

---

## **BATASAN METODA PERENCANAAN LANGSUNG (*DIRECT DESIGN METHOD*)**

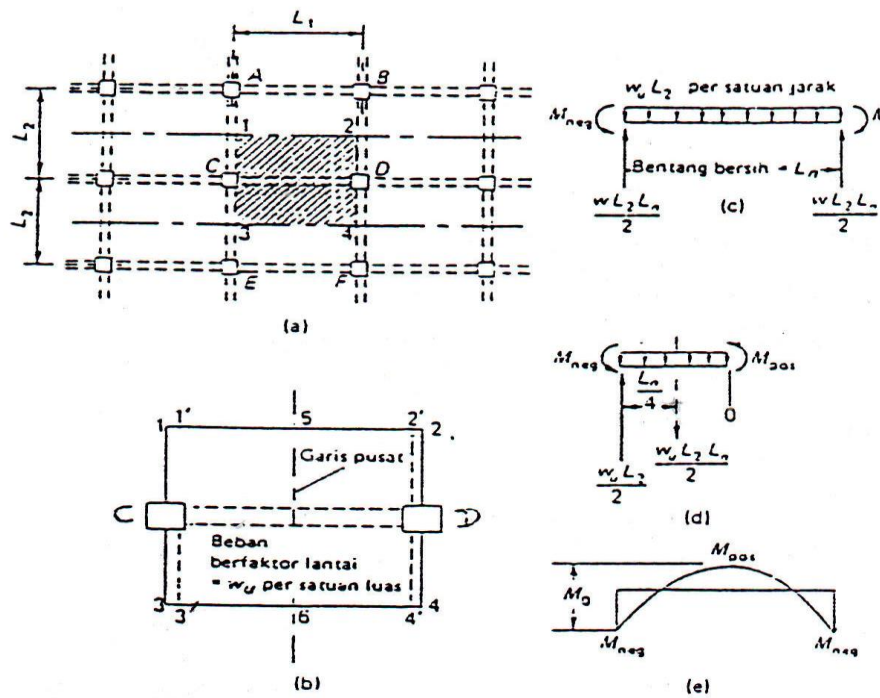
Metoda Perencanaan Langsung boleh dipakai apabila sistem pelat lantai memenuhi batasan-batasan berikut menurut SNI 03-2847-2002, pasal 3.6.7.

1. Minimum harus ada tiga bentang menerus dalam setiap arah.
2. Panel harus berbentuk persegi dengan rasio antara bentang panjang terhadap bentang pendek diukur antara sumbu ke sumbu tumpuan, tidak lebih dari 2.
3. Panjang dari bentang yang berurutan, diukur antara sumbu ke sumbu tumpuan dalam tiap arah tidak boleh berbeda lebih dari sepertiga dari bentang yang terpanjang.
4. Posisi kolom boleh menyimpang maksimum 10 persen dari bentang (dalam arah penyimpangan) dari sumbu antara garis pusat kolom yang berurutan.
5. Beban yang diperhitungkan hanyalah beban gravitasi saja dan tersebar merata pada seluruh panel. Beban hidup tidak boleh melebihi 3 kali beban mati.
6. Untuk satu panel yang mempunyai balok diantara tumpuan pada semua sisinya, kekakuan relatif dari balok dalam dua arah yang tegak lurus ( $\alpha_1 l_2^2$ )/( $\alpha_2 l_1^2$ ) tidak boleh kurang dari 0,2 dan tidak boleh lebih dari 5,0.

### **MOMEN STATIS TOTAL BERFAKTOR**

Menurut SNI 03-2847-2002, pasal 3.6.6.2).(1). Momen statis total untuk suatu bentang harus ditentukan dalam satu jalur yang secara lateral dibatasi oleh garis sumbu panel pada tiap sisi dari garis sumbu tumpuan, lihat Gambar 5.6.

Ditinjau dua panel dalam cirian ABCD dan CDEF di dalam sistem lantai dua arah lihat Gambar 5.6. Ukuran panel arah longitudinal dan transversal masing-masing  $L_1$  dan  $L_2$ . Garis 1-2 dan 3-4 merupakan garis pusat dari panel ABCD dan CDEF, keduanya sejajar dengan arah longitudinal. Pelat lantai dan balok yang tercakup dan dibatasi oleh garis 1-2 dan 3-4 di dalam arah longitudinal dan oleh garis 1'-3' dan 2'-4' pada muka balok diarah transversal, diisolir. Beban yang bekerja pada benda bebas (free body), lihat Gambar 5.6(c) adalah  $W_u L_2 L_n/2$ , dimana  $W_u$  adalah beban terfaktor persatuan luas dan  $L_n$  adalah bentang bersih di dalam arah memanjang antara muka tumpuan (SNI 03-2847-2002, pasal 3.6.6.2).(5).



Gambar 5.6 **Statika dari panel-dalam cirian dari sistem lantai dua arah (Wang, 1985)**

Jika  $M_{neg}$  dan  $M_{pos}$  adalah harga numerik dari momen lentur negatif dan positif sepanjang garis 1<sup>1</sup>-3<sup>1</sup> dan 5-6, maka keseimbangan momen untuk benda bebas pada Gambar 5.6(d).

Mengharuskan :

$$M_{neg} + M_{pos} = \frac{W_u \cdot L_2 \cdot L_n^2}{8} \quad (5.1)$$

---

Untuk panel-luar cirian, momen negatif pada tumpuan dalam akan lebih besar dari yang terjadi pada tumpuan luar, momen positif maksimum akan terjadi pada titik disebelah kiri dari tengah bentang , lihat Gambar 5.6(c). Didalam perencanaan lazim untuk menggunakan  $M_{pos}$  pada tengah bentang untuk menentukan tulang momen positif.

Dalam hal ini :

$$\frac{M_{neg(kiri)} + M_{neg(kanan)}}{2} + M_{pos} = \frac{W_u \cdot L_2 \cdot L_n^2}{8} \quad (5.2)$$

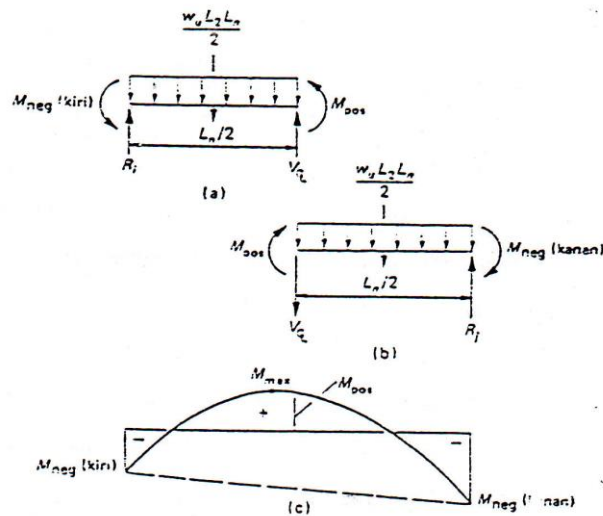
Bukti untuk persamaan (5.2) dapat diperoleh dengan menuliskan perencanaan keseimbangan momen terhadap ujung kiri dari benda bebas dalam , lihat Gambar 5.7(a).

$$M_{neg(kiri)} + M_{pos} = \frac{W_u \cdot L_2 \cdot L_n}{2} \left( \frac{L_n}{4} \right) - V_c \left( \frac{L_n}{2} \right)$$

dan dengan menuliskan persamaan keseimbangan momen terhadap ujung kanan dari benda bebas dalam Gambar 5.7(b).

$$M_{neg(kanan)} + M_{pos} = \frac{W_u \cdot L_2 \cdot L_n}{2} \left( \frac{L_n}{4} \right) + V_c \left( \frac{L_n}{2} \right)$$

Persamaan (5.1) diperoleh dengan jalan menjumlahkan kedua persamaan sebelumnya an membagi kedua pihak dengan 2. Persamaan (5.1) juga dapat diperoleh, seperti Gambar 5.7(c) dengan jalan superposisi dari bidang momen positif parabolis akibat beban merata diatas bentang sederhana, terhadap diagram momen negatif trapesium akibat momen ujung.



Gambar 5.7 Statika dari panel-luar cirian dari sistem lantai dua arah (Wang, 1985)

SNI 03-2847-2002, (pasal 3.6.6.2).(2) menggunakan simbol  $M_o$  untuk  $(W_u L_2 L_n^2)/8$  dan menamakan  $M_o = (momen statis total berfaktor)$ . Pasal tersebut menyatakan "jumlah absolut dari momen berfaktor positif dan negatif rata-rata dalam setiap arah tidak boleh kurang dari"  $M_o$  atau

$$\frac{M_{neg(kiri)} + M_{neg(kanan)}}{2} + M_{pos} \geq M_o = \frac{W_u \cdot L_2 \cdot L_n^2}{8} \quad (5.3)$$

Dimana :

$W_u$  = beban terfaktor persatuan luas

$L_n$  = bentang bersih dalam arah mana momen dihitung, diukur dari muka kolom, kepala kolom, konsol pendek atau dinding.

$L_n$  tidak boleh kurang dari  $0,65 L_n$ .

(SNI 03-2847-2002, pasal 3.6.6.2).(5).

$L_1$  = panjang bentang dari arah mana momen ditentukan, diukur dari pusat ke pusat tumpuan.

$L_2$  = panjang bentang transversal, diukur pusat ke pusat tumpuan.

Kasus momen statis total berfaktor pada lantai cendawan dapat dilihat pada tinjauan berikut. Ditinjau panel-panel cirian dari suatu lantai cendawan yang memikul beban merata berfaktor  $W_u$  persatuan luas, seperti Gambar 5.8(a). Beban total pada permukaan panel (persegi

dikurangi empat seperempat lingkaran) ditumpu oleh geser vertikal pada keempat busur seperempat lingkaran.  $M_{neg}$  dan  $M_{pos}$  menyatakan masing-masing momen negatif total sepanjang tepi ABCDEF = jumlah reaksi pada busur AB dan CD.

$$= W_u \left( \frac{L_1 \cdot L_2}{22} - \frac{\pi \cdot c^2}{8} \right) \quad (5.4)$$

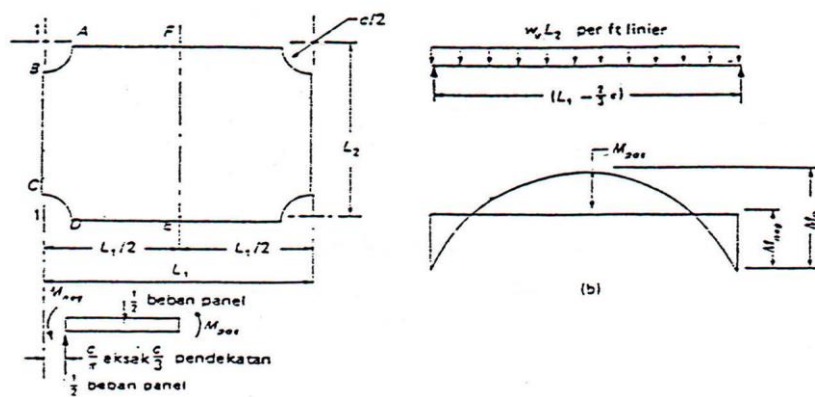
Dengan meninjau setengah panel ABCDEF sebagai benda bebas, dan dengan mengingat tidak adanya geser pada tepi BC, DE, EF dan FA maka dengan mengambil momen terhadap sumbu 1-1 diperoleh :

$$M_{neg} + M_{pos} + W_u \left( \frac{L_1 \cdot L_2}{22} - \frac{\pi \cdot c^2}{8} \right) \left( \frac{c^2}{\pi} \right) - \frac{W_u \cdot L_1 \cdot L_2}{2} \left( \frac{L_1}{4} \right) + \frac{W_u \cdot \pi \cdot c}{8} \left( \frac{2c^2}{3\pi} \right) = 0 \quad (5.5)$$

Dengan memasukkan  $M_o = M_{neg} + M_{pos}$ ,

$$M_o = \frac{1}{8} W_u \cdot L_2 \cdot L_1^2 \left( 1 - \frac{4c}{\pi \cdot L} + \frac{c^3}{3L_2 L_1} \right) = \frac{1}{8} W_u \cdot L_2 \cdot L_1^2 \left( \frac{c^2}{\pi} \right) - \frac{W_u \cdot L_1 \cdot L_2}{2} \left( 1 - \frac{2c}{3L_1} \right)^2 \quad (5.6)$$

Sebenarnya persamaan (5.6) dapat dilihat dengan jelas dari pemeriksaan bentang interior ekivalen yang ditunjukkan dalam gambar 5.8(b).



Gambar 5.8 Statika dari panel-dalam cirian dari sistem lantai cendawan (Wang, 1985)

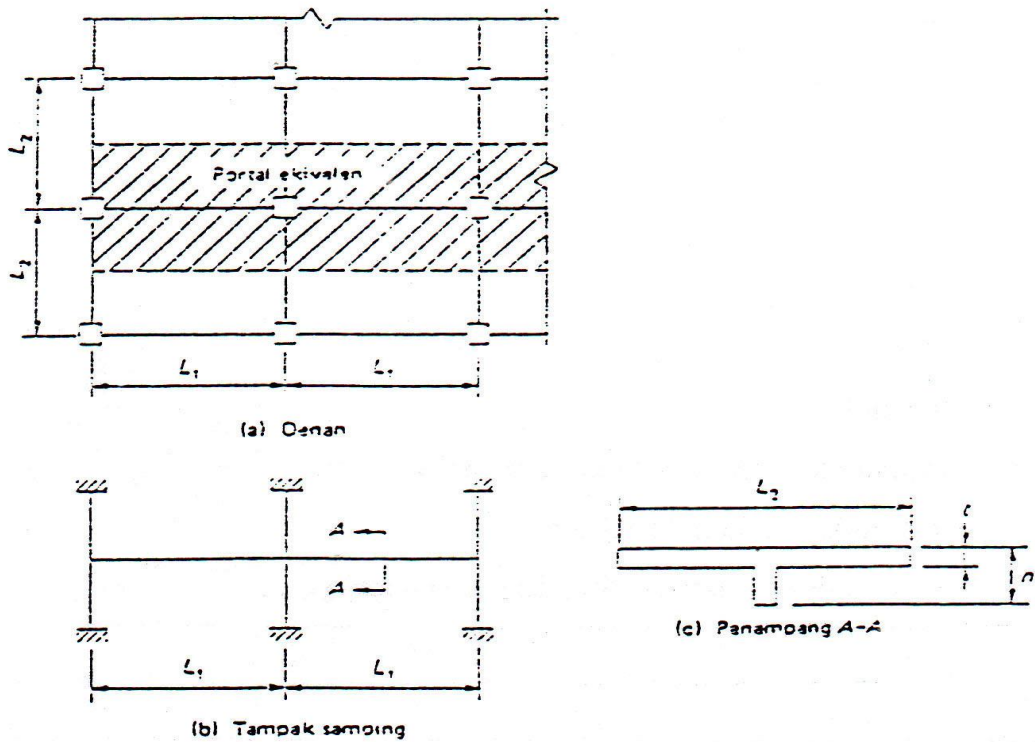
---

Pasal 3.6.6.2).(5), SNI 03-2847-2002 menyatakan bahwa tumpuan yang berbentuk lingkaran atau poligon beraturan harus diperlakukan sebagai tumpuan bujur sangkar dengan luas yang sama. Untuk lantai-lantai cendawan, khususnya dengan kepala kolom, bentang bersih  $L_n$  yang dihitung dengan menggunakan tumpuan bujur sangkar ekuivalen harus dibandingkan dengan yang dinyatakan oleh persamaan (5.6), yang besarnya adalah  $L_1$  dikurangi  $2c/3$ . Didalam beberapa keadaan harga yang belakangan ini adalah lebih besar dan dengan itu harus digunakan, agar konsisten dengan kenyataan bahwa pasal 3.6.6.2).(5), SNI 03-2847-2002 sesungguhnya menyatakan maksudnya di dalam ketidaksamaan.

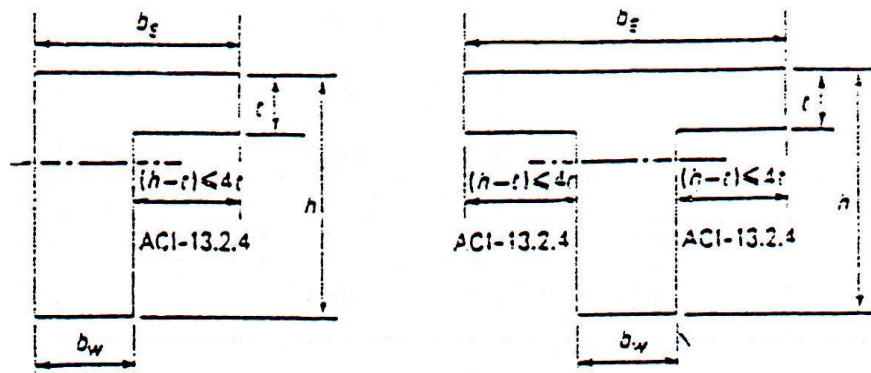
### **PERBANDINGAN KEKAKUAN RELATIF DARI BALOK MEMANJANG TERHADAP PELAT**

Bila balok-balok digunakan sepanjang garis-garis kolom dalam suatu lantai dua arah, suatu parameter penting yang mempengaruhi perencanaan adalah ukuran relatif dari balok terhadap tebal pelat. Parameter ini secara terbalik diukur dengan perbandingan  $\alpha$  dari kekakuan lentur  $E_{cb} I_b$  dari balok terhadap kekakuan lentur  $E_{cs} I_s$  dari pelat didalam penampang transversal dari portal dalam Gambar 5.9 Modulus elastis yang terpisah  $E_{cb}$  dan  $E_{cs}$  untuk masing-masing balok dan plat, dimaksudkan untuk kemungkinan kekuatan balok dan pelat yang berbeda. Momen inersia  $I_b$  dan  $I_s$  adalah penampang kasar balok dan plat pada penampang dalam Gambar 5.9(c). ACI-13.2.4 mengizinkan pengikutan pelat pada setiap sisi dari badan balok untuk bekerja sebagai bagian dari balok, tergantung mana yang lebih besar namun tak boleh melebihi empat kali tebal pelat, seperti dalam Gambar 5.9 lebih tepatnya bagian kecil dari pelat yang telah diperhitungkan dalam balok tidak boleh dihitung lagi untuk  $I_s$ , namun ACI mengizinkan penggunaan dari lebar total dari portal ekuivalen didalam perhitungan  $I_s$  sehingga,

$$\alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} \cdot I_s} \quad (5.7)$$



Gambar 5.9 Denah tampak dan penampang portal ekivalen dalam sistem lantai dua arah (Wang, 1985)



Gambar 5.10 Momen inersia penampang dengan flens

Momen inersial dari penampang balok dengan flens terhadap sumbu pusat, lihat Gambar 5.10 dapat ditunjukkan sebagai

$$I_b = k \frac{b_w \cdot h^3}{12} \dots \dots \dots (5.8a)$$

dalam mana k menurut (Wang, 1985).

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_E}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[ 4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_E}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_E}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)} \quad (5.8b)$$

dimana

h = tinggi total balok

t = tebal total pelat

b<sub>E</sub> = lebar efektif flens

b<sub>w</sub> = lebar badan balok

Persamaan (5.8b) menyatakan tetapan tanpa dimensi k di dalam fungsi dari (b<sub>E</sub>/b<sub>w</sub>) dan (t/h). Nilai-nilai cirian dari k disajikan dalam Tabel 5.3.

**Tabel 5.3 Nilai-nilai k di dalam (b<sub>E</sub>/b<sub>w</sub>) dan (t/h) pada persamaan (5.8b), (Wang, 1985)**

| t/h        | b <sub>E</sub> /b <sub>w</sub> |        |       |
|------------|--------------------------------|--------|-------|
|            | 2                              | 3      | 4     |
| <b>0,1</b> | 1,222                          | 1,407  | 1,564 |
| <b>0,2</b> | 1,328                          | 1,564  | 1,744 |
| <b>0,3</b> | 1,366                          | 1,605  | 1,777 |
| <b>0,4</b> | 1,372                          | 1,608  | 1,781 |
| <b>0,5</b> | 1,375                          | 1,625  | 1,825 |
| <b>0,6</b> | 1,396                          | 1,694  | 1,956 |
| <b>0,7</b> | 1,454                          | 1,844  | 1,212 |
| <b>0,8</b> | 1,565                          | 12,098 | 2,621 |
| <b>0,9</b> | 1,743                          | 2,477  | 3,209 |
| <b>1,0</b> | 2,000                          | 3,000  | 4,000 |

## DISTRIBUSI MOMEN DI ARAH LONGITUDINAL

Dalam metoda perencanaan langsung kurva-kurva di arah panjang bentang tidak perlu dihitung dengan analisis elastik (seperti misalnya Metoda Distribusi Momen) dari portal kaku ekuivalen terhadap berbagai pola pembebanan akan tetapi untuk keadaan yang teratur momen-momen ditentukan secara nominal, dengan penyesuaian tambahan untuk pengaruh pola pembebanan.

SNI 03-2847-2002, pasal 3.6.6.3) pada bentang interior, momen statis total terfaktor  $M_o$  harus didistribusikan sebagai berikut :

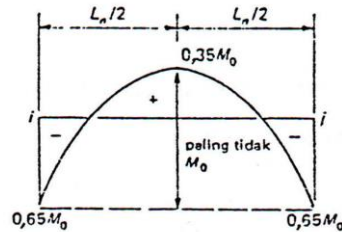
|                              |      |
|------------------------------|------|
| Momen negatif terfaktor..... | 0,65 |
| Momen positif terfaktor..... | 0,35 |

Sedangkan pada bentang tepi, momen statis total terfaktor  $M_o$  harus didistribusikan sebagai berikut lihat Tabel 5.4.

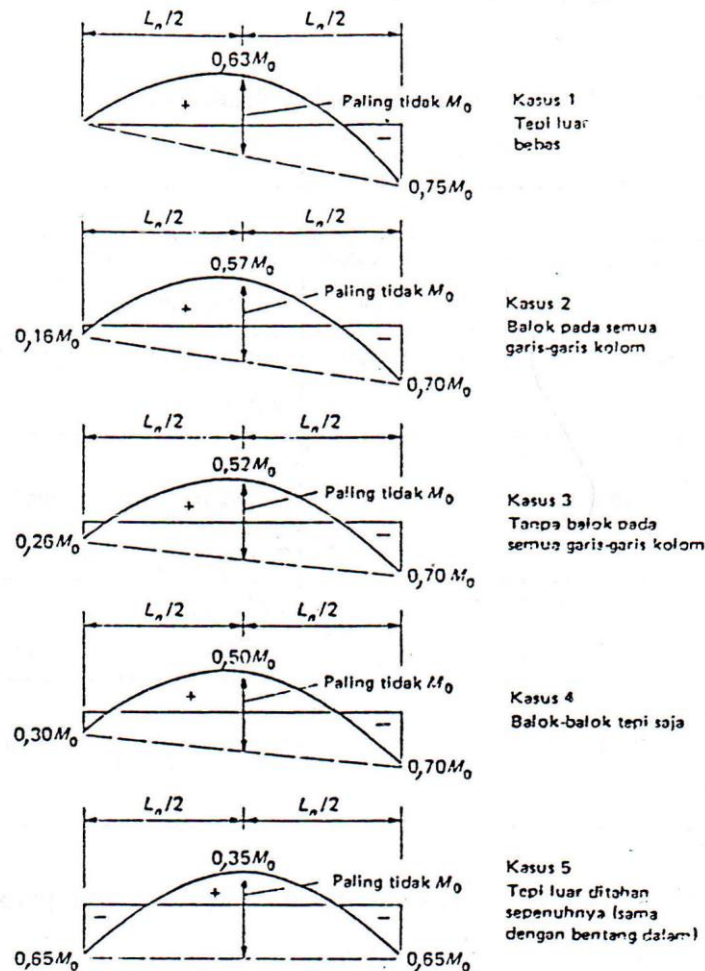
Tabel 5.4 **Faktor-faktor momen untuk mendistribusikan  $M_o$  pada bentang eksterior (tepi) (SK SNI-T-15-1991-03)**

|                                    | (1)                          | (2)                                       | (3)   | (4)               | (5)                               |
|------------------------------------|------------------------------|---|---|-------------------|-----------------------------------|
|                                    | Tepi eksterior tidak ditahan | Pelat dengan balok diantara semua tumpuan | Pelat tanpa balok diantara tumpuan interior |                   | Tepi eksterior ditahan sepenuhnya |
|                                    |                              |   | Tanpa balok tepi*)                          | Dengan balok tepi |                                   |
| Momen negative terfaktor interior  | 0,75                         | 0,70                                      | 0,70  | 0,70              | 0,65                              |
| Momen positif terfaktor            | 0,65                         | 0,57                                      | 0,52  | 0,50              | 0,35                              |
| Momen negative terfaktor eksterior | 0,00                         | 0,16                                      | 0,26  | 0,30              | 0,65                              |

Distribusi momen pada bentang interior dan eksterior dapat juga dinyatakan dalam bentuk diagram momen seperti Gambar 5.11 dan Gambar 5.12.



Gambar 5.11 Diagram momen memanjang untuk bentang dalam (interior) (Wang, 1985)



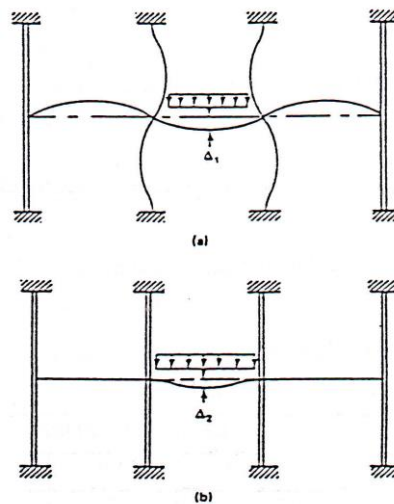
Gambar 5.12 Diagram momen di arah memanjang untuk bentang luar (eksterior) (Wang, 1985)

---

Menurut SNI 03-2847-2002, pasal 3.6.6.7) momen statis total terfaktor boleh dimodifikasi sebesar 10 persen asalkan momen statis total terfaktor  $M_o$  untuk suatu panel dalam arah yang ditinjau tidak kurang dari yang disyaratkan pada persamaan (5.3).

## PENGARUH POLA PEMBEBANAN PADA MOMEN POSITIF

Metoda Perencanaan Langsung sangat peka terhadap perubahan momen positif lapangan sistem lantai berbentang banyak, apabila tidak semua bentang secara simultan dibebani. Bila beban bekerja pada bentang tersebut selama berselang seling perubahan momen negatif di tumpuan biasanya kecil, sedangkan perubahan momen positif lapangan cukup besar. Bila perbandingan beban hidup dan beban mati cukup besar, maka perubahan momen positif tadi dapat mencapai 50 persen dari yang diperoleh dengan cara beban didistribusikan secara merata. Pertambahan momen positif ini dapat mengakibatkan defleksi yang berlebihan dan retak pada panel interior. Hal ini dapat dikurangi dengan cara memperkaku kolom, (Nawy, 1990), lihat Gambar 5.13.



Gambar 5.13 **Efek pola pembebanan terhadap defleksi dan retak (a) defleksi besar  $A_1$  dengan kolom yang lebih fleksibel (b) defleksi kecil  $A_2$  dengan kolom yang lebih kaku. (Nawy, 1990)**

---

Beberapa penemuan yang dapat dilihat di dalam garis-garis pengaruh dan selubung momen maksimum akibat kombinasi beban mati dan beban hidup adalah sebagai berikut :

- 1) Semakin tinggi perbandingan dari kekakuan kolom terhadap balok, semakin kecil pengaruh dari pola pembebanan oleh karena ujung-ujung bentang lebih dekat kepada keadaan terjepit, sehingga pengaruh yang timbul pada bentang akibat pola pembebanan pada batang-batang yang bersebelahan menjadi semakin kecil.
- 2) Semakin kecil perbandingan beban mati terhadap beban hidup, semakin besar pengaruh dari pola pembebanan, oleh karena beban mati yang tetap bekerja pada semua bentang dan pola pembebanan hanya menyangkut beban hidup saja
- 3) Momen negatif maksimum pada tumpuan adalah kurang dipengaruhi oleh pola pembebanan dibandingkan momen positif di dalam bentang. (Wang, 1985).

SNI 03-2847-2002, pasal 3.6.6.10) mengatur ketentuan mengenai pengaruh pola pembebanan bila rasio  $\beta_a$  antara beban mati terhadap beban hidup kurang dari 2. Salah satu ketentuan sebagai berikut harus dipenuhi :

- 1) Jumlah kekuatan lentur kolom di atas dan dibawah pelat harus sedemikian sehingga  $\alpha_c$  tidak kurang dari  $\alpha_{min}$  yang ditentukan dalam Tabel 5.5.
- 2) Bila  $\alpha_c$  dari kolom di atas dan di bawah pelat kurang dari  $\alpha_{min}$  yang disyaratkan dalam Tabel 5.5 maka momen positif terfaktor pada panel yang didukung kolom tersebut harus dikalikan dengan koefisien yang ditentukan dari persamaan (5.9).

$$\delta_s = 1 + \frac{2 - \beta_c}{4 + \beta_c} \left( 1 - \frac{\alpha_c}{\alpha_{min}} \right) \dots\dots\dots (5.9)$$

---

dimana,

$\beta_a$  = rasio dari beban mati terhadap beban hidup per unit luas  
(pada tiap kasus tanpa beban)

$\alpha_c$  = perbandingan dari kekakuan kolom terhadap kekakuan pelat  
dan balok  
=  $\Sigma K_c / (\Sigma K_s + \Sigma K_b)$

$\alpha_{min}$  = harga yang diberikan dari Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Nilai  $\alpha_{min}$  (SNI 03-2847-2002)

| $\beta$ | Rasio dari<br>$1_1/1_2$ | Kekakuan relatif balok, $\alpha$ |     |     |     |     |
|---------|-------------------------|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|
|         |                         | 0                                | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 4,0 |
| 2,0     | 0,5 – 2,0               | 0                                | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 1,0     | 0,5                     | 0,6                              | 0   | 0   | 0   | 0   |
|         | 0,8                     | 0,7                              | 0   | 0   | 0   | 0   |
|         | 1,0                     | 0,7                              | 0,1 | 0   | 0   | 0   |
|         | 1,25                    | 0,8                              | 0,4 | 0   | 0   | 0   |
|         | 2,0                     | 1,2                              | 0,5 | 0,2 | 0   | 0   |
| 0,5     | 0,5                     | 1,3                              | 0,3 | 0   | 0   | 0   |
|         | 0,8                     | 1,5                              | 0,5 | 0,2 | 0   | 0   |
|         | 1,0                     | 1,6                              | 0,6 | 0,2 | 0   | 0   |
|         | 1,25                    | 1,9                              | 1,0 | 0,5 | 0   | 0   |
|         | 2,0                     | 4,9                              | 1,6 | 0,8 | 0,3 | 0   |
| 0,33    | 0,5                     | 1,8                              | 0,5 | 0,1 | 0   | 0   |
|         | 0,8                     | 2,0                              | 0,9 | 0,3 | 0   | 0   |
|         | 1,0                     | 2,3                              | 0,9 | 0,4 | 0   | 0   |
|         | 1,25                    | 2,8                              | 1,5 | 0,8 | 0,2 | 0   |
|         | 2,0                     | 13,0                             | 2,6 | 1,2 | 0,5 | 0,3 |

Untuk setengah jalur kolom yang sejajar dengan suatu tepi luar, adalah konservatif dan diizinkan untuk menggunakan harga  $\alpha_c$  yang dihitung untuk kolom dalam yang berdekatan jika ukurannya sama dengan kolom-luar.

---

## PROSEDUR PENGHITUNGAN MOMEN LONGITUDINAL

Berdasarkan penjelasan latar belakang untuk distribusi momen statis total terfaktor  $M_o$  dalam arah memanjang dan untuk modifikasi dari momen positif akibat dari pola pembebanan seperti dalam sub bab sebelumnya maka perhitungan momen-momen di arah memanjang dengan Metoda Perencanaan Langsung dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 1) Memeriksa apakah enam batasan untuk Metoda Perencanaan Langsung dipenuhi.
- 2) Menghitung momen statis total  $M_o = W_u L_2 L_n^2/8$  sebagaimana yang diberikan oleh persamaan (5.3), perlu diperhatikan bahwa  $L_n$  tidak boleh kurang dari  $0,65 L_1$ .

- 3) Menghitung kekakuan pelat

$$K_s = \frac{4EI_s}{L_1}, I_s = \sum L_2 \left( \frac{t^2}{12} \right) \dots\dots\dots(5.10)$$

- 4) Menghitung momen inersia  $I_b$  dari balok memanjang (jika ada) dan kekakuannya

$$K_b = \frac{4E_{cb}I_b}{L_2} \dots\dots\dots(5.11)$$

- 5) Menghitung kekakuan kolom

$$\sum K_c = K_{c1} + K_{c2} = \frac{4EI_{c1}}{L_{c1}} + \frac{4EI_{c2}}{L_{c2}} \dots\dots\dots(5.12)$$

- 6) Memperhitungkan perbandingan  $\alpha$  dari kekakuan balok memanjang terhadap kekakuan pelat dengan  $\alpha = (E_{cb}/I_b) / (E_{cs}/I_s)$  dan dengan harga dari  $\beta_s = (\text{beban mati layan}/\text{beban hidup layan})$ , didapatkan harga  $\alpha_{\min}$  dari Tabel 5.5.

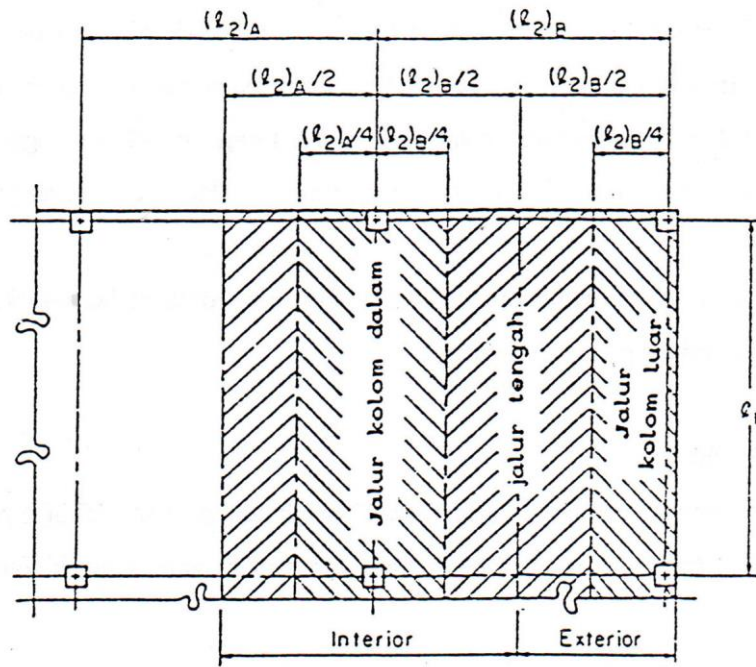
- 
- 7) Untuk bentang-bentang luar dan dalam, menghitung perbandingan dari kekakuan lentur dari kolom-kolom atas dan bawah terhadap kekakuan lentur kombinasi dari pelat dan balok (jika ada) pada kedua pihak dari kolom dengan rumus berikut :

$$\alpha_c = \frac{K_{c1} + K_{c2}}{\sum K_s + \sum K_b} \dots\dots\dots(5.13)$$

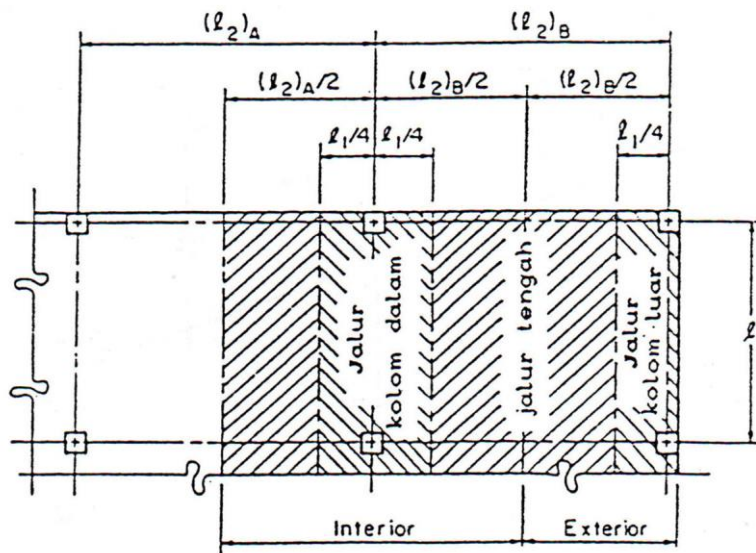
- 8) Jika nilai dari  $\alpha_c$  yang dihitung dalam langkah 7 tidak mencapai  $\alpha_{min}$  yang diberikan dalam Tabel 5.5 momen-momen positif  $M_{pos}$  harus dinaikkan untuk pengaruh pola pembebanan dengan faktor pengali  $\delta_{s2}$ , persamaan (5.1) jika  $\alpha_c / \alpha_{min}$  melebihi 1,0 ambil  $\delta_s = 1$  (tidak ada pengaruh pola pembebanan).
- 9) Mendapatkan ketiga ordinat kritis pada diagram momen longitudinal untuk bentang-bentang luar dan dalam dengan menggunakan Gambar 5.10 dan Gambar 5.11 dan kalikanlah momen-momen positif dengan  $\delta_s$  untuk bentang tersebut bila  $\delta_s$  lebih besar dari 1,0.

**DISTRIBUSI TRANSVERSAL DARI MOMEN LONGITUDINAL**

Harga-harga momen longitudinal yang diperoleh dengan Metode Perencanaan Langsung atau dengan Metode Portal Ekuivalen adalah untuk keseluruhan lebar (jumlah dari dua parohan lebar panel didalam arah transversal, untuk garis kolom-dalam) dari portal kaku ekuivalen. Masing-masing momen ini harus dibagikan antara jalur kolom dan kedua parohan jalur tengah seperti yang didefinisikan dalam Gambar 5.14.



(a). Jalur kolom untuk  $l_2 > l_1$



(b). Jalur kolom untuk  $l_2 > l_1$

Gambar 5.14 **Definisi dari jalur kolom dan jalur tengah (ACI, 1983)**

Jika dua bentang transversal yang berdekatan adalah masing-masing  $L_2$ , maka lebar dari jalur kolom menjadi sama dengan setengah  $l_2$ , atau setengah bentang longitudinal  $l_1$  tergantung mana yang lebih kecil. Untuk garis kolom luar (tepi) lebar jalur kolom seperempat dari  $l_1$  atau seperempat  $l_2$  tergantung mana yang lebih kecil.

Distribusi transversal dari momen longitudinal terhadap jalur kolom dan jalur tengah merupakan fungsi dari tiga parameter, yang menggunakan  $l_1$  dan  $l_2$  untuk masing-masing bentang longitudinal dan transversal :

- 1) Perbandingan aspek  $l_1/l_2$
- 2) Perbandingan  $\alpha_1 = E_{cb} I_b / (E_{cs} I_s)$  dari kekakuan balok longitudinal terhadap kekakuan pelat
- 3) Perbandingan  $\beta_1 = E_{cb} C / (2E_{cs} I_s)$  dari kekakuan torsi penampang balok tepi terhadap kekakuan lentur dari pelat yang lebarnya sama dengan panjang bentang dari balok tepi.

Menurut SNI 03-2847-2002, pasal 3.6.6.4) jalur kolom harus memikul momen longitudinal dengan persentase seperti terlihat dalam Tabel 5.6.

**Tabel 5.6 Persentase dari momen arah memanjang dalam jalur kolom (SNI 03-2847-2002)**

| Perbandingan ukuran $l_1/l_2$    |  | 0,5 | 1,0 | 2,0 |
|----------------------------------|--|-----|-----|-----|
| Momen negatif pada tumpuan luar  | $\alpha_1 l_1/l_2 = 0$ $\beta_1 = 0$   | 100 | 100 | 100 |
|                                  | $\beta_1 \geq 2,5$                     | 75  | 75  | 75  |
|                                  | $\alpha_1 l_1/l_2 = 1,0$ $\beta_1 = 0$ | 100 | 100 | 100 |
|                                  | $\beta_1 \geq 2,5$                     | 90  | 75  | 45  |
| Momen positif                    | $\alpha_1 l_1/l_2 = 0$                 | 60  | 60  | 60  |
|                                  | $\alpha_1 l_1/l_2 \geq 1,0$            | 90  | 75  | 95  |
| Momen negatif pada tumpuan dalam | $\alpha_1 l_1/l_2 = 0$                 | 75  | 75  | 75  |
|                                  | $\alpha_1 l_1/l_2 \geq 1,0$            | 90  | 75  | 45  |

---

Seperti yang terlihat pada Tabel 5.6 hanya dua parameter pertama yang mempengaruhi distribusi transversal dari momen negatif pada tumpuan pertama dan tumpuan dalam cirian sebagaimana juga momen-momen positif di dalam bentang-bentang luar dan dalam, namun ketiga parameter di atas dicakup di dalam distribusi transversal dari momen negatif pada tumpuan luar.

Bila tumpuan terdiri dari kolom atau dinding menerus sejarak sama atau lebih dari tiga perempat bentang  $l_2$  yang digunakan untuk menghitung  $M_o$  momen negatif harus dianggap terbagi merata, (SNI 03-2847-2002, pasal 3.6.6.4).(3)).

Untuk pelat dengan balok diantara tumpuannya bagian pelat yang masuk jalur kolom harus diprioritaskan untuk memikul bagian momen jalur kolom yang tidak dipikul oleh balok kolom, (SNI 03-2847-2002, pasal 3.6.6.4).(4)).

Prosedur untuk menyebarkan momen longitudinal diarah lebar transversal dapat disimpulkan sebagai berikut, (Wang, 1985) :

- 1) Membagi lebar transversal total yang berlaku untuk momen longitudinal menjadi suatu jalur kolom dan dua parohan lebar jalur tengah yang masing-masing berdekatan dengan jalur kolom. Untuk garis kolom luar, lebar jalur kolom adalah yang terkecil dari  $l/4 l_1$  dan  $l/4 l_2$  untuk garis kolom dalam, lebar jalur kolom adalah yang terkecil dari penjumlahan  $\sum l/4 l_1$  atau  $\sum l/4 l_2$  dari panel-panel di kedua belah pihak.
- 2) Menentukan perbandingan  $\beta_1 = E_{cb} C / (E_{cs} I_s)$  dari kekakuan torsi balok tepi terhadap kekakuan lentur pelat. (catatan : faktor-faktor dalam penyebut timbul dari pendekatan modulus elastisitas geser dalam pembilang dengan  $E_{cb}/2$ )

- 
- 3) Menentukan perbandingan  $\alpha_1 = E_{cb} I_b / (E_{cs} I_s)$  dari kekakuan dan lentur balok longitudinal terhadap kekakuan lentur pelat.
  - 4) Membagi momen longitudinal pada setiap penampang kritis atas dua bagian menurut persentase yang diberikan oleh Tabel 5.6 sebagian kepada lebar jalur kolom, dan sisinya kepada parohan jalur tengah untuk garis kolom-luar, atau kepada parohan-parohan pada setiap pihak dan garis kolom-dalam.
  - 5) Jika terdapat dinding luar pada garis kolom luar, maka jalur yang biasanya disebut kolom-luar tidak akan melendut dengan demikian tidak ada lateral parohan jalur tengah yang berdekatan dengan dinding. Parohan jalur momen-momen sehingga tidak akan ada momen yang harus disebabkan secara lateral kepada parohan jalur tengah yang berdekatan dengan dinding. Parohan jalur tengah ini harus disatukan dengan parohan jalur tengah yang bersebelahan berikutnya, yang juga menerima distribusi lateral dalam portal pada garis kolom dalam yang pertama. Jalur tengah total dalam keadaan ini direncanakan untuk dua kali momen di dalam parohan jalur tengah dan garis kolom dalam pertama (SNI 03-2847-2002, pasal 3.6.6.6.)
  - 6) Jika di dalam jalur kolom terdapat balok longitudinal sepanjang garis pusat kolom, maka momen jalur kolom harus dibagikan pada pelat dan balok. SNI 03-2847-2002, pasal 3.6.6.5) menetapkan bahwa 85% dari momen jalur kolom harus dipikul oleh balok jika  $\alpha_1 l_1/l_2$  sama atau lebih besar 1,0 dan sebagai interpolasi linier antara 85% dan 0% untuk harga  $\alpha_1 l_1/l_2$  yang berada antara 1,0 dan 0. Sisa persentase untuk balok dibagikan pada pelat.

---

## PEMINDAHAN MOMEN DAN GESER PADA PERTEMUAN ANTARA PELAT DAN KOLOM

Untuk kolom-kolom dan pelat yang bertemu pada titik-titik buhul secara monolit, diperlukan pemindahan momen dan geser antara pelat dan ujung-ujung kolom. Momen-momen dapat ditimbulkan oleh beban-beban lateral akibat pengaruh angin atau gempa yang bekerja pada portal bertingkat banyak atau oleh beban-beban gravitasi yang tidak berimbang. SNI 03-2847-2002 menetapkan momen tidak berimbang pada suatu kolom-dalam sebagai berikut :

$$M_u = 0,07[(W_d + 0,5W_1)l_n I_n^2 - W_d' l_1' (l_2')^2] \quad (5.14)$$

Dimana

$W_d$  = beban mati terfaktor per satuan luas

$W_1$  = beban hidup terfaktor per satuan luas

$W_d', l_1', l_2', l_n'$  = besaran-besaran yang berkenaan dengan bentang pendek

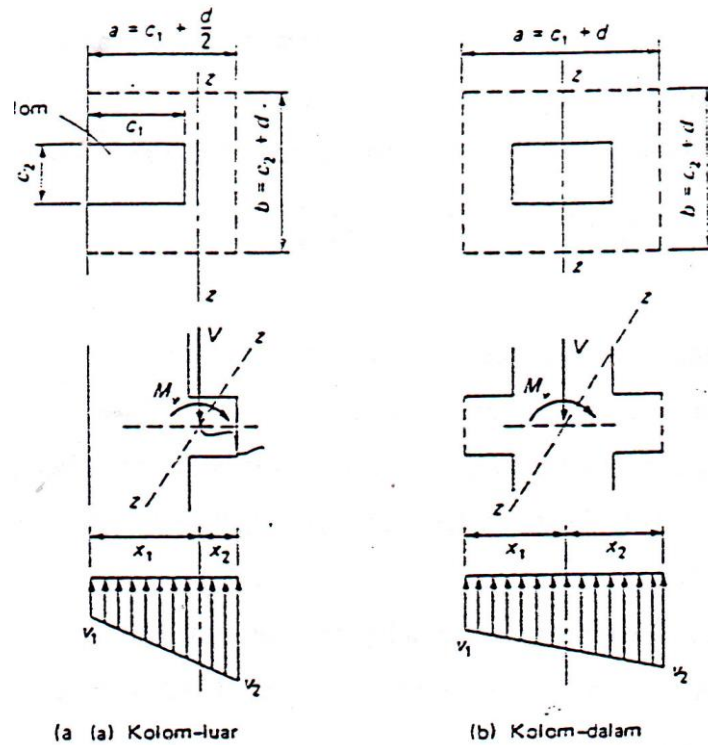
Momen di atas masih harus dibagikan di antara kedua ujung dari kolom atas dan kolom bawah yang bertemu dalam titik buhul. SNI 03-2847-2002, pasal 3.6.63.3) mensyaratkan pembagian dari momen terfaktor total  $M_u$  terhadap  $M_b$  yang dipindahkan oleh lentur persamaan (5.15) dan  $M_v$  yang dipindahkan oleh geser persamaan (5.16) sebagai berikut :

$$M_b = \frac{M_u}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{c_1 + d}{c_2 + d}}} \quad (5.15)$$

$$M_v = M_u - M_b \quad (5.16)$$

Momen  $M_b$  dianggap diperoleh melalui pelat selebar  $(c_2 + 1,5h)$ ,  $h$  tebal pelat atau pertebalan. Pemusatan dari penulangan di dalam lebar ini dengan spasi yang lebih kecil atau dengan penambahan tulangan dapat digunakan untuk memikul momen ini.

Momen  $M_v$  yang dipindahkan oleh geser ( $V_u$ ) yang bersangkutan pada titik pusat dari pemukulan geser keliling yang berada sejauh  $d/2$  dari sisi-sisi kolom, lihat Gambar 5.15.



Gambar 5.15 Pemindahan geser dari momen ke kolom

Dengan melihat Gambar 5.15, maka

$$V_1 = \frac{V_u}{\phi A_c} - \frac{M_v \cdot x_1}{\phi J_c} \quad (5.17)$$

$$V_2 = \frac{V_u}{\phi A_c} - \frac{M_v \cdot x_2}{\phi J_c} \quad (5.18)$$

Dimana  $J_c$  analog dengan momen inersia polar terhadap sumbu z-z. Untuk kolom luar  $x_1$  dan  $x_2$  diperoleh dengan menempatkan geser vertikal berupa profil kanal yang dinyatakan dengan garis putus-putus ( $a+b+c$ ) pada Gambar 5.15.

---

$$A_c = (2a + b)d$$

$$J_c = d \left[ \frac{2a^3}{3} - (2a + b)(x_2)^2 \right] + \frac{ad^3}{6} \quad (5.19)$$

Untuk kolom dalam

$$A_c = 2(a + b)d$$

$$J_c = d \left[ \frac{a^3}{6} + \frac{ba^2}{2} \right] + \frac{ad^3}{6} \quad (5.20)$$

Menurut SNI 03-2847-2002, pasal 3.4.12.2).(4) tegangan geser  $V_2$  (yang lebih besar dalam Gambar 3.27 harus kurang dari  $V_c = \phi \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \frac{\sqrt{f'_c}}{6}$  tetapi tidak lebih besar dari  $\frac{\sqrt{f'_c}}{3}$ . Kalau tidak dipenuhi harus digunakan tulangan geser.

## **PENULANGAN LENTUR PELAT**

Penulangan lentur pelat dapat dilakukan apabila sudah ditetapkan tebal pelat ( $h$ ), mutu beton ( $f'_c$ ) mutu baja ( $f_y$ ) dan momen rencana ( $M_R$ ). Penulangan ini dapat dilakukan dengan mudah dengan bantuan tabel-tabel rasio tulangan, lihat lampiran 10 sampai lampiran 15. Prosedur hitungan dapat disusun seperti langkah-langkah berikut :

1. Menentukan tinggi efektif ( $d$ ) dari tebal pelat yang sudah ditentukan
2. Menentukan lebar tinjauan pelat ( $b$ ), biasanya ditinjau tiap satu meter lebar.
3. Menhitung harga  $M_u/bd^2$  dalam satuan  $\text{kN/m}^2$ , dimana harga  $M_u = M_R / \phi$
4. Membaca rasio tulangan ( $\rho$ ) pada tabel dalam lampiran 10 sampai 15 berdasarkan mutu beton ( $f'_c$ ) mutu baja ( $f_y$ ) dan harga  $M_u/bd^2$

- 
5. Menghitung  $A_s$  dengan  $A_s = \rho b d 10^6 \text{ mm}^2$  bila  $b$  dan  $d$  dalam mm atau  $A_s = b d 10^4 \text{ cm}^2$  bila  $b$  dan  $d$  dalam m.
  6. Periksa apakah  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$
  7. Pilih tulangan dan jarak antar tulangan berdasarkan persyaratan jarak antar tulangan dan selimut beton.

### **ANALISIS KAPASITAS LENTUR**

Hitungan analisis kapasitas lentur tampang pelat dapat dilakukan jika diketahui tinggi efektif pelat ( $d$ ) mutu beton ( $f_c'$ ) mutu baja ( $f_y$ ) luas dan diameter tulangan. Prosedur hitungan kapasitas lentur dapat disusun seperti langkah-langkah berikut :

1. Menentukan lebar tinjauan pelat ( $b$ ) biasanya ditinjau tiap satu meter lebar pelat.
2. Menentukan luas total tulangan yang ada ( $A_{s \text{ ada}}$ ) per meter lebar yang ditinjau.
3. Menentukan harga  $a$

$$a = \frac{(A_{s \text{ ada}}) f_y}{0,85 f_c' b} \quad (5.21)$$

4. Menghitung harga momen  $M_u$

$$M_u = A_{s \text{ ada}} \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (5.22)$$

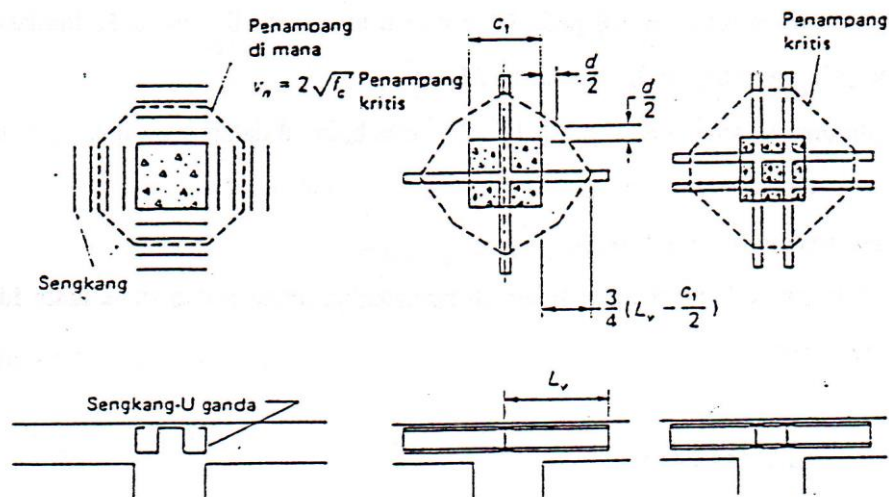
5. Menentukan harga momen nominal ( $M_n$ )

$$M_n = \phi M_u > M \text{ rencana } (M_R)$$

Bila langkah terakhir dipenuhi maka penulangan lentur pelat tersebut memenuhi syarat lentur jadi aman terhadap lentur.

## TULANGAN GESER DI DALAM PELAT DATAR

Pada lantai pelat datar dimana tidak digunakan kepala kolom atau pertebalan pelat sering diperlukan tulangan geser. Dalam kasus demikian umumnya aksi dua arah adalah menentukan Tulangan geser dapat berupa tulangan yang diangkerkan (Gambar 5.16(a)) atau kepala geser berupa profil baja I atau kanal yang dilas menjadi 4 (atau 3 untuk kolom luar) dengan yang identik saling tegak lurus satu sama lain tanpa pemutusan di dalam penampang kolom, lihat Gambar 5.16(b).



Gambar 5.16 Penulangan batang dari kepala geser dalam lantai pelat datar, (Wang, 1985)

Jika digunakan tulangan geser, maka kekuatan nominal adalah :

$$V_n = V_c + V_s = \left( \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) b_o \cdot d + \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (5.23)$$

Dimana

- $B_o$  = keliling penampang kritis untuk aksi geser dia arah
- $A_v$  = luas total sengkang keliling  $b_o$
- $s$  = spasi tulang geser

tulangan geser diperlukan jika  $V_u > \phi V_c$ , sedangkan  $V_c$  sebesar  $(1+2/\beta)(\sqrt{f_c'}/6) b_o d$  atau maksimum sebesar  $(\sqrt{f_c'}/6) b_o d$ .

Jika digunakan kepala geser menurut SNI 03-2847-2002, pasal 3,4,11,4). Ukuran kepala geser harus memberikan perbandingan  $\alpha_v$  sebesar 0,15 atau lebih antara kekakuan dari setiap lengan geser ( $E_s I_x$ ) dan kekakuan dari penampang retak pelat komposit sebesar  $c^2+d$  atau

$$\alpha_{v \min} = \frac{E_s \cdot I_x}{E_c (I_{komposit})} = 0,15 \dots\dots\dots(5.24)$$

Baja yang digunakan tidak boleh diambil melebihi 70 kali tebal badan profil dan flens tekan harus ditempatkan di dalam  $0,3d$  dari permukaan tekan pelat. Kapasitas momen dari lengan kepala geser harus dihitung dengan

$$\phi M_p = \frac{V_u}{2\eta} \left[ h_v + \alpha_v \left( l_v - \frac{c_1}{2} \right) \right] \dots\dots\dots(5.25)$$

Dimana

- $\eta$  = jumlah lengan kepala geser yang identik
- $V_u$  = gaya geser terfaktor sekitar keliling sisi kolom
- $h_v$  = tinggi dari kepala geser
- $l_v$  = panjang kepala geser terhitung dari garis pusat kolom
- $\phi$  = factor reduksi kekuatan

Panjang kepala geser harus sedemikian sehingga kekuatan nominal geser  $V_n$  tidak akan melampaui  $(\sqrt{f_c}/3)b_o d$  yang dihitung pada keliling penampang yang ditempatkan sejarak  $\frac{3}{4} (l_v - c_1/2)$  sepanjang kepala geser namun dimana-mana tidak lebih dekat dari  $d/2$  dari sisi kolom (SNI 03-2847-2002, pasal 3.4.11.4).(7) atau lihat Gambar 5.16(b).

---

Pemakaian kepala geser dianggap menyumbang momen sebesar

$$M_v = \phi \frac{\alpha_v V_u}{2\eta} \left( l_v - \frac{c_1}{2} \right) \quad (5.26)$$

Terhadap jalur kolom, namun tidak melebihi 30% momen total terfaktor yang perlu untuk setiap jalur kolom atau perubahan dalam momen jalur kolom sepanjang  $l_v$  atau juga nilai dari  $M_p$  pada pers (5.25).

### **BUKAAN LUBANG DI DALAM SISTEM PELAT**

SNI 03-2847-2002, pasal 3.6.5.1) membahas secara umum bahwa bukaan dengan segala unuran dapat dibuat asalkan dengan analisa dapat ditunjukkan bahwa semua persyaratan untuk kekakuan dan kelayakan termasuk batasan lendutan dapat dipenuhi. Namun demikian dalam keadaan yang biasa (SNI 03-2847-2002, pasal 3.6.5.2) tidak diperlukan suatu analisa khusus untuk sistem pelat tanpa balok bila :

1. Bukan lubang dengan sebarang ukuran boleh diletakkan di daerah pertemuan jalur tengah dengan syarat jumlah tulangan yang dibutuhkan untuk pelat tanpa bukaan tetap dipertahankan.
2. Di daerah pertemuan antar jalur kolom, bukan lubang kayu boleh diadakan bila lebarnya tidak melebihi seperdelapan lebar jalur kolom pada tiap bentang. Suatu jumlah tulangan yang ekuivalen dengan jumlah tulangan yang terputus di daerah bukaan tersebut harus ditambahkan pada sisi lubang bukaan.
3. Didaerah pertemuan dari jalur kolom dan jalur tengah, jumlah tulangan pada tiap jalur yang terputus oleh lubang bukaan tidak boleh lebih dari seperempat jumlah tulangan yang terdapat pada masing-masing jalur. Suatu jumlah tulangan yang ekuivalen dengan jumlah tulangan yang terputus di daerah bukaan tersebut harus ditambahkan pada sisi lubang bukaan.

---

## **PENGGAMBARAN DAN PENULANGAN PELAT**

Gambar tulangan harus jelas dan tidak meragukan. Pada denah umumnya batang-batang tulangan digambar dari atas kebawah. Bila gambar "dibaca" dari atas ke bawah maka yang pertama ditemukan adalah tulangan atas dan dibawahnya adalah tulangan bawah. Apabila dipakai batang yang dibengkokkan, urutannya dari atas ke bawah sebagai batang lurus dari jaringan bagian atas, kemudian batang yang dibengkokkan selanjutnya batang lurus dari jaringan bawah.

Untuk pelat satu arah tulangan yang terletak tegak lurus terhadap tulangan utama dan lapisan kedua dari luar adalah tulangan susut dan suhu (pembagian).

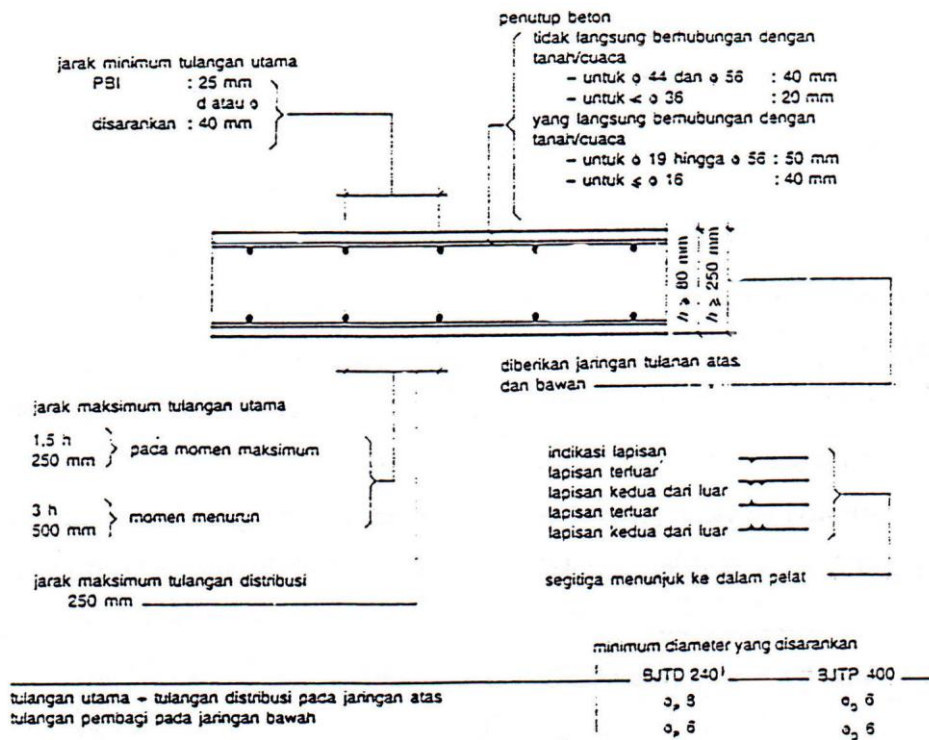
Bila ada beberapa batang yang sama serta jarak pusat ke pusatnya juga sama besar, maka hanya satu batang yang akan digambar. Di atas batang tulangan ditulis keterangan diameter batang dan jarak antar pusat tulangan.

Tiap bentang lantai diberi tanda tiga lingkaran atau satu lingkaran dibagi tiga, bagian kiri atas menunjukkan jenis pelat lantai biasanya memakai simbol huruf kapital. Bagian kanan atas menunjukkan tebal pelat, dan bagian bawah menunjukkan elevasi.

Jarak antar tulangan harus cukup lebar agar butir agregat dapat melalui rongga anyaman, tetapi tidak boleh sedemikian lebar sehingga distribusi gaya-gaya pada tulangan terganggu.

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 3.16.6., jarak bersih antar tulangan yang sejajar yang selapis tidak boleh kurang dari  $d_b$  ataupun 25 mm. Untuk tulangan lentur utama harus berjarak maksimal tiga kali tebal pelat (3h) ataupun 500 mm.

Disarankan tidak menggunakan baja tulangan polos lebih kecil dari  $\phi_p = 8$ , baik untuk tulangan utama maupun untuk tulangan pembagibagian jaringan atas agar mencapai jaringan penulangan yang cukup kaku. Tulangan pembagi jaringan bawah umumnya tidak dipilih lebih kecil dari pada 6 mm, untuk tulangan deform dapat dipakai diameter  $\phi_d = 6$  serta diameter  $\phi_d = 5$ . Lihat Gambar 5.17 "syarat-syarat agar mendapat penulangan yang baik" (Kusuma, 1993).



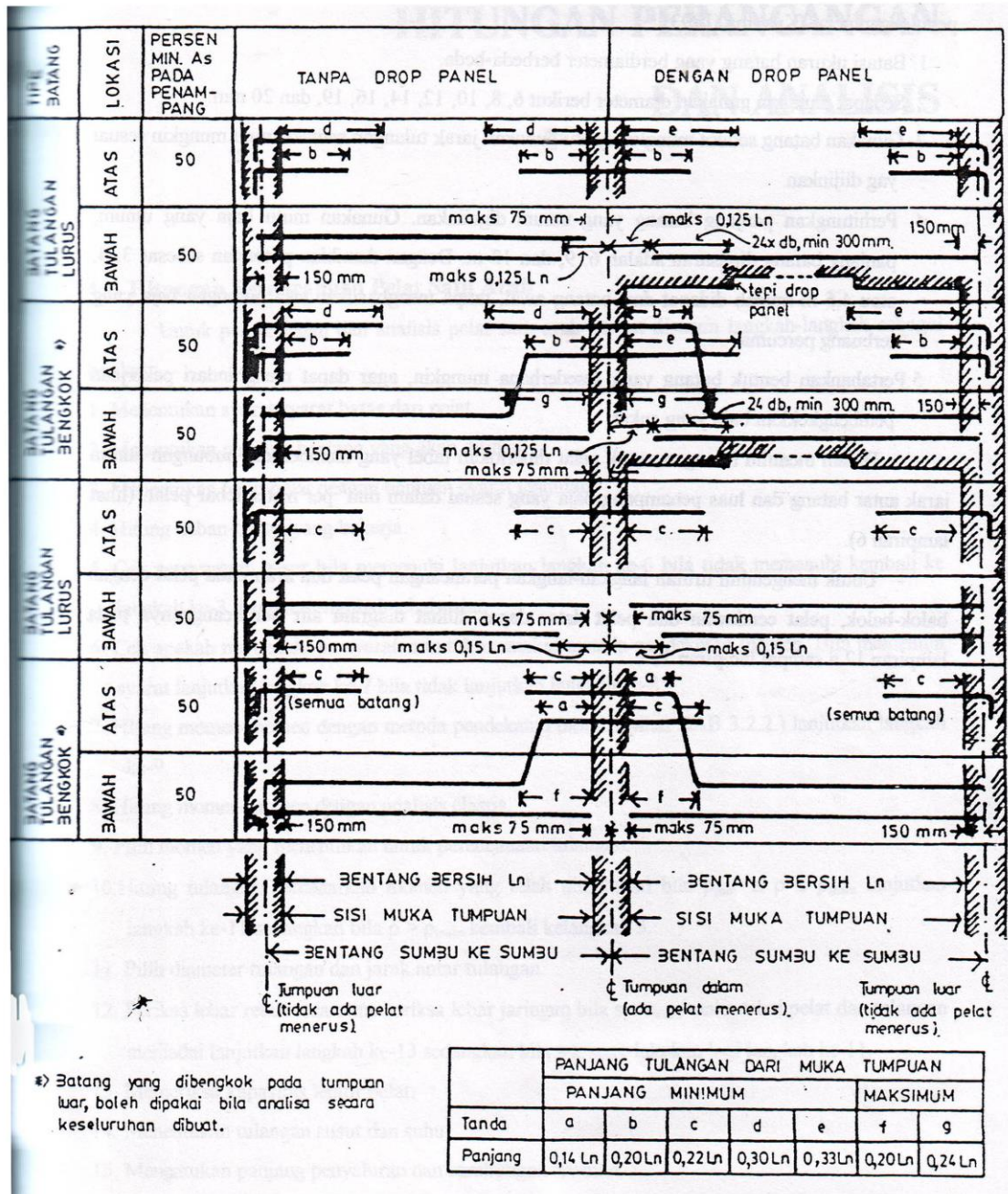
Gambar 5.17 **Syarat-syarat untuk tulangan dan pelat** (Kusuma, 1993)

---

Untuk sistem pelat dua arah menurut SNI 03-2847-2002 pasal 3.6.4 persyaratan penulangan untuk jarak antar tulangan pada penampang kritis maksimal dua kali tebal pelat ( $2h$ ). Tulangan momen positif yang tegak lurus terhadap suatu tepi yang tidak menerus harus dilanjutkan sampai tepi pelat dan harus tertanam, lurus atau berkait, paling sedikit 150 mm ke dalam balok spandrel, kolom atau dinding.

Bila pelat tidak didukung balok spandrel atau dinding pada tepiannya yang menerus, atau bila suatu pelat menjorok membentuk kantilever yang melewati pemikulnya, penjangkaran tulangannya dapat diadakan di dalam pelat itu sendiri. Untuk pelat yang mempunyai beberapa balok diantara tumpuannya dengan rasio  $a > 1,0$  pada ujung luar harus disediakan tulangan atas dan bawah. Kedua tulangan atas dan bawah harus mampu memikul suatu momen yang sama dengan momen positif maksimum (per meter lebar) di dalam pelat, dan harus dipasang pada setiap arah untuk jarak sebesar, dari sudut.

Detail tulangan pelat tanpa balok menurut SNI 03-2847-2002 pasal 3.6.4.8). harus mempunyai letak titik pembengkokan dan perpanjangan tulangan minimum menurut Gambar 5.18. Bila bentang yang bersebelahan tidak sama panjangnya, maka perpanjangan tulangan negatif yang melampaui bidang perletakan seperti yang ditetapkan dalam Gambar 5.18, harus didasarkan pada kebutuhan bentang yang lebih panjang. Batang yang dibengkokkan hanya boleh digunakan bila rasio tebal pelat terhadap panjang bentang mengizinkan menggunakan sudut bengkokkan  $45^\circ$  atau kurang. Untuk pelat dalam rangka struktur yang dapat bergoyang dan untuk pelat yang menahan beban lateral, panjang tulangan harus ditentukan dengan analisis tetapi tidak boleh kurang dari panjang yang ditetapkan dalam Gambar 5.18.



Gambar 5.18. Lokasi bengkokan minimum dan perpanjangan untuk tulangan di dalam pelat tanpa balok. (SNI 03-2847-2002)

---

Untuk pertimbangan ekonomis ada beberapa peraturan praktis yang dapat diikuti untuk penulangan pelat (Kusuma, 1993) :

1. Batasi ukuran batang yang berdiameter berbeda-beda.
2. Sedapat mungkin gunakan diameter berikut 6, 8, 10, 12, 14, 16, 19 dan 20 mm.
3. Gunakan batang sedikit mungkin, yaitu gunakan jarak tulangan semaksimal mungkin sesuai yang diijinkan.
4. Perhitungkan panjang batang yang umum digunakan. Gunakan mutu baja yang umum. Panjang batang dipasaran adalah 6, 9, dan 12 m. Dengan demikian potongan baja yang terbuang percuma.
5. Pertahankan bentuk batang yang sederhana mungkin, agar dapat menghindari pekerjaan pembengkokkan baja yang sukar.

Dalam memilih tulangan untuk pelat diperlukan tabel yang memberikan hubungan antara jarak antar batang dan luas penampang baja yang sesuai dalam mm<sup>2</sup> per meter lebar pelat. (lihat lampiran 6).

Untuk mengetahui urutan langkah-langkah perancangan pelat dua arah pada pelat dengan balok-balok, pelat cendawan dan pelat datar dapat dilihat diagram aliran perancangannya pada lampiran 12a sampai lampiran 12c.

---

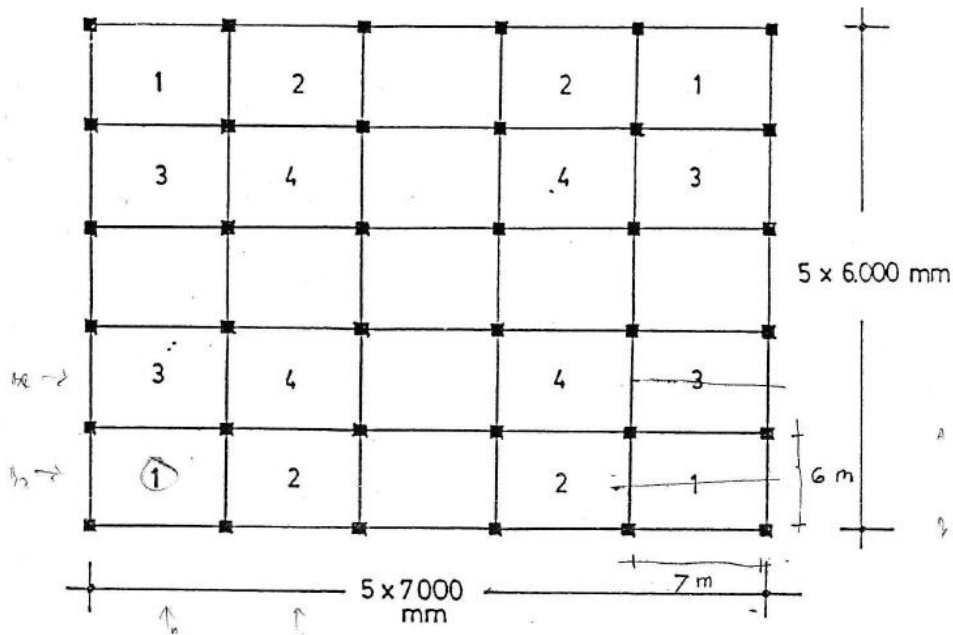
## HITUNGAN PERANCANGAN PELAT DUA ARAH CARA SNI 03-2847-2002

Hitungan perancangan pelat dua arah dapat disusun langkah-langkah perencanaan seperti berikut:

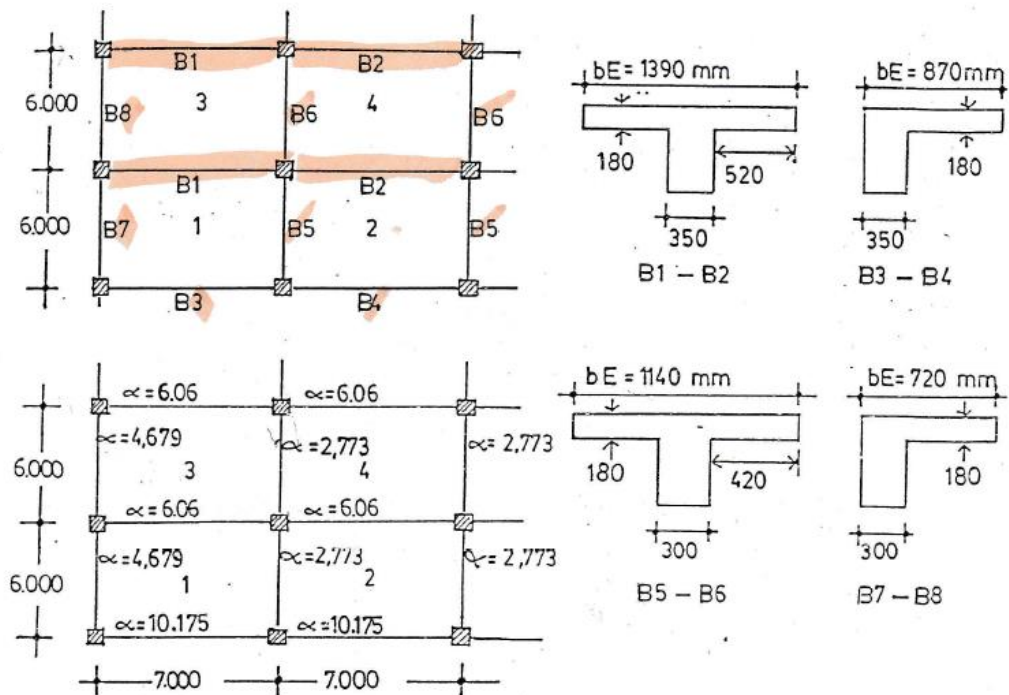
1. Menyusun data perencanaan meliputi susunan pelat lantai dimensinya beban hidup beban mati (selain berat sendiri) tegangan beton ( $f_c'$ ) dan tegangan baja ( $f_y$ ).
2. Menentukan perbandingan kekakuan relative dari balok memanjang terhadap pelat jika jenisnya pelat dengan balok
3. Menentukan tebal pelat berdasarkan persyaratan lendutan dan persyaratan geser.
4. Cek apakah pelat memenuhi batasan-batasan metoda perancangan langsung atau tidak. Jika memenuhi lanjutkan langkah ke-6 jika tidak memenuhi kerjakan dengan Metoda Portal Ekuivalen (langkah ke-5).
5. Menghitung dengan Metoda Portal Ekuivalen.
6. Menghitung momen stasi total  $M_o = 1/8 (W_u l_2 l_n^2)$ .
7. Menghitung kekakuan pelat ( $K_s$ ).
8. Menghitung momen inersia balok memanjang ( $I_b$ ) jika ada.
9. Menghitung kekakuan kolom ( $K_c$ ).
10. Menentukan harga  $\alpha_{min}$  berdasarkan perbandingan  $\alpha$  dari kekakuan balok memanjang terhadap kekakuan pelat dan harga dari  $\beta_1$ .
11. Menghitung perbandingan perbandingan  $\alpha_c$  dari kekakuan kolom atas dan bawah terhadap kekakuan lentur kombinasi dari pelat.
12. Jika harga  $\alpha_c < \alpha_{min}$  momen-momen positif harus dinaikkan untuk pengaruh pola pembebanan dengan faktor pengali  $\delta_s$ .
13. Menentukan distribusi momen di arah longitudinal berdasarkan Tabel 3.9. kalikan momen-momen positif dengan  $\delta_s$  bila  $\delta_s > 1,0$ .

- 
14. Menyebarkan momen longitudinal di arah lebar transferal dengan membagi lebar transferal total menjadi jalur kolom dan jalur tengah.
  15. Menentukan perbandingan  $\beta_1$  dari kekakuan torsi balok tepi terhadap kekakuan lentur pelat.
  16. Menentukan perbandingan  $\alpha_1$  dari kekakuan lentur balok longitudinal terhadap kekakuan pelat.
  17. Membagi momen longitudinal pada setiap penampang kritis menjadi dua bagian menurut prosentase yang diberikan oleh Tabel 3.11.
  18. Menghitung tulangan pelat berdasarkan momen yang paling menentukan.
  19. Menentukan diameter dan jarak antar tulangan berdasarkan persyaratan jarak antar tulangan dan persyaratan retak.
  20. Cek kapasitas lentur tampang tulangan pelat lantai.
  21. Hitung panjang penyaluran dan panjang sambungan lewatan.
  22. Menggambar denah penulangan dan potongan melintang pelat lantai.

### **Contoh 3. Perencanaan pelat dua arah dengan balok-balok.**



### Denah plat contoh perencanaan Plat dengan Balok



### Perhitungan nilai alpa

Rencanakan pelat lantai dua arah dengan ukuran seperti terlihat pada Gambar 4.3. Luas dibagi atas 25 panel dengan masing-masing ukuran

---

7000 x 6000 mm. Kekuatan beton ( $f_c'$ ) = 30 MPa kekuatan baja ( $f_y$ ) = 400 MPa. Beban hidup layan yang harus dipikul adalah 2,50 kN/m<sup>2</sup>.

Tinggi tingkat 3800 mmm ukurean balok panjang 350 x 700 mm<sup>2</sup> balok pendek 300 x 600 mm<sup>2</sup> kolom atas dan bawah 400 x 4000 mm<sup>2</sup> tebal pelat lantai asumsi awal 180 mm. keempat jenis panel (sudut pinggir sisi panjang, pinggir sisi pendek dan dalam) diberi nomor 1, 2, 3, dan 4.

---

### Penyelesaian:

1. Data perencanaan sudah tersusun dalam soal.
2. Menentukan perbandingan kekakuan relatif balok memanjang terhadap pelat digunakan untuk panel 1,2,3 dan 4.

a)  $B_1 - B_2$

lebar efektif ( $b_E$ ) diambil yang terkecil dari  $b_E$  berikut ini:

$$\begin{aligned} b_E &= b_w + 2(h - t) = 350 + 2(700 - 180) \\ &= 1390 \text{ mm (digunakan)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_E &= b_w + 8(t) = 350 + 8(180) \\ &= 1790 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\frac{b_E}{b_w} = \frac{1390}{350} = 3,97 \quad ; \quad \frac{t}{h} = \frac{180}{700} = 0,257$$

$$\begin{aligned} k &= \frac{1 + \left(\frac{b_E}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)\left[4 - 6\left(\frac{t}{h}\right) + 4\left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_E}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)^2\right]}{1 + \left(\frac{b_E}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)} \\ &= \frac{1 + (3,97 - 1)(0,257)[4 - 6(0,257) + 4(0,257)^2 + (3,97 - 1)(0,257)^2]}{1 + (3,97 - 1)(0,257)} \\ &= 1,759 \end{aligned}$$

---


$$I_b = k \frac{b_w h^3}{12} = (1,769) \frac{350(700)^3}{12} = 1,7677 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$I_s \frac{6000 (180)^3}{12} = 2,916 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$\alpha = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s} = \frac{1,7677 \times 10^{10}}{2,916 \times 10^9} = 6,06 \quad (\text{dengan } E_{cb} = E_{cs})$$

b) B<sub>3</sub> – B<sub>4</sub>

Lebar efektif ( $b_E$ ) diambil yang terkecil dari  $b_E$  berikut :

$$b_E = b_w + (h - t) = 350 + (700 - 180)$$

$$= 870 \text{ mm (digunakan)}$$

$$b_E = b_w + 4(t) = 350 + 4(180)$$

$$= 1070 \text{ mm}$$

$$\frac{b_E}{b_w} = \frac{870}{350} = 2,846 \quad ; \quad \frac{t}{h} = \frac{180}{700} = 0,257$$

$$k = 1,483$$

$$I_b = k \frac{b_w h^3}{12} = (1,483) \frac{350(700)^3}{12} = 1,484 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$I_s \frac{3000 (180)^3}{12} = 1,458 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$\alpha = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s} = \frac{1,484 \times 10^{10}}{1,458 \times 10^9} \quad (\text{dengan } E_{cb} = E_{cs})$$

$$= 10,175$$

c) B<sub>5</sub> – B<sub>6</sub>

Lebar efektif ( $b_E$ ) diambil yang terkecil dari  $b_E$  berikut:

$$b_E = b_w + 2(h - t) = 300 + 2(600 - 180)$$

---

$$= 1140 \text{ mm}$$

$$b_E = b_w + 8 (t) = 300 + 8 (180)$$

$$= 1740 \text{ mm}$$

$$\frac{b_E}{b_w} = \frac{1140}{300} = 3,8 \quad ; \quad \frac{t}{h} = \frac{180}{600} = 0,3$$

$$k = 1,747$$

$$I_b = k \frac{b_w h^3}{12} = (1,747) \frac{300(600)^3}{12} = 9,434 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_s = \frac{7000 (180)^3}{12} = 3,402 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$\alpha = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s} = \frac{9,434 \times 10^9}{3,402 \times 10^9} \quad (\text{dengan } E_{cb} = E_{cs})$$
$$= 2,773$$

d) B<sub>7</sub> – B<sub>8</sub>

Lebar efektif ( $b_E$ ) diambil yang terkecil dari  $b_E$  berikut:

$$b_E = b_w + (h - t) = 300 + (600 - 180)$$

$$= 720 \text{ mm}$$

$$b_E = b_w + 4 (t) = 300 + 4 (180)$$

$$= 1020 \text{ mm}$$

$$\frac{b_E}{b_w} = \frac{720}{1020} = 2,40 \quad ; \quad \frac{t}{h} = \frac{180}{600} = 0,3$$

$$k = 1,473$$

$$I_b = k \frac{b_w h^3}{12} = (1,473) \frac{300(600)^3}{12} = 7,954 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_s = \frac{3500 (180)^3}{12} = 1,70 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$\alpha = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s} = \frac{7,954 \times 10^9}{1,70 \times 10^9} \quad (\text{dengan } E_{cb} = E_{cs})$$
$$= 4,679$$

---

3. Menentukan tebal pelat berdasarkan persyaratan lendutan dan geser.

Perbandingan rata-rata  $\alpha_m$  dari panel 1,2,3 dan 4

$$\begin{aligned}\alpha_m \text{ panel 1} &= \frac{1}{4} (B_7 + B_1 + B_5 + B_3) \\ &= \frac{1}{4} (4,679 + 6,06 + 2,773 + 10,175) \\ &= 5,922\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha_m \text{ panel 2} &= \frac{1}{4} (B_5 + B_2 + B_5 + B_4) \\ &= \frac{1}{4} (2,773 + 6,06 + 2,773 + 10,175) \\ &= 5,442\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha_m \text{ panel 3} &= \frac{1}{4} (B_8 + B_1 + B_6 + B_1) \\ &= \frac{1}{4} (4,679 + 6,06 + 2,773 + 6,06) \\ &= 4,893\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha_m \text{ panel 4} &= \frac{1}{4} (B_6 + B_2 + B_6 + B_2) \\ &= \frac{1}{4} (2,773 + 6,06 + 2,773 + 6,06) \\ &= 4,416\end{aligned}$$

Koefisien dari bagian yang menerus  $\beta_s$  untuk keliling panel

$$\begin{aligned}\beta_s \text{ panel 1} &= \frac{7000 + 6000}{2(7000 + 6000)} = 0,50\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta_s \text{ panel 2} &= \frac{7000 + 2(6000)}{2(7000 + 6000)} = 0,73\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta_s \text{ panel 3} &= \frac{2(7000) + 6000}{2(7000 + 6000)} = 0,769\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta_s \text{ panel 4} &= \frac{2(7000) + 6000}{2(7000 + 6000)} = 1,00\end{aligned}$$

a) Tebal pelat menurut persyaratan lendutan

Untuk pelat dengan balok tebal pelat (h) tidak boleh kurang dari persamaan (3.18)

$$h = \text{panel 1} \frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 3\beta_s \left[ \alpha_m - 0,12 \left( 1 + \frac{1}{\beta_s} \right) \right]}$$

$$= \frac{6700 \left( 0,8 + \frac{400}{1500} \right)}{36 + 3(0,50) \left[ 5,922 - 0,12 \left( 1 + \frac{1}{0,50} \right) \right]} = 161,168 \text{ mm}$$

juga tidak boleh kurang dari persamaan (3.19)

$$h = \text{panel 1} \frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 9\beta_s}$$

$$= \frac{6700 \left( 0,8 + \frac{400}{1500} \right)}{36 + 9(0,50)} = 176,461 \text{ mm}$$

dan tidak perlu lebih dari persamaan (3.20)

$$h = \text{panel 1} \frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36}$$

$$= \frac{6700 \left( 0,8 + \frac{400}{1500} \right)}{36} = 198,518 \text{ mm}$$

Daftar persamaan tebal pelat untuk tiap panel

| <b>Panel</b>     | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> |
|------------------|----------|----------|----------|----------|
| Persamaan (3.19) | 161,168  | 151,069  | 153,194  | 147,220  |
| Persamaan (3.20) | 176,461  | 167,880  | 166,507  | 158,815  |
| Persamaan (3.21) | 198,518  | 198,518  | 198,518  | 198,518  |
| Asumsi awal      | 180,0    | 180,0    | 180,0    | 180,0    |

Maka tebal pelat (h) = 180 mm memenuhi persyaratan lendutan.

b) Tebal pelat menurut persyaratan geser

---

Karena semua nilai  $l_1 / l_2$  berada jauh di atas 1,0 maka geser rencana pada jalur selebar kolom dalam arah pendek dapat didekati dengan :

$$V_u = 1,15 \frac{W_u S}{2} = (1,15) \frac{(9,472)6}{2}$$
$$= 32,678 \text{ kN}$$

|          |                      |   |   |
|----------|----------------------|---|---|
| Dengan : | $W_d$ pelat          | = | $0,180 \times 24 = 4,32 \text{ kN/m}^2$   |
|          | $W_d$ penutup lantai | = | <u><math>0,24 \text{ kN/m}^2</math></u> + |
|          | $W_d$ total          | = | $4,56 \text{ kN/m}^2$                     |
|          | $W_l$ beban hidup    | = | $2,50 \text{ kN/m}^2$                     |

$$W_u = 1,2 (W_d) + 1,6 (W_l)$$
$$= 1,2(4,56) + 1,6(2,5) = 9,472 \text{ kN/m}^2$$

Tebal pelat efektif ( $d$ ) =  $180 - 30 \frac{1}{2}(10) = 145 \text{ mm}$ .

Dengan penutup beton 30 mm dan asumsi diameter tulangan untuk sengkang 10 mm.

$$V_u = \phi (\sqrt{f_c}'/6) b_w d$$
$$= 0,6 (\sqrt{30}/6)(300)(145)$$
$$= 23.825,931 \text{ N} < V_u$$

Maka tebal pelat ( $h$ ) = 180 tidak memenuhi persyaratan geser. Tebal pelat tetap dipakai 180mm dengan catatan geser yang tersisa disalurkan pada tulangan geser balok.

#### 4. Cek apakah memenuhi Metoda Perancangan Langsung

Menurut batasan dalam sub bab 3.3 empat batasan yang pertama secara pemeriksaan dipenuhi. Untuk batasan kelima

---

$$\frac{W_1}{W_d} = \frac{2,50}{4,56} = 0,548$$

0,548 < 3 .....**OK! Memenuhi persyaratan**

Untuk batasan yang ke enam dengan menunjuk Gambar 4.4 dengan mengambil  $l_1$  dan  $l_2$  masing-masing dalam arah panjang dan pendek untuk:

Panel 1:

$$\frac{l_1^2}{\alpha_1} = \frac{(7000)^2}{1/2 (10,175 + 6,06)} = 862,33$$

$$\frac{l_2^2}{\alpha_2} = \frac{(6000)^2}{1/2 (4,679 + 2,773)} = 1610,306$$

$$\frac{l_1^2/\alpha_1}{l_2^2/\alpha_2} = 0,535$$

Panel 2 :

$$\frac{l_1^2}{\alpha_1} = \frac{(7000)^2}{1/2 (10,175 + 6,06)} = 862,33$$

$$\frac{l_2^2}{\alpha_3} = \frac{(6000)^2}{1/2 (2,773 + 2,773)} = 2166,06$$

$$\frac{l_1^2/\alpha_1}{l_2^2/\alpha_3} = 0,398$$

Panel 3 :

$$\frac{l_1^2}{\alpha_4} = \frac{(7000)^2}{1/2 (6,06 + 6,06)} = 1155,11$$

$$\frac{l_2^2}{\alpha_4} = \frac{(6000)^2}{1/2 (4,679 + 2,773)} = 1610,306$$

$$\frac{l_1^2/\alpha_4}{l_2^2/\alpha_2} = 0,717$$

Panel 4 :

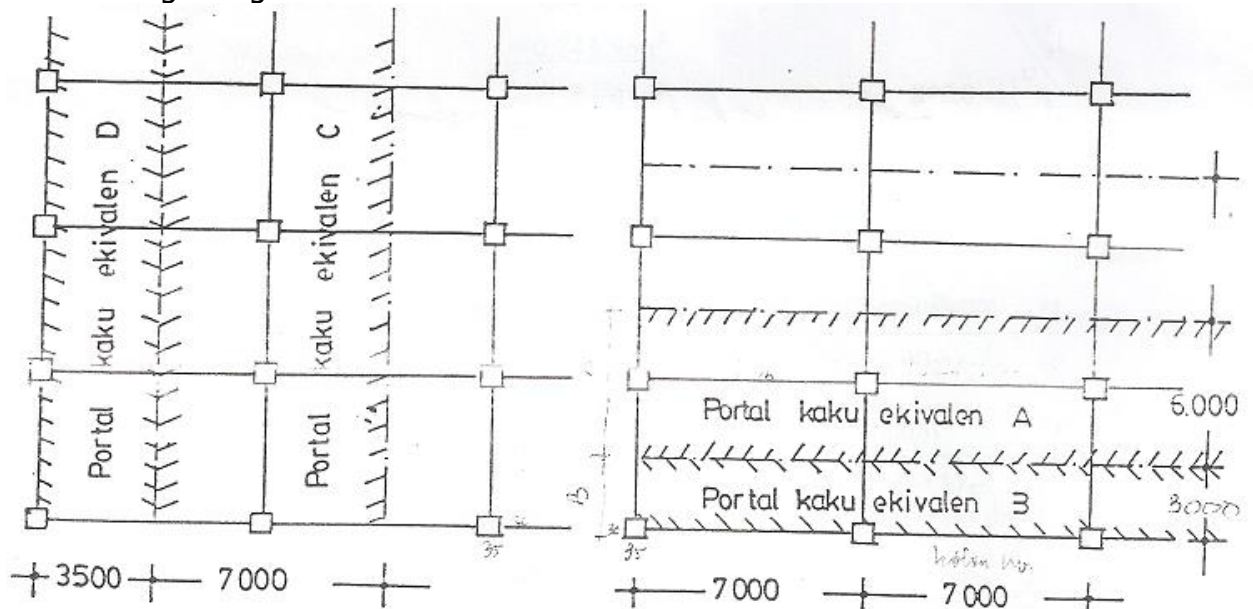
$$\frac{l_1^2}{\alpha_1} = \frac{(7000)^2}{1/2 (6,06 + 6,06)} = 1155,115$$

$$\frac{l_1^2}{\alpha_2} = \frac{(6000)^2}{1/2 (2,773 + 2,773)} = 2163,722$$

$$\frac{l_1^2/\alpha_2}{l_1^2/\alpha_1} = 0,534$$

Karena untuk keempat panel harga  $\frac{l_1^2/\alpha_1}{l_2^2/\alpha_2}$  semua terletak antara 0,2

dan 5,0 maka batasan keenam dipenuhi.  
Menghitung momen statis total terfaktor:



Gambar 4.4 Portal-portal kaku ekuivalen, contoh perencanaan pelat dengan balok-balok.

---

Momen statis total ( $M_o$ )

Portal

A

$$M_o = \frac{1}{8} W_u l_2 l_n^2 = \frac{1}{8} (9,475)(6)(7 - 0,3)^2 = 318,999 \text{ kNm}$$

Portal

B

$$M_o = \frac{1}{8} W_u l_2 l_n^2 = \frac{1}{8} (9,475)(3)(7 - 0,3)^2 = 159,499 \text{ kNm}$$

Portal

C

$$M_o = \frac{1}{8} W_u l_2 l_n^2 = \frac{1}{8} (9,475)(7)(6 - 0,35)^2 = 267,657 \text{ kNm}$$

Portal

D

$$M_o = \frac{1}{8} W_u l_2 l_n^2 = \frac{1}{8} (9,475)(3,5)(6 - 0,35)^2 = 132,328 \text{ kNm}$$

Menghitung kekakuan pelat balok dan kolom.

Kekakuan kolom

$$K_{c1} = K_{c2} = \frac{4EI_{c1}}{l_{c1}} = \frac{4E(400)(400)^2}{12(3800)} = 2.245.614,03E$$

Portal A :

$$K_s = \frac{4EI_s}{l_1} = \frac{4E\left(\frac{1}{12}\right)(6000)(180)^2}{7000} = 1.666.285,714E$$

$$K_b = \frac{4EI_b}{l_1} \text{ dari } (B_1 - B_2) \text{ } I_b = 1,7677 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$= \frac{4E(1,7677 \times 10^{10})}{7000} = 10.101.542,86E$$

$$\alpha = \frac{K_b}{K_s} = 6,06$$

$$\alpha_c = \frac{K_{c1} + K_{c2}}{\sum K_s + \sum K_b} = \frac{2(2.245.614,03E)}{(1.666.285,714E + 18.607.368,42E)}$$

$$= 0,221 \text{ (pada kolom luar)}$$

$$\alpha_c = \frac{2(2.245.614,03E)}{2(1.666.285,714E + 18.607.368,42E)}$$

$$= 0,111 \text{ (pada kolom dalam)}$$

---

Portal B:

$$K_s = \frac{4EI_s}{l_1} = \frac{4E\left(\frac{1}{12}\right)(3000)(180)^2}{7000} = 833.142,857 \text{ E}$$

$$K_b = \frac{4EI_b}{l_1} \quad \text{dari } (B_3 - B_4) \quad I_b = 1,4836 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$
$$= \frac{4E(1,4836 \times 10^{10})}{7000} = 8.477.714,286 \text{ E}$$

$$\alpha = \frac{K_b}{K_s} = 10,175$$

$$\alpha_c = \frac{K_{c1} + K_{c2}}{\Sigma K_s + \Sigma K_b} = \frac{2(2.245.614,03 \text{ E})}{(833.142,857 \text{ E} + 8.477.714,286 \text{ E})}$$
$$= 0,482 \text{ (pada kolom luar)}$$

$$\alpha_c = \frac{2(2.245.614,03 \text{ E})}{2(833.142,857 \text{ E} + 8.477.714,286 \text{ E})}$$
$$= 0,241 \text{ (pada kolom dalam)}$$

Portal C:

$$K_s = \frac{4EI_s}{l_1} = \frac{4E\left(\frac{1}{12}\right)(7000)(180)^2}{6000} = 2.268.000 \text{ E}$$

$$K_b = \frac{4EI_b}{l_2} \quad \text{dari } (B_5 - B_6) \quad I_b = 9,4338 \times 10^9 \text{ mm}^4$$
$$= \frac{4E(9,4338 \times 10^9)}{6000} = 6.289.200 \text{ E}$$

$$\alpha = \frac{K_b}{K_s} = 2,773$$

$$\alpha_c = \frac{K_{c1} + K_{c2}}{\Sigma K_s + \Sigma K_b} = \frac{2(2.245.614,03 \text{ E})}{(2.268.000 \text{ E} + 6.289.200 \text{ E})}$$
$$= 0,525 \text{ (pada kolom luar)}$$

$$\alpha_c = \frac{2(2.245.614,03 \text{ E})}{2(2.268.000 \text{ E} + 6.289.200 \text{ E})}$$
$$= 0,262 \text{ (pada kolom dalam)}$$

Portal D:

$$K_s = \frac{4EI_s}{l_1} = \frac{4E\left(\frac{1}{12}\right)(3500)(180)^3}{6000} = 1.334.000 \text{ E}$$

$$K_b = \frac{4EI_b}{l_2} \text{ dari } (B_7 - B_8) I_b = 7,9542 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$= \frac{4E(7,9542 \times 10^9)}{6000} = 5.302.800 E$$

$$\alpha = \frac{K_b}{K_s} = 4,679$$

$$\alpha_c = \frac{K_{c1} + K_{c2}}{\Sigma K_s + \Sigma K_b} = \frac{2(2.245.614,03E)}{(1.334.000E + 5.302.800E)}$$

$$= 0,698 \text{ (pada kolom luar)}$$

$$\alpha_c = \frac{2(2.245.614,03E)}{2(1.334.000E + 5.302.800E)}$$

$$= 0,349 \text{ (pada kolom dalam)}$$

Menentukan harga  $\alpha_{min}$

$B_a =$  perbandingan beban layan mati dengan beban hidup.

$$= \frac{(0,180)(24) + 0,24}{2,50} = 1,824$$

Dari tabel 3.10. didapatkan  $\alpha_{min}$  seperti berikut:

| Portal                                   | A     | B     | C      | D     |
|--|-------|-------|--------|-------|
| $\alpha = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s}$ | 6,06  | 0,175 | 12,773 | 4,479 |
| $I_2/I_1$                                | 0,857 | 0,857 | 1,167  | 1,167 |
| $\alpha_{min}$                           | 0     | 0     | 0      | 0     |

Karena untuk semua portal  $\alpha_c > \alpha_{min} = 0$  maka faktor pengali pembesaran momen positif  $\delta_s = 1,0$  Jadi momen positif tidak mengalami pembesaran momen.

Menentukan distribusi momen di arah longitudinal.

Berdasarkan Tabel 3.9. atau Gambar 3.17. dapat ditentukan :

Portal A :  $M_o = 318.999 \text{ kNm}$

$M_{neg}$  tumpuan eksterior  $M_o = 0,16 (318.999)$   
 $= 51.040 \text{ kNm}$

$M_{pos}$  bentang eksterior  $M_o = 1,0 (0,57)$   
 $(318.999)$

---

|  |                        |
|--|------------------------|
|  | = 181.829 kNm.         |
| $M_{neg}$ tumpuan interior pertama       | $M_o = 0,70 (318.999)$ |
|  | = 223.299 kNm          |
| $M_{neg}$ tumpuan interior<br>(318.999)  | $M_o = 0,65$           |
|  | = 207.349 kNm.         |
| $M_{neg}$ bentang interior<br>(318.999)  | $M_o = 1,0 (0,35)$     |
|  | = 111.649 kNm.         |
| Portal B                                 | $M_o = 159.499$ kNm    |
| $M_{neg}$ tumpuan eksterior              | $M_o = 0,16 (159.499)$ |
|  | = 25.519 kNm           |
| $M_{pos}$ bentang eksterior<br>(159.499) | $M_o = 1,0 (0,57)$     |
|  | = 90.914 kNm           |
| $M_{neg}$ tumpuan interior pertama       | $M_o = 0,70 (159.499)$ |
|  | = 111.649 kNm.         |
| $M_{neg}$ tumpuan interior<br>(159.499)  | $M_o = 0,65$           |
|  | = 103.674 kNm.         |
| $M_{pos}$ bentang interior<br>(159.499)  | $M_o = 1,0 (0,35)$     |
|  | = 55.825 kNm           |
| Portal C:                                | $M_o = 264.657$ kNm    |
| $M_{neg}$ tumpuan eksterior              | $M_o = 0,16 (264.657)$ |
|  | = 42,345 kNm           |
| $M_{pos}$ bentang eksterior<br>(264.657) | $M_o = 1,0 (0,57)$     |
|  | = 150,854 kNm          |

---

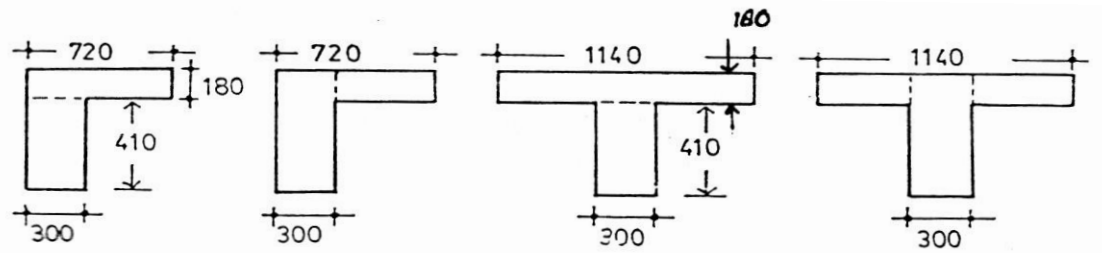
|   |   |
|---|---|
| $M_{\text{neg}}$ tumpuan interior pertama       | $M_o = 0,70 (264.657)$<br>$= 185,854 \text{ kNm}$ |
| $M_{\text{neg}}$ tumpuan interior<br>(264.657)  | $M_o = 0,65$<br><br>$= 172,027 \text{ kNm}$       |
| $M_{\text{pos}}$ bentang interior<br>(264.657)  | $M_o = 1,0 (0,35)$<br><br>$= 92,630 \text{ kNm}$  |
| Portal D :                                      | $M_o = 132.328 \text{ kNm}$                       |
| $M_{\text{neg}}$ tumpuan eksterior              | $M_o = 0,16 (132.328)$<br>$= 21,172 \text{ kNm}$  |
| $M_{\text{pos}}$ bentang eksterior<br>(132.328) | $M_o = 1,0 (0,57)$<br><br>$= 75,27 \text{ kNm.}$  |
| $M_{\text{neg}}$ tumpuan interior pertama       | $M_o = 0,70 (132.328)$<br>$= 92,630 \text{ kNm.}$ |
| $M_{\text{neg}}$ tumpuan interior<br>(132.328)  | $M_o = 0,65$<br><br>$= 86,013 \text{ kNm}$        |
| $M_{\text{pos}}$ bentang interior<br>(132.328)  | $M_o = 1,0 (0,35)$<br><br>$= 46,315 \text{ kNm.}$ |

Menentukan tetapan torsi C dari Balok Transversal

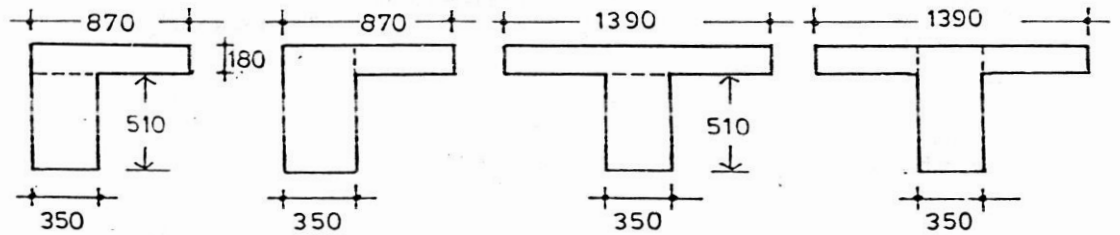
Arah pendek balok dalam

$$b_E = b_W + 2(h - t) = 300 + 2(600 - 180) = 1140 \text{ mm (digunakan)}$$

$$b_E = b_W + 8(t) = 300 + 8(180) = 1740 \text{ mm}$$



(a). Arah pendek



(a). Arah panjang

Gambar 4.5. Potongan melintang komponen torsi

$$C \left[ 1 - \frac{0,63(180)}{1140} \right] \left( \frac{(180)^3(1140)}{3} \right) + \left[ 1 - \frac{0,63(300)}{410} \right] \left( \frac{(300)^3(410)}{3} \right) = 3.984.710.400$$

$$C \left[ 1 - \frac{0,63(300)}{410} \right] \left( \frac{(300)^3(410)}{3} \right) + \left[ 1 - \frac{0,63(180)}{420} \right] \left( \frac{(180)^3(420)}{3} \right) = 2.585.050.400$$

Arah pendek balok tepi

$$b_E = b_W + (h - t) = 300 + (600 - 180) = 720 \text{ mm (digunakan)}$$

$$b_E = b_W + 4(t) = 300 + 4(180) = 1020 \text{ mm}$$

$$C \left[ 1 - \frac{0,63(180)}{720} \right] \left( \frac{(180)^3(720)}{3} \right) + \left[ 1 - \frac{0,63(300)}{410} \right] \left( \frac{(300)^3(410)}{3} \right) = 3.168.23.400$$

$$C \left[ 1 - \frac{0,63(300)}{600} \right] \left( \frac{(300)^3(600)}{3} \right) + \left[ 1 - \frac{0,63(180)}{420} \right] \left( \frac{(180)^3(420)}{3} \right) = 4.295.030.400$$

---

Arah panjang balok dalam

$$b_E = b_W + 2(h - t) = 350 + 2(700 - 180) = 1390 \text{ mm (digunakan)}$$

$$b_E = b_W + 8(t) = 350 + 8(180) = 1790 \text{ mm}$$

$$c \left[ 1 - \frac{0,63(180)}{1390} \right] \left( \frac{(180)^3(1390)}{3} \right) + \left[ 1 - \frac{0,63(350)}{510} \right] \left( \frac{(350)^3(510)}{3} \right) = 6.691.147.900$$

$$c \left[ 1 - \frac{0,63(350)}{700} \right] \left( \frac{(350)^3(700)}{3} \right) + \left[ 1 - \frac{0,63(180)}{545} \right] \left( \frac{(180)^3(545)}{3} \right) = 7.691.884.567$$

Arah panjang balok tepi

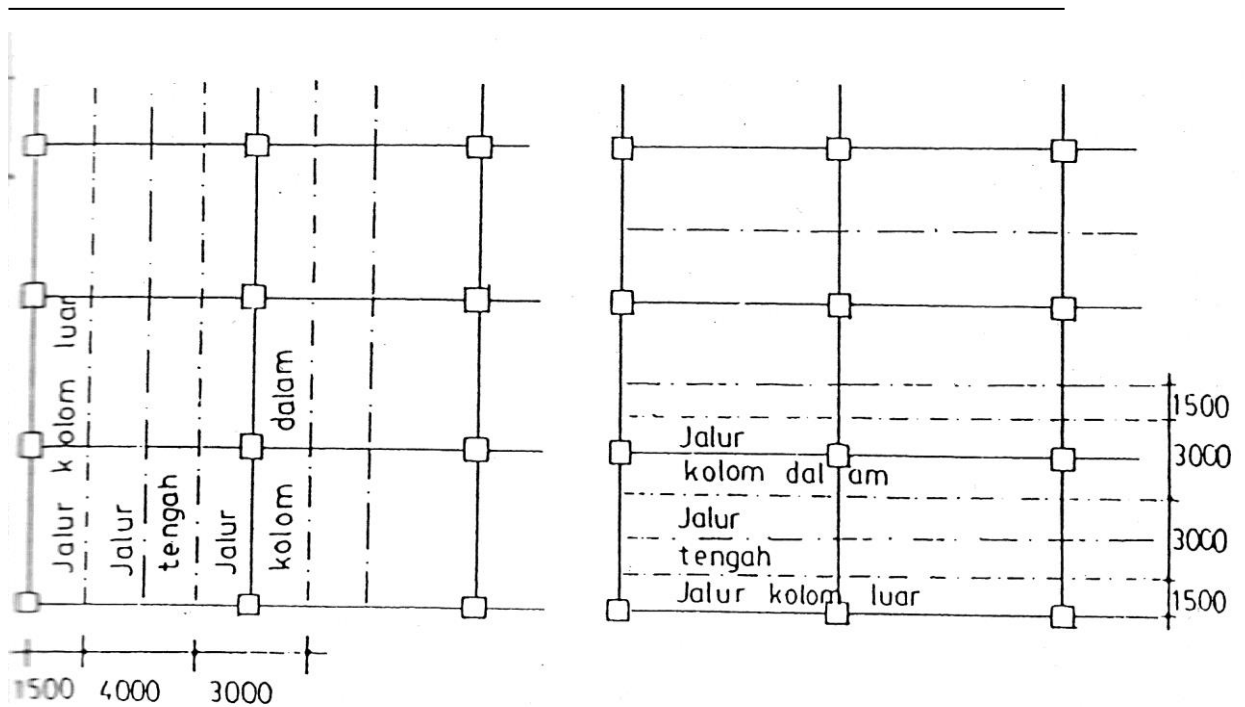
$$b_E = b_W + (h - t) = 350 + (700 - 180) = 870 \text{ mm (digunakan)}$$

$$b_E = b_W + 4(t) = 350 + 4(180) = 1070 \text{ mm}$$

$$c \left[ 1 - \frac{0,63(180)}{870} \right] \left( \frac{(180)^3(870)}{3} \right) + \left[ 1 - \frac{0,63(350)}{510} \right] \left( \frac{(350)^3(510)}{3} \right) = 5.608.267.900$$

$$c \left[ 1 - \frac{0,63(180)}{570} \right] \left( \frac{(180)^3(570)}{3} \right) + \left[ 1 - \frac{0,63(350)}{700} \right] \left( \frac{(350)^3(700)}{3} \right) = 7.740.484.567$$

Mendistribusikan momen longitudinal ke arah transversal. untuk pembagian lebar transversal menjadi jalur kolom dan jalur tengah untuk tiap portal dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Pembagian jalur tengah dan jalur Kolom pada contoh perencanaan pelat dengan balok-balok.

Hitungan distribusi arah transversal

a). Momen negative pada tumpuan eksterior

portal A:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{6000}{7000} = 0,857$$

$$\alpha_1 = 6,06$$

$$\alpha_1 \frac{I_1}{I_2} = 5,193 > 1,0$$

$$C = 4.295.030.400$$

$$I_s = \frac{1}{12}(6000)(180)^3 = 2,916 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$\beta_1 = \frac{E_{cb}C}{2E_{cs}I_s} = 0,736 < 2,50 \text{ (dengan } E_{cb} - E_{cs})$$

Tabel 4.1. menunjukkan interpolasi linear untuk kolom dari batas-batas yang ditetapkan dalam Tabel 3.11. momen total sebesar 51,040 kNm dibagikan atas tiga bagian 93,90 % untuk jalur kolom ( yang 85 % dari itu

---

masuk ke balok dan 15 % nya masuk pelat jalur kolom) oleh karena  $\alpha_1 I_2/I_1 = 5,193 \geq 1,0$  dan 6,1 % ke pelat jalur tengah.

Hasil-hasil ini diperlihatkan pada Tabel 4.3.

Portal B:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{6000}{7000} = 0,857$$

$$\alpha_1 = 10,175$$

$$\alpha_1 \frac{I_1}{I_2} = 8,720 > 1,0$$

$$C = 4.295.030.400$$

$$I_s = \frac{1}{12}(3000)(180)^3 = 1,458 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$\beta_1 = \frac{E_{cb}C}{2E_{cs}I_s} = 0,147 \text{ (dengan } E_{cb} - E_{cs}\text{)}$$

Momen total sebesar 25,519 kNm dibagikan atas tiga prosentase jalur kolom 98,775 % (85 % -nya masuk ke balok dan 15% -nya masuk ke pelat jalur kolom) karena  $\alpha_1 I_2/I_1 = 8,720 \geq 1,0$  dan 1,225% masuk ke jalur tengah

Portal C:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{7000}{6000} = 1,167$$

$$\alpha_1 = 2,773$$

$$\alpha_1 \frac{I_1}{I_2} = 3,236 > 1,0$$

$$C = 7.740.484.567$$

$$I_s = \frac{1}{12}(7000)(180)^3 = 3.402.000.000 \text{ mm}^4$$

$$\beta_1 = \frac{E_{cb}C}{2E_{cs}I_s} = 1,153 \text{ (dengan } E_{cb} - E_{cs}\text{)}$$

Momen total sebesar 42,345 kNm dibagikan atas tiga prosentase jalur kolom 86,339% (85 % -nya masuk ke balok dan 15% -nya masuk ke pelat jalur kolom) karena  $\alpha_1 I_2/I_1 = 3,236 > 1,0$  dan 13,661% masuk ke jalur tengah.

Portal D:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{7000}{6000} = 1,167$$

$$\alpha_1 = 4,679$$

$$\alpha_1 \frac{I_1}{I_2} = 4,460 > 1,0$$

$$C = 7.740.484.567$$

$$I_s = \frac{1}{12}(3500)(180)^3 = 1,701 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\beta_1 = \frac{E_{cb}C}{2E_{cs}I_s} = 2,275 \text{ (dengan } E_{cb} - E_{cs}\text{)}$$

Momen total sebesar 21,172 kNm dibagikan atas tiga prosentase jalur kolom 72,691% (85 % -nya masuk ke balok dan 15% -nya masuk ke pelat jalur kolom) karena  $\alpha_1 I_2/I_1 = 5,460 > 1,0$  dan 27,309% masuk ke jalur tengah.

Tabel 4.1. Interpolasi linear momen negative pada tumpuan interior

| $I_2/I_1$                | 0,5    | 0,857  | 1,0    | 1,167  | 2,0    |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\alpha_1 I_2/I_1 > 1,0$ |        |        |        |        |        |
| $\beta_1 = 0$            | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    |
| $\beta_1 = 0,147$        | 99,412 | 98,775 | 98,530 |        |        |
| $\beta_1 = 0,736$        | 97,056 | 93,900 | 92,640 |        |        |
| $\beta_1 = 1,138$        |        |        | 88,620 | 86,339 | 74,964 |
| $\beta_1 = 2,275$        |        |        | 77,250 | 72,691 | 49,950 |
| $\beta_1 \geq 2,50$      | 90,000 |        | 75,000 |        | 45,000 |

---

b). Momen-momen negative pada tumpuan interior pertama dan tumpuan interior

Portal A:

$$I_2/I_1 = 0,857$$

$$\alpha_1 = 6,06$$

$$\alpha_1 I_2/I_1 = 5,1939 > 1,0$$

Menurut tabel 3.11. Prosentase untuk lajur kolom 84,645% (harga interpolasi lihat tabel 4.4.) sisanya masuk dalam pelat jalur tengah.

Portal B:

$$I_2/I_1 = 0,857$$

$$\alpha_1 = 10,175$$

$$\alpha_1 I_2/I_1 = 8,720 > 1,0$$

Menurut tabel 3.11. Prosentase untuk lajur kolom 84,645% (harga interpolasi lihat tabel 4.4.) sisanya masuk dalam pelat jalur tengah.

Portal C:

$$I_2/I_1 = 1,167$$

$$\alpha_1 = 2,773$$

$$\alpha_1 I_2/I_1 = 3,236 > 1,0$$

Menurut tabel 3.11. Prosentase untuk lajur kolom 69,99% (harga interpolasi linear lihat tabel 4.2.) sisanya masuk dalam pelat jalur tengah.

Portal D:

$$I_2/I_1 = 1,167$$

$$\alpha_1 = 4,679$$

$$\alpha_1 I_2/I_1 = 5,460 > 1,0$$

Menurut tabel 3.11. Prosentase untuk lajur kolom 69,99% (harga interpolasi linear lihat tabel 4.2.) sisanya masuk dalam pelat jalur tengah.

Tabel 4.2. Interpolasi linear momen negative pada tumpuan interior

|                      |     |       |     |       |     |
|----------------------|-----|-------|-----|-------|-----|
| $I_2/I_1$            | 0,5 | 0,857 | 1,0 | 1,167 | 2,0 |
| $\alpha_1 I_2/I_1 =$ | 75  | 75    | 75  | 75    | 75  |

|                             |    |        |    |       |    |
|-----------------------------|----|--------|----|-------|----|
| 1,0                         |    |        |    |       |    |
| $\alpha_1 I_2/I_1 \geq 1,0$ | 90 | 84,645 | 75 | 69,99 | 45 |

- c). Momen-momen positif di dalam bentang luar dan bentang dalam karena batas-batas yang ditetapkan untuk  $\alpha_1 I_2/I_1 \geq 1,0$  adalah sama untuk momen positif dan momen negative pada tumpuan dalam maka prosentase momen-momen positif bentang dalam dan bentang luar adalah identik dengan yang untuk momen-momen negative seperti yang ditentukan di dalam bagian (b) dalam contoh ini. Hasil-hasil distribusi transversal dari momen-momen longitudinal dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. distribusi dari momen longitudinal contoh perencanaan pelat dengan balok-balok

Portal A

|  |              |         |               |               |         |
|--|--------------|---------|---------------|---------------|---------|
| Lebar total = 6000 mm lebar jalur kolom = 3000 mm lebar jalur tengah = 3000 mm |              |         |               |               |         |
|  | Bentang luar |         |               | Bentang dalam |         |
|  | luar negatif | positif | dalam negatif | negatif       | positif |
| $M_{total}$  | 51,040       | 181,829 | 223,299       | 207,349       | 111,649 |
| $M_{balok}$  | 40,737       | 130,823 | 160,660       | 149,184       | 80,330  |
| $M_{pelat\ jalur\ kolom}$  | 7,189        | 23,086  | 28,352        | 26,326        | 14,176  |
| $M_{pelat\ jalur\ tengah}$   | 3,114        | 27,920  | 34,287        | 31,839        | 17,143  |

Portal B

|   |
|---|
| Lebar total = 3000 mm lebar jalur kolom = 1500 mm lebar 1/2 jalur |
|---|

| tengah = 1500 mm                |              |         |               |               |         |
|---------------------------------|--------------|---------|---------------|---------------|---------|
|                                 | Bentang luar |         |               | Bentang dalam |         |
|                                 | luar negatif | positif | dalam negatif | negatif       | positif |
| M <sub>total</sub>              | 25,519       | 90,914  | 111,649       | 103,649       | 55,825  |
| M <sub>balok</sub>              | 21,425       | 65,411  | 80,330        | 74,593        | 40,165  |
| M <sub>pelat jalur kolom</sub>  | 3,781        | 11,523  | 14,176        | 13,163        | 7,088   |
| M <sub>pelat jalur tengah</sub> | 0,313        | 13,960  | 17,143        | 15,918        | 8,572   |

#### Portal C

| Lebar total = 3000 mm lebar jalur kolom = 1500 mm lebar jalur tengah = 4000 mm |               |         |               |               |         |
|--|---------------|---------|---------------|---------------|---------|
|  | Bentang luar  |         |               | Bentang dalam |         |
|  | luar negative | positif | dalam negatif | Negative      | positif |
| M <sub>total</sub>   | 42,345        | 150,854 | 185,259       | 172,027       | 92,360  |
| M <sub>balok</sub>   | 31,076        | 89,745  | 110,213       | 102,340       | 55,107  |
| M <sub>pelat jalur kolom</sub>   | 5,484         | 15,837  | 19,449        | 18,060        | 9,724   |
| M <sub>pelat jalur tengah</sub>  | 5,785         | 45,272  | 55,597        | 51,627        | 27,799  |

#### Portal D

| Lebar total = 3000 mm lebar jalur kolom = 1500 mm lebar 1/2 jalur tengah = 2000 mm |               |         |               |               |         |
|--|---------------|---------|---------------|---------------|---------|
|  | Bentang luar  |         |               | Bentang dalam |         |
|  | luar negative | positif | dalam negatif | negatif       | positif |

|                                    |        |        |        |        |        |
|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| M <sub>total</sub>                 | 21,179 | 75,427 | 92,360 | 86,103 | 46,315 |
| M <sub>balok</sub>                 | 13,082 | 44,873 | 55,107 | 51,105 | 27,518 |
| M <sub>pelat jalur</sub><br>kolom  | 2,308  | 7,908  | 9,712  | 9,018  | 4,856  |
| M <sub>pelat jalur</sub><br>tengah | 5,782  | 22,646 | 27,799 | 25,890 | 13,944 |

Menghitung tulangan pelat berdasarkan momen-momen yang paling menentukan. Untuk keseragaman diameter tulangan dalam satu jalur maka hitungan penulangan disusun dalam bentuk tabel untuk tiap jalurnya juga langsung diadakan cek kapasitas lenturnya lihat tabel dalam lampiran 7.a. sampai tabel dalam lampiran 7.h.

Menentukan panjang penyaluran dan panjang sambungan lewatan

- (a) Panjang penyaluran menurut SK SNI-T-15-1991-03 tidak ditentukan persyaratannya untuk baja polos maka dipakai persyaratan PBI '71 yaitu panjang penyaluran baja polos kelipatan dua dari  $I_{db}$  baja deform.

$$I_{db} = 0,02 A_b \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}}$$

$$= 0,02 \left[ \frac{\pi}{4} (12)^2 \right] \frac{400}{\sqrt{30}} = 165,105 \text{ mm}$$

Tetapi tidak kurang dari  $= 0,06 d_b f_y$

$$= 0,06 (12) (400) = 288 \text{ mm}$$

Diambil  $I_{db} = 290 \text{ mm}$ ,  $I_{db}$  polos = 2 (290) = 580 mm

$L_d = 1,4 I_{db}$  untuk tulangan atas dan tidak boleh kurang dari 300 mm.

Maka  $L_d = 1,4 (580) = 812 \text{ mm}$ , dipakai  $L_d = 820 \text{ mm}$  untuk tulangan atas dan  $L_d = 580 \text{ mm}$  untuk tulangan bawah.

---

(b). Panjang sambungan lewatan

$$\frac{A_s \text{ ada}}{A_s \text{ perlu}} = \frac{1695,0}{1617,105} = 1,048 < 2$$

Menurut tabel 3.3. untuk nilai  $\frac{A_s \text{ ada}}{A_s \text{ perlu}} < 2$  dan persentase maksimum dari  $A_s$  yang disambung lewat di dalam panjang lewatan perlu 50% maka termasuk kelas B.

Untuk kelas B

$$L_{dp} = 1,3 L_d = 1,3 (580) = 754 \text{ mm, dipakai } L_{dp} = 760 \text{ mm.}$$

Menggambar denah penulangan dan potongan melintang pelat lantai dengan balok-balok lihat gambar dalam lampiran 13.a.

---