

# STRUKTUR BAJA II

## MODUL 6

### Sesi 4

#### Struktur Jembatan Komposit

Materi Pembelajaran :

8. Kekuatan Lentur Gelagar Komposit Keadaan Ultimit.
  - 8.1. Daerah Momen Positif.
  - 8.2. Daerah Momen Negatif.

Tujuan Pembelajaran :

- *Mahasiswa mengetahui, memahami dan dapat melakukan pemeriksaan gelagar komposit terhadap kekuatan lentur pada daerah momen positif dan daerah momen negatif pada keadaan ultimit.*

#### DAFTAR PUSTAKA

- a) Agus Setiawan, "Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD (Berdasarkan SNI 03-1729-2002)", Penerbit AIRLANGGA, Jakarta, 2008.
- b) Charles G. Salmon, Jhon E. Johnson, "STRUKTUR BAJA, Design dan Perilaku", Jilid 2, Penerbit AIRLANGGA, Jakarta, 1996, atau,
- c) Charles G. Salmon, Jhon E. Johnson, *Steel Structures Design and Behavior*, 5th Edition, Pearson Education Inc., 2009
- d) RSNI T-03-2005, *Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan*.
- e) Tabel Baja PT. GUNUNG GARUDA.

# STRUKTUR JEMBATAN BAJA KOMPOSIT

## 9. Kekuatan Lentur Gelagar Komposit Keadaan Ultimit.

RSNI T-03-2005, *Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan*, menetapkan bahwa analisis untuk momen lentur memanjang dan gaya geser serta reaksi yang berkaitan, harus dihitung dengan menggunakan momen inersia transformasi dari penampang komposit dengan menganggap:

- Beton tidak retak dalam daerah momen positif maupun negatif.
- Lantai beton mempunyai lebar efektif yang ditentukan sesuai RSNI sub-pasal 8.2.1.
- Beton telah mencapai kekuatan minimal  $0,5 f_c'$  sebelum beban bekerja.

### 9.1. Daerah Momen Positif.

Dalam daerah momen positif di mana lantai beton berada dalam tekanan, boleh dianggap bahwa lantai beton menyediakan kekangan menerus kepada sayap atas gelagar baja. Dalam hal ini penampang komposit harus direncanakan sesuai ketentuan dibawah ini.

#### a). Kekuatan Gelagar.

Gelagar komposit harus memenuhi syarat yang berikut ini :

$$M^* \leq \phi M_S \quad \text{.....(1)}$$

Dimana,

- $\phi$  = 0,90 faktor reduksi kekuatan, RSNI T-03-2005, Tabel 3.  
 $M_S$  = kekuatan lentur nominal.

#### b). Penampang kompak

Untuk penampang komposit dalam daerah momen positif (RSNI sub-pasal 8.3.1.2) dengan gelagar tanpa menggunakan pengaku badan memanjang dan tanpa lubang pada pelat sayap profil baja yang tertarik serta sumbu garis netral momen plastis berada di atas bagian badan, harus direncanakan memenuhi persyaratan pada persamaan dibawah ini :

$$\frac{2h_{cp}}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E_S}{fy}} \quad \text{.....(2)}$$

atau,

$$\frac{2h_{cp}}{t_w} \leq \frac{1680}{\sqrt{fy}} \quad \text{(RSNI T-03-2005, Tabel 4.)}$$

Dimana,

- $h_{cp}$  = tinggi badan profil baja yang tertekan (mm).  
 $t_w$  = tebal pelat badan profil baja (mm).  
 $E_S$  = 200000 MPa.  
 $fy$  = tegangan leleh baja.

$$\frac{h_{cp}}{h'} \leq 5 \quad \text{.....(3)}$$

Dimana,

$$h' = \beta \frac{(hs + hc + t_h)}{7,5} \quad \text{.....(4)}$$

- $\beta$  = ambil  $\beta = 0,9$ , untuk  $f_y \leq 250$  MPa dan  $\beta = 0,7$ , untuk  $f_y > 250$  MPa.  
 $h_s$  = tinggi total girder, dari serat atas sampai serat bawah, (mm).  
 $h_c$  = ketebalan pelat lantai, (mm).  
 $t_h$  = tebal bantalan antara pelat lantai dengan serat atas profil baja, (mm).

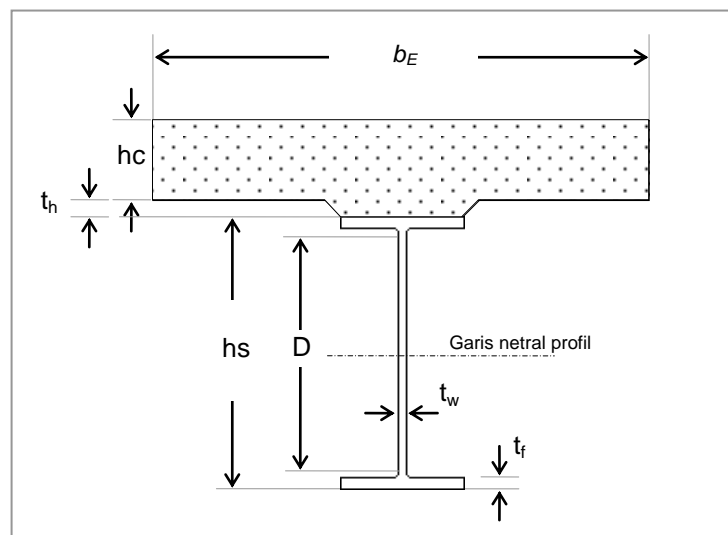
c). Distribusi tekanan plastis.

c.1). Kekuatan tekanan pada pelat lantai, C, sama dengan yang paling kecil untuk nilai-nilai yang diberi oleh persamaan berikut,

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot b_E \cdot h_c + (A \cdot f_y)_c \quad \dots(4)$$

Dimana,

- $b_E$  = lebar efektif pelat lantai (mm).  
 $h_c$  = tebal pelat lantai (mm).  
 $A$  = luas tulangan daerah pelat lantai beton yang tertekan ( $\text{mm}^2$ ).  
 $f_y$  = tegangan leleh baja tulangan longitudinal yang tertekan pada pelat lantai (MPa).



Gambar 1 : Penampang komposit.

$$T = A_{sfb} \cdot f_{yfb} + A_{sfa} \cdot f_{yfa} + A_w \cdot f_{ywa} \quad \dots(5)$$

Dimana,

- $A_{sfb}$  = luas daerah pelat baja serat bawah ( $\text{mm}^2$ ).  
 $f_{yfb}$  = tegangan leleh pelat baja serat bawah (MPa).  
 $A_{sfa}$  = luas daerah pelat baja serat atas ( $\text{mm}^2$ ).  
 $f_{yfa}$  = tegangan leleh pelat baja serat atas (MPa).  
 $A_w$  = luas daerah badan ( $\text{mm}^2$ ).  
 $f_{ywa}$  = tegangan leleh pelat baja serat atas (MPa).

Catatan :

Tegangan leleh sayap harus dikurangi dengan tegangan residu yang terdapat pada sayap profil yang tertekan sebesar,

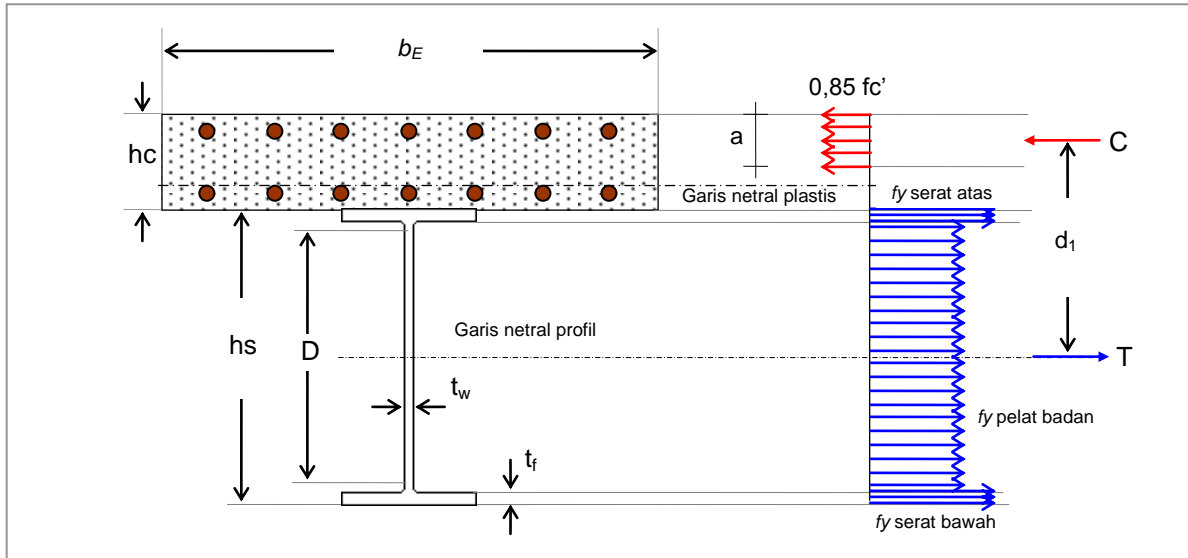
- $f_r$  = tegangan tekan residual pada pelat sayap.  
 = 70 MPa untuk penampang digilas (panas).  
 = 115 MPa untuk penampang di las.  
 $f_{yf}$  =  $(f_y - f_r)$  (MPa), RSNI T-03-2005, Tabel 4.

Apabila tegangan residu tidak diperhitungkan, persamaan (5) diatas menjadi,

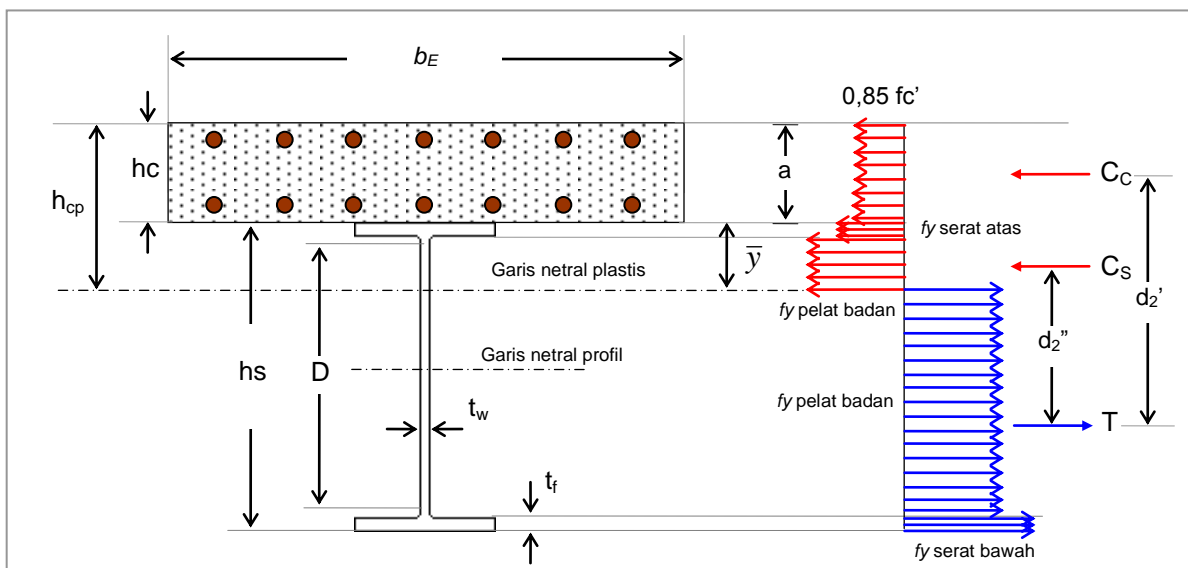
$$T = A_s \cdot f_y \quad \dots\dots(5.a)$$

c.2). Kedalaman daerah tekan pada pelat lantai,  $a$ , dihitung dengan persamaan sebagai berikut,

$$\text{Untuk } C > T, \text{ maka } a = \frac{T - (A \cdot f_y)_c}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_E} \quad \dots\dots(6)$$



Gambar 2 : Distribusi tegangan penampang komposit keadaan ultimit, garis netral keadaan plastis pada lantai beton.



Gambar 3 : Distribusi tegangan penampang komposit keadaan ultimit, garis netral keadaan plastis pada gelagar.

c.3). Apabila kekuatan tekan pada pelat lantai kurang dari nilai yang diberi oleh persamaan (5), maka bagian serat atas profil baja akan tertekan dengan nilai yang diberi oleh persamaan yang berikut,

$$C_S = \frac{\sum (A \cdot f_y) - C_C}{2} \quad \text{.....(7)}$$

c.4). Penempatan garis netral, di dalam profil baja yang diukur dari puncak profil baja adalah ditentukan sebagai berikut,

$$\text{Untuk, } C_S < (A_{s_{fa}} \cdot f_{y_{fa}}), \quad \bar{y} = \frac{C_S}{(A_{s_{fa}} \cdot f_{y_{fa}})} \cdot t_{fa} \quad \text{.....(8)}$$

$$\text{Untuk, } C_S \geq (A_{s_{fa}} \cdot f_{y_{fa}}), \quad \bar{y} = t_f + \frac{C_S - (A_{s_{fa}} \cdot f_{y_{fa}})}{(A_w \cdot f_{y_{wa}})} \cdot D \quad \text{.....(9)}$$

Dimana,

$\bar{y}$  = garis netral dari serat atas profil pelat baja (mm).

$t_{fa}$  = tebal profil pelat baja pada daerah serat atas/flens atas (mm).

$D$  = tinggi bersih badan profil baja,  $\{h_s - 2 \cdot (t_f + r)\}$ , (mm).

d). Kekuatan Lentur Nominal ( $M_s$ ).

Untuk kekuatan lentur nominal penampang  $M_s$ , harus ditentukan dari rumus sebagai berikut :

1). Untuk  $h_{cp} \leq h'$

$$M_s = M_p \quad \text{.....(10)}$$

dengan  $M_p$  adalah kekuatan lentur nominal penampang yang ditentukan dengan teori plastis sederhana,

2). Untuk  $h' \leq h_{cp} \leq 5h'$

$$M_s = \frac{5M_p - 0,85M_y}{4} + \frac{0,85M_y - M_p}{4} \left( \frac{h_{cp}}{h'} \right)$$

Dimana,

$M_p$  = kekuatan lentur nominal penampang yang ditentukan dengan teori plastis sederhana,  $f_y \cdot Z_x$  (N.mm)

$M_y$  = momen kapasitas pada saat terjadi leleh pertama pada gelagar baja komposit akibat momen positif,  $f_y \cdot S_x$  (N.mm).

$S_x$  = modulus penampang elastis bagian profil gelagar yang tertarik, dan untuk transformasi penampang beton menjadi baja dapat digunakan modulus rasio,  $n$ .

$H$  = tinggi total girder (dari serat atas sampai serat bawah), (mm).

Kekuatan lentur nominal penampang,  
- Apabila garis netral plastis terletak pada lantai beton,

$$M_s = C \cdot d_1 \text{ (N.mm)}, \text{ atau } M_s = T \cdot d_1 \quad \text{.....(11.a)}$$

Dimana,

$d_1$  =  $h_s/2 + h_c - a/2$  (mm)

- Apabila garis netral plastis terletak pada gelagar,

$$M_s = C_c \cdot d_2' + C_s \cdot d_2'' \quad \dots(11.b)$$

Kuat lentur rencana,

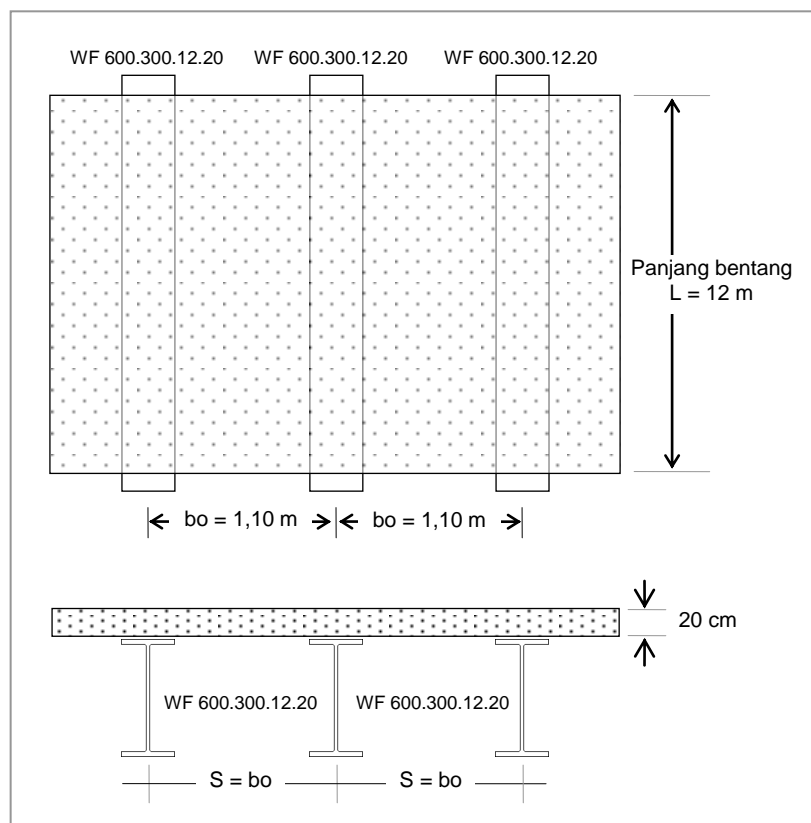
$$M_u \leq \phi M_s \quad \dots(11.c)$$

e). Penampang tidak kompak

Penampang tidak kompak adalah suatu dimana serat-serat tertekan akan menekuk setempat setelah mencapai tegangan leleh, tetapi sebelum pengerasan regangan. Penampang tidak kompak memiliki daktilitas terbatas dan mungkin tidak mampu mengembangkan kekuatan lentur plastis penuh.

f). Contoh Soal.

f.1). Sebuah jembatan komposit dengan perletakan sederhana, mutu beton, K-300, panjang bentang,  $L = 12$  meter. Tebal lantai beton  $h_c = 20$  cm, jarak antara gelagar,  $S = 1,10$  meter. Gelagar memakai WF 600.300.12.20, mutu baja BJ-41. Hitunglah kuat lentur nominal dan kekuatan lentur rencana penampang komposit.



Gambar 4 : Jembatan komposit.

Penyelesaian :

#### A). DATA - DATA

##### 1. DATA GEOMETRIS JEMBATAN

Tebal slab lantai jembatan	$h_c$	=	20,0 cm.
Jarak antara gelagar baja	$S = b_o$	=	110,0 cm.
Panjang bentang jembatan	$L$	=	12,0 m.

## 2. DATA MATERIAL

### a. BETON

Mutu beton, K-300		=	300	kg/cm <sup>2</sup>
Kuat tekan beton,	$f_c' = 0,83 \text{ K}/10$	=	24,9	MPa.
Modulus Elastis,	$E_c = 4700 \sqrt{f_c'}$	=	23453	MPa.
Berat beton bertulang,	$W_c$	=	25	kN/m <sup>3</sup>

### b. BAJA TULANGAN

Mutu baja tulangan U - 39				
Tegangan leleh baja,	$f_y = U \cdot 10$	=	390	MPa.
Diameter tulangan,	$\phi$	=	16	mm

### c. BAJA PROFIL

Mutu baja, BJ - 41				
Tegangan leleh baja, $f_y$	=	250	MPa.	
Modulus elastis, $E_s$	=	200.000	Mpa.	
Profil WF 600.300.12.20				
$I_o$	=	118000	cm <sup>4</sup> .	
$h_s$	=	58,8	cm.	
$A_s$	=	192,5	cm <sup>2</sup> .	
$q_s$	=	151	kg/m = 1,51 kN/m.	

## B). LEBAR EFEKTIF PENAMPANG KOMPOSIT.

Lebar efektif (RSNI T-03-2005),

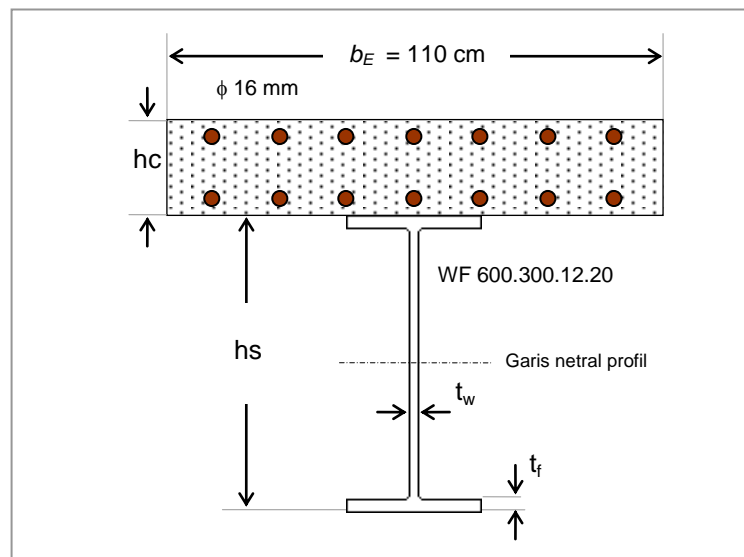
$$b_E = L / 5 = 12 \text{ m} / 5 = 2,4 \text{ m}$$

$$b_E = b_o = 1,10 \text{ m (menentukan).}$$

$$b_E = 12 h_c = 12 \cdot (0,20 \text{ m}) = 2,40 \text{ m.}$$

Modulus ratio,

$$n = E_s / E_c = (200.000 \text{ MPa}) / (23500 \text{ MPa}) = 8,5$$



Gambar 5 : Jembatan komposit.

Misal pada lebar efektif 110 cm terdapat 7 buah tulangan  $\phi$  16 mm atas dan 7 buah tulangan  $\phi$  16 mm pada bagian bawah.

### C). GARIS NETRAL PLASTIS

Anggap garis netral plastis berada pada gelagar.

c.1). Kekuatan tekanan pada pelat lantai, C,

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot b_E \cdot h_c + (A \cdot f_y)_c$$

Dimana,

$$(A \cdot f_y)_c = (7 + 7) \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2 \cdot (390 \text{ MPa}) = 1097241,6 \text{ N}$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot b_E \cdot h_c = 0,85 \cdot (24,9 \text{ MPa}) \cdot (1100 \text{ mm}) \cdot (200 \text{ mm}) = 4656300,0 \text{ N}$$

$$C = 4656300,0 \text{ N} + 1097241,9 \text{ N} = 5753541,6 \text{ N}$$

c.2). Kekuatan tarikan pada gelagar, T,

$$T = A_s \cdot f_y = (192,5 \times 100 \text{ mm}^2) \cdot (250 \text{ MPa}) = 4812500 \text{ N} < C$$

c.3). Kedalaman daerah tekan pada lantai,

$$a = \frac{T - (A \cdot f_y)_c}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_E} = \frac{4812500 \text{ N} - 1097241,6 \text{ N}}{0,85 \cdot (24,9 \text{ MPa}) \cdot (1100 \text{ mm})}$$

$$= 156,6 \text{ mm} < h_c = 200 \text{ mm}.$$

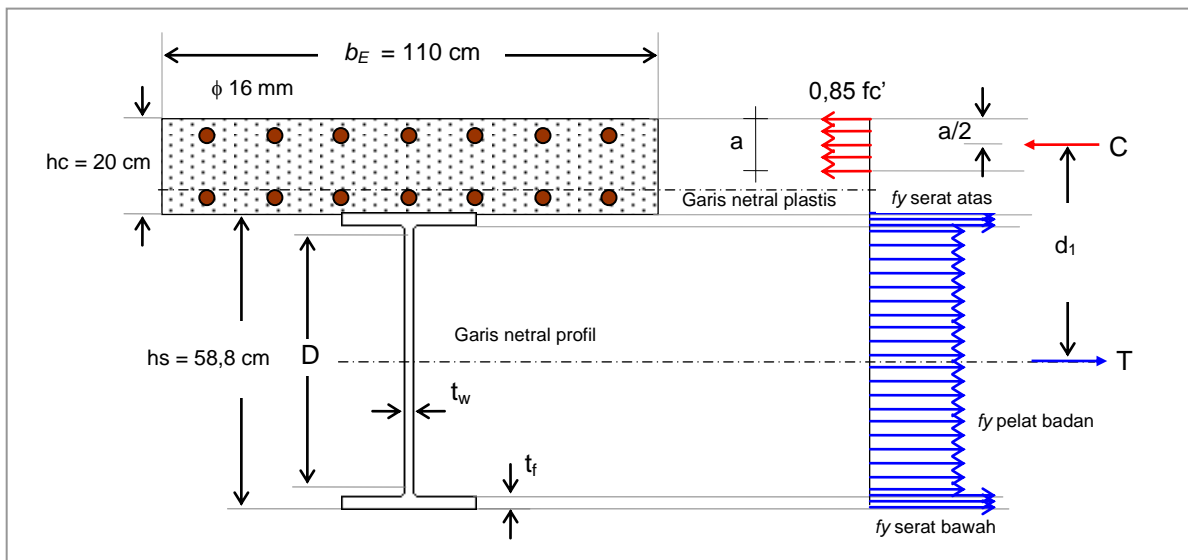
c.4). Garis netral plastis berada pada lantai beton, perhitungan diulangi, tulangan yang mengalami tekan hanya bagian atas sebanyak 7 tulangan .

$$(A \cdot f_y)_c = (7) \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2 \cdot (390 \text{ MPa}) = 548620,8 \text{ N}$$

$$C = 4656300,0 \text{ N} + 548620,8 \text{ N} = 5204920,8 \text{ N} > T$$

$$a = \frac{T - (A \cdot f_y)_c}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_E} = \frac{4812500 \text{ N} - 548620,8 \text{ N}}{0,85 \cdot (24,9 \text{ MPa}) \cdot (1100 \text{ mm})}$$

$$= 183,1 \text{ mm} < h_c = 200 \text{ mm}.$$



Gambar 6 : Diagram tegangan plastis.

$$d_1 = h_s/2 + h_c - a/2 = 588 \text{ mm}/2 + 200 \text{ mm} - 183,1 \text{ mm}/2 = 402,5 \text{ mm}$$

### D). KEKUATAN LENTUR

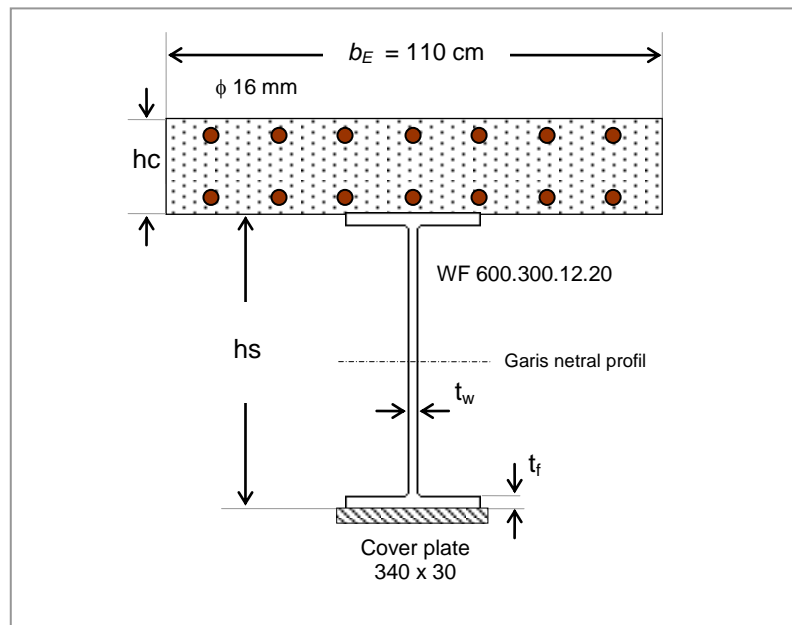
$$M_s = T \cdot d_1 = (4812500 \text{ N}) \cdot (402,5 \text{ mm}) = 1937031250,0 \text{ N.mm.}$$

$$M_u = \phi \cdot M_s = (0,90) \cdot (1937031250,0 \text{ N.mm}) = 1743328125,0 \text{ N.mm.}$$

$$M_u = 1743,3 \text{ kN.m.}$$



f.2). Dari soal f.1), gelagar WF 600.300.12.20, memakai cover plate pada flens bawah dengan ukuran  $\square$  340.30, dengan mutu baja yang sama (BJ-41). Hitunglah kuat lentur nominal dan kekuatan lentur rencana penampang komposit tersebut.



Gambar 7 : Gelagar penampang komposit memakai cover plate.

Penyelesaian :

Data-data seperti soal f.1).

**A). GARIS NETRAL PLASTIS**

Anggap garis netral plastis berada pada gelagar, sehingga seluruh tulangan lantai beton berada pada daerah tekan.

a.1). Kekuatan tekanan pada pelat lantai, C,

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot b_E \cdot hc + (A \cdot fy)_c$$

Dimana,

$$(A \cdot fy)_c = (7 + 7) \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2 \cdot (390 \text{ MPa}) = 1097241,6 \text{ N}$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot b_E \cdot hc = 0,85 \cdot (24,9 \text{ MPa}) \cdot (1100 \text{ mm}) \cdot (200 \text{ mm}) = 4656300,0 \text{ N}$$

$$C = 4656300,0 \text{ N} + 1097241,9 \text{ N} = 5753541,6 \text{ N}$$

a.2). Kekuatan tarikan pada gelagar, T,

$$T = A_s \cdot fy + A_s' \cdot fy$$

$$= (192,5 \times 100 \text{ mm}^2) \cdot (250 \text{ MPa}) + (340 \times 30 \text{ mm}^2) \cdot (250 \text{ MPa})$$

$$T = 7362500,0 \text{ N} > C$$

Karena  $T > C$ , berarti sebagian tekanan diterima oleh gelagar.

a.3). Tekanan pada gelagar,

$$C_s = \frac{\sum (A \cdot fy) - C_c}{2} = \frac{7362500,0 \text{ N} - 5753541,6 \text{ N}}{2} = 804479,5 \text{ N}$$

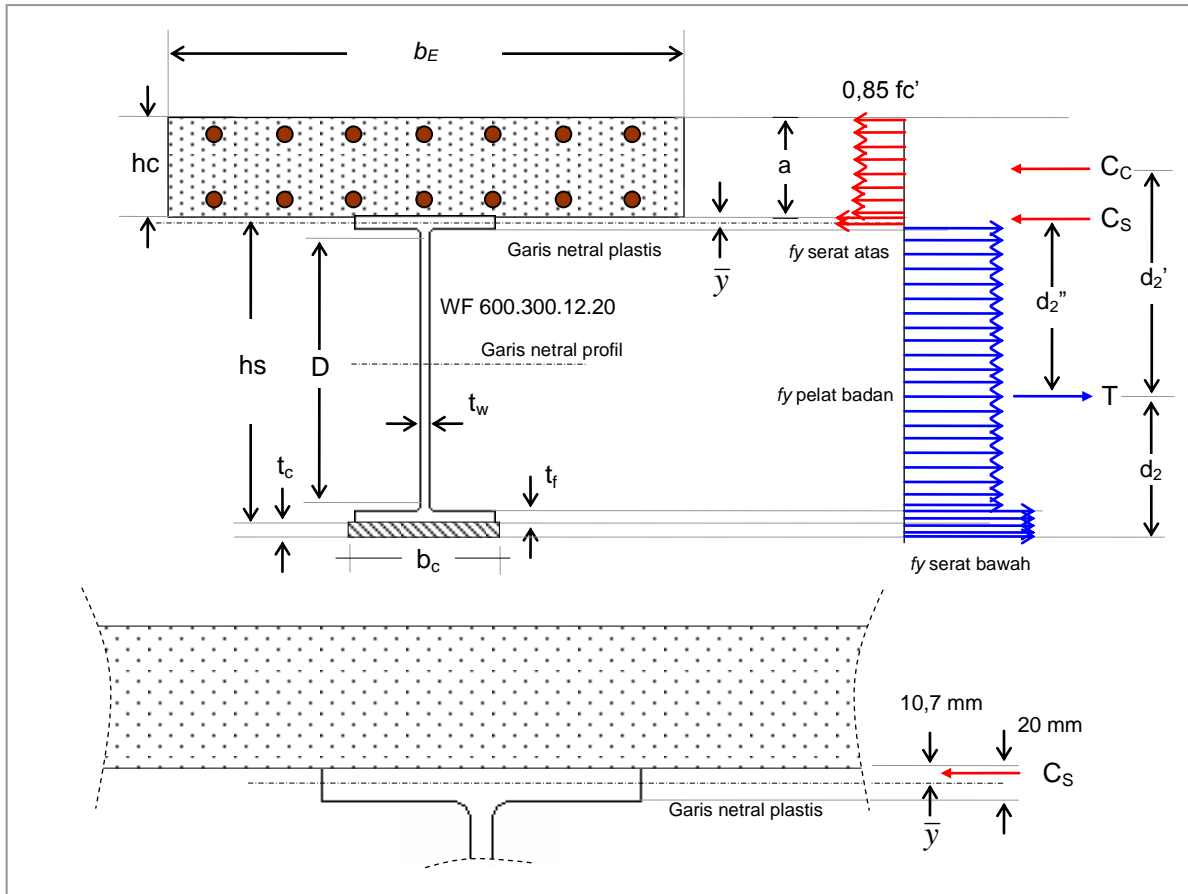
a.4). Letak garis netral plastis pada gelagar.

Dalam contoh soal ini tegangan residu yang terdapat pada sayap tertekan diabaikan.

$$(A_{s_{fa}} \cdot fy_{fa}) = (300 \times 20 \text{ mm}^2) \cdot (250 \text{ MPa}) = 1500000 \text{ N} > C_s.$$

Untuk,  $C_s < (A_{s_{fa}} \cdot f_{y_{fa}})$ ,

$$\bar{y} = \frac{C_s}{(A_{s_{fa}} \cdot f_{y_{fa}})} \cdot t_{fa} = \frac{804479,5 \text{ N}}{1500000 \text{ N}} \cdot (20 \text{ mm}) = 10,7 \text{ mm}$$



Gambar 8 : Tegangan plastis pada penampang komposit memakai cover plate, garis netral plastis terletak pada flens atas gelagar.

a.5). Lengan momen.

Statis momen ke sisi bawah cover plate,

$$d_2 = \frac{A_s \cdot (hs/2 + t_c) + b_c \cdot t_c \cdot 1/2 t_c - b_f \cdot \bar{y} \cdot (hs - 1/2 \bar{y} + t_c)}{A_s - b_f \cdot \bar{y} + b_c \cdot t_c}$$

$$A_s \cdot (hs/2 + t_c) = (19250 \text{ mm}^2) \cdot (588 \text{ mm}/2 + 30 \text{ mm}) = 6237000,0 \text{ mm}^3.$$

$$b_c \cdot t_c \cdot 1/2 \cdot t_c = 1/2 \cdot (340 \text{ mm}) \cdot (30 \text{ mm})^2 = 153000,0 \text{ mm}^3.$$

$$b_f \cdot \bar{y} \cdot (hs - 1/2 \bar{y} + t_c) = (300 \text{ mm}) \cdot (10,7 \text{ mm}) \cdot \{(588 \text{ mm} - 1/2 \cdot (10,7 \text{ mm})) + (30 \text{ mm})\} = 1966606,5 \text{ mm}^3.$$

$$A_s - b_f \cdot \bar{y} + b_c \cdot t_c = (19250 \text{ mm}^2) - (300 \text{ mm}) \cdot (10,7 \text{ mm}) + (340 \text{ mm}) \cdot (30 \text{ mm}) = 26240,0 \text{ mm}^2.$$

$$d_2 = \frac{6237000,0 \text{ mm}^3 + 153000,0 \text{ mm}^3 - 1966606,5 \text{ mm}^3}{26240,0 \text{ mm}^2} = 168,6 \text{ mm}.$$

$$d_2'' = (h_s + t_c) - d_2 - 1/2 \bar{y}$$

$$= (588 \text{ mm} + 30 \text{ mm}) - 168,6 \text{ mm} - 1/2 \cdot (10,7 \text{ mm}) = 444,1 \text{ mm}.$$

$$d_2' = h_s + t_c + 1/2 h_c - d_2$$

$$= 588 \text{ mm} + 30 \text{ mm} + 1/2 \cdot (200 \text{ mm}) - 168,6 \text{ mm} = 549,4 \text{ mm}$$

## B). KEKUATAN LENTUR

Oleh karena letak garis netral plastis berada pada flens atas gelagar dan bukan pada badan gelagar, maka

$$M_s = M_p$$

$$M_s = C_c \cdot d_2' + C_s \cdot d_2''$$

$$= (5753541,6 \text{ N}) \cdot (549,4 \text{ mm}) + (804479,5 \text{ N}) \cdot (444,1 \text{ mm})$$

$$M_s = 3518265101,0 \text{ N.mm.}$$

$$M_u = \phi \cdot M_s = (0,90) \cdot (3518265101,0 \text{ N.mm}) = 3166438590,9 \text{ N.mm.}$$

$$M_u = 3166,4 \text{ kN.m.}$$

## 9.2). Daerah Momen Negatif.

Pada balok menerus, terdapat momen positif pada daerah tengah bentang dan momen negatif pada daerah tumpuan. Pada daerah momen positif, beton pada struktur komposit mengalami tekan, sedangkan pada daerah momen negatif bagian beton (lantai) mengalami tarikan. Bahan beton dianggap tidak efektif pada keadaan tarik.

Pelat lantai beton mempunyai tulangan longitudinal yang sejajar dengan gelagar, tulangan yang berada dalam lebar efektif ( $b_E$ ) dapat dipakai sebagai bagian dari penampang komposit baik pada daerah momen positif maupun pada daerah momen negatif, <sup>Charles G. Salmon,</sup> STRUKTUR BAJA, 1996.

Untuk konstruksi komposit pada daerah momen negatif, dimana flens atas gelagar tertarik dan bawah tertekan, RSNI T-03-2005, fs.8.3.1.3.a menetapkan sebagai berikut :

### a). Penampang kompak

Untuk penampang komposit kompak dalam daerah momen negatif dengan gelagar tanpa menggunakan pengaku badan memanjang dan tanpa lubang pada pelat sayap profil baja yang tertarik serta sumbu garis netral momen plastis berada di atas bagian badan, harus direncanakan memenuhi persyaratan pada RSNI T-03-2005 pasal 7.6.

Untuk kekuatan lentur nominal penampang  $M_s$ , harus menghitung resultan momen pada distribusi tegangan plastis penuh dan memperhitungkan tulangan baja pelat lantai komposit. Jika jarak dari sumbu garis netral terhadap pelat sayap tertekan adalah  $D/2$ , maka harus memenuhi persamaan berikut, dengan modifikasi  $D$  menjadi  $2h_{cp}$ .

$$\frac{2h_{cp}}{t_w} \leq 3,57 \sqrt{\frac{E_s}{f_y}} \quad \text{.....(12)}$$

### b). Penampang tidak kompak.

Dalam daerah momen negatif di mana lantai beton mengalami tarik, penampang komposit harus direncanakan sesuai RSNI T-03-2005 pasal 7.2.4, tergantung pada kelangsingan penampang.

Untuk penampang yang memenuhi  $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ , kuat lentur nominal penampang ditentukan persamaan sebagai berikut:

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \quad \text{.....(13)}$$

Dengan,

- $M_p = f_y \cdot Z$
- $M_r = (f_y - f_r) \cdot S$
- $Z$  = modulus penampang plastis (tahanan momen plastis)
- $S$  = modulus penampang elastis (tahanan momen elastis).
- $f_r$  = tegangan tekan residual pada pelat sayap.  
           = 70 MPa untuk penampang digilas (panas).  
           = 115 MPa untuk penampang di las.

Berdasarkan kelangsingan pelat badan atau sayap dari suatu penampang yang berfungsi sebagai balok lentur, maka balok dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis yaitu:

- b.1). Balok dengan penampang kompak                    jika      $\lambda \leq \lambda_p$
- b.2). Balok dengan penampang tidak kompak        jika      $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$
- b.3). Balok dengan penampang langsing            jika      $\lambda > \lambda_r$

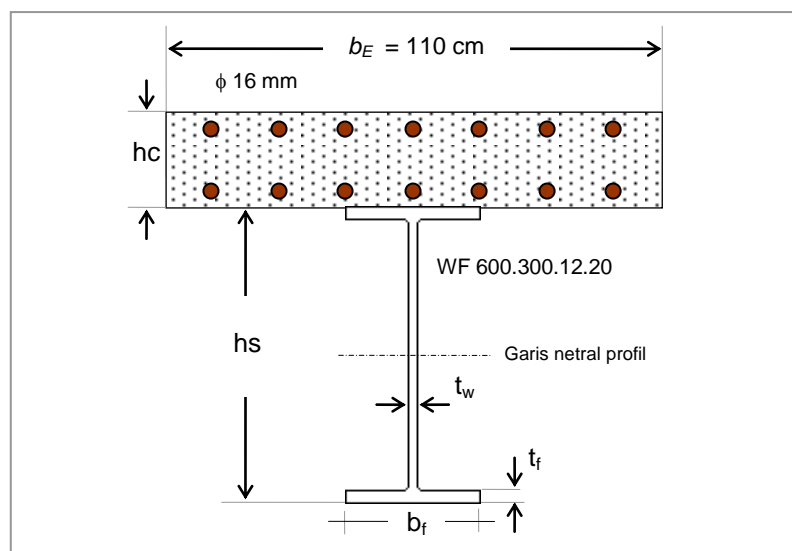
Dimana,

Sayap,  $\lambda = b/t_f$ , dan badan,  $\lambda = h/t_w$

Untuk keterangan lebih lanjut silahkan lihat Modul 5 Sesi 1 , BALOK TERLENTUR, STRUKTUR BAJA 1, [www.thaminnst.wordpress.com](http://www.thaminnst.wordpress.com)

c). Contoh Soal.

Konstruksi komposit dengan gelagar WF 600.300.12.20, dengan mutu baja BJ-41. Berada pada daerah momen negatif. Hitunglah kuat lentur nominal dan kekuatan lentur rencana penampang komposit tersebut.



Gambar 9 : Gelagar penampang komposit memakai cover plate.

Penyelesaian :

## 1. DATA MATERIAL

### a. BETON

Mutu beton, K-300	=	300	kg/cm <sup>2</sup>
Kuat tekan beton,	$f_c' = 0,83 K/10$	=	24,9 MPa.
Modulus Elastis,	$E_c = 4700 \sqrt{f_c'}$	=	23453 MPa.
Berat beton bertulang,	$W_c$	=	25 kN/m <sup>3</sup>

### b. BAJA TULANGAN

Mutu baja tulangan U - 39			
Tegangan leleh baja,	$f_y = U \cdot 10$	=	390 MPa.
Diameter tulangan,	$\phi$	=	16 mm

### c. BAJA PROFIL

Mutu baja, BJ - 41			
Tegangan leleh baja, $f_y$	=	250	MPa.
Modulus elastis, $E_s$	=	200.000	Mpa.
Profil WF 600.300.12.20			
$I_o$	=	118000	cm <sup>4</sup> .
$h_s$	=	58,8	cm.
$A_s$	=	192,5	cm <sup>2</sup> .
$b_f$	=	30	cm.
$t_f$	=	2,0	cm.
$t_w$	=	1,2	cm.
$r$	=	2,8	cm.

## 2). GARIS NETRAL PLASTIS

Anggap garis netral plastis berada pada gelagar, sehingga seluruh tulangan lantai beton berada pada daerah tarik, karena berada pada daerah momen negatif bahan beton dianggap tidak memikul tarik.

a). Kekuatan tarik pada tulangan pelat lantai, T,

$$T_{Tul} = (A \cdot f_y)_c$$

Dimana,

$$(A \cdot f_y)_c = (7 + 7) \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2 \cdot (390 \text{ MPa}) = 1097241,6 \text{ N}$$

$$T_{Tul} = 1097241,9 \text{ N}$$

b). Kekuatan tekanan pada gelagar, C,

$$C_{WF} = A_s \cdot f_y$$
$$= (192,5 \times 100 \text{ mm}^2) \cdot (250 \text{ MPa})$$

$$C_{WF} = 4812500 \text{ N} > T$$

Karena  $C_{WF} > T_{Tul}$ , berarti sebagian tarikan diterima oleh gelagar.

c). Dari keseimbangan gaya,

$$T_{Tul} + T_{WF} = C_{WF} - T_{WF}$$

Tarikan pada gelagar,

$$T_{WF} = \frac{C_{WF} - T_{Tul}}{2} = \frac{4812500 \text{ N} - 1097241,9 \text{ N}}{2} = 1857629,1 \text{ N}.$$

$$(A s_{fa} \cdot f y_{fa}) = (300 \text{ mm}) \cdot (20 \text{ mm}) \cdot (250 \text{ MPa}) = 1500000 \text{ N} < T_{WF}$$

$$\text{Untuk, } T_{WF} \geq (A s_{fa} \cdot f y_{fa}),$$

$$\bar{y} = t_f + \frac{T_{WF} - (A s_{fa} \cdot f y_{fa})}{(A w \cdot f y_{wa})} \cdot D$$

Dimana,

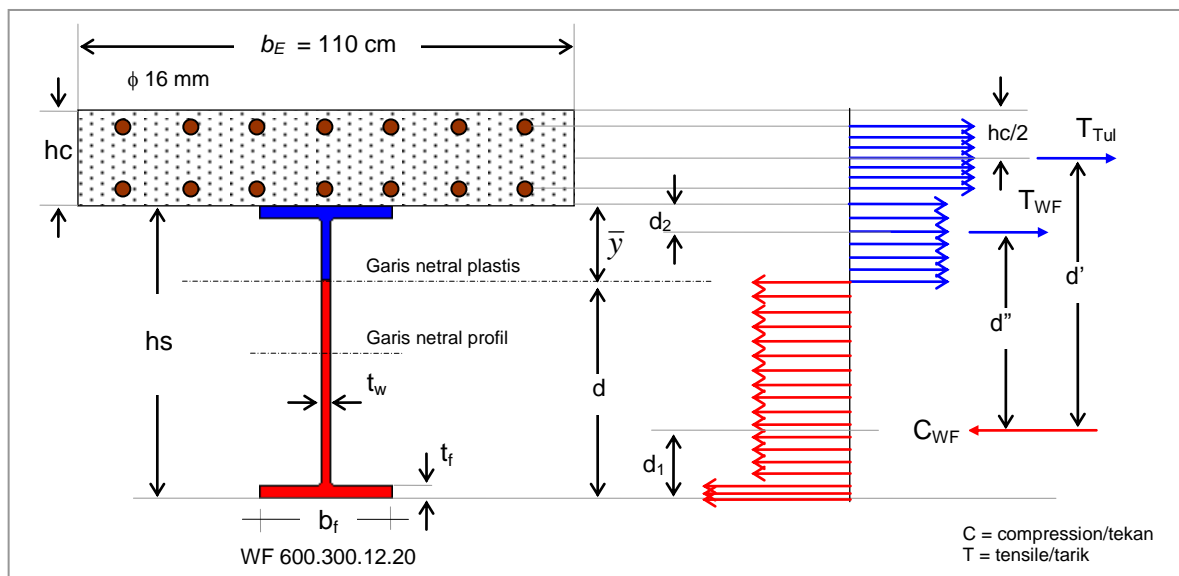
$D$  = tinggi bersih badan profil baja,  $\{h_s - 2 \cdot (t_f + r)\}$ , (mm).

$$= 588 \text{ mm} - 2 \cdot (20 \text{ mm} + 28 \text{ mm}) = 492 \text{ mm}$$

$$(A w \cdot f y_{wa}) = (12 \text{ mm}) \cdot (492 \text{ mm}) \cdot (250 \text{ MPa}) = 1476000 \text{ N}.$$

Maka,

$$\bar{y} = (20 \text{ mm}) + \frac{1857629,1 \text{ N} - 1500000 \text{ N}}{1476000 \text{ N}} \cdot (492 \text{ mm}) = 139,2 \text{ mm}$$



Gambar 10 : Diagram tegangan plastis dan letak pusat gaya tarik/tekan.

d). Letak pusat berat.

d.1). Letak pusat berat bagian profil WF yang tertarik.

Statis momen ke sisi atas,

$$d_2 = \frac{b_f \cdot t_f \cdot 1/2 t_f + (\bar{y} - t_f) \cdot t_w \cdot \{1/2 \cdot (\bar{y} - t_f) + t_f\}}{b_f \cdot t_f + (\bar{y} - t_f) \cdot t_w}$$

dimana,

$$b_f \cdot t_f \cdot 1/2 t_f = (300 \text{ mm}) \cdot (20 \text{ mm}) \cdot 1/2 \cdot (20 \text{ mm}) = 60000,0 \text{ mm}^3.$$

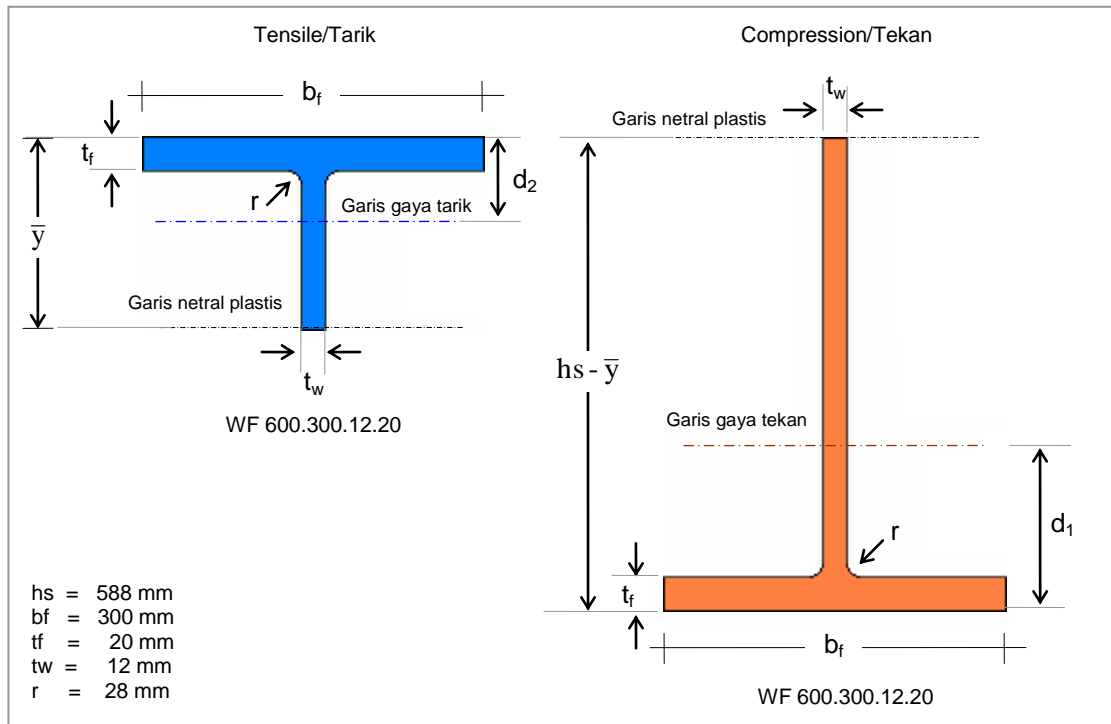
$$(\bar{y} - t_f) \cdot t_w \cdot \{1/2 \cdot (\bar{y} - t_f) + t_f\} =$$

$$(139,2 \text{ mm} - 20 \text{ mm}) \cdot (12 \text{ mm}) \cdot \{1/2 \cdot (139,2 \text{ mm} - 20 \text{ mm}) + 20 \text{ mm}\} = 113859,8 \text{ mm}^3.$$

$$b_f \cdot t_f + (\bar{y} - t_f) \cdot t_w = (300 \text{ mm}) \cdot (20 \text{ mm}) + (139,2 \text{ mm} - 20 \text{ mm}) \cdot (12 \text{ mm}) = 7430,4 \text{ mm}^3.$$

Maka,

$$d_2 = \frac{60000,0 \text{ mm}^3 + 113859,8 \text{ mm}^3}{7430,4 \text{ mm}^2} = 23,4 \text{ mm}$$



Gambar 11: Letak pusat gaya tarik/tekan.

d.2). Letak pusat berat bagian profil WF yang tertekan.

Statis momen ke sisi bawah,

$$d_1 = \frac{b_f \cdot t_f \cdot 1/2 t_f + (hs - \bar{y} - t_f) \cdot t_w \cdot \{1/2 \cdot (hs - \bar{y} - t_f) + t_f\}}{b_f \cdot t_f + (hs - \bar{y} - t_f) \cdot t_w}$$

dimana,

$$b_f \cdot t_f \cdot 1/2 t_f = (300 \text{ mm}) \cdot (20 \text{ mm}) \cdot 1/2 \cdot (20 \text{ mm}) = 60000,0 \text{ mm}^3$$

$$(hs - \bar{y} - t_f) \cdot t_w \cdot \{1/2 \cdot (hs - \bar{y} - t_f) + t_f\} =$$

$$(588 \text{ mm} - 139,2 \text{ mm} - 20 \text{ mm}) \cdot (12 \text{ mm}) \cdot \{1/2 \cdot (588 \text{ mm} - 139,2 \text{ mm} - 20 \text{ mm}) + 20 \text{ mm}\} = 1206128,6 \text{ mm}^3$$

$$b_f \cdot t_f + (hs - \bar{y} - t_f) \cdot t_w = (300 \text{ mm}) \cdot (20 \text{ mm}) + (139,2 \text{ mm} - 20 \text{ mm}) \cdot (12 \text{ mm}) = 11145,6 \text{ mm}^3$$

Maka,

$$d_1 = \frac{60000,0 \text{ mm}^3 + 1206128,6 \text{ mm}^3}{11145,6 \text{ mm}^2} = 113,6 \text{ mm}$$

e). Lengan gaya.

$$d' = hs + hc/2 - d_1 = 588 \text{ mm} + 200 \text{ mm}/2 - 113,6 \text{ mm} = 574,4 \text{ mm}$$

$$d'' = hs - d_1 - d_2 = 588 \text{ mm} - 113,6 \text{ mm} - 23,4 \text{ mm} = 451,0 \text{ mm}$$

### 3). PEMERIKSAAN TEKUK LOKAL.

Untuk mengetahui kelaikan profil gelagar, dilakukan pemeriksaan tekuk lokal agar diketahui apakah berpenampang kompak atau tidak kompak, dengan cara sebagai berikut,

$$\frac{h}{t_w} \leq 3,57 \sqrt{\frac{E_s}{f_y}}$$

dimana tinggi bersih pelat badan,

$$h = h_s - 2.(t_f + r) = 588 \text{ mm} - 2.(20 \text{ mm} + 28 \text{ mm}) = 492 \text{ mm}.$$

Batas kelangsingan,

$$\lambda_p = 3,57 \sqrt{\frac{200000 \text{ MPa}}{250 \text{ MPa}}} = 100,1$$

Kelangsingan badan,

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = 492 \text{ mm} / 12 \text{ mm} = 41,0 < \lambda_p = 100,1$$

Profil gelagar berpenampang kompak.

#### 4). KEKUATAN LENTUR.

Oleh karena berpenampang kompak, maka kekuatan lentur nominal

$$\begin{aligned} M_s &= M_p = T_{\text{Tul}} \cdot d' + T_{\text{WF}} \cdot d'' \\ &= (1097241,9 \text{ N}) \cdot (574,4 \text{ mm}) + (1857629,1 \text{ N}) \cdot (451,0 \text{ mm}) \\ M_s &= 1468046471,5 \text{ N.mm}' = 1468,0 \text{ kN.m}'. \end{aligned}$$

Kekuatan lentur rencana,

$$\begin{aligned} M_u &= 0,9 M_s = (0,9) \cdot (1468046471,5 \text{ N.mm}') = 1321241824,3 \text{ N.mm}'. \\ M_u &= 1321,2 \text{ kN.m}'. \end{aligned}$$