448
K= 18 KN/mm	RSP MAX	577.9413	559.5838
K= 24 KN/mm	RSP MAX	576.6786	559.719
D50	RSP MAX	573.1135	560.0489

**Tabel D. 27 Gaya Langsung Membran *Inner Flue* F11 Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link***

TABLE: Inner Flue - Membrane Direct Force (F11)						
Platform	StepType	K= 6	K= 12	K= 18	K= 24	D50
Text	Text	KN/mm	KN/mm	KN/mm	KN/mm	KN/m
4	RSP MAX	213.34	157.83	157.68	156.65	107.13
3	RSP MAX	133.1	109.54	95.91	102.53	120.23
2	RSP MAX	114.1	141.39	122.77	115.66	109.24
1	RSP MAX	65.04	79.04	75.4	75.59	102.86
0	RSP MAX	290.41	260.06	236.67	226.15	201.77

**Tabel D. 28 Gaya Langsung Membran *Inner Flue* F22 Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link***

TABLE: Inner Flue - Membrane Direct Force (F22)						
Platform	StepType	K= 6	K= 12	K= 18	K= 24	D50
Text	Text	KN/mm	KN/mm	KN/mm	KN/mm	KN/m
4	RSP MAX	490.59	367.59	369.49	370.66	249.47
3	RSP MAX	291.07	267.9	265.17	288.5	352.29
2	RSP MAX	442.04	441.1	395.84	374.33	373.89
1	RSP MAX	510.2	497.03	488.87	485.82	505.14
0	RSP MAX	968.05	866.88	788.88	753.82	672.56

**Tabel D. 29 Gaya Geser Membran *Inner Flue* F12 Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Inner Flue - Membrane Shear Force (F12)</b>						
Platform	StepType	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	Text	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m
4	RSP MAX	82.03	61.74	61.81	61.41	41.76
3	RSP MAX	99.52	62.32	55.84	59.88	65.87
2	RSP MAX	88.11	102.13	88.69	83.02	71.1
1	RSP MAX	85.96	91.89	80.35	75.35	71.63
0	RSP MAX	78.33	64.54	55.63	51.1	33.78

**Tabel D. 30 Momen Tekuk Pelat *Inner Flue* M11 Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Inner Flue - Plate Bending Moment (M11)</b>						
Platform	StepType	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	Text	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m
4	RSP MAX	1.373	1.1566	1.1877	1.1758	0.7544
3	RSP MAX	0.9429	0.7478	0.6423	0.677	0.8054
2	RSP MAX	1.0425	1.2944	1.1166	1.0459	0.9482
1	RSP MAX	0.6876	0.8796	0.8299	0.8278	1.11
0	RSP MAX	0.018	0.0158	0.0141	0.0133	0.0124

**Tabel D. 31 Momen Tekuk Pelat *Inner Flue* M22 Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Inner Flue - Plate Bending Moment (M22)</b>						
Platform	StepType	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	Text	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m
4	RSP MAX	0.4463	0.3574	0.3628	0.3587	0.2364
3	RSP MAX	0.3288	0.2611	0.2252	0.2379	0.281
2	RSP MAX	0.3682	0.4572	0.3949	0.3703	0.3376
1	RSP MAX	0.2494	0.3182	0.3	0.2989	0.3994
0	RSP MAX	0.0599	0.0525	0.0469	0.0443	0.0387

**Tabel D. 32 Gaya Geser Transversal Pelat *Inner Flue* V13 Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Inner Flue - Plate Transverse Shear Force (V13)</b>						
Platform	StepType	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	Text	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m
4	RSP MAX	2.64	2.21	2.26	2.24	1.45
3	RSP MAX	1.83	1.46	1.27	1.34	1.6
2	RSP MAX	2.02	2.51	2.17	2.04	1.86
1	RSP MAX	1.33	1.71	1.61	1.61	2.17
0	RSP MAX	0.005949	0.005453	0.005144	0.005708	0.009425

**Tabel D. 33 Gaya Geser Transversal Pelat *Inner Flue* V23 Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Inner Flue - Plate Transverse Shear Force (V23)</b>						
Platform	StepType	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	Text	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m
4	RSP MAX	0.06011	0.0689	0.07603	0.07875	0.03904
3	RSP MAX	0.09834	0.0817	0.07329	0.0783	0.07962
2	RSP MAX	0.12	0.15	0.13	0.12	0.12
1	RSP MAX	0.08833	0.11	0.11	0.1	0.14
0	RSP MAX	0.06479	0.0567	0.05054	0.04766	0.04159

**Tabel D. 34 Gaya Langsung Membran *Windshield* F11 Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Windshield - Membrane Direct Force (F11)</b>						
Platform	StepType	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	Text	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m
4	RSP MAX	278.68	192.87	186.45	180.53	149.58
3	RSP MAX	461.06	525.04	537.98	540.23	549.06
2	RSP MAX	1059.16	1121.3	1137.24	1141.58	1147.6
1	RSP MAX	1589.97	1592.11	1592.7	1593.03	1595.85
0	RSP MAX	1118.51	1135.76	1143.7	1146.33	1151.03

**Tabel D. 35 Gaya Langsung Membran *Windshield* F22 Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Windshield - Membrane Direct Force (F22)</b>						
Platform	StepType	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	Text	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m
4	RSP MAX	39.27	25.01	23.53	22.37	18.23
3	RSP MAX	1014.78	1136.03	1166.99	1173.65	1191.73
2	RSP MAX	2464.28	2587.81	2624.4	2635.08	2650.58
1	RSP MAX	4014.45	4019.81	4021.46	4022.32	4027.7
0	RSP MAX	5592.54	5678.78	5718.51	5731.64	5755.15

**Tabel D. 36 Gaya Geser Membran *Windshield* F12 Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Windshield - Membrane Shear Force (F12)</b>						
Platform	StepType	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	Text	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m
4	RSP MAX	34.67	29.27	29.54	29.35	27.37
3	RSP MAX	193.05	223.17	226.96	227.37	229.76
2	RSP MAX	293.45	312.98	315.7	316.42	320.54
1	RSP MAX	364.73	366.46	367.39	368.64	371.24
0	RSP MAX	385.73	423.87	439.47	444.11	454.47

**Tabel D. 37 Momen Tekuk Pelat *Windshield* M11 Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Windshield - Plate Bending Moment (M11)</b>						
Platform	StepType	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	Text	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m
4	RSP MAX	17.2273	11.0115	10.3505	9.846	7.5764
3	RSP MAX	28.7617	33.9358	32.0934	31.6068	32.159
2	RSP MAX	71.3896	83.7441	83.1137	82.4549	80.9412
1	RSP MAX	118.0817	118.67	118.4847	118.4677	119.5223
0	RSP MAX	32.7434	33.4907	33.8284	33.9373	34.1394

**Tabel D. 38 Momen Tekuk Pelat *Windshield* M22 Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Windshield - Plate Bending Moment (M22)</b>						
<b>Platform</b>	<b>StepType</b>	<b>K= 6 KN/mm</b>	<b>K= 12 KN/mm</b>	<b>K= 18 KN/mm</b>	<b>K= 24 KN/mm</b>	<b>D50</b>
Text	Text	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m	KN-m/m
4	RSP MAX	14.9867	9.7814	9.2375	8.8214	6.9811
3	RSP MAX	136.0098	159.0068	161.8589	162.0411	164.4984
2	RSP MAX	358.1618	384.079	388.7394	389.7276	390.7495
1	RSP MAX	606.3743	607.3275	607.5177	607.6529	609.1414
0	RSP MAX	163.717	167.4534	169.1418	169.6866	170.6969

**Tabel D. 39 Gaya Geser Transversal Pelat *Windshield* V13 Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Windshield - Plate Transverse Shear Force (V13)</b>						
<b>Platform</b>	<b>StepType</b>	<b>K= 6 KN/mm</b>	<b>K= 12 KN/mm</b>	<b>K= 18 KN/mm</b>	<b>K= 24 KN/mm</b>	<b>D50</b>
Text	Text	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m
4	RSP MAX	9.94	6.36	5.98	5.7	4.39
3	RSP MAX	13.74	13.97	14.45	14.64	14.92
2	RSP MAX	25.72	25.69	25.82	25.89	26.01
1	RSP MAX	38.84	39.27	39.39	39.42	39.46
0	RSP MAX	7.03	7.11	7.14	7.16	7.18

**Tabel D. 40 Gaya Geser Transversal Pelat *Windshield* V23 Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link***

<b>TABLE: Windshield - Plate Transverse Shear Force (V23)</b>						
<b>Platform</b>	<b>StepType</b>	<b>K= 6 KN/mm</b>	<b>K= 12 KN/mm</b>	<b>K= 18 KN/mm</b>	<b>K= 24 KN/mm</b>	<b>D50</b>
Text	Text	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m
4	RSP MAX	9.73	6.6	6.31	6.08	5.03
3	RSP MAX	91.89	107.39	109.33	109.46	111.11
2	RSP MAX	230.71	247.79	250.77	251.39	251.99
1	RSP MAX	369.11	369.72	369.82	369.91	370.86
0	RSP MAX	120.18	122.75	123.92	124.3	124.99

**Tabel D. 41 Deformasi *Elastomeric Rubber* Model Struktur *Shell* Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan**

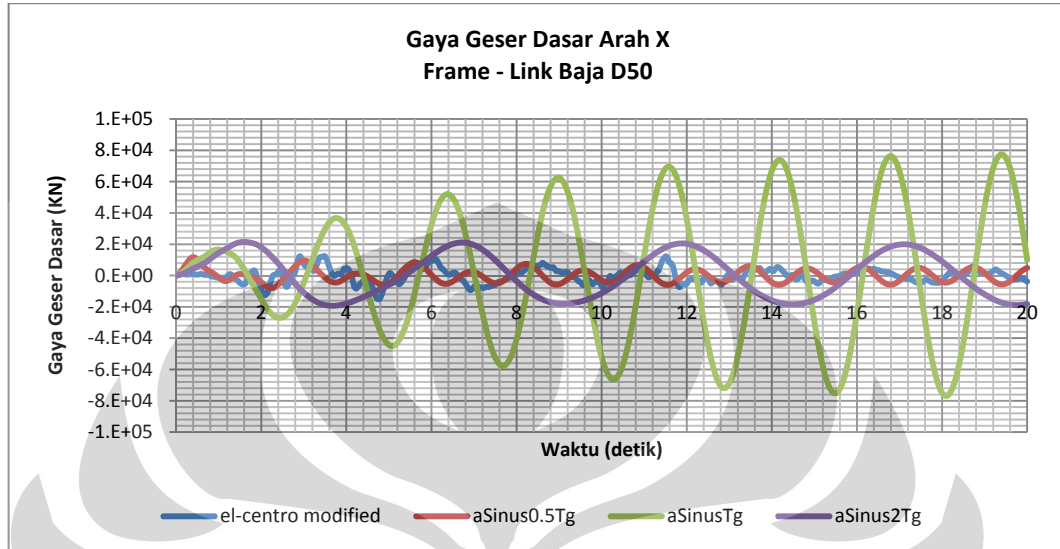
<b>TABLE: RSP MAX Rubber Isolator U1 Deformations - Link X-1</b>				
Platform	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm
Text	mm	mm	mm	mm
4	53.83865	17.322227	10.887426	7.789797
3	51.8666	18.654524	9.489683	6.698539
2	48.26892	29.299597	16.534877	11.372434
1	27.02573	16.743503	10.174367	7.378731
0	0	0	0	0

**Tabel D. 42 Gaya Aksial Sambungan Model Struktur *Shell* Metode Respons Spektrum - Variasi Kekakuan dan *Link***

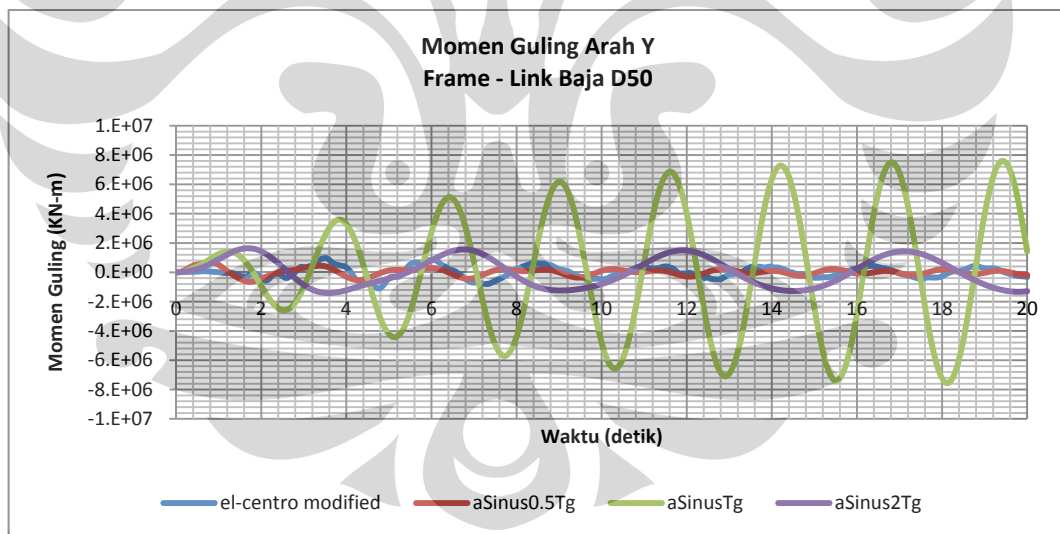
<b>TABLE: RSP MAX Rubber Isolator &amp; D50 Axial Forces - Link X-1</b>					
Platform	K= 6 KN/mm	K= 12 KN/mm	K= 18 KN/mm	K= 24 KN/mm	D50
Text	KN	KN	KN	KN	KN
4	323.032	207.867	195.974	186.955	146.174
3	311.2	223.854	170.814	160.765	179.717
2	289.614	351.595	297.628	272.938	222.035
1	162.154	200.922	183.139	177.09	196.316
0	0	0	0	0	0

## Lampiran E : Hasil Respon Variasi Fungsi Gempa

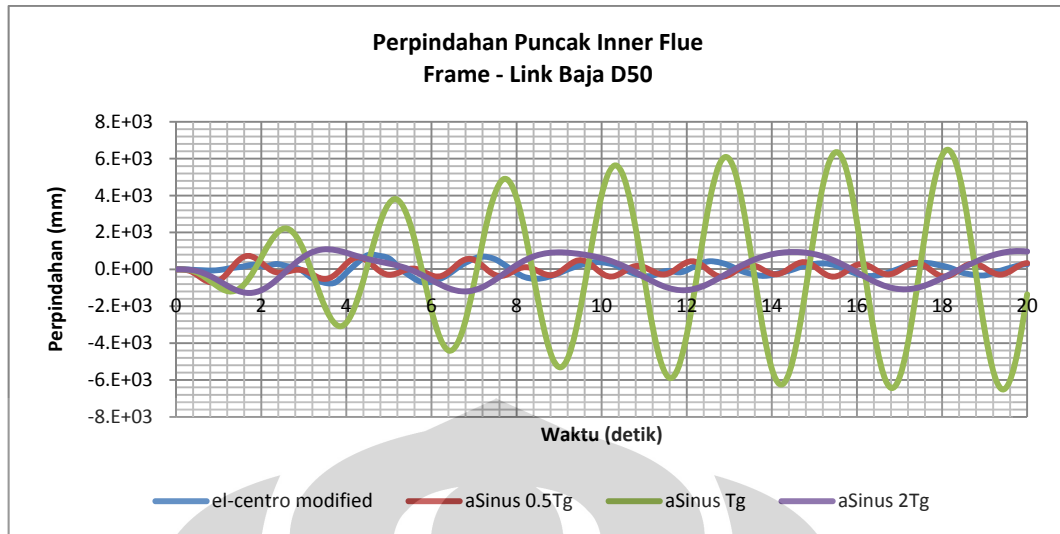
### Respon Variasi Fungsi Gempa Akibat Penggunaan Sambungan Baja D50



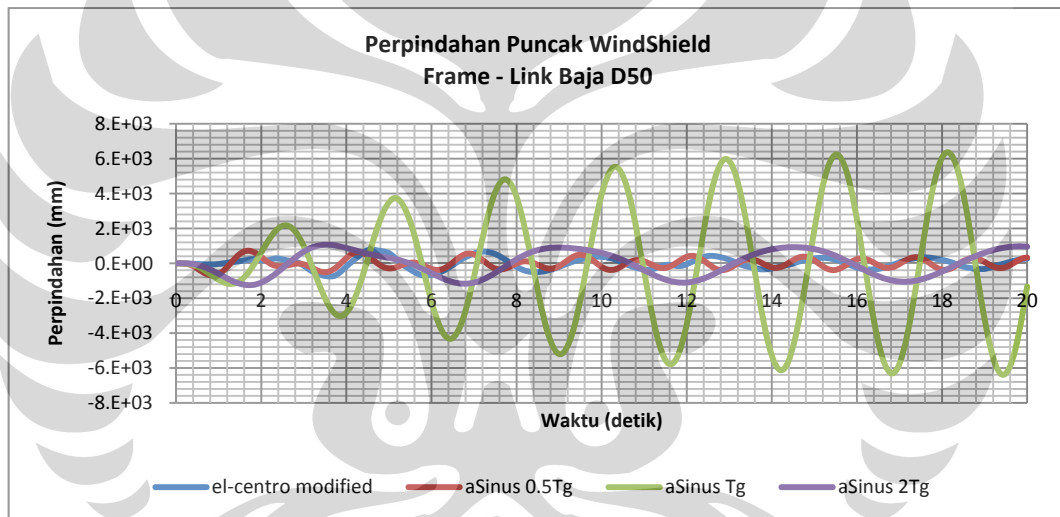
Gambar E. 1 Gaya Geser Dasar Terhadap Waktu Sambungan Baja D50 - Variasi Fungsi Gempa



Gambar E. 2 Momen Guling Terhadap Waktu Sambungan Baja D50 - Variasi Fungsi Gempa



Gambar E. 3 Perpindahan Puncak *Inner Flue* Terhadap Waktu Sambungan Baja D50 - Variasi Fungsi Gempa



Gambar E. 4 Perpindahan Puncak *Windshield* Terhadap Waktu Sambungan Baja D50 - Variasi Fungsi Gempa

Tabel E. 1 Gaya Geser Total Sambungan Baja D50 – Variasi Fungsi Gempa

TABLE: Base Reactions Total			
OutputCase	StepType	GlobalFX	GlobalMY
Text	Text	KN	KN-m
El-Centro modified	ABS MAX	15136.806	1103262.12
RSP Wilayah3-Lunak	ABS MAX	9142.895	665967.4896
aSinus0.5Tg	ABS MAX	11699.564	668333.7091
aSinusTg	ABS MAX	77325.099	7600265.79
aSinus2Tg	ABS MAX	21445.139	1638817.528



Tabel E. 2 Gaya Geser *Inner Flue* Sambungan Baja D50 - Variasi Gempa

TABLE: Base Reactions Inner Flue Only			
OutputCase	StepType	GlobalFX	GlobalMY
Text	Text	KN	KN-m
El-Centro modified	ABS MAX	445.23	18883.9674
RSP Wilayah3-Lunak	ABS MAX	217.088	11237.4416
aSinus0.5Tg	ABS MAX	387.65	10088.1391
aSinusTg	ABS MAX	1320.529	126265.876
aSinus2Tg	ABS MAX	522.794	28470.5078

Tabel E. 3 Gaya Geser *Windshield* Sambungan Baja D50 - Variasi Fungsi Gempa

TABLE: Base Reactions Windshield Only			
OutputCase	StepType	GlobalFX	GlobalMY
Text	Text	KN	KN-m
El-Centro modified	ABS MAX	14852.452	1084407.07
RSP Wilayah3-Lunak	ABS MAX	8968.27	654803.9413
aSinus0.5Tg	ABS MAX	11316.111	658444.486
aSinusTg	ABS MAX	76012.835	7473857.9
aSinus2Tg	ABS MAX	20925.945	1610355.28

Tabel E. 4 Perpindahan Puncak Sambungan Baja D50 - Variasi Fungsi Gempa

TABLE: Peak Displacement			
OutputCase	StepType	Inner Flue	Windshield
Text	Text	mm	mm
el-centro modified	ABS MAX	797.90477	782.21162
RSP Wilayah3-Lunak	ABS MAX	551.1847	540.7583
aSinus0.5Tg	ABS MAX	735.29776	720.84673
aSinusTg	ABS MAX	6514.022	6392.269
aSinus2Tg	ABS MAX	1280.505	1257.0536

Tabel E. 5 Gaya Geser Tingkat *Inner Flue* Sambungan Baja D50 - Variasi Fungsi Gempa  
( $a=0.3g$ )

TABLE: Story Shear Inner Flue Only						
Platform	StepType	El-Centro modified	RSP Wilayah3-Lunak	aSinus0.5Tg	aSinusTg	aSinus2Tg
Text	Text	KN	KN	KN	KN	KN
4	ABS MAX	110.881	81.336	71.442	424.781	68.596
3	ABS MAX	411.122	273.776	352.405	2510.616	447.298
2	ABS MAX	455.193	306.268	186.708	1904.692	423.75
1	ABS MAX	438.048	334.761	290.289	1305.654	405.57
0	ABS MAX	445.23	217.088	387.65	1320.529	522.794

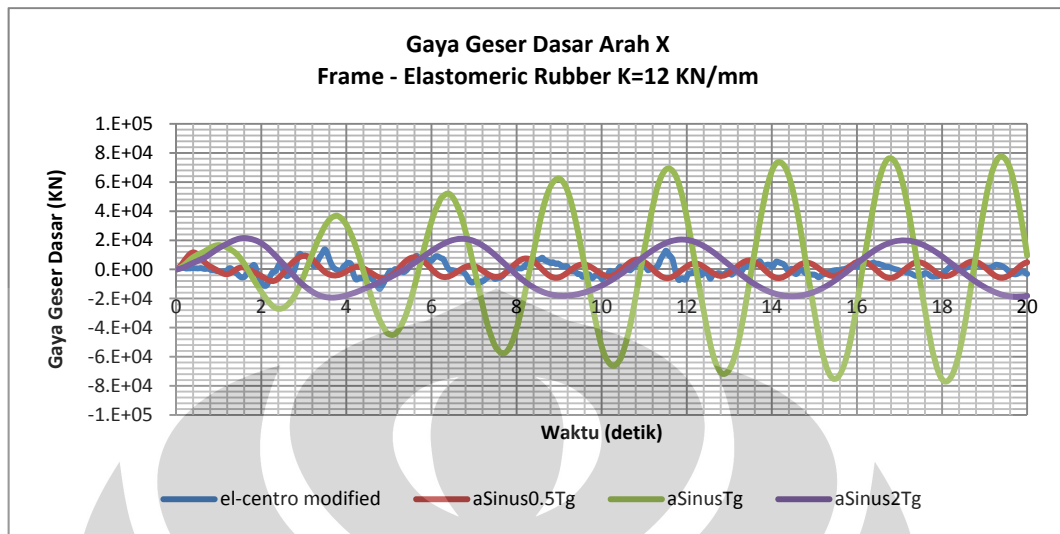
Tabel E. 6 Gaya Geser Tingkat *Windshield* Sambungan Baja D50 - Variasi Fungsi Gempa  
( $a=0.3g$ )

TABLE: Story Shear Windshield Only						
Platform	StepType	El-Centro modified	RSP Wilayah3-Lunak	aSinus0.5Tg	aSinusTg	aSinus2Tg
Text	Text	KN	KN	KN	KN	KN
4	ABS MAX	259.337	188.947	167.902	1004.083	162.707
3	ABS MAX	5714.572	3553.293	4533.661	30513.047	5279.742
2	ABS MAX	7253.497	4921.351	6595.209	55763.627	10740.444
1	ABS MAX	12821.843	7422.406	6193.22	70326.922	15877.986
0	ABS MAX	14852.452	9142.895	11699.564	77325.099	21445.139

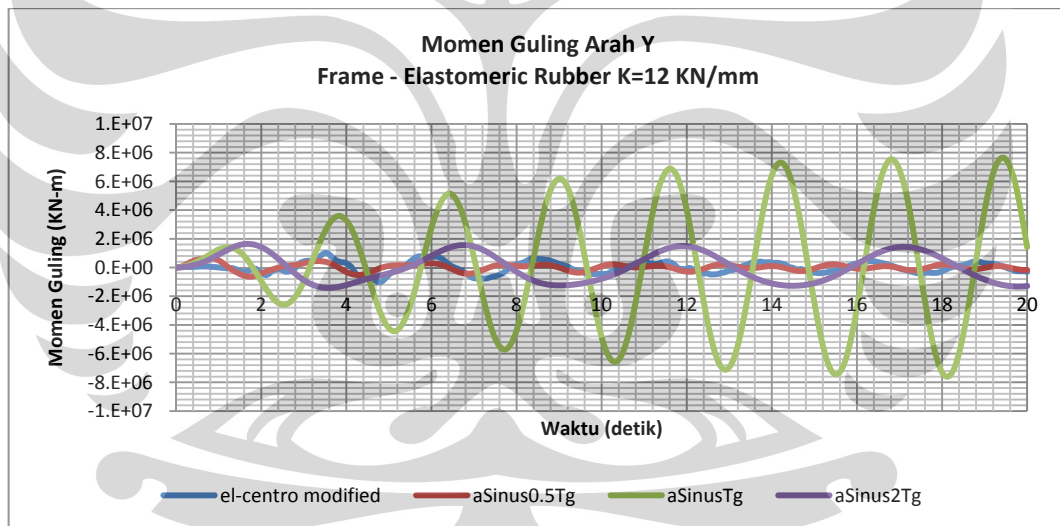
Tabel E. 7 Gaya Aksial Sambungan Baja D50 - Variasi Fungsi Gempa

TABLE: ABS MAX D50 Axial Forces - Link X-1						
Platform	el-centro modified	Wilayah3Lunak-RSP	aSinus 0.5Tg	aSinus Tg	aSinus 2Tg	
Text	KN	KN	KN	KN	KN	
4	212.841	154.844	140.122	843.605	137.133	
3	225.056	174.165	185.194	1467.938	274.863	
2	313.364	223.12	169.309	818.955	231.637	
1	262.702	179.475	174.333	172.898	148.187	
0	0	0	0	0	0	

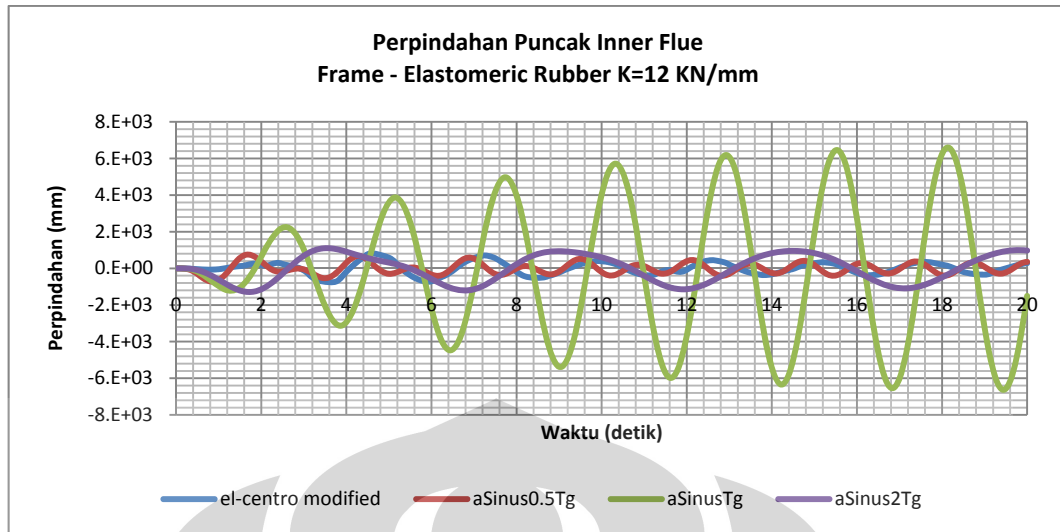
## Respon Variasi Fungsi Gempa Akibat Penggunaan Sambungan Elastomeric Rubber $k = 12 \text{ KN/mm}$



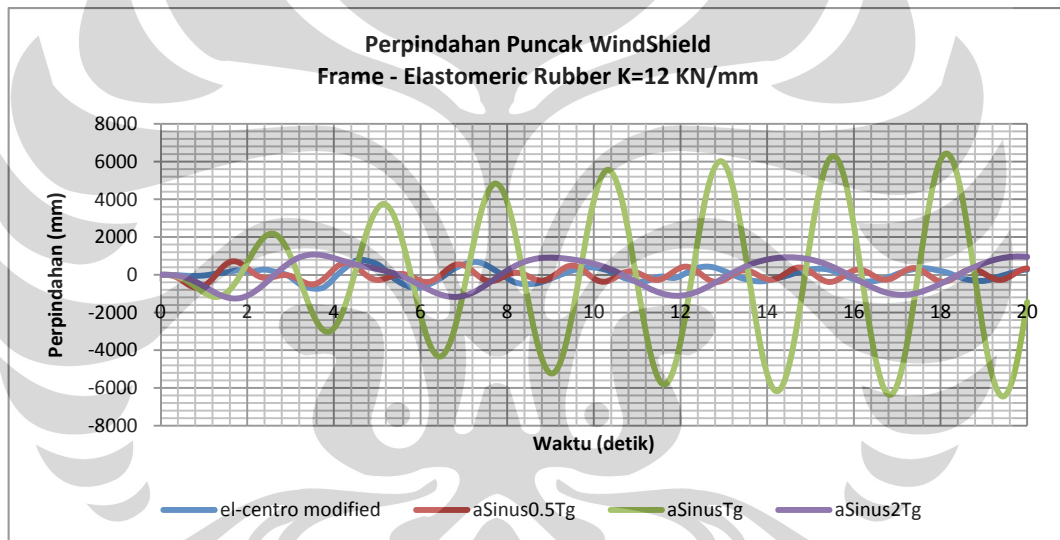
Gambar E. 5 Gaya Geser Dasar Terhadap Waktu Sambungan *Elastomeric Rubber*  $k= 12 \text{ KN/mm}$  - Variasi Fungsi Gempa



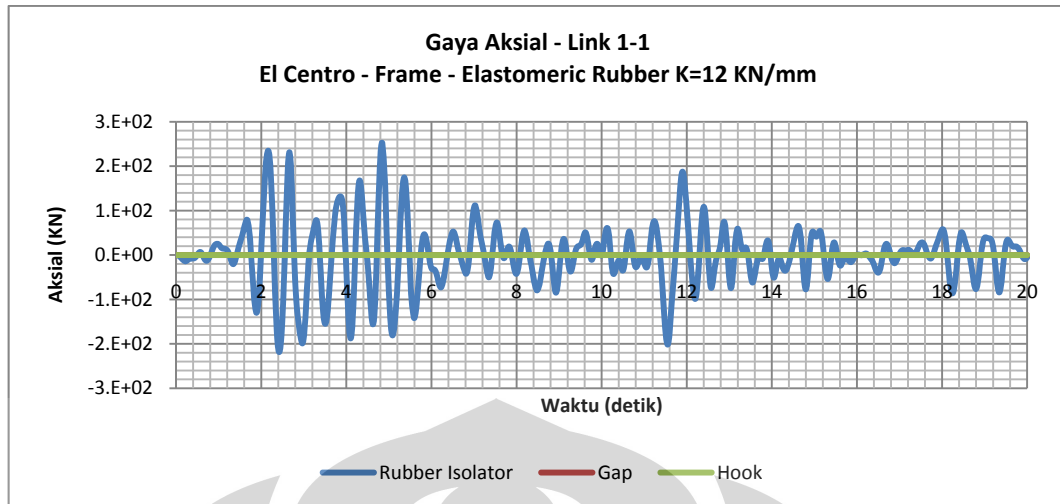
Gambar E. 6 Momen Guling Terhadap Waktu Sambungan *Elastomeric Rubber*  $k= 12 \text{ KN/mm}$  - Variasi Fungsi Gempa



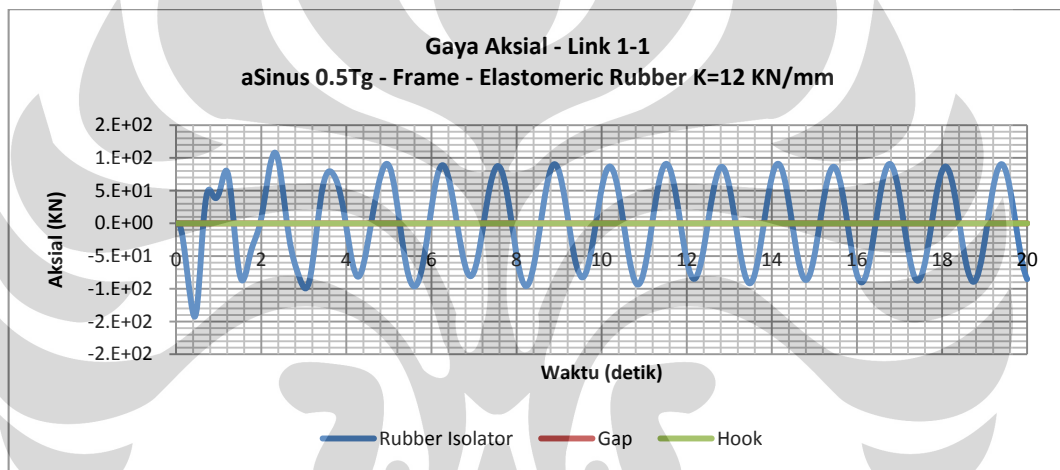
Gambar E. 7 Perpindahan Puncak *Inner Flue* Terhadap Waktu Sambungan Elastomeric Rubber  $k= 12 \text{ KN/mm}$  - Variasi Fungsi Gempa



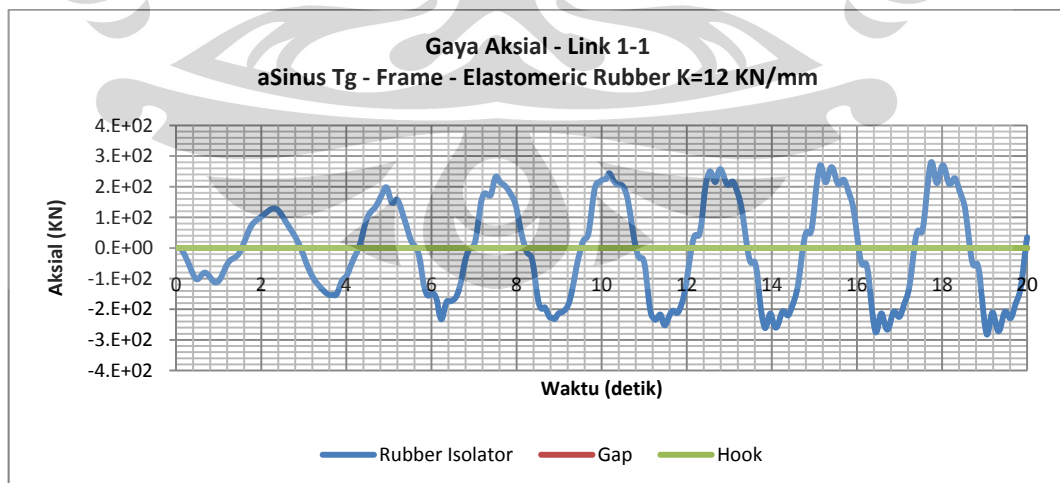
Gambar E. 8 Perpindahan Puncak *Windshield* Terhadap Waktu Sambungan *Elastomeric Rubber*  $k= 12 \text{ KN/mm}$  - Variasi Fungsi Gempa



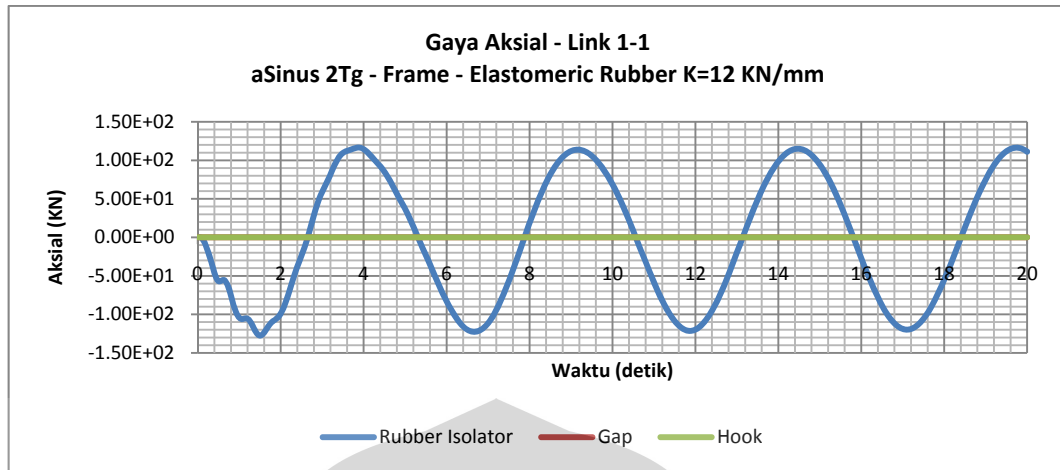
Gambar E. 9 Gaya Aksial *Link* 1-1 Terhadap Waktu - Fungsi Gempa El Centro



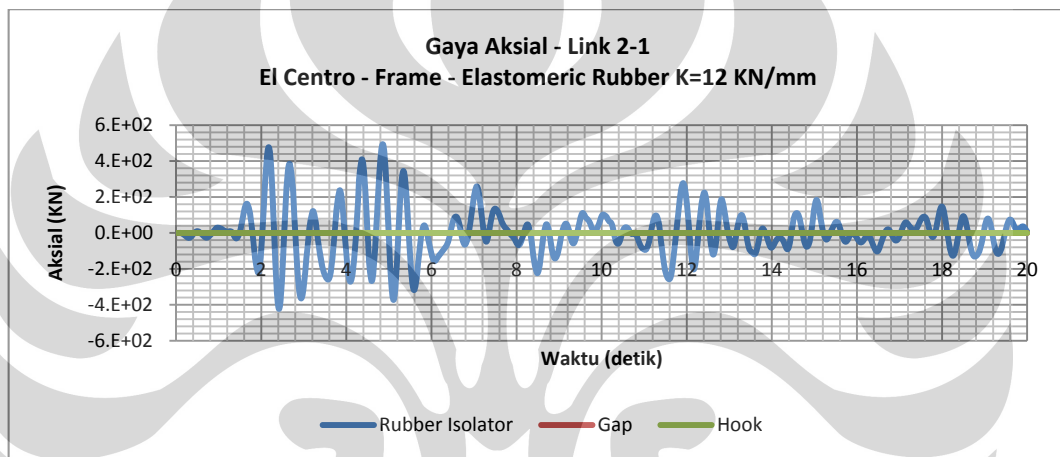
Gambar E. 10 Gaya Aksial *Link* 1-1 Terhadap Waktu - Fungsi Gempa  $a\sin 0.5T_g$  ( $a=0.3g$ )



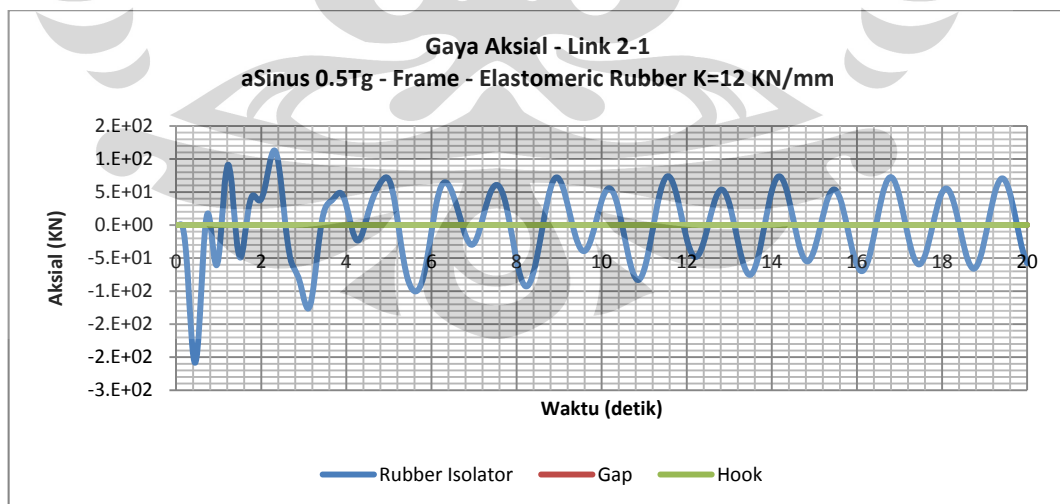
Gambar E. 11 Gaya Aksial *Link* 1-1 Terhadap Waktu - Fungsi Gempa  $a\sin T_g$  ( $a=0.3g$ )



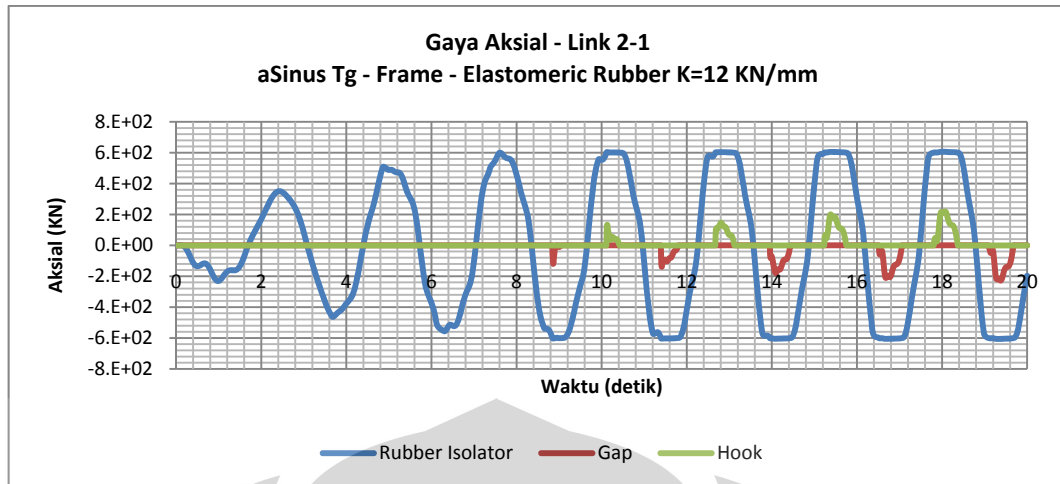
Gambar E. 12 Gaya Aksial *Link* 1-1 Terhadap Waktu - Fungsi Gempa  $a\sin 2Tg$  ( $a=0.3g$ )



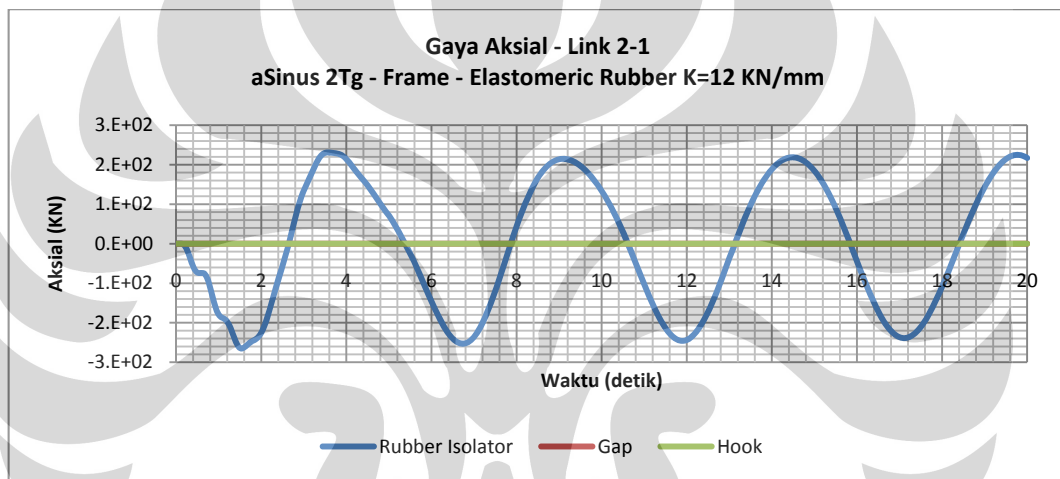
Gambar E. 13 Gaya Aksial *Link* 2-1 Terhadap Waktu - Fungsi Gempa El Centro



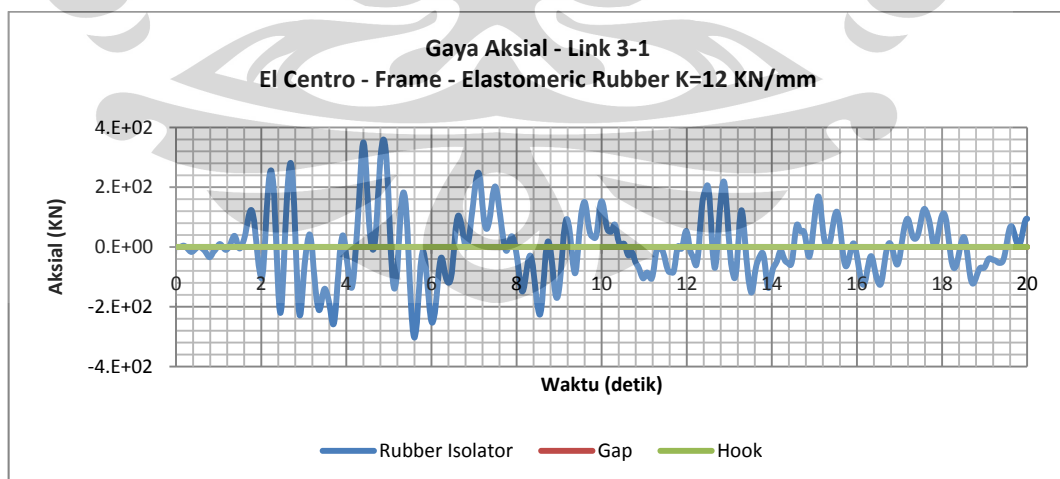
Gambar E. 14 Gaya Aksial *Link* 2-1 Terhadap Waktu - Fungsi Gempa  $a\sin 0.5Tg$  ( $a=0.3g$ )



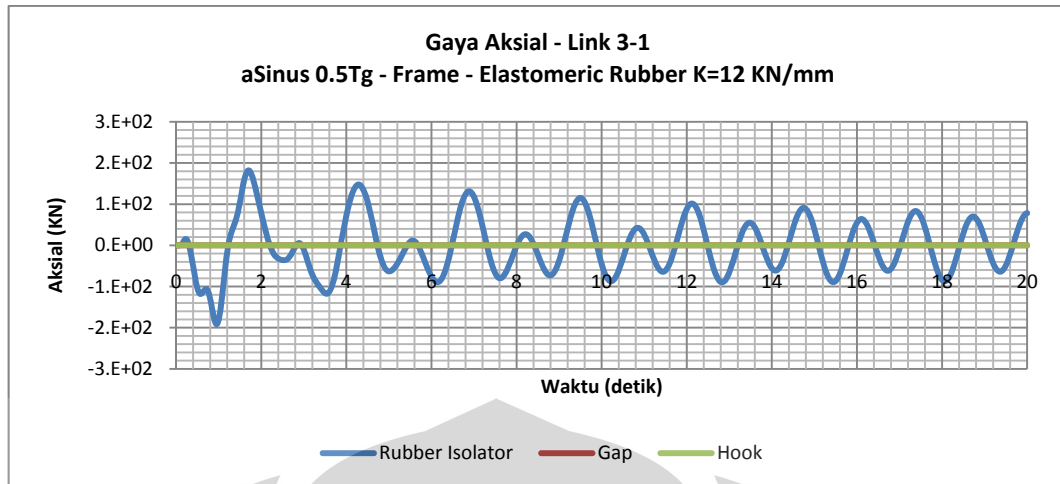
Gambar E. 15 Gaya Aksial *Link 2-1* Terhadap Waktu - Fungsi Gempa aSinTg ( $a=0.3g$ )



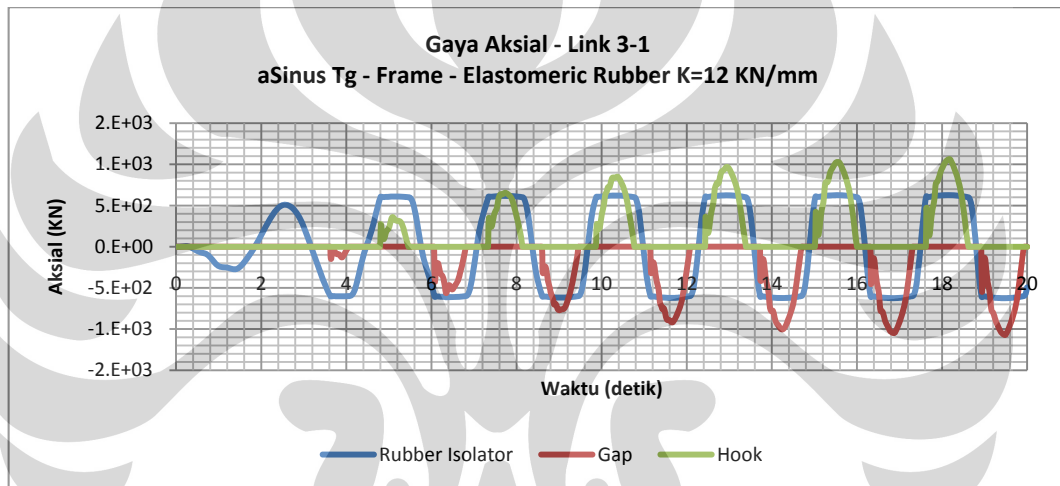
Gambar E. 16 Gaya Aksial *Link 2-1* Terhadap Waktu - Fungsi Gempa aSin2Tg ( $a=0.3g$ )



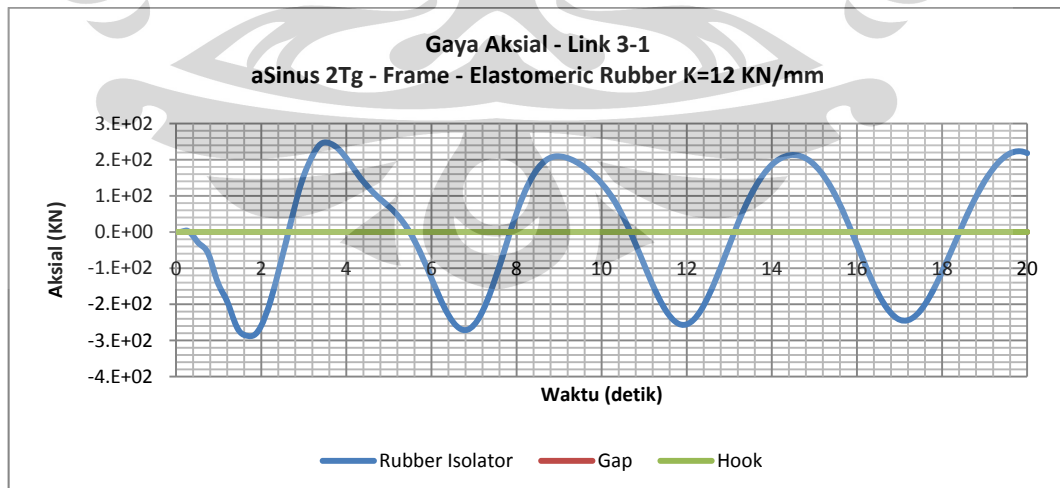
Gambar E. 17 Gaya Aksial *Link 3-1* Terhadap Waktu - Fungsi Gempa El Centro



Gambar E. 18 Gaya Aksial *Link 3-1* Terhadap Waktu - Fungsi Gempa aSin0.5Tg ( $a= 0.3g$ )

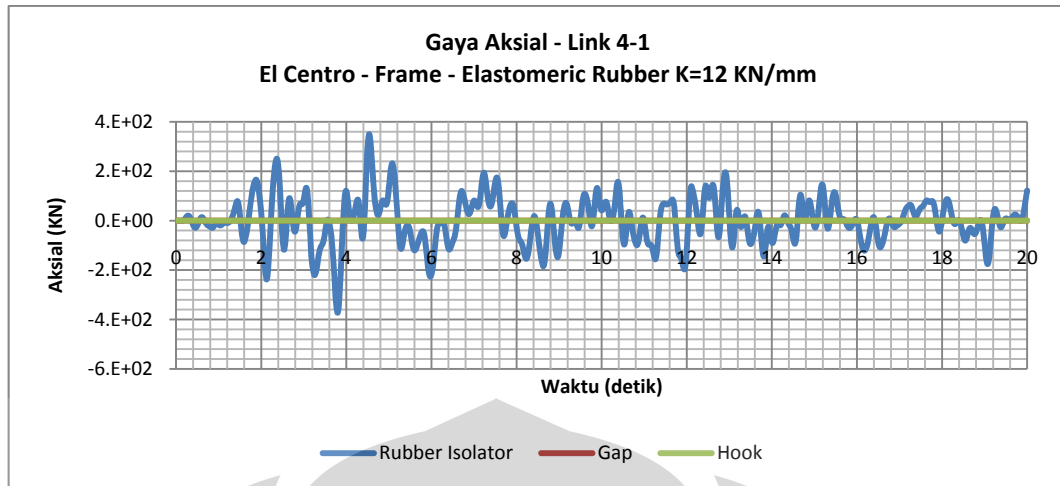


Gambar E. 19 Gaya Aksial *Link 3-1* Terhadap Waktu - Fungsi Gempa aSinTg ( $a= 0.3g$ )

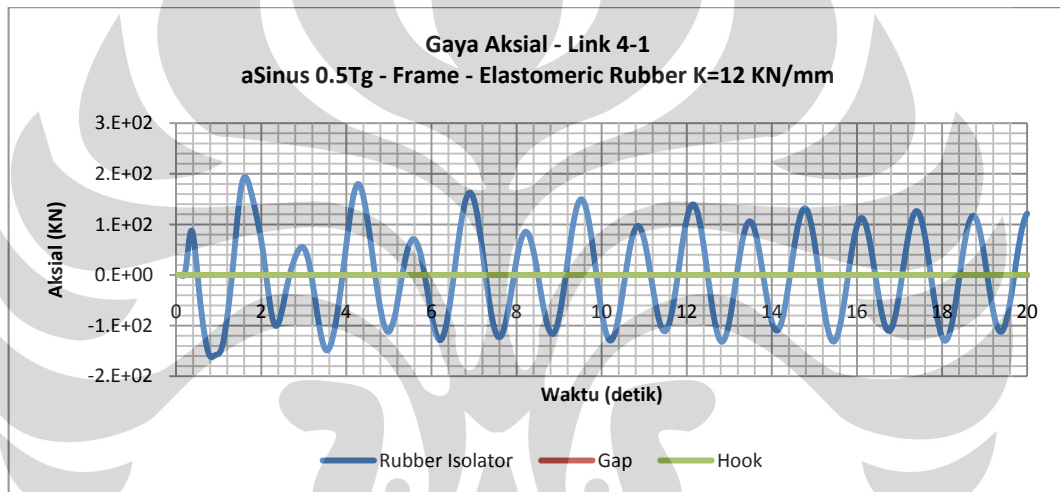


Gambar E. 20 Gaya Aksial *Link 3-1* Terhadap Waktu - Fungsi Gempa aSin2Tg ( $a= 0.3g$ )

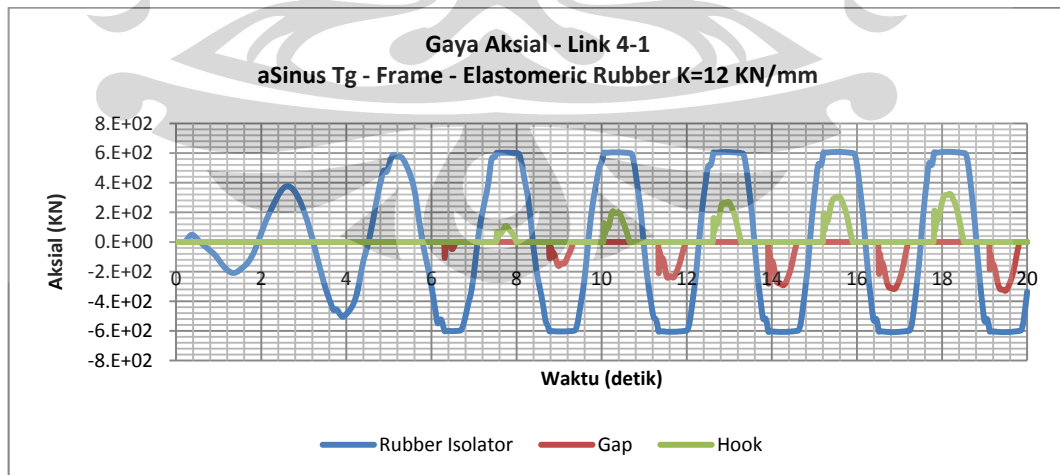




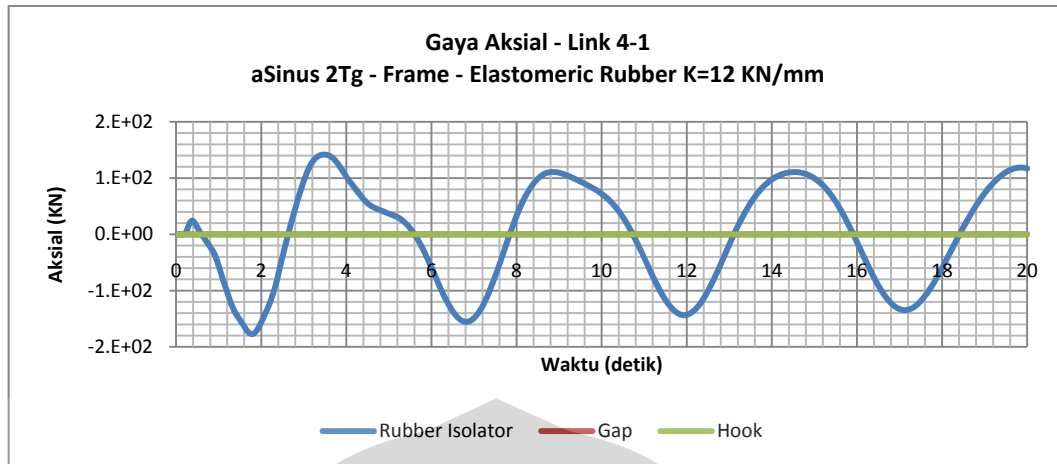
**Gambar E. 21 Gaya Aksial *Link* 4-1 Terhadap Waktu - Fungsi Gempa El Centro**



**Gambar E. 22 Gaya Aksial *Link* 4-1 Terhadap Waktu - Fungsi Gempa aSin0.5Tg (a= 0.3g)**



**Gambar E. 23 Gaya Aksial *Link* 4-1 Terhadap Waktu - Fungsi Gempa aSinTg (a= 0.3g)**



Gambar E. 24 Gaya Aksial *Link* 4-1 Terhadap Waktu - Fungsi Gempa  $a\sin 2Tg$  ( $a=0.3g$ )

Tabel E. 8 Reaksi Dasar Total Sambungan Elastomeric Rubber  $k=12$  KN/mm - Variasi Fungsi Gempa ( $a=0.3g$ )

TABLE: Base Reactions Total			
OutputCase	StepType	GlobalFX	GlobalMY
Text	Text	KN	KN-m
El-Centro modified	ABS MAX	13830.231	1036271.17
RSP Wilayah3-Lunak	ABS MAX	8632.181	658224.9168
aSinus0.5Tg	ABS MAX	11603.868	653155.2065
aSinusTg	ABS MAX	77616.942	7652889.94
aSinus2Tg	ABS MAX	21563.27	1642288.294

Tabel E. 9 Reaksi Dasar *Inner Flue* Sambungan Elastomeric Rubber  $k=12$  KN/mm - Variasi Fungsi Gempa ( $a=0.3g$ )

TABLE: Base Reactions Inner Flue Only			
OutputCase	StepType	GlobalFX	GlobalMY
Text	Text	KN	KN-m
El-Centro modified	ABS MAX	674.534	22801.2216
RSP Wilayah3-Lunak	ABS MAX	379.059	13603.4623
aSinus0.5Tg	ABS MAX	518.345	13508.7712
aSinusTg	ABS MAX	1471.799	126509.628
aSinus2Tg	ABS MAX	611.756	30292.2728

**Tabel E. 10 Reaksi Dasar *Windshield* Sambungan *Elastomeric Rubber* k= 12 KN/mm - Variasi Fungsi Gempa (a= 0.3g)**

<b>TABLE: Base Reactions Windshield Only</b>			
<b>OutputCase</b>	<b>StepType</b>	<b>GlobalFX</b>	<b>GlobalMY</b>
Text	Text	KN	KN-m
El-Centro modified	ABS MAX	13317.606	1013114.886
RSP Wilayah3-Lunak	ABS MAX	8370.028	646136.3747
aSinus0.5Tg	ABS MAX	11079.078	645607.8
aSinusTg	ABS MAX	76211.641	7526244.8
aSinus2Tg	ABS MAX	20958.559	1611996.07

**Tabel E. 11 Perpindahan Puncak Sambungan *Elastomeric Rubber* k= 12 KN/mm - Variasi Fungsi Gempa (a= 0.3g)**

<b>TABLE: Peak Displacement</b>			
<b>OutputCase</b>	<b>StepType</b>	<b>Inner Flue</b>	<b>Windshield</b>
Text	Text	mm	mm
El-Centro modified	ABS MAX	825.0621	789.458
RSP Wilayah3-Lunak	ABS MAX	558.6792	539.8592
aSinus0.5Tg	ABS MAX	749.1533	719.6961
aSinusTg	ABS MAX	6627.531	6453.992
aSinus2Tg	ABS MAX	1295.088	1258.397

**Tabel E. 12 Gaya Geser Tingkat *Inner Flue* Sambungan *Elastomeric Rubber* k= 12 KN/mm - Variasi Fungsi Gempa**

<b>TABLE: Story Shear Inner Flue Only</b>						
<b>Platform</b>	<b>StepType</b>	<b>El-Centro modified</b>	<b>RSP Wilayah3-Lunak</b>	<b>aSinus 0.5Tg</b>	<b>aSinus Tg</b>	<b>aSinus 2Tg</b>
Text	Text	KN	KN	KN	KN	KN
4	ABS MAX	164.15107	113.595	80.20003	469.43691	69.46492
3	ABS MAX	487.32906	297.994	343.49333	2533.9325	418.3206
2	ABS MAX	640.90649	419.763	223.21574	1771.9498	429.35604
1	ABS MAX	651.20752	467.352	339.30238	1423.6127	416.57477
0	ABS MAX	674.534	379.059	518.345	1471.799	611.756

Tabel E. 13 Gaya Geser Tingkat *Windshield* Sambungan *Elastomeric Rubber*  $k= 12 \text{ KN/mm}$  - Variasi Fungsi Gempa

TABLE: Story Shear Windshield Only						
Platform	StepType	El-Centro modified	RSP Wilayah3-Lunak	aSinus 0.5Tg	aSinus Tg	aSinus 2Tg
Text	Text	KN	KN	KN	KN	KN
4	ABS MAX	249.07406	173.317	178.64835	1018.645	162.59934
3	ABS MAX	5581.901	3413.253	4742.93081	30899.17	5310.041
2	ABS MAX	7454.39	4842.311	6483.04281	56423.63	10746.162
1	ABS MAX	11481.131	7028.628	6215.841	70593.28	15959.578
0	ABS MAX	13317.606	8370.028	11079.078	76211.641	20958.559

Tabel E. 14 Deformasi *Elastomeric Rubber*  $k= 12 \text{ KN/mm}$  - Variasi Fungsi Gempa ( $a= 0.3g$ )

TABLE: ABS MAX Rubber Isolator U1 Deformations - Link X-1					
Platform	El-Centro modified	Wilayah3Lunak-RSP	aSinus 0.5Tg	aSinus Tg	aSinus 2Tg
Text	mm	mm	mm	mm	mm
4	31.06322	19.511323	16.154465	50.657915	14.771825
3	29.97833	19.851366	15.938914	52.144957	24.019989
2	41.152266	30.788603	17.377484	50.455077	22.096638
1	21.058926	17.18004	11.882687	23.543291	10.627604
0	0	0	0	0	0

Tabel E. 15 Gaya Aksial *Elastomeric Rubber*  $k = 12 \text{ KN/mm}$  - Variasi Fungsi Gempa ( $a= 0.3g$ )

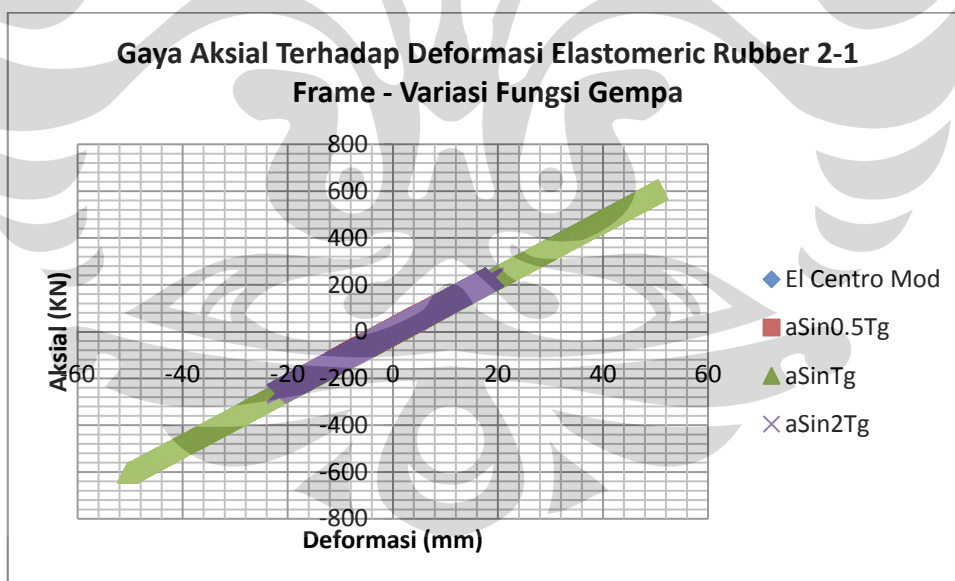
TABLE: ABS MAX Rubber Isolator Axial Forces - Link X-1					
Platform	El-Centro modified	Wilayah3Lunak-RSP	aSinus 0.5Tg	aSinus Tg	aSinus 2Tg
Text	KN	KN	KN	KN	KN
4	372.759	234.136	193.854	607.895	177.262
3	359.74	238.216	191.267	625.739	288.24
2	493.827	369.463	208.53	605.461	265.16
1	252.707	206.16	142.592	282.519	116.549
0	0	0	0	0	0

Tabel E. 16 Gaya Aksial *Link Gap* - Variasi Fungsi Gempa ( $a= 0.3g$ )

TABLE:MIN GAP Axial Forces - Link X-1				
Platform	El-Centro modified	aSinus 0.5Tg	aSinus Tg	aSinus 2Tg
Text	KN	KN	KN	KN
4	0	0	-328.957	0
3	0	0	-1072.478	0
2	0	0	-227.538	0
1	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Tabel E. 17 Gaya Aksial *Link Hook* - Variasi Fungsi Gempa ( $a= 0.3g$ )

TABLE:MAX HOOK Axial Forces - Link X-1				
Platform	El-Centro modified	aSinus 0.5Tg	aSinus Tg	aSinus 2Tg
Text	KN	KN	KN	KN
4	0	0	323.907	0
3	0	0	1064.1	0
2	0	0	219.389	0
1	0	0	0	0
0	0	0	0	0



Gambar E. 25 Gaya Aksial Terhadap Deformasi *Elastomeric Rubber 2-1* - Variasi Fungsi Gempa ( $a= 0.3g$ )

## Lampiran F : Hasil Respon Variasi Redaman

### Hasil Respon Variasi Redaman *Chimney* Sebagai Model Struktur *Frame*

Tabel F. 1 Reaksi Dasar Total Model Struktur *Frame* - Variasi Redaman

TABLE: Base Reactions Total			
Damping	StepType	GlobalFX	GlobalMY
Text	Text	KN	KN-m
C= 5%	ABS MAX	13830.231	1036271.17
C= 10%	ABS MAX	13829.261	1036222.07
C= 15%	ABS MAX	13820.224	1036276.7
C= 20%	ABS MAX	13832.147	1036197.62

Tabel F. 2 Reaksi Dasar *Inner Flue* Model Struktur *Frame* - Variasi Redaman

TABLE: Base Reactions Inner Flue Only			
Damping	StepType	GlobalFX	GlobalMY
Text	Text	KN	KN-m
C= 5%	ABS MAX	674.534	22801.2216
C= 10%	ABS MAX	673.996	22803.5258
C= 15%	ABS MAX	672.699	22765.0744
C= 20%	ABS MAX	673.985	22815.3756

Tabel F. 3 Reaksi Dasar *Windshield* Model Struktur *Frame* - Variasi Redaman

TABLE: Base Reactions Windshield Only			
Damping	StepType	GlobalFX	GlobalMY
Text	Text	KN	KN-m
C= 5%	ABS MAX	13317.606	1013114.886
C= 10%	ABS MAX	13316.689	1013066.732
C= 15%	ABS MAX	13306.989	1013151.851
C= 20%	ABS MAX	13318.616	1013038.172

Tabel F. 4 Perpindahan Puncak Model Struktur *Frame* - Variasi Redaman

TABLE: Peak Displacement			
Damping	StepType	Inner Flue	Windshield
Text	Text	mm	mm
C= 5%	ABS MAX	825.06212	789.45797
C= 10%	ABS MAX	825.037	789.4135
C= 15%	ABS MAX	825.0279	789.3723
C= 20%	ABS MAX	825.0488	789.4162

Tabel F. 5 Deformasi *Elastomeric Rubber* Model Struktur *Frame* - Variasi Redaman

TABLE: ABS MAX Rubber Isolator U1 Deformations - Link X-1				
Platform	C= 5%	C= 10%	C= 15%	C= 20%
Text	mm	mm	mm	mm
4	31.06322	31.068475	30.965727	31.106134
3	29.97833	29.975413	29.864949	30.005702
2	41.152266	41.144573	41.001478	41.17686
1	21.058926	21.064016	20.981554	21.094704
0	0	0	0	0

Tabel F. 6 Gaya Aksial *Elastomeric Rubber* Model Struktur *Frame* - Variasi Redaman

TABLE: ABS MAX Rubber Isolator Axial Forces - Link X-1				
Platform	C= 5%	C= 10%	C= 15%	C= 20%
Text	KN	KN	KN	KN
4	372.759	372.8217	371.58872	373.2736
3	359.74	359.70496	358.37939	360.06843
2	493.827	493.73488	492.01774	494.12232
1	252.707	252.7682	251.77865	253.13645
0	0	0	0	0

### Hasil Respon Variasi Redaman *Chimney* Sebagai Model Struktur *Shell*

Tabel F. 7 Reaksi Dasar Total Model Struktur *Shell* - Variasi Redaman

TABLE: Base Reactions Total			
Damping	StepType	GlobalFX	GlobalMY
Text	Text	KN	KN-m
C= 5%	ABS MAX	14926.272	973326.1702
C= 10%	ABS MAX	14926.269	973327.1011

Tabel F. 8 Reaksi Dasar *Inner Flue* Model Struktur *Shell* - Variasi Redaman

TABLE: Base Reactions Inner Flue Only		
Damping	StepType	GlobalFX
Text	Text	KN
C= 5%	ABS MAX	718.06824
C= 10%	ABS MAX	718.06987

Tabel F. 9 Reaksi Dasar *Windshield* Model Struktur *Shell* - Variasi Redaman

TABLE: Base Reactions Windshield Only		
Damping	StepType	GlobalFX
Text	Text	KN
C= 5%	ABS MAX	14327.9182
C= 10%	ABS MAX	14327.9144

Tabel F. 10 Perpindahan Puncak Model Struktur *Shell* - Variasi Redaman

TABLE: Peak Displacement			
Damping	StepType	Inner Flue	Windshield
Text	Text	mm	mm
C= 5%	ABS MAX	812.81202	787.71979
C= 10%	ABS MAX	812.81132	787.719255

Tabel F. 11 Deformasi *Elastomeric Rubber* Model Struktur *Shell* - Variasi Redaman

TABLE: ABS MAX Rubber Isolator U1 Deformations - Link X-1		
Platform	C= 5%	C= 10%
Text	mm	mm
4	25.723379	25.721483
3	24.383417	24.383138
2	34.638706	34.638698
1	17.874415	17.874469
0	0	0

Tabel F. 12 Gaya Aksial *Elastomeric Rubber* Model Struktur *Shell* - Variasi Redaman

TABLE: ABS MAX Rubber Isolator Axial Forces - Link X-1		
Platform	C= 5%	C= 10%
Text	KN	KN
4	308.681	308.658
3	292.601	292.598
2	415.664	415.664
1	214.493	214.494
0	0	0