

BAB III DASAR PERHITUNGAN

3.1 Dasar Perencanaan Kontruksi Atap

3.1.1 Pemilihan Elemen Kontruksi Atap

Pada desain Hotel, pada bagian bahan penutup atap dipilih genteng metal dengan alat sambungnya digunakan pada kontruksi atap baut.

Untuk memperoleh bentuk atap yang diinginkan dipilih kontruksi atap portal gable (single beam) karena pemakaian single beam untuk kontruksi atap lebih ekonomis dibandingkan dengan pemakaian rangka kuda-kuda yang membutuhkan lebih banyak material baja.

Penutup atap yang digunakan dalam perencanaan Hotel De Java ini adalah genteng metal yang memiliki berat sekitar 5 kg/m^2 .

a. Gording

Gording diletakkan di atas beberapa kuda-kuda dengan tugas menahan beban atap, kemudian beban tersebut disalurkan pada kuda-kuda. Gording diletakkan di atas balok gable setiap jarak tertentu. Berat sendiri gording dapat ditaksir dahulu dengan mencoba dimensi yang akan digunakan, kemudian dikontrol besar tegangan dan lendutan yang terjadi pada gording setelah gording tersebut dibebani.

Adapun macam-macam perhitungannya yaitu:

- **Beban mati**

Beban Mati adalah berat seluruh bahan konstruksi gedung yang terpasang serta komponen arsitektural dan struktural lainnya dan peralatan layan termasuk berat keran apabila gedung tersebut direncanakan menggunakan keran.

- **Beban Hidup**

Beban Hidup adalah beban yang dihasilkan akibat penggunaan dan penghunian gedung atau struktur lainnya. Beban hidup yang bekerja pada komponen struktur, diatur menurut ketentuan berikut:

1. Beban hidup dapat dianggap hanya bekerja pada lantai atau atap yang sedang ditinjau, dan ujung-ujung terjauh kolom dapat dianggap terjepit, selama ujung-ujung tersebut dibuat menyatu (monolit) dengan komponen struktur lainnya
2. Pengaturan beban hidup dapat dilakukan dengan kombinasi berikut:
 - a. Beban mati terfaktor pada semua bentang dengan beban hidup penuh terfaktor yang bekerja pada dua bentang yang berdekatan.
 - b. Beban mati terfaktor pada semua bentang dengan beban hidup penuh terfaktor pada bentang yang berselang-seling.

- **Beban Angin**

RSNI 03 -1727 Pasal 6.1.4.2 : tekanan angin desain untuk komponen dan kulit gedung tidak boleh kurang dari tekanan bersih $0,48 \text{ kN/m}^2 \approx 50 \text{ kg/m}^2$. Mengingat lokasi gedung yang berdekatan gedung bertingkat lainnya, berat sendiri gedung yang besar, serta bentuk gedung yang tidak terlalu tinggi, maka untuk beban angin tidak diperhitungkan dalam menganalisa struktur. Beban angin bergantung pada kecepatan angin, bentuk bangunan, ketinggian dan lokasi bangunan, bidang permukaan dan kekakuan struktur. Beban angin dapat berupa gaya tiup maupun hisap pada permukaan bangunan. Koefisien tekan atau hisap angin bergantung pada arah kerja angin. pada desain bangunan ini angin tekan diambil sebesar 25 kg/m^2 dan angin hisap sebesar 40 kg/m^2 . Pada atap yang miring, koefisien tiup dipihak angin adalah $0,02\alpha - 0,4$ bila kemiringan atap $\alpha < 65^\circ$ dan $0,9$ bagi kemiringan atap $65^\circ < \alpha < 90^\circ$; sedangkan koefisien angin isap $-0,40$ untuk nilai semua α .

- b. **Batang Tarik (Trackstang)**

Batang tarik berfungsi mengurangi lendutan gording pada arah sumbu x (miring atap) dan sekaligus untuk mengurangi tegangan lentur yang timbul pada arah sumbu x. Batang tarik menahan gaya tarik yang disebabkan oleh beban mati G_x (berat sendiri gording dan penutup atap) dan beban berguna P_x searah sumbu x.

c. Dimensi Ikatan Angin

Ikatan angin berguna untuk mengurangi goyangan yang ditimbulkan oleh tekanan angin yang datang dari samping kiri dan kanan bangunan. Hal ini ditentukan oleh :

- Besarnya daerah tiupan angin.
- Besarnya daerah desakan angin yang timbul.

Ikatan angin hanya bekerja menahan gaya normal (axial), cara kerjanya apabila satu bekerja sebagai batang tarik maka yang lainnya tidak menahan gaya apa-apa. Sebaliknya apabila arah anginnya berubah, maka secara bergantian batang tersebut bekerja sebagai batang tarik.

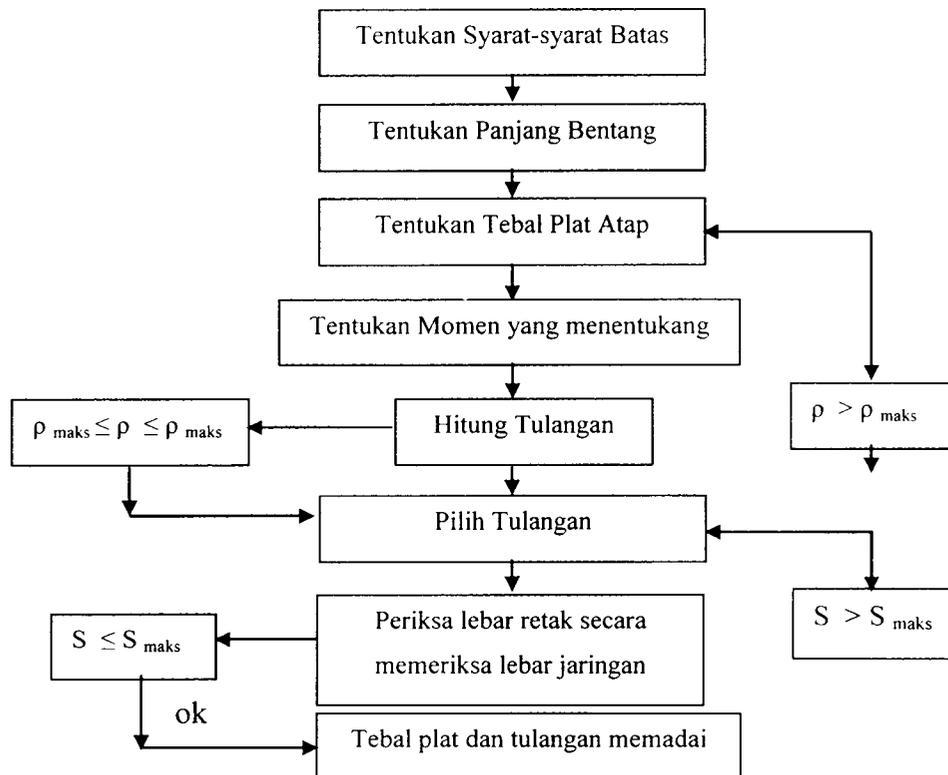
d. Dimensi Batang Kuda-kuda

Kelangsingan penampang Berdasarkan SK-SNI 03-1729-2002 pasal 7.6.4 bahwa batas kelangsingan Untuk batang-batang yang direncanakan terhadap tekan, angka perbandingan kelangsingan $\lambda=Lk /r$ dibatasi sebesar 200. Untuk batang-batang yang direncanakan terhadap tarik, angka perbandingan kelangsingan L/r dibatasi sebesar 300 untuk batang sekunder dan 240 untuk batang primer.

e. Sambungan

Dalam konstruksi baja ada beberapa macam sambungan yang biasa digunakan, yaitu sambungan dengan baut, paku keling dan las. Pada perhitungan ini sambungan yang digunakan adalah sambungan baut.

3.1.2 Perhitungan Pelat Lantai



Gambar 3.1 Diagram Penulangan pada Pelat

Sumber : Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang I, W.C. Vis dan Gideon Kusuma,

3.1.3 Syarat – syarat Batas Pelat Lantai

Syarat-syarat tumpuan tepi menentukan jenis perletakan dan jenis penghubung di tempat tumpuan.

Perencanaan plat beton bertulang tidak hanya terbatas pada pertimbangan pembebanan saja, tetapi juga ukuran dan syarat-syarat tumpuan tepi. Syarat-syarat tumpuan menentukan jenis perletakan dan jenis penghubung di tumpuan. Secara umum terdapat tiga jenis tumpuan pada plat, yaitu:

- a. **Bebas**; apabila plat dapat berotasi bebas pada tumpuan, misalnya sebuah plat tertumpu pada tembok bata.

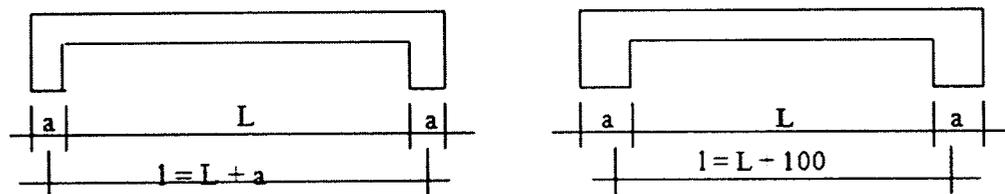
- b. *Terjepit penuh*; apabila tumpuan dapat mencegah plat berotasi dan relatif sangat kaku terhadap momen puntir, misalnya plat yang monolit atau menyatu dengan balok yang tebal .
- c. *Terjepit sebagian atau elastis*; pelat yang menempel pada balok tepi tetapi balok tepi tidak cukup kuat untuk mencegah rotasi .

Pada desain proyek ini pelat dianggap terjepit sebagian atau elastis.

3.1.4 Bentang Teoritis

Dalam perencanaan pelat beton bertulang bentang yang digunakan dalam perhitungan adalah bentang teoritis yaitu bentang bersih (L) antara kedua bidang permukaan tumpuan ditambah dengan setengah panjang perletakan (a) di setiap ujungnya .

Panjang bentang teoritis tergantung pada lebar balok atau dinding pendukung . Bila kedua perletakan hampir mendekati atau kurang dari dua kali tebal keseluruhan plat maka bentang teoritis (l) dianggap sama dengan jarak antara pusat ke pusat balok-balok (lihat gambar) , sedangkan bila lebar balok lebih dari dua kali tebal plat , maka bentang teoritis dianggap $l = L + 100$ mm (lihat gambar)



Gambar 3.2 Bentang Teoritis Monolit

3.1.5 Menentukan Tebal Plat

3.1.5.1 Tebal Plat Dua Arah

Tebal pelat dihitung berdasarkan SK SNI-03-2847-2002 pasal 11.5.3 poin 3 yaitu pada konstruksi dua arah non prategang tebal pelat minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

1. Untuk α_m yang sama atau lebih kecil dari 0,2, harus menggunakan 11.5(3(2) pada SK SNI 03-2847-2002.
2. Untuk α_m lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, ketebalan pelat minimum harus memenuhi

$$h = \frac{L_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 5 \cdot \beta (\alpha_m - 0,2)}, \text{ dan tidak boleh kurang dari 120 mm}$$

3. Untuk α_m lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ln \left(0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 9\beta}, \text{ dan tidak boleh kurang dari 90 mm}$$

Dimana :

h = Tebal plat lantai

α_m = Harga rata-rata dari keempat alfa untuk balok-balok sekeliling panel

L_n = Panjang bersih dari bentang terpanjang

f_y = Tegangan leleh baja

β = Rasio dari bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari plat dua arah.

(SNI 03-2847-2002 pasal 11.5.3, hal : 65 – 66)

3.1.5.1 Tebal Plat Satu Arah

Berdasarkan SK SNI-03-2847-2002 pasal 11.5.2 poin 1 Tebal minimum yang ditentukan dalam Tabel 8 berlaku untuk konstruksi satu arah yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar kecuali bila perhitungan lendutan menunjukkan bahwa ketebalan yang lebih kecil dapat digunakan tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan

Tabel 3.1 Tebal Minimum Balok non-prategang atau Pelat Satu Arah

Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	Dua tumpuan sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu arah	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Balok atau pelat rusuk satu arah	$l/16$	$l/18,5$	$l/21$	$l/8$
CATATAN Panjang bentang dalam mm. Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal ($w_c = 2400 \text{ kg/m}^3$) dan tulangan BJTD 40. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut: (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis di antara 1500 kg/m^3 sampai 2000 kg/m^3 , nilai tadi harus dikalikan dengan $[1,65 - (0,0003)w_c]$ tetapi tidak kurang dari 1,09, dimana w_c adalah berat jenis dalam kg/m^3 . (b) Untuk f_y selain 400 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$.				

(Sumber : SK SNI-03-2847-2002 pasal 11.5.2, hal : 63)

3.1.6 Check Kapasitas Geser Pelat

Perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (\text{SKSNI 03-2847-2002 pasal 13.1.1, hal : 87})$$

dengan V_u adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan V_n adalah kuat geser nominal yang dihitung dari: $V_n = V_c + V_s$

dengan V_c adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton sesuai dengan 13.3 atau 13.4, dan V_s adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser sesuai dengan 13.5(6) SKSNI 03-2847-2002. Sehingga : $V_n = V_c$

Kuat geser V_c harus dihitung menurut ketentuan pada 13.3(1(1)) hingga 13.3(1(3)), kecuali bila dihitung secara lebih rinci sesuai dengan ketentuan 13.3(2). Untuk komponen struktur yang hanya dibebani oleh geser dan lentur berlaku :

$$\phi V_c = \phi \left[\frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right] b_w \cdot d$$

$$V_u = \frac{1/2 \cdot 1,15 \cdot W_u (l_n)^2}{l_n}$$

Φ adalah faktor reduksi yang telah ditentukan dalam SK SNI 03-2847-2002 yaitu faktor reduksi untuk geser pada komponen struktur penahan gempa yang kuat

geser nominalnya lebih kecil dari pada gaya geser yang timbul sehubungan dengan pengembangan kuat lentur nominalnya sebesar 0,75.

3.1.7 Pembebanan

Beban-beban yang diperhitungkan dalam pembebanan plat yang direncanakan terdiri dari beban mati (DL) yang terdiri dari berat sendiri plat, berat finishing, berat plafond berikut penggantung, penutup plafond, dan beban hidup (LL) disesuaikan dengan fungsi bangunan tersebut. Pada perencanaan table 2 PPPURG tahun 1987 beban hidup pada atap adalah $1,0 \text{ KN/m}^2$, sedangkan lantai diambil $2,5 \text{ KN/m}^2$.

Dalam SK SNI-03-2847-2002 pasal 11.2.1 besar kuat perlu untuk menahan beban mati dan beban hidup yang dipikul oleh struktur adalah :

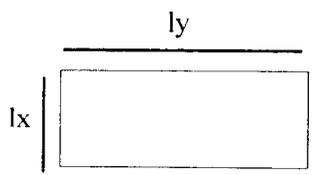
$$U = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \quad (\text{SKSNI } 03-2847-2002 \text{ pasal } 11.2.1, \text{ hal: } 59)$$

Pada plat satu arah beban yang bekerja pada plat dilimpahkan seluruhnya kearah sisi pendek sehingga plat satu arah dapat diperlakukan layaknya sebuah balok persegi dengan tinggi setebal plat dan lebarnya satu satuan panjang umumnya di ambil satu meter.

3.1.8 Perhitungan Momen Plat

3.1.8.1 Momen Plat Dua Arah (*Two Way slab*)

Berdasarkan momen yang timbul akibat beban penyaluran beban berdasarkan metode amplop. Pada tabel ini menunjukkan momen lentur yang bekerja pada jalur satu meter, masing-masing pada arah-x dan arah-y, yaitu :



Gambar 3.3 Skema Plat Lantai Sisi lx dan ly

$L_y =$ Panjang bentang terpanjang

l_x = Panjang bentang terpendek

Untuk menentukan momen plat tersebut adalah :

$$Ml_x = 0,001 \cdot W_u \cdot l_x^2 \cdot x$$

$$Ml_y = 0,001 \cdot W_u \cdot l_y^2 \cdot x$$

$$Mt_x = -0,001 \cdot W_u \cdot l_x^2 \cdot x$$

$$Mt_y = -0,001 \cdot W_u \cdot l_y^2 \cdot x$$

Dimana :

Ml_x = Momen lapangan maksimum per meter lebar di arah x

Ml_y = Momen lapangan maksimum per meter lebar di arah y

Mt_x = Momen Tumpuan maksimum per meter lebar di arah x

Mt_y = Momen Tumpuan maksimum per meter lebar di arah y

W_u = Beban yang bekerja

L_x = Panjang bentang terpendek

L_y = Panjang bentang terpanjang

x = Koefisien yang di dapat dengan metode amplop

3.1.8.2 Momen Plat Satu Arah (*One Way slab*)

Untuk perhitungan momen lapangan dan momen tumpuan pada pelat satu arah berdasarkan SK-SNI-03-2847-2002, Pasal 10.3.1 (5), yaitu :

- Momen tumpuan ujung

$$M_{t_{pu}} = 1/16 \cdot W_u \cdot L_n^2$$

- Momen lapangan

$$M_{l_{ap}} = 1/14 \cdot W_u \cdot L_n^2$$

- Momen tumpuan tengah

$$M_{t_{pt}} = 1/10 \cdot W_u \cdot L_n^2$$

(SK SNI-03-2847-2002, pasal 10.3.1).(5), hal: 52)

3.1.9 Penulangan Plat

Beton bertulang direncanakan untuk runtuh secara perlahan dan bertahap. Hal tersebut dimungkinkan apabila tulangan tarik beton terlebih dahulu meleleh sebelum tegangan beton mencapai maksimum (under reinforced). Dengan dasar

perencanaan tersebut, SK SNI-03-2847-2002 membatasi jumlah tulangan tersebut berkaitan dengan ratio penulangan (ρ), sedangkan arti ratio penulangan adalah perbandingan antara jumlah luas penampang tulangan baja tarik terhadap luas efektif penampang .

$$\rho = \frac{A_s}{b.d} \quad (\text{SK SNI-03-2847-2002, hal: 276})$$

Pembatasan yang dimaksud dalam SK SNI-03-2847-2002 adalah ratio penulangan maksimum yang diijinkan , dibatasi sebesar 0,75 kali dari ratio penulangan keadaan seimbang (ρ_b) ,

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \rho_b$$

Sedangkan rasio penulangan seimbang (ρ_b) adalah sebesar :

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c \beta \left\{ \frac{600}{600 + f_y} \right\}}{f_y} \quad (\text{SK SNI-03-2847-2002 pasal 10.4, hal: 54})$$

Dan rasio penulangan minimum adalah sebesar :

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} \quad (\text{SK SNI-03-2847-2002 pasal 12.5, hal: 72})$$

Untuk mencari rasio penulangan (ρ) untuk plat dua arah (*Two way slab*) yang akan menentukan luas tulangan dari suatu penampang balok beton, dapat digunakan rumus yaitu :

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_n}{0,85 \cdot f_c}} \right), \text{dimana :}$$

ρ = rasio penulangan yang diperlukan

f_c = kuat tekan beton yang disyaratkan

f_y = kuat leleh tulangan yang disyaratkan

M_n = penulangan arah x dan y untuk momen lapangan maupun tumpuan

menggunakan rumus : $M_n = \frac{Mu}{\phi}$

Sedangkan untuk mencari rasio penulangan (ρ) untuk plat satu arah (*One way slab*) dapat digunakan rumus :

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c}} \right)$$

$$\text{dimana : } R_n = \frac{M_n}{b d^2}$$

Syarat rasio penulangan beton bertulang harus memenuhi ketentuan sebagai

$$\text{berikut : } \rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \leq \rho \leq \rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b$$

jika $\rho < \rho_{min}$ maka ρ yang diambil adalah ρ_{min} .

Sehingga luas tulangan yang didapat adalah :

$$\rho = \frac{As}{b \cdot d}$$

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

(SK SNI-03-2847-2002, hal: 276)

Nilai luas tulangan perlu As dapat juga dirumuskan:

$$As = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot b}{f_y} \left(d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_{nd}}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}} \right)$$

$$\text{Jarak tulangan yang diperlukan, } S_{hitung} = \frac{1/4 \cdot \Phi_{tul}^2 \cdot b}{As}$$

Dimana : S_{hitung} = jarak tulangan perlu

Φ_{tul} = tulangan yang digunakan

Untuk penulangan di hitung dahulu tinggi efektif, yakni :

$$d = h - (d_c + d_v + 0,5 d_b)$$

Di mana:

d = tinggi efektif

d_c = penutup beton

d_v = diameter sengkang

d_b = diameter tulangan utama

Atau bisa juga diuraikan menjadi rumus sebagai berikut ini.

$$\text{Untuk arah x : } d_x = h - P - 0,5 \cdot d D_x$$

Untuk arah y : $d_y = h - P - dD_x - 0,5 - dD_y$

Di mana :

d_x = Tinggi efektif arah x

d_y = Tinggi efektif arah y

h = Tinggi penampang

P = Tebal penutup beton untuk menutup tulangan terluar

dD_x = Diameter tulangan utama arah x

dD_y = Diameter tulangan utama arah y

3.1.10 Kontrol Kekuatan Plat

Sesuai dengan SK SNI -03-2847-2002 bahwa jarak antara tulangan maksimal adalah $3 \times h$, dimana h adalah tebal pelat.

$$s < s_{maks} = 3 \cdot h \quad (\text{SK SNI-03-2847-2002 pasal 13.10.9.(2), hal: 108})$$

Kekuatan pelat juga harus memenuhi syarat :

$$\phi M_n \geq M_u \quad (\text{SK SNI-03-2847-2002 pasal 16.8.3, hal: 158})$$

Dimana :

M_u = Kuat momen perlu terfaktor pada penampang

ϕ = Adalah Faktor reduksi lendutan diambil 0,8

$$(\text{SKSNI-03-2847-2002 pasal 11.3, hal: 61})$$

M_n adalah kuat momen nominal pada suatu penampang, M_n dapat dicari dengan

$$\text{menggunakan rumus : } M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Untuk mencari A_s , dapat menggunakan rumus $A_s = \frac{M}{\phi \cdot b \cdot d^2 \cdot f_y}$ dan $a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b}$

Supaya aman maka di gunakan tulangan susut dengan syarat :

$$A_s > A_{s_{min}} = 0,002 \cdot b \cdot h$$

dimana :

$$A_s = (\text{Luas tulangan pelat per meter / jarak antar tulangan}) \times 1000$$

Setelah diperoleh luas tulangan kemudian menentukan diameter tulangan dan jarak yang dipakai untuk memenuhi luas tulangan perlu.

3.2 Dasar Perencanaan Konstruksi Tangga

Pada perencanaan dan perancangan bangunan ini tangga yang digunakan adalah tangga bentuk U, sedangkan material untuk tangga dipilih material beton bertulang dan hand railingnya adalah pipa stainless steel dengan pertimbangan bahwa material beton bertulang:

1. Kuat menerima beban
2. Kaku dan lendutan kecil
3. Mudah dibentuk sesuai keinginan
4. Awet, dan tahan lama terhadap panas dan zat kimia.

3.2.1 Ketentuan konstruksi tangga

- Perbedaan ketinggian antara dua lantai – h cm
- Jumlah optrede $n_{opt} = (\text{buah})$, dibulatkan ke atas
- Tinggi optrede = $(h / n_{opt}) = \text{ cm}$
- Menentukan antrede sesuai dengan syarat tangga:
- 1 Antrede + 2 Optrede = 57 cm – 65 cm
- Tebal plat tangga dan bordes (t) = m
- Lebar tangga = $2 \times l_t = \text{ m}$
- Panjang datar tangga (P_t) = m
- Tinggi bordes (h_b) = $h/2$
- Kemiringan tangga, $a = \text{tg}^{-1}(h_b / P_t)$

3.2.2 Pembebanan Konstruksi Tangga

a. Pembebanan pada tangga

B.s. pelat tangga	$= t \cdot l_t \cdot \gamma_c$	= (kN/m)
Anak tangga (trede)	$= (100/a) \cdot \frac{1}{2} \cdot \text{optrede} \cdot l_t \cdot \gamma_c$	= (kN/m)
Berat penutup lantai	$= t \cdot D_{lgl}$	= (kN/m)
Beban Spasi	$= t \cdot D_{sps}$	= (kN/m)

$$\overline{W_{DL1}} = (\text{kN/m})$$

$$\text{Beban hidup untuk tangga} = W_{LL1}$$

$$\text{Beban tangga terfaktor } (W_U) = 1,2 W_{DL1} + 1,6 W_{LL1}$$

b. Pembebanan pada bordes

$$\text{Berat sendiri pelat} = t \cdot l_t \cdot \gamma_c = (\text{kN/m})$$

$$\text{Berat penutup lantai} = t \cdot D_{\text{tgl}} = (\text{kN/m})$$

$$\text{Beban spasi} = t \cdot D_{\text{sps}} = (\text{kN/m})$$

$$\overline{W_{DL2}} = (\text{kN/m})$$

$$\text{Beban Hidup untuk bordes} = W_{LL2}$$

$$\text{Beban tangga terfaktor } (W_U) = 1,2 W_{DL2} + 1,6 W_{LL2}$$

c. Bentuk dan sistem pembebanan

Bentuk beban pada tangga merupakan beban merata dan tangga ditumpu dengan sistem jepit (kaku). Perhitungan distribusi gaya-gaya dalam bekerja pada pelat tangga akibat beban yang bekerja, dihitung dengan bantuan SAP 2000. Dari hasil perhitungan di atas diambil nilai-nilai yang terbesar untuk kemudian dipakai kedalam perhitungan penulangan tangga dan penulangan bordes.

3.2.3 Perhitungan Penulangan Tangga

Perhitungan penulangan lentur :

$M_u = \text{kNm}$ (hasil analisis konstruksi tangga)

$$K_{\text{maks}} = \rho_{\text{maks}} \left[1 - \frac{0,588 \cdot \rho_{\text{maks}} \cdot f_y}{f_c'} \right]$$

$$M_{R \text{ maks}} = \phi \cdot b \cdot d^2 \cdot K_{\text{maks}}$$

Jika :

- $M_{R \text{ maks}} > M_u$, balok dianalisa sebagai balok bertulang tunggal

1. $M_{\text{maks}} < M_u$, balok dianalisa sebagai balok bertulang rangkap

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2}$$

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'}} \right]$$

Persyaratan rasio tulangan : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

Jika $\rho < \rho_{\min}$, maka diambil $\rho = \rho_{\min}$

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

dipakai tulangan = $n \cdot \emptyset_{\text{tul ut}} = A_s > A_{s \text{ perlu}}$

Kontrol:

1. Jarak tulangan

- Selimut beton = 2 . p
 - Sengkang = 2 . $\emptyset_{\text{tul sengk}}$
 - Tulangan = 2 . $\emptyset_{\text{tul ut}}$
- $$N = \quad (\text{mm})$$

$$\text{Spasi} = \frac{b - N}{n - 1} > 25 \text{ (mm)}$$

2. Kontrol kapasitas balok

$$a = (A_s \cdot f_y) / (0,85 \cdot f_c' \cdot b)$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

$$\text{Syarat : } \phi M_n > M_u$$

3.2.4 Penulangan Pelat Tangga

$$\text{Tebal plat bordes (h)} = (\text{mm})$$

$$\text{Tulangan yang digunakan } (\emptyset) = (\text{mm})$$

$$\text{Tebal selimut beton } (\rho) = (\text{mm})$$

$$\text{Tinggi efektif pelat (d) = h - } \rho - \emptyset_{\text{tul}} = (\text{mm})$$

$$\text{Lebar Pelat (b)} = (\text{mm})$$

$$M_u = \text{kNm (berdasarkan hasil analisis struktur konstruksi tangga)}$$

$$M_n = M_u / \phi$$

$$R_n = M_n / (b \cdot d^2)$$

$$\text{Menghitung } \rho \text{ perlu : } \rho = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'}} \right]$$

Luas tulangan perlu : $A_s = \rho \cdot b \cdot d$

Jarak tulangan perlu = $\frac{1/4 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_s}$, diambil jarak tulangan (S) lebih rapat

dari jarak tulangan perlu.

Kontrol kekuatan plat bordes:

$$S < S_{maks} = 3 \cdot h = \text{ mm}$$

Luas tulangan plat bordes:

$$A_s = A \cdot b / s > A_{min} = 0,002 \cdot s \cdot b$$

$$a = (A_s \cdot f_y) / (0,85 \cdot f_c' \cdot b)$$

$$M_n = A_s \cdot f_y (d - a/2),$$

$$\text{syarat : } \phi \cdot M_n > M_u$$

$$\text{Luas tulangan bagi : } A_s' = 0,002 \cdot b \cdot h$$

3.2.5 Penulangan Pelat Bordes

$$\text{Tebal plat bordes (h)} = (\text{ mm})$$

$$\text{Tulangan yang digunakan } (\varnothing) = (\text{ mm})$$

$$\text{Tebal selimut beton } (\rho) = (\text{ mm})$$

$$\text{Tinggi efektif pelat (d) = h - } \rho - \varnothing_{tul} = (\text{ mm})$$

$$\text{Lebar Pelat (b)} = (\text{ mm})$$

$M_u = \text{ kNm}$ (berdasarkan hasil analisis struktur konstruksi tangga)

$$M_n = M_u / \phi$$

$$R_n = M_n / (b \cdot d^2)$$

$$\text{Menghitung } \rho \text{ perlu : } \rho = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'}} \right]$$

$$\text{Luas tulangan perlu : } A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

Jarak tulangan perlu = $\frac{1/4 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_s}$, diambil jarak tulangan (S) lebih rapat

dari jarak tulangan perlu.

Kontrol kekuatan plat bordes:

$$S < S_{maks} = 3 \cdot h = \text{ mm}$$

Luas tulangan plat bordes:

$$A_s = A \cdot b / s > A_{\min} = 0,002 \cdot s \cdot b$$

$$a = (A_s \cdot f_y) / (0,85 \cdot f_c' \cdot b)$$

$$M_n = A_s \cdot f_y (d - a/2),$$

$$\text{syarat : } \phi \cdot M_n > M_u$$

$$\text{Luas tulangan bagi : } A_s' = 0,002 \cdot b \cdot h$$

3.2.6 Perhitungan Pondasi Tangga

Menentukan Daya Dukung Pondasi :

Data-data tanah :

$$\text{Berat isi tanah } (\gamma) = \text{kN/m}^3$$

$$\text{Koheesi Tanah } (c) = \text{kN/m}^3$$

Sudut geser (ϕ)

Safety Faktor (SF)

$$\text{Berat jenis tanah } (G) = \text{kN/m}^3$$

Lebar rencana pondasi

Kedalaman rencana pondasi (d_p)

Dari tabel daya dukung terzaghi diperoleh : N_c , N_q , dan N_γ berdasarkan data tanah diatas.

Daya dukung tanah untuk pondasi jalur :

$$q_{ult} = c \cdot N_c + \gamma \cdot d_p \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

$$\text{daya dukung ijin : } q_a = (q_{ult}) / SF$$

Menentukan Ukuran Pondasi :

Tebal pondasi direncanakan (t)

Tinggi kolom pondasi (h)

Panjang pondasi (L)

Panjang kolom pondasi (h_k)

Pembebanan Pondasi :

$$\text{Berat tanah } (d \cdot G) = \text{(kN/m}^2\text{)}$$

$$\text{Berat telapak pondasi } (t \cdot \gamma_c) = \text{(kN/m}^2\text{)}$$

$$\frac{\text{Berat kolom pondasi } (h \cdot \gamma_c)}{q} = \frac{\quad}{\quad} \quad (\text{kN/m}^2)$$

Gaya aksial yang bekerja :

$$P_u = R_{AV} + DL \text{ (akibat kolom pondasi)}$$

Momen lentur yang bekerja :

$$M_u = -M_{AB} + R_{AH} \cdot L$$

$$\text{Eksentrisitas : } e = M_u/P_u$$

Luas perlu untuk pondasi :

$$A_{\text{perlu}} = \frac{P_u}{q_{\text{Netto}}} \left(1 + \frac{6e}{L} \right), \text{ sehingga nilai } L \text{ dapat diketahui}$$

$$\text{Luas perlu pondasi} = B \cdot L$$

$$\text{Syarat : Luas tersedia} = B \cdot l_t > \text{Luas perlu}$$

Menghitung tegangan tanah yang terjadi :

$$q_{1-2} = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{W} \leq q_a$$

Menentukan tebal telapak pondasi berdasarkan kriteria Geser :

$$\text{Selimut beton} = p$$

$$\text{Tebal pondasi} = t$$

$$\text{Tinggi efektif tulangan (d)} = t - p - \frac{1}{2} \cdot \varnothing_{tul}$$

Kontrol tebal plat pondasi terhadap gaya geser :

$$q_c = 1/2(q_1 + q_2)q_v = q_c + \left(\frac{0,5l + d}{1/2.l} \right) (q_1 - q_c)$$

$$V_u = 0,5 (q_1 + q_v) \cdot L \cdot (0,5.L - (0,5.l + d))$$

$$V_{n \text{ perlu}} = V_u / \phi$$

$$V_{n \text{ aktual}} = 1/6 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d$$

Syarat : $V_{n \text{ aktual}} > V_{n \text{ perlu}}$ Tebal plat aman terhadap geser

Peninjauan Momen Lentur :

$$M_u = \frac{1}{2} \left[\frac{q_1 + q_2}{2} \right] \cdot L \cdot (0,5.L - 0,5.l)^2$$

Luas tulangan perlu :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

Luas tulangan bagi :

$$A_s' = 0,002 \cdot b \cdot d$$

3.3 Dasar Perencanaan Konstruksi Portal

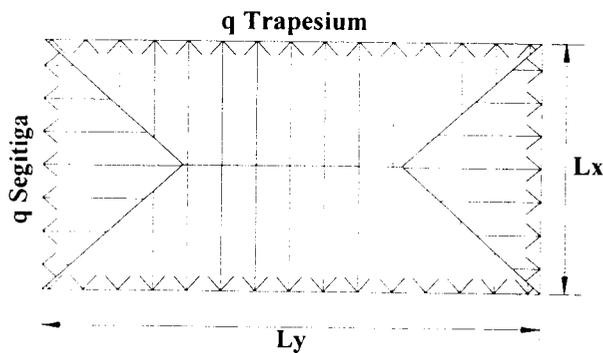
3.3.1 Perencanaan Portal

Portal yang direncanakan pada gedung ini adalah portal tertutup. Konstruksi portal yang dihitung diwakili oleh dua portal pada arah memanjang dan arah melintang, serta menahan beban yang paling besar. Hal ini dilakukan untuk mempermudah proses perhitungan yang dilakukan secara 2 dimensi.

3.3.2 Pembebanan Portal

1. Beban merata

Berdasarkan “Teori Amplop” beban diatas disalurkan kesetiap tepi, dimana tepi dengan bentang yang lebih pendek bebannya akan berupa beban segitiga dan untuk tepi dengan bentang yang lebih panjang berupa beban trapesium. Pada perhitungan portal ini, beban segitiga dan beban trapesium tersebut diubah menjadi beban ekuivalen. Jadi beban yang ditengah bentang balok yang tadinya besar akan menjadi merata sepanjang balok



Gambar 3.4. Penyaluran Beban Berdasarkan Teori Amplop

1. Pembebanan Portal Atap

Reaksi vertical pada base plate = _____

Beban Mati Total (DL) =

2. Pembebanan pelat

Beban hidup (LL) =

Beban Mati (DL) =

2. Beban sendiri plat =

3. Beban langit-langit, pangantungan =

4. Berat finishing lantai keramik =

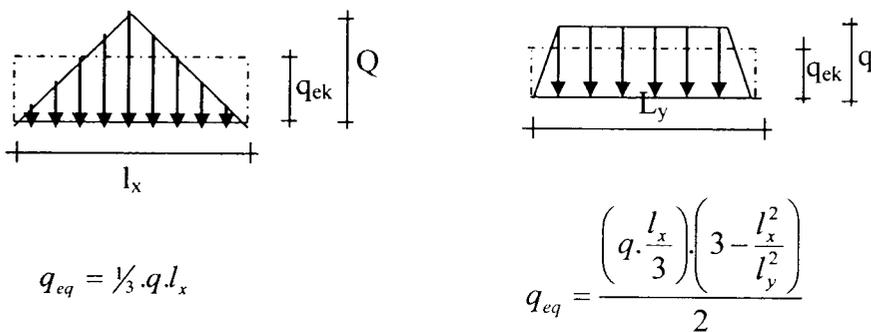
5. Berat finishing lantai keramik

Spesi setebal 1,5 cm =

Tegel keramik 0,5 cm =

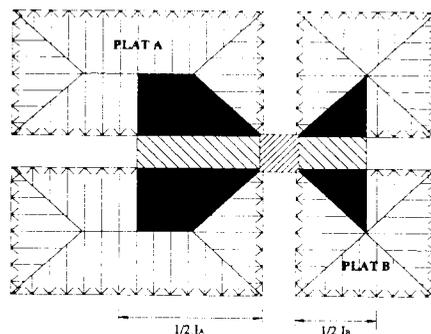
Beban Mati Total (DL) =

Untuk lebih jelasnya, perubahan beban segitiga dan trapezium menjadi beban ekuivalen adalah sebagai berikut:



Gambar 3.5. Beban segitiga dan trapezium

2. Beban terpusat pada join



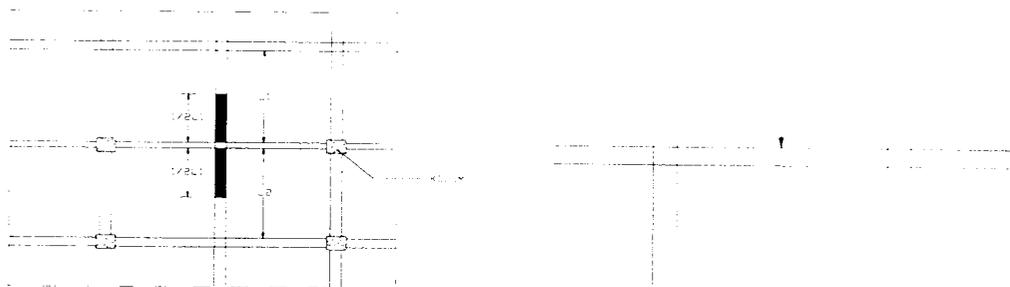
Gambar 3.6. Penyaluran Beban Terpusat Pada Join

Beban terpusat pada join terdiri dari:

1. $(1/2 \cdot q_{\text{trapesium}} \text{ Pelat A}) \times (1/2 \cdot I_A) \times 2$	=
2. $(1/2 \cdot q_{\text{segitiga}} \text{ Pelat B}) \times (1/2 \cdot I_B) \times 2$	=
3. Beban dinding $\times (1/2 \cdot I_A) \times \text{tinggi}$	=
4. Beban dinding $\times (1/2 \cdot I_B) \times \text{tinggi}$	=
5. Dimensi kolom $\times \text{tinggi kolom}$	=
6. Dimensi balok $\times (1/2 \cdot I_A) \times 24 \text{ kN/m}^3$	=
7. Dimensi balok $\times (1/2 \cdot I_B) \times 24 \text{ kN/m}^3$	=
Jumlah	= _____

3. Beban terpusat ditengah bentang

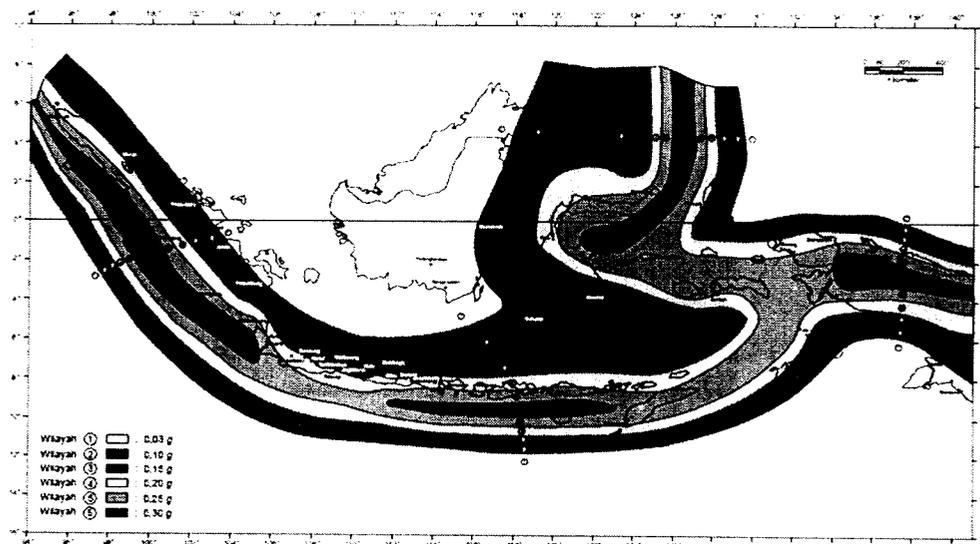
Beban ini dapat terjadi karena beban dari balok-balok anak, kolom praktis, dinding dan alin-lain. Pada perhitungan pini terjadi karena baban balok anak dan penyaluran beban pelatnya.



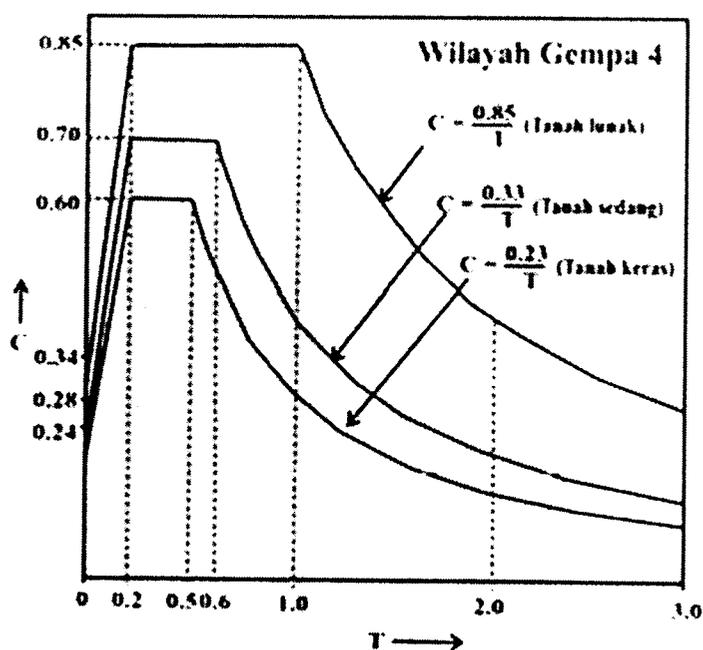
Gambar 3.7. Beban Terpusat

4. Beban Gempa

Gedung STP Bandung ini termasuk ke dalam struktur gedung beraturan maka dalam pembebanan gempunya menggunakan statik ekuivalen.



Gambar 3.8: Wilayah Gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar



Gambar 3.9 : Respons Spektrum Gempa Rencana

Proyek Gedung STP Bandung terletak di daerah Jawa Barat berdasarkan peta wilayah gempa pada Gambar 3.8, maka wilayah gempanya berada di wilayah 4.

$$\text{Gaya gempa} = V = \frac{C.I}{R} \cdot W_t$$

Dimana :

C = Koefisien dasar gempa

I = Faktor keamanan (I = 1,0 untuk bangunan gedung)

R = Faktor reduksi gempa (R= 5,6 untuk beton bertulang)

Wt = Berat total gedung

• Beban hidup tereduksi	=
• Beban berat atap	=
• Berat plafond + penggantung	=
• Balok memanjang	=
• Balok melintang	=
• Kolom	=
• Dinding	=
• Berat spesi	=
• Berat lantai keramik	=
• Berat Total (Wt)	=

- Koefisien gempa dasar (C) ditentukan dari gambar 3.9 *Respons Spektrum Gempa Rencana* untuk wilayah gempa 4 dengan melihat nilai waktu getar alami struktur dan keadaan tanah.
- Waktu getar alami (T) dalam SNI 1726 - 02 untuk struktur portal beton menggunakan pendekatan :
 $T = 0,06.H^{3/4}$; dengan : H = tinggi struktur

- Beban gempa terdistribusi pada setiap lantai digunakan rumus :

$$F_i = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum W_i \cdot h_i} \cdot V \quad (\text{SK SNI-1726-2002 pasal 6.1.3, hal: 27})$$

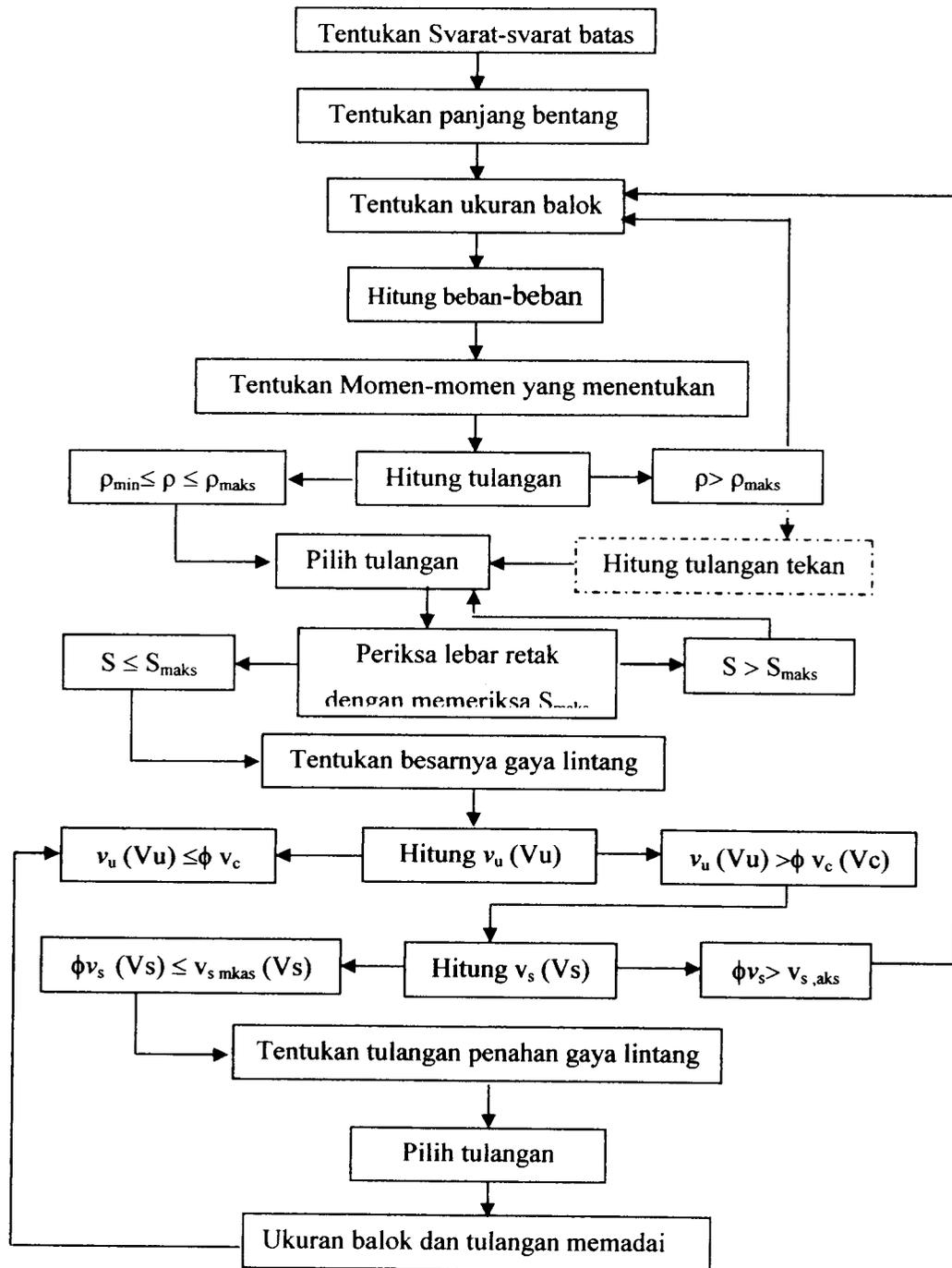
dimana :

W_i = Berat lantai tingkat ke-i

3.4 Dasar Perencanaan Konstruksi Balok

3.4.1 Dasar Perhitungan

Secara umum dapat dilihat dalam diagram alir di bawah ini :



Gambar 3.10 Diagram Alir Untuk Perencanaan Balok

3.4.2 Syarat – syarat Batas

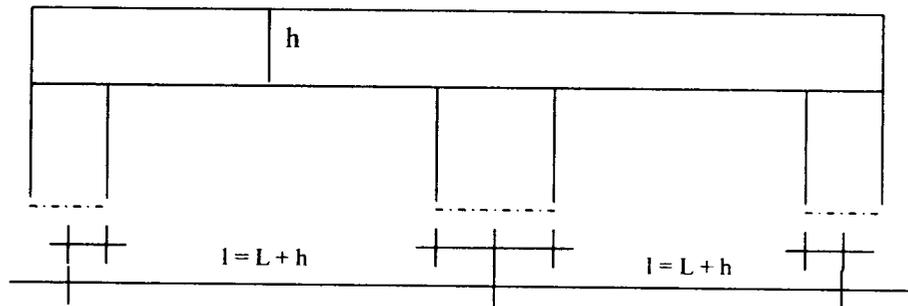
.Pada perencanaan balok disamping beban-beban dan ukuran ternyata syarat-syarat tumpuan pun perlu diketahui juga .

Tumpuan akan dianggap kaku yaitu tidak dapat berdeformasi sehingga syarat-syarat yang dipertimbangkan adalah :

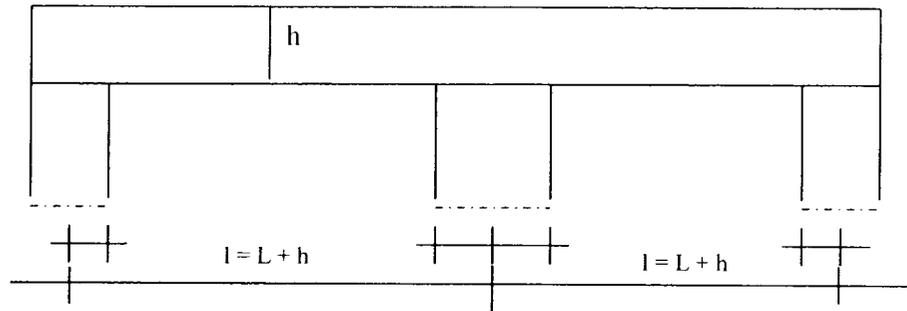
1. Balok sederhana yang ditumpu bebas dapat mengalami perputaran sudut pada perletakan.
2. Balok terjepit penuh tidak memungkinkan terjadinya rotasi.
3. Balok terjepit sebagian memungkinkan tumpuan dapat sedikit berotasi

3.4.3 Bentang Teoritis

Pada balok panjang bentang teoritis (l) harus dianggap sama dengan bentang bersih (L) ditambah setengah panjang perletakan pada kedua ujungnya. Andaikan balok dibuat monolit dengan kolom-kolom pendukung, maka sesuai dengan SNI-03-2002 pasal 10.7.2 bentang teoritis ditentukan sebagai jarak pusat ke pusat antara pendukung, sedangkan bila balok tidak monolit dengan pendukung yang ada maka sesuai dengan SNI-03-2002 pasal 10.7.1 bentang teoritis harus ditentukan sebagai bentang bersih (L) ditambah tinggi balok h .



Gambar 3.11 : Bentang teoritis



Gambar 3.11 : Bentang teoritis

3.4.4 Perhitungan Ukuran Balok

Secara umum, ukuran balok cukup diperkirakan dengan $h = \frac{1}{10}$ sampai $h = \frac{1}{15}l$. Nilai global ini berlaku untuk balok yang kedua tepinya ditumpu bebas

dan besarnya $\frac{1}{10}l$. Pemilihan lebar balok sangat tergantung dari besarnya gaya lintang, biasanya lebar balok diambil $b = 1/2$ sampai $2/3$ h. Sedangkan untuk balok T penentuan lebar efektifnya adalah : tidak lebih besar dari dan diambil dari nilai-nilai terkecil dari nilai berikut :

- $1/4$ panjang bentang balok
- $b_w + 16h_f$
- $1/2$ jarak dari pusat ke pusat antar balok

Ketebalan flens tidak boleh lebih besar dari setengah lebar balok ($1/2 b_w$) dan lebar flens total tidak boleh lebih besar dari empat kali lebar balok ($4 b_w$).

3.4.5 Pembebanan Balok

Balok selain memikul berat sendiri juga memikul berat dari pelat. Beban pelat di atasnya didistribusikan kepada balok-balok yang mendukung pelat tersebut. Distribusi beban pelat tersebut berupa beban merata trapesium yang disalurkan kepada balok yang lebih panjang dan beban merata segitiga yang

disalurkan kepada balok yang lebih pendek yang diubah menjadi beban merata persegi panjang yang disebut dengan beban ekuivalen (q_{ek}).

Momen, gaya geser, akibat beban yang bekerja pada balok disalurkan kepada rangka struktur secara keseluruhan. Untuk membantu perhitungan analisis struktur ini digunakan program komputer sehingga memudahkan analisis struktur dan menghemat waktu perhitungan.

3.4.6 Penulangan Balok

Langkah-langkah perhitungan balok persegi

Analisis dan perencanaan balok dengan menganggap balok yang mengalami momen tumpuan dianalisis sebagai balok persegi.

a. Balok persegi bertulangan tunggal

- 1) Menetapkan data-data yang akan dianalisis yaitu lebar penampang balok (b), tinggi balok (h), diameter tulangan utama (D), diameter tulangan sengkang (\emptyset), selimut beton (p), kekuatan tekan beton (f'_c), tegangan leleh baja (f_y), faktor reduksi (Φ).
- 2) Menetapkan Momen rencana beban terfaktor M_{ud} yang diambil dari momen terbesar hasil perhitungan pembebanan software
- 3) Menentukan Desain tulangan

M_{ud} = momen maksimum rencana

M_{nd} (momen nominal rencana) = $\frac{Mu}{\phi}$, dimana Φ adalah faktor reduksi

sebesar 0,8

- 4) Menentukan tulangan As (tulangan tarik)

Untuk menghitung nilai As yaitu dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot b}{f_y} \left(d - \sqrt{d^2 - \frac{2 \cdot Mu}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}} \right)$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \rightarrow \rho = \frac{A_s}{bd}$$

5) Kontrol batasan tulangan maksimum dan minimum

Pada perencanaan, pembatasan tulangan maksimum dan minimum bertujuan supaya dicegah sifat tulangan kuat pada penampang beton lentur.

$$\text{Syarat } \rho_{mak} \leq \rho_{perlu} \leq \rho_{min}$$

Dimana :

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{mak} = 0,75 \cdot \rho_b$$

nilai ρ_b diambil dari keseimbangan horizontal pada saat keadaan seimbang :

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} (\beta_1) \cdot \frac{c_b}{d} = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right]$$

(SK SNI-03-2847-2002 pasal 10.4, hal: 54)

6) Menghitung momen nominal kapasitas (M_{nk})

$$a = \frac{A_s f_s}{0,85 \cdot f_c \cdot b}$$

$$M_{nk} = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

M_{nk} berdasarkan kesetimbangan momen terhadap garis kerja C_c diperoleh

Momen nominal

7) Kontrol momen

$$\Phi M_{nk} > M_{nd}$$

b. Balok persegi bertulangan rangkap

(berdasarkan spreadsheet buku analisis dan desain struktur beton bertulang oleh Amrinsyah Nasution)

- 1) Menetapkan data-data yang akan dianalisis yaitu lebar penampang balok (b), tinggi balok (h), diameter tulangan utama (D), diameter tulangan sengkang (\emptyset), selimut beton (p), kekuatan tekan beton (f'_c), tegangan leleh baja (f_y), faktor reduksi (Φ), dan ratio tulangan tekan ($\rho') = A_s' / A_s$.
- 2) Menetapkan Momen rencana beban terfaktor M_{ud} yang diambil dari momen terbesar hasil perhitungan pembebanan software

- 3) Melakukan analisis- analisis yaitu :

- Menghitung tinggi efektif penampang

$$d = h - p - \emptyset - \frac{1}{2} D$$

- Menghitung jarak sengkang

$$d' = h - d$$

- Menghitung momen retak :

$$M_r = 0,37 \cdot b_w \cdot d^2 \cdot 0,3 \cdot \sqrt{f'_c}$$

- Menghitung tulangan minimum

$$A_{\min} = \left[0,85 \cdot f'_c \cdot \frac{b_w}{f_y} \right] \left[d - \sqrt{d^2 - \frac{M_r}{0,425 \cdot f'_c \cdot b_w}} \right]$$

- 4) Menghitung jarak garis netral pada kondisi seimbang :

$$C_b = \frac{600 \cdot d}{600 + f_y} \text{ dan } a_b = C_b \cdot \beta_1$$

- 5) Menghitung regangan dan tegangan tulangan tekan a_s' pada kondisi seimbang:

$$\epsilon_s' = \left[\frac{c_b - d'}{c_b} \right] \cdot 0,003$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{2 \cdot 10^5} = 0,002$$

Menentukan f_s'

Jika $\epsilon_s' \geq \epsilon_y$, maka $f_s' = f_y$

Jika $\epsilon_s' \leq \epsilon_y$, maka $f_s' = E_s \cdot \epsilon_s'$

- 6) Menghitung tulangan maksimum

$$A_{\max} = \frac{0,0019125 \cdot f_c \cdot \beta_1 \cdot b \cdot d}{\left(f_y - \alpha \cdot f_s' \right) \left(\frac{f_y}{E_s} + 0,003 \right)}$$

- 7) Momen Maksimum

$$M_{\max} = \alpha \cdot A_{\max} \cdot f_s' \cdot (d - d') + \left[(0,85 \cdot f_c \cdot 0,75 \cdot \beta \cdot c_b \cdot b) \left(d - 0,75 \cdot \beta_1 \cdot \frac{c_b}{2} \right) \right]$$

- 8) Menentukan Desain tulangan

M_{ud} = momen maksimum rencana

$$M_{nd} \text{ (momen nominal rencana)} = \frac{Mu}{\phi}, \text{ dimana } \phi \text{ adalah faktor reduksi}$$

sebesar 0,8

Kontrol :

Jika $M_{nd} > M_{\max}$, maka penampang perlu dimodifikasi

Jika $M_{nd} < M_{\max}$, maka penampang memenuhi syarat untuk dianalisa sebagai tulangan rangkap.

- 9) Menentukan harga a (dengan cara dicoba-coba)

Untuk mendapatkan nilai As rencana, ditetakan secara ujicoba terlebih dahulu nilai a. Nilai a berkisar antara $d' \leq a \leq (a_b = 0,75 \cdot \beta_1 \cdot C_b)$. Nilai a untuk mendapatkan nilai c, harga c merupakan jarak garis netral pada kondisi

rencana, bukan seimbang, nilai c adalah sebagai berikut, $c = \frac{a}{\beta_1}$

- 10) Menghitung regangan dan tegangan tulangan tekan as' pada kondisi rencana.

$$\epsilon_s' = \left[\frac{c - d'}{c} \right] \cdot 0,003 \text{ dan } \epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}, \text{ dengan } E_s = 2 \cdot 10^5 \text{ Mpa}$$

- 11) Menentukan rencana tulangan As (tulangan tarik)

Nilai As berdasarkan regangan dan tegangan tulangan tekan As' pada kondisi rencana.

- kedua tulangan leleh jika $\epsilon_s' \geq \epsilon_y$, maka $f_s = f_s' = f_y$

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_s - \alpha \cdot f'_s}$$

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y - \alpha \cdot f'_s}$$

- Tulangan tarik leleh, tulangan tekan belum jika $\varepsilon_s \leq \varepsilon_y$, maka $f_s = f_y$ dan $f'_s = E_s \cdot \varepsilon_s$.

Dimana :

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_s - \alpha \cdot f'_s}$$

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y - \alpha \cdot f'_s}$$

12) Menentukan tulangan A_s' (tulangan tekan)

Berdasarkan rasio penulangan (α) = A_s'/A_s . Maka $A_s' = \alpha \cdot A$

13) Kontrol batasan tulangan maksimum dan minimum

Pada perencanaan, pembatasan tulangan maksimum dan minimum bertujuan supaya dicegah sifat tulangan kuat pada penampang beton lentur.

Rasio penulangan pada kondisi seimbang

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(\beta_1 \cdot \frac{C_b}{d} - \rho' \right) + \rho' \cdot \frac{f'_s}{f_y}$$

Syarat $\rho_{mak} \leq \rho_{perlu} \leq \rho_{min}$

Dimana :

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

SNI 03-2847-2002 menetapkan rasio tulangan ρ_{perlu} dengan pemasangan tulangan tekan tidak boleh melampaui nilai ρ_{maks} .

$$\rho_{maks} = \frac{3}{4} \rho_b + \rho' \cdot \frac{f'_s}{f_y}$$

$$\rho_{maks} = \frac{3}{4} \left[\frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(\beta_1 \cdot \frac{C_b}{d} \right) \right] + \rho' \cdot \frac{f'_s}{f_y}$$

- 14) Menghitung momen nominal kapasitas terpasang (M_{nk}) berdasarkan kesetimbangan momen terhadap garis kerja C_c dan C_s .

$$M_{nk} = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' \cdot f_s' \cdot (d - d')$$

- 15) Kontrol momen

$$\Phi M_{nk} > M_{nd}$$

Langkah-langkah perhitungan balok T

Balok T bertulangan Rangkap

Analisis dan perencanaan balok T dengan menganggap balok yang mengalami momen lapangan dianalisis sebagai balok T. Pada perencanaan bangunan Hotel De Java Bandung ini adalah dengan menggunakan tulangan rangkap dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- 1) Menetapkan data-data yang akan dianalisis yaitu lebar penampang balok (b), tinggi balok (h), diameter tulangan utama (D), diameter tulangan sengkang (\emptyset), selimut beton (p), kekuatan tekan beton (f'_c), tegangan leleh baja (f_y), faktor reduksi (Φ), dan ratio tulangan tekan ($\rho' = A_s' / A_s$).
- 2) Menetapkan Momen rencana beban terfaktor M_{ud} yang diambil dari momen terbesar hasil perhitungan pembebanan (SAP)
- 3) Melakukan analisis- analisis yaitu :
 - Menghitung tinggi efektif penampang
 $d = h - p - \emptyset - \frac{1}{2} D$
 - Menghitung jarak sengkang.
 $d' = h - d$

- Menghitung nilai b_m Lebar efektif flens yang diperhitungkan tidak lebih besar dari $\frac{1}{4}$ panjang bentang balok ($\frac{1}{4} L$) dan diambil nilai-nilai terkecil dari nilai-nilai berikut :

- $b_w + 8 h_f$
- $\frac{1}{2}$ jarak dari pusat ke pusat antar balok atau ($\frac{1}{2} \cdot Ln$)

(SK SNI 03-2847-2002 pasal 10.10, hal 56)

- Menghitung momen retak :

$$M_r = 0,37 \cdot b_w \cdot d^2 \cdot 0,3 \cdot \sqrt{f_c}$$

- Menghitung tulangan minimum

$$A_{\min} = \left[0,85 \cdot f_c \cdot \frac{b_w}{f_y} \right] \left[d - \sqrt{d^2 - \frac{M_r}{0,425 \cdot f_c \cdot b_w}} \right]$$

- 4) Menghitung jarak garis netral pada kondisi seimbang :

$$C_b = \frac{600 \cdot d}{600 + f_y}$$

$$a_b = C_b \cdot \beta_1$$

- 5) Menghitung regangan dan tegangan tulangan tekan as' pada kondisi seimbang:

$$\epsilon_s' = \left[\frac{c_b - d'}{c_b} \right] \cdot 0,003$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{2 \cdot 10^5} = 0,002$$

Menentukan f_s'

Jika $\epsilon_s' \geq \epsilon_y$, maka $f_s' = f_y$

Jika $\epsilon_s' \leq \epsilon_y$, maka $f_s' = E_s \cdot \epsilon_s'$

- 6) Menghitung tulangan maksimum

$$A_{\max} = \frac{(0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1 \cdot c_b \cdot b_w) + 0,85 \cdot f_c' \cdot (b_m - b_w) \cdot t_f}{f_y - 0,2 \cdot f_s'}$$

- 7) Momen Maksimum

$$M_{\max} = 0,2 \cdot A_{\max} \cdot f_y' \cdot (d - d') + \left[(0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot c_b \cdot b_w) \cdot \left(d - \beta_1 \cdot \frac{c_b}{2} \right) \right] + \left[(0,85 \cdot f_c' \cdot (b_m - b_w) \cdot t_f) \cdot \left(d - \frac{t_f}{2} \right) \right]$$

8) Menentukan Desain tulangan

M_{ud} = momen maksimum rencana

M_{nd} (momen nominal rencana) = $\frac{Mu}{\phi}$, dimana ϕ adalah faktor reduksi

sebesar 0,8

Kontrol :

Jika $M_{nd} > M_{\max}$, maka penampang perlu dimodifikasi

Jika $M_{nd} < M_{\max}$, maka penampang memenuhi syarat untuk dianalisa sebagai tulangan rangkap

9) Menentukan harga a (dengan cara dicoba-coba)

Untuk mendapatkan nilai As rencana, ditetakan secara ujicoba terlebih dahulu nilai a. Nilai a berkisar antara $d' \leq a \leq (a_b = 0,75 \cdot \beta_1 \cdot C_b)$. Nilai a untuk analisa balok T murni $a > t_f$ sedangkan nilai untuk analisa balok T persegi $a < t_f$.

Harga a untuk mendapatkan nilai c, harga c merupakan jarak garis netral pada kondisi rencana, bukan seimbang, nilai c adalah sebagai berikut, $c = \frac{a}{\beta_1}$

10) Menghitung regangan dan tegangan tulangan tekan as' pada kondisi rencana.

$$\epsilon_s' = \left[\frac{c - d'}{c} \right] \cdot 0,003$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}, \text{ dengan } E_s = 2 \cdot 10^5 \text{ Mpa}$$

11) Menentukan tulangan As (tulangan tarik)

Nilai As berdasarkan regangan dan tegangan tulangan tekan As' pada kondisi rencana.

Untuk analisa balok T bertulangan murni :

- kedua tulangan leleh jika $\epsilon_s' \geq \epsilon_y$, maka $f_s = f_s' = f_y$

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_w + 0,85 \cdot f'_c \cdot t_f \cdot (b_m - b_w)}{f_s - \alpha \cdot f'_s}$$

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_w + 0,85 \cdot f'_c \cdot t_f \cdot (b_m - b_w)}{f_y - \alpha \cdot f'_y}$$

- Tulangan tarik leleh, tulangan tekan belum jika $\epsilon_{s'} \leq \epsilon_y$, maka $f_s = f_y$ dan $f'_s = E_s \cdot \epsilon_{s'}$

Dimana :

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_w + 0,85 \cdot f'_c \cdot t_f \cdot (b_m - b_w)}{f_s - \alpha \cdot f'_s}$$

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_w + 0,85 \cdot f'_c \cdot t_f \cdot (b_m - b_w)}{f_y - \alpha \cdot f'_s}$$

Untuk analisa balok T bertulangan persegi :

- kedua tulangan leleh jika $\epsilon_{s'} \geq \epsilon_y$, maka $f_s = f'_s = f_y$

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_w}{f_s - \alpha \cdot f'_s}$$

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_w}{f_y - \alpha \cdot f'_y}$$

- Tulangan tarik leleh, tulangan tekan belum jika $\epsilon_{s'} \leq \epsilon_y$, maka $f_s = f_y$ dan $f'_s = E_s \cdot \epsilon_{s'}$

Dimana :

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_w}{f_s - \alpha \cdot f'_s}$$

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_w}{f_y - \alpha \cdot f'_s}$$

- 12) Menentukan tulangan A_s' (tulangan tekan)

Berdasarkan rasio peulangan tekan (α) = A_s'/A_s , Maka $A_s' = \alpha \cdot A_s$

- 13) Kontrol batasan tulangan maksimum dan minimum

Pada perencanaan, pembatasan tulangan maksimum dan minimum bertujuan supaya dicegah sifat tulangan kuat pada penampang beton lentur.

Rasio penulangan pada kondisi seimbang

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(\beta_1 \cdot \frac{C_b}{d} - \rho' \right) + \rho' \frac{f'_s}{f_y}$$

Syarat $\rho_{maks} \leq \rho_{perlu} \leq \rho_{min}$

Dimana :

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

SNI 03-2847-2002 menetapkan rasio tulangan ρ_{perlu} dengan pemasangan tulangan tekan tidak boleh melampaui nilai ρ_{maks} .

$$\rho_{maks} = \frac{3}{4} \rho_b + \rho' \cdot \frac{f'_s}{f_y}$$

$$\rho_{maks} = \frac{3}{4} \left[\frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(\beta_1 \cdot \frac{C_b}{d} \right) \right] + \rho' \frac{f'_s}{f_y}$$

- 14) Menghitung momen nominal kapasitas (M_{nk}) berdasarkan kesetimbangan momen terhadap garis kerja C_c dan C_s

Untuk analisa balok T bertulangan murni :

$$M_{nk} = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_w \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) + 0,85 \cdot f'_c \cdot t_f \cdot (b_m - b_w) \cdot (d - t_f) + A_s' \cdot f'_s \cdot (d - d')$$

Untuk analisa balok T bertulangan Persegi :

$$M_{nk} = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_w \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \cdot f'_s \cdot (d - d')$$

- 15) Kontrol momen

$$\Phi M_{nk} > M_{nd}$$

3.4.7 Menghitung Tulangan Geser

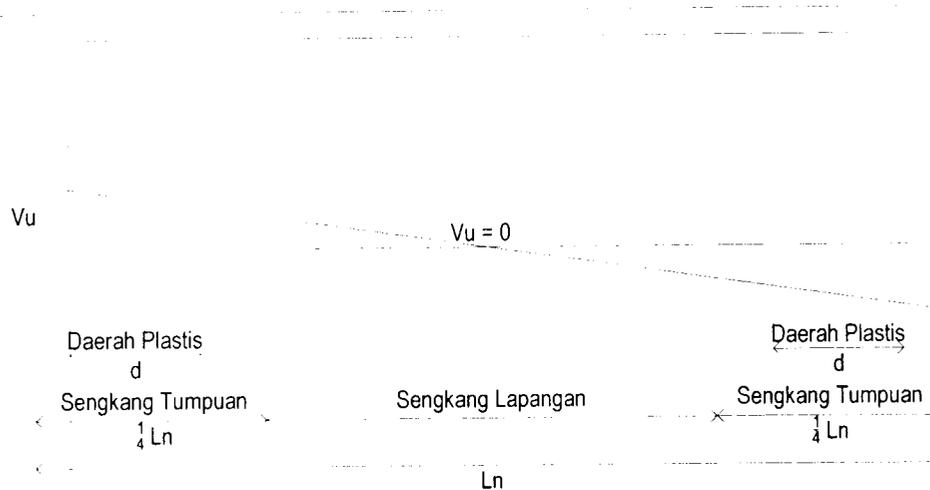
Prosedur merencanakan sengkang pada balok adalah sebagai berikut ini

1. Ditetapan besaran tegangan leleh baja f_y , kekuatan tekan beton f_c , lebar b , tinggi h , tebal selim P, diameter sengkang \hat{O} , diameter tulangan utama D .
2. Menentukan lebar efektif

$$d = D - P - \hat{O}_{sengkang} - \frac{1}{2} \cdot D$$

$$d' = h - d$$

3. Menetapkan gaya lintang nominal maksimum V_u :
 - a. Gaya lintang V_u Tumpuan berada sepanjang $\frac{1}{4} L_n$ dari tumpuan dimana terdapat daerah sendi plastis sepanjang d dari tumpuan.
 - b. Gaya lintang V_u lapangan berada di tengah bentang.



Gambar 3.12 Sketsa penulangan sengkang pada tumpuan dan lapangan

4. Menghitung luas ganda sengkang A_v : $A_v = \frac{\pi \cdot \text{diameter sengkang}^2}{2}$
5. Menghitung jarak spasi maksimum dari persamaan: $S_{\text{mak}} = \frac{3 \cdot A_v \cdot f_y}{b}$
 (*Analisis dan Desain Struktur Beton Bertulang, Amrinsyah Nasution, hal:178*)
6. Mengambil harga terkecil diantara S_{mak} , $d/4$, dan 300 mm untuk jarak maksimum sengkang pada sengkang tumpuan. Sedangkan S_{mak} , $d/2$, dan 600 mm untuk jarak maksimum sengkang pada sengkang lapangan.
7. Menghitung kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton ΦV_c dengan persamaan : $\Phi V_c = \phi \left(\frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \right) \cdot b \cdot d$
8. Menentukan nilai $\Phi V_s = \Phi A_v \cdot f_y \cdot \frac{d}{s}$ sebagai fungsi s
9. Menyamakan persamaan untuk mendapatkan jarak sengkang (S_{hitung}) :

$$V_u = \Phi V_c + \Phi V_s \rightarrow V_u = \Phi V_c + \Phi A_v \cdot f_y \cdot \frac{d}{s}$$

$$V_u - \Phi V_c = \Phi A_v \cdot f_y \cdot \frac{d}{s}$$

$$s \cdot (V_u - \Phi V_c) = \Phi A_v \cdot f_y \cdot d$$

$$s = \frac{\phi A_v \cdot f_y \cdot d}{V_u - \phi V_c}$$

10. Dari perhitungan diatas diambil jarak sengkang s (s_{pakai})

Kontrol :

$$\text{Kontrol tulangan minimum : } A_{l, \min} = \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y}$$

Kontrol kapasitas geser :

$$\Phi V_c + \Phi V_s \geq V_u$$

3.5 Dasar Perencanaan Konstruksi Kolom

3.5.1 Kolom Pada Struktur dengan Pengaku

Kolom-kolom pada struktur dengan pengaku harus direncanakan terhadap beban aksial P_u yang diperhitungkan secara elastisitas linier dan dengan suatu faktor pembesar agar momen $M_c = \delta_b \cdot M_1$ meningkat, dimana momen M_2 adalah momen terbesar M_u pada ujung-ujung kolom yang dihitung dengan perhitungan elastis linier .

Untuk δ_b harus ditetapkan sebagai berikut :

$$\delta_b = \frac{C_m}{\left(1 - \frac{P_u}{\phi \cdot P_c}\right)} \geq 1,0 \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{dengan : } P_c = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(k \cdot l_u)^2}$$

Untuk E_f ditentukan dengan bantuan grafik sedangkan untuk E_{lk} dan E_{lb} dihitung dengan rumus :

$$EI_k = \frac{\left(\frac{E_c \cdot I_g}{2,5}\right)}{1 + \beta_d} \quad \text{dan} \quad EI_b = \frac{\left(\frac{E_c \cdot I_g}{5}\right)}{1 + \beta_d} \dots\dots\dots(2)$$

$$\beta_d = \frac{1,2D}{1,2D + 1,6L} \dots\dots\dots(3)$$

$$C_m = 0,6 + 0,4 \left(\frac{M_{1b}}{M_{2b}}\right) \geq 0,4 \dots\dots\dots(4)$$

Dalam persamaan ini M1b adalah momen minimum Mu, sedangkan M2b adalah momen maksimum pada kolom yang dihitung dengan perhitungan elastis linier. Sebagai perhitungan dapat digunakan grafik-grafik sebagai berikut : Untuk menentukan distribusi gaya orde satu grafik Ef nilai bd di dapat dari perhitungan berat, sedangkan untuk Rn ditentukan dengan menggunakan diagram Nomogram 7.1c buku Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang W.C. Vis dan Gideon Kusuma.

Untuk menentukan k dalam diagram Nomogram harus menggunakan rumus berikut :

$$\psi = \frac{\sum \left(\frac{EI_k}{l_k}\right)}{\sum \left(\frac{EI_b}{l_b}\right)} \dots\dots\dots(5)$$

Untuk EI_k dan EI_b diijinkan untuk memakai rumus E_f , dimana E_f didapatkan dalam Mpa. Bila I_g ditentukan dalam satuan mm^4 , maka EI_k dan EI_b di dapat Nmm^2 dikalikan dengan 10^{-9} maka EI_k dan EI_b diperoleh dalam satuan KNm^2 .

3.5.2 Kolom Pada Struktur Tanpa pengaku

Kolom-kolom pada struktur tanpa pengaku harus direncanakan terhadap beban aksial P_u yang diperhitungkan secara elastisitas linier dan dengan suatu faktor pembesar yang meningkatkan momen $M_c = \delta_b \cdot M_{2b} + \delta_s \cdot M_{2s}$.

Dimana :

M_c = momen terfaktor yang digunakan untuk komponen struktur dengan pengaku (Nmm)

M_{2b} = momen kolom terbesar yang dapat terjadi bila struktur dengan pengaku
(Nmm)

M_{2s} = momen kolom terbesar yang timbul akibat struktur tergoyang horizontal
(Nmm)

δ_b = Faktor pembesar momen untuk struktur tekan pada portal dengan pengaku

δ_c = Faktor pembesar momen untuk struktur tekan pada portal tanpa pengaku

Untuk δ_b harus ditetapkan sebagai berikut :

$$\delta_b = \frac{Cm}{\left(1 - \frac{Pu}{\phi \cdot Pc}\right)} \geq 1,0$$

Dengan :

$$Pc = \frac{\pi^2 E \cdot I}{(Rnlu)^2}$$

Dimana :

ΣPu = Jumlah beban kolom Pu pada tingkat yang diberkaitan

$\Sigma \phi Pc$ = jumlah beban tekuk ϕPc pada tingkat yang berkaitan

Untuk EI_k boleh digunakan rumus berikut :

$$EI_k = \frac{(E_c \cdot I_c) + E_s \cdot I_s}{1 + \beta_d}$$

Untuk menentukan I_{se} dapat digunakan rumus sesuai tabel 7.2.a buku

Grafik dan Tabel Perhitungan Beton bertulang W.C. Vis dan Gideon Kusuma :

$$\frac{I_{se}}{I_g} = c \cdot \rho \cdot \gamma$$

dan nilai ρ ditentukan dari tabel 7.2.b buku Grafik dan Tabel Perhitungan Beton bertulang WC Vis dan Gideon Kusuma.

Untuk E_f ditentukan dengan bantuan grafik, sedangkan untuk EI_k dan EI_b dihitung dengan rumus :

$$EI_k = \frac{\left(\frac{E_c \cdot I_g}{2,5}\right)}{1 + \beta_d} \quad \text{dan} \quad EI_b = \frac{\left(\frac{E_c \cdot I_g}{5}\right)}{1 + \beta_d}$$

$$\beta_d = \frac{1,2D}{1,2D + 1,6L}$$

$$C_m = 0,6 + 0,4 \left(\frac{M_{1b}}{M_{2b}} \right) \geq 0,4$$

Dalam persamaan ini M_{1b} adalah momen minimum, sedangkan M_{2b} adalah momen maksimum pada kolom yang dihitung dengan perhitungan elastis linier.

Sebagai perhitungan dapat digunakan grafik-grafik sebagai berikut : Untuk menentukan distribusi gaya orde satu grafik Ef nilai β_d di dapat dari perhitungan berat, sedangkan untuk R_n ditentukan dengan menggunakan diagram Nomogram 7.2c buku Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang W.C. Vis dan Gideon Kusuma .

Untuk menentukan ψ dalam diagram Nomogram harus menggunakan rumus berikut :

$$\psi = \frac{\sum \left(\frac{EI_k}{l_k} \right)}{\sum \left(\frac{EI_b}{l_b} \right)}$$

Untuk memenuhi persyaratan $\frac{R_n \cdot l_n}{r} \leq 22$, maka perhitungan orde dua tidak perlu dilaksanakan dan untuk $e_{t \min}$ harus diperhitungkan dengan $(15 + 0,03 h)$ mm.

3.5.3 Perencanaan Penulangan Kolom

Untuk menentukan luas tulangan yang harus disediakan, digunakan Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang W.C. Vis dan Gideon Kusuma sebagai berikut :

Menghitung nilai-nilai

$$e_t = \frac{Mu}{Pu}$$

$$k_1 = \frac{Pu}{\phi \cdot Agr \cdot f_c}$$

$$k_2 = \frac{Pu}{\phi Agr \cdot f_c} \left(\frac{e_t}{h} \right)$$

Menentukan nilai r (berdasarkan harga k_1 dan k_2) dimana r diperoleh dari diagram interaksi untuk perencanaan kolom dengan $f'_c = 22,5$ Mpa, $f_y = 240$ Mpa dan $d'/h = 0,1$

Menghitung nilai ρ

$\rho = r \cdot \beta$, dimana $\beta = 0,8$ untuk $f'_c = 22,5$ Mpa.

Menghitung luas tulangan perlu

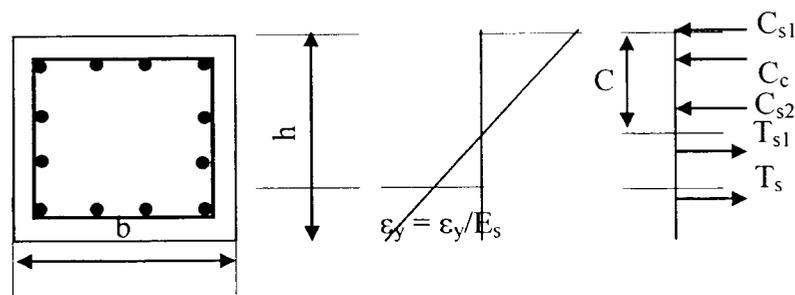
$$A_{Sperlu} = \rho \cdot b \cdot h$$

Tetapkan ukuran dan jumlah tulangan

3.5.4 Interaksi Kolom

Jarak tulangan atas dengan permukaan atas penampang

$$d_c = p + \emptyset_{sengk} + \frac{1}{2} \emptyset_{t.u}$$



Gambar 3.13 Penampang kolom, diagram regangan dan tegangan dalam keadaan seimbang

a. Mencari luas tulangan total :

Luas tulangan lajur 1 $A_{s1} =$

Luas tulangan lajur 2 $A_{s2} =$

Luas tulangan lajur 3 $A_{s3} =$

Luas tulangan lajur n $A_{sn} =$

$$A_{s \text{ tot}} =$$

- b. Mencari jarak tulangan ke tepi tekan permukaan kolom :

$$d_i = d_c + \frac{(i-1)(h-d_c)}{n-1}$$

- c. Menghitung Interaksi P_n dan M_n

Perhitungan interaksi P_n dan M_n diambil pada saat kolom pada kondisi tekan murni, dimana pada kondisi ini beban yang bekerja hanya beban aksial saja sehingga nilai eksentrisitas $e = 0$ dan memberikan letak garis netral tak terhingga $c = \infty$.

- d. Menghitung kesetimbangan gaya

Diketahui modulus elastisitas beton = $2,1 \cdot 10^5$

Gaya tarik tulangan pada setiap lajur:

$$C_{s1} = A_{s1} \cdot f_{s1}$$

$$C_{s2} = A_{s2} \cdot f_{s2}$$

$$C_{s3} = A_{s3} \cdot f_{s3}$$

$$C_{sn} = A_{sn} \cdot f_{sn}$$

$$\sum C_{si} = C_{s1} + C_{s2} + C_{s3} + C_{sn}$$

Gaya tekan yang terjadi pada beton : $0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$.

Karena semua tulangan berada pada daerah tekan, maka gaya tekan beton harus dikurangi dengan gaya tekan beton yang ditempati tulangan :

Luas total tulangan A_{st}

Gaya tekan beton yang ditempati tulangan : $0,85 \cdot f_c' \cdot A_{st}$

$$P_n = \sum C_{si} + (0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b - 0,85 \cdot f_c' \cdot A_{st})$$

$$\phi P_n = 0,65 \cdot P_n$$

$$M_n = (0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b) \cdot \frac{1}{2} (h-a) + \sum C_{si} \left(\frac{1}{2} \cdot h - d \right) = 0$$

$$\phi M_n = 0,65 \cdot M_n$$

Untuk melihat hubungan antara gaya aksial dan momen yang bekerja pada kolom, ditampilkan tabulasi interaksi kolom beserta diagram interaksinya dengan rumus-rumus sebagai berikut :

Rumus umum jarak tulangan ke tepi tekan permukaan kolom adalah :

$$d_i = d_c + \frac{(i-1)(h-2d_c)}{n-1}, \text{ dimana } i = \text{nomor lapis tulangan dan } n = \text{banyaknya}$$

lajur tulangan.

Besarnya regangan pada lapis ke-i dapat ditetapkan dengan perbandingan segitiga, dimana regangan maksimum pada beton adalah 0,003 maka :

$$\varepsilon_{s_i} = 0,003 \cdot \left(\frac{(c - d_i)}{c} \right)$$

Dengan memperhatikan bahwa c adalah jarak sumbu netral terhadap serat terluar, maka harga ε_{s_i} akan negatif untuk regangan tarik dan positif untuk regangan tekan.

Tegangan pada lapis ke-i, dapat dirumuskan menjadi:

$$f_{s_i} = 0,003 \cdot \left(\frac{(c - d_i)}{c} \right) \cdot \varepsilon_s$$

bila :

$$e_s \geq f_y / E_s \dots\dots\dots, \text{ maka } f_s = f_y$$

$$f_y / E_s \geq e_s \geq f_y / E_s \dots\dots, \text{ maka } f_s = e_s \cdot E_s$$

$$e_s \leq f_y / E_s \dots\dots\dots, \text{ maka } f_s = f_y$$

Gaya tulangan ke-i menjadi :

$$C_s = f_{s_i} \cdot A_{s_i}$$

Dengan mengacu pada rumus kesetimbangan :

$$P_n = C_c - S f_{s_i} \cdot A_{s_i} = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b - S f_{s_i} \cdot A_{s_i}$$

Momen pada pusat plastisnya adalah :

$$P_n \cdot e = C_c \cdot \frac{1}{2} (h - a) + S f_{s_i} \cdot A_{s_i} \left(\frac{1}{2} h - d \right) \\ = (0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b) \cdot \frac{1}{2} (h - a) + S C_{s_i} \cdot \left(\frac{1}{2} h - d \right)$$

Perlu diperhitungkan bahwa bila :

$$d < a, \text{ maka harga } f_{s_i} = f_{s_i} - 0,85 \cdot f_c'$$

$$d > a, \text{ maka harga } f_{s_i} = f_{s_i}$$

