

TESIS

ANALISIS DINAMIK *TIME HISTORY* SISTEM ISOLASI ANTAR TINGKAT PADA GEDUNG BANGUNAN DENGAN PENEMPATAN SISTEM ISOLASI YANG BERBEDA

**Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Mencapai Gelar Magister Teknik (MT)**



oleh:

HAFID HANDA YUNIAZIZ

NIM : 20202000009

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

2023

HALAMAN PERSETUJUAN TESIS

ANALISIS DINAMIK *TIME HISTORY* SISTEM ISOLASI ANTAR TINGKAT PADA GEDUNG BANGUNAN DENGAN PENEMPATAN SISTEM ISOLASI YANG BERBEDA

Disusun oleh :

HAFID HANDA YUNIAZIZ

NIM : 20202000009

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Tanggal, 25 November 2023

Pembimbing I,



Prof. Dr. Ir. Anthonius, MT
NIK. 210202033

Tanggal, 25 November 2023

Pembimbing II,



Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT.,Ph.D
NIK. 210293017

HALAMAN PENGESAHAN TESIS
ANALISIS DINAMIK *TIME HISTORY*
SISTEM ISOLASI ANTAR TINGKAT PADA GEDUNG BANGUNAN
DENGAN PENEMPATAN SISTEM ISOLASI YANG BERBEDA

Disusun oleh :

HAFID HANDA YUNIAZIZ
NIM : 20202000009

Dipertahankan di Depan Tim Penguji Tanggal :
(1 Desember 2023)

Tim Penguji:

1. Ketua

(Ir. H. Prabowo Setiawan, MT., Ph.D)

2. Anggota

(Dr. Abdul Rochim, ST., MT)

3. Anggota

(Ir. Moh. Faiqun Ni'am, MT., Ph.D)

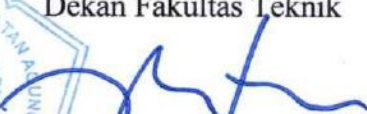
Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik (MT)

Semarang, 1 Desember 2023

Mengetahui,
Ketua Program Studi


Prof. Dr. Ir. Antonius, MT
NIK. 210202033

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik


Dr. Abdul Rochim, ST., MT
NIK. 210200031

MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ
وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ ۚ وَلَوْ آمَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ ۚ مِنْهُمْ
الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ

Artinya: Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik. (QS. Ali ‘Imran Ayat 110)

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا إِذَا قِيلَ لَكُمْ تَفَسَّحُوا فِي الْمَجَالِسِ فَافْسَحُوا يَفْسَحِ اللَّهُ لَكُمْ وَإِذَا قِيلَ
انشُرُوا فَانْشُرُوا يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ بِمَا
تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ

Artinya: Wahai orang-orang yang beriman! Apabila dikatakan kepadamu, “Berilah kelapangan di dalam majelis-majelis,” maka lapangkanlah, niscaya Allah akan memberi kelapangan untukmu. Dan apabila dikatakan, “Berdirilah kamu,” maka berdirilah, niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang-orang yang beriman di antarmu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat. Dan Allah Mahateliti apa yang kamu kerjakan. (QS. Al-Mujadalah Ayat 96)

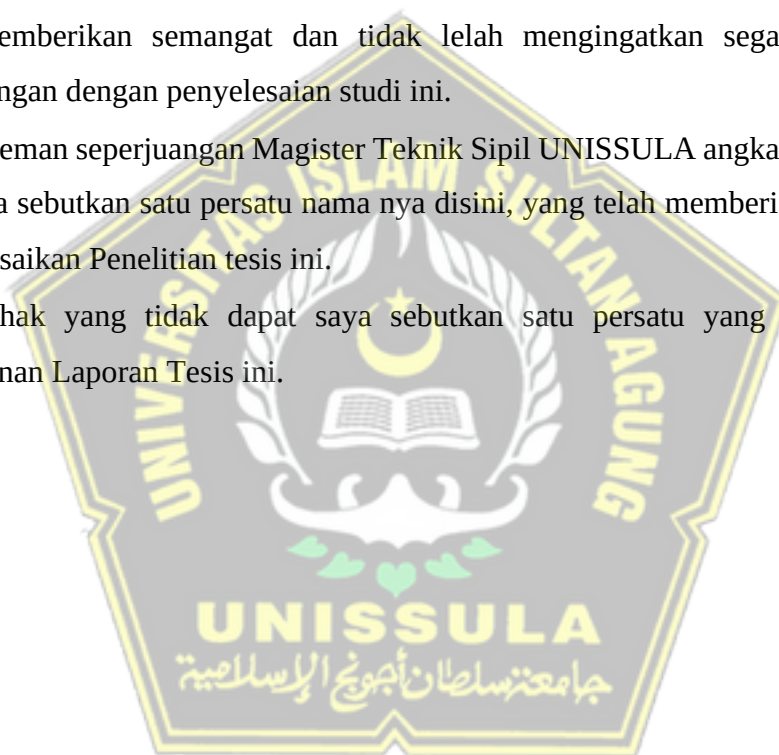
وَمَنْ سَلَكَ طَرِيقًا يَلْتَمِسُ فِيهِ عِلْمًا سَهَّلَ اللَّهُ لَهُ بِهِ طَرِيقًا إِلَى الْجَنَّةِ

Artinya: “Siapa yang menempuh jalan untuk mencari ilmu, maka Allah akan mudahkan baginya jalan menuju surga.” (HR. Muslim, no. 2699)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

- Ayah saya Hadiyono, S.Pd. Dan Ibu saya Dra. Siti Sundari.
- Kakak saya Nafi Handa Yuliani, S.Pd., M.Pd. dan Ahmad Kholis Afif, S.T.
- Istri saya Magfirotul Aulia Rohmah S.Tr.IP.
- Dosen-dosen UNISSULA Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Terutama Bapak Prof. Dr. Ir. Anthonius, MT dan Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT.,Ph.D. yang telah membagikan ilmunya.
- Sekretariat Magister Teknik Sipil Bapak Imam Buwono, Mba Tista dan Mba Rinda yang memberikan semangat dan tidak lelah mengingatkan segala sesuatu yang berhubungan dengan penyelesaian studi ini.
- Teman-teman seperjuangan Magister Teknik Sipil UNISSULA angkatan 45 yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu nama nya disini, yang telah memberi masukan selama menyelesaikan Penelitian tesis ini.
- Pihak-pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang turut membantu penyusunan Laporan Tesis ini.



ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara rawan gempa, baik itu gempa vulkanik maupun gempa tektonik sehingga kebutuhan akan bangunan tahan gempa merupakan sebuah hal yang harus terpenuhi. Kerusakan bangunan akibat gempa secara konvensional dicegah dengan memperkuat struktur bangunan terhadap gaya gempa yang bekerja padanya. Namun, hasil ini sering kali kurang memuaskan karena kerusakan elemen baik struktural maupun non-struktural umumnya disebabkan adanya *inter-story drift* (perbedaan simpangan antar tingkat). Sistem desain yang efektif untuk bangunan struktur gedung adalah sistem isolasi seismik. Sehingga pada penelitian ini menganalisis penempatan sistem isolasi yang berbeda pada masing masing lantai untuk mengetahui reduksi *inter-story drift* terbesar sehingga bangunan lebih aman. Isolator yang digunakan adalah *High Damping Rubber Bearing (HDRB)*.

Penelitian ini akan melakukan analisis Level Kinerja Gedung berupa Apartemen dengan 13 lantai memiliki tinggi total 48 meter dari atas permukaan tanah yang terletak Pulau Sumatra. Nilai N-SPT tanah adalah 9.6 sehingga bila N-SPT kurang dari 15 maka tanah diklasifikasikan dalam kelas situs Tanah Lunak (SE). Rencana pada analisis ini akan menggunakan High Dumper Rubber Bearing (HDRB) pada setiap lantai.

Berdasarkan penelitian bangunan menggunakan *High Damping Rubber Bearing (HDRB)* pada setiap lantainya yang terdiri dari 14 Model didapatkan nilai *displacement* tertinggi di Model 1 dengan penempatan HDRB di Lantai Dasar dengan persentase nilai peningkatan *displacement* Arah X adalah 63% sedangkan persentase peningkatan nilai *displacement* Arah Y adalah 54,5%. Nilai Persentase reduksi *drift* tertinggi terdapat pada Model 5 dengan penempatan HDRB di Lantai 4 yaitu 55,4% untuk arah X dan 35,6% untuk Arah Y. Sehingga dapat disimpulkan penempatan Sistem Isolasi paling efektif untuk mereduksi *drift* adalah disekitar 0,215 – 0,357 dari tinggi total bangunan. Analisis *Time History* dilakukan pada 3 Model dengan kondisi *displacement* terbesar pada Model 1 (penempatan Isolator di Lantai Dasar), reduksi *drift* terbesar pada Model 5 (penempatan Isolator di Lantai 4) dan reduksi *drift* terkecil pada Model 14 (penempatan Isolator di Lantai 13). Hasil *Time History* menunjukkan bahwa beban Gempa Kobe Japan (1995) memiliki pengaruh terbesar terhadap *drift* Arah X sedangkan Gempa Kocaeli (1999) memiliki pengaruh terbesar terhadap *drift* Arah Y. Level Kinerja pada Model 1, Model 5 dan Model 14 menunjukkan Kinerja Batas Layan pada semua gempa untuk Arah X dan Arah Y mempunyai nilai *drift* dibawah syarat minimal yaitu 55 mm dan Kinerja Batas Ultimit pada Model 1, Model 5 dan Model 14 memiliki nilai *drift* dibawah syarat minimal yaitu 70 mm sehingga memenuhi syarat batas aman.

Kata kunci : Sistem Isolasi, *High Damping Rubber Bearing*, *Time History*, Level Kinerja

ABSTRACT

Indonesia is a country prone to earthquakes, both volcanic and tectonic earthquakes, so the need for earthquake-resistant buildings is something that must be met. Building damage due to earthquakes is conventionally prevented by strengthening the building structure against the earthquake forces acting on it. However, these results are often unsatisfactory because damage to both structural and non-structural elements is generally caused by interstory drift (differences in drift between levels). An effective design system for building structures is a seismic isolation system. So this research analyzes the placement of different isolation systems on each floor to determine the greatest reduction in interstory drift so that the building is safer. The isolator used is High Damping Rubber Bearing (HDRB).

This research will analyze the performance level of a building in the form of an apartment with 13 floors with a total height of 48 meters above ground level on Sumatra Island. The N-SPT value of the land is 9.6 so if the N-SPT is less than 15 then the land is classified in the Soft Soil (SE) site class. The plan in this analysis will use High Dumper Rubber Bearings (HDRB) on each floor.

Based on research on buildings using High Damping Rubber Bearings (HDRB) on each floor consisting of 14 Models, it was found that the highest displacement value was in Model 1 with the placement of HDRB on the ground floor with a percentage increase in displacement value in the X direction being 63% while the percentage increase in displacement value in the Y direction was 54.5%. The highest drift reduction percentage value is found in model 5 with HDRB placement on the 4th floor, namely 55.4% for the X direction and 35.6% for the Y direction. So it can be concluded that the most effective placement of the Isolation System to reduce drift is around 0.215 – 0.357 of the building height. Time History Analysis was carried out on 3 models with the largest displacement condition in Model 1 (placement of the isolator on the ground floor), the largest drift reduction in Model 5 (placement of the isolator on the 4th floor) and the smallest drift reduction in Model 14 (placement of the isolator on the 13th floor). Time History results show that the load of the Kobe Japan Earthquake had the greatest influence on the drift in the X Direction, while the Kocaeli Earthquake had the greatest influence on the drift in the Y Direction. The Performance Level in Model 1, Model 5 and Model 14 shows that the Service Limit Performance in all earthquakes for Direction X and Direction Y has a drift value below the minimum requirement, namely 55 mm and the Ultimate Limit Performance in Model 1, Model 5 and Model 14 has a drift value below the minimum requirement is 70 mm so that it meets the safe limit requirements.

Keywords : Isolation System, High Damping Rubber Bearing, Time History, Performance Level

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

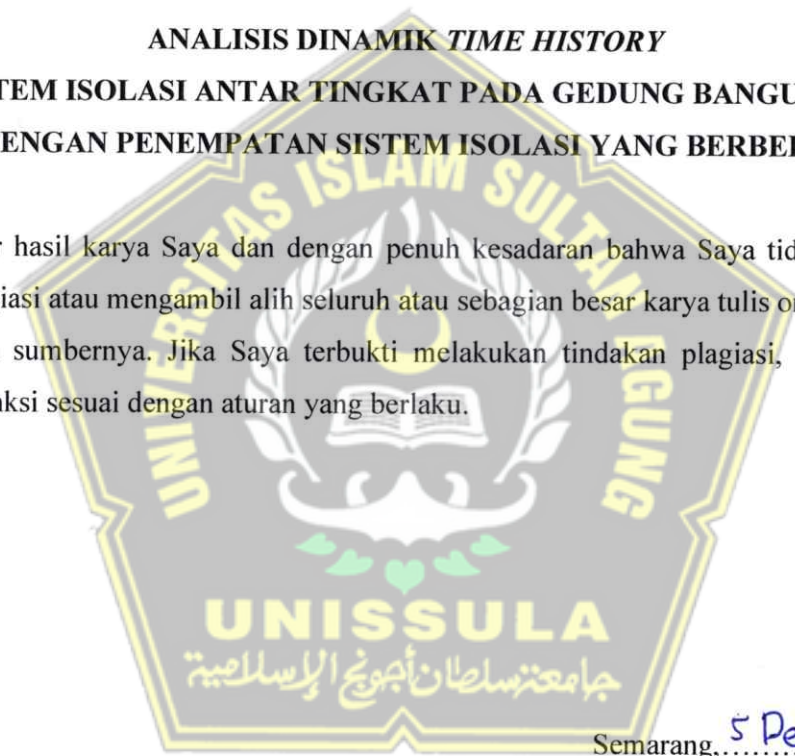
Yang Bertanda tangan di bawah ini:

Nama : HAFID HANDA YUNIAZIZ
NIM : 20202000009

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tesis yang berjudul:

**ANALISIS DINAMIK *TIME HISTORY*
SISTEM ISOLASI ANTAR TINGKAT PADA GEDUNG BANGUNAN
DENGAN PENEMPATAN SISTEM ISOLASI YANG BERBEDA**

Adalah benar hasil karya Saya dan dengan penuh kesadaran bahwa Saya tidak melakukan tindakan plagiasi atau mengambil alih seluruh atau sebagian besar karya tulis orang lain tanpa menyebutkan sumbernya. Jika Saya terbukti melakukan tindakan plagiasi, Saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.



Semarang, 5 Desember 2023



HAFID HANDA YUNIAZIZ

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT kami ucapkan, karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya Penulis dapat menyelesaikan Penelitian Tesis ini dengan judul **"Analisis Dinamik Time History Sistem Isolasi Antar Tingkat pada Gedung Bangunan dengan Penempatan Sistem Isolasi yang Berbeda"**. Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Sipil, Program Pasca Sarjana di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Selama Mengerjakan Tesis ini, Penulis telah mendapat bantuan bimbingan serta pengarahan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, perkenankanlah Penulis untuk menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua dan seluruh keluarga dari kedua Penulis yang selalu mendoakan dan memberi perhatiannya atas dukungan moral, spiritual dan finansial selama ini.
2. Istri saya Magfirotul Aulia Rohmah S.Tr.IP dan putra saya Alfasya Nadhif Arhafli
3. Yth. Prof. Dr. Ir. Anthonius, MT. selaku Dosen Pembimbing I Tesis, yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran, pemikiran, kritik, saran dan dorongan semangat.
4. Yth. Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT.,Ph.D. selaku Dosen Pembimbing II Tesis, yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran, pemikiran, kritik, saran dan dorongan semangat.
5. Seluruh dosen, staf dan karyawan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNISSULA.
6. Teman-teman di lingkungan Teknik Sipil berbagai angkatan, khususnya mahasiswa Magister Teknik Sipil angkatan 45 yang telah banyak membantu kami.
7. Team Konsultan Supervisi Tol Semarang Demak Seksi 1A dan PT. Cipta Strada Khususnya Pak Irham (Structure Engineer) yang selalu memberikan arahan dan banyak membantu kami.

Kami menyadari, karena keterbatasan ilmu pengetahuan, kemampuan dan pengalaman yang dimiliki dalam menyusun Tesis ini sehingga masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritikan dan saran yang bersifat membangun sangat kami harapkan untuk menjadikannya lebih baik dan lebih menuju pada kesempurnaan.

Akhir kata, kami sebagai Penulis berharap semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat khususnya bagi perkembangan penguasaan Ilmu Sipil dan untuk semua pihak yang memerlukan.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Semarang,

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN TESIS	i
MOTTO	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Tesis.....	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Gempa.....	5
2.2.1 Kriteria Desain Struktur Tahan Gempa	5
2.3 Analisis Respon Dinamik Riwayat Waktu (<i>Time History</i>).....	6
2.4 Evaluasi Kinerja Struktur.....	7
2.4.1 Evaluasi Kinerja Menurut SNI-1726-2002.....	7
2.4.2 Level Kinerja Menurut ATC-40	8
2.5 Sistem Isolasi	10
2.5.1 Sistem Isolasi Dasar.....	10

2.5.2 Sistem Isolasi Antar Tingkat	11
2.5.3 Model Struktur Sebagai Sistem Derajat Kebebasan Banyak (MDOF)	12
2.6 Jenis Sistem Isolasi	14
2.6.1 <i>High Damping Rubber Bearing</i>	14
2.6.2 <i>Lead Rubber Bearing</i>	15
2.6.3 <i>Natural Rubber Bearing</i>	15
2.6.4 <i>Elastic Sliding Bearing</i>	16
2.7 Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Resiko Struktur Bangunan	16
2.8 Parameter Percepatan Gempa	18
2.8.1 Menentukan Percepatan Respons Spektrum MCER dari Peta Gempa	18
2.8.2 Kelas Situs	19
2.8.3 Koefisien Situs dan Parameter Respon Spectral Percepatan Gempa MCER ...	19
2.8.4 Parameter Percepatan Spektral Desain	20
2.8.5 Spektrum Respons Desain	20
2.9 Sistem Struktur Pemikul Gaya Seismik	21
2.10 Kombinasi Pembebanan pada Struktur	27
2.11 Simpangan Antar Lantai	27
BAB III METODE ANALISIS	29
3.1 Data Analisis Dibutuhkan	29
3.1.1 Diskripsi Umum Bangunan	29
3.1.2 Data Struktur Bangunan	31
3.1.3 Dimensi Struktur	31
3.1.4 Data Kelas Situs Tanah	32
3.2 Jenis Sistem Isolasi Antar Tingkat	33
3.3 Langkah-Langkah Analisis	34
3.3.1 Pemodelan dengan <i>Software</i> ETABS Versi 20	34
3.3.2 Penginputan Beban pada <i>Software</i> ETABS	34
3.3.3 Pemodelan Isolasi pada Setiap Lantai	43
3.4 Diagram Alir Analisis	51
3.5 Metode Analisis Hasil	52

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Menentukan Kontrol Simpangan Antar Lantai Struktur Gedung Konvensional.....	53
4.2 Penentuan Dimensi <i>High Damping Rubber Bearing (HDRB)</i>	55
4.2.1 Nilai Gaya Aksial Terbesar Setiap Lantai	55
4.2.2 Menentukan Diameter <i>High Damping Rubber Bearing (HDRB)</i>	55
4.3 Pemodelan Struktur dengan Penempatan Isolasi Setiap Lantai.....	61
4.4 Perbandingan Perioda Struktur	71
4.5 Perbandingan Gaya Geser Dasar Struktur	73
4.6 Kontrol Simpangan Antar Lantai.....	76
4.6.1 Persentase Simpangan Lantai Arah X dan Arah Y.....	77
4.6.2 Persentase <i>Drift</i> Arah X dan Arah Y	87
4.7 Kontrol Perpindahan <i>Storey-Isolation</i>	95
4.8 Analisis <i>Time History</i>	98
4.9 Level Kinerja Struktur.....	109
4.9.1 Kinerja Batas Layan	109
4.9.2 Kinerja Batas Ultimit (Δ_m).....	111
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	114
5.1 Kesimpulan.....	114
5.2 Saran	115
DAFTAR PUSTAKA.....	116
DAFTAR LAMPIRAN.....	118

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batasan <i>Drift Ratio</i> Atap untuk Level Kinerja	9
Tabel 2.2 – Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa Parameter Percepatan Gempa	17
Tabel 2.3 Faktor keutamaan gempa	18
Tabel 2.4 Klasifikasi Situs	19
Tabel 2.5 Koefisien situs F_a	20
Tabel 2.6 Koefisien Situs F_v	20
Tabel 2.7 Faktor R , Ω , dan C_d untuk Sistem Penahan Gaya Gempa (Berlanjut)	22
Tabel 2.8 Faktor R , Ω , dan C_d untuk Sistem Penahan Gaya Gempa (Lanjutan).....	23
Tabel 2.9 Faktor R , Ω , dan C_d untuk Sistem Penahan Gaya Gempa (Lanjutan)	24
Tabel 2.10 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	25
Tabel 2.11 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung.....	26
Tabel 2.12 Simpangan Antar Lantai Izin (Δa).....	28
Tabel 3.1 Dimensi Struktur Kolom.....	31
Tabel 3.2 Dimensi Struktur Plat.....	31
Tabel 3.3 Dimensi Struktur Balok	31
Tabel 3.4 Data SPT Tanah	32
Tabel 3.5 Beban Rencana	35
Tabel 3.6 Beban Gempa Riwayat Waktu.....	36
Tabel 4.1 Batas Simpangan Antar Lantai	53
Tabel 4.2 Kontrol simpangan Arah X pada struktur <i>Fixed Base</i>	54
Tabel 4.3 Kontrol simpangan Arah Y pada struktur <i>Fixed Base</i>	54
Tabel 4.4 Gaya Aksial Kolom Terbesar pada Setiap Lantai.....	55
Tabel 4.5 <i>Properties of HDRB, HH 070x6R Series (Total Rubber Thickness 20cm)</i>	58
Tabel 4.6 <i>Properties of HDRB, HH 065x6R Series (Total Rubber Thickness 20cm)</i>	59
Tabel 4.7 <i>Properties of HDRB, HH 060x6R Series (Total Rubber Thickness 20cm)</i>	60
Tabel 4.8 Diameter Rencana HDRB.....	61

Tabel 4.9 Perbandingan Perioda Struktur Model 1 – Model 7	71
Tabel 4.10 Perbandingan Perioda Struktur Model 8 – Model 14	72
Tabel 4.11 Perbandingan Gaya Geser Dasar Model 1 – Model 7.....	73
Tabel 4.12 Perbandingan Gaya Geser Dasar Model 8 – Model 14.....	73
Tabel 4.11 Batas Simpangan Antar Lantai pada Bangunan Menggunakan HDRB	76
Tabel 4.12 Kontrol Simpangan Arah X pada Gedung Model 1	78
Tabel 4.13 Kontrol Simpangan Arah Y pada Gedung dengan HDRB Model 1.....	78
Tabel 4.14 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah X Model 1 – Model 2.....	79
Tabel 4.15 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah X Model 3 – Model 4.....	79
Tabel 4.16 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah X Model 5 – Model 6.....	80
Tabel 4.17 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah X Model 7 – Model 8.....	80
Tabel 4.18 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah X Model 9 – Model 10.....	81
Tabel 4.19 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah X Model 11 – Model 12.....	81
Tabel 4.20 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah X Model 13 – Model 14.....	82
Tabel 4.21 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah Y Model 1 – Model 2.....	83
Tabel 4.22 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah Y Model 3 – Model 4.....	83
Tabel 4.23 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah Y Model 5 – Model 6.....	84
Tabel 4.24 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah Y Model 7 – Model 8.....	84
Tabel 4.25 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah Y Model 9 – Model 10.....	85
Tabel 4.26 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah Y Model 11 – Model 12.....	85
Tabel 4.27 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah Y Model 13 – Model 14.....	86
Tabel 4.28 Resume Persentase <i>Drift</i> Arah X Model 1 – Model 2	87
Tabel 4.29 Resume Persentase <i>Drift</i> Arah X Model 3 – Model 4	87
Tabel 4.30 Resume Persentase <i>Drift</i> Arah X Model 5 – Model 6	88
Tabel 4.31 Resume Persentase <i>Drift</i> Arah X Model 7 – Model 8	88
Tabel 4.32 Resume Persentase <i>Drift</i> Arah X Model 9 – Model 10	89
Tabel 4.33 Resume Persentase <i>Drift</i> Arah X Model 11 – Model 12	89
Tabel 4.34 Resume Persentase <i>Drift</i> Arah X Model 13 – Model 14	90
Tabel 4.35 Resume Persentase <i>Drift</i> Arah Y Model 1 – Model 2	91
Tabel 4.36 Resume Persentase <i>Drift</i> Arah Y Model 3 – Model 4	91

Tabel 4.37 Resume Persentase <i>Drift</i> Y Model 5 – Model 6	92
Tabel 4.38 Resume Persentase <i>Drift</i> Arah Y Model 7 – Model 8	92
Tabel 4.39 Resume Persentase <i>Drift</i> Arah Y Model 9 – Model 10	93
Tabel 4.40 Resume Persentase <i>Drift</i> Arah Y Model 11 – Model 12	93
Tabel 4.41 Resume Persentase <i>Drift</i> Arah Y Model 13 – Model 14	94
Tabel 4.42 Berat Bangunan Kumulatif pada Setiap Penempatan HDRB	96
Tabel 4.43 Kontrol Perpindahan Maksimum HDRB	98
Tabel 4.44 Analisis <i>Time History</i> Model 1 <i>Displacement</i> Arah X	103
Tabel 4.45 Analisis <i>Time History</i> Model 5 <i>Displacement</i> Arah X	103
Tabel 4.46 Analisis <i>Time History</i> Model 14 <i>Displacement</i> Arah X	104
Tabel 4.47 Analisis <i>Time History</i> Model 1 <i>Displacement</i> Arah Y	104
Tabel 4.48 Analisis <i>Time History</i> Model 5 <i>Displacement</i> Arah Y	105
Tabel 4.49 Analisis <i>Time History</i> Model 14 <i>Displacement</i> Arah Y	105
Tabel 4.50 Analisis <i>Time History</i> Model 1 <i>Drift</i> Arah X	106
Tabel 4.51 Analisis <i>Time History</i> Model 5 <i>Drift</i> Arah X	106
Tabel 4.52 Analisis <i>Time History</i> Model 14 <i>Drift</i> Arah X	107
Tabel 4.53 Analisis <i>Time History</i> Model 1 <i>Drift</i> Arah Y	107
Tabel 4.54 Analisis <i>Time History</i> Model 5 <i>Drift</i> Arah Y	108
Tabel 4.55 Analisis <i>Time History</i> Model 14 <i>Drift</i> Arah Y	108

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kurva Kapasitas	9
Gambar 2.2 Sistem isolasi antar tingkat yang akan dievaluasi termasuk isolasi	10
Gambar 2.3 Perubahan pola defleksi pada (a) struktur dasar kaku (b) struktur dengan isolasi dasar (Islam dkk, 2011).....	11
Gambar 2.4 Model analitik struktur isolasi antar cerita (Zhang dkk, 2020).....	12
Gambar 2.5 Struktur 2-DOF	12
Gambar 2.6 <i>Free Body Diagram</i>	13
Gambar 2.7 <i>High Damping Rubber Bearing</i>	14
Gambar 2.8 <i>Lead Rubber Bearing</i>	15
Gambar 2.9 <i>Natural Rubber Bearing</i>	15
Gambar 2.10 <i>Elastic Sliding Bearing</i>	16
Gambar 2.11 Parameter Gerak Tanah S1, untuk spektrum respon 0,2 detik.....	18
Gambar 2.12 Parameter Gerak Tanah SS, untuk spektrum respon 0,2 detik.....	18
Gambar 2.13 Spektrum Respon Desain (SNI 1726:2019).....	21
Gambar 2.14 Batasan simpangan antar lantai.....	28
 Gambar 3.1 Denah lantai Dasar dan lantai LT1	 29
Gambar 3.2 Denah lantai LT2 - lantai LA.....	30
Gambar 3.3 Potongan Struktur Gedung.....	30
Gambar 3.4 Dimensi <i>High Damping Rubber Bearing</i>	33
Gambar 3.5 Properti dan Parameter <i>High Damping Rubber Bearing</i>	33
Gambar 3.6 Gambar Model Struktur yang Dianalisis di ETABS Versi 20	34
Gambar 3.7 <i>Function Graph Chi-Chi X</i>	36
Gambar 3.8 <i>Function Graph Chi-Chi Y</i>	36
Gambar 3.9 <i>Function Graph Hector X</i>	36
Gambar 3.10 <i>Function Graph Hector Y</i>	37
Gambar 3.11 <i>Function Graph Imperial Valley X</i>	37
Gambar 3.12 <i>Function Graph Imperial Valley Y</i>	37
Gambar 3.13 <i>Function Graph Kern X</i>	37

Gambar 3.14 <i>Function Graph Kern Y</i>	38
Gambar 3.15 <i>Function Graph Kobe X</i>	38
Gambar 3.16 <i>Function Graph Kobe Y</i>	38
Gambar 3.17 <i>Function Graph Kocaeli X</i>	38
Gambar 3.18 <i>Function Graph Kocaeli Y</i>	39
Gambar 3.19 Gambar Grafik Spectrum Respon Desain	39
Gambar 3.20 Gambar <i>Spectral Matching in Time Domain</i>	40
Gambar 3.21 <i>Spectral Matching in Time Domain Chi-Chi X</i>	40
Gambar 3.22 <i>Spectral Matching in Time Domain Chi-Chi Y</i>	40
Gambar 3.23 <i>Spectral Matching in Time Domain Hector X</i>	41
Gambar 3.24 <i>Spectral Matching in Time Domain Hector Y</i>	41
Gambar 3.25 <i>Spectral Matching in Time Domain Imperial Valley X</i>	41
Gambar 3.26 <i>Spectral Matching in Time Domain Imperial Valley Y</i>	41
Gambar 3.27 <i>Spectral Matching in Time Domain Kern X</i>	41
Gambar 3.28 <i>Spectral Matching in Time Domain Kern Y</i>	42
Gambar 3.29 <i>Spectral Matching in Time Domain Kobe X</i>	42
Gambar 3.30 <i>Spectral Matching in Time Domain Kobe Y</i>	42
Gambar 3.31 <i>Spectral Matching in Time Domain Kocaeli X</i>	42
Gambar 3.32 <i>Spectral Matching in Time Domain Kocaeli Y</i>	42
Gambar 3.33 Tampak Atas Lantai Dasar dan Lantai 1.....	43
Gambar 3.34 Tampak Atas Lantai 2 – Lantai Atap	43
Gambar 3.35 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai Dasar	44
Gambar 3.36 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 1	44
Gambar 3.37 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 2	45
Gambar 3.38 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 3	45
Gambar 3.39 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 4	46
Gambar 3.40 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 5	46
Gambar 3.41 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 6	47
Gambar 3.42 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 7	47
Gambar 3.43 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 8	48

Gambar 3.44 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 9	48
Gambar 3.45 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 10	49
Gambar 3.46 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 11	49
Gambar 3.47 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 12	50
Gambar 3.48 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 13	50
Gambar 3.49 Diagram Alir Analisis	52
Gambar 4.1 Nilai Periode Elastik Struktur	56
Gambar 4.2 Gambar <i>Isolator</i> HH 070x6R.....	58
Gambar 4.3 Gambar <i>Isolator</i> HH 065x6R.....	59
Gambar 4.4 Gambar <i>Isolator</i> HH 060x6R.....	60
Gambar 4.5 Permodelan <i>Isolator</i>	61
Gambar 4.6 <i>Input</i> Spesifikasi <i>High Damping Rubber Bearing</i>	62
Gambar 4.7 <i>Input Directional Properties</i> U1 HDRB	62
Gambar 4.8 <i>Input Directional Properties</i> U2,U3 pada HDRB	63
Gambar 4.9 <i>Deformed Shape</i> dengan penggunaan HDRB Lantai Dasar (Model 1)	64
Gambar 4.10 <i>Deformed Shape</i> dengan penggunaan HDRB Lantai 1 (Model 2).....	64
Gambar 4.11 <i>Deformed Shape</i> dengan penggunaan HDRB Lantai 2 (Model 3).....	65
Gambar 4.12 <i>Deformed Shape</i> dengan penggunaan HDRB Lantai 3 (Model 4).....	65
Gambar 4.13 <i>Deformed Shape</i> dengan penggunaan HDRB Lantai 4 (Model 5).....	66
Gambar 4.14 <i>Deformed Shape</i> dengan penggunaan HDRB Lantai 5 (Model 6).....	66
Gambar 4.15 <i>Deformed Shape</i> dengan penggunaan HDRB Lantai 6 (Model 7).....	67
Gambar 4.16 <i>Deformed Shape</i> dengan penggunaan HDRB Lantai 7 (Model 8).....	67
Gambar 4.17 <i>Deformed Shape</i> dengan penggunaan HDRB Lantai 8 (Model 9).....	68
Gambar 4.18 <i>Deformed Shape</i> dengan penggunaan HDRB Lantai 9 (Model 10).....	68
Gambar 4.19 <i>Deformed Shape</i> dengan penggunaan HDRB Lantai 10 (Model 11).....	69
Gambar 4.20 <i>Deformed Shape</i> dengan penggunaan HDRB Lantai 11 (Model 12).....	69
Gambar 4.21 <i>Deformed Shape</i> dengan penggunaan HDRB Lantai 12 (Model 13).....	70
Gambar 4.22 <i>Deformed Shape</i> dengan penggunaan HDRB Lantai 13 (Model 14).....	70
Gambar 4.23 Grafik Simpangan antar Lantai Arah X Model 1 – Model 14	82

Gambar 4.24 Grafik Simpangan antar Lantai Arah X Model 1 – Model 14	86
Gambar 4.25 Grafik <i>Drift</i> Arah X Model 1 – Model 14.....	90
Gambar 4.26 Grafik <i>Drift</i> Arah Y Model 1 – Model 14.....	94
Gambar 4.27 Gaya Dasar <i>Chi-Chi X</i>	98
Gambar 4.28 Gaya Dasar <i>Chi-Chi Y</i>	99
Gambar 4.29 Gaya Dasar <i>Hector X</i>	99
Gambar 4.30 Gaya Dasar <i>Hector Y</i>	99
Gambar 4.31 Gaya Dasar <i>Imperial Valley X</i>	100
Gambar 4.32 Gaya Dasar <i>Imperial Valley Y</i>	100
Gambar 4.33 Gaya Dasar <i>Kern X</i>	100
Gambar 4.34 Gaya Dasar <i>Kern Y</i>	101
Gambar 4.35 Gaya Dasar <i>Kobe X</i>	101
Gambar 4.36 Gaya Dasar <i>Kobe Y</i>	101
Gambar 4.37 Gaya Dasar <i>Kocaeli X</i>	102
Gambar 4.38 Gaya Dasar <i>Kocaeli Y</i>	102
Gambar 4.39 Grafik Kinerja Batas Layan Model 1.....	109
Gambar 4.40 Grafik Kinerja Batas Layan Model 5.....	110
Gambar 4.41 Grafik Kinerja Batas Layan Model 14.....	110
Gambar 4.42 Grafik Kinerja Batas Ultimit Model 1.....	111
Gambar 4.43 Grafik Kinerja Batas Ultimit Model 5.....	112
Gambar 4.44 Grafik Kinerja Batas Ultimit Model 14	113

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Data BOR LOG SPT Tanah.....	118
Lampiran 2 : Denah Lantai Dasar Lampiran 3 : Denah Lantai 1.....	119
Lampiran 4 : Denah Lantai 2	121
Lampiran 5 : Denah Lantai 3Lampiran 6 : Denah Lantai 4.....	122
Lampiran 7 : Denah Lantai 5	124
Lampiran 8 : Denah Lantai 6	125
Lampiran 9 : Denah Lantai 7	126
Lampiran 10 : Denah Lantai 8	127
Lampiran 11 : Denah Lantai 9	128
Lampiran 12 : Denah Lantai 10	129
Lampiran 13 : Denah Lantai 11	130
Lampiran 14 : Denah Lantai 12	131
Lampiran 15 : Denah Lantai 13	132
Lampiran 16 : Denah Lantai Atap	133
Lampiran 17 : Tabel <i>Element Force</i> (Berlanjut).....	134
Lampiran 18 : Tabel <i>Element Force</i> (Lanjutan)	135
Lampiran 19 : Tabel <i>Element Force</i> (Lanjutant)	136
Lampiran 20 : Brosure <i>Bridgestone</i> (berlanjut)	137
Lampiran 21 : Brosure <i>Bridgestone</i> (Lanjutan)	138
Lampiran 22 : Brosure <i>Bridgestone</i> (Lanjutan).....	139

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara rawan gempa, baik itu gempa vulkanik maupun gempa tektonik karena terletak antara 4 (empat) lempeng tektonik yang aktif, yaitu batas lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, lempeng Filipina dan lempeng Pasifik. Gempa bumi merupakan salah satu bahaya bencana alam yang menyebabkan berbagai masalah untuk infrastruktur. Gempa bumi menimbulkan getaran secara tiba-tiba yang terjadi di permukaan bumi. Bahaya gempa berpengaruh pada keselamatan jiwa, kenyamanan penghuni dan kegagalan struktural bila terjadi terus-menerus. Bencana tersebut menyebabkan korban jiwa, kerusakan properti dan kerusakan infrastruktur sehingga dibutuhkan bangunan tahan gempa yang mampu mengatasi semua masalah itu.

Kebutuhan akan bangunan tahan gempa merupakan sebuah hal yang harus terpenuhi, khususnya untuk daerah dengan tingkat kerawanan gempa tinggi seperti di Indonesia. Berdasarkan pengalaman yang telah terjadi, keruntuhan bangunan akibat bencana gempa bumi menelan korban jiwa dalam jumlah yang cukup besar. Oleh karena itu, bangunan harus direncanakan untuk dapat memberikan kinerja minimal *life safety* di mana bangunan diperbolehkan mengalami kerusakan namun tidak mengalami keruntuhan. Dengan demikian, kemungkinan timbulnya korban jiwa dapat diminimalisasi (Arifin dkk, 2015).

Kerusakan bangunan akibat gempa secara konvensional dicegah dengan memperkuat struktur bangunan terhadap gaya gempa yang bekerja padanya. Namun, hasil ini sering kali kurang memuaskan karena kerusakan elemen baik struktural maupun non-struktural umumnya disebabkan adanya *interstory drift* (perbedaan simpangan antar tingkat). Untuk memperkecil *interstory drift* dapat dilakukan dengan memperkaku bangunan dalam arah lateral. Namun, hal ini akan memperbesar gaya gempa yang bekerja pada bangunan (Teruna, 2005). Metode yang lebih baik adalah dengan meredam energi gempa sampai pada tingkat yang tidak membahayakan bangunan yakni menggunakan sistem isolasi seismik. Sistem isolasi seismik ini akan memisahkan struktur dari komponen horizontal pergerakan tanah dengan menyisipkan isolasi dasar yang memiliki kekakuan horizontal relatif besar, antara struktur atas dan bawah (Kunde & Jangid, 2003).

Isolasi getaran struktur bangunan adalah usaha-usaha yang dilakukan untuk mengurangi tingkat getaran yang tidak diinginkan sampai mencapai suatu tingkat getaran yang dapat diterima. Mengingat usaha mengurangi beban eksitasi getaran yang

bersumber dari alam seperti beban gempa sangat sulit dilakukan, maka usaha lain yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan isolasi struktur bangunan dengan menggunakan isolator yang diletakkan pada dasar struktur bangunan (Setio, 2009). Selain Sistem Isolasi dasar yang terletak di dasar lantai, Sistem Isolasi juga dapat diletakkan diantara lantai atau disebut Sistem Isolasi Antar Tingkat. Sistem Isolasi Antar Tingkat dapat digunakan untuk bangunan baru maupun bangunan retrofit. Sistem Isolasi Antar Tingkat memiliki arti dan pengertian yang sama dengan Sistem Isolasi biasanya, dimana beban gempa yang bekerja pada bangunan dapat direduksi dengan memasang *free joint* diantara struktur atas dan struktur bawah sehingga struktur dapat bergerak horizontal pada *free joint* tersebut (Anas Ismail, 2012). Perbedaan antara Sistem Isolasi Dasar dan Sistem Isolasi Antar Tingkat adalah penempatan Peredam Gempa atau Isolatornya.

Beberapa analisis telah dilakukan untuk memahami kelayakan dan mekanisme dari Sistem Isolasi Dasar tipe *High Dumper Rubber Bearing* (HDRB). Hasil yang didapatkan cukup menarik, penggunaan Sistem Isolasi Dasar tipe *High Dumper Rubber Bearing* pada struktur gedung menghasilkan reduksi perbedaan Simpangan Antara Lantai (*Drift*) yang lebih sedikit daripada Struktur Gedung tanpa Sistem Isolasi Dasar. Akan tetapi penelitian-penelitian tersebut baru berfokus pada Sistem Isolasi Dasar yang terletak di bagian dasar gedung. Oleh sebab itu perlu untuk melakukan analisa mengenai optimasi penempatan Sistem Isolasi Antar Tingkat yang berbeda menggunakan tipe *High Dumper Rubber Bearing* pada Struktur Gedung Bertingkat untuk mengetahui penempatan Sistem Isolasi yang paling optimum dalam mereduksi gaya lateral akibat gempa.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut terdapat rumusan masalah pada Tesis ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa perbandingan nilai Periode pada Struktur Gedung *Fixed Based* dan Struktur Gedung setelah adanya penambahan Sistem Isolasi *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) pada setiap tingkat ?
2. Berapa perbandingan nilai Gaya Geser Dasar pada Struktur Gedung *Fixed Based* dan Struktur Gedung setelah adanya penambahan Sistem Isolasi *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) pada setiap tingkat ?
3. Bagaimana perbandingan hasil *Displacement* dan *Drift* Struktur Gedung setelah adanya penambahan Sistem Isolasi *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) pada setiap tingkat ?
4. Bagaimana hasil perpindahan maksimum *High Damping Rubber Bearing* terhadap Perpindahan Ijin ?
5. Bagaimana batasan *Drift* untuk Level Kinerja Struktur Gedung setelah adanya penambahan Sistem Isolasi *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) pada setiap tingkat paling optimum ?

1.3 Tujuan Tesis

Tujuan dari Tesis ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan perbandingan nilai Periode Struktur pada Struktur Gedung *Fixed Based* dan Struktur Gedung setelah adanya penambahan Sistem Isolasi *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) pada setiap tingkat.
2. Mendapatkan perbandingan nilai Gaya Geser Dasar pada Struktur Gedung *Fixed Based* dan Struktur Gedung setelah adanya penambahan Sistem Isolasi *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) pada setiap tingkat.
3. Mendapatkan hasil perbandingan *Displacement* dan *Drift* Struktur Gedung setelah adanya penambahan Sistem Isolasi *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) pada setiap tingkat.
4. Mendapatkan nilai hasil perpindahan maksimum *High Damping Rubber Bearing* terhadap Perpindahan Ijin
5. Mengetahui batasan *Drift* untuk Level Kinerja Struktur Gedung setelah adanya penambahan Sistem Isolasi *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) pada setiap tingkat paling optimum.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan dalam pengerjaan Tesis ini yaitu :

1. Sistem Isolasi yang dianalisis hanya *High Damping Rubber Bearing* (HDRB).
2. Pemodelan gempa berdasarkan SNI 1726 – 2019 dan menggunakan jenis tanah lunak.
3. Proses analisis menggunakan perangkat lunak program bantu analisis ETABS V.20.
4. Tidak meninjau analisa biaya.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu :

Memberikan rekomendasi dalam menentukan penempatan sistem isolasi pada perencanaan gedung tinggi agar lebih baik dan optimal dalam menahan dan mereduksi gaya lateral dari beban gempa.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam suatu penelitian berguna untuk menjelaskan urutan kerangka dari suatu penelitian. Pada penelitian ini terbagi menjadi lima bab yaitu :

BAB I : PENDAHULUAN

Membahas latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisi studi literatur yang dijadikan sebagai acuan dalam melakukan penelitian.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini membahas tentang data yang dibutuhkan untuk dianalisis, permodelan gedung dengan Program Bantu Aplikasi, penginputan 4 beban pada Program Bantu Aplikasi bagan alir penelitian, metode pengumpulan data dan metode analisis data.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang masalah yang telah dirumuskan oleh peneliti.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi literatur yang digunakan dalam penelitian ini.

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Reza (2020) menyebutkan dari hasil analisis terhadap beberapa model struktur yang dilakukan, berdasarkan parameter reduksi simpangan antar tingkat dan reduksi gaya geser tingkat didapatkan kesimpulan bahwa isolator tingkat bekerja optimum jika ditempatkan pada 0,167 - 0,333 kali tinggi bangunan (dengan rata-rata sekitar 0,2 kali tinggi bangunan) karena pada lokasi tersebut struktur sebelum ditambahkan isolator tingkat memiliki simpangan antar tingkat maksimum, sehingga pengaruh isolator tingkat dalam mengubah bentuk deformasi struktur lebih besar.

Menurut Forecellini dan Kalfas (2023) menyebutkan Jika dibandingkan satu sama lain, Model B2 (isolasi antar lantai terletak di tengah-tengah ketinggian) dan B3 (isolasi antar lantai terletak di $\frac{3}{4}$ ketinggian) tampak berbeda di bagian tengah bangunan (tinggi: 20-50 m), di mana Lapisan isolasi sebagian besar mempengaruhi kinerja dari dua konfigurasi. Secara khusus, Model B2 menunjukkan nilai percepatan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan yang dihitung untuk Model B3. Hal ini berarti terjadi reduksi gaya gempa terutama pada bagian tengah bangunan (antara 20 dan 50 m). Oleh karena itu, Model B2 tampaknya paling efektif dalam meningkatkan kinerja seismik bangunan.

2.2 Gempa

Secara keilmuan, gempa bumi adalah suatu peristiwa pelepasan energi gelombang *seismic* yang terjadi secara tiba-tiba. Pelepasan energi ini diakibatkan karena adanya deformasi lempeng tektonik yang terjadi pada kerak bumi (Hartuti, 2009). Ilmu yang mempelajari tentang gempa disebut dengan seismologi. Frekuensi gempa bumi suatu wilayah, mengacu pada jenis dan ukuran gempa bumi yang di alami selama periode waktu. Gempa bumi diukur dengan menggunakan alat Seismometer, serta skala Richter adalah skala yang dilaporkan oleh observatorium seismologi nasional.

2.2.1 Kriteria Desain Struktur Tahan Gempa

Dalam perencanaan struktur bangunan harus mempunyai ketahanan terhadap gempa dengan tingkat keamanan yang memadai. struktur yang harus dirancang dapat memikul gaya horizontal atau gaya gempa. Hal yang perlu diperhatikan adalah bahwa struktur dapat memberikan layanan yang sesuai dengan perencanaan.

Paulay (1988) menyebutkan tingkat layanan dari struktur gaya gempa terdiri dari tiga, yaitu:

1. *Serviceability*

Jika gempa dengan intensitas percepatan tanah yang kecil dalam waktu ulang yang besar mengenai struktur, disyaratkan tidak mengganggu fungsi bangunan, seperti aktivitas normal didalam bangunan dan perlengkapan yang ada. Artinya tidak dibenarkan ada terjadi kerusakan pada struktur baik pada komponen struktur maupun dalam elemen non-struktur yang ada. Dalam perencanaan harus diperhatikan control dan batas simpangan yang dapat terjadi semasa gempa, serta menjamin kekuatan yang cukup bagi komponen struktur untuk menahan gaya gempa yang terjadi dan diharapkan struktur masih berperilaku elastis.

2. Kontrol kerusakan

Jika struktur dikenai gempa dengan waktu ulang sesuai dengan umur atau, masa rencana bangunan, maka struktur direncanakan untuk dapat menahan gempa ringan atau gempa kecil tanpa terjadi kerusakan pada komponen struktur maupun komponen non-struktur, dan diharapkan struktur dalam batas elastis.

3. *Survival*

Jika gempa kuat yang mungkin terjadi pada umur/ masa banunan yang direncanakan membebani struktur, maka struktur direncanakan untuk dapat bertahan dengan tingkat kerusakan yang besar tanpa mengalami kerusakan dan keruntuhan (*collapse*). Tujuan utama dari keadaan batas ini adalah untuk menyelamatkan jiwa manusia

2.3 Analisis Respon Dinamik Riwayat Waktu (*Time History*)

Percepatan gempa di muka tanah adalah parameter gempa yang memberikan dampak langsung pada struktur. Percepatan gempa bersifat dinamik, begitu juga dengan respon struktur yang ditimbulkan. Analisis Dinamik *Time History* dapat merepresentasikan sifat dinamik percepatan gempa dan respon struktur, sehingga metode analisis ini dapat memberikan gambaran dan informasi respon struktur yang lebih lengkap. (Anggen, 2014).

Analisis riwayat waktu percepatan gempa (*time history*) adalah salah satu metode analisis dinamik yang digunakan dalam analisis struktur dengan beban gempa. Analisis

time history dapat merepresentasikan respon dinamik struktur saat dilanda suatu percepatan gempa, karena data masukan dalam analisis *time history* menggunakan akselerogram sebenarnya ataupun akselerogram yang diskalakan pada level gempa rencana.

Apabila dilakukan analisis dua dimensi *time history* maka setiap gerak tanah harus terdiri dari Riwayat waktu percepatan tanah horisontal yang diseleksi dari rekaman gempa actual (SNI-1726-2012, Pasal 11.1.3.1). Apabila dilakukan analisis tiga dimensi, gerak tanah harus terdiri dari sepasang komponen percepatan tanah horizontal yang sesuai, yang harus diseleksi dan di skalakan dari rekaman peristiwa gempa individual (SNI-1726-2012, Pasal 11.1.3.2).

2.4 Evaluasi Kinerja Struktur

2.4.1 Evaluasi Kinerja Menurut SNI-1726-2002

a. Kinerja Batas Layan (SNI-1726-2002, Pasal 8.1.2)

Kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar-tingkat (*interstory drift*) akibat pengaruh gempa rencana, yaitu untuk membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, di samping untuk mencegah kerusakan nonstruktur dan ketidaknyamanan penghuni. Simpangan antar-tingkat ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung tersebut akibat pengaruh gempa nominal yang telah dibagi faktor skala.

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui $\frac{0,03}{R}$ kali tinggi tingkat yang bersangkutan atau 30 mm, bergantung yang mana yang nilainya terkecil.

b. Kinerja Batas Ultimit (SNI-1726-2002, Pasal 8.2)

Kinerja batas ultimit struktur gedung ditentukan oleh simpangan (*drift*) dan simpangan antar-tingkat (*interstory drift*) maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung di ambang keruntuhan, yaitu untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia dan untuk mencegah benturan berbahaya antar gedung atau antar bagian struktur gedung yang dipisah dengan sela pemisah (sela dilatasi). Simpangan (*drift*) dan simpangan antar tingkat (*interstory drift*) ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung akibat

pembebanan gempa nominal, dikalikan dengan suatu faktor pengali (E) yang nilainya tergantung pada konfigurasi struktur.

- 1) Untuk struktur gedung beraturan, dihitung dengan Persamaan 2.1 berikut:

$$\xi = 0.7 R \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

- 2) Untuk struktur gedung tidak beraturan, dihitung dengan Persamaan 2.2 berikut:

$$\xi = \frac{0.7 R}{Faktor\ Skala} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

R adalah faktor reduksi gempa struktur gedung tersebut.

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas ultimit struktur gedung, impangan antar tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui 0,02 kali tinggi tingkat yang bersangkutan.

2.4.2 Level Kinerja Menurut ATC-40

Berdasarkan ATC-40 kinerja struktur bangunan gedung dapat dibagi menjadi kategori sebagai berikut:

a. *Immediate Occupancy (IO)*

Elemen utama struktur tidak mengalami kerusakan, tidak ada *drift* permanen, kekuatan dan kekakuan struktur tidak mengalami perubahan berarti, resiko korban jiwa dari kegagalan struktur rendah, secara keseluruhan gedung tidak mengalami kerusakan, dan dapat segera difungsikan / beroperasi kembali.

b. *Damage Control (DC)*

Kategori ini struktur bangunan yang dalam pasca gempa, kerusakan yang terjadi bervariasi diantara kategori *Immediate Occupancy* dan *Life Safety*. Elemen struktur mengalami kerusakan dan ada resiko korban jiwa.

c. *Life Safety (LS)*

Elemen struktur mengalami kerusakan sedang, terjadi beberapa *drift* permanen pada lantai tingkat, secara keseluruhan terjadi pengurangan kekuatan dan kekakuan struktur.

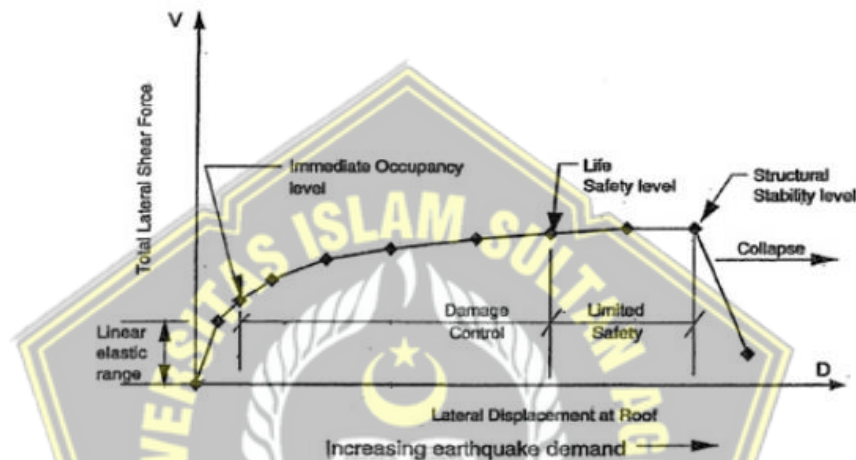
d. *Limited Safety*

Limited safety bukan merupakan level spesifik, keadaan bangunan berada diantara *life safety* dan *structural stability*.

e. *Structural Stability*

Structural stability termasuk dalam kategori ini adalah struktur bangunan yang dalam pasca gempa, gedung diambang batas runtuh total.

ATC-40 memberikan batasan nilai rasio drift atap untuk mengklasifikasikan berbagai macam tingkat kinerja suatu struktur seperti pada Gambar 2.1, klasifikasi berdasarkan maksimum total drift pada Tabel 2.1.



Gambar 2.1 Kurva Kapasitas
(Sumber : ATC-40)

Tabel 2.1 Batasan *Drift Ratio* Atap untuk Level Kinerja (ATC-40, 1996)

Batasan simpangan antar tingkat	Level Kinerja Struktur			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
<i>Maximum total drift</i>	0,01	0,01-0,02	0,02	$0,33.V_i/P_i$
<i>Maximum inelastic drift</i>	0,005	0.005-0.015	Tidak dibatasi	Tidak dibatasi

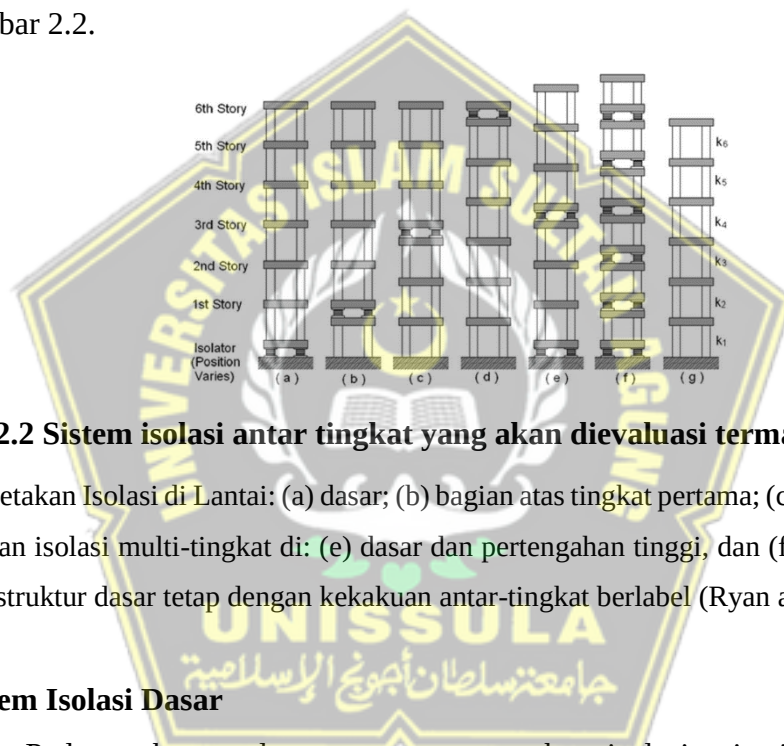
Performance level menurut ATC-40 berdasarkan maksimum total *drift* sebagai berikut:

- $\text{Max Total drift} \leq 0,01$ = *Immediate Occupancy (IO)*
 $0,01 \leq \text{Max Total drift} \leq 0,02$ = *Damage Control (DC)*
 $\text{Max Total drift} \geq 0,02$ = *Limited Safety (LS)*

2.5 Sistem Isolasi

Beberapa penelitian mengenai isolasi dasar telah dilakukan sebagai upaya untuk mempelajari kinerja dan parameter desain paling menguntungkan untuk sistem isolasi dasar dengan menggunakan berbagai jenis isolator yang berbeda. Berbagai perangkat isolasi seperti *elastomeric bearings*, *lead rubber bearings*, *frictional/sliding bearings* juga telah dikembangkan dan digunakan dalam desain bangunan anti-seismik dan jembatan (Setio dkk., 2012).

Karakteristik sistem isolasi dikalsifikasi menjadi beberapa kategori yaitu seperti pada gambar 2.2.

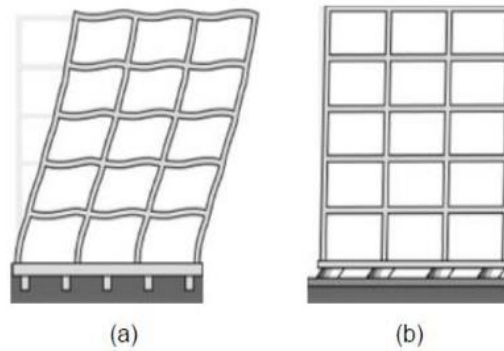


Gambar 2.2 Sistem isolasi antar tingkat yang akan dievaluasi termasuk isolasi

Perletakan Isolasi di Lantai: (a) dasar; (b) bagian atas tingkat pertama; (c) tinggi menengah; (d) atap; dan isolasi multi-tingkat di: (e) dasar dan pertengahan tinggi, dan (f) setiap tingkat (g) Referensi struktur dasar tetap dengan kekakuan antar-tingkat berlabel (Ryan and Earl, 2010).

2.5.1 Sistem Isolasi Dasar

Pada struktur gedung yang menggunakan isolasi seismik berupa sistem isolasi dasar akan memisahkan struktur bawah dengan struktur atas agar gaya gempa yang diterima struktur bawah (pondasi) tereduksi sebelum beban gempa diterima struktur atas bangunan. Pemakaian isolator pada bangunan akan memberbesar deformasi pada lantai dasar namun akan memperkecil perbedaan simpangan /deformasi tiap lantai, sehingga membuat bangunan bergerak sebagai satu kesatuan struktur yang kaku (rigid) ketika terjadi gempa. Berdasarkan perhitungan diperoleh bahwa perpindahan lantai dapat direduksi hingga 30 %. (Ismail, 2012)

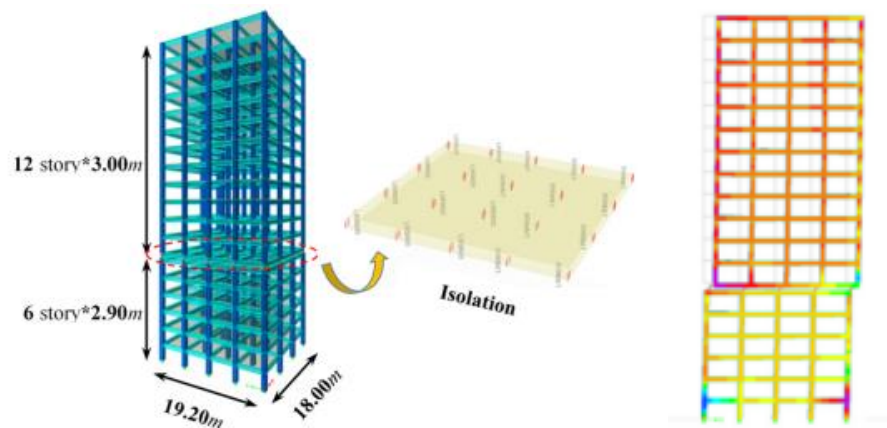


Gambar 2.3 Perubahan pola defleksi pada (a) struktur dasar kaku (b) struktur dengan isolasi dasar (Islam dkk, 2011)

2.5.2 Sistem Isolasi Antar Tingkat

Isolasi seismik antar lantai telah menjadi solusi yang berharga bagi bangunan bertingkat tinggi untuk secara efektif memisahkan berbagai bagian yang memiliki beberapa fungsi, dan dengan demikian persyaratan kinerja seismik yang berbeda, dengan manfaat utamanya menjadi interupsi aliran energi antara lantai atas dan bawah. Lapisan isolasi yang dimasukkan pada berbagai ketinggian bangunan dapat menyaring gaya inersia yang ditransmisikan ke struktur atas dan meningkatkan sifat seismik dari keseluruhan sistem. (Faiella, Konstantinos N. Kalfas 2023).

Sistem isolasi anatar tingkat mulai digunakan setelah keterbatasan isolasi dasar. Isolasi dasar adalah metode yang digunakan untuk melindungi struktur terhadap gaya gempa. Pada umumnya bangunan dengan isolasi dasar, struktur atas yang ditopang lapisan isolasi memiliki pengaruh yang lebih kecil terhadap gaya gempa dan mampu menahan konsentrasi kekakuan dan kekuatan. Dengan demikian memungkinkan kebebasan untuk perencanaan struktural dan arsitektur di atas lapisan isolasi. Dengan demikian isolasi menengah pada bangunan bertingkat tinggi memungkinkan perencanaan struktur yang berbeda di atas dan di bawah tingkat lapisan isolasi. Struktur di atas lapisan isolasi memiliki ketahanan seismik yang tinggi dan peredam massa membantu mengurangi respons seismik pada struktur yang lebih rendah dan meningkatkan respons seismik secara keseluruhan struktur. (Pranav Thakur dkk, 2019)

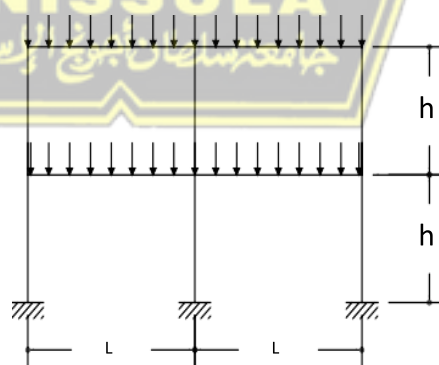


Gambar 2.4 Model analitik struktur isolasi antar cerita (Zhang dkk, 2020)

2.5.3 Model Struktur Sebagai Sistem Derajat Kebebasan Banyak (MDOF)

Struktur bangunan Gedung cenderung mempunyai derajat kebebasan banyak (MDOF). Pada struktur bangunan gedung bertingkat banyak umumnya massa struktur dapat digumpalkan pada tempat-tempat tertentu (lumped mass) yang umumnya pada tiap-tiap lantai tingkat. Dengan anggapan berperilaku sebagai shear building, maka struktur dengan derajat kebebasan tak terhingga akan menjadi struktur dengan derajat kebebasan terbatas.

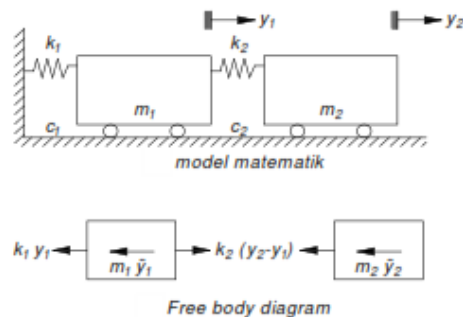
Sering kali jumlah derajat kebebasan dihubungkan secara langsung dengan jumlah tingkat. Persamaan diferensial gerakan tersebut umumnya disusun berdasarkan atas goyangan struktur menurut mode pertama seperti ditampilkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Struktur 2-DOF

Setiap struktur yang dibebani dengan beban dinamik akan mengalami goyangan. Untuk struktur berderajat kebebasan banyak, maka struktur tersebut akan memiliki banyak *normal modes* atau disebut dengan ragam/pola goyangan.

Untuk menghitung sekaligus menggambar *normal modes*, maka diambil suatu model struktur seperti ditampilkan pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Free Body Diagram

Suatu persamaan diferensial akan dapat diperoleh dengan memperhatikan *free body diagram* seperti pada Gambar 3.8. dan diperoleh,

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{y}_1 + k_1 y_1 - k_2 (y_2 - y_1) &= 0 \\ m_2 \ddot{y}_2 + k_2 (y_2 - y_1) &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.20)$$

Persamaan (2.20) dapat ditulis dalam bentuk yang sederhana yaitu :

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{y}_1 + (k_1 + k_2) y_1 - k_2 y_2 &= 0 \\ m_2 \ddot{y}_2 - k_2 y_1 + k_2 y_2 &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.21)$$

Persamaan (2.21) dapat ditulis dalam bentuk matrik yaitu :

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (2.22)$$

Selanjutnya, Persamaan *eigenproblem* untuk Persamaan (2.20) adalah :

$$\begin{bmatrix} (k_1 + k_2) - \omega^2 m_1 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 - \omega^2 m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (2.1)$$

Nilai frekuensi sudut (ω) akan didapat dengan cara mencari determinan dari Persamaan (2.23). Apabila perhitungan dilanjutkan, akan didapatkan dua nilai frekuensi sudut, yaitu ω_1 dan ω_2 . Maka, struktur yang memiliki dua tingkat atau struktur dengan 2-derajat kebebasan, akan mempunyai dua nilai frekuensi sudut (ω).

Substitusi nilai ω_1 dan ω_2 ke dalam Persamaan (2.23) akan memperoleh nilai ϕ_{ij} yang mana indeks i menunjukkan massa dan indeks j menunjukkan nomor ragam/pola goyangan. Dengan demikian, ϕ_{ij} adalah suatu koordinat yang berhubungan dengan massa ke-i pada ragam/pola goyangan ke-j.

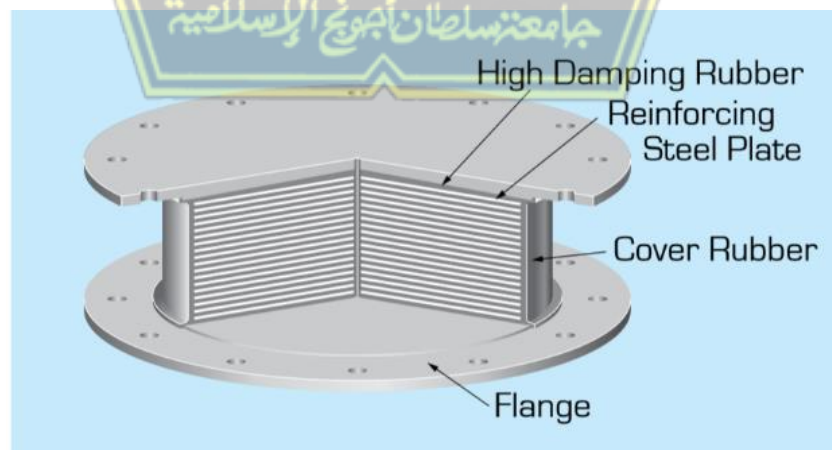
Dengan diperolehnya nilai-nilai frekuensi sudut untuk tiap-tiap mode (ω_1 dan ω_2), maka akan diperoleh juga nilai periode getar (T) untuk tiap-tiap mode dengan rumus, $T_n = 2/\omega_2$.

2.6 Jenis Sistem Isolasi

Base isolator memiliki banyak tipe yang terdapat di pasaran. Secara umum sistem isolasi seismik terbagi dalam dua kategori yaitu *Elastomeric Rubber Bearing* dan *Sliding Bearing*. Tetapi secara umum tipe – tipe base isolation yang sering dipakai terdiri *High Damping Rubber Bearing*, *Lead Rubber Bearing*, *Natural Rubber Bearing*, *Elastic Sliding Bearing*.

2.6.1 High Damping Rubber Bearing

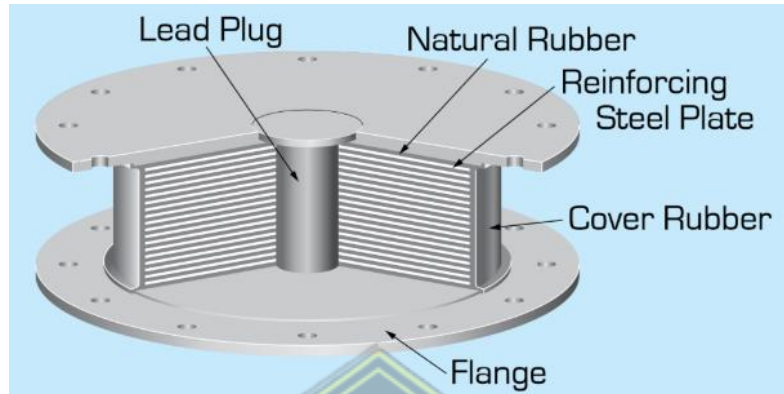
High Damping Rubber Bearing (HDRB) memanfaatkan rekayasa kimia untuk menciptakan karakteristik yang berbeda dari *Natural Rubber Bearing* (NRB). Nilai modulus geser yang berubah – ubah terhadap regangan geser yang terjadi membuat hysteric loop yang gemuk sehingga menghasilkan nilai equivalent damping ratio yang tinggi. Jenis seismic isolation ini umumnya tidak membutuhkan damping device tambahan. Kelebihan lainnya dari seismic isolation tipe HDRB adalah transisi kekakuan dari linear ke nonlinear lebih halus jika dibandingkan dengan seismic isolation tipe *Lead Rubber Bearing* (LRB). Hal ini penting karena penurunan kekakuan secara tajam dapat mengakibatkan efek vibrasi yang lebih besar dan merusak equipment yang sensitif terhadap vibrasi.



Gambar 2.7 High Damping Rubber Bearing
(Sumber : *Catalog Bridgestone*, 2017)

2.6.2 Lead Rubber Bearing

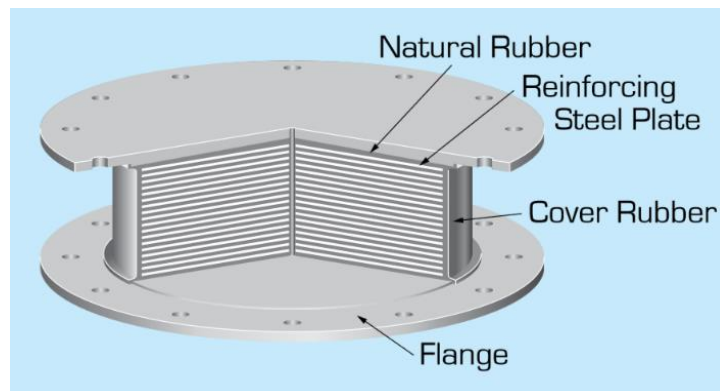
Pada redaman jenis ini terdapat timah hitam (lead) yang dipasang pada sumbu bantalan karet. dibagian atas dan bawah diberi lempengan plat baja. Timah hitam digunakan untuk menyerap energi dari gempa dan untuk menahan beban.



Gambar 2.8 Lead Rubber Bearing
(Sumber : *Catalog Bridgestone*, 2017)

2.6.3 Natural Rubber Bearing

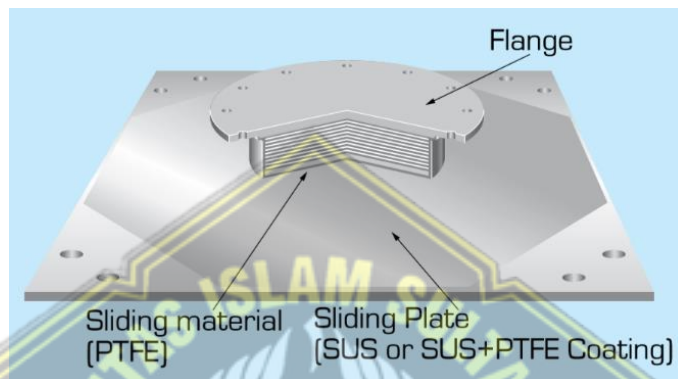
Jenis seismic isolation yang paling sederhana, biaya lebih murah karena menggunakan tipe karet standar. Memiliki *restoring force* yang baik. Terdiri dari dua jenis yaitu menggunakan inner steel plate dan yang tidak menggunakannya. Inner steel plate digunakan untuk meningkatkan kekakuan vertikal namun tetap mempertahankan kekakuan lateral. Karakteristik diagram kekakuan NRB adalah linear dengan nilai equivalent damping ratio yang rendah (2%-3%). Biasanya digunakan bersamaan dengan damping device atau dikombinasikan dengan *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) atau *Lead Rubber Bearing* (LRB) untuk mengurangi deformasi lateral yang berlebih.



Gambar 2.9 Natural Rubber Bearing
(Sumber : *Catalog Bridgestone*, 2017)

2.6.4 Elastic Sliding Bearing

Elastic Sliding Bearing ini terdiri dari 2 buah material yaitu bantalan karet yang diikat dengan bahan PTFE (Teflon) dan pelat geser *stainless steel*. Pemindahan kecil ini diserap oleh karet itu sendiri sementara pemindahan besar menyebabkan bantalan karet meluncur di atas pelat. Karena fungsi pemulihan akan hilang ketika geser terjadi, biasanya digunakan dalam kombinasi dengan NRB, LRB atau HDR. Ada tiga koefisien jenis hambatan yang berbeda, jenis yang akan digunakan didasarkan pada kebutuhan redaman.



Gambar 2.10 Elastic Sliding Bearing
(Sumber : *Catalog Bridgestone*, 2017)

2.7 Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Resiko Struktur Bangunan

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 4.1.2 Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung sesuai Tabel 2.2 pengaruh gempa rencana harus dikalikan dengan suatu Faktor Keutamaan Gempa (I_e) menurut Tabel 2.3.

Tabel 2.2 – Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa Parameter Percepatan Gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III
Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

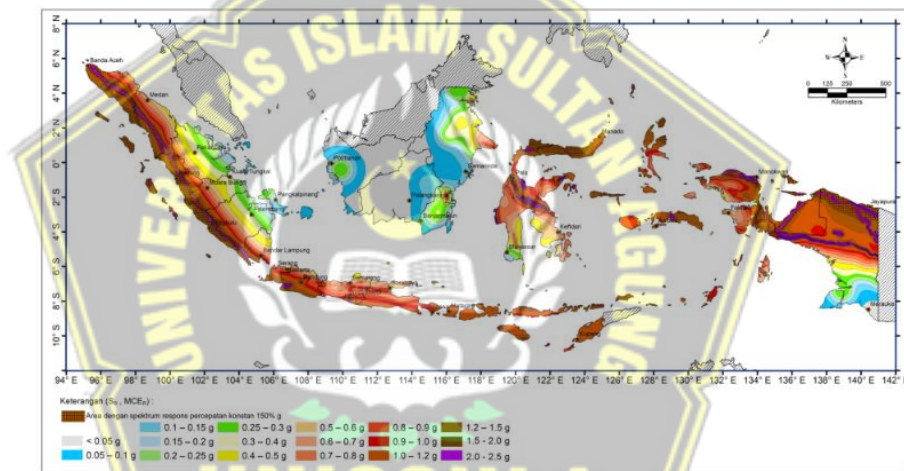
Tabel 2.3 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

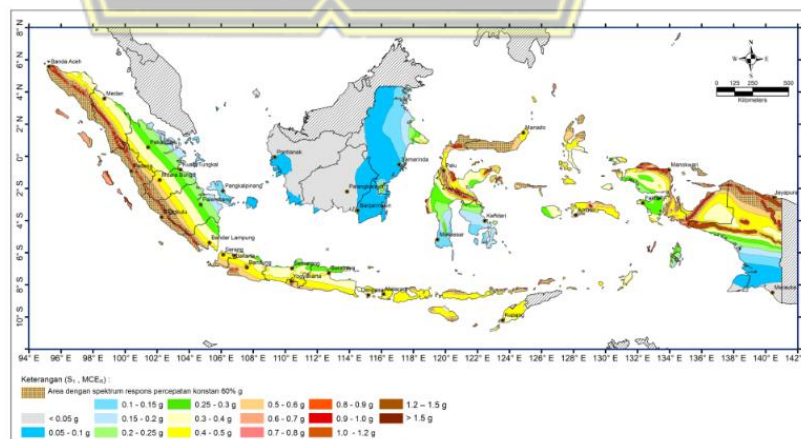
2.8 Parameter Percepatan Gempa

2.8.1 Menentukan Percepatan Respons Spektrum MCE_R dari Peta Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2019 cara menentukan nilai Percepatan Respon Spektrum MCE_R pada peta gempa yang dipertimbangkan memiliki dua variabel yaitu S_1 dan SS . Parameter gerak tanah S_1 dan SS dengan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-target (MCE_R) wilayah Indonesia untuk spektrum respon 0,2 detik (redaman kritis 5%) dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.11 Parameter Gerak Tanah S_1 , untuk spektrum respon 0,2 detik
(Sumber : SNI 1729-2019)



Gambar 2.12 Parameter Gerak Tanah SS , untuk spektrum respon 0,2 detik
(Sumber : SNI 1729-2019)

2.8.2 Kelas Situs

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 5.3 Tipe kelas situs harus ditetapkan sesuai dengan Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Kelas Situs

Kelas situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{60}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

2.8.3 Koefisien Situs dan Parameter Respon Spectral Percepatan Gempa MCER

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 6.2 Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor pembesaran gempa pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor pembesaran meliputi faktor pembesaran getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor pembesaran terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

Parameter S_{MS} :

$$S_{MS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots (2.2)$$

Parameter S_{M1} :

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots (2.3)$$

Parameter F_a , F_v dapat ditentukan berdasarkan nilai S_1 , S_s yang diperoleh dari peta gempa

Keterangan:

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek;

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik.

Tabel 2.5 Koefisien situs F_a

(Sumber : SNI 1729-2019)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(a)}$					

Tabel 2.6 Koefisien Situs F_v

(Sumber : SNI 1729-2019)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$SS^{(a)}$					

2.8.4 Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (SDS) dan pada periode 1 detik (SD1), harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

Parameter S_{DS} , Percepatan Spektral Desain untuk perioda pendek:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots (2.4)$$

Parameter S_{D1} , Percepatan Spektral Desain untuk perioda 1 detik:

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots (2.5)$$

2.8.5 Spektrum Respons Desain

Spektrum respons desain ketika digunakan harus disesuaikan dengan mengacu Gambar 2.1 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 ($T < T_0$), Spektrum Respons Percepatan Desain (S_a) harus diambil dari persamaan berikut:

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots (2.6)$$

2. Untuk periode lebih besar atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain (S_a) sama dengan S_{DS}

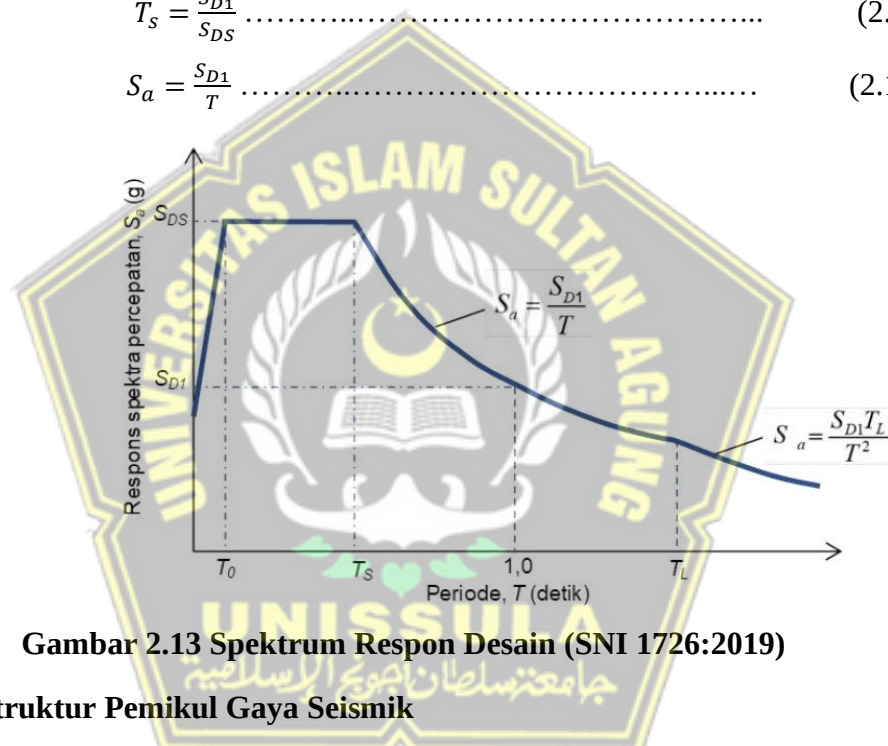
$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$S_a = S_{DS} \dots\dots\dots (2.8)$$

3. Untuk periode lebih besar dari T_s ($T > T_s$), Spektrum Respons Percepatan Desain (S_a), diambil berdasarkan persamaan:

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots (2.10)$$



Gambar 2.13 Spektrum Respon Desain (SNI 1726:2019)

2.9 Sistem Struktur Pemikul Gaya Seismik

Sistem Pemikul Gaya Seismik dikategorikan berdasarkan pada Tabel 12 SNI 1726-2019. Berdasarkan Pasal 7.2 SNI 1726-2019. Sistem Pemikul Gaya Seismik ditentukan oleh 4 parameter yaitu Koefisien Modifikasi Respon (R), Faktor Pembesaran Simpangan Lateral (C_d), Faktor Kuat Lebih Sistem (Ω_0), Batasan Tinggi Struktur.

Pada faktor masing-masing sistem struktur dapat dilihat pada Tabel 2.7 berikut. (Tabel 12 SNI 1726-2019)

Tabel 2.7 Faktor R , Ω , dan C_d untuk Sistem Penahan Gaya Gempa (Berlanjut)

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
A. Sistem dinding penumpu								
1. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	5	2½	5	TB	TB	48	48	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
3. Dinding geser beton polos didetail ^g	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
4. Dinding geser beton polos biasa ^g	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
5. Dinding geser pracetak menengah ^g	4	2½	4	TB	TB	12 ⁱ	12 ⁱ	12 ⁱ
6. Dinding geser pracetak biasa ^g	3	2½	3	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2½	3½	TB	TB	48	48	30
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	2½	2¼	TB	TB	TI	TI	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	1¼	TB	48	TI	TI	TI
10.Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
11.Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
12.Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
13.Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2½	2	TB	10	TI	TI	TI
14.Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
15.Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
16.Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
17.Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	2½	2	TB	TB	10	TI	TI
18.Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	3½	TB	TB	20	20	20
B. Sistem rangka bangunan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3. Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3¼	2	3¼	TB	TB	10 ^j	10 ^j	TI ^j
4. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
5. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
6. Dinding geser beton polos detail ^g	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser beton polos biasa ^g	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Dinding geser pracetak menengah ^g	5	2½	4½	TB	TB	12 ⁱ	12 ⁱ	12 ⁱ
9. Dinding geser pracetak biasa ^g	4	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
10.Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
11.Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	4½	TB	TB	48	48	30
12.Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI
13.Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6½	2½	5½	TB	TB	48	48	30
14.Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
15.Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
16.Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	2½	4	TB	TB	48	48	30
17.Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
18.Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	2	TB	48	TI	TI	TI

Tabel 2.8 Faktor R , Ω , dan C_d untuk Sistem Penahan Gaya Gempa (Lanjutan)

19.Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20.Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
21.Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
22.Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4¼	TB	TB	22	22	22
23.Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4¼	TB	TB	22	22	22
24.Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25.Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26.Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^k	TI ^k	TI ^k
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ⁱ	TI ⁱ	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4¼	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4¼	TB	TB	TI	TI	TI
10.Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11.Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12.Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁿ	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus ^{a,h}	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus ^{a,h}	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10.Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11.Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12.Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13.Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB

Tabel 2.9 Faktor R, Ω , dan Cd untuk Sistem Penahan Gaya Gempa (Lanjutan)

E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus ^a	6	2½	5	TB	TB	10	TI	TI
2. Dinding geser beton bertulang khusus ^{a,h}	6½	2½	5	TB	TB	48	30	30
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2½	TB	48	TI	TI	TI
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5½	2½	4½	TB	TB	48	30	TI
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3½	2½	3	TB	TB	TI	TI	TI
7. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
8. Dinding geser beton bertulang biasa ^a	5½	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
F. Sistem interaktif dinding geser-rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa^a	4½	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
G. Sistem kolom kantilever didetail untuk memenuhi persyaratan untuk :								
1. Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
2. Sistem kolom baja dengan kantilever biasa	1¼	1¼	1¼	10	10	TI'	TI'	TI'
3. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
4. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1½	1¼	1½	10	10	TI	TI	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	1	1¼	1	10	TI	TI	TI	TI
6. Rangka kayu	1½	1½	1½	10	10	10	TI	TI
H. Sistem baja tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever	3	3	3	TB	TB	TI	TI	TI

TB : tidak dibatasi

TI : tidak diizinkan

a. Kekakuan dan Perioda Getar Alami Struktur

Periode getar alami (T) dari struktur merupakan waktu yang dibutuhkan struktur bangunan untuk menempuh satu putaran lengkap dari suatu getaran yang mengalami perpindahan posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi awal. Hal ini merupakan komposisi penting dalam perencanaan bangunan tahan gempa. Nilai kekakuan struktur biasanya bergantung dari material yang digunakan sehingga terkait dengan Modulus Elastisitas dan Modulus Geser, dimensi dan penulangan elemen struktur. Kekakuan struktur berbanding terbalik dengan perioda alami struktur, sesuai dengan rumus di bawah ini.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Hubungan antara kekakuan (k) dengan periode alami struktur (T) adalah hubungannya berbanding terbalik.

$$T \cong \frac{1}{\sqrt{k}} \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan:

k : kekakuan struktur

T : periode alami struktur

ω : kecepatan sudut

f : frekuensi struktur

Dapat diketahui bahwa semakin besar periode alami struktur, semakin kecil kekakuan yang dimiliki struktur tersebut. Hal ini menjadi dasar untuk memperkirakan periode dan kekakuan yang disesuaikan dengan desain struktur.

$$T_{minimum} = T_a = C_t h_n^x \dots\dots\dots (2.14)$$

$$T_{maksimum} = C_u T_a \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan:

h_n : ketinggian struktur

C_t dan x : parameter perioda pendekatan fundamental, sesuai tabel 18 dari SNI 1726-2019 berikut.

Tabel 2.10 Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

C_u : koefisien yang ditentukan berdasarkan parameter S_{D1} , sesuai tabel 17 dari SNI 1726-2019 berikut.

Tabel 2.11 Koefisien untuk Batas Atas pada Perioda yang Dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_s
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

b. Koefisien Respons Seismik

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.1.1, koefisien respons seismik ditentukan dengan perumusan berikut.

Untuk $T < T_L$

$$C_{s-natural} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \dots \dots \dots (2.16)$$

Nilai C_s tidak boleh melebihi persamaan berikut ini.

$$C_{s-max} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \dots \dots \dots (2.17)$$

Nilai C_s juga tidak boleh kurang dari

$$C_{s-min} = 0.044 S_{DS} I_e \geq 0.01 \dots \dots \dots (2.18)$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah yang memiliki nilai S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0.6g maka C_s tidak boleh kurang dari

$$C_{s-min} = \frac{0.5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \dots \dots \dots (2.19)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan respons spektrum desain perioda pendek

S_{D1} = parameter percepatan respons spektrum desain perioda 1 detik

S_1 = parameter percepatan respons spektrum desain yang dipetakan

I_e = faktor keutamaan gempa

R = faktor modifikasi respon

T = perioda fundamental struktur (detik)

2.10 Kombinasi Pembebanan pada Struktur

Kombinasi pembebanan yang diterapkan pada struktur harus dirancang sedemikian rupa agar kekuatan rencana struktur dapat melebihi pengaruh dari beban terfaktor. Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 4.2.2, kombinasi beban-beban terfaktor antara lain:

1. $1.4D$
2. $1.2D + 1.6L + 0.5L_r$
3. $1.2D + 1.6L_r + 1.0L$
4. $1.2D + 1.0L + 0.5L_r$
5. $0.9D$
6. $1.2D + 1.0E_v + 1.0E_h + 1.0L$
7. $0.9D - 1.0E_v + 1.0E_h$

Keterangan :

D : Beban mati yang terdiri dari beban sendiri struktur dan beban (SIDL)

L : Beban hidup (*Life Load*)

L_r : Beban hidup atap

E : Beban gempa

Jenis-jenis beban hidup tercantum pada SNI 1727, 2020 Pasal 4.3.1.

2.11 Simpangan Antar Lantai

Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ), tidak boleh melebihi simpangan antar lantai izin (Δ_a) yang ditentukan berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.12.1. Simpangan antar lantai dijabarkan pada SNI 1726-2019 Pasal 7.8.6.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan :

δ_x = simpangan pusat massa di tingkat-X

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral dalam tabel 12 SNI 1726-2019

δ_{xe} = simpangan di tingkat-X

I_e = faktor keutamaan gempa

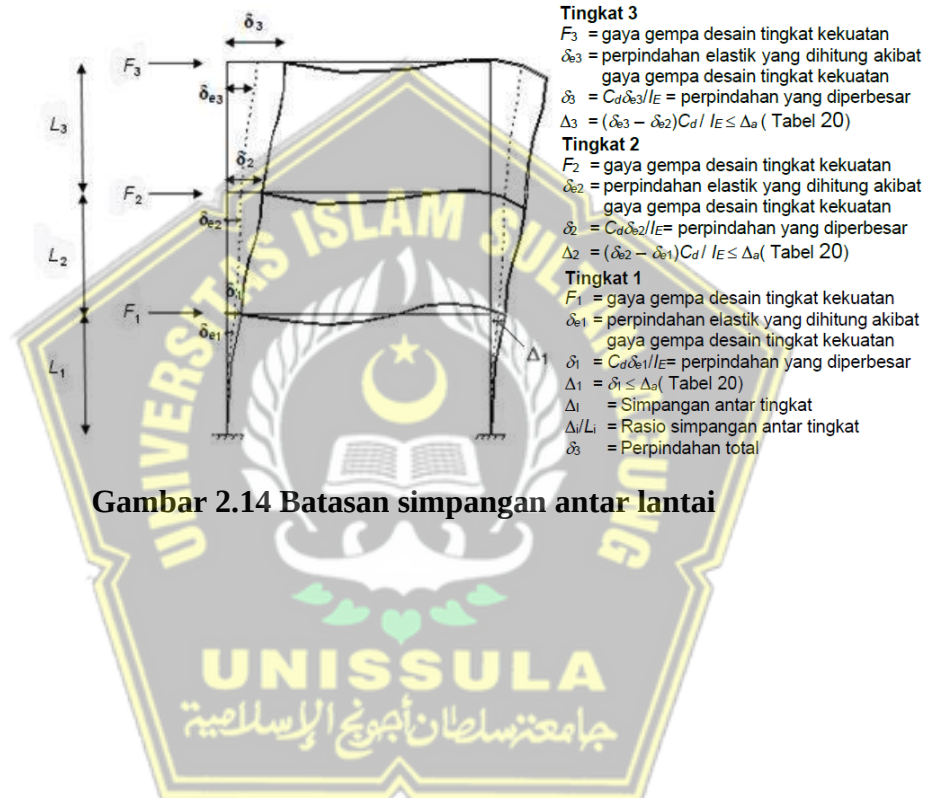
SNI 1726-2019 Pasal 7.12.1, simpangan antar lantai izin (Δ_a), ditentukan dengan rumus yang ditunjukkan dalam pada Tabel 2.12 :

Tabel 2.12 Simpangan Antar Lantai Izin (Δa)
(SNI 1726-2019 Pasal 7.12.1)

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Keterangan :

h_{sx} = tinggi antar lantai



Gambar 2.14 Batasan simpangan antar lantai

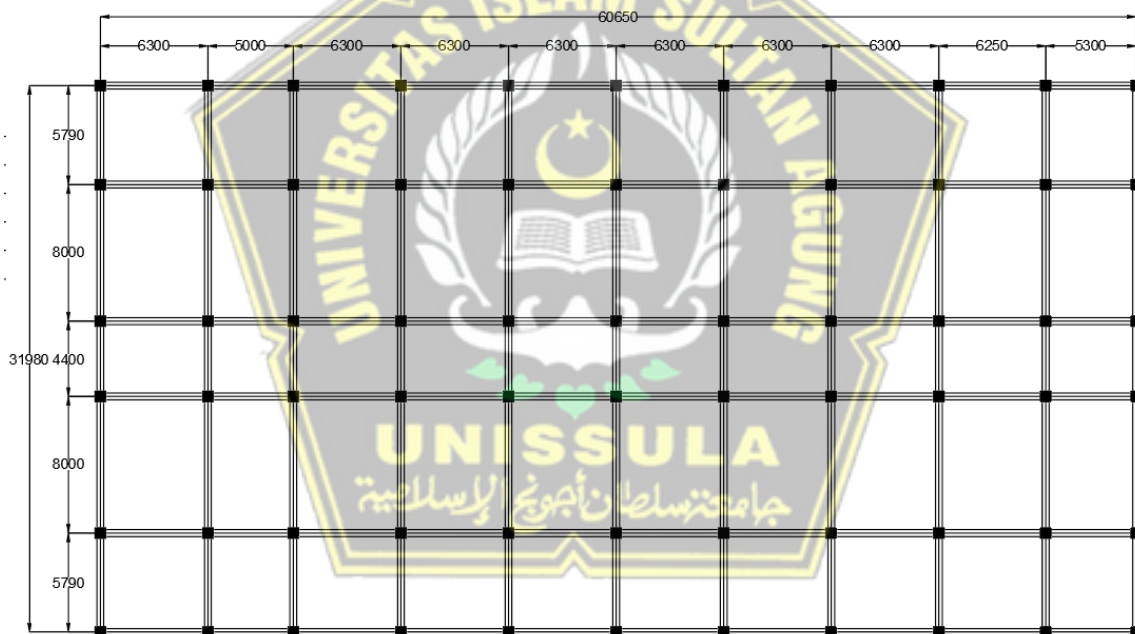
BAB III METODE ANALISIS

3.1 Data Analisis Dibutuhkan

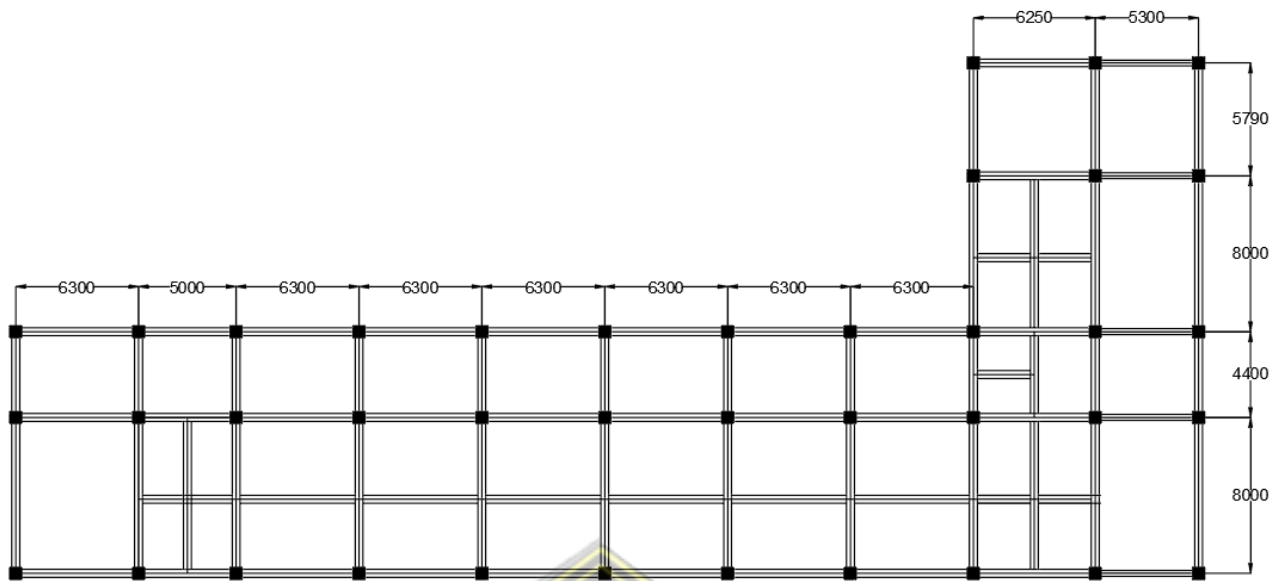
Untuk memodelkan Struktur Gedung Konvensional dan Struktur Gedung menggunakan Sistem Isolasi *High Damper Rubber Bearing (HDRB)* dengan Analisis Dinamik *Time History* dalam Tesis ini maka diperlukan data-data sebagai berikut.

3.1.1 Diskripsi Umum Bangunan

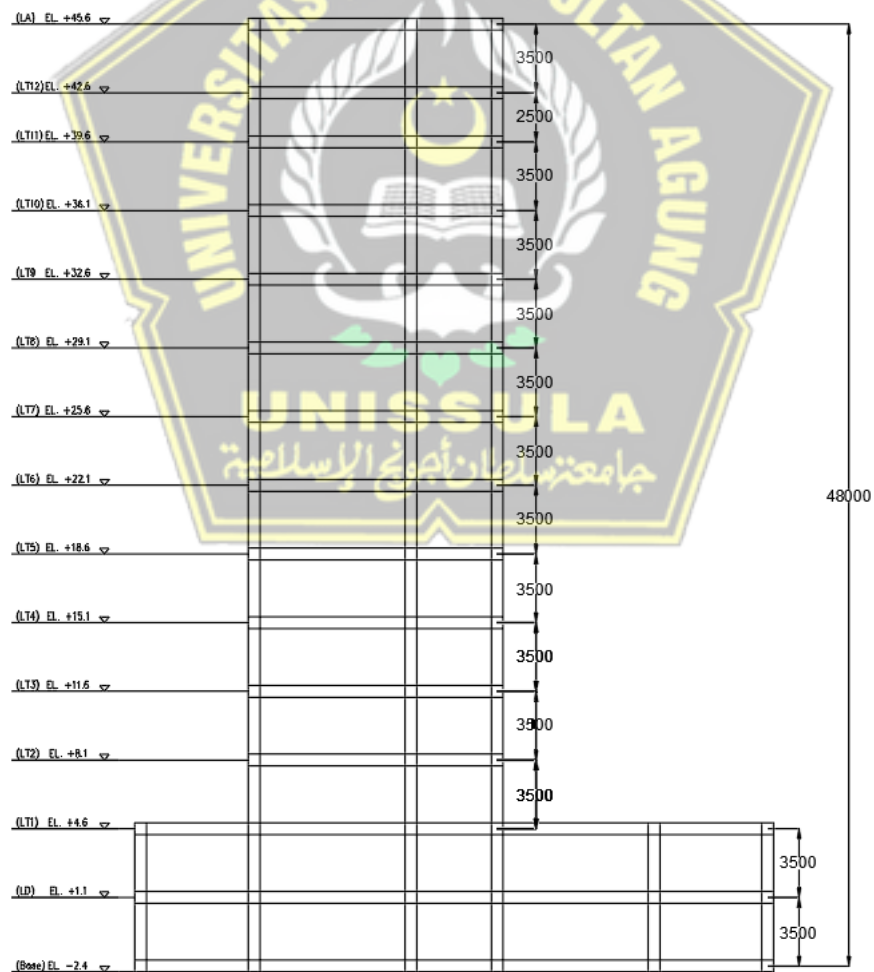
Data ini berisi informasi bangunan yang akan dianalisis, antara lain : Gedung yang akan dianalisis terletak di Pulau Sumatra, berupa Apartemen dengan 13 lantai memiliki tinggi total 48 meter dari atas permukaan tanah. Rencana pada analisis ini akan menggunakan *High Dumper Rubber Bearing (HDRB)* pada setiap lantai.



Gambar 3.1 Denah Lantai Dasar dan Lantai 1



Gambar 3.2 Denah Lantai 2 - Lantai Atap



Gambar 3.3 Potongan Melintang Struktur Gedung

3.1.2 Data Struktur Bangunan

Pada analisis Tesis ini menggunakan Program Etabs v.20 dengan bahan beton bertulang berkekuatan 40 MPa, baja tulangan polos berkekuatan 320 MPa untuk diameter tulangan kurang atau sama dengan 12 mm dan baja tulangan ulir berkekuatan 400 MPa untuk tulangan berdiameter lebih dari 12 mm.

3.1.3 Dimensi Struktur

Dalam suatu gedung tersusun atas beberapa bagian yang memiliki fungsi untuk menopang agar gedung tersebut tetap berdiri dengan kokoh. Bagian ini disebut bagian struktur gedung. Adapun bagian yang menjadi struktur gedung dalam Tesis ini yaitu kolom, balok dan pelat. Dengan dimensi kolom dan balok yang digunakan yaitu :

Tabel 3.1 Dimensi Elemen Struktur Kolom

KOLOM	
Tipe	Dimensi (cm)
K	60/60

Tabel 3.2 Dimensi Elemen Struktur Plat

PLAT	
Tipe	Dimensi (cm)
Plat Lantai	12
Plat Atap	10

Tabel 3.3 Dimensi Elemen Struktur Balok

BALOK	
Tipe	Dimensi (cm)
TB	40/70
B1	60/70
B1A	30/40
B2	40/60
B3	30/40
B4L	30/40
B4M	30/40

3.1.4 Data Kelas Situs Tanah

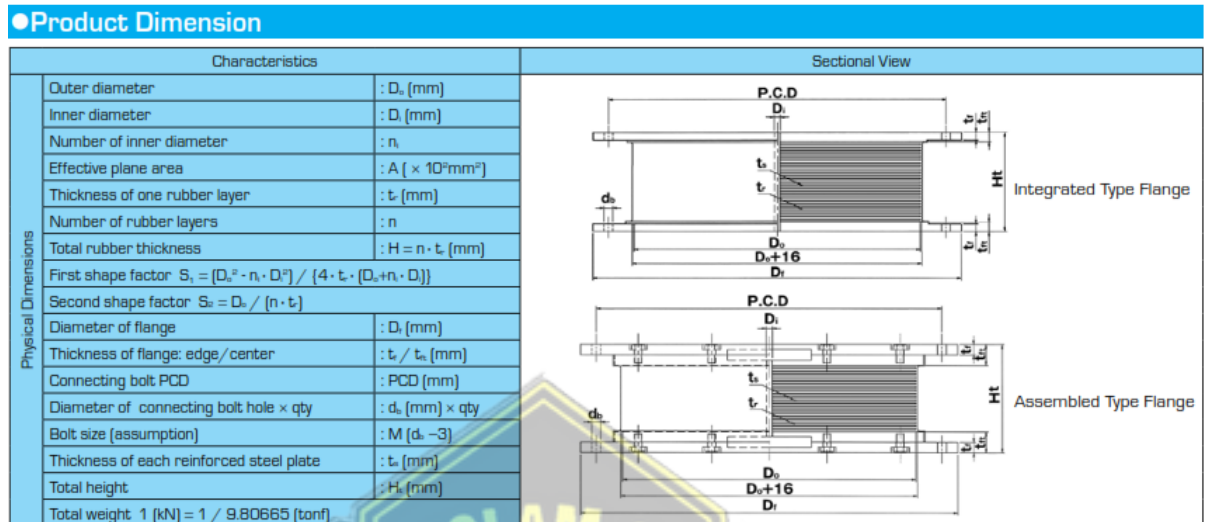
Menurut peraturan gempa SNI 1726 2012 data kelas situs tanah ini diperoleh dari data hasil uji kekuatan tanah yaitu Uji Tahanan Penetrasi Standar (N-SPT). Bila (N-SPT) lebih besar dari 50 maka tanah termasuk dalam klasifikasi situs Tanah Keras (SC), bila (N-SPT) lebih besar dari atau sama dengan 15 dan kurang dari atau sama dengan 50, maka tanah termasuk dalam klasifikasi situs Tanah Sedang (SD), dan bila (N-SPT) kurang dari 15 maka tanah diklasifikasikan dalam kelas situs Tanah Lunak (SE).

Tabel 3.4 Data SPT Tanah

Kedalaman m	Jumlah Pukulan (Uji SPT)				Koreksi Pengaruh Energi N60	
	N1	N2	N3	Nm	CR	N60
0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	2	0.56	1
4	1	1	1	2	0.64	1
6	1	1	1	2	0.64	1
8	1	1	1	2	0.71	1
10	1	1	1	2	0.75	2
12	1	1	1	2	0.75	2
14	1	1	1	2	0.75	2
16	1	1	1	2	0.75	2
18	1	1	2	3	0.75	2
20	3	4	7	11	0.75	8
22	1	2	2	4	0.75	3
24	1	2	2	4	0.75	3
26	1	2	2	4	0.75	3
28	1	3	4	7	0.75	5
30	7	25	30	55	0.75	41
32	12	20	20	40	0.75	30
34	13	23	25	48	0.75	36
36	23	30	36	66	0.75	49
38	33	38	44	82	0.75	60
40	30	41	60	101	0.75	60
Rata-rata (N-SPT)						9.6

3.2 Jenis Sistem Isolasi Antar Tingkat

Jenis Sistem Isolasi Antar Tingkat yang digunakan pada Tesis ini adalah *High Damping Rubber Bearing*.



Gambar 3.4 Dimensi High Damping Rubber Bearing
(Catalog Bridgestone 2017)

Dari Katalog *Bridgestone* terdapat nilai *Shear Modulus* hasil pengujian seperti pada Tabel berikut :

Notation of rubber kind (standard temperature 20°C standard strain $\gamma = 100\%$)

Compound name	Rubber code	Shear modulus G_{90} (N/mm ²)	Equivalent damping ratio H_{eq}
X3R	X0.3R	0.300	0.17
X4S	X0.4S	0.392	0.24
X6R	X0.6R	0.620	0.24

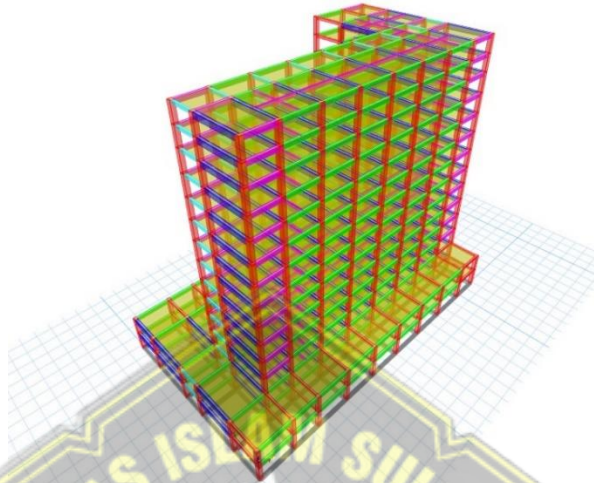
Item	Tensile strength (N/mm ²)	Elongation at Break (%)	Hardness (JIS A)	100% modulus (N/mm ²)	Young's modulus E (N/mm ²)	Bulk modulus E_v (N/mm ²)	Correction factor for apparent Young's modulus according to hardness, k
Test Standard	JIS K6251	JIS K6251	JIS K6253	JIS K6251	—	—	—
Inner Rubber	X0.3R	7 and above	700 and above	34 $\pm$ 8	0.53 $\pm$ 0.2	4.0	1150
	X0.4S	7 and above	840 and above	37 $\pm$ 8	0.43 $\pm$ 0.2	6.2	1300
	X0.6R	8.5 and above	780 and above	53 $\pm$ 5	0.73 $\pm$ 0.2	7.6	1500
Cover rubber	12 and above	600 and above	—	—	—	—	—

Gambar 3.5 Properti dan Parameter High Damping Rubber Bearing

3.3 Langkah-Langkah Analisis

3.3.1 Pemodelan dengan Software ETABS Versi 20

Struktur gedung yang dianalisis merupakan struktur rangka beton bertulang dengan jumlah lantai sebanyak 14 lantai. Model struktur gedung tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Gambar Model Struktur yang di Analisis di ETABS Versi 20

3.3.2 Penginputan Beban pada Software ETABS

Untuk penginputan berat struktur sendiri tidak perlu diinput karena telah dihitung oleh Program Etabs secara otomatis. Beban lainnya di-input manual seperti dibawah ini :

a. Berat Sendiri Tambahan (*Super Imposed Dead Load*)

- Berat sendiri tambahan pada **Pelat Atap**
 - *Ducting Mekanikal* : **0,19 kN/m²** (ASCE 7-2002 Table C3-1, *Mechanical Duct Allowance*)
 - *Lapisan Waterproofing*: **0,05 kN/m²** (ASCE 7-2002 Table C3-1, *Waterproofing Membranes Liquid Applied*)
 - *Beban Penggantung Langit-langit*: **0,10 kN/m²** (ASCE 7-2002 Table C3-1 , *Suspended Steel Channel System*)
 - *Beban Plafond* : **0,05 kN/m²** (ASCE 7-2002 Table C3-1, *Acoustical fiberboard*)

Total SIDL Pelat Atap : 0,39 kN/m²

- Berat sendiri tambahan pada **Plat Lantai**
 - *Ducting Mekanikal* : **0,19 kN/m²** (ASCE 7-2002 Table C3-1,

Mechanical Duct Allowance)

- *Beban Penggantung Langit-langit: 0,10 kN/m² (ASCE 7-2002 Table C3-1 , Suspended Steel Channel System)*
- *Beban Plafond : 0,05 kN/m² (ASCE 7-2002 Table C3-1, Acoustical fiberboard)*
- *Beban Keramik + Spesi : 1,10 kN/m² (ASCE 7-2002 Table C3-1, Ceramic, or quarry tile (19 mm) on 25 mm mortar bed)*

Total SIDL Pelat Lantai : 1,44 kN/m²

▪ **Berat Dinding**

- *Beban Dinding : 0,24 kN/m² (SNI 1727:2020 Pasal 1.4.4)*
 - Tinggi dinding = 3,5 m
 - *Beban dinding = 3,5 x 0,24 = 0,84 kN/m*

Tabel 3.5 Beban Rencana

Jenis	Beban
Berat Sendiri (DL)	2400 kg/m ³
Beban Mati Tambahan (SIDL) Atap	0,39 kN/m ²
Beban Mati Tambahan (SIDL) Lantai	1,44 kN/m ²
Beban Hidup (LL)	5,48 kN/m ²
Berat Dinding	0,84 kN/m

b. Berat Hidup (*Live Load*)

- Berat Hidup pada **Pelat Atap**
 - *Beban hidup atap datar : 0,96 kN/m² (SNI 1727:2020 tabel 4.3-1)*
- Berat Hidup pada **Plat Lantai (*Lantai Base – Lantai Atap*)**
 - *Beban lantai kantor : 4,76 kN/m² (SNI 1727:2020 tabel 4.3-1)*
 - *Beban Partisi : 0,72 kN/m² (SNI 1727:2020 tabel 4.3-1)*

Total LL Plat Lantai : 5,48 kN/m²

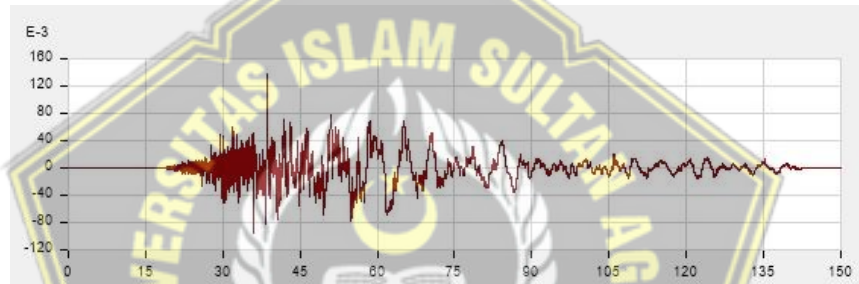
c. Beban Gempa

Analisis *Time History* pada analisis ini menggunakan 6 jenis gempa yaitu *Chi-Chi, Hector Mine, Imperial Valley, Kern County, Kobe Japan, Kocaeli Turkey*.

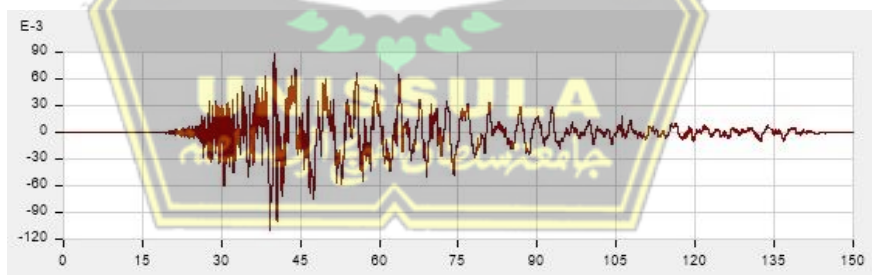
Tabel 3.6 Beban Gempa Riwayat Waktu

No	Earthquake Name	Year	Station Name	Magnitude
1	"Chi-Chi_ Taiwan"	1999	"CHY002"	7.62
2	"Hector Mine"	1999	"Indio - Coachella Canal"	7.13
3	"Imperial Valley-01"	1938	"El Centro Array #9"	5.0
4	"Kern County"	1952	"LA - Hollywood Stor FF"	7.36
5	"Kobe_ Japan"	1995	"Abeno"	6.9
6	"Kocaeli_ Turkey"	1999	"Hava Alani"	7.51

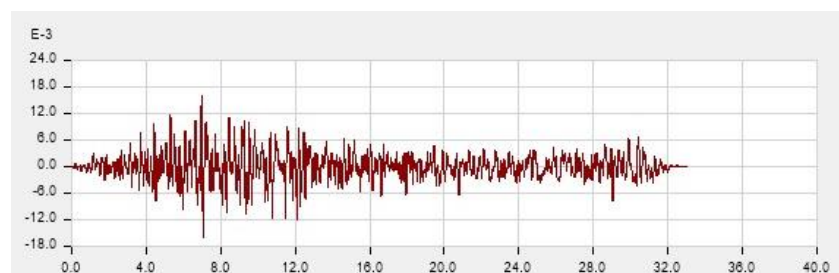
Analisis Beban gempa riwayat waktu yang didapatkan dari <http://peer.berkeley.edu/>. Kemudian data dimasukkan pada menu *Time History* yang tersedia di *Software ETABS*. Berikut gambar *Function Graph* hasil memasukkan data ke *Software ETABS*.



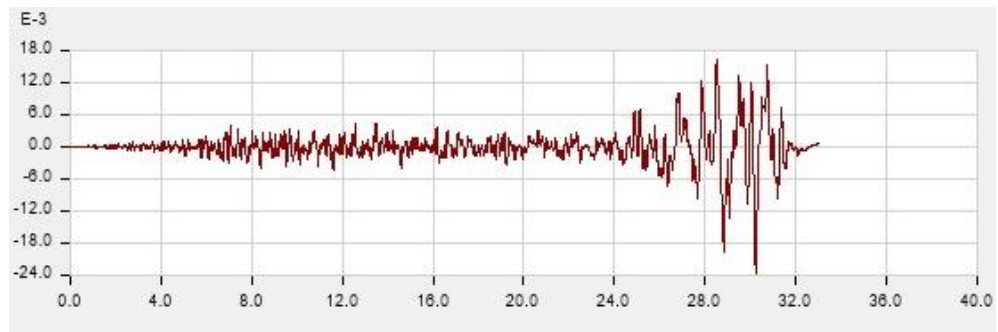
Gambar 3.7 Function Graph Chi-Chi X



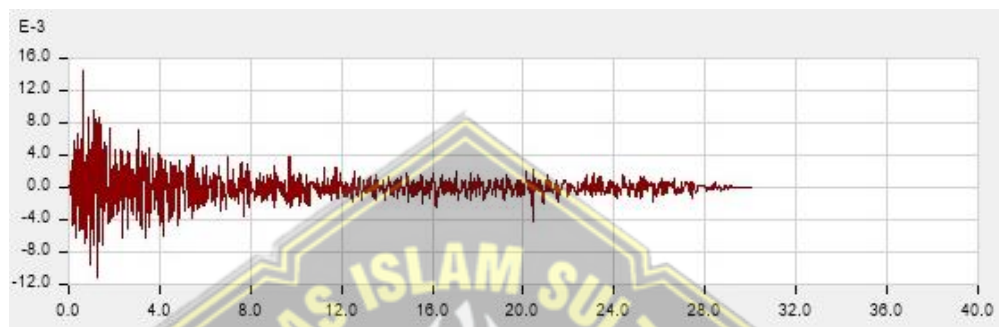
Gambar 3.8 Function Graph Chi-Chi Y



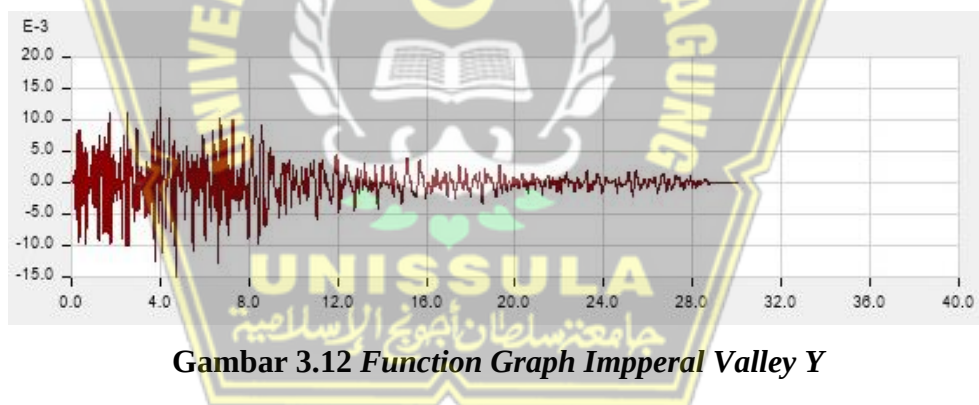
Gambar 3.9 Function Graph Hector X



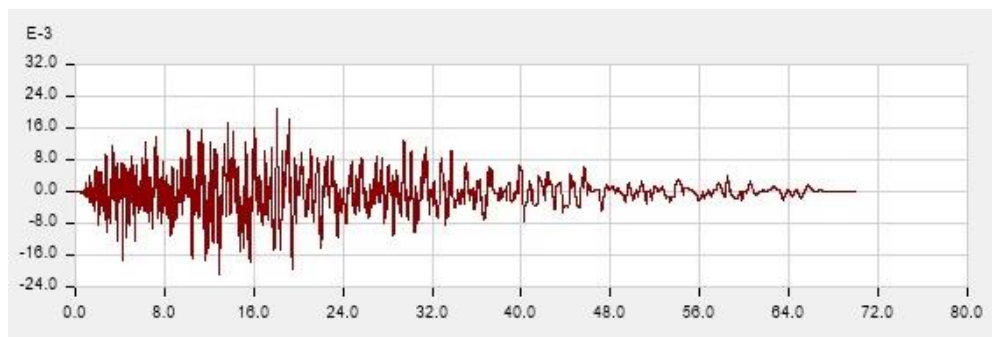
Gambar 3.10 *Function Graph Hector Y*



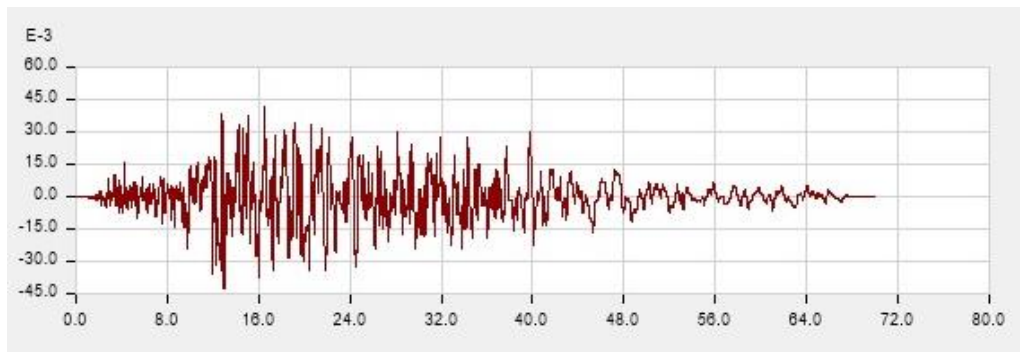
Gambar 3.11 *Function Graph Imperial Valley X*



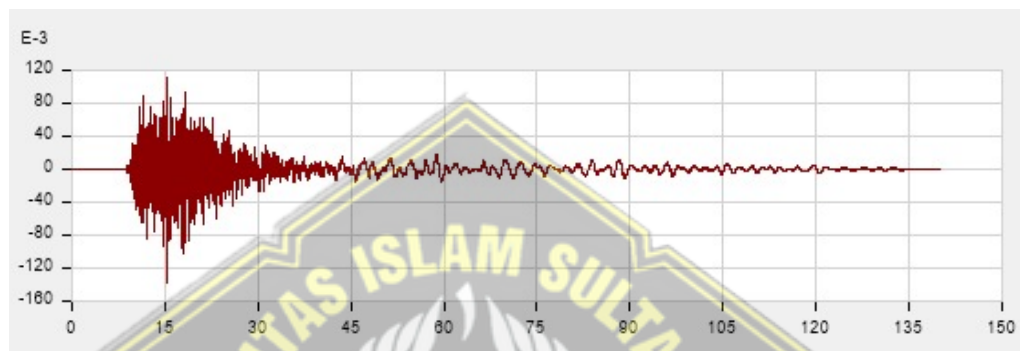
Gambar 3.12 *Function Graph Imperial Valley Y*



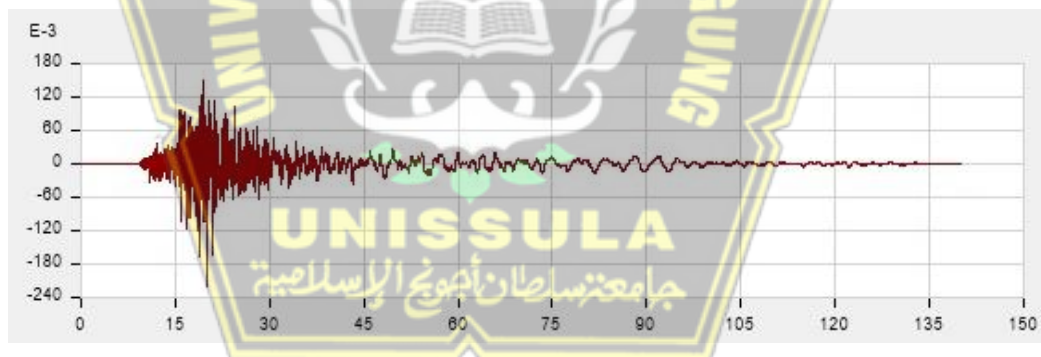
Gambar 3.13 *Function Graph Kern X*



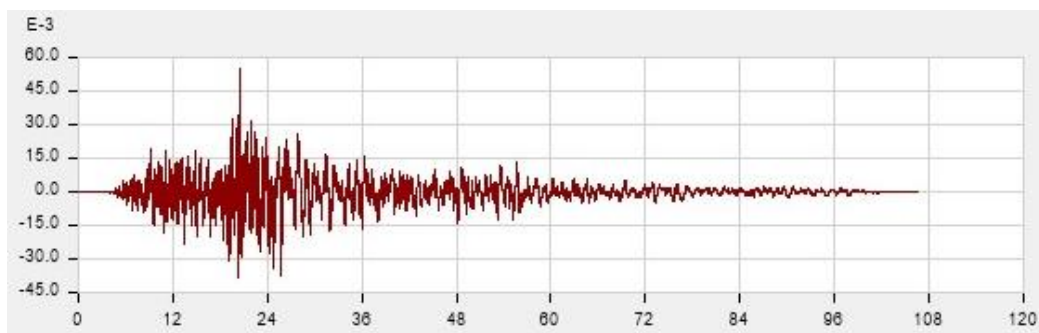
Gambar 3.14 Function Graph Kern Y



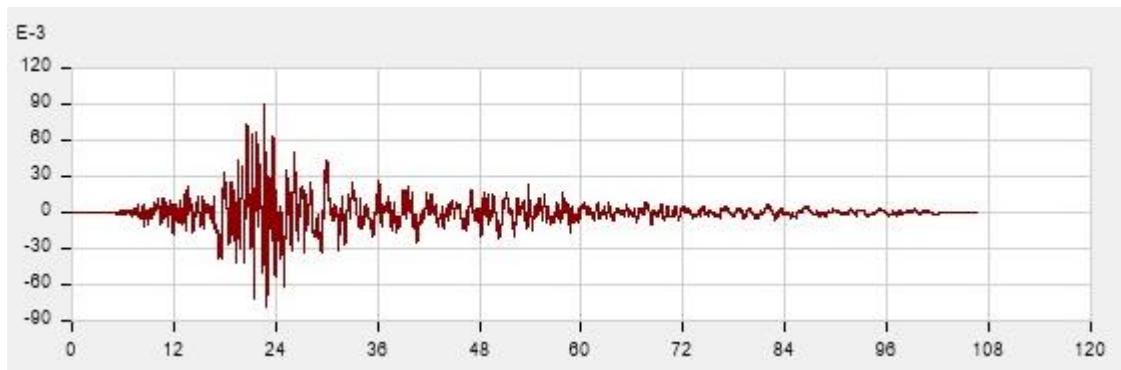
Gambar 3.15 Function Graph Kobe X



Gambar 3.16 Function Graph Kobe Y



Gambar 3.17 Function Graph Kocaeli X



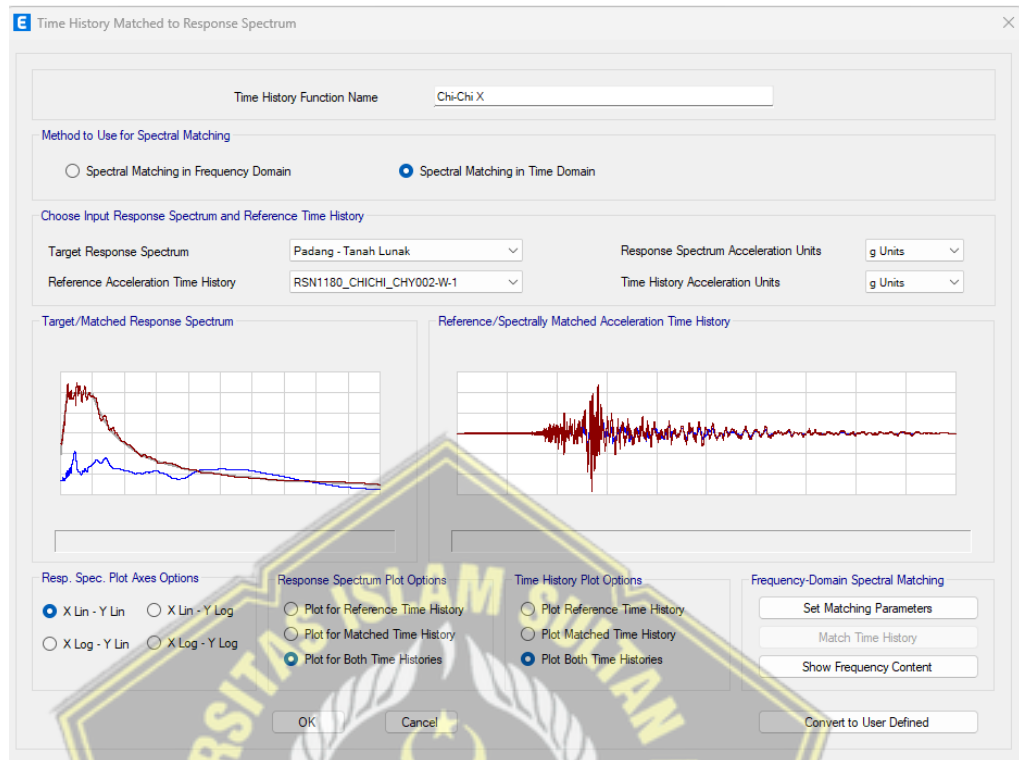
Gambar 3.18 Function Graph Kocaeli Y

Gempa Riwayat waktu perlu dicocokkan terlebih dahulu dengan respon spektra Kota Padang. Parameter gempa Kota Padang diambil dari <http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain Spektra Indonesia 2011/> dengan berdasarkan data Borlog yaitu tanah Lunak (SE). Berikut nilai parameter percepatan dan respon spektra yang didapatkan:

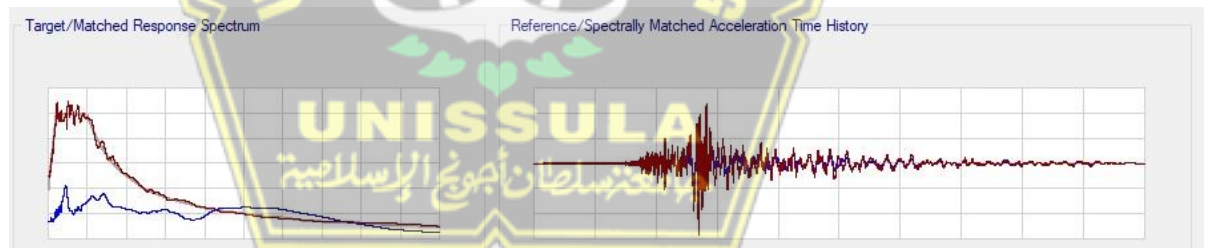


Gambar 3.19 Gambar Grafik Spectrum Respon Desain

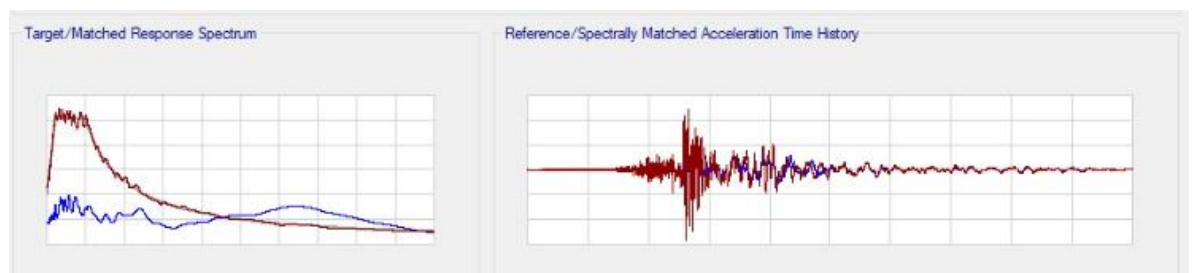
Pencocokan data gempa ke Respon Spektra dilakukan dengan bantuan program ETABS. Berikut salah satu grafik data hasil pencocokan :



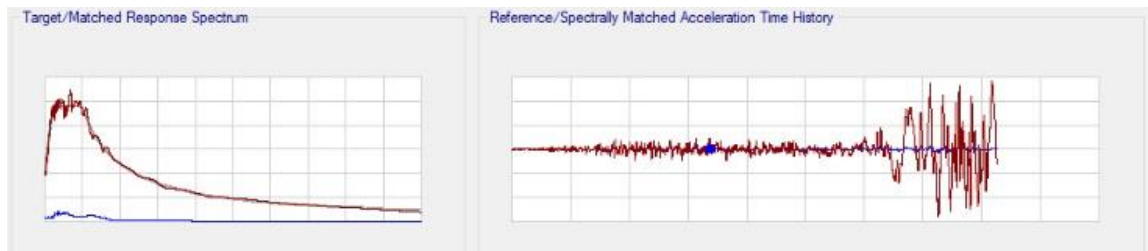
Gambar 3.20 *Gambar Spectral Matching in Time Domain*



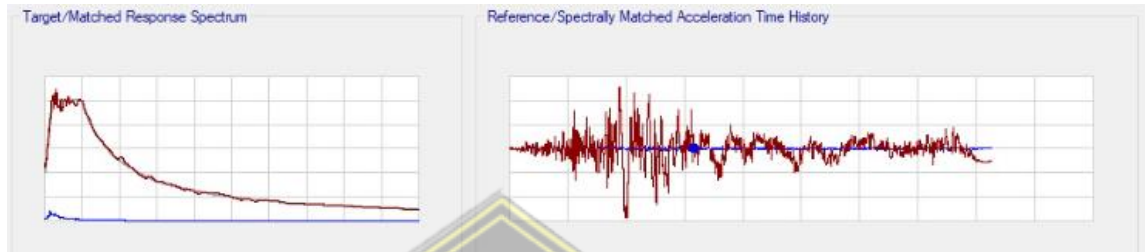
Gambar 3.21 *Spectral Matching in Time Domain Chi-Chi X*



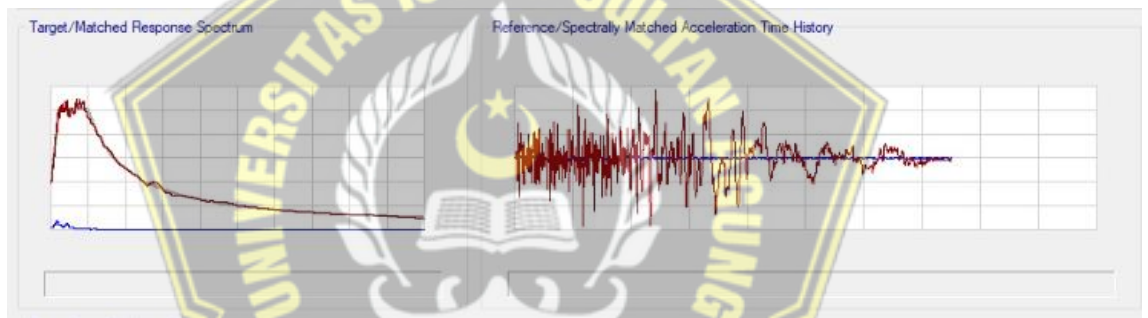
Gambar 3.22 *Spectral Matching in Time Domain Chi-Chi Y*



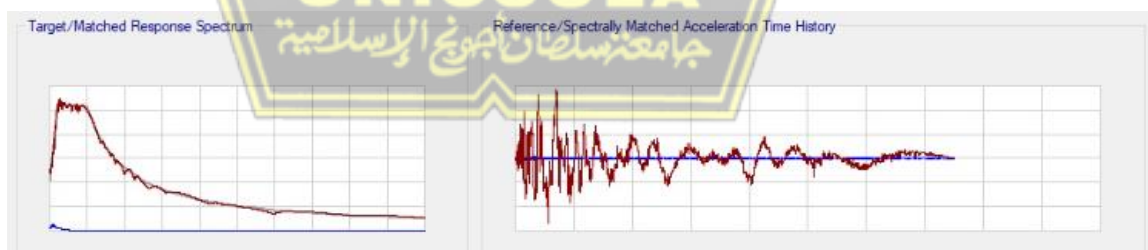
Gambar 3.23 Spectral Matching in Time Domain Hektor X



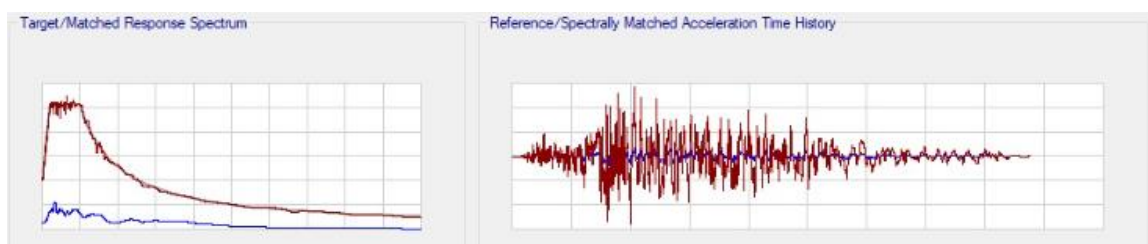
Gambar 3.24 Spectral Matching in Time Domain Hektor Y



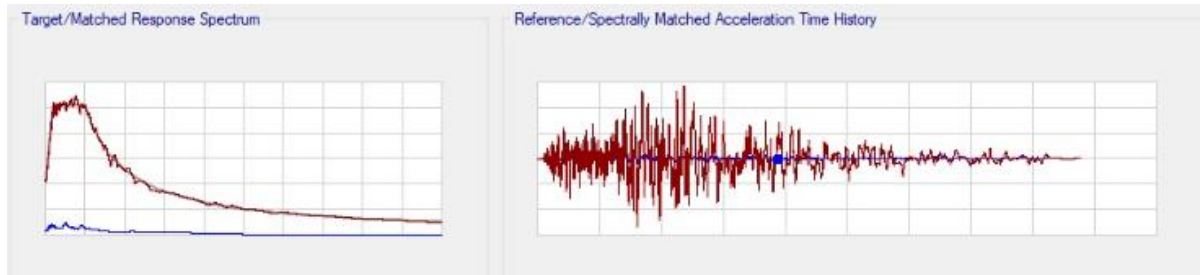
Gambar 3.25 Spectral Matching in Time Domain Imperial Valley X



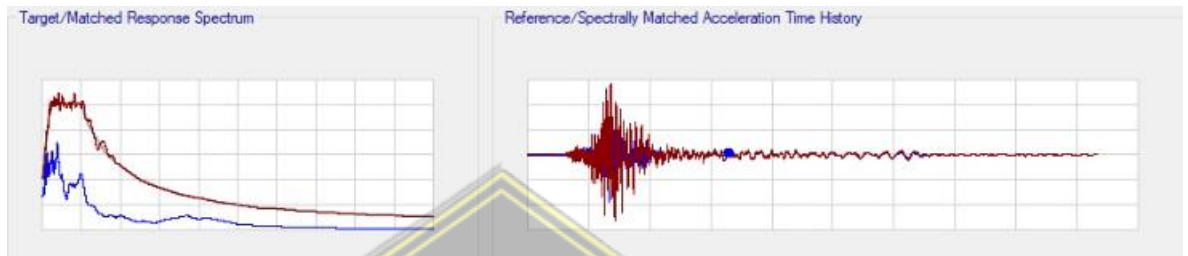
Gambar 3.26 Spectral Matching in Time Domain Imperial Valley Y



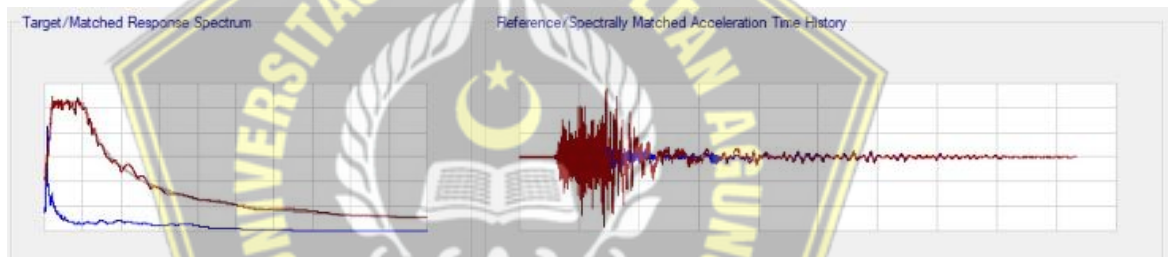
Gambar 3.27 Spectral Matching in Time Domain Kern X



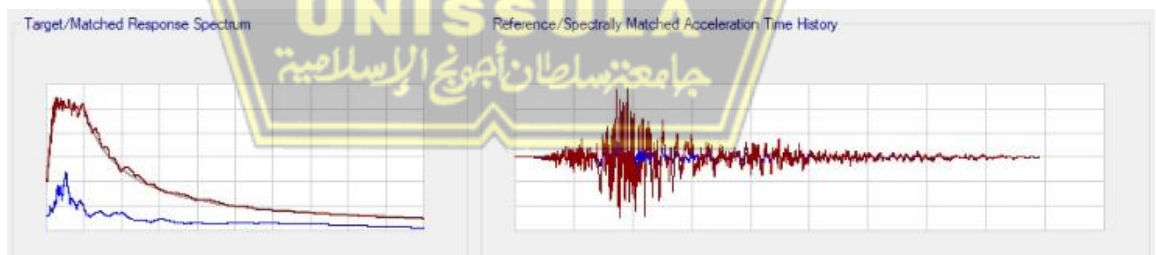
Gambar 3.28 Spectral Matching in Time Domain Kern Y



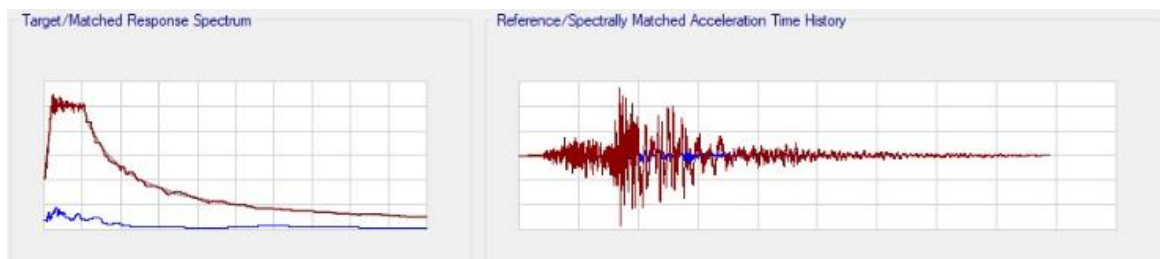
Gambar 3.29 Spectral Matching in Time Domain Kobe X



Gambar 3.30 Spectral Matching in Time Domain Kobe Y



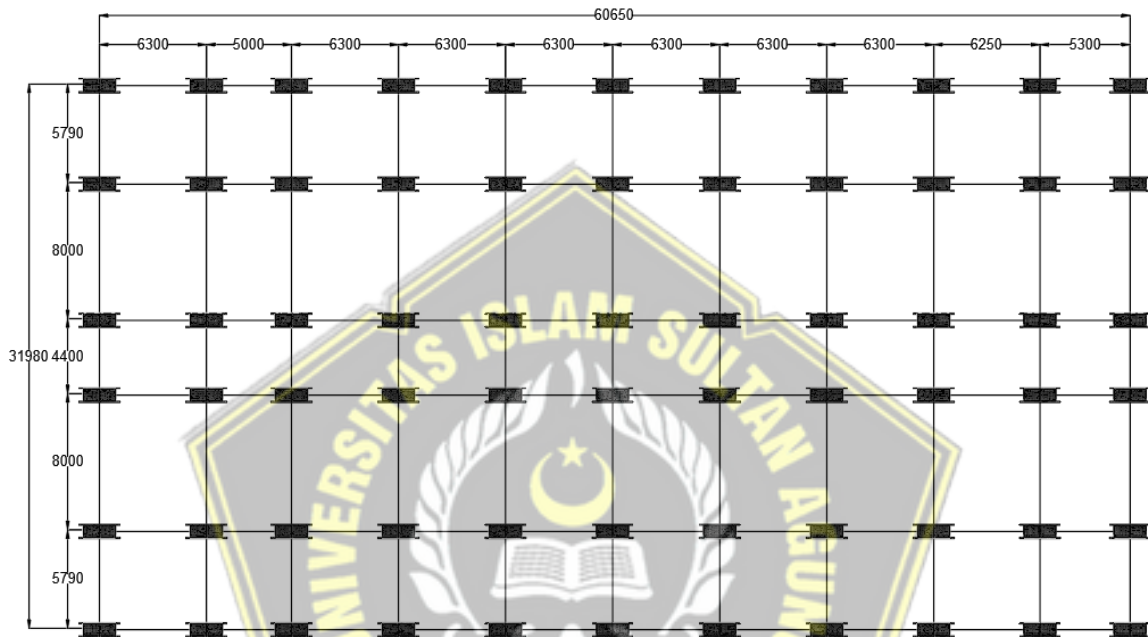
Gambar 3.31 Spectral Matching in Time Domain Kocaeli X



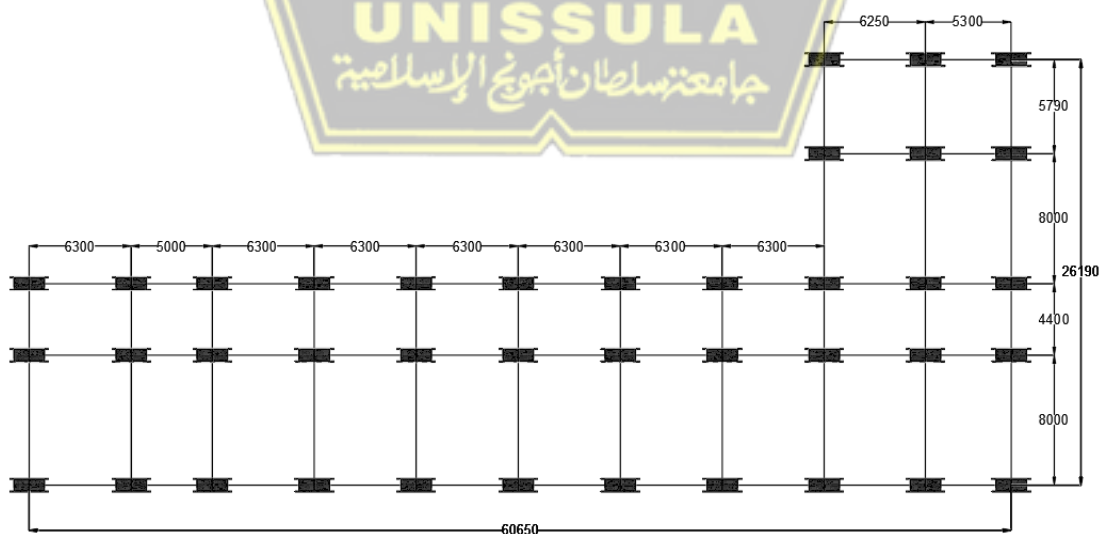
Gambar 3.32 Spectral Matching in Time Domain Kocaeli Y

3.3.3 Pemodelan Isolasi pada Setiap Lantai

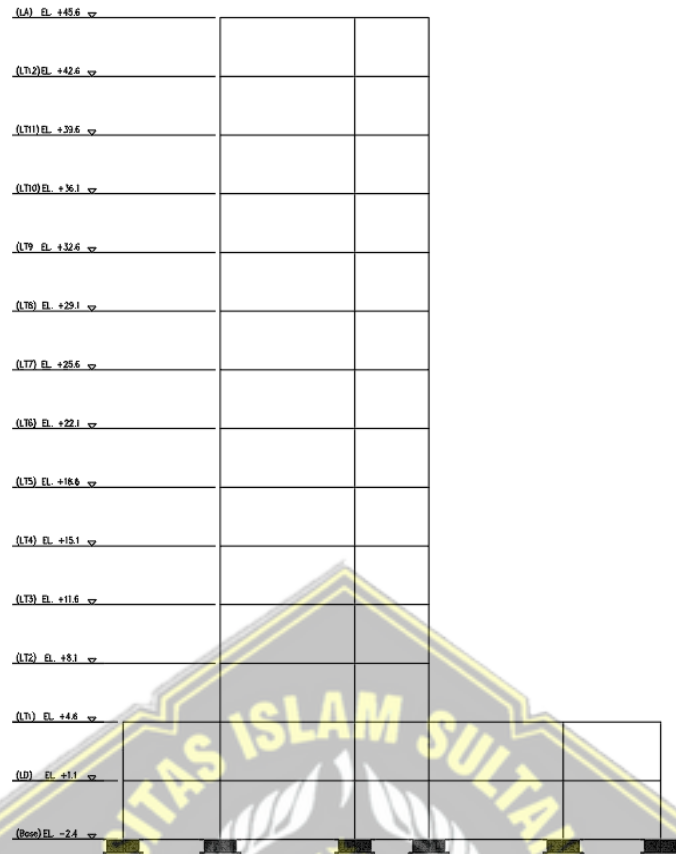
Bangunan gedung Tesis ini merupakan bangunan struktur rangka beton bertulang menggunakan High Dumper Rubber Bearing pada sistem isolasi antar tingkatnya dengan jumlah lantai sebanyak 13 lantai, gedung ini akan dievaluasi dengan 15 model yaitu, 1 Model tanpa sistem isolasi *High Dumper Rubber Bearing* dan 14 model dengan penempatan *High Dumper Rubber Bearing* yang berbeda pada setiap lantai. Bentuk - bentuk modelnya dapat dilihat sebagai berikut :



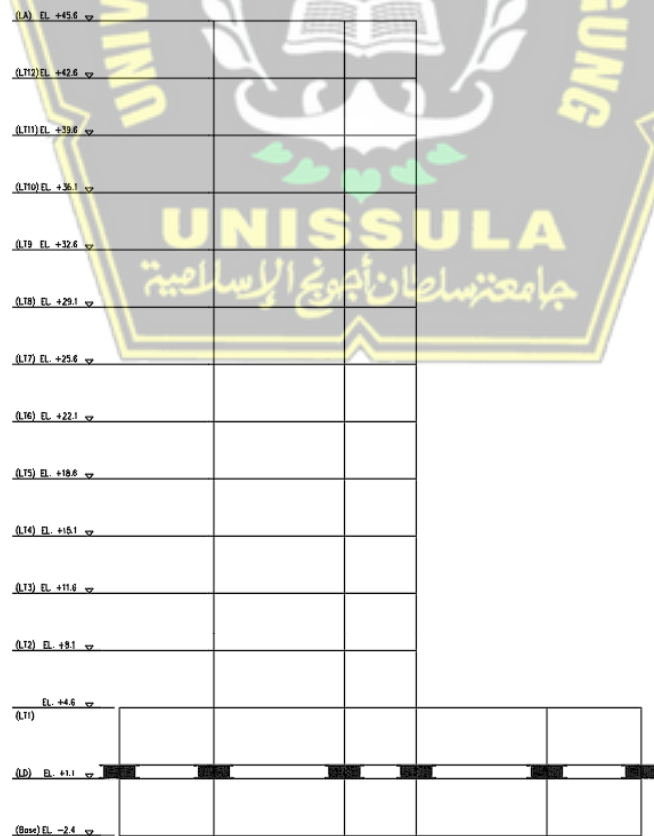
Gambar 3.33 Tampak Atas Lantai Dasar dan Lantai 1



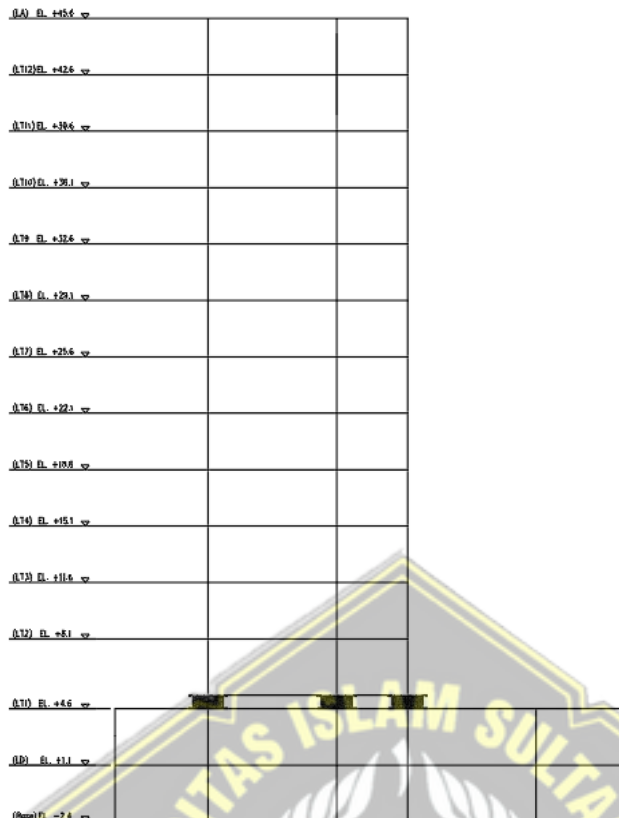
Gambar 3.34 Tampak Atas Lantai 2 – Lantai Atap



Gambar 3.35 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai Dasar



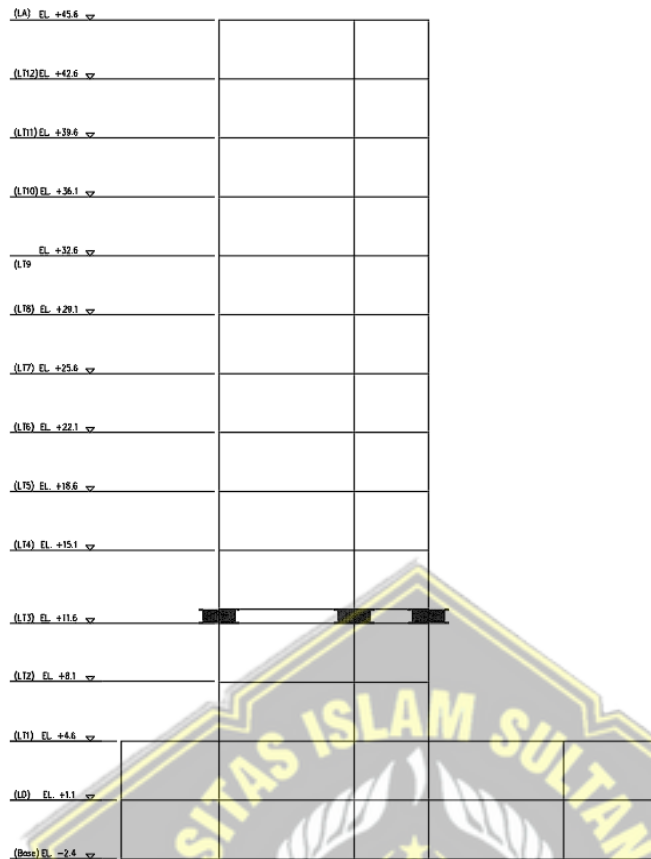
Gambar 3.36 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 1



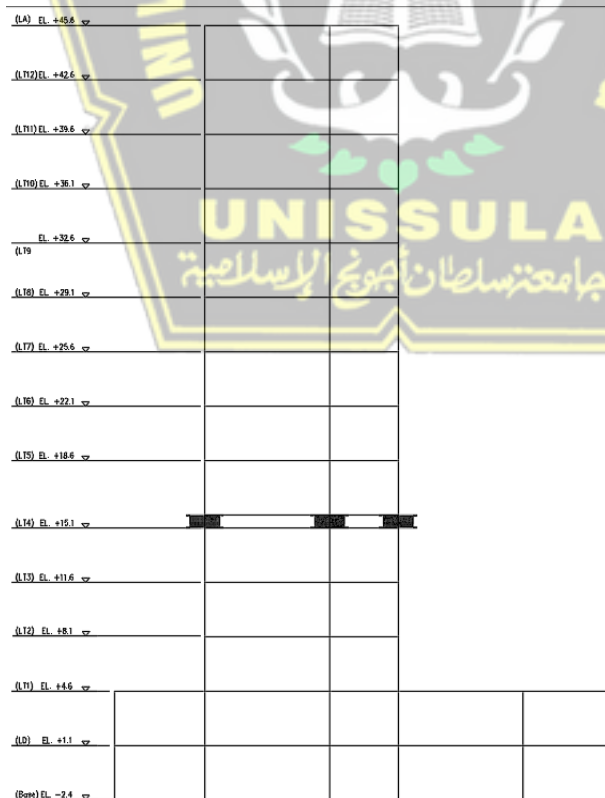
Gambar 3.37 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 2



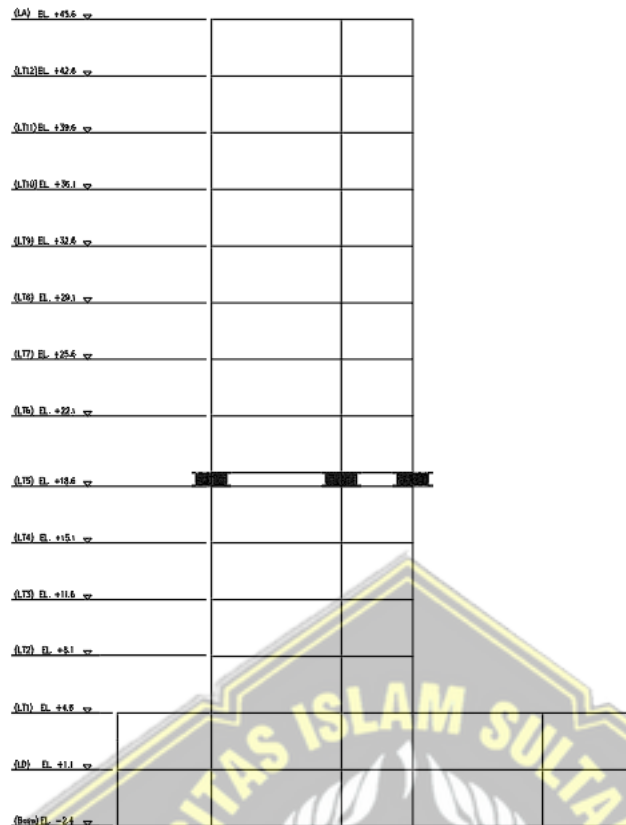
Gambar 3.38 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 3



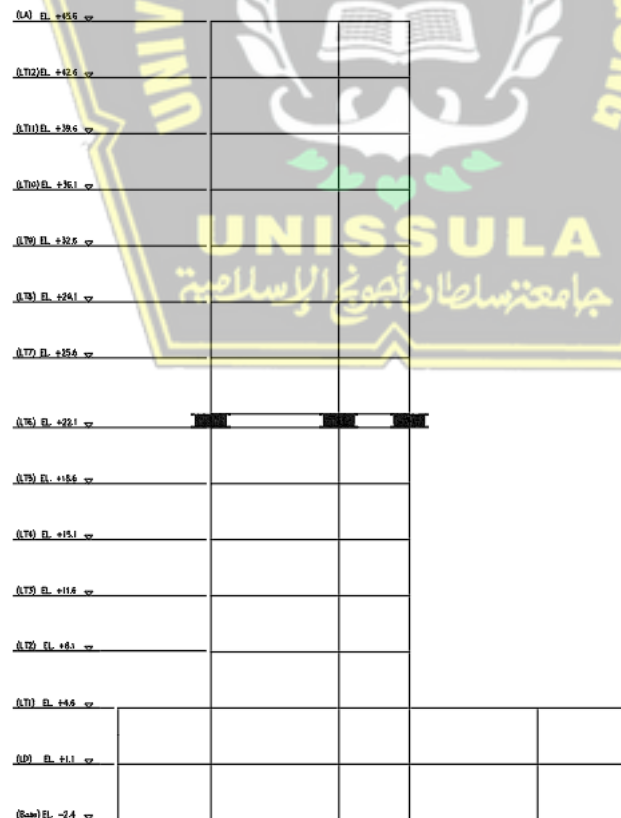
Gambar 3.39 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 4



Gambar 3.40 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 5



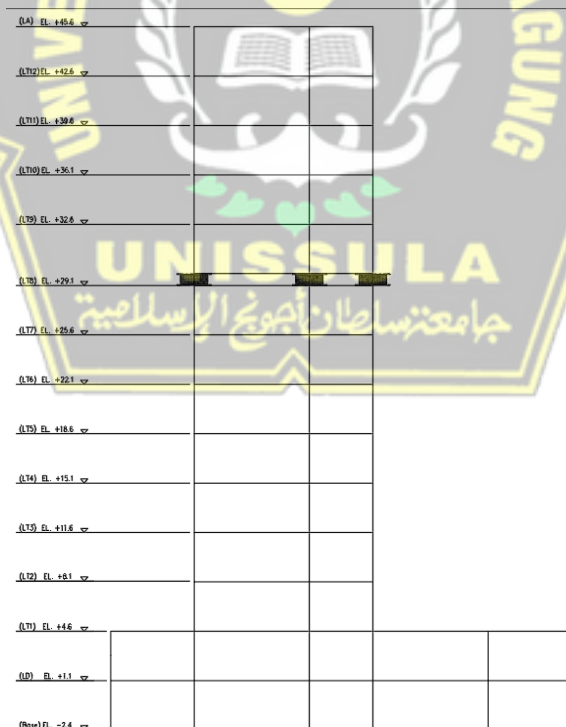
Gambar 3.41 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 6



Gambar 3.42 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 7



Gambar 3.43 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 8



Gambar 3.44 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 9

(A) EL. +45.6					
(A72) EL. +42.8					
(A71) EL. +39.6					
(A70) EL. +36.1					
(A70) EL. +32.6					
(A70) EL. +29.1					
(A77) EL. +25.6					
(A76) EL. +22.1					
(A75) EL. +18.6					
(A74) EL. +15.1					
(A73) EL. +11.6					
(A72) EL. +8.1					
(A71) EL. +4.6					
(A) EL. +1.1					
(B+1) EL. -2.4					

Gambar 3.45 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 10

(A) EL. +45.6					
(A72) EL. +42.8					
(A71) EL. +39.6					
(A70) EL. +36.1					
(A70) EL. +32.6					
(A70) EL. +29.1					
(A77) EL. +25.6					
(A76) EL. +22.1					
(A75) EL. +18.6					
(A74) EL. +15.1					
(A73) EL. +11.6					
(A72) EL. +8.1					
(A71) EL. +4.6					
(A) EL. +1.1					
(B+1) EL. -2.4					

Gambar 3.46 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 11

0.4) El. +45.6				
0.122) El. +42.8				
0.111) El. +39.8				
0.110) El. +36.1				
0.79) El. +32.8				
0.78) El. +28.1				
0.77) El. +25.8				
0.76) El. +22.1				
0.75) El. +18.6				
0.74) El. +15.1				
0.73) El. +11.6				
0.72) El. +8.1				
0.71) El. +4.6				
0.0) El. +1.1				
0.000) El. -2.4				

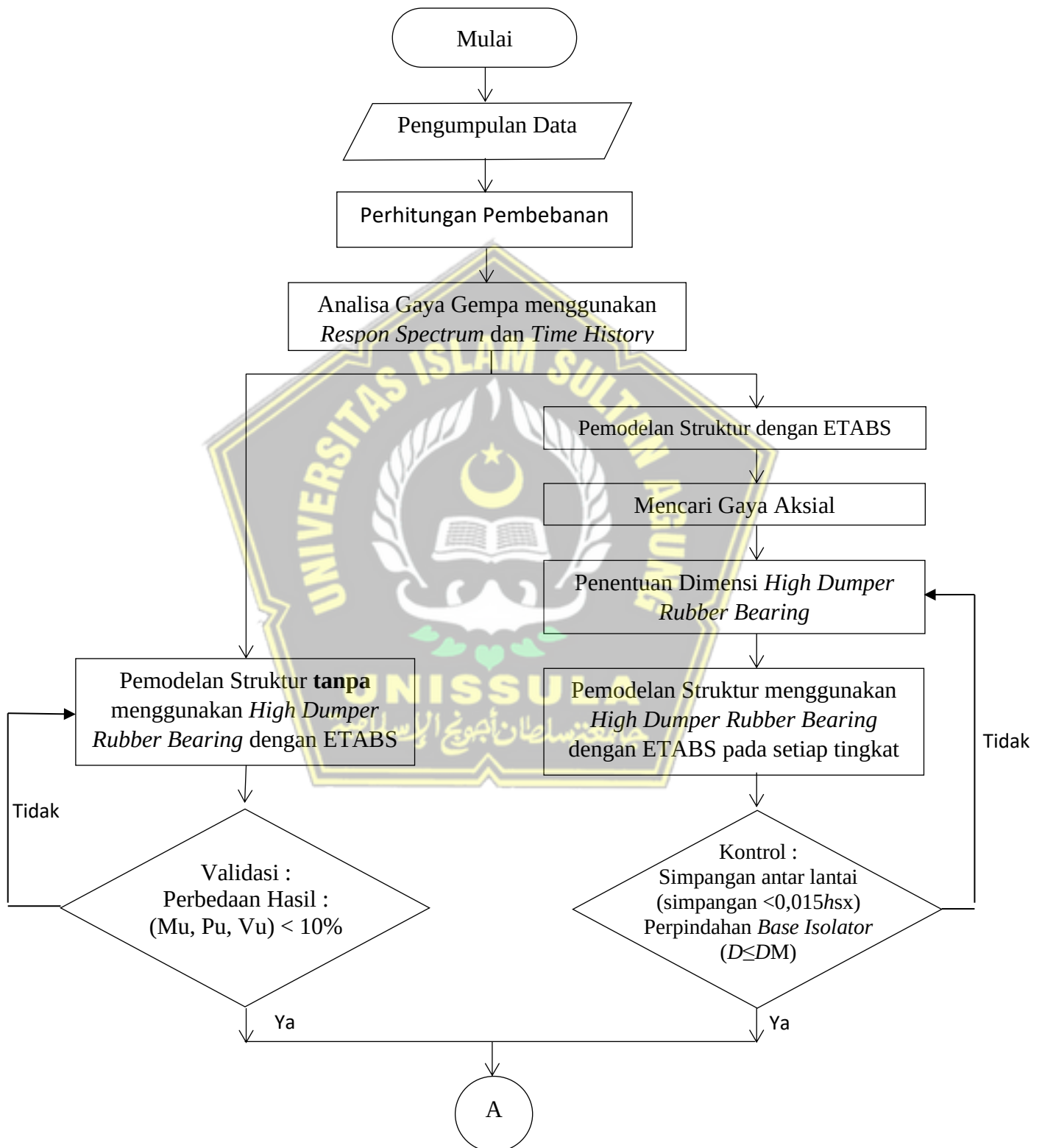
Gambar 3.47 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 12

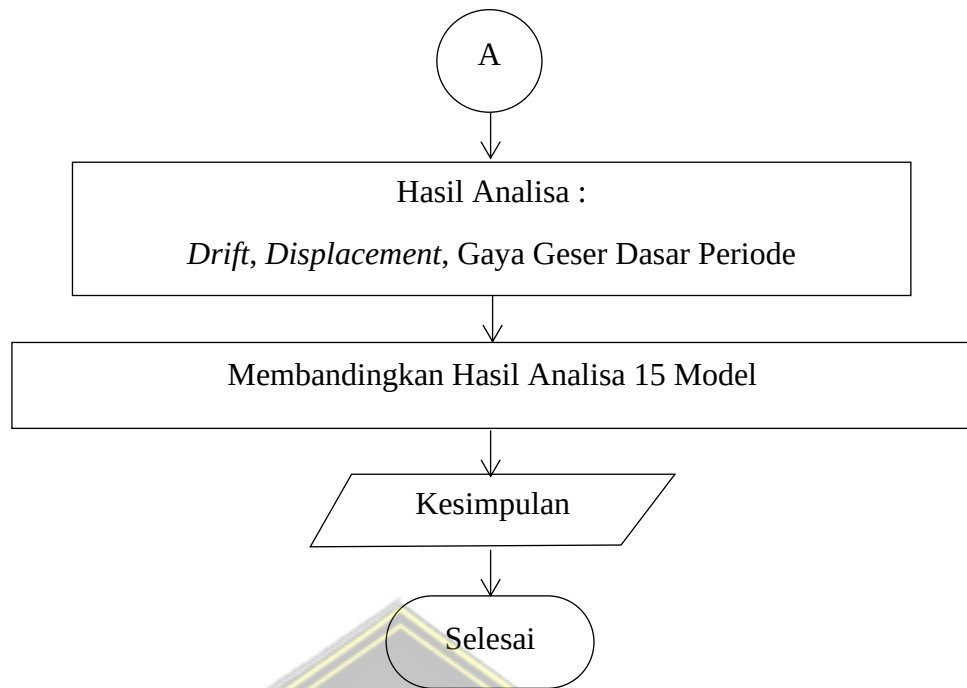
0.4) El. +45.6				
0.122) El. +42.8				
0.111) El. +39.8				
0.110) El. +36.1				
0.79) El. +32.8				
0.78) El. +28.1				
0.77) El. +25.8				
0.76) El. +22.1				
0.75) El. +18.6				
0.74) El. +15.1				
0.73) El. +11.6				
0.72) El. +8.1				
0.71) El. +4.6				
0.0) El. +1.1				
0.000) El. -2.4				

Gambar 3.48 Gambar Potongan Penambahan Isolasi di Lantai 13

3.4 Diagram Alir Analisis

Bagan alir merupakan bagan yang berfungsi untuk menggambarkan dan memuat urutan rangkaian prosedur pelaksanaan analisis. Prosedur studi dirangkum ke dalam diagram alir Analisis yang dapat dilihat pada Gambar 3.23





Gambar 3.49 Diagram Alir Analisis

3.5 Metode Analisis Hasil

Bila data yang diperlukan telah lengkap maka langkah berikutnya yaitu memodelkan gambar gedung dan menginput semua data yang diperlukan, baik itu data dimensi struktur maupun pembebanan gedung ke dalam Etabs, kemudian model dianalisis. Tahap selanjutnya yaitu mengolah hasil analisis dari ke 14 permodelan gedung yang telah dimodelkan, berupa *displacement*, simpangan antar lantai, dan Level Kinerja Struktur

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Menentukan Kontrol Simpangan Antar Lantai Struktur Gedung Konvensional

Simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a). Nilai antar tingkat simpangan izin didapatkan dari Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Batas Simpangan Antar Lantai
(SNI 1726-2019 Pasal 7.12.1)

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	0,025 h_{sx} ^c	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}
Semua struktur lainnya	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}	0,010 h_{sx}

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1.1 batas simpangan antar lantai rencana tidak boleh melebihi simpangan antar lantai maksimum yaitu 0,025. h_x .

$$\Delta a = \frac{0,025.h_x}{p} \dots\dots\dots (4.1)$$

Keterangan :

Δa = simpangan antar lantai izin

h_x = tinggi lantai

p = faktor redundansi (1,0) SNI 1726:2019 Pasal 7.3.4.1

Defleksi pusat massa di Tingkat X dan berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.12.3, ditentukan dengan rumus berikut :

$$\delta x = \frac{Cd.\delta x_e}{I_e} \dots\dots\dots (4.2)$$

Keterangan :

Cd = Faktor pembesaran defleksi (5,5).

δx_e = Defleksi pada Lantai X ditentukan dengan analisis elastis.

I_e = Faktor keutamaan (1,0).

Berikut ini adalah kontrol simpangan antar lantai pada setiap lantai struktur akibat gempa Arah X dan Arah Y.

Tabel 4.2 Kontrol simpangan Arah X pada struktur *Fixed Base*

Keterangan	h_x (mm)	p	δ_{xe} (mm)	C_d	I_e	Δa (mm)	δ_x (mm)	$\Delta = \delta_{xa} - \delta_{xb}$ (mm)	$\Delta a/p$ (mm)	$\Delta > \Delta a/p$
Lantai Dasar	0	1	0.000	5.5	1	-	0	-	-	-
Lantai 1	3500	1	0.363	5.5	1	87.5	1.994	1.994	87.5	OKE
Lantai 2	3500	1	1.060	5.5	1	87.5	5.832	3.838	87.5	OKE
Lantai 3	3500	1	2.117	5.5	1	87.5	11.643	5.811	87.5	OKE
Lantai 4	3500	1	3.315	5.5	1	87.5	18.232	6.589	87.5	OKE
Lantai 5	3500	1	4.501	5.5	1	87.5	24.758	6.526	87.5	OKE
Lantai 6	3500	1	5.623	5.5	1	87.5	30.924	6.166	87.5	OKE
Lantai 7	3500	1	6.658	5.5	1	87.5	36.618	5.694	87.5	OKE
Lantai 8	3500	1	7.599	5.5	1	87.5	41.792	5.174	87.5	OKE
Lantai 9	3500	1	8.438	5.5	1	87.5	46.411	4.619	87.5	OKE
Lantai 10	3500	1	9.169	5.5	1	87.5	50.428	4.017	87.5	OKE
Lantai 11	3500	1	9.777	5.5	1	87.5	53.775	3.347	87.5	OKE
Lantai 12	3500	1	10.246	5.5	1	87.5	56.353	2.578	87.5	OKE
Lantai 13	3500	1	10.519	5.5	1	87.5	57.856	1.503	87.5	OKE
Lantai Atap	3500	1	10.701	5.5	1	87.5	58.855	0.999	87.5	OKE

Tabel 4.3 Kontrol simpangan Arah Y pada struktur *Fixed Base*

Keterangan	h_x (mm)	p	δ_{xe} (mm)	C_d	I_e	Δa (mm)	δ_x (mm)	$\Delta = \delta_{xa} - \delta_{xb}$ (mm)	$\Delta a/p$ (mm)	$\Delta > \Delta a/p$
Lantai Dasar	0	1	0.000	5.5	1	-	0	-	-	-
Lantai 1	3500	1	0.365	5.5	1	87.5	2.009	2.009	87.5	OKE
Lantai 2	3500	1	1.085	5.5	1	87.5	5.968	3.959	87.5	OKE
Lantai 3	3500	1	2.375	5.5	1	87.5	13.061	7.093	87.5	OKE
Lantai 4	3500	1	3.683	5.5	1	87.5	20.258	7.197	87.5	OKE
Lantai 5	3500	1	4.985	5.5	1	87.5	27.418	7.16	87.5	OKE
Lantai 6	3500	1	6.217	5.5	1	87.5	34.195	6.777	87.5	OKE
Lantai 7	3500	1	7.356	5.5	1	87.5	40.457	6.262	87.5	OKE
Lantai 8	3500	1	8.392	5.5	1	87.5	46.157	5.7	87.5	OKE
Lantai 9	3500	1	9.321	5.5	1	87.5	51.268	5.111	87.5	OKE
Lantai 10	3500	1	10.135	5.5	1	87.5	55.744	4.476	87.5	OKE
Lantai 11	3500	1	10.820	5.5	1	87.5	59.511	3.767	87.5	OKE
Lantai 12	3500	1	11.356	5.5	1	87.5	62.457	2.946	87.5	OKE
Lantai 13	3500	1	11.680	5.5	1	87.5	64.241	1.784	87.5	OKE
Lantai Atap	3500	1	11.918	5.5	1	87.5	65.55	1.309	87.5	OKE

4.2 Penentuan Dimensi *High Damping Rubber Bearing (HDRB)*

4.2.1 Nilai Gaya Aksial Terbesar Setiap Lantai

Sebelum menentukan Dimensi *HDRB* harus mengetahui nilai gaya aksial terbesar di setiap lantainya. Berikut besaran nilai gaya aksial terbesar pada setiap lantai.

Tabel 4.4 Gaya Aksial Kolom Terbesar pada Setiap Lantai

Letak HDRB	Gaya Aksial (P) - kN
Lantai 13	435.5749
Lantai 12	888.9155
Lantai 11	1406.9597
Lantai 10	1926.6082
Lantai 9	2447.9201
Lantai 8	2971.4585
Lantai 7	3497.6975
Lantai 6	4027.1499
Lantai 5	4560.2993
Lantai 4	5097.7985
Lantai 3	5639.657
Lantai 2	6188.7578
Lantai 1	6727.4041
Lantai Dasar	7249.8983

4.2.2 Menentukan Diameter *High Damping Rubber Bearing (HDRB)*

Analisis struktur isolasi dimulai dari analisis bangunan konvensional kemudian mendapatkan Gaya Aksial, untuk perhitungan kebutuhan dimensi *Base Isolator* tipe *High Damping Rubber Bearing (HDRB)* rencana. Langkah-langkahnya yaitu:

- Periode fundamental pendekatan (T_a) untuk dimensi HDRB berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2.1 :

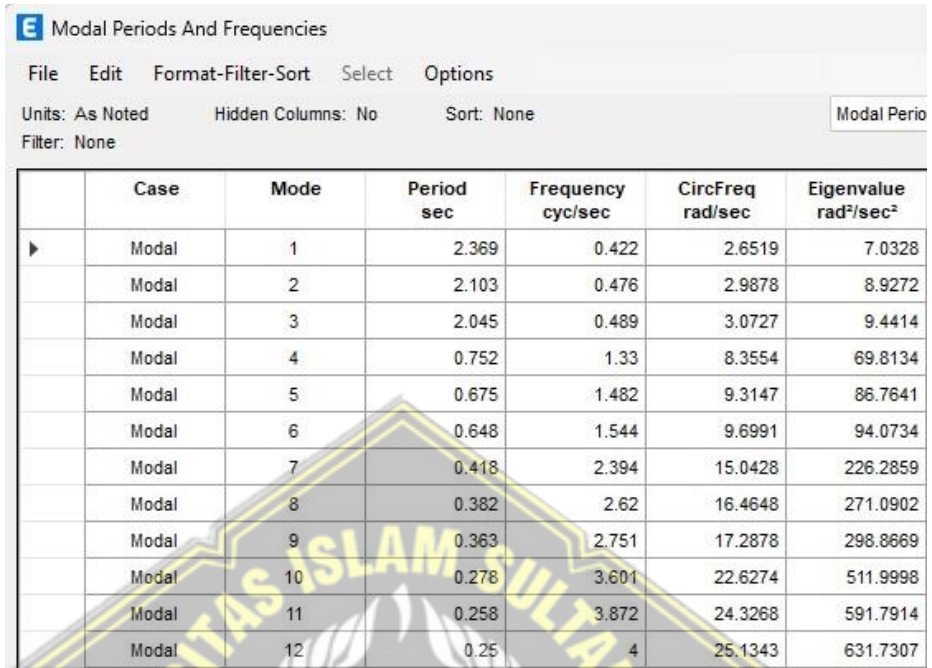
$$T_a = C_t h_n^x \dots\dots\dots (4.3)$$

$$T_a = 0,0466 \times 44,8^{0,9} = 1,4993 \text{ detik}$$

Keterangan :

- h_n adalah ketinggian struktur di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur
- Nilai koefisien C_t dan x berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 18.

- Periode Elastik struktur terjepit dari struktur di atas Sistem Isolasi atau Periode Efektif saat perpindahan maksimum (T_D) didapatkan dari hasil *output* pemodelan ETABS sebagai berikut :



	Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
▶	Modal	1	2.369	0.422	2.6519	7.0328
	Modal	2	2.103	0.476	2.9878	8.9272
	Modal	3	2.045	0.489	3.0727	9.4414
	Modal	4	0.752	1.33	8.3554	69.8134
	Modal	5	0.675	1.482	9.3147	86.7641
	Modal	6	0.648	1.544	9.6991	94.0734
	Modal	7	0.418	2.394	15.0428	226.2859
	Modal	8	0.382	2.62	16.4648	271.0902
	Modal	9	0.363	2.751	17.2878	298.8669
	Modal	10	0.278	3.601	22.6274	511.9998
	Modal	11	0.258	3.872	24.3268	591.7914
	Modal	12	0.25	4	25.1343	631.7307

Gambar 4.1 Nilai Periode Elastik Struktur

Berdasarkan *output* ETABS nilai Periode Elastik struktur terjepit dari struktur di atas Sistem Isolasi atau Periode Efektif saat perpindahan maksimum (T_D) adalah 2,369 sec.

- Menentukan Periode Efektif saat perpindahan maksimum (T_M) untuk dimensi HDRB berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 12.4.1 :

$$T_M = 3 \times T_D \text{ Periode Elastik struktur} = 3 \times 2,369 = 7,107 \text{ detik}$$

- Menghitung Kekakuan *Isolator* Rencana (K_H)

Berdasarkan Brosur *Isolator* yang akan digunakan, untuk studi ini menggunakan jenis karet MVBR-0514/MVBR-0520 X0.6R pada Brosur *Bridgestone* dengan spesifikasi berikut :

- *Shear Modulus* (G) $= 0,620 \text{ N/mm}^2 = \text{MN/m}^2$
- *Ketebalan Rubber* (t_r) $= 200 \text{ mm} = 0,2 \text{ m}$

Analisa pada struktur Gedung Kovenisional, didapatkan gaya aksial pada kolom terbesar pada masing masing lantai. Rencana spesifikasi HDRB berdasarkan Brosur *Bridgestone* (terlampir). Berikut adalah parameter perhitungan dimensi HDRB :

$$\begin{aligned}\text{Periode Alami Struktur } (T_D) &= 2,369 \text{ s} \\ \text{Gaya Aksial } (P) &= 9050,732 \text{ kN} = 9,0507 \text{ MN} \\ \text{Panjang Bentang } (L) &= (8+4.4)/2 = 6.2 \text{ m}\end{aligned}$$

- Menghitung kekakuan *Isolator* rencana (K_H)

$$K_H = \frac{m(\frac{2\pi}{T_M})^2}{L} \dots\dots\dots (3.4)$$

$$K_H = \frac{9,0507(\frac{2\pi}{2,369})^2}{6.2} = 1,140 \text{ MN/mm}$$

- Mencari Luasan HDRB

$$A = \frac{K_H \times t_r}{G_t} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$A = \frac{1,140 \times 0,2}{0,620} = 0,368 \text{ mm}^2$$

Keterangan :

t_r = Ketebalan *rubber*

G_t = *Shear modulus rubber*

- Mencari Diameter HDRB

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \dots\dots\dots (3.6)$$

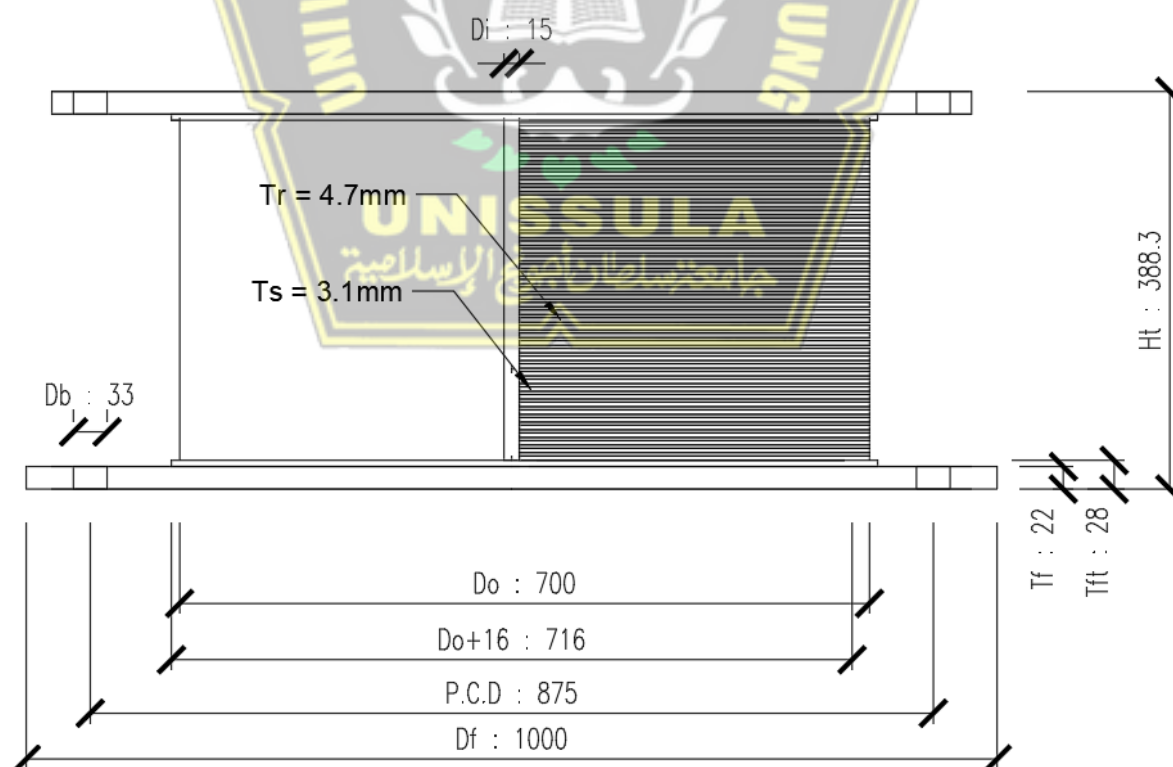
$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,368}{\pi}} = 0,684 \text{ m}^2$$

Penentuan diameter harus disesuaikan dengan Brosur *Bridgestone*. Berdasarkan hasil tersebut maka digunakan diameter 700 mm dengan spesifikasi HH 070x6R.

Properti spesifikasi HH 070x6R yang digunakan adalah data-data dari Brosur Bridgestone sebagai berikut :

Tabel 4.5 Properties of HDRB, HH 070x6R Series (Total Rubber Thickness 20cm)

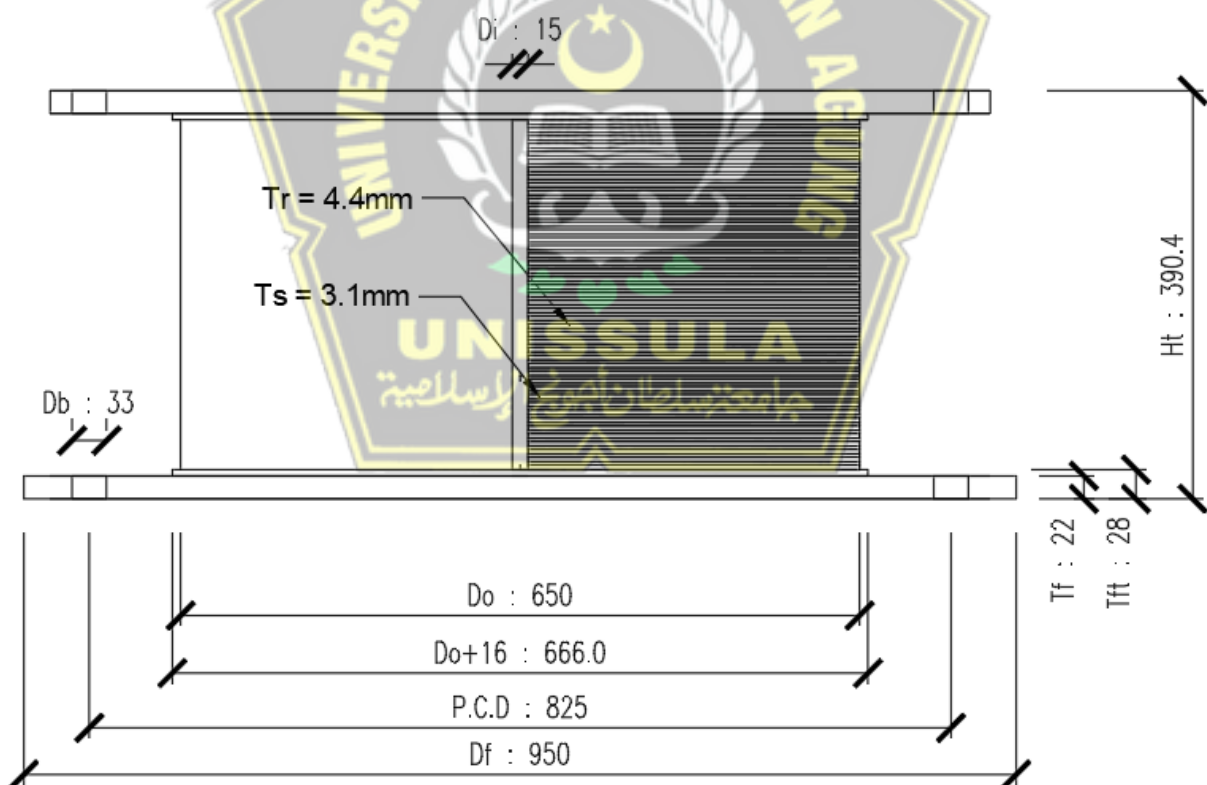
Propertis Isolator HH 065X6R			
Characteristics		Unit	HH 070 x 6R
Outer Diameter	Do	Mm	700
Inner of Lead Diameter	di	Mm	15
Shear Modulus	G	N/mm2	0,62
Thickness of one Rubber Layer	tr	mm	4.7
Number of Rubber Layer	n		43
Total Rubber Thickness	Tr	mm	202
First Shape Factor	S1		36,4
Second Shape Factor	S2		3,46
Diameter of flange	Df	mm	1000
Thickness of flange	tf	mm	22
Connecting bolt PCD	P.C.D	mm	875
thickness of each reinforced steel plate	ts	mm	3,1
Height	Ht	mm	388.3
Weight	W	kN	7,9



Gambar 4.2 Gambar Isolator HH 070x6R

Tabel 4.6 Properties of HDRB, HH 065x6R Series (Total Rubber Thickness 20cm)

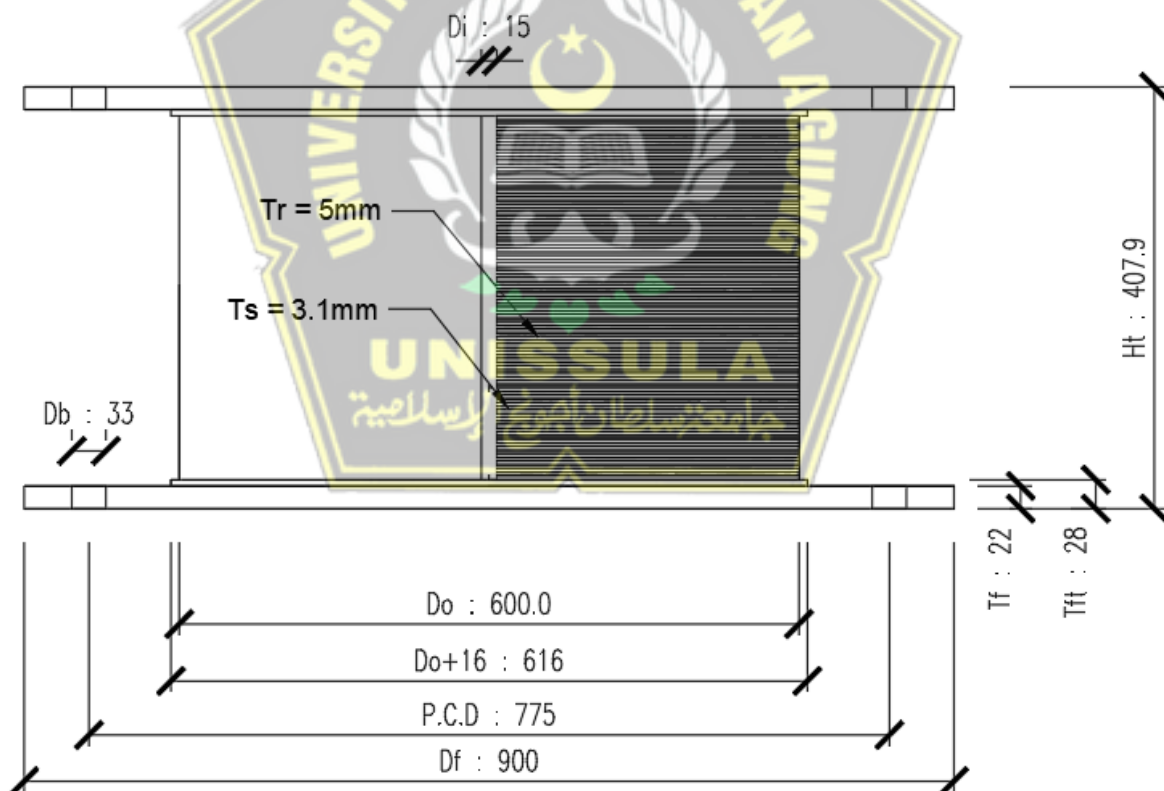
Properties Isolator HH 065X6R			
Characteristics		Unit	HH 065 x 6R
Outer Diameter	D_o	Mm	650
Inner of Lead Diameter	d_i	Mm	15
Shear Modulus	G	N/mm ²	0,62
Thickness of one Rubber Layer	t_r	mm	4.4
Number of Rubber Layer	n		45
Total Rubber Thickness	T_r	mm	198
First Shape Factor	S_1		36,1
Second Shape Factor	S_2		3,28
Diameter of flange	D_f	mm	950
Thickness of flange	t_f	mm	22
Connecting bolt PCD	$P.C.D$	mm	825
thickness of each reinforced steel plate	t_s	mm	3,1
Height	H_t	mm	390.4
Weight	W	kN	7,0



Gambar 4.3 Gambar Isolator HH 065x6R

Tabel 4.7 Properties of HDRB, HH 060x6R Series (Total Rubber Thickness 20cm)

Properties Isolator HH 065X6R			
Characteristics		Unit	HH 060 x 6R
Outer Diameter	Do	Mm	600
Inner of Lead Diameter	di	Mm	15
Shear Modulus	G	N/mm2	0,62
Thickness of one Rubber Layer	tr	mm	4.0
Number of Rubber Layer	n		50
Total Rubber Thickness	Tr	mm	200
First Shape Factor	S1		36,6
Second Shape Factor	S2		3,00
Diameter of flange	Df	mm	900
Thickness of flange	tf	mm	22
Connecting bolt PCD	P.C.D	mm	775
thickness of each reinforced steel plate	ts	mm	3,1
Height	Ht	mm	407,9
Weight	W	kN	6,5



Gambar 4.4 Gambar Isolator HH 060x6R

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan dimensi *HDRB* pada perletakan masing masing lantai sebagai berikut :

Tabel 4.8 Diameter Rencana HDRB

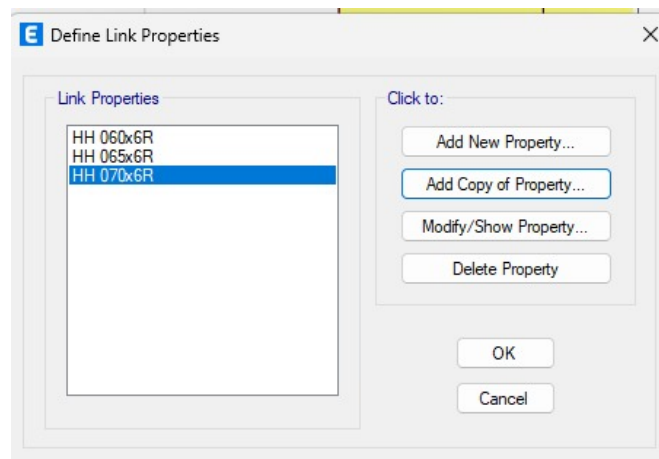
Letak HDRB	Gaya Aksial		Periode Alami Struktur	Periode Efektif (Perpindahan Maksimum)	Kekakuan Horizontal	Luas Rubber	Diameter		Diameter Rencana
	<i>P</i>		<i>T₁</i>	<i>T_m</i>	<i>K_H</i>	<i>A</i>	<i>D</i>		
	kN	Mn	detik	detik	MN/m	m ²	m	mm	mm
LT13	408.363	0.408	2.369	7.107	0.051	0.017	0.145	145.373	600
LT12	981.851	0.982	2.369	7.107	0.124	0.040	0.225	225.416	600
LT11	1672.995	1.673	2.369	7.107	0.211	0.068	0.294	294.245	600
LT10	2365.765	2.366	2.369	7.107	0.298	0.096	0.350	349.903	600
LT9	3060.192	3.060	2.369	7.107	0.385	0.124	0.398	397.957	600
LT8	3756.890	3.757	2.369	7.107	0.473	0.153	0.441	440.936	600
LT7	4456.387	4.456	2.369	7.107	0.561	0.181	0.480	480.234	600
LT6	5159.243	5.159	2.369	7.107	0.650	0.210	0.517	516.719	600
LT5	5865.996	5.866	2.369	7.107	0.739	0.238	0.551	550.976	600
LT4	6577.327	6.577	2.369	7.107	0.828	0.267	0.583	583.427	600
LT3	7293.339	7.293	2.369	7.107	0.919	0.296	0.614	614.363	650
LT2	8016.841	8.017	2.369	7.107	1.010	0.326	0.644	644.115	650
LT1	8537.903	8.538	2.369	7.107	1.075	0.347	0.665	664.718	700
Lantai Dasar	9050.732	9.051	2.369	7.107	1.140	0.368	0.684	684.390	700

4.3 Pemodelan Struktur dengan Penempatan Isolasi Setiap Lantai

Adapun langkah-langkah *input Isolator* pada program ETABS di struktur yang direncanakan adalah sebagai berikut:

1. Memodelkan perletakan *Isolator* :

Define – Section properties – Link/Support properties



Gambar 4.5 Permodelan Isolator

2. *Input Link Property Data*

Link Property Data

General

Link Property Name: HH 065x6R
 Link Type: High Damping Rubber Isolator
 Link Property Notes: Modify/Show Notes...
 P-Delta Parameters: Modify/Show...
 Acceptance Criteria: Modify/Show...
 None specified

Total Mass and Weight

Mass: 0 kg
 Weight: 1 kN
 Rotational Inertia 1: 0 ton-m²
 Rotational Inertia 2: 0 ton-m²
 Rotational Inertia 3: 0 ton-m²

Factors for Line and Area Springs

Link/Support Property is Defined for This Length When Used in a Line Spring Property: 1 m
 Link/Support Property is Defined for This Area When Used in an Area Spring Property: 1 m²

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
☒ U1	☐	☐	Modify/Show for U1...
☒ U2	☐	☒	Modify/Show for U2...
☒ U3	☐	☒	Modify/Show for U3...

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
☐ R1	☐	☐	Modify/Show for R1...
☐ R2	☐	☐	Modify/Show for R2...
☐ R3	☐	☐	Modify/Show for R3...

Fix All Clear All

Stiffness Options

Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases: Effective Stiffness from Zero, Else Nonlinear
 Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping: Initial Stiffness (K0)
 Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor: 1

OK Cancel

Gambar 4.6 *Input Spesifikasi High Damping Rubber Bearing*

- Melakukan *input* data *Directional properties* yang meliputi UI dalam arah vertikal dan U2-U3 dalam arah horizontal *Local Axis* Sumbu *High Damping Rubber Bearing*.

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: HH 065x6R
 Direction: U1
 Type: Rubber Isolator
 NonLinear: No

Linear Properties

Effective Stiffness: 2340000 kN/m
 Effective Damping: 0 kN-s/m

OK Cancel

Gambar 4.7 *Input Directional Properties U1 HDRB*

High Damping Rubber Link/Support Direction Properties

Identification

Property Name: HH 065x6R
 Direction: U2; U3
 Type: High Damping Rubber Isolator
 Nonlinear: Yes

Linear Properties

Effective Stiffness - U2: 1040 kN/m
 Effective Stiffness - U3: 1040 kN/m
 Effective Damping - U2: 0 kN-s/m
 Effective Damping - U3: 0 kN-s/m

Shear Deformation Location

Distance from End-J - U2: 0 m
 Distance from End-J - U3: 0 m

Nonlinear Properties for Directions U2 and U3

Isolator Cross-Sectional Area: 2173.6 cm²
 Isolator Effective Height: 33.4 mm
 Added Elastic Stiffness: 1 MPa

Hysteretic Parameters:

Number of Terms: 1

Terms #1	Terms #2	Terms #3
Control Strain: 0.1 mm/mm		
Control Strength: 5 MPa		

Damage Parameters:

Resistance Ratio: 0.3
 Control Strain: 0.3 mm/mm

Stiffness for Iteration:

☒ Elastic Stiffness
☐ Incremental Secant

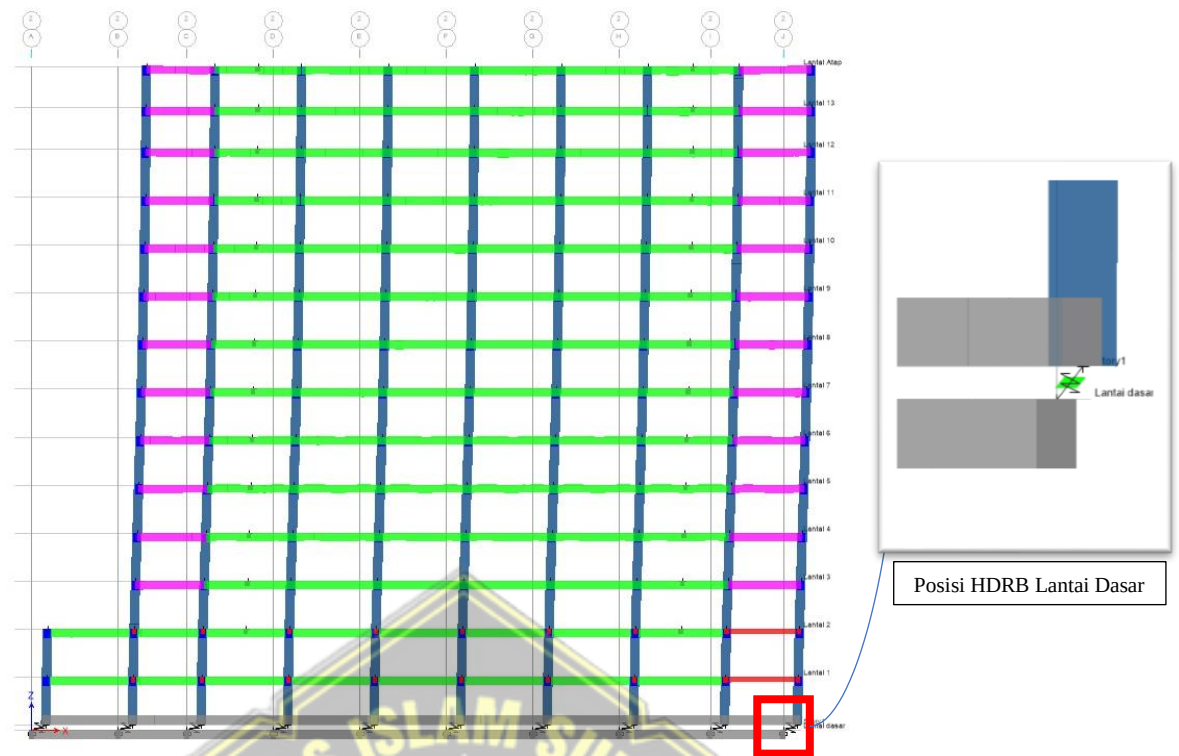
OK Cancel

Gambar 4.8 Input Directional Properties U2,U3 pada HDRB

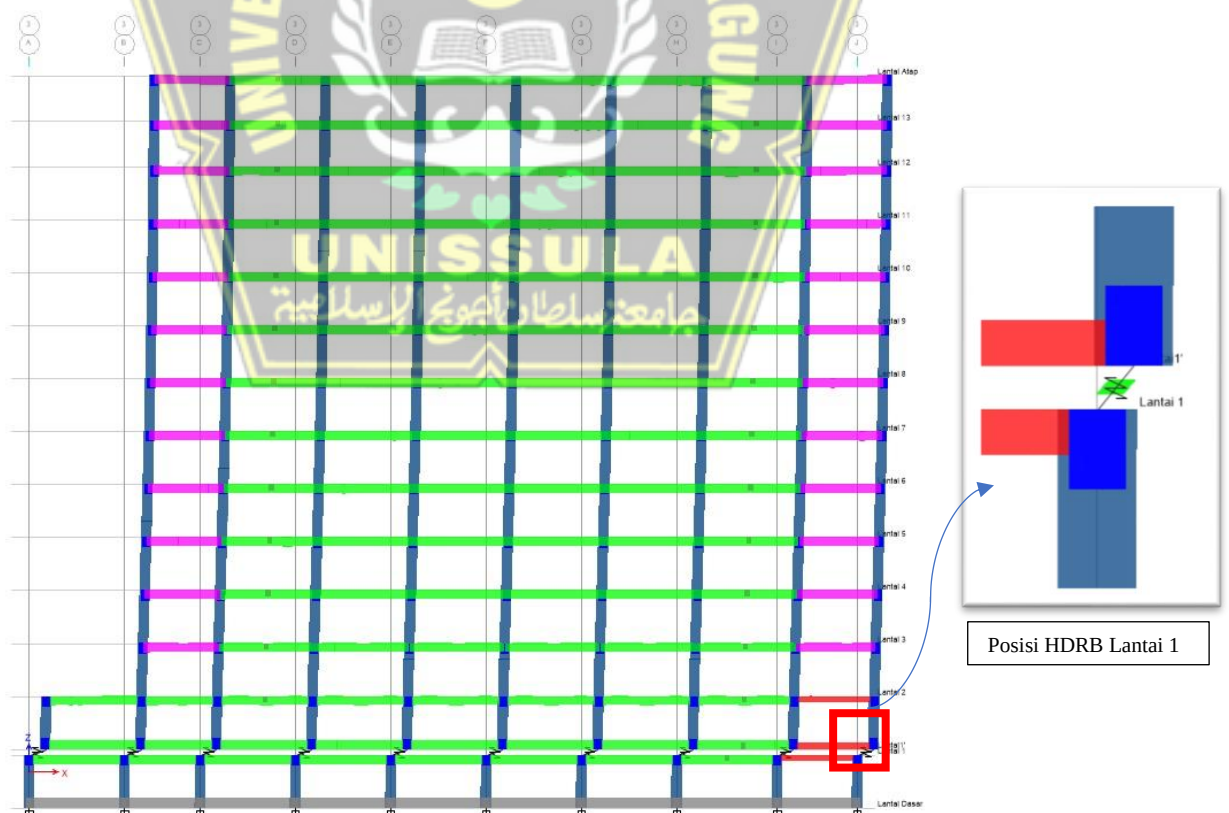
4. Draw HDRB pada peletakan :

Klik menu Draw - Draw Link - Pilih Link Properties HDRB – klik joint yang ingin diberikan High Damping Rubber Bearing

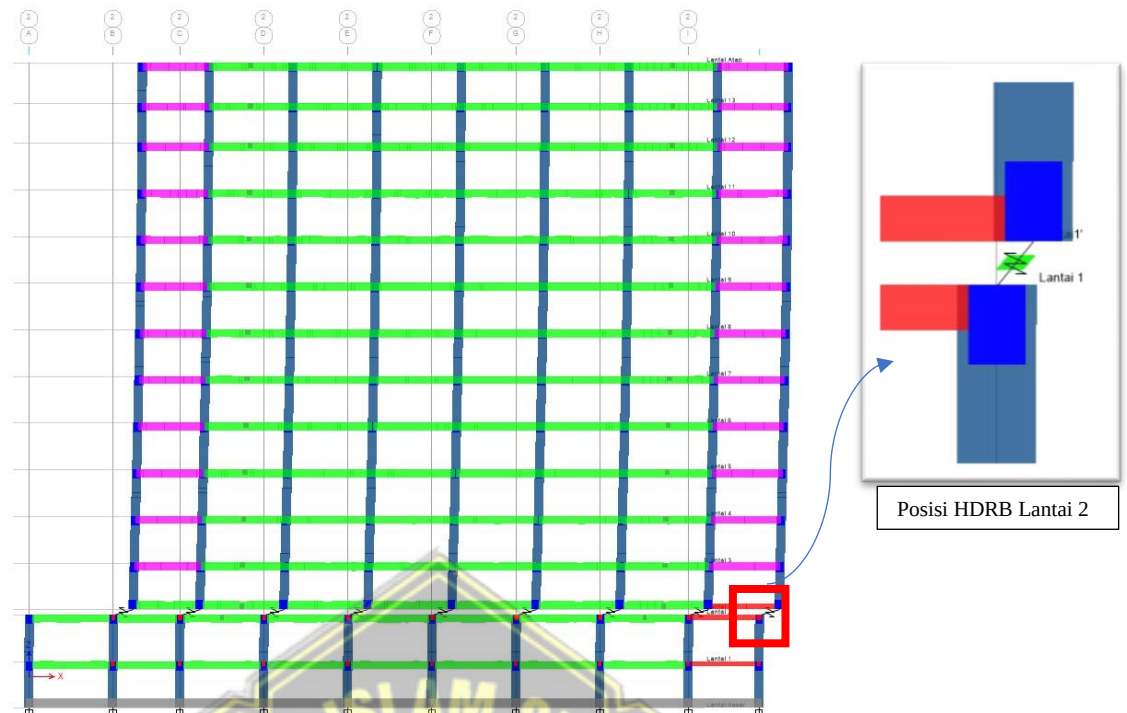
5. Running Analysis



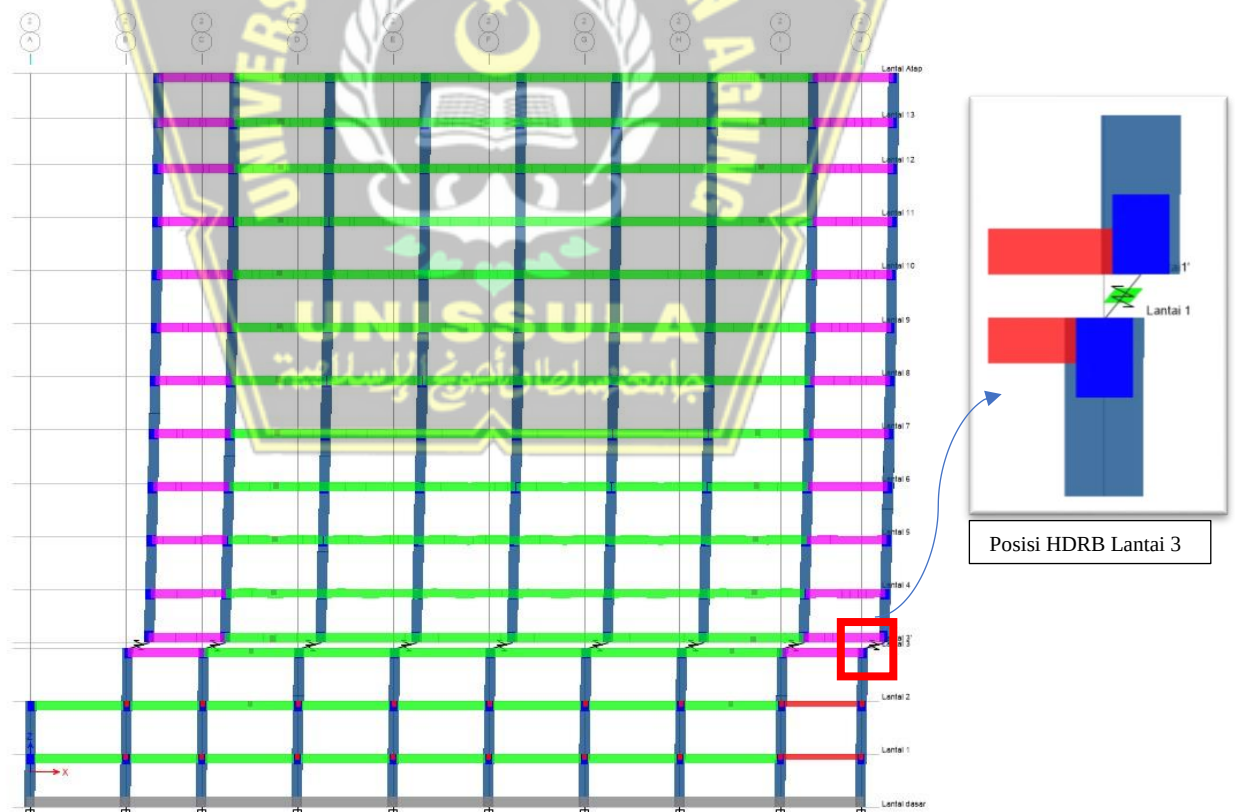
Gambar 4.9 Deformed Shape dengan Penggunaan HDRB Lantai Dasar (Model 1)



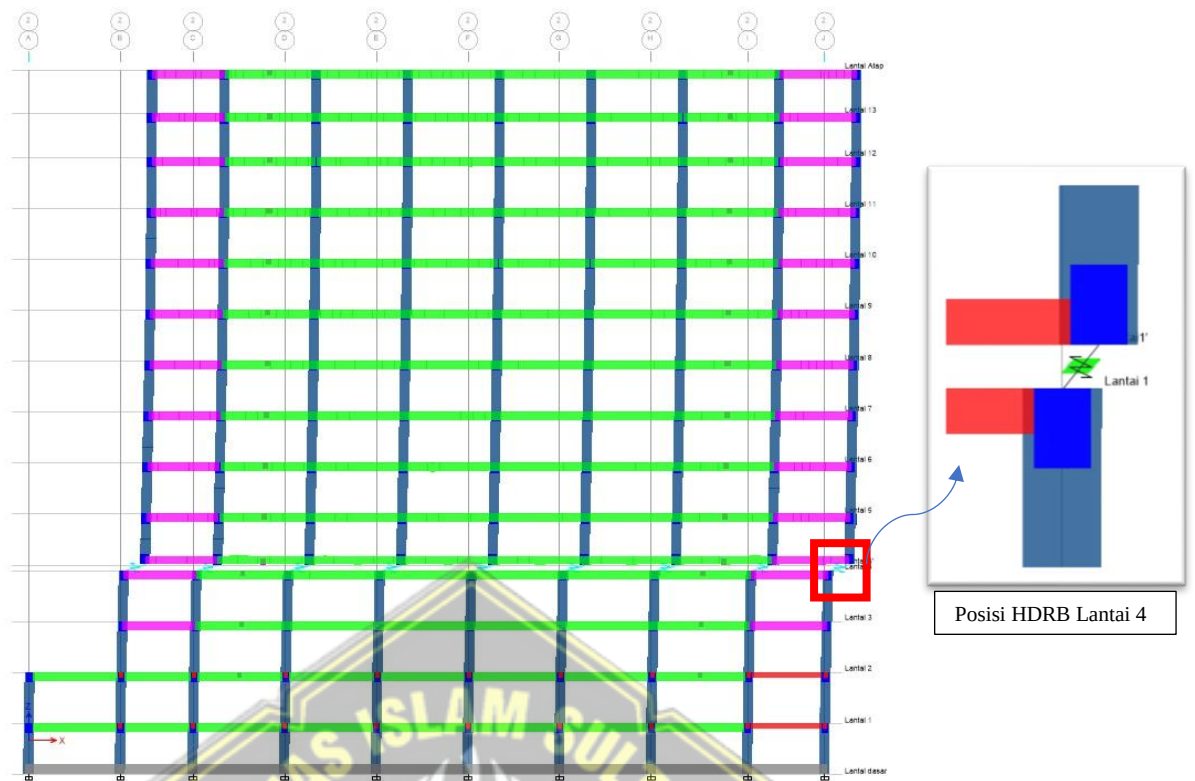
Gambar 4.10 Deformed Shape dengan Penggunaan HDRB Lantai 1 (Model 2)



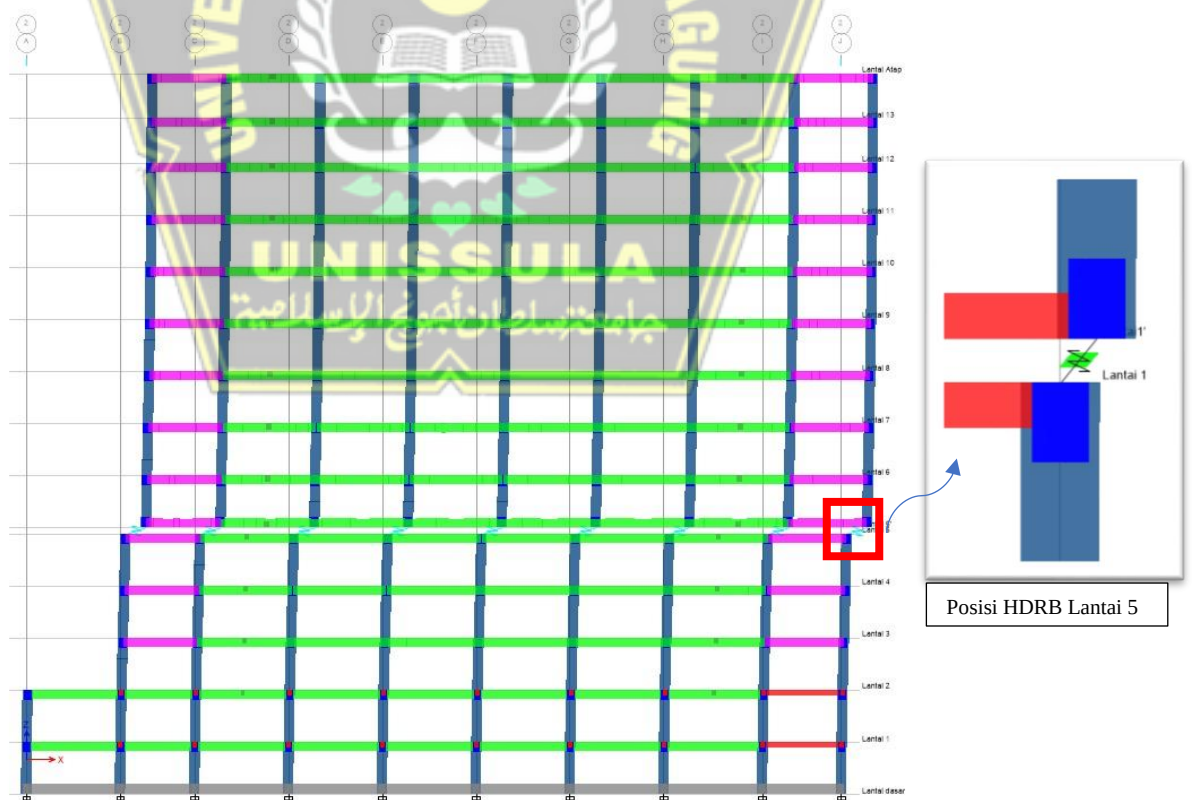
Gambar 4.11 *Deformed Shape* dengan Penggunaan HDRB Lantai 2 (Model 3)



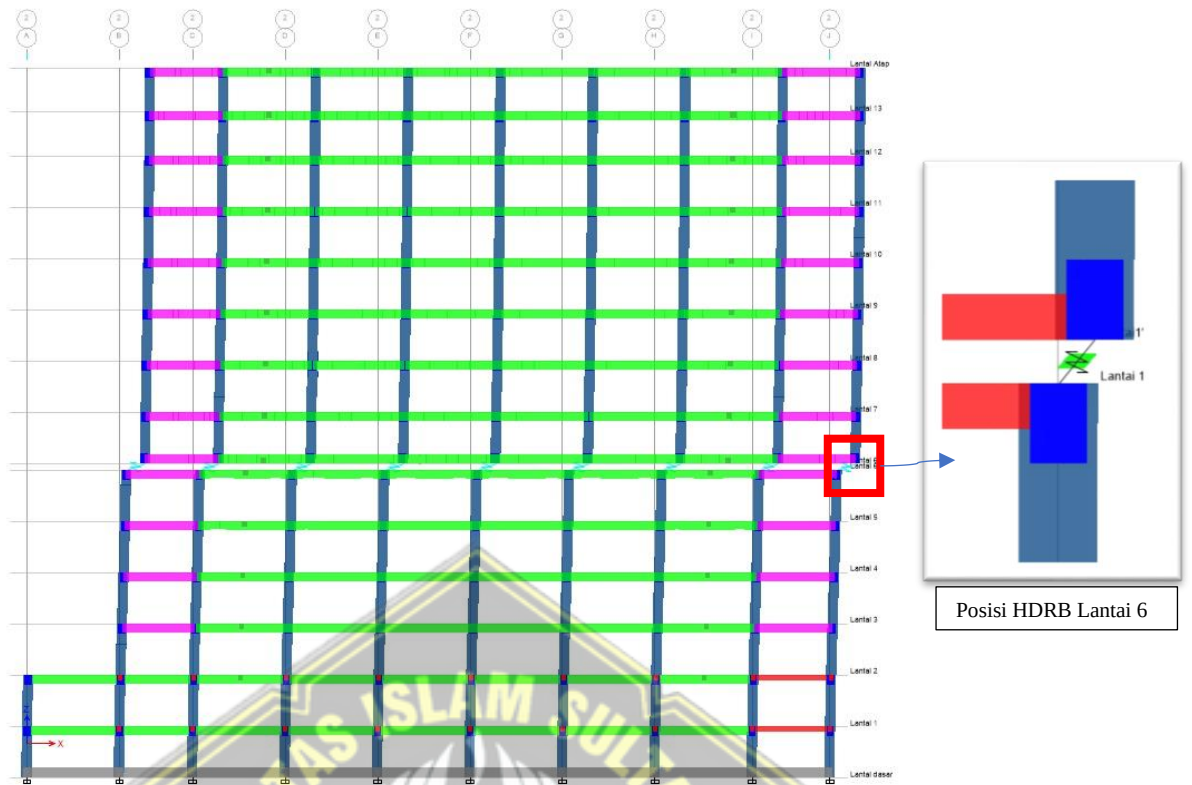
Gambar 4.12 *Deformed Shape* dengan Penggunaan HDRB Lantai 3 (Model 4)



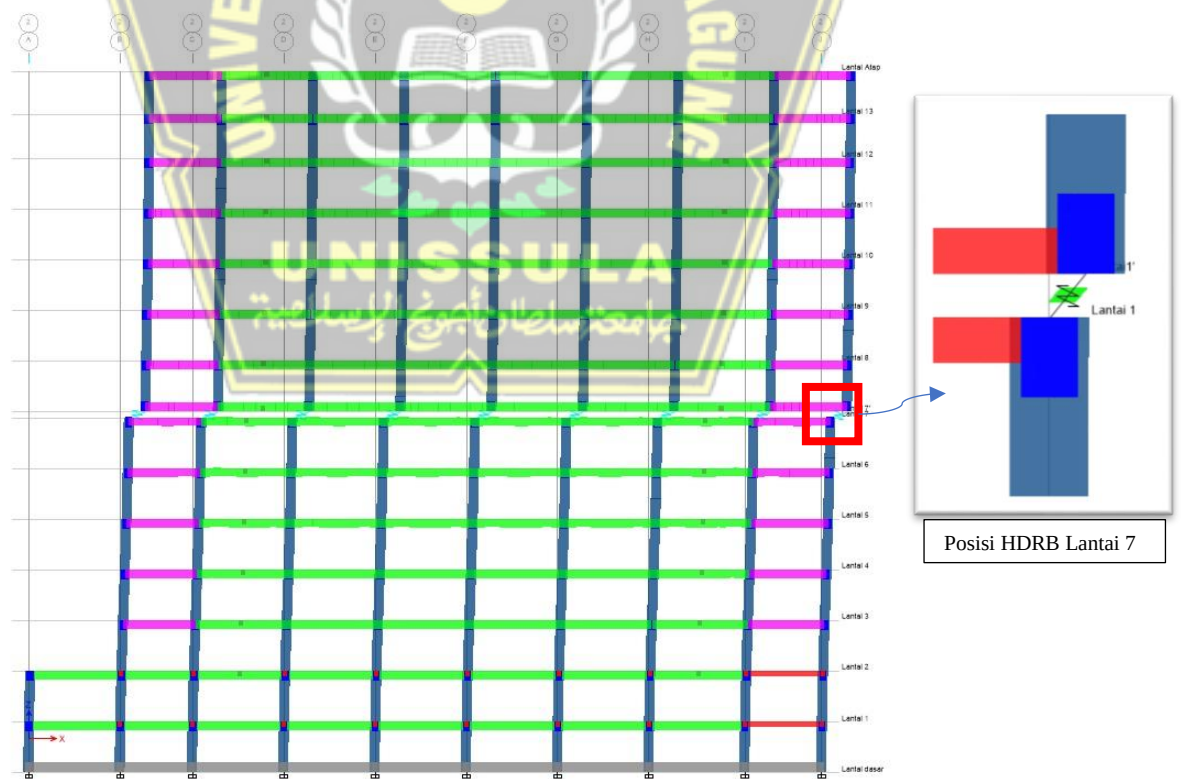
Gambar 4.13 Deformed Shape dengan Penggunaan HDRB Lantai 4 (Model 5)



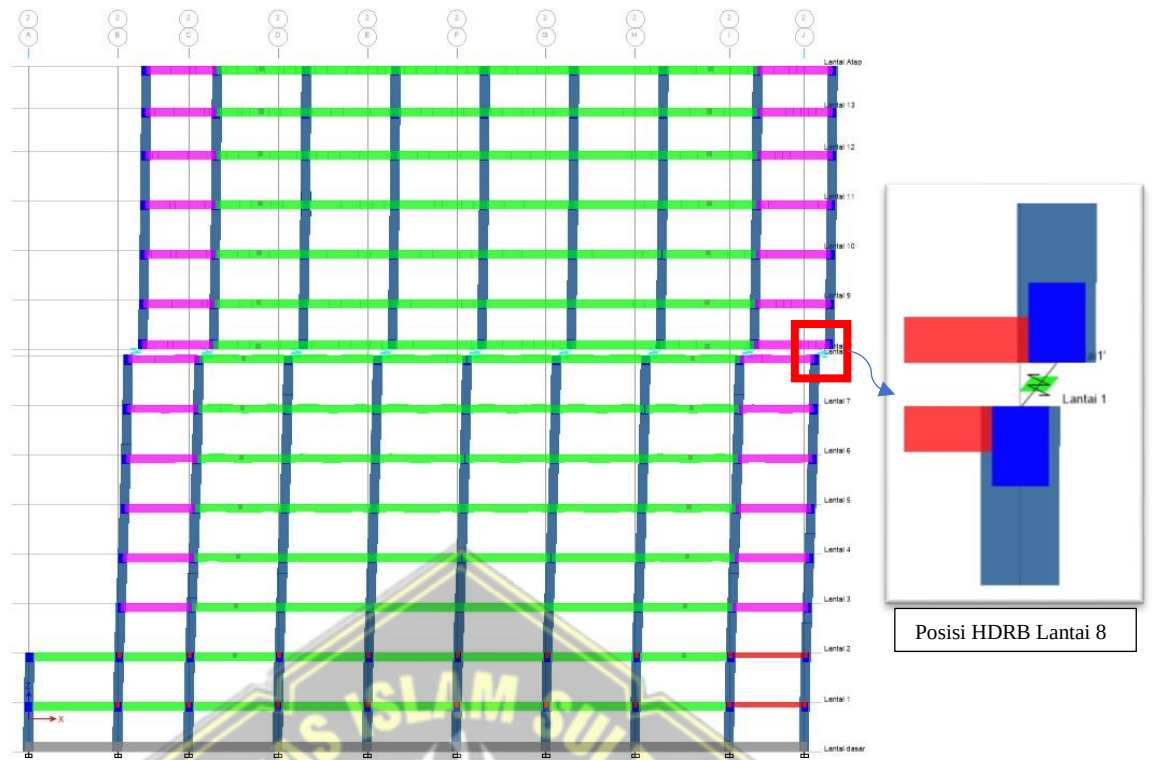
Gambar 4.14 Deformed Shape dengan Penggunaan HDRB Lantai 5 (Model 6)



Gambar 4.15 Deformed Shape dengan Penggunaan HDRB Lantai 6 (Model 7)



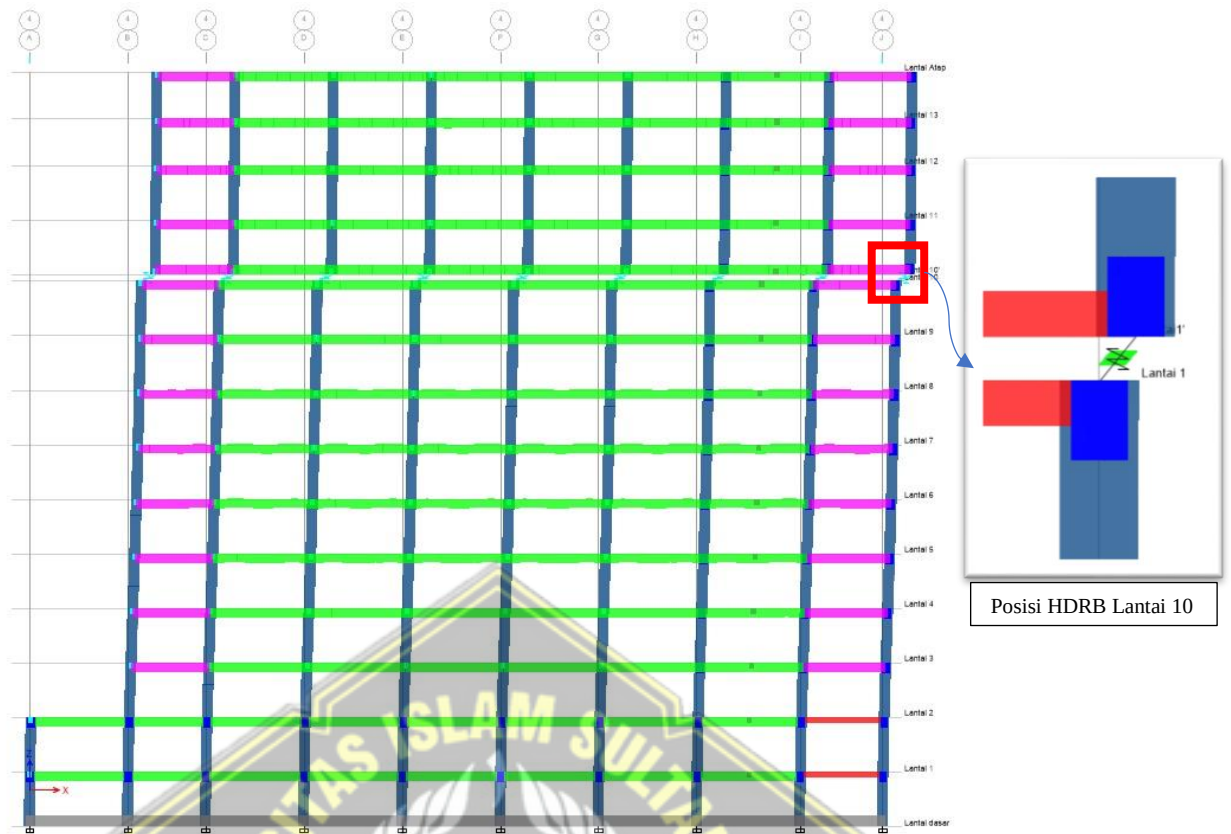
Gambar 4.16 Deformed Shape dengan Penggunaan HDRB Lantai 7 (Model 8)



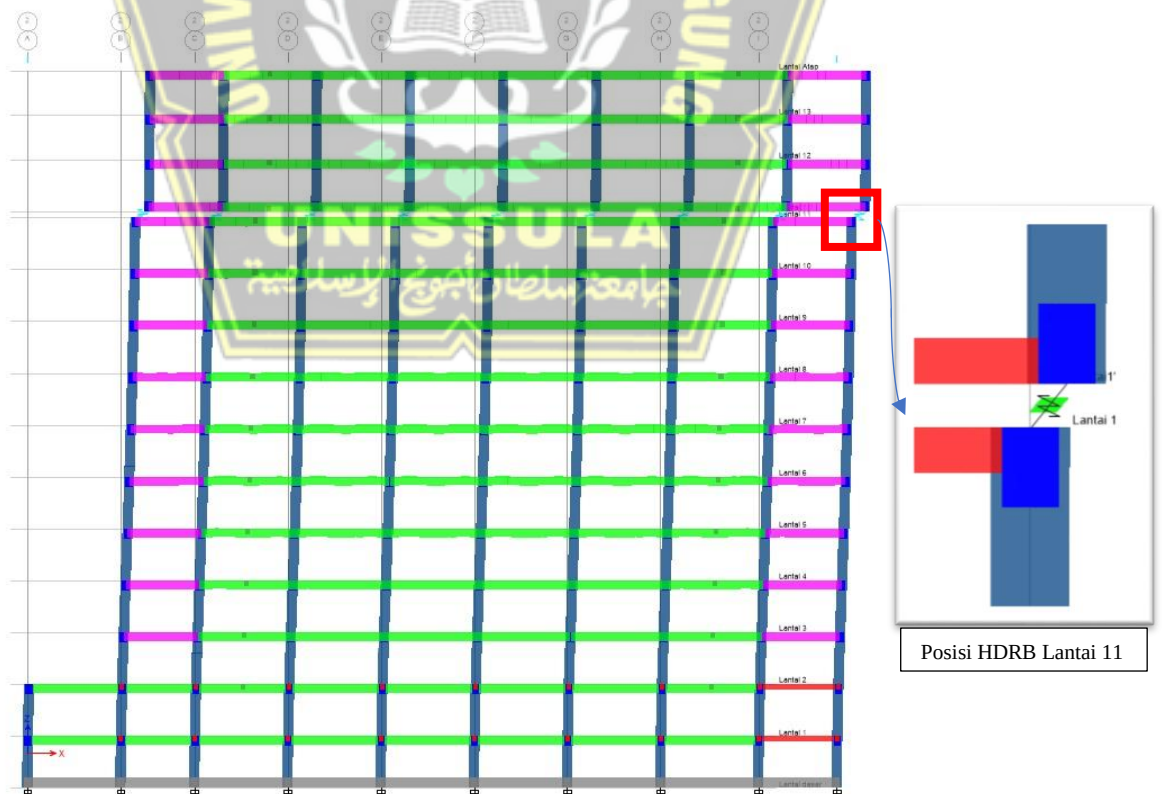
Gambar 4.17 Deformed Shape dengan Penggunaan HDRB Lantai 8 (Model 9)



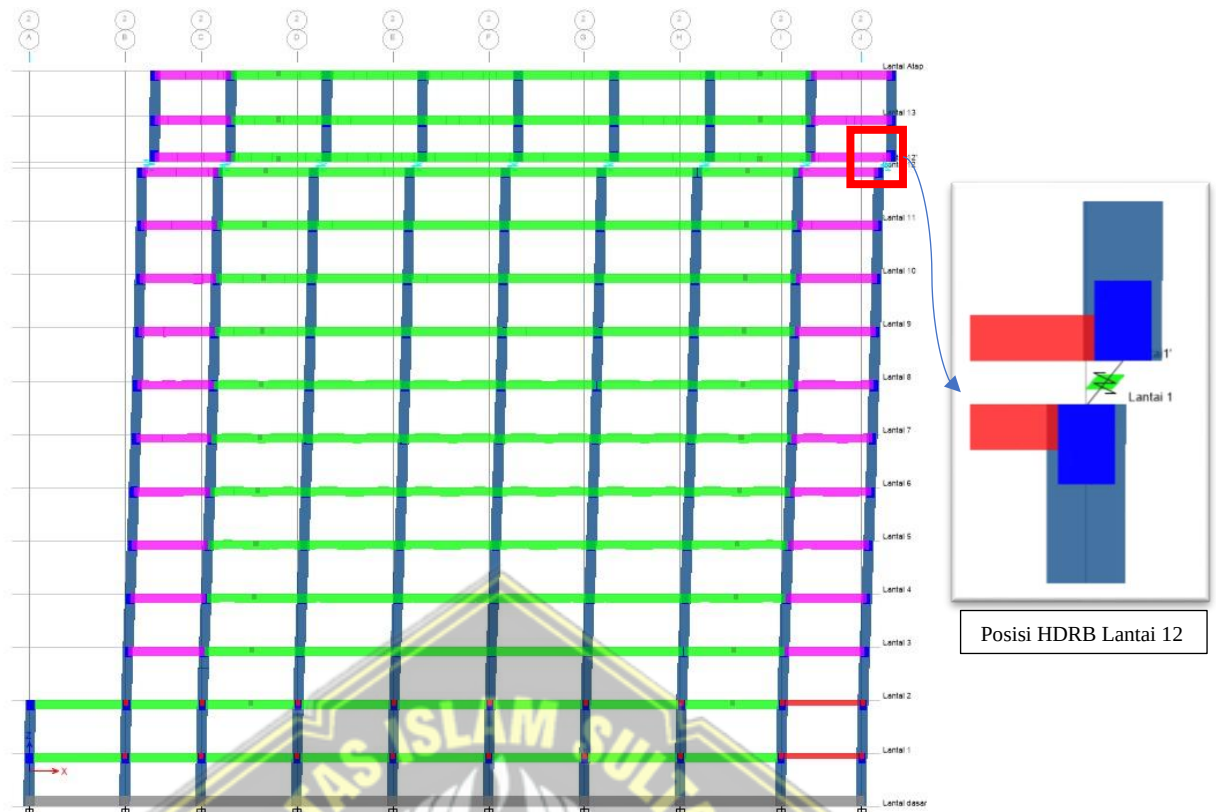
Gambar 4.18 Deformed Shape dengan Penggunaan HDRB Lantai 9 (Model 10)



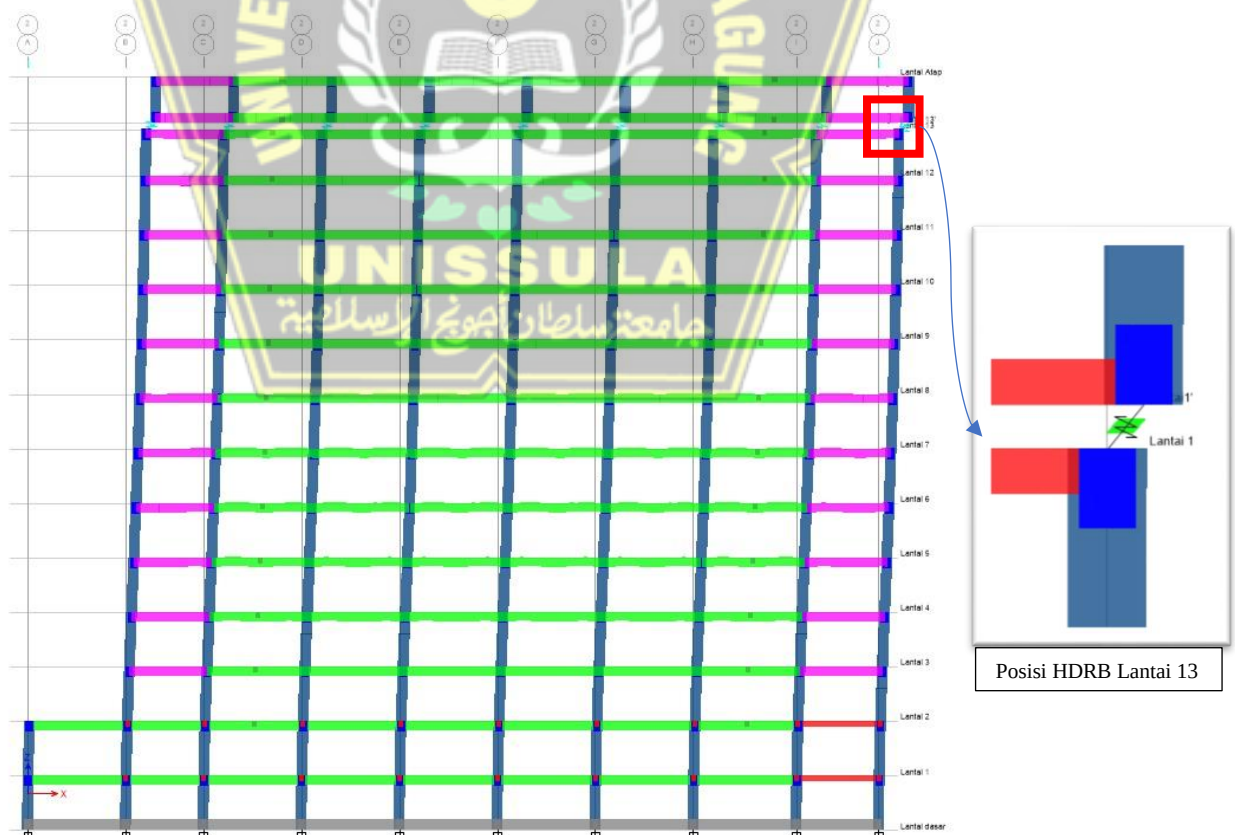
Gambar 4.19 Deformed Shape dengan Penggunaan HDRB Lantai 10 (Model 11)



Gambar 4.20 Deformed Shape dengan Penggunaan HDRB Lantai 11 (Model 12)



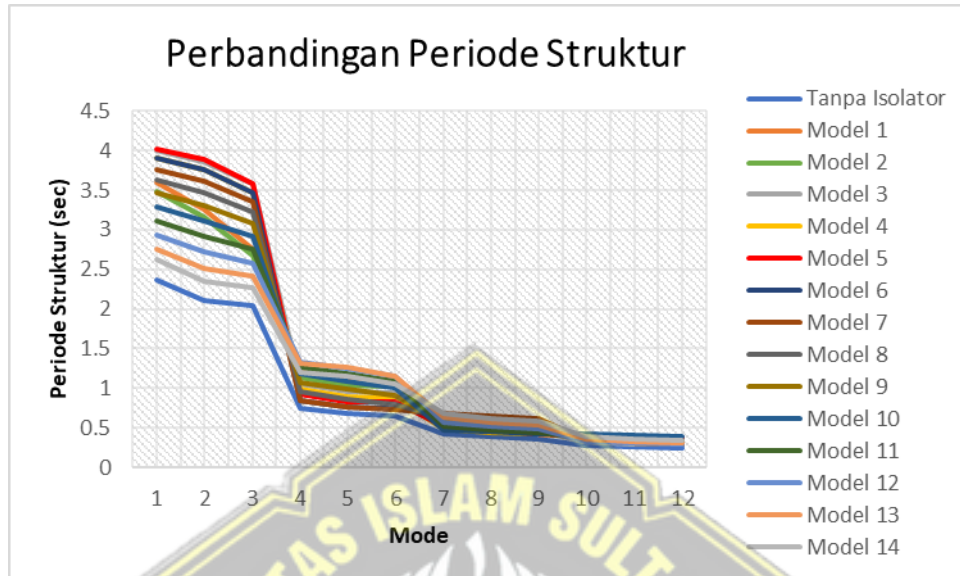
Gambar 4.21 Deformed Shape dengan Penggunaan HDRB Lantai 12 (Model 13)



Gambar 4.22 Deformed Shape dengan Penggunaan HDRB Lantai 13 (Model 14)

4.4 Perbandingan Perioda Struktur

Perioda fundamental struktur ditinjau adalah perioda pada tiga ragam pertama. Dari hasil analisis program ETABS, diperoleh nilai perioda fundamental dari setiap struktur ditunjukkan pada Gambar 4.23, Tabel 4.9 dan Tabel 4.10.



Gambar 4.23 Perbandingan Perioda Struktur Penempatan Isolator Tiap Lantai

Tabel 4.9 Perbandingan Perioda Struktur Model 1 – Model 7

Mode	Model Fixed Base	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7
	Period	Period	Period	Period	Period	Period	Period	Period
	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
1	2.369	3.591	3.488	3.995	3.898	4.019	3.898	3.766
2	2.103	3.262	3.158	3.863	3.759	3.884	3.756	3.617
3	2.045	2.755	2.676	3.578	3.469	3.579	3.468	3.349
4	0.752	1.225	1.127	1.049	0.988	0.922	0.848	0.845
5	0.675	1.118	1.034	0.948	0.891	0.827	0.757	0.756
6	0.648	1.101	1.015	0.934	0.878	0.819	0.75	0.725
7	0.418	0.617	0.587	0.513	0.478	0.525	0.649	0.688
8	0.382	0.562	0.532	0.466	0.433	0.473	0.591	0.642
9	0.363	0.561	0.531	0.459	0.426	0.427	0.522	0.609
10	0.278	0.37	0.352	0.316	0.384	0.411	0.38	0.332
11	0.258	0.34	0.324	0.29	0.351	0.387	0.346	0.303
12	0.25	0.331	0.318	0.284	0.31	0.379	0.34	0.298

Tabel 4.10 Perbandingan Perioda Struktur Model 8 – Model 14

Mode	Model Fixed Base	Model 8	Model 9	Model 10	Model 11	Model 12	Model 13	Model 14
	Period	Period	Period	Period	Period	Period	Period	Period
	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
1	2.369	3.465	3.296	3.116	2.933	2.76	2.623	3.465
2	2.103	3.299	3.118	2.924	2.719	2.519	2.354	3.299
3	2.045	3.074	2.918	2.75	2.576	2.409	2.274	3.074
4	0.752	1.072	1.18	1.268	1.322	1.313	1.191	1.072
5	0.675	0.981	1.089	1.182	1.247	1.258	1.155	0.981
6	0.648	0.903	1.006	1.093	1.151	1.155	1.056	0.903
7	0.418	0.554	0.471	0.511	0.568	0.624	0.674	0.554
8	0.382	0.499	0.447	0.464	0.516	0.567	0.614	0.499
9	0.363	0.493	0.423	0.436	0.486	0.536	0.581	0.493
10	0.278	0.396	0.415	0.371	0.325	0.36	0.391	0.396
11	0.258	0.363	0.406	0.333	0.301	0.331	0.359	0.363
12	0.25	0.339	0.383	0.33	0.287	0.315	0.341	0.339

Periode getar alami struktur merupakan karakteristik alami yang dimiliki oleh sebuah struktur dan besarnya dipengaruhi oleh massa dan kekakuan struktur bangunan. Tabel 4.9, Tabel 4.10 dan Grafik Gambar 4.23 memperlihatkan bahwa nilai Perioda Fundamental Struktur mengalami kenaikan dengan penggunaan *Isolator High Damping Rubber Bearing*. *Isolator High Damping Rubber Bearing* memisahkan struktur bangunan atas dan struktur bangunan bawah sehingga kekakuan struktur bangunan atas berkurang. Hal ini menyebabkan Periode Struktur bangunan menggunakan *Isolator High Damping Rubber Bearing* bertambah.

4.5 Perbandingan Gaya Geser Dasar Struktur

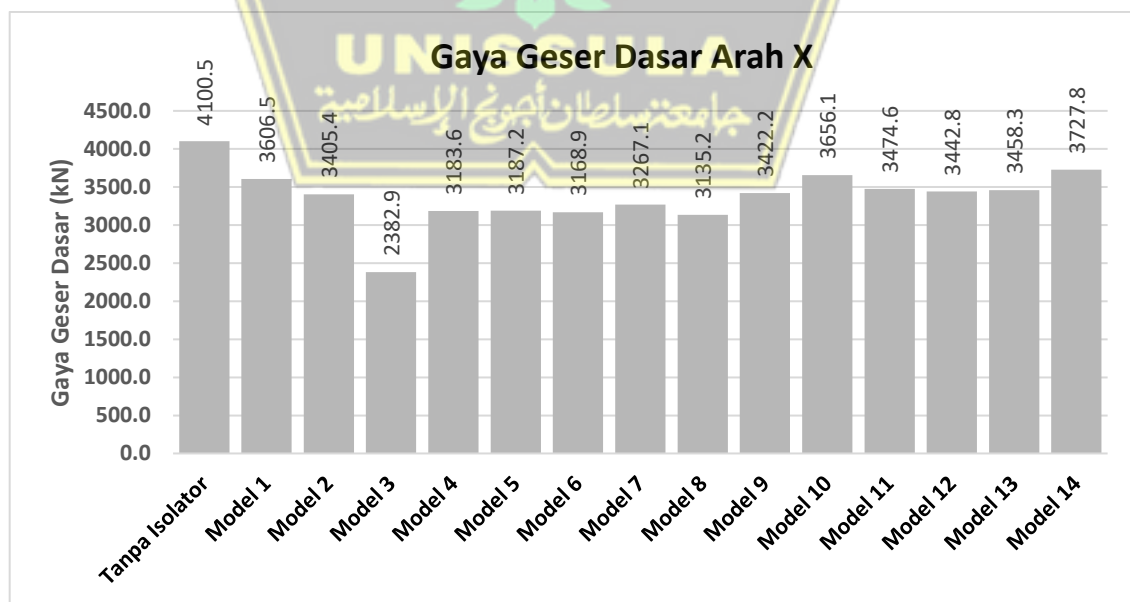
Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan didapatkan perbedaan gaya geser dasar pada struktur tanpa Isolator dan struktur menggunakan Isolator *High Damping Rubber Bearing* ditunjukkan pada Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 berikut ini.

Tabel 4.11 Perbandingan Gaya Geser Dasar Model 1 – Model 7

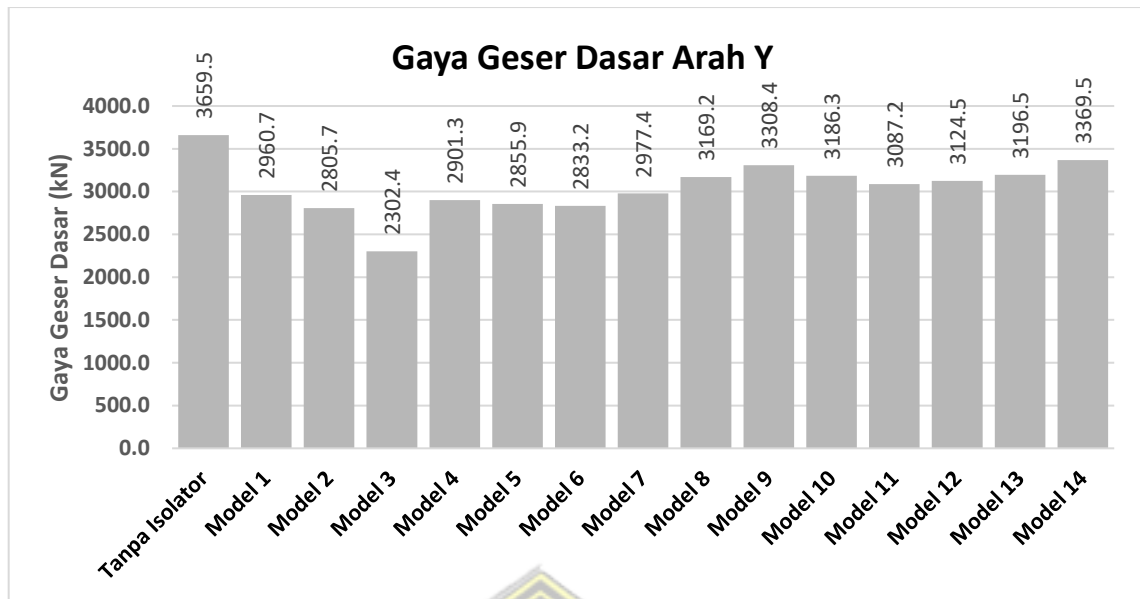
Arah	Tanpa Isolator	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
X	4100.5	3606.5	3405.4	2382.9	3183.6	3187.2	3168.9	3267.1
Y	3659.5	2960.7	2805.7	2302.4	2901.3	2855.9	2833.2	2977.4
X	Reduksi	12.05%	16.95%	41.89%	22.36%	22.27%	22.72%	20.32%
Y		19.10%	23.33%	37.08%	20.72%	21.96%	22.58%	18.64%

Tabel 4.12 Perbandingan Gaya Geser Dasar Model 8 – Model 14

Arah	Tanpa Isolator	Model 8	Model 9	Model 10	Model 11	Model 12	Model 13	Model 14
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
X	4100.5	3135.2	3422.2	3656.1	3474.6	3442.8	3458.3	3727.8
Y	3659.5	3169.2	3308.4	3186.3	3087.2	3124.5	3196.5	3369.5
X	Reduksi	23.54%	16.54%	10.84%	15.26%	16.04%	15.66%	9.09%
Y		13.40%	9.59%	12.93%	15.64%	14.62%	12.65%	7.92%



Gambar 4.24 Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Arah X



Gambar 4.25 Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Arah Y

Tabel 4.11, Tabel 4.12, gambar 4.24 dan Gambar 4.25 menunjukkan bahwa Gaya Geser Dasar Struktur Tanpa *Isolator* 4100.05 kN pada Arah X dan 3659.5 pada Arah Y. Ketika dipasang *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 070 x 6R di Lantai Dasar maka Gaya Geser Dasar Arah X menjadi 3606.5 kN (menurun 12.05%) dan Gaya Geser Dasar Arah Y menjadi 2960.7 kN (menurun 19.10%). Hal ini berarti *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 070 x 6R dapat mereduksi gaya gempa yang terjadi terhadap gaya geser sesuai sistem struktur terisolasi.

Ketika dipasang *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 070 x 6R di Lantai 1 maka Gaya Geser Dasar Arah X menjadi 3405.4 kN (menurun 16.95%) dan Gaya Geser Dasar Arah Y menjadi 2805.7 kN (menurun 23.33%). Hal ini berarti *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 070 x 6R dapat mereduksi gaya gempa yang terjadi terhadap gaya geser sesuai sistem struktur terisolasi.

Ketika dipasang *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 065 x 6R di Lantai 2 maka Gaya Geser Dasar Arah X menjadi 2382.9 kN (menurun 41.89%) dan Gaya Geser Dasar Arah Y menjadi 2302.4 kN (menurun 37.08%). Hal ini berarti *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 065 x 6R dapat mereduksi gaya gempa yang terjadi terhadap gaya geser sesuai sistem struktur terisolasi.

Ketika dipasang *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 065 x 6R di Lantai 3 maka Gaya Geser Dasar Arah X menjadi 3183.6 kN (menurun 22.36%) dan Gaya Geser Dasar Arah Y menjadi 2901.3 kN (menurun 20.72%). Hal ini berarti *Isolator*

High Damping Rubber Bearing tipe HH 065 x 6R dapat mereduksi gaya gempa yang terjadi terhadap gaya geser sesuai sistem struktur terisolasi.

Ketika dipasang *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 060 x 6R di Lantai 4 maka Gaya Geser Dasar Arah X menjadi 3187.2 kN (menurun 22.27%) dan Gaya Geser Dasar Arah Y menjadi 2855.92 kN (menurun 21.96%). Hal ini berarti *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 060 x 6R dapat mereduksi gaya gempa yang terjadi terhadap gaya geser sesuai sistem struktur terisolasi.

Ketika dipasang *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 060 x 6R di Lantai 5 maka Gaya Geser Dasar Arah X menjadi 3168.9 kN (menurun 22.72%) dan Gaya Geser Dasar Arah Y menjadi 2833.2 kN (menurun 22.58%). Hal ini berarti *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 060 x 6R dapat mereduksi gaya gempa yang terjadi terhadap gaya geser sesuai sistem struktur terisolasi.

Ketika dipasang *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 060 x 6R di Lantai 6 maka Gaya Geser Dasar Arah X menjadi 32.67 kN (menurun 20.32%) dan Gaya Geser Dasar Arah Y menjadi 2977.4 kN (menurun 18.64%). Hal ini berarti *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 060 x 6R dapat mereduksi gaya gempa yang terjadi terhadap gaya geser sesuai sistem struktur terisolasi.

Ketika dipasang *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 060 x 6R di Lantai 7 maka Gaya Geser Dasar Arah X menjadi 3135.2 kN (menurun 23.54%) dan Gaya Geser Dasar Arah Y menjadi 3169.2 kN (menurun 13.40%). Hal ini berarti *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 060 x 6R dapat mereduksi gaya gempa yang terjadi terhadap gaya geser sesuai sistem struktur terisolasi.

Ketika dipasang *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 060 x 6R di Lantai 8 maka Gaya Geser Dasar Arah X menjadi 3422 kN (menurun 16.54%) dan Gaya Geser Dasar Arah Y menjadi 3308.4 kN (menurun 9.59%). Hal ini berarti *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 060 x 6R dapat mereduksi gaya gempa yang terjadi terhadap gaya geser sesuai sistem struktur terisolasi.

Ketika dipasang *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 060 x 6R di Lantai 9 maka Gaya Geser Dasar Arah X menjadi 3656.1 kN (menurun 10.84%) dan Gaya Geser Dasar Arah Y menjadi 3186.3 kN (menurun 12.93%). Hal ini berarti *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 060 x 6R dapat mereduksi gaya gempa yang terjadi terhadap gaya geser sesuai sistem struktur terisolasi.

Ketika dipasang *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 060 x 6R di Lantai 10 maka Gaya Geser Dasar Arah X menjadi 3474.6 kN (menurun 15.26%) dan

Gaya Geser Dasar Arah Y menjadi 3087.2 kN (menurun 15.64%). Hal ini berarti *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 060 x 6R dapat mereduksi gaya gempa yang terjadi terhadap gaya geser sesuai sistem struktur terisolasi.

Ketika dipasang *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 060 x 6R di Lantai 11 maka Gaya Geser Dasar Arah X menjadi 3442.8 kN (menurun 16.04%) dan Gaya Geser Dasar Arah Y menjadi 3124.5 kN (menurun 14.62%). Hal ini berarti *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 060 x 6R dapat mereduksi gaya gempa yang terjadi terhadap gaya geser sesuai sistem struktur terisolasi.

Ketika dipasang *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 060 x 6R di Lantai 12 maka Gaya Geser Dasar Arah X menjadi 3458.3 kN (menurun 15.66%) dan Gaya Geser Dasar Arah Y menjadi 3196.5 kN (menurun 12.65%). Hal ini berarti *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 060 x 6R dapat mereduksi gaya gempa yang terjadi terhadap gaya geser sesuai sistem struktur terisolasi.

Ketika dipasang *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 060 x 6R di Lantai 13 maka Gaya Geser Dasar Arah X menjadi 3727.8 kN (menurun 9.09%) dan Gaya Geser Dasar Arah Y menjadi 3369.5 kN (menurun 7.92%). Hal ini berarti *Isolator High Damping Rubber Bearing* tipe HH 060 x 6R dapat mereduksi gaya gempa yang terjadi terhadap gaya geser sesuai sistem struktur terisolasi.

4.6 Kontrol Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a). Nilai antar tingkat simpangan izin didapatkan dari Tabel 4.11.

Tabel 4.13 Batas Simpangan Antar Lantai pada Bangunan Menggunakan HDRB

(SNI 1726-2019 Pasal 7.12.1)

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1.1 batas simpangan antar lantai rencana tidak boleh melebihi simpangan antar lantai maksimum yaitu $0,020.hx$.

$$\Delta a = \frac{0,020.hx}{p} \dots\dots\dots (3.7)$$

Keterangan :

Δa = simpangan antar lantai izin

hx = tinggi lantai

p = faktor redundansi (1,0) SNI 1726:2019 Pasal 7.3.4.1

Maka didapatkan batas simpangan antar lantai tidak boleh melebihi 70 mm.

Defleksi pusat massa di Tingkat X dan berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.12.3, ditentukan dengan rumus berikut :

$$\delta x = \frac{Cd . \delta xe}{Ie} \dots\dots\dots (3.8)$$

Keterangan :

Cd = Faktor pembesaran defleksi (5,5).

δxe = Defleksi pada Lantai X ditentukan dengan Analisis Elastis.

Ie = Faktor keutamaan (1,0).

Berikut ini adalah kontrol simpangan antar lantai pada setiap lantai struktur akibat gempa Arah X dan Arah Y.

4.6.1 Persentase Simpangan Lantai Arah X dan Arah Y

Berikut ini hasil perhitungan persentase dan analisis perbandingan nilai *displacement* menggunakan *Isolator High Damping Rubber Bearing* dengan tanpa *Isolator* akibat beban gempa respons spektrum ditampilkan pada Tabel berikut :

Tabel 4.14 Kontrol Simpangan Arah X pada Gedung Model 1

Keterangan	h_x (mm)	p	δ_{xe} (mm)	C_d	I_e	Δa (mm)	δ_x (mm)	$\Delta = \delta_{xa} - \delta_{xb}$ (mm)	$\Delta a/p$ (mm)	$\Delta > \Delta a/p$
Lantai Dasar	0	1	9.262	5.5	1	-	50.94	-	-	-
Lantai 1	3500	1	9.808	5.5	1	70	53.943	3.003	70	OKE
Lantai 2	3500	1	10.487	5.5	1	70	57.68	3.737	70	OKE
Lantai 3	3500	1	11.438	5.5	1	70	62.908	5.228	70	OKE
Lantai 4	3500	1	12.444	5.5	1	70	68.44	5.532	70	OKE
Lantai 5	3500	1	13.429	5.5	1	70	73.86	5.42	70	OKE
Lantai 6	3500	1	14.356	5.5	1	70	78.956	5.096	70	OKE
Lantai 7	3500	1	15.206	5.5	1	70	83.635	4.679	70	OKE
Lantai 8	3500	1	15.972	5.5	1	70	87.844	4.209	70	OKE
Lantai 9	3500	1	16.644	5.5	1	70	91.541	3.697	70	OKE
Lantai 10	3500	1	17.216	5.5	1	70	94.686	3.145	70	OKE
Lantai 11	3500	1	17.680	5.5	1	70	97.238	2.552	70	OKE
Lantai 12	3500	1	18.028	5.5	1	70	99.156	1.918	70	OKE
Lantai 13	3500	1	18.229	5.5	1	70	100.261	1.105	70	OKE
Lantai Atap	3500	1	18.367	5.5	1	70	101.017	0.756	70	OKE

Tabel 4.15 Kontrol Simpangan Arah Y pada Gedung dengan HDRB Model 1

Keterangan	h_x (mm)	p	δ_{xe} (mm)	C_d	I_e	Δa (mm)	δ_x (mm)	$\Delta = \delta_{xa} - \delta_{xb}$ (mm)	$\Delta a/p$ (mm)	$\Delta > \Delta a/p$
Lantai Dasar	0	1	7.612	5.5	1	-	41.866	-	-	-
Lantai 1	3500	1	7.920	5.5	1	70	43.56	1.694	70	OKE
Lantai 2	3500	1	8.540	5.5	1	70	46.971	3.411	70	OKE
Lantai 3	3500	1	9.599	5.5	1	70	52.797	5.826	70	OKE
Lantai 4	3500	1	10.635	5.5	1	70	58.495	5.698	70	OKE
Lantai 5	3500	1	11.658	5.5	1	70	64.118	5.623	70	OKE
Lantai 6	3500	1	12.627	5.5	1	70	69.45	5.332	70	OKE
Lantai 7	3500	1	13.525	5.5	1	70	74.387	4.937	70	OKE
Lantai 8	3500	1	14.340	5.5	1	70	78.868	4.481	70	OKE
Lantai 9	3500	1	15.061	5.5	1	70	82.838	3.97	70	OKE
Lantai 10	3500	1	15.681	5.5	1	70	86.247	3.409	70	OKE
Lantai 11	3500	1	16.190	5.5	1	70	89.044	2.797	70	OKE
Lantai 12	3500	1	16.580	5.5	1	70	91.19	2.146	70	OKE
Lantai 13	3500	1	16.814	5.5	1	70	92.477	1.287	70	OKE
Lantai Atap	3500	1	16.981	5.5	1	70	93.394	0.917	70	OKE

Tabel 4.16 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah X Model 1 – Model 2

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 1	Penambahan	Model 2	Penambahan
Lantai Dasar	0	0	50.94	100.0%	0	0.0%
Lantai 1	3500	1.994	53.943	96.3%	49.38	96.0%
Lantai 2	3500	5.832	57.68	89.9%	52.777	88.9%
Lantai 3	3500	11.643	62.908	81.5%	57.841	79.9%
Lantai 4	3500	18.232	68.44	73.4%	63.402	71.2%
Lantai 5	3500	24.758	73.86	66.5%	68.867	64.0%
Lantai 6	3500	30.924	78.956	60.8%	74.007	58.2%
Lantai 7	3500	36.618	83.635	56.2%	78.727	53.5%
Lantai 8	3500	41.792	87.844	52.4%	82.973	49.6%
Lantai 9	3500	46.411	91.541	49.3%	86.705	46.5%
Lantai 10	3500	50.428	94.686	46.7%	89.883	43.9%
Lantai 11	3500	53.775	97.238	44.7%	92.464	41.8%
Lantai 12	3500	56.353	99.156	43.2%	94.403	40.3%
Lantai 13	3500	57.856	100.261	42.3%	95.519	39.4%
Lantai Atap	3500	58.855	101.017	41.7%	96.343	38.9%
				63.0%		54.2%

Tabel 4.17 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah X Model 3 – Model 4

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 3	Penambahan	Model 4	Penambahan
Lantai Dasar	0	0	0	0.0%	0	0.0%
Lantai 1	3500	1.994	1.174	-69.8%	1.597	-24.9%
Lantai 2	3500	5.832	72.688	92.0%	4.451	-31.0%
Lantai 3	3500	11.643	76.641	84.8%	74.454	84.4%
Lantai 4	3500	18.232	81.162	77.5%	77.476	76.5%
Lantai 5	3500	24.758	85.502	71.0%	81.656	69.7%
Lantai 6	3500	30.924	89.521	65.5%	85.667	63.9%
Lantai 7	3500	36.618	93.165	60.7%	89.348	59.0%
Lantai 8	3500	41.792	96.404	56.6%	92.634	54.9%
Lantai 9	3500	46.411	99.218	53.2%	95.493	51.4%
Lantai 10	3500	50.428	101.59	50.4%	97.903	48.5%
Lantai 11	3500	53.775	103.501	48.0%	99.845	46.1%
Lantai 12	3500	56.353	104.927	46.3%	101.3	44.4%
Lantai 13	3500	57.856	105.748	45.3%	102.139	43.4%
Lantai Atap	3500	58.855	106.462	44.7%	102.75	42.7%
				48.4%		41.9%

Tabel 4.18 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah X Model 5 – Model 6

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 5	Penambahan	Model 6	Penambahan
Lantai Dasar	0	0	0	0.0%	0	0.0%
Lantai 1	3500	1.994	1.647	-21.1%	1.675	-19.0%
Lantai 2	3500	5.832	4.675	-24.7%	4.822	-20.9%
Lantai 3	3500	11.643	8.746	-33.1%	9.266	-25.7%
Lantai 4	3500	18.232	82.304	77.8%	13.877	-31.4%
Lantai 5	3500	24.758	84.778	70.8%	83.243	70.3%
Lantai 6	3500	30.924	88.437	65.0%	85.519	63.8%
Lantai 7	3500	36.618	91.9	60.2%	88.906	58.8%
Lantai 8	3500	41.792	95.022	56.0%	92.06	54.6%
Lantai 9	3500	46.411	97.744	52.5%	94.847	51.1%
Lantai 10	3500	50.428	100.041	49.6%	97.219	48.1%
Lantai 11	3500	53.775	101.892	47.2%	99.144	45.8%
Lantai 12	3500	56.353	103.279	45.4%	100.97045	44.2%
Lantai 13	3500	57.856	104.079	44.4%	101.996	43.3%
Lantai Atap	3500	58.855	104.666	43.8%	102.535	42.6%
				35.6%		28.4%

Tabel 4.19 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah X Model 7 – Model 8

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 7	Penambahan	Model 8	Penambahan
Lantai Dasar	0	0	0	0.0%	0	0.0%
Lantai 1	3500	1.994	1.752	-13.8%	1.975	-1.0%
Lantai 2	3500	5.832	5.088	-14.6%	5.709	-2.2%
Lantai 3	3500	11.643	9.942	-17.1%	11.106	-4.8%
Lantai 4	3500	18.232	15.134	-20.5%	16.909	-7.8%
Lantai 5	3500	24.758	19.807	-25.0%	22.217	-11.4%
Lantai 6	3500	30.924	84.136	63.2%	26.68	-15.9%
Lantai 7	3500	36.618	86.059	57.5%	84.563	56.7%
Lantai 8	3500	41.792	89.144	53.1%	86.486	51.7%
Lantai 9	3500	46.411	91.982	49.5%	89.356	48.1%
Lantai 10	3500	50.428	94.442	46.6%	91.919	45.1%
Lantai 11	3500	53.775	96.467	44.3%	94.031	42.8%
Lantai 12	3500	56.353	98.007	42.5%	95.623	41.1%
Lantai 13	3500	57.856	98.9	41.5%	96.537	40.1%
Lantai Atap	3500	58.855	99.541	40.9%	97.184	39.4%
				23.2%		21.5%

Tabel 4.20 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah X Model 9 – Model 10

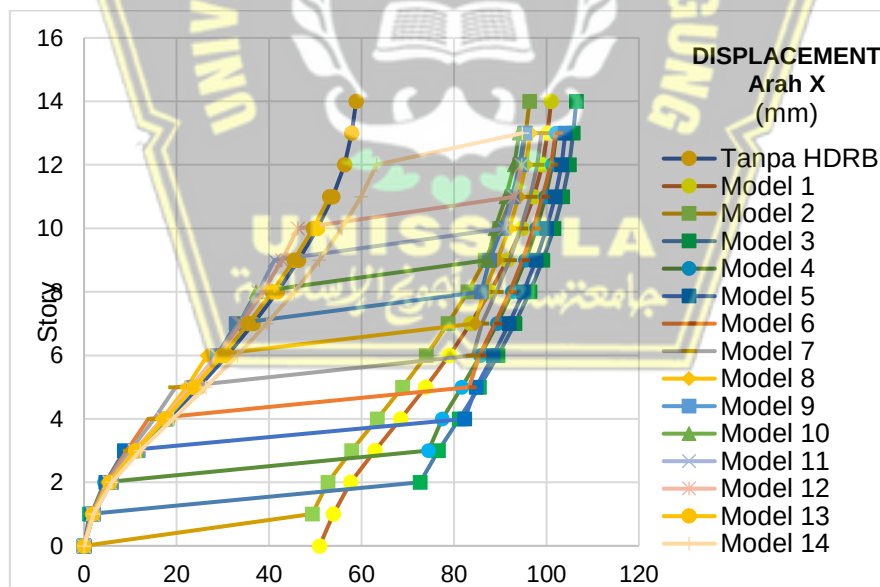
Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 9	Penambahan	Model 10	Penambahan
Lantai Dasar	0	0	0	0.0%	0	0.0%
Lantai 1	3500	1.994	2.044	2.4%	1.976	-0.9%
Lantai 2	3500	5.832	5.943	1.9%	5.772	-1.0%
Lantai 3	3500	11.643	11.668	0.2%	11.431	-1.9%
Lantai 4	3500	18.232	17.915	-1.8%	17.702	-3.0%
Lantai 5	3500	24.758	23.738	-4.3%	23.678	-4.6%
Lantai 6	3500	30.924	28.769	-7.5%	29.011	-6.6%
Lantai 7	3500	36.618	32.861	-11.4%	33.557	-9.1%
Lantai 8	3500	41.792	85.925	51.4%	37.257	-12.2%
Lantai 9	3500	46.411	87.689	47.1%	87.308	46.8%
Lantai 10	3500	50.428	90.305	44.2%	88.905	43.3%
Lantai 11	3500	53.775	92.543	41.9%	91.21	41.0%
Lantai 12	3500	56.353	94.25	40.2%	93.041	39.4%
Lantai 13	3500	57.856	95.23	39.2%	94.105	38.5%
Lantai Atap	3500	58.855	95.915	38.6%	94.843	37.9%
				18.8%		13.9%

Tabel 4.21 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah X Model 11 – Model 12

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 11	Penambahan	Model 12	Penambahan
Lantai Dasar	0	0	0	0.0%	0	0.0%
Lantai 1	3500	1.994	1.888	-5.6%	1.863	-7.0%
Lantai 2	3500	5.832	5.53	-5.5%	5.451	-7.0%
Lantai 3	3500	11.643	11.021	-5.6%	10.915	-6.7%
Lantai 4	3500	18.232	17.18	-6.1%	17.066	-6.8%
Lantai 5	3500	24.758	23.155	-6.9%	23.132	-7.0%
Lantai 6	3500	30.924	28.635	-8.0%	28.829	-7.3%
Lantai 7	3500	36.618	33.497	-9.3%	34.035	-7.6%
Lantai 8	3500	41.792	37.683	-10.9%	38.694	-8.0%
Lantai 9	3500	46.411	41.16	-12.8%	42.77	-8.5%
Lantai 10	3500	50.428	90.988	44.6%	46.233	-9.1%
Lantai 11	3500	53.775	92.904	42.1%	93.142	42.3%
Lantai 12	3500	56.353	94.763	40.5%	94.602	40.4%
Lantai 13	3500	57.856	96.266	39.9%	95.815	39.6%
Lantai Atap	3500	58.855	96.752	39.2%	96.752	39.2%
				9.0%		5.8%

Tabel 4.22 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah X Model 13 – Model 14

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 13	Penambahan	Model 14	Penambahan
Lantai Dasar	0	0	0	0.0%	0	0.0%
Lantai 1	3500	1.994	1.883	-5.9%	2.041	2.3%
Lantai 2	3500	5.832	5.525	-5.6%	6.01	3.0%
Lantai 3	3500	11.643	11.123	-4.7%	12.166	4.3%
Lantai 4	3500	18.232	17.484	-4.3%	19.216	5.1%
Lantai 5	3500	24.758	23.83	-3.9%	26.304	5.9%
Lantai 6	3500	30.924	29.884	-3.5%	33.123	6.6%
Lantai 7	3500	36.618	35.536	-3.0%	39.545	7.4%
Lantai 8	3500	41.792	40.726	-2.6%	45.493	8.1%
Lantai 9	3500	46.411	45.411	-2.2%	50.908	8.8%
Lantai 10	3500	50.428	49.551	-1.8%	55.729	9.5%
Lantai 11	3500	53.775	53.092	-1.3%	59.881	10.2%
Lantai 12	3500	56.353	95.898	41.2%	63.256	10.9%
Lantai 13	3500	57.856	96.657	40.1%	94.749	38.9%
Lantai Atap	3500	58.855	97.546	39.7%	95.223	38.2%
				5.5%		10.6%



Gambar 4.26 Grafik Simpangan antar Lantai Arah X Model 1 – Model 14

Berdasarkan 14 model dibandingkan dengan model tanpa HDRB, menunjukkan rata-rata nilai simpangan lantai terbesar terjadi pada Model 1 (penempatan HDRB di Lantai Dasar) untuk Arah X yaitu sebesar 63% , sedangkan untuk nilai terkecil terdapat pada Model 13 (penempatan HDRB di Lantai 12) dengan nilai sebesar 5.5%.

Tabel 4.23 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah Y Model 1 – Model 2

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 1	Penambahan	Model 2	Penambahan
Lantai Dasar	0	0	41.866	100.0%	0	0.0%
Lantai 1	3500	2.009	43.56	95.4%	40.43	95.0%
Lantai 2	3500	5.968	46.971	87.3%	43.99	86.4%
Lantai 3	3500	13.061	52.797	75.3%	49.5726	73.7%
Lantai 4	3500	20.258	58.495	65.4%	55.2666	63.3%
Lantai 5	3500	27.418	64.118	57.2%	60.8946	55.0%
Lantai 6	3500	34.195	69.45	50.8%	66.2296	48.4%
Lantai 7	3500	40.457	74.387	45.6%	71.1696	43.2%
Lantai 8	3500	46.157	78.868	41.5%	75.6526	39.0%
Lantai 9	3500	51.268	82.838	38.1%	79.6326	35.6%
Lantai 10	3500	55.744	86.247	35.4%	83.0576	32.9%
Lantai 11	3500	59.511	89.044	33.2%	85.8746	30.7%
Lantai 12	3500	62.457	91.19	31.5%	88.0326	29.1%
Lantai 13	3500	64.241	92.477	30.5%	89.3266	28.1%
Lantai Atap	3500	65.55	93.394	29.8%	90.4296	27.5%
				54.5%		45.9%

Tabel 4.24 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah Y Model 3 – Model 4

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 3	Penambahan	Model 4	Penambahan
Lantai Dasar	0	0	0	0.0%	0	0.0%
Lantai 1	3500	2.009	1.262	-59.2%	1.652	-21.6%
Lantai 2	3500	5.968	70.779	91.6%	4.724	-26.3%
Lantai 3	3500	13.061	75.878	82.8%	73.532	82.2%
Lantai 4	3500	20.258	81.341	75.1%	78.238	74.1%
Lantai 5	3500	27.418	86.676	68.4%	83.37	67.1%
Lantai 6	3500	34.195	91.67	62.7%	88.336	61.3%
Lantai 7	3500	40.457	96.232	58.0%	92.93	56.5%
Lantai 8	3500	46.157	100.316	54.0%	97.06	52.4%
Lantai 9	3500	51.268	103.889	50.7%	100.68	49.1%
Lantai 10	3500	55.744	106.923	47.9%	103.755	46.3%
Lantai 11	3500	59.511	109.392	45.6%	106.256	44.0%
Lantai 12	3500	62.457	111.269	43.9%	108.154	42.3%
Lantai 13	3500	64.241	112.393	42.8%	109.287	41.2%
Lantai Atap	3500	65.55	113.427	42.2%	110.199	40.5%
				47.1%		40.6%

Tabel 4.25 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah Y Model 5 – Model 6

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 5	Penambahan	Model 6	Penambahan
Lantai Dasar	0	0	0	0.0%	0	0.0%
Lantai 1	3500	2.009	1.68	-19.6%	1.705	-17.8%
Lantai 2	3500	5.968	4.889	-22.1%	5.019	-18.9%
Lantai 3	3500	13.061	10.309	-26.7%	10.82	-20.7%
Lantai 4	3500	20.258	82.325	75.4%	16.248	-24.7%
Lantai 5	3500	27.418	86.481	68.3%	84.503	67.6%
Lantai 6	3500	34.195	90.99	62.4%	88.381	61.3%
Lantai 7	3500	40.457	95.297	57.5%	92.547	56.3%
Lantai 8	3500	46.157	99.211	53.5%	96.464	52.2%
Lantai 9	3500	51.268	102.651	50.1%	99.961	48.7%
Lantai 10	3500	55.744	105.577	47.2%	102.965	45.9%
Lantai 11	3500	59.511	107.958	44.9%	105.433	43.6%
Lantai 12	3500	62.457	109.765	43.1%	107.32	41.8%
Lantai 13	3500	64.241	110.844	42.0%	108.45	40.8%
Lantai Atap	3500	65.55	111.723	41.3%	109.363	40.1%
				34.5%		27.7%

Tabel 4.26 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah Y Model 7 – Model 8

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 7	Penambahan	Model 8	Penambahan
Lantai Dasar	0	0	0	0.0%	0	0.0%
Lantai 1	3500	2.009	1.814	-10.7%	2.04	1.5%
Lantai 2	3500	5.968	5.373	-11.1%	6.01	0.7%
Lantai 3	3500	13.061	11.713	-11.5%	13.055	0.0%
Lantai 4	3500	20.258	17.789	-13.9%	19.759	-2.5%
Lantai 5	3500	27.418	23.414	-17.1%	26.011	-5.4%
Lantai 6	3500	34.195	86.641	60.5%	31.415	-8.8%
Lantai 7	3500	40.457	90.192	55.1%	88.295	54.2%
Lantai 8	3500	46.157	93.99	50.9%	91.647	49.6%
Lantai 9	3500	51.268	97.524	47.4%	95.186	46.1%
Lantai 10	3500	55.744	100.627	44.6%	98.39	43.3%
Lantai 11	3500	59.511	103.212	42.3%	101.068	41.1%
Lantai 12	3500	62.457	105.207	40.6%	103.118	39.4%
Lantai 13	3500	64.241	106.407	39.6%	104.34	38.4%
Lantai Atap	3500	65.55	107.363	38.9%	105.3	37.7%
				23.7%		22.4%

Tabel 4.27 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah Y Model 9 – Model 10

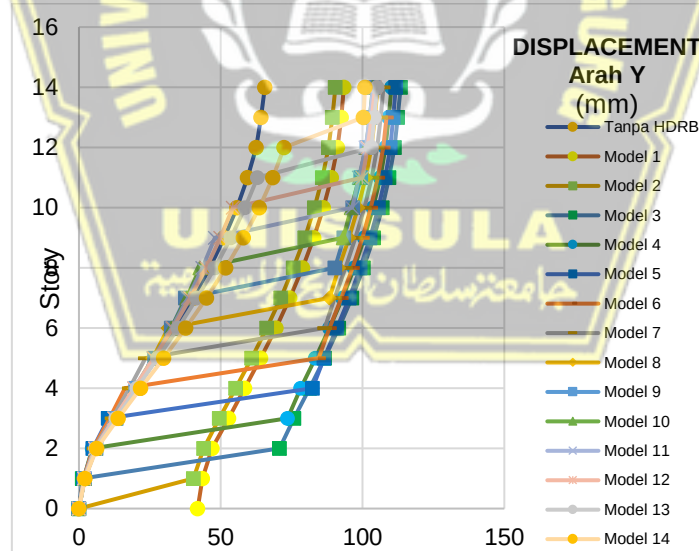
Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 9	Penambahan	Model 10	Penambahan
Lantai Dasar	0	0	0	0.0%	0	0.0%
Lantai 1	3500	2.009	2.033	1.2%	1.955	-2.8%
Lantai 2	3500	5.968	6.019	0.8%	5.816	-2.6%
Lantai 3	3500	13.061	13.17	0.8%	12.8	-2.0%
Lantai 4	3500	20.258	20.108	-0.7%	19.728	-2.7%
Lantai 5	3500	27.418	26.706	-2.7%	26.461	-3.6%
Lantai 6	3500	34.195	32.564	-5.0%	32.617	-4.8%
Lantai 7	3500	40.457	37.519	-7.8%	38.036	-6.4%
Lantai 8	3500	46.157	90.269	48.9%	42.653	-8.2%
Lantai 9	3500	51.268	93.375	45.1%	93.247	45.0%
Lantai 10	3500	55.744	96.584	42.3%	96.075	42.0%
Lantai 11	3500	59.511	99.367	40.1%	98.902	39.8%
Lantai 12	3500	62.457	101.525	38.5%	101.186	38.3%
Lantai 13	3500	64.241	102.811	37.5%	102.568	37.4%
Lantai Atap	3500	65.55	103.81	36.9%	103.633	36.7%
				18.4%		13.7%

Tabel 4.28 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah Y Model 11 – Model 12

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 11	Penambahan	Model 12	Penambahan
Lantai Dasar	0	0	0	0.0%	0	0.0%
Lantai 1	3500	2.009	1.905	-5.5%	1.917	-4.8%
Lantai 2	3500	5.968	5.684	-5.0%	5.719	-4.4%
Lantai 3	3500	13.061	12.554	-4.0%	12.523	-4.3%
Lantai 4	3500	20.258	19.469	-4.1%	19.496	-3.9%
Lantai 5	3500	27.418	26.29	-4.3%	26.476	-3.6%
Lantai 6	3500	34.195	32.66	-4.7%	33.123	-3.2%
Lantai 7	3500	40.457	38.439	-5.2%	39.29	-3.0%
Lantai 8	3500	46.157	43.558	-6.0%	44.902	-2.8%
Lantai 9	3500	51.268	47.974	-6.9%	49.916	-2.7%
Lantai 10	3500	55.744	96.319	42.1%	54.286	-2.7%
Lantai 11	3500	59.511	98.788	39.8%	99.934	40.4%
Lantai 12	3500	62.457	101.114	38.2%	101.797	38.6%
Lantai 13	3500	64.241	102.581	37.4%	103.271	37.8%
Lantai Atap	3500	65.55	103.714	36.8%	104.417	37.2%
				9.9%		7.9%

Tabel 4.29 Resume Persentase Simpangan Lantai Arah Y Model 13 – Model 14

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 13	Penambahan	Model 14	Penambahan
Lantai Dasar	0	0	0	0.0%	0	0.0%
Lantai 1	3500	2.009	1.976	-1.7%	2.095	4.1%
Lantai 2	3500	5.968	5.914	-0.9%	6.288	5.1%
Lantai 3	3500	13.061	13.013	-0.4%	13.893	6.0%
Lantai 4	3500	20.258	20.361	0.5%	21.814	7.1%
Lantai 5	3500	27.418	27.783	1.3%	29.854	8.2%
Lantai 6	3500	34.195	34.933	2.1%	37.634	9.1%
Lantai 7	3500	40.457	41.662	2.9%	44.986	10.1%
Lantai 8	3500	46.157	47.889	3.6%	51.814	10.9%
Lantai 9	3500	51.268	53.554	4.3%	58.041	11.7%
Lantai 10	3500	55.744	58.604	4.9%	63.593	12.3%
Lantai 11	3500	59.511	62.978	5.5%	68.389	13.0%
Lantai 12	3500	62.457	103.137	39.4%	72.323	13.6%
Lantai 13	3500	64.241	104.123	38.3%	100.312	36.0%
Lantai Atap	3500	65.55	105.184	37.7%	100.911	35.0%
				9.2%		12.1%



Gambar 4.27 Grafik Simpangan antar Lantai Arah Y Model 1 – Model 14

Berdasarkan 14 model dibandingkan dengan model tanpa *HDRB*, menunjukkan rata-rata nilai simpangan lantai terbesar terjadi pada Model 1 (penempatan *HDRB* di Lantai Dasar) untuk arah Y yaitu sebesar 54% , sedangkan untuk nilai terkecil terdapat pada Model 13 (penempatan *HDRB* di Lantai 12) dengan nilai sebesar 9.2%.

4.6.2 Persentase Drift Arah X dan Arah Y

Tabel 4.30 Resume Persentase Drift Arah X Model 1 – Model 2

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 1	Reduksi	Model 2	Reduksi
Lantai 1	3500	1.994	3.003	33.6%	49.38	96.0%
Lantai 2	3500	3.838	3.737	-2.7%	3.397	-13.0%
Lantai 3	3500	5.811	5.228	-11.2%	5.064	-14.8%
Lantai 4	3500	6.589	5.532	-19.1%	5.561	-18.5%
Lantai 5	3500	6.526	5.42	-20.4%	5.465	-19.4%
Lantai 6	3500	6.166	5.096	-21.0%	5.14	-20.0%
Lantai 7	3500	5.694	4.679	-21.7%	4.72	-20.6%
Lantai 8	3500	5.174	4.209	-22.9%	4.246	-21.9%
Lantai 9	3500	4.619	3.697	-24.9%	3.732	-23.8%
Lantai 10	3500	4.017	3.145	-27.7%	3.178	-26.4%
Lantai 11	3500	3.347	2.552	-31.2%	2.581	-29.7%
Lantai 12	3500	2.578	1.918	-34.4%	1.939	-33.0%
Lantai 13	3500	1.503	1.105	-36.0%	1.116	-34.7%
Lantai Atap	3500	0.999	0.756	-32.1%	0.824	-21.2%
				-18.1%		-13.4%

Tabel 4.31 Resume Persentase Drift Arah X Model 3 – Model 4

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 3	Reduksi	Model 4	Reduksi
Lantai 1	3500	1.994	1.174	-69.8%	1.597	-24.9%
Lantai 2	3500	3.838	71.514	94.6%	2.854	-34.5%
Lantai 3	3500	5.811	3.953	-47.0%	70.003	91.7%
Lantai 4	3500	6.589	4.521	-45.7%	3.022	-118.0%
Lantai 5	3500	6.526	4.34	-50.4%	4.18	-56.1%
Lantai 6	3500	6.166	4.019	-53.4%	4.011	-53.7%
Lantai 7	3500	5.694	3.644	-56.3%	3.681	-54.7%
Lantai 8	3500	5.174	3.239	-59.7%	3.286	-57.5%
Lantai 9	3500	4.619	2.814	-64.1%	2.859	-61.6%
Lantai 10	3500	4.017	2.372	-69.4%	2.41	-66.7%
Lantai 11	3500	3.347	1.911	-75.1%	1.942	-72.3%
Lantai 12	3500	2.578	1.426	-80.8%	1.455	-77.2%
Lantai 13	3500	1.503	0.821	-83.1%	0.839	-79.1%
Lantai Atap	3500	0.999	0.714	-39.9%	0.611	-63.5%
				-46.7%		-48.5%

Tabel 4.32 Resume Persentase Drift Arah X Model 5 – Model 6

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 5	Reduksi	Model 6	Reduksi
Lantai 1	3500	1.994	1.647	-21.1%	1.675	-19.0%
Lantai 2	3500	3.838	3.028	-26.8%	3.147	-22.0%
Lantai 3	3500	5.811	4.071	-42.7%	4.444	-30.8%
Lantai 4	3500	6.589	73.558	91.0%	4.611	-42.9%
Lantai 5	3500	6.526	2.474	-163.8%	69.366	90.6%
Lantai 6	3500	6.166	3.659	-68.5%	2.276	-170.9%
Lantai 7	3500	5.694	3.463	-64.4%	3.387	-68.1%
Lantai 8	3500	5.174	3.122	-65.7%	3.154	-64.0%
Lantai 9	3500	4.619	2.722	-69.7%	2.787	-65.7%
Lantai 10	3500	4.017	2.297	-74.9%	2.372	-69.4%
Lantai 11	3500	3.347	1.851	-80.8%	1.925	-73.9%
Lantai 12	3500	2.578	1.387	-85.9%	1.82645	-41.1%
Lantai 13	3500	1.503	0.8	-87.9%	1.02555	-46.6%
Lantai Atap	3500	0.999	0.587	-70.2%	0.539	-85.3%
				-55.4%		-47.3%

Tabel 4.33 Resume Persentase Drift Arah X Model 7 – Model 8

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 7	Reduksi	Model 8	Reduksi
Lantai 1	3500	1.994	1.752	-13.8%	1.975	-1.0%
Lantai 2	3500	3.838	3.336	-15.0%	3.734	-2.8%
Lantai 3	3500	5.811	4.854	-19.7%	5.397	-7.7%
Lantai 4	3500	6.589	5.192	-26.9%	5.803	-13.5%
Lantai 5	3500	6.526	4.673	-39.7%	5.308	-22.9%
Lantai 6	3500	6.166	64.329	90.4%	4.463	-38.2%
Lantai 7	3500	5.694	1.923	-196.1%	57.883	90.2%
Lantai 8	3500	5.174	3.085	-67.7%	1.923	-169.1%
Lantai 9	3500	4.619	2.838	-62.8%	2.87	-60.9%
Lantai 10	3500	4.017	2.46	-63.3%	2.563	-56.7%
Lantai 11	3500	3.347	2.025	-65.3%	2.112	-58.5%
Lantai 12	3500	2.578	1.54	-67.4%	1.592	-61.9%
Lantai 13	3500	1.503	0.893	-68.3%	0.914	-64.4%
Lantai Atap	3500	0.999	0.641	-55.9%	0.647	-54.4%
				-44.8%		-34.8%

Tabel 4.34 Resume Persentase Drift Arah X Model 9 – Model 10

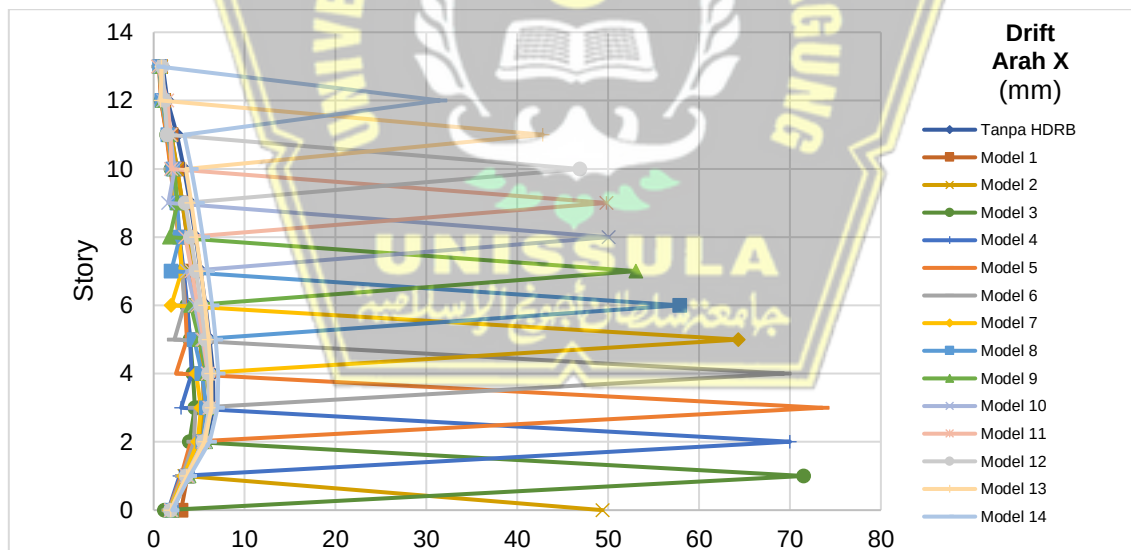
Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 9	Reduksi	Model 10	Reduksi
Lantai 1	3500	1.994	2.044	2.4%	1.976	-0.9%
Lantai 2	3500	3.838	3.899	1.6%	3.796	-1.1%
Lantai 3	3500	5.811	5.725	-1.5%	5.659	-2.7%
Lantai 4	3500	6.589	6.247	-5.5%	6.271	-5.1%
Lantai 5	3500	6.526	5.823	-12.1%	5.976	-9.2%
Lantai 6	3500	6.166	5.031	-22.6%	5.333	-15.6%
Lantai 7	3500	5.694	4.092	-39.1%	4.546	-25.3%
Lantai 8	3500	5.174	53.064	90.2%	3.7	-39.8%
Lantai 9	3500	4.619	1.764	-161.8%	50.051	90.8%
Lantai 10	3500	4.017	2.616	-53.6%	1.597	-151.5%
Lantai 11	3500	3.347	2.238	-49.6%	2.305	-45.2%
Lantai 12	3500	2.578	1.707	-51.0%	1.831	-40.8%
Lantai 13	3500	1.503	0.98	-53.4%	1.064	-41.3%
Lantai Atap	3500	0.999	0.685	-45.8%	0.738	-35.4%
				-26.8%		-21.5%

Tabel 4.35 Resume Persentase Drift Arah X Model 11 – Model 12

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 11	Reduksi	Model 12	Reduksi
Lantai 1	3500	1.994	1.888	-5.6%	1.863	-7.0%
Lantai 2	3500	3.838	3.642	-5.4%	3.588	-7.0%
Lantai 3	3500	5.811	5.491	-5.8%	5.464	-6.4%
Lantai 4	3500	6.589	6.159	-7.0%	6.151	-7.1%
Lantai 5	3500	6.526	5.975	-9.2%	6.066	-7.6%
Lantai 6	3500	6.166	5.48	-12.5%	5.697	-8.2%
Lantai 7	3500	5.694	4.862	-17.1%	5.206	-9.4%
Lantai 8	3500	5.174	4.186	-23.6%	4.659	-11.1%
Lantai 9	3500	4.619	3.477	-32.8%	4.076	-13.3%
Lantai 10	3500	4.017	49.828	91.9%	3.463	-16.0%
Lantai 11	3500	3.347	1.916	-74.7%	46.909	92.9%
Lantai 12	3500	2.578	1.859	-38.7%	1.46	-76.6%
Lantai 13	3500	1.503	1.503	0.0%	1.213	-23.9%
Lantai Atap	3500	0.999	0.486	-105.6%	0.937	-6.6%
				-16.4%		-7.2%

Tabel 4.36 Resume Persentase Drift Arah X Model 13 – Model 14

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 13	Reduksi	Model 14	Reduksi
Lantai 1	3500	1.994	1.883	-5.9%	2.041	2.3%
Lantai 2	3500	3.838	3.642	-5.4%	3.969	3.3%
Lantai 3	3500	5.811	5.598	-3.8%	6.156	5.6%
Lantai 4	3500	6.589	6.361	-3.6%	7.05	6.5%
Lantai 5	3500	6.526	6.346	-2.8%	7.088	7.9%
Lantai 6	3500	6.166	6.054	-1.9%	6.819	9.6%
Lantai 7	3500	5.694	5.652	-0.7%	6.422	11.3%
Lantai 8	3500	5.174	5.19	0.3%	5.948	13.0%
Lantai 9	3500	4.619	4.685	1.4%	5.415	14.7%
Lantai 10	3500	4.017	4.14	3.0%	4.821	16.7%
Lantai 11	3500	3.347	3.541	5.5%	4.152	19.4%
Lantai 12	3500	2.578	42.806	94.0%	3.375	23.6%
Lantai 13	3500	1.503	0.759	-98.0%	31.493	95.2%
Lantai Atap	3500	0.999	0.889	-12.4%	0.474	-110.8%
				-2.0%		7.9%



Gambar 4.28 Grafik Drift Arah X Model 1 – Model 14

Berdasarkan 14 model dibandingkan dengan model tanpa HDRB, menunjukkan rata-rata nilai *Drift* mengalami reduksi terbesar terjadi pada Model 5 (penempatan HDRB di Lantai 4) untuk Arah X yaitu sebesar 55.4% , sedangkan pada Model 14 (penempatan *HDRB* di lantai 13) mengalami penambahan persentase nilai *Drift* dibandingkan bangunan tanpa HDRB dengan nilai sebesar 7.9%.

Tabel 4.37 Resume Persentase Drift Arah Y Model 1 – Model 2

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 1	Reduksi	Model 2	Reduksi
Lantai 1	3500	2.009	1.694	-18.6%	40.43	95.0%
Lantai 2	3500	3.959	3.411	-16.1%	3.56	-11.2%
Lantai 3	3500	7.093	5.826	-21.7%	5.5826	-27.1%
Lantai 4	3500	7.197	5.698	-26.3%	5.694	-26.4%
Lantai 5	3500	7.16	5.623	-27.3%	5.628	-27.2%
Lantai 6	3500	6.777	5.332	-27.1%	5.335	-27.0%
Lantai 7	3500	6.262	4.937	-26.8%	4.94	-26.8%
Lantai 8	3500	5.700	4.481	-27.2%	4.483	-27.1%
Lantai 9	3500	5.111	3.97	-28.7%	3.98	-28.4%
Lantai 10	3500	4.476	3.409	-31.3%	3.425	-30.7%
Lantai 11	3500	3.767	2.797	-34.7%	2.817	-33.7%
Lantai 12	3500	2.946	2.146	-37.3%	2.158	-36.5%
Lantai 13	3500	1.784	1.287	-38.6%	1.294	-37.9%
Lantai Atap	3500	1.309	0.917	-42.7%	1.103	-18.7%
				-27.0%		-17.6%

Tabel 4.38 Resume Persentase Drift Arah Y Model 3 – Model 4

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 3	Reduksi	Model 4	Reduksi
Lantai 1	3500	2.009	1.262	-59.2%	1.652	-21.6%
Lantai 2	3500	3.959	69.517	94.3%	3.072	-28.9%
Lantai 3	3500	7.093	5.099	-39.1%	68.808	89.7%
Lantai 4	3500	7.197	5.463	-31.7%	4.706	-52.9%
Lantai 5	3500	7.16	5.335	-34.2%	5.132	-39.5%
Lantai 6	3500	6.777	4.994	-35.7%	4.966	-36.5%
Lantai 7	3500	6.262	4.562	-37.3%	4.594	-36.3%
Lantai 8	3500	5.700	4.084	-39.6%	4.13	-38.0%
Lantai 9	3500	5.111	3.573	-43.0%	3.62	-41.2%
Lantai 10	3500	4.476	3.034	-47.5%	3.075	-45.6%
Lantai 11	3500	3.767	2.469	-52.6%	2.501	-50.6%
Lantai 12	3500	2.946	1.877	-57.0%	1.898	-55.2%
Lantai 13	3500	1.784	1.124	-58.7%	1.133	-57.5%
Lantai Atap	3500	1.309	1.034	-26.6%	0.912	-43.5%
				-31.2%		-30.5%

Tabel 4.39 Resume Persentase Drift Y Model 5 – Model 6

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 5	Reduksi	Model 6	Reduksi
Lantai 1	3500	2.009	1.68	-19.6%	1.705	-17.8%
Lantai 2	3500	3.959	3.209	-23.4%	3.314	-19.5%
Lantai 3	3500	7.093	5.42	-30.9%	5.801	-22.3%
Lantai 4	3500	7.197	72.016	90.0%	5.428	-32.6%
Lantai 5	3500	7.16	4.156	-72.3%	68.255	89.5%
Lantai 6	3500	6.777	4.509	-50.3%	3.878	-74.8%
Lantai 7	3500	6.262	4.307	-45.4%	4.166	-50.3%
Lantai 8	3500	5.700	3.914	-45.6%	3.917	-45.5%
Lantai 9	3500	5.111	3.44	-48.6%	3.497	-46.2%
Lantai 10	3500	4.476	2.926	-53.0%	3.004	-49.0%
Lantai 11	3500	3.767	2.381	-58.2%	2.468	-52.6%
Lantai 12	3500	2.946	1.807	-63.0%	1.887	-56.1%
Lantai 13	3500	1.784	1.079	-65.3%	1.13	-57.9%
Lantai Atap	3500	1.309	0.879	-48.9%	0.913	-43.4%
				-35.6%		-31.9%

Tabel 4.40 Resume Persentase Drift Arah Y Model 7 – Model 8

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 7	Reduksi	Model 8	Reduksi
Lantai 1	3500	2.009	1.814	-10.7%	2.04	1.5%
Lantai 2	3500	3.959	3.559	-11.2%	3.97	0.3%
Lantai 3	3500	7.093	6.34	-11.9%	7.045	-0.7%
Lantai 4	3500	7.197	6.076	-18.4%	6.704	-7.4%
Lantai 5	3500	7.16	5.625	-27.3%	6.252	-14.5%
Lantai 6	3500	6.777	63.227	89.3%	5.404	-25.4%
Lantai 7	3500	6.262	3.551	-76.3%	56.88	89.0%
Lantai 8	3500	5.700	3.798	-50.1%	3.352	-70.0%
Lantai 9	3500	5.111	3.534	-44.6%	3.539	-44.4%
Lantai 10	3500	4.476	3.103	-44.2%	3.204	-39.7%
Lantai 11	3500	3.767	2.585	-45.7%	2.678	-40.7%
Lantai 12	3500	2.946	1.995	-47.7%	2.05	-43.7%
Lantai 13	3500	1.784	1.2	-48.7%	1.222	-46.0%
Lantai Atap	3500	1.309	0.956	-36.9%	0.96	-36.4%
				-25.6%		-18.5%

Tabel 4.41 Resume Persentase Drift Arah Y Model 9 – Model 10

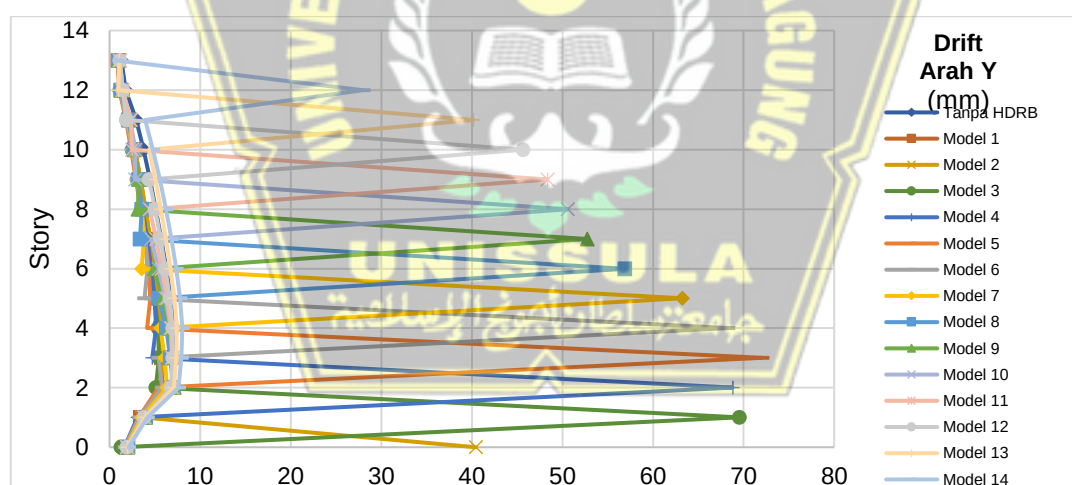
Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 9	Reduksi	Model 10	Reduksi
Lantai 1	3500	2.009	2.033	1.2%	1.955	-2.8%
Lantai 2	3500	3.959	3.986	0.7%	3.861	-2.5%
Lantai 3	3500	7.093	7.151	0.8%	6.984	-1.6%
Lantai 4	3500	7.197	6.938	-3.7%	6.928	-3.9%
Lantai 5	3500	7.16	6.598	-8.5%	6.733	-6.3%
Lantai 6	3500	6.777	5.858	-15.7%	6.156	-10.1%
Lantai 7	3500	6.262	4.955	-26.4%	5.419	-15.6%
Lantai 8	3500	5.700	52.75	89.2%	4.617	-23.5%
Lantai 9	3500	5.111	3.106	-64.6%	50.594	89.9%
Lantai 10	3500	4.476	3.209	-39.5%	2.828	-58.3%
Lantai 11	3500	3.767	2.783	-35.4%	2.827	-33.3%
Lantai 12	3500	2.946	2.158	-36.5%	2.284	-29.0%
Lantai 13	3500	1.784	1.286	-38.7%	1.382	-29.1%
Lantai Atap	3500	1.309	0.999	-31.0%	1.065	-22.9%
				-13.9%		-9.9%

Tabel 4.42 Resume Persentase Drift Arah Y Model 11 – Model 12

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 11	Reduksi	Model 12	Reduksi
Lantai 1	3500	2.009	1.905	-5.5%	1.917	-4.8%
Lantai 2	3500	3.959	3.779	-4.8%	3.802	-4.1%
Lantai 3	3500	7.093	6.87	-3.2%	6.804	-4.2%
Lantai 4	3500	7.197	6.915	-4.1%	6.973	-3.2%
Lantai 5	3500	7.16	6.821	-5.0%	6.98	-2.6%
Lantai 6	3500	6.777	6.37	-6.4%	6.647	-2.0%
Lantai 7	3500	6.262	5.779	-8.4%	6.167	-1.5%
Lantai 8	3500	5.700	5.119	-11.3%	5.612	-1.6%
Lantai 9	3500	5.111	4.416	-15.7%	5.014	-1.9%
Lantai 10	3500	4.476	48.345	90.7%	4.37	-2.4%
Lantai 11	3500	3.767	2.469	-52.6%	45.648	91.7%
Lantai 12	3500	2.946	2.326	-26.7%	1.863	-58.1%
Lantai 13	3500	1.784	1.467	-21.6%	1.474	-21.0%
Lantai Atap	3500	1.309	1.133	-15.5%	1.146	-14.2%
				-6.0%		-2.0%

Tabel 4.43 Resume Persentase Drift Arah Y Model 13 – Model 14

Keterangan	h_x (mm)	Tanpa HDRB	Model 13	Reduksi	Model 14	Reduksi
Lantai 1	3500	2.009	1.976	-1.7%	2.095	4.1%
Lantai 2	3500	3.959	3.938	-0.5%	4.193	5.6%
Lantai 3	3500	7.093	7.099	0.1%	7.605	6.7%
Lantai 4	3500	7.197	7.348	2.1%	7.921	9.1%
Lantai 5	3500	7.16	7.422	3.5%	8.04	10.9%
Lantai 6	3500	6.777	7.15	5.2%	7.78	12.9%
Lantai 7	3500	6.262	6.729	6.9%	7.352	14.8%
Lantai 8	3500	5.700	6.227	8.5%	6.828	16.5%
Lantai 9	3500	5.111	5.665	9.8%	6.227	17.9%
Lantai 10	3500	4.476	5.05	11.4%	5.552	19.4%
Lantai 11	3500	3.767	4.374	13.9%	4.796	21.5%
Lantai 12	3500	2.946	40.159	92.7%	3.934	25.1%
Lantai 13	3500	1.784	0.986	-80.9%	27.989	93.6%
Lantai Atap	3500	1.309	1.061	-23.4%	0.599	-118.5%
				3.2%		9.3%



Gambar 4.29 Grafik Drift Arah Y Model 1 – Model 14

Berdasarkan 14 model dibandingkan dengan model tanpa HDRB, menunjukkan rata-rata nilai *Drift* mengalami reduksi terbesar terjadi pada Model 5 (penempatan HDRB di Lantai 4) untuk Arah Y yaitu sebesar -35.6%, sedangkan pada Model 13 (penempatan HDRB di Lantai 12) mengalami penambahan persentase nilai *Drift* dibandingkan bangunan tanpa HDRB dengan nilai sebesar 3.2% dan Model 14 (penempatan HDRB di Lantai 13) dengan nilai sebesar 9.3%

4.7 Kontrol Perpindahan Storey-Isolation

Pada tahap ini dilakukan kembali analisa struktur sesuai dengan ketentuan Sistem Isolasi menurut SNI 1726–2019.

a. Mencari Nilai Faktor Redaman, B_M

Untuk mencari nilai Faktor B_M mengacu pada tabel berikut :

Tabel 4.20 Faktor Redaman, B_M

Redaman Efektif, β_M (persentase dari redaman kritis) ^{a,b}	Faktor B_M
≤ 2	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
40	1,9
≥ 50	2,0

(Sumber : SNI 1726:2019 Pasal 12.5.3.1 Tabel 36)

Berdasarkan *Catalog Bridgestone* koefisien redaman $HRDB$ adalah 24% sehingga diperoleh faktor B_M dari hasil interpolasi Tabel 36 pada SNI 1726:2019 adalah 1,58. Koefisien redaman harus berdasarkan interpolasi linier untuk nilai redaman efektif diantara nilai-nilai yang diberikan di atas.

Untuk redaman efektif 24 % diantara nilai 20% dan 30% maka dilakukan interpolasi untuk mendapatkan B_D atau B_M , maka :

$$Y_2 = Y_1 + \left(\frac{(X_2 - X_1)}{(X_3 - X_1)} \right) (Y_3 - Y_1) \dots \dots \dots (3.9)$$

dengan :

$$X_2 = 24\%, X_1 = 20\%, X_3 = 30\%, Y_1 = 1,5 \text{ dan } Y_3 = 1,9$$

Maka :

$$B_M = 1,5 + \left(\frac{(20 - 24)}{(20 - 30)} \right) (1,7 - 1,5) = 1,58$$

b. Periode Efektif pada Perpindahan Maksimum

Menentukan Periode Efektif saat perpindahan maksimum (T_M) untuk dimensi HDRB berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 12.4.1 :

$$T_M = 3 \times T_D, \text{ Periode Elastik struktur} = 3 \times 2,369 = 7,107 \text{ detik}$$

c. Menghitung Kekakuan Efektif.

Analisis struktur menggunakan program bantu analisis, didapatkan berat total bangunan (W) sebesar 85320.46 kN dari Tabel berikut :

Tabel 4.44 Berat Bangunan Kumulatif pada Setiap Penempatan HDRB

Letak HDRB	Berat Lantai (kN)
Lantai 13	9925.20
Lantai 12	15027.60
Lantai 11	20130.00
Lantai 10	25232.41
Lantai 9	30334.81
Lantai 8	35437.21
Lantai 7	40539.62
Lantai 6	45642.02
Lantai 5	25232.41
Lantai 4	55846.82
Lantai 3	60949.23
Lantai 2	71065.34
Lantai 1	81049.11
Lantai Dasar	85320.46

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 12.5.3.4 Periode Efektif pada saat perpindahan maksimum (T_M) dihitung berdasarkan rumus berikut :

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{Mmin} \times g}} \dots\dots\dots (3.10)$$

$$K_{Mmin} = \frac{W}{\left(\frac{T_M}{2\pi}\right)^2 \times g} \dots\dots\dots (3.11)$$

Keterangan :

K_{Mmin} = kekakuan efektif minimum sistem isolasi, dalam kN/mm, pada perpindahan maksimum diarah horizontal yang ditinjau.

K_{Mmax} = kekakuan efektif maksimum sistem isolasi, dalam kN/mm, pada perpindahan maksimum diarah horizontal yang ditinjau.

Maka nilai K_{Mmin} adalah

$$K_{Mmin} = \frac{85320.46}{\left(\frac{7,107}{2\pi}\right)^2 \times 9,81} = 6790,95 \text{ kN/m}$$

Kekakuan efektif maksimum bias dilakukan dengan asumsi sebesar 110% kekakuan minimum dengan Faktor Pembagi 0,9.

$$K_{Mmax} = 1,1 \times \frac{K_{Mmin}}{0,9} \dots\dots\dots (3.12)$$

$$K_{Mmax} = 1,1 \times \frac{6790,95}{0,9} = 8300,06$$

d. Menghitung Perpindahan Maksimum (D_M)

Berdasarkan prosedur Gaya Lateral Ekvivalen SNI 1726:2019 Pasal 12.4.1 nomor 2 bahwa Periode Efektif struktur dengan isolasi pada Perpindahan Maksimum (D_M) harus kurang atau sama dengan 5 detik.

$$T_M = 7,107 \text{ detik} > 5 \text{ detik}$$

Karena Periode Efektif 7,107 detik sehingga digunakan periode efektif 5 detik pada perhitungan Perpindahan Maksimum (D_M).

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 12.5.3.1 Perpindahan Maksimum *Isolator* (D_M) dihitung berdasarkan rumus berikut :

$$D_M = \frac{g S_{M1} T_M}{4\pi^2 B_M} \dots\dots\dots (3.13)$$

$$D_M = \frac{9810 \times 1,2 \times 5}{4\pi^2 \times 1,58} = 944,59 \text{ mm}$$

e. Menghitung Perpindahan Maksimum (D'_M)

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 12.5.3.1 Perpindahan Ijin Maksimum *Isolator* (D'_M) dihitung berdasarkan rumus berikut :

$$D'_M = \frac{D_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_M}\right)^2}} \dots\dots\dots (3.14)$$

$$D'_M = \frac{944,59}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,29}{5}\right)^2}} = 853,62 \text{ mm}$$

Perpindahan Ijin Maksimum *Isolator* (D'_M) = 853,62

untuk gempa arah X, perpindahan HDRB = 69.59 mm ≤ 853,62 mm (OK!)

untuk gempa arah Y, perpindahan HDRB = 69.59 mm ≤ 853,62 mm (OK!).

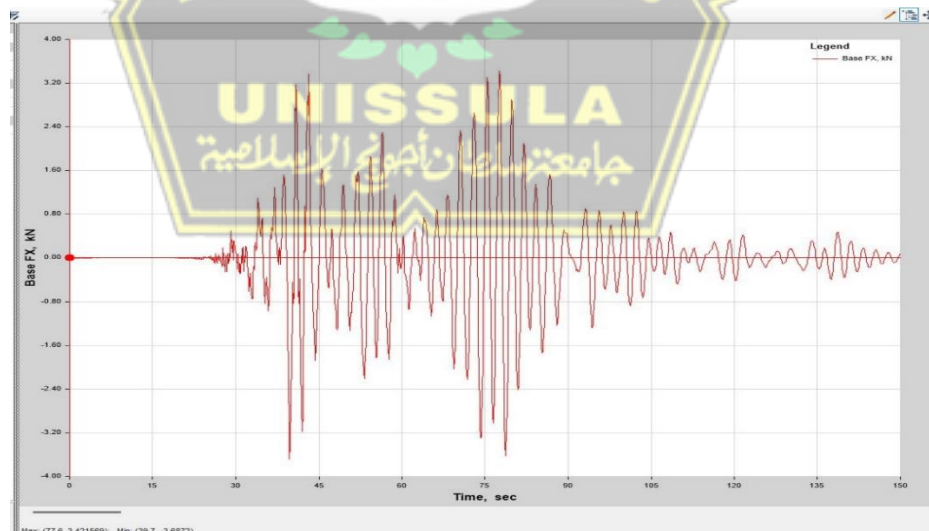
Jadi Perpindahan Maksimum *Isolator* memenuhi persyaratan.

Tabel 4.45 Kontrol Perpindahan Maksimum HDRB

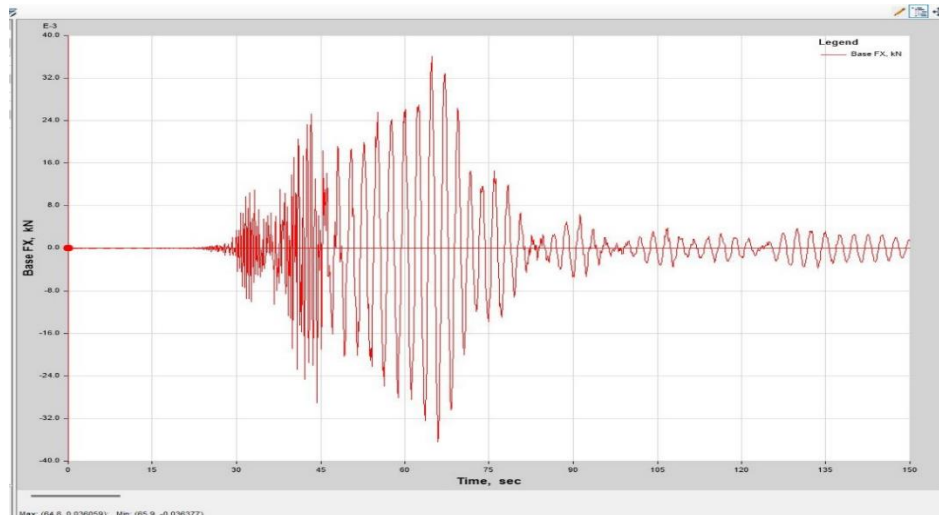
Letak HDRB	Periode Efektif DM	Periode Efektif KMmin	Berat Bangunan	Kekakuan efektif minimum	Kekakuan efektif maksimum	Perpindahan Maksimum	Perpindahan Maksimum Izin	Perpindahan HDRB
	T_M	T_M	W	K_{Mmin}	K_{Mmax}	D_M	D'_M	
	detik	detik	kN	kN/m	kN/m	mm	mm	mm
LT13	5.000	6.876	9925.20	843.95	1031.50	944.59	853.62	29.32
LT12	5.000	6.876	15027.60	1277.82	1561.77	944.59	853.62	39.93
LT11	5.000	6.876	20130.00	1711.68	2092.05	944.59	853.62	44.10
LT10	5.000	6.876	25232.41	2145.54	2622.33	944.59	853.62	47.06
LT9	5.000	6.876	30334.81	2579.41	3152.61	944.59	853.62	47.17
LT8	5.000	6.876	35437.21	3013.27	3682.89	944.59	853.62	49.91
LT7	5.000	6.876	40539.62	3447.13	4213.16	944.59	853.62	54.38
LT6	5.000	6.876	45642.02	3881.00	4743.44	944.59	853.62	60.51
LT5	5.000	6.876	25232.41	2145.54	2622.33	944.59	853.62	65.41
LT4	5.000	6.876	55846.82	4748.73	5804.00	944.59	853.62	69.59
LT3	5.000	6.876	60949.23	5182.59	6334.28	944.59	853.62	66.50
LT2	5.000	6.876	71065.34	6042.77	7385.61	944.59	853.62	69.53
LT1	5.000	6.876	81049.11	6891.71	8423.20	944.59	853.62	48.16
Lantai Dasar	5.000	6.876	85320.46	7254.91	8867.11	944.59	853.62	50.94

4.8 Analisis Time History

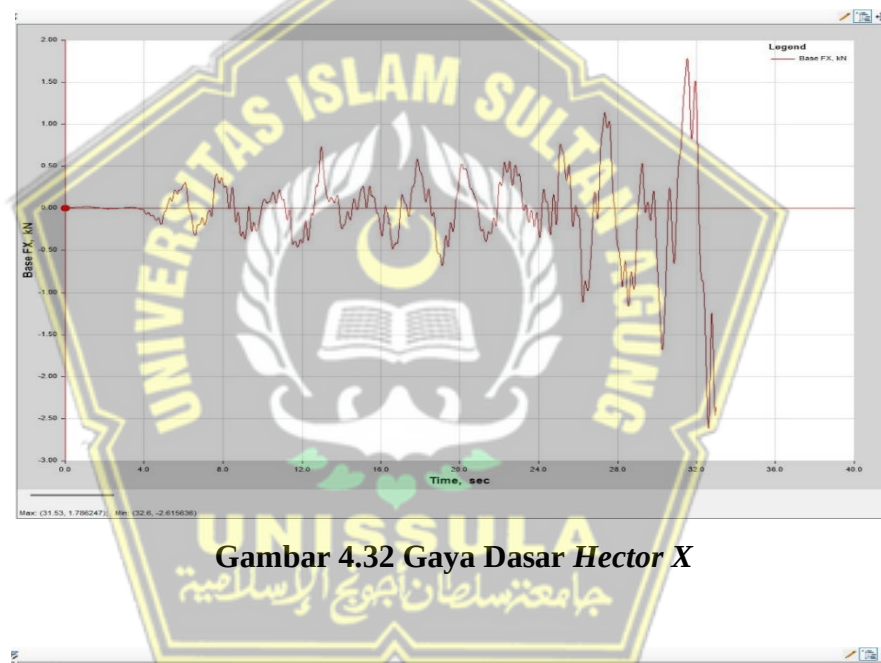
Data gempa *Time History* yang sudah dimasukan ke Software ETABS, kemudian keluar nilai Gaya Dasar dari masing masing gempa sebagai berikut :



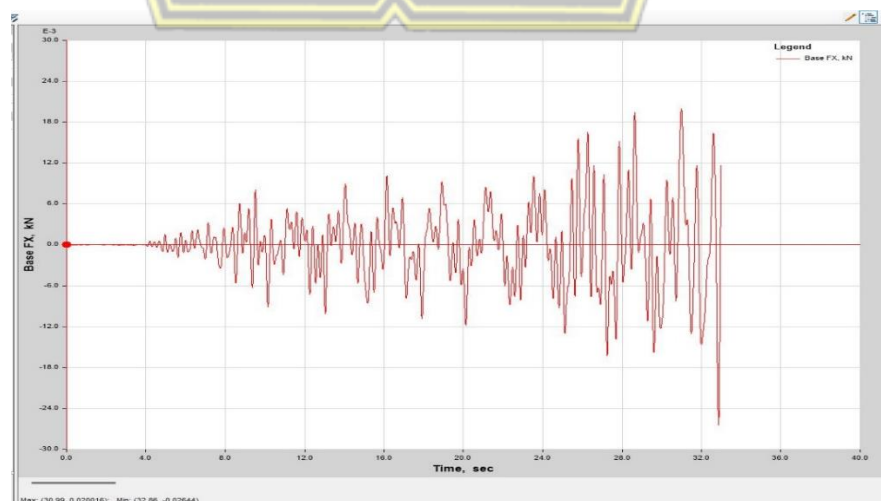
Gambar 4.30 Gaya Dasar Chi-Chi X



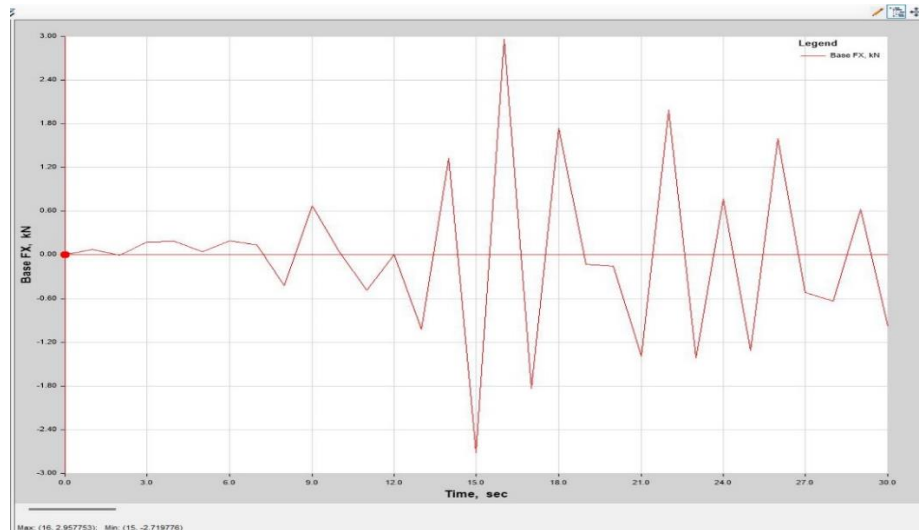
Gambar 4.31 Gaya Dasar *Chi-Chi Y*



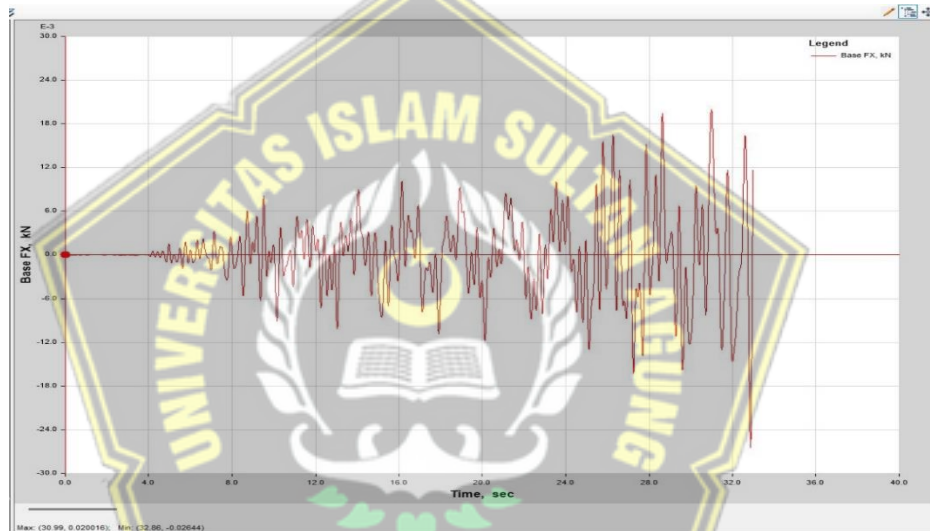
Gambar 4.32 Gaya Dasar *Hector X*



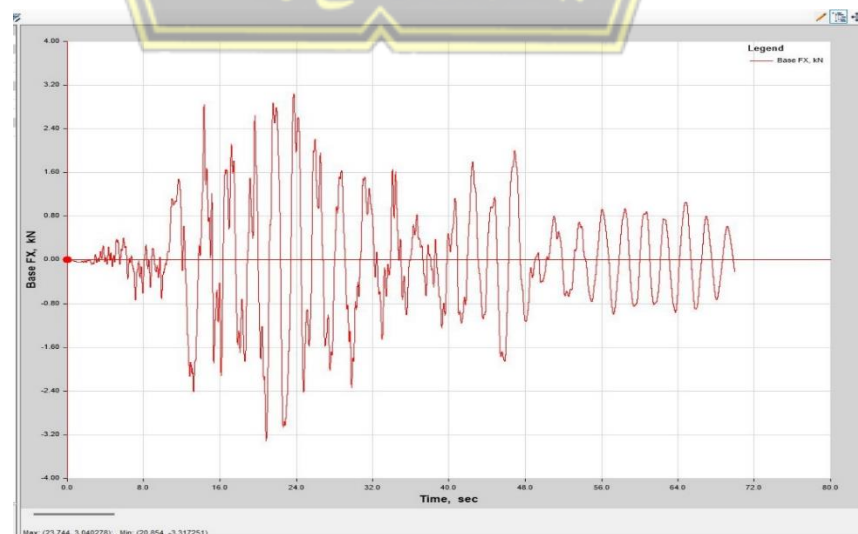
Gambar 4.33 Gaya Dasar *Hector Y*



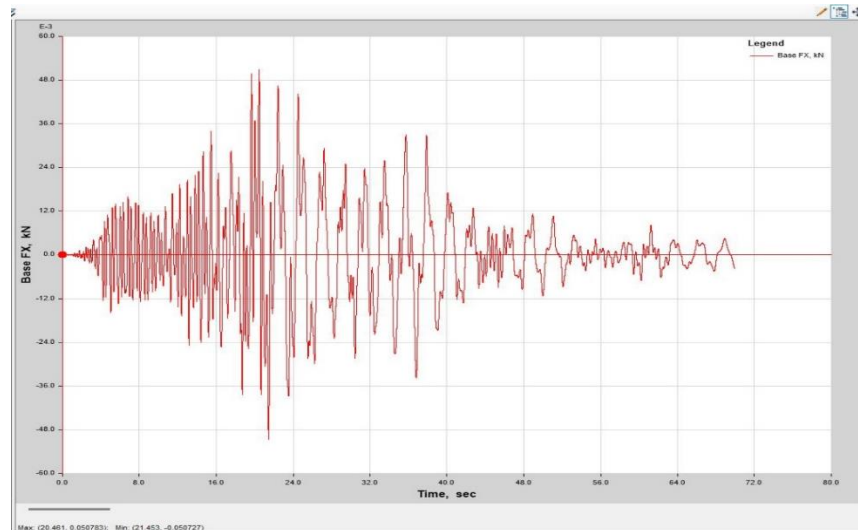
Gambar 4.34 Gaya Dasar *Imperial Valley X*



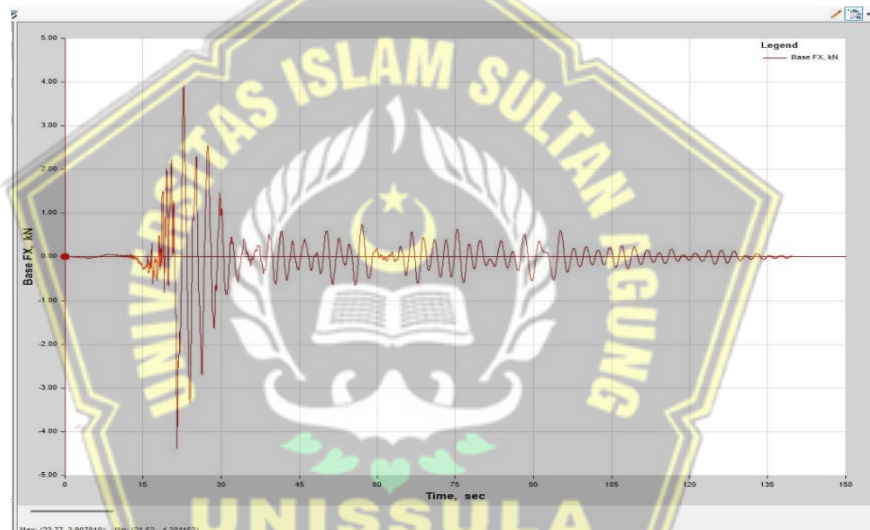
Gambar 4.35 Gaya Dasar *Imperial Valley Y*



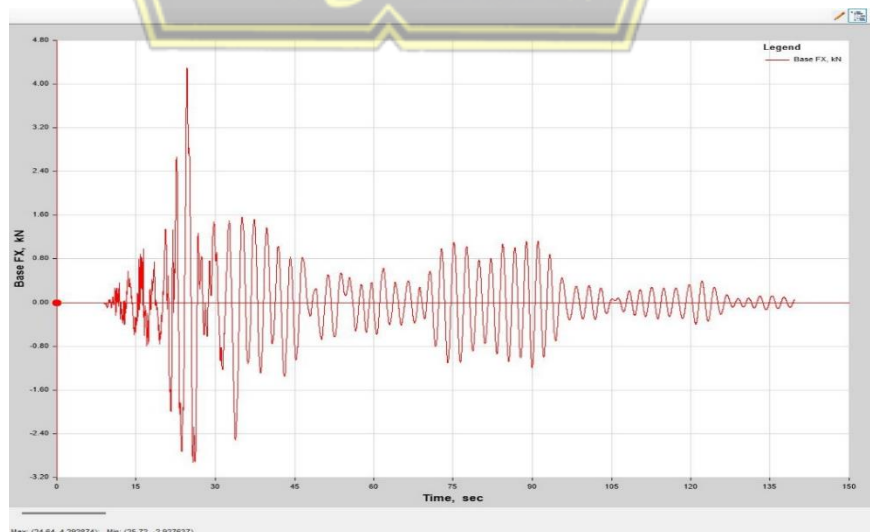
Gambar 4.36 Gaya Dasar *Kern X*



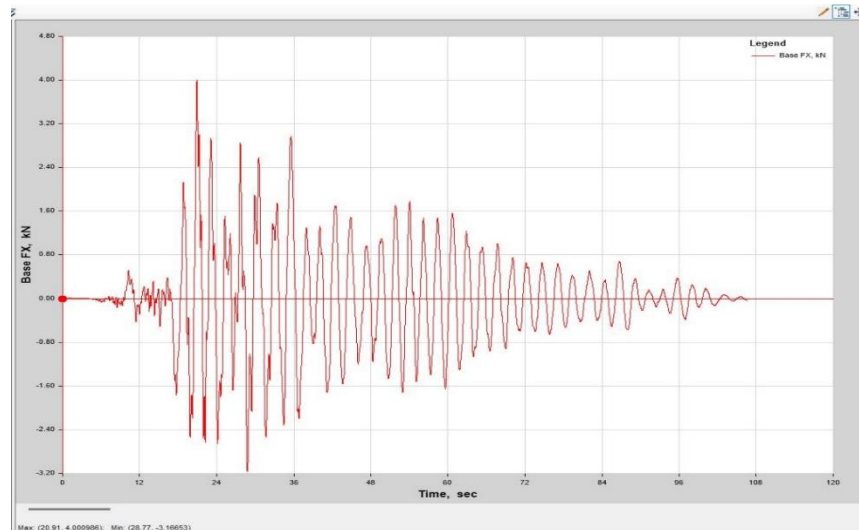
Gambar 4.37 Gaya Dasar Kern Y



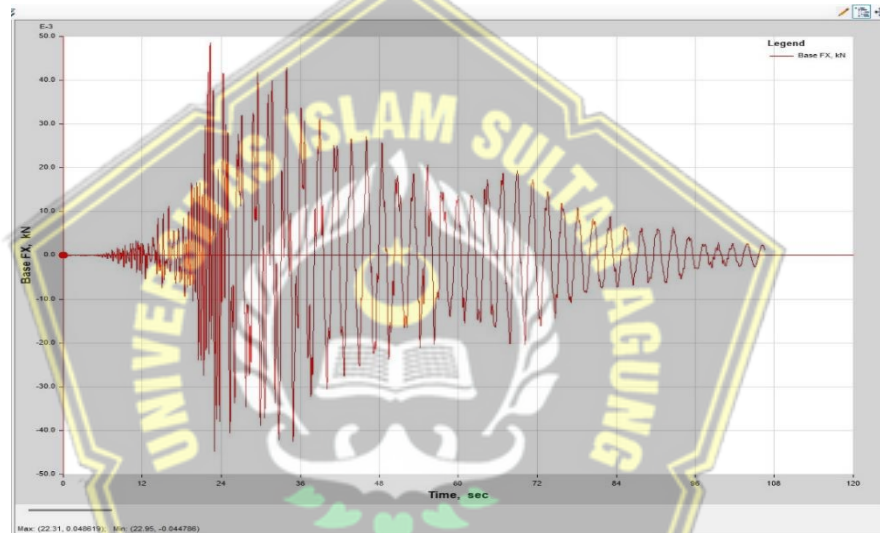
Gambar 4.38 Gaya Dasar Kobe X



Gambar 4.39 Gaya Dasar Kobe Y



Gambar 4.40 Gaya Dasar Kocaeli X



Gambar 4.41 Gaya Dasar Kocaeli Y

Analisis *Time History* dilakukan mengacu pada persentase bangunan konvensional dengan 14 model yang sudah dilakukan. Pada kondisi *Displacement* terbesar pada Model 1, reduksi *Drift* terbesar pada Model 5 dan reduksi *Drift* terkecil pada Model 14.

Tabel 4.46 Analisis *Time History* Model 1 Displacement Arah X

Keterangan	hx (mm)	Chi-Chi X	Hector Mine X	Imperial Valley X	Kern County X	Kobe Japan X	Kocaeli Turkey X
Lantai Dasar	0	8.947	6.625	7.882	8.297	7.929	9.106
Lantai 1	3500	9.490	6.975	8.355	8.794	8.455	9.643
Lantai 2	3500	10.172	7.463	8.948	9.418	9.142	10.310
Lantai 3	3500	11.172	8.218	9.790	10.283	10.166	11.235
Lantai 4	3500	12.303	9.032	10.674	11.208	11.340	12.209
Lantai 5	3500	13.425	9.842	11.535	12.103	12.556	13.154
Lantai 6	3500	14.484	10.612	12.338	12.927	13.756	14.033
Lantai 7	3500	15.454	11.325	13.068	13.672	14.904	14.831
Lantai 8	3500	16.319	11.975	13.715	14.339	15.972	15.543
Lantai 9	3500	17.070	12.556	14.276	14.929	16.935	16.164
Lantai 10	3500	17.700	13.063	14.746	15.436	17.767	16.691
Lantai 11	3500	18.204	13.496	15.122	15.852	18.452	17.117
Lantai 12	3500	18.577	13.849	15.403	16.167	18.969	17.437
Lantai 13	3500	18.812	14.101	15.563	16.348	19.266	17.621
Lantai Atap	3500	18.974	14.322	15.675	16.471	19.462	17.749

Tabel 4.47 Analisis *Time History* Model 5 Displacement Arah X

Keterangan	hx (mm)	Chi-Chi X	Hector Mine X	Imperial Valley X	Kern County X	Kobe Japan X	Kocaeli Turkey X
Lantai Dasar	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lantai 1	3500	0.391	0.133	0.196	0.265	0.237	0.329
Lantai 2	3500	1.113	0.379	0.537	0.748	0.691	0.613
Lantai 3	3500	2.087	0.733	0.927	1.428	1.354	0.844
Lantai 4	3500	15.120	6.670	9.843	13.952	15.209	13.388
Lantai 5	3500	15.559	6.981	10.173	14.453	15.800	0.571
Lantai 6	3500	16.128	7.304	10.612	15.067	16.488	0.648
Lantai 7	3500	16.636	7.624	11.028	15.645	17.129	0.585
Lantai 8	3500	17.068	7.921	11.404	16.158	17.692	0.500
Lantai 9	3500	17.430	8.182	11.731	16.597	18.170	0.418
Lantai 10	3500	17.728	8.401	12.007	16.958	18.560	0.346
Lantai 11	3500	17.966	8.575	12.230	17.242	18.865	0.285
Lantai 12	3500	18.145	8.703	12.396	17.452	19.087	0.231
Lantai 13	3500	18.250	8.776	12.492	17.573	19.214	0.145
Lantai Atap	3500	18.327	8.823	12.560	17.658	19.301	0.104

Tabel 4.48 Analisis Time History Model 14 Displacement Arah X

Keterangan	hx (mm)	Chi-Chi X	Hector Mine X	Imperial Valley X	Kern County X	Kobe Japan X	Kocaeli Turkey X
Lantai Dasar	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lantai 1	3500	0.344	0.295	0.332	0.396	0.370	0.292
Lantai 2	3500	1.021	0.856	0.987	1.153	1.077	0.864
Lantai 3	3500	2.090	1.691	2.035	2.283	2.137	1.761
Lantai 4	3500	3.332	2.626	3.268	3.513	3.316	2.796
Lantai 5	3500	4.593	3.557	4.538	4.670	4.486	3.846
Lantai 6	3500	5.814	4.450	5.783	5.701	5.663	4.864
Lantai 7	3500	6.963	5.279	6.966	6.623	6.851	5.826
Lantai 8	3500	8.024	6.010	8.062	7.536	8.011	6.718
Lantai 9	3500	8.994	6.621	9.048	8.539	9.109	7.525
Lantai 10	3500	9.886	7.137	9.907	9.514	10.111	8.234
Lantai 11	3500	10.622	7.703	10.626	10.364	10.988	8.830
Lantai 12	3500	11.201	8.323	11.192	11.038	11.704	9.298
Lantai 13	3500	16.837	14.194	15.338	15.246	17.908	14.439
Lantai Atap	3500	16.914	14.295	15.399	15.334	18.025	14.490

Tabel 4.49 Analisis Time History Model 1 Displacement Arah Y

Keterangan	hx (mm)	Chi-Chi Y	Hector Mine Y	Imperial Valley Y	Kern County Y	Kobe Japan Y	Kocaeli Turkey Y
Lantai Dasar	0	7.459	5.375	4.279	7.065	8.891	7.124
Lantai 1	3500	7.938	5.779	4.718	7.545	9.397	7.625
Lantai 2	3500	8.647	6.296	5.271	8.279	10.018	8.386
Lantai 3	3500	9.588	7.043	6.054	9.240	10.868	9.502
Lantai 4	3500	10.610	7.808	6.855	10.298	11.736	10.728
Lantai 5	3500	11.636	8.534	7.616	11.353	12.565	11.974
Lantai 6	3500	12.602	9.192	8.310	12.361	13.326	13.182
Lantai 7	3500	13.523	9.776	8.930	13.300	14.013	14.322
Lantai 8	3500	14.402	10.286	9.476	14.159	14.626	15.370
Lantai 9	3500	15.180	10.721	9.947	14.925	15.164	16.309
Lantai 10	3500	15.846	11.077	10.338	15.587	15.623	17.122
Lantai 11	3500	16.389	11.348	10.645	16.134	15.998	17.790
Lantai 12	3500	16.803	11.528	10.861	16.555	16.281	18.302
Lantai 13	3500	17.050	11.589	10.957	16.808	16.444	18.609
Lantai Atap	3500	17.225	11.599	11.003	16.986	16.557	18.825

Tabel 4.50 Analisis *Time History* Model 5 Displacement Arah Y

Keterangan	hx (mm)	Chi-Chi Y	Hector Mine Y	Imperial Valley Y	Kern County Y	Kobe Japan Y	Kocaeli Turkey Y
Lantai Dasar	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lantai 1	3500	0.245	0.158	0.225	0.300	0.215	0.248
Lantai 2	3500	0.699	0.465	0.649	0.856	0.624	0.734
Lantai 3	3500	1.511	0.992	1.328	1.701	1.216	1.591
Lantai 4	3500	14.191	7.257	11.173	12.562	14.813	14.671
Lantai 5	3500	14.918	7.636	11.749	13.123	15.409	15.421
Lantai 6	3500	15.717	8.079	12.371	13.684	16.105	16.240
Lantai 7	3500	16.489	8.544	12.965	14.164	16.771	17.026
Lantai 8	3500	17.198	8.985	13.502	14.539	17.377	17.748
Lantai 9	3500	17.829	9.376	13.971	14.815	17.912	18.387
Lantai 10	3500	18.372	9.703	14.366	15.005	18.366	18.938
Lantai 11	3500	18.816	9.963	14.684	15.131	18.736	19.389
Lantai 12	3500	19.154	10.155	14.922	15.211	19.013	19.733
Lantai 13	3500	19.356	10.269	15.063	15.258	19.173	19.939
Lantai Atap	3500	19.528	10.348	15.173	15.299	19.283	20.109

Tabel 4.51 Analisis *Time History* Model 14 Displacement Arah Y

Keterangan	hx (mm)	Chi-Chi Y	Hector Mine Y	Imperial Valley Y	Kern County Y	Kobe Japan Y	Kocaeli Turkey Y
Lantai Dasar	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lantai 1	3500	0.330	0.246	0.271	0.328	0.330	0.343
Lantai 2	3500	0.998	0.733	0.820	0.980	0.961	1.037
Lantai 3	3500	2.230	1.586	1.838	2.110	1.902	2.334
Lantai 4	3500	3.544	2.488	2.991	3.289	2.931	3.709
Lantai 5	3500	4.903	3.430	4.243	4.464	3.906	5.137
Lantai 6	3500	6.240	4.389	5.525	5.696	4.822	6.550
Lantai 7	3500	7.521	5.328	6.792	6.887	5.946	7.908
Lantai 8	3500	8.726	6.167	8.006	7.982	7.020	9.183
Lantai 9	3500	9.838	6.849	9.130	9.009	7.958	10.351
Lantai 10	3500	10.839	7.392	10.130	10.109	8.714	11.395
Lantai 11	3500	11.711	7.952	10.978	11.202	9.271	12.298
Lantai 12	3500	12.920	8.551	11.655	12.121	9.642	13.044
Lantai 13	3500	17.514	14.383	15.294	16.539	13.758	18.495
Lantai Atap	3500	17.616	14.509	15.387	16.634	13.807	18.597

Tabel 4.52 Analisis *Time History* Model 1 Drift Arah X

Keterangan	hx (mm)	Chi-Chi X	Hector Mine X	Imperial Valley X	Kern County X	Kobe Japan X	Kocaeli Turkey X
Lantai 1	3500	0.543	0.350	0.473	0.496	0.526	0.537
Lantai 2	3500	0.682	0.488	0.593	0.624	0.688	0.667
Lantai 3	3500	1.000	0.755	0.842	0.866	1.024	0.925
Lantai 4	3500	1.131	0.814	0.884	0.925	1.174	0.974
Lantai 5	3500	1.122	0.810	0.861	0.894	1.216	0.945
Lantai 6	3500	1.059	0.769	0.803	0.825	1.200	0.879
Lantai 7	3500	0.970	0.714	0.729	0.744	1.148	0.798
Lantai 8	3500	0.866	0.650	0.648	0.667	1.068	0.712
Lantai 9	3500	0.751	0.581	0.561	0.590	0.963	0.621
Lantai 10	3500	0.630	0.508	0.470	0.507	0.832	0.527
Lantai 11	3500	0.504	0.432	0.377	0.416	0.685	0.426
Lantai 12	3500	0.374	0.354	0.280	0.315	0.516	0.320
Lantai 13	3500	0.235	0.252	0.161	0.182	0.297	0.184
Lantai Atap	3500	0.162	0.221	0.112	0.123	0.196	0.127

Tabel 4.53 Analisis *Time History* Model 5 Drift Arah X

Keterangan	hx (mm)	Chi-Chi X	Hector Mine X	Imperial Valley X	Kern County X	Kobe Japan X	Kocaeli Turkey X
Lantai 1	3500	0.391	0.133	0.196	0.265	0.329	0.237
Lantai 2	3500	0.722	0.246	0.341	0.483	0.613	0.454
Lantai 3	3500	0.974	0.354	0.390	0.680	0.844	0.664
Lantai 4	3500	13.033	5.937	8.915	12.524	13.388	13.854
Lantai 5	3500	0.439	0.311	0.330	0.501	0.571	0.591
Lantai 6	3500	0.569	0.323	0.439	0.614	0.648	0.688
Lantai 7	3500	0.508	0.320	0.416	0.578	0.585	0.640
Lantai 8	3500	0.433	0.296	0.375	0.514	0.500	0.564
Lantai 9	3500	0.362	0.261	0.328	0.438	0.418	0.478
Lantai 10	3500	0.298	0.219	0.276	0.361	0.346	0.390
Lantai 11	3500	0.238	0.174	0.222	0.284	0.285	0.305
Lantai 12	3500	0.179	0.128	0.166	0.210	0.231	0.222
Lantai 13	3500	0.104	0.073	0.096	0.121	0.145	0.127
Lantai Atap	3500	0.077	0.046	0.068	0.085	0.104	0.087

Tabel 4.54 Analisis Time History Model 14 Drift Arah X

Keterangan	hx (mm)	Chi-Chi X	Hector Mine X	Imperial Valley X	Kern County X	Kobe Japan X	Kocaeli Turkey X
Lantai 1	3500	0.344	0.295	0.332	0.396	0.370	0.292
Lantai 2	3500	0.676	0.561	0.655	0.757	0.707	0.571
Lantai 3	3500	1.069	0.836	1.048	1.129	1.061	0.897
Lantai 4	3500	1.242	0.935	1.233	1.231	1.179	1.036
Lantai 5	3500	1.262	0.931	1.270	1.157	1.170	1.050
Lantai 6	3500	1.221	0.893	1.245	1.031	1.177	1.017
Lantai 7	3500	1.149	0.829	1.183	0.922	1.187	0.963
Lantai 8	3500	1.060	0.731	1.095	0.913	1.161	0.892
Lantai 9	3500	0.970	0.611	0.986	1.003	1.098	0.807
Lantai 10	3500	0.892	0.516	0.859	0.975	1.002	0.709
Lantai 11	3500	0.736	0.566	0.719	0.850	0.877	0.596
Lantai 12	3500	0.579	0.621	0.567	0.673	0.716	0.468
Lantai 13	3500	5.636	5.871	4.146	4.208	6.204	5.141
Lantai Atap	3500	0.078	0.101	0.061	0.088	0.117	0.051

Tabel 4.55 Analisis Time History Model 1 Drift Arah Y

Keterangan	hx (mm)	Chi-Chi Y	Hector Mine Y	Imperial Valley Y	Kern County Y	Kobe Japan Y	Kocaeli Turkey Y
Lantai 1	3500	0.479	0.404	0.439	0.479	0.507	0.501
Lantai 2	3500	0.709	0.517	0.553	0.734	0.620	0.760
Lantai 3	3500	0.941	0.747	0.783	0.962	0.850	1.116
Lantai 4	3500	1.022	0.765	0.801	1.058	0.868	1.226
Lantai 5	3500	1.025	0.726	0.761	1.055	0.829	1.246
Lantai 6	3500	0.967	0.659	0.694	1.008	0.762	1.208
Lantai 7	3500	0.921	0.584	0.620	0.940	0.687	1.140
Lantai 8	3500	0.879	0.510	0.546	0.859	0.613	1.049
Lantai 9	3500	0.778	0.435	0.471	0.766	0.538	0.939
Lantai 10	3500	0.666	0.356	0.392	0.662	0.459	0.813
Lantai 11	3500	0.543	0.271	0.307	0.547	0.374	0.668
Lantai 12	3500	0.414	0.180	0.216	0.421	0.283	0.512
Lantai 13	3500	0.247	0.060	0.096	0.253	0.163	0.306
Lantai Atap	3500	0.175	0.010	0.046	0.179	0.113	0.217

Tabel 4.56 Analisis *Time History* Model 5 Drift Arah Y

Keterangan	hx (mm)	Chi-Chi Y	Hector Mine Y	Imperial Valley Y	Kern County Y	Kobe Japan Y	Kocaeli Turkey Y
Lantai 1	3500	0.245	0.158	0.225	0.300	0.215	0.248
Lantai 2	3500	0.453	0.306	0.425	0.556	0.409	0.486
Lantai 3	3500	0.812	0.527	0.678	0.845	0.592	0.857
Lantai 4	3500	12.679	6.265	9.845	10.861	13.597	13.080
Lantai 5	3500	0.727	0.379	0.577	0.561	0.596	0.750
Lantai 6	3500	0.800	0.443	0.622	0.561	0.696	0.819
Lantai 7	3500	0.772	0.465	0.593	0.480	0.666	0.786
Lantai 8	3500	0.709	0.441	0.537	0.376	0.607	0.721
Lantai 9	3500	0.631	0.391	0.469	0.276	0.535	0.640
Lantai 10	3500	0.542	0.328	0.395	0.190	0.454	0.551
Lantai 11	3500	0.445	0.260	0.318	0.126	0.370	0.451
Lantai 12	3500	0.338	0.192	0.239	0.081	0.277	0.344
Lantai 13	3500	0.202	0.113	0.141	0.046	0.160	0.206
Lantai Atap	3500	0.172	0.079	0.110	0.042	0.109	0.170

Tabel 4.57 Analisis *Time History* Model 14 Drift Arah Y

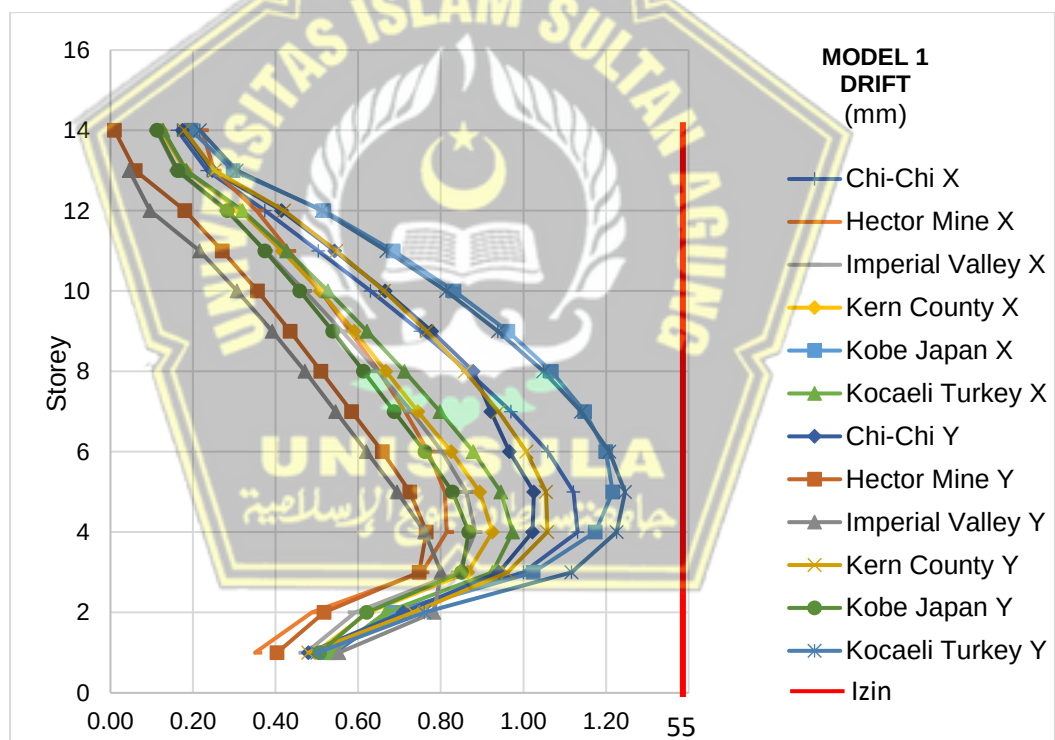
Keterangan	hx (mm)	Chi-Chi Y	Hector Mine Y	Imperial Valley Y	Kern County Y	Kobe Japan Y	Kocaeli Turkey Y
Lantai 1	3500	0.330	0.246	0.271	0.328	0.330	0.343
Lantai 2	3500	0.668	0.487	0.549	0.651	0.631	0.694
Lantai 3	3500	1.233	0.853	1.018	1.131	0.941	1.298
Lantai 4	3500	1.314	0.902	1.153	1.179	1.029	1.374
Lantai 5	3500	1.359	0.942	1.252	1.175	0.975	1.428
Lantai 6	3500	1.337	0.959	1.281	1.232	0.916	1.413
Lantai 7	3500	1.281	0.939	1.268	1.191	1.124	1.358
Lantai 8	3500	1.205	0.839	1.214	1.095	1.074	1.275
Lantai 9	3500	1.111	0.682	1.124	1.027	0.938	1.168
Lantai 10	3500	1.001	0.543	1.000	1.100	0.756	1.044
Lantai 11	3500	0.873	0.560	0.849	1.093	0.557	0.903
Lantai 12	3500	1.209	0.599	0.677	0.919	0.371	0.746
Lantai 13	3500	4.594	5.832	3.639	4.418	4.116	5.452
Lantai Atap	3500	0.103	0.126	0.093	0.095	0.049	0.101

4.9 Level Kinerja Struktur

Level Kinerja Struktur dibedakan menjadi 2 yaitu Kinerja Batas Layan dan Kinerja Batas Ultimit. Analisis *Time History* dilakukan pada kondisi HDRB di Lantai Dasar (Model 1), Lantai 4 (Model 5) dan Lantai 13 (Model 14). Kemudian masing masing model dilakukan pengecekan Kinerja Batas Layan dan Kinerja Batas Ultimit.

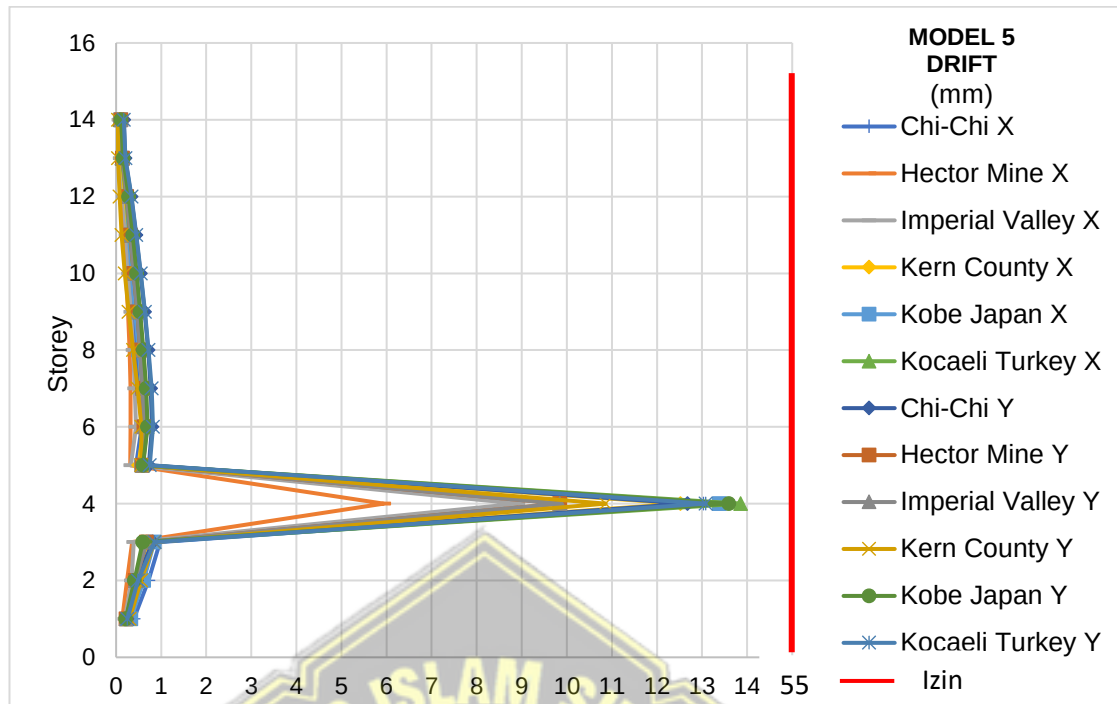
4.9.1 Kinerja Batas Layan

Persyaratan Kinerja Batas Layan struktur ditinjau dari simpangan antar lantai yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melebihi $\frac{0.03}{R} \times$ tinggi tingkat. Nilai R adalah Koefisien Modifikasi Respon sebesar 2 untuk *Isolator* diambil berdasarkan Kelly (1992). Syarat 55 mm dijadikan sebagai syarat batas aman.



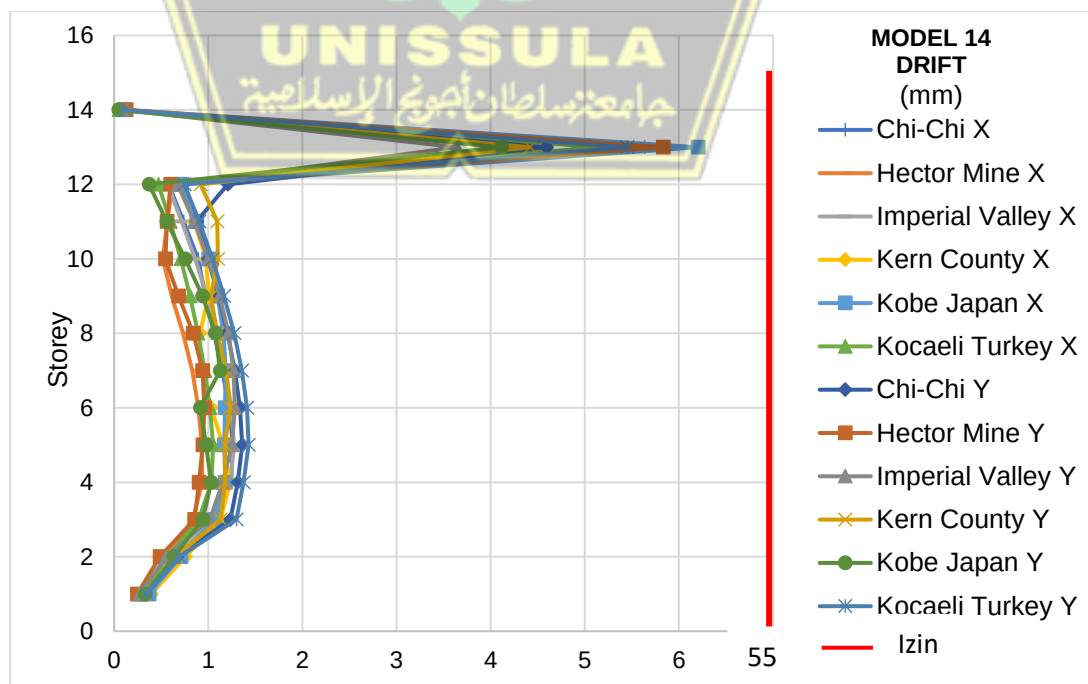
Gambar 4.42 Grafik Kinerja Batas Layan Model 1

Grafik Kinerja Batas Layan pada semua gempa yang terdapat dalam grafik menunjukkan untuk Arah X dan Arah Y memenuhi syarat batas aman. Kinerja Batas Layan maksimum pada kondisi Gempa Kocaeli Turkey Y sebesar 1.246 mm Arah Y sedangkan nilai minimum pada kondisi Gempa Kobe Japan Arah X sebesar 1.216 mm.



Gambar 4.43 Grafik Kinerja Batas Layan Model 5

Grafik Kinerja Batas Layan pada semua gempa yang terdapat dalam grafik menunjukkan untuk Arah X dan Arah Y memenuhi syarat batas aman. Kinerja Batas Layan Maksimum pada kondisi Gempa Kocaeli Turkey Arah Y sebesar 0.688 mm sedangkan nilai minimum pada kondisi Gempa Kobe Japan Arah X sebesar 0.819 mm.



Gambar 4.44 Grafik Kinerja Batas Layan Model 14

Grafik Kinerja Batas Layan pada semua gempa yang terdapat dalam grafik menunjukkan untuk Arah X dan Arah Y memenuhi syarat batas aman. Kinerja Batas Layan Maksimum pada kondisi Gempa Kocaely Turkey Arah Y sebesar 1.428 mm sedangkan nilai minimum pada kondisi Gempa Kobe Japan Arah X sebesar 1.187 mm.

4.9.2 Kinerja Batas Ultimit (Δ_m)

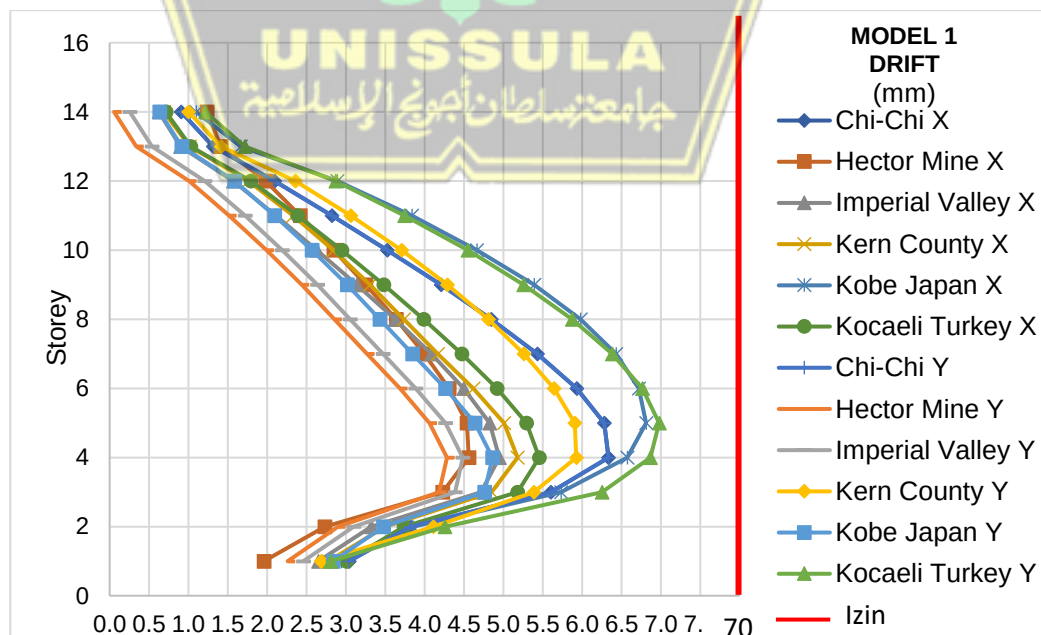
Kinerja Batas Ultimit (Δ_m) ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung di ambang keruntuhan. Dimaksudkan untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa dan benturan antar gedung.

Syarat Kinerja Batas Ultimit struktur beraturan yaitu simpangan antar lantai yang dihitung dari simpangan struktur ($\Delta_m \xi$) tidak boleh melebihi $0.02 \times h_i$ yaitu 70 mm dengan nilai $h_i = 3500$ mm.

$$\xi = 0.7 R \dots\dots\dots (3.15)$$

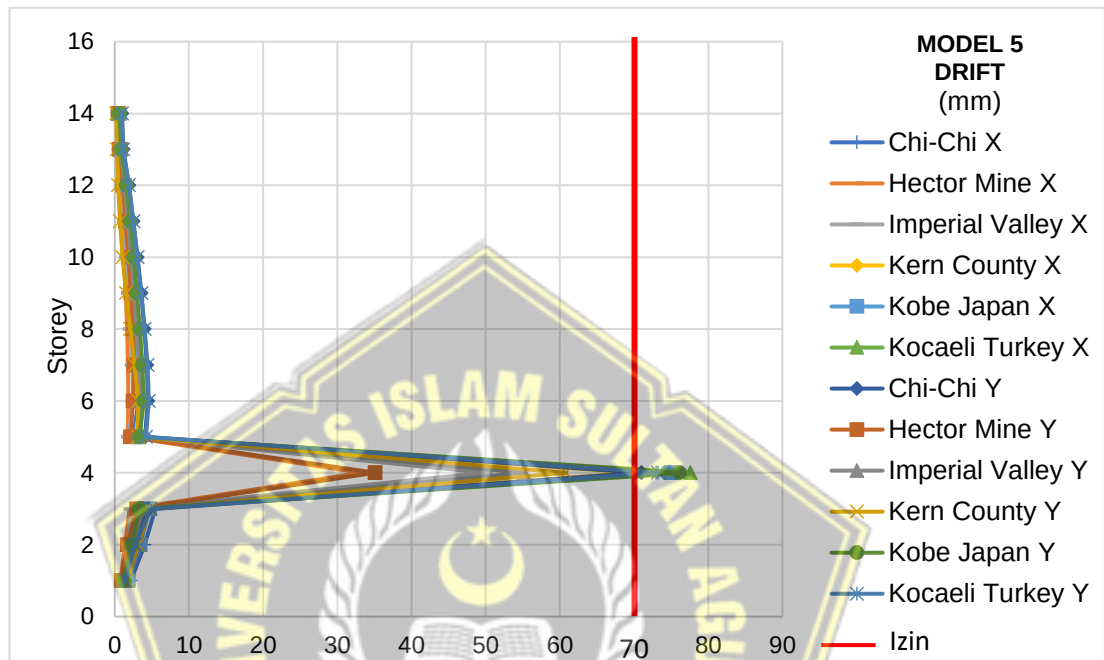
$$\xi = 0.7 \times 2 = 1.4$$

R = Koefisien Modifikasi Respon sebesar 2 untuk isolator diambil berdasarkan Kelly (1992).



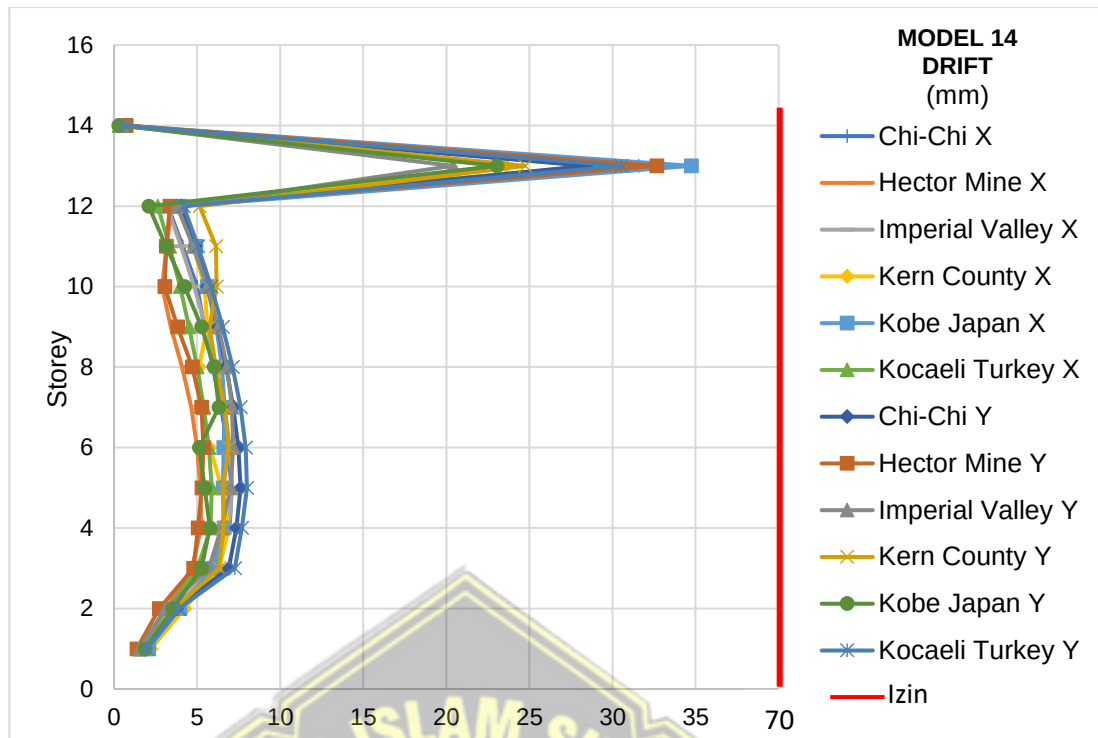
Gambar 4.45 Grafik Kinerja Batas Ultimit Model 1

Grafik Kinerja Batas Ultimit pada semua gempa yang terdapat dalam grafik menunjukkan untuk Arah X dan Arah Y memenuhi syarat batas aman. Kinerja Batas Ultimit Maksimum pada kondisi Gempa Kocaely Turkey Arah Y sebesar 6.978 mm sedangkan nilai minimum pada kondisi Gempa Kobe Japan Arah X sebesar 6.812 mm.



Gambar 4.46 Grafik Kinerja Batas Ultimit Model 5

Grafik Kinerja Batas Ultimit pada semua gempa yang terdapat dalam grafik menunjukkan untuk Arah X dan Arah Y memenuhi syarat batas aman. Kinerja Batas Ultimit Maksimum pada kondisi Gempa Kocaely Turkey Arah Y sebesar 4.202 mm sedangkan nilai minimum pada kondisi Gempa Kocaely Turkey Arah X sebesar 3.853 mm.



Gambar 4.47 Grafik Kinerja Batas Ultimit Model 14

Grafik Kinerja Batas Ultimit pada semua gempa yang terdapat dalam grafik menunjukkan untuk Arah X dan Arah Y memenuhi syarat batas aman. Kinerja Batas Ultimit Maksimum pada kondisi Gempa Kocaeli Turkey Arah Y sebesar 6.593 mm sedangkan nilai minimum pada kondisi Gempa Kobe Japan arah X sebesar 7.998 mm.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, maka diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Struktur Gedung dengan penambahan *Isolator High Damping Rubber Bearing* mengalami peningkatan Periode dibandingkan dengan Struktur Gedung tanpa *Isolator High Damping Rubber Bearing* yaitu dengan nilai Periode Tanpa HDRB : 2.369 detik, Model 1 : 3,591 detik, Model 2 : 3,488 detik, Model 3 : 3,995 detik, Model 4 : 3,898 detik, Model 5 : 4,019 detik, Model 6 : 3,898 detik, Model 7 : 3,766 detik, Model 8 : 3,465 detik, Model 9 : 3,269 detik, Model 10 : 3.116 detik, Model 11 : 2,933 detik, Model 12 : 2,76 detik, Model 13 : 2,623 detik, Model 14 : 3,466 detik. Hal ini disebabkan *Isolator High Damping Rubber Bearing* memisahkan struktur bangunan atas dan struktur bangunan bawah sehingga kekakuan struktur bangunan atas berkurang sehingga menyebabkan Periode Struktur bangunan menggunakan *Isolator High Damping Rubber Bearing* bertambah.
2. Gaya Geser Dasar pada struktur tanpa *Isolator High Damping Rubber Bearing* mengalami reduksi saat struktur dipasang *Isolator High Damping Rubber Bearing*. Penggunaan *Isolator High Damping Rubber Bearing* pada struktur mereduksi Gaya Geser Dasar sebesar 12.05% hingga 41.89%. Hal ini disebabkan peningkatan periode struktur menyebabkan gaya gempa yang bekerja pada bangunan akan menjadi lebih kecil.
3. Hasil pembahasan perbandingan bangunan tanpa *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) dengan bangunan menggunakan *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) pada setiap lantainya yang terdiri dari 14 model didapatkan nilai *Displacement* tertinggi di model 1 dengan penempatan HDRB di dasar lantai. Perbandingan persentase nilai *displacement* Arah X adalah 63% sedangkan persentase nilai *displacement* Arah Y adalah 54.5%. Nilai rata-rata Persentase *Drift* Reduksi tertinggi terdapat pada model 5 dengan penempatan HDRB di Lantai 4 yaitu 55.4% untuk arah X dan 35.6% untuk Arah Y.
4. Perpindahan maksimum yang terjadi pada *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) terletak di lantai dasar dengan perpindahan maksimum 50.94 mm, sedangkan

perpindahan minimum terjadi pada *High Damping Rubber Bearing (HDRB)* terletak di Lantai 13 dengan perpindahan minimum 29.32 mm. Perpindahan Ijin Maksimum *Isolator (D'_M)* adalah 853,62 mm sehingga perpindahan *High Damping Rubber Bearing (HDRB)* masih aman karena kurang dari Perpindahan Ijin Maksimum *Isolator (D'_M)*

5. Level Kinerja pada Model 1, Model 5 dan Model 14 menunjukkan Kinerja Batas Layan pada semua gempa untuk Arah X dan Arah Y mempunyai nilai *Drift* dibawah syarat minimal yaitu 55 mm dan Kinerja Batas Ultimit pada Model 1, Model 5 dan Model 14 memiliki nilai *Drift* dibawah syarat minimal yaitu 70 mm sehingga memenuhi syarat batas aman.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan Analisis di atas, ada beberapa saran yang dapat disampaikan, yaitu:

1. Perlu diaplikasikan jenis *Isolator* yang berbeda sebagai perbandingan dan evaluasi yang lebih akurat untuk meminimalisir kerusakan pada bangunan dan memberikan kenyamanan bagi penghuni bangunan.
2. Perlu dilakukan analisis dengan menggunakan rekaman gempa yang ada di wilayah Indonesia lainnya.
3. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memvariasikan jumlah lantai, ketinggian struktur, bentuk struktur karena berpengaruh pada respon struktur yang optimal. Sehingga kemungkinan risiko kegagalan struktur menjadi lebih bervariasi dan dapat menjadi pertimbangan demi optimalisasi desain struktur bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggen Wandrianto S., (2014), Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik *Time History* Menggunakan ETABS (Studi Kasus : Hotel di Karanganyar), Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Arifin,S., Suyadi dan Sebayang, S. 2015. Analisis Struktur Gedung POP Hotel Terhadap Beban Gempa Dengan Metode *Pushover Analysis*, *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, Vol. 3, No. 3, Hal:427 - 440 (ISSN:2303-0011)
- Faiella and Kalfas K.N. 2023. *Inter-Story Seismic Isolation For High-Rise Buildings*. *Journal of Engineering Structures*. Volume 275, Part A, 15 January 2023, 115175
- Forcellini, D. and Kalfas, K.N., (2023). *Inter-story seismic isolation for high-rise buildings*. *Engineering Structures*, Volume 275, Part A, 15 January 2023, 115175. doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115175
- Hartuti, E. R. (2009). Buku Pintar Gempa. Yogyakarta: Diva Press, 89, 90. Indonesia Tsunami Early Warning System. (n.d.).
- Islam, S., Jameel, M., Uddin, M.A. dan Ahmad, S.I. 2011. *Simplified Design Guidelines for Seismic Base Isolation in multi-storey buildings for Bangladesh National Building Code (BNBC)*, *International Journal of the Physical Sciences* Vol. 6(23), pp.5467-5486.
- Ismail, Anas. (2012). Pengaruh Penggunaan *Seismic Base Isolation System* Terhadap Respons Struktur Gedung Hotel Ibis Padang. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 8(1), 50-62.
- Ismail, F. A. (2012). Pengaruh Penggunaan *Seismic Base Isolation System*. *Rekayasa Sipil*, 8(1): 45-60.
- Kencanawati, N. N., Hariyadi, H. dan Wathoni, S. (2020). Kajian Parameter Desain Seismik Pada Gedung Dengan Isolasi Dasar (*Base Isolation*) Tipe *Lead Rubber Bearing*: *Study on Seismic Design Parameters of Lead Rubber Bearing Type Base Isolation Structure*. *Spektrum Sipil*, 7 (1), 51–60.

- Kunde, M., & Jangid, R. 2003. *Seismic behavior of isolated bridges: A-state-of-the-art review. Electronic Journal of Structural Engineering*, 3(2), 140- 169.
- Mustika, R. dan Putra, R.R., (2022). Analisis Periode Getar Alami Bangunan Menggunakan Mikrometer. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(2). 328 - 342.
- Reza, A.M. dan Setio, H.D. (2021). *Optimum Location Analysis of Story Isolation System on High Rise Building*, *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung*, Vol. 28 No. 2. doi.org/10.5614/jts.2021.28.2.1
- Ryan, K., Earl, C. (2010). *Analysis and Design of Inter-Story Isolation Systems with Nonlinear Devices. Journal of Earthquake Engineering*. 14, 1044-1062.
- Setio, H.D., 2009, *Base Isolation of Structures Using Hysteretic Non-Linear Passive Damper*, Bandung, West Java, Indonesia: *International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment in Developing Countries*, November, 2-3, ISBN 978-979-98278-2-1.
- Setio, H.D., Diah K., Sangriyadi, S., Pratama, H.R.S. dan Andy, H., 2012, Pengembangan Sistem Isolasi Seismik Pada Struktur Bangunan Yang Dikenai Beban Gempa Sebagai Solusi Untuk Membatasi Respon Struktur, *Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, vol. 19, no. 1, april 2002.
- Teruna, Daniel Rumbi. (2005). Analisis Respon Bangunan dengan Base Isolator akibat Gaya Gempa. University of Sumatera Utara.
- Thakur, P., Sethy, S.K. and Kumar, M. 2019. *Review Paper on Inter Story Isolation System. Dubey International Journal of Research in Advent Technology*, Vol.7, No.4, April 2019 E-ISSN: 2321-9637
- Zhang, S., Liu F., Xiao J., and Hu, Y. (2020). *Dynamic Reliability Sensitivity Analysis For Inter-Story Isolation Structure Under Stochastic Excitations. Journal of Vibroengineering*. 22(10):880-895. DOI:10.21595/jve.2020.21127