BAB II
STUDI PUSTAKA

2.1 Metode Desain

LRFD dengan Analisis Elastis

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

$$R_u \leq \phi R_n$$

  Ru = beban yang ada

  Rn = kekuatan nominal

  ϕ = faktor tahanan (≤ 1.0) (SNI: faktor tereduksi)

- LRFD memperhitungkan keamanan pada kedua sisi (efek beban dan tahanan)
- Setiap kondisi beban mempunyai faktor beban yang berbeda yang memperhitungkan derajat *uncertainly*, sehingga dimungkinkan untuk mendapatkan reliabilitas seragam
- Analisis yang dapat dipilih untuk mendapatkan efek beban :
  - Analisis Elastis Orde Kedua, atau
  - Analisis Elastis Orde Pertama dan efek orde kedua diperhitungkan dengan menggunakan faktor amplifikasi momen B_1 dan B_2.
- Efek inelastisitas ditinjau secara tidak langsung

Kombinasi pembebanan pada LRFD dengan analisis elastis :

- 1.4D
- 1.2D + 1.6L + 0.5(L_a atau H)
- 1.2D + 1.6(L_a atau H) + (γ_LL atau 0.8W)
- 1.2D + 1.3W + γ_LL + 0.5(L_a atau H)
- 1.2D ± 1.0E + γ_LL
- 0.9D ± (1.3W atau 1.0E)

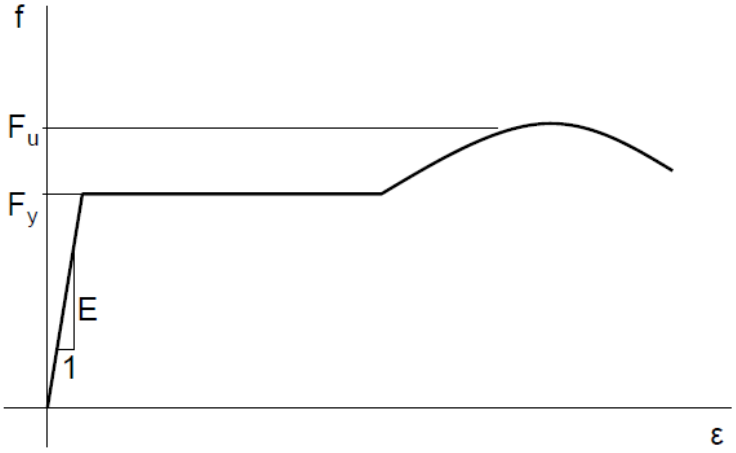
D = beban mati H = beban hujan

L = beban hidup W = beban angin

L_a = beban hidup di atap E = beban gempa

$$\gamma_L = \begin{cases} 0.5 \text{ jika } L < 5 \text{ kPa} \\ 1 \text{ jika } L \geq 5 \text{ kPa} \end{cases}$$

2.2 Material Baja



Gambar II.1 Kurva Hubungan Tegangan – Regangan (Hasil Uji Tarik)
Sumber: Analisis dan Desain Komponen Struktur Baja AISC, 2005

Material properties :

- Modulus Elastisitas E = 200000 MPa
- Rasio Poison μ = 0.3
- Modulus geser,

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

  Diambil 80000 MPa (SNI)

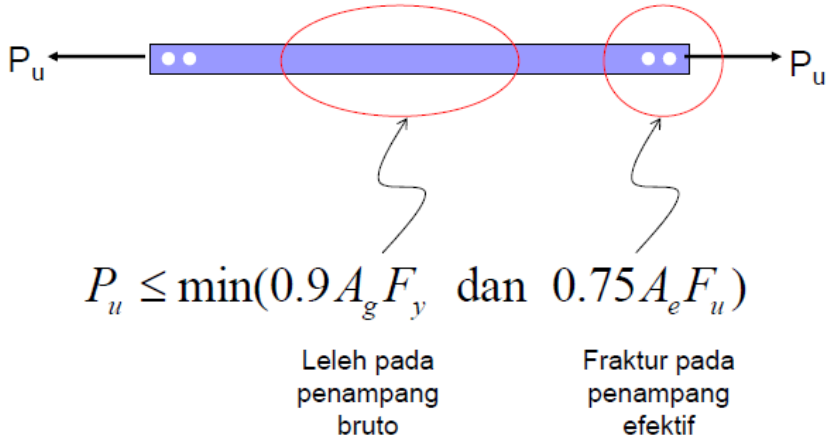
Tabel II.1 Material Properties

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

Sumber: Analisis dan Desain Komponen Struktur Baja AISC, 2005

2.3 Komponen Struktur Tarik

Kuat Tarik Rencana



Luas Neto Efektif, A_e

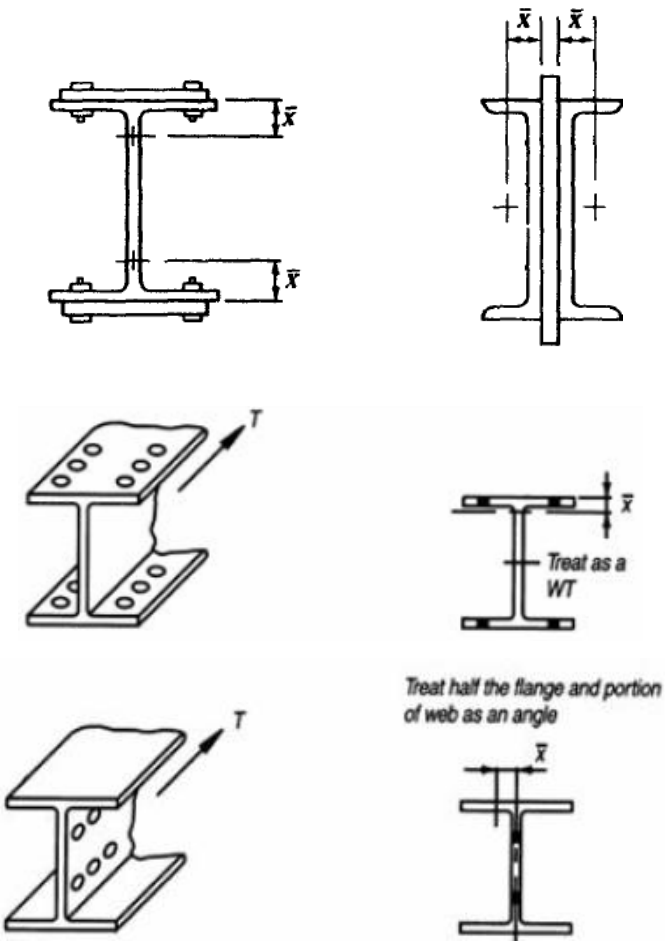
$A_e = U.A_n$

$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} \le 0.9$

A_n = luas neto

U = shear leg faktor

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



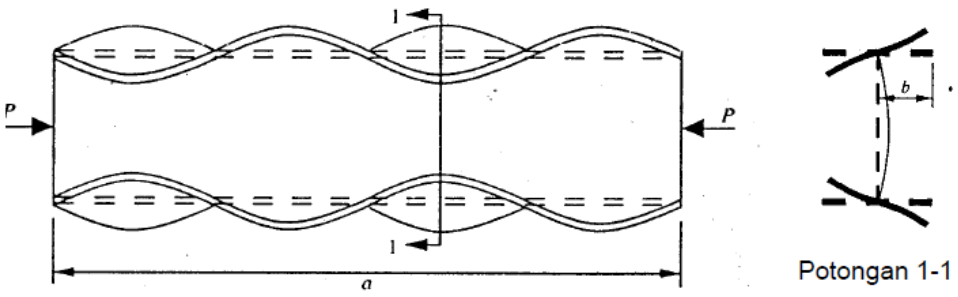
Gambar II.2 Eksentrisitas untuk Menghitung U

Sumber: Analisis dan Desain Komponen Struktur Baja AISC, 2005

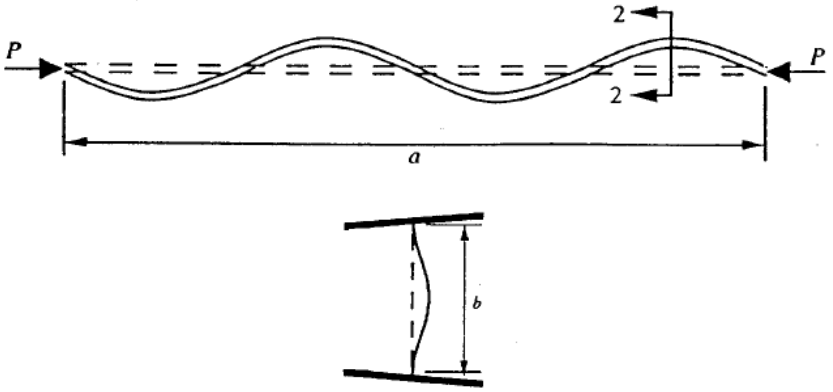
2.4 Komponen Struktur Tekan

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*)

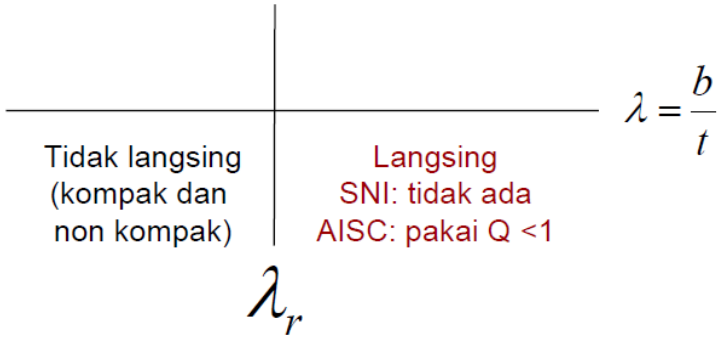


Gambar II.3 Tekuk Lokal di Flens
Sumber: Analisis dan Desain Komponen Struktur Baja AISC, 2005



Gambar II.4 Tekuk Lokal di Web
Sumber: Analisis dan Desain Komponen Struktur Baja AISC, 2005

Tekuk Lokal (flens dan web)



Kuat Rencana Komponen Struktur Tekan

Untuk menentukan kekuatan nominal yang bekerja pada sebuah penampang, dapat dihitung dengan persamaan :

$P_u = A_g \cdot F_{cr}$

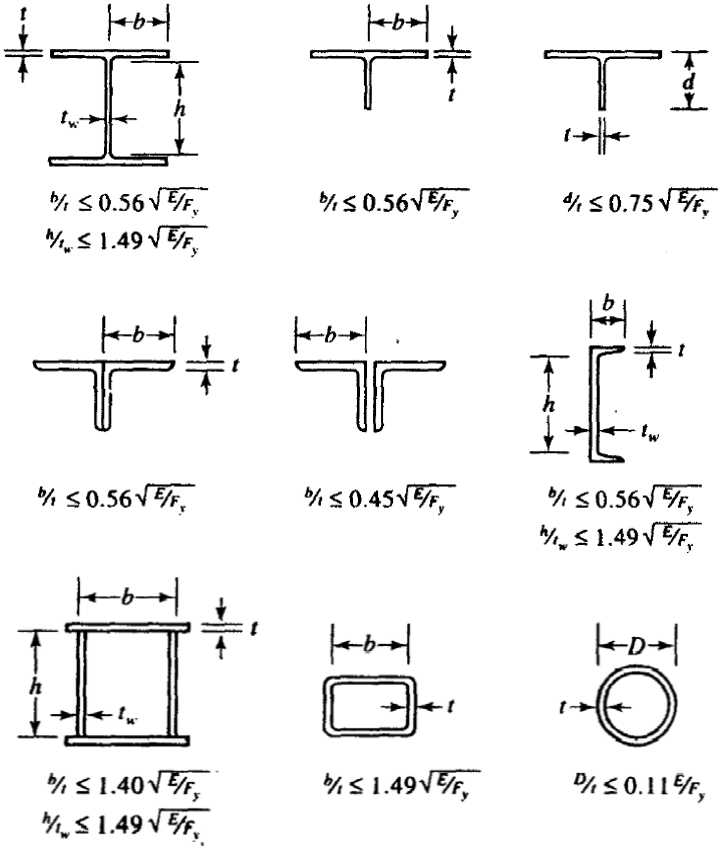
P_u = kuat rencana penampang

A_g = luas penampang

F_{cr} = tegangan kritis penampang, MPa

Menentukan Batas Kelangsingan Penampang

Dalam menentukan besar kekuatan tekan yang bekerja, perlu diperhatikan mengenai batas kelangsingan. Sebab dalam perhitungan antara penampang langsing dan tidak langsing sangat berbeda. Berikut ini gambar peenentuan syarat batas kelangsingan :



Gambar II.5 Menentukan Batas Kelangsingan Penampang
Sumber: Analisis dan Desain Komponen Struktur Baja AISC, 2005

Tabel II.2 Batas Kelangsingan Penampang Sesuai dengan Jenis Baja

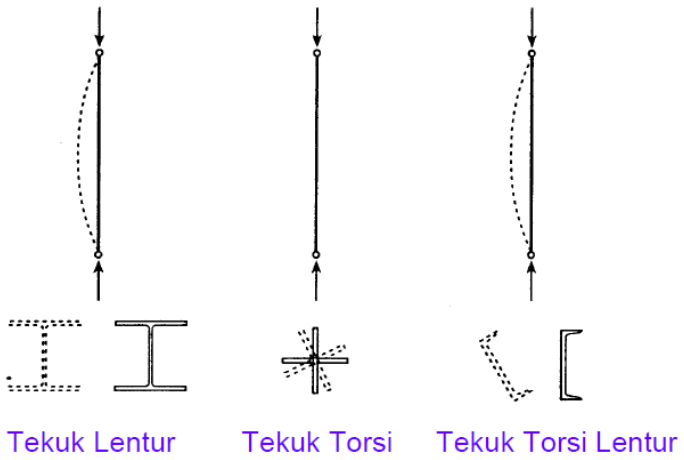
Pengali $\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	BJ34	BJ37	BJ41	BJ50	BJ55
	F_y = 210 MPa	F_y = 240 MPa	F_y = 250 MPa	F_y = 290 MPa	F_y = 410 MPa
0.45	13.89	12.99	12.73	11.82	9.94
0.56	17.28	16.17	15.84	14.71	12.37
0.75	23.15	21.65	21.21	19.70	16.56
1.40	43.20	40.41	39.60	36.77	30.92
1.49	45.98	43.01	42.14	39.13	32.91

Sumber: Analisis dan Desain Komponen Struktur Baja AISC, 2005

Siku Sama Kaki 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
- $Q = Q_s \, . \, Q_a$ dengan $Q_a = 1$ bila semua elemen unstiffened

Tekuk Komponen Struktur



Gambar II.6 Jenis-jenis Tekuk Komponen Struktur
Sumber: Analisis dan Desain Komponen Struktur Baja AISC, 2005

	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

2.5 Profil Wide Flange (WF)

Dalam menghitung kekuatan normal lentur penampang pengaruh tekuk lokal dapat dibedakan menjadi tiga kategori berdasarkan kelangsingan bagian-bagian pelat tekannya, antara lain :

1. Penampang kompak (*compact*)

   Jika penampang-penampang memenuhi $\lambda \leq \lambda_p$, kuat nominal penampang terhadap momen lentur adalah :

   $M_n - M_p$

2. Penampang tidak kompak (*non-compact*)

   Jika penampang-penampang memenuhi $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$, kuat nominal penampang terhadap lentur adalah :

$$M_n = M_r + \left[\left(M_p - M_r \right) \frac{(\lambda_r - \lambda)}{(\lambda_r - \lambda_p)} \right]$$

3. Penampang langsing (*slender*)

   Jika penampang-penampang memenuhi $\lambda_r \leq \lambda$, kuat nominal penampang terhadap momen lentur adalah :

   a. Untuk momen terhadap sumbu lemah :

      $$M_n = M_r \left(\frac{\lambda_r}{\lambda} \right)^2$$

   b. Untuk momen terhadap sumbu kuat :

      $$M_n = M_r \left(\frac{\lambda_r}{\lambda} \right)$$

      Dimana :

      - Mr = momen batas tekuk
        = S (fy – fr)
        Fr = tegangan sisa

      - Momen plastic Mp adalah momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh.

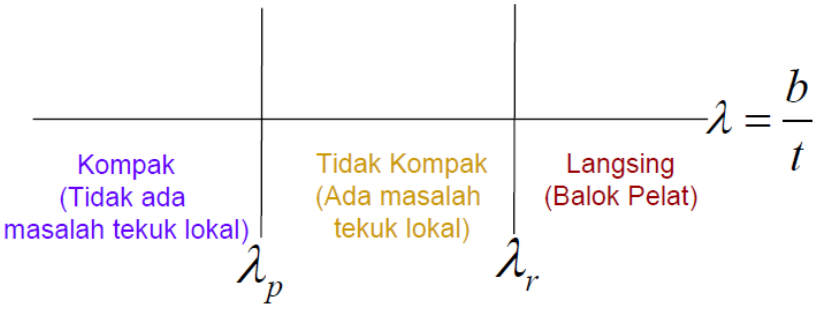
        Mp diambil terkecil dari :

        - Mp = Z . fy
        - Mp = 1,5 . My

        S adalah penampang elastik dan Z adalah modulus penampang plastik, dimana dalam perhitungannya masing-masing harus memperhitungkan adanya lubang-lubang, perbedaan tegangan leleh pada penampang *hybrid*, letak pelat tarik dan tekan serta arah/sumbu lentur yang ditinjau sedemikian sehingga kuat momen yang dihasilkan berada dalam batas-batas ketelitian yang dapat diterima.

2.5.1 Balok

Pengelompokan Penampang



Tabel II.3 Batas-batas λ_p dan λ_r profil WF

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

	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

Sumber: Analisis dan Desain Komponen Struktur Baja AISC, 2005

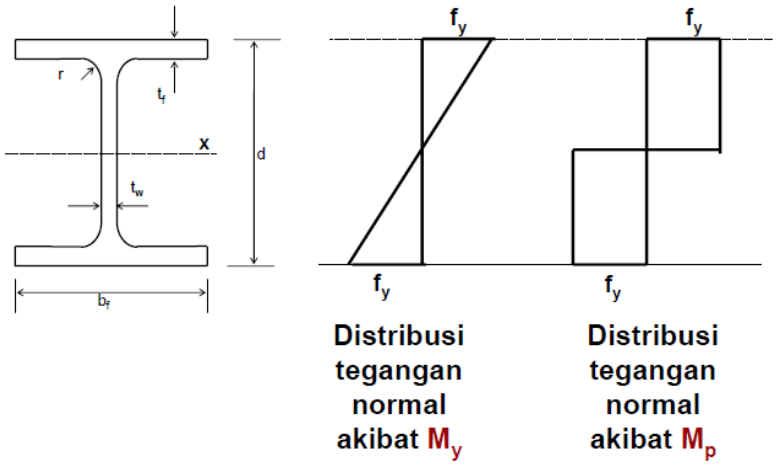
Berikut ini daftar profil WF standar JIS yang non kompak (berdasarkan kelangsingan flensnya) :

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 terhadap 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

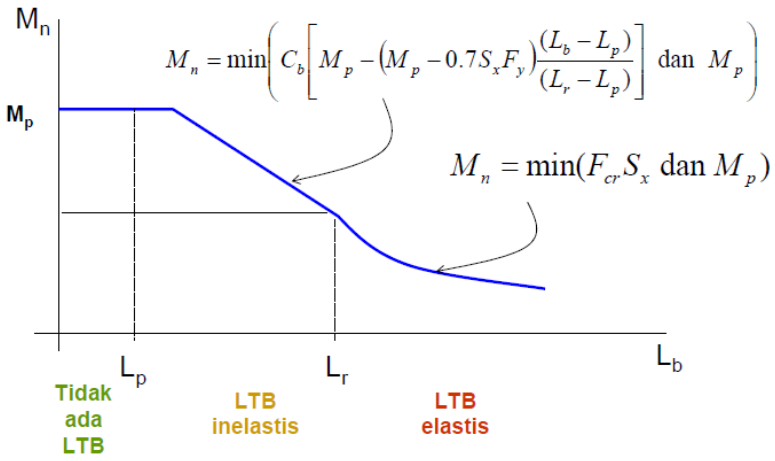
- Terhadap sumbu x : $M_{px} = Z_x F_y$
- Terhadap sumbu y : $M_{py} = \min(Z_y F_y$ dan $1.6\ S_y F_y)$

Untuk profil WF *hot rolled* Standar JIS :

$Z_y > 1.6\ S_y$, maka $M_{py} = 1.6\ S_y F_y$

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 disetiap segmen L_b



Gambar II.7 Kurva Momen Nominal M_n untuk Tekuk Torsi Lateral
Sumber: Analisis dan Desain Komponen Struktur Baja AISC, 2005

Besaran di dalam M_n LTB

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

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

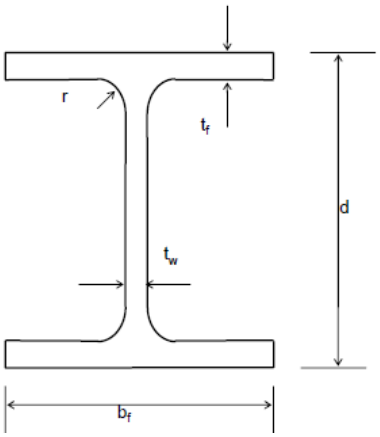
$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

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

I_y = momen inersia terhadap sumbu lemah y

h_0 = jarak antara pusat berat flens = d - t_f

Besaran Penampang



Yang ada di Tabel Baja Indonesia :

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

Yang tidak ada di Tabel Baja Indonesia :

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

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

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

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

Faktor modifikasi untuk momen tak seragam

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

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 $L_b 3/4$|

Momen nominal untuk tekuk lokal flens pada profil I simetri ganda dengan web kompak. Lentur terhadap sumbu x.

Bila flens nonkompak, yaitu :

$$\lambda_p < \frac{b_f}{2t_f} \leq \lambda_r$$

$$M_n = M_{px} - \left(M_{px} - 0.7F_yS_x\right)\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}$$

Bila flens langsing, yaitu :

$$\lambda_r < \frac{b_f}{2t_f}$$

$M_n = \frac{0.9Ek_cS_x}{\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)^2}$ dengan $k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}}$ ambil nilai k_c diantara 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 simetri ganda dengan web kompak. Lentur terhadap sumbu y.

Bila flens nonkompak, yaitu :

$$\lambda_p < \frac{b_f}{2t_f} \leq \lambda_r$$

$$M_n = M_{py} - \left(M_{py} - 0.7F_yS_y\right)\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}$$

Bila flens langsing, yaitu :

$$\lambda_r < \frac{b_f}{2t_f}$$

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

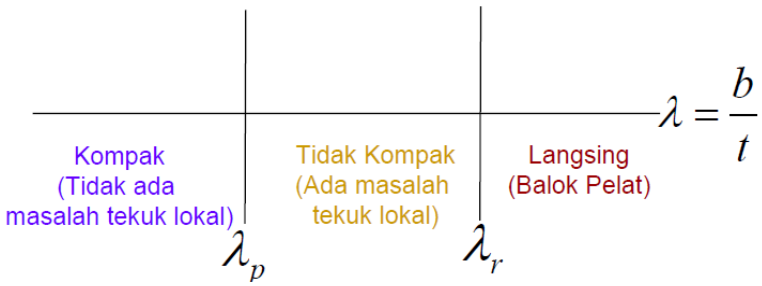
$$\lambda_p = 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad \lambda_r = 1.0\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Tekuk Lokal Web (WLB)

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

2.5.2 Balok Kolom

Batasan Kekompakan Penampang Balok Kolom



Persamaan interaksi (harus ditinjau pada semua kombinasi pembebanan).

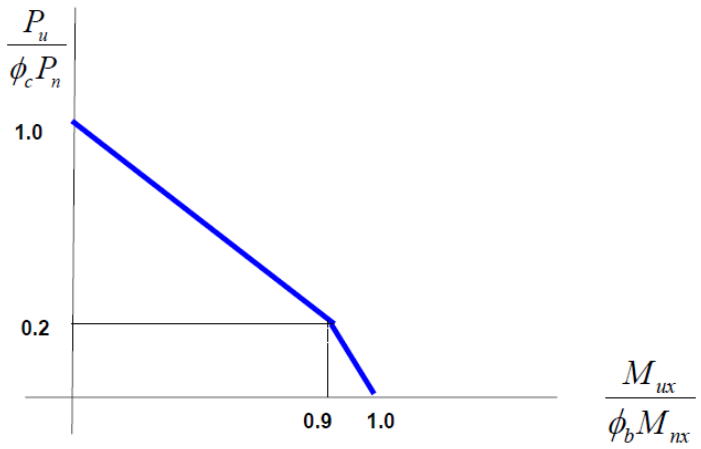
Untuk $\frac{P_u}{\phi_c P_n} \geq 0.2$:

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

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

$$\frac{P_u}{2\phi_c P_n} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}}\right) \leq 1.0$$

ϕ_c = 0.9 dan ϕ_b = 0.9



Gambar II.8 Kurva Persamaan Interaksi Khusus Gaya Aksial Tekan dan Momen terhadap Sumbu x

Sumber: Analisis dan Desain Komponen Struktur Baja AISC, 2005