

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Pendahuluan

Analisis struktur bangunan Kampus UPN Veteran Yogyakarta dilakukan dengan komputer berbasis elemen hingga (finite element) untuk berbagai kombinasi pembebanan yang meliputi beban mati, beban hidup dan beban gempa dengan pemodelan struktur 3-D (space-frame). Analisis terhadap beban gempa digunakan cara Statis. Konsep perancangan konstruksi didasarkan pada analisis kekuatan batas (ultimate-strength) yang mempunyai daktilitas penuh (Full Ductility) seperti yang terdapat dalam SKSNI T-15-1991-03. Pada perencanaan dengan daktilitas penuh ini struktur diberi beban gempa tanpa dikalikan faktor pengali (faktor $K = 1$) tetapi dengan persyaratan daktilitas yang ketat sesuai Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk gedung.

3.1.1 Peraturan dan Standar Perencanaan

1. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk gedung, 1983 (PPI-83).
2. Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk gedung, 1983 (PPTG-83).
3. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, 1991 (SNI-T-15-1991-03).
4. persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia, 1982 (PUBI-82)
5. Peraturan Bangunan Baja Indonesia, 1981 (PUBI-81).

3.1.2 REFERENSI

1. Park,R, and Paulay, T, Reinforced Concrete Structure, John Wiley & Sons, New York.
2. Nilson, AH and Winter, G, 1975 Design of Concrete Structures, McGraw-Hill, Inc, New York.
3. Cook, R, 1981, Concepts and Applications of Finite Element Analisis, John wiley & Sone Inc, London.
4. CEB, 1987, seismic design of Concrete Structure.

3.1.3 BAHAN STRUKTUR.

Beton

Kuat tekan beton yang disyaratkan, $f'_c = 25 \text{ Mpa} = 250 \text{ kg/cm}^2$

Modulus elastisitas beton, $E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} = 2,35 \cdot 10^4 \text{ Mpa} = 23,5 \cdot 10^4 \text{ kg/cm}^2$

Angka Poison, $\nu = 0,15$

Modulus Geser, $G = E_c / [2 \cdot (1 + \nu)] = 1,02 \cdot 10^4 \text{ kg/cm}^2$

Baja Tulangan.

Untuk baja tulangan dengan $\varnothing > 12 \text{ mm}$ digunakan baja tulangan ulir (deform) dengan tegangan leleh, $f_y = 390 \text{ MPa}$

Untuk baja tulangan dengan $\varnothing \leq 12 \text{ mm}$ digunakan baja tulangan polos dengan tegangan leleh, $f_y = 240 \text{ Mpa}$

Modulus Elastisitas baja, $E_s = 2,1 \cdot 10^5 \text{ Mpa}$

Baja Profil

Mutu baja profil yang digunakan untuk struktur rangka atap setara dengan ST – 37 yang mempunyai tegangan leleh, $\sigma_1 = 2400 \text{ kg/cm}^2$

Tanah Dasar

Penyelidikan tanah yang telah dilakukan oleh Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil UGM. Hasil penyelidikan dapat dilihat pada lampiran

3.1.4 Metode Analisis struktur

Asumsi yang digunakan dalam Analisis

- a. Pemodelan struktur 3-D (space frame) dilakukan dengan Program Komputer.
- b. Deformasi struktur kecil dan material isotropic, sehingga digunakan analisis linier dengan metode matrik kekakuan langsung (direct stiffness matriks).
- c. Efek P-delta kolom sangat kecil dan diabaikan.
- d. Efek rigid end zone pada balok diabaikan dan struktur stabil geometrik.
- e. Plat lantai dianggap sebagai diafragma sangat kaku pada bidangnya.
- f. Analisis untuk pembebanan gempa digunakan analisis Statis.

3.1.5 Ketentuan Beban

1. Beban mati (dead load)

Beban mati yang merupakan berat sendiri konstruksi (specific gravity) menurut Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung, 1983 adalah sebagai berikut (lihat tabel 3.1) :

Tabel 3.1 Beban mati

No	Jenis konstruksi	Berat	satuan
1	Beton bertulang	2400	Kg/m ³
2	Beton rabat (cyclop)	2200	Kg/m ³
3	Dinding pasangan bata ½ batu	250	Kg/m ²
4	Pasangan batu kali	2200	Kg/m ³
5	Finishing lantai	2200	Kg/m ³
6	Plafon termasuk rangka	18	Kg/m ²
7	Atap genteng termasuk usuk dan reng	50	Kg/m ²
8	Mortar	2200	Kg/m ³
9	Pasir	1600	Kg/m ³
10	Air	1000	Kg/m ³
11	Kayu	900	Kg/m ³
12	Baja	7850	Kg/m ³

2. Beban Hidup (Live load)

Beban hidup yang bekerja pada konstruksi untuk gedung perkantoran, adalah sebagai berikut (lihat tabel 3.2) :

Tabel 3.2 Beban Hidup

No	Jenis konstruksi	Berat	Satuan
1	Lantai bangunan	300	Kg/m ²
2	Tangga dan bordes	400	Kg/m ²
3	Gording	100	Kg
4	Leufel/konsol	200	Kg
5	Lantai Parkir	800	Kg/m ²

3. Beban Gempa (Earthquake)

Besar beban gempa ditentukan oleh percepatan gempa rencana dan massa total struktur. Massa total struktur terdiri dari berat sendiri struktur dan beban hidup yang dikalikan dengan faktor reduksi 0,5

Percepatan gempa diambil dari data zone 3 Peta Wilayah Gempa Indonesia menurut PPTG-1983

Analisis dinamik dilakukan dengan metode superposisi spectrum response.

4. Kombinasi Pembebanan

Semua komponen struktur dirancang memiliki kekuatan minimal sebesar kekuatan yang dihitung berdasarkan kombinasi beban sebagai berikut :

- 1) Kombinasi $1,2.D + 1,6.L$
- 2) Kombinasi $1,05.(D + L_r + E)$
- 3) Kombinasi $0,9.D + E$

5. Model Struktur

pemodelan struktur 3-D (space frame) dilakukan dengan program komputer dengan model diagfragma lantai kaku baik untuk analisis statik maupun dinamik.

Balok, kolom, dan fondasi bertemu pada garis sumbu utamanya masing-masing.

Sistem Fondasi, balok, kolom dan plat lantai merupakan kesatuan monolit dari beton bertulang.

6. Program Komputer

Program Komputer yang digunakan untuk analisis meliputi :

- a. SAP2000 : Untuk analisis mekanika struktur 3-D (Space Frame).
- b. DBEAM : Untuk design dan analisis kekuatan balok.
- c. DCOL : Untuk design dan analisis kekuatan kolom.
- d. DSLAB : Untuk design dan analisis kekuatan plat.
- e. DFOOT : Untuk design dan analisis kekuatan fondasi footplat.

3.2 Perencanaan Pelat

Untuk mencari momen yang terjadi pada pelat dipergunakan tabel distribusi momen dari PBI – 1971 :

$$M_{lx} = M_{ly} = + 0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot X$$

$$M_{tx} = M_{ty} = - 0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot X$$

Koefisien X tergantung pada perbandingan l_y/l_x dan kondisi momen terjepit penuh atau terjepit elastis

3.2.1 Perencanaan Tulangan Pokok

Untuk perencanaan tulangan pokok diambil besar momen nominal yakni momen ultimit yang direduksi adalah sebesar $M_n = M_u / \phi$. Dihitung ratio tulangan berimbang yang nilainya sebesar :

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

Untuk menjamin keruntuhan yang terjadi merupakan ragam daktail, SK SNI menetapkan pembatasan tulangan maksimum :

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

Dan ratio tulangan minimum sebesar :

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

Tentukan koefisien resistansi :

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c}$$

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

Kemudian ditentukan ρ_{perlu} :

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{f_y}} \right)$$

dimana $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$

Hitung luas tulangan yang diperlukan

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

Kontrol harga Mn yang bisa ditahan dengan langkah berikut ini :

Hitung tinggi blok tegangan ekuivalen :

$$a = \frac{A_{sada} \cdot f_y}{0,85f_c \cdot b}$$

Mn dapat dihitung sebagai berikut :

$$M_n = A_{sada} \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

Mn yang diperoleh harus lebih besar dari Mn yang diperlukan.

3.2.2 Perhitungan tulangan susut

Menurut SK SNI T - 15 - 1991 - 03, pilih tulangan susut dan suhu sebagai berikut :

$$A_s = 0,0020 \cdot b \cdot h \text{ untuk baja mutu 30}$$

$$A_s = 0,0018 \cdot b \cdot h \text{ untuk baja mutu 40}$$

$$A_s = 0,0018 \cdot b \cdot h \cdot \frac{400}{F_y} \text{ untuk mutu baja lebih tinggi 40}$$

3.2.3 Kontrol terhadap geser

$$V_u = 1,15 \cdot \frac{1}{2} \cdot q_u \cdot l_x$$

$$V_c = 1/6 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d$$

$$\phi V_c > V_u$$

3.3 Perencanaan Balok

Perencanaan balok lentur adalah perencanaan tulangan utama dari balok yang berfungsi menahan momen yang terjadi

3.3.1 Perencanaan Balok Persegi Tulangan Sebelah

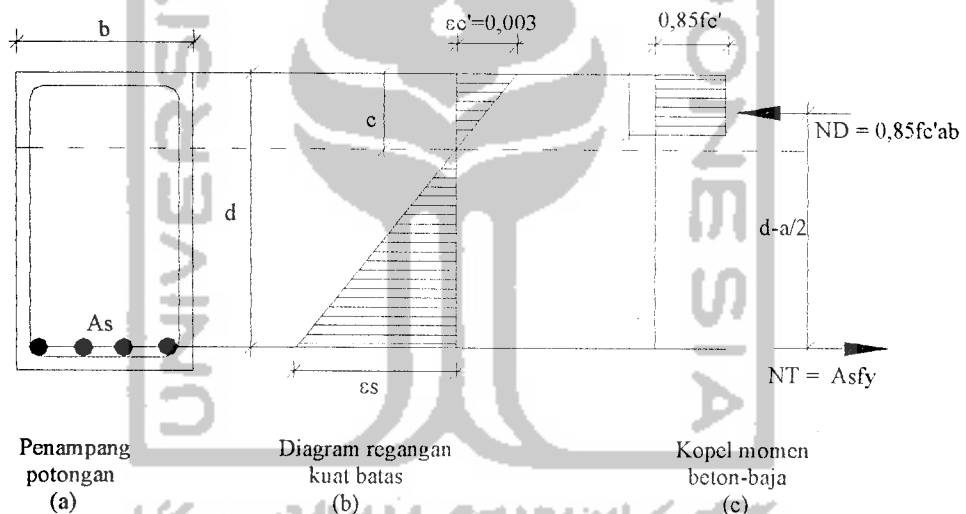
Diketahui : M_u, f_c, f_y, d'

Untuk $f_c \leq 30$ Mpa, maka $\beta_1 = 0,85$

Untuk $f_c > 30$ Mpa, maka $\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c - 30)$ dan $\beta_1 \geq 0,65$

Dihitung rasio tulangan berimbang yang nilainya sebesar :

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1 \cdot 600}{f_y \cdot (600 + f_y)}$$



Gambar. Distribusi tegangan dan regangan pada penampang balok

Untuk menjamin keruntuhan yang terjadi merupakan ragam daktail, SK SNI menetapkan pembatasan tulangan maksimum :

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

dan ratio tulangan minimum sebesar :

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

kemudian ditentukan ρ awal dimana : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

Tentukan koefisien resistansi R_n :

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c}$$

$$R_n = \rho \cdot f_y \cdot (1 - \frac{1}{2} \rho \cdot m)$$

Momen nominal yang diperlukan adalah sebesar

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

Tentukan nilai $b \cdot d^2$ yang diperlukan :

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

Dari nilai $b \cdot d^2$ ditentukan pasangan b dan d yang akan dipakai, lalu dihitung koefisien resistansi yang baru :

$$R_{n_{baru}} = \frac{M_n}{b \cdot d^2}$$

kemudian dapat ditentukan ratio tulangan yang diperlukan :

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_{n_{baru}}}{f_y}} \right)$$

Maka luas tulangan A_s yang diperlukan sebesar :

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

Tentukan tulangan yang dipakai dan hitung nilai d baru dari tulangan yang dipakai, dan hitung kapasitas momen.

Tinggi blok tegangan segi empat ekuivalen :

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

sehingga kapasitas momen sebesar :

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

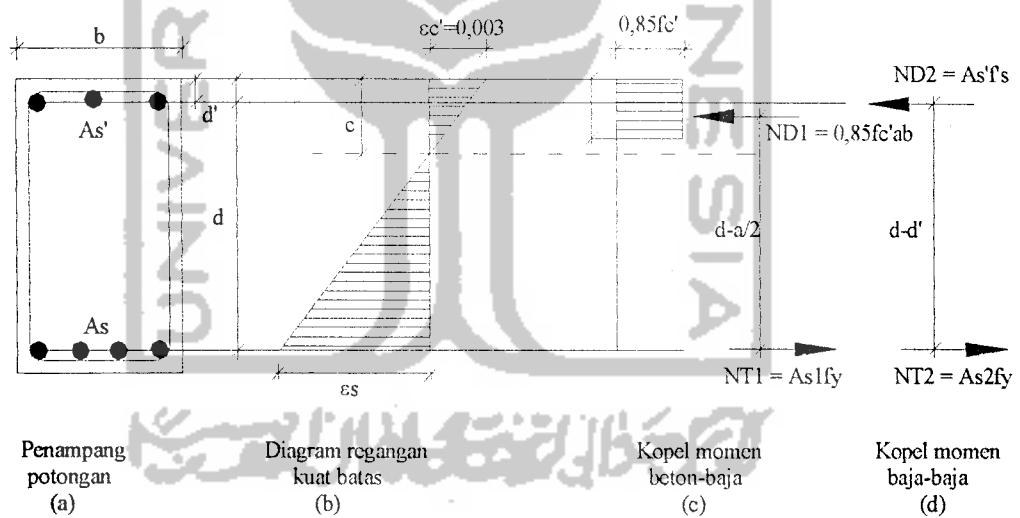
Bila $M_n \geq M_u/\phi$, maka kapasitas momen balok telah cukup bila menggunakan tulangan sebelah.

Bila $M_n < M_u/\phi$, maka kapasitas penampang tidak mencukupi, sehingga diperlukan tulangan rangkap.

3.3.2 Perencanaan Balok Persegi Tulangan Rangkap

Perencanaan balok dengan tulangan rangkap terlebih dahulu direncanakan sebagai tulangan sebelah namun diambil nilai d sehingga $d_{pakai} < d_{perlu}$.

Direncanakan momen nominal penampang menggunakan tulangan tarik maksimum yang diijinkan untuk tampang dengan sebelah pada kondisi seimbang (M_{n1}).



Gambar : distribusi tegangan dan regangan pada penampang balok

Dihitung luas tulangan A_s dari ratio tulangan maksimum :

$$A_s = \rho_{max} \cdot b \cdot d$$

Hitung tinggi blok tegangan segi empat ekuivalen :

$$a = \frac{A_{s1} \cdot f_y}{0,85f_c \cdot b}$$

kemudian kapasitas momen M_{n1} dapat dihitung sebagai berikut :

$$M_{n1} = A_{s1} \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

Kelebihan momen yang perlu ditahan sebesar :

$$M_{n2} = M_{n_{perlu}} - M_{n1}$$

Tentukan letak garis netral :

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

periksa regangan tulangan tekan ϵ_s' :

$$\epsilon_s' = \frac{x - d'}{x} \cdot \epsilon_{cu}$$

terhadap regangan leleh baja :

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

Bila $\epsilon_s' \geq \epsilon_y$, maka baja tekan telah leleh pada saat regangan beton mencapai regangan hancur (0,003), maka $f_s' = f_y$

Namun bila $\epsilon_s < \epsilon_y$, maka $f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s$

Luas tulangan tekan (A_s') dan tambahan tulangan tarik (A_{s2}) yang diperlukan adalah :

$$A_s' = A_{s2} = \frac{M_{n2}}{f_s' \cdot (d - d')}$$

Luas tulangan tarik yang diperlukan :

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

Kontrol harga Mn

Ratio tulangan tarik yang dipakai :

$$\rho = \frac{A_s'}{b \cdot d}$$

Regangan tulangan tekan yang terjadi :

$$\epsilon_s' = \frac{x-d}{x} \cdot \epsilon_{cu}$$

Regangan tulangan tarik yang terjadi :

$$\epsilon_s = \frac{d-x}{x} \cdot \epsilon_{cu}$$

Bila $\epsilon_s' \geq \epsilon_y$, maka asumsi tulangan tekan (A_s') telah leleh adalah benar.

Bila $\epsilon_s \geq \epsilon_y$, maka asumsi tulangan tarik (A_s) telah leleh adalah benar.

Bila $\epsilon_s' < \epsilon_y$ atau $\epsilon_s < \epsilon_y$, maka balok harus dianggap balok bertulangan sebelah atau f_s' pada tulangan tekan harus dicari dengan tegangan aktual dengan langkah perhitungan sebagai berikut :

$$f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s$$

Tinggi blok tegangan ekuivalen menggunakan tegangan aktual tekan :

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

Maka letak garis netral dapat dihitung :

$$x = a / \beta_1$$

Cek ulang nilai regangan tulangan tekan :

$$\epsilon_s' = \frac{x-d}{x} \cdot \epsilon_{cu}$$

Bila ϵ_s' hasil perhitungan telah mendekati nilai asumsi awal ϵ_s' yang diambil maka coba-coba selesai dan f_s' menggunakan f_s' hasil coba-coba.

Bila ϵ_s' belum mendekati coba-coba dilanjutkan dengan mengambil nilai ϵ_s' baru.

Cek ratio tulangan :

$$\rho \leq \rho_{\max} + \rho' \frac{f_s'}{f_y}$$

Bila ρ tidak memenuhi syarat di atas maka ukuran penampang yang dipergunakan tidak kuat, penampang harus diperbesar.

Hitung lagi tinggi blok tegangan ekuivalen :

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

Momen nominal dari tulangan tekan dapat diperoleh, yakni sebesar :

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

3.3.3 Penulangan geser

Pada masalah ini dipakai kombinasi tulangan geser dan torsi. Perencanaan tulangan geser adalah sebagai berikut :

1. Bila $V_u \leq 0,5 \cdot \phi \cdot V_c$

Tidak perlu tulangan geser

2. Bila $0,5 \cdot \phi \cdot V_c < V_u \leq \phi V_c$

. Selain itu dipakai tulangan geser minimum sebesar :

- $S \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{\frac{1}{2} \cdot b \cdot d}$

- $S \leq d/2$

- $S \leq 600 \text{ mm}$

3. Bila $\phi V_c < V_u \leq (\phi V_u + \phi V_{S_{\min}})$

$$V_{S_{\min}} = 1/3 \cdot b \cdot d$$

Dipakai sengkang dengan jarak sebesar :

$$- S \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{1/3 \cdot b \cdot d}$$

$$- S \leq d/2$$

$$- S \leq 600 \text{ mm}$$

4. Bila $(\phi V_u + \phi V_{S_{\min}}) < V_u \leq 3 \cdot \phi V_c$

Dipakai sengkang dengan jarak sebesar :

$$- \frac{V_u - V_c}{\phi}$$

$$- S \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

$$- S \leq d/2$$

$$- S \leq 600 \text{ mm}$$

5. Bila $3 \cdot \phi V_c < V_u \leq 5 \cdot \phi V_c$

Dipakai sengkang dengan jarak sebesar :

$$- V_s = \frac{V_u - V_c}{\phi}$$

$$- S \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

$$- S \leq d/4$$

$$- S \leq 300 \text{ mm}$$

6. Bila $V_u > 5 \cdot \phi V_c$

Untuk balok dimensinya diperbesar atau diubah.

3.4 Perencanaan Kolom

Perhitungan untuk menentukan tulangan pada kolom dimana ukuran penampang serta beban aksial dan momen yang bekerja telah diketahui.

Perhitungan tulangan lentur dilakukan dua kali yakni ke arah – x dan ke arah – y untuk menentukan A_s , A_s' , $A_{s_{ka}}$, $a_{s_{ki}}$.

Langkah – langkah Perencanaan Kolom Terhadap Lentur

Penentuan tulangan yang diperlukan dengan bantuan grafik interaksi kolom dengan diketahui beban kerja kolom.

M_u = momen ultimit ujung kolom karena beban vertikal pada arah sejajar sumbu yang akan diperhitungkan.

P_u = gaya aksial ultimit.

b , h = ukuran kolom yang akan dipakai.

Dari pembacaan grafik interaksi kolom diperoleh persentasi luas tulangan total yang diperlukan untuk arah sumbu yang sedang diperhitungkan. Pembacaan dilakukan dengan melihat letak titik (P_u , M_u) terhadap lengkung persentasi luas tulangan, dengan grafik yang dipakai adalah grafik interaksi untuk ukuran kolom $b \times h$.

Bila ternyata pembacaan menunjukkan bahwa persentasi tulangan adalah lebih dari lima persen (5%), maka asumsi ukuran penampang diperbesar.

Dari persen A_s total, diperoleh luas tulangan yang diperlukan :

$A_{s_i} = \text{persen} \times b \times h$

Sehingga luas tulangan untuk masing-masing sisi ($A_s = A_s'$ untuk sumbu y dan $A_{s_{ki}} = A_{s_{ka}}$ untuk sumbu x) dapat dihitung :

$$A_s = A_s' = \frac{A_{s_t}}{2} \text{ atau}$$

$$A_{s_{ki}} = A_{s_{ka}} = \frac{A_{s_t}}{2}$$

Kemudian cek Pn yang mampu ditahan dengan langkah sebagai berikut :

Tentukan letak garis netral patah balanced :

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

Tinggi blok tekan ekuivalen dapat diperoleh sebesar :

$$ab = xb \cdot \beta_1$$

dan tegangan yang terjadi pada baja :

$$f_s' = \frac{(xb - d) \cdot 600}{xb}$$

Kemudian Pn pada kondisi balanced dapat ditentukan :

$$P_{nb} = \beta_1 \cdot f_c \cdot b \cdot d + A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s'$$

Dan Mn balanced dapat dihitung :

$$M_{nb} = 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot ab \cdot (h/2 - a/2) + A_s' \cdot (f_s' - 0,85 \cdot f_c) \cdot (h/2 - d) + A_s \cdot f_y \cdot (d - h/2)$$

Eksentrisitas balanced dapat dihitung :

$$eb = \frac{M_{nb}}{P_{nb}}$$

Tentukan e akibat Mu dan Pu yang terjadi :

$$e = \frac{M_u}{P_u}$$

Bila $e > eb$ maka yang terjadi adalah keruntuhan tarik

Bila $e < eb$ maka yang terjadi adalah keruntuhan desak

Bila terjadi keruntuhan tarik, maka P_n dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_n = 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot d \cdot \left(\frac{h-2e}{2d} + \sqrt{\frac{h-2e}{2d} + 2m \cdot \rho \cdot (1-d'/d)} \right)$$

Bila terjadi keruntuhan desak, maka P_n dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_n = \frac{A_s \cdot f_y}{\frac{e}{d-d'} + 0,5} + \frac{b \cdot h \cdot f_c}{3 \cdot h \cdot \frac{e}{d'} + 1,18}$$

bila $P_u < P_n$ maka penampang dan tulangan telah cukup.

Kontrol jarak tulangan :

- Kontrol jarak vertikal

$$Y = hk - 2pb - 2Ds - 2 \cdot D < 30 \text{ cm}$$

- Kontrol jarak horisontal

$$X = (b - 2pb - 2Ds - N \cdot D) / (N - 1) > 2,5 \text{ cm}$$

3.4.1 Disain sengkang

$X = 48$ kali diameter batang tulangan sengkang

$X = 16$ kali diameter batang tulangan memanjang

Ukuran kolom arah terkecil

Dipakai jarak yang terkecil

3.4.2 Tulangan Geser pada Kolom

Perhitungan tulangan geser pada kolom dilakukan sama dengan langkah – langkah perhitungan tulangan geser pada balok induk.

3.5 Perencanaan Pondasi

Pondasi direncanakan sebagai pondasi telapak. Nilai f_c , f_y , σ_{tanah} diketahui sedangkan tebal pelat diasumsikan, kemudian dihitung luas pondasi yang diperlukan berdasarkan σ_{net} tanah.

Hitung beban tanah diatas pondasi :

$$q = d_f \times b_{j_{\text{tanah}}} + t_{\text{pondasi}} \times b_{j_{\text{beton}}}$$

Hitung daya dukung tanah netto :

$$\sigma_{\text{net}} = \sigma - q$$

Ambil ukuran pondasi dari gaya kolom, dengan luas yang dibutuhkan :

$$A_f = \frac{P_u}{\sigma_{\text{net}}}$$

Cek tegangan yang terjadi :

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{P}{A} + \frac{M_x \times y_{\text{max}}}{I_x} + \frac{M_y \times x_{\text{max}}}{I_y} + q$$

Dengan $\sigma_{\text{max}} \leq \sigma_{\text{ijin}}$

$$\sigma_{\text{min}} = \frac{P}{A} + \frac{M_x \times y_{\text{min}}}{I_x} + \frac{M_y \times x_{\text{min}}}{I_y} + q$$

Dengan $\sigma_{\text{max}} > 0$

Cek kapasitas geser

Gaya geser yang terjadi pada penampang kritis :

$$V_u = \sigma \times b_{\text{pakai}} \times l_{\text{kritis}}$$

Kapasitas geser :

$$V_c = 1/6 \sqrt{f_c} \times b \times d$$

$$V_c = (2 + 4/\beta_c) \cdot \sqrt{f_c} \times b \times d$$

Kemudian untuk menghitung tulangan yang diperlukan, hitung momen yang terjadi :

$$M_u = 0,5 \times P_u \times l^2 \times b_{pakai}$$

Luas tulangan yang dibutuhkan adalah :

$$A_s = \rho_{pakai} \times d$$

