

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Sifat-sifat Kayu

Dalam hal ini membicarakan berat tiap satuan isi atau kerapatan dan hubungan arah serat dengan arah gaya. Sifat kayu ada beberapa macam antara lain yaitu sifat fisik dan sifat mekanik (suwarno,1976).

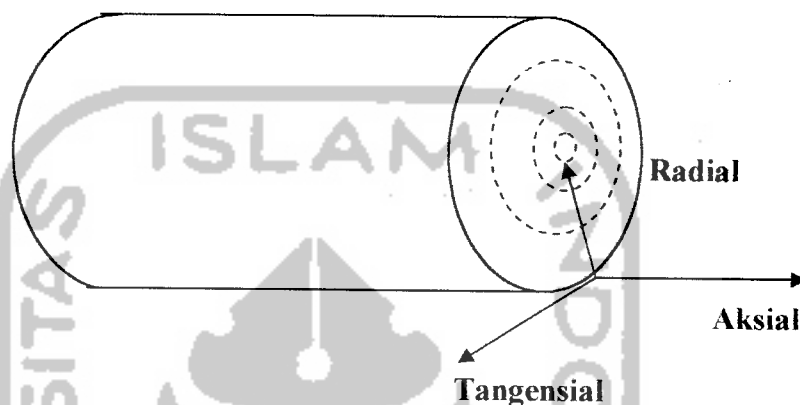
3.1.1 Sifat Fisik

Berat jenis kayu banyak dipengaruhi oleh karena itu agak sukar dalam membicarakan berat jenis kayu, dalam hubungan sifat mekanik dan lainnya.. Angka rapat adalah hasil bagi berat kering tungku (*oven dry*) dan isi potong kayu itu. Kerapatan ini merupakan indikator yang terbaik tentang kekuatan kayu meskipun sifat-sifat lain juga ada pengaruhnya, seperti kadar lengas, arah serat, adanya mata kayu dan sebagainya.

Angka rapat itu tergantung daripada banyaknya zat dinding sel tiap-tiap satuan isi. Kayu yang berserat kasar mengandung sedikit sel-sel tiap-tiap satuan isi, yang berarti sedikit dinding selnya, jadi rapatnya rendah pula. Semakin kecil angka rapat suatu kayu, semakin kuat kekuatan kayu. Pada temperatur besar, angka muai linier kayu dalam arah sejajar serat adalah rendah sekali dibandingkan dengan besi, dan lain-lain. Untuk arah serat adalah besar

tetapi lebih lagi perubahannya karena pengaruh kadar lengas kayu, sehingga untuk arah serat akibat perubahan temperatur dapat diabaikan.

3.1.2 Sifat Mekanik



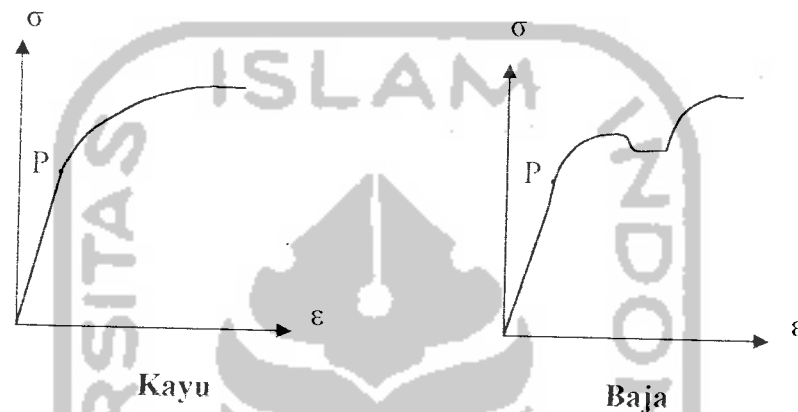
Gambar 3.1 Arah gaya pada kayu

1. Hubungan arah serat dengan arah gaya

Kayu adalah benda anisotropis, karenanya sifat mekanik ke berbagai arah tidak sama. Untuk membedakan sifat mekanik kayu, Kayu mempunyai tiga arah sumbu yang tegak lurus sesamanya, yaitu searah serat (*axial*), arah ke kambium (*radial*) dan berimpit lingkaran tahun (*tangensial*) seperti terlihat pada Gambar 3.1. Sifat-sifat mekanik ke arah tangensial dan radial tidak banyak bedanya.

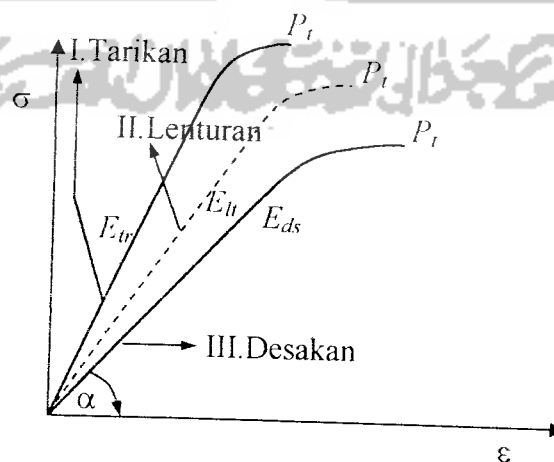
Kayu tidak mempunyai batas kenyal seperti baja, tetapi diagram tegangan (σ) dan regangan (ϵ) untuk satu arah (sejajar atau tegak lurus) mempunyai bagian yang lurus sebelum membengkok seperti terlihat pada Gambar 3.2.

Oleh karena itu kayu tidak mempunyai batas kenyal, tetapi mempunyai batas proporsional yaitu suatu titik pertemuan pada diagram tegangan (σ) dan regangan (ϵ) antara bagian yang lurus dan yang membengkok (titik P). Di dalam praktek proporsional itu dianggap sebagai batas kenyal seperti pada konstruksi baja (Suwarno, 1976).



Gambar 3.2 Grafik tegangan (σ) dan regangan (ϵ)

Daya dukung kayu terhadap lentur akan lebih besar daripada desakan, tetapi lebih kecil daripada tarikan seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Tegangan-regangan gaya tarik, desak dan lentur kayu

Seperti terlihat pada Gambar 3.3, boleh dikatakan tidak ada batas kenyal pada batang tarik. Untuk batang terdesak dan terlentur, batas kenyal terletak kira-kira 65% dan 70% dari tegangan patah (P_t).

Pada balok lentur yaitu menahan momen, serat-serat terluar akan menderita tegangan terbesar. Dibandingkan yang terdesak serat-serat ini dibantu oleh serat-serat dibagian dalam yang menahan tegangan yang lebih kecil.

Modulus kenyal menurut arah serat baik untuk batang tarik, batang desak, batang lentur dianggap sama karena perbedaan sangat kecil.

2. Modulus elastis

Modulus elastis (E) kayu dihitung dengan persamaan, yang diperoleh dari diagram tegangan-regangan uji desak kayu yaitu dengan cara membandingkan tegangan dan regangan kayu pada batas proporsional.

$$E = \frac{\sigma_p}{\varepsilon_p} \quad (3.1)$$

Tabel 3.1 Modulus Kenyal (E) Kayu Sejajar Serat

Kelas Kuat Kayu	E // (kg/cm^2)
I	125.000
II	100.000
III	80.000
IV	60.000

3. Pengaruh Kadar Lengas Kayu

Kadar lengas kayu sangat berpengaruh pada kekuatan daya dukung kayu, semakin kecil kadar lengas kayu, maka daya dukung kayu menjadi semakin kuat. Sebelum kayu dipergunakan pada suatu bangunan perlu dilakukan pengeringan pada kayu untuk mengurangi kadar lengas.

4. Pengaruh Cara dan Lama Pembebanan

Kayu dapat dibebani dengan cara yaitu:

1. Dengan sekonyong-konyong seperti pada halnya pada tiang tumbuk, jadi beban ini hanya terjadi beberapa detik saja,
2. Dalam jangka pendek, artinya pembebanan dilakukan dalam beberapa menit seperti halnya dalam pengujian-pengujian kekuatan kayu dilaboratorium yang memakan waktu kira-kira 4 menit untuk setiap benda uji,
3. Dalam jangka pendek, kayu dibebani selama setahun atau lebih, misalnya pada pekerjaan perancah,
4. Dalam jangka panjang, kayu dibebani dalam beberapa tahun, lebih dari 10 tahun, seperti dalam bangunan biasa.

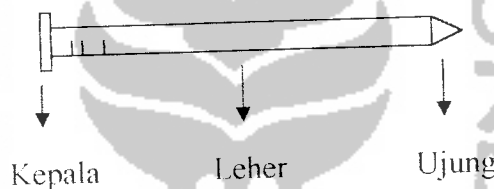
Sifat yang khusus bagi kayu adalah semakin cepat kayu itu dibebani, (semakin pendek waktu pembebanan), semakin besar tegangan yang dapat didukung. Kayu yang dibebani selama 1 jam akan dapat mendukung tegangan lebih besar daripada kayu yang dibebani selama 1 tahun. Oleh karena itu kayu merupakan bahan yang sangat baik untuk mendukung tegangan-tegangan yang timbul dalam waktu yang pendek.

Cara pembebanan pada alat sambung menurut (Stalnaker, 1989) dapat dibagi menjadi 4 macam :

- 1 Dibebani geseran misalnya perekat, baut, paku, pasak,
- 2 Dibebani lenturan diataranya adalah baut, paku dan pasak,
- 3 Dibebani jungkitan adalah pasak,
- 4 Dibebani desakan misalnya kokot, cicin belah dan sebagainya.

3.2 Alat Sambung Paku

Perbedaan jenis paku ditentukan oleh beberapa karakteristik, yaitu kepala paku, leher paku, ujung paku, jenis material dan kondisi permukaan paku (Breyer,1980).



Gambar 3.4 Model paku

Paku yang digunakan dalam penelitian ini adalah paku tampang bulat. Dalam praktek angka kelangsingan paku umumnya besar, sehingga paku-paku itu ikut membengkok jika gaya yang didukung melampaui batas kekuatan sambungan.

3.3 Sifat-Sifat Sambungan Paku

Diameter paku dan ketebalan kayu mempengaruhi pecah pada kayu sesaat dilakukan pemukulan. Semakin besar diameter paku dan semakin tipis kayu yang digunakan maka semakin besar bahaya pecah yang akan terjadi pada kayu saat

dilakukan pemukulan. Sehingga diameter paku tidak boleh lebih dari $\frac{1}{4}$ tebal kayu (Karlsel, 1967).

Sifat sambungan paku pada konstruksi paku ada beberapa hal seperti (Felix, 1964) :

1. Memiliki efisiensi yang cukup baik dibandingkan dengan sambungan baut, yaitu kira-kira 50%,
2. Memberi perlemahan yang cukup kecil baik dibanding dengan sambungan baut kira-kira 10%,
3. Kekuatan tidak tergantung arah serat dan cacat kayu juga kurang berpengaruh,
4. Sambungan cukup kaku,
5. Beban pada penampang lebih merata,
6. Untuk kayu yang tidak terlalu keras dan tebal tidak perlu di bor.

Jenis pembebanan pada paku adalah sebagai berikut (Faherty, 1989) :

1. Beban geser yang disebabkan gaya atau komponen gaya yang bekerja tegak lurus poros paku,
2. Beban tarik yang dibebankan gaya atau komponen yang bekerja sejajar poros paku,
3. Paku sebaiknya dibebani geser, tidak dibebani tarik jika mungkin,
4. Ujung serat tarik tidak disarankan.

3.4 Kekuatan Sambungan Paku

Kekuatan sambungan tampang satu ditunjukkan dalam tabel PKKI 1961. Apabila pada sambungan paku digunakan paku yang memenuhi syarat untuk

sambungan tampang dua, maka kekuatan paku pada tabel tersebut dapat dikalikan dua.

Panjang Paku tampang satu diambil sebagai berikut (tjoa Pwee Hong, 1994) :

$$l_p \geq 2.5 b \quad (3.2)$$

Dari tabel PKKI 1961 tampak bahwa kayu muka tempat awal kayu masuk dibatasi 2 - 4 cm. Sehingga tabel tebal kayu muka lebih dari 4 cm, maka tebal kayu tidak dapat dihitung berdasarkan tabel PKKI, 1961.

Jadi apabila tidak menggunakan tabel PKKI, 1961 kekuatan paku dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Tampang satu : } \bar{P} = 0,5.b.d.\sigma_{kd} \quad \text{untuk } b \leq 7.d \quad (3.4)$$

$$\bar{P} = 3,5.d^2.\sigma_{kd} \quad \text{untuk } b \geq 7.d \quad (3.5)$$

$$\text{Tampang dua : } \bar{P} = m.d.\sigma_{kd} \quad \text{untuk } m \leq 7.d \quad (3.6)$$

$$\bar{P} = 7.d^2.\sigma_{kd} \quad \text{untuk } m \geq 7.d \quad (3.7)$$

Dengan \bar{P} = Kekuatan paku σ_{kd} = Konstanta kuat kayu

d = Diameter paku

b = Tebal kayu muka

m = Tebal kayu tengah

Berdasarkan rumus sambungan paku tampang satu dan tampang dua diketahui bahwa paku dengan tebal kayu lebih besar dari $7d$ (kayu tebal) kekuatan sambungan tidak dipengaruhi oleh ketebalan kayu, tetapi dipengaruhi oleh kelangsingan paku.

Harga $\sigma_{k d}$ untuk kayu dengan berat jenis lebih dari 0,6 nilai $\sigma_{k d}$ dapat dinyatakan (PKKI, 1961) :

$$\sigma_{k d} = 250.G \quad ; \text{ dengan } G = \text{Berat jenis kayu} \quad (3.8)$$

dengan $\sigma_{k d} = \text{konstanta kuat kayu kg/cm}^2$

Dapat disimpulkan bahwa semakin besar berat jenis kayu maka nilai $\sigma_{k d}$ semakin besar pula. Nilai $\sigma_{k d}$ dapat ditulis sebagai fungsi berat jenis.

$$\sigma_{k d} = f(G) \quad (3.9)$$

$$\text{Tampang satu : } \bar{P} = 0,5.b.d.f(G) \quad \text{untuk } b \leq 7.d \quad (3.10)$$

$$\bar{P} = 3,5.d^2.f(G) \quad \text{untuk } b \geq 7.d \quad (3.11)$$

$$\text{Tampang dua : } \bar{P} = m.d.f(G) \quad \text{untuk } m \leq 7.d \quad (3.12)$$

$$\bar{P} = 7.d^2.f(G) \quad \text{untuk } m \geq 7.d \quad (3.13)$$

Apabila tebal kayu dan diameter paku dianggap konstan maka berdasarkan rumus diatas dapat dicari bahwa semakin besar berat jenis kayu, kekuatan sambungan paku semakin bertambah.

Karena kelangsingan adalah $\lambda = lp/d$ dapat ditulis dalam bentuk lain yaitu:

$$\text{Tampang satu : } \bar{P} = 0,5.lp/\lambda .d.f(G) \quad \text{untuk } b \leq 7.d \quad (3.14)$$

$$\bar{P} = 3,5.(lp/\lambda)^2.f(G) \quad \text{untuk } b \geq 7.d \quad (3.15)$$

$$\text{Tampang dua : } \bar{P} = m.lp/\lambda .f(G) \quad \text{untuk } m \leq 7.d \quad (3.16)$$

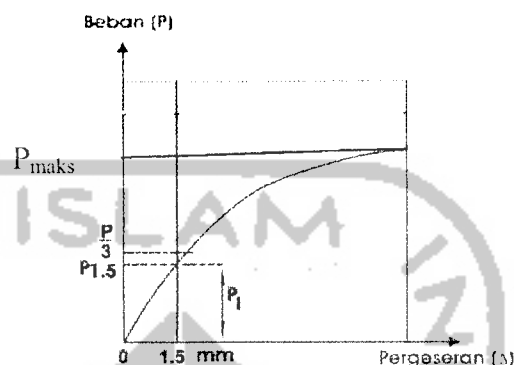
$$\bar{P} = 7.(lp/\lambda)^2.f(G) \quad \text{untuk } m \geq 7.d \quad (3.17)$$

Dengan $lp = \text{Panjang paku}$

$f(G) = \text{Berat jenis kayu}$

$\lambda = \text{Angka kelangsingan}$

Beban (P) yang di ijin pada sambungan paku adalah $\frac{1}{3}P_{maks}$ atau beban patah, atau diambil beban sasaran sebesar 1,5 mm, hal ini dapat dilihat dalam Gambar 3.5 di bawah (Suwarno , 1977).



Gambar 3.5 Grafik P_{ijin} pada paku

Sambungan paku mutu tinggi dapat direncanakan sebagai sambungan tipe geser dan sambungan tipe tumpu. Pada sambungan tipe geser paku dikencangkan sampai batas yang ditetapkan sehingga antara kedua elemen yang disambung timbul gesekan yang mampu menahan tergelincirnya masing-masing elemen tersebut. Sedangkan pada sambungan tipe tumpu, tergelincirnya masing-masing elemen yang disambung mungkin terjadi sampai batas tepi-tepi lubang menumpu pada batang paku (Padasbajayo, 1994) .

3.5 Batang Tarik

Untuk batang yang menahan gaya tarik perlu diperhitungkan perlemahan-perlemahan akibat alat-alat sambung. Untuk itu dalam hitungan tampang tarik dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut (**kayu untuk struktur Soehendrajati**) :

$$\sigma_{tr} = \frac{P_{tr}}{A_n} < \sigma_{tr}$$

$$\text{Jadi, } \sigma_n > \frac{P_{tr}}{A_r} \quad (3.18)$$

Reduksi luas tampang pada batang tarik disebabkan oleh pemakaian alat sambung paku dll. Alat sambung tersebut memerlukan lubang pada kayu, sehingga luas tampang batang tarik menjadi berkurang. Perlemahan akibat lubang oleh alat sambung tergantung jenis alat sambung, penempatan alat sambung, ukuran kayu dll.

Dengan adanya lubang-lubang yang ditempati alat sambung itu, tegangan pada tampang kayu menjadi tidak merata lagi, dan akan terjadi pemusatan tegangan disekitar lubang alat sambung paku. Di sekitar lubang tersebut tegangan yang terjadi akan menjadi lebih tinggi dibandingkan tegangan di bagian tepi tampang. Untuk hitungan luas tampang batang tarik, perlemahan akibat pemakaian berbagai alat sambung dapat diambil seperti pada tabel 3.2. Ditinjau dari kekuatannya batang tunggal maupun rangkap tak ada bedanya, sebab yang penting luas tampangnya.

Tabel 3.2 Perlemahan Tampang Akibat Alat Sambung

Jenis Alat Sambung	Angka Perlemahan (%)
Paku	10 – 15
Baut dan Gigi	20 - 25
Kokot dan Cincin belah	20
Pasak kayu	30
Perekat	0

3.6 Batang Tekan

Pada batang tekan memiliki prinsip yang berbeda dengan batang tarik sebab pada batang tekan pengurangan tampang akibat lubang yang dibuat untuk alat penyambung tidak diperhitungkan sehingga luas tampang yang digunakan merupakan luas tampang bruto (F_{br}). Pada batang tekan yang perlu diperhitungkan adalah tekuk yang terjadi akibat pembebanan yang diterima oleh batang tersebut, oleh karena itu dalam PKKI disyaratkan bahwa batang tekan harus memiliki nilai kelangsingan batang (λ) ≤ 150 . Kelangsingan batang (λ) merupakan perbandingan antara panjang tekuk (l_{tk}) dengan jari-jari lembam minimum (i_{min}), sehingga dapat ditulis dengan rumus sebagai berikut (**kayu untuk struktur Soehendrajati**) :

$$\lambda = \frac{l_{tk}}{i_{min}} \quad (3.19)$$

dengan nilai jari-jari lembam minimum sesuai dengan persamaan di bawah ini :

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{F_{br}}} \quad (3.20)$$

nilai inersia minimum yang digunakan merupakan nilai inersia dengan tampang persegi sehingga persamaan menjadi,

$$I_{min} = \frac{1}{12} \times h \times b^3 \quad (3.21)$$

dari persamaan di atas dapat diketahui tegangan desak yang terjadi sebesar,

$$\sigma_{tk} = \frac{Px}{F_{br}} \leq \sigma_{tk//} \text{ (tegangan ijin)} \quad (3.22)$$

Dari gaya batang yang telah diketahui selanjutnya dipilih ukuran tampang yang memadai. Secara umum dipakai rumus Euler bila kelangsingan $\lambda > 57$, jika

$\lambda < 57$ rumus Euler tidak dapat digunakan karena tegangan tekuk yang terjadi telah melampaui tegangan batas elastik, anggapan awal untuk memilih tampang batang desak biasanya memakai rumus Euler (**kayu untuk struktur Soehendrajati**).

$$\text{Menurut Euler, } P_{tk} = \frac{\pi^2 x E x I_{min}}{lk^2} \quad (3.23)$$

Dimana : P_{tk} = Gaya tekuk

lk = Panjang tekuk

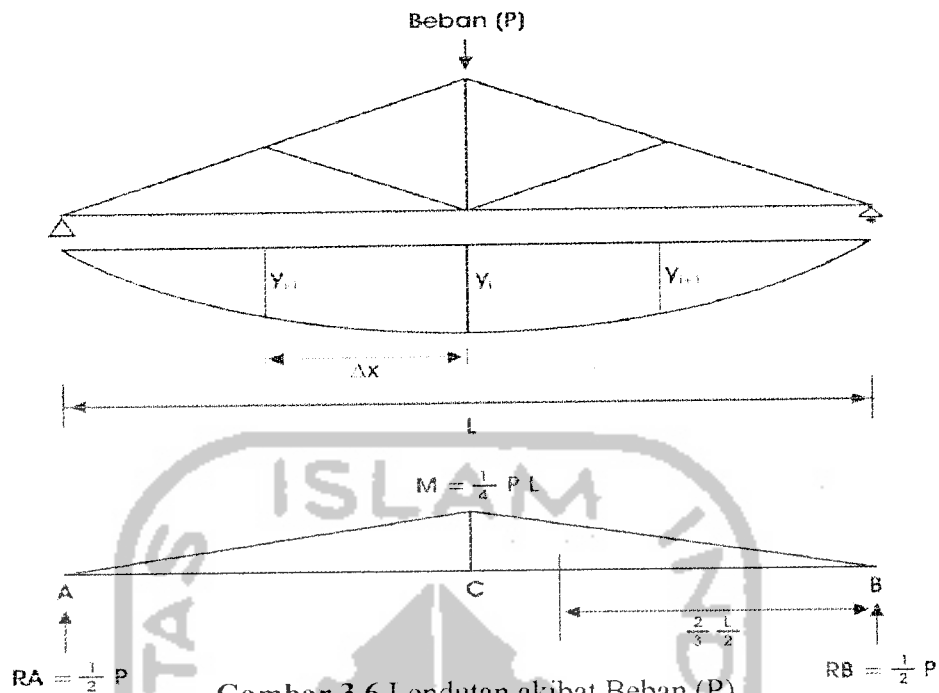
I_{min} = Inersia kelembaman

$$\text{Menurut Tetmayer, } \sigma_{tk} = \sigma_{ds \text{ maks}} \times (1 - 0.00662 \times \lambda) \quad (3.24)$$

3.7 Hubungan Beban-Lendutan

Lentur yang disebabkan beban akan menimbulkan lendutan secara langsung. Apabila balok tersebut sangat fleksibel, maka bisa dikatakan tidak layak untuk digunakan meskipun secara matematis nilai keamanan dari lentur dan geser memenuhi syarat. Pada dasarnya kayu dan baja memiliki sifat yang hampir sama, kalau pada kayu tidak memiliki batas kenyal melainkan batas proporsional. Tetapi dalam praktek batas proporsional ini sering dianggap sebagai batas kenyal seperti pada baja (Suwarno, 1977).

Pada pengujian rangka kuda-kuda seperti yang terlihat dalam Gambar 3.6, beban (P) akan menimbulkan lendutan yang terjadi sepanjang bentang, dengan bertambahnya beban maka lendutan yang terjadi juga akan semakin besar.



Gambar 3.6 Lendutan akibat Beban (P)

Melalui analisis teorema luas-momen (**Daniel, L. Schodek**) maka dengan memperhatikan model pembebanan yang terjadi pada tengah bentang (Gambar 3.6) didapatkan momen maksimum yang terjadi sebesar :

$$M = \text{Gaya} \times \text{Lengan Gaya} \quad (3.25)$$

$$M = \frac{1}{2} P \times \frac{1}{2} L \quad (3.26)$$

$$M = \frac{1}{4} P L \quad (3.27)$$

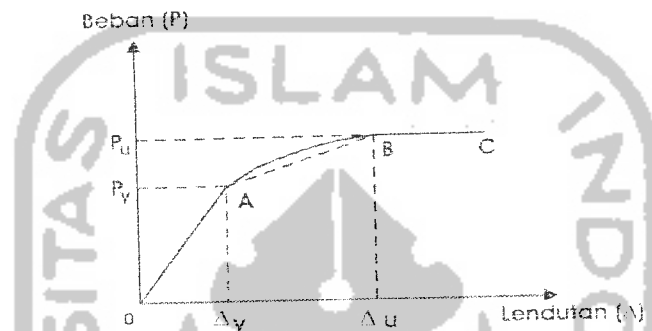
Dari Gambar 3.5, kemiringan garis singgung di kedua tumpuan tidak sama dengan nol namun kemiringan di tengah bentang sama dengan nol karena lendutan simetris

$$y = \frac{M}{EI} \times \text{Luas} \times \text{Lengan Momen terhadap B} \quad (3.28)$$

$$y = \frac{PL}{4EI} \times \frac{L}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{2}{3} \times \frac{L}{2} \quad (3.29)$$

$$y = \frac{1}{EI} \times \frac{1}{48} P L^3 \quad (3.30)$$

Balok dukungan sederhana yang diberi beban memiliki suatu titik yang menyebabkan momen menjadi maksimum. Semakin besar beban yang diberikan maka momen yang terjadi akan semakin besar sehingga material yang terdeformasi semakin cepat dan defleksi yang terjadi juga semakin besar. (Lynn S. Beedle, 1958). Hubungan Beban (P) dan Lendutan (Δ) dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut ini,



Gambar 3.7 Grafik Hubungan Beban (P) dan Lendutan (Δ) dengan Kurva Trilinear

Menurut penelitian yang dilakukan oleh *American Society for Testing and Material (ASTM)* yang ditulis oleh **Timoshenko, 1987**, bahwa kelakuan rangka hingga beban patah dinyatakan oleh garis OA pada diagram beban-lendutan dari Gambar 3.6 atau disebut juga dengan daerah elastis. Dengan penambahan beban pada rangka maka rangka akan menjadi plastis seperti ditunjukkan pada garis AB, hingga pada akhirnya rangka akan menjadi plastis sempurna seperti ditunjukkan pada garis BC, setelah itu rangka atau struktur tidak mampu lagi memikul tambahan beban. Pada keadaan elastis, balok sederhana memiliki suatu titik yang menggambarkan hubungan antara beban dan lendutan mencapai titik maksimum.

3.8 Jumlah Paku dalam Sambungan

Jumlah alat sambung mempunyai pengaruh yang penting. Semakin banyak alat sambung maka semakin kuat sambungan, apabila terlalu banyak alat sambung yang digunakan dapat menimbulkan ketidak efektifan pada sambungan, yaitu terjadi penurunan kemampuan mulai 10% - 15% dari kekuatan sebenarnya (Stalnaker,1989).

3.9 Hipotesa

Ada pengaruh sambungan paku dengan menggunakan profil tabung baja terhadap kuat tarik dan desak kayu pada struktur kuda-kuda. Struktur kuda-kuda kayu menggunakan sambungan paku dengan perkuatan profil tabung baja akan menghasilkan sambungan yang lebih kuat menahan gaya tarik dan desak. Pada pengujian, grafik beban-lendutan menggambarkan hubungan deformasi terhadap pembebanan yang dilakukan sampai pada batas plastis.

