

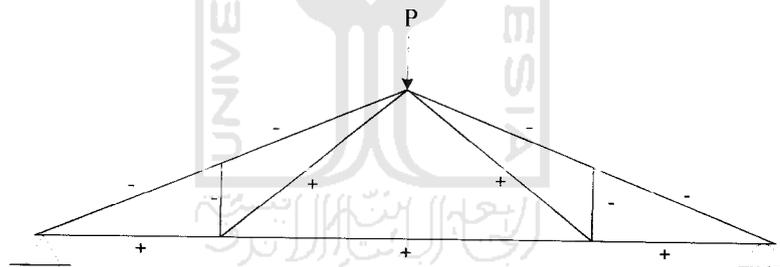
BAB III

LANDASAN TEORI

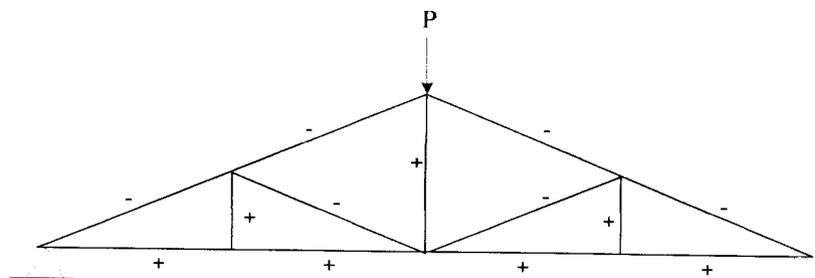
3.1 Kuda-kuda Rangka Batang

Kuda-kuda rangka batang (*truss*) adalah suatu struktur kerangka yang terdiri dari sejumlah tertentu batang-batang yang dihubungkan satu sama lain dengan perantara titik-titik simpul yang berupa sendi tanpa gesekan dimana gaya-gaya luar bekerja melalui titik-titik ini. (*Chu-Kia Wang, 1985*).

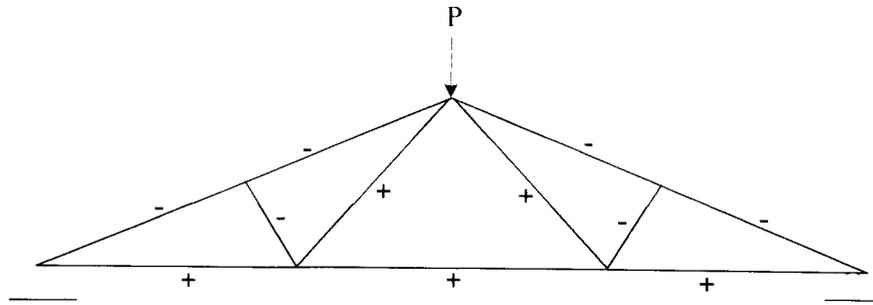
Bentuk dasar kuda-kuda rangka batang, yaitu rangka Pratt, Howe, dan Fink (*Hsieh, 1983*).



Gambar 3.1 Pratt Truss



Gambar 3.2 Howe Truss



Gambar 3.3 Fink Truss

Apabila pada joint puncak rangka batang diberi beban transversal sentris seperti terlihat pada Gambar 3.1, Gambar 3.2 dan Gambar 3.3, maka komponen batang akan menerima gaya aksial yaitu gaya tarik (+) dan gaya desak (-). Gaya yang bekerja pada masing-masing komponen berbeda, karena konfigurasi masing-masing rangka berbeda. Gaya aksial juga mengakibatkan deformasi aksial yang berupa perpendekan dan perpanjangan. Menurut hukum **Hooke** apabila suatu batang diberi gaya aksial maka batang tersebut akan mengalami perpendekan dan perpanjangan, dan dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{P}{A} = \frac{E\Delta}{L} \quad (3.1)$$

dan deformasi suatu batang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\Delta = \frac{PL}{EA} \quad (3.2)$$

Persamaan ini memperlihatkan bahwa pemanjangan sebuah batang berbanding lurus dengan beban P dan panjang L , dan berbanding terbalik dengan modulus-elastisitas E dan luas penampang A . Hasil kali EA dikenal sebagai kekakuan aksial (*axial rigidity*) dari batang. Persamaan (3.2) juga dapat digunakan untuk batang yang mengalami tekan dimana Δ menyatakan perpendekan batang.

3.2 Batang Tarik

Batang tarik adalah batang yang mengalami tegangan tarik aksial akibat beban kerja pada ujung-ujung batang. Desain komponen tarik merupakan persoalan yang palind sederhana disbanding perencanaan struktur yang lain.

Meskipun stabilitas bukan merupakan criteria utama dalam mendesain batang tarik, namun batang tarik perlu dibatasi panjangnya untuk menjaga agar jangam terlalu fleksibel. Batang tarik yang terlalu panjang akan mempunyai lendutan yang besar sekali disebabkan oleh berat batang tarik itu sendiri. Terlebih lagi batang akan bergetar bila menahan gaya-gaya angin seperti pada rangka terbuka atau bila harus menahan alat-alat yang bergetar, seperti *fans* atau *compressors*. Ada criteria kekakuan, berdasarkan kelangsingan (*slenderness ratio*) L/r dari batang, dimana L = panjang batang dan r = jari-jari inersia.

Kelangsingan batang tarik menurut AISC (AASHO) ditunjukkan dalam tabel 3.1.

Kelangsingan	L/r	
	AISC	AASHO
Untuk batang utama	240	200
Untuk bracing dan batang sekunder	300	240
Menurut PPBBI :	L/r maks	
Untuk batang utama	240	
Untuk batang sekunder	300	

3.3 Batang Tekan

Ada 2 macam batang tekan, yaitu :

1. Batang tekan yang merupakan batang dari suatu rangka batang. Batang ini mengalami gaya tekan aksial searah panjang batang. Umumnya dalam suatu rangka (kuda-kuda), batang tepi atas merupakan batang tekan
2. Kolom, merupakan batang tekan tegak yang bekerja untuk menahan balok-balok loteng, rangka atap, lintasan crane dalam bangunan pabrik dan sebagainya (*Oentoeng,1999*).

Keruntuhan batang tekan dapat dibedakan menjadi 2 kategori, kedua macam keruntuhan tersebut adalah :

1. Keruntuhan yang diakibatkan tegangan lelehnya terlampaui. Hal semacam ini terjadi pada batang tekan yang pendek (*stocky column*).
2. Keruntuhan yang diakibatkan terjadinya tekuk. Hal semacam ini terjadi pada batang tekan yang langsing (*slender column*).

Pada keruntuhan akibat tekuk ini, asalkan tegangan pada seluruh penampang masih dalam keadaan elastis, beban kritis dapat dihitung berdasarkan rumus Euler :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(Lk)^2} \quad (3.3)$$

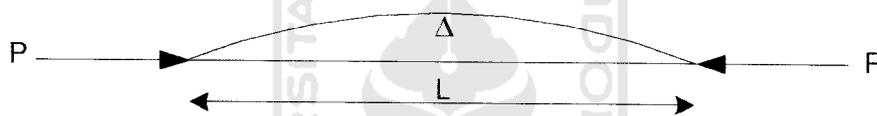
dengan E adalah modulus elastisitas baja, I adalah inersia bahan, dan Lk adalah panjang tekuk.

Kelangsingan elemen tekan tergantung dari jari-jari inersia (i) dan panjang tekuk (L_k).

Penampang simetris batang mempunyai 2 jari-jari inersia, maka akan terdapat 2 harga λ . Yang menentukan ialah harga λ yang terbesar (r yang terkecil). Panjang tekuk tergantung pada keadaan ujung-ujungnya, apakah sendi, jepit, atau bebas, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4.

$$\lambda = \frac{KL}{r} \quad (3.4)$$

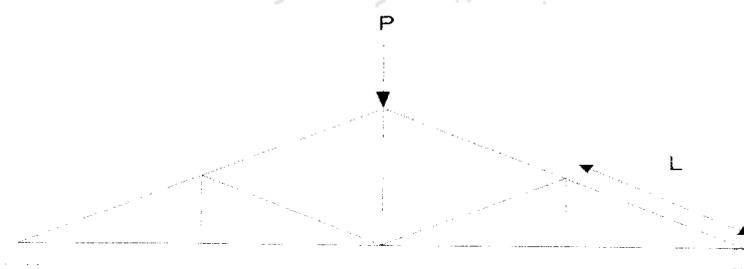
Dengan λ = rasio kerampingan, K = faktor panjang tekuk, r = jari-jari inersia



Gambar 3.4 Batang tertekan

L = panjang bentang, Δ = lendutan

Pada struktur kuda-kuda yang mendukung beban P , seperti Gambar 3.5 di bawah.

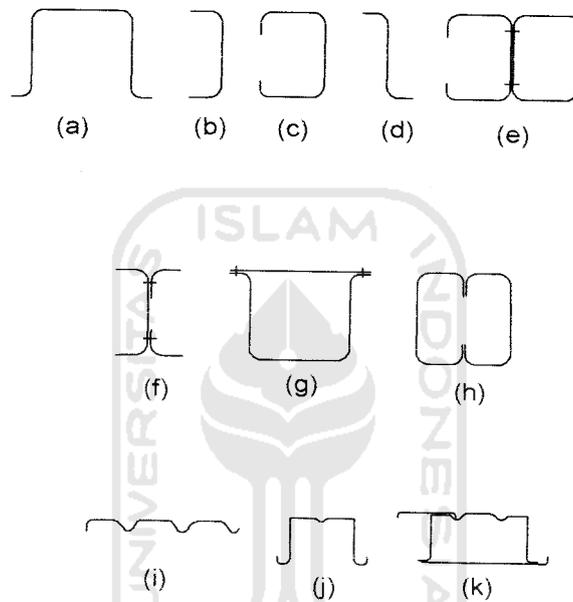


Gambar 3.5 Elemen rangka kuda-kuda mengalami gaya axial tekan dan tarik

Maka beban kritis akan terjadi pada batang tekan, dipakai rumus Euler (Persamaan 3.3).

Gambar 3.6 menunjukkan profil bentukan dingin ukuran ringan dapat dibedakan menjadi tiga kelompok (*Lambert Tall, 1974*), yaitu :

1. Bagian a sampai d, bentuk sederhana
2. Bagian e sampai h, bentuk penuh
3. Bagian i sampai k, bentuk panel atau dek.

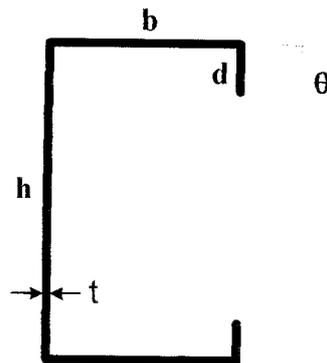


Gambar. 3.6 Profil bentukan dingin

3.4 Tekuk Lokal

Menurut **Lambert Tall (1974)**, tekuk lokal adalah tekuk yang terjadi pada salah satu elemen penyusun tampang suatu struktur. Tekuk lokal menyebabkan elemen yang tertekuk tidak dapat lagi menanggung penambahan beban dengan kata lain efisiensi penampang berkurang. Keruntuhan akibat tekuk lokal ini terjadi pada batang yang langsing dimana tegangan kritis (F_{cr}) yang dimiliki oleh pelat jauh di bawah tegangan lelehnya (F_y).

Gambar 3.7 menunjukkan propertis dan dimensi suatu profil Lipped Channel.



Gambar 3.7 Profil Lipped Chanel

dengan h adalah tinggi badan, b = lebar sayap, d = panjang lip, θ = sudut lip (radians), t = tebal, E = modulus elastis ($2 \cdot 10^5$ Mpa), μ = rasio poisson (0,3).

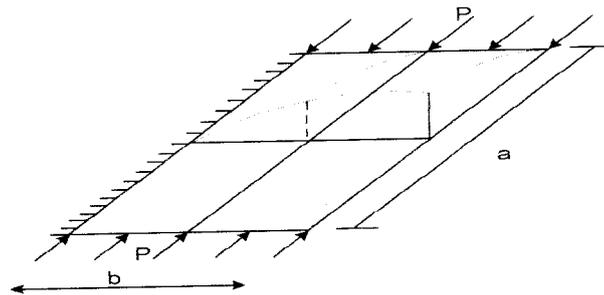
Tekuk lokal yang perlu ditinjau adalah stabilitas lentur plat. Menurut **Charles G. Salmon dan Johnson (1996)**, tegangan tekuk elastik teoritik atau tegangan kritis pelat yang tertekan dapat dinyatakan sebagai :

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(b/t)^2} \quad (3.5)$$

dengan : F_{cr} = tegangan kritis (Mpa), k adalah koefisien tekuk, $\pi = 3,14$, E adalah modulus elastisitas baja ($2 \cdot 10^5$ Mpa), μ adalah rasio poisson = 0,3, dan b/t adalah rasio lebar terhadap tebal pelat.

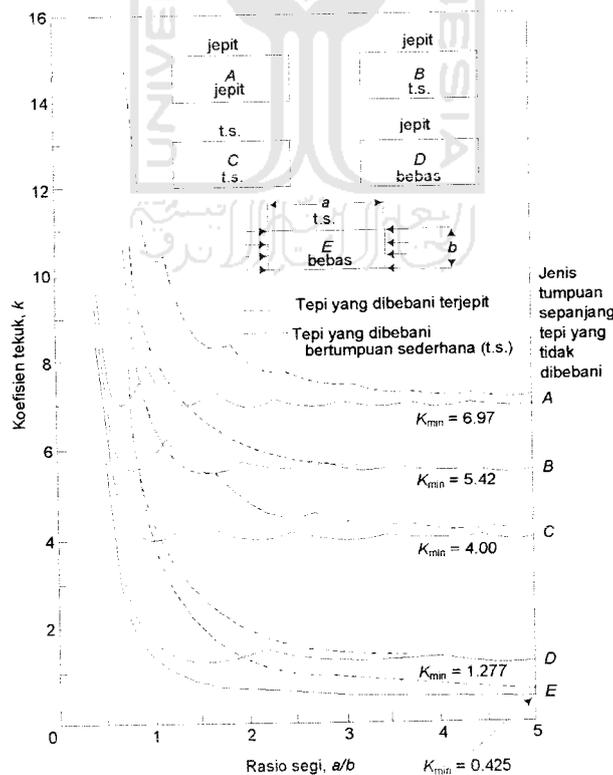
Dari persamaan (3.5) tampak bahwa nilai F_{cr} dipengaruhi oleh koefisien tekuk (k) dan rasio lebar terhadap tebal (b/t). semakin besar rasio b/t maka semakin kecil kekuatan pelat. Semakin besar nilai b/t maka semakin kecil kekuatan pelat, sehingga menyebabkan tekuk lokal baik pada sayap maupun badan.

Kerusakan akibat tekuk dapat dicegah dengan cara memperkecil rasio lebar terhadap tebal (b/t) dan meningkatkan koefisien tekuk (k).



Gambar 3.8 Tekuk lokal pada sayap (jepit-bebas)

Nilai k untuk kondisi yang ditunjukkan pada Gambar 3.8 dan perbandingan a/b seperti Gambar 3.9 diperoleh $k = 0,425$. Tegangan kritis dipengaruhi nilai (b/t) apabila bernilai kecil maka F_{cr} akan meningkat.



Gambar 3.9 Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar

(dikutip dari Struktur Baja Disain Dan Perilaku Jilid 1, Salmon dan Johnson)

Tampak bahwa untuk pelat dengan kondisi tumpuan jepit-jepit (A) nilai $k_{\min} = 6,97$. Untuk pelat dengan tumpuan sederhana-jepit (B) nilai $k_{\min} = 5,42$. Sedangkan pelat dengan tumpuan sederhana-sederhana, nilai $k_{\min} = 4$. Dan untuk pelat dengan jepit-bebas, nilai $k_{\min} = 1,277$, serta untuk pelat dengan tumpuan sederhana-bebas $k_{\min} = 0,425$.

Nilai k untuk pelat yang salah satu sisinya tidak diperkuat, dalam hal ini dimiliki oleh sayap (*flens*) mendekati nilai 0,425 dan untuk pelat keempat sisinya ditumpu oleh tumpuan sederhana memiliki nilai $k = 4$ dimiliki oleh badan. Dengan demikian tampak bahwa nilai k untuk sayap 1/10 dari nilai k yang dimiliki oleh badan maka nilai k akan mendekati konstan.

Nilai k untuk tekuk lokal lip menurut **Schafer (1997)** yaitu :

$$k_{\text{sayap_tepi}} = -11,07 \left(\frac{d}{b} \right)^2 + 3,95 \left(\frac{d}{b} \right) + 4 \quad (3.6)$$

dan untuk tekuk lokal sayap dan badan adalah :

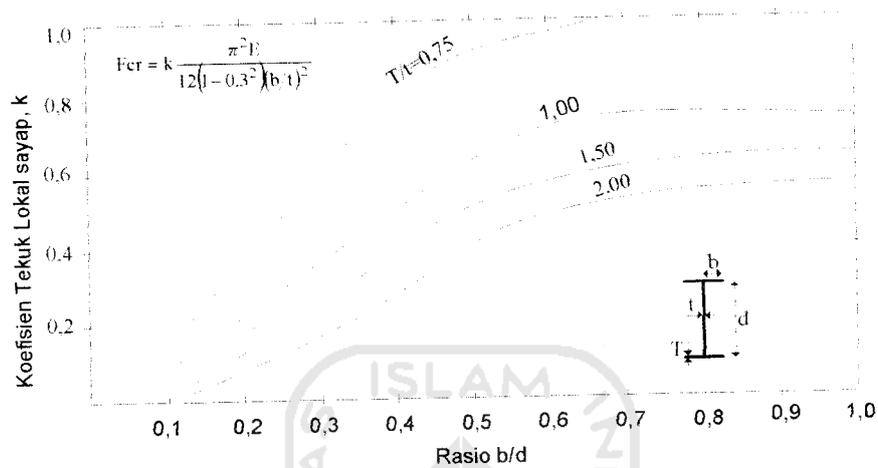
$$k_{\text{sayap_badan}} = \left[\left[2 - \left(\frac{b}{h} \right)^{0.4} \right] 4 \left(\frac{b}{h} \right)^2 \right] \quad \text{jika } \frac{h}{b} \geq 1 \quad (3.7)$$

$$\left[\left[2 - \left(\frac{h}{b} \right)^{0.2} \right] 4 \right] \quad \text{jika } \frac{h}{b} < 1 \quad (3.8)$$

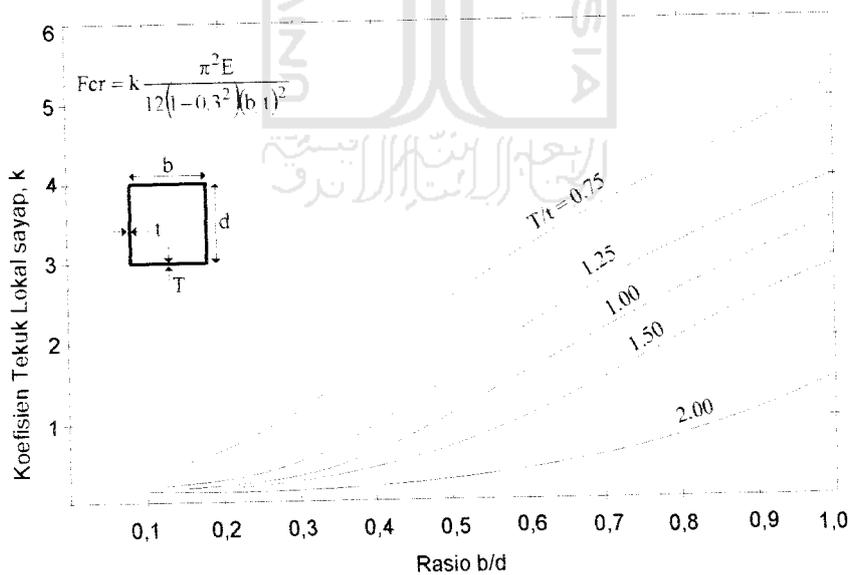
Tegangan tekuk lokal sayap untuk batang diambil yang minimum dari $F_{\text{cr_sayap_tepi}}$ dan $F_{\text{cr_sayap_badan}}$. Ini memberikan perkiraan yang baik dari tegangan tekuk lokal batang aktual.

Nilai-nilai koefisien tekuk elastis k untuk penampang I pada tekanan yang sama ditunjukkan pada Gambar 3.10, dan untuk penampang kotak ditunjukkan pada

Gambar 3.11 Tegangan tekuk dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.5 dengan mengganti tebal pelat sebagai tebal sayap T.



Gambar.3.10 Koefisien tekuk lokal untuk batang tekan penampang I (N.S Trahair dan M.A. Bradford, 1988)



Gambar 3.11 Koefisien tekuk lokal untuk batang tekan penampang kotak (N.S Trahair dan M.A. Bradford, 1988)

3.5 Tekuk Total

AISC mengemukakan hitungan tegangan kritis yang mempertimbangkan tekuk lokal. Pengaruh tekuk lokal yang terjadi sebelum kekuatan kolom keseluruhan tercapai diperhitungkan dengan mengalikan tegangan maksimum yang dapat dicapai dengan faktor bentuk Q . Faktor bentuk dipengaruhi oleh bentuk penampang, dimana

$$Q = Q_a \cdot Q_s \quad (3.9)$$

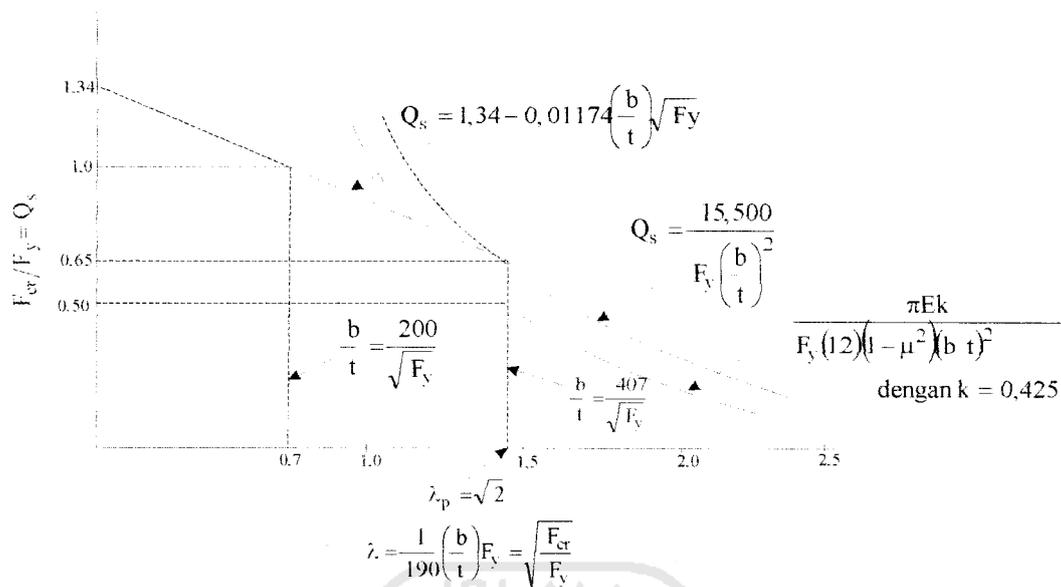
Faktor bentuk untuk elemen penampang yang tidak diperkuat adalah Q_s . Gambar 3.12 menunjukkan kekuatan pelat untuk elemen tekan yang tidak diperkuat dengan satu tepi sendi dan tepi lainnya bebas (AISC-1978). Faktor bentuk Q_s diperhitungkan apabila,

$$\left(\frac{b}{t}\right) > \left(\frac{200}{\sqrt{F_y}}\right) \quad (3.10)$$

Besar Q_s menurut AISC adalah,

$$Q_s = 1,340 - 0,01174 \left(\frac{b}{t}\right) \sqrt{F_y} \quad (3.11)$$

Apabila semua elemen penampang diperkuat maka nilai $Q_s = 1,0$



Gambar 3.12 kekuatan pelat untuk elemen tekan yang tidak diperkuat dengan satu tepi sendi dan tepi lainnya bebas

Faktor bentuk untuk elemen penampang yang diperkuat adalah Q_a . Faktor bentuk Q_a diperhitungkan apabila,

$$\left(\frac{b}{t} \right) > \left(\frac{625}{\sqrt{F_y}} \right) \quad (3.12)$$

Besar Q_a menurut AISC adalah,

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A_{bruto}} \quad (3.13)$$

Luas efektif diambil dari lebar efektif, besar lebar efektif menurut penelitian AISC yang dilakukan pada baja ringan adalah,

$$\frac{b_E}{t} = \frac{21}{\sqrt{f}} \left(1 - \frac{4,18}{(b/t)\sqrt{f}} \right) \quad (3.14)$$

Dengan f adalah tegangan yang bekerja pada elemen.

Besar tegangan kritis menurut AISC dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan tegangan kritis kolom seperti pada persamaan dibawah ini.

$$F_{cr} = QF_y \left[1 - \frac{QF_y}{4\pi E} \left(\frac{KL}{r} \right)^2 \right] \quad (3.15)$$

Apabila

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{QF_y}} \quad (3.16)$$

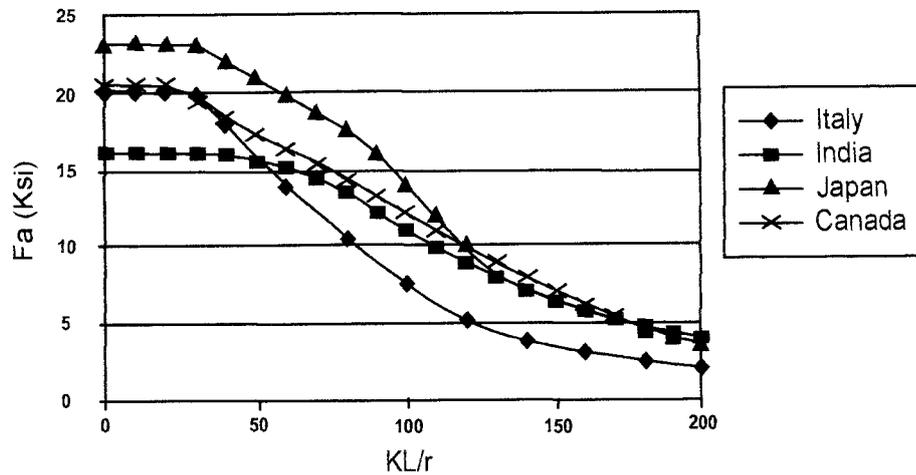
Maka

$$F_{cr} = QF_y \left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2.C_c^2} \right] \quad (3.17)$$

Apabila KL/r lebih dari C_c maka tegangan kritis keseluruhan yang terjadi adalah,

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (3.18)$$

Penelitian hubungan antara tegangan yang terjadi pada kolom dengan kelangsingan (KL/r) yang pernah dilakukan di beberapa negara memiliki bentuk grafik yang hampir sama. Penurunan tegangan kritis relatif kecil pada KL/r kecil (0 s/d ± 40), penurunan tegangan kritis terjadi besar seiring dengan penambahan KL/r untuk $KL/r = \pm 40$ sampai dengan ± 160 , dan kembali menjadi relatif datar untuk KL/r lebih dari ± 160 . Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.13

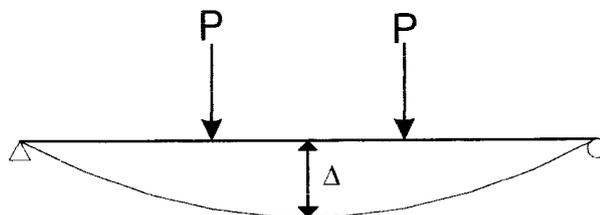


Gambar 3.13 Grafik Hubungan KL/r Dengan F_a Di Beberapa Negara
(Lambert Tall, 1974)

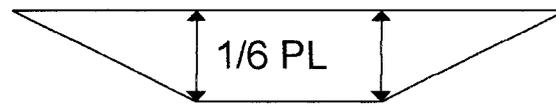
Untuk perhitungan tegangan kritis selengkapnya ditunjukkan pada lampiran empat.

3.6 Hubungan Beban-Lendutan

Beban menyebabkan timbulnya lentur, maka balok pasti mengalami lendutan. Balok dukungan sederhana yang diberi beban memiliki satu titik yang momennya maksimum. Makin besar beban yang diberikan, makin besar pula momennya. Jika beban besar, material akan terdeformasi semakin cepat dan defleksinya juga semakin besar (Lynn S. Beedle, 1958).



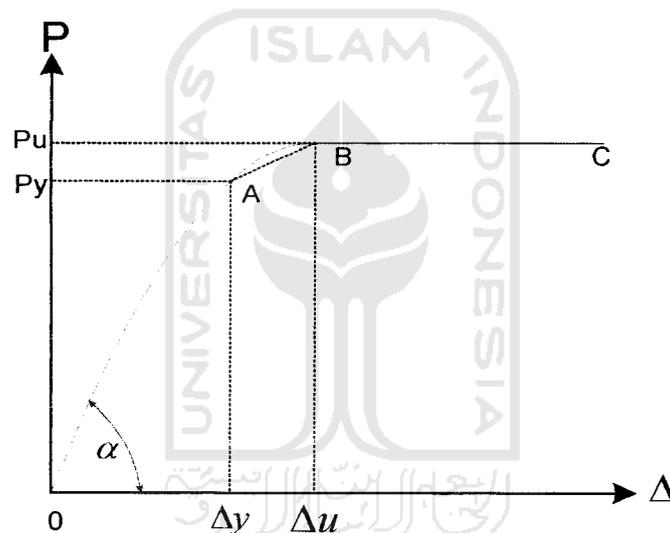
Gambar 3.14 Lendutan Balok



Gambar 3.15 Diagram Momen

$$\Delta = \frac{23P.L^3}{648EI} \quad (3.19)$$

dengan : Δ = defleksi balok, P = beban, E = modulus elastis balok, L = panjang bentang balok, I = momen inersia penampang



Gambar 3.16 Grafik Hubungan Beban(P)-Lendutan(Δ)

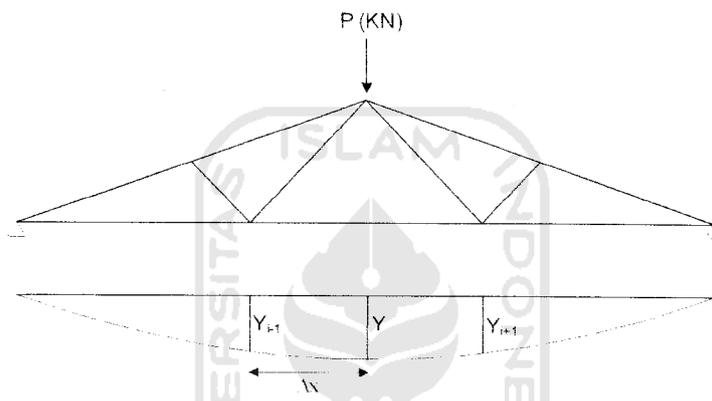
$$k = \text{tg}\alpha = \frac{P}{\Delta} \quad (3.20)$$

Besarnya lendutan sesuai dengan beban yang bekerja pada struktur, sehingga kemiringan dari lengkung yang dihasilkan disebut sebagai kekakuan.

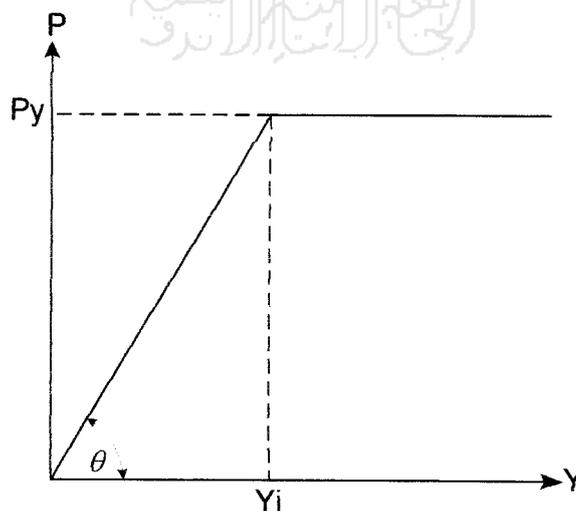
Menurut penelitian yang dilakukan oleh *American Society for testing and material* (ASTM) yang ditulis oleh **Timoshenko. 1987**, bahwa kekakuan rangka hingga beban patah dinyatakan oleh garis OA pada diagram beban-

lendutan dari Gambar 3.16 atau disebut juga dengan daerah elastis. Dengan penambahan beban pada rangka maka rangka akan menjadi plastis sebagian dimana ditunjukkan pada garis AB, hingga pada akhirnya rangka menjadi plastis sempurna dimana ditunjukkan pada garis BC, setelah itu rangka atau struktur tidak mampu lagi memikul tambahan beban.

3.7 Hubungan Momen dengan Kelengkungan



Gambar 3.17 Rangka kuda-kuda yang diberi beban aksial (P) sehingga terjadi lendutan (Y_i)



Grafik 3.18. Hubungan antara beban (P) dan lendutan (Y)

Apabila suatu material diberi beban maka material itu secara langsung akan terdefleksi. Semakin besar beban yang diberikan pada suatu material semakin besar pula defleksi yang terjadi pada material tersebut. Mengacu pada gambar 3.17 dy/dx didekati dengan persamaan berikut :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.21)$$

turunan kedua persamaan 3.21 adalah

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x)(d/dx)(y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1})(d/dx)(2\Delta x)}{(2\Delta x)^2} \quad (3.22)$$

karena $(2\Delta x)$ adalah konstan maka

$$\frac{d}{dx}(2\Delta x) = 0$$

Sehingga persamaan 3.23

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x)(d/dx)(y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta x)^2} \quad (3.23)$$

selanjutnya dari persamaan 3.23 didapatkan

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{y_{i+2} - 2y_i + y_{i-2}}{(2\Delta x)^2} \quad (3.24)$$

Kemudian persamaan 3.24 disederhanakan menjadi

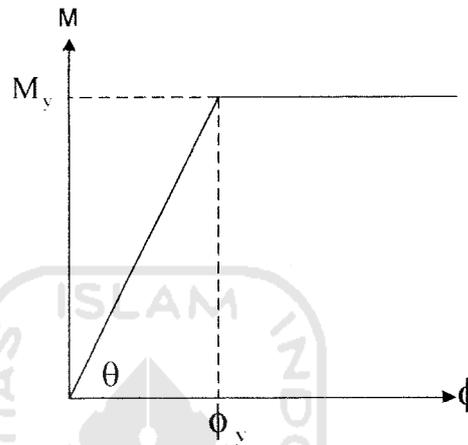
$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(\Delta x)^2} \quad (3.25)$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \phi = \frac{M}{EI}$$

$$M = EI \cdot \phi$$

$$M = EI \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.26)$$

Hubungan momen (M) dan kelengkungan (curvature)(ϕ) ditunjukkan pada gambar 3.19.



Gambar 3.19 Hubungan momen (M) dan kelengkungan (ϕ)

3.8 Hipotesa

Dengan memperhatikan tinjauan pustaka, dan landasan teori, dapat diambil hipotesis sebagai berikut :

1. suatu struktur rangka atap baja diberi beban sentris (P) maka akan terjadi lendutan (Δ) yang dipengaruhi oleh kekuatan bahan dan bentuk dasar kuda-kuda rangka batang.
2. susunan geometri batang dinding mempengaruhi kekuatan dan kekakuan pada kuda-kuda rangka batang bentuk Fink, Pratt, dan Howe.