

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tren Pembangunan Gedung Bertingkat

Fenomena urbanisasi di Indonesia mengacu pada pergerakan penduduk dari daerah pedesaan ke kota-kota besar yang semakin signifikan dalam beberapa dekade terakhir (Pida, D. F., Aini, K. N., & Putri, C. A. 2025). Proses ini dipicu oleh pertumbuhan ekonomi yang pesat, akses yang lebih baik terhadap layanan dan fasilitas, serta meningkatnya peluang kerja di kawasan perkotaan. Akibatnya, jumlah penduduk di kota-kota besar terus meningkat, yang berujung pada tingginya permintaan terhadap infrastruktur, layanan publik, perumahan, dan ruang komersial. Kondisi ini mendorong munculnya tren pembangunan gedung bertingkat sebagai solusi untuk memenuhi kebutuhan ruang yang semakin terbatas. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah penduduk Indonesia diperkirakan meningkat sebesar 1,04% terhitung sampai bulan Juni pada tahun 2024, dengan total kenaikan sebanyak 2,9 juta jiwa, sebagaimana dijabarkan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Tabel kenaikan jumlah penduduk di Indonesia

Tahun	Jumlah Penduduk (Juta Jiwa)	Persentase Kenaikan Jumlah Penduduk (%)	Rata-rata Kenaikan Jumlah Penduduk
2022	275.773,8	1,13	1,08%
2023	278.696,2	1,06	
Juni 2024	281.603,8	1,04	

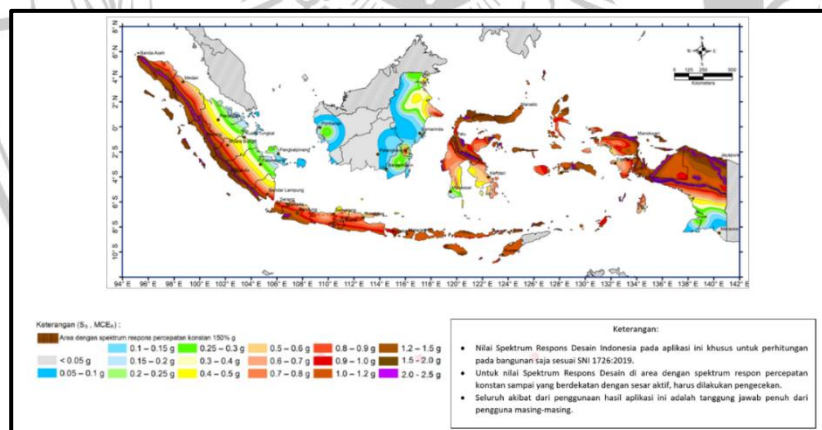
Hal ini menjadi faktor utama yang mendorong meningkatnya permintaan terhadap pembangunan gedung bertingkat. Bangunan gedung bertingkat adalah bangunan dengan lantai tambahan yang terhubung dengan struktur bawah dan tanah, yang dibagi menjadi dua jenis: bangunan bertingkat rendah (*low rise building*) dengan jumlah lantai maksimal empat lantai, dan bangunan bertingkat tinggi (*high rise building*) yang memiliki lebih dari empat lantai (Wicaksono 2022).

2.2 Gempa di Indonesia

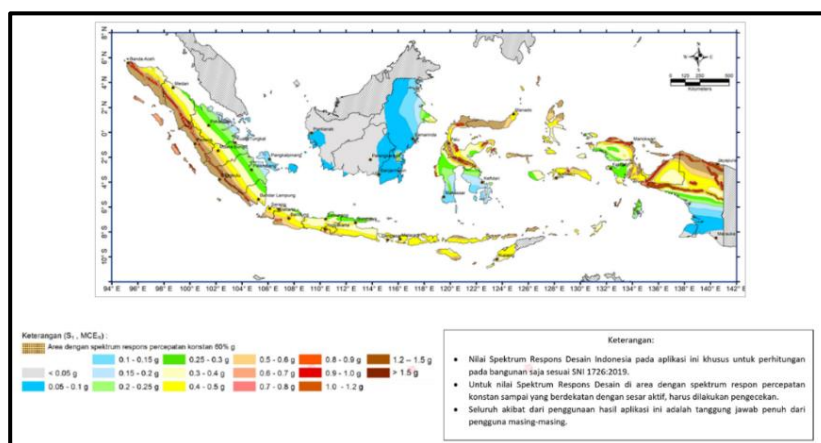
Indonesia Indonesia terletak di pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Pasifik, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Australia, sehingga wilayah ini memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap aktivitas seismik (Husain et al., 2021). Gempa bumi sendiri merupakan getaran di permukaan bumi yang disebabkan oleh pergerakan cepat pada lapisan batuan terluar. Peristiwa gempa bumi terjadi ketika energi yang tersimpan di dalam bumi, biasanya berupa tegangan pada batuan, dilepaskan secara mendadak. Energi ini kemudian merambat ke permukaan bumi melalui gelombang seismik. Oleh karena itu, gempa bumi dapat dipahami sebagai pergerakan tanah yang tiba-tiba atau serangkaian pergerakan yang dimulai dari suatu titik dan menyebar ke berbagai arah (Nanda Firnando, 2019).

2.2.1 Wilayah dan Daerah Rawan Gempa

Menurut SNI 1726:2019, pembagian zona gempa di Indonesia ditentukan berdasarkan dua parameter utama, yaitu S_s (percepatan dasar untuk periode pendek 0,2 detik) dan S_1 (percepatan dasar untuk periode 1 detik). Penjabaran lebih rinci mengenai nilai parameter S_s dan S_1 pada berbagai wilayah di Indonesia dapat ditemukan pada Gambar 2.1 dan 2.2 berikut.



Gambar 2.1 Peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar sb untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (redaman 5%)



Gambar 2.2 Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar sb untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (redaman 5%)

Berdasarkan persyaratan penelitian yang mengutamakan wilayah dengan intensitas gempa tinggi, Kota Lombok dipilih sebagai lokasi penelitian. Kota Lombok berada di zona gempa dengan nilai S_s berkisar antara 0,5-0,6 g dan S_1 antara 0,3-0,4 g, yang mencerminkan tingkat bahaya gempa yang signifikan. Nilai puncak percepatan tanah (PGA) Kota Lombok bernilai sebesar 0,465 g. Dimana hal ini menyebabkan lombok berada pada Skala Intensitas Gempabumi (SIG) dengan skala IV (Kerusakan Sedang). Penentuan Skala Intensitas Gempabumi (SIG) dalam dilihat pada Tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2.Skala Intensitas Gempabumi (SIG) BMKG

Skala SIG BMKG	Warna	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA (gal)
I	Putih	TIDAK DIRASAKAN (<i>Not Felt</i>)	Tidak dirasakan atau dirasakan hanya oleh beberapa orang tetapi terekam oleh alat.	I-II	< 2,9
II	Hijau	DIRASAKAN (<i>Felt</i>)	Dirasakan oleh orang banyak tetapi tidak menimbulkan kerusakan. Benda-benda ringan yang digantung bergoyang dan jendela kaca bergetar.	III-V	2,9-88

III	Kuning	KERUSAKAN RINGAN (<i>slight Damage</i>)	Bagian non struktur bangunan mengalami kerusakan ringan, seperti retak rambut pada dinding, atap bergeser kebawah, dan sebagian berjatuhan.	VI	89-167
IV	Jingga	KERUSAKAN SEDANG (<i>Moderate Damage</i>)	Banyak retakan terjadi pada dinding bangunan sederhana, sebagian roboh, kaca pecah, sebagian plester dinding lepas. Hampir sebagian besar atap bergeser kebawah atau jatuh. Struktur bangunan mengalami kerusakan ringan sampai sedang.	VII-VIII	168-564
V	Merah	KERUSAKAN BERAT (<i>Heavy Damage</i>)	Sebagian besar dinding bangunan permanen roboh. Struktur bangunan mengalami kerusakan berat. Rel kereta api melengkung.	IX-XII	> 564

Sumber: BMKG 2020

Studi yang dilakukan oleh Pusat Studi Gempa Nasional (PusGeN) terkait dengan gempa Lombok pada tahun 2018 menunjukkan bahwa nilai percepatan puncak tanah (PGA) pada Peta Gempa untuk Indonesia, yang merujuk pada SNI 1726:2012, untuk wilayah Lombok berkisar antara 0,4–0,5 g pada batuan dasar. Namun, nilai PGA tersebut dapat meningkat di permukaan tanah akibat amplifikasi yang dipengaruhi oleh kondisi tanah setempat. Secara teoritis, bangunan yang dirancang serta dibangun sesuai dengan prinsip-prinsip desain tahan gempa seharusnya hanya mengalami kerusakan struktural ringan.

Namun, berdasarkan pengamatan di lapangan, banyak bangunan yang mengalami kerusakan sedang hingga berat, bahkan ada yang runtuh akibat gempa. Hal ini menunjukkan bahwa banyak bangunan tersebut belum sepenuhnya dirancang dan dibangun mengikuti prinsip-prinsip desain bangunan tahan gempa. Selain itu, amplifikasi gempa yang disebabkan oleh efek geoteknik lokal kemungkinan besar terjadi, yang mengakibatkan nilai skala intensitas Modified Mercalli (MMI) yang

teramati di lapangan lebih tinggi dibandingkan dengan nilai MMI yang diprediksi melalui pemodelan.

Oleh karena itu, diperlukan perencanaan ulang dalam pembangunan, terutama untuk gedung bertingkat, dengan menggunakan metode yang lebih efektif dalam menahan gaya gempa pada intensitas yang lebih tinggi.

2.3 Sistem Struktur Konvensional atau *Fixed Base*

Struktur konvensional, atau yang dikenal sebagai *fixed base*, merupakan jenis bangunan di mana fondasinya diasumsikan sepenuhnya kaku dan tidak mengalami pergerakan atau deformasi saat menerima beban lateral, seperti gempa atau angin. Metode desain konvensional ini didasarkan pada prinsip memanfaatkan sifat inelastik struktur untuk mendisipasikan energi gempa (Fajri Y et al., 2022).

Namun, pada struktur *fixed base* atau sistem bangunan konvensional, kerusakan akibat gaya atau beban gempa sering terjadi. Kerusakan tersebut dapat diminimalkan dengan memperkuat elemen struktur, tetapi upaya ini sering kali tidak memberikan hasil yang optimal. Hal ini disebabkan oleh adanya kerusakan pada elemen struktural maupun non-struktural, yang dipengaruhi oleh rendahnya daktilitas struktur tersebut (BSI 2019).

Struktur *fixed base* pada bangunan bertingkat memiliki risiko tinggi terhadap gempa, karena fondasi yang dianggap kaku tidak mampu meredam energi seismik secara efektif. Hal ini dapat menyebabkan konsentrasi gaya gempa sepenuhnya ditransfer ke elemen struktural di atas fondasi, sehingga meningkatkan potensi kerusakan, terutama pada elemen-elemen yang memiliki daktilitas rendah. Keterbatasan ini menjadikan pendekatan *fixed base* kurang ideal untuk bangunan bertingkat yang berlokasi di wilayah rawan gempa.

2.4 Sistem Struktur Bangunan Tahan Gempa

Salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam pembangunan gedung bertingkat tinggi adalah gempa (Anzhari Eza Putra 2022). Struktur konvensional atau *fixed base* yang sering digunakan pada bangunan bertingkat memiliki kerentanan yang tinggi terhadap gempa, karena asumsi fondasi yang sepenuhnya kaku mengurangi kemampuan sistem untuk menyerap dan meredam energi seismik secara optimal. Oleh karena itu, diperlukan penerapan metode-metode penahan gempa pada

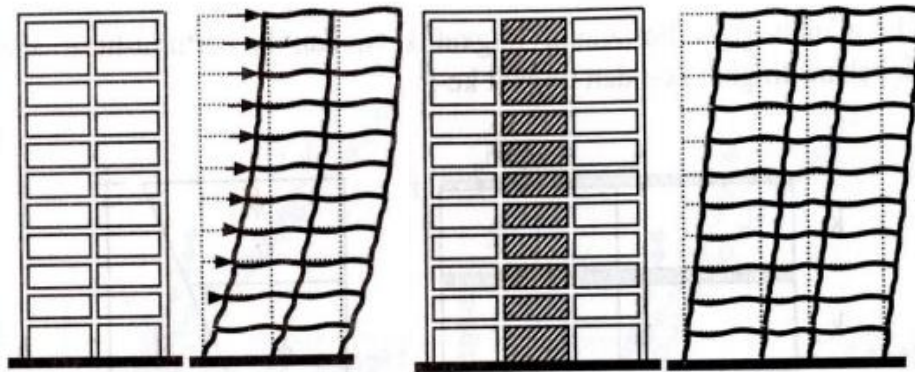
bangunan bertingkat. Hal ini bertujuan untuk memastikan stabilitas, kekakuan, dan keamanan seluruh elemen struktural. Sistem ini bertujuan untuk meminimalkan risiko.

Pada penelitian ini digunakan model bangunan gedung bertingkat dengan dua metode penahan gempa yang berbeda dari masing-masing variasi ketinggian yaitu bangunan bertingkat rendah, sedang, dan tinggi yang mana dijabarkan pada subbab berikut ini.

2.4.1 Metode Sistem Ganda

Sistem struktur ganda, atau *dual system*, adalah kombinasi antara rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dan dinding geser (shear wall) yang dirancang untuk meningkatkan kapasitas bangunan dalam menahan beban lateral, seperti gempa bumi. Sistem ganda ini terdiri dari kombinasi antara dinding geser sebagai sistem pemikul beban lateral dan rangka pemikul momen yang mana selain berfungsi untuk menahan gaya gravitasi, rangka pemikul momen ini juga dirancang untuk memikul sekurang-kurangnya 25% dari total beban lateral yang bekerja pada struktur (Annisa et al., 2020). Sisa beban lateral yang belum ditanggung oleh rangka pemikul momen akan didistribusikan dan dipikul oleh kedua sistem tersebut secara bersamaan, dengan mempertimbangkan adanya interaksi dinamis antara keduanya. Pendekatan ini memungkinkan distribusi beban lateral yang lebih optimal, sehingga meningkatkan kinerja struktural terhadap gaya gempa (Annisa et al., 2020).

Menurut penelitian yang telah dilakukan, penggunaan sistem ganda pada bangunan bertingkat tinggi dapat meningkatkan kekuatan dan kekakuan struktur, sehingga lebih efektif dalam menahan beban gempa dibandingkan dengan sistem tunggal (Yılmaz dan Öztürk 2020; Srinivasan dan Kumar 2019). Selain itu, sistem ganda juga memungkinkan pengurangan dimensi elemen struktur, seperti balok dan kolom, tanpa mengorbankan performa seismik bangunan. Dengan demikian, penerapan sistem struktur ganda menjadi pilihan yang efektif dalam perancangan bangunan tahan gempa, khususnya di wilayah dengan aktivitas seismik tinggi.



Sumber: Basit Al Hanif (2014)

(a)

(b)

Gambar 2.3 a) Defleksi pada portal struktur *fixed base*, b) Defleksi pada portal struktur sistem ganda dengan dinding geser & SRPMK

2.4.1.1 Desain Sistem Ganda

Desain sistem ganda dalam penelitian ini adalah kombinasi antara Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Dinding geser. Dalam penentuan desain ini, diperlukan pemenuhan persyaratan yang telah ditetapkan. Berikut ini akan dijelaskan langkah-langkah perancangan sistem ganda sesuai SNI 2847:2019.

a) Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) adalah desain struktur beton bertulang yang memiliki tingkat daktilitas yang tinggi (Honarto, R. J., et al 2019). Berikut ini persyaratan SRMPK mengacu pada SNI 2847:2019.

- Persyaratan dimensi kolom SRPMK pada SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2
 - Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak kurang dari 300 mm.

$$b_k \geq 300 \text{ mm} \quad (2.1)$$
 - Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya tidak kurang dari 0,4.

$$b_k/h_k \geq 0,4 \quad (2.2)$$
- Persyaratan dimensi balok SRPMK pada SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2
 - Bentang bersih (l_n) harus minimal 4d.

$$l_n \geq 4d \quad (2.3)$$

- Lebar penampang b_w , harus sekurang-kurangnya nilai terkecil dari $0,3h$ dan 250 mm .

$$b_w \geq 0,3h \quad (2.4)$$

$$b_w \geq 250 \text{ mm} \quad (2.5)$$

b) Dinding Geser (*Shearwall*)

Salah satu solusi efektif untuk mengatasi gaya yang dihasilkan oleh gempa pada bangunan gedung bertingkat tinggi adalah dengan menambahkan elemen dinding geser. Kehadiran dinding geser secara signifikan meningkatkan kekakuan dan kapasitas kekuatan struktur, sehingga mampu memberikan respons yang lebih optimal terhadap beban lateral akibat gempa (Dendy R U & Randy A 2024). Berikut ini persyaratan dinding geser mengacu pada SNI 2847:2019.

- Persyaratan ketentuan desain yang menentukan segmen vertikal dinding menurut SNI 2847:2019 Pasal R18.10.1.

Ketentuan dalam merancang segmen vertikal dinding ditentukan oleh rasio aspek segmen dinding pada bidang vertikal (h_w/l_w) dan rasio aspek penampang horizontal (l_w/b_w). Secara umum, ketentuan ini mengacu pada deskripsi yang disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 2.3 Ketentuan desain yang menentukan segmen vertikal dinding

Rasio tinggi bersih dan panjang segmen vertikal dinding (h_w/l_w)	Pajang segemen vertikal dinding/tebal dinding (l_w/b_w)		
	$(l_w/b_w) \leq 2,5$	$2,5 < (l_w/b_w) \leq 6,0$	$(l_w/b_w) > 6,0$
$(h_w/l_w) < 2,0$	dinding	dinding	dinding
$(h_w/l_w) \geq 2,0$	Pilar dinding	Pilar dinding	dinding

Dimana:

h_w = Tinggi dinding

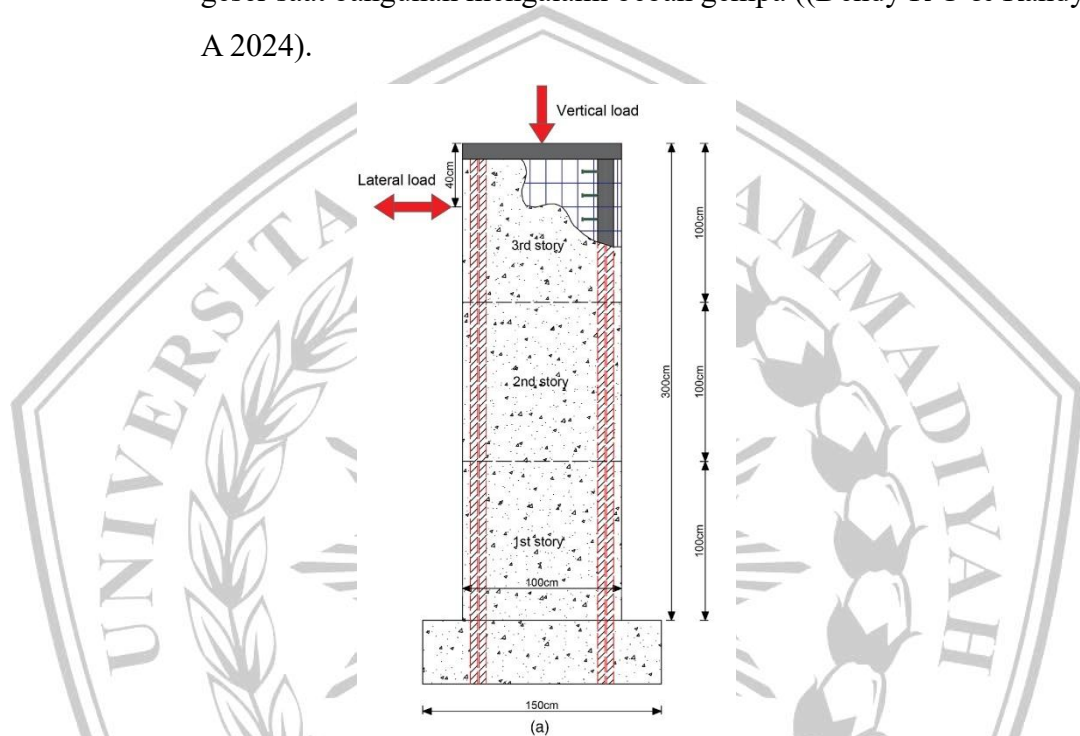
l_w = Lebar dinding

b_w = Tebal dinding

Ditinjau dari aspek rasio tinggi dan lebar yang mengacu pada tabel diatas maka terdapat dua jenis dinding geser, yaitu *slender wall* dan *squat wall*.

a) Dinding geser tipe *Slender wall*

Dinding geser tipe *slender wall* biasanya diaplikasikan pada struktur gedung bertingkat sedang hingga tinggi. Secara geometris, penampang dinding geser ini tergolong ramping, dengan perilaku inelastis yang didominasi oleh *ductile flexural yielding*. Hal ini ditandai dengan terbentuknya sendi plastis di bagian dasar dinding geser saat bangunan mengalami beban gempa ((Dendy R U & Randy A 2024).

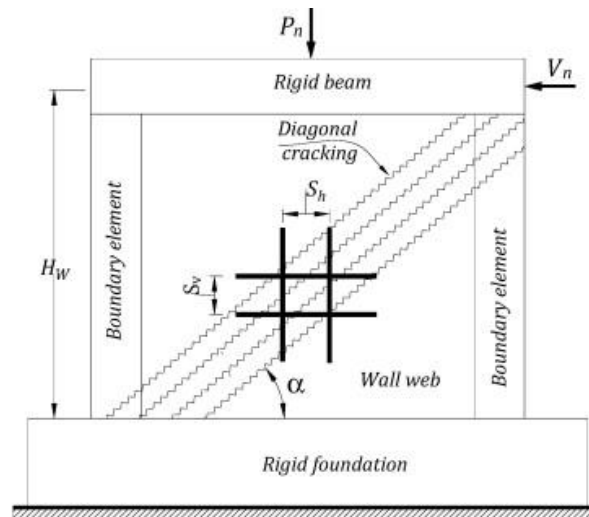


Sumber: Amirhoshang A et al (2021)

Gambar 2.4 Contoh desain dinding geser tipe *Slender wall*

b) Dinding geser tipe *Squat wall*

Dinding geser tipe *squat wall* biasanya digunakan pada struktur gedung bertingkat rendah. Jenis dinding geser ini memiliki kekuatan lentur yang tinggi (memiliki kekakuan terhadap lentur yang signifikan), tetapi relatif lemah terhadap gaya geser (Dendy R U & Randy A 2024).



Sumber: Wael Kassem (2015)

Gambar 2.5 Contoh desain dinding geser tipe *Squat wall*

- Persyaratan ketebalan dinding geser menurut SNI 2847:2019 Pasal 11.3.1.1

$$- h_{\min} = 100 \text{ mm} \quad (2.6)$$

atau

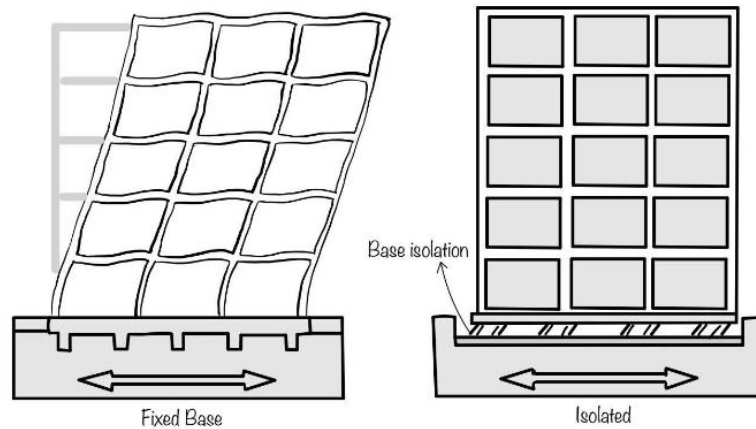
$$- h_{\min} = \frac{H_{\text{lantai}}}{25} \quad (2.7)$$

atau

$$- h_{\min} = \frac{l_w}{25} \quad (2.8)$$

2.4.2 Metode Base Isolasi Tipe Lead Rubber Bearing (LRB)

Base isolasi tipe *Lead Rubber Bearing* (LRB) adalah sistem yang dirancang untuk melindungi bangunan dari dampak beban lateral akibat gempa bumi. Sistem ini menggabungkan bahan karet elastomer dan inti timbal yang berfungsi sebagai penyerapan energi (Xie, L., & Zhao, D. 2021). Konsep dasar dari isolasi tipe LRB adalah dengan memisahkan struktur bangunan dari gerakan tanah, memungkinkan bangunan bergerak secara relatif terhadap tanah saat terjadi gempa. Bahan karet elastomer yang digunakan memberikan fleksibilitas, sementara inti timbal menyerap energi gempa untuk mengurangi getaran yang diteruskan ke bangunan.



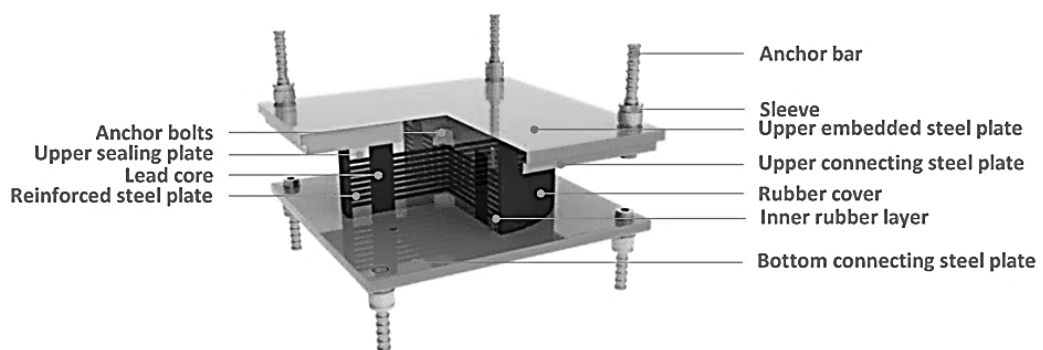
Sumber: EIGENPLUS.com

(a)

(b)

Gambar 2.6 a) Defleksi pada portal struktur *fixed base*, b) Defleksi pada portal dengan base isolasi

Base isolasi tipe *Lead Rubber Bearing* (LRB) terdiri dari beberapa komponen, yaitu *flange* (sayap) yang menghubungkan isolator dengan pondasi dan struktur atas, karet peredam (*damping rubber*) yang berfungsi untuk meredam gaya selama kejadian gempa, pelat baja tulangan (*reinforcing steel plate*) yang memperkuat karet, serta penutup karet (*cover rubber*) yang melindungi komponen isolasi. Pemodelan desain isolasi dasar *Lead Rubber Bearing* (LRB) pada *software* SAP200 dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut ini.



Gambar 2.7 Model desain *Lead Rubber Bearing* (LRB)

2.4.2.1 Desain *Lead Rubber Bearing* (LRB)

Desain base isolasi tipe *Lead Rubber Bearing* (LRB) dalam penelitian ini ditentukan mengacu pada perpaduan UBC 97 V2, SNI 1726:2019, dan (Constantinou et al., 2011) yang mana ditentukan berdasarkan langkah-langkah berikut ini.

- Perhitungan diameter rubber

$$- D_r = D_B - D_L \quad (2.9)$$

Dimana:

D_r = Diameter Rubber

D_B = *Bonded Rubber Diameter*

D_L = *Lead Core Diameter*

- Perhitungan ketebalan karet

$$- T_r = D_L \quad (2.10)$$

Dimana:

T_r = Ketebalan karet

D_L = *Lead Core Diameter*

- Total jumlah unit isolator = Total Jumlah tumpuan kolom pada tumpuan dasar
- Modulus Geser (G) = 0,385 G
- Perhitungan *design dan maximum displacements*

$$- d_D = (g \cdot S_{MS} \cdot T_D) / (B_D \cdot 4\pi^2) \quad (2.11)$$

$$- d_M = (g \cdot S_{M1} \cdot T_M) / (B_M \cdot 4\pi^2) \quad (2.12)$$

Dimana:

d_d = Minimum *displacement* dalam arah horizontal

d_M = Maksimum *displacement* dalam arah horizontal

S_{MS} = parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek

S_{M1} = parameter spektrum respons percepatan pada periode 1 detik

B_D = Damping coefficient

B_M = Faktor redaman

T_D = Periode Desain

T_M = *Periode Effective*

g = gravitasi

- Perhitungan *yield displacement*

$$- D_y = Q_d / (9 \cdot K_d) \quad (2.13)$$

Dimana:

D_y = yield displacement

Q_d = characteristic strength

K_d = Effective stiffness

- Perhitungan *effective vertical stiffness*

$$- K_v = (A_r/T_r) \cdot ((1/E) + 1/(4 \cdot (3 \cdot K))) \quad (2.14)$$

Dimana:

K_v = Vertical stiffness

A_r = Rubber Area

T_r = Total Thickness of Rubber

E = Compression Modulus

K = Bulk Modulus ; 2000 Mpa

- Perhitungan *effective horizontal stiffness*

$$- K_{eff} = (Q_{D_{tot}} + (K_{d_{tot}}(Y/1000)))/(No. isolator unit/1000)/Y \quad (2.15)$$

Dimana:

K_{eff} = Effective horizontal stiffness

$Q_{D_{tot}}$ = Sistem characteristic strength

$K_{d_{tot}}$ = Sistem post elastic stiffness

Y = Yield Displacement Area

$$- \text{Non Linear Stiffness} = K_{d_{tot}}/No. unit isolator \quad (2.16)$$

Dimana:

$K_{d_{tot}}$ = Sistem post elastic stiffness

- Perhitungan *Yield Strength*

$$- \text{Yiel Strength} = (Q_{d_{tot}} \cdot D_y/1000)/ No unit isolator \quad (2.17)$$

Dimana:

$Q_{D_{tot}}$ = Sistem characteristic strength

D_y = yield displacement Area

- Potion Yield Stiffness Ratio = $\frac{\text{Nonlinear Stiffness}}{\text{Linear Effective Stiffness}}$ (2.18)

- $B_D = \text{Disspated Energy}/(2 \cdot K_D(D_D/1000)^2)$ (2.19)

Dimana:

K_D = Effective stiffness

D_D = Minimum displacement dalam arah horizontal

2.5 Pembebanan

Perencanaan struktur gedung harus memperhitungkan daya tahan terhadap berbagai jenis beban yang mempengaruhi bangunan, termasuk beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa.

2.5.1 Beban Mati

Menurut SNI 1727-2020 pasal 3.1.1, aspek beban mati didefinisikan sebagai berat total material konstruksi yang terpasang pada bangunan, yang meliputi komponen-komponen arsitektural dan struktural. Berdasarkan PPPURG 1987, berat material dan konstruksi ini dirangkum dalam Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Beban mati pada gedung

BAHAN BANGUNAN	Berat Jenis
Baja	7.850 Kg/m ³
Batu Alam	2.600 Kg/m ³
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1.500 Kg/m ³
Batu karang (berat tumpuk)	700 Kg/m ³
Batu Pecah	1.450 Kg/m ³
Besi tuang	7.250 Kg/m ³
Beton	2.200 Kg/m ³
Beton Bertulang	2.400 Kg/m ³
Kayu (Kelas I)	1.000 Kg/m ³
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1.650 Kg/m ³
Pasangan bata merah	1.700 Kg/m ³
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung)	2.200 Kg/m ³
Pasangan batu cetak	2.200 Kg/m ³
Pasangan batu karang	1.450 Kg/m ³
Pasir (kering udara sampai lembab)	1.600 Kg/m ³
Pasir (jenuh air)	1.800 Kg/m ³
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1.850 Kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1.700 Kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2.000 Kg/m ³
Timah hitam (timbel)	11.400 Kg/m ³
KOMPONEN GEDUNG	Berat Jenis
Adukan, per cm tebal:	
- dari semen	21 Kg/m ²
- dari kapur, semen merah atau tras	17 Kg/m ²

Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14 Kg/m ²
Dinding pasangan bata merah	
- satu bata	450 Kg/m ²
- setengah batu	250 Kg/m ²
Dinding pasangan batako, berlubang:	
- tebal dinding 20 cm (HB 20)	200 Kg/m ²
- tebal dinding 10 cm (HB 10)	120 Kg/m ²
Dinding pasangan batako, tanpa lubang:	
- tebal dinding 15 cm	300 Kg/m ²
- tebal dinding 10 cm	200 Kg/m ²
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari:	
- semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11 Kg/m ²
- kaca, dengan tebal 3-5 mm	10 Kg/m ²
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup 200 kg/m ² 40 kg/m ²	40 Kg/m ²
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,8 m	7 Kg/m ²
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	50 Kg/m ²
Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m ² 40 kg/m bidang atap	40 Kg/m ²
Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa gordeng	10 Kg/m ²
Penutup lantai dab ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24 Kg/m ²
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11 Kg/m ²

Sumber: PPPURG 1978

2.5.2 Beban Hidup

Berdasarkan SNI 1727-2020 Pasal 3.1.1, beban hidup didefinisikan sebagai beban yang timbul akibat aktivitas penghuni atau penggunaan bangunan gedung maupun struktur lainnya. Beban hidup ini mencakup berbagai beban yang dihasilkan dari keberadaan dan aktivitas penghuni serta penggunaan ruang di dalam bangunan, seperti beban yang dihasilkan oleh perabotan, peralatan, serta individu yang berada di dalam ruang tersebut. Beban hidup dapat berfluktuasi tergantung pada jenis dan fungsi bangunan, dimana untuk ruang hunian, beban hidup umumnya diukur

berdasarkan perkiraan jumlah penghuni dan distribusi aktivitas, sedangkan pada bangunan komersial atau publik, perhitungan ini dapat disesuaikan dengan intensitas penggunaan ruang.

Tabel 2.5 Beban hidup pada gedung

Hunian	Beban Merata psf (kN/m ²)	Beban terpusat lb (kN)
Konstruksi pelat lantai finishing ringan (pada area linxlin (25 mm x 25 mm)		200 (0.89)
Jalur penyelamatan terhadap kebakaran Hunian satu keluarga saja	100 (4.79) 40 (1.92)	
Tangga permanen	SNI 1727 2020 pasal 4.5	
Garasi/parkir Mobil penumpang saja Truk dan bus	40 (1.92) ^{a,b,c}	
Susunan tangga, rel pengaman dan batang pegangan	SNI 1726 2019 pasal 4.5	
Helipad	60 (2.87) ^{de} tidak boleh direduksi	e.f.g
Rumah sakit Ruang operasi laboratorium Ruang pasien	60 (2.87) 40 (1.92)	1000 (4.5) 1000 (4.5)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3.83)	1000 (4.5)
Perpustakaan Ruang baca Ruang penyimpanan Koridor diatas lantai pertama	60 (2.87) 150 (7.18) ^{a,h} 80 (3.83)	1000 (4.5) 1000 (4.5) 1000 (4.5)
Pabrik Ringan Berat	125 (6.00) ^a 250 (11.97) ^a	2000 (8.9) 3000 (13.4)
Gedung perkantoran Ruang arsip dan komputer harus dirancang utuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian Lobi dan koridor lantai pertama Kangor Koridor diatas lantai pertama	100 (4.79) 50 (2.4) 80 (3.83)	2000 (8.9) 2000 (8.9) 2000 (8.9)
Lembaga hukum Balok sel	40 (1.92) 100 (4.79)	

Sumber: SNI 1727:2020

Koridor		
Rumah tinggal		
Hunian (satu keluarga dan dua keluarga)	10 (0.48)	
Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang	20 (0.96) ^m	
Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang	30 (1.44)	
Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur	40 (1.92)	
Semua ruang terkecuali tangga dan balkon	40 (1.92)	
Semua hunian rumah tinggal lainnya	100 (4.79)	

Sumber: SNI 1727:2020

2.5.3 Beban Angin

Beban angin merujuk pada gaya yang diterapkan pada bangunan atau elemennya akibat perbedaan tekanan udara. Beban ini biasanya berpengaruh pada bangunan dengan 25 lantai atau lebih (Firnando, 2019). Oleh karena itu, dalam hal ini, beban angin dapat diabaikan karena struktur bangunan hanya memiliki 5 lantai, jauh di bawah batas 25 lantai, dan tidak menggunakan atap segitiga dengan rangka kuda-kuda.

2.5.4 Beban Gempa

Beban gempa merupakan beban yang timbul sebagai reaksi terhadap percepatan getaran tanah saat gempa terjadi. Dalam perancangan struktur bangunan tahan gempa, berdasarkan pedoman yang tercantum dalam SNI 1726:2019, langkah pertama yang perlu diambil adalah menganalisis faktor prioritas, menetapkan kategori risiko bangunan, dan menentukan kelas situs untuk desain seismik.

Struktur gedung harus dilengkapi dengan sistem penahan gaya lateral dan vertikal yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan, serta kapasitas disipasi energi yang memadai. Sistem ini harus dirancang untuk menahan gerakan tanah desain sesuai dengan kebutuhan deformasi dan kekuatan yang telah ditentukan. Gerakan tanah desain diasumsikan terjadi pada kedua arah horizontal struktur gedung (Firnando 2019). Kecukupan sistem struktur tersebut harus diverifikasi melalui

pembuatan model matematis dan evaluasi terhadap model untuk mengukur pengaruh gerakan tanah desain.

Pada penelitian ini penyusun menggunakan Analisa Respon Spectrum Analisis (RSA) dimana berdasarkan SNI 1726:2019 dianalisa dengan langkah-langkah pada subbab berikut ini.

2.5.4.1 Klasifikasi Situs dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Dalam penelitian ini, struktur bangunan yang dianalisis diasumsikan sebagai gedung Apartemen dengan kategori risiko II. Untuk perancangan seismik, klasifikasi situs diasumsikan berada pada kelas SD (tanah sedang). Asumsi ini diambil karena penulis tidak melakukan analisis perhitungan geoteknik, dan dengan harapan dapat memberikan gambaran yang lebih realistis mengenai perilaku struktur terhadap beban seismik, sekaligus memastikan desain bangunan memenuhi standar keselamatan yang berlaku untuk mitigasi bencana gempa bumi. Adapun tabel klasifikasi situs menurut SNI 1726:2019 disajikan sebagai berikut.

Tabel 2.6 Tabel klasifikasi situs (SNI 1726:2019)

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

	<ul style="list-style-type: none"> - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan H > 7,5m dengan indeks plastisitas PI > 75) -Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan H > 35m dengan Su < 50 kPa
--	--

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

Tabel 2.7 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (SNI 1726:2019)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung 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, peternakan, 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, II, 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 – Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Bioskop – Gedung pertemuan – Stadion – Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat – Penjara – Bangunan untuk orang jompo 	III

<p>Gedung dan non gedung, 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>Gedung dan non gedung, tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas penting, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - 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, badai angin, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pust 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 	IV

Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	
--	--

Tabel 2.8 Faktor keutamaan gempa (SNI 1726:2019)

Kategori Risiko	Faktor keutamaan gempa, Ie
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

2.5.4.2 Parameter Spektrum Respons Spektra Percepatan Gempa

Parameter spektrum respons percepatan gempa terdiri dari parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}), yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs. Kedua parameter tersebut harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 2.21 dan 2.22 berikut.

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2.20)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.21)$$

Dimana:

S_s : merupakan parameter respons spektral percepatan gempa yang terpetakan untuk periode pendek.

S_1 : merupakan parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 detik.

Kemudian dapat dihitung parameter spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan pada periode 1 detik (S_{D1}) menggunakan persamaan berikut ini.

$$S_{DS} = \mu \cdot S_{MS} \quad (2.22)$$

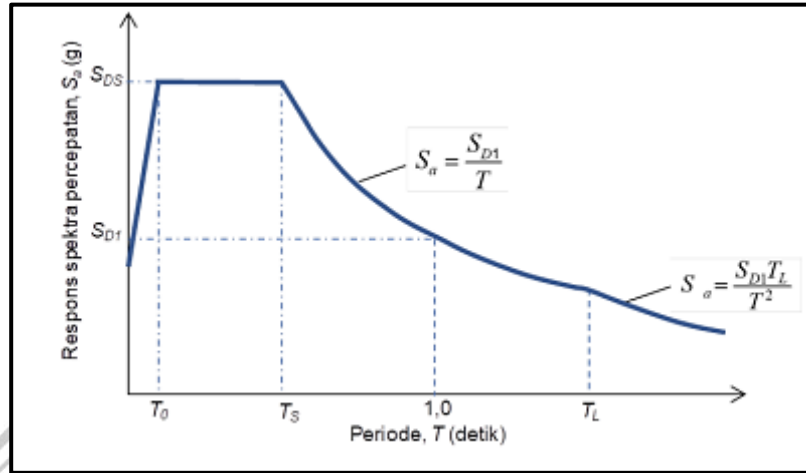
$$S_{D1} = \mu \cdot S_{M1} \quad (2.23)$$

Dimana:

S_{DS} : merupakan respon spektra percepatan desain untuk periode pendek

S_{D1} : merupakan respon spektra percepatan desain untuk periode 1 detik

μ : merupakan Konstanta yang bergantung pada regulasi perencanaan bangunan yang diterapkan, contohnya pada IBC-2009 dan ASCE 7-10 dengan periode gempa 2500 tahun, menggunakan nilai μ sebesar 2/3.



Gambar 2.7 Peta transisi periode panjang spektrum respons desain (SNI 1726:2019)

Mengacu pada SNI 1726:2019 dalam penentuan kura spektrum respons desain harus dikembangkan berdasarkan ketentuan berikut.

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan berikut ini.

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.24)$$

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

3. Untuk periode yang lebih besar dari T_s tetapi kurang dari atau sama dengan T_L , nilai respons spektral percepatan desain, S_a , ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}. \quad (2.25)$$

4. Untuk periode yang lebih besar dari T_L , nilai respons spektral percepatan desain S_a , dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (2.26)$$

Untuk nilai T_0 dan T_s dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$T_0 = 0.2 T_s \quad (2.27)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.28)$$

Keterangan :

S_{DS} : merupakan respon spektra percepatan desain untuk periode pendek

S_{D1} : merupakan parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 detik.

T : merupakan periode getar fundamental struktur.

2.5.4.3 Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan dengan kategori desain seismik sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam SNI 1726:2019 Untuk struktur yang termasuk dalam kategori risiko I, II, atau III, yang terletak di lokasi dengan parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik (S_1) dengan nilai lebih besar dari atau sama dengan 0,75, struktur tersebut wajib diklasifikasikan ke dalam kategori desain seismik E. Tabel kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan dapat dilihat pada Tabel 2.9- Tabel 2.10 berikut.

Tabel 2.9 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek (SNI 1726:2019)

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} > 0.167$	A	A
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	B	C
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	C	D
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 2.10 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik (SNI 1726:2019)

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} > 0.067$	A	A
$0.067 \leq S_{D1} < 0.133$	B	C
$0.133 \leq S_{D1} < 0.200$	C	D
$0.200 \leq S_{D1}$	D	D

2.5.4.5 Faktor Reduksi Gempa

Dalam penelitian ini, penyusun menggunakan sistem struktur Dual System yang terdiri dari Dinding Geser dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), serta Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen dengan base isolasi.

Berdasarkan SNI 1726:2019, setiap sistem struktur yang dirancang untuk menahan gaya seismik harus didesain dan dirinci sesuai dengan persyaratan khusus yang berlaku untuk sistem tersebut, sebagaimana diatur dalam dokumen acuan yang relevan, yang tercantum dalam Tabel 2.9 berikut ini.

Tabel 2.11 Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem Penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons R^a	Faktor kuat lebih sistem Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D^a	E^a	F^a
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus ^{gh}	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI

bertulang biasa ^g								
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TB	TB	TB
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB
C. Sistem rangka pemikul momen								

1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^k	TI ^k	TI ^k
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^l	TI ^l	TI ^l
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit	6	3	5½	48	48	30	TI	TI

terkekang parsial pemikul momen								
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁿ	3½	3°	3½	10	10	10	10	10

Catatan: ° TB = Tidak Dibatasi dan TI = Tidak Dijinkan

^a faktor modifikasi respon, ^b faktor pembesaran defleksi, ^d yang dibatasi, sistem penahan gaya gempa^g harga tabel faktor kuat lebih, ^h untuk struktur yang dikenai kategori disain seismik D atau E, ⁱ untuk struktur yang dikenai kategori disain seismik E.

2.6 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan Budiono dan Supriatna (2011) dalam Firnando (2019), standar kobinasi pembebanan dijabarkan sebagai berikut ini.

1. 1,4 DL
2. 1,2DL + 1,6LL
3. $1,2DL + 1LL \pm 0,3 (p_{QE} + 0,2S_{DS} D_L) \pm 1 (p_{QE} + 0,2S_{DS} D_L)$
4. $1,2DL + 1LL \pm 1(p_{QE} + 0,2S_{DS} D_L) \pm 0,3 (p_{QE} + 0,2S_{DS} D_L)$
5. $0,9DL \pm 0,3 (p_{QE} + 0,2S_{DS} D_L) \pm 1(p_{QE} + 0,2S_{DS} D_L)$
6. $0,9DL \pm 1 (p_{QE} + 0,2S_{DS} D_L) \pm 0,3(p_{QE} + 0,2S_{DS} D_L)$

Dimana:

D = Beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafond, partisi tetap, tangga, dan peralatan layan tetap.

L = Beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain – lain

E = Beban gempa

2.7 Respon Dinamik Struktur

Respon dinamik struktur mengacu pada perilaku struktur saat menghadapi beban dinamis, seperti gempa bumi atau angin kencang. Analisis Dinamis merupakan analisis yang memperhitungkan faktor kekakuan dan redaman yang tidak dikhususkan pada perhitungan statik (Norman W A S et al., 2013). Analisis dinamis penting untuk memastikan bahwa struktur dapat menahan beban dinamis tanpa mengalami kerusakan signifikan. Adapun beberapa aspek yang ditinjau dalam menganalisa pengaruh respon dan perilaku dinamik bangunan adalah sebagai berikut.

2.7.1 Periode Fundamental (T_a)

Berdasarkan SNI 1726:2019 didapat bahwa Periode fundamental struktur (T), dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji. Dimana terdapat beberapa syarat dalam penentuan nilai periode fundamental struktur, yaitu:

- Periode Fundamental Pendekatan (T_a)

Periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.29)$$

$$T_{aMax} = T_a \times C_u \quad (2.30)$$

Dimana:

h_n = ketinggian struktur (m), diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

C_t = Ditentukan oleh tabel 2.12

Tabel 2.12 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
<ul style="list-style-type: none"> • Rangka baja pemikul momen • Rangka beton pemikul momen 	0,0724 0,0466	0,8 0,9
Rangka baja dengan brsing eksentris	0,0731	0,75

Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap bentuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Tabel 2.13 Koefisien untuk batas pada periode yang dihitung

Parameter ercepatan 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

Dari Tabel 2.12 diketahui bahawa untuk tipe struktur model metode pertama yaitu menggunakan sistem ganda dengan perpaduan dinding geser dan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPMK) dapat diambil nilai periode pendekatan $C_t = 0,0488$, $x = 0,75$. Sedangkan untuk tipe struktur model metode kedua yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan base isolasi dapat diambil nilai periode pendekatan yang sama yaitu $C_t = 0,0488$, $x = 0,75$. Berdasarkan peta wilayah gempa Kota Lombok termasuk pada parameter persepatan respon spektra desain pada 1 detik (S_{D1}) dengan nilai 0,553 maka koefisien C_u pada Tabel 2.12 diambil sebesar 1,4.

2.7.2 Gaya Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik adalah total gaya lateral akibat gempa yang diterima oleh dasar struktur bangunan. Penentuan gaya dasar seismik pada Sistem ganda dan Base Isolasi sedikit berbeda yang mana hal ini dijelaskan lebih lanjut pada poin-poin berikut ini.

- Gaya Dasar Seismik Pada Struktur Sistem Ganda

Merujuk pada SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1, gaya geser dasar (V) dalam arah yang ditentukan harus dihitung berdasarkan persamaan berikut ini.

$$V = C_s \cdot W \quad (2.31)$$

Dimana:

C_s = koefisien respons seismik

W = berat total gedung

Dimana:

Nilai C_s yang dihitung tidak perlu melebihi

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.32)$$

Dan tidak lebih kecil dari

$$C_s = 0,044 \times S_{DS} \times I_e$$

S_{D1} = parameter percepatan respons spektral desain pada periode sebesar 1,0 detik

T = periode getar struktur (detik)

S_{DS} = parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek

R = koefisien modifikasi respons berdasarkan Tabel 2.9

I_e = faktor keutamaan gempa berdasarkan Tabel 2.5

Jika persyaratan belum memenuhi maka faktor skala gempa perlu dikalikan dengan pembesaran seperti pada persamaan berikut ini.

$$\text{Faktor skala} = 0,85 \times \frac{C_s \times W}{V} \quad (2.33)$$

- Gaya Dasar Seismik Pada Struktur Base Isolasi

Analisa gaya dasar seismik pada struktur base isolasi diatur dalam SNI 1726:2019 sebagaimana dijabarkan pada poin-poin berikut ini.

a) Gaya Geser Diatas Struktur

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 12.5.4.2 menyatakan bahwa struktur di atas tingkat dasar harus dirancang dan dibangun untuk menahan gaya geser minimum (V_s), sesuai dengan semua ketentuan yang berlaku untuk struktur non-isolasi. Perencanaan ini dilakukan dengan mempertimbangkan batas atas dan batas bawah properti sistem isolasi, sebagaimana ditentukan dalam persamaan 2.23 berikut

$$V_s = \frac{K_M \times D_M}{R_1} \quad (2.34)$$

Dimana:

R_1 = koefisien numerik yang berhubungan dengan tipe sistem pemikul gaya seismik di atas sistem isolasi.

D_M = gaya rencana seismik lateral tak tereduksi atau geser pada elemen-

elemen di atas tingkat dasar.

a) Gaya Geser Dibawah Struktur

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 12.5.4.1 menyatakan bahwa sistem isolasi, fondasi, dan semua elemen-elemen struktural di bawah tingkat dasar harus direncanakan dan dibangun untuk menahan gaya seismik lateral minimum, V_b . Perencanaan ini harus mengikuti semua persyaratan yang berlaku untuk struktur non-isolasi, sebagaimana diatur dalam persamaan 2.24 berikut ini.

$$V_b = k_M x D_M \quad (2.35)$$

Dimana:

k_M = Kekakuan efektif, dalam kN/mm, dari sistem isolasi pada perpindahan maksimum D_M .

D_M = perpindahan maksimum, dalam mm, di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau.

b) Gaya Geser Di Atas Pondasi

Gaya geser di atas pondasi untuk struktur base isolasi ditentukan dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1. Dimana $V_{dinamik} \geq V_{statik}$.

2.7.3 Partisipasi Massa

Menurut kajian Budiono dan Supriatna (2011), parameter respons terkombinasi, yang dihasilkan dari respons tiap ragam menggunakan spektrum respons gempa, menggambarkan respons maksimum struktur. Namun, pada umumnya, nilai maksimum respons masing-masing ragam tidak terjadi secara bersamaan, sehingga penjumlahan langsung dari respons maksimum tersebut tidak dapat dilakukan (Hari, 2017).

Berdasarkan SNI 1726:2019, analisis struktur wajib dilakukan untuk menentukan ragam getar alami pada suatu struktur. Analisis tersebut harus mencakup jumlah ragam yang memadai agar partisipasi massa ragam terkombinasi mencapai 100% dari massa total struktur. Namun, sebagai alternatif, diperbolehkan untuk menyertakan jumlah ragam minimum, asalkan massa ragam terkombinasi mencapai setidaknya 90% dari massa aktual dalam setiap arah horizontal ortogonal yang dianalisis oleh model.

2.7.4 Simpangan

Berdasarkan Pasal 7.8.6 SNI 1726:2019, simpangan antar lantai memiliki satu kriteria kinerja, yaitu kinerja pada batas ultimit. Perhitungan simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) dilakukan dengan menghitung perbedaan defleksi antara pusat massa lantai yang berada pada bagian atas dan bawah yang menjadi objek tinjauan. Jika pusat massa tidak berada pada satu garis vertikal, defleksi di lantai dasar dapat dihitung menggunakan proyeksi vertikal dari pusat massa lantai di atasnya.

Apabila pendekatan desain tegangan izin digunakan, simpangan antar lantai (Δ) harus dihitung dengan gaya gempa tingkat kekuatan tanpa penerapan reduksi. Nilai simpangan antar lantai ini perlu diperbesar sesuai dengan Persamaan 2.25 dibawah ini.

$$\Delta_{xe} = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.35)$$

Dimana:

δ_x = defleksi pusat massa di tingkat x.

Δ_{xe} = defleksi pada lokasi yang disyaratkan.

C_d = Faktor pembesaran defleksi.

I_e = Faktor keutamaan gempa

Sesuai dengan SNI 1726:2019, simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Nilai Δ ini tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin (Δ_a) yang ditentukan dalam Tabel 20 SNI 1726:2019. Hal ini memastikan bahwa struktur gedung tetap berada dalam batas simpangan yang diizinkan untuk menjamin keamanan dan kinerjanya selama peristiwa seismik.

Tabel 2.14 Simpangan antar tingkat izin berdasarkan SNI 1726:2019

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}^c$	$0,015h_{sx}^c$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010h_{sx}^c$	$0,010h_{sx}^c$	0,02510
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}^c$	$0,007h_{sx}^c$	$0,007h_{sx}^c$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}^c$	$0,015h_{sx}^c$	$0,010h_{sx}^c$

Catatan: h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat-x.

^cTidak boleh ada batasan simpangan antar tingkat

Simpangan dikategorikan menjadi *drift Storey* dan *drift Ratio* yang mana hal ini telah ditentukan dalam SNI 1726:2019 sebagaimana dijabarkan pada poin-poin berikut ini.

a) *Drift Storey* atau simpangan antar tingkat

Menurut SNI 1726:2019 pasal 7.8.6 dijelaskan bahwa Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Adapun penentuan simpangan antar tingkat ini dihitung menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\delta_{e(n+1)} - \delta_{e(n)} \quad (2.36)$$

Dimana:

$\delta_{e(n+1)}$ = Simpangan atau perpindahan lateral pada tingkat ke-(n+1).

$\delta_{e(n)}$ = Simpangan atau perpindahan lateral pada tingkat ke-n

b) *Drift Ratio* atau simpangan antar tingkat dengan tinggi tingkat

Pada bangunan bertingkat, pengendalian deformasi (*displacement govern*) dapat terjadi pada balok biasa atau balok kantilever dengan bentang panjang, serta pada gedung bertingkat tinggi (*high-rise building*). Lendutan balok biasanya diproporsikan terhadap panjang bentang balok, sedangkan simpangan antar tingkat dihitung berdasarkan perbandingan terhadap tinggi tingkat, yang dikenal sebagai *drift ratio* (Firnando 2019).

Drift ratio adalah perbandingan antara simpangan antar tingkat dengan tinggi tingkat, sebagaimana didefinisikan dalam Persamaan berikut ini.

$$\text{Drift Ratio} = \frac{\Delta}{h} \quad (2.37)$$

Dimana:

Δ = Simpangan antar tingkat

h = Tinggi tingkat

