

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pembebanan

Beban-beban yang bekerja pada struktur stadion Sleman adalah beban mati (*Dead Load*), beban hidup (*Live Load*) dan beban gempa (*Quake Load*).

3.1.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan layan tetap.

3.1.2 Beban Hidup

Beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan dan lain-lain.

3.1.3 Beban Gempa

Faktor-faktor penentu beban gempa rencana dengan metode statik ekivalen

Beban statik ekivalen adalah representasi dari beban gempa yang telah disederhanakan, yaitu penyederhanaan gaya inersia yang bekerja pada suatu massa yang disederhanakan menjadi suatu beban statik. Gaya inersia adalah suatu gaya yang bekerja pada suatu massa dengan arah yang berlawanan dengan arah gerakan massa yang bersangkutan

oleh adanya beban dinamis gempa. Jadi beban statik ekuivalen merupakan beban yang ekuivalen dengan beban gempa yang bekerja pada bangunan dalam batas tidak terjadi *overstress*.

Walaupun sifatnya merupakan penyederhanaan, tetapi bukan berarti bahwa metode statik ekuivalen tidak berdasar, karena beban tersebut sudah berdasar pada prinsip-prinsip dinamis, seperti dinamik karakteristik bangunan, jenis struktur (K) dan peruntukan bangunan (I). Dinamik karakteristik bangunan meliputi massa (M), kekakuan (K) dan redaman (Cc). Dalam konsep statik ekuivalen hanya massa yang diperhitungkan dan inilah yang menjadi perbedaan utama antara konsep statis dan konsep dinamis.

Beban geser dasar akibat gempa

Peraturan-peraturan perencanaan bangunan tahan gempa yang berlaku menetapkan suatu taraf beban gempa rencana yang menjamin suatu struktur tidak akan rusak pada saat dilanda gempa kecil atau sedang dan pada saat dilanda gempa kuat yang jarang terjadi. Struktur tersebut harus mampu berperilaku duktail dengan memancarkan energi gempa dan sekaligus membatasi beban gempa yang masuk kedalam struktur.

Setiap struktur gedung harus direncanakan dan dilaksanakan untuk menahan suatu beban geser dasar akibat gempa (V). Besarnya beban geser rencana (V) menurut Pedoman Perencanaan Ketahanan

Gempa untuk Rumah dan Gedung 1987 dapat dinyatakan sebagai berikut :

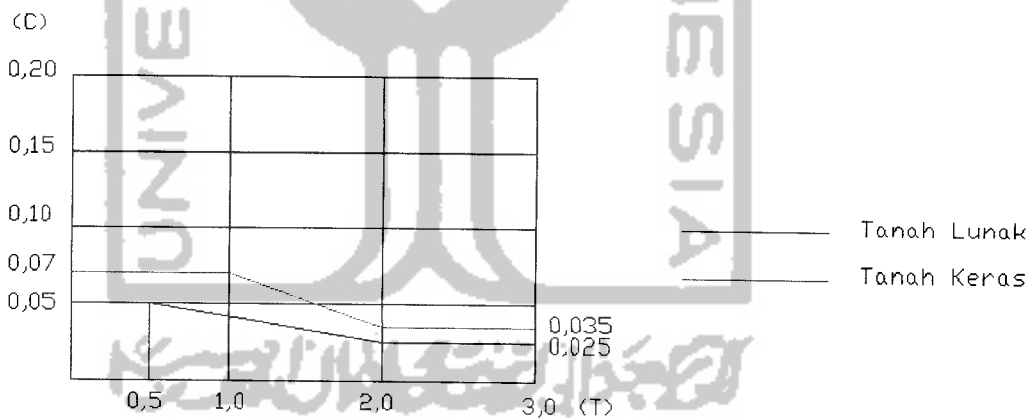
$$V = C \cdot I \cdot K \cdot W_t \dots\dots\dots (3.1)$$

dengan : V = Gaya geser dasar horizontal total akibat gempa

C = Koefisien gempa dasar, I = Faktor keutamaan struktur

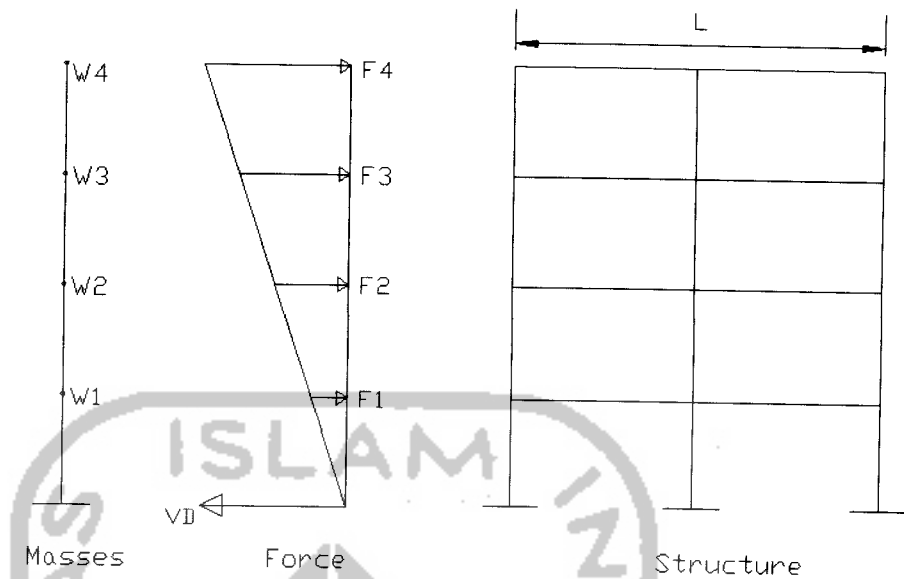
K = Faktor jenis struktur , W_t = Berat total bangunan

Nilai koefisien gempa dasar (C) dipengaruhi oleh periode getar struktur (T). Cara mencari koefisien gempa dasar adalah dengan menggunakan grafik respon spektrum seperti ditunjukkan pada gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 koefisien gempa dasar (C)

Untuk struktur baja periode getar struktur dihitung dengan rumus $T = 0,08.H^{3/4}$ dengan H adalah tinggi total bangunan.



Gambar 3.2 Massa, gaya dan struktur

Distribusi gaya geser horizontal akibat gempa ke sepanjang tinggi gedung menurut Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung 1987 dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$\text{Untuk } \frac{H}{L} \geq 3 \quad F_i = \frac{w_i \cdot h_i}{\sum w_i \cdot h_i} \cdot 0,9 \cdot V_b \dots\dots\dots (3.2)$$

Gaya geser sebesar 0,1.V ditambahkan pada Fi lantai paling atas

$$\text{Untuk } \frac{H}{L} < 3 \quad F_i = \frac{w_i \cdot h_i}{\sum w_i \cdot h_i} \cdot V_b \dots\dots\dots (3.3)$$

dengan : F_i = Gaya geser dasar akibat gempa lantai ke - i,

H_i = Tinggi lantai ke-i terhadap lantai dasar,

W_i = berat lantai ke - i, V_b = Gaya geser dasar total akibat gempa, L = Lebar total bangunan , H = Tinggi keseluruhan bangunan

Pembebanan gempa horizontal terhadap portal 2D dan 3D

Gempa horizontal yang bekerja pada portal 2D bekerja hanya pada satu arah saja sedangkan pada portal 3D beban gempa horizontal bekerja pada 2 arah yang saling tegak lurus, artinya gempa arah x dikerjakan pada unsur dalam arah itu dikombinasikan dengan pengaruh gempa arah y dikerjakan tegak lurus dengan arah x (PPKGURDG, 1987). Menurut PPKGURDG, 1987 beban gempa yang bekerja dalam masing-masing arah utama dengan dikombinasi dengan 0,3 beban gempa yang bekerja pada arah tegak lurus pada arah utama yang ditinjau. Kombinasi yang menghasilkan pengerahan kekuatan unsur yang maksimum adalah yang ditinjau atau dapat ditulis sebagai berikut :

- Gravitasi $\pm 100\%$ gempa arah x $\pm 30\%$ gempa arah y
- Gravitasi $\pm 30\%$ gempa arah x $\pm 100\%$ gempa arah y

Pada penulisan tugas akhir ini pembebanan pada struktur 3D dicoba dengan pembebanan yang sama besar dan arahnya dengan pembebanan struktur 2D.

3.2 Sistem Koordinat

Setiap model struktur menggunakan koordinat yang berbeda untuk menentukan joint dan arah beban, *displacements*, gaya dalam dan tegangan. Pengetahuan tentang sistem koordinat ini sangat penting dalam pemodelan struktur, baik pemodelan struktur 2 (dua) dimensi maupun pemodelan struktur 3 (tiga) dimensi, karena dalam menentukan model dan menginterpretasikan

hasil-hasil keluaran dari program, perencana harus mengetahui tentang sistem koordinat ini.

Semua sistem koordinat pada model ditentukan dengan mematuhi satu sistem koordinat global **X-Y-Z**. Setiap bagian dari model misalnya joint, elemen atau konstrain. Masing-masing mempunyai sistem koordinat lokal **1-2-3**. semua sistem koordinat ditunjukkan dengan sumbu tiga dimensi, menggunakan aturan tangan kanan dan menggunakan sistem *cartesian* (segi empat).

SAP selalu mengasumsikan sumbu Z ialah sumbu vertikal, dengan Z+ mengarah keatas. Arah keatas digunakan sebagai bantuan untuk menentukan sistem koordinat lokal itu sendiri tidak mempunyai sumbu arah vertikal.

3.2.1 Sistem koordinat Global

Sistem koordinat global merupakan koordinat dalam tiga dimensi, mengikuti aturan tangan kanan (*right handed*), dan merupakan koordinat *cartesian* (segi-empat). Tiga sumbu dengan notasi **X**, **Y** dan **Z** ialah sumbu yang saling tegak lurus sesuai dengan aturan tangan kanan. Letak dan orientasi sumbu global tersebut dapat berubah-ubah, misalkan sesuai dengan aturan tangan kanan.

Lokasi pada sistem koordinat global dapat ditentukan menggunakan variabel **X**, **Y** dan **Z**. Vektor dalam sistem koordinat global atau dengan memberikan arah koordinat. Arah koordinat ditunjukkan dengan nilai **X±**, **Y±** dan **Z±**. Sebagai contoh **X+**

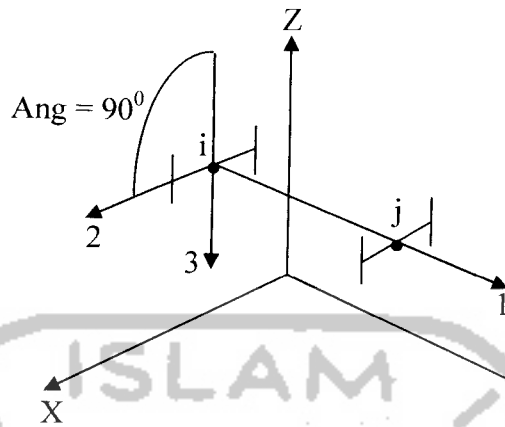
menunjukkan vektor sejajar dan searah dengan dengan sumbu X positif. Semua sistem koordinat yang lain pada model ditentukan berdasarkan sistem koordinat global ini.

SAP selalu mengasumsikan sumbu Z arahnya vertikal, dengan Z+ arah keatas. Sistem koordinat lokal untuk joint, elemen, dan gaya percepatan tanah ditentukan berdasarkan arah keatas tersebut. Beban berat sendiri arahnya selalu kebawah, pada arah Z-.

Bidang X-Y merupakan bidang horizontal.dengan sumbu X+ merupakan sumbu utama. Sudut pada bidang horizontal diukur dari sumbu positif X, dengan sudut positif ialah berlawanan arah dengan arah putaran jarum jam.

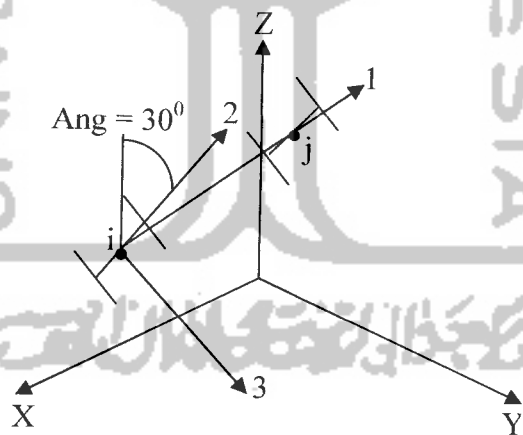
3.2.2 Sistem Koordinat Lokal

Pada setiap elemen frame mempunyai sistem koordinat lokal yang digunakan untuk menentukan potongan property, beban dan gaya keluaran. Sumbu – sumbu koordinat lokal ini dinyatakan dengan simbol 1, 2 dan 3. Sumbu 1 arahnya ialah searah sumbu elemen, dua sumbu yang lain tegak lurus dengan elemen tersebut dan arahnya dapat ditentukan sendiri oleh pengguna. Dalam menentukan sudut putar *ang* dapat dilihat pada gambar - gambar dibawah, sebagai berikut :



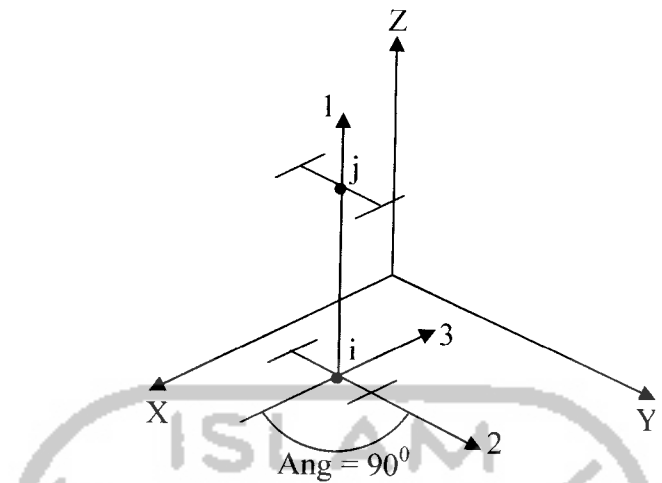
Sumbu lokal 1 sejajar sumbu Y-
Sumbulokal 2 diputar 90° dari bidang Z-1

Gambar 3.1. Menentukan sudut putar *ang*



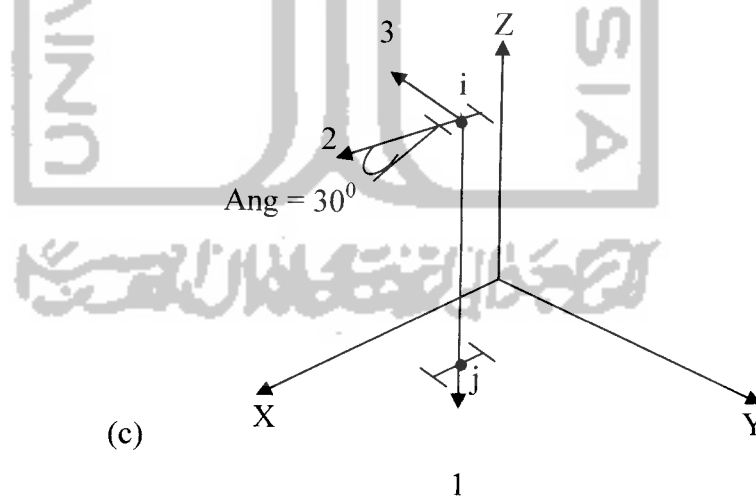
Sumbu lokal 1 sejajar dengan sumbu X, Y dan Z-
Sumbu lokal 2 diputar 30° dari bidang Z-1

Gambar 3.2. Menentukan sudut putar *ang*



Sumbu lokal 1 sejajar sumbu Z-
 Sumbu lokal 2 diputar 90° dari bidang X-1

Gambar 3.3. Menentukan sudut putar *ang*



Sumbu lokal 1 sejajar sumbu Y-
 Sumbulokal 2 diputar 90° dari bidang $Z-1$

Gambar 3.4. Menentukan sudut putar *ang*

Koordinat lokal 1-2-3 dan koordinat global **X-Y-Z** ini menggunakan aturan tangan kanan. Namun untuk koordinat lokal, arah sumbu lokalnya bebas ditentukan arahnya selama hal tersebut memudahkan dalam memasukan data dan menginterpretasikan hasilnya.

Untuk menentukan sistem koordinat lokal elemen yang umum, dapat menggunakan **orientansi default** dan **sudut koordinat elemen frame**, yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Sumbu lokal 1 arahnya selalu memanjang arah sumbu elemen, arah positif ialah dari ujung **i** keujung **j**.
2. Orientasi sumbu default sumbu lokal 2 dan 3 ditentukan oleh hubungan diantara sumbu lokal 1 dan sumbu global **Z** sebagai berikut :
 - Jika sumbu lokal 1 arahnya horisontal, maka bidang 1 – 2 dibuat sejajar dengan sumbu **Z**.
 - Jika sumbu lokal 1 arahnya keatas (**Z+**), maka arah sumbu lokal 2 sejajar dengan sumbu lokal **X+**.
 - Sumbu lokal 3 arahnya selalu horisontal searah bidang **X-Y**.

Oleh program, elemen dianggap vertikal jika sinus sudut antara sumbu 1 dan sumbu **Z** kurang dari 10^{-3} .

3. Sudut koordinat *ang* digunakan untuk menentukan orientasi elemen yang berbeda dengan orientansi default. sudut ini memutar sumbu lokal 2 dan 3 terhadap sumbu 1 dari posisi orientansi default.

Rotasi positif ialah arah berlawanan jarum jam apabila sumbu 1 menuju ke arah pengamat.

Untuk elemen vertikal sudut *ang* ialah sudut antara sumbu lokal 2 dan sumbu X+ horisontal. Dengan kata lain *ang* ialah sudut antara sumbu lokal 2 dan bidang vertikal yang dilalui sumbu lokal 1.

3.3 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 metode plastis, yaitu dengan mempertimbangkan tegangan ultimit. Dalam metode ini, beban-beban yang terjadi dikalikan dengan suatu faktor (*overcapacity factor*) yang nilainya lebih dari 1 (*undercapacity factor*). Filosofi perencanaan dengan metode LRFD adalah sebagai berikut.

Gaya yang dapat digunakan $\geq \Sigma$ Gaya akibat beban terfaktor

3.3.1 Kombinasi Pembebanan Dalam LRFD

Menurut Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung 2000, Kombinasi pembebanan dalam perencanaan struktur baja dengan metode LRFD adalah sebagai berikut.

$$1,4 D \dots\dots\dots (3.4)$$

$$1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_a \text{ atau } H) \dots\dots\dots (3.5)$$

$$1,2 D + 1,6 (L_a \text{ atau } H) + (\gamma_L L \text{ atau } 0,8W) \dots\dots\dots (3.6)$$

$$1,2 D + 1,3 W + \gamma_L L + 0,5 (La \text{ atau } H) \dots\dots\dots (3.7)$$

$$1,2 D + 1,0 E + \gamma_L L \dots\dots\dots (3.8)$$

$$0,9 D - (1,3W \text{ atau } 1,0E) \dots\dots\dots (3.9)$$

dengan : D = beban mati, L = beban hidup

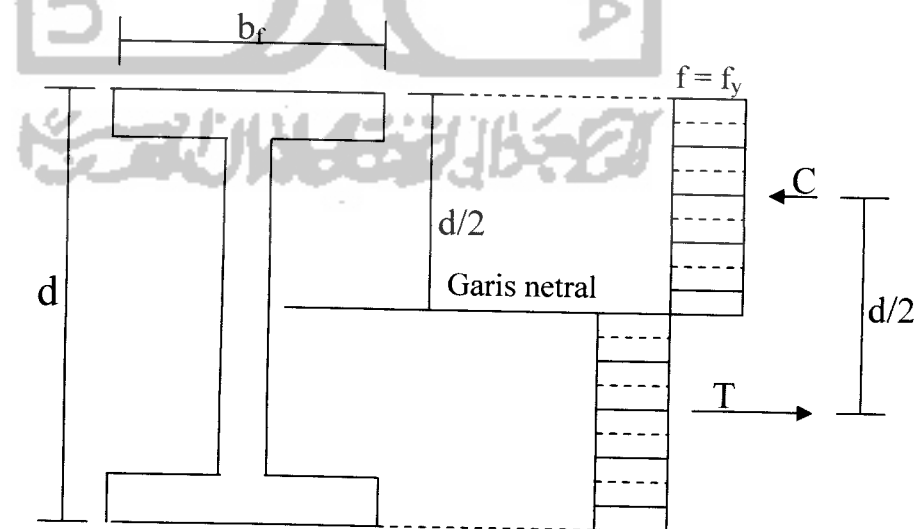
La = beban hidup di atap selama perawatan atau selama penggunaan, H = beban hujan, W = beban angin, E = beban gempa, $\gamma_L = 0,5$ bila $L < 5 \text{ kN m}^2$, dan $\gamma_L = 1,0$ bila $L \geq 5 \text{ kN/m}^2$

3.3.2 Perencanaan Lentur Balok

Suatu balok yang menahan momen lentur harus memenuhi persamaan

$$M_u \leq \phi M_n \dots\dots\dots (3.10)$$

dengan : M_u = momen lentur terfaktor , ϕ = faktor reduksi yang nilainya 0,9, M_n = kuat lentur normal penampang



Gambar 3.5. Distribusi tegangan

Menurut AISCM-LRFD kuat lentur nominal penampang dihitung dengan rumus – rumus sebagai berikut:

a. Untuk penampang kompak

Kriteria penampang kompak adalah penampang yang memenuhi :

1. Rasio lebar sayap terhadap tebal sayap

$$\frac{b}{2.t_f} \leq \frac{171}{\sqrt{F_y(Mpa)}} \dots\dots\dots (3.11)$$

2. Rasio tinggi badan terhadap tebal memenuhi

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y(Mpa)}} \dots\dots\dots (3.12)$$

dengan : b = lebar sayap, t_f = tebal sayap, d = tinggi penampang

t_w = tebal badan, f_y = tegangan leleh (Mpa)

Kuat lentur penampang kompak dipengaruhi oleh panjang bentang antara dua dukungan lateral (L)

Kasus 1 ($L \leq L_p$)

Kuat komponen struktur yang memenuhi $L \leq L_p$ kuat nominal

komponen struktur terhadap lentur adalah

$$M_n = M_p = Z . f_y \dots\dots\dots (3.13)$$

dengan : $L_p = 1,76 . r_y . \sqrt{\frac{E}{f_y}}$, (Mpa), Z = 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

$$M_n = C_b \left\{ M_r + (M_p - M_r) \left[\frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right] \right\} \leq M_p \dots\dots\dots (3.14)$$

dengan : $M_r = (f_y - f_r) \cdot S_x$

$$L_r = \frac{r_y \cdot X_1}{(f_y - f_r)} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 (f_y - f_r)^2}} \dots\dots\dots (3.15)$$

$$X_1 = \frac{\pi \sqrt{EGJ}}{S} \quad , \quad J = \text{konstanta puntir torsi}$$

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

Nilai X_1 dan X_2 bisa dilihat ditabel AISC-LRFD.

C_b = faktor pengali momen, yang besarnya dapat dihitung dengan

$$C_b = 1,75 + 1,05 \cdot \frac{M_1}{M_2} + 0,3 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2,3 \dots\dots\dots (3.16)$$

dengan : $\left(\frac{M_1}{M_2} \right)$ adalah rasio momen-momen ujung, bertanda positif

jika M_1 dan M_2 membentuk lengkung ganda (*double curvature*), bertanda negatif bila membentuk lengkung tunggal (*single curvature*)

C_b sama dengan 1,0 untuk batang yang tidak ada tambahan lateralnya.

Kasus 3 ($L > L_r$)

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

$$M_n = M_{cr} \leq M_p \dots\dots\dots (3.17)$$

dengan : $M_{cr} = \frac{c_b \cdot S_x \cdot X_1 \cdot \sqrt{2}}{(L/r_x)} \sqrt{1 + \frac{X_1^2 \cdot X_2}{2 \cdot (L/r_y)^2}} \dots\dots\dots (3.18)$

3.3.3 Perencanaan Kolom

Menurut AISC LRFD komponen struktur yang mengalami momen lentur dan gaya aksial direncanakan menurut persamaan berikut ini.

o **Pada portal 3D**

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

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots (3.19)$$

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

$$\frac{P_u}{2 \cdot \phi P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots (3.20)$$

dengan : P_u = gaya aksial terfaktor, P_n = Kuat nominal penampang

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

M_u = momen lentur terfaktor terhadap sumbu-x dan sumbu-y

M_n = kuat nominal lentur penampang terhadap sb-x dan sb-y

o Pada portal 2D

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

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_u}{\phi_b \cdot M_n} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots (3.21)$$

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

$$\frac{P_u}{2 \cdot \phi P_n} + \left(\frac{M_u}{\phi_b \cdot M_n} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots (3.22)$$

Perbandingan kekakuan pada rangka portal

$$G = \frac{\sum \left(\frac{I_c}{L_c} \right)}{\sum \left(\frac{I_g}{L_g} \right)} \dots\dots\dots (3.23)$$

dengan : G = Perbandingan total kekakuan kolom dalam suatu join terhadap kekakuan balok dalam suatu join yang sama,

I_c = Momen inersia kolom, L_c = Panjang kolom, I_g = Momen inersia balok, L_g = Panjang balok

$$\text{Rasio kerampingan} = \frac{K_l}{r} \dots\dots\dots (3.24)$$

diambil yang terbesar antara : $\frac{K_l}{r_x}$ dan $\frac{K_l}{r_y}$

dengan K_l = Panjang efektif kolom

Kuat nominal penampang

$$\phi P_n = \phi F_{cr} \cdot A_g \dots\dots\dots (3.25)$$

dengan : F_{cr} = Tegangan kritis, A_g = Luas bruto

Dalam perencanaan baja tahan gempa maka harus direncanakan dengan konsep “*Strong column weak beam*”. Untuk mendapatkan tujuan tersebut maka digunakan rumus berikut ini.

Gaya aksial kolom rencana (P_u) untuk kolom eksterior.

$$P_u = 1,2 P_D + P_L + P_E \dots\dots\dots (3.24)$$

Gaya aksial kolom rencana (P_u) untuk kolom interior

$$P_u = 1,2 \cdot P_D + P_L \dots\dots\dots (3.25)$$

Momen rencana kolom (M_u) untuk kolom eksterior

$$M_u = M_{pb} \cdot \left(\frac{L}{L_b} \right) \cdot \left(\frac{h_c}{2h} \right) \dots\dots\dots (3.26)$$

Momen rencana kolom (M_u) untuk kolom interior

$$M_u = 2 \cdot M_{pb} \cdot \left(\frac{L}{L_b} \right) \cdot \left(\frac{h_c}{2 \cdot h} \right) \dots\dots\dots (3.27)$$

dengan : 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_b = panjang tanpa penopang lateral, L = bentang balok dari as ke as, h = tinggi kolom dari as ke as

3.3.4 Perencanaan Sambungan Balok dengan Kolom

a. Sambungan menahan tarik/desak

Momen plastis yang terjadi pada balok akan didistribusikan menjadi tegangan/gaya tarik dan tekan pada sayap balok sebesar :

$$T_u = \frac{M_f}{0,95.d} \dots\dots\dots (3.40)$$

dengan : T_u = kuat tarik/tekan terfaktor (KN), M_f = momen plastis yang terjadi pada muka kolom (KN.m), d = tinggi keseluruhan profil (mm).

Pada umumnya elemen tarik dapat mengalami retak akibat pelelehan pada penampang bruto, maupun retakan pada penampang bersihnya. Sehingga tebal plat sambung (*flange plate*) didesain berdasarkan nilai terkecil dari dua kondisi :

1) Kondisi pelelehan tarik pada penampang bruto (A_g) :

$$T_u \leq \phi.T_n \dots\dots\dots (3.41)$$

$$\phi.T_n = \phi.F_y . A_g \dots\dots\dots (3.42)$$

dengan : T_u = gaya tarik/tekan terfaktor (KN), $\phi.T_n$ = gaya tarik/tekan nominal (KN), dengan ϕ adalah faktor reduksi tarik/tekan (0,9), A_g = luas penampang bruto *flange plate* (mm²).

2) Kondisi fraktur/retakan pada penampang bersih (A_e) :

$$\phi.T_n = \phi.F_u . A_e \dots\dots\dots (3.43)$$

dengan : ϕ = faktor reduksi untuk retakan (0,75), A_e = luas penampang bersih profil (mm^2) $A_e = U.A_n$, U adalah koefisien reduksi sama dengan 1 untuk elemen penghubung, A_n = luas tampang *netto* (mm^2).

Perhitungan selanjutnya yaitu menentukan jumlah baut yang diperlukan untuk mentransfer gaya tarik dan tekan pada bagian atas dan bawah balok :

Menentukan kuat geser satu baut

$$\phi.R_n = \phi \cdot (0,6.F_u^b) \cdot m \cdot A_b \dots\dots\dots (3.44)$$

Kebutuhan baut minimal untuk menahan geser

$$n_{\min} = \frac{T_u}{\phi.R_n} \dots\dots\dots (3.45)$$

dengan : $\phi.R_n$ = kuat geser baut (KN), T_u = gaya tarik/tekan terfaktor (KN), F_u^b = tegangan tarik material baut (KN), m = banyaknya bidang geser, A_b = luas penampang lintang bruto dari satu baut (mm^2).

Untuk menghindari kegagalan tumpu pada masing-masing elemen yang disambung, maka kuat tumpu elemen yang paling kritis (sayap balok/*flange plate*) harus lebih besar dari tegangan yang terjadi, yaitu sebesar :

$$\phi.R_n = \phi \cdot 2,4 \cdot F_u \cdot d_b \cdot t \geq \phi.R_n \dots\dots\dots (3.46)$$

dengan : $\phi = 0,75$, db = diameter baut (mm), t = tebal bagian yang paling kritis menahan beban (mm)

Perhitungan selanjutnya yaitu mengontrol blok geser pada sayap balok.

Tegangan tarik dan tekan (T_n) merupakan nilai terbesar dari :

1. Pelelehan geser – peretakan tarik

$$T_n = 0,6 \cdot F_y \cdot A_{vg} + F_u \cdot A_{nt} \dots\dots\dots (3.47)$$

2. Peretakan geser – pelelehan tarik

$$T_n = 0,6 \cdot F_u \cdot A_{ns} + F_y \cdot A_{tg} \dots\dots\dots (3.48)$$

dengan : A_{vg} = luas bruto yang mengalami pelelehan geser (mm^2), A_{tg} = luas bruto yang mengalami pelelehan tarik (mm^2), A_{ns} = luas netto yang mengalami retakan geser (mm^2), A_{nt} = luas netto yang mengalami retakan geser (mm^2).

Cek blok geser pada bagian yang paling kritis dalam menahan

beban : $\phi \cdot T_n \geq T_u \quad (\phi = 0,75) \dots\dots\dots (3.49)$

b. Sambungan yang menahan geser

Transfer gaya geser dari balok ke kolom, merupakan nilai terkecil dari :

$$V_f = \frac{2 \cdot M_f}{L_n} + V_g \dots\dots\dots (3.50)$$

$$V_f = 1,05 \left(V_D + V_L + \frac{4}{K} \cdot V_E \right) \dots\dots\dots (3.51)$$

$$\text{Jumlah baut } n = \frac{V_f}{\phi \cdot R_n} \dots\dots\dots (3.52)$$

Menentukan tebal plat geser yang dibutuhkan untuk meletakkan baut pada plat dengan cara coba-coba, dimana plat geser harus kuat terhadap geser leleh pada plat :

$$\phi \cdot R_n = \phi \cdot (0,6 \cdot F_y) \cdot A_g \geq V_f \dots\dots\dots (3.53)$$

dengan : $\phi = 0,9$, F_y = tegangan leleh profil baja (Mpa), A_g = luas tampang bruto pada plat geser (mm^2)

Geser fraktur pada plat :

$$\phi \cdot R_n = \phi \cdot (0,6 \cdot F_u) \cdot A_n \geq V_f \dots\dots\dots (3.54)$$

dengan : $\phi = 0,75$, F_u = tegangan tarik baja struktur (KN), A_n = luas tampang netto pada plat geser (mm^2)

Kemudian perhitungan selanjutnya yaitu mengontrol blok geser yang terjadi pada sayap balok, dapat digunakan rumus sesuai dengan persamaan 3.47 sampai dengan 3.49.

Menentukan panjang las fillet pada plat geser, pertama harus menentukan kekuatan las sambung antara plat geser ke sayap kolom ditentukan dengan resistensi geser melalui leher las sebesar

$$\phi R_{nw} = \phi \cdot (0,6 \cdot F_{Exx}) \cdot t_c \dots\dots\dots (3.55)$$

Tapi tidak perlu lebih besar dari kekuatan fraktur geser dari logam dasar sebesar

$$\phi R_{nw} = \phi \cdot (0,6 \cdot F_u) \cdot t_{pl} \dots\dots\dots (3.56)$$

dengan : F_{Exx} = kekuatan tarik elektroda las (KN), t_c = dimensi leher efektif, t_{pl} = tebal material dasar sepanjang las (mm)

Panjang las yang dibutuhkan

$$P_{las} = \frac{Vf}{\phi \cdot R_{nw}} \dots\dots\dots (3.57)$$

dengan : Vf = gaya geser dari balok ke kolom (KN), ϕR_{nw} = kekuatan las terhadap geser/fraktur (KN.m)

3.3.5 Perencanaan Sambungan Kolom dengan Kolom

Sambungan kolom dilakukan karena adanya keterbatasan panjang profil yang tersedia dan perbedaan profil yang dipakai. Dalam perencanaannya sambungan dibagi menjadi dua, yaitu sambungan badan dan sambungan sayap.

Sambungan sayap merupakan sambungan yang berada pada sayap kolom. Sambungan ini dibagi menjadi dua, yaitu sambungan pelat sayap dalam dan sambungan pelat sayap luar. Perencanaan awal yaitu menentukan besarnya gaya yang terjadi pada kedua sayap kolom akibat momen rencana kolom sebagai berikut :

$$P_{uf} = \frac{Mu_k}{0,95.d} \dots\dots\dots (3.58)$$

dengan : P_{uf} = gaya pada tiap sayap kolom (KN), Mu_k adalah momen rencana kolom didapat dari analisis struktur (KN.m), d = lebar/tinggi profil kolom keseluruhan (mm).

a. Sambungan pada sayap

Menentukan kuat geser satu baut sesuai dengan persamaan 3.44, selanjutnya menghitung jumlah baut minimum yang diperlukan pada sambungan diperoleh melalui persamaan 3.58 sebagai berikut :

$$n \text{ perlu} = \frac{P_{uf}}{2 \cdot \phi \cdot R_n} \dots\dots\dots (3.59)$$

Kontrol kekuatan sayap kolom

Untuk $\phi \cdot R_n > P_{uf}$ (3.60)

Fu. Ant > 0,60. fu. Ans, maka

$$\phi \cdot R_n = \phi (f_u \cdot A_{nt} + 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gs}) \dots\dots\dots (3.61)$$

Desain plat sambung pada sayap

Setelah jumlah baut diketahui, maka langkah selanjutnya adalah mendesain pelat sambung. Lebar pelat sambung ditentukan dengan cara coba-coba, setelah itu menentukan luas penampang

bruto flange plate (mm²).

$$A_g = \frac{P_{u_f}}{0,9 \cdot F_y (Mpa)} \dots\dots\dots (3.62)$$

Kemudian mengontrol kekuatan pelat sambung, sesuai dengan persamaan 3.63 dibawah ini.

$$\phi \cdot R_n = \phi \cdot f_u \cdot A_{nt} > \frac{P_{u_f}}{2} \dots\dots\dots (3.63)$$

dengan : $\phi = 0,75$, F_u = tegangan tarik baja struktur (Mpa), A_{nt} = luas tampang netto pada plat geser (mm^2)

Kemudian dikontrol blok geser plat sambung menggunakan persamaan 3.64 dibawah ini.

$F_u.A_{nt} < 0,60.f_u.A_{ns}$, maka

$$\phi.R_n = \phi(0,6.f_u.A_{ns} + f_y.A_{gt}) > \frac{P_u}{2} \dots\dots\dots (3.64)$$

dengan : $\phi = 0,75$, F_u = tegangan tarik baja struktur (KN), A_{nt} = luas netto yang mengalami retakan geser (mm^2), A_{ns} = luas netto yang mengalami retakan geser (mm^2), A_{gt} = luas tampang bruto pada plat geser (mm^2), P_u = gaya pada tiap sayap kolom (KN), $\phi.R_n$ = kuat tumpu satu baut (KN).

Kemudian kontrol kuat tumpu plat sambung kolom dengan persamaan (3.65) dibawah ini.

$$\phi.R_n = \phi. 2,4. F_u. D_b. t_p > \frac{P_u}{2} \dots\dots\dots (3.65)$$

dengan : F_u = tegangan ultimit baja (KN), d_b diameter baut (mm), t_p = tebal sayap kolom (mm), A_{nt} = luas netto pelat sambung (mm^2), $\phi = 0,75$.

b. Sambungan pada badan

Sambungan badan merupakan sambungan yang berada pada badan kolom, gaya pada badan kolom diperoleh melalui persamaan 3.66 dibawah ini

$$P_{uw} = \frac{P_{u,k} \cdot A_g}{A} \dots\dots\dots (3.66)$$

Desain plat sambung pada badan kolom

Desain pelat sambung kolom pada badan dapat menggunakan persamaan 3. 62 sampai dengan 3.65 dapat dipakai.

3.3.6 Perencanaan Pelat Dasar Kolom

Pelat dasar kolom merupakan penghubung antara kolom baja dengan kaki kolom beton (Pedestal). Dalam perencanaannya pelat dasar kolom akan didesain berdasarkan beban aksial dan momen yang terjadi didasar kolom. Desain plat dasar kolom dipengaruhi oleh momen arah x ($M_{u,kx}$) dan arah y ($M_{u,ky}$).

Kesetimbangan momen pada pusat gaya aksial T :

$$P_{u,k} \left(\frac{dc}{2} + \frac{bf_{ca}}{2} \right) + M_{u,k_x} + M_{u,k_y} = R \left(dc + bf_{ca} - \frac{tf}{2} \right) \dots(3.77)$$

Diasumsikan luas bidang tekan efektif penumpu akibat momen yang bekerja adalah (X.B), sehingga gaya tekan yang terjadi harus memenuhi :

$$\phi P_p \geq P_u \dots\dots\dots (3.78)$$

$$\phi(0,5 \cdot F_p \cdot X.B) = P_u$$

$$F_p = 0,85 \cdot F_y < \text{Tegangan desak beton (fy dalam Mpa)}$$

$$\text{Jarak dari pusat flens ke ujung pelat} = 1/3 \cdot X \dots\dots\dots (3.79)$$

Panjang pelat dasar yang dibutuhkan

$$L = (2.X) + (dc - tf) \dots\dots\dots (3.80)$$

dengan : X = panjang bidang tekan (mm), dc adalah tinggi keseluruhan profil baja (mm), tf = tebal sayap dari profil baja (mm).

Menentukan jarak tepi pelat dasar kolom dengan profil baja pada arah lebar dan panjang

$$m = \frac{L - 0,95.dc}{2} \dots\dots\dots (3.81)$$

$$n = \frac{B - 0,8.bf}{2} \dots\dots\dots (3.82)$$

Tegangan pada ujung pelat :

$$f_p = \frac{Pu}{B.L} \pm \frac{Mu, kx}{\frac{1}{6} B.L} \pm \frac{Mu, ky}{\frac{1}{6} B.L} < F_p \text{ (fy dalam Mpa) } \dots\dots (3.83)$$

Cek kapasitas penumpu (pedestal)

$$\phi P_p \geq P_u \dots\dots\dots (3.84)$$

$$\phi P_p = \phi_c . F_p . A \dots\dots\dots (3.85)$$

Momen lentur pelat titik A, sepanjang B (tegak lurus gambar)

$$M_u = 0,5 . (f_{p_{max}} - y) . \frac{x}{3} \left(\frac{2}{3} \cdot \frac{x}{3} \right) B + y . \frac{x}{3} \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{x}{3} \right) B \dots\dots (3.86)$$

Batas pelelehan untuk lentur pada pelat menghendaki

$$\phi M_n \geq M_u \dots\dots\dots (3.89)$$

$$\phi M_n = \phi M_p = \phi_b . Z . f_y = 0,9 \left(\frac{B . t_p^2}{4} \right) . f_y \geq M_u \dots\dots (3.90)$$

Tebal pelat yang diperlukan

$$t_p = \sqrt{\frac{4 \cdot Mu}{0,9 \cdot B \cdot f_y}} \dots\dots\dots (3.91)$$

Perencanaan baut angkur arah y yang menahan Mu, kx

$$T = \frac{Mu, kx}{d} \dots\dots\dots (3.92)$$

Kapasitas tarik satu angkur (ϕT_n)

$$\phi T_n = \phi \cdot 0,75 \cdot f_u \cdot A_b \dots\dots\dots (3.93)$$

Jumlah angkur minimum yang diperlukan

$$n = \frac{T}{\phi T_n} \dots\dots\dots (3.94)$$

Kedalaman angkur :

Gaya tarik yang ditahan satu angkur

$$T_n = \frac{T}{n} \dots\dots\dots (3.95)$$

Tegangan ijin tarik beton :

$$f_t' = 0,57 \sqrt{f_c'} (Mpa) \dots\dots\dots (3.96)$$

gaya tarik = luas permukaan angkur \times tegangan ijin tarik beton

$$T_n = \pi \cdot D \cdot L \cdot f_t' \dots\dots\dots (3.97)$$

Kedalaman angkur yang diperlukan

$$H = \frac{T_n}{\pi \cdot D \cdot f_t'} \dots\dots\dots (3.98)$$

dengan : T_n = gaya tarik yang terjadi pada angkur (KN), D = diameter angkur (mm), f_t' = tegangan ijin tarik beton (Mpa).

Perencanaan angkur arah y yang menahan $M_{u,y}$ sama dengan perencanaan angkur arah x, sehingga persamaan (3.94) sampai dengan (3.98) dapat dipakai.

3.3.7 Perencanaan Pedestal (kaki kolom)

Pedestal (kaki kolom) merupakan elemen struktur yang berfungsi sebagai tempat perletakan pelat dasar kolom, terbuat dari beton. Dalam desainnya pedestal dirancang mempunyai dimensi yang lebih besar dari pelat dasar kolom dan tinggi pedestal harus lebih dari kedalaman angkur.

Tulangan longitudinal/lentur pedestal

Rasio tulangan pakai, $\rho = 1\%$

$$A_{st} = 0,01 \cdot A_g \dots\dots\dots (3.99)$$

Menentukan jumlah tulangan longitudinal

$$n = \frac{A_{st}}{A_{\phi 22}} \dots\dots\dots (3.100)$$

Tulangan sengkang

$$V_s = \frac{V_u \cdot k_{pakat}}{\phi} \dots\dots\dots (3.101)$$

Jarak antar tulangan

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \dots\dots\dots (3.102)$$