

SKRIPSI
PENGARUH PENGGUNAAN *BASE ISOLATOR* TERHADAP PERILAKU
STRUKTUR BETON BERTULANG PADA BANGUNAN TINGGI AKIBAT
BEBAN GEMPA

Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Studi
Pada Program Jenjang Strata I
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Mataram



DISUSUN OLEH:
M. HERU
2019D1B004

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
2023

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

SKRIPSI

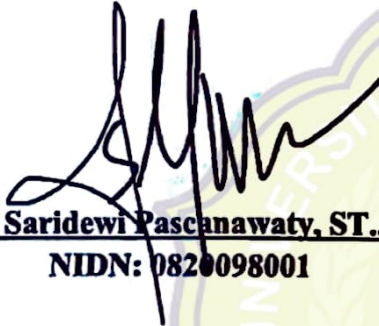
**“PENGARUH PENGGUNAAN *BASE ISOLATOR* TERHADAP PERILAKU STRUKTUR
BETON BERTULANG PADA BANGUNAN TINGGI AKIBAT BEBAN GEMPA”**

Disusun Oleh:

M. HERU
2019D1B004

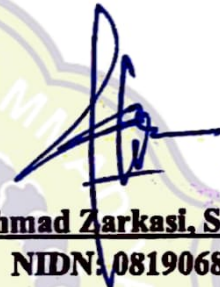
Mataram, 12 Juni 2023

Pembimbing I



Maya Saridewi Pascanawaty, ST., MT
NIDN: 0820098001

Pembimbing II



Ahmad Zarkasi, ST., MT
NIDN: 0819068903

Mengetahui,

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
FAKULTAS TEKNIK**

Dekan,



Dr. H. Aji Syailendra Ubaidillah, ST., M.Sc.
NIDN.0806027101

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI
SKRIPSI
PENGARUH PENGGUNAAN *BASE ISOLATOR* TERHADAP PERILAKU
STRUKTUR BETON BERTULANG PADA BANGUNAN TINGGI
AKIBAT BEBAN GEMPA

Yang Dipersiapkan dan Disusun Oleh:

M. HERU

2019D1B004

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
Pada hari Selasa, 20 Juni 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji

Penguji I : Maya Saridewi Pascanawaty, ST., MT

Penguji II : Ahmad Zarkasi, ST., MT

Penguji III : Dr. Eng. H. Hariyadi, ST., M.Sc (Eng)

Mengetahui,

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
FAKULTAS TEKNIK

Dekan,



Dr. Aji Syailendra Ubaidillah, ST., M.Sc.

NIDN. 0806027101

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir/Skripsi dengan judul:

“PENGARUH PENGGUNAAN *BASE ISOLATOR* TERHADAP PERILAKU STRUKTUR BETON BERTULANG PADA BANGUNAN TINGGI AKIBAT BEBAN GEMPA”

Benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari karya orang lain. Ide dan hasil penelitian maupun kutipan baik langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam Tugas Akhir/Skripsi ini disebut dalam daftar pustaka. Apabila terbukti dikemudian hari bahwa Tugas Akhir/Skripsi ini merupakan plagiasi, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Demikian surat pernyataan in saya buat tanpa tekanan dari pihak manapun dan dengan kesadaran penuh terhadap tanggung jawab dan konsekuensi

Mataram, 10 Juli 2023

Yang Membuat Pernyataan



M. HERU

2019D1B004



**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT**

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

**SURAT PERNYATAAN BEBAS
PLAGIARISME**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. HERU
 NIM : 2019018004
 Tempat/Tgl Lahir : Pohgading, 25 Desember 2000
 Program Studi : TEKNIK SIPIL
 Fakultas : Teknik
 No. Hp : 085239209508
 Email : Herumjis@gmail.com

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi/KTI/Tesis* saya yang berjudul :

PENGARUH PENGGUNAAN BASE ISOLATOR TERHADAP PERILAKU STRUKTUR
 BETON BERTULANG PADA BANGUNAN TINGGI AKIBAT BEBAN GEMPA

Bebas dari Plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain. 45 & 463

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian dari Skripsi/KTI/Tesis* tersebut terdapat indikasi plagiarisme atau bagian dari karya ilmiah milih orang lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dan disebutkan sumber secara lengkap dalam daftar pustaka, saya **bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum** sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Mataram.

Demikain surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun dan untuk dipergunakan sebagai mana mestinya.

Mataram, 20 Juli2023
 Penulis


 METERAI TEMBIL
 898AKX4907457
 M. HERU
 NIM. 2019018004

Mengetahui,
 Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



 Iskandar, S.Sos.,M.A. Uly
 NIDN. 0802048904

*pilih salah satu yang sesuai



**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT**

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

**SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI KARYA ILMIAH**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. HERU
 NIM : 201901B004
 Tempat/Tgl Lahir : Pongading, 25 Desember 2000
 Program Studi : Teknik Sipil
 Fakultas : Teknik
 No. Hp/Email : 085230209508 / Herumjls@gmail.com
 Jenis Penelitian : Skripsi KTI Tesis

Menyatakan bahwa demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Muhammadiyah Mataram hak menyimpan, mengalih-media/format, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Repository atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama ***tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta*** atas karya ilmiah saya berjudul:

PENGARUH PENGGUNAAN BASE ISOLATOR TERHADAP PERILAKU STRUKTUR
BETON BERTULANG PADA BANGUNAN TINGGI AKIBAT BEBAN GEMPA

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggungjawab saya pribadi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya tanpa ada unsur paksaan dari pihak manapun.

Mataram, 10 Juli 2023
 Penulis

Mengetahui,
 Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



M. HERU
 NIM. 201901B004



Iskandar, S.Sos.,M.A.
 NIDN. 0802048904

PRAKATA

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu wa ta'ala atas limpahan rahmat, karunia dan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Shalawat beserta salam semoga selalu tercurahkan kepada baginda Nabi besar Muhammad ﷺ yang telah menjadi penuntun, suri tauladan dalam menjalani kehidupan.

Skripsi ini diajukan untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah skripsi di Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram. Adapun judul skripsi yang penulis ajukan adalah **“Pengaruh Penggunaan *Base Isolator* Terhadap Perilaku Struktur Beton Bertulang Pada Bangunan Tinggi Akibat Beban Gempa”**.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dan banyak kekurangan karena keterbatasan ilmu yang penulis miliki. Untuk itu penulis dengan kerendahan hati mengharapkan saran dan kritik yang sifatnya membangun dari semua pihak agar kekurangan-kekurangan pada skripsi ini dapat diperbaiki. Akhiru kalam penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat serta dapat dijadikan acuan atau refrensi dalam penyusunan skripsi khususnya mahasiswa Program Studi Teknik Sipil

Mataram, 11 Juni 2023

M. Heru
2019D1B004

UCAPAN TERIMA KASIH

Tidak dapat disangkal bahwa butuh usaha yang keras dan semangat yang berapi-api dalam penyelesaian pengerjaan skripsi ini. Namun, skripsi ini tidak akan selesai tanpa dukungan dan bantuan orang-orang tercinta di sekeliling penulis. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Ibu penulis Rabbiah dan Bapak penulis Nurdam yang selalu mendo'akan sehingga seluruh urusan penulis dipermudah oleh Allah Subhanahu Wa Ta'ala, memberikan kasih sayang dan dukungan yang tidak terputus.
2. Adryan Fitriyuda, ST., MT., selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
3. Dr.(Eng) H. Hariyadi, ST., M.Sc(Eng) selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ide untuk penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Maya Saridewi Pascanawaty, ST., MT, selaku dosen pembimbing 1.
5. Ahmad Zarkasi, ST., MT, selaku dosen pembimbing 2.
6. Sahabat penulis, Bini Afifia Widuri yang selalu ada dan senantiasa membantu penulis dalam menjalani perkuliahan hingga menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman Teknik sipil Angkatan 2019, teman-teman HM Sipil UMMat, dan kakak tingkat Teknik sipil dan semua pihak yang telah membantu penulis dalam perkuliahan.

Semoga Allah Subhanahu Wa Ta'ala membalas segala kebaikan, bantuan dan semua dukungan yang diberikan kepada penulis. Semoga selalu dilancarkan dalam menjalani segala hal tanpa ada hambatan sedikitpun.

MOTTO

“Jika kamu berbuat baik (berarti) kamu berbuat baik bagi dirimu sendiri dan
jika kamu berbuat jahat, maka (kejahatan) itu bagi dirimu sendiri”

(Q.S Al-Isra' :7)

“Wherever you are, be a person who benefits others”

~.~



ABSTRAK

Indonesia termasuk kedalam daerah yang rawan bencana gempa bumi karena dikelilingi oleh cincin api pasifik (*Ring of fire*) dan berada pada wilayah pertemuan tiga lempeng tektonik, sehingga perlu adanya upaya untuk meminimalisir kerusakan akibat gempa, salah satunya adalah dengan menggunakan *base isolator system*. Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *base isolator* dengan tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) terhadap perilaku struktur beton bertulang pada bangunan tinggi akibat beban gempa.

Struktur bangunan yang digunakan sebagai lokasi penelitian yaitu Gedung Sapadia Hotel dengan 7 lantai di kota Mataram. Penelitian dilakukan dengan menganalisis model tiga dimensi pada struktur *fixed base* dan struktur *base isolator* dengan menggunakan aplikasi ETABS v.18, kemudian dilakukan perbandingan hasil analisis berupa periode getar, gaya geser dasar, simpangan, simpangan antar lantai dan level kinerja struktur dari kedua model.

Berdasarkan hasil analisis, penggunaan *base isolator* tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) dengan diameter 800 mm dan *nominal long term column load* sebesar 6050 kN dapat meningkatkan nilai periode getar dari 1,960 detik menjadi 3,204 detik. Terjadi peningkatan simpangan dasar pada struktur *base isolator* sebesar 59% arah x dan 44% arah y, sebaliknya simpangan antar lantai mengalami penurunan sebesar 36% arah x dan 69% arah y. Penggunaan *base isolator* dapat mereduksi gaya geser dasar dari 1926,48 kN menjadi 1248,086 kN arah x dan 1248,068 kN menjadi 1060,645 kN arah y. Berdasarkan hasil analisis *pushover* diperoleh nilai simpangan atap pada struktur *fixed base* dan *base isolator* berturut-turut sebesar 0,159 m dan 0,129 m. Nilai tersebut dapat digunakan untuk menentukan level kinerja struktur berdasarkan *Applied Technology Council 40* (ATC-40), didapatkan nilai *drift max* pada struktur *fixed base* sebesar 0,0055 m, sehingga termasuk ke dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO). Pada struktur *base isolator* nilai *drift max* sebesar 0,0044 m, sehingga termasuk ke dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO). Artinya kerusakan pasca gempa yang terjadi pada struktur sangat sedikit serta risiko adanya korban jiwa sangat kecil dan bangunan masih aman untuk tetap digunakan.

Kata kunci: gempa, *base isolator*, *high damping rubber bearing*, *pushover*.

ABSTRACT

Indonesia is located in an earthquake-prone region due to its position within the Pacific Ring of Fire and at the convergence of three tectonic plates. Using foundation isolator systems is one of the measures that can be taken to mitigate earthquake damage. This study examines the influence of High Damping Rubber Bearing (HDRB) base isolators on the seismic behavior of reinforced concrete structures in high-rise buildings.

The investigation was conducted on the seven-story Sapadia Hotel building in Mataram. Using ETABS v.18 software, a comparison was made between a three-dimensional model of a fixed base structure and a base isolator structure. The two models were compared regarding their analysis outcomes, which included vibration period, base shear force, displacement, inter-story drift, and structural performance level.

Based on the analysis, HDRB base isolators with a diameter of 800 mm and a nominal long-term column load of 6050 kN increased the vibration period from 1.960 seconds to 3.204 seconds. The base displacement in the base isolator structure increased by 59% in the x-direction and 44% in the y-direction, while the inter-story drift decreased by 36% in the x-direction and 69% in the y-direction. Using base isolators reduced the base shear force from 1926.48 kN to 1248.086 kN in the x-direction and from 1248.068 kN to 1060.645 kN in the y-direction. Based on the pushover analysis, the roof displacement in the structure with a fixed base was 0.159 m, while it was 0.129 m in the structure with a base isolator. According to Applied Technology Council 40 (ATC-40), these values were used to determine the structural performance level. The maximum drift value in the fixed base structure was 0.0055 m, corresponding to the Immediate Occupancy (IO) performance level. The maximum drift value in the base isolator structure was 0.0044 m, also classified as Immediate Occupancy (IO). It indicates minimal post-earthquake damage to the structure, the risk of casualties is very low, and the building is safe for continued use.

Keywords: earthquake, base isolator, high damping rubber bearing, pushover.

MENGESAHKAN
SALINAN FOTO COPY SESUAI ASLINYA
MATARAM



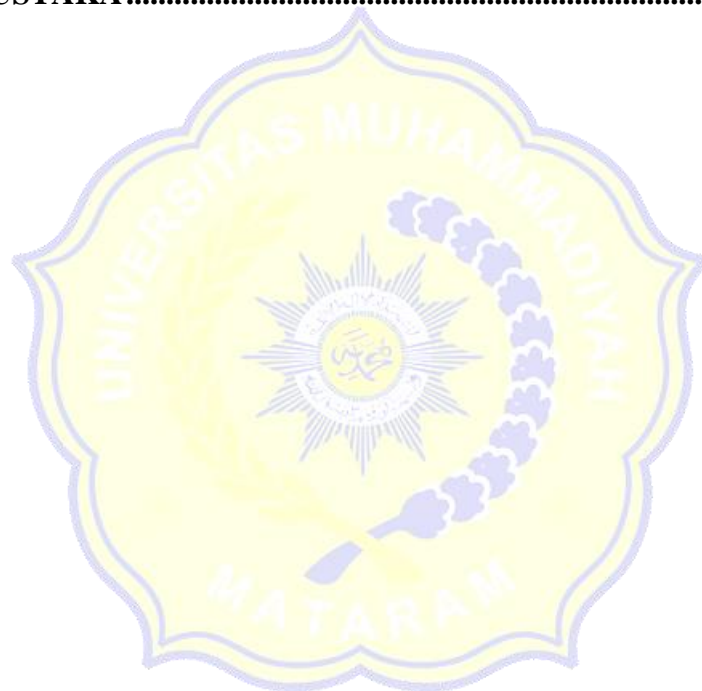
DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iv
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
PRAKATA	vii
UCAPAN TERIMA KASIH	viii
MOTTO	ix
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Landasan Teori	6
2.2.1 Modulus elastisitas.....	6
2.2.2 <i>Preliminary</i> desain.....	6
2.2.3 Pembebanan	8
2.2.4 Kombinasi pembebanan.....	12
2.2.5 Perencanaan ketahanan gempa	13
2.2.6 Penampang retak.....	26

2.2.7	Mode ragam	27
2.2.8	Penentuan simpangan antar tingkat	27
2.2.9	Ketidakteraturan torsi	28
2.2.10	Gaya dalam	28
2.2.11	Sistem isolasi	28
2.2.12	<i>High damping rubber bearing</i>	31
2.2.13	Analisa statis nonlinier (metode <i>pushover</i>)	34
2.2.14	Metode kurva kapasitas	35
2.2.15	Konsep level kinerja	37
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN.....	40
3.1	Diagram Alir Perencanaan	40
3.2	Data Perencanaan	41
3.3	<i>Preliminary</i> desain.....	44
3.4	Analisa Pembebanan	44
3.5	Analisa Struktur Menggunakan ETABS	47
3.5.1	Permodelan <i>grid</i>	47
3.5.2	Mendefinisikan material	48
3.5.3	Mendefinisikan penampang struktur	50
3.5.4	Menggambar elemen struktur dan jenis tumpuan.....	54
3.5.5	Mendefinisikan pola pembebanan	55
3.5.6	Input beban mati tambahan dan beban hidup	56
3.5.7	Diafragma	57
3.5.8	Mendefinisikan <i>mass source</i>	58
3.5.9	Mendefinisikan <i>modal cases</i>	59
3.5.10	<i>Run</i> analisis awal	59
3.5.11	Analisis <i>modal case</i>	61
3.5.12	Berat seismik efektif	61
3.5.13	Pembebanan gempa statik ekivalen	62
3.5.14	Pembebanan gempa dinamik <i>response spectrum</i>	64
3.5.15	Kombinasi pembebanan.....	66
3.5.16	<i>Output-output</i>	68
3.6	Perencanaan <i>Base Isolator</i> Tipe HDRB	71

3.6.1	Perencanaan dimensi dan desain <i>properties base isolator</i>	71
3.6.2	Penginputan <i>base isolator</i>	71
3.7	Analisa <i>Pushover</i>	75
3.8	Hasil Analisa	75
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	76
4.1	Pemodelan Struktur	76
4.2	<i>Preliminary</i> Desain	76
4.3	Analisa Ketahanan Gempa	79
4.3.1	Parameter percepatan respon gempa	79
4.3.2	Respons spektrum desain	80
4.3.3	Kategori desain seismik	82
4.3.4	Parameter sistem struktur	82
4.3.5	Gaya lateral ekuivalen	82
4.4	Analisis Struktur <i>Fixed Base</i>	84
4.4.1	Kontrol periode fundamental struktur	84
4.4.2	Kontrol gaya geser dasar seismik	84
4.4.3	Distribusi vertikal gaya gempa statik tiap lantai	86
4.4.4	Kontrol syarat translasi	87
4.4.5	Kontrol partisipasi massa (<i>Modal participating mass ratio</i>)	88
4.4.6	Kontrol simpangan antar tingkat	88
4.4.7	Gaya dalam	91
4.5	Analisis <i>Base Isolator</i>	93
4.5.1	Data-data perencanaan base isolator tipe HDRB	93
4.5.2	Perencanaan dimensi <i>base isolator</i> tipe HDRB	93
4.5.3	Perencanaan <i>properties design base isolator</i>	93
4.5.4	Hasil analisis struktur <i>base isolator</i> tipe HDRB	96
4.6	Analisis <i>Pushover</i>	100
4.6.1	Analisis <i>pushover</i> struktur <i>fixed base</i>	100
4.6.2	Analisis <i>pushover</i> struktur <i>base isolator</i>	103
4.7	Pembahasan Hasil Analisa	106
4.7.1	Perbandingan nilai periode getar	106

4.7.2	Perbandingan nilai simpangan dasar	107
4.7.3	Perbandingan nilai simpangan antar lantai	109
4.7.4	Perbandingan gaya geser dasar	110
4.7.5	Perbandingan momen dan gaya geser.....	111
4.7.6	Perbandingan hasil analisis <i>pushover</i>	112
4.7.7	Level kinerja struktur.....	115
BAB V	KESIMPULAN	117
5.1	Kesimpulan.....	117
5.2	Saran	119
DAFTAR PUSTAKA		120



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Lift</i> tanpa ruang mesin	11
Gambar 2.2	Parameter gerak tanah, S_s	18
Gambar 2.3	Parameter gerak tanah, S_1	19
Gambar 2.4	Peta transisi periode Panjang, T_L	20
Gambar 2.5	<i>High Dumping Rubber Bearing</i> (HDRB)	31
Gambar 2.6	Titik kinerja	35
Gambar 2.7	Kurva kapasitas	36
Gambar 2.8	Beberapa titik kinerja dalam satu grafik dalam CSM	36
Gambar 3.1	Diagram alir penulisan Skripsi/Tugas Akhir	40
Gambar 3.2	Lokasi penelitian	41
Gambar 3.3	Denah lantai 1-7	42
Gambar 3.4	Denah atap	43
Gambar 3.5	Potongan melintang	43
Gambar 3.6	Potongan memanjang	44
Gambar 3.7	Permodelan <i>grid</i>	47
Gambar 3.8	Permodelan <i>story</i> /ketinggian antar lantai	48
Gambar 3.9	<i>Material property data</i> beton	48
Gambar 3.10	Input <i>material property data</i>	49
Gambar 3.11	Input <i>property data</i> baja tulangan	49
Gambar 3.12	Input nilai F_y dan F_u baja tulangan	50
Gambar 3.13	<i>Frame property shape type</i>	50
Gambar 3.14	Input dimensi kolom	51
Gambar 3.15	<i>Stiffness modification factor</i> untuk kolom	51
Gambar 3.16	Input tulangan kolom	52
Gambar 3.17	<i>Stiffness modification factor</i> untuk balok	53
Gambar 3.18	Input tulangan balok	53
Gambar 3.19	Input <i>property data</i> pelat lantai	54
Gambar 3.20	<i>Properties of object</i>	55
Gambar 3.21	Input tumpuan jepit	55
Gambar 3.22	Input pola pembebanan	56

Gambar 3.23	Input beban terpusat/beban titik	56
Gambar 3.24	Input beban pada <i>frame</i>	57
Gambar 3.25	Input beban pada <i>shell</i> /pelat	57
Gambar 3.26	Data diafragma	58
Gambar 3.27	Mendefinisikan <i>mass source</i>	58
Gambar 3.28	Data <i>modal case</i>	59
Gambar 3.29	Pengecekan model	60
Gambar 3.30	<i>Set load case to run</i>	60
Gambar 3.31	<i>Display mode</i> ragam	61
Gambar 3.32	<i>Display</i> berat seismik efektif	62
Gambar 3.33	<i>Unlock model</i>	62
Gambar 3.34	Menambahkan beban gempa statik pada <i>load patterns</i>	63
Gambar 3.35	Menambahkan beban gempa statik ekuivalen arah x	63
Gambar 3.36	<i>Display base reactions</i>	64
Gambar 3.37	Kurva <i>respon spektrum desain</i>	65
Gambar 3.38	Menambahkan beban gempa <i>response spectrum</i>	65
Gambar 3.39	Menambahkan <i>load case response spectrum</i>	66
Gambar 3.40	Menambahkan kombinasi pembebanan	66
Gambar 3.41	<i>Concrete design prefrences</i>	67
Gambar 3.42	<i>Design load combinations selection</i>	68
Gambar 3.43	<i>Output</i> waktu getar alami	68
Gambar 3.44	<i>Output mode</i> ragam	69
Gambar 3.45	<i>Output</i> simpangan	69
Gambar 3.46	<i>Output</i> torsi	70
Gambar 3.47	<i>Output</i> gaya dalam	70
Gambar 3.48	Penampang <i>base isolator</i>	71
Gambar 3.49	<i>Link/support properties</i>	72
Gambar 3.50	<i>Link/support properties</i> pada U1	72
Gambar 3.51	<i>Link/support properties</i> pada U2	73
Gambar 3.52	<i>Link/support properties</i> pada U3	73
Gambar 3.53	<i>Point spring properties</i>	74

Gambar 3.54	<i>Joint assignment spring</i>	74
Gambar 4.1	Grafik respon spektrum lokasi gedung Sapadia Hotel	79
Gambar 4.2	Grafik respon spektrum	82
Gambar 4.3	Grafik <i>interstory drift</i> (Simpangan antar tingkat)	91
Gambar 4.4	<i>Input base isolator</i>	95
Gambar 4.5	Grafik simpangan antar tingkat	99
Gambar 4.6	Grafik hubungan <i>base shear</i> dengan <i>displacement</i> struktur <i>fixed base</i> arah x	101
Gambar 4.7	Grafik hubungan <i>base shear</i> dengan <i>displacement</i> struktur <i>fixed base</i> arah y	103
Gambar 4.8	Grafik hubungan <i>base shear</i> dengan <i>displacement base isolator</i> arah x	104
Gambar 4.9	Grafik hubungan <i>base shear</i> dengan <i>displacement base isolator</i> arah x	105
Gambar 4.10	Diagram perbandingan periode getar struktur	106
Gambar 4.11	Grafik perbandingan nilai simpangan dasar arah x	108
Gambar 4.12	Grafik perbandingan nilai simpangan dasar arah y	108
Gambar 4.13	Grafik perbandingan simpangan antar lantai arah x	110
Gambar 4.14	Grafik perbandingan simpangan antar lantai arah y	110
Gambar 4.15	Diagram perbandingan gaya geser dasar	112

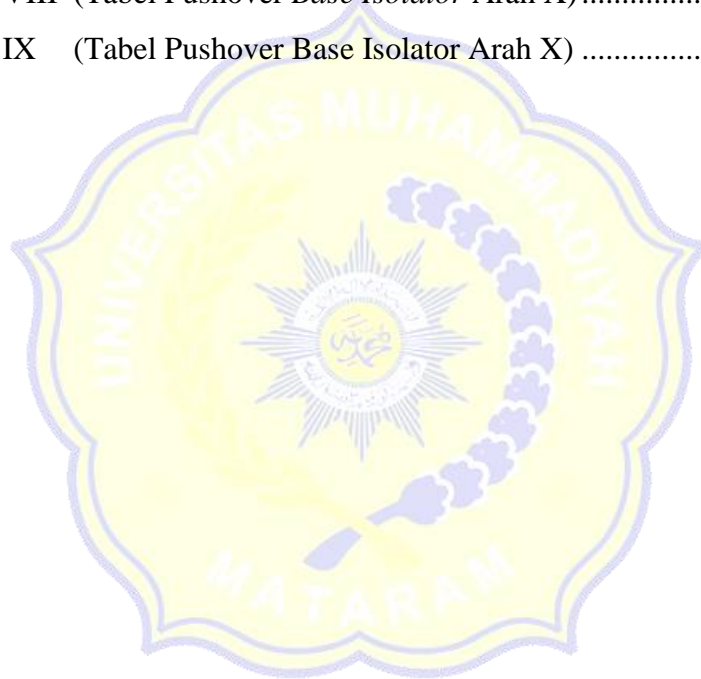
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang.....	7
Tabel 2.2	Tinggi minimum balok nonprategang.....	7
Tabel 2.3	Rekapitulasi beban Mati (<i>Dead Load</i>).....	9
Tabel 2.4	Rekapitulasi beban mati tambahan.....	10
Tabel 2.5	Rekapitulasi beban hidup.....	11
Tabel 2.6	Kombinasi pembebanan analisis struktur.....	12
Tabel 2.7	Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa.	14
Tabel 2.8	Faktor keutamaan gempa.....	16
Tabel 2.9	Klasifikasi situs.....	16
Tabel 2.10	Koefisien situs, F_a	17
Tabel 2.11	Koefisien situs, F_v	18
Tabel 2.12	Kategori desain seismik percepatan periode pendek.....	21
Tabel 2.13	Kategori desain seismik percepatan periode 1 detik.....	22
Tabel 2.14	Faktor R , C_d dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik.....	22
Tabel 2.15	Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x	23
Tabel 2.16	Koefisien batas atas periode yang dihitung.....	24
Tabel 2.17	Momen inersia pada level beban terfaktor.....	27
Tabel 2.18	Simpangan izin antar tingkat.....	28
Tabel 2.19	Faktor redaman, B_M	32
Tabel 2.20	Nilai G , u dan β	33
Tabel 2.21	Batasan <i>drift ratio</i>	39
Tabel 4.1	Rekapitulasi perhitungan balok.....	77
Tabel 4.2	Rekapitulasi dimensi kolom.....	78
Tabel 4.3	Nilai respon spektrum.....	81
Tabel 4.4	Berat struktur.....	83
Tabel 4.5	Gaya statik dan gaya dinamik awal.....	85
Tabel 4.6	Gaya statik dan gaya dinamik akhir.....	86
Tabel 4.7	Gaya gempa tiap lantai arah x.....	86
Tabel 4.8	Gaya gempa tiap lantai arah y.....	87

Tabel 4.9	<i>Modal direction factor</i>	87
Tabel 4.10	Partisipasi massa	88
Tabel 4.11	Simpangan antar tingkat.....	89
Tabel 4.12	Kontrol simpangan arah x	90
Tabel 4.13	Kontrol simpangan arah y	90
Tabel 4.14	Gaya geser	92
Tabel 4.15	Gaya momen (M3)	92
Tabel 4.16	Gaya aksial (P)	92
Tabel 4.17	Waktu getar alami	96
Tabel 4.18	<i>Modal direction factor</i>	97
Tabel 4.19	Simpangan antar tingkat.....	97
Tabel 4.20	Kontrol simpangan arah x	98
Tabel 4.21	Kontrol simpangan arah y	99
Tabel 4.22	Hasil <i>pushover</i> struktur <i>fixed base</i> arah x	100
Tabel 4.23	Hasil <i>pushover</i> struktur <i>fixed base</i> arah y	102
Tabel 4.24	Hasil <i>pushover</i> struktur <i>base isolator</i> arah x.....	104
Tabel 4.25	Hasil <i>pushover</i> struktur <i>base isolator</i> arah x.....	105
Tabel 4.26	Perbandingan nilai simpangan dasar	107
Tabel 4.27	Perbandingan simpangan antar lantai.....	109
Tabel 4.28	Perbandingan gaya geser dasar	110
Tabel 4.29	Perbandingan gaya geser	112
Tabel 4.30	Perbandingan gaya momen (M3)	112
Tabel 4.31	Perbandingan hasil <i>pushover</i> struktur <i>fixed base</i> dan <i>base isolator</i> arah x	113
Tabel 4.32	Perbandingan hasil <i>pushover</i> struktur <i>fixed base</i> dan <i>base isolator</i> arah y	113
Tabel 4.33	Perhitungan <i>drift ratio</i>	115

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I	(Katalog Bridgestone)	122
LAMPIRAN II	(Data Gambar Sapadia Hotel)	131
LAMPIRAN III	(Desain Base Isolator Tipe High Damping Rubber Bearing)	139
LAMPIRAN IV	(Spesifikasi <i>Lift</i>)	144
LAMPIRAN V	(Peta Jenis Tanah Pulau Lombok Berdasarkan Pergeseran Lapisan Tanah)	146
LAMPIRAN VI	(Tabel Pushover <i>Fixed Base</i> Arah X).....	148
LAMPIRAN VII	(Tabel Pushover <i>Fixed Base</i> Arah X).....	150
LAMPIRAN VIII	(Tabel Pushover <i>Base Isolator</i> Arah X)	153
LAMPIRAN IX	(Tabel Pushover <i>Base Isolator</i> Arah X)	155



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia termasuk kedalam daerah yang rawan bencana gempa bumi karena dikelilingi oleh cincin api pasifik (*Ring of fire*) dan berada pada wilayah pertemuan tiga lempeng tektonik yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia dan lempeng pasifik. Hal inilah yang menyebabkan wilayah Indonesia sering mengalami bencana gempa bumi. Menurut data yang dikeluarkan Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada tahun 2018 terjadi 14 gempa bumi dan pada tahun 2021 juga terjadi 26 gempa bumi dengan daya rusak signifikan, gempa bumi pada tahun 2021 merupakan kejadian gempa bumi tertinggi dalam kurun 20 tahun terakhir (Supartoyo, 2022). Disamping itu, pulau Lombok menjadi salah satu kepulauan di Indonesia yang secara tektonik merupakan kawasan seismik aktif. Pulau Lombok terletak diantara dua pembangkit gempa yaitu, zona subduksi Indo-Australia dari arah selatan dan terdapat struktur geologi sesar naik flores dari arah utara.

Pulau Lombok kerap menjadi lokasi gempa besar. Gempa yang terjadi pada tanggal 29 Juli 2018 di pulau Lombok ini berkekuatan 6,4 Skala Richter dan disusul dengan kekuatan 7,0 Skala Richter pada tanggal 5 Agustus 2018. Gempa ini menimbulkan kerusakan bangunan, fasilitas umum dan banyaknya korban jiwa. Kota Mataram yang menjadi pusat kota di pulau Lombok juga terkena dampak dari gempa bumi ini. Berada di wilayah risiko kegempaan 4 membuat kota Mataram memiliki risiko yang sangat besar terhadap kerusakan infrastruktur gedung yang cukup parah akibat gempa.

Rusaknya gedung menimbulkan kerugian secara moril dan material, umumnya menyebabkan korban jiwa akibat tertimpa bangunan yang runtuh pada saat gempa. Gempa bumi tidak dapat dipungkiri untuk dicegah terjadinya, namun perlu adanya upaya untuk meminimalisir kerusakan akibat gempa. Berbagai upaya telah dilakukan untuk meminimalisir dampak gempa bumi terhadap struktur bangunan dengan mengembangkan bangunan tahan gempa, mulai dengan membuat dinding geser (*Shear Wall*) hingga menambahkan perkuatan dengan sistem pengaku

(*Bracing*). Namun seiring perkembangan zaman, dikembangkanlah inovasi untuk melakukan proteksi bangunan gedung terhadap gempa yang lebih efisien yaitu *Base Isolator*. Negara dengan risiko tinggi terhadap gempa seperti Jepang, Turki, Italy, Portugal, USA, Iran, China, Selandia Baru, dan Taiwan telah banyak menggunakan *base isolator* ini.

Base isolator ini memiliki konsep yaitu memisahkan struktur atas dengan struktur bawah yang bekerja dengan menjaga struktur di atasnya sebagai satu kesatuan, arah getaran gempa yang terjadi secara acak hanya akan mempengaruhi *base isolator* karena *base isolator* ini sifatnya elastis, sedangkan struktur di atasnya akan bergetar atau bergerak sebagai satu kesatuan struktur (Lesmana, 2013). Keunggulan dari penggunaan *base isolator* dibandingkan dengan struktur bangunan tahan gempa yang lain adalah mampu mereduksi gaya gempa yang terjadi dari struktur bawah ke struktur atas bangunan dan *base isolator* ini juga mampu memperkecil nilai *displacement* dan *drift* pada setiap lantai struktur bangunan. Ada banyak sistem isolasi yang digunakan pada *base isolator*, namun pada penelitian ini akan digunakan *base isolator* dengan tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB).

Penerapan *base isolator* sendiri belum ada ditemukan pada struktur bangunan di pulau Lombok khususnya di kota Mataram, sehingga perlu dipelajari dan diteliti untuk mengaplikasikan sistem tersebut dalam menjamin kemampuan struktur bangunan di kota Mataram untuk meminimalisir efek dari gempa bumi yang terjadi. Salah satu bangunan di kota Mataram menjadi tempat dilakukannya penelitian yaitu gedung Sapadia Hotel yang stuktur bangunannya masih menggunakan beton bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus tanpa adanya peredam gempa, sehingga diperlukan adanya proteksi terhadap gempa. Mengacu dari permasalahan tersebut, penulis memiliki inovasi dengan melakukan penelitian yang bertujuan untuk menganalisis Penggunaan *base isolator* dengan Tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) pada bangunan Sapadia Hotel, yang tentunya dengan menerapkan peraturan Standar Nasional Indonesia yang berlaku dengan benar.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, ada beberapa permasalahan yang dapat ditarik untuk penyusunan tugas akhir ini:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan *base isolator* dengan tipe *High Dumping Rubber Bearing* (HDRB) terhadap perilaku struktur beton bertulang pada bangunan tinggi akibat beban gempa?
2. Bagaimana *base shear*, *displacement*, dan *drift* pada struktur bangunan yang menggunakan *fixed base* dengan sistem struktur *base isolator* pada gedung Sapadia Hotel?
3. Bagaimana perbandingan momen dan gaya geser pada struktur gedung yang menggunakan struktur *fixed base* dengan struktur *base isolator* pada gedung Sapadia Hotel?
4. Bagaimana level kinerja struktur gedung *fixed base* dengan struktur *base isolator* gedung Sapadia Hotel berdasarkan ATC-40 menggunakan analisa *pushover*?

1.3 Tujuan Penelitian

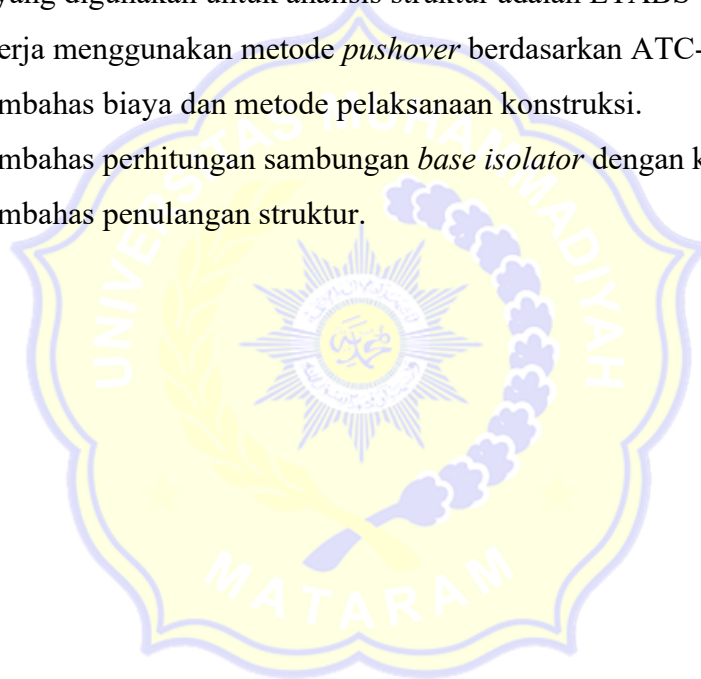
Berdasarkan rumusan masalah diatas, tujuan utama dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui perilaku struktur akibat penggunaan *base isolator* pada beton bertulang bangunan tinggi akibat beban gempa.
2. Mengetahui perbandingan *base shear*, *displacement*, dan *drift* pada struktur bangunan yang menggunakan *fixed base* dengan sistem struktur *base isolator* pada gedung Sapadia Hotel.
3. Mengetahui perbandingan momen dan gaya geser pada struktur primer gedung yang menggunakan struktur *fixed base* dengan struktur *base isolator* pada gedung Sapadia Hotel.
4. Mengetahui level kinerja struktur gedung *fixed base* dengan struktur *base isolator* gedung Sapadia Hotel berdasarkan ATC-40 menggunakan analisa *pushover*.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam penelitian agar lebih terkendali dan relevan dengan apa yang ingin dibuktikan adalah:

1. Bangunan gedung yang ditinjau berfungsi sebagai Hotel.
2. Lokasi penelitian terletak di Gedung Sapadia Hotel.
3. Bangunan terdiri dari 7 lantai dengan ketinggian 29 m.
4. Peraturan beton menggunakan SNI 2847-2019.
5. Pembebanan gempa menggunakan SNI 1726-2019.
6. Tipe *base isolator* adalah *High Dumping Rubber Bearing*.
7. Program yang digunakan untuk analisis struktur adalah ETABS v.18.
8. Level kinerja menggunakan metode *pushover* berdasarkan ATC-40.
9. Tidak membahas biaya dan metode pelaksanaan konstruksi.
10. Tidak membahas perhitungan sambungan *base isolator* dengan kolom.
11. Tidak membahas penulangan struktur.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada penelitian ini mengacu pada penelitian-penelitian sebelumnya dan peraturan-peraturan yang berlaku. Syahnandito et.al (2020). Penelitian yang dilakukan dengan judul Pengaruh Penggunaan *Base Isolation High Damping Rubber Bearing* pada Struktur Beton Bertulang. Adapun permasalahan yang didapatkan adalah belum ditemukannya struktur bangunan bertingkat yang mengaplikasikan isolasi karet yang dapat menjamin struktur bangunan dari gempa di daerahnya. Parameter yang digunakan diantaranya Beban mati, beban mati tambahan, beban sendiri struktur, beban hidup dan beban gempa dengan penggunaan metode *Base Isolation System*. Hasil analisa dari penelitian ini didapatkan periode struktur *fix base* sebesar 4,212 detik, gaya geser dasar didapatkan sebesar 1470,725 ton. Sedangkan pada struktur dengan *base isolation* berdasarkan hasil analisa didapatkan periode sebesar 5,500 detik, dengan gaya geser dasar didapatkan sebesar 1286,071 ton. Maka dapat disimpulkan bahwa pada struktur dengan *base isolation* terjadi peningkatan periode sebesar 30,58%, sedangkan gaya geser dasar terjadi penurunan 12,56%.

Samsya (2017). Melakukan penelitian dengan judul Evaluasi Aplikasi Penggunaan *Base Isolation* Pada Gedung Grand Keisha Menggunakan Analisa *Pushover*. Pada penelitian tersebut membahas perbandingan struktur *fixbase* dengan struktur *base isolation* dengan tipe *High Damping Rubber Bearing*. penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana *base isolation* dapat bekerja terhadap perilaku bangunan. Studi kasus yang digunakan adalah Hotel Grand Keisha terletak di Padang yang zona gempanya merupakan gempa tinggi. Dilakukan analisa *pushover* untuk mengetahui kinerja struktur jika terkena gempa. Dari analisa yang dilakukan, *base isolation* didapatkan peningkatan nilai gaya geser sistem struktur isolasi terhadap system struktur *fixbase* sebesar 20,12%. *Displacement* pada struktur *base isolation* dan *fixbase* mengalami penurunan, sesuai dengan gempa dinamik yang ditinjau sebesar 89,86% (arah x) dan 88,79% (arah y). Nilai simpangan horizontal (*Drift*) pada struktur *base isolation* dan

struktur *fixbase* mengalami reduksi sebesar 63,63% (arah x) dan 68,18% (arah y). Didapatkan level kinerja struktur kategori B (*Operasional*) pada struktur *base isolation*, yang artinya tidak ada kerusakan berarti pada struktur dan non-struktur, dengan kata lain bangunan tetap berfungsi. Pada struktur *fixbase* didapatkan level kinerja struktur dengan kategori IO (*Immediate Occupancy*), yang berarti komponen non struktur masih berada ditempatnya dan jika utilitasnya masih tersedia maka komponen tersebut masih berfungsi.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Modulus elastisitas

Modulus elastisitas digunakan untuk mengetahui seberapa besar rasio objek tersebut dapat berubah (deformasi elastis) ketika mengalami tekanan atau regangan. Material beton dan baja dapat mengalami deformasi elastis sehingga perlu diketahui Modulus elastisitasnya. Modulus elastisitas baja ditentukan berdasarkan SNI 1729:2020 Pasal B4 Tabel B4.1b sebesar 200.000 MPa dan modulus elastisitas beton dihitung dengan persamaan 2.1.

$$E = 4700 \times \sqrt{F'c} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan:

F'c = Kuat tekan beton

E = Modulus elastisitas

2.2.2 Preliminary desain

a. Preliminary pelat

Pelat adalah suatu elemen struktural yang membentuk permukaan datar secara horizontal yang dapat menerima beban mati maupun beban hidup kemudian menyalurkannya menuju balok, pelat ini biasanya diaplikasikan pada lantai dan atap dak. Pelat beton bidang horizontal yang terbuat dari campuran pasir, semen, air, kerikil dan admixture. Pelat ini memiliki ketebalan jauh lebih kecil dari balok, hal ini karna pelat hanya menahan beban mati dan hidup. Ketebalan dari pelat biasanya 12 cm sampai 15 cm tergantung beban yang dipikul. Karna berada pada lantai maka, elemen ini perlu didukung oleh rangka balok dan

kolom di bawahnya. Struktur balok dan pelat biasanya dicor secara bersamaan dengan tujuan untuk menghasilkan suatu kesatuan struktur yang monolit, sehingga bisa diasumsikan sebagai difragma. Pada skripsi ini digunakan pelat dua arah, yaitu pelat dengan tulangan pokok dua arah yang digunakan apabila panjang/lebar bentang pelat kurang dari 2 ($L/W < 2$). Ketebalan minimum dari pelat dua arah nonprategang dengan balok diantara tumpuan semua sisinya dapat dihitung berdasarkan Tabel 2.1 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang.

Tabel 2.1 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang

fy, MPa	Tanpa drop panel		
	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi	
280	Ln/33	Ln/36	Ln/36
420	Ln/30	Ln/33	Ln/33
520	Ln/28	Ln/31	Ln/31

(Sumber: SNI 2847:2019)

b. *Preliminary* balok

Balok adalah komponen portal dengan bentang horizontal. Adapun beban yang bekerja pada balok biasanya berupa beban geser, beban lentur, dan momen punter (torsi), sehingga untuk menahan beban tersebut dibutuhkan baja tulangan. Tulangan ini berupa tulangan longitudinal atau tulangan memanjang yang akan menahan beban lentur, serta tulangan geser atau begel yang akan menahan beban torsi dan geser (Asroni, 2010). Untuk preliminary balok biasanya ditentukan oleh arsitek. Namun untuk menentukan desain yang aman biasanya mengacu pada Tabel 2.2 Tinggi minimum balok nonprategang.

Tabel 2.2 Tinggi minimum balok nonprategang

Kondisi perletakan	Tinggi minimum (h_{min})
Perletakan sederhana	L/16
Menerus satu sisi	L/18,5
Menerus dua sisi	L/21
Kantilever	L/8

(Sumber: SNI 2847:2019)

Catatan: Rumusan tabel diatas dapat digunakan pada beton mutu normal dan tulangan mutu 420 MPa. Untuk mutu baja tulangan diatas 420 MPa, tinggi minimum pada tabel diatas harus dikalikan dengan Persamaan 2.2.

$$(0,4 + f_y / 700) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan:

Fy = Kuat leleh baja tulangan

c. *Preliminary kolom*

Kolom berfungsi sebagai pendukung untuk menerima beban dari balok dan pelat yang kemudian akan diteruskan menuju tanah dasar melalui pondasi. Beban yang ditimbulkan oleh balok dan pelat ini berupa beban tekan aksial dan momen lentur (akibat kontinuitas konstruksi). Oleh karena itu, kolom dapat didefinisikan sebagai suatu struktur yang memikul beban aksial dengan/tanpa momen lentur (Asroni, 2010).

Desain awal kolom bisa dihitung dengan Persamaan 2.3 dan Persamaan 2.4:

$$b \text{ kolom} = b \text{ balok terbesar} + 100 \dots\dots\dots (2.3)$$

$$h \text{ kolom} = b \text{ kolom} \times \frac{\left(\frac{P \text{ total bangunan}}{\text{jumlah pias}}\right) \times n \text{ melintang}}{\left(\frac{L \text{ total bangunan}}{\text{jumlah pias}}\right) \times n \text{ memanjang}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan:

b = Lebar elemen struktur

h = Tinggi elemen struktur

P = Panjang bangunan

L = Lebar bangunan

n = Jumlah pias

2.2.3 Pembebanan

Berdasarkan SNI 1727:2020 tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. Beban yang bekerja pada Gedung terdiri dari beban hidup, beban mati (berat struktur sendiri), dan beban mati tambahan (berat elemen non struktural).

1. Beban mati (*Dead load*)

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, baik itu komponen struktural maupun komponen arsitektural beserta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material. Untuk berat masing-masing material penyusun elemen struktural dilihat pada Tabel 2.3 Rekapitulasi beban Mati (*Dead Load*).

Tabel 2.3 Rekapitulasi beban Mati (*Dead Load*)

Material	Berat Volume	
	kN/m ³	kg/m ³
Beton (tidak bertulang)	22	2200
Beton bertulang	24 -25	2400 - 2500
Baja	78,5	7850
Mata merah	17	1700
Adukan semen	20 - 21	2000 - 2100
Air	10	1000
Tanah (umum)	17 - 18	1700 - 1800
Pasir kering	16	1600
Pasir jenuh	18	1800
Kayu (klas I)	10	1000
Aspal	14	1400

(Sumber: SNI 1727:2020)

2. Beban mati tambahan (*Super imposed dead load*)

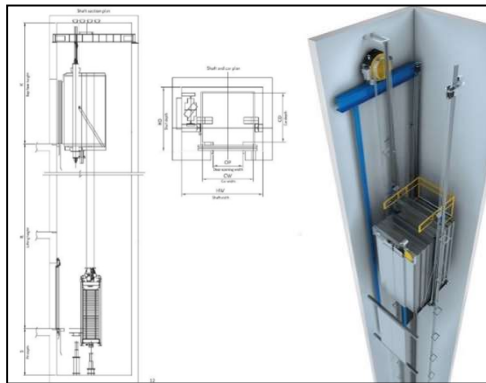
Beban mati tambahan atau *super imposed dead load* adalah berat komponen non struktural yang terdapat pada struktur bangunan. Untuk berat mati tambahan bisa di lihat pada Tabel 2.4 Rekapitulasi beban mati tambahan.

Tabel 2.4 Rekapitulasi beban mati tambahan

Material	Berat Volume	
	kN/m ³	kg/m ³
Atap:		
Genteng keramik (reng + kasau)	0,5	50
Plafon, ceiling, langit-langit	0,18	18
Atap metal 1mm (reng + kasau)	0,1	10
Dek Beton (screed)		
Keramik (+ screed/adukan semen)	1,5	150
Raised floor (+ carpet)	0,2	20
Dinding:		
Batako tanpa lubang, t 15 cm	3	300
Hebel 10 cm + render	1	100
Hebel 12.5 cm + render	1,2	120
Celcon 10 cm + render	1,5	150
Celcon 12.5 cm + render	1,7	170

(Sumber: SNI 1727:2020)

Dalam penelitian ini, model juga memiliki akses lift dimana lift adalah transportasi vertikal pada gedung yang berfungsi untuk mengangkut orang atau barang. Lift umumnya digunakan pada gedung-gedung bertingkat banyak yang biasanya lebih dari tiga atau empat lantai. Bangunan yang lebih rendah biasanya hanya menggunakan tangga atau eskalator. Lift-lift di zaman modern mempunyai tombol penunjuk lantai yang dapat dipilih penggunanya sesuai lantai tujuan. Dalam sistem penggerak lift ada tiga jenis mesin, yaitu *Hidraulic*, *Traction*, dan *Hoist*. Dalam penelitian ini digunakan lift dengan sistem tanpa ruang mesin seperti Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Lift tanpa ruang mesin

(Sumber: Aoyama, 2023)

3. Beban hidup (*Live load*)

Beban hidup atau *live load* adalah beban yang berasal dari penghunian atau penggunaan gedung seperti dari barang atau orang yang dapat berpindah tempat sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap. Beban hidup terdistribusi merata minimal, L_0 dan beban hidup terpusat minimal bisa di lihat pada tabel 2.5 Rekapitulasi beban hidup.

Tabel 2.5 Rekapitulasi beban hidup

Jenis beban hidup	Berat (kN/m ²)
Beban hidup ruang kantor	2,40
Beban hidup ruang computer	4,79
Beban hidup ruang operasi, Laboratorium	2,87
Helipad, Helikopter dengan berat lepas landas lebih dari 3000 Lb (13,35 kN)	2,87
Beban hidup koridor diatas lantai pertama	3,83
Ruang penyimpanan	7,18
Beban hidup tangga	4,79
Beban hidup dak	0,96
Beban hidup ruang pertemuan	4,79
Beban hidup lantai parkir	1,92

(Sumber: SNI 1727:2020)

2.2.4 Kombinasi pembebanan

Berdasarkan SNI 1727:2020 bahwa struktur, komponen-elemen struktur atas maupun bawah harus di desain hingga kuat rencana atau bahkan melebihi dari pembebanan terfaktor dengan kombinasi-kombinasi yang sesuai dengan Persamaan 2.5 sampai dengan Persamaan 2.12 dan untuk penjabarannya dapat dilihat pada Tabel 2.6 Kombinasi pembebanan analisis struktur:

1,4D	(2.5)
1,2D + 1,6L + 0,5(Lr atau R)	(2.6)
1,2D + 1,6(Lr atau R) + (L atau 0,5W)	(2.7)
1,2D + 1,0E + L	(2.8)
0,9D + 1,0E	(2.9)
0,9D – 1,0Ev + 1,0Eh	(2.10)
1,0D + 0,7Ev + 0,7Eh	(2.11)
0,6D – 0,7Ev + 0,7Eh	(2.12)

Tabel 2.6 Kombinasi pembebanan analisis struktur

No	Kombinasi Pembebanan	Keterangan
1.	1,4 DL	Kombinasi pembebanan akibat beban mati, beban hidup, beban angin dan beban hujan
2.	1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 LR	
3.	1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 R	
4.	1,2 DL + 1,6 LR + 1 LL	
5.	1,2 DL + 1,6 LR + 0,5W _x	
6.	1,2 DL + 1,6 LR + 0,5W _y	
7.	1,2 DL + 1,6 R + 1 LL	
8.	1,2 DL + 1,6 R + 0,5W _x	
9.	1,2 DL + 1,6 R + 0,5W _y	
10.	1,2 DL + 1 W + 1 LL + 0,5 LR	
11.	1,2 DL + 1 W + 1 LL + 0,5 R	
12.	0,9DL + 1W _x	
13.	0,9DL + 1W _y	
14.	(1,2 DL + 0.2S _{ds}) + 1SE _x (ρ) + 0,3SE _y (ρ) + 1LL	Kombinasi pembebanan sementara
15.	(1,2 DL + 0.2S _{ds}) + 1SE _x (ρ) - 0,3SE _y (ρ) + 1LL	
16.	(1,2 DL + 0.2S _{ds}) - 1SE _x (ρ) + 0,3SE _y (ρ) + 1LL	
17.	(1,2 DL + 0.2S _{ds}) - 1SE _x (ρ) - 0,3SE _y (ρ) + 1LL	
18.	(1,2 DL + 0.2S _{ds}) + 0,3SE _x (ρ) + 1SE _y (ρ) + 1LL	

Lanjutan Tabel 2.6

No	Kombinasi Pembebanan	Keterangan
19.	$(1,2 DL + 0.2Sds) + 0,3SEx (\rho) - 1SEy (\rho) + 1LL$	(Akibat beban mati, beban hidup, dan beban gempa)
20.	$(1,2 DL + 0.2Sds) - 0,3SEx (\rho) + 1SEy (\rho) + 1LL$	
21.	$(1,2 DL + 0.2Sds) - 0,3SEx (\rho) - 1SEy (\rho) + 1LL$	
22.	$(0,9 DL + 0.2Sds) + 1SEx (\rho) + 0,3SEy (\rho)$	
23.	$(0,9 DL + 0.2Sds) + 1SEx (\rho) - 0,3SEy (\rho)$	
24.	$(0,9 DL + 0.2Sds) - 1SEx (\rho) + 0,3SEy (\rho)$	
25.	$(0,9 DL + 0.2Sds) - 1SEx (\rho) - 0,3SEy (\rho)$	
26.	$(0,9 DL + 0.2Sds) + 0,3SEx (\rho) + 1SEy (\rho)$	
27.	$(0,9 DL + 0.2Sds) + 0,3SEx (\rho) - 1SEy (\rho)$	
28.	$(0,9 DL + 0.2Sds) - 0,3SEx (\rho) + 1SEy (\rho)$	
29.	$(0,9 DL + 0.2Sds) - 0,3SEx (\rho) - 1SEy (\rho)$	

(Sumber: SNI 1727:2020)

Dengan:

- D = Beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap
- E = Beban gempa
- L = Beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan
- Lr = Beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak
- R = Beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air

2.2.5 Perencanaan ketahanan gempa

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 4.1.1 bahwa, pengaruh dari beban gempa harus selalu ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi pada struktur bangunan gedung. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan probabilitas terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%.

1. Faktor keutamaan gempa dan kategori risiko struktur bangunan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung sesuai dengan Tabel 2.7 kemudian harus dikalikan dengan faktor keutamaan gempa (I_e) menurut Tabel 2.8 berikut:

Tabel 2.7 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen / rumah susun - Pusat perbelanjaan / mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo 	III

Lanjutan Tabel 2.7

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 	<p>III</p>
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat 	<p>IV</p>

(Sumber: SNI 1726:2019)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia termasuk kedalam daerah yang rawan bencana gempa bumi karena dikelilingi oleh cincin api pasifik (*Ring of fire*) dan berada pada wilayah pertemuan tiga lempeng tektonik yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia dan lempeng pasifik. Hal inilah yang menyebabkan wilayah Indonesia sering mengalami bencana gempa bumi. Menurut data yang dikeluarkan Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada tahun 2018 terjadi 14 gempa bumi dan pada tahun 2021 juga terjadi 26 gempa bumi dengan daya rusak signifikan, gempa bumi pada tahun 2021 merupakan kejadian gempa bumi tertinggi dalam kurun 20 tahun terakhir (Supartoyo, 2022). Disamping itu, pulau Lombok menjadi salah satu kepulauan di Indonesia yang secara tektonik merupakan kawasan seismik aktif. Pulau Lombok terletak diantara dua pembangkit gempa yaitu, zona subduksi Indo-Australia dari arah selatan dan terdapat struktur geologi sesar naik flores dari arah utara.

Pulau Lombok kerap menjadi lokasi gempa besar. Gempa yang terjadi pada tanggal 29 Juli 2018 di pulau Lombok ini berkekuatan 6,4 Skala Richter dan disusul dengan kekuatan 7,0 Skala Richter pada tanggal 5 Agustus 2018. Gempa ini menimbulkan kerusakan bangunan, fasilitas umum dan banyaknya korban jiwa. Kota Mataram yang menjadi pusat kota di pulau Lombok juga terkena dampak dari gempa bumi ini. Berada di wilayah risiko kegempaan 4 membuat kota Mataram memiliki risiko yang sangat besar terhadap kerusakan infrastruktur gedung yang cukup parah akibat gempa.

Rusaknya gedung menimbulkan kerugian secara moril dan material, umumnya menyebabkan korban jiwa akibat tertimpa bangunan yang runtuh pada saat gempa. Gempa bumi tidak dapat dipungkiri untuk dicegah terjadinya, namun perlu adanya upaya untuk meminimalisir kerusakan akibat gempa. Berbagai upaya telah dilakukan untuk meminimalisir dampak gempa bumi terhadap struktur bangunan dengan mengembangkan bangunan tahan gempa, mulai dengan membuat dinding geser (*Shear Wall*) hingga menambahkan perkuatan dengan sistem pengaku

(*Bracing*). Namun seiring perkembangan zaman, dikembangkanlah inovasi untuk melakukan proteksi bangunan gedung terhadap gempa yang lebih efisien yaitu *Base Isolator*. Negara dengan risiko tinggi terhadap gempa seperti Jepang, Turki, Italy, Portugal, USA, Iran, China, Selandia Baru, dan Taiwan telah banyak menggunakan *base isolator* ini.

Base isolator ini memiliki konsep yaitu memisahkan struktur atas dengan struktur bawah yang bekerja dengan menjaga struktur di atasnya sebagai satu kesatuan, arah getaran gempa yang terjadi secara acak hanya akan mempengaruhi *base isolator* karena *base isolator* ini sifatnya elastis, sedangkan struktur di atasnya akan bergetar atau bergerak sebagai satu kesatuan struktur (Lesmana, 2013). Keunggulan dari penggunaan *base isolator* dibandingkan dengan struktur bangunan tahan gempa yang lain adalah mampu mereduksi gaya gempa yang terjadi dari struktur bawah ke struktur atas bangunan dan *base isolator* ini juga mampu memperkecil nilai *displacement* dan *drift* pada setiap lantai struktur bangunan. Ada banyak sistem isolasi yang digunakan pada *base isolator*, namun pada penelitian ini akan digunakan *base isolator* dengan tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB).

Penerapan *base isolator* sendiri belum ada ditemukan pada struktur bangunan di pulau Lombok khususnya di kota Mataram, sehingga perlu dipelajari dan diteliti untuk mengaplikasikan sistem tersebut dalam menjamin kemampuan struktur bangunan di kota Mataram untuk meminimalisir efek dari gempa bumi yang terjadi. Salah satu bangunan di kota Mataram menjadi tempat dilakukannya penelitian yaitu gedung Sapadia Hotel yang stuktur bangunannya masih menggunakan beton bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus tanpa adanya peredam gempa, sehingga diperlukan adanya proteksi terhadap gempa. Mengacu dari permasalahan tersebut, penulis memiliki inovasi dengan melakukan penelitian yang bertujuan untuk menganalisis Penggunaan *base isolator* dengan Tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) pada bangunan Sapadia Hotel, yang tentunya dengan menerapkan peraturan Standar Nasional Indonesia yang berlaku dengan benar.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, ada beberapa permasalahan yang dapat ditarik untuk penyusunan tugas akhir ini:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan *base isolator* dengan tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) terhadap perilaku struktur beton bertulang pada bangunan tinggi akibat beban gempa?
2. Bagaimana *base shear*, *displacement*, dan *drift* pada struktur bangunan yang menggunakan *fixed base* dengan sistem struktur *base isolator* pada gedung Sapadia Hotel?
3. Bagaimana perbandingan momen dan gaya geser pada struktur gedung yang menggunakan struktur *fixed base* dengan struktur *base isolator* pada gedung Sapadia Hotel?
4. Bagaimana level kinerja struktur gedung *fixed base* dengan struktur *base isolator* gedung Sapadia Hotel berdasarkan ATC-40 menggunakan analisa *pushover*?

1.3 Tujuan Penelitian

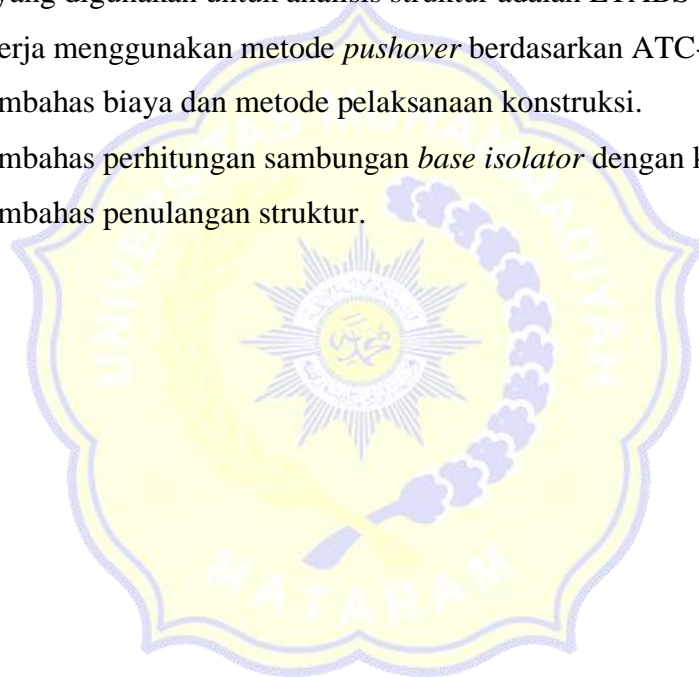
Berdasarkan rumusan masalah diatas, tujuan utama dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui perilaku struktur akibat penggunaan *base isolator* pada beton bertulang bangunan tinggi akibat beban gempa.
2. Mengetahui perbandingan *base shear*, *displacement*, dan *drift* pada struktur bangunan yang menggunakan *fixed base* dengan sistem struktur *base isolator* pada gedung Sapadia Hotel.
3. Mengetahui perbandingan momen dan gaya geser pada struktur primer gedung yang menggunakan struktur *fixed base* dengan struktur *base isolator* pada gedung Sapadia Hotel.
4. Mengetahui level kinerja struktur gedung *fixed base* dengan struktur *base isolator* gedung Sapadia Hotel berdasarkan ATC-40 menggunakan analisa *pushover*.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam penelitian agar lebih terkendali dan relevan dengan apa yang ingin dibuktikan adalah:

1. Bangunan gedung yang ditinjau berfungsi sebagai Hotel.
2. Lokasi penelitian terletak di Gedung Sapadia Hotel.
3. Bangunan terdiri dari 7 lantai dengan ketinggian 29 m.
4. Peraturan beton menggunakan SNI 2847-2019.
5. Pembebanan gempa menggunakan SNI 1726-2019.
6. Tipe *base isolator* adalah *High Dumping Rubber Bearing*.
7. Program yang digunakan untuk analisis struktur adalah ETABS v.18.
8. Level kinerja menggunakan metode *pushover* berdasarkan ATC-40.
9. Tidak membahas biaya dan metode pelaksanaan konstruksi.
10. Tidak membahas perhitungan sambungan *base isolator* dengan kolom.
11. Tidak membahas penulangan struktur.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada penelitian ini mengacu pada penelitian-penelitian sebelumnya dan peraturan-peraturan yang berlaku. Syahnandito et.al (2020). Penelitian yang dilakukan dengan judul Pengaruh Penggunaan *Base Isolation High Damping Rubber Bearing* pada Struktur Beton Bertulang. Adapun permasalahan yang didapatkan adalah belum ditemukannya struktur bangunan bertingkat yang mengaplikasikan isolasi karet yang dapat menjamin struktur bangunan dari gempa di daerahnya. Parameter yang digunakan diantaranya Beban mati, beban mati tambahan, beban sendiri struktur, beban hidup dan beban gempa dengan penggunaan metode *Base Isolation System*. Hasil analisa dari penelitian ini didapatkan periode struktur *fix base* sebesar 4,212 detik, gaya geser dasar didapatkan sebesar 1470,725 ton. Sedangkan pada struktur dengan *base isolation* berdasarkan hasil analisa didapatkan periode sebesar 5,500 detik, dengan gaya geser dasar didapatkan sebesar 1286,071 ton. Maka dapat disimpulkan bahwa pada struktur dengan *base isolation* terjadi peningkatan periode sebesar 30,58%, sedangkan gaya geser dasar terjadi penurunan 12,56%.

Samsya (2017). Melakukan penelitian dengan judul Evaluasi Aplikasi Penggunaan *Base Isolation* Pada Gedung Grand Keisha Menggunakan Analisa *Pushover*. Pada penelitian tersebut membahas perbandingan struktur *fixbase* dengan struktur *base isolation* dengan tipe *High Damping Rubber Bearing*. penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana *base isolation* dapat bekerja terhadap perilaku bangunan. Studi kasus yang digunakan adalah Hotel Grand Keisha terletak di Padang yang zona gempanya merupakan gempa tinggi. Dilakukan analisa *pushover* untuk mengetahui kinerja struktur jika terkena gempa. Dari analisa yang dilakukan, *base isolation* didapatkan peningkatan nilai gaya geser sistem struktur isolasi terhadap system struktur *fixbase* sebesar 20,12%. *Displacement* pada struktur *base isolation* dan *fixbase* mengalami penurunan, sesuai dengan gempa dinamik yang ditinjau sebesar 89,86% (arah x) dan 88,79% (arah y). Nilai simpangan horizontal (*Drift*) pada struktur *base isolation* dan

struktur *fixbase* mengalami reduksi sebesar 63,63% (arah x) dan 68,18% (arah y). Didapatkan level kinerja struktur kategori B (*Operasional*) pada struktur *base isolation*, yang artinya tidak ada kerusakan berarti pada struktur dan non-struktur, dengan kata lain bangunan tetap berfungsi. Pada struktur *fixbase* didapatkan level kinerja struktur dengan kategori IO (*Immediate Occupancy*), yang berarti komponen non struktur masih berada ditempatnya dan jika utilitasnya masih tersedia maka komponen tersebut masih berfungsi.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Modulus elastisitas

Modulus elastisitas digunakan untuk mengetahui seberapa besar rasio objek tersebut dapat berubah (deformasi elastis) ketika mengalami tekanan atau regangan. Material beton dan baja dapat mengalami deformasi elastis sehingga perlu diketahui Modulus elastisitasnya. Modulus elastisitas baja ditentukan berdasarkan SNI 1729:2020 Pasal B4 Tabel B4.1b sebesar 200.000 MPa dan modulus elastisitas beton dihitung dengan persamaan 2.1.

$$E = 4700 \times \sqrt{F'c} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan:

F'c = Kuat tekan beton

E = Modulus elastisitas

2.2.2 Preliminary desain

a. Preliminary pelat

Pelat adalah suatu elemen struktural yang membentuk permukaan datar secara horizontal yang dapat menerima beban mati maupun beban hidup kemudian menyalurkannya menuju balok, pelat ini biasanya diaplikasikan pada lantai dan atap dak. Pelat beton bidang horizontal yang terbuat dari campuran pasir, semen, air, kerikil dan admixture. Pelat ini memiliki ketebalan jauh lebih kecil dari balok, hal ini karna pelat hanya menahan beban mati dan hidup. Ketebalan dari pelat biasanya 12 cm sampai 15 cm tergantung beban yang dipikul. Karna berada pada lantai maka, elemen ini perlu didukung oleh rangka balok dan

kolom di bawahnya. Struktur balok dan pelat biasanya dicor secara bersamaan dengan tujuan untuk menghasilkan suatu kesatuan struktur yang monolit, sehingga bisa diasumsikan sebagai difragma. Pada skripsi ini digunakan pelat dua arah, yaitu pelat dengan tulangan pokok dua arah yang digunakan apabila panjang/lebar bentang pelat kurang dari 2 ($L/W < 2$). Ketebalan minimum dari pelat dua arah nonprategang dengan balok diantara tumpuan semua sisinya dapat dihitung berdasarkan Tabel 2.1 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang.

Tabel 2.1 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang

fy, MPa	Tanpa drop panel		
	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi	
280	Ln/33	Ln/36	Ln/36
420	Ln/30	Ln/33	Ln/33
520	Ln/28	Ln/31	Ln/31

(Sumber: SNI 2847:2019)

b. *Preliminary* balok

Balok adalah komponen portal dengan bentang horizontal. Adapun beban yang bekerja pada balok biasanya berupa beban geser, beban lentur, dan momen punter (torsi), sehingga untuk menahan beban tersebut dibutuhkan baja tulangan. Tulangan ini berupa tulangan longitudinal atau tulangan memanjang yang akan menahan beban lentur, serta tulangan geser atau begel yang akan menahan beban torsi dan geser (Asroni, 2010). Untuk preliminary balok biasanya ditentukan oleh arsitek. Namun untuk menentukan desain yang aman biasanya mengacu pada Tabel 2.2 Tinggi minimum balok nonprategang.

Tabel 2.2 Tinggi minimum balok nonprategang

Kondisi perletakan	Tinggi minimum (h_{min})
Perletakan sederhana	L/16
Menerus satu sisi	L/18,5
Menerus dua sisi	L/21
Kantilever	L/8

(Sumber: SNI 2847:2019)

Catatan: Rumusan tabel diatas dapat digunakan pada beton mutu normal dan tulangan mutu 420 MPa. Untuk mutu baja tulangan diatas 420 MPa, tinggi minimum pada tabel diatas harus dikalikan dengan Persamaan 2.2.

$$(0,4 + f_y / 700) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan:

Fy = Kuat leleh baja tulangan

c. *Preliminary kolom*

Kolom berfungsi sebagai pendukung untuk menerima beban dari balok dan pelat yang kemudian akan diteruskan menuju tanah dasar melalui pondasi. Beban yang ditimbulkan oleh balok dan pelat ini berupa beban tekan aksial dan momen lentur (akibat kontinuitas konstruksi). Oleh karena itu, kolom dapat didefinisikan sebagai suatu struktur yang memikul beban aksial dengan/tanpa momen lentur (Asroni, 2010).

Desain awal kolom bisa dihitung dengan Persamaan 2.3 dan Persamaan 2.4:

$$b \text{ kolom} = b \text{ balok terbesar} + 100 \dots\dots\dots (2.3)$$

$$h \text{ kolom} = b \text{ kolom} \times \frac{\left(\frac{P \text{ total bangunan}}{\text{jumlah pias}}\right) \times n \text{ melintang}}{\left(\frac{L \text{ total bangunan}}{\text{jumlah pias}}\right) \times n \text{ memanjang}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan:

b = Lebar elemen struktur

h = Tinggi elemen struktur

P = Panjang bangunan

L = Lebar bangunan

n = Jumlah pias

2.2.3 Pembebanan

Berdasarkan SNI 1727:2020 tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. Beban yang bekerja pada Gedung terdiri dari beban hidup, beban mati (berat struktur sendiri), dan beban mati tambahan (berat elemen non struktural).

1. Beban mati (*Dead load*)

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, baik itu komponen struktural maupun komponen arsitektural beserta

peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material. Untuk berat masing-masing material penyusun elemen struktural dilihat pada Tabel 2.3 Rekapitulasi beban Mati (*Dead Load*).

Tabel 2.3 Rekapitulasi beban Mati (*Dead Load*)

Material	Berat Volume	
	kN/m ³	kg/m ³
Beton (tidak bertulang)	22	2200
Beton bertulang	24 -25	2400 - 2500
Baja	78,5	7850
Mata merah	17	1700
Adukan semen	20 - 21	2000 - 2100
Air	10	1000
Tanah (umum)	17 - 18	1700 - 1800
Pasir kering	16	1600
Pasir jenuh	18	1800
Kayu (klas I)	10	1000
Aspal	14	1400

(Sumber: SNI 1727:2020)

2. Beban mati tambahan (*Super imposed dead load*)

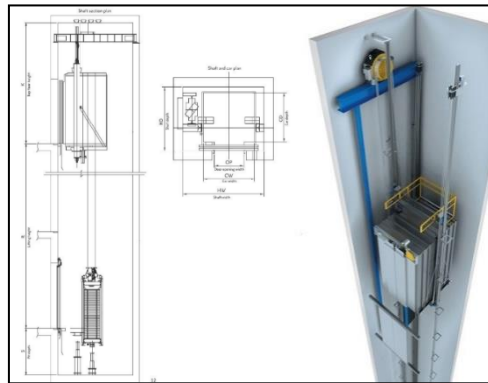
Beban mati tambahan atau *super imposed dead load* adalah berat komponen non struktural yang terdapat pada struktur bangunan. Untuk berat mati tambahan bisa di lihat pada Tabel 2.4 Rekapitulasi beban mati tambahan.

Tabel 2.4 Rekapitulasi beban mati tambahan

Material	Berat Volume	
	kN/m ³	kg/m ³
Atap:		
Genteng keramik (reng + kasau)	0,5	50
Plafon, ceiling, langit-langit	0,18	18
Atap metal 1mm (reng + kasau)	0,1	10
Dek Beton (screed)		
Keramik (+ screed/adukan semen)	1,5	150
Raised floor (+ carpet)	0,2	20
Dinding:		
Batako tanpa lubang, t 15 cm	3	300
Hebel 10 cm + render	1	100
Hebel 12.5 cm + render	1,2	120
Celcon 10 cm + render	1,5	150
Celcon 12.5 cm + render	1,7	170

(Sumber: SNI 1727:2020)

Dalam penelitian ini, model juga memiliki akses lift dimana lift adalah transportasi vertikal pada gedung yang berfungsi untuk mengangkut orang atau barang. Lift umumnya digunakan pada gedung-gedung bertingkat banyak yang biasanya lebih dari tiga atau empat lantai. Bangunan yang lebih rendah biasanya hanya menggunakan tangga atau eskalator. Lift-lift di zaman modern mempunyai tombol penunjuk lantai yang dapat dipilih penggunaanya sesuai lantai tujuan. Dalam sistem penggerak lift ada tiga jenis mesin, yaitu *Hidraulic*, *Traction*, dan *Hoist*. Dalam penelitian ini digunakan lift dengan sistem tanpa ruang mesin seperti Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Lift tanpa ruang mesin

(Sumber: Aoyama, 2023)

3. Beban hidup (*Live load*)

Beban hidup atau *live load* adalah beban yang berasal dari penghunian atau penggunaan gedung seperti dari barang atau orang yang dapat berpindah tempat sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap. Beban hidup terdistribusi merata minimal, L_0 dan beban hidup terpusat minimal bisa di lihat pada tabel 2.5 Rekapitulasi beban hidup.

Tabel 2.5 Rekapitulasi beban hidup

Jenis beban hidup	Berat (kN/m ²)
Beban hidup ruang kantor	2,40
Beban hidup ruang computer	4,79
Beban hidup ruang operasi, Laboratorium	2,87
Helipad, Helikopter dengan berat lepas landas lebih dari 3000 Lb (13,35 kN)	2,87
Beban hidup koridor diatas lantai pertama	3,83
Ruang penyimpanan	7,18
Beban hidup tangga	4,79
Beban hidup dak	0,96
Beban hidup ruang pertemuan	4,79
Beban hidup lantai parkir	1,92

(Sumber: SNI 1727:2020)

2.2.4 Kombinasi pembebanan

Berdasarkan SNI 1727:2020 bahwa struktur, komponen-elemen struktur atas maupun bawah harus di desain hingga kuat rencana atau bahkan melebihi dari pembebanan terfaktor dengan kombinasi-kombinasi yang sesuai dengan Persamaan 2.5 sampai dengan Persamaan 2.12 dan untuk penjabarannya dapat dilihat pada Tabel 2.6 Kombinasi pembebanan analisis struktur:

1,4D	(2.5)
1,2D + 1,6L + 0,5(Lr atau R)	(2.6)
1,2D + 1,6(Lr atau R) + (L atau 0,5W)	(2.7)
1,2D + 1,0E + L	(2.8)
0,9D + 1,0E	(2.9)
0,9D – 1,0Ev + 1,0Eh	(2.10)
1,0D + 0,7Ev + 0,7Eh	(2.11)
0,6D – 0,7Ev + 0,7Eh	(2.12)

Tabel 2.6 Kombinasi pembebanan analisis struktur

No	Kombinasi Pembebanan	Keterangan
1.	1,4 DL	Kombinasi pembebanan akibat beban mati, beban hidup, beban angin dan beban hujan
2.	1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 LR	
3.	1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 R	
4.	1,2 DL + 1,6 LR + 1 LL	
5.	1,2 DL + 1,6 LR + 0,5W _x	
6.	1,2 DL + 1,6 LR + 0,5W _y	
7.	1,2 DL + 1,6 R + 1 LL	
8.	1,2 DL + 1,6 R + 0,5W _x	
9.	1,2 DL + 1,6 R + 0,5W _y	
10.	1,2 DL + 1 W + 1 LL + 0,5 LR	
11.	1,2 DL + 1 W + 1 LL + 0,5 R	
12.	0,9DL + 1W _x	
13.	0,9DL + 1W _y	
14.	(1,2 DL + 0.2S _{ds}) + 1SE _x (ρ) + 0,3SE _y (ρ) + 1LL	Kombinasi pembebanan sementara
15.	(1,2 DL + 0.2S _{ds}) + 1SE _x (ρ) - 0,3SE _y (ρ) + 1LL	
16.	(1,2 DL + 0.2S _{ds}) - 1SE _x (ρ) + 0,3SE _y (ρ) + 1LL	
17.	(1,2 DL + 0.2S _{ds}) - 1SE _x (ρ) - 0,3SE _y (ρ) + 1LL	
18.	(1,2 DL + 0.2S _{ds}) + 0,3SE _x (ρ) + 1SE _y (ρ) + 1LL	

Lanjutan Tabel 2.6

No	Kombinasi Pembebanan	Keterangan
19.	$(1,2 DL + 0.2Sds) + 0,3SEx (\rho) - 1SEy (\rho) + 1LL$	(Akibat beban mati, beban hidup, dan beban gempa)
20.	$(1,2 DL + 0.2Sds) - 0,3SEx (\rho) + 1SEy (\rho) + 1LL$	
21.	$(1,2 DL + 0.2Sds) - 0,3SEx (\rho) - 1SEy (\rho) + 1LL$	
22.	$(0,9 DL + 0.2Sds) + 1SEx (\rho) + 0,3SEy (\rho)$	
23.	$(0,9 DL + 0.2Sds) + 1SEx (\rho) - 0,3SEy (\rho)$	
24.	$(0,9 DL + 0.2Sds) - 1SEx (\rho) + 0,3SEy (\rho)$	
25.	$(0,9 DL + 0.2Sds) - 1SEx (\rho) - 0,3SEy (\rho)$	
26.	$(0,9 DL + 0.2Sds) + 0,3SEx (\rho) + 1SEy (\rho)$	
27.	$(0,9 DL + 0.2Sds) + 0,3SEx (\rho) - 1SEy (\rho)$	
28.	$(0,9 DL + 0.2Sds) - 0,3SEx (\rho) + 1SEy (\rho)$	
29.	$(0,9 DL + 0.2Sds) - 0,3SEx (\rho) - 1SEy (\rho)$	

(Sumber: SNI 1727:2020)

Dengan:

- D = Beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap
- E = Beban gempa
- L = Beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan
- Lr = Beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak
- R = Beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air

2.2.5 Perencanaan ketahanan gempa

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 4.1.1 bahwa, pengaruh dari beban gempa harus selalu ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi pada struktur bangunan gedung. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan probabilitas terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%.

1. Faktor keutamaan gempa dan kategori risiko struktur bangunan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung sesuai dengan Tabel 2.7 kemudian harus dikalikan dengan faktor keutamaan gempa (I_e) menurut Tabel 2.8 berikut:

Tabel 2.7 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan – Fasilitas sementara – Gudang penyimpanan – Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen / rumah susun - Pusat perbelanjaan / mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo 	III

Lanjutan Tabel 2.7

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 	<p>III</p>
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat 	<p>IV</p>

(Sumber: SNI 1726:2019)

Tabel 2.8 Faktor keutamaan gempa

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

(Sumber: SNI 1726:2019)

2. Klasifikasi situs

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 5.1 bahwa, dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus dilakukan klasifikasi terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus dilakukan klasifikasi sesuai dengan Tabel 2.9 Klasifikasi situs berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas.

Tabel 2.9 Klasifikasi situs

Kelas Situs	v_s (m/s)	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, angat padat dan batuan lunak)	350 - 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 - 350	15 - 50	50 - 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $s_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: – Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) – Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$).		

(Sumber: SNI 1726:2019)

3. Menentukan koefisien situs dan parameter respon spectral percepatan gempa maksimum

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.2 bahwa, untuk menentukan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v) merupakan faktor yang berkaitan dengan amplifikasi. Faktor amplifikasi F_a dan F_v bisa di lihat pada Tabel 2.10 Koefisien situs, F_a dan Tabel 2.11 Koefisien situs, F_v . Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan Persamaan 2.13 dan Persamaan 2.14.

$$S_{MS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots (2.13)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots (2.14)$$

Dengan:

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek dilihat pada Gambar 2.2

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1,0 detik. dilihat pada Gambar 2.3

Tabel 2.10 Koefisien situs, F_a

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

(Sumber: SNI 1726:2019)

(a) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs-spesifik.

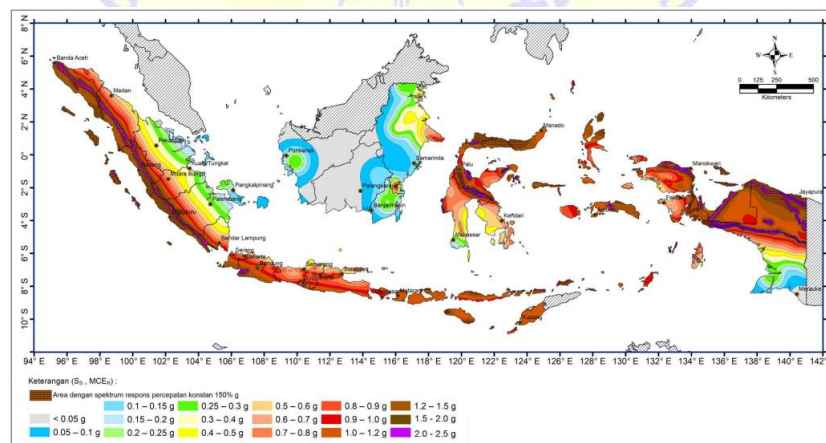
Tabel 2.11 Koefisien situs, F_v

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

(Sumber: SNI 1726:2019)

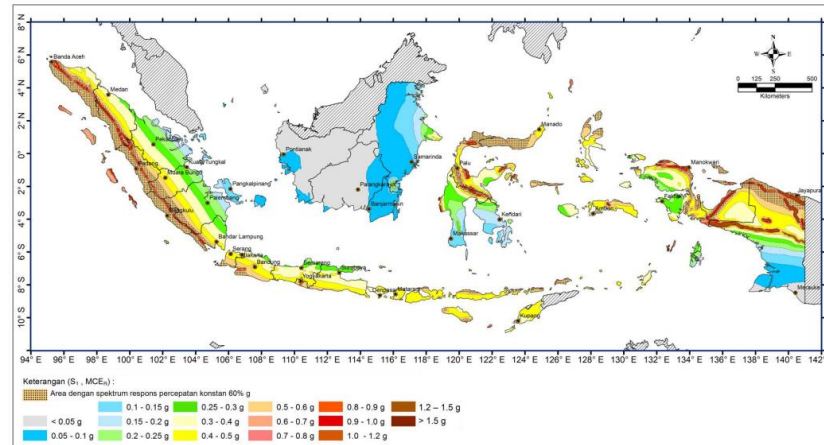
(a) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs-spesifik.

Nilai S_s dan S_1 untuk parameter pergerakan tanah bisa dilihat pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3:



Gambar 2.2 Parameter gerak tanah, S_s

(Sumber: SNI 1726:2019)



Gambar 2.3 Parameter gerak tanah, S_1

(Sumber: SNI 1726:2019)

4. Parameter percepatan spektral desain

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.3 Untuk menentukan parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui Persamaan 2.15 dan Persamaan 2.16:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dengan;

S_{DS} = Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek

S_{D1} = Parameter respons spektral desain untuk periode 1,0 detik

5. Spektrum respons desain

Berikut adalah ketentuan dalam spektrum respons desain berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.4:

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari Persamaan 2.17.

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots (2.17)$$

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 S_{DS} .

- Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spektral percepatan desain S_a , diambil berdasarkan Persamaan 2.18.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots (2.18)$$

- Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain S_a , diambil berdasarkan Persamaan 2.19.

$$S_a = \frac{S_{D1}T_L}{T^2} \dots\dots\dots (2.19)$$

Maka nilai dari T_0 dapat kita hitung menggunakan Persamaan 2.20 dan nilai T_s menggunakan Persamaan 2.21.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (2.21)$$

Dengan:

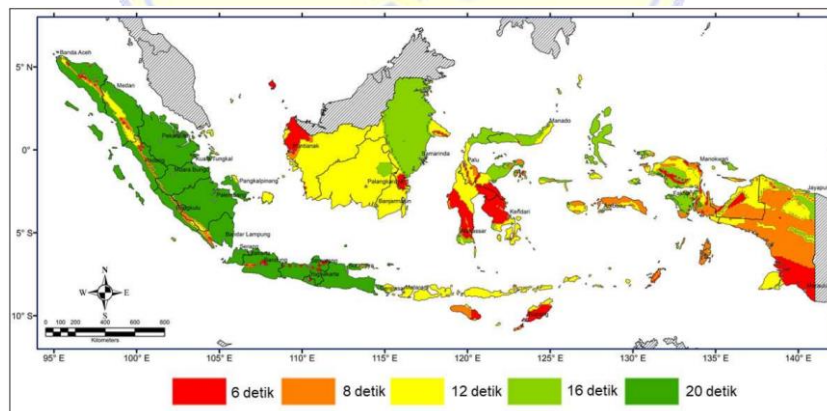
S_{DS} = Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek

S_{D1} = Parameter respons spektral desain untuk periode 1,0 detik

T = Periode getar fundamental struktur.

T_L = Transisi periode panjang

Untuk mendapatkan nilai T_L , bisa dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Peta transisi periode Panjang, T_L

(Sumber: SNI 1726:2019)

6. Kategori desain seismik

Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang diklasifikasikan sebagai risiko IV yang parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risiko dan parameter respons spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{D1} . Tiap bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 2.12 dan Tabel 2.13, terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur, T . Apabila S_1 lebih kecil dari 0,75, kategori desain seismik diizinkan untuk ditentukan sesuai Tabel 2.12 saja, di mana berlaku semua ketentuan di bawah:

1. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perkiraan periode getar alami, T_a , kurang dari $0,8T_s$.
2. Pada masing-masing dua arah ortogonal, periode getar alami struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar tingkat adalah kurang dari T_s .
3. Persamaan (2.15) digunakan untuk menentukan koefisien respons seismik, C_s .
4. Diafragma struktural adalah kaku/ *rigid* untuk diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen vertikal pemikul gaya seismik tidak melebihi 12 m.

Tabel 2.12 Kategori desain seismik percepatan periode pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko I/II/III	Kategori risiko IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,5$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2019)

Tabel 2.13 Kategori desain seismik percepatan periode 1 detik

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

(Sumber: SNI 1726:2019)

7. Menentukan sistem struktur

Sistem dasar pemikul gaya seismik lateral dan vertikal harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan pada Tabel 2.14 Setiap sistem pemikul gaya seismik yang dipilih harus didesain sesuai dengan tabel 2.14 untuk nilai R (koefisien modifikasi respons), Ω_0 (faktor kuat lebih sistem) dan C_d (faktor pembesaran defleksi).

Tabel 2.14 Faktor R, C_d dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0	Faktor pembesaran defleksi C_d	Batasan sistem struktur dan Batasan tinggi struktur, h_n (m)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
SRPMK	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
SRPMM	5	3	$4\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
SRPMB	3	3	$2\frac{1}{2}$	TB	TB	TI	TI	TI

(Sumber: SNI 1726:2019)

8. Gaya Lateral Ekuivalen

a. Periode fundamental struktur

Periode fundamental atau waktu getar alami adalah kemampuan yang dibutuhkan struktur untuk gerakan bolak balik yang nilai gerakannya dipengaruhi oleh fungsi massa dan kekakuan. Nilai periode fundamental ini akan digunakan untuk mendapatkan beban gempa rencana. Nilai periode fundamental ini dibatasi oleh batas atas periode (periode maksimum) dan

batas bawah periode (periode fundamental pendekatan) sesuai dengan Persamaan 2.22.

$$T_a = C_t \times h_n^x \dots\dots\dots (2.22)$$

Dengan:

h_n = Ketinggian struktur

C_t dan x = koefisien yang ditentukan pada Tabel 2.15

Tabel 2.15 Nilai parameter periode 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

(Sumber: SNI 1726:2019)

Apabila dalam analisis struktur digunakan bantuan *software* untuk mendapatkan nilai periode fundamental struktur yang akurat sesuai massa dan kekakuan struktur, maka harus dilakukan pengecekan dengan Persamaan 2.23 terhadap batas atas periode.

$$T = C_u \times T_a \dots\dots\dots (2.23)$$

Dengan nilai C_u mengacu pada Tabel 2.16

Tabel 2.16 Koefisien batas atas periode yang dihitung

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

(Sumber: SNI 1726:2019)

Maka periode desain yang digunakan harus memenuhi persyaratan pada Persamaan 2.24 sampai Persamaan 2.26 berikut:

$$\text{Jika } T_c < T_a, T = T_a, \dots\dots\dots (2.24)$$

$$\text{Jika } T_a < T_c < C_u T_a, T = T_c, \dots\dots\dots (2.25)$$

$$\text{Jika } T_c > C_u T_a, T = C_u T_a \dots\dots\dots (2.26)$$

Dengan:

T = Periode Desain

T_c = Periode hasil analisa *software*

T_a = Batas Bawah/Minimum Periode

$C_u T_a$ = Batas Atas/Maksimum Periode

b. Gaya geser dasar seismik

Gaya geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 2.27.

$$V = C_s \times W \dots\dots\dots (2.27)$$

Dengan:

C_s = Koefisien respons seismik

V = Gaya geser dasar seismik

W = Berat seismik efektif

Untuk mendapatkan nilai koefisien respon seismik C_s , harus sesuai dengan Persamaan 2.28.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2.28)$$

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan Persamaan 2.28, tidak boleh kurang dari batas minimum sesuai dengan Persamaan 2.29 dan Persamaan 2.30, serta tidak boleh melebihi batas maksimum sesuai dengan Persamaan 2.31 dan Persamaan 2.32.

1) Batas minimum

$$C_s = 0,044 S_{DS} \times I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots (2.29)$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana $S_1 \geq 0,6g$, maka C_s harus tidak kurang dari Persamaan 2.30.

$$C_s = \frac{0,5 \times S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2.30)$$

2) Batas maksimum

Untuk $T \leq T_L$

$$C_x = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2.31)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2.32)$$

c. Distribusi vertikal gaya gempa statik

Distribusi gaya seismik lateral (F_x) di sebarang tingkat harus ditentukan dari Persamaan 2.33 dan faktor distribusi vertikal ditentukan dengan persamaan 3.34.

$$F_x = C_{vx} \times V \dots\dots\dots (2.33)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x \times h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i \times h_i^k} \dots\dots\dots (2.34)$$

Dengan:

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal

V = Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur

w_i dan w_x = Bagian berat seismik efektif total struktur (w) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x

h_i dan h_x = Tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x

k = Eksponen yang terkait dengan periode (T) struktur

Nilai k berdasarkan periode (T) struktur sebagai berikut:

- a. Untuk nilai $T \leq 0,5$ detik, maka nilai $k = 1$
- b. Untuk nilai $T \geq 2,5$ detik, maka nilai $k = 2$
- c. Untuk nilai $0,5 < T < 2,5$ detik, nilai k ditentukan dengan interpolasi linier dengan Persamaan 2.35.

$$y = y_1 + \left(y_2 - y_1 \right) \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \dots\dots\dots (2.35)$$

- d. Distribusi horizontal gaya geser statik tiap lantai
Geser tingkat desain seismik disemua tingkat (V_x) harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 2.36.

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \dots\dots\dots (2.36)$$

Dengan:

V_x = Gaya geser tingkat desain gempa disemua tingkat

F_i = bagian dari gaya geser seismik (V) pada tingkat ke-i

9. Penskalaan Gaya Gempa Dinamik Terhadap Statik

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1 bahwa, jika hasil analisa untuk gaya geser dasar dan analisis ragam (V_t) kurang dari 100% dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan Persamaan 2.37.

$$\text{Skala gaya gempa} = \frac{V}{V_t} \dots\dots\dots (2.37)$$

Dengan:

V = Gaya geser dasar statik ekivalen

V_t = Gaya geser dasar dari hasil analisis ragam/gaya geser dasar dinamik

2.2.6 Penampang retak

Retakan diperkirakan akan terjadi yang disebabkan oleh beban terfaktor, oleh karena itu walaupun terjadi retakan struktur harus tetap bertahan. Untuk mengantisipasi, maka nilai momen inersia pada komponen struktur nonprategang harus diturunkan atau direduksi. Nilai faktor reduksi momen inersia untuk elemen nonprategang dapat dilihat pada Tabel 2.17 Momen inersia pada level beban terfaktor.

Tabel 2.17 Momen inersia pada level beban terfaktor

Bagian dan kondisi		Momen Inersia	Luas Penampang
Kolom		0,70 <i>lg</i>	1,0 <i>Ag</i>
Dinding	Tidak Retak	0,70 <i>lg</i>	
	Retak	0,35 <i>lg</i>	
Balok		0,35 <i>lg</i>	
Pelat datar dan slab datar		0,25 <i>lg</i>	

(Sumber: SNI 2847:2019)

2.2.7 Mode ragam

Pada saat perencanaan struktur, harus dilakukan pengecekan mode ragam pada model. Umumnya mode ragam 1 dan 2 akan terjadi translasi dan mode 3 rotasi. Jika rotasi terjadi pada mode 2, maka perlu dilakukan pengecekan ketidakberaturan torsi, dan jika rotasi terjadi pada mode 1 maka desain harus dilakukan perubahan, baik itu dengan menambahkan kekakuan struktur, merubah konfigurasi maupun jenis sistem struktur.

2.2.8 Penentuan simpangan antar tingkat

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1 bahwa, simpangan antar tingkat desain (Δ) dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.38 dan tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a) seperti didapatkan dari Tabel 2.18 Simpangan izin antar tingkat.

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{xe}}{I_e} \dots\dots\dots (2.38)$$

Dengan:

C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral

δ_x = Perpindahan elastik yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat

I_e = Faktor risiko bangunan/faktor keutamaan Gedung

Tabel 2.18 Simpangan izin antar tingkat

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

(Sumber: SNI 1726:2019)

Catatan: h_{sx} adalah tinggi tingkat dibawah tingkat x

2.2.9 Ketidakberaturan torsi

Ketidakteraturan torsi merupakan suatu jenis ketidakberaturan horizontal yang dapat diketahui dari terjadinya perbedaan yang signifikan antara simpangan antar lantai tingkat maksimum pada sebuah ujung struktur dengan simpangan antar lantai tingkat rata-rata dikedua ujung struktur. Tentunya hal ini diperlukan perhatian mendalam karena bangunan yang mengalami torsi berlebih sangat tidak aman apabila terjadi gempa.

2.2.10 Gaya dalam

Gaya dalam merupakan gaya yang bekerja pada elemen struktur bangunan akibat adanya beban. Gaya dalam ini terdiri dari gaya geser, momen, dan gaya aksial. Pada perencanaan elemen struktur bangunan baik itu pondasi, kolom hingga balok harus mampu menahan gaya dalam tersebut untuk menghindari terjadinya keruntuhan pada bangunan.

2.2.11 Sistem isolasi

Gagasan di balik konsep dari *base isolation* sangat sederhana, dengan memisahkan antara struktur atas dan dasar bangunan yang berhubungan dengan tanah, sehingga gerakan tanah tidak secara langsung ditransfer ke struktur atas. Dalam 20 tahun terakhir ini, ada beberapa perkembangan yang cukup signifikan dalam rekayasa keempaan salah satunya adalah konsep isolasi *seismic*. Negara-

Negara dengan resiko tinggi terhadap gempa seperti Jepang, Turki, Italy, Portugal, USA, Iran, China, Selandia Baru, dan Taiwan telah banyak menggunakan sistem ini. Bangunan atau struktur dari komponen horizontal pergerakan tanah akan dipisahkan oleh sistem ini dengan menyisipkan bahan isolator yang memiliki kekakuan horizontal yang relatif kecil antara bangunan atas dengan pondasinya. Sehingga percepatan gempa yang bekerja pada bangunan menjadi lebih kecil. Pada sistem isolator, ragam getar pertama bangunan hanya menimbulkan deformasi lateral, sedangkan bagian atas akan berperilaku sebagai *rigid body motion*. Ragam getar yang lebih tinggi yang menyebabkan deformasi pada struktur adalah orthogonal terhadap ragam pertama dan gerakan tanah. Sehingga ragam-ragam getar ini tidak ikut berpartisipasi didalam respons struktur, atau dengan kata lain energi gempa tidak disalurkan ke struktur bangunan (Naeim dan Kelly, 1999).

Pada gempa kuat, periode alamiah bangunan lebih besar (umumnya antara 2 s/d 3,5 detik) yang diakibatkan oleh isolator dengan kekakuan horizontal yang relatif kecil. Percepatan gempa pada periode ini akan relatif kecil, khususnya pada tanah keras. Percepatan pada struktur bangunan akan direduksi oleh isolator. Namun, sebaliknya perpindahan pada bangunan akan mengalami peningkatan yang disebabkan oleh isolator ini. Sistem isolasi juga dilengkapi dengan elemen-elemen yang mampu mendissipasi energi untuk membatasi perpindahan sampai pada batas yang dapat diterima. Disamping itu, setelah terjadinya gerakan seismik, sistem isolasi juga memiliki kemampuan untuk kembali pada posisi semula. Sedangkan pada gempa kecil atau akibat angin, kekakuan horizontal dari sistem isolator harus memadai, agar tidak menimbulkan getaran yang menyebabkan ketidaknyamanan penghuninya (Kelly, 2001). Saat ini terdapat berbagai macam sistem *base isolation* yang digunakan, berikut adalah macam-macam sistem *base isolation*:

1. *Elastomeric Based System*

Elastomeric Based System ini bahannya berupa karet alam dengan menambahkan pelat baja di tengahnya. Sistem ini tidak berpengaruh pada pergerakan orang di dalam bangunan tersebut, tidak berpengaruh pada gaya angin atau gaya gempa yang rendah. Sistem ini tidak dapat berpindah tempat dan dapat di kontrol setiap saat. Karakteristik dan cara kerja dari sistem ini

adalah menggabungkan pergerakan horizontal dan vertikal yang dapat bergerak kuat. Berikut adalah jenis dari alat ini:

- a. *Low Damping Natural dan Synthetic Rubber Bearings*
- b. *Lead Plug Bearings*
- c. *High Damping Rubber Bearings*

2. *Isolation System Based on Slidings*

Secara konseptual, sistem geser sangat sederhana dan dapat didekati secara teoritis. Suatu lapisan didefinisikan sebagai koefisien gesek yang akan mereduksi percepatan-percepatan pada nilai tertentu dan gaya yang dihasilkan juga terbatas pada koefisien gesek dikalikan berat. Sistem geser (*sliding*) murni akan menyebabkan perpindahan (*displacement*) tak terhingga, dengan batas atas sepadan dengan pergeseran tanah maksimum untuk suatu koefisien gesek mendekati nol. Suatu struktur dengan sistem slip nongeser bisa kembali ke posisi semula setelah terjadi gempa. Kurangnya gaya pemulih (*restorative*) bisa diperbaiki dengan menggunakan isolator yang dikombinasikan dengan tipe-tipe yang lain yang memiliki gaya pemulih atau dengan menggunakan permukaan bantalan yang tidak datar, seperti permukaan bantalan yang berbentuk bola.

- a. *Electricite-de-France System*
- b. *EERC Combine System*
- c. *The TASS System*
- d. *Resilient-Friction Base Isolation System*
- e. *Friction Pendulum System*

3. *Spring-Type System*

Ada beberapa alat yang menggunakan pegas-baja (*steel springs*) tetapi umumnya pemanfaatannya untuk isolasi permesinan cukup aman. Kelemahan utama dari pegas-baja adalah karena bersifat fleksibel pada kedua arah (vertikal dan horizontal). Redaman yang kecil pada pegas akan sering bergerak pada beban layan.

4. *Sleeved-Pile Isolation System*

Fleksibilitas disediakan oleh pin di ujung elemen struktur seperti tiang, yang mana memungkinkan bangunan bergeser atau melemahkan tingkat pertama dari

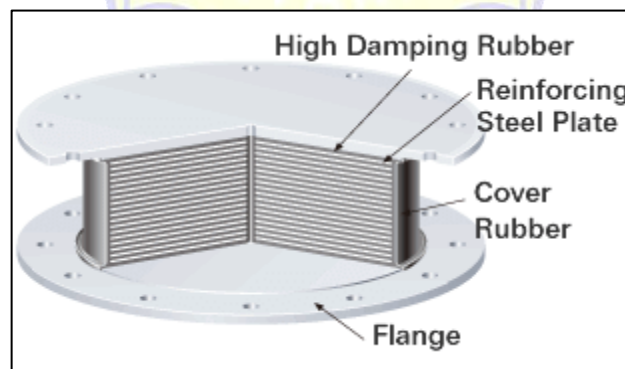
bangunan. Elemen-elemen ini memberikan fleksibilitas tetapi tidak menyerap redaman, atau ketahanan pada beban layan dan pemakainnya digunakan bersamaan dengan alat lain yang memiliki fungsi yang sama.

5. *Rocking System*

Sistem *Rocking isolation* adalah suatu keadaan khusus disipasi energi yang tidak sesuai dengan definisi *isolation* dengan mengijinkan perpindahan lateral. Sistem ini digunakan dalam struktur langsing dan prinsip dasarnya adalah karena suatu getaran, periode dari respon meningkat dengan meningkatkan amplitudo getaran. Hal ini menyebabkan efek periode berkala. Berat dari struktur memiliki kemampuan memikul beban layan. Redaman dapat ditingkatkan dengan baut atau kantilever-kantilever baja.

2.2.12 *High damping rubber bearing*

High damping rubber bearing (Gambar 2.5) merupakan alat anti seismik yang dikembangkan dari karet alam yang mempunyai kekakuan horizontal yang relatif kecil dan materialnya dicampur dengan *extra fine carbon block*, *oil* atau resin, serta bahan pengisi lainnya meningkatkan redaman antara 10% - 20% pada *shear strain* 100% dengan modulus geser *soft* ($G = 0,4$ MPa) dan *hard* ($G = 1,4$ MPa). Bantalan pada sistem isolasi seismik harus didesain dengan teliti untuk memastikan agar bangunan yang diterima tetap berdiri saat dan setelah gempa terjadi.



Gambar 2.5 *High Damping Rubber Bearing* (HDRB)

(Sumber: Katalog bridgestone, 2020)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Syahnandito et.al (2020) menggunakan *base isolation* dengan tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB). Dari penelitian tersebut didapatkan *base isolatoion* tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) ini dapat mereduksi gaya geser dasar dari 1470,725 ton menjadi 1286,071 ton. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Samsya (2017) menggunakan *base isolation* dengan tipe HDRB didapatkan bahwa *base isolation* dengan tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) ini dapat mereduksi *drift* sebesar 63,63% pada arah x dan 68,18% pada arah y. *Base isolation* tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) ini juga dapat meingkatkan level kinerja bangunan yang sebelumnya dengan level kinerja IO (*Immediate occupancy*) menjadi B (*Operational*).

Sistem isolasi harus direncanakan untuk bisa menahan perpindahan maksimum (D_M) yang ditentukan menggunakan property batas atas dan batas bawah yang bekerja pada arah yang paling menentukan dari respon horizontal. Perpindahan maksimum bisa dihitung menggunakan persamaan 2.39.

$$D_M = \frac{g \times S_{M1} \times T_M}{4 \times \pi^2 \times B_M} \dots\dots\dots (2.39)$$

Dengan:

g = percepatan gravitasi

S_{M1} = Parameter percepatan spectral gempa maksimum periode 1 detik

T_M = Periode efektif struktur dengan isolasi seismic

B_M = Koefisien numerik terkait redaman efektif yang nilainya didapat pada Tabel 2.19 Faktor redaman, B_M

Tabel 2.19 Faktor redaman, B_M

Redaman efektif, β (Presentase dari redaman kritis)	Faktor B_M
≤ 2	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
40	1,9
≥ 50	2,0

(Sumber: SNI 1726:2019)

Sifat geser HDRB bergantung pada regangan geser. Ketergantungan regangan geser dari masing-masing property dinyatakan pada Tabel 2.20 Nilai G , u dan β .

Tabel 2.20 Nilai G , u dan β

Property	Rumus G , u dan β
XO.3R ($0,1 \leq \gamma \leq 3,0$)	$G(\gamma) = 0,0255\gamma^4 - 0,2213\gamma^3 + 0,7283\gamma^2 - 1,1028 + 0,8703$ $u(\gamma) = -0,0087\gamma^3 - 0,0262\gamma^2 - 0,0105\gamma + 0,272$ $\beta(\gamma) = -0,005\gamma^3 + 0,015\gamma^2 - 0,006\gamma + 0,166$
XO.4S ($0,1 \leq \gamma \leq 2,7$)	$G(\gamma) = 0,054\gamma^4 - 0,416\gamma^3 + 1,192\gamma^2 - 1,583\gamma + 1,145$ $u(\gamma) = -0,0132\gamma^3 - 0,0401\gamma^2 - 0,0190\gamma + 0,4001$ $\beta(\gamma) = -0,007\gamma^3 + 0,020\gamma^2 - 0,009\gamma + 0,236$
XO.6R ($0,1 \leq \gamma \leq 2,7$)	$G(\gamma) = 0,620 \times (0,1364\gamma^4 - 1,016\gamma^3 + 2,903\gamma^2 - 3,87 + 2,855)$ $u(\gamma) = 0,408 \times (0,03421\gamma^3 - 0,2083\gamma^2 + 0,2711\gamma + 0,9028)$ $\beta(\gamma) = 0,240 \times (0,02902\gamma^3 - 0,1804\gamma^2 + 0,2364\gamma + 0,9150)$

(Sumber: Katalog bridgestone, 2017)

Sifat geser berdasarkan tabel diatas harus ditentukan dengan Persamaan (2.40) sampai Persamaan (2.45) berikut:

1. Kekakuan efektif (K_{eff})

$$K_{eff} = \frac{G \times A}{H} \dots\dots\dots (2.40)$$

2. Kekakuan pasca-hasil (K_2)

$$K_2 = K_{eff}(1 - u) \dots\dots\dots (2.41)$$

3. Kekakuan pasca-hasil (K_1)

$$K_1 = 10 \times K_2 \dots\dots\dots (2.42)$$

4. Karakteristik kekakuan (Q_d)

$$Q_d = u \times K_{eff} \times H \dots\dots\dots (2.43)$$

5. Perpindahan hasil (D_y)

$$D_y = \frac{Q_1}{(K_2 \times 10) - K_2} \dots\dots\dots (2.44)$$

6. Kekuatan hasil (F_y)

$$F_y = Q_d + K_2 \times D_y \dots\dots\dots (2.45)$$

Dengan:

$G(\gamma)$ = Modulus geser aktual

$u(\gamma)$ = Kekuatan geser maksimum

$\beta(\gamma)$ = Redaman efektif

A = Luas *rubber*

H = Ketebalan *rubber*

2.2.13 Analisa statis nonlinier (metode *pushover*)

Metode statis nonlinier merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan dengan menggunakan beban statis yang ditingkatkan sampai struktur mencapai keruntuhan. Metode ini dikenal dengan metode *pushover*, dimana struktur akan diberikan suatu pola beban lateral statis yang ditingkatkan secara bertahap hingga beberapa elemen struktur mengalami leleh dan berdeformasi inelastic.

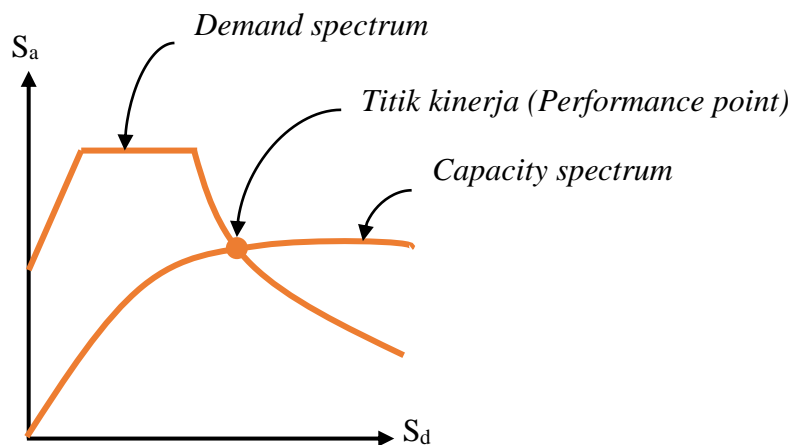
Metode *pushover* ini bertujuan untuk memperkirakan beban maksimum dan perubahan bentuk (deformasi) yang terjadi serta untuk mendapatkan informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bahwa bagian-bagian tersebut memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya. Cukup banyak studi menunjukkan bahwa metode statis *pushover* dapat memberikan hasil

mencukupi (ketika dibandingkan dengan hasil metode dinamis nonlinier) untuk bangunan regular dan tidak tinggi.

Hubungan antara perpindahan lateral pada puncak bangunan (D) dan gaya geser dasar (V) digambarkan dalam suatu kurva yang menggambarkan kapasitas struktur disebut dengan kurva kapasitas (*capacity curve*). Untuk mengetahui perilaku struktur yang ditinjau terhadap intensitas gempa yang diberikan, kurva kapasitas ini kemudian dibandingkan dengan tuntutan (*demand*) kinerja yang berupa response spektrum berbagai intensitas (periode ulang) gempa. Kurva *pushover* dapat digambarkan secara kualitatif kondisi kerusakan yang terjadi pada level kinerja yang ditetapkan agar orang awam mempunyai bayangan seberapa besar kerusakan itu terjadi kepada bangunan.

2.2.14 Metode kurva kapasitas

Terdapat dua buah grafik pada kurva kapasitas yang disebut dengan spektrum, yaitu spektrum kapasitas dan spektrum demand seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Titik kinerja

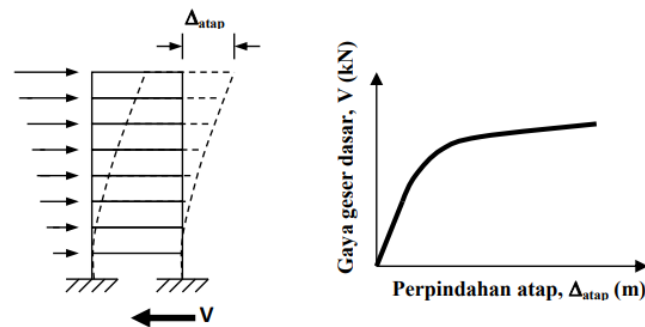
(Sumber: Samsya, 2017)

1. Kurva kapasitas

Hubungan yang menggambarkan kapasitas struktur berupa hubungan gaya dorong total (*base shear*) dan perpindahan lateral struktur (biasanya ditetapkan pada atap/ puncak bangunan) disebut dengan spektrum kapasitas (*Capacity spectrum*). Spektrum kapasitas diperoleh dari kurva kapasitas yang didapatkan

dari hasil analisis *pushover* dan dinyatakan dalam satuan gaya (kN) dan perpindahan (m).

Kurva kapasitas menggambarkan kekuatan struktur yang besarnya sangat bergantung pada kemampuan momen dan deformasi dari masing-masing elemen struktur. Untuk membuat kurva ini, caranya adalah dengan memberikan gaya dorong kepada struktur secara bertahap kemudian mencatat hubungan antara *base shear* dan perpindahan atap akibat beban lateral yang dialami oleh struktur dengan pola tertentu seperti pada Gambar 2.7.

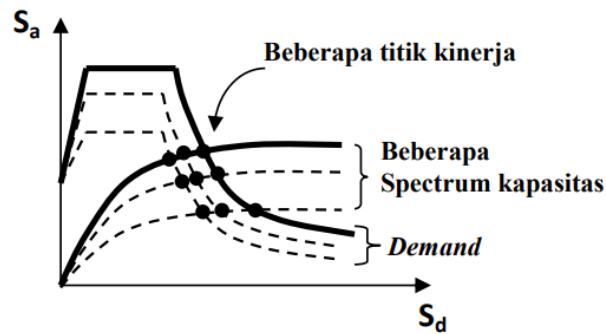


Gambar 2.7 Kurva kapasitas

(Sumber: Samsya, 2017)

2. Demand spectrum

Demand spectrum menggambarkan besarnya *demand* (tuntuan kinerja) yang diakibatkan oleh gempa dengan periode ulang tertentu. Pada umumnya yang diperoleh dari *spektrum respons* elastis dinyatakan dalam satuan percepatan, S_a (m/detik²) dan periode struktur, T (detik). Ketika gempa besar, terjadi plastifikasi di banyak tempat, oleh karena itu diperlukan untuk membuat *spectrum demand* dengan memperhatikan redaman (*damping*) yang terjadi karena plastifikasi. Untuk memberikan gambaran yang jelas bagaimana sebuah bangunan merespon beban gempa adalah dengan menyajikannya dalam bentuk grafis seperti pada Gambar 2.8. Perencana dapat merencanakan berbagai skenario kekuatan struktur yaitu dengan cara mengganti kekakuan dari beberapa komponen struktur kemudian melihat kinerjanya akibat beberapa level *demand* (tuntutan) yang diinginkan secara cepat dalam sebuah grafik.



Gambar 2.8 Beberapa titik kinerja dalam satu grafik dalam CSM

(Sumber: Samsya, 2017)

3. Titik kinerja

Titik kinerja merupakan gambaran dari suatu kondisi dimana kapasitas gempa dari struktur sama dengan gempa yang akan terjadi pada bangunan dan titik dimana kurva kapasitas berpotongan dengan kurva respon spektrum didapat melalui proses pengecekan kinerja yang bertujuan memastikan bahwa komponen struktural dan nonstruktural tidak mengalami kerusakan di luar batasan yang telah ditentukan. Gaya dan deformasi setiap elemen dihitung terhadap peralihan tertentu dititik control yang disebut sebagai target peralihan dengan notasi δ_t dan dianggap sebagai perpindahan maksimum yang terjadi saat bangunan mengalami gempa rencana (Vicky, 2013).

2.2.15 Konsep level kinerja

Tujuan dari dibuatnya peraturan adalah untuk menjamin keselamatan penghuni dan untuk menghindari atau mengurangi kerusakan atau kerugian nyawa maupun harta benda terhadap gempa yang mungkin terjadi. Walaupun demikian, prosedur yang digunakan dalam peraturan tersebut tidak dapat secara langsung memperlihatkan kinerja bangunan terhadap gempa yang sebenarnya, dan kinerja tersebut tentu terkait dengan resiko yang dihadapi pemilik bangunan.

Proses perencanaan tahan gempa berbasis kinerja dimulai dengan membuat model desain rencana bangunan kemudian menjalankan simulasi untuk mengetahui kinerjanya dalam berbagai kejadian gempa. Setiap simulasi akan memberikan informasi mengenai tingkat kerusakan, ketahanan struktur, sehingga dapat diperkirakan berapa besar keselamatan, kesiapan pakai dan kerugian harta benda

yang akan terjadi. Ada beberapa metode yang bisa digunakan untuk mengetahui kategori level kinerja struktur, yaitu metode spektrum kapasitas ATC-40 (1996) dan metode koefisien perpindahan FEMA 356 (2000). Pada penelitian ini digunakan metode metode spektrum kapasitas ATC-40 untuk mengetahui level kinerja dari struktur.

1. Metode spektrum kapasitas ATC 40

Konsep *performance based seismic design* adalah konsep yang digunakan untuk menetapkan tingkat kinerja (*performance level*) yang diharapkan setelah struktur diberikan beban *pushover* dengan intensitas tertentu. Menurut ATC – 40, kinerja bangunan terhadap beban *pushover* yang diberikan dibagi menjadi 6 kategori level kinerja struktur yaitu:

- a. SP-1 (*Immediate occupancy*). Apabila diberikan beban *pushover*, kerusakan struktural yang terjadi hanya sedikit. Karakteristik dan kapasitas sistem yang menahan gaya vertikal lateral pada struktur masih sama seperti sebelum diberikan beban *pushover* arah x.
- b. SP-2 (*Damage control*). Dalam kategori ini, permodelan pada bangunan gedung dengan beban *pushover* dengan rencana nilai yang peluang dilampauinya dalam rentang masa layan gedung (50 tahun adalah 10%).
- c. SP-3 (*Life safety*). Apabila diberikan beban *pushover* maka terjadi kerusakan komponen struktur dan non struktur mulai dari kecil hingga tingkat sedang, kekakuan berkurang, tetapi masih mempunyai ambang yang cukup terhadap keruntuhan. Komponen nonstruktur masih ada tetapi tidak berfungsi. Bangunan bisa dipakai lagi jika sudah dilakukan perbaikan pada kerusakan.
- d. SP-4 (*Limited safety*). Kondisi bangunan tidak sebaik level *life safety* dan tidak seburuk level *structural stability*, termasuk ketika level *life safety* tidak efektif atau ketika hanya beberapa kerusakan struktur kritis yang dapat dikurangi.
- e. SP-5 (*Structural stability*). Level ini merupakan batas dimana struktur sudah mengalami kerusakan yang parah. Terjadi kerusakan pada struktur

dan non struktur. Struktur tidak mampu lagi dalam menahan gaya lateral karena penurunan kualitas.

- f. SP-6 (*Not considered*). Pada kategori ini, struktur sudah dalam keadaan runtuh sehingga hanya dapat dilakukan evaluasi seismik dan tidak dapat dipakai lagi.

ATC-40 juga memberikan batasan rasio *drift* yang dievaluasi pada *performance point*. Parameter yang digunakan dalam menentukan *performance level* menurut ATC-40 ini adalah maksimum total *drift* dan maksimum *inelastic drift* yang disajikan pada tabel 2.21 Batasan *drift ratio*.

Tabel 2.21 Level kinerja dengan batasan

Parameter	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
<i>Max. total drift</i> (X_{max}/H)	0,01	0,01 – 0,02	0,02	0,33 V_i/P_i
<i>Max. inelastic drift</i>	0,005	0,005 – 0,015	no limit	no limit

(Sumber: ATC-40, 1996)

Untuk nilai *maximum total drift* dan *maximum inelastic drift* dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.46 dan Persamaan 2.47.

$$\text{Max. total drift} = \frac{D_1}{H_{total}} \dots\dots\dots(2.46)$$

$$\text{Max. inelastic drift} = \frac{D_t - D_1}{H_{total}} \dots\dots\dots(2.47)$$

Dengan:

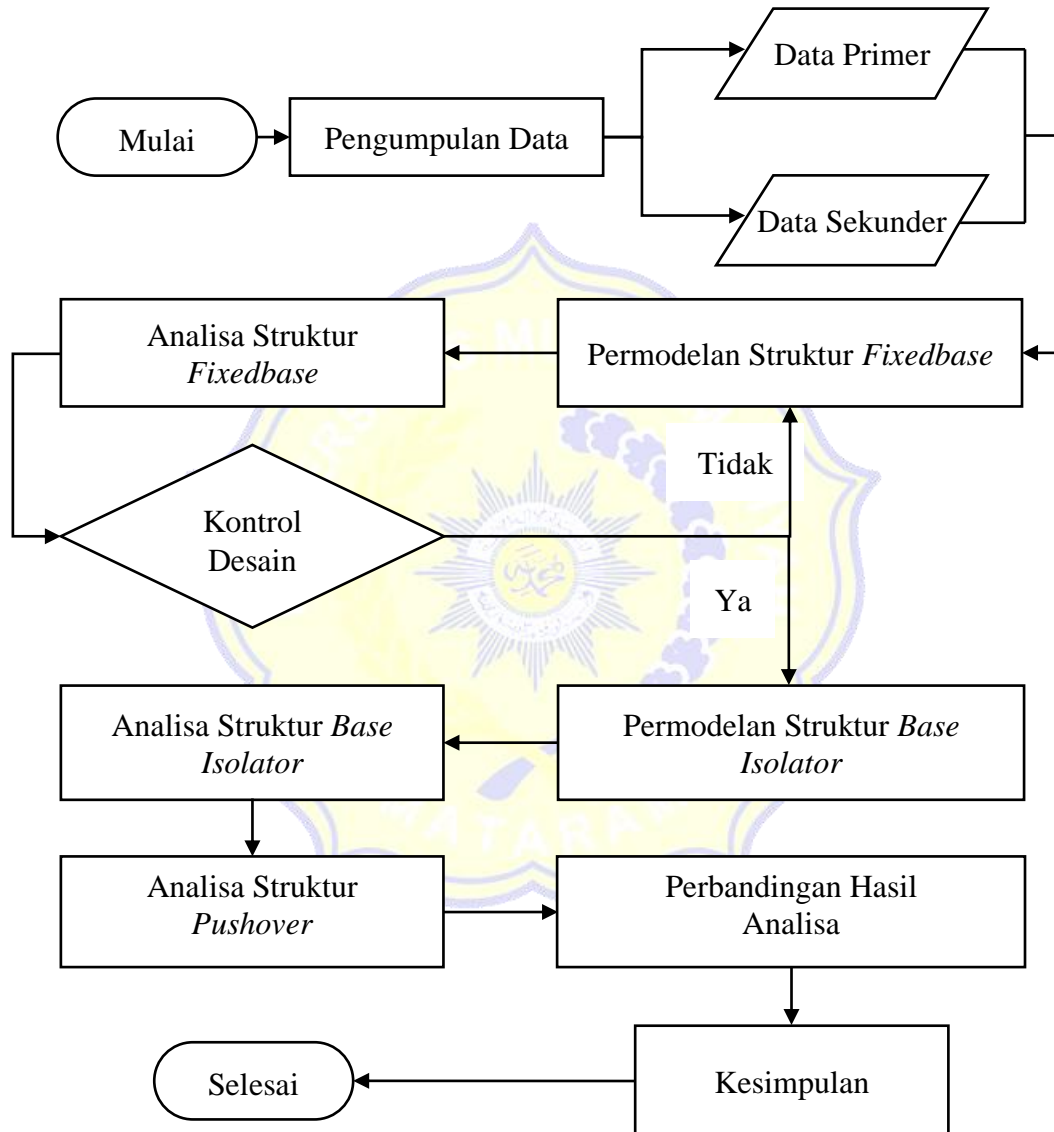
D_t = *Displacement* atas (paling atas)

D_1 = *Displacement* lantai 1

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Perencanaan

Berikut adalah tahapan-tahapan penelitian dalam Tugas Akhir ini, diGambarkan dalam diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penulisan skripsi/tugas akhir

3.2 Data Perencanaan

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai data yang digunakan dalam perencanaan untuk penulisan Tugas Akhir ini. Berikut merupakan data yang digunakan:

3.1.1 Data umum

Nama gedung	: Sapadia Hotel
Fungsi	: Hotel
Jumlah lantai	: 7 Lantai
Tinggi tiap lantai	: Lantai 1 (5 m), Lantai 2 – 7 (4 m)
Tanah dasar	: Tanah Sedang (Lampiran V hal. 146)
Lokasi	: <i>Latitude</i> (8°35'39.4"S) <i>Longitude</i> (116°05'50.2"E)

Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Lokasi penelitian

(Sumber: Maps, 2023)

3.1.2 Spesifikasi Material

1. Beton

Mutu beton ($F'c$) : 30 MPa

Elastisitas beton : $E_c = 4700 \times \sqrt{F'c}$

$$E_c = 4700 \times \sqrt{30} = 25742,9602 \text{ MPa}$$

Berat jenis beton : 24 kN/m³

Angka poisson (ν) : 0,2

$$\text{Modulus geser (G)} : \frac{E_c}{2x(1+\nu)} = \frac{25742,9602}{2x(1+0,2)} = 10726,2334 \text{ MPa}$$

2. Baja tulangan lentur BJTS 420A

Kuat leleh (Fy) : 420 MPa

Kuat tarik (Fu) : 525 MPa

Elastisitas baja : 200000 MPa

Berat jenis baja : 78,50 kN/m³

3. Baja tulangan geser BJTS 280

Kuat luluh (Fy) : 280 MPa

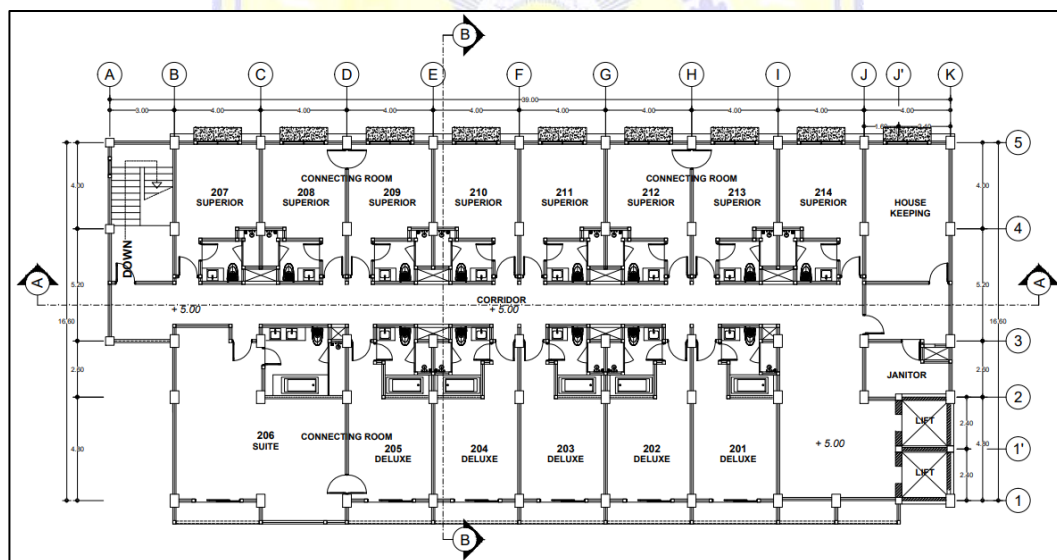
Kuat tarik (Fu) : 350 Mpa

Elastisitas baja : 200000 MPa

Berat jenis baja : 78,50 kN/m³

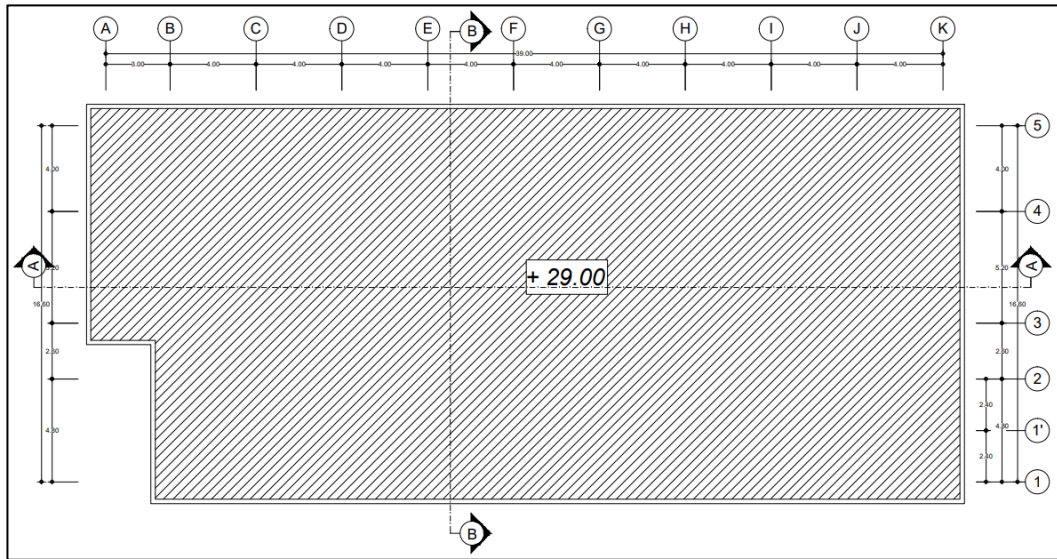
3.1.3 Data geometri bangunan

Data geometri bangunan yang digunakan pada penelitian ini bisa dilihat pada Gambar 3.3 sampai Gambar 3.6.

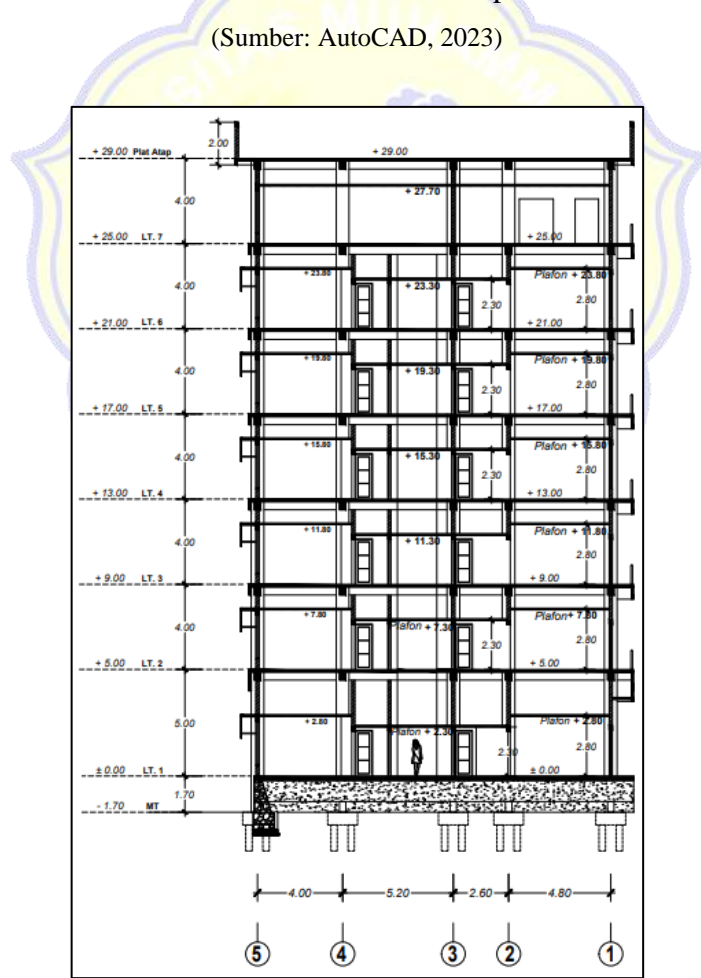


Gambar 3.3 Denah lantai 1-7

(Sumber: AutoCAD, 2023)



Gambar 3.4 Denah atap
(Sumber: AutoCAD, 2023)



Gambar 3.5 Potongan melintang
(Sumber: AutoCAD, 2023)



Gambar 3.6 Potongan memanjang

(Sumber: AutoCAD, 2023)

3.3 Preliminary desain

Desain awal pada struktur Gedung Sapadia Hotel mengacu pada SNI 2847:2019. Penjabaran tentang bagaimana menentukan dimensi dari struktur meliputi kolom, balok dan pelat pada Gedung Sapadia Hotel telah dibahas pada bab dua.

3.4 Analisa Pembebanan

Analisa pembebanan pada struktur gedung ini menggunakan acuan berdasarkan peraturan SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

1. Beban mati

Beban mati yang digunakan untuk pembebanan pada struktur gedung ini adalah keseluruhan pembebanan pada struktur seperti kolom, balok dan pelat yang diperhitungkan berdasarkan SNI 1727:2020 kemudian dilakukan permodelan

pada ETABS v.18 yang akan melakukan perhitungan otomatis untuk berat dari seluruh komponen struktur bangunan.

2. Beban mati tambahan

Beban mati tambahan yang digunakan untuk pembebanan pada struktur ini seperti berat mati tambahan lantai, beban mati tambahan atap dak, beban mati tambahan dinding bata pada balok, beban mati tambahan dinding bata tangga pada balok, beban mati tambahan pada tangga, beban pada berat lift yang sudah tercantum pada Tabel 2.4 Rekapitulasi beban mati tambahan pada bab dua.

a. Beban mati tambahan pada pelat lantai

- Keramik (+ screed/adukan semen) = 1,50 kN/m²
- Berat plafond dan penggantung = 0,18 kN/m²
- Instalasi ME dan plumbing = 0,25 kN/m²
- Total Beban mati tambahan pada pelat lantai = 1,93 kN/m²

b. Beban mati tambahan pada pelat atap

- Berat *waterproofing* = 0,63 kN/m²
- Berat plafond dan penggantung = 0,18 kN/m²
- Instalasi ME = 0,20 kN/m²
- Total beban mati tambahan pada pelat atap = 1,01 kN/m²

c. Beban mati tambahan pada tangga

- Spesi setebal 3 cm = 0,42 kN/m²
- Keramik setebal 1 cm = 0,17 kN/m²
- Beban dinding pegangan handrail = 1,2 x 2,5/2 = 1,50 kN/m²
- Total beban mati tambahan pada anak tangga = 2,09 kN/m²

d. Beban dinding pasangan setengah bata lantai 1 setinggi 5 m

- $q_{SiDL} = 5 \times 2,5 = 12,5 \text{ kN/m}$

e. Beban dinding pasangan setengah bata lantai 2 – 7 setinggi 4 m

- $q_{SiDL} = 4 \times 2,5 = 10 \text{ kN/m}$

f. Beban mati tambahan akibat lift

Pada penelitian ini, perencanaan beban lift menggunakan sistem lift tanpa ruang mesin dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Berat lift = 2000 kg
- Berat mesin = 258 kg
- Kapasitas beban lift = 1000 kg
- Ukuran *car lift* CW x CD x CH = 1600 mm x 1400 mm x 2380 mm
- Ukuran *opening* OP x OPH = 900 mm x 2100 mm
- Ukuran *hoistway* HW x HD = 2250 mm x 1800 mm
- Tinggi maksimum operasional = 80 m

Untuk spesifikasi lift yang lebih lengkap bisa dilihat pada lampiran 4 halaman 145.

$$\begin{aligned}
 P_u &= \text{Berat lift} + \text{Berat beban lift} + \text{Berat mesin} \\
 &= 2000 + 1000 + 258 \\
 &= 3258 \text{ kg} = 32.58 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3. Beban hidup

Beban hidup yang digunakan untuk pembebanan pada struktur gedung ini sesuai dengan fungsi masing-masing ruangan sesuai dengan Tabel 2.5 Rekapitulasi beban hidup pada bab dua sebagai berikut:

- a. Kamar = 1,92 kN
- b. Koridor = 3,83 kN
- c. Atap = 0,96 kN + Hujan (0,1 kN)
- d. Tangga = 4,79 kN

4. Beban gempa

Analisa beban gempa dilakukan mengacu pada SNI 1726:2019 dan mengikuti langkah-langkah analisa beban gempa sesuai dengan pembahasan beban gempa pada bab dua. Untuk parameter keutamaan umum struktur yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

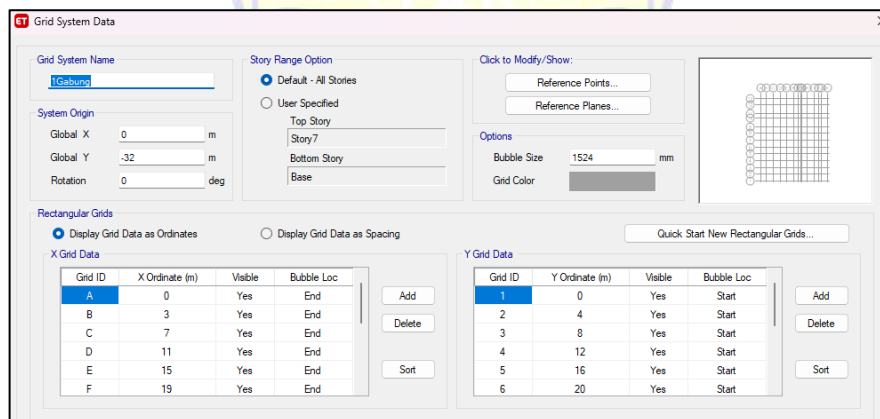
- a. Fungsi bangunan = Gedung apartement/Hotel
- b. Kategori risiko bangunan = Risiko II (Tabel 2.6 BAB 2)
- c. Faktor keutamaan gempa = 1 (Tabel 2.7 BAB 2)
- d. Jenis tanah = Sedang (SD)

3.5 Analisa Struktur Menggunakan ETABS

Analisa struktur dilakukan berdasarkan ketentuan yang ada pada SNI 1726:2019. Pertama akan dilakukan permodelan dengan *software* ETABS v.18 dan menganalisa struktur *fixed base* kemudian melakukan kontrol desain berupa kontrol periode getar, *mass ratio*, dan *drift*. Apabila semua aspek dari kontrol desain sudah terpenuhi, selanjutnya dilakukan desain *base isolator* kemudian melakukan permodelan dan analisa berdasarkan SNI 1726:2019. Proses dalam analisa struktur menggunakan ETABS v.18 sebagai berikut:

3.5.1 Permodelan *grid*

Permodelan *grid* merupakan langkah awal dalam melakukan analisa menggunakan ETABS. Dalam permodelan *grid* perlu diperhatikan Gambar rencana atau denah yang akan digunakan dalam analisa, penggunaan sumbu arah x dan y harus sesuai dengan arah memanjang dan lebar bangunan yang direncanakan dan untuk tinggi bangunan atau ketinggian antara tingkat menggunakan *story data*. Adapun langkah-langkah permodelan *grid* data yaitu dengan cara klik kanan pada *plan view* → *Add/modify grids* → pada menu *grid systems* pilih *Add new grid systems* → kemudian mengisi kotak dialog seperti Gambar 3.7. Berikut merupakan langkah-langkah permodelan *story data*, klik kanan pada *plan view* → *Add/modify grids* → pada menu *story data* pilih *Modify/show story data* → kemudian mengisi kotak dialog seperti Gambar 3.8.



Gambar 3.7 Permodelan *grid*

(Sumber: ETABS, 2023)

Story	Height m	Elevation m	Master Story	Similar To	Splice Story	Splice Height m	Story Color
Story7	4	29	No	Story6	No	0	Yellow
Story6	4	25	Yes	None	No	0	Yellow
Story5	4	21	No	Story4	No	0	Yellow
Story4	4	17	Yes	None	No	0	Yellow
Story3	4	13	No	Story2	No	0	Grey
Story2	4	9	Yes	None	No	0	Blue
Story1	5	5	No	None	No	0	Green
Base		0					

Gambar 3.8 Permodelan *story*/ketinggian antar lantai

(Sumber: ETABS, 2023)

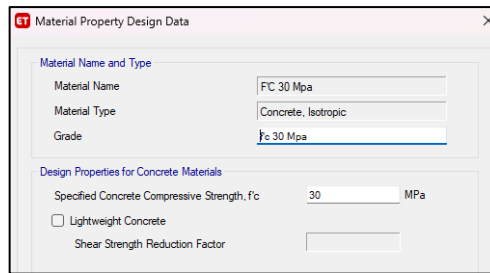
3.5.2 Mendefinisikan material

Dalam permodelan ada dua material yang didefinisikan yaitu beton dan baja tulangan. Berikut merupakan cara mendefinisikan material:

1. Untuk mendefinisikan mutu beton, pilih menu *Define* → *Material properties* → *Add new material* → *Concrete* → kemudian mengisi dialog dengan data material rencana seperti pada Gambar 3.9 dan Gambar 3.10.

Gambar 3.9 *Material property data* beton

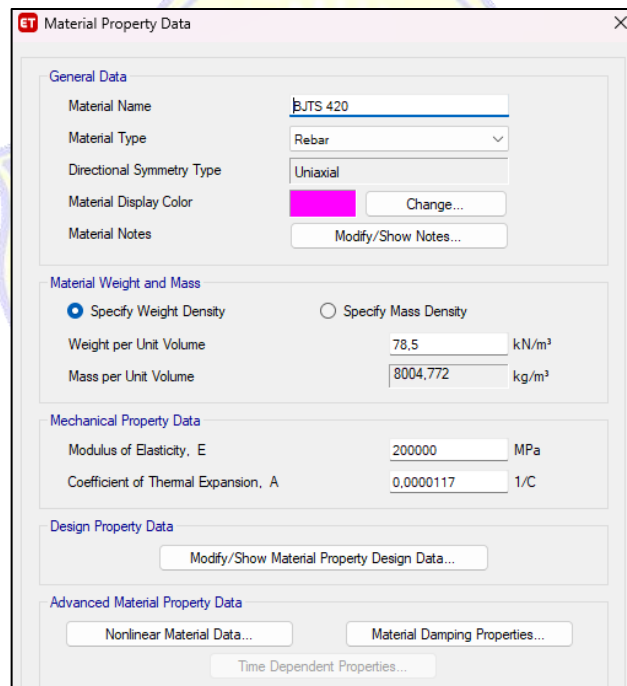
(Sumber: ETABS, 2023)



Gambar 3.10 Input *material property data*

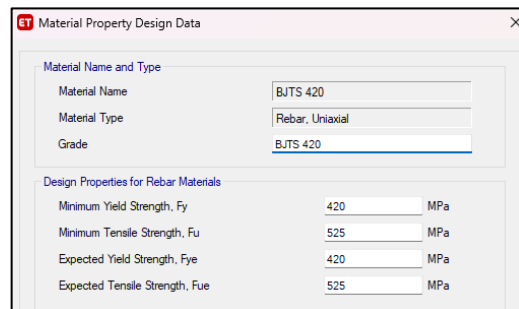
(Sumber: ETABS, 2023)

- Untuk mendefinisikan baja tulangan beton, pilih menu *Define* → *Material properties* → *Add new material* → *Rebar* → kemudian mengisi dialog dengan data material rencana seperti pada Gambar 3.11 dan Gambar 3.12.



Gambar 3.11 Input *property data* baja tulangan

(Sumber: ETABS, 2023)

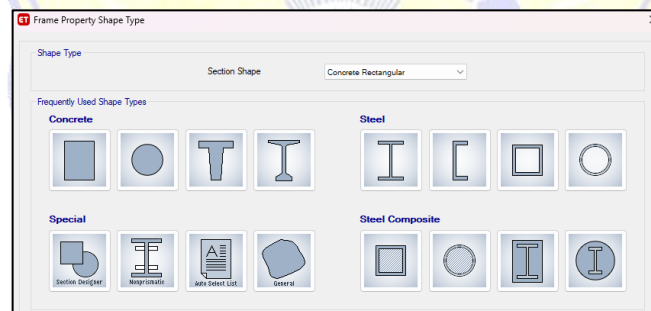


Gambar 3.12 Input nilai F_y dan F_u baja tulangan
(Sumber: ETABS, 2023)

3.5.3 Mendefinisikan penampang struktur

1. Membuat penampang kolom

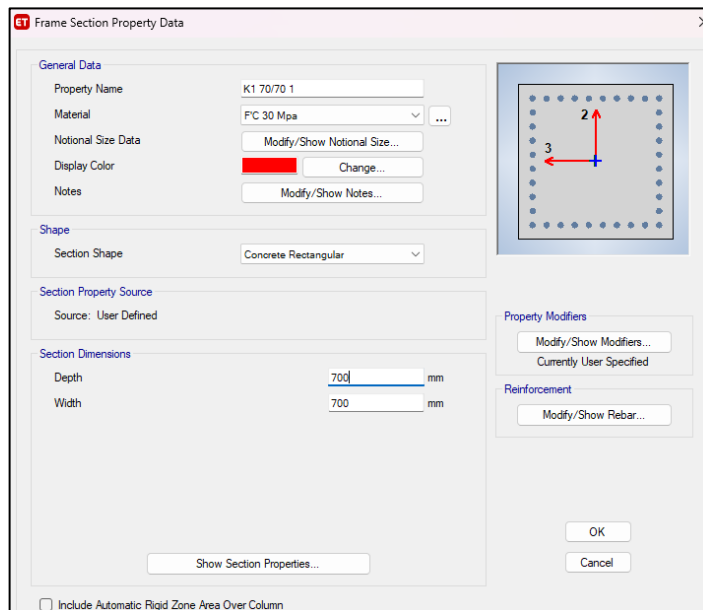
Pilih *Section properties* → *Frame properties* → pilih *Add new property* → pada kotak dialog *Frame property shape type* → pada *Section shape* pilih *Concrete rectangular* → pada jenis penampang beton pilih bentuk persegi Panjang seperti pada Gambar 3.13 dan Gambar 3.14.



Gambar 3.13 *Frame property shape type*
(Sumber: ETABS, 2023)

Pada kotak dialog *Frame section property data*:

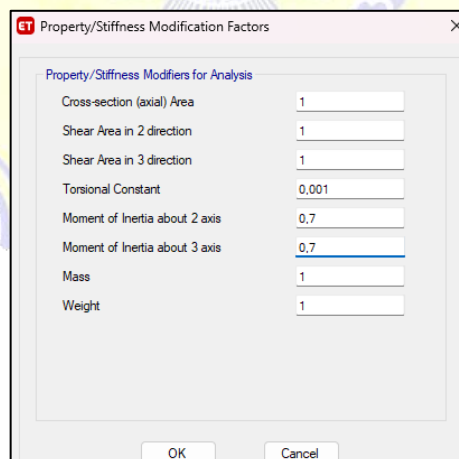
- *Property name*: diisi sesuai dengan kode/ nama kolom
- *Material*: pilih sesuai dengan mutu beton untuk kolom
- *Section dimensions*: diisi sesuai dengan dimensi kolom



Gambar 3.14 Input dimensi kolom

(Sumber: ETABS, 2023)

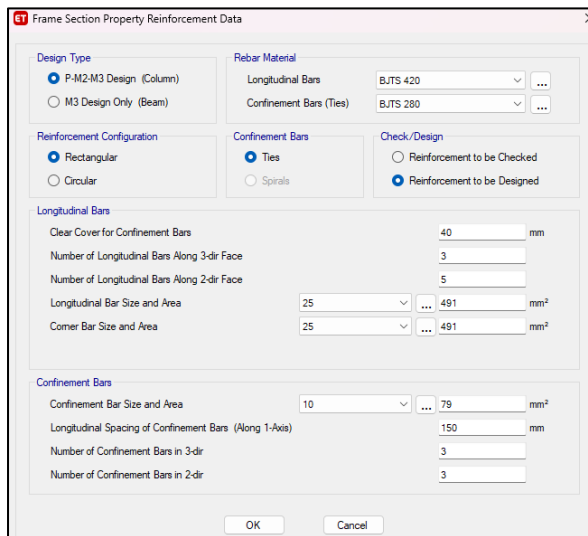
Selanjutnya menginput momen inersia pada kolom yang telah dibuat, pilih *Modify/show modifiers* → memasukkan momen inersia untuk analisis elastis pada level beban terfaktor = 0,7 seperti pada Gambar 3.15 → OK.



Gambar 3.15 *Stiffness modification factor* untuk kolom

(Sumber: ETABS, 2023)

Kemudian untuk menginput tulangan pada kolom, pilih *Modify/show rebar* → mengisi dialog seperti pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Input tulangan kolom

(Sumber: ETABS, 2023)

- *Design type*: pilih P-M2-M3 untuk kolom
- *Rebar material*: pilih material baja tulangan yang digunakan
- *Reinforcement configuration*: pilih jenis kolom *rectangular*/persegi
- *Confinement bars*: pilih *Ties* (jenis tulangan sengkang kotak)
- *Check/design*: pilih *reinforcement to be designed*
- *Clear cover for confinement bar*: 40 mm tebal selimut beton minimum

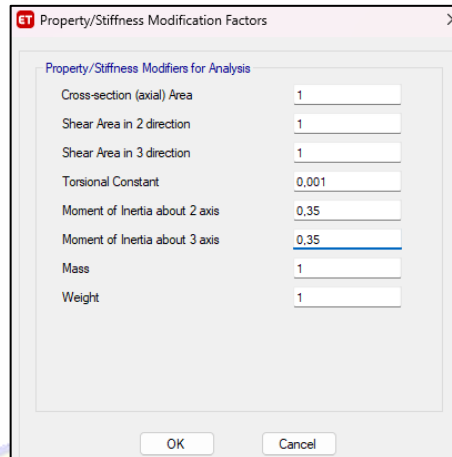
Pada bagian *check/design*, dengan memilih *reinforcement to be designed* berarti penulangan yang dihitung otomatis oleh ETABS sesuai dengan hasil luas tulangan yang diperlukan.

2. Membuat penampang balok

Untuk langkah-langkah pembuatan penampang balok sama dengan penampang kolom, kemudian pada kotak dialog *Frame section property data*.

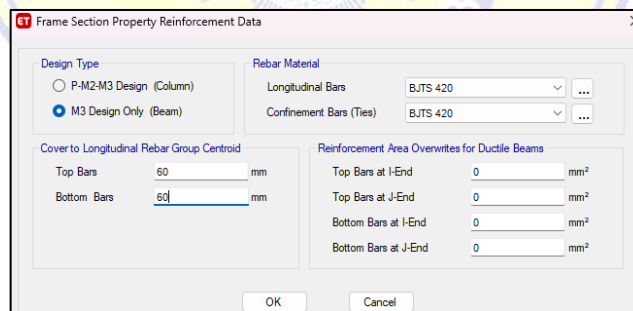
- *Property name*: diisi sesuai dengan kode/ nama balok
- *Material*: pilih sesuai dengan mutu beton untuk balok
- *Section dimensions*: diisi sesuai dengan dimensi balok *Width* untuk lebar balok dan *depth* untuk tinggi balok

Selanjutnya menginput momen inersia pada kolom yang telah dibuat, pilih *Modify/show modifiers* → memasukkan momen inersia untuk analisis elastis pada level beban terfaktor = 0,35 seperti pada Gambar 3.17 → OK.



Gambar 3.17 *Stiffness modification factor* untuk balok
(Sumber: ETABS, 2023)

Kemudian untuk menginput tulangan pada balok, pilih *Modify/show rebar* → mengisi dialog seperti pada Gambar 3.18.

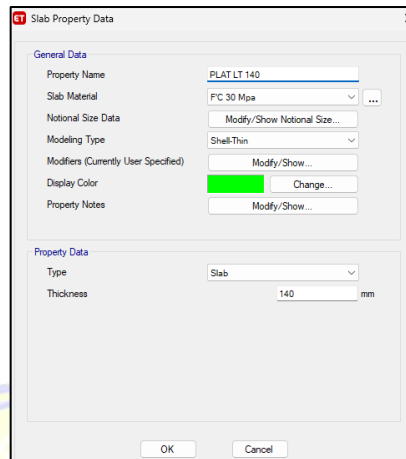


Gambar 3.18 Input tulangan balok
(Sumber: ETABS, 2023)

- *Design type*: pilih M3 untuk balok
- *Rebar material*: pilih material baja tulangan yang digunakan
- *Cover to longitudinal rebar group centered*:
 - Top bars*: 60 mm
 - Bottom bars*: 60 mm

3. Membuat penampang pelat

Pilih menu *Define* → *Section Properties* → *Slab sections* → *Add new property* → memasukkan data berupa tebal pelat pada kotak dialog seperti pada Gambar 3.19 → OK.



Gambar 3.19 Input *property data* pelat lantai

(Sumber: ETABS, 2023)

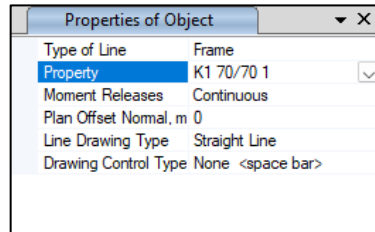
Pada bagian *general data*:

- *Slab material*: pilih $F'c$ 30 MPa sesuai dengan data material rencana
- *Modelling type*: pilih *shell thin* untuk model pelat yang digunakan

3.5.4 Menggambar elemen struktur dan jenis tumpuan

Untuk menggambar elemen struktur pada ETABS, kita bisa menggunakan *toolbar* yang sudah ada pada ETABS yang terletak pada sisi kiri *windows*. Berikut merupakan langkah-langkah dalam menggambar elemen struktur dan perletakan:

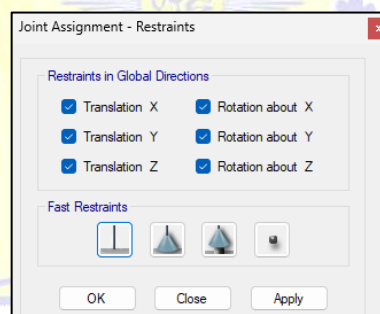
1. Untuk menggambar elemen struktur (balok, kolom dan pelat) dengan cara memilih *plan view* → klik pada *tools draw beam/column/brace* → pilih *property* → pada kotak dialog *properties of object*, pilih *property* sesuai dengan elemen struktur yang akan digambar seperti pada Gambar 3.20.



Gambar 3.20 *Properties of object*

(Sumber: ETABS, 2023)

2. Pada lantai dasar diasumsikan tumpuan yang digunakan adalah tumpuan jepit. Karena tumpuan ini memiliki kemampuan untuk menahan momen, gaya vertikal dan gaya horizontal. Adapun langkah-langkah untuk memasukkan tumpuan jepit yaitu, aktifkan mode *one story* pada pojok kanan bawah jendela ETABS → pilih menu *view* → *Set plan view* → pilih *base* → OK → kemudian blok seluruh denah pada lantai *base* → pilih menu *Assign* → *Joint* → *Restraints* → pada bagian *fast restraints* pilih tumpuan jepit → *Apply* → OK seperti Gambar 3.21.

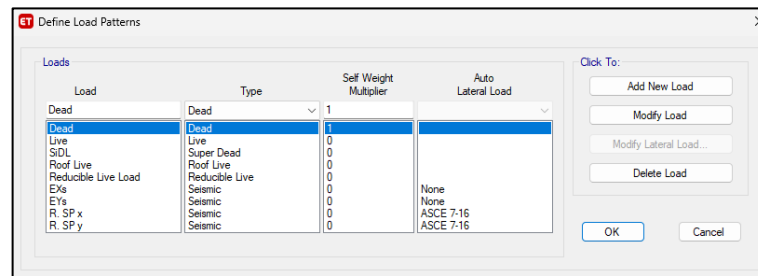


Gambar 3.21 Input tumpuan jepit

(Sumber: ETABS, 2023)

3.5.5 Mendefinisikan pola pembebanan

Pembebanan yang digunakan dalam analisis ini terdiri dari beban mati akibat berat sendiri struktur, beban mati tambahan dan beban hidup. Untuk mendefinisikan pembebanan bisa dimulai dengan memilih menu *Define* → *Load patterns* → kemudian mendefinisikan pembebanan seperti pada Gambar 3.21.



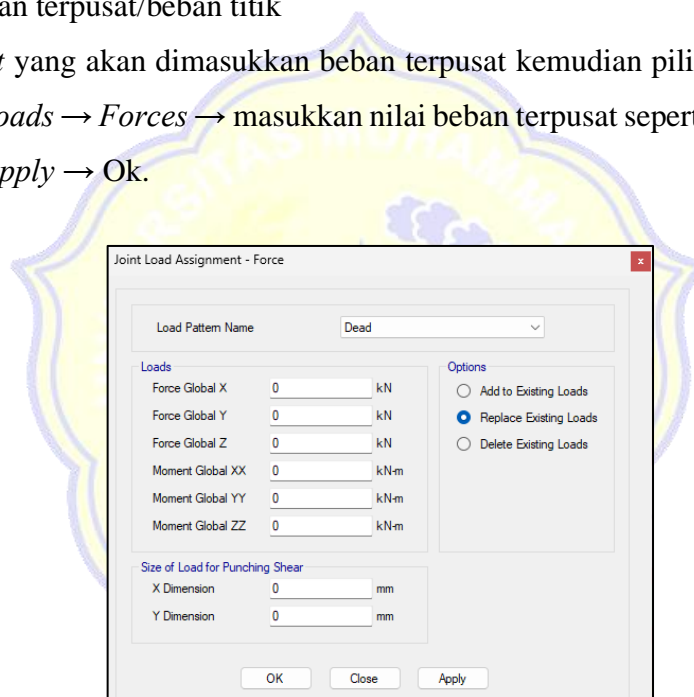
Gambar 3.22 Input pola pembebanan

(Sumber: ETABS, 2023)

3.5.6 Input beban mati tambahan dan beban hidup

1. Input beban terpusat/beban titik

Pilih *joint* yang akan dimasukkan beban terpusat kemudian pilih menu *Assign* → *Joint loads* → *Forces* → masukkan nilai beban terpusat seperti pada Gambar 3.23 → *Apply* → *Ok*.

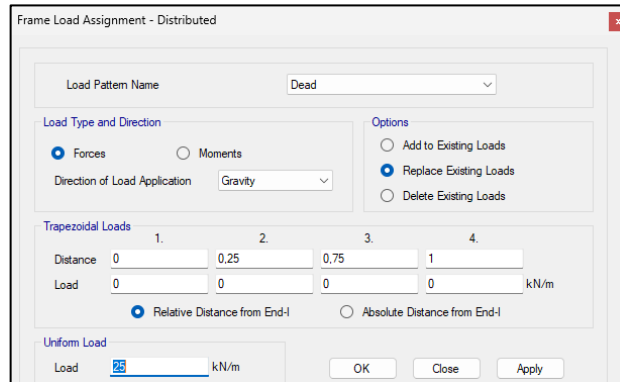


Gambar 3.23 Input beban terpusat/beban titik

(Sumber: ETABS, 2023)

2. Input beban pada *frame*

Pilih menu *Select* → *Properties* → *Frame sections* → pilih *frame* yang akan diinput beban → *Select* → *Close*. Kemudian pilih menu *Assign* → *Frame loads* → *Distributed* → input beban seperti pada Gambar 3.24 → *Apply* → *OK*.

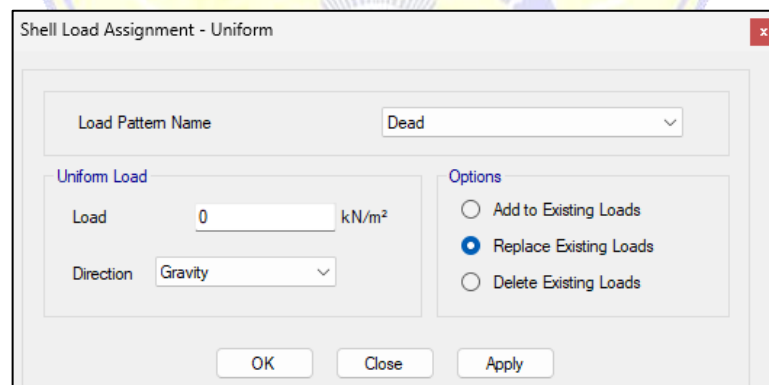


Gambar 3.24 Input beban pada *frame*

(Sumber: ETABS, 2023)

3. Input beban pada *shell*/pelat

Pilih menu *Select* → *Properties* → *Slab sections* → pilih *slab* yang akan diinput beban → *Select* → *Close*. Kemudian pilih menu *Assign* → *Shell loads* → *Uniform* → input beban seperti pada Gambar 3.25 → *Apply* → *OK*.



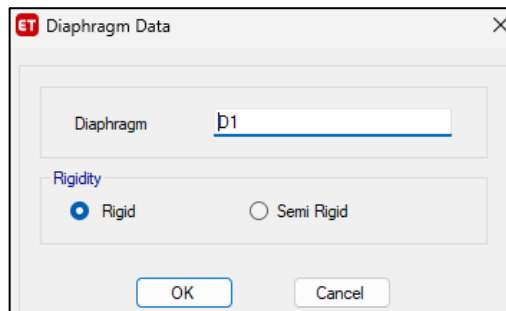
Gambar 3.25 Input beban pada *shell*/pelat

(Sumber: ETABS, 2023)

3.5.7 Diafragma

Berdasarkan SNI 1726:2019, analisis struktur harus memperhitungkan kekakuan relative diafragma dan elemen vertical sistem penahan gaya gempa. Diafragma untuk lantai tiap tingkat diasumsikan kaku. Selain sebagai persyaratan permodelan, diafragma lantai antar tingkat dan *joint* ini bertujuan untuk mendapatkan nilai massa total aktual tiap lantai yang akan digunakan untuk menentukan berat total struktur dalam perencanaan beban gempa. Untuk menginput

diafragma pada lantai, pilih menu *Select* → *Select* → *Properties* → *Slab sections* → pilih tipe pelat (pelat lantai dan atap) → *Select* → *Close* → kemudian pilih menu *Assign* → *Shell* → *Diaphragms* → pilih D1 → *Modify/show definitions* → pilih D1 → *Modify/show diaphragms* → pilih *Rigid* (kaku) pada dialog *Rigidity* seperti Gambar 3.26 → OK

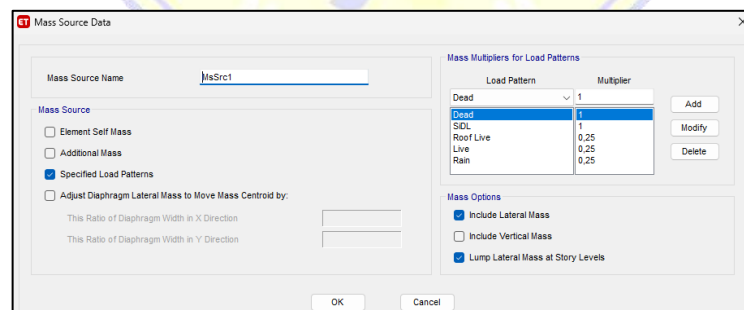


Gambar 3.26 Data diafragma

(Sumber: ETABS, 2023)

3.5.8 Mendefinisikan *mass source*

Mass source digunakan untuk menentukan jumlah massa yang dihitung oleh ETABS untuk menganalisis waktu getar, beban total untuk beban gempa dan sebagainya. Untuk mendefinisikan *mass source* pilih *Define* → *Mass source* → *Add new mass source* → kemudian akan tampil kotak dialog seperti pada Gambar 3.27.



Gambar 3.27 Mendefinisikan *mass source*

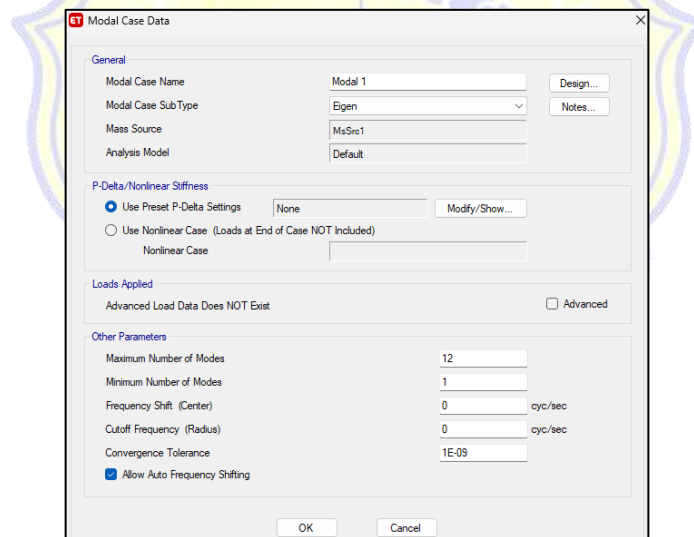
(Sumber: ETABS, 2023)

Pada analisis ini digunakan *mass source* dengan *specified load patterns* dimana massa total didapat dari hasil input pembebanan tertentu dengan faktor pengali sesuai dengan SNI 1726:2019. Analisis menggunakan *specified load*

patterns ini dapat memberikan massa aktual yang direncanakan dalam pembebanan gempa sehingga ETABS akan otomatis menghitung massa perantai sesuai dengan pola pembebanan yang telah didefinisikan.

3.5.9 Mendefinisikan *modal cases*

Modal merupakan analisis dinamik untuk mengetahui perilaku ragam gerak struktur disetiap modeny. Pilih menu *Define* → *Modal Cases* → *Add new case* → Pada *maximum number of modes* diisi dengan mode awal = 12 seperti pada Gambar 3.28. Pada analisis ini memerlukan modal yang cukup agar tercapai massa ragam minimal 90% pada analisis gempa dinamik. Analisis statik pembebanan gempa mengikuti pola ragam gerak di mode awal, yang memberikan arah translasi dominan untuk kedua arah sumbu orthogonal. Apabila partisipasi massa ragam dengan 12 mode kurang dari 90%, maka bisa menambahkan jumlah mode agar partisipasi massa ragam tercapai.

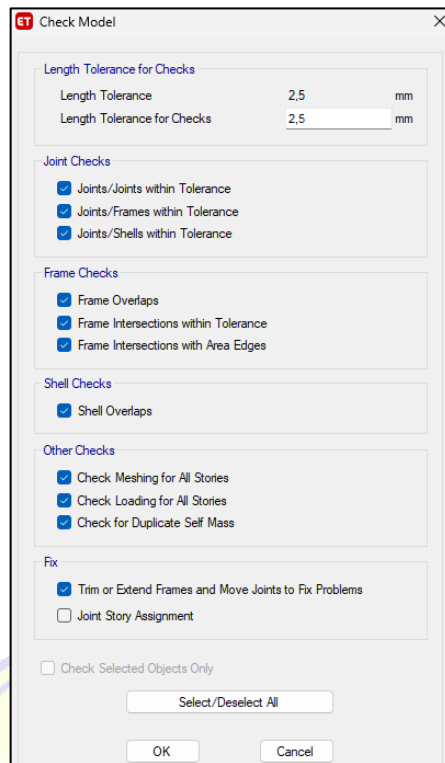


Gambar 3.28 Data *modal case*

(Sumber: ETABS, 2023)

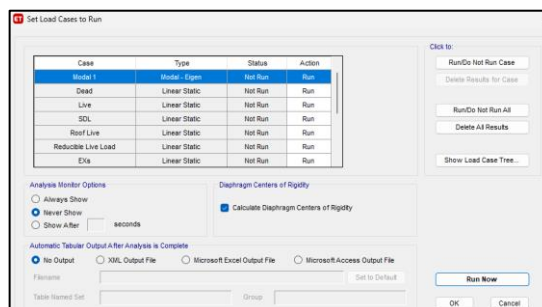
3.5.10 *Run analisis awal*

Run analisis dilakukan ketika modeling telah selesai dilakukan. Sebelum melakukan run analisis, terlebih dahulu dilakukan pengecekan terhadap model yang telah dibuat sebelumnya. Pilih menu *Analyze* → *Check model* → kemudian centang semua parameter yang akan dicek seperti pada Gambar 3.29 → OK.



Gambar 3.29 Pengecekan model
(Sumber: ETABS, 2023)

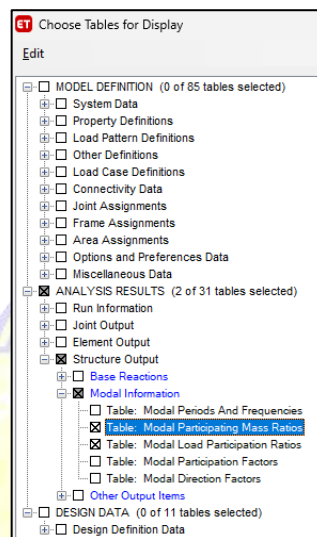
Setelah itu, untuk menentukan mode analisis yang digunakan, pilih menu *Analyze* → *Set active degrees of freedom* → pilih *Full 3D*. → OK. Kemudian untuk menentukan *load case* yang akan dijalankan pada analisis, pilih menu *Analyze* → *Set loada cases to run* → centang pada *Calculate diaphragm centers of rigidity* seperti pada Gambar 3.30 → *Run now*.



Gambar 3.30 Set load case to run
(Sumber: ETABS, 2023)

3.5.11 Analisis modal case

Untuk melihat hasil analisis modal case pilih menu *Display* → *Show tables* → *Analysis result* → *Structure output* → *modal information* → centang pada *model participating mass ratios* dan *modal load participation ratios* seperti pada Gambar 3.31.

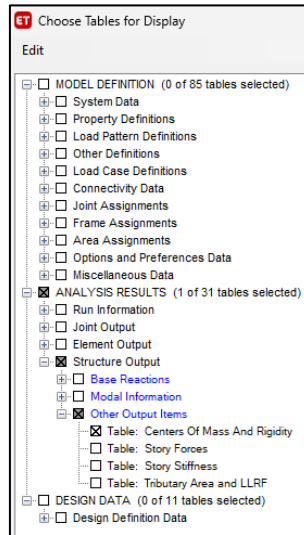


Gambar 3.31 *Display* mode ragam

(Sumber: ETABS, 2023)

3.5.12 Berat seismik efektif

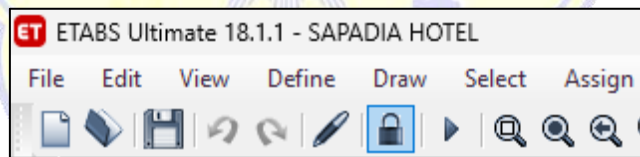
Berat seismic efektif merupakan berat total dari penjumlahan beban mati struktur, beban mati tambahan, dan beban hidup. Untuk melihat berat seismic efektif, pilih menu *Display* → *Show tables* → *Analysis result* → *Structure output* → *Other output items* → centang pada *center of mass and rigidity* seperti pada Gambar 3.32 → OK.



Gambar 3.32 *Display* berat seismik efektif
(Sumber: ETABS, 2023)

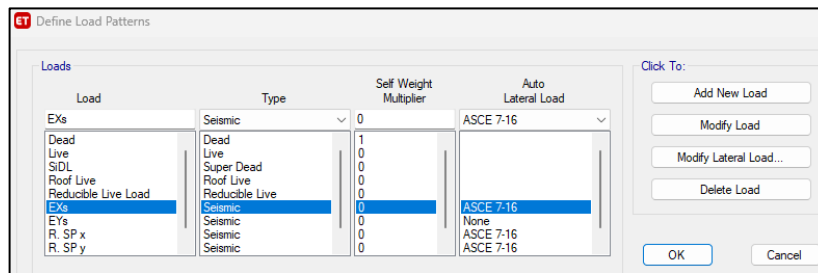
3.5.13 Pembebanan gempa statik ekuivalen

Untuk menambahkan beban gempa statik ekuivalen melalui ETABS, terlebih dahulu *unlock model* ETABS karena sebelumnya telah dilakukan *Run Analysis* dengan cara mengklik ikon gembok pada *toolbars* seperti pada Gambar 3.33.



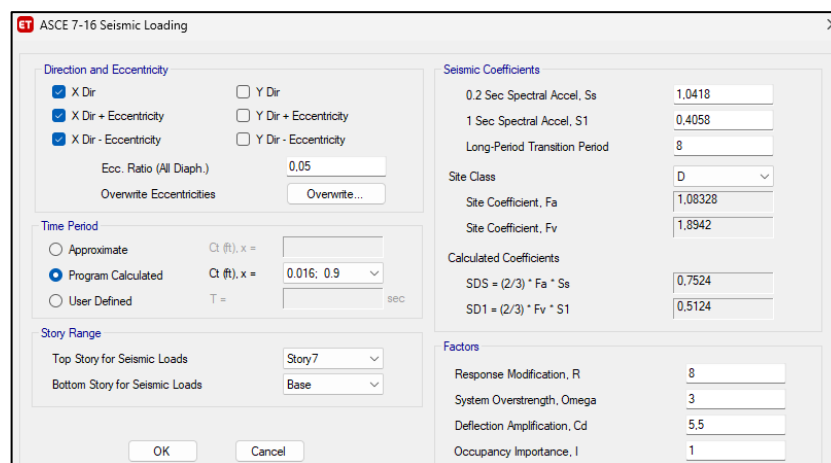
Gambar 3.33 *Unlock model*
(Sumber: ETABS, 2023)

Kemudian pilih menu *Define* → *Load patterns* → tambahkan beban gempa statik arah x → kemudian pada *Auto lateral loads* pilih ASCE 7-16 seperti Gambar 3.34 → *Add new load* → *Modify lateral load* → kemudian mengisi kotak dialog seperti pada Gambar 3.35 dibawah ini. Untuk beban gempa statik arah y caranya sama seperti menambahkan beban gempa statik arah x.



Gambar 3.34 Menambahkan beban gempa statik pada *load patterns*

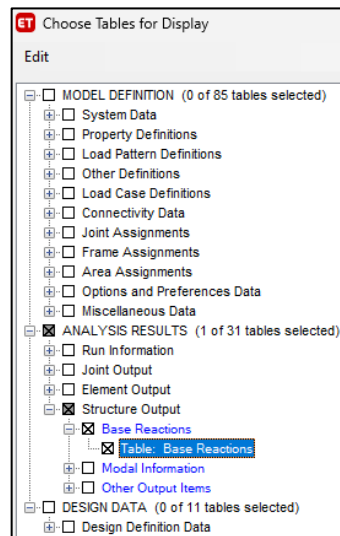
(Sumber: ETABS, 2023)



Gambar 3.35 Menambahkan beban gempa statik ekivalen arah x

(Sumber: ETABS, 2023)

Setelah penambahan beban gempa statik arah x dan y selesai, selanjutnya dilakukan analisis dengan cara pilih menu *Analyze* → *set load cases to run* → *Run Now*. Untuk memunculkan hasil dari analisis gaya gempa statik ekivalen, pilih menu *Display* → *Show tables* → *Analysis result* → *Structure output* → centang pada *base rection* seperti pada Gambar 3.36 → OK.

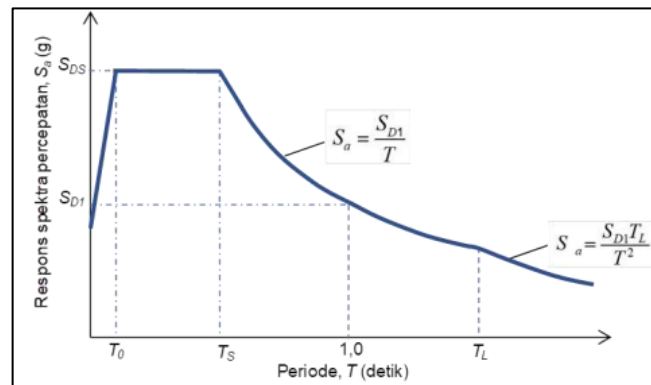


Gambar 3.36 *Display base reactions*

(Sumber: ETABS, 2023)

3.5.14 Pembebanan gempa dinamik *response spectrum*

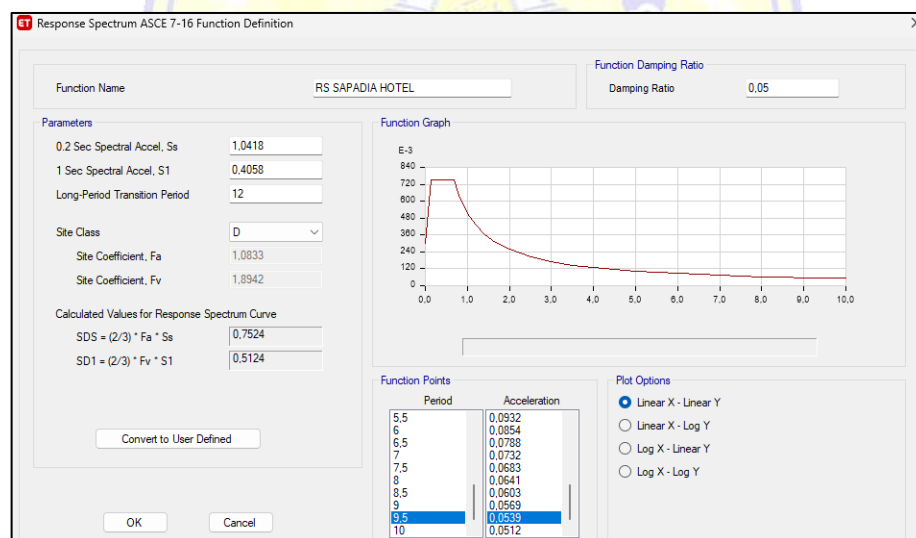
Pembebanan dengan menggunakan beban gempa *response spectrum* digunakan untuk melihat perilaku dinamik dari pola gaya geser bangunan tinggi. Pembebanan gempa dinamik *respons spektrum* dapat dianalisis secara langsung menggunakan program ETABS dengan membuat kurva repsons spektrum sesuai parameter spektral wilayah tempat gedung dibangun dan berdasarkan jenis tanahnya. Kurva *respons spektrum* desain adalah kurva hubungan antara fungsi percepatan spektral (S_a) terhadap periode (T). Kurva ini dilakukan untuk mendapatkan nilai percepatan tanah desain dengan analisis dinamik berdasarkan masing-masing modal yang ada seperti Gambar 3.37.



Gambar 3.37 Kurva respon spektrum desain

(Sumber: SNI 1726:2019)

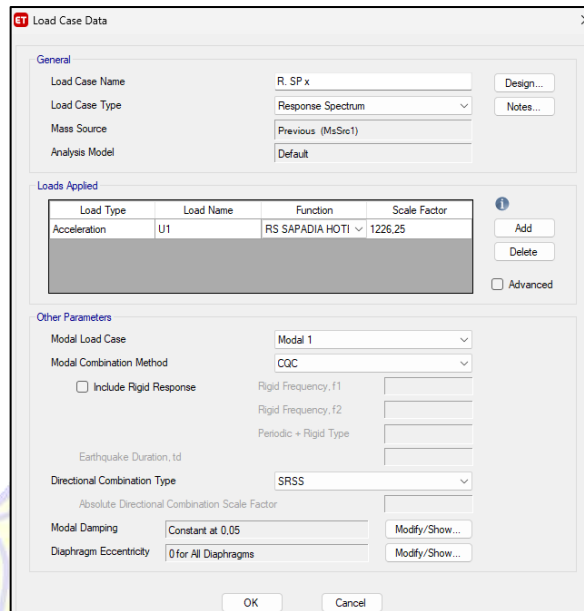
Sebelum menambahkan beban gempa dinamik *response spectrum*, terlebih dahulu *unlock model*, setelah itu pilih menu *Define* → *Functions* → *Response spectrum* → pada *choose functions type to add* pilih ASCE 7-16 → *Add new functions* → kemudian akan muncul kotak dialog seperti pada Gambar 3.38 → masukkan parameter yang ada → OK.



Gambar 3.38 Menambahkan beban gempa *response spectrum*

(Sumber: ETABS, 2023)

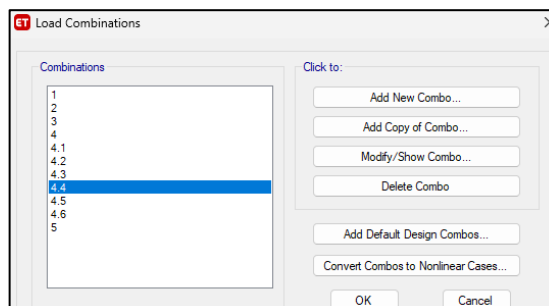
Setelah beban gempa *response spectrum* ditambahkan, selanjutnya adalah mendefinisikan beban gempa dinamik dengan memilih *Define* → *Load cases* → *Add new case* → kemudian mengisi kotak *dialog load case data* seperti pada Gambar 3.39 → OK.



Gambar 3.39 Menambahkan *load case response spectrum*
(Sumber: ETABS, 2023)

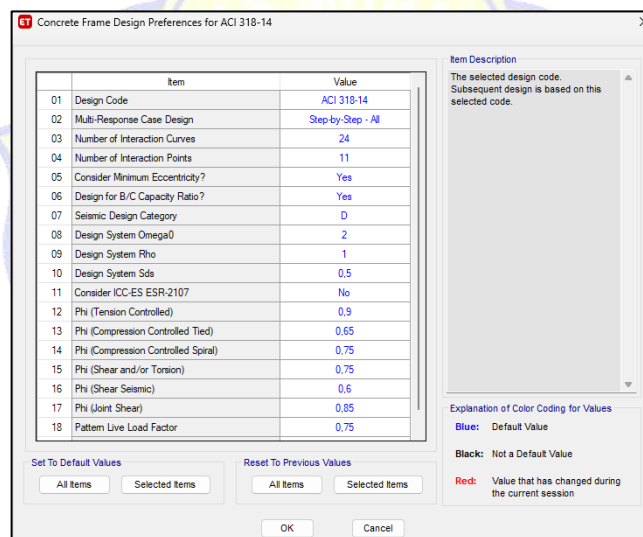
3.5.15 Kombinasi pembebanan

Pilih menu *Define* → *Load combination* → *Add new combo* → memasukkan kombinasi pembebanan yang sudah ditentukan pada bab dua seperti Gambar 3.40.



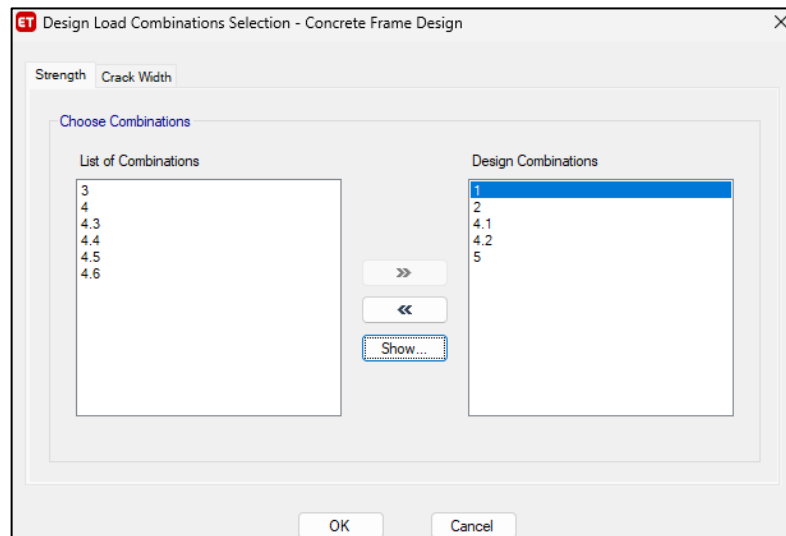
Gambar 3.40 Menambahkan kombinasi pembebanan
(Sumber: ETABS, 2023)

Berdasarkan SNI 2847:2019 bahwa kekuatan desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi dari standar yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan ϕ . Untuk menambahkan faktor reduksi kekuatan pada ETABS, pilih menu *Design* → *Concrete frame design* → *View/revise preferences* seperti pada Gambar 3.41. Kemudian menambahkan desain kombinasi untuk analisis *concrete frame* dengan memilih menu *Design* → *Concrete frame design* → *select design combinations* → pindahkan kombinasi pada *list combinations* yang akan dicek ke kotak *design combinations* sebelah kanan seperti pada Gambar 3.42 → kemudian *design and check*.



Gambar 3.41 Concrete design preferences

(Sumber: ETABS, 2023)



Gambar 3.42 *Design load combinations selection*
(Sumber: ETABS, 2023)

3.5.16 *Output-output*

1. Waktu getar alami

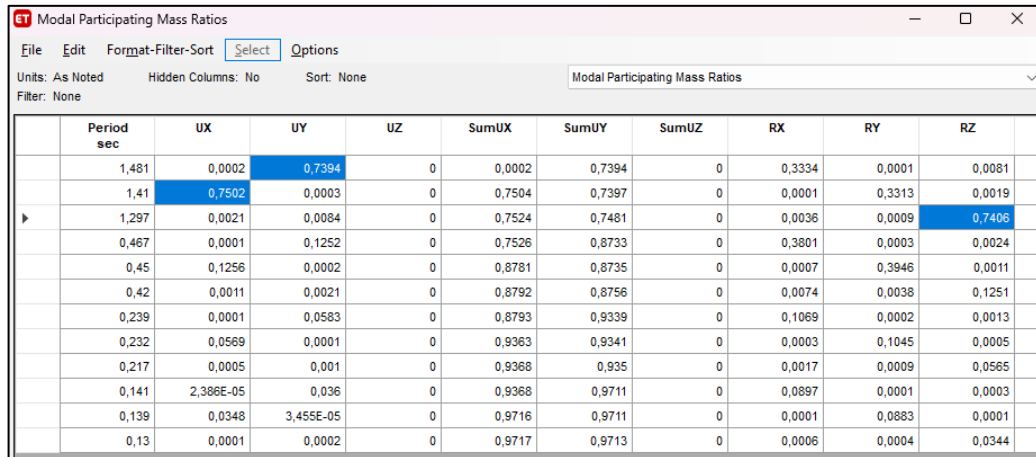
Untuk memunculkan nilai waktu getar alami pada ETABS, pilih menu *Display* → *Show tables* → *Structure output* → *Modal information* → centang pada *Table: Modal participating mass ratio* → OK. Kemudian muncul tabel seperti pada Gambar 3.43.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX
Modal 1	1	1,481	0,0002	0,7394	0	0,0002	0,7394	0	0,3334
Modal 1	2	1,41	0,7502	0,0003	0	0,7504	0,7397	0	0,0001
Modal 1	3	1,297	0,0021	0,0084	0	0,7524	0,7481	0	0,0036
Modal 1	4	0,467	0,0001	0,1252	0	0,7526	0,8733	0	0,3801
Modal 1	5	0,45	0,1256	0,0002	0	0,8781	0,8735	0	0,0007
Modal 1	6	0,42	0,0011	0,0021	0	0,8792	0,8756	0	0,0074
Modal 1	7	0,239	0,0001	0,0583	0	0,8793	0,9339	0	0,1069
Modal 1	8	0,232	0,0569	0,0001	0	0,9363	0,9341	0	0,0003
Modal 1	9	0,217	0,0005	0,001	0	0,9368	0,935	0	0,0017
Modal 1	10	0,141	2,386E-05	0,036	0	0,9368	0,9711	0	0,0897
Modal 1	11	0,139	0,0348	3,455E-05	0	0,9716	0,9711	0	0,0001
Modal 1	12	0,13	0,0001	0,0002	0	0,9717	0,9713	0	0,0006

Gambar 3.43 *Output* waktu getar alami
(Sumber: ETABS, 2023)

2. Mode ragam

Untuk melihat nilai mode ragam, caranya sama seperti pada waktu getar alami karena berada pada tabel yang sama seperti pada Gambar 3.44.



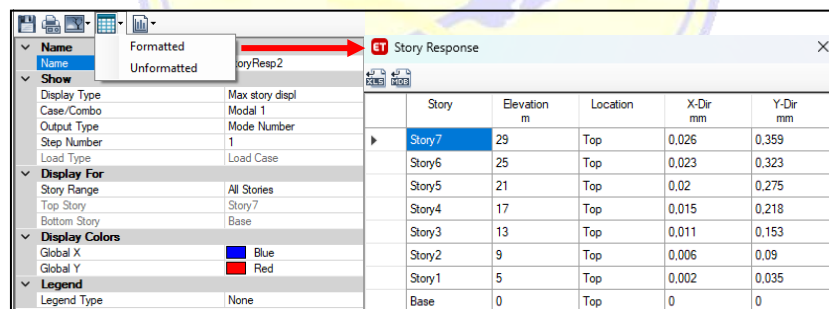
Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ
1,481	0,0002	0,7394	0	0,0002	0,7394	0	0,3334	0,0001	0,0081
1,41	0,7502	0,0003	0	0,7504	0,7397	0	0,0001	0,3313	0,0019
1,297	0,0021	0,0084	0	0,7524	0,7481	0	0,0036	0,0009	0,7406
0,467	0,0001	0,1252	0	0,7526	0,8733	0	0,3801	0,0003	0,0024
0,45	0,1256	0,0002	0	0,8781	0,8735	0	0,0007	0,3946	0,0011
0,42	0,0011	0,0021	0	0,8792	0,8756	0	0,0074	0,0038	0,1251
0,239	0,0001	0,0583	0	0,8793	0,9339	0	0,1069	0,0002	0,0013
0,232	0,0569	0,0001	0	0,9363	0,9341	0	0,0003	0,1045	0,0005
0,217	0,0005	0,001	0	0,9368	0,935	0	0,0017	0,0009	0,0565
0,141	2,386E-05	0,036	0	0,9368	0,9711	0	0,0897	0,0001	0,0003
0,139	0,0348	3,455E-05	0	0,9716	0,9711	0	0,0001	0,0883	0,0001
0,13	0,0001	0,0002	0	0,9717	0,9713	0	0,0006	0,0004	0,0344

Gambar 3.44 Output mode ragam

(Sumber: ETABS, 2023)

3. Kontrol simpangan antar tingkat

Untuk memunculkan nilai simpangan maksimum tiap tingkat, pilih menu *Display* → *Story response plots* → *Formatted* seperti pada Gambar 3.45 → OK.



Story	Elevation m	Location	X-Dir mm	Y-Dir mm
Story7	29	Top	0,026	0,359
Story6	25	Top	0,023	0,323
Story5	21	Top	0,02	0,275
Story4	17	Top	0,015	0,218
Story3	13	Top	0,011	0,153
Story2	9	Top	0,006	0,09
Story1	5	Top	0,002	0,035
Base	0	Top	0	0

Gambar 3.45 Output simpangan

(Sumber: ETABS, 2023)

4. Ketidakberaturan torsi

Untuk memunculkan nilai dari ketidakberaturan torsi yang sudah otomatis dihitung oleh ETABS, pilih menu *Display* → *Show tables* → *Analysis result* →

Joint output → *Displacement* → centang pada *Table Story max over avg drift*
 → OK. Muncul kotak dialog seperti pada Gambar 3.46.

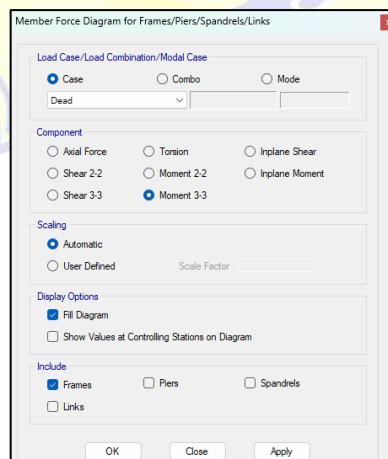
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Max Drift mm	Avg Drift mm	Ratio
Story7	Gravity	NonStatic	Max		X	0,035	0,03	1,135
Story7	Gravity	NonStatic	Max		Y	0,033	0,025	1,339
Story6	Gravity	NonStatic	Max		X	0,02	0,018	1,084
Story6	Gravity	NonStatic	Max		Y	0,022	0,018	1,238
Story5	Gravity	NonStatic	Max		X	0,014	0,013	1,087
Story5	Gravity	NonStatic	Max		Y	0,017	0,015	1,133
Story4	Gravity	NonStatic	Max		X	0,012	0,011	1,042
Story4	Gravity	NonStatic	Max		Y	0,015	0,014	1,098
Story3	Gravity	NonStatic	Max		X	0,01	0,01	1,045
Story3	Gravity	NonStatic	Max		Y	0,013	0,012	1,056
Story2	Gravity	NonStatic	Max		X	0,008	0,008	1,04
Story2	Gravity	NonStatic	Max		Y	0,011	0,01	1,059
Story1	Gravity	NonStatic	Max		X	0,004	0,004	1,041
Story1	Gravity	NonStatic	Max		Y	0,006	0,005	1,126

Gambar 3.46 *Output torsi*

(Sumber: ETABS, 2023)

5. Gaya dalam

Untuk memunculkan nilai dari gaya dalam yang dihasilkan oleh ETABS, pilih *Display* → *Force/stress diagram* → *Frame/pier/spandrel/link forces* seperti pada Gambar 3.47 → OK.



Gambar 3.47 *Output gaya dalam*

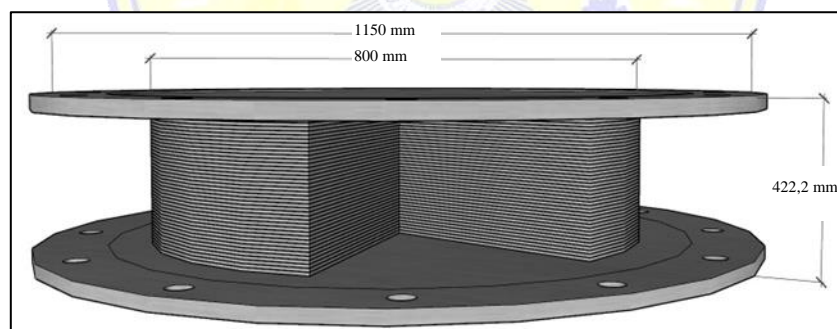
(Sumber: ETABS, 2023)

3.6 Perencanaan *Base Isolator* Tipe HDRB

3.6.1 Perencanaan dimensi dan desain *properties base isolator*

1. Menganalisis struktur gedung menggunakan ETABS v.18 untuk mendapatkan berat total struktur dan gaya aksial terbesar pada kolom
2. Menentukan nilai dari parameter yang akan digunakan, meliputi periode target, parameter percepatan spectra, koefisien redaman dan modulus geser
3. Menentukan dimensi *base isolator*
4. Menghitung perpindahan maksimum
5. Menentukan kuat geser maksimum dan modulus geser actual
6. Menghitung nilai kekakuan
7. Menghitung karakteristik kekuatan
8. Menghitung nilai perpindahan pasca-hasil
9. Menentukan nilai redaman efektif

Hasil analisis parameter desain penampang *base isolator* tipe HDRB di atas akan dimasukkan ke dalam ETABS untuk dilakukan analisis, berikut bisa dilihat gambar dari *base isolator* tipe HDRB pada Gambar 3.48.



Gambar 3. 48 Penampang *base isolator*

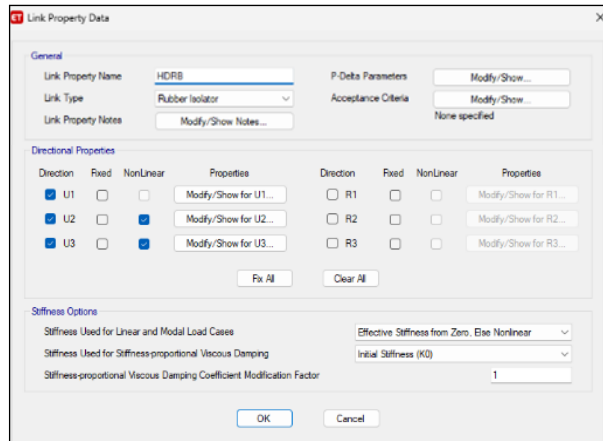
(Sumber: Sketchup, 2023)

3.6.2 Penginputan *base isolator*

Berikut merupakan langkah-langkah penginputan *base isolator* pada model.

1. Mendefinisikan *link/support properties*

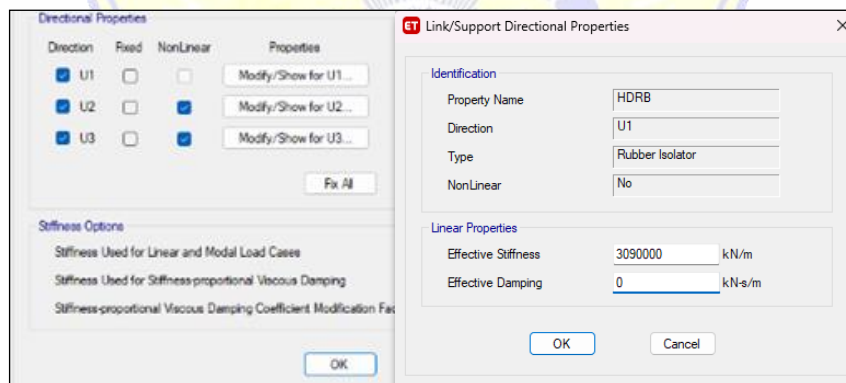
Pilih menu *Define* → *Section properties* → *Link/support properties* → *Add new property* → kemudian isi dialog sesuai dengan data rencana *base isolator* yang digunakan seperti pada Gambar 3.49.



Gambar 3.49 *Link/support properties*

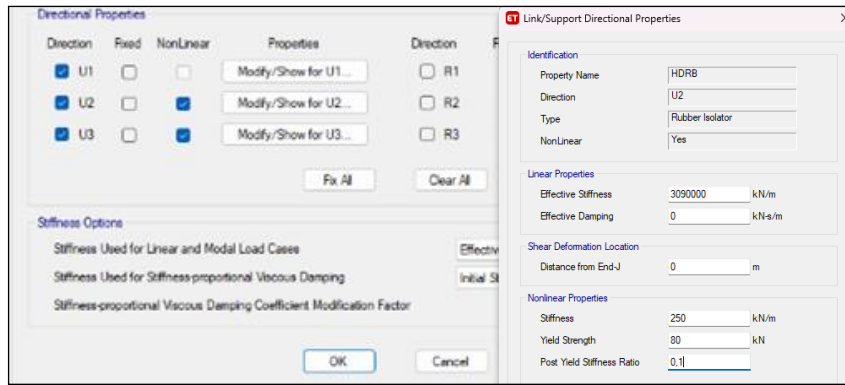
(Sumber: ETABS, 2023)

Kemudian memasukkan memasukkan nilai pada *linear properties* pada U1, U2, dan U3 dengan cara pilih *modify/show for U1, U2, dan U3* lalu mengisi dialog seperti pada Gambar 3.50 sampai Gambar 3.52.



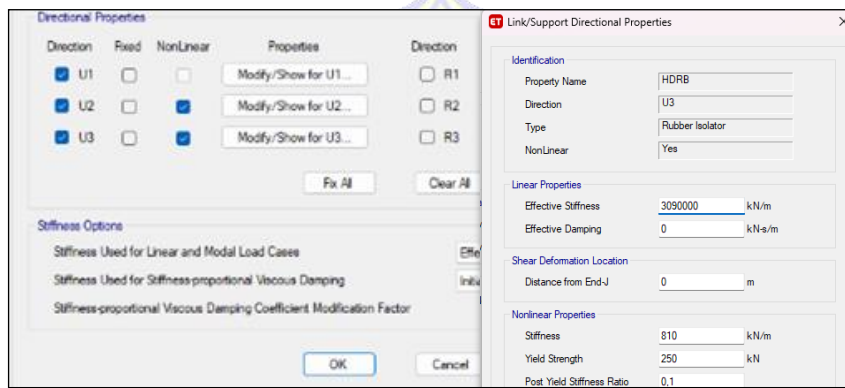
Gambar 3.50 *Link/support properties* pada U1

(Sumber: ETABS, 2023)



Gambar 3.51 *Link/support properties* pada U2

(Sumber: ETABS, 2023)

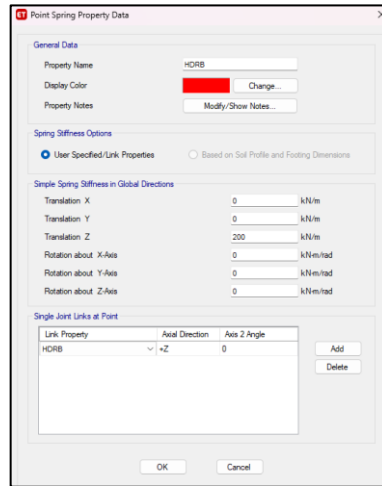


Gambar 3.52 *Link/support properties* pada U3

(Sumber: ETABS, 2023)

2. Mendefinisikan *spring properties*

Pilih menu *define* → *Spring properties* → *Point spring* → *Add new property* → kemudian mengisi data pada dialog seperti pada Gambar 3.53.

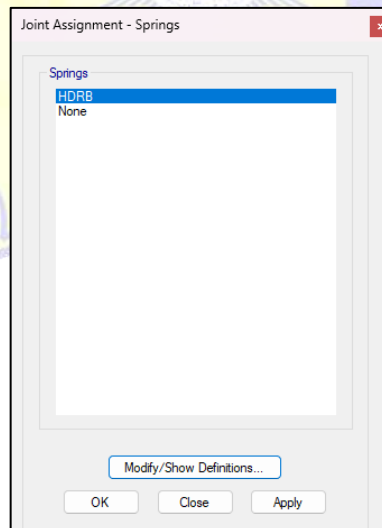


Gambar 3.53 *Point spring properties*

(Sumber: ETABS, 2023)

3. Memasukkan *base isolator* pada model

Aktifkan mode *One Story* pada bagian kanan bawah *ETABS v.18* → pilih menu *View* → *Set plan view* → pilih *base* → *Ok* → blok setiap kolom berdasarkan model *base isolator* → pilih menu *Assign* → *Joint* → *Spring* → pilih *base isolator* yang telah dibuat sebelumnya → *OK* seperti pada Gambar 3.54.



Gambar 3.54 *Joint assignment spring*

(Sumber: ETABS, 2023)

3.7 Analisa Pushover

Apabila hasil dari analisa dan kontrol pada desain semua elemen sudah memenuhi. Selanjutnya akan dilakukan analisa *pushover* untuk mengetahui perilaku keruntuhan bangunan dengan memberikan beban dorong yang ditingkatkan secara bertahap sampai bangunannya runtuh. Berikut merupakan tahapan dalam analisa *pushover*.

1. Menentukan titik kontrol sebagai acuan pada saat pemberian beban dorong dan untuk memonitor besarnya perpindahan struktur. Rekaman besarnya perpindahan titik kontrol dan gaya geser dasar digunakan untuk Menyusun kurva *pushover*.
2. Membuat kurva *pushover* berdasarkan berbagai macam pola distribusi gaya lateral terutama yang ekuivalen dengan distribusi dari gaya inertia, sehingga diharapkan deformasi yang terjadi hampir sama atau mendekati deformasi yang terjadi akibat gempa. Oleh karena sifat gempa adalah tidak pasti, maka perlu dibuat beberapa pola pembebanan lateral yang b erbeda untuk mendapatkan kondisi yang paling menentukan.
3. Estimasi besarnya perpindahan lateral saat gempa rencana. Titik kontrol didorong sampai taraf perpindahan tersebut, yang mencerminkan perpindahan maksimum yang diakibatkan oleh intensitas gempa rencana yang ditentukan.
4. Mengevaluasi level kinerja struktur ketika titik kontrol berdasarkan spektrum kapasitas, merupakan hal utama dari perencanaan berbasis kinerja. Komponen struktur dan aksi perilakunya dapat dianggap memuaskan jika memenuhi kriteria yang dari awal sudah ditetapkan, baik terhadap persyaratan deformasi maupun kekuatan.

3.8 Hasil Analisa

Setelah hasil dari analisa *pushover* didapatkan, selanjutnya hasil tersebut dapat dievaluasi dengan membandingkan pada kedua struktur *fixed base* dan struktur *base isolator*. Pembahasan hasil evaluasi dilakukan berdasarkan pada bab sebelumnya.