

BAB III

LANDASAN TEORI

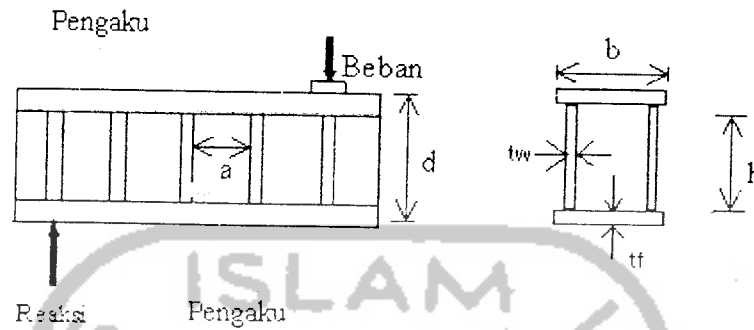
3.1 Gelagar Pelat

Menurut **Salmon dan Johnson, 1996**, gelagar pelat mempunyai bentuk yang mirip dengan profil I yang bukan bentukan hanya saja perilaku pada gelagar pelat sangat berbeda dengan profil I yang bukan bentukan. Gelagar pelat dapat dipandang terdiri dari elemen - elemen pelat sehingga perilaku profil dipengaruhi perilaku pelat.

Secara umum elemen pelat dapat digolongkan menjadi dua yaitu elemen pelat yang diperkuat yaitu elemen yang bertumpu pada dua tepi yang sejajar arah tegangan tekan dan elemen pelat yang tidak diperkuat yaitu elemen yang bertumpu pada satu tepi dan bebas ditepi yang lain yang sejajar arah tegangan tekan. Pada Gambar (3.1) ada tiga elemen dasar gelagar pelat bentuk kotak antara lain :

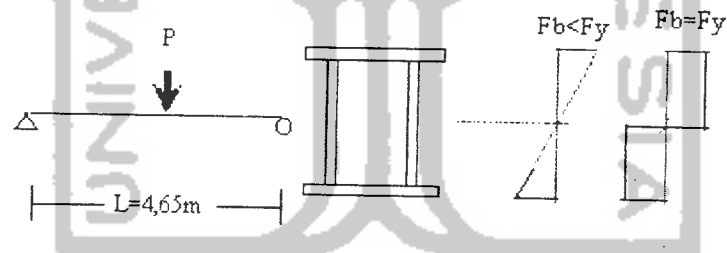
1. Badan adalah Pelat baja yang diletakkan memanjang vertikal, umumnya pelat badan relatif tipis yang diperkaku dengan pelat sayap dan pengaku transversal (**Salmon dan Johnson,1996**).
2. Sayap terdiri dari dua bagian yang diletakkan pada posisi memanjang horisontal, yang dilas pada bagian atas dan bagian bawah badan (**Salmon dan Johnson,1996**)

3. Pengaku umumnya dipergunakan bila pelat badan sangat tipis, rasio h/t_w besar dan tegangan geser badan relatif tinggi. Pengaku secara efektif akan menambah kapasitas geser terhadap tekukan geser badan. (Bowles, 1985).



Gambar 3.1 elemen - elemen gelagar pelat bentuk kotak

Perencanaan gelagar pelat didasarkan pada kekuatan batas (awal dari strain hardening) agar tekuk elastis pada elemen plat dapat dicegah dan mencegah keruntuhan dini pada pelat.



Gambar 3.2 Distribusi tegangan pada pelbagai tahap pembebanan

Pada Gambar 3.2 diasumsikan tegangan plastis yang sudah dalam selang plastis tidak melampaui tegangan leleh F_y . Tegangan yang terjadi sama dengan atau lebih besar dari F_y maka profil ini dikatakan kompak atau mencapai *strain hardening*.

3.2 Stabilitas Plat

Bila ditinjau dari sudut bahan, badan yang tipis dengan pengaku akan menghasilkan gelagar yang paling ringan. Namun tekuk lokal dapat terjadi sehingga elemen yang tertekuk tidak dapat memikul beban tambahan. Dengan demikian instabilitas pelat badan yang tipis menjadi masalah utama (Salmon dan Johnson, 1986). Persamaan diferensial untuk lentur pelat homogen adalah pada persamaan 3.1:

$$D \left(\frac{\delta^2 \omega}{\delta x^2} + 2 \frac{\delta^4 \omega}{\delta x^2 \delta y^2} + \frac{\delta^4 \omega}{\delta y^4} \right) = q \quad (3.1)$$

dimana : ω = besar defleksi ; D = angka kekakuan (EI) = $\left\{ \frac{EI^3}{12(1-\mu^2)} \right\}$;

μ = angka poisson; q = komponen beban transversal akibat lenturan pelat.

Persamaan 3.2 bila ditulis untuk balok dengan lebar b , menjadi persamaan diferensial untuk beban :

$$EI \frac{d^4 w}{dx^4} = qb \quad (3.2)$$

Dimana qb merupakan beban panjang satuan di sepanjang bentang balok

3.3 Tekuk pada Sayap Tekan

Menurut Salmon dan Johnson disamping suku umum q mewakili komponen beban transversal yang menyebabkan lentur pelat, perlu pula ditinjau komponen transversal gaya tekan Nx bila pelat tersebut terdefleksi keposisi yang sedikit tertekuk. Penjumlahan gaya-gaya dalam arah z pada elemen pelat memberikan;

$$N_x dy \frac{\partial w}{\partial x} - \left(N_x + \frac{\partial N_x}{\partial x} dx \right) dy \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} dx \right) = q dx dy \quad (3.3)$$

sehingga persamaan diferensial Persamaan 3.3 menjadi :

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = - \frac{N_x}{D} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (3.4)$$

yang merupakan persamaan differensial parsial dengan w sebagai fungsi dari x dan y . lendutan w dapat dinyatakan sebagai perkalian fungsi x (X) dan fungsi y (Y). juga, tekuk dapat dianggap menimbulkan lendutan yang berbentuk kurva sinus dalam arah x , jadi,

$$w = X(x) Y(y) \quad (3.5)$$

substitusi Persamaan 3.4 menjadi,

$$N_x = \frac{D\pi^2}{b^2} \left[\frac{1}{m} \frac{a}{b} + m \frac{b}{a} \right]^2 \quad (3.6)$$

karena $N_x = F_{cr}$ dan $D = Et^3 / [12(1-\mu^2)]$, tegangan tekuk elastis dapat dituliskan sebagai,

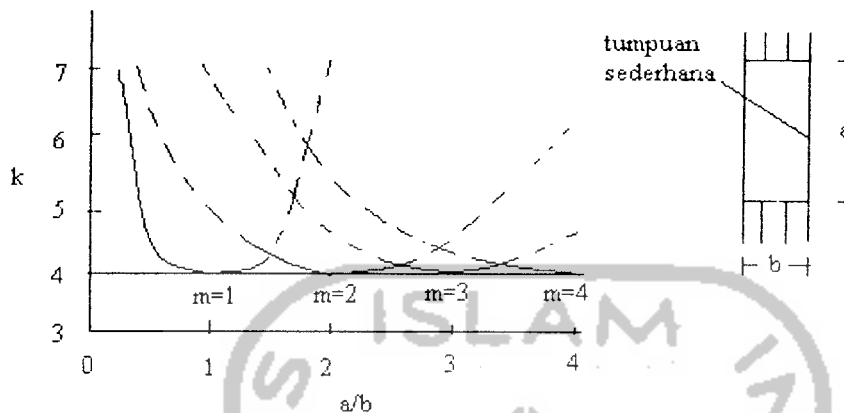
$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \quad (3.7)$$

dari rumus tegangan tekuk elastis diatas dapat dilihat dipengaruhi oleh nilai k dan b/t . apabila nilai k besar maka akan diperoleh F_{cr} yang besar sedangkan bila b/t besar akan diperoleh F_{cr} yang kecil. Dengan kata lain nilai dari tegangan tekuk elastis dipengaruhi oleh nilai (k) dan rasio b/t . Nilai k untuk Persamaan 3.7 adalah,

$$k = \left[\frac{1}{m} \frac{a}{b} + m \frac{b}{a} \right]^2 \quad (3.8)$$

Koefisien k merupakan fungsi dari jenis tegangan dan kondisi tepi disamping rasio aspek a/b yang muncul secara langsung dalam persamaan tersebut. Bilangan m

menunjukkan banyaknya pengaruh gelombang yang terjadi dalam arah x pada saat tekuk.



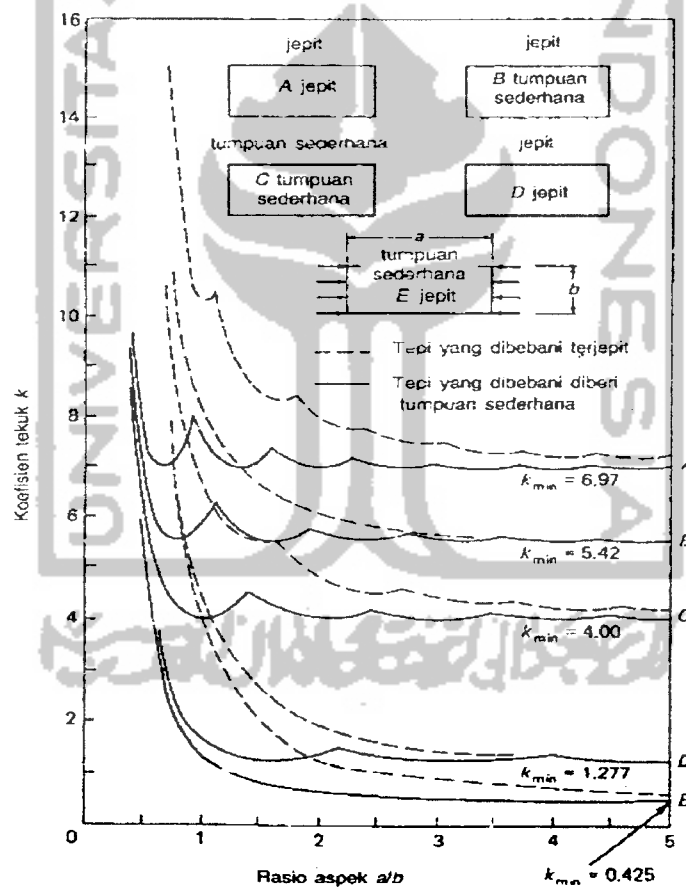
Gambar 3.3 Koefisien tekuk untuk pelat yang ditekan secara merata-tepi longitudinal bertumpuan sederhana

Menurut Timoshenko dan Woinowski 1959 dari Gambar 3.3 dapat dilihat variasi nilai k terhadap aspek rasio a/b dari pelat yang ditekan secara merata tepi longitudinal bertumpuan sederhana, bilangan m menunjukkan banyaknya separuh gelombang dalam arah x pada saat tekuk sehingga harga k minimum untuk jumlah separuh gelombang tertentu yakni kondisi terlemah yang terjadi pada saat panjang pelat merupakan kelipatan bulat dari lebarnya dan bahwa kelipatan ini sama banyaknya dengan separuh gelombang. Jadi, dengan $a/b=m$ akan diperoleh k sama dengan 4 selanjutnya bila m bertambah besar, persamaan k menjadi makin datar dan mendekati harga konstanta untuk rasio a/b yang besar. Hal ini memberikan persamaan tegangan tekuk elastik pelat yang mengalami tekanan merata sepanjang dua tepi dan

bertumpuan sederhana di sepanjang kedua tepi yang sejajar beban sehingga diperoleh persamaan 3.9:

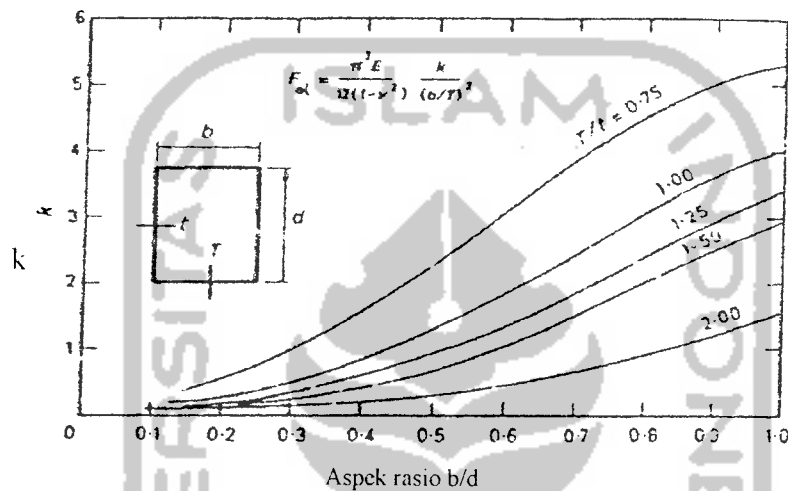
$$F_{cr} = \frac{4\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad (3.9)$$

Kekuatan batas pelat terhadap tekanan tergantung banyak faktor. Jika dianggap bersifat elastis plastis ideal dan tidak mengandung tegangan residu distribusi tegangan akan tetap merata sampai tegangan tekuk elastis F_{cr} tercapai.



Gambar 3.4 Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar (Salmon dan Johson,1996)

Pada Gambar 3.4 nilai k dipengaruhi oleh rasio a/b dan kondisi dari tepi-tepi pelat dimana semakin besar nilai a/b maka nilai k akan mendekati konstan. Terlihat bahwa untuk pelat dengan kondisi tumpuan jepit-jepit (A) nilai $k_{min} = 6,97$, untuk pelat dengan tumpuan sederhana jepit (B) nilai $k_{min} = 5,42$, untuk pelat dengan tumpuan sederhana-sederhana nilai $k_{min} = 4$, untuk pelat jepit bebas nilai $k_{min} = 1,277$ dan untuk pelat dengan tumpuan sederhana bebas nilai $k_{min} = 0,425$



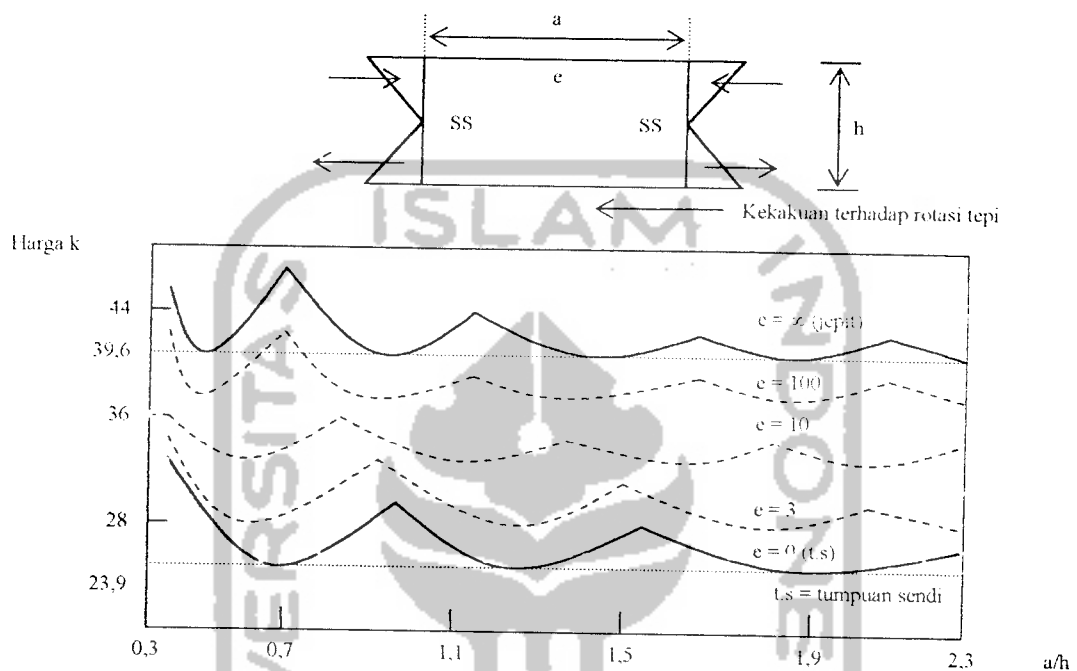
Gambar 3.5 Koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang kotak (NS. Trahair dan MA. Bradford (1988))

Dari Gambar 3.5 dapat diketahui bahwa nilai koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang kotak sangat dipengaruhi oleh perbandingan antara lebar sayap dengan tinggi badan dan perbandingan antara tebal sayap dengan tebal badan. Dari Gambar 3.5 dapat disimpulkan bahwa nilai k akan besar apabila (b/d) besar dan nilai (T/t) kecil.

3.4 Lentur Pada Bidang Badan

Badan gelagar pelat biasanya memiliki rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) , tekuk mungkin terjadi akibat lentur pada bidang badan. Pada badan gelagar

yang langsing dan diberi pengaku setelah terjadinya tekuk elastis masih ada kekutan pasca tekuk serta yang sudah di jelaskan di atas. Penurunan harga k secara teoritis untuk lentur pada bidang pelat dijabarkan oleh **Timoshenko dan Woinowski (1959)**



Gambar 3.6 Koefisien tekuk untuk plat yang mengalami lentur murni

Pada Gambar 3.6 jika pelat bisa dianggap jepit sempurna sepanjang tepi yang sejajar arah pembebanan maka harga k minimum untuk sembarang rasio a/h menjadi 39,6. Jika sayap dianggap tidak mengekang secara rotasi tepi maka harga k minimum menjadi 23,9. Tegangan kritis (dengan $E = 200.000$ MPa) bisa dikatakan terletak antara :

$$F_{cr} = \frac{4320000}{(h/t_w)^2} \text{ MPa untuk } k = 23,9 \text{ (tumpuan sederhana di sayap)} \quad (3.10)$$

$$F_{cr} = \frac{7120000}{(h/t_w)^2} MPa \text{ untuk } k = 39,6 \text{ (jepit sempurna di sayap)} \tag{3.11}$$

Kapasitas momen batas gelagar tinggi merupakan fungsi dari :

$$M_u = f \left\{ \frac{h}{t}, \frac{L}{r_y}, \frac{b}{t_f}, \frac{A_w}{A_f} \right\} \tag{3.12}$$

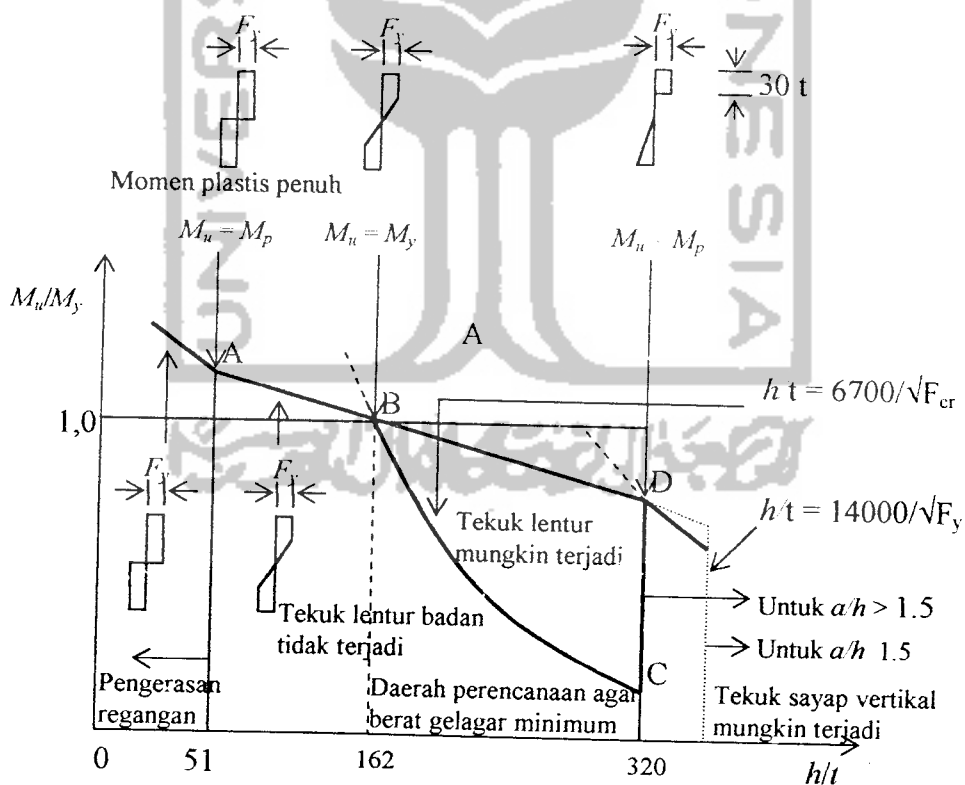
h/t = menentukan ketidak stabilan badan (tekuk lentur)

L/r_y = menentukan ketidak stabilan lateral pada sayap (tekuk puntir lateral)

b/t_f = menentukan tekuk setempat atau tekuk puntir pada sayap

A_w/A_f = menentukan pengaruh puna tekuk pada sayap

Walaupun tegangan lentur dan geser pada daerah tertentu sepanjang bentang gelagar biasanya bisa ditinjau secara terpisah, umumnya tegangan geser dan lentur selalu ada yang bersama sama mengakibatkan ketidak stabilan elastis.



Gambar 3.7 Kekuatan lentur gelagar yang dipengaruhi oleh tegangan lentur

$$F_{cr} = \frac{7120000}{(h/t_w)^2} MPa \text{ untuk } k = 39,6 \text{ (jepit sempurna di sayap)} \tag{3.11}$$

Kapasitas momen batas gelagar tinggi merupakan fungsi dari :

$$M_u = f \left\{ \frac{h}{t}, \frac{L}{r_y}, \frac{b}{t_f}, \frac{A_w}{A_f} \right\} \tag{3.12}$$

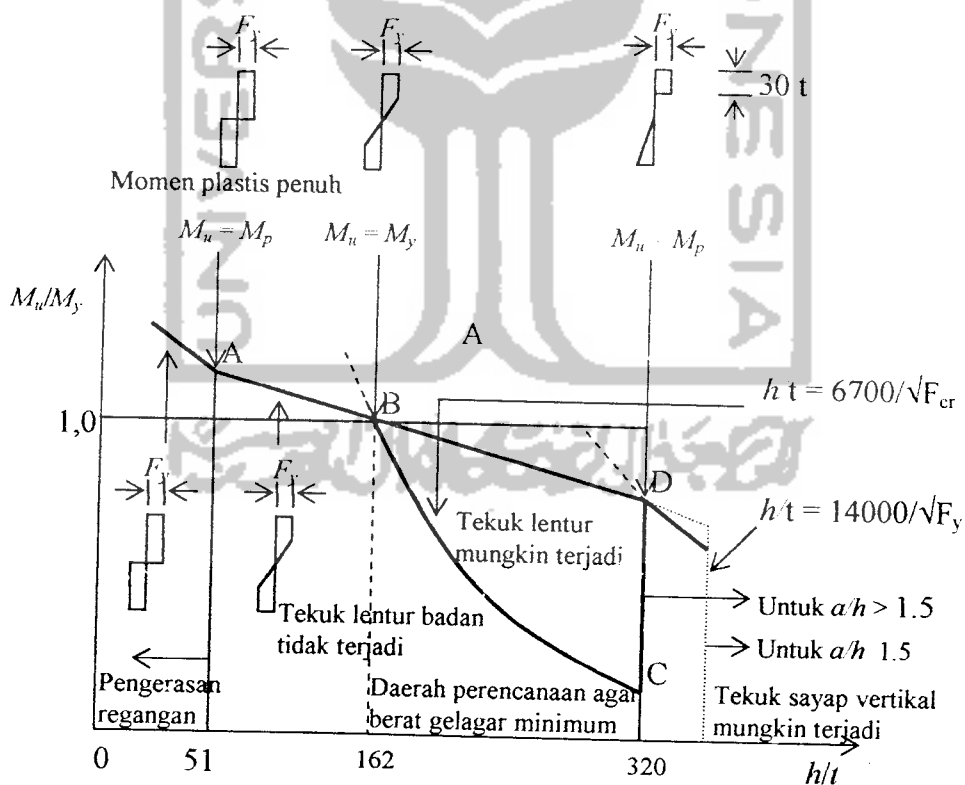
h/t = menentukan ketidak stabilan badan (tekuk lentur)

L/r_y = menentukan ketidak stabilan lateral pada sayap (tekuk puntir lateral)

b/t_f = menentukan tekuk setempat atau tekuk puntir pada sayap

A_w/A_f = menentukan pengaruh puna tekuk pada sayap

Walaupun tegangan lentur dan geser pada daerah tertentu sepanjang bentang gelagar biasanya bisa ditinjau secara terpisah, umumnya tegangan geser dan lentur selalu ada yang bersama sama mengakibatkan ketidak stabilan elastis.



Gambar 3.7 Kekuatan lentur gelagar yang dipengaruhi oleh tegangan lentur

Gambar 3.7 Paulay dan Priestley, 1992 memperlihatkan hubungan antara kekuatan momen nominal M_n vs h/t_w . Untuk h/t antara 0-51 terjadi pengerasan regangan, pada h/t 51-162 tekuk lentur pada badan tidak terjadi, pada h/t 162-320 tekuk lentur pada badan mungkin terjadi, pada $h/t > 320$ tekuk vertikal pada sayap tekan mungkin terjadi

Bila keadaan batas yang menentukan mencegah tegangan sayap mencapai F_y , maka tegangan dari keadaan batas yang menentukan F_{cr} harus menggantikan F_y . Maka secara umum kekuatan nominal tereduksi M_n menurut **Salmon dan Johnson** (1996).

$$M_n = \frac{F_y J_e}{(1-k)h} \quad (3.13)$$

dengan persamaan untuk k adalah: $k = \sqrt{\frac{120}{400} + \frac{26}{10\rho} + \frac{4}{\rho^2}} - \left(\frac{3}{20} + \frac{2}{\rho}\right)$

(3.14)

persamaan untuk nilai J_e ,

$$J_e = Af(kh)^2 + \frac{2}{3}tw.k.h^3 + Af.(1-k)^2.h^2 + \frac{6.tw.h}{20} \left(\frac{37}{40}h - k.h\right)^2 \quad (3.15)$$

$$\text{nilai } \rho = \frac{A_w}{A_f} = \frac{tw.h}{tf.bf} \quad (3.16)$$

$$\text{persamaan untuk momen leleh adalah } M_y = F_y A_f h \left(1 + \frac{\rho}{6}\right) \quad (3.17)$$

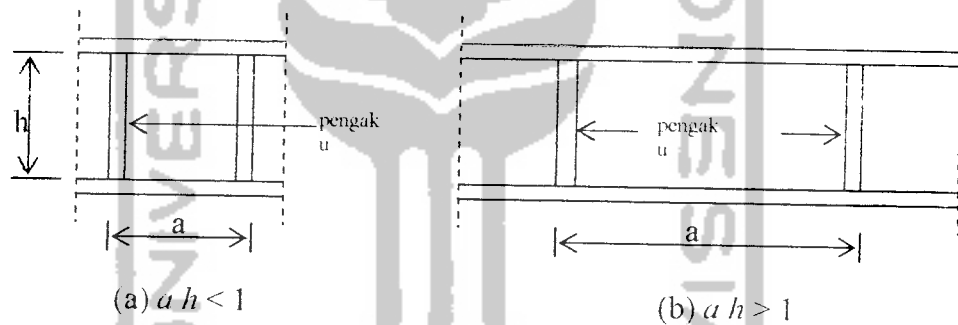
3.5 Tekuk Akibat Geser

3.5.1 Tekuk Elastis Akibat Geser Murni

Menurut Salmon dan Johnson, 1986, tegangan tekuk elastis untuk satu pelat ditentukan pada Persamaan 3.7. Untuk kasus geser murni Persamaan 3.7 bisa dituliskan sebagai (dengan mengganti F dengan τ untuk tegangan geser) sehingga $\tau_{cr} = \tau_y$.

$$\tau_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{\text{sisi pendek}}{t} \right)^2} \quad (3.18)$$

dimana sisi pendek adalah jarak pengaku dengan tinggi badan sedang sisi panjang adalah tinggi pengaku.



Gambar 3.8 Dua keadaan dari jarak pengaku antara (Salmon dan Johnson, 1986)

Tampak pada Persamaan 3.18 bila a/h semakin kecil maka nilai k akan semakin besar dan nilai τ_{cr} akan semakin besar. Dalam AISC-1.10.5, Persamaan 3.19 ditulis dalam bentuk tanpa dimensi, dengan mendefinisikan koefisien C_v sebagai rasio tegangan geser kritis terhadap tegangan leleh geser,

$$C_v = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y} = \frac{\pi^2 Ek}{\tau_y (12)(1 - \mu^2)(h/t)^2} \quad (3.19)$$

tampak bahwa C_v merupakan stabilitas elastis.

Substitusi nilai $E = 200000 \text{ MPa}$, $\mu = 0,3$, $\tau_y = 0,6 F_{yw}$ ke Persamaan 3.19 menjadi :

$$C_v = \frac{303000k}{(h/t)^2 F_{yw} (\text{Mpa})} \quad (3.20)$$

Nilai C_v dipengaruhi oleh nilai k dan h/t , C_v akan besar bila nilai k besar dan h/t kecil sebaliknya C_v akan kecil bila k kecil dan h/t besar dengan k itu sendiri dipengaruhi oleh a/h persamaan 3.21 dan 3.22 :

$$k = 4,0 + 5,34/(a/h)^2, \text{ untuk } a/h \leq 1 \quad (3.21)$$

$$k = 4,0/(a/h)^2 + 5,34, \text{ untuk } a/h \geq 1 \quad (3.22)$$

3.5.2 Tekuk Inelastis Akibat Geser Murni

Dalam situasi stabilitas, tegangan sisa dan ketaksempurnaan (*imperfection*) mengakibatkan tekuk tak elastik pada saat tegangan kritis mendekati tegangan leleh.

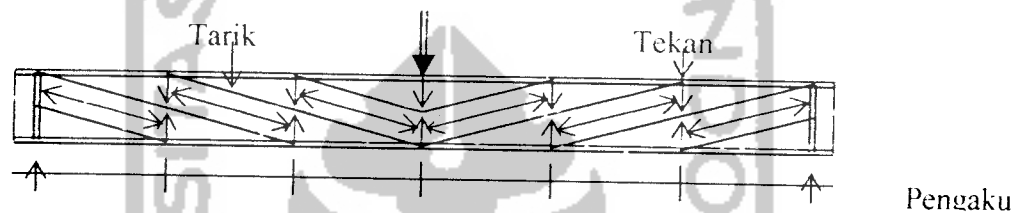
$$\tau_{cr} = \sqrt{\tau_{\text{batas proporsional}} \tau_{cr(\text{elastikidal})}} \quad (3.23)$$

Batas proporsional diambil sebagai $0,8 \tau_y$, yang lebih besar daripada untuk tekan dalam flens, karena efek tegangan sisa lebih sedikit. Pembagian Persamaan 3.19 dengan τ_y untuk mendapatkan C_v dan tegangan menggunakan Persamaan 3.20 memberikan

$$C_v = \frac{491}{h/t_w} \sqrt{\frac{k}{F_{yw}}} \quad (3.24)$$

3.5.3 Kekuatan Geser Nominal Termasuk Aksi Medan Tarik

Salmon dan Johnson, 1986 menyimpulkan bahwa aksi medan adalah aksi membran badan untuk memikul gaya tarik dan pengaku memikul gaya tekan. Pada Gambar 3.9 kekuatan geser V_f berasal dari aksi medan tarik dalam badan gelagar menimbulkan suatu pita gaya-gaya tarik yang terjadi setelah badan itu mengalami tekuk akibat tekan diagonal. Keseimbangan gaya dipertahankan melalui transfer gaya ke pengaku vertikal.



Gambar 3.9 Aksi medan tarik (Salmon dan Johnson, 1986)

Kekuatan geser nominal V_n dapat dinyatakan sebagai jumlah dari kekuatan tekuk V_{cr} dan kekuatan pasca tekuk V_{ff} dari aksi tarik lapangan,

$$V_n = V_{cr} + V_{ff} \quad (3.25)$$

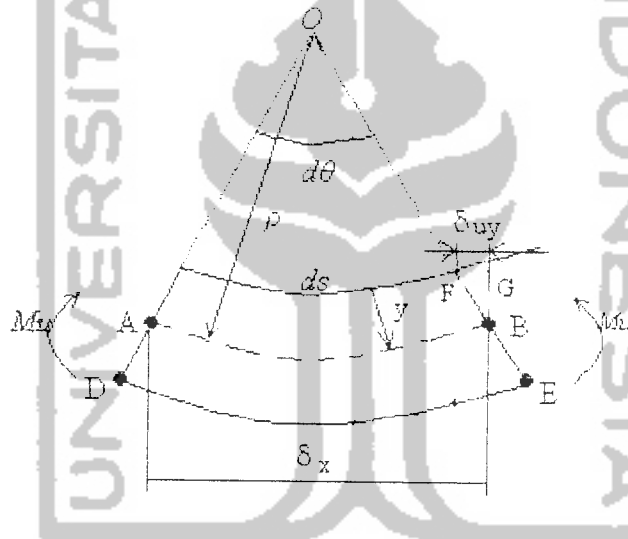
Kekuatan tekuk nominal $V_n = \tau_{cr} A_w$ dengan $V_n = V_{cr}$ dimana $C_v = \tau_{cr} / \tau_v$

Kekuatan geser V_{ff} dinyatakan dalam Persamaan 3.26

$$V_{ff} = \sigma_t \frac{h_{tw}}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \quad (3.26)$$

3.6 Hubungan Momen dengan Kelengkungan

Park dan Paulay, 1975 mengemukakan bahwa jika pada suatu balok mengalami lentur, maka bentuk perubahan dari sumbu netral disebut dengan kurva elastis (*elastic curve*). Memperhatikan elemen kecil δx , seperti ditunjukkan Gambar 3.10. Jika l sebagai titik ordinat dari sumbu netral elemen, berharga positif ketika titik tersebut berada diatas sumbu netral. Dengan mengasumsikan bahwa bagian tersebut akan tetap datar selama terdeformasi. Tegangan lentur σ pada serat sejauh y dari garis netral untuk bahan yang bersifat elastis linier adalah sebagai berikut:



Gambar 3.10 Deformasi segmen balok dalam lenturan

$$f = -\frac{My}{I} \quad (3.27)$$

dengan M adalah momen pada bagian tersebut dan I adalah momen inersia tampang, tanda negatif menunjukkan gaya tekan. Gambar 3.10 menunjukkan perpotongan O disebut dengan pusat kelengkungan (*center of curvature*) dan jarak sejauh ρ dari

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

$$\varepsilon = -\frac{\delta u_y}{\delta x} \quad (3.28)$$

Dari segitiga OAB dan FGB didapatkan :

$$\frac{\delta u_y}{\delta x} = \frac{\delta x}{\rho} \text{ atau } \frac{du_y}{dx} = \frac{y}{\rho} \quad (3.29)$$

dari persamaan (3.28) dan (3.29) didapat :

$$\varepsilon = -\frac{y}{\rho} \quad (3.30)$$

untuk bahan elastis memakai hukum Hooke,

$$\sigma = \varepsilon \cdot E = -\frac{E \cdot y}{\rho} \quad (3.31)$$

dengan menyamakan persamaan 3.27 dan 3.31 hubungan momen kelengkungan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{M}{EI} = \frac{1}{\rho} \quad (3.32)$$

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

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = k = \frac{\pm d^2 y / dx^2}{[1 + (dy / dx)^2]^{3/2}} \quad (3.33)$$

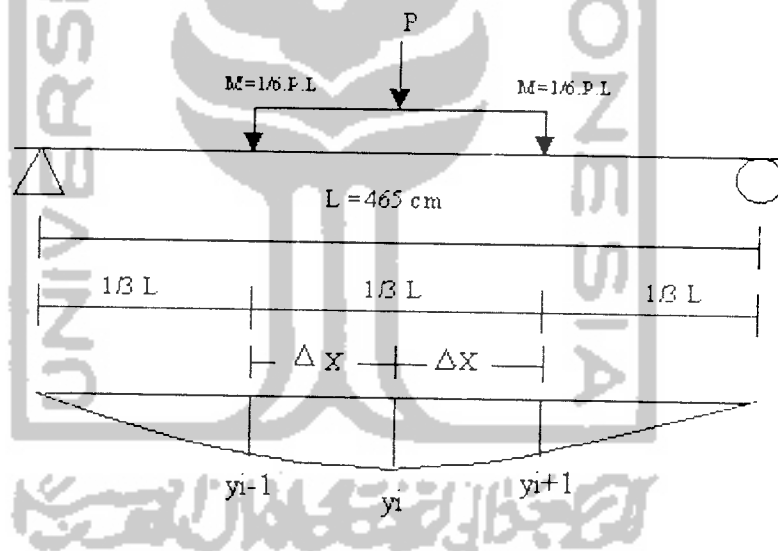
karena Kemiringan dy/dx dari kurva elastis adalah sangat kecil maka :

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = 0 \quad (3.34)$$

sehingga persamaan 3.33 dapat disederhanakan menjadi :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \Phi = \frac{M}{EI} \quad (3.35)$$

Menurut Pandey dkk, 1991 dari Gambar 3.11 pada pengujian kuat lentur balok badan terbuka, didapatkan defleksi pada titik-titik distrik dengan menggunakan pendekatan kemiringan menggunakan metoda *central differeni*.



Gambar 3.11 Momen kelengkungan

Mengacu Gambar 3.11 dy/dx dapat diperoleh dengan persamaan 3.36:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{(y_{i+1}) - (y_{i-1})}{2 \Delta x} \quad (3.36)$$

turunan kedua Persamaan (3.36) adalah :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx} (y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx} (2\Delta_x)}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.37)$$

karena $(2\Delta_x)$ adalah konstanta maka

$$\frac{d}{dx} (2\Delta_x) = 0 \quad (3.38)$$

sehingga Persamaan (3.37) menjadi

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

selanjutnya dari Persamaan (3.39) didapatkan

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+2} - 2y_i + y_{i-2}}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.40)$$

kemudian Persamaan (3.40) disederhanakan menjadi :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(\Delta_x)^2} \quad (3.41)$$

selanjutnya persamaan 3.41 disederhanakan menjadi persamaan 3.42:

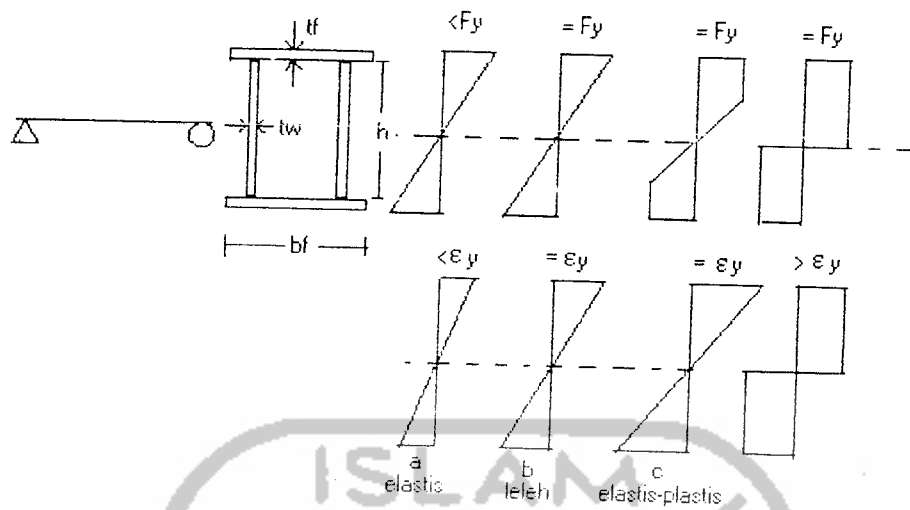
$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \phi = \frac{M}{EI} \quad (3.42)$$

dari persamaan 3.42 didapat persamaan 3.43:

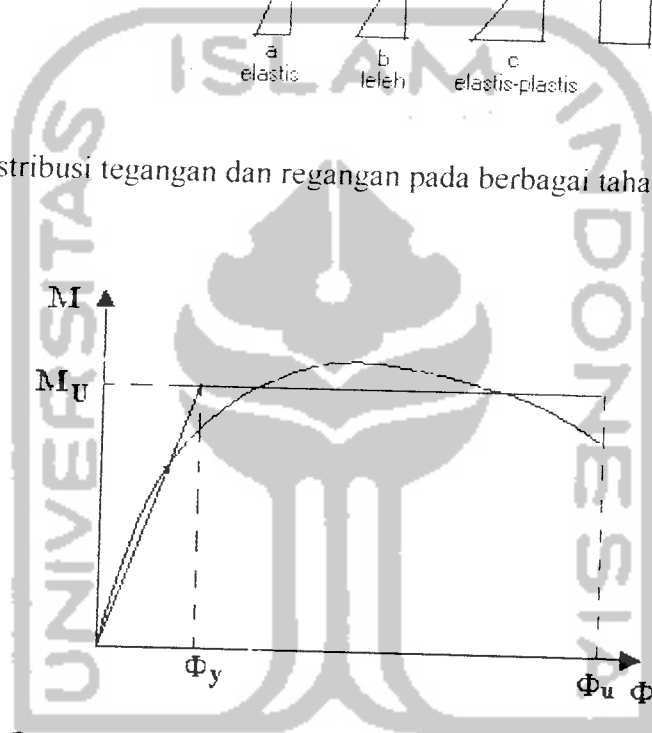
$$M = EI \cdot \phi \quad (3.43)$$

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

Mengacu pada Gambar 3.11 didapat momen $(M) : \frac{1}{6} \cdot P \cdot L$ (3.45)



Gambar 3.12 Distribusi tegangan dan regangan pada berbagai tahap pembebanan



Gambar 3.13 Grafik momen kelengkungan

Lynn S. Beedle, 1958 menyimpulkan bahwa balok dukungan sederhana yang diberi beban memiliki satu titik yang momennya maksimum. Makin besar beban yang diberikan, makin besar juga momennya.

Paulay dan Priestley, 1992 dari Gambar 3.12 Dengan menganggap stabilitas lateral sayap tekan memadai, perencanaan gelagar didasarkan pada pencapaian kekuatan lentur penampang maksimum, sehingga perilaku struktur yang mengalami lentur dapat diketahui dari hubungan momen-kelengkungan yang menggambarkan perilaku balok pada berbagai kondisi, yaitu saat kondisi elastis, leleh, elastis-plastis dan plastis.

Pada Gambar 3.12a beban P kecil penampang balok masih elastis tegangannya pada serat terluar (S_x) lebih kecil dari tegangan leleh kapasitas momennya disebut momen elastis dan dapat dihitung :

$$M = F_{cr} \cdot S_x \quad (3.46)$$

$$\text{Dengan } S_x = \frac{I}{y} = \frac{2 \left\{ \frac{1}{12} t_w h^3 + t_w h y^2 \right\} + 2 \left\{ \frac{1}{12} b_f t_f^3 + b_f t_f y^2 \right\}}{\left(\frac{d}{2} \right)}$$

Pada Gambar 3.12b jika beban terpusat ditingkatkan maka momen eksternal bertambah sehingga tegangan dan regangan di penampang bertambah, momen leleh penampang kotak menjadi:

$$M_y = f_y \cdot \left[\frac{2 \left\{ \frac{1}{12} t_w h^3 + t_w h y^2 \right\} + 2 \left\{ \frac{1}{12} b_f t_f^3 + b_f t_f y^2 \right\}}{\frac{d}{2}} \right] = F_y \cdot S_x \quad (3.47)$$

Pada Gambar 3.12c jika beban P terus ditambah tegangan leleh menjalar ke serat penampang yang letaknya lebih dalam akibatnya sebagian penampangnya menjadi plastis dan sisanya masih elastis, sehingga dapat dikatakan penampang dalam keadaan elastis-plastis. Kapasitas momen disebut momen elastis-plastis (M) dan besarnya :

$$M = f_y \int y.dA \quad (3.48)$$

dengan $z = \int y.dA$ maka :

$$M = f_y.z \quad (3.49)$$

3.7 Hubungan Beban-Lendutan

Lynn S. Beedle (1958) menyimpulkan bahwa balok dukungan sederhana yang diberi beban memiliki satu titik yang momennya maksimum. Makin besar beban yang diberikan, makin besar pula momennya sehingga dengan menggunakan metoda *integrasi ganda* dari Gambar 3.11 didapat persamaan kemiringan .

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M \quad (3.50)$$

integral pertama dari persamaan 3.50 didapat persamaan 3.51

$$EI \frac{dy}{dx} = \int M dx + C_1 \quad (3.51)$$

integral kedua dari persamaan 3.50 didapat

$$EI y = \iint M dx dx + C_1 x + C_2 \quad (3.52)$$

sehingga persamaan 3.52 menjadi persamaan 3.53

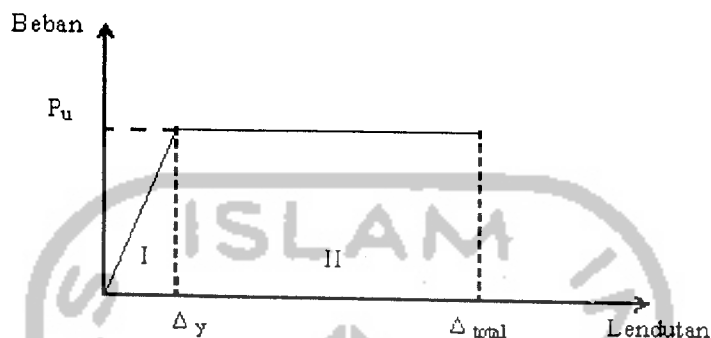
$$y = \frac{1}{EI} \iint M dx dx + C_1 x + C_2 \quad (3.53)$$

dari persamaan 3.53 didapatkan unuk besarnya defleksi tengah bentang

$$\Delta = \frac{23P.L^3}{648EI} \quad (3.54)$$

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

Paulay dan Priestly, 1992 dari Gambar 3.14 Hubungan beban-lendutan pada balok yang dibebani lentur dapat disederhanakan menjadi bentuk bi-linier .



Gambar 3.14 Hubungan beban dan lendutan pada balok

Pada daerah I yaitu pada daerah praretak, balok masih bersifat elastis penuh, tegangan tarik maksimal yang terjadi pada baja masih lebih kecil dari kuat tarik lentur baja, kekakuan lentur EI balok masih mengikuti modulus elastisitas (E_c) baja dan momen inersia penampang balok baja.

Pada daerah II atau daerah pasca layan, dimana tegangan pada daerah ini sudah mencapai tegangan maksimum, pada daerah ini diagram lendutan lebih landai dari pada daerah-daerah sebelumnya. Hal ini karena semakin berkurangnya kekakuan lentur akibat bertambahnya jumlah dan lebar retak di sepanjang bentang.

3.8 Daktilitas

Kemampuan suatu bahan dalam mendukung banyaknya regangan permanen disebut juga daktilitas. Daktilitas dapat mendistribusikan konsentrasi tegangan. Dasar dari suatu perencanaan adalah pada kekuatan *ultimit* yang membutuhkan kesatuan

daktilitas yang besar, terutama untuk memperbaiki tegangan-tegangan dekat lubang atau perubahan yang menandakan pada bentuk batang, seperti dalam perencanaan sambungan Paulay dan priestly, 1992.

Perilaku inelastis yang daktail bisa meningkatkan beban yang mampu dipikul batang dibanding dengan beban yang ditahan jika suatu struktur tetap dalam keadaan elastis. Jika seluruh tinggi pelat meledak, diperoleh batas atas dari kekuatan momen yang disebut kekuatan plastis. Proses pembebanan diluar daerah elastis akan menyebabkan perubahan pada daktilitasnya *Salmon dan Jonhson (1990)*.

Sedangkan daktilitas itu sendiri dirumuskan :

$$Daktilitas = \frac{\varepsilon_{tot}}{\varepsilon_y} \quad (3.55)$$

dengan : ε_{tot} = regangan total; ε_y = regangan pada saat leleh pertama

Dalam penelitian, setelah didapat besarnya lendutan dari hubungan beban lendutan, maka daktilitas simpangan dapat dicari dengan :

$$\mu_{simpangan} = \frac{\Delta_{tot}}{\Delta_y} \quad (3.56)$$

dengan : $\mu_{simpangan}$ = daktilitas simpangan; Δ_{tot} = lendutan total
 Δ_y = lendutan pada beban maksimum

Sedangkan daktilitas kelengkungan diperoleh dari hubungan momen-kelengkungan, yaitu perbandingan antara Φ_{tot} dan Φ_y , yang dirumuskan :

$$\mu_{kelengkungan} = \frac{\Phi_{tot}}{\Phi_y} \quad (3.57)$$

dengan : $\mu_{kelengkungan}$ = daktilitas kelengkungan; Φ_{tot} = kelengkungan total
 Φ_y = kelengkungan pada momen maksimum

3.9 Nilai Koefisien Kekakuan

Nilai koefisien kekakuan (k) merupakan sebuah konstanta yang tergantung pada kondisi tumpuan, tipe tegangan, dan rasio panjang terhadap lebar, modulus elastis (E), angka poisson (μ), dan rasio lebar terhadap tebal (b/t), Salmon dan Jhonson (1996). Nilai k dapat diperoleh dari persamaan 3.21 dan 3.22 dengan memasukkan rasio (b/t) dan F_{cr} . Nilai F_{cr} diperoleh dari persamaan 3.7

3.10 Pengelompokan Baja Berdasarkan tegangan Leleh

Berdasarkan besar tegangan leleh, PADOSBAJAYO, 1992 membagi baja dalam empat kelompok, dengan besar tegangan leleh sebagai berikut :

- a. Carbon Steels, tegangan leleh 210-280 Mpa
- b. High-Strength Low-Alloy Steels, tegangan leleh 280-490 Mpa
- c. Heat-Treated Carbon and High-Strength Low-Alloy Steels, tegangan leleh 322-700 Mpa
- d. Heat-Treated Constructional Alloy Steels, tegangan leleh 630-700 Mpa