

2 LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang membahas tentang sistem dilatasi pada gedung adalah sebagai berikut:

1. *Behaviour of T Layout Structures With and Without Dilatation* (Sunaryati dkk, 2021)

Penelitian ini menganalisis perilaku struktur gedung beton bertulang 8 lantai ber-*layout* T dengan dan tanpa sistem dilatasi. Analisis beban gempa yang digunakan adalah analisis linier dinamik *time history*. Penelitian ini menggunakan jenis dilatasi balok kantilever dan tidak terdapat *shear wall* pada struktur. Model yang terpisah akibat dilatasi dijalankan pada *file* yang berbeda.

Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa dilatasi dapat menghindari terjadinya ketidakberaturan konfigurasi horizontal *type 2* yaitu ketidakberaturan sudut dalam. Dilatasi juga dapat mengubah pola getar struktur bangunan. Pada awalnya pola getar struktur *mode 1* bangunan tanpa dilatasi adalah rotasi. Setelah adanya pemisahan struktur pola getar berubah menjadi translasi pada *mode 1* dan 2. Berdasarkan nilai *displacement* jarak yang dibutuhkan untuk menghindari tabrakan antara struktur yang dipisahkan adalah 93,225 mm.

2. *Review of Seismic Assessment for High Rise Building Isolated by Dilatation to Minimize Irregularity* (Fajari & Sumarsono, 2018)

Penelitian ini menganalisis perilaku struktur gedung beton bertulang 25 lantai ber-*layout* U dengan dan tanpa sistem dilatasi. Analisis beban gempa yang digunakan adalah analisis linier dinamik *response spectrum*. Penelitian ini menganalisis sistem dilatasi dua kolom dan balok kantilever. Selain itu, Penelitian ini juga menganalisis struktur dengan *shear wall* dan tanpa *shear wall*. Model yang terpisah akibat dilatasi dijalankan pada satu *file*.

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dilatasi dua kolom lebih efektif digunakan dibandingkan dilatasi balok kantilever. Penempatan dilatasi yang efektif adalah pada sumbu lemah bangunan. Balok kantilever dapat

dipertimbangkan untuk dilatasi apabila struktur bangunan dilengkapi dengan *shear wall*. *Shear wall* tidak hanya memperbaiki perilaku struktur tetapi juga meningkatkan kapasitas struktur. Namun, pada sistem dilatasi dua kolom *shear wall* tidak berdampak besar.

3. Analisis Perilaku Struktur Gedung Ber-Layout L Delapan Lantai dengan Penambahan Sistem Dilatasi (Salma Sabila dkk, 2024)

Penelitian ini menganalisis perilaku struktur gedung beton bertulang 8 lantai ber-*layout* L dengan dan tanpa sistem dilatasi. Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan keefektifan struktur antara struktur dengan dilatasi dan tanpa dilatasi. Analisis beban gempa yang digunakan adalah analisis linier dinamik *response spectrum*. Penelitian ini menggunakan jenis dilatasi dua kolom dan terdapat *shear wall* pada struktur. Model yang terpisah akibat dilatasi dijalankan pada *file* yang berbeda.

Hasil penelitian ini adalah dilatasi dapat mengurangi kekakuan bangunan. Konsentrasi tegangan yang besar akibat beban lateral yang bekerja dapat dicegah dengan adanya dilatasi. Dilatasi dapat menghindari terjadinya ketidakberaturan sudut dalam, namun menimbulkan terjadinya ketidakberaturan konfigurasi yang lain. Nilai periode fundamental struktur, simpangan antar lantai, dan p -delta struktur tanpa sistem dilatasi masih lebih kecil dibandingkan struktur dengan sistem dilatasi. Namun, gaya geser dasar terkecil terdapat pada struktur dengan sistem dilatasi. Jarak dilatasi minimal adalah 50,15 mm.

4. Analisis Dilatasi pada Beton Bertulang Studi Kasus Rumah Sakit Limbangan (Pinanggih & Yogaswara, 2023)

Penelitian ini menganalisis perilaku struktur gedung beton bertulang 3 lantai ber-*layout* T dengan sistem dilatasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis perilaku struktur dengan adanya penambahan dilatasi. Analisis beban gempa yang digunakan adalah analisis linier dinamik *time history*. Penelitian ini menggunakan jenis dilatasi balok kantilever dan tidak terdapat *shear wall* pada struktur. Model yang terpisah akibat dilatasi dijalankan pada *file* yang berbeda.

Hasil penelitian ini adalah nilai periode fundamental struktur dan simpangan antar lantai struktur-struktur yang dipisahkan memenuhi batasan yang telah ditetapkan. Berdasarkan nilai *displacement* jarak dilatasi rencana yaitu 100 mm cukup untuk menghindari terjadinya tabrakan antar struktur yang dipisahkan.

5. Analisis Pengaruh Sistem Dilatasi Terhadap Perilaku Struktur Gedung Beton Bertulang (Adjie Pratama, 2025)

Penelitian Tugas Akhir ini bertujuan untuk membandingkan perilaku struktur serta gaya dalam gedung beton bertulang dengan dilatasi dua kolom, gedung beton bertulang dengan dilatasi balok kantilever, dan gedung beton bertulang tanpa sistem dilatasi. Dari hasil perbandingan tersebut dipilih struktur paling efektif untuk kemudian dilakukan perancangan elemen struktur atasnya. Analisis beban gempa yang digunakan adalah analisis *linier* dinamik *response spectrum*. Model yang terpisah akibat dilatasi dijalankan pada *file* yang berbeda.

Beberapa hal yang menjadi pembeda antara penelitian Tugas Akhir ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya yaitu:

a. *Layout* bangunan

Penelitian ini akan membandingkan perilaku struktur pada gedung beton bertulang 10 lantai ber-*layout* O. Tidak ada penelitian sebelumnya yang menganalisis perilaku struktur pada gedung ber-*layout* O.

b. Jenis dilatasi

Penelitian ini akan menganalisis dua jenis dilatasi yaitu dilatasi dua kolom dan balok kantilever. Penelitian yang dilakukan oleh Fajari dan Sumarsono (2018) juga menganalisis sistem dilatasi dua kolom dan balok kantilever. Hal yang membedakan adalah *layout* bangunan.

c. Analisis beban seismik

Beban gempa dianalisis menggunakan analisis linier dinamik *response spectrum*. Penelitian yang dilakukan oleh Fajari dan Sumarsono (2018) dan Salma Sabila dkk. (2024) juga menggunakan analisis linier dinamik *response spectrum*. Hal yang membedakan yaitu lokasi penelitian dan *layout* bangunan.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu Dengan Topik Mengenai Gedung Dilatasi

No.	Judul	Tahun	Penulis	Hasil
1	<i>Review of Seismic Assessment for High Rise Building Isolated by Dilatation to Minimize Irregularity</i>	2018	Muhammad Aji Fajari, dan Ririt Aprilin Sumarsono	1. Dilatasi dua kolom lebih efektif dibandingkan dilatasi balok kantilever. 2. Dilatasi balok kantilever lebih efektif jika bekerja dengan <i>shear wall</i>. 3. Penempatan dilatasi yang efektif adalah pada sumbu lemah bangunan. 4. <i>Shear wall</i> memperbaiki perilaku dan meningkatkan kapasitas struktur. Namun, tidak berdampak besar pada sistem dilatasi dua kolom.
2	<i>Behaviour of T Layout Structures with and without Dilatation</i>	2021	J Sunaryati, Nidiasari, dan M Z Efendi	1. Dilatasi dapat mengubah pola getar struktur. 2. Dilatasi menghindari terjadinya ketidakberaturan sudut dalam. 3. Jarak dilatasi minimum adalah 93,225 mm.
3	Analisis Dilatasi pada Beton Bertulang Studi Kasus Rumah Sakit Limbangan	2023	Yuga Pinanggih, dan Dendi Yogaswara	1. Nilai periode fundamental struktur dan simpangan antar lantai memenuhi batasan yang ditetapkan.

No.	Judul	Tahun	Penulis	Hasil
				2. Jarak dilatasi yang direncanakan sebesar 100 mm cukup untuk menghindari bangunan dari tabrakan.
4	Analisis Perilaku Struktur Gedung Ber-Layout L Delapan Lantai dengan Penambahan Sistem Dilatasi	2024	Fatihah Salma Sabila, Wulan Sari, Riawan Gunadi, dan Urwatul Wusqo	1. Nilai periode fundamental, simpangan antar lantai, dan p-delta struktur gedung tanpa dilatasi lebih kecil dari gedung dengan dilatasi. 2. Gaya geser dasar gedung dengan dilatasi lebih kecil dari gedung tanpa dilatasi. 3. Dilatasi mencegah ketidakberaturan sudut dalam, namun menimbulkan ketidakberaturan konfigurasi lain. 4. Dilatasi mengurangi kekakuan bangunan dan mencegah konsentrasi tegangan yang besar. 5. Jarak dilatasi minimum adalah 50,15 mm.

2.2 Struktur Bangunan Tahan Gempa

Gaya gempa lateral dan vertikal harus dipikul oleh salah satu sistem dasar yang tercantum pada Tabel 12 SNI Nomor 1726 Tahun 2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung atau dengan menggunakan sistem struktur alternatif yang diizinkan oleh pihak yang berwenang. Untuk sistem pemikul beban seismik yang dipilih harus didesain dan didetailkan sesuai dengan persyaratan khusus untuk sistem tersebut.

2.2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

Berdasarkan SNI Nomor 1726 Tahun 2019 sistem rangka pemikul momen (SRPM) adalah sistem dimana beban lateral yang bekerja ditahan oleh elemen-elemen struktur (kolom, balok, pelat lantai) dan sambungannya melalui mekanisme lentur. Sistem rangka pemikul momen dikategorikan menjadi 3, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

2.2.2 Sistem Dinding Penumpu

Berdasarkan SNI Nomor 1726 Tahun 2019 sistem dinding penumpu merupakan sistem dimana beban gravitasi dipikul oleh dinding penumpu dan gaya lateral akibat beban seismik ditahan oleh dinding geser (*shear wall*) atau rangka bresing.

2.2.3 Sistem Ganda dengan Rangka Pemikul Momen Khusus

Berdasarkan SNI Nomor 1726 Tahun 2019 sistem ganda adalah sistem dimana beban gravitasi yang bekerja pada bangunan dipikul oleh rangka ruang lengkap, sedangkan sebagai penahan beban seismik total merupakan gabungan sistem rangka pemikul momen dan dinding geser atau sistem rangka pemikul momen dan rangka bresing. Untuk sistem ganda, seismik desain yang harus dipikul oleh rangka pemikul momen tidak boleh kurang dari 25%.

Penelitian ini akan menggunakan dinding geser beton khusus dan rangka pemikul momen khusus sebagai penahan gaya lateral. Nilai koefisien modifikasi

respons (R), faktor kuat lebih (Ω_0), faktor pembesaran simpangan lateral (C_d), batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur untuk sistem pemikul gaya seismik berupa sistem ganda dapat dilihat pada Tabel 2.15.

2.3 Gedung Dilatasi

Menurut Peraturan Menteri PUPR Nomor 29/PRT/M Tahun 2006 suatu bangunan gedung disarankan untuk memiliki bentuk yang beraturan dan sederhana dengan tujuan untuk mengurangi potensi kerusakan jika dikenai beban gempa. Peraturan ini juga menyebutkan jika suatu bangunan memiliki bentuk yang tidak beraturan (bentuk T, L, atau U) maka harus dilakukan pemisahan struktur untuk mengurangi potensi kerusakan yang terjadi akibat beban gempa atau penurunan tanah. Pemisahan struktur biasa disebut dengan sistem dilatasi.

Dilatasi terdiri dari beberapa jenis, di antaranya sistem dilatasi dengan dua kolom, dilatasi balok kantilever, dilatasi balok gerber, dilatasi balok konsol dan lain-lain. Pada Tugas Akhir ini sistem dilatasi yang digunakan adalah dilatasi dua kolom dan dilatasi balok kantilever.

Menurut Pasal 7.12.3 SNI Nomor 1726 Tahun 2019 pemisahan struktur atau sistem dilatasi harus mengakomodasi terjadinya *displacement response inelastic* maksimum (δ_M). Oleh karena itu, struktur bangunan yang terpisah harus memiliki jarak yang cukup memenuhi untuk menghindari kerusakan akibat benturan. Jarak minimum untuk struktur-struktur bangunan yang bersebelahan dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.1).

$$\delta_{MT} = \sqrt{(\delta_{M1})^2 + (\delta_{M2})^2} \quad (2.1)$$

$$\delta_M = \frac{C_d \delta_{max}}{I_e} \quad (2.2)$$

Keterangan:

δ_{MT} = Jarak pemisahan minimum

δ_M = *Inelastic displacement* maksimum

- δ_{M1}, δ_{M2} = Perpindahan respons inelastik maksimum pada struktur-struktur bangunan yang bersebelahan di tepi-tepi yang berdekatan
- δ_{max} = *Elastic displacement* maksimum pada lokasi kritis
- C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral (Tabel 2.15)
- I_e = Faktor keutamaan gempa (Tabel 2.9)

2.4 Analisis Perilaku Struktur

2.4.1 Pembebanan

2.4.1.1 Beban Mati (DL)

Berdasarkan Pasal 3.1 SNI Nomor 1727 Tahun 2020 beban mati merupakan berat keseluruhan material yang terpasang untuk konstruksi bangunan gedung, termasuk dinding, lantai, atap, *plafond*, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung serta komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material.

Tabel 2.2 Beban Mati Desain Minimum (kN/m²)

Komponen	Beban
Langit-langit	
1. <i>Acoustical fiberboard</i>	0,05
2. <i>Mechanical duct allowance</i>	0,19
3. <i>Suspended steel channel system</i>	0,10
Pelapis, Atap, dan Dinding	
1. <i>Waterproofing membranes</i>	
a. <i>Bituminous, smooth surface</i>	0,07
Pengisi Lantai	
1. Pasir (per mm)	0,015
Lantai dan Penutup Lantai	
1. <i>Ceramic or quarry tile (19 mm) on mortar bed (25 mm)</i>	1,10

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2020)

2.4.1.2 Beban Hidup (LL)

Berdasarkan Pasal 4.3.1 SNI Nomor 1727 Tahun 2020 beban hidup yang ditambahkan ketika melakukan perancangan bangunan gedung atau struktur lainnya haruslah nilai maksimum dari beban yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan pengoperasionalan bangunan, namun nilainya tidak boleh kurang dari nilai yang tercantum pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum Dan Terpusat Minimum

Hunian atau Penggunaan	Merata (kN/m ²)	Terpusat (kN)	Izin Reduksi	Izin Reduksi Lantai Banyak
Ruang Pertemuan				
1. Lobi	4,79	-	Tidak	Tidak
2. Ruang pertemuan lainnya	4,79	-	Tidak	Tidak
Rumah Sakit				
1. Ruang operasi, laboratorium	2,87	4,45	Ya	Ya
2. Ruang pasien	1,92	4,45	Ya	Ya
3. Koridor di atas lantai pertama	3,83	4,45	Ya	Ya
Atap				
1. Atap datar, berbubung, dan lengkung	0,96	-	Ya	-
Tangga dan Jalan Keluar	4,79	1,33	Ya	Ya

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2020)

2.4.1.3 Beban Angin (EW)

2.4.1.3.1 Kecepatan Angin Dasar

Disebutkan dalam Pasal 26.5.1 SNI Nomor 1727 Tahun 2020 kecepatan angin dasar (V) yang digunakan dalam perhitungan beban angin desain untuk bangunan gedung dan struktur lain harus diambil dari Buku Peta Angin Indonesia.

2.4.1.3.2 Faktor Arah Angin

Disebutkan dalam Pasal 26.6 SNI Nomor 1727 Tahun 2020 perhitungan beban angin untuk SPGAU harus mencakup faktor arah angin (K_d) yang nilainya diambil dari Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Faktor Arah Angin

Tipe Struktur	K_d
Bangunan Gedung	
1. Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU)	0,85
2. Komponen dan Klading (K&K)	0,85
Atap lengkung	0,85
Kubah berbentuk bundar	1,0
Cerobong, tangka, dan struktur serupa	
1. Persegi	0,90
2. Segi enam	0,95
3. Segi delapan	1,0
4. Bundar	1,0
Dinding solid yang berdiri bebas, peralatan bagian atap, dan panel petunjuk solid yang berdiri bebas serta panel petunjuk terikat	0,85
Panel petunjuk terbuka dan rangka terbuka bidang tunggal	0,85
Rangka batang Menara	
1. Segitiga, persegi, atau persegi panjang	0,85
2. Semua penampang lainnya	0,95

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2020)

2.4.1.3.3 Eksposur

Untuk setiap arah angin yang diperhitungkan, eksposur arah melawan angin didasarkan pada kekasaran permukaan tanah yang ditentukan dari topografi alam, vegetasi, dan fasilitas yang telah dibangun.

1. Kekasaran permukaan

- a. Kekasaran permukaan B, daerah perkotaan dan pinggiran kota, daerah berhutan, atau daerah lain dengan penghalang berjarak dekat seukuran tempat tinggal keluarga tunggal atau lebih besar dalam jumlah banyak.
- b. Kekasaran permukaan C, dataran terbuka dengan penghalang tersebar yang memiliki tinggi umumnya kurang dari 9,1 meter. Kategori ini mencakup daerah terbuka datar dan padang rumput.
- c. Kekasaran permukaan D, permukaan datar, area tanpa halangan dan permukaan air. Kategori ini termasuk hamparan lumpur halus.

2. Kategori eksposur

- a. Eksposur B, untuk bangunan gedung atau struktur lain dengan tinggi atap rata-rata kurang dari atau sama dengan 9,1 meter, eksposur B berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh kekasaran permukaan B, berlaku di arah melawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 457 meter. Untuk bangunan gedung atau struktur lain dengan tinggi atap rata-rata lebih besar dari 9,1 meter, eksposur B berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh kekasaran permukaan B, berlaku di arah melawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 792 meter atau 20 kali tinggi bangunan atau struktur (dipilih yang terbesar).
- b. Eksposur C, berlaku untuk semua kasus dimana eksposur B atau eksposur D tidak berlaku.
- c. Eksposur D, berlaku apabila kekasaran permukaan tanah, sebagaimana yang ditentukan oleh kekasaran permukaan D, berlaku di arah melawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 1524 meter atau 20 kali tinggi bangunan gedung atau tinggi struktur (dipilih yang terbesar). Berlaku juga apabila kekasaran permukaan tanah dekat dari situs dalam arah melawan angin adalah B atau C, dan situs yang berada dalam jarak 183 m atau 20 kali tinggi bangunan gedung atau tinggi struktur (dipilih yang terbesar),

dari kondisi eksposur D sebagaimana ditentukan dalam kalimat sebelumnya.

Untuk situs yang terletak di zona transisi antara kategori eksposur, kategori dengan gaya angin terbesar harus digunakan.

2.4.1.3.4 Faktor Topografi

Disebutkan dalam Pasal 26.8.2 SNI Nomor 1727 Tahun 2020 lokasi bangunan dan kondisi situs yang tidak memenuhi ketentuan yang disebutkan dalam Pasal 26.8.1 SNI 1727 Tahun 2020, maka faktor topografi (K_{zt}) diambil sebesar 1,0.

2.4.1.3.5 Faktor Elevasi Permukaan Tanah

Disebutkan dalam Pasal 26.10.1 SNI Nomor 1727 Tahun 2020 faktor elevasi permukaan tanah (K_e) diambil berdasarkan ketentuan berikut:

1. Boleh digunakan K_e sebesar 1,0 untuk semua kasus.
2. Faktor K_e dihitung menggunakan Persamaan (2.3) dengan Z_g adalah elevasi tanah di atas permukaan laut dalam meter.

$$K_e = e^{-0,0000119Z_g} \quad (2.3)$$

2.4.1.3.6 Koefisien Eksposur Tekanan Kecepatan

Disebutkan dalam Pasal 26.10.1 SNI Nomor 1727 Tahun 2020 koefisien eksposur tekanan kecepatan ditentukan berdasarkan kategori eksposur dan sesuai dengan ketentuan berikut:

1. Koefisien eksposur tekanan kecepatan dihitung menggunakan Persamaan (2.4) (untuk $z < 4,6$ m).

$$K_z = 2,01 \left(\frac{4,6}{z_g} \right)^{\frac{2}{\alpha}} \quad (2.4)$$

2. Koefisien eksposur tekanan kecepatan dihitung menggunakan Persamaan (2.5) (untuk $4,6 \text{ m} \leq z \leq Z_g$).

$$K_z = 2,01 \left(\frac{z}{Z_g} \right)^{\frac{2}{\alpha}} \quad (2.5)$$

3. α dan Z_g diambil dari Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Konstanta Eksposur Dataran

Parameter	Eksposur		
	B	C	D
α	7,0	9,5	11,5
Z_g (m)	365,76	274,32	213,36

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2020)

2.4.1.3.7 Tekanan Kecepatan

Disebutkan dalam Pasal 26.10.2 SNI Nomor 1727 Tahun 2020 tekanan kecepatan dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.6) untuk V dalam satuan m/s.

$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d K_e V^2 \quad (2.6)$$

Tekanan kecepatan pada tinggi atap rata-rata (q_h) dihitung menggunakan Persamaan (2.6) dengan nilai K_z ditinjau pada tinggi atap rata-rata (h).

2.4.1.3.8 Efek Hembusan Angin

Disebutkan dalam Pasal 26.11.2.1 SNI Nomor 1727 Tahun 2020 untuk menentukan apakah suatu bangunan gedung adalah kaku atau fleksibel dapat menggunakan frekuensi alami perkiraan (n_a). Frekuensi alami perkiraan (n_a) untuk beton bangunan rangka penahan momen dihitung menggunakan Persamaan (2.7).

$$n_a = \frac{43,5}{h^{0,9}} \quad (2.7)$$

Jika $n_a \geq 1$, maka suatu bangunan adalah kaku, faktor efek hembusan angin (G) diizinkan untuk diambil sebesar 0,85.

2.4.1.3.9 Koefisien Tekanan Internal

Berdasarkan klasifikasi ketertutupan bangunan gedung dapat ditentukan koefisien tekanan internal (GC_{pi}) dari Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi})

Klasifikasi Ketertutupan	Kriteria Untuk Klasifikasi Ketertutupan	Tekanan Internal	Koefisien Tekanan Internal
Bangunan tertutup	$A_o < \text{terkecil } 0,01A_g \text{ atau } 4 \text{ ft}^2 (0,37 \text{ m}^2) \text{ dan } A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$	Sedang	- 0,18 +0,18
Bangunan tertutup sebagian	$A_o > 1,1A_{oi}$ dan $A_o > \text{terkecil dari } 0,01A_g \text{ atau } 4 \text{ ft}^2 (0,37 \text{ m}^2) \text{ dan } A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$	Tinggi	-0,55 +0,55
Bangunan terbuka sebagian	Bangunan yang tidak sesuai dengan klasifikasi tertutup, tertutup sebagian, atau klasifikasi terbuka	Sedang	-0,18 +0,18
Bangunan terbuka	Setiap dinding minimal terbuka 80%	Diabaikan	0,00

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2020)

2.4.1.3.10 Koefisien Tekanan Eksternal

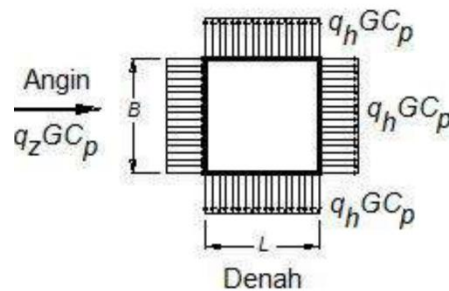
Koefisien tekanan eksternal dinding untuk bangunan gedung tertutup dan tertutup sebagian ditentukan dari Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Koefisien Tekanan Eksternal Untuk Dinding

Permukaan	L/B	C_p	digunakan dengan
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0,8	q_z
Dinding di sisi angin pergi	0-1	-0,5	q_h

Permukaan	L/B	C_p	digunakan dengan
	2	-0,3	q_h
	≥ 4	-0,2	q_h
Dinding tepi	Seluruh nilai	-0,7	q_h

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2020)



Gambar 2. 1 Penggunaan Koefisien Tekanan Eksternal Dinding Untuk Bangunan Gedung Tertutup Dan Tertutup Sebagian

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2020)

Keterangan:

B = Dimensi horizontal bangunan gedung, diukur tegak lurus terhadap arah angin (m)

L = Dimensi horizontal bangunan gedung, diukur paralel terhadap arah angin (m)

G = Faktor pengaruh hembusan angin

q_z, q_h = Tekanan kecepatan, dievaluasi pada ketinggian masing-masing (N/m^2)

2.4.1.3.11 Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU)

Prosedur terarah digunakan untuk menentukan beban angin SPGAU pada bangunan gedung tertutup, tertutup sebagian, dan terbuka dari semua ketinggian. Tekanan angin desain untuk bangunan gedung tertutup, kaku tertutup sebagian dan fleksibel dihitung menggunakan Persamaan (2.8). Untuk bangunan gedung terbuka

dengan atap bebas miring sepihak, berbubung, atau cekung tekanan angin desain dihitung menggunakan Persamaan (2.9).

$$p = qGC_p - q_i (GC_{pi}) \quad (2.8)$$

$$p = q_h GC_N \quad (2.9)$$

Dimana:

q = q_z , untuk dinding di sisi angin datang yang diukur pada ketinggian z di atas permukaan tanah

q = q_h , untuk dinding di sisi angin pergi, dinding samping, dan atap yang diukur pada ketinggian h

q_i = q_h , untuk dinding di sisi angin datang, dinding samping, dinding di sisi angin pergi, dan atap bangunan gedung tertutup, dan untuk mengevaluasi tekanan internal negatif pada bangunan gedung tertutup sebagian

q_i = q_z untuk mengevaluasi tekanan internal positif pada bangunan gedung tertutup sebagian bila z ditentukan sebagai level dari bukaan tertinggi pada bangunan gedung yang dapat mempengaruhi tekanan internal positif

G = Faktor efek hembusan angin (untuk bangunan gedung fleksibel digunakan G_f)

C_p = Koefisien tekanan eksternal

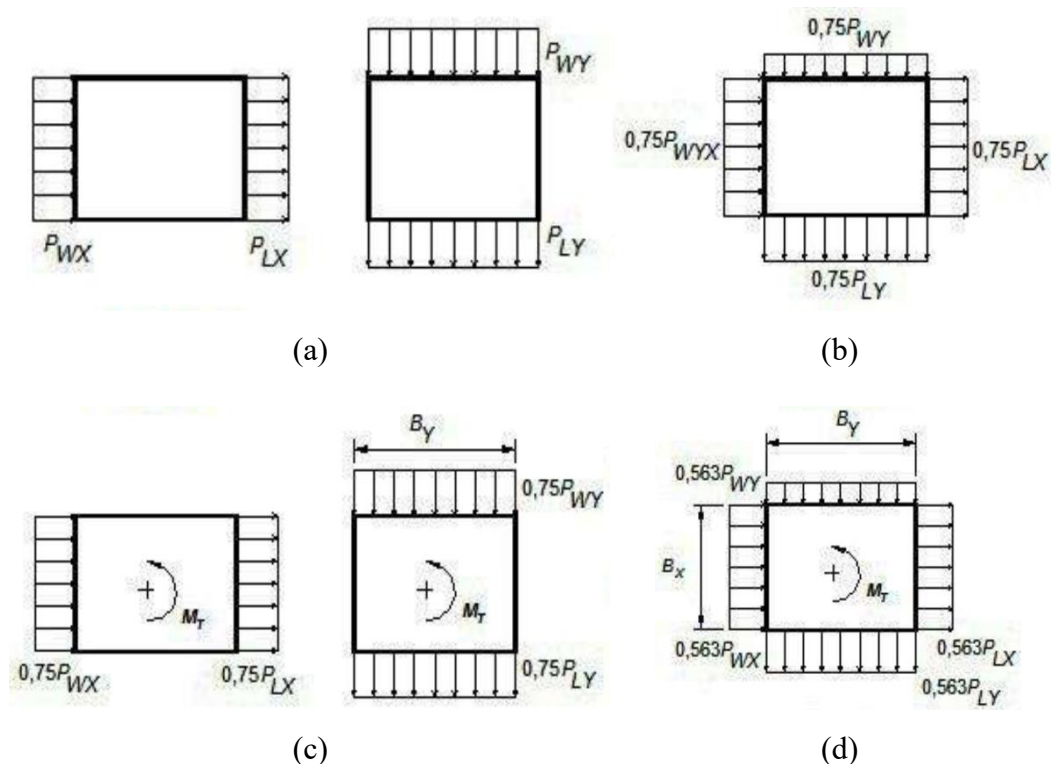
GC_{pi} = Koefisien tekanan internal

q_h = Tekanan velositas yang dievaluasi pada tinggi atap rata-rata h menggunakan eskposur yang mengakibatkan beban angin tertinggi untuk setiap arah angin di lokasi

C_N = Koefisien tekanan neto

2.4.1.3.12 Kasus Beban Angin Desain

SPGAU bangunan gedung dari semua ketinggian yang beban anginnya telah dihitung menggunakan prosedur terarah, harus didesain untuk kasus beban angin yang ditetapkan dalam Gambar 2.2. Kasus 1 yaitu tekanan penuh dari angin desain yang bekerja pada luasan terproyeksi tegak lurus terhadap setiap sumbu utama struktur, ditinjau secara terpisah di setiap sumbu utama. Kasus 2 yaitu tiga per empat dari tekanan angin desain yang bekerja pada luasan terproyeksi tegak lurus terhadap sumbu utama struktur yang bersamaan dengan momen torsi seperti yang diperlihatkan, ditinjau secara terpisah untuk setiap sumbu utama. Kasus 3 yaitu pembebanan angin seperti yang didefinisikan dalam kasus 1, tetapi ditinjau bekerja bersama-sama pada 75% dari nilai yang ditetapkan. Kasus 4 yaitu pembebanan angin seperti yang didefinisikan dalam kasus 2, tetapi ditinjau bekerja bersama-sama pada 75% dari nilai yang ditetapkan.



Gambar 2.2 (a) Kasus 1 Tekanan Angin Desain, (b) Kasus 3 Tekanan Angin Desain, (c) Kasus 2 Tekanan Angin Desain, (d) Kasus 4 Tekanan Angin Desain

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2020)

Keterangan:

P_{WX}, P_{WY} = Tekanan desain di muka sisi angin datang yang bekerja pada sumbu utama x dan y

P_{LX}, P_{LY} = Tekanan desain di muka sisi angin pergi yang bekerja pada sumbu utama x dan y

e_x, e_y = Eksentrisitas untuk sumbu utama x, y dari struktur

M_T = Momen torsi per satuan tinggi yang bekerja pada suatu sumbu vertikal dari bangunan gedung

2.4.1.4 Beban Gempa (EQ)

2.4.1.4.1 Gempa Rencana, Faktor Keutamaan, dan Kategori Risiko

Gempa rencana adalah gempa dengan probabilitas besarannya terlampaui sebesar 2% untuk umur rencana bangunan yang ditetapkan selama 50 tahun. Setiap bangunan dapat dikategorikan risiko strukturnya berdasarkan Tabel 2.8. Pengaruh gempa rencana untuk setiap kategori risiko struktur bangunan harus dikalikan dengan faktor keutamaan gempa yang nilainya diambil dari Tabel 2.9.

Tabel 2.8 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Nongedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: 1. Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan 2. Fasilitas sementara 3. Gudang penyimpanan 4. Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:	II

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
1. Perumahan 2. Rumah toko dan rumah kantor 3. Pasar 4. Gedung perkantoran 5. Gedung apartemen/rumah susun 6. Pusat perbelanjaan/<i>mall</i> 7. Bangunan industri 8. Fasilitas manufaktur 9. Pabrik	
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: 1. Bioskop 2. Gedung pertemuan 3. Stadion 4. Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat 5. Fasilitas penitipan anak 6. Penjara 7. Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk ke dalam 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: 1. Pusat pembangkit listrik biasa 2. Fasilitas penanganan air 3. Fasilitas penanganan limbah 4. Pusat telekomunikasi	III

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: 1. Bangunan-bangunan monumental 2. Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan 3. Rumah ibadah 4. Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat 5. Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat 6. Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya 7. Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat 8. Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat 9. 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

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019a)

Tabel 2.9 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019a)

2.4.1.4.2 Kelas Situs

Sesuai dengan sifat tanah pada situs, maka situs harus dikategorikan menjadi situs SA, SB, SC, SD, SE, atau SF berdasarkan lapisan tanah 30 meter teratas. Penetapan kelas situs harus berdasarkan penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium dengan pengukuran minimal dua dari tiga parameter yang terdapat pada Tabel 2.10. Jika kelas situs tidak dapat ditentukan akibat dari sifat tanah yang tidak terdefinisi, maka dapat digunakan kelas situs SE.

Tabel 2.10 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 – 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 – 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 – 350	15 – 50	50 – 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir, $\bar{S}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah. 2. Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$m). 3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$). 4. Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan < 50 kPa.		

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019a)

Nilai kecepatan rata-rata gelombang geser ($\bar{v}_s$), N-SPT rata-rata ($\bar{N}$), N-SPT rata-rata untuk lapisan tanah nonkohesif ($\bar{N}_{ch}$), dan kuat geser niralir rata-rata ($\bar{S}_u$), harus dihitung menggunakan Persamaan (2.10) sampai dengan Persamaan (2.13) berikut:

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}} \quad (2.10)$$

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \quad (2.11)$$

$$\bar{N}_{ch} = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \quad (2.12)$$

$$\bar{S}_u = \frac{d_c}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{S_{ui}}} \quad (2.13)$$

Keterangan:

$\bar{v}_s$ = Kecepatan rata-rata gelombang geser (m/detik)

$\bar{N}$ = Tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata (N-SPT rata-rata)

$\bar{N}_{ch}$ = Tahanan penetrasi standar lapangan (N-SPT) nonkohesif rata-rata

$\bar{S}_u$ = Kuat geser niralir rata-rata (kPa)

d_i = Tebal setiap lapisan antara 0 – 30 meter

v_{si} = Kecepatan gelombang geser untuk lapisan ke-i (m/detik)

N_i = N-SPT untuk lapisan ke-i

d_s = Tebal total lapisan tanah nonkohesif di 30 meter lapisan teratas

S_{ui} = Kuat geser niralir (kPa)

d_c = Tebal total lapisan tanah kohesif di 30 meter lapisan teratas

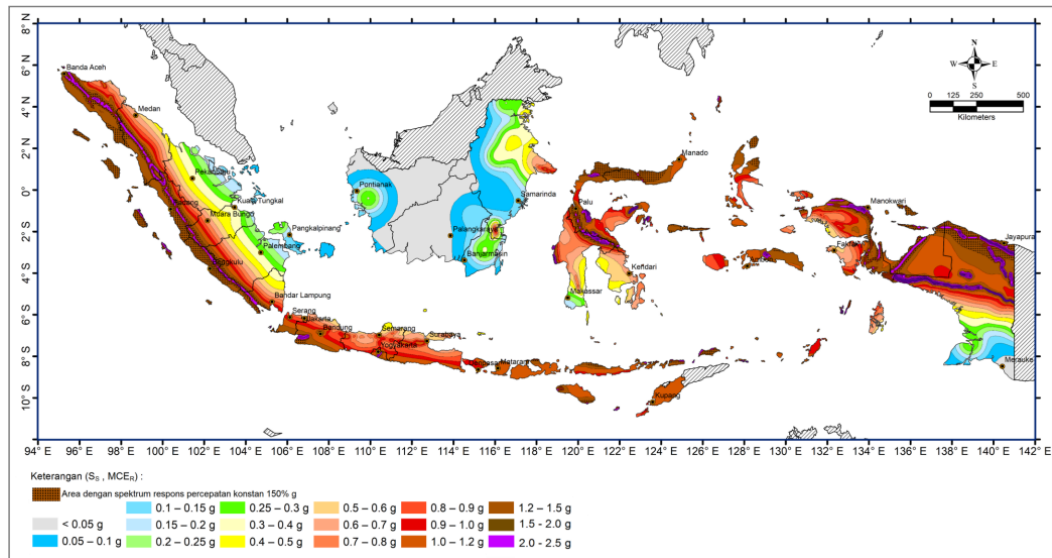
PI = Indeks plastisitas

w = Kadar air dalam persen

2.4.1.4.3 Parameter Percepatan Batuan Dasar

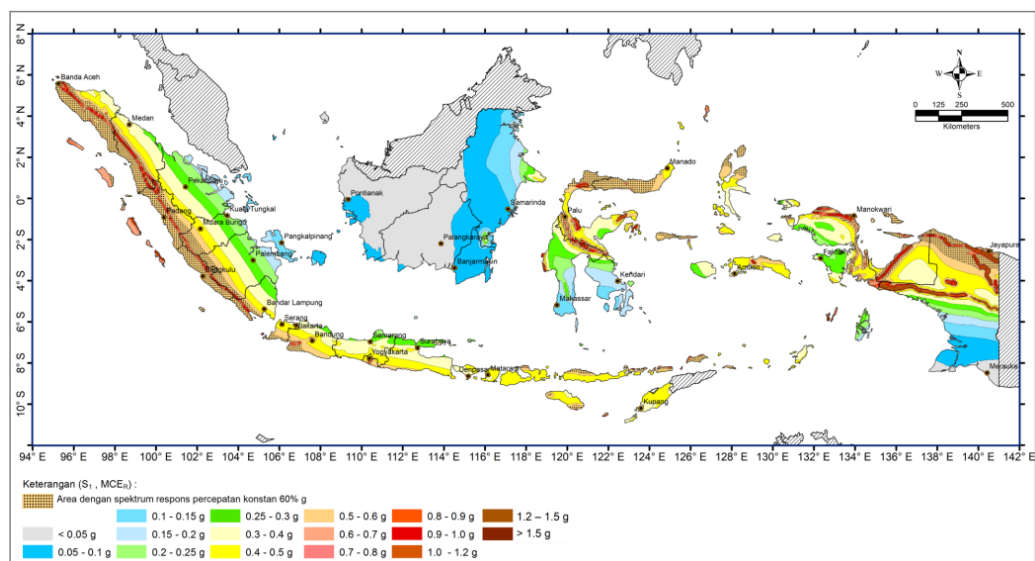
Parameter percepatan batuan dasar periode pendek (S_s) dan periode 1 detik (S_1) harus ditetapkan masing-masing dari *response spectral* percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik (Gambar 2.3 dan Gambar 2.4). Jika S_1

kurang dari sama dengan 0,04g dan S_s kurang dari sama dengan 0,15g, maka struktur bangunan dapat dikategorikan sebagai desain seismik A.



Gambar 2.3 Parameter Percepatan Batuan Dasar Periode Pendek, S_s

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019a)



Gambar 2.4 Parameter Percepatan Batuan Dasar Periode 1 Detik, S_1

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019a)

2.4.1.4.4 Faktor Amplifikasi dan Parameter *Response Spectral* Percepatan

Faktor amplifikasi terdiri dari faktor amplifikasi getaran berkaitan dengan percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi berkaitan

dengan percepatan yang mewakili getaran periode 1 *second* (F_v). Nilai F_a dan F_v sesuai dengan Tabel 2.11 dan Tabel 2.12.

Tabel 2.11 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter <i>Response Spectral</i> Percepatan Gempa Maksimum yang dipertimbangkan Risiko-tertarget (MCE_R) Terpetakan pada Periode Pendek, $T = 0,2$ Detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s \leq 0,50$	$S_s \leq 0,75$	$S_s \leq 1,00$	$S_s \leq 1,25$	$S_s \leq 1,50$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$S_s^{(a)}$					

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019a)

Tabel 2.12 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter <i>Response Spectral</i> Percepatan Gempa Maksimum yang dipertimbangkan Risiko-tertarget (MCE_R) Terpetakan pada Periode 1 Detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,10$	$S_1 = 0,20$	$S_1 = 0,30$	$S_1 = 0,40$	$S_1 = 0,50$	$S_1 \geq 0,60$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$S_s^{(a)}$					

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019a)

Keterangan:

$S_s^{(a)}$ = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis *response* situs-spesifik

Parameter *response spectral* percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) berdasarkan klasifikasi situsnya dihitung menggunakan Persamaan (2.14) dan Persamaan (2.15).

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.14)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (2.15)$$

2.4.1.4.5 Parameter Percepatan *Spectral* Desain dan *Spectrum Response* Desain

Parameter percepatan *spectral* desain periode pendek (S_{DS}) dan 1 detik (S_{D1}) dihitung menggunakan Persamaan (2.16) dan Persamaan (2.17).

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.16)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.17)$$

Spectrum response percepatan desain (S_a) harus ditentukan dengan mengikuti ketentuan berikut:

1. Jika $T < T_0$, maka S_a ditentukan dengan persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.18)$$

2. Jika $T_0 \leq T \leq T_s$, maka $S_a = S_{DS}$
3. Jika $T_s < T \leq T_L$, maka S_a ditentukan dengan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.19)$$

4. Jika $T_L < T$, maka S_a ditentukan dengan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (2.20)$$

Keterangan:

S_{DS} = Parameter *response spectral* percepatan desain pada periode pendek

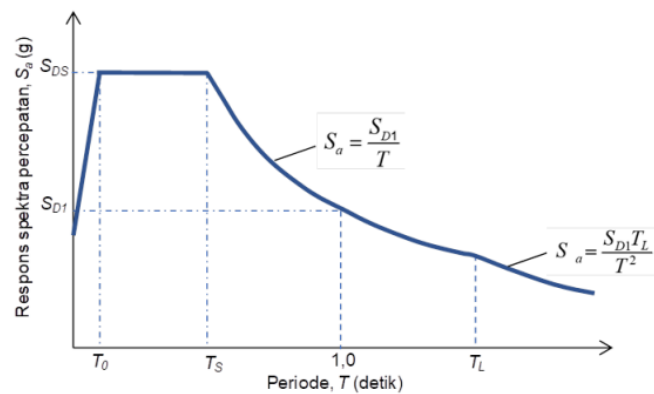
S_{D1} = Parameter *response spectral* percepatan desain pada periode 1 detik

T = Periode fundamental struktur

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

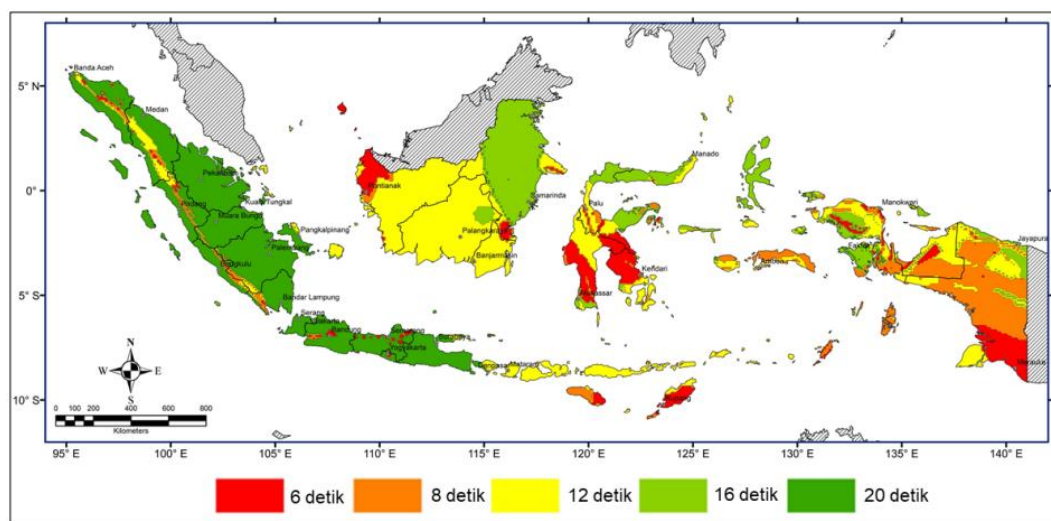
$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

T_L = Peta transisi periode panjang (Gambar 2.6)



Gambar 2.5 *Spectrum Response* Desain

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019a)



Gambar 2.6 Peta Transisi Periode Panjang (T_L)

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019a)

2.4.1.4.6 Kategori Desain Seismik

Struktur yang termasuk ke dalam kategori risiko I, II, atau III dan dengan $S_1 \geq 0,75$ harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang termasuk ke dalam kategori risiko IV dan dengan $S_1 \geq 0,75$ harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Kategori desain seismik untuk struktur lainnya harus ditetapkan dengan mengacu pada Tabel 2.13 dan Tabel 2.14.

Tabel 2.13 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai S_{DS}

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

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019a)

Tabel 2.14 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai S_{D1}

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

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019a)

2.4.1.4.7 Sistem Struktur Pemikul Gaya Seismik

Koefisien modifikasi *response* (R), faktor kuat lebih (Ω_0), faktor pembesaran simpangan lateral (C_d), batasan sistem struktur dan batasan tinggi

struktur untuk sistem pemikul gaya seismik dengan menggunakan sistem ganda dapat dilihat pada Tabel 2.15.

Tabel 2.15 Nilai R , C_d , Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik Sistem Ganda

Sistem Pemikul Gaya Seismik	R	Ω_0	C_d	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, h_n (m)				
				Kategori Desain				
				B	C	D	E	F
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	2,5	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa	6	2,5	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2,5	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2,5	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7,5	2,5	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2,5	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2,5	5	TB	TB	TI	TI	TI

Sistem Pemikul Gaya Seismik	R	Ω_0	C_d	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, h_n (m)				
				Kategori Desain				
				B	C	D	E	F
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan								
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5,5	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3,5	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2,5	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2,5	6,5	TB	TB	TB	TB	TB

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019a)

Keterangan:

TB = Tidak dibatasi

TI = Tidak diizinkan

2.4.2 Ketidakberaturan Konfigurasi

Suatu struktur dapat dikatakan memiliki ketidakberaturan struktur horizontal jika memiliki satu atau lebih *type* ketidakberaturan seperti yang tercantum pada Tabel 2.16.

Tabel 2.16 *Type* Ketidakberaturan Horizontal Struktur

<i>Type</i>	Keterangan
Tipe 1a	Ketidakberaturan Torsi
Tipe 1b	Ketidakberaturan Torsi Berlebihan
Tipe 2	Ketidakberaturan Sudut Dalam
Tipe 3	Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma
Tipe 4	Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang

<i>Type</i>	Keterangan
Tipe 5	Ketidakteraturan Sistem Nonparalel

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019a)

Suatu struktur dapat dikatakan memiliki ketidakteraturan struktur vertikal jika memiliki satu atau lebih *type* ketidakteraturan seperti yang tercantum pada Tabel 2.17.

Tabel 2.17 *Type* Ketidakteraturan Vertikal Struktur

<i>Type</i>	Keterangan
Tipe 1a	Ketidakteraturan kekakuan tingkat lunak
Tipe 1b	Ketidakteraturan kekakuan tingkat lunak berlebihan
Tipe 2	Ketidakteraturan berat (massa)
Tipe 3	Ketidakteraturan geometri vertikal
Tipe 4	Ketidakteraturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral
Tipe 5a	Ketidakteraturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat
Tipe 5b	Ketidakteraturan tingkat lemah berlebihan akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019a)

2.4.3 Kriteria Pemodelan

Dalam melakukan analisis beban seismik, fondasi dapat dimodelkan dengan menggunakan perletakan jepit. Untuk perhitungan berat seismik efektif struktur (W) harus menambahkan semua beban mati dan beban lainnya yang tercantum di bawah ini:

1. Daerah penyimpanan harus menyertakan 25% beban hidup lantai, pengecualian untuk tempat parkir umum dan struktur parkir terbuka beban hidup lantai tidak perlu disertakan;
2. Berat operasional total dari peralatan yang permanen;
3. Untuk taman atap dan area sejenis harus menyertakan berat lanskap dan beban lainnya;

4. Jika beban lantai partisi berdasarkan Pasal 4.3.2 SNI Nomor 1727 Tahun 2020, sebesar beban terbesar antara berat partisi aktual atau berat daerah lantai minimum sebesar $0,48 \text{ kN/m}^2$.

2.4.4 Pemilihan Prosedur Analisis

Didasari oleh kategori desain seismik struktur, sistem struktur, properti dinamik, dan keteraturan, prosedur analisis seismik struktur bangunan gedung harus disesuaikan dengan Tabel 2.18.

Tabel 2.18 Penentuan Prosedur Analisis Seismik

Kategori desain seismik	Karakteristik Struktur	Analisis Statik Ekuivalen	Analisis <i>Spectrum Response</i>	Analisis Riwayat Waktu
Kategori B,C	Semua struktur	Diizinkan	Diizinkan	Diizinkan
Kategori D,E,F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang ≤ 2 tingkat diatas dasar	Diizinkan	Diizinkan	Diizinkan
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan tinggi $\leq 48,8 \text{ m}$	Diizinkan	Diizinkan	Diizinkan
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan tinggi $> 48,8 \text{ m}$ dan $T < 3,5 T_s$	Diizinkan	Diizinkan	Diizinkan
	Struktur dengan tinggi $\leq 48,8 \text{ m}$ dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal <i>type</i> 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal <i>type</i> 4, 5a, atau 5b	Diizinkan	Diizinkan	Diizinkan
	Semua struktur lainnya	Tidak	Diizinkan	Diizinkan

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019a)

2.4.5 Partisipasi Massa

2.4.5.1 Jumlah Ragam

Berdasarkan Pasal 7.9.1.1 SNI Nomor 1726 Tahun 2019 jumlah ragam harus ditambahkan hingga partisipasi massa ragam terkombinasi mencapai 100% dari massa struktur. Jumlah ragam minimum yang diizinkan adalah ketika massa ragam terkombinasi telah mencapai paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal.

2.4.5.2 Parameter *Response* Terkombinasi

Berdasarkan Pasal 7.9.1.3 SNI Nomor 1726 Tahun 2019 metode SRSS dan CQC adalah metode yang digunakan untuk mengkombinasikan setiap parameter yang ditinjau, yang dihitung untuk berbagai ragam. Metode CQC digunakan untuk setiap nilai ragam apabila ragam yang berdekatan memiliki korelasi silang signifikan antara respons translasi dan torsi.

2.4.6 Periode

Periode fundamental struktur (T) tidak diizinkan melebihi batas yang diatur oleh Pasal 7.8.2 SNI Nomor 1726 Tahun 2019 yaitu periode fundamental (T) $< C_u T_a$ dimana nilai C_u diambil dari Tabel 2.19 dan nilai T_a dihitung menggunakan Persamaan (2.21). Berdasarkan Pasal 7.9.1.4.1 SNI Nomor 1726 Tahun 2019 jika $T > C_u T_a$ pada arah tertentu, maka periode fundamental yang digunakan sebesar $C_u T_a$.

Tabel 2.19 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung

Parameter Percepatan <i>Response Spectral</i> 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

Parameter Percepatan <i>Response Spectral</i> Desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019a)

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.21)$$

Keterangan:

T_a = Periode fundamental pendekatan (s)

h_n = Ketinggian struktur di atas dasar sampai lantai tertinggi (m)

C_t = Ditentukan dari Tabel 2.20

x = Ditentukan dari Tabel 2.20

Tabel 2.20 Nilai Parameter Periode Pendekatan

Type Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana 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:		
1. Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
2. Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan <i>bracing</i> eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan <i>bracing</i> terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019a)

2.4.7 Base Shear

Berdasarkan Pasal 7.9.1.4.1 SNI Nomor 1726 Tahun 2019 jika *base shear* hasil analisis dinamik *spectrum response* ragam $< 100\%$ *base shear* hasil analisis statik ekuivalen, maka gaya geser analisis dinamik *spectrum response* ragam harus dikalikan dengan hasil pembagian antara gaya geser statik ekuivalen dengan gaya

geser dinamik *spectrum response* ragam. Berdasarkan Pasal 7.8.1 SNI Nomor 1726 Tahun 2019 *base shear* analisis statik ekuivalen untuk semua arah yang ditentukan dihitung menggunakan Persamaan (2.22).

$$V = C_s W \quad (2.22)$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \quad (2.23)$$

Keterangan:

V = *Base shear*

W = Berat seismik efektif

C_s = Koefisien *response* seismik

S_{DS} = Parameter percepatan *response spectral* desain periode pendek (Persamaan (2.16))

R = Koefisien modifikasi *response* (Tabel 2.15)

I_e = Faktor keutamaan gempa (Tabel 2.9)

Sesuai dengan Pasal 7.8.1.1 SNI Nomor 1726 Tahun 2019 nilai C_s yang dihitung menggunakan Persamaan (2.23) harus memenuhi ketentuan berikut:

1. Untuk T kurang dari atau sama dengan T_L , nilai C_s tidak perlu lebih dari:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.24)$$

2. Untuk T lebih dari T_L , nilai C_s tidak perlu lebih dari:

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.25)$$

3. Nilai C_s tidak boleh kurang dari:

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (2.26)$$

Berdasarkan Pasal 7.8.3 SNI Nomor 1726 Tahun 2019 untuk sebarang tingkat gaya seismik lateral (F_x) dihitung menggunakan Persamaan (2.27).

$$F_x = C_{vx} V \quad (2.27)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2.28)$$

Keterangan:

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal

V = *Base shear* (kN)

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

h_x, h_i = Tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)

k = Eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai:

1. Untuk $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$
2. Untuk $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$
3. Untuk $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau melalui interpolasi linier antara 1 dan 2

Berdasarkan Pasal 7.8.4 SNI Nomor 1726 Tahun 2019 untuk semua tingkat geser tingkat desain seismik dihitung menggunakan Persamaan (2.29).

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (2.29)$$

Keterangan:

F_i = Bagian geser dasar seismik (V) pada tingkat ke- i (kN)

Geser tingkat desain seismik (V_x), harus terdistribusi ke seluruh elemen vertikal dari sistem pemikul gaya seismik untuk tingkat yang ditinjau yang didasari oleh kekauan lateral relatif elemen pemikul vertikal dan diafragma.

2.4.8 Story Drift

Berdasarkan Pasal 7.8.6 SNI Nomor 1726 Tahun 2019 *story drift* desain pada tingkat ke-1 dihitung menggunakan Persamaan (2.30).

$$\Delta_1 = \frac{\delta_{e1} C_d}{I_e} \quad (2.30)$$

Story drift desain pada tingkat ke-i di atas tingkat ke-1 dihitung menggunakan Persamaan (2.31).

$$\Delta_i = \frac{(\delta_{ei} - \delta_{ei-1}) C_d}{I_e} \quad (2.31)$$

Keterangan:

Δ_1 = *Story drift* pada tingkat ke-1 (mm)

Δ_i = *Story drift* pada tingkat ke-i di atas tingkat ke-1 (mm)

δ_{e1} = *Displacement* elastik tingkat ke-1

δ_{ei} = *Displacement* elastik tingkat ke-i di atas tingkat ke-1

C_d = Faktor pembesaran simpangan (Tabel 2.15)

I_e = Faktor keutamaan gempa (Tabel 2.9)

Berdasarkan Pasal 7.12.1 SNI Nomor 1726 Tahun 2019 *story drift* desain (Δ) tidak boleh melebihi batas (Δ_a) yang telah ditentukan oleh Tabel 2.21 untuk seluruh lantai.

Tabel 2.21 *Story Drift* Izin (Δ_a)

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur <i>shear wall</i> batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding <i>interior</i> , partisi, langit-langit dan	0,025 h_{sx}	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
sistem dinding <i>exterior</i> yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.			
Struktur <i>shear wall</i> kantilever batu bata.	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$
Struktur <i>shear wall</i> batu bata lainnya.	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$
Semua struktur lainnya.	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019a)

Keterangan:

h_{sx} = Tinggi lantai di bawah lantai yang ditinjau (m)

2.4.9 Pengaruh P-Delta

Koefisien stabilitas (θ) dihitung menggunakan Persamaan (2.32).

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (2.32)$$

Koefisien stabilitas tidak diizinkan lebih dari θ_{max} yang dihitung menggunakan Persamaan (2.33).

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 P_x \quad (2.33)$$

Keterangan:

P_x = Beban desain vertikal total pada dan di atas lantai-i (kN), jika menghitung faktor beban individu tidak perlu lebih dari 1,0

Δ = Simpangan antar lantai desain, terjadi serentak dengan V_x (mm)

I_e = Faktor keutamaan gempa (Tabel 2.9)

V_x = Gaya geser seismik yang bekerja antara lantai i dan i-1 (kN)

- h_{sx} = Tinggi lantai dibawah lantai i (mm)
- C_d = Faktor pembesaran simpangan (Tabel 2.15)
- β = Rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk lantai antara lantai i dan i-1, diizinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0

Berdasarkan Pasal 7.8.7 SNI Nomor 1726 Tahun 2019 ketentuan untuk pengaruh P-Delta meliputi:

1. Jika $\theta \leq 0,10$, maka pengaruh P-Delta dapat diabaikan untuk geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya.
2. Jika $0,10 < \theta \leq \theta_{max}$, maka digunakan analisis rasional untuk menentukan faktor peningkatan terkait dengan pengaruh P-Delta pada perpindahan dan gaya komponen struktur. Sebagai alternatif, dapat digunakan hasil dari $1/(1-\theta)$ untuk kemudian dikalikan dengan perpindahan dan gaya komponen struktur.
3. Jika $\theta > \theta_{max}$, maka harus melakukan desain ulang struktur karena struktur berpotensi tidak stabil.

2.5 Perencanaan Struktur Atas

2.5.1 Asumsi Desain dan Faktor Reduksi

Pada saat merencanakan komponen struktur bangunan *type* keruntuhan perlu diperhatikan. Berdasarkan SNI Nomor 2847 Tahun 2019 *type* keruntuhan dapat diidentifikasi sebagai berikut:

1. Keruntuhan tarik, sebelum terjadi kehancuran akan ditemui adanya retak atau defleksi yang berlebihan pada komponen struktur. Terjadi ketika regangan baja tulangan, $\frac{f_y}{E_s} < 0,005 < \epsilon_s$, pada saat beton mencapai regangan *ultimate* ($\epsilon_{cu} = 0,003$).

2. Keruntuhan seimbang, keruntuhan ini terjadi ketika nilai regangan baja tulangan, $\frac{f_y}{E_s} < \epsilon_s < 0,005$, pada saat beton mencapai regangan *ultimate* ($\epsilon_{cu} = 0,003$).
3. Keruntuhan tekan, komponen struktur akan hancur secara tiba tiba tanpa ada peringatan sebelumnya. Terjadi ketika regangan baja tulangan, $\epsilon_s < \frac{f_y}{E_s}$, pada saat beton mencapai regangan *ultimate* ($\epsilon_{cu} = 0,003$).

Perencanaan balok dan pelat lantai menggunakan asumsi keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan tarik sedangkan perencanaan kolom asumsi keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan tekan. Faktor reduksi kekuatan (Φ) pada perhitungan kapasitas momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial harus ditentukan berdasarkan *type* keruntuhan penampang seperti yang tercantum pada Tabel 2.22.

Tabel 2.22 Faktor Reduksi Kekuatan Untuk Momen, Gaya Aksial, Atau Kombinasi Momen Dan Gaya Aksial

Regangan Tarik Netto, ϵ_s	Type Keruntuhan	Φ	
		Jenis Tulangan Transversal	
		Spiral	Lainnya
$\epsilon_s < \epsilon_y$	Tekan	0,75	0,65
$\epsilon_y < \epsilon_s < 0,005$	Seimbang	$0,75 + 0,15 \frac{\epsilon_s - \epsilon_y}{0,005 - \epsilon_y}$	$0,65 + 0,25 \frac{\epsilon_s - \epsilon_y}{0,005 - \epsilon_y}$
$\epsilon_y < 0,005 < \epsilon_s$	Tarik	0,90	0,90

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019b)

Faktor reduksi kekuatan (Φ) pada perhitungan lainnya diambil dari Tabel 2.23.

Tabel 2.23 Faktor Reduksi Kekuatan Lainnya

Gaya atau Elemen Struktur	Φ
Geser	0,75

Gaya atau Elemen Struktur	Φ
Torsi	0,65
Tumpu	0,75
Zona angkur pasca tarik	0,85
<i>Bracket</i> dan korbel	0,75
Beton polos	0,60
Angkur dalam elemen beton	0,45 - 0,75
Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tarik	0,90
<i>Strut, ties</i> , zona nodal, dan daerah tumpuan yang dirancang dengan <i>strut and tie</i>	0,75

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019b)

2.5.2 Kekuatan Nominal Penampang

2.5.2.1 Momen dan Aksial

Berdasarkan Pasal 22.2 sampai dengan Pasal 22.4 SNI Nomor 2847 Tahun 2019 kekuatan nominal untuk lentur dan aksial harus dianalisis menggunakan ketentuan-ketentuan berikut:

1. Kesetimbangan harus tercapai di setiap penampang. Kesetimbangan adalah keseimbangan gaya pada saat menghitung kekuatan nominal. Keseimbangan gaya pada penampang dengan tulangan tunggal terjadi ketika $F_s = C_c$ dan keseimbangan gaya pada penampang dengan tulangan ganda terjadi ketika $F_s = C_c + F_s'$.
2. Gaya yang terjadi pada tulangan beton dapat dihitung dengan Persamaan (2.34). Peningkatan kekuatan akibat efek *strain hardening* pada tulangan beton diabaikan, sehingga untuk tulangan dengan nilai $\epsilon_s \geq \epsilon_y$ tegangan baja tulangan (f_s) diambil sebesar f_y .

$$F_s = A_s f_s \quad (2.34)$$

$$f_s = E_s \varepsilon_s \quad (2.35)$$

3. Regangan maksimum untuk serat tekan terjauh beton (ε_{cu}) adalah 0,003.
4. Tegangan beton $0,85 f_c'$ diasumsikan terdistribusi merata terhadap area tekan ekuivalen yang dibatasi oleh ujung penampang dan garis yang sejajar terhadap sumbu netral, yang terletak pada jarak α (dihitung menggunakan Persamaan (2.36)) dari serat tekan terjauh.

$$\alpha = \beta_1 c \quad (2.36)$$

5. Nilai β_1 untuk menghitung nilai α dihitung menggunakan Persamaan (2.37) (untuk $28 < f_c' < 55$).

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f_c' - 28)}{7} \quad (2.37)$$

6. Untuk komponen nonprategang dengan sengkang persegi kekuatan rencana penampang pada kondisi tekan murni (eksentrisitas nol) dibatasi sebesar 80% dari kekuatan nominalnya (Persamaan (2.38)).

$$P_n = 0,8P_0 \quad (2.38)$$

$$P_0 = 0,85f_c'(A_g - A_{st}) + (f_y A_{st}) \quad (2.39)$$

2.5.2.2 Geser

Berdasarkan Pasal 22.5 dan Pasal 22.6 SNI Nomor 2847 Tahun 2019 kekuatan nominal untuk geser harus dianalisis menggunakan ketentuan-ketentuan berikut:

1. Nilai $\sqrt{f_c'}$ untuk perhitungan geser satu arah dan dua arah harus kurang dari 8,3 MPa. Kecuali balok dimana $A_{s,min}$ untuk tulangan transversal terpenuhi.
2. Untuk beton normal nilai λ yang digunakan untuk perhitungan geser satu arah dan dua arah adalah 1.

3. Nilai f_y dan f_{yt} untuk perhitungan geser satu arah dan dua arah dengan sengkang, sengkang pengikat, atau sengkang pengekang dibatasi sebesar 420 MPa.

4. Persamaan (2.40) digunakan untuk menghitung nilai V_n .

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.40)$$

5. Persamaan (2.41) untuk menghitung V_c satu arah komponen nonprategang tanpa beban aksial. Persamaan (2.42) untuk menghitung V_c satu arah komponen nonprategang dengan beban aksial tekan. Persamaan (2.43) untuk menghitung V_c satu arah komponen nonprategang dengan beban aksial tarik.

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_w d \quad (2.41)$$

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_w d \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \quad (2.42)$$

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_w d \left(1 + \frac{N_u}{3,5A_g} \right) \quad (2.43)$$

6. Persamaan (2.44) sampai dengan Persamaan (2.46) digunakan untuk menghitung V_c dua arah komponen nonprategang (diambil nilai terkecil). Nilai a_s adalah 40 untuk kolom dalam, 30 untuk kolom tepi, dan 20 untuk kolom sudut dan d adalah rata-rata tinggi efektif dalam dua arah *orthogonal*.

$$V_c = 0,33\lambda\sqrt{f'_c} \quad (2.44)$$

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'_c} \quad (2.45)$$

$$V_c = 0,083 \left(2 + \frac{A_s d}{b_o} \right) \lambda \sqrt{f'_c} \quad (2.46)$$

7. Persamaan (2.47) digunakan untuk menghitung V_s satu arah dimana tulangan transversal tegak lurus sumbu longitudinal komponen.

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \quad (2.47)$$

8. Persamaan (2.48) digunakan untuk menghitung V_s dua arah dengan sengkang.

$$V_s = \frac{A_v f_{yt}}{b_o s} \quad (2.48)$$

9. Persamaan (2.49) digunakan untuk menghitung nilai V_e .

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm V_{(1,2D+1L)} \quad (2.49)$$

10. Untuk kekuatan geser satu arah dimensi penampang harus memenuhi:

$$V_u \leq \Phi (V_c + 0,066 \sqrt{f_c} b_w d) \quad (2.50)$$

2.5.2.3 Torsi

Berdasarkan Pasal 22.7 SNI Nomor 2847 Tahun 2019 kekuatan nominal untuk torsi harus dianalisis menggunakan ketentuan-ketentuan berikut:

1. Nilai $\sqrt{f_c'}$ untuk perhitungan T_{cr} dan T_{th} harus kurang dari 8,3 MPa.
2. Untuk beton normal nilai λ yang digunakan untuk perhitungan T_{th} dan T_{cr} adalah 1.
3. f_y dan f_{yt} maksimum untuk desain torsi longitudinal dan transversal adalah 420 MPa.
4. Persamaan (2.51) untuk menghitung ambang batas torsi komponen solid nonprategang tanpa beban aksial. Persamaan (2.52) untuk menghitung ambang batas torsi komponen solid nonprategang yang menerima beban aksial.

$$T_{th} = 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (2.51)$$

$$T_{th} = 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{N_u}{0,33 A_g \lambda \sqrt{f_c'}}} \quad (2.52)$$

5. Persamaan (2.53) untuk menghitung retak torsi komponen nonprategang tanpa beban aksial. Persamaan (2.54) untuk menghitung retak torsi komponen nonprategang yang menerima beban aksial.

$$T_{cr} = 0,33\lambda\sqrt{f'_c}\left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right) \quad (2.53)$$

$$T_{cr} = 0,33\lambda\sqrt{f'_c}\left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{N_u}{0,33A_g\lambda\sqrt{f'_c}}} \quad (2.54)$$

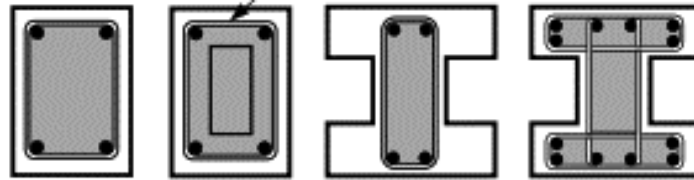
6. Persamaan (2.55) digunakan untuk menghitung kekuatan nominal torsi jika digunakan tulangan torsi transversal. Persamaan (2.56) digunakan untuk menghitung kekuatan nominal torsi jika digunakan tulangan torsi longitudinal.

$$T_n = \frac{2A_oA_t f_{yt}}{s} \cot\theta \quad (2.55)$$

$$T_n = \frac{2A_oA_l f_y}{P_h} \cot\theta \quad (2.56)$$

$$A_o = 0,85A_{oh} \quad (2.57)$$

Nilai θ untuk komponen nonprategang boleh diambil 45 derajat dan luasan A_{oh} adalah daerah terasir yang ditunjukkan oleh Gambar 2.7.



Gambar 2.7 A_{oh} Pada Penampang Yang Berbeda Untuk Perhitungan T_n

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019b)

7. Untuk penampang solid dimensi harus memenuhi:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7A_{oh}^2}\right)^2} \leq \Phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66\sqrt{f'_c} \right) \quad (2.58)$$

2.5.3 Pembatasan Desain

2.5.3.1 Balok

Berdasarkan Pasal 9 dan Pasal 18 SNI Nomor 2847 Tahun 2019, perencanaan balok beton bertulang pada Tugas Akhir ini harus memenuhi ketentuan-ketentuan berikut:

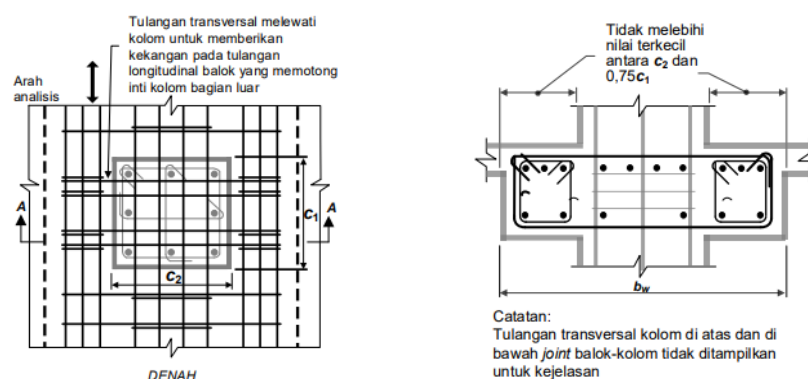
1. Dimensi penampang balok harus memenuhi:
 - a. Tinggi penampang (h) minimum balok beton bertulang nonprategang sesuai Tabel 2.24. Lebar penampang balok (b_w) minimum adalah nilai terkecil dari $0,3h$ dan 250 mm.

Tabel 2.24 Tinggi Minimum Balok Nonprategang

Kondisi Perletakan	Minimum h
Perletakan sederhana	$\frac{1}{16}$
Menerus satu sisi	$\frac{1}{18,5}$
Menerus dua sisi	$\frac{1}{21}$
Kantilever	$\frac{1}{8}$

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019b)

- b. Bentang bersih balok (ℓ_n) sekurangnya adalah $4d$.
- c. Jika lebar balok melebihi lebar kolom penumpu, maka lebar yang terlampaui tidak boleh melebihi nilai terkecil dari c_2 dan $0,75 c_1$. c_2 adalah lebar kolom penumpu yang sejajar lebar balok dan c_1 adalah lebar kolom penumpu yang tegak lurus lebar balok.



Gambar 2.8 Batasan Proyeksi Lebar Balok Yang Melebihi Lebar Kolom Penumpu

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019b)

2. Tulangan longitudinal balok harus memenuhi:

- a. Jumlah tulangan longitudinal menerus untuk sisi atas dan sisi bawah sekurang-kurangnya adalah 2 buah dan luas tulangan yang disediakan harus melebihi nilai 1) dan 2).

$$1) \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad (2.59)$$

$$2) \frac{1,4}{f_y} b_w d \quad (2.60)$$

- b. Jika $T_u \geq \Phi T_{th}$, tulangan longitudinal minimum harus kurang dari 1) dan 2).

$$1) 0,42\sqrt{f'_c} \frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{A_t}{s} \right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y} \quad (2.61)$$

$$2) 0,42\sqrt{f'_c} \frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{0,175b_w}{f_{yt}} \right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y} \quad (2.62)$$

- c. Untuk sisi tarik dan tekan rasio tulangan longitudinal masing-masing tidak boleh lebih dari 2,5%.

- d. Spasi tulangan longitudinal balok yang sejajar dalam arah horizontal harus melebihi nilai terbesar dari 1) hingga 3).

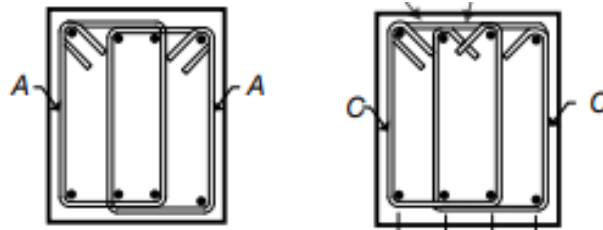
$$1) 25 \text{ mm}$$

$$2) d_b$$

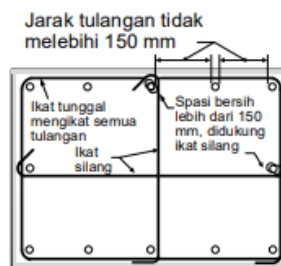
$$3) \frac{4}{3} d_{agg} \quad (2.63)$$

- e. Spasi tulangan longitudinal balok yang sejajar dalam arah vertikal (jika dipasang lebih dari satu lapis) sekurangnya adalah 25 mm.

- f. Setiap sudut dan tulangan longitudinal bersebelahan harus tertumpu secara lateral oleh sudut sengkang yang tidak lebih dari 135 derajat. Spasi (h_x) antara tulangan-tulangan yang tertumpu tersebut tidak boleh lebih dari 350 mm. Spasi tulangan yang tidak ditumpu tidak boleh melebihi 150 mm dari tumpuan lateralnya.



Gambar 2.9 Setiap Batang Tulangan Longitudinal Tertumpu Secara Lateral Oleh Sudut Sengkan, $h_x < 350$ mm
(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019b)



Gambar 2. 10 Batang Tulangan Longitudinal Yang Tidak Tertumpu Secara Lateral Oleh Sudut Sengkan, $h_x < 150$ mm
(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019b)

3. Tulangan transversal balok harus memenuhi:
 - a. Tulangan transversal di pasang pada daerah berikut:
 - 1) Sepanjang jarak yang sama dengan $2h$ yang diukur dari muka tumpuan ke tengah bentang pada kedua sisi.
 - 2) Sepanjang jarak yang sama dengan $2h$ pada kedua sisi yang memiliki kemungkinan terjadi pelelehan lentur akibat deformasi lateral yang melebihi perilaku elastik.
 - b. Kekuatan geser nominal balok (V_n) dihitung dengan mengasumsikan nilai $V_c = 0$ apabila $V_e \geq 0,5V_u$ dan P_u termasuk pengaruh gempa tidak lebih dari $\frac{A_g f'_c}{20}$.
 - c. Apabila $V_u \geq \Phi 0,5V_c$, luas tulangan transversal yang disediakan untuk balok beton bertulang nonprategang harus melebihi nilai terbesar dari 1) dan 2).

$$1) \quad 0,062\sqrt{f'_c} \frac{b_w}{f_{yt}} \quad (2.64)$$

$$2) \quad 0,35 \frac{b_w}{f_{yt}} \quad (2.65)$$

- d. Jika $T_u \geq \Phi T_{th}$, tulangan transversal minimum $(A_v + 2A_t)_{\min} / s$ harus lebih besar dari 1) atau 2).

$$1) \quad 0,062\sqrt{f'_c} \frac{b_w}{f_{yt}} \quad (2.66)$$

$$2) \quad 0,35 \frac{b_w}{f_{yt}} \quad (2.67)$$

- e. Spasi tulangan transversal tidak boleh melebihi nilai terkecil dari 1) hingga 3).

$$1) \quad 150 \text{ mm}$$

$$2) \quad \text{Enam kali diameter terkecil tulangan longitudinal utama.}$$

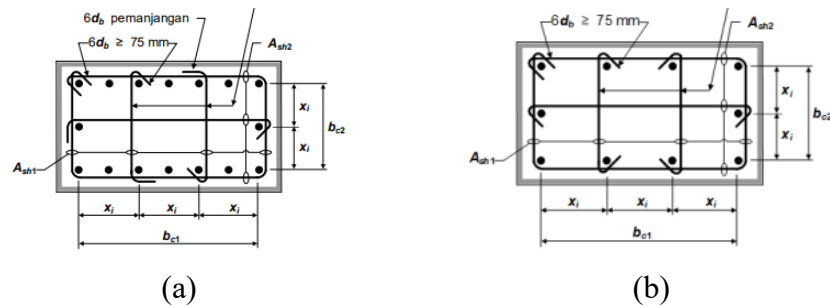
$$3) \quad \frac{d}{4} \quad (2.68)$$

2.5.3.2 Kolom

Berdasarkan Pasal 10 dan Pasal 18 SNI Nomor 2847 Tahun 2019, perencanaan kolom beton bertulang pada Tugas Akhir ini harus memenuhi ketentuan-ketentuan berikut:

1. Dimensi penampang terkecil kolom sekurang-kurangnya adalah 300 mm dan tidak kurang dari 0,4 kali dimensi tegak lurus nya.
2. Tulangan longitudinal kolom harus memenuhi:
 - a. Jumlah tulangan longitudinal kolom dengan sengkang ikat segi empat sekurang-kurangnya adalah 4 buah dan luas tulangan yang disediakan tidak boleh kurang dari 1% A_g tetapi tidak melebihi 6% A_g .
 - b. Jika tulangan longitudinal tertumpu secara lateral oleh sudut ikat silang atau kaki sengkang pengekan, spasi (h_x) antara tulangan-tulangan yang

tertumpu tersebut tidak boleh lebih dari 350 mm (Gambar 2.11a). Jika $P_u > 0,3A_g f'_c$ atau $f'_c > 70$ MPa setiap batang tulangan longitudinal harus tertumpu oleh sudut kaki sengkang atau kait gempa dan spasi (h_x) antara tulangan-tulangan yang tertumpu tersebut tidak boleh lebih dari 200 mm (Gambar 2.11b).



Gambar 2.11 (a) Spasi (h_x) Maksimum Tulangan Longitudinal Kolom Yang Tertumpu Secara Lateral, (b) Spasi (h_x) Maksimum Tulangan Longitudinal Kolom Yang Tertumpu Secara Lateral Jika $P_u > 0,3A_g f'_c$ Atau $f'_c > 70$ MPa

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019b)

c. Spasi tulangan longitudinal kolom harus melebihi nilai terbesar dari 1) hingga 3).

1) 40 mm

2) $\frac{4}{3}d_{agg}$ (2.69)

3) $1,5d_b$ (2.70)

d. Sambungan lewatan dapat digunakan pada daerah tengah tinggi kolom dan harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik dan harus dilingkupi tulangan transversal.

3. Tulangan transversal harus memenuhi:

a. Tulangan transversal harus dipasang sepanjang l_o . Nilai l_o sekurangnya adalah nilai terbesar dari 1) hingga 3).

1) Seperenam tinggi bersih kolom

- 2) 450 mm
 - 3) Tinggi kolom pada muka *joint* atau pada penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi
- b. Jika $P_u \leq 0,3A_g f'_c$ dan $f'_c \leq 70$ MPa jumlah tulangan transversal adalah nilai terbesar dari 1) dan 2). Jika $P_u > 0,3A_g f'_c$ atau $f'_c > 70$ MPa jumlah tulangan transversal adalah nilai terbesar dari 1) hingga 3).

$$1) \quad 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (2.71)$$

$$2) \quad 0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (2.72)$$

$$3) \quad 0,2 \left(\frac{f'_c}{175} + 0,6 \right) \left(\frac{n_l}{n_l - 2} \right) \left(\frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}} \right) \quad (2.73)$$

- c. Kekuatan geser nominal kolom (V_n) dihitung dengan mengasumsikan nilai $V_c = 0$ apabila $V_e \geq 0,5V_u$ dan P_u termasuk pengaruh gempa tidak lebih dari $\frac{A_g f'_c}{20}$.

- d. Jika diperlukan tulangan geser, luas tulangan geser minimum harus lebih besar dari nilai 1) dan 2).

$$1) \quad 0,062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w S}{f_{yt}} \quad (2.74)$$

$$2) \quad 0,35 \frac{b_w S}{f_{yt}} \quad (2.75)$$

- e. Spasi tulangan transversal tidak boleh melebihi nilai terkecil dari 1) hingga 3).

- 1) Nilai S_o yang dihitung menggunakan Persamaan (2.76) (S_o tidak lebih dari 150 mm dan tidak kurang dari 100 mm).

$$S_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \quad (2.76)$$

- 2) Seperempat dimensi terkecil penampang kolom.

- 3) Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil.
4. Jumlah momen nominal kolom ($\sum M_{nc}$) yang merangka ke dalam *joint* sekurang-kurangnya sama dengan 1,2 kali jumlah momen nominal balok ($\sum M_{nb}$) yang merangka ke dalam *joint*.

2.5.3.3 Pelat Lantai

Berdasarkan Pasal 8 SNI Nomor 2847 Tahun 2019, perencanaan pelat lantai beton bertulang pada Tugas Akhir ini harus memenuhi ketentuan-ketentuan berikut:

1. Dimensi pelat harus memenuhi:
 - a. Balok tepi dengan $a_f \geq 0,8$ harus tersedia untuk pelat tepi yang tidak menerus atau tebal pelat tepi harus lebih dari nilai 1) atau 2) yang diperbesar sedikitnya 10%.

$$1) \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(a_{fm} - 0,2)} \quad (2.77)$$

$$2) \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (2.78)$$
 - b. Tebal minimum pelat dua arah nonprategang dengan balok *interior* yang membentang di antara tumpuan di semua sisinya diambil dari Tabel 2.25 dan Tabel 2.26.

Tabel 2.25 Tebal Minimum Pelat Dua Arah Dengan Balok Di Antara Tumpuan Di Semua Sisi ($a_{fm} > 0,2$) (mm)

a_{fm}	h minimum, mm	
$0,2 < a_{fm} < 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(a_{fm} - 0,2)}$
		125

a_{fm}	h minimum, mm	
$a_{fm} > 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$
		90

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019b)

Tabel 2.26 Tebal Minimum Pelat Dua Arah Dengan Balok Di Antara Tumpuan Di Semua Sisi ($a_{fm} \leq 0,2$) (mm)

f_y , MPa	Tanpa Drop Panel			Dengan Drop Panel		
	Pelat Exterior		Pelat Interior	Pelat Exterior		Pelat Interior
	Tanpa Balok	Dengan Balok		Tanpa Balok	Dengan Balok	
280	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/40$	$l_n/40$
420	$l_n/30$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$
520	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019b)

2. Tulangan longitudinal pelat harus memenuhi:
 - a. Luas minimum tulangan lentur batang ulir untuk pelat dua arah nonprategang dengan $f_y \geq 420$ MPa adalah nilai terbesar dari 1) dan 2).
 - 1)
$$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g \quad (2.79)$$
 - 2)
$$0,0014 A_g \quad (2.80)$$
 - b. Spasi minimum tulangan longitudinal pelat yang sejajar dalam arah horizontal dan vertikal sama dengan ketentuan spasi minimum tulangan longitudinal balok.
 - c. Pada penampang kritis spasi tulangan ulir longitudinal tidak boleh melebihi nilai terkecil dari $2h$ dan 450 mm. Untuk penampang lainnya spasi maksimum tulangan longitudinal adalah nilai terkecil dari $3h$ dan 450 mm.

- d. Regangan minimum baja tulangan untuk pelat nonprategang adalah 0,004.
- e. Sambungan lewatan dapat digunakan untuk tulangan pelat lantai.
- f. Tulangan ulir bawah yang dipasang pada daerah tumpuan di masing-masing arah harus menerus atau dapat disambung lewatkan dalam kondisi tarik kelas B.
- g. Sekurangnya 2 batang tulangan pada daerah tumpuan harus melewati di dalam area yang dibatasi oleh tulangan longitudinal kolom dan diangkur pada tumpuan eksterior.
- h. Tulangan ulir harus disalurkan dalam kondisi tekan atau tarik.

2.5.3.4 Dinding Geser (*Shear Wall*)

Berdasarkan Pasal 11 dan Pasal 18 SNI Nomor 2847 Tahun 2019 perencanaan dinding geser pada Tugas Akhir ini harus memenuhi ketentuan berikut:

1. Batasan dimensi penampang tercantum pada Tabel 2.27.

Tabel 2.27 Tebal Minimum Dinding Geser (mm)

Tipe Dinding	Ketebalan Minimum	
Tumpu	Terbesar dari	100
		$\frac{1}{25}$ nilai terkecil dari panjang dan tinggi tidak tertumpu
Bukan tumpu	Terbesar dari	100
		$\frac{1}{30}$ nilai terkecil dari panjang dan tinggi tidak tertumpu
<i>Basement</i> dan fondasi eksterior		190

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019b)

2. Rasio tulangan badan terdistribusi ρ_t dan ρ_l tidak boleh kurang dari 2,5% jika $V_u \geq 0,083A_{cv}\lambda\sqrt{f'_c}$. Spasi tulangan untuk masing-masing arah tidak lebih dari 450 mm.

3. Sekurangnya dua lapis tulangan harus disediakan jika $V_u \geq 0,17A_{cv}\lambda\sqrt{f'_c}$ atau $\frac{h_w}{l_w} \geq 2,0$.

4. Kekuatan nominal untuk geser tidak boleh melebihi Persamaan (2.81). Koefisien α_c adalah 0,25 untuk $\frac{h_w}{l_w} \leq 1,5$ dan 0,17 untuk $\frac{h_w}{l_w} \geq 2,0$.

$$V_n = A_{cv}(\alpha_c\lambda\sqrt{f'_c} + \rho_t f_y) \quad (2.81)$$

5. Tulangan geser harus terdistribusi dalam dua arah *orthogonal*. Jika $\frac{h_w}{l_w} < 2,0$ nilai ρ_t tidak boleh kurang dari ρ_1 .

6. Untuk semua segmen vertikal dinding yang secara bersamaan menahan beban lateral, kekuatan nominal untuk geser tidak boleh lebih dari $0,66A_{cv}\sqrt{f'_c}$. Untuk masing-masing segmen individu kekuatan nominal untuk geser tidak boleh lebih dari $0,83A_{cw}\sqrt{f'_c}$.

7. Elemen batas untuk dinding struktural khusus harus memenuhi:

- a. Dinding atau pilar-pilar dinding yang menerus dari dasar struktur hingga sisi atas dinding dan dengan $\frac{h_w}{l_w} \geq 2,0$ harus memenuhi 1) hingga 3).

- 1) Zona tekan harus ditulangi dengan elemen batas khusus jika:

$$c \geq \frac{l_w}{600 \left(\frac{1,58\delta_u}{h_w} \right)} \quad (2.82)$$

- 2) Jika elemen batas khusus disyaratkan oleh *point* 1), tulangan transversal elemen batas khusus harus diperpanjang pada arah vertikal, di atas dan di bawah penampang kritis dengan jarak minimal nilai terbesar dari l_w dan $\frac{M_u}{4V_u}$.

- 3) Dinding-dinding yang tidak didesain sesuai *point* 1) dan 2) harus memiliki elemen-elemen batas khusus pada daerah batas dan daerah

tepi-tepi sekeliling bukaan dari dinding-dinding *structural* dimana tegangan tekan serat ekstrim maksimum, akibat kombinasi beban termasuk pengaruh gempa lebih dari $0,2f_c'$. Elemen batas khusus dapat dihentikan pada lokasi dimana tegangan tekan yang dihitung kurang dari $0,15f_c'$.

- b. Elemen batas harus diperpanjang pada arah horizontal dari serat tekan terluar sejauh minimal nilai terbesar dari $c - 0,1l_w$ dan $\frac{c}{2}$.

- c. Lebar daerah tekan lentur sepanjang jarak horizontal yang dihitung berdasarkan *point* a sekurangnya adalah $\frac{h_u}{16}$. Untuk dinding dengan

$$\frac{h_w}{l_w} \geq 2,0 \text{ yang menerus dari dasar struktur hingga sisi atas dinding dan}$$

dengan $\frac{c}{l_w} \geq 3,8$ lebar daerah tekan lentur harus lebih besar dari atau sama dengan 300 mm.

- d. Jumlah tulangan transversal, $\frac{A_{sh}}{SB_c}$ yang menggunakan sengkang pengekat persegi harus nilai terbesar dari 1) dan 2).

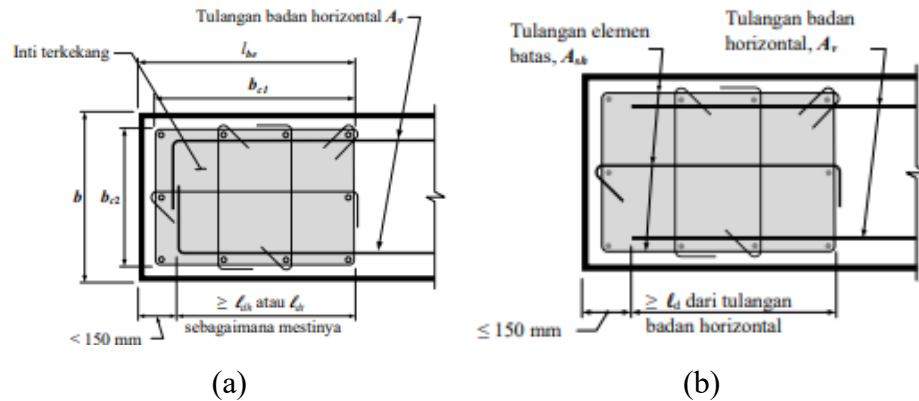
$$1) \quad 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}} \quad (2.83)$$

$$2) \quad 0,09 \frac{f_c'}{f_{yt}} \quad (2.84)$$

- e. Tulangan badan dinding harus diperpanjang masuk sedalam 150 mm pada tepi dinding dan harus diangkur dengan kait standar atau tulangan berkepala. Jika panjang zona elemen batas mencukupi untuk penyaluran tulangan horizontal badan dan $\frac{A_v f_y}{s}$ tulangan badan tidak lebih dari

$$\frac{A_{sh} f_{yt}}{s} \text{ tulangan transversal elemen batas yang dipasang sejajar dengan}$$

tulangan horizontal badan, maka tulangan horizontal tersebut dapat disalurkan tanpa kait atau kepala.



Gambar 2.12 (a) Panjang Penyaluran Tulangan Badan Horizontal Dalam Elemen Batas Yang Terkekang (b) Panjang Penyaluran

Tulangan Badan Horizontal Dengan Kondisi $\frac{A_v f_y}{s}$ Tulangan Badan

Kurang Dari $\frac{A_{sh} f_{yt}}{s}$ Tulangan Transversal Yang Sejajar Tulangan

Horizontal Badan

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019b)

2.5.3.5 Tangga

Perencanaan tangga untuk suatu gedung mengacu pada ketentuan-ketentuan berikut:

1. Tinggi anak tangga maksimum adalah 19 cm, tetapi tidak kurang dari 16,5 cm.
2. Lebar anak tangga minimum adalah 24 cm dan dihitung berdasarkan:

$$60 \text{ cm} \leq 2t + i \leq 65 \text{ cm} \quad (2.85)$$
3. Jumlah tanjakan (n_t) dan injakan (n_i) tangga dihitung menggunakan Persamaan (2.86) dan Persamaan (2.87).

$$n_t = \frac{h}{t} \quad (2.86)$$

$$n_i = n_t - 1 \quad (2.87)$$

4. Sudut kemiringan tangga tidak boleh kurang dari 25° , tetapi tidak lebih dari 40° . Sudut kemiringan tangga dihitung menggunakan Persamaan.

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{t}{i} \quad (2.88)$$

5. Tebal efektif pelat tangga dapat dihitung berdasarkan perbandingan luas segitiga.

$$\Delta_1 = \Delta_2 \quad (2.89)$$

$$\Delta_1 = 0,5 \times t \times i \quad (2.90)$$

$$\Delta_2 = 0,5 \times d \times \sqrt{t^2 + i^2} \quad (2.91)$$

2.5.4 Pendetailan Tulangan

2.5.4.1 Tulangan Transversal

Berdasarkan Pasal 25.3 dan Pasal 25.7 SNI Nomor 2847 Tahun 2019, beberapa aturan mengenai pendetailan tulangan transversal adalah sebagai berikut:

1. Senggang pengeang

Senggang pengeang berupa senggang tertutup dengan menggunakan kait seismik di kedua ujungnya dan dikaitkan dengan tulangan longitudinal.

2. Kait seismik

Kait seismik harus memenuhi ketentuan berikut:

- a. Untuk senggang pengeang lingkaran bengkokan minimum adalah 90 derajat sedangkan senggang pengeang lainnya adalah 135 derajat.
- b. Perpanjangan ujung kait mengarah ke bagian dalam senggang dan tulangan longitudinal harus diikat oleh kait.

3. Ikat silang

Ikat silang harus memenuhi ketentuan berikut:

- a. Terdapat kait seismik di salah satu ujungnya dan kait standar di ujung yang lain (bengkokan minimum 90 derajat).
- b. Apabila kait standar dari dua ikat silang yang bersebelahan mengikat tulangan longitudinal yang sama letaknya harus dipasang selang-seling.

- c. Ikat silang harus menerus dari ujung ke ujung dan mengikat tulangan longitudinal terluar.

Tabel 2.28 Diameter Sisi Dalam Bengkokan Dan Perpanjangan Lurus Kait Untuk Senggang Pengekang, Ikat Silang, Kait Seismik (mm)

Tipe Kait	Ukuran Batang	Diameter Sisi Dalam Bengkokan Minimum	Perpanjangan Lurus, ℓ_{ext} (mm)
Kait 90 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm
	D19 hingga D25	$6d_b$	$12d_b$
Kait 135 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm
	D19 hingga D25	$6d_b$	
Kait 180 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $4d_b$ dan 65 mm
	D19 hingga D25	$6d_b$	

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019b)

2.5.4.2 Sambungan Tulangan

Berdasarkan Pasal 25.5 SNI Nomor 2847 Tahun 2019, beberapa aturan mengenai pendetailan sambungan lewatan tulangan longitudinal adalah sebagai berikut:

1. Sambungan lewatan batang ulir kondisi tekan

Panjang sambungan lewatan dalam kondisi tekan (ℓ_{sc}) untuk tulangan ulir D36 atau yang lebih kecil dengan nilai $f_y \leq 420$ MPa adalah nilai terbesar dari a dan b.

a. $0,071f_y d_b$ (2.92)

b. 300 mm

2. Sambungan lewatan batang ulir kondisi tarik

Panjang sambungan lewatan batang ulir dalam kondisi tarik (ℓ_{st}) diatur dalam Tabel 2.29.

Tabel 2.29 Panjang Sambungan Lewatan Batang Ulir Kondisi Tarik (mm)

$A_{s,t} / A_{s,p}$ Sepanjang Sambungan Lewatan	Maksimum Presentase dari A_s Lewatan Dalam Panjang Lewatan yang diperlukan	Tipe Sambungan Lewatan	ℓ_{st}
≥ 2	50	Kelas A	Terbesar dari ℓ_d dan 300 mm
	100	Kelas B	Terbesar dari $1,3\ell_d$ dan 300 mm
< 2	Semua kelas	Kelas B	

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019b)

2.5.4.3 Penyaluran Tulangan

Berdasarkan Pasal 25.4 dan Pasal 18.8 SNI Nomor 2847 Tahun 2019, beberapa aturan mengenai pendetailan penyaluran tulangan longitudinal adalah sebagai berikut:

1. Penyaluran batang ulir kondisi tekan

Panjang penyaluran tulangan ulir dalam kondisi tekan (ℓ_{dc}) adalah nilai terbesar dari a hingga c. Nilai λ adalah 1 untuk beton normal dan Ψ_r diambil dari Tabel 2.31.

a. 200 mm

b. $\left(\frac{0,24f_y\Psi_r}{\lambda\sqrt{f'_c}} \right) d_b$ (2.93)

c. $0,043 f_y \Psi_r d_b$ (2.94)

2. Penyaluran batang ulir kondisi tarik yang dilengkapi dengan kait

Penyaluran batang ulir kondisi tarik yang dilengkapi dengan kait standar untuk rangka pemikul momen khusus harus dianalisis berdasarkan ketentuan berikut:

- a. Panjang penyaluran untuk tulangan D10 hingga D36 dihitung menggunakan Persamaan (2.95).

$$\frac{f_y d_b}{5,4\lambda\sqrt{f'_c}} \quad (2.95)$$

- b. Untuk beton normal faktor modifikasi λ diambil sebesar 1.
- c. Kait standar harus ditempatkan dalam inti terkekang kolom atau elemen batas, dengan kait ditekuk dalam *joint*.
- d. Perpanjangan lurus kait diambil dari Tabel 2.30.

Tabel 2.30 Diameter Sisi Dalam Dan Perpanjangan Lurus Untuk Penyaluran Kait Dalam Kondisi Tarik (mm)

Tipe Kait	Ukuran Batang	Diameter Sisi Dalam Bengkokan Minimum	Perpanjangan Lurus, ℓ_{ext} (mm)
Kait 90 derajat	D10 hingga D25	$6d_b$	$12d_b$
	D29 hingga D36	$8d_b$	
	D43 hingga D57	$10d_b$	
Kait 180 derajat	D10 hingga D25	$6d_b$	Terbesar dari $4d_b$ dan 65 mm
	D29 hingga D36	$8d_b$	
	D43 hingga D57	$10d_b$	

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019b)

Tabel 2.31 Faktor Modifikasi Untuk Penyaluran Batang Ulir Kondisi Tekan

Tulangan	Kondisi	Nilai
Tulangan pengekan	Tulangan dilingkupi oleh: 1. Sengkan spiral 2. Sengkan lingkaran menerus dengan $d_b \geq 6$ mm dan jarak 100 mm 3. Sengkan D13 atau pengikat kawat D10 dengan spasi pusatnya ≤ 100 mm 4. Sengkan pengekan dengan spasi ≤ 100 mm	0,75
	Lainnya	1,0

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019b)