

STRUKTUR BAJA 1

MODUL 4

Sesi 1

Batang Tekan (Compression Member)

Materi Pembelajaran :

1. Elemen Batang Tekan..
2. Tekuk Elastis EULER.
3. Panjang Tekuk.
4. Batas Kelangsingan Batang Tekan.
 - Contoh Soal 1.
5. Pengaruh Tegangan Sisa (*Residual Stress*).
6. Tahanan Tekan Nominal.
 - Gaya Tekuk Elastis.
 - Daya Dukung Nominal Komponen Struktur Tekan.
 - Contoh Soal 2.

Tujuan Pembelajaran :

- *Mahasiswa mengetahui dan memahami elemen batang tekan, tekuk elastis EULER, panjang tekuk, batas kelangsingan batang tekan, pengaruh tegangan sisa dan tahanan tekan nominal.*

DAFTAR PUSTAKA

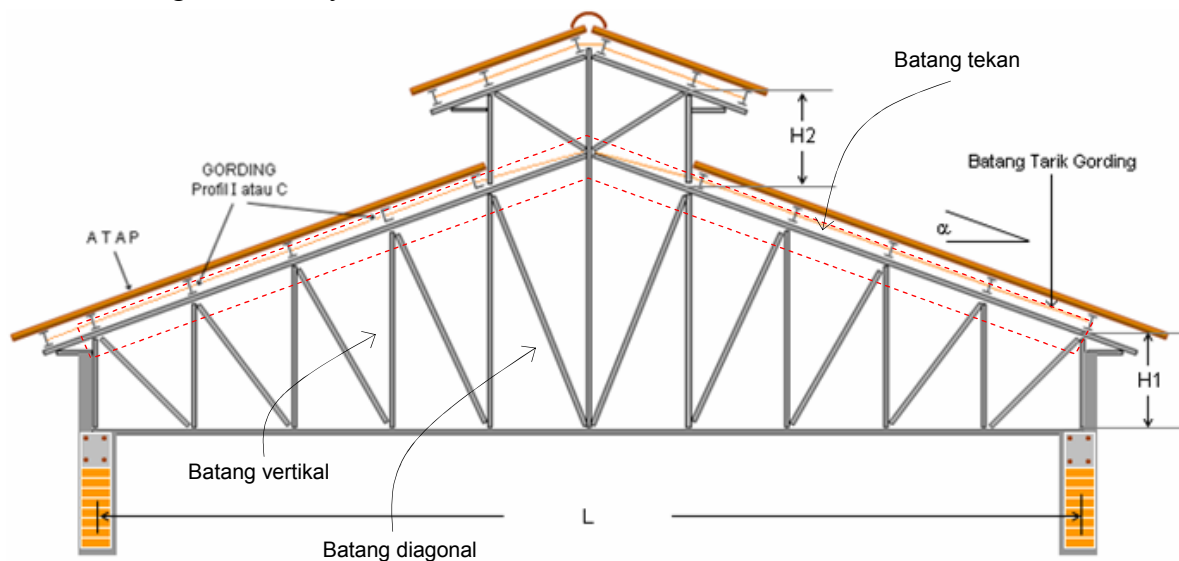
- a) Agus Setiawan, "Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD (Berdasarkan SNI 03-1729-2002)", Penerbit AIRLANGGA, Jakarta, 2008.
- b) Charles G. Salmon, Jhon E. Johnson, "STRUKTUR BAJA, Design dan Perilaku", Jilid 1, Penerbit AIRLANGGA, Jakarta, 1990.
- c) "PERATURAN PERENCANAAN BANGUNAN BAJA (PPBBI)", 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.

BATANG TEKAN

(COMPRESSION MEMBER)

1. Elemen Batang Tekan.

Batang tekan yang hanya menerima gaya tekan secara sentris saja dijumpai pada struktur rangka atap, jembatan, menara dan struktur lain yang bersifat rangka. Pada struktur rangka atap dan jembatan umumnya dijumpai pada batang-batang tepi atas, sedikit pada batang-batang diagonal dan vertikal, lihat gambar berikut. Batang ini tidak mengalami momen dan gaya lintang, hanya ada gaya normal tekan yang bekerja sentris, tepat pada garis berat penampang, oleh karena sifat dari struktur rangka itu sendiri dimana buhul-buhulnya dapat berotasi sehingga gaya-gaya dalam yang lain seperti momen dan gaya lintang akan tereduksi dengan sendirinya.



Gambar 1 : Struktur rangka atap.
Sumber : STEELROOFTRUSS, 2011.

Pada struktur portal, kolom merupakan elemen utama yang memikul gaya tekan, tetapi masih mengandung gaya dalam momen dan gaya lintang.

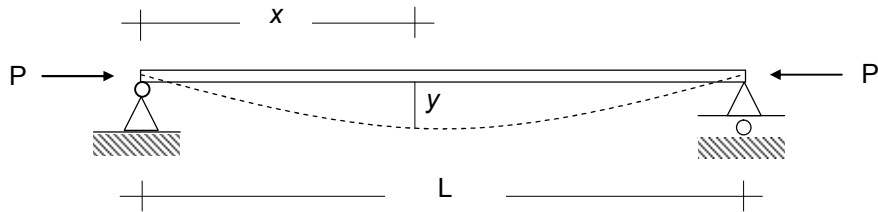
2. Tekuk Elastis Euler.

Pada tekuk elastis, komponen struktur yang dibebani gaya tekan, masih dalam keadaan elastis, akan melengkung secara perlahan-lahan, seperti gambar 2. Gaya yang bekerja sentris pada batang menyebabkan batang tersebut melentur sejauh y , sehingga terjadi momen lentur tambahan sekunder yang besarnya,

$$M_x = P \cdot y \quad \dots(1)$$

Garis lentur diberikan oleh persamaan berikut,

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{-M_x}{EI} = \frac{P}{EI} \cdot y \quad \dots(2)$$



Gambar 2 : Kolom tekuk Euler.

Dimana,

E = modulus elastisitas baja

I = momen inerti batang.

Persamaan (2) diatas adalah persamaan homogen linear orde kedua (*second-order homogeneous linear differential equation*) apabila di integralkan akan menghasilkan persamaan beban kritis yang bekerja pada batang tekan,

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{Lk^2} \quad \dots(3)$$

Dimana,

Lk = panjang tekuk batang.



Gambar 3 : Batang tekan kolom struktur portal.

Sumber : AISC Presentation

Tegangan kritis,

$$f_{cr} = \frac{P_{cr}}{A_g} \quad \dots(4)$$

$$f_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{A_g \cdot Lk^2} \quad \dots(5)$$

Untuk jari-jari inerti,

$$r = \sqrt{\frac{I}{A_g}} \quad \dots(6)$$

Maka,

$$f_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot r^2}{Lk^2} \quad \dots(7)$$

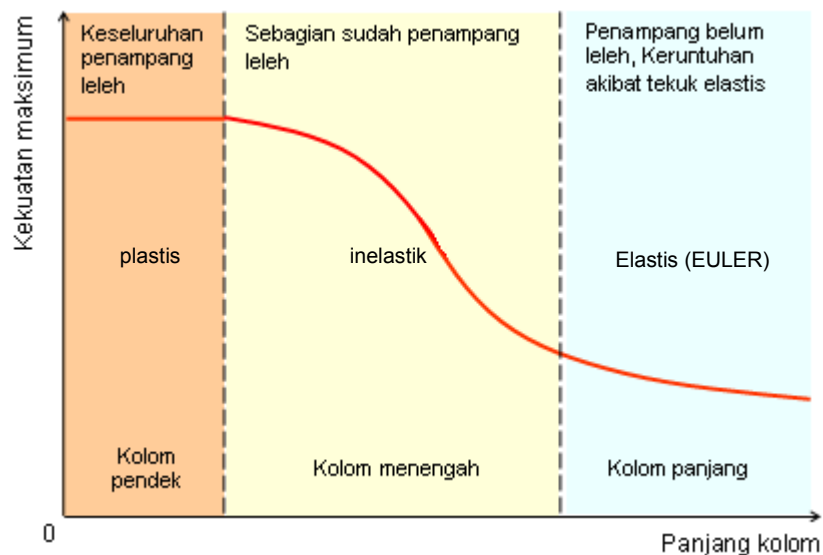
Untuk kelangsingan batang,

$$\lambda = \frac{Lk}{r} \quad \dots(8)$$

Diperoleh,

$$f_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} \quad \dots(9)$$

Pendekatan EULER diatas hanya terjadi pada batang tekan dalam kondisi elastis dengan kelangsingan yang besar ($\lambda > 110$, batang panjang), artinya batang tekan sudah menekuk sebelum tegangan mencapai leleh. Untuk kelangsingan sedang ($\lambda < 110$, batang sedang) akan terjadi tekuk inelastis, yaitu pada sebagian penampang sudah leleh dan untuk batang pendek ($\lambda < 20$) seluruh penampang leleh, seperti dilukiskan gambar 4 berikut,

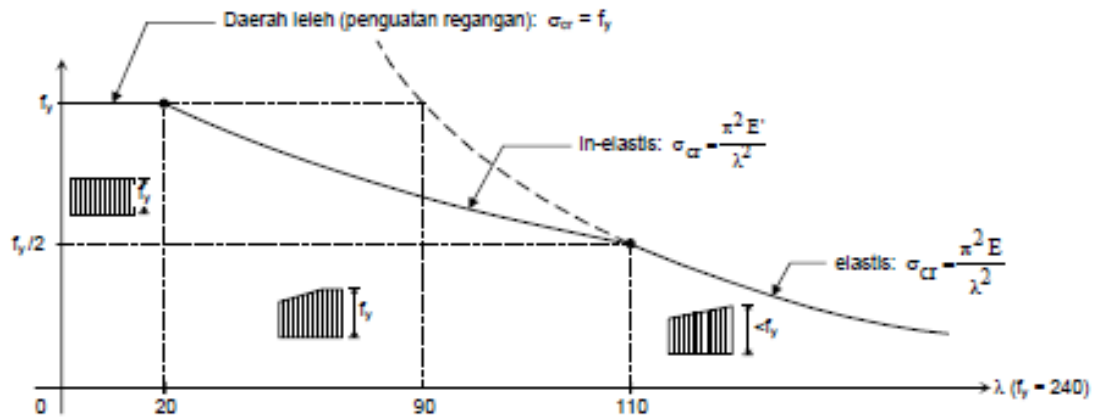


Gambar 4 : Kurva panjang batang/kolom versus kekuatan kritis.

Pada daerah tekuk inelastik besaran modulus elastis E menurun menjadi E_t ($E > E_t$), dan kurva tegangan-regangan tidak lagi linear, dan rumus EULER diatas berubah menjadi,

$$f_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t}{\lambda^2} \quad \dots(10)$$

Grafik yang menggambarkan hubungan tegangan – kelangsingan seperti berikut,



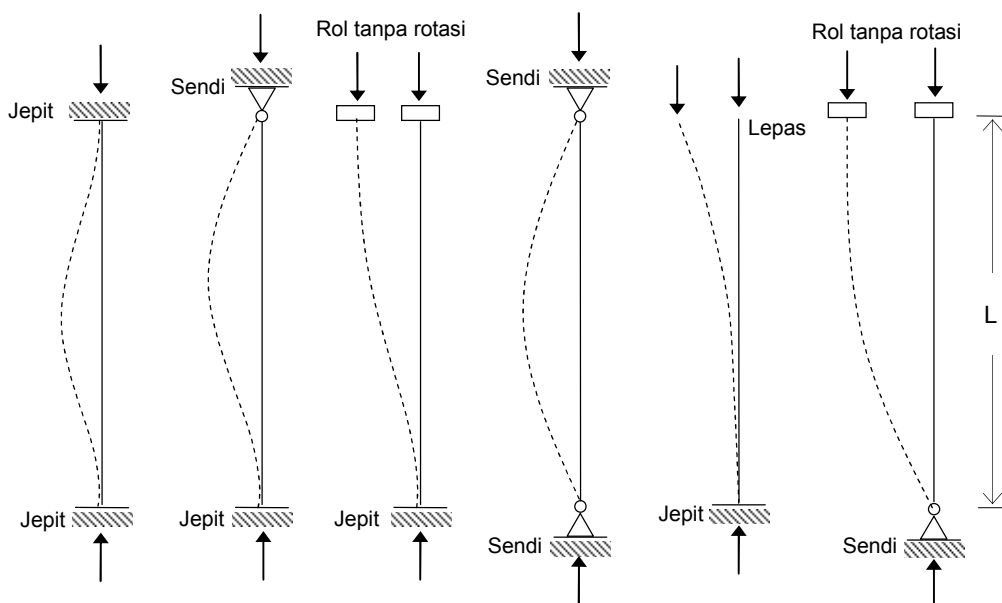
Gambar 5 : Kurva hubungan antara tegangan (f) versus kelangsingan (λ).

Persamaan Euler diatas bergantung kepada anggapan berikut ini,

- Kolom/batang benar-benar lurus.
- Beban bekerja secara sentris, tanpa eksentrisitas gaya.
- Kolom/batang mempunyai perletakan sendi pada kedua ujungnya.
- Tidak terjadi puntir selama pelenturan.
- Kolom/batang tidak cacat.

3. Panjang Tekuk.

Panjang tekuk (L_k) batang tekan sangat tergantung kepada jenis perletakannya, seperti kolom dengan tumpuan jepit dapat menahan ujungnya dari berotasi dan translasi, sehingga mampu menahan beban yang lebih besar dibandingkan tumpuan sendi. Panjang tekuk dihitung seperti berikut,



Gambar 6 : Garis lentur akibat tekuk berdasarkan jenis perletakan.

Apabila $L_k = k \cdot L$, dimana k faktor panjang tekuk, maka nilai k dapat dilihat pada tabel berikut,

Tabel 1 : Faktor panjang tekuk (k)

	Jepit-jepit	Jepit-sendi	Jepit-rol tanpa rotasi	Sendi-sendi	Jepit-lepas	Sendi-rol tanpa rotasi
k teoritis	0,50	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	1,00	1,00	2,00	2,00
k desain	0,65	0,80	1,20	1,00	2,10	2,00

Sumber : SNI 03-1729-2002

Untuk kolom pada struktur portal, faktor panjang tekuknya (k) dipengaruhi oleh nilai G pada ujung-ujung kolom. Nilai G pada salah satu ujung adalah ratio jumlah kekakuan semua kolom terhadap jumlah kekakuan semua balok yang bertemu di ujung tersebut yang ditulis dengan rumus;

$$G_A = \frac{\sum (I_{cA} / L_{cA})}{\sum (I_{bA} / L_{bA})} \quad \dots(11.a)$$

$$G_B = \frac{\sum (I_{cB} / L_{cB})}{\sum (I_{bB} / L_{bB})} \quad \dots(11.b)$$

$$Lk = k \cdot L \quad \dots(12)$$

I_{cA} = Momen inertia kolom yang bertemu di titik A.

I_{cB} = Momen inertia kolom yang bertemu di titik B.

L_{cA} = Panjang kolom yang bertemu di titik A.

L_{cB} = Panjang kolom yang bertemu di titik B.

I_{bA} = Momen inertia balok yang bertemu di titik A.

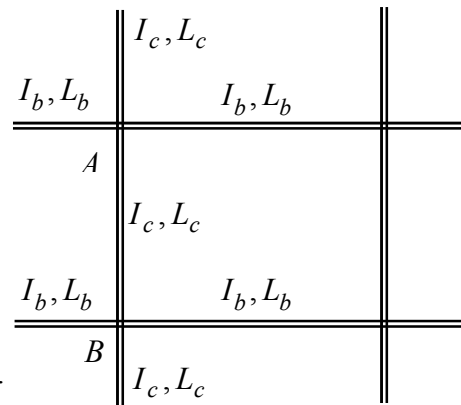
I_{bB} = Momen inertia balok yang bertemu di titik B.

L_{bA} = Panjang balok yang bertemu di titik A.

L_{bB} = Panjang balok yang bertemu di titik B.

Untuk tumpuan jepit nilai $G = 1$

Untuk tumpuan sendi nilai $G = 10$



Gambar 7 : Kolom dan balok portal.

Faktor panjang tekuk (k) dihitung dengan memasukkan nilai G kedua ujung-ujungnya pada nomogram gambar 8. Dari kedua titik nilai G tersebut ditarik garis yang memotong garis skala k . Titik potong ini menunjukkan nilai k dari kolom tersebut. Perlu diperhatikan bahwa ada dua nomogram, yaitu untuk struktur tak bergoyang dan untuk struktur bergoyang. Struktur tak bergoyang artinya jika ujung-ujung dari kolom yang ditinjau tidak dapat berpindah ke arah lateral.

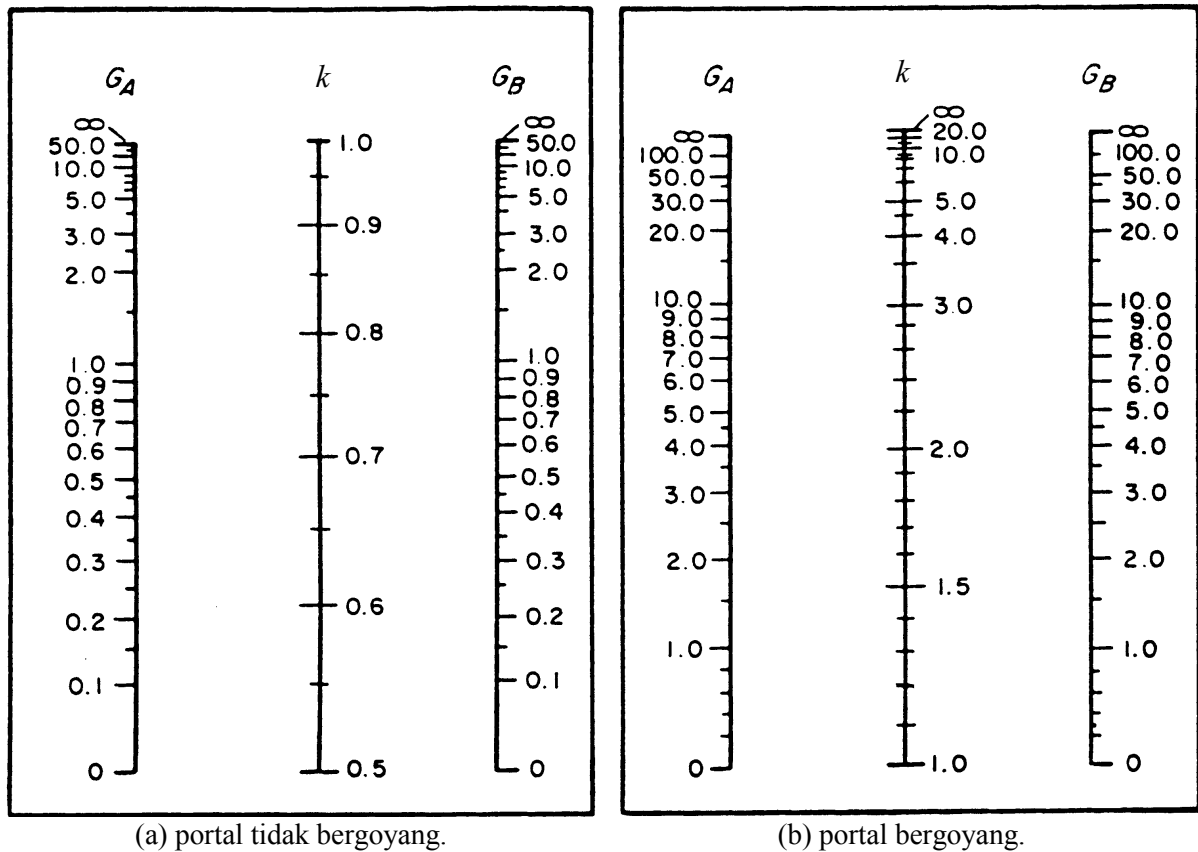
4. Batas Kelangsingan Batang Tekan.

Untuk batang-batang yang direncanakan terhadap tekan, angka perbandingan kelangsingan,

$$\lambda = Lk / r < 200.$$

Dimana,

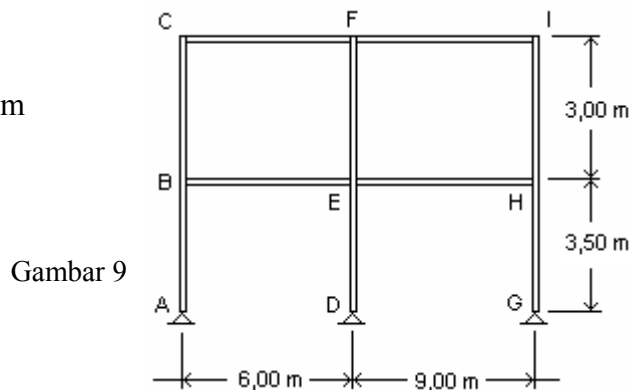
Lk = panjang tekuk = $k \cdot L$; r = jari-jari inertia.



Gambar 8 : Nomogram faktor panjang tekuk kolom portal.

Contoh 1 :

Hitunglah nilai k untuk masing-masing kolom pada struktur portal seperti gambar 9.



Penyelesaian :

a). Kekakuan tiap elemen balok dan kolom, dihitung dalam tabel berikut,

Tabel 2 : Kekakuan elemen balok dan kolom.

Elemen	Fungsi	Profil	I_x cm ⁴	L cm	I_x / L cm ³
AB	Kolom	WF 200.200.8.12	4720	350	13.486
BC	Kolom	WF 200.200.8.12	4720	300	15.733
DE	Kolom	WF 250.125.6.9	4050	350	11.571
EF	Kolom	WF 250.125.6.9	4050	300	13.500
GH	Kolom	WF 200.200.8.12	4720	350	13.486
HI	Kolom	WF 200.200.8.12	4720	300	15.733
BE	Balok	WF 450.200.9.14	33500	600	55.833
CF	Balok	WF 400.200.8.13	23700	600	39.500
EH	Balok	WF 450.300.11.18	56100	900	62.333
FI	Balok	WF 400.300.10.16	38700	900	43.000

b). Faktor G tiap titik buhul (*Joint*)

Tabel 3 : Perhitungan faktor G tiap titik buhul (*Joint*).

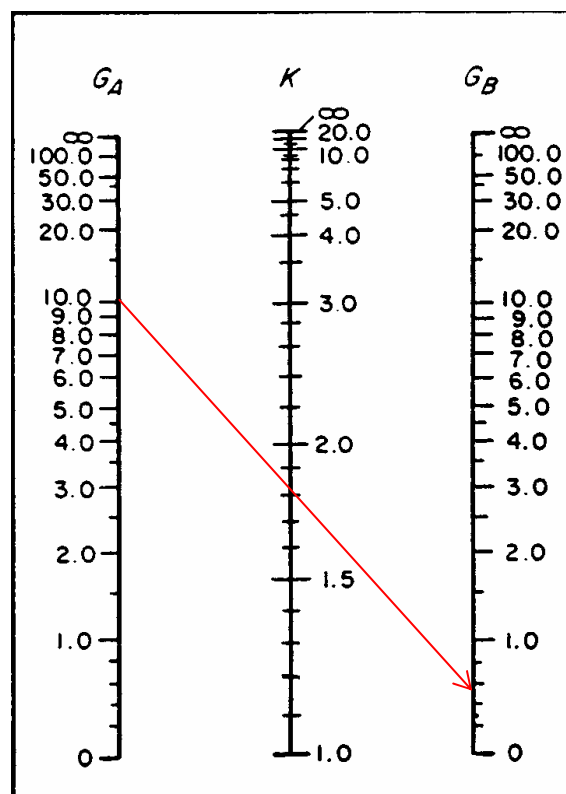
Joint			G	Ket.
A		-	10	Sendi
B	(Kolom AB + Kolom BC) / (Balok BE)	$(13.486 + 15.733) / 55.833$	0.523	
C	(Kolom BC) / (Balok CF)	$(15.733) / 39.500$	0.398	
D			10	Sendi
E	(Kolom DE + Kolom EF) / (Balok BE + Balok EH)	$(11.571 + 13.500) / (55.833 + 62.333)$	0.212	
F		$(13.500) / (39.500 + 43.000)$	0.164	
G			10	Sendi
H	(Kolom GH + Kolom HI) / (balok EH)	$(13.486 + 15.733) / 62.333$	0.469	
I	(Kolom HI) / (Balok FI)	$(15.733) / 43.000$	0.366	

b). Faktor panjang tekuk (panjang efektif) k masing-masing kolom,

Tabel 4 : Faktor panjang tekuk, k .

Kolom	G_A	G_B	k
AB	10	0.523	1.80
BC	0.523	0.398	1.15
DE	10	0.212	1.72
EF	0.212	0.164	1.07
GH	10	0.469	1.79
HI	0.469	0.366	1.18

Contoh memakai nomogram untuk portal bergoyang, kolom AB,



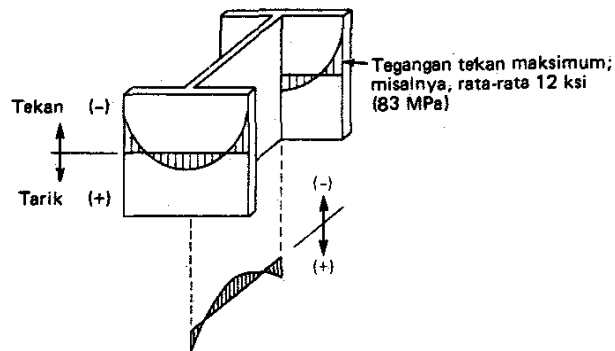
Gambar 10.

5. Pengaruh Tegangan Sisa (*Residual Stress*).

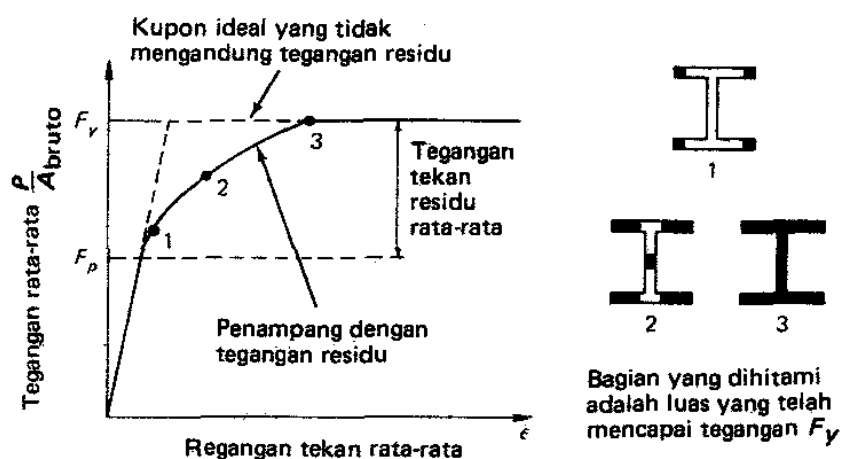
Tegangan sisa (*Residual Stress*), adalah tegangan yang tertinggal dalam suatu komponen struktur baja, pada proses pembuatannya maupun dalam pemakaiannya. Yang dapat diakibatkan oleh antara lain,

- Proses pendinginan yang tidak merata setelah profil struktural dibentuk dengan penggilingan panas.
- Lenturan atau lendutan dingin selama fabrikasi.
- Proses pelobangan dan pemotongan selama fabrikasi.
- Proses pengelasan.

Pada penampang profil sayap lebar (*wide flange*) atau profil H yang digiling panas, sayap yang merupakan bagian yang lebih tebal mendingin lebih lambat daripada daerah badan (*web*). Ujung sayap yang lebih terbuka terhadap udara lebih cepat dingin daripada daerah pertemuan sayap dan badan, ini berakibat ujung-ujung sayap dan tengah-tengah badan mengalami tegangan residu tekan. Sedangkan pada daerah pertemuan sayap dan badan mengalami tegangan residu tarik. Distribusi tegangan residu dapat dilihat pada gambar 11 berikut.

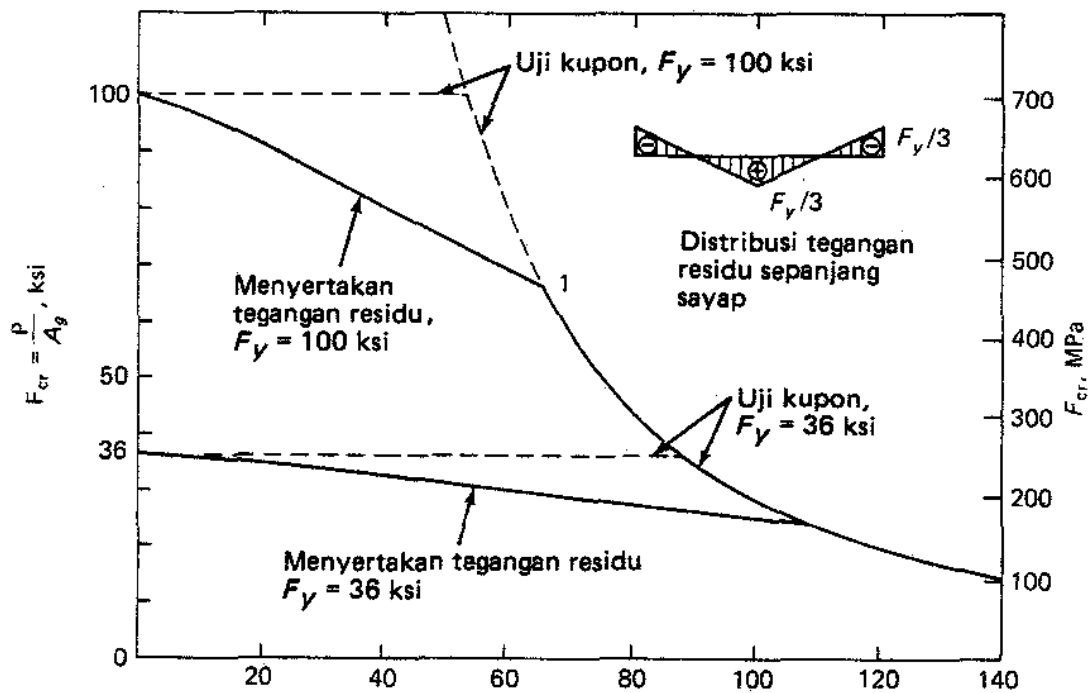


Gambar 11 : Pola tegangan residu yang umum pada profil giling.



Gambar 12 : Pengaruh tegangan residu pada kurva tegangan-regangan rata-rata.

Sumber : Charles G. Salmon, Jhon E. Johnson, "STRUKTUR BAJA, *Design dan Perilaku*", Jilid 1, Penerbit AIRLANGGA, Jakarta, 1990.



Gambar 13 : Kurva kekuatan yang menunjukkan pengaruh tegangan residu ($E = 29.000 \text{ ksi}$).
 Sumber : Charles G. Salmon, Jhon E. Johnson, "STRUKTUR BAJA, Design dan Perilaku", Jilid 1, Penerbit AIRLANGGA, Jakarta, 1990.

SNI 03-1729-2002, pada tabel 7.5.1, menetapkan pengaruh tegangan residu pada pelat sayap 70 MPa untuk penampang yang dirol/digiling panas, dan 115 MPa untuk penampang yang dilas. Misal pada sayap profil dengan mutu baja BJ-34, dengan tegangan leleh $f_y = 210 \text{ MPa}$, harus dikurangi sebesar 70 MPa menjadi $f_y = 210 \text{ MPa} - 70 \text{ MPa} = 140 \text{ MPa}$.

6. Tahanan Tekan Nominal (SNI 03-1729-2002).

Suatu komponen struktur yang mengalami gaya tekan sentris akibat beban terfaktor N_u menurut SNI 03-1729-2002, pasal 9.1, harus memenuhi :

$$N_u < \phi_n \cdot N_n \quad \dots(13)$$

Dimana,

ϕ_n = adalah faktor reduksi kekuatan (lihat SNI, Tabel 6.4-2),
 = 0,85.

N_u = beban terfaktor.

N_n = kekuatan tekan nominal.

a. Gaya tekuk elastis.

SNI pasal 7.6.1, gaya tekuk elastis komponen struktur (N_{cr}) ditetapkan sebagai berikut:

$$N_{cr} = \frac{A_g \cdot f_y}{\lambda_c^2} \quad \dots(14)$$

dengan parameter kelangsingan kolom, λ_c , ditetapkan sebagai berikut:

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \frac{L_k}{r} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad \dots(15)$$

dengan $L_k = k \cdot L$ dan f_y adalah tegangan leleh material. Dalam hal ini k adalah faktor panjang tekuk, dan L adalah panjang teoritis kolom.

b. Daya dukung nominal komponen struktur tekan

Daya dukung nominal komponen struktur tekan dihitung sebagai berikut:

$$N_n = A_g \cdot f_{cr} = A_g \cdot \frac{f_y}{\omega} \quad \dots(16)$$

$$f_{cr} = \frac{f_y}{\omega} \quad \dots(17)$$

$$\text{untuk } \lambda_c \leq 0,25 \quad \text{maka } \omega = 1 \quad \dots(18.a)$$

$$\text{untuk } 0,25 < \lambda_c < 1,2 \quad \text{maka } \omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} \quad \dots(18.b)$$

$$\text{untuk } \lambda_c \geq 1,2 \quad \text{maka } \omega = 1,25\lambda_c^2 \quad \dots(18.c)$$

Keterangan:

A_g = luas penampang bruto, mm²
 f_{cr} = tegangan kritis penampang, MPa
 f_y = tegangan leleh material, MPa
 ω = koefisien tekuk.

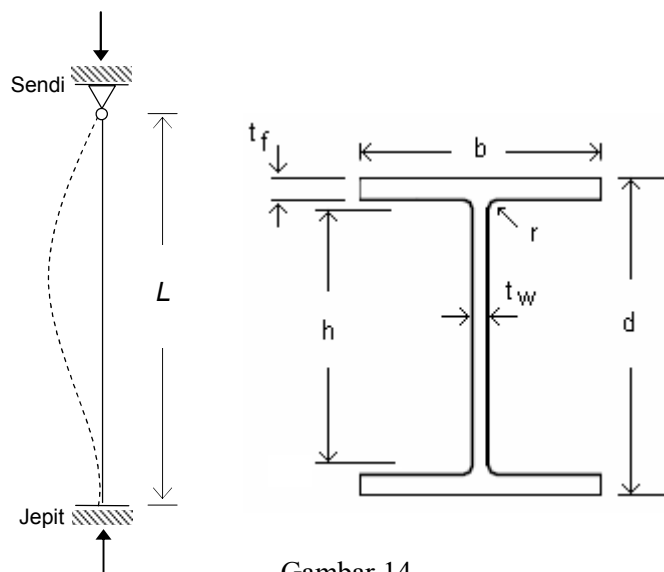
Contoh 2 :

Lakukanlah evaluasi terhadap komponen struktur tekan berikut dengan memakai profil WF 300.200.9.14. Kondisi perletakan jepit – sendi. Beban aksial terfaktor $N_u = 120$ ton = 1200 kN. Mutu baja BJ-37 ($f_y = 240$ MPa, $f_u = 370$ MPa). Panjang batang $L = 4500$ mm.

DATA-DATA :

WF 300.200.9.14

d = 298 mm
 b = 201 mm
 t_f = 14 mm
 t_w = 9 mm
 L = 4500 mm
 r = 18 mm
 A_g = 8336 mm²
 r_x = 126 mm
 r_y = 47,7 mm
 h = $d - 2 \cdot (t_f + r)$
 $= 298 - 2 \cdot (14 + 18)$
 h = 234 mm



Gambar 14.

EVALUASI

a. Kelangsingan batang.

Faktor panjang tekuk, $k = 0,80$ (jepit-sendi, tabel 1)

- Tekuk ke arah sumbu – X,

$$L_{kx} = k \cdot L = 0,8 \cdot (4500) = 3600 \text{ mm.}$$

$$\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{3600}{126} = 28,57 < 200 \text{ (memenuhi).}$$

- Tekuk ke arah sumbu – Y,

$$L_{ky} = k \cdot L = 0,8 \cdot (4500) = 3600 \text{ mm.}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{3600}{47,7} = 75,47 < 200 \text{ (memenuhi).}$$

b. Kekuatan nominal terfaktor batang tekan.

- Ke arah sumbu – X,

$$\lambda_{cx} = \frac{1}{\pi} \frac{L_{kx}}{r_x} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$$\lambda_{cx} = \frac{1}{\pi} \cdot (28,57) \cdot \sqrt{\frac{240}{200000}} = 0,3152 \text{ (untuk } \pi = 3,14)$$

$$\text{Untuk } 0,25 < \lambda_{cx} < 1,2 \quad \text{maka} \quad \omega_x = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_{cx}}$$

$$\omega_x = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot (0,3152)} = 1,0297$$

Kekuatan nominal batang tekan,

$$N_n = A_g \cdot f_{cr} = A_g \cdot \frac{f_y}{\omega_x} = (8336 \text{ mm}) \cdot \frac{240 \text{ MPa}}{1,0297} = 1942935 \text{ N}$$

$$N_n = 1942,9 \text{ kN.}$$

Kekuatan nominal terfaktor,

$$N_u = \phi_n \cdot N_n = 0,85 \cdot (1942,9) \text{ kN} = 1651,5 \text{ kN} > 1200 \text{ kN.} \\ \text{(memenuhi).}$$

- Ke arah sumbu – Y,

$$\lambda_{cy} = \frac{1}{\pi} \frac{L_{ky}}{r_y} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$$\lambda_{cy} = \frac{1}{\pi} \cdot (75,47) \cdot \sqrt{\frac{240}{200000}} = 0,8326 \text{ (untuk } \pi = 3,14)$$

$$\text{Untuk } 0,25 < \lambda_{cy} < 1,2 \quad \text{maka} \quad \omega_y = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_{cy}}$$

$$\omega_y = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot (0,8326)} = 1,3722$$

Kekuatan nominal batang tekan,

$$N_n = A_g \cdot f_{cr} = A_g \cdot \frac{f_y}{\omega_y} = (8336 \text{ mm}) \cdot \frac{240 \text{ MPa}}{1,3722} = 1457980 \text{ N}$$

$$N_n = 1458,0 \text{ kN}.$$

Kekuatan nominal terfaktor,

$$N_u = \phi_n \cdot N_n = 0,85 \cdot (1458,0) \text{ kN} = 1239,3 \text{ kN} > 1200 \text{ kN}.$$

(memenuhi).