

Analisis Komponen Struktur Baja dengan AISC-LRFD 2005: Teori

Metode Desain

Metode Desain AISC '05

- Desain dengan Kekuatan Izin (ASD)
- LRFD dengan Analisis Elastis

Desain dengan Kekuatan Izin (*Allowable Strength Design*)

- Kuat izin setiap komponen struktur tidak boleh kurang dari kekuatan yang dibutuhkan

$$R_u \leq R_n / \Omega$$

dimana :

R_u = kekuatan yang dibutuhkan (ASD)

R_n = kekuatan nominal

Ω = faktor keamanan

R_n / Ω = kuat izin

Desain dengan Kekuatan Izin (*Allowable Strength Design*)

- Gaya dalam pada komponen struktur dilakukan dengan analisis elastis orde pertama pada kondisi beban kerja
- Efek orde kedua dan inelastisitas ditinjau secara tidak langsung
- Faktor keamanan diterapkan hanya pada sisi tahanan, dan keamanan dihitung pada kondisi beban kerja (tak terfaktor)
- Jadi pada ASD reliabilitas yang seragam tidak mungkin dicapai

LRFD dengan Analisis Elastis

- Kuat rencana setiap komponen struktur tidak boleh kurang dari kekuatan yang dibutuhkan yang ditentukan berdasarkan kombinasi pembebanan LRFD

$$R_u \leq \Phi R_n$$

R_u = kekuatan yang dibutuhkan (LRFD)

R_n = kekuatan nominal

Φ = faktor tahanan (≤ 1.0) (SNI: faktor reduksi)

LRFD dengan Analisis Elastis

- LRFD memperhitungkan keamanan pada kedua sisi (efek beban dan tahanan)
- Setiap kondisi beban mempunyai faktor beban yang berbeda yang memperhitungkan derajat *uncertainty*, sehingga dimungkinkan untuk mendapatkan reliabilitas seragam
- Analisis yang dapat dipilih untuk mendapatkan efek beban :
 1. Analisis Elastis Orde Kedua, atau
 2. Analisis Elastis Orde Pertama dan efek orde kedua diperhitungkan dengan menggunakan faktor amplifikasi momen B1 dan B2.
- Efek inelastis ditinjau secara tidak langsung.

LRFD dengan Analisis Elastis

Indeks Reliabilitas = indeks keamanan =

$$\beta = \frac{\ln(R_n / Q_n)}{\sqrt{V_R^2 + V_Q^2}}$$

R = tahanan rata-rata

Q = efek beban rata-rata

V_R = koefisien variasi tahanan

V_Q = koefisien variasi efek beban

Kombinasi Pembebanan pada LRFD dengan Analisis Elastis

- $U = 1.4D$
- $U = 1.2D + 1.6L + 0.5(L_a \text{ atau } H)$
- $U = 1.2D + 1.6(L_a \text{ atau } H) + (\gamma_L L \text{ atau } 0.8W)$
- $U = 1.2D + 1.3 W + \gamma_L L + 0.5(L_a \text{ atau } H)$
- $U = 1.2D \pm 1.0 E + \gamma_L L$
- $U = 0.9D \pm (1.3 W \text{ atau } 1.0E)$

Kombinasi Pembebanan pada LRFD

D = beban mati

L = beban hidup

L_a = beban hidup di atap

H = beban hujan

W = beban angin

E = beban gempa

$$\gamma_L = \begin{cases} 0,5 & \text{jika } L < 5 \text{ kPa} \\ 1,0 & \text{jika } L \geq 5 \text{ kPa} \end{cases}$$

Material Baja

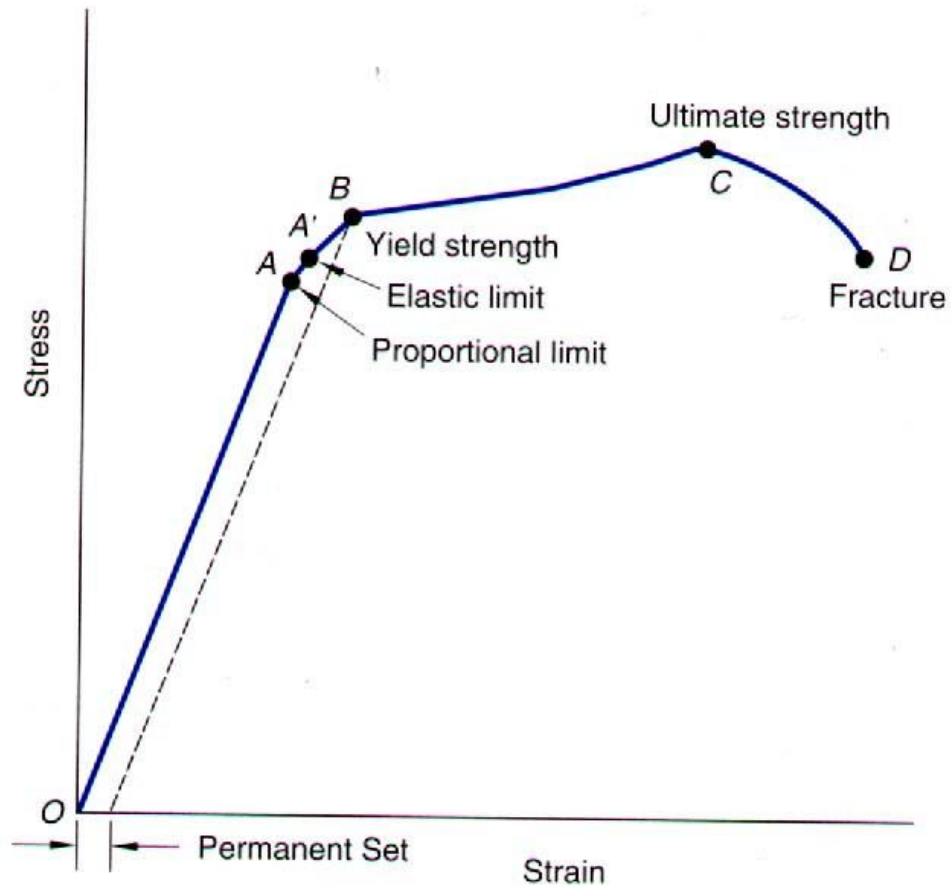
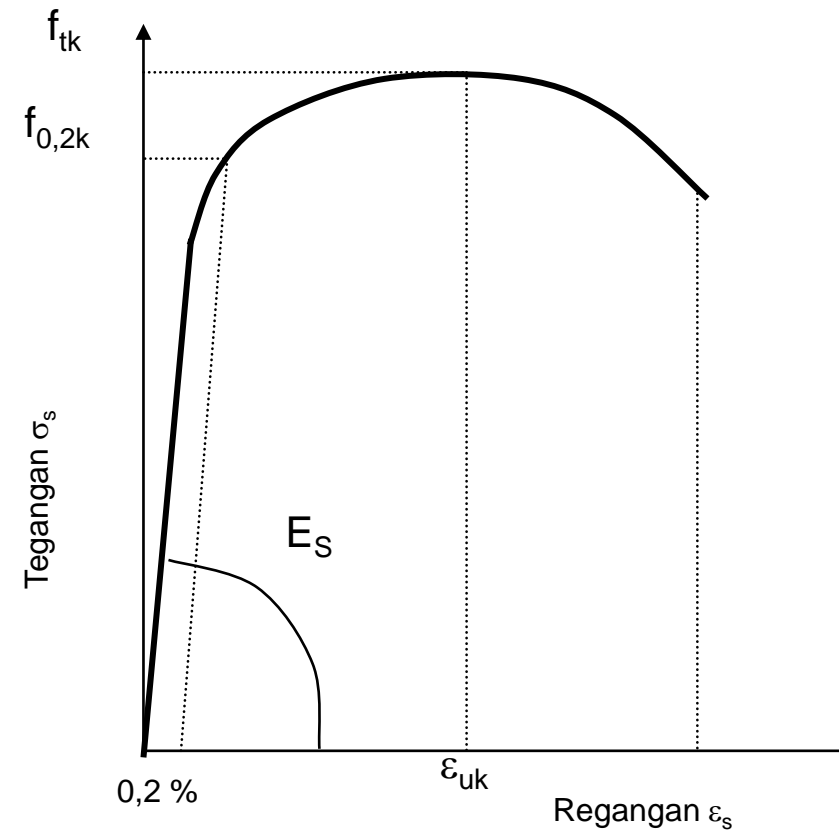
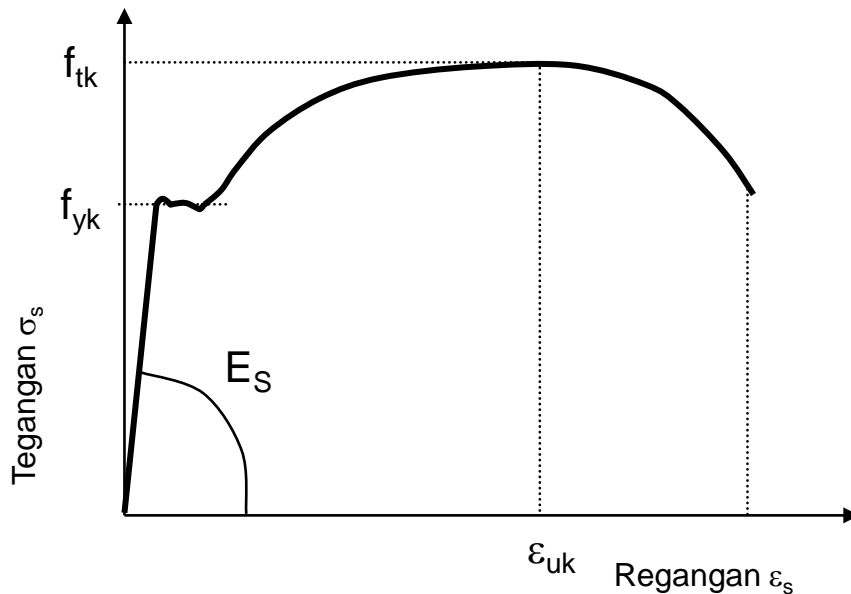


DIAGRAM TEGANGAN – REGANGAN BAJA

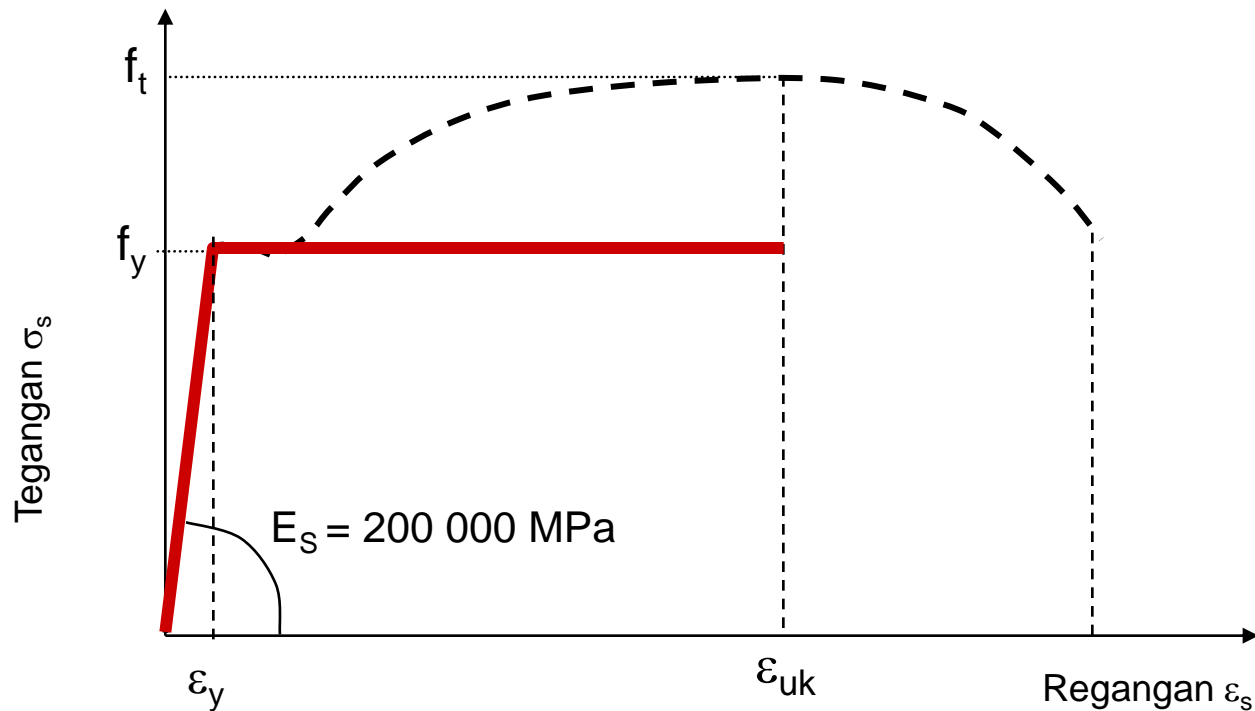
Canai panas (hot rolled)
Titik luluh tampak jelas

Canai dingin (cold worked)
Titik luluh tidak jelas



Tegangan Bi-linear

Diagram tegangan – regangan baja tulangan untuk perancangan penampang disederhanakan menjadi sbb.



Material Properties

- Modulus Elastisitas, $E = 200.000 \text{ MPa}$
- Rasio Poisson, $\mu = 0.3$
- Modulus Geser, $G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$

diambil

$G = 77.200 \text{ MPa}$ (AISC '05), atau 80.000 MPa (SNI)

Material Properties

Jenis Baja	Tegangan putus tarik F_u (MPa)	Tegangan leleh tarik F_y (MPa)
BJ 34	340	210
BJ 37	370	240
BJ 41	410	250
BJ 50	500	290
BJ 52	520	360
BJ 55	550	410

Structural steels and minimum tensile properties

Form	Class	ASTM Designation	Product	Yield, ksi	Strength, ksi
Structural shapes	Carbon steels	A36	Carbon-steel shapes, plates, and bars; general purpose	36	58–80
		A529	Carbon-steel plates and bars 0.5" thick	42	60–85
	High-strength steels	A242	High-strength low-alloy shapes, plates, and bars; general purpose	42–50	63–70
		A441	High-strength low-alloy manganese- vanadium steel shapes, plates, and bars	42–50	63–70
		A572	High-strength low-alloy columbium- vanadium steel shapes, plates, sheet piling, and bars	42–65	60–80
A588	High-strength low-alloy steel shapes, plates, and bars	42–50	63–70		
Plates	Quenched and tempered steel	A514	Quenched and tempered plates of high yield strength	90–100	100–130
Structural pipe and tubing	Welded or seamless pipe	A53	Welded or seamless pipe, black or galvanized	30–35	48–60
	Welded or seamless tubing	A500	Cold-formed welded or seamless tubing in round, square, rectangular, or special shapes	33–50	45–62
		A501	Hot-formed welded or seamless tubing in round, square, rectangular, or special shapes	36	58
Sheet and strip steels	Carbon steels	A570	Hot-rolled carbon-steel sheets and strip in coils or cut lengths	30–50	49–65
		A611	Carbon-steel sheets, cold-rolled	25–80	42–82
	Low-alloy steels	A607	High-strength low-alloy columbium or vanadium, cold- or hot-rolled sheets and strip	45–70	50–85
		Zinc-coated (galvanized)	A446	Zinc-coated (galvanized) sheets in coils or cut lengths	33–80

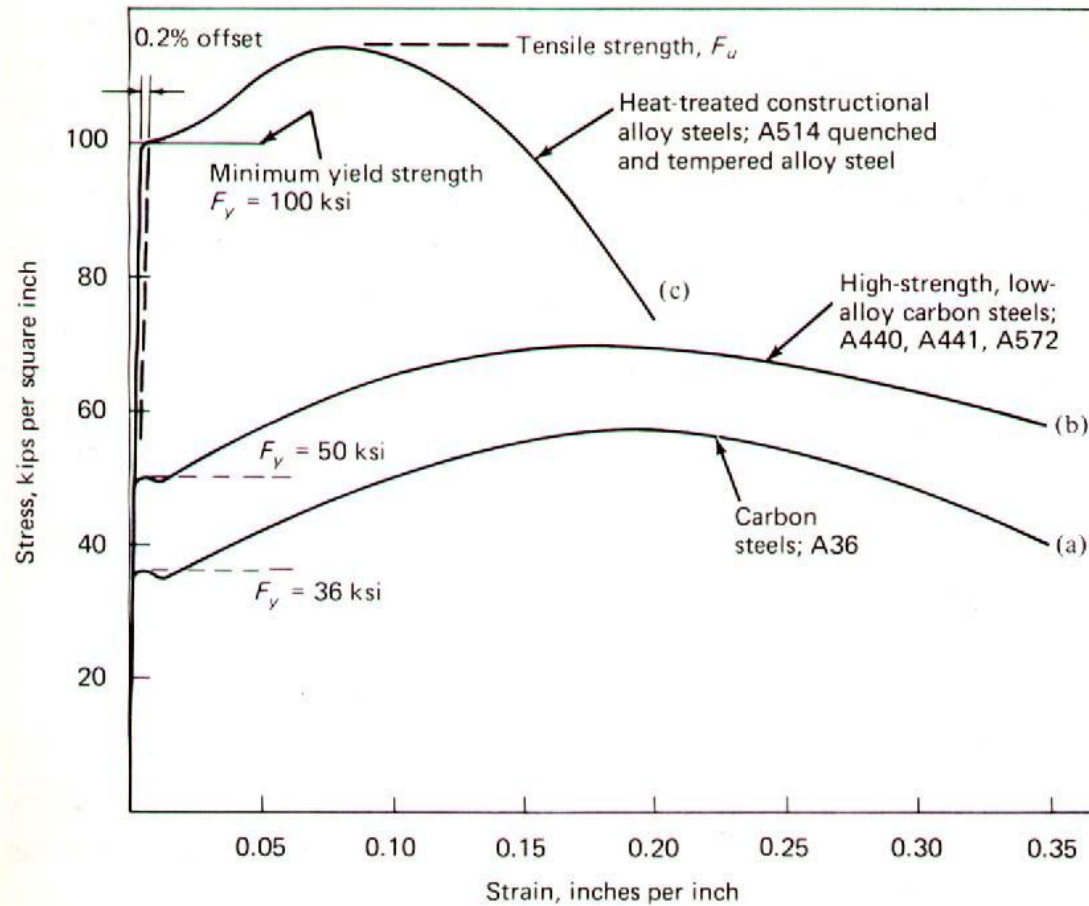
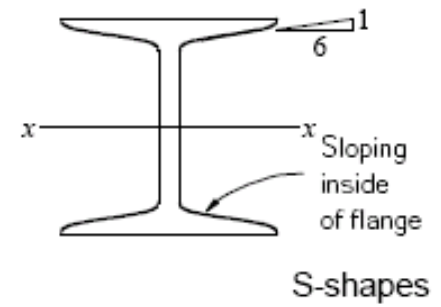
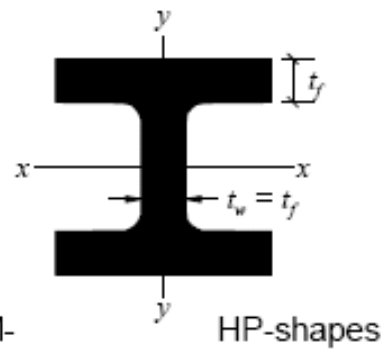
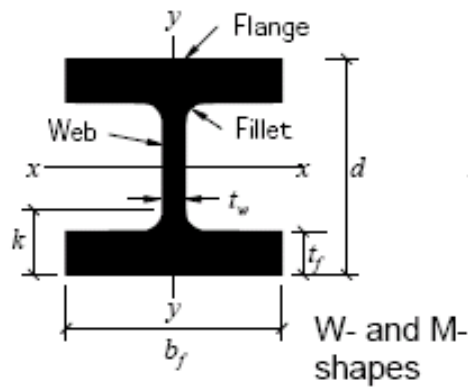
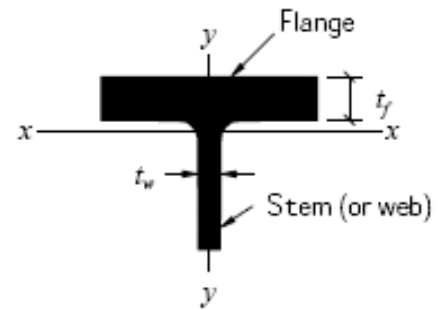
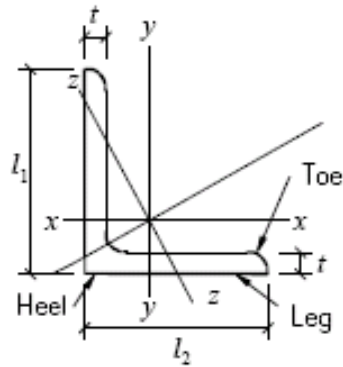
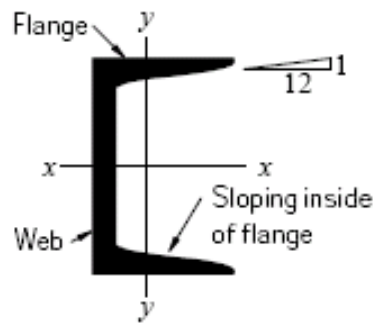


Fig. 2.1.1 Typical stress-strain curves.

Hot-rolled structural steel shapes.



I-shaped cross-sections



Tubular products

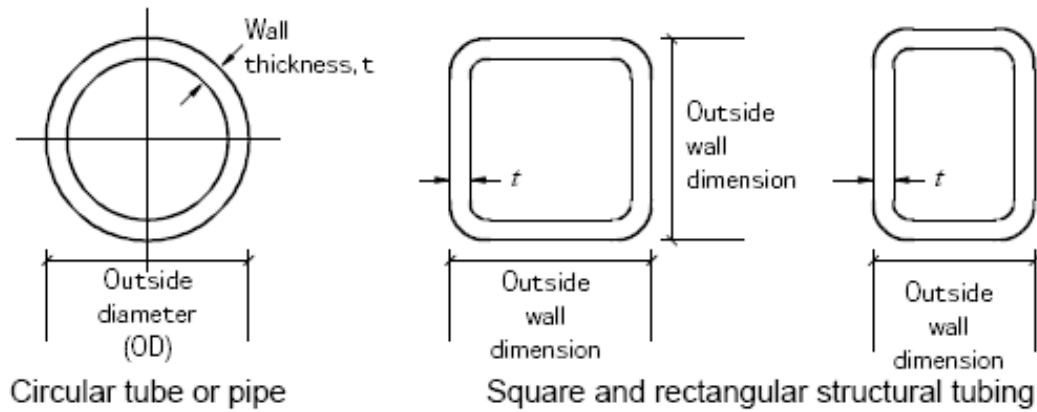
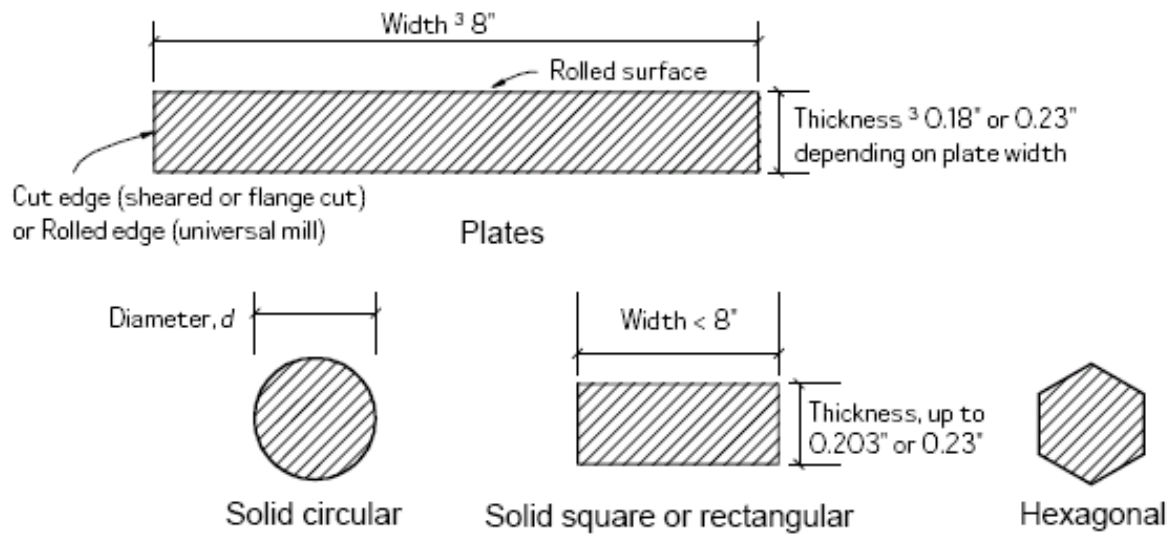


Plate and bar products





Wide flange
(W-section)



American
standard beam
(S-section)



Channels



Angle



Double angle



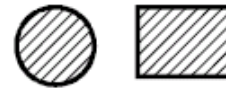
Structural tee



Pipe section



Structural tubing



Bars



Plate



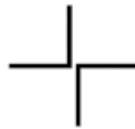
Zee



I-shaped
double channel



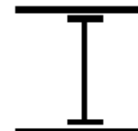
Hat section



Starred angle



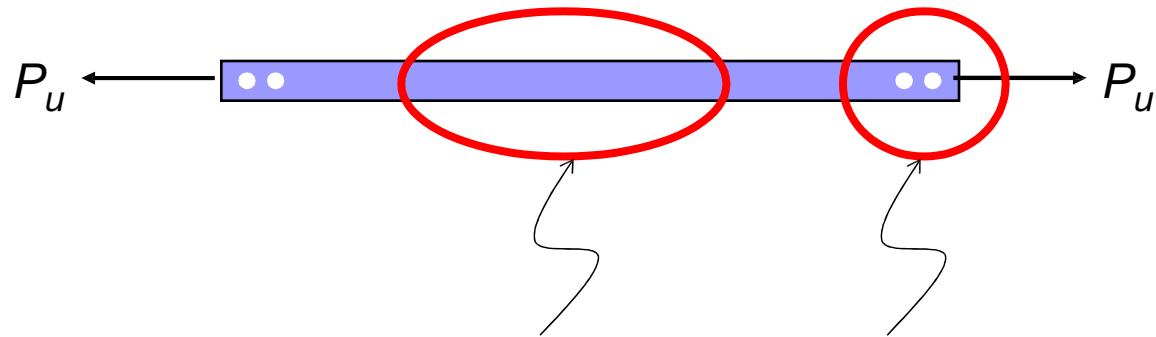
Cable



Built-up sections

KOMPONEN STRUKTUR TARIK

Kuat Tarik Rencana



$$P_u \leq \min (0.9 A_g F_y \text{ atau } 0.75 A_e F_u)$$

Leleh pada
penampang
bruto

Fraktur pada
penampang
efektif

Batas kelangsingan maksimum = 300 (AISC '05)

Luas Penampang Efektif

Luas Netto Efektif, $A_e = UA_n$

$$U = \min \left(1 - \frac{\bar{x}}{l} \text{ dan } 0.9 \right) \quad (\text{menurut SNI})$$

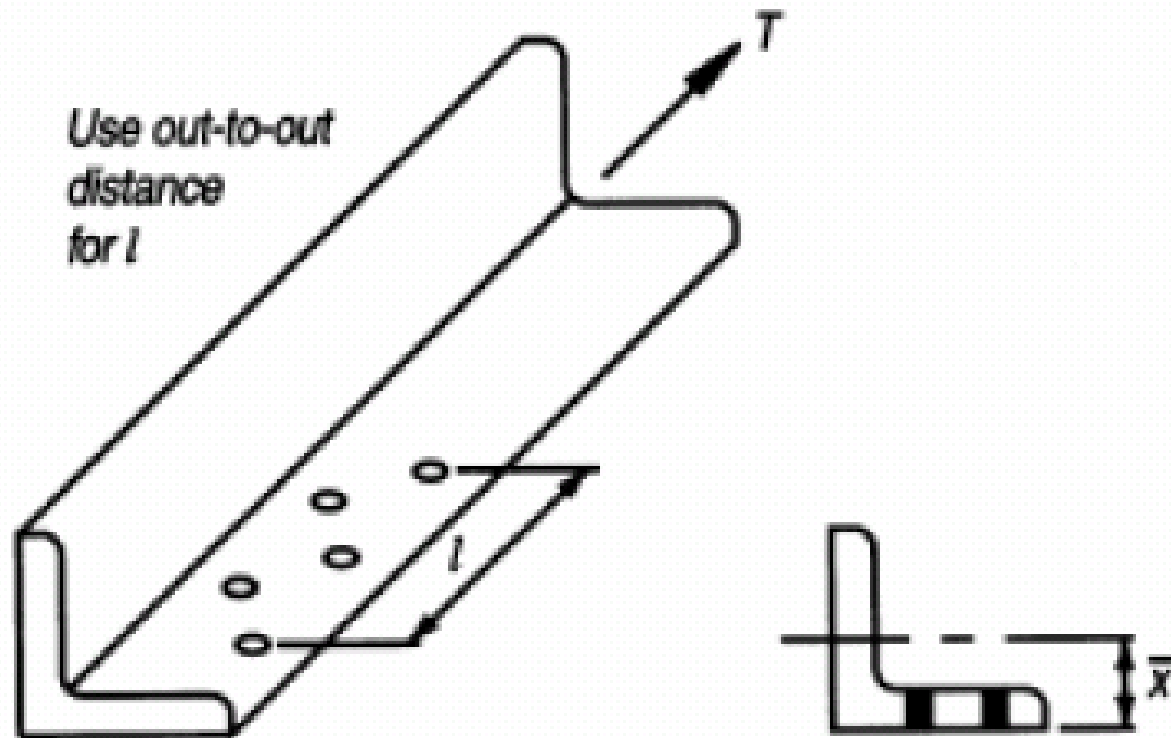
$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} \quad (\text{menurut AISC '05})$$

dimana A_n = luas neto

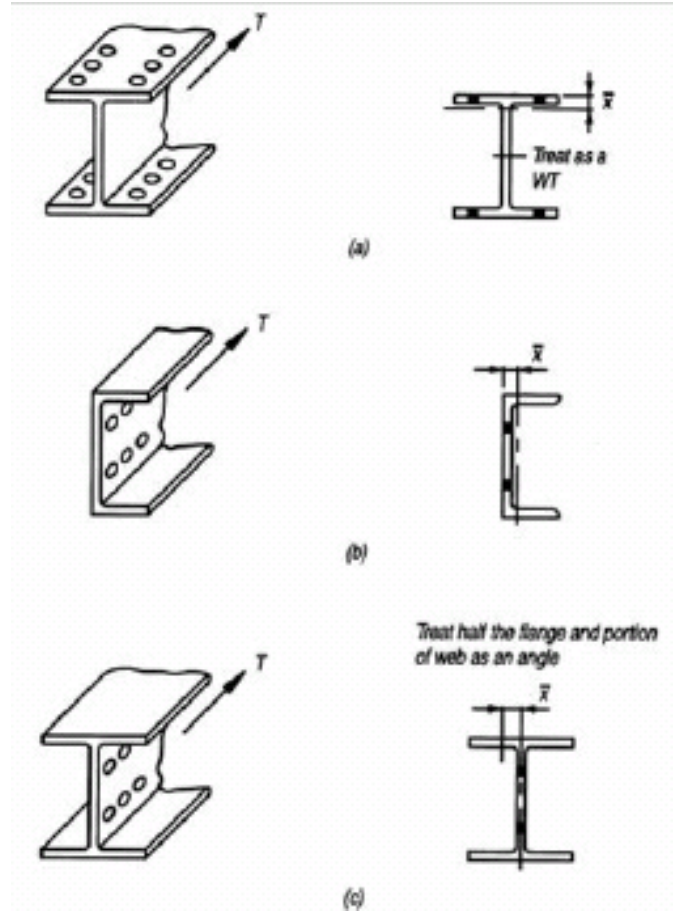
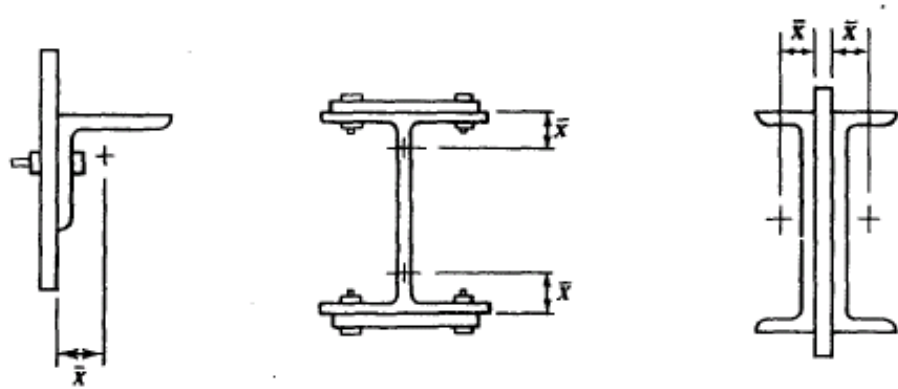
$U = \underline{\textit{shear lag factor}}$

- Jika seluruh elemen penampang disambung, maka luas neto efektif = luas neto (artinya $U = 1$). Jika tidak, gunakan rumus U di atas.

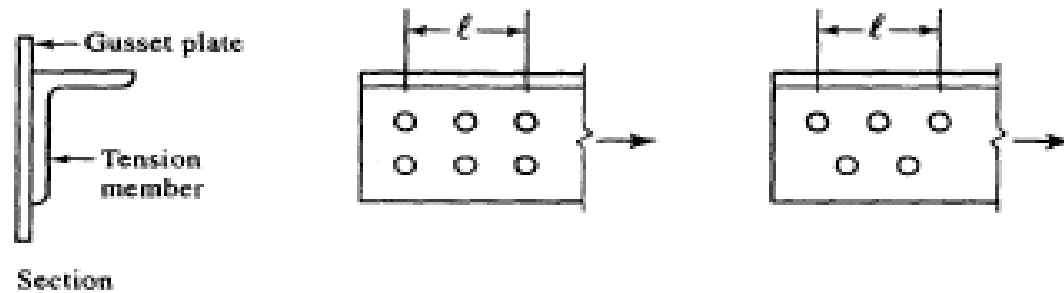
Faktor *Shear Lag* U



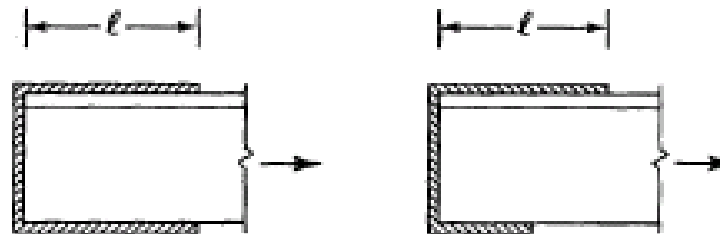
Eksentrisitas untuk menghitung U



Panjang sambungan untuk menghitung U

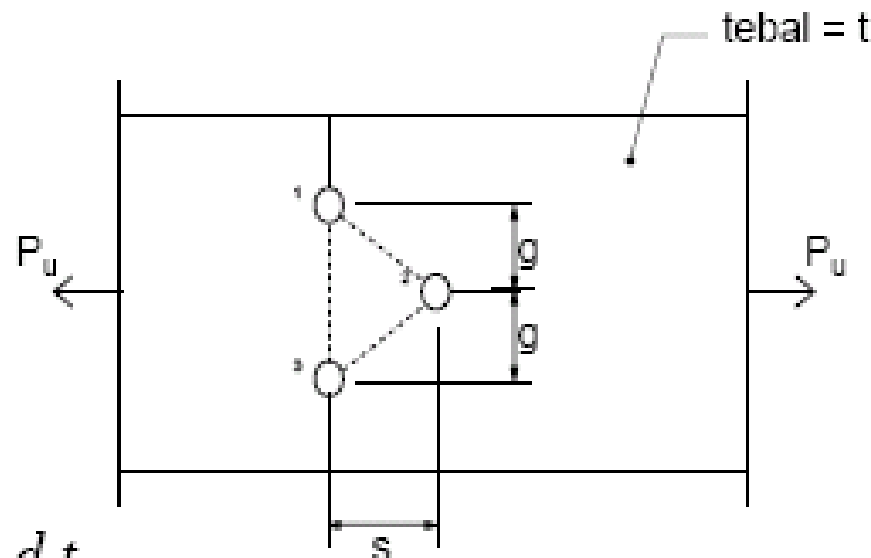


(a) Bolted



(b) Welded

Luas neto pada plat dengan lubang berseling



$$A_n = A_g - n d t$$

$$A_n = A_g - n d t + \sum \frac{s^2 t}{4 g}$$

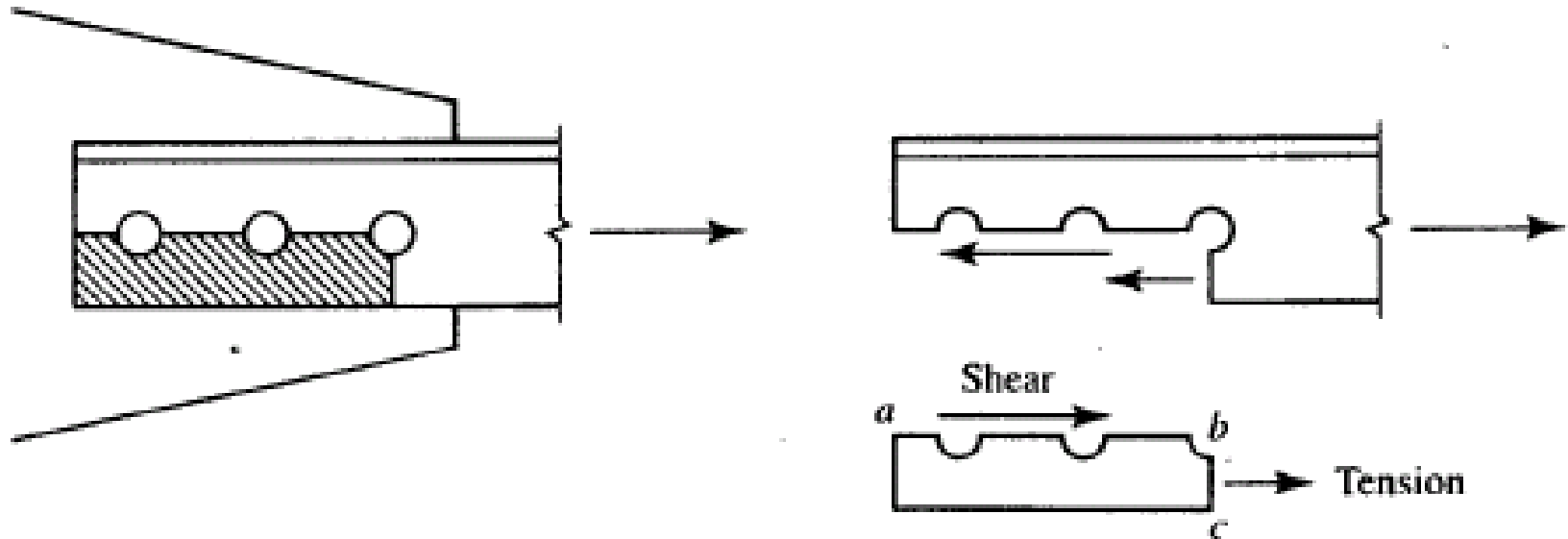
AISC : $d = d_{\text{lubang standar}} + 2 \text{ mm}$ ↙ rusak

$$d_{\text{lubang standar}} = d_b + 2 \text{ mm (untuk } d_b \leq 22 \text{ mm)}$$

$$= d_b + 3 \text{ mm (untuk } d_b > 22 \text{ mm)}$$

[Contoh Soal Komponen Struktur Tarik, ada Lubang Berseling](#)

AISC '05: Geser Blok (*Block Shear Rupture Strength*)



- Geser Blok adalah kondisi batas di mana tahanan ditentukan oleh jumlah kuat geser dan kuat tarik pada segmen yang saling tegak lurus.

AISC '05: Geser Blok (*Block Shear Rupture Strength*) (lanjutan)

- $\Phi = 0.75$
- A_{gt} = luas bruto yang mengalami tarik
- A_{gv} = luas bruto yang mengalami geser
- A_{nt} = luas neto yang mengalami tarik
- A_{nv} = luas neto yang mengalami geser

AISC '05: Geser Blok (*Block Shear Rupture Strength*) (lanjutan)

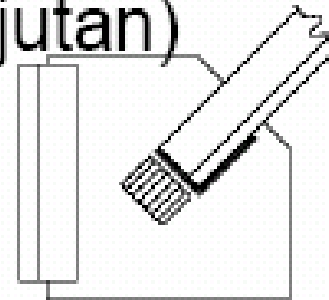
$$\phi R_n = \phi \min\left((0.6F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt}) \text{ dan } (0.6F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt})\right)$$

Batas atas: fraktur tarik dan
fraktur geser

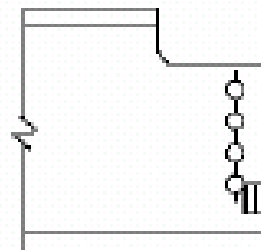
Leleh geser dan
fraktur tarik

- U_{bs} = koefisien reduksi, digunakan untuk menghitung kuat fraktur geser blok

AISC '05: Geser Blok (*Block Shear Rupture Strength*) (lanjutan)



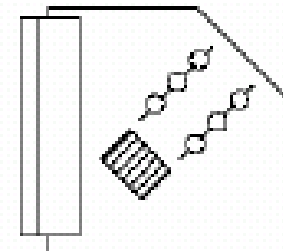
Welded Angle



Single-row beam end connections



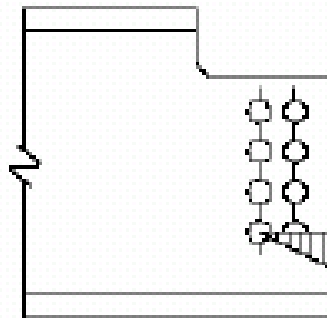
Angle Ends



Gusset Plates

(a) Cases for which $U_{bs} = 1.0$

AISC '05: Geser Blok (*Block Shear Rupture Strength*) (lanjutan)



Multiple-row beam
end connections

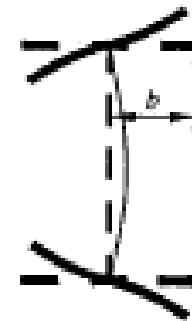
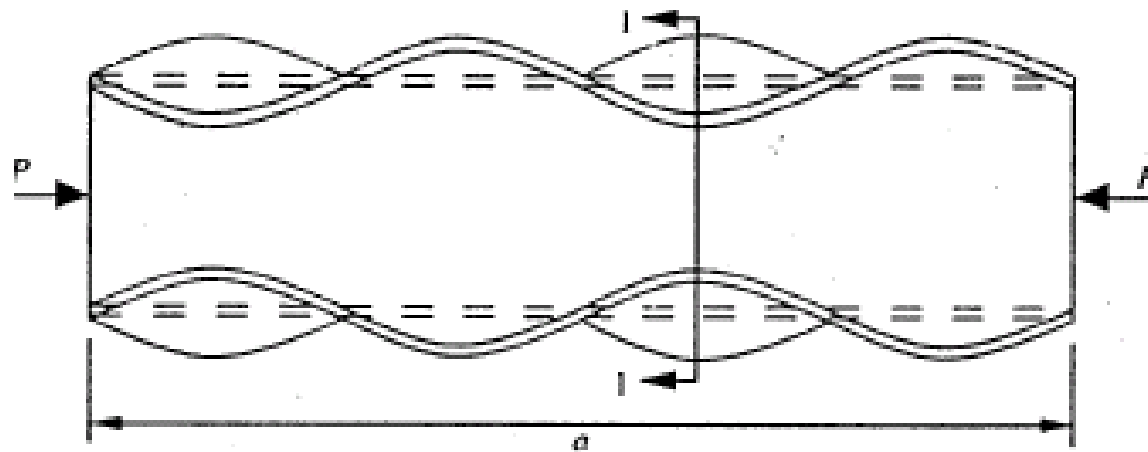
(b) Case for which $U_{bs} = 0.5$

KOMPONEN STRUKTUR TEKAN

Fenomena Tekuk pada Komponen Struktur Tekan

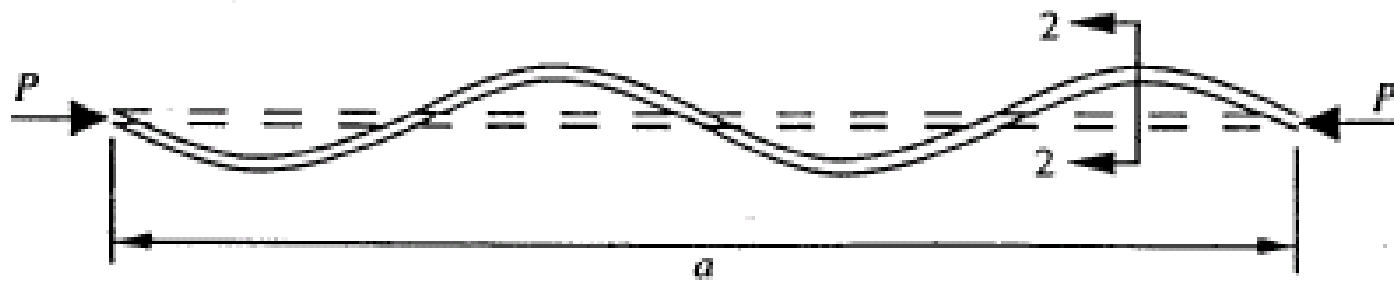
- Tekuk Lokal pada Elemen:
 - Tekuk Lokal di Flens (FLB)
 - Tekuk Lokal di Web (WLB)
- Tekuk pada Komponen Struktur:
 - Tekuk Lentur (*flexural buckling*)
 - Tekuk Torsi (*torsional buckling*)
 - Tekuk Torsi Lentur (*flexural torsional buckling*)

Tekuk Lokal di flens



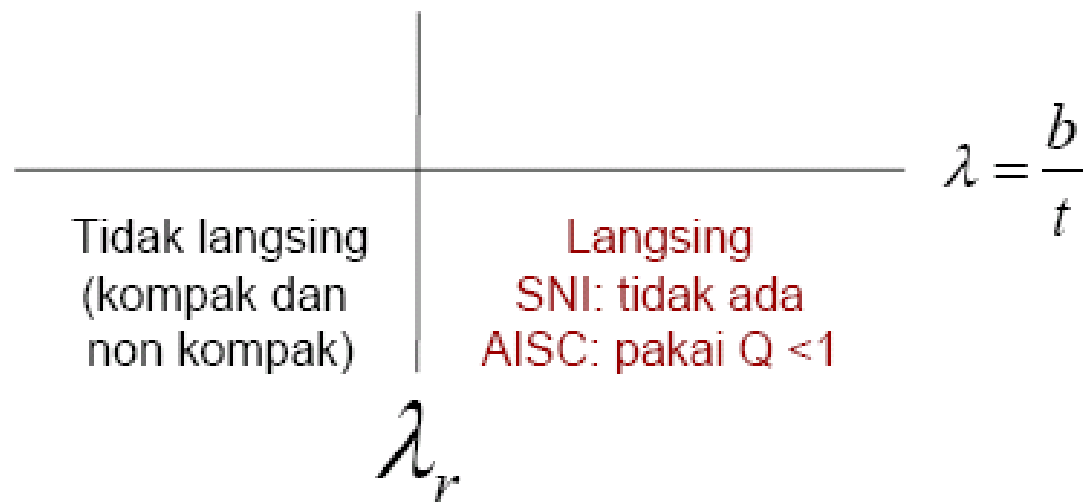
Potongan 1-1

Tekuk Lokal di web

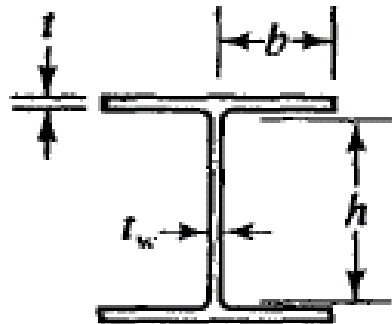


Potongan 2-2

Tekuk Lokal (flens dan web)

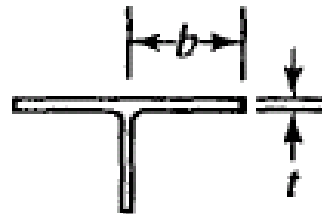


Batas Langsing – Tidak Langsing, λ_r

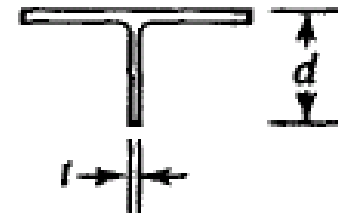


$$b/t \leq 0.56 \sqrt{E/F_y}$$

$$h/t_w \leq 1.49 \sqrt{E/F_y}$$

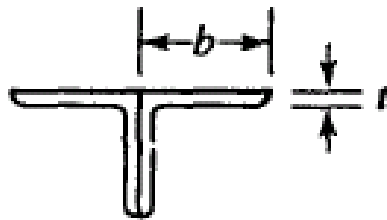


$$b/t \leq 0.56 \sqrt{E/F_y}$$

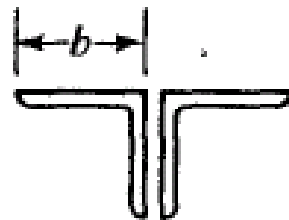


$$d/t \leq 0.75 \sqrt{E/F_y}$$

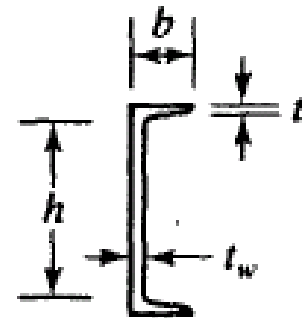
Batas Langsing – Tidak Langsing, λ_r



$$b/t \leq 0.56 \sqrt{E/F_y}$$



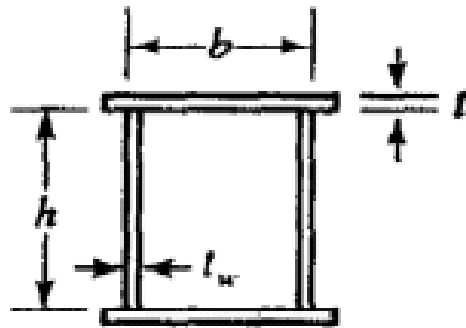
$$b/t \leq 0.45 \sqrt{E/F_y}$$



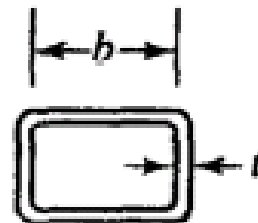
$$b/t \leq 0.56 \sqrt{E/F_y}$$

$$h/t_w \leq 1.49 \sqrt{E/F_y}$$

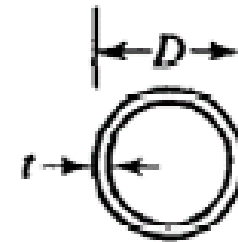
Batas Langsing – Tidak Langsing, λ_r



$$b/t \leq 1.40 \sqrt{E/F_y}$$
$$h/t_w \leq 1.49 \sqrt{E/F_y}$$



$$b/t \leq 1.49 \sqrt{E/F_y}$$



$$D/t \leq 0.11 E/F_y$$

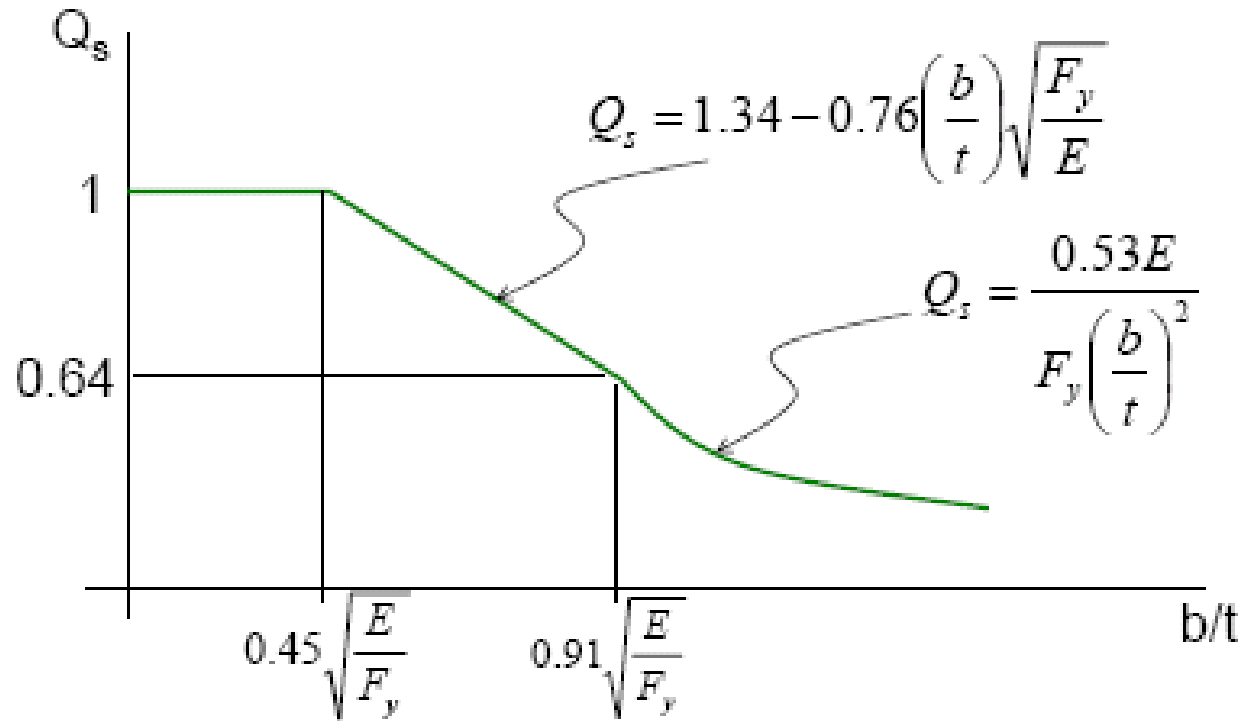
Batas Langsing – Tidak Langsing, λ_r

Pengali	BJ34	BJ37	BJ41	BJ50	BJ55
$\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$F_y = 210$ MPa	$F_y = 240$ MPa	$F_y = 250$ MPa	$F_y = 290$ MPa	$F_y = 410$ MPa
0.45	13.89	12.99	12.73	11.82	9.94
0.56	17.28	16.17	15.84	14.71	12.37
0.75	23.15	21.65	21.21	19.70	16.56
1.40	43.20	40.41	39.60	36.77	30.92
1.49	45.98	43.01	42.14	39.13	32.91

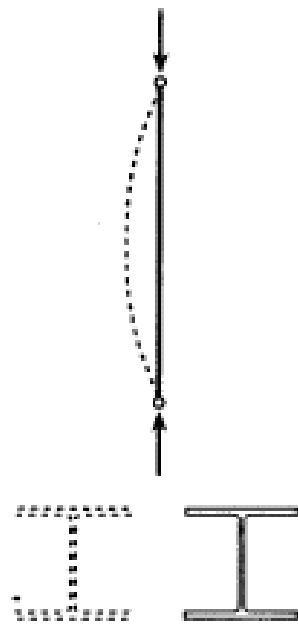
Siku Sama Kaki Tunggal yang Memikul Tekan

- Untuk F_y kecil, beberapa penampang adalah langsing.
- Untuk F_y yang semakin besar, semakin banyak penampang yang langsing
- Jadi, faktor reduksi untuk elemen langsing Q perlu dihitung (AISC '05)
- $Q = Q_s Q_a$ dengan $Q_a = 1$ bila semua elemen *unstiffened*

Q_s untuk Siku Tunggal (AISC '05)



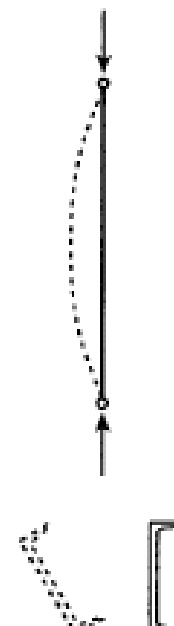
Tekuk Komponen Struktur



Tekuk Lentur



Tekuk Torsi



Tekuk Torsi Lentur

Tekuk Komponen Struktur (lanjutan)

	Dapat terjadi pada jenis penampang
Tekuk Lentur	Apapun
Tekuk Torsi	Simetri ganda
Tekuk Torsi Lentur	Simetri tunggal, Tanpa sumbu simetri

Tekuk Lentur

- Hanya dapat terjadi terhadap sumbu utama (sumbu dengan momen inersia max / min)
- Kelangsingan komponen struktur didefinisikan dengan

$$\lambda = \frac{kL}{r}$$

- k = faktor panjang tekuk (SNI) = faktor panjang efektif (AISC)
- L = panjang komponen struktur tekan
- r = jari-jari girasi
- Batas kelangsingan maksimum untuk komponen struktur tekan = 200

Tegangan Kritis Tekuk Lentur (SNI)

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

$\lambda_c \leq 0.25$	$\omega = 1$
$0.25 < \lambda_c < 1.2$	$\omega = \frac{1.43}{1.6 - 0.67\lambda_c}$
$\lambda_c \geq 1.2$	$\omega = 1.25\lambda_c^2$

$$F_{cr} = \frac{F_y}{\omega}$$

ω adalah koefisien tekuk

Tegangan Kritis Tekuk Lentur (AISC '05), Elemen Tidak Langsing

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

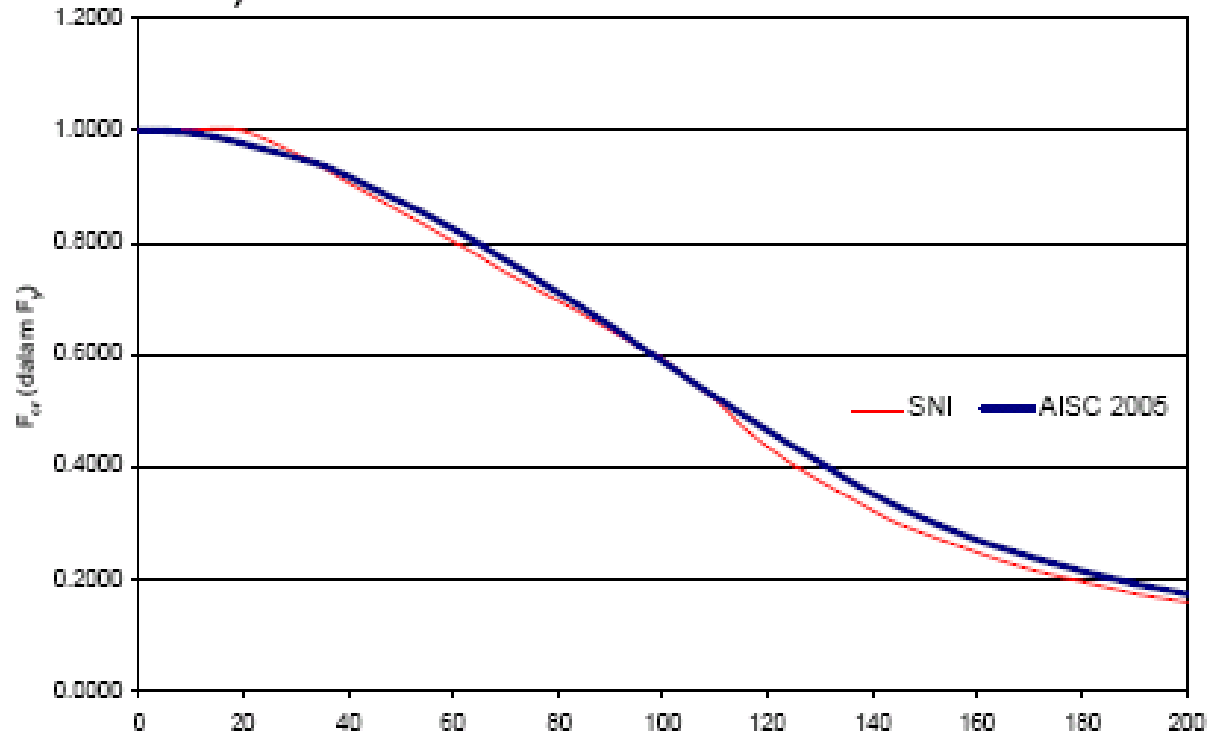
$\lambda \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ atau $F_e \geq 0.44F_y$	$F_{cr} = 0.658^{\frac{F_y}{F_e}} F_y$
$\lambda > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ atau $F_e < 0.44F_y$	$F_{cr} = 0.877 F_e$

Tegangan Kritis Tekuk Lentur (AISC '05), Elemen Langsing

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

$\lambda \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}}$ atau $F_e \geq 0.44QF_y$	$F_{cr} = Q0.658^{\frac{QF_y}{F_e}} F_y$
$\lambda > 4.71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}}$ atau $F_e < 0.44QF_y$	$F_{cr} = 0.877F_e$

Tegangan Kritis Tekuk Lentur (AISC '05 dan SNI)



Kuat Rencana Penampang Siku Ganda dan T (AISC '05 Sec E4(a) dan SNI Butir 9)

- Sumbu x = sumbu tak simetri, y = sumbu simetri
- Hitung F_{cr1} (tekuk lentur) terhadap sumbu x
- Hitung F_{cr2} (tekuk torsi lentur) terhadap sumbu y

$$F_{cr} = \frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{cry}F_{crz}H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \right)$$

F_{cry} adalah tegangan kritis tekuk lentur yang didapat dari rasio kelangsingan terhadap sb y untuk profil T dan kelangsingan modifikasi, untuk profil siku ganda,

F_{crz} adalah

$$F_{crz} = \frac{GJ}{A_g r_0^2}$$

- $F_{cr} = \min(F_{cr1}, F_{cr2})$
- $\Phi_c P_n = 0.85F_{cr}A_g$ (SNI)
 $= 0.90F_{cr}A_g$ (AISC '05)

Kuat Rencana Penampang Siku Tunggal (AISC '05 Sec E5)

- Sumbu r dan s adalah sumbu utama, dan sumbu x dan y adalah sumbu sejajar kaki siku
- Hitung F_{cr} (tekuk lentur) terhadap sumbu r atau s yang mempunyai rasio kelangsingan terbesar
- Apabila di ujung siku terdapat sambungan hanya di satu kaki, hitung F_{cr} (tekuk lentur) terhadap sumbu berat x yang sejajar dengan kaki yang disambung, dengan menggunakan rasio kelangsingan modifikasi, sesuai AISC '05 Sec. E5a, b
- $F_{cr} = F_{cr}$ terkecil
- $\Phi_c P_n = 0.90 F_{cr} A_g$

Penampang lainnya (AISC '05 Sec E4(b))

- Simetri ganda (tekuk torsi)

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y}$$

- Simetri tunggal (tekuk torsi lentur), y sumbu simetri:

$$F_e = \frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right)$$

- Tanpa sumbu simetri (tekuk torsi lentur):

$$F_e = \text{root} \left((F_e - F_{ax})(F_e - F_{ay})(F_e - F_{az}) - F_e^2 (F_e - F_{ay}) \left(\frac{x_o}{r_o} \right)^2 - F_e^2 (F_e - F_{ax}) \left(\frac{y_o}{r_o} \right)^2 = 0 \right)$$

Penampang lainnya (AISC '05 Sec E4(b) (lanjutan))

- Simetri ganda:

- Periksa tekuk lentur terhadap sumbu simetri dengan kelangsingan komponen struktur terbesar F_{cr1}
- Periksa tekuk torsi F_{cr2}

- Simetri tunggal:

- Periksa tekuk lentur terhadap sumbu tak simetri x F_{cr1}
- Periksa tekuk torsi lentur terhadap sumbu simetri y, F_{cr2}

- Tanpa sumbu simetri:

- Periksa tekuk lentur terhadap sumbu utama dengan kelangsingan komponen struktur terbesar F_{cr1}
- Periksa tekuk torsi lentur, F_{cr2}

Penampang lainnya (AISC '05 Sec E4(b) (lanjutan))

$$F_{cr2} = Q * 0.658^{\frac{QF_y}{F_e}} F_y \quad \text{jika } \lambda \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}}$$

$$F_{cr2} = 0.877 F_e \quad \text{jika } \lambda > 4.71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}}$$

$$F_{cr} = \min(F_{cr1} \text{ dan } F_{cr2})$$

$$\phi_c P_n = 0.90 F_{cr} A_g$$

Faktor Panjang Efektif

- Hitung G di kedua ujung komponen tekan, G_A dan G_B


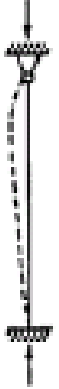
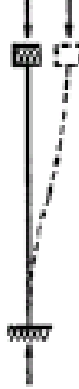
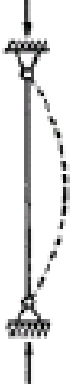

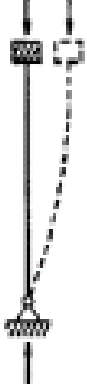

$$G = \frac{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_c}{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_b}$$

- Dapatkan k dari *alignment chart*

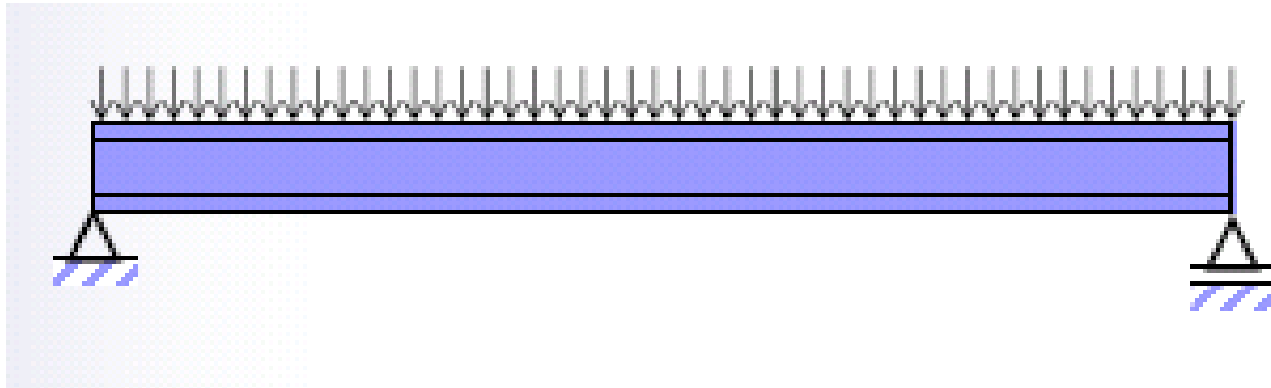
Alignment Chart untuk mendapatkan k dari G_A dan G_B



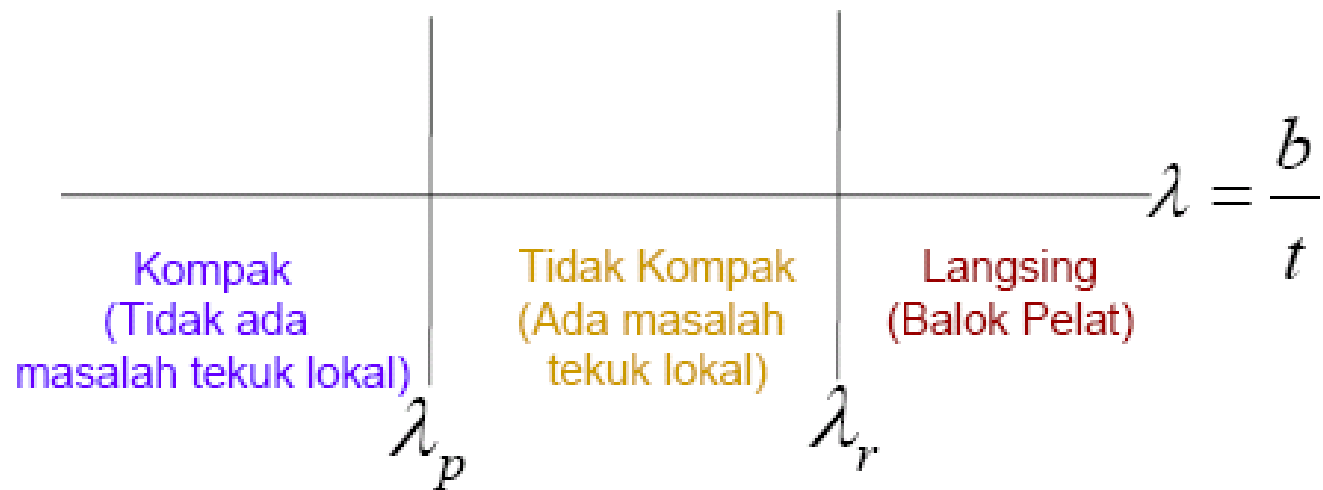
K untuk kolom yang berdiri sendiri

<p>Buckled shape of column is shown by dashed line.</p>						
<p>Theoretical K value</p>	<p>0.5</p>	<p>0.7</p>	<p>1.0</p>	<p>1.0</p>	<p>2.0</p>	<p>2.0</p>
<p>Recommended design value when ideal conditions are approximated</p>	<p>0.65</p>	<p>0.80</p>	<p>1.2</p>	<p>1.0</p>	<p>2.10</p>	<p>2.0</p>
<p>End condition code</p>	 <p>Rotation fixed and translation fixed</p> <p>Rotation free and translation fixed</p> <p>Rotation fixed and translation free</p> <p>Rotation free and translation free</p>					

KOMPONEN LENTUR



Pengelompokan Penampang



Batas-batas λ_p dan λ_r profil WF
(dirol)

Elemen	λ	λ_p	λ_r
Flens	$\frac{b_f}{2t_f}$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Web	$\frac{h}{t_w}$	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

Batas-batas λ_p dan λ_r (lanjutan)

	BJ34	BJ37	BJ41	BJ50	BJ55
$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	11.73	10.97	10.75	9.98	8.39
$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	30.86	28.87	28.28	26.26	22.09
$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	116.04	108.54	106.35	98.74	83.04
$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	175.91	164.54	161.22	146.69	125.89

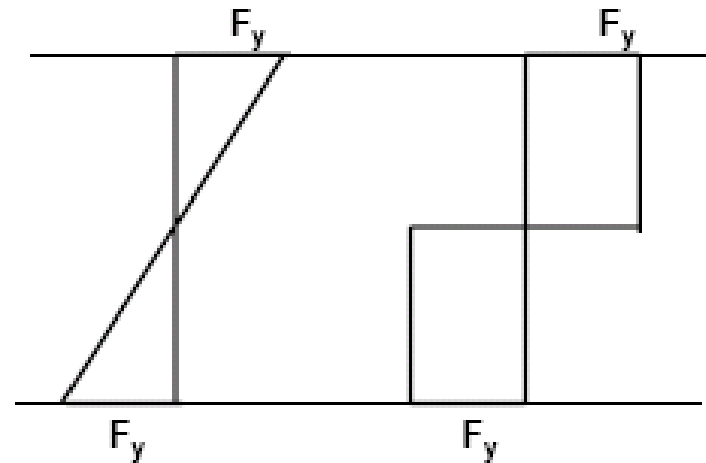
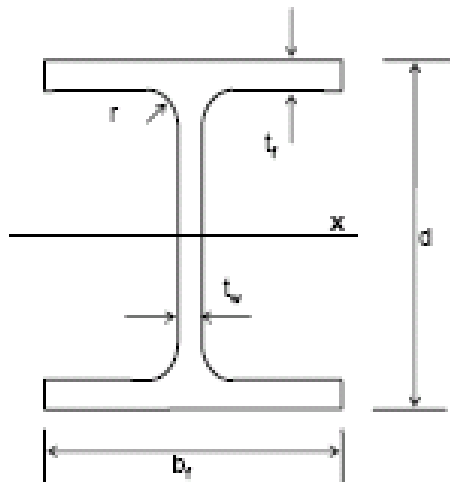
Daftar Profil WF Standar JIS yang Non Kompak (berdasarkan kelangsingan flensnya)

BJ34, BJ37, BJ41	BJ50	BJ55
Tidak ada (semua kompak)	WF300x300x10x15 (lainnya: kompak)	WF250x250x9x14 WF300x150x5.5x8 WF300x150x6.5x9 WF300x300x10x15 WF350x175x6x9 WF350x350x12x19 WF400x200x7x11 WF400x400x13x21 (lainnya: kompak)

Kondisi Batas Momen Lentur

- Tercapainya Momen Plastis (*yielding*) ← Berlaku untuk lentur thd sumbu kuat maupun lemah
- Momen yang menyebabkan terjadinya Tekuk Torsi Lateral (LTB) ← Hanya untuk lentur terhadap sumbu kuat
- Momen yang menyebabkan terjadinya Tekuk Lokal di Flens Tekan (FLB) ← Tidak ada untuk penampang kompak
- Momen yang menyebabkan terjadinya Tekuk Lokal di Web (WLB) ← Tidak ada untuk penampang I
- Momen yang menyebabkan terjadinya leleh pada flens tarik (TFY) ← Tidak ada untuk penampang I simetri ganda

Momen Leleh dan Momen Plastis (terhadap sumbu kuat x)



Distribusi
tegangan
normal
akibat M_{yx}

Distribusi
tegangan
normal
akibat M_{px}

Momen Plastis

- Terhadap sumbu x:

- $M_{px} = Z_x F_y$

- Terhadap sumbu y:

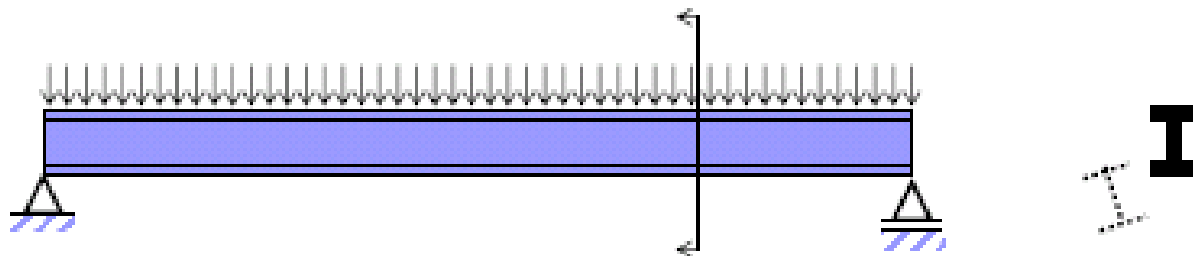
- $M_{py} = \min(Z_y F_y \text{ dan } 1.6 S_y F_y)$

Untuk profil WF hot rolled Standar JIS:

$Z_y < 1.6 S_y$, maka

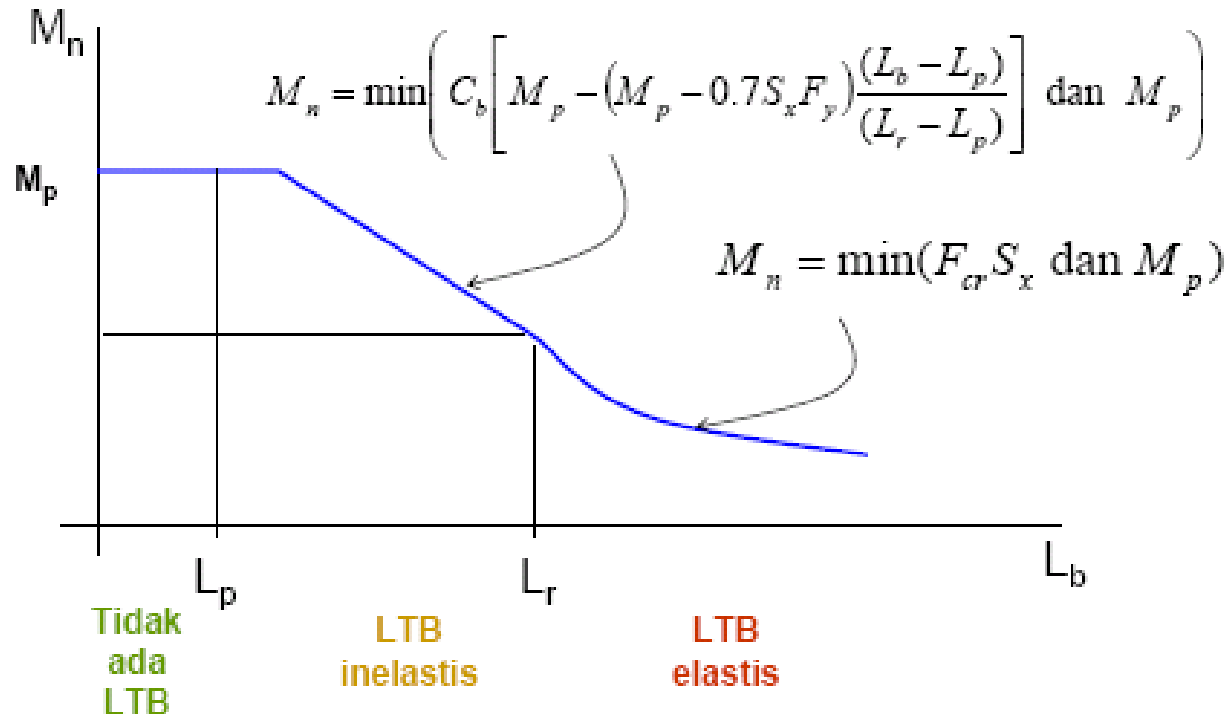
$$M_{py} = Z_y F_y$$

Tekuk Torsi Lateral (LTB)



- Dapat dicegah dengan memasang tumpuan lateral (*cross frame*, diafragma, dsb)
- L_b = jarak antara tumpuan lateral (simbol: x)
- Kekuatan LTB diperiksa di setiap segmen L_b

Momen nominal M_n untuk Tekuk Torsi Lateral



Besaran di dalam M_n LTB

$$r_{ts}^2 = \frac{I_y h_0}{2S_x}$$

$$F_{cr} = C_b \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2}$$

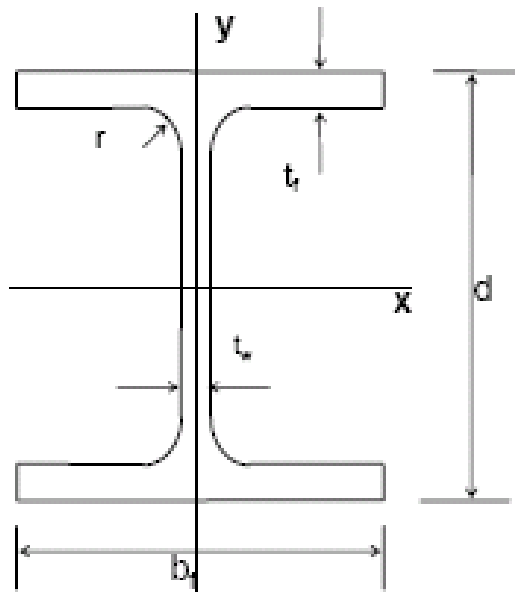
$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_r = \pi r_{ts} \sqrt{\frac{E}{0.7 F_y}}$$

I_y = momen inersia terhadap sumbu lemah y

h_0 = jarak antara pusat berat flens = $d - t_f$

Besaran
penampang
berbentuk I



Ada di Tabel Baja Ind

- d, b_f, t_w, t_f, r
- $I_x, I_y, A, S_x, S_y, r_x, r_y$

Tidak Ada di Tabel Baja Indonesia:

$$C_w = \frac{I_y(d - t_f)^2}{4} \quad \text{SNI: } I_w$$

$$Z_x = b_f t_f (d - t_f) + \frac{1}{4} t_w (d - 2t_f)^2$$

$$Z_y = \frac{2}{4} t_f b_f^2 + \frac{1}{4} (d - 2t_f) t_w^2$$

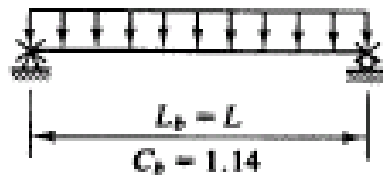
$$h = d - 2t_f - 2r$$

Faktor Modifikasi untuk Momen tak Seragam

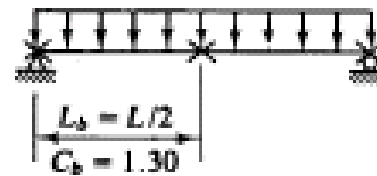
$$C_b = \min\left(\frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \text{ dan } 3.0\right)$$

- M_{\max} = |momen maks di segmen L_b |
- M_A = |M di $L_b/4$ |
- M_B = |M di $L_b/2$ |
- M_C = |M di $3L_b/4$ |
- SNI: C_b harus ≤ 2.3 . AISC '05: harus ≤ 3.0

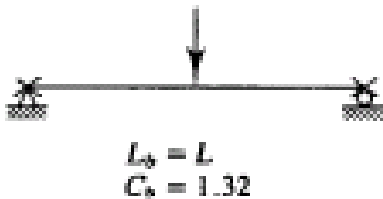
Faktor Modifikasi untuk Momen tak Seragam (lanjutan)



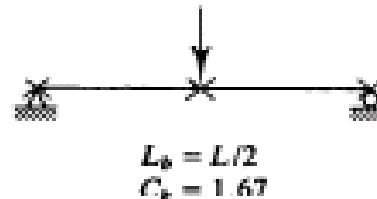
(a)



(b)



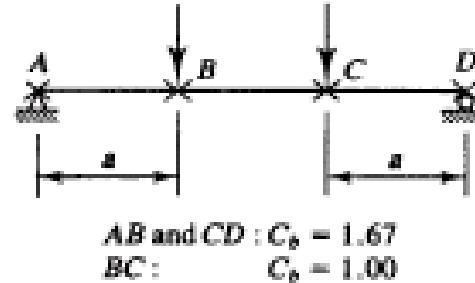
(c)



(d)

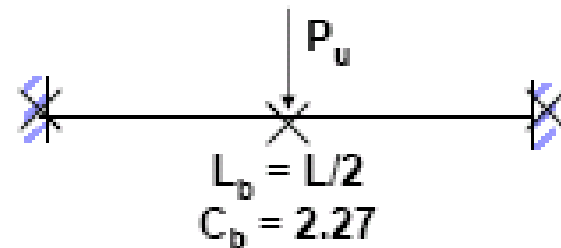
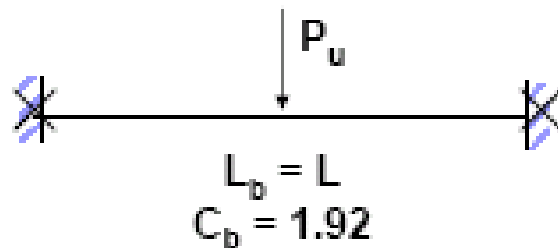
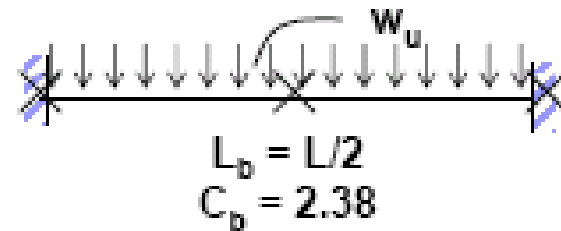
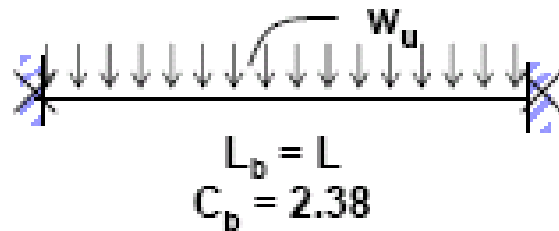
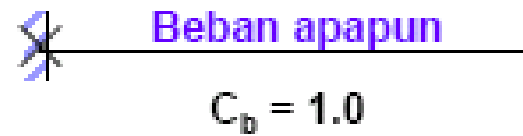
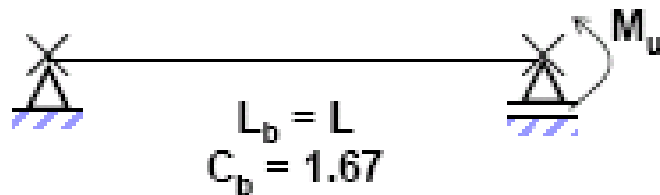


(e)



(f)

Faktor Modifikasi untuk Momen tak Seragam (lanjutan)



Momen Nominal untuk Tekuk Lokal Flens pada Profil I Simetris ganda dengan Web Kompak, Lentur Terhadap sumbu-x

Bila flens nonkompak, yaitu: $\lambda_p < \frac{b_f}{2t_f} \leq \lambda_r$

$$M_n = M_{px} - (M_{px} - 0.7F_y S_x) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}$$

Bila flens langsing, yaitu: $\lambda_r < \frac{b_f}{2t_f}$

$$M_n = \frac{0.9Ek_c S_x}{\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)^2} \quad \text{dengan} \quad k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}}$$

Ambil nilai k_c di antara 0.35 sampai dengan 0.76

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad \lambda_r = 1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Momen Nominal untuk Tekuk Lokal Flens pada Profil I Simetris ganda dengan Web Kompak,

Lentur Terhadap sumbu-y

Bila flens nonkompak, yaitu: $\lambda_p < \frac{b_f}{2t_f} \leq \lambda_r$

$$M_n = M_{py} - (M_{py} - 0.7F_y S_y) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}$$

Bila flens langsing, yaitu: $\lambda_r < \frac{b_f}{2t_f}$

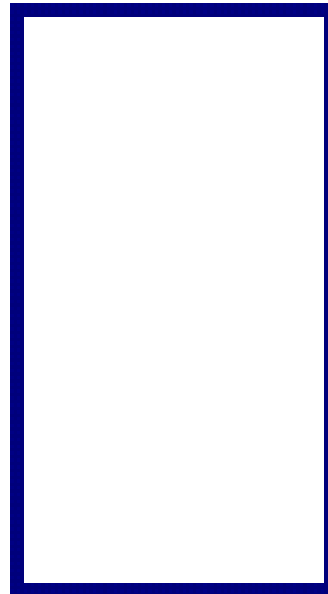
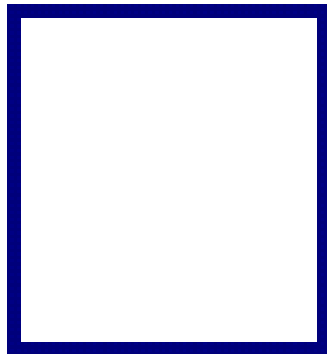
$$M_n = \frac{0.69ES_y}{\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)^2}$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_r = 1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

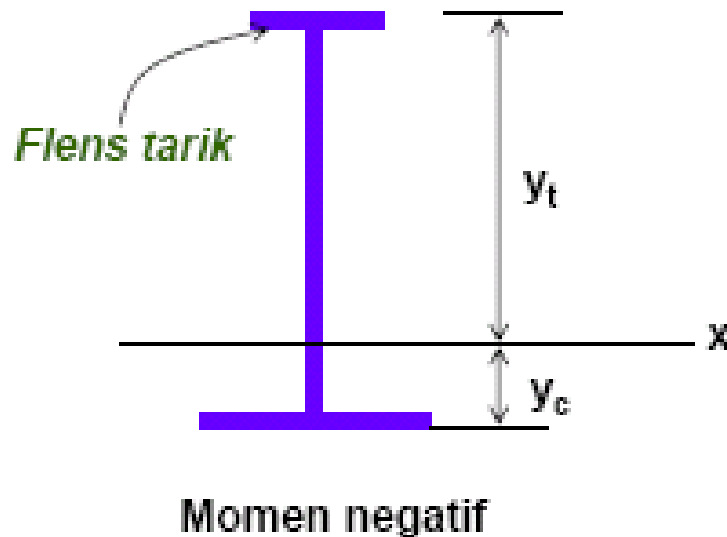
Tekuk Lokal Web (WLB)

- Hanya mungkin terjadi pada penampang berbentuk boks (persegi maupun persegi panjang) dengan web yang non kompak



Leleh pada Flens Tarik (TFY)

- Hanya dapat terjadi pada penampang I simetri tunggal yang melentur terhadap sumbu kuat, dengan $S_{xt} < S_{xc}$



$$S_{xt} = \frac{I_x}{y_t}$$

$$S_{xc} = \frac{I_x}{y_c}$$

Kuat Lentur Rencana Penampang I Simetri Ganda dengan Web Kompak

- Terhadap Sumbu Kuat x

- $M_n = \min(M_{px}, M_{nLTB}, M_{nFLB})$



Hanya untuk flens non kompak atau langsing

- Terhadap Sumbu Lemah y

- $M_n = \min(M_{py}, M_{nFLB})$



Hanya untuk flens non kompak atau langsing

- $M_u \leq \Phi_b M_n$

- $\Phi_b = 0.9$

Momen Biaksial

- Persamaan interaksi untuk kondisi momen biaksial (momen terhadap sumbu x dan terhadap sumbu y):

$$\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \leq 1.0$$

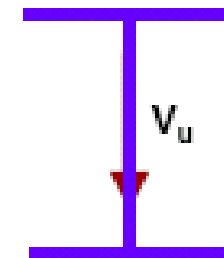
Kuat Geser Penampang I Simetri Ganda tanpa Pengaku (AISC '05)

- Untuk Geser sejajar web

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$V_n = 0.6F_y A_w C_v$$

$$A_w = dt_w$$



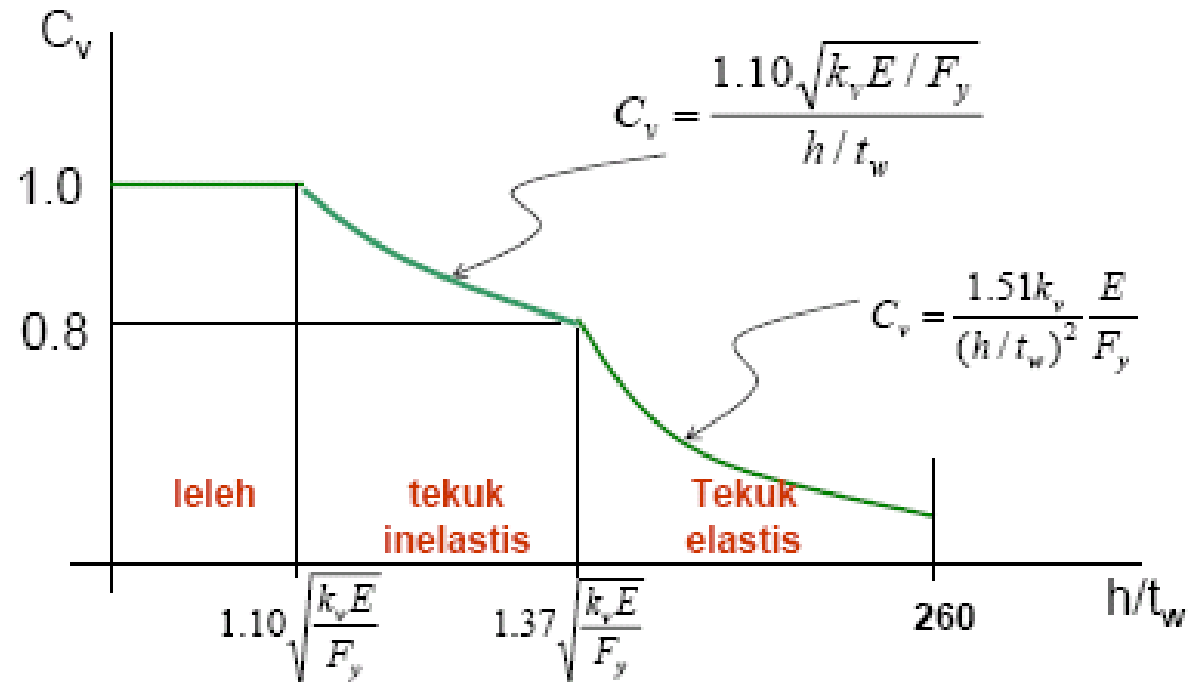
- Untuk profil gelas dengan $\frac{h}{t_w} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$\phi_v = 1.0 \text{ dan } C_v = 1.0$$

- Untuk profil gelas dengan $2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t_w} < 260$ atau profil *built-up*

$$\phi_v = 0.90 \text{ dan } C_v = (\textit{see next page}) \text{ dengan } k_v = 5$$

Koefisien Geser Web C_v



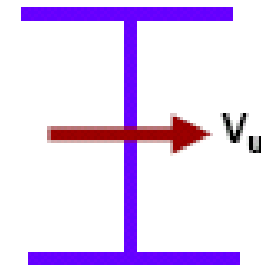
Kuat Geser Penampang I Simetri Ganda tanpa Pengaku (AISC '05)

- Untuk Geser tegak lurus web

$$V_u \leq \phi_v V_n$$

$$V_n = 0.6F_y A_w C_v$$

$$A_w = 2b_f t_f$$



$\phi_v = 0.90$ dan $C_v =$ (*see previous page*)

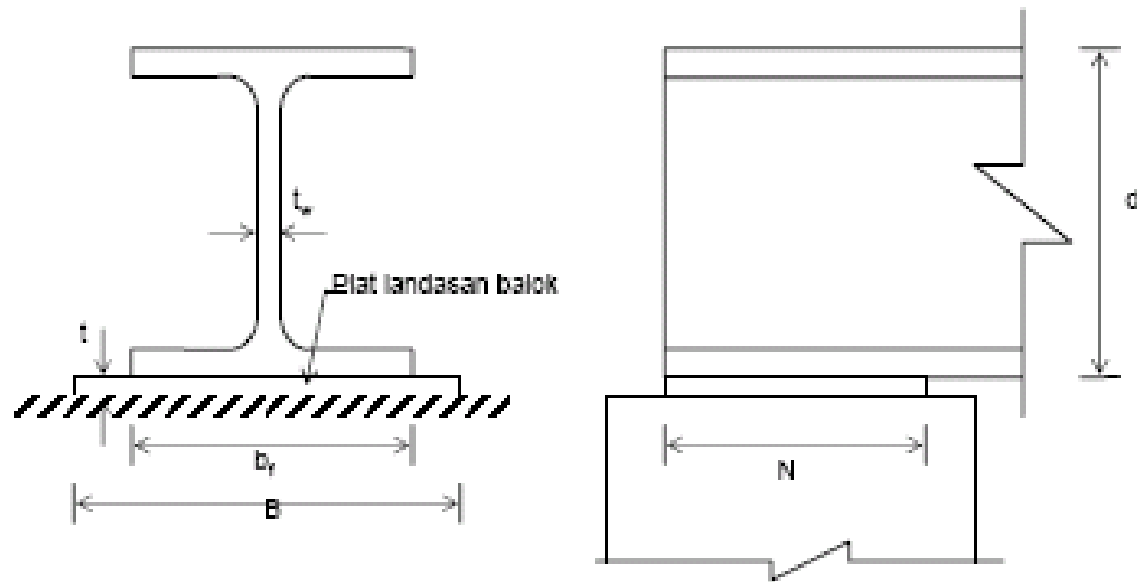
dengan $k_v = 1.2$

Kuat Geser Penampang I tanpa Pengaku (AISC) (lanjutan)

- h/t_w maksimum untuk semua profil *hot rolled* standar JIS adalah 50 (WF346x174) dan 49.43 (WF800x300)
- $2.24\sqrt{(E/F_y)}$ terkecil adalah untuk BJ 55, yaitu 49.47
- Jadi: kuat geser rencana semua profil *hot rolled* Standar JIS (kecuali WF346x174 Bj. 55) dapat dihitung dengan

- Geser sejajar web $V_u \leq \phi_v V_n = 1.0(0.6F_y dt_w)$
- Geser tegak lurus web $V_u \leq \phi_v V_n = 0.9(0.6F_y 2b_f t_f)$

Plat Landasan Balok



Dimensi plat landasan

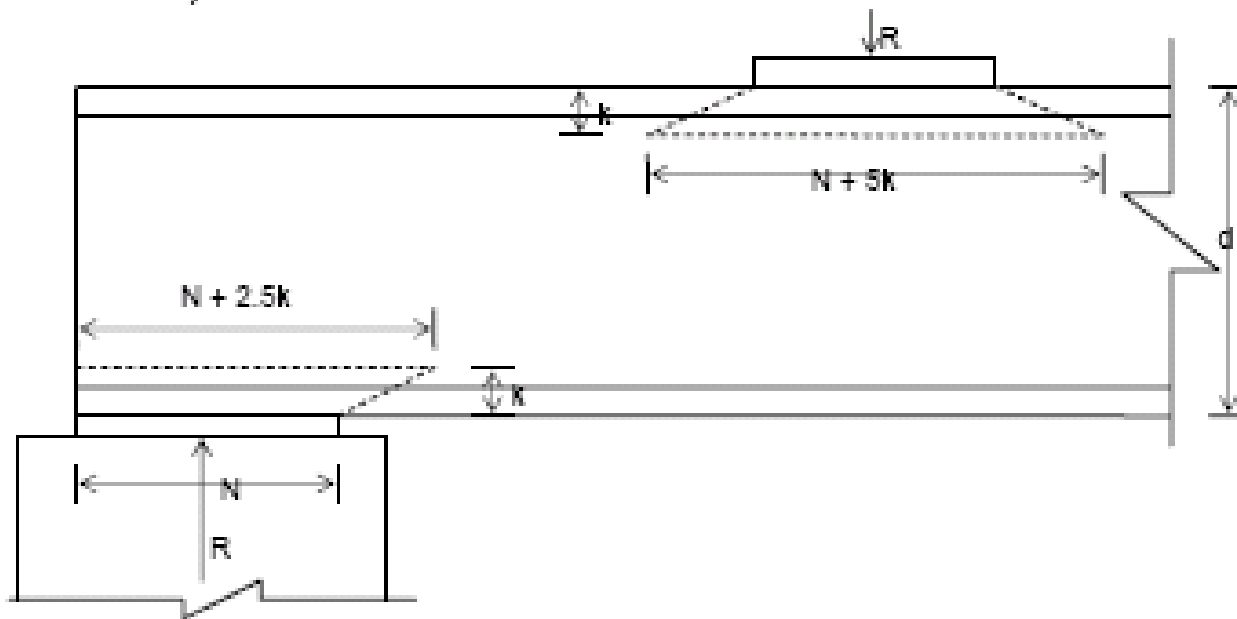
- B = lebar (searah dengan lebar flens)
- N = panjang (searah dengan arah longitudinal balok)
- t = tebal

Plat Landasan Balok (lanjutan)

- N harus cukup untuk mencegah leleh pada badan (*web yielding*) dan lipat pada badan (*web crippling*).

Web Yielding:

Penyebaran beban diasumsikan berarah 1:2.5 (vertikal : horizontal)



Plat Landasan Balok (lanjutan)

- Kuat rencana untuk Web Yielding di lokasi tumpuan

$$\phi R_n = \phi(N + 2.5k)F_y t_w$$

dengan $\phi = 1$

- Kuat rencana untuk Web Yielding di lokasi beban *interior*

$$\phi R_n = \phi(N + 5k)F_y t_w$$

dengan $\phi = 1$

Plat Landasan Balok (lanjutan)

- *Web Crippling* adalah tekuk di badan akibat gaya tekan yang disalurkan melalui flens. Faktor tahanan = 0.75.
- Kuat rencana untuk *Web Crippling* di lokasi beban *interior*.

$$\phi R_n = \phi 0.80 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_y t_f}{t_w}}$$

- Kuat rencana untuk *Web Crippling* di lokasi tumpuan

$$\phi R_n = \phi 0.40 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_y t_f}{t_w}} \text{ untuk } \frac{N}{d} \leq 0.2$$

$$\phi R_n = \phi 0.40 t_w^2 \left[1 + \left(\frac{4N}{d} - 0.2 \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_y t_f}{t_w}} \text{ untuk } \frac{N}{d} > 0.2$$

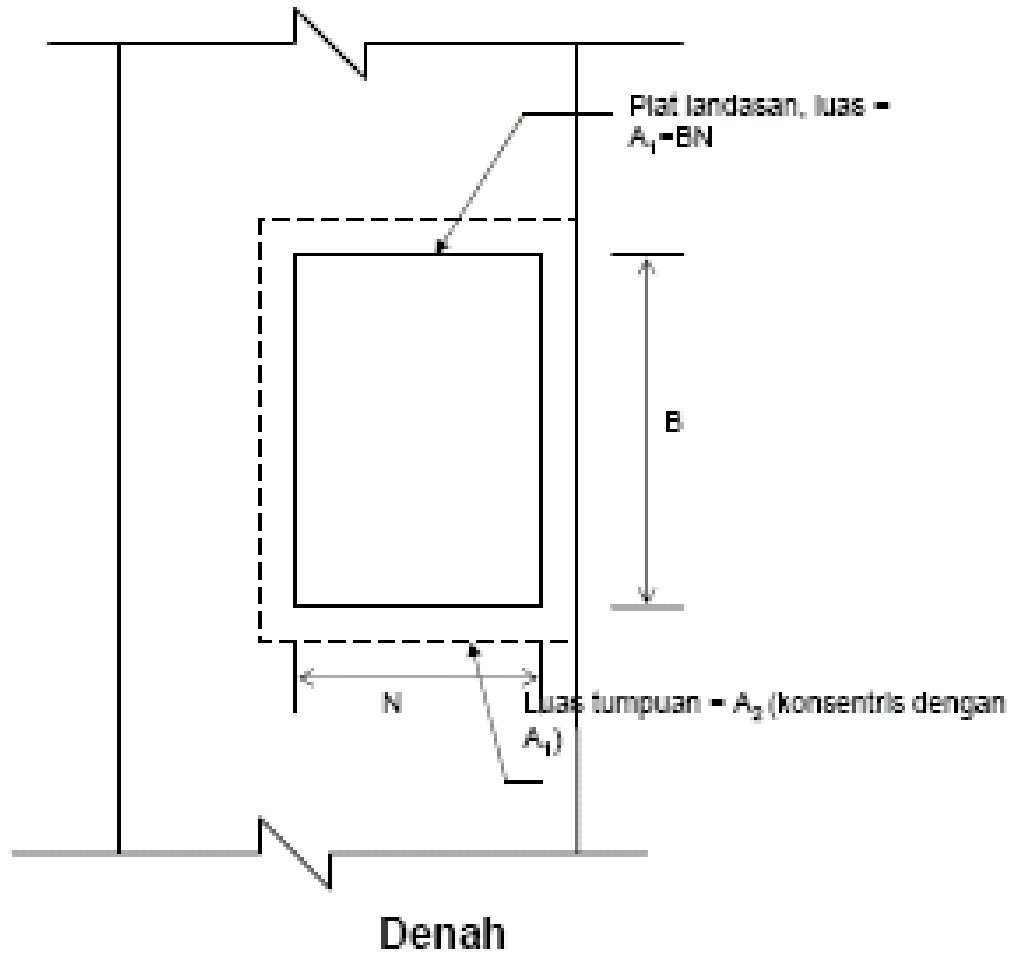
Plat Landasan Balok (lanjutan)

- Ukuran B ditetapkan sedemikian sehingga luas BxN dapat mencegah terjadinya kegagalan tumpu pada material di bawah plat landasan (biasanya beton).

$$\phi_c P_p = \phi_c 0.85 f_c' A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$$

dengan $\frac{A_2}{A_1} \leq 4$ dan $\phi_c = 0.60$

Plat Landasan Balok (lanjutan)



Plat Landasan Balok (lanjutan)

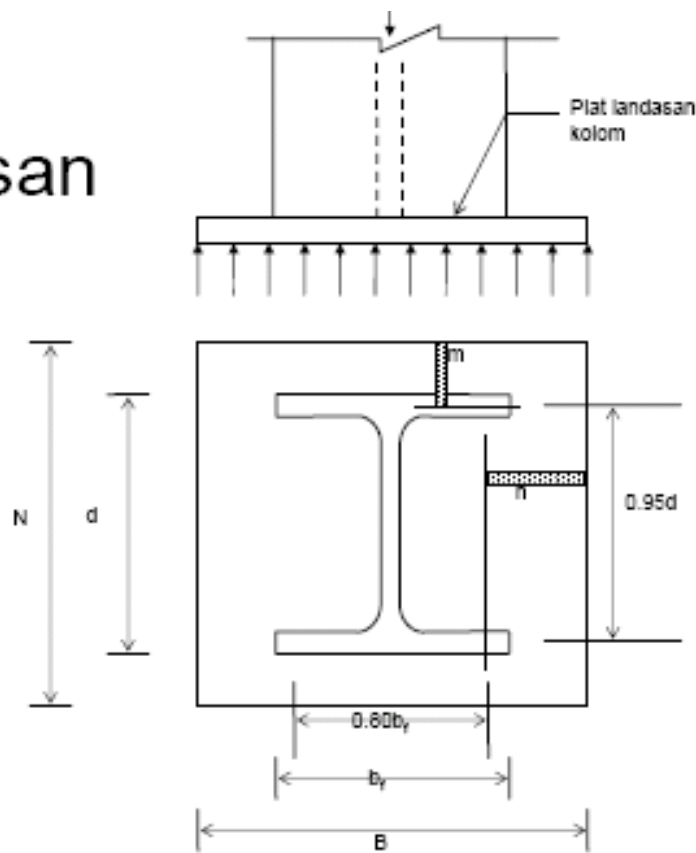
- Tebal plat landasan t harus cukup untuk memikul momen lentur pada plat landasan

$$t \geq \sqrt{\frac{2.222R_u n^2}{BNF_y}}$$

dengan

$$n = \frac{B - 2k}{2}$$

Plat Landasan Kolom



$$\phi_c = 0.60 ; P_p = 0.85 f_c' A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$$

$$m = \frac{N - 0.95d}{2} ; n = \frac{B - 0.8b_f}{2}$$

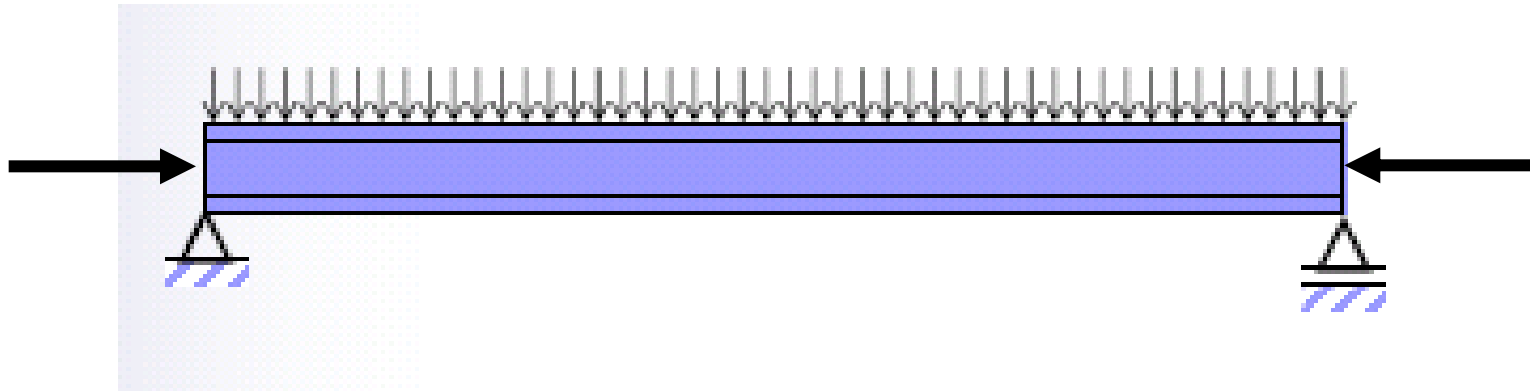
$$X = \left(\frac{4db_f}{(d + b_f)^2} \right) \frac{P_u}{\phi_c P_p}$$

$$\lambda = \min\left(1.0, \frac{2\sqrt{X}}{1 + \sqrt{1 - X}}\right)$$

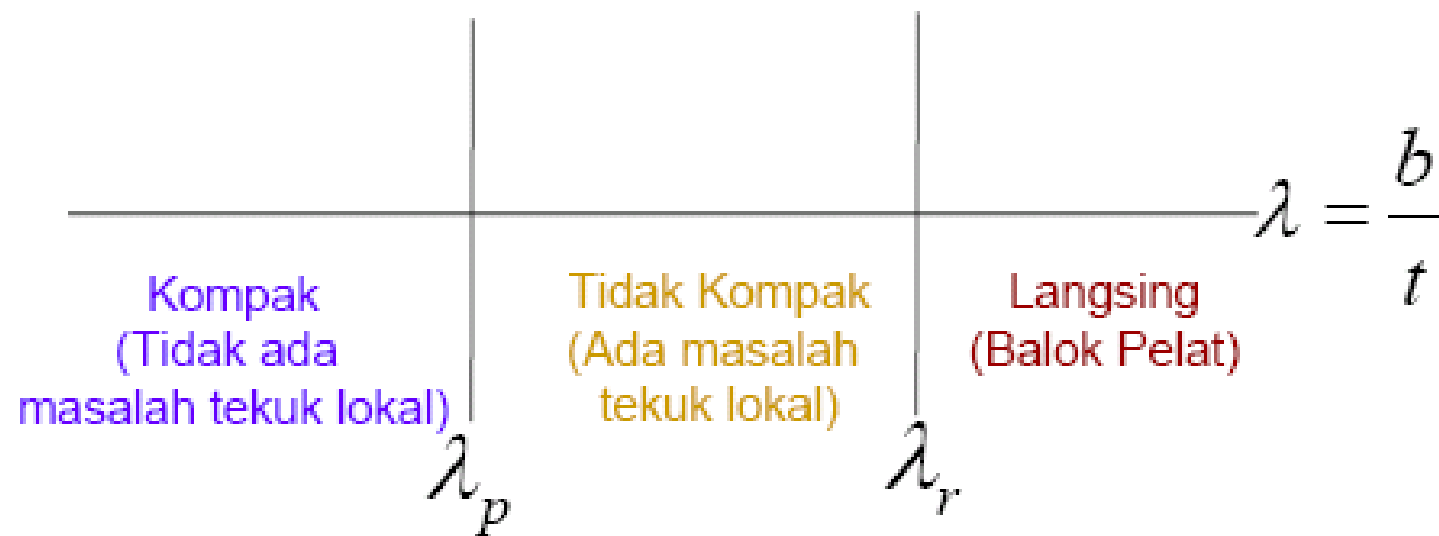
$$n' = \frac{1}{4} \sqrt{db_f} ; l = \max(m, n, \lambda n')$$

$$t \geq l \sqrt{\frac{2P_u}{0.9BNF_y}}$$

KOMPONEN BALOK-KOLOM



Batasan Kekompakan Penampang Balok Kolom



- Untuk flens (SNI dan AISC '05): λ_p dan λ_r sama seperti pada balok

Batasan Kekompakan Penampang Balok Kolom (lanjutan)

- Untuk web (SNI):

$$\text{Jika } \frac{P_u}{\phi_b P_y} \leq 0.125, \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left(1 - \frac{2.75 P_u}{\phi_b P_y} \right)$$

$$\text{Jika } \frac{P_u}{\phi_b P_y} > 0.125, \lambda_p = \max \left(1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left(2.33 - \frac{P_u}{\phi_b P_y} \right), 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right)$$

$$\text{Untuk semua nilai } \frac{P_u}{\phi_b P_y}, \lambda_r = 5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left(1 - \frac{0.74 P_u}{\phi_b P_y} \right)$$

dengan $P_y = A_g F_y$

- Untuk web (AISC '05): sama dengan balok

Persamaan Interaksi (harus ditinjau pada **semua** kombinasi pembebanan)

Untuk $\frac{P_u}{\phi_c P_n} \geq 0.2$:

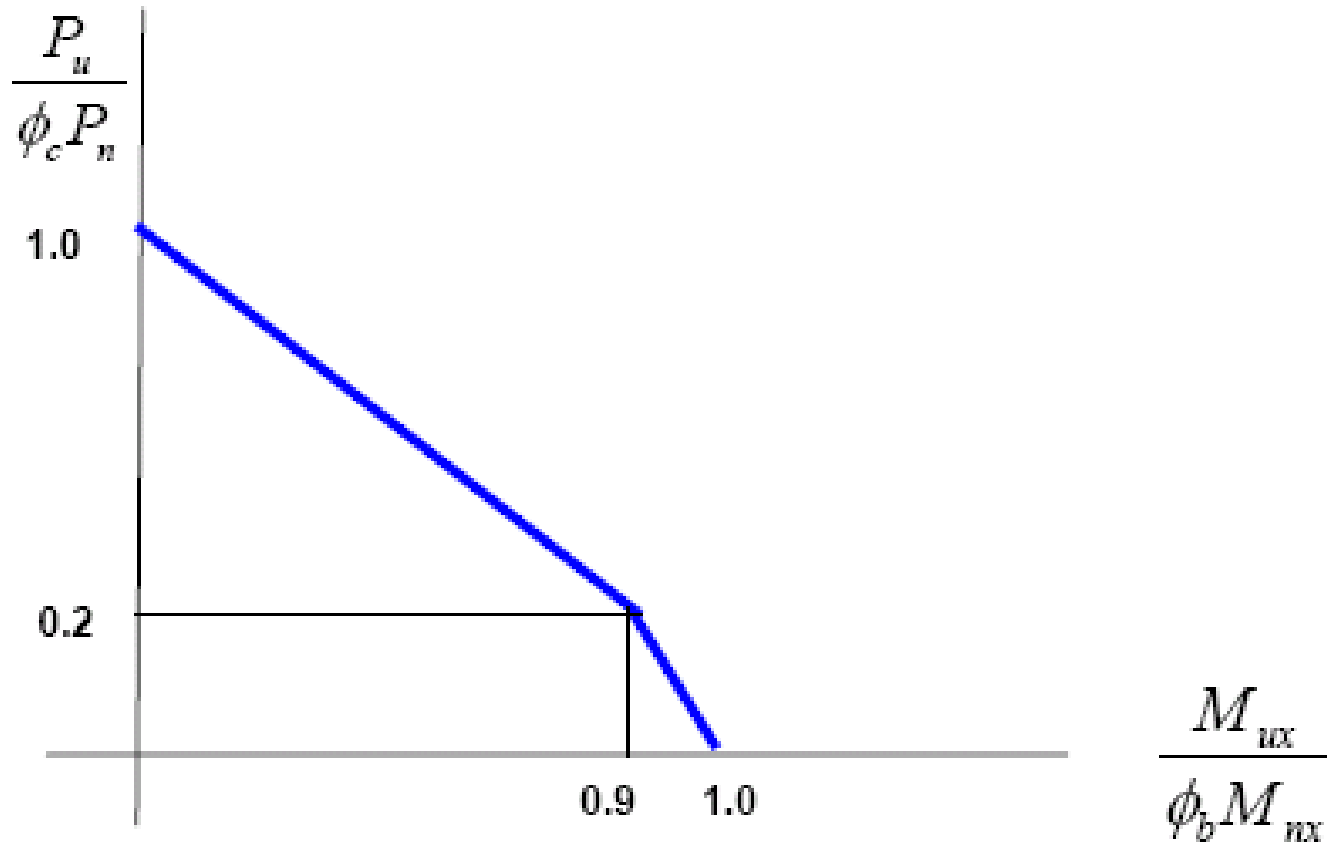
$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1.0$$

Untuk $\frac{P_u}{\phi_c P_n} < 0.2$:

$$\frac{P_u}{2\phi_c P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1.0$$

$\phi_c = 0.90$ (SNI : 0.85) dan $\phi_b = 0.90$

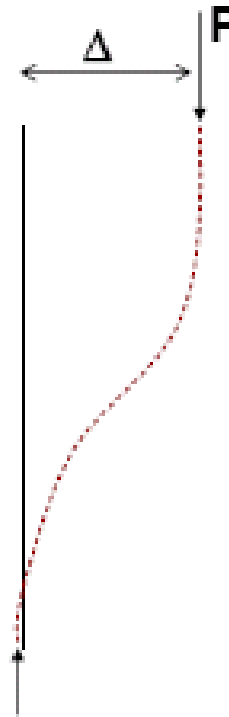
Persamaan Interaksi Khusus Gaya Aksial Tekan dan Momen Terhadap Sumbu x



Efek P-delta



Pada kolom tak bergoyang
disebut efek P- δ



Pada kolom bergoyang
disebut efek P- Δ

Efek P-delta (lanjutan)

- Efek P-delta diperhitungkan dengan menggunakan faktor pembesar momen B_1 dan B_2 :

$$M_u = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt}$$

Tidak ada di SNI \longrightarrow $P_u = P_{nt} + B_2 P_{lt}$

- M_{nt} = momen maks dgn asumsi tdk ada goyangan (*nt = no translation*)
- M_{lt} = momen maks akibat goyangan (*lt = lateral translation*). Momen ini dapat disebabkan oleh beban lateral atau oleh beban gravitasi yang tak simetris. $M_{lt} = 0$ jika balok kolom memang tak bergoyang.
- B_1 = faktor amplifikasi untuk momen yang terjadi pada balok kolom, apabila balok kolom tersebut ditahan goyangannya (atau memang tak bergoyang)
- B_2 = faktor amplifikasi untuk momen akibat goyangan

Efek P-delta (lanjutan)

- Momen M_{nt} dan M_{lt} didapatkan dari analisis orde pertama (analisis linear)
- P_{nt} = gaya aksial (tekan) dgn asumsi tdk ada goyangan
- P_{lt} = gaya aksial (tekan) akibat goyangan
- Dengan berbagai perangkat lunak, efek P-delta dapat diperhitungkan (analisis orde ke dua / analisis non linear). Apabila momen yang telah didapatkan adalah momen dari analisis orde ke dua (baik efek P- δ maupun P- Δ telah diperhitungkan), maka faktor amplifikasi B_1 dan B_2 tidak perlu digunakan.

Faktor Amplifikasi B_1

$$B_1 = \max \left(1.0 \text{ dan } \frac{C_m}{1 - \frac{P_{nt} + P_{lt}}{P_{e1}}} \right) \text{ dengan } P_{e1} = \frac{\pi^2 EA_g}{\left(\frac{KL}{r} \right)^2}$$

- Beban kritis tekuk elastis Euler P_{e1} dihitung untuk tekuk terhadap sumbu yang sama dengan sumbu lentur yang sedang ditinjau
- K di dalam P_{e1} adalah faktor panjang efektif untuk arah tekuk yang sedang ditinjau. Karena tak bergoyang, maka $0.5 \leq k \leq 1.0$.

Faktor C_m di dalam B_1

- Bila tidak ada beban transversal:

$$C_m = 0.6 - 0.4 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)$$

M_1 = momen ujung dg harga mutlak terkecil

M_2 = momen ujung dg harga mutlak terbesar

- Bila ada beban transversal:

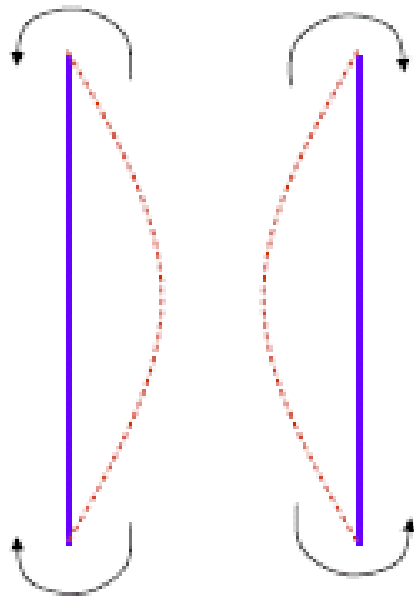
- SNI:

- Kedua ujung adalah jepit: $C_m = 0.85$

- Kedua ujung adalah sendi: $C_m = 1.0$

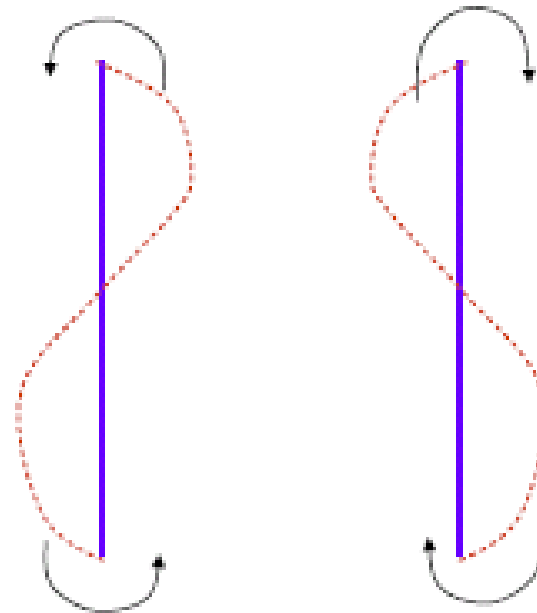
- AISC '05: dihitung dengan analitis, atau ambil $C_m = 1.0$

Tanda M_1/M_2 di dalam C_m



Kelengkungan tunggal:

$$\frac{M_1}{M_2} < 0$$



Kelengkungan ganda

$$\frac{M_1}{M_2} > 0$$

Faktor Amplifikasi B_2

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_{nt}}{\sum P_{e2}}}$$

- $\sum P_{nt}$ = jumlah beban terfaktor di semua kolom pada tingkat yang sedang ditinjau, dengan asumsi tanpa goyangan
- $\sum P_{e2}$ = jumlah beban kritis tekuk elastis Euler untuk semua kolom di tingkat yang sedang ditinjau. Di dalam rumus Euler, KL/r adalah untuk sumbu tekuk = sumbu lentur. Faktor panjang efektif K adalah untuk kondisi bergoyang, jadi $K \geq 1.0$.

CONTOH KOLOM BERGOYANG

