BAB III
LANDASAN TEORI

3.1. Umum

Konstruksi atap gantung merupakan suatu struktur statis tak tentu berderajad tinggi, dimana gaya-gaya dalam yang bekerja dipengaruhi oleh kekakuan elemen penunjang utamanya, yaitu kuda-kuda beserta kabel penggantung dan menara. Konstruksi atap gantung merupakan struktur dengan banyak derajad kebebasan (*muity degree of freedom*), maka dalam perencanaannya membutuhkan ketelitian yang tinggi terhadap tegangan maupun deformasi, hal ini dilakukan baik untuk analisis statik maupun dinamik. Oleh karenanya dalam analisis, perancangan struktur didukung program aplikasi komputer yang memadai, misalnya program aplikasi SAP90.

3.2. Standar-Standar Perencanaan

Perencanaan konstruksi atap gantung akan mengarah pada hasil berupa bangunan yang ekonomis, nyaman dan kuat untuk menahan beban yang bekerja. Standar perencanaan yang dipakai dalam konstruksi atap gantung ini adalah :

1. Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung, 1987, Departemen Pekerjaan Umum.

2. Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung, 1987, Departemen Pekerjaan Umum.
3. Spesifikasi Perencanaan Baja AISC, *Manual of Steel Construction Allowable Stress Design.*
4. Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia, 1983, Departeman Pekerjaan Umum.

3.3. Perencanaan Pembebanan

Dasar perencanaan pembebanan gedung disesuaikan dengan Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (1987), sebagai berikut :

1. Beban mati, ialah semua beban yang berasal dari berat bangunan dan atau unsur bangunan, termasuk segala unsur tambahan tetap yang merupakan satu kesatuan dengannya.
2. Beban hidup, ialah semua beban tidak tetap, kecuali beban angin, beban gempa dan pengaruh-pengaruh khusus yang dapat diharapkan membebani bangunan dan atau unsur bangunan.
3. Beban angin, ialah semua beban pada bangunan dan atau unsur bangunan disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.
4. Beban gempa, ialah semua beban pada bangunan dan atau unsur bangunan disebabkan oleh pengaruh gempa.
5. Pengaruh-pengaruh khusus, ialah semua pengaruh terhadap bangunan dan atau unsur bangunan yang diakibatkan oleh : selisih, suhu, pemasangan (*erection*), penurunan pondasi, susut, gaya rem, gaya sentrifugal, beban berulang dan pengaruh-pengaruh khusus lainnya.

3.3.1. Kombinasi pembebanan

Menurut *American Institute of Steel Construction* (AISC), struktur gedung harus direncanakan kekuatannya terhadap kombinasi pembebanan sebagai berikut :

1. Kombinasi I : $1{,}4.W_D$
2. Kombinasi II : $1{,}2.W_D + 1{,}6.W_L$
3. Kombinasi III : $1{,}2.W_D + 1{,}6.W_L + 0{,}8.W_W$
4. Kombinasi IV : $0{,}9.W_D \pm W_E$

Dengan : W_D = beban mati W_E = beban gempa

W_L = beban hidup W_W = beban angin

Dari keempat jenis pembebanan tersebut, dipilih kombinasi pembebanan yang paling menentukan untuk digunakan sebagai beban rencana.

3.3.2. Analisis gaya gempa statik ekuivalen

Analisis beban gempa bertujuan untuk menghitung gaya horisontal yang terjadi pada suatu bangunan sebagai akibat dari respon gempa. Analisis beban gempa menggunakan metode statik ekuivalen hanya merupakan suatu cara pendekatan dari sifat dinamik yang sesungguhnya terjadi pada bangunan akibat dari respon gempa yang diterima.

Adapun prosedur perencanaan menggunakan metode ini menurut Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung (1987), sebagai berikut :

1. Menghitung berat lantai total, $W_t = W_D + W_L$
2. Menghitung waktu getar alami dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$T = 0{,}085.H^{0,75}$ (untuk portal baja)

Dengan : T = waktu getar alami struktur

H = tinggi total struktur

3. Menentukan koefisien gempa dasar (C), berdasarkan kondisi tanah dan wilayah dimana struktur yang ditinjau berada.
4. Menentukan faktor keutamaan gedung (I), berdasarkan kegunaan struktur yang akan dibuat.
5. Menentukan faktor jenis (K), berdasarkan jenis struktur dan bahannya.
6. Menentukan gaya geser horisontal total akibat gempa dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$V = C.I.K.W_t$

Dengan : V = gaya geser horisontal akibat gempa

C = koefisien gempa dasar

I = faktor keutamaan gedung

K = faktor jenis struktur

W_t = berat total struktur

7. Kontrol nilai rasio lebar dan tinggi struktur untuk pendistribusian gaya geser, sebagai berikut :

a. Jika $\frac{H}{B} > 3$, maka distribusi tiap tingkat dihitung sebagai berikut :

$F_{atap} = 0{,}10.V$

$Fi = \frac{Wi.Hi}{Wi.Hi}.0{,}9.V$

b. *Jika* $\frac{H}{B} < 3$, *maka distribusi tingkat dihitung sebagai berikut :*

$$Fi = \frac{Wi.Hi}{Wi.Hi}.V$$

dengan : Fi = gaya gempa lantai i

Wi = berat lantai i

Hi = tinggi lantai I

V = gaya geser horisontal total

3.4 Perilaku Struktur Kabel

Proses desain konstruksi atap gantung terdiri dari beberapa tahap (Walther, 1988), diantaranya adalah perhitungan untuk menentukan ukuran kabel. Terdapat beberapa macam teori untuk menganalisa tentang perilaku kabel tersebut, diantaranya yang paling sederhana adalah teori elastis (*The Elastic Theory*). Menurut Steinman (1928), perhitungan atap gantung dengan metode teori elastis dapat dilaksanakan bila dianggap bahwa elemen kuda-kuda cukup kaku, sehingga perubahan bentuk dari kabel karena beban bergerak dapat diabaikan atau dianggap lengan momen gaya-gaya tidak berubah oleh perubahan bentuk seluruh sistem. Namun demikian, dapat pula elemen kuda-kuda direncanakan tidak kaku atau bentang atap sangat lebar, sehingga lenturan dari elemen kuda-kuda dan kabel tidak dapat lagi diabaikan. Untuk kasus yang semacam ini, telah disusun metode perhitungan yang tepat dikenal sebagai teori defleksi (*Deflection Theory*), dalam teori ini memperhitungkan perubahan yang terjadi pada sistem atap gantung.

Lebih lanjut Steinman (1928), menyatakan bahwa teori elastis didasarkan pada asumsi-asumsi sebagai berikut ini :

1. Kabel diumpamakan menggantung secara bebas berbentuk poligon seimbang akibat gaya penggantung (*suspender*) yang fleksibel sempurna.
2. Rangka kuda-kuda dianggap suatu gelagar yang lurus, mempunyai momen inersia yang konstan dan digantung pada kabel sepanjang bentangnya.
3. Beban mati elemen-elemen atap dan kabel dianggap terbagi merata sepanjang bentang , sehingga kurva kabel berbentuk parabola.
4. Bentuk dan ordinat kabel tidak berubah akibat pembebanan.
5. Beban mati seluruhnya dipikul oleh kabel, sehingga gaya-gaya yang terjadi dalam elemen-elemen atap hanya disebabkan oleh beban hidup.

3.5 Teori Umum Perilaku Kabel

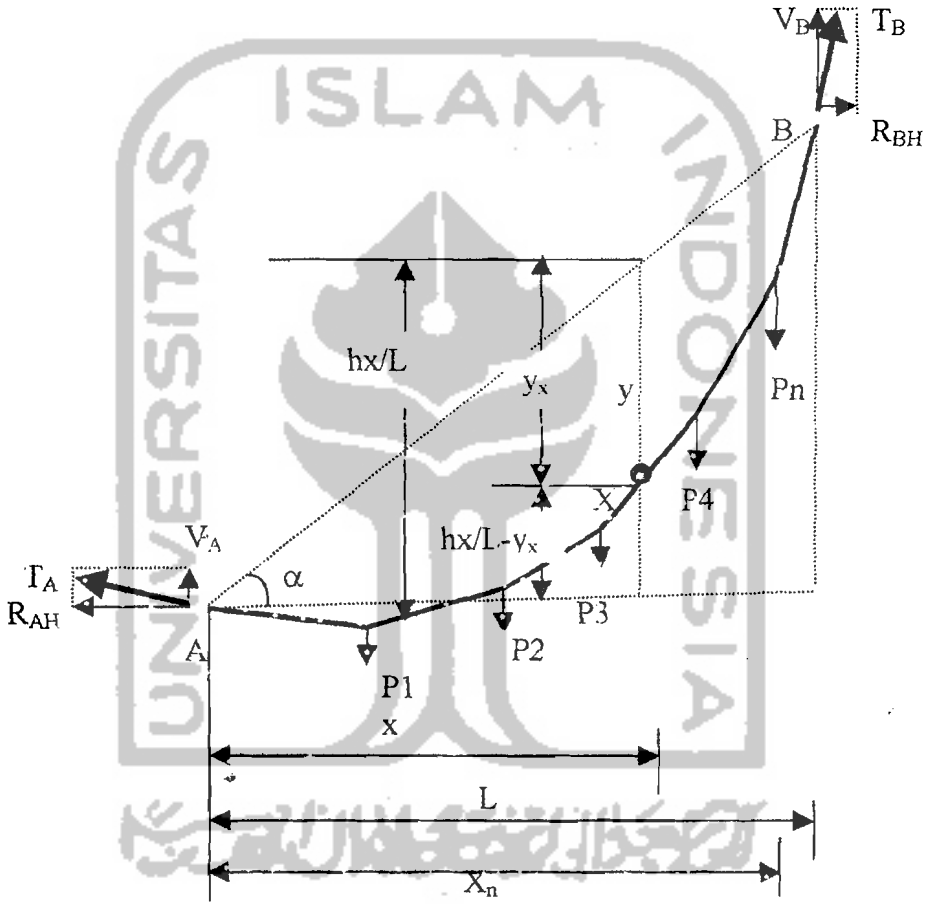
Teori umum mengenai perilaku kabel menurut Schodek (1991) dapat dijelaskan seperti pada gambar di bawah ini, yaitu ditunjukkan sebuah kabel yang digantung pada dukungan A dan B pada elevasi yang berbeda. Kabel diasumsikan tidak mempunyai kekakuan, diberi beban titik P1, P2, ... Pn. Apabila $\sum M_{B_E}$ adalah jumlah semua momen rotasional terhadap titik B akibat semua beban eksternal dan $\sum M_{X_E}$ adalah jumlah momen eksternal akibat beban-beban di kiri titik x. Panjang kabel adalah L dan sudut antara A dan B adalah sebesar α terhadap sumbu horisontal. Reaksi vertikal dari A dan B adalah sebesar Va dan Vb, sedangkan reaksi horisontal adalah H dengan arah berlawanan antara dukungan A dan dukungan B. Sehingga,

$$\sum M_B - 0 \Rightarrow \begin{array}{l} -R_{AH}.(h) - R_{AV.(L)} + \sum M_{BE} = 0 \\ R_{AV} = \dfrac{\sum M_{BE}}{L} - \dfrac{R_{AH.(h)}}{L} \end{array}$$

$$\sum M_B = 0 \Rightarrow -R_{AH}.\left(\frac{hx}{L} - y_x\right) - R_{AV}.x + \sum M_{XE} = 0$$

Dengan substitusi R_{AV} di atas, akan didapatkan persamaan umum kabel, adalah :

$$R_{AH}(y_x) = \left(\frac{x}{L}\right)\sum M_B - \sum M_X \qquad (3.1)$$



Gambar 3.1 Perilaku kabel

3.5.1 Perilaku kabel akibat beban terbagi merata.

Apabila suatu kabel diberikan beban terbagi merata sebesar w per unit panjang, maka jumlah semua momen yang terjadi sebesar :

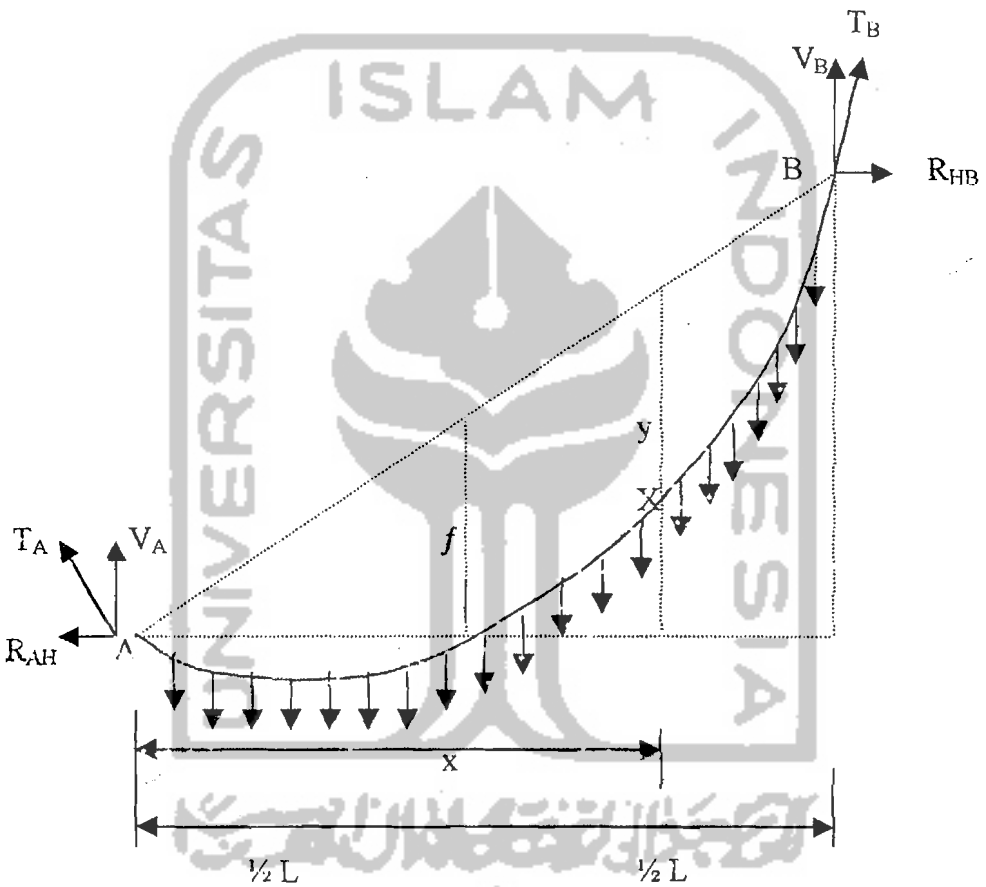
$$\sum M_{BE} = wL * (L/2) = 0{,}5.w.L^2 \qquad (3.2)$$

$$\sum M_{XE} = wx * (x/2) = 0{,}5.w.x^2 \qquad (3.3)$$

Substitusi persamaan (3.2) dan (3.3) ke dalam persamaan (3.1) akan didapatkan :

$$R_{AH}(y_x) = \left(\frac{x}{L}\right) * \frac{1}{2}.w.L^2 - \frac{1}{2}.w.x^2$$

$$= \frac{1}{2}.w.L.x - \frac{1}{2}.w.x^2 \qquad (3.4)$$



Gambar 3.2 Perilaku kabel akibat beban terbagi merata

Pada tengah bentang x = L/2 dan $y_{max} = h_{max} = f$ (simpangan kabel maksimum), maka persamaan (3.4) akan menjadi :

$$R_{AH}.f = \frac{1}{2}.w.L.\frac{L}{2} - \frac{1}{2}.w.\left(\frac{L}{2}\right)^2$$

$$= \frac{w.L^2}{8} \qquad (3.5)$$

Sehingga diperoleh suatu persamaan :

$$R_{AH} = \frac{w.L^2}{8.f} \tag{3.6}$$

Dengan : $R_{AH} = H_A$ = Gaya aksial akibat beban mati

L = Panjang bentang

f = simpangan kabel maksimum (*sag ratio*)

$= \frac{1}{10}L - \frac{1}{20}L$ (Schueller, 1983)

Jadi persamaan (3.6) adalah suatu nilai dari reaksi horisontal sebesar H yang bekerja pada kabel.

3.5.2 Perilaku kabel pada masing-masing dukungan

Gaya tarik maksimum yang bekerja pada masing-masing dukungan adalah merupakan resultan dari reaksi arah vertikal dan reaksi arah horisontal pada dukungan

$$T_A = \sqrt{H_A^2 + V_A^2} \tag{3.7}$$

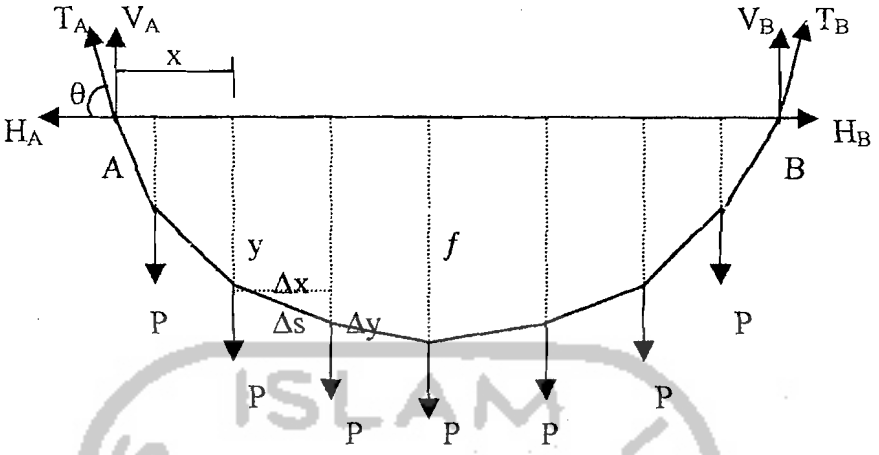
$$T_B = \sqrt{H_B^2 + V_B^2} \tag{3.8}$$

dengan : $H_A = R_{AH}$ (lihat persamaan (3.6))

$V_A = V_B = 0{,}5.w.L$

Maka persamaan (3.8) akan menjadi :

$$T_A = T_B = T = \sqrt{\left(\frac{w.L}{8.f}\right)^2 + \left(\frac{w.L}{2}\right)^2} \tag{3.9}$$



Gambar 3.3 Bentuk poligon kabel

$$T = \frac{w.L^2}{8f}\sqrt{1+\frac{16.f^2}{L^2}} \tag{3.10}$$

$$T = H\sqrt{1+\frac{16.f^2}{L^2}} \tag{3.11}$$

Jika $n = \frac{f}{L}$ dan H dari persamaan (3.6), persamaan (3.11) akan menjadi:

$$T = \frac{w.L^2}{8.f}\sqrt{1+16.n^2} \tag{3.12}$$

Persamaan (3.12) adalah besarnya gaya tarik kabel pada masing-masing dukungan (Steinman,1928).

3.5.3 Bentuk kabel

Apabila suatu kabel diberi beban mati terbagi merata sebesar w per unit panjang, maka akan diperoleh persamaan bentuk kabel. Substitusi persamaan (3.6) ke persamaan (3.4), akan didapatkan persamaan :

$$\left(\frac{w.L^2}{8.f}\right)y = \frac{w.L.x}{2} - \frac{w.x^2}{2} \tag{3.13}$$

$$y = \frac{4.f.x}{L^2}(L - x) \tag{3.14}$$

Persamaan (3.14) adalah persamaan kurva dari kabel. Perilaku kabel berbentuk parabola jika diberi beban terbagi merata (Steinman, 1928).

3.5.4 Panjang kabel

Untuk mendapatkan panjang kabel dari bentang tengah yang berbentuk parabola yang ujungnya terletak pada elevasi yang sama digunakan persamaan :

$$S = 2\int_0^{\frac{L}{2}} \left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} dx \tag{3.15}$$

dengan nilai $\frac{dy}{dx} = \frac{w.x}{H} = \frac{8.f.x}{L^2}$ (3.16)

subtitusi persamaan (3.15) ke persamaan (3.14), akan diperoleh :

$$S = 2\int_0^{\frac{L}{2}} \left[1 + \frac{64.f^2.x^2}{L^4}\right]^{1/2} dx \tag{3.17}$$

kemudian, penyelesaian dari persamaan ini adalah :

$$S = L\left(1 + \frac{8}{3}\frac{f^2}{L^2} - \frac{32}{5}\frac{f^4}{L^4} + \frac{256}{7}\frac{f^6}{L^6} - .....\right) \tag{3.18}$$

karena $n = \frac{f}{L}$, maka persamaan di atas dapat diubah menjadi :

$$S = L\left(1 + \frac{8}{3}n^2 - \frac{32}{5}n^4 + \frac{256}{7}n^6 - \ldots\right) \tag{3.19}$$

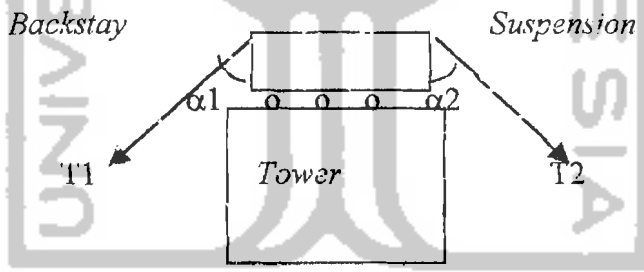
Untuk nilai "sag ratio" (n^4, n^6, ...) yang kecil, maka nilai n tersebut dapat diabaikan dan persamaan (3.19) dapat ditulis menjadi :

$$S = L\left(1 + \frac{8}{3}n^2\right) \tag{3.20}$$

dengan S = panjang kabel

L = panjang bentang

3.5.5 Teori perilaku *Saddle*



Gambar 3.4. Tipe *Saddle Roller Support* pada *Tower*

Gaya vertikal yang bekerja pada puncak menara berbentuk *Saddle Roller Support* seperti gambar 3.4, adalah :

$$V_p = T_1.\text{Cos}\ \alpha_1 + T_2.\text{Cos}\ \alpha_2 \tag{3.21}$$

sedangkan gaya horisontal pada puncak menara adalah = 0, hal ini disebabkan reaksi dukungan berupa rol yang dapat bergerak.

3.5.6 Pengaruh perubahan temperatur

Perubahan temperatur sangat mempengaruhi panjang dan tegangan dari kabel itu sendiri, karena kabel mempunyai perilaku memuai apabila terkena panas dan menyusut apabila terkena udara dingin. Pengaruh tersebut antara lain terjadi pada perubahan bentuk geometri dari kabel, yaitu pengaruh terhadap perubahan panjang kabel (Δs) dan pengaruh perubahan simpangan maksimum kabel atau *sag ratio* (Δf).

$$\Delta s = S.\omega.t$$

$$= \left(L + \frac{8}{3}\frac{f^2}{L}\right).\omega.t \qquad (3.22)$$

$$\Delta f = \frac{3}{16}\frac{L^2}{f}.\omega.t \qquad (3.23)$$

dengan : ω = koefisien perubahan.

t = perubahan temperatur.

Akibat perubahan bentuk kabel akan berpengaruh pula terhadap gaya horisontal kabel. Besarnya gaya horisontal yang disebabkan oleh perubahan temperatur, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$H_t = -\frac{3.E.I.\omega.t.L_t}{f^2.N.L} \qquad (3.24)$$

dengan nilai Lt adalah :

$$L_t = L + \frac{16}{3}.n^2.L + 2.L_1.Sec^2\,\alpha_1 \qquad (3.25)$$

$$N = \frac{8}{5} + \frac{3.EI}{Ac.Ec.f}\left(1 + 8.n^2\right) + \frac{6.EI.L_1}{Ac.Ec.L.f}.Sec^3\alpha_1 \qquad (3.26)$$

dengan :

E = modulus elastisitas baja untuk *Stiffening Truss* = 2,1 x 10^6 kg/cm^2

Ec = modulus elastisitas kabel *Bridge Strand* = 1,8 x 10^6 kg/cm^2

Ac = luas irisan kabel

L = panjang *Main Span*

L_1 = panjang *Side Span*

α_1 = sudut antara kabel di atas *Side Span* dengan menara

I = momen inersia *Stiffening Truss* (ditaksir)

3.6 Kekuatan Batang

Perhitungan kekuatan batang pada perencanaan ini menggunakan ketentuan dari AISC. Gaya-gaya yang diperhitungkan, diperoleh dari hasil perhitungan program aplikasi komputer, antara lain gaya aksial, torsi dan momen. Sedangkan rumus yang dipergunakan adalah persamaan interaksi untuk perencanaan balok dan kolom dengan metode elastis.

Batang-batang yang mendukung kombinasi tekan atau tarik dengan lentur harus memenuhi persamaan sebagai berikut :

3.6.1 Batang tekan aksial dan lentur.

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{C_{mx}.f_{bx}}{(1 - fa/Fe'x).Fbx} + \frac{C_{my}.f_{by}}{(1 - fa/Fe'y).Fby} \leq 1 \qquad (3.27)$$

$$\frac{fa}{0,6.Fy} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1 \qquad (3.28)$$

Jika $\frac{f_a}{F_a} \leq 0,15$, dipakai persamaan :

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1 \qquad (3.29)$$

Keterangan :

a. index x dan y merupakan sumbu lentur.

b. $Fa = \frac{Fy}{Fs}\left(1 - \frac{K.L/r^2}{2.Cc^2}\right)$, untuk $K.L/r \leq Cc$ (3.30)

c. $Fa = \frac{12.\ ^2.E}{23.(K.L/r)^2}$, untuk $K.L/r > Cc$ (3.31)

Fa = tegangan tekan akibat beban aksial.

d. $Cc = \sqrt{\frac{2.\pi.E}{Fy}}$ (3.32)

$\frac{K.L}{r}$ = nilai pembesaran momen.

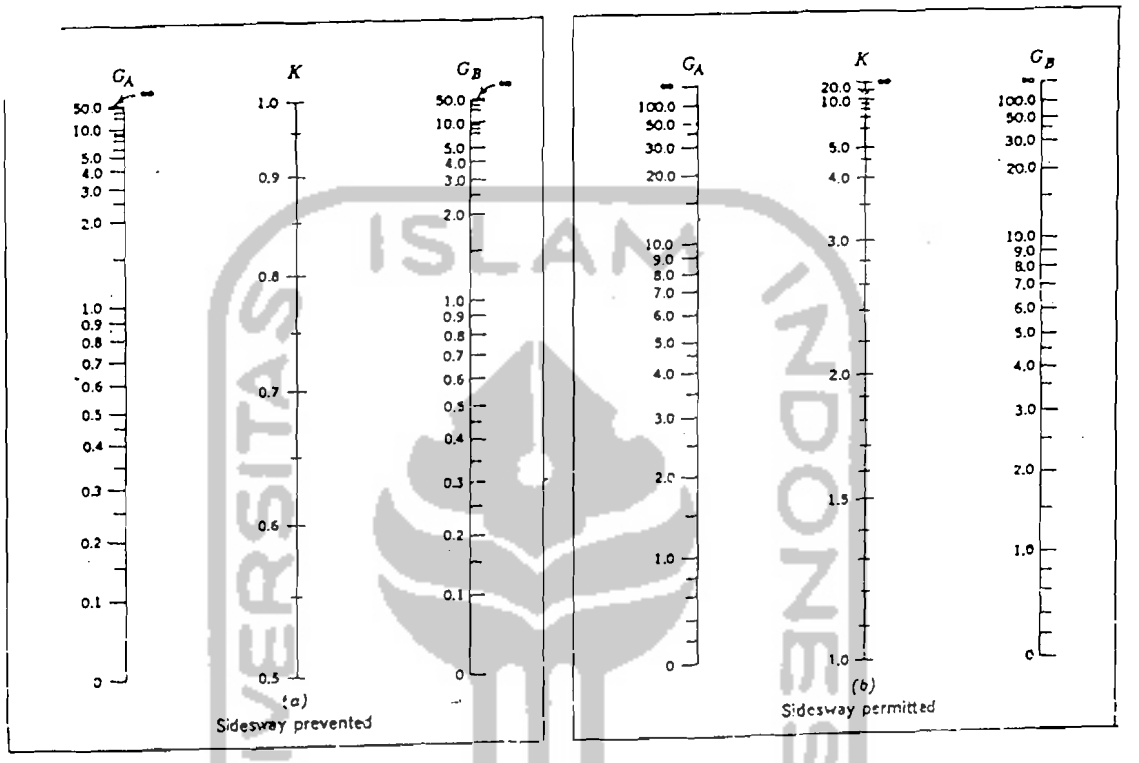
k = faktor panjang tekuk kolom ideal, yang nilainya ditentukan sebagai berikut :

Tabel 3.1 Faktor panjang tekuk kolom ideal (sumber : Merisco, 1991)

Bentuk kelengkungan	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
nilai k teoritis	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
k perencanaan	0.65	0.80	1.2	1.0	2.1	2.0
kondisi ujung		rotasi & translasi dikekang translasi dikekang, rotasi bebas translasi bebas, rotasi bebas				

Nilai k dapat juga diperoleh dari nomogram berikut ini.

Tabel 3.2 Nomogram panjang tekuk kolom portal (sumber : Morisco, 1991)



Di dalam AISC, harga-harga G_A dan G_B, dinyatakan sebagai berikut :

$$G_A = \frac{\sum \frac{I_{CA}}{L_{CA}}}{\sum \frac{I_{bA}}{L_{bA}}} \qquad G_B = \frac{\sum \frac{I_{CB}}{L_{CB}}}{\sum \frac{I_{bB}}{L_{bB}}} \qquad (3.33)$$

Index b menunjukkan balok, index c menunjukkan kolom. Jika ujung-ujung kolom merupakan dukungan, berlaku ketentuan sebagai berikut :

<u>Dukungan sendi</u> :

1) untuk dukungan sendi $\frac{I_{bB}}{L_{bB}} = 0$, sehingga $G_B = \sim$

2) untuk tujuan praktis diambil $G_B = 10$

Dukungan jepit :

1) untuk dukungan jepit $\frac{I_{bB}}{L_{bB}} = \sim$, sehingga $G_B = 0$

2) untuk tujuan praktis diambil $G_B = 1$

e. Fs = Safety factor

$$Fs = \frac{5}{3} + \frac{3.\left(K.L/r\right)}{8.Cc} - \frac{1.\left(K.L/r\right)^3}{8.Cc^3} \qquad (3.34)$$

f. Fb = 0,66.Fy , untuk Lb ≤ Lc (3.35)

g. Fb = 0,60.Fy , untuk Lc < Lb < Lu (3.36)

Bila Lb > Lu, maka dicari apakah terjadi torsi atau *lateral buckling* (batang tanpa dukungan lateral).

1) $Lb > rt.\sqrt{\frac{102.10^3.Cb}{Fy}}$ dan $Lb \leq \sqrt{\frac{510.10^3.Cb}{Fy}}$, maka

$$Fb_1 = \left(\frac{2}{3} - \frac{\left(\frac{Lb}{rt}\right)^2.Fy}{1530.10^3.Cb}\right).Fy \qquad Fb_2 = \frac{12.10^3.Cb}{Lb.\frac{d}{Af}}$$

Fb_1 dan Fb_2 di ambil nilai terbesar (= Fb_4)

$Fb_3 = 0,6.Fy$

Fb_3 dan Fb_4 dipilih nilai terkecil (= Fb)

2. $Lb > rt.\sqrt{\frac{102.10^3.Cb}{Fy}}$ dan $Lb > \sqrt{\frac{510.10^3.Cb}{Fy}}$, maka

$$Fb_1 = \frac{12.10^3.Cb}{Lb.\frac{d}{Af}} \qquad Fb_2 = \frac{170.10^3.Cb}{\left(\frac{Lb}{rt}\right)^2}$$

Fb_1 dan Fb_2 di ambil nilai terbesar (= Fb_4)

$Fb_3 = 0,6.Fy$

Fb_3 dan Fb_4 dipilih nilai terkecil (= Fb)

Fb = tegangan tekan akibat lentur.

$$Cb = 1,75 + 1,05.\ \frac{M_1}{M_2} + 0,3.\left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2 \leq 2,3 \qquad (3.37)$$

h. F'e = tegangan Euler dibagi dengan faktor aman.

$$F'e = \frac{12.\ \pi^2.E}{23.\left(K.\ {}^{Lb}/_{rb}\right)} \qquad (3.38)$$

i. fa = tegangan akibat beban tekan aksial yang terjadi.

j. fb = tegangan lentur yang terjadi.

k. Cm = koefisien momen, nilainya ditentukan dengan cara berikut :

1) untuk batang tekan di dalam rangka joint translasi (bergoyang) = 0,85

2) untuk batang tekan pada rangka yang dikekang :

$$Cm = 0,6 - 0,4.\ \frac{M_1}{M_2} \geq 0,40 \qquad (3.39)$$

Rasio $\frac{M_1}{M_2}$ positif jika lengkung dua arah dan negatif untuk lengkung tunggal.

$|M_1| \leq |M_2|$

3.6.2 Batang tarik aksial dan lentur

$$\frac{fa}{Ft} + \frac{f_{bx}}{Fbx} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1 \qquad (3.40)$$

Keterangan :

a. fa = tegangan akibat tekan aksial yang terjadi.

b. Ft = tegangan ijin akibat gaya tarik aksial yang tidak boleh lebih dari 0,6.Fy pada Ag (luas total) atau 0,5.Fu pada A_{ef} (luas efektif).

3.6.3 Sambungan

a. Sambungan baut

Sambungan baut harus mampu menerima tegangan-tegangan yang terjadi, namun harus lebih kecil dari tegangan ijin dari masing-masing bautnya. Adapun tegangan-tegangan tersebut dapat dituliskan, sebagai berikut :

1) tegangan geser : $\tau_{ijin} = 0{,}6.\sigma_{ijin}$ (3.41)

2) tegangan tarik : $\sigma_{ta\ ijin} = 0{,}7.\sigma_{ijin}$ (3.42)

3) tegangan tumpu : $\sigma_{tu\ ijin} = 1{,}5.\ \sigma_{ijin}$; bila $s_1 \geq 2.d$ (3.43)

$\sigma_{tu\ ijin} = 1{,}2.\ \sigma_{ijin}$; bila $1{,}5 < s_1 < 2.d$ (3.44)

4) apabila terjadi kombinasi antara tegangan tarik aksial dan tegangan geser, maka tegangan idiilnya tidak boleh melampaui tegangan dasar ijin :

$$\sigma_I = \sqrt{\sigma^2_{ta} + 3.\tau^2} \leq \sigma_{ijin} \quad (3.45)$$

dengan :

σ_I = tegangan idiil.

d = diameter baut.

s_1 = jarak antara baut dengan sisi terluar.

Sedangkan ukuran diameter baut, menurut AISC, sebagai berikut :

$$\varnothing_{efektif} = \varnothing_{baut} + \frac{1}{16}" \quad (3.46)$$

b. Sambungan las.

Kekuatan las sudut bergantung pada arah beban yang bekerja, yang dapat sejajar atau tegak lurus terhadap sumbu las. Sehingga tegangan geser ijin untuk logam las adalah :

$$F_V = 0{,}3.F_U \tag{3.47}$$

Sedangkan kekuatan las sudut per inci panjang las adalah :

$$P = F_V.(0{,}707).(\text{ukuran kaki}) \tag{3.48}$$

atau

$$P = 0{,}3.F_U.(0{,}707).(\text{ukuran kaki}) = 0{,}212.F_U.(\text{ukuran kaki}) \tag{3.49}$$

dengan :

F_U = kekuatan tarik minimum yang ditetapkan pada elektroda.

3.7 Perencanaan Angkur

Dalam tugas akhir ini digunakan jenis angkur dengan kuat dukung angkur didasarkan atas gesekan dan lekatan antara selubung angkur dan tanah disekitarnya. Menurut Suryolelono (1994), kuat dukung ultimate angkur untuk jenis tanah kohesif didasarkan oleh rumus :

$$P_{ult} = \pi.d.L.S \tag{3.50}$$

dengan : P_{ult} = kuat dukung ultimate angkur.

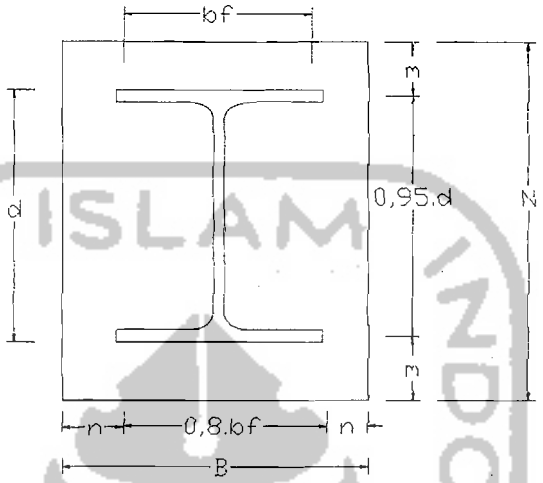
d = diameter rata-rata lubang bor.

L = panjang angkur.

S = lekatan angkur tanah dan selubung injeksi (injeksi semen).

3.8 Perencanaan *Column Base Plate*

3.8.1 Perencanaan pelat dasar



Gambar 3.5. Disain pelat dasar kolom.

Langkah-langkah desain pelat dasar dapat ditulis sebagai berikut :

a. Menentukan luas pelat dasar dengan menggunakan persamaan :

$$f = \frac{P}{A} \leq 0{,}35.f'c \qquad (3.51)$$

b. Ditentukan pula, nilai-nilai m dan n dengan persamaan :

$$m = \frac{L - 0{,}95.d}{2} \qquad n = \frac{B - 0{,}80.bf}{2} \qquad (3.52)$$

c. Dan tebal pelat dapat diselesaikan dengan persamaan :

$$t_p = \sqrt{\frac{6.M}{0{,}75.Fy}} \qquad (3.53)$$

dengan : σ = tekanan pelat akibat gaya aksial, ksi.

P = tekanan aksial, kip.

A = luas pelat, in^2.

M = momen maksimum yang terjadi, kft.

t_p = tebal pelat, in.

Fy = tegangan leleh baja, ksi.

3.8.2 Perencanaan blok beton

Prinsip dasar dari perencanaan blok beton ini adalah tekanan yang terjadi harus lebih kecil dari tekanan ijin tanah. Dengan demikian rumus di bawah dapat berlaku dalam perencanaan blok beton, rumus tersebut adalah sebagai berikut :

$$f = \frac{P}{A} + \frac{M}{W} \qquad (3.54)$$

dengan : W = luasan momen, in^3

3.8.3 Perencanaan pengaku kolom (*Gusseted Plates*)

Untuk mendukung beban yang sangat besar, *Gusseted Plates* sangat perlu untuk dipakai. Karena pelat ini berfungsi membagi beban aksial yang terjadi sebelum beban tersebut disalurkan ke *base plate*.

Beban yang di terima pada masing-masing *gusseted plate*

$$V = 0{,}5.f.L.(B - b) \qquad (3.55)$$

dengan : V = gaya masing-masing *gusseted plate*.

f = tegangan maksimum sebesar $\frac{P}{A}$, ksi.

L = panjang *base plate*, in.

B = lebar *base plate*, in.

b = lebar sayap, in.