

# STRUKTUR BAJA 1

## MODUL 4

### Sesi 3

### **Batang Tekan (*Compression Member*)**

Materi Pembelajaran :

7. Tekuk Lokal.
  - a) Menurut SNI 03-1729-2002.
  - b) Menurut AISC 2005.
  - c) Menurut AISC 2010.
8. Profil Tersusun Batang Tekan.
  - a) Sumbu Profil.
  - b) Kelangsingan Batang Profil Tersusun.
  - c) Pelat Koppel.
  - d) Koefisien Tekuk.
  - e) Kuat Tekan Nominal.
  - f) Kestabilan Profil Tersusun.

Tujuan Pembelajaran :

*Mahasiswa dapat mengetahui dan memahami tekuk lokal berdasarkan standar-standar SNI 03-1729-2002, AISC 2005, AISC 2010, profil tersusun batang batang tekan.*

#### 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 1, Penerbit AIRLANGGA, Jakarta, 1990.
- c) "PERATURAN PERENCANAAN BANGUNAN BAJA (PPBBI)", Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, 1984.
- d) SNI 03 - 1729 – 2002. Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung.
- e) William T. Segui, "Steel Design", THOMSON, 2007.

# B A T A N G   T E K A N

## (COMPRESSION MEMBER)

### 7. Tekuk Lokal.

Pada penampang komponen struktur tekan, yang mempunyai ketebalan sangat tipis dibandingkan lebarnya, yaitu pada badan atau sayap, maka besar kemungkinan akan terjadi tekuk lokal. Yaitu tekuk yang terjadi pada sebagian tempat pada penampang tersebut. Ini berakibat komponen struktur tersebut tidak mampu memikul beban secara penuh. Artinya struktur akan runtuh sebelum mencapai kapasitasnya.

Klasifikasi penampang untuk tekuk lokal, dapat dilihat dari beberapa standar sebagai rujukan seperti tertera berikut ini :

#### a. SNI 03-1729-2002.

Penampang diklasifikasikan sebagai penampang kompak (*compact* = padu), tak kompak (*noncompact*) atau penampang langsing. Untuk penampang kompak, bagian sayap (*flanges*) harus menyatu dengan badan (*web*) secara menerus atau bagian badan mempunyai angka perbandingan antara lebar dan tebalnya ( $\lambda_p$ ) pada elemen tertekan tidak melampaui seperti yang terdapat pada Tabel 7.5-1. Apabila angka perbandingan antara lebar dan tebal dari salah satu atau lebih elemen yang tertekan melampaui  $\lambda_p$ , tetapi tidak lebih besar dari  $\lambda_r$ , dikatakan penampang tak kompak (*noncompact*). Jika angka perbandingan antara lebar dan tebal pada setiap elemen melampaui  $\lambda_r$  maka disebut elemen penampang langsing. seperti berikut,

Jika  $b/t, d/t, h/tw \leq \lambda_p$       penampang kompak (*compact*)  
 Jika  $\lambda_p < b/t, d/t, h/tw \leq \lambda_r$       penampang tak kompak (*noncompact*)  
 Jika  $b/t, d/t, h/tw > \lambda_r$       elemen penampang langsing (*slender – element sections*).

**Tabel 7.5-1**  
 Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan  
 ( $f_y$  dinyatakan dalam MPa, simbol mengacu pada Gambar 7.5-1).

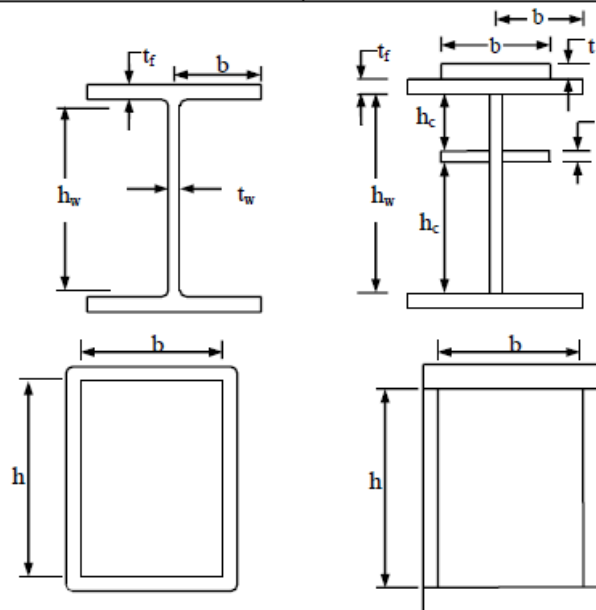
Jenis Elemen		Perbandingan lebar terhadap tebal ( $\lambda$ )	Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal	
			$\lambda_p$ (kompak)	$\lambda_r$ (tak-kompak)
Pelat sayap balok-I dan kanal dalam lentur		$b/t$	$170 / \sqrt{f_y}$ [c]	$370 / \sqrt{f_y - f_r}$ [e]
Pelat sayap balok-I hibrida atau balok tersusun yang dilas dalam lentur		$b/t$	$170 / \sqrt{f_y}$	$\frac{420}{\sqrt{(f_y - f_r) / k_e}}$ [e][f]
Pelat sayap dari komponen-komponen struktur tersusun dalam tekan		$b/t$	-	$290 / \sqrt{f_y / k_e}$ [f]

Elemen tanpa Pengaku	Sayap bebas dari profil siku kembar yang menyatu pada sayap lainnya, pelat sayap dari komponen struktur kanal dalam aksial tekan, profil siku dan plat yang menyatu dengan balok atau komponen struktur tekan	$b/t$	-	$250 / \sqrt{f_y}$
	Sayap dari profil siku tunggal pada penyokong, sayap dari profil siku ganda dengan pelat kopel pada penyokong, elemen yang tidak diperkaku, yaitu, yang ditumpu pada salah satu sisinya	$b/t$	-	$200 / \sqrt{f_y}$
	Pelat badan dari profil T	$d/t$	-	$335 / \sqrt{f_y}$

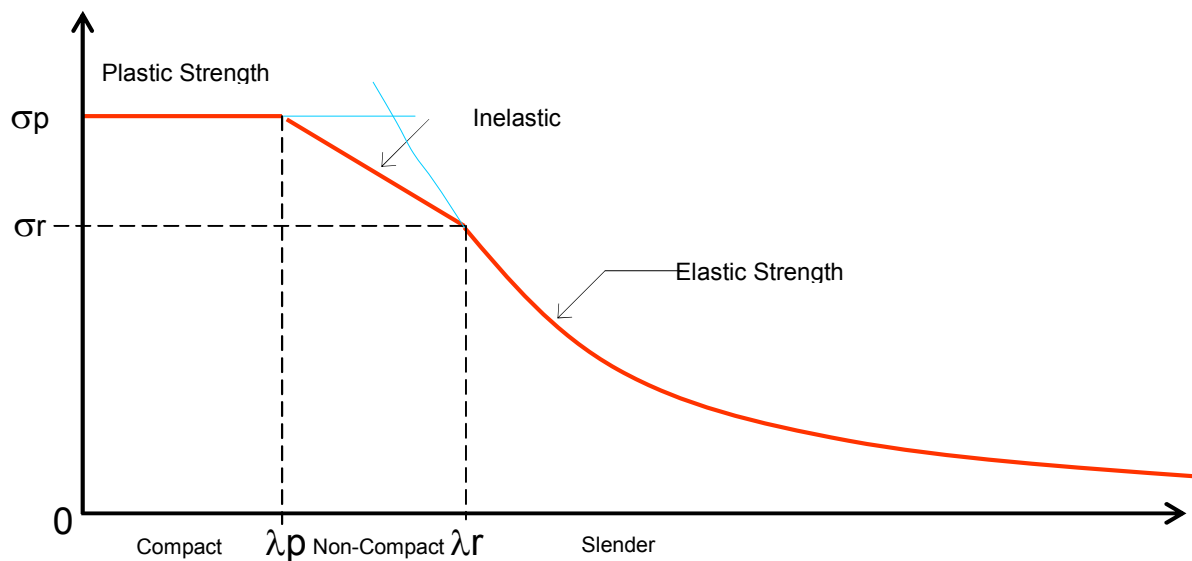
**Tabel 7.5-1 (Lanjutan)**  
Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan  
( $f_y$  dinyatakan dalam MPa, simbol mengacu pada Gambar 7.5-1).

Jenis Elemen		Perbandingan lebar terhadap tebal ( $\lambda$ )	Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal	
			$\lambda_p$ (kompak)	$\lambda_r$ (tak-kompak)
Elemen dengan Pengaku	Pelat badan dari penampang persegi panjang dan bujursangkar berongga dengan ketebalan seragam yang dibebani lentur atau tekan; pelat penutup dari pelat sayap dan pelat diafragma yang terletak di antara baut-baut atau las	$b/t$	$500 / \sqrt{f_y}$	$625 / \sqrt{f_y}$
	Bagian lebar yang tak terkekang dari pelat penutup berlubang [b]	$b/t$	-	$830 / \sqrt{f_y}$
	Bagian-bagian pelat badan dalam tekan akibat lentur [a]	$h/t_w$	$1.680 / \sqrt{f_y}$ [c]	$2.550 / \sqrt{f_y}$ [g]
	Bagian-bagian pelat badan dalam kombinasi tekan dan lentur	$h/t_w$	Untuk $N_u / \phi_b N_y \leq 0,125$ [c] $\frac{1.680}{\sqrt{f_y}} \left[ 1 - \frac{2,75 N_u}{\phi_b N_y} \right]$ Untuk $N_u / \phi_b N_y > 0,125$ [c] $\frac{500}{\sqrt{f_y}} \left[ 2,33 - \frac{N_u}{\phi_b N_y} \right] \geq \frac{665}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{2.550}{\sqrt{f_y}} \left[ 1 - \frac{0,74 N_u}{\phi_b N_y} \right]$ [g]

Elemen-elemen lainnya yang diperkaku dalam tekan murni; yaitu dikekang sepanjang kedua sisinya	$b/t$ $h/t_w$	-	$665 / \sqrt{f_y}$
Penampang bulat berongga Pada tekan aksial Pada lentur	$D/t$	[d] - $14.800/f_y$	$22.000/f_y$ $62.000/f_y$
[a] Untuk balok hibrida, gunakan tegangan leleh pelat sayap $f_y$ sebagai ganti $f_y$ . [b] Ambil luas neto plat pada lubang terbesar. [c] Dianggap kapasitas rotasi inelastis sebesar 3. Untuk struktur-struktur pada zona gempa tinggi diperlukan kapasitas rotasi yang lebih besar. [d] Untuk perencanaan plastis gunakan $9.000/f_y$ .		[e] $f_r$ = tegangan tekan residual pada pelat sayap = 70 MPa untuk penampang gilas = 115 MPa untuk penampang tersusun [f] $k_e = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$ tapi, $0,35 \leq k_e \leq 0,763$ [g] $f_y$ adalah kuat leleh minimum.	



Gambar 7.5-1



Gambar 15 : Batas kelangsingan elemen penampang profil tertekan.

**b. AISC - 2005.**

Penampang diklasifikasikan sebagai penampang kompak (*compact* = padu), tak kompak (*noncompact*) atau penampang langsing. Untuk penampang kompak, bagian sayap (*flanges*) harus menyatu dengan badan (*web*) secara menerus atau bagian badan mempunyai angka perbandingan antara lebar dan tebalnya ( $\lambda_p$ ) pada elemen tertekan tidak melampaui seperti yang terdapat pada Tabel B4.1. Apabila angka perbandingan antara lebar dan tebal dari salah satu atau lebih elemen yang tertekan melampaui  $\lambda_p$ , tetapi tidak lebih besar dari  $\lambda_r$ , dikatakan penampang tak kompak (*noncompact*). Jika angka perbandingan antara lebar dan tebal pada setiap elemen melampaui  $\lambda_r$  maka disebut elemen penampang langsing, seperti berikut,

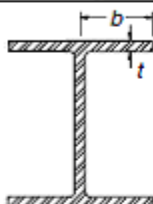
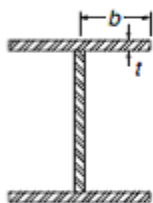
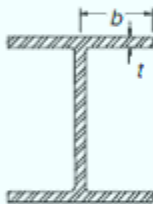
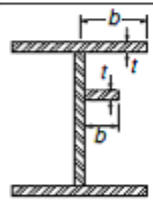
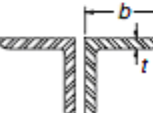
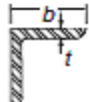
Jika $b/t, d/t, h/tw \leq \lambda_p$	penampang kompak ( <i>compact</i> )
Jika $\lambda_p < b/t, d/t, h/tw \leq \lambda_r$	penampang tak kompak ( <i>noncompact</i> )
Jika $b/t, d/t, h/tw > \lambda_r$	elemen penampang langsing ( <i>slender – element sections</i> ).

Nilai modulus elastisitas  $E = 29.000$  ksi, atau  $E = 200.000$  Mpa, dan  $F_y$  adalah tegangan leleh, selanjutnya tabel tersebut dapat dilihat pada halaman berikut.

AISC 2005

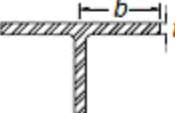
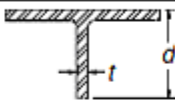
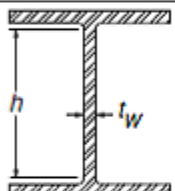
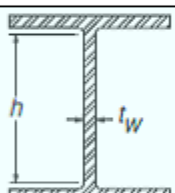
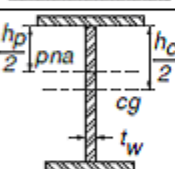
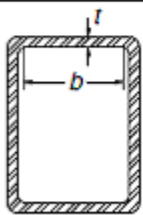
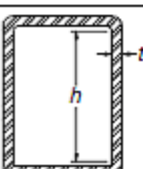
TABLE B4.1

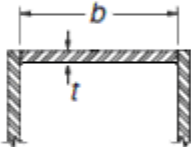
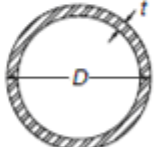
Limiting Width-Thickness Ratios for Compression Elements

Case	Description of Element	Width Thickness Ratio	Limiting Width-Thickness Ratios		Example	
			$\lambda_p$ (compact)	$\lambda_r$ (noncompact)		
1	Flexure in flanges of rolled I-shaped sections and channels	$b/t$	$0.38\sqrt{E/F_y}$	$1.0\sqrt{E/F_y}$		
2	Flexure in flanges of doubly and singly symmetric I-shaped built-up sections	$b/t$	$0.38\sqrt{E/F_y}$	$0.95\sqrt{k_c E/F_y}^{[a],[b]}$		
Unstiffened Elements	3	Uniform compression in flanges of rolled I-shaped sections, plates projecting from rolled I-shaped sections; outstanding legs of pairs of angles in continuous contact and flanges of channels	$b/t$	NA	$0.56\sqrt{E/F_y}$	
	4	Uniform compression in flanges of built-up I-shaped sections and plates or angle legs projecting from built-up I-shaped sections	$b/t$	NA	$0.64\sqrt{k_c E/F_y}^{[a]}$	
	5	Uniform compression in legs of single angles, legs of double angles with separators, and all other unstiffened elements	$b/t$	NA	$0.45\sqrt{E/F_y}$	
	6	Flexure in legs of single angles	$b/t$	$0.54\sqrt{E/F_y}$	$0.91\sqrt{E/F_y}$	

AISC 2005

**TABLE B4.1 (cont.)**  
**Limiting Width-Thickness Ratios for**  
**Compression Elements**

Case	Description of Element	Width Thickness Ratio	Limiting Width-Thickness Ratios		Example
			$\lambda_p$ (compact)	$\lambda_r$ (noncompact)	
7	Flexure in flanges of tees	$b/t$	$0.38\sqrt{E/F_y}$	$1.0\sqrt{E/F_y}$	
8	Uniform compression in stems of tees	$d/t$	NA	$0.75\sqrt{E/F_y}$	
Stiffened Elements	9 Flexure in webs of doubly symmetric I-shaped sections and channels	$h/t_w$	$3.76\sqrt{E/F_y}$	$5.70\sqrt{E/F_y}$	
	10 Uniform compression in webs of doubly symmetric I-shaped sections	$h/t_w$	NA	$1.49\sqrt{E/F_y}$	
	11 Flexure in webs of singly-symmetric I-shaped sections	$h_c/t_w$	$\frac{h_c}{h_p} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \leq \lambda_r$ $\left(0.54 \frac{M_p}{M_y} - 0.09\right)^2 \leq \lambda_r$	$5.70\sqrt{E/F_y}$	
	12 Uniform compression in flanges of rectangular box and hollow structural sections of uniform thickness subject to bending or compression; flange cover plates and diaphragm plates between lines of fasteners or welds	$b/t$	$1.12\sqrt{E/F_y}$	$1.40\sqrt{E/F_y}$	
	13 Flexure in webs of rectangular HSS	$h/t$	$2.42\sqrt{E/F_y}$	$5.70\sqrt{E/F_y}$	

<div>AISC 2005</div> <div>TABLE B4.1 (cont.)</div> <div>Limiting Width-Thickness Ratios for Compression Elements</div>					
Case	Description of Element	Width Thickness Ratio	Limiting Width-Thickness Ratios		Example
			$\lambda_p$ (compact)	$\lambda_r$ (noncompact)	
14	Uniform compression in all other stiffened elements	$b/t$	NA	$1.49\sqrt{E/F_y}$	
15	Circular hollow sections In uniform compression	$D/t$	NA	$0.11E/F_y$	
	In flexure	$D/t$	$0.07E/F_y$	$0.31E/F_y$	
<p><sup>[a]</sup> <math>k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}</math>, but shall not be taken less than 0.35 nor greater than 0.76 for calculation purposes. (See Cases 2 and 4)</p> <p><sup>[b]</sup> <math>F_L = 0.7F_y</math> for minor-axis bending, major axis bending of slender-web built-up I-shaped members, and major axis bending of compact and noncompact web built-up I-shaped members with <math>S_{xt}/S_{xc} \geq 0.7</math>; <math>F_L = F_y S_{xt}/S_{xc} \geq 0.5F_y</math> for major-axis bending of compact and noncompact web built-up I-shaped members with <math>S_{xt}/S_{xc} &lt; 0.7</math>. (See Case 2)</p>					

c. AISC - 2010.

Dalam AISC – 2010, penampang batang yang memikul gaya sentris tekan diklasifikasikan menjadi elemen penampang langsing (*slender*) dan tidak langsing (*nonslender*). Elemen penampang tidak langsing apabila angka perbandingan antara lebar dengan tebal elemen tertekan ( $b/t$ ) tidak melampaui seperti yang terdapat dalam Tabel B4.1a. Elemen penampang langsing apabila angka perbandingan antara lebar dengan tebal telah melampaui nilai seperti terdapat dalam tabel tersebut, seperti berikut,

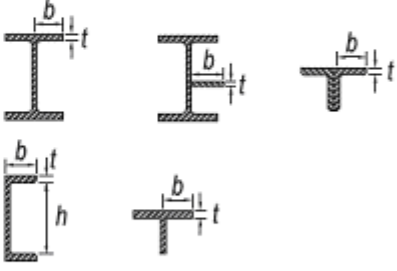
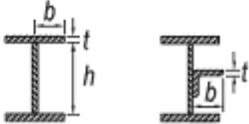
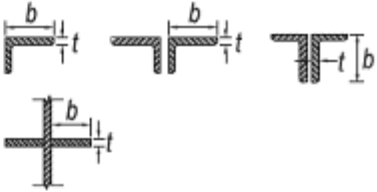

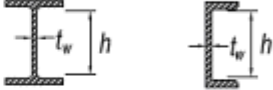
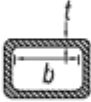
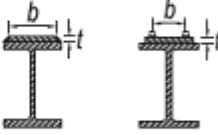

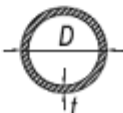
Jika  $b/t, D/t, h/t_w \leq \lambda_r$       elemen penampang tak langsing (*nonslender*)  
 Jika  $b/t, d/t, h/t_w > \lambda_r$       penampang langsing (*slender*)



AISC 2010

TABLE B4.1a

Width-to-Thickness Ratios: Compression Elements  
Members Subject to Axial Compression

	Case	Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio $\lambda_r$ (nonslender/slender)	Examples
Unstiffened Elements	1	Flanges of rolled I-shaped sections, plates projecting from rolled I-shaped sections; outstanding legs of pairs of angles connected with continuous contact, flanges of channels, and flanges of tees	$b/t$	$0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2	Flanges of built-up I-shaped sections and plates or angle legs projecting from built-up I-shaped sections	$b/t$	$0.64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ [a]	
	3	Legs of single angles, legs of double angles with separators, and all other unstiffened elements	$b/t$	$0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	4	Stems of tees	$d/t$	$0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Stiffened Elements	5	Webs of doubly-symmetric I-shaped sections and channels	$h/t_w$	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6	Walls of rectangular HSS and boxes of uniform thickness	$b/t$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7	Flange cover plates and diaphragm plates between lines of fasteners or welds	$b/t$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8	All other stiffened elements	$b/t$	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9	Round HSS	$D/t$	$0.11 \frac{E}{F_y}$	

## 8. Profil Tersusun batang Tekan.

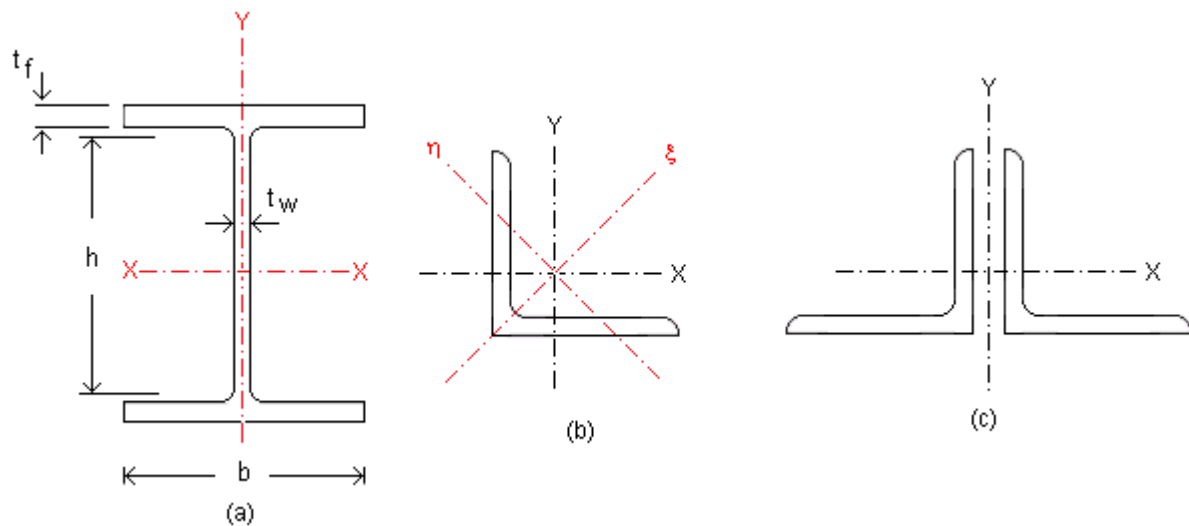
Profil tersusun adalah susunan beberapa profil menjadi satu profil atau batang tunggal, yang diikat dengan pelat-pelat yang disebut Pelat Koppel, dimana kekuatannya dihitung terhadap Sumbu Bahan dan Sumbu Bebas Bahan.

### a). Sumbu profil.

Pada batang tekan terdapat sumbu-sumbu penting yang harus diperhatikan, yaitu :

- Sumbu Utama.
- Sumbu Bahan.
- Sumbu Bebas Bahan.

Sumbu utama, adalah sumbu dimana terdapat nilai inertia ekstrim maksimum dan minimum, seperti terlihat pada gambar 16.(a) berikut, dimana sumbu X dan sumbu Y adalah sumbu utama, sumbu X dan Y pada profil ini adalah juga merupakan sumbu bahan.



Gambar 16 : Letak sumbu-sumbu profil.

Pada gambar 16.(b), yaitu profil siku tunggal, sumbu bahannya adalah sumbu X dan sumbu Y. Yang menjadi sumbu utama adalah sumbu  $\xi$  tempat momen inertia ekstrim maksimum, dan sumbu  $\eta$  tempat momen inertia ekstrim minimum.

Besar momen inertia  $I_\xi$  dan  $I_\eta$  dapat dilihat pada tabel profil, atau dapat dihitung sebagai berikut,

$$I_\xi = I_{\text{maks}} = \frac{I_x + I_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{I_x - I_y}{2}\right)^2 + S_{xy}^2} \quad \dots(19.a)$$

$$I_\eta = I_{\text{min}} = \frac{I_x + I_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{I_x - I_y}{2}\right)^2 + S_{xy}^2} \quad \dots(19.b)$$

Dimana,

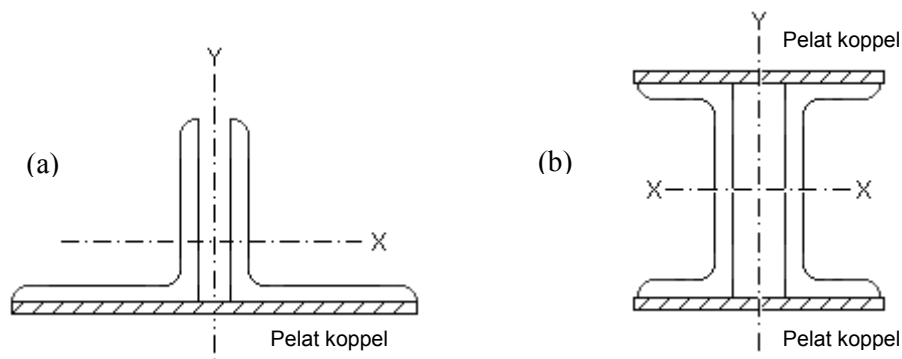
$I_x$  = momen inertia terhadap sumbu X.

$I_y$  = momen inertia terhadap sumbu Y.

$S_{xy}$  = momen sentrifugal terhadap sumbu X dan Y.

Pada Gambar 16.(c), sumbu X adalah sumbu bahan dan sumbu Y adalah sumbu bebas bahan.

b). Kelangsingan batang profil tersusun.



Gambar 17 : Profil tersusun.

- Terhadap sumbu X-X (sumbu bahan),

$$\lambda_x = \frac{k \cdot L_x}{r_x} \quad \dots(20)$$

Dimana,

$k$  = faktor panjang tekuk.

$L_x$  = panjang komponen struktur tekan arah X.

$r_x$  = jari-jari inertia terhadap sumbu X.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_{x \text{ total}}}{A_{g \text{ total}}}} \quad \dots(21)$$

- Terhadap sumbu Y-Y (sumbu bebas bahan),

$$\lambda_{iy} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \lambda_1^2} \quad \dots(22)$$

Dimana,

$$\lambda_y = \frac{k \cdot L_y}{r_y} \quad \dots(23)$$

$$\lambda_1 = \frac{L_1}{r_{\min}} \quad \dots(24)$$

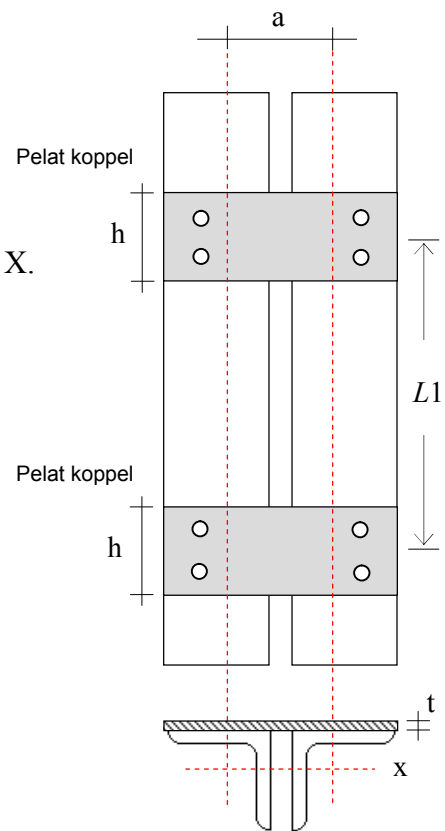
$m$  = jumlah batang tunggal yang membentuk profil tersusun.

$L_y$  = panjang komponen struktur tekan arah Y.

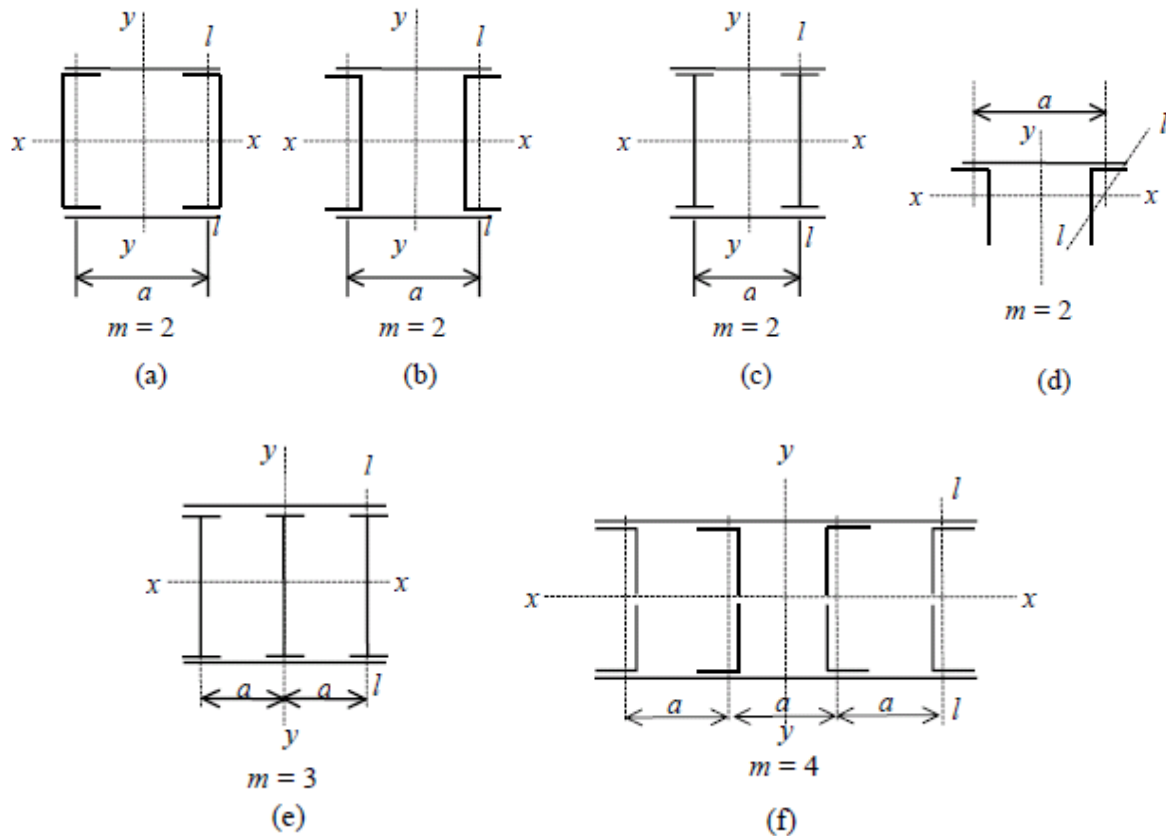
$r_y$  = jari-jari inertia terhadap sumbu Y.

$L_1$  = jarak antara dua pelat koppel.

$r_{\min} = r_{\eta}$  = jari-jari inertia minimum batang tunggal (lihat gbr.16.b). (revisi)



Gambar 18



Gambar 19 : Profil tersusun dengan nilai m.  
Sumber : SNI 03-1729-2002

### c). Pelat Koppel.

SNI 03-1729-2002 pasal 9.3 menyatakan bahwa persamaan (22) diatas terpenuhi apabila :

- c1). Pelat-pelat koppel membagi komponen struktur tersusun menjadi beberapa bagian yang sama panjang atau dapat dianggap sama panjang.
- c2). Banyaknya pembagian komponen struktur minimum adalah 3 (tiga) medan pelat koppel.
- c3). Hubungan antara pelat koppel dengan elemen komponen struktur tekan harus kaku.
- c4). Pelat koppel harus cukup kaku, sehingga memenuhi persamaan,

$$\frac{I_p}{a} \geq 10 \cdot \frac{I_1}{L_1} \quad \dots(25)$$

Dimana,

$I_p$  = momen inertia pelat koppel  
=  $1/12 \cdot t \cdot h^3$ .

Apabila pelat koppel terdapat pada muka dan belakang (gbr 19.a,b,c,e,f), (revisi)

$I_p$  =  $(2) \cdot 1/12 \cdot t \cdot h^3$ .

$I_1$  = momen inertia minimum batang tunggal ( $I_{\eta}$ ), lihat gambar 16.b. (revisi)

$a$  = jarak antara dua pusat berat profil, lihat gambar 18 dan 19.

Pelat-pelat koppel harus dihitung dengan menganggap bahwa pada seluruh panjang komponen struktur tersusun itu bekerja gaya lintang sebesar,

$$Du = 0,02 \quad Nu \quad \dots(26)$$

dengan  $Nu$  adalah kuat tekan perlu (beban kerja) komponen struktur tersusun akibat beban-beban terfaktor. Anggapan ini hanya berlaku untuk batang tekan dengan gaya sentris.

**d). Koefisien Tekuk.**

Koefisien tekuk  $\omega_x$  dan  $\omega_{iy}$  selanjutnya ditentukan oleh harga-harga  $\lambda_x$  dan  $\lambda_{iy}$  :

- Terhadap sumbu X,

$$\lambda_{cx} = \frac{1}{\pi} (\lambda_x) \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

- Terhadap sumbu Y,

$$\lambda_{ciy} = \frac{1}{\pi} (\lambda_{iy}) \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

Dengan menggunakan parameter kelangsingan batang tekan pada persamaan (15) sebelumnya dicari koefisien tekuk dengan persamaan 18.(a), (b), dan (c) (lihat *Modul 4 Sesi I*) seperti berikut,

$$\text{untuk } \lambda_c \leq 0,25 \quad \text{maka } \omega = 1$$

$$\text{untuk } 0,25 < \lambda_c < 1,2 \quad \text{maka } \omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c}$$

$$\text{untuk } \lambda_c \geq 1,2 \quad \text{maka } \omega = 1,25\lambda_c^2$$

**e). Kuat Tekan Nominal.**

Kuat tekan nominal dipilih yang terkecil dari kedua persamaan berikut,

- Terhadap sumbu X,

$$N_n = A_g \cdot \frac{f_y}{\omega_x} \quad \dots(27.a)$$

- Terhadap sumbu Y,

$$N_n = A_g \cdot \frac{f_y}{\omega_{iy}} \quad \dots(27.b)$$

**f). Kestabilan Profil Tersusun.**

Pasal 9.3.(6) SNI 03-1729-2002 menyatakan, untuk menjaga kestabilan elemen-elemen penampang komponen struktur tersusun maka harga-harga  $\lambda_x$  dan  $\lambda_{iy}$  pada persamaan (20) dan (22) harus memenuhi :

$$\lambda_x \geq 1,2 \quad \lambda_1 \quad \dots(28.a)$$

$$\lambda_{iy} \geq 1,2 \quad \lambda_1 \quad \dots(28.b)$$

$$\lambda_1 \leq 50 \quad \dots(28.c)$$