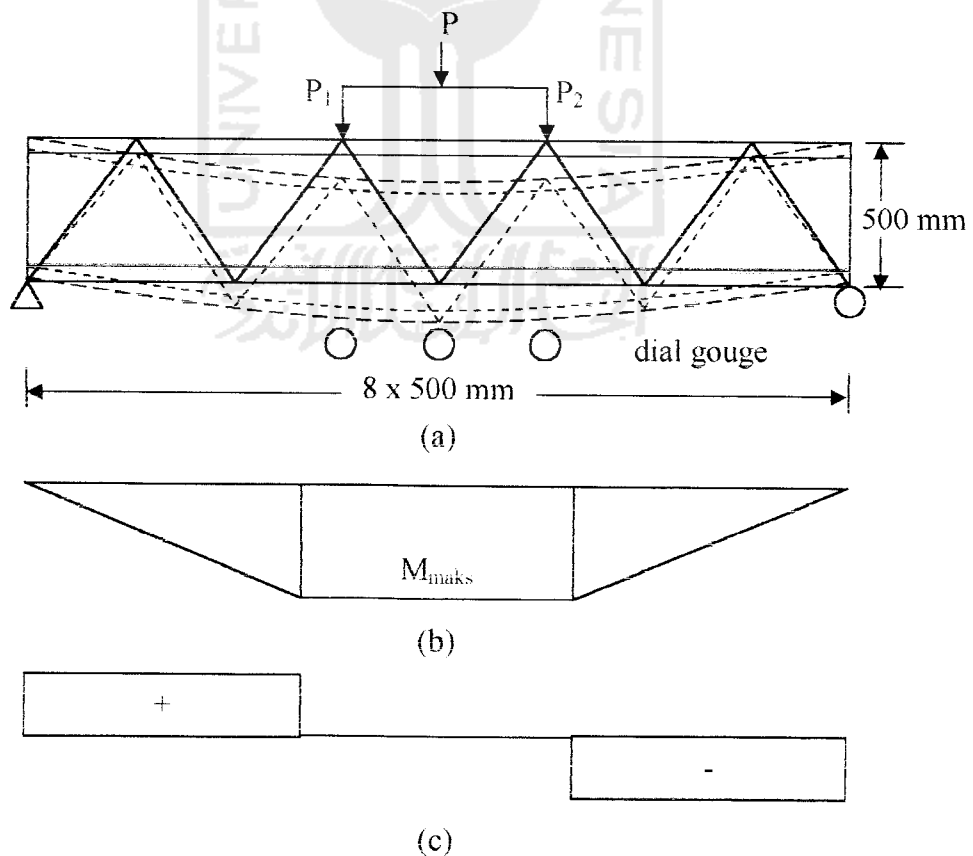


BAB III

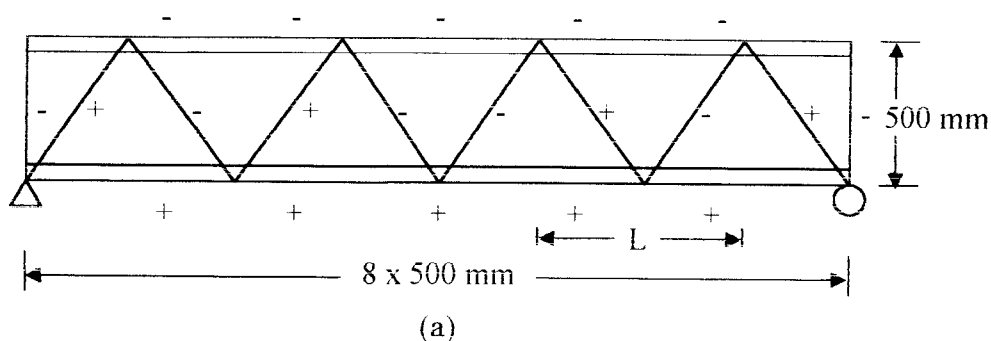
LANDASAN TEORI

3.1 Pendahuluan

Struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan tumpuan sederhana, tampak pada Gambar (3.1). Bila struktur tersebut menerima beban transversal, maka struktur tersebut akan mengalami deformasi dan menerima momen dan gaya geser, batang tepi atas mengalami gaya tekan, stabilitas struktur tekan perlu mendapat perhatian karena sangat peka terhadap faktor-faktor yang dapat mengakibatkan tekuk, pada batang bagian bawah akan mengalami gaya tarik, sedangkan batang diagonal yang mengalami tekan dan ada juga yang mengalami tarik. Sambungan antar joint menggunakan baut, tampak seperti pada Gambar (3.2).



Gambar 3.1 (a) Pembebanan (b) Diagram Momen (c) Diagram Geser



Gambar 3.3 Pengaruh Sudut (α) terhadap Panjang antar Titik Buhul (L)

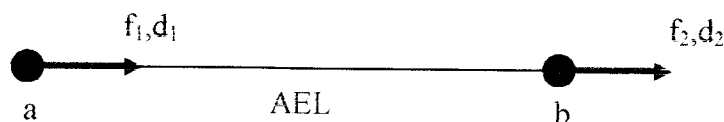
Besar sudut (α) batang diagonal pada struktur rangka batang sangat berpengaruh terhadap jarak antar titik buhul (L), tampak pada Gambar (3.3). Semakin besar sudut (α) batang diagonal, maka jarak antar titik buhul (L) semakin kecil. Jika α_1 akan diperoleh besarnya jarak L_1 , demikian pula dengan α_2 akan diperoleh besarnya jarak L_2 . Jarak L dapat berpengaruh terhadap kelangsingan pada struktur rangka batang, semakin besar jarak L maka semakin besar juga angka kelangsingannya, sehingga $\frac{L_1}{r} < \frac{L_2}{r}$.

3.2 Deformasi pada Rangka Batang

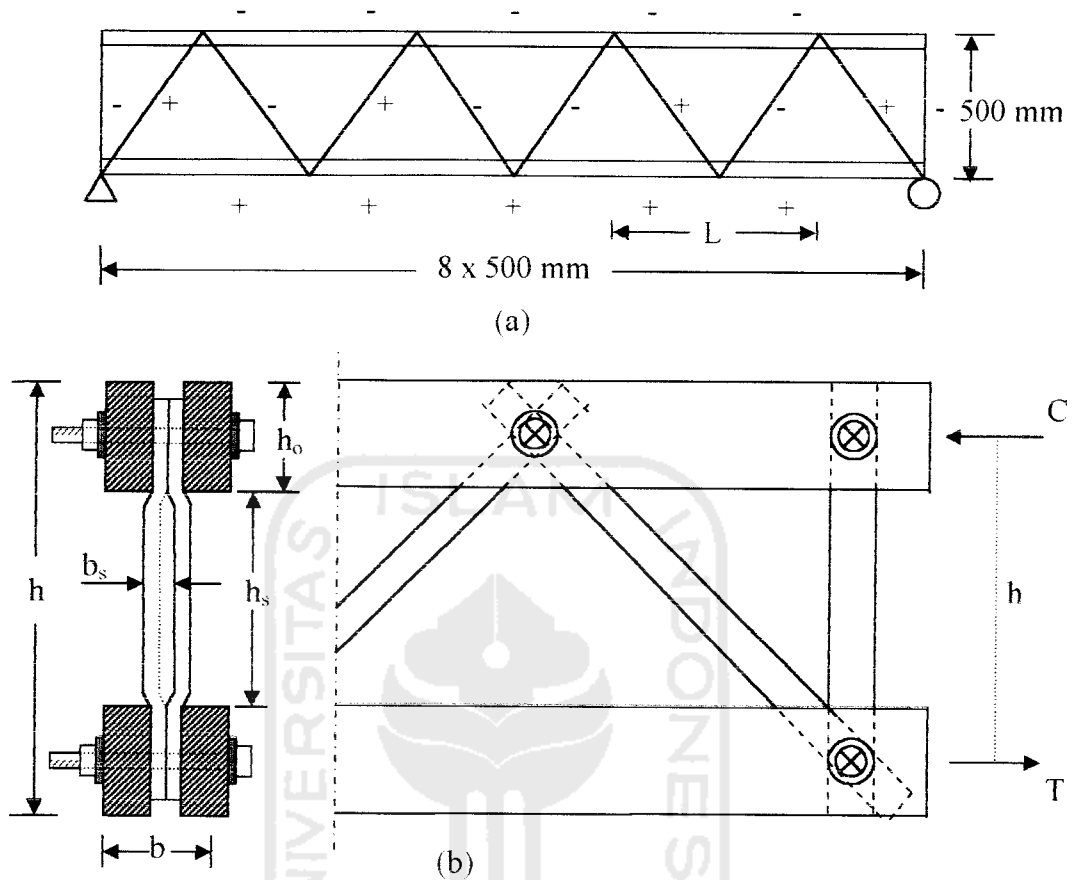
Suatu konstruksi bangunan yang menerima beban luar, baik itu beban pada batang atau beban pada titik buhul, maka konstruksi tersebut akan mengalami deformasi. Secara umum deformasi itu berupa : deformasi aksial, lentur dan puntir (Susastrawan, 1991).

Pada rangka batang (*truss*) didefinisikan sebagai konstruksi rangka dengan titik buhulnya berupa sendi (dianggap sendi). Sehingga deformasi yang terjadi pada batang-batangnya akibat beban luar adalah hanya deformasi aksial.

3.2.1 Persamaan dasar



Gambar 3.4 Elemen rangka



Gambar 3.2 (a) Gaya Batang yang Terjadi (b) Potongan Melintang

Batang tekan pada balok perlu diwaspadai, karena batang tepi rawan terjadi tekuk. Jika C merupakan total dari tegangan desak, maka $C = P_{cr}$ berdasarkan tegangan kritis yang terjadi (F_{cr}) dikalikan dengan luas batang tepi atas (A), yaitu :

$$P_{cr} = F_{cr} \cdot A \quad (3.1)$$

Mengacu pada Gambar (3.2.b) hubungan antara M_n dengan P_{cr} pada struktur rangka adalah :

$$M = P_{cr} \cdot h \quad (3.2)$$

$$M = C \cdot h \quad (3.3)$$

Dari Persamaan (3.2) dapat diketahui bahwa semakin besar nilai h (lengan momen), maka momen nominal dan momen internal semakin besar.

Arah gaya dan deformasi yang tampak pada Gambar (3.4) adalah arah positif maka :

$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{Bmatrix} \quad (3.4)$$

$$\{f\} = [k] \{d\} \quad (3.5)$$

$$[k] = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

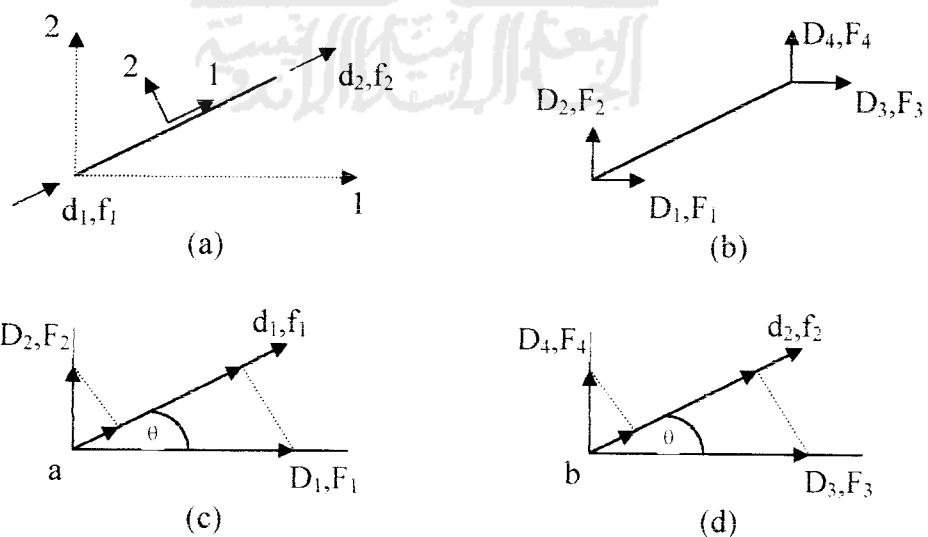
$[k]$ = matrik kekakuan pada system koordinat lokal

dengan : $\{f\}$ = vektor gaya, $[k]$ = matrik kekakuan, $\{d\}$ = vektor deformasi.

Pada rangka batang bidang kedudukan batang-batangnya adalah sembarang, sehingga untuk menganalisis konstruksi ini diperlukan transformasi koordinat.

3.2.2 Matrik transformasi

Garis putus-putus pada Gambar (3.5) menunjukkan system koordinat global (system koordinat struktur. Pada umumnya sumbu 1 (sumbu x) diambil horizontal dan sumbu 2 (sumbu y) diambil vertikal. Sedang system koordinat lokal digambarkan dengan garis penuh, sumbu 1 (sumbu x) diambil sumbu tiap batang dan sumbu 2 (sumbu y) diambil tegak lurus sumbu batang.



Gambar 3.5 (a). Kondisi Lokal, (b). Kondisi Global, (c). Tranformasi Ujung a, (d). Transformasi Ujung b

Dari Gambar (3.4.c) akan diperoleh Persamaan sebagai berikut :

$$d_1 = D_1 \cdot \cos \theta + D_2 \cdot \sin \theta \quad (3.7)$$

dalam bentuk matriks :

$$d_1 = [\cos \theta \cdot \sin \theta] \begin{Bmatrix} D_1 \\ D_2 \end{Bmatrix} \quad (3.8)$$

Dari Gambar (3.4.c) dan analog dengan Persamaan (3.8) dapat diperoleh :

$$d_2 = [\cos \theta \cdot \sin \theta] \begin{Bmatrix} D_3 \\ D_4 \end{Bmatrix} \quad (3.9)$$

dengan :

- d_1 = deformasi lokal ujung a
- d_2 = deformasi lokal ujung b
- D_1, D_2 = deformasi global ujung a
- D_3, D_4 = deformasi global ujung b

Untuk memudahkan dalam penjelasan lebih lanjut ujung-ujung batang disebut dengan ujung a dan ujung b seperti pada nampak pada Gambar (3.4.a) dengan demikian Persamaan (3.8) dan (3.9) dapat ditulis sebagai berikut :

$$d_a = [c \ s] \cdot Da \quad (3.10)$$

$$d_b = [c \ s] \cdot Db \quad (3.11)$$

dengan : $C = \cos \theta$; $S = \sin \theta$

jika diambil $\lambda = [c \ s]$, maka Persamaan (3.10) dan (3.11) dapat dituliskan :

$$\begin{Bmatrix} da \\ db \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Da \\ Db \end{Bmatrix} \quad (3.12)$$

λ = matriks transformasi

untuk menyederhanakan penulisan dan penjabaran lebih lanjut, maka Persamaan (3.12) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\{d\} = [A] \{D\} \quad (3.13)$$

Analog dengan Persamaan (3.12), akan dapat disusun Persamaan berikut :

$$\begin{Bmatrix} f_a \\ f_b \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Fa \\ Fb \end{Bmatrix} \quad (3.14)$$

Dari Persamaan (3.12) dan (3.14) dapat diperoleh :

$$\begin{Bmatrix} Da \\ Db \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda^T & 0 \\ 0 & \lambda^T \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} da \\ db \end{Bmatrix} \quad (3.15)$$

atau : $\{D\} = [A]^T \{d\}$ (3.16)

dan $\begin{Bmatrix} Fa \\ Fb \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda^T & 0 \\ 0 & \lambda^T \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} da \\ db \end{Bmatrix}$ (3.17)

atau : $\{F\} = [A]^T \{f\}$ (3.18)

Dari Persamaan (3.16) dan (3.18) akan diperoleh :

$$\{F\} = A^T k . d \quad (3.19)$$

Dari Persamaan (3.19) dan (3.13), dapat diperoleh :

$$F = A^T k A D \quad (3.20)$$

Untuk tiap-tiap batang berlaku rumus $f = k . d$, maka pada sistem struktur juga berlaku

rumus : $F = K . D$ (3.21)

Dari Persamaan (3.20) dan (3.21) dapat diperoleh :

$$K = A^T k . A \quad (3.22)$$

sehingga,

$$K = \begin{bmatrix} \lambda^T & 0 \\ 0 & \lambda^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_{aa} & k_{ab} \\ k_{ba} & k_{bb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

$$\begin{bmatrix} k_{aa} & k_{ab} \\ k_{ba} & k_{bb} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda^T k_{aa} \lambda & \lambda^T k_{ab} \lambda \\ \lambda^T k_{ba} \lambda & \lambda^T k_{bb} \lambda \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

Dengan : $K_{aa} = \lambda^T . k_{aa} . \lambda$; $K_{ab} = \lambda^T . k_{ab} . \lambda$; $K_{ba} = \lambda^T . k_{ba} . \lambda$; $K_{bb} = \lambda^T . k_{bb} . \lambda$

$$\lambda^T . k_{aa} . \lambda = \begin{Bmatrix} c \\ s \end{Bmatrix} \frac{AE}{L} [1] \begin{Bmatrix} c & s \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} c^2 & cs \\ cs & s^2 \end{bmatrix} \frac{AE}{L} \quad (3.25)$$

dengan cara yang sama akan didapat K_{ab}, K_{ba}, K_{bb} , sehingga didapat matrik kekakuan pada sistem koordinat global :

$$[K] = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} c^2 & cs & -c^2 & -cs \\ cs & s^2 & -cs & -s^2 \\ -c^2 & -cs & c^2 & cs \\ -cs & -s^2 & cs & s^2 \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

[K] = Matriks kekakuan pada sistem koordinat global

3.3 Batang Tekan Dan Batang Tarik

3.3.1 Batang tekan

Oentoeng (1999) mengelompokkan keruntuhan batang tekan menjadi dua macam tipe, yaitu :

1. Keruntuhan yang diakibatkan tegangan lelehnya terlampaui. Hal semacam ini biasa terjadi pada batang tekan yang pendek (stocky colom).
2. Keruntuhan yang diakibatkan karena terjadinya tekuk. Hal semacam ini biasanya terjadi pada batang tekan yang langsing (sleader colom).

Keruntuhan yang diakibatkan tekuk, asalkan tegangan pada seluruh penampang masih dalam keadaan elastis maka gaya tekuknya dapat dihitung berdasarkan rumus Euler :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL/r)^2} \quad (3.27)$$

dengan : E = Modulus elastisitas bahan.

I = Momen inersia bahan.

L = Panjang Tekuk.

Untuk menentukan besarnya K tergantung dari sifat-sifat ujung batang :

1. ujung-ujung batang bersendi, maka $K = 1$
2. sebuah ujungnya bebas dan ujung lainnya jepit, maka $K = 2$
3. sebuah ujungnya sendi dan ujung lainnya jepit, maka $K = \frac{1}{2}\sqrt{2}$, dan untuk konstruksi rangka batang, dianggap $K = 1$

Pada kayu gaya yang didukung oleh batang dikalikan dengan faktor tekuk (ω), yaitu sebuah faktor yang besarnya tergantung dari kelangsingan batang (λ). Sehingga untuk menghitung tegangan desak yang terjadi digunakan rumus :

$$\sigma_{ds} = \frac{P \cdot \omega}{F_{br}} \leq \bar{\sigma}_{ds} \quad (3.28)$$

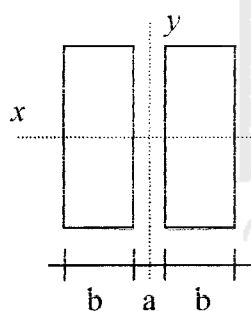
Untuk menentukan faktor tekuk (ω) terlebih dahulu harus menentukan angka kelangsingan (λ), yaitu:

$$\lambda = \frac{l_k}{i_{\min}} \quad (3.29)$$

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{F_{br}}} \quad (3.30)$$

Untuk mengetahui besarnya ω dapat dilihat dari Daftar III PKKI 1961, setelah didapat λ .

Untuk batang ganda yang terdiri dari dua batang tunggal yang diberi jarak antara. Pemberian jarak antara ini dengan maksud untuk memperbesar momen inersia yang berarti juga memperbesar daya dukung. Dari batang ganda yang terdiri dari dua bagian Gambar (3.6), didapat $I_x = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot bh^3$ dan karena $F = 2 \cdot bh$, maka didapat $i_x = 0,289 h$.



Pada sumbu bebas bahan (sumbu y) :

$$I_r = \frac{1}{4} (It + 3 Ig)$$

$$It = 2 Iy + 2 F \cdot e^2 \rightarrow e = (a+b)/2$$

$$Ig = \frac{1}{12} \cdot h (2 \cdot b)^3$$

$$i_x = 0,289 \cdot h$$

Gambar 3.6 Batang Ganda

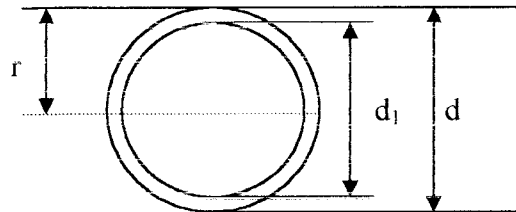
$$i_y = \sqrt{\frac{I_r}{2F}}, \quad F = b \cdot h$$

i_{\min} didapat dengan membandingkan nilai yang terkecil antara i_x dan i_y . selanjutnya dihitung λ , kemudian didapat ω sehingga didapat tegangan desak sesuai dengan Persamaan (3.28).

Pada Persamaan (3.31) menunjukkan momen inersia untuk pipa baja yang dirumuskan berdasarkan pada Gambar (3.7) adalah sebagai berikut :

$$I = \frac{\pi(d^4 - d_1^4)}{64} \quad (3.31)$$

dengan : d = diameter luar
 d_1 = diameter dalam



Gambar 3.7 Penampang Pipa Baja

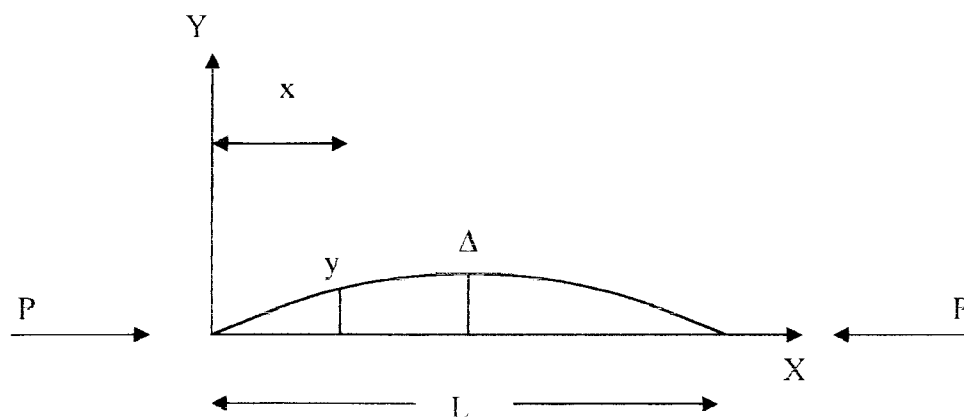
Untuk pipa baja karena jari-jari inersianya sama ke segala arah, maka hanya mempunyai satu harga r atau satu harga λ . Panjang tekuk tergantung pada keadaan ujung-ujungnya, apakah sendi, jepit atau bebas.

$$\lambda = \frac{KL}{r} \quad (3.32)$$

Jari-jari inersia untuk pipa baja dengan diameter luar d , dan diameter dalam d_1 , akan didapat persamaan sebagai berikut :

$$r = \frac{\sqrt{d^2 + d_1^2}}{4} \quad (3.33)$$

Akibat beban (P) dan pelenturan (Y), pada penampang tersebut akan bekerja momen lentur, seperti pada Gambar (3.8).



Gambar 3.8 Batang lurus yang dibebani gaya tekan aksial

$$M = -Py \quad (3.34)$$

Karena $M = EI \frac{d^2y}{dx^2}$, jika disubstitusikan kedalam Persamaan (3.34), maka akan menjadi :

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

dengan : E = Modulus elastisitas bahan

P = Gaya aksial

I = Momen Inersia bahan

Y = Pelenturan

Penyelesaian pada Persamaan (3.36) menunjukkan beban kritis yang dirumuskan sebagai berikut :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (3.36)$$

Persamaan (3.37) menunjukkan beban kritis menurut Euler, jika masing-masing ruas dibagi dengan luas penampang (A), akan diperoleh tegangan kritis (σ_{cr}).

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (3.37)$$

Karena $\frac{A}{I} = \frac{l}{i_{\min}^2}$, dan panjang (L) diganti dengan panjang tekuk (L_k), maka

Persamaan (3.37) dapat dinyatakan dengan Persamaan (3.38).

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{\left[\frac{Lk}{i} \right]^2} \quad (3.38)$$

dengan $\frac{L_k}{i}$ adalah kelangsingan (λ)

Tampak bahwa kuat tekan balok dipengaruhi oleh kelangsingan, sehingga dapat dikatakan bahwa semakin langsing suatu balok, maka kuat tekan balok semakin kecil.

3.3.2 Batang tarik

Batang tarik adalah batang yang mengalami peristiwa tarik aksial akibat beban yang bekerja pada ujung-ujung batang. Desain komponen batang tarik merupakan persoalan yang paling sederhana dibandingkan perencanaan pada batang tekan. Meskipun stabilitas bukan merupakan kriteria utama dalam mendisain batang tarik, namun batang tarik perlu dibatasi panjangnya untuk menjaga agar fleksible, karena pada batang tarik yang panjang akan mempunyai lendutan yang besar sekali hal ini disebabkan oleh berat dari batang tarik itu sendiri.

Salmon johnson (1986) mengulas tentang masalah batang tarik, bahwa perencanaan batang tarik merupakan salah satu masalah teknik struktur yang paling sederhana, karena stabilitas bukan merupakan hal yang utama, perencanaan batang tarik pada hakikatnya menentukan luas penampang lintang batang yang cukup untuk menahan beban yang terjadi pada dua tempat yaitu :

1. Keruntuhan pada penampang bruto yang jauh dari sambungan (kriteria pelelehan)

Prosedur perencanaan ini umumnya berdasarkan kekuatan batas (*ultimate*). Akan mencapai kekuatan batas bila semua serat penampang lintang batang meleleh (kriteria pelelehan). Kekuatan batang tarik tersebut dinyatakan dengan :

$$T_u = F_y A_g \quad (3.39)$$

dimana : T_u = beban tarik

F_y = kekuatan tarik

A_g = luas penampang bruto.

2. Keruntuhan pada daerah luas netto terkecil (kerusakan fraktur)

Keruntuhan pada batang tarik yang berlubang akibat lubang baut atau paku keling, luas penampang lintang yang direduksi (luas netto) digunakan dalam perhitungan. Lubang pada batang akan menimbulkan konsentrasi tegangan (tegangan tidak merata). Kekuatan batang tarik yang berlubang ditunjukkan pada Persamaan (3.40)

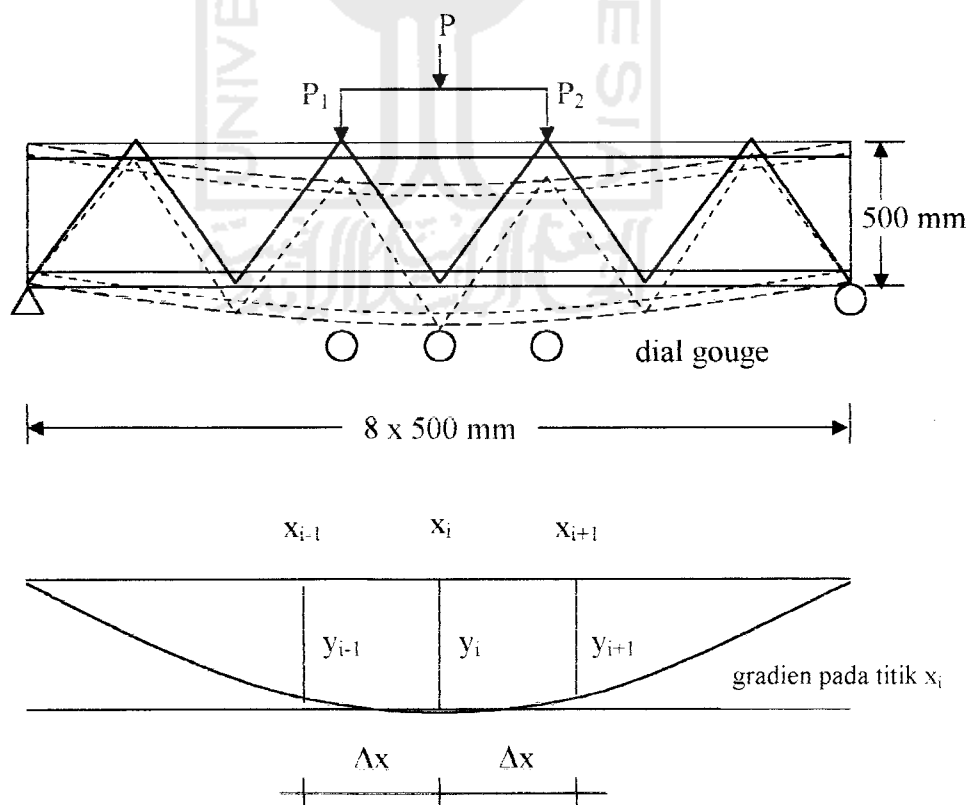
$$T_u = F_u A_e \quad (3.40)$$

dimana : T_u = beban tarik

F_u = tegangan ultimit

A_e = luas penampang efektif

3.4 Hubungan Momen dengan Kelengkungan



Gambar 3.9 Kelengkungan Balok dengan Pendekatan *Central Difference*

Dari pengujian kuat lentur didapat defleksi pada titik dimana dial gouge dipasang pada benda uji.

Menurut *Timoshenko (1987)*, hubungan momen dengan kelengkungan adalah sebagai berikut :

$$\phi = \frac{M}{EI} \quad (3.41)$$

Sedangkan kelengkungan menurut *Popov (1984)* adalah :

$$\theta = \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\left\{ 1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right\}^{3/2}} \quad (3.42)$$

bila $\frac{dy}{dx}$ kecil, maka $\left(\frac{dy}{dx} \right)^2 = 0$, sehingga didapat Persamaan (3.43) sebagai berikut :

$$\theta = \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.43)$$

Untuk memperoleh grafik hubungan momen-kelengkungan dari data uji kuat lentur balok komposit dipasang tiga buah dial seperti yang ditunjukkan pada Gambar (3.9). Secara teoritis kelengkungan balok diperoleh dengan pendekatan metode *central difference (Widodo, 1997)*.

Mengacu pada Gambar (3.7) $\frac{dy}{dx}$ didekati dengan Persamaan :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.44)$$

Kelengkungan diperoleh dengan menurunkan Persamaan (3.44), sehingga diperoleh :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx} (y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx} (2\Delta_x)}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.45)$$

karena $(2\Delta_x)$ konstants, maka $\frac{d}{dx} (2\Delta_x) = 0$, sehingga :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{2\Delta_x} - \frac{y_i - y_{i-1}}{2\Delta_x} \right)}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.46)$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.47)$$

dengan :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (3.48)$$

Integral pertama dari Persamaan (3.48) didapat Persamaan (3.49)

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{EI} \int M dx + C1 \quad (3.49)$$

Integral kedua dari Persamaan (3.48) didapat Persamaan (3.50)

$$y = \frac{1}{EI} \iint M dx dx + C1x + C2 \quad (3.50)$$

Sehingga dari Persamaan (3.50) didapat persamaan umum lendutan :

$$y = \Delta = \frac{1}{EI} \iint M dx dx + C1x + C2 \quad (3.51)$$

Untuk besarnya defleksi tengah bentang dari Persamaan (3.51) adalah :

$$\Delta = \frac{23PL^3}{648EI} \quad (3.52)$$

dengan :

Δ = defleksi

P = beban balok

E = modulus elastis bahan

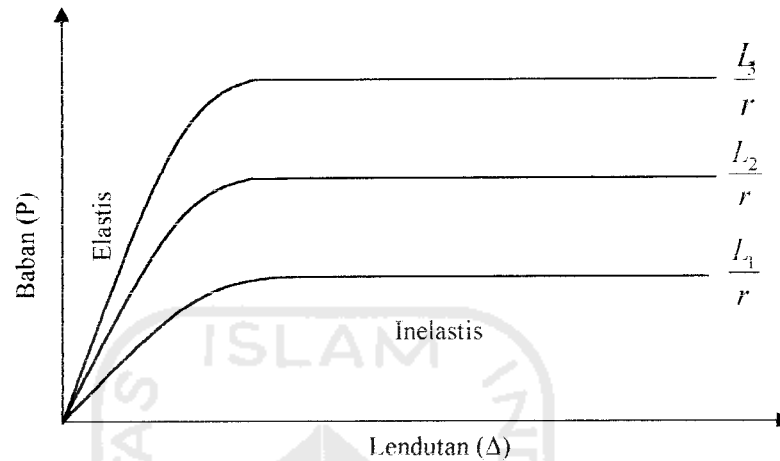
L = panjang bentang balok

I = momen inersia penampang

Persamaan (3.51) merupakan persamaan pendekatan untuk kelengkungan balok berdasarkan tiga buah titik lendutan yang masing-masing berjarak Δx , apabila nilai Δx semakin besar maka kemungkinan terjadi kesalahan juga semakin besar.

3.4.1 Grafik hubungan beban dengan lendutan

Hubungan beban-lendutan balok komposit menurut *Park and Paulay (1975)* ditunjukkan pada Gambar (3.10).

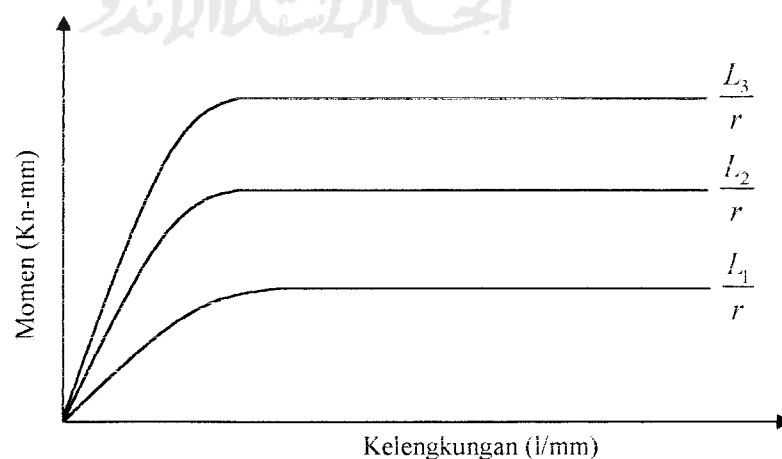


Gambar 3.10 Hubungan Beban (P) dan Lendutan (Δ) Balok Komposit

Dari hubungan persamaan kekakuan balok ($k = P / \Delta$) dapat diketahui bahwa semakin besar lendutan yang terjadi maka nilai kekakuan balok menjadi berkurang dengan demikian kekuatan balok dalam menerima beban juga semakin kecil.

3.4.2 Grafik hubungan momen dengan kelengkungan

Hubungan momen-kelengkungan balok komposit menurut *Park and Paulay (1975)* seperti ditunjukkan pada Gambar (3.11).



Gambar 3.11 Hubungan Momen dan Kelengkungan (ϕ) Balok Komposit

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 ϕ akan elastis seluruhnya setelah itu keadaan tidak stabil dan lendutan tidak terkendali. Hal ini disebabkan momen dan kelengkungan dipengaruhi nilai EI atau $\phi = M/EI$.

Dari grafik hubungan beban-lendutan dan momen-kelengkungan secara keseluruhan dapat dijelaskan bahwa komposit baja-kayu akan mengalami degradasi kekuatan yang dipengaruhi oleh nilai kekakuan (k) atau faktor kekakuan (EI).

3.5 Daktilitas

Suatu struktur dikatakan memiliki sifat daktil yaitu apabila struktur tersebut masih mampu menahan beban deformasi setelah tegangan lelehnya terlampaui. Tingkat daktilitas suatu struktur dapat diperoleh dari hubungan beban-lendutan yang disebut dengan daktilitas simpangan yang besarnya bisa diperoleh dari persamaan sebagai berikut:

$$\mu_{simpangan} = \frac{\Delta t}{\Delta y} \quad (3.53)$$

dengan, $\mu_{simpangan}$ = daktilitas simpangan

Δt = lendutan (deformasi) maksimal

Δy = lendutan pada batas elastis

Di samping itu, daktilitas juga didapatkan dari hubungan momen kelengkungan (*curvature ductility*) yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\mu_{kelengkungan} = \frac{\phi \cdot t}{\phi \cdot y} \quad (3.54)$$

dengan, $\mu_{kelengkungan}$ = daktilitas kelengkungan

$\phi \cdot t$ = kelengkungan maksimal

$\phi \cdot y$ = kelengkungan pada batas elastis

3.6 Hipotesa

Hipotesa awal dari penelitian ini adalah dengan menggunakan sudut α yang berbeda-beda besarnya akan diperoleh panjang jarak antar titik buhul (L) yang berbeda pula. Semakin besar sudut α atau semakin kecil jarak L pada struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu akan menambah kemampuan struktur tersebut dalam menahan beban-lendutan dan momen-kelengkungan.

