

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Gaya Geser Dasar

Besarnya gaya geser dasar / beban gempa rencana untuk perencanaan struktur dengan tahan gempa adalah sebagai berikut:

$$V = C.I.K.Wt \dots\dots\dots (3.1)$$

dengan

V = gaya geser dasar horizontal total akibat gempa

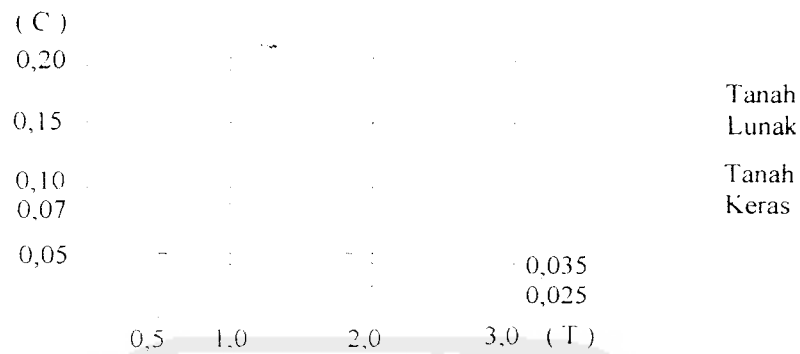
C = koefisien gempa dasar

I = faktor keutamaan struktur

K = faktor jenis struktur

Wt = berat total bangunan

Nilai koefisien gempa dasar (C) dipengaruhi oleh periode getar struktur (T). Untuk struktur baja, periode getar struktur dihitung dengan rumus $T = 0,085 \cdot H^{3/4}$, dengan H adalah tinggi total bangunan. Cara mencari koefisien gempa dasar adalah dengan menggunakan grafik respon spektrum seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Koefisien gempa dasar (C)
(Sumber : SKBI 1987)

Distribusi gaya geser horizontal total akibat gempa ke sepanjang tinggi gedung dihitung dengan persamaan berikut ini.

Untuk $\frac{H}{B} > 3$

$$F_i = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum W_i \cdot h_i} \cdot 0,9V \dots\dots\dots (3.2)$$

Gaya geser sebesar 0,1 V ditambahkan pada Fi bagian atas (lantai teratas).

Untuk $\frac{H}{B} < 3$

$$F_i = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum W_i \cdot h_i} \cdot V \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan:

F_i = gaya geser horizontal akibat gempa lantai ke-i

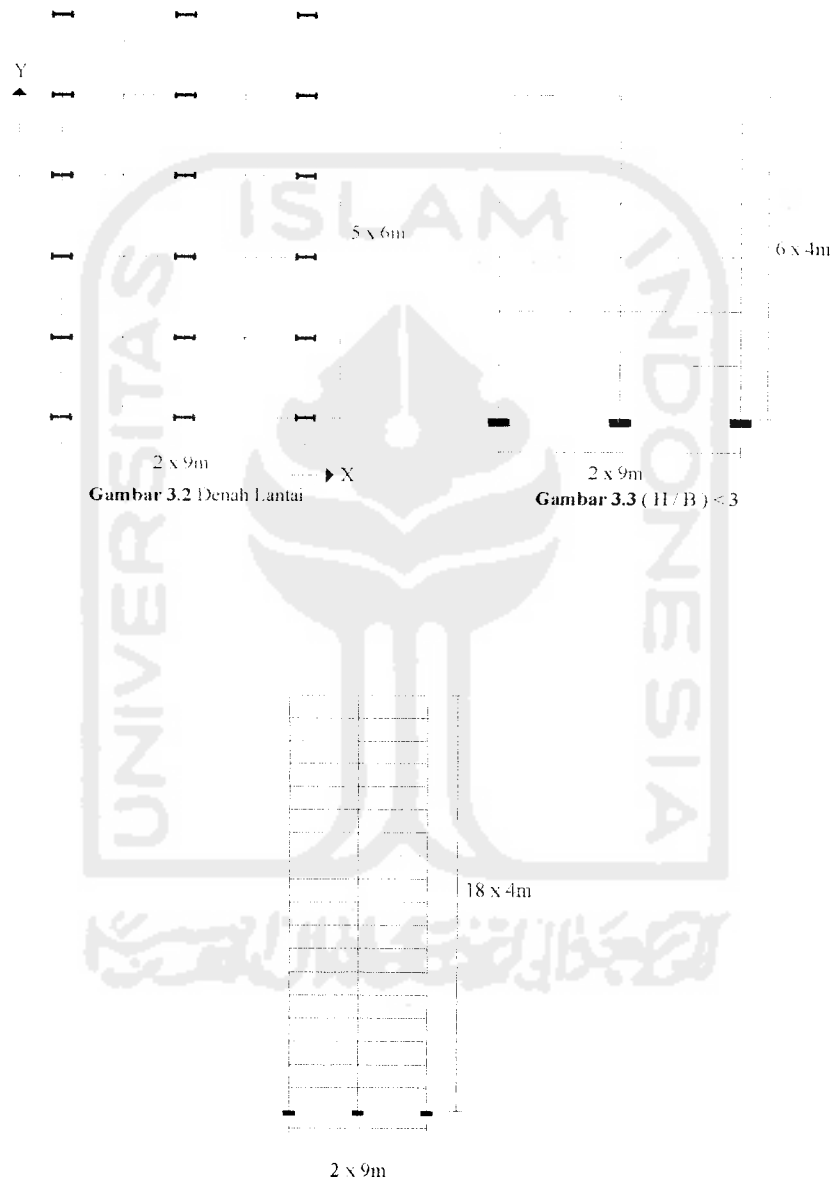
h_i = tinggi lantai ke-i terhadap lantai dasar

W_i = berat lantai ke-i

V = gaya geser dasar total akibat gempa

H = tinggi total bangunan

B = lebar total bangunan



Gambar 3.2 Denah Lantai

Gambar 3.3 (H/B) < 3

Gambar 3.4 (H/B) > 3

3.2 Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD

Perencanaan struktur baja dengan metode LRFD adalah perencanaan dengan mengkombinasikan tegangan ultimit dan *serviceability* dengan probabilitas berdasarkan pendekatan keamanan.

Perencanaan dengan metode LRFD ini sebenarnya sama dengan perencanaan dengan metode plastik, yaitu dengan mempertimbangkan tegangan ultimit. Dalam metode ini, beban-beban yang terjadi dikalikan dengan suatu faktor (*overcapacity factor*) yang nilainya lebih dari 1, kemudian struktur didesain untuk memperoleh tegangan yang cukup dalam menahan beban terfaktor tersebut. Kapasitas nominal dari setiap elemen yang telah didesain dikalikan dengan suatu faktor yang nilainya kurang dari 1 (*undercapacity factor*). Filosofi perencanaan dengan metode LRFD adalah sebagai berikut.

$$\text{Gaya yang dapat digunakan} \geq \Sigma \text{Gaya akibat beban terfaktor}$$

3.2.1 Kombinasi Pembebanan Dalam LRFD

Kombinasi pembebanan dalam perencanaan struktur baja dengan metode LRFD adalah sebagai berikut:

$$1,4 D$$

$$1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_a \text{ atau } H)$$

$$1,2 D + 1,6 (L_a \text{ atau } H) + (\gamma_L L \text{ atau } 0,8 W)$$

$$1,2 D + 1,3 W + \gamma_L L + 0,5 (L_a \text{ atau } H)$$

$$1,2 D + 1,0 E + \gamma_L L$$

$$0,9 D + (1,3W \text{ atau } 1,0E)$$

Keterangan:

D = beban mati

L = beban hidup

La = beban hidup di atap selama perawatan atau selama penggunaan

H = beban hujan

W = beban angin

E = beban gempa

$\gamma_L = 0,5$ bila $L < 5 \text{ kN/m}^2$, dan $\gamma_L = 1,0$ bila $L \geq 5 \text{ kN/m}^2$

3.2.2 Perencanaan Lentur Balok

Suatu balok yang menahan momen lentur harus memenuhi persamaan :

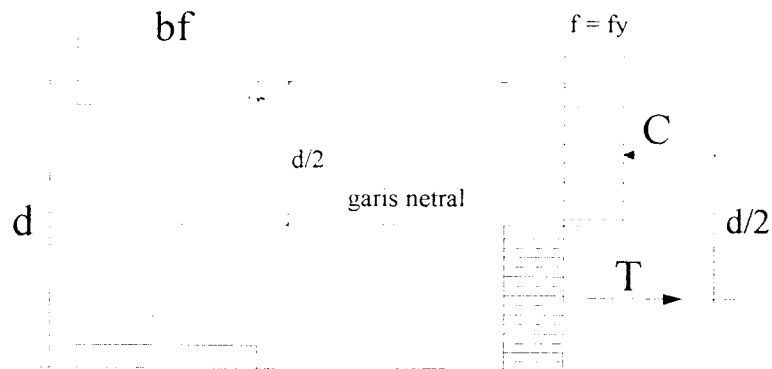
$$M_u \leq \Phi M_n \dots \dots \dots (3.4)$$

Keterangan:

M_u = adalah momen lentur terfaktor

Φ = adalah faktor reduksi yang nilainya 0,9

M_n = adalah kuat lentur nominal penampang



Gambar 3.5 Distribusi tegangan

Kuat lentur nominal penampang dihitung dengan rumus-rumus sebagai berikut:

a. Untuk penampang kompak

Kuat komponen struktur dalam memikul momen lentur tergantung dari panjang bentang antara dua pengekang lateral yang berdekatan (L).

Kasus 1 ($L \leq L_p$)

Kuat komponen struktur yang memenuhi $L \leq L_p$ kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah

$$M_n = M_p = Z \cdot f_y \dots \dots \dots (3.5)$$

dengan $L_p = 300 \cdot r_y \cdot \frac{1}{\sqrt{f_y}}$, f_y dalam ksi

Z adalah modulus penampang plastis

Kasus 2 ($L_p < L < L_r$)

Untuk komponen struktur yang memenuhi $L_p < L < L_r$, kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah

$$M_n = c_b \left\{ M_p - (M_p - M_r) \left[\frac{L - L_p}{L_r - L_p} \right] \right\} \leq M_p \dots \dots \dots (3.6)$$

dengan $M_r = (f_y - f_r) \cdot S_x$, $f_r = 10$ ksi

$$L_r = \frac{r_y \cdot X_1}{(f_y - f_r)} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 (f_y - f_r)^2}} \dots \dots \dots (3.7)$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S} \sqrt{\frac{E G J A}{2}}, J = \text{konstanta puntir torsi}$$

$$X_2 = \frac{I_w}{I_y} \left(\frac{S}{G J} \right)^2 \cdot 4, I_w = \text{konstanta puntir lengkung}$$

Nilai X_1 dan X_2 bisa dilihat di tabel AISC-LRFD.

c_b = faktor pengali momen, yang besarnya dapat dihitung dengan

$$c_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2,3, \text{ dengan } \left| \frac{M_1}{M_2} \right| \leq 1,0 \dots \dots (3.8)$$

c_b sama dengan 1,0 untuk batang yang tidak ada tambatan lateralnya.

Ratio antara $\frac{M_1}{M_2}$ adalah positif bila M_1 dan M_2 bertanda sama (*reverse curvature*)

dan akan bernilai negatif bila M_1 dan M_2 berlawanan tanda (*single curvature*).

Kasus 3 ($L > L_r$)

Untuk komponen struktur yang memenuhi $L > L_r$, kuat nominal komponen struktur terhadap lentur adalah

$$M_n = M_{cr} \leq M_p \dots \dots \dots (3.9)$$

$$\text{dengan } M_{cr} = \frac{c_b \cdot S_x \cdot X_1 \cdot \sqrt{2}}{(L / r_x)} \sqrt{1 + \frac{X_1^2 \cdot X_2}{2 \cdot (L / r_y)^2}} \dots \dots \dots (3.10)$$

b. Untuk penampang tidak kompak

Untuk penampang tidak kompak, kuat lentur nominal penampang ditentukan sebagai berikut:

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \dots\dots\dots (3.11)$$

Kriteria penampang kompak adalah bila $\frac{bf}{2t_f} \leq \frac{65}{\sqrt{f_y}}$ dan $\frac{d}{t_w} \leq \frac{640}{\sqrt{f_y}}$

Parameter penampang λ , λ_p , λ_r ditunjukkan dalam tabel dibawah ini.

Tabel 3.1 Kriteria kompak menurut AISC untuk elemen balok

Jenis elemen	Ratio b/t (λ)	Batas ratio b/t	
		Kompak λ_p	Nonkompak λ_r
Sayap bentuk – I dan kanal dalam lentur	$b_f / 2t_f$	$65 / \sqrt{f_y}$	$141 / \sqrt{f_y - 10}$
Sayap bentuk-I dalam tekan murni	$b_f / 2t_f$	-	$95 / \sqrt{f_y}$
Semua elemen yang tertekan seragam	h / t_w	-	$253 / \sqrt{f_y}$

3.2.3 Perencanaan Kolom

Komponen struktur yang mengalami momen lentur dan gaya aksial direncanakan menurut persamaan berikut ini.

Untuk $\frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0,2$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots (3.12)$$

Untuk $\frac{P_u}{\phi P_n} < 0,2$

$$\frac{P_u}{2 \cdot \phi \cdot P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right) \leq 1,0 \dots \dots \dots (3.13)$$

Keterangan:

P_u = gaya aksial terfaktor

P_n = kuat nominal penampang

ϕ = faktor reduksi kekuatan (untuk tekan nilainya 0,85)

$M_{ux} = M_{uy}$ = momen lentur terfaktor terhadap sumbu-x dan sumbu-y

$M_{nx} = M_{ny}$ = kuat nominal lentur penampang terhadap sb-x dan sb-y

ϕ_b = faktor reduksi kuat lentur yang nilainya 0,9

Dalam perencanaan baja tahan gempa maka harus direncanakan dengan konsep "*strong column weak beam*". Untuk mendapatkan tujuan tersebut maka digunakan rumus berikut ini. (Robert Englekirk,1993)

Gaya aksial kolom rencana (P_u) untuk kolom eksterior

$$1,2 P_D + 0,5 P_L + \sum \left(\frac{2 \cdot M_{pb}}{L_c} \right) \dots \dots \dots (3.14)$$

Gaya aksial kolom rencana (P_u) untuk kolom interior = $1,2 \cdot P_D + 0,5 \cdot P_L \dots (3.15)$

Momen rencana kolom (M_u) unuk kolom eksterior = $M_{pb} \cdot \left(\frac{L}{L_c} \right) \left(\frac{h_c}{2h} \right) \dots (3.16)$

Momen rencana kolom (M_u) untuk kolom interior = $2 \cdot M_{pb} \cdot \left(\frac{L}{L_c} \right) \left(\frac{h_c}{2 \cdot h} \right) \dots (3.17)$

P_D = gaya aksial akibat beban mati

P_L = gaya aksial akibat beban hidup

P_E = gaya aksial akibat beban gempa

M_{pb} = momen plastik balok

$$= Z \cdot f_y$$

L_c = bentang bersih balok

L = bentang balok dari as ke as

h = tinggi kolom dari as ke as

h_c = tinggi bersih kolom

Ω_0 = faktor kuat cadang struktur

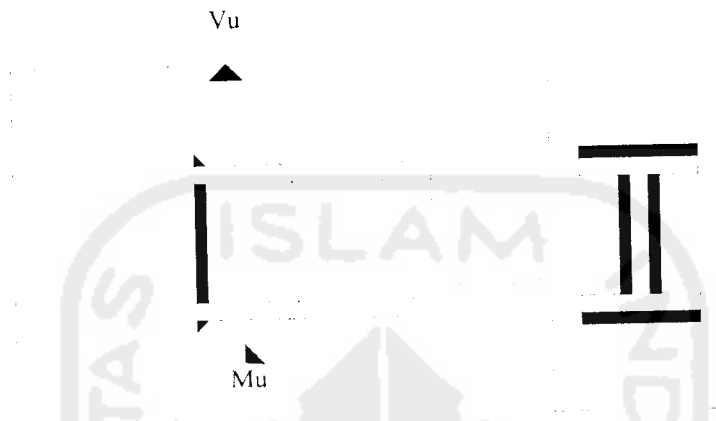
Nilai faktor kuat cadang struktur tergantung dari sistem struktur dalam memikul beban gempa. Beberapa nilai Ω_0 ditunjukkan dalam Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Nilai Ω_0

Sistem Struktur	Deskripsi Sistem Pemikul Beban Gempa	Ω_0
Sistem dinding penumpu	Dinding penumpu dengan rangka baja ringan dan bresing baja tarik	2.2
	Rangka bresing dimana bresing memikul beban gravitasi	2.2
Sistem Rangka Bangunan	Sistem rangka bresing eksentrik	2.8
	Sistem rangka bresing konsentrik biasa	2.2
	Sistem rangka bresing konsentrik khusus	2.2
Sistem rangka pemikul momen	Sistem rangka pemikul momen khusus	2.8
	Sistem rangka pemikul momen biasa	2.8
	Sistem rangka pemikul momen terbatas	2.8
	Sistem rangka batang pemikul momen khusus	2.8
Sistem bangunan kolom kantilever	Komponen struktur kolom kantilever	2.0

3.2.4 Perencanaan Sambungan

Sambungan yang digunakan dalam perencanaan dengan metode LRFD ini adalah sambungan las, khususnya adalah las sudut. (Robert Englekirk,1993)



Gambar 3.6 Sambungan Las

Gaya geser rencana (V_u) dihitung menggunakan rumus berikut ini.

$$V_u = 1,2 V_D + 0,5 V_L + \frac{2.M_{pb}}{L_c} \dots\dots\dots(3.18)$$

Momen rencana (M_u) dihitung dengan rumus berikut ini.

$$M_u = M_p \text{ balok} = Z_x \cdot f_y \dots\dots\dots(3.19)$$

dengan V_D = gaya geser akibat beban mati

V_L = gaya geser akibat beban hidup

V_E = gaya geser akibat beban gempa

M_{pb} = momen plastik balok = $Z \cdot f_y$

L_c = bentang bersih balok

Tegangan akibat geser (f_x')

$$f_x' = \frac{Vu}{A}, \text{ dengan } A = \text{luas las} \dots \dots \dots (3.20)$$

$A = \text{panjang las} \times t_e$ (tebal efektif las)

Tegangan akibat lentur (f_x'')

$$f_x'' = \frac{Mu}{S}, \text{ dengan } S = \text{statis momen las} \dots \dots \dots (3.21)$$

$$f_r = \sqrt{(f_x')^2 + (f_x'')^2} < \phi \cdot R_n \dots \dots \dots (3.22)$$

dengan $R_n = A \cdot (0,6 \cdot \text{tegangan ijin las})$

$$\phi = 0,75$$

Tegangan ijin las tergantung dari proses las yang digunakan.

Proses SAW

Untuk $t_e < 3/8$ in $\rightarrow a = t_e$

Untuk $t_e > 3/8$ in $\rightarrow a = \frac{t_e - 0,11}{0,707}$

3.3 Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode ASD

Dalam perencanaan struktur baja dengan metode ASD tidak dikenal adanya kombinasi beban seperti dalam perencanaan dengan LRFD. Dalam perencanaan dengan metode ASD beban yang dipakai sebagai dasar perencanaan adalah beban kerja yang bekerja pada struktur tersebut. Walaupun tidak disebutkan secara jelas tentang pembebanan yang digunakan dalam metode ASD, tetapi disebutkan dalam *Manual of Steel Construction ASD* disebutkan bahwa apabila suatu struktur terbebani kombinasi antara beban mati, beban hidup, beban

angin, ataupun gempa maka diperbolehkan untuk menaikkan tegangan ijinnya sebesar 1/3 kali semula. Inilah perbedaan yang paling mendasar antara ASD dan LRFD. Kombinasi beban yang digunakan dalam perencanaan portal baja dengan metode ASD adalah sebagai berikut.

D

D + L

D + W

D + L + W

D + E

D + L + E

Keterangan:

D = beban mati

L = beban hidup

W = beban angin

E = beban gempa

3.3.1 Perencanaan Lentur Balok

Suatu balok yang mengalami momen lentur akan mengalami tegangan sebesar $f_b = \frac{M}{S}$. Dalam perencanaan lentur balok, tegangan yang terjadi tersebut (f_b) tidak boleh lebih besar daripada tegangan ijin lentur (F_b). Persamaan dasar perencanaan balok dalam lentur adalah sebagai berikut.

$$f_b = \frac{M}{S} \leq F_b \dots \dots \dots (3.23)$$

Keterangan:

M = momen lentur yang terjadi

S = statis momen luasan = $\frac{I}{y}$

F_b = tegangan ijin lentur



Gambar 3.7 Distribusi tegangan

Nilai tegangan ijin lentur (F_b) ditentukan dengan persamaan – persamaan berikut ini.

a. Untuk penampang kompak

Untuk penampang kompak dengan $L \leq L_c$, tegangan ijin lentur (F_b) dihitung dengan rumus

$$F_b = 0,66 f_y \dots \dots \dots (3.24)$$

Keterangan:

L = panjang batang antara pengekang lateral

L_c = panjang kritis batang

Nilai L_c diambil yang terkecil diantara dua nilai berikut ini.

$$L_c = \frac{76.bf}{12.\sqrt{fy}} \text{ (ft)} \dots\dots\dots(3.25)$$

$$L_c = \frac{20.000}{12.fy.\frac{d}{Af}} \text{ (ft)} \dots\dots\dots(3.26)$$

b. Untuk penampang tidak kompak

Untuk penampang tidak kompak dengan $L \leq L_c$, tegangan ijin lentur (F_b) dihitung dengan rumus.

$$F_b = 0,6 fy \dots\dots\dots(3.27)$$

c. Penampang dengan $L > L_c$ dan $L \leq L_u$

Untuk penampang dengan kondisi seperti diatas, tegangan ijin lenturnya ditentukan dengan rumus berikut ini.

$$F_b = 0,6 fy \dots\dots\dots(3.28)$$

Nilai L_u diambil yang terbesar diantara dua nilai berikut ini.

$$L_u = \frac{20.000}{12.fy.\frac{d}{Af}} \text{ (ft)} \dots\dots\dots(3.29)$$

$$L_u = \frac{r_T}{12} \sqrt{\frac{102.000.cb}{fy}} \text{ (ft)} \dots\dots\dots(3.30)$$

d. Penampang dengan $L > L_u$ dan $\frac{L}{r_T} \leq \sqrt{\frac{510000.cb}{fy}}$

Bila penampang mempunyai kategori seperti diatas maka nilai tegangan ijin lenturnya diambil yang terbesar diantara dua nilai berikut ini.

$$F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{(L/r_t)^2 \cdot f_y}{1530.000 \cdot c_b} \right] \cdot f_y \dots \dots \dots (3.31)$$

$$F_b = \frac{12000 \cdot c_b}{L \cdot \frac{d}{A_f}} \dots \dots \dots (3.32)$$

Nilai F_b tersebut tidak boleh lebih besar dari $F_b = 0,6 f_y$.

e. Penampang dengan $L > L_u$ dan $\frac{L}{r_t} > \sqrt{\frac{510000 \cdot c_b}{f_y}}$

Bila penampang mempunyai kategori seperti tersebut diatas maka tegangan ijin lenturnya diambil yang terbesar diantara dua nilai berikut ini.

$$F_b = \frac{170000 \cdot c_b}{\left(\frac{L}{r_t} \right)^2} \dots \dots \dots (3.33)$$

$$F_b = \frac{12000 \cdot c_b}{L \cdot \frac{d}{A_f}} \dots \dots \dots (3.34)$$

Nilai F_b tersebut tidak boleh lebih besar dari $F_b = 0,6 f_y$.

3.3.2 Perencanaan Kolom

Perencanaan kolom baja dengan metode ASD dihitung dengan menggunakan rumus-rumus berikut ini.

Untuk $\frac{f_a}{F_a} > 0,15$

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{c_{mx} \cdot f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_{e'x}} \right) \cdot F_{bx}} + \frac{c_{my} \cdot f_{by}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_{e'y}} \right) \cdot F_{by}} \leq 1,0 \dots \dots \dots (3.35)$$

dan

$$\frac{fa}{0,6 \cdot fy} + \frac{fbx}{Fbx} + \frac{fby}{Fby} \leq 1,0 \dots\dots\dots (3.36)$$

Untuk $\frac{fa}{Fa} \leq 0,15$

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fbx}{Fbx} + \frac{fby}{Fby} \leq 1,0 \dots\dots\dots (3.37)$$

Keterangan:

Fa = tegangan ijin desak

fa = tegangan desak yang terjadi = $\frac{P}{A}$ (3.38)

P = gaya aksial kolom

A = luas profil kolom

fb = tegangan lentur yang terjadi = $\frac{M}{S}$ (3.39)

M = momen pada kolom

S = statis momen luasan pada profil kolom

cm = faktor pengaruh momen ujung

Dalam segala hal nilai $\frac{cm}{1 - \frac{fa}{Fe'}}$ baik arah-x maupun arah-y minimal 1,0

Ada tiga kategori nilai Cm seperti tersebut dibawah ini.

1. Kolom merupakan bagian dari portal bergoyang, Cm = 0,85

2. Kolom diasumsikan dikekang terhadap rotasi dan dicegah terhadap perpindahan joint atau goyangan, nilai C_m ditentukan dengan rumus berikut ini.

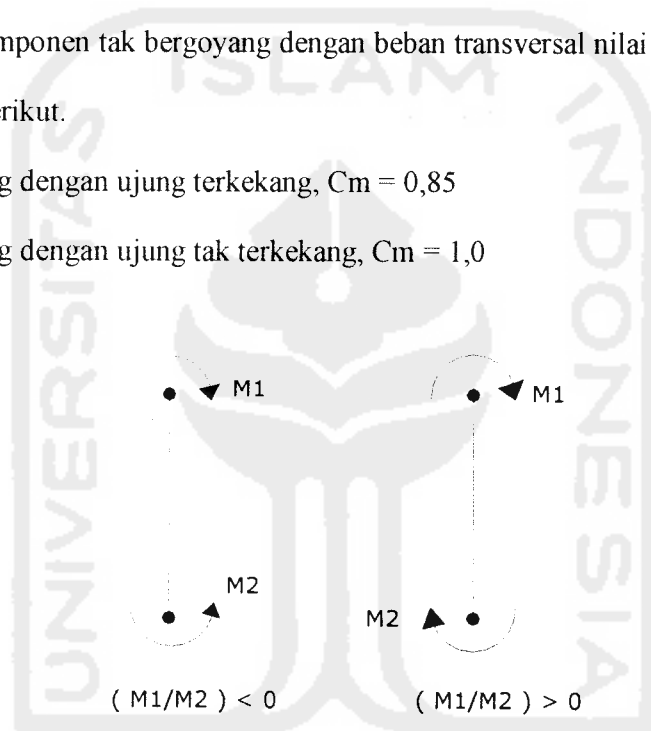
$$C_m = 0,6 - 0,4 \frac{M_1}{M_2}, \text{ dengan } \left| \frac{M_1}{M_2} \right| < 1,0 \dots \dots \dots (3.40)$$

Ratio $\frac{M_1}{M_2}$ akan positif bila batang tersebut melengkung dengan membentuk

lengkung ganda dan bernilai negatif bila sebaliknya.

3. Untuk komponen tak bergoyang dengan beban transversal nilai C_m ditentukan sebagai berikut.

- Batang dengan ujung terkekang, $C_m = 0,85$
- Batang dengan ujung tak terkekang, $C_m = 1,0$



Gambar 3.8 Ratio ($M1/M2$)

3.3.3 Faktor Panjang Efektif Pada Kolom (k)

Faktor panjang efektif (k) pada kolom dihitung dengan menggunakan grafik Johnson dan Moreland, dengan nilai G dicari dengan persamaan berikut ini.

$$G = \frac{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_{kolom}}{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_{balok}} \dots \dots \dots (3.41)$$

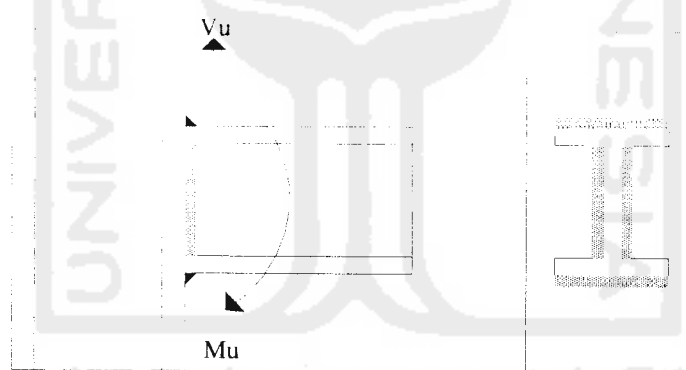
Keterangan:

I = momen inersia tampang

L = panjang kolom

3.3.4 Perencanaan Sambungan

Dalam perencanaan sambungan las dengan metode ASD ini pada dasarnya sama dengan metode LRFD. Perencanaan dengan metode ASD menggunakan rumus sebagai berikut. (Salmon dan Johnson, 1996)



Gambar 3.9 Sambungan Las

$$f_r = \sqrt{(f_x')^2 + (f_x'')^2} < 0,3, \text{ tegangan ijin las} \dots \dots \dots (3.42)$$

Nilai f_x' (tegangan akibat geser) dan f_x'' (tegangan akibat lentur) sama dengan dalam metode LRFD.

Tegangan ijin las tergantung dari proses las yang digunakan.

Proses SAW

Untuk $te < 3/8$ in $\rightarrow a = te$

Untuk $te > 3/8$ in $\rightarrow a = \frac{te - 0,11}{0,707}$

