

TUGAS AKHIR

STUDI PUSTAKA

ANALISA KOLOM BIAKSIAL



Disusun oleh :

Komron Budur

No. Mhs : 84310074
N I R M : 844330073

Adang Suwardja

No. Mhs : 1499
N I R M : 3198 / 79

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

1994

TUGAS AKHIR

STUDI PUSTAKA

ANALISA KOLOM BIAKSIAL

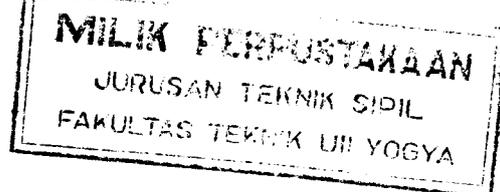
Disusun oleh :

Komron Budur

No. Mhs : 84310074
N I R M : 844330073

Adang Suwardja

No. Mhs : 1499
N I R M : 3198 / 79



**Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan Dalam Rangka
Memperoleh Derajat Sarjana Pada Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

1994

TUGAS AKHIR

STUDI PUSTAKA

ANALISA KOLOM BIAKSIAL

Disusun oleh :

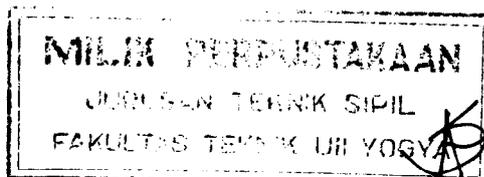
Komron Budur

No. Mhs : 84310074
N I R M : 844330073

Adang Suwardja

No. Mhs : 1499
N I R M : 3198 / 79

Telah diperiksa dan disetujui oleh :



Ir. M. Samsudin

Dosen Pembimbing

Tanggal : 3/6-'94

Ir. A. Kadir Aboe, MS

Asisten Pembimbing

Tanggal : 22/09/94



MOTTO DAN PERSEMBAHAN

"Dan hamba-hamba yang baik dari Tuhan Yang Maha Penyayang itu (ialah) orang-orang yang berjalan di atas bumi dengan rendah hati dan apabila orang-orang jahil menyapa mereka, mereka mengucapkan kata-kata (yang mengandung) keselamatan".
(Q.S. Al-Furqaan 63)

Dipersembahkan Untuk:

Bapak dan Ibu H. Toha Dinta Suwardja
Istri dan Anakku Affifah Intan Kemala
Adik-adikku tercinta

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

السلام على من لا اله الا الله وحده لا شريك له

Segala puja dan puji sukur penyusun panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmad, hidayah dan inayah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Begitu pula solawat dan salam penyusun haturkan atas junjungan nabi besar Muhammad SAW.

Sesuai dengan pendidikan program sarjana pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, bahwa tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh derajat sarjana.

Dalam menyusun tugas akhir ini, penyusun sering menemui kesulitan, namun atas bantuan berbagai pihak. alhamdulillah penyusun dapat mengatasinya. Untuk itu tidak lupa penyusun ucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bp. Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
2. Bp. Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
3. Bp. Ir. M. Samsudin, sebagai dosen pembimbing tugas akhir
4. Bp. Ir. A. Kadir Aboe, MS, sebagai asisten pembimbing tugas akhir.

5. Semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penyusun menyadari, walau dengan segenap kemampuan untuk menyusun tugas akhir ini dengan sempurna, namun sebagai manusia biasa tentunya tidak lepas dari kekurangan dan kealpaan. Oleh karena itu, atas kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penyusun harapkan.

Akhirnya penyusun berharap, semoga tugas akhir ini berguna bagi penyusun khususnya dan para pembaca pada umumnya.

والسلام على من اتبع الهدى
والسلام على من اتبع الهدى

Yogyakarta, Juli 1994

Penyusun

DAFTAR ISI

	<i>Halaman</i>
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan	2
1.3. Batasan Masalah	2
BAB II. KAJIAN PUSTAKA	3
2.1. Tinjauan Umum	3
2.1.1. Definisi	3
2.1.2. Faktor-faktor yang berpengaruh .	4
2.1.3. Provisi Keamanan	4
2.2. Analisa Dengan Metoda Eksak	5
2.3. Analisa Dengan Metoda Permukaan Runtuh.	12
2.3.1. Permukaan Runtuh Tipe Pertama ..	13
2.3.2. Permukaan Runtuh Tipe Kedua	14
2.3.3. Permukaan Runtuh Tipe Ketiga ...	19
BAB III. DESAIN KOLOM BIAKSIAL	30
3.1. Desain dengan Metoda Eksak	30

	<i>Halaman</i>
3.2. Desain dengan Metoda Permukaan Runtuh	
Tipe S_3	40
3.3. Desain dengan Metoda Permukaan Runtuh	
Tipe S_2	56
BAB IV. PEMBAHASAN DESAIN KOLOM BIAKSIAL	65
4.1. Pembahasan Metoda Eksak	65
4.2. Pembahasan Metoda Permukaan Runtuh Tipe	
S_3	65
4.3. Pembahasan Metoda Permukaan Runtuh Tipe	
S_2	67
KESIMPULAN DAN SARAN	68
PENUTUP	70
DAFTAR PUSTAKA	71



DAFTAR GAMBAR

	<i>Halaman</i>
Gambar 2.1. : Kolom yang menerima momen biaksial	3
Gambar 2.2. : Penampang kolom dengan lentur biaksial.	6
Gambar 2.3. : a. Vektor momen M_x dan M_y pada penampang kolom, b. Empat bentuk daerah beton yang tertekan	7
Gambar 2.4. : Keseimbangan regangan dan gaya-gaya pada kolom segi empat yang mengalami momen biaksial	8
Gambar 2.5. : Empat bentuk daerah blok beton yang menerima desak	10
Gambar 2.6. : Notasi	12
Gambar 2.7. : Permukaan runtuh S_1 (P_n, e_x, e_y)	13
Gambar 2.8. : Permukaan runtuh tipe S_2 ($1/P_n, e_x, e_y$)..	14
Gambar 2.9 : Grafik penampilan dari metoda beban berbalikan	15
Gambar 2.10. : Diaram cirian interaksi kekuatan untuk tekan aksial dan momen lentur pada suatu sumbu	16
Gambar 2.11. : Permukaan runtuh tipe S_3 (P_n, M_{nx}, M_{ny}) .	19
Gambar 2.12. : Kontur beban untuk P_n pada permukaan runtuh tipe S_3	20
Gambar 2.13. : Kurva-kurva interaksi untuk persamaan (2.12)	21

Gambar 2.14. : Kontur bidang P_n yang tetap dan dipasang melalui permukaan runtuh S_3	22
Gambar 2.15. : Kontur beban tak berdimensi pada P_n yang tetap	23
Gambar 2.16. : Konstanta β rencana untuk lentur biaksial	24
Gambar 2.17. : Hubungan interaksi untuk lentur biaksial dinyatakan dalam nilai β	27
Gambar 2.18. : Plat kontur interaksi yang dimodifikasi pada P_n konstan untuk kolom biaksial ..	28
Gambar 3.1. : Penampang kolom dan gaya-gaya yang bekerja pada contoh 3.1.....	31
Gambar 3.2. : Penampang kolom dan gaya-gaya yang bekerja pada contoh 3.2.....	36
Gambar 3.3. : Penampang kolom dan diagram tegangan regangan	43
Gambar 3.4. : Hubungan interaksi untuk lentur biaksial	50
Gambar 3.5. : Penampang kolom dan diagram tegangan regangan.	53
Gambar 3.6. : Hubungan interaksi untuk lentur biaksial	56
Gambar 3.7. : Diagram interaksi $P-e_x$ untuk lentur uniaksial	59

Gambar 3.8.	: Diagram interaksi P-ey untuk lentur uniaksial	61
Gambar 3.9.	: Diagram interaksi P-ex untuk lentur uniaksial	63

BAB I

PENDAHULUAN

1. LATAR BELAKANG

Dalam struktur gedung, kolom merupakan salah satu elemen struktur pokok, karena kolom berfungsi untuk meneruskan beban dari struktur atas ke struktur bawah, kemudian diteruskan ke tanah melalui pondasi. [1]

Dalam fungsinya, kolom menerima beban aksial yang cukup besar, umumnya disertai momen yang timbul akibat tidak simetrisnya konstruksi, momen juga bisa timbul akibat kurang tepatnya pelaksanaan konstruksi di lapangan. Beban aksial yang disertai momen (*beam column*), mengakibatkan kolom menderita lentur, yang pada akhirnya bisa terjadi keruntuhan tekuk.

Momen lentur bisa terjadi dalam satu arah sumbu yang umumnya disebut momen uniaksial, sedang yang terjadi dalam dua arah sumbu disebut momen biaksial. Bila titik berat penampang kolom diberi sistem sumbu koordinat x dan y , maka momen uniaksial adalah momen yang searah dengan sumbu x atau y saja, sedang momen biaksial adalah momen yang mempunyai arah terhadap kedua sumbu x dan y .

Bentuk-bentuk pembebanan yang menyebabkan lentur terhadap keduabelah sumbu pada kolom tepi dan kolom tengah suatu konstruksi umumnya tidak menyebabkan momen biaksial yang besar, sedang untuk kolom sudut, umumnya menerima momen

biaksial yang cukup berarti. Oleh karena itu, kolom biaksial sering disebut kolom sudut.^[1,2]

Untuk menganalisa kolom biaksial, akan digunakan dua metoda, yaitu metoda eksak yang pada prinsipnya menggunakan teori keseimbangan momen, sedang yang kedua adalah metoda permukaan runtuh yang telah dikemukakan oleh *Bresler*.^[1,3]

1.2. TUJUAN

Menganalisa sifat-sifat dan perilaku kolom beton yang menerima momen biaksial, yang pada akhirnya dapat menyusun suatu susunan matematis disain kolom beton.

1.3. BATASAN MASALAH

Kajian kolom biaksial dengan batasan-batasan sebagai berikut:

- a. Standar yang digunakan adalah SK-SNI 1991.
- b. Kajian ini hanya menganalisa kolom beton yang menerima momen biaksial, serta sifat-sifat dan perilakunya secara analitis.
- c. Yang dianalisa hanya kolom empat persegi panjang.
- d. Metoda yang digunakan adalah metoda eksak dan metoda permukaan runtuh.
- e. Hal-hal yang berkaitan dengan analisa kolom biaksial tidak dibahas dalam kajian ini, dan jika diperlukan akan diambil dari ketentuan yang sudah ada.

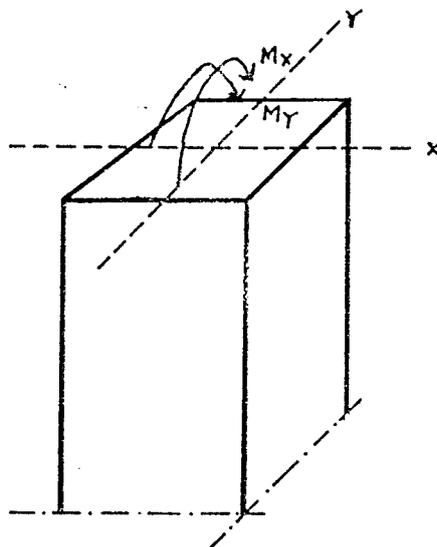
BAB II

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

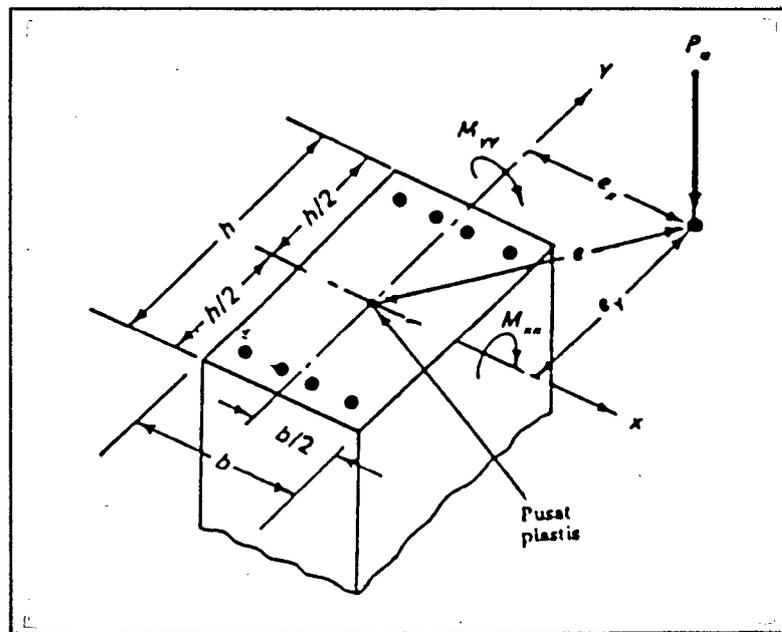
2.2. ANALISA DENGAN METODA EKSAK

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

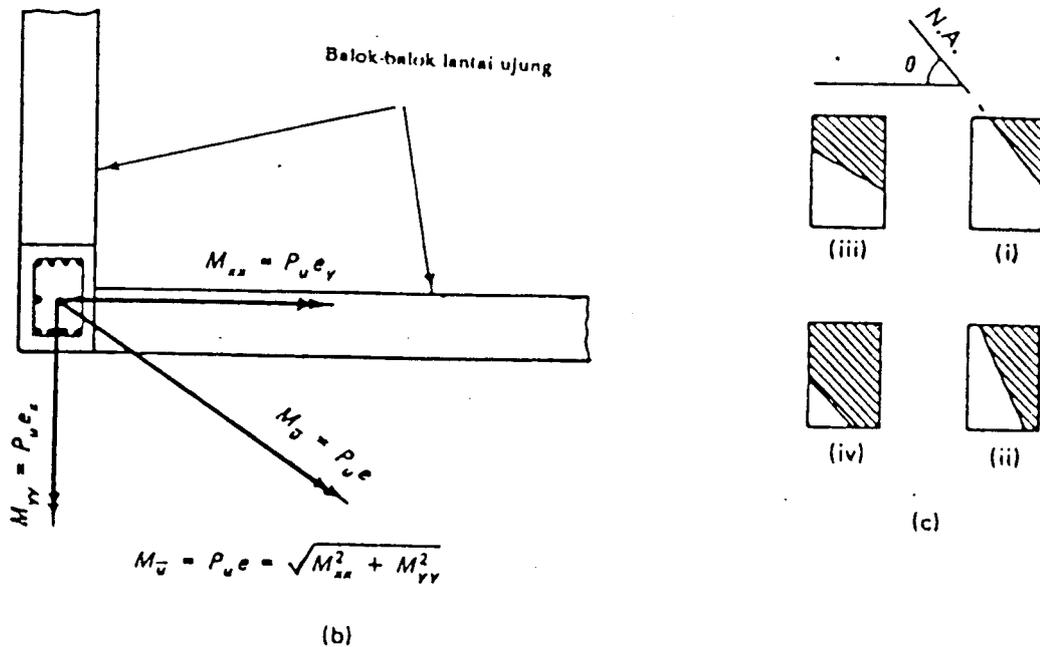
menghasilkan eksentrisitas sejauh e_y , sedang yang menerima momen M_y terhadap sumbu y menghasilkan eksentrisitas sejauh e_x . [1]

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.

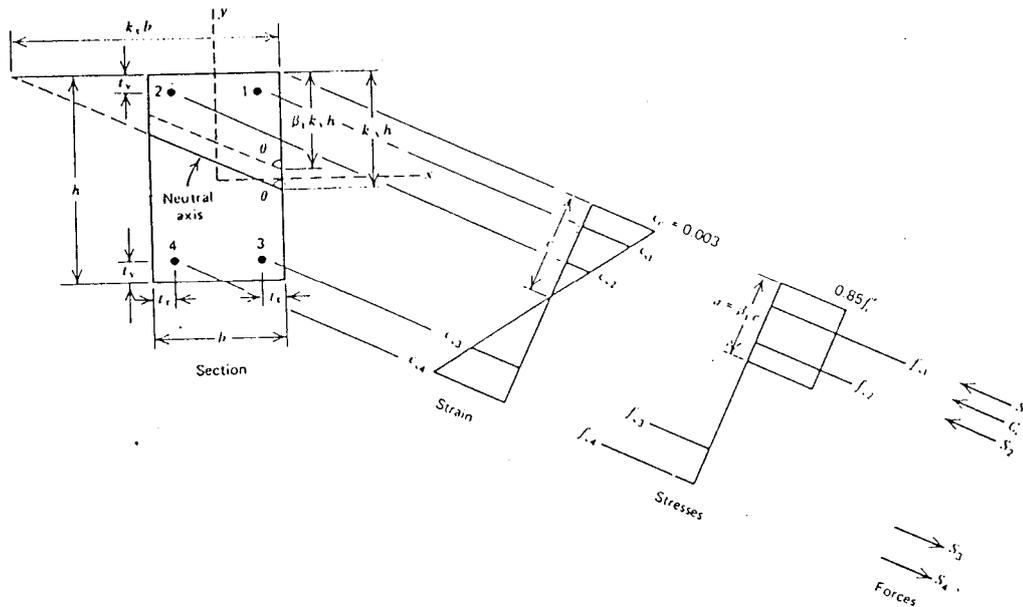


Gambar 2.2. Penampang kolom dengan lentur biaksial



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:

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

atau jika

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

atau jika

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

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

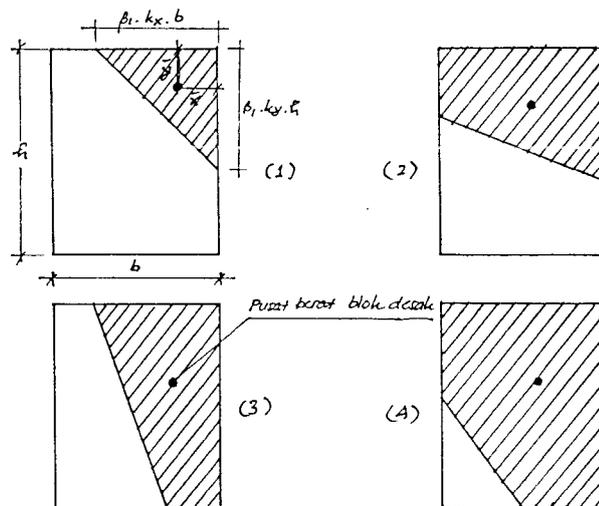
$$S_1 = A_{s1} \cdot f_{s1} \quad (2.9 \text{ a})$$

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

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

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

(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:

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

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

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

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

Dengan cara yang sama bisa didapatkan C_c , \bar{x} dan \bar{y} untuk bentuk 2,3 dan 4. Persamaan tersebut dirumuskan oleh *Matock, 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:

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

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

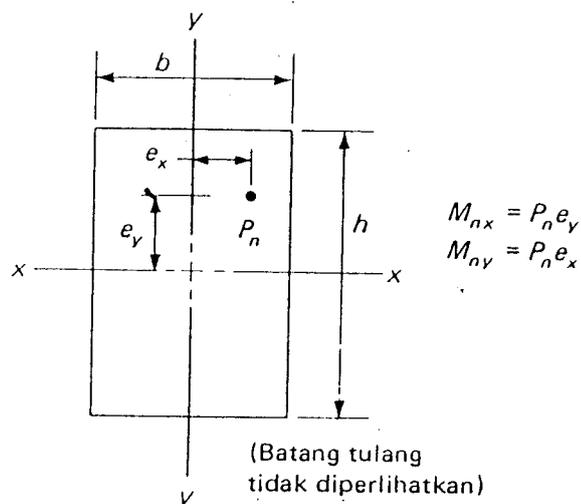
Tanda-tanda (+) untuk tegangan desak dan (-) untuk tegangan tarik disubstitusikan kedalam persamaan (2.12 dan 2.13 a b).

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

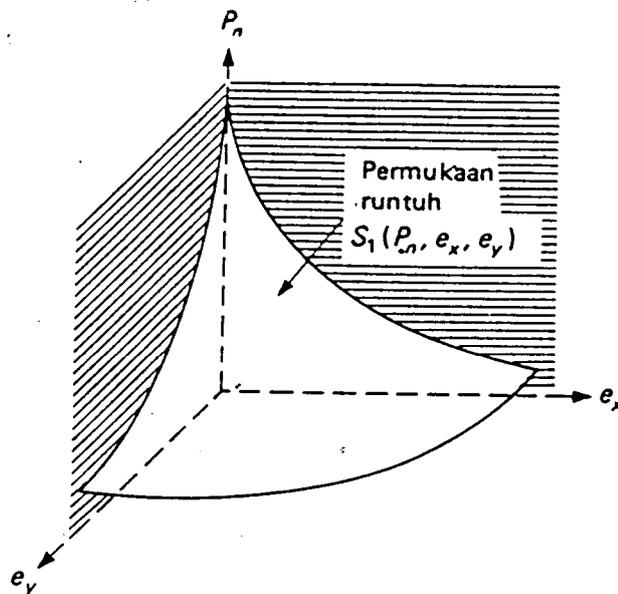


Gambar 2.6. Notasi [4]

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]

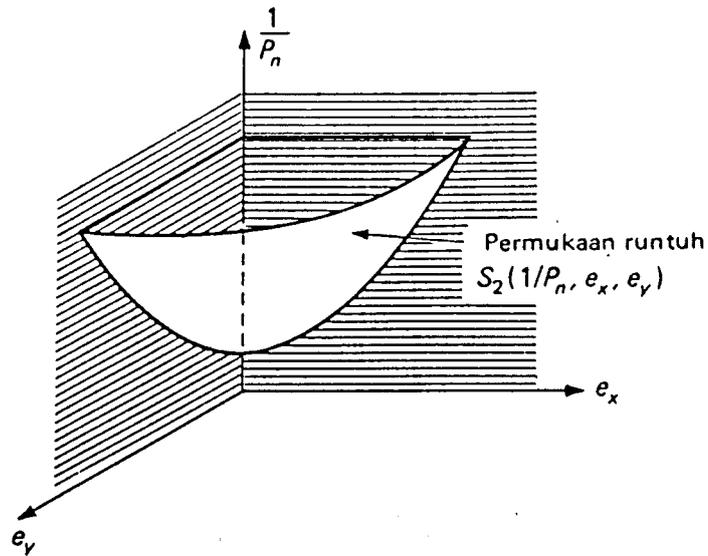
2.3.1. Permukaan Runtuh Tipe Pertama (S_1)

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)

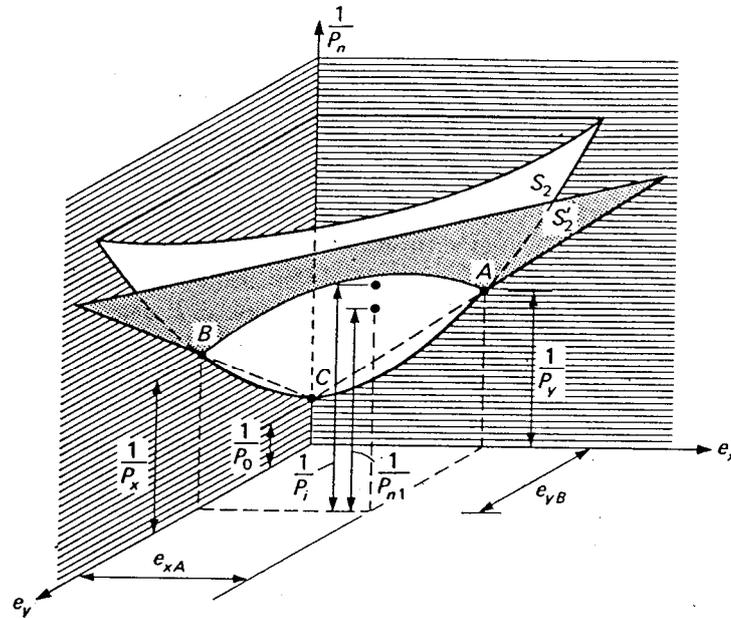


Gambar 2.8. Permukaan runtuh tipe S_2 ($1/P_n, e_x, e_y$) [5]

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 ($1/P_{n_1}, e_{xA}, e_{yB}$) pada permukaan runtuh berlawanan S_2 dengan suatu titik ($1/P_{n_1}, e_{xA}, e_{yB}$) 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 $S'z$ yang khusus ditetapkan untuk itu.



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

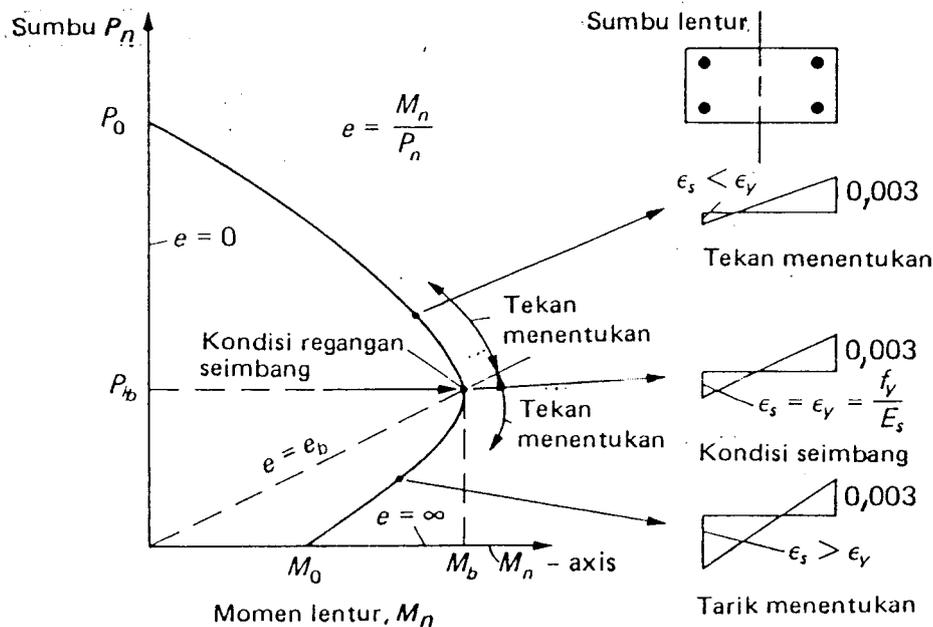
Bidang kusus ditentukan pada bidang ini melalui titik A, B dan C, maka akan diketahui letak bidang tersebut pada permukaan runtuh tipe S_2 yang sebenarnya. [3]

$$A (e_{xA}, 0, 1/P_{y1}); \quad B (0, e_{yB}, 1/P_{x1}); \quad C (0, 0, 1/P_{o1})$$

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^2 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;

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

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

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

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

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

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

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

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

$$A_4 \left[\frac{x}{e_{xA}} \left[\frac{Po}{Py} - 1 \right] + \frac{y}{e_{yB}} \left[\frac{Po}{Px} - 1 \right] - Poz + 1 \right] \quad (2.13)$$

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

$$\frac{x}{e_{x_A}} \left(\frac{1}{P_y} - \frac{1}{P_o} \right) + \frac{y}{e_{y_B}} \left(\frac{1}{P_x} - \frac{1}{P_o} \right) - z + \frac{1}{P_o} = 0 \quad (2.14)$$

Pada titik $(x = e_{x_A}, y = e_{y_B}, z = 1/P_i)$ pada bidang yang mendekati titik $(x = e_{x_A}, y = e_{y_B}, z = 1/P_{n_1})$ pada permukaan runtuh yang sebenarnya. Persamaan (2.14) menjadi,

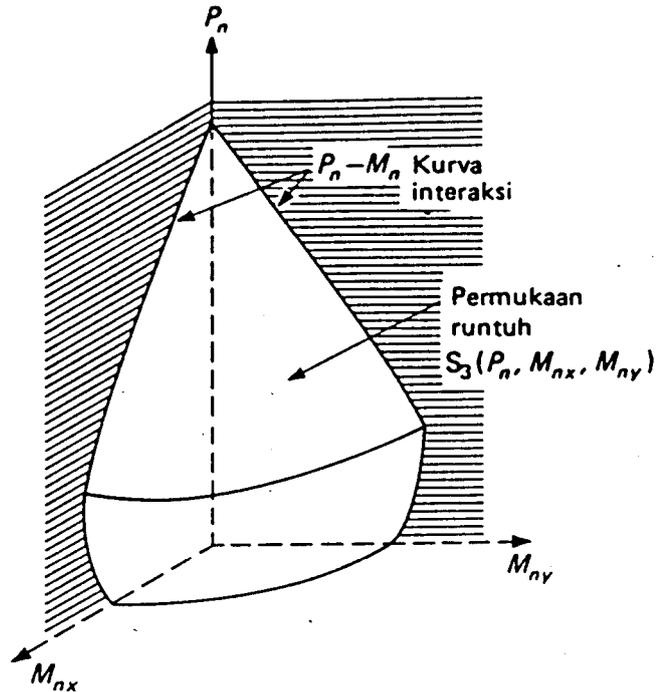
$$\left(\frac{1}{P_y} - \frac{1}{P_o} \right) + \left(\frac{1}{P_x} - \frac{1}{P_o} \right) \frac{1}{P_i} + \frac{1}{P_o} = 0 \quad (2.15)$$

Persamaan (2.15) bisa disederhanakan menjadi,

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

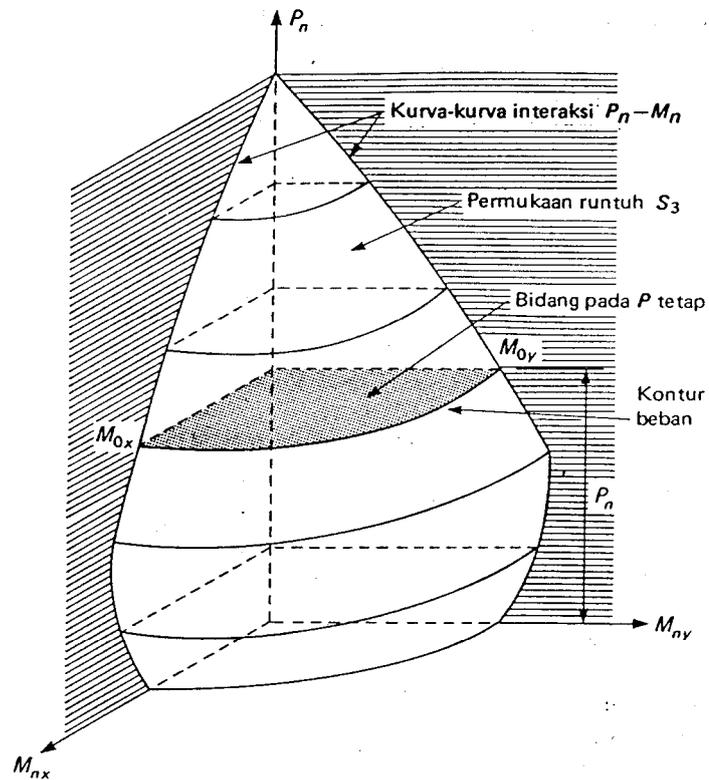
Bresler telah mengemukakan pendapatnya, bahwa harga-harga P_i yang dihitung dengan menggunakan persamaan (2.16) sangat cocok dengan hasil-hasil percobaan dengan penyebaran (deviasi) maksimum 9,4% dan rata-rata 3,3%. Ramamurthi juga mengemukakan bahwa persamaan (2.16) dapat digunakan untuk menaksir beban 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;

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

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

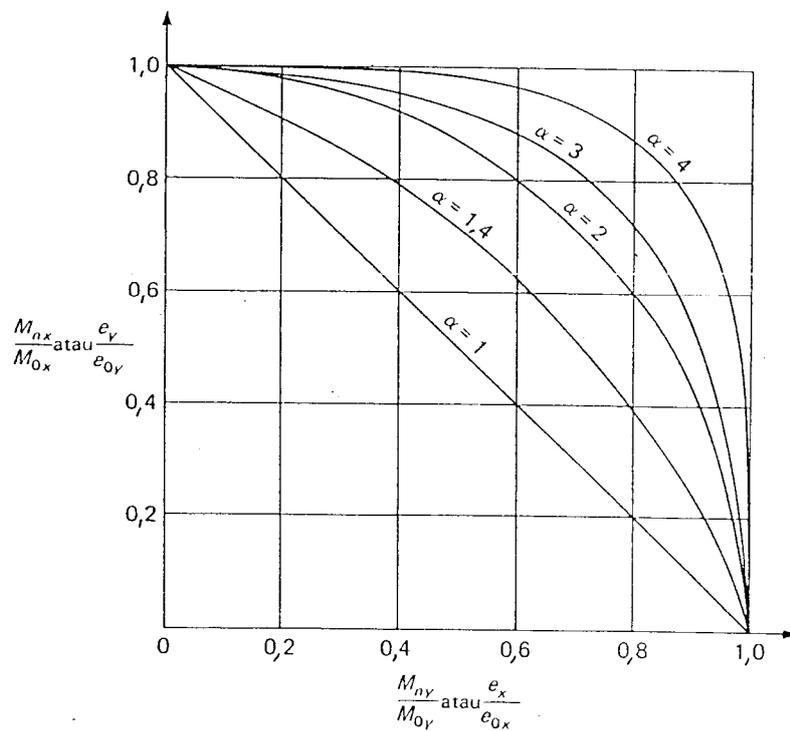
$$M_{oy} = M_{ny}, \text{ untuk } P_n \text{ tertentu bila } M_{nx} \text{ atau } e_y = 0$$

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:

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

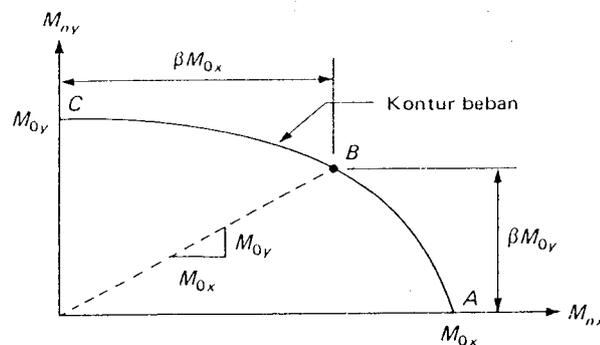
Kurve-kurve interaksi untuk persamaan (2.18) secara grafis dapat dilihat pada gambar 2.13. [3]



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.

Parme 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]

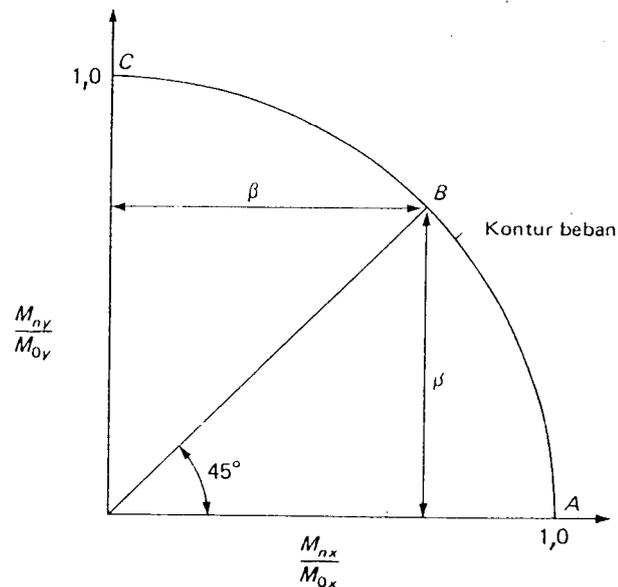
Bila suatu titik B pada kontur beban didefinisikan, sedemikian hingga momen biaksial M_{nx} dan M_{ny} pada titik ini

adalah dalam perbandingan yang sama dengan kekuatan momen uniaksial M_{0x} dan M_{0y} , sehingga pada titik B berlaku persamaan berikut:

$$\frac{M_{ny}}{M_{nx}} = \frac{M_{0y}}{M_{0x}} \quad (2.19 \text{ a})$$

atau

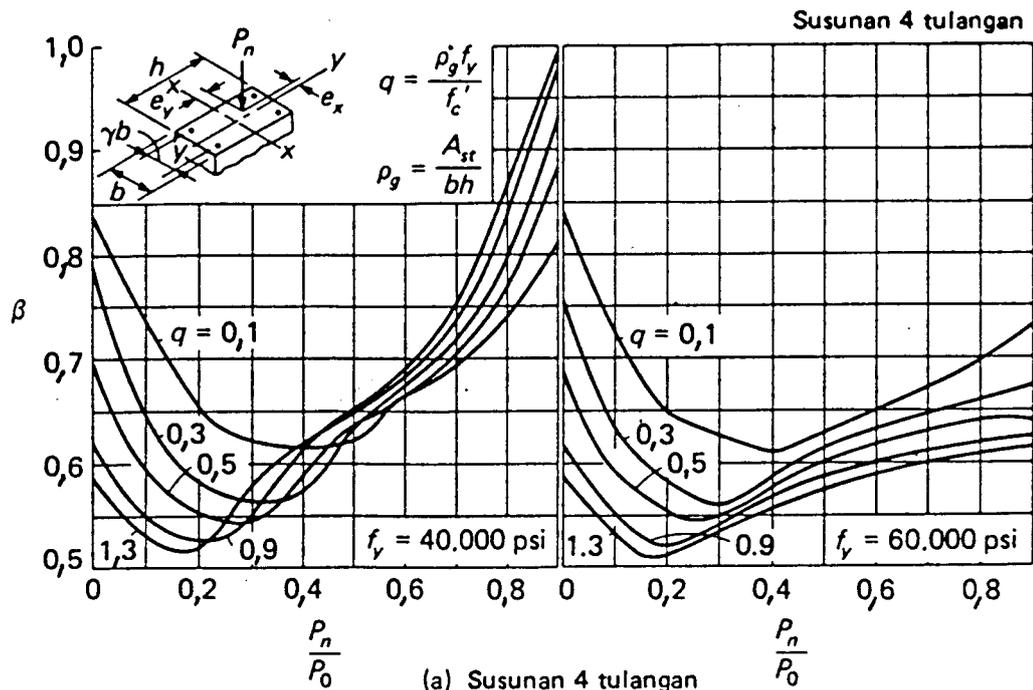
$$M_{nx} = \beta M_{0x}; \quad M_{ny} = \beta M_{0y} \quad (2.19 \text{ b})$$



Gambar 2.15. Kontur beban tak berdimensi pada P_n yang tetap

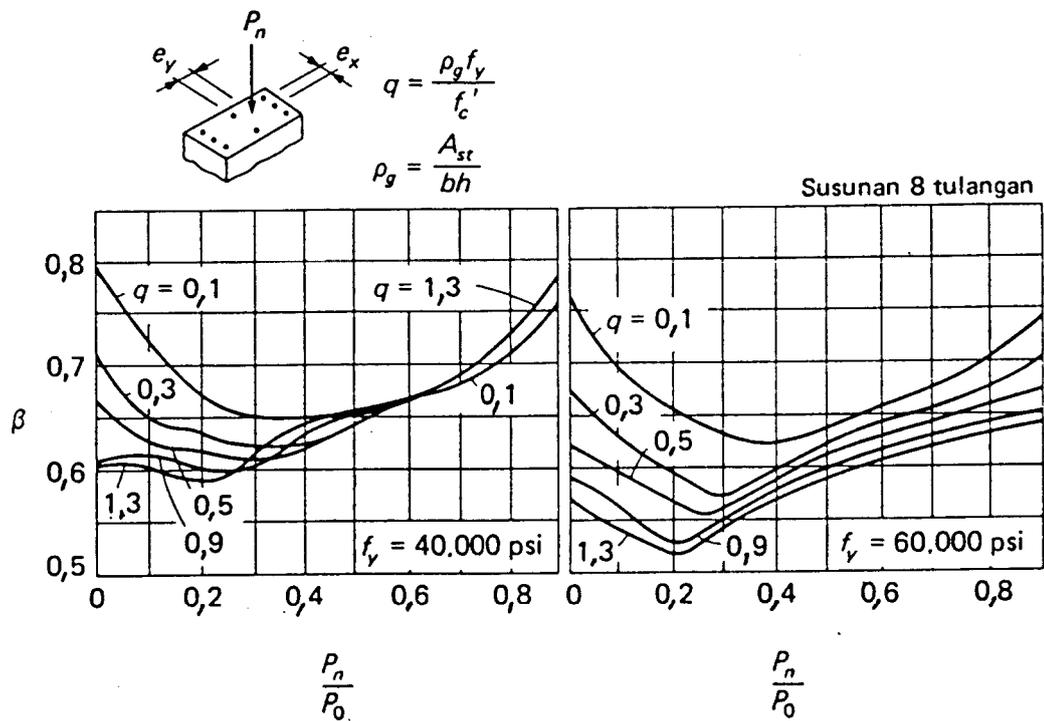
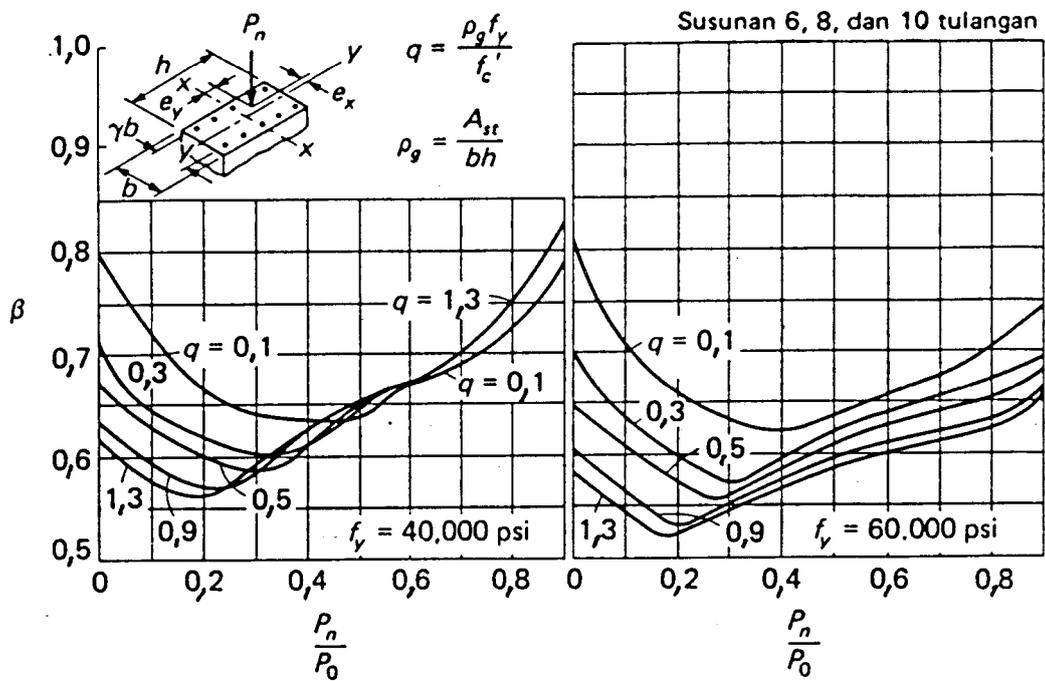
Bila keliling beban dalam gambar 2.14, disesuaikan untuk mengambil bentuk yang tidak berdimensi seperti pada gambar 2.15, maka titik B akan mempunyai perbandingan β seperti yang didefinisikan pada persamaan (2.19ab), sebagai

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.

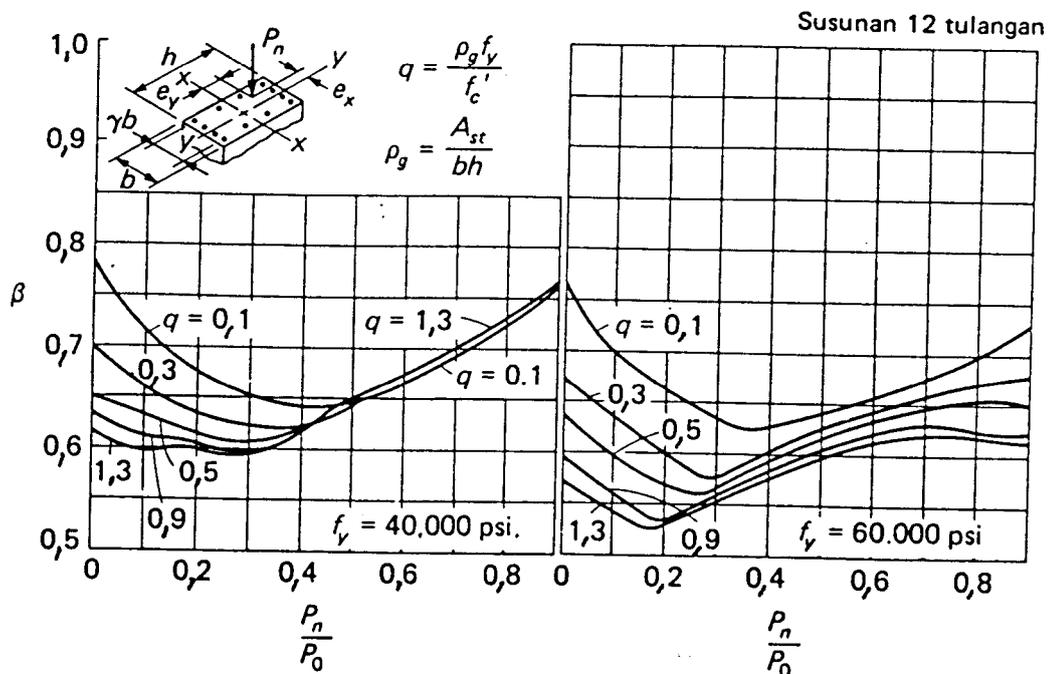


Untuk $0,6 \leq \gamma \leq 1,0$; $3000 \leq f'_c \leq 6000$ dan $10 \leq h/b \leq 4,0$

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



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)



(d) Susunan 12 tulangan

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

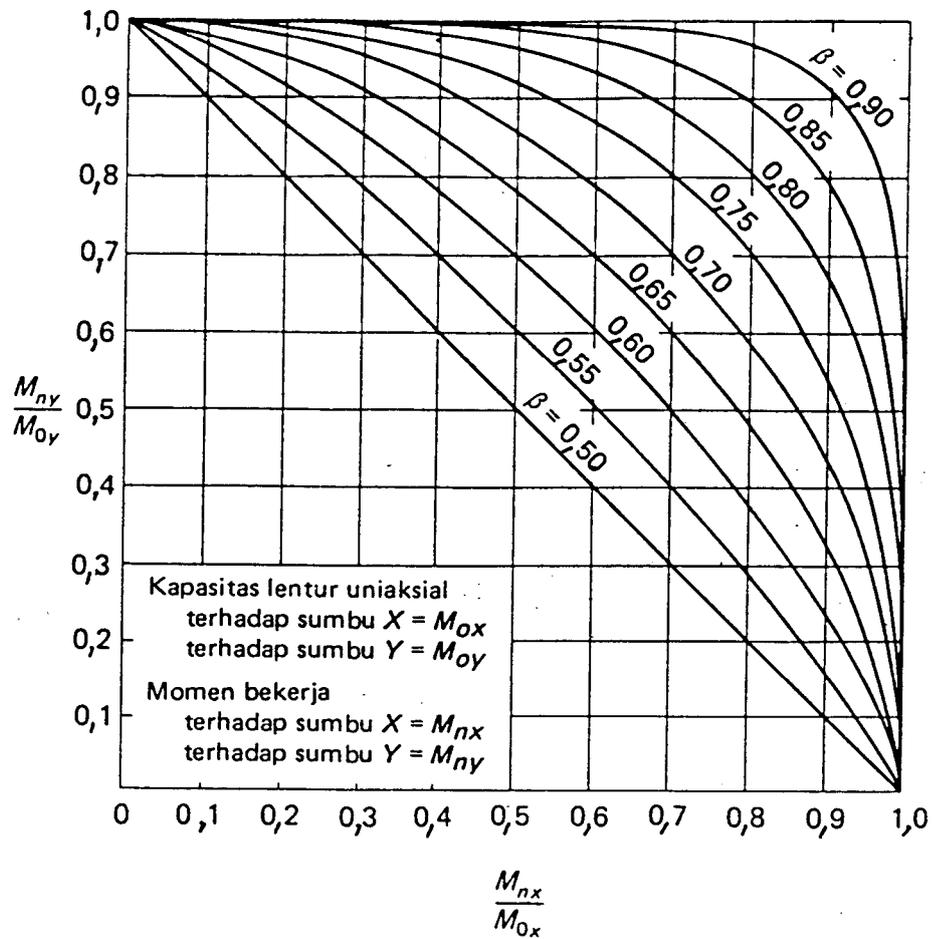
Gambar 2.16. Konstanta β rencana untuk lentur biaksial (lanjutan)

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:

$$\left(\frac{\beta \text{ Mox}}{\text{Mox}} \right)^\alpha + \left(\frac{\beta \text{ Moy}}{\text{Moy}} \right)^\alpha = 1$$

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]

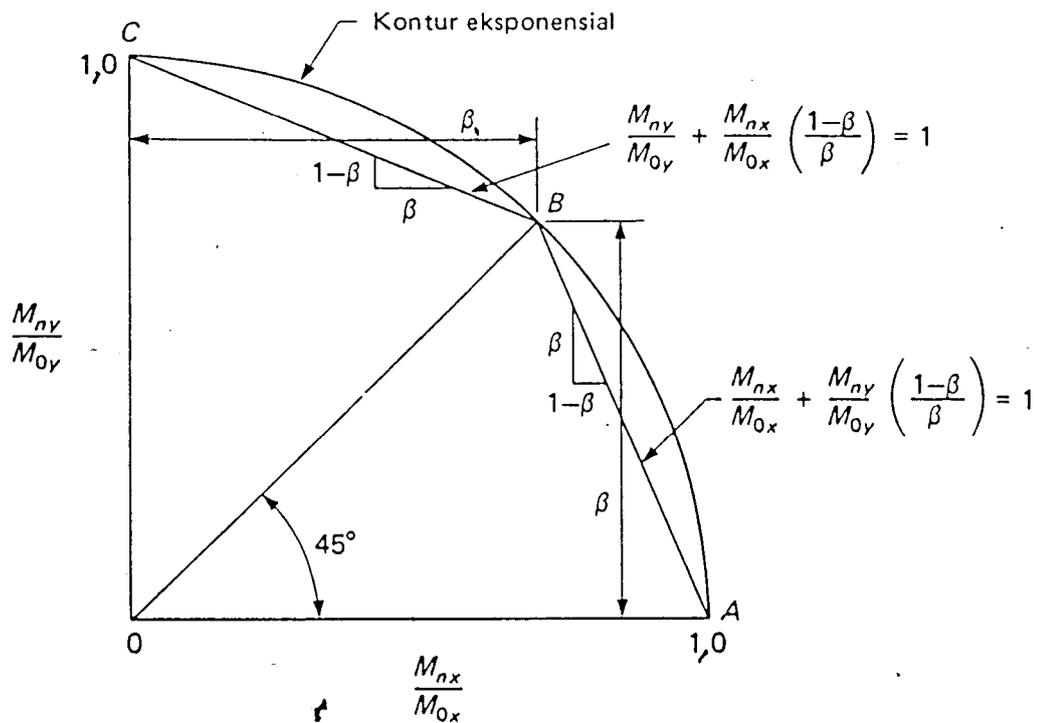
Dengan demikian persamaan (2.17) dapat ditulis sebagai;

$$\left[\frac{M_{nx}}{M_{ox}} \right]^{\frac{\log 0,5}{\log \beta}} + \left[\frac{M_{ny}}{M_{oy}} \right]^{\frac{\log 0,5}{\log \beta}} = 1 \quad (2.21)$$

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

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

BAB III
DISAIN KOLOM BIAKSIAL

3.1. Disain dengan metoda Eksak

Disain kolom biaksial dengan metoda eksak dapat disusun menjadi beberapa tahapan berikut:

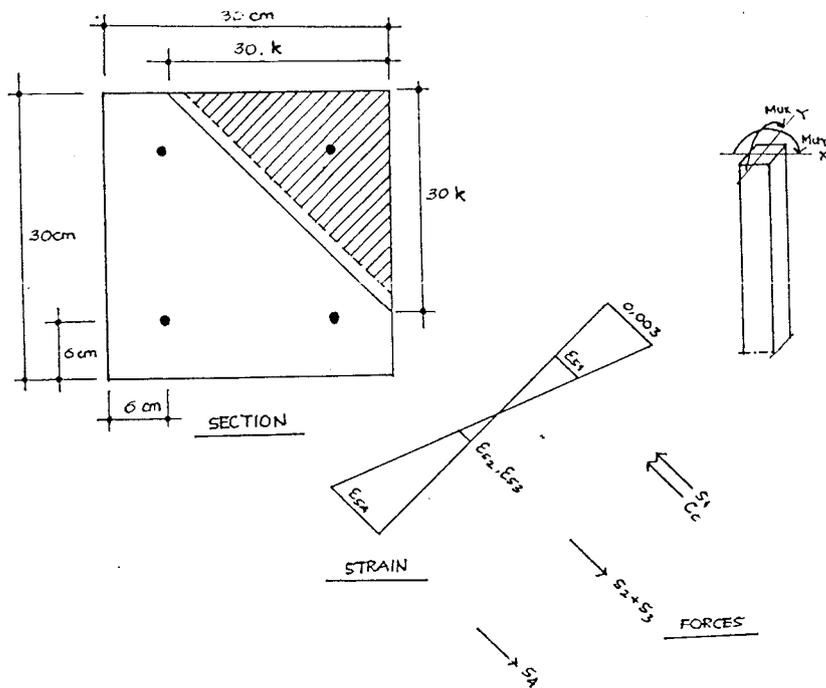
- (1). Menentukan momen lentur M_{uy} untuk yang sejajar dengan sumbu-x dan M_{ux} untuk yang sejajar sumbu-y.
- (2). Menentukan eksentrisitas e_x yang diperoleh dari M_{uy}/N , sedang untuk eksentrisitas e_y diperoleh dari M_{ux}/N .
- (3). Menentukan sudut θ , yang sejajar garis e ekuivalen yang diperoleh dari resultante e_x dan e_y .
- (4). Menaksir luas tulangan dan distribusi tulangan yang disebar pada keempat sudut penampang kolom. Bila lebih dari empat tulangan dapat diresultante menjadi empat kelompok tulangan. Untuk disain praktis dapat disederhanakan menjadi dua kelompok resultante tulangan, yaitu kelompok tulangan tarik dan kelompok tulangan tekan.
- (5). Trial angka konstanta k_x dan k_y , hingga diperoleh keadaan berimbang (*balanced*).
- (6). Menentukan kapasitas momen ultimit maksimum harus lebih dari atau sama dengan momen ultimit rencana, bila tidak memenuhi, trial tulangan atau dimensi.

$$M_{ux} < M_{ux \text{ perlu}} \text{ atau } M_{uy} < M_{uy \text{ perlu}}$$



Contoh 3.1

Suatu kolom bujur sangkar, dengan ukuran masing-masing sisi 30 cm, dengan tulangan baja $\varnothing = 32$ mm sebanyak empat buah yang menyebar pada keempat sudut kolom tersebut, tebal penutup beton 5 cm. Tegangan luluh baja (f_y) = 400 Mpa, dengan elastisitas baja (E_s) = $2,1 \cdot 10^6$ kg/cm² dan tegangan desak beton (f'_c) = 29 Mpa. Hitung kapasitas maksimum momen biaksial yang bekerja pada kolom tersebut (Lihat gambar 3.1).



Gambar 3.1. Penampang kolom dan gaya-gaya yang bekerja

Penyelesaian:

Selama tampang sisi dan letak tulangan simetris terhadap sumbu netral arah x dan y, maka momen maksimum arah sumbu x dan y sama besar, sehingga sudut θ membentuk 45° dari garis horisontal. Dengan demikian bentuk daerah penampang kolom yang menerima desak berupa segi tiga sama kaki. Untuk menentukan garis netral, maka diperlukan cara coba-coba untuk mendapatkan nilai k.

Anggapan pertama:

Untuk menentukan sumbu netral pada gambar 3.1, dicoba dengan mengambil $k = 0,7$, dari persamaan (2.7.abcd) maka diperoleh:

$$\epsilon_{s_1} = 0,003 \left[1 - \frac{6}{0,7 \cdot 30} - \frac{6}{0,7 \cdot 30} \right] = 1,285 \cdot 10^{-3}$$

$$\epsilon_{s_2} = \epsilon_{s_3} = 0,003 \left[1 - \frac{30 - 6}{0,7 \cdot 30} - \frac{6}{0,7 \cdot 30} \right] = -1,285 \cdot 10^{-3}$$

$$\epsilon_{s_4} = 0,003 \left[1 - \frac{30 - 6}{0,7 \cdot 30} - \frac{30 - 6}{0,7 \cdot 30} \right] = -3,857 \cdot 10^{-3}$$

Dalam hal ini, $f_y/E_s = 4000/(2,1 \cdot 10^6) = 1,905 \cdot 10^{-3}$

Karena itu persamaan (2.8.abc) memberikan:

$$f_{s_1} = 1,285 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1 \cdot 10^6 = 2\ 698,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{s_2} = f_{s_3} = -1,285 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1 \cdot 10^6 = -2\ 698,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{s_4} = -1,905 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1 \cdot 10^6 = -4\ 000 \text{ kg/cm}^2$$

Dari persamaan (2.9.abcd) kita dapatkan

$$\begin{aligned} S_1 &= 21\,702,62 \text{ kg} & S_2 &= -21\,702,62 \text{ kg} \\ S_3 &= -21\,702,62 \text{ kg} & S_4 &= -32\,169,90 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dan persamaan (2.10) memberikan

$$C_c = 0,425 \cdot 290 \cdot 0,85^2 \cdot 0,7^2 \cdot 30^2 = 39\,270,22 \text{ kg}$$

Jadi,

$$C_c + S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = -14\,602,29 \text{ kg}$$

Karena tegangan tarik terlalu besar, maka harga k perlu dinaikan.

Anggapan kedua:

Diambil $k = 0,8$. Penggunaan persamaannya seperti sebelumnya, sehingga mendapatkan:

$$\begin{aligned} \epsilon_{s_1} &= 0,00150 & \epsilon_{s_2} &= -0,00075 \\ \epsilon_{s_3} &= -0,00075 & \epsilon_{s_4} &= -0,00300 \end{aligned}$$

maka akan diperoleh,

$$\begin{aligned} f_{s_1} &= 3150 \text{ kg/cm}^2 & f_{s_2} &= -1575 \text{ kg/cm}^2 \\ f_{s_3} &= -1575 \text{ kg/cm}^2 & f_{s_4} &= -4000 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Dari persamaan (2.9.abcd) kita dapatkan

$$\begin{aligned} S_1 &= 25\,333,80 \text{ kg} & S_2 &= -12\,666,90 \text{ kg} \\ S_3 &= -12\,666,90 \text{ kg} & S_4 &= -32\,169,90 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$C_c = 51\,291,72 \text{ kg}$$

Jadi,

$$C_c + S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 19\,121,82 \text{ kg}$$

Tegangan desak terlalu besar, harga k perlu dikurangi.

Anggapan ketiga:

Sisa-sisa gaya dari persamaan keseimbangan sebelumnya, dapat diinterpolasi secara linier sebagai berikut:

$$k = 0,7 + \frac{14\,602,29}{14\,602,29 + 19\,121,82} \cdot 0,1 = 0,7423$$

Dengan menggunakan persamaan-persamaan kesetimbangan sebelumnya, kita masukkan nilai k, maka akan kita peroleh:

$$\begin{aligned} \epsilon_{s_1} &= 1,383 \cdot 10^{-3} & \epsilon_{s_2} &= -1,041 \cdot 10^{-3} \\ \epsilon_{s_3} &= -1,041 \cdot 10^{-3} & \epsilon_{s_4} &= -3,464 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

maka diperoleh nilai tegangan baja,

$$\begin{aligned} f_{s_1} &= 2\,904,3 \text{ kg/cm}^2 & f_{s_2} &= -2\,186,1 \text{ kg/cm}^2 \\ f_{s_3} &= -2\,186,1 \text{ kg/cm}^2 & f_{s_4} &= -4000 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

jadi,

$$\begin{aligned} S_1 &= 23\,357,76 \text{ kg} & S_2 &= -17\,581,65 \text{ kg} \\ S_3 &= -17\,581,65 \text{ kg} & S_4 &= -32\,169,90 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$C_c = 44\,159,70 \text{ kg}$$

Jadi,

$$C_c + S_1 + S_2 + S_3 + S_3 = 184,26 \text{ kg}$$

Perkiraan ketiga sudah dianggap memenuhi keseimbangan (balanced). Dari persamaan (2.11.ab) kita dapatkan,

$$\bar{x} = \bar{y} = 0,333.0,85.0,7423.30 = 6,308 \text{ cm}$$

Dari persamaan (2.13.ab) diperoleh,

$$\begin{aligned} M_{ux} = M_{uy} &= 44159,7(30-6,3) + (2904,3-2186,1)(30-6) \\ &\quad + (-2186,1-4000).6 \\ &= 786\ 705 \text{ kg cm} = 7,86705 \text{ tm.} \end{aligned}$$

Reaksi momen lentur terfaktornya adalah:

$$\begin{aligned} M_u &= \sqrt{M_{ux}^2 + M_{uy}^2} = 1\ 112\ 569 \text{ kg cm} \\ &= 11,12569 \text{ tm} \end{aligned}$$

Contoh 3.2

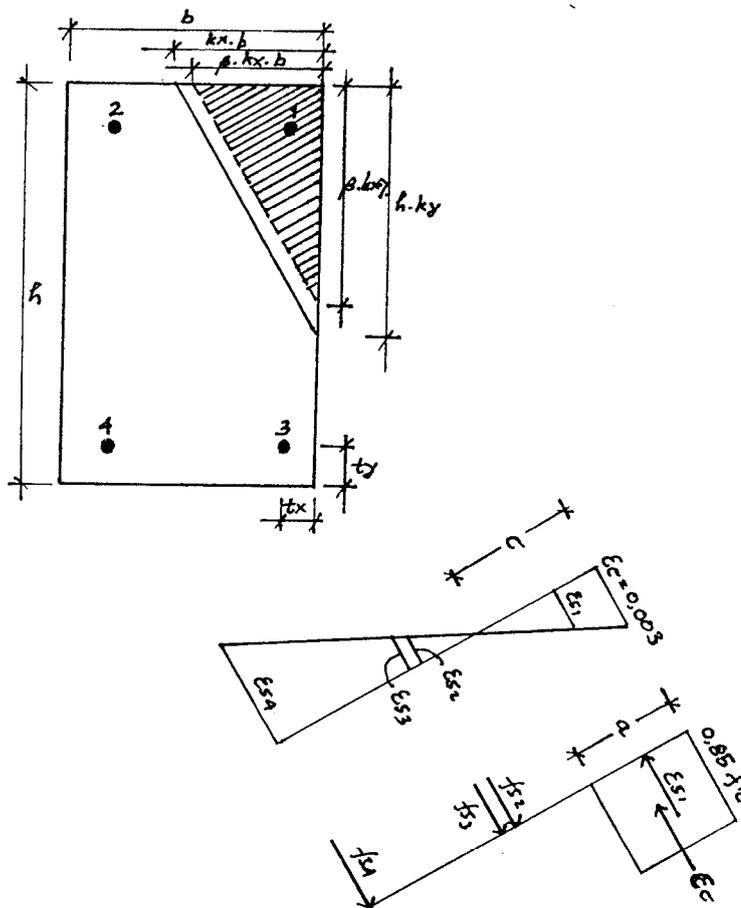
Suatu kolom dengan ketentuan seperti pada contoh 3.1, jika tinggi penampang kolom diperpanjang menjadi 50 cm. Berapa kapasitas momen arah sumbu x dan y (M_{ux} dan M_{uy}), juga kapasitas momen ultimit terfaktornya.

Penyelesaian:

Untuk menentukan kapasitas momen maksimum arah x dan y, sementara dianggap sama besar. Dengan demikian maka

sudut θ membentuk 45° , sedangkan untuk menentukan letak garis netral, maka perlu metoda coba-coba seperti contoh 3.1. Lihat gambar berikut, dengan ketentuan:

$$\begin{aligned}
 h &= 50 \text{ cm} & t_x &= 6 \text{ cm} & \theta &= 45^\circ \\
 b &= 30 \text{ cm} & t_y &= 6 \text{ cm} & \emptyset \text{ tul pokok} &= 32 \text{ mm} \\
 & & & & A_s = A'_s &= 16,08 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$



Gambar 3.2. Penampang kolom dan gaya-gaya yang bekerja

Anggapan pertama:

Untuk menentukan sumbu netral pada gambar 3.2, dicoba dengan mengambil nilai $k_x = 0,70$ dan $k_y = 0,70$, dari persamaan (2.7 abc) akan diperoleh:

$$\varepsilon_{s_1} = 0,003 \left[1 - \frac{6}{0,7 \cdot 30} - \frac{6}{0,7 \cdot 50} \right] = 1,628 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{s_2} = 0,003 \left[1 - \frac{30 - 5}{0,7 \cdot 30} - \frac{6}{0,7 \cdot 50} \right] = -0,943 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{s_3} = 0,003 \left[1 - \frac{6}{0,7 \cdot 30} - \frac{50 - 6}{0,7 \cdot 50} \right] = -1,628 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{s_4} = 0,003 \left[1 - \frac{30 - 6}{0,7 \cdot 30} - \frac{50 - 6}{0,7 \cdot 50} \right] = -4,200 \cdot 10^{-3}$$

Dalam hal ini $f_y/E_s = 4000/(2,1 \cdot 10^6) = 1,905 \cdot 10^{-3}$

Dari persamaan (2.8 abc) akan diperoleh:

$$f_{s_1} = 1,628 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1 \cdot 10^6 = 3418,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{s_2} = -0,943 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1 \cdot 10^6 = -1980,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{s_3} = -1,628 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1 \cdot 10^6 = -3418,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{s_4} = -4000 \text{ kg/cm}^2$$

Dari persamaan (29 abcd) kita dapatkan:

$$S_1 = 16,08 \cdot 3418,8 = 27\ 495,60 \text{ kg}$$

$$S_2 = 16,08 \cdot (-1980,3) = -15\ 926,50 \text{ kg}$$

$$S_3 = 16,08 \cdot (-3418,8) = -27\ 495,60 \text{ kg}$$

$$S_4 = 16,08 \cdot (-4000) = -32\ 169,90 \text{ kg}$$

Dari persamaan (2.10) diperoleh:

$$\begin{aligned} C_c &= 0,425 \cdot 290 \cdot 0,85^2 \cdot 0,7 \cdot 30 \cdot 0,70 \cdot 50 \\ &= 65\,450,37 \text{ kg} \end{aligned}$$

Jadi,

$$C_c + S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 17353,97 \text{ kg}$$

Tegangan tarik terlalu besar, maka nilai k perlu dinaikan.

Anggapan kedua:

Dicoba nilai $k_x = 0,60$ dan $k_y = 0,60$. Dengan cara yang sama akan diperoleh:

$$\begin{array}{ll} \epsilon_{s_1} = 1,40 \cdot 10^{-3} & f_{s_1} = 2940 \text{ kg/cm}^2 \\ \epsilon_{s_2} = -1,60 \cdot 10^{-3} & f_{s_2} = -3360 \text{ kg/cm}^2 \\ \epsilon_{s_3} = -2,40 \cdot 10^{-3} & f_{s_3} = -4000 \text{ kg/cm}^2 \\ \epsilon_{s_4} = -5,40 \cdot 10^{-3} & f_{s_4} = -4000 \text{ kg/cm}^2 \end{array}$$

Dari persamaan (2.9.abcd) kita dapatkan

$$\begin{array}{ll} S_1 = 23\,644,80 \text{ kg} & S_3 = -32\,169,9 \text{ kg} \\ S_2 = -27\,022,70 \text{ kg} & S_4 = -32\,169,9 \text{ kg} \\ C_c = 48\,085,98 \text{ kg} & \end{array}$$

$$C_c + S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = -19\,631,71 \text{ kg}$$

Tegangan desak terlalu besar, maka nilai k perlu diturunkan.

Anggapan ketiga:

Sisa-sisa gaya dari anggapan pertama dan kedua, dapat diinterpolasi, untuk menentukan nilai pendekatan k , maka:

$$k_x = 0,6 + \frac{19\ 631,71}{19\ 631,71 + 17\ 353,97} \cdot 0,1 = 0,661$$

$$k_y = k_x = 0,661$$

Dengan nilai k_x dan k_y tersebut, akan kita dapatkan:

$$\begin{array}{ll} \varepsilon_{s_1} = 1,547 \cdot 10^{-9} & f_{s_1} = 3248,70 \text{ kg/cm}^2 \\ \varepsilon_{s_2} = -1,175 \cdot 10^{-9} & f_{s_2} = -2467,50 \text{ kg/cm}^2 \\ \varepsilon_{s_3} = -1,901 \cdot 10^{-9} & f_{s_3} = -3992,10 \text{ kg/cm}^2 \\ \varepsilon_{s_4} = -4,625 \cdot 10^{-9} & f_{s_4} = -4000 \text{ kg/cm}^2 \end{array}$$

Dari persamaan (2.9.abcd) kita dapatkan

$$S_1 = 26\ 127,59 \text{ kg} \quad S_3 = -32\ 106,37 \text{ kg}$$

$$S_2 = -19\ 844,81 \text{ kg} \quad S_4 = -32\ 169,90 \text{ kg}$$

$$C_c = 58\ 360,49 \text{ kg}$$

$$C_c + S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 367 \text{ kg}$$

Perkiraan ketiga sudah dapat dianggap memenuhi keseimbangan.

Dari persamaan (2.11 ab) kita dapatkan:

$$\bar{x} = \frac{1}{3} \cdot 0,85 \cdot 0,661 \cdot 30 = 5,618 \text{ cm}$$

$$\bar{y} = \frac{1}{3} \cdot 0,85 \cdot 0,661 \cdot 50 = 9,364 \text{ cm}$$

Dari persamaan (2.13 ab) akan diperoleh:

$$\begin{aligned} M_{ux} &= C_c(h-\bar{y}) + (S_1+S_2)(h-t_y) + (S_3+S_4)t_y \\ &= 58360,49(50-9,36) + (26127,59-19844,81)(50-6) \\ &\quad + (-32106,37-32169,90) \cdot 6 \\ &= 2\,262\,555 \text{ kg cm} = 22,6255 \text{ Tm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= C_c(b-\bar{x}) + (S_1+S_3)(b-t_x) + (S_2+S_4)t_x \\ &= 58360,49(30-5,62) + (26127,59-32106,37)(30-6) \\ &\quad + (-19844,81-32169,90) \cdot 6 \\ &= 967249,76 \text{ kg cm} = 9,67249 \text{ Tm} \end{aligned}$$

Reaksi momen terfaktornya adalah,

$$\begin{aligned} M_u &= \sqrt{M_{ux}^2 + M_{uy}^2} \\ &= \sqrt{(2262555)^2 + (967249)^2} \\ &= 246\,0630 \text{ kg cm} = 24,6063 \text{ Tm} \end{aligned}$$

3.2. Disain dengan metoda permukaan runtuh tipe S_a

Langkah-langkah berikut ini dapat dipakai sebagai petunjuk dalam desain kolom yang mengalami lentur pada arah x dan y. Prosedur ini beranggapan bahwa luas tulangan sama pada semua sisi.

- (1). Menghitung momen lentur uniaksial dengan menganggap banyaknya tulangan pada masing-masing sisi sama.



Asumsikan faktor konstanta interaksi $\beta = 0,50$ sampai 0.70. Kemudian asumsikan perbandingan b/h . Angka perbandingan ini dapat didekati dengan M_{nx}/M_{ny} . Dengan menggunakan persamaan (2.19a), kemudian tentukan momen uniaksial ekuivalen yang diperlukan M_{ox} atau M_{oy} . Apabila M_{nx} lebih besar dari pada M_{ny} , gunakan M_{ox} untuk disain, begitu pula sebaliknya.

- (2). Asumsikan ukuran penampang melintang kolom dan angka penulangan $p = p' = 0,01-0.02$ pada setiap dua sisi yang sejajar dengan sumbu lentur dari momen ekuivalen yang terbesar. Menentukan penulangan prarencana, kemudian hitung kapasitas P_n penampang yang telah diasumsikan. Dalam desai akhir, jumlah tulangan memanjang pada keempat sisi harus sama.
- (3). Menghitung kekuatan momen nominal aktual M_{oxn} untuk lentur uniaksial ekuivalen terhadap sumbu x untuk $M_{oy}=0$. Besarnya tidak boleh lebih kecil dari kekuatan momen yang diperlukan (M_{ox}).
- (4). Menghitung kekuatan momen nominal aktual M_{oyn} untuk momen lentur uniaksial ekuivalen terhadap sumbu y untuk $M_{ox} = 0$.
- (5). Mencari M_{ny} dengan memasukkan M_{nx}/M_{oxn} dan harga β coba-coba pada gambar 2.16.
- (6). Melakukan coba-coba dan penyesuaian berikutnya dengan memperbesar β apabila M_{ny} yang diperoleh dari diagram lebih kecil dari pada M_{ny} perlu. Ulangi langkah-langkah

tadi sampai harga kedua M_{ny} sama, baik dengan cara mengubah-ubah harga β maupun dengan mengubah-ubah penampangnya.

(7). Menentukan tulangan sengkangnya, dan membuat detailnya.

Contoh 3.3

Suatu kolom menerima beban aksial $P_u = 95$ ton dan momen arah x sebesar $M_x = 18,5$ tm, momen arah y sebesar $M_y = 10$ tm. Disain kolom biaksial tersebut jika digunakan beton dengan mutu (f'_c) = 29 Mpa, dan baja tulangan dengan mutu (f_y) = 400 Mpa.

Penyelesaian:

Langkah pertama

Menghitung momen lentur uniaksial ekuivalen dengan menganggap banyaknya tulangan pada semua sisi sama. Anggapan awal bahwa $\phi = 0,70$. (untuk kolom bersengkang).

$$P_n \text{ perlu} = \frac{P_u}{\phi} = \frac{95}{0,70} = 135,7143 \text{ ton}$$

$$M_{nx} \text{ perlu} = \frac{M_{ux}}{\phi} = \frac{18,5}{0,70} = 26,4286 \text{ tm}$$

$$M_{ny} \text{ perlu} = \frac{M_{uy}}{\phi} = \frac{10}{0,70} = 14,2857 \text{ tm}$$

Melakukan analisa momen ekuivalen dan eksentrisitas ekuivalen terhadap sumbu x, karena yang terbesar diantara kedua momen biaksial adalah $M_{nx} = 26,4286$ tm terhadap sumbu x.

$$\frac{M_{nx}}{M_{ny}} = \frac{26,4286}{14,2857} = 1,85$$

Dianggap dimensi kolom sebanding dengan momen-momen yang bekerja, maka $h/b = 1,85$. Jika diasumsikan $b = 30$ cm maka $h \approx 50$, sehingga $h/b = 1,67$. Faktor kontur interaksi untuk perencanaan awal diasumsikan $\beta = 0,65$. Dari persamaan (2.24b), maka:

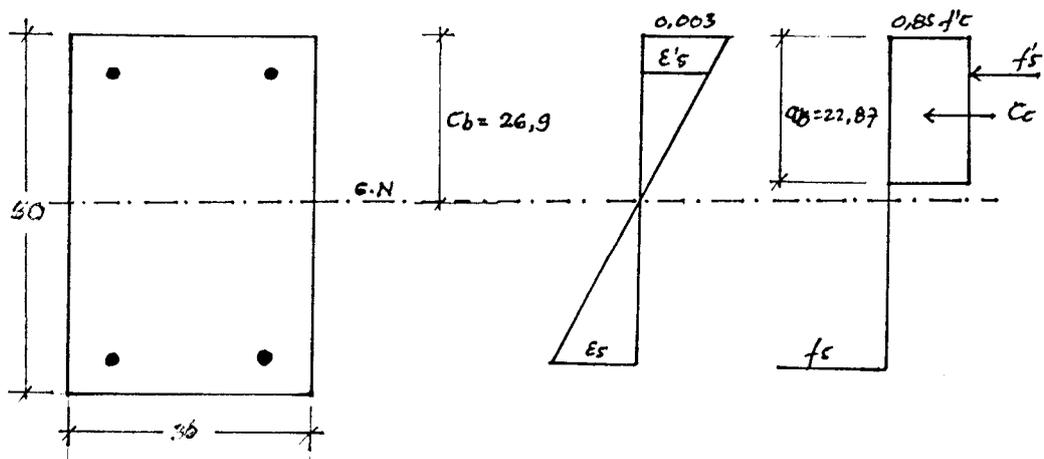
$$M_{ox} \text{ ekuivalen} = M_{nx} + M_{ny} \left[\frac{h}{b} \right] \left[\frac{1-\beta}{\beta} \right]$$

atau

$$\begin{aligned} M_{ox} &= 26,4286 + 14,2857 \cdot 1,67 \left[\frac{1-0,65}{0,65} \right] \\ &= 39,2747 \text{ tm} \end{aligned}$$

Langkah kedua:

Kontrol kapasitas penampang dari P_n yang telah diasumsikan.



Gambar 3.3. Penampang kolom dan diagram tegangan-regangan

$$\begin{aligned}
b &= 30 \text{ cm} & h &= 50 \text{ cm} & d' &= 6 \text{ cm} \\
d &= h - d' = 50 - 6 = 44 \text{ cm} \\
A_s &= A'_s = 1/4 \pi \cdot 3,2^2 \cdot 2 = 16,08 \text{ cm}^2 \\
\rho &= \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{16,08}{30 \cdot 44} = 0,0122
\end{aligned}$$

Analisa pada kondisi balanced

$$c_b : (d - c_b) = \varepsilon'_{bc} : \varepsilon_s$$

$$\frac{c_b}{(d - c_b)} = \frac{\varepsilon'_{bc}}{\varepsilon_s} = \frac{0,003}{4000/2,1 \cdot 10^6} = \frac{0,003 \cdot 2,1 \cdot 10^6}{4000}$$

$$\frac{c_b}{(44 - c_b)} = \frac{6300}{4000} \longrightarrow 40 \cdot c_b = 63 \cdot 44 - 63 \cdot c_b$$

$$c_b = \frac{2772}{(40+63)} = 26,91 \text{ cm}$$

$$a_b = \beta \cdot c_b = 0,85 \cdot 26,91 = 22,87 \text{ cm}$$

$$f'_s = \varepsilon'_s \cdot E_s = \frac{(c_b \cdot d')}{c} \cdot \varepsilon'_{cb} \cdot E_s$$

$$= \frac{26,91 - 6}{26,91} \cdot 0,003 \cdot 2,1 \cdot 10^6$$

$$= 4896,53 \text{ kg/cm}^2 > f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

Dengan demikian dipakai, $f'_s = 4000 \text{ kg/cm}^2$

$$\begin{aligned}
P_{nb} &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a_b \cdot b + A'_s \cdot f_y - A_s \cdot f_y \\
&= 0,85 \cdot 0,29 \cdot 22,87 \cdot 30 + 16,08 \cdot 4 - 16,08 \cdot 4 \\
&= 169,1236 \text{ ton} > P_n = 135,7143 \text{ ton}
\end{aligned}$$

Keruntuhan yang menentukan adalah lelehnya tulangan tarik.

Mencari kapasitas gaya aksial \bar{P}_n

$$p = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{16,08}{30 \cdot 44} = 0,0122$$

$$e = \frac{M_{ox}}{P_n} = \frac{39,2747 \cdot 10^5}{135,7143 \cdot 10^3} = 28,94 \text{ cm}$$

$$e' = e + \left[\frac{d-d'}{2} \right] = 28,94 + \left[\frac{44-6}{2} \right] = 47,94 \text{ cm}$$

$$\left[1 - \frac{e'}{d} \right] = \left[1 - \frac{47,94}{44} \right] = -0,0895$$

$$\left[1 - \frac{d'}{d} \right] = \left[1 - \frac{6}{44} \right] = 0,8636$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{4000}{0,85 \cdot 290} = 16,227$$

Dari persamaan Whitney diperoleh:

$$\bar{P}_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot d \left[\left(1 - \frac{d'}{d} \right) + \sqrt{\left[\left(1 - \frac{e'}{d} \right)^2 + 2 p m \left(1 - \frac{d'}{d} \right) \right]} \right]$$

Dengan mengabaikan adanya luas beton yang tergantikan oleh tulangan baja, maka:

$$\begin{aligned} \bar{P}_n &= 0,85 \cdot 0,29 \cdot 30 \cdot 44 \left[(-0,0895) \right. \\ &\quad \left. + \sqrt{\left[(-0,0895)^2 + (2 \cdot 0,0122 \cdot 16,227 \cdot 0,8636)^2 \right]} \right] \end{aligned}$$

$$= 163,3602 \text{ ton} > P_n \text{ perlu} = 135,7143 \text{ ton}$$



Mencari ϕ dengan menggunakan \bar{P}_n sebagai coba-coba pertama cek ϕ yang diasumsikan = 0,70. Menurut SK-SNI '91 maka:

$$\begin{aligned}\phi &= 0,8 - (0,8 - 0,65) \frac{\bar{P}_n}{0,1f'_c \cdot A_g} \\ &= 0,8 - \frac{0,15 \cdot 163,3602}{0,10 \cdot 0,29 \cdot 30 \cdot 50} = 0,236 < 0,70\end{aligned}$$

diasumsikan bahwa $\phi = 0,70$

Kontrol keserasian regangan

$$a = \frac{\bar{P}_n}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{163,3602}{0,85 \cdot 0,29 \cdot 30} = 22,09 \text{ cm}$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{22,09}{0,85} = 25,98 \text{ cm}$$

$$f'_s = \left[\frac{c-d'}{c} \right] \cdot e'_c \cdot E_s = \left[\frac{25,98-6}{25,98} \right] \cdot 6300$$

$$= 4845,03 \text{ kg/cm}^2 > f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

Dengan demikian A'_s telah leleh sehingga persyaratan keserasian yang digunakan dalam menghitung P_n telah terpenuhi.

Menghitung tahanan nominal aktual M_{oxn} untuk lentur uniaksial ekuivalen terhadap sumbu x bila $M_{oy} = 0$, yang diperlukan adalah $P_n = 135,7145$ ton. Dengan menganggap

bahwa tulangan tekan telah leleh, maka $f'_s = 4000 \text{ kg/cm}^2$
 dan $A'_s.f'_s - A_s.f_y = 0$. Jadi:

$$P_n = 0,85.f'_c.a.b$$

atau

$$a = \frac{135,7145}{0,85.f'_c.30} = 18,35 \text{ cm}$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{18,35}{0,85} = 21,59 \text{ cm}$$

$$f'_c = \left[\frac{21,59-6}{21,59} \right] . 6300$$

$$= 4549,19 \text{ kg/cm}^2 > f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

A_s pada sisi yang tertarik telah leleh karena $a = 18,35$
 $\text{cm} < a_b = 22,87 \text{ cm}$, pada saat itu sumbu netralnya
 lebih kecil dari pada kondisi *balanced*.

$$M_{oxn} = P_n.e = 0,85.f'_c.a.b.\left(\bar{y} - \frac{a}{2}\right) + A'_s.f_y(\bar{y}-d') + A_s.f_y.(d-\bar{y})$$

atau

$$M_{oxn} = 0,85.290.18,35.30 \left[25 - \frac{18,35}{2} \right] + 16,08.4000 \left[25-6 + 16,08.4000(44-25) \right]$$

$$= 4\ 591\ 585 \text{ kgcm}$$

$$= 45,9158 \text{ tm} > M_{ox} = 39,2747 \text{ tm}$$

(memenuhi)

Langkah keempat

Menghitung momen tahanan nominal aktual M_{oyn} untuk momen lentur uniaksial ekuivalen terhadap sumbu y bila $M_{ox} = 0$.

Dalam kondisi ini:

$$b = 50 \text{ cm} \quad h = 30 \text{ cm} \quad d = 30 - 6 = 24 \text{ cm}$$

$$A_s = A'_s = 16,08 \text{ cm}^2$$

Dengan cara coba-coba dan penyesuaian, nilai a perlu ditentukan sedemikian rupa sehingga \bar{P}_n yang dihitung mendekati P_n perlu.

$$\frac{C_b}{(d - C_b)} = \frac{\epsilon'_{cb}}{\epsilon_s}$$

$$\longrightarrow C_b = \frac{63.24}{(63+40)} = 14,57 \text{ cm}$$

$$a_b = 0,85.14,57 = 12,47 \text{ cm}$$

$$a = \frac{P_n}{0,85.f'_c.b}$$
$$= \frac{135,7143}{0,85.0,29.50} = 11,01 \text{ cm}$$

Dicoba,

$$a = 11,5 \text{ cm} < a_b = 12,47 \text{ cm}$$

$$c = \frac{a}{0,85} = \frac{11,5}{0,85} = 13,5 \text{ cm}$$

$$f'_s = \epsilon'_s.E_s = \frac{(C_b - d')}{C_b} . \epsilon'_s.E_s$$

$$f'_s = \left[\frac{13,5 - 6}{13,5} \right] . 6300 = 3500 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_s = \left[\frac{d-c}{c} \right] \cdot \epsilon'_s \cdot E_s$$

$$= \left[\frac{24-13,5}{13,5} \right] \cdot 6300 = 4900 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$= 0,85 \cdot 0,29 \cdot 11,5 \cdot 50 + 16,08 \cdot 3,5 - 16,08 \cdot 4,9$$

$$= 119,225 \text{ ton} < P_n \text{ perlu} = 135,714 \text{ ton}$$

Dicoba,

$$a = 12 \text{ cm} \quad \longrightarrow \quad c = \frac{12}{0,85} = 14,1 \text{ cm}$$

$$f'_s = \left[\frac{14,1-6}{14,1} \right] \cdot 6300 = 3619,15 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_s = \left[\frac{24-14,1}{14,1} \right] \cdot 6300 = 4423,40 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_n = 0,85 \cdot 0,29 \cdot 12 \cdot 50 + 16,08 \cdot 3619,15$$

$$- 16,08 \cdot 4423,4$$

$$= 134,9676 \text{ ton} < P_n \text{ perlu} = 135,7143 \text{ ton}$$

Dicoba,

$$a = 12,1 \text{ cm} \quad \longrightarrow \quad c = 14,2 \text{ cm}$$

$$f'_s = \left[\frac{14,2-6}{14,2} \right] \cdot 6300 = 3638 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_s = \left[\frac{24-14,2}{14,2} \right] \cdot 6300 = 4347,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_n = 12,32 \cdot 12,1 + 16,08 \cdot 3,638 - 16,08 \cdot 4,348$$

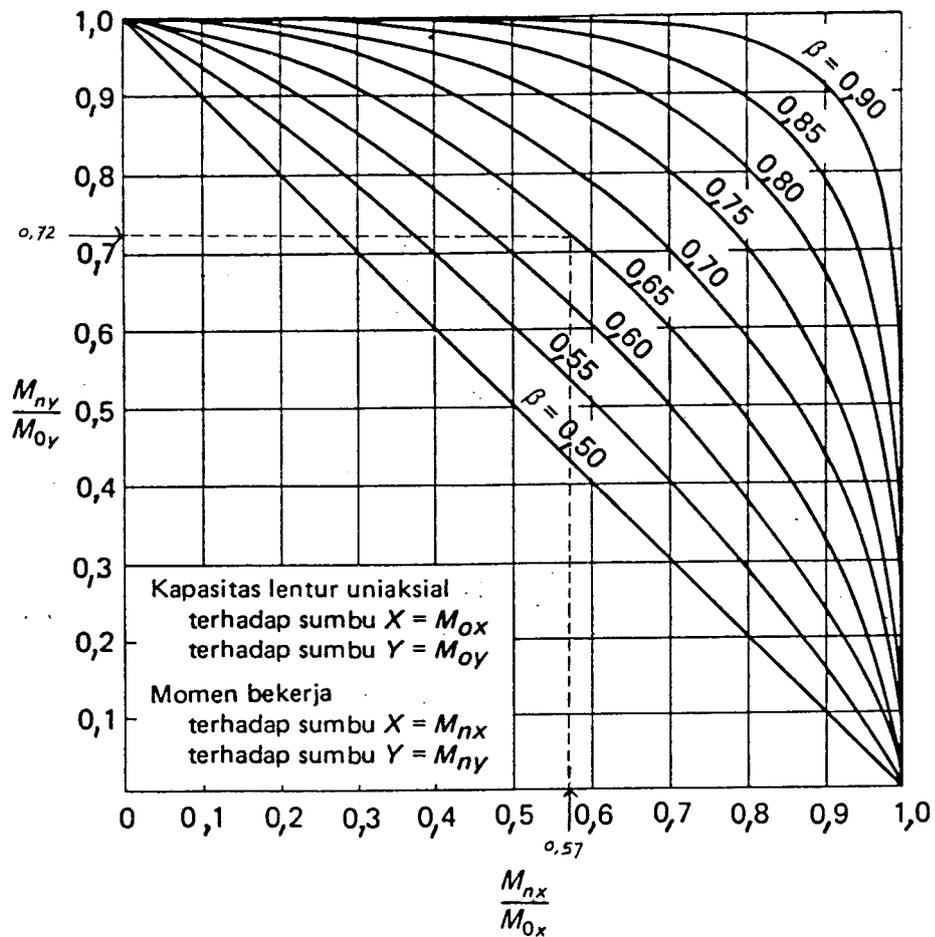
$$= 137,7157 \text{ ton} \approx P_n \text{ perlu} = 135,7143 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned}
 M_{oyn} &= 0,85 \cdot 290 \cdot 12,1 \cdot 50 \cdot \left[\frac{30}{2} - \frac{12,1}{2} \right] \\
 &\quad + 16,08 \cdot 3638 \cdot (15-6) + 16,08 \cdot 4348 \cdot (24-15) \\
 &= 2\,134\,458,59 \text{ kg cm} = 21,3446 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

Langkah kelima

Mencari M_{ny} dengan memasukkan M_{ox}/M_{oxn} dan faktor β coba-coba kedalam gambar 2.16. Coba-coba pertama $\beta = 0,65$. Dari langkah 3, $M_{oxn} = 45,9158$

$$\frac{M_{nx}}{M_{oxn}} = \frac{26,4286}{45,9158} = 0,57$$



Gambar 3.4. Hubungan interaksi untuk lentur biaksial

Masukkan harga ini pada garis lentur $\beta = 0,65$, maka dari gambar 3.4 akan diperoleh:

$$\frac{M_{ny}}{M_{oxn}} \approx 0,72$$

Dalam langkah 4, diperoleh $M_{oyx} = 21,3446$ tm, maka

$$\frac{M_{ny}}{21,3446} = 0,72$$

$$\longrightarrow M_{ny} = 0,72 \cdot 21,3446 = 15,3681 \text{ tm}$$

$$M_{ny \text{ perlu}} = 14,2857 \text{ tm} < \bar{M}_{ny} = 15,3681 \text{ tm}$$

Jadi asumsi penampang kolom pada langkah pertama aman digunakan.

Contoh 3.4

Suatu kolom bujur sangkar menerima beban aksial $P_u = 50$ ton dan beban aksial $M_{ux} = M_{uy} = 7,6$ tm. Disain kolom tersebut jika mutu beton dan baja sama dengan contoh 3.3, yaitu $f'_c = 29$ Mpa.

Penyelesaian:

Langkah pertama:

Menghitung momen lentur uniaksial ekuivalen dengan menganggap banyaknya tulangan sama pada semua sisi, dan menganggap $\phi = 0,70$ (untuk kolom bersengkang).

$$P_n \text{ perlu} = \frac{P_u}{\phi} = \frac{50}{0,70} = 71,428 \text{ ton}$$

$$M_{nx} \text{ perlu} = \frac{M_{ux}}{\phi} = \frac{7,6}{0,70} = 10,857 \text{ tm}$$

$$M_{ny} \text{ perlu} = \frac{M_{uy}}{\phi} = M_{nx} \text{ perlu} = 11,143 \text{ tm}$$

Melakukan analisa momen ekuivalen dan eksentrisitas ekuivalen terhadap salah satu sumbu yang menentukan, karena dimensi dan momen simetris, maka cukup ditinjau terhadap salah satu sumbu, misal diambil terhadap sumbu x yaitu $M_{nx} = 11,143 \text{ tm}$.

$$M_{nx}/M_{ny} = 11,143/11,143 = 1$$

Kolom simetris, jika diasumsikan $b = 30 \text{ cm}$ dan $h = 30 \text{ cm}$, maka $h/b = 1$. Faktor interaksi untuk perencanaan awal diasumsikan $\beta = 0,65$. Dari persamaan maka (2.4) maka:

$$M_{ox} = 10,857 + 10,857 \cdot 1 \cdot \left(\frac{1-0,65}{0,65} \right) = 16,703 \text{ tm}$$

Langkah kedua:

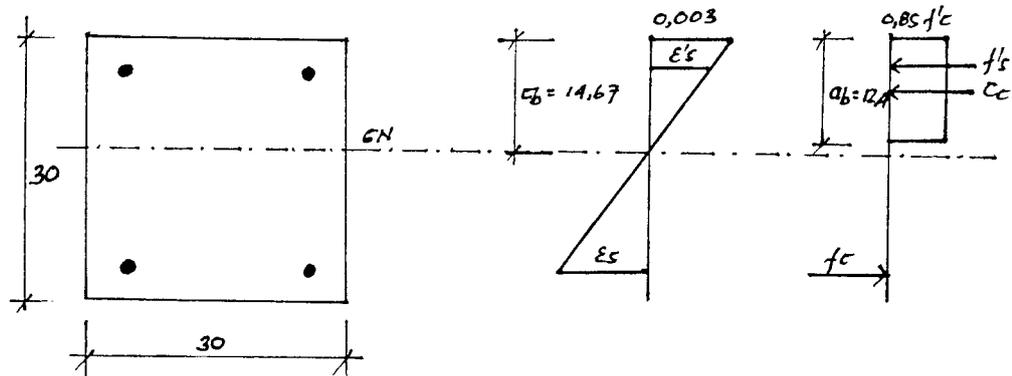
Kontrol kapasitas penampang dari P_n perlu yang telah diasumsikan, $b = 30 \text{ cm}$, $h = 30 \text{ cm}$, $d' = d_1 = 6 \text{ cm}$.

$$d = h - d' = 30 - 6 = 24 \text{ cm}$$

$$A_s = A'_s = (0,25 \cdot \pi \cdot 3,2^2) \cdot 2 = 16,08 \text{ cm}^2$$

$$p = A_s / (b \cdot d) = 16,08 / (30 \cdot 24) = 0,0223$$

Analisa kondisi balanced;



Gambar 3.5. Penampang kolom dan diagram tegangan-regangan

$$c_b : (d - c_b) = \epsilon'_{cb} : \epsilon_s$$

$$c_b = \frac{63.24}{(40+63)} = 14,67 \text{ cm}$$

$$a_b = 0,85.14,67 = 12,47 \text{ cm}$$

$$f'_s = \epsilon'_c \cdot E_s = \left(\frac{c_b - d'}{c_b} \right) \cdot 6300 = \left(\frac{14,67 - 6}{14,67} \right) \cdot 6300$$

$$= 2864,417 \text{ kg/cm}^2 > f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

Dengan demikian baja desak belum luluh. Dari diagram cirian gambar 2.9, bisa ditentukan bahwa desak menentukan. Dari persamaan Whitney untuk patah desak adalah;

$$\bar{P}_n = \frac{A'_s \cdot f_y}{\left(\frac{e}{d - d'} + 0,5 \right)} + \frac{b \cdot h \cdot f'_c}{\left(\frac{3 \cdot h \cdot e}{d^2} + 1,10 \right)}$$

$$e = \frac{M_{ox}}{P_n} = \frac{16,073 \cdot 10^5}{71,428 \cdot 10^3} = 22,5$$

$$\begin{aligned} \bar{P}_n &= \frac{16,08 \cdot 4}{\left[\frac{22,5}{24 - 6} + 0,5 \right]} + \frac{30 \cdot 30 \cdot 0,29}{\left[\frac{330 \cdot 22,5}{24^2} + 1,18 \right]} \\ &= 92,3379 \text{ ton} > P_n \text{ perlu} = 71,428 \text{ ton} \end{aligned}$$

Mencari ϕ dengan menggunakan \bar{P}_n sebagai coba-coba pertama, cek ϕ yang diasumsikan 0,70. Menurut ACI 318-89 maka,

$$\phi = 0,9 - \frac{0,2 \cdot 92,3379}{0,1 \cdot 0,29 \cdot (30 \cdot 30)} = 0,192 < 0,70$$

Digunakan $\phi = 0,70$

Kontrol keserasian tegangan

$$a = \frac{\bar{P}_n}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{92,3379}{0,85 \cdot 0,29 \cdot 30} = 12,48 \text{ cm}$$

$$c = \frac{12,48}{0,85} = 14,69 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} f'_c &= \left[\frac{c-d'}{c} \right] \cdot 6300 = \left[\frac{14,69-6}{14,69} \right] \cdot 6300 \\ &= 3726,82 \text{ kg/cm}^2 < f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s &= \left[\frac{d-c}{d} \right] \cdot 6300 = \left[\frac{24-14,69}{24} \right] \cdot 6300 \\ &= 2443,87 \text{ kg/cm}^2 < f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Langkah ketiga:

Menghitung tahanan nominal aktual M_{oxn} untuk lentur

uniaksial ekuivalen terhadap sumbu x bila $M_{oy} = 0$. Yang diperlukan adalah \bar{P}_n

$$\begin{aligned}
 M_{oxn} &= P.e = 0,85.f'c.a.b. \left[\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right] \\
 &\quad + A's.f's. \left[\frac{h}{2} - d \right] + A_s.f_s. \left(d - \frac{h}{2} \right) \\
 &= 0,85.0,29.12,48.30. \left[15 - \frac{12,48}{2} \right] \\
 &\quad + 16,08.3726(15-6) + 16,08.2,44(24-15) \\
 &= 808,45 + 539,226 + 353,55 \\
 &= 1701,226 \text{ ton cm} \\
 &= 17,01226 \text{ tm} > M_{ox} = 16,703 \text{ tm} \\
 &\hspace{15em} (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Langkah keempat:

Mencari M_{ny} dengan memasukan M_{ox}/M_{oxn} dan faktor β coba-coba kedalam gambar 2.16. Coba-coba pertama $\beta = 0,65$. Dari langkah 3, $M_{oxn} = 17,0126 \text{ tm}$

$$\frac{M_{nx}}{M_{oxn}} = \frac{10,857}{17,0126} = 0,64$$

Masukan harga ini pada garis lentur $\beta = 0,65$, maka dari gambar 3.6 akan diperoleh:

$$\frac{M_{ny}}{M_{oy}} \approx 0,66$$

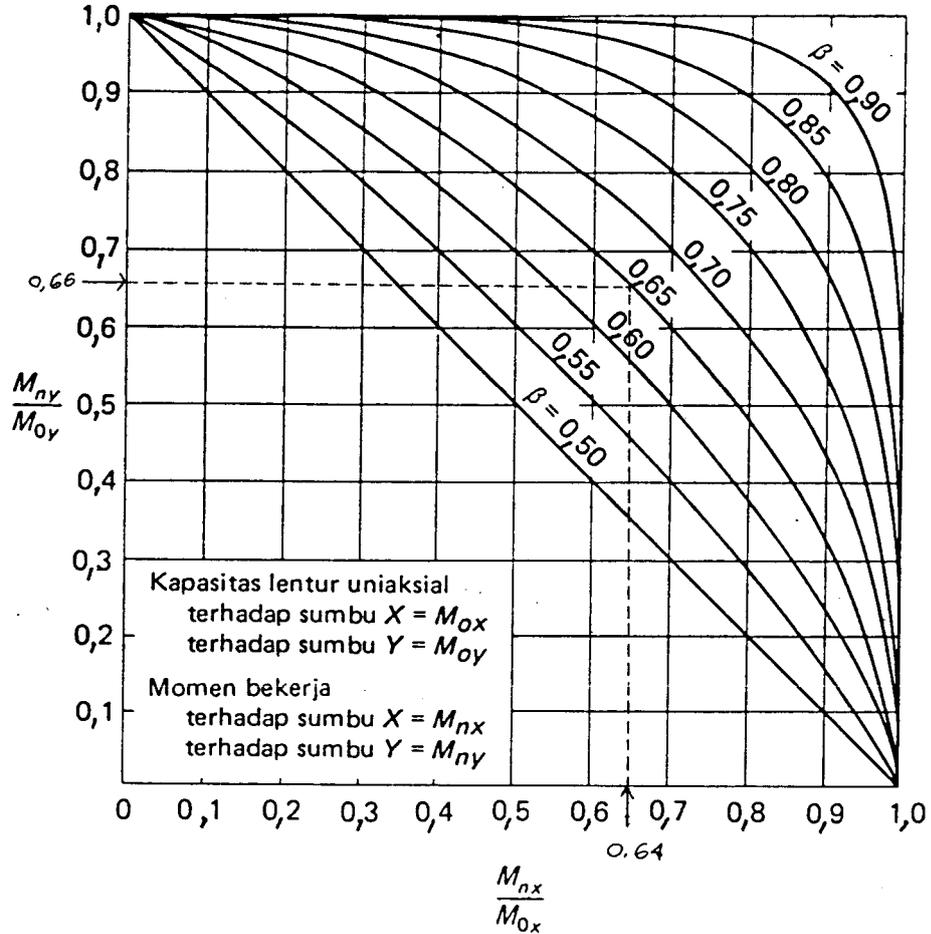
Diketahui bahwa $M_{nx} = M_{ny}$, maka $M_{oxn} = M_{oy}$

$$\frac{M_{ny}}{M_{oy}} = 0,66$$

$$M_{ny} = 0,66 \cdot 17,0126$$

$$= 11,228 \text{ tm} > M_{ny \text{ perlu}} = 10,857 \text{ tm}$$

Jadi asumsi penampang kolom pada langkah pertama aman untuk digunakan.



Gambar 3.6. Hubungan interaksi untuk lentur biaksial

3.2. Disain dengan metoda permukaan runtuh tipe S2

Langkah-langkah berikut ini dapat dipakai sebagai petunjuk dalam desain kolom yang mengalami lentur pada arah x dan y. Prosedur ini beranggapan bahwa luas tulangan sama pada semua sisi.

- (1). Tentukan gaya-gaya yang bekerja pada kolom.
- (2). Tentukan mutu beton, mutu baja dan asumsikan dimensi kolom serta penulangannya, dengan ketentuan p sekitar 0,01-0,03.
- (3). Cari harga-harga P_o , P_n , P_b , M_b dan e_b , dari harga-harga ini buat diagram interaksi perbalikan $P-e$, dari titik pertemuan antara P dan e dihubungkan dengan garis lengkung.
- (4). Cari harga-harga e_x dan e_y yang diperoleh dari nilai perbandingan antara momen dengan beban terpusat, dengan memasukkan nilai e_x dan e_y kemudian ditarik garis tegak lurus hingga memotong garis interaksi $P-e$. Titik perpotongan tersebut kemudian ditarik garis horisontal, maka akan diperoleh nilai P_x dan P_y .
- (5). Dengan memasukkan nilai P_x dan P_y kedalam persamaan (2.16), maka akan diperoleh nilai P_n , nilai ini harus lebih dari atau mendekati P_n perlu, jika tidak perlu trial dimensi kolom atau tulangan.

Contoh 3.5

Suatu kolom dengan ketentuan seperti pada contoh 3.3. Hitung ulang dimensi kolom tersebut dengan ketentuan-ketentuan yang sama dengan metoda permukaan runtuh tipe S_2 .

Penyelesaian:

Dalam contoh 3.3 diketahui; $P_u = 95$ ton, $M_{ux} = 18,5$



ton, $M_{uy} = 10$ ton

Dimensi kolom 30/50, $A_s = A'_s = 16,08 \text{ cm}^2$

*) Tinjauan arah sumbu y

$$d = h - d' = 50 - 6 = 44 \text{ cm}$$

$$A_g = b \cdot h = 30 \cdot 50 = 1500 \text{ cm}^2$$

$$A_{st} = A'_s + A_s = 16,08 + 16,08 = 32,16 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} P_o &= 0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st} \\ &= 0,85 \cdot 0,29 (1500 - 32,16) + 4 \cdot 32,16 \\ &= 490,462 \text{ ton} \end{aligned}$$

*) Tinjauan kondisi balanced

$$\frac{c_b}{(d - c_b)} = \frac{\epsilon'_{bc}}{\epsilon_s}$$

atau

$$\frac{c_b}{(44 - c_b)} = \frac{0,003}{4000/2,1 \cdot 10^6}$$

$$40 \cdot c_b = 63 \cdot 44 - 63 \cdot c_b$$

$$c_b = \frac{63 \cdot 44}{(40 + 63)} = 26,91 \text{ cm}$$

$$a_b = \beta_1 \cdot c_b = 0,85 \cdot 26,91 = 22,87 \text{ cm}$$

*) Tinjauan tegangan baja

$$f'_s = \epsilon'_s \cdot E_s = \frac{(c_b - d')}{c_b} \cdot \epsilon'_{cb} \cdot E_s$$

$$= \left[\frac{26,91 - 6}{26,91} \right] \cdot 6300$$

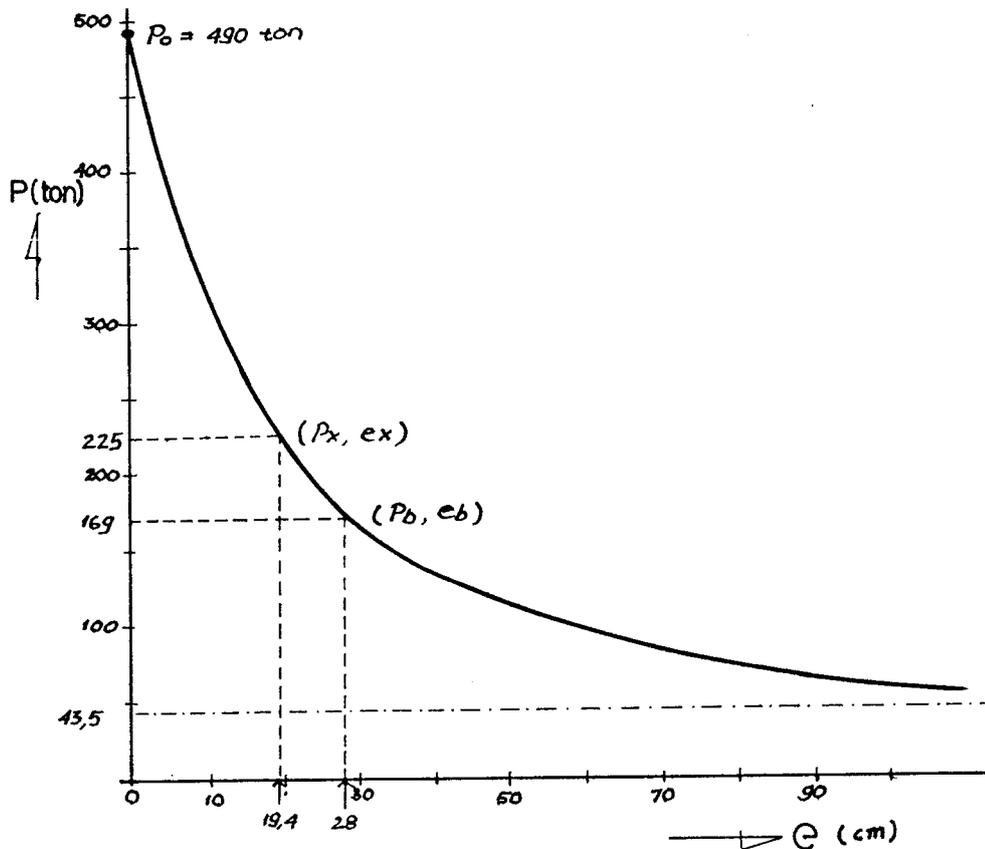
$$= 4895 \text{ kg/cm}^2 > f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

Dengan demikian, $f'_s = f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$

*) . Tinjauan kapasitas gaya

$$\begin{aligned}
 P_{bx} &= C_c + C_s - T_s \\
 &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a_b \cdot b + A'_s \cdot f_y - A_s \cdot f_y \\
 &= 0,85 \cdot 0,29 \cdot 22,87 \cdot 30 + 16,08 \cdot 4 - 16,08 \cdot 4 \\
 &= 169,124 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{bx} &= C_c \cdot \left[\frac{h}{2} - \frac{a_b}{2} \right] + (C_s + T_s) \left[\frac{h}{2} - d' \right] \\
 &= 169,12 \left[25 - \frac{22,87}{2} \right] + (34,32 + 64,32) (25 - 6) \\
 &= 4738,322 \text{ ton cm} = 47,3832 \text{ tm}
 \end{aligned}$$



Gambar 3.7. Diagram interaksi P-ex untuk lentur uniaksial

$$e_{bx} = \frac{M_{bx}}{P_{bx}} = \frac{47,3832 \cdot 10^5}{169,124 \cdot 10^3} = 28 \text{ cm}$$

$$0,1 \cdot f'_c \cdot A_g = 0,1 \cdot 0,29 \cdot 1500 = 43,5$$

$$e_x = \frac{M_{ux}}{P_u} = \frac{18,5 \cdot 10^5}{95 \cdot 10^3} = 19,4 \text{ cm}$$

Dari diagram interaksi P-ex dalam gambar 3.7 diperoleh, $P_x = 225 \text{ ton}$

*) Tinjauan arah sumbu y

$$b = 50 \text{ cm} \quad h = 30 \text{ cm} \quad d' = 6 \text{ cm}$$

$$d = h - d' = 30 - 6 = 24 \text{ cm}$$

- Tinjauan kondisi *balanced*

$$\frac{c_b}{(d - c_b)} = \frac{\epsilon'_c c_b}{\epsilon_s}$$

$$\longrightarrow c_b = \frac{63 \cdot 24}{63 + 40} = 14,57 \text{ cm}$$

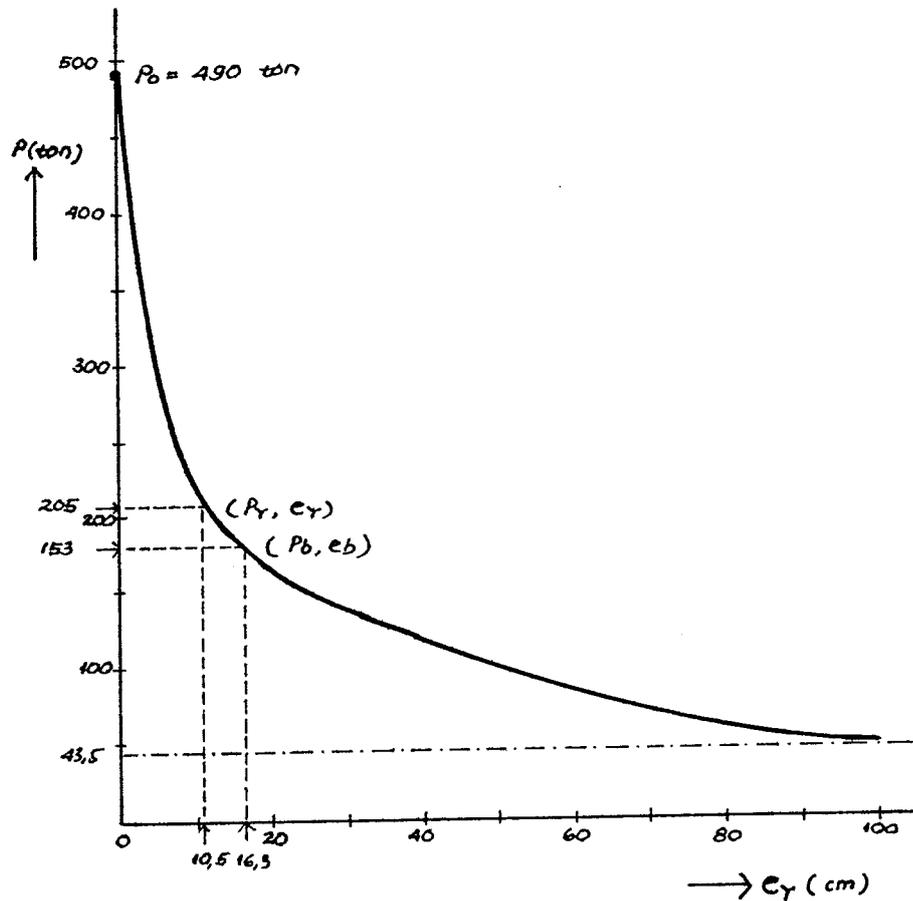
$$a_b = 0,85 \cdot 14,57 = 12,47 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} P_{by} &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a_b \cdot b + A'_s \cdot f_y - A_s \cdot f_y \\ &= 0,85 \cdot 0,29 \cdot 12,47 \cdot 50 + 16,08 \cdot 4 - 16,08 \cdot 4 \\ &= 153,692 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{by} &= 0,85 \cdot 0,29 \cdot 12,47 \cdot 50 \left[\frac{30}{2} - \frac{12,47}{2} \right] \\ &\quad + 2 \cdot 16,08 \cdot 4 \left[\frac{30}{2} - 6 \right] \\ &= 2504,876 \text{ ton cm} = 25,0487 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$e_{by} = \frac{M_{by}}{P_{by}} = \frac{25,0487 \cdot 10^5}{153,692 \cdot 10^3} = 16,29 \text{ cm}$$

$$e_y = \frac{M_{uy}}{P_u} = \frac{10 \cdot 10^5}{95 \cdot 10^3} = 10,52 \text{ cm}$$



Gambar 3.8. Diagram interaksi $P-e_y$ untuk lenturuniaksial

Dari diagram interaksi $P-e_x$ dalam gambar 3.8 diperoleh, $P_y = 205$ ton

Dari persamaan (2.16) diperoleh,

$$\frac{1}{P_n} \approx \frac{1}{P_i} = \frac{1}{P_x} + \frac{1}{P_y} - \frac{1}{P_0}$$

$$\frac{1000}{P_n} = \frac{1000}{225} + \frac{1}{205} - \frac{1}{490}$$

$$\frac{1000}{P_n} = 7,28 \rightarrow P_n = 137,36 \text{ ton} > P_n \text{ perlu}$$

Contoh 3.6

Suatu kolom bujur sangkar seperti pada contoh 3.5. Hitung ulang kolom kolom tersebut dengan metoda permukaan runtuh tipe Sz.

Penyelesaian:

Dalam contoh 3.4 diketahui;

$$\begin{aligned} P_u &= 50 \text{ ton} & P_n \text{ perlu} &= 71,428 \text{ ton} \\ M_{ux} = M_{uy} &= 7,6 \text{ tm} & M_{ux} \text{ perlu} &= 10,857 \text{ tm} \end{aligned}$$

Dimensi kolom = 30/30, $A'_s = A_s = 16,08 \text{ cm}^2$. Karena $M_{ux} = M_{uy}$ dan kolom bujur sangkar, maka cukup ditinjau satu arah sumbu saja. Disini diambil tinjauan arah x,

$$\begin{aligned} d &= h - d = 30 - 6 = 24 \text{ cm} \\ A_g &= 30 \cdot 30 = 900 \text{ cm}^2 \\ A_{st} &= 2 \cdot 16,08 = 2,16 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$P_o = 0,85 \cdot 0,29 (900 - 32,16) + 4 \cdot 32,16 = 342,56 \text{ ton}$$

Tinjauan kondisi *balanced*

$$c_b = \frac{63 \cdot 24}{(40 + 63)} = 14,67 \text{ cm}$$

$$a_b = 0,85 \cdot 14,67 = 12,47 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
P_b &= C_c + C_s - T_s \\
&= 0,85 \cdot 0,29 \cdot 12,47 \cdot 30 + 16,08 \cdot 4 - 16,08 \cdot 4 \\
&= 92,215 + 64,32 - 64,32 \\
&= 92,215 \text{ ton}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_b &= C_c \left[\frac{h}{2} - \frac{a_b}{2} \right] + (C_s + T_s) \cdot \left[\frac{h}{2} - d' \right] \\
&= 92,215 \left[\frac{30}{2} - \frac{12,47}{2} \right] \\
&\quad + (64,32 + 64,32) \cdot \left[\frac{30}{2} - 6 \right] \\
&= 1966,024 \text{ ton cm} = 19,66024 \text{ tm}
\end{aligned}$$

$$e_b = \frac{M_b}{P_b} = \frac{19,66024 \cdot 10^5}{92,215 \cdot 10^3} = 21,32 \text{ cm}$$

$$0,1 \cdot f'c \cdot A_g = 0,1 \cdot 2,9 \cdot 900 = 26,1 \text{ ton}$$

$$e_y = \frac{M_{ux}}{P_u} = \frac{10,857 \cdot 10^5}{71,428 \cdot 10^3} = 15,19 \text{ cm}$$

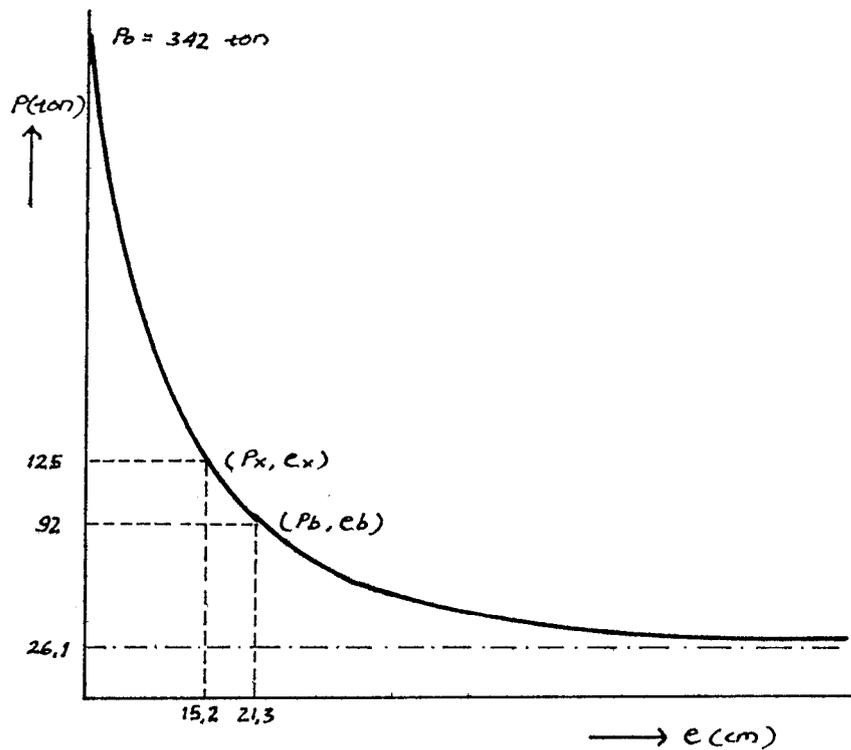
$$e_x = \frac{M_{uy}}{P_u} = \frac{10,857 \cdot 10^5}{71,428 \cdot 10^3} = 15,19 \text{ cm}$$

Dari diagram interaksi P-e dari gambar 3.9 diperoleh,

$$P_x = 125 \text{ ton} \quad P_y = 125 \text{ ton}$$

Dari persamaan (2.16) diperoleh

$$\frac{1}{P_n} \approx \frac{1}{P_i} = \frac{1}{P_x} + \frac{1}{P_y} - \frac{1}{P_o}$$



Gambar 3.9. Diagram interaksi P-e untuk lentur uniaksial

$$\frac{1000}{P_n} = \frac{1000}{125} + \frac{1000}{125} - \frac{1000}{342}$$

$$\frac{1000}{P_n} = 13,076$$

$$P_n = \frac{1000}{13,076} = 76,475 \text{ tm} > P_n \text{ perlu} = 71,428 \text{ tm}$$

Jadi kolom bujur sangkar yang telah diasumsikan memenuhi.

Keterangan:

Persamaan yang tidak dijelaskan dalam analisa ini diambil dari referensi (1). Bab 9.

BAB IV

PEMBAHASAN DISAIN KOLOM BIAKSIAL

4.1. Pembahasan metoda eksak

Metoda ini pada prinsipnya, menggunakan keseimbangan tegangan yang bekerja pada suatu kolom yang sudah diasumsikan dimensi dan penulangannya. Oleh karena itu, menentukan letak garis netral menjadi sangat penting. Dengan demikian perlu adanya coba-coba untuk menentukan garis tersebut, hingga diperoleh nilai tegangan tarik dikurangi tegangan desak hasilnya sama dengan nol. Kemudian dihitung kapasitas momenya, dan hasil ini harus lebih besar atau sama dengan momen yang diperlukan.

- Kelebihan Metoda Eksak

Dalam disain kolom biaksial, metoda ini lebih eksak, lebih teliti dan lebih sederhana untuk perhitungan kolom dengan tulangan sedikit (sekitar 4 tulangan) atau untuk kolom yang tulangannya tidak simetris.

- Kekurangan Metoda Eksak

Untuk desain kolom dengan banyak tulangan, metoda ini menjadi sangat rumit karena harus menghitung kuat tarik dan desak pada masing-masing tulangan, selain itu untuk menentukan nilai k (konstanta untuk menentukan garis netral), juga perlu coba-coba berulang-ulang.

4.2. Pembahasan Metoda Permukaan Runtuh tipe Sa

Metoda ini pada prinsipnya, menganalisa kolom biaksial dengan sistem mengurai momen nominal menjadi dua bagian arah M_{nx} dan M_{ny} , kemudian masing-masing dihitung dengan sistem pendekatan ekuivalen kolom uniaksial. Dari hasil perhitungan nilai momen nominal tertinggi ditambah dengan momen nominal terendah dikalikan dengan faktor β kemudian dikurangi β .

Dari hasil tersebut, selanjutnya digunakan sebagai perhitungan ekuivalen kolom uniaksial arah terbesar. Sedang untuk arah terkecil digunakan sistem coba-coba untuk dalam menentukan garis netralnya, sehingga terpenuhi kapasitas P_n -nya.

Bila kedua hasil perhitungan sudah memenuhi Momen nominal ekuivalen, selanjutnya perlu dicari faktor β -nya, dengan memasukkan M_n/M_o (terkecil) kedalam grafik "Hubungan interaksi untuk lentur biaksial" dalam gambar 2.16. Faktor β ini harus lebih kecil atau sama dengan faktor β yang telah diasumsikan.

- Kelebihan Metoda Permukaan Runtuh tipe Sa

Metoda ini lebih aman dan akurat karena didasari dengan berbagai uji coba laboratorium. Untuk perhitungan dimensi kolom dengan banyak tulangan metoda ini lebih sederhana jika dibanding dengan Metoda Eksak.

- Kekurangan Metoda Permukaan Runtuh tipe Sa

Guna menentukan faktor β perlu uji coba laboratorium untuk masing-masing jumlah tulangan. Hasil uji laboratorium

untuk masing-masing tulangan disajikan dalam gambar 2.15.^[3]

4.3. Pembahasan Metoda Permukaan Runtuh tipe Sz

Metoda ini menitik bertkan pada grafik sebagai prinsip dasar perhitungannya. Dengan menentukan kapasitas P_o , P_n dan P_b dari luas penampang dan luas tulangan yang telah diasumsikan, yang dihubungkan tegak lurus dengan garis e, maka titik perpotongan tersebut bisa dibuat grafik. Untuk selanjutnya digunakan untuk menentukan kapasitas P_n dari dimensi kolom yang telah diasumsikan.

- Kelebihan Metoda Permukaan Runtuh tipe Sz

Metoda ini lebih sederhana dan lebih cepat dalam perhitungannya.

- Kekurangan Metode Permukaan Runtuh tipe Sz

Karena metoda ini menitik beratkan pada gambar maka ketelitiannya kurang. Selain itu, penampang kolom dan luas tulangan harus diasumsikan terlebih dahulu.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari uraian dalam bab dua, bab tiga dan bab empat, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- (1). Metoda eksak akan lebih baik dipakai untuk desain kolom biaksial dengan jumlah tulangan sedikit (sekitar 4 tulangan) atau tulangan yang letaknya asimetris.
- (2). Metoda permukaan runtuh tipe S_3 lebih fleksibel dan lebih mudah untuk menaksir dimensi kolom biaksial.
- (3). Metoda permukaan runtuh tipe S_2 lebih tepat jika digunakan untuk mengontrol hasil perhitungan. Karena metoda ini walau kurang teliti, namun lebih sederhana dan lebih cepat dalam perhitungan, selain itu dari gambar grafik yang disajikan dapat dilihat kapasitas P_n yang dikehendaki dengan jalan menggeser e yang dikehendaki.

5.2. Saran

Dari pengalaman penyusun dalam menyelesaikan tugas akhir ini, dapat memberi saran sebagai berikut:

- (1). Untuk menentukan nilai k dalam metoda eksak, dalam mencari keseimbangan antara tarik dikurangi desak dengan hasil sama dengan nol memang sangat sulit, untuk

itu sisa gaya yang kurang dari tegangan ijin desak beton sudah dianggap memenuhi.

- (2). Untuk menentukan faktor β dalam metoda permukaan runtuh tipe S₁, bisa langsung diambil 0,65.^[3] Jika tidak memenuhi bisa dinaikkan sedikit demi sedikit.
- (3). Untuk membuat grafik P-e dalam mengerjakan metoda permukaan runtuh tipe S₂ perlu ketelitian, oleh karena itu dengan skala lebih besar, maka hasilnya akan lebih teliti.

PENUTUP

Alhamdulillah, dengan penuh rasa sukur penyusun panjatkan kehadirat Allah SWT, tidak lupa solawat dan salam atas junjungan nabi besar Muhammad SAW. Atas segala karunianya akhirnya penyusun dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penyusun telah berusaha untuk menyusun dengan sempurna, namun dengan segenap kemampuan dan keterbatasan yang ada, penyusun menyadari masih ada beberapa kekurangan, baik dalam penyajian maupun dalam bahasa yang kurang komunikatif dan sistematis. Untuk itu penyusun berharap atas kritik dan saran yang bersifat membangun.

Akhirnya penyusun ucapkan banyak terimakasih yang tidak terhingga kepada semua pihak yang membantu dalam terwujudnya tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Edward G. Nawy, BETON BERTULANG SUATU PENDEKATAN DASAR, alih bahasa Suryoatmono, Bandung, Eresco, 1990.
2. W. H. Mosley and J. H. Bungey, PERENCANAAN BETON BERTULANG, alih bahasa Elly Madyayanti, Jakarta, Erlangga, 1984.
3. Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, DISAIN BETON BERTULANG, alih bahasa Binsar Hariandja, Jakarta, Erlangga, 1986.
4. ———, TATA CARA PERHITUNGAN STRUKTUR BETON UNTUK BANGUNAN GEDUNG SK-SNI T-15-1991-03, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung, Yayasan LPMB, 1991.
5. ———, ACI 318-89, Building Code Requirements For Reinforced Concrete, Edited by S.K. Ghosh and Basile G Robbat, Chicago, Portland Cement Association, 1990.
6. Phil M. Ferguson, DASAR-DASAR BETON BERTULANG, alih bahasa Budianto Sutanto dan Kris Setianto, Jakarta, Erlangga, 1986.
7. R. Parkand T. Pauly. REINFORCED CONCRETE STRUCTURES, Jhon Wiley & Sons, New York, 1974.
8. W. C. Vis dan Gideon Kusuma, DASAR-DASAR PERENCANAAN BETON BERTULANG BERDASARKAN SKSNI T-15-1991-03, Erlangga, Jakarta, 1993.

DAFTAR NOTASI

- a = tinggi dari distribusi tegangan persegi dari sisi tekan beton bentang geser.
- a_b = tinggi dari distribusi tegangan persegi untuk kondisi regangan berimbang.
- A = luas tarik efektif dari beton per batang tulangan.
- A_s = luas tulangan tarik.
- A'_s = luas tulangan tekan.
- A_{st} = luas total tulangan.
- C_c = gaya tekan dalam beton tanpa tulangan tekan.
- d = tinggi efektif dari sisi tekan ke titik pusat tulangan tarik.
- d' = jarak dari sisi tekan ke pusat tulangan tekan.
- e = eksentrisitas dari pembebanan tekan pada kolom; e_x (diukur sepanjang sumbu x); e_y (diukur sepanjang sumbu y).
- e' = jarak dari titik tangkap gaya tekan eksentris kepada lapisan tulangan yang paling jauh dari titik pusat penampang, diukur dari titik pusat dalam arah yang berlawanan dengan eksentrisitas e .
- e_{min} = eksentrisitas minimum.
- E_c = modulus elastisitas beton.
- E_s = modulus elastisitas baja.
- f'_c = kekuatan tekan beton, diukur pada umur 28 hari setelah pengecoran.

- f_s = kekuatan tarik baja.
 f'_s = kekuatan desak baja dalam beton.
 f_y = tegangan leleh baja.
 k = tinggi konstanta daerah blok beton yang tertekan; k_x (tinggi sepanjang sumbu x) dan k_y (tinggi sepanjang sumbu y).
 P_b = kekuatan aksial nominal pada keadaan regangan berimbang.
 P_n = kekuatan beban aksial nominal.
 P_o = kekuatan nominal P_n untuk kolom yang dibebani aksial (untuk $e=0$).
 P_u = gaya aksial berfaktor.
 P_x = kekuatan aksial nominal di dalam kombinasi tekan dan lentur uniaksial terhadap sumbu x.
 P_y = kekuatan aksial nominal di dalam kombinasi tekan dan lentur uniaksial terhadap sumbu y.
 S_i = tegangan satuan tulangan tarik atau tekan baja; di mana (+) tegangan desak, (-) tegangan tarik.
 t = tebal selimut beton; t_x (untuk searah sumbu x); t_y (untuk searah sumbu y).
 \bar{x} = jarak dari titik pusat blok beton yang tertekan ke sisi kolom yang searah sumbu x.
 \bar{y} = jarak dari titik pusat blok beton yang tertekan ke sisi kolom yang searah sumbu y.
 α = ketetapan yang digunakan untuk menentukan kurva kon-tur beban pada kekuatan tekan P_n yang tetap.

- β = angka perbandingan kapasitas lentur uniaksial dengan momen yang bekerja (M_{nx}/M_{ox} atau M_{ny}/M_{oy}).
- ϵ = regangan.
- ϵ_c = regangan beton.
- ϵ_s = regangan dalam baja tulangan tarik.
- ϵ'_s = regangan dalam baja tulangan tekan.
- ϵ_y = f_y/E_s , regangan pada saat baja mencapai tegangan leleh.
- ϕ = faktor reduksi kekuatan menurut peraturan ACI.
- p = perbandingan tulangan, $A_s/(bd)$, untuk tulangan tarik.
- p' = perbandingan tulangan, $A'_s/(bd)$, untuk tulangan tekan.
- θ = sudut yang terbentuk antara garis netral dengan garis horizontal.