

TESIS

**Studi Perbandingan Kinerja Gedung Menggunakan *Base Isolator Type High Damping Rubber Bearing (HDRB)* 8 Lantai dan 25 Lantai
(Studi kasus: Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum)**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Penyelesaian
Program Studi Magister Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh :

Nama : Fasikhullisan

NIM : 20202100064

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2023**

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

**Studi Perbandingan Kinerja Gedung Menggunakan *Base Isolator Type High Damping Rubber Bearing (HDRB)* 8 Lantai dan 25 Lantai
(Studi kasus: Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum)**

Disusun oleh :

FASIKHULLISAN
NIM : 20202100064

Telah disetujui oleh :

Tanggal, 1 Desember 2023 Tanggal, 1 Desember 2023

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Prof. Dr. Ir. Antonius, M.T.

Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D

NIK. 210202033

NIK. 210293017

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

**Studi Perbandingan Kinerja Gedung Menggunakan *Base Isolator Type High Damping Rubber Bearing (HDRB)* 8 Lantai dan 25 Lantai
(Studi kasus: Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum)**

Disusun oleh :
FASIKHULLISAN
NIM : 20202100064

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

Tim Penguji:

1. Ketua

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

2. Anggota

(Dr. Abdul Rochim, ST., MT)

3. Anggota

(Ir. Moh Fauzan Nizam, MT., Ph.D)

Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik (MT)
Semarang, (01 Desember 2023)

Mengetahui,

Ketua Program Studi

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

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Fasikhullisan

NIM : 20202100064

Dengan ini menyatakan bahwa Tesis yang berjudul: "**Studi Perbandingan Kinerja Gedung Menggunakan *Base Type High Damping Rubber Bearing (HDRB)* 8 Lantai dan 25 Lantai (Studi kasus: Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum)**" benar bebas dari plagiat dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, 23 November 2023

Yang membuat pernyataan,



Fasikhullisan

NIM : 20202100064



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Fasikhullisan
NIM : 20202100064
JUDUL TESIS : "Studi Perbandingan Kinerja Gedung Menggunakan
Base Type High Damping Rubber Bearing (HDRB) 8
Lantai dan 25 Lantai (Studi kasus: Rumah Susun
Politeknik Pekerjaan Umum)"

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tesis ini merupakan hasil Penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, 23 November 2023

tembuat pernyataan,


Fasikhullisan

MOTTO

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia (selama) kamu menyuruh (berbuat) yang makhruf, mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Seandainya Ahlulkitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman dan kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik. (QS. Ali-Imron/3:110)

Balas dendam terbaik adalah menjadikan dirimu lebih baik. (Ali bin Abi Thalib)

Aku telah merasakan seluruh kepahitan di dalam kehidupan ini. Satu hal yang paling pahit adalah berharap kepada sesama manusia. (Ali bin Abi Thalib)



PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga Penulis bisa menyelesaikan Tesis ini. Tesis ini Penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua tercinta Bapak Makhazin dan Ibu Istirohah, atas semua cinta, pengertian, kasih sayang, kesabaran, dan doa.
2. Untuk Kakak saya Miftahul Babul Janah yang selalu mensupport.
3. Nafidz, Jihan, Nova dan Rifa teman yang selalu memberikan semangat.
4. Teman-teman Magister Teknik Sipil UNISSULA Angkatan 49 yang selalu mendukung dan memberi semangat.



Fasikhullisan

NIM : 20202100064

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur Penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul **“Studi Perbandingan Kinerja Gedung Menggunakan *Base Isolator Type High Damping Rubber Bearing (HDRB)* 8 Lantai dan 25 Lantai (Studi kasus: Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum)”** guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik program studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan tesis ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, M.T. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil UNISSULA sekaligus Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan Tesis ini.
3. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan Tesis ini.
4. Seluruh Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada Penulis.

Penulis menyadari bahwa Tesis ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tesis ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi Penulis juga bagi para Pembaca.

Semarang, November 2023

Fasikhullisan (20202100064)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
ABSTRAK	xxiii
ABSTRAK	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tinjauan Secara Umum	5
2.2 Rencana Analisis yang akan dilakukan	5
2.3 Pembebanan Pada Bangunan.....	5
2.3.1 <i>Dead Load</i> (Beban Mati).....	5
2.3.2 <i>Live Load</i> (Beban Hidup)	6

2.3.3	<i>Earthquake Load</i>	7
2.3.4	Kombinasi Pembebanan	7
2.3.5	Faktor Reduksi (ϕ).....	8
2.4	Konsep Analisis Beban Seismik	8
2.4.1	<i>Building Risk Category</i>	8
2.4.2	Klasifikasi Kelas Situs	10
2.4.3	<i>Targeted Earthquake Acceleration Spectra Response Parameters</i>	11
2.4.4	Spektrum Percepatan Gempa Rencana.....	13
2.4.5	<i>Design Response Spectrum</i>	13
2.4.6	<i>Seismic Design Category</i>	14
2.4.7	Kombinasi Sistem Perangkai Pada Arah yang Berbeda.....	15
2.4.8	<i>Fundamental Period Limitations</i>	16
2.4.9	Geser Dasar Seismik	17
2.4.10	Penentuan Serta Batasan Simpangan Antar Tingkat.....	19
2.4.11	Pengaruh P-Delta.....	20
2.4.12	Analisis Spektrum Respon Ragam	21
2.4.13	Ketidakteraturan Struktur.....	21
2.5	<i>Base Isolator</i>	26
2.5.1	Syarat Umum.....	27
2.5.2	Jenis-Jenis <i>Base Isolator</i>	28
2.6	<i>Software</i> Untuk Perencanaan (ETABS V18).....	30
2.7	Penelitian Terdahulu.....	31
BAB III METODE ANALISIS		34
3.1.	Pengumpulan Data.....	34
3.2.	Standar yang Digunakan.....	34
3.3.	<i>Software</i> yang Digunakan.....	35

3.4. Analisis dan Perhitungan	35
3.4.1. Permodelan dan Pradimensi Struktur Gedung	35
3.4.2. Menghitung Sistem pembebanan (Beban Hidup dan Beban Mati).....	44
3.4.3. Analisis Struktur.....	47
3.4.4. Perhitungan Beban Gempa.....	47
3.5. Diagram Alir.....	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	50
4.1. Data Struktur Gedung	50
4.1.1. Dimensi Penampang Struktur	50
4.1.2. Permodelan Struktur	51
4.2. Kombinasi Pembebanan Struktur	53
4.3. Mutu Bahan Struktur	56
4.4. Analisis Beban Seismik	57
4.4.1. Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa.....	57
4.4.2. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Terpetakan	57
4.4.3. Klasifikasi Situs.....	58
4.4.4. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Tertarget	58
4.4.5. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Desain	59
4.4.6. Respon spektrum Desain.....	60
4.4.7. Kategori Desain Seismik.....	61
4.4.8. Faktor R , Ω_0 , C_d SRPMK	61
4.4.9. Perhitungan Beban dan Model Massa Terpusat Tiap Lantai.....	61
4.4.10. <i>Fundamental Period Structure</i>	76
4.4.11. Perhitungan Gaya Geser	77
4.4.12. Persyaratan Simpangan Antar Lantai	80
4.4.13. Cek P-Delta	86

4.4.14. Cek Ketidakberaturan Struktur	91
4.5. Efektivitas Penggunaan <i>Base Isolator</i>	102
BAB V PENUTUP	104
5.1. Kesimpulan	104
5.2. Saran	104
DAFTAR PUSTAKA	105
LAMPIRAN	107



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Parameter Gerak Tanah Ss , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (<i>MCER</i>)	12
Gambar 2. 2 Parameter Gerak Tanah <i>Ss</i> , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (<i>MCER</i>)	12
Gambar 2. 3 Spektrum Respons Desain.....	14
Gambar 2. 4 Penentuan Simpangan Antar Tingkat.....	19
Gambar 2. 5 Ketidakberaturan Horizontal	23
Gambar 2. 6 Ketidakberaturan Vertikal	25
Gambar 2. 7 Konsep <i>Base Isolator</i>	26
Gambar 2. 8 Ilustrasi <i>High Damping Rubber Bearing</i>	29
Gambar 2. 9 <i>High Damping Rubber Bearing</i>	29
Gambar 2. 10 Ilustrasi <i>Lead Rubber Bearing</i>	30
Gambar 3. 1 Denah Bangunan	34
Gambar 3. 2 <i>Model Initialization</i>	36
Gambar 3. 3 <i>Model Grid</i>	36
Gambar 3. 4 <i>Edit Grid</i>	37
Gambar 3. 5 <i>Edit Story Dimensions</i>	37
Gambar 3. 6 Tampilan <i>Grid dan Story</i>	38
Gambar 3. 7 <i>Input Material Properties</i>	38
Gambar 3. 8 <i>Section Shape Concrete</i>	39
Gambar 3. 9 <i>Input Dimensi Kolom</i>	40
Gambar 3. 10 <i>Reinforcement Data Column</i>	41
Gambar 3. 11 <i>Reinforcement Data Beam</i>	42
Gambar 3. 12 <i>Input Data Slab</i>	42
Gambar 3. 13 Pemodelan pada <i>software ETABS V18</i>	43
Gambar 3. 14 <i>Define Load Patterns</i>	44
Gambar 3. 15 Pendefinisian Beban Mati dan Hidup.....	45
Gambar 3. 16 <i>Load Case Data</i>	45
Gambar 3. 17 <i>Input Beban Mati Tambahan Atap</i>	46
Gambar 3. 18 <i>Input Beban Hidup</i>	46
Gambar 4. 1 Pemodelan struktur 3D Gedung 8 lantai	52

Gambar 4. 2 Pemodelan struktur 3D Gedung 25 lantai (Modifikasi Struktur Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum).....	52
Gambar 4. 3 Denah Gedung Rumah Sususn Politeknik Pekerjaan Umum.....	53
Gambar 4. 4 Respon spektrum Desain Lokasi Perancangan.....	59
Gambar 4. 5 Grafik respon spektrum ETABS 18	60
Gambar 4. 6 Bentuk Ragam 1 Pada Percobaan 1 (Gedung 8 lantai)	63
Gambar 4. 7 Bentuk Ragam 2 Pada Percobaan 1.....	64
Gambar 4. 8 Bentuk Ragam 3 Pada Percobaan 1.....	64
Gambar 4. 9 Bentuk Ragam 1 Pada Percobaan 1 (Gedung 8 lantai)	66
Gambar 4. 10 Bentuk Ragam 2 Pada Percobaan 1.....	67
Gambar 4. 11 Bentuk Ragam 3 Pada Percobaan 1.....	68
Gambar 4. 12 Bentuk Ragam 1 Pada Percobaan 1 (Gedung 25 lantai Tanpa <i>Base Isolator</i>).....	69
Gambar 4. 13 Bentuk Ragam 2 Pada Percobaan 1.....	70
Gambar 4. 14 Bentuk Ragam 3 Pada Percobaan 1.....	70
Gambar 4. 15 Bentuk Ragam 1 Pada Percobaan 1 (Gedung 25 lantai Dengan <i>Base Isolator</i>).....	73
Gambar 4. 16 Bentuk Ragam 2 Pada Percobaan 1.....	73
Gambar 4. 17 Bentuk Ragam 3 Pada Percobaan 1.....	74
Gambar 4. 18 Simpangan Antar Lantai Gedung 8 Lantai Tanpa <i>Base Isolator</i> ...	81
Gambar 4. 19 Simpangan Antar Tingkat Gedung 8 Lantai Dengan <i>Base Isolator</i>	82
Gambar 4. 20 Simpangan Antar Lantai Gedung 25 Lantai Tanpa <i>Base Isolator</i> .	84
Gambar 4. 21 Simpangan Antar Tingkat Gedung 25 Lantai Dengan <i>Base Isolator</i>	86
Gambar 4. 22 Cek stabilitas P-Delta Gedung 8 Lantai Tanpa <i>Base Isolator</i>	88
Gambar 4. 23 Cek stabilitas P-Delta Gedung 8 Lantai Dengan <i>Base Isolator</i>	89
Gambar 4. 24 Cek stabilitas P-Delta Gedung 25 Lantai Tanpa <i>Base Isolator</i>	90
Gambar 4. 25 Cek stabilitas P-Delta Gedung 8 Lantai Dengan <i>Base Isolator</i>	91
Gambar 4. 26 Rekap Hasil Perbandingan Gedung 8 Lantai dan 25 Lantai	103

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Daftar Berat Bahan Bangunan dan Komponen Gedung	6
Tabel 2. 2 Daftar Beban Hidup Pada Lantai	6
Tabel 2. 3 Kombinasi Beban.....	7
Tabel 2. 4. Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ).....	8
Tabel 2. 5. Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa.	9
Tabel 2. 6. Faktor Keutamaan Gempa	10
Tabel 2. 7. Klasifikasi Situs	11
Tabel 2. 8. Koefisien Situs, F_a	12
Tabel 2. 9. Koefisien situs F_v	13
Tabel 2. 10. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Pada Periode Pendek.....	15
Tabel 2. 11. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Pada Periode 1 Detik.....	15
Tabel 2. 12. Faktor R , C_d , dan Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismic.....	16
Tabel 2. 13. Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung	16
Tabel 2. 14. Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	17
Tabel 2. 15. Simpangan Antar Tingkat Izin.....	20
Tabel 2. 16. Ketidakberaturan Horizontal Pada Struktur	22
Tabel 2. 17. Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur	24
Tabel 2. 18 Penelitian terdahulu.....	31
Tabel 4. 1 Penampang balok.....	50
Tabel 4. 2 Penampang kolom.....	51
Tabel 4. 3 Tebal plat.....	51
Tabel 4. 4 Beban Mati Tambahan Pada Lantai	55
Tabel 4. 5 Beban Mati Tambahan Pada Atap	56
Tabel 4. 6 Beban Hidup (Live Load)	56
Tabel 4. 7. Mutu Baja Tulangan.....	57
Tabel 4. 8. Data Parameter Respon Spektra Terpetakan.....	58
Tabel 4. 9. Data Parameter Respon Spektra Desain.....	60
Tabel 4. 10. Nilai Respon spektrum Percepatan Desain	60

Tabel 4. 11. Massa Efektif Tiap Lantai Gedung 8 Lantai	61
Tabel 4. 12 Massa Efektif Tiap Lantai Gedung 25 Lantai	62
Tabel 4. 13 Rasio Partisipasi Beban.....	65
Tabel 4. 14 Hasil Partisipasi Massa Bangunan	65
Tabel 4. 15 Rasio Partisipasi Beban.....	68
Tabel 4. 16 Hasil Partisipasi Massa Bangunan	68
Tabel 4. 17 Rasio Partisipasi Beban.....	71
Tabel 4. 18 Hasil Partisipasi Massa Bangunan	71
Tabel 4. 19 Rasio Partisipasi Beban.....	74
Tabel 4. 20 Hasil Partisipasi Massa Bangunan	75
Tabel 4. 21 Output Gaya Geser Dasar <i>Static</i> Gedung 8 lantai.....	77
Tabel 4. 22 Output Gaya Geser Dasar Statik <i>Static</i> Gedung 25 Lantai	78
Tabel 4. 23 Perbandingan Gaya Geser <i>Static</i> dan <i>Dynami</i> 8 Lantai Tanpa <i>Base Isolator</i>	79
Tabel 4. 24 Perbandingan Gaya Geser <i>Static</i> dan <i>Dynami</i> 8 Lantai Dengan <i>Base Isolator</i>	79
Tabel 4. 25 Perbandingan Gaya Geser <i>Static</i> dan <i>Dynami</i> 25 Lantai Tanpa <i>Base Isolator</i>	79
Tabel 4. 26 Perbandingan Gaya Geser <i>Static</i> dan <i>Dynami</i> 25 Lantai Dengan <i>Base Isolator</i>	80
Tabel 4. 27 Besaran Simpangan Antar Lantai (Gedung 8 Lantai Tanpa <i>Base Isolator</i>).....	81
Tabel 4. 28. Besaran Simpangan Struktur Gedung 8 Lantai Dengan <i>Base Isolator</i>	81
Tabel 4. 29 Besaran Simpangan Antar Lantai 25 Lantai Tanpa <i>Base Isolator</i>	82
Tabel 4. 30 Besaran Simpangan Struktur Gedung 25 Lantai Dengan <i>Base Isolator</i>	84
Tabel 4. 31 Pengecekan P-Delta Gedung 8 Lantai Tanpa <i>Base Isolator</i>	87
Tabel 4. 32 Pengecekan P-Delta Gedung 8 Lantai Dengan <i>Base Isolator</i>	88
Tabel 4. 33 Pengecekan P-Delta Gedung 25 Lantai Dengan <i>Base Isolator</i>	90
Tabel 4. 34 Ketidakberaturan Horizontal (Gedung 8 Lantai Tanpa <i>Base Isolator</i>)	92

Tabel 4. 35 Ketidakberaturan Horizontal (Gedung 8 Lantai Dengan <i>Base Isolator</i>)	92
Tabel 4. 36 Ketidakberaturan Horizontal (Gedung 25 Lantai Tanpa <i>Base Isolator</i>)	92
Tabel 4. 37 Ketidakberaturan Horizontal (Gedung 25 Lantai Dengan <i>Base Isolator</i>)	93
Tabel 4. 38 Cek Ketidakberaturan Stuktur Vertikal (Gedung 8 Lantai Tanpa <i>Base Isolator</i>)	95
Tabel 4. 39 Cek Ketidakberaturan Stuktur Vertikal (Gedung 8 Lantai Dengan <i>Base Isolator</i>)	95
Tabel 4. 40 Cek Ketidakberaturan Stuktur Vertikal (Gedung 25 Lantai Tanpa <i>Base Isolator</i>)	95
Tabel 4. 41 Cek Ketidakberaturan Stuktur Vertikal (Gedung 25 Lantai Dengan <i>Base Isolator</i>)	96
Tabel 4. 42 Cek Ketidakberaturan Berat (Massa) (Gedung 8 Lantai Tanpa <i>Base Isolator</i>)	97
Tabel 4. 43 Cek Ketidakberaturan Berat (Massa) (Gedung 8 Lantai Dengan <i>Base Isolator</i>)	98
Tabel 4. 44 Cek Ketidakberaturan Berat (Massa) (Gedung 25 Lantai Tanpa <i>Base Isolator</i>)	98
Tabel 4. 45 Cek Ketidakberaturan Berat (Massa) (Gedung 25 Lantai Dengan <i>Base Isolator</i>)	99
Tabel 4. 46 Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat (Gedung 8 Lantai Tanpa <i>Base Isolator</i>)	100
Tabel 4. 47 Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat (Gedung 8 Lantai Dengan <i>Base Isolator</i>)	100
Tabel 4. 48 Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat (Gedung 25 Lantai Tanpa <i>Base Isolator</i>)	101
Tabel 4. 49 Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat (Gedung 25 Lantai Dengan <i>Base Isolator</i>)	101

DAFTAR NOTASI

A_b	= Luas penampang ujung tiang (cm^2)
A_g	= Luas bruto penampang (mm^2)
A_s	= Luas tulangan tarik (cm^2)luas s
A_{sh}	= Luas penampang inti beton, diukur dari serat terluar hoop ke serat terluar hoop di sisi lainnya
A_p	= Luas penampang tiang (cm^2)
A_v	= Luas tulangan sengkang ikat dalam daerah sejarak s (mm^2)
A_s'	= Luas tulangan tekan (mm^2)
b	= Lebar penampang balok (mm)
b_w	= Lebar badan atau diameter penampang lingkaran (mm)
C_a	= Koefisien akselerasi
C_d	= Faktor pembesaran defleksi
C_p	= <i>Collapse Prevention</i>
C_s	= Koefisien respon seismik; kohesi <i>undrained</i> (ton/m^2)
C_v	= Koefisien respon gempa vertikal
D	= Diameter tiang (cm)
D_F	= Faktor distribusi momen di bagian atas dan kolom yang didisain
D_t	= <i>Displacement</i> total
D_1	= <i>Displacement</i> Pertama
d	= Tinggi efektif pelat; jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm); diameter tiang (cm)
E	= Pengaruh beban gempa
E_c	= Modulus elastisitas beton (MPa)
E_g	= Efisiensi kelompok tiang
E_h	= Pengaruh beban gempa horizontal
E_s	= Modulus elastisitas tulangan (MPa)
E_v	= Pengaruh beban gempa vertical
F	= Gaya lateral ekuivalen
F_a	= Koefisien situs untuk periode pendek (pada periode 0,2)
F_s	= Faktor keamanan = 2,5

F_{sc}	= <i>Local friction</i> (kg/cm ²)
F_v	= Koefisien situs untuk periode panjang (pada periode 1 detik)
f_s	= Tahanan selimut sepanjang tiang (kg/cm ²)
f_y	= Tegangan leleh profil baja (MPa)
f'_c	= Kuat tekan karakteristik beton (MPa)
H	= Tebal lapisan tanah (m)
h_c	= Lebar penampang inti beton (yang terkekang) (mm)
h_n	= Ketinggian struktur (m)
h_x	= Spasi horizontal maksimum untuk kaki sengkang tertutup atau sengkang ikat pada muka kolom
I	= Faktor keutamaan struktur
I_O	= <i>Immediate occupancy</i>
J	= Koefisien lengan momen
k	= Faktor panjang efektif
k_c	= Faktor tahanan ujung
LL	= <i>Live load</i> (beban hidup)
LS	= <i>Life safety</i>
l_n	= Panjang sisi terpanjang
l_o	= Panjang minimum
MCE_R	= <i>Respon spektrum</i> gempa maksimum yang dipertimbangkan-tertarget
M_n	= Kuat momen nominal pada penampang
M_{nb}	= Momen terfaktor nominal pada penampang (kN-m)
M_{pr}	= Momen lentur dari suatu komponen struktur dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan menggunakan sifat-sifat komponen strukyur pada joint dengan menganggap kuat tarik pada tulangan
M_u	= Momen yang terjadi pada penampang
M_x	= Momen arah x (ton.m)
M_y	= Momen arah y (ton.m)
m	= Jumlah lapisan tanah yang ada di tanah
n	= Jumlah lantai gedung

n	= Jumlah tingkat gedung; jumlah tiang dalam 1 baris; banyaknya tiang pancang
n_x	= Banyaknya tiang dalam satu arah y
n_y	= Banyaknya tiang dalam satu arah x
p	= Keliling tiang (cm)
$p_{izin} = p_{all}$	= Daya dukung vertikal yang diizinkan untuk sebuah tiang tunggal (ton)
p_{max}	= Beban maksimum yang diterima 1 tiang (ton)
p_n	= Kuat nominal penampang yang mengalami beban (N)
p_{tiang}	= Daya dukung tiang pancang (ton)
p_u	= Kuat beban aksial terfaktor pada eksentrisitas tertentu (N)
Q_{all}	= Nilai daya dukung tanah (ton)
Q_E	= Pengaruh gaya seismik horizontal dari V
Q_p	= Tahanan ujung selimut tiang (kg)
Q_s	= Tahanan geser selimut tiang (kg)
Q_{ult}	= Daya dukung pondasi tiang pancang (ton)
R	= Faktor reduksi gempa
S_{DS}	= Parameter respon spektral percepatan desain pada periode pendek
S_{MS}	= Parameter respon spektrum percepatan pada periode pendek
S_{M1}	= Parameter respon spektrum percepatan pada periode 1 detik
S_s	= Percepatan batuan dasar pada periode pendek
S_x	= Spasi longitudinal tulangan transversal dalam panjang l_o
S_1	= Percepatan batuan dasar pada periode 1 detik
s	= Jarak antar tiang (cm)
T_a	= Periode getar fundamental struktur
T_{eff}	= Waktu getar gedung efektif (dt)
t_i	= Tebal lapisan tanah ke- i
V	= Gaya lateral (kg)
V_t	= Beban gempa dasar nominal
V_n	= Kuat geser nominal penampang (N)
V_s	= Kecepatan rambat gelombang geser melalui lapisan tanah ke- i ; kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (N)

V_{sway}	= Gaya geser rencana berdasarkan momen kapasitas pada balok
V_u	= Gaya geser terfaktor penampang (N)
V_x	= Beban gempa arah x
V_y	= Beban gempa arah y
W	= Berat lantai
W_t	= Berat total struktur
x	= Absis tiang ke pusat koordinat penampang (m)
y	= Ordinat tiang ke pusat koordinat penampang (m)
α (alpha)	= Faktor adhesi antara tanah dan tiang
β_1	= 0,85 untuk $f'_c \leq 30$ Mpa
β_c	= Sisi panjang kolom atau sisi pendek kolom
δ_e (delta a)	= Deformasi elastis
δ_p	= Deformasi plastis
δ_y	= Pelelehan pertama
ρ (rho)	= Rasio tulangan, faktor reduksi untuk desain seismik
ρ_b	= Rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan seimbang
ρ_g	= Rasio penulangan total terhadap luas penampang kolom
$\rho_{\min}$	= Rasio penulangan minimum
$\rho_{\max}$	= Rasio penulangan maksimum
σ_b (sigma b)	= Tegangan izin beton (Mpa)
ϕ (phi)	= Faktor reduksi lentur
λ	= Angka kelangsingan
$\sum M_c$	= Jumlah M_n kolom yang bertemu di joint balok kolom
$\sum M_g$	= Jumlah M_n balok yang bertemu di joint balok kolom
$\sum P_v$	= Jumlah beban vertikal (ton)

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Lembar Bimbingan Tesis
Lampiran 2 : Turnitin
Lampiran 3 : Gambar Kerja



ABSTRAK

Dalam beberapa tahun terakhir sejumlah wilayah di Tanah Air mengalami gempa bumi seperti di Pulau Lombok, Manggarai, Palu dan Gembang di Aceh Barat, yang mengakibatkan kematian dan kerusakan bangunan. Indonesia terletak di Lingkar Gunung Berapi Pasifik dan merupakan negara dengan gunung berapi yang paling aktif di dunia, sehingga sering terjadi gempa bumi.

Pada Tesis ini dilakukan analisis perbandingan penggunaan *Base Isolator* pada Gedung 8 Lantai dan 25 studi kasus Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang. Analisis menggunakan *software* ETABS V18.

Analisis Penggunaan *Base Isolator* pada Percobaan Gedung 8 Lantai dan 25 lantai tanpa *Base Isolator* maupun dengan *Base Isolator*. Periode Getar Gedung 8 Lantai tanpa *Base Isolator* arah X adalah 0.597s dan saat ditambahkan *Base Isolator* Menjadi 2,096s Reduction Sebesar 58% sedangkan Periode Getar Gedung 25 Lantai tanpa *Base Isolator* arah X yaitu 2,65s dan yang telah diberi *Base Isolator* sebesar 2,902s Reduction Sebesar 12,5%. Kesimpulannya semakin Tinggi Bangunan Tingkat Reduction justru semakin kecil atau kurang bermanfaat penggunaan *Base Isolator*.

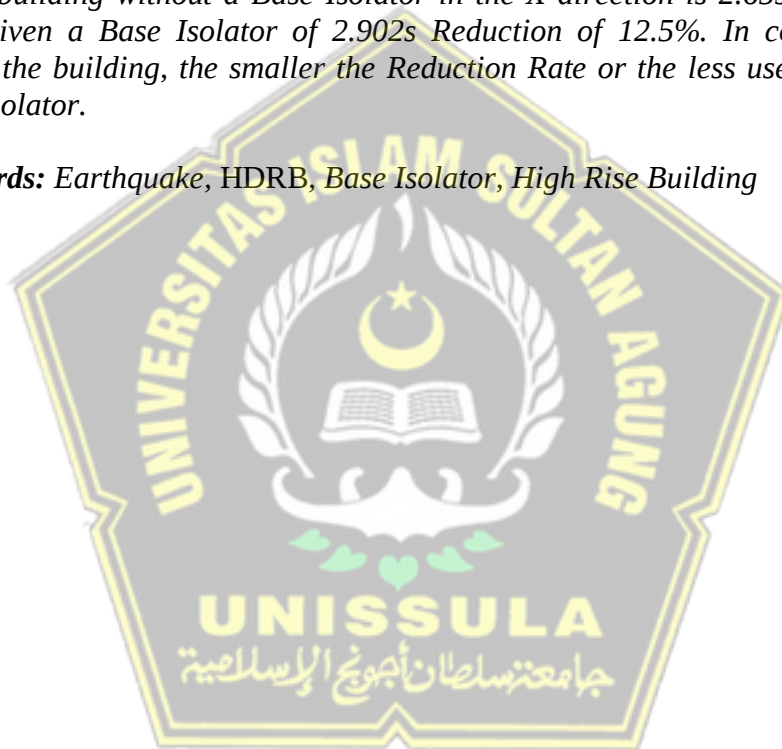
Kata Kunci : Gempa, HDRB, *Base Isolator*, Gedung Bertingkat



ABSTRACT

In recent years a number of areas in the country have experienced earthquakes such as in Lombok Island, Manggarai, Palu and Gembang in West Aceh, resulting in deaths and damage to buildings. Indonesia is located in the Pacific Volcano Rim and is a country with the most active volcanoes in the world, so earthquakes often occur. In this thesis, a comparative analysis of the use of Base Isolators in an 8-storey building and a case study of Semarang Public Works Polytechnic Flats was conducted. The analysis uses ETABS V18 software. Analysis of the use of Base Isolators in 8-storey and 25-storey Building Experiments without Base Isolators and with Base Isolators. The Vibration Period of the 8-storey building without a Base Isolator in the X direction is 0.597s and when a Base Isolator is added it becomes 2.096s Reduction of 58% while the Vibration Period of the 25-storey building without a Base Isolator in the X direction is 2.65s and that has been given a Base Isolator of 2.902s Reduction of 12.5%. In conclusion, the higher the building, the smaller the Reduction Rate or the less useful the use of Base Isolator.

Keywords: Earthquake, HDRB, Base Isolator, High Rise Building



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir sejumlah wilayah di Tanah Air mengalami gempa bumi seperti di pulau Lombok, Manggarai, Palu dan Gembang di Aceh Barat, yang mengakibatkan kematian dan kerusakan bangunan. Indonesia terletak di Lingkar Gunung Berapi Pasifik dan merupakan negara dengan gunung berapi yang paling aktif di dunia, sehingga sering terjadi gempa bumi.

Berdasarkan hal tersebut, perencanaan bangunan di Indonesia harus sesuai dengan peraturan seismik terbaru, yaitu SNI 1726-2019. Peraturan ini telah diubah secara signifikan dan alasan perubahannya adalah untuk mendapatkan bagian struktur bangunan yang lebih tahan gempa. Dengan SNI terbaru ini, diharapkan akan lebih banyak lagi bangunan tahan gempa yang dirancang.

Bangunan tahan gempa perlu dibangun, terutama di daerah rawan gempa seperti Indonesia. Pengalaman saya, banyak orang yang meninggal karena tertimpa bangunan runtuh akibat gempa. Oleh sebab itu, bangunan seperti halnya gedung harus didesain sedemikian rupa sehingga mampu dalam menahan kerusakan tanpa roboh. Dengan cara ini, risiko korban jiwa bisa diminimalisir. (Arifin, 2015)

Tugas utama seorang ahli serta para praktisi khususnya di bidang teknik sipil harus menemukan solusi atau cara baru untuk mendesain bangunan yang lebih tahan gempa. Hal ini terlepas dari kompleksitas masalah seismik dan bentuk bangunan yang asimetris. Tujuan yang jelas bukan hanya membuat bangunan lebih kokoh serta tahan terhadap gempa, namun juga menjamin *security and comfort* setiap orang yang berada didalamnya. (Sudarman et al., 2014).

Inovasi baru dalam desain bangunan tahan gempa dalam beberapa dekade terakhir adalah sistem Isolasi gempa. Konsep ini berbeda secara signifikan dari pendekatan desain konvensional. Struktur Isolasi Seismik

biasanya dirancang untuk tetap fleksibel jika terjadi gempa bumi besar. Menurut konsep ini, disipasi energi gempa bumi berasal dari Sistem Isolasi Seismik yang fleksibel, bukan dari kerusakan pada elemen. Sistem Isolasi Seismik memiliki mekanisme pembuangan energi yang berbeda dengan bangunan normal. Mekanisme tekuk, yang juga dikenal sebagai hubungan momen-rotasi, sesuai dengan disipasi energi akibat rotasi elemen pada struktur konvensional. Sebaliknya, Sistem Isolasi Seismik menghilangkan energi pada sistem elemen Isolasi Seismik melalui mekanisme gaya geser inelastis dan deformasi geser. Karet yang digunakan dalam sistem ini bersifat sangat lunak dan memiliki fungsi penataan kembali yang mengikuti prinsip pengoperasian dasar yang serupa dengan pendulum harmonik. Konsep Isolasi Seismik ini meningkatkan kinerja bangunan atas dan mengurangi tingkat kerusakan struktural. (Budiono & Setiawan, 2014).

Base Isolator menggunakan berbagai sistem Isolasi, salah satu jenisnya adalah tipe Bearing Karet Berdamping Tinggi (HDRB). Pernah ada penggunaan *Base Isolator* skala kecil di Pelabuhan Ratu di negara kita. Teknologi modern ini sekarang mulai diterapkan di sebuah gedung perkantoran 25 lantai yang terletak di wilayah Jakarta, sebanyak 40 (empat puluh) jumlah bantalan berupa *rubber* disisipkan diantara struktur bawah dengan struktur gedung. (Andrian et al., 2017).

Tesis ini akan membahas mengenai gedung 8 lantai tanpa ditambah *Base Isolator* dan dengan *Base Isolator*. Selain itu lantai yang awalnya 8 lantai akan ditambah jumlahnya sehingga mencapai ketinggian 25 lantai tanpa *Base Isolator* dan dengan menambahkan *Base Isolator*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan yang diperoleh dari informasi di atas yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana menganalisis respon struktur Simpangan yang terjadi antar tingkat sesuai peraturan SNI 1726-2019?
2. Bagaimana menganalisis Penggunaan *Base Isolator* pada Percobaan Gedung 8 Lantai dan 25 lantai?

1.3 Tujuan

Tujuan tesis ini adalah:

1. Melakukan analisis tentang respons struktur yang berupa Simpangan yang terjadi antar lantai sesuai dengan peraturan SNI 1726-2019.
2. Melakukan analisis penggunaan *Base Isolator* pada Gedung bertingkat 8 dan 25.

1.4 Batasan Masalah

Batasan permasalahan tesis saya ini sebagai berikut:

1. Perancangan tesis ini hanya membahas tingkat analisis penggunaan *Base Isolator* pada Gedung 8 lantai dan 25 lantai tidak menggunakan *Base Isolator* dan dengan Menggunakannya.
2. Dalam tesis ini tidak akan menjelaskan mengenai manajemen, analisis pembiayaan, ataupun arsitektur.

1.5 Sistematika Penulisan

Tesis ini akan terbagi menjadi 5 bagian:

BAB I PENDAHULUAN

BAB ini menerangkan asal usul yang mendasari analisis *Base Isolator*, selanjutnya tentang rumusan masalah dari latar belakang, selanjutnya akan ada batasan masalah yang berfungsi untuk mengurai lebih spesifik.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

BAB ini menerangkan mengenai garis besar teori yang digunakan dalam analisis.

BAB III METODE ANALISIS

Metodologi analisis menjelaskan mengenai Langkah-langkah dalam analisis permasalahan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini diterangkan hal yang didapatkan dari sebuah analisis tingkat efektivitas penggunaan Isolator Dasar di dalam Gedung 8 lantai dan 25 lantai.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada BAB terakhir dapat ditarik sebuah simpulan serta masukan untuk para Peneliti berikutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Secara Umum

Structure adalah *element* dari bagian konstruksi yang berfungsi mendukung keberadaan elemen non struktur yang saling menguatkan seperti, kolom, balok dan atap sehingga membentuk struktur yang dapat menahan beban sesuai perencanaan.

2.2 Rencana Analisis yang akan dilakukan

Rencana yang akan dilakukan untuk analisis saya yaitu akan membandingkan antara bangunan yang awalnya 8 lantai tanpa menggunakan *Base Isolator* nantinya akan kami beri *Base Isolator* tipe *High Damping Rubber Bearing* dengan ketinggian Gedung 8 lantai dan 25 lantai. Tujuan Penelitian yang diharapkan untuk mengetahui analisis penggunaan *Base Isolator* pada bangunan bertingkat biasa dan bangunan yang dikategorikan *High Risk Building*. Apakah semakin tinggi bangunan tetap bagus kemampuan redaman gempanya atau justru semakin tidak efisien.

2.3 Pembebanan Pada Bangunan

Dead Load atau biasa disebut dengan Beban mati merupakan gaya pada *Structure*. Beban struktur bangunan dapat dibedakan menjadi berbagai macam yaitu *vertical load* (beban gravitasi) and *horizontal load* (beban lateral), tergantung arah kerjanya. *Vertical load* meliputi *Dead Load*, *Live Load* and *Rain Load*, *horizontal load* meliputi (*earthquake load*, *Wind load*, *ground pressure* and *groundwater pressure*).

2.3.1 Dead Load (Beban Mati)

Dead Load merupakan beban konstruksi secara tetap, termasuk elemen-elemen tambahan, yang tidak terpisahkan dari konstruksi. Berat

satuan komponen bangunan dapat diukur dari peraturan Standart Nasional Indonesia 1727:2020.

Tabel 2. 1 Berikut Daftar Elemen

Nomer	<i>Dead Load</i>	<i>Load(kN/m²)</i>
1.	Pasir dengan ketebalan 1 cm	0,16
2.	Spesi dengan ketebalan 3 cm	0,66
3.	Keramik dengan ketebalan 1 cm	0,22
4.	<i>Plafond</i>	0,2
5.	Elektrikal dan Mekanikal	0,25

Sumber : Tabel C3.1 SNI 1727-2020

2.3.2 *Live Load* (Beban Hidup)

Live Load merupakan peralatan bergerak, peralatan mekanis dan peralatan yang tidak dari konstruksi serta bisa diubah selama masa layannya, yang berakibat perubahan pada beban lantai ataupun atap bangunan. Beban atap yang dikelompokkan menjadi *Live Load* yaitu beban air hujan dari genangan air serta beban akibat (energi kinetik) tetesan air.

Live Load untuk bangunan sesuai Standar Nasional Indonesia 1727:2020 yang dapat dilihat pada Tabel di bawah:

Tabel 2. 2 Daftar Beban Hidup

Nomer	Fungsi Ruangan	<i>Load (kN/m²)</i>
1.	Ruangan Untuk Kelas	1,92
2.	Laboratorium	2,87
3.	Ruang Penyimpanan	7,18
4.	Kantor	2,40
5.	Atap	0,96

Sumber : Tabel 4.3 Standar Nasional Indonesia 1727-2020

2.3.3 Earthquake Load

Earthquake load adalah semua hubungannya dengan beban statis atau gaya dalam *structure* yang terjadi efek *land movement* saat *earthquake*, berdasarkan *dynamic analysis*. Nilai beban seismik ditentukan dengan tiga cara. Yaitu, probabilitas beban seismik terlampaui dalam waktu tertentu, tingkat daktilitasnya serta kelebihan kekuatan dalam struktur.

Sesuai SNI 1726:2019, beban gempa rencana yang dihitung pada gempa rencana middle. Dalam kasus gempa yang tingkat tinggi, gaya bekerja pada setiap komponen struktur dapat melebihi gaya rencana. Gempa rencana adalah gempa yang probabilitas mencapai 2% melebihi magnitudo selama masa layan 50 tahun struktur gedung.

2.3.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban dasar untuk desain kekuatan tercantum dalam Pasal 5.3.1 SNI 2847:2019. Struktur, komponen serta pondasi wajib didesain lebih dari beban terfaktor berikut ini:

Tabel 2. 3 Kombinasi Beban

Kombinasi beban	Persamaan	Beban utama
$U = 1,4D$	(5.3.1a)	D
$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$	(5.3.1b)	L
$U = 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$	(5.3.1c)	$L_r \text{ atau } R$
$U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$	(5.3.1d)	W
$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L$	(5.3.1e)	E
$U = 0,9D + 1,0W$	(5.3.1f)	W
$U = 0,9D + 1,0E$	(5.3.1g)	E

Sumber: Tabel 5.3.1 Standar Nasional Indonesia 2843:2019

Keterangan :

L : Live Load

D : Dead Load

R : Rain Load

L_r : Living Roof Load

W : Wind Load

2.3.5 Faktor Reduksi (ϕ)

Kegunaan Faktor Reduksi yaitu untuk mendapatkan kondisi terburuk selama pelaksanaan konstruksi, seperti perbedaan kualitas. Faktor reduksi kekuatan adalah angka yang memiliki fungsi untuk mengurangi kekuatan material sesuai dengan peraturan SNI 2847:2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

Tabel 2. 4. Faktor Reduksi (ϕ)

<i>Force & Element Structure</i>		Φ
1.	<i>Axial Force</i>	0.65 – 0.90
2.	<i>Shear Force</i>	0.75
3.	<i>Torque Force</i>	0.75
4.	Tumpuan (<i>bearing</i>)	0.65
5.	Angkur	0.45 – 0.75

Sumber : Tabel 21.2.1 Standar Nasional Indonesia 2847:2019

2.4 Konsep Analisis Beban Seismik

Struktur bangunan tahan gempa perlu perencanaan serta perhitungan untuk meminimalisir kerusakan bangunan yang disebabkan gempa. Acuan yang digunakan dalam perancangan bangunan tahan terhadap gempa yaitu SNI 1726-2019 yang berisi Gempa harus direncana melampaui umur bangunan 50 tahunan sebesar 2 %.

2.4.1 Building Risk Category

Dalam aturan Standar Nasional Indonesia 1726-2019 telah ditetapkan kategori Gedung sesuai dengan jenis rencana pemanfaatan yang dapat dilihat pada Tabel 2.5. serta Tabel Faktor Keutamaan yang termuat pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 5. *Construction Risk Categories*

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, peternakan, 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

Sumber: Tabel 3 Standar Nasional Indonesia 1726:2019

Tabel 2.5. (Kanjutan)

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

Sumber: Tabel 3 Standar Nasional Indonesia 1726:2019

Tabel 2. 6. *Earthquake Risk Categories and Priority Factors*

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

Sumber: Tabel 4 Standar Nasional Indonesia 1726-2019

2.4.2 Klasifikasi Kelas Situs

Penentuan Klasifikasi Kelas Situs mengacu pada kelas situs SA sampai dengan SF sebagaimana diklasifikasikan dalam pasal 5.3 Standar Nasional Indonesia 1726 Tahun 2019

Tabel 2. 7. Site Classification

Kelas situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (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 nirair $\bar{s}_u < 25$ 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)		

Sumber : Tabel 5 Standar Nasional Indonesia 1726:2019

2.4.3 Targeted Earthquake Acceleration Spectra Response Parameters

Dalam mengukur *Spectral Response of Seismic Acceleration* (MCER) di permukaan bumi diperlukan *Seismic Amplification Factor* sebesar 0,2 dan 1s. Faktor penguatan terdiri dari tingkat getaran yang berhubungan terhadap percepatan jangka pendek (F_a) serta tingkat getaran yang berhubungan terhadap percepatan 1 detik (F_v). Penyesuaian dengan Pasal 6.2 (SNI 1726:2019, 2019). *Acceleration spectral response* mengacu terhadap jangka pendek (S_S) serta periode kedua (S_{M1}), penyesuaian terhadap dampak klasifikasi lokasi, ditetapkan berdasarkan persamaan di bawah:

$$S_{MS} : F_a S_s \quad (2.1)$$

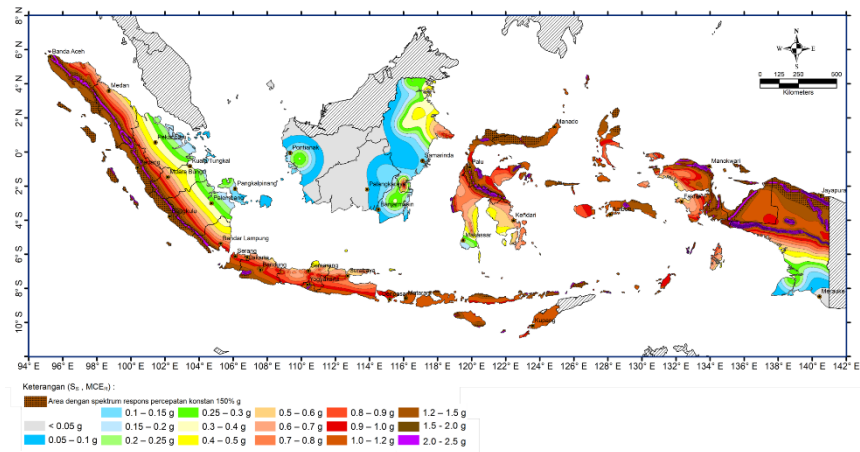
$$S_{M1} : F_v S_1 \quad (2.2)$$

Penjelasan:

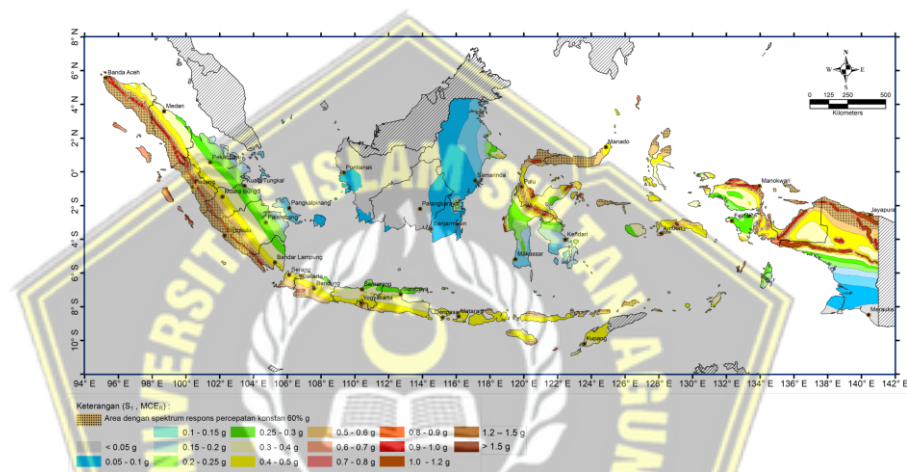
S_s earthquake acceleration spectral response parameters MCER
untuk short period

S_1 earthquake acceleration spectral response parameters MCER untuk
periode 1,0 Second

=



Gambar 2. 1 Ground Motion Parameters S_s , gempa tertinggi



Gambar 2. 2 Ground Motion Parameters S_s , gempa terendah

Tabel 2. 8.Site Coefficient, F_a

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)					

Sumber: Tabel 6 Standar Nasional Indonesia 1726-2019

Tabel 2. 9. *Site Coefficient Fv*

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)					
Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_I					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Sumber: Tabel 7 Standar Nasional Indonesia 1726-2019

2.4.4 Spektrum Percepatan Gempa Rencana

Penentuan spektrum respons percepatan seismik rencana Nilai parameter untuk *short period* (S_{DS}) serta periode 1 second (S_{D1}) ditetapkan berdasarkan persamaan di bawah :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.4)$$

Penjelasan :

S_{DS} = Patokan *spectrum respons* rencana periode pendek

S_{D1} = Patokan *spectrum respons* rencana periode 1 second

2.4.5 Design Response Spectrum

Design Response Spectrum pada peraturan Standar Nasional Indonesia 1726-2019 dengan aturan Standar Nasional Indonesia 1726:2012 (Mdra, 2003), yaitu terjadi tambahan Periode Panjang Kurva Respon. Ketentuan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$T < T_0$, hingga nilai S_a yaitu:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.5)$$

$T > T_1$, hingga S_a yaitu

$$S_a = S_{DS} \quad (2.6)$$

$T > T_s$, hingga nilai S_a yaitu

$$S_a = \frac{SD1}{T} \quad (2.7)$$

Nilai $T > T_1$, hingga S_a nilai S_a yaitu

$$S_a = \frac{SD1 \cdot T_L}{T^2} \quad (2.8)$$

Keterangan :

S_{DS} = Patokan *spectrum respons* desain pada *short period*

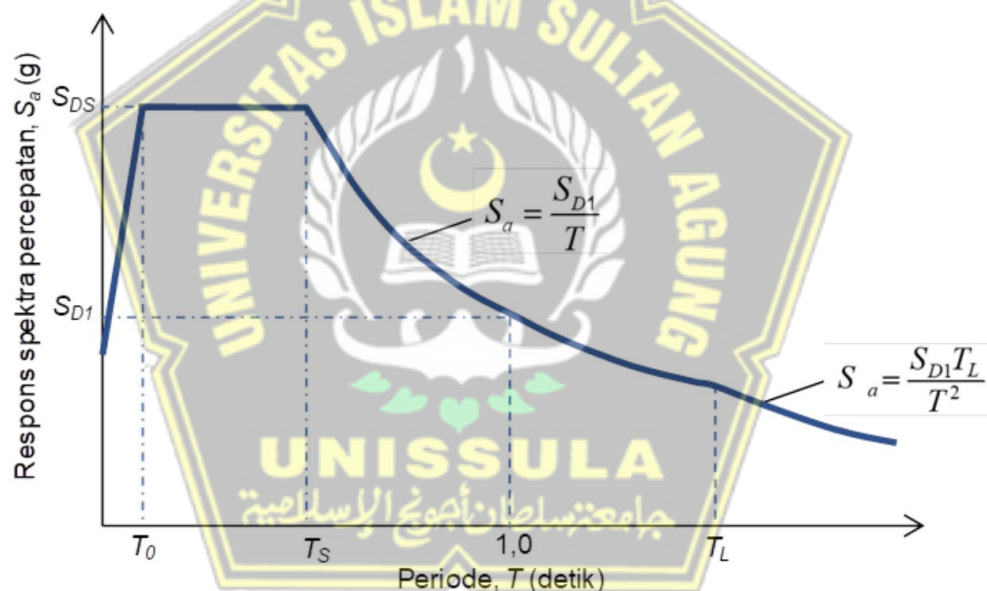
S_{D1} = Patokan *spectrum respons* desain pada *short period*

T = Period getar *fundamental structure*

Nilai T_0 , T_s dan T_L dihitung menggunakan persamaan di bawah ini:

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS} \quad (2.9)$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS} \quad (2.10)$$



Gambar 2. 3 Design Response Spectrum

2.4.6 Seismic Design Category

Cara menentukan jenis *Seismic Design Category* untuk suatu struktur bangunan mengacu pada Standar Nasional Indonesia 1726-2019, Pasal 6.5. *Seismic Design Category* dapat ditetapkan berdasarkan angka SDS dan SD1 yang diperoleh dengan menentukan kategori risiko bangunan tertinggi. Semakin tinggi huruf pada tabel klasifikasi risiko, maka semakin tinggi pula risiko seismik struktur bangunan tersebut.

Tabel 2. 10. Seismic Design Category According to the Acceleration Response Parameter At Short Period

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: Tabel 7 Standar Nasional Indonesia 1726-2019

Tabel 2. 11. Seismic Design Category According to the Acceleration Response Parameters in the Period of 1 Second

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: Tabel 9 Standar Nasional Indonesia 1726-2019

2.4.7 Kombinasi Sistem Perangkai Pada Arah yang Berbeda

Penentuan jenis *Seismic Design Category* struktur bangunan menggunakan acuan (SNI 1726:2019, 2019) Pasal 6.5. *Seismic Design Category* dapat ditentukan menurut Nilai S_{DS} serta S_{D1} yang telah didapatkan dengan cara menentukan sebuah Kategori Risiko bangunan paling tinggi. Semakin tinggi huruf pada Tabel Kategori Risiko maka semakin tinggi pula resiko gempa pada struktur bangunan.

Tabel 2. 12. Faktor R , C_d , serta Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismic

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'	TI'	TI'
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	4½	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	4½	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°	3½	10	10	10	10	10

Sumber: Tabel 12 Standar Nasional Indonesia 1726-2019

2.4.8 Fundamental Period Limitations

Sesuai pada Pasal 7.8.2 (Standar Nasional Indonesia 1726:2019,) *Fundamental Period* Structure tak diizinkan melebihi suatu perolehan perkalian koefisien suatu batas tertinggi periode yang telah dilakukan perhitungan (C_u) dan *Fundamental Period* Pendekatan (T_a). Pengklasifikasian Periode Alami Struktur pada tabel berikut ini:

Tabel 2. 13. Koefisien Batas Atas

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

Sumber: Tabel 17 Standar Nasional Indonesia 1726-2019

Fundamental Period Pendekatan (T_a) dalam satuan *Second*, ditetapkan berdasarkan persamaan berikut:

$$T_a = C_t \cdot H_n^x \quad (2.11)$$

$$T_{a_{\max}} = C_u \cdot T_{a_{\min}} \quad (2.12)$$

Keterangan

H_n = Height of Structure (meter)

Koefisien C_t dan x ditetapkan berdasarkan tabel berikut:

Tabel 2. 14. Pendekatan Periode Nilai Parameter C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 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

Sumber: Tabel 18 Standar Nasional Indonesia 1726-2019

Nilai T_a untuk menentukan Periode Fundamental Pendekatan untuk Struktur kurang dari Dua Belas tingkat, Sistem Pemikul Gaya Seismik terdiri dari Rangka Pemikul Momen yang seluruhnya beton / seluruhnya baja serta rata- rata tinggi setidaknya 3 meter dihitung berdasarkan persamaan :

$$T_a = 0,1 N \quad (2.13)$$

Keterangan:

N = Jumlah dari tingkat

2.4.9 Geser Dasar Seismik

Sesuai Pasal 7.8.1 Standar Nasional Indonesia 1726-2019. *Seismic Base Shear Force* (V) pada arah yang diharuskan sama berdasarkan persamaan berikut:

$$W = C_s \cdot V \quad (2.14)$$

Information:

C_s = Koefisien Respon Seismik

W = Berat Seismik Efektif

V = Gaya Dasar Seismik

Seismic response coefficient (C_s), sesuai dengan pasal 7.8.1.1 Standar Nasional Indonesia 1726:2019 harus ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

$$C_s = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.15)$$

Keterangan:

SDS = Parameter percepatan respon spektral desain dalam rentang *Short Period*

R = Koefisien modifikasi respon

I_e = Faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang dihitung berdasarkan persamaan diatas tidak diperbolehkan lebih dari persamaan berikut :

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{SDI}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.16)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{SDI \cdot T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.17)$$

C_s seharusnya tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (2.18)$$

Serta untuk struktur yang lokasinya S_1 sama dengan atau $> 0,6g$, maka C_s ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.19)$$

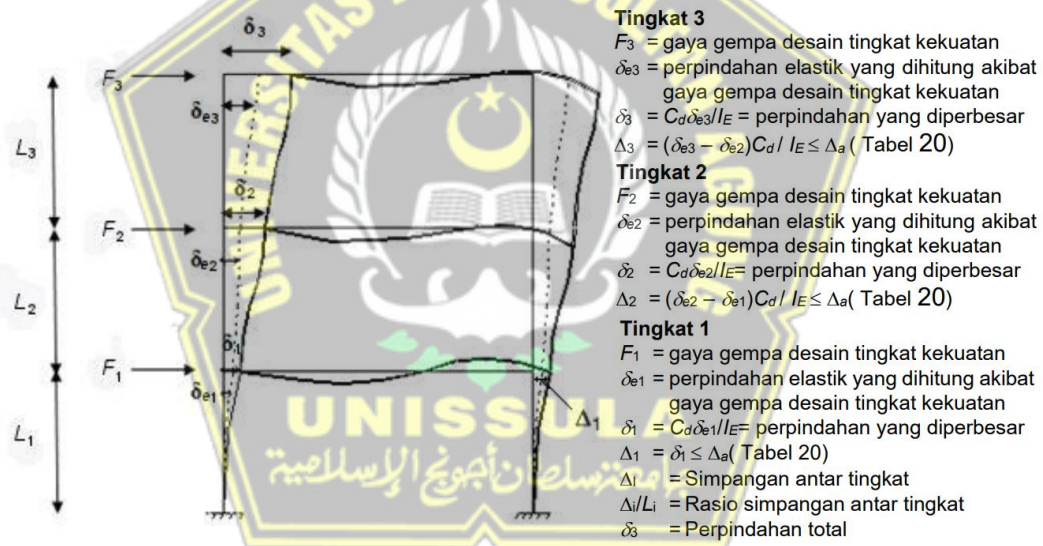
S_{D1} = Patokan percepatan respon spektral desain dalam pada periode 1,0 s

T = Fundamental period of structure (s)

S_1 = Patokan percepatan respon spektral maks yang dipetakan

2.4.10 Penentuan Serta Batasan Simpangan Antar Tingkat

Penentuan dan batasan Simpangan antar lantai tercantum dalam Pasal 7.8.6 Standar Nasional Indonesia 1726-2019. Penetapan Simpangan (Δ) wajib dikalkulasi sebagai perbedaan Simpangan pada suatu pusat massa di atas serta di bawah tingkat yang diperiksa. Bila sebuah pusat massa tak sehaluan pada arah yang *vertical*, diijinkan untuk meninjau hitungan Simpangan pada dasar tingkat menurut proyeksi arah *vertical* dari pusat massa tingkat di atasnya. Bilamana tegangan izin dipergunakan, Δ wajib dihitung memakai gaya seismik desain tanpa memakai reduksi pada desain tegangan izinnya.



Sumber: Gambar 10 Standar Nasional Indonesia 1726-2019

Gambar 2. 4 Penetapan Simpangan Antar Tingkat

Simpangan pada pusat massa di Tingkat-x (δ_x) (mm) harus ditetapkan menurut persamaan di bawah ini :

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

Keterangan:

C_d = Faktor Pembesaran Defleksi

Δ_{xe} = Lendutan pada lokasi yang diperlukan dan ditentukan berdasarkan analisis elastis

I_e = Faktor utama terjadinya gempa

Simpangan antar tingkat desain (Δ) telah ditentukan sesuai dengan aturan Standar Nasional Indonesia 1726:2019 Pasal 17.2.1 tidak diperkenankan melampaui Simpangan antar tingkat yang diizinkan (Δ_a), terlihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 15. Simpangan Antar Tingkat Izin

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	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Sumber: Tabel 20 (SNI 1726:2019, 2019)

2.4.11 Pengaruh P-Delta

Sesuai dengan Pasal 7.8.7 Standar Nasional Indonesia 1726 Tahun 2019 Pengaruh P-delta pada geser tingkat serta momen, gaya, momen elemen struktur yang diperoleh beserta Simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tak perlu diperhitungkan apabila koefisien stabilitas (θ) seperti yang ditetapkan oleh persamaan di bawah sama dengan atau kurang dari 0,10:

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x H_{sx} D_d} \quad (2.17)$$

Keterangan:

P_x = Beban desain vertikal total pada dan di atas Tingkat-X, (kN);

bila menghitung, faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0

Δ = Simpangan antar tingkat desain, terjadi secara serentak dengan

V_x (mm)

I_e = Faktor keutamaan gempa

V_x = Gaya geser seismik yang bekerja antara Tingkat X dan X-1(kN)

H_{sx} = Tinggi tingkat di bawah Tingkat X (mm)

C_d = Faktor pembesaran defleksi

2.4.12 Analisis Spektrum Respon Ragam

Pasal 7.9.1.1. SNI 1726-2019 analisis harus dilakukan untuk menentukan rentang getaran alami struktur tersebut. Analisisnya harus mencakup kuantitas Keberagaman yang cukup untuk mencapai partisipasi massa yang dipadukan dengan setara 100% massa struktur. Untuk mencapai penentuan tersebut, suatu benda tegar dibiarkan berubah dengan jangka waktu 0,05 detik. Kita harus mendapatkan varian dengan durasi kurang dari 0,05 detik.

2.4.13 Ketidakberaturan Struktur

Klasifikasi bangunan beraturan dan bangunan tidak beraturan dijelaskan dalam Standar Nasional Indonesia. 1726:2019 pada Pasal 7.3.2. Klasifikasi struktur bangunan wajib didasarkan pada Konfigurasi struktur bangunan secara *horizontal* dan *vertical*.

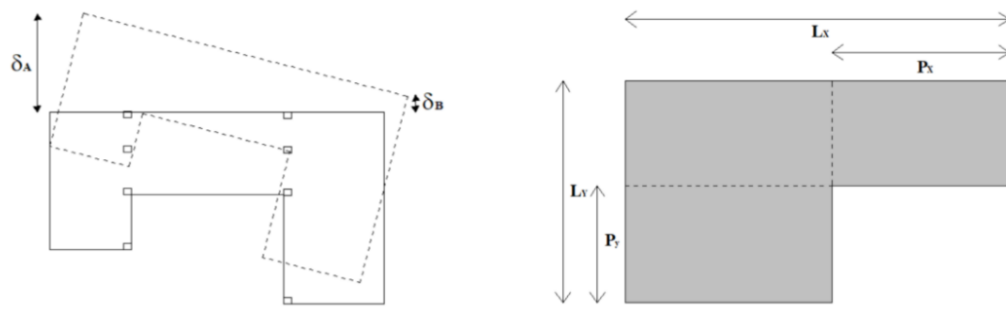
2.4.13.1 Ketidakberaturan Horizontal

Mengacu pada Pasal 7.3.2.1 Standar Nasional Indonesia 1726-2019, struktur yang memiliki satu atau lebih tipe ketidakberaturan wajib dinyatakan memiliki ketidakberaturan struktur horizontal. Struktur-struktur yang direncanakan untuk kategori desain seismik wajib memenuhi persyaratan sesuai dengan tabel berikut.

Tabel 2. 16. Ketidakberaturan Horizontal Pada Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	0 0 0 0 Tabel 16 0	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	0 0 0 0 0 0 Tabel 16 0	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	0 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	0 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	0 0 0 Tabel 16 0	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	0 0 Tabel 16 0	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

Sumber: Tabel 13 SNI 1726:2019 (SNI 1726:2019, 2019)



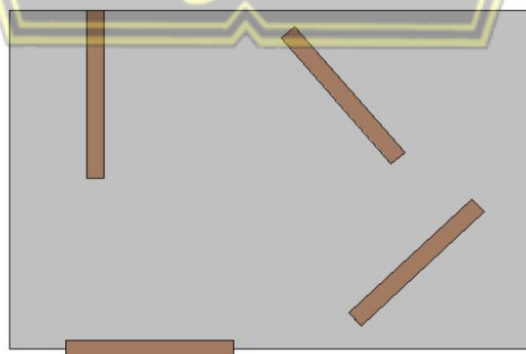
(a) Ketidakberaturan 1a dan 1b

(b) Ketidakberaturan 2



(c) Ketidakberaturan 3

(d) Ketidakberaturan 4



(e) Ketidakberaturan 5

Sumber: Gambar 5 SNI 1726:2019

Gambar 2. 5 Ketidakberaturan Horizontal

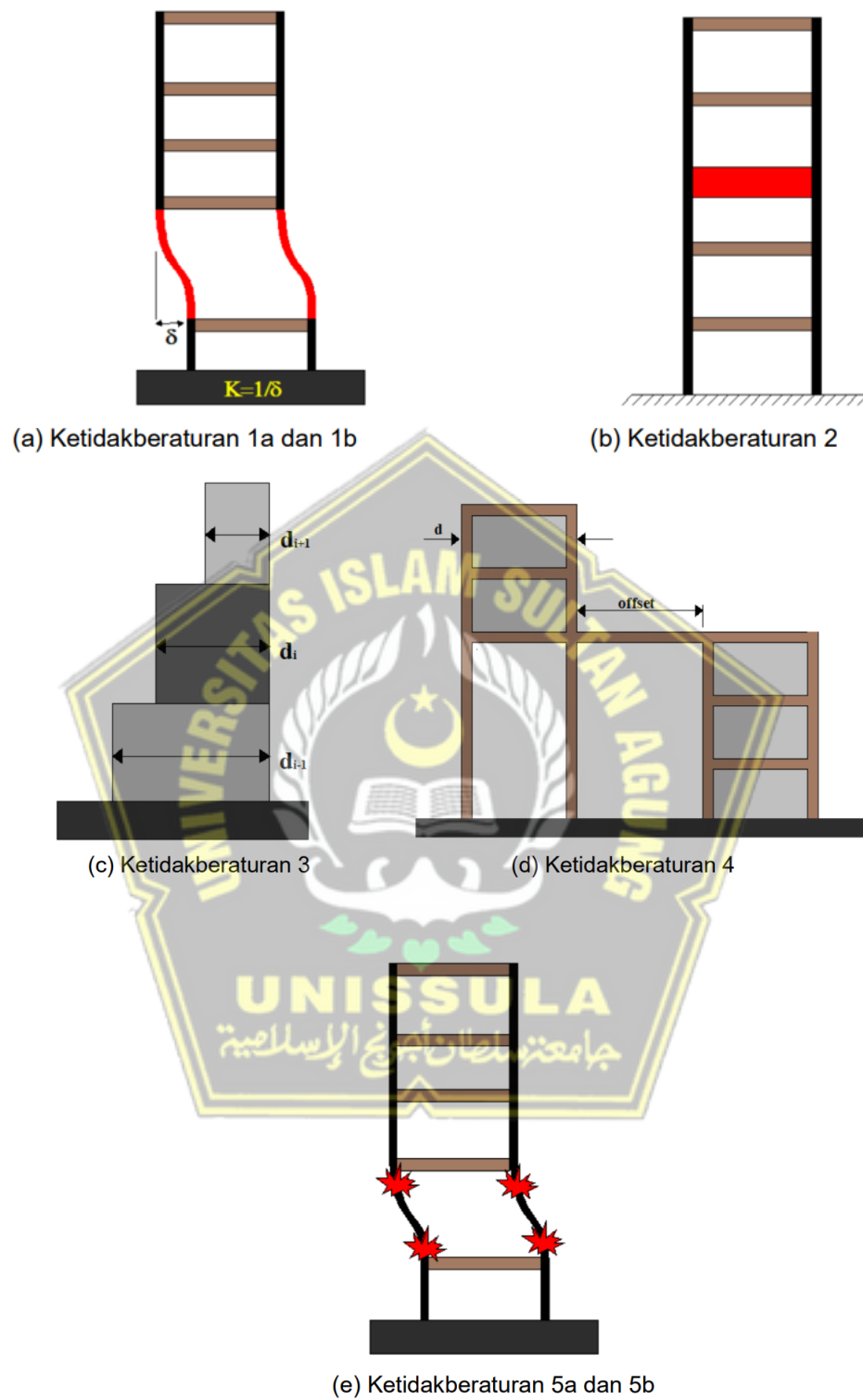
2.4.13.2 Ketidakberaturan Vertikal

Sesuai dengan Pasal 7.3.2.2 Standar Nasional Indonesia 1726 Tahun 2019, struktur yang memiliki satu atau beberapa tipe ketidakberaturan wajib dinyatakan memiliki ketidakberaturan vertikal. Berikut Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan struktur yang didesain untuk kategori desain seismic.

Tabel 2. 17. Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismic
1a.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 16	D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	0 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
2.	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 16	D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismic di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismic tingkat di dekatnya.	Tabel 16	D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.	0 0 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismic yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	0 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
5b.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismic yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	0 0 Tabel 16	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

Sumber: Tabel 14 SNI 1726:2019 (SNI 1726:2019, 2019)



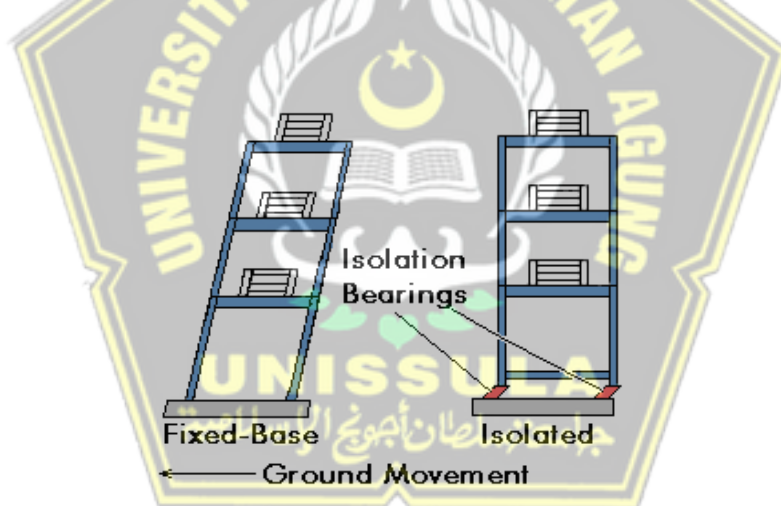
Sumber: Gambar 6 (SNI 1726:2019, 2019)

Gambar 2. 6 Ketidakberaturan Vertikal

2.5 Base Isolator

Base Isolator merupakan sistem yang direncanakan untuk melindungi bangunan dari gaya horizontal yang berdampak terhadap kerusakan struktural, seperti pada gaya seismik, dengan cara memisahkan gerakan tanah yang diakibatkan oleh gempa bumi antara *upper structure* dengan *bottom structure*. *Base Isolator* dipasang di antara super struktur dan pondasi. Sistem *Base Isolator* memiliki nilai kekakuan vertikal yang tinggi tetapi nilai kekakuan horisontal yang rendah. Hasilnya, sistem ini dapat menopang gaya vertikal, yaitu beban aksial konstruksi dan gaya lateral yang disebabkan gerakan tanah pada saat gempa bumi.

Sistem Isolasi Dasar berbeda ketahanannya terhadap gaya lateral. Sub struktur yang diisolasi bergerak ke arah gaya seismik, sedangkan super struktur bertindak sebagai gerakan tubuh yang kaku dan bergerak bersama Isolator Dasar.



Gambar 2. 7 Konsep Base Isolator

Sumber: Muliadi, Afifuddin serta Aulia. (2017). Jurnal Teknik Sipil

Dengan metode ini, *upper structure* akan mengalami *frequency* yang lebih rendah daripada *conventional structure* serta *frequency* gerakan tanah. Karena *frequency* yang lebih rendah, waktu getar struktur akan lebih lama, dan percepatan struktur juga akan berkurang, sehingga gaya yang dihasilkan dari struktur akan berkurang. Hukum Newton 2 “Percepatan suatu benda sebanding dengan resultan gaya yang bekerja pada benda itu”. Demikian, gaya gempa yang akan terjadi pada *structure* akan berkurang seiring dengan

structural acceleration tersebut.

Rentang getaran pertama dari struktur menghasilkan deformasi hanya pada Sistem Isolasi Seismik dan superstruktur berperilaku kaku. Mode getaran yang tinggi kemudian menjadikan deformasi ortogonal dengan mode getaran awal dan gerakan tanah. Energi tinggi dan frekuensi tinggi dari gerakan seismik tidak mengenai. Sistem Isolasi Seismik tidak menyerap energi seismik dan dinamika sistem membelokkan energi seismik. (Naeim and Kelly,1999) dalam jurnal. (Wicaksana & Rachman, 2018),

Sebaliknya, resonansi adalah getaran bangunan yang disebabkan oleh getaran yang kuat, seperti akibat gempa bumi, dan terjadi ketika frekuensi alami *structure* sama dengan frekuensi tanah atau gempa. (Nakamura, 2000) dalam jurnal (Wicaksana & Rachman, 2018),. Resonansi dapat meningkatkan respon struktur dan kerusakan.

2.5.1 Syarat Umum

Sesuai dengan persyaratan Pasal 7.3.2 SNI 1726:2019 bahwa sistem *Base Isolator* harus memenuhi beberapa persyaratan untuk diterapkan pada bangunan.

- a. Faktor prioritas seismik harus ditetapkan sebesar 1,0, terlepas dari jenis risiko seismik yang diterapkan.
- b. Konfigurasi struktur dianggap tidak beraturan jika memiliki ketidakaturan vertikal Tipe 1a, 1b, 5a dan 5b, serta ketidakaturan horisontal Tipe 1b.
- c. Faktor reduksi harus diberikan terhadap struktur yang tidak mempunyai penyimpangan.
- d. Dalam perencanaan, faktor-faktor seperti lingkungan, usia, rangkai, suhu operasi, efek kelembaban, beban angin, ketahanan terhadap api, dan ketahanan lateral harus dipertimbangkan. Jarak minimal antara struktur yang diisolasi Seismik oleh dinding penahan/penghalang tetap lain tidak diperbolehkan kurang dari perpindahan paling tinggi.

2.5.2 Jenis-Jenis Base Isolator

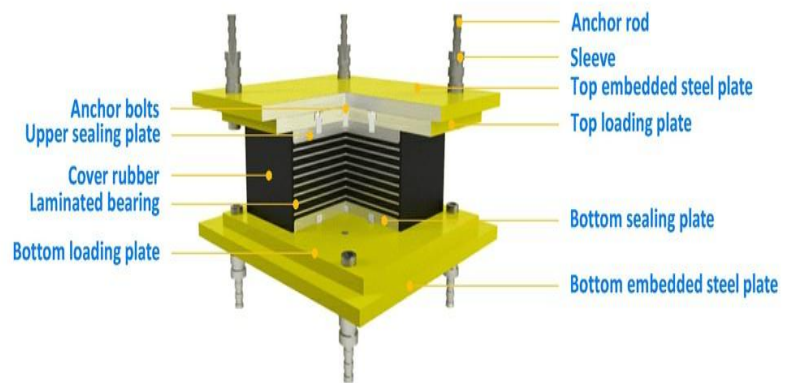
Ada berbagai jenis Isolator Seismik, tergantung pada jenis struktur dan kondisi yang dibutuhkan, tetapi prinsipnya secara umum sama yaitu energi yang dihasilkan oleh gempa bumi ditransfer secara lateral dan diterima, dan tidak disalurkan ke bangunan di atasnya. Bahan Isolasi dasar dapat dibagi menjadi dua kategori berdasarkan bahannya yaitu yang memakai karet untuk bahan Isolasi serta menggunakan bahan selain karet sebagai bahan Isolasi. Namun, Isolasi dasar berbahan dasar karet digunakan dalam Penelitian ini.

Isolator Dasar terdiri dari selembur karet vulkanisir yang diikat secara berselang-seling ke pelat baja. Tujuan pelat baja yaitu untuk meningkatkan kekakuan dari karet pada arah vertikal sehingga karetnya tidak membengkok secara lateral akibat beban bangunan.

Alasan pemilihan Isolator jenis ini adalah karena karet yang dipakai dalam pembuatan Isolator Dasar ini adalah jenis karet alam Hevea, dimana Indonesia penghasil karet terbesar ke-2 di dunia. Karet alam Hevea dikenal memiliki sifat elastisitas yang paling baik. Sifat itu diperlukan untuk menunjukkan respon elastis pada arah horizontal. Artinya, karet ini dapat mengikuti pergerakan horizontal permukaan bumi dan berakhir kembali ke posisi semula saat gempa bumi terjadi. Ada berbagai jenis Isolator, yaitu:

A. High Damping Rubber Bearing (HDRB)

Jenis perangkat Isolasi Seismik ini terdiri dari bantalan Isolasi karet yang didesain khusus agar mampu menghasilkan redaman yang sangat tinggi, selanjutnya akan diapit diantara lapisan pelat baja tulangan. Ketika Isolator Seismik ini mengenai gaya lateral gempa bumi, bantalan karet yang sangat teredam bergeser ke arah lateral karena deformasi geser karetnya.



Gambar 2. 8 Ilustrasi Base Isolator Jenis HDRB

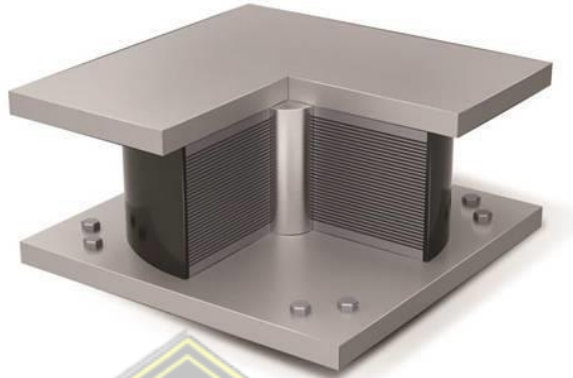
Sumber: Hengshui Jing Tong Rubber Co., Ltd.



Gambar 2. 9 Base Isolator Jenis HDRB

Sumber: Hengshui JingTong Rubber Co., Ltd.

B. Jenis *Lead Rubber Bearing* (LRB)



Gambar 2. 10 Ilustrasi LRB

Sumber: Hengshui JingTong Rubber Co., Ltd

Ciri-ciri utama Isolator berbahan dasar bantalan karet redaman tinggi dan Isolator berbahan dasar bantalan karet timbal adalah komponen utama bantalan karet timbal adalah bantalan karet laminasi dan inti timbal. Bantalan karet timbal memiliki inti timbal yang merupakan struktur utama Isolator Dasar ini. Ia menahan beban bangunan dan gaya geser serta menyerap energi melalui deformasi plastis dengan redaman histeresis. Di sini, redaman histeresis mengacu pada sistem yang menghilangkan energi melalui deformasi material, dan deformasi material mengacu pada deformasi karet timbal setelah mengalami gaya gempa.

2.6 ETABS V18

ETABS (*Extracted Three Analysis Building Systems*) adalah program yang memungkinkan untuk menganalisis dan merancang *building structure* secara tepat serta cepat. Program ini memiliki komponen yang mudah dipakai. Aplikasi ini memungkinkan untuk meningkatkan akurasi yang terjamin. Penggunaan ETABS dinilai relevan dalam perancangan struktur

bertingkat tinggi melalui perhitungan beban berat struktur dan beban lainnya. Ada dua jenis analisis beban gempa: Fungsi Spektrum Respons Beban dan Fungsi Riwayat Waktu. Analisis *Seismic and Wind* dapat dihitung secara *Automatic* dengan mengubah nilai koefisien.

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya bertujuan tidak hanya pada perbandingan dan perolehan bahan referensi, namun juga pada perolehan dokumentasi. Selain itu, asumsi kesamaan dengan hasil Penelitian lain juga harus dihindari. Oleh karena itu, dalam tinjauan literatur ini, Peneliti akan menjelaskan beberapa Penelitian sebelumnya.

Tabel 2. 18 Penelitian terdahulu

Nama	Judul	Variabel	Metode Analisis	Hasil Analisis
Debby Rahmawati, Sulardi, Hasan Basri (2019)	Sistem Kontrol Base Isolation Untuk Perencanaan Gedung yang Tahan saat Gempa	Struktur Fixed Base, Base Isolation (HDS), Analisis Statik Ekuivalen.	Kuantitatif	Hasil analisis menunjukkan waktu getar arah x struktur <i>fixed base</i> 1,48 detik sedangkan struktur base isolation sebesar 2,73 detik (memenuhi syarat FEMA 450)
Muliadi, Mochammad Afifuddin, T. Budi	Analisis Perpindahan Pada Struktur Bangunan	<i>Base Isolator</i> , perpindahan, SRPMK;	Kuantitatif	Hasil analisis perpindahan struktur bangunan

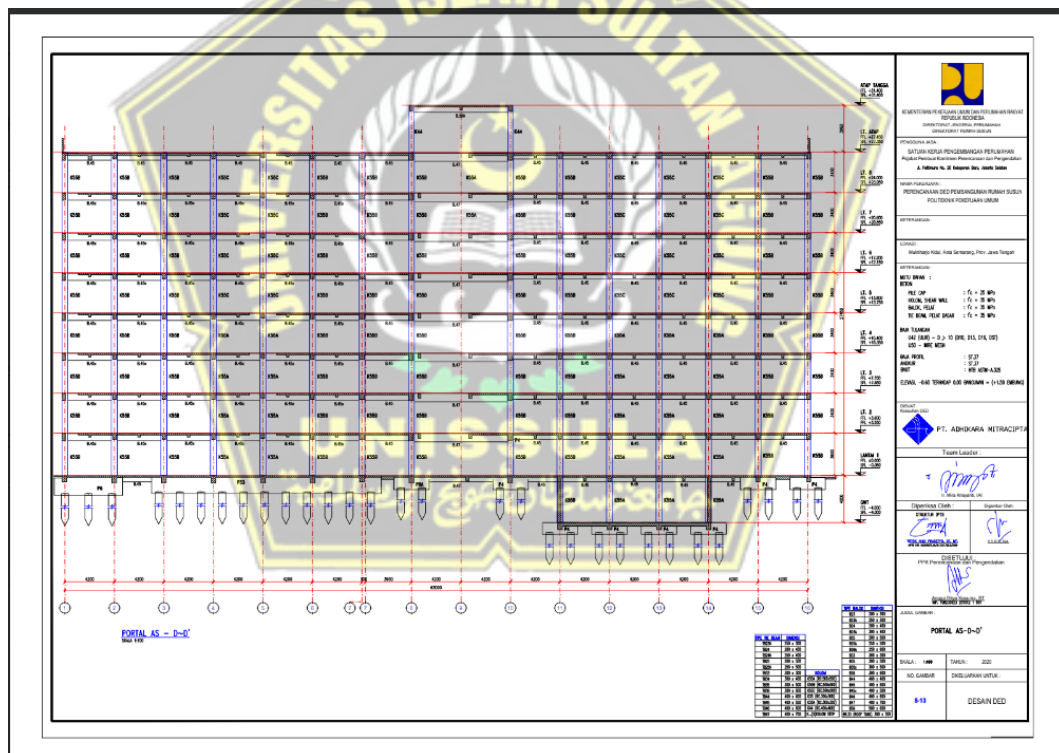
Nama	Judul	Variabel	Metode Analisis	Hasil Analisis
Aulia (2017)	Menggunakan Base Isolator	analisa riwayat waktu		<i>fixed base</i> mencapai 27.97 mm Sedangkan pada <i>Base Isolator</i> terjadi perpindahan 5.79 mm
Fitry Hasdanita, Mochammad Afifuddin, Muttaqin Muttaqin (2018)	Analisis Pushover Terhadap Respon Struktur Dengan Menggunakan <i>Base Isolator</i>	Pushover Analysis, <i>Base Isolator</i> , Lead Rubber Bearing, Fixed Base, Base Isolated, Performance point	Kuantitatif	Hasilnya menunjukkan bahwa struktur bangunan dengan Isolator Dasar memperpanjang periode alami bangunan struktur hingga 1.380 kali. Penyimpangan interstory dari pangkalan-terIsolasi struktur lebih kecil dari struktur dasar tetap. Penggunaan

Nama	Judul	Variabel	Metode Analisis	Hasil Analisis
				Isolator dasar mengurangi perpindahan atas menjadi rata-rata 21,93% untuk x- dan 18,506% untuk arah-y. Evaluasi kinerja struktur secara keseluruhan struktur dasar tetap dan struktur dasar terisolasi berada pada tingkat Pengendalian Kerusakan.

BAB III METODE ANALISIS

3.1. Pengumpulan Data

Data yang dipakai pada Tesis Perbandingan Analisis Struktur Gedung *Fixed base* serta Struktur Gedung Menggunakan *Base Isolator* (Studi kasus: Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum) yaitu data primer. Data primer adalah data yang langsung didapatkan dari pihak yang bersangkutan langsung dengan proyek ini. Data yang didapatkan berguna dalam proses perencanaan ulang struktur. Adapun data yang dipakai dalam laporan ini yaitu gambar *Detail Engineering Design* (DED) . Denah bangunan dapat kita lihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Denah Bangunan

3.2. Standar yang Digunakan

- SNI 1726:2019 (Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung serta Nongedung).

- SNI 1727-2020 (Beban Desain Minimum serta Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain SNI)
- SNI 2847-2019

3.3. *Software* yang Digunakan

Software yang dipakai dalam Analisis dan penyusunan Tesis ini yaitu ETABS V18.

3.4. Analisis dan Perhitungan

Pada analisis serta perhitungan struktur dilakukan pada keseluruhan bangunan gedung. Adapun tahapan sebagai berikut:

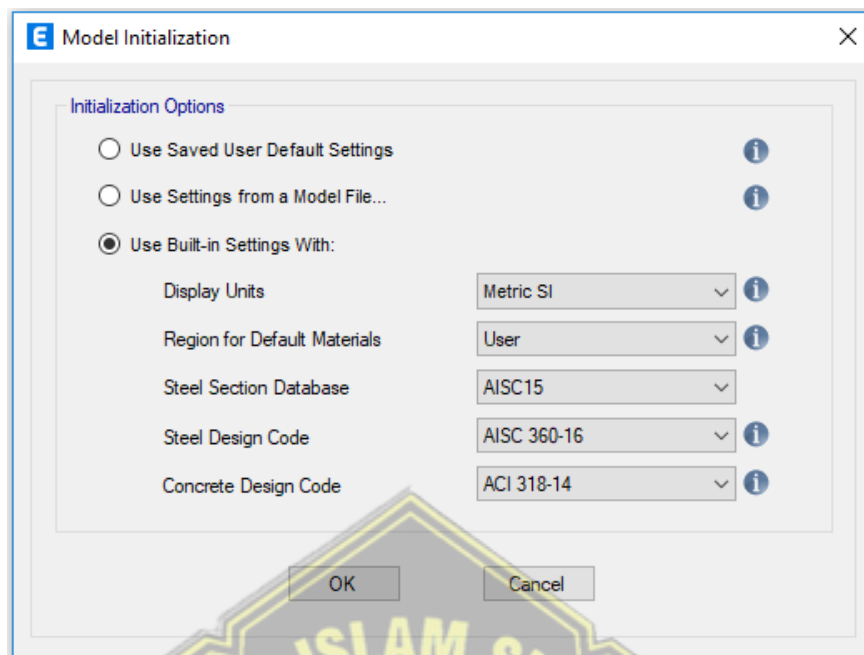
3.4.1. Permodelan dan Pradimensi Struktur Gedung

Permodelan dan pradimensi dilakukan dengan sesuai peraturan yang berlaku dalam mendesain elemen-elemen struktur. Permodelan struktur gedung berdasarkan pada gambar gedung yang telah direncanakan. Berikut merupakan langkah permodelan yang dibuat dengan bantuan *software* ETABS V18.

1. Jendela Awal

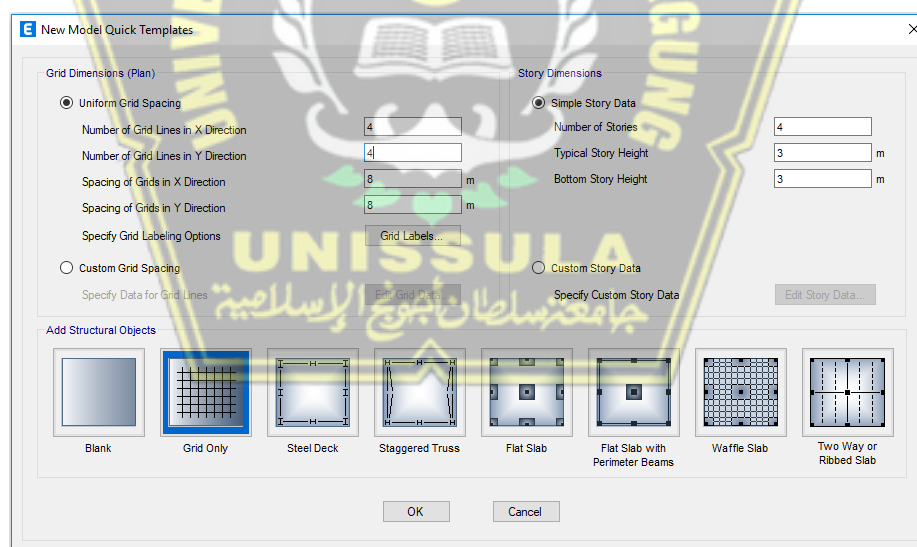
Langkaah Awal Penggunaan Aplikasi ETABS 2018 - Buka Aplikasi ETABS 2018 pada *computer* kita, selanjutnya klik dibagian kiri atas menu tertera tulisan *File* – selanjutnya buka Model yang baru. Akan terlihat kotak sebuah dialog awal ETABS V18 seperti gambar dihalaman berikutnya.

Pada bagian *Initialization Options* silahkan pilih *Use Built-in Settings With* untuk menetapkan sebuah *standard code* maupun sebuah *units* yang digunakan dalam pembuatan model perancangan. Dibagian *Display Units* silahkan dipilih *Metric SI* untuk satuan *international* beserta untuk perencanaan beton bertulang pada *Concrete Design Code* Silahkan pilih ACI 318-14 yang merupakan acuan dari Stabdar Nasional Indonesia beton Indonesia terbaru 2847:2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Kemudian silahkan klik *OK*.



Gambar 3. 2 Model Initialization

Untuk Langkah berikutnya isikan *Grid Dimentions* dan *Story Dimentions* sesuai dengan Gedung yang akan kita rancang.



Gambar 3. 3 Model Grid

Langkah Selanjutnya isikan bagian *Uniform Grid Spacing* sesuai dengan Denah gambar kita. Untuk gambar denah perencanaan yang terdapat jarak *grid/As* yang berbeda, silahkan pilih *Custom Grid Spacing* – *Edit Grid Data* untuk menyesuaikan jaraknya.

Grid System Data

Grid System Name:

System Origin:
 Global X: m
 Global Y: m
 Rotation: deg

Story Range Option:
☐ Default
☐ User Specified
 Top Story:
 Bottom Story:

Click to Modify/Show:

Options:
 Bubble Size: mm
 Grid Color:

Rectangular Grids:
☒ Display Grid Data as Ordinates
☐ Display Grid Data as Spacing

X Grid Data

Grid ID	X Ordinate (m)	Visible	Bubble Loc
A	0	Yes	End
B	8	Yes	End
C	16	Yes	End
D	24	Yes	End

Y Grid Data

Grid ID	Y Ordinate (m)	Visible	Bubble Loc
1	0	Yes	Start
2	8	Yes	Start
3	16	Yes	Start
4	24	Yes	Start

Buttons: Add, Delete, Sort (for both tables)

Buttons: OK, Cancel

Gambar 3. 4 Edit Grid Data

New Model Quick Templates

Grid Dimensions (Plan)
☐ Uniform Grid Spacing
☒ Custom Grid Spacing
 Number of Grid Lines in X Direction:
 Number of Grid Lines in Y Direction:
 Spacing of Grids in X Direction:
 Spacing of Grids in Y Direction:
 Specify Grid Labeling Options:
 Specify Data for Grid Lines:

Story Dimensions
☒ Simple Story Data
☐ Custom Story Data
 Number of Stories:
 Typical Story Height: m
 Bottom Story Height: m
 Specify Custom Story Data:

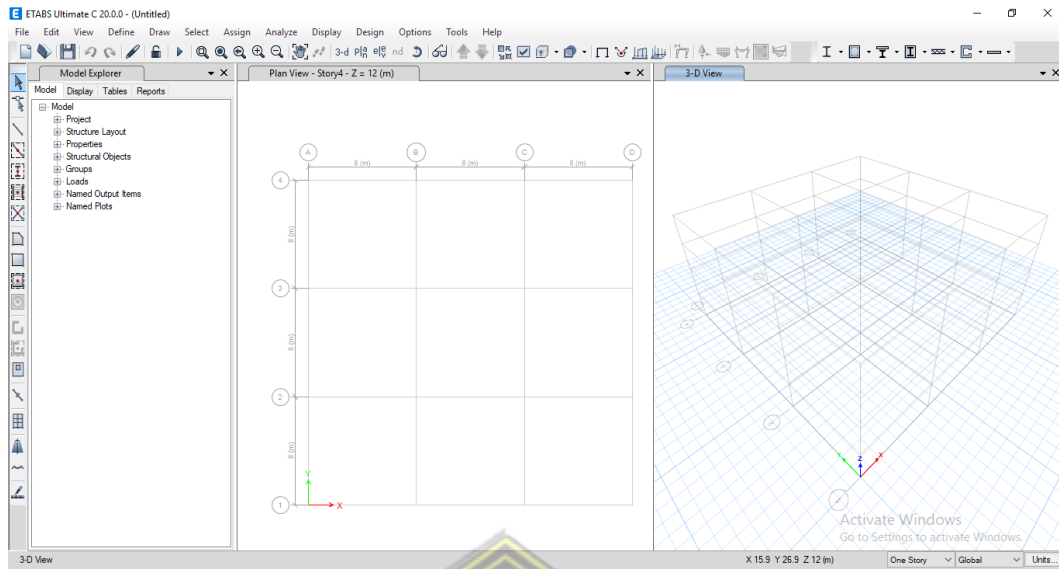
Add Structural Objects

Blank, Grid Only, Steel Deck, Staggered Truss, Flat Slab, Flat Slab with Perimeter Beams, Waffle Slab, Two Way or Ribbed Slab

Buttons: OK, Cancel

Gambar 3. 5 Edit Story Data

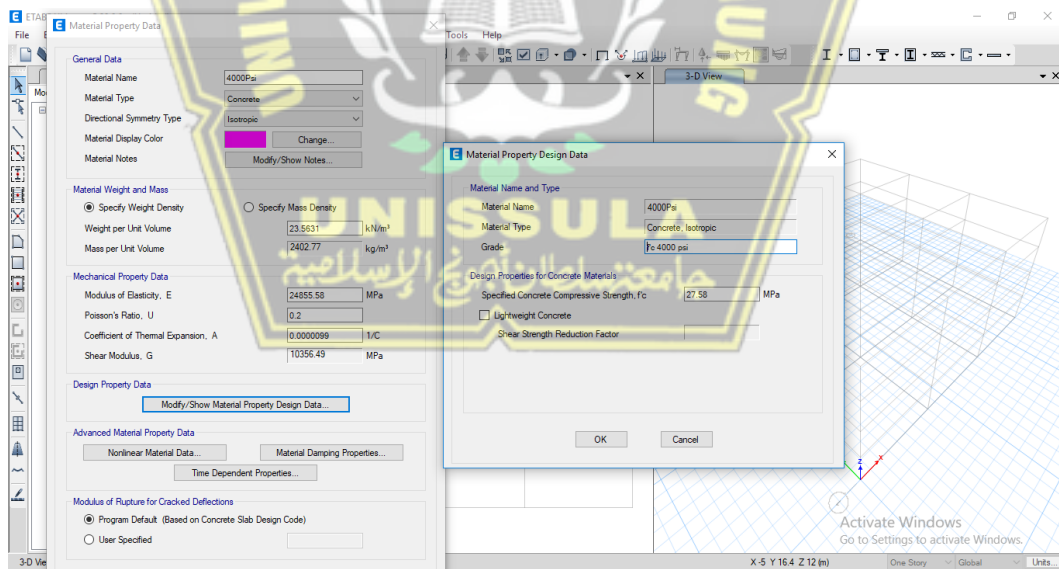
Langkah berikutnya lihat bagian *Story Dimensions – Simple Story Data* isi sesuai dengan Gambar denah yang kita miliki. Selanjutnya dibagian bawah terlihat tulisan *Add Structural Objects* klik bagian kedua yaitu *Grid Only* – OK.



Gambar 3. 6 Tampilan Grid dan Story

2. Input Material Properties

Pada bagian ini berfungsi untuk memasukkan jenis material sesuai mutu yang direncanakan dengan cara klik pada menu *Define* – selanjutnya pilih *Material Properties* – choice 4000psi (untuk Gedung yang menggunakan beton) – Next pilih *Modify/Show Material*.

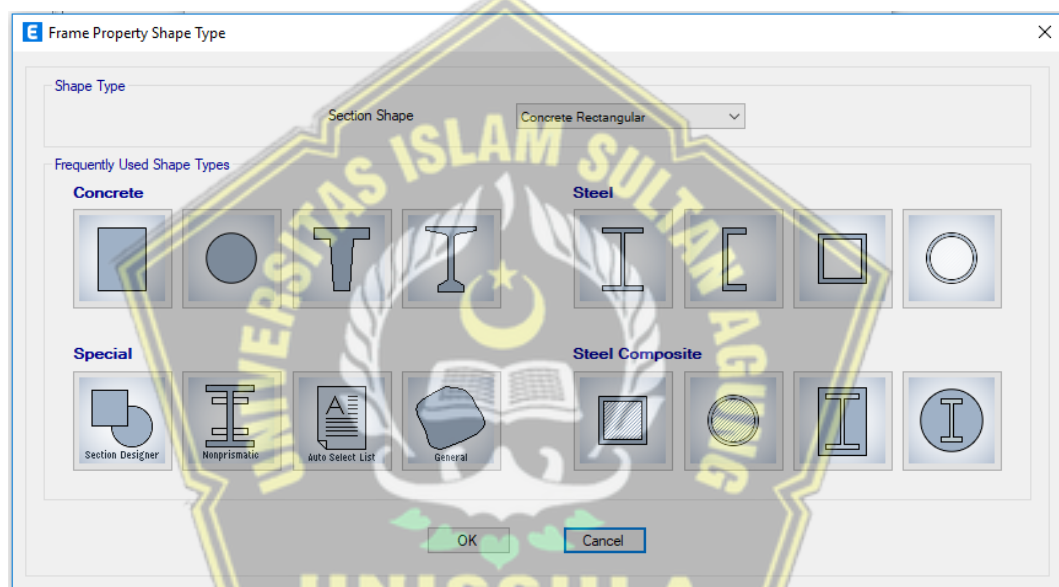


Gambar 3. 7 Input Material Properties

3. Input Dimensi Elemen Struktur

a. Masukkan Dimensi Kolom

Silahkan klik bagian Menu Define Next pilih Section Properties – klik Frame Sections – maka tampilan muncul Frame Properties. Selanjutnya Jika menginginkan penghapusan *properties Frame default* ETABS V18 yang akan dijalankan yaitu: pilihah menu *Delete Multiple Properties* di sebelah kanan – selanjutnya pilih *Sections to Delete* (semua *type* silahkan dipilih) – Hapus *Selected Frame Sections* – Klik seluruh *Frame* – Selanjutnya hapus *Selected Frame Sections* – OK.



Gambar 3. 8 Section Shape Concrete

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: FSec1

Material: 4000Psi

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 900 mm

Width: 600 mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK

Cancel

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Gambar 3. 9 Input column dimensions

Isi bagian nama kolom dan ukurannya sesuai yang diharapkan. Selanjutnya pilih *Modify or Show Rebar*, hingga muncul tampil kotak dialog.

Frame Section Property Reinforcement Data

Design Type

☒ P-M2-M3 Design (Column)

☐ M3 Design Only (Beam)

Rebar Material

Longitudinal Bars: A615Gr60

Confinement Bars (Ties): A615Gr60

Reinforcement Configuration

☒ Rectangular

☐ Circular

Confinement Bars

☒ Ties

☐ Spirals

Check/Design

☐ Reinforcement to be Checked

☒ Reinforcement to be Designed

Longitudinal Bars

Clear Cover for Confinement Bars: 40 mm

Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face: 3

Number of Longitudinal Bars Along 2-dir Face: 5

Longitudinal Bar Size and Area: 20 mm, 314 mm²

Corner Bar Size and Area: 20 mm, 314 mm²

Confinement Bars

Confinement Bar Size and Area: 10 mm, 79 mm²

Longitudinal Spacing of Confinement Bars (Along 1-Axis): 150 mm

Number of Confinement Bars in 3-dir: 3

Number of Confinement Bars in 2-dir: 3

OK Cancel

Gambar 3. 10 Reinforcement Data Column

Langkah-langkah yang harus dilakukan yaitu klik pada bagian Cek pada tipe design P – M2 – M3 (untuk kolom) – Selanjutnya isi bagian bagian diatas sesuai data kita.

b. Memasukkan Dimensi Balok

Hal-hal yang harus diisi hamper sama dengan bagian kolom di atas.

Frame Section Property Reinforcement Data

Design Type

☐ P-M2-M3 Design (Column)

☒ M3 Design Only (Beam)

Rebar Material

Longitudinal Bars: A615Gr60

Confinement Bars (Ties): A615Gr60

Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid

Top Bars: 60 mm

Bottom Bars: 60 mm

Reinforcement Area Overwrites for Ductile Beams

Top Bars at I-End: 0 mm²

Top Bars at J-End: 0 mm²

Bottom Bars at I-End: 0 mm²

Bottom Bars at J-End: 0 mm²

OK Cancel

Gambar 3. 11 Reinforcement Data Beam

Check dan Isi bagian selimut betonnya sesuai dengan perkiraan kebutuhan dari konstruksi kita.

c. **Input Dimensi Pelat**

Pada bagian menu *Define* yang ada di atas aplikasi ETABS – Selanjutnya pilihlah *Section Properties* – pilih bagian *Slab Sections* – lanjut Properti baru – Masukkan Data – OK

Slab Property Data

General Data

Property Name: Slab2

Slab Material: 4000Psi

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Shell-Thin

Modifiers (Currently Default): Modify/Show...

Display Color: [Swatch] Change...

Property Notes: Modify/Show...

Property Data

Type: Slab

Thickness: 200 mm

OK Cancel

Gambar 3. 12 Input Data Slab

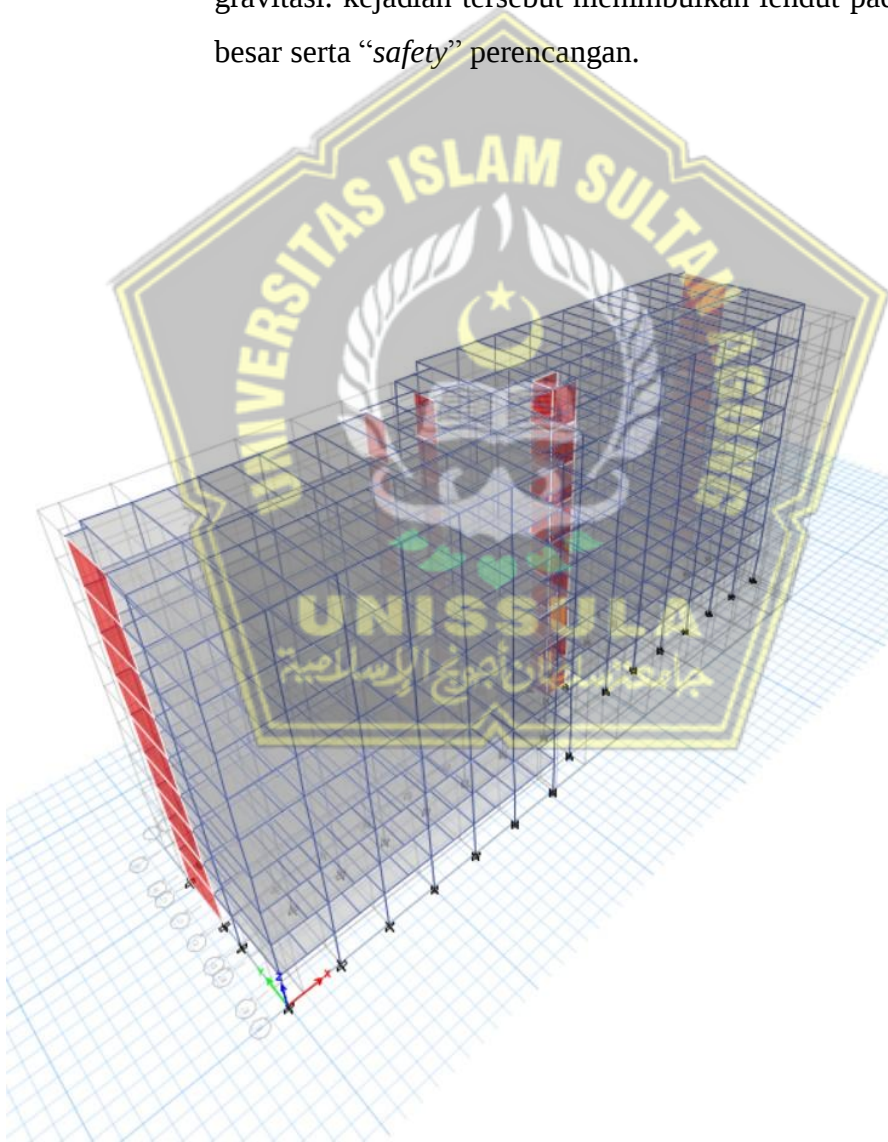
Hal yang perlu diperhatikan hanya dibagian *Modeling Type* isi dengan *Membran* selain itu isi sesuai pada contoh diatas.

➤ **Shell**

Pelat mempunyai kemampuan dalam menopang dua gaya yaitu *bending forces* (momen) serta *shear forces* (geser).

➤ **Membrane**

Ketika diasumsikan Membrane dalam Pelat maka hanya menopang *shear forces*/geser saja. Maksudnya Pelat tidak Bersama-sama dalam deformasi dengan balok saat terkena beban gravitasi. kejadian tersebut menimbulkan lendut pada balok lebih besar serta “*safety*” perancangan.

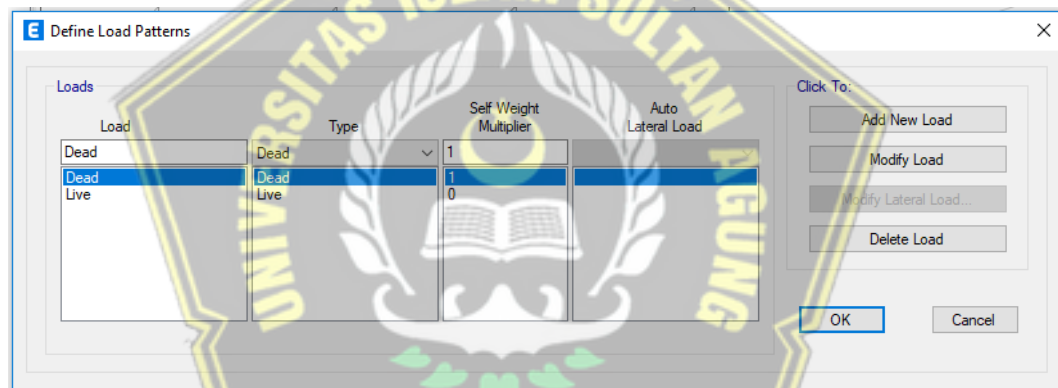


Gambar 3. 13 Pemodelan pada *software* ETABS V18

3.4.2. Menghitung Sistem pembebanan (Beban Hidup dan Beban Mati)

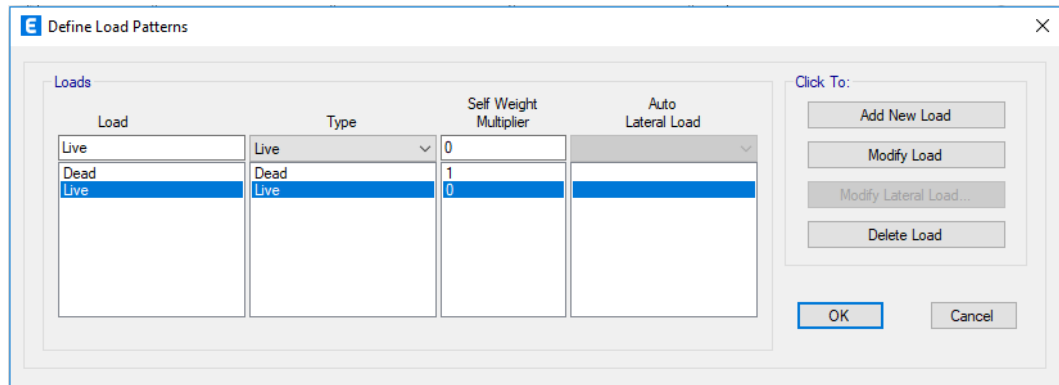
Dalam menghitung beban-beban yang ada pada struktur bangunan yaitu beban hidup serta beban mati. *Structural analysis* adalah *dead load* dari Struktur ditambah Beban Mati Tambahan serta *live load* (reduksi saat terjadi goyangan). Beban mati struktur yaitu beban *gravity* yang disebabkan oleh elemen struktur penyusun bangunan seperti kolom, pelat dan sebagainya. Beban mati tambahan yaitu beban *gravity* yang diakibatkan elemen tambahan yang berhubungan dengan *finishing* bangunan karena sifatnya tetap.

Definisi beban statik pada Aplikasi ETABS terdapat dibagian menu *Define – Load Patterns* – pada kotak dialog *Define Load Patterns* sebagai berikut.



Gambar 3. 14 Define Load Patterns

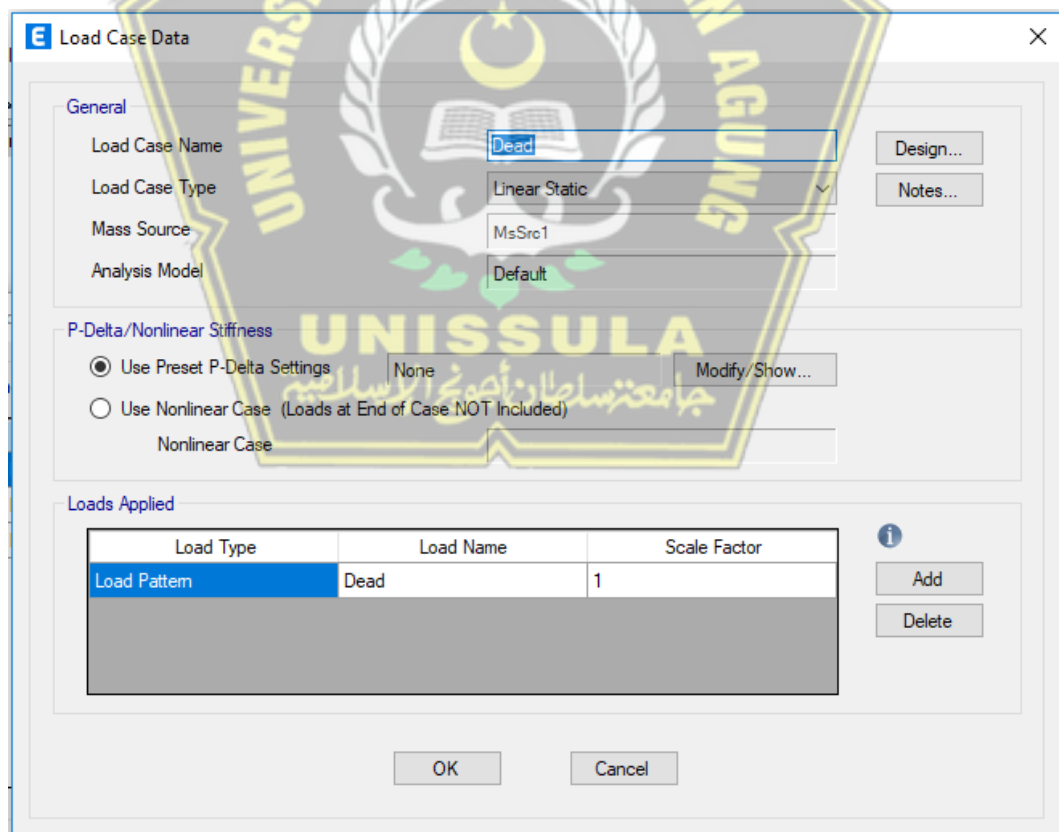
Pada bagian *Load : Dead*, dapat diganti dengan nama *Dead* menjadi **DL** (*Dead Load*) *Selanjutnya click to Modify Load*. *Type Dead* dan *Modify, Weight Multiplier* pada beban mati yaitu satu (untuk beban mati struktur yang secara langsung akan dihitung oleh ETABS serta juga *Input* beban mati tambahan yang akan dimasukkan). Begitu pula untuk dibagian *Load : Live*, dapat diganti nama *Live* menjadi **LL** (*Live Load*). Dan jika ada tinggal dimasukkan semuanya dengan cara yang sama.



Gambar 3. 15 Pendefinisian Beban Mati dan Hidup

Setelah didefinisikan beban pada *Load Patterns* Langkah selanjutnya dapat cek hasil *Input* pada menu *Define – Load Cases*.

Lalu silahkan dipilih *Load Case Name Dead – Modify/Show Case* – dibagian kotak *dialog Load Case Name* ganti menjadi **DL** agar menyesuaikan dengan nama pada *Load Patterns* yang telah kita buat sebelumnya – OK.



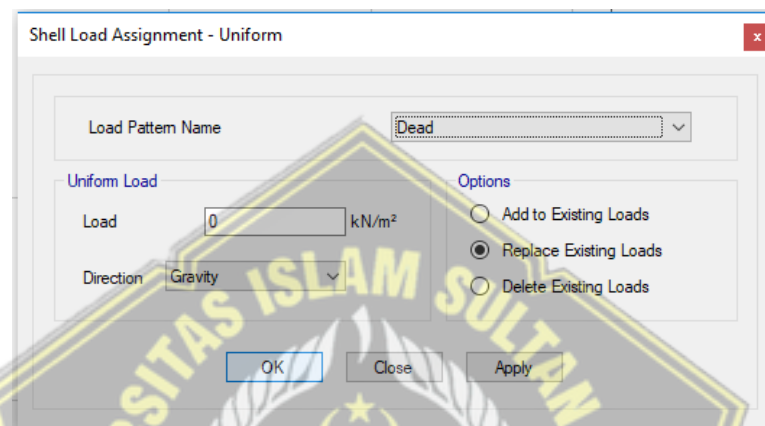
Gambar 3. 16 Load Case Data

1. Masukkan Beban Mati Tambahan

Diasumsikan beban mati tambahan dihitung berdasarkan Peraturan Pembebanan

Indonesia untuk Bangunan Gedung, berikut cara distribusi:

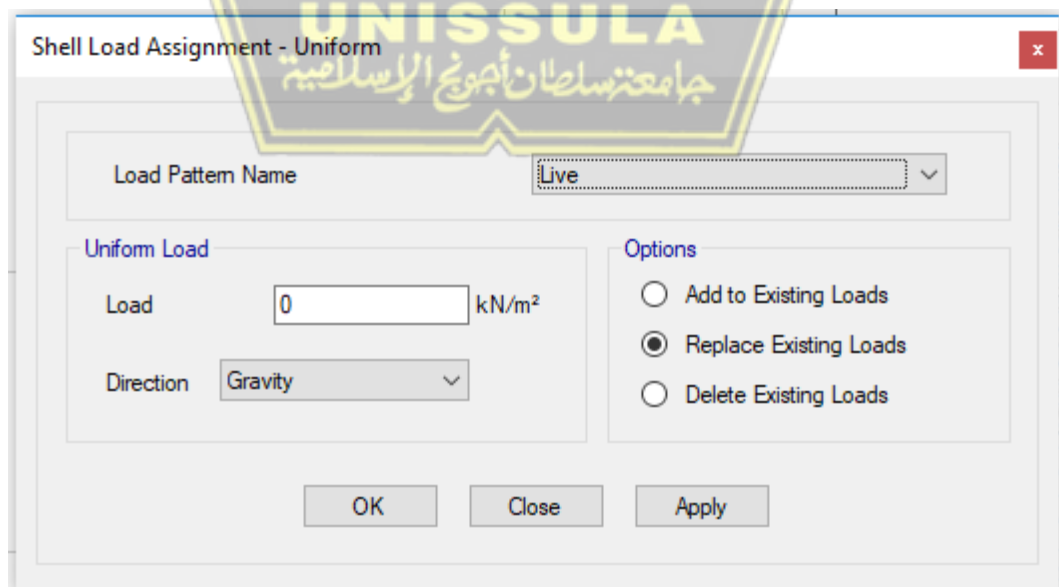
Silahkan Pilih menu *Select – Select – Properties – Slab Sections* – selanjutnya pilih pelat yang akan dibebani – *Select – Close*. Pilih menu *Assign – Shell Loads – Uniform – Input* beban – *Apply – OK*



Gambar 3. 17 Input Beban Mati Tambahan Atap

2. Input Beban Hidup

Pilih menu *Select – Select – Properties – Slab Sections* – pilih pelat yang akan dimasukkan beban – *Select – Close*. Pilih menu *Assign – Shell Loads – Uniform – Input* beban – *Apply – OK*.



Gambar 3. 18 Input Beban Hidup

3.4.3. Analisis Struktur

Dalam analisis struktur digunakan Respon Spektrum agar memperoleh kurva respon spektrum yang disesuaikan dimana wilayah gempa menggunakan bantuan dari website milik Direktorat Jenderal Kementrian PUPR yaitu rsapuskim2019.litbang.pu.go.id. Adapun data yang diperlukan pada analisis respon spektrum yaitu nilai F_a dan F_v . Nilai F_a didapat percepatan muka tanah tinggi di suatu wilayah.

3.4.4. Perhitungan Beban Gempa

Pada tiap lantainya, beban gempa dianggap sebagai beban statik ekuivalen.

Adapun prosedur statik ekuivalen guna mendapatkan penyaluran gaya lateral gempa pada setiap lantainya. Dan untuk langkah-langkah perhitungan gempa meliputi:

- a) Menentukan kategori risiko dan faktor keutamaan gempa.
- b) Memilih klasifikasi situs.
- c) Memilih parameter respon spectral (Nilai S_s dan S_1)
- d) Menentukan parameter respon spektral gempa tertarget (Nilai S_{ms} dan S_{m1})
- e) Desain Elemen-Elemen Struktur

Adapun perencanaan struktur yang akan dirancang yaitu struktur atas meliputi pelat, balok, kolom, hubungan balok kolom (*joint*). Langkah perhitungan yang lebih detail dijelaskan pada Bab 4.

- Perancangan pelat

Pertama menghitung nilai momen pada pelat M_{lx} , M_{ly} , M_{tx} dan M_{ty} . lalu digunakan untuk mendesain penulangan pelat dengan detail pada Bab 4.

- Perencanaan balok

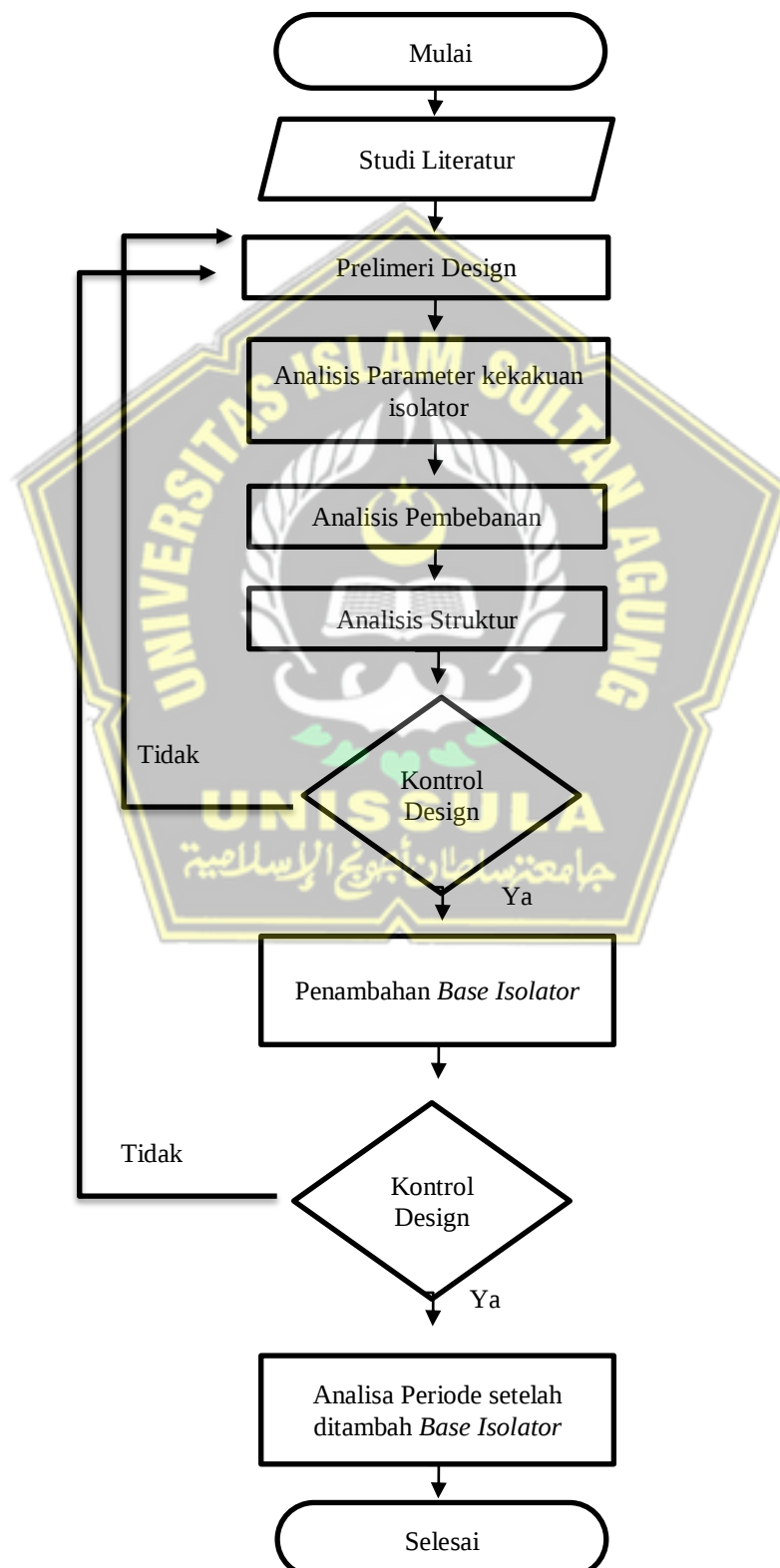
- Pengambilan data Momen dan Torsi dari ETABS
- Mengecek persyaratan lentur SRPMK
- Mendesain tahanan torsi

- Mendesain penulangan lentur
- Mendesain tulangan *transversal*
- Perencanaan kolom
 - Mengambil data-data gaya aksial dan momen dari ETABS
 - Mengecek komponen struktur penahan gempa
 - Menentukan tulangan longitudinal penahan lentur
 - Mengontrol beban aksial kolom terhadap beban aksial terfaktor
 - Pengecekan perilaku struktur
 - Menghitung tulangan *transversal*
 - Perhitungan gaya geser desain (V_e)
- Perencanaan hubungan balok dan kolom (*joint*)
 - Perhitungan gaya geser pada *joint*
 - Perhitungan kebutuhan tulangan *transversal*

3.5. Diagram Alir

Dalam Proses analisis Tesis hal yang pertama kali saya lakukan yaitu dengan membaca beberapa literatur dari para Penelitian *Base Isolator*. Selanjutnya saya mencari pembeda dari Penelitian-Penelitian sebelumnya (*Research Gap*) setelah itu saya membuat Judul untuk menganalisis tingkat Efektivitas Penggunaan *Base Isolator* pada gedung yang rendah dan tinggi.

Langkah Berikutnya menentukan dimensi-dimensi pada balok, kolom dan Pelat lantai – Menentukan jenis *Base Isolator* yang akan digunakan serta kekakuannya sesuai produk yang ada di tabel dari sebuah industri - Menganalisis pembebanan dan analisis struktur sesuai dengan peraturan SNI 1726:2019 , SNI 1727:2020, dst – Cek Simpangan Antar lantai, Cek Ketidakberaturan Vertikal dan Horizontal, jika tidak sesuai dengan syarat maka akan Kembali ke Langkah prelimeri design jika sesuai maka lanjut ketahap penambahan *Base Isolator* – Cek Simpangan Antar Lantai dan Ketidakberaturan vertical serta horizontal setelah ditambahkan *Base Isolator* – Jika sudah Memenuhi syarat langsung ke analisis tingkat efektifitas penggunaan *Base Isolator* digedung yang 8 lantai dan 25 lantai – Kesimpulan



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Struktur Gedung

4.1.1. Dimensi Penampang Struktur

Dimensi Penampang struktur gedung dirancang dengan memakai acuan Standar Nasional Indonesia 1726:2019 mengenai Tata Cara Perancangan Tahan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung serta Nongedung dan Standar Nasional Indonesia 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.

1. Penampang balok

Adapun Penampang balok yang digunakan untuk perancangan struktur gedung dapat dilihat pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4. 1 Penampang balok

No	Nama Balok	Lebar Balok (mm)	Tinggi Balok (mm)
1	B23A	250	300
2	B24	200	400
3	B24A	300	400
4	B25	200	500
5	B25A	250	500
6	B26A	250	600
7	B33	300	300
8	B35	300	500
9	B44	400	400
10	B45	400	500
11	B45x	400	500
12	B46	400	600

13	B47	400	700
14	B56	500	600
15	BR33	300	300

2. Penampang kolom

Adapun Penampang kolom yang digunakan untuk perancangan struktur gedung dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4. 2 Penampang kolom

No	Nama Kolom	Lebar Kolom (mm)	Panjang Kolom (mm)
1	K55A	500	500
2	K55B	500	500
3	K55C	500	500
4	K33	300	300
5	K33A	300	300
6	K44	400	400

3. Penampang Pelat Lantai

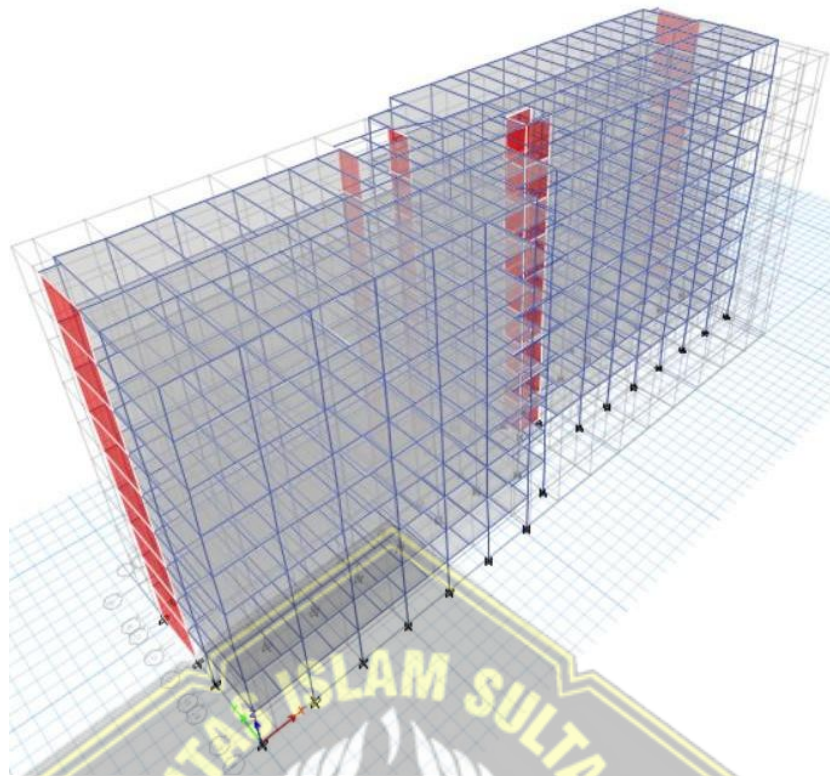
Penampang pelat lantai yang digunakan dalam perancangan struktur gedung ini dapat dilihat dalam Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4. 3 Tebal Pelat

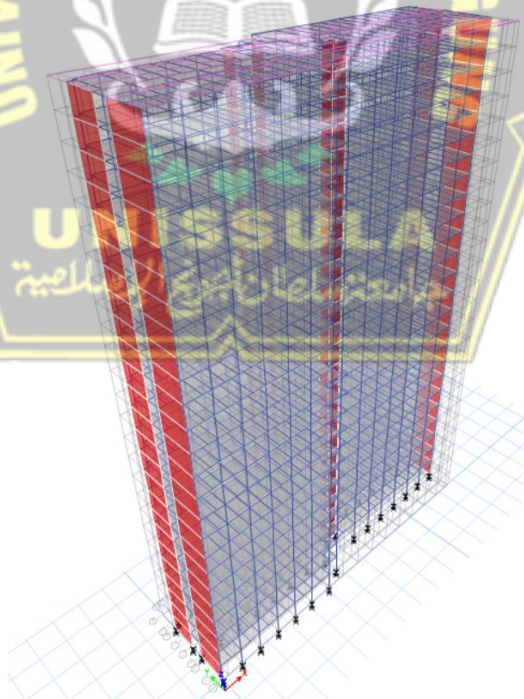
Nomer	Nama Plat	Tebal Plat (milimeter)
1	S1	120
2	S2	120

4.1.2. Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dalam Perancangan Struktur Gedung studi pada Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum bisa dilihat pada gambar 4.1.

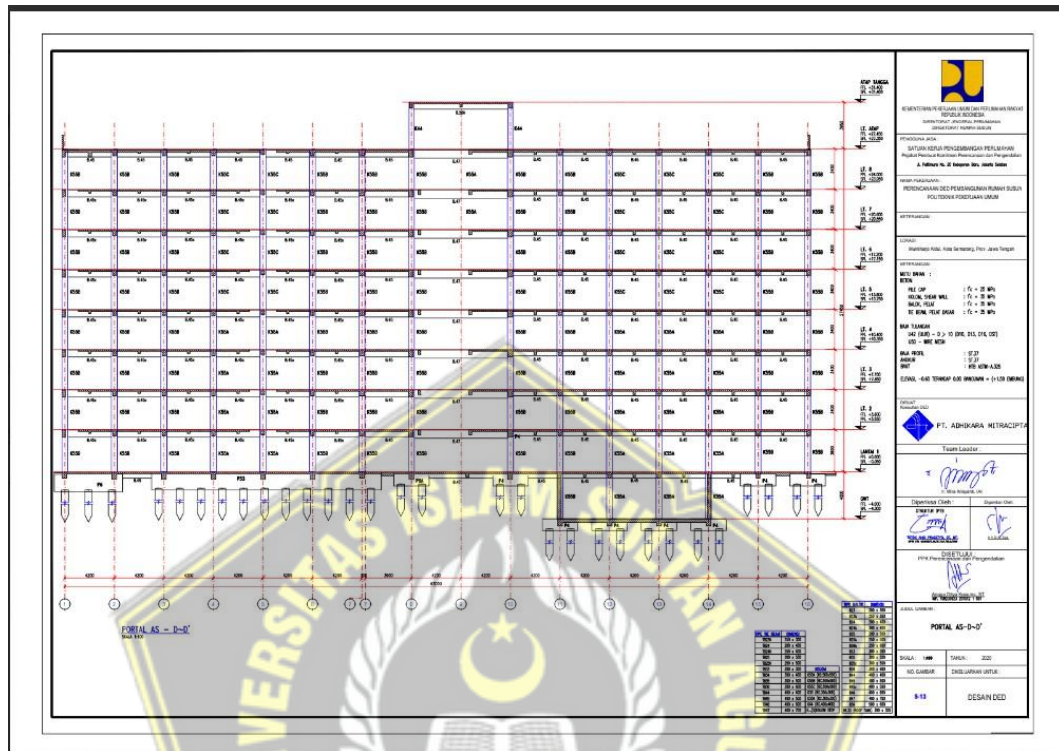


Gambar 4. 1 Pemodelan Struktur 3D Gedung 8 lantai Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum



Gambar 4. 2 Pemodelan Struktur 3D Gedung 25 lantai modifikasi Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum

Denah Gedung Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Denah 8 Lantai Gedung Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum

4.2. Kombinasi Pembebanan Struktur

Pada Redesain Struktur Gedung 8 Lantai dan 25 Lantai (studi pada Struktur Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum), kombinasi pembebanan yang dipakai berdasarkan aturan Standar Nasional Indonesia 2847:2019 pasal 4.2.2.

- 1,4 D
- 1,2 $D + 1,6 L$
- 1,2 $D + 1,0 L + 1,0 E_v \pm 1,0 E_h$
- 0,9 $D - 1,0 E_v \pm 1,0 E_h$

Kombinasi pembebanan untuk beban gempa dijabarkan lagi untuk memperoleh kondisi beban gempa pada Arah X dan Arah Y dengan arah gempa bolak-balik.

Combo.1	$= 1,4 DL$
Combo.2	$= 1,2 DL + 1,6 LL$
Combo.3	$= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL + \rho E_x + 0,3 \rho E_y$
Combo.4	$= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL + \rho E_x - 0,3 \rho E_y$
Combo.5	$= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL - \rho E_x + 0,3 \rho E_y$
Combo.6	$= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL - \rho E_x - 0,3 \rho E_y$
Combo.7	$= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL + 0,3 \rho E_x + \rho E_y$
Combo.8	$= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL - 0,3 \rho E_x + \rho E_y$
Combo.9	$= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL + 0,3 \rho E_x - \rho E_y$
Combo.10	$= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL - 0,3 \rho E_x - \rho E_y$
Combo.11	$= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL + \rho E_x + 0,3 \rho E_y$
Combo.12	$= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL + \rho E_x - 0,3 \rho E_y$
Combo.13	$= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL - \rho E_x + 0,3 \rho E_y$
Combo.14	$= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL - \rho E_x - 0,3 \rho E_y$
Combo.15	$= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL + 0,3 \rho E_x + \rho E_y$
Combo.16	$= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL - 0,3 \rho E_x + \rho E_y$
Combo.17	$= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL + 0,3 \rho E_x - \rho E_y$
Combo.18	$= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL - 0,3 \rho E_x - \rho E_y$

$S_{DS} (g) = 0.666189$ (Politeknik Pekerjaan Umum, Jenis Tanah Lunak)

$\rho = 1,3$ (Pasal 7.3.4.2 Standar Nasional Indonesia 1726 Tahun 2019)

Penggunaan S_{DS} serta ρ , maka menghasilkan perhitungan kombinasi beban yang akan dipakai dapat kita lihat sebagaimana berikut:

Combo.1	$= 1,4 DL$
Combo.2	$= 1,2 DL + 1,6 LL$
Combo.3	$= 1,33 DL + 1,0 LL + 1,3 E_x + 0,39 E_y$
Combo.4	$= 1,33 DL + 1,0 LL + 1,3 E_x - 0,39 E_y$
Combo.5	$= 1,33 DL + 1,0 LL - 1,3 E_x + 0,39 E_y$
Combo.6	$= 1,33 DL + 1,0 LL - 1,3 E_x - 0,39 E_y$
Combo.7	$= 1,33 DL + 1,0 LL + 0,39 E_x + 1,3 E_y$
Combo.8	$= 1,33 DL + 1,0 LL - 0,39 E_x + 1,3 E_y$
Combo.9	$= 1,33 DL + 1,0 LL + 0,39 E_x - 1,3 E_y$

$$\begin{aligned}
\text{Combo.10} &= 1,33 DL + 1,0 LL - 0,39 E_x - 1,3 E_y \\
\text{Combo.11} &= 0,77 DL + 1,3 E_x + 0,39 E_y \\
\text{Combo.12} &= 0,77 DL + 1,3 E_x - 0,39 E_y \\
\text{Combo.13} &= 0,77 DL - 1,3 E_x + 0,39 E_y \\
\text{Combo.14} &= 0,77 DL - 1,3 E_x - 0,39 E_y \\
\text{Combo.15} &= 0,77 DL + 0,3 \rho E_x + 1,3 E_y \\
\text{Combo.16} &= 0,77 DL - 0,39 E_x + 1,3 E_y \\
\text{Combo.17} &= 0,77 DL + 0,39 E_x - 1,3 E_y \\
\text{Combo.18} &= 0,77 DL - 0,39 E_x - 1,3 E_y
\end{aligned}$$

Keterangan:

D = Dead

DL = Dead Load

L = Live

LL = Live Load

E_x = Pengaruh Beban Gempa Arah x

E_y = Pengaruh Beban Gempa Arah y

E_h = Pengaruh Beban Gempa Arah Horizontal

E_v = Pengaruh Beban Gempa Arah Vertikal

Berdasarkan peraturan Standar Nasional Indonesia 1727 Tahun 2020 jenis serta beban merata yang dipakai pada perancangan konstruksi adalah:

1. Beban mati (*Dead Load*)
 - a. Beban Mati Tambahan Pada Lantai

Beban mati tambahan akan didistribusikan pada pelat lantai dapat dilihat dalam Tabel 4.4 berikut ini:

Tabel 4. 4 Beban Mati Tambahan Pada Lantai

Nomer	Beban Mati	Berat Jenis (kN/m ³)	Beban Merata (kN/m ²)
1	Pasir tebal 1 centimeter	16	0,16
2	Spesi tebal 3 centimeter	22	0,66
3	Keramik tebal 1 centimeter	22	0,22
4	Plafond dan Penggantung		0,2
5	Dinding Rebah		1,8

6	ME (Mekanikal & Elektrikal)		0,25
JUMLAH			3,29

b. Beban Mati Tambahan Pada Atap

Beban mati tambahan yang akan didistribusikan pada pelat atap dapat dilihat pada Tabel 4.5 di bawah ini.

Tabel 4. 5 Beban Mati Tambahan Pada Atap

Nomer	Beban Mati	Beban Merata (kN/m ²)
1	Plafond & Penggantung	0.2
2	ME (Mekanikal & Elektrikal)	0.25
JUMLAH		0.45

2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup (*live load*) yang akan dimasukkan untuk pembebanan merata pada tiap lantai berdasarkan fungsi ruangnya adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 6 Beban Hidup (*Live Load*)

Nomer	Tipe Ruang	Beban Merata (kN/m ²)
1	Ruangan Kelas	1,92
2	Kantor	2,4
3	Laboratorium	2,87
4	Atap	0,96

4.3. Mutu Bahan Struktur

Mutu bahan struktur yang dipakai untuk menganalisis pemodelan struktur meliputi:

1. Mutu Beton

Mutu beton yang dipakai untuk merancang gedung $f'_c = 30$ MPa.

2. Mutu Baja Tulangan

Mutu baja yang dipakai untuk menganalisis tulangan adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 7. Mutu Baja Tulangan

No	Tulangan	f_y (MPa)	f_u (MPa)	f_{ye} (MPa)	f_{ue} (MPa)
1	Ulir ($D \geq 10$ mm)	420	620	462	682
2	Polos ($\emptyset \leq 10$ mm)	240	370	264	407

Keterangan:

D = Diameter Ulir

$\emptyset$ = Diameter Polos

4.4. Analisis Beban Seismik

Analisis beban seismik berlandaskan dalam peraturan Standar Nasional Indonesia 1726:2019 tentang Perancangan Ketahanan Gempa pada Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung.

4.4.1. Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Gedung ini dirancang untuk gedung yang bermanfaat guna sarana perkuliahan. Sesuai dengan Tabel 4 Standar Nasional Indonesia 1726:2019, gedung tersebut dikategorikan Risiko II dengan nilai (I_e) yaitu 1,0.

4.4.2. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Terpetakan

Nilai Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa didapat dari Aplikasi Desain Spektra Indonesia Tahun 2021 (rsapuskim2019.litbang.pu.go.id) yang disediakan oleh Direktorat Jenderal Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Indonesia dengan caramenentukan titik koordinat atau meng-Input nama kota lokasi perancangan bangunan sehingga secara otomatis diperoleh hasil Nilai Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Terpetakan. Nilai Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Terpetakan di lokasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.8 di bawah ini.

Tabel 4. 8. Data Parameter Respon Spektra Terpetakan

Variabel	Nilai
F_{PGA}	0.346320
S_s (g)	0.786188
S_1 (g)	0.348641
TL (detik)	14

4.4.3. Klasifikasi Situs

Mengacu pada peraturan SNI 1726:2019. Klasifikasi situs dapat ditentukan berdasarkan 3 parameter yaitu $\tilde{V}_s$ = kecepatan rambat gelombang geser rata-rata pada regangan geser yang kecil, di dalam lapisan teratas. N = tahanan penetrasi standar dan S_u = kuat geser rata-rata di dalam lapisan paling atas. Dalam menentukan klasifikasi situs digunakan nilai penetrasi standart ($N-SPT$) yang merupakan hasil pengujian tanah lokasi gedung.

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan nilai tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata (N) . Jika dilihat dari Tabel 5 SNI 1726:2019 apabila nilai $15 < (N) < 50$ maka termasuk ke dalam kategori **Tanah Lunak (SE)**.

4.4.4. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Tertarget

Nilai Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa tertarget pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1s (S_{M1}) disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs yang diperoleh dari Aplikasi Desain Spektra Indonesia di *website* resmi Direktorat Jenderal PUPR Indonesia dengan cara menentukan jenis tanah maka didapatkan nilai parameter respon spektra gempa tertarget berdasarkan persamaan 2.1 dan 2.2 sebagai berikut:

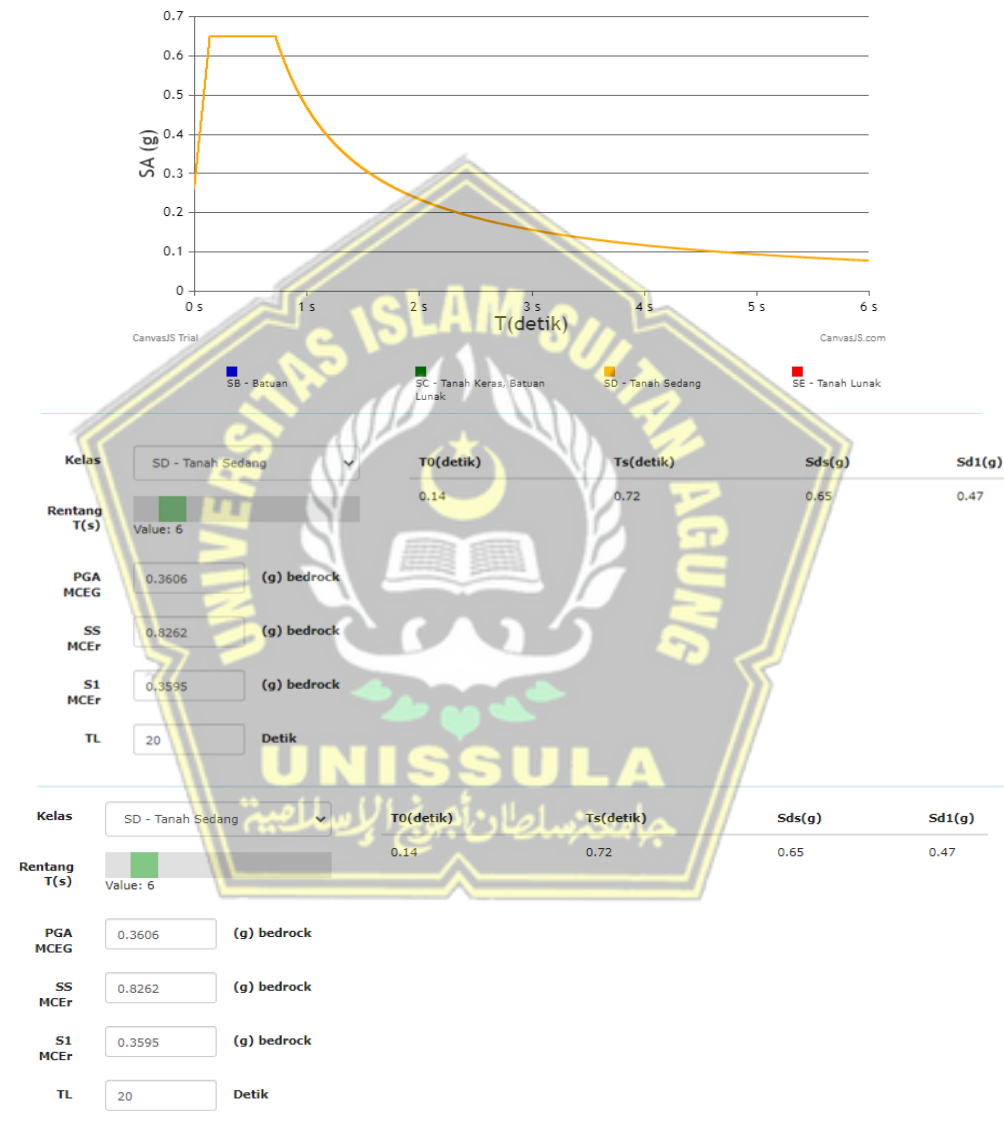
$$F_a = 1.271050$$

$$F_v = 2.605434$$

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1.271050 \times 0.786188 = 0,999928$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 2.605434 \times 0.348641 = 0,90836$$

Respon spektrum desain yang diperoleh dari aplikasi desain spektra Indonesia di *website* resmi Direktorat Jenderal PUPR Indonesia sesuai lokasi perancangan dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4. 4 Respon spektrum Desain Lokasi Perancangan

4.4.5. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Desain

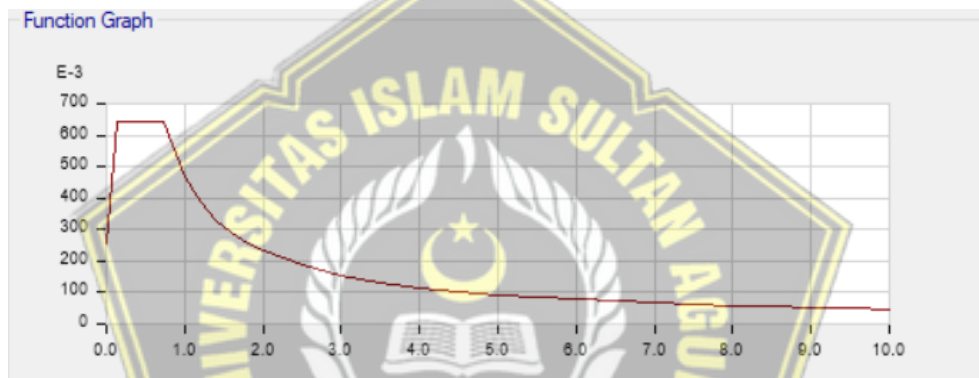
Nilai Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa desain didapat dari Aplikasi Desain Spektra Indonesia di *website* resmi Direktorat Jenderal

PUPR Indonesia dengan cara memasukkan titik koordinat lokasi perancangan proyek maka didapatkan nilai S_{DS} serta S_{D1} yang terlihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 9. Data Parameter Respon Spektra Desain

Variabel	Nilai
S_{DS} (g)	0.666189
S_{D1} (g)	0.605575

Berikut hasil dari *Input* grafik respon spektrum:



Gambar 4. 5 Grafik respon spektrum ETABS 18

4.4.6. Respon spektrum Desain

Nilai respon spektrum desain dapat dihasilkan secara otomatis dari *website* yang disediakan oleh Kementerian Pekerjaan Umum sehingga dapat mempermudah dalam penentuan Respon spektrum Desain. Nilai respon spektrum desain gempa yang dihasilkan dari laman tersebut bisa dilihat berikut:

Tabel 4. 10. Nilai Respon spektrum Percepatan Desain

T (s)	S_a (g)	T (s)	S_a (g)
0,00	0,2577	4,50	0,1033
0,14	0,6442	5,00	0,0930
0,72	0,6442	5,50	0,0846
1,00	0,4651	6,00	0,0775
1,20	0,3876	6,50	0,0715

1,40	0,3322	7,00	0,0664
1,60	0,2907	7,50	0,0620
1,80	0,2584	8,00	0,0581
2,00	0,2325	8,50	0,0547
2,50	0,1860	9,00	0,0517
3,00	0,1550	9,50	0,0490
3,50	0,1329	10,00	0,0465
4,00	0,1163	11,50	0,0454

4.4.7. Kategori Desain Seismik

Berlandaskan pada Standar Nasional Indonesia 1726 Tahun 2019 tiap struktur bangunan diharuskan mempunyai suatu Kategori Desain Seismik. Gedung yang dirancang tergolong pada Kategori Risiko II dan mempunyai nilai $S_{DS} \geq 0,50$ serta nilai $S_{D1} \geq 0,20$ hingga gedung perancangan termasuk Kategori Desain Seismik tinggi yaitu E.

4.4.8. Faktor R , Ω_0 , C_d SRPMK

Dalam sistem penahan *lateral earthquake* serta *vertical* basic dalam konstruksi bangunan dirancang mempunyai penahan gaya seismik SRPMK. Menggunakan acuan Standar Nasional Indonesia 1726-2019 tabel 12 dihasilkan *modification coefficient* (R) = 7, (Ω_0) = 2,5, (C_d) = 5,5.

4.4.9. Perhitungan Beban dan Model Massa Terpusat Tiap Lantai

Perhitungan beban dan model massa terpusat pada struktur dibutuhkan di tiap lantainya dimana beban yang digunakan adalah beban mati yaitu beban struktur tiap lantai itu sendiri. Untuk Massa Efektif Tiap Lantai bisa dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 11. Massa Efektif Tiap Lantai Gedung 8 Lantai

Lantai	$Z_x(m)$	W_x (Ton)	W_y (Ton)
8	27.4	334456.43	334456.43
7	24	334606.64	334606.64
6	20.6	334130.79	334130.79
5	17.2	334509.2	334509.2
4	13.8	334509.2	334509.2
3	10.4	335034.07	335034.07

2	7	335034.07	335034.07
1	3.6	335304.17	335304.17

Tabel 4. 12 Massa Efektif Tiap Lantai Gedung 25 Lantai

Lantai	$Z_x(m)$	W_x (Ton)	W_y (Ton)
25	93.6	315459.12	315459.12
24	90.2	334181.11	334181.11
23	86.8	334181.11	334181.11
22	83.4	334181.11	334181.11
21	80	334181.11	334181.11
20	76.6	334181.11	334181.11
19	73.2	334181.11	334181.11
18	69.8	334181.11	334181.11
17	66.4	334181.11	334181.11
16	63	334606.64	334606.64
15	59	334644.71	334644.71
14	55	338327	338327
13	51	341630.88	341630.88
12	47	341630.88	341630.88
11	43	341630.88	341630.88
10	39	341630.88	341630.88
9	35	342155.75	342155.75
8	31.6	338851.87	338851.87
7	27.6	343201.46	343201.46
6	23.6	350815.46	350815.46
5	19.6	350815.46	350815.46
4	15.6	350815.46	350815.46
3	11.6	350815.46	350815.46
2	7.6	350815.46	350815.46
1	3.6	350815.46	350815.46

Analisis dinamis getaran bebas akibat gempa dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ETABS untuk menunjukkan jenis gempa yang terjadi. Di bawah merupakan hasil dari berbagai getaran yang telah terjadi di dalam suatu struktur.

➤ **Ragam 1 (8 Lantai Tanpa Base Isolator)**

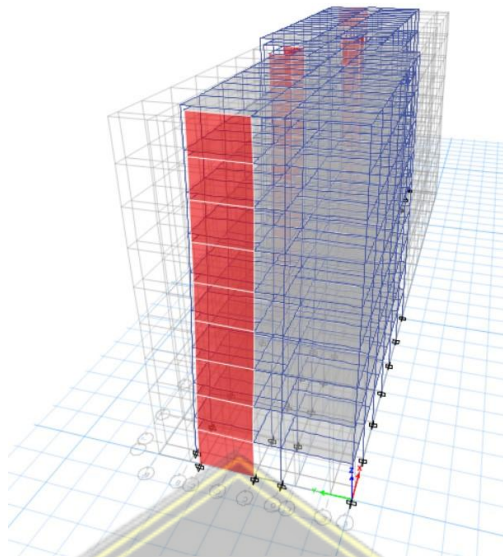
Pada ragam 1 ini didapatkan struktur mengalami translasi pada arah Y dengan periode $T = 0,608$ detik. Berikut adalah gambar bentuk ragam 1 pada percobaan 1.



Gambar 4. 6 Bentuk Ragam 1 Pada Percobaan 1 (Gedung 8 lantai)

➤ **Ragam 2 (8 Lantai Tanpa Base Isolator)**

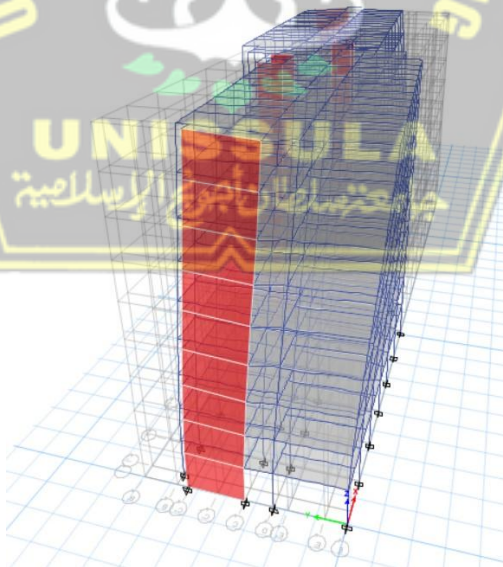
Pada ragam 2 ini didapatkan struktur mengalami translasi pada arah X dengan periode $T = 0,597$ detik. Berikut adalah gambar bentuk ragam 2 pada percobaan 1.



Gambar 4. 7 Bentuk Ragam 2 Pada Percobaan 1

➤ **Ragam 3 (8 Lantai Tanpa Base Isolator)**

Pada ragam 3 ini didapatkan struktur mengalami rotasi pada arah Z dengan periode $T = 0,468$ detik. Berikut adalah gambar bentuk ragam 3 pada percobaan 1.



Gambar 4. 8 Bentuk Ragam 3 Pada Percobaan 1

Sesuai dengan Standar Nasional Indonesia 1726 Tahun 2019 analisis harus mencantumkan banyaknya ragam yang cukup untuk memperoleh partisipasi massa ragam 100 % dari massa struktur.

Tabel 4. 13 Rasio Partisipasi Beban

Kasus	Tipe Item	Item	Statik (%)	Dinamik (%)
Model	Percepatan	UX	100	99,94
Model	Percepatan	UY	100	98,36
Model	Percepatan	UZ	0	0

Adapun Hasil Partisipasi Massa Bangunan bisa dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 14 Hasil Partisipasi Massa Bangunan

Mode	Period (s)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	0.608	0.0002	0.696	0.0185	0.2901	4.057E-05	0.0185
2	0.597	0.7992	0.0004	0.003	0.2903	0.2029	0.0214
3	0.468	0.0042	0.0199	0.6771	0.297	0.2035	0.6985
4	0.19	0.1032	0	0.0003	0.297	0.7476	0.6988
5	0.157	1.174E-05	0.1556	0.0019	0.6707	0.7477	0.7007
6	0.113	0.0006	0.0011	0.1671	0.674	0.7492	0.8678
7	0.105	0.04	7.683E-07	0.0013	0.674	0.8257	0.8692
8	0.07	9.947E-06	0.0612	0.0003	0.8072	0.8257	0.8695
9	0.068	0.0224	1.732E-05	3.348E-06	0.8073	0.9082	0.8695
10	0.063	0	1.642E-05	1.024E-05	0.8073	0.9082	0.8695
11	0.049	1.208E-05	0.0002	0.0656	0.8077	0.9083	0.9351

12	0.048	0.0138	0	0.0001	0.8077	0.9461	0.9352
13	0.04	0	0.0316	0.0001	0.8976	0.9461	0.9353
14	0.036	0.0085	0	1.842E-06	0.8976	0.9752	0.9353
15	0.029	0.0049	0	1.669E-05	0.8976	0.9902	0.9353
16	0.028	2.716E-06	0	0.0341	0.8976	0.9902	0.9694
17	0.028	0	0.0166	2.469E-05	0.9458	0.9902	0.9694
18	0.027	0	0.0009	4.768E-06	0.9485	0.9902	0.9694
19	0.025	0.0023	0	0	0.9485	0.9981	0.9694

➤ **Ragam 1 (8 Lantai Dengan Base Isolator)**

Pada ragam 1 ini didapatkan struktur mengalami translasi pada arah X dengan periode $T = 0,629$ detik. Berikut adalah gambar bentuk ragam 1 pada percobaan 1.



Gambar 4. 9 Bentuk Ragam 1 Pada Percobaan 1 (Gedung 8 lantai)

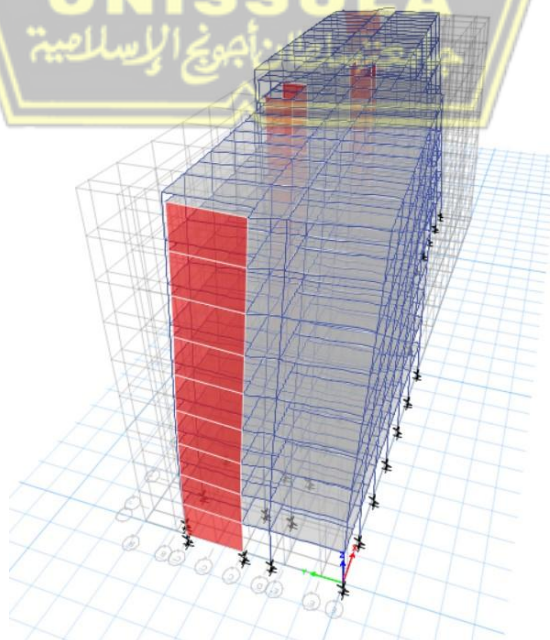
➤ **Ragam 2 (8 Lantai Dengan Base Isolator)**

Pada ragam 2 ini didapatkan struktur mengalami translasi pada arah Y dengan periode $T = 0,622$ detik. Berikut adalah gambar bentuk ragam 2 pada percobaan 1.

Gambar 4. 10 Bentuk Ragam 2 Pada Percobaan 1

➤ **Ragam 3 (8 Lantai Dengan *Base Isolator*)**

Pada ragam 3 ini didapatkan struktur mengala Vmi rotasi pada arah Z dengan periode $T = 0,48$ detik. Berikut adalah gambar bentuk ragam 3 pada percobaan 1.



Gambar 4. 11 Bentuk Ragam 3 Pada Percobaan 1

Sesuai dengan SNI 1726:2019 analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur. Hasil partisipasi massa dapat kita lihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 15 Rasio Partisipasi Beban

Kasus	Tipe Item	Item	Statik (%)	Dinamik (%)
Model	Percepatan	UX	100	99,2
Model	Percepatan	UY	100	98,24
Model	Percepatan	UZ	0	0

Adapun Hasil Partisipasi Massa Bangunan bisa dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 16 Hasil Partisipasi Massa Bangunan

Mode	Period (s)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	2.099	0.5795	0.3785	0.0366	0.5795	0.3785	0.0366
2	2.096	0.4057	0.5824	0.0064	0.9852	0.9609	0.043
3	1.974	0.0095	0.0336	0.9544	0.9946	0.9945	0.9974
4	0.2	0.0977	0	0.002	0.6719	0.7802	0.7069
5	0.162	9.008E-06	0.1553	0.1652	0.6755	0.7828	0.872
6	0.117	0.0009	0.0011	0.003	0.6756	0.852	0.8751
7	0.11	0.0325	5.705E-06	0.0003	0.8105	0.8524	0.8754
8	0.072	0.0001	0.059	1.25E-06	0.8112	0.9212	0.8754
9	0.071	0.0157	0.0003	1.11E-05	0.8112	0.9212	0.8754
10	0.063	0	9.676E-06	0.0637	0.8116	0.9212	0.9391
11	0.05	2.239E-05	0.0002	0.0002	0.8116	0.9455	0.9393
12	0.05	0.0082	5.774E-07	0.0001	0.897	0.9455	0.9394

13	0.042	0	0.0286	2.355E-06	0.897	0.9618	0.9394
14	0.038	0.0041	0	3.791E-05	0.897	0.968	0.9394
15	0.03	0.0019	0	0.0303	0.897	0.968	0.9697
16	0.029	4.025E-06	5.258E-06	0.0001	0.9386	0.968	0.9699
17	0.028	0	0.0138	2.439E-06	0.9392	0.968	0.9699
18	0.027	0	0.0002	0	0.9392	0.9706	0.9699
19	0.026	0.0007	0	0.0191	0.2688	0.1644	0.0215

➤ **Ragam 1 (25 Lantai Tanpa Base Isolator)**

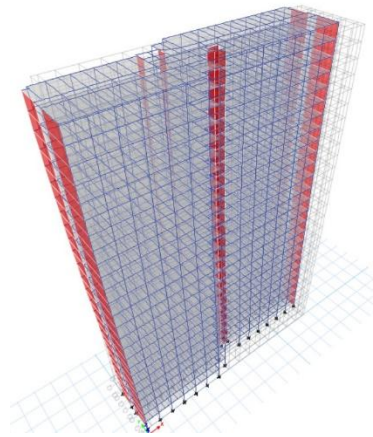
Pada ragam 1 ini didapatkan struktur mengalami translasi pada arah Y dengan periode $T = 2.099$ detik. Berikut adalah gambar bentuk ragam 1 pada percobaan 1.



Gambar 4. 12 Bentuk Ragam 1 Pada Percobaan 1 (Gedung 25 lantai Tanpa Base Isolator)

➤ **Ragam 2 (25 Lantai Tanpa Base Isolator)**

Pada ragam 2 ini didapatkan struktur mengalami translasi pada arah X dengan periode $T = 2.096$ detik. Berikut adalah gambar bentuk ragam 2 pada percobaan 1.



Gambar 4. 13 Bentuk Ragam 2 Pada Percobaan 1

➤ **Ragam 3 (25 Lantai Tanpa *Base Isolator*)**

Pada ragam 3 ini didapatkan struktur mengalami rotasi pada arah Z dengan periode $T = 1.974$ detik. Berikut adalah gambar bentuk ragam 3 pada percobaan 1.



Gambar 4. 14 Bentuk Ragam 3 Pada Percobaan 1

Menurut Standar Nasional Indonesia 1726 Tahun 2019, analisis harus mencakup variasi yang cukup sehingga diperoleh fraksi massa total sebesar 100% massa struktur. Oleh karena itu, analisis dinamik menggunakan 45 pola getaran yang berbeda dan dilakukan dengan mempertimbangkan kontribusi massa dari masing-masing pola getaran. Hasil dari banyaknya jumlah peserta ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 17 Rasio Partisipasi Beban

Kasus	Tipe Item	Item	Statik (%)	Dinamik (%)
Model	Percepatan	UX	100	99,91
Model	Percepatan	UY	100	99.64
Model	Percepatan	UZ	0	0

Adapun Hasil Partisipasi Massa Bangunan bisa dilihat pada tabel di bawah ini.

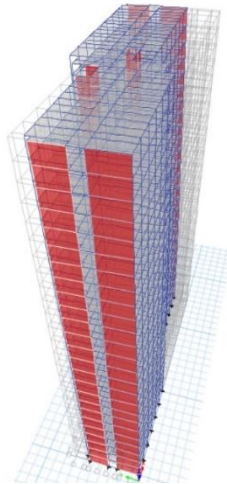
Tabel 4. 18 Hasil Partisipasi Massa Bangunan

Mode	Period (s)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	2.154	0.0009	0.6573	0.0042	0.763	0.658	0.0042
2	2.65	0.762	0.0007	3.099E-05	0.762	0.0007	3.099E-05
3	1.457	1.013E-05	0.0048	0.6456	0.763	0.6628	0.6498
4	0.261	0.0978	0.0008	1.106E-05	0.886	0.7056	0.6896
5	0.239	0.0003	0.1409	0.0056	0.8863	0.8465	0.6952
6	0.171	0.0001	0.0032	0.1439	0.8864	0.8497	0.8391
7	0.146	0.0331	1.92E-05	0.0001	0.9194	0.8497	0.8392
8	0.11	3.417E-06	0.0522	0.0015	0.9194	0.9019	0.8408
9	0.096	0.0207	2.843E-06	9.772E-06	0.9401	0.9019	0.8408
10	0.077	2.739E-06	0.0006	0.0571	0.9401	0.9025	0.8979
11	0.068	0.0139	1.284E-06	1.698E-06	0.954	0.9025	0.8979
12	0.063	0	0.0289	0.0004	0.954	0.9313	0.8983
13	0.052	0.0095	0	0	0.9634	0.9313	0.8983
14	0.043	0	0.0008	0.0302	0.9634	0.9321	0.9285
15	0.041	0	0.0177	0.001	0.9634	0.9499	0.9295
16	0.039	0.0069	0	0	0.9704	0.9499	0.9295
17	0.031	0.0058	0	1.513E-06	0.9762	0.9499	0.9295

18	0.03	0	0.0125	0.0001	0.9762	0.9624	0.9296
19	0.028	8.12E-07	2.857E-05	0.0196	0.9762	0.9624	0.9492
20	0.026	0.0047	0	7.64E-07	0.981	0.9624	0.9492
21	0.022	0	0.0084	2.945E-06	0.981	0.9708	0.9492
22	0.021	0.0033	0	0	0.9843	0.9708	0.9492
23	0.02	0	0	0.0133	0.9843	0.9708	0.9624
24	0.018	0	0.0066	0	0.9843	0.9774	0.9624
25	0.018	0.0031	0	0	0.9874	0.9774	0.9624
26	0.015	4.908E-06	0	0.0089	0.9874	0.9774	0.9713
27	0.015	0.0028	0	1.841E-05	0.9902	0.9774	0.9714
28	0.015	0	0.0051	0	0.9902	0.9825	0.9714
29	0.013	0.0018	0	0	0.992	0.9825	0.9714
30	0.012	0	0.0034	1.134E-05	0.992	0.9859	0.9714
31	0.012	0	7.247E-06	0.0069	0.992	0.9859	0.9782
32	0.011	0.0018	0	0	0.9938	0.9859	0.9782
33	0.01	0	0.0031	5.046E-07	0.9938	0.989	0.9782
34	0.01	6.375E-06	7.061E-07	0.0052	0.9938	0.989	0.9834
35	0.01	0.0018	0	2.21E-05	0.9956	0.989	0.9835
36	0.009	0	0.0026	0	0.9956	0.9916	0.9835
37	0.009	0.001	0	0	0.9965	0.9916	0.9835
38	0.008	0	0	0.0035	0.9965	0.9916	0.987
39	0.008	0	0.0016	0	0.9965	0.9933	0.987
40	0.008	0.001	0	0	0.9976	0.9933	0.987
41	0.007	7.96E-06	0	0.0031	0.9976	0.9933	0.9901
42	0.007	0.0011	0	2.806E-05	0.9987	0.9933	0.9901
43	0.007	0	0.0016	0	0.9987	0.9949	0.9901
44	0.007	0.0004	0	0	0.9991	0.9949	0.9901
45	0.007	0	0.0015	3.722E-06	0.9991	0.9964	0.9901

➤ **Ragam 1 (25 Lantai Dengan Base Isolator)**

Pada ragam 1 ini didapatkan struktur mengalami translasi pada arah Y dengan periode $T = 2.154$ detik. Berikut adalah gambar bentuk ragam 1 pada percobaan 1.



Gambar 4. 15 Bentuk Ragam 1 Pada Percobaan 1 (Gedung 25 lantai Dengan *Base Isolator*)

➤ **Ragam 2 (25 Lantai Dengan *Base Isolator*)**

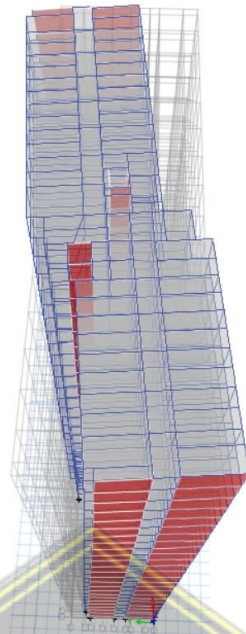
Pada ragam 2 ini didapatkan struktur mengalami translasi pada arah X dengan periode $T = 2.65$ detik. Berikut adalah gambar bentuk ragam 2 pada percobaan 1.



Gambar 4. 16 Bentuk Ragam 2 Pada Percobaan 1

➤ **Ragam 3 (25 Lantai Dengan *Base Isolator*)**

Pada ragam 3 ini didapatkan struktur mengalami rotasi pada arah Z dengan periode $T = 1.457$ detik. Berikut adalah gambar bentuk ragam 3 pada percobaan 1.



Gambar 4. 17 Bentuk Ragam 3 Pada Percobaan 1

Menurut Standar Nasional Indonesia 1726 Tahun 2019, analisis harus mencakup variasi yang cukup sehingga diperoleh frekuensi massa total sebesar 100% massa struktur. Oleh karena itu, analisis dinamik menggunakan 45 pola getaran yang berbeda dan dilakukan dengan mempertimbangkan kontribusi massa dari masing-masing pola getaran. Hasil dari banyaknya jumlah peserta ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4. 19 Rasio Partisipasi Beban

Kasus	Tipe Item	Item	Statik (%)	Dinamik (%)
Model	Percepatan	UX	100	100
Model	Percepatan	UY	100	100
Model	Percepatan	UZ	0	0

Adapun Hasil Partisipasi Massa Bangunan bisa dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 20 Hasil Partisipasi Massa Bangunan

Mode	Perio d (s)	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	2.526	0.0021	0.7348	0.006	0.8194	0.7365	0.006
2	2.902	0.8173	0.0017	4.958E-05	0.8173	0.0017	4.958E-05
3	1.789	1.42E-05	0.0068	0.7621	0.8194	0.7433	0.7681
4	0.395	0.0005	0.1033	0.0073	0.9393	0.9876	0.9312
5	0.351	0.0512	0.0002	0.0007	0.9906	0.9877	0.9318
6	0.323	0.0003	0.0043	0.0652	0.9909	0.992	0.997
7	0.182	0.0065	1.3E-05	0	0.9973	0.992	0.997
8	0.168	4.661E-06	0.007	0.0002	0.9974	0.9989	0.9972
9	0.127	9.966E-06	0.0001	0.0025	0.9974	0.999	0.9997
10	0.12	0.0018	7.109E-07	4.31E-06	0.9991	0.999	0.9997
11	0.091	0	0.0008	9.463E-06	0.9991	0.9998	0.9997
12	0.083	0.0005	0	0	0.9997	0.9998	0.9997
13	0.065	0	2.908E-06	0.0002	0.9997	0.9998	1
14	0.061	0.0002	0	0	0.9998	0.9998	1
15	0.055	0	0.0001	9.476E-07	0.9998	1	1
16	0.047	0.0001	0	0	0.9999	1	1
17	0.038	0	1.693E-06	2.688E-05	0.9999	1	1
18	0.037	0	2.424E-05	1.249E-06	0.9999	1	1
19	0.037	3.257E-05	0	0	1	1	1
20	0.029	1.51E-05	0	0	1	1	1
21	0.027	0	8.293E-06	0	1	1	1
22	0.025	0	0	5.739E-06	1	1	1
23	0.024	8.843E-06	0	0	1	1	1
24	0.021	0	2.676E-06	0	1	1	1
25	0.02	3.956E-06	0	0	1	1	1
26	0.018	0	0	1.787E-06	1	1	1
27	0.017	2.139E-06	0	0	1	1	1
28	0.017	0	1.119E-06	0	1	1	1
29	0.014	1.5149999999999999E-06	0	0	1	1	1
30	0.014	0	0	5.732E-07	1	1	1
31	0.014	0	6.095E	0	1	1	1

			-07				
32	0.012	8.286E-07	0	0	1	1	1
33	0.012	0	0	0	1	1	1
34	0.011	0	0	0	1	1	1
35	0.011	0	0	0	1	1	1
36	0.01	0	0	0	1	1	1
37	0.01	0	0	0	1	1	1
38	0.009	0	0	0	1	1	1
39	0.009	0	0	0	1	1	1
40	0.009	0	0	0	1	1	1
41	0.008	0	0	0	1	1	1
42	0.008	0	0	0	1	1	1
43	0.008	0	0	0	1	1	1
44	0.007	0	0	0	1	1	1
45	0.007	0	0	0	1	1	1

4.4.10. Fundamental Period Structure

Angka *Fundamental Period Structure* asli konstruksi (T_a) diperoleh dari analisis model program struktur batas tak boleh ($>$) hasil koefisien perhitungan batas maksimum periode (C_u) pada Tabel 17. SNI 1726:2019. Sebaliknya bila tinggi struktur (h_n) lantai 8 adalah 27,4 m dan tinggi struktur (h_n) lantai 25 adalah 93,6 m, maka dapat dicari nilai pendekatan periode fundamental (T_a) dan carilah nilai C_t dan x . bisa. Oleh karena itu, dari Tabel 18 SNI 1726:2019 menggunakan persamaan 2.11 dihitung sebagai:

$$C_t = 0,0466$$

$$x = 0,9$$

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

$$= (0,0466) \cdot (27,4)^{0,9} = 0,9170 \text{ s (8 Lantai)}$$

$$C_t = 0,0466$$

$$x = 0,9$$

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

$$= (0,0466) \cdot (93,6)^{0,9} = 2,97703 \text{ s (25 Lantai)}$$

Menurut Standar Nasional Indonesia 1726 Tahun 2019, periode getaran (T) struktur tidak diperbolehkan lebih dari koefisien batas getaran (C_u)

yang dihitung, seperti terlihat pada Tabel 17 SNI 1726:2019. Diperoleh dari Persamaan 2.12:

$$\begin{aligned} C_u &= 1,4 \\ T_{max} &= C_u \cdot T_a \\ &= 1,4 \cdot 0,9170 \\ &= 1,284 \text{ s (8 Lantai)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_u &= 1,4 \\ T_{max} &= C_u \cdot T_a \\ &= 1,4 \cdot 2,97703 \\ &= 3,878 \text{ s (25 Lantai)} \end{aligned}$$

Berdasarkan Aplikasi ETABS V18 maka didapatkan periode berdasarkan satu dan dua:

$$\begin{aligned} T_x &= 0,7992 \text{ s (mode-2)} \\ T_y &= 0,696 \text{ s (mode-1)} \end{aligned}$$

Penggunaan Periode desain wajib memenuhi syarat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_c &< T_a, T = T_a, \\ T_a &< T_c < C_u T_a, T = T_c, \\ T_c &> C_u T_a, T = C_u T_a \end{aligned}$$

Dikarenakan periode getar struktur gedung nilai T_{cx} dan T_{cy} < dari T_a , maka diambil nilai $T = 0,9170$ detik.

4.4.11. Perhitungan Gaya Geser

Perhitungan gaya geser dasar seismik statis dilakukan secara otomatis dalam program ETABS V18. Tabel dibawah ini menunjukkan hasil perhitungan nilai gaya geser dasar seismik statik yang dihasilkan oleh ETABS.

Tabel 4. 21 Output Gaya Geser Dasar *Static* Gedung 8 lantai

Lantai	Elevation (m)	V_x (kN)	V_y (kN)
8	27.4	1017.95	1183.75

7	24	1463.14	1637.22
6	20.6	1852.67	2009.52
5	17.2	2185.83	2312.28
4	13.8	2459.19	2548.82
3	10.4	2667.31	2718.51
2	7	2801.41	2819.46
1	3.6	2857.29	2857.29

Tabel 4. 22 Output Gaya Geser Dasar Statik *Static* Gedung 25 Lantai

Lantai	Elevation (m)	V_x (kN)	V_y (kN)
25	93.6	527.9662	648.5428
24	90.2	1069.9391	1285.5908
23	86.8	1596.0848	1877.705
22	83.4	2106.3582	2429.069
21	80	2600.4428	2943.1863
20	76.6	3078.0554	3423.1467
19	73.2	3538.9823	3871.7456
18	69.8	3983.0321	4291.5143
17	66.4	4409.9817	4684.7041
16	63	4820.0577	5053.9144
15	59	5216.6491	5403.8594
14	55	5593.6007	5729.6803
13	51	5946.3046	6029.4183
12	47	6273.7259	6303.5597
11	43	6576.4686	6553.4992
10	39	6853.4739	6778.8754
9	35	7104.1196	6979.4465
8	31.6	7325.5636	7153.0387
7	27.6	7524.3149	7305.8569
6	23.6	7697.5553	7435.338
5	19.6	7838.8475	7537.6439
4	15.6	7946.6565	7612.8795
3	11.6	8020.3637	7662.2397
2	7.6	8061.3338	7688.5976
1	3.6	8074.9935	7697.2515

Menurut SNI pasal 7.9.2.5.2 1726:2019, V_x serta V_y pada arah x serta y harus dihitung dengan pasal atau aturan SNI 7.8.1.1. pada tiap gerakan yang akan dilakukan analisis, penentuan faktor skala gaya geser dasar ditetapkan berikut ini:

$$\eta_x = \frac{V_x}{I_x} \text{ Lebih dari } 1,0$$

$$\eta_y = \frac{V_y}{I_y} \text{ Lebih dari } 1,0$$

Untuk perbandingan Gaya Geser Static serta *Dynamic* bisa kita lihat pada tabel ini.

Tabel 4. 23 Perbandingan Gaya Geser Static dan Dynamic 8 Lantai Tanpa Base Isolator

	V_{Statik} (kN)	V_{Dinamik} (kN)	$\frac{V_x / V_y}{V_{ix} / V_{iy}} \geq 1,0$
Sumbu X	2555.9029	3071.295	1,2016
Sumbu Y	2555.9028	2987.393	1,029

$$\text{Faktor pembesaran gempa arah } X = \frac{3071.295}{2555.9029} = 1,2016$$

$$\text{Faktor pembesaran gempa arah } Y = \frac{2987.393}{2555.9028} = 1,029$$

Tabel 4. 24 Perbandingan Gaya Geser Static dan Dynamic 8 Lantai Dengan Base Isolator

	V_{Statik} (kN)	V_{Dinamik} (kN)	$\frac{V_x / V_y}{V_{ix} / V_{iy}} \geq 1,0$
Sumbu X	2673.4008	3477.1968	1,301
Sumbu Y	2592.2156	3564.502	1,375

$$\text{Faktor pembesaran gempa arah } X = \frac{3477.1968}{2673.4008} = 1,301$$

$$\text{Faktor pembesaran gempa arah } Y = \frac{3564.502}{2592.2156} = 1,375$$

Tabel 4. 25 Perbandingan Gaya Geser Static dan Dynamic 25 Lantai Tanpa Base Isolator

	V_{Statik} (kN)	V_{Dinamik} (kN)	$\frac{V_x / V_y}{V_{ix} / V_{iy}} \geq 1,0$
Sumbu X	5937.6053	4436.6289	1,338
Sumbu Y	5544.0915	3919.9592	1,414

$$\text{Faktor pembesaran gempa arah X} = \frac{5937.6053}{4436.6289} = 1,338$$

$$\text{Faktor pembesaran gempa arah Y} = \frac{5544.0915}{3919.9592} = 1,414$$

Tabel 4. 26 Perbandingan Gaya Geser *Static* dan *Dynami* 25 Lantai Dengan *Base Isolator*

	V_{Statik} (kN)	V_{Dinamik} (kN)	$\frac{V_x / V_y}{V_{ix} / V_{iy}} \geq 1,0$
Sumbu X	8075.7062	4187.846	1,928
Sumbu Y	7696.7802	3734.861	2,061

$$\text{Faktor pembesaran gempa arah X} = \frac{8075.7062}{4187.846} = 1,928$$

$$\text{Faktor pembesaran gempa arah Y} = \frac{7696.7802}{3734.861} = 2,061$$

4.4.12. Persyaratan Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726:2019 faktor-faktor dalam kriteria persyaratan Simpangan adalah sebagai berikut:

- Faktor pembesaran defleksi (C_d) untuk Sistem Ganda = 5,5 (Tabel 8)
- Faktor Keutamaan Gempa (I_e) = 1,0 (Tabel 2)
- Faktor redundansi untuk gedung dengan KDS E adalah $\rho = 1,3$ (Pasal 7.3.4.2)
- Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak diperkenankan lebih dari Simpangan antar lantai izin. Pasal 7.12.1, Simpangan antar lantai izin untuk bangunan gedung dengan kategori risiko 2 (dua) adalah = $(0,020) \times h$, dimana h (tinggi lantai).

Simpangan antar lantai ialah perpindahan horizontal di bagian atas tingkat relatif terhadap bawahnya. Didapat Simpangan arah X dan Y yang ditampilkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 27 Besaran Simpangan Antar Lantai (Gedung 8 Lantai Tanpa Base Isolator)

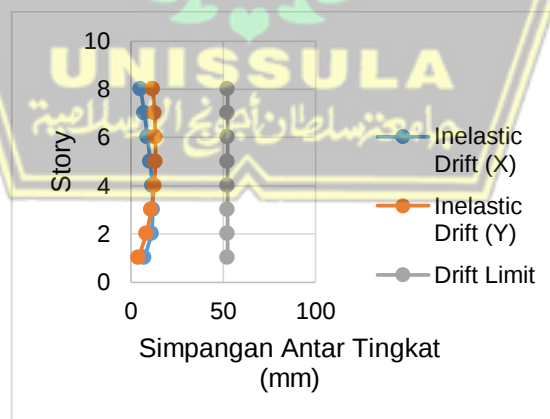
Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
8	13.236	15.749	0.942	2.117	3400	5.181	11.644	52.308	OK
7	12.294	13.632	1.282	2.282	3400	7.051	12.551	52.308	OK
6	11.012	11.350	1.603	2.381	3400	8.817	13.096	52.308	OK
5	9.409	8.969	1.872	2.413	3400	10.296	13.272	52.308	OK
4	7.537	6.556	2.067	2.305	3400	11.369	12.678	52.308	OK
3	5.47	4.251	2.162	2.011	3400	11.891	11.061	52.308	OK
2	3.308	2.240	2.027	1.514	3400	11.149	8.327	52.308	OK
1	1.281	0.726	1.281	0.726	3400	7.046	3.993	52.308	OK

Keterangan:

Perpindahan yang diperbesar = $(\delta e \times C_d) / I_e$

Simpangan antar lantai = $(\delta_n - \delta_i)$

Grafik dari hasil analisis Simpangan antar lantai dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 18 Simpangan Antar Lantai Gedung 8 Lantai Tanpa Base Isolator

Tabel 4. 28. Besaran Simpangan Struktur Gedung 8 Lantai Dengan Base Isolator

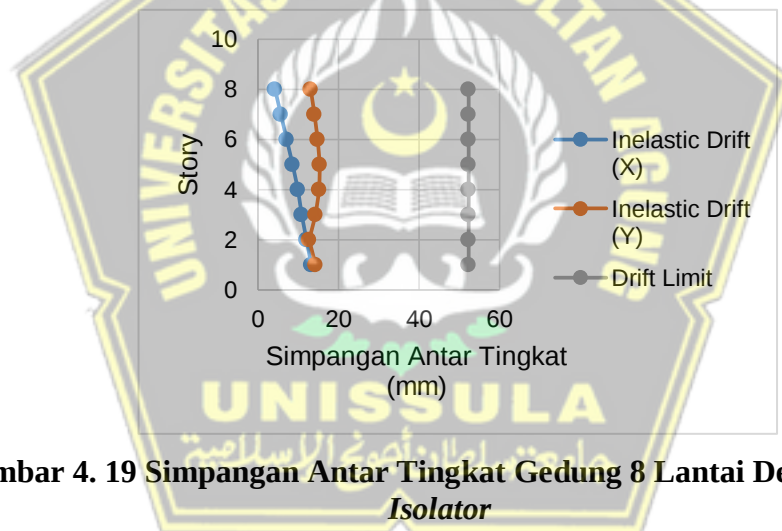
Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
8	25.148	38.159	0.761	2.367	3400	4.186	13.019	52.308	OK
7	24.387	35.792	1.031	2.539	3400	5.670	13.965	52.308	OK
6	23.356	33.253	1.302	2.696	3400	7.161	14.828	52.308	OK
5	22.054	30.557	1.555	2.781	3400	8.553	15.296	52.308	OK
4	20.499	27.776	1.788	2.769	3400	9.834	15.230	52.308	OK
3	18.711	25.007	1.968	2.586	3400	10.824	14.223	52.308	OK
2	16.743	22.421	2.181	2.314	3400	11.996	12.727	52.308	OK
1	14.562	20.107	2.394	2.586	3400	13.167	14.223	52.308	OK

Keterangan:

Perpindahan yang diperbesar = $(\delta e \times C_d) / I_e$

Simpangan antar lantai = $(\delta_n - \delta_i)$

Grafik dari hasil analisis Simpangan antar lantai dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 19 Simpangan Antar Tingkat Gedung 8 Lantai Dengan Base Isolator

Tabel 4. 29 Besaran Simpangan Antar Lantai 25 Lantai Tanpa Base Isolator

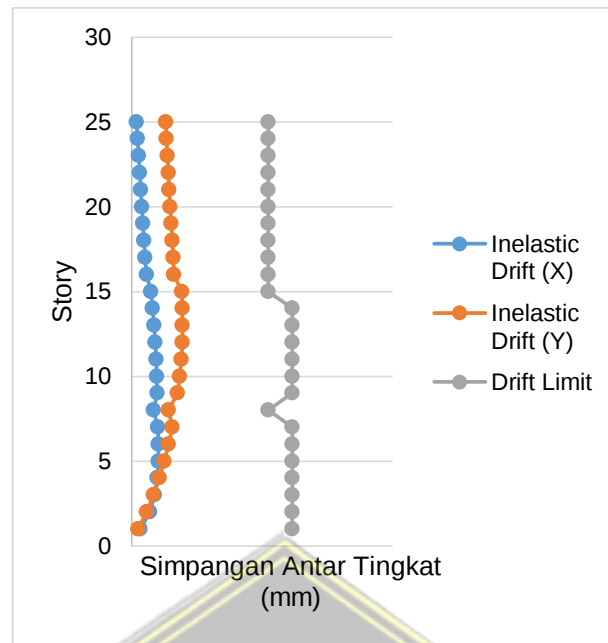
Story	Displacement	Elastic Drift			h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
25	30.058	65.716	0.343	2.381	3400	1.887	13.096	52.308	OK
24	29.715	63.335	0.391	2.425	3400	2.150	13.338	52.308	OK
23	29.324	60.91	0.457	2.478	3400	2.514	13.629	52.308	OK
22	28.867	58.432	0.531	2.542	3400	2.921	13.981	52.308	OK
21	28.336	55.89	0.609	2.610	3400	3.349	14.355	52.308	OK
20	27.727	53.28	0.690	2.682	3400	3.795	14.751	52.308	OK
19	27.037	50.598	0.772	2.753	3400	4.246	15.142	52.308	OK
18	26.265	47.845	0.854	2.820	3400	4.697	15.510	52.308	OK
17	25.411	45.025	0.939	2.879	3400	5.165	15.835	52.308	OK
16	24.472	42.146	1.028	2.928	3400	5.654	16.104	52.308	OK
15	23.444	39.218	1.340	3.497	3400	7.370	19.234	52.308	OK
14	22.104	35.721	1.460	3.533	4000	8.030	19.432	61.538	OK
13	20.644	32.188	1.556	3.540	4000	8.558	19.470	61.538	OK
12	19.088	28.648	1.636	3.514	4000	8.998	19.327	61.538	OK
11	17.452	25.134	1.702	3.453	4000	9.361	18.992	61.538	OK
10	15.75	21.681	1.751	3.352	4000	9.631	18.436	61.538	OK
9	13.999	18.329	1.780	3.203	4000	9.790	17.617	61.538	OK
8	12.219	15.126	1.515	2.562	3400	8.332	14.091	52.308	OK
7	10.704	12.564	1.833	2.811	4000	10.082	15.461	61.538	OK
6	8.871	9.753	1.860	2.562	4000	10.230	14.091	61.538	OK
5	7.011	7.191	1.840	2.273	4000	10.120	12.502	61.538	OK
4	5.171	4.918	1.761	1.932	4000	9.686	10.626	61.538	OK
3	3.41	2.986	1.586	1.525	4000	8.723	8.388	61.538	OK
2	1.824	1.461	1.242	1.035	4000	6.831	5.693	61.538	OK
1	0.582	0.426	0.582	0.426	4000	3.201	2.343	61.538	OK

Keterangan:

Perpindahan yang diperbesar = $(\delta e \times C_d) / I_e$

Simpangan antar lantai = $(\delta_n - \delta_i)$

Grafik dari hasil analisis Simpangan antar lantai dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 20 Simpangan Antar Lantai Gedung 25 Lantai Tanpa Base Isolator



Tabel 4. 30 Besaran Simpangan Struktur Gedung 25 Lantai Dengan Base Isolator

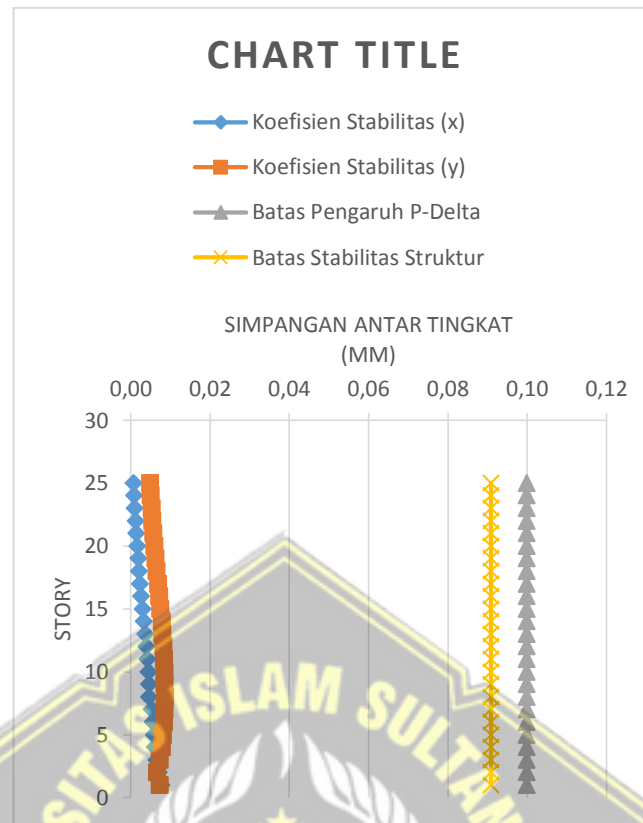
Story	Displacement	Elastic Drift				h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y	Δ_x		Δ_y			
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
25	33.661	57.315	0.188	1.439	3400	1.034	7.915	52.308	OK	
24	33.473	55.876	0.215	1.444	3400	1.182	7.942	52.308	OK	
23	33.258	54.432	0.255	1.458	3400	1.403	8.019	52.308	OK	
22	33.003	52.974	0.300	1.484	3400	1.650	8.162	52.308	OK	
21	32.703	51.49	0.348	1.516	3400	1.914	8.338	52.308	OK	
20	32.355	49.974	0.399	1.553	3400	2.194	8.541	52.308	OK	
19	31.956	48.421	0.448	1.590	3400	2.464	8.745	52.308	OK	
18	31.508	46.831	0.500	1.628	3400	2.750	8.954	52.308	OK	
17	31.008	45.203	0.552	1.666	3400	3.036	9.163	52.308	OK	
16	30.456	43.537	0.608	1.705	3400	3.344	9.377	52.308	OK	
15	29.848	41.832	0.801	2.046	3400	4.405	11.253	52.308	OK	
14	29.047	39.786	0.881	2.079	4000	4.846	11.435	61.538	OK	
13	28.166	37.707	0.948	2.098	4000	5.214	11.539	61.538	OK	
12	27.218	35.609	1.008	2.105	4000	5.544	11.578	61.538	OK	
11	26.21	33.504	1.061	2.098	4000	5.836	11.539	61.538	OK	
10	25.149	31.406	1.109	2.077	4000	6.100	11.424	61.538	OK	
9	24.04	29.329	1.146	2.037	4000	6.303	11.204	61.538	OK	
8	22.894	27.292	0.961	1.698	3400	5.285	9.339	52.308	OK	
7	21.933	25.594	1.253	1.940	4000	6.892	10.670	61.538	OK	
6	20.68	23.654	1.304	1.867	4000	7.172	10.269	61.538	OK	
5	19.376	21.787	1.350	1.773	4000	7.425	9.752	61.538	OK	
4	18.026	20.014	1.393	1.662	4000	7.662	9.141	61.538	OK	
3	16.633	18.352	1.442	1.526	4000	7.931	8.393	61.538	OK	
2	15.191	16.826	1.546	1.355	4000	8.503	7.453	61.538	OK	
1	13.645	15.471	1.645	1.471	4000	9.048	8.091	61.538	OK	

Keterangan:

Perpindahan yang diperbesar = $(\delta e \times Cd) / I_e$

Simpangan antar lantai = $(\delta_n - \delta_i)$

Grafik dari hasil analisis Simpangan antar lantai dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 21 Simpangan Antar Tingkat Gedung 25 Lantai Dengan Base Isolator

Berdasarkan kontrol Simpangan antar lantai di atas, terdapat Simpangan yang melebihi batas izinnya. Untuk mengatasi masalah tersebut, bisa dilakukan dengan memperbesar ukuran dimensi pada elemen struktur, akan tetapi hal tersebut dapat menyebabkan struktur menjadi lebih boros. Maka dari itu, diperlukan perkuatan dengan menambah elemen struktur agar struktur menjadi lebih kuat dan efisien.

4.4.13. Cek P-Delta

Cek P-delta sesuai aturan SNI 1726:2019 pasal 7.8.7, untuk nilai θ sebuah acuan untuk menentukan stabilitas gedung terhadap P-delta. Nilai θ maksimum dihitung dengan persamaan 2.21 sebagai berikut :

$$\theta = \frac{P_x \times \Delta \times I_e}{V_x \times h_{sx} \times C_d}$$

P_x = Beban desain *vertical* total dan di atas tingkat x (kN); bila menghitung P_x , faktor beban individu tidak diharuskan lebih 1,0;

Δ = Simpangan antar tingkat desain terjadi secara serentak dengan V_x (milimeter)

I_e = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan peraturan.

V_x = Gaya geser seismik yang terjadi antara tingkat x serta $x-1$ (kilo Newton)

h_{sx} = Tinggi tingkat di bawah tingkat x , (milimeter)

Cd = Faktor pembesar defleksi

Jika nilai θ lebih kecil dari nilai θ maksimum, maka pengaruh P-delta bisa diabaikan. Nilai θ maksimum dihitung menggunakan persamaan berikut:

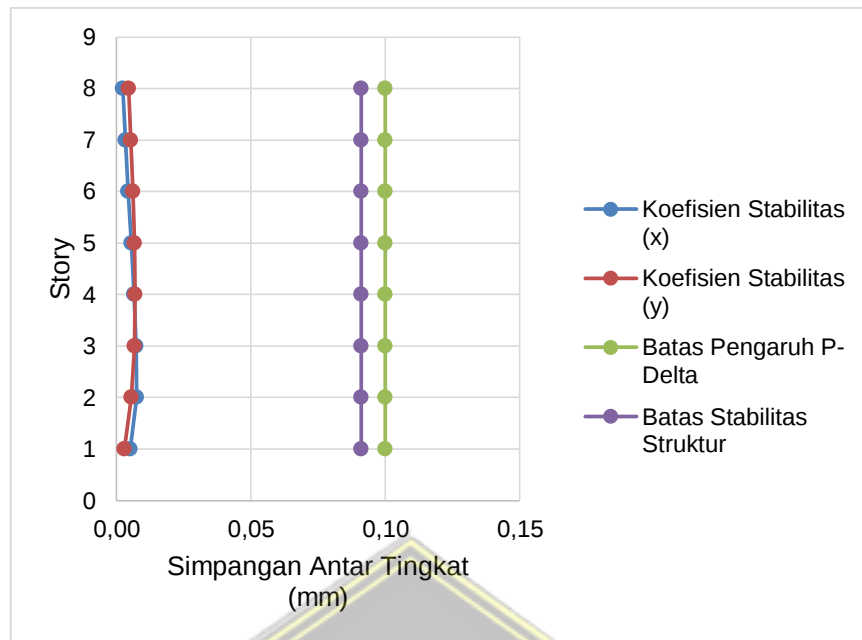
$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta_{cd}} \leq 0,25$$

Hasil dari pengecekan P-Delta dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 31 Pengecekan P-Delta Gedung 8 Lantai Tanpa Base Isolator

Story	Inelastic Drift		Story Forces			h (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, $\theta_{\max}$	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_x	θ_y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
8	5.181	11.644	8498.30	1017.95	1183.75	3400	0.0023	0.0045	0.1	0.0909	OK
7	7.051	12.551	12932.42	1463.14	1637.22	3400	0.0033	0.0053	0.1	0.0909	OK
6	8.817	13.096	17360.18	1852.67	2009.52	3400	0.0044	0.0060	0.1	0.0909	OK
5	10.296	13.272	21792.70	2185.83	2312.28	3400	0.0055	0.0067	0.1	0.0909	OK
4	11.369	12.678	26225.22	2459.19	2548.82	3400	0.0065	0.0070	0.1	0.0909	OK
3	11.891	11.061	30664.84	2667.31	2718.51	3400	0.0073	0.0067	0.1	0.0909	OK
2	11.149	8.327	35104.46	2801.41	2819.46	3400	0.0075	0.0055	0.1	0.0909	OK
1	7.046	3.993	39472.19	2857.29	2857.29	3400	0.0052	0.0029	0.1	0.0909	OK

Dari pengecekan P-Delta menghasilkan grafik stabilitas P-Delta dapat dilihat di gambar di bawah ini.

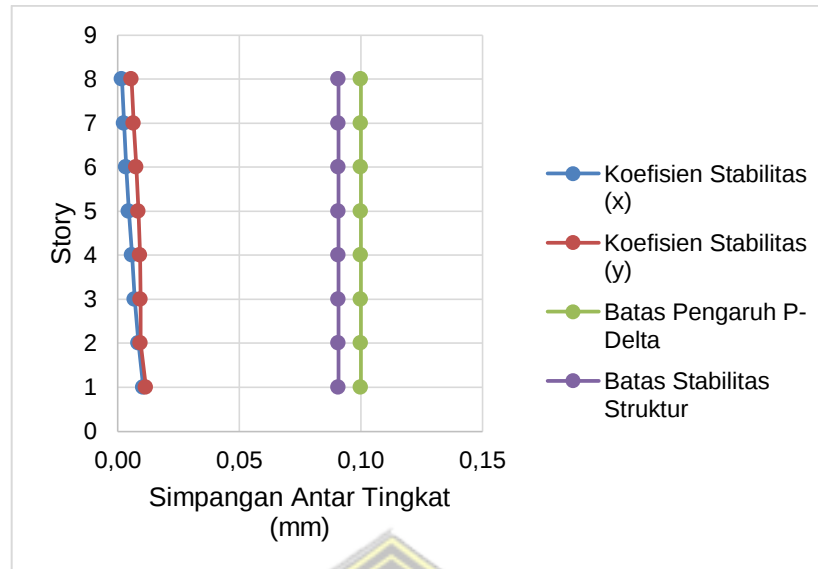


Gambar 4. 22 Cek stabilitas P-Delta Gedung 8 Lantai Tanpa Base Isolator

Tabel 4. 32 Pengecekan P-Delta Gedung 8 Lantai Dengan Base Isolator

Story	Inelastic Drift		Story Forces			h (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_x (mm)	Δ_y (mm)	P (kN)	V_x (kN)	V_y (kN)		θ_X	θ_Y			
8	4.186	13.019	8498.2954	1070.9714	1043.734	3400	0.0018	0.0057	0.1	0.0909	OK
7	5.670	13.965	12932.4168	1506.4897	1466.95	3400	0.0026	0.0066	0.1	0.0909	OK
6	7.161	14.828	17360.1788	1867.1683	1816.645	3400	0.0036	0.0076	0.1	0.0909	OK
5	8.553	15.296	21792.6992	2156.6697	2096.579	3400	0.0046	0.0085	0.1	0.0909	OK
4	9.834	15.230	26225.2197	2377.7168	2309.621	3400	0.0058	0.0092	0.1	0.0909	OK
3	10.824	14.223	30664.838	2534.2785	2459.88	3400	0.0070	0.0095	0.1	0.0909	OK
2	11.996	12.727	35104.4562	2630.6777	2551.854	3400	0.0086	0.0094	0.1	0.0909	OK
1	13.167	14.223	39472.1941	2673.4008	2592.216	3400	0.0104	0.0116	0.1	0.0909	OK

Dari pengecekan P-Delta menghasilkan grafik stabilitas P-Delta dapat dilihat di gambar di bawah ini.

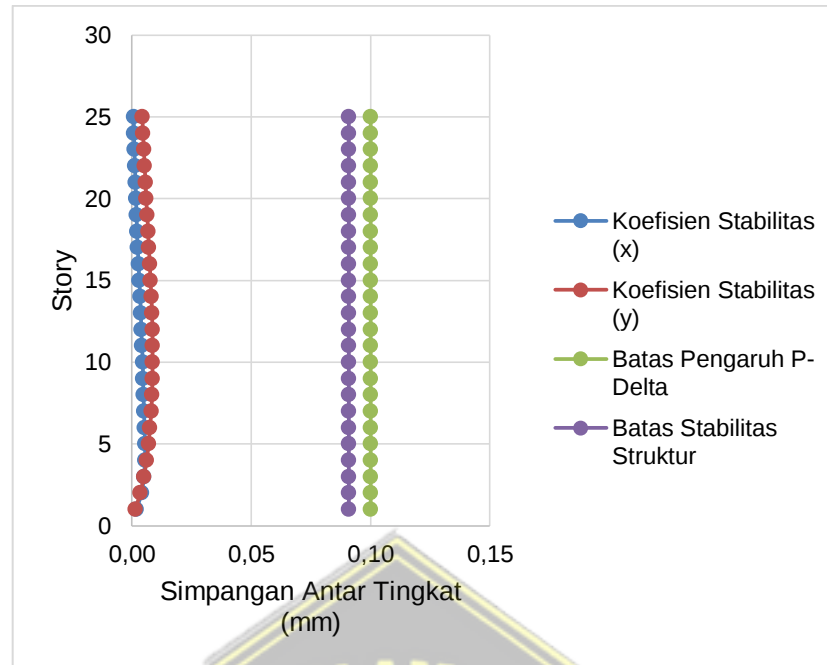


Gambar 4. 23 Cek stabilitas P-Delta Gedung 8 Lantai Dengan Base Isolator

Tabel 4.32. Pengecekan P-Delta Gedung 25 Lantai Tanpa Base Isolator

Story	Inelastic Drift		Story Forces			h (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_x	θ_y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
25	1.887	13.096	4062.848	527.9662	648.5428	3400	0.0008	0.0044	0.1	0.0909	OK
24	2.150	13.338	8492.895	1069.939	1285.591	3400	0.0009	0.0047	0.1	0.0909	OK
23	2.514	13.629	12922.94	1596.085	1877.705	3400	0.0011	0.0050	0.1	0.0909	OK
22	2.921	13.981	17352.99	2106.358	2429.069	3400	0.0013	0.0053	0.1	0.0909	OK
21	3.349	14.355	21783.04	2600.443	2943.186	3400	0.0015	0.0057	0.1	0.0909	OK
20	3.795	14.751	26213.09	3078.055	3423.147	3400	0.0017	0.0060	0.1	0.0909	OK
19	4.246	15.142	30643.13	3538.982	3871.746	3400	0.0020	0.0064	0.1	0.0909	OK
18	4.697	15.510	35073.18	3983.032	4291.514	3400	0.0022	0.0068	0.1	0.0909	OK
17	5.165	15.835	39503.23	4409.982	4684.704	3400	0.0025	0.0071	0.1	0.0909	OK
16	5.654	16.104	43937.35	4820.058	5053.914	3400	0.0028	0.0075	0.1	0.0909	OK
15	7.370	19.234	48376.97	5216.649	5403.859	4000	0.0031	0.0078	0.1	0.0909	OK
14	8.030	19.432	52881.39	5593.601	5729.68	4000	0.0035	0.0082	0.1	0.0909	OK
13	8.558	19.470	57385.81	5946.305	6029.418	4000	0.0038	0.0084	0.1	0.0909	OK
12	8.998	19.327	61881.11	6273.726	6303.56	4000	0.0040	0.0086	0.1	0.0909	OK
11	9.361	18.992	66385.53	6576.469	6553.499	4000	0.0043	0.0087	0.1	0.0909	OK
10	9.631	18.436	70889.95	6853.474	6778.875	4000	0.0045	0.0088	0.1	0.0909	OK
9	9.790	17.617	75394.37	7104.12	6979.447	4000	0.0047	0.0086	0.1	0.0909	OK
8	8.332	14.091	79898.78	7325.564	7153.039	3400	0.0049	0.0084	0.1	0.0909	OK
7	10.082	15.461	84266.52	7524.315	7305.857	4000	0.0051	0.0081	0.1	0.0909	OK
6	10.230	14.091	88783.59	7697.555	7435.338	4000	0.0054	0.0076	0.1	0.0909	OK
5	10.120	12.502	93300.66	7838.848	7537.644	4000	0.0055	0.0070	0.1	0.0909	OK
4	9.686	10.626	97817.73	7946.657	7612.88	4000	0.0054	0.0062	0.1	0.0909	OK
3	8.723	8.388	102334.8	8020.364	7662.24	4000	0.0051	0.0051	0.1	0.0909	OK
2	6.831	5.693	107333.47	8061.334	7688.598	4000	0.0041	0.0036	0.1	0.0909	OK
1	3.201	2.343	111936.90	8074.994	7697.252	4000	0.0020	0.0015	0.1	0.0909	OK

Dari pengecekan P-Delta menghasilkan grafik stabilitas P-Delta dapat dilihat di gambar di bawah ini.

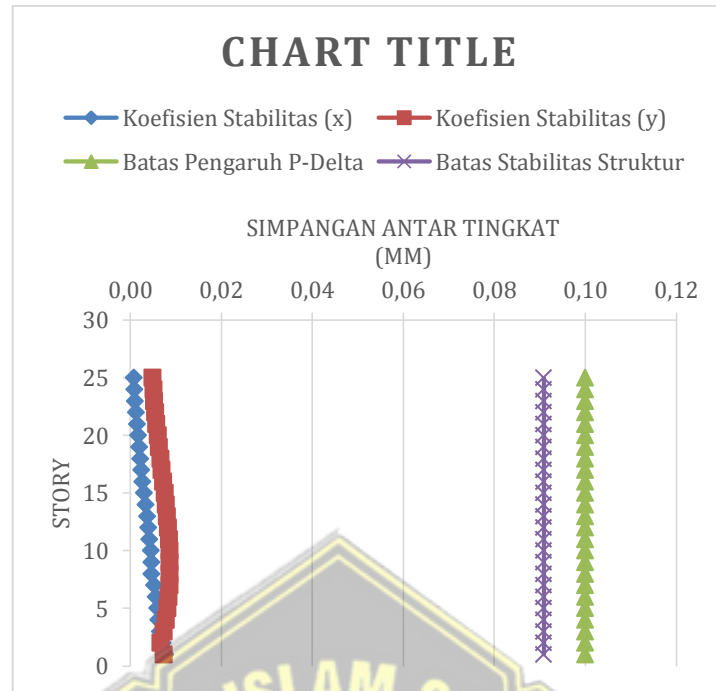


Gambar 4. 24 Cek stabilitas P-Delta Gedung 25 Lantai Tanpa Base Isolator

Tabel 4. 33 Pengecekan P-Delta Gedung 25 Lantai Dengan Base Isolator

Story	Inelastic Drift		Story Forces			h (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_x	θ_y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
25	1.034	7.915	4062.848	297.5345	348.4231	3400	0.0008	0.0049	0.1	0.0909	OK
24	1.182	7.942	3492.895	609.2029	703.6593	3400	0.0009	0.0051	0.1	0.0909	OK
23	1.403	8.019	12922.94	916.8685	1044.734	3400	0.0011	0.0053	0.1	0.0909	OK
22	1.650	8.162	17352.99	1219.981	1371.404	3400	0.0013	0.0055	0.1	0.0909	OK
21	1.914	8.338	21783.04	1518.0135	1683.611	3400	0.0015	0.0058	0.1	0.0909	OK
20	2.194	8.541	26213.09	1810.507	1981.548	3400	0.0017	0.0060	0.1	0.0909	OK
19	2.464	8.745	30643.13	2097.089	2265.65	3400	0.0019	0.0063	0.1	0.0909	OK
18	2.750	8.954	35073.18	2377.4539	2536.329	3400	0.0022	0.0066	0.1	0.0909	OK
17	3.036	9.163	39503.23	2651.3459	2794.03	3400	0.0024	0.0069	0.1	0.0909	OK
16	3.344	9.377	43937.35	2918.8739	3039.672	3400	0.0027	0.0072	0.1	0.0909	OK
15	4.405	11.253	48376.97	3182.3527	3276.018	4000	0.0030	0.0076	0.1	0.0909	OK
14	4.846	11.435	52881.39	3439.408	3500.881	4000	0.0034	0.0079	0.1	0.0909	OK
13	5.214	11.539	57385.81	3687.1979	3712.795	4000	0.0037	0.0081	0.1	0.0909	OK
12	5.544	11.578	61881.11	3925.2263	3912.258	4000	0.0040	0.0083	0.1	0.0909	OK
11	5.836	11.539	66385.53	4154.2448	4100.71	4000	0.0042	0.0085	0.1	0.0909	OK
10	6.100	11.424	70889.95	4373.8893	4278.578	4000	0.0045	0.0086	0.1	0.0909	OK
9	6.303	11.204	75394.37	4584.207	4446.609	4000	0.0047	0.0086	0.1	0.0909	OK
8	5.285	9.339	79898.79	4783.3209	4604.08	3400	0.0047	0.0087	0.1	0.0909	OK
7	6.892	10.670	84266.52	4974.8122	4755.163	4000	0.0053	0.0086	0.1	0.0909	OK
6	7.172	10.269	88783.59	5160.9732	4902.136	4000	0.0056	0.0085	0.1	0.0909	OK
5	7.425	9.752	93300.66	5337.0954	5042.241	4000	0.0059	0.0082	0.1	0.0909	OK
4	7.662	9.141	97817.73	5502.7499	5175.846	4000	0.0062	0.0079	0.1	0.0909	OK
3	7.931	8.393	102334.8	5657.4146	5303.076	4000	0.0065	0.0074	0.1	0.0909	OK
2	8.503	7.453	106851.9	5800.4	5423.675	4000	0.0071	0.0067	0.1	0.0909	OK
1	9.048	8.091	111359.8	5930.4053	5536.322	4000	0.0077	0.0074	0.1	0.0909	OK

Dari pengecekan P-Delta menghasilkan grafik stabilitas P-Delta dapat dilihat di gambar di bawah ini.



Gambar 4. 25 Cek stabilitas P-Delta Gedung 8 Lantai Dengan Base Isolator

4.4.14. Cek Ketidakberaturan Struktur

Menurut Standar Nasional Indonesia 1726 Tahun 2019 ketidakberaturan struktur apabila pada suatu bangunan melebihi batas-batas maka perlu dilakukan prosedur analisis yang telah ditetapkan dalam tabel tigabelas serta tabel 14 Standar Nasional Indonesia 1726 Tahun 2019.

1. Ketidakberaturan Horizontal 1a serta 1b

Tipe ketidakberaturan torsi 1a serta torsi 1b ditentukan berdasarkan defleksi maks ($\delta_{\max}$), defleksi min ($\delta_{\min}$), serta defleksi rata-rata (δ_{avg}).

$$\delta_{\max} < 1,2 \delta_{\text{avg}} \quad = \text{tanpa ketidakberaturan torsi}$$

$$1,2 \delta_{\text{avg}} < \delta_{\max} < 1,4 \delta_{\text{avg}} \quad = \text{ketidakberaturan torsi 1a}$$

$$\delta_{\max} > 1,4 \delta_{\text{avg}} \quad = \text{ketidakberaturan 1b}$$

Dari hasil perhitungan mendapatkan ketidakberaturan horizontal dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 34 Ketidakberaturan Horizontal (Gedung 8 Lantai Tanpa Base Isolator)

Lantai	Arah X		Arah Y	
	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek
8	1.044	Oke	1.231	Oke
7	1.022	Oke	1.135	Oke
6	1.019	Oke	1.123	Oke
5	1.016	Oke	1.111	Oke
4	1.014	Oke	1.112	Oke
3	1.011	Oke	1.091	Oke
2	1.016	Oke	1.082	Oke
1	1.017	Oke	1.08	Oke

Tabel 4. 35 Ketidakberaturan Horizontal (Gedung 8 Lantai Dengan Base Isolator)

Lantai	Arah X		Arah Y	
	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek
8	1.034	Oke	1.193	Oke
7	1.024	Oke	1.182	Oke
6	1.02	Oke	1.173	Oke
5	1.018	Oke	1.146	Oke
4	1.016	Oke	1.134	Oke
3	1.014	Oke	1.123	Oke
2	1.02	Oke	1.16	Oke
1	1.035	Oke	1.15	Oke

Tabel 4. 36 Ketidakberaturan Horizontal (Gedung 25 Lantai Tanpa Base Isolator)

Lantai	Arah X		Arah Y	
	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek
25	1.016	Oke	1.262	Oke
24	1.014	Oke	1.257	Oke
23	1.011	Oke	1.251	Oke
22	1.01	Oke	1.245	Oke
21	1.008	Oke	1.239	Oke
20	1.007	Oke	1.232	Oke
19	1.007	Oke	1.226	Oke
18	1.006	Oke	1.22	Oke

Lantai	Arah X		Arah Y	
	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek
17	1.006	Oke	1.213	Oke
16	1.005	Oke	1.207	Oke
15	1.004	Oke	1.199	Oke
14	1.004	Oke	1.192	Oke
13	1.003	Oke	1.184	Oke
12	1.003	Oke	1.175	Oke
11	1.003	Oke	1.165	Oke
10	1.002	Oke	1.154	Oke
9	1.002	Oke	1.141	Oke
8	1.002	Oke	1.126	Oke
7	1.001	Oke	1.11	Oke
6	1.001	Oke	1.096	Oke
5	1	Oke	1.084	Oke
4	1	Oke	1.074	Oke
3	1	Oke	1.066	Oke
2	1	Oke	1.058	Oke
1	1	Oke	1.052	Oke

Tabel 4. 37 Ketidakberaturan Horizontal (Gedung 25 Lantai Dengan Base Isolator)

Lantai	Arah X		Arah Y	
	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek
25	1.068	Oke	1.224	Oke
24	1.037	Oke	1.211	Oke
23	1.025	Oke	1.206	Oke
22	1.018	Oke	1.203	Oke
21	1.011	Oke	1.201	Oke
20	1.004	Oke	1.197	Oke
19	1.001	Oke	1.193	Oke
18	1.002	Oke	1.189	Oke
17	1.001	Oke	1.184	Oke
16	1.006	Oke	1.179	Oke
15	1.004	Oke	1.172	Oke
14	1.002	Oke	1.167	Oke
13	1.001	Oke	1.16	Oke
12	1.001	Oke	1.153	Oke
11	1.001	Oke	1.145	Oke

Lantai	Arah X		Arah Y	
	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek
10	1.002	Oke	1.137	Oke
9	1.002	Oke	1.123	Oke
8	1.017	Oke	1.112	Oke
7	1.005	Oke	1.094	Oke
6	1.007	Oke	1.086	Oke
5	1.006	Oke	1.078	Oke
4	1.014	Oke	1.075	Oke
3	1.026	Oke	1.072	Oke
2	1.052	Oke	1.062	Oke
1	1.062	Oke	1.058	Oke

Berdasarkan hasil pengecekan ketidakberaturan horizontal tidak terdapat ketidakberaturan torsi 1a, maka tidak diperlukan analisis tambahan berdasarkan pasal referensi pada tabel 13 SNI 1726:2019. Berikut merupakan konsekuensi yang harus diperhatikan untuk ketidakberaturan horizontal jika terjadi torsi 1a:

- Pada pasal 11.3.4 Standar Nasional Indonesia 1726:2019, diperlukan penambahan eksentrisitas tidak terduga yaitu perpindahan sebesar 5% dimensi dari diafragma struktur, tapi tidak wajib dilaksanakan saat kedua arah ortogonal dengan bersama-sama.
- Pada pasal 7.8.4.3 Standar Nasional Indonesia 1726 Tahun 2019, diperlukan pembesaran momen torsi tak terduga dengan faktor pembesaran torsi A_x yang ditentukan dari persamaan berikut:

$$A_x = \left(\frac{\delta_{\max}}{1,2\delta_{\text{avg}}} \right)^2$$

Jika Hasil dari perhitungan A_x masih mendekati 1, maka konsekuensi untuk ketidakberaturan horizontal tipe 1a dengan memberikan pembesaran momen torsi tak terduga dapat diabaikan.

2. Ketidakberaturan Vertikal

Ketidakberaturan vertikal ialah ketika suatu kekakuan memiliki batasan kekakuan, massa, bagian struktur, dan letak struktur pada setiap tingkat yang melebihi batasan pada tabel 14 SNI 1726:2019. Ketidakteraturan ini dikatakan terjadi jika tingkat kekakuan lateral

kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau 80% dari kekakuan rata-rata ketiga tingkat di atasnya. Tabel di bawah ini menunjukkan temuan.

Tabel 4. 38 Cek Ketidakberaturan Stuktur Vertikal (Gedung 8 Lantai Tanpa Base Isolator)

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan	Cek	Kekakuan	Cek
	kN/m		kN/m	
8	1065444.32	Oke	555372.568	Oke
7	1129260.72	Oke	728108.581	Oke
6	1149009.97	Oke	861068.885	Oke
5	1163885.22	Oke	987166.692	Oke
4	1186797.55	Oke	1155368.39	Oke
3	1231684.73	Oke	1394536.82	Oke
2	1369457.58	Oke	1914125.17	Oke
1	2263050.62	Oke	4085068.78	Oke

Tabel 4. 39 Cek Ketidakberaturan Stuktur Vertikal (Gedung 8 Lantai Dengan Base Isolator)

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan	Cek	Kekakuan	Cek
	kN/m		kN/m	
8	1062307.07	Oke	547136.453	Oke
7	1126367.53	Oke	716679.939	Oke
6	1145761.68	Oke	845767.121	Oke
5	1158385.55	Oke	965731.635	Oke
4	1176898.76	Oke	1122056.4	Oke
3	1199716.87	Oke	1334996.47	Oke
2	1228673.61	Oke	1774413.2	Oke
1	1362261.36	Oke	3137915.39	Oke

Tabel 4. 40 Cek Ketidakberaturan Stuktur Vertikal (Gedung 25 Lantai Tanpa Base Isolator)

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan	Cek	Kekakuan	Cek
	kN/m		kN/m	
25	1939329.493	Oke	454188.553	Oke
24	3322156.531	Oke	893295.594	Oke

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan	Cek	Kekakuan	Cek
23	4107490.87	Oke	1286514.552	Oke
22	4545737.924	Oke	1631771.166	Oke
21	4799044.425	Oke	1932298.06	Oke
20	4951001.894	Oke	2193479.021	Oke
19	5041655.261	Oke	2421524.418	Oke
18	5088052.905	Oke	2622683.968	Oke
17	5093411.746	Oke	2802878.149	Oke
16	5050243.002	Oke	2969568.153	Oke
15	4164329.32	Oke	2648268.99	Oke
14	4081793.031	Oke	2766634.839	Oke
13	4055601.946	Oke	2889435.057	Oke
12	4057555.882	Oke	3021171.547	Oke
11	4078739.598	Oke	3169202.025	Oke
10	4119309.833	Oke	3342480.829	Oke
9	4189813.21	Oke	3555208.593	Oke
8	5059049.379	Oke	4487145.584	Oke
7	4273099.254	Oke	4107900.184	Oke
6	4288285.169	Oke	4515193.981	Oke
5	4393253.906	Oke	5090308.51	Oke
4	4634942.476	Oke	5976671.57	Oke
3	5175490.385	Oke	7538094.426	Oke
2	6622131.258	Oke	11024992.77	Oke
1	14114784.24	Oke	26574672.48	Oke

Tabel 4. 41 Cek Ketidakberaturan Stuktur Vertikal (Gedung 25 Lantai Dengan Base Isolator)

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan	Cek	Kekakuan	Cek
	kN/m		kN/m	
25	1707341.637	Oke	372814.524	Oke
24	2992247.022	Oke	736624.511	Oke
23	3759003.65	Oke	1071046.426	Oke
22	4221605.733	Oke	1371568.931	Oke
21	4499998.758	Oke	1637132.244	Oke
20	4678399.681	Oke	1863866.435	Oke
19	4790510.798	Oke	2067330.68	Oke
18	4854013.864	Oke	2246579.214	Oke
17	4876137.06	Oke	2400127.16	Oke

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan	Cek	Kekakuan	Cek
16	4834080.868	Oke	2531912.394	Oke
15	4018263.725	Oke	2256653.222	Oke
14	3939690.146	Oke	2354296.71	Oke
13	3916258.858	Oke	2450123.449	Oke
12	3918273.92	Oke	2546725.27	Oke
11	3936138.318	Oke	2647494.762	Oke
10	3967657.852	Oke	2755766.965	Oke
9	4023338.706	Oke	2870858.809	Oke
8	4885865.241	Oke	3500326.017	Oke
7	4024883.719	Oke	3100189.466	Oke
6	3991710.126	Oke	3270776.267	Oke
5	3972592.453	Oke	3464861.726	Oke
4	3920820.902	Oke	3725841.377	Oke
3	3848946.739	Oke	4010574.74	Oke
2	3796780.387	Oke	3925272.095	Oke
1	822981.404	Oke	2859836.371	Oke

3. Ketidakberaturan Berat (Massa)

Ketidakberaturan berat (Massa) diartikan jika massa efektif di sebrang tingkat lebih dari 150% massa efektif di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu dianalisa. Hasil dari ketidakberaturan berat (massa) bisa diketahui dari tabel di bawah ini.

Tabel 4. 42 Cek Ketidakberaturan Berat (Massa) (Gedung 8 Lantai Tanpa Base Isolator)

Lantai	Massa	Cek
	Kg	
8	334456.43	Oke
7	334606.64	Oke
6	334130.79	Oke
5	334509.2	Oke
4	334509.2	Oke
3	335034.07	Oke
2	335034.07	Oke
1	335304.17	Oke

Tabel 4. 43 Cek Ketidakberaturan Berat (Massa) (Gedung 8 Lantai Dengan Base Isolator)

Lantai	Massa	Cek
	kg	
8	334456.43	Oke
7	334606.64	Oke
6	334130.79	Oke
5	334509.2	Oke
4	334509.2	OK
3	335034.07	OK
2	335034.07	OK
1	335304.17	OK

Tabel 4. 44 Cek Ketidakberaturan Berat (Massa) (Gedung 25 Lantai Tanpa Base Isolator)

Lantai	Massa	Cek
	kg	
25	315459.12	Oke
24	334181.11	Oke
23	334181.11	Oke
22	334181.11	Oke
21	334181.11	Oke
20	334181.11	Oke
19	334181.11	Oke
18	334181.11	Oke
17	334181.11	Oke
16	334606.64	Oke
15	338851.87	Oke
14	342155.75	Oke
13	342155.75	Oke
12	342155.75	Oke
11	342155.75	Oke
10	342155.75	Oke
9	342155.75	Oke
8	338851.87	Oke
7	343201.46	Oke
6	350815.46	Oke
5	350815.46	Oke

4	350815.46	Oke
3	350815.46	Oke
2	350815.46	Oke
1	350815.46	Oke

Tabel 4. 45 Cek Ketidakberaturan Berat (Massa) (Gedung 25 Lantai Dengan Base Isolator)

Lantai	Massa	Cek
	kg	
25	315459.12	Oke
24	334181.11	Oke
23	334181.11	Oke
22	334181.11	Oke
21	334181.11	Oke
20	334181.11	Oke
19	334181.11	Oke
18	334181.11	Oke
17	334181.11	Oke
16	334606.64	Oke
15	338337.95	Oke
14	341641.83	Oke
13	341641.83	Oke
12	341087.18	Oke
11	341641.83	Oke
10	341641.83	Oke
9	341641.83	Oke
8	338337.95	Oke
7	337937.77	Oke
6	345551.76	Oke
5	345551.76	Oke
4	345551.76	Oke
3	345551.76	Oke
2	345551.76	Oke
1	344997.11	Oke

4. Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat

Ketidakberaturan diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang merupakan ketidakberaturan vertikal tipe 5a dan 5b dapat ditentukan berdasarkan kekuatan lateral pada suatu tingkat yang ditinjau. Berikut merupakan ketentuan ketidakberaturan vertikal

tipe 5a dan 5b:

$$V_x < 80\% V_{(x+1)} = \text{Ketidakberaturan Vertikal 5a}$$

$$V_x < 60\% V_{(x+1)} = \text{Ketidakberaturan Vertikal 5b}$$

Keterangan:

V = Kekuatan lateral

x = Nomor tingkat lantai

Adapun hasil dari Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 46 Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat (Gedung 8 Lantai Tanpa *Base Isolator*)

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan kN	Cek	Kekuatan kN	Cek
8	1074.2285	OK	1076.387	OK
7	1526.2928	OK	1528.8925	OK
6	1910.9047	OK	1913.5666	OK
5	2229.6021	OK	2232.0097	OK
4	2482.5862	OK	2484.4957	OK
3	2670.9401	OK	2672.1957	OK
2	2795.3073	OK	2795.8702	OK
1	2857.289	OK	2857.2888	OK

Tabel 4. 47 Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat (Gedung 8 Lantai Dengan *Base Isolator*)

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan kN	Cek	Kekuatan kN	Cek
8	1074.2285	OK	1079.3802	OK
7	1526.2928	OK	1532.4945	OK
6	1910.9047	OK	1917.2514	OK
5	2229.6021	OK	2235.3385	OK
4	2482.5862	OK	2487.1319	OK
3	2670.9401	OK	2673.9261	OK
2	2795.3073	OK	2796.6441	OK
1	2857.289	OK	2857.2888	OK

**Tabel 4. 48 Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat
(Gedung 25 Lantai Tanpa *Base Isolator*)**

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan	Cek	Kekuatan	Cek
	Kn		kN	
25	609.6449	OK	591.3032	OK
24	1227.9491	OK	1190.0757	OK
23	1818.9117	OK	1761.4495	OK
22	2382.7196	OK	2305.6564	OK
21	2919.5656	OK	2822.9353	OK
20	3429.6495	OK	3313.5334	OK
19	3913.1782	OK	3777.7062	OK
18	4370.3667	OK	4215.7187	OK
17	4801.4387	OK	4627.8459	OK
16	5207.143	OK	5014.866	OK
15	5591.4114	OK	5380.586	OK
14	5948.9284	OK	5719.8554	OK
13	6276.3239	OK	6029.5684	OK
12	6573.5209	OK	6309.763	OK
11	6841.9207	OK	6561.8768	OK
10	7081.5078	OK	6786.0178	OK
9	7292.7892	OK	6982.7945	OK
8	7474.543	OK	7151.224	OK
7	7633.2206	OK	7297.566	OK
6	7768.6045	OK	7421.6227	OK
5	7877.8927	OK	7521.0064	OK
4	7961.9853	OK	7596.7677	OK
3	8021.9678	OK	7650.1613	OK
2	8059.2255	OK	7682.7686	OK
1	8075.7062	OK	7696.7802	OK

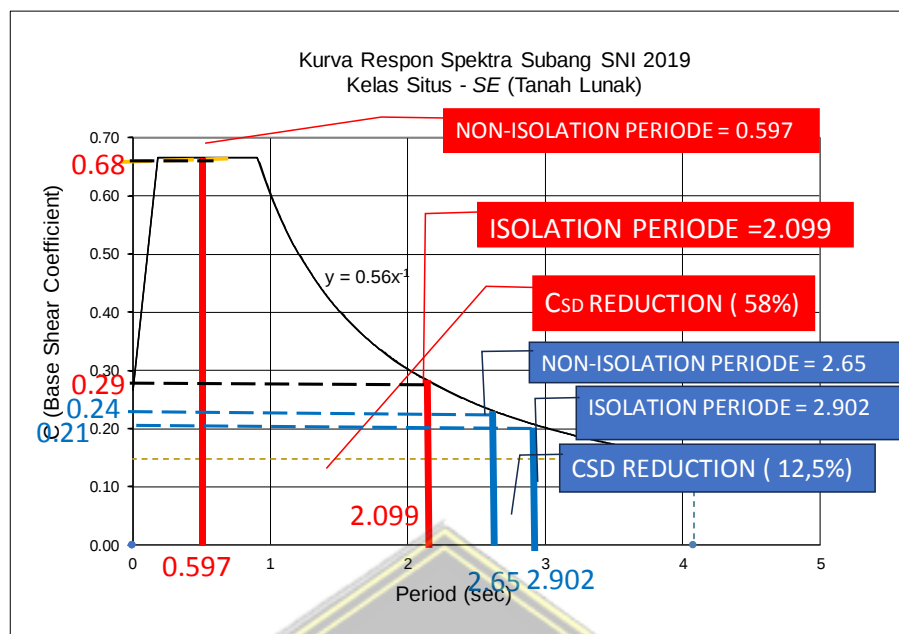
**Tabel 4. 49 Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat
(Gedung 25 Lantai Dengan *Base Isolator*)**

Lantai	Arah X	Arah Y
--------	--------	--------

	Kekuatan kN	Cek	Kekuatan kN	Cek
25	1707341.637		372814.524	
24	2992247.022	OK	736624.511	OK
23	3759003.65	OK	1071046.426	OK
22	4221605.733	OK	1371568.931	OK
21	4499998.758	OK	1637132.244	OK
20	4678399.681	OK	1863866.435	OK
19	4790510.798	OK	2067330.68	OK
18	4854013.864	OK	2246579.214	OK
17	4876137.06	OK	2400127.16	OK
16	4834080.868	OK	2531912.394	OK
15	4018263.725	OK	2256653.222	OK
14	3939690.146	OK	2354296.71	OK
13	3916258.858	OK	2450123.449	OK
12	3918273.92	OK	2546725.27	OK
11	3936138.318	OK	2647494.762	OK
10	3967657.852	OK	2755766.965	OK
9	4023338.706	OK	2870858.809	OK
8	4885865.241	OK	3500326.017	OK
7	4024883.719	OK	3100189.466	OK
6	3991710.126	OK	3270776.267	OK
5	3972592.453	OK	3464861.726	OK
4	3920820.902	OK	3725841.377	OK
3	3848946.739	OK	4010574.74	OK
2	3796780.387	OK	3925272.095	OK
1	822981.404	OK	2859836.371	OK

4.5. Efektivitas Penggunaan *Base Isolator*

Dari beberapa percobaan pemodelan yang telah dilakukan didapatkan hasil yang paling efisien yaitu pemodelan dengan bangunan yang rendah, semakin tinggi Gedung penggunaan *Base Isolator* justru tidak tepat. Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada rekapan hasil percobaan pemodelan yang ditampilkan dalam bentuk grafik dibawah ini.



Gambar 4. 26 Rekap Hasil Perbandingan Gedung 8 Lantai dan 25 Lantai



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Analisa Respon Struktur berupa Simpangan antar lantai sesuai dengan peraturan SNI 1726-2019. Simpangan Antar Lantai (*story drift*) struktur dengan *Base Isolator* lebih kecil daripada struktur tanpa base Isolator dengan rata-rata reduksi sebesar 26% untuk arah X dan 22% untuk arah Y pada Gedung 8 lantai. Sedangkan untuk Gedung 25 Simpangan Antar Lantai rata-rata reduksi sebesar 2% untuk arah X dan 23% untuk arah Y Artinya keberadaan *Base Isolator* dapat mengurangi Simpangan antar tingkat pada struktur sehingga gaya-gaya yang diterima elemen struktur dan tingkat kerusakan struktur secara keseluruhan akan berkurang.

Analisa Efektivitas Penggunaan *Base Isolator* pada Percobaan Gedung 8 Lantai dan 25 lantai tanpa *Base Isolator* maupun dengan *Base Isolator*. Periode Getar Gedung 8 Lantai tanpa *Base Isolator* arah X adalah 0.597s dan saat ditambahkan *Base Isolator* Menjadi 2,096s Reduction Sebesar 58% sedangkan Periode Getar Gedung 25 Lantai tanpa *Base Isolator* arah X yaitu 2,65s dan yang telah diberi *Base Isolator* sebesar 2,902s Reduction Sebesar 12,5%. Kesimpulannya semakin Tinggi Bangunan Tingkat Reduction justru semakin kecil atau kurang bermanfaat penggunaan *Base Isolator*.

5.2. Saran

Penelitian ini masih dapat dikembangkan dengan melakukan cek Momen yang terjadi pada gedung tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrian, W., Faimun, F., & Wahyuni, E. (2017). Evaluasi Kinerja Gedung Menggunakan Base Isolation Tipe High Damping Rubber Bearing (HDRB) Pada Modifikasi Gedung J-Tos Jogjakarta Dengan Perencanaan Analisa Pushover. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2).
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.26356>
- Arifin, Z. (2015). Analisis Struktur Gedung POP Hotel Terhadap Beban Gempa Dengan Metode Pushover Analysis. *Jrsdd*, 3(3), 427–440.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. *Sni 2847-2019*, 8, 720.
- Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain SNI 1727-2020. (2020). Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. *Badan Standarisasi Nasional 1727:2020*, 8, 1–336.
- Budiono, B., & Setiawan, A. (2014). Studi Komparasi Sistem Isolasi Dasar High-Damping Rubber Bearing dan Friction Pendulum System pada Bangunan Beton Bertulang. *Jurnal Teknik Sipil*, 21(3), 179.
<https://doi.org/10.5614/jts.2014.21.3.1>
- Madra, Y. M. (2003). Encircling the real. *Rethinking Marxism*, 15(3), 316–325.
<https://doi.org/10.1080/0893569032000131613>
- Mayanti, P. D. S., & Nurmaidah, N. (2021). Evaluasi Perencanaan Pelat Lantai Pada Gedung Yayasan Pendidikan Saffiyatul Amaliyyah Jalan Kemuning Medan. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*, 04, 9–20.
<https://doi.org/10.54367/jrkms.v4i1.1166>
- Muliadi., dan Afifuddin, M., dan Aulia, B. (2017), “Analisis simpangan antar lantai pada bangunan menggunakan base isolator di wilayah gempa”, 3(4) Sni 1726:2019. (2019). Sni 1726:2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*, 8, 254.
- Sudarman, ., Manalip, H., Windah, R. S., & Dapas, S. O. (2014). Analisis Pushover Pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium. *Jurnal Sipil Statik*, 2(4), 201–213.
<https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/jss/article/view/5239>

Wicaksana, A., & Rachman, T. (2018). 濟無No Title No Title No Title.
Angewandte Chemie International Edition, 6(11), 951–952., 3(1), 10–27.
<https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
Hengshui JingTong Rubber Co., Ltd.. (2023). Diakses pada 3 Maret 2023 dari
<https://www.bearing-pad.com/bearingpad/highdamping-rubber-bearing.html>

