

LRFD (DFBK)

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

$$\sum_{i=1}^N \gamma_i Q_i \leq \phi R_n$$

R_u = kekuatan yang dibutuhkan (LRFD)

R_n = kekuatan nominal yang ditentukan dari peraturan

Φ = faktor ketahanan (≤ 1.0)

γ_i = faktor beban

Q_i = salah satu dari N beban kerja di dalam satu kelompok kombinasi pembeb LRFD

LRFD (lanjutan)

- LRFD memperhitungkan keamanan pada kedua sisi (efek beban dan tahanan): faktor beban dan faktor ketahanan
- Faktor beban ditentukan dengan teori probabilitas dan memperhitungkan:
 - Deviasi beban nominal dari beban aktual
 - Ketidakpastian di dalam analisis yang mentransformasikan beban menjadi efek beban
 - Probabilitas bahwa lebih dari satu beban ekstrim terjadi secara simultan
- Faktor ketahanan ditentukan dengan teori probabilitas dan memperhitungkan:
 - Pengerjaan yang tidak sempurna
 - Variabilitas kekuatan material
 - Kesalahan dalam pelaksanaan
 - Konsekuensi kegagalan yang ditimbulkan

LRFD (lanjutan)

- Gaya dalam dapat akibat beban terfaktor (= kekuatan yang dibutuhkan) dihitung dengan menggunakan metode analisis:
 - Elastis,
 - Inelastis, atau
 - Plastis.

Kombinasi Pembebanan LRFD

(*strength design* di dalam ASCE 7-10)

1. $1.4D$
2. $1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
3. $1.2D + 1.6(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0.5W)$
4. $1.2D + 1.0W + L + 0.5(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
5. $1.2D + 1.0E + L + 0.2S$
6. $0.9D + 1.0W$
7. $0.9D + 1.0E$

Lihat pengecualian di dalam ASCE 7-10 Sec. 2.3

Faktor Ketahanan

Kondisi Batas	Faktor Ketahanan ϕ	SNI 1729:2015
Tarik: leleh tarik	0.90	D2
Tarik: putus tarik	0.75	
Tekan	0.90	E1
Balok: lentur	0.90	F1
Balok: geser		
- WF gelas panas dengan $h/t_w \leq 2.24\sqrt{E/F_y}$	1.00	G1
- lainnya	0.90	G1
Las	Lihat AISC Tabel J2.5	J3
Sambungan: tarik, geser, dan kombinasi geser dan tarik	0.75	J3.6, J3.7
Geser Blok	0.75	J4.2

Besaran Material

- Modulus Elastisitas $E = 200000 \text{ MPa}$ (29000 ksi)
- Rasio Poisson $\mu = 0.3$
- Modulus Geser,

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$

diambil 77200 MPa (11200 ksi)

Besaran Material

Jenis Baja	Kekuatan tarik minimum yang dispesifikasikan F_u (MPa)	Tegangan leleh minimum yang dispesifikasikan 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

Komponen Struktur Tekan







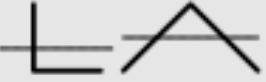



Fenomena Tekuk pada Komponen Struktur Tekan

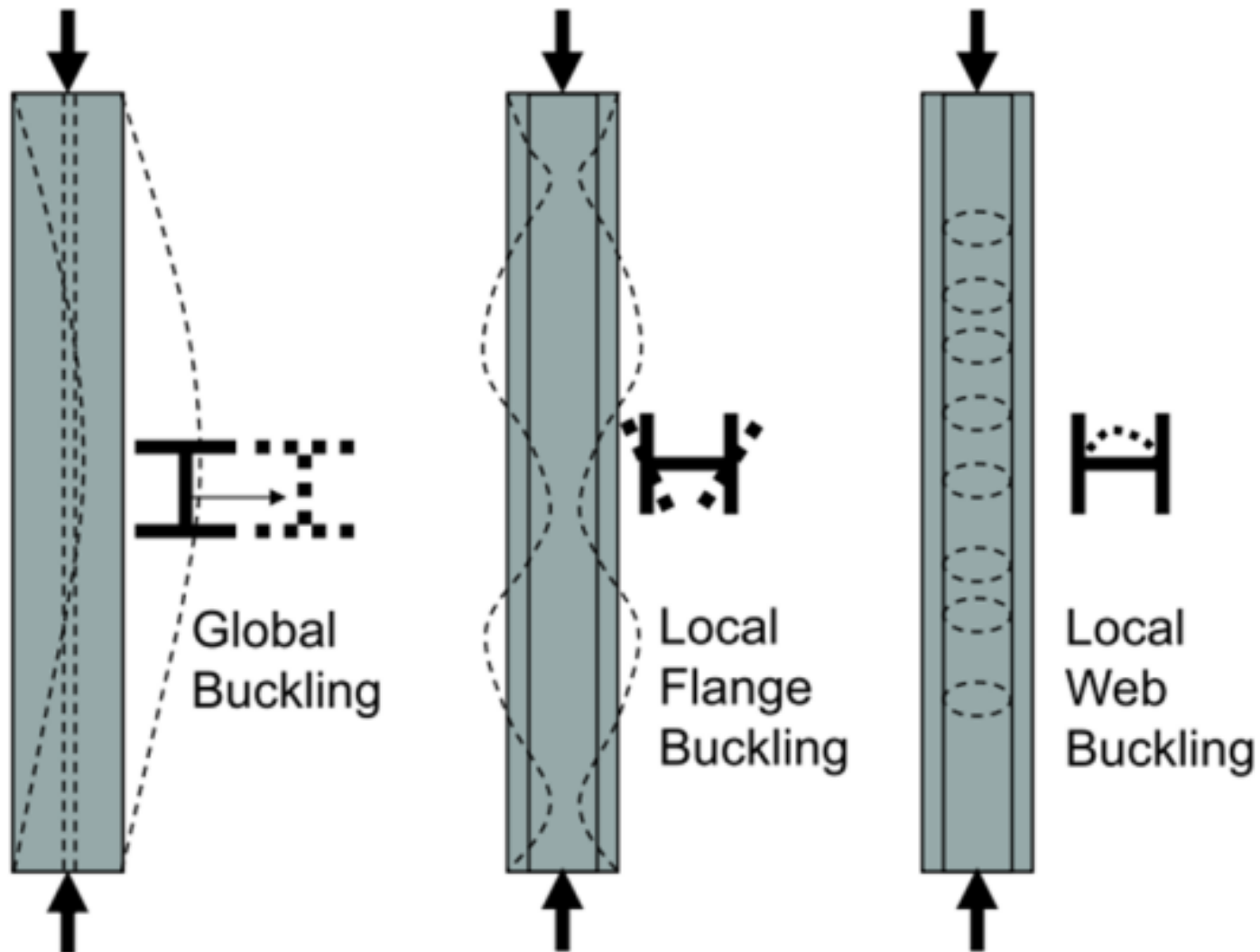
- Tekuk Lokal (*local buckling*) pada Elemen:
 - Tekuk Lokal di Flens (FLB)
 - Tekuk Lokal di Web (WLB)
 - Tekuk lokal di elemen lain pada profil lain
- Tekuk pada Komponen Struktur:
 - Tekuk Lentur (*flexural buckling*)
 - Tekuk Torsi (*torsional buckling*)
 - Tekuk Torsi Lentur (*flexural torsional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

Kondisi Batas Batang Tekan

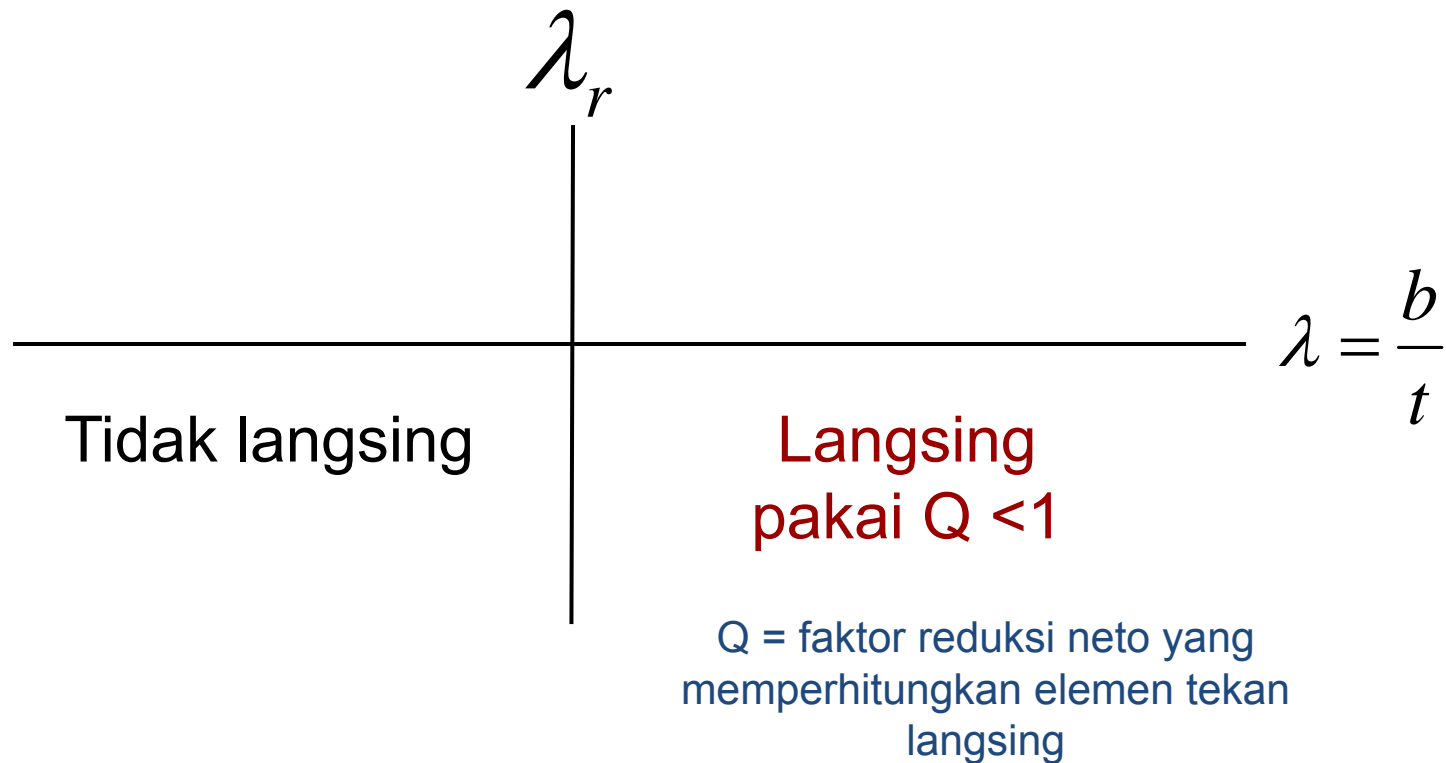


TABLE USER NOTE E1.1 Selection Table for the Application of Chapter E Sections				
Cross Section	Without Slender Elements		With Slender Elements	
	Sections in Chapter E	Limit States	Sections in Chapter E	Limit States
	E3 E4	FB TB	E7	LB FB TB
	E3 E4	FB FTB	E7	LB FB FTB
	E3	FB	E7	LB FB
	E3	FB	E7	LB FB
	E3 E4	FB FTB	E7	LB FB FTB
	E6 E3 E4	FB FTB	E6 E7	LB FB FTB
	E5		E5	
	E3	FB	N/A	N/A
Unsymmetrical shapes other than single angles	E4	FTB	E7	LB FTB

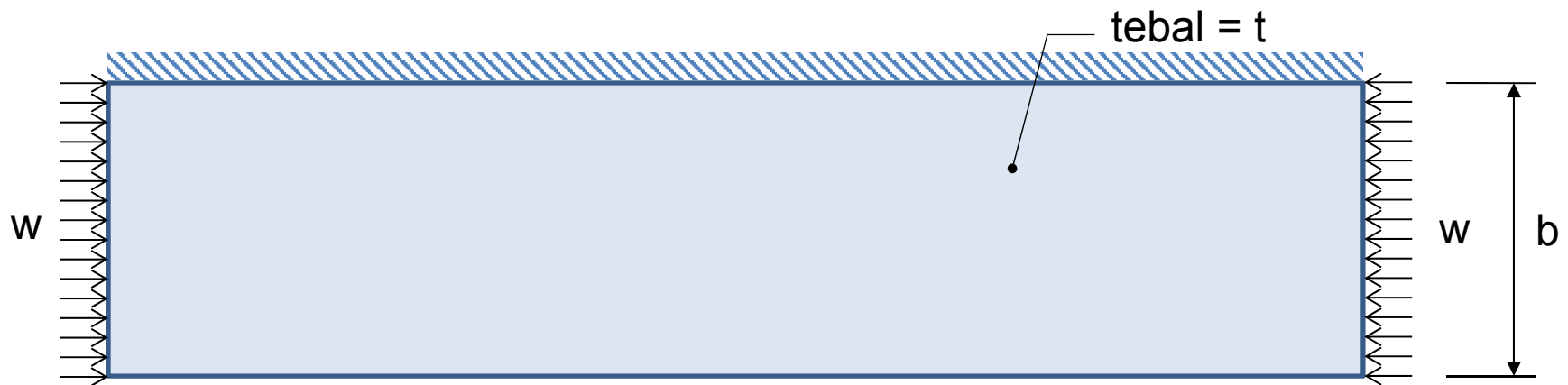
Tekuk Lokal dan Global



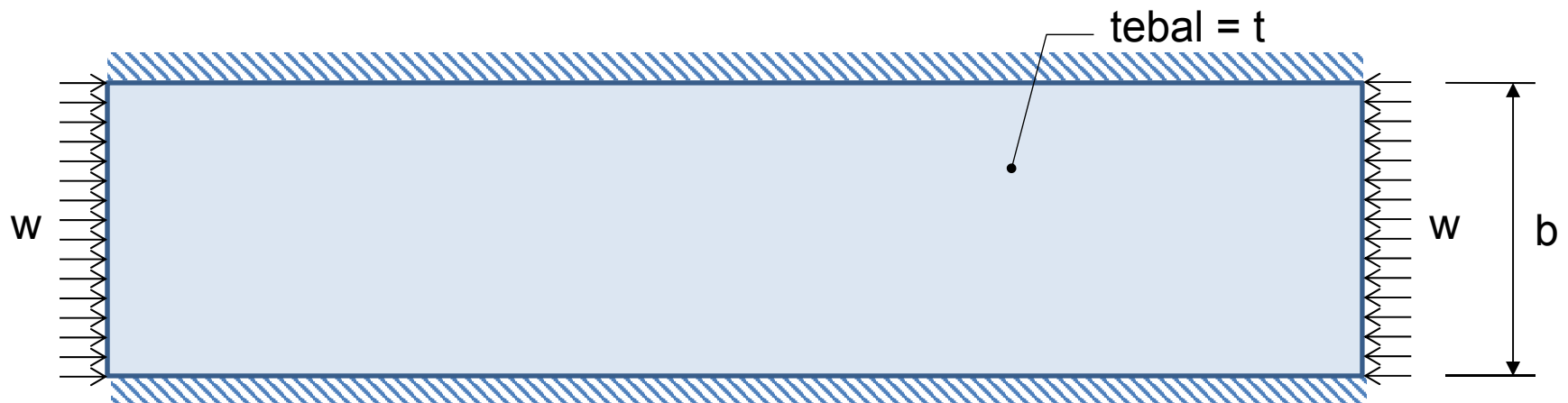
Tekuk Lokal (flens dan web)



Tekuk Elemen Pelat



Unstiffened Element

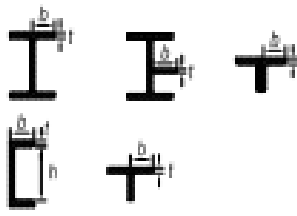
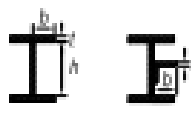









Stiffened Element

Unstiffened Element lebih mudah menekuk dibandingkan *Stiffened Element*

Komponen Struktur Baja - Teori (SN
1729:2015, LRFD)

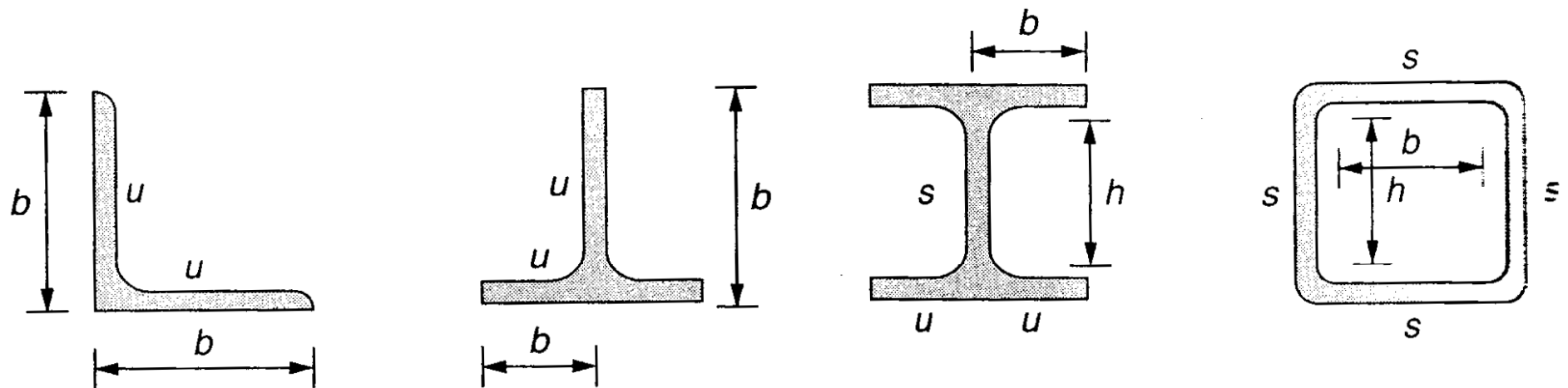
Batas λ_r
untuk
komponen
struktur
tekan

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 λ_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	$0.64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$	
	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	$0.11 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

Komponen Struktur Baja - Teori (SNI 1729:2015, LRFD)

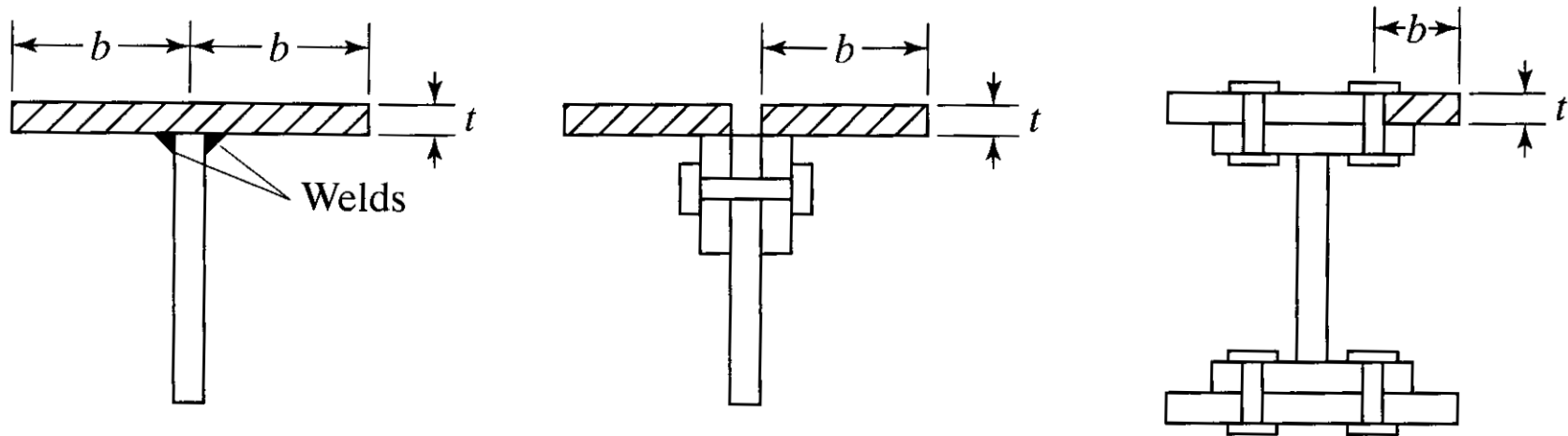
Komponen Struktur Baja - Teori (SNI 1729:2015, LRFD)

Elemen Diperkaku dan Tak Diperkaku

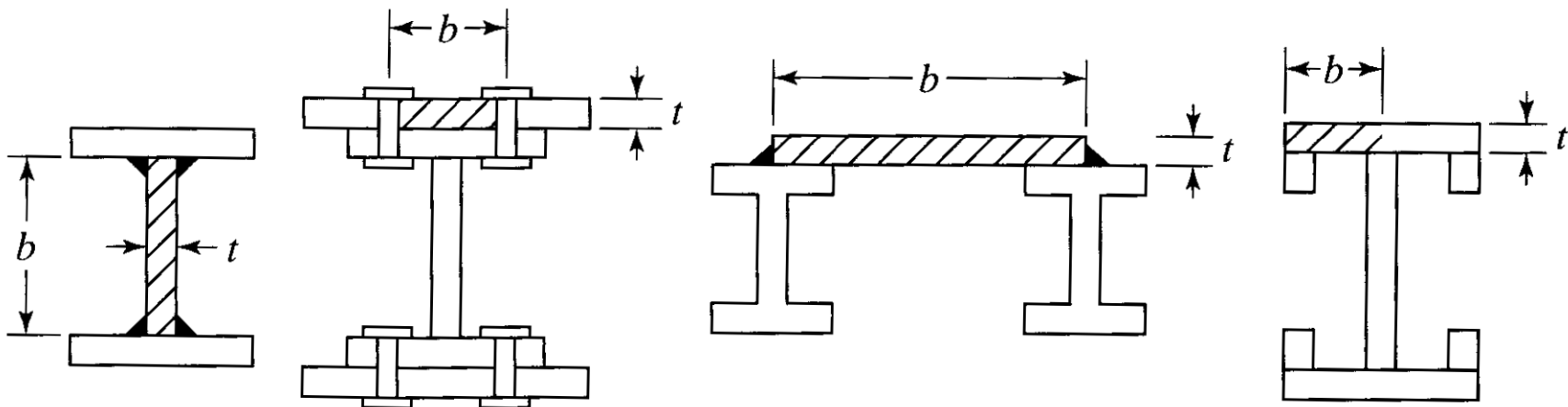


s = Stiffened element
 u = Unstiffened element

Elemen Diperkaku dan Tak Diperkaku

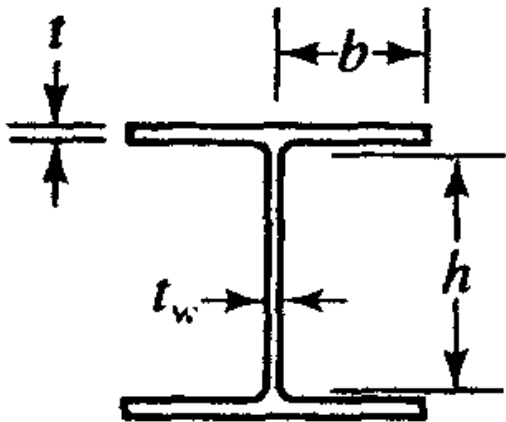


(a) Unstiffened elements



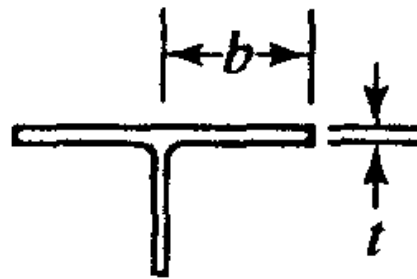
(b) Stiffened elements

Batas Langsing – Tidak Langsing, λ_r

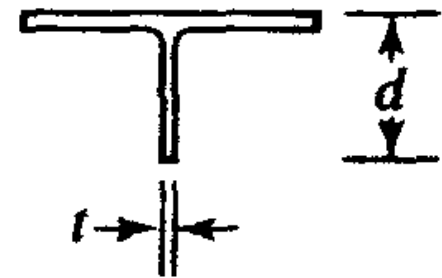


$$b/t \leq 0.56 \sqrt{E/F_y}$$

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



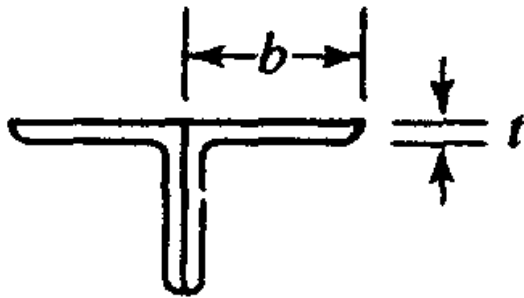
$$b/t \leq 0.56 \sqrt{E/F_y}$$



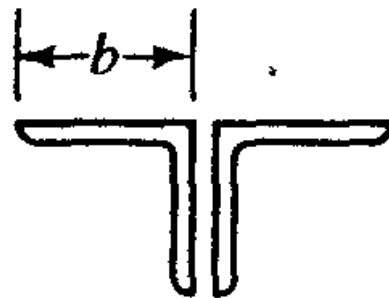
$$d/t \leq 0.75 \sqrt{E/F_y}$$

Hot Rolled (gilas panas)

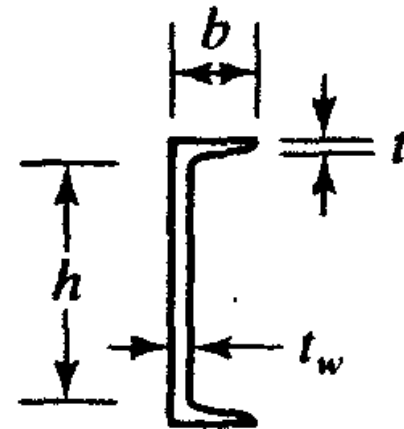
Batas Langsing – Tidak Langsing, λ_r



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

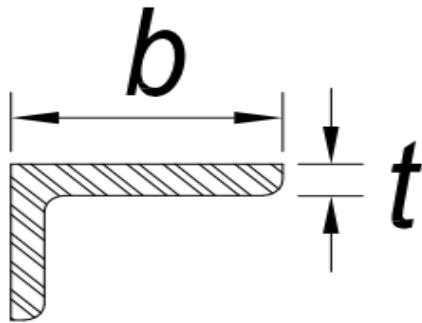


$$b/t \leq 0.45 \sqrt{E/F_y}$$

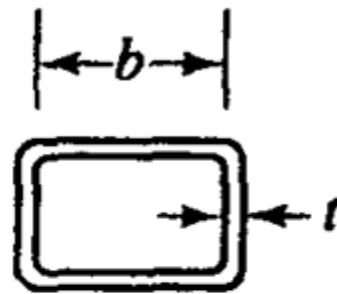


$$\begin{aligned} b/t &\leq 0.56 \sqrt{E/F_y} \\ h/t_w &\leq 1.49 \sqrt{E/F_y} \end{aligned}$$

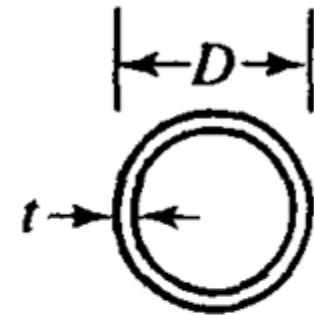
Batas Langsing – Tidak Langsing, λ_r



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

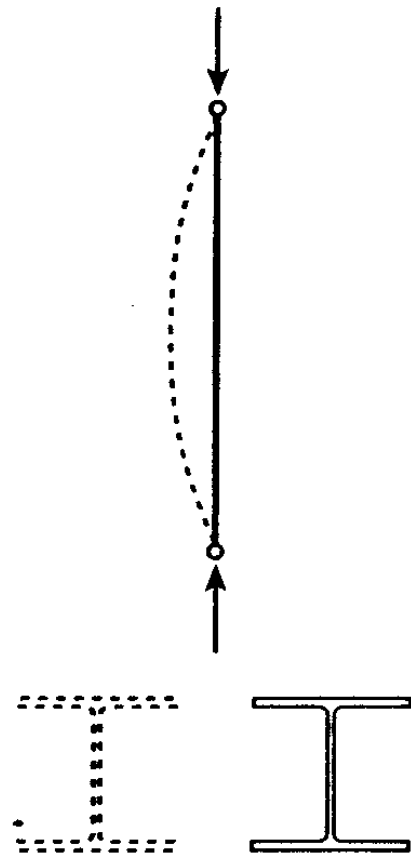


$$b/t \leq 1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$



$$D/t \leq 0.11 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

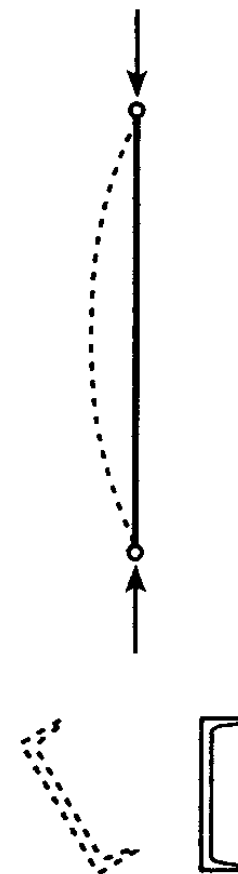
Tekuk Komponen Struktur



Tekuk Lentur



Tekuk Torsi



Tekuk Torsi Lentur

Tekuk Lentur

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

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

- K = faktor panjang efektif (dihitung sesuai Ch. C atau App. 7)
- L = panjang tak-tertumpu-lateral (*laterally unbraced length*) komponen struktur tekan
- r = jari-jari girasi
- Batas kelangsingan maksimum untuk komponen struktur tekan = 200



Leonhard Euler 1707-1783

Tegangan Kritis Tekuk Lentur (Elemen Tidak Langsing)

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad = \text{tegangan tekuk elastis}$$

$\lambda \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ atau } F_y \leq 2.25 F_e$	$F_{cr} = 0.658^{\frac{F_y}{F_e}} F_y$
$\lambda > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ atau } F_y > 2.25 F_e$	$F_{cr} = 0.877 F_e$

Kelangsingan Transisi untuk Tekuk Elastis dan Tekuk Inelastis

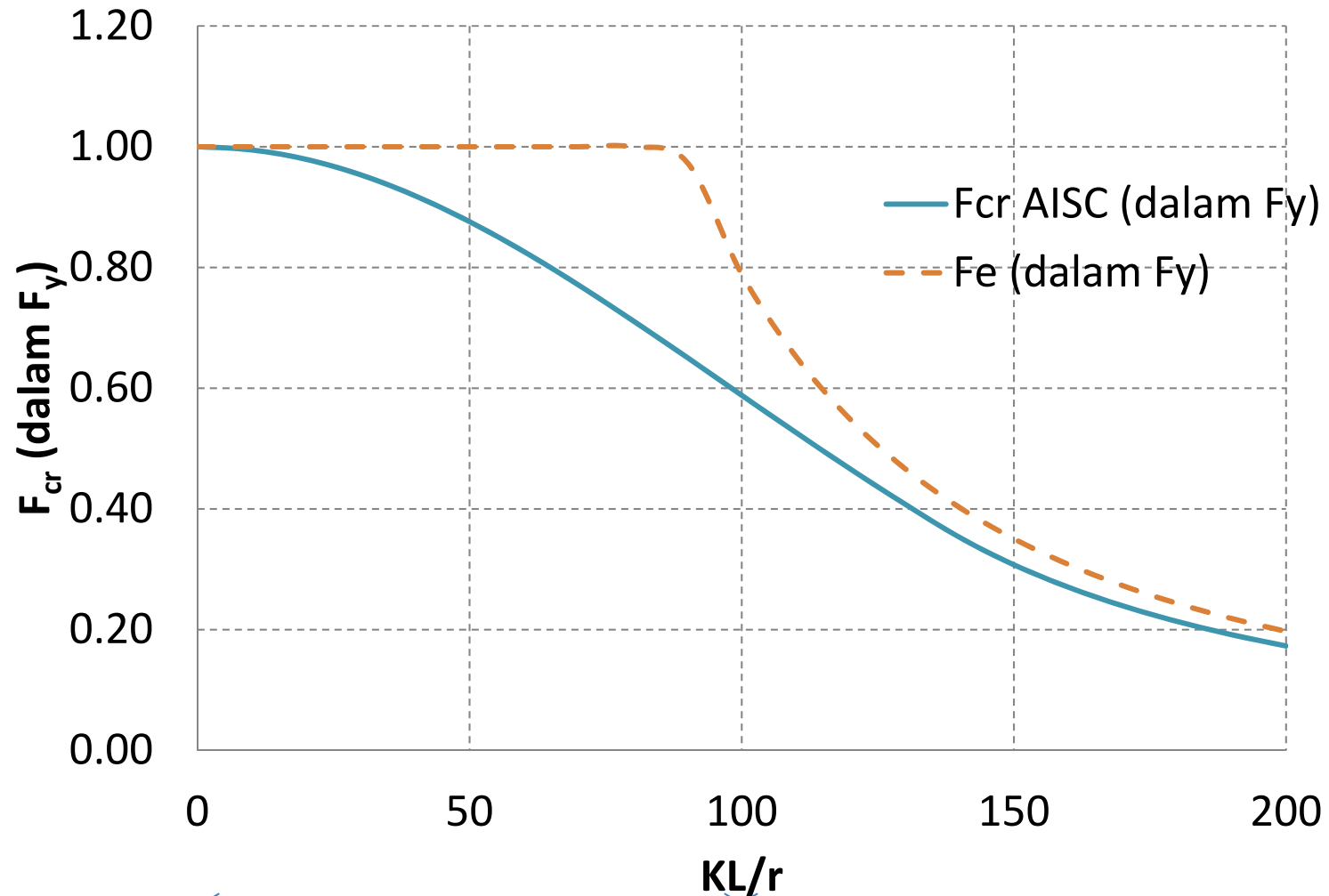
F_y (MPa)	$(KL/r)_{\text{transisi}}$	$F_{e \text{ transisi}}$ (MPa)
210	145	83.9
240	136	106.7
250	133	111.6
290	123	130.5
360	111	160.2
410	104	182.5

Tegangan Kritis Tekuk Lentur (Elemen Langsing)

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad = \text{tegangan tekuk elastis}$$

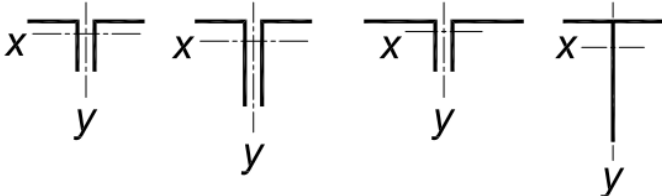

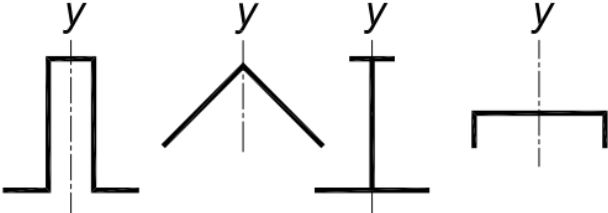
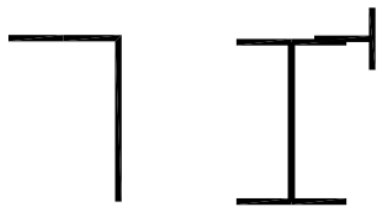
$\lambda \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}} \text{ atau } QF_y \leq 2.25F_e$	$F_{cr} = Q 0.658^{\frac{QF_y}{F_e}} F_y$
$\lambda > 4.71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}} \text{ atau } QF_y > 2.25F_e$	$F_{cr} = 0.877 F_e$

Tegangan Kritis Tekuk Lentur



← Tekuk inelastis (Komponen Struktur Baja - Teori (SNI 1729:2015, LRFD)) Tekuk elastis

Persamaan Tekuk Torsi dan Tekuk Torsi Lentur

Jenis Penampang	Persamaan
	$F_{cr} = \frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{cry}F_{crz}H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \right)$
	$F_e = \left[\frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y}$
	$F_e = \frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right)$
	$F_e = \text{root} \left((F_e - F_{ex})(F_e - F_{ey})(F_e - F_{ez}) - F_e^2 (F_e - F_{ey}) \left(\frac{x_o}{r_0} \right)^2 - F_e^2 (F_e - F_{ex}) \left(\frac{y_o}{r_0} \right)^2 = 0 \right)$

Persamaan Tekuk Torsi dan Tekuk Torsi Lentur (lanjutan)

- $F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_x L}{r_x}\right)^2}$ dan $F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_y L}{r_y}\right)^2}$
- $F_{ez} = \left(\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ\right) \frac{1}{A_g \bar{r}_0^2}$
- J = konstanta torsi, mm^4
- C_w = konstanta pilin, mm^6
- A_g = luas bruto, mm^2

Penampang lainnya (lanjutan)

- Simetri ganda dan Z
 - Periksa tekuk lentur terhadap sumbu dengan kelangsingan komponen struktur terbesar F_{cr1}
 - Periksa tekuk torsi F_{cr2} dengan menggunakan F_e
- Simetri tunggal:
 - Periksa tekuk lentur terhadap sumbu tak simetri x F_{cr1}
 - Periksa tekuk torsi lentur F_{cr2} terhadap sumbu simetri y dengan menggunakan F_e
- Tanpa sumbu simetri:
 - Periksa tekuk lentur terhadap sumbu utama dengan kelangsingan komponen struktur terbesar F_{cr1}
 - Periksa tekuk torsi lentur F_{cr2} dengan menggunakan F_e

Penampang lainnya (lanjutan)

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

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

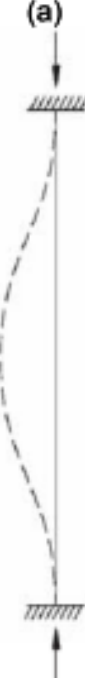

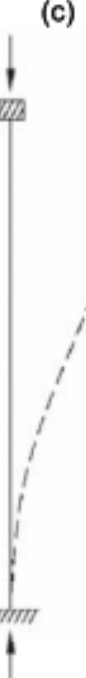







$$F_{cr} = \min(F_{cr1} \text{ dan } F_{cr2})$$

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

K dan KL

- Faktor panjang efektif = K = rasio antara panjang efektif dan panjang tak berbreis (*unbraced length*) komponen struktur tekan ($=KL/L$)
- Panjang efektif = KL adalah
 - Panjang kolom identik yang mempunyai kekuatan sama apabila dianalisis dengan kondisi kedua ujung sendi (SNI 1729:2015)
 - Jarak antara titik-titik dengan momen nol pada kolom, yaitu jarak antara titik-titik belok (McCormac dan Csernak 2012)
 - Panjang dimana sebuah kolom sesungguhnya menekuk (Williams 2011)

K untuk kolom yang berdiri sendiri

Buckled shape of column is shown by dashed line						
Theoretical K value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.1	2.0
End condition code	 Rotation fixed and translation fixed  Rotation free and translation fixed  Rotation fixed and translation free  Rotation free and translation free					

Komponen Struktur Beton Tahan (SN
1729:2015, LRFD)

Alignment Chart untuk mendapatkan K

- Asumsi:
 - Perilaku material elastis
 - Semua komponen struktur mempunyai penampang prismatis
 - Semua titik hubung rigid
 - Untuk kolom pada rangka tak bergoyang, rotasi di ujung jauh balok penahan kolom tersebut sama besar dan berlawanan arah sehingga terjadi lentur berkelengkungan tunggal
 - Untuk kolom pada rangka bergoyang, rotasi di ujung jauh balok penahan kolom tersebut sama besar dan arahnya, sehingga terjadi lentur berkelengkungan ganda
 - Parameter kekakuan $L \sqrt{\frac{P}{EI}}$ sama

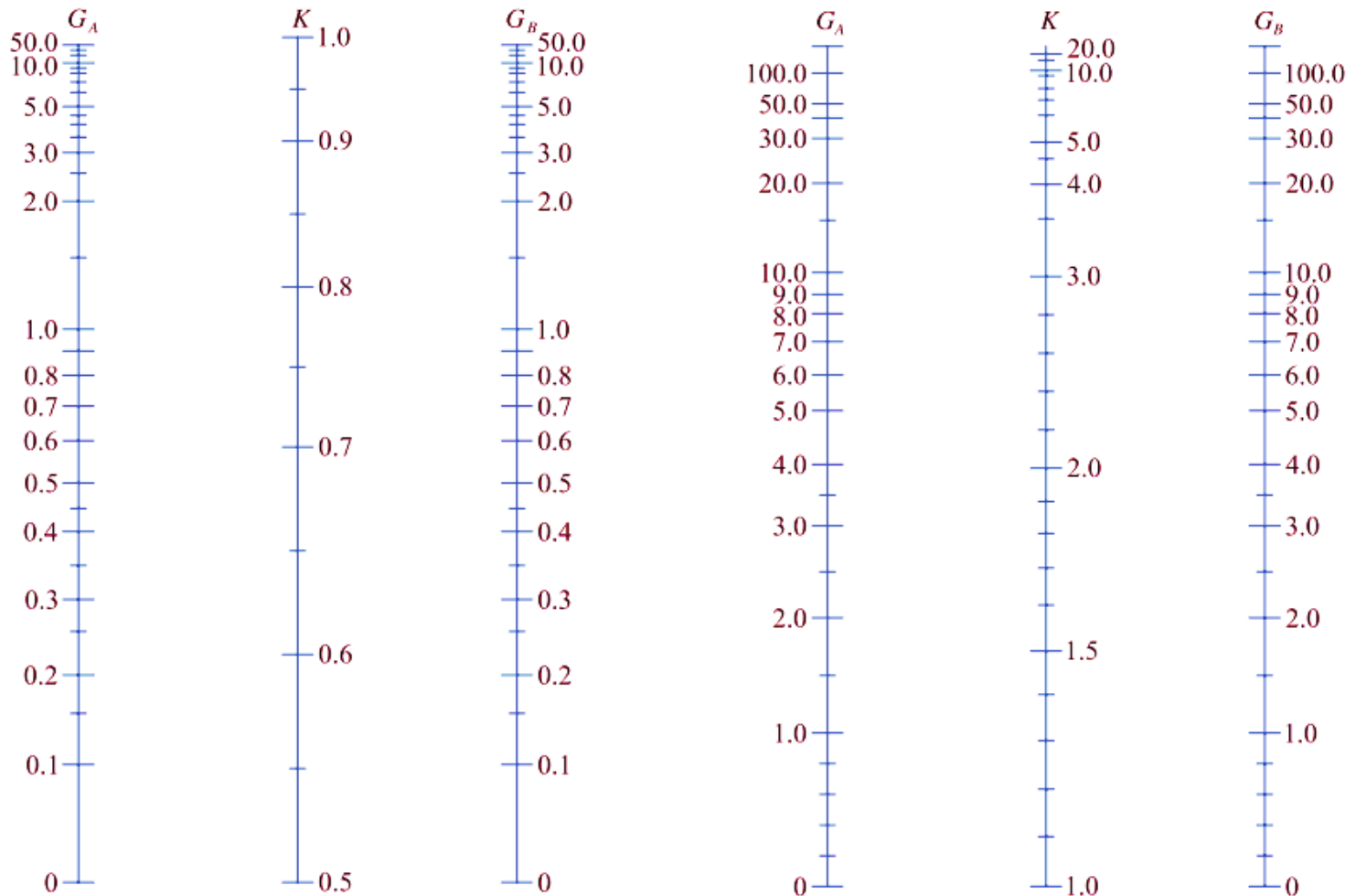
Alignment Chart untuk mendapatkan K (lanjutan)

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

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

- Tentukan apakah komponen struktur tekan tersebut bergoyang atau tak bergoyang
- Dapatkan K dari *alignment chart*

Alignment Chart untuk mendapatkan K dari G_A dan G_B



Rumus K secara analitis

- Komponen struktur struktur tak bergoyang

$$\frac{G_A G_B}{4} (\pi / K)^2 + \left(\frac{G_A + G_B}{2} \right) \left(1 - \frac{\pi / K}{\tan(\pi / K)} \right) + \frac{2 \tan(\pi / 2K)}{(\pi / K)} - 1 = 0$$

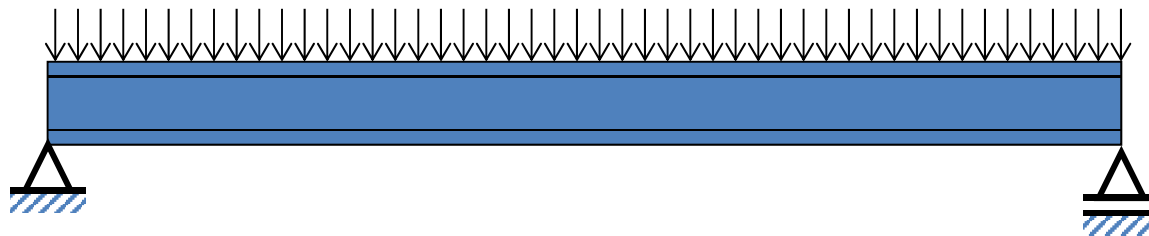
- Komponen struktur struktur bergoyang

$$\frac{G_A G_B (\pi / K)^2 - 36}{6(G_A + G_B)} - \frac{(\pi / K)}{\tan(\pi / K)} = 0$$

Rasio Kekakuan G

- G kolom:
 - Tumpuan sendi: $G \text{ teoritis} = \infty$, gunakan $G = 10.0$
 - Tumpuan jepit: $G \text{ teoritis} = 0$, gunakan $G = 1.0$
- G balok:
 - Apabila struktur tak bergoyang:
 - Jika ujung jauh balok jepit, kalikan EI/L balok tersebut dengan 2
 - Jika ujung jauh balok sendi, kalikan EI/L balok tersebut dengan 1.5
 - Apabila struktur bergoyang:
 - Jika ujung jauh balok jepit, kalikan EI/L balok tersebut dengan $2/3$
 - Jika ujung jauh balok sendi, kalikan EI/L balok tersebut dengan 0.5
- Bila kolom berperilaku inelastis, maka kekakuan kolom \downarrow , $G \downarrow$, dan $K \downarrow$. Namun penurunan K ini biasanya kecil, sehingga dapat diabaikan (konservatif)

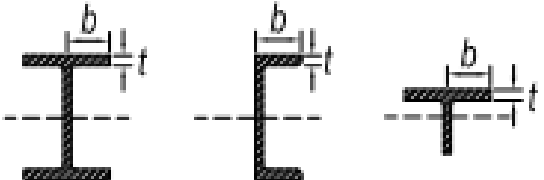
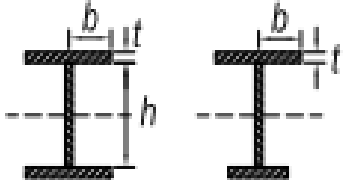

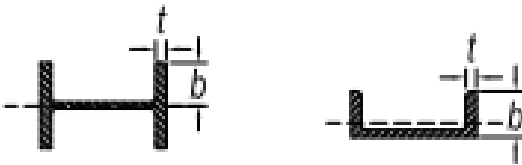
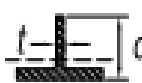
Balok (Profil I)



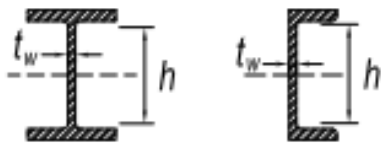
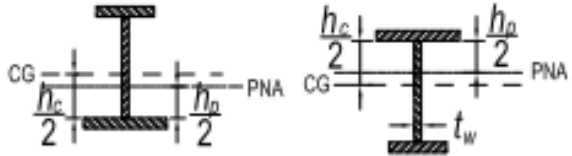
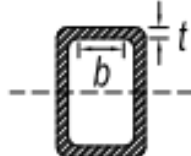
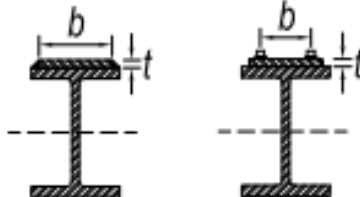
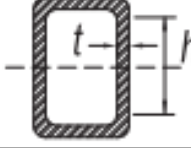
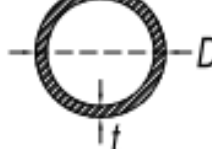
Pengelompokan Penampang



Batas λ_p dan λ_r untuk komponen struktur lentur

	Case	Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio		Examples
				λ_p (compact/noncompact)	λ_r (noncompact/slender)	
Unstiffened Elements	10	Flanges of rolled I-shaped sections, channels, and tees	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	11	Flanges of doubly and singly symmetric I-shaped built-up sections	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_L}}$ [a] [b]	
	12	Legs of single angles	b/t	$0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	13	Flanges of all I-shaped sections and channels in flexure about the weak axis	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	14	Stems of tees	d/t	$0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

Batas λ_p dan λ_r untuk komponen struktur lentur

Stiffened Elements	15	Webs of doubly-symmetric I-shaped sections and channels	h/t_w	$3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	16	Webs of singly-symmetric I-shaped sections	h_c/t_w	$\frac{\frac{h_c}{h_p}\sqrt{\frac{E}{F_y}}}{\left(0.54\frac{M_p}{M_y}-0.09\right)^2} \leq \lambda_r$ [c]	$5.70\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	17	Flanges of rectangular HSS and boxes of uniform thickness	b/t	$1.12\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	18	Flange cover plates and diaphragm plates between lines of fasteners or welds	b/t	$1.12\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	19	Webs of rectangular HSS and boxes	h/t	$2.42\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	20	Round HSS	D/t	$0.07\frac{E}{F_y}$	$0.31\frac{E}{F_y}$	

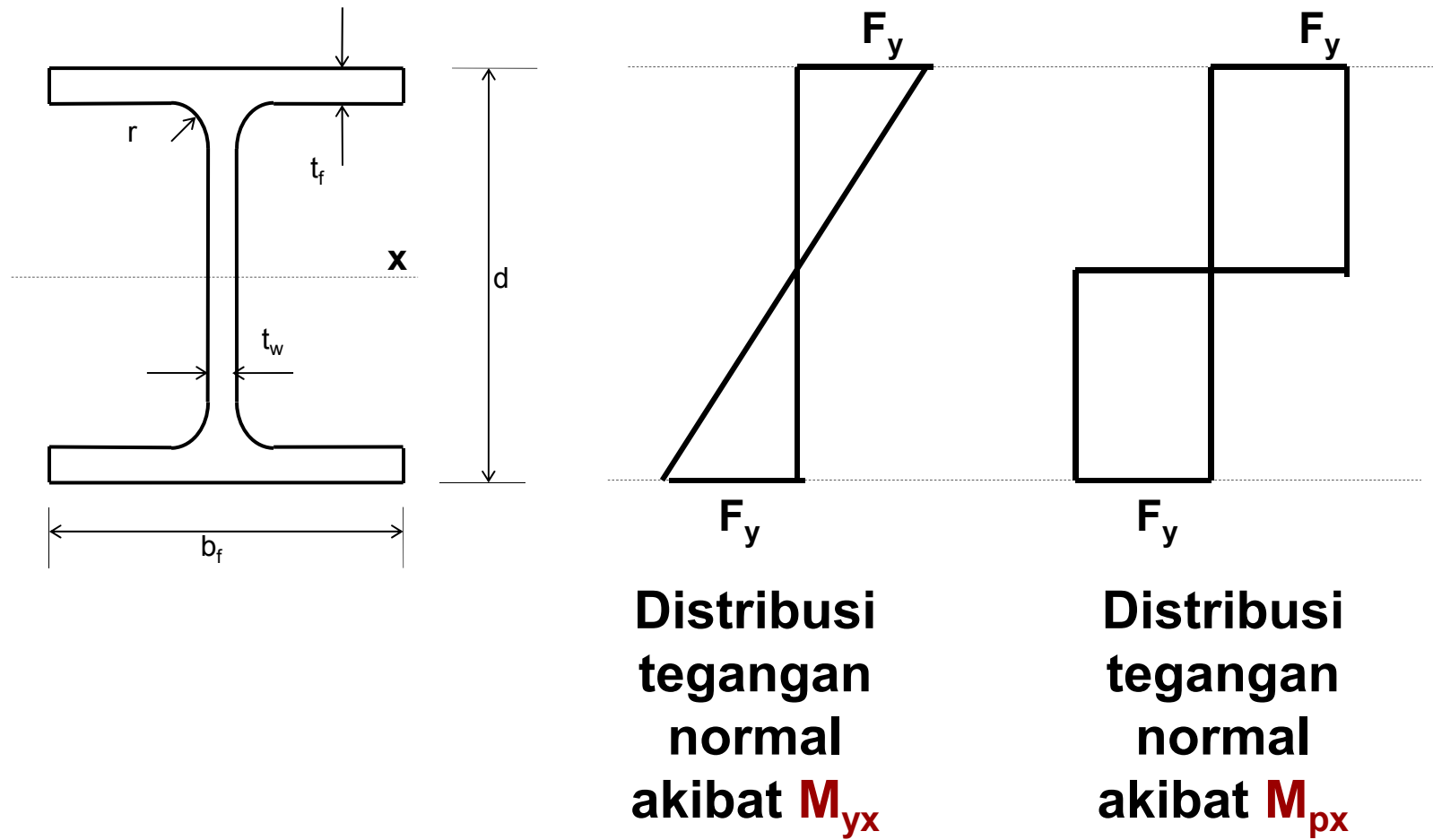
Batas-batas λ_p dan λ_r profil WF (dirol)

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	$\frac{h}{t_w}$	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

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)



Momen Plastis

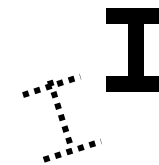
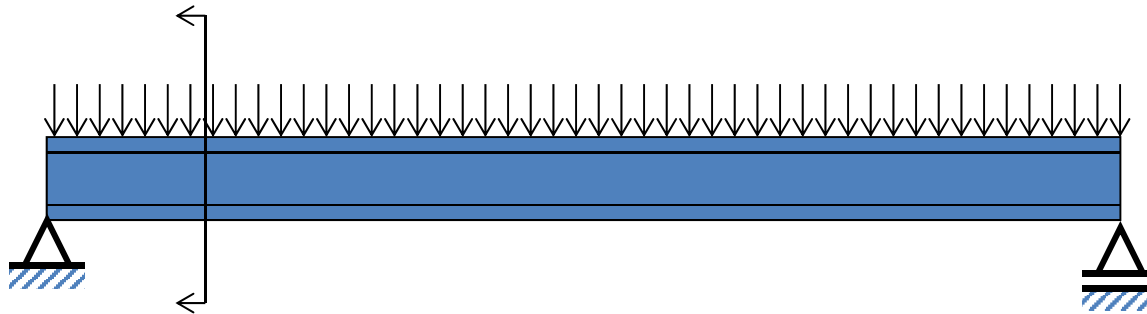
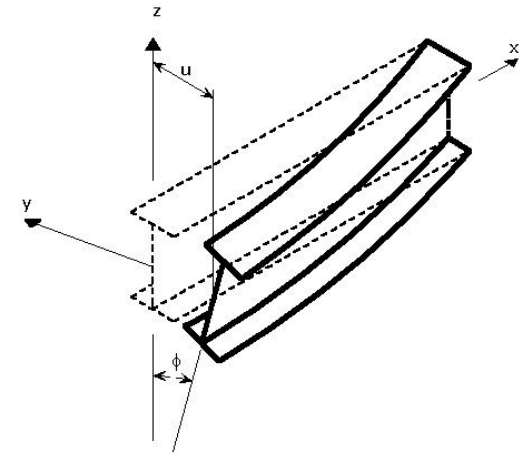
- Terhadap sumbu x:
 - $M_{px} = Z_x F_y$
- Terhadap sumbu y:
 - $M_{py} = \min(Z_y F_y \text{ dan } 1.6 S_y F_y)$

Untuk profil WF hot rolled Standar JIS:

$Z_y < 1.6 S_y$ maka

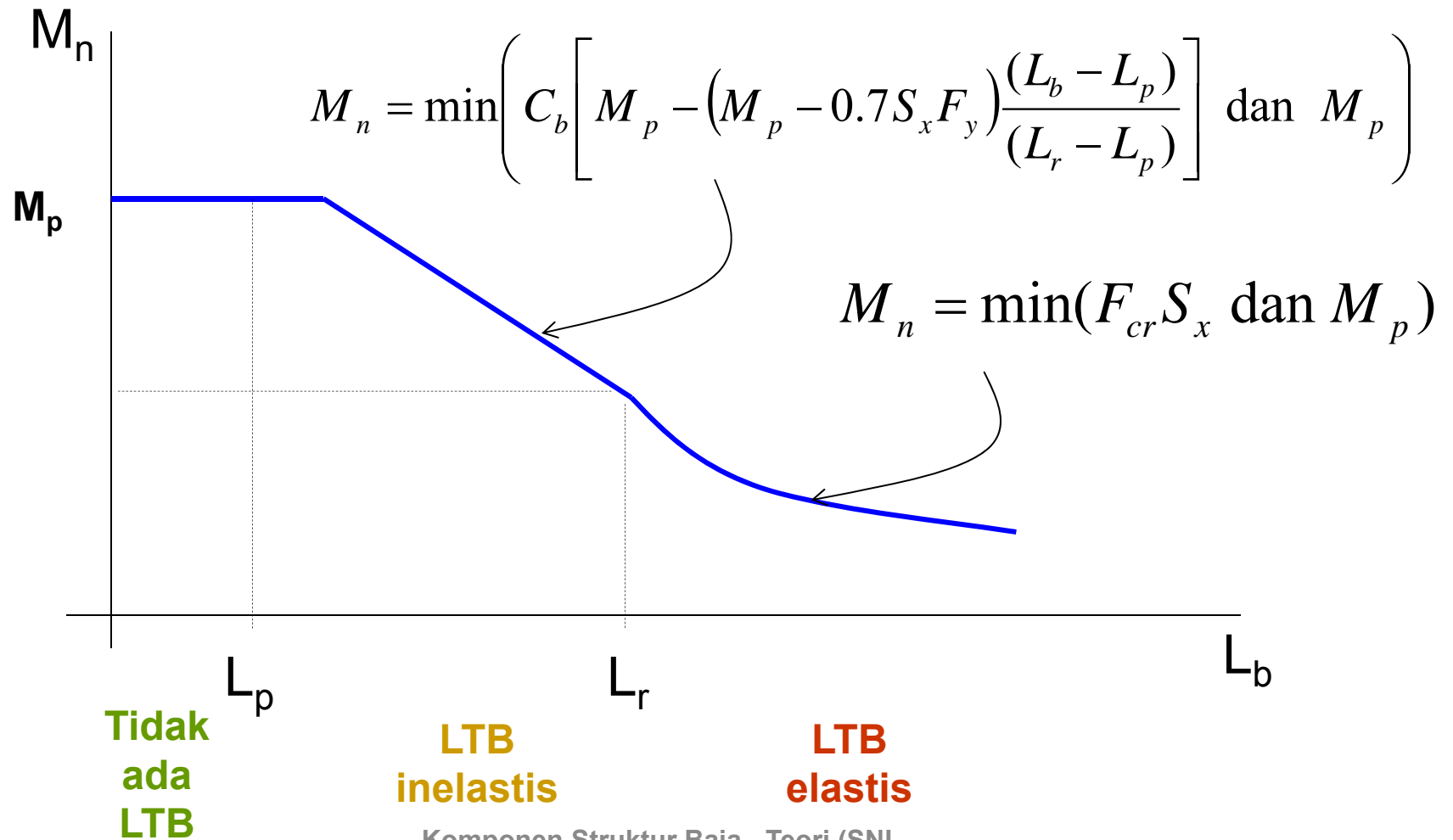
$$M_{py} = Z_y F_y$$

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

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

$$F_{cr} = C_b \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{Jc}{S_x h_0} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}$$

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

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_0} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{S_x h_0}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E}\right)^2}}$$

I_y = momen inersia terhadap sumbu lemah y

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

$c = 1$ untuk penampang I simetris ganda

r_{ts} = radius girasi efektif

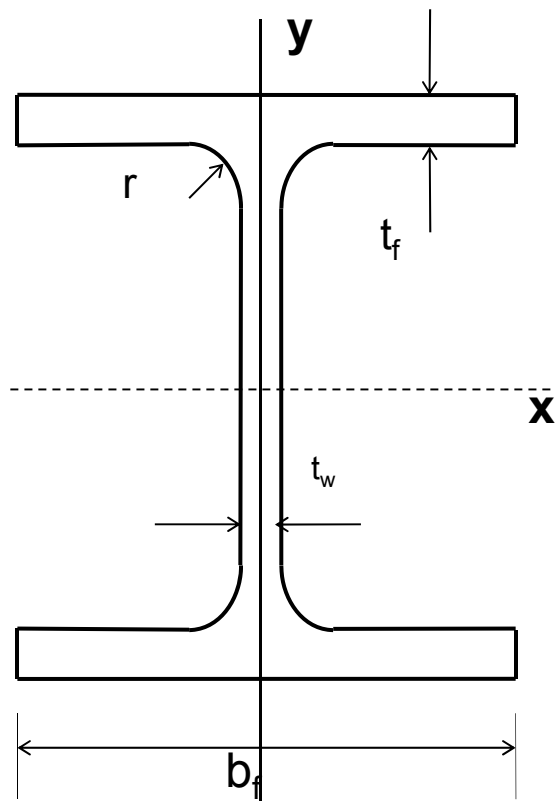
Komponen Struktur Baja - Teori (SNI
17-2015, LRFD)

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:



$$C_w = \frac{I_y (d - t_f)^2}{4}$$

Konstanta pilin

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

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

$$J = \frac{2b_f t_f^3 + (d - t_f) t_w^3}{3}$$

Konstanta torsi

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

Komponen Struktur Baja Teori (SNI
1729:2015, LRFD)

Faktor Modifikasi untuk Momen tak Seragam

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

- 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 $3L_b/4$ |

Faktor Modifikasi untuk Momen tak Seragam (lanjutan)

- $R_m = 1.0$ untuk penampang simetri ganda,
- $R_m = 1.0$ untuk penampang simetri tunggal yang mengalami kelengkungan tunggal

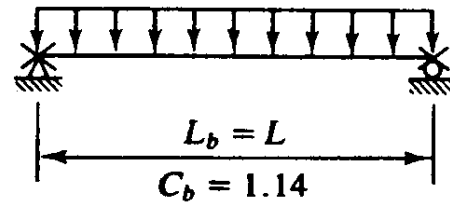
- $R_m = 0.5 + 2 \left(\frac{I_{yc}}{I_y} \right)^2$ untuk penampang

simetri tunggal yang mengalami kelengkungan ganda

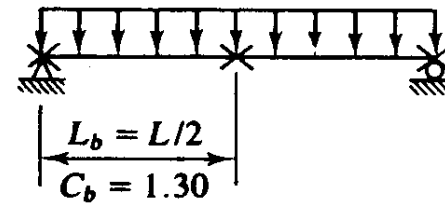
Faktor Modifikasi untuk Momen tak Seragam (lanjutan)

- I_y = momen inersia penampang thd sumbu lemah y
- I_{yc} = momen inersia flens terkecil thd sumbu lemah penampang y
- Secara konservatif, C_b dapat diambil = 1 untuk semua kasus

Faktor Modifikasi untuk Momen tak Seragam (lanjutan)



(a)



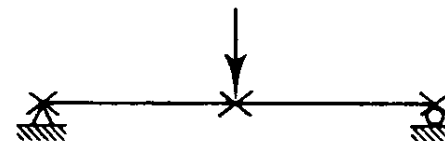
(b)



$$L_b = L$$

$$C_b = 1.32$$

(c)



$$L_b = L/2$$

$$C_b = 1.67$$

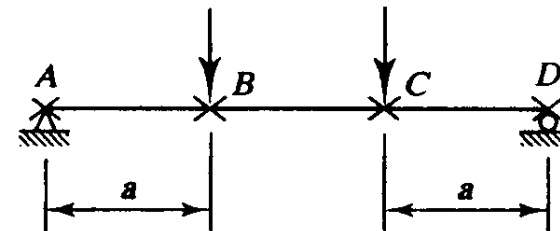
(d)



$$L_b = L$$

$$C_b = 2.27$$

(e)

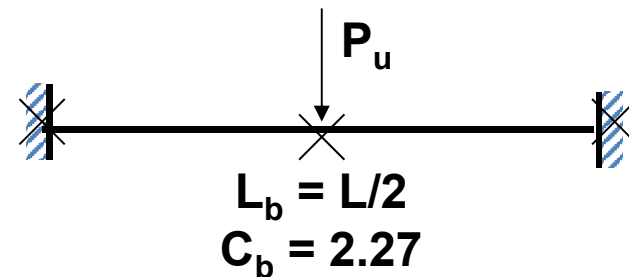
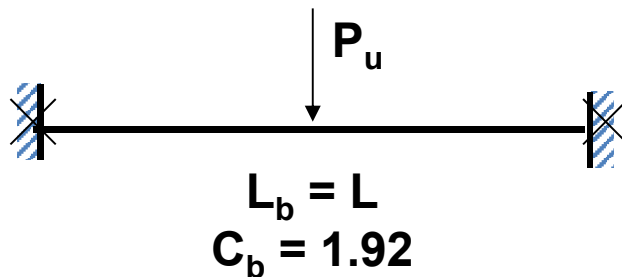
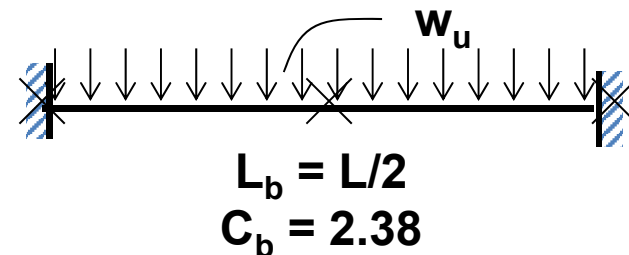
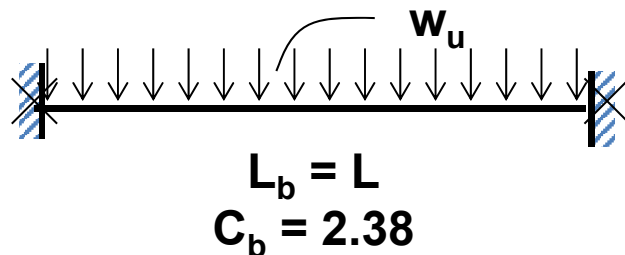
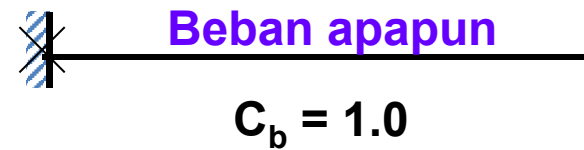
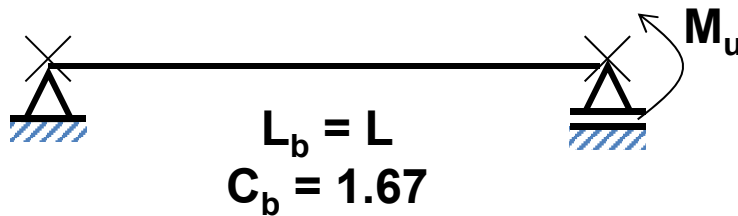


$$AB \text{ and } CD : C_b = 1.67$$

$$BC : C_b = 1.00$$

(f)

Faktor Modifikasi untuk Momen tak Seragam (lanjutan)



Momen Nominal untuk Tekuk Lokal Flens pada Profil I Simetri 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

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

Tekuk lokal flens (FLB) akibat momen negatif terhadap sumbu x



Momen Nominal untuk Tekuk Lokal Flens pada Profil I Simetri 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: $\lambda_r < \frac{b_f}{2t_f}$

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

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

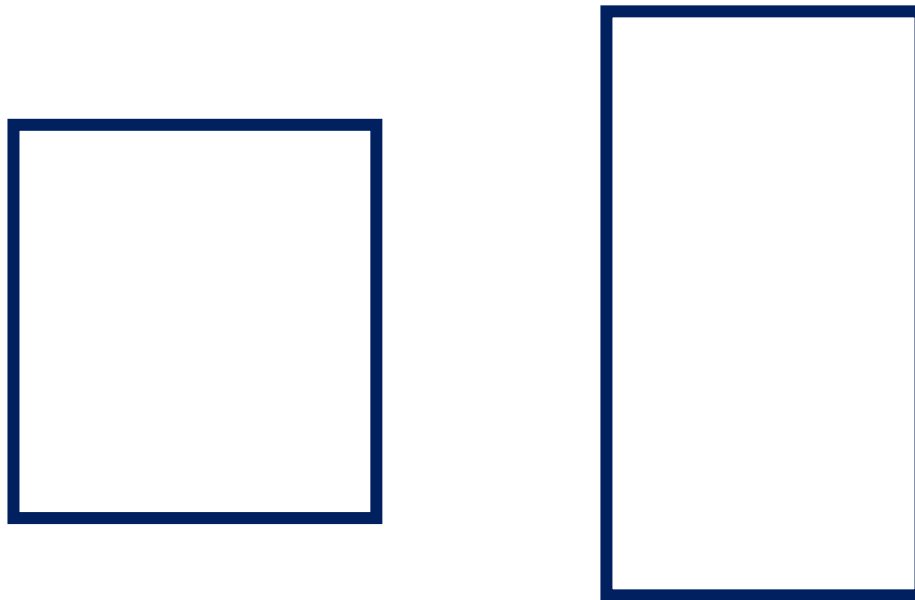
$$\lambda_r = 1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Komponen Struktur Baja - Teori (SNI 1729:2015, LRFD)

Kondisi batas

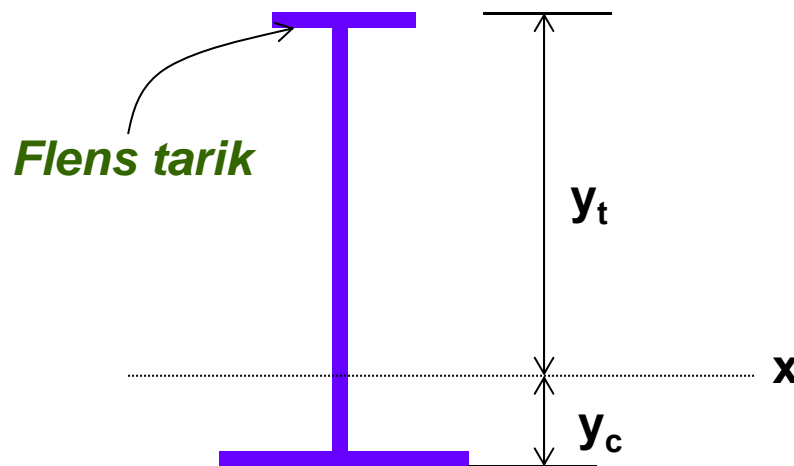
Tekuk Lokal Web (WLB)

- 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 $S_{xt} < S_{xc}$



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

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

Momen negatif

Kekuatan Lentur Desain 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

- $M_u \leq \Phi_b M_n$
- $\Phi_b = 0.9$

Desain untuk Stabilitas



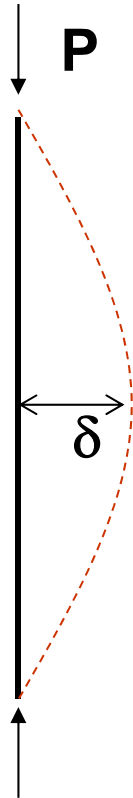
Alternatif Desain untuk Stabilitas

- Metode Analisis Langsung (*direct analysis method*) (AISC Ch. C): dapat digunakan untuk **semua** struktur
- Metode Panjang Efektif: ada pembatasan (lihat AISC App. 7)
- Metode Analisis Orde Pertama: ada pembatasan (lihat AISC App. 7)

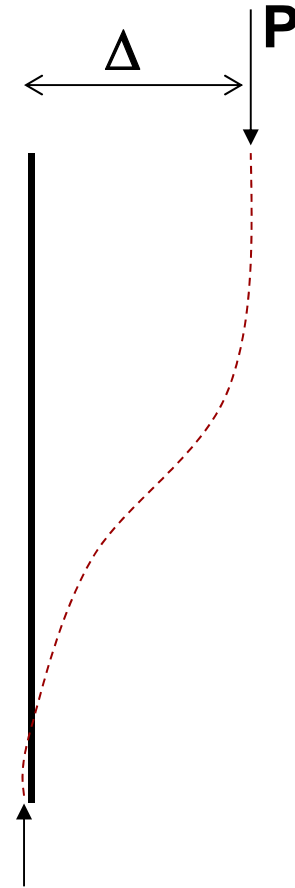
Metode Analisis Langsung

- Perhitungan kekuatan yang diperlukan.
 - Analisisnya harus:
 - Meninjau deformasi lentur, geser, aksial, dan sambungan
 - Memperhitungkan efek $P-\Delta$ dan $P-\delta$ dengan analisis orde ke dua atau pendekatan analisis orde ke dua (metode B_1-B_2)
 - Memperhitungkan semua beban gravitasi dan beban lain yang mempengaruhi stabilitas struktur
 - Menggunakan kombinasi pembebanan LRFD
 - Ketidaksempurnaan awal harus ditinjau
 - Kekakuan harus dikoreksi
- Perhitungan kekuatan yang tersedia: dengan menggunakan $K = 1$

Efek P-delta

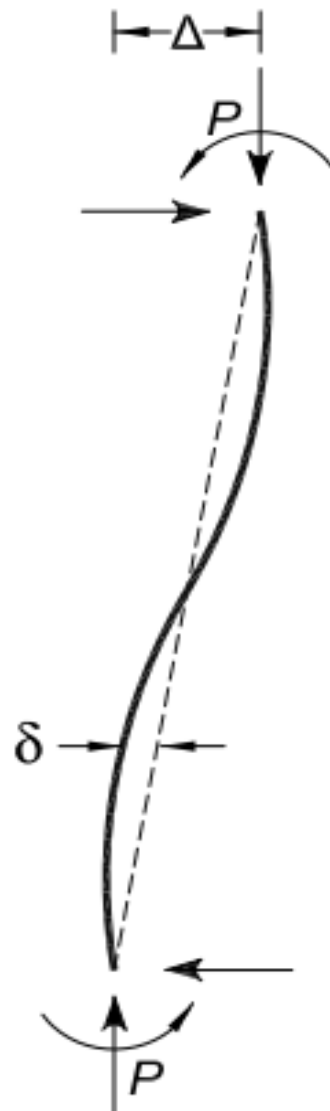


Pada kolom tak bergoyang
disebut efek P- δ



Pada kolom bergoyang
disebut efek P- Δ

Efek P-delta (lanjutan)



$P-\Delta$ = Effect of loads acting on the displaced location of joints or nodes in a structure.

$P-\delta$ = Effect of loads acting on the deflected shape of a member between joints or nodes.

Ketidaksempurnaan Awal

- Pemodelan langsung ketidaksempurnaan: struktur dianalisis dengan titik-titik potongan komponen struktur terletak **bukan pada lokasi nominalnya**.
 - Besarnya harus maksimum yang ditinjau dalam desain.
 - Polanya harus memberikan efek yang paling membahayakan stabilitas.
- Penggunaan beban imajinatif (*notional load*) untuk merepresentasikan ketidaksempurnaan:
 - Beban imajinatif diterapkan pada struktur dengan **geometri nominal**

Beban Imajinatif

- Beban imajinatif diterapkan sebagai beban lateral pada semua level, sebagai tambahan dari beban lateral yang ada, dan harus ditambahkan pada semua kombinasi pembebanan. Besarnya:

$$N_i = 0.002\alpha Y_i$$

$\alpha = 1$ untuk LRFD

N_i = beban imajinatif yang diterapkan pada level i

Y_i = beban gravitasi di level i dari kombinasi pembebanan LRFD

Beban Imajinatif

- Beban imajinatif di setiap level harus didistribusikan pada level tersebut dengan cara sama seperti beban gravitasi di level tersebut. Beban tersebut harus diterapkan dalam arah yang memberikan efek tidak stabil terbesar.
- Koefisien 0.002 didasarkan atas rasio ketidaktegakan 1/500. Untuk kasus rasio yang lain, koefisien tersebut dapat disesuaikan secara proporsional
- Untuk struktur dengan rasio antara drift orde ke dua dan drift orde pertama maksimum (keduanya dihitung dengan kombinasi pembebanan LRFD, dengan kekakuan telah dikoreksi) di semua tingkat ≤ 1.7 , N_i dapat diterapkan pada kombinasi pembebanan gravitasi saja, tidak pada kombinasi pembebanan yang meliputi beban lateral lainnya.

Koreksi Kekakuan

- Faktor 0.80 harus digunakan pada semua kekakuan yang berkontribusi pada stabilitas struktur. Faktor ini dapat digunakan pada semua kekakuan pada struktur.
- Faktor tambahan τ_b diterapkan pada kekakuan lentur semua komponen struktur yang dianggap berkontribusi pada stabilitas struktur.
 - Apabila $\alpha P_r/P_y \leq 0.5$, maka $\tau_b = 1.0$
 - Apabila $\alpha P_r/P_y > 0.5$, maka $\tau_b = 4(\alpha P_r/P_y)[1 - \alpha P_r/P_y]$ $\alpha = 1.0$ = faktor koreksi level gaya
 P_r = kekuatan tekan aksial yang diperlukan dengan kombinasi pembebanan LRFD
 P_y = kekuatan leleh aksial = $F_y A_g$

Faktor B_2

Rasio *drift* orde 2/*drift* orde 1 maksimum di semua tingkat akibat kombinasi pembebanan LRFD dapat diambil = B_2 ,

$$B_2 = \max \left(1.0, \frac{1}{1 - \frac{P_{story}}{P_{e story}}} \right)$$

Faktor B_2 (lanjutan)

- B_2 adalah pengali untuk memperhitungkan efek $P-\Delta$, yang ditentukan untuk semua tingkat pada struktur dan setiap arah translasi lateral di titik tersebut.
- P_{story} = beban vertikal total yang dipikul tingkat tersebut dengan menggunakan kombinasi LRFD termasuk beban di kolom yang bukan merupakan sistem penahan gaya lateral
- $P_{e \text{ story}}$ = kekuatan tekuk kritis elastis untuk tingkat tersebut dalam arah translasi yang sedang ditinjau, yang ditentukan dengan analisis tekuk bergoyang, atau dengan

$$P_{e \text{ story}} = R_M \frac{HL}{\Delta_H}$$

$$R_M = 1 - 0.15(P_{mf}/P_{\text{story}})$$

Faktor B_2 (lanjutan)

- L = tinggi tingkat
- P_{mf} = beban vertikal total di kolom-kolom yang merupakan bagian dari rangka momen, jika ada, dalam arah translasi yang sedang ditinjau (= 0 untuk sistem rangka berbreis)
- Δ_H = *drift* antar tingkat orde 1 dalam arah translasi yang sedang ditinjau akibat beban lateral, yang dihitung dengan menggunakan kekakuan yang harus digunakan dalam analisis
- H = gaya geser tingkat dalam arah translasi yang sedang ditinjau, yang diakibatkan oleh gaya-gaya yang digunakan dalam menghitung Δ_H

Faktor B_1

- B_1 = faktor pengali untuk memperhitungkan efek P- δ yang ditentukan untuk setiap komponen struktur tekan dan lentur. B_1 diambil = 1 untuk komponen struktur yang tidak mengalami tekan

$$B_1 = \max \left(\frac{C_m}{1 - \frac{P_r}{P_{e1}}}, 1.0 \right)$$

Faktor B_1 (lanjutan)

- P_{e1} = kekuatan tekuk kritis elastis di bidang lentur yang dihitung dengan asumsi tidak ada translasi lateral di kedua ujung komponen struktur

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI^*}{(K_1 L)^2}$$

EI^* = rigiditas lentur yang harus digunakan dalam analisis ($=0.8\tau_b EI$ apabila metode analisis langsung digunakan, $= EI$ untuk metode panjang efektif dan metode analisis orde 1)

E = modulus elastisitas baja

I = momen inersia di bidang lentur

L = panjang komponen struktur

K_1 = faktor panjang efektif di bidang lentur, yang dihitung dengan asumsi tidak ada translasi lateral di kedua ujung komponen struktur; gunakan 1.0 apabila tidak ada analisis yang menjustifikasi nilai < 1.0 .

Faktor C_m di dalam B_1

- Bila tidak ada beban transversal:

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

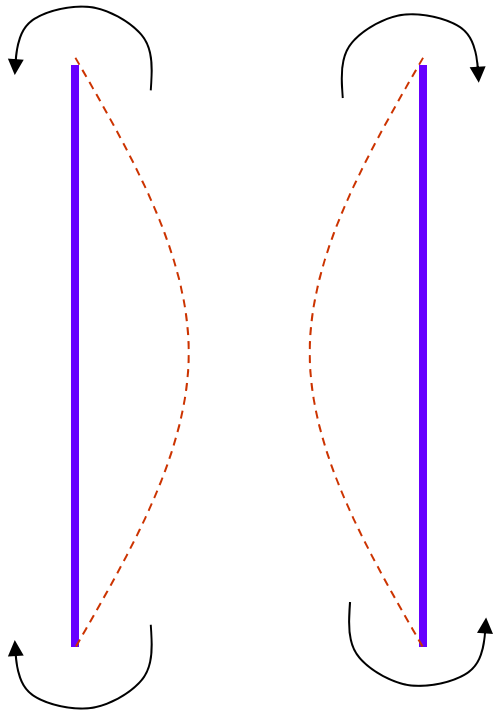
M_1 = momen ujung dg harga mutlak terkecil

M_2 = momen ujung dg harga mutlak terbesar

Keduanya dihitung dengan analisis orde 1

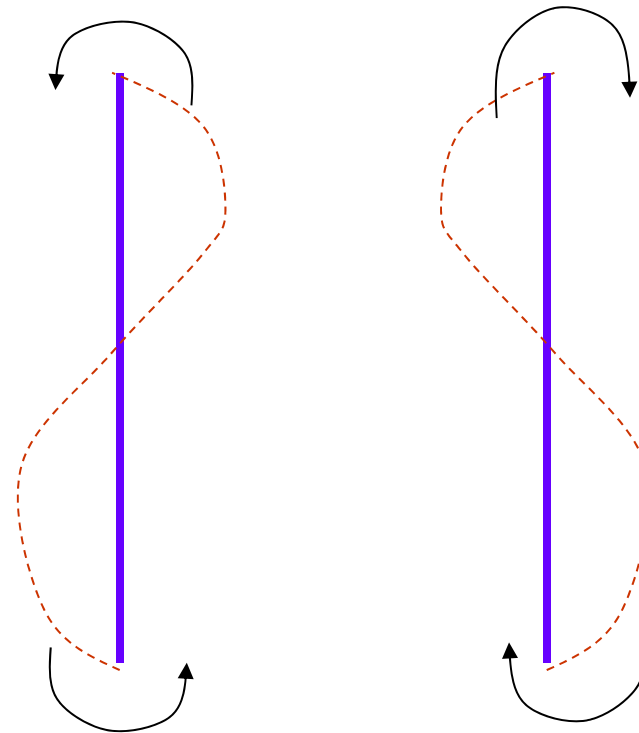
- Bila ada beban transversal:
dihitung dengan analitis, atau ambil $C_m = 1.0$

Tanda M_1/M_2 di dalam C_m



Kelengkungan tunggal:

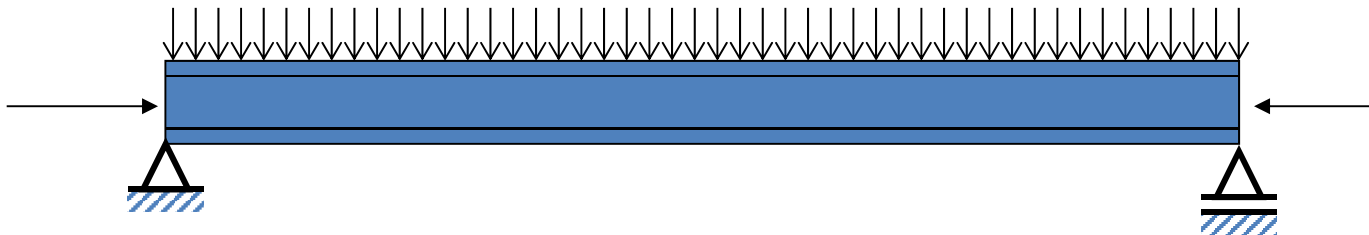
$$\frac{M_1}{M_2} < 0$$



Kelengkungan ganda

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

Balok Kolom (Profil I)



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

Untuk $\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2$:

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

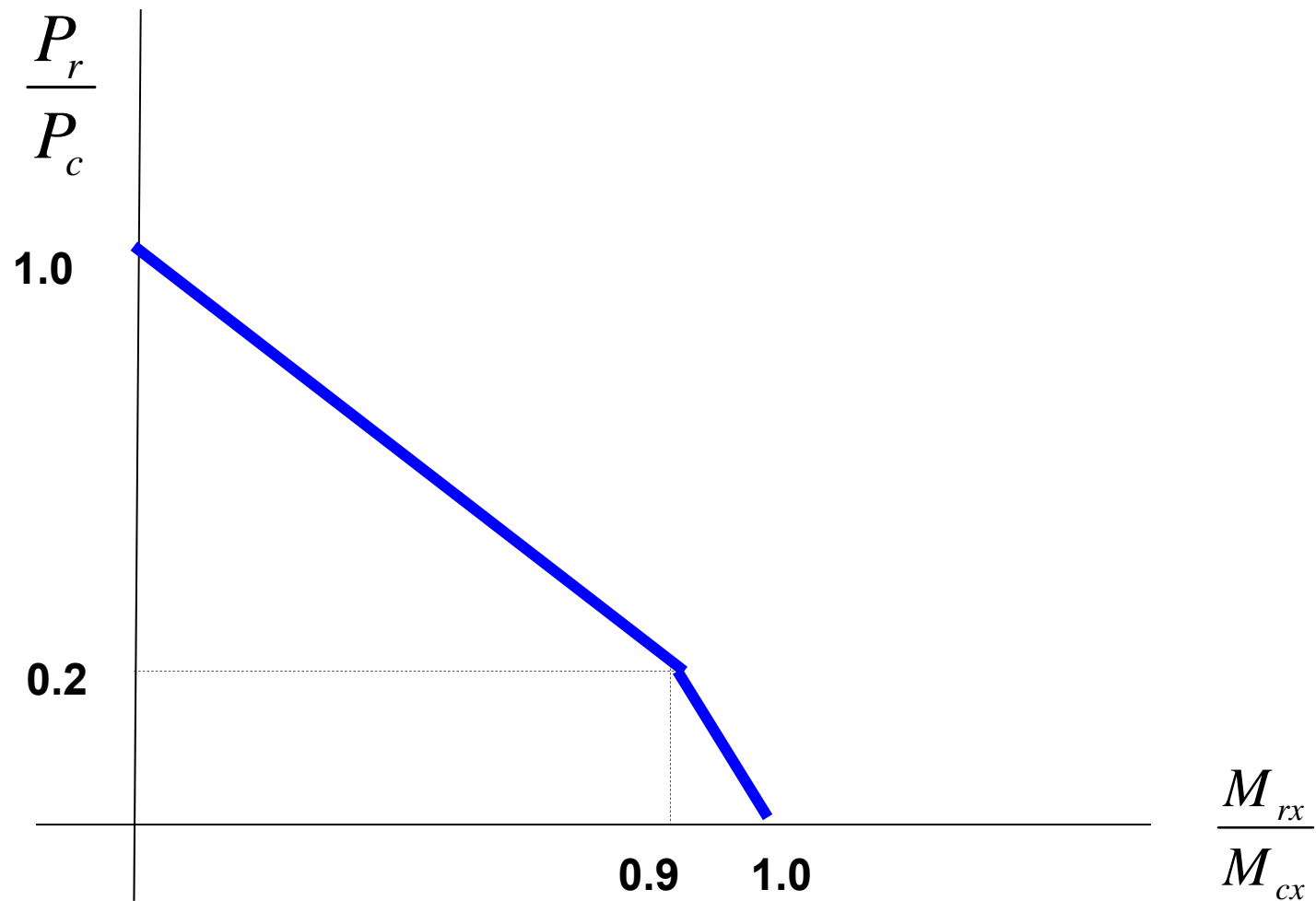
Untuk $\frac{P_r}{P_c} < 0.2$:

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

Persamaan Interaksi (lanjutan)

- P_r = kekuatan aksial yang dibutuhkan dari kombinasi pembebanan LRFD
- $P_c = \phi_c P_n$ kekuatan aksial desain
- M_r = kekuatan lentur yang dibutuhkan dari kombinasi pembebanan LRFD
- $M_c = \phi_b M_n$ kekuatan lentur desain
- x = subskrip terkait dengan lentur terhadap sumbu kuat
- y = subskrip terkait dengan lentur terhadap sumbu lemah
- ϕ_c = faktor ketahanan untuk tekan = 0.90
- ϕ_b = faktor ketahanan untuk lentur = 0.90

Persamaan Interaksi Khusus Gaya Aksial Tekan dan Momen Terhadap Sumbu x



Desain untuk Stabilitas Berdasarkan
SNI 1729:2015

Analisis Orde Kedua Pendekatan

- Pada metode ini hasil analisis elastis orde pertama diperbesar dengan menggunakan:
 - B_1 untuk mengestimasi efek $P-\delta$ terhadap momen tak bergoyang pada komponen struktur tekan, dan
 - B_2 untuk mengestimasi efek $P-\Delta$ momen bergoyang pada komponen struktur tekan
- Hanya dapat digunakan pada struktur yang memikul beban gravitasi terutama kolom vertikal, dinding atau rangka

M_r dan P_r Orde 2

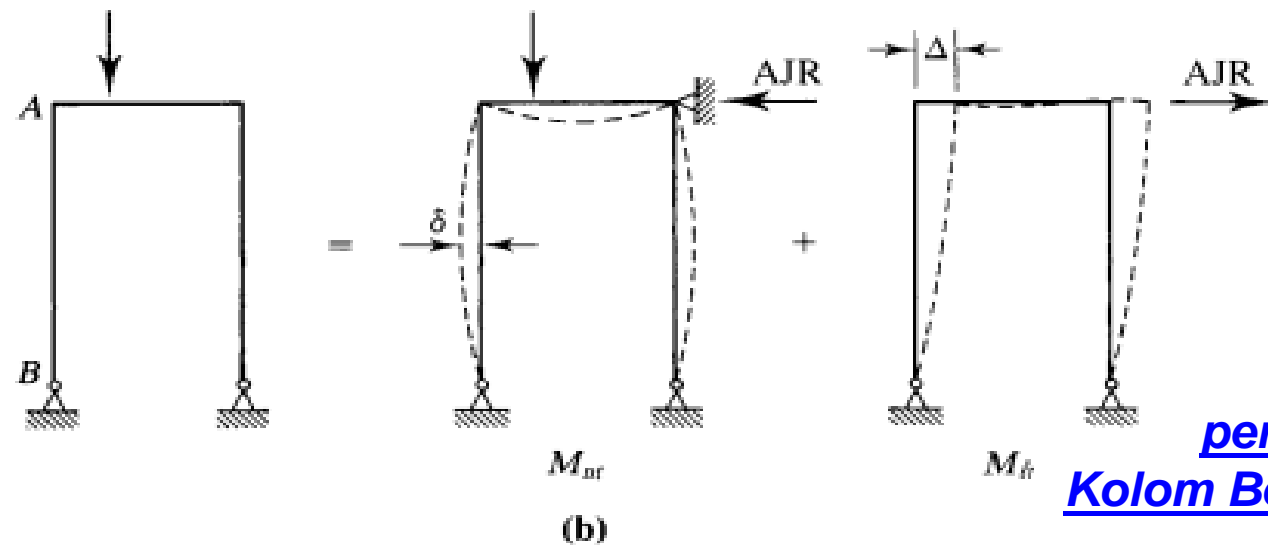
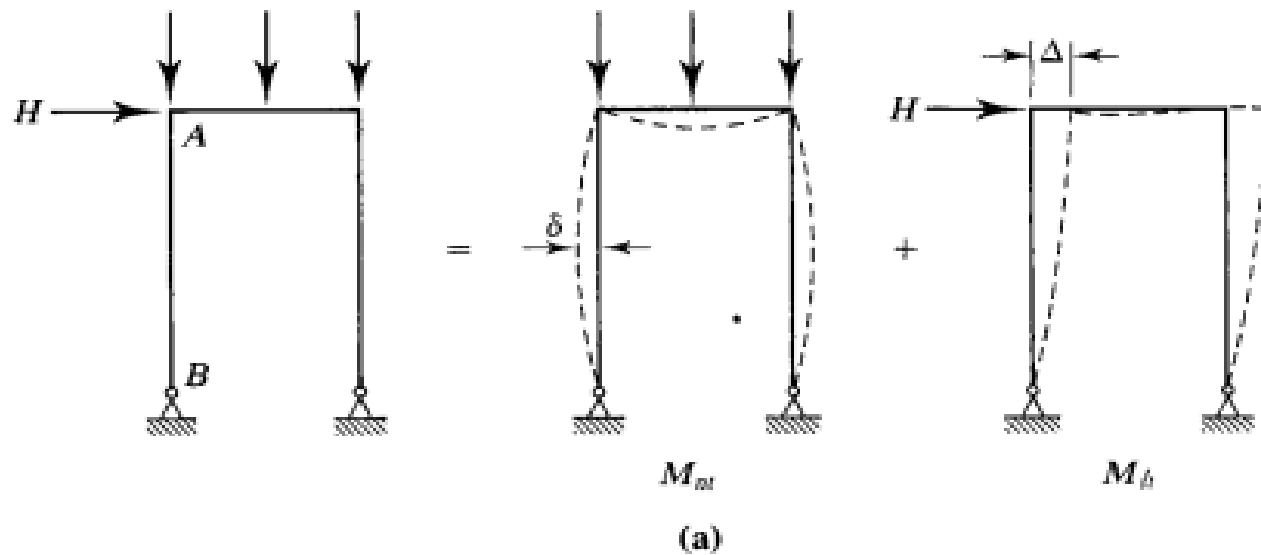
- Kekuatan lentur dan aksial orde ke dua yang dibutuhkan

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

$$P_r = P_{nt} + B_2 P_{lt}$$

- M_{nt} = momen orde 1 menggunakan kombinasi pembebanan LRFD, dengan struktur dikekang terhadap translasi lateral ($nt = no\ translation$)
- M_{lt} = momen orde 1 menggunakan kombinasi pembebanan LRFD, akibat translasi lateral struktur saja ($lt = lateral\ translation$). Momen ini dapat disebabkan oleh beban lateral atau oleh beban gravitasi yang tak simetris. $M_{lt} = 0$ jika balok kolom memang tak bergoyang.
- P_{nt} = gaya aksial orde 1 menggunakan kombinasi pembebanan LRFD, dengan struktur dikekang terhadap translasi lateral
- P_{lt} = gaya aksial orde 1 menggunakan kombinasi pembebanan LRFD, akibat translasi lateral struktur saja

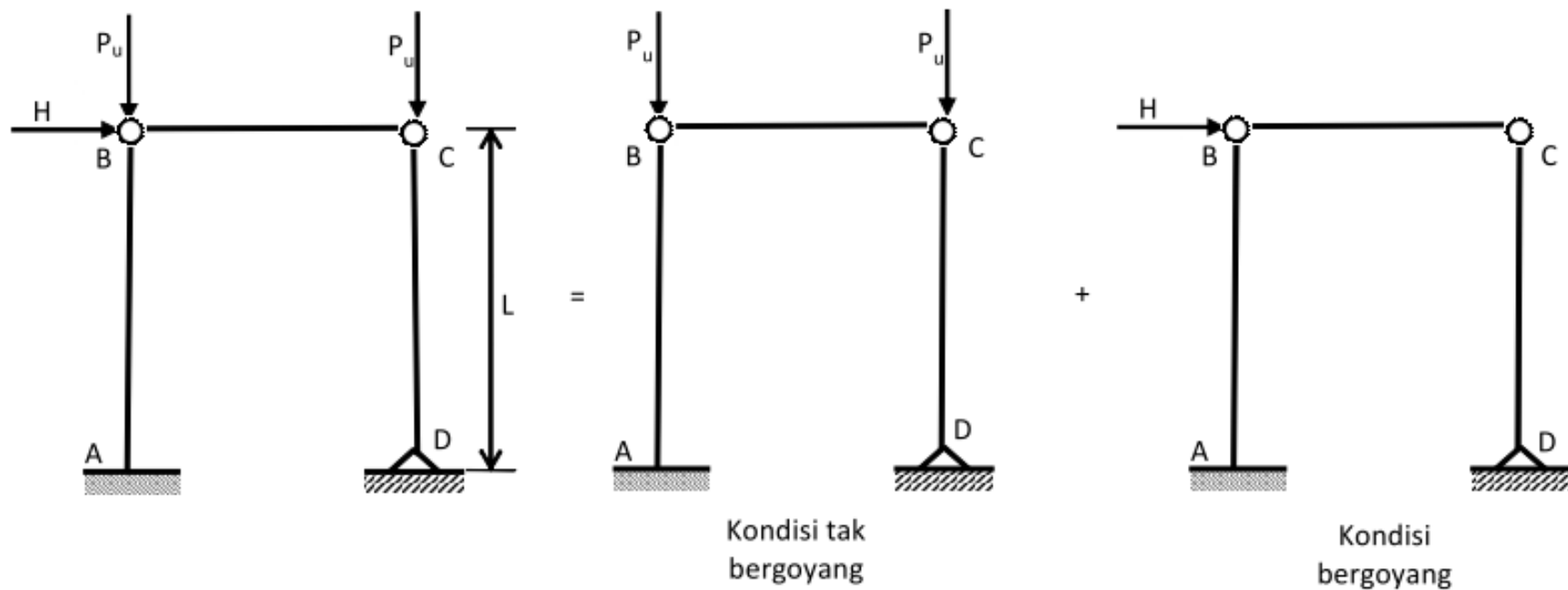
Contoh Kolom Bergoyang



Contoh
perhitungan
Kolom Bergoyang

Contoh Soal

Balok Kolom - Metode Analisis Langsung - Momen Uniaksial - Kolom Bergoyang



Diketahui:

Data penampang:

Profil: WF 350x350x12x19 (Standar JIS)

$$\begin{aligned}
 I_x &:= 40300 \text{ cm}^4 & I_y &:= 13600 \text{ cm}^4 & A &:= 173.9 \text{ cm}^2 \\
 d &:= 350 \text{ mm} & t_f &:= 19 \text{ mm} & t_w &:= 12 \text{ mm} & b_f &:= 350 \text{ mm} & r &:= 20 \text{ mm} \\
 Z_x &:= 2493.18 \text{ cm}^3 & Z_y &:= 174.96 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$Z_x := 2493.18 \text{ cm}^3$$

$$Z_y := 174.96 \text{ cm}^3$$

$$J := 179.1089 \text{ cm}^4$$

$$C_w := 3725074.0 \text{ cm}^6$$

Data Material

Bj 41 $F_y := 250 \text{ MPa}$

$$E := 200000 \text{ MPa}$$

$$G := 77200 \text{ MPa}$$

Data L_p dan L_r

Untuk profil serta mutu baja ini,

$$L_p := 4402 \text{ mm}$$

$$L_r := 16517 \text{ mm}$$

Panjang kolom AB

$$L := 3.6 \text{ m}$$

Gaya dalam akibat beban nominal

$$P_D := 500 \text{ kN}$$

$$P_L := 1000 \text{ kN}$$

$$W := 100 \text{ kN}$$

Data lain:

Lentur terjadi terhadap sumbu x. Tumpuan lateral terdapat di kedua ujung sehingga kolom AB dapat dianggap ditumpu sendi untuk lentur terhadap sumbu y. Jadi

$$L_b := L = 3.6 \text{ m}$$

Abaikan berat sendiri struktur.

Diminta:

Cek kekuatan kolom AB untuk memikul kombinasi pembebanan $1.2D + 0.5L + 1.0W$ dengan menggunakan metode analisis langsung (AISC 360-10 Sec C)

Jawab:

Profil dengan mutu baja ini tidak langsing untuk memikul gaya aksial tekan, sehingga tidak perlu Q.

Profil dengan mutu baja ini kompak untuk memikul momen lentur sehingga tidak ada tekuk lokal flens.

$L_b < L_p$ sehingga tidak ada LTB pada balok kolom ini.

Catatan: Bagian dari portal yang menahan momen hanya AB. Komponen struktur BC dan CD menumpang di AB.

Faktor koreksi level gaya $\alpha := 1.0$ untuk LRFD

Beban vertikal terfaktor di setiap ujung atas kolom $P_u := 1.2 \cdot P_D + 0.5 \cdot P_L = 1100 \text{ kN}$

Beban horizontal terfaktor $H := 1.0 W = 100 \text{ kN}$

Beban gravitasi total di level balok $Y_1 := 2 \cdot P_u = 2200 \text{ kN}$

Beban imajinatif LRFD untuk Metode Analisis Langsung

$$N_1 := 0.002 \cdot \alpha \cdot Y_1 = 4.4 \text{ kN}$$

Untuk balok kolom AB

Pada kondisi tak bergoyang

$$P_{nt} := P_u = 1100 \text{ kN} \quad \text{dan} \quad M_{nt} := 0 \text{ kN} \quad \text{karena } M_{nt} = 0, \text{ maka } B_1 \text{ tdk perlu dicari}$$

Pada kondisi bergoyang

$$P_{lt} := 0 \text{ kN} \quad \text{dan} \quad M_{lt} := H \cdot L = 360 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Kekuatan perlu, dengan memperhitungkan pengaruh orde kedua

$$P_r := P_{nt} \quad \text{rumus lengkapnya ada } B_2 P_{lt}$$

Untuk portal ini

$$P_{\text{story}} := 2 \cdot P_u \quad = \text{beban vertikal total yang dipikul tingkat tersebut dengan menggunakan kombinasi LRFD termasuk beban di kolom yang bukan merupakan sistem penahan gaya lateral}$$

$$P_{mf} := P_u \quad = \text{beban vertikal total di kolom-kolom yang merupakan bagian dari rangka momen, jika ada, dalam arah translasi yang sedang ditinjau (= 0 untuk sistem rangka berbreis)}$$

Kolom CD tidak merupakan bagian dari rangka momen, hanya menumpang

Kekuatan leleh kolom AB

$$P_y := A \cdot F_y = 4347.5 \text{ kN}$$

Kekakuan kolom AB tereduksi

$$\frac{\alpha \cdot P_r}{P_y} = 0.25$$

$$\tau_b := \begin{cases} 1.0 & \text{if } \frac{\alpha \cdot P_r}{P_y} \leq 0.5 \\ \frac{4 \cdot \alpha \cdot P_r}{P_y} \cdot \left(1 - \frac{\alpha \cdot P_r}{P_y} \right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad \tau_b = 1$$

$$EI_{\text{star}} := 0.8 \cdot \tau_b \cdot E \cdot I_x = 64480 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$$

Menghitung B_2

$$\Delta H_{\text{perL}} := \frac{H \cdot L^2}{3 \cdot EI_{\text{star}}} = 0.0067$$

$$R_M := 1 - 0.15 \frac{P_{\text{mf}}}{P_{\text{story}}} = 0.93$$

$$P_{\text{estory}} := R_M \cdot \frac{H}{\Delta H_{\text{perL}}} = 13806.48 \text{ kN}$$

$$B_2 := \frac{1}{1 - \frac{\alpha \cdot P_{\text{story}}}{P_{\text{estory}}}} = 1.19$$

*Karena $B_2 < 1.7$, maka beban imajinatif hanya diterapkan pada kombinasi pembebanan gravitasi.
Kombinasi pembebanan $1.2D + 0.5L + 1.0W$ bukanlah kombinasi pembebanan gravitasi, jadi beban imajinatif tidak perlu digunakan.*

Kekuatan momen yang diperlukan di kolom AB, termasuk efek orde ke 2

$$M_{rx} := B_2 \cdot M_{lt} = 428.24 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Seharusnya ada suku $B_1 M_{nt}$. Namun pada contoh ini $M_{nt} = 0$.

Mencari kekuatan tekan desain apabila momen sama dengan nol $\phi_c P_n$

Tekuk Lentur

Faktor panjang efektif selalu =1 pada Metode Analisis Langsung

$$K_x := 1 \quad K_y := 1$$

$$KL_x := K_x \cdot L$$

$$KL_y := K_y \cdot L$$

$$r_x := \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 152.23 \text{ mm}$$

$$r_y := \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 88.43 \text{ mm}$$

$$\lambda := \max\left(\frac{KL_x}{r_x}, \frac{KL_y}{r_y}\right) = 40.71$$

$$\text{RasioKelangsingan} := \begin{cases} \text{"Oke"} & \text{if } \lambda \leq 200 \\ \text{"TidakOke"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{RasioKelangsingan} = \text{"Oke"}$$

$$F_e := \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} = 1191.14 \text{ MPa}$$

$$F_{cr1} := \begin{cases} \left(\frac{F_y}{F_e}\right) \cdot F_y & \text{if } \lambda \leq 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ 0.877 \cdot F_e & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_{cr1} = 228.98 \text{ MPa}$$

Tekuk Torsional

Anggap faktor panjang efektif tekuk torsi

$$K_z := 1$$

$$\text{Jadi } KL_z := K_z \cdot L = 3.6 \text{ m}$$

$$F_e := \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{KL_z^2} + GJ \right) \cdot \frac{1}{I_x + I_y}$$

$$F_e = 1309.15 \text{ MPa}$$

$$F_{cr2} := \begin{cases} \left(\frac{F_y}{F_e} \right) \cdot F_y & \text{if } F_e \geq 0.44 F_y \\ 0.877 F_e & \text{otherwise} \end{cases} \quad F_{cr2} = 230.8 \text{ MPa}$$

Dengan demikian, F_{cr} yang digunakan adalah $F_{cr} := \min(F_{cr1}, F_{cr2}) \quad F_{cr} = 228.98 \text{ MPa}$

Faktor ketahanan tekan $\phi_c := 0.90$

Kekuatan tekan nominal $P_n := A \cdot F_{cr} \quad P_n = 3981.88 \text{ kN}$

Kekuatan tekan desain yang tersedia $P_c := \phi_c \cdot P_n = 3583.69 \text{ kN}$

Menghitung Kekuatan Lentur Desain terhadap Sumbu x

Karena flens dan web kompak, maka tidak ada FLB

Karena $L_b < L_p$, maka tidak ada LTB

$$M_{px} := F_y \cdot Z_x = 623.29 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momen nominal $M_{nx} := M_{px}$

Faktor ketahanan untuk lentur $\phi_b := 0.90$

Kekuatan lentur thd sb x yang tersedia

$$M_{cx} := \phi_b \cdot M_{nx} = 560.97 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Persamaan interaksi:

$$\frac{P_r}{P_c} = 0.31$$

$$\frac{M_{rx}}{M_{cx}} = 0.76$$

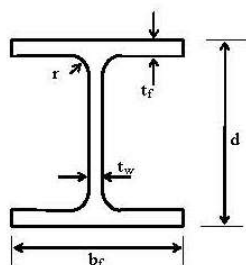
$$\text{Rasio} := \begin{cases} \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \cdot \frac{M_{rx}}{M_{cx}} & \text{if } \frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \\ \frac{P_r}{2P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} & \text{if } \frac{P_r}{P_c} < 0.2 \end{cases}$$

Rumus interaksi untuk kombinasi gaya aksial tekan dan momen uniaksial terhadap sumbu x

$$\text{Rasio} = 0.9855$$

$$\text{RasioInteraksi} := \begin{cases} \text{"Oke"} & \text{if } \text{Rasio} \leq 1 \\ \text{"Tidak Oke"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

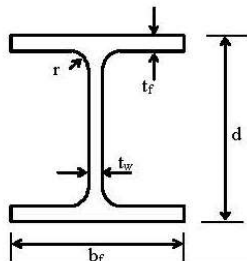
$$\overline{\text{RasioInteraksi}} = \text{"Oke"}$$



Profil Wide Flange
Besaran penampang, termasuk besaran torsi

d (mm)	b _f (mm)	t _w (mm)	t _f (mm)	r (mm)	W (N/m)	A (cm ²)	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)	r _x (mm)	r _y (mm)	b _f /(2t _f)	h/t _w	Z _x (cm ³)	Z _y (cm ³)	J (cm ⁴)	C _w (cm ⁶)
100	100	6	8	10	168.7	21.90	383	134	41.8	24.7	6.25	10.67	84.18	40.76	4.0757	2835.4
125	125	6.5	9	10	233.5	30.31	847	293	52.9	31.1	6.94	13.38	149.10	71.44	7.1369	9856.5
150	75	5	7	8	137.3	17.85	666	49.5	61.1	16.7	5.36	24.00	98.20	20.54	2.3108	2530.6
148	100	6	9	11	207.0	26.84	1020	151	61.6	23.7	5.56	18.00	150.45	46.17	5.8608	7293.7
150	150	7	10	11	309.0	40.14	1640	563	63.9	37.5	7.50	15.43	239.58	114.09	11.6007	27587.0
175	175	7.5	11	12	394.4	51.21	2880	984	75.0	43.8	7.95	17.20	359.59	170.59	17.8346	66164.2
198	99	4.5	7	11	178.5	23.18	1580	114	82.6	22.2	7.07	36.00	170.45	35.24	2.8440	10397.1
200	100	5.5	8	11	209.0	27.16	1840	134	82.3	22.2	6.25	29.45	200.15	41.39	4.4781	12349.4
200	200	8	12	13	489.5	63.53	4720	1600	86.2	50.2	8.33	18.75	513.15	242.82	26.2485	141376.0
248	124	5	8	12	252.1	32.68	3540	255	104.1	27.9	7.75	41.60	305.36	62.95	5.2325	36720.0
250	125	6	9	12	290.4	37.66	4050	294	103.7	27.9	6.94	34.67	351.86	72.40	7.8102	42689.5
250	250	9	14	16	710.2	92.18	10800	3650	108.2	62.9	8.93	21.11	936.89	442.00	51.4681	508226.0
298	149	5.5	8	13	313.9	40.80	6320	442	124.5	32.9	9.31	46.55	455.03	90.94	6.6942	92930.5
300	150	6.5	9	13	360.0	46.78	7210	508	124.1	33.0	8.33	39.38	522.08	104.23	9.9539	107544.9
300	300	10	15	18	922.1	119.80	20400	6750	130.5	75.1	10.00	23.40	1464.75	681.75	77.0000	1370671.9
346	174	6	9	14	406.1	52.68	11100	792	145.2	38.8	9.67	50.00	689.12	139.19	10.8828	224866.6
350	175	7	11	14	486.6	63.14	13600	984	146.8	39.5	7.95	42.86	840.85	172.46	19.4042	282705.7
350	350	12	19	20	1344.0	173.90	40300	13600	152.2	88.4	9.21	22.67	2493.18	1174.98	179.1089	3725074.0
396	199	7	11	16	555.2	72.16	20000	1450	166.5	44.8	9.05	48.86	1087.55	222.39	22.0598	537315.6
400	200	8	13	16	647.5	84.10	23700	1740	167.9	45.5	7.69	42.75	1285.95	265.98	35.8981	651495.2
400	400	13	21	22	1687.3	218.70	66600	22400	174.5	101.2	9.52	24.15	3600.13	1695.13	274.7154	8043896.0
450	200	9	14	18	745.6	96.80	33500	1870	186.0	44.0	7.14	42.89	1621.49	288.55	47.1815	888698.8
500	200	10	16	20	879.0	114.20	47800	2140	204.6	43.3	6.25	42.80	2096.36	331.70	70.7467	1253269.6
600	200	11	17	22	1039.9	134.40	77600	2280	240.3	41.2	5.88	47.45	2863.18	357.12	91.3724	1937367.3
588	300	12	20	28	1481.3	192.50	118000	9020	247.6	68.5	7.50	41.00	4308.91	919.73	192.7168	7275171.2
700	300	13	24	28	1814.9	235.50	201000	10800	292.1	67.7	6.25	45.85	6248.79	1107.55	325.9857	12338352.0
800	300	14	26	28	2060.1	267.40	292000	11700	330.5	66.1	5.77	49.43	7995.46	1206.65	422.3152	17522973.0

Prepared by BS - Feb 2013



Profil *Wide Flange*

L_p dan L_r untuk berbagai mutu Baja menurut AISC 360-10

						Bj 34		Bj 37		Bj 41		Bj 50		Bj 52		Bj 55	
						$F_y = 210 \text{ MPa}$		$F_y = 240 \text{ MPa}$		$F_y = 250 \text{ MPa}$		$F_y = 290 \text{ MPa}$		$F_y = 360 \text{ MPa}$		$F_y = 410 \text{ MPa}$	
$d \text{ (mm)}$	$b_f \text{ (mm)}$	$t_w \text{ (mm)}$	$t_f \text{ (mm)}$	$h_o \text{ (mm)}$	$r_{ts} \text{ (mm)}$	$L_p \text{ (mm)}$	$L_r \text{ (mm)}$	$L_p \text{ (mm)}$	$L_r \text{ (mm)}$	$L_p \text{ (mm)}$	$L_r \text{ (mm)}$	$L_p \text{ (mm)}$	$L_r \text{ (mm)}$	$L_p \text{ (mm)}$	$L_r \text{ (mm)}$	$L_p \text{ (mm)}$	$L_r \text{ (mm)}$
100	100	6	8	92.0	28.4	1344	8201	1257	7203	1231	6925	1143	6005	1026	4895	962	4338
125	125	6.5	9	116.0	35.4	1689	9140	1580	8045	1548	7740	1437	6732	1290	5518	1209	4911
150	75	5	7	143.0	20.0	904	3537	846	3165	829	3061	770	2719	691	2305	647	2096
148	100	6	9	139.0	27.6	1288	5977	1205	5289	1181	5097	1096	4466	984	3708	922	3329
150	150	7	10	140.0	42.5	2034	10095	1903	8904	1864	8572	1731	7478	1554	6163	1456	5505
175	175	7.5	11	164.0	49.5	2381	11085	2227	9796	2182	9438	2026	8256	1818	6835	1704	6125
198	99	4.5	7	191.0	26.1	1205	3833	1127	3487	1104	3390	1025	3065	920	2663	862	2454
200	100	5.5	8	192.0	26.4	1206	4186	1129	3780	1106	3667	1027	3290	921	2829	863	2593
200	200	8	12	188.0	56.4	2726	12055	2550	10674	2498	10289	2320	9023	2082	7501	1951	6739
248	124	5	8	240.0	32.7	1517	4614	1419	4216	1391	4104	1291	3727	1159	3255	1086	3008
250	125	6	9	241.0	33.1	1518	4929	1420	4478	1391	4351	1291	3928	1159	3404	1086	3133
250	250	9	14	236.0	70.6	3418	14130	3197	12549	3132	12109	2908	10660	2610	8917	2446	8044
298	149	5.5	8	290.0	38.9	1788	5188	1672	4771	1638	4652	1521	4250	1365	3740	1279	3470
300	150	6.5	9	291.0	39.2	1790	5457	1674	4993	1640	4862	1523	4422	1367	3869	1281	3579
300	300	10	15	285.0	84.1	4077	15366	3814	13720	3737	13262	3469	11751	3114	9927	2918	9008
346	174	6	9	337.0	45.6	2106	6025	1970	5546	1930	5410	1792	4949	1608	4361	1507	4049
350	175	7	11	339.0	46.3	2144	6486	2006	5931	1965	5774	1825	5248	1638	4588	1535	4242
350	350	12	19	331.0	98.9	4803	19236	4493	17110	4402	16517	4087	14568	3669	12222	3438	11045
396	199	7	11	385.0	52.6	2435	7057	2277	6485	2231	6322	2072	5772	1860	5075	1742	4707
400	200	8	13	387.0	53.3	2471	7547	2311	6893	2264	6708	2102	6089	1887	5315	1768	4910
400	400	13	21	379.0	112.9	5497	21335	5142	19009	5038	18361	4678	16228	4198	13658	3934	12366
450	200	9	14	436.0	52.3	2387	7308	2233	6685	2188	6508	2031	5917	1823	5174	1709	4785
500	200	10	16	484.0	52.0	2351	7336	2199	6703	2155	6525	2001	5925	1796	5175	1683	4782
600	200	11	17	583.0	50.7	2237	6871	2093	6307	2050	6146	1904	5606	1709	4923	1601	4562
588	300	12	20	568.0	79.9	3718	11483	3478	10470	3408	10185	3164	9230	2840	8040	2661	7420
700	300	13	24	676.0	79.7	3678	11444	3441	10436	3371	10152	3130	9202	2809	8017	2632	7399
800	300	14	26	774.0	78.8	3593	11055	3361	10107	3293	9838	3057	8939	2744	7812	2571	7221

prepared by BS - Feb 2013

Daftar Pustaka

- American Institute of Steel Construction. 2010. *Specification for Structural Steel Buildings (SNI 1729:2015)*. AISC, Inc. Chicago, IL.
- American Institute of Steel Construction. 2011. *Steel Construction Manual*. 14th Ed. AISC. Inc. Chicago, IL.
- American Society of Civil Engineers. 2010. *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE 7-10)*. Reston, VA
- Aghayere, A & Vigil, J. 2009. *Structural Steel Design: A Practice-Oriented Approach*. Prentice Hall. New jersey
- Badan Standarisasi Nasional. 2015. *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Strutural*. SNI 1729:2015.
- McCormac, Jack C. & Csemak. 2012. *Structural Steel Design*. 5rd Ed. Pearson. Boston, MA.
- Salmon, C.G. & Johnson. 2009. *Steel Structures: Design and Behavior* 5th Ed. Pearson. New Jersey.
- Segui, William T. 2012. *Steel Design*. 5rd Edition. Thomson Brooks/Cole.
- Williams, A. 2011. *Structural Steel Design*. McGraw-Hill.

A photograph of a large industrial building under construction. The structure is made of dark blue steel beams and columns. A yellow crane is mounted on a track inside the building. A red truck with "YENI EKSPRES" written on its side is parked outside. The background shows a clear blue sky and some green hills. The text "Terima kasih" is overlaid in the center.

*Terima
kasih*