

## **TUGAS AKHIR**

# **ANALISIS KINERJA *LEAD RUBBER BEARING* PADA BANGUNAN BETON BERTULANG DENGAN METODE ANALISA *PUSH OVER***

Diajukan Sebagai Persyaratan Mengikuti Kurikulum pada Fakultas Teknik  
Jurusan Teknik Sipil Universitas Sangga Buana - YPKP Bandung



Disusun oleh

**Mochamad Iqbal Hidayat**

NIM. 2112201106

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SANGGA BUANA YPKP  
(YAYASAN PENDIDIKAN KEUANGAN DAN PERBANKAN)**

**2025**

## LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

### ANALISIS KINERJA *LEAD RUBBER BEARING* PADA BANGUNAN BETON BERTULANG DENGAN METODE ANALISA *PUSHOVER*

Oleh :

**MOCHAMAD IQBAL HIDAYAT**

**2112201106**

Naskah Tugas Akhir ini diperiksa dan disetujui sebagai kelengkapan persyaratan kelulusan guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil Program Studi Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP Bandung

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Sipil

**Dr. Muhammad Ryanto, S.T., M.T.**

NIP. 432.200.175

**Muhammad Syukri, S.T., M.T.**

NIP. 432.200.200

## **LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI**

Tugas Akhir ini telah dipertahankan dan diperbaiki sesuai dengan masukan Dewan Penguji Tugas Akhir Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.

Mengesahkan,

Program Studi Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP  
Bandung

**Penguji 1**

**Penguji 2**

**Ir. Adriadi, S.T., M.T., Ph.D.**

**NIP. 432.200.249**

**Ir. Yanti Irawati, S.T., M.T.**

**NIP. 432.200.198**

Ketua Program Studi Teknik Sipil  
Universitas Sangga Buana YPKP

**Muhammad Syukri, S.T., M.T.**

**NIP. 432.200.200**

## LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Mochamad Iqbal Hidayat  
NPM : 2112201106  
Program Studi : Teknik Sipil  
E-mail : i.muhamad2310@gmail.com

Menyatakan bahwa judul **ANALISIS KINERJA LEAD RUBBER BEARING PADA BANGUNAN BETON BERTULANG DENGAN METODE ANALISA PUSHOVER** adalah naskah asli hasil karya penulis sendiri bukan merupakan plagiat. Baik sebagian maupun seluruhnya dan belum pernah dipublikasikan di media manapun. Apabila dikemudian hari terbukti tugas akhir ini adalah hasil jiplakan dari karya tulis orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh dan sanksi lain sesuai peraturan yang berlaku. Demikian surat pernyataan ini, saya tulis sebagai bentuk tanggung jawab atas karya tulis yang saya buat.

Bandung, Februari 2025



Mochamad Iqbal Hidayat

NPM. 2112201106

**Halaman Hak Cipta**

Mahasiswa S1

---

**ANALISIS PENGARUH HIGH DAMPING RUBBER BEARING  
PADA STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG DENGAN  
METODE ANALISA PUSHOVER**

Oleh :

**Mochamad Iqbal Hidayat**

Naskah Tugas Akhir yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik

© Mochamad Iqbal Hidayat 2025

Universitas Sangga Buana – YPKP

2025

Hak Cipta dilindungi Undang – Undang

Tugas Akhir ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian dengan dicetak ulang, fotokopi, dan atau cara lainnya tanpa izin dari penulis

## ABSTRAK

Indonesia terletak di wilayah pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik, yang membuat negara ini sangat rentan terhadap gempa bumi. Jawa Barat, sebagai salah satu wilayah dengan aktivitas seismik tinggi, mencatat 1.155 gempa sepanjang tahun 2023. Dengan meningkatnya kebutuhan akan pembangunan vertikal akibat urbanisasi dan pertumbuhan sektor pariwisata, teknologi konstruksi tahan gempa menjadi sangat penting. Salah satu inovasi teknologi yang digunakan adalah *base isolator*, khususnya *Lead Rubber Bearing (LRB)*, yang mampu mereduksi gaya gempa melalui penyerap energi di bagian intinya.

Penelitian ini menggunakan metode analisis *pushover* untuk mengevaluasi kinerja struktur bangunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gedung yang menggunakan *base isolation* memiliki level kinerja *Immediate Occupancy*, sedangkan gedung dengan *fix base* hanya mencapai level kinerja *Collapse Prevention*. Selain itu, penggunaan *base isolation* juga mampu mengurangi gaya geser dasar (*base shear*) sebesar 28,95% pada arah X dan 27,70% pada arah Y dibandingkan dengan bangunan *fix base*.

Berdasarkan hasil penelitian, disimpulkan bahwa penerapan teknologi *base isolation* secara signifikan mampu mereduksi gaya seismik, meningkatkan kinerja struktural, dan mendukung keberlanjutan di wilayah dengan risiko gempa tinggi.

**Kata kunci : Gempa, Gedung, Base Isolation, Lead Rubber Bearing, Pushover**

## **ABSTRACT**

*Indonesia is located at the convergence of three major tectonic plates: Indo-Australian, Eurasian, and Pacific plates, making it highly vulnerable to earthquakes. West Java, one of the regions with high seismic activity, recorded 1,155 earthquake events in 2023. With the increasing vertical development driven by urbanization and the growth of the tourism sector, earthquake-resistant construction technology becomes essential. One of the technologies applied is the base isolator, specifically Lead Rubber Bearing (LRB), which is designed to reduce seismic forces through its energy-absorbing mechanism.*

*This study employs the pushover analysis method to evaluate the structural performance of buildings. The results indicate that buildings with base isolation achieve an Immediate Occupancy performance level, while fixed-base buildings only reach the Collapse Prevention level. Furthermore, the use of base isolation reduces base shear by 28,95% in the X-direction and 27.70% in the Y-direction compared to fixed-base buildings.*

*Based on the analysis, the implementation of base isolation technology significantly reduces seismic forces, improves structural performance, and supports the sustainability of buildings in earthquake-prone regions.*

**Keywords: Earthquake, Building, Base Isolation, Lead Rubber Bearing, Pushover.**

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Penyusun panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat-Nya yang dilimpahkan kepada Penyusun sehingga dapat menyelesaikan Tugas akhir ini. Sholawat serta salam Penyusun panjatkan kepada junjungan Nabi besar Muhammad S.A.W dan keluarganya, sahabatnya, serta pengikutnya sampai akhir zaman. Tugas Akhir yang penyusun bahas mengenai “Analisis Kinerja *Lead Rubber Bearing* Pada Bangunan Beton Bertulang Dengan Metode Analisa *Pushover*” yang merupakan persyaratan mengikuti kurikulum pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil. Penyusun menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini tidak sedikit masalah yang dihadapi, oleh karena itu penyusun mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Dr. Didin Saepudin, SE., M.Si. selaku Rektor Universitas Sangga Buana Yayasan Pendidikan Keuangan Dan Perbankan.
  2. Dr. Teguh Nurhadi Suharso, ST., MT selaku wakil Rektor 1 Universitas Sangga Buana Yayasan Pendidikan Keuangan dan Perbankan
  3. Bambang Susanto, SE., M.si. selaku wakil Rektor 2 Universitas Sangga Buana Yayasan Pendidikan Keuangan dan Perbankan
  4. Dr. Nurhaeni Sikki S.AP., M.AP., M.si selaku wakil Rektor 3 Universitas Sangga Buana Yayasan Pendidikan Keuangan dan Perbankan
  5. Slamet Risnanto, ST., M.Kom selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana Yayasan Pendidikan Keuangan dan Perbankan
- Muhammad Syukri, ST.,MT, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Sangga Buana Yayasan Pendidikan Keuangan dan Perbankan

6. Dr. M. Ryanto, ST., MT, selaku dosen wali Teknk Sipil *Weekend* Angkatan 2020 sekaligus dosen pembimbing tugas akhir ini.
7. Bapak, Ibu dan seluruh keluarga tercinta atas dukungan do'a, waktu dan kasih sayang yang tidak pernah putus.
8. Terimakasih banyak juga dihaturkan kepada istri penulis yaitu Sarah Nur Aviati, yang selalu membantu penulis dalam kesulitan apapun yang sedang dihadapi, selalu memberikan dukungan disetiap permasalahan yang sedang dihadapi penulis serta dukungan moril dan materil sampai penulis bisa menyelesaikan karya tulis ini dengan baik.
9. Teman-teman yang penyusun tidak bisa sebutkan satu persatu yang telah memberikan semangat dan bantuan hingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu Penyusun banyak mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan menambah khasanah cakrawala pemikiran bagi pembaca. Segala hormat Penyusun sampaikan Terimakasih.

Bandung, Januari 2025

(Mochamad Iqbal Hidayat)

2112201106

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Kegunaan Penelitian.....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
Bab II LANDASAN TEORI .....	6
2.1. Tinjauan Umum .....	6
2.2. Konsep <i>Base Isolator</i> .....	7
2.3. Jenis – Jenis <i>Base Isolator Rubber Bearing</i> .....	8
2.3.1 <i>Lead Rubber Bearing</i> .....	8
2.3.2 <i>High Damping Rubber Bearing</i> .....	9
2.4. Karakteristik <i>Base Isolation LRB</i> .....	9
2.5. Teori Isolasi Dasar .....	11
2.5.1 Faktor Keutamaan Gempa .....	11
2.5.2 Sistem Isolasi.....	11
2.5.3 Sistem Struktural .....	13
2.5.4 Ketentuan Prosedur Gaya Lateral .....	14
2.5.5 Prosedur Gaya Lateral .....	15
2.5.6 Distribusi Vertikal Gaya.....	22
2.5.7 Batas Simpangan Antar Tingkat .....	23
2.5.8 Prosedur Analisis Dinamik.....	23
2.6. Sistem Rangka Pemikul Momen .....	26
2.6.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) .....	27
2.7. Perencanaan Pembebanan .....	27
2.7.1 Beban Mati .....	28
2.7.2 Beban Hidup.....	28
2.7.3 Beban Gempa .....	30

2.8.	Kombinasi Pembebanan .....	38
2.9.	Analisa Struktur .....	39
2.9.1	Kontrol Rasio Partisipasi Massa .....	39
2.9.2	Kontrol Periode Fundamental .....	39
2.9.3	Kontrol Simpangan Antar Lantai .....	41
2.9.4	Kontrol Gaya Geser Dasar .....	41
2.9.5.	Pengaruh P-Delta .....	42
2.9.6.	Sistem Berderajat Kebebasan Tunggal ( <i>Single Degree of Freedom, SDOF</i> ) .....	43
2.9.7.	Sistem Berderajat Kebebasan Banyak ( <i>Multi Degree of Freedom, MDOF</i> ) .....	44
2.10.	Analisa <i>Pushover</i> .....	45
2.10.1	Tahapan Utama dalam Analisa <i>Pushover</i> .....	46
2.10.2	Waktu Getar Alami Efektif .....	46
2.10.3	Target Perpindahan .....	47
2.10.4	Titik Kinerja Struktur .....	51
2.11.	ETABS v.21 .....	52
2.12.	Penelitian Terdahulu .....	52
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....		56
3.1.	Diagram Alir .....	56
3.2.	Pengumpulan Data .....	57
3.3.	Standar yang Digunakan .....	58
3.4.	Pemodelan Struktur <i>Fixed Base</i> .....	58
3.5.	Pemodelan Struktur dengan <i>Base Isolation</i> .....	58
3.6.	Analisis dan Perhitungan .....	59
3.6.1	Pemodelan dan Pradimensi Struktur Gedung .....	59
3.6.2	Sistem Pembebanan (Beban Hidup dan Beban Mati) .....	66
3.6.3	Analisis Struktur .....	68
3.6.4	Perhitungan Beban Gempa .....	69
3.6.5	Kontrol Desain Struktur <i>Fixed Base</i> .....	70
3.6.6	Desain Dimensi <i>Base Isolator</i> .....	70
3.6.7	Pemodelan Struktur <i>Base Isolation</i> .....	71
3.6.8	Kontrol Desain Struktur <i>Base Isolation</i> .....	71
3.6.9	Analisa <i>Pushover</i> .....	71
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		75
4.1.	Desain Awal .....	75
4.2.	Desain Struktur <i>Fixed Base</i> .....	75
4.2.1.	Permodelan Struktur .....	75

4.2.2.	Analisis Pembebanan.....	75
4.2.3.	Beban Mati.....	75
4.2.4.	Beban Hidup.....	76
4.2.5	Beban Gempa.....	76
4.2.6	Kombinasi Pembebanan.....	81
4.2.7	Kontrol Analisa Struktur.....	82
4.3	Desain Struktur Base Isolation.....	88
4.3.3	Beban hidup.....	89
4.3.4	Beban gempa.....	89
4.3.5	Kombinasi Pembebanan.....	91
4.3.6.	Perhitungan Dimensi LRB.....	92
4.3.7	Analisa Isolation Structure.....	94
4.3.7	Pemodelan Struktur.....	97
4.3.8	Kontrol Analisa Struktur.....	97
4.4.	Analisa <i>Pushover</i> .....	100
4.4.1.	Langkah-langkah analisa <i>pushover</i> pada ETABS.....	100
4.4.2.	Hasil Analisa <i>Pushover</i> .....	106
4.5.	Perbandingan Gedung Base Isolation dan Fixed Base.....	111
4.5.1.	Base shear.....	111
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		112
5.1.	Kesimpulan.....	112
5.2.	Saran.....	112
DAFTAR PUSTAKA.....		114
LAMPIRAN.....		116

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1.</b> Faktor Redaman, $B_M$ (SNI 1726 2019).....	16
<b>Tabel 2. 2.</b> Prosedur Analisis yang Dizinkan (SNI 1726 2019) .....	18
<b>Tabel 2. 3.</b> Daftar Besaran Beban Mati (SNI 1727-2020).....	28
<b>Tabel 2. 4.</b> Daftar Besaran Beban Hidup (SNI 1727-2020) .....	28
<b>Tabel 2. 5.</b> Faktor Elemen Hidup (SNI 1727-2020).....	29
<b>Tabel 2. 6.</b> Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (SNI 1726-2019) .....	30
<b>Tabel 2. 7.</b> Faktor keutamaan gempa (SNI 1726 2019) .....	32
<b>Tabel 2. 8.</b> Klasifikasi Situs (SNI 1726 2019).....	34
<b>Tabel 2. 9.</b> Koefisien Situs, $F_a$ (SNI 1726 2019) .....	35
<b>Tabel 2. 10.</b> Koefisien Situs, $F_v$ (SNI 1726 2019).....	36
<b>Tabel 2. 11.</b> Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek (SNI 1726 2019) .....	36
<b>Tabel 2. 12.</b> Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik (SNI 1726 2019).....	37
<b>Tabel 2. 13.</b> Kombinasi pembebanan (SNI 2847-2019).....	38
<b>Tabel 2. 14.</b> Nilai parameter periode pendekatan $C_t$ dan $x$ (SNI 1726-2019) .....	39
<b>Tabel 2. 15.</b> Nilai parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, $S_{D1}$ (SNI 1726 2019) .....	40
<b>Tabel 2. 16.</b> Batasan Drift Ratio (ATC40:1996) .....	51
<b>Tabel 2. 17.</b> Penelitian terdahulu .....	52
<b>Tabel 4. 1</b> Berat per Lantai.....	77
<b>Tabel 4. 2</b> Nilai parameter pendekatan $C_t$ dan $x$ .....	79
<b>Tabel 4. 3</b> Nilai koefisien batas atas pada periode yang diitung .....	80
<b>Tabel 4. 4</b> Rasio Partisipasi Massa .....	82
<b>Tabel 4. 5</b> Berat Struktur pada ETABS .....	83
<b>Tabel 4. 6</b> Hasil Analisa Geser Dasar Pada ETABS .....	84

<b>Tabel 4. 7</b> Hasil Analisa Geser Dasar Pada ETABS .....	85
<b>Tabel 4. 8</b> Simpangan Antar Lantai Arah x dan arah y .....	86
<b>Tabel 4. 9</b> Kontrol Koefisien Stabilitas Arah x .....	88
<b>Tabel 4. 10</b> Kontrol Koefisien Stabilitas Arah y .....	88
<b>Tabel 4. 11</b> Berat per lantai .....	90
<b>Tabel 4. 12</b> Rasio Partisipasi Massa .....	97
<b>Tabel 4. 13</b> Gaya Geser Dasar .....	98
<b>Tabel 4. 14</b> Simpangan antar lantai arah x dan y .....	99
<b>Tabel 4. 15</b> Distribusi Sendi plastis <i>Pushover</i> arah x .....	106
<b>Tabel 4. 16</b> Distribusi Sendi Plastis <i>Pushover</i> Arah y .....	107
<b>Tabel 4. 17</b> Distribusi Sendi Plastis <i>Pushover</i> Arah x .....	109
<b>Tabel 4. 18</b> Distribusi Sendi Plastis <i>Pushover</i> Arah y .....	110



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1. 1.</b> Perbandingan perilaku struktur bangunan fixed base dan base isolator ....	2
<b>Gambar 2. 1.</b> Perbandingan Perilaku Struktur bangunan fixed Base dan Bangunan dengan Base Isolator .....	7
<b>Gambar 2. 2.</b> <i>Lead Rubber Bearing</i> .....	9
<b>Gambar 2. 3.</b> <i>High Damping Rubber Bearing</i> .....	9
<b>Gambar 2. 4.</b> Kurva bilinier hysteresis loop, parameter dasar yang menentukan mekanisme LRB.....	10
<b>Gambar 2. 5.</b> Parameter gerak tanah ( $S_s$ ) wilayah Indonesia untuk periode 0,2 detik..	33
<b>Gambar 2. 6.</b> Parameter gerak tanah ( $S_s$ ) wilayah Indonesia untuk periode 0,2 detik..	33
<b>Gambar 2. 7.</b> Spektrum respons desain (SNI 1726 2019) .....	38
<b>Gambar 2. 8.</b> Penentuan simpangan antar tingkat .....	41
<b>Gambar 2. 9.</b> Model Matematik Struktur SDOF .....	43
<b>Gambar 2. 10.</b> Keseimbangan gaya dinamik dengan $f_s$ , $f_D$ dan $f_1$ .....	45
<b>Gambar 2. 11.</b> Analisa <i>Pushover</i> .....	45
<b>Gambar 2. 12.</b> Parameter waktu getar fundamental efektif dari kurva <i>pushover</i> .....	47
<b>Gambar 2. 13.</b> Penentuan Titik kinerja.....	51
<b>Gambar 3. 1.</b> Bagian Alir Pengerjaan.....	56
<b>Gambar 3. 2.</b> Model Initialization .....	60
<b>Gambar 3. 3.</b> Model Grid .....	60
<b>Gambar 3. 4.</b> Edit Grid Data.....	61
<b>Gambar 3. 5.</b> Edit Story Data .....	61
<b>Gambar 3. 6.</b> Tampilan Grid dan Story .....	61
<b>Gambar 3. 7.</b> Input Material Properties .....	62
<b>Gambar 3. 8.</b> Reinforcement Data Column .....	63
<b>Gambar 3. 9.</b> Input Column Deminsion .....	64
<b>Gambar 3. 10.</b> Reinforcement Data Beam.....	64
<b>Gambar 3. 11.</b> Input Data Slab .....	65
<b>Gambar 3. 12.</b> Pemodelan pada software ETABS v.18 .....	66
<b>Gambar 3. 13.</b> Define Load Patterns .....	66
<b>Gambar 3. 14.</b> Load Case Data.....	67

<b>Gambar 3. 15.</b> Input Beban Mati Tambahan Atap .....	68
<b>Gambar 3. 16.</b> Input Beban Hidup.....	68
<b>Gambar 4.1</b> Gedung Fix Base.....	76
<b>Gambar 4.2</b> Grafik Respon Spektrum .....	79
<b>Gambar 4.3</b> Input faktor skala baru gempa X .....	84
<b>Gambar 4.4</b> Input faktor skala baru gempa Y .....	85
<b>Gambar 4.5</b> Grafik simpangan antar tingkat .....	87
<b>Gambar 4.6</b> Gedung dengan base isolator LRB .....	90
<b>Gambar 4.7</b> Catalog Lead Rubber Bearing .....	94
<b>Gambar 4.8</b> Grafik simpangan antar tingkat .....	99
<b>Gambar 4.9</b> Titik Tinjau .....	100
<b>Gambar 4.10</b> Load Case .....	101
<b>Gambar 4.11</b> Input Load Case Gravity.....	101
<b>Gambar 4.12</b> Load Case <i>Pushover</i> Arah x .....	102
<b>Gambar 4.13</b> Input Displacement Control.....	102
<b>Gambar 4.14</b> Data Properti Balok .....	103
<b>Gambar 4.15</b> Input Tulangan Balok .....	103
<b>Gambar 4.16</b> Data Properti Kolom.....	104
<b>Gambar 4.17</b> Input Tulangan Kolom.....	104
<b>Gambar 4.18</b> Input Hinge Balok .....	105
<b>Gambar 4.19</b> Input Hinge Kolom.....	105
<b>Gambar 4.20</b> Running Analyze .....	105
<b>Gambar 4.21</b> Kurva <i>Pushover</i> Arah x .....	106
<b>Gambar 4.22</b> Kurva <i>Pushover</i> Arah y .....	107
<b>Gambar 4.23</b> Kurva <i>Pushover</i> Arah x .....	109
<b>Gambar 4.24</b> Kurva <i>Pushover</i> Arah y .....	110

# BAB I PENDAHULUAN

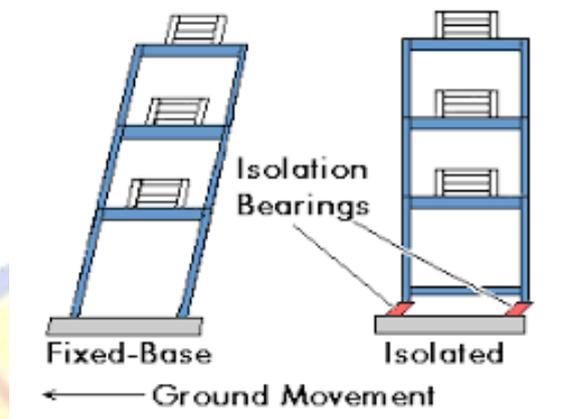
## 1.1.Latar belakang

Indonesia berada di tempat di mana tiga lempeng tektonik utama berkumpul: lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik berkumpul. Ini membuat Indonesia sangat rentan terhadap gempa bumi karena potensi gempa tinggi dan aktifitas seismik tinggi. Karena aktifitas seismik yang tinggi di Indonesia, perencanaan bangunan harus mempertimbangkan faktor kegempaan dan beban lain. Bangunan sipil harus dibangun untuk kepentingan manusia. Oleh karena itu unsur hakekat manusia harus ditempatkan pada posisi tertinggi untuk dilindungi dari segala pembebanan bangunan (Widodo, 2003).

Menurut Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika (BMKG) Bandung, Selama sepanjang tahun 2023 telah terjadi 1.155 kali kasus gempa bumi di Jawa Barat dan sekitarnya. Jawa Barat adalah salah satu wilayah yang paling sering mengalami gempa bumi. Kebanyakan gempa bumi terjadi di kedalaman kurang dari 60km, dengan 1.026 kejadian. Pada akhir tahun 2023, semua dikejutkan dengan gempa bermagnitudo 4,8 yang menguncang Sumedang, Jawa Barat, yang diikuti oleh tiga gempa dangkal susulan yang lebih kecil. Meskipun magnitudo gempa di bawah 6,0 banyak bangunan dianggal mengalami kerusakan, kerusakan tersebut dikarenakan banyak bangunan yang belum mengadopsi resiko gempa. Permintaan tempat tinggal meningkat sebagai akibat dari pertumbuhan penduduk dan arus urbanisasi yang terus meningkat. Akibatnya, pembangunan fasilitas saat ini banyak dilakukan secara vertikal daripada horizontal, dengan tujuan untuk meminimalkan luas lahan yang digunakan. Dengan pertumbuhan pariwisata Jawa Barat yang cepat, pengembangan fasilitas penginapan seperti hotel semakin diperlukan.

Maka seiring dengan banyaknya insiden gempa bumi di Jawa Barat dibutuhkan teknologi konstruksi yang lebih berkembang. Gedung hotel di Jawa Barat dibangun dengan teknologi bangunan yang tahan terhadap gempa bumi yaitu dengan base isolator. Dalam beberapa tahun terakhir *base isolation* (isolasi dasar) telah berkembang digunakan sebagai teknologi untuk mendesain gedung pada daerah dengan zona gempa tinggi. *Base Isolation* dikembangkan dengan dasar bahwa bahaya

kehancuran dan kerusakan gedung akan tereliminasi selama gempa terjadi (Widodo, 2003).



**Gambar 1. 1.** Perbandingan perilaku struktur bangunan *fixed base* dan *base isolator* (Muliadi, 2017)

Sistem ini memisahkan struktur dari komponen horizontal pergerakan tanah dengan menyisipkan bahan isolator antara struktur dan pondasi yang mempunyai kekakuan horizontal yang lebih kecil (Teruna, 2007).

Pemakaian base isolator sangatlah penting dalam pembangunan sebuah bangunan. Namun desain base isolator pada gedung lebih menitikberatkan kepada pengaruh beban hidup dan temperatur, akan tetapi kemungkinan besar belum memperhitungkan akibat beban gempa.

Banyak Base isolator yang digunakan salah satunya penggunaan *Lead Rubber Bearing* (LRB). LRB ini merupakan bahan anti seismik yang terbuat dari lapisan baja dan karet, tetapi pada bagian tengahnya terdapat rongga yang diisi dengan perunggu (*lead*). Perunggu di bagian tengah berfungsi sebagai tempat penyerapan energi, sehingga mengurangi gaya gempa yang dihasilkan oleh perpindahan. Kekakuan lateral bantalan berkurang secara signifikan pada Tingkat beban yang tinggi. Ini menghasilkan efek pergeseran periode dari *base isolator*. Deformasi plastis timah menyerap energi sebagai redaman histeretik karena bantalan bersiklus pada perpindahan besar, seperti selama gempa bumi sedang dan besar. Redaman yang dihasilkan oleh histeresis ini adalah biasanya berkisar antara 15% s/d 35% (Kelly, 2001).

Penggunaan *Lead Rubber Bearing* pada bangunan dapat memperpanjang waktu

getar struktur, sehingga dapat mereduksi percepatan gempa yang terjadi (Oktavia, 2012). Salah satu metode analisis yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja seismik bangunan adalah analisis *pushover*, yaitu jenis analisis *nonlinear statis* yang dapat menangkap perilaku *nonlinear* komponen struktur (Handana, Karolina, & Steven, 2018).

Analisis *pushover* merupakan alat yang relatif sederhana untuk analisis seismik berbasis kinerja seismik berbagai jenis bangunan, termasuk bangunan yang dirancang untuk beban gempa dan bangunan yang dirancang hanya untuk beban gravitasi (Suwondo & Alama, 2020) (Wibowo dkk, 2021). Salah satu aspek yang penting dari analisis *pushover* adalah penerapan beban lateral yang meningkat secara monoton Bersama dengan beban gravitasi yang konstan pada struktur hingga titik control mencapai 'target' perpindahan lateral yang ditetapkan sesuai dengan tingkat bahaya gempa bumi.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Dari latar belakang di atas maka dalam penulisan proposal tugas akhir ini akan dibahas beberapa permasalahan yaitu :

1. Bagaimanakah pemodelan *Lead Rubber Bearing* pada bangunan Gedung dengan memperhitungkan beban gempa?
2. Bagaimana menganalisa kinerja lead rubber bearing terhadap struktur Gedung dengan base isolator menggunakan metode *pushover*?
3. Bagaimana analisa dan evaluasi kinerja struktur gedung dengan base isolator menggunakan ETABS 21?
4. Bagaimana pengaruh respons struktur pada struktur gedung yang menggunakan struktur *fix base* dengan struktur *base isolator* pada pemodelan struktur gedung?

## **1.3. Tujuan Penelitian**

1. Mendapatkan pemodelan *Lead Rubber Bearing* pada gedung dengan memperhitungkan beban gempa.
2. Menentukan level kinerja struktur bangunan gempa dengan sistem *lead rubber bearing*.

3. Mengetahui pengaruh penggunaan *Base Isolator* pada pemodelan struktur bangunan gedung.
4. Membandingkan displacement dan level kinerja struktur antara bangunan *fixed base* dan bangunan menggunakan base isolator.

#### **1.4. Batasan Masalah**

Batasan masalah yang perlu dilakukan dalam penulisan tugas ini adalah:

1. Model struktur yang akan di Analisa adalah bangunan simetrik beraturan bertingkat 10, difungsikan sebagai kantor, berlokasi di zona gempa wilayah 6 di Indonesia.
2. Desain dan hasil Analisa struktur menggunakan program ETABS 21.
3. Letak bangunan diasumsikan berada pada dua jenis tanah dasar yang berbeda yaitu tanah sedang dan tanah lunak.
4. Perencanaan gaya gempa menggunakan respon spektrum yang terdapat dalam Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019).
5. Peraturan beton menggunakan SNI 2847-2019
6. Pembebanan minimum untuk perencanaan bangunan sesuai dengan SNI 1727-2019

#### **1.5. Kegunaan Penelitian**

Dalam tugas ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk perencanaan bangunan gedung dengan menggunakan *Lead Rubber Bearing* sebagai *base isolator* dan dapat diterapkan di Indonesia. Serta, bermanfaat bagi penulis untuk menambah wawasan tentang bagaimana perilaku *Lead Rubber Bearing* sebagai *base isolator* terhadap beban gempa dengan metode Analisa *pushover* ini.

#### **1.6. Sistematika Penulisan**

Proposal tugas akhir ini disusun berdasarkan data - data teknis maupun data umum yang kita peroleh. Sistematika penulisan proposal tugas akhir minimal mengandung komponen – komponen di bawah ini:

##### **BAB I : PENDAHULUAN**

Pada bab ini membahas mengenai latar belakang , maksud dan tujuan ,

Rumusan masalah, Batasan masalah, kegunaan penelitian dan, sistematika penulisan

## **BAB II : LANDASAN TEORI**

Pada bab ini membahas mengenai landasan teori penunjang proposal analisa penelitian

## **BAB III : METODE PENELITIAN**

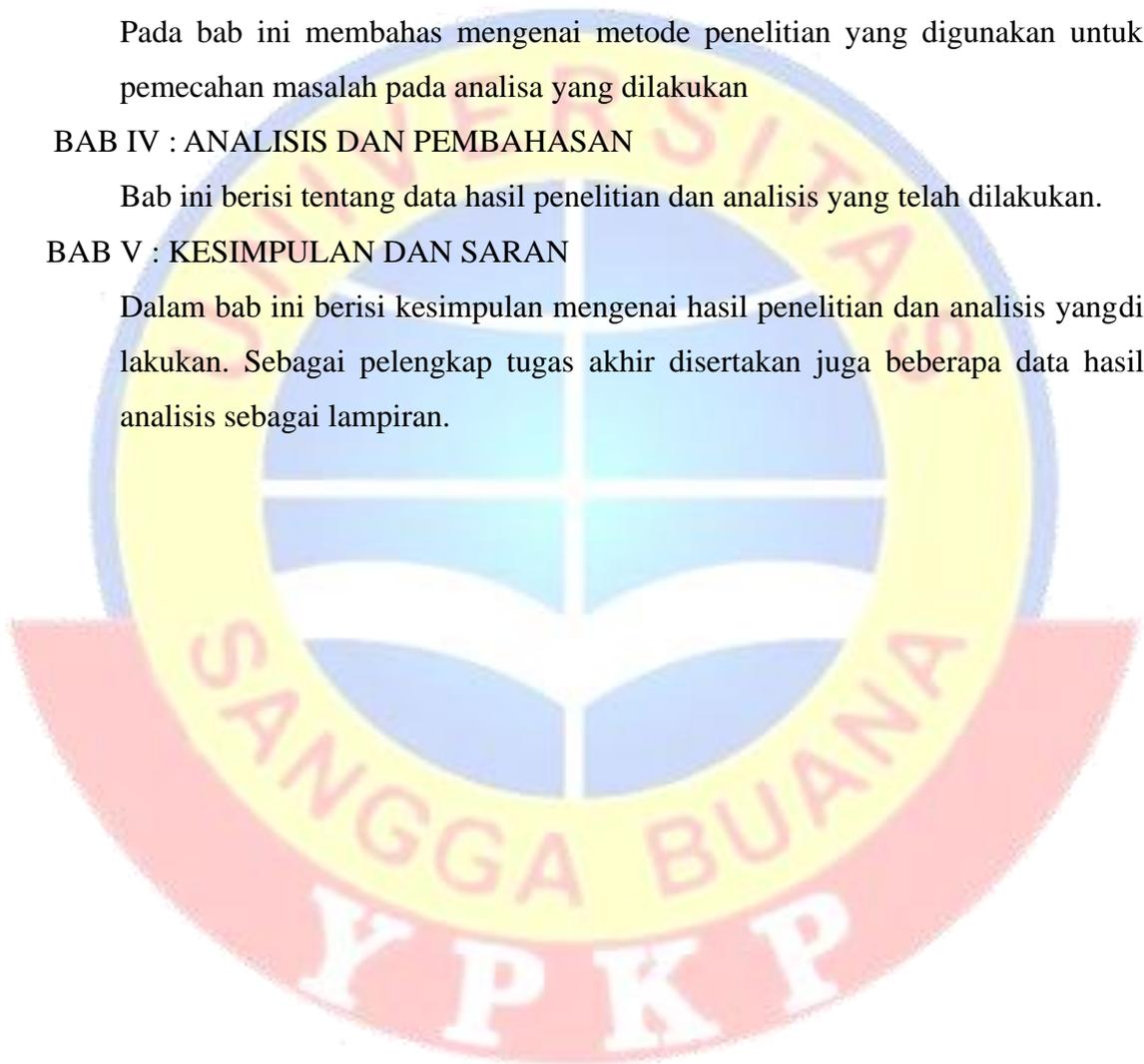
Pada bab ini membahas mengenai metode penelitian yang digunakan untuk pemecahan masalah pada analisa yang dilakukan

## **BAB IV : ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi tentang data hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan.

## **BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

Dalam bab ini berisi kesimpulan mengenai hasil penelitian dan analisis yang dilakukan. Sebagai pelengkap tugas akhir disertakan juga beberapa data hasil analisis sebagai lampiran.



## **Bab II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Tinjauan Umum**

Sebagian besar wilayah di Indonesia memiliki resiko gempa yang cukup tinggi, karena terletak di dekat tiga lempeng tektonik yang aktif yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Di lepas Pantai Sumatra, Jawa, dan Nusatenggara, lempeng Indo-Australia bertabrakan dengan lempeng Eurasia. Selain lempeng tektonik yang mengelilingi Indonesia, sesar atau patahan di daratan setiap pulau atau di wilayah Indonesia memperparah gempa bumi kejadian gempa bumi. Hal tersebut yang mengakibatkan Indonesia sering mengalami gempa bumi.

Pergeseran lempeng tektonik dan peristiwa vulkanik adalah beberapa faktor yang dapat menyebabkan getaran gempa bumi. Gempa bumi tektonik adalah getaran yang disebabkan oleh benturan perlahan-lahan antara dua lempeng batuan. Energi benturan yang dikumpulkan oleh lempeng tersebut melampaui kekuatan batuan, yang menyebabkan batuan jatuh di bawah permukaan. Kemudian gempa bumi akibat aktivitas gunung api, di Indonesia terdapat banyak sekali gunung-gunung yang aktif. Magma yang berada pada kantong dibawah gunung tersebut mendapat tekanan dan melepaskan energinya secara tiba-tiba sehingga menimbulkan getaran tanah (Mustofa,2010)

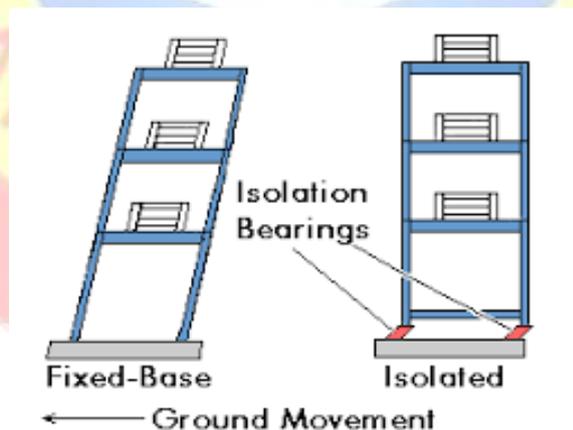
Untuk mencegah kerusakan gempa, bangunan biasanya diperkuat untuk mengantisipasi gaya gempa. Untuk mengurangi keruntuhan bangunan Gedung, ada beberapa metode yang dapat digunakan. Salah satunya adalah menggunakan sistem penambahan kekuatan lateral bangunan dengan menggunakan dinding penahan geser (*shearwall*). Namun, metode ini memiliki kekurangan, yaitu dapat memperbesar gaya gempa yang diterima oleh struktur. Metode alternatif untuk mengurangi atau mereduksi gaya gempa yang diterima oleh bangunan tanpa meningkatkan kapasitas elemen struktur adalah dengan sistem *base isolator*

Konsep *base isolator* ini sangat sederhana. Dengan memasang elemen struktur dengan kekakuan horizontal rendah antara struktur dan pondasi, metode ini memungkinkan bangunan atau struktur terpisah dari komponen horizontal Gerakan tanah. Hal ini memberikan frekuensi fundamental struktur yang jauh lebih rendah daripada frekuensi dasar tetap dan frekuensi utama Gerakan tanah (Naeim & Kelly, 1999).

## 2.2. Konsep *Base Isolator*

*Base isolator* adalah sistem dengan bantalan karet berkekuatan tinggi yang dipasang antara pondasi dengan bangunan. Sistem ini menjaga struktur di atasnya secara bersamaan. Semua struktur bangunan akan bergetar akibat gempa bumi karena pergerakan tanah yang mempengaruhi pondasi. Karena pergerakan tanah yang bersifat acak dan getaran yang memasukinya juga tidak selaras banyak bangunan yang kaku mudah runtuh. Dalam struktur dengan *base isolator*, getaran pondasi akan melewati bantalan karet dahulu sebelum masuk ke sistem struktur. Karena karet bersifat elastis maka arah getaran yang terjadi secara acak hanya akan mempengaruhi *base isolator*, sedangkan struktur di atasnya akan bergetar atau bergerak sebagai satu kesatuan struktur (Pratiwi & Teruna, 2013).

Bahan dasar utama isolasi adalah karet yang dilapisi pelat baja dan disusun berlapis-lapis. Struktur di atas sistem *base isolator* biasanya dirancang untuk tetap elastik. Ketika gempa besar terjadi karena sifat elastik karet. Pada konsep ini, disipasi energi gempa tidak berasal dari kerusakan elemen; sebaliknya, itu berasal dari disipasi energi yang dihasilkan oleh sistem *base isolator* yang fleksibel. Perangkat *base isolator* menggunakan mekanisme pendisipasian energi yang berbeda dari yang digunakan bangunan konvensional.



**Gambar 2. 1.** Perbandingan Perilaku Struktur bangunan *fixed Base* dan Bangunan dengan *Base Isolator*

(sumber : Muliadi, Afifudin, dan Aulia ,2017)

Jenis bantalan yang akan digunakan adalah *Lead Rubber Bearing (LRB)*. Bantalan

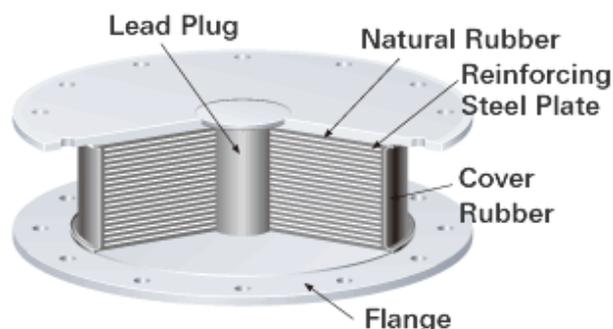
jenis ini memiliki inti logam atau metal di tengahnya, dan lapisan karet alam dilapisi dengan pelat baja. Lapisan baja dan karet yang dilaminasi sangat kuat, dan inti baja memiliki kemampuan untuk menyerap gaya lateral, seperti gaya gempa. LRB menggabungkan kekakuan pada tingkat beban servis, redaman, dan fleksibilitas pada tingkat beban gempa menjadi satu unit kompak, yang merupakan keuntungan utamanya. *Lead Rubber Bearing* adalah jenis isolator yang paling umum digunakan Ketika diperlukan tingkat redaman yang tinggi karena alasan ini.

### 2.3. Jenis – Jenis *Base Isolator Rubber Bearing*

Terdapat berbagai macam isolator yang dapat ditemukan, isolator yang berbentuk seperti bantalan karet yang besar dari berbagai bahan, dan mereka harus disesuaikan dengan bangunan yang akan dibangun. Berikut ini merupakan beberapa jenis dari *base isolator rubber bearing*.

#### 2.3.1 *Lead Rubber Bearing*

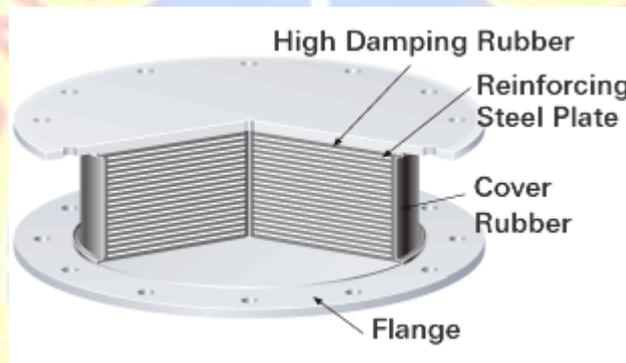
*Lead Rubber Bearing* merupakan bahan anti seismik yang terbuat dari lapisan karet dan dipadu dengan lapisan baja, tetapi pada bagian tengahnya diberi rongga yang diisi dengan *lead* (perunggu). Lapisan karet yang di vulkanisir dapat bergerak secara horizontal dan dilaminasi di antara lapisan baja. Pada bagian tengah perunggu (*lead*) merupakan tempat penyerapan energi sehingga dapat mengurangi gaya gempa. Kekakuan lateral bantalan berkurang secara signifikan pada tingkat beban yang tinggi. Ini menyebabkan efek pergeseran periode dari *base isolator*. Deformasi plastis timah menyerap energi sebagai redaman histeretik karena bantalan bersiklus pada perpindahan besar, seperti selama gempa sedang dan besar. Redaman energi yang dihasilkan oleh histeresis ini adalah biasanya berkisar dari 10% hingga 30% (Kelly, 2001).



**Gambar 2. 2. Lead Rubber Bearing**  
(Sumber : Brosur Isolator Bridgestone)

### 2.3.2 High Damping Rubber Bearing

*High-damping Rubber Bearing* (HDRB) merupakan bahan anti seismik yang dikembangkan dari karet alam yang mempunyai kekakuan horizontal yang relatif kecil dan dicampur dengan *extra fine carbon block*, oil atau resin, rekayasa kimia digunakan dalam sistem ini untuk menghasilkan karakteristik yang berbeda dari *base isolator* jenis lainnya. HDRB menghasilkan redaman energi berkisar antara 10%-20% (Kelly, 2001).



**Gambar 2. 3. High Damping Rubber Bearing**

(sumber : Brosur Isolator Bridgestone )

Karet adalah polimer hidrokarbon yang ditemukan dalam latex berbagai jenis tumbuhan. Karet lentur, dan plastik tidak mudah panas dan rusak. Media ini menahan beban horizontal. Ketebalan plat baja 2-3 milimeter dan karet 8-20 milimeter, masing-masing digunakan sebagai bahan deformasi vertikal dan beban vertikal. Bantalan sistem isolasi seismik harus dirancang dengan cermat sehingga bangunan yang dipikul tetap berdiri baik Ketika gempa maupun setelah gempa.

### 2.4. Karakteristik Base Isolation LRB

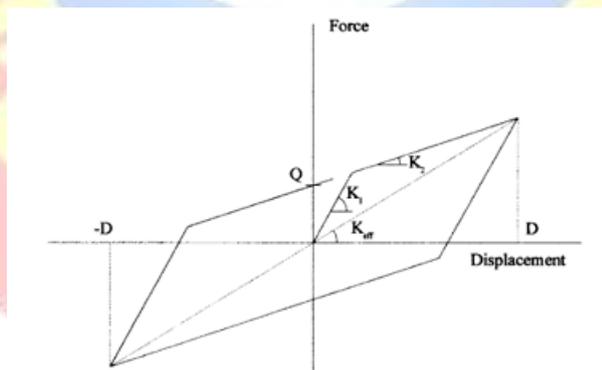
*Lead Rubber Bearing* adalah *laminated rubber bearing* yang lebih besar terbuat dari lapisan karet dan dipadu dengan lapisan baja, tetapi ditengahnya diberi rongga yang diisi dengan *lead* (perunggu). Lapisan baja bantalan melindungi pelat baja dari korosi sementara lapisan karet yang memberikan fleksibilitas lateral. Pelat baja pada bagian atas dan bawah bantalan berfungsi untuk menghubungkan isolator dengan struktur diatas dan

dibawahnya (Lestari, 2012). Redaman energi yang dihasilkan oleh histeresis ini adalah biasanya berkisar dari 10% hingga 30% (Kelly,2001).

Kekakuan elastis lateral yang tinggi dibawah beban servis dihasilkan oleh kombinasi kekakuan lateral lapisan karet inti timah. Ini memungkinkan pergerakan struktur diatur. Dibawah ini pengaruh beban seismik, pelat penguat baja memaksa inti timbal pada tegangan geser rendah sekitar 1,3 ksi (9,0 MPa). Setelah peluluhan terjadi, kekakuan lateral bantalan berkurang secara signifikan. Lapisan karet kemudian dengan mudah berubah bentuk dalam geser yang memberikan fleksibilitas lateral untuk memperpanjang periode (Buckle dkk., 2006).

Dalam analisis struktur, LRB dapat dimodelkan sebagai model *bilinire* dengan tiga parameter yang menentukan karakteristik mekanis dari LRB, yaitu : kekakuan awal ( $K_1$ ), kekakuan pasca leleh ( $K_2$ ), dan kekakuan leleh dari inti timah ( $Q$ ) (Naeim & Kelly, 1999).

$K_1$  memiliki nilai kekakuan yang cukup besar dan direncanakan untuk beban angin dan gempa. Nilai  $K_1$  sulit diukur dan biasanya diambil secara empiris dari kelipatan  $K_2$ . Pada umumnya nilai  $K_1$  mencapai 6 s/d 10 kekakuan  $K_2$  dapat diperkirakan secara akurat dari modulus geser karet dan desain *bearing* (Naeim & Kelly, 1999).



**Gambar 2. 4.** Kurva *bilinier hysteresis loop*, parameter dasar yang menentukan mekanisme LRB (Naeim & Kelly, 1999)

Rasio antara  $K_2$  dengan  $K_1$  disebut *post yield stiffness ratio* ( $\alpha'$ ) ditulis dengan persamaan berikut :

$$\alpha' = \frac{K_2}{K_1}$$

Dimana :

$\alpha'$  = *post yield stiffness ratio*

$K_2$  = Kekakuan pasca leleh

$K_1$  = Kekakuan awal *base isolator*

Variasi nilai *post yield stiffness ratio* mempengaruhi  $K_1$ ,  $K_2$ , dan kekakuan efektif ( $K_{eff}$ ), sehingga respon struktur yang dihasilkan akan bervariasi tergantung dari nilai *post yield stiffness ratio* yang digunakan.

$K_{eff}$  dihitung dari persamaan:

$$K_{eff} = K_2 + \frac{Q}{D}$$

Dimana:

$K_{eff}$  = kekakuan efektif

$Q$  = kekakuan karakteristik

$D$  = perpindahan maksimum yang terjadi pada *base isolator*

## 2.5. Teori Isolasi Dasar

Bedasarkan SNI 1726 2019, perencanaan struktur dengan sistem *base isolation* harus memperhatikan beberapa aspek yaitu diantaranya faktor keutamaan gempa, sistem isolasi, sistem struktural, prosedur gaya lateral, prosedur analisis respon spektrum dan lainnya. Berikut persyaratan-persyaratan dan ketentuan yang berlaku dalam perencanaan struktur dengan *base isolation*.

### 2.5.1 Faktor Keutamaan Gempa

Semua bagian struktur, termasuk struktur di atas sistem *base isolation*, harus di desain dengan kategori risiko sesuai dengan Tabel 2 pada SNI 1726 2019. Faktor keutamaan gempa,  $I_e$  harus diambil sebesar 1,0 untuk struktur dengan isolasi seismik, tanpa membedakan kategori risiko yang diterapkan.

### 2.5.2 Sistem Isolasi

Dalam merencanakan sistem isolasi harus dengan persyaratan – persyaratan berikut ini:

1. Selain persyaratan – persyaratan untuk beban – beban vertikal dan lateral akibat angin dan gempa, sistem isolasi harus memperhitungkan keadaan

lingkungan lainnya, termasuk usia, rangkai, leleh, suhu operasional, dan pengaruh dari kelembaban atau bahan – bahan lain yang merusak.

2. Struktur yang diisolasi harus menahan beban angin rencana di semua tingkat di atas batas pemisahan isolasi. Dibatas pemisahan isolasi, suatu sistem pengekang angin harus disediakan untuk membatasi perpindahan lateral sistem isolasi, agar nilainya sama dengan yang disyaratkan antara tingkat – tingkat struktur di atas pemisahan isolasi, seperti disyaratkan pasal 12.5.6.
3. Sistem isolasi terhadap kebakaran harus dapat memberikan tingkat perlindungan yang sama untuk kolom, dinding, dan komponen penahan beban gravitasi lainnya di area yang sama dari struktur.
4. Sistem isolasi harus dikonfigurasi, untuk batas atas dan batas bawah properti sistem isolasi, menghasilkan suatu gaya pemulih sedemikian sehingga gaya lateral pada saat perpindahan maksimum terkait adalah sekurang-kurangnya 0,025W lebih besar dari gaya lateral yang terjadi pada 50% dari perpindahan maksimum terkait.
5. Sistem isolasi tidak boleh dirancang dengan pengekangan perpindahan yang membatasi perpindahan lateral yang disebabkan oleh gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCER) yang lebih kecil daripada perpindahan maksimum total (DTM), kecuali jika struktur dengan isolasi seismik direncanakan sesuai dengan seluruh kriteria berikut ini;
  - a. Respons MCER dihitung menurut persyaratan analisis dinamik dalam pasal 12.6, secara khusus mempertimbangkan karakteristik-karakteristik nonlinier dari sistem isolasi dan struktur di atas sistem isolasi;
  - b. Kapasitas ultimit sistem isolasi dan elemen-elemen struktural yang berbeda di bawah sistem isolasi harus melampaui kebutuhan kekuatan dan perpindahan dari respons MCER;
  - c. Struktur di atas sistem isolasi ditinjau stabilitas dan kebutuhan daktilitas dari respons MCER;
  - d. Pengekangan perpindahan menjadi tidak efektif pada suatu perpindahan yang lebih kecil dari 0,6 kali perpindahan maksimum total.

6. Karena beban vertikal rencana yang mengalami perpindahan horizontal sama dengan perpindahan maksimum total, setiap komponen sistem isolasi harus dirancang agar stabil. Beban vertikal harus dihitung dengan menggunakan kombinasi pembebanan 2 dari pasal 12.2.7.1 untuk beban vertikal maksimum dan kombinasi pembebanan 3 dari pasal 12.2.7.1 untuk beban vertikal minimum.
7. Faktor keamanan terhadap guling struktur secara keseluruhan di batas pemisahan isolasi tidak boleh kurang dari 1,0 untuk kombinasi pembebanan yang disyaratkan. Semua kondisi pembebanan gravitasi dan seismik harus ditinjau. Gaya-gaya seismik untuk perhitungan guling harus berdasarkan gerak tanah MCER, dan  $W$  harus digunakan untuk gaya pemulih vertikal.
8. Terangkatnya elemen-elemen secara individu tidak diperbolehkan, kecuali jika lendutan yang dihasilkan tidak menyebabkan tegangan berlebih atau ketidak-stabilan unit isolator atau elemen struktur lainnya.

### **2.5.3 Sistem Struktural**

Dalam merencanakan suatu isolasi harus sesuai dengan persyaratan berikut ini :

1. Suatu diafragma horizontal atau elemen-elemen structural lainnya harus memberikan kontinuitas diatas pemisahan isolasi dan harus mempunyai kekuatan dan daktilitas yang cukup untuk meneruskan gaya-gaya dari satu bagian struktur ke bagian lainnya.
2. Jarak pemisahan minimum antara struktur dengan isolasi seismik dengan dinding penahan di sekeliling bangunan atau penghalang tetap lainnya tidak boleh kurang dari perpindahan maksimum total.
3. Struktur bangunan nongedung harus direncanakan dan dibangun sesuai dengan persyaratan di pasal 10.1 dengan menggunakan perpindahan dan gaya rencana yang dihitung menurut 12.5 atau 12.6.
4. Struktur rangka baja dengan bresing konsntris biasa diizinkan sebagai sistem pemikul beban seismik pada struktur dengan isolasi seismik yang ditetapkan untuk kategori desain seismik D, E, dan F, dan diizinkan hingga ketinggian 48m atau kurang jika semua persyaratan perencanaan berikut terpenuhi;
  - a. Nilai  $RI$  pada pasak 12.5.4 adalah 1,0;

- b. Perpindahan maksimum total (DTM) pada persamaan (2.4) harus dinaikan dengan faktor 1,2.
5. Sambungan – sambungan pemikul momen pada elemen baja structural dari sistem isolasi seismik di bawah nilai dasar diizinkan untuk mengikuti persyaratan rangka baja pemikul momen biasa.
6. Untuk memenuhi gaya – gaya dan perpindahan – perpindahan seismik yang ditentukan dalam bagian ini, serta persyaratan – persyaratan yang ada dalam pasal 9, bagian – bagian struktur dengan isolasi, komponen komponen nonstruktural yang permanen dan bagian yang tersambung dengannya, serta penyambung peralatan permanen yang ditumpu oleh struktur harus direncanakan dengan cara yang dapat diandalkan.
7. Dalam struktur yang menggunakan sistem isolasi, elemen – elemennya dan komponen nonstrukturalnya, atau bagian – bagiannya yang berada di batas atau di atas pemisah isolasi, harus direncanakan dengan cara yang memungkinkan gaya lateral seismik total setara dengan respons dinamik maksimum dari elemen atau komponen melalui analisis riwayat repons.
8. Komponen struktur yang menggunakan isolasi seismik, serta komponen nonstruktural atau bagian – bagiannya melintasi batas pemisah isolasi, harus dirancang dengan cara yang memungkinkan mereka menahan perpindahan yang paling besar dan menerima residu perpindahan permanen dalam jangka panjang.
9. Elemen – elemen struktur yang menggunakan isolasi seismik dan komponen nonstruktural atau bagian – bagiannya yang terletak di bawah pemisah isolasi, harus direncanakan dan dibangun menurut persyaratan – persyaratan 7.1 dan pasal 9.

#### **2.5.4 Ketentuan Prosedur Gaya Lateral**

Prosedur gaya lateral ekuivalen di pasal 12.5 boleh digunakan untuk perencanaan struktur dengan isolasi seismik jika semua ketentuan berikut terpenuhi. Ketentuan ini harus dievaluasi terpisah untuk batas atas dan batas bawah properti sistem isolasi, dan ketentuan yang lebih ketat yang menentukan:

1. Struktur terletak pada kelas situs SA, SB, SC, atau SD.

2. Periode efektif struktur dengan isolasi pada perpindahan maksimum,  $D_m$ , kurang atau sama dengan 5,0 detik.
3. Tinggi struktur diatas pemisah isolasi kurang atau sama dengan 10 lantai, atau 19,8 m dari tinggi struktur,  $h_n$ , diukur dari dasar.
4. Redaman efektif dari sistem isolasi pada perpindahan,  $D_m$ , adalah kurang atau sama dengan 30%.
5. Periode efektif struktur dengan isolasi,  $T_m$ , lebih besar dari 3 kali periode elastic struktur terjepit dari struktur di atas sistem isolasi, ditentukan menggunakan analisis ragam rasional
6. Struktur di atas sistem isolasi tidak memiliki ketidakberaturan struktur seperti pada pasal 12.2.2.
7. Sistem isolasi harus memenuhi semua kriteria sebagai berikut:
  - a. Kekuan efektif sistem isolasi pada perpindahan maksimum lebih besar dari 1/3 kekakuan efektif pada saat 20% perpindahan maksimum.
  - b. Sistem isolasi mampu menghasilkan suatu gaya pemulih seperti disebutkan dalam pasal 12.2.4.4.
  - c. Sistem isolasi tidak membatasi perpindahan gempa maksimum yang dipertimbangkan lebih kecil dari perpindahan maksimum total,  $D_{TM}$ .

### 2.5.5 Prosedur Gaya Lateral

Jika prosedur gaya lateral ekuivalen digunakan untuk merencanakan struktur dengan isolasi seismik, persyaratan – persyaratan dalam bagian ini harus diterapkan.

#### 2.5.5.1 Perpindahan Maksimum

Sistem isolasi harus direncanakan dan dibangun untuk sekurang – kurangnya menahan perpindahan maksimum,  $D_M$ , yang ditentukan menggunakan properti batas atas dan batas bawah, bekerja pada arah yang paling menentukan dari respons horizontal, harus dihitung sesuai dengan persamaan berikut :

$$D_M = \frac{g_{SM_1} T_M}{4\pi^2 B_M} \quad (2.1)$$

Keterangan :

- $g$  = percepatan gravitasi
- $S_{M1}$  = parameter percepatan spectral gempa maksimum yang dipertimbangkan dengan redaman 5% pada periode 1 detik dengan satuan  $g$  seperti yang ditentukan dalam 6.2 atau 6.9
- $T_M$  = Periode efektif struktur dengan isolasi seismik, dalam detik, pada perpindahan maksimum dalam arah yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam persamaan (2.2)
- $B_M$  = koefisien numerik terkait dengan redaman efektif sistem isolasi pada perpindahan maksimum,  $B_M$ , seperti yang di atur dalam tabel 1.

**Tabel 2. 1.** Faktor Redaman,  $B_M$  (SNI 1726 2019)

Redaman efektif, $\beta_M$ (persentase dari redaman kritis) <sup>a,b</sup>	Faktor $B_M$
$\leq 2$	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
40	1,9
$\geq 50$	2,0

<sup>a</sup> = Faktor redaman harus berdasarkan redaman efektif sistem isolasi yang ditentukan menurut persyaratan – persyaratan di pasal 12.2.8.6

<sup>b</sup> = Faktor redaman harus berdasarkan interpolasi linier untuk nilai redaman efektif di antara nilai – nilai yang diberikan di atas.

#### 2.5.5.2 Periode Efektif Pada Saat Perpindahan Rencana

Periode efektif struktur yang diisolasi pada perpindahan maksimum,  $T_M$ , harus ditentukan dengan menggunakan karakteristik deformasi batas atas dan batas bawah sistem isolasi dan sesuai dengan persamaan persamaan berikut:

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{Mmin} \times g}} \quad (2.2)$$

$$k_M = \frac{\Sigma|F_M^+| + \Sigma|F_M^-|}{2D_M} \quad (2.3)$$

Keterangan :

W = Berat seismik efektif struktur di atas pemisah isolasi seperti ditentukan di dalam 2.5.5.3

$k_M$  = Kekakuan efektif minimum sistem isolasi, dalam kN/mm, pada perpindahan rencana di arah horizontal yang ditinjau seperti yang di tentukan dalam persamaan (2.3)

g = Percepatan gravitasi

$\Sigma|F_M^+|$  = Jumlah, untuk semua unit isolasi, dari nilai absolut gaya (kN) pada perpindahan positif sama dengan DM

$\Sigma|F_M^-|$  = Jumlah, untuk semua unit isolasi, dari nilai absolut gaya (kN) pada perpindahan negative sama dengan DM

### 2.5.5.3 Berat Seismik Efektif

Berak seismik efektif struktur, W, harus menyertakan seluruh beban mati dan beban lainnya yang terdaftar di bawah ini:

1. Dalam daerah yang digunakan untuk penyimpanan : minimum sebesar 25% beban hidup lantai.

#### Pengecualian :

- a. Bila beban penyimpanan tidak lebih dari 5% terhadap berat seismik efektif pada tingkat tersebut, beban tidak perlu dimasukkan dalam berat seismik efektif.
  - b. Beban hidup lantai di tempat parker umum dan struktur parker terbuka tidak perlu dimasukkan.
2. Jika ketentuan desain beban lantai untuk partisi disyaratkan SNI 1727 pasal 4.3.2, sebesar beban terbesar antara berat partisi actual atau berat daerah lantai minimum sebesar 0,48 kN/m<sup>2</sup>;
  3. Berat operasional total dari peralatan yang permanen;

4. Berat landscap dan beban lainnya pada taman atap dan area sejenis.

**Tabel 2. 2.** Prosedur Analisis yang Dizinkan (SNI 1726 2019)

Kategori desain seismik	Karakteristik Struktur	Analisis gaya lateral ekivalen pasal 7.8	Analisis spektrum respons ragam pasal 7.9.1	Prosedur respons riwayat waktu seismik pasal 11
<b>B, C</b>	Semua Struktur	I	I	I
<b>D,E,F</b>	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan structural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan strukturan dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe			

	2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b			
	Semua Struktur lainnya	TI	I	I

Keterangan :

I = Diizinkan

TI = Tidak Diizinkan

#### 2.5.5.4 Perpindahan Maksimum Total

Perpindahan maksimum total,  $D_{TM}$ , dari elemen – elemen sistem isolasi harus menyertakan perpindahan tambahan akibat torsi sesungguhnya dan torsi tak terduga, dihitung dari distribusi spasial kekakuan lateral sistem isolasi dan Lokasi massa eksentrik yang paling menguntungkan.

Perpindahan maksimum total,  $D_{TM}$ , dari elemen – elemen sistem isolasi tidak boleh diambil kurang dari nilai yang ditentukan oleh persamaan – persamaan berikut :

$$D_{TM} = D_M \left( 1 + \left( \frac{y}{P_T^2} \right) \frac{12e}{b^2 d^2} \right) \quad (2.4)$$

$$D_{TM} = \frac{1}{r_1} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2)}{N}} \quad (2.5)$$

Keterangan :

$D_M$  = perpindahan maksimum di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh persamaan 2.1.

$y$  = jarak antara titik pusat kekakuan sistem isolasi dan elemen yang diinginkan, diukur tegak lurus terhadap arah beban seismik yang ditinjau

$e$  = eksentris sebenarnya dihitung dengan menambahkan eksentrisitas tak terduga sebesar 5% dari ukuran maksimum, dihitung dari denah antara titik pusat massa struktur di atas batas pemisahan isolasi dan titik pusat kekakuan sistem isolasi .

$b$  = ukuran denah struktur terpendek diukur tegak lurus terhadap d

- $d$  = ukuran terpanjang denah struktur
- $P_T$  = rasio dari periode translasi efektif sistem isolasi terhadap periode torsional efektif sistem isolasi yang dihitung dengan analisis dinamik atau sesuai Persamaan 2.5 tetapi tidak perlu kurang dari 1,0.
- $x_i y_i$  = jarak horizontal, dalam mm, antara pusat massa terhadap unit isolasi ke- $i$  dalam dua sumbu horizontal sistem isolasi
- $N$  = jumlah unit isolasi
- $r_1$  = jari – jari girasi dari sistem isolasi, dalam mm, yang sama dengan  $((b^2 + d^2)/12)^{1/2}$  untuk sistem isolasi dengan ukuran denah persegi  $b \times d$
- Perpindahan maksimum total,  $D_{TM}$ , tidak boleh diambil kurang dari 1,15 kali  $D_M$

#### 2.5.5.5 Sistem Isolasi dan Elemen-Elemen Struktural di Bawah Tingkat Dasar

Sistem isolasi, fondasi, dan semua elemen – elemen struktural di bawah tingkat dasar harus direncanakan dan dibangun untuk menahan gaya seismik lateral minimum,  $V_b$ , dengan menggunakan semua persyaratan yang berlaku untuk struktur tanpa isolasi sesuai dengan persamaan berikut, ditentukan menggunakan batas atas dan batas bawah dari properti sistem isolasi:

$$V_b = k_M D_M \quad (2.6)$$

Keterangan :

$k_M$  = kekakuan efektif, dalam kN/mm, dari sistem isolasi pada perpindahan maksimum  $D_M$  seperti ditentukan Persamaan (2.3)

$D_M$  = perpindahan maksimum, dalam, di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh persamaan (2.1)

$V_b$  tidak boleh kurang diambil kurang dari gaya maksimum di sistem isolasi untuk perpindahan sembarang sampai dengan dan termasuk perpindahan maksimum  $D_M$ , seperti ditentukan pada 2.5.5.1.

Beban guling pada elemen – elemen sistem isolasi, fondasi, dan elemen struktur di bawah tingkat dasar yang disebabkan gaya seismik lateral  $V_b$  harus didasarkan pada distribusi vertikal gaya pada pasal 12.5.5, kecuali gaya rencana seismik lateral tak tereduksi,  $V_{st}$ , harus digunakan  $V_s$  pada persamaan (2.10)

### 2.5.5.6 Elemen Struktural di Atas Tingkat Dasar

Dengan mempertimbangkan semua persyaratan yang berlaku untuk struktur tanpa isolasi, struktur di atas tingkat dasar harus dirancang dan dibangun dengan cara yang meminimalkan gaya geser  $V_s$ , ditentukan menggunakan batas atas dan batas bawah dari properti sistem isolasi sesuai persamaan berikut:

$$V_s = \frac{V_{st}}{R_1} \quad (2.7)$$

Keterangan :

$R_1$  = Koefisien numerik yang berhubungan dengan tipe pemikul gaya seismik di atas sistem isolasi

$V_{st}$  = gaya rencana seismik lateral tak tereduksi atau geser pada elemen – elemen di atas tingkat dasar, seperti yang ditentukan oleh Persamaan (2.8)

Koefisien  $R_1$  harus didasarkan pada tipe sistem pemikul gaya seismik yang digunakan untuk struktur di atas tingkat dasar pada arah yang ditinjau. nilai  $R$  harus setara dengan  $3/8$  dari nilai  $R$  yang diberikan pada Tabel 9, dengan nilai maksimum 2,0 dan nilai minimum 1,0.

**Pengecualian :** Nilai  $R_1$  diperbolehkan diambil lebih besar dari 2,0 jika kekuatan struktur di atas tingkat dasar di arah yang ditinjau, seperti ditentukan oleh analisis statik *nonlinier* pada suatu perpindahan atap yang berhubungan dengan suatu simpangan antar lantai maksimum nilai yang lebih kecil dari simpangan  $MCE_R$  atau  $0,015 h_{sx}$ , tidak kurang dari 1,1 kali  $V_b$ .

Total gaya seismik lateral tak tereduksi atau geser pada elemen – elemen di atas tingkat dasar harus ditentukan menggunakan batas atas dan batas bawah dari properti sistem isolasi, seperti berikut :

$$V_{st} = V_b \left( \frac{W_s}{W} \right)^{(1-2,5\beta_M)} \quad (2.8)$$

Keterangan :

$W$  = Berat seismik efektif, kN, dari struktur di atas pemisah isolasi seperti ditentukan pada 2.5.5.3

$W_s$  = berat seismik efektif, kN, dari struktur di atas pemisah isolasi seperti ditentukan

pada 2.5.5.3, tidak termasuk berat seismik efektif pada tingkat dasar

Berat seismik efektif  $W_s$  pada persamaan (2.8) harus diambil sama dengan  $W$  jika jarak rata – rata dari puncak isolasi hingga sisi bawah tingkat dasar rangka lantai di atas isolator melebihi 0,9 m.

**Pengecualian :** Untuk sistem isolasi yang perilaku histeresisnya ditandai dengan perpindahan mendadak dari perilaku pra leleh ke pasca leleh atau pra slip, komponen eksponensial ( $1-2,5 \beta_m$ ).

#### 2.5.5.7 Batas $V_s$

Nilai  $V_s$  tidak boleh diambil kurang dari Batasan berikut ini :

1. Untuk struktur yang terjepit di dasar, gaya seismik lateral yang disarankan dalam pasal 7.8.1 adalah sama dengan berat seismik efektif  $W$  dan periode yang sama dengan periode struktur yang diisolasi seismik menggunakan properti batas atas,  $T_M$ .
2. Gaya geser dasar untuk beban angin rencana terfaktor
3. Dengan menggunakan persamaan (2.8), gaya seismik lateral  $V_{st}$  dapat dihitung, dengan  $V_b$  ditetapkan sama dengan gaya yang dibutuhkan untuk mengaktifkan sistem isolasi secara penuh dengan properti batas atas terbesar, atau
  - a. Properti nominal untuk tingkat leleh dari suatu sistem yang melunak (*softening system*), dikalikan dengan faktor 1,5.
  - b. kapasitas ultimit suatu sistem pengekang angin,
  - c. tingkat friksi lepas dari suatu sistem gelincir (*the break-away friction level of a sliding system*)
  - d. gaya pada perpindahan nol dari suatu sistem gelincir setelah satu siklus gerakan dinamik penuh pada  $D_M$ .

#### 2.5.6 Distribusi Vertikal Gaya

Gaya geser  $V_s$  harus didistribusikan ke seluruh tinggi struktur di atas tingkat dasar, menggunakan batas atas dan batas bawah properti sistem isolasi sesuai dengan persamaan berikut:

$$F_1 = \frac{(V_b - V_s)}{R_1} \quad (2.9)$$

dan

$$F_x = C_{vx} V_s \quad (2.10)$$

dan

$$C_{vs} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=2}^n W_i h_i^k} \quad (2.11)$$

dan

$$k = 14\beta_M T_{fb} \quad (2.12)$$

keterangan :

$F_1$  = gaya seismik lateral yang bekerja di tingkat 1

$F_x$  = gaya seismik lateral yang bekerja di tingkat x,  $x > 1$

$C_{vx}$  = faktor distribusi vertikal

$V_s$  = gaya seismik lateral rencana total atau geser dari elemen-elemen di atas tingkat dasar seperti yang ditentukan Persamaan (2.7) dan batas-batas pada 2.5.5.7

$w_i, w_x$  = bagian dari  $W_s$  yang ditempatkan/dipasang di tingkat-I atau x

$h_i, h_x$  = tinggi tingkat-i atau x dari pemisah isolasi.

$T_{fb}$  = periode utama struktur di atas pemisah isolasi, dalam det, ditentukan menggunakan analisis ragam yang rasional dengan asumsi kondisi terjepit pada dasar

**Pengecualian :** untuk menggantikan persamaan (2.7) dan (2.10), gaya seismik lateral  $F_x$  dapat dihitung sebagai nilai rata-rata gaya pada tingkat-x di arah yang ditinjau. ini dapat dilakukan dengan menggunakan hasil dari model bangunan sederhana yang menggunakan gabungan sistem isolasi. Pada tingkat dasar, analisis riwayat respon terskala untuk  $V_b/R_1$  pada tingkat dasar.

### 2.5.7 Batas Simpangan Antar Tingkat

Faktor  $C_d$  sistem isolasi harus sama dengan faktor  $R_1$  yang ditentukan di pasal 12.5.4.2, dan simpangan antar tingkat maksimum struktur di atas sistem isolasi tidak boleh melebihi  $0,015 h_{sx}$ . Simpangan antar tingkat harus dihitung menggunakan Persamaan (2.13).

### 2.5.8 Prosedur Analisis Dinamik

Model matematis struktur dengan isolasi, yang mencakup sistem isolasi, sistem pemikul gaya seismik, dan elemen struktural lainnya, harus memenuhi persyaratan yang tercantum dalam pasal 7.7.3 dan persyaratan yang tercantum dalam pasal 12.6.2.1 dan

#### 12.6.2.2.

Sistem isolasi harus dimodelkan dengan karakteristik deformasi yang dikembangkan sesuai dengan 12.2.8. Perpindahan dan gaya lateral harus dihitung secara terpisah untuk batas atas dan batas bawah properti sistem isolasi, seperti yang disebutkan dalam 12.2.8.5. Model sistem harus dilakukan dengan detail yang memadai untuk mencakup semua hal berikut:

- a. Distribusi spasial unit-unit isolator;
- b. Translasi di kedua arah horizontal dan torsi struktur di atas pemisah isolasi dengan mempertimbangkan Lokasi massa ekzentris yang paling tidak menguntungkan;
- c. Gaya guling dan gaya angkat pada masing – masing unit isolator;
- d. Pengaruh beban vertikal, beban bilateral, dan atau laju pembebanan jika properti gaya lendutan sistem isolasi tergantung dari satu atau lebih dari karakteristik-karakteristik ini.

Suatu model struktur dengan isolasi harus digunakan untuk menghitung perpindahan maksimum total,  $D_{TM}$ , di seluruh sistem isolasi. Model ini harus memasukan karakteristik gaya-lendutan elemen-elemen *nonlinier* dari sistem isolasi dan sistem pemikul gaya seismik.

Sistem struktur yang tidak beraturan yang direncanakan untuk gaya lateral dengan  $V_s$  tidak kurang dari 100% meliputi, tetapi tidak terbatas pada sistem pemikul gaya seismik dengan elemen elastik, seperti yang ditetapkan dalam pasal 12.5.4.2 dan 12.5.4.3.

#### **2.5.8.1 Prosedur Perhitungan**

Adapun langkah – langkah perhitungan untuk respons spektrum pada sistem struktur yang terisolasi sebagai berikut :

1. Prosedur spektrum respons harus dilakukan sesuai dengan 7.9 dan pasal 11 pada SNI 1726-2019
2. Nilai redaman ragam untuk ragam fundamental di arah yang harus digunakan untuk melakukan analisis spektrum respons. Nilai redaman ragam yang lebih tinggi harus konsisten dengan redaman yang sesuai untuk analisis spektrum respons struktur di atas sistem isolasi yang diasumsikan terjepit di dasarnya. nilai redaman ragam untuk ragam fundamental harus tidak lebih besar dari nilai redaman efektif sistem isolasi atau 30 % redaman kritis.

3. Analisis spektrum respons yang digunakan untuk menentukan perpindahan maksimum total harus menyertakan model yang digetarkan bersamaan (simultan) oleh 100% gerak tanah di arah kritis dan 30% gerak tanah di arah tegak lurusnya, diarah horizontal. Perpindahan maksimum sistem isolasi harus dihitung sebagai penjumlahan vector perpindahan orthogonal dari dua arah tersebut.

#### **2.5.8.2 Sistem Isolasi dan Elemen-Elemen Struktural di Bawah Sistem Isolasi**

Sistem isolasi, fondasi, dan semua elemen struktural di bawah tingkat dasar harus direncanakan dengan menggunakan semua persyaratan yang berlaku untuk struktur tanpa isolasi. Gaya-gaya harus diperoleh dari analisis dinamik tanpa pengurangan (reduksi), tetapi gaya lateral rencana tidak boleh kurang dari 90% dari  $V_b$  yang ditentukan sesuai dengan Persamaan (2.6).

Perpindahan maksimum total dari sistem isolasi tidak boleh diambil kurang dari 80 %  $D_{TM}$  seperti yang ditentukan dalam pasal 12.5.3.3 kecuali  $D'_M$  diizinkan untuk digunakan sebagai pengganti  $D_M$  seperti ditentukan berikut:

$$D'_M = \frac{D_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_M}\right)^2}} \quad (2.13)$$

Keterangan :

$D_M$  = perpindahan maksimum, dalam mm, di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh Persamaan (2.1)

$T$  = periode elastik struktur terjepit di dasarnya, di atas sistem isolasi seperti yang ditentukan di pasal 7.8.2

$T_M$  = periode efektif, dalam detik, dari struktur dengan isolasi seismik pada perpindahan maksimum dalam arah yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam Persamaan (2.2)

#### **2.5.8.3 Elemen-Elemen Struktural di Atas Tingkat Dasar**

Sesuai dengan Batasan khusus prosedur di bagian ini, elemen-elemen struktur di atas tingkat dasar harus direncanakan dengan menggunakan persyaratan-persyaratan yang berlaku untuk struktur tanpa isolasi dan gaya-gaya yang diperoleh dari analisis dinamik dibagi dengan faktor  $R_1$  seperti yang ditentukan sesuai pasal 12.5.4.2.

Untuk analisis spektrum respons, geser rencana pada setiap tingkat tidak boleh

kurang dari geser lantai yang dihasilkan dari penerapan gaya-gaya yang dihitung menggunakan Persamaan (2.10), dan nilai  $V_b$  harus sama dengan geser dasar yang diperoleh dari analisis spektrum respons di arah yang ditinjau.

Nilai  $V_b$  tidak boleh kurang dari 80% dari yang ditetapkan dalam pasal 12.5.4.1 dan nilai  $V_s$  tidak boleh kurang dari 100% dari batasan yang diterapkan dalam pasal 12.5.4.3 untuk analisis riwayat respons dari struktur beraturan.

Untuk analisis riwayat respons dari struktur tidak beraturan, nilai  $V_b$  tidak boleh diambil kurang dari 100% dari yang ditetapkan dalam pasal 12.5.4.1, dan nilai  $V_s$  tidak boleh diambil kurang dari 100% batas-batas yang ditetapkan dalam pasal 12.5.4.3.

## **2.6. Sistem Rangka Pemikul Momen**

Sistem struktur rangka pemikul momen menggunakan mekanisme lentur untuk menahan beban-beban lateral. Saat merencanakan bangunan tahan gempa, SRPM adalah salah satu opsi. Ciri-ciri SRPM termasuk: beban lateral, terutama yang disebabkan oleh gempa, ditransfer melalui mekanisme lentur antara balok dan kolom. Oleh karena itu, balok, kolom, dan sambungan balok kolom sangat penting dalam situasi ini. Dalam situasi seperti ini, struktur dapat dianalisis sebagai SRPM pada arah sumbu kuat kolom. SRPM terdiri dari tiga tingkatan, yaitu :

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), untuk daerah yang berada di wilayah gempa dengan kategori desain seismik (KDS) B.
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), untuk daerah yang berada di wilayah gempa dengan kategori desain seismik (KDS) B, dan C.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), untuk daerah yang berada di wilayah gempa dengan kategori desain seismik (KDS) B, C, D, E, dan F.

Penentuan kategori desain seismik (KDS) ditentukan berdasarkan klasifikasi situs dan penentuan parameter percepatan gempa dalam SNI 1726-2019, situs diklasifikasikan menjadi SA (Batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak), SF (tanah khusus). Klasifikasi situs dilakukan berdasarkan data tanah. Parameter percepatan gempa yang berupa  $S_s$  dan  $S_1$  ditentukan dari peta risiko gempa Indonesia berdasarkan Lokasi dan gempa rencana. Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 6.5, Gedung ini dibangun di Kota Bandung yang direncanakan menggunakan kategori desain seismik D karena memiliki nilai  $S_d > 0,5$ . Karena Gedung ini termasuk kategori D, maka dipilih

kriteria desain Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Dalam perencanaan bangunan atas *base isolation* agar tercapai efektifitas penggunaan base isolation bangunan atas *base isolation* menggunakan sistem bangunan yang memiliki tingkat daktilitas yang rendah. Pada proyek akhir ini direncanakan sistem struktur rangka pemikul momen biasa (SRPMB).

### 2.6.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

SNI 2847-2019 Pasal 18.3 berisi persyaratan yang berlaku untuk rangka momen biasa yang menjadi sistem penahan gaya gempa. Berikut persyaratan untuk sistem rangka pemikul momen biasa :

#### 1. Balok

Balok harus memiliki minimal dua batang tulangan longitudinal yang menerus sepanjang kedua sisi atas dan bawah penampang. Tulangan bawah yang menerus harus memiliki luas tidak boleh kurang dari seperempat luas tulangan bawah maksimum. Tulangan ini harus diangkur untuk dapat mencapai kekuatan leleh Tarik  $f_y$  pada muka tumpuan.

#### 2. Kolom

Kolom yang mempunyai panjang tak tertumpu  $l_u \leq 5c_1$  harus memiliki  $\phi V_n$  setidaknya nilai terendah di antara berikut:

- a) Kekuatan lentur kolom harus dihitung dengan gaya aksial terfaktor yang konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur tertinggi. Gaya geser terkait dengan munculnya kekuatan momen nominal  $M_n$  pada setiap ujung dari panjang tak tertumpu kolom karena lentur berbalik arah.
- b) Gaya geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain, termasuk  $E$ , dengan  $\Omega_0 E$  sebagai pengganti  $E$ .

### 2.7. Perencanaan Pembebanan

Pembebanan yang direncanakan pada pemodelan ini sesuai dengan peraturan SNI 1727-2020 dan SNI 1726-2019. Untuk pembebanan yang di perhitungkan dalam pemodelan ini adalah sebagai berikut.

### 2.7.1 Beban Mati

Mencakup berat semua bagian struktur yang tetap, termasuk beban finishing, mesin, dan peralatan tetap yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari struktur tersebut.

Untuk besaran beban mati menggunakan SNI 1727-2020, dimana beban yang dipakai adalah sebagai berikut:

**Tabel 2. 3.** Daftar Besaran Beban Mati (SNI 1727-2020)

No	Dead Load	Load (kN/m <sup>2</sup> )
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.	Plafond	0,2
5.	Elektrikal dan Mekanikal	0,25

### 2.7.2 Beban Hidup

Mencakup semua beban yang disebabkan oleh penggunaan dan penghunian suatu Gedung, termasuk beban dalam ruangan yang tidak permanen atau seperti beban air hujan pada atap. Beban hidup dihitung berdasarkan SNI 1727-2020, Tabel 4.3-1 dimana beban yang dipakai sebagai berikut :

**Tabel 2. 4.** Daftar Besaran Beban Hidup (SNI 1727-2020)

No.	Fungsi Ruangan	Load (kN/m <sup>2</sup> )
1.	Ruangan untuk kelas	1.92
2.	Laboratorium	2.87
3.	Ruang Penyimpanan	7.18
4.	Kantor	2.40
5.	Atap	0.96

Beban hidup tersebut dianggap tidak sepenuhnya efektif karena masa pakai gedung sangat kecil dan beban hidup penuh dapat membebani seluruh bagian dari semua elemen struktur pemikul secara bersamaan. akibatnya, koefisien reduksi dapat dikalikan dengan beban hidup yang dibagi rata. Menurut SNI 1727-2013 pasal 4.7.2, koefisien reduksi beban hidup dapat di tentukan pada Persamaan berikut :

$$L = L_o \left( 0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{KLLAT}} \right) \quad (2.14)$$

Keterangan :

L = beban hidup rencana tereduksi

L<sub>o</sub> = beban hidup rencana tanpa reduksi

KLL = Faktor elemen beban hidup

AT = Luas struktur bangunan

L tidak boleh kurang dari 0,4L<sub>o</sub> untuk komponen struktur yang mendukung dua lantai atau lebih. Nilai faktor elemen hidup (KLL) dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 2. 5.** Faktor Elemen Hidup (SNI 1727-2020)

Elemen	KLLa
Kolom-kolom interior	4
Kolom-kolom eksterior tanpa pelat kantilever	4
Kolom-kolom tepi dengan pelat kantilever	3
Kolom-kolom sudut dengan pelat kantilever	2
Balok-balok tepi tanpa pelat-pelat kantilever	2
Balok-balok interior	2
Semua komponen struktur yang tidak disebut diatas :	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balok-balok tepi dengan pelat-pelat kantilever</li> <li>• Balok-balok kantilever</li> <li>• Pelat-pelat satu arah</li> <li>• Pelat-pelat dua arah</li> <li>• Komponen struktur tanpa ketentuan-ketentuan untuk penyaluran</li> <li>• Geser menerus tegak lurus terhadap bentangnya</li> </ul>	1

Beban hidup penuh tanpa penerapan koefisien reduksi tetap harus dipertimbangkan pada :

- Lantai gedung, ruang arsip, perpustakaan, dan ruang penyimpanan lainnya yang serupa

- Lantai ruang yang memikul beban berat tertentu yang bersifat tetap, seperti alat-alat dan mesin-mesin

### 2.7.3 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang disebabkan oleh pergerakan tanah yang disebabkan oleh gempa bumi (baik itu gempa tektonik atau vulkanik) yang mempengaruhi suatu struktur.

#### 2.7.3.1 Kategori Risiko Bangunan

Merencanakan suatu bangunan berarti mengetahui tujuan utamanya. Ada banyak faktor yang mempengaruhi kategori risiko bangunan, termasuk risiko terhadap jiwa manusia saat terjadi kegagalan, kemungkinan dampak ekonomi dan atau gangguan massal terhadap kehidupan Masyarakat jika terjadi kegagalan, dan pentingnya mempertahankan fungsi struktur bangunan sesuai tabel 3 SNI 1726-2019 mengenai kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa.

**Tabel 2. 6.** Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (SNI 1726-2019)

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fasilitas pertanian, Perkebunan, peternakan, dan perikanan</li> <li>• Fasilitas sementara</li> <li>• Gudang penyimpanan</li> <li>• Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Perumahan</li> <li>• Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>• Pasar</li> <li>• Gedung perkantoran</li> </ul>	II

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gedung apartemen/rumah susun</li> <li>• Pusat perbelanjaan</li> <li>• Bangunan industri</li> <li>• Fasilitas manufaktur</li> <li>• Pabrik</li> </ul>	
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioskop</li> <li>• Gedung pertemuan</li> <li>• Stadion</li> <li>• Fasilitas Kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>• Fasilitas penitipan anak</li> <li>• Penjara</li> <li>• Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk ke dalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar terhadap kehidupan Masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>• Fasilitas penanganan air</li> <li>• Fasilitas penanganan limbah</li> <li>• Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV 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</p>	<p>III</p>
<p>Gedung dan non gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang</p>	<p>IV</p>

<p>penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bangunan – bangunan monumental</li> <li>• Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan</li> <li>• Rumah ibadah</li> <li>• Rumah sakit dan fasilitas lainnya yang memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>• Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>• Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>• Fasilitas kesiapan darurat, kominkasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>• Pusat pembangkit energi dan fasilitas lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>• Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangka penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau mineral atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk dalam ketegori risiko IV.</p>	
--	--

### 2.7.3.2 Faktor Keutamaan Gempa

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung sesuai SNI 1726-2012 Tabel 1, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan ( $I_e$ ).

**Tabel 2. 7.** Faktor keutamaan gempa (SNI 1726 2019)

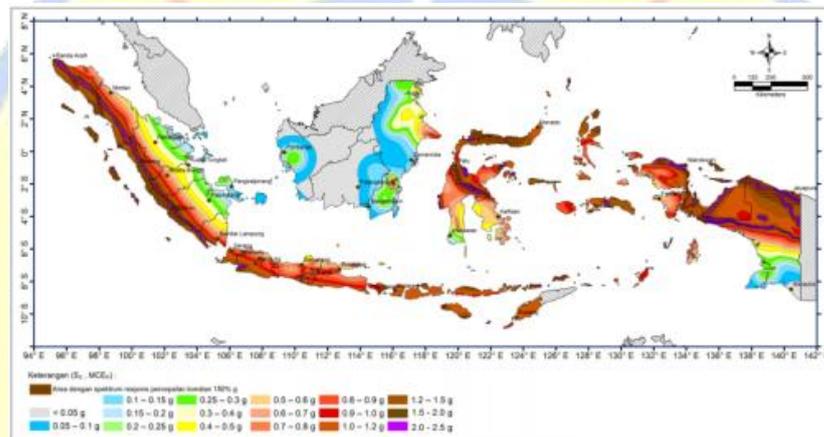
Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa $I_e$
I atau II	1,0

III	1,25
IV	1,50

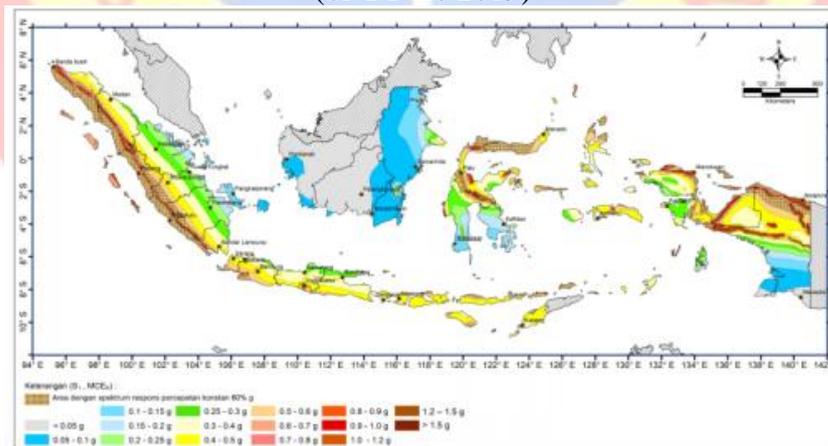
### 2.7.3.3 Wilayah Gempa dan Stuktur Respons

#### 1. Parameter Percepatan

Parameter  $S_s$  (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan  $S_1$  (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spectral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2 % terlampaui dalam 50 tahun.



Gambar 2. 5 Parameter gerak tanah ( $S_s$ ) wilayah Indonesia untuk periode 0,2 detik (SNI 1726 2019)



Gambar 2. 6 Parameter gerak tanah ( $S_s$ ) wilayah Indonesia untuk periode 0,2 detik (SNI 1726 2019)

#### 2. Klasifikasi Situs

Untuk merencanakan beban gempa, klasifikasi lokasi berdasarkan data tanah

untuk bangunan, kelas situs harus ditetapkan berdasarkan nilai N-SPT dan sifat tanah situs. Kelas situs harus SA, SB, SC, SD, SE, atau SF, sesuai dengan tabel 7 dalam SNI 1726 2019

**Tabel 2. 8.** Klasifikasi Situs (SNI 1726 2019)

Kelas situs	$V_s$ (m/detik)	$N$ atau $N_{ch}$	$S_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 – 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak )	350 - 750	>50	$\geq 100$
SD ( tanah sedang )	175 – 350	15 - 50	50 – 100
SE ( tanah lunak )	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Indeks plastisitas, <math>PI &gt; 20</math> ,</li> <li>2. Kadar air, <math>w \geq 40\%</math> ,</li> <li>3. Kuat geser nilanis <math>S_u &lt; 25</math> kPa</li> </ol>		
SF ( tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik – situs yang mengikuti 0 )	Setiap profit lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</li> <li>• Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan <math>H &gt; 3</math>m)</li> <li>• Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan <math>H &gt; 7,5</math> m dengan indeks plastisitas <math>PI &gt; 75</math>)</li> </ul> Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa		

### 3. Koefisien Situs dan Parameter Respon Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Target ( $MCE_R$ )

Untuk menentukan respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Parameter respons spektral percepatan pendek ( $SM_S$ ) dan periode 1 detik ( $SM_1$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$SM_S = F_a \times S_S \quad (2.15)$$

$$SM_1 = F_v \times S_1 \quad (2.16)$$

Keterangan :

$S_S$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode pendek

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

**Tabel 2. 9.** Koefisien Situs,  $F_a$  (SNI 1726 2019)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, $S_S$					
	$S_S \leq 0,25$	$S_S = 0,5$	$S_S = 0,75$	$S_S = 1,0$	$S_S = 1,25$	$S_S = 1,5$
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	$SS^{(a)}$					

Catatan :

(a) Untuk nilai – nilai antara  $S_S$  dapat dilakukan interpolasi linier

(b)  $SS$  = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik, lihat pasal 6.10.1 SNI 1726 2019

**Tabel 2. 10.** Koefisien Situs,  $F_v$  (SNI 1726 2019)

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, $S_s$					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
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 <sup>(a)</sup>					

Catatan :

- (a) Untuk nilai-nilai antara  $S_1$  dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik, lihat pasal 6.10.1 SNI 1726 2019

#### 4. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spectral desain untuk periode singkat ( $SD_S$ ) dan periode 1 detik ( $SD_1$ ) dihitung sesuai SNI 1726 2019:

$$SD_S = \frac{2}{3} \times S_{MS} \quad (2.17)$$

$$SD_S = \frac{2}{3} \times S_{M1} \quad (2.18)$$

#### 5. Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik dari struktur yang ditinjau diambil berdasarkan SNI 1726-2019 Tabel 8, Dimana diambil berdasarkan nilai  $SD_S$  dan kategori risiko bangunan yang ditinjau.

**Tabel 2. 11.** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek (SNI 1726 2019)

Nilai $SD_S$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$SD_S < 0,167$	A	A
$0,167 \leq SD_S < 0,33$	B	C

$0,33 \leq SD_s < 0,50$	C	D
$0,50 \leq SD_s$	D	D

**Tabel 2. 12.** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik (SNI 1726 2019)

Nilai $SD_s$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$SD_s < 0,067$	A	A
$0,067 \leq SD_s < 0,133$	B	C
$0,133 \leq SD_s < 0,20$	C	D
$0,20 \leq SD_s$	D	D

## 6. Spektrum Respon Desain

Jika spektrum respons desain diperlukan oleh metode ini dan prosedur gerak tanah dari situs tertentu tidak digunakan, kurva spektrum respons desain harus dibuat dengan mengacu pada gambar dan mengikuti persyaratan berikut :

- 1) Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan;

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.19)$$

- 2) Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $SD_s$ ;
- 3) Untuk periode lebih besar dari  $T_s$  tetapi lebih kecil dari atau sama dengan  $T_L$ , respons spectral percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{SD_1}{T} \quad (2.20)$$

- 4) Untuk periode lebih besar dari  $T_L$ , respons spectral percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan

$$S_a = \frac{SD_1 x T_L}{T^2} \quad (2.21)$$

Keterangan:

$SD_s$  = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

$SD_1$  = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1

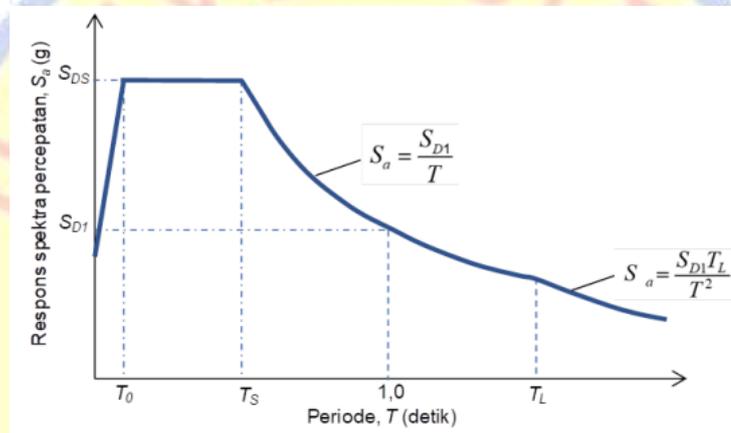
detik

$T$  = periode getar fundamental struktur

$T_0$  =  $0,2 \frac{SD_1}{SD_S}$

$T_S$  =  $\frac{SD_1}{SD_S}$

$T_L$  = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada gambar 2-11 yang nilainya diambil dari Gambar 20 SNI 1726 2019



**Gambar 2. 7.** Spektrum respons desain (SNI 1726 2019)

## 2.8. Kombinasi Pembebanan

Menurut pasal 5.3.1 SNI 2847-2019, kombinasi beban dasar untuk analisis kekuatan diberikan. Struktur, komponen, dan fondasi harus dirancang setidaknya lebih besar dari beban terfaktor berikut :

**Tabel 2. 13.** Kombinasi pembebanan (SNI 2847-2019)

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

$U = 0,9D + 1,0W$	5.3.1f	$W$
$U = 1,9D + 1,0E$	5.3.1g	$E$

Keterangan :

$L$  : Live Load

$D$  : Dead Load

$R$  : Rain Load

$L_r$  : Living Roof Load

$W$  : Wind Load

## 2.9. Analisa Struktur

### 2.9.1 Kontrol Rasio Partisipasi Massa

Menurut SNI 1726-2019 pasal 7.9.1, partisipasi ragam setidaknya 100 % terkombinasi dengan ragam. Untuk mencapai hal ini, satu mode tubuh kaku dengan periode 0,05 s harus diizinkan untuk mewakili semua mode dengan periode kurang dari 0,05 s.

Oleh karena itu, ada kemungkinan bahwa analisis harus memasukan jumlah ragam tertentu sehingga massa ragam terkombinasi tidak lebih dari 90% dari massa aktual dalam masing – masing arah horizontal dan orthogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

### 2.9.2 Kontrol Periode Fundamental

Menurut SNI 1726-2019 pasal 7.8.2 bahwa selama proses analisis, periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ) dapat digunakan secara langsung dalam detik. Periode fundamental pendekatan ini harus ditentukan melalui persamaan berikut :

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.22)$$

Keterangan :

$C_t$  = koefisien yang didapat melalui tabel 18 SNI 1726 2019

$h_n$  = ketinggian struktur

**Tabel 2. 14.** Nilai parameter periode pendekatan  $C_t$  dan  $x$  (SNI 1726-2019)

Tipe Struktur	$C_t$	$X$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul	0,0724	0,8

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: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rangka baja pemikul momen</li> <li>• Rangka beton pemikul momen</li> </ul>	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terhadang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Penentuan periode fundamental struktur (T) dilakukan dengan menghitung batasan antara nilai perioda dari program analisa struktur (Tc) dan perioda fundamental pendekatan (Ta) dengan nilai koefisien batas atas (Cu) berdasarkan tabel 17 SNI 1726 2019 berikut ;

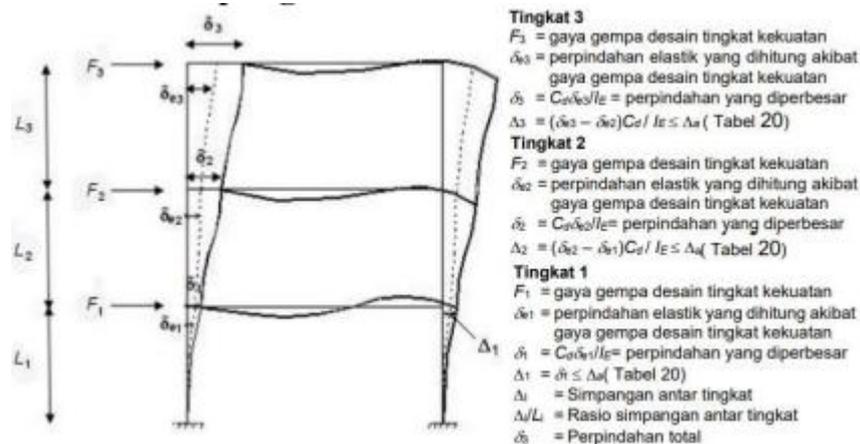
**Tabel 2. 15.** Nilai parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik,  $S_{D1}$  (SNI 1726 2019)

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

Nilai periode fundamental struktur (T) didapatkan berdasarkan batasan berikut :

- Jika  $T_c > C_u \cdot T_a$  maka  $T = C_u \cdot T_a$
- Jika  $T_a < T_c < C_u \cdot T_a$  maka  $T = T_c$
- Jika  $T_c < T_a$  maka  $T = T_a$

### 2.9.3 Kontrol Simpangan Antar Lantai



**Gambar 2. 8.** Penentuan simpangan antar tingkat

Berdasarkan SNI 1726 2019 pasal 7.8.6 disebutkan bahwa defleksi pusat massa di tingkat  $x$  ( $\delta_x$ ) (mm) ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.23)$$

Keterangan :

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

$\delta_{xe}$  = simpangan di tingkat- $x$  yang disyaratkan pada pasal ini, yang ditentukan analisis elastik

$I_e$  = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan tabel 3 SNI 1726-2019

### 2.9.4 Kontrol Gaya Geser Dasar

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.1 nilai akhir dari respons dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 100% dari nilai respons statik.

$$V = C_s x W_t \quad (2.24)$$

Keterangan :

$C_s$  = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan 7.8.1.1

$W$  = berat seismik efektif menurut pasal 7.7.2

Koefisien respons seismik,  $C_s$ , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.25)$$

Keterangan :

$S_{DS}$  = parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek seperti ditentukan dalam pasal 6.3 atau pasal 6.9

$R$  = koefisien modifikasi respons tabel 12 SNI 1726-2019

$I_e$  = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan pasal 4.1.2

Nilai  $C_s$  di atas nilainya tidak perlu melebihi dari

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.26)$$

Nilai  $C_s$  di atas nilainya tidak perlu kurang dari

$$C_s = 0,044S_{DS}I_e \geq 0,01 \quad (2.27)$$

#### 2.9.5. Pengaruh P-Delta

Sesuai dengan SNI 1726-2019, bagian 7.8.7. Apabila koefisien stabilitas ( $\theta$ ) sama dengan atau kurang dari 0,10, maka pengaruh P-Delta pada geser tingkat, momen, gaya, momen elemen struktur, dan simpangan antar tingkat tidak perlu diperhitungkan lagi seperti ditentukan oleh persamaan berikut :

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (2.26)$$

Keterangan :

$P_x$  = Beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x (kN) ; bila menghitung, faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0

$\Delta$  = Simpangan antar tingkat desain, terjadi secara serentak dengan  $V_x$  (mm)

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa

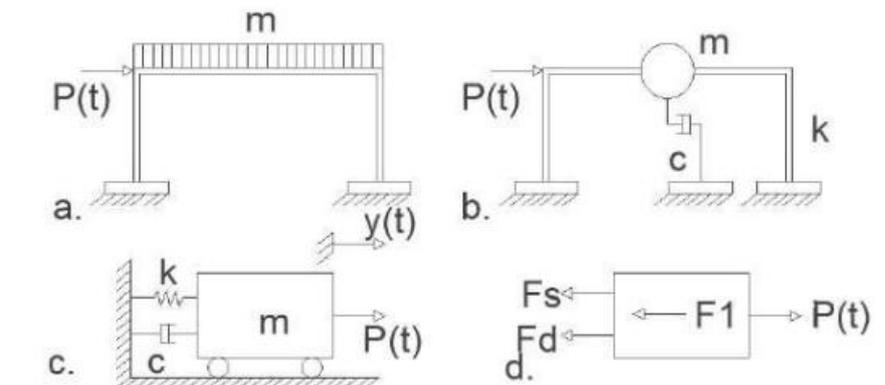
$V_x$  = Gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat-x dan X-1(kN)

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

$C_d$  = Faktor pembesaran defleksi

### 2.9.6. Sistem Berderajat Kebebasan Tunggal (*Single Degree of Freedom, SDOF*)

Sistem derajat kebebasan tunggal (SDIF) hanya akan memiliki satu koordinat untuk menunjukkan posisi massa pada saat tertentu yang ditinjau. Salah satu contoh bangunan derajat kebebasan tunggal adalah bangunan satu tingkat. Struktur dengan derajat kebebasan tunggal (*Single degree of freedom*) dapat dimodelkan sebagai berikut :



**Gambar 2. 9.** Model Matematik Struktur SDOF

Komponen yang berpengaruh penting dalam sistem yang mengalami beban dinamik adalah massa ( $m$ ), kekakuan ( $k$ ), redaman ( $c$ ) dan gaya luar ( $p(t)$ ). Dalam pemodelan diasumsikan komponen massa terkumpul pada satu titik (*lumped mass*) dan komponen kekakuan lateral tidak mempunyai massa.

Sesuai prinsip kesetimbangan, maka untuk gambar di atas diperoleh :

$$f_1(t) + f_D(t) + f_S(t) = p(t) \quad (2.27)$$

Sesuai dengan prinsip D' Alembert (Clough & Peinzien, 1993), yang menyatakan bahwa dalam kondisi dimana suatu partikel mengalami pergerakan, maka pada partikel tersebut akan muncul gaya internal yang disebut inersia  $f_i(t)$  yang besarnya adalah sama dengan massa dikalikan dengan percepatannya dan memiliki arah yang berlawanan dengan gerak dari massa tersebut.

$$f_1(t) = m\ddot{u}(t) \quad (2.28)$$

Mengingat redaman viscous, yang proposional terhadap kecepatan, gaya redaman  $f_D(t)$  adalah hasil kali dari kedua konstanta redaman dan kecepatan.

$$f_D(t) = c\dot{u}(t) \quad (2.29)$$

Gaya pegas elastik  $f_S(t)$  adalah hasil kali konstanta pegas dan simpangan.

$$f_s(t) = kv(t) \quad (2.30)$$

Sehingga persamaan (2.27) dapat di tulis :

$$m\ddot{v}(t) + c\dot{v}(t) + kv(t) = p(t) \quad (2.31)$$

Persamaan tersebut sering juga disebut persamaan umum gerak SDOF, dimana nilai  $v(t)$  merupakan nilai simpangan yang tergantung pada waktu dan dapat di definisikan sebagai:

$$\ddot{v}(t) = \frac{d^2v(t)}{dt^2} \quad (\text{percepatan}) \quad (2.32)$$

$$\dot{v}(t) = \frac{dv(t)}{dt} \quad (\text{kecepatan}) \quad (2.33)$$

$v(t)$  = perpindahan/simpangan

### 2.9.7. Sistem Berderajat Kebebasan Banyak (*Multi Degree of Freedom, MDOF*)

Struktur gedung bertingkat tiga akan memiliki tiga derajat kebebasan berdasarkan sistem bangunan yang memiliki banyak derajat kebebasan. Seringkali, tingkat kebebasan berkorelasi langsung dengan tingkatnya. Persamaan diferensial gerakan ini biasanya dibangun berdasarkan goyangan struktur sesuai dengan mode pertama, juga dikenal sebagai mode pertama.

Berdasarkan keseimbangan dinamik free body diagram diperoleh persamaan :

$$m_1\ddot{v}_1 + (c_1c_2)\dot{v}_1 - c_2\dot{v}_2 + (k_1 + k_2)v_1 - k_2v_2 = p_1 \quad (2.32)$$

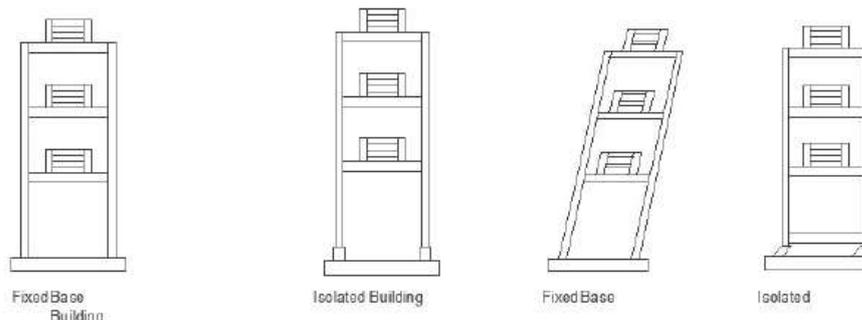
$$m_2\ddot{v}_2 - c_2\dot{v}_1 + c_2\dot{v}_2 - k_2v_1 + k_2v_2 = p_2 \quad (2.33)$$

Persamaan – persamaan tersebut dapat ditulis dalam bentuk matriks sebagai berikut :

$$\begin{pmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_1 \\ \ddot{v}_2 \end{Bmatrix} + \begin{pmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 \\ -c_2 & c_2 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_1 \\ \dot{v}_2 \end{Bmatrix} + \begin{pmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{Bmatrix} \quad \dots\dots\dots(2.34)$$

$$[m]\{\ddot{v}\} + [c]\{\dot{v}\} + [k]\{v\} = \{p(t)\} \quad (2.35)$$

dimana  $[m]$ ,  $[c]$  dan  $[k]$  berturut-turut adalah matriks massa, matriks redaman dan matriks



kekakuan. Sedangkan  $\{\ddot{u}\}$ ,  $\{\dot{u}\}$ ,  $\{u\}$  dan  $\{p(t)\}$  masing – masing adalah vektor percepatan, vektor kecepatan, vektor simpangan, dan vektor beban. Secara visual Chopra (1995) menyajikan keseimbangan antara gaya dinamik, gaya pegas, gaya redam dan gaya inersia seperti gambar berikut.

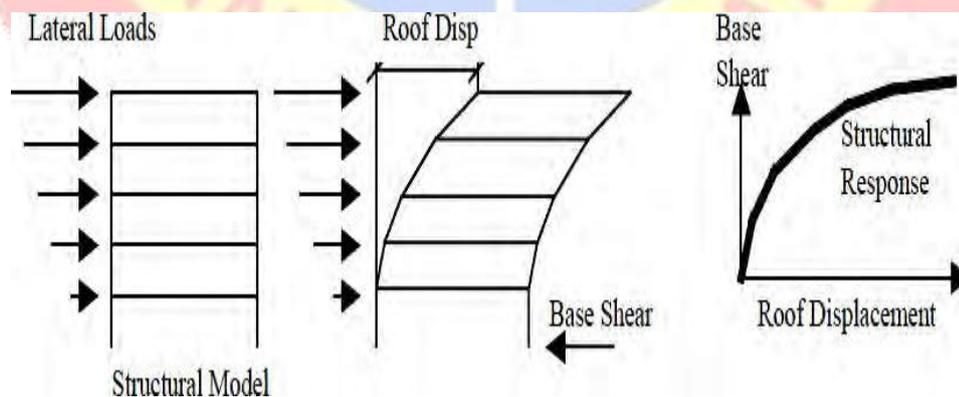
**Gambar 2. 10.** Deformasi Struktur Bangunan Akibat Beban Gempa pada Struktur Konvensional dengan Struktur Isolasi

(sumber : earthsci.org)

### 2.10. Analisa *Pushover*

Metode analisis statik non linear, juga disebut analisis *pushover* atau analisis beban dorong statik, digunakan untuk menentukan perilaku keruntuhan suatu struktur terhadap gempa. Pola beban lateral statik diberikan pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai ada satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan. Tempat tersebut biasanya berada di atap, atau lebih tepatnya, di pusat massa atap.

Tujuan Analisa *pushover* adalah untuk mendapatkan informasi tentang bagian mana pun yang penting dan untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi. Analisa *pushover*, dibandingkan dengan hasil analisis dinamik non-linear, dapat memberikan hasil yang mencukupi untuk bangunan yang normal dan tidak tinggi.



**Gambar 2. 11.** Analisa *Pushover*

(Sumber : Michael titono, tesis FT UI)

Analisa *pushover* menghasilkan kurva *pushover* (Gambar 2-9), kurva yang

menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar ( $V$ ) versus perpindahan titik acuan pada atap ( $D$ ). Pada proses *pushover*, struktur didorong sampai mengalami leleh disatu atau lebih Lokasi di struktur tersebut. Kurva kapasitas akan memperlihatkan suatu kondisi linear sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku non linear. Kurva *pushover* dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong.

### **2.10.1 Tahapan Utama dalam Analisa *Pushover***

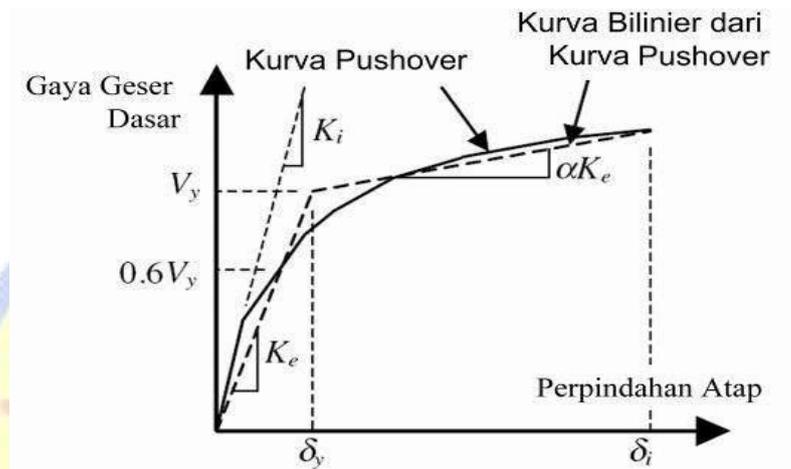
Tahapan utama dalam Analisa *pushover* adalah :

1. Membuat kurva *pushover* dengan memonitor besarnya perpindahan struktur. rekaman besarnya perpindahan titik control dan gaya geser dasar digunakan.
2. Kurva *pushover* dibuat berdasarkan berbagai pola distribusi gaya lateral, terutama yang ekuivalen dengan distribusi gaya inersia, sehingga deformasi yang diharapkan hampir sama atau mendekati dengan deformasi yang disebabkan oleh gempa. Karena sifat gempa tidak pasti, beberapa pola pembebanan lateral yang berbeda diperlukan untuk mencapai kondisi yang paling tepat.
3. Estimasi besarnya perpindahan lateral selama gempa yang direncanakan titik control didorong samapi taraf perpindahan tersebut, yang merupakan perpindahan terbesar yang disebabkan oleh gempa yang direncanakan.
4. Mengevaluasi level kinerja struktur Ketika titik control tepat berada pada target perpindahan : merupakan hal utama dari perancangan berbasis kinerja. komponen struktur dan aksi perilakunya dapat dianggap memuaskan jika memenuhi kriteria yang dari awal sudah ditetapkan, baik terhadap persyaratan deformasi maupun kekuatan. Karena yang dievaluasi adalah komponen maka jumlah relatif sangat banyak, oleh karena itu proses ini sepenuhnya harus dilakukan sepenuhnya oleh komputer. ini karena fasilitas *pushover* dan evaluasi kinerja yang terintegrasi dalam program SAP200 mengacu pada FEMA-356 dan ATC-40.

### **2.10.2 Waktu Getar Alami Efektif**

Dengan menggunakan data yang masih dalam kondisi linear, Analisa eigen-value pada umumnya digunakan untuk mengetahui waktu getar alami suatu bangunan, informasi ini sangat penting untuk mendapatkan estimasi besarnya gaya gempa yang akan

diterima oleh bangunan tersebut. Pada saat gempa, kondisi bangunan berubah menjadi inelastis, dan waktu getar alami bangunan pada saat gempa adalah waktu yang digunakan untuk menghitung gaya gempa. Kurva hasil Analisa *pushover* dapat digunakan untuk menghitung waktu getar alami yang memperhitungkan kondisi inelastis atau waktu getar efektif,  $T_e$ .



**Gambar 2. 12.** Parameter waktu getar fundamental efektif dari kurva *pushover*

(Sumber : Michael Titono, tesis FT UI)

Untuk itu, kurva *pushover* diubah menjadi kurva bilinear untuk mengestimasi kekakuan lateral efektif bangunan,  $K_e$ , dan kuat leleh bangunan,  $V_y$ , kekakuan lateral efektif dapat diambil dari kekakuan secant yang dihitung dari gaya geser dasar sebesar 60% dari kuat leleh. Karena kuat leleh diperoleh dari titik potong kekakuan lateral efektif pada kondisi elastis ( $K_e$ ) dan kondisi inelastik ( $\alpha K_e$ ), maka prosesnya dilakukan secara trial-error.

### 2.10.3 Target Perpindahan

Gaya dan deformasi setiap komponen atau elemen dihitung terhadap “perpindahan tertentu” di titik kontrol yang disebut sebagai “target perpindahan dengan notasi  $\delta_t$ ”. Perpindahan maksimum yang terjadi saat gempa rencana terjadi dianggap sebagai perpindahan maksimum yang terjadi pada bangunan. Untuk mendapatkan perilaku struktur pasca keruntuhan, perlu dilakukakan analisa *pushover* untuk membuat kurva hubungan gaya geser dasar dan perpindahan lateral titik kontrol sampai minimal 150% dari target perpindahan. Ini dibutuhkan untuk menunjukkan perilaku bangunan yang melebihi kondisi rencananya, dan perlu diingat bahwa target perpindahan hanyalah nilai rata – rata dari beban gempa rencana.

Beban lateral diberikan pada pola tertentu untuk simulasi beban gempa untuk analisa *pushover*. Beban ini harus diberikan Bersama dengan pengaruh kombinasi beban mati dan tidak kurang dari 25% dari beban hidup yang diminta. Untuk setiap tingkat, pusat massa harus menerima beban lateral. FEMA 356 meminta setidaknya dua pola beban yang berbeda digunakan untuk mensimulasikan beban gempa secara acak. Ini dilakukan untuk menunjukkan pola mana yang memiliki efek terburuk. Beban diberikan secara bertahap dalam satu arah (monotonik).

Kriteria evaluasi kinerja kondisi bangunan didasarkan pada gaya dan deformasi yang terjadi Ketika perpindahan titik kontrol sama dengan target perpindahan  $\delta_T$ . Oleh karena itu, parameter target perpindahan sangat penting dalam perencanaan berbasis kinerja.

**a) Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356)**

Metode ini dimulai dengan menetapkan waktu getar efektif,  $T_e$ , yang mengambil kondisi inelastic struktur. kekakuan linear sistem SDOF ekuivalen diwakili dengan baik oleh waktu getar alami. Jika di-plot pada spektrum respons elastis, itu akan menunjukkan percepatan gerakan tanah saat gempa, yaitu akselerasi,  $S_a$ , versus waktu getar,  $T$ . Redaman yang digunakan selalu 5%, yang merupakan level yang diharapkan terjadi pada struktur dengan respons pada daerah elastis. Hubungan berikut menghubungkan puncak perpindahan spektra elasti,  $S_d$ , dengan akselerasi spektra,  $S_a$ , dengan hubungan berikut ini :

$$S_d = \frac{T_e^2}{4\pi^2} S_a \tag{2.28}$$

Selanjutnya target perpindahan pada titik kontrol  $\delta_T$ , ditentukan dari rumus berikut :

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 C_a \left(\frac{T_e}{2\pi}\right)^2 g \tag{2.29}$$

Keterangan :

- $T_e$  = waktu getar alami efektif yang memperhitungkan kondisi inelastis
- $C_0$  = koefisien faktor bentuk, untuk merubah perpindahan spektral menjadi perpindahan atap
- $C_1$  = faktor modifikasi yang menghubungkan perpindahan inelastik

maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastik linier.

= 1.0 untuk  $T_e \geq T_s$

=  $[1.0+(R-1)T_e]/R$  untuk  $T_e < T_s$  (4)

$T_s$  = waktu getar karakteristik yang diperoleh dari kurva respons spektrum pada titik dimana terdapat transisi bagian akselerasi konstan ke bagian kecepatan konstan.

$R$  = rasio “kuat elastik perlu” terhadap “ koefisien kuat leleh terhitung:.

$$R = \frac{S_a}{V_y/W} C_m \quad (2.30)$$

$S_a$  = akselerasi respons spektrum yang berkesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arah yang ditinjau.

$V_y$  = gaya geser dasar pada saat leleh, dari idealisasi kurva *pushover* menjadi bilinear.

$W$  = total beban mati dan beban hidup yang dapat direduksi

$C_m$  = faktor massa efektif yang di ambil dari Tabel 3-1 dari FEMA 356.

$C_2$  = koefisien untuk memperhitungkan efek “pinching” dari hubungan beban deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan, berdasarkan Tabel 3-3 dari FEMA 365.

$C_3$  = koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek P-delta. Koefisien diperoleh secara empiris dari studi statistic analisa riwayat waktu non-linier dari SDOF dan diambil berdasarkan pertimbangan engineering judgement, Dimana perilaku hubungan gaya geser dasar – lendutan pada kondisi pasca leleh kekakuannya positif (kurva meningkat) maka  $C_3= 1$ , sedangkan jika perilaku pasca leleh negative (kurva menurun) maka

$$C_3 = 1.0 + \frac{\alpha(R-1)^{3/2}}{T_e} \quad (2.31)$$

$\alpha$  = rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekuan elastik efektif, dimana hubungan gaya lendutan diidealisasikan sebagai kurvabilinier (lihat waktu getar efektif)

$g$  = percepatan gravitasi 9,8 m/det<sup>2</sup>

## b) Metode Spektrum Kapasitas (ATC 40)

Metode spektrum kapasitas memulai proses dengan membuat kurva hubungan gaya perpindahan yang memperhitungkan kondisi inelastis struktur. Kurva ini kemudian diplot dalam format ADRS (*Acceleration displacement response spectrum*).

Dengan modifikasi tertentu, kurva kapasitas diubah menjadi spektrum kapasitas (*capacity spectrum*). Di sisi lain, respon spektrum diubah dalam format *acceleration displacement response spectrum*, ADRS. Format ADRS adalah gabungan antara *acceleration* dan *displacement response spektra*, dengan absis berfungsi sebagai *acceleration* ( $S_a$ ) dan ordinat berfungsi sebagai pemindahan ( $S_d$ ), dan periode,  $T$ , adalah garis miring dari pusat sumbu. Dengan menggunakan properti dinamis sistem, format ini mengubah kurva hubungan gaya geser dengan perpindahan lateral titik kontrol menjadi kurva kapasitas struktur. Selain itu, gerakan tanag gempa di ubah ke format ADRS, yang memungkinkan kurva kapasitas diplot pada sumbu yang sama sesuai dengan gaya gempa yang diperlukan. Format ini menunjukkan waktu geser sebagai garis radial dari titik pusat sumbu.

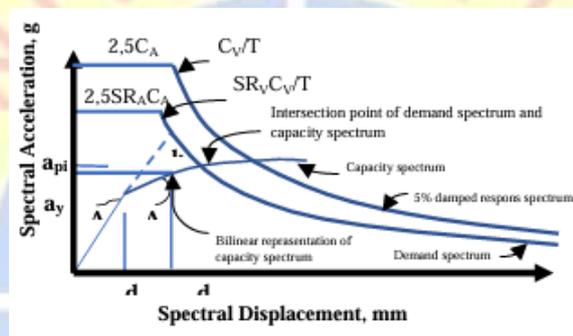
Waktu getar ekivalen,  $T_e$ , dianggap sebagai secant waktu getar tepat dimana gerakan tanah gempa perlu yang direduksi karena adanya efek redaman ekivalen bertemu pada kurva kapasitas. Karena waktu gelar ekivalen dan redaman merupakan fungsi dari perpindahan maka penyelesaian untuk mendapatkan perpindahan inelastik maksimum (titik kinerja) adalah bersifat iterative. ATC-40 menetapkan batas redaman ekivalen untuk mengantisipasi adanya penurunan kekuatan dan kekakuan yang bersifat gradual. Respons spektrum dalam bentuk ADRS ini kemudia dimodifikasi dengan memasukan pengaruh effective damping yang terjadi akibat terbentuknya sendi plastis. Spektrum ini dimanakan *demand spectrum*.

Metode spektrum kapasitas menyajikan secara grafik tiga buah grafik yaitu spektrum kapasitas (*capacity spectrum*), respons spektrum dan spektrum demand dalam format ADRS. Untuk mengetahui perilaku dari struktur yang ditinjau terhadap intensitas gempa yang diberikan, kurva kapasitas kemudia dibandingkan

dengan tuntutan (*demand*) kinerja yang berupa respons spektrum berbagai intensitas (periode ulang) gempa. Target perpindahan diperoleh melalui titik perpotongan antara spektrum kapasitas dan spektrum demand. Metode ini secara khusus telah built in dalam program, proses konversi kurva *pushover* dan kurva respons spektrum yang direduksi dikerjakan otomatis dalam program.

#### 2.10.4 Titik Kinerja Struktur

*Performance Point* merupakan titik perpotongan kurva kapasitas dengan kurva respon spektrum. Pada perhitungan manual titik performa didapat iterasi dan tidak dapat diperoleh secara langsung.



**Gambar 2. 13.** Penentuan Titik kinerja  
(sumber : ATC 40-1996)

ATC 40 menetapkan batasan rasio kecepatan dan tipe bangunan yang dievaluasi pada titik performanya. Dengan menggunakan analisis statik nonlinier, titik performa berguna untuk menentukan level kinerja struktur. Parameter yang ditetapkan, yaitu kecepatan maksimum *drift* secara keseluruhan dan maksimum inelastik drift. Batasan – batasan tipe bangunan dan *drift ratio* menurut ATC40. Batasan dapat dilihat pada tabel.

**Tabel 2. 16.** Batasan *Drift Ratio* (ATC40:1996)

Parameter	Level Kinerja			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
<i>Maksimum Total Drift</i>	0.01	0.01 – 0.02	0.02	0.033
<i>Maksimum Inelastik Drift</i>	0.005	0.005 - 0.015	Tidak dibatasi	Tidak dibatasi

### 2.11. ETABS v.21

ETABS V21 adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh *Computers and Structures, Inc. (CSI)* untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam analisis dan desain struktur gedung. Perangkat lunak ini mendukung pemodelan elemen dan analisis tiga dimensi dalam detail untuk berbagai jenis bangunan, seperti Perangkat lunak ETABS V21 bertujuan untuk membantu insinyur struktur dengan alat yang canggih dan komprehensif yang akan membuat analisis dan desain bangunan lebih mudah, cepat, dan akurat. Selain itu, perangkat lunak ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi kerja dan memastikan bahwa struktur yang dirancang aman dan andal.gedung pencakar langit, gedung komersial, dan gedung perkantoran. Penggunaan ETABS sendiri dinilai bisa dalam perancangan struktur bertingkat tinggi melalui perhitungan beban berat struktur dan beban lainnya. Ada 2 jenis analisis beban gempa yaitu fungsi spektrum respons beban dan fungsi riwayat waktu yang dimana analisis seismik dapat dihitung secara otomatis dengan mengubah nilai koefisiennya.

### 2.12. Penelitian Terdahulu

Tujuan penelitian sebelumnya tidak hanya untuk membandingkan dan mendapatkan bahan referensi, tetapi juga untuk mendapatkan dokumentasi. Selain itu, tidak perlu berasumsi bahwa hasil penelitian akan serupa.

Tinjauan pustaka yang memiliki kemiripan dengan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

**Tabel 2. 17.** Penelitian terdahulu

No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil Penelitian
1	Muhammad Khilmi Aziz (2021)	Desain Struktur dan Metode Pelaksanaan Gedung Hotel di Malang Dengan	Rasio gaya dalam	Penggunaan LRD dalam penelitian ini dapat mereduksi gaya geser bangunan arah X 49,73% dan arah Y

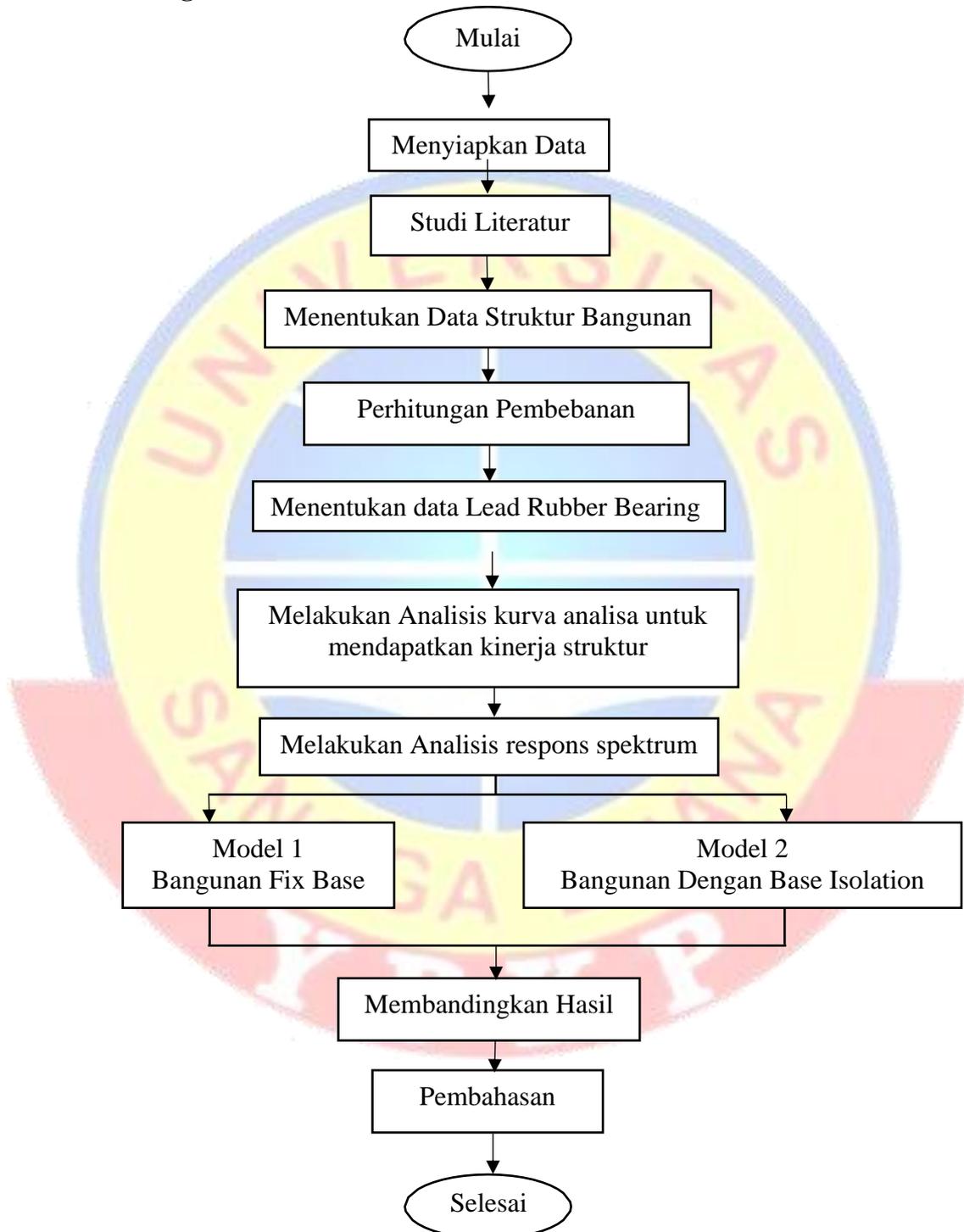
		Menggunakan <i>Base Isolation Lead Rubber Bearing</i>		sebesar 47,53%. Berdasarkan hasil analisa rasio gaya dalam, terdapat reduksi gaya aksial sebesar 29,05%, gaya geser sebesar 18,72%, gaya momen sebesar 14,16%, dan torsi sebesar 8,06 %
2	Ghewa Gabriel (2022)	Perbandingan Pengaruh High Damping Rubber Bearing dan Lead Rubber Bearing Terhadap Kinerja Struktur	Analisis Time History	Penggunaan HDRB dan LRB dalam penelitian ini mampu memberikan kenaikan level kinerja struktur dari <i>Collapse Prrevention</i> menjadi <i>Immediate Occupancy</i> dan <i>Life Safety</i> , serta mereduksi <i>displacement</i> gedung sebesar 95% dan 91.3%.
3	Rakaditya Nugroho, Ni Nyoman Kencanawati, Hariyadi (2019)	Analisis Perbandingan Kinerja <i>Fixed Base</i> Dengan <i>Base Isolation Tipe High Damping Rubber Bearing (HDRB)</i> Dan Tipe <i>Lead</i>	<i>Pushover</i>	Dari hasil analisis, didapatkan diameter untuk kedua tipe isolator sebsar 650 mm dengan total ketebalan <i>rubber</i> sebesar 198 mm. Penggunaan <i>base isolation</i> dapat

		<p><i>Rubber Bearing</i> (LRB) (Studi Kasus Pada Gedung Hotel Sutan Raja Mataram)</p>	<p>meningkatkan periode getar struktur terhadap struktur konvensional yang memiliki periode getar struktur 1,26 detik dan 0,793 detik untuk portal memanjang dan melintang. Peningkatan periode getar struktur dengan <i>base isolation</i> mencapai 1.81 detik dan 1.65 detik pada portal memanjang 63,80% dan 62,48% pada portal melintang untuk tipe LRB dan HDRB terhadap struktur konvensional. Untuk gaya horizontal dan gaya geser, terjadi penurunan yang sama yaitu sebesar 70,23% dan 69,03% pada portal memanjang 75,37% dan 74,37% pada portal melintang untuk tipe LRB dan HDRB terhadap struktur konvensional. Untuk menghubungkan antara isolator dengan</p>
--	--	---	---

				pondasi, digunakan kolom pedestal dengan dimensi 1100mm x 1100mm dengan jumlah tulangan 36D25.
4	Subur Siswanto, Prijasambada (2023)	Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan <i>Pushover</i>	<i>Pushover</i>	Hasil dari analisis <i>pushover</i> pada gedung yaitu <i>base shear</i> yang bekerja sebesar 12894,72 Kn dan <i>displacement</i> yang terjadi yaitu 190,1 mm dengan <i>drift ratio</i> sebesar 0,0127, sehingga level kinerja gedung parkir adalah <i>Damage Control</i> .

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Diagram Alir



**Gambar 3. 1.** Bagian Alir Pengerjaan

Penulis memulai dengan membaca dengan membaca literatur dengan membaca literatur peneliti sebelumnya (*Research Gap*) untuk menganalisis tingkat efektivitas penggunaan damper pada gedung. Kemudian, membuat judul untuk menganalisis tingkat efektivitas penggunaan damper pemodelan gedung dengan berbagai jenis damper. Penulis menggunakan *base isolator Lead Rubber Bearing*

Langkah selanjutnya adalah menentukan dimensi balok, kolom, dan pelat lantai, serta melakukan analisis pembebanan dan analisis struktur sesuai dengan peraturan SNI 1726-2019 dan SNI 1727-2020. Jika simpangan antar lantai dan ketidakberaturan vertikal dan horizontal tidak memenuhi syarat, maka akan kembali ke langkah primerli desain. Jika sesuai, lanjut ke tahap penambahan base isolator. Setelah ditambahkan, lihat simpangan antar lantai dan ketidakberaturan vertikal dan horizontal. Jika sudah memenuhi syarat, lanjutkan ke analisis tingkat efektivitas penggunaan base isolator pada pemodelan gedung.

Tugas akhir ini akan melakukan analisis spektrum respon ragam atau metode analisis *Pushover*.

### 3.2. Pengumpulan Data

Data yang digunakan untuk Tugas Akhir perbandingan analisis struktur gedung *fixed base* dengan struktur gedung yang menggunakan *Base Isolator*. Data-data eksisting gedung sebagai berikut :

- Lokasi : Bandung, Jawa Barat
- Fungsi : Hotel (hunian)
- Tipe Bangunan : Hunian (Kategori risiko II)
- Jenis Tanah : Tanah Sedang
- Jumlah Lantai : 10 lantai
- Tinggi Tiap Lantai : 5 meter
- Tinggi Gedung : 50 meter
- Luas Bangunan : 1440 m<sup>2</sup>
- Material : Beton Bertulang
- Mutu Beton  $f_c'$  : 35 MPa
- Mutu Baja  $f_y$  : 40 MPa

- Tebal pelat lantai dan atap : 150 mm
- Dimensi Kolom : 550 x 550 mm

Bangunan ini terdiri dari 10 lantai, dengan tinggi tiap lantai 5 meter. Bangunan yang direncanakan berlokasi di Kota Bandung dan berfungsi sebagai bangunan perhotelan. Gedung itu berada di tanah sedang. Bangunan arah  $x$  memiliki panjang 36 meter dan arah  $y$  memiliki panjang 40 meter. Software ETABS v., yang dibuat oleh Computer and Structure, Inc., digunakan untuk memodelkan data.

### 3.3. Standar yang Digunakan

- SNI 1727-2020 tentang Beban Desain Minimum serta Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur lain SNI.
- SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung serta Non Gedung.
- SNI 2847-2019 Tentang Beton

### 3.4. Pemodelan Struktur *Fixed Base*

Sesuai dengan data dimensi eksisting Gedung Hotel di Bandung, maka selanjutnya struktur dimodelkan menggunakan ETABS. Tujuannya untuk mendapatkan berat total bangunan dan beban aksial yang dimiliki oleh satu titik kolom bangunan yang berguna untuk perencanaan dimensi LRB.

Pemodelan Struktur *fixed base* dengan dimensi eksisting seperti contoh maka pada titik pondasi diatas *pile cap* terjadi reaksi terjepit penuh. Perletakan jepit adalah perletakan yang menciptakan kondisi kaku / monolit. Perletakan ini mempunyai beberapa sifat yaitu mampu menahan momen, gaya horizontal dan gaya vertikal sehingga tidak dapat bergerak ke arah horizontal, vertikal dan juga tidak berputar. Sehingga pada pemodelan *Fixed Base* dengan dimensi eksisting ini untuk *Assign Joint Restraints* dipilih perletakan jepit

### 3.5. Pemodelan Struktur dengan *Base Isolation*

Bangunan akan dimodelkan secara 3D dan memodelkan struktur secara utuh untuk membuat perlakuan struktur secara realistis. LRB akan ditempatkan pada kolom dengan menggunakan menu *link / Support properties* pada ETABS. Serta memasukan data – data sesuai dengan brosur *base isolation* yang ada.

### 3.6. Analisis dan Perhitungan

Analisis dan perhitungan struktur dilakukan pada bangunan gedung secara keseluruhan. Prosesnya adalah sebagai berikut:

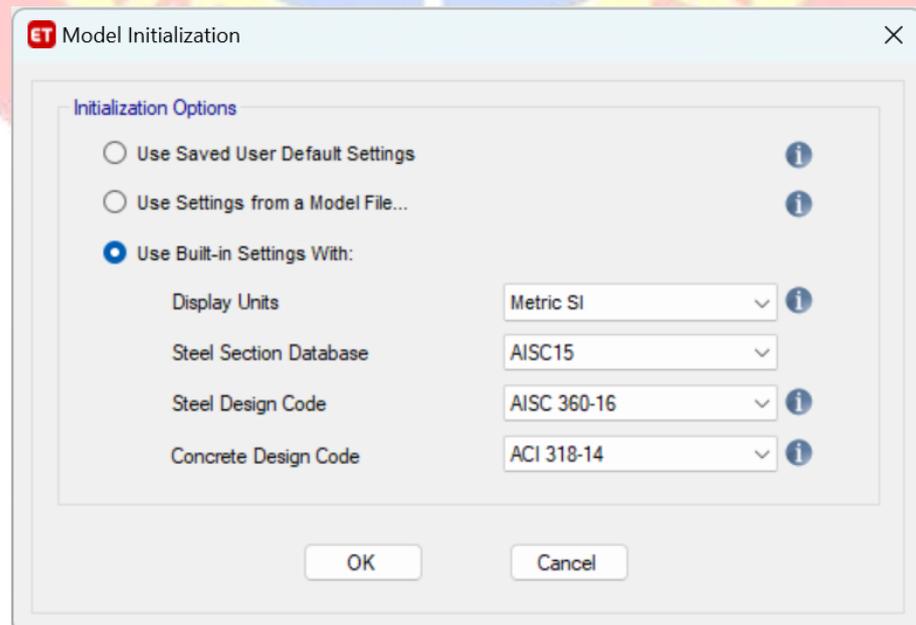
#### 3.6.1 Pemodelan dan Pradimensi Struktur Gedung

Permodelan dan pradimensi dilakukan sesuai dengan peraturan yang berlaku untuk desain elemen-elemen struktur. Permodelan yang telah direncanakan digunakan sebagai dasar untuk permodelan struktur gedung. Langkah permodelan ini dibuat menggunakan bantuan *software* ETABS v.18.

##### 1. Jendela Awal

Untuk mulai menggunakan program ETABS v.2018, pertama-tama buka program aplikasi ETABS di komputer Anda. Kemudian, klik gambar New Model, dan Anda akan melihat kotak dialog awal ETABS v.18, seperti yang ditunjukkan pada halaman berikutnya.

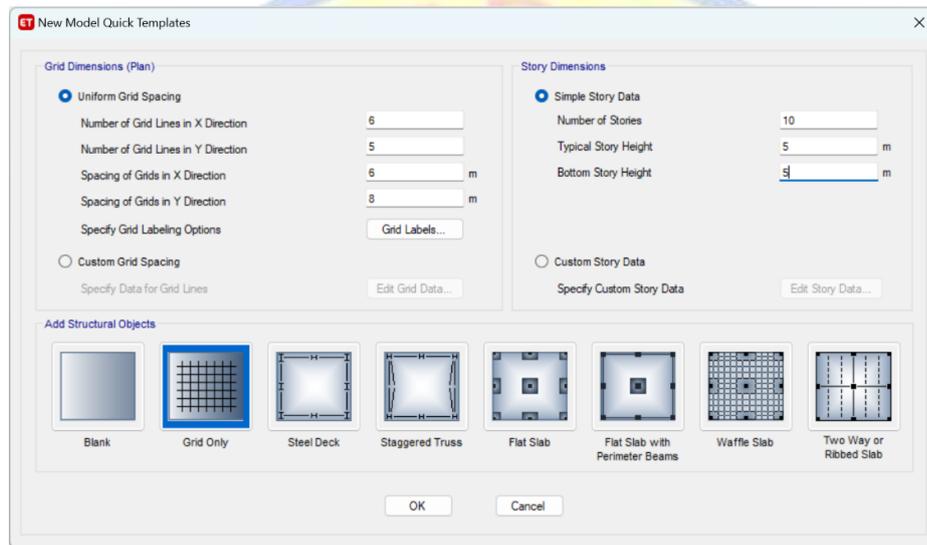
Untuk menentukan kode standar dan unit yang digunakan dalam pembuatan model perancangan, pilih Built-in Settings With di bagian Options



Initialization. Pilih metrik SI untuk satuan internasional di bagian Display Units, dan untuk perencanaan beton bertulang, pilih ACI 318-14, yang merupakan acuan dari Standar Nasional Indonesia untuk Beton Terbaru 2847-2019. Kemudian klik OK.

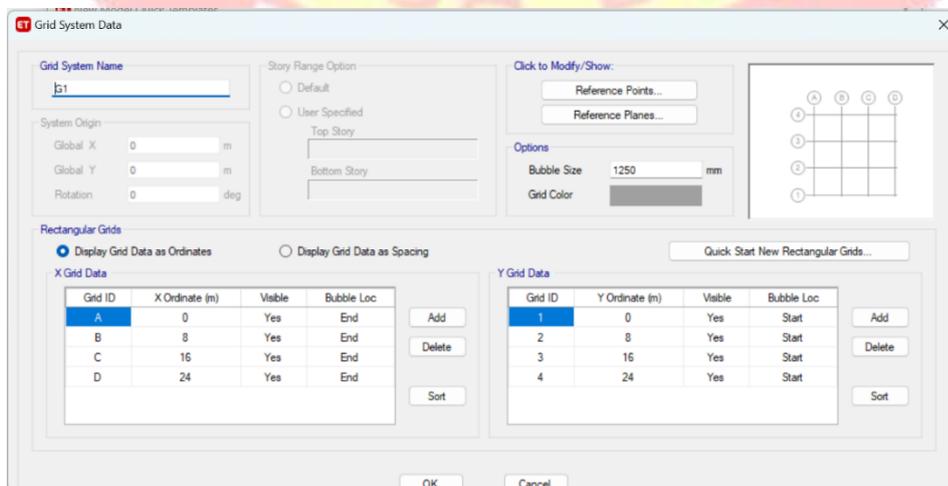
**Gambar 3. 2. Model Initialization**

Untuk langkah selanjutnya, isi Grid Dimentions dan Story Dimentions sesuai dengan pemodelan gedung yang akan dirancang.

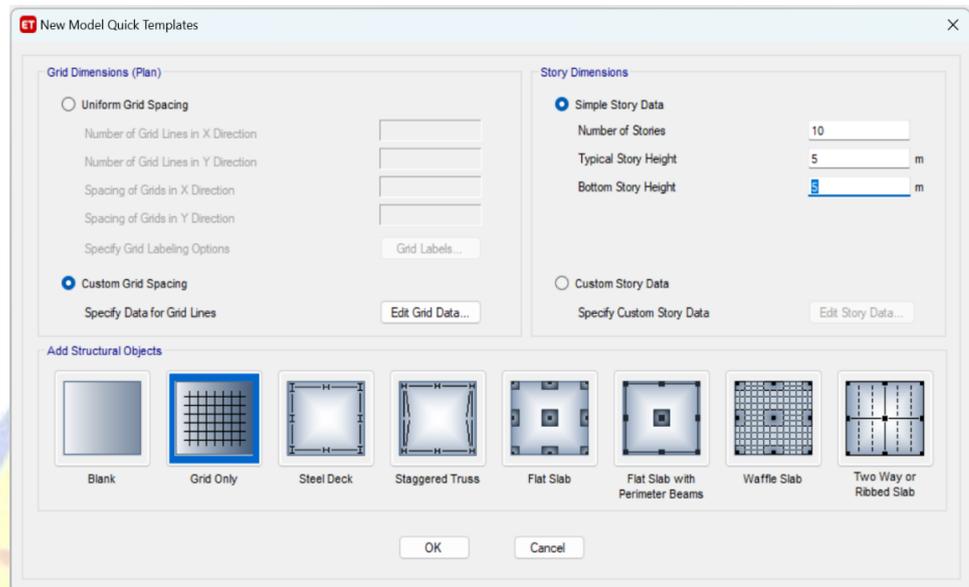


**Gambar 3. 3. Model Grid**

Langkah berikutnya adalah mengisi bagian Jarak Grid Uniform sesuai dengan pemodelan gedung yang akan dirancang. Jika ukuran jarak grid atau As berbeda, pilih Custom Grid Spacing dan kemudian klik Edit Grid Data untuk menyesuaikan jarak.

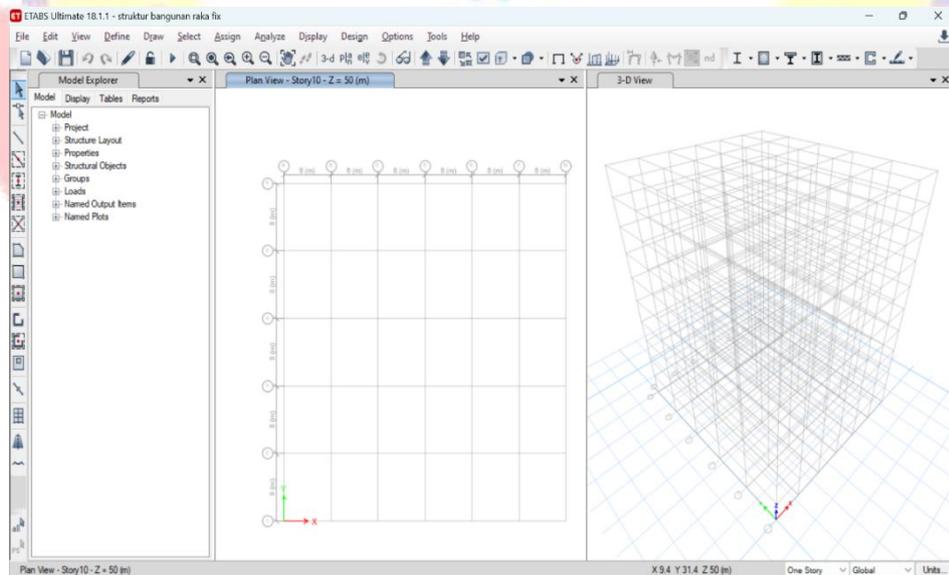


**Gambar 3. 4. Edit Grid Data**



**Gambar 3. 5. Edit Story Data**

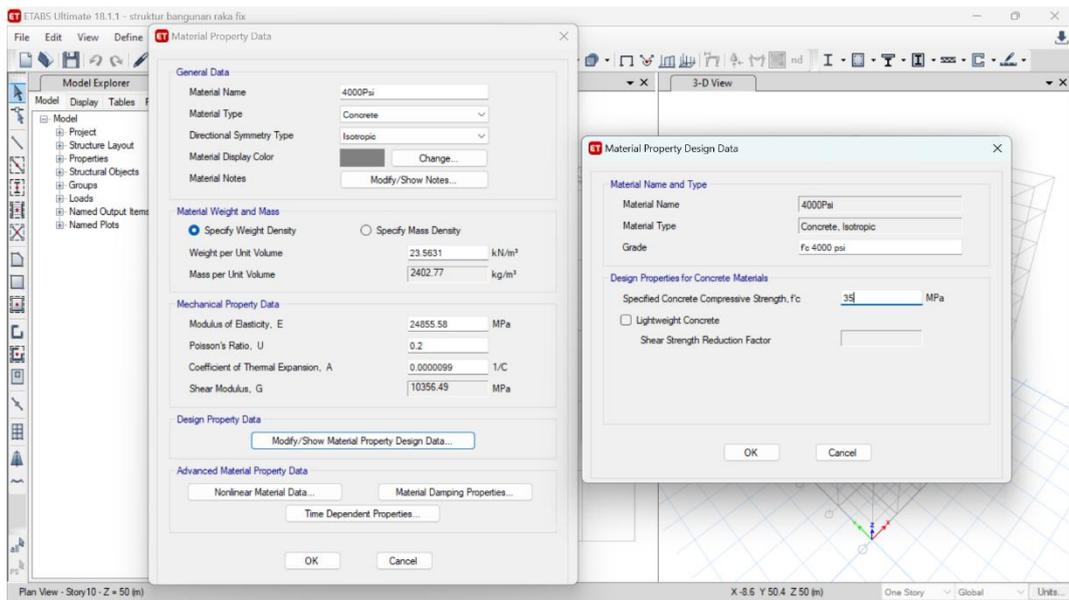
Pada bagian Story Dimensions—Simple Story Data, masukkan berapa lantai dan tinggi gedung yang akan dibuat. Kemudian, di bagian bawah, klik Grid Only dan kemudian OK.



**Gambar 3. 6. Tampilan Grid dan Story**

## 2. Input Jenis Material Properti

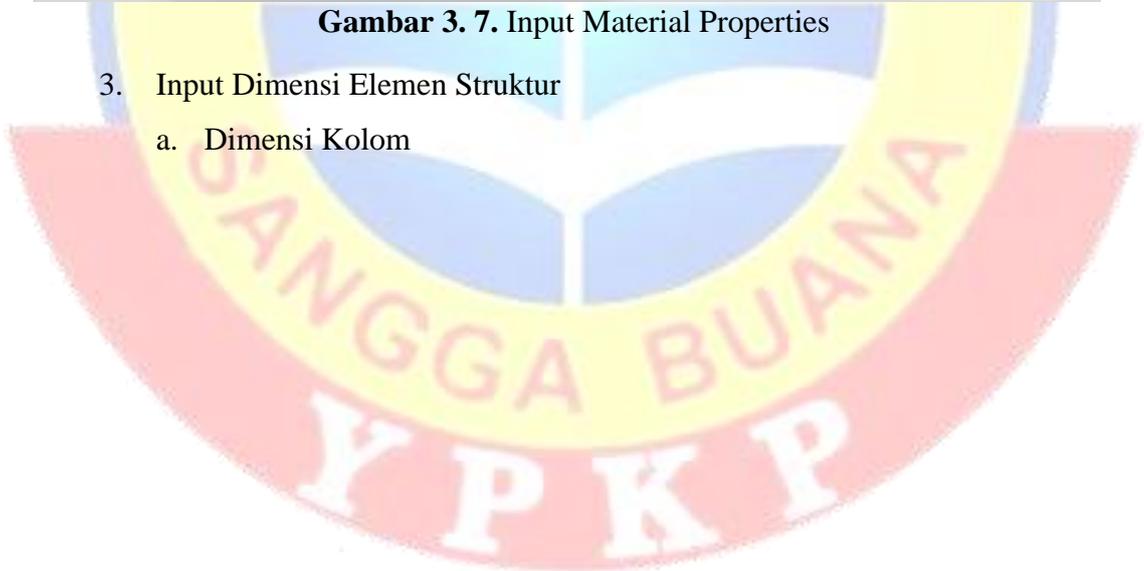
Pada bagian ini, berfungsi untuk memasukan jenis material sesuai mutu yang akan direncanakan. Anda dapat memilih menu Define dan kemudian memilih Properti Material. Pilih 4000psi (untuk gedung beton) dan kemudian pilih Modify/Tampilkan Material.



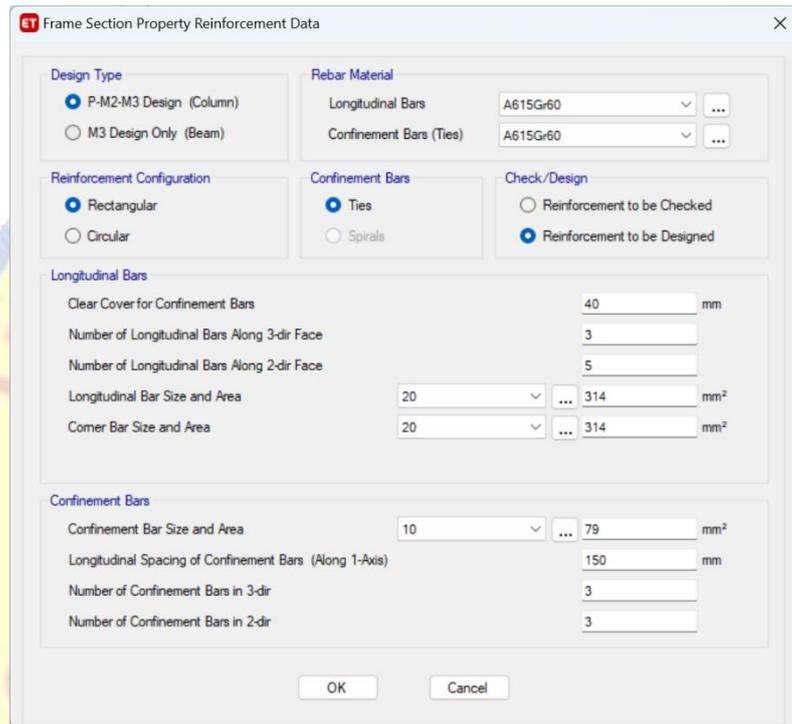
**Gambar 3. 7. Input Material Properties**

### 3. Input Dimensi Elemen Struktur

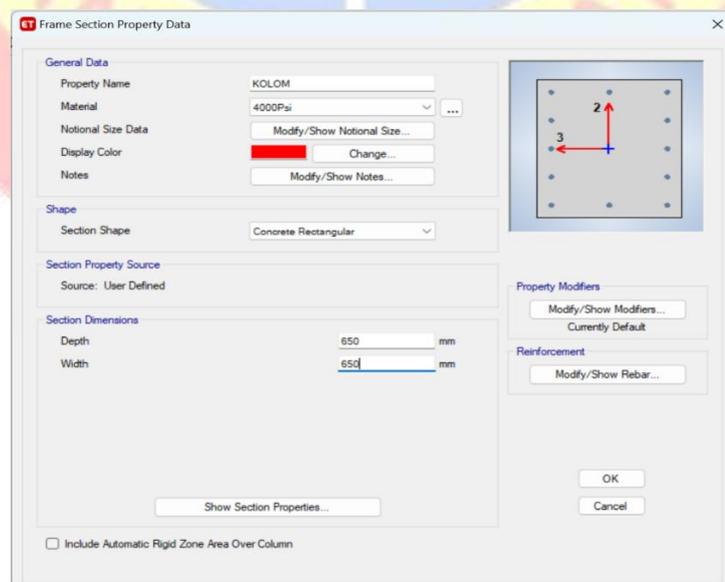
#### a. Dimensi Kolom



Pilih menu Define, lalu pilih Properti Sections. Klik Frame Sections, dan tampilan Properti Frame muncul. Isi Bagian kolom dan ukurannya di sesuaikan dengan perencanaan gedung. Klik Modify atau Show Rebar hingga muncul kotak dialog.



**Gambar 3. 8. Reinforcement Data Column**



### Gambar 3. 9. Input Column Deminsion

Pilih Rebar material sesuai dengan perencanaan gedung selanjutnya klik OK.

#### b. Dimensi Balok

Hampir sama dengan bagian kolom di atas.

ET 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 mm<sup>2</sup>

Top Bars at J-End: 0 mm<sup>2</sup>

Bottom Bars at I-End: 0 mm<sup>2</sup>

Bottom Bars at J-End: 0 mm<sup>2</sup>

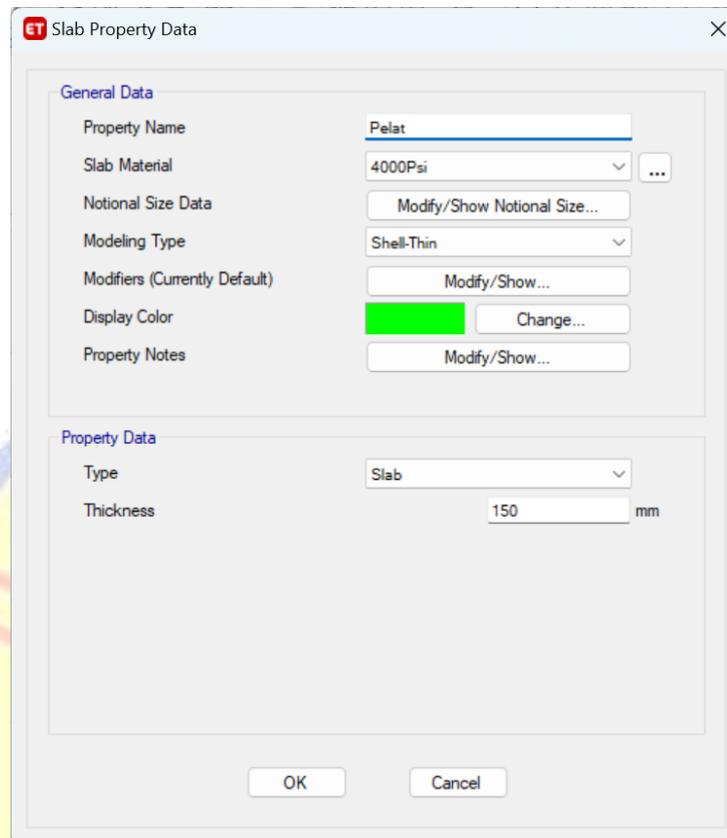
OK Cancel

### Gambar 3. 10. Reinforcement Data Beam

Cek dan isi bagian selimut beton sesuai dengan perencanaan gedung nya.

#### c. Dimensi Pelat

Klik menu Define, lalu pilih Section Properties. Kemudian pilih Bagian Slab Sections. Klik new properties. Masukkan data yang sesuai dengan perencanaan bangunan gedung dan kemudian klik



**Gambar 3. 11.** Input Data Slab

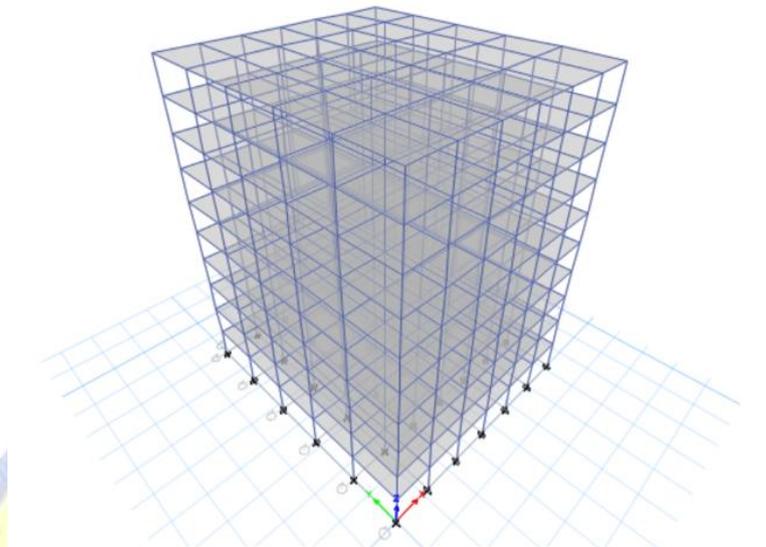
Selain contoh di atas, hal yang perlu diperhatikan hanya pada bagian Modeling Type isi dengan membrane.

- Shell

Pelat dapat menopang kekuatan benturan atau momen (bending forces) dan geser (shear forces).

- Membrane

Ketika jika membrane dalam pelat maka hanya menopang shear forces atau geser saja. Dalam hal ini pelat terkena beban gravitasi, deformasi pelat dan balok tidak sama. Kejadian ini menyebabkan lendut pada balok lebih besar dan perencanaan "safety".

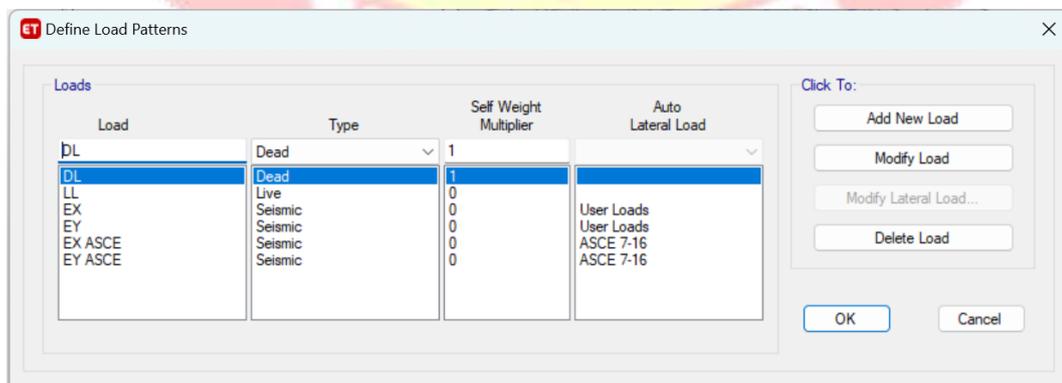


**Gambar 3. 12.** Pemodelan pada software ETABS v.21

### 3.6.2 Sistem Pembebanan (Beban Hidup dan Beban Mati)

Dalam menghitung beban beban hidup dan mati pada struktur bangunan. Analitik struktur mencakup beban mati dari struktur ditambah beban mati tambahan serta beban hidup (yang menurun saat terjadi goyangan). Beban mati tambahan, yang merupakan beban gravitasi yang disebabkan oleh elemen tambahan yang berhubungan dengan finishing bangunan karena sifatnya tetap.

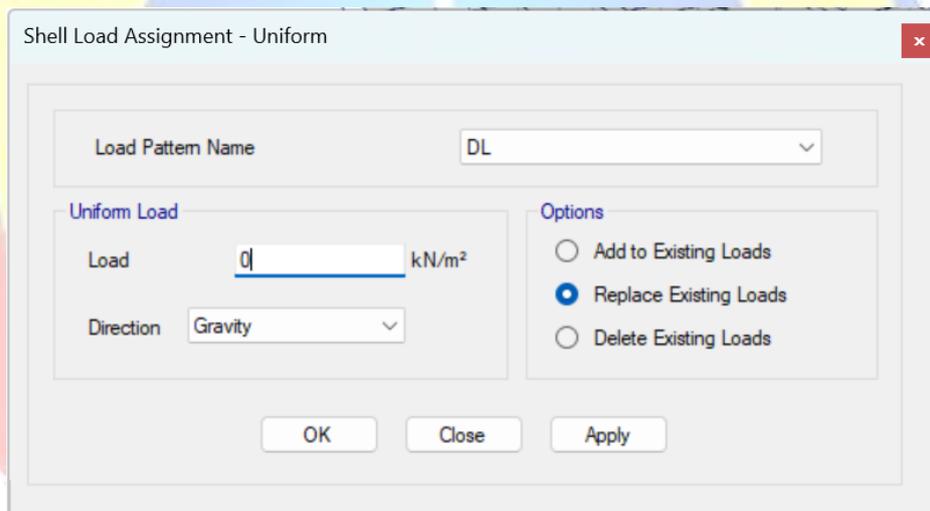
Dalam program ETABS, definisi beban statik dapat ditemukan di kotak dialog Define Load Patterns, bagian menu "Define Load Patterns" sebagai berikut:



**Gambar 3. 13.** Define Load Patterns

Pada bagian Load: Dead, Anda dapat mengubah nama Dead menjadi DL (Dead Load). Kemudian pilih Click to Modify Load. Pilih Type Dead dan Modify, dan Weight Multiplier pada beban mati menjadi 1 (untuk beban mati struktur yang akan dihitung secara langsung oleh ETABS serta untuk Input beban mati tambahan yang akan dimasukkan). Untuk bagian Load: Live, nama Live dapat diganti menjadi LL (Live Load). Jika ada tinggal, semuanya dimasukkan dengan cara yang sama.

Setelah beban pada Load Patterns didefinisikan, dapat melihat hasil input pada menu Define—Load Cases. Dan kemudian, pilih "Case Name Load Dead" dan pilih "Modify/Show Cases". Di bagian kotak dialog Case Name, ganti nama menjadi DL untuk menyesuaikannya dengan nama Load Patterns yang telah kita buat sebelumnya - OK.

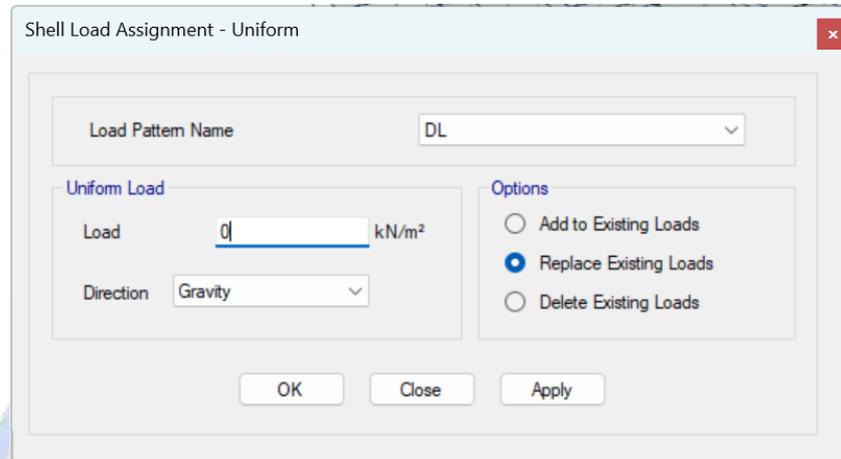


**Gambar 3. 14.** Load Case Data

#### 1. Beban Mati Tambahan

Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Bangunan Gedung menghitung beban mati tambahan, dan cara distribusi adalah sebagai berikut:

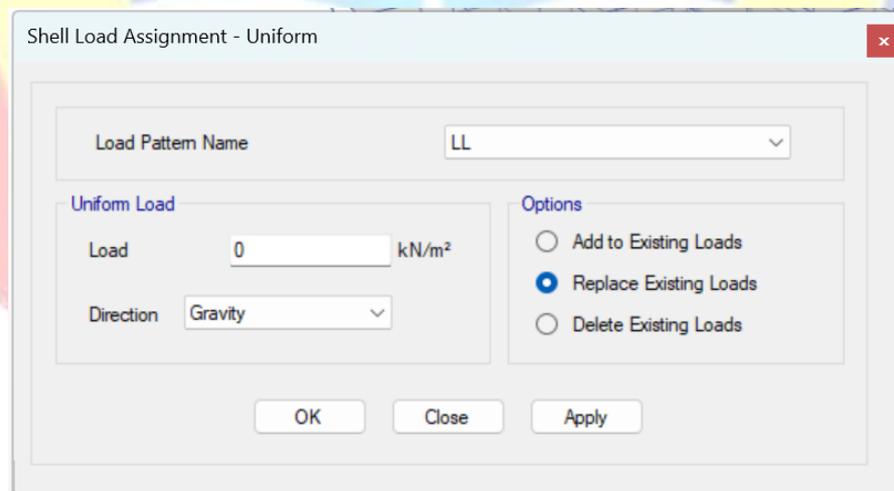
Klik menu Select – Select – Properties – Slab Sections – selanjutnya pilih pelat yang akan dibebani – Select – Close. Klik menu Assign – Shell Loads – Uniform – Input beban – Apply – OK



**Gambar 3. 15.** Input Beban Mati Tambahan Atap

## 2. Beban Hidup

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



**Gambar 3. 16.** Input Beban Hidup

### 3.6.3 Analisis Struktur

Dalam analisis struktur digunakan Respon Spektrum untuk menghasilkan kurva spektrum yang disesuaikan untuk wilayah gempa. Hasil Ini dapat dicapai dengan menggunakan website yang dapat di akses [rsapuskim2019.litbang.pu.go.id](http://rsapuskim2019.litbang.pu.go.id) milik Direktorat Jendral Kementerian PUPR.

Nilai  $F_a$  dan  $F_v$  adalah data yang diperlukan untuk analisis Respon Spektrum. Nilai  $F_a$  didapat percepatan muka tanah tinggi suatu wilayah.

### 3.6.4 Perhitungan Beban Gempa

Beban gempa pada setiap lantai dianggap sebagai beban statik ekuivalen. Prosedur statik ekuivalen digunakan untuk menyalurkan gaya lateral gempa pada setiap lantai. Selain itu, prosedur yang digunakan untuk menghitung gempa meliputi:

- a. Menentukan kategori risiko dan faktor keutamaan gempa.
- b. Memilih klasifikasi situs.
- c. Memilih parameter respon spektral (Nilai  $S_s$  dan  $S_1$ )
- d. Menentukan parameter respon spectral gempa tertarget (Nilai  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$ )
- e. Desain elemen-elemen struktur.

Mengenai perencanaan struktur atas yang akan dirancang, yang mencakup pelat, balok, kolom, dan hubungan balok kolom. BAB 4 memberikan penjelasan lebih lanjut tentang proses perhitungan.

- Perancangan Pelat

Pertama, menghitung nilai momen pada pelat  $M_x$ ,  $M_{ly}$ ,  $M_{tx}$ , dan  $M_{ty}$ . Selanjutnya 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 gaya aksial dan momen dari ETABS
- Mengecek komponen struktur penahan gempa
- Menentukan tulangan longitudinal penahan lentur
- Mengontrol beban aksial 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.

### 3.6.5 Kontrol Desain Struktur *Fixed Base*

Kontrol desain struktur *fixed base* diantaranya :

1. Kontrol partisipasi massa (SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.1)
2. Kontrol periode fundamental struktur (SNI 1726-2019 7.12..1)
3. Kontrol nilai akhir respons spektrum (SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.4.1)
4. Kontrol simpangan antar lantai (SNI 1726-2019 pasal 7.12.1)

### 3.6.6 Desain Dimensi *Base Isolator*

Dengan diperolehnya output saat analisa *fixed base*, maka dimensi dari *base isolator lead rubber bearing* dapat ditentukan. Langkah-langkahnya sebagai berikut :

1. Menentukan berat dan reaksi pada struktur dengan program bantu analisa struktur.
2. Menentukan ketebalan rubber.
3. Menentukan kekakuan horizontal aktual rubber dengan rumus :

$$K_H = \frac{m \times \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2}{L}$$

Dimana

$K_H$  = Kekakuan horizontal rubber

$m$  = Reaksi tumpuan kolom

$T$  = Periode rencana

$L$  = Panjang bentang

4. Menentukan luasan rubber dengan rumus lain kekakuan :

$$K_H = \frac{G A}{tr}$$

Dimana :

$G$  = Modulus geser

A = Luas penampang

tr = Tebal karet

- Menentukan diameter rubber (D) dengan rumus :

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

- Menentukan data-data yang berkaitan dengan properti dimensi rubber yang dapat dilihat dari brosur yang digunakan.

### 3.6.7 Pemodelan Struktur *Base Isolation*

Selanjutnya struktur base isolation dengan SRPMK dimodelkan ke dalam program bantu ETABS (SNI 1726-2019 pasal 12.5.4.2).

### 3.6.8 Kontrol Desain Struktur *Base Isolation*

Kontrol desain struktur *base isolation* diantaranya :

- Kontrol partisipasi massa (SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.1).
- Kontrol gaya geser dasar (SNI 1726-2019 pasal 12.6.2.2).
- Kontrol perpindahan *base isolation* (SNI 1726-2019 pasal 12.6.4.4).
- Kontrol simpangan antai lantai *base isolation* (SNI 1726-2019 pasal 12.6.4.4).

### 3.6.9 Analisa *Pushover*

Untuk melakukan analisis *pushover* struktur yang terbuat dari beton bertulang, terlebih dahulu harus dilakukan model struktur dan perhitungan dimensi dan penulangan struktur. Setelah pemodelan dan desain elemen struktur, tahapan-tahapan dalam melakukan analisis *pushover* dengan menggunakan program bantu ETABS v9.7.2 adalah sebagai berikut, menurut buku "Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (*Performance Based Design*):"

- Membuat *Nonlinear case*

- Menentukan titik yang ditinjau.

Titik yang ditinjau merupakan titik yang akan dijadikan dasar dalam perhitungan deformasi, dalam hal ini dipilih titik berdasarkan pusat massa bangunan pada puncak bangunan. Langkahnya sebagai berikut:

- Set plan view* ke lantai puncak (*STORY 10*) lalu arahkan kursor pada point di titik pusat massa, lalu klik kanan untuk mendapatkan informasi label titik tersebut (Dalam buku menggunakan titik 1786).

- b. Menentukan *gravity Nonlinear case*
- Pilih *Define > Static Nonlinear Pushover Cases*, lalu akan muncul kotak *Define Static Nonlinear Case*.
  - Pilih *Add New Case*, maka akan muncul kotak *Static Nonlinear case data* lalu isikan data.
  - Persentase beban yang digunakan dalam analisa *pushover* yaitu 100% beban mati dan 50% beban hidup. Efek P-Delta harus ditambahkan karena pada analisa *pushover displacement* yang terjadi akan terus bertambah seiring dengan penambahan beban dorong statik yang diberikan pada bangunan.
- c. Menentukan *Nonlinear Pushover* arah x-x
- Pilih *Define > Static Nonlinear Pushover Cases > Add New Case*, dan isikan *Static Nonlinear Case Name = PUSHX*
  - Isikan *Push to Disp. Magnitude = 1*, dan centang pada *Conjugate Displ. For Control*. (*action* ini dipilih untuk memonitor diformasi pada struktur gedung dengan mencatat perpindahan bangunan atau *displacement* selama proses analisa *pushover* dengan maksimum *displacement* yang akan dihitung oleh program sebesar 1 meter (jika struktur belum mengalami keruntuhan)
  - Isikan option pada monitor > *UX*, lalu isikan 1786 dan pilih *STORY 10*
  - Pilih *Start from previous case = GRAF*
  - Isikan *Load pattern* pada *acc dir X* dengan *Scale Factor = -1*.
  - *Input Static Nonlinear Data* untuk *pushover x-x*.
- d. Menentukan *Nonlinear Pushover Case* arah y-y
- Pilih *Define > Static Nonlinear Pushover Cases > Add New Case*, dan isikan *Static Nonlinear Case Name = PUSHY*
  - Isikan *Push to Disp. Magnitude = 1*, dan centang pada *Conjugate Displ. For Control*.

- Isikan option pada monitor > *UY*, lalu isikan 1786 dan pilih *STORY 10*
  - Pilih *Start from previous case = GRAF*
  - Isikan *Load pattern* pada *acc dir Y* dengan *Scale Factor = -1*.
  - *Input Static Nonlinear Data* untuk *pushover x-x*.
2. Menambahkan tulangan pada elemen balok
    - Pilih menu *Define > Frame Sections*, lalu klik pada *case* salah satu tipe balok (Balok B1) > Pilih *Modify/ Show Property*, maka muncul *boxes Rectangular Section*.
    - Pada *boxes Rectangular Section* klik *Reinforcement* dan isikan data tulangan balok B1.
    - Ulangi Langkah di atas untuk tipe balok lain (Balok B2).
  3. Menambahkan tulangan pada elemen kolom
    - Pilih menu *Define > Frame Sections*, lalu klik pada *case* salah satu tipe kolom (Kolom K1) > Pilih *Modify/ Show Property*, maka muncul *boxes Rectangular Section*.
    - Pada *boxes Rectangular Section* klik *Reinforcement* dan isikan data tulangan Kolom K1.
    - Pilih *Reinforcement to be Checked > OK*.
  4. Menambahkan tulangan pada elemen dinding geser.

Dalam hal ini Penulis Tugas Akhir tidak mendesain dinding geser karena sistem struktur yang digunakan adalah SRPMK sehingga tahapan pemodelan dinding geser dilewati.

5. Memodelkan sendi plastis
  - a. Mendefinisikan sendi plastis pada balok
    - Pilih semua elemen balok induk (B1 dan B2) pada seluruh lantai.
    - Pilih *Assign > Frame Line > Frame Nonlinear Hinges*, lalu isikan data *Frame Hinge Data*.
  - b. Mendefinisikan sendi plastis pada kolom

- Pilih semua elemen kolom pada seluruh lantai. Pilih *Assign > Frame Line > Frame Nonlinear Hinges*, lalu isikan data *Frame Hinge Data*.

#### 6. Running Program

- Run program dengan pilih menu *Analyze > Run Analysis* atau bisa tekan F5 dan akan muncul *boxes Running Analysis*.
- Lalu setelah selesai, *Run Static Nonlinear Analysis* dengan pilih pada menu *Analyze > Run Static Nonlinear Analysis*.
- Lalu program akan menjalankan running, biasanya akan memakan waktu agak lama (tergantung kapasitas memori komputer).

#### 7. Menampilkan static nonlinear curve

- Pilih *Display > Show Static Pushover Curve* maka akan muncul *boxes* baru.
- Pada *option Static Nonlinear Case* pilih *PUSHX* untuk *pushover curve* arah x-x dan *PUSHY* untuk *pushover curve* arah y-y.
- Untuk menampilkan plot-plot kurva *pushover* maka pilih *File > Display Table* maka akan muncul plot-plot gaya beserta perpindahannya untuk setiap step beban dorong yang diberikan pada bangunan.
- Lalu untuk menampilkan Kurva Kapasitas tinggal pilih *option Capacity Spectrum* dan isikan parameter-parameter sesuai perhitungan.

\*Catatan: Pada buku “Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (*Performance Based Design*)” menggunakan ETABS v9.7.2 sedangkan penulis Tugas Akhir akan menggunakan ETABS v18.0.0 sehingga pada saat melakukan analisa *pushover* Langkah-langkahnya sama tetapi menu pada program ETABS menyesuaikan.

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **4.1. Desain Awal**

Pada sub bab ini menjelaskan desain awal dari struktur bangunan. Berikut data modifikasi yang digunakan pada tugas akhir ini :

Nama Gedung	: Gedung 10 Lantai
Lokasi	: Kota Bandung
Fungsi	: Bangunan Perhotelan
Tinggi Bangunan	: 50 meter
Tinggi per lantai	: 5 meter
Mutu Beton ( $f_c'$ )	: 35 MPa
Mutu Baja ( $f_y$ ) Balok	: 400 MPa
Mutu Baja ( $f_y$ ) Kolom	: 400 MPa
Mutu Baja ( $f_y$ ) Pelat	: 400 Mpa
Struktur Utama	: Beton Bertulang
Base Isolasi	: Terlampir di brosur

### **4.2. Desain Struktur Fixed Base**

#### **4.2.1. Permodelan Struktur**

Gedung untuk struktur *fixed base* ini didesain dengan menggunakan sistem pemikul gaya seismik SRPMK. Permodelan dilakukan dengan menggunakan program bantu ETABS.

#### **4.2.2. Analisis Pembebanan**

Sebelum melakukan analisis struktur dengan program bantu ETABS, perlu dilakukan perhitungan beban yang hasilnya akan digunakan sebagai data input ke program tersebut. Beban-beban yang terjadi meliputi beban mati, beban hidup dan beban gempa.

#### **4.2.3. Beban Mati**

Beban mati terdiri dari beban berat sendiri elemen struktur beton dan beban mati tambahan. Berat sendiri dari elemen struktur dihitung secara otomatis oleh program bantu. Sementara untuk beban mati tambahan terdiri atas beban merata pada pelat serta beban akibat dinding. Rincian nya sebagai berikut :

- a. Beban tegel : 24kg/m<sup>2</sup>
- b. Beban spesi : 25kg/m<sup>2</sup>
- c. Beban plafond : 11kg/m<sup>2</sup>

- d. Beban penggantung plafond :  $7\text{kg/m}^2$
- e. Beban M/E :  $20\text{kg/m}^2$
- f. Beban dinding :  $208\text{ kg/m}^2$

#### 4.2.4. Beban Hidup

Beban Hidup yang digunakan tidak dikalikan dengan faktor reduksi. Rincian beban hidup yang digunakan berdasarkan SNI 1727:2020 pasal 4.3.1 adalah :

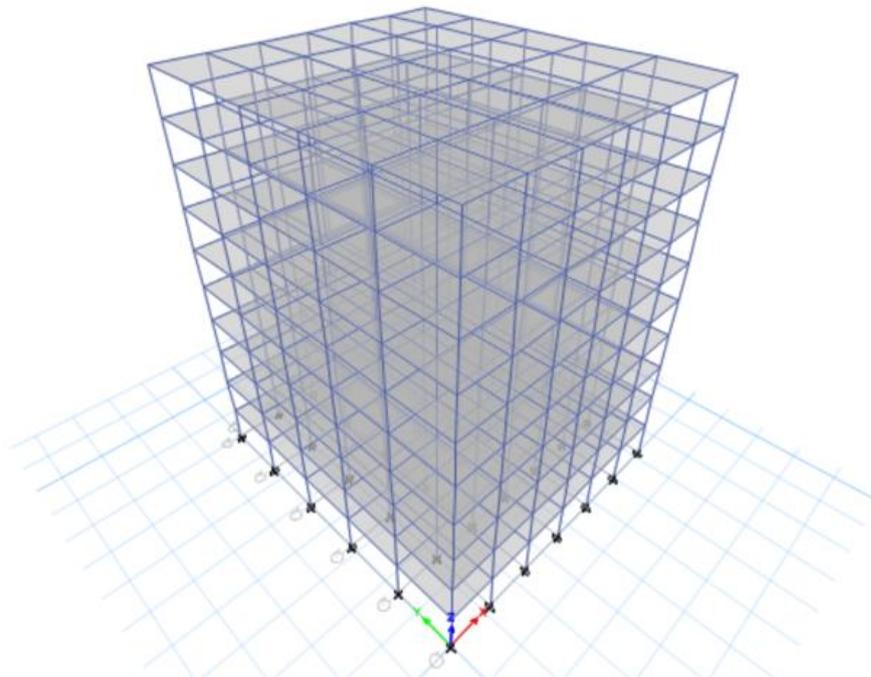
- a. Beban Hidup ruang pribadi :  $1,92\text{ kg/m}^2$

#### 4.2.5 Beban Gempa

Beban gempa dianalisis dengan metode respon spektrum dan statik ekuivalen menurut SNI 1726:2019.

- a. Menghitung berat seismik efektif struktur

Berat seismik efektif struktur ( $W$ ) merupakan berat struktur yang ikut diperhitungkan saat perhitungan beban gempa. Dalam desain beban gempa gedung ini yang mengacu pada SNI 1726:2019 pasal 7.7.2 berat seismik efektif struktur diambil 100% untuk beban mati dan 25% untuk beban hidup. Berat seismik efektif struktur dapat dihitung dengan melihat beban per lantai yang dihasilkan dari program bantu ETABS. Berikut rincian beban per lantai disajikan dalam Tabel 4.1



**Gambar 4.1** Gedung *Fix Base*

( Sumber : ETABS 21 )

**Tabel 4. 1 Berat per Lantai**

Lantai	Massa
	(kg)
Lantai 10	1038577,13
Lantai 9	1288949,48
Lantai 8	1288949,48
Lantai 7	1288949,48
Lantai 6	1288949,48
Lantai 5	1288949,48
Lantai 4	1288949,48
Lantai 3	1288949,48
Lantai 2	1288949,48
Lantai 1	1288949,48

Berat yang dihitung sebagai berat seismik efektif struktur merupakan total dari berat lantai 1 sampai lantai atap. Berat base tidak diperhitungkan karena beratnya langsung disalurkan ke pondasi. Sehingga berat seismik efektif struktur ( $W$ ) = 1263912,25 kg = 123947 kN

- b. Menentukan kategori risiko bangunan gedung  
Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 4.1.2 tabel 3 dan menurut jurnal sebelumnya bangunan apartemen atau perhotelan termasuk **kategori risiko II**.
- c. Menentukan faktor keutamaan gempa ( $I_e$ )  
Berdasarkan SNI 1726:2019 bangunan ini memiliki ( $I_e$ ) = 1,0.
- d. Menentukan klasifikasi situs  
Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 5.3 untuk menentukan klasifikasi situs dapat ditentukan salah satunya dengan menentukan nilai  $N$  berdasarkan data hasil SPT. Berdasarkan hasil tes diperoleh nilai  $N$ -SPT tanah rata rata untuk kedalaman 30 meter tersebut masuk dalam **kelas situs SD (tanah sedang)**.
- e. Menentukan parameter percepatan gempa  
Nilai parameter percepatan gempa untuk Kota Bandung diperoleh dari [web rsa.ciptakarya.pu.go.id](http://web.rsa.ciptakarya.pu.go.id) yaitu  $S_1 = 0.4928g$  dan  $S_s = 1.1209 g$
- f. Menentukan koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$   
Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 6.2 tabel 6 dan 7 diperoleh nilai  $F_a = 1.0516$  dan  $F_v = 1.8072$
- g. Menghitung parameter percepatan desain spektral  
Sebelum menghitung parameter percepatan desain spektral ( $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ ) perlu dihitung dulu nilai  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$  sesuai dengan persamaan pada SNI 1726-2019 pasal 6.2. Selanjutnya nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  dihitung dengan persamaan pada SNI 1726-2019 pasal 6.3.

$$S_{MS} = F_a S_s = 1.0516 \times 1.1209 = 1.17873844 g$$

$$S_{M1} = F_v S_1 = 1.8072 \times 0.4928 = 0.89058816 g$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 1.17873844 = 0.7858 \text{ g}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0.89058816 = 0.5937 \text{ g}$$

h. Menentukan kategori desain seismik

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 6.5 tabel 8 dan 9, dilihat dari kategori risiko bangunan gedung, nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  maka diperoleh **kategori desain seismik D**.

i. Menentukan sistem pemikul gaya seismik

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.2.2 tabel 12 untuk kategori desain seismik D, sistem pemikul gaya seismiknya bisa menggunakan **rangka beton bertulang pemikul momen khusus** dengan nilai :

$$R = 8$$

$$\Omega_0 = 3$$

$$C_d = 5,5$$

j. Analisis respon spektrum

Penggambaran kurva respon spektrum mengikuti ketentuan pada SNI 1726-2019 pasal 6.4. Ketentuannya sebagai berikut :

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \times \frac{0.5937}{0.7858} = 0.1511 \text{ s}$$

$$T_0 = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.5937}{0.7858} = 0.76 \text{ s}$$

$T_L = 20\text{s}$  (SNI 1726-2019 gambar 20)

• Untuk  $T < T_0$

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

Maka untuk  $T = 0$  nilai  $S_a = 0.79\text{g}$

• Untuk  $T_0 \leq T \leq T_s$

$$S_a = S_{DS}$$

Maka untuk :

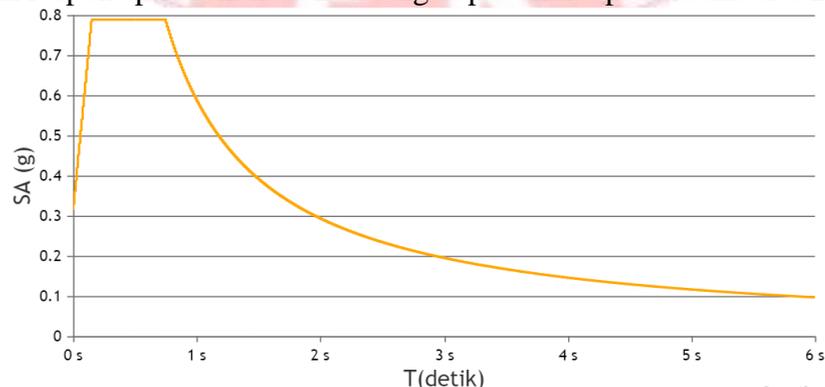
$$T = T_0 = 0,151 \text{ s}, S_a = 0,79 \text{ g}$$

$$T = T_s = 0,151 \text{ s}, S_a = 0,79 \text{ g}$$

• Untuk  $T_s \leq T \leq T_L$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

Grafik respon spektrum kota Bandung dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut.



**Gambar 4.2** Grafik *Respon Spektrum*  
( Sumber : ETABS 21 )

Nilai respon spektrum tersebut harus dikalikan dengan *scale factor* (*sf*) yang besarnya :

$$sf = g \frac{I_e}{R} = 9,81 \times \frac{1,0}{8} = 1,22625$$

dimana, *g* = percepatan gravitasi = 9,81 m/s.

k. Menentukan periode fundamental struktur

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.2, sebagai alternatif dalam menentukan periode fundamental struktur, diizinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan ( $T_a$ ) yang dihitung sesuai SNI 1726-2019 pasal 7.8.2.1

$$T_a = C_t h_n^x$$

Keterangan :

$C_t$  : koefisien yang didapat dari SNI 1726-2019

$h_n$  : ketinggian struktur

**Tabel 4. 2 Nilai parameter pendekatan  $C_t$  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

Karena struktur yang akan didesain merupakan rangka beton pemikul momen khusus maka nilai parameter  $C_t$  dan  $x$  berturut-turut sebesar 0.0466 dan 0,9

$$T_a = C_t h_n^x = 0.0466 \times 50^{0,9} = 1,5756 \text{ s}$$

Periode struktur bangunan dibatasi dengan mengalihkan nilai periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ) dengan koefisien  $C_u$  yang besarnya sesuai SNI 1726-2019 pasal 7.8.2 tabel 17.

**Tabel 4. 3 Nilai koefisien batas atas pada periode yang diitung**

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, $S_{D1}$	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

Karena nilai  $S_{D1} = 0,5937$  maka nilai  $C_u$  diambil sebesar 1,4.

$$C_u T_a = 1,4 \times 1,5756 = 2,206 \text{ s}$$

Sedangkan periode struktur ( $T_c$ ) yang diperoleh dari analisis pada program bantu ETABS yaitu :

$$T_{cx} = 2,516 \text{ s}$$

$$T_{cy} = 2,337 \text{ s}$$

Cek :

$$T_a < T_{cx} < C_u T_a$$

$$1,5756 \text{ s} < 2,516 \text{ s} < 2,206 \text{ s} \text{ (Not OK)}$$

Maka menggunakan Periode pakai arah X = 2,206s

$$T_a < T_{cy} < C_u T_a$$

$$1,5756 \text{ s} < 2,337 \text{ s} < 2,206 \text{ s} \text{ (Not OK)}$$

Maka menggunakan Periode pakai arah Y = 2,206s

Maka periode fundamental struktur (T) yang digunakan yaitu :

$$T = 2,206 \text{ s (arah x)}$$

$$T = 2,206 \text{ s (arah y)}$$

1. Menentukan koefisien respons seismik

Koefisien respons seismik ( $C_s$ ) yang harus ditentukan sesuai SNI 1726-2019 pasal 7.8.1.1 dengan persamaan ( $C_{s1}$ ) berikut :

$$C_{s1} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Namun nilai  $C_{s1}$  yang dihitung dengan persamaan di atas tidak perlu melebihi  $C_{s2}$  yang dihitung dengan persamaan berikut :

$$C_{s2} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Dan nilai  $C_s$  juga tidak kurang dari persamaan  $C_{s3}$  berikut :

$$C_{s3} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

Nilai-nilai untuk mencari  $C_s$  sudah diketahui dari lokasi bangunan dan sistem penahan gaya seismik. Dengan nilai tersebut didapatkan hasil :

- Untuk arah x

$$C_{s1} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,7858}{\frac{8}{1,0}} = 0,0982$$

$$C_{s2} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,5937}{2,206 \times \frac{8}{1,0}} = 0,0336$$

$$C_{s3} = 0,044S_{DS}I_e$$

$$= 0,044 \times 0,7858 \times 1,0$$

$$= 0,0346 \geq 0,01 \text{ (OK)}$$

Maka pada arah x,  $C_s = 0,0346$

- Untuk arah y

$$C_{s1} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,7858}{\frac{8}{1,0}} = 0,0982$$

$$C_{s2} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,5937}{2,206 \times \frac{8}{1,0}} = 0,0336$$

$$C_{s3} = 0,044S_{DS}I_e$$

$$= 0,044 \times 0,7858 \times 1,0$$

$$= 0,0346 \geq 0,01 \text{ (OK)}$$

Maka pada arah y,  $C_s = 0,0346$

- m. Menentukan gaya geser dasar seismik

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.1 gaya geser dasar seismik ( $V$ ) dalam arah yang ditetapkan diperoleh dengan cara mengalikan berat efektif seismik struktur ( $W$ ) dengan koefisien respons seismik ( $C_s$ ).

$$V = C_s W = 0,0346 \times 123947 = 4285,81 \text{ kN (arah x)}$$

$$V = C_s W = 0,0346 \times 123947 = 4285,81 \text{ kN (arah y)}$$

#### 4.2.6 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi struktur atas harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan ultimit dibawah ini berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 4.2.2.1 :

1.  $1,4D$
2.  $1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
3.  $1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + 0,5(L \text{ atau } 0,5W)$
4.  $1,2D + 1W + L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
5.  $0,9D + 1,0W$
6.  $1,2D + 1,0E + L$
7.  $0,9D + 1,0E$

Keterangan :

$D$  : Beban mati

$L$  : Beban hidup

$L_r$  atau  $R$  : Beban hujan

$W$  : Beban angin

$E$  : Beban gempa

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.4.2, pengaruh beban gempa ( $E$ ) harus ditentukan sesuai dengan berikut :

- a. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 6.

$$E = E_h + E_v$$

$$\text{Dimana : } E_h = \rho Q_E \text{ dan } E_v = 0,2S_{DS}D$$

$$\text{Sehingga } E = \rho Q_E + 0,2S_{DS}D$$

- b. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7.

$$E = E_h E_v$$

$$E = \rho Q_E - 0,2 S_{DS} D$$

Keterangan :

$E_h$  : Pengaruh beban gempa horizontal

$E_v$  : Pengaruh beban gempa vertikal

$\rho$  : Faktor redundansi

$Q_E$  : Pengaruh gaya gempa horizontal dari  $V$  atau  $F_p$ .

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.3.4.2 pada perhitungan pengaruh beban gempa horizontal digunakan faktor redundansi ( $\rho$ ) sebesar 1,3 (KSD D), dan  $S_{DS}$  yang diperoleh dari hitungan sebelumnya sebesar 0,7858 sehingga :

- Pengaruh beban gempa dalam kombinasi 6 :

$$E = 1,3 Q_E + 0,2 \times 0,7858 D = 1,3 Q_E + 0,157 D$$

- Pengaruh beban gempa dalam kombinasi 7 :

$$E = 1,3 Q_E - 0,2 \times 0,7858 D = 1,3 Q_E - 0,157 D$$

Berdasarkan ketentuan SNI 1726-2019 pasal 7.5.4 dan 7.5.3, arah penerapan beban seismik yaitu 100% gaya untuk satu arah dan 30% gaya untuk arah tegak lurus nya. Sehingga kombinasi beban 6 dan 7 menjadi :

Kombinasi 6.

$$(a) 1,33 D + 1,3 (\pm Q_x \pm 0,3 Q_y) + L$$

$$(b) 1,33 D + 1,3 (\pm Q_y \pm 0,3 Q_x) + L$$

Kombinasi 7.

$$(a) 0,77 D + 1,3 (\pm Q_x \pm 0,3 Q_y)$$

$$(b) 0,77 D + 1,3 (\pm Q_y \pm 0,3 Q_x)$$

#### 4.2.7 Kontrol Analisa Struktur

##### 4.2.7.1 Kontrol partisipasi massa

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.1, untuk mendapatkan hasil analisis struktur yang baik analisis yang dilakukan harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Sebagai alternatif, analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal orthogonal dari respons yang ditinjau oleh model. Dengan program bantu ETABS, diperoleh hasil rasio partisipasi massa yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 berikut.

**Tabel 4. 4 Rasio Partisipasi Massa**

<b>TABLE: Modal Load Participation Ratios</b>				
<b>Case</b>	<b>Mode</b>	<b>Periode</b>	<b>SumUX</b>	<b>SumUY</b>
		<i>sec</i>		
Modal	1	2,481	0,8052	0,8085
Modal	2	2,347	0,8052	0,8085
Modal	3	2,168	0,8052	0,8085
Modal	4	0,801	0,9036	0,8085

Modal	5	0,761	0,9036	0,906
Modal	6	0,702	0,9036	0,906
Modal	7	0,454	0,9418	0,906
Modal	8	0,434	0,9418	0,9435
Modal	9	0,400	0,9418	0,9435
Modal	10	0,303	0,9631	0,9435
Modal	11	0,292	0,9631	0,9644
Modal	12	0,268	0,9631	0,9644

Dari hasil analisa struktur seperti pada tabel 4.4 diperoleh partisipasi massa lebih dari 90% sehingga dapat disimpulkan memenuhi persyaratan.

#### 4.2.7.2 Kontrol periode fundamental struktur

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.2, periode fundamental struktur yang digunakan sebagai berikut :

- Jika  $T_c > C_u T_a$  maka digunakan  $T = C_u T_a$
- Jika  $T_a < T_c < C_u T_a$  maka digunakan  $T = T_c$
- Jika  $T_c < T_a$  maka digunakan  $T = T_a$

Dari program bantu ETABS diperoleh :

$$T_{cx} = 2.516 \text{ s}$$

$$T_{cy} = 2.337 \text{ s}$$

Cek :

$$T_a < T_{cx} < C_u T_a$$

$$1,5756 \text{ s} < 2,516 \text{ s} < 2,206 \text{ s} \text{ (Not OK)}$$

Maka menggunakan Periode pakai arah X = 2,206s

$$T_a < T_{cy} < C_u T_a$$

$$T_a < T_{cy} < C_u T_a$$

$$1,5756 \text{ s} < 2,337 \text{ s} < 2,206 \text{ s} \text{ (Not OK)}$$

Maka menggunakan Periode pakai arah Y = 2,206s

Maka periode fundamental struktur ( $T$ ) yang digunakan yaitu :

$$T = 2,206 \text{ s} \text{ (arah x)}$$

$$T = 2,206 \text{ s} \text{ (arah y)}$$

#### 4.2.3.1. Kontrol nilai akhir respon spektrum

Dari pemodelan struktur menggunakan ETABS didapat hasil berat struktur gedung :

**Tabel 4. 5 Berat Struktur pada ETABS**

Table : Base Reaction			
Output Case	FX	FY	FZ
	kN	kN	kN
1D + 1L	0	0	123737,7645

Dari tabel tersebut didapatkan berat struktur sebesar  $W_t = 123737,765 \text{ kN}$

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.4 nilai apabila gaya geser dasar hasil

analisis respon spektrum ( $V_t$ ) kurang dari 100% gaya geser dasar ( $V$ ) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen maka gaya tersebut harus dikalikan dengan faktor skala sebesar  $V/V_t$ .

$$V_t = C_s \times W_t = 0,0346 \times 123737,645 = 4281,3266517 \text{ kN}$$

Didapatkan gaya geser dasar dinamis dari ETABS sebagai berikut :

**Tabel 4. 6 Hasil Analisa Geser Dasar Pada ETABS**

Table : Base Reaction		
Output Case	FX	FY
	kN	kN
Gempa X	3263,5165	0
Gempa Y	0	3470,8297

Kontrol :

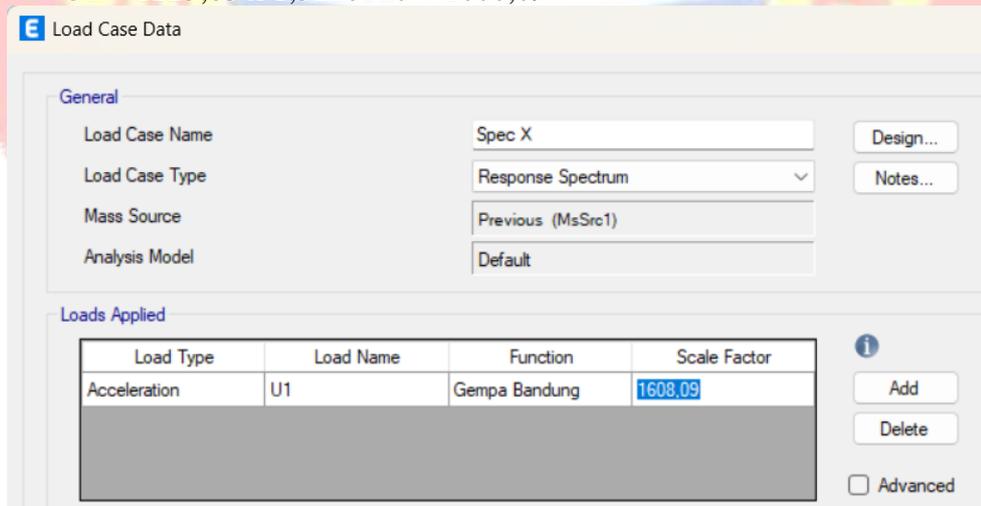
- Gempa arah X  
Gempa Dinamis  $\geq$  Gempa Statik  
 $3263,5165 \text{ kN} \leq 4281,2167 \text{ kN}$  (**Not OK**)
- Gempa arah Y  
Gempa Dinamis  $\geq$  Gempa Statik  
 $3470,8297 \text{ kN} \leq 4281,2167 \text{ kN}$  (**Not OK**)

Karena gaya geser dasar ( $V_t$ ) kurang dari gaya geser seismik ( $V$ ) maka perlu dikalikan dengan faktor skala baru yang dihitung berikut :

- Faktor skala gempa X

$$FS_x = \frac{V}{V_t} = \frac{4281,2167 \text{ kN}}{3263,5165 \text{ kN}} = 1,3118416$$

$$U1 = 1225,83 \times 1,3118416 = 1608,09$$

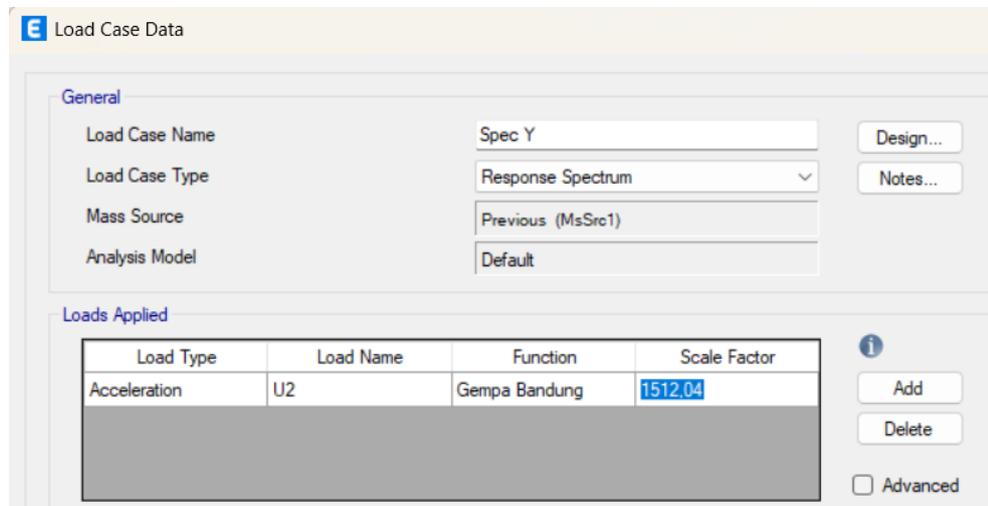


**Gambar 4.3** Input faktor skala baru gempa X

- Faktor skala gempa Y

$$FS_y = \frac{V}{V_t} = \frac{4281,2167 \text{ kN}}{3470,8297 \text{ kN}} = 1,23348509$$

$$U1 = 1225,83 \times 1,23348509 = 1512,04$$



**Gambar 4.4** Input faktor skala baru gempa Y

Hasil gaya geser dasar menggunakan faktor skala baru yang diinput di atas :

**Tabel 4. 7 Hasil Analisa Geser Dasar Pada ETABS**

Table : Base Reaction		
Output Case	FX	FY
	kN	kN
Gempa X	4281,2294	0
Gempa Y	0	4281,2364

Kontrol :

➤ Gempa arah X

Gempa Dinamis  $\geq$  Gempa Statik

4281,2294 kN  $\leq$  4281,2167 kN (OK)

➤ Gempa arah Y

Gempa Dinamis  $\geq$  Gempa Statik

4281,2364 kN  $\leq$  4281,2167 kN (OK)

#### 4.2.7.3 Kontrol simpangan antai lantai

Kinerja batas layan struktur gedung sangat ditentukan oleh simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana. Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.6 disebutkan bahwa simpangan pusat massa di tingkat-x ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Keterangan :

$\delta_x$  = Simpangan yang diperbesar di tingkat-x (mm)

$C_d$  = Faktor pembesaran simpangan lateral

$\delta_{xe}$  = Simpangan di tingkat-x yang disyaratkan (mm)

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa

Simpangan antar tingkat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\Delta_x = \frac{(\delta_x - \delta_{x-1})C_d}{I_e}$$

Keterangan :

$\Delta_x$  = Simpangan antar tingkat desain di tingkat-x (mm)

$\delta_{x-1}$  = Simpangan yang diperbesar di bawah tingkat-x (mm)

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.12.1 tabel 20, simpangan antar tingkat izin struktur dengan kategori risiko II dihitung dengan persamaan :

$$\Delta_a = 0,020h_{sx}$$

Keterangan :

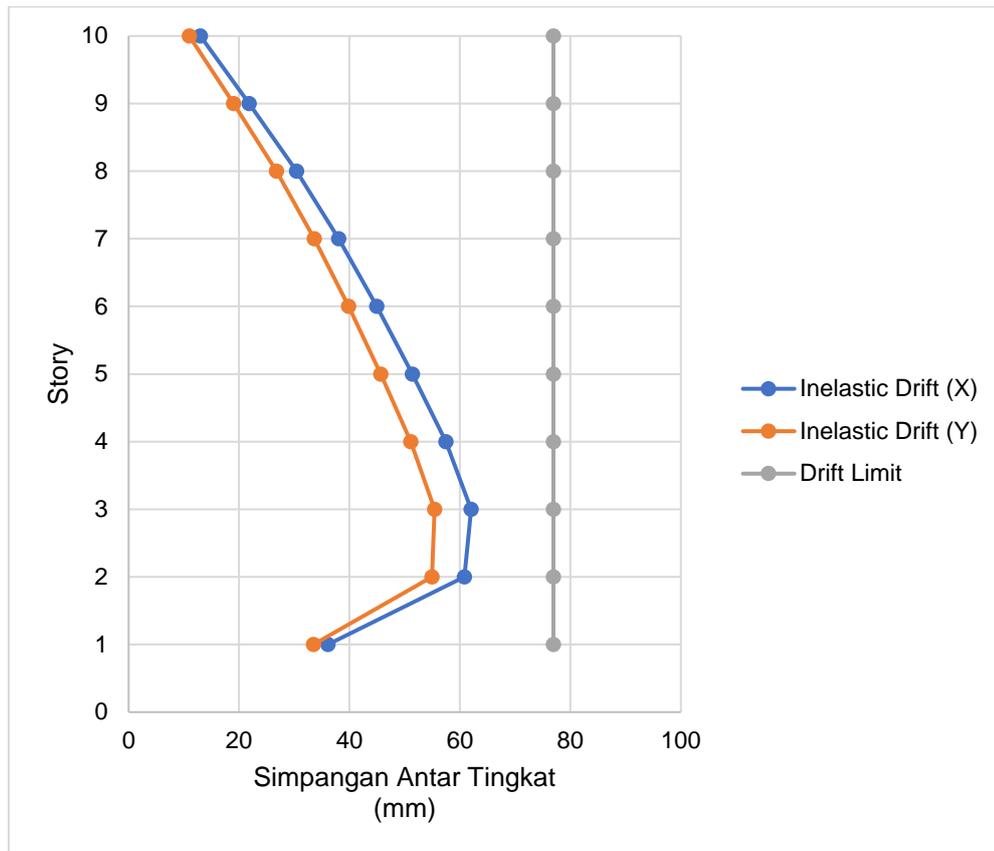
$\Delta_a$  = Simpangan antar tingkat izin (mm)

$h_{sx}$  = Tinggi tingkat di bawah tingkat-x

Hasil perhitungan simpangan antar tingkat untuk arah x dan y disajikan dalam Tabel 4.8

**Tabel 4. 8 Simpangan Antar Lantai Arah x dan arah y**

Story	Displacement		Elastic Drift		h (mm)	Inelastic Drift		Drift Limit (mm)	Cek
	$\delta_{eX}$	$\delta_{eY}$	$\delta_{eX}$	$\delta_{eY}$		$\Delta_X$	$\Delta_Y$		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
10	78,008	69,812	2,436	2,068	5000	13,398	11,374	76,923	OK
9	75,572	67,744	4,091	3,577	5000	22,501	19,674	76,923	OK
8	71,481	64,167	5,706	5,041	5000	31,383	27,726	76,923	OK
7	65,775	59,126	7,134	6,333	5000	39,237	34,832	76,923	OK
6	58,641	52,793	8,422	7,497	5000	46,321	41,234	76,923	OK
5	50,219	45,296	9,639	8,595	5000	53,015	47,273	76,923	OK
4	40,58	36,701	10,771	9,623	5000	59,241	52,927	76,923	OK
3	29,809	27,078	11,631	10,432	5000	63,971	57,376	76,923	OK
2	18,178	16,646	11,407	10,340	5000	62,739	56,870	76,923	OK
1	6,771	6,306	6,771	6,306	5000	37,241	34,683	76,923	OK



Gambar 4.5 Grafik simpangan antar tingkat

#### 4.2.7.4 Kontrol pengaruh P-delta

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.7, pengaruh P-delta tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas ( $\theta$ ) seperti ditentukan oleh Pers. sama dengan atau kurang dari 0,1.

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

Keterangan :

$P_x$  = Beban desain vertikal total dan atas tingkat -x(kN); Bila menghitung  $P_x$ , faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0

$\Delta$  = Simpangan antar tingkat desain seperti didefinisikan dalam 0, terjadi secara bersamaan dengan  $V_x$  (mm)

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan pasal 4.1.2

$V_x$  = Gaya geser seismic yang bekerja antara tingkat

$h_{sx}$  = Tinggi dibawah tingkat x (mm)

$C_d$  = Faktor pembesaran defleksi dalam tabel 12.

Koefisien stabilitas ( $\theta$ ) tidak boleh melebihi  $\theta_{max}$  yang ditentukan sebagai berikut :

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} = \frac{0,5}{x} = 0,0909 \leq 0,25 \text{ (OK)}$$

Dimana  $\beta$  adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara

tingkat x dan x-1. Rasio ini diizinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0. Hasil perhitungan koefisien stabilitas disajikan dalam Tabel 4.5

**Tabel 4. 9 Kontrol Koefisien Stabilitas Arah x**

Story	<i>Inelastic Drift</i>	<i>Story Forces</i>		<i>h</i>	<i>Koefisien Stabilitas</i>	<i>Batas Pengaruh P-Delta</i>	<i>Batas Stabilitas Struktur, <math>\theta_{max}</math></i>	<i>Cek</i>
	$\Delta_x$	<i>P</i>	<i>V<sub>x</sub></i>					
	(mm)	(kN)	(kN)					
10	13,398	9237,2283	881,1174	5000	0,0051	0,1	0,0909	OK
9	22,501	24047,4848	1693,774	5000	0,0116	0,1	0,0909	OK
8	31,383	38857,7413	2251,594	5000	0,0197	0,1	0,0909	OK
7	39,237	53667,9977	2659,488	5000	0,0288	0,1	0,0909	OK
6	46,321	68478,2542	2968,748	5000	0,0389	0,1	0,0909	OK
5	53,015	83288,5106	3248,848	5000	0,0494	0,1	0,0909	OK
4	59,241	98098,7671	3543,465	5000	0,0596	0,1	0,0909	OK
3	63,971	112909,024	3845,375	5000	0,0683	0,1	0,0909	OK
2	62,739	127719,28	4130,636	5000	0,0705	0,1	0,0909	OK
1	37,241	142529,536	4281,178	5000	0,0451	0,1	0,0909	OK

**Tabel 4. 10 Kontrol Koefisien Stabilitas Arah y**

Story	<i>Inelastic Drift</i>	<i>Story Forces</i>		<i>h</i>	<i>Koefisien Stabilitas</i>	<i>Batas Pengaruh P-Delta</i>	<i>Batas Stabilitas Struktur, <math>\theta_{max}</math></i>	<i>Cek</i>
	$\Delta_y$	<i>P</i>	<i>V<sub>y</sub></i>					
	(mm)	(kN)	(kN)					
10	13,398	9237,2283	854,061	5000	0,0045	0,1	0,0909	OK
9	22,501	24047,4848	1662,6183	5000	0,0103	0,1	0,0909	OK
8	31,383	38857,7413	2231,1589	5000	0,0176	0,1	0,0909	OK
7	39,237	53667,9977	2650,04	5000	0,0257	0,1	0,0909	OK
6	46,321	68478,2542	2969,0601	5000	0,0346	0,1	0,0909	OK
5	53,015	83288,5106	3255,6542	5000	0,0440	0,1	0,0909	OK
4	59,241	98098,7671	3553,715	5000	0,0531	0,1	0,0909	OK
3	63,971	112909,024	3855,6745	5000	0,0611	0,1	0,0909	OK
2	62,739	127719,28	4134,5887	5000	0,0639	0,1	0,0909	OK
1	37,241	142529,536	4281,1855	5000	0,0420	0,1	0,0909	OK

Karena nilai koefisien stabilitas tidak ada yang melebihi 0,1 maka pengaruh P-delta tidak perlu diperhitungkan.

### 4.3 Desain Struktur Base Isolation

#### 4.3.1 Analisis Pembebanan

Sebelum melakukan analisis struktur dengan program bantu ETABS, perlu dilakukan perhitungan beban yang hasilnya akan digunakan sebagai data input ke

program tersebut. Beban-beban yang terjadi meliputi beban mati, beban hidup dan beban gempa.

#### 4.3.2 Beban mati

Beban mati terdiri dari berat sendiri elemen struktur beton dan beban mati tambahan. Berat sendiri dari elemen struktur dihitung secara otomatis oleh program bantu. Sementara untuk beban mati tambahan terdiri atas beban merata pada pelat serta beban akibat dinding. Rinciannya sebagai berikut :

- a. Beban tegel :  $24\text{kg/m}^2$
- b. Beban spesi :  $25\text{kg/m}^2$
- c. Beban plafond :  $11\text{ kg/m}^2$
- d. Beban penggantung plafond :  $7\text{kg/m}^2$
- e. Beban M/E :  $20\text{kg/m}^2$
- f. Beban dinding :  $208\text{kg/m}^2$

#### 4.3.3 Beban hidup

Beban hidup yang digunakan tidak dikalikan dengan faktor reduksi. Rincian beban hidup yang digunakan berdasarkan SNI 1727-2020 pasal 4.3.1 tabel 4.3.1 adalah

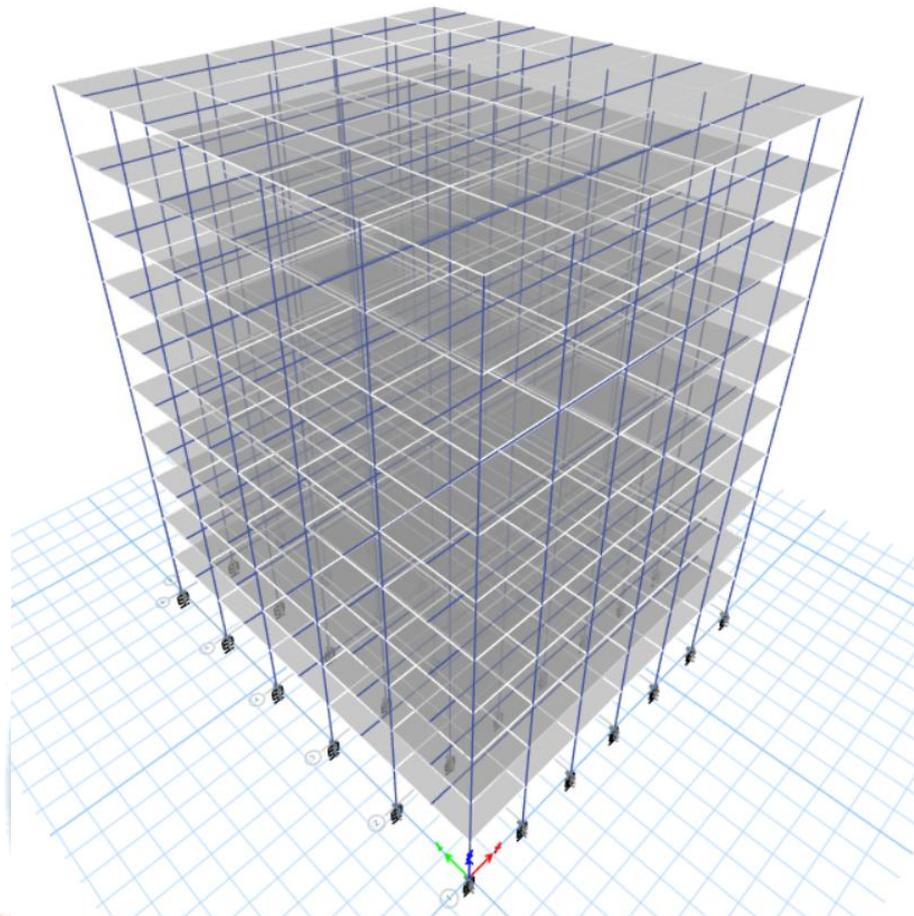
- a. Beban hidup ruang pribadi :  $1,92\text{ kg/m}^2$
- b. Beban hidup koridor :  $4,79\text{ kg/m}^2$

#### 4.3.4 Beban gempa

Beban gempa dianalisis dengan metode respon spektrum dan statik ekuivalen menurut 1726-2019.

- a. Menghitung berat seismik efektif struktur

Berat seismik efektif struktur ( $W$ ) merupakan berat struktur yang ikut diperhitungkan saat perhitungan beban gempa. Dalam desain beban gempa gedung ini yang mengacu pada SNI 1726-2019 pasal 7.7.2, berat seismik efektif struktur diambil 100% untuk beban mati dan 25% untuk beban hidup. Berat seismik efektif struktur dapat dihitung dengan melihat beban per lantai yang dihasilkan dari program bantu ETABS. Berikut rincian beban per lantai disajikan dalam Tabel 4.8.



**Gambar 4.6** Gedung dengan base isolator LRB

( Sumber : ETABS 21 )

**Tabel 4. 11** Berat per lantai

Lantai	Massa
	(kg)
Lantai 10	1038577,1
Lantai 9	1288949,5
Lantai 8	1288949,5
Lantai 7	1288949,5
Lantai 6	1288949,5
Lantai 5	1288949,5
Lantai 4	1288949,5
Lantai 3	1288949,5
Lantai 2	1288949,5
Lantai 1	1288949,5

Berat yang dihitung sebagai berat seismik efektif struktur merupakan total dari berat lantai 1 sampai lantai atap, sehingga :  $W = 1263912,25 \text{ kg} = 123947 \text{ kN}$

- b. Menentukan kategori risiko bangunan gedung  
Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 4.1.2 tabel 3, bangunan hotel/apartemen termasuk golongan kategori risiko II.
- c. Menentukan faktor keutamaan gempa ( $I_e$ )  
Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 12.2.1, nilai faktor keutamaan gempa,  $I_e = 1,25$ .
- d. Menentukan klasifikasi situs  
Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 5.3 untuk menentukan klasifikasi situs dapat ditentukan salah satunya dengan menentukan nilai N berdasarkan data hasil SPT. Berdasarkan hasil tes diperoleh nilai N-SPT tanah rata-rata untuk kedalaman 30 meter yaitu  $N = 24,96$  sehingga tanah tersebut masuk dalam **kelas situs SD (tanah sedang)**.
- e. Menentukan parameter percepatan gempa  
Nilai parameter percepatan gempa untuk Kota Bandung diperoleh dari *web rsa.ciptakarya.pu.go.id* yaitu  $S_1 = 0,4928 \text{ g}$  dan  $S_s = 1,1209 \text{ g}$ .
- f. Menentukan koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$   
Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 6.2 tabel 6 dan 7 diperoleh nilai  $F_a = 1,0516$  dan  $F_v = 1,8072$
- g. Menghitung parameter percepatan desain spektral  
Sebelum menghitung parameter percepatan desain spektral (SDS dan SD1) perlu dihitung dulu nilai  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$  sesuai dengan persamaan pada SNI 1726-2019 pasal 6.2. Selanjutnya nilai SDS dan SD1 dihitung dengan persamaan pada SNI 1726-2019 pasal 6.3.
 
$$S_{MS} = F_a S_s = 1,0516 \times 1,1209 = 1,1787 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v S_1 = 1,8072 \times 0,4928 = 0,8906 \text{ g}$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 1,1787 = 0,7859 \text{ g}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,8906 = 0,5937 \text{ g}$$
- h. Menentukan sistem pemikul gaya seismik  
Struktur bangunan yang didesain menggunakan *base isolation*, diharapkan strukturnya berperilaku gaya seismiknya menggunakan **rangka beton bertulang permikul momen menengah**. Dengan nilai :  $R = 5, \Omega_0 = 3, C_d = 4,5$ .  
Untuk perhitungan gaya geser dasar akan dilakukan pada sub bab selanjutnya (Analisa *Isolation structure*).

#### 4.3.5 Kombinasi Pembebanan

Pembebanan struktur atas harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan ultimit dibawah ini berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 4.2.2.1 :

1.  $1,4D$
2.  $1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
3.  $1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + 0,5(L \text{ atau } 0,5W)$
4.  $1,2D + 1W + L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
5.  $0,9D + 1,0W$

6.  $1,2D + 1,0E + L$

7.  $0,9D + 1,0E$

Keterangan :

$D$  : Beban mati

$L$  : Beban hidup

$L_r$  atau  $R$  : Beban hujan

$W$  : Beban angin

$E$  : Beban gempa

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.4.2, pengaruh beban gempa ( $E$ ) harus ditentukan sesuai dengan berikut :

- a. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 6.

$$E = E_h + E_v$$

$$\text{Dimana : } E_h = \rho Q_E \text{ dan } E_v = 0,2S_{DS}D$$

$$\text{Sehingga } E = \rho Q_E + 0,2S_{DS}D$$

- b. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7.

$$E = E_h - E_v$$

$$E = \rho Q_E - 0,2S_{DS}D$$

Keterangan :

$E_h$  : Pengaruh beban gempa horizontal

$E_v$  : Pengaruh beban gempa vertikal

$\rho$  : Faktor redundansi

$Q_E$  : Pengaruh gaya gempa horizontal dari  $V$  atau  $F_p$ .

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.3.4.2 pada perhitungan pengaruh beban gempa horizontal digunakan faktor redundansi ( $\rho$ ) sebesar 1,3 (KSD D), dan  $S_{DS}$  yang diperoleh dari hitungan sebelumnya sebesar 0,77 sehingga :

- Pengaruh beban gempa dalam kombinasi 6 :

$$E = 1,3Q_E + 0,2 \times 0,77D = 1,3Q_E + 0,13D$$

- Pengaruh beban gempa dalam kombinasi 7 :

$$E = 1,3Q_E - 0,2 \times 0,77D = 1,3Q_E - 0,13D$$

Berdasarkan ketentuan SNI 1726-2019 pasal 7.5.4 dan 7.5.3, arah penerapan beban seismik yaitu 100% gaya untuk satu arah dan 30% gaya untuk arah tegak lurus nya. Sehingga kombinasi beban 6 dan 7 menjadi :

Kombinasi 6.

(c)  $1,33D + 1,3 (\pm Q_x \pm 0,3 Q_y) + L$

(d)  $1,33D + 1,3 (\pm Q_y \pm 0,3 Q_x) + L$

Kombinasi 7.

(c)  $0,77D + 1,3 (\pm Q_x \pm 0,3 Q_y)$

(d)  $0,77D + 1,3 (\pm Q_y \pm 0,3 Q_x)$

#### 4.3.6. Perhitungan Dimensi LRB

Untuk mengestimasi dimensi dari LRB, terlebih dahulu dilakukan analisa struktur dengan ETABS dalam kondisi fixed base untuk menentukan reaksi pada perletakan. Dari

hasil running ETABS dalam kondisi fixed base, diperoleh  $P = 4285$  kN.

Berdasarkan analisa fixed base, diperoleh periode alami struktur sebesar  $T_1 = 1.5756$ s dan periode untuk desain LRB diasumsikan sebesar  $T_D = 3T_1 = 4,7268$ s.

Asumsi spesifikasi awal material LRB

- Shear modulus ( $G$ ) =  $0,385$  N/mm<sup>2</sup> =  $0,385$  MN/m<sup>2</sup>
- Rubber thickness ( $tr$ ) =  $200$ mm
- Reaksi ( $m$ ) =  $4285$  kN =  $4,285$  MN
- Nilai kekakuan horizontal LRB

$$K_H = \frac{m}{g} \times \left(\frac{2\pi}{T_D}\right)^2 = \frac{4,285}{9,81} \times \left(\frac{2\pi}{4,7268}\right)^2 = 0,7710218 \text{ MN/m}$$

- Diameter LRB

$$K_H = \frac{G A}{tr} \rightarrow A = \frac{tr K_H}{G} = \frac{0,2 \times 0,7710218}{0,392} = 0,393378 \text{ m}^2$$

Sehingga diperoleh diameter LRB sebesar :

$$K_H = \frac{\pi D^2}{4} \rightarrow D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,393378}{\pi}} = 0,707897 \text{ m}$$

Maka dipergunakan produk LRB *Bridgestone LH080G4* dengan *outer diameter* =  $800$  mm.

Spesifikasi LRB LH080G4 berdasarkan brosur :

- *Outer diameter* ( $D_o$ ) =  $800$  mm
- *Non-seismic combination max* ( $F_z$ ) =  $5080$  kN
- *Compressive stiffness* ( $K_v$ ) =  $2960000$  kN/m
- *Total weight LRB* ( $W$ ) =  $12,5$  kN
- *Diameter of flange* ( $L$ ) =  $1150$  mm
- *Rubber thickness* ( $tr$ ) =  $200$ mm
- *Shear modulus* ( $G$ ) =  $0,385$  MN/m<sup>2</sup>
- *Shear stiffness* ( $K_H$ ) =  $1,79$  MN/m
- *Equivalent damping ratio* ( $\beta_m$ ) =  $26,6\%$

Untuk spesifikasi lengkap alat akan dilampirkan pada LAMPIRAN Gambar 4.3.

Characteristics		LH080G4										LH085G4										
		E	D	C	B	A	G	H	I	J		F	E	D	C	B	A	G	H	I	J	K
Physical Dimensions	Outer diameter [mm]	800										850										
	Lead plug diameter [mm]	120	130	140	150	160	170	180	190	200	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	
	Effective plane area [ $\times 10^4$ mm <sup>2</sup> ]	4913	4894	4873	4850	4825	4800	4772	4743	4712	5591	5542	5521	5498	5473	5448	5420	5391	5360	5328	5294	
	Thickness of one rubber layer [mm]	5.4										5.7										
	Number of rubber layers [-]	37										35										
	Total rubber thickness [mm]	200										200										
	First shape factor [-]	370										373										
	Second shape factor [-]	4.00										4.28										
	Diameter of flange [mm]	1150										1200										
	Thickness of flange*1 [mm] (edge/center)	24/32										24/32										
	Connecting bolt PCD [mm]	1000										1050										
	Diameter of connecting bolt hole $\times$ qty [mm]	$\varnothing 33 \times 12$										$\varnothing 33 \times 12$										
	Bolt size (assumption) [-]	M30										M30										
	Thickness of each reinforced steel plate [mm]	4.4										4.4										
	Total height [mm]	422.2										413.1										
Total weight [tonf]	1.25	1.25	1.26	1.28	1.27	1.28	1.29	1.29	1.30	1.34	1.35	1.38	1.38	1.37	1.38	1.38	1.39	1.40	1.41	1.42		
Total weight [kN]	12.2	12.3	12.3	12.4	12.5	12.5	12.8	12.7	12.8	13.2	13.2	13.3	13.4	13.4	13.5	13.8	13.7	13.7	13.8	13.9		
Compression Properties	Critical stress [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_w$ when $\gamma = 0$	49										58									
		$[\gamma_0, \sigma_0]$	(0.00,49)										(0.00,58)									
	Ultimate compressive stress [N/mm <sup>2</sup> ]	$[\gamma_y, \sigma_y]$	(0.00,49)										(0.00,58)									
		$[\gamma_x, \sigma_x]$	(4.00,5)										(4.00,9)									
	Compressive stiffness [ $\times 10^4$ kN/m]	2980										3380										
	Nominal long term compressive stress [N/mm <sup>2</sup> ]	10.5										11.7										
Nominal long term column load [kN]	590	590	513	510	508	508	503	500	490	650	640	640	643	640	637	634	630	627	623	610		
Allowable tensile stress [ $\gamma = 100\%$ ] [N/mm <sup>2</sup> ]	1.0										1.0											
Shear Properties [ $\gamma = 100\%$ ]	Initial stiffness [ $\times 10^4$ kN/m]	12.7	12.8	12.8	12.8	12.9	12.9	12.9	13.0	13.0	14.4	14.4	14.4	14.5	14.5	14.5	14.6	14.6	14.6	14.7	14.7	
	Post yield stiffness [ $\gamma = 100\%$ ] [ $\times 10^4$ kN/m]	0.980	0.982	0.984	0.988	0.989	0.991	0.994	0.997	1.00	1.11	1.11	1.11	1.11	1.12	1.12	1.12	1.13	1.13	1.13	1.13	
	Characteristic Strength [kN]	90.1	108	123	141	160	181	203	228	250	301	106	123	141	160	181	203	226	250	276	303	
	Equivalent shear stiffness [ $\times 10^4$ kN/m]	1.43	1.51	1.60	1.69	1.79	1.90	2.01	2.13	2.25	1.56	1.64	1.73	1.82	1.92	2.02	2.14	2.26	2.38	2.51	2.65	
	Equivalent damping ratio [-]	0.033	0.213	0.232	0.250	0.266	0.281	0.294	0.305	0.317	0.178	0.198	0.216	0.234	0.251	0.266	0.280	0.293	0.304	0.315	0.324	

**Gambar 4.7** Catalog Lead Rubber Bearing  
( Sumber : Brosur Bridgestone )

### 4.3.7 Analisa Isolation Structure

Pada tahap ini dilakukan perhitungan beberapa parameter dari base isolation yang nantinya akan digunakan untuk kontrol struktur. Base isolation yang digunakan pada desain gedung ini terdiri dari 1 tipe yaitu LH080G4  
Kekakuan efektif

Kekakuan efektif merupakan total kekakuan base isolation yang dipasang pada gedung. Dalam hal ini total base isolation yang dipasang pada gedung akan dipikul oleh 42 dengan tipe yang sama, sehingga kekakuan efektifnya sebesar :

$$K_{M \min} = 42K_H = 42 \times 1,79 = 75,18 \text{ MN/m}$$

$$K_{M \max} = 1,1K_{M \min} = 1,1 \times 75,18 = 82,698 \text{ MN/m}$$

#### Periode efektif

Periode efektif struktur yang diisolasi dapat dihitung menggunakan rumus pada SNI 1726-2019 pasal 12.5.3.2 berikut :

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{M \min} g}}$$

Keterangan :

W = berat seismik efektif struktur (MN)

$K_{M \min}$  = kekakuan efektif minimum sistem isolasi (MN/m)

g = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{123,947}{75,18 \times 9,81}} = 2,57 \text{ s}$$

#### Faktor Redaman

Nilai faktor redaman ( $B_M$ ) tergantung dari nilai redaman efektif ( $\beta_m$ ). Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 12.5.3.1 tabel 36, diketahui redaman efektif dari LRB adalah sebesar 26,6% . Sesuai dengan tabel 2-1 maka di dapat nilai  $B_M$  adalah :

$$\beta_M = 1,5 + \left( \frac{26,6 - 20}{30 - 20} (1,5 - 1,7) \right) = 1,63$$

Karena nilai  $\beta_M$  berada diantara 20% dan 30% maka dilakukan interpolasi sehingga menghasilkan  $B_M = 1,63$

#### Perpindahan lateral minimum

- Perpindahan maksimum

Sistem isolasi harus didesain untuk sekurang kurangnya menahan perpindahan maksimum ( $D_M$ ) yang dihitung menggunakan rumus SNI 1726-2019 pasal 12.5.3.1 berikut :

$$D_M = \frac{g S_{M1} T_M}{4\pi^2 B_M} = \frac{9,81 \times 0,891 \times 2,57}{4\pi^2 \times 1,63} = 0,349 \text{ m}$$

- Perpindahan maksimum total

Perpindahan maksimum total ( $D_{TM}$ ) sistem isolasi harus menyertakan perpindahan akibat torsi sesungguhnya dan torsi tidak terduga.  $D_{TM}$  dapat dihitung menggunakan rumus SNI 1726-2019 pasal 12.5.3.3 berikut :

$$D_{TM} = D_M \left( 1 + \left( \frac{y}{P_T^2} \right) \frac{12e}{b^2 + d^2} \right)$$

$$P_T = \frac{1}{r_1} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2)}{N}}$$

Keterangan :

- y : Jarak antara titik pusat kekakuan sistem isolasi dan elemen yang diinginkan.
- e : Eksentrisitas sesungguhnya ditambah eksentrisitas tak terduga sebesar 5% dari ukuran maksimum.
- e : Ukuran denah struktur terpendek diukur tegak lurus

terhadap d.

$d$  : Ukuran terpanjang denah struktur.

$P_T$  : Rasio dari perioda translasi efektif terhadap perioda torsional efektif sistem isolasi.

$x_i.y_i$  : Jarak horizontal antara pusat massa terhadap unit isolasi ke-i dalam dua sumbu horizontal sistem isolasi.

$N$  : Jumlah unit sistem isolasi.

$r_I$  : Jari-jari girasi sistem isolasi.

$$r_1 = \sqrt{\frac{(b^2 + d^2)}{12}} = \sqrt{\frac{(36^2 + 40^2)}{12}} = 15,534m$$

$$e = e_{ETABS} + 0,05d = 0,2 + 0,05 \times 40 = 2,2m$$

Nilai  $D_{TM}$  tidak boleh kurang dari  $1,15 D_M = 0,349$  m, sehingga diambil  $D_{TM} = 0,401$  m.

#### Gaya lateral minimum

- Sistem isolasi dan elemen struktural di bawah tingkat dasar sistem isolasi, fondasi, dan semua elemen-elemen struktural di bawah tingkat dasar harus didesain untuk menahan gaya seismik lateral minimum ( $V_b$ ) sesuai perumusan SNI 1726-2019 pasal 12.5.4.1 berikut :

$$V_b = K_{Mmax} D_M = (82,698 \times 10^3) \times 0,349 = 28861,602kN$$

- Elemen struktural di atas tingkat dasar

Struktur di atas tingkat dasar harus didesain dan dibangun untuk menahan gaya geser minimum ( $V_s$ ) sesuai perumusan SNI 1726-2019 pasal 12.5.4.2 berikut :

$$V_s = \frac{V_{st}}{R_I}$$

Total gaya seismik lateral tak tereduksi ( $V_{st}$ ) diperoleh dari rumus pada SNI 1726-2019 pasal 12.5.4.2 seperti berikut ini :

$$V_{st} = V_b \left( \frac{W_s}{W} \right)^{(1-2,5\beta_m)}$$

Keterangan :

$R_I$ :	Faktor reduksi pada sistem isolasi yang besarnya adalah (3/8) $R$ dari tipe sistem pemikul seismik yang digunakan di atas isolasi.
$V_{st}$ :	Gaya rencana seismik lateral tak tereduksi.
$W_s$ :	Berat seismik efektif tidak termasuk di tingkat dasar.

$$R_I = \left( \frac{3}{8} \right) R = \left( \frac{3}{8} \right) 8 = 1,875 \leq 2 \text{ (OK)}$$

$$W_s = 123947kN$$

$$V_{st} = 28861,602 \left( \frac{123947}{124991,6} \right)^{(1-2,5 \times 26,6\%)} = 28780,6 kN$$

$$V_s = \frac{28780,6}{1,875} = 15349,7 kN$$

### 4.3.7 Pemodelan Struktur

Gedung untuk struktur base isolation ini didesain menggunakan sistem pemikul gaya seismik SRPMM dengan perletakannya dimodelkan sebagai spring. Permodelan dilakukan dengan menggunakan program bantu ETABS. Adapun langkah-langkah permodelannya sebagai berikut :

1. Define perletakan base isolator.  
Define-section properties-Link/support properties
2. Input data spesifikasi dari dimensi LRB yang telah diperoleh dari brosur
3. Kemudian dilakukan input data Directional properties yang meliputi U1 dalam arah vertical dan U2-U3 dalam arah horizontal permukaan seismic isolation.
4. Define spring property  
Define-spring property-point spring
5. Mengganti perletakan jepit menjadi spring.  
Klik perletakan-assign-joint-spring-apply

### 4.3.8 Kontrol Analisa Struktur

#### 4.3.8.1 Kontrol partisipasi massa

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.1, untuk mendapatkan hasil analisis struktur yang baik analisis yang dilakukan menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Sebagai alternatif, analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model. Dengan program bantu ETABS, diperoleh hasil rasio partisipasi massa yang ditunjukkan pada Tabel 4.12 berikut :

**Tabel 4. 12 Rasio Partisipasi Massa**

<i>TABLE: Modal Load Participation Ratios</i>				
<i>Case</i>	<i>Mode</i>	<i>Periode</i>	<i>SumUX</i>	<i>SumUY</i>
		<i>sec</i>		
Modal	1	2,481	0,8052	0,8085
Modal	2	2,347	0,8052	0,8085
Modal	3	2,168	0,8052	0,8085
Modal	4	0,801	0,9036	0,8085
Modal	5	0,761	0,9036	0,906
Modal	6	0,702	0,9036	0,906
Modal	7	0,454	0,9418	0,906
Modal	8	0,434	0,9418	0,9435
Modal	9	0,400	0,9418	0,9435
Modal	10	0,303	0,9631	0,9435
Modal	11	0,292	0,9631	0,9644
Modal	12	0,268	0,9631	0,9644

Dari hasil analisa struktur diperoleh partisipasi massa dari 90% sehingga dapat disimpulkan memenuhi persyaratan.

#### 4.3.8.2 Kontrol nilai akhir respon spektrum

**Tabel 4. 13 Gaya Geser Dasar**

Table : Base Reaction		
Output Case	FX	FY
	kN	kN
Gempa X	3041,7980	0
Gempa Y	0	3095,3135

Setelah menambahkan LRB pada bangunan, gaya geser dasar yang dihasilkan dari gaya gempa dengan metode respons spektrum lebih rendah daripada gaya geser dasar dengan sistem isolasi dasar. Ini karena ketika struktur dimodifikasi dengan sistem isolasi, nilai redaman dari base isolator yang dapat mereduksi gempa dipengaruhi. Beban reduksi gempa yang dihasilkan

$$\text{Gempa arah X} = \frac{4281,2294 - 3041,7980}{4281,2294} \times 100\% = 28,95 \%$$

$$\text{Gempa arah Y} = \frac{4281,2364 - 3095,3135}{4281,2364} \times 100\% = 27,70 \%$$

#### 4.3.8.3 Kontrol simpangan antar lantai

Kinerja batas layan struktur gedung sangat ditentukan oleh simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana. Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.6 disebutkan bahwa simpangan pusat massa di tingkat-x ditentukan dengan Persamaan berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Keterangan :

$\delta_x$  = Simpangan yang diperbesar di tingkat-x (mm)

$C_d$  = Faktor pembesaran simpangan lateral

$\delta_{xe}$  = Simpangan di tingkat-x yang disyaratkan (mm)

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa

Simpangan antar tingkat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\Delta_x = \frac{(\delta_x - \delta_{x-1}) C_d}{I_e}$$

Keterangan :

$\Delta_x$  = Simpangan antar tingkat desain di tingkat-x (mm)

$\delta_{x-1}$  = Simpangan yang diperbesar di bawah tingkat-x (mm)

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.12.1 tabel 20, simpangan antar tingkat izin struktur dengan kategori risiko II dihitung dengan persamaan :

$$\Delta_a = 0,020 h_{sx}$$

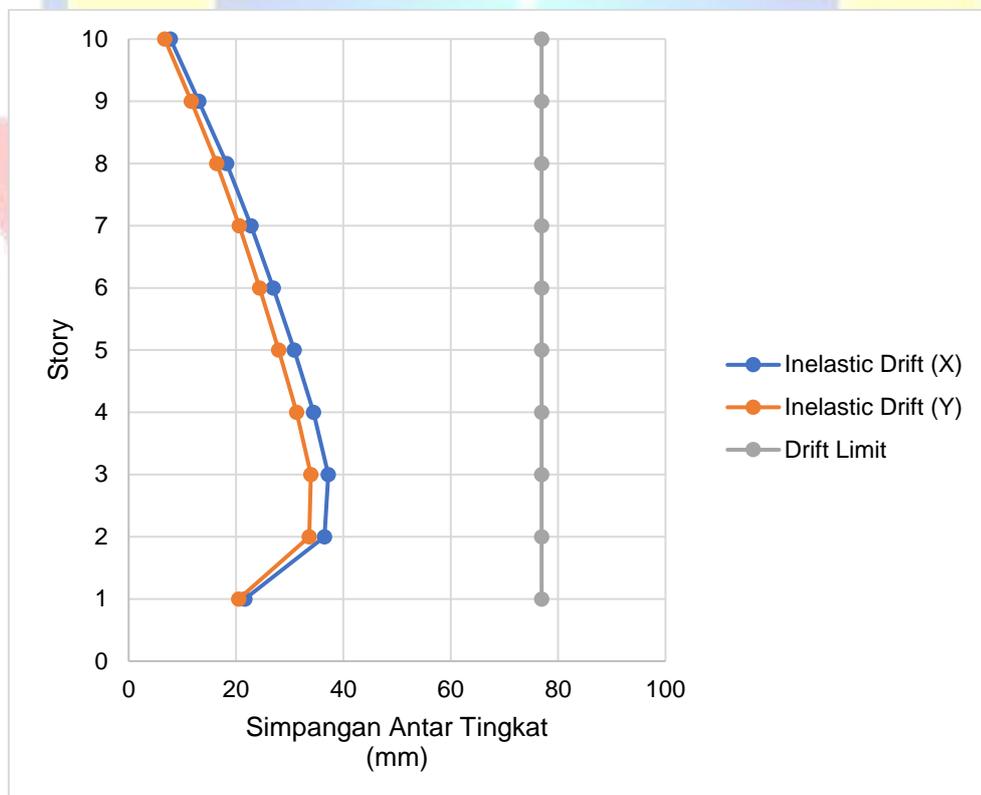
Keterangan :

$\Delta_a$  = Simpangan antar tingkat izin (mm)

$h_{sx}$  = Tinggi tingkat di bawah tingkat-x

**Tabel 4. 14 Simpangan antar lantai arah x dan y**

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	$\delta_{eX}$	$\delta_{eY}$	$\delta_{eX}$	$\delta_{eY}$		$\Delta_X$	$\Delta_Y$		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
10	55,424	50,473	1,730	1,494	5000	7,785	6,723	76,923	OK
9	53,694	48,979	2,907	2,587	5000	13,082	11,642	76,923	OK
8	50,787	46,392	4,054	3,644	5000	18,243	16,398	76,923	OK
7	46,733	42,748	5,069	4,579	5000	22,811	20,606	76,923	OK
6	41,664	38,169	5,984	5,420	5000	26,928	24,390	76,923	OK
5	35,68	32,749	6,848	6,214	5000	30,816	27,963	76,923	OK
4	28,832	26,535	7,653	6,958	5000	34,439	31,311	76,923	OK
3	21,179	19,577	8,264	7,542	5000	37,188	33,939	76,923	OK
2	12,915	12,035	8,104	7,476	5000	36,468	33,642	76,923	OK
1	4,811	4,559	4,811	4,559	5000	21,650	20,516	76,923	OK



**Gambar 4.8** Grafik simpangan antar tingkat

#### 4.4. Analisa *Pushover*

##### 4.4.1. Langkah-langkah analisa *pushover* pada ETABS

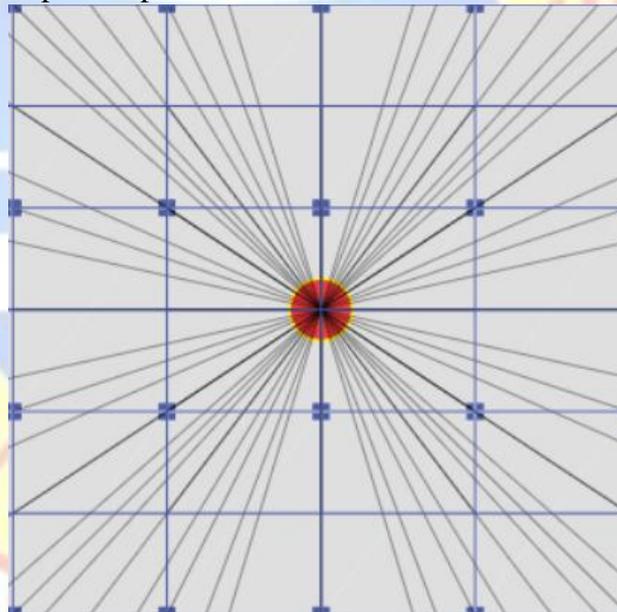
Analisa *pushover* dapat dilakukan apabila perhitungan dimensi dan penulangan elemen beton sudah dilakukan. Dikutip dari buku "Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Performance Based Design), berikut langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk melakukan analisa *pushover* pada ETABS :

###### 4.4.1.1. Membuat nonlinear case

1. Menentukan titik yang ditinjau

Titik yang ditinjau merupakan titik yang berada pada puncak bangunan. Titik ini ditetapkan pada posisi pusat massa bangunan. Langkah-langkahnya sebagai berikut :

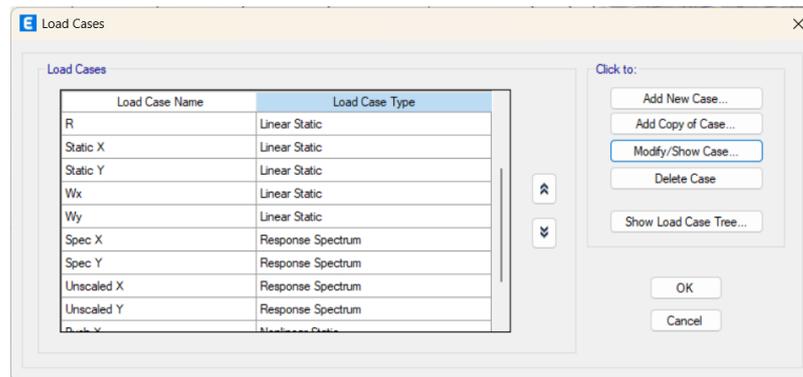
- Set plan view ke lantai paling atas lalu arahkan kursor pada point di titik pusat massa bangunan. Klik kanan pada titik tersebut maka akan muncul tampilan seperti Gambar 4.9.



**Gambar 4.9** Titik Tinjau

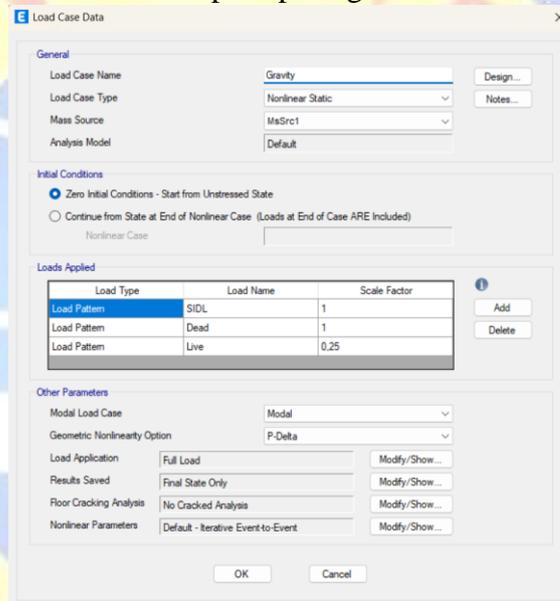
Catatan : Titik pusat massa tidak tepat berada pada joint, sehingga diambil joint yang paling dekat dari pusat massa.

2. Menentukan nonlinear case gravitasi
  - Pilih Define > Load Case, lalu akan muncul tampilan seperti Gambar 4.10



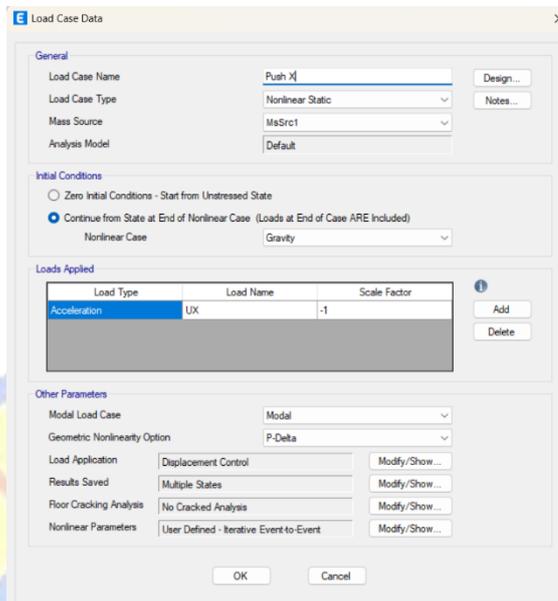
**Gambar 4.10** Load Case

- Pilih add new case, maka akan muncul tampilan seperti Gambar 4.11 berikut. Lalu isikan data seperti pada gambar tersebut.



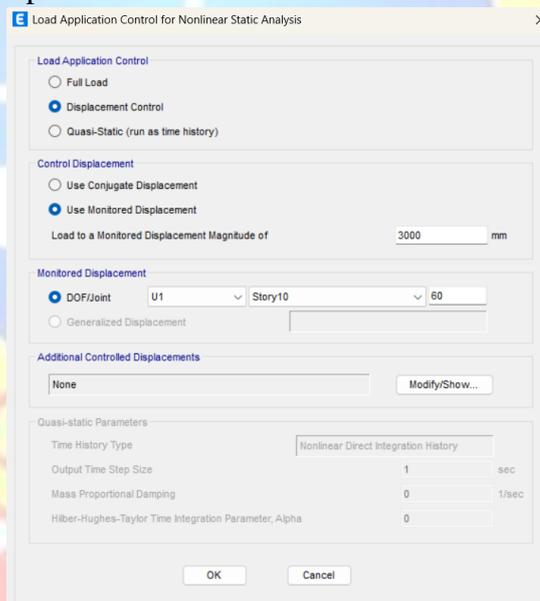
**Gambar 4.11** Input Load Case Gravity

- Dalam hal ini presentase beban yang digunakan sebesar 100% beban mati dan 25% beban hidup selain itu efek P-delta harus ditambahkan.
3. Menentukan nonlinear *pushover* case arah x dan y
    - Pilih Define > Load Case > Add new case, lalu input data seperti pada Gambar 4.12 berikut.



**Gambar 4.12** Load Case *Pushover* Arah x

- Selanjutnya klik Modify/Show untuk input displacement control dan isikan data seperti Gambar 4.13 berikut.

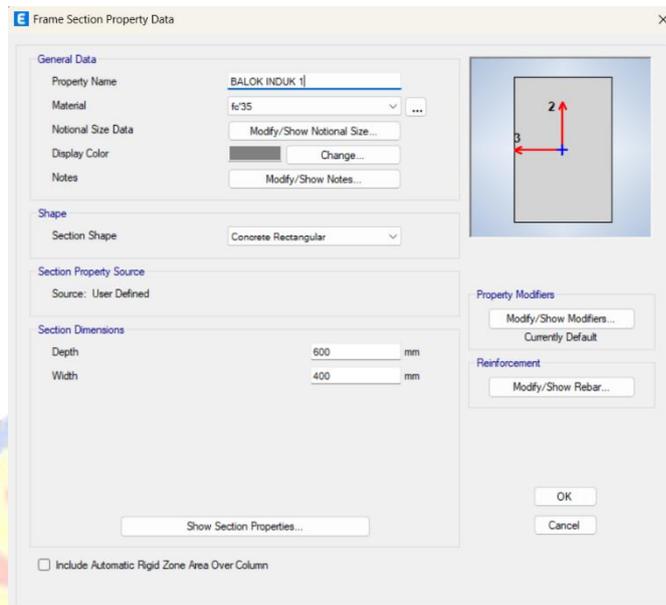


**Gambar 4.13** Input Displacement Control

- Selanjutnya push arah y didefinisikan dengan cara yang sama dengan mengganti UX menjadi UY dan U1 menjadi U2

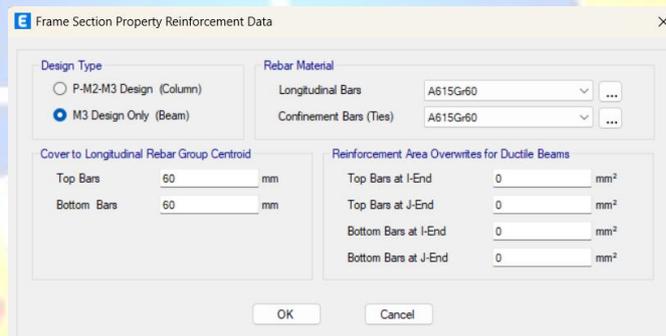
#### 4.4.1.2. Menambahkan tulangan pada elemen balok

1. Pilih Define > Section properties > Frame section (isi balok yang digunakan) > Modify/show property, lalu akan muncul tampilan seperti Gambar 4.14 berikut.



**Gambar 4.14** Data Properti Balok

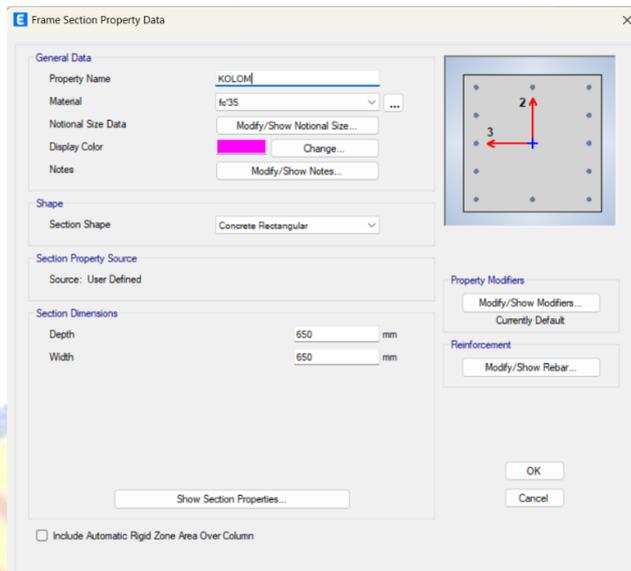
2. Klik modify/show rebar lalu isikan data tulangan seperti Gambar 4.15 berikut.



**Gambar 4.15** Input Tulangan Balok

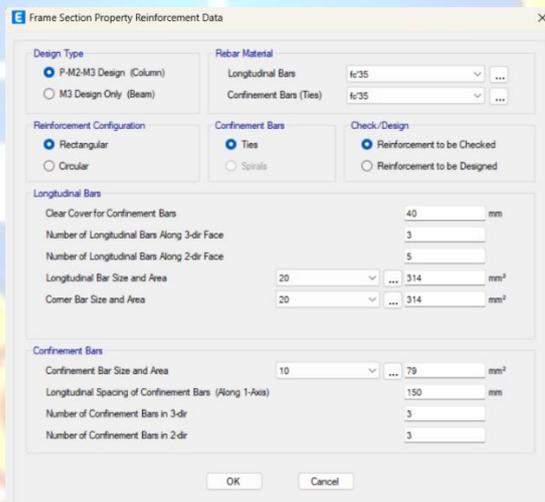
#### 4.4.1.3. Menambahkan tulangan pada elemen kolom

1. Pilih Define > Section properties > Frame section (isi kolom yang digunakan) > Modify/show property, lalu akan muncul tampilan seperti Gambar 4.16 berikut.



**Gambar 4.16** Data Properti Kolom

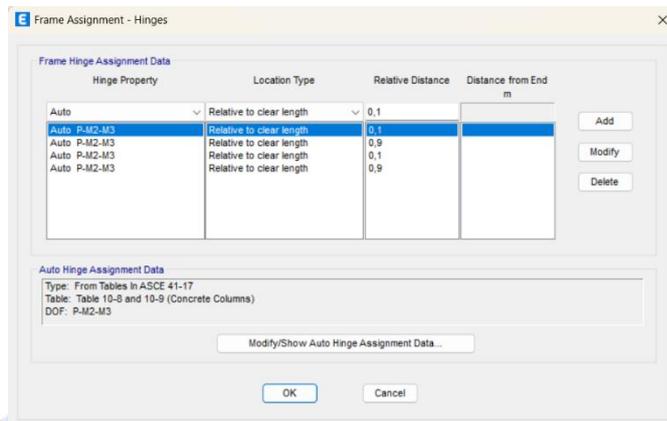
2. Klik modify/show rebar lalu isikan data tulangan seperti Gambar 4.17 berikut.



**Gambar 4.17** Input Tulangan Kolom

#### 4.4.1.4. Memodelkan sendi plastis

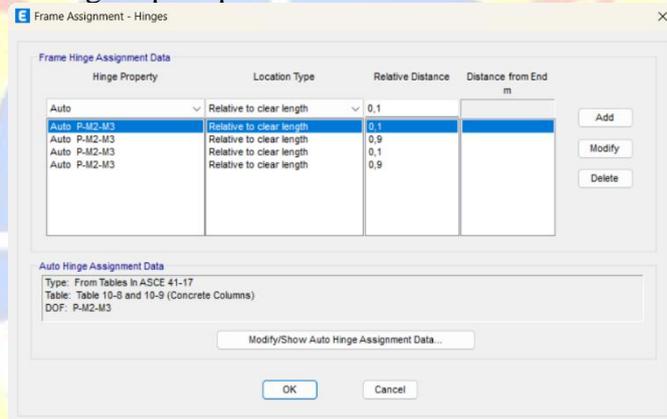
1. Mendefinisikan sendi plastis pada balok  
Klik elemen balok induk > Assign > Frame > Hinges > Add, lalu isikan frame assignment hinge seperti pada Gambar 4.18 berikut.



**Gambar 4.18** Input Hinge Balok

2. Mendefinisikan sendi plastis pada kolom

Klik elemen kolom > Assign > Frame > Hinges > Add, lalu isikan frame assignment hinge seperti pada Gambar 4.19 berikut.

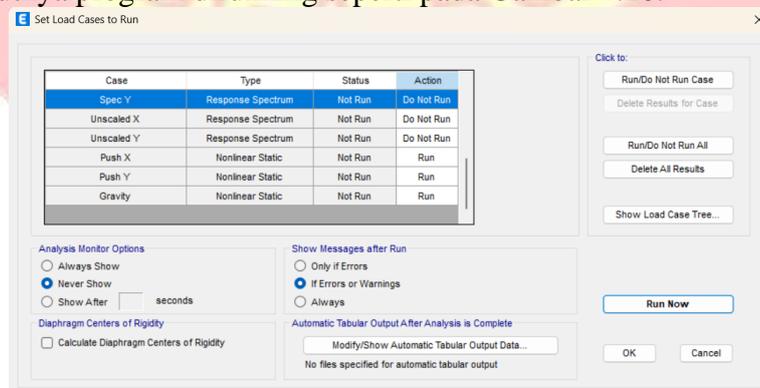


**Gambar 4.19** Input Hinge Kolom

3. Lakukan cara yang sama untuk push arah y.

#### 4.4.1.5. Running program

Selanjutnya program dirunning seperti pada Gambar 4.20.



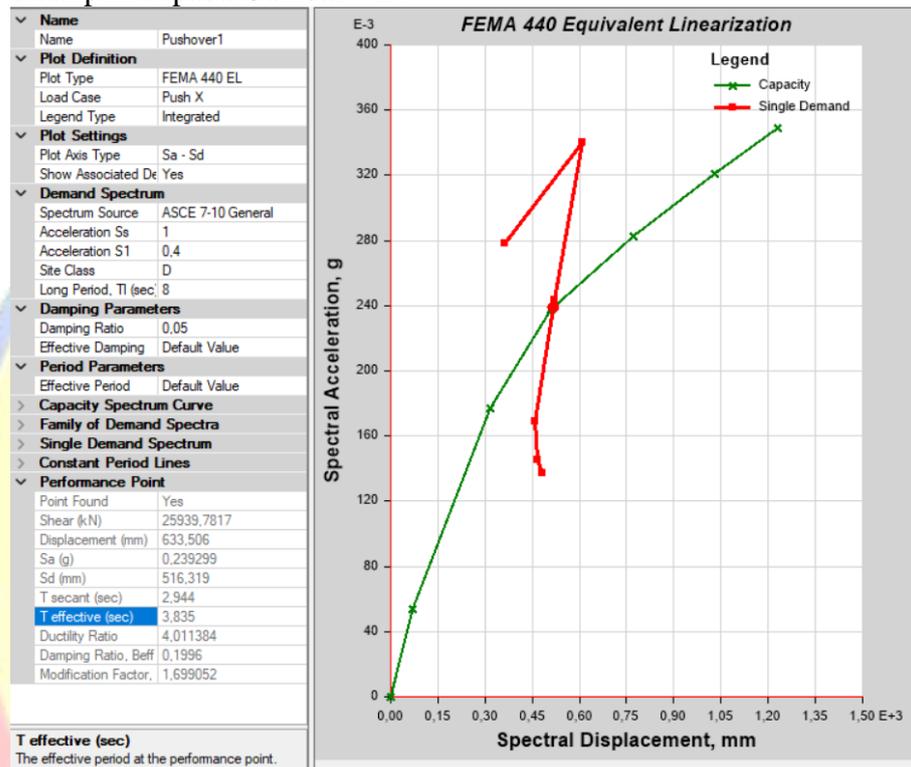
**Gambar 4.20** Running Analyze

## 4.4.2. Hasil Analisa Pushover

### 4.4.2.1. Gedung Fixed base

#### 4.4.2.1.1. Pushover arah x

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dapat ditentukan tingkat kinerja gedung berdasarkan FEMA 440 EL. Berikut output yang diperoleh ditampilkan pada Gambar 4.21.



**Gambar 4.21** Kurva Pushover Arah x

Berdasarkan Gambar 4.21, diperoleh V pada performance point sebesar 25939,7817 kN dan displacement sebesar 633,506 mm.

Dari program bantu ETABS diperoleh output distribusi sendi plastis seperti pada Tabel 4.22.

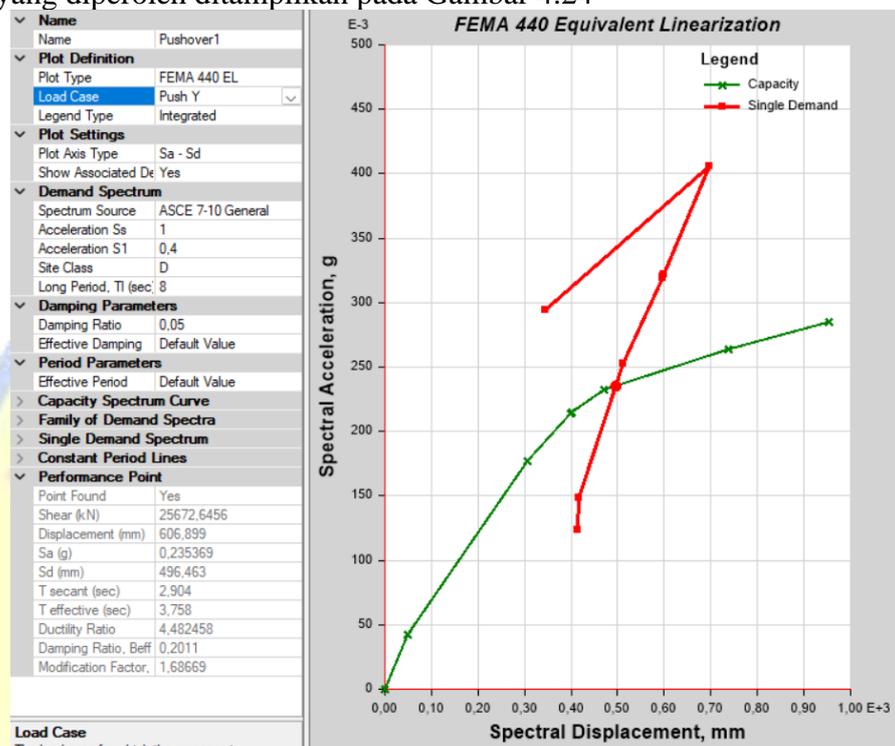
**Tabel 4. 15** Distribusi Sendi plastis Pushover arah x

TABLE: Base Shear vs Monitored Displacement												
Step	Monitored Disp mm	Base Force kN	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	5720	0	0	0	0	5720	0	0	0	5720
1	89,088	5551,5672	5716	4	0	0	0	5720	0	0	0	5720
2	399,698	18979,062	4596	1124	0	0	0	5668	4	0	48	5720
3	457,291	21035,929	4452	1268	0	0	0	5628	36	0	56	5720
4	457,321	21036,082	4448	1272	0	0	0	5628	36	0	56	5720
5	639,572	25819,689	4000	1720	0	0	0	5495	60	0	165	5720
6	955,667	30891,531	3648	2072	0	0	0	5221	236	12	251	5720
7	1255,899	34803,108	3360	2352	8	0	0	4998	333	32	357	5720
8	1258,206	34832,863	3356	2356	8	0	0	4994	333	28	365	5720

Dengan menggunakan bantuan Tabel 4.15 diperoleh level kinerja Gedung CP (Collapse Prevention) yang artinya elemen struktural dan non struktural sudah mengalami kerusakan parah, namun struktur tetap berdiri dan tidak runtuh, struktur sudah tidak mampu lagi menahan gaya lateral.

#### 4.4.2.1.2 Pushover arah y

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dapat ditentukan tingkat kinerja gedung berdasarkan FEMA 440 EL menggunakan ETABS. Berikut output yang diperoleh ditampilkan pada Gambar 4.24



Gambar 4.22 Kurva Pushover Arah y

Berdasarkan Gambar 4.24, diperoleh V pada performance point sebesar 25672,6456kN dan displacement sebesar 606,899mm.

Dari program bantu ETABS diperoleh output distribusi sendi plastis seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. 16 Distribusi Sendi Plastis Pushover Arah y

TABLE: Base Shear vs Monitored Displacement												
Step	Monitored Disp	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0	0	5720	0	0	0	0	5720	0	0	0	5720
1	62,247	4367,0849	5710	10	0	0	0	5720	0	0	0	5720
2	377,425	18943,181	4634	1086	0	0	0	5687	23	0	10	5720
3	490,765	23029,38	4460	1260	0	0	0	5630	74	0	16	5720
4	490,795	23027,43	4460	1260	0	0	0	5630	74	0	16	5720
5	495,239	23178,378	4460	1260	0	0	0	5630	74	0	16	5720
6	495,269	23176,546	4460	1260	0	0	0	5630	74	0	16	5720
7	578,356	25281,988	4164	1556	0	0	0	5600	104	0	16	5720
8	881,462	29430,568	3868	1852	0	0	0	5218	257	11	234	5720
9	1127,746	31986,741	3720	1996	4	0	0	5051	356	33	280	5720
10	1127,915	31983,387	3720	1996	4	0	0	5051	352	37	280	5720
11	1127,918	31983,373	3720	1996	4	0	0	5051	352	37	280	5720
12	1127,921	31983,062	3720	1996	4	0	0	5051	352	37	280	5720
13	1127,963	31983,022	3720	1996	4	0	0	5051	352	37	280	5720
14	1128,005	31981,371	3720	1996	4	0	0	5051	352	37	280	5720
15	1128,053	31981,117	3720	1996	4	0	0	5051	352	37	280	5720
16	1128,056	31980,026	3720	1996	4	0	0	5051	352	37	280	5720
17	1128,077	31979,958	3720	1996	4	0	0	5051	352	37	280	5720
18	1128,106	31979,796	3720	1996	4	0	0	5051	352	37	280	5720

Dengan menggunakan bantuan Tabel 4.16 diperoleh level kinerja gedung

CP (Collapse Prevention) yang artinya elemen struktural dan nonstruktural sudah mengalami kerusakan parah, namun struktur tetap berdiri dan tidak runtuh, struktur sudah tidak mampu lagi menahan gaya lateral.

#### 4.4.2.1.3. ATC-40

Menurut sendi plastis pada tabel 4.15 dan tabel 4.16, besar simpangan pada arah x sebesar 639,572 mm dan arah y sebesar 578,356 mm. Ini menunjukkan bahwa *displacement* yang terbentuk lebih kecil dari *displacement* yang ditentukan yaitu  $2\% H = 2\% \times 50 \text{ m} = 1\text{m}$ , Oleh karena itu, *displacement* gedung bisa dinyatakan baik.

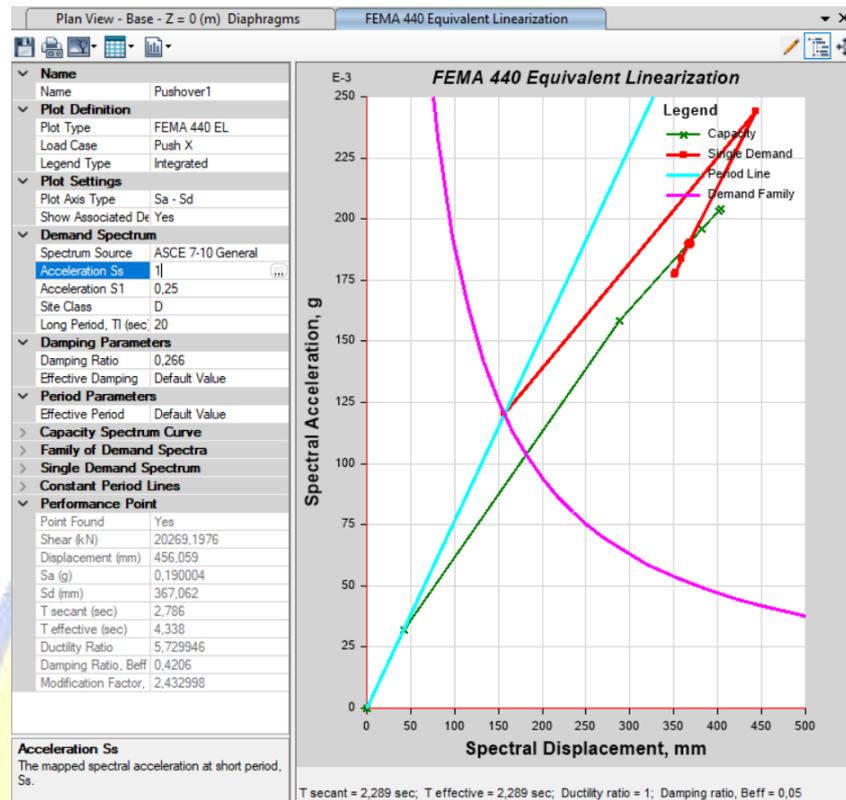
#### 4.4.2.1.4. Level kinerja bangunan *Fix Base* berdasarkan ATC 40

Parameter	<i>Total Drift maksimum (Dt/H)</i>	<i>Inelastic drift maksimum ((Dt-D1)H)</i>	Level Kinerja Struktur
Arah x	$1,258206/50 = 0,025$	$((1,1258206 - 0,089088)/50) = 0,021$	Untuk <i>Total drift</i> : <b>Damage Control</b> Untuk <i>Inelastic drift</i> : <b>Life safety</b>
Arah y	$1,128106/50 = 0,023$	$((1,128106 - 0,062247)/50) = 0,021$	Untuk <i>Total drift</i> : <b>Damage Control</b> Untuk <i>Inelastic drift</i> : <b>Life safety</b>

#### 4.4.2.2. Gedung base isolation

##### 4.4.2.2.1. *Pushover* arah x

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dapat ditentukan tingkat kinerja gedung berdasarkan FEMA 440 EL menggunakan ETABS. Berikut output yang diperoleh pada Gambar 4.26.



Gambar 4.23 Kurva *Pushover* Arah x

Berdasarkan Gambar 4.26, diperoleh  $V$  pada performance point sebesar 20269,4021kN dan displacement sebesar 456,059mm.

Dari program bantu ETABS diperoleh output distribusi sendi plastis seperti pada Tabel 4.27

Tabel 4. 17 Distribusi Sendi Plastis *Pushover* Arah x

TABLE: Base Shear vs Monitored Displacement

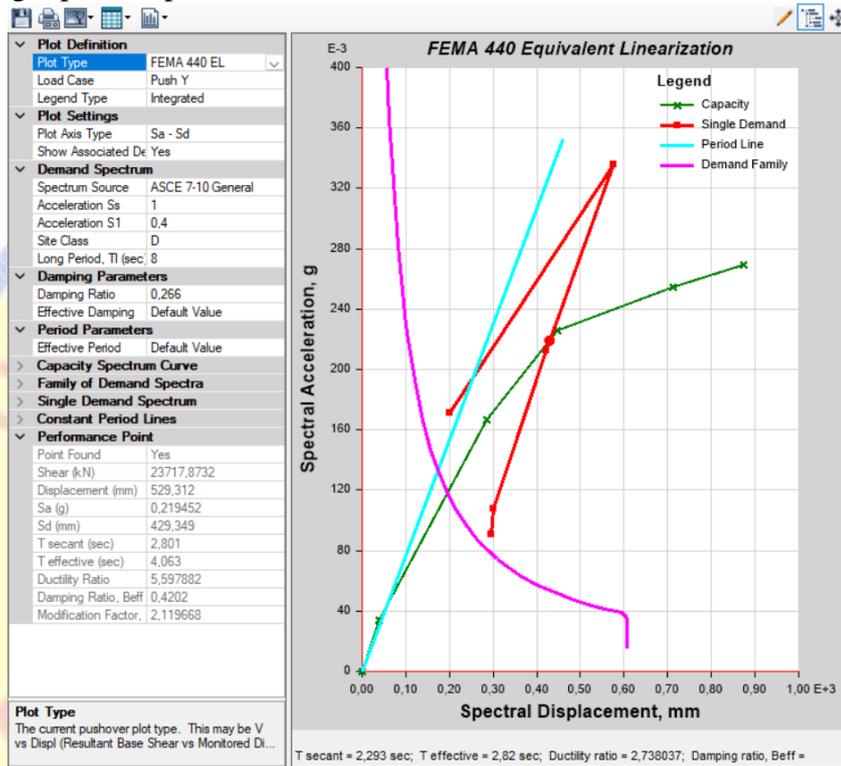
Step	Monitored Disp mm	Base Force kN	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	5720	0	0	0	0	5720	0	0	0	5720
1	53,043	3319,2624	5716	4	0	0	0	5720	0	0	0	5720
2	358,213	16758,982	4178	1542	0	0	0	5720	0	0	0	5720
3	473,939	20910,6102	3806	1914	0	0	0	5684	36	0	0	5720
4	473,969	20909,9538	3806	1914	0	0	0	5612	36	0	56	5720
5	766,201	29151,6398	3804	1916	0	0	0	5281	226	0	213	5720
6	1080,264	34519,3707	3440	2280	0	0	0	4854	537	6	323	5720
7	1413,076	39519,9176	3096	2624	0	0	0	4631	692	32	365	5720
8	1486,612	40580,6362	3046	2673	1	0	0	4599	712	38	371	5720
9	1486,63	40580,1732	3046	2673	1	0	0	4599	712	38	371	5720
10	1486,703	40582,8521	3046	2673	1	0	0	4599	712	38	371	5720
11	1486,74	40583,5211	3046	2673	1	0	0	4599	712	38	371	5720
12	1486,776	40582,4723	3046	2673	1	0	0	4599	712	38	371	5720

Dengan menggunakan Tabel 4.27 diperoleh level kinerja Gedung IO (Immediate Occupancy) yang artinya tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur, dimana kekukatan dan kekakuannya kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa. Komponen non struktural masih berada ditempatnya dan sebagian besar masih berfungsi

jika utilitasnya tersedia. Gedung dapat tetap berfungsi dan tidak terganggu dengan masalah perbaikan.

#### 4.4.2.2.2. *Pushover* arah y

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dapat ditentukan tingkat kinerja gedung berdasarkan FEMA 440 EL menggunakan ETABS. Berikut output yang diperoleh pada Gambar 4.28.



**Gambar 4.24** Kurva *Pushover* Arah y

Berdasarkan Gambar 4.27, diperoleh V pada performance point sebesar 23717,8732 kN dan displacement sebesar 529,312 mm.

Dari program bantu ETABS diperoleh output distribusi sendi plastis seperti pada Tabel 4.29

**Tabel 4. 18** Distribusi Sendi Plastis *Pushover* Arah y

TABLE: Base Shear vs Monitored Displacement												
Step	Monitored Disp	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0	0	5720	0	0	0	0	5720	0	0	0	5720
1	49,702	3501,623	5710	10	0	0	0	5720	0	0	0	5720
2	353,674	17715,7987	4584	1136	0	0	0	5720	0	0	0	5720
3	551,048	24460,6857	4196	1524	0	0	0	5642	78	0	0	5720
4	853,028	28526,0643	3914	1806	0	0	0	5226	285	61	148	5720
5	1037,013	30365,3478	3804	1916	0	0	0	5197	264	14	245	5720

Dengan menggunakan Tabel 4.29 diperoleh level kinerja Gedung IO (Immediate Occupancy) yang artinya tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur, dimana kekukatan dan kekakuannya kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa. Komponen non struktural masih berada ditempatnya dan sebagian besar masih berfungsi

jika utilitasnya tersedia. Gedung dapat tetap berfungsi dan tidak terganggu dengan masalah perbaikan.

#### 4.4.2.2.3. ATC-40

Menurut sendi plastis pada tabel 4.15 dan tabel 4.16, besar simpangan pada arah x sebesar 473,939 mm dan arah y sebesar 551,048 mm. Ini menunjukkan bahwa *displacement* yang terbentuk lebih kecil dari *displacement* yang ditentukan yaitu  $2\% H = 2\% \times 50 \text{ m} = 1 \text{ m}$ , Oleh karena itu, *displacement* gedung bisa dinyatakan baik.

#### 4.4.2.2.4. Level kinerja bangunan *Fix Base* berdasarkan ATC 40

Parameter	<i>Total Drift</i> maksimum (Dt/H)	<i>Inelastic drift</i> maksimum ((Dt-D1)/H)	Level Kinerja Struktur
Arah x	$1,486776/50 = 0,030$	$((1,486776 - 0,053043)/50) = 0,029$	Memiliki level kinerja yang sama: <b><i>Life safety</i></b>
Arah y	$1,037013/50 = 0,021$	$((1,128106 - 0,049702)/50) = 0,021$	Memiliki level kinerja yang sama: <b><i>Life safety</i></b>

### 4.5. Perbandingan Gedung Base Isolation dan Fixed Base

Pada sub bab ini akan dibahas perbandingan base shear dan reaksi terbesar antara gedung base isolation dan fixed base dengan menggunakan nilai faktor modifikasi respon (R) yang sama .

#### 4.5.1. Base shear

Dari hasil analisis pada sub bab 4.3.5.2, diperoleh base shear Gedung base isolation ( $V_{BI}$ ) sebesar kN. Sedangkan base shear Gedung fixed base ( $V_{FB}$ ) diperoleh dari program ETABS sebesar kN (arah x) dan kN (arah y).

Dari hasil tersebut dapat dihitung presentase penurunan base shear akibat digunakannya base isolation pada Gedung.

Besar penurunan base shear yaitu :

- Arah x

$$\begin{aligned} \text{\% besar penurunan} &= \frac{V_{FB} - V_{BI}}{V_{FB}} \times 100\% \\ &= \frac{4281,2294 \text{ kN} - 3041,7980 \text{ kN}}{4281,2294 \text{ kN}} \times 100\% \\ &= 28,95\% \end{aligned}$$

- Arah y

$$\begin{aligned} \text{\% besar penurunan} &= \frac{V_{FB} - V_{BI}}{V_{FB}} \times 100\% \\ &= \frac{4281,2364 \text{ kN} - 3095,3135 \text{ kN}}{4281,2364 \text{ kN}} \times 100\% \\ &= 27,70\% \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan dapat terlihat bahwa terjadi penurunan base shear akibat penambahan base isolator. Besar base shear dipengaruhi oleh base isolator yang digunakan, semakin besar kekakuan base isolation maka base shear yang terjadi semakin besar.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Sebagai kesimpulan dari hasil desain dan analisis yang dibahas dari bab – bab sebelumnya, dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Pada desain struktur gedung *fixed base* dan *base isolation* menggunakan dimensi yang sama dengan mutu beton 35 Mpa, dengan detail sebagai berikut :
  - Balok induk 1 : 600 mm x 400 mm
  - Balok induk 2 : 500 mm x 350 mm
  - Balok anak : 350 mm x 250 mm
  - Tebal pelat lantai : 150 mm
  - Tebal pelat atap : 150 mm
2. *Base isolator* yang digunakan merupakan produk dari Bridgestone dengan tipe LH080G4
3. Gedung *isolation base* memiliki keuntungan pada saat setelah gempa dibandingkan dengan struktur gedung *fix base*. Hal ini dapat dilihat dengan melakukan analisis *pushover*, gedung dengan *base isolation* memiliki level kinerja *Immediate Occupancy* yang berarti struktur tidak mengalami kerusakan yang signifikan karena kekuatan struktur tetap sama seperti sebelum gempa. Komponen non-struktur sebagian besar masih berfungsi jika utilitasnya tersedia, gedung dapat tetap berfungsi tanpa terganggu oleh masalah perbaikan, dan investasi yang ada dalam gedung dapat dilindungi. Sedangkan gedung dengan *fixed base* memiliki level kinerja *Collapse Prevention* yang berarti bahwa komponen struktural dan nonstruktural telah mengalami kerusakan yang sangat parah. Pada tingkat kinerja ini, ada kemungkinan korban akibat penggunaan material. Gedung telah mengalami kerusakan parah sehingga tidak dapat digunakan lagi. Akibatnya, investasi hilang dan gedung harus dibongkar.
4. Bangunan gedung hotel ini akan menjadi lebih tahan gempa karena beban gempa yang diukur melalui gaya geser dasar yang tereduksi. Penggunaan *base isolator* akan membuat karakteristik bangunan menjadi lebih tahan terhadap gempa. Dari hasil analisa yang telah dilakukan, terjadi penurunan *base shear* pada gedung yang menggunakan *base isolation* arah x sebesar 28,95% arah y sebesar 27,70% .

### 5.2. Saran

Penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna karena masih banyak kekurangan di dalamnya. Saran yang dapat diberikam berdasarkan hasil Analisa tugas akhir ini meliputi :

1. Dalam proses analisis atau perencanaan struktur bangunan, penerapan peraturan yang berlaku sangat penting karena akan mempengaruhi kualitas yang dihasilkan secara langsung
2. Untuk menentukan jenis base isolator yang lebih efisien, penelitian lebih lanjut harus dilakukan dengan membandingkan penggunaan berbagai jenis base isolator
3. Untuk analisis pada *software*, memerlukan peralatan computer yang mumpuni karena saat *running* memakan waktu yang cukup lama.



## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2019. SNI 1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan Gedung dan nongedung, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, 8,254.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. SNI 1727-2020 Beban Desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan Gedung dan struktur lain.
- Siswanto, S., & Prijasambada, P. 2023. Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Metode *Pushover*. *IKRA-ITH Teknologi Jurnal Sains dan Teknologi*, 7(1), 46-52.
- Kelly, T. E. 2001. *Base Isolation of Structures*. July.
- Aziz, M. K. (2021). *Desain Struktur dan Metode Pelaksanaan Gedung Hotel di Malang dengan Menggunakan Base Isolation Lead Rubber Bearing (LRB)* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Hutahean, N., Napitupulu, J., & Nduru, S. (2020). Analisis Dinamis Gaya Gempa Pada Bangunan Berdasarkan Sni 03-1726 2012. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 9(2), 91-100.
- Fakrunnisa, I. A., & Hayu, G. A. (2022). Analisis kinerja high damping rubber bearing dan lead rubber bearing pada bangunan beton bertulang. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, 5(1), 48-57.
- Lesmana, Y. 2021. *Handbook Analisa dan Desain Struktur Tahan Gempa Beton Bertulang ( SPRMB, SPRMM, SPRMK )*
- Bridgestone. 2017. Struktur Bantalan Karet Isolasi Seismik [https://www.bridgestone.com/products/diversified/antiseismic\\_rubber/product.htm](https://www.bridgestone.com/products/diversified/antiseismic_rubber/product.htm), di akses 28 Juni 2024
- Teruna, D. R. (2005). Analisis Respon Bangunan dengan Base Isolator Akibat Gaya Gempa Daniel Rumbi Teruna
- FEMA 356. 2000. "Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings". Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency.
- FEMA 451. 2006. "NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulation for New Buildings and Other Structures and Accompanying Commentary and Maps". Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency.
- Dewobroto, W. (2005). Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa *Pushover*. *Universitas Pelita Harapan*.
- Muliadi, M., Afifuddin, M., & Aulia, T. B. (2018). Analisis Simpangan Antar Lantai Pada Bangunan Menggunakan Base Isolator Di Wilayah Gempa. *Jurnal Teknik Sipil*

*dan Teknologi Konstruksi*, 3(4).

- Pratiwi, E. D., & Teruna, D. R. (2013). Kajian pengaruh karakteristik mekanik damper leleh baja terhadap respon bangunan akibat gaya gempa dengan menggunakan analisis riwayat waktu. 1.
- Naeim, F., & Kelly, J. M. (1999). Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice. *Earthquake Spectra*, 16(3), 709–710.
- Lestari, D. S. (2012). PERBANDINGAN KINERJA PENGGUNAAN BERBAGAI BASE ISOLATOR PADA GEDUNG TSUNAMI REFUGE CENTER KANTOR GUBERNUR SUMATERA BARAT. 1–21.
- Muliadi, M., Afifuddin, M., & Aulia, T. B. (2017). ANALISIS PERPINDAHAN PADA STRUKTUR BANGUNAN MENGGUNAKAN BASE ISOLATOR DI WILAYAH GEMPA KUAT. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 9(1).
- ATC, S. (1996). evaluation and retrofit of concrete buildings, report ATC-40 (also report no. SSC 96-01. California Seismic Safety Commission). *Applied Technology Council*.
- Saputra, M. R. (2019). Studi Kinerja Gedung Empat Tingkat Terhadap Beban Gempa dengan Metode Statik Pushover.
- Istiono, H., Septiarsilia, Y., Fitriyah, D. K., Komara, I., & Nuciferani, F. T. (2023). Evaluasi Struktur Gedung Hotel Swiss-Belhotel Darmo Surabaya Menggunakan Analisis Pushover Berdasarkan SNI 1726-2019. *Jurnal Teknologi dan Manajemen*, 4(2), 97-110.
- M. A. Prasetya, I. Wirakusuma and G. Surya, "Kinerja Struktur Gedung Perkuliahan 10 Lantai Berdasarkan Analisis Nonlinier Pushover dan ATC-40 (Studi Kasus: Graha Wiyata UNTAG Surabaya)," *Jurnal Extrapolasi*, pp. 35-45, 2022.

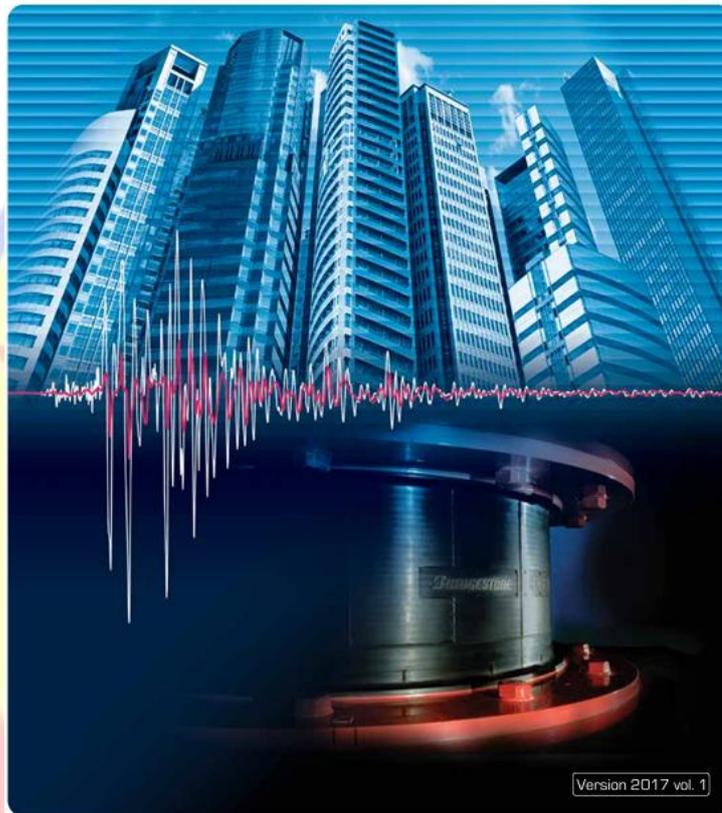
## LAMPIRAN

➤ Brosur Bridgestone

# BRIDGESTONE

## Seismic Isolation Product Line-up

High Damping Rubber Bearing    Lead Rubber Bearing  
Natural Rubber Bearing    Elastic Sliding Bearing



### Lead Rubber Bearing (LRB)

Seismic isolation material certification number by Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan  
MVBR-0517  
Acquired in December 2014

#### ● Product Dimension

Characteristics		Sectional View	
Physical Dimensions	Outer diameter	: $D_o$ (mm)	
	Lead plug diameter	: $D_i$ (mm)	
	Number of inner diameter	: $A_i$ ( $\times 10^4$ mm <sup>2</sup> )	
	Effective plane area	: $t$ (mm)	
	Thickness of one rubber layer	: $n$	
	Number of rubber layers	: $H = n \cdot t$ (mm)	
	First shape factor $S_1 = [D_o] / [4 \cdot t]$		
	Second shape factor $S_2 = D_o / [n \cdot t]$		
	Diameter of flange	: $D_f$ (mm)	
	Thickness of flange: edge/center	: $t_e / t_c$ (mm)	
	Connecting bolt PCD	: PCD (mm)	
	Diameter of connecting bolt hole $\times$ qty	: $d_h$ (mm) $\times$ qty	
	Bolt size (assumption)	: M ( $d_h - 3$ )	
	Thickness of each reinforced steel plate	: $L$ (mm)	
	Total height	: $H$ (mm)	
	Total weight: 1 (kN) = 1/9.80665 (tonf)		

Specification of flange (edge thickness / center thickness)

Outer diameter of rubber bearing [D <sup>1)</sup> ]	(800)	(850)	700	750	800	850	900	950	1000	1100	1200	1300
Standard thickness	22/28	22/28	22/28	22/28	24/28	24/28	24/28	26/28	26/28	26/28	28/32	28/32
Special thickness (option)	(26/32)	(26/32)	(26/32)	(26/32)	(26/32)	(26/32)	(26/32)	(27/43)	(27/43)	(27/43)	(27/43)	(27/43)

\*1 For selection of special thickness in regard to three sizes that exceed table ( ), delivery time will be longer due to mold preparation.  
 \*2 For 1,600 or above, assembled type flange will be used.  
 \*3 Compared to the standard application, the weight & weight of product for special thickness will be changed.

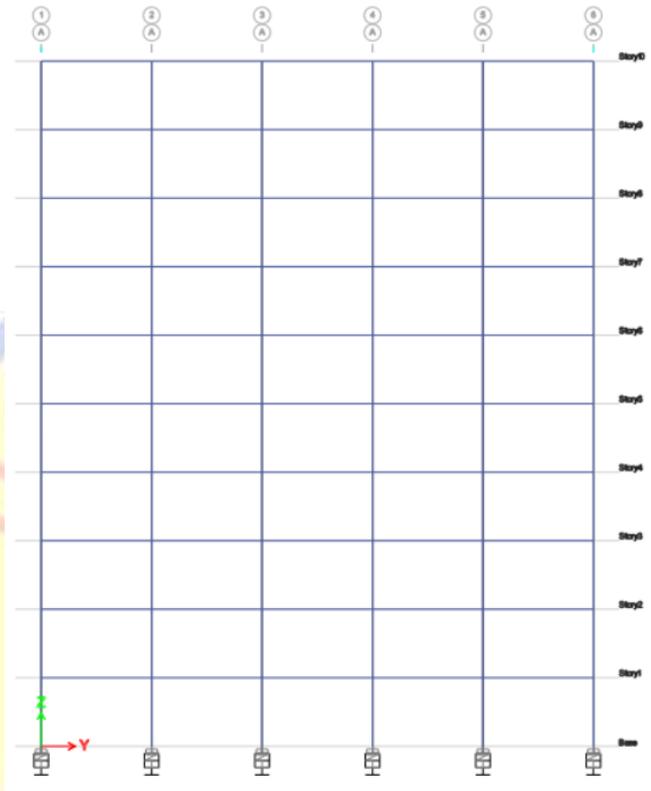
Certification number MVBR-0517

●LH Series (Total Rubber Thickness 20cm)

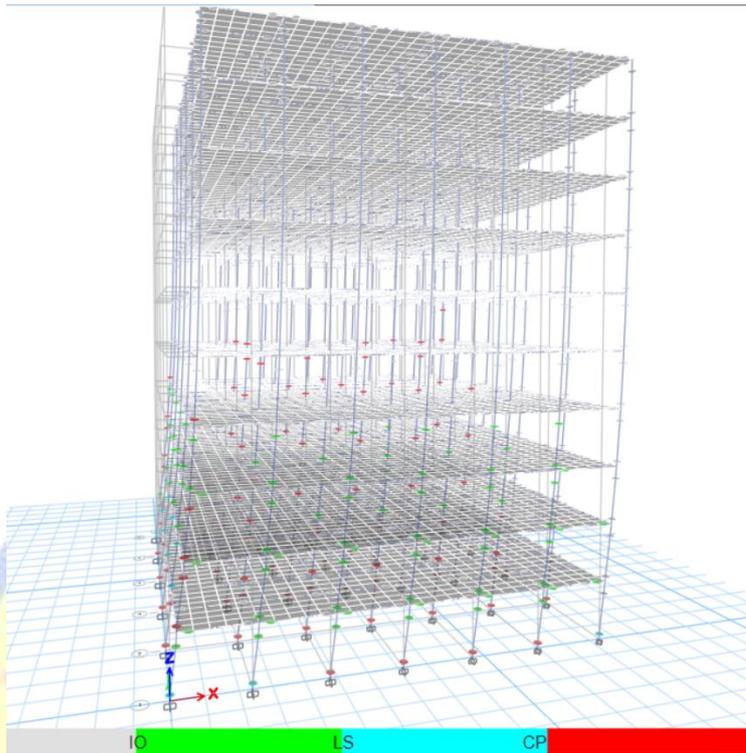
Characteristics		D=800φ												D=950φ												
		F	D	C	R	A	G	H	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X			
Physical Dimensions	Outer diameter [φmm]	800												950												
	Lead plug diameter [φmm]	120	120	140	150	160	170	180	190	200	120	120	140	150	160	170	180	190	200	210	220					
	Effective plane area [ $\times 10^3$ mm <sup>2</sup> ]	4970	4834	4673	4620	4625	4600	4776	4743	4712	5581	5542	5521	5468	5473	5448	5400	5391	5360	5389	5399					
	Thickness of one rubber layer [φmm]	5.4												5.7												
	Number of rubber layers [-]	27												25												
	Total rubber thickness [φmm]	200												200												
	First shape factor [-]	270												272												
	Second shape factor [-]	4.00												4.05												
	Diameter of flange [φmm]	1150												1200												
	Thickness of flange <sup>*)</sup> (edge/center) [φmm]	24/28												24/28												
	Connecting bolt PCD [φmm]	1000												1050												
	Diameter of connecting bolt hole $\times$ qty [φmm]	$\phi 22 \times 12$												$\phi 22 \times 12$												
	Bolt size (assumption) [-]	M30												M30												
	Thickness of each reinforced steel plate [φmm]	4.4												4.4												
Total height [φmm]	422.2												412.1													
Total weight [φconf]	1.25	1.25	1.25	1.26	1.27	1.28	1.29	1.29	1.30	1.34	1.35	1.36	1.36	1.37	1.38	1.38	1.39	1.40	1.41	1.42						
Total weight [kN]	12.2	12.3	12.3	12.4	12.5	12.5	12.6	12.7	12.8	13.2	13.2	13.3	13.4	13.4	13.5	13.6	13.7	13.7	13.8	13.9						
Compression Properties	Critical stress [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{cr}$ when $\gamma=0$	49												56											
		$[\sigma_y, \sigma_c]$	(0.00, 49)												(0.00, 56)											
	Ultimate compressive stress [N/mm <sup>2</sup> ]	$[\tau_y, \sigma_c]$	(0.00, 49)												(0.00, 56)											
		$[\sigma_y, \sigma_c]$	(4.00, 5)												(4.00, 5)											
	Compressive stiffness [ $\times 10^3$ kN/m]	2560												2660												
	Nominal long term compressive stress [N/mm <sup>2</sup> ]	10.5												11.7												
Shear Properties ( $\gamma = 100\%$ )	Nominal long term column load [kN]	5160	5160	5130	5110	5080	5060	5030	5000	4980	6530	6480	6460	6430	6400	6370	6340	6300	6270	6250	6180					
		Allowable tensile stress [ $\gamma = 100\%$ ] [N/mm <sup>2</sup> ]	1.0												1.0											
	Initial stiffness [ $\times 10^3$ kN/m]	12.7	12.8	12.8	12.8	12.9	12.9	12.9	13.0	13.0	14.4	14.4	14.4	14.5	14.5	14.5	14.6	14.6	14.6	14.7	14.7					
		Post yield stiffness [ $\gamma = 100\%$ ] [ $\times 10^3$ kN/m]	0.980	0.980	0.984	0.986	0.989	0.991	0.994	0.997	1.00	1.11	1.11	1.11	1.11	1.12	1.12	1.12	1.12	1.13	1.13	1.13				
	Characteristic Strength [kN]	92.1	106	123	141	160	181	200	226	250	30.1	106	123	141	160	181	200	226	250	276	302					
	Equivalent shear stiffness [ $\times 10^3$ kN/m]	1.43	1.51	1.60	1.69	1.79	1.90	2.01	2.13	2.25	1.56	1.64	1.73	1.80	1.88	2.02	2.16	2.26	2.38	2.51	2.65					
Equivalent damping ratio [-]	0.52	0.213	0.228	0.250	0.266	0.281	0.294	0.308	0.317	0.176	0.188	0.216	0.234	0.251	0.266	0.280	0.293	0.304	0.315	0.324						

\*: Special Dimensions for flange is available. Please refer to the table above for more details.

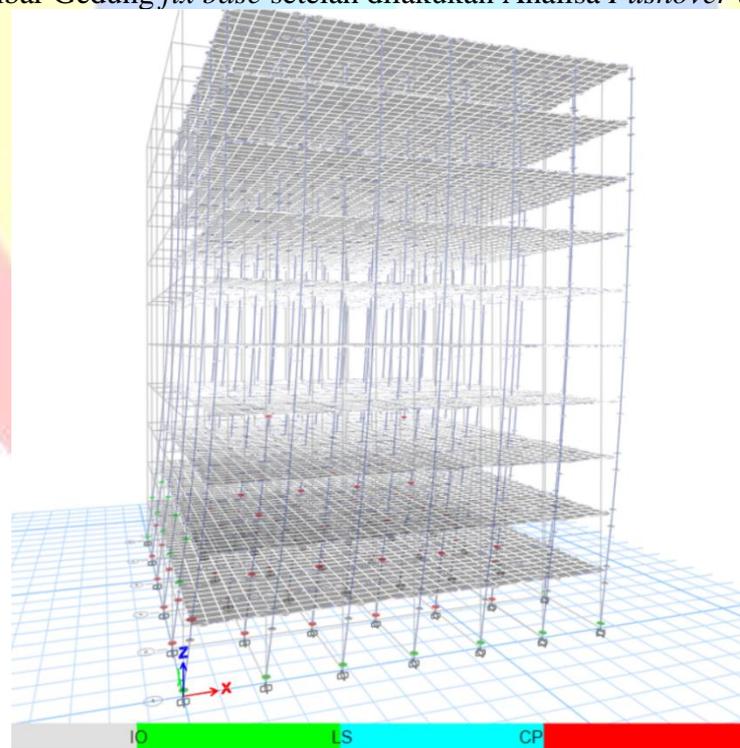
➤ Gambar Elevasi hasil ETABS 21



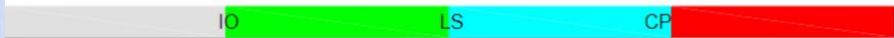
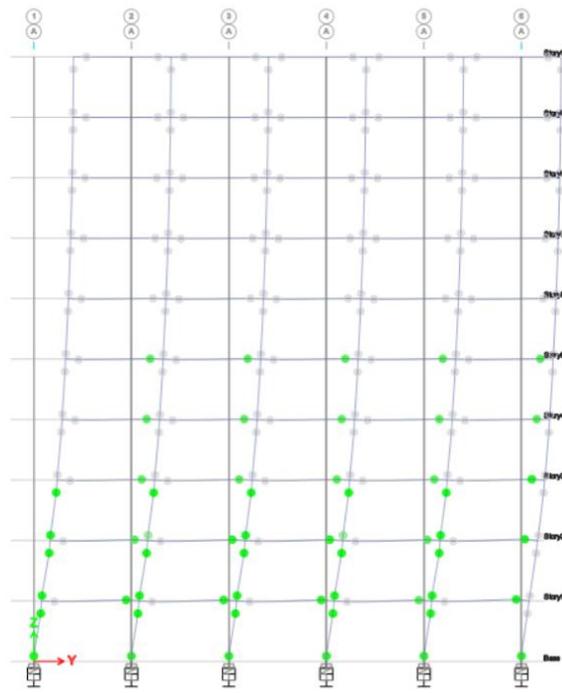
Gambar Elevasi struktur Gedung dengan base isolation



Gambar Gedung *fix base* setelah dilakukan Analisa *Pushover* arah x

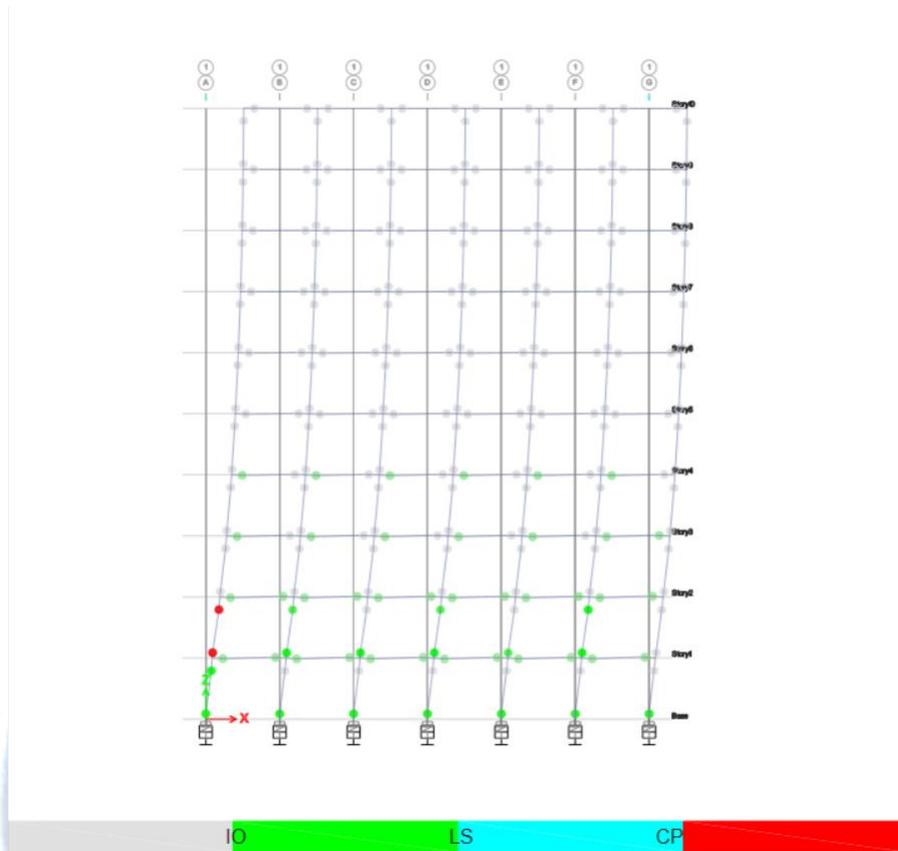


Gambar Gedung *fix base* setelah dilakukan Analisa *Pushover* arah y



Gambar Gedung dengan *base isolator* setelah dilakukan Analisa *Pushover* arah y





Gambar Gedung dengan *base isolator* setelah dilakukan Analisa *Pushover* arah x

