

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Konsep Perencanaan Gedung

Dalam perencanaan struktur gedung, perlu ditetapkan tolak ukur untuk pemilihan jenis struktur. Kriteria yang dimaksud adalah sebagai berikut.

1. Teknis

Setiap bangunan yang didirikan harus kokoh agar besar deformasi atau kekuatan struktur memenuhi persyaratan yang berlaku.

2. Fungsional

Hal ini berkaitan dengan penggunaan ruang yang biasanya akan mempengaruhi penggunaan bentang elemen struktur yang digunakan.

3. Estetika

Konstruksi bangunan harus memperhatikan estetika, tata letak, serta bentuk gedung yang aman dan nyaman.

2.2. Struktur Beton Bertulang

Untuk meningkatkan kekuatan letakan antara tulangan dengan beton di sekelilingnya digunakan baja tulangan *deform* (BJTD) dan tulangan polos (BJTP). Jenis dan kelas baja tulangan diatur dalam SII 0136-80. Sementara untuk melindungi tulangan dari pengaruh cuaca, korosi, dan kebakaran, maka area luar tulangan diberi selimut beton. Untuk menentukan ketebalan selimut beton diperoleh dari SNI 2847:2019 pasal 20.6.1.3.

2.3. Faktor Reduksi Kekuatan

Kuat rencana elemen struktur terhadap perilaku lentur, beban normal, geser, dan torsi harus dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan. Faktor reduksi kekuatan diperoleh dari SNI 2847:2019 pasal 21.2.1.

2.4. Pembebanan Struktur

Beban yang bekerja pada struktur diantaranya beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi meliputi beban mati dan beban hidup yang membebani struktur, sedangkan yang termasuk beban lateral adalah beban angin dan beban gempa.

2.4.1. Beban Mati (Dead Load)

Beban mati adalah semua bagian dari gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin, serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu sendiri.

Tabel 2. 1. Beban Mati

Material Gedung	Besar Beban	Satuan
Beton bertulang	2400	kg/m ³
Baja	7850	kg/m ³
Aspal	2200	kg/m ³
Air	1000	kg/m ³
Plafon, rangka, penggantung	20	kg/m ²
<i>Ducting dan plumbing</i>	30	kg/m ²
Adukan per cm tebal (dari semen)	21	kg/m ²
Penutup lantai (keramik)	24	kg/m ²
Pasir (jenuh air) per cm tebal	18	kg/m ²
Pasir (kering) per cm tebal	16	kg/m ²
Dinding bata ringan berlubang, tebal 10 cm	120	kg/m ²
Dinding bata ringan tanpa lubang, tebal 10 cm	200	kg/m ²
Usuk, reng, genting	50	kg/m ²

(Sumber: SNI 1727:2020)

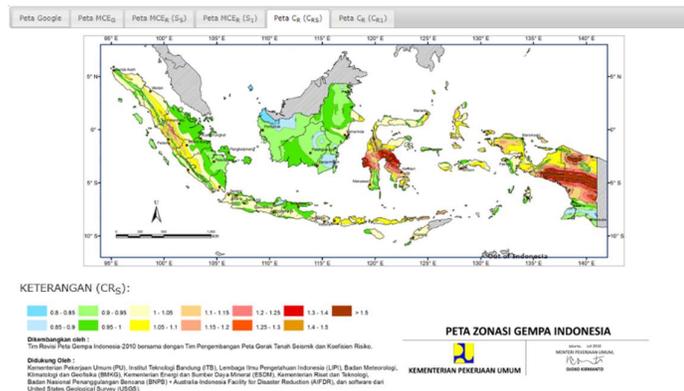
2.4.2. Beban Hidup (Live Load)

Beban hidup adalah beban akibat pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan. Beban hidup diperoleh dari SNI 1727:2020 tabel 4.3-1.

2.4.3. Beban Gempa (Earthquake)

Gempa bumi adalah fenomena getaran yang dikaitkan dengan kejutan pada kerak bumi. Pada saat bangunan bergetar, timbul gaya dan respon struktur yang dipengaruhi oleh massa, kekakuan struktur, dan periode getar alami.

Berdasarkan peraturan SNI 1726:2019 tiap kota atau wilayah di Indonesia akan memiliki grafik spektrum respons masing-masing. Dibawah ini adalah peta zona gempa diseluruh wilayah Indonesia.



Gambar 2. 1. Peta Zonasi Gempa Indonesia
(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum)

Prosedur analisis dan desain seismik yang digunakan dalam perencanaan struktur bangunan gedung dan komponennya harus seperti yang ditetapkan dalam pasal 7 SNI 1726:2019. Struktur bangunan gedung harus memiliki sistem penahan gaya lateral dan vertikal yang lengkap, sehingga mampu memberikan kekuatan, kekakuan, dan kapasitas disipasi energi yang cukup untuk menahan gerak tanah desain dalam batasan-batasan kebutuhan deformasi dan kekuatan yang disyaratkan. Sementara untuk metode analisa beban gempa dinamik menggunakan prosedur respon spektrum.

2.4.3.1. Kategori Resiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Sesuai tabel 3 SNI 1726:2019, untuk berbagai resiko struktur bangunan gedung dan non gedung, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut tabel 4 SNI 1726:2019. Faktor keutamaan gempa bergantung pada kategori resiko bangunan mengikuti SNI 1727:2019 tabel 4.

2.4.3.2. Parameter Percepatan Terpetakan (S_s dan S_1)

Berdasarkan SNI 1726:2019, S_s adalah parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda pendek redaman 5 persen. S_1 adalah parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda 1,0 detik redaman 5 persen. Nilai S_s dan S_1 diperoleh dari output Desain Spektra Indonesia.

2.4.3.3. Kelas Situs

Klasifikasi situs diatur pada SNI 1726:2019 Pasal 5.3 tabel 5, dan digunakan untuk menentukan kriteria desain seismik berupa faktor – faktor amplifikasi pada bangunan. Klasifikasi kelas situs dilakukan berdasarkan hasil tahanan penetrasi standar di lapangan.

2.4.3.4. Faktor Implifikasi Getaran

Diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda pendek 0,2 detik (F_a) dan perioda 1 detik (F_v) dalam penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R . Koefisien situs F_a dan F_v mengikuti tabel 6 dan tabel 7 SNI 1726:2019.

2.4.3.5. Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Resiko Tertarget (MCE_R)

Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan persamaan berikut.

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.1)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (2.2)$$

Keterangan:

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan perioda pendek,

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan perioda 1 detik.

2.4.3.6. Parameter Desain Spektral (S_{D1} dan S_{DS})

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek (S_{DS}) dan perioda 1 detik (S_{D1}), harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.4)$$

Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , nilai S_a menggunakan persamaan berikut:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.5)$$

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.6)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.7)$$

2.4.3.7. Kategori Desain Seismik

Berdasarkan nilai S_{DS} , S_{D1} dan kategori risiko gedung akan didapatkan dua kategori desain seismik. Nilai yang diambil adalah yang paling besar dari kedua K_{DS} tersebut.

Tabel 2. 2. Kategori Desain Seismik

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D
Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2019, pasal 6.5)

Sistem rangka pemikul momen (SRPM) adalah sistem rangka ruang dimana komponen-komponen struktur balok, kolom, dan sambungan menahan

gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser, dan aksial. SRPM dapat dikelompokkan sebagai berikut.

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

Suatu sistem rangka yang memenuhi ketentuan-ketentuan SNI beton pasal 1-20 dan 22, serta Pasal 21.1.2 dan 21.2. Sistem rangka ini pada dasarnya memiliki tingkat daktilitas terbatas dan hanya cocok digunakan untuk bangunan yang dikenakan maksimal K_{DS} B.

2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Suatu sistem rangka yang selain memenuhi ketentuan-ketentuan untuk rangka pemikul momen biasa juga memenuhi ketentuan detailing pasal 21.1.2 dan 21.1.8 serta 21.3. Sistem ini pada dasarnya memiliki tingkat daktilitas sedang dan dapat digunakan untuk bangunan yang dikenakan maksimum K_{DS} C.

3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Suatu sistem rangka yang selain memenuhi ketentuan-ketentuan untuk rangka pemikul momen biasa juga memenuhi ketentuan-ketentuan Pasal 21.1.2 hingga 21.1.8, Pasal 21.5 hingga 21.8, serta Pasal 21.11 hingga 21.13. Sistem ini memiliki tingkat daktilitas penuh dan harus digunakan untuk bangunan yang dikenakan K_{DS} D, E atau F.

2.4.3.8. Koefisien Respon Seismik

Koefisien respons seismik (C_s) harus ditentukan sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan pada SNI 1726:2019 pasal 7.8.1.1.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.8)$$

Keterangan:

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

I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan kategori risiko

R = faktor modifikasi respons (ditentukan oleh sistem penahan gempa yang dipilih)

Nilai C_s yang dihitung \leq dari:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.9)$$

Dan $C_s \geq$ dari:

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (2.10)$$

Keterangan:

S_{D1} = Parameter percepatan spektrum respons desain pada periode 1 detik

T = Periode fundamental struktur (detik)

S_1 = Parameter percepatan spektrum respons maksimum

2.4.4. Beban Angin

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh tekanan udara. Beban angin desain minimum tidak boleh kecil dari $0,77 \text{ kN/m}^2$ kali luas dinding, dan $0,38 \text{ kN/m}^2$ kali dengan luas atap. Berikut adalah parameter beban yang diperhitungkan dari SNI 1727:2020.

1. Kecepatan Angin Dasar (V)

Kecepatan angin dasar (V) ditentukan dari data BMKG kecepatan angin harian rata-rata Kabupaten Cilacap.

2. Faktor Arah Angin (K_d)

Faktor arah angin dalam menentukan beban angin didasarkan pada tipe struktur yang diperhitungkan. Faktor arah angin mengacu pada SNI 1727:2020, tabel 26.6-1.

3. Kategori eksposur

Untuk setiap arah angin yang diperhitungkan, kategori eksposur ditentukan berdasarkan tipe kekasaran dari SNI 1727:2020 pasal 26.7.2.

- Eksposur B: untuk bangunan gedung atau struktur lain dengan tinggi atap rata-rata kurang dari atau sama dengan 30 ft (9,1 m). Eksposur B berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh kekasaran permukaan B, berlaku di arah melawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 1500 ft (475 m).

- Eksposur C : eksposur C berlaku untuk semua kasus dimana eksposur B atau ekspour D tidak berlaku.
- Eksposur D : eksposur D berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah sebagaimana ditentukan oleh kekasaran permukaan D, berlaku di arah melawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 5000 ft (1524 m) atau 20 kali lebih tinggi bangunan gedung atau tinggi struktur, pilih yang terbesar.

4. Faktor topografi (K_{zt})

Efek peningkatan kecepatan angin pada daerah perkotaan secara umum tidak menimbulkan perubahan mendadak pada topografi, maka nilai $K_{zt} = 1,0$.

5. Faktor elevasi permukaan tanah (K_e)

Faktor elevasi permukaan tanah untuk menyesuaikan densitas udara (K_e) harus ditentukan sesuai SNI 1727:2020 tabel 26.9-1. Untuk semua elevasi boleh diambil nilai $K_e = 1$

6. Faktor efek hembusan angin (G)

Faktor efek hembusan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0,85.

7. Koefisien eksposur tekanan kecepatan

Berdasarkan kategori eksposur yang sudah ditentukan, koefisien eksposur tekanan kecepatan (K_z atau K_h) ditentukan dengan rumus dibawah ini.

$$\text{Untuk } 4,6 \text{ m} \leq z \leq z_g : K_z = 2,01 (z / z_g)^{2/\alpha}$$

$$\text{Untuk } z < 4,6 \text{ m} : K_z = 2,01 (15 / z_g)^{2/\alpha}$$

Nilai α dan z_g ditentukan dari SNI 1727:2020 tabel 26.11-1.

8. Koefisien tekanan internal (GC_{pi})

Koefisien tekanan internal (GC_{pi}) ditentukan berdasarkan pada klasifikasi tertutup bangunan gedung ditentukan dari SNI 1727:2020 pasal 26.13-1.

9. Koefisien tekanan eksternal (C_p)

Koefisien tekanan eksternal dibagi menjadi koefisien untuk atap, nilai C_p ditentukan berdasarkan tabel berikut.

Tabel 2. 3 Koefisien Tekanan Eksternal Atap (C_p)

Koefisien tekanan atap (C_p) untuk digunakan q_h							
Arah angin	h/L	Di sisi angin datang			Di sisi angin pergi		
		Sudut, θ (derajat)			Sudut, θ (derajat)		
		10	15	20	10	15	≥ 20
Tegak lurus terhadap bubungan untuk $\theta \geq 10^\circ$	$\leq 0,25$	-0,7	-0,5	-0,3	-0,3	-0,5	-0,6
		-0,18	0,0 ^a	0,2			
	0,5	-0,9	-0,7	-0,4	-0,5	-0,5	-0,6
		-0,18	-0,18	0,0 ^a			
	≥ 1	-1,3 ^b	-1,0	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6
		-0,18	-0,18	-0,18			

(Sumber: SNI 1727:2020, Gambar 27.3-1)

Tekanan kecepatan velositas sebagai berikut :

$$q_z = 0,613K_zK_{zt}K_dK_eV^2 \text{ (N/m}^2\text{)} \quad V \text{ dalam m/s} \quad (2.11)$$

2.4.5. Kombinasi Pembebanan

Besar faktor beban yang diberikan untuk masing-masing beban yang bekerja pada suatu penampang struktur akan berbeda-beda tergantung dari jenis kombinasi beban yang bersangkutan. Agar struktur dan komponen struktur memenuhi syarat kekuatan dan layak pakai terhadap bermacam-macam kombinasi beban, maka harus dipenuhi ketentuan dari kombinasi-kombinasi beban berfaktor sebagai berikut:

Tabel 2. 4. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi Beban	Beban Utama	Persamaan
$U = 1,4D$	D	(a)
$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$	L	(b)
$U = 1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$	$Lr \text{ atau } R$	(c)
$U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$	W	(d)
$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L$	E	(e)
$U = 0,9D + 1,0W$	W	(f)
$U = 0,9D + 1,0E$	E	(g)

(Sumber: SNI 2847:2019, pasal 5.3)

2.5. Perencanaan Desain Struktur Atas

Struktur atas suatu gedung adalah seluruh bagian struktur gedung yang berada di atas muka tanah. Komponen-komponen struktur atas gedung meliputi struktur atap, balok, pelat, kolom, dan *core wall*.

2.5.1. Rangka Atap Baja

Perencanaan struktur rangka atap ini menggunakan konstruksi kuda-kuda *gable frame*. Perhitungan gaya dalam kuda – kuda menggunakan program *SAP2000 versi 22.0.0*. Perencanaan konstruksi atap berpedoman pada SNI 1729:2020 Tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural.

2.5.1.1. Perencanaan Gording

Pembebanan pada gording meliputi:

a. Beban Mati (DL)

- Berat penutup atap
= jarak gording x berat penutup atap per m² (kg/m)
- Berat sendiri gording

Distribusi beban mati pada gording seperti gambar di bawah ini:

$$q_x = q \cdot \sin \alpha \quad (2.12)$$

$$q_y = q \cdot \cos \alpha \quad (2.13)$$

Keterangan: q_x = beban mati arah x (kg/m).

q_y = beban mati arah y (kg/m).

α = sudut kemiringan (°).

b. Beban hidup (LL)

Beban hidup diperhitungkan sebesar 100 kg berdasarkan SNI 1727:2020. Beban ini terpusat di tengah bentang gording, dan diperhitungkan jika ada orang yang bekerja di atas gording. Beban hidup dihitung dari rumus yang sama dengan berat sendiri gording.

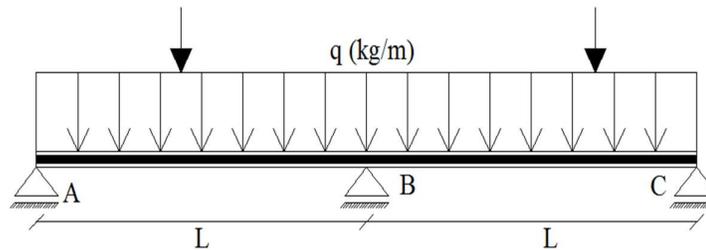
c. Beban Angin (WL)

Beban angin diperhitungkan dengan menganggap adanya tekanan positif (Wt) dan tekanan negatif (Wh). Ketentuan beban angin mengikuti SNI 1727:2020.

- 1) Lokasi = Kab. Cilacap
- 2) Kecepatan Angin (V) = 17,1 m/s (BMKG Kabupaten Cilacap)
- 3) Angin tekan (Wt) = $C_{tk} \cdot G \cdot q \cdot \text{Jarak gording}$
- 4) Angin hisap (Wh) = $C_{hs} \cdot G \cdot q \cdot \text{Jarak gording}$

2.5.1.2. Momen Maksimum pada Gording

Momen pada gording dapat dihitung dengan menggunakan metode persamaan 3 momen (*clapeyron*).



Gambar 2. 2. Gaya yang Bekerja pada Gording

$$M_A \left(\frac{L_1}{I_1} \right) + 2M_B \left(\frac{L_1}{I_1} + \frac{L_2}{I_2} \right) + M_C \left(\frac{L_2}{I_2} \right) = - \frac{6(A_1 + A_2) \cdot \alpha_1}{I_1 \cdot I_1} - \frac{6(A_1 + A_2) \cdot \alpha_2}{I_2 \cdot I_2} \quad (2.14)$$

2.5.1.3. Kontrol Tegangan dan Lendutan Terhadap Momen

1. Kontrol Tegangan

Kontrol tegangan dasar diperhitungkan sesuai menurut SNI 1729:2020.

$$\bar{\sigma} = \frac{f_y}{1,5} \quad (2.15)$$

Diperhitungkan pula tegangan akibat beban tetap (beban hidup + beban mati) dan beban sementara (beban mati, beban hidup, dan beban angin). Besar tegangan akibat beban sementara dinaikan sebesar 30%.

$$\sigma = \frac{M_x}{\omega_y} + \frac{M_y}{\omega_x} \leq 1,3 \bar{\sigma} \quad (2.16)$$

Keterangan :

σ = tegangan yang bekerja (kg/cm²) Mx = beban arah x (kgm)

$\bar{\sigma}$ = tegangan ijin maksimal (kg/cm²) My = beban arah y (kgm)

2. Kontrol Lendutan

Lendutan maksimum akibat beban tetap menurut SNI 1729:2020 adalah:

$$F < \frac{1}{250} L \quad (2.17)$$

Sementara untuk lendutan izin dihitung menggunakan rumus berikut.

$$f_x = \frac{5 \cdot q_x \cdot L^4}{348 \cdot E \cdot I_y} + \frac{1 \cdot P_x \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_y} \quad (2.18)$$

$$f_y = \frac{5 \cdot q_y \cdot L^4}{348 \cdot E \cdot I_x} + \frac{1 \cdot P_y \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_x} \quad (2.19)$$

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad \text{ketentuan : } f \leq F$$

Keterangan:

f_x = lendutan arah x (cm) I_x = momen inersia penampang x (cm⁴)

f_y = lendutan arah y (cm) I_y = momen inersia penampang y (cm⁴)

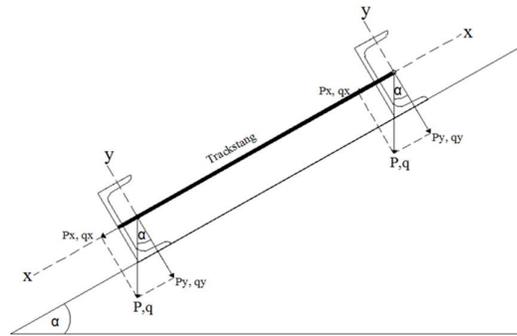
2.5.1.4. Perencanaan Sagrod

Batang tarik (*Trackstang*) atau sagrod berfungsi untuk mengurangi lendutan gording pada arah sumbu x (miring atap). Beban-beban yang dipikul oleh *trackstang* yaitu sejajar bidang atap (sumbu x), maka gaya yang bekerja adalah gaya tarik Gx dan Px.

Gx = berat sendiri gording + penutup atap sepanjang sumbu x

Px = beban hidup arah sumbu x

P_{total} = Gx + Px = (qx · L) + Px



Gambar 2. 3. Rencana Batang Tarik

Jika batang tarik yang dipasang dua buah, maka per batang tarik adalah:

$$P = \frac{P_{total}}{2} = \frac{(qx \cdot L) + Px}{2} \quad (2.20)$$

$$= \frac{P}{Fn} \leq \bar{\sigma} \quad (2.21)$$

$$Fn = \frac{P}{\sigma} \quad (2.22)$$

Keterangan:

P = beban hidup

Fn = gaya yang terjadi

qx = beban mati arah x

σ = tegangan yang bekerja

L = lebar bentang

$\bar{\sigma}$ = tegangan ijin

2.5.1.5. Pembebanan Kuda – Kuda

1. Beban Mati (D)

Beban mati terdiri dari berat penutup atap, berat sendiri gording, dan berat penutup plafon dan alat pengangtung

2. Beban Hidup (L)

Beban hidup diperhitungkan sebesar $P = 100 \text{ kg}$ (SNI 1727:2020)

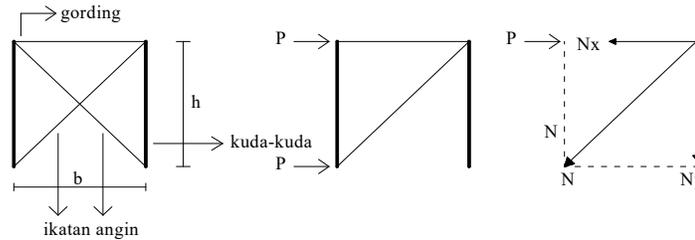
3. Beban Angin (W)

$$\text{Angin Tekan (Wt)} = C_{tk} \cdot G \cdot q \cdot l$$

$$\text{Angin Hisap (Wh)} = C_{hs} \cdot G \cdot q \cdot l$$

2.5.1.6. Ikatan Angin

Cara kerja ikatan angin (*bracing*) adalah jika salah satu ikatan angin bekerja sebagai batang tarik, maka yang lainnya tidak menahan gaya apapun, begitupun sebaliknya.



Gambar 2. 4. Pembebanan pada Ikatan Angin

$$\beta = \arctan\left(\frac{\text{panjang sisi miring}}{\text{jarak kuda - kuda}}\right) \quad (2.23)$$

$$\sum H = 0 \rightarrow N_x = P \quad (2.24)$$

$$N \cos \beta = P \quad (2.25)$$

$$N = P / \cos \beta \quad (2.26)$$

$$F_n = N / \bar{\sigma} \quad (2.27)$$

$$F_{br} = 125\% \cdot F_n \quad (2.28)$$

$$F_{br} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad (2.29)$$

$$d = \sqrt{\frac{\frac{1}{4} \cdot F_{br}}{\pi}} \quad (2.30)$$

2.5.1.7. Perencanaan Sambungan

Sambungan baut adalah Jenis sambungan yang paling banyak digunakan pada rangka baja. parameter sambungan baut sebagai berikut:

- Minimal dipakai 2 buah baut
- Jarak minimum antar baut = $3 \times df \rightarrow$ (df = diameter baut)
- Jarak minimum baut menuju ujung profil = $1,5 \times df$

Kuat tumpu pelat yang mengalami kontak dengan baut ditentukan dengan rumus berikut berdasarkan SNI 1729:2020.

- 1) Tegangan dasar

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}^l / 1,5 \quad (2.31)$$

- 2) Tegangan geser baut

$$\bar{\sigma}_{gs} = 0,6 \bar{\sigma} \quad (2.32)$$

- 3) Tegangan tarik baut

$$\bar{\sigma}_{tr} = 0,7 \bar{\sigma} \quad (2.33)$$

- 4) Tegangan tumpu/desak

$$\bar{\sigma}_{tu} = 1,5 \bar{\sigma} \rightarrow S_1 \geq 2d \quad (2.34)$$

$$\bar{\sigma}_{tu} = 1,2 \bar{\sigma} \rightarrow 1,5d \leq S_1 < 2d \quad (2.35)$$

- 5) Menentukan kekuatan satu baut

$$N_{gs} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \sigma_{gs} \quad (2.36)$$

$$Nt_p = t \times d \times \bar{\sigma}_{tu} \quad (2.37)$$

- 6) Jumlah baut yang dibutuhkan

$$n = \frac{N}{N'} \quad (2.38)$$

Keterangan:

S = jarak dari sumbu baut yang paling luar ke tepi bagian yang disambung
(mm)

D = diameter baut (mm)

$\bar{\sigma}$ = tegangan dasar (kg/cm²)

- 7) Banyaknya baut yang dipasang pada satu baris yang sejajar arah gaya tidak boleh lebih dari 5 buah.

2.5.1.8. Perencanaan Struktur Baja Menggunakan SAP2000 Versi 22.0.0

Adapun tahapan analisis gaya batang pada rangka atap baja menggunakan program *SAP2000* versi 22.0.0 sebagai berikut:

1. Menggambar model atap dengan model *2D trusses* dengan tumpuan sendi-rol serta panjang batang sesuai perhitungan.
2. Mendefinisikan beban yang bekerja pada atap.
3. Masukkan beban yang bekerja, seperti beban mati, beban hidup, beban angin kanan dan beban angin kiri.
4. *Run analysis*, untuk mendapat gaya dalam pada setiap batang.
5. Cek dimensi profil batang hasil perhitungan batang tarik dan batang tekan.

2.5.2. Pelat Lantai

Pelat adalah elemen horizontal struktur yang mendukung beban mati maupun beban hidup dan menyalurkannya ke rangka vertikal dari sistem struktur. Pelat juga berfungsi sebagai diafragma yang sangat bermanfaat untuk mendukung kekakuan balok portal.

2.5.2.1. Pelat Satu Arah

Pelat satu arah merupakan jenis pelat yang mengalami lendutan pada satu arah sumbu saja. Suatu pelat dikatakan satu arah jika $\frac{L_y}{L_x} \geq 2$. L_y merupakan sisi terpanjang, dan L_x merupakan sisi terpendek dari pelat.

2.5.2.2. Ketentuan Umum Desain Pelat Satu Arah

Ketebalan keseluruhan pelat (h) tidak boleh kurang dari batas minimum sesuai persyaratan SNI 2847:2019 pasal 7.3. Tinjauan persyaratan kuat lentur pelat dilakukan dengan pendekatan faktor tahanan (R_n) yang bisa digunakan untuk menghitung tinggi efektif (d) dari penampang pelat lantai. Hubungan persamaan R_n dan M_n adalah:

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} R_n \cdot b \cdot d^2 \quad (2.39)$$

Keterangan:

M_n = momen nominal pelat (Nmm) b = lebar pelat (1000 mm)

M_u = momen terfaktor pelat (Nmm) d = tinggi efektif pelat (mm)

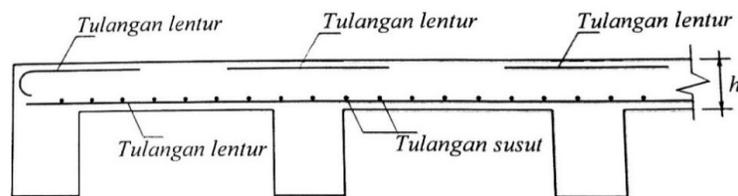
2.5.2.3. Sistem Penulangan Pelat Lantai Satu Arah

Sistem penulangan pelat satu arah melibatkan dua jenis tulangan, yaitu tulangan lentur dan tulangan bagi atau susut. Luas minimal tulangan lentur yang dipasang pada pelat diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 7.6.

Spasi minimum tulangan pelat mengacu SNI 2847:2019 pasal 25.2, Sedangkan jarak maksimum tulangan lentur pelat diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.3, yaitu harus kurang dari $3h$ dan 450 mm.

Tulangan susut pada pelat dipasang tegak lurus dengan tulangan lentur. Tulangan susut dipasang untuk mengantisipasi tegangan dan retak akibat pengaruh perubahan susut dan temperatur dari material beton. Rasio tulangan susut minimum mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 24.4.3.2.

Spasi tulangan susut dan suhu tidak boleh dipasang melebihi nilai terkecil antara $5h$ (5 kali tebal pelat) dan 450 mm. Gambaran posisi tulangan susut dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

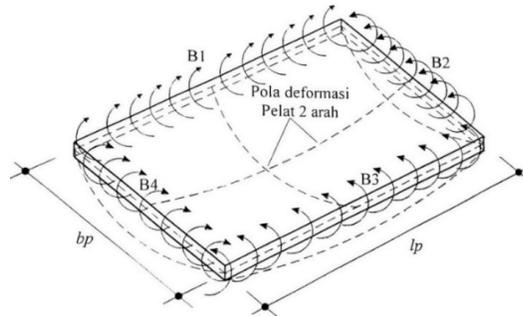


Gambar 2. 5. Posisi Tulangan Lentur dan Susut Pada Pelat Satu Arah

(Sumber: Lesmana, 2020)

2.5.2.4. Pelat Dua Arah

Pelat lantai dikategorikan sebagai pelat dua arah, jika perbandingan bentang terpanjang (l_y) terhadap bentang terpendek (l_x) lebih kecil sama dengan 2 ($l_y / l_x \leq 2$).



Gambar 2. 6. Pola Deformasi Pada Pelat Dua Arah

(Sumber: Lesmana, 2020)

2.5.2.5. Tebal Minimum Pelat Dua Arah

Syarat tebal pelat minimum ditentukan berdasarkan nilai α_{fm} menurut SNI 2847:2019 Pasal 8.3.1.2. Untuk $0,2 < \alpha_{fm} < 0,2$ ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari 120 mm dan harus memenuhi persamaan sebagai berikut ini :

$$h = \frac{l_n \left[0,8 + \frac{f_y}{1400} \right]}{36 + 5 \cdot \beta \cdot (\alpha_m - 0,2)} \quad (2.40)$$

Keterangan :

h = tebal pelat minimum (cm)

f_y = tulangan leleh baja tulangan (MPa)

α = rasio kekuatan lentur penampang balok terhadap kuat lentur pelat

α_{fm} = nilai rata-rata α untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu panel

β = rasio bentang bersih dalam suatu arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah

l_n = panjang bentang bersih dalam arah memanjang dari konstruksi dua arah

2.5.2.6. Momen Pelat Dua Arah

Momen arah x dan y diperhitungkan menggunakan tabel *Marcus*. Sementara beban yang bekerja pada pelat diperhitungkan dengan rumus berikut.

$$qU = 1,2 D + 1,6L \quad (2.41)$$

2.5.2.7. Penulangan Pelat Dua Arah

Langkah-langkah dalam menghitung tulangan pelat, yaitu :

1. Menghitung nilai tebal efektif (d) :

$$d = h - \text{selimut beton} - 1/2 D \quad (2.42)$$

2. Menghitung nilai rasio tulangan (ρ) :

Hitung nilai ρ yang akan digunakan dengan persamaan:

$$\rho_b = 0,85 \cdot \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2.43)$$

$$\rho_{min} = 1,4 / f_y \quad (2.44)$$

$$\rho_{maks} = \left(\frac{0,003 + f_y / E_s}{0,008} \right) \rho_b \quad (2.45)$$

$$\rho_{pertu} = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Mu}{0,85 \cdot \phi f'_c \cdot b d^2}} \right) \quad (2.46)$$

Sebelum menentukan luas tulangan terlebih dahulu meninjau nilai ρ yang didapat. Menghitung tulangan dengan syarat $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$

Jika $\rho < \rho_{min}$, maka menggunakan ρ_{min} maka A_s yang digunakan A_{smin}

Jika $\rho > \rho_{maks}$, pelat dibuat lebih tebal, harus dilakukan perhitungan ulang.

3. Menentukan luas tulangan (A_s) yang diperlukan :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (2.47)$$

4. Memilih diameter tulangan (D) yang akan digunakan dengan penampang dihitung dengan persamaan :

$$A_{stulangan} = \frac{1}{4} \pi D^2 \quad (2.48)$$

5. Menghitung jumlah tulangan :

$$n = \frac{A_s}{1/4 \cdot \pi \cdot D^2} \quad (2.49)$$

6. Spasi antar tulangan. Ambil nilai s yang terkecil dari persamaan :

$$s = \frac{b}{n-1} \text{ dimana nilai } b = 1000 \quad (2.50)$$

$$s \leq 2h, s \leq 450 \text{ mm} \quad (2.51)$$

7. Tulangan bagi / tulangan susut dan suhu

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 24.4.3.2 tulangan susut dan suhu menggunakan baja ulir, lihat Tabel 2.15.

8. Pengecekan tulangan, dengan syarat $A_{s\text{stul}} \geq A_{s\text{perlu}}$

$$A_{s\text{stul}} = \frac{1/4 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot s}{s} \text{ mm}^2 \quad (2.52)$$

Keterangan: $A_{s,\text{tul}}$ = luas tulangan pakai (mm^2).

$A_{s\text{perlu}}$ = luas tulangan perlu (mm^2).

9. Pengecekan Momen Rencana :

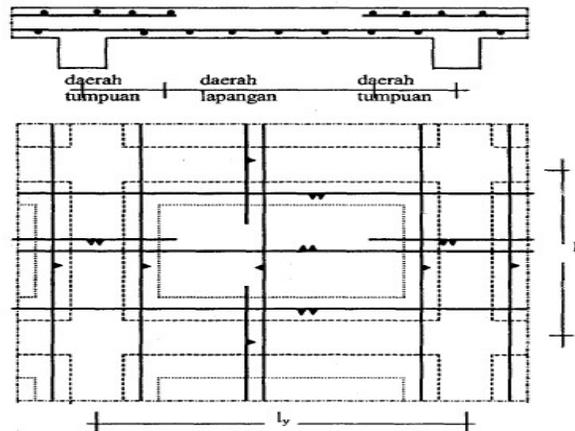
$$\phi M_n = \phi \cdot A_{s,\text{tul}} \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.53)$$

Keterangan:

ϕM_n = Momen Rencana (Nmm) f_y = kuat leleh baja (MPa)

d = tebal efektif pelat (mm) f'_c = kuat tekan beton (MPa)

b = lebar pelat diambil 1000 mm



Gambar 2. 7. Contoh Penulangan Pelat Lantai 2 Arah

(Sumber : Asroni, 2010)

2.5.3. Balok

Balok adalah salah satu elemen dari komponen struktur yang berfungsi menerima beban berupa beban sendiri maupun beban dari pelat lantai yang kemudian meneruskan beban tersebut ke elemen kolom yang terletak dibawahnya.

Desain awal (*preliminary design*) penampang balok ditentukan sesuai persyaratan SNI 2847:2019 pasal 9.3.1. Dalam proses desain suatu balok beton bertulang dengan metode kekuatan (*Strength Design Method*) atau yang dikenal pula dengan metode ultimit.

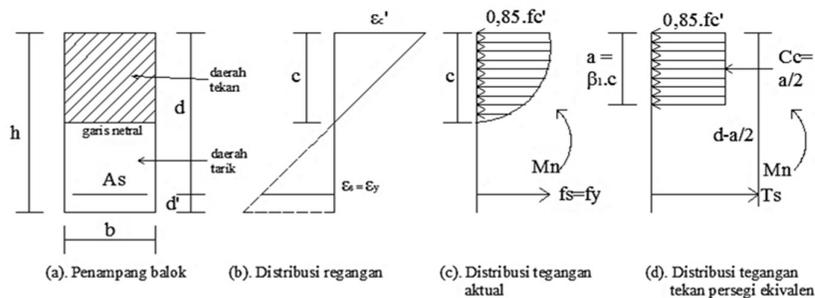
Penulangan balok terhadap kuat lentur dibedakan menjadi tulangan tunggal dan tulangan rangkap, penulangan balok ini ditentukan oleh kuat momen rencana.

$$\phi M_n \leq M_u, \text{ maka balok bertulangan rangkap}$$

$$\phi M_n \geq M_u, \text{ maka balok bertulangan tunggal}$$

2.5.3.1. Balok Persegi Panjang dengan Tulangan Tunggal

Balok dengan tulangan tunggal sering juga disebut dengan balok bertulangan sebelah atau balok dengan tulangan saja. Untuk keperluan hitungan balok persegi panjang dengan tulangan tunggal, berikut ini dilukiskan bentuk penampang balok yang dilengkapi dengan distribusi regangan dan tegangan beton serta notasinya pada gambar berikut.

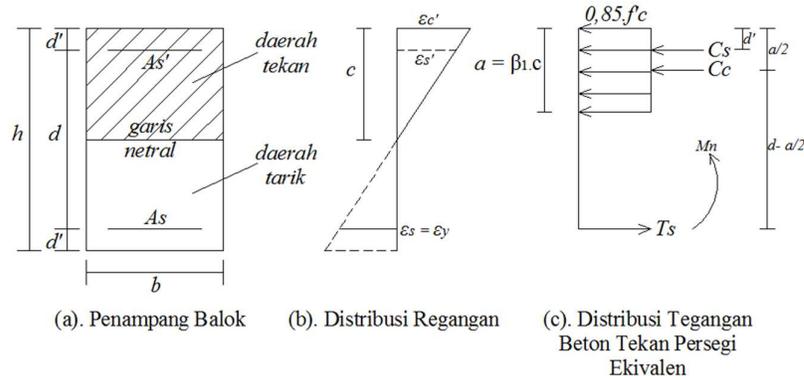


Gambar 2. 8. Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok Tunggal

(Sumber : Asroni, 2010)

2.5.3.2. Balok Persegi Panjang dengan Tulangan Rangkap

Balok beton bertulangan rangkap adalah balok beton yang diberi tulangan pada penampang beton daerah tarik dan daerah tekan. Distribusi Regangan dan tegangan pada balok dengan penampang beton bertulangan rangkap:

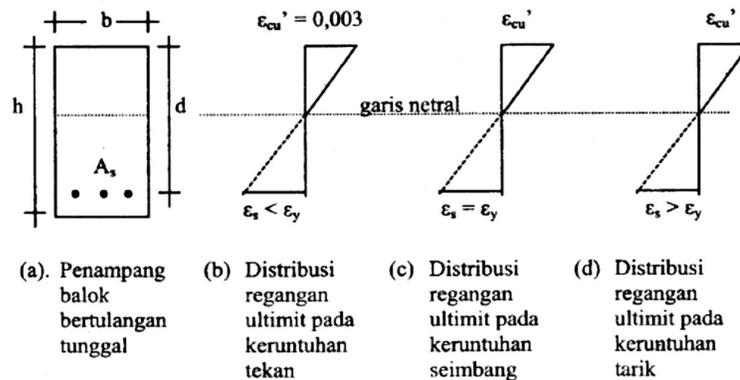


Gambar 2. 9. Distribusi Regangan dan Tegangan Balok Tulangan Rangkap
(Sumber : Asroni, 2010)

2.5.3.3. Keruntuhan Balok Lentur

Jenis-jenis keruntuhan yang dapat terjadi pada balok beton bertulang berdasarkan persentase tulangan baja yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Keruntuhan tarik (*ductile failure*): baja tulangan leleh sebelum beton hancur.
- Keruntuhan tekan (*brittle failure*): beton hancur sebelum baja tulangan leleh.
- Keruntuhan seimbang (*balanced*): beton dan baja tulangan leleh bersamaan.



Gambar 2. 10. Distribusi Regangan Ultimit pada Keruntuhan Lentur
(Sumber : Asroni, 2010)

2.5.3.4. Sistem Perencanaan Balok Lentur

- a. Kondisi regangan berimbang (*balanced strain condition*)

Kondisi ini terjadi pada suatu penampang ketika tulangan baja tarik mencapai regangan ultimitnya sebesar 0,003. Penampang demikian dinamakan sebagai penampang seimbang.

- b. Penampang terkendali tekan (*compression controlled section*)

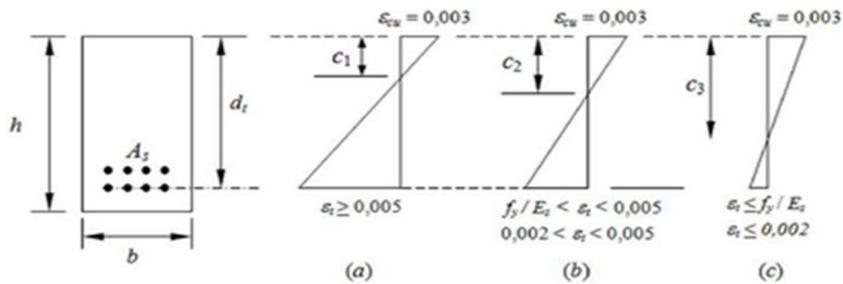
Kondisi ini terjadi apabila regangan tulangan tarik terluar sama atau kurang dari batasan yang diizinkan, sedangkan beton mencapai regangan ultimit sebesar 0,003.

- c. Penampang terkendali tarik (*tension controlled section*)

Terjadi ketika regangan baja mencapai 0,005 atau lebih, yang terjadi ketika beton mencapai regangan ultimitnya sebesar 0,003.

- d. Penampang kondisi transisi

Penampang lain yang berada diantara penampang terkendali tekan dan terkendali tarik dinamakan berada pada daerah transisi. Disamping itu ditambahkan pula bahwa regangan tarik ϵ_t , pada kuat nominal di daerah transisi, tidak boleh kurang dari 0,004 untuk setiap komponen struktur lentur tanpa beban aksial.



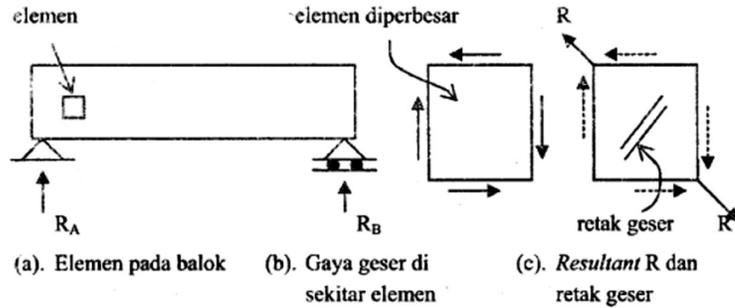
Gambar 2. 11. Jenis-Jenis Kondisi Penampang Balok

(Sumber : Asroni, 2010)

2.5.3.5. Kuat Geser Balok

Jika ada sebuah balok yang ditumpu secara sederhana (yaitu dengan tumpuan sendi pada ujung yang satu dan tumpuan rol pada ujung lainnya), kemudian di atas balok diberi beban cukup berat, balok tersebut dapat terjadi 2

jenis retakan, yaitu retak yang arahnya vertikal dan retak yang arahnya miring. Retak miring terjadi akibat kegagalan balok dalam menahan gaya geser, biasanya terjadi pada daerah ujung (dekat tumpuan) balok, karena pada daerah ini timbul gaya geser / gaya lintang paling besar.



Gambar 2. 12. Jenis Retakan pada balok akibat gaya geser
(Sumber : Asroni, 2010)

1. Pasal 22.5.1.1 SNI 2847:2019, gaya geser rencana, gaya geser nominal, gaya geser yang ditahan oleh beton dan begel dirumuskan:

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.54)$$

2. Pasal 22.5.1.2 SNI 2847:2019, ukuran dimensi untuk desain penampang harus memenuhi persamaan:

$$V_u \leq \phi(V_c + 0,066\sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d) \quad (2.55)$$

3. Pasal 22.5.5 SNI 2847:2019, gaya geser yang ditahan oleh beton (V_c) tanpa gaya aksial dihitung dengan rumus:

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \quad (2.56)$$

4. Pasal 22.5.7.1 SNI 2847:2019, gaya geser yang ditahan oleh beton (V_c) dengan gaya aksial tarik dihitung dengan rumus:

$$V_c = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{N_u}{3,5A_g}\right) \lambda \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (2.57)$$

5. Gaya geser maksimum yang dipikul tulangan geser (V_s) sebagai berikut :

$$V_s \leq 0,66\sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (2.58)$$

Jika V_s melebihi nilai tersebut maka penampang harus diperbesar.

6. Batasan minimum tulangan geser berdasarkan pasal 9.6.3.3 SNI 2847:2019 harus diambil dari yang terbesar sesuai dengan persamaan :

$$A_{v \min} = 0,062 \sqrt{f'_c} \cdot \frac{b_w \cdot s}{f_{yt}} \quad (2.59)$$

$$A_{v \min} = 0,35 \frac{b_w \cdot s}{f_{yt}} \quad (2.60)$$

2.5.3.6. Momen Puntir (Torsi)

Torsi atau momen puntir adalah momen yang bekerja terhadap sumbu longitudinal balok / elemen struktur. Torsi dapat terjadi karena adanya beban eksentrik yang bekerja pada balok tersebut. Pengaruh torsi dapat diabaikan dalam SNI 2847:2019 pasal 9.5.4, apabila T_u memenuhi syarat sebagai berikut :

$$T_u \leq \phi 0,083\lambda\sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (2.61)$$

Atau tidak melebihi :

$$T_u \leq \phi 0,083\lambda\sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{N_u}{0,33 A_g \lambda \sqrt{f'_c}}} \quad (2.62)$$

Dimana : $\phi = 0,75$

A_{cp} = Luas penampang bruto

P_{cp} = Keliling penampang bruto

Batasan dimensi penampang yang memikul torsi dan gaya geser berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 22.7.7 adalah sebagai berikut :

1. Penampang solid

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d} \right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w \cdot d} + 0,66 \sqrt{f'_c} \right) \quad (2.63)$$

2. Penampang berongga

$$\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right) + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2}\right) \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w \cdot d} + 0,66 \sqrt{f'_c}\right) \quad (2.64)$$

Setelah terbentuk retak torsi maka momen torsi ditahan oleh kombinasi tulangan sengkang tertutup dan tulangan memanjang. Berikut perhitungan untuk keduanya:

1. Tulangan sengkang tertutup (A_t) dihitung berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 22.7.6.1 :

$$T_n = \frac{2A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta \quad (2.65)$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2A_o f_{yt} \cot \theta} \quad (2.66)$$

2. Tulangan memanjang (A_l) yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan berikut :

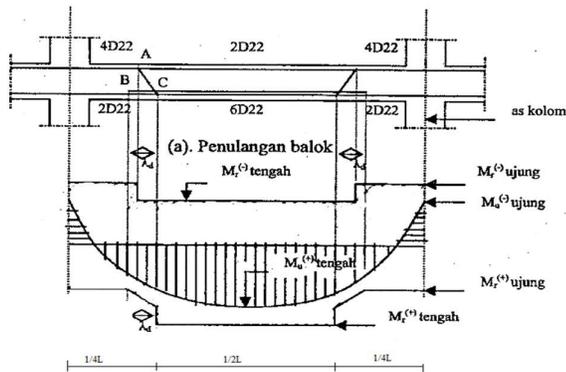
$$A_t = \left(\frac{A_t}{s}\right) P_h \left(\frac{f_{yt}}{f_y}\right) \cot^2 \theta \quad (2.67)$$

2.5.3.7. Selimut Momen dan Geser Balok

A. Selimut Momen Balok

Langkah-langkah yang ditempuh untuk menggambar selimut momen balok biasanya dilaksanakan dengan urutan berikut:

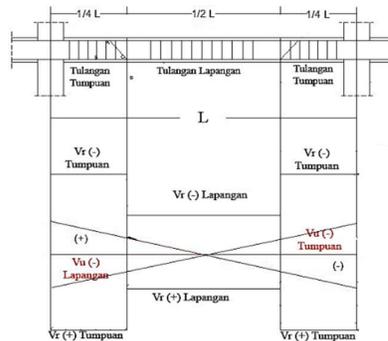
- 1) Dihitung tulangan longitudinal pada daerah ujung dan lapangan balok.
- 2) Dihitung momen rencana balok (momen positif dan momen negatif).
- 3) Dihitung panjang penyaluran tegangan tulangan λ_d pada tempat pemutusan tulangan.
- 4) Membuat gambar penulangan balok lengkap dengan letak tulangan yang diputus.
- 5) Membuat gambar momen perlu dan momen rencana balok dalam bentuk garis-garis momen.



Gambar 2. 13. Contoh Selimut Momen Balok
(Sumber : Asroni, 2010)

B. Selimut Geser Balok

Ketentuan mengenai selimut momen balok, juga berlaku terhadap selimut geser balok. Penggambaran selimut geser balok juga bertujuan bahwa momen rencana balok (V_r) harus lebih besar atau sama dengan momen perlu (V_u).



Gambar 2. 14. Contoh Selimut Geser Balok
(Sumber : Asroni, 2010)

2.5.4. Kolom

Kolom merupakan elemen struktur utama yang memikul beban kombinasi aksial tekan dan momen lentur. Pada kenyataan dilapangan, sangat jarang menemukan elemen kolom memikul murni gaya tekan. Umumnya kolom selalu memikul beban kombinasi aksial tekan dan momen.

2.5.4.1. Kolom Tekan Murni

Kolom dianggap menerima beban sentris, berarti beban bekerja pada pusat penampang kolom. Beban aksial tekan apabila diberikan pada kolom pendek beton bertulang, beton akan berperilaku elastis hingga batas tegangan mencapai sekitar $1/3f'_c$, apabila beban pada kolom ditingkatkan hingga batas ultimit, beton akan mencapai kekuatannya maksimumnya dan tulangan baja akan mencapai luluhnya (f_y). Kapasitas beban nominal (P_0) berdasarkan SNI 2847:2019 dapat dituliskan dalam persamaan:

$$P_0 = 0,85f'_c(A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \quad (2.68)$$

Kuat nominal kolom beban aksial dengan sengkang persegi:

$$\phi P_n = \phi(0,8)[0,85f'_c(A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y] \quad (2.69)$$

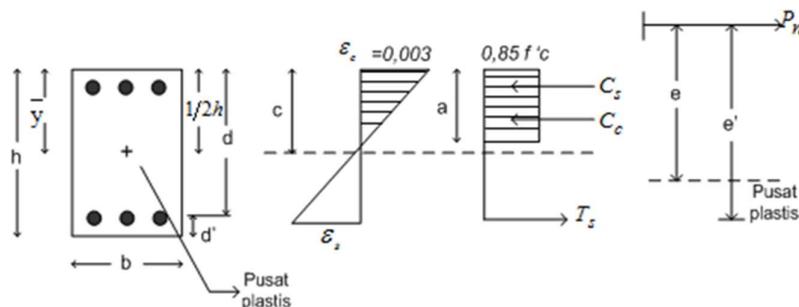
Kuat nominal kolom beban aksial dengan sengkang spiral :

$$\phi P_n = \phi(0,85)[0,85f'_c(A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y] \quad (2.70)$$

Dengan : $\phi = 0,65$ untuk sengkang persegi

2.5.4.2. Kolom Beban Aksial dan Momen

Prinsip-prinsip pada balok mengenai distribusi tegangan dan blok tegangan segiempat ekuivalen, dapat diterapkan juga pada kolom. Gambar dibawah memperlihatkan penampang melintang suatu kolom segiempat tipikal dengan diagram distribusi regangan, tegangan dan gaya.



Gambar 2. 15. Tegangan Dan Gaya-Gaya Pada Kolom

(Sumber: Lesmana, 2020)

Tabel 2. 5. Tegangan dan Gaya – Gaya pada Kolom

Tulangan Tarik	Tulangan Tekan	Gaya Dalam
$\epsilon_s = 0,003 \frac{d - c}{c}$	$\epsilon_s = 0,003 \frac{c - d'}{c}$	$C_c = 0,85 f'_c \cdot b \cdot a$
$f_s = E_s \cdot \epsilon_s \leq f_y$	$f'_s = E_s \cdot \epsilon'_s \leq f_y$	$C_s = A'_s \cdot f'_s$
		$T = A_s \cdot f_s$
		$A = \beta_1 \cdot c \leq h$

Eksentrisitas:

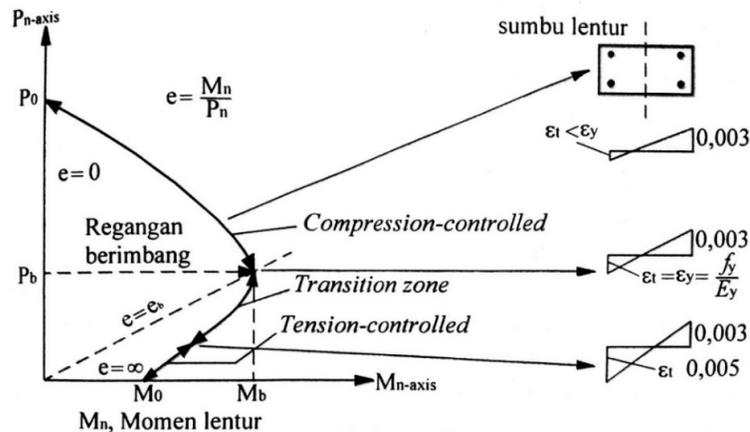
$$e = \frac{M_u}{P_u} \quad (2.71)$$

Gaya tahan aksial P_n dalam keadaan runtuh :

$$P_n = 0,85 f'_c \cdot a \cdot b + A'_s \cdot f'_s - A_s \cdot f_s \quad (2.72)$$

Momen tahanan nominal :

$$M_n = 0,85 f'_c \cdot a \cdot b \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A'_s \cdot f'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) - A_s \cdot f_s \left(d - \frac{h}{2} \right) \quad (2.73)$$



Gambar 2. 16. Diagram Interaksi Aksial – Momen Elemen Kolom

(Sumber: Lesmana, 2020)

2.5.4.3. Kondisi Regangan Berimbang

Kondisi regangan berimbang (*balanced strain condition*) atau *compression control limit* merupakan pembatas antara *compression-controlled* dan *transition zone*. Pada kondisi ini serat ekstrim tekan beton dan tarik tulangan baja terluar sama-sama mencapai keadaan batasnya yaitu $\epsilon_c = 0,003$ dan $\epsilon_s = f_s/E_s$.

Pada penampang persegi, kondisi regangan berimbang dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$c_b = \frac{0,003}{\frac{f_y}{E_s} + 0,003} d = \left(\frac{600 \cdot d}{600 + f_y} \right) \quad (2.74)$$

Gaya-gaya yang terlibat dalam kondisi ini memiliki persamaan:

$$C_c = C_c + C_s - T_s \quad (2.75)$$

Persamaan C_c dapat dinyatakan menjadi:

$$C_c = 1,0(0,85f'_c \cdot a \cdot b) = 1,0(0,85f'_c \cdot \beta_1 \cdot c_b \cdot b) \quad (2.76)$$

dan gaya tarik (T) dinyatakan dengan:

$$T = A_s \cdot f_y \quad (2.77)$$

sedangkan gaya tekan dari tulangan pada kondisi regangan berimbang adalah:

$$C_s = A_s'(f_y - 0,85f'_c) \quad (2.78)$$

Sehingga persamaan P_b sebagai berikut:

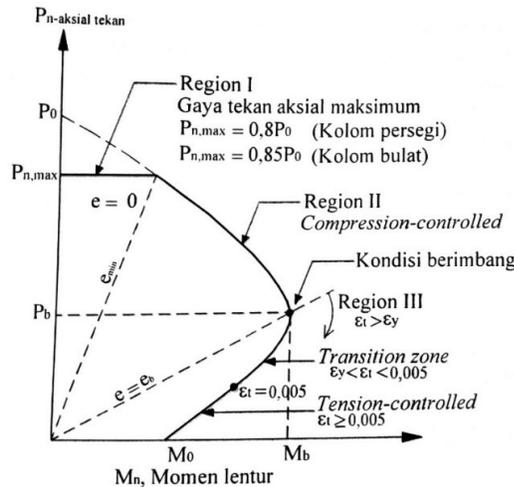
$$P_b = 0,85f'_c \cdot \beta_1 \cdot c_b \cdot b + A_s'(f_y - 0,85f'_c) - A_s \cdot f_y \quad (2.79)$$

2.5.4.4. Desain Kekuatan

Metode pendekatan untuk mendesain elemen struktur yang memikul kombinasi aksial dan momen berdasarkan metode desain kekuatan, dibagi menjadi 3 kategori.

A. Desain pada wilayah I

Desain wilayah 1, elemen struktur memiliki momen lentur yang sangat kecil atau bahkan bisa diabaikan dan yang lebih menentukan adalah gaya aksial. Aksial tekan yang terjadi berupa $P_n (max)$ dimana $P_n (max) = 0,80P_0$ untuk kolom persegi dan $P_n (max) = 0,85P_0$ untuk kolom bulat. Desain pada wilayah I tidak disarankan, karena gaya aksial tekan mendekati gaya tekan murni, dikhawatirkan terjadi keruntuhan tanpa peringatan (getas).



Gambar 2. 17. Kategori Desain Untuk Elemen Kolom Tekan Dan Lentur
(Sumber: Lesmana, 2020)

B. Desain pada wilayah II

Elemen struktur pada wilayah II masuk pada kategori *compression controlled*. Dominasi beban oleh aksial tekan namun momen relatif lebih besar daripada wilayah I. Perbedaan dari wilayah I adalah besar $P < P_n (max)$. Faktor reduksi dari elemen struktur adalah $\phi = 0,65$ untuk kolom persegi dan $\phi = 0,75$ untuk kolom bulat.

C. Desain pada wilayah III

Pada wilayah III terdapat dua kondisi yaitu *transition zone* dan *tension controlled*. Disaat regangan yang terjadi $f_y/E_s < \epsilon_t < 0,005$, maka elemen struktur tergolong *transition zone*. Sedangkan bila $\epsilon_t \geq 0,005$, maka tergolong *tension controlled* dengan faktor reduksi $\phi = 0,9$.

2.5.4.5. Kombinasi Aksial Tekan dan Biaksial Momen

Kolom persegi atau bulat yang menerima beban aksial tekan dan momen lentur pada kedua sumbu (-x dan -y) secara umum metode analisa yang digunakan hampir sama dengan metode yang digunakan pada kolom dengan momen satu sumbu. Metode ini melibatkan proses “*trial and error*” untuk memperoleh posisi garis netral dalam kondisi tekan dengan eksentrisitas.

Metode *load contour method* umumnya digunakan untuk menganalisa kolom yang menerima biaksial moment. Metode ini melibatkan potongan permukaan dari grafik load contour $P_n - M_{nx} - M_{ny}$ dengan nilai P_n konstan, seperti gambar 2.46. Persamaan non-dimensional untuk kondisi tersebut dinyatakan dalam bentuk :

$$\left(\frac{M_{nx}}{M_{0x}}\right)^{a_1} + \left(\frac{M_{ny}}{M_{0y}}\right)^{a_2} = 1,0 \quad (2.80)$$

2.5.4.6. Pengaruh Kelangsingan Kolom

Kelangsingan kolom dapat didefinisikan sebagai rasio antara tinggi kolom dengan jari-jari inersia penampang kolom, $\lambda = L/r$. Kelangsingan dapat mengakibatkan tekuk ataupun momen akibat lendutan karena faktor kelangsingan (momen sekunder).

$$\lambda = \frac{k \cdot l_u}{r} \quad (2.81)$$

Dalam proses desain kolom langsing, kekuatan kolom mengalami reduksi kekuatan akibat fenomena deformasi orde kedua, akibat dari beban yang bekerja pada kolom kemudian membuat kolom melendut kearah samping (lateral) sebesar Δ . Selanjutnya akibat lendutan ini akan menimbulkan pembesaran momen (momen sekunder) berupa $P\Delta$ yang akan memperbesar lendutan sebelumnya. Dengan adanya fenomena tersebut. perencanaan kolom langsing perlu memperhatikan keruntuhan akibat stabilitas struktur (*stability failure*).

Untuk kolom bergoyang (*sway*), pengaruh kelangsingan bisa diabaikan bila memenuhi persyaratan yang diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 6.2.5.

2.5.4.7. Kuat Geser Kolom

Prinsip desain geser kolom sama dengan yang konsep geser balok. Perbedaannya adalah besaran V_c memikul beban kombinasi aksial tekan dan momen lentur, sementara balok didominasi momen lentur. Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 22.5 kuat geser nominal kolom dihitung sebagai berikut.

1. Pasal 22.5.1.1 SNI 2847:2019, kuat geser nominal penampang (V_n) dihitung dengan persamaan:

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.82)$$

dengan : V_n = Gaya geser nominal (kN)

V_c = Gaya geser yang ditahan beton (kN)

V_s = Gaya geser yang ditahan oleh begel (kN)

2. Pasal 22.5.1.2 SNI 2847:2019, ukuran dimensi untuk desain penampang harus memenuhi persamaan:

$$V_u \leq \phi (V_c + 0,066\sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d) \quad (2.83)$$

3. Pasal 22.5.5.1 SNI 2847:2019, gaya geser yang ditahan oleh beton (V_c) tanpa gaya aksial dihitung dengan rumus:

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (2.84)$$

4. Pasal 22.5.6.1 SNI 2847:2019, gaya geser yang ditahan oleh beton (V_c) dengan gaya aksial tekan dihitung dengan rumus:

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda\sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (2.85)$$

Apabila N_u bernilai positif untuk tekan diambil dari nilai terkecil yang dihitung dengan persamaan:

$$V_c = \left[0,16\lambda\sqrt{f'_c} + 17\rho_w \frac{V_u d}{M_u - N_u \frac{(4h - d)}{8}} \right] b_w d \quad (2.86)$$

$$V_c = 0,29\lambda\sqrt{f'_c} b_w d \sqrt{1 + \frac{0,29N_u}{A_g}} \quad (2.87)$$

5. Pasal 22.5.7.1 SNI 2847:2019, gaya geser yang ditahan oleh beton (V_c) dengan gaya aksial tarik dihitung dengan rumus :

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{3,5A_g} \right) \lambda\sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (2.88)$$

6. Pasal 22.5.10.1 SNI 2847:2019, pada penampang dimana $V_u > \phi V_c$, tulangan transversal harus dipasang dan memenuhi persamaan :

$$V_s \geq \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (2.89)$$

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} - V_c \quad (2.90)$$

7. Gaya geser maksimum yang dipikul tulangan geser (V_s) sebagai berikut :

$$V_s \leq 0,66 \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (2.91)$$

8. Luas minimum tulangan geser ($A_{v,min}$), harus disediakan disemua wilayah dimana $V_u > 0,5 \phi V_c$. Tulangan geser yang diperlukan ($A_{v,min}$) berdasarkan pasal 10.6.2.2 SNI 2847:2019 harus lebih besar dari persamaan berikut :

$$A_{v,min} = 0,062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}} \quad (2.92)$$

$$A_{v,min} = 0,35 \frac{b_w s}{f_{yt}} \quad (2.93)$$

Jarak tulangan geser berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.4.3.3 yang dipasang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari nilai berikut:

- 8 kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi.
- 24 kali diameter batang tulangan sengkang pengekang.
- Setengah dimensi penampang terkecil kolom.
- 300 mm

Detail penulangan sengkang kolom diatur pada SNI 2847:2019:

- Sengkang ikat pada SNI 2847:2019, pasal 25.7.2, halaman 599
- Sengkang spiral pada SNI 2847:2019, pasal 25.7.3, halaman 602
- Sengkang pengekang pada SNI 2847:2019, pasal 25.7.4, halaman 604

2.5.5. Dinding Geser (Shear Wall)

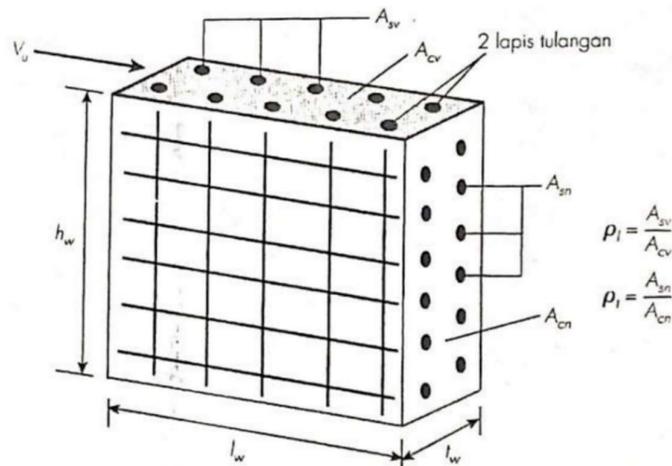
Bangunan tinggi tahan gempa umumnya menggunakan dinding geser untuk menahan kombinasi gaya geser, momen dan aksial yang timbul akibat beban gempa.

2.5.5.1. Persyaratan Tulangan Dinding Geser

Tulangan geser harus disediakan dalam dua arah tegak lurus pada dinding. Rasio tulangan minimum untuk arah vertikal dan horizontal ditentukan sebagai berikut :

- Apabila tulangan geser didesain $V_u > 0,083A_{cv}\lambda\sqrt{f'_c}$, rasio penulangan ρ_l dan ρ_t tidak boleh kurang dari 0,0025.

$$0,0025 \geq \rho_l = \frac{A_{sv}}{A_{cv}} \text{ atau } 0,0025 \geq \rho_t = \frac{A_{sn}}{A_{cn}} \quad (2.94)$$



Gambar 2. 18. Tulangan Geser pada Dinding Geser

(Sumber : Setiawan, 2016)

- Apabila gaya geser didesain $V_u < 0,083A_{cv}\lambda\sqrt{f'_c}$, maka dapat digunakan rasio tulangan minimum seperti pada dinding struktural biasa sesuai ketentuan SNI 2847:2019 pasal 11.

2.5.5.2. Kuat Geser

Kuat geser nominal dinding geser ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.10.4 yang menyatakan:

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t + f_y) \quad (2.95)$$

Dinding struktural yang didesain untuk memikul beban aksial dan lentur (SNI 2847:2019 pasal 18.10.5), kuat lentur dari dinding harus ditentukan seperti halnya prosedur perhitungan kolom yang dibebani gaya aksial dan momen lentur. Tulangan pada seluruh penampang dinding termasuk pada komponen batas (*boundary element*) harus diperhitungkan untuk menentukan kapasitas dinding tersebut.

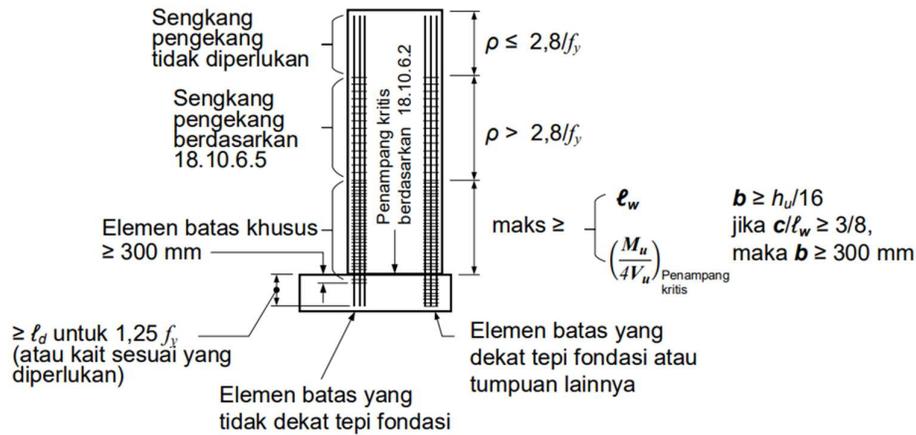
2.5.5.3. Elemen Batas

SNI 2847:2019 pasal 18.10.6 memberikan persyaratan desain untuk elemen batas, yaitu :

1. Pendekatan desain berbasis perpindahan (*displacement*), dinding atau pilar-pilar dinding dengan $h_w / l_w \geq 2,0$ yang secara efektif menerus dari dasar struktur hingga sisi paling atas dinding dan didesain untuk mempunyai penampang kritis tunggal untuk lentur dan beban aksial, harus diperkuat dengan komponen batas khusus apabila :

$$c \geq \frac{l_w}{600 \left(\frac{1,5\delta_u}{h_w} \right)} \quad (2.96)$$

Tulangan transversal elemen batas harus diperpanjang pada arah vertikal, diatas dan dibawah penampang kritis dengan jarak minimal nilai terbesar dari $l_w M_u / 4V_u$.



Gambar 2. 19. Desain Dinding Pendekatan Desain Berbasis Perpindahan
(Sumber : SNI 2847:2019)

2. Pendekatan desain berbasis tegangan. Dinding geser harus disediakan komponen batas di sekeliling sisi luarnya dan daerah tepi-tepi sekeliling bukaan dari dinding-dinding struktural dimana tegangan tekan serat ekstrim maksimum, akibat kombinasi pembebanan termasuk pengaruh gempa (E) melebihi $0,2f'_c$. Elemen batas khusus dapat dihentikan pada lokasi dimana tegangan tekan yang dihitung kurang dari $0,15f'_c$.

2.6. Perencanaan Desain Struktur Bawah

Struktur bawah merupakan seluruh bagian struktur bangunan yang berada di bawah permukaan tanah.

2.6.1. Fondasi

Struktur bawah dari suatu bangunan adalah fondasi. Fondasi berperan penting dalam menopang suatu bangunan karena merupakan komponen struktur bawah yang berfungsi untuk meneruskan gaya dari segala arah bangunan di atasnya ke tanah.

2.6.1.1. Pemilihan Jenis Fondasi

Dalam pemilihan jenis fondasi yang didasarkan pada daya dukung tanah, ada beberapa hal perlu diperhatikan, yaitu:

1. Bila tanah keras terletak pada permukaan tanah atau 2-3 meter di bawah permukaan tanah, maka fondasi yang dipilih sebaiknya jenis fondasi dangkal (fondasi setempat, fondasi menerus, fondasi pelat).
2. Bila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 10 meter atau lebih di bawah permukaan tanah maka jenis fondasi yang biasanya dipakai adalah fondasi tiang minipile dan fondasi sumuran atau fondasi *bored pile*.
3. Bila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 20 meter atau lebih di bawah permukaan tanah maka jenis fondasi yang biasanya dipakai adalah fondasi tiang pancang.

2.6.1.2. Perencanaan Fondasi Bored Pile

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah memikul tekanan, atau tekanan maksimum yang diijinkan yang bekerja pada tanah diatas pondasi. Perhitungan daya dukung tanah adalah sebagai berikut:

1. Metode perhitungan

a. Metode *Meyerhof* (1956)

Perkiraan kapasitas daya dukung fondasi *bored pile* pada tanah pasir dan silt didasarkan pada data uji lapangan SPT, ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$\sigma_u = 4N_b \cdot A_b + \frac{1}{50} \bar{N} \cdot A_s \quad (2.97)$$

dimana :

- σ_u = Kapasitas ultimit tiang
- N_b = Nilai N dari uji SPT di sekitar dasar tiang
- A_b = Luas dasar tiang
- \bar{N} = Nilai rata-rata N dari uji SPT di sekitar tiang
- A_s = Luas selimut tiang

b. Metode *Terzaghi* (1943)

Perhitungan daya dukung ultimate digunakan persamaan *Terzaghi* untuk fondasi bentuk persegi:

$$\sigma_u = \frac{1}{F_s} [(1,3 \cdot c \cdot N_c) + (D_f \cdot \gamma_t \cdot N_q) + (0,4 \gamma_t \cdot B \cdot N_\gamma)] \quad (2.98)$$

Tabel 2. 6. Faktor kapasitas dukung Terzaghi (1943)

Φ	Keruntuhan geser umum			Keruntuhan geser lokal		
	N_c	N_q	N_γ	N'_c	N'_q	N'_γ
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19,0	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9,0
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1

Tabel 2. 7. Daftar ukuran S_c dan S_γ

No.	Tipe Fondasi	S_c	S_γ
1.	Persegi	1,3	0,8
2.	Persegi panjang	1,0	1,0
3.	Lingkaran	1,3	0,6

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Penyebaran tekanan pada dasar fondasi dihitung dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{\sum p}{A} \pm \frac{M_y \cdot x}{I_y} \pm \frac{M_x \cdot y}{I_x} \quad (2.99)$$

Dimana :

- σ = Tegangan yang terjadi (N/mm²)
- $\sum p$ = Jumlah total beban fondasi (N)
- A = Luas total fondasi pile cap (mm²)
- M_y = Momen arah y (Nmm)
- M_x = Momen arah x (Nmm)

Persyaratan yang harus dipenuhi :

$$\sigma_{maks} \leq \sigma_{ijin} \dots\dots OK$$

Analisis daya dukung masing – masing tiang:

- Tahanan adhesi dan tanah

$$P_1 = K \cdot H \cdot c \quad (2.100)$$

dimana : P_1 = Tahanan adhesi dinding tiang ultimit
 K = Keliling penampang tiang
 c = adhesi antara dinding tiang dengan tanah
 H = Kedalaman tiang

- Tahanan gesek dinding tiang ultimit

$$P_2 = K \left(\frac{1}{2} H^2 \cdot \gamma_t \right) (1 + \tan^2 \varphi) \tan \quad (2.101)$$

dimana :

P_2 = Tahanan gesek dinding tiang ultimit
 γ = Berat isi tanah
 K = Luas selimut tiang
 H = Kedalaman tiang
 φ = Sudut gesek antara dinding tiang dan tanah

- Tahanan ujung tiang

$$P_3 = A_b \cdot \bar{\sigma}_u$$
$$P_3 = A_b \cdot [(1,3 \cdot c \cdot N_c) + (D_f \cdot \gamma_t \cdot N_q) + (0,3 \gamma_t \cdot B \cdot N_\gamma)] \quad (2.102)$$

$$P_{netto} = P_1 + P_2 + P_3 - \text{berat tiang}$$
$$P_{netto} = P_1 + P_2 + P_3 - (A \cdot L \cdot \gamma_b) \quad (2.103)$$

Dimana : P_3 = Tahanan ujung tiang ultimit
 γ = Berat isi tanah
 c = Kohesi tanah di ujung tiang
 D_f = Kedalaman tiang

2. Daya dukung izin

$$\sigma_{all} = \frac{\sigma_u}{SF} \quad (2.104)$$

dimana σ = Kapasitas dukung ultimit tiang

SF = Faktor keamanan

3. Jumlah tiang perlu

$$n = \frac{V_u}{P_{netto}} \quad (2.105)$$

4. Penulangan tiang *bored pile*

$$M_1 = \frac{M_{dasar}}{n} \quad (2.106)$$

- Gaya geser maksimum terjadi pada bagian atas pondasi akibat beban horizontal

$$H_u = \frac{H}{n} \quad (2.107)$$

- Kapasitas momen pada dasar pondasi tiang

$$M_1 = K_C^R \cdot A_{st} \cdot f_y \cdot d \quad (2.108)$$

$$A_{st} = \frac{M_1}{K_C^R \cdot f_y \cdot d} \quad (2.109)$$

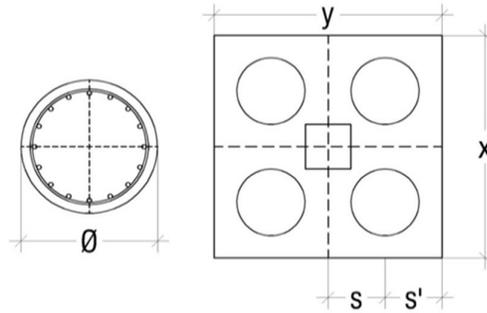
- Jumlah tulangan

$$n = A_{st} / A_s \quad (2.110)$$

- Tulangan Sengkang Spiral

$$\rho_s = \frac{4A_s(D_c - d_s)}{D_c^2 S} \quad (2.111)$$

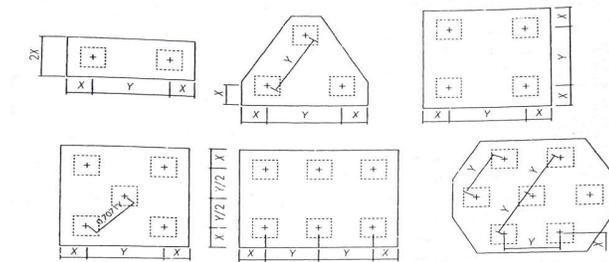
$$S = \frac{4A_s(D_c - d_s)}{D_c^2 \rho_s} \quad (2.112)$$



Gambar 2. 20. Contoh Penulangan *Bored Pile*
(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

2.6.1.3. Perencanaan Pile Cap

Pile cap berfungsi sebagai pengikat setiap pile yang telah terpancang ke dalam tanah. Gambar dibawah ini menunjukkan beberapa jenis tiang dalam satu grup tiang.



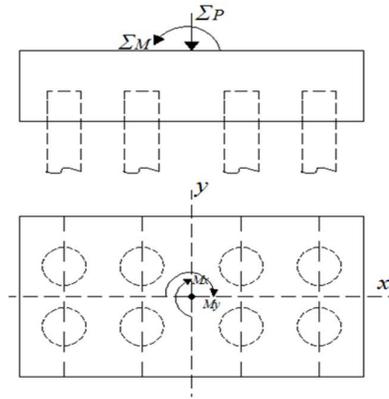
Gambar 2. 21. Susunan Kelompok Tiang
(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

1. Persamaan untuk menghitung tekanan aksial pada masing-masing tiang :

$$P_i = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y \cdot x_i}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot y_i}{\sum y^2} \quad (2.113)$$

Dimana :

- P_i = Beban aksial pada ujung tiang ke-i
- V = Jumlah beban vertikal yang bekerja pada pusat kelompok tiang
- n = Jumlah tiang
- x, y = Berturut-turut jarak tiang terhadap sumbu y dan x
- M_x, M_y = Berturut-turut momen pada arah sumbu x dan y



Gambar 2. 22. Kelompok Tiang Dibeban Beban Aksial Dan Momen 2 Arah
(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Persyaratan yang harus dipenuhi:

$$P_{terjadi} = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_y \cdot x}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot y}{\sum y^2} \leq P_{netto} \quad (2.114)$$

$$P_{maks} = \frac{\sum P}{n} + \frac{M_y \cdot x}{\sum x^2} + \frac{M_x \cdot y}{\sum y^2} \leq P_{netto} \quad (2.115)$$

$$P_{min} = \frac{\sum P}{n} - \frac{M_y \cdot x}{\sum x^2} - \frac{M_x \cdot y}{\sum y^2} \leq P_{netto} \quad (2.116)$$

P_{min} tidak boleh > 0 (tidak boleh ada tegangan negatif)

2. Penulangan *pile cap*

a. Beban beban yang bekerja pada *pile cap*

- Berat sendiri *pile cap*
- Berat tanah urug
- Gaya aksial tiang

b. Momen yang terjadi pada sisi kolom

$$\sum M = P_1 x_1 + P_2 x_2 - P_{maks} \cdot x_3 \quad (2.117)$$

c. Penulangan

1) Rasio tulangan

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} \quad (2.118)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R}{0,85f'_c}} \right) \quad (2.119)$$

$$\rho_b = 0,85\beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2.120)$$

$$\rho_{maks} = \left(\frac{0,003 + f_y/E_s}{0,008} \right) \rho_b \quad (2.121)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.122)$$

Dengan syarat $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$

2) Luas tulangan perlu :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (2.123)$$

3) Jarak antar tulangan :

$$s = \frac{\frac{1}{4}\pi d^2 S}{A_s} \text{ dengan } s \leq 2h \quad (2.124)$$

2.7. Analisa Struktur Menggunakan Program SAP2000 Versi 22.0.0

Pada *redesign* struktur Gedung Teknik Informatika dan Lingkungan Politeknik Negeri Cilacap ini menggunakan bantuan program *SAP2000 versi 22.0.0*. Berikut ini merupakan tahapan perancangan model struktur baik *truss* maupun *frame* secara garis besar, dengan *SAP2000 versi 22.0.0*, yaitu:

1. Samakan satuan
2. Buat model struktur
3. Definisikan material yang akan digunakan
4. Definisikan profil penampang yang digunakan
5. Aplikasikan profil pada struktur
6. Definisikan beban
7. Aplikasikan beban
8. Cek model struktur
9. Jalankan analisa
10. Cek hasil analisa