

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konsep Dasar Beton Bertulang

Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja.

2.2. Analisis dan Perencanaan

2.2.1. Perencanaan

Semua komponen struktur beton bertulang harus direncanakan cukup kuat sesuai dengan ketentuan yang dipersyaratkan dalam standar SK SNI 03-2847-2002 tentang tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung, dengan menggunakan faktor beban dan faktor reduksi kekuatan ϕ yang sesuai.

2.2.2. Modulus Elastisitas

Nilai modulus elastisitas beton dan baja tulangan ditentukan sebagai berikut:

- 1) Untuk nilai w_c diantara 1500 kg/m^3 dan 2500 kg/m^3 , nilai modulus elastisitas beton E_c dapat diambil sebesar $(w_c)^{1.5} 0.0043 \sqrt{f'_c}$ (dalam MPa). Untuk beton normal E_c dapat diambil sebesar $4700 \sqrt{f'_c}$.
- 2) Modulus elastisitas untuk tulangan non-prategang E_s boleh diambil sebesar 200000 MPa.

2.3. Ketentuan Mengenai Kekuatan dan Kemampuan Layan

Struktur harus direncanakan hingga semua penampang mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu, yang dihitung berdasarkan kombinasi beban dan gaya terfaktor.

2.3.1. Kuat Perlu

Kuat perlu didefinisikan sebagai kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya dalam yang berkaitan dengan adanya beban dalam suatu kombinasi seperti yang ditetapkan dalam tentang tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung. Kuat perlu yang dipersyaratkan dalam pasal tersebut adalah:

$$U = 1,4 D$$

$$U = 1,2D + 1,6L \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 11.2(1)})$$

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

$$U = 0,9.D + 1,3.W \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 11.2(2)})$$

$$U = 1,05 (D + 0,6.L + E)$$

$$U = 0,9 (D + E) \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 11.2(3)})$$

dimana D : beban mati, L : beban hidup, W : beban angin, dan E : beban gempa.

2.3.2. Kuat Rencana

Kuat rencana komponen struktur dan penampangnya, sehubungan dengan perilaku lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus diambil sebagai hasil kali kuat nominal, yang dihitung berdasarkan ketentuan dan asumsi dari tata cara ini, dengan suatu faktor reduksi kekuatan ϕ . Faktor reduksi kekuatan ϕ ditentukan sebagai berikut:

Momen lentur tanpa gaya aksial

$$\phi = 0.80 \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 11.3(2(1))})$$

Gaya aksial tarik, atau momen dengan gaya tarik

$$\phi = 0.80 \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 11.3(2(2(a))))}$$

Gaya aksial tekan, atau momen dengan gaya tekan

$$\phi = 0.65 \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 11.3(2(2(b))))}$$

Gaya geser

$$\phi = 0.75 \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 11.3(2(3))}).$$

2.3.3. Kuat Rencana Tulangan

Dalam perencanaan, kuat leleh tulangan f_y dibatasi tidak boleh melebihi 550 MPa.

2.4. Beban Lentur dan Aksial

Ketentuan ini berlaku untuk perencanaan komponen struktur terhadap beban lentur atau aksial atau kombinasi dari beban lentur dan aksial. Ketentuan ini diambil berdasarkan standar SK SNI 03-2847-2002 tentang tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung.

2.4.1. Asumsi Dalam Perencanaan

Dalam merencanakan komponen struktur terhadap beban lentur atau aksial atau kombinasi dari beban lentur dan aksial, digunakan asumsi sebagai berikut:

- 1) Pemenuhan kondisi keseimbangan gaya dan kompatibilitas regangan yang bekerja pada penampang balok.
- 2) Regangan pada tulangan dan beton berbanding lurus dengan jarak dari sumbu netral.
- 3) Regangan maksimum yang dapat dimanfaatkan pada serat tekan beton terluar harus diambil sama dengan 0,003.
- 4) Tegangan pada tulangan yang nilainya lebih kecil daripada kuat leleh f_y harus diambil sebesar E_s dikalikan regangan baja. Untuk regangan yang nilainya lebih besar dari regangan leleh yang berhubungan dengan f_y , tegangan pada tulangan harus diambil sama dengan f_y .
- 5) Dalam perhitungan, kuat tarik beton harus diabaikan.
- 6) Hubungan antara distribusi tegangan tekan beton dan regangan beton diasumsikan berbentuk parabola yang dipenuhi oleh suatu distribusi tegangan beton persegi ekuivalen yang didefinisikan sebagai berikut:

(1) Tegangan beton sebesar $0.85 f'_c$ yang diasumsikan terdistribusi secara merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar dengan sumbu netral sejarak $a = \beta_1 c$ dari serat dengan regangan tekan maksimum.

(2) Jarak c dari serat dengan regangan maksimum ke sumbu netral harus diukur dalam arah tegak lurus terhadap sumbu tersebut.

- 7) Faktor β_1 harus diambil sebesar 0.85 untuk beton dengan nilai kuat tekan f'_c lebih kecil daripada atau sama dengan 30 MPa. Untuk beton dengan nilai kuat tekan di atas 30 MPa, β_1 harus direduksi sebesar 0,05 untuk setiap kelebihan 7 MPa di atas 30 MPa, tetapi β_1 tidak boleh diambil kurang dari 0.65.

2.4.2. Prinsip Perencanaan

Dalam merencanakan komponen struktur yang dibebani lentur atau aksial atau kombinasi beban lentur dan aksial harus dipenuhi ketentuan berikut:

- 1) Perencanaan penampang yang dibebani lentur atau aksial atau kombinasi beban lentur dan aksial harus didasarkan atas kompatibilitas tegangan dan regangan.
- 2) Kondisi regangan seimbang terjadi pada penampang ketika tulangan tarik mencapai regangan yang berhubungan dengan tegangan leleh f_y pada saat yang bersamaan dengan tercapainya regangan batas 0,003 pada bagian beton yang tertekan.
- 3) Untuk komponen struktur lentur, dan untuk komponen struktur yang dibebani kombinasi lentur dan aksial tekan dimana kuat rencana ϕP_n kurang dari nilai yang terkecil antara $0.10 f'_c A_g$ dan ϕP_b , maka rasio tulangan ρ yang ada tidak boleh melampaui $0,75\rho_b$, yang merupakan rasio tulangan yang menghasilkan kondisi regangan seimbang untuk penampang yang mengalami lentur tanpa beban aksial. Untuk komponen struktur dengan tulangan tekan, bagian ρ_b yang disamai oleh tulangan tekan tidak perlu direduksi dengan faktor 0,75.
- 4) Peningkatan kekuatan komponen struktur lentur boleh dilakukan dengan menambahkan pasangan tulangan tekan dan tulangan tarik secara bersamaan.
- 5) Kuat tekan rencana ϕP_n dari komponen struktur tekan tidak boleh diambil lebih besar dari ketentuan berikut:

- (1) Untuk komponen struktur dengan tulangan sengkang pengikat

$$\phi P_{n(\max)} = 0.80 \phi [0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$$

(SK SNI 03-2847-2002 pasal 12.3(5(2)))

- (2) Komponen struktur yang dibebani aksial tekan harus direncanakan terhadap momen maksimum yang menyertai beban aksial tersebut. Beban aksial terfaktor P_u dengan eksentrisitas yang ada, tidak boleh melampaui nilai $\phi P_{n(\max)}$. Momen maksimum terfaktor M_u harus diperbesar untuk memperhitungkan pengaruh kelangsingan.

2.4.3. Tulangan Minimum Pada Komponen Struktur Lentur

Pada setiap penampang dari suatu komponen struktur lentur dimana berdasarkan analisis diperlukan tulangan tarik, maka luas A_s yang ada tidak boleh kurang dari:

$$A_{s \min} > \frac{\sqrt{f'_c}}{4 f_y} b_w d \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 12.5(1)})$$

dan

$$A_{s \min} > \frac{1.4}{f_y} b_w d \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 12.5(1)})$$

2.4.4. Pembatasan Untuk Tulangan Komponen Struktur Tekan

- 1) Luas tulangan longitudinal komponen struktur tekan non-komposit tidak boleh kurang dari 0,01 ataupun lebih dari 0,08 kali luas bruto penampang A_g .
- 2) Jumlah minimum batang tulangan longitudinal pada komponen struktur tekan adalah 4 untuk batang tulangan di dalam sengkang pengikat segi empat.

2.5. Geser

Ketentuan ini berlaku untuk perencanaan komponen struktur terhadap beban geser. Ketentuan ini juga diambil berdasarkan standar SK SNI 03-2847-2002 tentang tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung.

2.5.1. Kuat Geser

Perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada:

$$\phi V_n \geq v_u \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 13.1(1)})$$

dengan V_u adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan V_n adalah kuat geser nominal yang dihitung dari:

$$V_n = v_c + V_s \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 13.1(1)})$$

dengan V_c adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton dan V_s adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser.

2.5.2. Kuat Geser Yang Disumbangkan Oleh Beton

- 1) Kuat geser V_c harus dihitung menurut ketentuan berikut ini yaitu:

Untuk komponen struktur yang hanya dibebani oleh geser dan lentur berlaku,

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w d \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 13.3(1)})$$

Untuk komponen struktur yang dibebani tekan aksial,

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w d$$

(SK SNI 03-2847-2002 pasal 13.3(2))

Besaran N_u/A_g harus dinyatakan dalam MPa.

2) Kuat geser v_c boleh dihitung dengan perhitungan yang lebih rinci sebagai berikut:

(1) Untuk komponen struktur yang hanya dibebani oleh geser dan lentur saja,

$$V_c = \left(\sqrt{f'_c} + 120 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) \frac{b_w d}{7}$$

(SK SNI 03-2847-2002 pasal 13.3(2(1)))

tetapi tidak boleh diambil lebih besar daripada $0.3f'_c b_w d$. Dalam perhitungan V_c menggunakan persamaan ini, besaran $V_u d/M_u$ tidak boleh diambil melebihi 1,0, dimana M_u adalah momen terfaktor yang terjadi bersamaan dengan V_u pada penampang yang ditinjau.

(2) Untuk komponen struktur yang dibebani gaya aksial tekan, persamaan diatas boleh digunakan untuk menghitung V_c dengan nilai M_m menggantikan nilai M_u dan nilai $V_u d/M_u$ boleh diambil lebih besar daripada 1,0, dengan

$$M_m = M_u - N_u \frac{(4h - d)}{8} \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 13.3(2(2))})$$

Tetapi dalam hal ini, V_c tidak boleh diambil lebih besar daripada:

$$V_c = 0.3 \sqrt{f'_c} b_w d \sqrt{1 + \frac{0.3 N_u}{A_g}}$$

(SK SNI 03-2847-2002 pasal 13.3(2(2)))

Besaran N_u/A_g harus dinyatakan dalam MPa. Bila M_m yang dihitung bernilai negatif, maka V_c harus dihitung dengan persamaan diatas ini.

2.5.3. Kuat Geser Yang Disumbangkan Oleh Tulangan Geser

Jenis tulangan geser yang direncanakan untuk dihitung oleh POSTSAP adalah berupa sengkang yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur. Tulangan geser direncanakan dengan ketentuan sebagai berikut:

1) Kuat leleh rencana tulangan geser tidak boleh diambil lebih besar daripada 400 MPa.

2) Sengkang yang digunakan sebagai tulangan geser harus diteruskan sejauh jarak d dari serat tekan terluar dan harus dijangkarkan pada kedua ujungnya agar mampu mengembangkan kuat leleh rencananya.

3) Batas spasi tulangan geser

(1) Spasi tulangan geser yang dipasang tidak boleh melebihi $d/2$ atau 600 mm.

(2) Bila V_s melebihi $(\sqrt{f'_c}/3)b_w d$, maka spasi maksimum tersebut harus dikurangi setengahnya.

4) Tulangan geser minimum

(1) Bila pada komponen struktur lentur beton bertulang bekerja gaya geser terfaktor V_u yang lebih besar dari setengah kuat geser yang disumbangkan oleh beton ϕV_c , maka harus selalu dipasang tulangan geser minimum, kecuali balok dengan tinggi total yang tidak lebih dari nilai terbesar di antara 250 mm, atau 0,5 kali lebar badan.

(2) Bila dalam hasil analisis diperlukan tulangan geser dan memperbolehkan untuk mengabaikan pengaruh puntir, maka luas tulangan geser minimum harus dihitung dari:

$$A_v = \frac{75 \sqrt{f'_c}}{1200} \frac{b_w s}{f_y} \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 13.5(5(3))})$$

tapi A_v tidak boleh kurang dari $\frac{1}{3} \frac{b_w s}{f_y}$ dengan b_w dan S dinyatakan dalam milimeter.

5) Perencanaan tulangan geser

(1) Bila gaya geser terfaktor V_u lebih besar daripada kuat geser ϕV_c , maka harus disediakan tulangan geser untuk memenuhi keseimbangan gaya geser yang terjadi.

(2) Besarnya gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser, V_s , dihitung sebagai berikut:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{S} \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 13.5(6(2))})$$

dengan A_v adalah luas tulangan geser yang berada dalam rentang jarak s .

(3) Kuat geser V_s , tidak boleh diambil lebih dari $(2/3)(\sqrt{f'_c}) b_w d$.

2.6. Desain Balok Beton Bertulang

Dalam perhitungan desain balok beton bertulang, POSTSAP akan menghitung dan melaporkan luas tulangan baja perlu untuk lentur dan geser berdasarkan harga momen dan geser maksimum dari kombinasi beban yang bekerja pada balok dan juga kriteria-kriteria perencanaan lain yang ditetapkan sesuai dengan standar SK SNI 03-2847-2002 tentang tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung. Tulangan yang diperlukan tadi akan dihitung berdasarkan titik-titik yang dapat dispesifikasikan dalam setiap panjang elemen balok. Semua balok hanya dirancang terhadap momen lentur dan geser pada sumbu mayor saja, sedangkan dalam arah minor balok dianggap menyatu dengan lantai sehingga tidak dihitung. Jika dalam kenyataannya perlu perancangan lentur dalam arah minor (penampang biaksial) maka perencana harus menghitung tersendiri, termasuk jika timbul torsi maupun gaya normal.

Prosedur desain balok beton bertulang meliputi dua tahap yaitu :

- 1) Desain tulangan lentur balok (*flexural reinforcement*)
- 2) Desain tulangan geser balok (*shear reinforcement*)

2.6.1 Desain Tulangan Lentur Balok (*Flexural Reinforcement*)

Dalam desain tulangan lentur ini, balok didesain sebagai balok berpenampang persegi dengan tulangan rangkap (*double reinforcement*) yaitu tulangan tarik (*tension reinforcement*) dan tulangan tekan (*compression reinforcement*).

Tahapan yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut :

- 1) Menentukan momen terfaktor maksimum
- 2) Menentukan Jumlah Tulangan Lentur Perlu

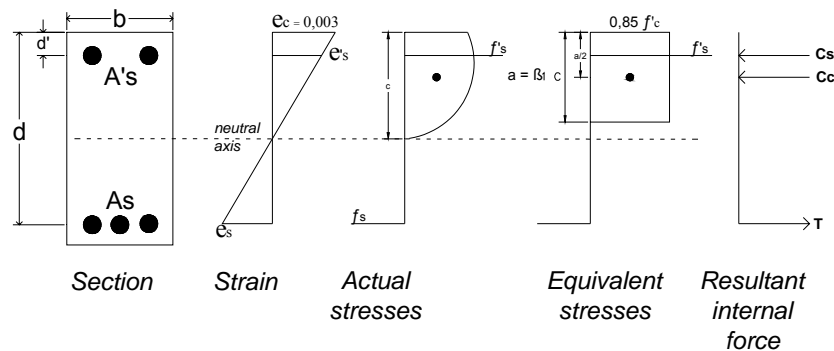
2.6.1.1 Menentukan Momen Terfaktor Maksimum

Momen terfaktor maksimum diperoleh dari berbagai kombinasi pembebanan dari hasil kombinasi tipe beban (*load case*) yang dikalikan dengan faktor beban sesuai dengan peraturan perencanaan yang digunakan yaitu standar SK SNI 03-2847-2002 tentang tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung. Penampang balok didesain terhadap momen positif

maksimum M_u^+ dan momen negatif maksimum M_u^- dari hasil momen terfaktor *envelopes* yang diperoleh dari semua kombinasi pembebanan yang ada.

2.6.1.2 Menentukan Jumlah Tulangan Lentur Perlu

Dalam proses desain tulangan lentur, program akan menghitung banyaknya tulangan tarik (*tension reinforcement*) dan tulangan tekan (*compression reinforcement*) yang diperlukan. Prosedur desain didasarkan pada persamaan keseimbangan tegangan yang bekerja pada penampang balok bertulangan rangkap (*double reinforcement*) seperti ditunjukkan pada gambar 2.1. Dalam proses desain tulangan lentur ini diasumsikan bahwa gaya aksial tekan terfaktor yang bekerja pada balok tidak melebihi $0,1 f'_c A_g$. Disamping itu pengurangan luas penampang beton yang ditempati oleh tulangan tekan selalu diabaikan.



Gambar 2.1 : Analisa Tegangan dan Regangan Pada Balok Beton Bertulang Dengan Tulangan Rangkap (*Double Reinforcement*)

Analisis dilakukan dengan asumsi awal bahwa semua tulangan telah leleh. Jika semua tulangan leleh, $f_s = f'_s = f_y$, dimana f_s adalah tegangan yang terjadi pada tulangan tarik (*tension reinforcement*) dan f'_s adalah tegangan yang terjadi pada tulangan tekan (*compression reinforcement*). Maka resultan gaya-gaya dalam menjadi :

Tekan pada beton

$$C_c = 0.85 f'_c a b$$

Tekan pada tulangan baja tekan (*compression reinforcement*)

$$C_s = A'_s f_y$$

Tarik pada tulangan baja tarik (*tension reinforcement*)

$$T = A_s f_y$$

Dimana :

f'_c = kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa

f_y = kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan baja, MPa

a = tinggi blok tekan, mm

b = lebar balok, mm

A'_s = luas tulangan baja tekan (*compression reinforcement*), mm²

A_s = luas tulangan baja tarik (*tension reinforcement*), mm²

Untuk keseimbangan maka

$$C_c + C_s = T \quad \therefore \quad 0.85 f'_c a b + A'_s f_y = A_s f_y$$

$$\therefore \quad a = \frac{(A_s - A'_s) f_y}{0.85 f'_c b}$$

Diagram regangan digunakan untuk memeriksa apakah tulangan telah leleh atau tidak. Tulangan mencapai tegangan leleh jika nilai regangannya lebih besar dari f_y / E_s . Dari diagram regangan dapat diketahui nilai

$$\epsilon'_s = 0,003 \frac{c - d'}{c} = 0,003 \frac{a - \beta_1 d'}{a}$$

$$\epsilon_s = 0,003 \frac{d - c}{c} = 0,003 \frac{\beta_1 d - a}{a})$$

$$\therefore f'_s = f_y \text{ jika } 0,003 \frac{a - \beta_1 d'}{a} \geq \frac{f_y}{E_s}$$

dan

$$f_s = f_y \text{ jika } 0,003 \frac{\beta_1 d - a}{a} \geq \frac{f_y}{E_s}$$

dimana :

ϵ'_s = regangan tulangan tekan (*compression reinforcement strain*)

ϵ_s = regangan tulangan tarik (*tension reinforcement strain*)

c = jarak dari serat tekan beton terluar ke sumbu netral, mm

$$= a / \beta_1$$

d' = jarak dari serat tekan beton terluar ke titik berat tulangan tekan, mm

d = jarak dari serat tekan beton terluar ke titik berat tulangan tarik, mm

$\beta_1 = 0.85$ untuk $f'_c \leq 30$ MPa

$$= 0.85 - 0.008 (f'_c - 30) \text{ dan } \beta_1 > 0.65 \text{ untuk } f'_c > 30 \text{ MPa}$$

f'_s = tegangan yang terjadi pada tulangan tekan, MPa

f_s = tegangan yang terjadi pada tulangan tarik, MPa

E_s = Modulus elastisitas untuk tulangan baja, MPa

$$= 200000 \text{ MPa}$$

Jika kondisi ini dipenuhi, maka asumsi bahwa semua tulangan telah mencapai tegangan leleh adalah benar dan kapasitas momen nominal penampang balok M_n dapat dihitung sebagai berikut yaitu :

$$M_n = 0.85 f'_c a b \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f_y (d - d')$$

atau

$$M_n = (A_s - A'_s) f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f_y (d - d')$$

Ketika cek kompatibilitas tegangan dan regangan memberikan kondisi bahwa terdapat tulangan yang tidak mencapai tegangan leleh, maka nilai a yang dihitung adalah salah, sehingga regangan aktual dan a harus dihitung dari persamaan keseimbangan dan diagram regangan. Secara umum nilai a berdasarkan persamaan keseimbangan adalah :

$$a = \frac{A_s f_s - A'_s f'_s}{0.85 f'_c b}$$

dimana dari diagram regangan :

$$f'_s = \varepsilon'_s E_s = 0,003 \frac{a - \beta_1 d'}{a} E_s \text{ atau } f_y$$

$$f_s = \varepsilon_s E_s = 0,003 \frac{\beta_1 d - a}{a} E_s \text{ atau } f_y$$

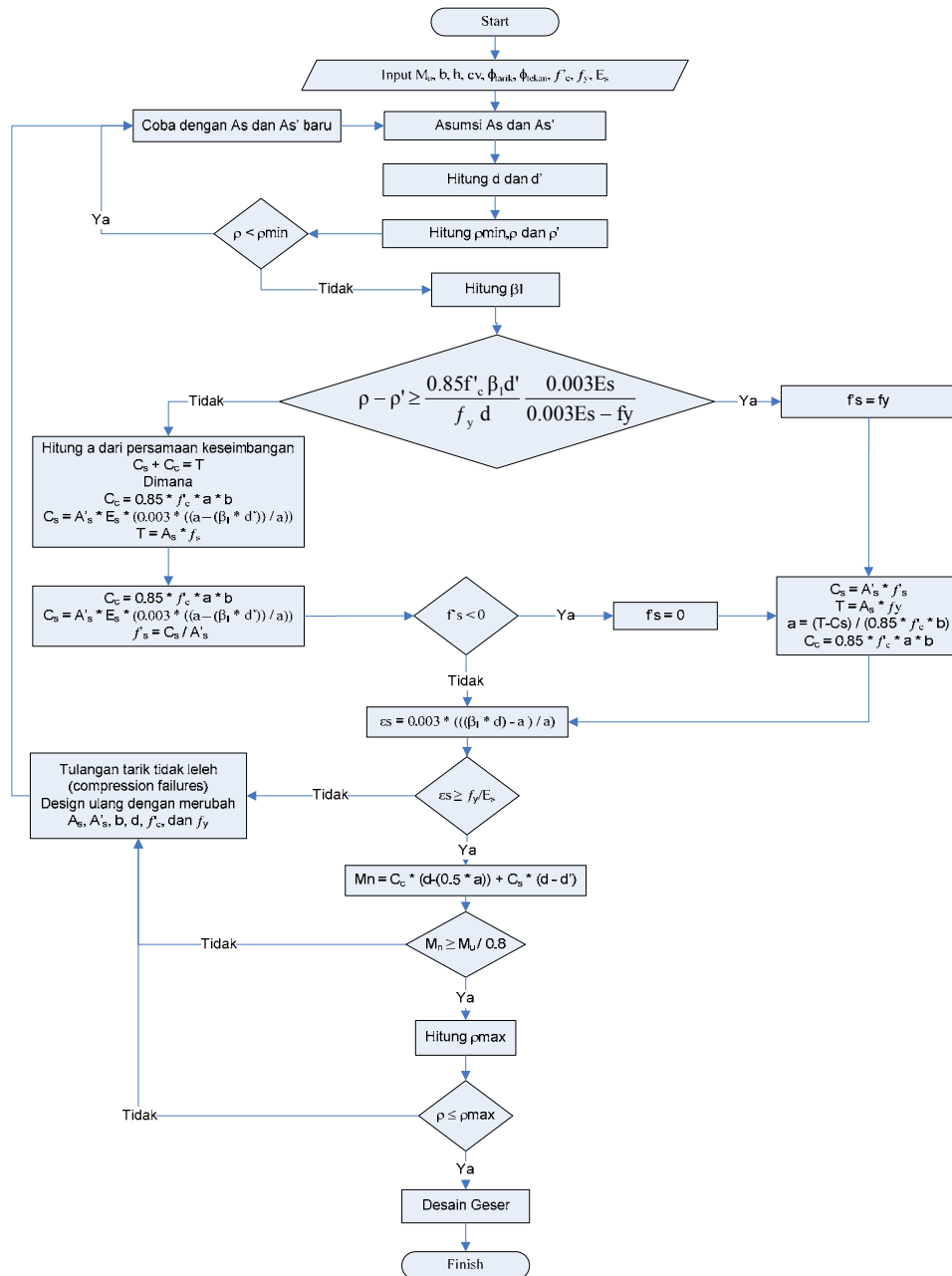
$$\text{maka } M_n = 0.85 f'_c a b \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s (d - d')$$

Kehancuran tarik (*tension failures*) dan kehancuran tekan (*compression failures*) dapat terjadi pada balok beton bertulang bertulangan rangkap. Pada kondisi kehancuran tarik (*tension failures*), tulangan tarik (*tension reinforcement*) telah mencapai tegangan leleh tetapi pada kehancuran tekan (*compression failures*), tulangan tarik (*tension reinforcement*) masih dalam batas elastis. Pada kondisi kedua kehancuran di atas, tulangan tekan

(*compression reinforcement*) bisa mencapai tegangan leleh atau tidak. Dalam perencanaan praktis desain balok beton bertulang, tulangan tarik (*tension reinforcement*) akan selalu mencapai kondisi leleh. Hal ini diperlukan untuk menghindari terjadinya kehancuran mendadak pada balok (*brittle failures*). Untuk mencapai hal ini, maka rasio penulangan ρ dari tulangan tarik (*tension reinforcement*) pada balok beton bertulang bertulangan rangkap dibatasi oleh ρ_{\max} sebesar :

$$\rho \leq 0.75 \left(\frac{0.85 f'_c \beta_1}{f_y} \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s + f_y} + \frac{\rho' f'_s}{f_y} \right)$$

Dalam mendesain balok bertulangan rangkap terhadap momen terfaktor positif atau negatif, μ_u , digunakan metode coba2 dan penyesuaian untuk mendapatkan penampang A_s dan A_s' yang paling ekonomis (Cek kapasitas). Tulangan A_s dibatasi oleh ρ_{\min} dan ρ_{\max} yang ditentukan dalam peraturan. Adapun flowchart metode yang dipakai untuk mendapatkan tulangan A_s dan A_s' adalah sebagai berikut:



Gambar 2.2 : Flowchart Proses Desain Tulangan Lentur Pada Balok Penampang Persegi

2.6.2 Desain Tulangan Geser (Shear Reinforcement)

Tulangan geser didesain untuk tiap-tiap kombinasi pembebanan yang bekerja sepanjang bentang pada balok. Adapun tahapan yang perlu dilakukan dalam mendesain tulangan geser adalah sebagai berikut :

- 1) Menentukan gaya geser terfaktor yang terjadi, V_u

- 2) Menentukan gaya geser, V_c , yang bisa ditahan oleh beton.
- 3) Menentukan jumlah tulangan geser perlu.

2.6.1.1 Menentukan Gaya Geser Terfaktor Yang Terjadi

Gaya geser terfaktor maksimum diperoleh dari berbagai kombinasi pembebanan dari hasil kombinasi tipe beban (*load case*) yang dikalikan dengan faktor beban sesuai dengan peraturan perencanaan yang digunakan yaitu standar SK SNI 03-2847-2002 tentang tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung. Penampang balok didesain terhadap gaya geser yang terjadi pada penampang yang paling kritis, yang diperoleh dari semua kombinasi pembebanan yang ada.

2.6.1.2 Menentukan Kapasitas Geser Beton (*Concrete Shear Capacity*)

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton adalah:

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w d \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 13.3(1(1))})$$

Jika pengaruh momen dimasukkan, maka kuat geser yang disumbangkan oleh beton adalah:

$$V_c = \left(\sqrt{f'_c} + 120 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) \frac{b_w d}{7} \leq 0.3 b_w d \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002}$$

pasal 13.3(2(1)))

Dalam perhitungan V_c , besaran $V_u d / M_u$ tidak boleh diambil melebihi 1.0, dimana M_u adalah momen terfaktor yang terjadi bersamaan dengan V_u pada penampang yang ditinjau

2.6.1.3 Menentukan Jumlah Tulangan Geser Perlu (*Required Shear Reinforcement*)

Perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada:

$$V_u \leq \phi V_n \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 13.1(1)})$$

dengan V_u adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan V_n adalah kuat geser nominal yang dihitung dari:

$$V_n = V_c + V_s \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 13.1(1)})$$

dengan V_c adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton, V_s adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser dan ϕ adalah faktor

reduksi kekuatan untuk geser lentur, $\phi = 0.75$. Kuat leleh rencana tulangan geser tidak boleh diambil lebih daripada 400 MPa. Spasi tulangan geser tidak boleh melebihi $d/2$ atau 600 mm. Bila V_s melebihi $(\sqrt{f'_c}/3)b_w d$ maka spasi maksimum tersebut harus dikurangi setengahnya.

Tulangan geser perlu dihitung sebagai berikut:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{S} \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 13.5(6(2))})$$

dengan A_v adalah luas tulangan geser yang berada dalam rentang jarak S . Kuat geser V_s , tidak boleh diambil lebih dari:

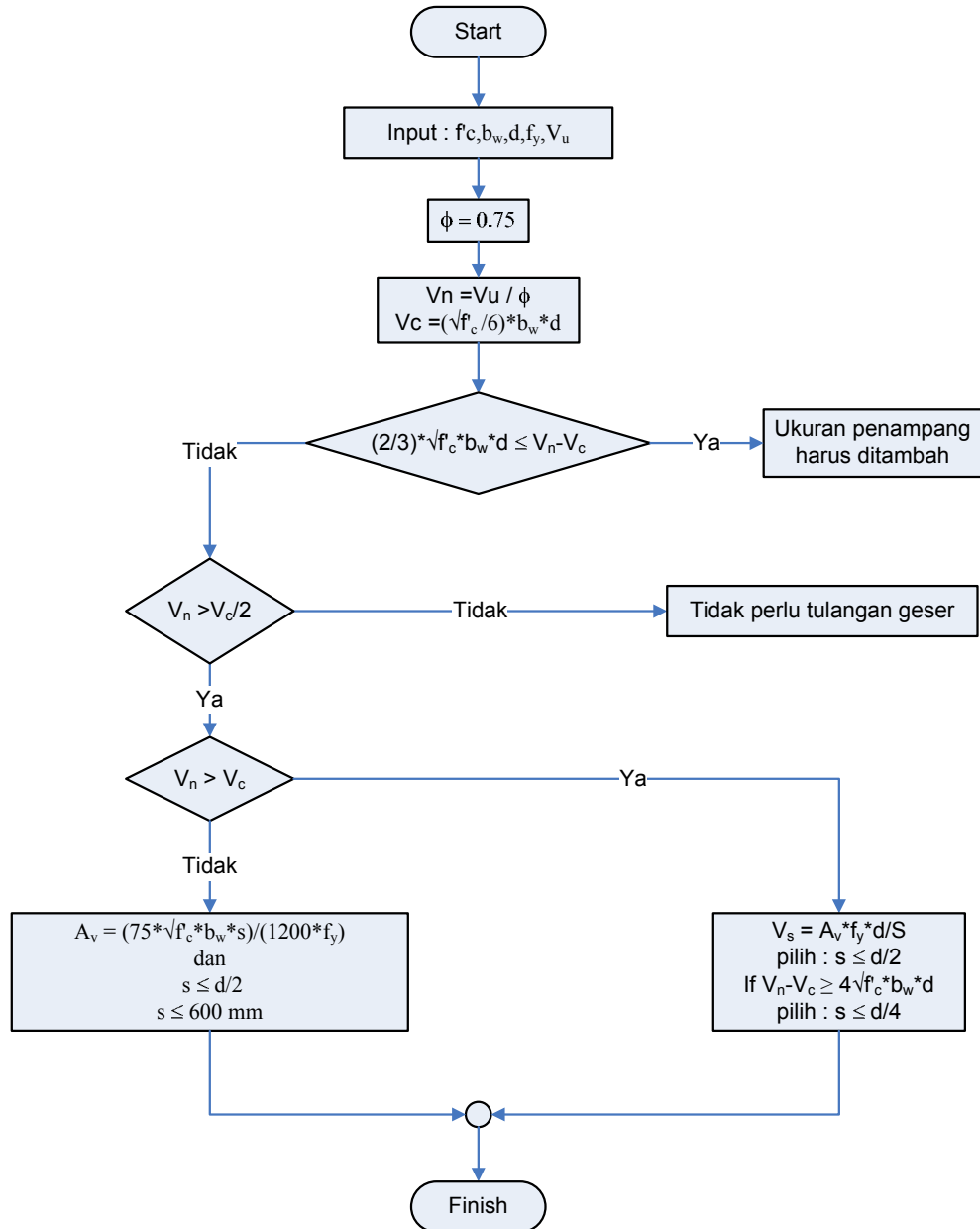
$$V_s \leq \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} b_w d \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 13.5(6(9))})$$

Bila pada komponen struktur lentur beton bertulang bekerja gaya geser terfaktor V_u yang lebih besar dari setengah kuat geser yang disumbangkan oleh beton ϕV_c , maka harus selalu dipasang tulangan geser minimum sebesar:

$$A_v = \frac{75 \sqrt{f'_c}}{1200} \frac{b_w S}{f_y} \geq \frac{1}{2} \frac{b_w S}{f_y} \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 13.5(5(3))})$$

dengan b_w dan S dinyatakan dalam milimeter.

Adapun flowchart metode yang dipakai untuk mendapatkan tulangan geser adalah sebagai berikut:



Gambar 2.3 : Flowchart Proses Desain Tulangan Geser (Sengkang) Pada Balok Beton Bertulang

2.7. Desain Kolom Beton Bertulang

Dalam perhitungan desain kolom beton bertulang, POSTSAP akan menghitung dan melaporkan luas tulangan baja perlu untuk tulangan memanjang dan tulangan geser berdasarkan harga momen, gaya aksial, dan geser maksimum dari kombinasi beban yang bekerja pada kolom dan juga kriteria-kriteria

perencanaan lain yang ditetapkan sesuai dengan standar SK SNI 03-2847-2002 tentang tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung. Prosedur desain kolom beton bertulang meliputi dua tahap yaitu :

- 1) Desain tulangan memanjang balok (*column longitudinal reinforcement*)
- 2) Desain tulangan geser kolom (*column shear reinforcement*)

2.7.1. Desain Tulangan Memanjang Kolom (*Column Longitudinal Reinforcement*)

Hampir semua kolom mengalami momen lentur dan gaya aksial. Karena itu, agar terjamin adanya daktilitas pada kolom, disyaratkan minimum ada penulangan sebanyak 1% dan kurang dari 8% pada kolom. Untuk kolom bersengkang harus ada paling sedikit empat batang tulangan memanjang.

Tahapan yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut :

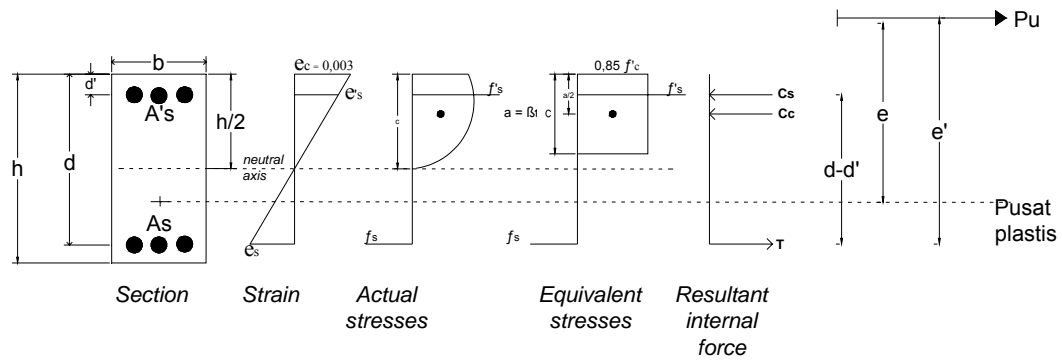
- 1) Menentukan gaya aksial dan momen terfaktor maksimum
- 2) Menentukan Jumlah Tulangan Memanjang

2.7.1.1. Menentukan Gaya Aksial Dan Momen Terfaktor Maksimum

Gaya aksial dan momen terfaktor maksimum diperoleh dari berbagai kombinasi pembebanan dari hasil kombinasi tipe beban (*load case*) yang dikalikan dengan faktor beban sesuai dengan peraturan perencanaan yang digunakan yaitu standar SK SNI 03-2847-2002 tentang tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung. Penampang kolom didesain terhadap gaya aksial dengan eksentritas yang terjadi pada kolom. Dalam perhitungan, kolom didesain sebagai tulangan simetris ($A_s = A_s'$).

2.7.1.2. Desain Tulangan Memanjang Kolom (*Column Longitudinal Reinforcement*)

Dalam proses desain, program akan menghitung banyaknya tulangan yang diperlukan dengan $A_s = A_s'$ (Tulangan simetris). Tinjau sebuah penampang kolom dalam gambar 2.4. sebagai berikut:



Gambar 2.4 : Tegangan dan Gaya-Gaya Pada Kolom

Tekan pada beton

$$C_c = 0.85 f'_c a b$$

Tekan pada tulangan baja tekan (*compression reinforcement*)

$$C_s = A'_s f_y$$

Tarik pada tulangan baja tarik (*tension reinforcement*)

$$T = A_s f_y$$

Dimana :

f'_c = kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa

f_y = kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan baja, MPa

a = tinggi blok tekan, mm

b = lebar balok, mm

A'_s = luas tulangan baja tekan (*compression reinforcement*), mm²

A_s = luas tulangan baja tarik (*tension reinforcement*), mm²

Untuk keseimbangan maka

$$C_c + C_s = T \quad \therefore \quad 0.85 f'_c a b + A'_s f_y = A_s f_y$$

$$\therefore \quad a = \frac{(A_s - A'_s) f_y}{0.85 f'_c b}$$

Diagram regangan digunakan untuk memeriksa apakah tulangan telah leleh atau tidak. Tulangan mencapai tegangan leleh jika nilai regangannya lebih besar dari f_y / E_s . Dari diagram regangan dapat diketahui nilai

$$\epsilon'_s = 0,003 \frac{c - d'}{c} = 0,003 \frac{a - \beta_1 d'}{a}$$

$$\varepsilon_s = 0,003 \frac{d - c}{c} = 0,003 \frac{\beta_1 d - a}{a})$$

$$\therefore f'_s = f_y \text{ jika } 0,003 \frac{a - \beta_1 d'}{a} \geq \frac{f_y}{E_s}$$

dan

$$f_s = f_y \text{ jika } 0,003 \frac{\beta_1 d - a}{a} \geq \frac{f_y}{E_s}$$

dimana :

ε'_s = regangan tulangan tekan (*compression reinforcement strain*)

ε_s = regangan tulangan tarik (*tension reinforcement strain*)

c = jarak dari serat tekan beton terluar ke sumbu netral, mm

$$= a / \beta_1$$

d' = jarak dari serat tekan beton terluar ke titik berat tulangan tekan, mm

d = jarak dari serat tekan beton terluar ke titik berat tulangan tarik, mm

$\beta_1 = 0.85$ untuk $f'_c \leq 30$ MPa

$$= 0.85 - 0.008 (f'_c - 30) \text{ dan } \beta_1 > 0.65 \text{ untuk } f'_c > 30 \text{ MPa}$$

f'_s = tegangan yang terjadi pada tulangan tekan, MPa

f_s = tegangan yang terjadi pada tulangan tarik, MPa

E_s = Modulus elastisitas untuk tulangan baja, MPa

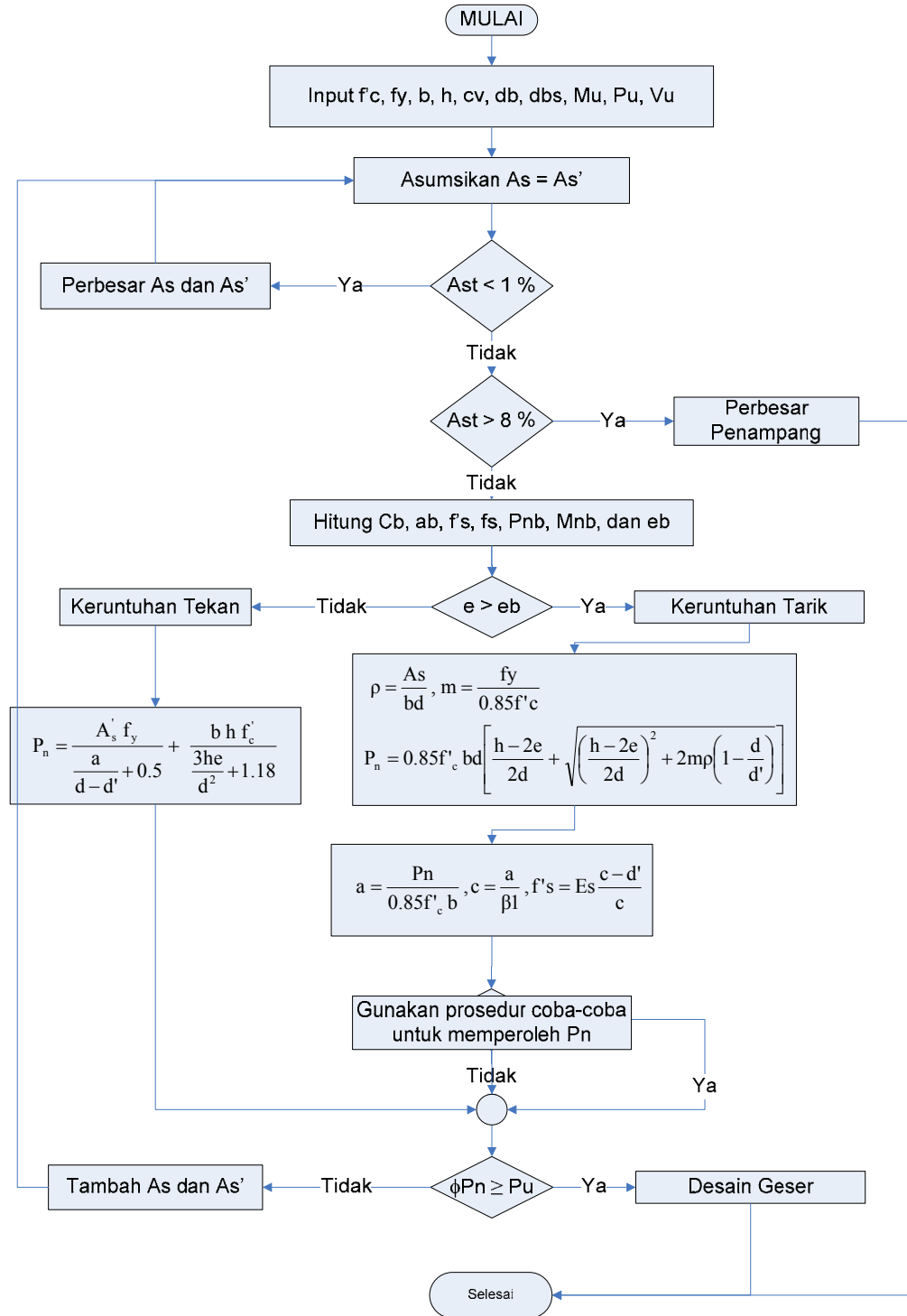
$$= 200000 \text{ MPa}$$

Jika kondisi ini dipenuhi, maka asumsi bahwa semua tulangan telah mencapai tegangan leleh adalah benar maka persamaan keseimbangan gaya dan momen dari gambar 2.4. dinyatakan sebagai berikut:

$$P_n = C_c + C_s - T$$

$$M_n = P_n e = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Dalam mendesain kolom, digunakan metode coba2 dan penyesuaian untuk mendapatkan penampang A_s dan A_s' (Cek kapasitas). Adapun flowchart metode yang dipakai untuk mendapatkan tulangan A_s dan A_s' adalah sebagai berikut:



Gambar 2.5 : Flowchart Proses Desain Tulangan Pokok Pada Kolom Beton Bertulang

2.7.2. Desain Tulangan Geser Kolom (*Column Shear Reinforcement*)

Tulangan geser didesain untuk tiap-tiap kombinasi pembebanan yang bekerja sepanjang bentang pada kolom. Adapun tahapan yang perlu dilakukan dalam mendesain tulangan geser adalah sebagai berikut :

- 1) Menentukan gaya geser terfaktor yang terjadi, V_u
- 2) Menentukan gaya geser, V_c , yang bisa ditahan oleh beton.
- 3) Menentukan jumlah tulangan geser perlu.

2.7.2.1. Menentukan Gaya Geser Terfaktor Yang Terjadi

Gaya geser terfaktor maksimum diperoleh dari berbagai kombinasi pembebanan dari hasil kombinasi tipe beban (*load case*) yang dikalikan dengan faktor beban sesuai dengan peraturan perencanaan yang digunakan yaitu standar SK SNI 03-2847-2002 tentang tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung. Penampang kolom didesain terhadap gaya geser yang terjadi pada penampang yang paling kritis, yang diperoleh dari semua kombinasi pembebanan yang ada.

2.7.2.2. Menentukan Kapasitas Geser Beton (*Concrete Shear Capacity*)

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton adalah:

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w d \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 13.3(1(2))})$$

dimana N_u/A_g dinyatakan dalam besaran MPa

2.7.2.3. Menentukan Jumlah Tulangan Geser Perlu (*Required Shear Reinforcement*)

Perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada:

$$V_u \leq \phi V_n \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 13.1(1)})$$

dengan V_u adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan v_n adalah kuat geser nominal yang dihitung dari:

$$V_n = V_c + V_s \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 13.1(1)})$$

dengan V_c adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton, V_s adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser dan ϕ adalah faktor reduksi kekuatan untuk geser lentur, $\phi = 0.75$. Kuat leleh rencana tulangan geser tidak boleh diambil lebih daripada 400 MPa. Spasi tulangan geser tidak boleh

melebihi $d/2$ atau 600 mm. Bila V_s melebihi $(\sqrt{f'_c}/3)b_w d$ maka spasi maksimum tersebut harus dikurangi setengahnya.

Tulangan geser perlu dihitung sebagai berikut:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{S} \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 13.5(6(2))})$$

dengan A_v adalah luas tulangan geser yang berada dalam rentang jarak S . Kuat geser V_s , tidak boleh diambil lebih dari:

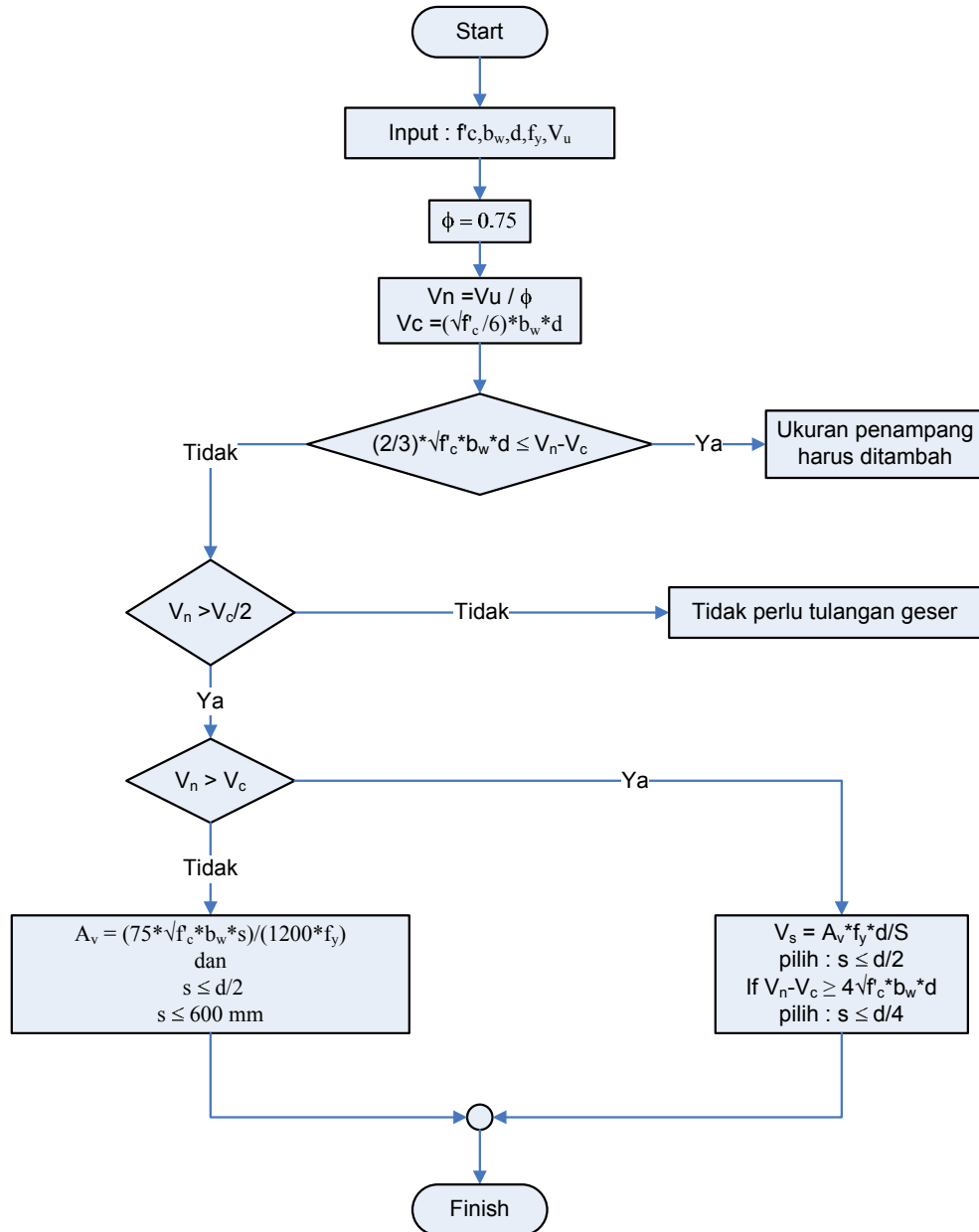
$$V_s \leq \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} b_w d \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 13.5(6(9))})$$

Bila pada komponen struktur lentur beton bertulang bekerja gaya geser terfaktor V_u yang lebih besar dari setengah kuat geser yang disumbangkan oleh beton ϕV_c , maka harus selalu dipasang tulangan geser minimum sebesar:

$$A_v = \frac{75 \sqrt{f'_c}}{1200} \frac{b_w S}{f_y} \geq \frac{1}{2} \frac{b_w S}{f_y} \quad (\text{SK SNI 03-2847-2002 pasal 13.5(5(3))})$$

dengan b_w dan S dinyatakan dalam milimeter.

Adapun flowchart metode yang dipakai untuk mendapatkan tulangan geser adalah sebagai berikut:



Gambar 2.6 : Flowchart Proses Desain Tulangan Geser (Sengkang) Pada Kolom Beton Bertulang

2.8. Detail Penulangan

2.8.1. Kait Standar

Pembengkokan tulangan baja harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- 1) Bengkokan 180° ditambah perpanjangan $4d_b$, tapi tidak kurang dari 60 mm, pada ujung bebas kait.

- 2) Bengkokan 90° ditambah perpanjangan $12d_b$ pada ujung bebas kait.
- 3) Untuk sengkang dan kait pengikat:
 - (1) Batang D-16 dan yang lebih kecil, bengkokan 90° ditambah perpanjangan $6d_b$ pada ujung bebas kait, atau
 - (2) Batang D-19, D-22, dan D-25, bengkokan 90° ditambah perpanjangan $12d_b$ pada ujung bebas kait, atau
 - (3) Batang D-25 dan yang lebih kecil, bengkokan 135° ditambah perpanjangan $6d_b$ pada ujung bebas kait.

2.8.2. Diameter Bengkokan Minimum

- 1) Diameter bengkokan yang diukur pada bagian dalam batang tulangan tidak boleh kurang dari nilai dalam Tabel 2.1. di bawah ini. Ketentuan ini tidak berlaku untuk sengkang dan sengkang ikat dengan ukuran D-10 hingga D-16.

Tabel 2.1: Diameter Bengkokan Minimum

Ukuran tulangan	Diameter minimum
D-10 sampai dengan D-25	$6 d_b$
D-29, D-32, dan D-36	$8 d_b$
D-44 dan D-56	$10 d_b$

Sumber: SK SNI 03-2847-2002

- 2) Diameter dalam dari bengkokan untuk sengkang dan sengkang ikat tidak boleh kurang dari $4d_b$ untuk batang D-16 dan yang lebih kecil. Untuk batang yang lebih besar daripada D-16, diameter bengkokan harus memenuhi Tabel 2.1..
- 3) Diameter dalam untuk bengkokan jaring kawat baja las (polos atau ulir) yang digunakan untuk sengkang dan sengkang ikat tidak boleh kurang dari $4d_b$ untuk kawat ulir yang lebih besar dari D7 dan $2d_b$ untuk kawat lainnya. Bengkokan dengan diameter dalam kurang dari $8d_b$ tidak boleh berada kurang dari $4d_b$ dari persilangan las yang terdekat.

2.8.3. Batasan Spasi Tulangan

- 1) Jarak bersih antara tulangan sejajar dalam lapis yang sama, tidak boleh kurang dari d_b ataupun 25 mm.

- 2) Bila tulangan sejajar tersebut diletakkan dalam dua lapis atau lebih, tulangan pada lapis atas harus diletakkan tepat di atas tulangan di bawahnya dengan spasi bersih antar lapisan tidak boleh kurang dari 25 mm.
- 3) Pada komponen struktur tekan yang diberi sengkang pengikat, jarak bersih antar tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari $1,5d_b$ ataupun 40 mm.
- 4) Pembatasan jarak bersih antar batang tulangan ini juga berlaku untuk jarak bersih antara suatu sambungan lewatan dengan sambungan lewatan lainnya atau dengan batang tulangan yang berdekatan.
- 5) Bundel tulangan:
 - (1) Kumpulan dari tulangan sejajar yang diikat dalam satu bundel sehingga bekerja dalam satu kesatuan tidak boleh terdiri lebih dari empat tulangan per bundel.
 - (2) Bundel tulangan harus dilingkupi oleh sengkang atau sengkang pengikat.
 - (3) Pada balok, tulangan yang lebih besar dari D-36 tidak boleh dibundel.
 - (4) Masing-masing batang tulangan yang terdapat dalam satu bundel tulangan yang berakhir dalam bentang komponen struktur lentur harus diakhiri pada titik-titik yang berlainan, paling sedikit dengan jarak $40d_b$ secara berselang.
 - (5) Jika pembatasan jarak dan selimut beton minimum didasarkan pada diameter tulangan d_b , maka satu unit bundel tulangan harus diperhitungkan sebagai tulangan tunggal dengan diameter yang didapat dari luas ekuivalen penampang gabungan.

2.8.4. Pelindung Beton Untuk Tulangan

Untuk beton bertulang, tebal selimut beton minimum yang harus disediakan untuk tulangan harus memenuhi ketentuan berikut:

Tabel 2.2: Tebal Selimut Beton Minimum

	Tebal selimut Minimum (mm)
1) Beton yang dicor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah	75
2) Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca: Batang D-19 hingga D-56	50
Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau kawat ulir D16 dan yang lebih kecil	40
3) Beton yang tidak langsung berhubungan dengan cuaca atau tanah: Balok, kolom: Tulangan utama, pengikat, sengkang, lilitan spiral.....	40

Sumber: SK SNI 03-2847-2002