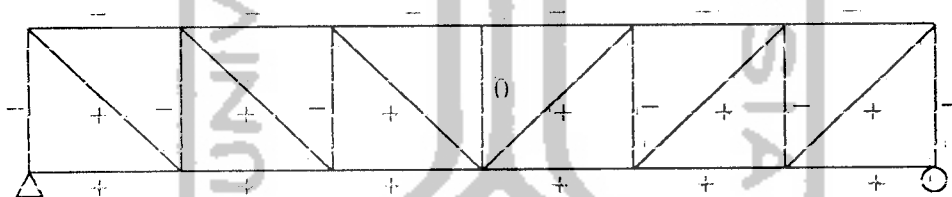


### BAB III

#### LANDASAN TEORI

##### 3.1. Pendahuluan

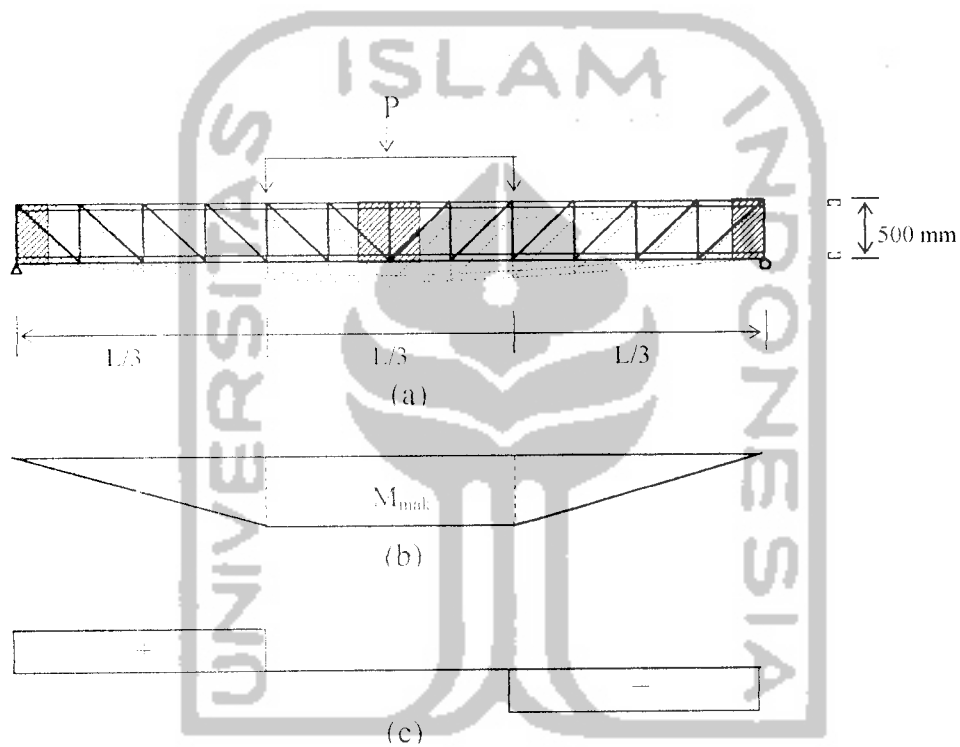
Struktur balok badan terbuka dengan tumpuan sederhana dapat dipandang sebagai struktur rangka batang, seperti tampak pada Gambar (3.1) batang tepi atas dan vertikal menerima gaya tekan, batang tepi bawah dan diagonal menerima gaya tarik. Batang-batang pada balok badan terbuka (batang tepi atas) yang menerima gaya tekan perlu mendapat perhatian, karena profil C bentukan dingin rawan terjadi tekuk.



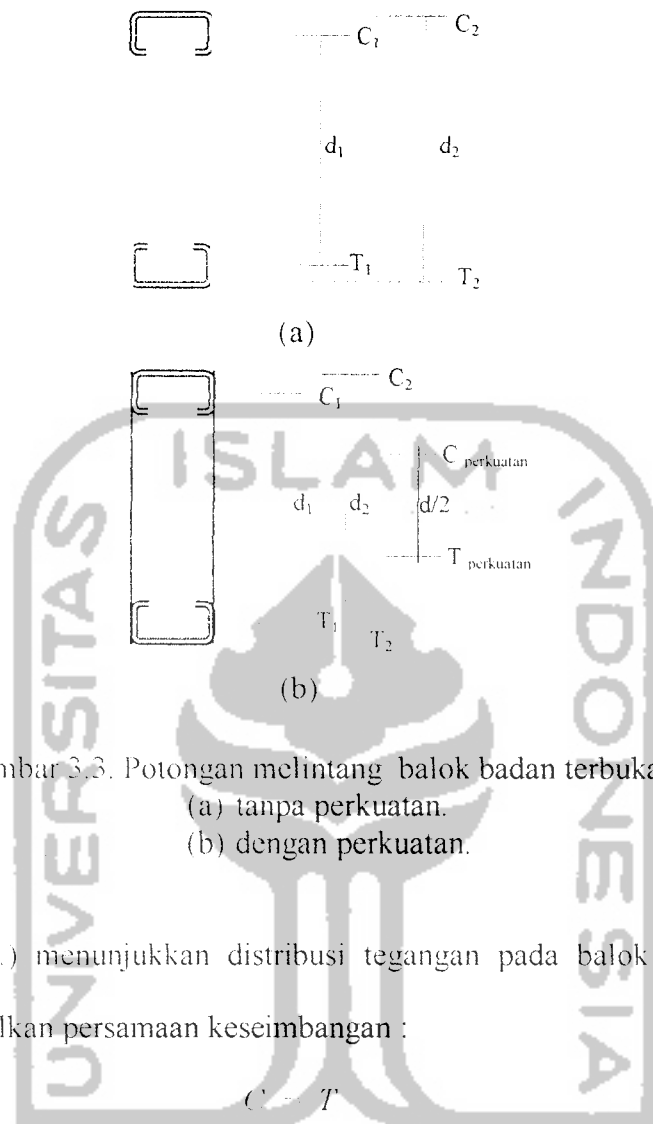
Gambar 3.1. Gaya batang yang terjadi

Bila struktur menerima beban transversal, maka pada struktur tersebut akan bekerja momen, gaya geser dan mengalami deformasi. Dalam penelitian ini pembebanan diletakkan pada setrap sepertiga panjang balok, dengan maksud untuk mendapatkan

lenturan murni (*pure bending flexure*) dimana sepanjang bagian balok yang mengalami momen maksimum tidak dipengaruhi oleh gaya geser. Perkuatan pada tepi untuk menahan gaya geser, perkuatan pada tengah untuk menahan momen, seperti tampak pada Gambar (3.2.).



Gambar 3.2. Balok badan terbuka dengan perkuatan (a) Pembebanan. (b) Diagram Momen. (c). Diagram Geser



Gambar 3.3. Potongan melintang balok badan terbuka  
 (a) tanpa perkuatan.  
 (b) dengan perkuatan.

Dari Gambar (3.3.) menunjukkan distribusi tegangan pada balok badan terbuka, sehingga menghasilkan persamaan keseimbangan :

$$C = T \quad (3.1)$$

Sehingga dapat dituliskan bahwa besarnya momen dalam adalah sama dengan hasil kali antara resultan gaya tekan ( $C$ ) terhadap jarak dari titik tangkap gaya tekan ke titik tangkap gaya tarik ( $T$ ). Gaya tekan yang terjadi pada balok badan terbuka perlu diperhatikan, karena profil C canai dingin rawan terjadi tekuk.

Jika gaya tekan  $C$  merupakan total gaya tekan berdasarkan tegangan yang terjadi ( $f_{cr}$ ) dikalikan dengan luas profil C, yaitu :

$$C = F_{cr} \cdot A \quad (3.2)$$

Mengacu pada Gambar (3.3.a), momen nominal balok badan terbuka tanpa perkuatan adalah :

$$M_n = C_1 \cdot d_1 + C_2 \cdot d_2 \quad (3.3)$$

Mengacu pada Gambar (3.3.b), momen nominal balok badan terbuka dengan perkuatan adalah :

$$M_n = (C_1 \cdot d_1 + C_2 \cdot d_2) + \frac{1}{4} b \cdot d^2 \cdot F_y \quad (3.4)$$

Dari persamaan (3.4) menunjukkan bahwa perkuatan pada balok badan terbuka akan meningkatkan momen nominal.

### 3.2. Batang Tarik

Menurut *Salmon dan Johnson, 1992*, batang tarik adalah batang yang mengalami tegangan tarik aksial akibat beban kerja pada ujung-ujung batang. Desain komponen tarik merupakan persoalan yang paling sederhana dibanding perencanaan struktur lain. Meskipun stabilitas bukan merupakan kriteria utama dalam mendesain batang tarik, namun batang tarik yang terlalu panjang akan mempunyai lendutan yang besar sekali yang disebabkan oleh berat batang tarik itu sendiri. Pada balok badan terbuka, batang tarik terletak pada batang diagonal (yang berupa besi tulangan) dan batang horisontal bawah (yang berupa profil C).

Desain kekuatan nominal untuk batang tarik diambil nilai terkecil dari persamaan (3.5) dan (3.6).

Kekuatan desain  $\phi_t T_n$  berdasarkan pada kriteria leleh (pelelehan pada penampang bruto) yang merupakan kegagalan daktil, seperti pada persamaan (3.5).

$$\phi_t T_n = \phi_t F_y A_g = 0,90 F_y A_g \quad (3.5)$$

Atau pada kriteria *fractur* (retakan pada penampang bersih) yang merupakan kegagalan getas, seperti pada persamaan (3.6).

$$\phi_t T_n = \phi_t F_u A_e = 0,75 F_u A_e \quad (3.6)$$

keterangan :  $\phi_t$  = faktor resistensi tarik

$T_n$  = kekuatan nominal batang tarik

$F_y$  = tegangan leleh

$F_u$  = tegangan tarik ultimit

$A_g$  = luas penampang lintang bruto

$A_e$  = luas bersih efektif

### 3.3. Batang Tekan

Batang tekan merupakan batang dari suatu rangka batang yang mengalami gaya tekan aksial searah panjang batangnya. Pada balok badan terbuka profil C bentukan dingin batang tekannya adalah batang vertikal dan batang horisontal atas.

Keruntuhan batang tekan pada profil C bentukan dingin mungkin dapat terjadi berupa keruntuhan yang diakibatkan oleh terjadinya tekuk lokal. Tekuk lokal menyebabkan elemen yang tertekuk tidak dapat lagi menanggung bagian beban yang harus diterimanya. Keruntuhan akibat tekuk lokal ini terjadi pada batang yang

langsing dimana tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) yang dimiliki oleh pelat jauh dibawah tegangan lelehnya ( $F_c$ ).

### 3.3.1. Tegangan Kritis Pelat yang Menerima Tekanan Merata

*Salmon dan Johnson, 1990*, mengemukakan tegangan tekuk elastik teoritik untuk pelat dinyatakan sebagai :

$$F_{cr} = k \cdot \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(b/t)^2} \quad (3.7)$$

Keterangan :  $F_{cr}$  = tegangan kritis (Mpa)

$k$  = koefisien tekuk

$E$  = modulus elastis baja ( $2 \cdot 10^5$  Mpa)

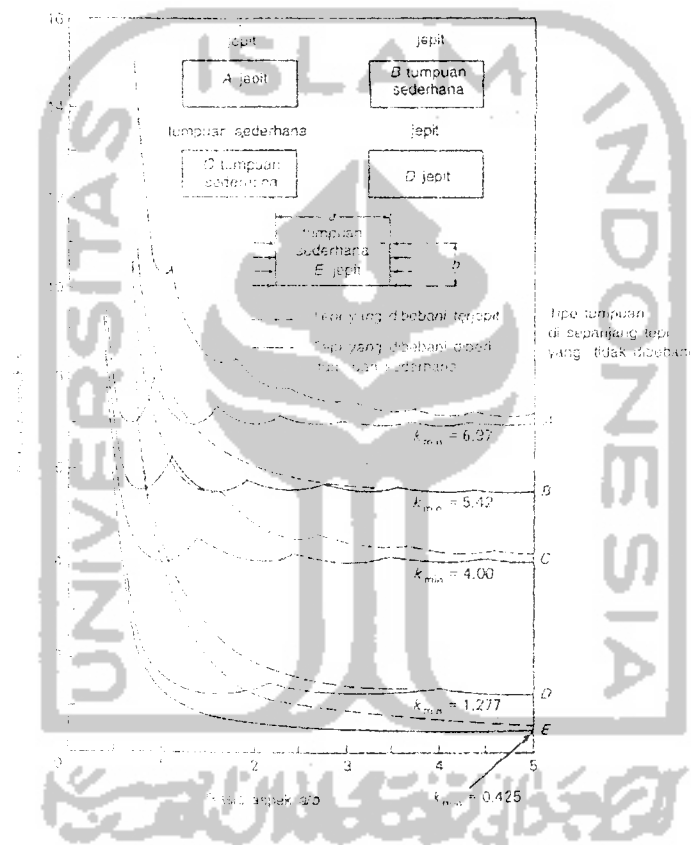
$\mu$  = angka poisson

$b/t$  = rasio lebar terhadap tebal

dari persamaan (3.7) diatas tampak bahwa nilai  $F_{cr}$  dipengaruhi oleh koefisien tekuk ( $k$ ) dan rasio lebar terhadap tebal ( $b/t$ ).

Nilai rasio lebar terhadap tebal  $b/t$  (pada sayap) atau  $h/t$  (pada badan) dari profil C bentukan dingin yang besar menyebabkan  $F_{cr}$  semakin rendah, 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 nilai koefisien tekuk ( $k$ ).

Koefisien tekuk ( $k$ ) merupakan fungsi dari jenis tegangan (tekanan merata pada dua tepi yang berlawanan) dan kondisi tumpuan tepi (tumpuan sederhana pada keempat tepi), serta rasio aspek  $a/b$ . Seperti ditunjukkan pada Gambar (3.4).



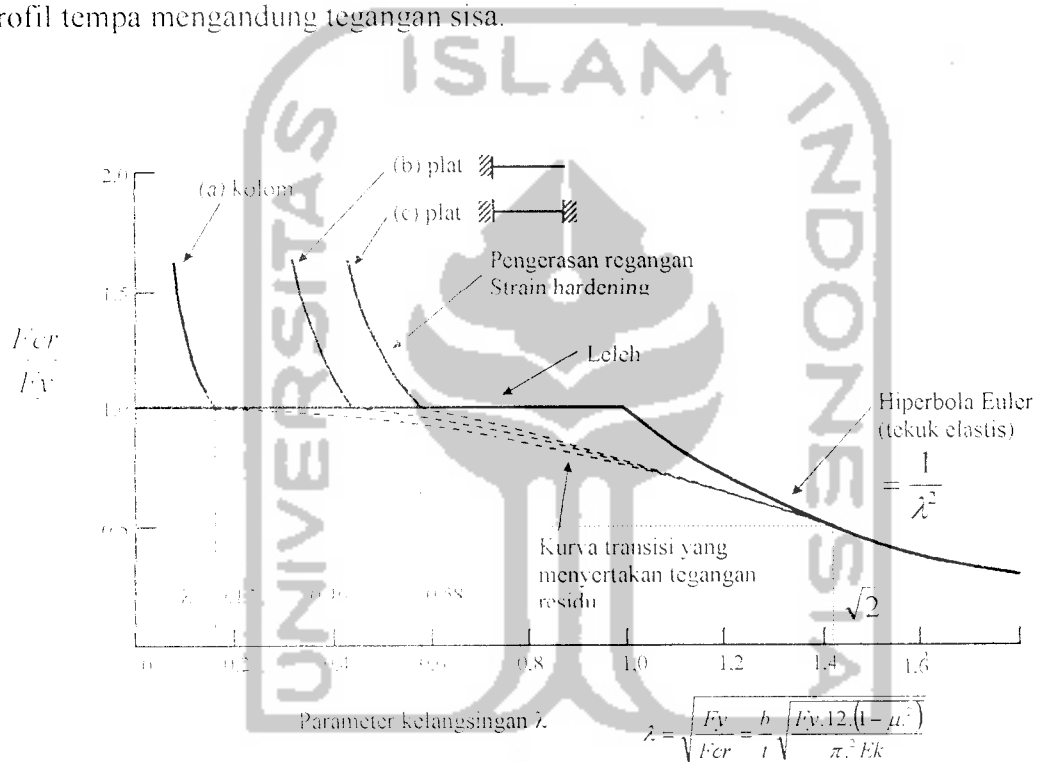
Gambar 3.4. Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar (diadaptasi dari Gerard dan Becker, *Handbook of Structural Stability, Part I - Buckling of Flat Plates*).

Nilai  $k$  dipengaruhi oleh perbandingan  $a/b$  dan kondisi dari tepi-tepi pelat dimana semakin besar nilai  $a/b$  maka nilai  $k$  akan mendekati konstan.

### 3.3.2. Batas Rasio Lebar terhadap Tebal Pelat dalam Perencanaan Tegangan Kerja

#### Kerja

Salmon dan Johnson, 1990, mengemukakan bahwa kekuatan pelat yang sebenarnya dinyatakan oleh kurva transisi antara kurva Euler dan titik dimana mulai terjadi pengerasan regangan, seperti pada Gambar (3.5) karena pelat seperti halnya profil tempa mengandung tegangan sisa.



Gambar 3.5. Perbandingan antara tekuk plat dengan tekuk kolom (Diacptasi dari Geerhard Haaijer dan Bruno Thurlimann, *On Inelastic Buckling In Steel*).

Dari Gambar (3.5), apabila dibandingkan antara kolom (kurva a) dan pelat (kurva b dan c), terlihat bahwa pelat mencapai kondisi pengerasan regangan pada harga  $\lambda_c$  yang relatif lebih tinggi. Hal ini berarti tegangan kritis yang dicapai oleh pelat jauh



lebih rendah dari tegangan kritis kolom. Sesungguhnya nilai  $\lambda_c$  tersebut kurang tepat untuk kondisi pada profil C bentukan dingin, hal ini dikarenakan profil ini memiliki penampang yang relatif tipis sehingga tumpuan jepitnya tidak dapat mengekang tepi pelat secara sempurna. Namun karena belum ada penelitian lebih lanjut tentang  $\lambda_c$  untuk plat yang relatif tipis maka  $\lambda_c = 0,46$  dan  $0,58$  tetap dipakai dalam penelitian ini. Pada saat memperhitungkan perilaku tak elastis, maka modulus elastis yang digunakan untuk menghitung tegangan harus berupa modulus singgung ( $E_t$ ).

Dengan mendefinisikan parameter kelangsingan sebagai:

$$\lambda = \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} \quad (3.8)$$

dapat ditulis dalam bentuk :

$$\frac{1}{\lambda^2} = \frac{F_{cr}}{F_y} \quad (3.9)$$

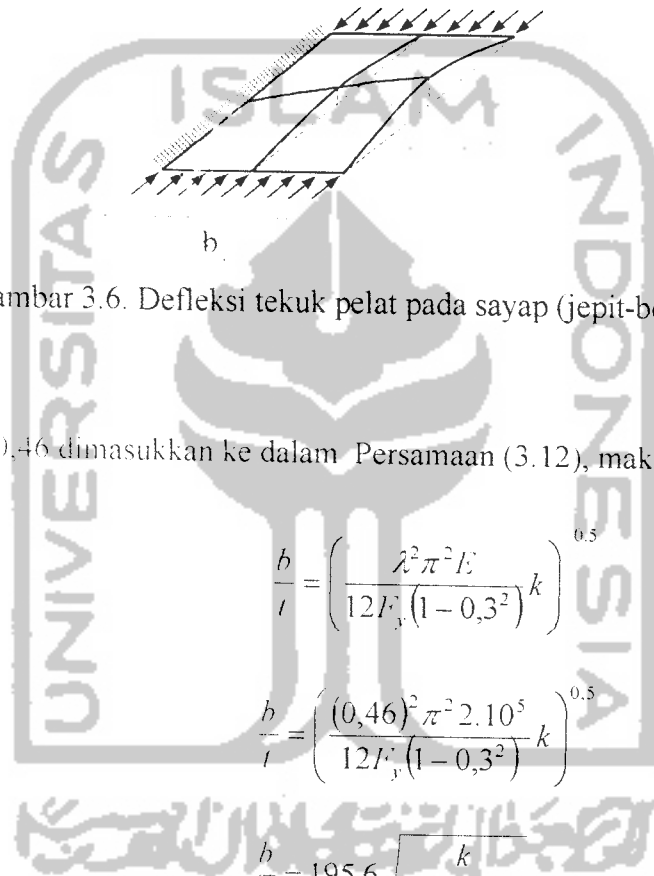
maka, Persamaan (3.9) untuk pelat menjadi

$$\lambda^2 = \left(\frac{b}{t}\right)^2 F_y \left[ \frac{12(1-\mu^2)}{\pi^2 E} \right] \frac{1}{k} \quad (3.10)$$

$$\frac{b}{t} = \left( \frac{\lambda^2 \pi^2 E}{12 F_y (1-0,3^2) k} \right)^{0,5} \quad (3.11)$$

$$\frac{b}{t} = 425 \lambda_c \sqrt{\frac{k}{F_y (\text{Mpa})}} \quad (3.12)$$

$\lambda_c$  harus dibatasi agar tercapai pengerasan regangan tanpa adanya tekuk pelat. Untuk elemen tanpa pengaku (pelat dengan satu tepinya bebas) seperti ditunjukkan pada Gambar (3.6) harga  $\lambda_c = 0,46$ .



Gambar 3.6. Defleksi tekuk pelat pada sayap (jepit-bebas).

Bila harga  $\lambda_c = 0,46$  dimasukkan ke dalam Persamaan (3.12), maka

$$\frac{b}{t} = \left( \frac{\lambda^2 \pi^2 E}{12 F_y (1 - 0,3^2)} k \right)^{0,5} \quad (3.13)$$

$$\frac{b}{t} = \left( \frac{(0,46)^2 \pi^2 2 \cdot 10^5}{12 F_y (1 - 0,3^2)} k \right)^{0,5} \quad (3.14)$$

$$\frac{b}{t} = 195,6 \sqrt{\frac{k}{F_y (Mpa)}} \quad (3.15)$$

Mengambil keadaan batas yang sesuai, untuk nilai  $k = 0,67$

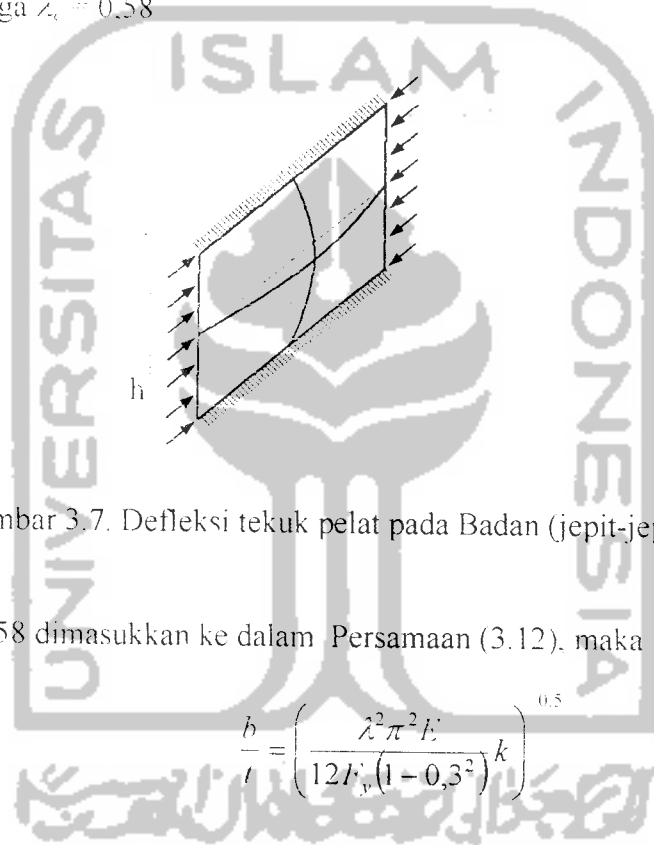
$$\frac{b}{t} = 195,6 \sqrt{\frac{0,67}{F_y (Mpa)}} \quad (3.16)$$

$$\frac{b}{t} \leq \frac{171}{\sqrt{F_y} (Mpa)} \quad (3.17)$$

Batas rasio  $b/t$  pada sayap untuk menghindari tekuk adalah :  $\frac{b}{t} \leq \frac{171}{\sqrt{240} (Mpa)} = 11$

Untuk pelat dengan kondisi tumpuan tepi jepit-jepit, seperti ditunjukkan pada

Gambar (3.7) harga  $\lambda_c = 0,58$



Gambar 3.7. Defleksi tekuk pelat pada Badan (jepit-jepit)

Bila harga  $\lambda_c = 0,58$  dimasukkan ke dalam Persamaan (3.12), maka

$$\begin{aligned} \frac{b}{t} &= \left( \frac{\lambda_c^2 \pi^2 E'}{12 F_y (1 - 0,3^2)} k \right)^{0,5} \\ \frac{b}{t} &= \left( \frac{(0,58)^2 \pi^2 2 \cdot 10^5}{12 F_y (1 - 0,3^2)} k \right)^{0,5} \\ \frac{b}{t} &= 246,5 \sqrt{\frac{k}{F_y} (Mpa)} \quad (3.18) \end{aligned}$$

batas rasio  $h/t$  pada badan untuk menghindari tekuk adalah:  $\frac{h}{t} \leq \frac{500}{\sqrt{F_y} (Mpa)}$

Berdasarkan tabel profil konstruksi baja menunjukkan bahwa profil C bentukan dingin mempunyai rasio lebar terhadap tebal seperti terlihat dalam Tabel (3.1).

Tabel 3.1. Nilai rasio lebar terhadap tebal profil C

a x b x c	T (mm)	b/t	H/t
100 x 50 x 20	2,3	21,7	43,5
	3,2	15,6	31,3
125 x 50 x 20	2,3	21,7	54,3
	3,2	15,6	39
150 x 65 x 20	2,3	28,3	62,2
	3,2	20,3	46,9
200 x 75 x 20	2,3	32,6	87
	3,2	23,4	62,5

Dari Tabel (3.1) nilai rasio lebar terhadap tebal  $b/t$  (pada sayap) atau  $H/t$  (pada badan) dari profil C canai dingin rawan terhadap bahaya tekuk.

#### 3.4. Tekuk Kolom

*Bowles, 1981*, mengemukakan bahwa bagian konstruksi desak vertikal dalam sebuah konstruksi lazimnya diidentifikasi sebagai kolom, pendapat serupa juga dikemukakan oleh *Salmon dan Johnson, 1990*. Keruntuhan akibat tekuk apabila

tegangan pada seluruh penampang masih alam kondisi elastis, tekuk dapat dihitung dengan persamaan tekuk Euler seperti pada persamaan (3.19) berikut ini

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad 3.19$$

Keterangan :  $F_{cr}$  = tegangan kritis (Mpa)

$E$  = modulus elastis baja ( $2 \cdot 10^5$  Mpa)

$KL/r$  = rasio kelangsingan

$K$  = faktor panjang efektif

$L$  = panjang batang

$r$  = radius girasi  $\sqrt{I/Ag}$

Dari persamaan (3.19) dapat diketahui bahwa semakin langsing suatu batang kemungkinan terjadi tekuk akan semakin besar.

### 3.5. Penempatan Pengaku Lateral (*Bracing*)

Berdasarkan asumsi bahwa beban transversal dikenakan secara vertikal melalui pusat geser dan tidak memperhitungkan tekuk puntir lateral pada penelitian ini, maka perlu ditambahkan pengaku lateral (*bracing*) dengan interval tertentu agar kegagalan akibat tekuk puntir lateral dapat dicegah.

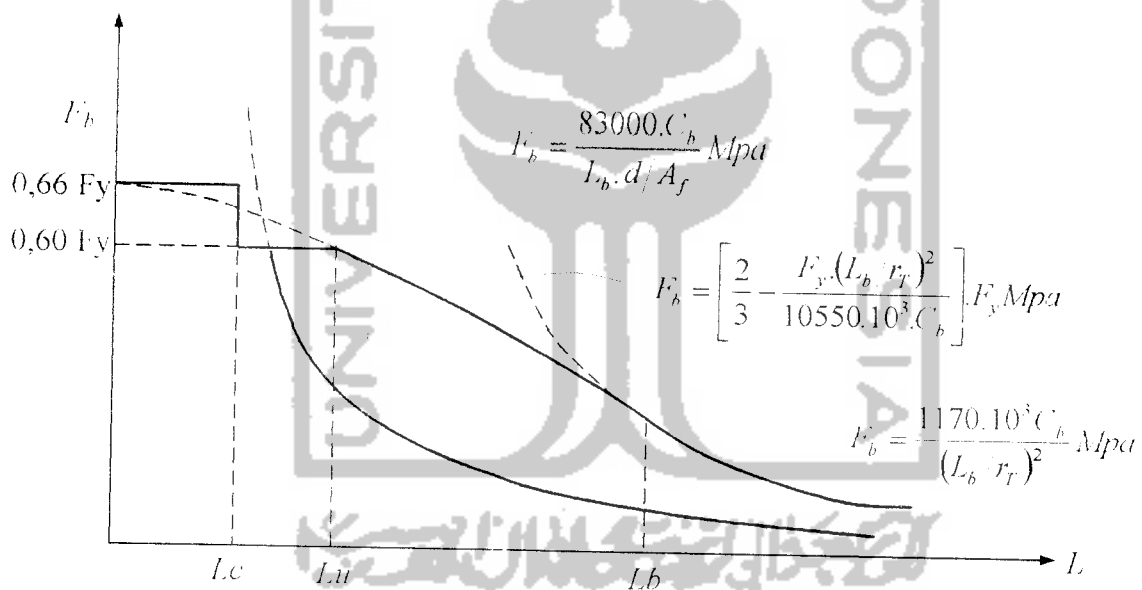
Pengaku lateral (*bracing*) pada struktur dua tumpuan sederhana (*simple beam*) akan diperlukan bila syarat kompak pada struktur tersebut tidak terpenuhi. Adapun

syarat kompak dari suatu struktur adalah apabila memenuhi persamaan-persamaan sebagai berikut:

$$\text{Sayap: } \frac{bf}{2tf} \leq \frac{170}{\sqrt{F_y}} \text{ Mpa} \quad 3.20$$

$$\text{Badan: } \frac{d}{tw} \leq \frac{1690}{\sqrt{F_y}} \text{ Mpa} \quad 3.21$$

Apabila syarat kompak tersebut di atas tidak terpenuhi maka struktur tersebut harus diberi pengaku lateral, dengan ketentuan jarak sebagai berikut (gambar 3.8).



Gambar 3.8. Tegangan pada balok dengan *lateral support* pada jarak tertentu

Dari gambar (3.8) dapat dilihat bahwa :

1. Apabila :  $L \leq L_c$

Maka tegangan ijin maksimal dipakai :  $F_b = 0,66 F_y$

$L_c$  diambil nilai terkecil dari :

$$L_c = \frac{200 \cdot b_f}{\sqrt{F_y}} Mpa \quad 3.22$$

$$L_c = \frac{138000}{(d/A_f) \cdot F_y} Mpa \quad 3.23$$

2. Apabila :  $L_c < L < L_u$

Maka tegangan ijin maksimal dipakai :  $F_b = 0,60 F_y$

$L_u$  diambil nilai terbesar dari :

$$L_u = \frac{2900}{(d/A_f) \cdot F_y} Mpa \quad 3.24$$

$$L_u = r_t \sqrt{\frac{14800 \cdot c_b}{F_y}} Mpa \quad 3.25$$

dimana :  $r_t = \sqrt{\frac{1}{2} \frac{I_y}{A_f + \frac{1}{6} A_w}}$

3. Apabila :  $L_u < L < r_t \sqrt{\frac{510000 \cdot c_b}{F_y}} Mpa$

Maka tegangan  $F_b$  diambil nilai terbesar dari persamaan :

$$F_b = \left[ \frac{2}{3} - \frac{F_y (L_b / r_t)^2}{10550 \cdot 10^3 \cdot C_b} \right] \cdot F_y Mpa \quad 3.26$$

$$F_b = \frac{83000 \cdot C_b}{L \cdot (d/A_f)} Mpa \quad 3.27$$

### 3.6. Alat Sambung Las

Pengelasan merupakan proses penggabungan beberapa material (biasanya logam) dengan pemanasan sampai temperatur yang sesuai sedemikian rupa sehingga bahan-bahan tersebut melebur menjadi satu material.

Elektrode las saat ini paling umum digunakan untuk pekerjaan konstruksi. Arus listrik dialirkan melalui batang elektrode pada batang yang akan disambung. Hubungan pendek yang terjadi mengakibatkan elektrode dan batang yang disambung meleleh bersama-sama sehingga menyatu. Elektroda las dibungkus dengan bahan yang apabila melumer akan menghasilkan gas dan kerak yang melindungi sambungan terhadap oksidasi lebih lanjut. Pada penelitian ini kami menggunakan pengelasan dengan tipe las *fillet* (las sudut) dengan alasan las sudut ini kurang membutuhkan presisi pada pengepasannya karena masing-masing bagian cukup ditumpang tindihkan. Lagipula, pinggiran bagian-bagian yang disambungkan jarang membutuhkan persiapan khusus seperti pemotongan miring atau pengirisan tegak, karena kondisi pinggiran hasil pemotongan dengan api atau pengirisanpun sudah memadai.

#### 3.6.1. Kekuatan Nominal Las

Menurut *Salmon dan Johnson, 1992*, Kekuatan desain per satuan panjang las fillet didasarkan atas resistensi geser melalui leher las sebagai berikut:

$$\phi R_{ns} = 0,75 t_e (0,60 F_{EXX}) \quad \text{las fillet} \quad (3.28)$$

namun persamaan (3.28) tidak boleh kurang dari kekuatan patahan (*rupture*) geser dari logam dasar di dekatnya, yaitu :



$$\phi.R_{mw} = 0.75t(0.60F_u) \quad \text{logam dasar} \quad (3.29)$$

Keterangan :

$R_{mw}$  = kekuatan nominal per satuan panjang las, namun tidak melebihi kuatannominal per satuan panjang material dasar didekatnya

$\phi$  = faktor resistensi (untuk las,  $\phi$  adalah sama dengan faktor untuk material yang dihubungkannya 0,75 untuk keadaan retakan)

$t_e$  = dimensi leher efektif

$F_{ew}$  = kekuatan tarik material elektroda

$t$  = tebal material dasar di sepanjang las

$F_u$  = kekuatan tarik logam dasar

### 3.7. Perkuatan Pelat

*Padoshujayo, 1992*, mengemukakan bahwa dari tinjauan terhadap bahaya tekuk pelat dapat diketahui apakah pelat aman dari bahaya tekuk atau tidak. Bila ada bahaya tekuk dapat dilakukan penggantian pelat dengan menggunakan pelat yang lebih tebal atau memperkuat pelat dengan memasang elemen-elemen pengaku. Elemen-elemen pengaku dipasang menempel pada dua bidang permukaan pelat atau hanya satu bidang permukaan pelat saja. Bahan elemen pengaku sebaiknya dibuat minimal kekuatan bahanya sama dengan pelat yang diperkuat.

Pemasangan perkuatan perlu memperhatikan beberapa hal agar perkuatan tersebut dapat berfungsi secara efektif, yaitu :

- a) Perkuatan dapat mengubah pola lipatan pelat sehingga akan diperoleh tegangan kritis yang lebih tinggi. Ini dapat terjadi jika kekakuan badan adalah cukup besar untuk dapat menimbulkan titik balik di tempat-tempat perkuatan dipasang. Pada kejadian ini pelat dapat dianggap bersendi pada pengaku-pengaku tersebut.
- b) Perkuatan dapat memperbesar kekakuan pelat dalam arah pengaku, sehingga tegangan kritis yang lebih besar dapat dicapai tanpa perubahan pola lipatan.

### 3.8. Hubungan Momen dengan Kelengkungan

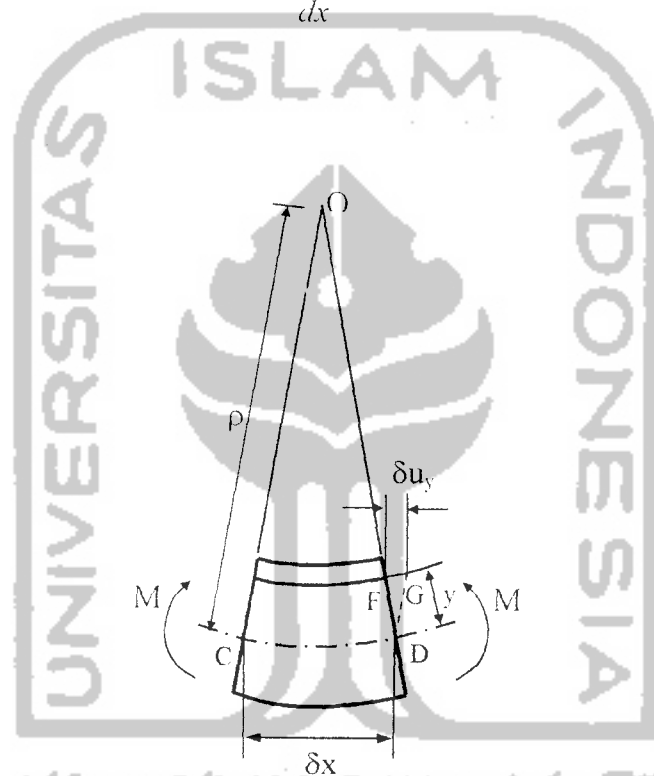
Tung Au dan Christiano, 1987, mengemukakan bahwa jika pada suatu balok mengalami lentur, maka bentuk perubahan dari sumbu netral disebut dengan kurva elastis (*elastic curve*). Memperhatikan elemen kecil  $\delta x$ , seperti ditunjukkan pada Gambar (3.9). Jika  $y$  sebagai titik ordinat dari sumbu netral elemen, berharga positif ketika titik tersebut diatas sumbu netral. Dengan mengasumsikan bahwa bagian tersebut akan tetap datar selama terdeformasi. Tegangan lentur  $\sigma$  pada serat sejauh  $y$  dari garis netral untuk bahan yang bersifat elastis linier adalah sebagai berikut :

$$\sigma = -\frac{My}{I} \quad (3.30)$$

dengan  $M$  adalah momen pada bagian tersebut dan  $I$  adalah momen inersia tampang. Tanda negatif menunjukkan gaya tekan. Gambar (3.9) menunjukkan perpotongan  $O$  disebut dengan pusat kelengkungan (*center of curvature*) dan jarak sejauh  $\rho$  dari

perpotongan O menuju sumbu netral disebut dengan jari-jari kelengkungan (*radius of curvature*). Untuk serat pada jarak sejauh  $y$  dari sumbu netral, panjang awal dari elemen  $\delta x$  memendek menjadi  $\delta u_y$ , dan regangan pada serat tersebut sama dengan  $\epsilon = \delta u_y / \delta x$ . Dengan  $\delta x$  mendekati nol,

$$\epsilon = -\frac{du_y}{dx} \quad (3.31)$$



Gambar 3.9. Deformasi balok dalam lenturan

dari segitiga OCD dan FGD didapatkan

$$\frac{\delta u_y}{y} = \frac{\delta x}{\rho} \text{ atau } \frac{du_y}{dx} = \frac{y}{\rho} \quad (3.32)$$

dari persamaan (3.31) dan (3.32) didapat :

$$\epsilon = -\frac{y}{\rho} \quad (3.33)$$

untuk bahan elastis memakai hukum Hooke,

$$\sigma = \epsilon E = -\frac{Ey}{\rho} \quad (3.34)$$

dengan menyamakan persamaan (3.30) dan (3.34), hubungan momen kelengkungan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{M}{EI} = \frac{1}{\rho} \quad (3.35)$$

Pada dasarnya hubungan gaya-deformasi dengan  $M$  adalah gaya dan kelengkungan  $1/\rho$  merupakan hasil dari perubahan bentuk. Besaran  $EI$  sebagai faktor kekakuan (*flexural rigidity*) atau *bending stiffness* dari balok. Dalam koordinat kartesian kurva kelengkungan didefinisikan

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} \quad (3.36)$$

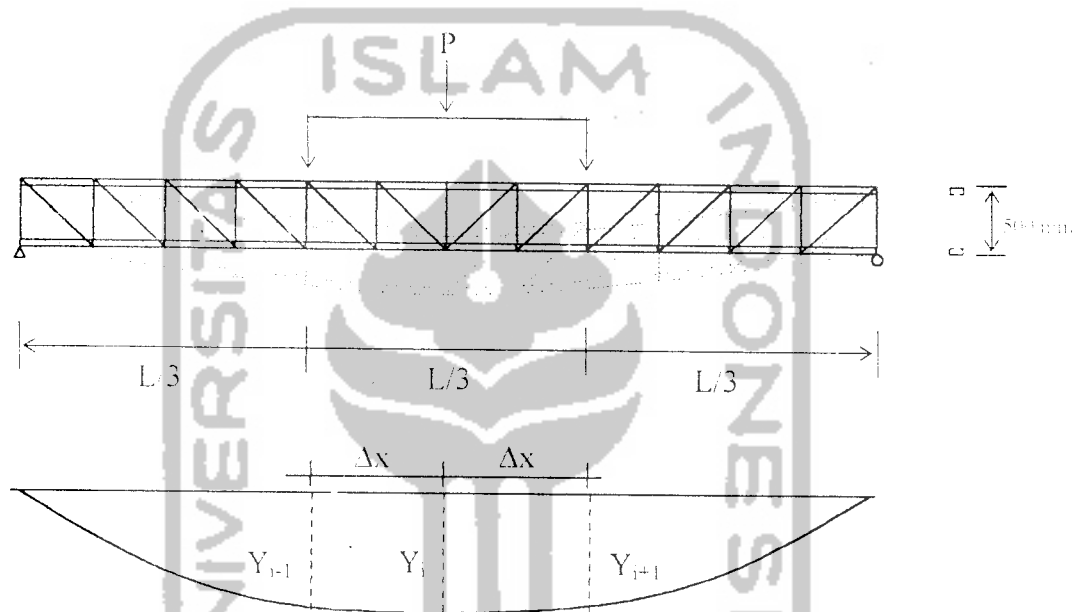
karena kemiringan  $dy/dx$  dari kurva elastis adalah sangat kecil, maka

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = 0$$

Sehingga persamaan (3.36) dapat disederhanakan menjadi

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \phi = \frac{M}{EI} \quad (3.37)$$

Dari pengujian kuat lentur balok badan terbuka, akan didapatkan defleksi pada titik-titik distrik seperti pada Gambar (3.9) *Fatkhurrahman N., 1991*, mengemukakan pendekatan kemiringan menggunakan metode *Central Differences*. Mengacu pada Gambar (3.10).



Gambar 3.10. Defleksi pada balok badan terbuka

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_2 - y_1}{\Delta x} \quad (3.38)$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{\Delta_x^2} \quad (3.39)$$

$$\phi = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{\Delta_x^2} \quad (3.40)$$

Dari persamaan (3.40) tampak bahwa kelengkungan dapat dicari dengan bantuan tiga titik seperti ditunjukkan pada Gambar (3.10). Mengacu pada Gambar (3.10) didapat momen maksimum ( $M$ ) sebesar :

$$M = \frac{1}{6} PL \quad (3.41)$$

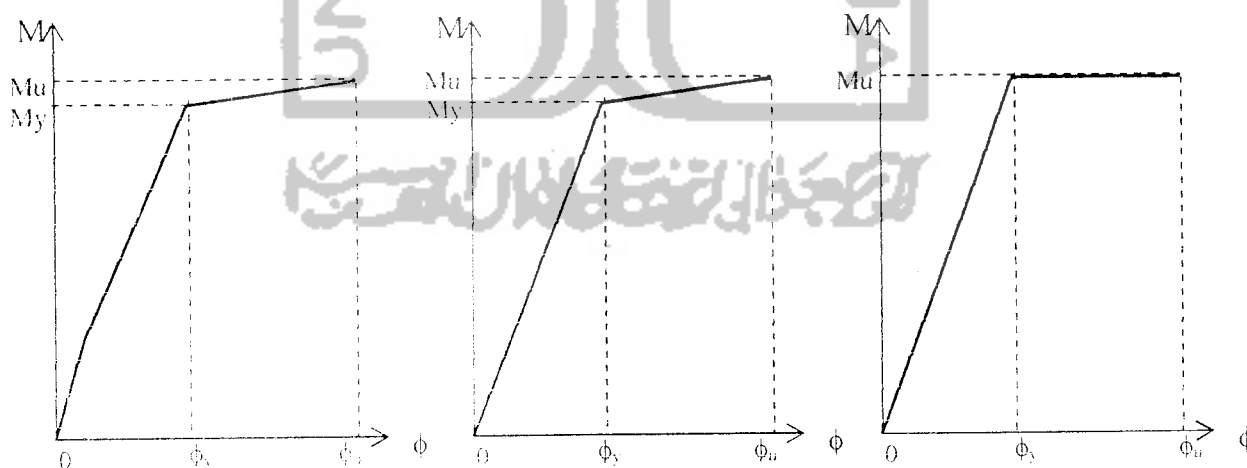
Dengan mengacu pada persamaan (3.37) dan (3.41) akan didapat hubungan momen dengan kelengkungan sebagai berikut.

$$M = \frac{M}{\phi} \phi \quad (3.42)$$

$$M = EI\phi \quad (3.43)$$

$$M = EI \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.44)$$

Hubungan momen-kelengkungan ( $M-\phi$ ) yang ideal menurut *Park dan Paulay, 1975*, ditunjukkan pada grafik tri-linier, kemudian berubah menjadi kurva bilinear. Seperti ditunjukkan pada Gambar (3.11) :



Gambar 3.11. Hubungan Momen ( $M$ ) dan kelengkungan ( $\phi$ ).

Pada saat pembebanan telah tercapai pada  $P_{\max}$  dan terjadi momen batas yang menimbulkan mekanisme keruntuhan maka penampang ini akan terus berdeformasi tanpa menghasilkan daya tahan tambahan. Sudut regangan  $\phi$  akan elastis seluruhnya setelah itu keadaan tidak stabil dan lendutan tidak terkendali Gambar (3.11). Karena profil canai dingin mempunyai tegangan kritis yang jauh dibawah tegangan lelehnya ( $F_{cr} < F_y$ ) maka  $M_u < M_v$ , dimana :

$$M_u = F_{cr} \times I \times L < M_v = F_y \times A \times L \quad (3.45)$$

### 3.9. Kekakuan

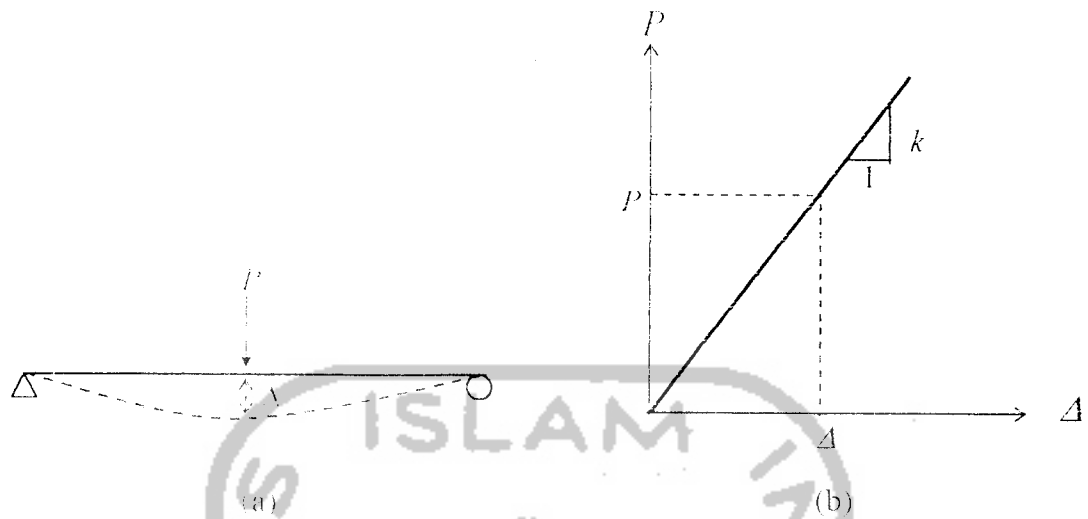
Menurut Gere dan Timoshenko, 1985, kekakuan ( $k$ ) didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu lendutan satuan. Pendapat yang sama dikemukakan oleh West, 1980. Dengan memperhatikan Gambar (3.12.a) menunjukkan bahwa beban ( $P$ ) yang bekerja pada struktur menyebabkan terjadinya lendutan ( $\Delta$ ). Besarnya lendutan sesuai dengan beban yang bekerja sehingga struktur bersifat elastis linier. Gambaran dari hubungan beban dengan lendutan yang terjadi ditunjukkan pada Gambar (3.12.b). Kemiringan dari lengkung yang dihasilkan disebut sebagai kekakuan (*stiffness*), dan dapat dirumuskan sebagai :

$$k = \frac{P}{\Delta} \quad (3.46)$$

Keterangan :  $k$  = kekakuan

$P$  = beban

$\Delta$  = lendutan



Gambar 3.12. (a) Lendutan pada balok  
(b) Kekakuan dari grafik beban- lendutan

Untuk balok dalam keadaan lentur murni kekakuan lentur (*flexural stiffness*)  $EI$  didefinisikan sebagai momen per unit kelengkungan, dan dapat dirumuskan sebagai :

$$EI = \frac{M}{\phi} \quad (3.47)$$

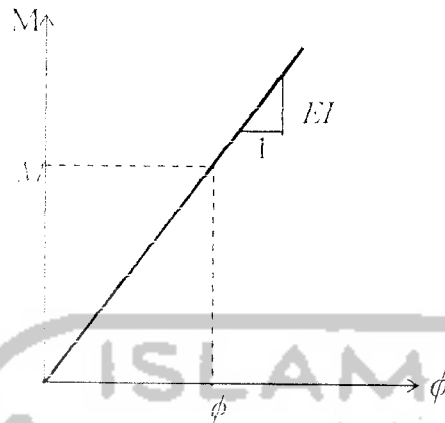
Keterangan :  $EI$  = kekakuan lentur

$M$  = momen

$\phi$  = kelengkungan

Kekakuan lentur ( $EI$ ) yang didapatkan dari hubungan momen-kelengkungan ditunjukkan pada Gambar (3.13)





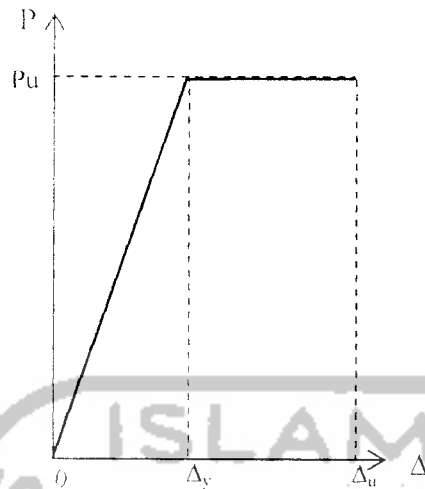
Gambar 3.13. Kekakuan dari grafik momen-kelengkungan

### 3.10. Daktilitas

*Englekirk, 1994*, mengemukakan bahwa suatu bahan dikatakan daktil ketika bahan tersebut dapat menahan deformasi purna luluh. Daktilitas ( $\mu$ ) didapatkan dengan membagi deformasi yang telah dicapai dengan deformasi pada saat luluh.

Menurut *Park dan Paulay, 1975*, daktilitas merupakan rasio dari deformasi ultimit dengan deformasi pada saat pertama luluh.

Dalam penelitian, setelah didapat besarnya lendutan, maka daktilitas simpangan dapat dicari dari grafik hubungan beban-lendutan seperti ditunjukkan pada Gambar (3.14) yaitu perbandingan antara  $\Delta_u$  dan  $\Delta_y$ .



Gambar 3.14. Grafik hubungan beban-lendutan

$$\mu_{\text{simpangan}} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (3.48)$$

dimana :  $\mu_{\text{simpangan}}$  = daktilitas simpangan

$\Delta_u$  = lendutan akhir daerah *post-elastic*

$\Delta_y$  = lendutan pada pertama leleh

Sedangkan daktilitas kelengkungan diperoleh dari grafik hubungan momen-kelengkungan, seperti ditunjukkan pada Gambar (3.15) yaitu perbandingan antara  $\phi_u$  dan  $\phi_y$ .