



#### 4.1. Perhitungan analisis kapasitas tampang

Perhitungan analisis kapasitas tampang dilakukan terhadap balok T, dengan panjang bentang yang berbeda-beda dan luas tulangan yang bervariasi, antara  $A_{s_{min}}$  dan  $A_{s_{max}}$ . Adapun beton yang dipakai K<sub>225</sub> dan mutu baja U<sub>32</sub> untuk panjang bentang 3m - 6m, sedangkan untuk panjang bentang 9m s/d 15m digunakan U<sub>39</sub>.

Dalam bab ini, akan disajikan perhitungan analisis secara manual dengan luas tulangan  $A_s = 603,1858 \text{ mm}^2$  (3D16) sedangkan untuk analisis luas tulangan yang lainnya dilakukan dengan bantuan program komputer.

##### 4.1.1. Analisis dengan metode elastis

a. Untuk panjang bentang 3 meter.

Mutu bahan :

$$\begin{aligned} K_{225} &\text{ ----} \rightarrow \sigma_b = 75 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 7,5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{32} &\text{ ----} \rightarrow \sigma_a = 1850 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 185 \text{ MPa} \end{aligned}$$

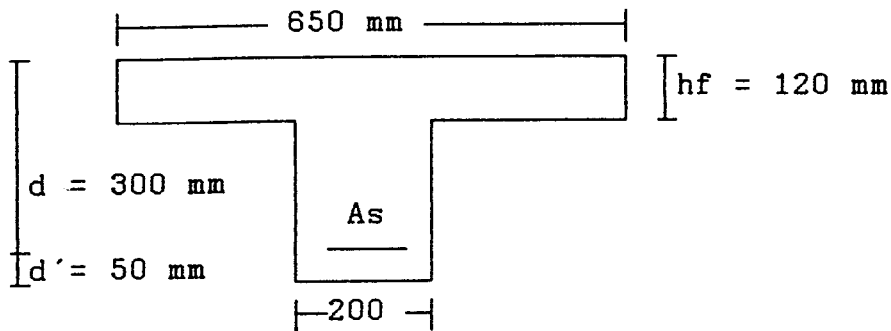
1. Hitung lebar manfaat flens

$$\begin{aligned} b_E &= b_w + l_o/5 \\ &= 200 + 0,75 \cdot 3000 / 5 = 650 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_E &= b_w + l_o/10 + b_k/2 \\ &= 200 + 0,75 \cdot 3000/10 + 4000/2 = 2425 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_E &= b \\ &= 4000 \text{ mm} \end{aligned}$$

diambil  $b_E = 650 \text{ mm}$



2. Input  $A_s = 603,1858 \text{ mm}^2$

3. Chek apakah garis netral jatuh di flens atau dibadan

$$Y = \frac{n \cdot A_s \cdot d + \frac{1}{2} b E \cdot h_f^2}{n \cdot A_s + b E \cdot h_f}$$

$$= \frac{21.603,1858 \cdot 300 + 1/2 \cdot 650 \cdot 120^2}{21.603,1858 + 650 \cdot 120} = 93,53 \text{ mm} < h_f$$

jadi garis netral jatuh di flens

4. Dihitung sebagai balok persegi

$$I_t = 1/12 \cdot b E \cdot Y^3 + b E \cdot Y \left( \frac{1}{2} Y \right)^2 + n \cdot A_s \cdot (d - Y)^2$$

$$= 1/12 \cdot 650 \cdot 93,53^3 + 650 \cdot 93,53 \left( \frac{93,53}{2} \right)^2 + 21.603,1858 (300 - 93,53)^2$$

$$= 717263500 \text{ mm}^4$$

5. Momen yang dapat didukung balok.

a.  $M_1 = \frac{\sigma_b \cdot I_t}{Y}$

$$= \frac{7,5 \cdot 717263500}{93,53} \cdot 10^{-6}$$

$$= 57,5161 \text{ kNm}$$

b.  $M_2 = \frac{\sigma_a \cdot I_t}{n \cdot (d - Y)}$

$$M_2 = \frac{185 \cdot 717263500}{21 \cdot (300 - 93,53)} \cdot 10^{-6} = 30,6037 \text{ kNm}$$

Momen yang mampu didukung oleh balok adalah :

$$M = 30,6037 \text{ kNm}$$

#### 4.1.2. Analisis dengan metode kekuatan batas

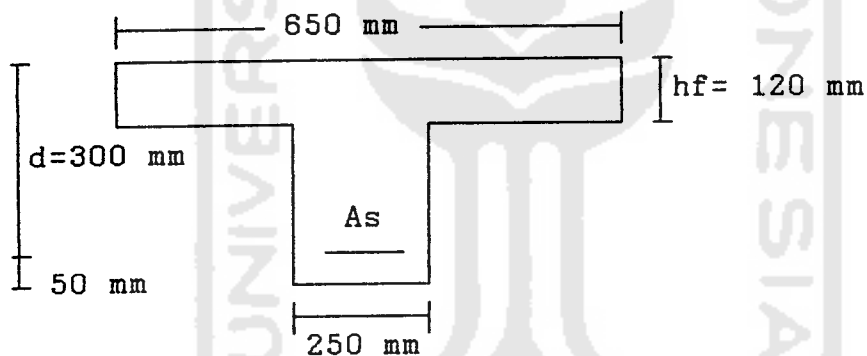
Mutu bahan :

$$K_{225} \text{ ----} \rightarrow f'c = 0,83 \cdot 22,5 = 18,675 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$U_{32} \text{ ----} \rightarrow f_y = 320 \text{ MPa}$$

Dengan menggunakan anggapan bahwa tulangan baja tarik telah mencapai regangan luluh ( $f_y$ )



1. Input  $A_s = 603,1858 \text{ mm}^2$

2. Hitung garis netral

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f'c \cdot bE}$$

$$a = \frac{603,1858 \cdot 320}{0,85 \cdot 18,675 \cdot 650} = 18,71 \text{ mm}$$

Jadi garis netral jatuh di flens

3. Momen yang dapat didukung oleh balok T adalah :

$$M_n = T (d - \frac{1}{2} a)$$

$$= 603,1858 \cdot 320 \cdot (300 - 18,71/2) \cdot 10^{-6} = 56,1004 \text{ kNm}$$

$$M_u = 0,80 \cdot M_n$$

$$= 0,80 \cdot 56,1004 = 44,8803 \text{ kNm}$$

Nilai  $M_u$  setelah disetarakan dengan metode elastis adalah

$$= 44,8803/1,2807 = 35,0435 \text{ kNm}$$

4. Chek regangan baja tarik

$$a = \beta_1 c$$

$$\text{maka, } c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{18,71}{0,85} = 22 \text{ mm}$$

Regangan didalam baja tarik disaat dicapainya regangan beton sebesar 0,003 didapat dari kesebandingan garis lurus,

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d - c}{c} (0,003) \\ &= \frac{300 - 22}{22} (0,003) = 0,0379 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{320}{200000} = 0,0016 \end{aligned}$$

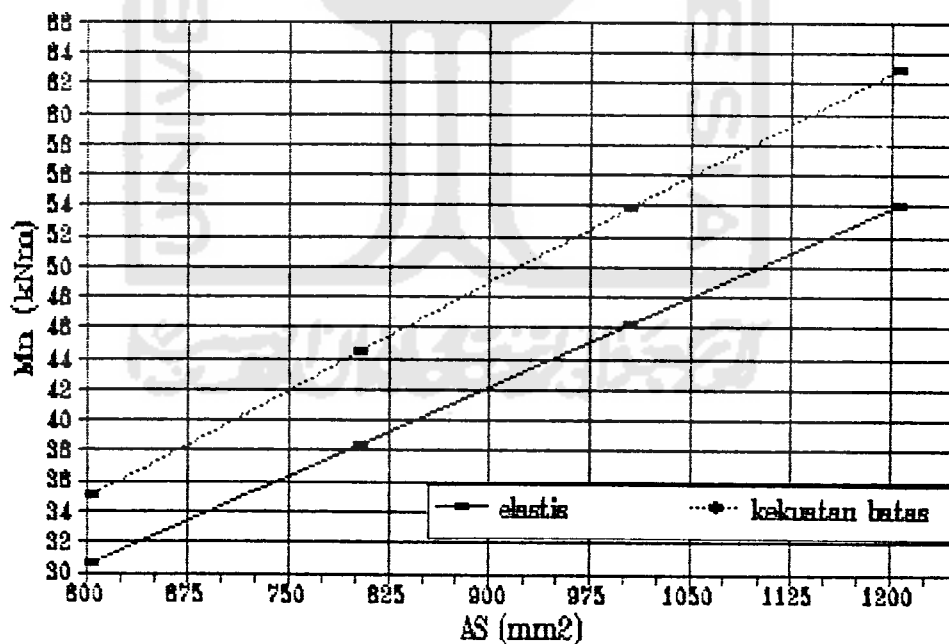
Dari hasil tersebut menunjukkan nilai tulangan baja pada saat tegangan baja  $f_y$  mencapai nilai 320 MPa. Karena regangan yang timbul pada tulangan baja (0,0379) lebih besar dari regangan luluhnya (0,0016), baja tulangan mencapai tegangan luluh sebelum beton mencapai regangan maksimum 0,003 dan

berarti asumsi analisis benar, bahwa tegangan yang terjadi pada baja tulangan tarik sama dengan tegangan luluh baja.

Dibawah ini disajikan tabel hasil hitungan komputer berupa perbandingan momen antara metode kekuatan batas yang telah disetarakan terhadap metode elastis.

Tabel 4.1  
Perbandingan momen metode kekuatan batas dengan elastis  
Untuk panjang bentang 3 meter  
 $\bar{\epsilon} = 1,2807$

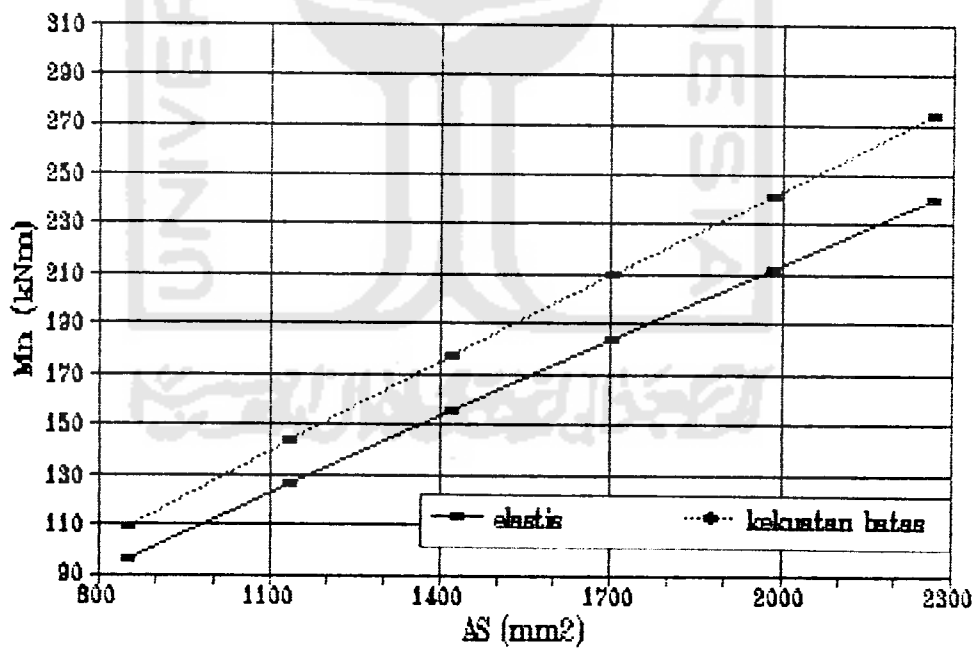
As (mm <sup>2</sup> )	Elastis	Kekuatan batas	Pertambahan Momen (%)
	Mn (kNm)	Mn (kNm)	
603,1858	30,6037	35,0437	14,5080
804,2477	38,4792	44,5759	15,8535
1005,3096	46,2510	53,8574	16,4459
1206,3716	53,9618	62,8884	16,5424
Rata-rata =			15,8375 %



Grafik 4.1  
Perbandingan momen kekuatan batas dengan elastis  
untuk panjang bentang 3 meter

Tabel 4.2  
 Perbandingan momen metode kekuatan batas dengan elastis  
 Untuk panjang bentang 6 meter  
 $\bar{\epsilon} = 1,2892$

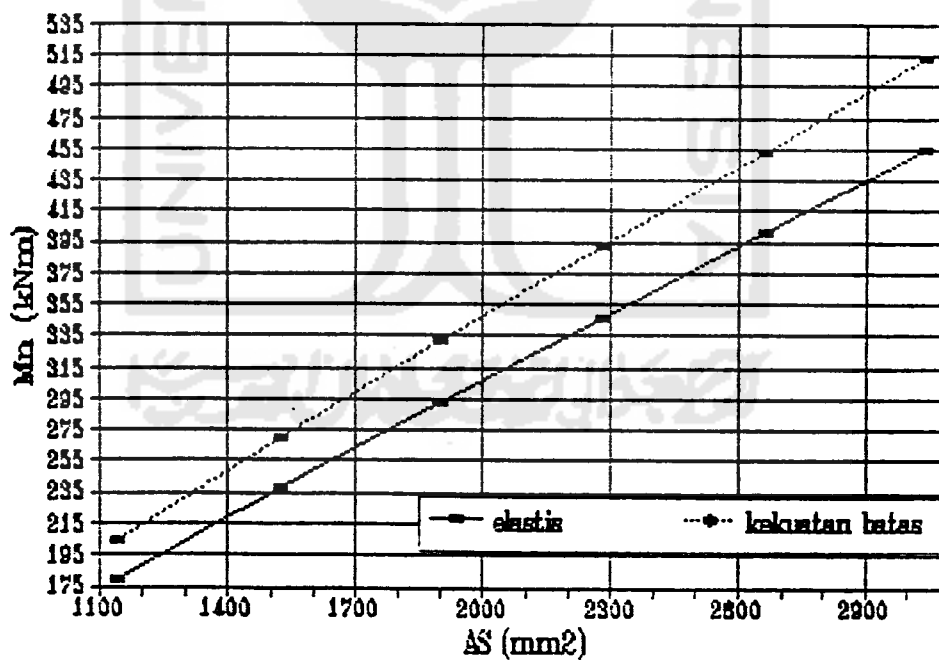
As (mm <sup>2</sup> )	Elastis	Kekuatan batas	Pertambahan Momen (%)
	Mn (kNm)	Mn (kNm)	
850,5862	95,6266	108,5281	13,4915
1134,1180	126,5812	144,1445	13,8751
1417,6470	155,1783	177,0030	14,0642
1701,1760	183,6512	209,5833	14,1202
1984,7060	212,0179	241,8830	14,0861
2268,2350	240,2794	273,9028	13,9934
Rata-rata =			13,9384 %



Grafik 4.2  
 Perbandingan momen kekuatan batas dengan elastis  
 untuk panjang bentang 6 meter

Tabel 4.3  
 Perbandingan momen metode kekuatan batas dengan elastis  
 Untuk panjang bentang 9 meter  
 $\epsilon = 1,2897$

As (mm <sup>2</sup> )	Elastis	Kekuatan batas	Pertambahan Momen (%)
	Mn (kNm)	Mn (kNm)	
1140,4008	179,8970	203,1897	12,9478
1520,5308	238,4329	269,8787	13,1885
1900,6636	292,8474	331,7248	13,2757
2280,7963	347,0693	393,0505	13,2484
2660,9290	401,1057	453,8556	13,1511
3041,0617	454,9630	514,1403	13,0071
Rata-rata =			13,1364 %



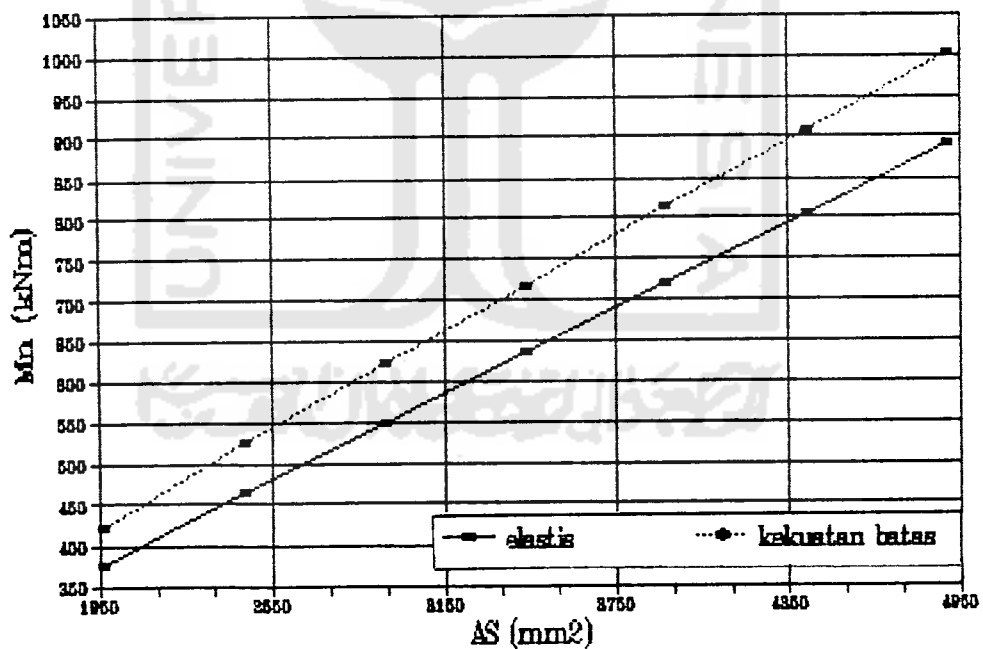
Grafik 4.3  
 Perbandingan momen kekuatan batas dengan elastis  
 untuk panjang bentang 9 meter





Tabel 4.4  
Perbandingan momen metode kekuatan batas dengan elastis  
Untuk panjang bentang 12 meter  
 $\bar{\epsilon} = 1,2855$

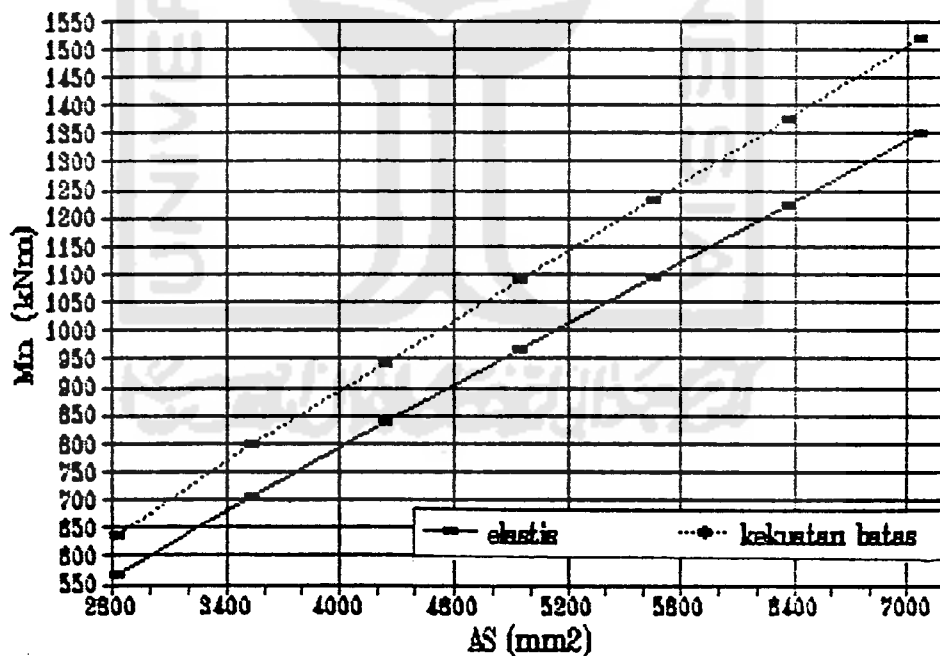
As (mm <sup>2</sup> )	Elastis	Kekuatan batas	Pertambahan Momen (%)
	Mn (kNm)	Mn (kNm)	
1963,4954	372,9862	421,2922	12,9511
2454,3693	464,5784	524,9824	13,0019
2945,2431	550,4248	622,0626	13,0150
3436,1170	635,9548	718,4898	12,9781
3926,9908	721,1784	814,2637	12,9074
4417,8647	806,1096	909,3847	12,8115
4908,7385	890,7479	1003,8522	12,6977
Rata-rata =			12,9100 %



Grafik 4.4  
Perbandingan momen kekuatan batas dengan elastis  
untuk panjang bentang 12 meter

Tabel 4.5  
Perbandingan momen metode kekuatan batas dengan elastis  
Untuk panjang bentang 15 meter  
 $\bar{\epsilon} = 1,2851$

As (mm <sup>2</sup> )	Elastis	Kekuatan batas	Pertambahan Momen (%)
	Mn (kNm)	Mn (kNm)	
2827,4334	567,0562	634,7010	12,8109
3534,2917	706,5144	796,8150	12,7811
4241,1501	836,8512	943,3655	12,7280
4948,0084	966,6836	1088,7908	12,6316
5654,8668	1096,0310	1233,0916	12,5052
6361,7251	1224,9150	1376,2672	12,3561
7068,5835	1353,5370	1518,3192	12,1742
Rata-rata =			12,5696 %



Grafik 4.5  
Perbandingan momen kekuatan batas dengan elastis  
untuk panjang bentang 15 meter

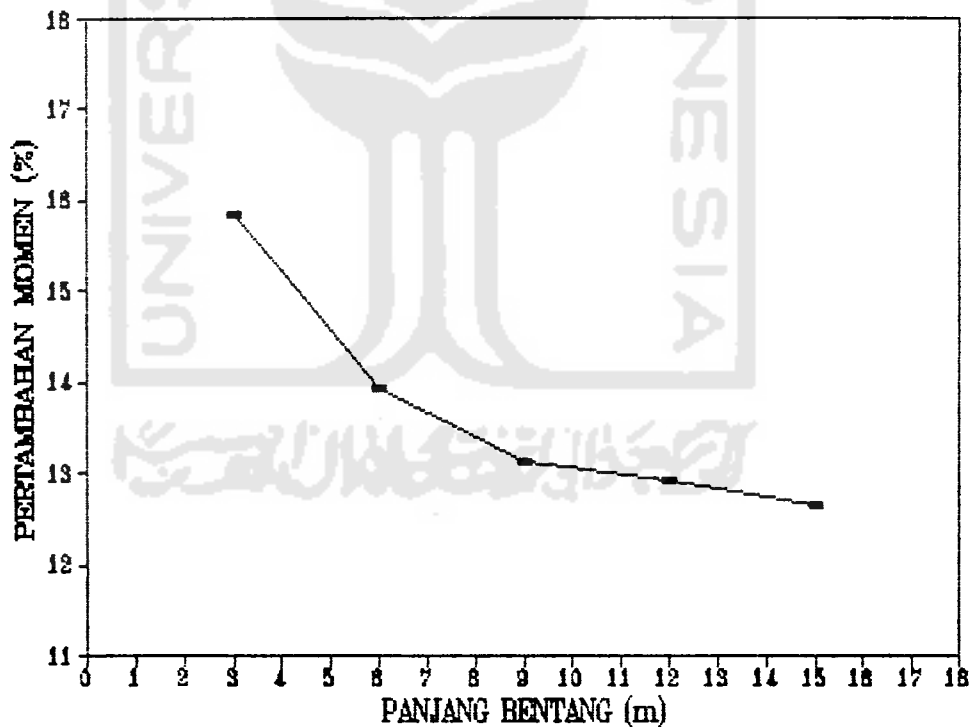
Tabel 4.6

Prosentase pertambahan momen kekuatan batas terhadap elastis untuk tiap bentang

L (m)	bE (mm)	bw (mm)	h (mm)	hf (mm)	Pertambahan momen (%)
3	650	200	350	120	15,5080
6	1150	250	700	120	13,9384
9	1650	300	800	120	13,1364
12	2200	400	950	120	12,9100
15	2650	400	1000	120	12,5696

Notasi :

- L : Panjang bentang
- bE : Lebar efektif flens
- bw : Lebar badan
- h : Tinggi balok T
- hf : Tebal flens



Grafik 4.6

Prosentase pertambahan momen kekuatan batas terhadap elastis untuk tiap bentang

Hasil perbandingan momen (tabel 4.1 s/d tabel 4.5) antara metode kekuatan batas dengan metode elastis menunjukkan bahwa perhitungan dengan metode kekuatan batas memberikan momen kapasitas lebih besar.

Dari grafik 4.6 menunjukkan bahwa prosentase pertambahan kapasitas momen dari bentang 3 - 6 meter mengalami penurunan yang cukup besar dari pada bentang 6 - 15 meter yang hanya relatif kecil. Walaupun demikian pada dasarnya dengan bertambahnya panjang bentang, prosentase pertambahan kapasitas momen metode kekuatan batas terhadap metode elastis akan semakin berkurang.

Pada suatu kondisi dimana beban hidup bernilai sebanding dengan beban mati yang terjadi sesungguhnya ( $M_{DL} = M_{LL}$ ) adalah :

- Kekuatan batas: (misal  $M_{DL} = M_{LL} = A$ )

$$\begin{aligned} M_u &= 1,2 M_{DL} + 1,6 M_{LL} \\ &= 2,8 A \end{aligned}$$

- Elastis:

$$\begin{aligned} M &= M_{DL} + M_{LL} \\ &= 2 A \end{aligned}$$

didapat nilai banding kekuatan batas terhadap elastis sebesar :

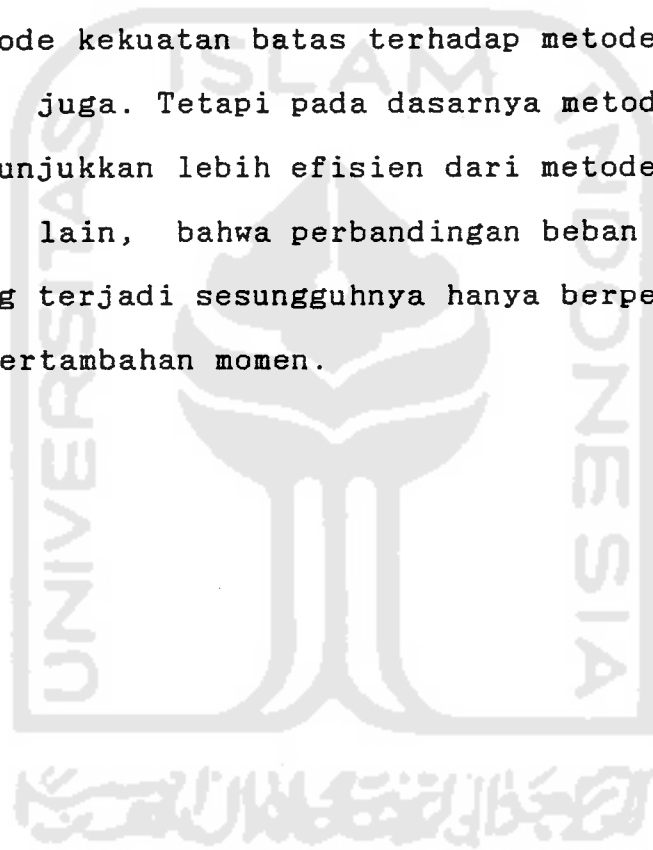
$$\bar{e} = \frac{2,8 A}{2 A} = 1,4$$

Terlihat bahwa nilai banding yang didapat ( $\bar{e} = 1,4$ ) ternyata lebih besar dari nilai banding sebelumnya yaitu :

- Untuk bentang 3 meter :  $\bar{e} = 1,2807$

- Untuk bentang 6 meter :  $\epsilon = 1,2892$
- Untuk bentang 9 meter :  $\epsilon = 1,2897$
- Untuk bentang 12 meter :  $\epsilon = 1,2855$
- Untuk bentang 15 meter :  $\epsilon = 1,2851$

Dengan bertambahnya nilai banding, nilai-nilai momen kekuatan batas yang telah disetarakan dengan elastis semakin berkurang, hal ini mengakibatkan prosentase penambahan momen metode kekuatan batas terhadap metode elastis semakin berkurang juga. Tetapi pada dasarnya metode kekuatan batas tetap menunjukkan lebih efisien dari metode elastis. Dengan perkataan lain, bahwa perbandingan beban hidup dan beban mati yang terjadi sesungguhnya hanya berpengaruh pada prosentase penambahan momen.



#### 4.2. Disain balok T.

Untuk disain balok T ini diambil data-data sebagai berikut :

1. Untuk Panjang bentang (L) = 6000 mm

- Mutu beton K<sub>225</sub>

- Mutu baja U<sub>32</sub>

- Momen akibat beban mati (M<sub>DL</sub>) = 133,35 kNm

- Momen akibat beban hidup (M<sub>LL</sub>) = 38,27 kNm

2. Untuk panjang bentang (L) = 9000 mm

- Mutu beton K<sub>225</sub>

- Mutu baja U<sub>39</sub>

- Momen akibat beban mati (M<sub>DL</sub>) = 326,75 kNm

- Momen akibat beban hidup (M<sub>LL</sub>) = 94,43 kNm

Jarak antar balok dari pusat ke pusat (bk) = 4000 mm

Data hasil momen dapat dilihat pada lampiran.

##### 4.2.1. Disain metode elastis.

4.2.1.1. Untuk panjang bentang (L) = 6000 mm

Mutu beton K<sub>225</sub> ---->  $\bar{\sigma}_b = 75 \text{ kg/cm}^2 = 7,5 \text{ Mpa}$

Mutu baja U<sub>32</sub> ---->  $\bar{\sigma}_a = 1850 \text{ kg/cm}^2 = 185 \text{ Mpa}$

$$n = 21$$

$$M = M_D + M_L$$

$$= 133,35 + 38,27 = 171,62 \text{ kNm}$$

Dicoba balok dengan ukuran (250/650) mm

1. Hitung lebar manfaat flens

$$b_E = b_w + l_o/5$$

$$= 250 + 0,75 \cdot 6000/5 = 1150 \text{ mm}$$

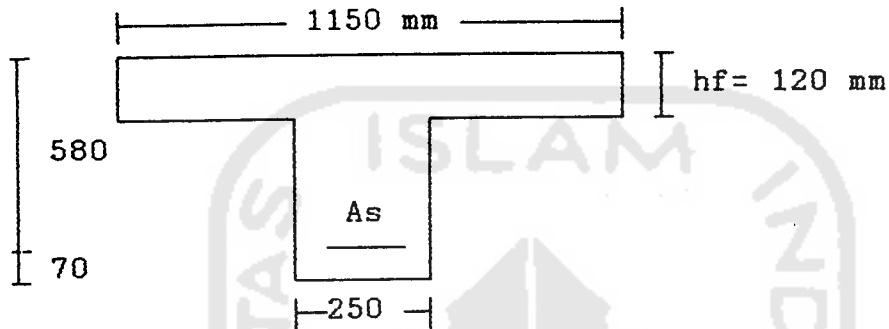
$$bE = b_w + l_o/10 + b_k/2$$

$$= 250 + 0,75 \cdot 6000/10 + 4000/2 = 2700 \text{ mm}$$

$$bE = b$$

$$= 4000 \text{ mm}$$

diambil  $bE = 1150 \text{ mm}$



2. Diambil titik tangkap gaya desak terletak ditengah-tengah tebal sayap :

$$z = 1/2 \cdot hf$$

$$= 0,5 \cdot 120 = 60 \text{ mm}$$

$$\text{Lengan momen} = d - hf/2$$

$$= 580 - 120/2 = 520 \text{ mm}$$

3. Dicari luas tulangan kira-kira dengan rumus :

$$A_{s\text{kira-kira}} = \frac{M}{\bar{\sigma}_a (d - hf/2)}$$

$$= \frac{171,62 \cdot 10^6}{185 \cdot 520} = 1784,0 \text{ mm}^2$$

4. Dengan  $A_{\text{kira-kira}}$  dihitung letak garis netral dari tepi atas .

Bagian desak di badan diabaikan :

$$bE \cdot hf (Y - hf/2) = n \cdot A_s (d - Y)$$

$$150.120.(Y - 120/2) = 21.1784,0.(580 - Y)$$

$$Y = \frac{21 \cdot 1784,0 \cdot 580 + 1150 \cdot 120^2/2}{21 \cdot 1784,0 + 1150 \cdot 120} = 171,03 \text{ mm}$$

Garis netral jatuh di badan, maka dihitung sebagai balok T murni.

$$\begin{aligned} \sigma_{b1}' &= \frac{Y - hf}{Y} \cdot \sigma_b' \\ &= \frac{171,03 - 120}{171,03} \cdot \sigma_b' \\ &= 0,2984 \cdot \sigma_b' \end{aligned}$$

5. Menghitung luas tulangan tarik, dicari titik tangkap gaya desak.

Dengan statis momen terhadap tepi atas beton-desak :

Gaya desak		lengan terhadap tepi atas	Momen
$D_{b1}$	$+ \frac{1}{2} \sigma_b' \cdot Y \cdot bE$ $= + 98340,64 \sigma_b'$	$Y/3$ $= 57,01$	$+ 5606311,38 \sigma_b'$
$D_{b2}$	$- \frac{1}{2} \sigma_{b1}' \cdot (Y - hf) \cdot bE$ $= - 8755,25 \sigma_b'$	$\frac{Y - hf}{3} + hf$ $= 137,01$	
$\Sigma D_b = 89585,39 \sigma_b'$			$\Sigma M = 4406763,16 \sigma_b'$

$$z = \frac{\Sigma M}{\Sigma D_b}$$

$$z = \frac{4406763,16 \sigma_b'}{89585,39 \sigma_b'} = 49,191 \text{ mm}$$



Lengan momen intern :

$$D_b = T = \frac{M}{d - z}$$

$$D_b = T = \frac{171,62 \cdot 10^6}{580 - 49,191} = 323319,07 \text{ N}$$

Luas tulangan tarik :

$$A = \frac{T}{\bar{\sigma}_a} \leq A_{\text{kira-kira}}$$
$$= \frac{323319,07}{185} = 1747,67 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan 6  $\phi$  20 = 1884,96 mm<sup>2</sup> > 1747,67 mm<sup>2</sup>

$$d_{\text{aktual}} = 650 - [(6-4)(20+25)/6 + 50]$$
$$= 585 \text{ mm} > d = 580 \text{ mm}$$

6. Kontrol tegangan desak beton yang terjadi :

$$\sigma_{b'} = \frac{D_b}{(\sum D_b / \sigma_{b'})}$$
$$= \frac{323319,07}{89585,39}$$
$$= 3,6091 \text{ Mpa} < \sigma_{b'} = 7,5 \text{ Mpa} \quad \text{OK}$$

7. Menghitung momen yang tersedia :

- berdasarkan luas tulangan yang dipakai dicari letak garis netral.

$$bE \cdot hf (Y - hf/2) = n \cdot A_s (d - Y)$$
$$1150 \cdot 120 \cdot (Y - 120/2) = 21 \cdot 1884,96 \cdot (585 - Y)$$
$$Y = \frac{21 \cdot 1884,96 \cdot 585 + 1150 \cdot 120^2/2}{21 \cdot 1884,96 + 1150 \cdot 120}$$
$$= 177,02 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{b1}' &= \frac{Y - hf}{Y} \cdot \sigma_b' \\ &= \frac{177,02 - 120}{177,02} \cdot \sigma_b' \\ &= 0,3221 \sigma_b'\end{aligned}$$

- Mencari titik tangkap beton desak

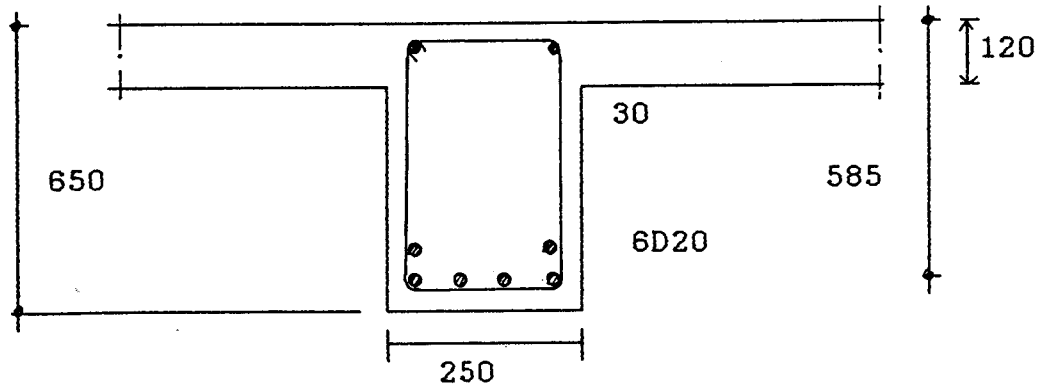
Gaya desak		lengan terhadap tepi atas	Momen
$D_{b1}$	$+ \frac{1}{2} \sigma_b' \cdot Y \cdot bE$ $= + 101786,5 \sigma_b'$	$Y/3$ $= 59,01$	$+ 6006082,077 \sigma_b'$
$D_{b2}$	$- \frac{1}{2} \sigma_{b1}' \cdot (Y - hf) \cdot bE$ $= - 10560,532 \sigma_b'$	$\frac{Y - hf}{3} + hf$ $= 139,01$	$- 1468019,504 \sigma_b'$
$\Sigma D_b = + 91225,968 \sigma_b'$			$\Sigma M = 4538062,57 \sigma_b'$

$$z = \frac{\Sigma M}{\Sigma D_b}$$

$$z = \frac{4538062,57 \sigma_b'}{91225,968 \sigma_b'} = 49,745 \text{ mm}$$

- Titik tangkap gaya desak terhadap lengan momen.

$$\begin{aligned}M_{tersedia} &= A \cdot \bar{\sigma}_a \cdot (d - z) \\ &= 1884,96 \cdot 185 \cdot (585 - 49,745) \cdot 10^{-6} \\ &= 186,6528 \text{ kNm} > 171,62 \text{ kNm} \quad \text{Ok}\end{aligned}$$



Gambar.4.2.1

Sketsa perencanaan balok T metode elastis



4.2.1.2. Untuk panjang bentang ( $L$ ) = 9000 mm

Misalkan diketahui:

Mutu beton K<sub>225</sub> - - -  $\sigma_b = 75 \text{ kg/cm}^2 = 7,5 \text{ Mpa}$

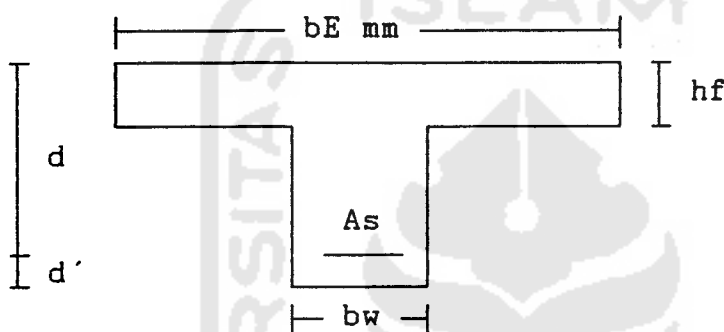
Mutu baja U<sub>39</sub> - - -  $\sigma_a = 2250 \text{ kg/cm}^2 = 225 \text{ Mpa}$

$$n = 21$$

$$M = M_D + M_L$$

$$= 326,75 + 94,43 = 421,18 \text{ kNm}$$

Dicoba balok dengan ukuran (300/750) mm



$$hf = 120 \text{ mm} ; h = 750 \text{ mm} ; d' = 70 \text{ mm} ; bw = 300 \text{ mm}$$

1. Hitung lebar manfaat flens

$$bE = bw + l_0/5$$

$$= 300 + 0,75 \cdot 9000/5 = 1650 \text{ mm}$$

$$bE = bw + l_0/10 + bk/2$$

$$= 300 + 0,75 \cdot 9000/10 + 4000/2 = 2975 \text{ mm}$$

$$bE = b$$

$$= 4000 \text{ mm}$$

$$\text{diambil } bE = 1650 \text{ mm}$$

2. Diambil titik tangkap gaya desak terletak ditengah-tengah

tebal sayap :

$$z = 1/2 \cdot hf$$

$$= 0,5 \cdot 120 = 60 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Lengan momen} &= d - hf/2 \\ &= 680 - 120/2 = 620 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. Dicari luas tulangan kira-kira dengan rumus :

$$\begin{aligned} A_{s\text{kira-kira}} &= \frac{M}{\bar{\sigma}_a (d - hf/2)} \\ &= \frac{421,18 \cdot 10^6}{225 \cdot 620} = 3019,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4. Dengan  $A_{\text{kira-kira}}$  dihitung letak garis netral dari tepi atas .

Bagian desak di badan diabaikan :

$$\begin{aligned} bE \cdot hf (Y - hf/2) &= n \cdot A_s (d - Y) \\ 1650 \cdot 120 \cdot (Y - 120/2) &= 21 \cdot 3019,2 (680 - Y) \end{aligned}$$

$$Y = \frac{21 \cdot 3019,2 \cdot 680 + 1650 \cdot 120^2/2}{21 \cdot 3019,2 + 1650 \cdot 120} = 210,38 \text{ mm}$$

Garis netral jatuh dibadan dihitung sebagai balok T murni:

$$\begin{aligned} \sigma_{b1} &= \frac{Y - hf}{Y} \cdot \sigma_b \\ &= \frac{210,38 - 120}{210,38} \cdot \sigma_b \\ &= 0,4296 \cdot \sigma_b \end{aligned}$$

5. Menghitung luas tulangan tarik, dicari titik tangkap gaya desak.

Dengan statis momen terhadap tepi atas beton-desak :

Gaya desak		lengan terhadap tepi atas	Momen
$D_{b1}$	$+ \frac{1}{2} \sigma_b \cdot Y \cdot bE$ $= + 173563,5 \sigma_b$	$Y/3$ $= 70,13$	$+ 12171429,7 \sigma_b$
$D_{b2}$	$- \frac{1}{2} \sigma_{b1} \cdot (Y - hf) \cdot bE$ $= - 32032,48 \sigma_b$	$\frac{Y - hf}{3} + hf$ $= 150,13$	
$\Sigma D_b = 141531,02 \sigma_b$			$\Sigma M = 7362500,32 \sigma_b$

$$z = \frac{\Sigma M}{\Sigma D_b}$$

$$= \frac{7362500,32 \sigma_b}{141531,02 \sigma_b} = 50,02 \text{ mm}$$

Lengan momen intern :

$$D_b = T = \frac{M}{d - z}$$

$$D_b = T = \frac{421,18 \cdot 10^6}{680 - 50,02} = 668560,91 \text{ N}$$

Luas tulangan tarik :

$$A = \frac{T}{\sigma_a} \leq A_{\text{kira-kira}}$$

$$= \frac{668560,91}{225} = 2971,38 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan 8  $\phi$  22 = 3041,06 mm<sup>2</sup> > 2971,38 mm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned}d_{\text{aktual}} &= 750 - [(8-4)(22+25)/8 + 60] \\ &= 678,25 \text{ mm} < d = 680 \text{ mm}\end{aligned}$$

6. Kontrol tegangan desak beton yang terjadi :

$$\begin{aligned}\sigma_{b'} &= \frac{D_b}{(\Sigma D_b / \sigma_{b'})} \\ &= \frac{668560,91}{141531,02} \\ &= 4,72 \text{ Mpa} < \sigma_{b'} = 7,5 \text{ Mpa} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

7. Menghitung momen yang tersedia :

- berdasarkan luas tulangan yang dipakai dicari letak garis netral.

$$bE_c hf (Y - hf/2) = n.A_s (d - Y)$$

$$1650 \cdot 120 \cdot (Y - 120/2) = 21 \cdot 3041,06 (678,25 - Y)$$

$$Y = \frac{21 \cdot 3041,06 \cdot 678,25 + 1650 \cdot 120^2/2}{21 \cdot 3041,06 + 1650 \cdot 120}$$

$$Y = 210,78 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{b1'} &= \frac{Y - hf}{Y} \cdot \sigma_{b'} \\ &= \frac{210,78 - 120}{210,78} \cdot \sigma_{b'} \\ &= 0,4307 \sigma_{b'}\end{aligned}$$

- Mencari titik tangkap beton desak

Gaya desak		lengan terhadap tepi atas	Momen
$D_{b1}$	$+ \frac{1}{2} \sigma_b' \cdot Y \cdot bE$ $= + 173891,14 \sigma_b'$	$Y/3$ $= 70,26$	$+ 12217591,44 \sigma_b'$
$D_{b2}$	$- \frac{1}{2} \sigma_{b1}' \cdot (Y - hf) \cdot bE$ $= - 32255,61 \sigma_b'$	$\frac{Y - hf}{3} + hf$ $= 150,26$	
$\Sigma D_b = + 141635,53 \sigma_b'$			$\Sigma M = 7370863,49 \sigma_b'$

$$z = \frac{\Sigma M}{\Sigma D_b}$$

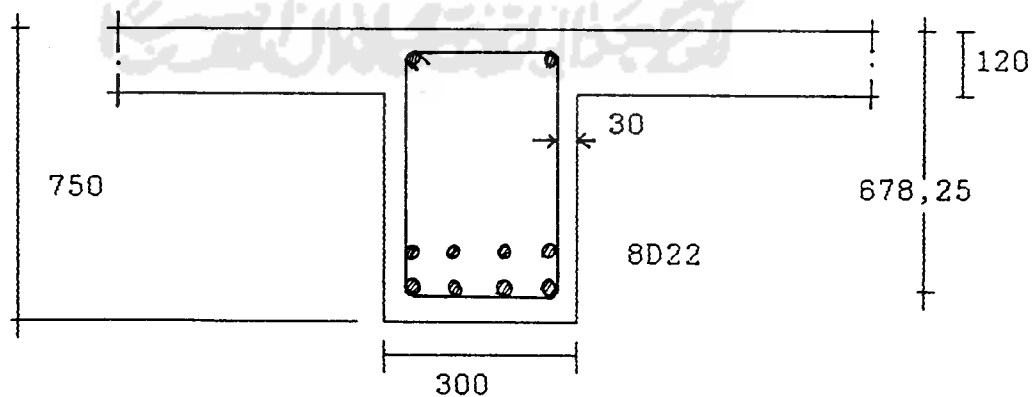
$$= \frac{7370863,49 \sigma_b'}{141635,53 \sigma_b'} = 52,04 \text{ mm}$$

- Titik tangkap gaya desak terhadap lengan momen.

$$M_{tersedia} = A \cdot \sigma_a \cdot (d - z)$$

$$= 3041,06 \cdot 225 (678,25 - 52,04) \cdot 10^{-6}$$

$$= 428,4763 \text{ kNm} > 421,18 \text{ kNm} \quad \text{Ok}$$



Gambar.4.3

Sketsa perencanaan balok T metode elastis



### 3.2.2. Disain metode kekuatan batas.

3.2.2.1. Untuk panjang bentang (L)= 6000 mm

Diketahui :

Mutu beton :  $f'c = 18.675$  Mpa

Mutu baja :  $f_y = 320$  Mpa

$M_D = 133,35$  kNm

$M_L = 38,27$  kNm

$M_u = 1,2.133,35 + 1,6.38,27 = 221,2538$  kNm

Langkah-langkah penyelesaian :

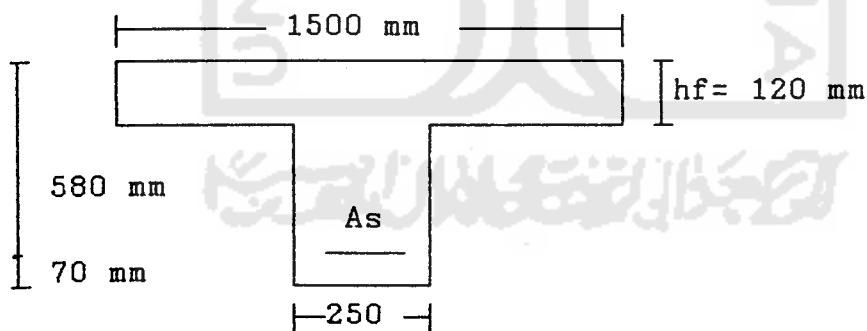
1. Hitung lebar manfaat flens :

$$b_E = L/4 \\ = 6000/4 = 1500 \text{ mm}$$

$$b_E = b_w + 16h_f \\ = 250 + 16.120 = 2170 \text{ mm}$$

$$b_E = \text{jarak pusat ke pusat} \\ = 4000 \text{ mm}$$

dipakai  $b_E = 1500$  mm



2. Menentukan apakah balok akan berperilaku sebagai balok T murni atau persegi dengan cara menghitung momen tahanan  $M_R$ , dengan menganggap seluruh flens berada didaerah desak.

$$MR = \phi (0,85f'c)bE_hf(d - hf/2)$$

$$MR = 0,8(0,85 \cdot 18,675)1500 \cdot 120 \cdot (580 - 120/2)$$

$$= 1188626400 \text{ Nmm}$$

$$= 1188,6264 \text{ kNm} > Mu = 221,2538 \text{ kNm}$$

Karena  $MR > Mu$ , maka balok akan berperilaku sebagai balok persegi dengan lebar  $b = 1500 \text{ mm}$ .

Lengan momen :

$$z = d - hf/2$$

$$= 580 - 120/2 = 520 \text{ mm}$$

$$A_{s\text{perlu}} = \frac{Mu}{\phi f_y \cdot z}$$

$$A_{s\text{perlu}} = \frac{221,2538 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 320 \cdot 520} = 1662,06 \text{ mm}^2$$

Karena dihitung sebagai balok persegi maka tulangan yang dipakai  $< A_{s\text{perlu}}$ .

Dipakai tulangan  $5 \phi 20 = 1570,8 \text{ mm}^2 < A_{s\text{perlu}} = 1662,06 \text{ mm}^2$

$$d_{\text{aktual}} = 650 - [(5-3)(20+25)/5 + 50]$$

$$= 582 \text{ mm} > d = 580 \text{ mm}$$

Chek luas tulangan tarik :

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

$$= \frac{600}{600 + 320} \cdot 582 = 379,56 \text{ mm}$$

$$a_b = \beta_1 \cdot C_b$$

$$= 0,85 \cdot 379,56 = 322,63 \text{ mm}$$

$$A_{s\text{min}} = \frac{1,4 b_w \cdot d}{f_y}$$

$$A_{s_{min}} = \frac{1,4 \cdot 250 \cdot 582}{320}$$

$$A_{s_{min}} = 636,56 \text{ mm}^2 < A_s = 1570,80 \text{ mm}^2 \quad \text{Ok}$$

$$A_{s_b} = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot [bw \cdot a_b + (bE - bw)hf]}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \cdot 18,675 [250 \cdot 322,63 + (1500 - 250)120]}{320}$$

$$= 11441,87 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{max}} = 0,75 A_{s_b}$$

$$= 0,75 \cdot 11441,87$$

$$= 8581,405 \text{ mm}^2 > A_s = 1570,80 \text{ mm}^2 \quad \text{Ok}$$

Lakukan pekerjaan analisa

$$C = 0,85 f'c \cdot bE \cdot a$$

$$= 0,85 \cdot 18,675 \cdot 1500 \cdot a = 23810,625 a$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$= 1570,80 \cdot 320 = 502656$$

$$T = C$$

$$a = \frac{502656}{23810,625} = 21,11 \text{ mm}$$

$$M_n = T(d - a/2)$$

$$= 502656 (582 - 21,11/2) \cdot 10^{-6} = 287,2679 \text{ kNm}$$

$$MR = \phi M_n$$

$$= 0,8 \cdot 287,2679$$

$$= 229,8143 \text{ kNm} > Mu = 221,2538 \text{ kNm} \quad \text{Ok}$$

Karena  $MR > Mu$  , berarti disain aman.

Chek regangan baja tarik

$$a = \beta_1 c$$

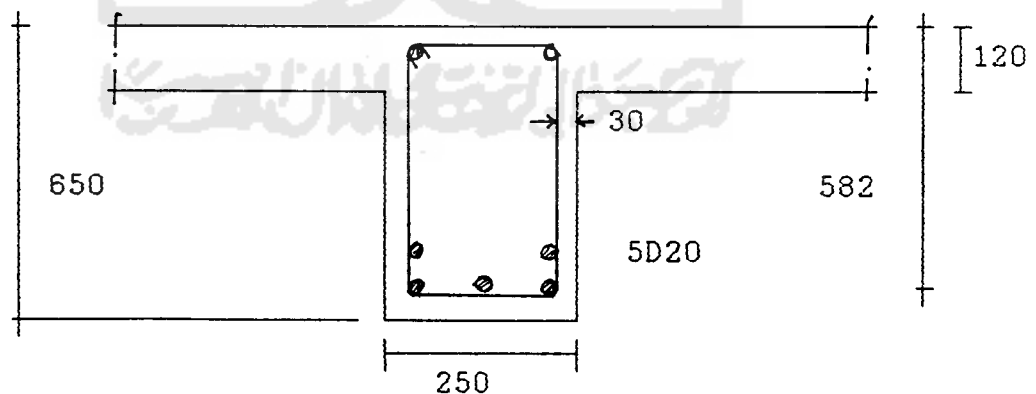
$$\text{maka, } c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{21,11}{0,85} = 24,82 \text{ mm}$$

Regangan didalam baja tarik disaat dicapainya regangan beton sebesar 0,003 didapat dari kesebandingan garis lurus,

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d - c}{c} (0,003) \\ &= \frac{582 - 24,82}{24,82} (0,003) = 0,0673 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{320}{200000} = 0,0016 \end{aligned}$$

$\epsilon_s = 0,0673 > \epsilon_y = 0,0016$  , maka baja tulangan mencapai tegangan luluh sebelum beton mencapai regangan maksimum 0,003.



Gambar.4.4

Sketsa perencanaan balok T metode kekuatan batas



3.2.2.1. Untuk panjang bentang (L)= 9000 mm

Diketahui :

Mutu beton :  $f'c = 18,6755$  Mpa

Mutu baja :  $f_y = 390$  Mpa

$M_D = 326,75$  kNm

$M_L = 94,43$  kNm

$M_u = 1,2.326,75 + 1,6.94,43 = 543,18$  kNm

Langkah-langkah penyelesaian :

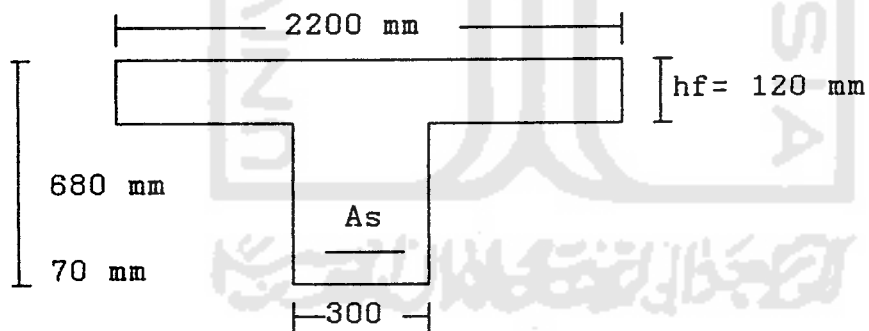
1. Hitung lebar manfaat flens :

$$\begin{aligned} b_E &= L/4 \\ &= 9000/4 = 2250 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_E &= b_w + 16hf \\ &= 300 + 16.120 = 2220 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_E &= \text{jarak pusat ke pusat} \\ &= 4000 \text{ mm} \end{aligned}$$

dipakai  $b_E = 2200$  mm



2. Menentukan apakah balok akan berperilaku sebagai balok T murni atau persegi dengan cara menghitung momen tahanan  $M_R$ , dengan menganggap seluruh flens berada didaerah desak.

$$M_R = \phi (0,85f'c)b_E.hf(d - hf/2)$$

$$MR = 0,8(0,85.18,675)2200.120.(680 - 120/2).10^{-6}$$

$$= 2078,5723 \text{ kNm} > Mu = 543,18 \text{ kNm}$$

Karena  $MR > Mu$ , maka balok akan berperilaku sebagai balok T persegi dengan lebar  $b = 2200 \text{ mm}$ .

Lengan momen :

$$z = d - hf/2$$

$$= 680 - 120/2 = 620 \text{ mm}$$

$$A_{s\text{perlu}} = \frac{Mu}{\phi f_y \cdot z}$$

$$A_{s\text{perlu}} = \frac{543,18 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 390 \cdot 620} = 2808 \text{ mm}^2$$

Karena dihitung sebagai balok persegi maka tulangan yang dipakai  $< A_{s\text{perlu}}$ .

Dipakai tulangan 7  $\phi 22 = 2660,9 \text{ mm}^2 < A_{s\text{perlu}} = 2808 \text{ mm}^2$

$$d_{\text{aktual}} = 750 - [(7-4)(22+25)/7 + 55]$$

$$= 675 \text{ mm} < d = 680 \text{ mm}$$

Chek luas tulangan tarik :

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

$$= \frac{600}{600 + 320} \cdot 675 = 440,22 \text{ mm}$$

$$a_b = \beta_1 \cdot C_b$$

$$= 0,85 \cdot 440,22 = 374,18 \text{ mm}$$

$$A_{s\text{min}} = \frac{1,4 b_w \cdot d}{f_y}$$

$$= \frac{1,4 \cdot 300 \cdot 675}{390}$$

$$A_{s_{min}} = 726,92 \text{ mm}^2 < A_s = 2660,9 \text{ mm}^2 \quad \text{Ok}$$

$$A_{s_b} = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot [b_w \cdot a_b + (b_E - b_w)h_f]}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \cdot 18,675 [300 \cdot 374,18 + (2200 - 300)120]}{390}$$

$$= 13849,05 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{max}} = 0,75 A_{s_b}$$

$$= 0,75 \cdot 13849,05$$

$$= 10386,787 \text{ mm}^2 > A_s = 2660,90 \text{ mm}^2 \quad \text{Ok}$$

Lakukan pekerjaan analisa

$$C = 0,85 f'c \cdot b_E \cdot a$$

$$= 0,85 \cdot 18,675 \cdot 2200 \cdot a = 34922,25 a$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$= 2660,9 \cdot 390 = 1037751 \text{ N}$$

$$T = C$$

$$a = \frac{1037751}{34922,25} = 39,72 \text{ mm}$$

$$M_n = T(d - a/2)$$

$$= 1037751 (675 - 39,72/2) \cdot 10^{-6} = 679,8721 \text{ kNm}$$

$$MR = \phi M_n$$

$$= 0,8 \cdot 679,8721$$

$$= 543,8977 \text{ kNm} > M_u = 543,18 \text{ kNm} \quad \text{Ok}$$

Karena  $MR > M_u$  , berarti disain aman.

Chek regangan baja tarik

Menentukan letak garis netral penampang :

$$a = \beta_1 \cdot c$$

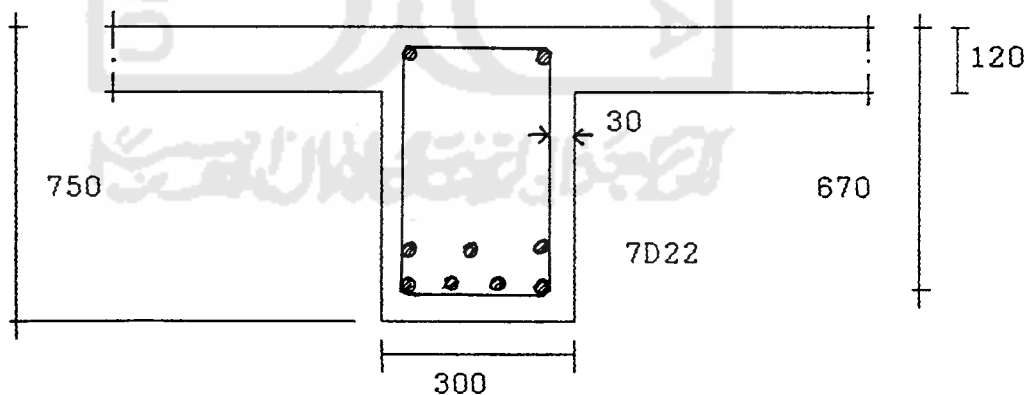
$$\text{maka, } c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{39,72}{0,85} = 46,73 \text{ mm}$$

Regangan didalam baja tarik disaat dicapainya regangan beton sebesar 0,003 didapat dari kesebandingan garis lurus,

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d - c}{c} (0,003) \\ &= \frac{675 - 46,73}{46,73} (0,003) = 0,0403 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{390}{200000} = 0,0020 \end{aligned}$$

$\epsilon_s = 0,0403 > \epsilon_y = 0,0020$ , maka baja tulangan mencapai tegangan luluh sebelum beton mencapai regangan maksimum 0,003.



Gambar.4.5

Sketsa perencanaan balok T metode kekuatan batas



Tabel 4.7

Hasil disain metode kekuatan batas dan elastis

No	Bentang (m)	b/h (mm)	Jumlah tulangan	
			Elastis	Kekuatan batas
1	6	250/650	6D20	5D20
2	9	300/750	8D22	7D22

Dari hasil disain diatas, untuk pemaksaan penampang balok T yang sama, antara metode kekuatan batas dengan metode elastis menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode kekuatan batas lebih ekonomis dibandingkan metode elastis, karena dari hasil disain metode kekuatan batas terdapat selisih 1 tulangan dari metode elastis. Hal ini menunjukkan bahwa perencanaan dengan metode kekuatan batas akan lebih efisien dari metode elastis.