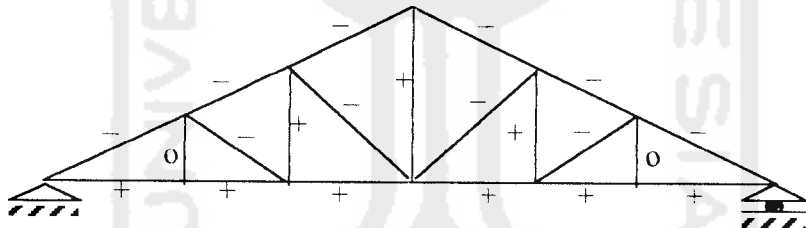


BAB III

LANDASAN TEORI

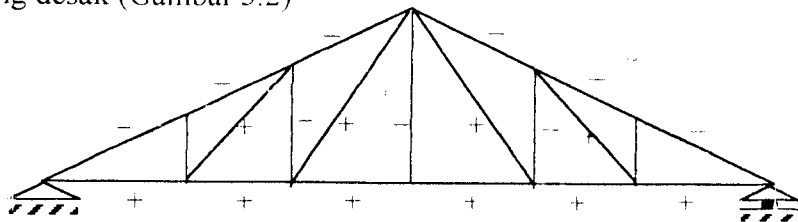
Struktur rangka merupakan gabungan elemen-elemen yang membentuk seri segitiga yang dihubungkan melalui titik simpul. Jenis rangka ada 3 macam sesuai dengan penempatan batangnya, sebagaimana yang akan diuraikan berikut ini.

- Howe Truss, batang vertikal dan batang bawah merupakan batang tarik, batang atas dan batang diagonal merupakan batang desak (Gambar 3.1).



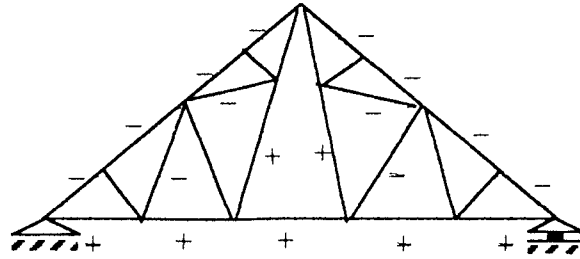
Gambar 3.1 Howe Truss

- Pratt Truss, kebalikan dari howe truss yaitu batang diagonal dan batang bawah merupakan batang tarik, batang atas dan batang vertikal merupakan batang desak (Gambar 3.2)



Gambar 3.2 Pratt Truss

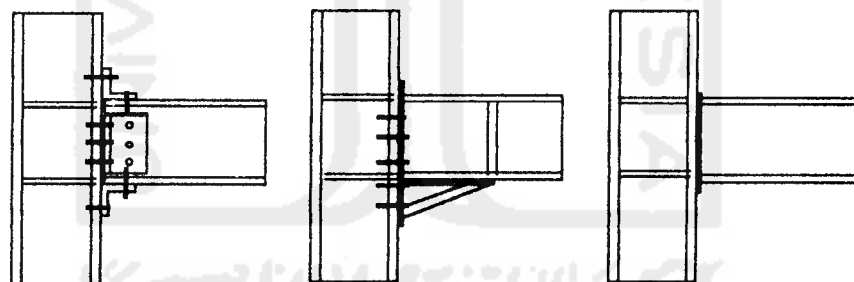
- c. Fink Truss, ciri khas fink truss adalah batang tekannya pendek (Gambar 3.3)



Gambar 3.3 Fink Truss

Berdasarkan jenis sambungannya, AISC membedakan konstruksi baja menjadi tiga kategori, sebagai mana yang akan diuraikan berikut ini.

1. *Jenis 1 AISC*. Sambungan portal kaku, yang memiliki kontinuitas penuh sehingga sudut pertemuan antara batang-batang tidak berubah, yakni pengekanan (restrant) rotasi sekitar 90% atau lebih dari yang diperlukan untuk mencegah perubahan sudut. Sambungan ini dipakai baik pada metode perencanaan tegangan kerja maupun perencanaan plastis (Gambar 3.4).

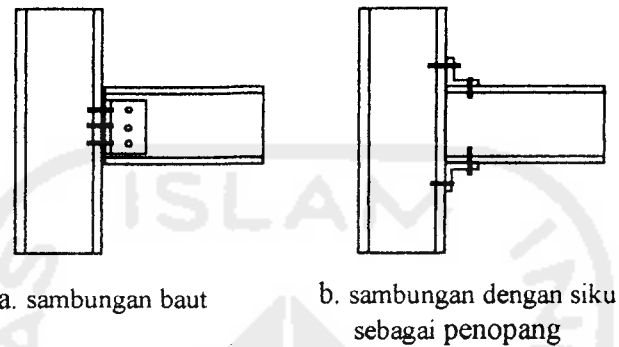


- a. sambungan baut dengan pengaku siku b. sambungan baut dengan plat pengaku c. sambungan las

Gambar 3.4 Sambungan kaku (*rigid connection*)

2. *Jenis 2 AISC*. Sambungan kerangka sederhana (simple framing), dimana pengekanan rotasi di ujung ujung batang dibuat sekecil mungkin. Untuk balok, sambungan kerangka sederhana hanya melibatkan pemindahan gaya geser di

kedua ujung balok. Suatu kerangka dapat dianggap sederhana jika sudut semula antara batang-batang yang berpotongan dapat berubah sampai 80% dari besarnya perubahan teoritis yang diperoleh dengan menggunakan sambungan sendi tanpa gesekan (*frictionless*). Sambungan sederhana dapat dilihat pada Gambar 3.5



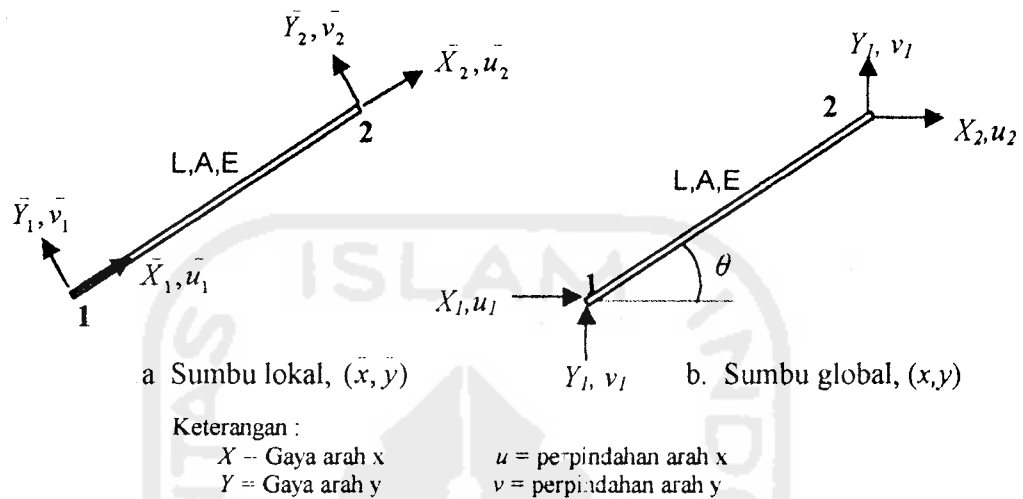
Gambar 3.5 Sambungan sederhana

3. *Jenis 3 AISC*. Sambungan kerangka semi-kaku, yang pengekangan rotasinya berkisar antara 20% sampai 90% dari yang diperlukan untuk mencegah perubahan sudut. Alternatifnya, dapat dianggap momen yang disalurkan pada sambungan kerangka semi-kaku tidak sama dengan nol (kecil sekali), seperti pada sambungan kerangka sederhana, dan tidak memberikan kontinuitas momen penuh seperti anggapan yang dipakai pada analisis portal kaku.

3.1 Struktur Rangka Truss

Truss merupakan rangka yang dibentuk dari beberapa elemen dengan titik simpul atau joint berupa hubungan sendi. Elemen pada struktur *truss* hanya dapat menahan gaya desak dan gaya tarik, tetapi tidak dapat menahan momen (Hanggoro Tri Cahyo, 2000).

Gaya dalam (local element forces) yang bekerja pada model diskrit dari elemen yang masih memungkinkan terjadi rotasi pada struktur-struktur berbentuk rangka dua dimensi dipresentasikan seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Koordinat sumbu lokal dan sumbu global truss 2 D

Pada titik 1. $\bar{u}_1 = u_1 \cos \phi + v_1 \sin \phi$ (3.1a)

2. $\bar{u}_2 = u_2 \cos \phi + v_2 \sin \phi$ (3.1b)

dimisalkan : $\mu = \cos \phi$

$\lambda = \sin \phi$

Persamaan (3.1a) dan (3.1b) dapat ditulis dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$\begin{Bmatrix} \bar{u}_1 \\ \bar{u}_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda & \mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda & \mu \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \end{Bmatrix} \quad (3.2)$$

Energi regangan : $U = \frac{1}{2}(\bar{X}_1 \bar{u}_1 + \bar{X}_2 \bar{u}_2)$

$$= \frac{1}{2} \begin{Bmatrix} \bar{X}_1 \\ \bar{X}_2 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{u}_1 \\ \bar{u}_2 \end{Bmatrix} \quad (3.3)$$

Matrik 1 dimensi pada sistem koordinat lokal :

$$\begin{Bmatrix} \bar{X}_1 \\ \bar{X}_2 \end{Bmatrix} = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{u}_1 \\ \bar{u}_2 \end{Bmatrix} \quad (3.4)$$

Substitusi persamaan (3.2) dan (3.4) kedalam persamaan (3.3) didapat :

$$U = \frac{EA}{2L} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \end{Bmatrix}^T \begin{bmatrix} \lambda & 0 \\ \mu & 0 \\ 0 & \lambda \\ 0 & \mu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda & \mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda & \mu \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \end{Bmatrix} \quad (3.5)$$

$$= \frac{EA}{2L} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \end{Bmatrix}^T \begin{bmatrix} \lambda^2 & \lambda\mu & -\lambda^2 & -\lambda\mu \\ \lambda\mu & \mu^2 & -\lambda\mu & -\lambda\mu^2 \\ -\lambda^2 & -\lambda\mu & \lambda\mu & \lambda\mu \\ -\lambda\mu & -\mu^2 & \lambda\mu & \mu^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \end{Bmatrix} \quad (3.6)$$

Sehingga didapat : vektor gaya adalah hasil kali dari matrik kekakuan dan vektor perpindahan :

$$\begin{Bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ X_2 \\ Y_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{dU}{du_1} \\ \frac{dU}{dv_1} \\ \frac{dU}{du_2} \\ \frac{dU}{dv_2} \end{Bmatrix} = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} \lambda^2 & \lambda\mu & -\lambda^2 & -\lambda\mu \\ \lambda\mu & \mu^2 & -\lambda\mu & -\lambda\mu^2 \\ -\lambda^2 & -\lambda\mu & \lambda\mu & \lambda\mu \\ -\lambda\mu & -\mu^2 & \lambda\mu & \mu^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \end{Bmatrix} \quad (3.7a)$$

Bentuk sederhana dari persamaan adalah

$$\{F\} = (k)\{q\} \quad (3.7b)$$

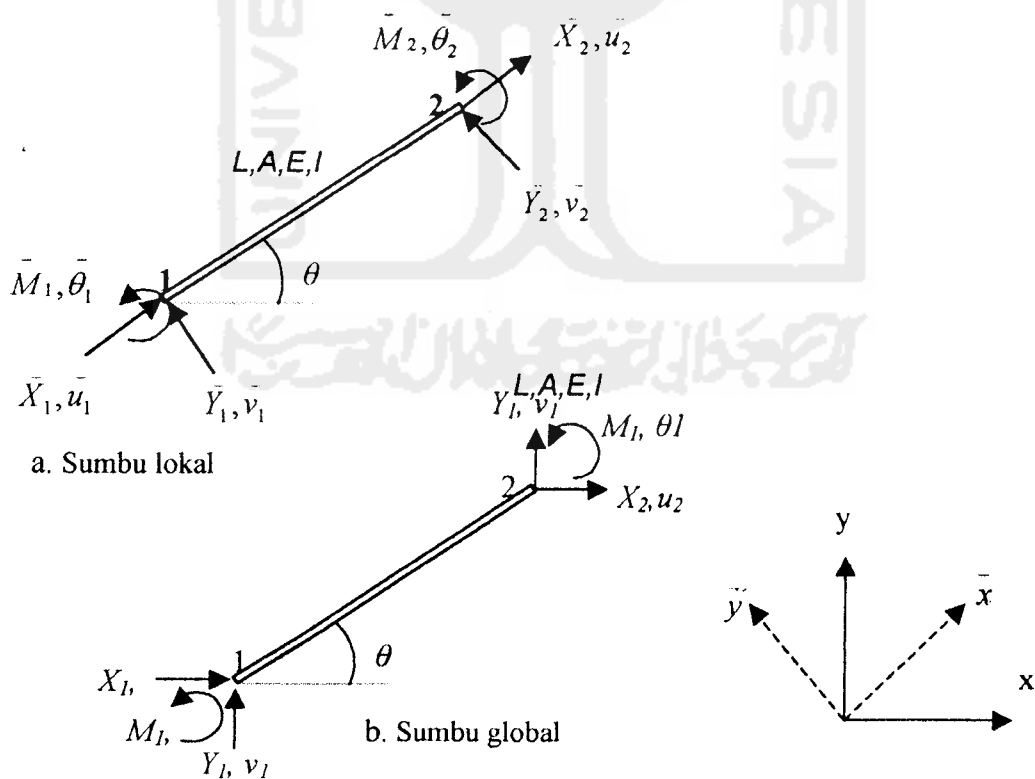
dengan F = vektor gaya, k = matrik kekakuan, q = vektor perpindahan,

E = modulus elastisitas, A = luas penampang, dan L = Panjang bentang

3.2 Struktur Rangka Frame

Frame merupakan rangka yang dibentuk dari beberapa elemen dengan titik simpul atau joint berupa hubungan jepit. Selain menahan gaya tarik dan gaya desak elemen frame juga dapat menahan momen.

Gaya dalam yang bekerja pada model diskrit dari elemen pada struktur-struktur kaku berbentuk rangka dua dimensi dipresentasikan sebagai berikut :



Gambar 3.7 Gaya dalam elemen Frame

Dari (Gambar 3.7) persamaan dasar *frame* dalam bentuk matrik adalah :

$$\begin{Bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ M_1 \\ Y_2 \\ X_2 \\ M_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EA}{L^3} & \frac{6EA}{L^2} & 0 & -\frac{12EA}{L^3} & -\frac{6EA}{L^2} \\ 0 & \frac{6EA}{L^2} & \frac{4EA}{L^2} & 0 & -\frac{6EA}{L^2} & \frac{2EA}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EA}{L^3} & -\frac{6EA}{L^2} & 0 & \frac{12EA}{L^3} & -\frac{6EA}{L^2} \\ 0 & \frac{6EA}{L^2} & \frac{2EA}{L} & 0 & -\frac{6EA}{L^2} & \frac{4EA}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \theta_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} \quad (3.8a)$$

Bentuk sederhana dari persamaan adalah :

$$\{F\} = [k] \{q\} \quad (3.8b)$$

$\{F\}$ = vektor gaya, $\{k\}$ = matrik kekakuan, dan $\{q\}$ = vektor deformasi

Pada koordinat lokal persamaan matriknya :

$$\{\bar{F}\} = [\bar{k}] \{\bar{q}\} \quad (3.9)$$

$\{\bar{F}\}$ = vektor gaya pada koordinat lokal, $\{\bar{k}\}$ = matrik kekakuan pada koordinat lokal, dan $\{\bar{q}\}$ = vektor deformasi pada koordinat lokal.

Matrik kekakuan pada sistem koordinat lokal ditransformasikan kedalam koordinal global adalah :

$$\begin{Bmatrix} \bar{X}_1 \\ \bar{Y}_1 \\ \bar{M}_1 \\ \bar{X}_2 \\ \bar{Y}_2 \\ \bar{M}_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda & \mu & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\mu & \lambda & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\mu & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \theta_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} \quad (3.10a)$$

Bentuk sederhana dari persamaan adalah :

$$\{\bar{F}\} = [T]\{F\} \quad (3.10b)$$

Dimana λ dan μ adalah cosinus dan sinus yang didefinisikan sebagai

$$\lambda = \cos \theta, \quad \mu = \sin \theta$$

karena $[T]^{-1} = [T]^T$ (3.11)

maka persamaan (3.8) menjadi

$$\{F\} = [T]^{-1}\{\bar{F}\} = [T]^T\{\bar{F}\} \quad (3.12)$$

transformasi vektor perpindahan dari lokal ke global .

$$\{\bar{q}\} = [T]\{q\} \quad (3.13)$$

substitusi persamaan (3.9) dan persamaan (3.12) ke dalam persamaan (5.8a)

menghasilkan persamaan

$$[T]\{F\} = \{\bar{k}\}[T]\{q\} \quad (3.14)$$

$$\{F\} = [T]^T\{\bar{k}\}[T]\{q\} \quad (3.15)$$

Substitusi persamaan (3.8b) dan persamaan (3.10b) kedalam persamaan (3.15)

akan menghasilkan matrik kekakuan dalam sistem koordinal global :

$$\begin{Bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ M_1 \\ Y_2 \\ X_2 \\ M_2 \end{Bmatrix} = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} R\lambda^2 + \frac{12\mu^2}{L^2} & & & & & \\ (R^2 - \frac{12}{L^2})\lambda\mu & R\lambda^2 + \frac{12\mu^2}{L^2} & & & & \\ -\frac{6\mu}{L} & -\frac{6\lambda}{L} & 4 & & & \\ -R\lambda^2 - \frac{12\mu^2}{L^2} & (-R^2 + \frac{12}{L^2})\lambda\mu & \frac{6\mu}{L} & R\lambda^2 + \frac{12\mu^2}{L^2} & & \\ (-R^2 + \frac{12}{L^2})\lambda\mu & -R\lambda^2 - \frac{12\mu^2}{L^2} & -\frac{6\lambda}{L} & (-R^2 + \frac{12}{L^2})\lambda\mu & R\lambda^2 + \frac{12\mu^2}{L^2} & \\ -\frac{6\mu}{L} & \frac{6\lambda}{L} & 4 & \frac{6\mu}{L} & -\frac{6\mu}{L} & \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \theta_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} \quad \text{SIMETRI} \quad (3.16a)$$

$$\{F\} = [k] \{q\} \quad (3.16b)$$

dengan : F = Vektor gaya, k = Matrik kekakuan, q = Vektor perpindahan,

E = Modulus elastisitas, A = Luas penampang, L = Panjang bentang,

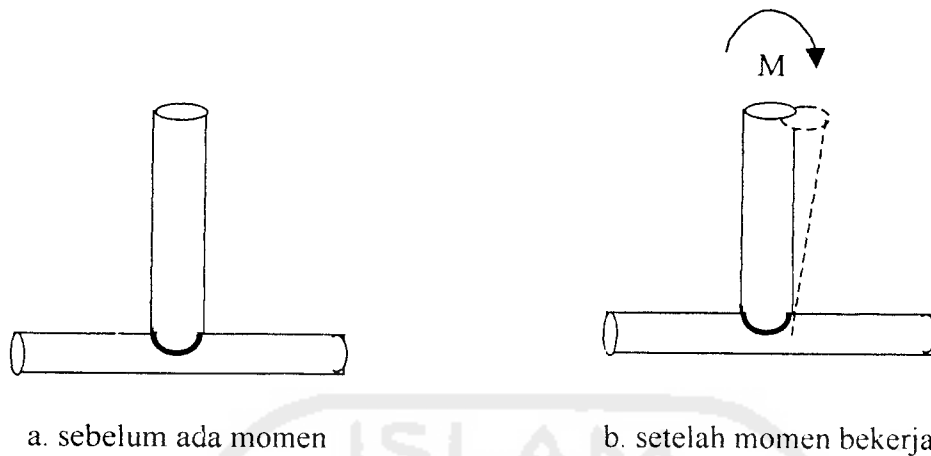
I = Inersia, dan $R = A/I$

3.3 Sambungan Pada Joint

Ada dua metode pengelasan pada profil bulat yaitu dengan cara sambungan las langsung dan sambungan las menggunakan plat buhul. Ditinjau dari kekuatannya sambungan las merupakan sambungan yang paling baik karena tidak terjadi perlemahan seperti pada sambungan baut atau paku keling.

3.3.1 Sambungan Las Langsung.

Pengelasan dilakukan dengan cara mengelas pada seluruh sisi melingkarnya (Hanggoro Tri Cahyo, 2000). (Gambar 3.8)



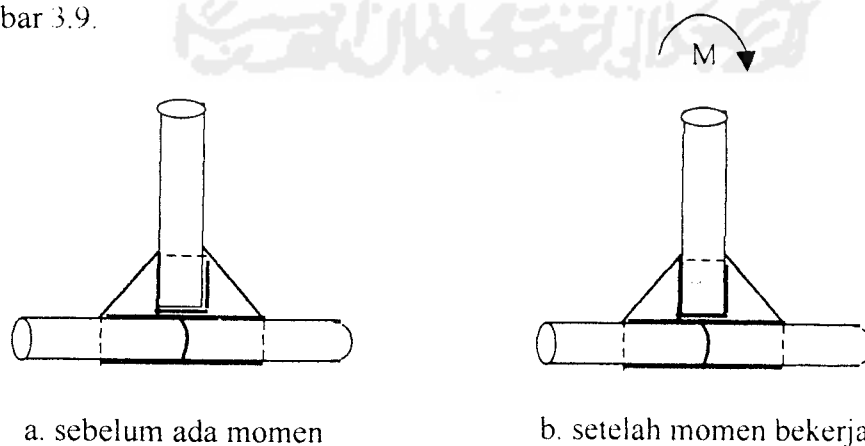
Gambar 3.8 Sambungan las langsung

Sambungan joint tanpa menggunakan plat buhul termasuk dalam struktur truss (sambungan semi rigid / setengah kaku).

3.3.2 Sambungan Las Menggunakan Plat Buhul.

Elemen tidak disambung secara langsung dengan elemen yang lain tetapi melalui perantara plat buhul sebagai alat sambung. Batang-batang penyusun membentuk keseimbangan melalui perantara plat simpul / plat buhul.

Plat buhul akan memberikan tambahan kekakuan yang lebih baik pada joint atau sambungan. Sambungan menggunakan plat buhul dapat dilihat pada Gambar 3.9.

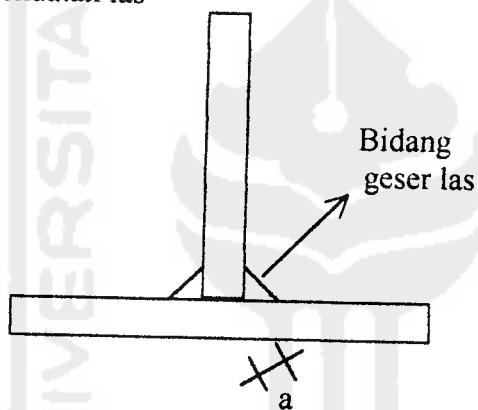


Gambar 3.9 Sambungan dengan plat buhul

3.4 Alat sambung las

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. Elektrode las dibungkus dengan bahan yang apabila melumer akan menghasilkan gas dan kerak yang melindungi sambungan terhadap oksidasi lebih lanjut.

Perhitungan kekuatan las



Gambar 3.10 Las sudut

luas penampang las, $A = Ln.a$

a = tebal rigi-rigi las

Ln = panjang bersih las = $Lbr - 3.a$

PPBBI menggunakan rumus Huber Hencky untuk menghitung kekuatan las.

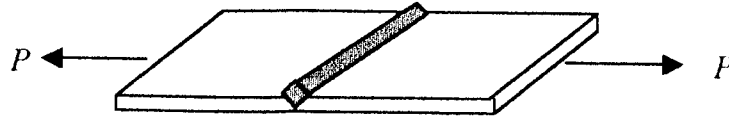
$$\bar{P} = \frac{\bar{\sigma} \cdot A}{\sqrt{\sin^2 \alpha + 3 \cdot \cos^2 \alpha}} = \bar{\sigma}_\alpha \cdot A \quad (3.17)$$

$\bar{\sigma}$ = tegangan dasar ijin dari elektroda las

α = sudut yang dibentuk oleh arah gaya dengan bidang geser las

Penggunaan rumus diatas pada keadaan khusus :

1. $\bar{P} = \bar{\sigma} \cdot A$; untuk $\alpha = 90^\circ$



Gambar 3.11 Las sudut dengan sudut $\alpha = 90^\circ$

2. $\bar{P} = 0,58 \cdot \bar{\sigma} \cdot A$; untuk $\alpha = 0^\circ$



Gambar 3.12 Las sudut dengan sudut $\alpha = 0^\circ$

syarat tebal las : $a \leq \frac{1}{2}\sqrt{2} t$ (3.18)

syarat panjang las : $10 \cdot a \leq L_n \leq 40 \cdot a$ (3.19)

3.6 Batang Tarik

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 yang lain.

Meskipun stabilitas bukan merupakan kriteria utama dalam mendesain batang tarik, namun batang tarik perlu dibatasi panjangnya untuk menjaga agar jangan terlalu fleksibel. Batang tarik yang terlalu panjang akan mempunyai lendutan yang besar sekali yang disebabkan oleh berat batang tarik itu sendiri. Terlebih lagi batang akan bergetar bila menahan gaya-gaya angin seperti pada rangka terbuka atau bila harus menahan alat-alat yang bergetar, seperti fans atau

compressors. Ada kriteria kekakuan, berdasarkan kelangsingan (*slenderness ratio*) L/r dari batang, dimana L = panjang batang dan r = jari-jari inersia.

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

Tabel 3.1 Persyaratan batang tarik

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

3.7 Batang Tekan

Ada 2 macam batang tekan, yaitu :

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

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

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

Pada keruntuhan akibat tekuk ini, asalkan tegangan pada seluruh penampang masih dalam keadaan elastis (belum mencapai σ_l), gaya tekuknya dapat dihitung berdasarkan rumus Euler :

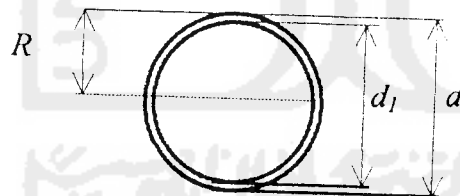
$$P_{kr} = \frac{\pi^2 EI}{L_k^2} \quad (3.20)$$

E = modulus elastisitas baja, I = inersia bahan, L_k = panjang tekuk

Inersia untuk baja profil bulat

$$I = \frac{\pi(d^4 - d_1^4)}{64} \quad (3.21)$$

dengan d = diameter luar, d_1 = diameter dalam



Gambar 3.13 Penampang baja profil bulat

3.7.1 Kelangsingan Komponen Tekan

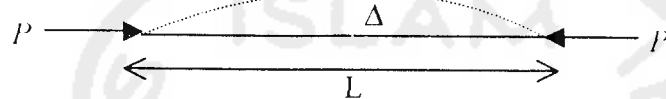
Kelangsingan elemen tekan tergantung dari jari-jari inersia (i) dan panjang tekuk (L_k).

Penampang simetris batang mempunyai 2 jari-jari inersia, maka akan terdapat 2 harga λ . Yang menentukan ialah harga λ yang terbesar (r yang terkecil),

khusus baja profil bulat 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.

$$\lambda = \frac{KL}{r} \quad (3.22)$$

K = faktor panjang tekuk, R = jari-jari inersia



Gambar 3.14 batang tertekan

L = panjang bentang, Δ = lendutan.

Dari persamaan $\lambda = \frac{KL}{r}$ profil bulat hanya mempunyai satu harga λ karena hanya ada satu harga r .

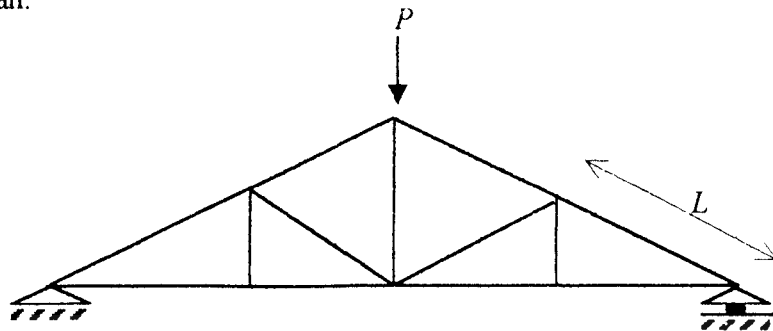
Jari-jari inersia untuk profil bulat (pipa) dengan diameter luar d , dan diameter dalam d_i , $r = \frac{\sqrt{d^2 + d_i^2}}{4}$ (3.23)

Batasan angka kelangsingan (λ) batang tekan untuk bermacam-macam mutu baja dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Harga λ untuk macam-macam mutu baja

Macam Baja	σ_1	λ
Bj 31	2000	122
Bj 37	2400	111
Bj 42	2600	107
Bj 52	3600	91

Pada struktur kuda-kuda yang mendukung beban P , seperti Gambar 3.12 dibawah.



Gambar 3.15 Elemen rangka kuda-kuda mengalami gaya axial tekan dan tarik

Maka beban kritis akan terjadi pada batang tekan, dipakai rumus Euler (Persamaan 3.20).

$$P_{kr} = \frac{\pi^2 EI}{L_k^2}$$

3.7.2. Tegangan Residu

Tegangan residu (*residual stresses*) adalah tegangan yang tertinggal tetap dalam profil setelah selesai profil dibentuk, meskipun belum ada beban luar yang bekerja padanya.

Menurut hasil penelitian / penyelidikan, tegangan residu ini timbul karena adanya deformasi plastis yang diakibatkan oleh :

1. pendinginan setelah proses *hot-rolling*
2. *cold bending* atau *cambering* selama fabrikasi
3. pengelasan.

3.8 Lendutan

Bila panjang dari batang mengalami perubahan akibat tegangan normal, maka joint-joint atau sendi-sendinya harus berpindah pada posisi-posisi yang baru supaya sesuai dengan panjang batangnya sekarang. Perpindahan atau deflection ini selalu dibarengi dengan perubahan sudut diantara batangnya. Pada rangka batang yang dihubungkan dengan baut, batang yang ada tidak bisa berputar secara bebas terhadap bautnya sebab selalu timbul geseran. Pada rangka batang dengan anggapan joint berupa sendi, dianggap bahwa batang-batang hanya menerima tegangan normal tarik atau desak saja, serta tidak ada beban yang bekerja selain pada titik-titik buhulnya. Dengan demikian batang-batang tersebut senantiasa tetap lurus. Untuk rangka batang dengan paku keling, batang-batang yang ada hampir tidak mungkin berputar terhadap joint-jointnya. Pada rangka batang dengan las, joint-joint dianggap kaku yaitu sudut antara batang-batangnya tidak dapat berubah. Batang-batang yang cenderung berputar terhadap jointnya senantiasa akan mengalami tahanan sebagian pada joint-joint semi rigid dan seluruh pada joint-joint kaku sehingga batang-batang tersebut akan melentur dan menerima tegangan-tegangan lentur atau tegangan sekunder (Chu-Kia Wang, 1973)

Secara umum lendutan maksimum pada batang elastis dapat dinyatakan sebagai :

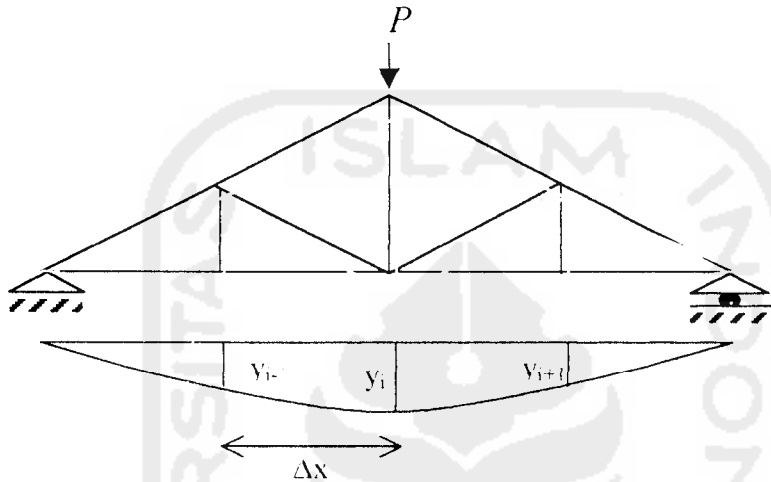
$$\Delta_{maks} = \beta_1 \frac{WL^3}{EI} \quad (3.24)$$

dengan W = beban total sepanjang bentang, L = panjang bentang, E = modulus elastisitas, I = momen inersia, β_1 = koefisien yang tergantung pada

jepitan di tumpuan, variasi momen inersia sepanjang bentang, dan distribusi pembebanan.

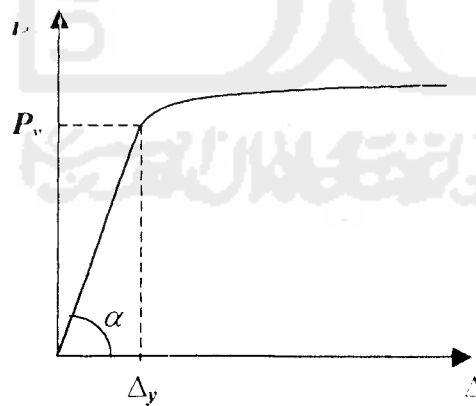
3.8.1 Hubungan Beban-Lendutan

Dari pembebanan (pengujian *loading test*), akan menyebabkan defleksi pada struktur seperti pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Lendutan truss oleh beban P

Hubungan beban lendutan apabila ditampilkan dalam bentuk grafik, maka seperti ditunjukkan pada Gambar 3.17.



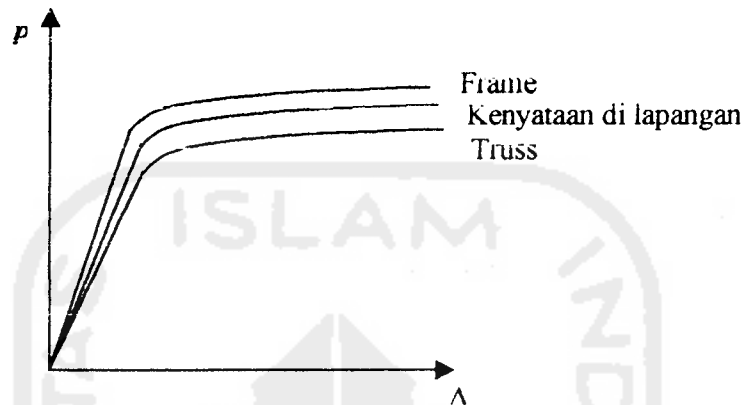
Gambar 3.17 Diagram hubungan beban (P) – Lendutan (Δ).

Apabila suatu struktur kuda-kuda dibebani gaya P , maka struktur akan mengalami lendutan (Δ). Dari beban (P) dan lendutan (Δ), maka didapat kekakuan

$$\text{struktur } K = \frac{P}{\Delta}, \text{ atau } K = \text{Tg } \alpha. \quad (3.25)$$

Pada uji pembebanan, setelah P_y dilampaui maka kekakuan struktur akan menurun, sampai akhirnya kekakuan struktur sama dengan nol ($\alpha = 0$).

Karena *Frame* diasumsikan lebih kaku dari *Truss*, maka diperoleh grafik beban lendutan seperti pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Diagram hubungan beban (P) - Lendutan (Δ) frame, truss dan kenyataan lapangan

Karena rangka kuda-kuda dalam kenyataannya dilapangan tidak mungkin sekaku *frame*, dan tidak sama persis seperti rangka batang atau rangka fleksible (hanya dapat menahan gaya aksial), maka rangka kuda-kuda tersebut kekakuannya diantara *frame* dan *truss*.

3.8.2 Hubungan Momen Kelengkungan

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

Menurut Temoshenko, hubungan momen kelengkungan,

$$\phi = \frac{M}{EI} \quad (3.26)$$

Kelengkungan menurut Popov,
$$\theta = \frac{d^2y/dx^2}{\{1+(dy/dx)^2\}^{3/2}} \quad (3.27)$$

bila $\frac{dy}{dx}$ kecil, maka $\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = 0$,

$$\text{sehingga } \theta = \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.28)$$

Kuda-kuda yang mengalami pembebanan seperti pada Gambar 3.16, maka pendekatan kemiringan digunakan metode *Central Differences*, (Fathurrohman N, 1991), dengan persamaan

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.29)$$

Kelengkungan diperoleh dengan menurunkan Persamaan (3.25) sehingga diperoleh

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx}(2\Delta x)}{(2\Delta x)^2} \quad (3.30)$$

Karena $(2\Delta x)$ konstanta, maka $\frac{d}{dx}(2\Delta x) = 0$, sehingga

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

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

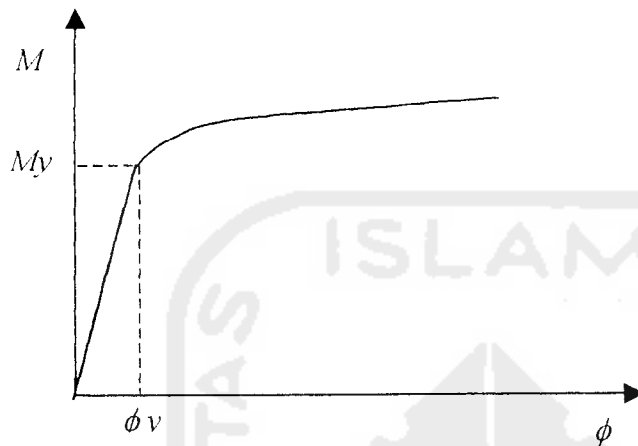
$$\text{Maka : } \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(2\Delta x)^2} \quad (3.31)$$

Karena $\frac{dy}{dx} = \phi$, dan $\phi = \frac{M}{EI}$,

Maka, $M = EI\phi$

$$\text{Sehingga diperoleh, } M = EI \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.32)$$

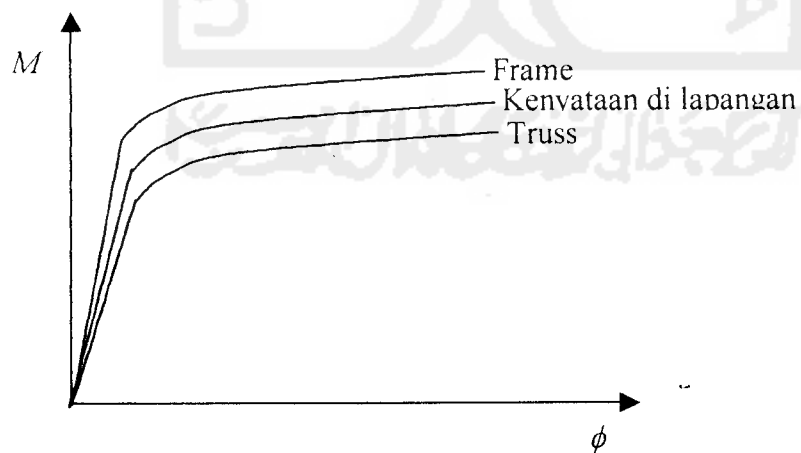
Hubungan momen (M), dan kelengkungan (ϕ), dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 3.19



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

Seperti halnya pada hubungan beban lendutan, maka kurva hubungan momen kelengkungan akan linier setelah M_y terlampaui.

Hubungan momen kelengkungan *frame* dan *truss* dalam satu kurva seperti pada Gambar 3.20.



Gambar 3.20 Hubungan momen (M) - kelengkungan (ϕ)

3.9 Hipotesa

Struktur rangka dengan joint sambungan las menggunakan plat buhul akan menghasilkan struktur yang lebih stabil dibanding dengan struktur rangka tanpa menggunakan plat buhul. Hal ini karena plat buhul akan memberikan pengekangan moment sehingga rotasi pada joint tidak akan terjadi.

Struktur rangka dengan sambungan las tanpa plat buhul termasuk sambungan semi rigid / semi kaku dan termasuk dalam pemodelan truss (joint diasumsikan sendi), sedang pada sambungan las dengan menggunakan plat buhul merupakan rangka kaku dan termasuk pada pemodelan frame (joint diasumsikan jepit), dimana elemen-elemen pada struktur dapat mengekang momen.

