

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

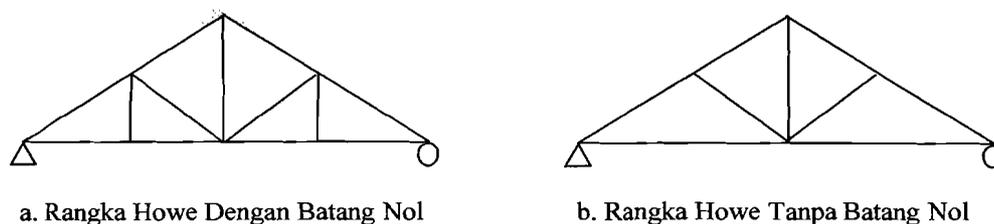
Suatu struktur bangunan yang menerima beban luar, baik itu beban pada batang atau beban pada titik buhul maka konstruksi tersebut akan mengalami deformasi. Pada rangka batang tertentu terdapat batang yang secara teoritis tidak mengalami deformasi secara analisis yang biasa disebut batang nol, yaitu batang dengan gaya dalam yang bernilai nol akibat beban luar yang ada. Walaupun demikian batang ini akan mempengaruhi rangka secara umum dikarenakan panjang batang yang dihilangkan batang nolnya akan bertambah panjang.

Pada rangka batang (*Truss*) diasumsikan yang bekerja hanyalah gaya aksial (gaya tarik atau gaya tekan) sedangkan join berperilaku sebagai sendi. Sebagai dasar dalam penelitian berikut ini akan dijelaskan mengenai deformasi rangka batang. Beberapa hal tentang batang tarik, batang tekan serta hubungan momen kelengkungan dan juga hipotesis penelitian yang akan dilakukan.

#### **3.1 Struktur Rangka Batang**

Batang-batang suatu konstruksi rangka utama dapat disusun dengan bermacam-macam cara. Namun jenis-jenis rangka yang pokok sering di jumpai diantaranya Pratt, Howe, Fink (*Hsieh, 1983*).

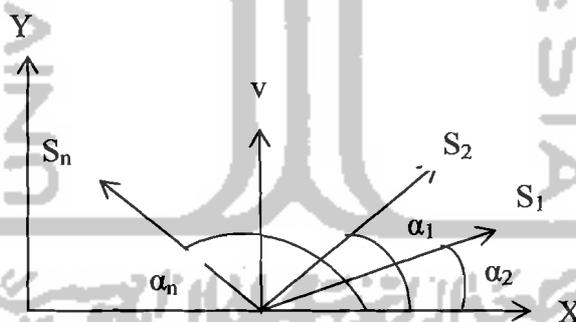
Pada penelitian ini menggunakan model sampel rangka Howe dengan atau tanpa batang nol.



**Gambar 3.1** Rangka Howe dengan atau Tanpa batang nol.

### 3.1.1 Konsep Batang Nol

Menurut Hariandja (1996), sangat mudah jika batang-batang nol langsung dapat diketahui pada saat pertama sebelum analisis dimulai, atau minimal sebagai kontrol terhadap perhitungan yang dilakukan dengan sementara menganggap semua batang aktif. Gambar 3.2 menjelaskan konsep batang nol yang diungkap diatas.

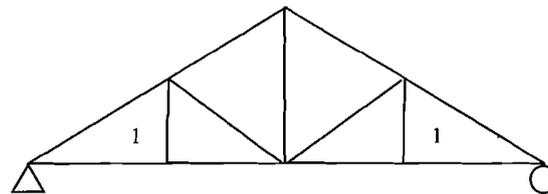


**Gambar 3.2** Konsep batang nol

Keseimbangan dalam arah X dan arah Y

$$H + \sum_{i=1}^n S_i \cos \alpha_i = 0 \dots\dots\dots (3.1)$$

$$V + \sum_{i=1}^n S_i \sin \alpha_i = 0 \dots\dots\dots (3.2)$$

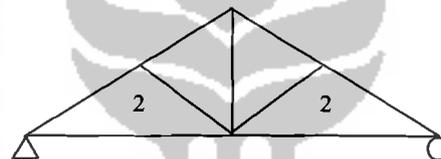


Ket: 1 = batang nol

a. Rangka Howe

**Gambar 3.3** Rangka Howe dengan batang nol

Secara analisis batang nomor 1 pada Gambar 3.3 merupakan batang nol karena batang tersebut tidak menerima gaya luar, hal tersebut terjadi karena ada tiga batang yang membentuk segitiga dimana 2 batangnya segaris maka batang yang tegak lurus tersebut merupakan batang nol.



b. Rangka Howe

**Gambar 3.4** Rangka Howe tanpa batang nol

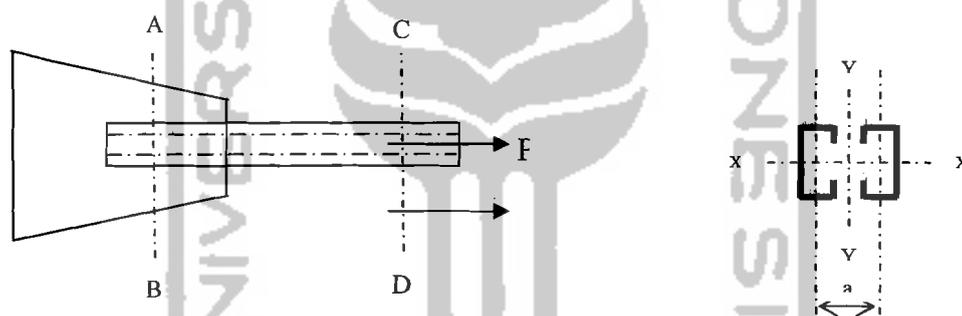
Pada Gambar 3.3 dan 3.4 menunjukkan bahwa dengan meniadakan batang nol maka panjang batang tepi bawah bertambah dan ini akan berpengaruh terhadap kekakuan rangka batang. Pada Gambar 3.4 batang yang bertambah panjang adalah batang tarik tepi bawah. Batang tarik yang terlalu panjang akan menyebabkan lendutan akibat beban sendiri maupun beban luar hal ini akan mempengaruhi kekakuan rangka itu sendiri.

Pengamatan dari sisi geometri tentang rangka-rangka batang diatas merupakan suatu rangka batang yang stabil dikarenakan rangka batang diatas tersusun dari elemen-elemen linier yang membentuk segitiga atau kombinasi

segitiga, sehingga menjadi bentuk rangka yang tidak dapat berubah bentuknya apabila di beri beban eksternal tanpa adanya perubahan bentuk pada satu atau lebih pada batangnya.

### 3.1.2 Batang Tarik

Perencanaan batang tarik merupakan salah satu masalah teknik struktur yang paling sederhana, karena stabilitas bukan masalah yang utama namun masih perlu diadakan suatu pembatasan panjang bentang agar batang tidak terlalu fleksibel baik saat pendirian maupun pada saat digunakan. Perencanaan



Gambar 3.5 Keruntuhan pada batang tarik.

Keruntuhan batang tarik dapat terjadi pada dua tempat yaitu:

1. keruntuhan pada daerah sambungan dengan luas netto terkecil (kerusakan Fraktur) seperti terlihat pada potongan A-B Gambar 3.5.
2. keruntuhan karena pelepasan pada penampang brutto yang jauh dari sambungan (kriteria perlepasan) seperti terlihat pada potongan C-D Gambar 3.5.

Kekuatan dari batang tarik yang mempunyai lubang untuk alat sambung atau retakan pada penampang bersih mempunyai rumus:

$$T_u = F_u \cdot A_e \dots\dots\dots (3.3)$$

Sedangkan dari batang tarik yang tidak ada lubang untuk alat sambungan dan hanya diikatkan oleh flens atau pelelehan pada penampang bruto.

$$T_u = F_y \cdot A_g \dots\dots\dots (3.4)$$

Secara khusus untuk batng tarik memberikan persyaratan keamanan struktur sebagai berikut:

$$\phi T_n \geq T_u \dots\dots\dots (3.5)$$

Dengan :

$\phi$  = faktor resistensi yang berkaitan dengan kekuatan tarik

$T_n$  = kekuatan nominal batang tarik

$T_u$  = beban terfaktor pada beban tarik

Faktor resistensi sebesar 0,9 untuk keadaan batas pelelehan dan 0,75 untuk keadaan batas retakan sehingga pers 3.3 dan 3.4 menjadi:

$$\phi T_n = 0,75 \cdot F_u \cdot A_g \dots\dots\dots (3.6)$$

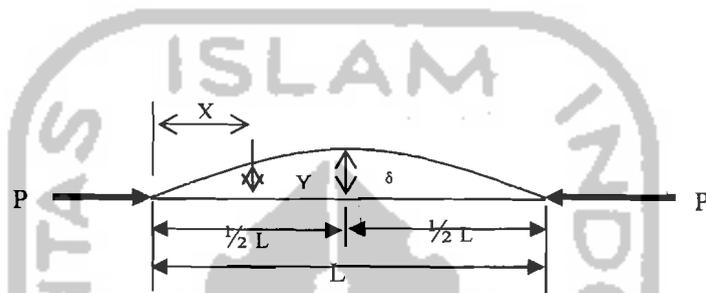
Dan

$$\phi T_n = 0,75 \cdot F_y \cdot A_g \dots\dots\dots (3.7)$$

Dari kedua persamaan tersebut diambil nilai yang terkecil.

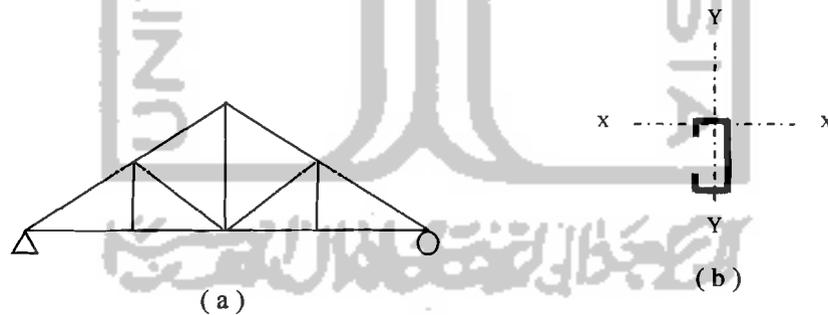
**3.1.3 Batang Tekan**

Teori tekukan kolom yang dikemukakan Leonhard Euler pada tahun 1744 menyatakan dimana suatu batang yang semula mendapat pembebanan konsentrik dengan semua serat tetap dalam keadaan elastik sampai terjadi tekukan kolom tersusun, akan sedikit bengkok seperti dalam gambar 3.6 (Salmon dan Johnson, 1992)



**Gambar 3.6** Batang lurus diberi gaya tekan aksial

**3.1.4 Batang Tekan Profil Tunggal**



**Gambar 3.7** (a) Struktur rangka atap dengan elemen batang tunggal

(b) Batang light Channel tunggal

$$M = -P.y \dots\dots\dots (3.8)$$

$$M = EI \frac{d^2y}{dx^2} \dots\dots\dots (3.9)$$

Sehingga pers (3.9) menjadi

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = -P.y \dots\dots\dots (3.10)$$

Pada  $y = \delta$ ,  $\frac{dy}{dx} = 0$  sehingga,

$$EI \left[ \frac{d^2y}{dx^2} \right] = P(\delta^2 - y^2) \dots\dots\dots (3.11)$$

Pada  $x = 0$ , lenturan ( $y$ ) = 0

$$\sin x \sqrt{\frac{P}{EI}} = \frac{y}{\delta} \dots\dots\dots (3.12)$$

Pada  $x = L$ , pelenturan ( $y$ ) = 0 pers. (3.12) menjadi

$$\sin L \sqrt{\frac{P}{EI}} = 0 \text{ atau } L \sqrt{\frac{P}{EI}} = n.\pi \dots\dots\dots (3.13)$$

Nilai  $P$  terkecil atau disebut beban kritis ( $P_{kr}$ ) akan terjadi bila  $n = 1$  sehingga:

$$P_{kr} = \frac{\pi^2 . EI}{L^2} \dots\dots\dots (3.14)$$

Pers. (3.14) dikenal dengan pers. *Euler*

Dengan:

$P_{kr}$  = beban Kritis;  $E$  = modulus elastis;  $I$  = inersia;  $L$  = Panjang batang

Jika pers. (3.14) dibagi luas ( $A$ ) maka

$$\frac{P_{kr}}{A} = \frac{\pi^2 . EI}{AL^2} \dots\dots\dots (3.15)$$

Karena  $\frac{A}{I} = \frac{1}{i^2}$  dan panjang batang ( $L$ ) diganti panjang tekuk ( $Lk$ ), maka

$$\sigma_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{\left[ \frac{L_k}{i} \right]^2} \dots \dots \dots (3.16)$$

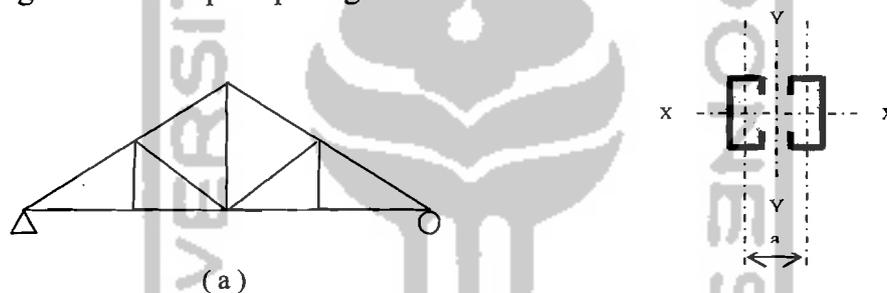
Dengan:

$\sigma_{kr}$  = tegangan kritis

$i$  = jari-jari kelembaman

### 3.1.5 Kuat Tekan Batang Tersusun

Struktur pendukung atap pada gambar 3.8a tersusun dari batang ganda profil light channel seperti pada gambar 3.8b



**Gambar 3.8** (a) Struktur rangka atap dengan elemen batang tersusun

(b) Batang light Channel tersusun

Bila pers. (3.16) digunakan untuk menghitung beban kritis kolom tersusun hasil yang diperoleh kurang teliti hal ini karena persamaan pelenturan yang diturunkan mengabaikan pengaruh gaya geser (lintang). Jika gaya aksial menimbulkan lentur pada batang maka di dalam penampang batang tersebut akan timbul gaya geser yang menyebabkan pelenturan bertambah dan berpengaruh terhadap beban kritis.

*Padosbajayo (1994)* dalam menentukan kuat desak batang tersusun bahwa dengan memperhitungkan gaya geser pada pelat yang diperoleh beban kritis ( $P_{kr}$ ) sebagai berikut:



**Gambar 3.9** Pelenturan akibat gaya tekan

Pelenturan akibat gaya tekan ditunjukkan dengan garis lengkung penuh sedangkan pelenturan akibat gaya lintang dinyatakan dengan garis putus-putus. Ditinjau penampang batang yang letaknya  $x$  dari ujung bawah. Andaikan pelenturan ditempat tersebut adalah  $y$ . Pelenturan akibat beban ( $P$ ). Dinyatakan dengan persamaan (3.10):

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -P \cdot y \quad \text{atau} \quad \frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{P}{EI} \cdot y$$

Gaya geser ( $V$ ) yang timbul pada penampang batang adalah:

$$V = \frac{Mx}{dx} = P \frac{dy}{dx} \dots\dots\dots (3.17)$$

Kemiringan (slop) yang terjadi akibat geser adalah

$$\theta = \frac{\text{Tegangan geser}}{\text{Modulus Geser}} \dots\dots\dots (3.18)$$

Dengan memperhitungkan faktor bentuk ( $\beta$ ) untuk mengoreksi karena adanya tegangan tak seragam disepanjang berbagai bentuk penampang lintang.

$$\theta = \frac{\beta \cdot V}{A \cdot G} = \frac{\beta}{A \cdot G} P \frac{dy}{dx} \dots\dots\dots (3.19)$$

Dengan:

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} \dots\dots\dots (3.20)$$

$G$  = modulus geser

$\mu$  = nilai banding poisson (*poison ratio*)

pelenturan gaya lintang dinyatakan dengan persamaan:

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{\beta}{A \cdot G} P \frac{d^2y}{dx^2} \dots\dots\dots (3.21)$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{P}{EI} \cdot y + \frac{\beta \cdot P}{A \cdot G} \frac{d^2y}{dx^2} \dots\dots\dots (3.22)$$

yang memberikan:

$$\frac{d^2y}{dx^2} + \frac{P}{EI} \left[ \frac{1}{1 - (P\beta/AG)} \right] y = 0 \dots\dots\dots (3.23)$$

penyelesaian persamaan (.....) adalah

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \left[ \frac{1}{1 + \frac{\beta \pi^2 EI}{A \cdot G L^2}} \right] \dots\dots\dots (3.24)$$

Kemiringan (slop) yang terjadi akibat geser adalah

$$\theta = \frac{\text{Tegangan geser}}{\text{Modulus Geser}} \dots\dots\dots (3.18)$$

Dengan memperhitungkan faktor bentuk ( $\beta$ ) untuk mengoreksi karena adanya tegangan tak seragam disepanjang berbagai bentuk penampang lintang.

$$\theta = \frac{\beta \cdot V}{A \cdot G} = \frac{\beta}{A \cdot G} P \frac{dy}{dx} \dots\dots\dots (3.19)$$

Dengan:

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} \dots\dots\dots (3.20)$$

$G$  = modulus geser

$\mu$  = nilai banding poisson (*poisson ratio*)

pelenturan gaya lintang dinyatakan dengan persamaan:

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{\beta}{A \cdot G} P \frac{d^2y}{dx^2} \dots\dots\dots (3.21)$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{P}{EI} \cdot y + \frac{\beta \cdot P}{A \cdot G} \frac{d^2y}{dx^2} \dots\dots\dots (3.22)$$

yang memberikan:

$$\frac{d^2y}{dx^2} + \frac{P}{EI} \left[ \frac{1}{1 - (\beta P / AG)} \right] y = 0 \dots\dots\dots (3.23)$$

penyelesaian persamaan (.....) adalah

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{1}{\left[ 1 + \frac{\beta \pi^2 EI}{A \cdot G L^2} \right]} \dots\dots\dots (3.24)$$

Dari persamaan diatas dapat disimpulkan bahwa pada batang tersusun yang mempunyai luas dan inersia yang sama dengan batang tunggal, kuat tekan kritis batang tersusun lebih kecil dibandingkan dengan batang tunggal. Hal ini dipengaruhi oleh:

$G$  = modulus Geser =  $785000 \text{ kg/cm}^2$

$E$  = modulus elastis  $2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$

$I$  = momen inersia

$A$  = luas penampang batang

$\beta$  = faktor bentuk

### 3.2 Hubungan Antara Tekuk Lokal dan Tekuk Keseluruhan

Tekuk lokal dan tekuk lentur dapat terjadi secara bersamaan apabila tegangan kritis batang sama dengan tegangan kritis rangka kuda-kuda keseluruhan, seperti pada persamaan

$F_{cr} \text{ batang} = F_{cr} \text{ keseluruhan}$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{K a_k / r^2} \dots \dots \dots (3.25)$$

$$\frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) (b/t)^3} = \frac{\pi^2 \cdot E}{(K a / r)^3} \dots \dots \dots (3.26)$$

$$\left( \frac{K a}{r} \right)^2 = \frac{12(1 - \mu^2) (b/t)^2}{k} \dots \dots \dots (3.27)$$

$$a = \sqrt{\frac{r^2 [12(1 - \mu^2)] (b/t)^2}{k \cdot K^2}} \dots \dots \dots (3.28)$$

dari persamaan diatas diperoleh nilai  $a$ , apabila  $a_{\text{pakai}} > a_{\text{rumus}}$  maka mengalami tekuk menyeluruh, jika  $a_{\text{pakai}} < a_{\text{rumus}}$  maka mengalami tekuk lokal.

Dengan asumsi tumpuan pada batang adalah sendi-sendi maka  $K = 1$  sehingga

$$\left(\frac{L}{r}\right) = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{F_{\text{crplatt}}}} \dots\dots\dots (3.29)$$

dengan memasukkan rumus  $F_{\text{cr}}$  ke persamaan (3. ) maka:

$$\left(\frac{a}{r}\right) = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{k\pi^2 \cdot E}{12(1-\mu^2)\left(\frac{b}{t}\right)^2}\right)}} \dots\dots\dots (3.30)$$

$$\left(\frac{a}{r}\right) = \left(\frac{b}{t}\right) \sqrt{\frac{12(1-\mu^2)}{k}} \dots\dots\dots (3.31)$$

dengan  $\mu$  baja 0,3 sehingga

$$\left(\frac{a}{r}\right) = \frac{3,3045\left(\frac{b}{t}\right)}{\sqrt{k}} \dots\dots\dots (3.32)$$

$$k = \left(\frac{3,3045\left(\frac{b}{t}\right)(r)^2}{a}\right) \dots\dots\dots (3.33)$$

Dari persamaan tersebut diatas memperlihatkan bahwa nilai kekakuan suatu batang tekan selalu berbanding terbalik dengan kuadrat panjang batang ( $a$ ). Sehingga pada profil baja yang sama semakin panjang batang tersebut maka nilai kekakuan dari batang tersebut akan semakin kecil.

### 3.3 Tegangan Kritis Dengan Metode AISC

*American institute of Steel Contructions* (AISC) mengemukakan hitungan tegangan kritis yang mempertimbangkan tekuk lokal. Pengaruh tekuk lokal yang terjadi sebelum kekuatan batang tekan keseluruhan tercapai di perhitungkan dengan mengalikan tegangan maksimum yang dapat dicapai dengan faktor bentuk Q. Faktor bentuk dipengaruhi oleh bentuk penampang, dimana

$$Q = Q_a \cdot Q_s \dots \dots \dots (3.34)$$

Faktor bentuk  $Q_s$  diperhitungkan apabila,

$$\left(\frac{b}{t}\right) > \left(\frac{200}{\sqrt{F_y}}\right) \dots \dots \dots (3.35)$$

Besar  $Q_s$  menurut AISC adalah,

$$Q_s = 1,340 - 0,01174 \left(\frac{b}{t}\right) \sqrt{F_y} \dots \dots \dots (3.36)$$

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

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

$$\left(\frac{b}{t}\right) > \left(\frac{625}{\sqrt{F_y}}\right) \dots \dots \dots (3.37)$$

Besar  $Q_a$  menurut AISC adalah

$$Q_a = \left(\frac{A_{\text{eff}}}{A_{\text{bruto}}}\right) \dots \dots \dots (3.38)$$

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

$$\left(\frac{b_E}{t}\right) = \left(\frac{21}{\sqrt{f}}\right) \left(1 - \frac{4,18}{\left(\frac{b}{t}\right)\sqrt{f}}\right) \dots\dots\dots(3.39)$$

dengan  $f$  adalah tegangan yang bekerja pada elemen.

Besar tegangan kritis menurut AISC dapat di tentukan dengan menggunakan nilai persamaan tegangan kritis seperti pada persamaan dibawah ini

$$F_{cr} = Q \cdot F_y \left[ 1 - \frac{Q \cdot F_y}{4\pi^2} \left( \frac{KL}{r} \right)^2 \right] \dots\dots\dots(3.40)$$

apabila,

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot E}{Q \cdot F_y}} \dots\dots\dots(3.41)$$

maka

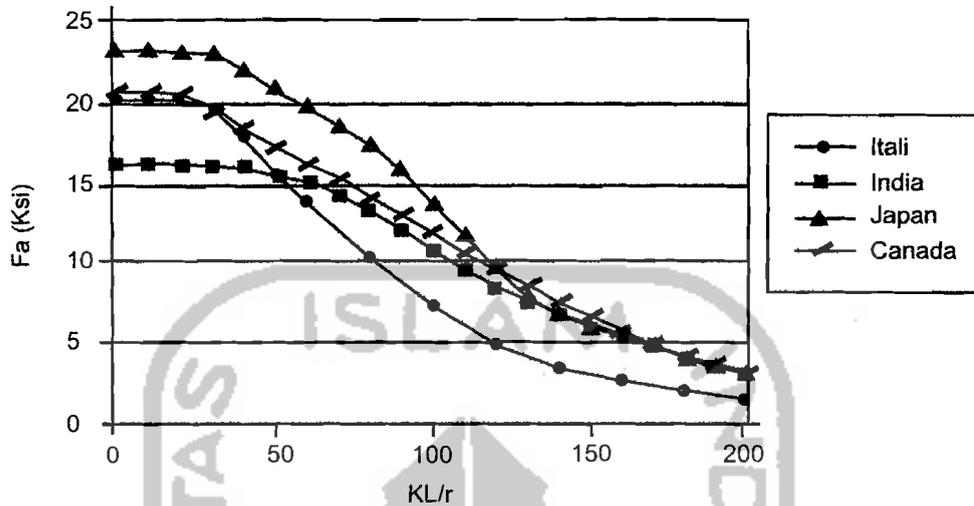
$$F_{cr} = Q \cdot F_y \left[ 1 - \frac{KL \cdot r^2}{2C_c^2} \right] \dots\dots\dots(3.42)$$

apabila  $KL/r$  lebih dari  $C_c$  maka tegangan kritis yang terjadi adalah,

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \dots\dots\dots(3.43)$$

Penelitian hubungan antara tegangan yang terjadi 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 ( $0 \leq KL/r \leq 40$ ), penurunan tegangan kritis yang terjadi seiring dengan dengan penambahan  $KL/r$ .

Untuk  $KL/r = \pm 40$  sampai dengan 160, dan kembali relatif datar untuk  $KL/r$  lebih dari 160.



**Gambar 3.10** Grafik Hubungan  $KL/r$  Dengan  $F_a$  di beberapa negara (*Lambert Tall, 1974*)

### 3.4 Hubungan Beban-Lendutan

Beban transversal pada kuda-kuda menyebabkan timbulnya lentur, maka mengalami lendutan. Balok dengan 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 defleksi juga semakin besar (*Lynn S. Beedle, 1958*).

$$\Delta = \frac{P.L^3}{AE} \dots\dots\dots (3.44)$$

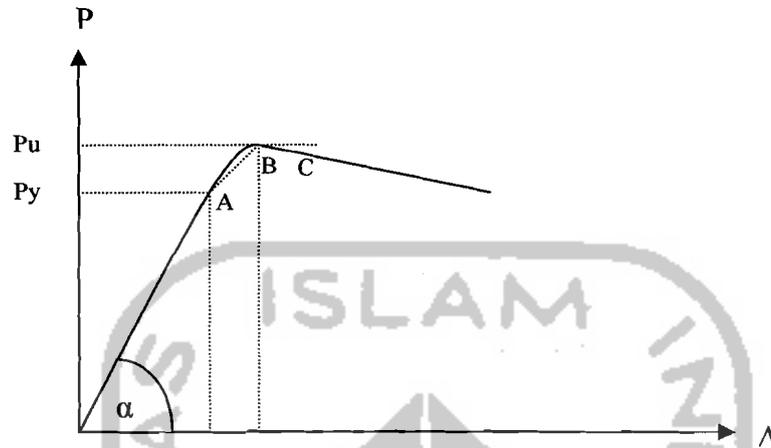
dengan :  $\Delta$  = Defleksi

$P$  = Beban

$E$  = Modulus Elastis

$L$  = Panjang Bentang

$I$  = Momen Inersia penampang



**Gambar 3.11** Grafik Hubungan Beban ( $P$ ) dan Lendutan ( $\Delta$ )

$$k = \operatorname{tg}\alpha = \frac{P}{\Delta} \dots\dots\dots(3.45)$$

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

### 3.5 Hubungan Momen dengan Kelengkungan

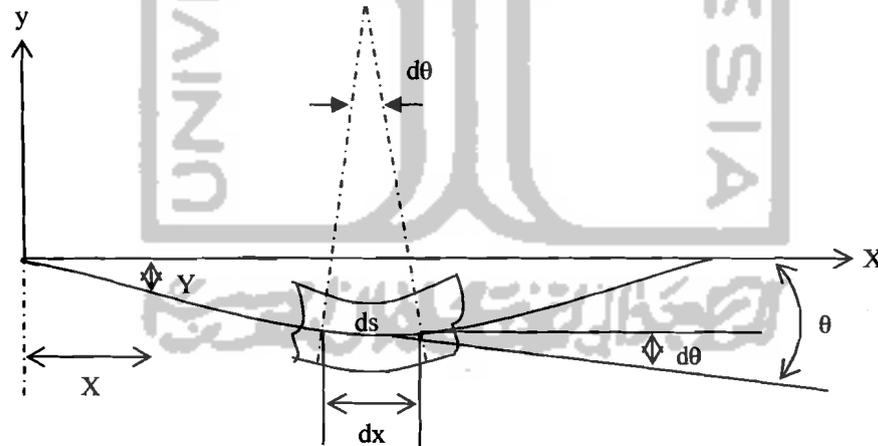
Menurut *Popov (1995)*, teori difleksi balok dipengaruhi oleh geometri atau kinematika dari sebuah elemen balok. Kinematika dasar yang menghipotesa irisan-irisan yang berbentuk bidang datar akan tetap merupakan bidang datar selama terdeformasi.

Pandangan samping dari permukaan netral balok yang melendut disebut kurva elastis balok (Gambar 3.10). kurva ini diperlihatkan secara pembesaran, seperti berikut ini.

$$\theta = \frac{d^2y}{dx^2} \dots\dots\dots (3.46)$$

Dan

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{d^3y}{dx^3} \dots\dots\dots (3.47)$$



**Gambar 3.12** Kurva Elastis (*Ferdinand-Pytel, 1984*)

Apabila kita meninjau variasi  $\theta$  dalam panjang diferensial  $ds$  yang disebabkan oleh lenturan pada balok secara nyata bahwa:

$$ds = \rho.d\theta \dots\dots\dots (3.48)$$

Dengan  $\rho$  jari-jari kurva sepanjang  $ds$ , sehingga dari persamaan (3.47) dan pers. (3.48) diperoleh

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d\theta}{ds} = \frac{d\theta}{dx} = \frac{d^2y}{dx^2} \dots\dots\dots (3.49)$$

Hubungan dasar antara kurva elastis dan regangan linier, didapat:

$$\theta = \frac{1}{\rho} = k - \frac{\epsilon}{y} \dots\dots\dots (3.50)$$

Karena sifat beban tidak diperhitungkan, maka hubungan ini digunakan untuk masalah-masalah elastis maupun tidak.

$$\epsilon = \epsilon_x = \frac{\alpha x}{E} \text{ dan } \epsilon_x = -\frac{My}{I} \dots\dots\dots (3.51)$$

Sehingga

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \dots\dots\dots (3.51)$$

Dalam koordinat kurva kartesian suatu garis didefinisikan (*Ferdinand-Pytel, 1984*)

$$\frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left[1 + \left[\frac{dy}{dx}\right]^2\right]^{\frac{3}{2}}} = \frac{1}{\rho} \dots\dots\dots (3.53)$$

Karena defleksi yang diterima oleh sebagian besar struktur sangat kecil maka

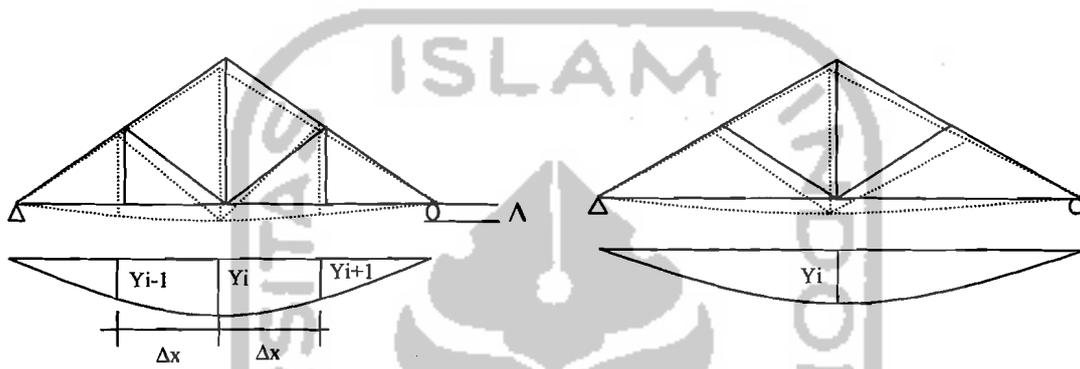
kemiringan  $\frac{dy}{dx}$  dari kurva adalah sangat kecil

$$\frac{dy}{dx} = 0 \dots\dots\dots (3.54)$$

Sehingga persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2y}{dx^2} = \theta = \frac{M}{EI} \dots\dots\dots (3.55)$$

Dari pengujian lentur didapat defleksi pada titik diskrit yaitu  $y_{i-1}$ ,  $y_i$  dan  $y_{i+1}$  (Gambar 3.13). Pendekatan kemiringan adalah sebagai berikut :



**Gambar 3.13** Momen Kelengkungan

Dari pengujian kuat lentur didapat defleksi pada titik – titik distrik. Pendekatan kemiringan menggunakan metode *Central Difference* (.....).

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \dots\dots\dots (3.56)$$

turunan kedua persamaan (3.52) adalah:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x) \left( \frac{d}{dx} \right) (y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \left( \frac{d}{dx} \right) (2\Delta x)}{(2\Delta x)^2} \dots\dots\dots (3.57)$$

Karena  $(2\Delta x)$  adalah konstan maka:

$$\frac{d}{dx} (2\Delta x) = 0 \dots\dots\dots (3.58)$$

sehingga persamaan (3.58) menjadi

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x) \left( \frac{d}{dx} \right) (y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta x)^2} \dots\dots\dots(3.59)$$

kemudian persamaan (3.59) disederhanakan menjadi

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{y_{i+2} - 2y_i + y_{i-2}}{(\Delta x)^2} \dots\dots\dots(3.60)$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \phi = \frac{M}{EI} \dots\dots\dots(3.61)$$

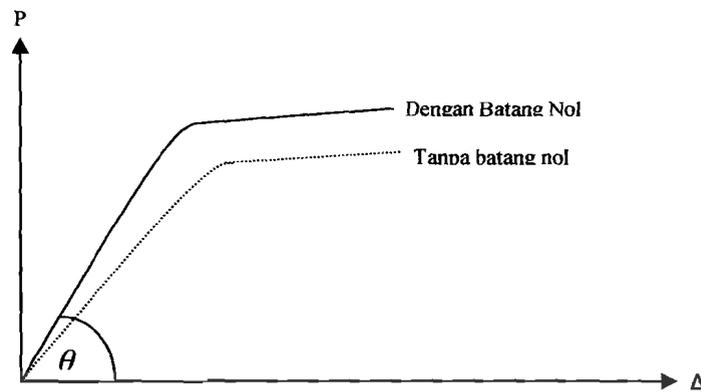
$$M = EI \cdot \phi \dots\dots\dots(3.62)$$

$$M = EI \frac{d^2y}{dx^2} \dots\dots\dots(3.63)$$

### 3.6 Hipotesis

Berdasarkan latar belakang, tinjauan pustaka, landasan teori diatas bahwa apabila suatu struktur rangka atap baja diberi beban sentris ( $P$ ) maka akan terjadi lendutan ( $\Delta$ ) yang besarnya dipengaruhi kekuatan bahan dan kekuatan sambungan.

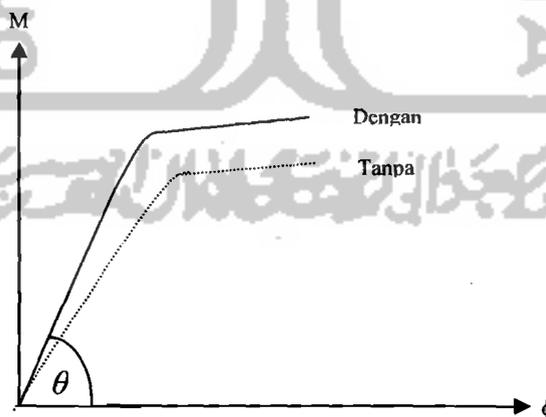
Pada rangka batang yang tidak menggunakan rangka batang nol maka kekakuan rangka batang akan menjadi kecil atau berkurang bila dibandingkan dengan rangka batang yang menggunakan batang nol. Gambar 3.15 menunjukkan hubungan antara beban ( $P$ ) dan lendutan ( $\Delta$ ) yang terjadi.



**Gambar 3.15** Hubungan Beban (P) Lendutan (Δ)

$$\operatorname{tg} \theta = k = \frac{P}{\Delta} \dots \dots \dots (3.64)$$

Sedangkan pada Gambar 3.16 menunjukkan hubungan antara momen dan kelengkungan yang terjadi pada rangka batang.



**Gambar 3.15 dan 3.16** Terlihat bahwa semakin besar sudut  $\theta$  maka kekakuan yang terjadi semakin besar.