

PERENCANAAN PENULANGAN LENTUR DAN GESER BALOK PERSEGI MENURUT SNI 03-2847-2002

Slamet Widodo

Staf Pengajar Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan FT UMY

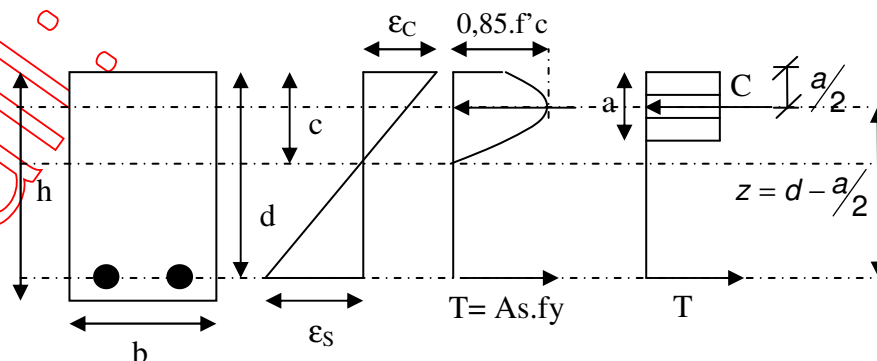
Balok merupakan elemen struktur yang menanggung beban layan dalam arah transversal yang menyebabkan terjadinya momen lentur dan gaya geser di sepanjang bentangnya. Pada bagian ini akan dibahas lebih lanjut tentang tata cara analisis kapasitas lentur dan perencanaan tulangan lentur pada elemen balok.

A. Asumsi-Asumsi dalam Perhitungan

Perhitungan kekuatan lentur penampang beton bertulang menggunakan asumsi-asumsi dasar sebagai berikut:

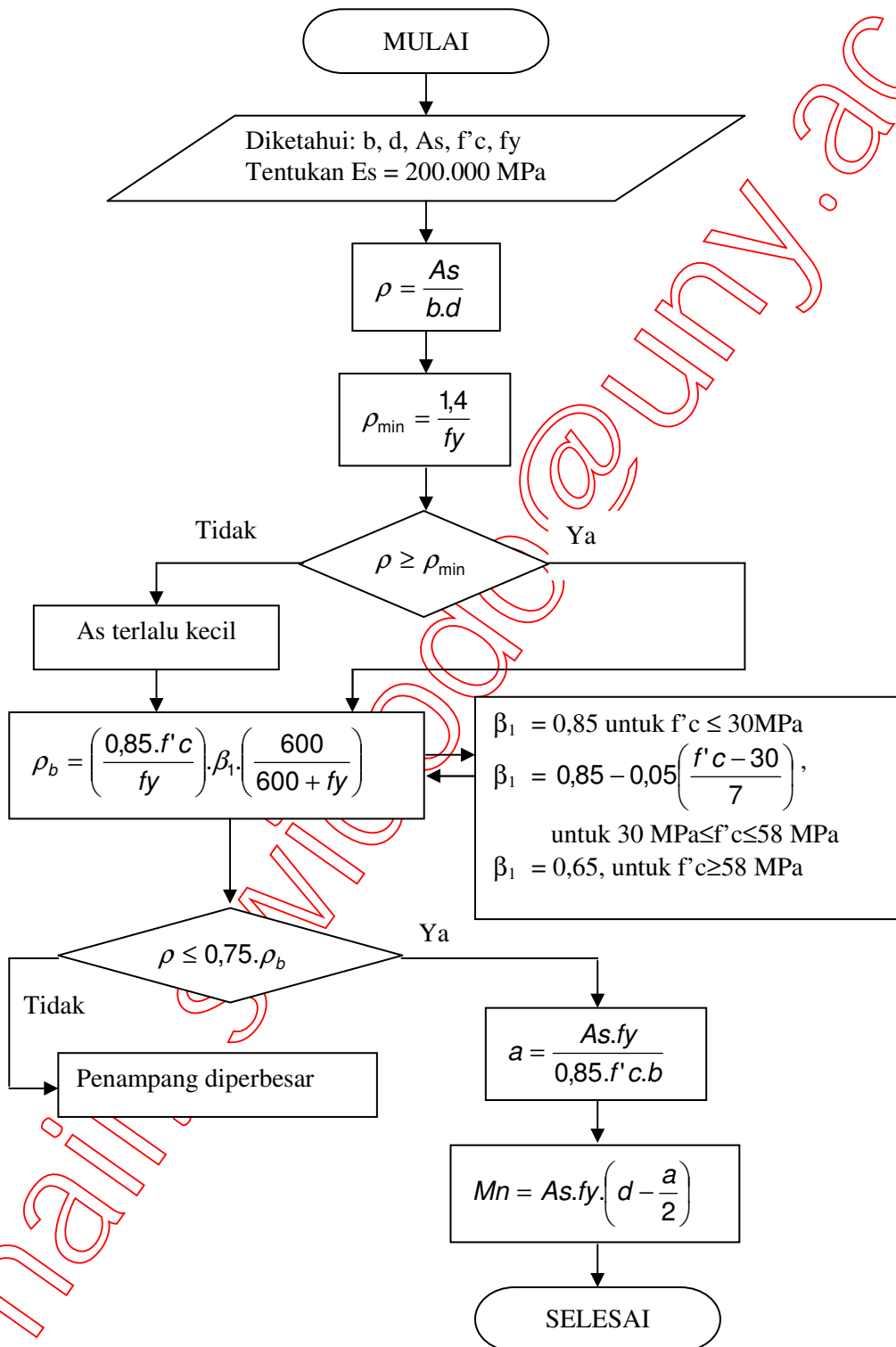
- 1) Bentuk penampang melintang tetap berupa bidang datar, baik sebelum maupun sesudah terjadi lenturan. Hal ini berarti berlakunya hukum Bernoulli dimana besarnya tegangan yang terjadi di setiap titik pada penampang balok sebanding dengan jarak titik tinjau terhadap garis netral, dengan anggapan adanya kesatuan antara beton dengan baja tulangan secara monolit dan tidak terjadi *slip*.
- 2) Diagram hubungan tegangan-regangan baja tulangan telah diketahui secara pasti melalui hasil uji tarik baja yang valid. Pada umumnya perilaku baja tulangan yang diperhitungkan hanya sampai saat dicapainya tegangan leleh, hal ini dikarenakan setelah fase leleh baja akan mengalami *strain hardening*, dimana peningkatan tegangan disertai dengan terjadinya deformasi yang sangat besar.
- 3) Perilaku material beton yang sesungguhnya saat menerima tegangan tekan dapat diketahui secara nyata baik dalam hal besaran maupun distribusinya, yang dapat digambarkan dalam bentuk diagram tegangan-regangan beton dengan mengacu hasil-hasil penelitian yang telah diakui secara luas.
- 4) Beton hanya efektif menahan tegangan tekan, sehingga kekuatan beton tidak diperhitungkan pada bagian penampang yang menerima tegangan tarik.

- 5) Regangan maksimum yang dapat dimanfaatkan pada serat tekan beton terjalat harus diambil sama dengan 0,003.
- 6) 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 .
- 7) Hubungan antara distribusi tegangan tekan beton dan regangan beton boleh diasumsikan berbentuk persegi, dan dapat dipenuhi oleh suatu distribusi tegangan beton persegi ekuivalen yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan didefinisikan sebagai berikut:
 - a) Tegangan beton sebesar $0,85f'_c$ 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.
 - b) Jarak c dari serat dengan regangan maksimum ke sumbu netral harus diukur dalam arah tegak lurus terhadap sumbu tersebut.
 - c) Faktor β_1 harus diambil sebesar 0,85 untuk beton dengan nilai kuat tekan karakteristik 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.

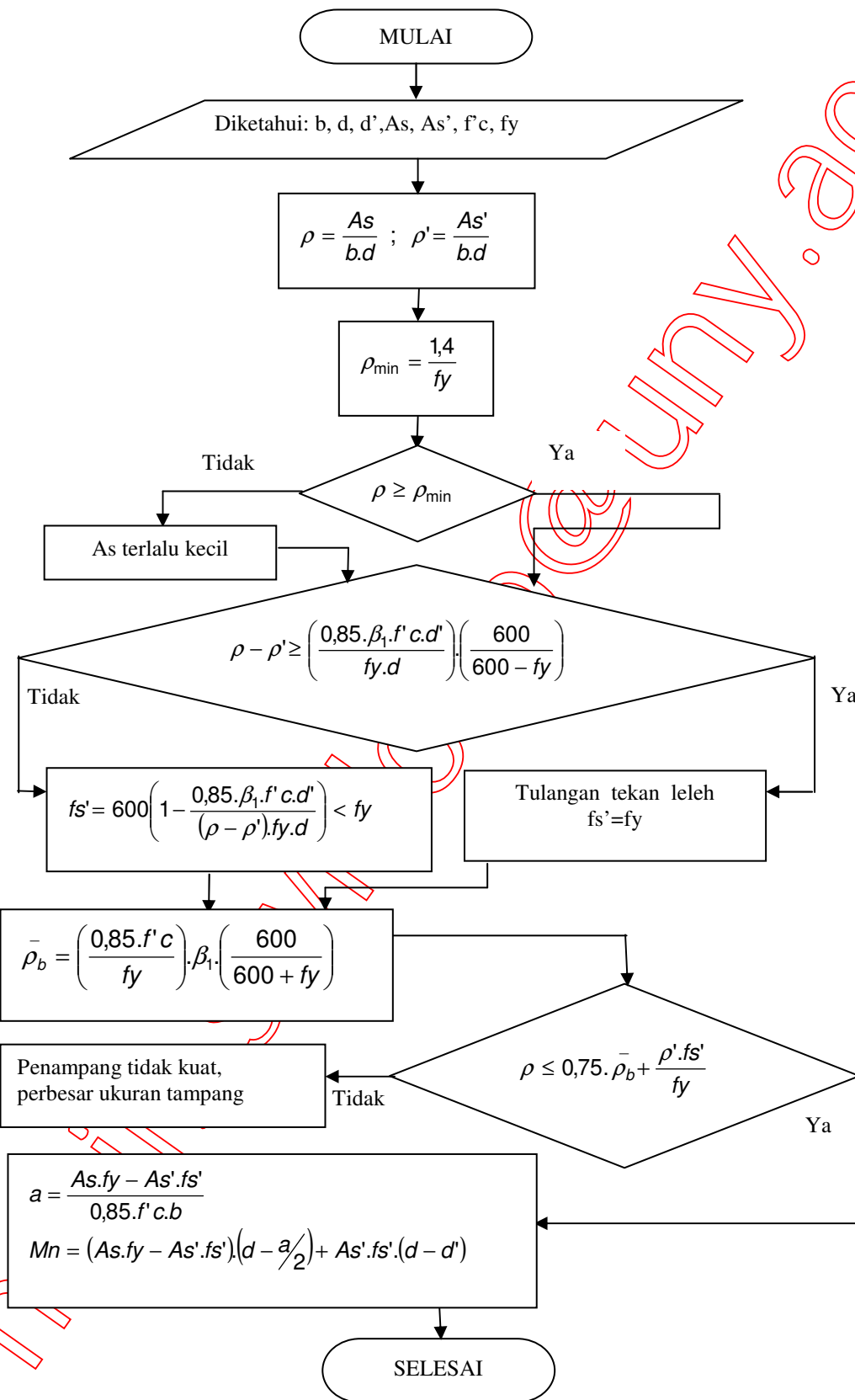


Gambar 1 Distribusi Tegangan dan Regangan Balok Persegi Bertulangan Tunggal

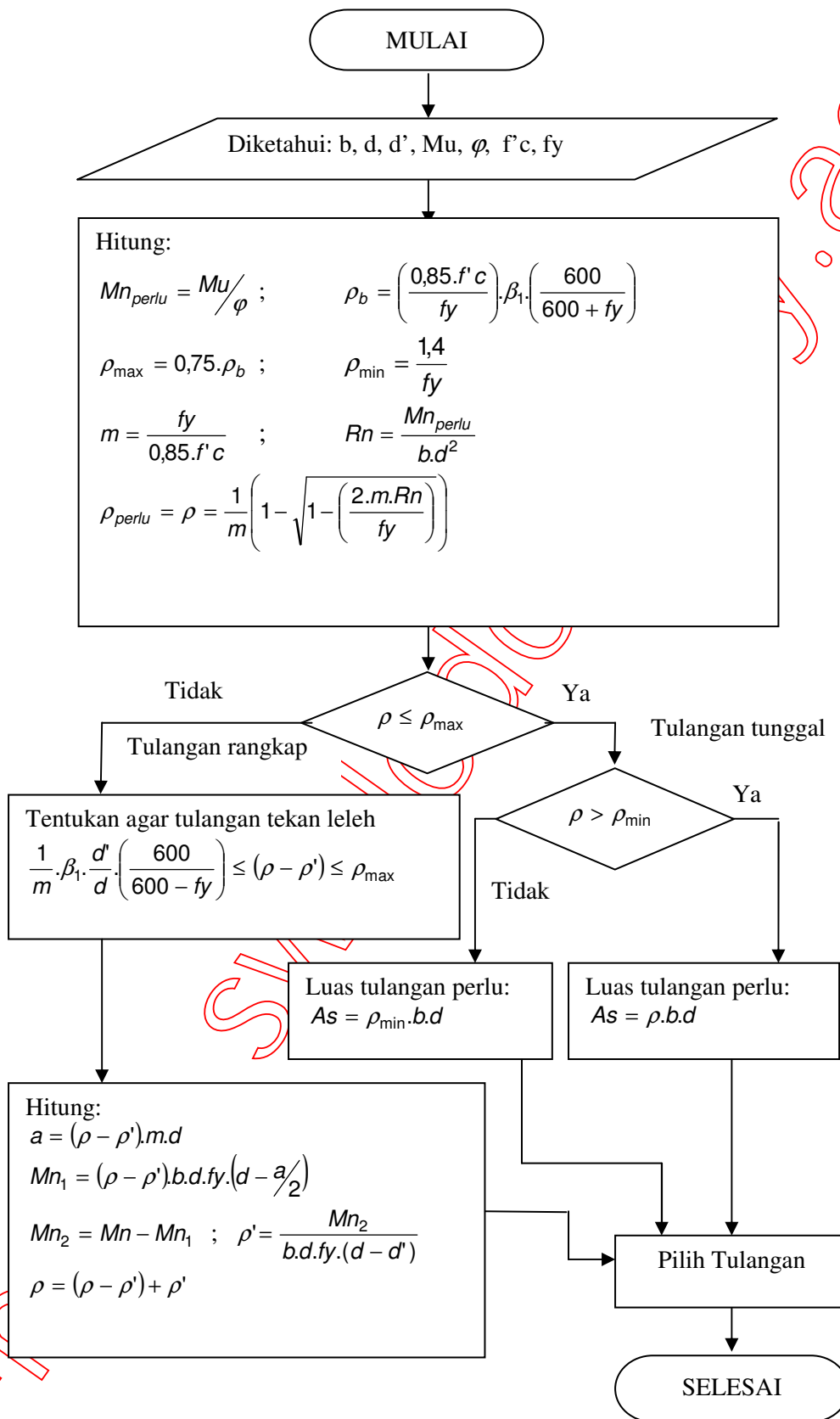
B. Langkah Kerja Analisis dan Perencanaan Lentur



Gambar 2 Bagan Alir Analisis Balok Persegi Bertulangan Tunggal



Gambar 3 Bagan Alir Analisis Balok Persegi Bertulangan Rangkap

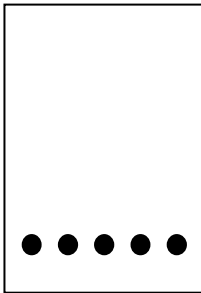


Gambar 4 Bagan Alir Perencanaan Balok Persegi

E. Contoh-Contoh Aplikasi

Contoh 1

Hitung kapasitas momen rencana (M_R) yang diijinkan bekerja pada balok beton bertulangan tunggal di bawah ini:



$b = 400 \text{ mm}$
 $h = 800 \text{ mm}$
 $f'c = 25 \text{ MPa}$
 $f_y = 400 \text{ MPa}$
 $A_s = 5D25$
selimut beton = 40 mm
Diameter sengkang = 10 mm

Penyelesaian: (Analisis dilakukan sesuai bagan alir pada Gambar 2)

Hitung tinggi efektif balok (d)

$$d = 800 - 40 - 10 - \frac{25}{5} = 737,5 \text{ mm}$$

Kontrol rasio penulangan

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{5 \times (0,25 \cdot \pi \cdot 25^2)}{400 \times 737,5} = \frac{2454,369}{295000} = 0,0083$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho > \rho_{\min} \quad (\text{Memenuhi syarat})$$

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

$$\beta_1 = 0,85; \quad \text{karena } f'c = 25 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 25}{400} \cdot 0,85 \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0271$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0271 = 0,0203$$

$$\rho < \rho_{\max} \quad (\text{Memenuhi syarat})$$

Hitung kapasitas momen nominal

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} = \frac{2454,369 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 400} = 115,4997 \text{ mm}$$

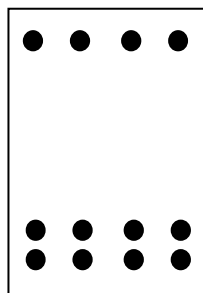
$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 2454,369 \cdot 400 \cdot \left(737,5 - \frac{115,4997}{2} \right) \text{ N.mm} \\
 &= 667343078,4 \text{ N.mm} \\
 &= 667,343 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen rencana (M_R) yang boleh dikerjakan di atas balok sebesar:

$$\begin{aligned}
 M_R &= \phi \cdot M_n \\
 &= 0,80 \cdot 667,3431 \text{ kN.m} \\
 &= 533,8745 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Contoh 2

Hitung kapasitas momen rencana (M_R) yang diijinkan bekerja pada balok beton bertulang rangkap di bawah ini:



b	$= 400 \text{ mm};$	h	$= 800 \text{ mm}$
f'_c	$= 25 \text{ MPa};$	f_y	$= 400 \text{ MPa}$
A_s	$= 8D29$		
A_s'	$= 4D29$		
selimut beton			$= 40 \text{ mm}$
Diameter sengkang			$= 10 \text{ mm}$
Jarak antar lapis tulangan tarik			$= 30 \text{ mm}$

Penyelesaian: (Analisis dilakukan sesuai bagan alir pada Gambar 3)

Hitung tinggi efektif balok (d)

$$d = 800 - 40 - 10 - 29 - 15 = 706 \text{ mm}$$

Hitung posisi pusat berat tulangan tekan

$$d' = 40 + 10 + \frac{29}{2} = 64,5 \text{ mm}$$

Periksa rasio penulangan minimum

$$\rho = \frac{A_s}{b.d} = \frac{8 \times (0,25 \cdot \pi \cdot 29^2)}{400 \times 706} = \frac{5284,1588}{282400} = 0,0187$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b.d} = \frac{4 \times (0,25 \cdot \pi \cdot 29^2)}{400 \times 706} = \frac{2642,0794}{282400} = 0,0094$$

$$A_{s_1} = A_s - A_s' = 5284,1588 - 2642,0794 = 2642,0794 \text{ mm}^2$$

$$\rho - \rho' = \frac{A_{s_1}}{b.d} = \frac{2642,0794}{400 \times 706} = 0,0094$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho > \rho_{\min} \quad (\text{Memenuhi syarat})$$

Periksa kondisi tulangan tekan:

$$\frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'c \cdot d'}{f_y \cdot d} \cdot \left(\frac{600}{600 - f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25 \cdot 64,5}{400 \times 706} \cdot \left(\frac{600}{600 - 400} \right) = 0,0124$$

$$\rho - \rho' = 0,0094 < 0,0124 \quad (\text{Tulangan tekan belum leleh})$$

Hitung f_s' aktual

$$f_s' = 600 \cdot \left(1 - \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'c \cdot d'}{(\rho - \rho') \cdot f_y \cdot d} \right) = 600 \cdot \left(1 - \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25 \cdot 64,5}{0,0094 \cdot 400 \cdot 706} \right)$$

$$f_s' = 336,6725 \text{ MPa}$$

Periksa rasio penulangan maksimum

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

$$\beta_1 = 0,85; \quad \text{karena } f'c = 25 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 25}{400} \cdot 0,85 \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0271$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b + \frac{\rho' \cdot f_s'}{f_y} = 0,75 \times 0,0271 + \frac{0,0094 \times 336,6725}{400} = 0,0282$$

$$\rho < \rho_{\max} \quad (\text{Memenuhi syarat})$$

Hitung kapasitas momen nominal

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s'}{0,85 \cdot f'c \cdot b} = \frac{5284,1588 \times 400 - 2642,0794 \times 336,6725}{0,85 \cdot 25 \cdot 400} \quad a = 144,0174 \text{ mm}$$

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

$$= (5284,1588.400 - 2642,0794.336,6725) \left(706 - \frac{144,0174}{2} \right) +$$

$$2642,0794.336,6725(706 - 64,5)$$

$$= 1346723388 \text{ N.mm}$$

$$= 1346,7234 \text{ kN.m}$$

Momen rencana (M_R) yang boleh dikerjakan di atas balok sebesar:

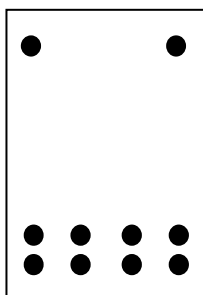
$$M_R = \phi.Mn$$

$$= 0,80.1346,7234 \text{ kN.m}$$

$$= 1077,3787 \text{ kN.m}$$

Contoh 3

Hitung kapasitas momen rencana (M_R) yang diijinkan bekerja pada balok beton bertulangan rangkap di bawah ini:



$$b = 400 \text{ mm}; \quad h = 800 \text{ mm}$$

$$f'_c = 25 \text{ MPa}; \quad f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$A_s = 8D29$$

$$A_s' = 2D29$$

$$\text{selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak antar lapis tulangan tarik} = 30 \text{ mm}$$

Penyelesaian: (Analisis dilakukan sesuai bagan alir pada Gambar 3)

Hitung tinggi efektif balok (d)

$$d = 800 - 40 - 10 - 29 - 15 = 706 \text{ mm}$$

Hitung posisi pusat berat tulangan tekan

$$d' = 40 + 10 + \frac{29}{2} = 64,5 \text{ mm}$$

Periksa rasio penulangan minimum

$$\rho = \frac{A_s}{b.d} = \frac{8 \times (0,25 \cdot \pi \cdot 29^2)}{400 \times 706} = \frac{5284,1588}{282400} = 0,0187$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b.d} = \frac{2 \times (0,25 \cdot \pi \cdot 29^2)}{400 \times 706} = \frac{1321,0397}{282400} = 0,0047$$

$$As_1 = As - As' = 5284,1588 - 1321,0397 = 3963,1191 \text{ mm}^2$$

$$\rho - \rho' = \frac{As_1}{b \cdot d} = \frac{3963,1191}{400 \times 706} = 0,014$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho > \rho_{\min} \quad (\text{Memenuhi syarat})$$

Periksa kondisi tulangan tekan:

$$\frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'c \cdot d'}{f_y \cdot d} \left(\frac{600}{600 - f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25 \cdot 64,5}{400 \times 706} \left(\frac{600}{600 - 400} \right) = 0,0124$$

$$\rho - \rho' = 0,014 > 0,0124 \quad (\text{Tulangan tekan leleh})$$

Karena tulangan tekan telah meleleh maka $f_s' = f_y$

Periksa rasio penulangan maksimum

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

$$\beta_1 = 0,85; \quad \text{karena } f'c = 25 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 25}{400} \cdot 0,85 \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0271$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b + \frac{\rho' \cdot f_s'}{f_y} = 0,75 \times 0,0271 + \frac{0,0047 \times 400}{400} = 0,025$$

$$\rho < \rho_{\max} \quad (\text{Memenuhi syarat})$$

Hitung kapasitas momen nominal

$$a = \frac{As \cdot f_y - As' \cdot f_s'}{0,85 \cdot f'c \cdot b} = \frac{5284,1588 \times 400 - 1321,0397 \times 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 400} \quad a = 186,4997 \text{ mm}$$

$$M_n = (As \cdot f_y - As' \cdot f_s') \left(d - \frac{a}{2} \right) + As' \cdot f_s' \cdot (d - d')$$

$$= (5284,1588 \cdot 400 - 1321,0397 \cdot 400) \left(706 - \frac{186,4997}{2} \right) +$$

$$1321,0397 \cdot 400 \cdot (706 - 64,5)$$

$$= 1310339516 \text{ N.mm}$$

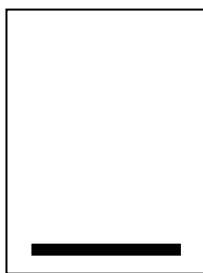
$$= 1310,3395 \text{ kN.m}$$

Momen rencana (M_R) yang boleh dikerjakan di atas balok sebesar:

$$\begin{aligned}M_R &= \varphi \cdot Mn \\ &= 0,80 \cdot 1310,3395 \text{ kN.m} \\ &= 1048,2716 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

Contoh 4

Rencanakanlah penulangan balok beton bertulang dengan ketentuan berikut:



$$\begin{aligned}b &= 350 \text{ mm} \\ h &= 700 \text{ mm} \\ f'c &= 34 \text{ MPa} \\ fy &= 400 \text{ MPa} \\ \text{selimut beton} &= 40 \text{ mm} \\ \text{Diameter sengkang} &= 10 \text{ mm} \\ \text{Diameter tulangan pokok tersedia} &= 22 \text{ mm}\end{aligned}$$

Untuk menanggung kombinasi beban *ultimate*:

- $M_u = 10 \text{ t.m}$
- $M_u = 50 \text{ t.m}$

Penyelesaian: (Cara perencanaan sesuai bagan alir pada Gambar 4-6)

Kasus (a)

Hitung perkiraan tinggi efektif balok (d)

$$d = 700 - 40 - 10 - \frac{22}{2} = 639 \text{ mm}$$

$$M_u = 10 \text{ t.m} = 100 \text{ kN.m} = 100 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$M_R = M_{n \text{ perlu}} = \frac{M_u}{\varphi} = \frac{100 \times 10^6}{0,8} = 125 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c}{fy} \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + fy} \right);$$

karena $f'c = 34 \text{ MPa} > 30 \text{ MPa}$, maka:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \left(\frac{f'c - 30}{7} \right) = 0,82$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 34}{400} \cdot 0,82 \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0356$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0356 = 0,0267$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{400}{0,85 \cdot 34} = 13,8408$$

$$Rn = \frac{Mn_{\text{perlu}}}{b \cdot d^2} = \frac{125 \times 10^6}{350 \cdot 639^2} = 0,8747$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y} \right)} \right) = \frac{1}{13,8408} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 13,8408 \cdot 0,8747}{400} \right)} \right)$$

$$\rho = 0,0022$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

Kontrol rasio penulangan perlu

$$\rho = 0,0022 < \rho_{\max} = 0,0267 ; \text{ maka digunakan tulangan tunggal}$$

$$\rho = 0,0022 < \rho_{\min} = 0,0035 ; \text{ maka diperlukan luas tulangan minimum}$$

Luas tulangan perlu

$$A_s = \rho_{\min} \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 350 \cdot 639 = 782,775 \text{ mm}^2$$

dipasang tulangan tarik:

$$3D22 = 1140,2981 \text{ mm}^2 > 782,775 \text{ mm}^2$$

Kasus (b)

Hitung perkiraan tinggi efektif balok (d)

$$d = 700 - 40 - 10 - \frac{22}{2} = 639 \text{ mm}$$

$$Mu = 50 \text{ t.m} = 500 \text{ kN.m} = 500 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$M_R = Mn_{\text{perlu}} = \frac{Mu}{\phi} = \frac{500 \times 10^6}{0,8} = 625 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) ;$$

karena $f'c = 34 \text{ MPa} > 30 \text{ MPa}$, maka:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \left(\frac{f'c - 30}{7} \right) = 0,82$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 34}{400} \cdot 0,82 \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0356$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0356 = 0,0267$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{400}{0,85 \cdot 34} = 13,8408$$

$$Rn = \frac{Mn_{\text{perlu}}}{b \cdot d^2} = \frac{625 \times 10^6}{350 \cdot 639^2} = 4,3733$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y} \right)} \right) = \frac{1}{13,8408} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 13,8408 \cdot 4,3733}{400} \right)} \right)$$

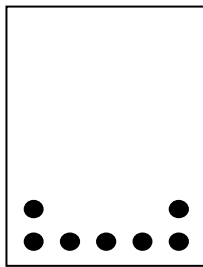
$$\rho = 0,0119$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

Kontrol rasio penulangan perlu

$$\rho = 0,0119 < \rho_{\max} = 0,0267 ; \text{ maka digunakan tulangan tunggal}$$

$$\rho = 0,0119 > \rho_{\min} = 0,0035 ; \text{ memenuhi kebutuhan tulangan minimum}$$



Luas tulangan perlu

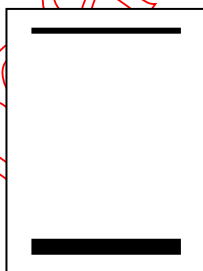
$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0119 \cdot 350 \cdot 639 = 2661,435 \text{ mm}^2$$

dipasang tulangan tarik:

$$7D22 = 2660,929 \text{ mm}^2 \approx 2661,435 \text{ mm}^2$$

Contoh 5

Rencanakanlah penulangan balok beton bertulang dengan ketentuan berikut:



$$b = 350 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$f'c = 34 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan pokok tersedia} = 28 \text{ mm}$$

Untuk menanggung kombinasi beban *ultimate*: $M_u = 100 \text{ t.m}$

Penyelesaian: (Cara perencanaan sesuai bagan alir pada Gambar 4)

Hitung perkiraan tinggi efektif balok (d)

$$d = 700 - 40 - 10 - \frac{28}{2} = 636 \text{ mm}$$

Hitung perkiraan posisi pusat berat tulangan tekan

$$d' = 40 + 10 + \frac{28}{2} = 64 \text{ mm}$$

$$M_u = 100 \text{ t.m} = 1000 \text{ kN.m} = 1000 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$M_R = Mn_{\text{perlu}} = \frac{M_u}{\phi} = \frac{1000 \times 10^6}{0,8} = 1250 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \cdot \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right);$$

karena $f'c = 34 \text{ MPa} > 30 \text{ MPa}$, maka:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \left(\frac{f'c - 30}{7} \right) = 0,82$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 34}{400} \cdot 0,82 \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0356$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0356 = 0,0267$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{400}{0,85 \cdot 34} = 13,8408$$

$$Rn = \frac{Mn_{\text{perlu}}}{b \cdot d^2} = \frac{1250 \times 10^6}{350 \cdot 636^2} = 8,8293$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y} \right)} \right) = \frac{1}{13,8408} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 13,8408 \cdot 8,8293}{400} \right)} \right)$$

$$\rho = 0,0272$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

Kontrol rasio penulangan perlu

$$\rho = 0,0272 > \rho_{\text{min}} = 0,0035; \text{ memenuhi kebutuhan tulangan minimum}$$

$$\rho = 0,0272 > \rho_{\text{max}} = 0,0267; \text{ maka digunakan tulangan rangkap}$$

Tentukan agar tulangan tekan meleleh:

$$\frac{1}{m} \cdot \beta_1 \cdot \frac{d'}{d} \cdot \left(\frac{600}{600 - f_y} \right) \leq (\rho - \rho') \leq \rho_{\max}$$

$$\frac{1}{13,8408} \cdot 0,82 \cdot \frac{64}{636} \cdot \left(\frac{600}{600 - 400} \right) \leq (\rho - \rho') \leq 0,0267$$

$$0,0179 \leq (\rho - \rho') \leq 0,0267$$

Ditentukan

$$0,0179 < (\rho - \rho') = 0,02 < 0,0267 ; \quad \text{agar tulangan tekan leleh}$$

$$a = (\rho - \rho') \cdot m \cdot d = 0,02 \cdot 13,8408 \cdot 636 = 176,055 \text{ mm}$$

$$Mn_1 = (\rho - \rho') \cdot b \cdot d \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,02 \cdot 350 \cdot 636 \cdot 400 \cdot \left(636 - \frac{176,055}{2} \right)$$

$$= 975829428 \text{ N.mm}$$

$$Mn_2 = Mn - Mn_1$$

$$= 1250 \times 10^6 - 975,5829 \times 10^6 = 274,4171 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$\rho' = \frac{Mn_2}{b \cdot d \cdot f_y \cdot (d - d')}$$

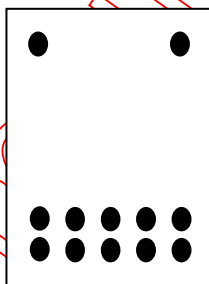
$$= \frac{274,4171 \times 10^6}{350 \cdot 636 \cdot 400 \cdot (636 - 64)}$$

$$= 0,0054$$

$$\rho = (\rho - \rho') + \rho'$$

$$= 0,02 + 0,0054$$

$$\leq 0,0254$$



$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0254 \cdot 350 \cdot 636 \end{aligned}$$

$$= 5654,04 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{s'} &= \rho' \cdot b \cdot d \\ &= 0,0054 \cdot 350 \cdot 636 \end{aligned}$$

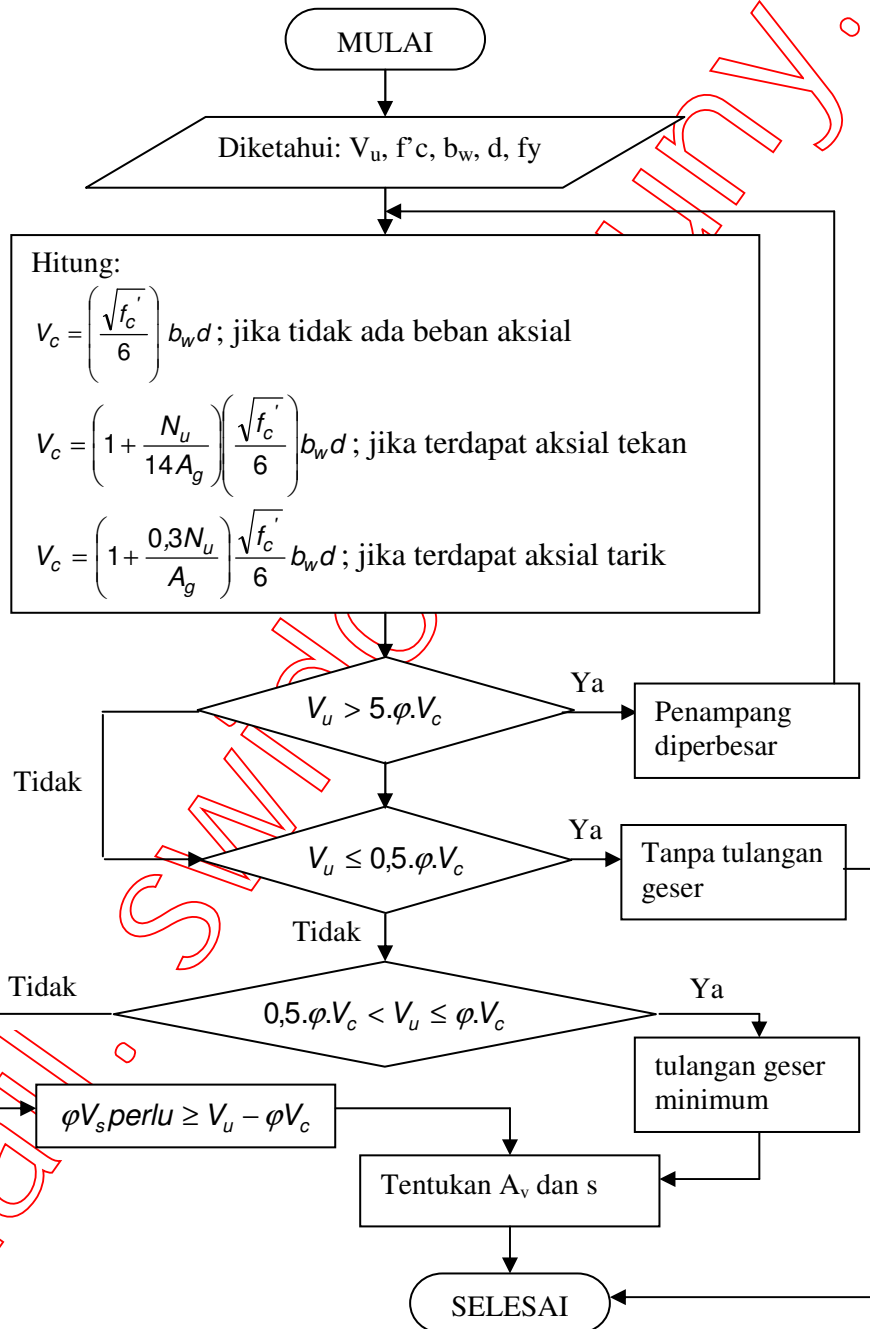
$$= 1202,04 \text{ mm}^2$$

Dipakai:

Tulangan tarik = 10 D 28 = 6157,5216 mm² > 5654,04 mm²

Tulangan tekan = 2 D 28 = 1231,5043 mm² > 1202,04 mm²

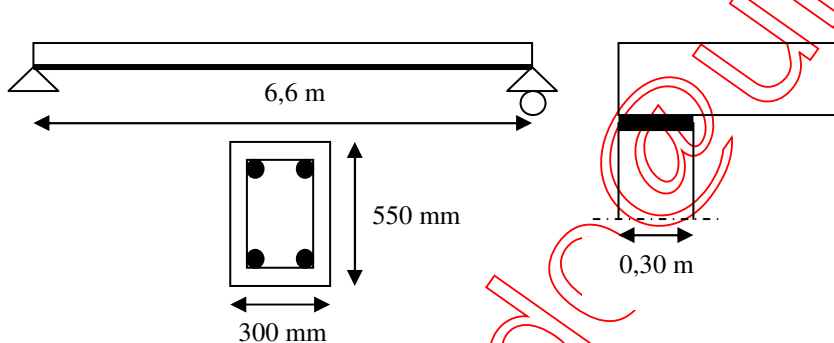
C. Langkah Kerja Analisis dan Perencanaan Geser



Gambar 5 Bagan Alir Perencanaan Geser

Contoh 1

Rencanakan penulangan geser dengan sengkang vertikal untuk balok dengan tumpuan sederhana seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini. Elemen balok tersebut memiliki bentang (L) 6,6 m, lebar tumpuan 0,30 m, lebar balok (b_w) 300 mm, tinggi balok (h) 550 mm, selimut beton 40 mm, diameter sengkang 10 mm, dan diameter tulangan pokok 22 mm, kuat tekan karakteristik beton (f'_c) 25 MPa dan kuat leleh baja (f_y) 400 MPa. Beban yang bekerja berupa beban mati (q_{DL}) sebesar 3 t/m (termasuk berat sendiri) dan beban hidup (q_{LL}) sebesar 2,5 t/m.



Penyelesaian: (Cara perencanaan sesuai bagan alir pada Gambar 5)

Hitung perkiraan tinggi efektif balok (d)

$$d = 550 - 40 - 10 - \frac{22}{2} = 489 \text{ mm}$$

Posisi penampang kritis sejarak d di muka tumpuan;

$$\left(\frac{0,30}{2} + 0,489 = 0,639 \text{ m} \right) \approx 0,600 \text{ m} \text{ dari ujung bentang teoritis.}$$

Hitung besaran gaya geser yang menentukan

$$V_{DL} = \frac{q_{DL} \cdot L}{2} - q_{DL} \cdot 0,600 = \frac{3,6,6}{2} - 3,0,600 = 8,1 \text{ ton}$$

$$V_{LL} = \frac{q_{LL} \cdot L}{2} - q_{LL} \cdot 0,600 \\ = \frac{2,5 \cdot 6,6}{2} - 2,5 \cdot 0,600 = 6,75 \text{ ton}$$

$$V_u = 1,2 \cdot V_{DL} + 1,6 \cdot V_{LL} \\ = 1,2 \cdot 8,1 + 1,6 \cdot 6,75 = 20,52 \text{ ton} \\ = 205,2 \text{ kN}$$

Hitung kapasitas geser beton

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \cdot b_w \cdot d = \frac{\sqrt{25}}{6} \cdot 300 \cdot 489$$
$$= 122250N$$

$$\phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 122250$$
$$= 91687,5N$$

$$3 \cdot \phi \cdot V_c = 3 \cdot 91687,5$$
$$= 275062,5N$$

Hitung spasi sengkang

$$91687,5N < 205200N < 275062,5N$$

$\phi \cdot V_c < V_u < 3 \cdot \phi \cdot V_c$ Diperlukan tulangan geser

$$\phi \cdot V_s = V_u - \phi \cdot V_c$$
$$= 205200 - 91687,5 = 113512,5N$$

$$V_s = \frac{\phi \cdot V_s}{\phi} = \frac{113512,5}{0,75} = 151350N$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{(2 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2) \cdot 320 \cdot 489}{151350}$$
$$= 162,4038mm$$
$$\approx 150mm$$

Berdasarkan persyaratan spasi sengkang dapat ditentukan:

- Spasi sengkang untuk memenuhi syarat kekuatan = 150 mm
- Spasi sengkang maksimum = $d/2 < 600mm$

$$d/2 = 489/2 = 244,5mm \approx 240mm$$

- Spasi maksimum umum tulangan geser minimum

$$s = \frac{3 \cdot A_v \cdot f_y}{b_w} = \frac{3 \cdot (2 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2) \cdot 320}{300} = 502,655mm \approx 500mm$$

Daerah batas perubahan spasi sengkang:

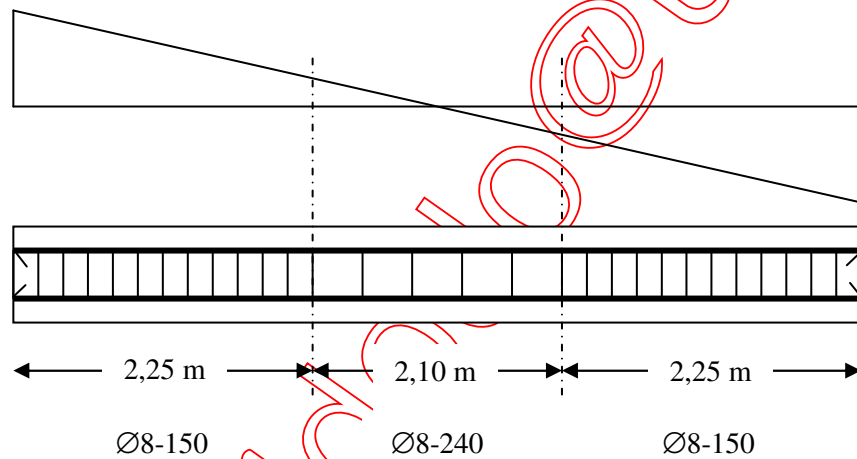
$$V_u = \phi \cdot V_c = 91687,5N = 9,1689ton$$

$$= \frac{q_u \cdot L}{2} - q_u \cdot x$$

$$x = \frac{\left((1,2 \cdot 3 + 1,6 \cdot 2,5) \cdot \frac{6,6}{2} \right) - 9,1689}{(1,2 \cdot 3 + 1,6 \cdot 2,5)} = 2,09m \text{ di muka tumpuan}$$

Selanjutnya dapat ditentukan pemasangan sengkang untuk:

- Spasi sengkang untuk daerah dimana $V_u > \phi \cdot V_c$ (masing-masing berjarak 2,25 m dari kedua ujung tumpuan, baik sisi kanan maupun kiri) digunakan sengkang tertutup $\emptyset 10-150$
- Spasi sengkang untuk daerah dimana $V_u \leq \phi \cdot V_c$ (bagian tengah sepanjang 2,1 m) digunakan sengkang tertutup $\emptyset 10-240$



Contoh 2

Rencanakan tulangan geser untuk penampang kolom persegi berukuran $b_w = 300$ mm, $h = 450$ mm, dan $d = 400$ mm, menahan gaya aksial tekan 40 ton (beban mati), dan 25 ton (beban hidup). Gaya lintang yang bekerja sebesar 6 ton (beban mati) dan 4 ton (beban hidup). Material yang digunakan adalah beton dengan kuat tekan karakteristik 20 MPa dan baja untuk tulangan geser berdiameter 8 mm dengan kuat leleh 400 MPa.

Penyelesaian: (Cara perencanaan sesuai bagan alir pada Gambar 5)

Hitung kapasitas geser beton

$$\begin{aligned} N_u &= 1,2 \cdot N_{DL} + 1,6 \cdot N_{LL} \\ &= 1,2 \cdot 40 + 1,6 \cdot 25 \\ &= 88ton \end{aligned}$$

$$= 880000N$$

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

$$= \left(1 + \frac{88000}{14(300.450)}\right) \left(\frac{\sqrt{20}}{6}\right) 300.400 = 131088,0063N$$

$$\phi.V_c = 0,75.131088,0063 = 98316,0047N$$

Hitung kebutuhan tulangan geser

$$V_u = 1,2.V_{DL} + 1,6.V_{LL}$$

$$= 1,2.60000 + 1,6.40000 = 136000N$$

$$\phi.V_c < V_u < 3.\phi.V_c \quad \text{Diperlukan tulangan geser}$$

$$\phi.V_s = V_u - \phi.V_c$$

$$= 136000 - 98316,007 = 37683,99528N$$

$$V_s = \frac{37683,99528}{0,75} = 50245,327N$$

$$s = \frac{A_v.f_y.d}{V_s}$$

$$= \frac{(2.0,25.\pi.8^2).320.400}{50245,327}$$

$$= 256,1027mm$$

$$\approx 250mm$$

Berdasarkan persyaratan spasi sengkang dapat disimpulkan

- Spasi sengkang untuk memenuhi syarat kekuatan= 250 mm
- Spasi sengkang maksimum= $\frac{d}{2} < 600mm$

$$\frac{d}{2} = \frac{400}{2} = 200mm$$

- Spasi maksimum umum tulangan geser minimum

$$s = \frac{3.A_v.f_y}{b_w} = \frac{3.(2.0,25.\pi.8^2).320}{300} = 321,6991mm \approx 320mm$$

Menurut perhitungan di atas, maka sengkang harus dipasang dengan jarak 200 mm ($\varnothing 8-200$).