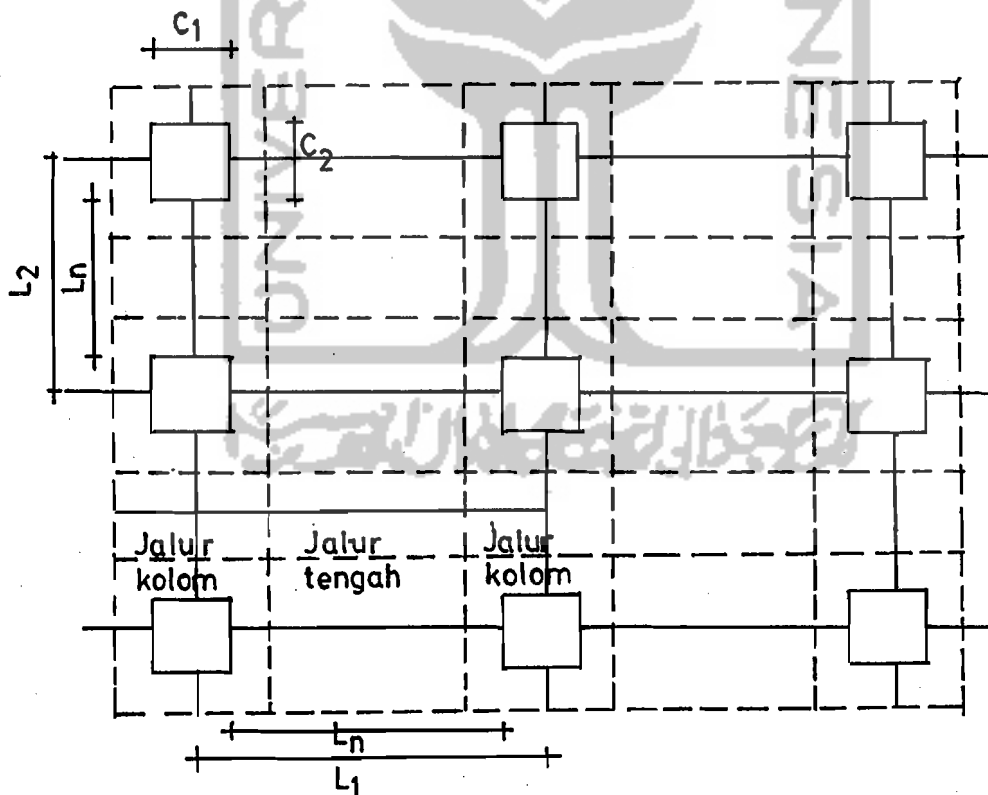


BAB III
ANALISIS DAN PERHITUNGAN

3.1 Dasar-dasar Pengertian

Pada analisis struktur pelat lantai menerus yang hanya didukung langsung oleh kolom tanpa balok pemikul merupakan bagian dari penyelesaian dengan menggunakan metode jalur. Di dalam perencanaan pelat baik dengan menggunakan pendekatan Metode Perencanaan Langsung maupun Portal Ekuivalen, pelat dibagi dalam beberapa jalur yaitu, jalur kolom, jalur tengah. Pembagian jalur-jalur yang terdapat dalam perencanaan pelat dapat dijelaskan pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.1 Denah Pembagian Lajur

- Jalur kolom : jalur rencana dengan lebar pada tiap sisi sumbu kolom sebesar nilai yang terkecil dari $0,25l_1$ atau $0,25l_2$,
- Jalur tengah : suatu jalur rencana yang di batasi oleh dua jalur kolom di kiri dan kanannya,
- Bentang bersih : jarak antar bidang-bidang muka tumpuan ke arah mana momen-momen yang dihitung,
- C_1, C_2 : ukuran kolom-kolom
- l_1, l_2 : panjang bentang, diukur dari sumbu kolom ke kolom,
- l_n : panjang bentang bersih, diukur dari muka ke muka kolom.

3.2. Cara Perencanaan Langsung (Koefesien Momen)

Di dalam SK SNI T-15-1991-03 memberikan batasan-batasan dalam menggunakan cara Perencanaan Langsung antara lain :

- Minimum harus ada tiga bentang menerus dalam setiap arah,
- Panel harus berbentuk persegi, dengan rasio antar bentang panjang dan bentang pendek diukur antara sumbu ke sumbu tumpuan tidak lebih dari dua,
- panjang bentang yang berurutan, di ukur antara sumbu ke sumbu tumpuan, dalam tiap arah tidak boleh berbeda lebih dari sepertiga bentang yang terpanjang,
- Posisi kolom boleh menyimpang maksimum 10 persen dari bentang (dalam arah penyimpangan) dari sumbu antara garis pusat kolom yang berurutan,
- Beban yang diperhitungkan hanyalah beban grafitasi saja dan tersebar merata pada seluruh panel. Beban hidup tidak boleh melebihi tiga kali beban mati.

Perhitungan dengan cara Perencanaan Langsung ini secara garis besar dapat di tempuh dalam tiga langkah :

- Penentuan momen rencana total,
- Pembagian momen rencana total pada penampang rencana untuk momen negatif dan positif,
- Pembagian momen negatif rencana dan momen positif rencana kepada jalur kolom dan jalur tengah dan juga balok-balok (bila ada).

3.2.1 Penentuan Momen Rencana Total

Jumlah absolut dari momen terfaktor positif dan negatif rata-rata dalam setiap arah tidak boleh kurang dari :

$$M_o = 1/8 W_u l_2^2 \quad \dots\dots\dots(1)$$

Dimana - M_o : momen rencana total,

W_u : beban rencana persatuan luas,

W_u : $p + q$

p : beban hidup rencana persatuan luas,

q : beban mati rencana persatuan luas,

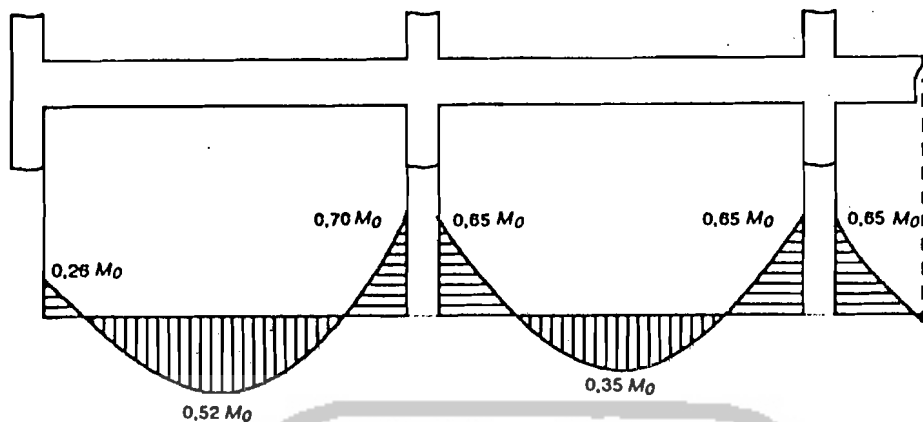
l_2 : panjang bentang dari tepi yang berbatasan dengan tepi pelat,

l_n : Bentang bersih, jarak antara bidang-bidang muka kolom atau dinding pemikul,

$l_n > 0,65 l_1$

3.2.2 Pembagian Momen Rencana Total

Pembagian momen rencana total M_o menurut SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.6.6 ayat 3.2 dapat dijelaskan pada gambar :



Gambar 3.2 Pembagian Momen Rencana Total

Pembagian momen negatif dan positif

- Pada bentang interior (tengah)
momen rencana negatif : $0,65 M_o$
momen rencana positif : $0,35 M_o$
- Pada bentang eksterior (tepi) tercantum seperti dalam tabel di bawah ini :

Tabel 3.1 Faktor Distribusi Momen M_o Bentang Eksterior
(dikutip dari SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.6.6 ayat 3)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	tepi exterior tidak di tahan	pelat dengan balok di antara semua tumpuan	pelat tanpa balok di antara tumpuan interior		tepi exterior sepenuhnya di tahan
momen negatif terfaktor interior	0,75	0,70	0,70	0,70	0,65
momen positif terfaktor	0,63	0,57	0,52	0,50	0,35
momen negatif terfaktor interior	0	0,16	0,26	0,30	0,65

3.2.3 Pembagian momen terfaktor dalam jalur kolom

- Jalur kolom harus diproporsikan untuk memikul, dalam persen, bagian dari momen negatif dalam terfaktor berikut :

Tabel 3.2 Distribusi Momen Negatif Interior pada jalur Kolom
(dikutip dari SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.6.6 ayat 4.1)

l_2/l_1	0,5	1,0	2,0
$(l_2/l_1) = 0$	75	75	75
$(l_2/l_1) \geq 1.0$	90	75	45

Interpolasi linier harus dilakukan untuk nilai antara

- jalur kolom harus diproporsikan untuk memikul dalam persen, bagian dari momen negatif luar terfaktor berikut:

Tabel 3.3 Distribusi momen negatif interior pada jalur kolom
(dikutip dari SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.6.6 ayat 4.2)

l_2/l_1		0,5	1,0	2,0
$(l_2/l_1) = 0$	$= 0$ $\geq 2,5$	100 75	100 75	100 75
$(l_2/l_1) \geq 1,0$	$= 0$ $\geq 2,5$	100 90	100 75	100 45

Interpolasi linier harus di lakukan untuk nilai antara

- jalur kolom harus diproporsikan untuk memikul dalam persen, bagian dari momen positif terfaktor berikut :

Tabel 3.4 Distribusi Momen Negatif Interior pada jalur Kolom
(dikutip dari SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.6.6 ayat 4.1)

l_2/l_1	0,5	1,0	2,0
$(l_2/l_1) = 0$	60	60	60
$(l_2/l_1) \geq 1.0$	90	75	45

Interpolasi linier harus dilakukan untuk nilai antara

3.2.4 Momen terfaktor untuk jalur tengah

Di dalam SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.6.6 ayat 6 disebutkan :

- Bagian dari momen negatif dan positif terfaktor yang tidak dipikul jalur kolom harus di bagikan secara proporsional pada setengah jalur tengah yang bersangkutan,
- Setiap jalur tengah harus direncanakan proporsinya untuk memikul jumlah momen yang dibagikan pada kedua setengah jalur tengahnya,
- Suatu jalur tengah yang bersebelahan dan sejajar dengan suatu tepi yang ditumpu oleh suatu dinding harus direncanakan proporsinya untuk memikul dua kali momen yang dibagikan pada setengah jalur tengah yang berhubungan dengan baris pertama dari tumpuan dalam.

Selain momen-momen yang disebutkan di atas, di dalam SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.6.6 ayat 9 juga menyebutkan momen yang terjadi pada tumpuan dalam sebesar :

$$M = 0,07[(W_d + 0.5W_1)l_2l_n^2 - W_d l_2^2 (l_n)^2] \dots\dots\dots(2)$$

di mana - W_d = beban mati terfaktor per satuan luas,

W_1 = beban hidup terfaktor per satuan luas,

W_d', l_2', l_n' = notasi untuk bentang pendek

Di dalam SK SNI T-15-1991-03 di katakan, jika perbandingan beban mati terhadap beban hidup kurang dari 2, maka harus mengikuti salah satu ketentuan berikut :

- 1) Jumlah kekakuan lentur kolom di atas dan di bawah pelat harus sedemikian rupa sehingga tidak kurang dari α_{min} yang ditentukan dalam tabel 3.3,

2) Bila dari kolom di atas dan di bawah pelat kurang dari α_{min} yang disyaratkan dalam tabel 3.3, maka momen positif terfaktor pada panel yang didukung kolom tersebut harus dikalikan dengan koefisien yang ditentukan dalam persamaan di bawah ini :

$$\delta_s = 1 + \frac{2 - \beta_o}{4 + \beta_o} \left(1 - \frac{\alpha_c}{\alpha_{min}}\right) \dots \dots \dots (3)$$

dimana $-\delta_s$ = rasio antar beban mati dan beban hidup

α_c = rasio dari kekakuan lentur kolom di atas dan di bawah pelat terhadap gabungan kekakuan pelat dan balok pada suatu join, dalam arah bentang di mana momen dihitung.

Tabel 3.4 daftar α_{min}
(Dikutif dari SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.6.6 ayat 10.1)

β_o	Rasio dari l_2/l_1	Kekakuan relatif balok,				
		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



3.2.5 Perhitungan tegangan geser

Tegangan geser yang terjadi adalah tegangan yang ditimbulkan oleh transfer momen dari kolom ke pelat, baik dari kolom akhir maupun kolom tengah, sehingga kombinasi-kombinasi tegangan geser adalah sebagai berikut :

Pada kolom akhir

$$v = \frac{V_u}{\theta A_s} \pm \frac{\tau_v M_u x}{\theta J_c} \dots \dots \dots (4)$$

di mana - v = tegangan geser,

V_u = tegangan geser terfaktor pada penampang,

τ_v = bagian momen yang tidak berimbang yang dipindahkan sebagai geser eksentris pada hubungan pelat kolom,

$$= 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \frac{\sqrt{c_1 + 1/2d}}{\sqrt{c_2 + d}}}$$

x = jarak titik berat penampang kritis,

J_c = momen inersi polar;

Pada kolom interior

$$v = \frac{V_1}{\theta A_s} \pm \frac{\tau_v M x}{\theta J_c} \dots \dots \dots (5)$$

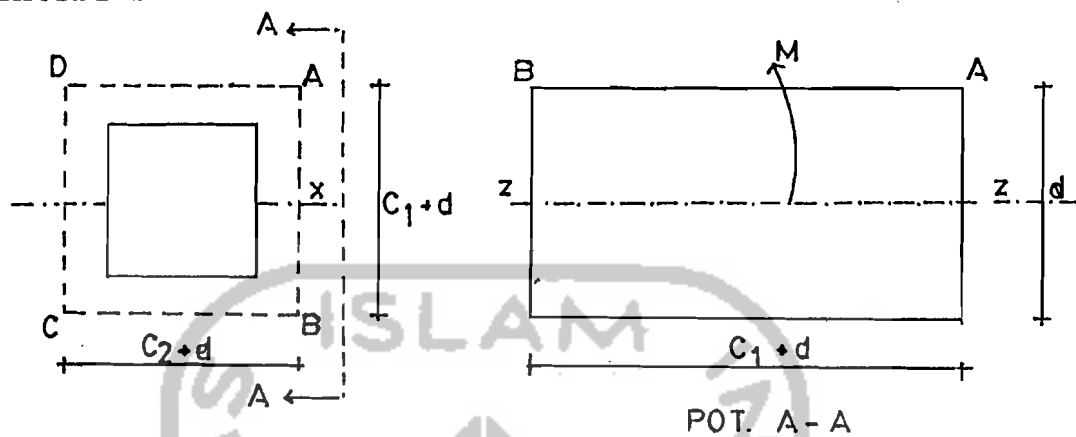
di mana - V_1 = gaya geser dengan setengah beban hidup yang bekerja pada satu sisi,

M = momen tak berimbang,

$$= 0,07 [(W_d + 0.5W_l)l_2(l_n)^2 - W_d l_2 (l_n)^2]$$

3.2.6 Momen Inersia polar

Kolom Interior



Gambar 3.4 Kolom Interior

Bidang geser kritis : A-B-C-D-A

Luas bidang kritis : $A_c = (2c_1 + 2c_2 + 4d)d$

Karena simetris maka garis berat jatuh di tengah-tengah sehingga $C_{AB} = 1/2 (c_1 + d)$

J_c = momen inersi polar dari bidang geser kritis.

Momen terhadap sumbu x

$J_c = (I_{xx} + I_{zz})$ untuk AB dan CD + (I_{xx}) untuk bidang BC dan AD

Untuk bidang AB dan Cd

$$I_{xx} = \frac{2d (c_1 + d)^3}{12} = \frac{d (c_1 + d)^3}{6}$$

$$I_{zz} = \frac{2 (c_1 + d)d^3}{12} = \frac{(c_1 + d) d^3}{6}$$

Untuk bidang BC dan AD

$$I_{xx} = 2 (c_2 + d) \cdot (d) \cdot \left(\frac{c_1 + d^2}{2} \right)$$

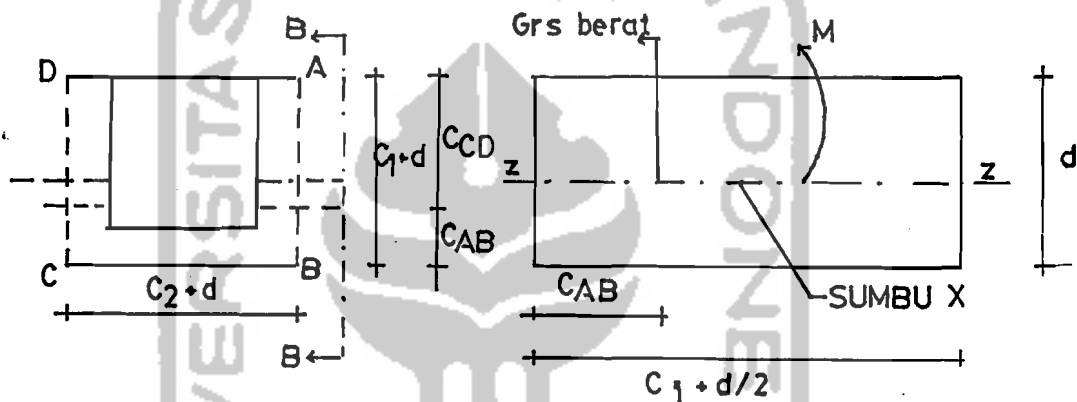
$$J_c = \frac{d (c_1 + d)^3}{6} + \frac{(c_1 + d) d^3}{6} + \frac{(c_2 + d) (d) (c_1 + d)^2}{2}$$

di mana - $a = (c_1 + d)$; $b = (c_2 + d)$ sehingga,

$$J_c = \frac{d (a)^3}{6} + \frac{(a) d^3}{6} + \frac{(b) d (a)^2}{6}$$

$$J_c = d [1/6a^3 + 1/2ba^2] + 1/6ad^3 \dots\dots\dots(6)$$

Kolom Akhir



Gambar 3.6 Kolom Akhir POT B-B

Bidang geser kritis : A-B-C-D

Luas bidang kritis : $A_c = (2c_1 + c_2 + 2d) (d)$

$$C_{AB} = \frac{(2) (c_1 + 1/2d) (d) (1/2) (c_1 + 1/2d)}{A_c}$$

$$C_{AB} = \frac{d (c_1 + d/2)^2}{A_c}$$

$$C_{CD} = (c_1 + d/2) - C_{AB}$$

$$J_c = (I_{xx} + I_{zz}) \text{ untuk AB dan CD} + (I_{xx}) \text{ untuk BC}$$

Untuk bidang AB dan CD

$$I_{xx} = \frac{(2)(d)(c_1 + d/2)^3}{12} + (2)(d)(c_1 + d/2) \left(\frac{c_1 + d/2}{2} - C_{AB} \right)^2$$

$$= \frac{d(c_1 + d/2)^3}{6} + 2d(c_1 + d/2)\left(\frac{c_1 + d/2}{2} - C_{AB}\right)^2$$

$$I_{zz} = \frac{2(c_1 + d/2)d^3}{12} = \frac{(c_1 + d/2)d^3}{6}$$

Untuk bidang BC

$$I_{xx} = (c_2 + d)(d)(C_{AB})^2$$

$$J_c = I_{xx} + I_{zz} + I_{yy}$$

di mana - $a = c_1 + 1/2d$

$$b = c_2 + 2d$$

$$J_c = \frac{d(a)^3}{6} + 2d(a)\left(\frac{a}{2} - C_{AB}\right)^2 + \frac{(a)d^3}{6} + (b)d(C_{AB})^2$$

$$= d\left[\frac{2}{3}a^3 - (2a + b)(C_{AB})^2\right] + \frac{1}{6}ad^3 \dots \dots \dots (7)$$

3.3 Cara Portal Ekuivalen

Pengertian dasar dari portal ekuivalen dapat di lihat pada beberapa literatur, tetapi di dalam SK SNI T-15-1991-03 mencakup beberapa pengertian yaitu :

- Struktur harus dianggap terdiri dari rangka ekuivalen pada bidang kolom yang diambil dalam arah longitudinal dan transversal dari bangunan,
- Suatu rangka harus terdiri dari suatu baris kolom atau tumpuan dan jalur pelat-bolok, dibatasi dalam arah lateral oleh garis sumbu dari panel pada tiap sisi dari garis sumbu kolom atau tumpuan,
- kolom atau tumpuan harus di anggap dihubungkan pada jalur pelat-balok, oleh komponen puntir (pasal 3.6.7 ayat 5)

yang arahnya transversal terhadap arah bentang yang sedang ditentukan momennya dan menerus hingga garis sumbu lateral panel yang membatasi tiap sisi suatu kolom,

- rangka yang berbeda di sebelah dan sejajar terhadap suatu tepi harus dibatasi oleh tepi tersebut dan garis sumbu panel yang di sebelahnya,
- setiap rangka ekuivalen boleh dianalisis sebagai suatu kesatuan, atau untuk beban gravitasi, setiap lantai dan atap (pelat-balok) boleh dianalisis secara terpisah dengan asumsi bahwa ujung terjauh dari kolom dijepit,
- bila pelat-balok dianalisis secara terpisah, dalam menentukan momen pada suatu tumpuan boleh diasumsikan bahwa pelat baloknya dijepit pada tumpuan yang berjarak dua panel dari tumpuan yang ditinjau, asalkan pelatnya masih menerus melampaui titik tumpuan jepit tersebut.

3.3.1 Momen terfaktor

Di dalam SK SNI T-15-1991-03 diberikan ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

- pada tumpuan interior, penampang kritis untuk momen negatif terfaktor (baik pada jalur kolom maupun jalur tengah) harus diambil pada muka rektilitas tumpuan, tapi tidak melebihi 0.175l, dari sumbu suatu kolom,
- penentuan lokasi penampang kritis dari momen rencana negatif pada tumpuan yang berbentuk bundar atau poligon biasa, harus didasarkan pada anggapan bahwa tumpuan

- tersebut berbentuk bujur sangkar dengan luas yang sama,
- sistem pelat yang memenuhi pasal 3.6.6 ayat 1 bila dianalisis dengan cara rangka ekuivalen, boleh mempunyai hasil akhir momen yang dikurangi dengan proporsi sedemikian hingga jumlah mutlak dari momen positif rata-rata momen negatif yang digunakan dalam perencanaan tidak perlu melebihi nilai yang di dapat dari $1/8 W_{ul} 2l_n^2$,
 - bila ketentuan dari pasal 3.6.6 ayat 1 sub butir 6 dipenuhi, maka pada penampang kritis yang memotong jalur pelat balok dari tiap rangka boleh didistribusikan ke dalam jalur kolom, balok, dan jalur tengah seperti yang ditentukan dalam pasal 3.6.6 ayat 5 dan pasal 3.6.6 ayat 6

3.3.2 Perhitungan Kekakuan Kolom

Dalam menentukan kekakuan kolom digunakan cara kolom analog.

$$K_c = \frac{1}{A_{ca}} + \frac{M_c}{I_{ca}} \dots \dots \dots (8)$$

di mana M = momen akibat satu satuan gaya pada tengah-tengah kolom analog terhadap ujung kolom analog

K_c = kekakuan kolom

A_{ca} = luas kolom analog

I_{ca} = momen inersia kolom analog terhadap sumbu x-x

c = h/2

$$A_{ca} = \frac{h - t}{EI_k} \quad ; \quad c = \frac{h}{2}$$

$$I_{ca} = \frac{(h - t)^3}{12 EI_c} \quad ; \quad M = \frac{1}{2} h = \frac{h}{2}$$

$$K_c = \frac{EI_c}{(h - t)} + \frac{h/2 \cdot h/2 \cdot 12EI_c}{(h - t)^3}$$

$$K_c = \frac{EI_c}{(h - t)} + \frac{3EI_c h^2}{(h - t)^3}$$

$$\frac{K_c}{E} = \frac{I_c}{(h - t)} \left[1 + \frac{3h^2}{(h - t)^2} \right] \dots \dots \dots (10)$$

3.3.3 Perhitungan Kekakuan Pelat

Dengan cara kolom analog

$$K_s = \frac{1}{A_{ca}} + \frac{Mc}{I_{ca}}$$

$$A_{ca} = \frac{l_n l}{I_s} + 2 \left[\frac{C_1/2}{I_{sc}} \right]$$

$$I_{ca} = \left[\frac{l_1^3}{12 I_{sc}} \right] + \left[\frac{l_n l^3}{12} \right] \left[\frac{1}{I_s} - \frac{1}{I_{sc}} \right]$$

$$I_s = 1/12 l_2 t^3 \quad ; \quad I_{sc} = \frac{I_s}{(1 - C_2/l_2)^2}$$

$$\frac{K_s}{E} = \frac{1}{A_{ca}} + \frac{(1) (l_1/2) (l_1/2)}{I_{ca}} \dots \dots \dots (12)$$

3.3.4 Koefisien Distribusi

$$\text{Kolom akhir} = \frac{K_s}{K_s + K_{ce}} \dots\dots\dots(13)$$

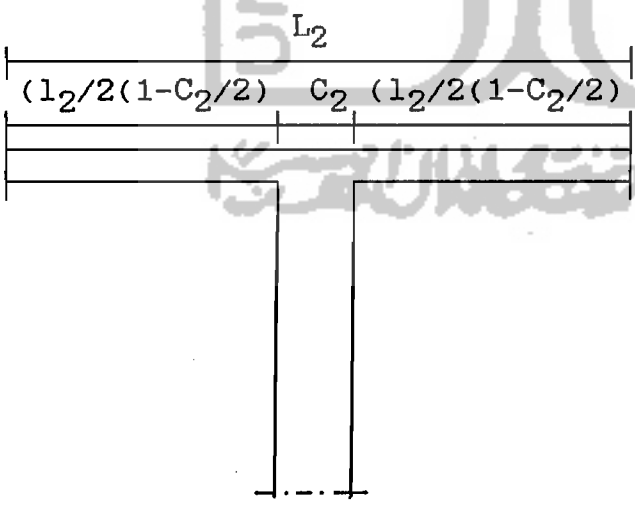
$$\text{Kolom tengah} = \frac{K_s}{2K_s + K_{ce}} \dots\dots\dots(14)$$

3.3.5 Koefisien Induksi (Carry-over faktor)

$$\text{COF} = \frac{\frac{1}{A_{ka}} \frac{(1)(l_1/2)(l_1/2)}{I_{ka}}}{\frac{1}{A_{ka}} + \frac{(1)(l_1/2)(l_1/2)}{I_{ka}}} \dots\dots\dots(15)$$

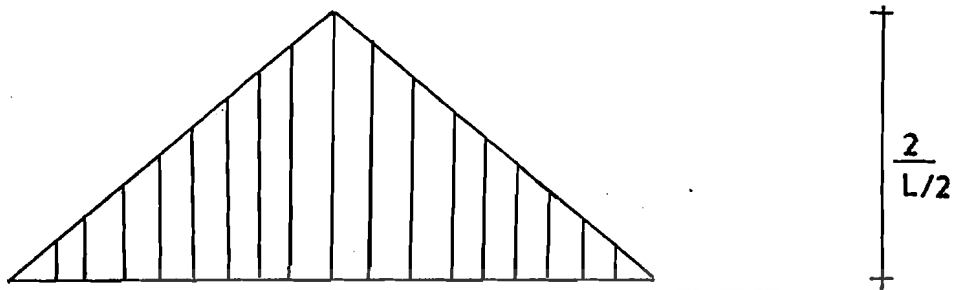
3.3.6 Kekakuan Puntir

Dalam menghitung nilai dari kekakuan puntir maka secara gambaran dapat diterangkan dalam gambar di bawah ini:

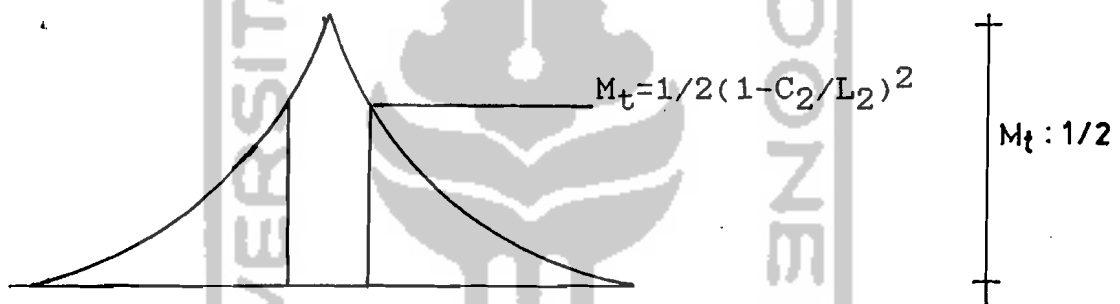


Gambar 3.6 Kombinasi balok-pelat

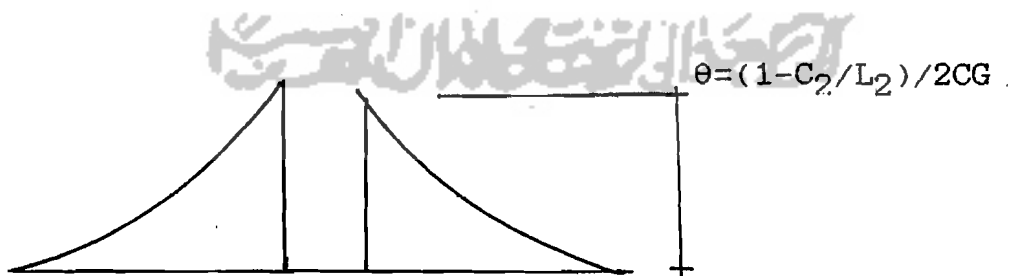




Gambar 3.7 Distribusi dari satu satuan momen puntir



Gambar 3.8 Diagram momen puntir



Gambar 3. 9 Diagram satu satuan rotasi

Asumsi-asumsi :

- panjang l_2 adalah sama dengan jarak antara sumbu-sumbu pelat,

- satuan momen puntir berubah dari maksimum pada sumbu kolom hingga sama dengan nol pada sumbu pelat,
- diagram momen puntir adalah parabol derajat dua.

Diagram momen puntir (gambar 3.8)

$$M_t = 1/2 (1 - C_2/l_2)^2 \dots\dots\dots(16)$$

untuk $C_2 = 0$ (tengah-tengah)

$$M_t = 1/2$$

Diagram unit rotasi (gambar 3.9)

$$\theta = \frac{M_t}{CG} \dots\dots\dots(17)$$

dari persamaan (16) dan (17) diperoleh :

$$\theta = \frac{(1 - C_2/l_2)}{2CG} \dots\dots\dots(18)$$

dimana - θ : sudut puntir persatu-satuan panjang,

C : koefisien panjang yang menentukan kekakuan puntir dari balik,

G : modulus pergeseran,

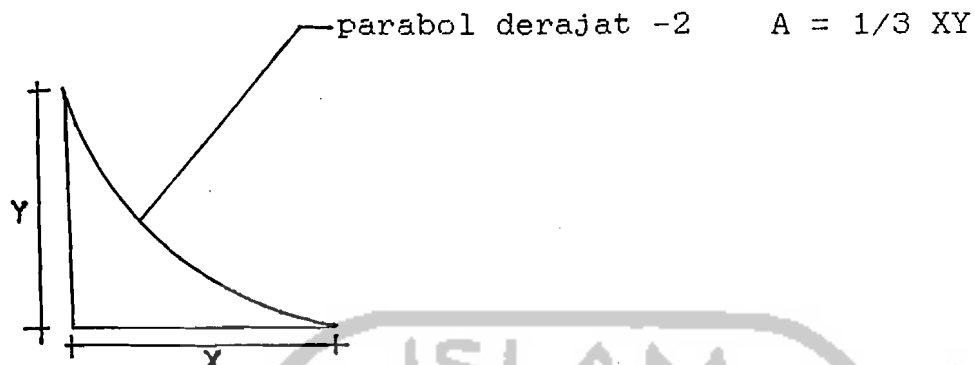
$$G = \frac{E_{cs}}{2(1 + \mu)} = 0$$

E_{cs} : modulus sekan beton dari pelat

μ : Poisson ratio , dianggap = 0 untuk beton bertulang

$\theta t =$ luas A, parabol derajat dua (lihat gambar 3.9)

$$= 1/3 XY$$



$$\theta_t = \frac{1}{3} \left[\frac{(1 - C_2/l_2)}{2CG} \right] \left[\frac{(l_2)}{2} \left(1 - \frac{C_2}{l_2}\right) \right]$$

$$\theta_t = \frac{l_2 (1 - C_2/l_2)^3}{12CG}$$

anggap : $G = 0,5$
 $= 0$

$$\theta_t = \frac{l_2 (1 - C_2/l_2)^3}{6 CE_{CS}}$$

θ_t rata-rata = $\frac{\theta_t}{3}$ jadi,

$$\theta_t = \frac{l_2 (1 - C_2/l_2)^3}{18 CE_{CS}} \dots \dots \dots (19)$$

Kekakuan puntir

$$K_t = \frac{1}{\theta_t} \times 0,5 \quad (\text{ untuk perlengan })$$

$$K_t = \frac{9E_{CS} \cdot C}{l_2 (1 - C_2/l_2)^3} \quad \text{ untuk satu lengan,}$$

$$K_t = \Sigma \frac{9E_{CS} \cdot C}{l_2 (1 - C_2/l_2)^3} \quad \text{ untuk dua lengan } \dots \dots \dots (20)$$

3.3.7 Konstanta Puntir

Konstanta puntir yang di maksud disini adalah koefisien penampang yang menentukan kekakuan puntir dari pelat-balok.

Dari persamaan (19) dapat dilihat,

$$\theta = \frac{M_t}{CG}$$

jika X = ukuran terkecil bagian persegi panjang dari suatu penampang yang memikul puntir dan,

Y = ukuran terbesar bagian persegi panjang dari suatu penampang yang memikul puntir.

dengan teori elastisitas (membran analog) diperoleh :

$$M_t = 1/3 \theta G X^3 \cdot Y (1 - 0,63 X/Y)$$

$$M_t = \theta GC$$

$$C = (1 - 0,63 X/Y) X^3 Y / 3$$

$$C = \Sigma (1 - 0.63 X/Y) X^3 Y / 3 \dots \dots \dots (21)$$

Nilai dari K_t tidak tergantung dari distribusi dari gaya puntiran sepanjang pelat-balok, karena semua total dari gaya puntir di tampung oleh kolom.