

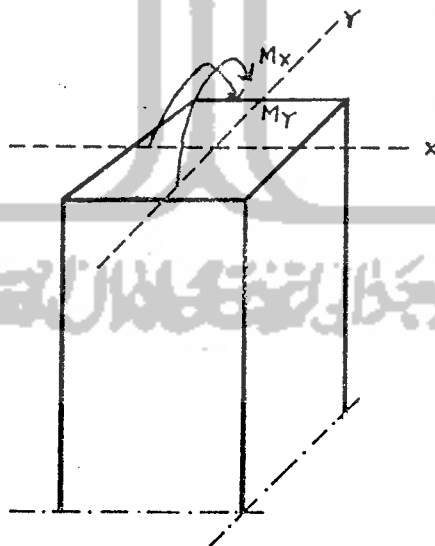
BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1. TINJAUAN UMUM

2.1.1. Definisi

Kolom adalah suatu elemen struktur beton bertulang, dengan perbandingan ukuran tinggi, tidak kurang dari tiga bagian ukuran sisi terkecil penampang, dan elemen tersebut di khususnya untuk memikul beban aksial tekan.^[3,4] Sedang momen biaksial adalah dua buah momen, yang masing-masing mempunyai arah sumbu saling tegak lurus yang berpotongan pada pusat berat penampang elemen.



Gambar 2.1. Kolom yang menerima momen biaksial

Bila titik berat penampang elemen diberi sistem sumbu koordinat x, y dan z , maka kolom biaksial bisa didefinisikan sebagai suatu elemen struktur dengan dimensi, ukuran tinggi minimal tiga kali ukuran sisi terkecil, dan menerima beban aksial tekan sejajar dengan sumbu z yang disertai dengan dua buah momen arah sumbu x dan y

2.1.2. Faktor-faktor Yang Berpengaruh

Suatu unsur struktur dapat dibebani dengan kombinasi lentur dan beban aksial di dalam banyak cara. Adalah umum dalam bangunan beton bertulang bahwa momen lentur bekerja pada semua kolom.

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kolom yang mengakibatkan terjadinya momen biaksial pada umumnya yaitu:

- a. Adanya beban lantai yang tidak seimbang pada kolom luar dan dalam.
- b. Akibat beban eksentris dalam bangunan industri.
- c. Adanya beban lateral seperti angin atau gempa.

2.1.3. Provisi Keamanan

Provisi keamanan untuk pembebanan lebih di dalam perencanaan unsur-unsur tekan maka harus dipenuhi ketentuan dari faktor beban berikut:^[4]

a. Menurut SK SNI '91, pasal 3.2.2 adalah:

- Untuk beban gravitasi,

$$U = 1,2.D + 1,6.L \quad (2.1)$$

- Untuk beban sementara termasuk angin,

$$U = 0,75 . (1,2.D + 1,6.L + 1,6.W) \quad (2.2)$$

atau

$$U = 0,9.D + 1,3.W \quad (2.3)$$

b. Menurut ACI 318-89 Tabel 5.1 hal 5-8,^[5] adalah:

- Untuk beban gravitasi,

$$U = 1,4.D + 1,7.L \quad (2.4)$$

- Untuk beban sementara termasuk angin,

$$\begin{aligned} U &= 0,75 . (1,4.D + 1,7.L + 1,7.W) \\ &= 1,05.D + 1,275.L + 1,275.W \end{aligned} \quad (2.5)$$

atau

$$U = 0,9.D + 1,3.W \quad (2.6)$$

dimana : U = kuat perlu, L = beban hidup
 D = beban mati, W = beban angin

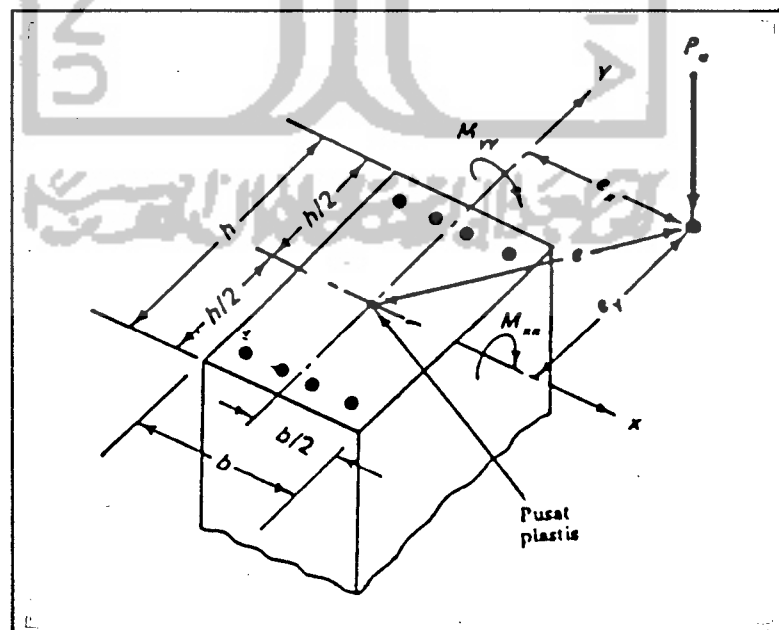
2.2. ANALISA DENGAN METODA EKSAK

Metoda eksak adalah metoda analisa kolom biaksial dengan menggunakan prinsip-prinsip dasar dari keseimbangan momen.^[3] Kolom yang menerima momen M_x terhadap sumbu x

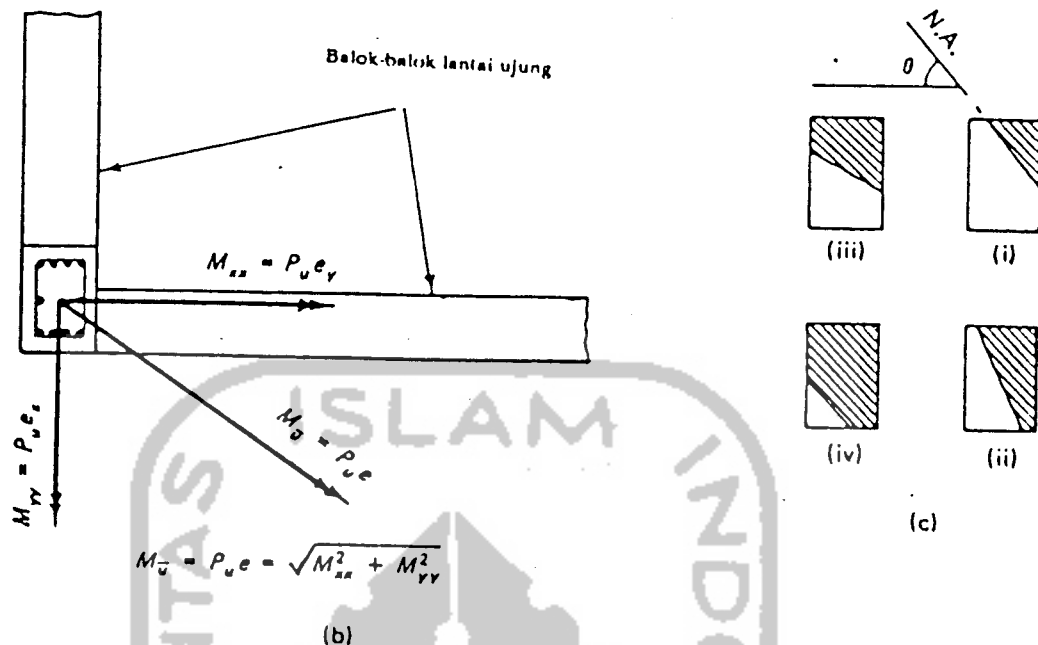
menghasilkan eksentrisitas sejauh e_y , sedang yang menerima momen M_y terhadap sumbu y menghasilkan eksentrisitas sejauh e_x . [1]

Dari kedua momen yang bekerja pada kedua sumbu tersebut, akan dihasilkan suatu momen terfaktor sebesar M_u . Dengan demikian sumbu netralnya akan membentuk sudut θ dari garis horizontal. Besarnya sudut θ tergantung pada interaksi momen lentur terhadap kedua sumbu dan besarnya P_u . [1]

Metoda ini pada hakekatnya mencakup suatu proses coba-coba untuk menyesuaikan keserasian regangan pada setiap taraf tulangan, hingga diperoleh sumbu netral pada posisi garis miring dari garis horizontal. Akibat kemiringan sumbu netral, maka kemungkinan daerah beton yang tertekan dapat dimodelkan menjadi empat bentuk. [1,3] Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.2 dan gambar 2.3.

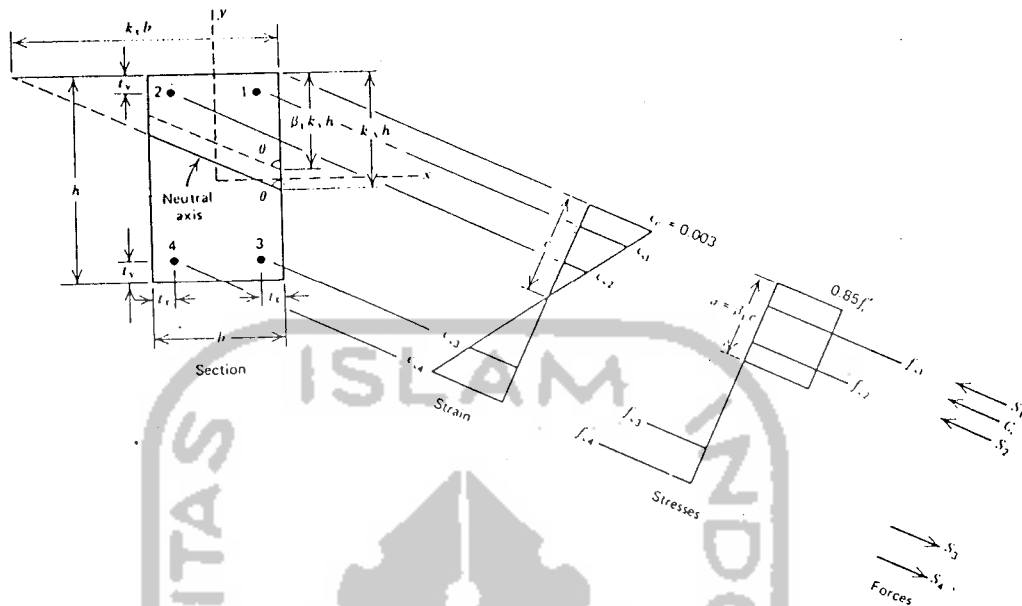


Gambar 2.2. Penampang kolom dengan lentur biaksial



Gambar 2.3. (a). Vektor momen M_x dan M_y pada penampang kolom
(b). Empat bentuk daerah beton yang tertekan.^[1]

Pada gambar 2.4, memperlihatkan distribusi tegangan-regangan pada kolom empat persegi panjang. Misalnya sumbu netral dipilih secara sembarangan, sehingga membentuk sudut θ seperti yang ditunjukkan pada gambar. Regangan beton maksimum 0,003 barangkali terlalu kecil dan balok tegangan empat persegi panjang yang ekuivalen mungkin tidak tepat $a = \beta_1 \cdot c$, tetapi pengamatan yang teliti telah menunjukkan bahwa kombinasi keduanya memuaskan. Jadi nilai C_c benar-benar $0,85 f_c'$ kali luas yang diarsir dan bekerja pada titik beratnya (atau luasnya dapat dipecah-pecah menjadi segitiga-segitiga dan empat persegi panjang jika lebih disukai).^[6]



Gambar 2.4 Keseimbangan regangan dan gaya-gaya pada kolom segi empat yang mengalami momen biaksial. [1]

Penampang kolom dan diagram tegangan regangan, diperlihatkan pada gambar 2.4. Bagian tersebut diasumsikan mempunyai empat tulangan 1,2,3 dan 4. Bila tulangan lebih dari empat bisa diasumsikan menjadi empat kelompok, dimana tulangan 1,2,3 dan 4 simetris, atau bisa dianalisis secara sendiri-sendiri dalam masing-masing posisi. Dengan menggunakan program komputer perhitungannya akan lebih mudah dan teliti. [7]

Untuk penampang seperti yang telah dijelaskan di atas, maka kuat lentur beton dapat dihitung sebagai berikut:



- (1). Regangan-regangan pada baja dapat dihitung dengan mempertimbangkan sudut-sudut yang sama dari diagram regangan pada gambar 2.4.

$$\frac{\epsilon_{s1}}{k_y \cdot h - t_y - t_x \cdot \cot \theta} = \frac{0,003}{k_y \cdot h}$$

$$\epsilon_{s1} = 0,003 \left[1 - \frac{t_x}{k_x \cdot b} - \frac{t_y}{k_y \cdot h} \right] \quad (2.7 \text{ a})$$

Dengan cara yang sama, kita peroleh;

$$\epsilon_{s2} = 0,003 \left[1 - \frac{b-t_x}{k_x \cdot b} - \frac{t_y}{k_h \cdot h} \right] \quad (2.7 \text{ b})$$

$$\epsilon_{s3} = 0,003 \left[1 - \frac{t_x}{k_x \cdot b} - \frac{h-t_y}{k_y \cdot h} \right] \quad (2.7 \text{ c})$$

$$\epsilon_{s4} = 0,003 \left[1 - \frac{b-t_x}{k_x \cdot b} - \frac{h-t_y}{k_y \cdot h} \right] \quad (2.7 \text{ d})$$

Dimana regangan positif menandakan desak.

- (2). Besarnya tegangan-tegangan dan gaya-gaya tersebut dapat ditunjukkan oleh bentuk diagram regangan desak baja. Tegangan baja no. 1 akan mencapai titik leleh, jika:

$$\epsilon_{s1} \geq \frac{f_y}{E_s} \longrightarrow f_{s1} = f_y \quad (2.8 \text{ a})$$

atau jika

$$\frac{f_y}{E_s} > \epsilon_{s1} > -\frac{f_y}{E_s} \longrightarrow f_{s1} = \epsilon_{s1} \cdot E_s \quad (2.8 \text{ b})$$

atau jika

$$\epsilon_{s1} \leq -\frac{f_y}{E_s} \longrightarrow f_{s1} = -f_y \quad (2.8 \text{ c})$$

Tegangan-tegangan pada baja 2, 3 dan 4 didapatkan dengan cara yang sama. Kemudian gaya-gaya baja tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

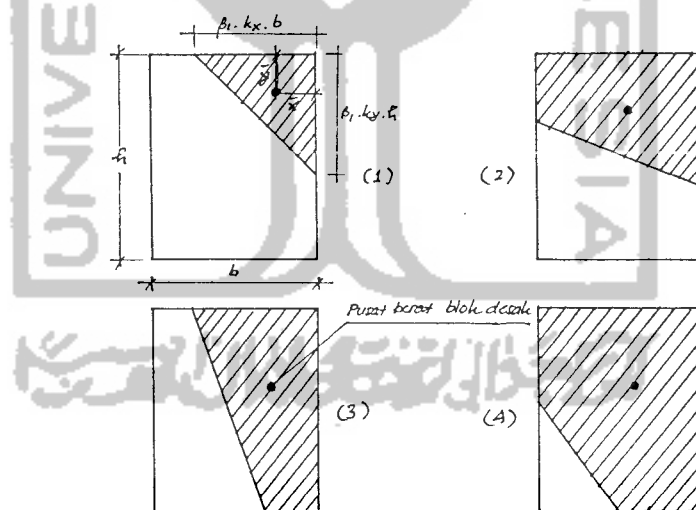
$$S_1 = A_{s1} \cdot f_{s1} \quad (2.9 \text{ a})$$

$$S_2 = A_{s2} \cdot f_{s2} \quad (2.9 \text{ b})$$

$$S_3 = A_{s3} \cdot f_{s3} \quad (2.9 \text{ c})$$

$$S_4 = A_{s4} \cdot f_{s4} \quad (2.9 \text{ d})$$

(3). Resultante gaya desak beton dan letak titik kerjanya tergantung dari bentuk dan luas blok desak. Empat kemungkinan yang terjadi diperlihatkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Empat bentuk daerah blok beton yang menerima desak

Untuk kasus 1, kita dapatkan:

$$C_c = \frac{0,85.f'c.\beta_1.k_y.h.\beta_1.k_x.b}{2}$$

$$C_c = 0,425.f'c.\beta_1^2.k_x.k_y.b.h \quad (2.10)$$

$$\bar{x} = 0,333.\beta_1.k_x.b \quad (2.11 a)$$

$$\bar{y} = 0,333.\beta_1.k_y.h \quad (2.11 b)$$

Dengan cara yang sama bisa didapatkan C_c , $\bar{x}$ dan $\bar{y}$ untuk bentuk 2,3 dan 4. Persamaan tersebut dirumuskan oleh *Matoock, Kriz dan Hognestad*.^[7]

- (4). Untuk kesetimbangan posisi garis netral, maka penjumlahan gaya-gaya longitudinal yang terjadi harus nol atau mendekati nol.

$$C_c + S_1 + S_2 + S_3 + S_4 \cong 0 \quad (2.12)$$

Momen-momen yang bekerja disekitar sumbu pada kuat desak beton dapat dihitung dengan mengambil momen-momen tersebut dari gaya-gaya internalnya disekitar sumbu arah x (dari tepi dasar penampang) dan sumbu arah y (dari tepi kiri penampang), kemudian kita dapatkan:

$$M_{ux} = C_c.(h-\bar{y})+(S_1+S_2).(h-t_y)+(S_3+S_4).t_y \quad (2.13 a)$$

$$M_{uy} = C_c.(b-\bar{x})+(S_1+S_3).(b-t_x)+(S_2+S_4).t_x \quad (2.13 b)$$

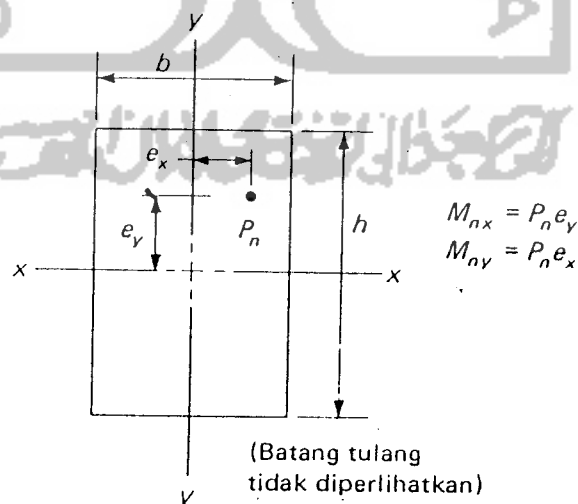
Tanda-tanda (+) untuk tegangan desak dan (-) untuk tegangan tarik disubstitusikan kedalam persamaan (2.12 dan 2.13 a b).

Analisa dan desain kolom yang mendapat momen lentur biaksial adalah sukar, oleh karena itu prosedur coba-coba sangat penting untuk mendapatkan kemiringan (sudut θ) dan ketepatan garis netral.

2.3. ANALISA DENGAN METODA PERMUKAAN RUNTUH

Metoda permukaan runtuh adalah suatu metoda analisa pendekatan dengan pemisalan keruntuhan permukaan yang terjadi jika suatu kolom menerima beban aksial yang disertai dengan momen lentur dari kedua sumbu x dan y.

Konsep penggunaan teori permukaan runtuh ini, pertama kali dikemukakan oleh Bresler dan Parme, maka metoda ini

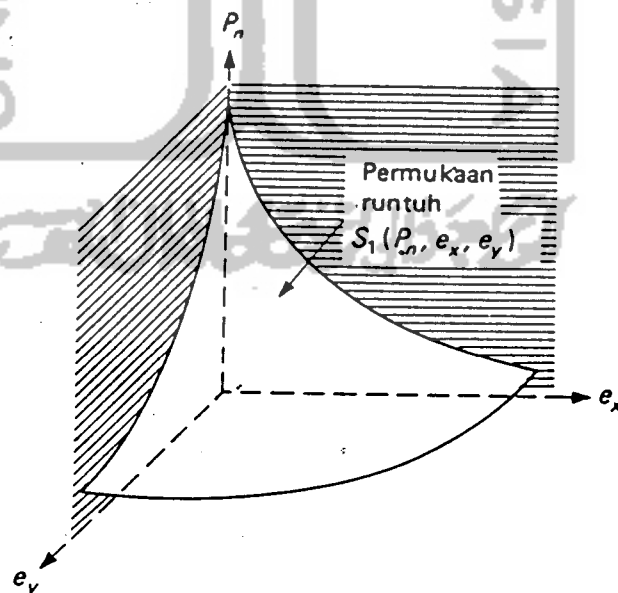


Gambar 2.6. Notasi^[4]

sering disebut metoda kontur Bresler-Parme. Kekuatan nominal batas dari suatu penampang dalam lentur biaksial, dan tekan merupakan fungsi dari tiga variabel, yaitu P_n , M_{nx} dan M_{ny} , yang juga dapat dinyatakan kedalam gaya aksial P_n yang bekerja dengan eksentrisitas $e_y = M_{nx}/P_n$ dan $e_x = M_{ny}/P_n$, masing-masing menurut sumbu x dan y , seperti yang diperlihatkan dalam gambar 2.6. [1] Ada tiga tipe permukaan runtuh yaitu: S_1 , S_2 , S_3 . [3]

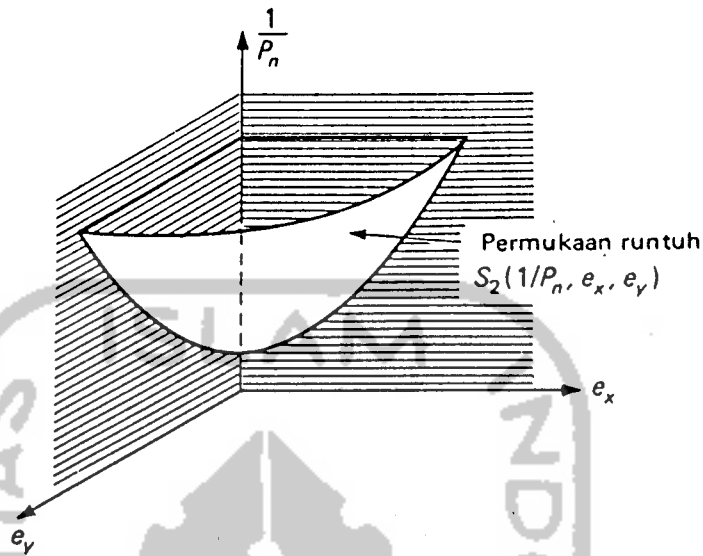
2.3.1. Permukaan Runtuh Tipe Pertama (S_1)

Dalam tipe yang pertama (S_1), variabel yang digunakan sepanjang ketiga sumbu ortogonal adalah P_n , e_x , dan e_y . Tipe yang pertama ini tidak dibahas lebih lanjut karena terbatasnya literatur yang tersedia. Gambar 2.7 menggambarkan bentuk permukaan runtuh tipe S_1 . [3]



Gambar 2.7. Permukaan runtuh tipe S_1 (P_n , e_x , e_y). [5]

2.3.2. Permukaan runtuh tipe kedua (S_2)

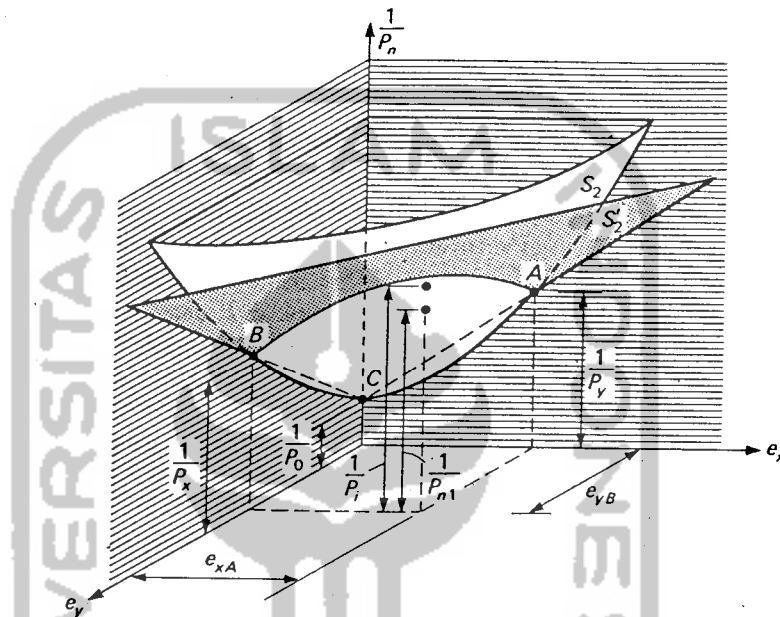


Gambar 2.8. Permukaan runtuh tipe S_2 ($1/P_n$, e_x , e_y)^[5]

Tipe yang kedua ini pada prinsipnya adalah tipe kebalikan dari tipe pertama. Variabel yang digunakan sepanjang ketiga sumbu ortogonal adalah $1/P_n$, e_x dan e_y , seperti pada gambar 2.8.^[3]

Untuk menyusun suatu prosedur yang realitis, Bresler menyarankan pendekatan untuk suatu titik ($1/P_{n1}$, e_{xA} dan e_{yB}) pada permukaan runtuh berlawanan S_2 dengan suatu titik ($1/P_{i1}$, e_{xA} , e_{yB}) pada suatu bidang datar S'_2 yang melalui titik A, B dan C (seperti pada gambar 2.9). Masing-masing titik pada permukaan yang sebenarnya didekati dengan bidang yang berbeda atau keseluruhan permukaan runtuh didefinisikan oleh tak terhingga jumlah bidang-bidang.^[3]

Untuk menentukan kekuatan P_{n1} yang mempunyai momen biaksial e_{xA} dan e_{yB} dengan memisalkan bahwa P_{n1} sama dengan P_i yang terletak pada bidang S'_2 yang khusus ditetapkan untuk itu.



Gambar 2.9. Grafik penampilan dari metoda PermukaanRuntuh tipe S_2 [3]

Bidang khusus ditentukan pada bidang ini melalui titik A, B dan C, maka akan diketahui letak bidang tersebut pada permukaan runtuh tipe S_2 yang sebenarnya. [3]

$$A (e_{xA}, 0, 1/P_y); \quad B (0, e_{yB}, 1/P_x); \quad C (0, 0, 1/P_o)$$

dimana P_o adalah kekuatan nominal dibawah tekan aksial saja tanpa eksentrisitas, P_x adalah kekuatan nominal pada

eksentrisitas e_{yB} ($M_{nx} = P_x \cdot e_{yB}$) dan P_y adalah kekuatan nominal pada eksentrisitas uniaksial e_{xA} ($M_{ny} = P_y \cdot e_{xA}$).

Maka titik A akan mewakili suatu titik (P_y, M_{ny}) pada diagram interaksi uniaksial $P_n - M_n$ seperti pada gambar 2.10. Untuk lentur terhadap sumbu y , titik B menyatakan suatu titik (P_x, M_{nx}) pada diagram interaksi uniaksial $P_n - M_n$ terhadap sumbu x , dan titik C adalah suatu titik bersama untuk kedua diagram interaksi.



Gambar 2.10. Diagram cirian interaksi kekuatan untuk tekan aksial dan momen lentur pada suatu sumbu^[3]

Persamaan bidang $S'z$ dapat ditentukan menurut ketiga titik A, B dan C dengan menuliskan $x = e_x$, $y = e_y$ dan $z = 1/P_n$, persamaan umum dari bidang tersebut adalah:

$$A_1 x + A_2 y + A_3 z + A_4 = 0 \quad (2.10)$$

Persamaan koordinat-koordinat dari titik A, B dan C (lihat gambar 2.9) kedalam persamaan (2.10) memberikan;

$$A_1 \cdot e_{xA} + 0 + A_3 \cdot 1/P_y + A_4 = 0 \quad (2.11 a)$$

$$0 + A_2 \cdot e_{yB} + A_3 \cdot 1/P_x + A_4 = 0 \quad (2.11 b)$$

$$0 + 0 + A_3 \cdot 1/P_o + A_4 = 0 \quad (2.11 c)$$

Penyelesaian dari persamaan (2.11 abc) untuk A_1 , A_2 , dan A_3 di dalam A_4 memberikan;

$$A_1 = \frac{1}{e_{xA}} \left[\frac{P_o}{P_y} - 1 \right] \cdot A_4 \quad (2.12 a)$$

$$A_2 = \frac{1}{e_{yB}} \left[\frac{P_o}{P_x} - 1 \right] \cdot A_4 \quad (2.12 b)$$

$$A_3 = -P_o \cdot A_4 \quad (2.12 c)$$

Dengan memasukkan persamaan (2.12 abc) ke dalam persamaan (2.10) akan diperoleh;

$$A_4 \left[\frac{x}{e_{xA}} \left[\frac{P_o}{P_y} - 1 \right] + \frac{y}{e_{yB}} \left[\frac{P_o}{P_x} - 1 \right] - P_o z + 1 \right] \quad (2.13)$$

Pembagian persamaan di atas dengan P_o , maka akan merubah persamaan dari bidang $S'z$ menjadi;

$$\frac{x}{e_{xA}} \left[\frac{1}{P_y} - \frac{1}{P_o} \right] + \frac{y}{e_{yB}} \left[\frac{1}{P_x} - \frac{1}{P_o} \right] - z + \frac{1}{P_o} = 0 \quad (2.14)$$

Pada titik $(x = e_{xA}, y = e_{yB}, z = 1/P_i)$ pada bidang yang mendekati titik $(x = e_{xA}, y = e_{yB}, z = 1/P_{n1})$ pada permukaan runtuh yang sebenarnya. Persamaan (2.14) menjadi,

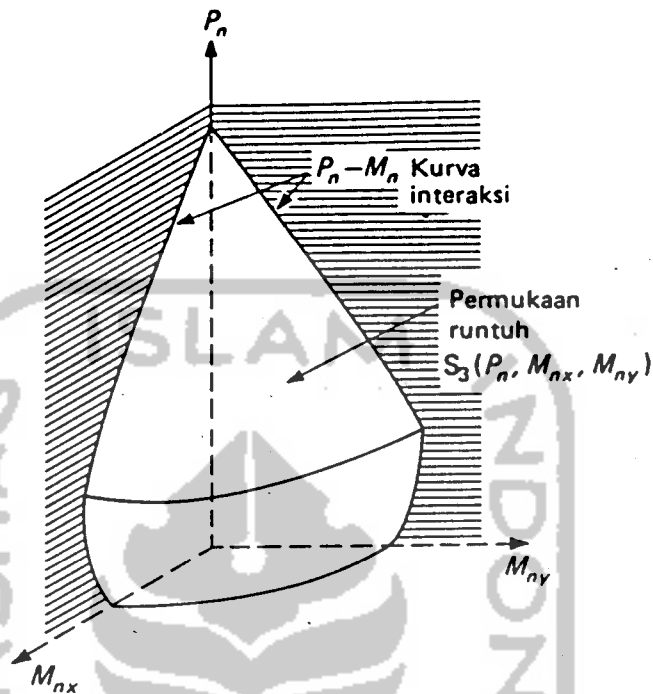
$$\left[\frac{1}{P_y} - \frac{1}{P_o} \right] + \left[\frac{1}{P_x} - \frac{1}{P_o} \right] \frac{1}{P_i} + \frac{1}{P_o} = 0 \quad (2.15)$$

Persamaan (2.15) bisa disederhanakan menjadi,

$$\frac{1}{P_i} = \frac{1}{P_x} + \frac{1}{P_y} - \frac{1}{P_o} \quad (2.16)$$

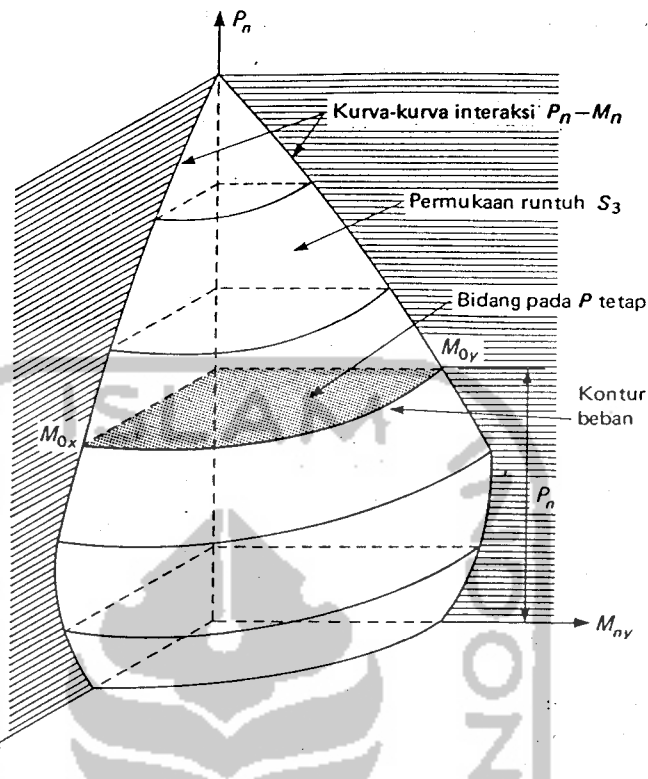
Bresler telah mengemukakan pendapatnya, bahwa harga-harga P_i yang dihitung dengan menggunakan persamaan (2.16) sangat cocok dengan hasil-hasil percobaan dengan penyebaran (deviasi) maksimum 9,4% dan rata-rata 3,3%. Ramamurthi juga mengemukakan bahwa persamaan (2.16) dapat digunakan untuk menaksir beban batas dengan ketelitian yang cukup baik. Sedang Pannell menyajikan percobaan tambahan, bahwa persamaan (2.16) kurang layak jika diterapkan untuk beban aksial yang kecil, misalnya kalau P_n/P_o berada di dalam batas harga yang kurang dari 0,006. Untuk itu hal-hal yang demikian, harus direncanakan untuk lentur saja. [3]

2.3.3. Permukaan runtuh tipe ketiga (S_3)



Gambar 2.11. Permukaan runtuh tipe S_3 (P_n, M_{nx}, M_{ny})^[5]

Metoda permukaan runtuh tipe ketiga ini, lebih dikenal dengan metoda kontur beban cara Bresler, karena metoda ini pertama kali dipaparkan oleh Bresler. Metoda ini mencakup pemotongan dari permukaan runtuh S_3 , lihat gambar 2.11, harga P_n yang konstan memberikan interaksi kontur beban yang melibatkan M_{nx} dan M_{ny} . Permukaan S_3 dapat dianggap meliputi satu keluarga dari kurva-kurva kontur beban yang sehubungan dengan harga P_n yang konstan, bila digambar bersama dalam satu bidang tunggal akan menyerupai peta kontur (contoh map). Cir-ciri bidang pada P_n yang konstan dengan kontur beban yang bersangkutan bisa dilihat pada gambar 2.12.^[3]



Gambar 2.12. Kontur beban untuk P_n pada tipe permukaan runtuh S_3 [5]

Persamaan umum yang tidak berdimensi, untuk kontur beban pada P_n yang konstan, dinyatakan dalam bentuk:

$$\left(\frac{M_{nx}}{M_{ox}} \right)^{\alpha_1} + \left(\frac{M_{ny}}{M_{oy}} \right)^{\alpha_2} = 1 \quad (2.17)$$

dimana;

$$M_{nx} = P_n e_y \quad ; \quad M_{ny} = P_n e_x$$

$$M_{ox} = M_{nx}, \text{ untuk } P_n \text{ tertentu bila } M_{ny} \text{ atau } e_x = 0$$

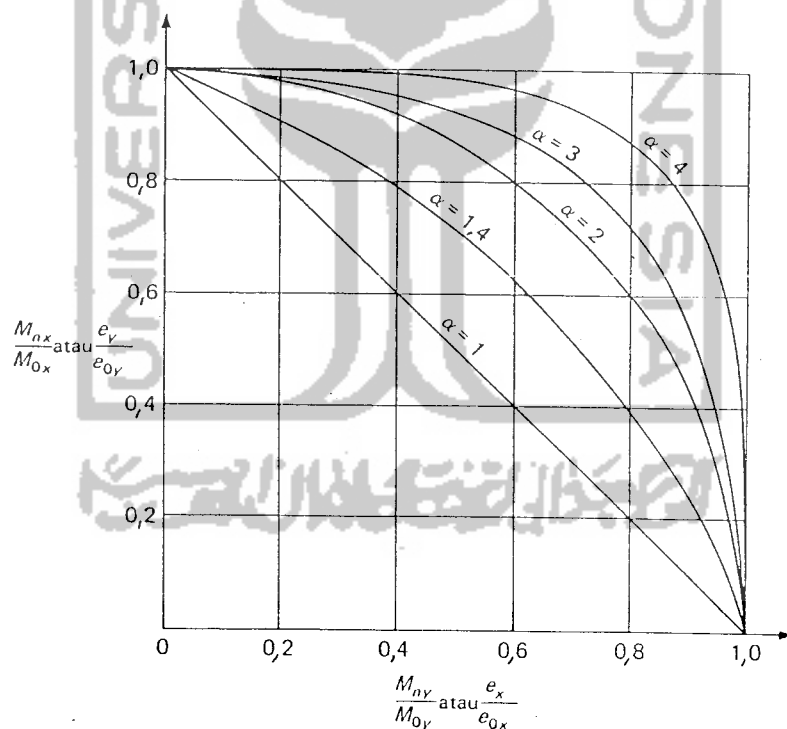
$$M_{oy} = M_{ny}, \text{ untuk } P_n \text{ tertentu bila } M_{nx} \text{ atau } e_y = 0$$

α_1, α_2 = pangkat yang tergantung pada geometri penampang kolom, prosentase tulangan, penempatan tulangan dan tegangan f'_c dan f_y .

Menurut Bresler, $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ dapat dibenarkan, dengan demikian persamaan (2.17) dapat disederhanakan menjadi:

$$\left(\frac{M_{nx}}{M_{ox}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{ny}}{M_{oy}} \right)^\alpha = 1 \quad (2.18)$$

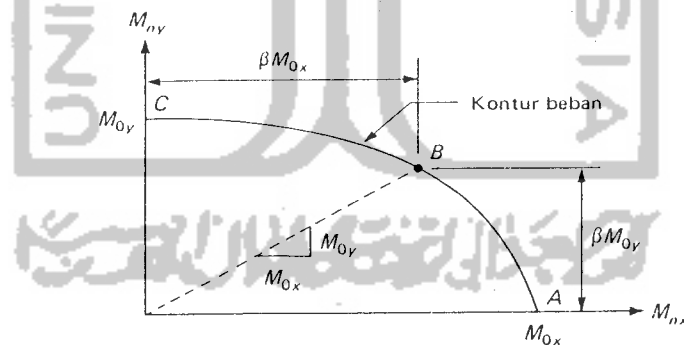
Kurve-kurve interaksi untuk persamaan (2.18) secara grafis dapat dilihat pada gambar 2.13. [3]



Gambar 2.13. Kurva-kurva interaksi untuk persamaan (2.18) [5]

Dalam menggunakan persamaan (2.18) atau gambar 2.13, masih diperlukan untuk mendapatkan harga α yang berlaku untuk kolom yang sedang ditinjau. Untuk tujuan praktis, cukup memuaskan bila nilai α diambil sebesar 1,5 untuk penampang persegi dan 2,0 untuk penampang bujur sangkar.

Parame dan kawan-kawan, mengembangkan metoda kontur beban cara Bresler. Persamaan (2.18) dianggap sebagai kriteria kekuatan dasar untuk menetapkan kontur beban cirian yang memberikan perpotongan dari permukaan runtuh S_3 dengan bidang horizontal dengan tinggi P_n . Kontur beban yang demikian diperlihatkan dalam gambar 2.14. Perubahan di dalam orientasi dari sumbu M_{nx} dan M_{ny} dilakukan untuk mencocokkan dengan penyajian dua dimensi.



Gambar 2.14. Kontur bidang P_n yang tetap dan dipotong melalui persamaan runtuh S_3 [5]

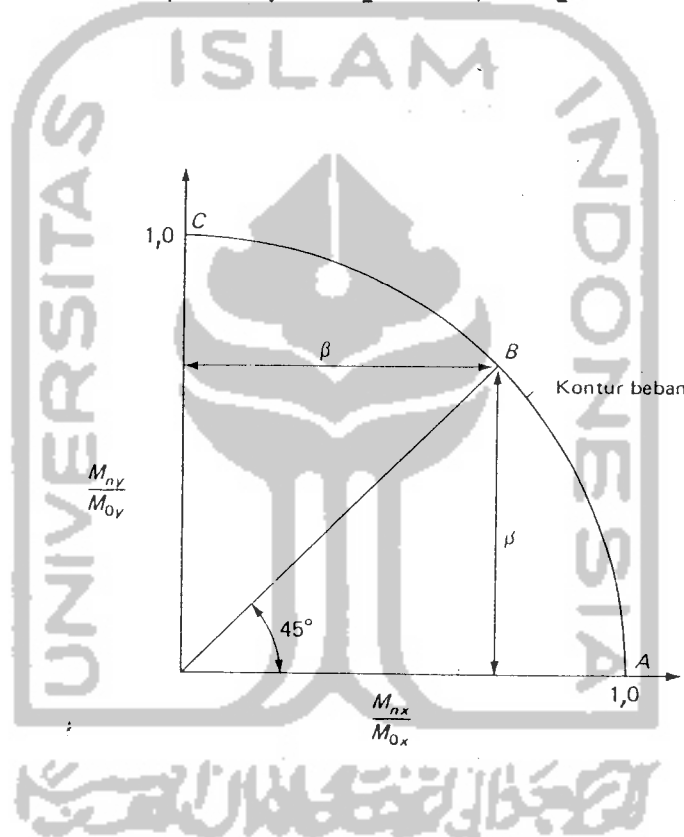
Bila suatu titik B pada kontur beban didefinisikan, sedemikian hingga momen biaksial M_{nx} dan M_{ny} pada titik ini

adalah dalam perbandingan yang sama dengan kekuatan momen uniaksial M_{ox} dan M_{oy} , sehingga pada titik B berlaku persamaan berikut:

$$\frac{M_{ny}}{M_{nx}} = \frac{M_{oy}}{M_{ox}} \quad (2.19 \text{ a})$$

atau

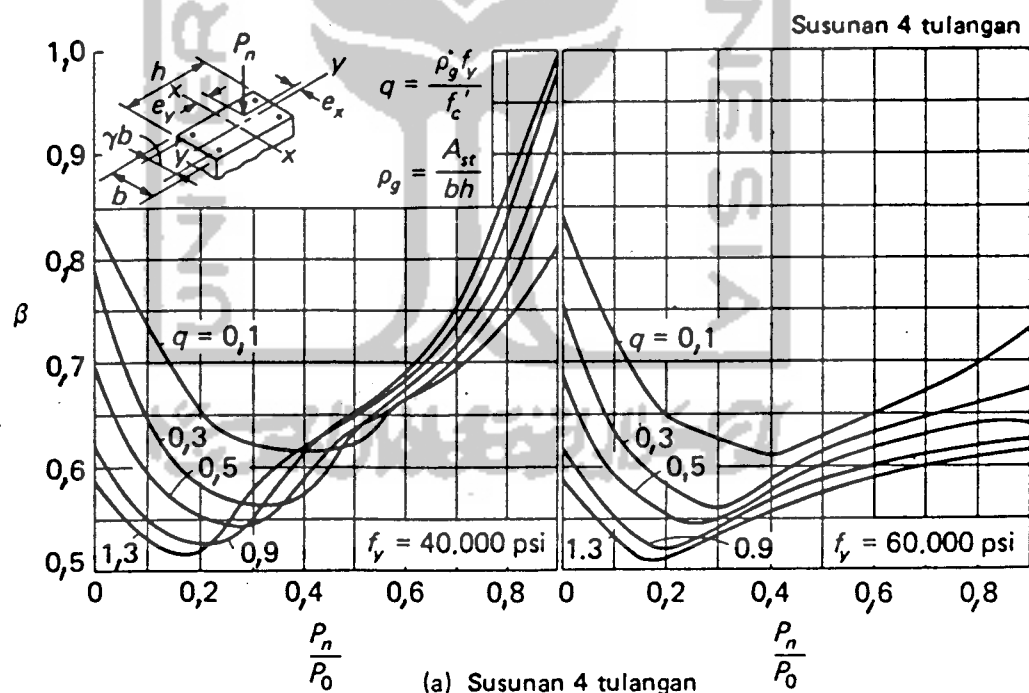
$$M_{nx} = \beta M_{ox}; \quad M_{ny} = \beta M_{oy} \quad (2.19 \text{ b})$$



Gambar 2.15. Kontur beban tak berdimensi pada P_n yang tetap

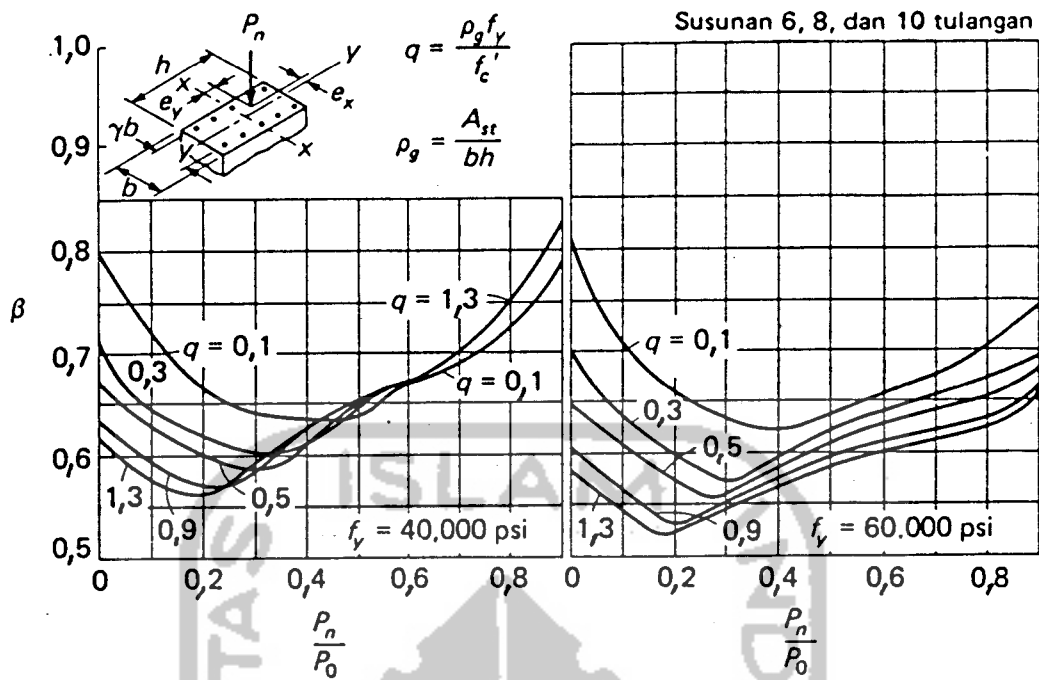
Bila keliling beban dalam gambar 2.14, disesuaikan untuk mengambil bentuk yang tidak berdimensi seperti pada gambar 2.15, maka titik B akan mempunyai perbandingan β seperti yang didefinisikan pada persamaan (2.19ab), sebagai

koordinat x dan y . Dalam pengertian fisik, perbandingan β merupakan bagian yang konstan dari kekuatan momen uniaksial yang diperbolehkan bekerja secara serentak pada penampang kolom. Nilai yang sebenarnya dari β tergantung pada perbandingan dari P_n terhadap P_o , disamping sifat-sifat bahan dan penampang, umumnya berkisar antara 0,55 sampai 0,70. Untuk perencanaan disarankan menggunakan nilai rata-rata $\beta = 0,65$. Nilai-nilai β yang lebih teliti telah dihitung dengan menggunakan prinsip-prinsip dasar keseimbangan dan nomogram untuk β telah disajikan didalam referensi. [5] Grafik-grafik nilai β ini dapat dilihat dalam gambar 2.16.

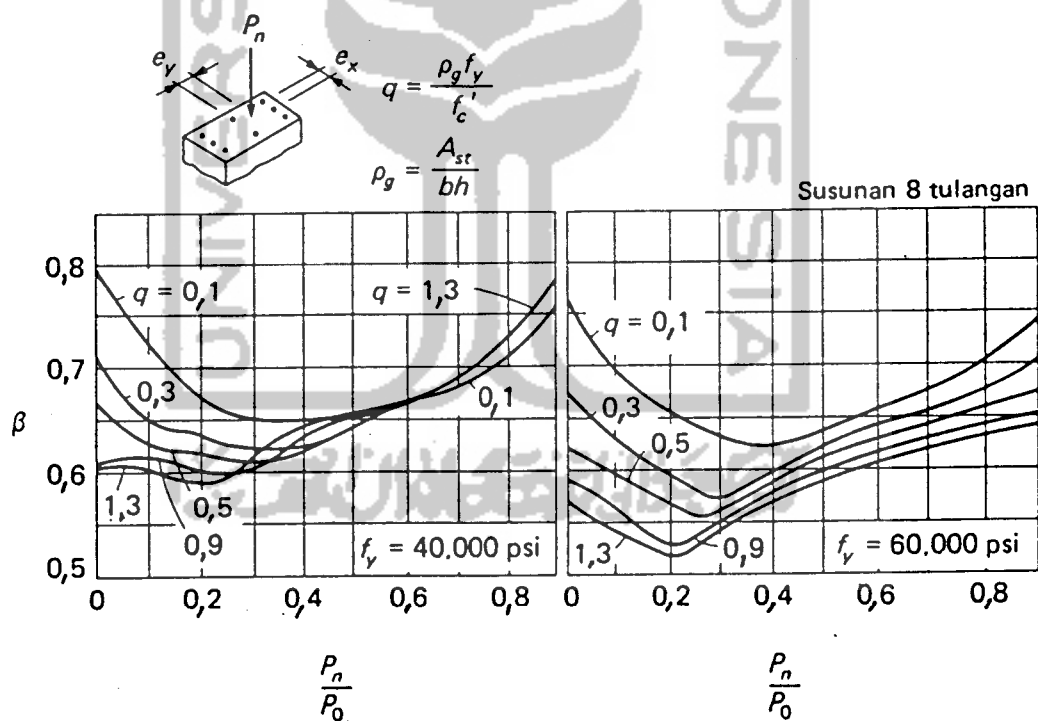


Untuk $0,6 \leq \gamma \leq 1,0$; $3000 \leq f'_c \leq 6000$ dan $10 \leq h/b \leq 4,0$

Gambar 2.16. konstanta β rencana untuk lentur biaksial
(gambar dilanjutkan di halaman berikut)

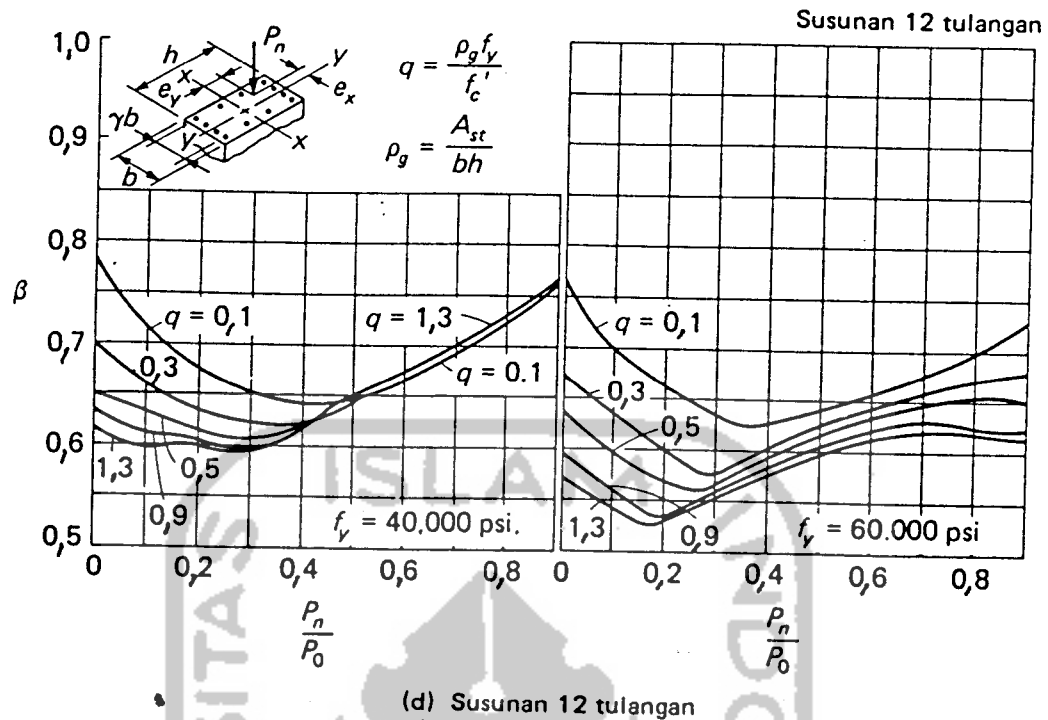


(c) Susunan 6, 8, dan 10 tulangan



(b) Susunan 8 tulangan

Untuk $0.6 \leq \gamma \leq 1.0$; $3000 \leq f'_c \leq 6000$ dan $10 \leq h/b \leq 4.0$
 Gambar 2.16. Konstanta β rencana untuk lentur biaksial
 (lanjutan)



Untuk $0,6 \leq \gamma \leq 1,0$; $3000 \leq f'_c \leq 6000$ dan $10 \leq h/b \leq 4,0$

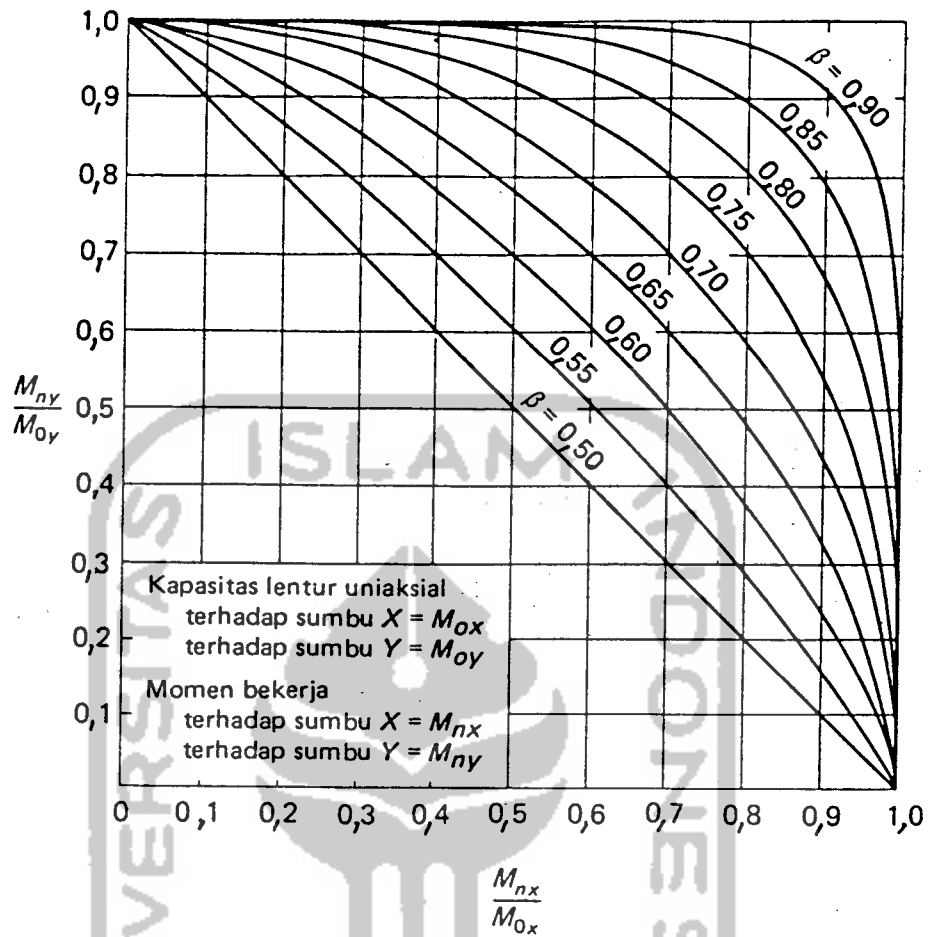
Gambar 2.16. Konstanta β rencana untuk lentur biaksial (lanjutan)

Setelah nilai empiris β ditetapkan untuk penampang dan pembebanan, maka keliling beban tidak berdimensi menjadi dapat ditentukan, jika persamaan (2.18) diterima sebagai hubungan yang sebenarnya. Hubungan antara α dan β diperoleh dengan menggunakan koordinat dari titik B, yang diketahui pada sekeliling kontur, sehingga diperoleh persamaan:

$$\left(\frac{\beta M_{ox}}{M_{ox}} \right)^{\alpha} + \left(\frac{\beta M_{oy}}{M_{oy}} \right)^{\alpha} = 1$$

dimana; $\beta^{\alpha} = \frac{1}{2}$

$$\alpha \log \beta = 0,5 \quad \longleftrightarrow \quad \alpha = \frac{\log 0,5}{\log \beta} \quad (2.20)$$



Gambar 2.17. Hubungan interaksi untuk lentur biaksial dinyatakan dalam nilai β [5]

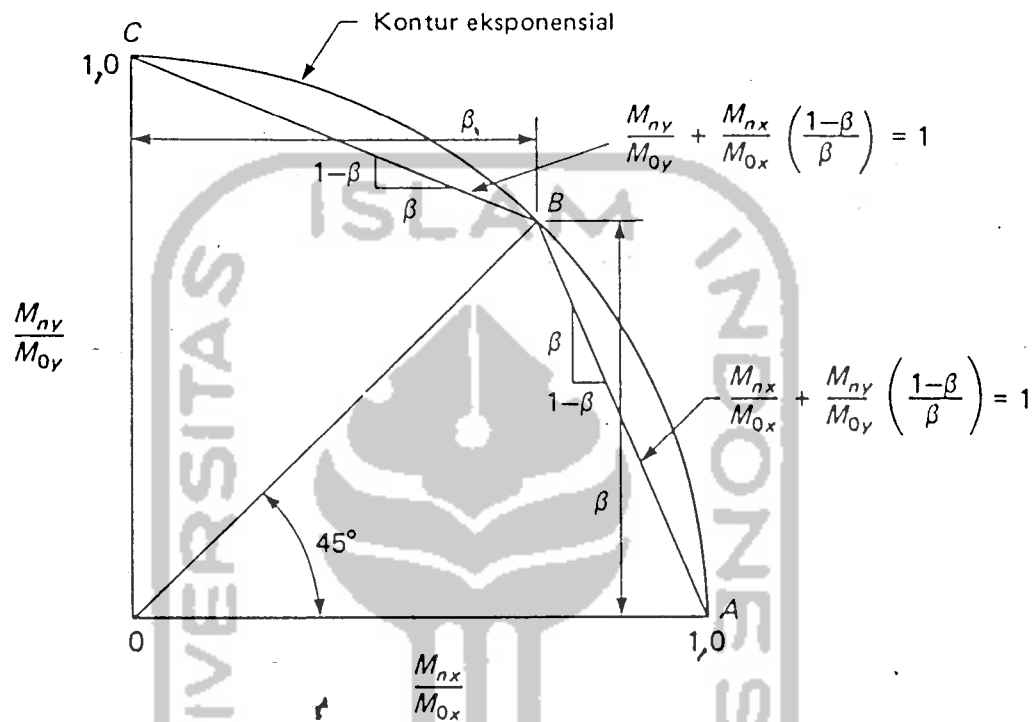
Dengan demikian persamaan (2.17) dapat ditulis sebagai;

$$\left(\frac{M_{nx}}{M_{0x}} \right)^{\frac{\log 0,5}{\log \beta}} + \left(\frac{M_{ny}}{M_{0y}} \right)^{\frac{\log 0,5}{\log \beta}} = 1 \quad (2.21)$$

Penggambaran persamaan (2.21) untuk berbagai nilai β diperlihatkan dalam gambar 2.17.

Untuk tujuan perencanaan, Gouwens menurunkan suatu pendekatan yang dapat digunakan untuk menggantikan kurva-kurva dalam gambar 2.17. Kontur beban yang tidak

berdimensi dapat didekati dengan dua garis lurus BA dan BC, seperti dalam gambar 2.18, maka persamaan (2.21) dapat disederhanakan dalam dua kondisi, yaitu:



Gambar 2.18. Plat kontur interaksi yang dimodifikasi pada P_n konstan untuk kolom biaksial. [5]

a. Untuk AB dimana $M_{ny}/M_{oy} < M_{nx}/M_{ox}$

$$\frac{M_{nx}}{M_{ox}} + \frac{M_{ny}}{M_{oy}} \left[\frac{1 - \beta}{\beta} \right] = 1,0 \quad (2.22 \text{ a})$$

b. Untuk BC dimana $M_{ny}/M_{oy} > M_{nx}/M_{ox}$

$$\frac{M_{ny}}{M_{oy}} + \frac{M_{nx}}{M_{ox}} \left[\frac{1 - \beta}{\beta} \right] = 1,0 \quad (2.22 \text{ b})$$

Untuk keperluan perencanaan, kedua persamaan (2.22 a b) dapat disederhanakan lagi;

- Untuk $\frac{M_{ny}}{M_{nx}} \geq \frac{M_{oy}}{M_{ox}}$, maka:

$$M_{ny} + M_{nx} \left(\frac{M_{oy}}{M_{ox}} \right) \left(\frac{1 - \beta}{\beta} \right) = M_{oy} \quad (2.23 \text{ a})$$

- Untuk $\frac{M_{ny}}{M_{nx}} \leq \frac{M_{oy}}{M_{ox}}$, maka:

$$M_{nx} + M_{ny} \left(\frac{M_{ox}}{M_{oy}} \right) \left(\frac{1 - \beta}{\beta} \right) = M_{ox} \quad (2.23 \text{ b})$$

Bila digunakan penampang persegi dengan tulangan yang disebarkan merata sepanjang keempat sisi, perbandingan dari Moy terhadap Mox (yaitu, M_{ny}/M_{nx} pada gambar 2.6) kurang lebih sama dengan perbandingan b terhadap h, sehingga

$$\frac{M_{oy}}{M_{ox}} \approx \frac{b}{h}$$

Yang memberikan masing-masing mendapatkan persamaan:

- Untuk $\frac{M_{ny}}{M_{nx}} \geq \frac{b}{h}$, maka

$$M_{ny} + M_{nx} \left(\frac{b}{h} \right) \cdot \left(\frac{1 - \beta}{\beta} \right) \approx M_{oy} \quad (2.24 \text{ a})$$

- Untuk $\frac{M_{ny}}{M_{nx}} \leq \frac{b}{h}$, maka

$$M_{nx} + M_{ny} \left(\frac{h}{b} \right) \cdot \left(\frac{1 - \beta}{\beta} \right) \approx M_{ox} \quad (2.24 \text{ b})$$