

## BAB II

### LANDASAN TEORI

Dua hal utama yang dialami oleh balok jika mendapat beban adalah kondisi tekan dan tarik, yang diakibatkan pengaruh lentur ataupun gaya lateral. Padahal kuat tarik beton sangatlah kecil kira-kira 10 % dari kuat desaknya, sehingga kuat tarik beton jarang diperhitungkan (Wahyudi dan Rahim, 1999, halaman 39). Untuk mengatasi kondisi tarik pada balok beton maka timbul usaha untuk memasang baja tulangan pada bagian tarik guna mengatasi kelemahan balok tersebut, dan menghasilkan balok beton bertulang .

Gaya luar yang bekerja pada struktur balok beton bertulang akan ditahan oleh beton dan baja tulangan secara serempak melalui gaya internal, tidak terjadi *slip* atau gelincir antara beton dengan tulangan, sehingga regangan yang terjadi pada serat beton akan sama dengan yang terjadi pada serat tulangan, hal ini berlaku walaupun beton mengalami retak pada bagian tarik (Wahyudi dan Rahim, 1999, halaman 39). Kuat tarik baja dapat dimaksimalkan dengan menggunakan baja tulangan ulir.

Karena daya lekat beton yang baik maka beton seolah-olah dianggap sebagai material homogen, sehingga nilai regangan pada serat beton maupun pada serat tulangan adalah sama dan berbanding lurus dengan jarak ke garis netral, yaitu nol pada garis netral dan maksimum pada serat terluar (Wahyudi dan Rahim, 1999, halaman 39).

Selain pengaruh lentur dan gaya lateral balok beton juga dapat dipengaruhi oleh gaya geser yang selalu bekerja bersama torsi dan gaya normal. Percobaan-

percobaan yang telah dipublikasikan menunjukkan sifat keruntuhan akibat gaya geser pada suatu elemen struktur beton bertulang adalah getas, tidak duktail dan keruntuhan secara tiba-tiba tanpa ada peringatan. Ini diakibatkan kekuatan geser dari balok tergantung dari kekuatan tarik dan tekan beton, dan perilaku geser tiap-tiap struktur belainan tergantung dari material struktur (Wahyudi dan Rahim, 1999, halaman 163).

### **2.1. Faktor Beban**

Struktur dapat dijamin keamanannya dengan cara memberikan kapasitas kekuatan atau kuat rencana yang lebih besar dari pada berbagai kombinasi efek beban yang bekerja. Kuat rencana dapat diperoleh dengan mengalikan kekuatan nominal dengan nilai reduksi kekuatan  $\phi$  yang lebih kecil dari satu. Kekuatan nominal diperoleh dengan meninjau kekuatan teoritis bahan sepenuhnya. Kekuatan suatu komponen struktur yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor dengan berbagai kombinasi efek beban disebut kuat perlu. Dengan kata lain dapat dikatakan struktur dapat dijamin keamanannya bila kuat rencana lebih besar dari kuat perlu ( Wahyudi dan Rahman, 1999, halaman 11).

SKSNI T-15-1991-03 (DPU, 1991, halaman 13) pasal 3.2.2 menyatakan bahwa agar struktur memenuhi syarat kekuatan beban maka beban perhitungan harus memperhatikan ketentuan sebagai berikut :

- a. Struktur memikul beban mati ( $D = \text{dead load}$ ) dan beban hidup ( $L = \text{live load}$ ) maka kuat perlu untuk perencanaanya adalah sebagai berikut:

$$U = 1.2 D + 1.6 L \quad (2.1)$$

- b. Jika struktur mengalami beban angin ( $W$  =wind load), beban mati dan beban hidup maka kuat perlu untuk perencanaannya :

$$U = 0.75 (1.2 D + 1.6 L + 1.6 W) \quad (2.2)$$

$$U = 0.9 D + 1.3 W \quad (2.3)$$

Diambil nilai yang terbesar tetapi tidak boleh lebih kecil dari peraturan di atasnya.

- c. Struktur memikul beban gempa ( $E$  = Eartquake), beban mati, beban hidup, maka kuat perlu untuk perencanaanya :

$$U = 1.05 (D + L_r \pm E) \quad (2.4)$$

$$U = 0.9 (D \pm E) \quad (2.5)$$

Diambil yang terbesar.

## **2.2. Kuat Rencana**

Kuat rencana struktur dihitung dari kuat nominalnya yang dikalikan faktor reduksi kekuatan yang disesuaikan dengan sifat beton ( $\phi$ ). Faktor reduksi menurut SKSNI T-15-1991-03 (DPU, 1991, halaman 15) pasal 3.2.3 adalah sebagai berikut:

1. Kuat lentur tanpa beban aksial (gaya normal) : 0.80
2. Untuk beban aksial dan beban aksial + lentur
  - 2.1. aksial tarik dan aksial tarik + lentur : 0.80
  - 2.2. aksial desak dan aksial desak + lentur
    - sengkang sepiral : 0.70
    - sengkang biasa : 0.65
3. Geser dan torsi : 0.60

### **2.3. Balok Penampang Empat Persegi Panjang**

Dalam menghitung komponen struktur terhadap beban lentur atau aksial atau kombinasi keduanya digunakan anggapan-anggapan sebagai berikut :

1. Regangan diasumsikan berbanding langsung dengan jaraknya terhadap garis netral.
2. Hubungan antara tegangan tekan beton dan regangannya diasumsikan berbentuk persegi, trapesium, dan parabola.
3. Diagram terdistribusi tegangan tekan beton yang berbentuk parabola dapat diasumsikan sebagai persegi panjang dimana tegangan beton  $0.85 f_c'$  terdistribusi merata setinggi  $= \beta_1 * c$ , dimana  $c$  adalah jarak serat tekan terluar terhadap garis netral.
4. Jika momen yang bekerja melebihi momen yang dapat di pikul oleh balok penampang persegi bertulangan tunggal maka dibutuhkan tulangan rangkap yang terdiri dari tulangan tarik dan tulangan tekan.

Teori yang mendukung penghitungan perencanaan balok beton bertulang dengan tampang segi empat adalah :

1. Faktor  $\beta_1$  harus diambil sebesar 0.85 untuk kekuatan beton ( $f_c'$ ) hingga atau sama dengan 30 MPa. Untuk kekuatan diatas 30 MPa,  $\beta_1$  harus direduksi secara menerus sebesar 0.008 untuk setiap kelebihan 1 MPa diatas 30 MPa, tetapi tidak boleh kurang dari 0.65 (DPU, 1991, halaman 22).

2. Perbandingan luas tulangan dan luasan tampang balok pada keadaan seimbang menurut SKSNI T-15-1991-03 (DPU, 1991, halaman 8) pasal

3.1.4 adalah :

$$\rho_b = \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \quad (2.6)$$

Perbandingan luas tulangan maksimum untuk balok persegi panjang menurut SK SNI T-15-1991-03 (DPU, 1991, halaman 22) pasal 3.3.3 adalah :

$$\rho_{mak} = 0.75 \times \rho_b \quad (2.7)$$

Perbandingan luas tulangan minimum untuk balok persegi panjang menurut SK SNI t-15-1991-03 (DPU, 1991, halaman 24) pasal 3.3.5 adalah :

$$\rho_{min} = 1.4 / f_y \quad (2.8)$$

3. Persamaan keseimbangan gaya (Dipohusodo, 1994).

- tulangan tunggal :

$$0.85 \times f_c' \times a \times b = A_s \times f_y \quad (2.9)$$

- tulangan rangkap

$$0.85 \times f_c' \times a \times b = (A_s - A_s') \times f_y \quad (2.10)$$

4. Persamaan keseimbangan tegangan regangan (Dipohusodo, 1994, halaman 89).

$$\epsilon_s = 0.03 \times \frac{d - c}{c} \quad (2.11)$$

$$\epsilon_s' = 0.03 \times \frac{c - d'}{c} \quad (2.12)$$

5. Persamaan momen lentur balok empat persegi panjang (Dipohusodo, 1994, halaman 88).

$$Mn = (As \times fy - As' \times fy') \times (d - a \div 2) + As' \times fs' \times (d - d') \quad (2.13)$$

$$Mu = \phi \times Mn \quad (2.14)$$

Penjelasan notasi :

$a$  = tinggi daerah tegangan tekan persegi ekuivalen, mm

$As$  = luas tulangan tarik, mm<sup>2</sup>

$As'$  = luas tulangan tekan, mm<sup>2</sup>

$b$  = lebar daerah tekan komponen struktur, mm

$c$  = jarak dari serat tekan terluar ke garis netral, mm

$d$  = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik, mm

$d'$  = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan, mm

$fc'$  = kuat tekan beton, MPa

$fy$  = kuat tarik baja, MPa

$Mu$  = momen terfaktor yang bekerja, KN-m

$Mn$  = kuat momen nominal penampang, KN-m

$\beta_1$  = faktor reduksi tinggi daerah tegangan tekan ekuivalen beton

$\epsilon_s$  = regangan baja tarik

$\epsilon_s'$  = regangan baja tekan

$\phi$  = 0.8, faktor reduksi penghitungan lentur

#### 2.4. Balok Penampang T, L, dan I

Umumnya balok yang menyatu dengan plat diperhitungkan sebagai balok T, L, atau I, untuk menganalisa balok T, I dan L ada tiga kondisi:

1. Garis netral memotong *flens*
2. Garis netral memotong pertemuan *flens* dan badan
3. Garis netral memotong badan

Balok profil T, I, L pada kondisi 1 dan 2, cara penghitungan yang digunakan adalah cara penghitungan balok empat persegi panjang dengan lebar daerah tekan balok adalah lebar flens. Balok pada kondisi 3 dilakukan penghitungan balok T murni dengan memperhitungkan daerah tegangan tekan mencakup daerah kerja berbentuk huruf T (Dipohusodo, 1994, halaman 69).

Teori yang mendukung penghitungan perencanaan balok beton bertulang dengan profil T adalah :

1. Faktor  $\beta_1$  harus diambil sebesar 0.85 untuk kekuatan beton ( $f_c'$ ) hingga atau sama dengan 30 MPa. Untuk kekuatan diatas 30 MPa,  $\beta_1$  harus direduksi secara menerus sebesar 0.008 untuk setiap kelebihan 1 MPa diatas 30 MPa, tetapi tidak boleh kurang dari 0.65 (DPU, 1991, halaman 22).
2. Luas tulangan ekuivalen untuk daerah tekan pada *flens* (Wahyudi dan Rahim, 1999, halaman 92) adalah :

$$A_{sf} = \frac{0.85 \times f_c' \times h_f \times (b_e - b_w)}{f_y} \quad (2.15)$$

$$\rho_f = \frac{A_{sf}}{b_w \times d} \quad (2.16)$$

3. Perbandingan luas tulangan dan luasan tampang balok pada keadaan seimbang (Wahyudi dan Rahim, 1999, halaman 92).

$$\rho_b = \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} + \phi_f \quad (2.17)$$

Perbandingan luas tulangan maksimum untuk balok persegi panjang menurut SK SNI T-15-1991-03 (DPU, 1991, halaman 22) pasal 3.3.3 adalah :

$$\rho_{mak} = 0.75 \times \rho_b \quad (2.18)$$

Perbandingan luas tulangan minimum untuk balok persegi panjang menurut SK SNI t-15-1991-03 (DPU, 1991, halaman 24) pasal 3.3.5 adalah :

$$\rho_{min} = 1.4 / f_y \quad (2.19)$$

4. Persamaan keseimbangan gaya (Wahyudi dan Rahim, 1999, halaman 92).

$$0.85 \times f_c' \times a \times bw = (A_s - A_{sf}) \times f_y \quad (2.20)$$

5. Persamaan momen lentur balok empat persegi (Wahyudi dan Rahim, 1999, halaman 93).

$$M_n = (A_s \times f_y - A_{sf} \times f_y) \times (d - a \div 2) + A_{sf} \times f_y \times (d - hf \div 2) \quad (2.21)$$

$$M_u = \phi \times M_n \quad (2.22)$$

Penjelasan notasi :

a = tinggi daerah tegangan tekan persegi ekivalen, mm

A<sub>s</sub> = luas tulangan tekan, mm<sup>2</sup>

A<sub>sf</sub> = luas tulangan ekvivalen daerah desak pada *flens*, mm<sup>2</sup>



$b_w$  = lebar badan balok T, mm

$b_e$  = lebar flens, mm

$c$  = jarak dari serat tekan terluar ke garis netral, mm

$d$  = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik, mm

$f_c'$  = kuat tekan beton, MPa

$f_y$  = kuat tarik baja, MPa

$h_f$  = tinggi flens, mm

$M_u$  = momen terfaktor yang bekerja, KN-m

$M_n$  = kuat momen nominal penampang, KN-m

$\beta_1$  = faktor reduksi tinggi daerah tegangan tekan ekuivalen beton

$\phi$  = 0.8, faktor reduksi penghitungan lentur

### 2.5. Geser dan Torsi

Kuat geser nominal yang dapat oleh beton menurut SK SNI T-15-1991-03 (DPU, 1991, halaman 34) pasal 3.4.3 adalah :

$$V_c = \frac{(\sqrt{f_c'} \div 6) \times b_w \times d}{\sqrt{1 + \left(2.5 \times C_t \times \frac{T_u}{V_u}\right)^2}} \quad (2.22)$$

Kuat momen torsi nominal yang didukung oleh beton menurut SK SNI T-15-1991-03 (DPU, 1991, halaman 41) pasal 3.4.6 adalah :

$$T_c = \frac{1.5 \sqrt{f_c'} \sum x^2 y}{1 + \left(\frac{0.4 V_u}{C_t * T_u}\right)^2} \quad (2.23)$$

Kuat geser nominal yang didukung oleh baja sengkang menurut SK SNI T-15-1991-03 (DPU, 1991, halaman 33) pasal 3.4.1 adalah :

$$V_s = V_u \div \phi - V_c \quad (2.24)$$

Kuat momen torsi nominal yang didukung oleh baja sengkang menurut SK SNI T-15-1991-03 (DPU, 1991, halaman 4) pasal 3.4.6 adalah :

$$T_s = T_u \div \phi - T_c \quad (2.25)$$

Luas tulangan longitudinal penahan torsi yang didistribusikan disekeliling sengkang tertutup menurut SK SNI T-15-1991-03 (DPU, 1991, halaman 42) pasal 3.4.6 adalah dicari nilai terbesar dari :

$$A_l = 2 \times A_t \times \left( \frac{x_1 + y_1}{s} \right) \quad (2.26)$$

$$A_l = \left[ \left( \frac{2.8 \times x \times s}{f_y} \times \left( \frac{T_u}{T_u + \frac{V_u}{3C_t}} \right) - 2 \times A_t \right) \times \left( \frac{x_1 + y_1}{s} \right) \right] \quad (2.27)$$

Penjelasan notasi:

$A_l$  = luas total tulangan longitudinal penahan torsi, mm<sup>2</sup>

$A_t$  = luas satu kaki sengkang tertutup pada daerah sejarak  $s$  untuk penahan torsi, mm<sup>2</sup>

$b_w$  = lebar badan balok T, mm

$C_t$  =  $b_w \times d \div \sum x^2 y$ , faktor yang menghubungkan sifat tegangan geser

$f_c'$  = kuat tekan beton, MPa

$f_y$  = kuat tarik baja, MPa

$T_c$  = kuat momem torsi nominal yang didukung oleh beton, KN-m

$T_s$  = kuat momen torsi nominal yang didukung oleh tulangan,KN-m

$T_u$  = momen torsi terfaktor pada penampang, KN-m

$V_c$  = gaya geser nominal yang didukung oleh beton, KN

$V_s$  = gaya geser nominal yang didukung oleh tulangan, KN

$V_u$  = gaya geser terfaktor pada penampang, KN

$x$  = panjang terkecil dari penampang geser dan torsi, mm

$\Phi = 0.6$ , faktor reduksi penghitungan geser dan torsi.

## 2.6. Perbedaan Antara Peraturan SK SNI T-15-1991-03 dan ACI 318-95

Perbedaan-perbedaan pada kualitas bahan bangunan, cara pengerjaan beton, kondisi lingkungan disekeliling struktur bangunan, alat dan tenaga pekerja yang digunakan dalam pembuatan struktur beton, menyebabkan adanya perbedaan dalam peraturan beton yang digunakan di tiap-tiap negara.

Perbedaan-perbedaan tersebut juga mempengaruhi adanya perbedaan rumus, faktor pembebanan, faktor reduksi pada peraturan SK SNI T-15-1991-03 (DPU, 1991) dan ACI 318-1995. Perbedaan-perbedaan tersebut dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Perbedan rumus, faktor pembebanan, dan faktor reduksi pada peraturan SKSNI dan ACI.

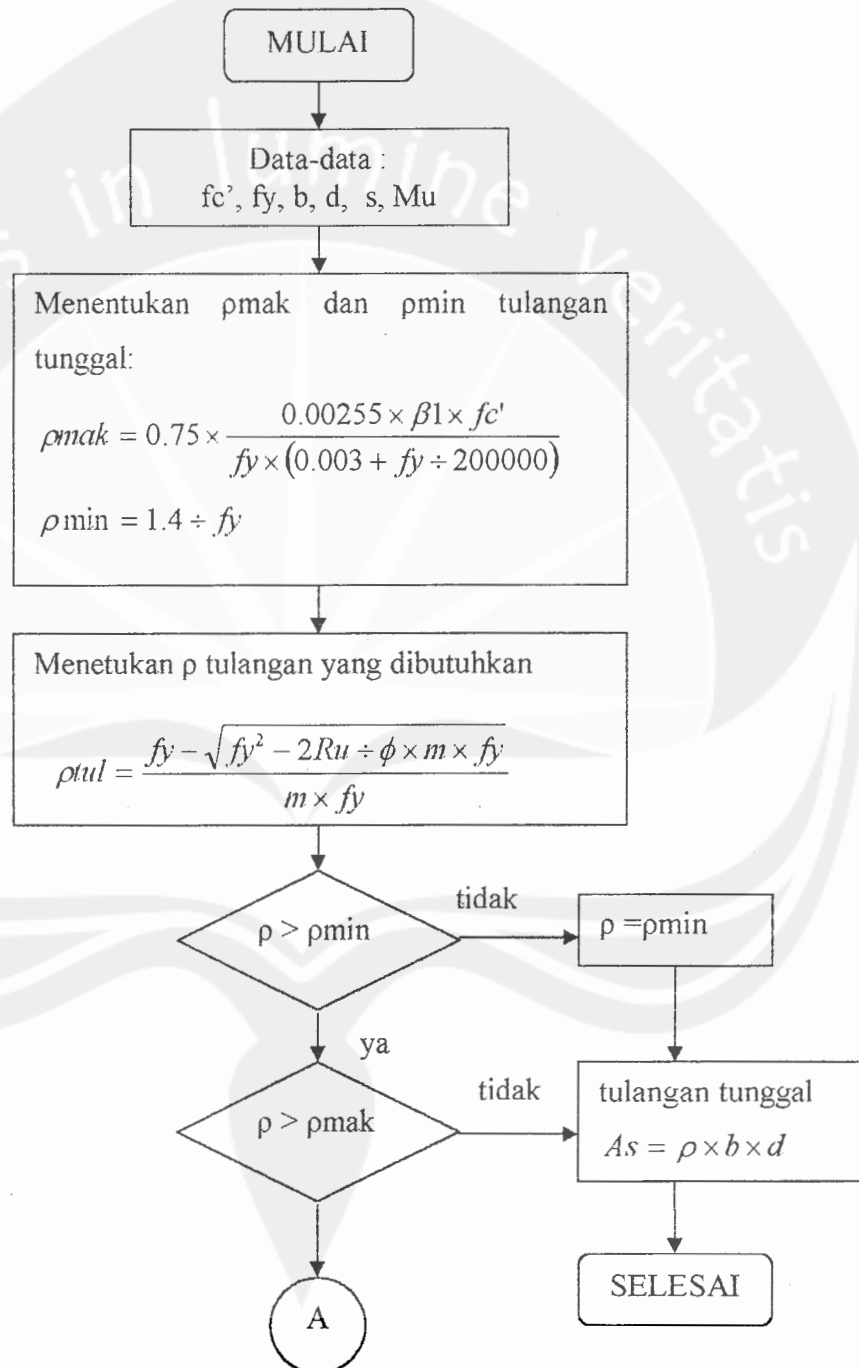
NO	RUMUS DAN FAKTOR REDUKSI	PERATURAN SK SNI-1991 ( satuan yang digunakan SI)	PERATURAN ACI 318-1995 (satuan yang digunakan US)
1	Faktor- faktor pembebanan.	- beban mati (DL)+ beban hidup (LL) $U = 1.2 DL + 1.6 LL$ - beban mati (DL) + beban hidup (LL) + beban angin	- beban mati (DL)+ beban hidup (LL) $U = 1.4 DL + 1.7 LL$ - beban mati (DL) + beban hidup (LL) + beban angin

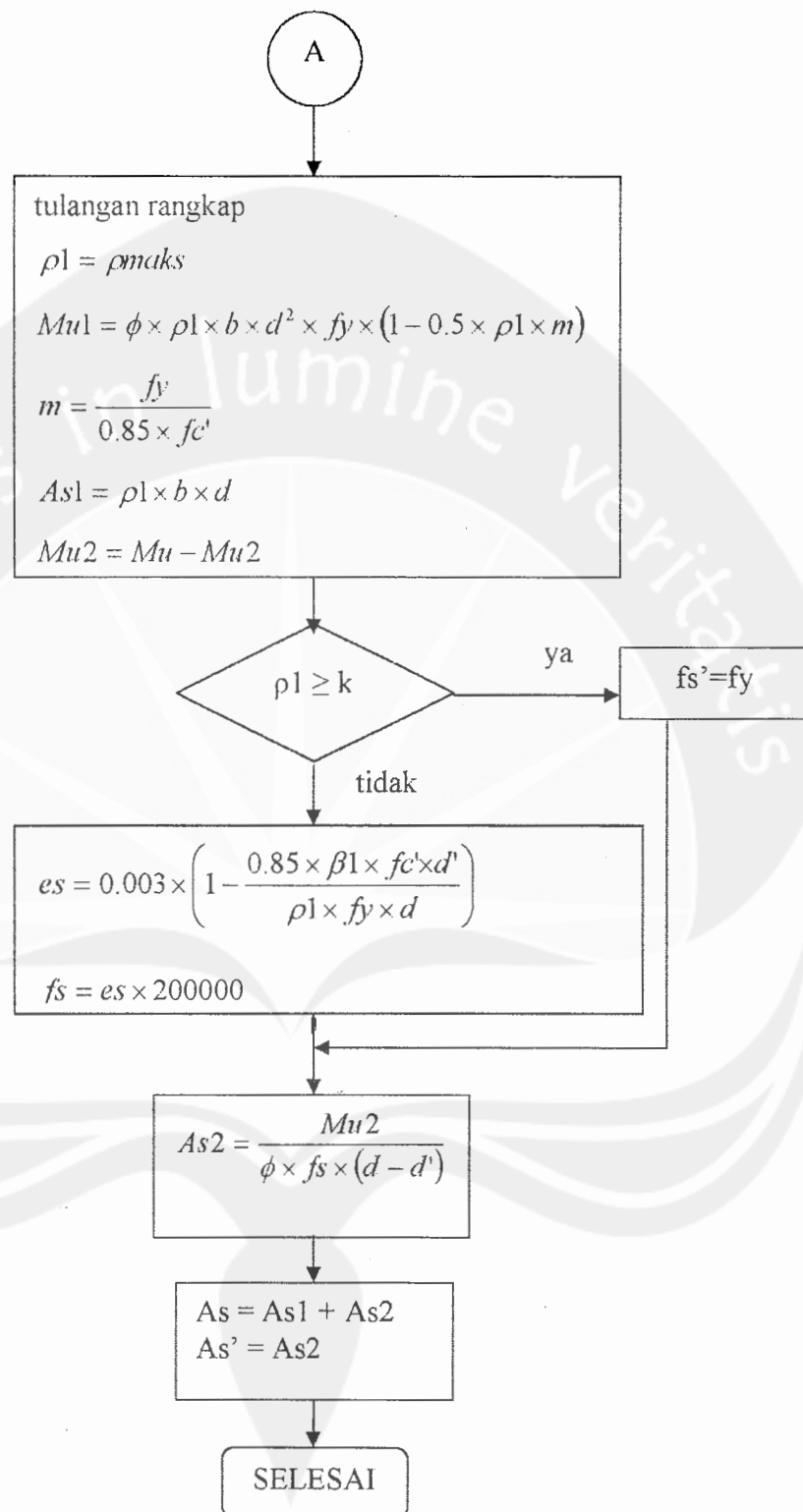
		<p>(W).</p> $U = 0.75 (1.2 DL + 1.6 LL \pm 1.6 W)$ $U = 0.9 DL + 1.3 W$ <p>dipakai yang terbesar.</p> <p>- beban mati (DL) + beban hidup (LL) + beban gempa (E).</p> $U = 1.05 (DL + LL \pm E)$ $U = 0.9 (D \pm E)$ <p>dipakai yang terbesar.</p>	<p>(W).</p> $U = 0.75 (1.4 DL + 1.7 LL \pm 1.7 W)$ $U = 0.9 DL + 1.3 W$ <p>dipakai yang terbesar.</p> <p>- beban mati (DL) + beban hidup (LL) + beban gempa (E).</p> $U = 0.75 (1.4 DL + 1.7 LL \pm 1.87 E)$
2	Rasio penulangan minimal ( $\rho_{min}$ )	$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y}$	$\rho_{min} = \frac{200}{f_y}$
3	Faktor reduksi ( $\phi$ ) untuk hitungan letur	$\phi = 0.8$	$\phi = 0.9$
4	Perhitungan $\beta_1$	<p>Nilai <math>f_c'</math> lebih kecil dari 30MPa digunakan <math>\beta_1 = 0.85</math>.</p> <p>Nilai <math>f_c'</math> lebih besar dari 30Mpa digunakan</p> $\beta_1 = 0.85 - 0.008(f_c' - 30)$ <p>dengan nilai <math>\beta_1</math> minimum = 0.65</p>	<p>Nilai <math>f_c'</math> lebih kecil dari 4000 lb/inch<sup>2</sup> digunakan <math>\beta_1 = 0.85</math>.</p> <p>Nilai <math>f_c'</math> lebih besar dari 4000 lb/inch<sup>2</sup> digunakan:</p> $\beta_1 = 0.85 - 0.05 \left( \frac{f_c' - 4000}{1000} \right)$ <p>dengan nilai <math>\beta_1</math> minimum = 0.65</p>
5	Faktor reduksi ( $\phi$ ) untuk hitungan geser	$\phi = 0.6$	$\phi = 0.85$
6	Perhitungan gaya geser yang didukung oleh beton ( $V_c$ ).	$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b_w d$	<p>-satuannya US</p> $V_c = 2 \sqrt{f_c'} b_w d$

		$V_c = \frac{1}{7}(\sqrt{f_c'} + 120\rho_w \frac{V_u d}{M_u})b_w d$ $\leq 0.3\sqrt{f_c'} b_w d$ $V_c = \frac{1/6 \cdot \sqrt{f_c'} b_w d}{\sqrt{1 + (2.5 C_t \frac{T_u}{V_u})^2}}$ $C_t = \frac{b_w d}{\sum x^2 y}$	$V_c = (1.9\sqrt{f_c'} + 2500\rho_w \frac{V_u d}{M_u})b_w d$ $\leq 3.5\sqrt{f_c'} b_w d$ <p>-satuan SI</p> $V_c = \frac{1}{6}\sqrt{f_c'} b_w d$ $V_c = \frac{1}{6}(\sqrt{f_c'} + 100\rho_w \frac{V_u d}{M_u})b_w d$ $\leq 3.5\sqrt{f_c'} b_w d$
7	Perhitungan gaya geser yang didukung oleh sengkang ( $V_s$ ).	$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} (\sin \alpha + \cos \alpha)$ $\leq \frac{2}{3}\sqrt{f_c'} b_w d$	$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} (\sin \alpha + \cos \alpha)$ $\leq 8\sqrt{f_c'} b_w d$
8	Jarak sengkang (s).	$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$	$s = \frac{A_v \cdot f_y}{50 \cdot b_w}$
9	Perhitungan momen torsi yang didukung oleh beton ( $T_c$ ).	$T_c = \frac{(\frac{1}{5}\sqrt{f_c'}) \sum x^2 y}{\sqrt{1 + (\frac{0.4V_u}{C_t \cdot T_u})^2}}$	$T_c = 4\sqrt{f_c'} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$
10	Perhitungan momen torsi yang didukung oleh sengkang ( $T_s$ ).	$T_s = \frac{A_t \alpha_1 x_1 y_1 f_y}{s}$ $\alpha_1 = \frac{1}{3} \left(2 + \frac{y_1}{x_1}\right) \leq 1.50$	$T_s = \frac{2A_o A_t f_y v}{s}$
11	Perhitungan luas tulangan torsi longitudinal ( $A_l$ ).	$A_l = 2A_t \frac{x_1 + y_1}{s}$ $A_l = \left\{ \frac{2.8xs}{f_y} \left( \frac{T_u}{T_u + \frac{V_u}{3C_t}} \right) - 2A_t \right\}$ <p>* <math>\frac{x_1 + y_1}{s}</math></p>	$A_l = \frac{5\sqrt{f_c'} A_{cp}}{f_{y_t}} - \left(\frac{A_t}{s}\right) P_h \frac{f_{y_v}}{f_{y_t}}$

## 2.7. Bagan Alir Program

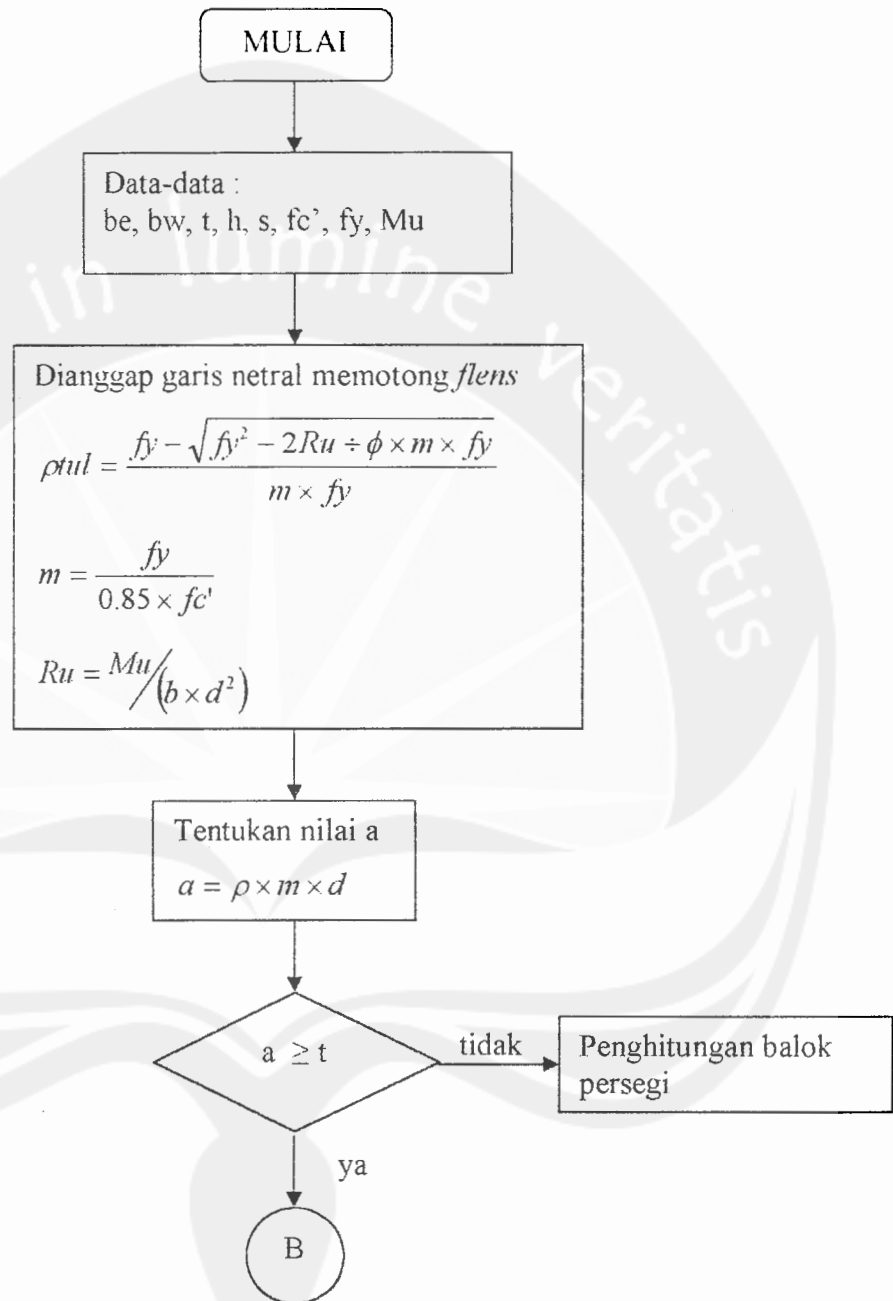
### 2.7.1 Perencanaan Tulangan Balok Empat Persegi Panjang



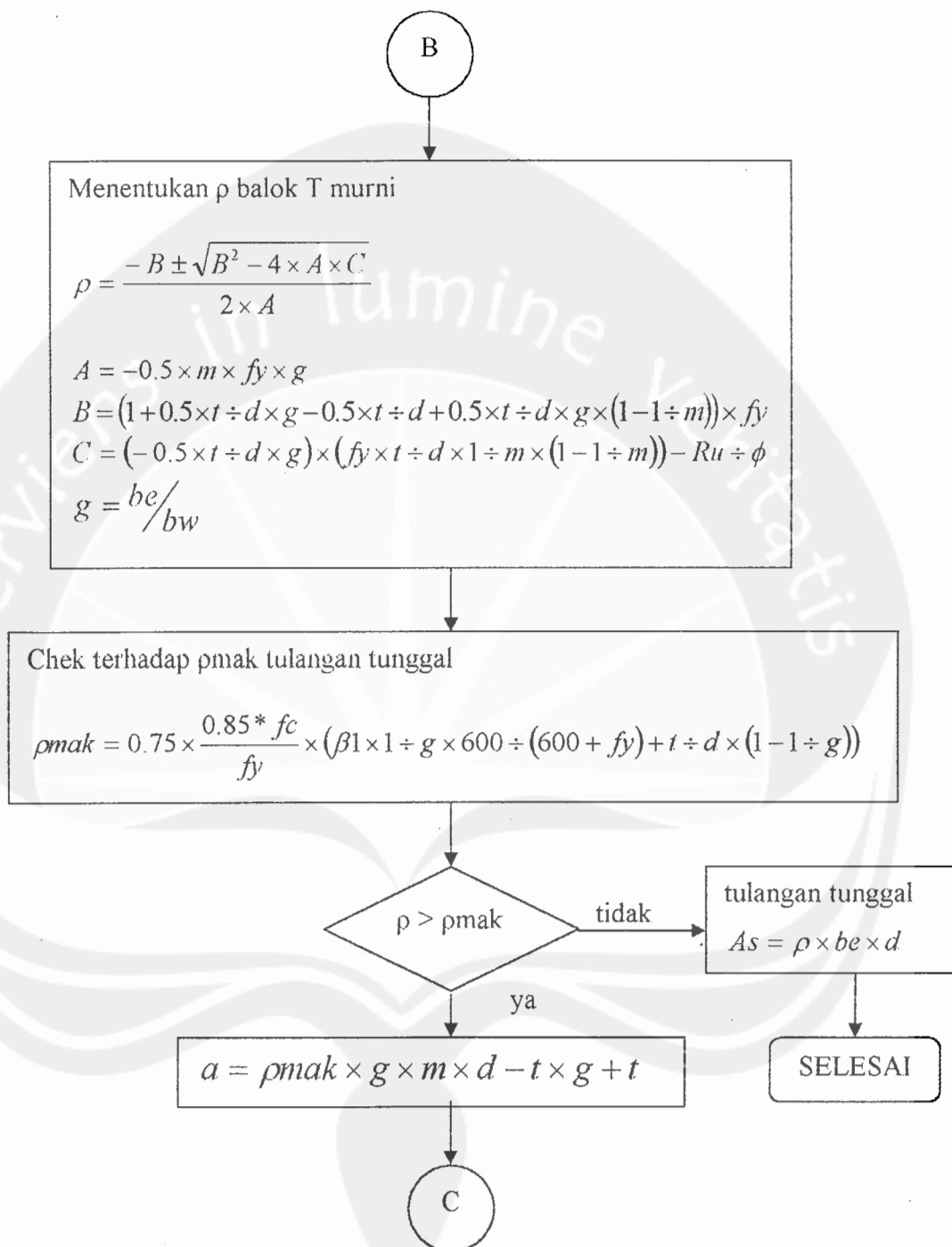


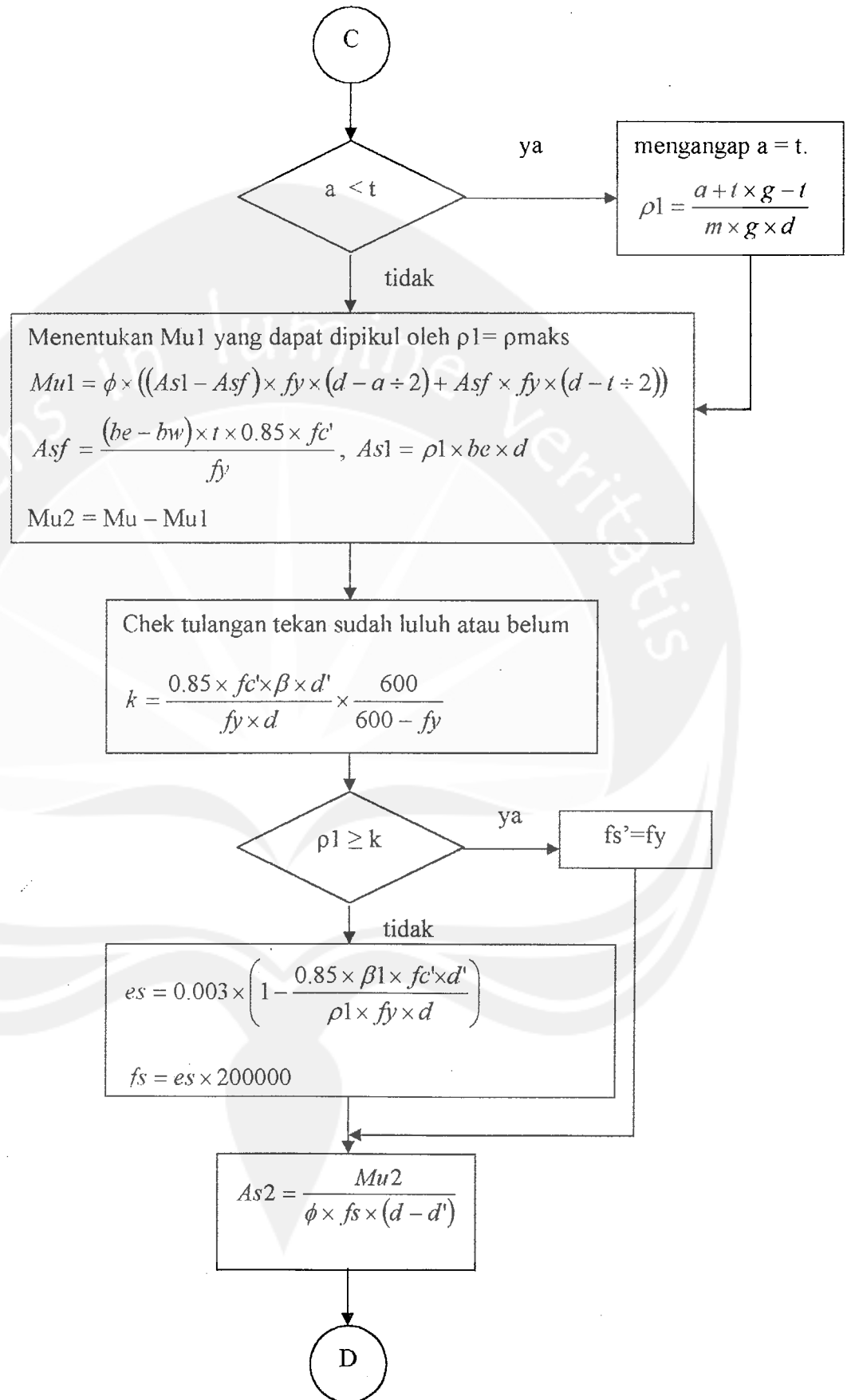
Gambar 2.1. Diagram alir perencanaan tulangan lentur balok e.p.p

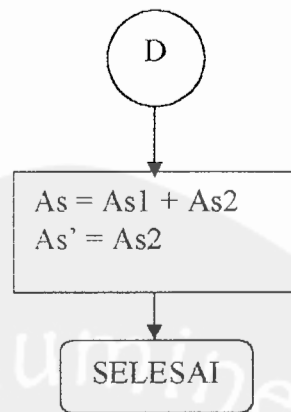
### 2.7.2 Perencanaan Balok Profil T, L, dan I





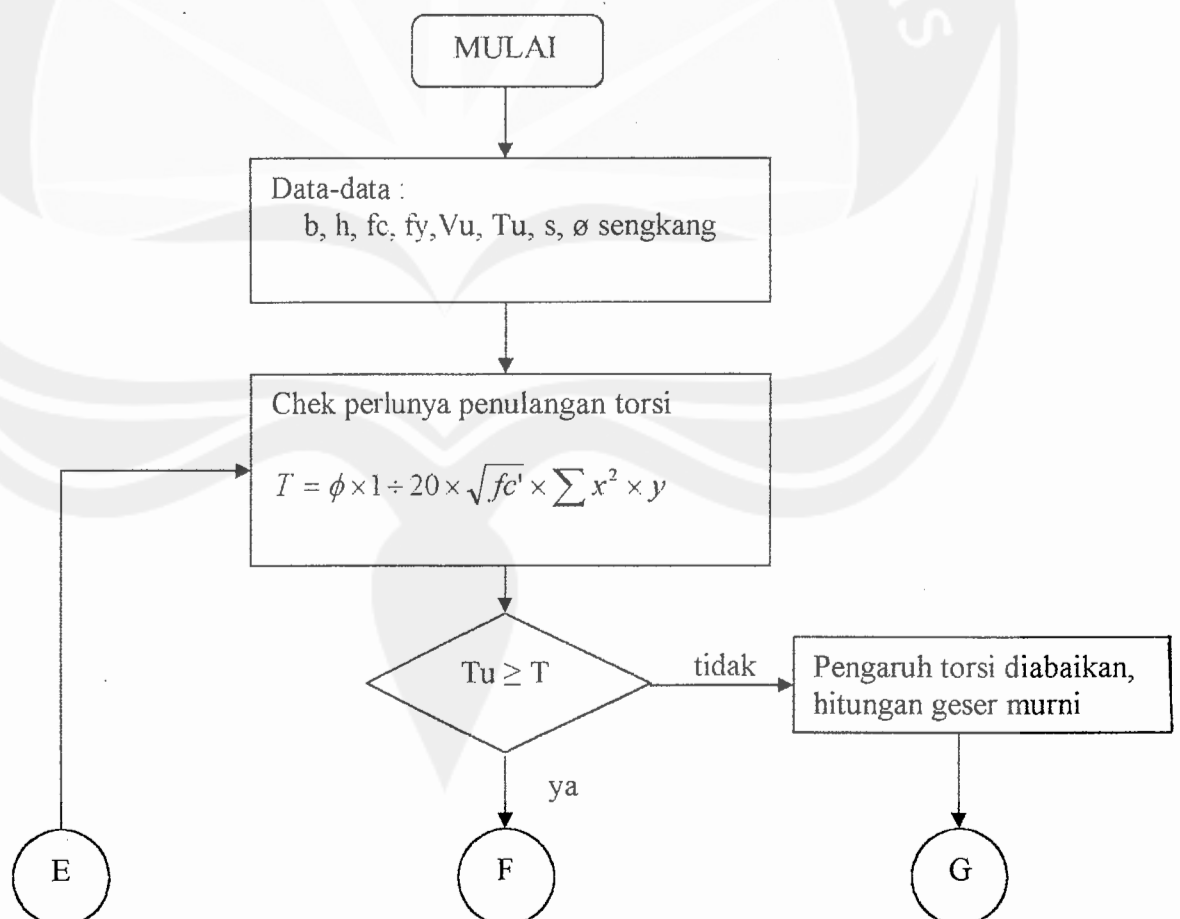


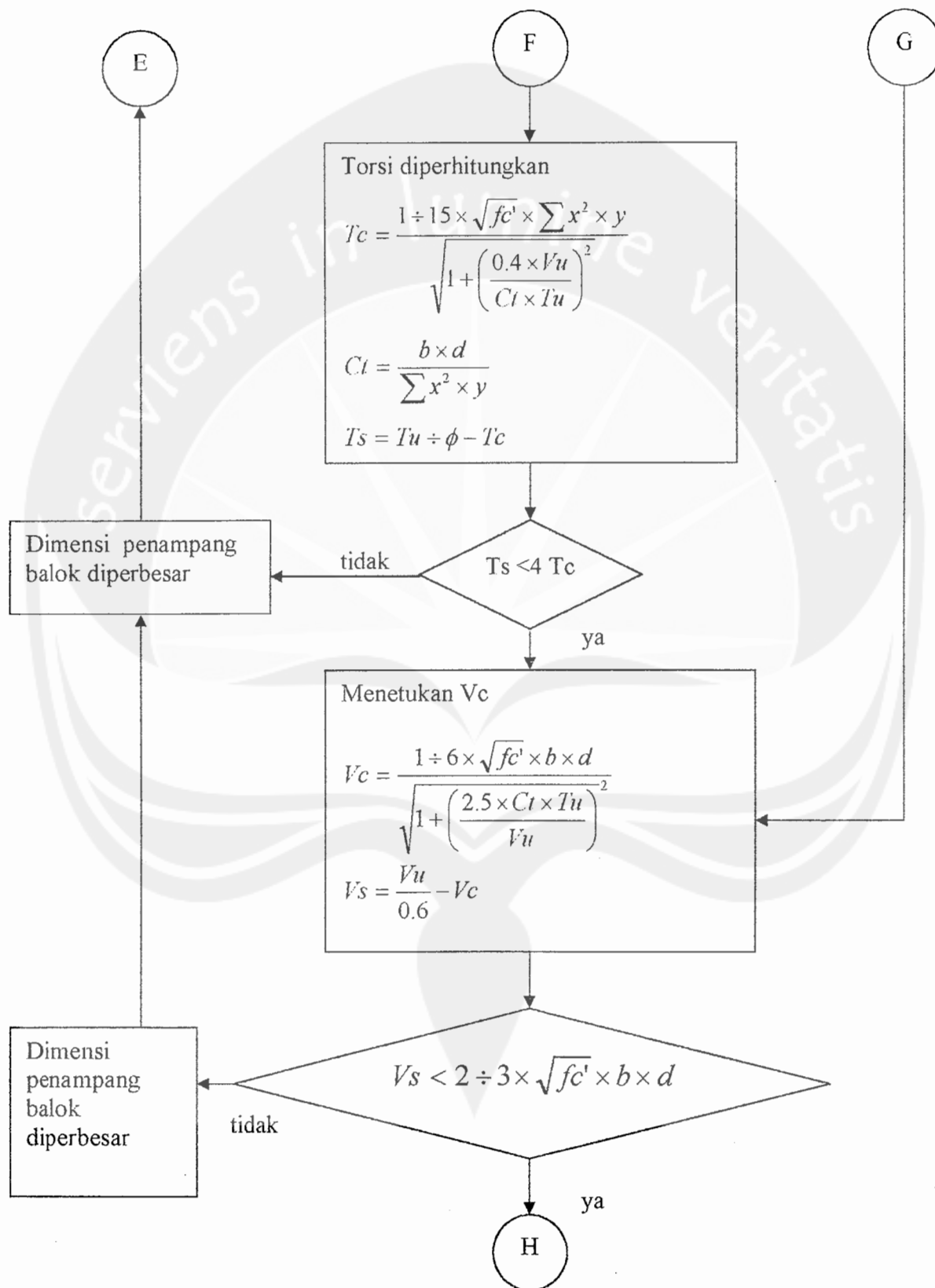


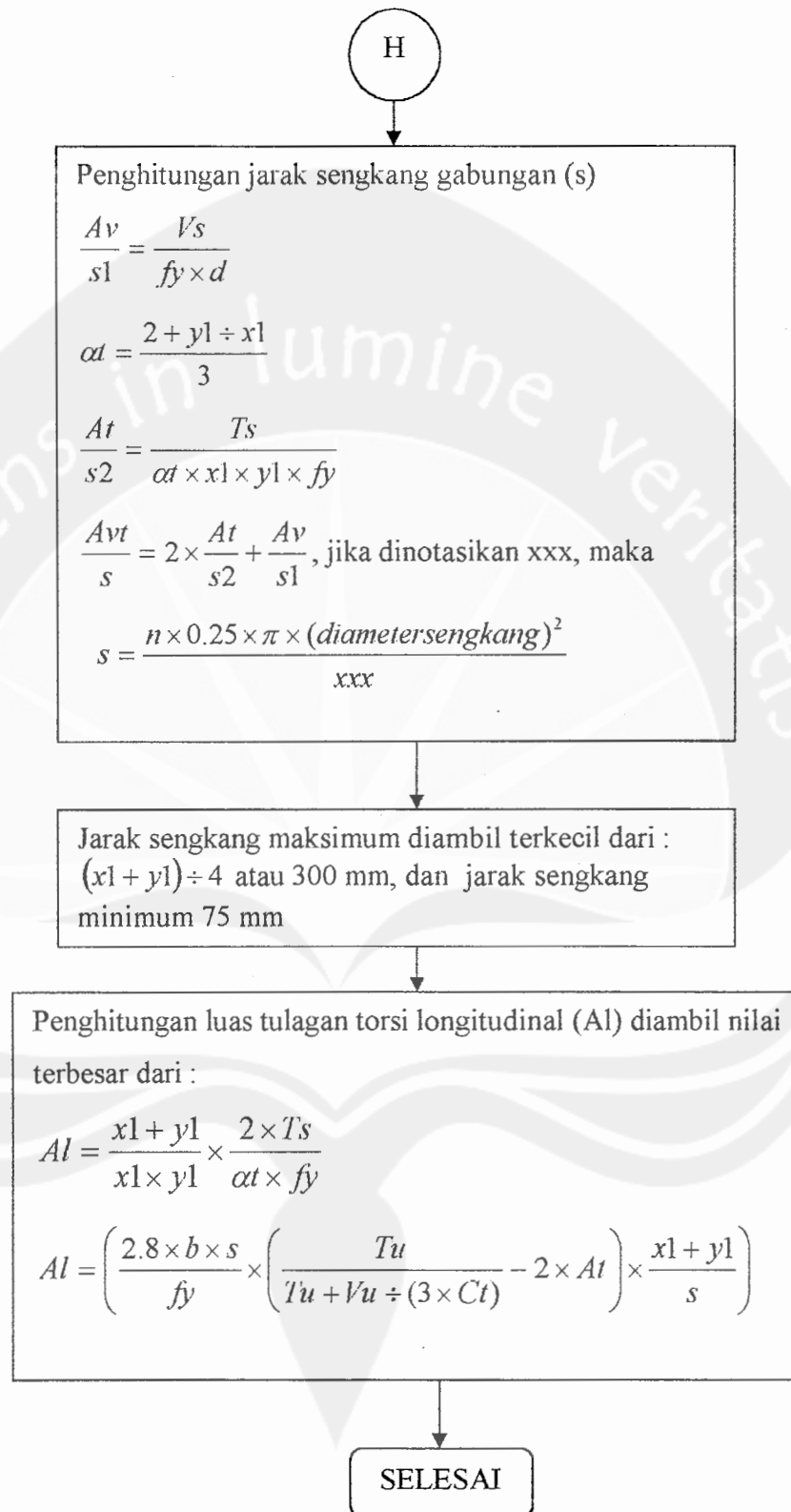


Gambar 2.2. Diagram alir perencanaan tulangan lentur balok profil T, L, dan I

### 2.7.3 Perencanaan Tulangan Senggang Geser dan Torsi







Gambar 2.3. Diagram alir perencanaan tulangan sengkang geser dan torsi