

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Struktur Bangunan Gedung

Bangunan Gedung menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung, adalah wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, sebagian atau seluruhnya berada di atas dan/atau di dalam tanah dan/atau air, yang berfungsi sebagai tempat manusia melakukan kegiatannya, baik untuk hunian atau tempat tinggal, kegiatan keagamaan, kegiatan usaha, kegiatan sosial, budaya, maupun kegiatan khusus.

Terciptanya bangunan gedung yaitu dari penggabungan lingkungan di sekitar dengan unsur-unsur bangunan baik itu dari dalam tanah maupun di atas tanah. Manusia sangat membutuhkan bangunan gedung untuk melakukan berbagai macam aktivitas. Fungsi dari bangunan gedung adalah sebagai tempat untuk bekerja, belajar, beristirahat, berinteraksi, dan melakukan aktivitas sehari-hari lainnya. Bangunan gedung dibagi menjadi beberapa bagian berdasarkan fungsinya, Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 24 Tahun 2008 sebagai berikut:

1. Bangunan rumah tinggal,
2. Bangunan komersial,
3. Bangunan penginapan,
4. Bangunan pendidikan,
5. Bangunan kesehatan,
6. Bangunan peribadatan,
7. Bangunan fasilitas transportasi,
8. Bangunan hiburan dan budaya,
9. Bangunan pemerintahan dan layanan publik.

Struktur merupakan suatu kerangka utama sistem bangunan, yang mana elemen utama tersebut akan menyangga beban dari elemen yang lain baik secara langsung maupun tidak langsung.

Peraturan Pelaksanaan Undang-undang Nomor 28 Tahun 2002 Tentang Bangunan Gedung, Struktur bangunan gedung harus direncanakan kuat, stabil, dan memenuhi ketentuan pelayanan (*serviceability*) dalam memikul beban selama umur layanan yang direncanakan dengan mempertimbangkan fungsi Bangunan Gedung, lokasi, keawetan, dan kemudahan pelaksanaan konstruksi. Ketentuan teknis mengenai standar sistem struktur bangunan gedung meliputi struktur atas bangunan gedung dan struktur bawah bangunan gedung. Material struktur dan Konstruksi meliputi konstruksi beton, baja, kayu, bambu, dan konstruksi dengan bahan teknologi khusus.

2.2 Struktur Beton Bertulang

Beton Bertulang merupakan suatu struktur konstruksi dari beton dan tulangan baja untuk mencapai kekuatan dan ketahanan yang diinginkan. Berbagai jenis bangunan seperti jembatan, jalan, dan gedung menggunakan beton bertulang karena dapat menahan gaya tekan dan tahan terhadap momen geser dan lentur. Menurut SNI 2847:2019, Beton Bertulang adalah beton struktural yang ditulangi dengan tidak kurang dari jumlah baja prategang atau tulangan nonprategang minimum yang ditetapkan.

2.2.1 Beton

Beton adalah suatu campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Dengan proses dari hidrasi semen, agregat dapat saling mengikat menjadi kesatuan yang keras dan kokoh yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi namun lemah dalam menahan tarik. Maka dari itu, beton diperlukan tulangan baja untuk meningkatkan ketahanan tariknya.

Menurut (Setiawan A, 2016) dalam buku yang berjudul Perancangan Struktur Beton Bertulang, beton merupakan material konstruksi yang terdiri dari penggabungan pasir, agregat, semen dan air yang terkadang ditambahkan beberapa macam bahan tambahan ke dalam campuran tersebut agar dapat memperbaiki sifat-sifat dari beton seperti waktu pengerasan, *durability*, dan *workability*.

2.2.1.1 Kuat Tekan Beton

Kuat Tekan Beton (*Compressive Strength*) merupakan salah satu parameter untuk menentukan nilai mutu beton. Kekuatan tekan beton meningkat seiring dengan usia dan akan meningkat secara cepat hingga usia 28 hari, namun setelah itu peningkatan kekuatan tekan beton menjadi lambat. Semakin tinggi kekuatan struktur bangunan, semakin tinggi pula kualitas beton yang dihasilkan (Ramdani dkk., 2024).

Beton dilakukan pengujian setelah beton berumur 28 hari untuk mengetahui nilai maksimum beton ketika menerima gaya luar. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menghitung kuat tekan beton pada persamaan (2.1).

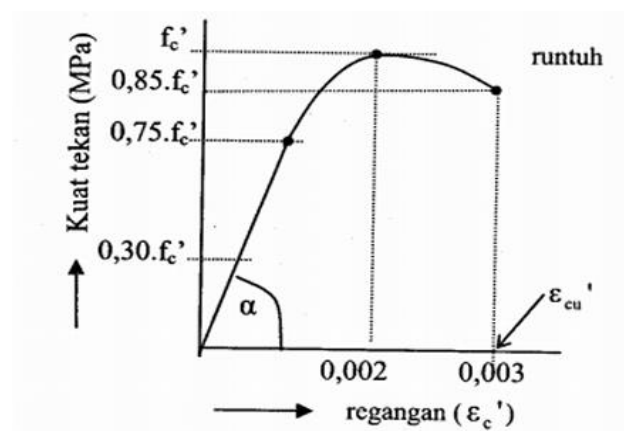
$$f'_c = \frac{P_{\max}}{A} \quad (2.1)$$

Keterangan:

f'_c = kuat tekan (N/mm^2)

P = gaya desak (N)

A = luas penampang (mm^2)



Gambar 2.1 Hubungan tegangan-regangan pada beton uji silinder

(Sumber: Tambupolon, 2022)

2.2.1.2 Kuat Tarik Beton

Kuat Tarik Beton (*Tensile Strength*) salah satu parameter untuk menahan retak (*crack*) pada struktur beton yang diakibatkan oleh kadar air dan suhu. Nilai kuat beton normal yaitu 9%-15% dari kuat tekannya (Kushendrahayu dkk., 2015). Nilai dari kuat tarik (f_t) dapat diketahui dari persamaan (2.2).

$$f_t = \frac{2P}{\pi ld} \quad (2.2)$$

Keterangan:

f_t = kuat tarik belah (N/mm^2)

P = beban pada waktu beton terbelah (N)

l = panjang benda uji silinder (mm)

d = diameter benda uji silinder (mm)

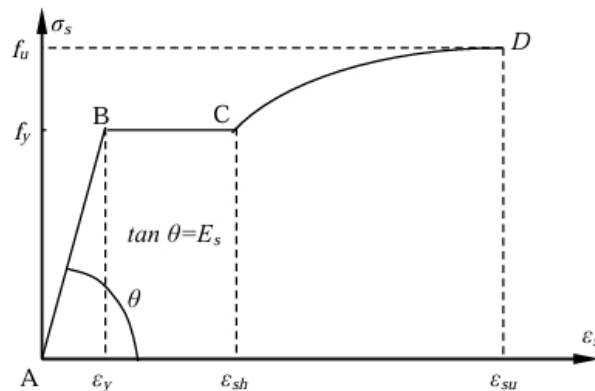
2.2.1.3 Modulus Elastisitas Beton

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 19.2.2 nilai modulus elastisitas beton diketahui dengan persamaan (2.3)

$$E_c = 4700\sqrt{f_{c'}} \quad (2.3)$$

2.2.2 Tulangan Baja

Tulangan baja merupakan batang baja bulat yang terletak di dalam beton untuk menahan gaya tarik yang muncul akibat beban eksternal yang bekerja pada struktur. Ada dua jenis bentuk tulangan baja yaitu tulangan baja polos dan tulangan baja sirip/ulir (*deform*). Berdasarkan idealisasi tegangan-regangan baja saat menerima gaya tarik yang meningkat secara konstan dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Idealisasi tegangan-regangan Baja

(Sumber: Antonius, 2021)

Dalam SNI 2847:2019, nilai modulus elastisitas baja diambil sebesar 200000 MPa. Syarat beton bertulang untuk bangunan gedung yaitu menggunakan baja tulangan ulir dan bentuk tulangan spiral diperbolehkan menggunakan kawat atau batang polos. Tulangan baja sirip/ulir dapat mengurangi lebar retak beton dan

mampu mengikat kuat pada beton. Adapun untuk sifat mekanis tulangan baja sesuai dengan SNI 2852:2024 dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat Mekanis Baja Tulangan

Kelas Baja Tulangan	Kuat Leleh (fy) (MPa)	Kuat Tarik (fu) (MPa)	Regangan/uluran dalam 200mm, min. %
BjTP 280	Min. 280	Min. 350	11 ($d \leq 10$ mm)
	Maks. 405		12 ($d \geq 12$ mm)
BjTS 280	Min. 280	Min. 350	11 ($d \leq 10$ mm)
	Maks. 405		12 ($d \geq 13$ mm)
BjTS 420	Min. 420 Maks. 545	Min. 525	14 ($d \leq 19$ mm)
			12 ($22 \leq d \leq 36$ mm)
			10 ($d > 36$ mm)
BjTS 520	Min. 520	Min. 650	7 ($d \leq 25$ mm)
	Maks. 645		6 ($d \geq 29$ mm)
BjTS 550	Min. 550	Min. 687,5	12 ($6 \leq d \leq 36$ mm)
	Maks. 675		10 ($d > 36$ mm)
BjTS 690	Min. 690	Min. 805	10
	Maks. 815		

2.2.3 Selimut Beton

Selimut beton berfungsi sebagai pelindung untuk tulangan baja dari beberapa faktor seperti paparan bahan kimia, korosi dan suhu ekstrem. Dengan pemeliharaan selimut beton yang baik, maka akan meningkatkan ketahanan struktur terhadap degradasi akibat kondisi lingkungan yang keras dan waktu. Syarat tebal selimut beton untuk komponen struktur beton nonprategang yang dicor di tempat berdasarkan SNI 2847:2019 ditunjukkan seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Ketebalan Selimut Beton

Paparan	Komponen struktur	Tulangan	Ketebalan selimut (mm)
Dicor dan secara permanen kontak dengan tanah	Semua	Semua	75
Terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Semua	Batang D19 hingga D57	50
		Batang D16, Kawat Ø13 atau D13 dan yang lebih kecil	40
Tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Pelat, pelat berusuk dan dinding	Batang D43 dan D57	40
		Batang D36 dan yang lebih kecil	20

Paparan	Komponen struktur	Tulangan	Ketebalan selimut (mm)
		Tulangan utama, Sengkang, Sengkang ikat, spiral dan Sengkang pengekat	40

2.3 Sistem Struktur Tahan Gempa

Sistem elemen struktur bangunan penahan gempa dirancang untuk mampu menahan beban lateral untuk menjaga kestabilan dan keamanan struktur. Secara umum sistem struktur penahan gempa dibagi menjadi tiga yaitu sistem struktur rangka (*frame*), sistem struktur dinding, dan sistem struktur ganda (*dual system*).

2.3.1 Sistem Struktur Rangka

Menurut SNI 2847:2019, Sistem Rangka Pemikul Momen menahan gaya melalui lentur, geser, dan gaya aksial. Sistem rangka pemikul momen juga terbagi menjadi 3, antara lain:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), rangka balok kolom atau rangka pelat kolom yang dicor di tempat atau pracetak dan memenuhi persyaratan 18.3
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), Rangka balok kolom yang dicor di tempat dan memenuhi persyaratan 18.2.3 hingga 18.2.8 dan 18.6 hingga 18.8. Untuk rangka balok kolom pracetak memenuhi 18.2.3 hingga 18.2.8 dan 18.9.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), Rangka balok kolom atau rangka kolom dan pelat dua arah tanpa balok yang dicor di tempat dan memenuhi persyaratan 18.4.

Berdasarkan penelitian (Kusuma & Priantoro, 2018), penggunaan sistem struktur rangka ini efektif untuk bangunan gedung bertingkat rendah hingga menengah karena mudah dalam proses konstruksinya dan memiliki fleksibilitas yang tinggi.

2.3.2 Sistem Struktur Dinding

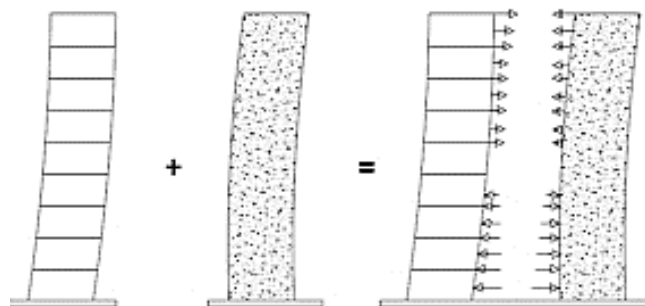
Sistem struktur dinding (*Shearwall*) merupakan salah satu struktur yang digunakan untuk menahan gaya lateral akibat gempa. Maka kekakuan bangunan yang dipikul oleh struktur rangka tidak akan terpengaruhi oleh gaya lateral sepenuhnya. Kekakuan yang berlebih maka akan berdampak pada simpangan struktur (Al Hanif & Koco Buwono, 2014).

Berdasarkan SNI 2837:2019, terdapat Sistem Dinding Struktur Khusus (SDSK), yang digunakan pada struktur dengan KDS D, E atau F. Sistem ini harus memenuhi pasal 18.10. Selain SDSK, terdapat juga dinding struktural umum untuk struktur dengan KDS A, B, atau C. Secara prinsip desain, tidak terdapat perhitungan yang berbeda dari struktural khusus. Hal yang menjadi pembeda pada struktural umum yaitu tidak mewajibkan penggunaan *Boundary Elemen* (BE).

2.3.3 Sistem Struktur Ganda

Sistem Struktur Ganda (*Dual System*) merupakan gabungan antara sistem struktur rangka dan dinding. Berdasarkan SNI 2847:2019 rangka penahan momen harus mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari keseluruhan beban lateral total sebanding dengan kekakuan relatifnya.

Sistem ganda mampu memberikan kemampuan bangunan untuk menahan beban yang lebih baik terutama terhadap beban gempa. Dengan menggunakan sistem ganda, maka bangunan untuk struktur beton dapat mencapai ketinggian hingga 50 tingkat, sedangkan bangunan struktur baja dapat mencapai ketinggian hingga 40 tingkat. Adanya interaksi antara sistem struktur rangka dengan sistem struktur dinding, bangunan mampu memikul gaya geser yang tinggi. Interaksi tersebut. interaksi tersebut terjadi karena kedua sistem tersebut mempunyai perilaku defleksi yang berbeda (Krismahardi & Wahyuono, 2013)



Gambar 2.3 Struktur Gabungan Rangka dengan Dinding

2.4 Elemen Struktural dalam Gedung

Elemen struktur merupakan bagian penting dari suatu bangunan yang berfungsi untuk menahan kestabilan dengan menopang seluruh beban. Berikut beberapa elemen struktur utama dalam bangunan:

2.4.1 Balok

Balok merupakan elemen horizontal rangka struktur yang menahan beban lantai yang di distribusikan ke kolom-kolom dan menghubungkan kolom-kolom. Fungsi dari balok yaitu untuk menahan beban gravitasi, beban lateral, memberikan kekakuan pada struktur bangunan dan menyalurkan beban-beban ke kolom.

2.4.1.1 Preliminary Design pada Balok

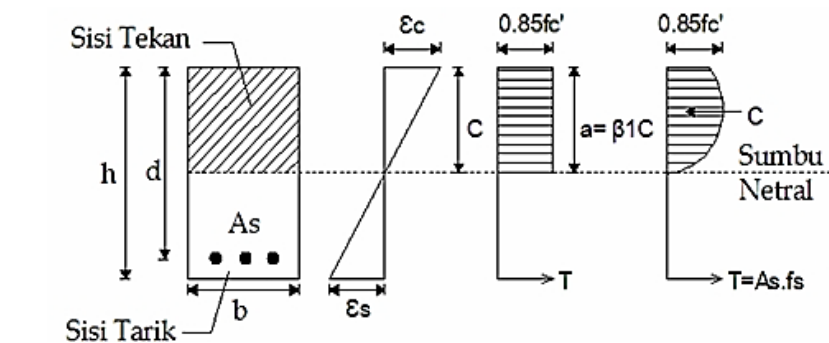
Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.2, Batasan dimensi lebar penampang balok (b_w) harus sekurangnya nilai terkecil dari $0,3h$ dan 250mm dan dengan lebar penampang balok yang melampaui lebar penampang kolom tidak melebihi nilai terkecil dari c_2 dan $0,75c_1$ pada masing-masing sisi kolom. Tinggi minimum balok ditentukan sesuai dengan kondisi perletakkannya yang dimana tertera pada pasal 9.3.1.1 dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Tinggi Minimum Balok

Kondisi Perletakan	Tinggi Minimum Balok (h)
Perletakan sederhana	$\ell/16$
Menerus satu sisi	$\ell/18,5$
Menerus dua sisi	$\ell/21$
Kantilever	$\ell/8$

2.4.1.2 Kuat Lentur pada Balok

2.4.1.2.1 Tulangan Tunggal (Single Reinforced)



Gambar 2.4 Kondisi Tegangan Regangan Balok Tulangan Tunggal
(Sumber: Tribowo & Sabariman, 2016)

Untuk detail perilaku lentur balok tulangan tunggal berdasarkan tegangan-regangan akibat momen lentur yang bekerja dapat dilihat pada Gambar 2.4. Nilai regangan tulangan Tarik balok dapat diketahui dari persamaan (2.4) dan untuk regangan leleh tarik balok dengan $E = 200000$ dan $f_y = 400$ MPa diketahui dapat diketahui dari persamaan (2.5).

$$\varepsilon_t = \frac{d_t - c}{c} \varepsilon_{cu} \quad (2.4)$$

$$\varepsilon_{ty} = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0,002 \quad (2.5)$$

Keterangan:

ε_{cu} = regangan maksimum serat tekan penampang beton

ε_t = regangan tulangan tarik

ε_{ty} = regangan leleh tulangan tarik

d_t = jarak tulangan tarik terluar dari penampang balok (mm)

Berdasarkan SNI 2847:2019 ada tiga jenis penampang beton bertulang berdasarkan besaran regangannya (ε_t) antara lain:

$\varepsilon_t = \varepsilon_{ty}$: kondisi regangan berimbang (*balanced*)

$\varepsilon_t \leq \varepsilon_{ty}$: penampang terkendali tekan (*over reinforced*); keruntuhan getas

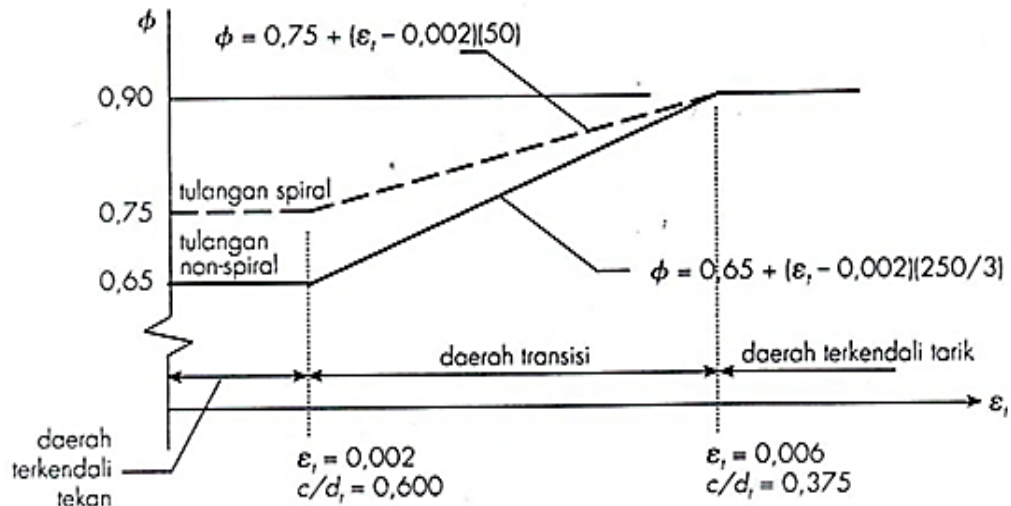
$\varepsilon_t \geq \varepsilon_{ty}$: penampang terkendali tarik (*under reinforced*); keruntuhan daktil

Untuk parameter ε_t dapat diganti menggunakan c/d_t . Nilai c/d_t dihitung dengan persamaan (2.6) dan (2.7).

$$\varepsilon_t = 0,005 \quad (2.6)$$

$$\frac{c}{d_t} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_t} = \frac{0,003}{0,003 + 0,005} = 0,375 \quad (2.7)$$

Dengan adanya perilaku tersebut, selama proses desain nilai faktor reduksi akan terpengaruh. Berdasarkan sengkang yang digunakan, nilai faktor reduksi (ϕ) tersebut dibagi menjadi dua. Hal tersebut sudah diatur dalam SNI 284:2019 seperti pada Gambar 2.5 Variasi Nilai Faktor Reduksi.



Gambar 2.5 Variasi Nilai Faktor Reduksi

(Sumber: Setiawan, 2024)

Untuk nilai kapasitas momen nominal (M_n) didapatkan berdasarkan gaya-gaya yang timbul pada penampang balok. Nilai gaya aksial tekan balok (P_u) disyaratkan harus kurang dari $0,1 A_g x f'_c$. Dalam mendesain suatu elemen balok bertulang, usahakan balok yang didesain merupakan penampang terkendali tarik (*under reinforced*). Kemudian untuk nilai β_1 berdasarkan SNI 2847:2019 dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Nilai β_1 , untuk Distribusi Tegangan Ekuivalen

f'_c (MPa)	β_1
$17 \leq f'_c \leq 28$	0,85
$28 < f'_c < 55$	$0,85 - \frac{0,5 (f'_c - 28)}{7}$
$f'_c \geq 55$	0,65

Luas Tulangan (A_s)

$$A_s = pbd \quad (2.8)$$

Gaya tarik tulangan (T_s)

$$T_s = A_s.f_y \quad (2.9)$$

Gaya tekan beton (C_c)

$$C_c = 0,85.f'_c.a.b \quad (2.10)$$

Momen nominal (M_n)

$$M_n = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) = T_s \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.11)$$

Jika $\sum H = 0$, $C_c = T_s$, maka nilai tinggi balok tegangan tekan (a)

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (2.12)$$

Koefisien kapasitas penampang (R_n)

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} \quad (2.13)$$

Rasio tulangan (p)

$$p = 0,85 \frac{f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 f'_c}} \right) \quad p = 0,85 \frac{f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 f'_c}} \right) \quad (2.14)$$

Rasio tulangan berimbang (p_b)

$$p_b = 0,85 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad p_b = 0,85 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2.15)$$

Batas maksimum rasio tulangan (p_{maks})

$$p_{maks} = \frac{0,003 + \frac{f_y}{E_s}}{0,003 + \epsilon_t} \quad p_{maks} = \frac{0,003 + \frac{f_y}{E_s}}{0,003 + \epsilon_t} \quad p_b \quad p_{maks} = \frac{0,003 + \frac{f_y}{E_s}}{0,003 + \epsilon_t} \quad p_b \quad (2.16)$$

Atau jika berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.1 maka

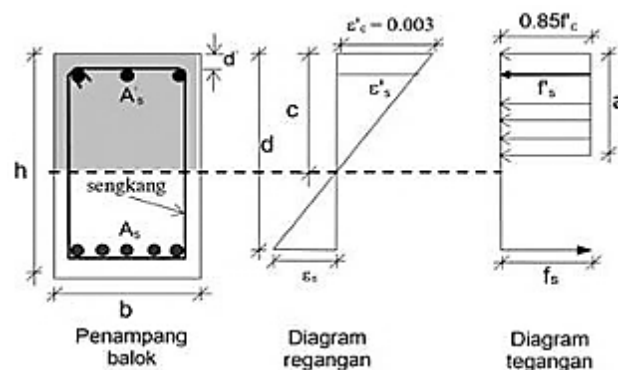
$$p_{maks} = 0,025 \quad p_{maks} = 0,025 \quad (2.17)$$

Batas minimal rasio tulangan (p_{min}) dengan mengambil nilai terbesar

$$p_{min} = \frac{0,025 + \sqrt{f'_c}}{f_y} \quad (2.18)$$

$$p_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.19)$$

2.4.1.2.2 Tulangan Rangkap



Gambar 2.6 Kondisi Tegangan Regangan Balok Tulangan Rangkap
(Sumber: Tumadi dkk., 2022)

Untuk detail perilaku lentur balok tulangan rangkap berdasarkan tegangan-regangan akibat momen lentur yang bekerja dapat dilihat pada Gambar 2.6. Tulangan rangkap balok terdapat tulangan tekan (A_s') sehingga memiliki parameter gaya tekan (C_s). Pada analisis gaya tekan tulangan tarik (T) dibagi menjadi kondisi I (T_1) dan kondisi II (T_2) menjadi persamaan (2.20).

$$T = T_1 + T_2 \quad (2.20)$$

Untuk nilai momen nominal pada kondisi I (T_1) dapat diketahui menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut:

Gaya tekan pada beton (C_c)

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \quad (2.21)$$

Gaya tarik pada tulangan (T_1)

$$T_1 = A_{s1} f_y \quad (2.22)$$

Momen nominal pada kondisi I (M_{n1})

$$M_{n1} = A_{s1} f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.23)$$

Dimana luas tulangan tarik (A_s)

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \quad (2.24)$$

Sedangkan nilai momen nominal pada kondisi II (T_2) dapat diketahui menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut:

Gaya tekan dari tulangan (C_s)

$$C_s = A_s' f'_s \quad (2.25)$$

Gaya tarik dari tulangan (T_2)

$$T_2 = A_{s2} f_y \quad (2.26)$$

Momen nominal pada kondisi II (M_{n2}), $T_2 = C_s$ dan f'_s merupakan tegangan leleh pada tulangan tekan (A_s')

$$M_{n2} = A_s' f'_s (d - d') \quad (2.27)$$

Dimana luas tulangan tarik (A_s)

$$A_s = A_{s2} \quad (2.28)$$

Setelah diketahui kondisi I dan kondisi II, maka momen nominal (M_n) balok beton bertulang tulangan rangkap didapatkan dari persamaan sebagai berikut:

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (2.29)$$

$$M_n = Cc \left(d - \frac{a}{2} \right) + Cs(d - d') \quad (2.30)$$

$$Cc = Cs - T = (A'sf's) - (A_{s1}fy) \quad (2.31)$$

$$M_n = \left[(A'sf's) - (A_{s1}fy) \right] \left(d - \frac{a}{2} \right) + (A'sf's)(d - d') \quad (2.32)$$

Dalam analisis jika $M_{n1} < M_n$ maka memerlukan tulangan tekan dengan menggunakan perhitungan tulangan rangkap. Sedangkan jika $M_{n1} > M_n$ maka tidak memerlukan tulangan tekan sehingga menggunakan perhitungan tulangan tunggal. Terdapat dua kondisi tulangan rangkap, kondisi pertama tulangan tekan sudah leleh ($f's > fy$), sehingga tegangan leleh pada tulangan tekan sama dengan fy . Sedangkan kondisi kedua tulangan tekan belum leleh ($f's < fy$), sehingga tegangan leleh pada tulangan tekan tetap $f's$. Untuk nilai tegangan tekan ($f's$) dapat diketahui dengan persamaan (2.34).

$$\varepsilon'_s = 0,003 \left(\frac{c - d'}{c} \right) \quad (2.33)$$

$$\varepsilon'_s = Es \cdot \varepsilon'_s = 600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) \quad (2.34)$$

2.4.1.3 Kuat Geser pada Balok

Nilai kuat geser nominal (V_n) adalah total penjumlahan kuat geser beton (V_c) dengan tulangan geser (V_s) seperti pada persamaan (2.35).

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.35)$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 dimana faktor reduksi (ϕ) = 0,75, nilai persyaratan geser nominal dapat diketahui pada persamaan (2.36).

$$V_u \leq \phi V_n \quad (2.36)$$

Dimensi penampang balok harus mampu memikul beban geser. Apabila tidak memenuhi syarat, dimensi penampang balok harus di perbesar. Adapun persyaratan dimensi penampang balok diperhitungkan pada persamaan (2.37).

$$V_u \leq \phi V_n = \phi \left(V_c \sqrt{f'c} b_w d \right) \quad (2.37)$$

Ketika penampang balok menerima pembebanan, nilai M_u dan V_u terjadi secara bersamaan. Adapun persyaratan dapat diketahui pada persamaan (2.38).

$$\frac{V_u.d}{M_u} < 1,0 \quad (2.38)$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 22.5.5.1 pada tabel 22.5.5.1 diambil nilai terkecil untuk nilai kuat geser beton (V_c). Adapun nilai kuat geser terkecil dapat diketahui pada persamaan sebagai berikut:

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_w d \quad (2.39)$$

$$V_c = \left(0,16\lambda\sqrt{f'_c} + 17\rho_w \frac{V_u.d}{M_u} \right) b_w d \quad (2.40)$$

$$V_c = \left(0,16\lambda\sqrt{f'_c} + 17\rho_w \right) b_w d \quad (2.41)$$

$$V_c = 0,29\lambda\sqrt{f'_c}b_w d \quad (2.42)$$

Keterangan:

λ = faktor modifikasi, beton normal = 1,0

ρ_w = rasio tulangan tarik ($A_s/b_w.d$)

V_u = gaya geser *ultimate* hasil analisis struktur (N)

M_u = momen *ultimate* hasil analisis struktur (Nmm)

b_w = lebar penampang balok (mm)

d = tinggi efektif balok (mm)

Apabila tulangan geser (V_s) menggunakan tulangan geser dengan posisi tegak lurus ($\alpha=90^\circ$), maka menggunakan persamaan (2.43).

$$V_s = \frac{A_v.f_{yt}.d}{s} < V_{s, \max} = 0,66\sqrt{f'_c}b_w d \quad (2.43)$$

Kemudian rasio luas tulangan geser (A_v) dengan jarak tulangan geser (s) dapat diketahui dengan persamaan (2.45) dengan n =jumlah kaki tulangan geser (sengkang).

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi f_{yt} d} \quad (2.44)$$

$$A_v = n \cdot \frac{1}{4} \pi D^2 \quad (2.45)$$

Untuk tulangan geser dalam jumlah luasan minimum ($A_v, \min$) harus dipertimbangkan, oleh karena itu nilai A_v diambil nilai terbesar.

$$\frac{A_v, \min}{s} = 0,062 \sqrt{f'c} \frac{b_w s}{f_{yt}} \quad (2.46)$$

$$\frac{A_v, \min}{s} = \frac{0,35 b_w s}{f_{yt}} \quad (2.47)$$

Jarak maksimum tulangan geser (s) harus dipertimbangkan dan mengambil nilai terkecil.

$$V_s \leq V_{c1} = 0,33 \sqrt{f'c} b_w d; S_{maks} = \frac{d}{2} \text{ atau } 600 \text{ mm} \quad (2.48)$$

$$V_s \leq V_{c1} = 0,33 \sqrt{f'c} b_w d; S_{maks} = \frac{d}{4} \text{ atau } 300 \text{ mm} \quad (2.49)$$

Berdasarkan gaya geser *ultimate* ada beberapa kategori yang digunakan untuk menentukan kebutuhan tulangan geser balok. Tidak perlu dipasang tulangan geser jika $V_u < 0,5 \phi V_c$, menggunakan tulangan geser dengan nilai V_s dan A_v (digunakan nilai minimal) jika $0,5 \phi V_c < V_u < \phi V_c$, dan tulangan geser dengan nilai V_s dan A_v (digunakan nilai terbesar) jika $V_u > \phi V_c$.

2.4.1.4 Momen Torsi pada Balok

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 22.7.1.1, pengaruh torsi pada penampang balok (T_u) dapat diabaikan apabila persyaratan pada persamaan (2.51) atau (2.52) terpenuhi.

$$\phi T_{th} \geq T_u \quad (2.50)$$

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

Atau:

$$T_u \leq \phi 0,0083 \lambda \sqrt{f'c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}^2} \right) \sqrt{1 + \frac{N_u}{0,33 A_g \lambda \sqrt{f'c}}} \quad (2.52)$$

Keterangan:

T_u = nilai torsi terfaktor dari hasil analisis struktur (Nmm)

T_{th} = nilai torsi *threshold* (Nmm)

Φ = faktor reduksi (0,75)

λ = faktor modifikasi, beton normal=1,0

A_{cp} = luas penampang bruto (mm^2)

P_{cp} = keliling penampang bruto (mm)

Pada SNI 2847:2019 pasal 22.7.7 terdapat batasan penampang balok dalam pengaruh torsi dan gaya geser:

1. Penampang solid

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2} + \left(\frac{T_u}{1,7 A_{oh}^2}\right) \leq \phi \left(\frac{V_u}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f'c}\right) \quad (2.53)$$

2. Penampang berongga

$$\left(\frac{V_u}{b_w d}\right) + \left(\frac{T_u}{1,7 A_{oh}^2}\right) \leq \phi \left(\frac{V_u}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f'c}\right) \quad (2.54)$$

Keterangan:

A_{oh} = luas daerah dalam tulangan geser (mm^2)

P_h = keliling daerah dalam tulangan geser (mm)

Apabila penampang balok tidak memenuhi persyaratan $d \geq 0,85$ (h =tinggi penampang), maka perlu memperbesar dimensi penampang.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 22.7.6.1, Nilai kuat nominal torsi (T_n) diambil nilai minimumnya dari persamaan (2.55) dan (2.56).

$$T_n = \frac{2A_0 A_t f_{yt}}{s} \cot \theta \quad (2.55)$$

$$T_n = \frac{2A_0 A_t f_{yt}}{P_h} \cot \theta \quad (2.56)$$

Keterangan:

T_n = kuat nominal torsi (Nmm)

A_0 = luas bruto yang dilingkup oleh lintasan alir geser, $A_0=0,85A_{oh}$ (mm^2)

A_t = luas 1 kaki Senggang tertutup yang menahan torsi dalam spasi s (mm^2)

A_1 = kuat momen torsi nominal (Nmm)

f_y = kuat leleh tulangan yang disyaratkan (MPa)

f_{yt} = kuat leleh tulangan transversal (MPa)

s = spasi tulangan transversal yang terpasang (mm)

θ = 45° , untuk balok beton prategang

Berdasarkan SNI 2847:2019, luasan minimal dari tulangan transversal dan tulangan torsi memanjang diatur sebagai berikut:

1. Tulangan transversal

Luasan minimum yang diambil harus lebih besar dari persamaan (2.57) dan (2.58).

$$\frac{(A_v + 2A_t)_{\min}}{s} \geq 0,62 \sqrt{f'c} \frac{b_w}{f_{yt}} \quad (2.57)$$

$$\frac{(A_v + 2A_t)_{\min}}{s} \geq 0,35 \frac{b_w}{f_{yt}} \quad (2.58)$$

2. Untuk nilai A_v didapatkan dari luasan tulangan geser yang dihitung dengan persamaan geser dan nilai A_t diketahui nilainya dari persamaan (2.59)

$$A_t = \frac{Tu.s}{\phi 2A_0 f_{yt}} \tan \theta \quad (2.59)$$

3. Berdasarkan SNI 2847:2019 mengenai batasan spasi tulangan torsi tulangan transversal diketahui pada persamaan (2.60).

$$s \leq \frac{Ph}{8} \leq 300\text{mm} \quad (2.60)$$

4. Tulangan longitudinal

Nilai luasan tulangan longitudinal (A_1) diketahui dari persamaan (2.61) atau (2.62).

$$A_1 = \left(\frac{A_t}{s} \right) Ph \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta \quad (2.61)$$

$$A_1 = \frac{Tu.Ph}{\phi 2A_0 f_{yt}} \cot \theta \quad (2.62)$$

5. Luasan minimum tulangan ($A_{1,\min}$) harus lebih kecil dari persamaan (2.63) dan (2.64)

$$A_{1,\min} = 0,42 \sqrt{f'c} \frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{A_t}{s} \right) Ph \frac{f_{yt}}{f_y} \quad (2.63)$$

$$A_{1,\min} = 0,42 \sqrt{f'c} \frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{0,175b_w}{f_{yt}} \right) Ph \frac{f_{yt}}{f_y} \quad (2.64)$$

6. Berdasarkan SNI 2847:2019 mengenai batasan spasi tulangan torsi tulangan longitudinal diketahui pada persamaan (2.65).

$$s \leq (bt + d) \quad (2.65)$$

Adapun Batasan mutu material didalam analisis torsi, mutu tulangan harus memenuhi syarat f_y atau $f_{yt} \leq 420$ MPa, dan mutu beton bertulang $\sqrt{f'_c} \leq 8,3$ MPa.

2.4.1.5 Persyaratan Desain Balok SRPMK

Sesuai dengan SNI 2847:2019 komponen struktur rangka momen khusus yang membentuk bagian sistem penahan gaya gempa terutama untuk menahan gaya lentur.

2.4.1.5.1 Syarat Dimensi Balok SRPMK

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.2.1 komponen struktur rangka ini juga harus memenuhi beberapa kondisi sebagai berikut:

1. Pada komponen struktur (I_n), untuk bentang bersih pada tinggi efektifnya tidak kurang dari $4d$ ($I_n \geq 4d$; d =tinggi efektif penampang balok).
2. Pada lebar komponen (b_w), tidak kurang dari yang lebih kecil dari $0,3h$ dan 250 mm.
3. Proyeksi lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak lebih dari komponen struktur penumpu (c_2) dan $0,75$ kali dimensi keseluruhan komponen struktur penumpu (c_1).

2.4.1.5.2 Syarat Tulangan Longitudinal Balok SRPMK

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3, tulangan longitudinal balok harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Balok-balok harus memiliki setidaknya dua batang tulangan menerus pada sisi atas dan bawah.
2. Jumlah tulangan tidak boleh kurang dari disyaratkan 9.6.1.2 dan rasio tulangan (ρ) tidak boleh melebihi $0,025$ baik tulangan atas maupun bawah.

$$\frac{0,025\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad (2.66)$$

$$\frac{1,4}{f_y} b_w d \quad (2.67)$$

dengan batasan

$$\leq A_g \leq 0,025 b_w d \quad (2.68)$$

3. Komponen struktur lentur di muka kolom pada kuat momen positif tidak boleh lebih dari setengah kuat momen negatif di muka kolom tersebut.

$$M_n^+ \geq \frac{1}{2}(M_n^-) \quad (2.69)$$

4. Pada setiap penampang di sepanjang bentang untuk kuat lentur positif maupun negatif tidak boleh lebih dari seperempat kuat lentur terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom tersebut.
5. Sambungan lewatan pada tulangan longitudinal hanya diizinkan jika ada tulangan spiral atau sengkang tertutup yang mengikat bagian sambungan lewatan tersebut. Spasi sengkang yang mengikat daerah sambungan lewatan tersebut tidak melebihi $d/4$ atau 100mm. Sambungan lewatan tidak diperbolehkan digunakan pada hubungan balok kolom, daerah hingga sejarak dua kali tinggi dari muka kolom, dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi akibat deformasi lateral yang melampaui perilaku elastik.

2.4.1.5.3 Syarat Tulangan Transversal Balok SRPMK

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.4, tulangan transversal balok disyaratkan sebagai berikut:

1. Sengkang pengekan harus dipasang sepanjang jarak yang sama dengan dua kali tinggi balok ($2h$) yang diukur dari muka kolom penumpu ke arah tengah bentang kedua ujung balok. Daerah sepanjang $2h$ tersebut biasa dikenal dengan daerah sendi plastis.
2. Sengkang pertama pada daerah $2h$ harus dipasang tidak lebih dari 50mm dari muka kolom penumpu.
3. Jarak tulangan sengkang sepanjang $2h$ harus dipasang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari $d/4$, $6d_b$ (d_b = diameter tulangan utama balok), dan 150 mm.
4. Sengkang harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari $d/2$ di sepanjang bentang balok di luar sendi plastis.
5. Sengkang pengekan pada balok diizinkan terdiri dari dua batang tulangan, yaitu sebuah sengkang yang mempunyai kait gempu pada kedua ujungnya dan ikat silang sebagai penutup. Ikat silang berurutan yang mengikat batang tulangan longitudinal yang sama harus memiliki kait 90 derajat yang dipasang selang-seling pada sisi yang berlawanan dari komponen struktur lentur.

2.4.1.5.4 Syarat Kuat Geser Balok SRPMK

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.5, kekuatan geser balok disyaratkan harus mempertimbangkan beberapa poin sebagai berikut:

1. Gaya geser desain (V_e) harus dihitung dari tinjauan gaya-gaya pada bagian balok di antara kedua muka *joint*. Momen-momen dengan tanda berlawanan yang terkait dengan kekuatan momen lentur maksimum yang mungkin terjadi (M_{pr}), harus diasumsikan bekerja pada muka-muka *joint*, dan balok dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor di sepanjang bentangnya. Momen-momen ujung M_{pr} berdasarkan pada tegangan tarik baja sebesar $1,25f_y$ dimana f_y kekuatan leleh yang disyaratkan.
2. Tulangan geser sepanjang daerah sendi plastis ($2h$) harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan nilai $V_c = 0$, apabila kedua syarat berikut terpenuhi:
 - Gaya geser akibat beban gempa (V_e) mewakili setidaknya 50% kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut.
 - Gaya tekan aksial terfaktor (P_u) pada elemen balok termasuk pengaruh gempa harus kurang dari $A_g \cdot f'_c / 20$.

2.4.2 Kolom

Kolom merupakan elemen tekan vertikal rangka struktur yang memikul beban dari balok. Sampai melewati fondasi dan menyentuh tanah, kolom mentransfer beban dari elevasi atas ke ketinggian yang lebih rendah. Kolom direncanakan dengan hati-hati, agar kekuatan cadangan yang masuk lebih banyak, daripada yang dilakukan untuk balok dan elemen struktur horizontal lainnya. Runtuhnya komponen struktur lain yang diakibatkan oleh kegagalan kolom yang berhubungan bahkan batas runtuh total keseluruhan struktur bangunan.

2.4.2.1 Preliminary Design Kolom

Kolom didesain agar mampu menahan gaya aksial beban terfaktor pada semua lantai dan atap. Gaya aksial dihitung menggunakan metode perlimpahan beban yang berasal dari pelat balok. Luasan penampang akan dihitung dengan persamaan (2.70), dengan nilai ϕ diambil sesuai pada SNI 2847:2019 pada pasal 21.

$$\sigma = \frac{P}{A_g} \rightarrow A_g = \frac{P_u}{0,3.f'c} \quad (2.70)$$

$$P = P_u \quad (2.71)$$

$$\sigma = \phi.f'c \quad (2.72)$$

Pada SNI 2847:2019 pada pasal 18.7.2.1, batasan dimensi pada penampang kolom tidak boleh kurang dari 200 mm dan rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya tidak kurang dari 0,4.

2.4.2.2 Bentuk dan Jenis Kolom

Dalam beberapa kasus, kolom bersengkang merupakan jenis kolom yang kerap digunakan karena proses pengerjaannya yang relatif mudah dan terjangkau dari segi ekonomi. Ada beberapa bentuk penampang elemen kolom seperti persegi, persegi panjang dan lingkaran.

(Fachri, 2023) dalam penelitiannya bahwa Perbedaan bentuk kolom dalam gaya aksial setiap kolom cenderung tidak terlalu besar namun didapatkan bahwa kolom persegi memiliki gaya aksial paling besar, sedangkan kolom lingkaran memiliki gaya aksial paling kecil.

(Ertanto, 2015), menganalisis perbandingan perilaku ketiga variasi penampang kolom diantaranya penampang bujur sangkar, lingkaran, dan persegi menggunakan perangkat lunak SAP2000. Hasil analisa menunjukkan simpangan pada arah-x lebih besar dengan rasio 19,1% untuk kolom persegi dan 17,3% untuk kolom bulat. Namun, sebaliknya arah-y kolom persegi panjang memiliki simpangan lebih kecil dengan rasio 18,8% untuk kolom persegi dan 20,5 % dan kolom bulat. Kolom bulat memiliki kapasitas penampang dan momen yang sangat baik dengan rasio 14,7% untuk kolom persegi dan 14,2% terhadap kolom persegi panjang.

Ada tiga jenis kolom beton bertulang berdasarkan bentuk dan komposisi material yang digunakan, yaitu:

1. Kolom empat persegi dengan tulangan pengikat lateral/sengkang dan tulangan longitudinal. Bentuk kolom bisa persegi ataupun persegi panjang. Kolom ini lebih sering digunakan karena pembuatannya yang mudah dan perencanaannya sederhana serta dalam penggunaan tulangan longitudinalnya lebih efektif.

2. Kolom lingkaran dengan tulangan pengikat spiral/lateral dan tulangan longitudinal. Kolom ini jarang digunakan karena pembuatannya yang sulit dan penggunaan tulangan longitudinalnya kurang efektif.
3. Kolom komposit. Pada kolom ini digunakan profil baja sebagai pemikul lentur pada kolom. Untuk tulangan pengikat dan longitudinalnya juga bisa ditambahkan jika diperlukan. Kolom ini biasanya digunakan jika hanya menggunakan kolom beton bertulang biasa yang diperoleh ukuran yang sangat besar karena bebannya yang cukup besar, dan disisi lain diharapkan ukuran kolom tidak terlalu besar.

2.4.2.3 Kolom pada Kondisi Beban Aksial Tekan Sentris

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 22.4.2.2, nilai kuat dari kolom (P_o) diketahui dari persamaan (2.74). Untuk rasio tulangan harus dalam rentang 1%-8%. Kekuatan tekan aksial nominal (P_n) tidak boleh lebih dari $P_{n,max}$. Untuk Sengkang spiral $0,85P_o$ dan untuk Sengkang persegi $0,80P_o$.

$$\rho = \frac{A_{st}}{A_g} \quad (2.73)$$

$$P_o = 0,85f'_c(A_g - A_{st}) + A_{st}f_y \quad (2.74)$$

Keterangan:

A_g = luasan penampang (mm^2)

A_{st} = luasan tulangan longitudinal (mm^2)

2.4.2.4 Kolom pada Kondisi Beban Aksial Tekan dan Momen

Pada saat kolom menerima beban tekan eksentris, maka kolom akan menerima pengaruh tekan sekaligus momen. Nilai tekan aksial pada saat kondisi regangan dapat diketahui pada persamaan (2.75) dan nilai momen akibat gaya eksentrisitas dapat diketahui pada persamaan (2.76).

$$P_b = 0,85f'_c\beta_1c_b b + A's(f_y - 0,85f'_c) - A_s f_y \quad (2.75)$$

$$M_b = P_b.e_b = C_c\left(d - \frac{a}{2} - d''\right) + C_s(d - d' - d'') + Td'' \quad (2.76)$$

2.4.2.5 Desain Geser pada Kolom

Nilai V_c pada persamaan (2.77) s/d (2.79) diambil nilai yang terkecil. Apabila $\mu - \nu(4h-d)/8 \leq 0$, maka persamaan (2.78) tidak perlu digunakan.

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad (2.77)$$

$$V_c = \left[0,16 \lambda \sqrt{f'_c} + 17 \rho_w \frac{V_u d}{M_u - N_u \frac{(4h-d)}{8}} \right] b_w d \quad (2.78)$$

$$V_c = 0,29 \sqrt{f'_c} b_w d \sqrt{1 + \frac{0,29 N_u}{A_g}} \quad (2.79)$$

Keterangan:

N_u = gaya aksial

V_u = gaya geser

M_u = momen terfaktor

d = 0,8h

Kebutuhan tulangan geser pada kolom sama seperti pada balok dengan menggunakan persamaan (2.80).

$$V_s \geq \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (2.80)$$

2.4.2.6 Persyaratan Desain Kolom SRPMK

Sesuai dengan SNI 2847:2019 komponen struktur yang menerima beban aksial dan kombinasi lentur beton bertulang pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) adalah sebagai berikut:

2.4.2.6.1 Syarat Dimensi Kolom SRPMK

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 18.7.2.1 kolom harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Untuk dimensi penampang terkecil diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri dan tidak boleh kurang dari 300 mm.
2. Rasio dari dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4.

2.4.2.6.2 Syarat Kekuatan Dimensi Kolom SRPMK

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 18.7.2.1 kekuatan dimensi kolom harus sesuai dengan persamaan (2.81).

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \quad (2.81)$$

Keterangan:

$\sum M_{nc}$ = jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint (Nmm)

$\sum M_{nb}$ = jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint (Nmm)

2.4.2.6.3 Syarat Tulangan Longitudinal Kolom SRPMK

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 18.7.4 untuk tulangan longitudinal pada kolom harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Luas tulangan longitudinal A_{st} tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ dan tidak lebih dari $0,06A_g$.
2. Pada kolom-kolom dengan sengkang bundar, jumlah batang tulangan longitudinal minimum harus 6.
3. Sambungan mekanis harus memenuhi pasal 18.2.7 dan sambungan las 18.2.8. Sambungan lewatan diizinkan hanya dalam daerah tengah tinggi kolom dan harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik dan harus dilingkupi tulangan transversal yang memenuhi pasal 18.7.5.2 dan pasal 18.7.5.3.

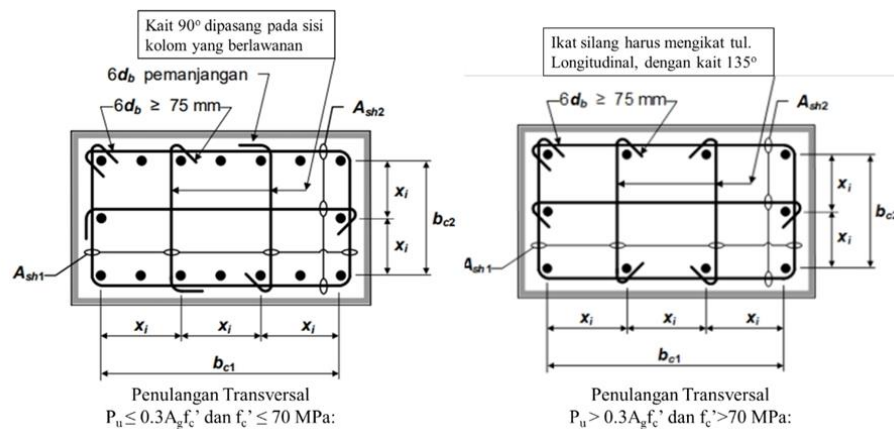
2.4.2.6.4 Syarat Tulangan Transversal Kolom SRPMK

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 18.7.5.1 tulangan transversal disyaratkan harus dipasang sepanjang l_o dari masing-masing muka *joint*. Adapun panjang l_o tidak boleh kurang dari nilai terbesar dari ketentuan sebagai berikut:

1. Tinggi kolom pada muka *joint* atau pada penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi.
2. Seperenam ($1/6$) tinggi bersih kolom.
3. 450 mm.

Tulangan transversal berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 18.7.5.2 disyaratkan harus sesuai dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Tulangan transversal harus terdiri dari spiral tunggal atau spiral saling tumpang (*overlap*), sengkang pengekat bundar, atau sengkang pengekat persegi, dengan atau tanpa ikat silang.
2. Setiap tekukan ujung sengkang pengekat persegi dan ikat silang harus mengait batang tulangan longitudinal terluar.
3. Ikat silang yang berurutan harus di selang-seling ujungnya sepanjang tulangan longitudinal dan sekeliling perimeter penampang.
4. Apabila $P_u \leq 0.3A_g f_c'$ dan $f_c' \leq 70$ MPa, maka harus ada ≥ 1 kait per 2 tulangan longitudinal bersebelahan dan $h_x \leq 350$ mm. kemudian apabila $P_u > 0.3A_g f_c'$ dan $f_c' > 70$ MPa, maka tiap tulangan longitudinal harus diberi kait dan $h_x \leq 200$ mm.



Gambar 2.7 Contoh Penulangan Transversal pada Kolom
(Sumber: SNI 2847:2019)

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 18.7.5.3, spasi tulangan transversal pada daerah l_o tidak melebihi nilai terkecil dari ketentuan sebagai berikut:

1. Seperempat ($1/4$) dimensi terkecil penampang kolom.
2. Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil ($6.d_b$)
3. Nilai S_o tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu kurang dari 100 mm.

$$100 \leq \left(S_o = 100 + \frac{250 - h_x}{3} \right) < 150 \text{ mm} \quad (2.82)$$

Kemudian jumlah tulangan transversal diatur dalam SNI 2847:2019 pada pasal 18.7.5.4 pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Tulangan Transversal untuk Kolom SRPMK

Tulangan Transversal	Kondisi	Persamaan yang Berlaku	
Ash/b.b _c Untuk sengkang pengekang persegi	$P_u \leq 0,3.A_g.f'_c$ dan $f'_c \leq \text{MPa}$	Terbesar dari (a) dan (b)	$0,3.\left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right) \cdot \frac{f'_c}{f_{yt}} \text{ (a)}$
	$P_u > 0,3.A_g.f'_c$ atau $f'_c > 70 \text{ MPa}$	Terbesar dari (a), (b), dan (c)	$0,09 \cdot \frac{f'_c}{f_{yt}} \text{ (b)}$ $0,2.k_f.k_n \cdot \frac{P_u}{f_{yt}.A_{ch}} \text{ (c)}$
ρ_s untuk spiral ataupun sengkang pengekang lingkaran	$P_u \leq 0,3.A_g.f'_c$ dan $f'_c \leq \text{MPa}$	Terbesar dari (d) dan (e)	$0,45.\left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right) \cdot \frac{f'_c}{f_{yt}} \text{ (d)}$ $0,12 \cdot \frac{f'_c}{f_{yt}} \text{ (e)}$
	$P_u > 0,3.A_g.f'_c$ atau $f'_c > 70 \text{ MPa}$	Terbesar dari (d), (e), dan (f)	$0,35.k_f \cdot \frac{P_u}{f_{yt}.A_{ch}} \text{ (f)}$

Faktor kekuatan beton (k_f) dan keefektifan pengekangan (k_n) dihitung dengan persamaan (2.83) dan (2.84).

$$k_f = \frac{f'_c}{175} + 0,6 \geq 1,0 \quad (2.83)$$

$$k_n = \frac{n_1}{n_1 - 2} \quad (2.84)$$

n_1 merupakan jumlah batang tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom dengan Sengkang persegi yang ditumpu secara lateral oleh sudut dari Sengkang atau kait seismik.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 18.7.5.5 spasi diluar panjang l_o diatur. Kolom diberi tulangan spiral atau sengkang dengan spasi (s) tidak lebih dari nilai terkecil dari $6.d_b$ dan 150 mm, kecuali apabila jumlah tulangan transversal yang lebih besar disyaratkan oleh pasal 18.7.4.3 atau pasal 18.7.6.

2.4.2.6.5 Syarat Kekuatan Geser Kolom SRPMK

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 18.7.6.1.1 untuk kekuatan geser kolom SRPMK disyaratkan sesuai ketentuan sebagai berikut:

1. Gaya geser desain (V_e) diperhitungkan dari tinjauan gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi di muka-muka *joint* pada setiap ujung kolom. Gaya-gaya

joint ini harus ditentukan menggunakan kekuatan lentur maksimum yang mungkin terjadi (M_{pr}) disetiap ujung kolom yang terkait dengan rentang beban aksial terfaktor (P_u) yang bekerja pada kolom. Menentukan tulangan geser dari gaya geser desain dari kolom berdasarkan kapasitas kolom dihitung dengan persamaan (2.85).

$$V_e = \frac{M_{pr3} + M_{pr4}}{I_u} \quad (2.85)$$

Keterangan:

V_e = gaya geser desain (N).

$M_{pr3,4}$ = momen maksimum kolom pada bagian ujung atas/bawah kolom (Nmm) berdasarkan tulangan kolom yang terpasang. Dalam perhitungan $M_{pr3,4}$ mutu baja tulangan longitudinal (f_y) dan faktor reduksi (ϕ) harus disesuaikan dengan ketentuan masing-masing jenis struktur.

I_u = tinggi bersih dari kolom (mm).

- Hasil gaya geser kolom (V_e) dari persamaan (2.86) tidak harus lebih dari nilai geser yang dihitung dari kekuatan join berdasarkan M_{pr} balok yang merangka ke *joint* ($V_{e-balok}$) yang dihitung dengan persamaan (2.86).

$$V_e = \frac{\sum M_{nb}}{I_n} \quad (2.86)$$

Keterangan:

V_e = gaya geser desain (N).

$\sum M_{nb}$ = jumlah momen kapasitas balok pengekang (Nmm)

I_n = bentang bersih dari balok (mm)

- Nilai geser kolom (V_e) tidak boleh kurang dari nilai geser terfaktor berdasarkan analisis struktur ($V_{e-dari\ etabs}$).

Bentuk sederhana penjelasan diatas dapat ditulis seperti pada persamaan (2.87).

$$V_{e-software} \leq V_{e-kolom} \leq V_{e-balok} \quad (2.87)$$

Jika syarat dari persamaan (didas) terpenuhi, maka nilai $V_{e-kolom}$ dianggap sebagai nilai geser desain ($V_u=V_e$) dan apabila tidak terpenuhi maka diambil nilai

batas maksimum ($V_{e-balok}$) atau minimum ($V_{e-software}$). Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 18.7.6.2 untuk tulangan transversal sepanjang l_o berdasarkan pasal 18.7.5.1, harus didesain untuk menahan geser dengan asumsi $V_c=0$ apabila terjadi:

1. Gaya geser akibat gempa berdasarkan Pasal 18.7.6.1 setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum di sepanjang l_o .
2. Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g \cdot f'_c / 20$.

2.4.2.6 Syarat Sambungan Lewatan Kolom SRPMK

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 18.7.4.3 sambungan lewatan diizinkan hanya dalam daerah tengah tinggi kolom dan harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik dan jarak tulangan sengkang terpasang sama dengan sengkang yang terpasang pada daerah l_o (sendi plastis).

2.4.3 Pelat

Pelat merupakan elemen struktur horizontal yang menahan beban hidup dan beban mati. Umumnya pelat lantai terbuat dari beton bertulang, kayu, dan baja. Pelat di desain untuk mampu menahan beban yang bekerja dengan aman dan efisien.

2.4.3.1 Preliminary Design pada Pelat

Pelat dibagi menjadi dua jenis yaitu pelat satu arah (*one way slab*) dan pelat dua arah (*two way slab*). Untuk pelat satu arah (*one way slab*) diketahui dengan persamaan (2.88)

$$\frac{\ell_p}{b_p} > 2 \quad (2.88)$$

Keterangan:

ℓ_p, b_p = bentang bersih terpanjang dan bentang bersih terpendek (mm)

Dalam SNI 2847:2019 pada tabel 7.3.1.1 untuk tebal minimum pelat satu arah (*one way slab*) berdasarkan kondisi tumpuannya dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Ketebalan Minimum Pelat Satu Arah

Kondisi Tumpuan	h minimum
Tumpuan sederhana	$l/20$
Satu ujung menerus	$l/24$
Kedua ujung menerus	$l/28$
Kantilever	$l/10$

Sedangkan untuk pelat dua arah (*two way slab*) diketahui dengan persamaan (2.89) dan sesuai dengan SNI 2847:2019 pada tabel 8.3.1.2 untuk ketebalan minimum pelat dua arah (*two way slab*) dengan balok di semua sisinya dapat dilihat detailnya pada Tabel 2.7.

$$\frac{\ell_p}{b_p} \leq 2 \quad (2.89)$$

Keterangan:

ℓ_p, b_p = bentang bersih terpanjang dan bentang bersih terpendek (mm)

Tabel 2.7 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah dengan Balok Di semua Sisinya

α_{fm}	h minimum	
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	SNI 2847:2019 pada Pasal 8.3.1.1.1 berlaku	
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$	Terbesar dari	$\frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$
		125
$\alpha_{fm} > 2,0$	Terbesar dari	$\frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$
		90

2.4.3.2 Penulangan Pelat

Perilaku pelat menyerupai konsep balok. Untuk momen terfaktor (M_u) dan geser terfaktor (V_u) diambil dari hasil analisis pada *software*. Luas total penampang (A_g) diperhitungkan dengan persamaan (2.90) dan luas minimum tulangan lentur ($A_{s,min}$) pelat harus sesuai dengan Tabel 2.8.

$$A_g = b \cdot h \quad (2.90)$$

Keterangan:

b = lebar pelat per meter ($b = 1000$ mm)

h = tebal pelat (mm)

Tabel 2.8 Minimum Tulangan Lentur ($A_{s,min}$) Pelat Satu Arah

Tipe Tulangan	f_y (MPa)	$A_{s,min}$
Batang Ulir	< 420	$0,002A_g$
Batang ulir atau kawat las	≥ 420	$\frac{0,0018.420}{f_y} A_g$
		$0,0014A_g$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 7.7.2.3, untuk spasi minimum tulangan harus kurang dari 3h dan 450 mm. Kemudian untuk luasan tulangan susut dan lentur sama. Perbedaan tulangan susut dengan tulangan lentur adalah penyajiannya, tulangan susut dalam bentuk rasio sedangkan tulangan lentur dalam bentuk luasan. Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 24.4.3.3 tulangan susut dan suhu tidak boleh melebihi nilai terkecil antara 5h dan 450mm.

2.4.3.3 Kontrol Lendutan

2.4.3.3.1 Lendutan Seketika

Lendutan seketika merupakan deformasi yang terjadi segera setelah pelat mengalami beban. Menurut (Tambupolon, 2022) dalam buku Struktur Beton I, Jika sistem pelat hanya ditumpu di kedua sisinya, maka pelat tersebut akan melentur atau mengalami lendutan dalam arah tegak lurus dari sisi tumpuan, beban didistribusikan oleh pelat dalam satu arah saja yaitu ke arah tumpuan. Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 24.2.3.5 untuk nilai momen inersia (I_e) dapat diketahui melalui persamaan (2.93).

$$f_{cr} = 0,62\sqrt{f'_c} \quad (2.91)$$

$$f_{cr} = \frac{f_{cr} I_g}{y} \quad (2.92)$$

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} < I_g \quad (2.93)$$

Keterangan:

M_{cr} = momen pada saat timbul retak yang pertama kali, Nmm (SNI 2847:2019 pasal 24.2.3.5)

M_a = momen maksimum pada komponen struktur saat lendutan dihitung (Nmm) (*output dari software*)

f_{cr} = tegangan retak beton, N/mm² (SNI 2847:2019 pasal 24.5.2.1)

y = tebal pelat (t_p)/2, mm (jarak dari garis netral penampang utuh)

I_g = $1/12.b.t_p^3$, mm⁴ (momen inersia penampang utuh terhadap sumbu berat penampang)

$$I_{cr} = 0,25I_g, \text{ mm}^4 \text{ (momen inersia penampang retak berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 6.6.3.1.1)}$$

Pelat tidak retak jika $M_{cr}/M_a > 1$, maka digunakan $M_{cr}=M_u$ dan $I_{cr}=I_g$. Kemudian pelat retak jika $M_{cr}/M_a \leq 1$, maka nilai I_e harus dihitung. Berdasarkan (Dipohusodo, 1993), lendutan seketika untuk pelat menerus dapat dihitung dengan persamaan (2.94), dan apabila momen tumpuan kiri dan kanan sama, maka dapat dihitung dengan persamaan (2.95).

$$\delta_i = \frac{5L^2}{48E_c I_g} [M_m - 0,1(M_a + M_b)] \quad (2.94)$$

$$\delta_i = \frac{5L^2}{48E_c I_g} (M_m + 0,2M_{\text{tumpuan}}) \quad (2.95)$$

Keterangan:

δ_i = lendutan seketika ditengah bentang (mm)

L = panjang pelat (mm)

E_c = modulus elastisitas beton (N/mm²)

I_g = $(I_{e,\text{lap}} + I_{e,\text{tump}})/2$, mm⁴ (momen inersia rata-rata)

M_a, M_b = momen lentur negatif di tumpuan (Nmm)

M_m = momen di lapangan, Nmm (tengah bentang)

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 24.2.2, untuk batasan lendutan seketika pelat lantai akibat beban hidup (LL) adalah $L/360$.

2.4.3.3.2 Lendutan Jangka Panjang

Lendutan jangka panjang (Δ_{LT}) merupakan lendutan yang terjadi akibat perayapan (*creep*) dan susut (*shrinkage*) beton seiring waktu. Nilai lendutan jangka panjang (Δ_{LT}) dinyatakan dalam perkalian suatu faktor (λ_{Δ}) dengan lendutan seketika yang disebabkan oleh beban tetap, seperti dalam persamaan (2.96) dan untuk nilai λ_{Δ} dihitung berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 24.2.4.1.1 pada persamaan (2.97).

$$\Delta_{LT} = (\delta_{i,DL+SIDL}) \lambda_{\Delta} + \delta_{i,LL} \quad (2.96)$$

$$\lambda_{\Delta} = \frac{\xi}{1 + 50\rho} \quad (2.97)$$

Keterangan:

ξ = faktor ketergantungan waktu untuk beban tetap (SNI 2847:2019 pasal 24.2.4.1.3)

ρ = A_s/bd (rasio tulangan)

Berdasarkan (Tambupolon, 2022) dalam buku Struktur Beton I, untuk Batasan lendutan seketika dan lendutan jangka panjang dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Batasan Lendutan Seketika dan Lendutan Jangka Panjang

Jenis Struktur Pelat	Lendutan yang Diperhitungkan	Batas Lendutan
Atap datar yang tidak menahan atas tidak disarukan dengan komponen nonstructural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup (L)	$\frac{L}{180}$
Lantai yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar.	Lendutan seketika akibat beban hidup (L)	$\frac{L}{360}$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar.	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural (jumlah dari lendutan jangka panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja, dan lendutan seketika akibat penambahan beban hidup).	$\frac{L}{480}$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar.		$\frac{L}{240}$

2.4.4 Tangga

2.4.4.1 Preliminary Design Tangga

2.4.4.1.1 Syarat kemiringan tangga

Kemiringan tangga yang wajar dan biasa digunakan adalah berkisar antara 25° - 42° . untuk bangunan rumah tinggal biasa digunakan kemiringan 38° . (Kholiq, 2015). Kemiringan tangga dibuat agar tidak memerlukan banyak tempat dan memudahkan orang naik-turun tangga.

2.4.4.1.2 Lebar injakan dan tinggi tanjakan anak tangga

Sebelum menentukan dimensi tinggi tanjakan atau *optrade* (s) dan lebar injakan atau *antrade* (a), ukuran langkah arah datar, kenyamanan dan keamanan harus di perhitungkan. Untuk tinggi tanjakan (s) sekitar 14-20cm agar terasa mudah dikaki, dan untuk lebar injakan (a) sekitar 22,5 - 30 cm agar tapak kaki dapat berpijak dengan baik.

1. Kontrol berdasarkan ukuran Langkah

$$2s + a = 60 \text{ s.d. } 65 \text{ cm} \quad (2.98)$$

2. Kontrol berdasarkan kenyamanan

$$s + a = \pm 46 \text{ cm} \quad (2.99)$$

3. Kontrol berdasarkan keamanan

$$a - s = \pm 12 \text{ cm} \quad (2.100)$$

2.4.4.1.3 Jumlah anak tangga

Jumlah anak tangga dalam satu tangga diusahakan tidak lebih dari 12 buah apabila lebih (maksimal 16 anak tangga) dianjurkan untuk menggunakan bordes. Untuk menghindari kecelakaan, apabila dimungkinkan sebaiknya anak tangga dibuat seragam ukurannya, baik tinggi ataupun lebarnya. Apabila tidak dimungkinkan, anak tangga yang berbeda ukurannya diletakkan pada bagian paling bawah (antisipasi keamanan) (Kholiq, 2015). Jumlah anak tangga dapat diambil pembulatan dari hasil pada persamaan (2.101).

$$n_s = \frac{h}{s} \quad (2.101)$$

$$n_a = s - 1 \quad (2.102)$$

Keterangan:

n_a = jumlah *antrade* (a)

n_s = jumlah *optrade* (s)

h = ketinggian dari dasar hingga ujung pelat tangga, mm (tinggi antar lantai atau tinggi bordes)

2.4.4.1.4 Tebal pelat tangga dan pelat bordes

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 7.3.1.1 tebal pelat tangga dan pelat pelat bordes minimum dapat dihitung sebagaimana terlihat pada Tabel 2.6. Dimensi lainnya diperhitungkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_1 = n_t \cdot a \quad (2.103)$$

$$L_b = P - P_1 \quad (2.104)$$

$$P_m = \sqrt{P_1^2 - h_b^2} \quad (2.105)$$

$$l = P_m + L_b \quad (2.106)$$

Keterangan:

P_1 = panjang tangga arah horizontal (mm)

P = panjang area rencana tangga (mm)

P_m = panjang pelat miring (mm)

n_t = jumlah anak tangga yang digunakan

h_b = tinggi bordes (mm)

L_b = lebar bordes (mm)

l = panjang pelat (mm)

2.4.4.2 Penulangan Tangga

Metode untuk perhitungan pelat tangga digunakan seperti pada pelat satu arah. Tulangan lapangan dan tumpuan didesain sama dari baik diameter dan jarak pada tulangan. Maka dari itu, diambil momen maksimum pada pelat tangga maupun bordes.

2.4.4.3 Pembebanan Tangga

Beban hidup dan beban mati mengacu pada PPURG:1987. Sedangkan beban mati sendiri struktur akan dihitung otomatis pada *software* SAP2000 sebagai pelat karena anak tangga tidak dapat dimodelkan. Oleh karena itu, anak tangga dimasukkan sebagai beban merata pada *software* SAP2000. Perhitungan beban merata anak tangga diketahui dari persamaan (2.108)

$$t_1 = 0,5 \cdot s \cdot \cos \alpha \quad (2.107)$$

$$q_u = L \cdot t_1 \quad (2.108)$$

Keterangan:

t_1 = tebal ekuivalen anak tangga (mm)

s = optrade (s)

α = kemiringan tangga ($^{\circ}$)

q_u = beban merata anak tangga N/mm

L = lebar satu jalur anak tangga (mm)

2.4.5 Elevator (*Lift*)

Lift merupakan alat transportasi vertikal untuk mengangkut orang atau barang antar lantai dalam bangunan bertingkat tinggi. Analisis untuk menentukan kapasitas lift dihitung berdasarkan SNI 03:6573:2001.

2.5 Pembebanan Struktur

Dalam perencanaan pembebanan mengacu pada Bahan desain minimum kriteria terkait struktur bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727:2020) dan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019).

2.5.1 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban-beban yang bekerja atau bergerak pada struktur akibat penggunaan suatu gedung. Beban hidup antara lain adalah kendaraan, manusia, dan perabotan atau barang-barang yang dapat dipindah-pindahkan. Adapun beban hidup yang digunakan berdasarkan SNI 1727:2020 dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Nilai Beban Hidup Berdasarkan Fungsi Bangunan

Hunian atau penggunaan	Merata, Lo (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan	Ter- pusat (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)				
Sistem lantai akses				
Ruang kantor	2,4	Ya	Ya	8,9
Ruang komputer	4,79	Ya	Ya	8,9
Gudang persenjataan dan ruang latihan	7,18	Tidak	Tidak	
Ruang pertemuan				

Hunian atau penggunaan	Merata, Lo (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan	Ter- pusat (kN)
Kursi tetap (terikat di lantai)	2,87	Tidak	Tidak	
Lobi	4,79	Tidak	Tidak	
Kursi dapat dipindahkan	4,79	Tidak	Tidak	
Panggung pertemuan	4,79	Tidak	Tidak	
Lantai podium	7,18	Tidak	Tidak	
	4,79	Tidak	Tidak	
Tribun penonton stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat dilantai)	2,87	Tidak	Tidak	
Ruang pertemuan lainnya	4,79	Tidak	Tidak	
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi (4,79)	Ya	Ya	
Jalur untuk akses pemeliharaan	1,92	Ya	Ya	1,33
Koridor Lantai pertama Lantai lain	4,79 Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutka n lain	Ya	Ya	
Ruang makan dan restoran	4,79	Tidak	Tidak	
Hunian (lihat rumah tinggal)				
Desain mesin elevator (pada area 50 mm x 50 mm)	-	-	-	1,33
Konstruksi pelat lantai <i>finishing</i> ringan (pada area 25 mm x 25 mm)	-	-	-	0,89
Jalur penyelamatan saat kebakaran Hunian satu keluarga saja	4,79	Ya	Ya	

Hunian atau penggunaan	Merata, Lo (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan	Ter- pusat (kN)
Tangga permanen		-	-	4.5.4
Garasi/parkir				
Mobil penumpang saja	1,92	Tidak	Tidak	4.10.1
Truk dan bus	4.10.2	-	-	4.10.2
Pegangan tangga dan pagar pengaman				
Batang pegangan	4.5.1	-	-	4.5.1 4.5.2
Helipad				
Helikopter dengan berat lepas landas sebesar 3.000 lb (13,35 kN) atau kurang	1,92	Tidak	-	4.11.2
Helikopter dengan berat lepas landas lebih 3.000 lb (13,35 kN)	2,87	Tidak	-	4.11.2
Rumah Sakit				
Ruang operasi, laboratorium	2,87	Ya	Ya	4,45
Ruang pasien	1,92	Ya	Ya	4,45
Koridor diatas lantai pertama	3,83	Ya	Ya	4,45
Hotel (Seperti Rumah Tinggal)				
Perpustakaan				
Ruang baca	2,87	Ya	Ya	4,45
Ruang penyimpanan	7,18	Tidak	Ya	4,45
Koridor diatas lantai pertama	3,83	Ya	Ya	4,45
Pabrik				
Ringan	6,00	Tidak	Ya	8,9
Berat	11,97	Tidak	Ya	13,35
Gedung perkantoran				
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian				
Lobi dan koridor lantai pertama	4,79	Ya	Ya	8,90
Kantor	2,40	Ya	Ya	8,90
Koridor diatas lantai pertama	3,83	Ya	Ya	8,90
Lembaga hukum				
Blok sel	1,92	Ya	Ya	
Koridor	4,79	Ya	Ya	
Tempat rekreasi				
Tempat bowling, billard, dan penggunaan sejenis	3,59	Tidak	Tidak	
Ruang dansa dan ballroom	4,79	Tidak	Tidak	

Hunian atau penggunaan	Merata, Lo (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan	Ter- pusat (kN)
Gimnasium	4,79	Tidak	Tidak	
Rumah tinggal Hunian satu dan dua keluarga				
Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang	0,48	Ya	Ya	4.12.1
Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang	0,96	Ya	Ya	4.12.1
Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur	1,44	Ya	Ya	
Semua ruang kecuali tangga	1,92	Ya	Ya	
Semua hunian rumah tinggal lainnya				
Ruang pribadi dan koridor	1,92	Tidak	Tidak	
Ruang publik	4,79	Ya	Ya	
Koridor ruang publik	4,79	Ya	Ya	
Atap Atap datar, berhubung, dan lengkung Atap yang digunakan penghuni	0,96 Sama dengan pengguna an yang dilayani	Ya Ya	- -	
Atap untuk tempat berkumpul				
Atap vegetatif dan atap lansekap	4,70	Ya	-	
Atap bukan untuk hunian				
Atap untuk tempat berkumpul	0,96	Ya	-	
Atap untuk penggunaan lainnya	4,79	Ya	-	
	Sama dengan Pengguna an yang dilayani	Ya	-	
Awning dan kanopi Atap konstruksi <i>fabric</i> yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan				
Rangka penumpu layar penutup	0,24	Tidak	-	
	0,24	Tidak	-	
	Berdasarkan area tributari dari atap yang didukung			

Hunian atau penggunaan	Merata, Lo (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan	Ter- pusat (kN)
Semua konstruksi lainnya Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja Titik panel tunggal dari kord bawah rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atap diatas pabrik, gudang penyimpanan dan pekerjaanya, dan garasi bengkel Semua komponen struktur atap utama lainnya Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan	oleh komponen struktur rangka 0,96	Ya - - -	- - -	
Sekolah Ruang kelas Koridor di atas lantai pertama Koridor lantai pertama	1,92 3,83 4,79	Ya Ya Ya	Ya Ya Ya	4,45 4,45 4,45
Scuttles, rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses				0,89
Jalan di pinggir untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	11,97	Tidak	Ya	35,60
Tangga dan jalan keluar Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	4,79 1,92	Ya Ya	Ya Ya	1,33 1,33
Gudang diatas langit-langit	0,96	Ya	Ya	
Gudang penyimpanan dan pekerja (harus dirancang untuk beban lebih berat jika diperlukan) Ringan Berat	6,00 11,97	Tidak Tidak	Ya Ya	
Toko Eceran Lantai pertama	4,79	Ya	Ya	4,45

Hunian atau penggunaan	Merata, Lo (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan	Ter- pusat (kN)
Lantai diatasnya	3,59	Ya	Ya	4,45
Grosir, di semua lantai	6,00	Tidak	Ya	4,45
Penghalang kendaraan				4.5.3
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	2,87	Ya	Ya	
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	4,79	Tidak	Tidak	

2.5.2 Beban Mati

Berdasarkan SNI 1727:2020 beban mati adalah beban dari bagian-bagian suatu gedung atau bangunan yang bersifat pasti pada struktur. Beban mati antara lain adalah berat struktur, material-material konstruksi seperti penutup lantai, plafon, saluran listrik dan lainnya. Dalam hal ini berat mati sendiri struktur yaitu kolom dan balok dengan berat sendiri dianggap beban gravitasi.

2.5.3 Beban Air Hujan

Berdasarkan SNI 1727:2020 pada pasal 8.3 lantai pada atap direncanakan dapat menahan beban dari air hujan yang mengumpul apabila sistem drainase utama tertutup dan beban merata diatas lubang sistem drainase sekunder yang disebabkan kenaikan air.

$$R = 0,0098x(d_s + d_h) \quad (2.109)$$

Keterangan:

R = beban air hujan (N/mm²)

d_s = tinggi hidraulik (mm)

d_h = tinggi kepala hidraulik (mm)

2.5.4 Beban Angin

Beban angin merupakan beban yang bekerja sebagai gaya lateral yang muncul akibat hembusan angin ketika mengenai struktur bangunan. Besaran beban angin dapat ditentukan dengan melakukan perhitungan beberapa parameter-parameter beban angin yang ada pada SNI 1727:2020.

2.5.4.1 Kecepatan Angin Dasar (v)

Berdasarkan SNI 1727:2020 untuk nilai kecepatan angin dasar ditentukan berdasarkan struktur dan lokasi bangunan tersebut, faktor kategori risiko bisa dilihat pada Tabel 2.15 dan buku peta angin Indonesia.

2.5.4.2 Faktor Arah Angin (K_d)

Berdasarkan SNI 1727:2020 pada pasal 26.5.3. Nilai faktor arah angin dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Nilai Faktor Arah Angin (K_d)

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin (K_d)
Bangunan Gedung	
- Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU)	0,85
- Komponen dan Klading (K&K)	0,85
Atap Lengkung	0,85
Kubah berbentuk bundar	1,0 ^a
Cerobong, tangka, dan struktur serupa	
- Persegi	0,90
- Segi enam	0,95
- Segi delapan	1,0 ^a
- Bundar	1,0 ^a
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 tangka terbuka bidang tunggal	0,85
Ranga batang Menara	
- Segitiga, persegi, atau persegi Panjang	0,85
- Semua penampang lainnya	0,95

Berdasarkan SNI 1727:2020 pada pasal 27.1.5 beban angin yang digunakan untuk bangunan gedung tertutup atau tertutup sebagian tidak diperbolehkan lebih kecil dari $0,77 \text{ kN/m}^2$ dikalikan dengan luas dinding bangunan Gedung dan $0,38 \text{ kN/m}^2$ dikalikan dengan luas atap bangunan gedung yang terproyeksi pada bidang vertikal tegak lurus terhadap arah angin yang di asumsikan.

2.5.4.3 Kategori Kekerasan Permukaan

Berdasarkan SNI 1727:2020 pada pasal 26.7.2 kategori kekasaran permukaan ditentukan sebagai berikut:

1. Kekasaran Permukaan B: daerah perkotaan dan pinggiran kota, daerah berhutan, daerah lain yang memiliki penghalang berdekatan.
2. Kekasaran Permukaan C: dataran terbuka dengan penghalang yang memiliki tinggi umumnya kurang dari 9,1 meter yang mencakup daerah terbuka datar dan padang rumput.
3. Kekasaran Permukaan D: permukaan datar, area tanpa halangan dan permukaan air, termasuk hamparan lumpur halus.

2.5.4.4 Faktor Topografi (K_{zt})

Besarnya beban angin dipengaruhi dari bentuk topografi karena bentuk topografi pada daerah yang dibangun mempengaruhi kecepatan angin. Berdasarkan SNI 1727:2020 pada pasal 26.8.1 kondisi topografi khusus akan membuat beban angin semakin besar. Nilai faktor topografi dapat diketahui dengan persamaan (2.110).

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (2.110)$$

Nilai K_1 , K_2 , dan K_3 disesuaikan dengan kondisi topografi daerah sekitar bangunan. Untuk daerah yang tidak berdekatan dengan bukit, tebing atau kondisi topografi khusus lainnya maka nilai K_{zt} dapat diambil 1.

2.5.4.5 Faktor Elevasi Permukaan Tanah (K_e)

Faktor elevasi permukaan tanah digunakan untuk menyesuaikan densitas udara dimana untuk semua elevasi nilai K_e boleh diambil 1.

2.5.4.6 Efek Hembusan Angin (G)

Nilai faktor hembusan angin suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0,85.

2.5.4.7 Koefisien Eksposur Tekanan Kecepatan (K_z)

Berdasarkan SNI 1727:2020 pada pasal 26.10 nilai koefisien eksposur tekanan kecepatan dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

Untuk nilai K_z pada $4,6 \text{ m} < z < z_g$,

$$K_z = 2,01 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{2/\alpha} \quad (2.111)$$

Untuk nilai K_z pada $z < 4,6$ m,

$$K_z = 2,01 \left(\frac{15}{z_g} \right)^{2/\alpha} \quad (2.112)$$

Dimana nilai α dan z_g dapat diketahui pada:

Tabel 2.12 Koefisien eksposur tekanan kecepatan, K_h dan K_z

Ketinggian di atas permukaan tanah	Eksposur		
m	B	C	D
0-4,6	0,57 (0,70) ^a	0,85	1,03
6,1	0,62 (0,70) ^a	0,90	1,08
7,6	0,66 (0,70) ^a	0,94	1,12
9,1	0,70	0,98	1,16
12,2	0,76	1,04	1,22
15,2	0,81	1,09	1,27
18,3	0,85	1,13	1,31
21,3	0,89	1,17	1,34
24,4	0,93	1,21	1,39
27,4	0,96	1,24	1,40
30,5	1,00	1,27	1,45
36,6	1,05	1,32	1,50
42,7	1,09	1,36	1,54
48,8	1,13	1,40	1,58
54,9	1,17	1,44	1,61
61,0	1,20	1,47	1,64
76,2	1,27	1,53	1,69
91,4	1,33	1,58	1,73
106,7	1,41	1,64	1,78
121,9	1,42	1,67	1,82
137,2	1,52	1,73	1,86
152,4	1,56	1,77	1,89
Gunakan 0,70 pada pasal 28, Eksposur B apabila $z < 9,1$ m			

2.5.4.8 Tekanan Kecepatan (q_z)

Berdasarkan SNI 1727:2020 pada pasal 26.10.2 tekanan kecepatan/tekanan velositas dapat dihitung dengan persamaan (2.113).

$$q_z = 0,613 k_z k_{zt} k_d k_e v^2 \quad (2.113)$$

Keterangan:

q_z = tekanan kecepatan pada ketinggian z (N/mm^2)

k_z = koefisien eksposur tekanan velositas

k_{zt} = faktor topografi

k_d = faktor arah angin

k_e = faktor elevasi permukaan tanah

v = kecepatan angin dasar (m/s)

2.5.4.9 Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi}) dan Eksternal (C_p)

Berdasarkan SNI 1727:2020 pada pasal 26.13 nilai koefisien tekanan internal dapat diketahui pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi})

Klasifikasi Ketertutupan	Kriteria untuk Klasifikasi Ketertutupan	Tekanan Internal	Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi})
Bangunan tertutup	$A_o < 0,01A_g$ atau $0,37m^2$ $A_o / A_{gi} \leq 0,2$	Sedang	-0,18 -0,18
Bangunan tertutup sebagian	$A_o > 1,1A_{oi}$ dan $A_o > 0,01A_g$ atau $0,37m^2$ $A_o / A_{gi} \leq 0,2$	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

Sedangkan berdasarkan SNI 1727:2020 pada pasal 27.3 nilai koefisien tekanan eksternal dapat diketahui pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14 Koefisien Tekanan Dinding (C_p)

Permukaan	L/B	C_p
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0,8
	0-1	-0,5
Dinding di sisi angin pergi	2	-0,3
	≥ 4	-0,2
Dinding tepi	Seluruh nilai	-0,7

2.5.4.10 Tekanan Angin Desain (p)

Berdasarkan SNI 1727:2020 pada pasal 27.3.1 nilai tekanan angin desain dapat diketahui dengan persamaan (2.114).

$$p = qGC_p - q_i (GC_{pi}) \quad (2.114)$$

Keterangan:

q = tekanan velositas pada ketinggian z (N/m^2)

G = faktor hembusan angin

C_p = koefisien tekanan eksternal

GC_{pi} = koefisien tekanan internal

2.5.4.11 Syarat Angin Desain Minimum

Berdasarkan SNI 1727:2020 pada pasal 27.1.5 beban angin yang digunakan dalam beban angin desain untuk bangunan tertutup dan tertutup sebagian tidak diizinkan lebih kecil dari $0,77 \text{ kN/m}^2$.

2.5.5 Beban Gempa

Beban gempa adalah gaya yang bekerja pada suatu struktur akibat tumbukan atau gesekan lempeng tektonik yang terjadi di daerah patahan bumi. Pada saat bangunan bergetar akibat adanya gempa, timbul gaya-gaya pada struktur bangunan seperti gaya horizontal yang disebut gaya Inersia.

2.5.5.1 Ketentuan Umum Bangunan dalam Pengaruh Gempa

Untuk menentukan nilai spektrum percepatan gempa untuk periode (S_s) dan spektrum percepatan gempa untuk periode 1 detik (S_1). Nilai S_s dan S_1 bisa didapatkan dari peta gempa yang ada di dalam SNI 1726:2019.

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 4.1.2, untuk beban pengaruh gempa rencananya harus dikalikan dengan faktor keutamaan (I_e). Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa dapat dilihat pada Tabel 2.15.

Tabel 2.15 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk bebas gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:	I

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
- Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan 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: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan non gedung 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	III

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	
Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - 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, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat. - Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

Berdasarkan SNI 1726:2019 nilai faktor keutamaan gempa (L_e) dapat dilihat pada Tabel 2.16.

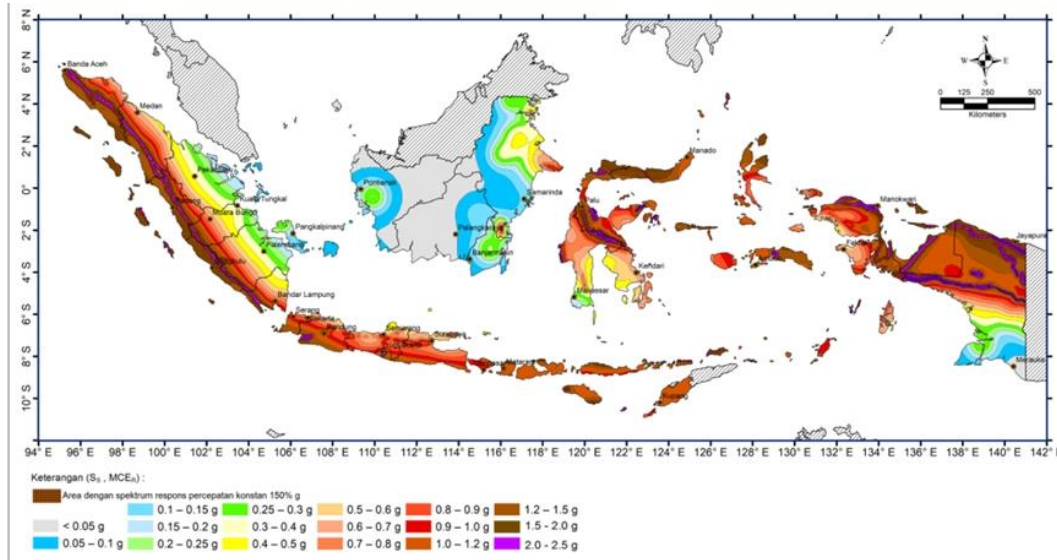
Tabel 2.16 Faktor keutamaan gempa

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

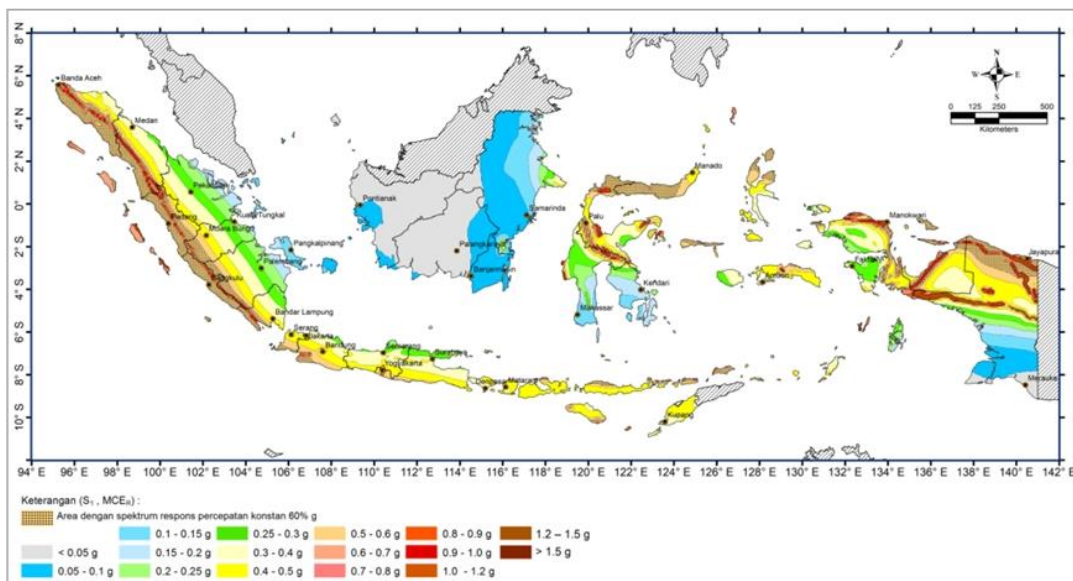
2.5.5.2 Wilayah Gempa Indonesia

Parameter percepatan gempa batuan dasar terdiri dari S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek 0,2 detik) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada

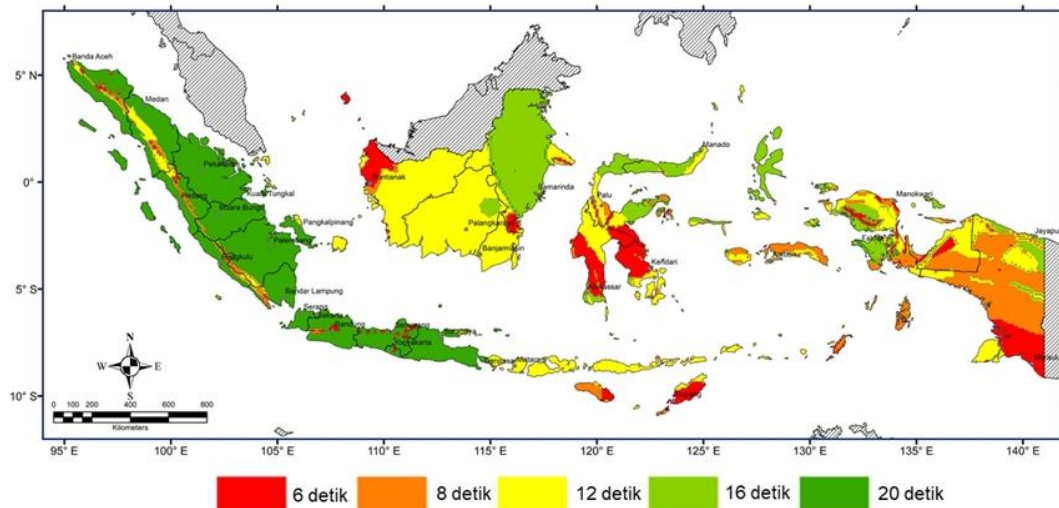
periode 1 detik), yang harus ditetapkan masing-masing dari respons spektrum percepatan 0.2 dan 1 detik dalam peta gempa untuk periode ulang 2500 tahun. Berdasarkan SNI 1726:2019 pada peta zonasi gempa yang menggunakan peta gempa tahun 2017 dan dapat dilihat pada Gambar 2.8 s.d. Gambar 2.10.



Gambar 2.8 Percepatan Batuan Dasar pada Periode Pendek 0,2 detik (S_0)



Gambar 2.9 Percepatan Batuan Dasar pada Periode Pendek 1 detik (S_1)



Gambar 2.10 Peta Transisi Periode Panjang, TL, wilayah Indonesia

2.5.5.3 Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs dalam SNI 1726:2019 pasal 5.3 terbagi menjadi 6 situs yaitu terdiri dari SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak), SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik dan analisis respons spesifik). Kelas situs tersebut didefinisikan seperti pada Tabel 2.17.

Tabel 2.17 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_n (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat gesek niralir $S_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik sebagai berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuefaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah		

Kelas Situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_n (kPa)
spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3m$) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5m$ dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35 m$ dengan $S_u < 50$ kPa		

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

2.5.5.4 Koefisien Situs

Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda 1 detik (F_v) dan percepatan pada getaran perioda pendek (F_u). Dengan mengikuti tabel berdasarkan SNI 1726:2019 pada pasal 6.2, tabel Koefisien situ F_v dan F_u dapat dilihat pada Tabel 2.18 dan Tabel 2.19. Parameter respons spektrum percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) ditentukan dengan persamaan:

$$S_{MS} = F_u S_s \quad (2.115)$$

$$S_1 = F_v S_1 \quad (2.116)$$

Tabel 2.18 Koefisien situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektrum percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Tabel 2.19 Koefisien situs, F_u

Kelas Situs	Parameter respons spektrum percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,25$	$S_1 = 0,5$	$S_1 = 0,75$	$S_1 = 1,0$	$S_1 \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0

Kelas Situs	Parameter respons spektrum percepatan gempa (MCE _R) terpetakan pada periode 1 detik, S ₁				
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

Catatan: Situs dibutuhkan investigasi geoteknik spesifik & analisis respons situs spesifik.

2.5.5.5 Percepatan Spektrum Desain

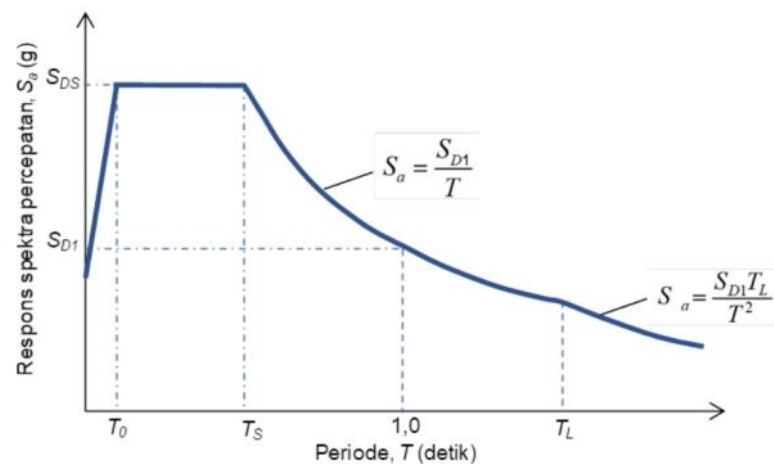
Dalam SNI 1726:2019, untuk S_{DS} dan S_{D1} harus ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.117)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.118)$$

Jika digunakan prosedur desain yang disederhanakan, maka nilai SDS harus ditentukan dan nilai S_{D1} tidak perlu ditentukan.

2.5.5.6 Spektrum Respons Desain



Gambar 2.11 Spektrum Respons Desain

(Sumber: SNI 1726:2019)

Menurut SNI 1726:2019, bila respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dan mengikuti ketentuan:

Periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain S_a , diambil dengan persamaan (2.119).

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.119)$$

Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , maka spektrum respons percepatan desain S_a , sama dengan S_{ds} . Sedangkan untuk perioda lebih besar dari T_s maka spektrum respons percepatan desain S_a , diambil berdasarkan persamaan (2.120).

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.120)$$

Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektrum percepatan desain, S_a , digunakan berdasarkan persamaan (2.121).

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (2.121)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter respons spektrum percepatan desain pada perioda pendek (g)

S_{D1} = parameter respons spektrum percepatan desain pada perioda 1 detik (g)

T_L = perioda getar fundamental struktur (t)

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}; T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} (t)$$

T_L = periode panjang (t) berdasarkan peta pada Gambar 2.11.

2.5.5.7 Kategori Desain Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019, suatu struktur harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektrum percepatan desainnya. Selain itu, struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respons spektrum percepatan terpetakan pada perioda 1 detik (S_1) lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektrum percepatan terpetakan pada perioda 1 detik (S_1) lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F.

Kategori Desain Gempa (KDG) berdasarkan Parameter Percepatan Perioda Pendek menurut SNI 1726:2019 didefinisikan dalam Tabel 2.20.

Tabel 2.20 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

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

Adapun Kategori Desain Gempa (KDG) berdasarkan Parameter Percepatan Perioda 1 detik menurut SNI 1726:2019 didefinisikan dalam Tabel 2.21.

Tabel 2.21 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori Resiko Bangunan	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{D1} \leq 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Catatan:

Lokasi dengan nilai $S_1 \geq 0,75$ g, maka $K_{DS} = E$, untuk kategori risiko I, II, III dan $K_{DS} = F$, untuk kategori risiko IV.

2.5.5.8 Parameter Sistem Penahan Gaya Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019, elemen-elemen sistem pemikul gaya seismik harus memenuhi persyaratan pendetailan pada Tabel 2.22 untuk sistem struktur yang dipilih.

Tabel 2.22 Faktor R, C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem Pemikul Gaya Seismik	R	Ω_0	C_d	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, h_n (m)				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
B. Sistem Rangka Pemikul Momen								
1. Rangka baja dengan pemikul momen khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5 ½	TB	TB	48	30	TI

Sistem Pemikul Gaya Seismik	R	Ω_0	C_d	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, h_n (m)				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
B. Sistem Rangka Pemikul Momen								
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4 ½	3	4	TB	TB	10 ^k	TI ^k	TI ^k
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3 ½	3	3	TB	TB	TI ^I	TI ^I	TI ^I
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2 ½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5 ½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2 ½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁿ	3 ½	3 ⁰	3 ½	10	10	10	10	10

Catatan: TB=Tidak dibatasi, TI=Tidak diizinkan

2.5.5.9 Perhitungan Gaya Lateral Ekuivalen

2.5.5.9.1 Gaya Geser Dasar Seismik (V)

Gaya geser dasar seismic harus dihitung dengan persamaan (2.122).

$$V = C_s.W \quad (2.122)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik (g)

W = berat seismik efektif (N)

2.5.5.9.2 Koefisien Respons Seismik (C_s)

Koefisien respons seismic harus dihitung dengan persamaan (2.123).

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.123)$$

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan (diatas) tidak perlu melebihi nilai C_s maksimum pada persamaan (2.124) atau (2.125).

Persamaan (2.124) untuk $T \leq T_L$ dan persamaan (2.125) Untuk $T \geq T_L$.

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.124)$$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.125)$$

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan (diatas awal=sama) tidak kurang dari nilai C_s minimum, pada persamaan (2.126).

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (2.126)$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari C_s minimum, pada persamaan (2.127).

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.127)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan spektrum desain untuk perioda pendek (g)

S_{D1} = parameter percepatan spektrum desain untuk perioda 1,0 detik (g)

T = periode fundamental struktur (detik)

R = koefisien modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

2.5.5.9.3 Berat Seismik Efektif (W)

Berdasarkan SNI 1726:2019 pada pasal 7.7.2 untuk nilai berat seismik efektif struktur harus menyertakan seluruh beban mati dan minimum 25% beban hidup lantai.

2.5.5.9.4 Periode Fundamental (T)

Periode fundamental struktur (T) tidak diperbolehkan lebih dari hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) Tabel 2.23 dan periode fundamental pendekatan (T_a) yang ditentukan sesuai persamaan (2.128). Apabila nilai T tidak tersedia, diizinkan menggunakan periode bangunan pendekatan (T_a).

1. Periode Fundamental Pendekatan (T_a)

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.128)$$

Keterangan:

h_n = ketinggian struktur (m)

C_t dan x = koefisien, sesuai Tabel 2.23.

Tabel 2.23 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

2. Batas Atas Periode Fundamental ($T=C_u.T_a$)

Batas atas periode fundamental dihitung dengan C_u dikali T_a .

Tabel 2.24 koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektrum 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

3. Pemilihan periode fundamental yang menentukan

Berdasarkan SNI 1726:2019 pada pasal 7.8.2, periode fundamental tidak boleh melebihi batas atas periode fundamental ($T = C_u.T_a$) dan tidak boleh kurang dari periode fundamental (T_a). Kemudian pada pasal 7.9.1.4.1 apabila periode fundamental hasil analisis struktur menggunakan komputer (T_c) lebih besar dari batas atas periode fundamental ($T = C_u.T_a$) pada suatu arah tertentu, maka periode struktur (T) harus didapatkan sebesar batas atas periode fundamental ($T = C_u.T_a$).

2.5.6 Beban Kombinasi

Berdasarkan syarat pada SNI 2847:2019 pasal 5.3 untuk besarnya kuat perlu (U) yang harus dipertimbangkan sebagai kondisi paling kritis yang harus dipikul suatu elemen struktur ditunjukkan dalam Tabel 2.25.

Tabel 2.25 Kombinasi Beban

Kombinasi Beban	Persamaan	Beban Utama
$U=1,4D$	(1)	D
$U=1,2D+1,6L+0,5(L_r \text{ atau } R)$	(2)	L
$U=1,2D+1,6(L_r \text{ atau } R)+(1,0L \text{ atau } 0,5W)$	(3)	L_r atau R
$U=1,2D+1,0W+1,0L+0,5(L_r \text{ atau } R)$	(4)	W
$U=1,2D+1,0E+1,0L$	(5)	E
$U=0,9D+1,0W$	(6)	W
$U=0,9D+1,0E$	(7)	E

Keterangan:

- U = kombinasi beban terfaktor
D = beban mati (*dead load*)
L = beban hidup (*live load*)

- L_r = beban hidup atap (*live roof load*)
 R = beban hujan (*rain load*)
 W = beban angin (*wind load*)
 E = beban gempa (*earth quake load*)

Ada beberapa catatan tambahan untuk kombinasi beban yaitu untuk faktor beban hidup (L) dalam persamaan (4), (5), dan (6) diizinkan direduksi hingga 0,5 kecuali untuk garasi, tempat berkumpul public dan luasan dimana L lebih besar dari $4,8 \text{ kN/m}^2$. Kemudian, bila beban angin (W) didasarkan pada tingkat layan 1,6W harus digunakan sebagai pengganti dari 1,0W dalam persamaan (4) dan (6) juga 0,8W harus digunakan sebagai pengganti pada persamaan (3).

2.6 Analisis Struktur dengan Software

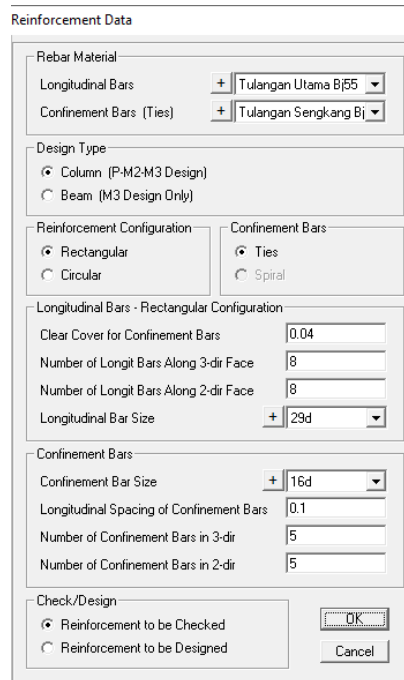
2.6.1 Software SAP2000

Pada *software* SAP2000 perhitungan analisis struktur statis atau dinamis dapat dilakukan saat melakukan desain penampang struktur baja maupun beton bertulang. SAP 2000 secara grafis mudah digunakan untuk memodelkan bahkan menyelesaikan analisis struktur karena tersedianya metode *interface* (antarmuka). Adapun tahapan dalam menganalisis struktur pada aplikasi SAP2000, sebagai berikut:

2.6.1.1 Membuat Model Struktur

Dalam membuat model struktur diperlukan menentukan parameter-parameter sesuai yang direncanakan untuk analisis seperti:

1. Membuat *Grid*, untuk membuat ukuran jarak dan tinggi portal yang akan dibuat.
2. Mendefinisikan *Material*, untuk memasukkan data material yang akan digunakan seperti berat jenis bahan, modulus elastisitas, kuat tarik baja (f_y), kuat tarik baja (f_y), dan lain sebagainya.
3. Mendefinisikan *Frame Sections*, untuk membuat *frame* sesuai dengan data yang direncanakan meliputi material, dimensi, dan *reinforcement data*, serta agar SAP 2000 mengecek tulangan yang digunakan maka pilih *reinforcement to be checked*.



Reinforcement Data

Rebar Material

Longitudinal Bars + Tulangan Utama B/55

Confinement Bars (Ties) + Tulangan Senggang B/

Design Type

☒ Column (P-M2-M3 Design)

☐ Beam (M3 Design Only)

Reinforcement Configuration

☒ Rectangular

☐ Circular

Confinement Bars

☒ Ties

☐ Spiral

Longitudinal Bars - Rectangular Configuration

Clear Cover for Confinement Bars 0.04

Number of Longit Bars Along 3-dir Face 8

Number of Longit Bars Along 2-dir Face 8

Longitudinal Bar Size + 29d

Confinement Bars

Confinement Bar Size + 16d

Longitudinal Spacing of Confinement Bars 0.1

Number of Confinement Bars in 3-dir 5

Number of Confinement Bars in 2-dir 5

Check/Design

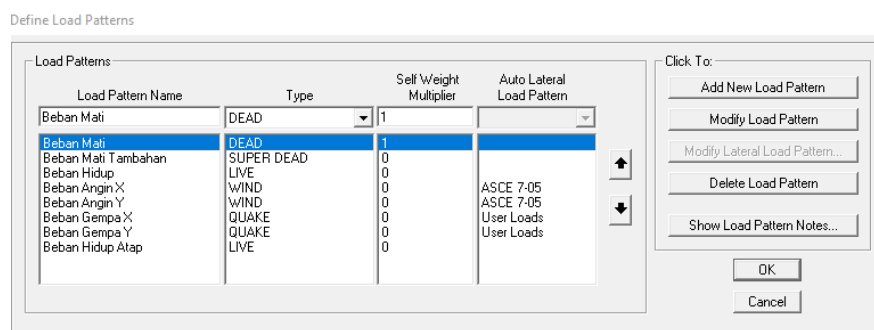
☒ Reinforcement to be Checked

☐ Reinforcement to be Designed

OK Cancel

Gambar 2.12 Kotak dialog *Reinforcement Data*

4. Mendefinisikan *Area Sections*, untuk menyesuaikan ketebalan dan data material.
5. Mendefinisikan *Load Pattern*, untuk mendefinisikan beban-beban yang digunakan untuk analisis. Jika beban didefinisikan sendiri oleh program maka pada *Self Weight Multiplier* dimasukkan nilai satu, sedangkan jika beban tidak didefinisikan oleh program maka dimasukkan nilai nol dan beban harus dimasukkan secara manual pada *software* SAP 2000.



Define Load Patterns

Load Patterns

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
Beban Mati	DEAD	1	
Beban Mati Tambahan	SUPER DEAD	0	
Beban Hidup	LIVE	0	
Beban Angin X	WIND	0	ASCE 7-05
Beban Angin Y	WIND	0	ASCE 7-05
Beban Gempa X	QUAKE	0	User Loads
Beban Gempa Y	QUAKE	0	User Loads
Beban Hidup Atap	LIVE	0	

Click To:

Add New Load Pattern

Modify Load Pattern

Modify Lateral Load Pattern...

Delete Load Pattern

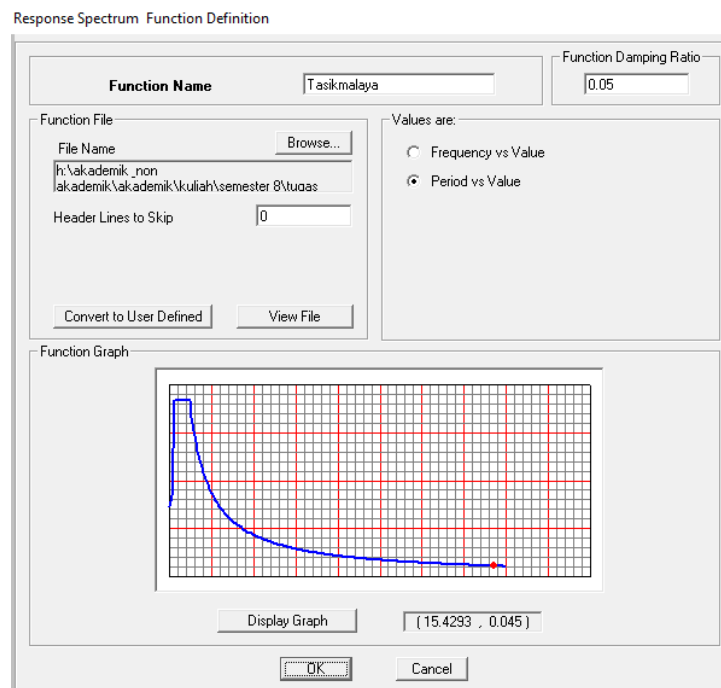
Show Load Pattern Notes...

OK Cancel

Gambar 2.13 Kotak dialog *Load Pattern*

6. Mendefinisikan *Load Combinations*, untuk memasukkan beban kombinasi yang direncanakan.
7. *Draw Frame* dan *Area*, untuk menggambarkan kolom, balok, dan pelat pada grid.

8. Pembebanan pada Pelat, untuk memasukkan data beban pada pelat sesuai yang direncanakan.
9. Pembebanan pada Balok, untuk memasukkan data beban pada balok sesuai yang direncanakan.
10. Pembebanan Gempa, untuk memasukkan data gempa sesuai lokasi yang direncanakan, yang digunakan adalah:
 - a. Metode *Autoload*, untuk mendefinisikan beban gempa x dan beban gempa y dengan memasukkan nilai satu pada *self weight multiplier*.
 - b. Metode Respons Spektrum, dengan mengambil data dari *website* Desain Spektra Indonesia yang diunduh berbentuk tabel berupa angka untuk fungsi periode (T). dalam *load case* skala faktor yang dimasukkan nilai sesuai dengan persamaan (I_e/R) yang dikali dengan gaya gravitasi bumi yaitu $9,81 \text{ m/detik}^2$ yang dikonversi menjadi 9810 mm/detik^2 , untuk nilai $I_e = 0,1$ dan $R = 8$, maka untuk skala faktor beban gempa arah-x adalah 1226,25. Untuk mendefinisikan beban gempa arah-y maka dilakukan langkah yang sama.



Gambar 2.14 Unggah grafik respons spektrum ke SAP2000

11. Mendefinisikan sumber massa, didefinisikan pada *self weight multiplier* pada *dead load* dimasukkan nilai satu dan pada *live load* dimasukkan nilai nol.

2.6.1.2 Analisis Struktur

Setelah melakukan pemodelan dan pembebanan pada struktur selesai, maka bisa dilakukan analisis dengan perintah “*Run Analysis*” pada *software* SAP2000 guna untuk mengetahui hasil dari perencanaan struktur yang dibuat.

2.6.1.3 Design Check

Apabila sudah berhasil melakukan analisis struktur, maka perlu dilakukan cek desain untuk mengetahui apakah *frame* yang digunakan memenuhi syarat, baik, dan aman dari *stress ratio*. Dalam *design check* akan muncul warna-warna pada *frame* menandakan tingkat keamanan strukturnya.

2.6.1.4 Menampilkan Data Hasil Analisis

Data hasil analisis struktur akan muncul nilai angka-angka perhitungan gaya maksimum dan minimum pada gaya momen, aksial, dan torsi berupa tabel yang bisa di *export* kedalam *excel*.

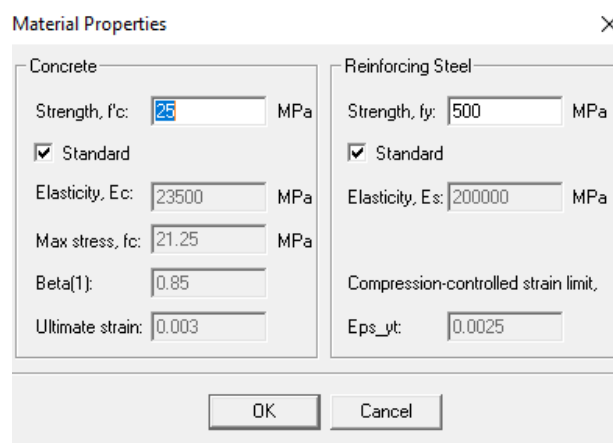
2.6.2 Software SPColumn

SPColumn merupakan *software* untuk melanjutkan hasil analisis yang fokus terhadap model dan struktur kolomnya. Adapun tahapan dalam menggunakan SPColumn adalah sebagai berikut:

2.6.2.1 Membuat model penampang

Adapun tahapan pembuatan model penampang kolom diperlukan parameter-parameter sebagai berikut:

1. Mendefinisikan material beton dan tulangan baja yang digunakan



Gambar 2.15 Kotak dialog *Material Properties*

2. Mendefinisikan bentuk dan dimensi kolom yang digunakan, disediakan bentuk persegi, lingkaran, dan *irregular*.
3. Mendefinisikan diameter dan jumlah tulangan yang digunakan

All Sides Equal

No. of bars: 28

Bar size: #29

Clear cover: 40 mm

Bar Layout:

☒ Rectangular

☐ Circular

Cover to:

☐ Transverse bars ☒ Longitudinal bars

OK Cancel

Gambar 2.16 Kotak dialog tulangan longitudinal

Confinement

Confinement: Tied

Capacity Reduction Factors, Phi

Axial compression (a): 0.8

Tension-controlled failure (b): 0.9

Compression-controlled failure (c): 0.65

Tie Sizes

#16 ties with #16 bars or smaller.

#16 ties with larger bars.

OK Cancel

Gambar 2.17 Kotak dialog tulangan transversal

4. Mendefinisikan beban, ini merupakan *output* dari analisis struktur beban ultimit pada *software* SAP2000/ETABS.

Factored Loads

Load: 3257.52 (kN)

X-Moment: -289.694 (kNm)

Y-Moment: -101.943 (kNm)

Insert Modify Delete

No.	P	Mx	My
1	3257.52	-289.694	-101.943
2	3999.28	291.832	100.747
3	3150.94	-299.923	-102.808
4	3124.09	299.655	99.2002
5	1052.4	-88.024	-320.049
6	3173.96	96.4658	321.234

OK Cancel

Gambar 2.18 Kotak dialog *Factored Loads*

2.6.2.2 Analisis dan Menampilkan Hasil Analisis

Setelah melakukan pemodelan dan pembebanan pada kolom selesai, maka bisa dilakukan analisis dengan perintah “*Execute*” untuk melihat gambar diagram interaksi dan faktorisasi beban dan momen dengan rasio kapasitas yang sesuai.

Data hasil analisis akan muncul nilai angka-angka perhitungan faktorisasi beban dan momen dengan rasio kapasitas berupa tabel yang bisa di *export* kedalam excel.