

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kapal Kayu Tradisional**

Pada undang-undang nomor 17 tahun 2008 tentang pelayaran, menjelaskan pengertian kapal adalah kendaraan air dengan bentuk dan jenis tertentu, yang digerakkan dengan tenaga angin, tenaga mekanik, dan digerakkan oleh energi lainnya, ditarik maupun ditunda, termasuk kendaraan yang berdaya dukung dinamis, kendaraan di bawah permukaan air, serta alat apung dan bangunan terapung yang dapat berpindah-pindah.

Kapal kayu tradisional merupakan yang dibangun secara tradisional berdasarkan pengalaman pembuatnya tanpa dasar proses desain sebagaimana halnya kapal-kapal modern. Kapal kayu terbuat dari tebangan pohon yang dimana seluruh konstruksi badan kapal dibuat dari kayu. Kayu yang digunakan dapat berupa kayu Sena, kayu Merbau, kayu Jati dan kayu yang memenuhi syarat untuk dijadikan bahan pembuatan kapal kayu. Syarat tersebut antara lain; kualitas kayu baik; kayu tidak celah cacat dan tidak pecah-pecah; kayu tidak berlubang pada lingkaran tahun; kayu harus tahan terhadap air; cuaca musim; jamur serangga; kayu tidak mudah dimakan tiram dan tidak mudah lengkung (Kurni, 2013).



Gambar 2. 1 Kapal Kayu Tradisional  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2022)

Menurut Kusumanti (2009), mendefinisikan kata tradisional sebagai metode atau cara yang digunakan oleh para pengrajin kapal perikanan dalam mengkonstruksi kapal buatanya dimana cara-cara atau metode yang diterapkan merupakan warisan dari pendahulunya. Kapal yang menjadi acuan adalah kapal yang telah dibuat sebelumnya dan telah teruji kemampuannya dalam menjalankan fungsinya.

## 2.2 Gading Kapal

Pembangunan kapal kayu pada dasarnya memiliki konstruksi yang tidak jauh berbeda dengan kapal-kapal sebelumnya. Konstruksi pada pembangunan kapal memiliki fungsi yang sangat penting. Berdasarkan peraturan Biro Klasifikasi Indonesia Volume II (2006), tujuan pembangunan konstruksi kapal adalah untuk membuat suatu kapal yang kokoh dan kuat dengan berat konstruksi yang ringan-ringannya. Karena dengan konstruksi yang kuat tetapi ringan, maka akan mendapatkan daya muat yang besar sehingga hal ini akan menguntungkan dari segi finansial.



Gambar 2. 2 Konstruksi gading kapal kayu  
(Sumber:Dokumentasi Pribadi)

Konstruksi gading kapal adalah konstruksi yang memiliki peranan yang sangat penting. Menurut Ayuningsari (2007), gading-gading adalah salah satu anggota kerangka kapal melintang yang dipasang pada sisi kapal mulai dari bilga sampai geladak atau dari geladak sampai geladak di atasnya. Gading-gading merupakan tempat melekatnya kulit atau lambung kapal agar bentuknya tidak berubah, seperti pada gambar 2.2 di atas. Selain sebagai tempat melekatnya kulit atau lambung kapal, gading kapal juga berfungsi juga sebagai penumpu balok geladak kapal. Gading-gading dapat dibuat dari gading-gading tunggal dan gading-gading ganda. Gading-gading tunggal merupakan bagian yang terdiri dari bagian kiri dan bagian kanan yang dihubungkan dengan wrang. Gading-gading ganda pada umumnya menerus melewati tengah kapal dan di bagian tengah dibuat meninggi. Tingginya diambil sama dengan tinggi wrang pada gading-gading tunggal.

Gading-gading pada kapal kayu tentunya berbeda dengan gading kapal baja, hal ini ditunjukkan dari struktur gading tersebut. Satu terbuat dari kayu dan satunya lagi terbuat dari baja. Meskipun demikian, dari segi fungsi keduanya memiliki fungsi dan peranan yang

sama, yaitu sebagai salah satu komponen kerangka kapal. Adapun persyaratan untuk gading-gading pada kapal kayu adalah sebagai berikut.

1. Tebal gading dalam kamar mesin dan sekitar tiang layar harus diperbesar 20% dari ukuran yang diisyaratkan.
2. Untuk gading lengkung dapat digunakan bahan dari kayu yang urat-uratnya sejalan dengan bentuk gadingnya. Bilamana kayu tersebut tidak cukup panjang, maka gading-gading dapat disambung (Peraturan Konstruksi Kapal Kayu BKI,1996).



Gambar 2. 3 Gading kapal pada kamar mesin  
(Sumber:Dokumentasi Pribadi)

Menurut Soegiono (2006), gading-gading biasa disebut dengan frame. Dengan demikian, maka gading-gading harus kuat dan sambungannya harus minim atau lebih baik lagi jika tanpa sambungan agar diperoleh kekuatan yang besar (Ayuningsari,2007). Pasaribu (1987) menjelaskan bahwa sistem konstruksi dengan kayu tanpa sambungan akan memberikan beban konstruksi yang merata. Hal tersebut menjadikan badan kapal secara keseluruhan menjadi kuat dan gading-gading sebagai rangka kapal berfungsi dengan baik. Selain itu, dapat menghindari kelemahan-kelemahan sifat kayu yang mempunyai sifat-sifat mekanis tidak sama ke berbagai arah. Sedangkan sistem konstruksi gading-gading kapal kayu yang menggunakan kayu sambungan akan menimbulkan kelemahan akibat celah yang ada pada sambungan dan mengurangi luas penampang.

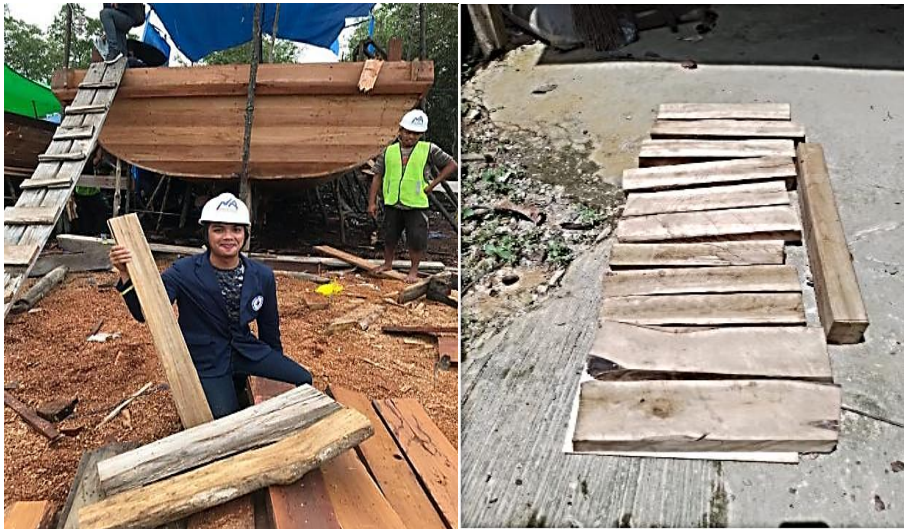
### 2.3 Kayu Alaban

Alaban atau bitti (dalam bahasa bugis) mempunyai nama latin *Vitex pinnata* merupakan pohon dari keluarga *Lamicase*, asli dari Asia Selatan dan Asia Tenggara. Pohon alaban dikenal memiliki daya tahan yang baik. Mengutip dari Courtina (2021) yang



menjelaskan ketika pohon alaban hangus terbakar api, pohon ini mampu hidup kembali. Kayu dari pohon alaban termasuk jenis kayu yang memiliki tingkat kekerasan yang cukup tinggi dan memiliki ketahanan yang baik terhadap air.

Pohon alaban memiliki karakteristik kulit pecah-pecah, bersisik, berwarna pucat abu-abu kekuningan sampai coklat, kulit kayu bagian dalam kuning pucat menjadi hijau saat terpapar sinar matahari. Memiliki daun 3 atau 5 foliolate dan anak daun hampir sesil, dua bagian luar biasanya jauh lebih kecil dari yang lain, bulat telur atau elips, panjang 3-25 cm, lebar 1,5-10 cm. Kayu alaban juga memiliki kayu yang sangat kuat dan awet, tahan lama bahkan jika terkena air atau tanah. Warna kayu coklat keabu-abuan. Densitasnya sekitar 930 kg per meter kubik (58 lbs per kaki kubik). Kayu digunakan oleh pengrajin untuk membuat kusen pintu, tiang bangunan, dan konstruksi kapal kayu.



Gambar 2. 4 Contoh kayu alaban  
(Sumber:Dokumentasi Pribadi)

Kayu alaban mempunyai sejarah bagi pengrajin kapal kayu, tetapi kayu tersebut sudah mulai langka. Menurut Rahmadsyah (2019) yang menjelaskan bahwa dahulu di desa Halaban Kecamatan Besitang, Langkat hingga ke Terenggulun Aceh Tamiang merupakan hutan yang banyak ditumbuhi oleh pohon alaban tetapi semenjak meningkatnya produksi dengan kayu alaban pohon tersebut menjadi langka. Kayu alaban biasa digunakan di bagian gading-gading kapal kayu dan juga sampan yang dibangun oleh pengrajin kapal kayu, tetapi semenjak kayu tersebut sulit didapatkan maka pengrajin kapal kayu mengganti kayu tersebut dengan kayu mahoni dan kayu waru.

Tabel 2 . 1 Kelas Kuat Kayu Alaban menurut Peraturan Kapal Kayu Indonesia

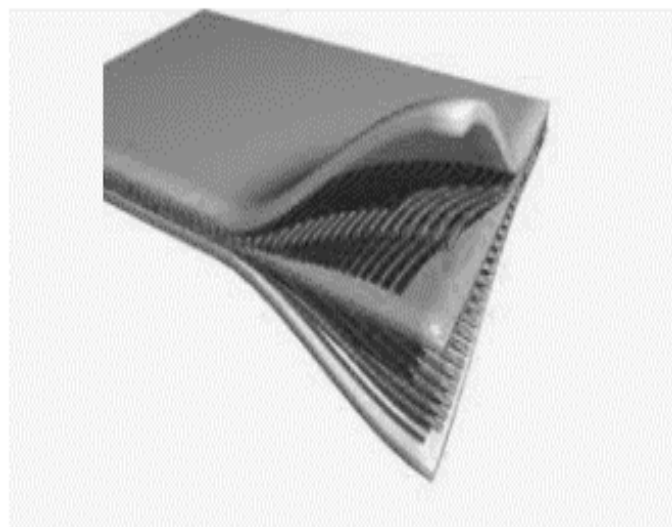
No	Item	Unit
1.	<b>Nama Latin</b>	Vitex pinnata
2.	<b>Kelas</b>	
	Awet	I
	Kuat	I-II
3.	<b>Berat Jenis Kering</b>	
	Min	0,74
	Max	1,02
4.	<b>Rata-rata</b>	0,88
5.	<b>Pemakaian</b>	Kulit,papan geladak,lunas,gading,galar,dll

(Sumber: Biro Klasifikasi Indonesia, 1996)

Pada tabel diatas menunjukkan karakteristik kelas kuat kayu Alaban/Laban dengan kelas awet kategori I dan kelas kuat kategori I-II.

#### 2.4 Material Komposit

Material komposit adalah material yang terbuat dari dua bahan atau lebih yang tetap terpisah dan berbeda dalam level makroskopik selagi membentuk komponen tunggal sehingga dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. Komposit bersifat heterogen dalam skala makroskopik. Bahan penyusun komposit tersebut masing-masing memiliki sifat yang berbeda dan ketika digabungkan dalam komposisi tertentu terbentuk sifat-sifat baru yang disesuaikan dengan keinginan (Krevelen, 1994).



Gambar 2. 5 Material Komposit  
(Sumber: artikelteknologi)

Schwartz (1984), memberikan definisi material komposit yaitu suatu material yang merupakan gabungan dua atau lebih penyusun yang berbeda dalam bentuk dan komposisi, dimana mereka tidak saling melarutkan. Material penyusun ini terdiri dari body constituent yang berfungsi memberi bentuk pada komposit dan structural constituent yang menentukan struktur internal dari komposit.

Sementara Akovali (2001), menjelaskan bahwa komposit secara umum digambarkan sebagai kombinasi dua atau lebih komponen yang berbeda, bentuk atau komposisi dalam macroscale, dengan dua atau lebih fasa terpisah dan mempunyai ikatan interface di antara mereka.

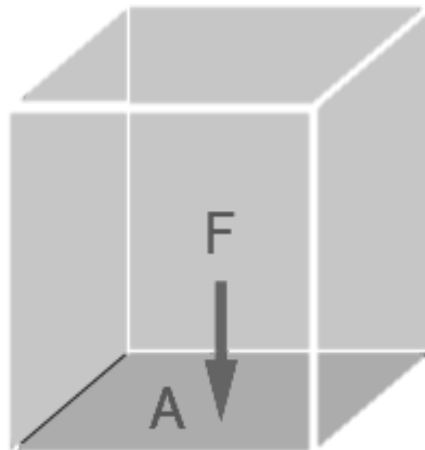
Dari beberapa pengertian tentang komposit di atas, dapat dikatakan bahwa ada tiga syarat yang menjadi dasar terbentuknya suatu material komposit yaitu, pertama ada dua atau lebih material yang mempunyai sifat berbeda yang akan digabung. Kedua, material yang digabung terjadi secara makroskopik dan menghasilkan sifat yang berbeda dari material pembentuknya. Ketiga, harus ada ikatan yang baik antara material-material pembentuk itu. Dan karena prinsip saling mengikat inilah sehingga sifat bahan komposit yang dihasilkan menjadi lebih baik.

## **2.5 Elastostatika**

Elastostatika merupakan sifat yang dimiliki oleh sebuah benda untuk kembali ke kondisi awalnya saat gaya yang diberikan pada benda tersebut dihilangkan atau benda tersebut berubah menjadi bentuk baru. Elastostatika ini dipengaruhi oleh sejumlah gaya-gaya yang diberikan terhadap benda tersebut, baik itu gaya-gaya yang menekan atau menariknya sehingga menimbulkan tegangan dan regangan.

### **2.5.1 Beban**

Dalam ilmu fisika, tekanan ( $P$ ) adalah hasil dari beban ( $F$ ) dibagi dengan luas penampang ( $A$ ). Semakin besar beban yang diterima, maka semakin besar juga tekanan yang diberikan. Namun semakin besar luas penampang yang menerima beban akan semakin kecil tekanan yang diberikan (Ade,2016). Hal tersebut dapat dituliskan dengan rumus dibawah ini:



Gambar 2. 6 Beban terhadap Penampang  
(Sumber: Ruangguru)

Menurut Agung (2000) dalam buku Mekanika Teknik jilid 2 (2013) menjelaskan bahwa beban atau muatan adalah beratnya benda atau bagian dari suatu bangunan yang bersifat tetap atau akibat penghunian. Menurut Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (1987), beban atau muatan dibagi menjadi 5 macam yaitu:

- a) Beban Mati (Dead Load)---M, adalah beban yang memiliki sifat konstan atau bersifat tetap (tidak berubah).
- b) Beban Hidup (Live Load)---H, adalah beban yang memiliki sifat tidak tetap, bergerak dan berubah sewaktu-waktu.
- c) Beban Angin (Wind Load)---A, adalah beban yang memiliki sifat seperti angin dengan segala arah dan memiliki kecepatan.
- d) Beban Gempa (Earthquake Load)---g, adalah beban berupa gempa bumi atau pergerakan (pergeseran) lapisan bumi.
- e) Beban Khusus (Special Load)---K, adalah beban-beban yang merupakan penyederhanaan kenyataan sehari-hari.

#### **2.5.1.1 Gaya (F)**

Dalam ilmu Fisika, pengertian gaya adalah salah satu besaran fisika yang berkaitan dengan kesetimbangan dan gerak benda. Gaya termasuk kuantitas vektor yang dilambangkan dengan simbol  $F$  atau force. Dalam Satuan internasional (SI) gaya memiliki satuan pengukur yaitu Newton (N). Gaya memiliki besaran (magnitude) dan arah yang termasuk dalam salah satu besaran vektor yang dapat dihitung.

Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) yang menjelaskan pengertian gaya adalah dorongan atau tarikan yang akan menggerakkan benda bebas (benda tidak terikat) yang memiliki besaran dan arah tertentu. Menurut Agung (2000) yang menjelaskan pengertian gaya adalah suatu sebab yang mengubah sesuatu benda dari keadaan diam menjadi bergerak atau sebaliknya yang digambarkan sebagai vektor yang memiliki besaran dan arah.

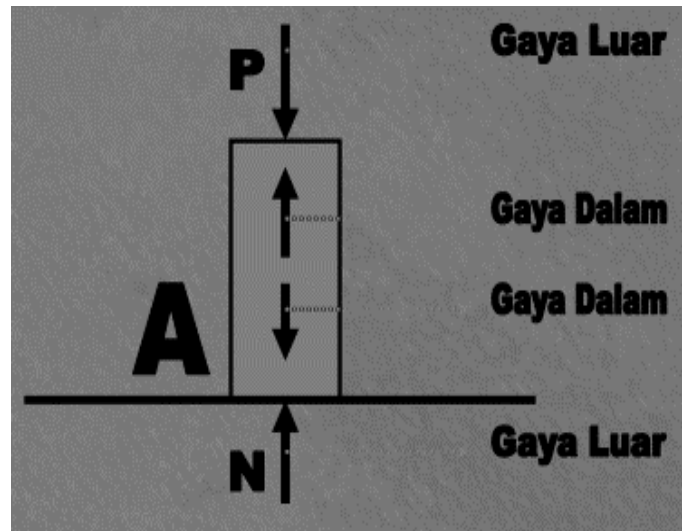
Terdapat beberapa sifat dan ciri-ciri gaya tertentu yang diantaranya adalah:

- a. Dapat mengubah bentuk benda
- b. Dapat mengubah arah gerak dari benda
- c. Dapat membuat benda diam menjadi bergerak
- d. Membuat benda bergerak menjadi diam
- e. Mengubah kecepatan gerak benda

Dalam buku Mekanika Teknik (2013) yang dituliskan oleh Agung (2000) menurut tempat terjadinya gaya dapat dibedakan menjadi: Gaya Luar merupakan gaya-gaya yang berasal dari luar benda yang menimpa benda dan gaya Dalam merupakan gaya-gaya yang bekerja di dalam benda, sebagai akibat dari gaya-gaya luar yang menimpa benda tersebut.

Mengutip dari Modul Kemdikbud Ilmu Pengetahuan Alam (2018) cetakan kedua edisi revisi hal tersebut dapat digambar sebagai aksi dan reaksi sebuah gaya terhadap suatu benda yang dituliskan dalam Hukum Newton III, yaitu : *“Ketika suatu gaya (aksi) diberikan pada suatu benda, maka benda tersebut akan memberikan gaya (reaksi) yang sama besar dan berlawanan arah dengan gaya yang diberikan”*. Hukum Newton III tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini:





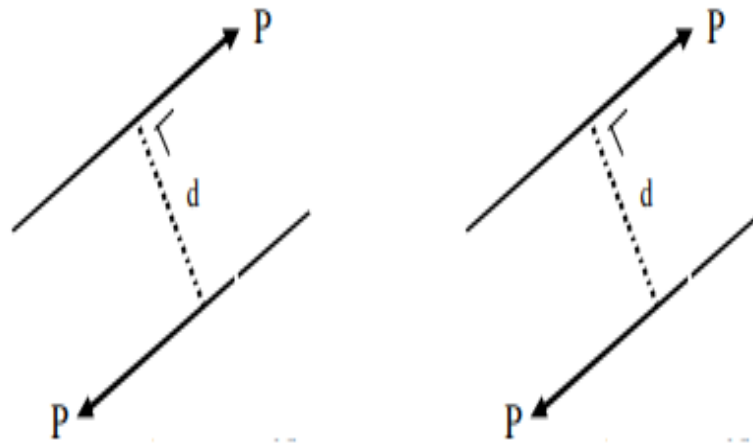
Gambar 2. 7 Gambaran Hukum Newton III  
(Sumber : Agung, 2000)

Dalam kehidupan sehari-hari gaya sering terjadi, hal tersebut dapat dibagi menjadi 2 jenis gaya, yaitu:

1. Gaya Sentuh adalah salah satu jenis gaya yang terjadi saat sumber gaya bersentuhan langsung dengan objek yang menerima gaya tersebut, seperti gaya otot, gaya pegas, dan gaya gesek
2. Gaya tak Sentuh adalah salah satu jenis gaya yang terjadi saat sumber gaya tidak bersentuhan langsung dengan objek yang menerima gaya tersebut, seperti gaya gravitasi, gaya listrik, dan gaya magnet.

#### 2.5.1.2 Momen (M)

Momen gaya terhadap suatu titik diartikan sebagai hasil kali antara gaya dengan jaraknya ke titik tersebut. Jarak yang dimaksud adalah jarak tegak lurus dengan gaya tersebut. Momen dapat diberi tanda positif atau negatif tergantung dari arah momen gaya tersebut. Dapat dilihat pada gambar 2.3.3 bagian a di bawah tentang momen gaya terhadap suatu titik.



Gambar 2. 8 Momen gaya dan momen kopel  
(Sumber: ilmuteknologi)

Selain momen gaya terhadap suatu titik, ada juga momen kopel yang diartikan sebagai momen akibat adanya dua buah gaya yang sejajar dengan besar yang sama tetapi arahnya berlawanan. Seperti pada gambar 2.8 bagian b yang menggambarkan 2 buah gaya yang berlawanan arah.

### 2.5.2 Regangan/deformasi/lendutan/perpindahan

Salah satu sifat benda saat diberikan gaya luar adalah perubahan dimensi yang dimana ukuran panjang suatu benda bertambah dari ukuran semula. Hal tersebut dapat dikatakan sebagai sifat benda yaitu regangan. Menurut Gere & Timoshenko (1997), jika suatu benda ditarik atau ditekan, gaya yang diterima benda mengakibatkan adanya ketegangan antarpartikel dalam material yang besarnya berbanding lurus.

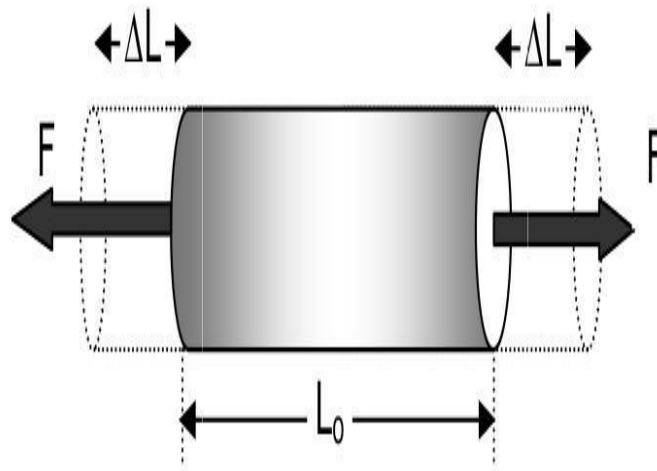
Perubahan tegangan partikel ini menyebabkan adanya pergeseran dari struktur material regangan atau himpitan yang besarnya berbanding lurus. Karena adanya pergeseran, maka terjadilah deformasi bentuk material yaitu perubahan panjang menjadi  $L + \Delta L$ . Dimana  $L$  adalah panjang awal benda dan  $\Delta L$  adalah perubahan panjang yang terjadi. Rasio perbandingan antara  $\Delta L$  terhadap  $L$  disebut regangan (*strain*) dan dilambangkan dengan “ $\epsilon$ ” (*epsilon*). Maka dapat dituliskan dengan rumus:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(1)$$

dimana:

- $\epsilon$  = regangan/ strain ( $\mu\text{m}/\text{m}$  atau  $\mu\epsilon$ )
- $L$  = panjang benda mula-mula (m)

$\Delta L$  = perubahan panjang benda ( $\mu m$ )



Gambar 2. 9 Regangan (*strain*)  
(Sumber:Ariawan,2010)

Defleksi atau perubahan bentuk pada balok dalam arah y akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada balok atau batang. Deformasi pada balok secara sangat mudah dapat dijelaskan berdasarkan defleksi balok dari posisinya sebelum mengalami pembebanan. Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. Hal-hal yang mempengaruhi terjadinya defleksi yaitu :

1. Kekakuan Batang (EI)

Semakin kaku suatu batang maka lendutan batang yang akan terjadi pada batang akan semakin kecil. Kekakuan batang ini meliputi tinggi batang/balok yang diuji. Semakin tinggi keadaan balok atau batang maka akan meningkatkan kekakuan pada batang tersebut, atau biasa disebut dengan Momen Inersia.

2. Keadaan Gaya (P)

Besar-kecilnya gaya yang diberikan pada batang berbanding lurus dengan besarnya defleksi yang terjadi. Dengan kata lain semakin besar beban yang dialami batang maka defleksi yang terjadipun semakin besar dan begitu sebaliknya.

3. Jenis tumpuan yang diberikan

Jumlah reaksi dan arah pada tiap jenis tumpuan berbeda-beda. Jika karena itu besarnya defleksi pada penggunaan tumpuan yang berbeda-beda tidaklah sama. Semakin banyak reaksi dari tumpuan yang melawan gaya dari beban maka

defleksi yang terjadi pada tumpuan rol lebih besar dari tumpuan pin ( pasak ) dan defleksi yang terjadi pada tumpuan pin lebih besar dari tumpuan jepit.

4. Jenis beban yang terjadi pada batang

Beban terdistribusi merata dengan beban titik, keduanya memiliki kurva defleksi berbeda-beda. Pada beban terdistribusi merata slope yang terjadi pada bagian batang yang paling dekat lebih besar dari slope titik. Ini karena sepanjang batang mengalami beban sedangkan pada beban titik hanya terjadi pad beban titik tertentu saja.

5. Panjang batang (L)

Panjang batang ini akan berpengaruh terhadap besar kecilnya lendutan pada suatu batang

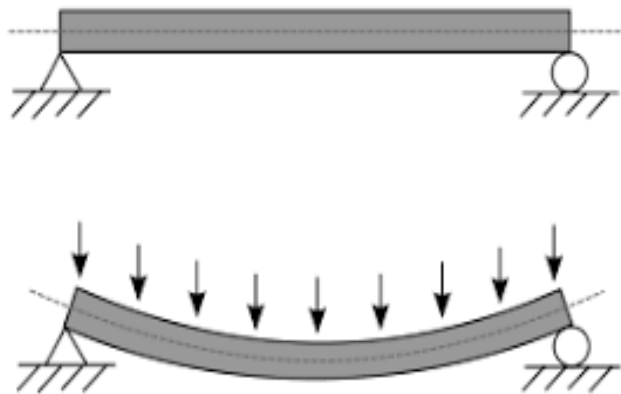
6. Dimensi penampang batang (I)

Dimensi yang dimaksud adalah dimensi yang akan mengalami defleksi itu sendiri akibat beban yang akan diterimanya

Lendutan dapat dihitung dengan mengintegalkan daripada putaran sudut, yang dapat dituliskan :

$$EIy = \int EIy' \dots\dots\dots(2)$$

Lendutan dapat dilihat pada gambar dibawah ini, yang menunjukkan suatu lendutan yang terjadi pada sebuah balok akibat adanya gaya yang diberikan.



Gambar 2. 10 Lendutan  
(Sumber:Triyani,2019)

Jarak perpindahan y didefenisikan sebagai defleksi balok. Dalam penerapan, kadang kita harus menentukan defleksi pada setiap x disepanjang balok. Hubungan ini dapat ditulis dalam bentuk persamaan yang sering disebut persamaan defleksi kurva (atau kurva elastis) dari balok.

Lendutan balok dalam rentang beban elastik (Gere, 2004) untuk model balok sederhana dengan beban terpusat (P) ditengah bentang dapat dihitung berdasarkan Persamaan sebagai berikut,

$$MOR = \frac{3P.L}{2bh^2} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan P adalah beban terpusat ditengah bentang, L adalah panjang bentang, E adalah modulus elastisitas yang mana dalam pembahasan tulisan ilmiah ini adalah MoE, sedangkan Ix adalah momen inersia penampang. Selanjutnya Persamaan tersebut dapat ditulis menjadi sebagai berikut,

$$MoE = \frac{\delta p.L^3}{48.\delta.I} \dots\dots\dots(4)$$

Sedangkan inersia balok dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (Gere, 2014) sebagai berikut,

$$I = \frac{1}{12} . a . b^3 \dots\dots\dots(5)$$

dengan a adalah lebar spesimen, b adalah tinggi spesimen, dan I adalah momen inersia penampang.

Perubahan bentuk suatu batang akibat pembebanan arah vertikal (bending) posisi batang horizontal, hingga membentuk sudut defleksi, kemudian kembali ke posisi semula. Defleksi ini terjadi jika pembebanan tegak lurus pada luas penampang. Sistem struktur yang diletakkan horizontal dan yang berfungsi memikul beban lateral, yaitu beban yang bekerja tegak lurus sumbu aksial batang (Triyani, 2019). Beban semacam ini khususnya muncul sebagai beban gravitasi, misalnya bobot sendiri, beban hidup vertikal, beban krain (crane) dan lain-lain. Sumbu sebuah batang akan terdeteksi dari kedudukannya semula bila benda di bawah pengaruh gaya terpakai. Dengan kata lain suatu batang akan mengalami pembebanan transversal baik itu beban terpusat maupun terbagi merata akan mengalami defleksi.

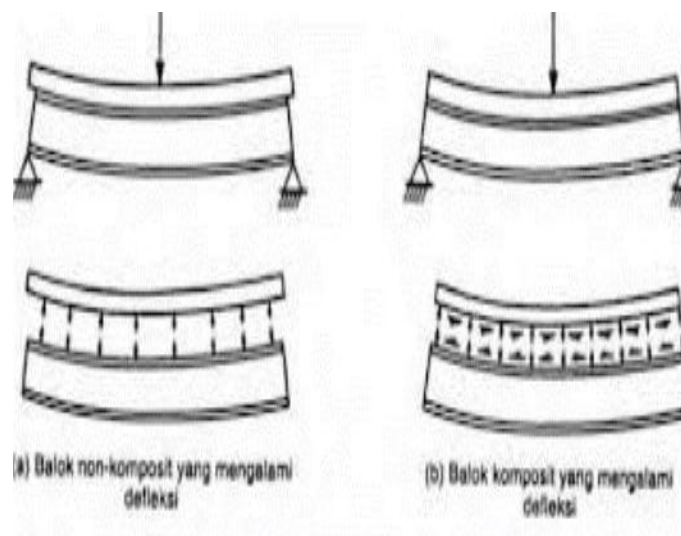
Ada beberapa metode yang dapat dipergunakan untuk menyelesaikan persoalan persoalan defleksi pada balok. Di sini hanya akan dibahas 4 (empat) metode, yaitu :

1. Metode integrasi ganda (double integrations method)
2. Metode luas bidang momen (moment area method)
3. Metode balok padanan (conjugate beam method)
4. Metode beban satuan (unit load method)

Asumsi yang dipergunakan untuk menyelesaikan persoalan tersebut hanyalah defleksi yang diakibatkan oleh gaya-gaya yang bekerja tegak-lurus terhadap sumbu balok, defleksi yang terjadi relatif kecil dibandingkan dengan panjang baloknya, dan irisan yang berbentuk bidang datar akan tetap berupa bidang datar walaupun terdeformasi (Prinsip Bernoulli).

### 2.5.3 Tegangan

Sebuah konstruksi dibuat dengan ukuran-ukuran fisik tertentu haruslah mampu menahan gaya-gaya yang bekerja dan konstruksi tersebut harus kokoh sehingga tidak hancur dan rusak. Konstruksi dikatakan kokoh apabila konstruksi tersebut dalam keadaan stabil, kestabilan tersebut akan terjadi jika gaya-gaya yang bekerja pada konstruksi tersebut dalam arah vertikal dan horizontal saling menghilangkan atau sama dengan nol demikian juga dengan momen-momen yang bekerja pada konstruksi tersebut pada setiap titik buhul atau titik kumpul saling menghilangkan atau sama dengan nol.



Gambar 2. 11 Tegangan-regangan pada balok  
(Sumber:kompas.com)

Suatu tampang yang menahan tegangan geser yang tidak merata akan menjadi keriput dan batang melendut, sehingga elemen sekitar sumbu akan tetap tegak dan bergeser satu terhadap yang lain. Hal demikian akan memberikan akibat pada elemen bujur sangkar sumbu memanjang berubah menjadi jajar genjang, maka lendutan ini dapat diukur dari putaran sudutnya (Kamarwan, 1998).

Tegangan didefinisikan sebagai tahanan terhadap gaya-gaya luar. Intensitas gaya yaitu gaya per satuan luas disebut tegangan dan diberi notasi huruf Yunani " $\sigma$ "



(sigma). Gaya P yang bekerja tegak-lurus (normal) pada penampang melintang a-a ini secara aktual merupakan resultan distribusi gaya-gaya yang bekerja pada penampang melintang dengan arah normal.

Dengan mengasumsikan bahwa tegangan terbagi rata di seluruh penampang, dapat dilihat bahwa resultannya harus sama dengan intensitas  $\sigma$  dikalikan dengan luas penampang A. Dengan demikian didapatkan rumus:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (6)$$

dimana :  $\sigma$  = tegangan (N/mm<sup>2</sup> )

P = gaya aksial (N)

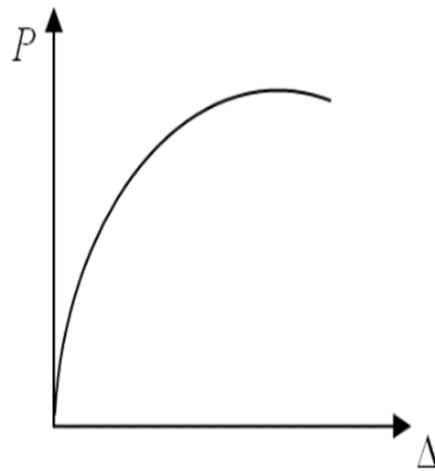
A = luas penampang (mm<sup>2</sup> )

Persamaan ini memberikan intensitas tegangan merata pada batang prismatis yang dibebani secara aksial dengan penampang sembarang. Apabila batang ini ditarik dengan gaya P, maka tegangannya adalah tegangan tarik (*tensile stress*); apabila gayanya mempunyai arah sebaliknya, sehingga menyebabkan batang tersebut mengalami tekan, maka terjadi tegangan tekan (*compressive stress*). Karena tegangan ini mempunyai arah yang tegak lurus permukaan potongan, maka disebut tegangan normal (*normal stress*). Jadi, tegangan normal dapat berupa tegangan tarik dan tegangan tekan (Gere & Timoshenko, 1997).

Hubungan tegangan-regangan untuk nilai regangan yang cukup kecil adalah linier. Hubungan linier antara pertambahan panjang dan gaya aksial yang menyebabkannya, hal ini dinyatakan oleh Robert Hooke, yang disebut Hukum Hook.

Hasil-hasil pengujian biasanya tergantung paada benda uji. Karena sangat kecil kemungkinannya kita menggunakan struktur yang ukurannya sama dengan ukuran benda uji, maka kita perlu menyatakan hasil pengujian dalam bentuk yang dapat diterapkan pada elemen struktur yang berukuran berapapun. Cara sederhana untuk mencapai tujuan ini adalah dengan mengkonversikan hasil pengujian tersebut ke tegangan dan regangan.

Setelah melakukan uji tarik atau tekan dan menentukan tegangan dan regangan pada berbagai taraf beban, kita dapat memplot diagram tegangan dan regangan.



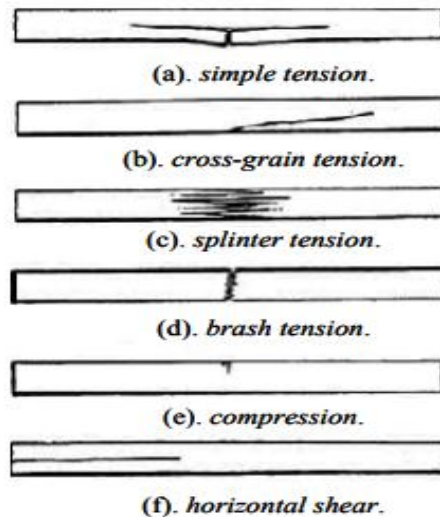
Gambar 2. 12 Diagram tegangan-regangan  
(Sumber:Ariawan, 2010)

Diagram tegangan-regangan merupakan karakteristik dari bahan yang diuji dan memberikan informasi penting tentang besaran mekanis dan jenis perilaku.

## 2.6 Flexural Test

Uji tekuk (bending test) merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual atau dalam kata lain uji bending adalah pengujian yang dapat menentukan kualitas suatu material karena dapat memberikan informasi mengenai kekuatan tekuknya. Selain itu, uji bending juga dapat memberikan informasi mengenai modulus elastisitas material. Selain itu uji bending digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan.

Flexural test adalah uji kekuatan batas yang dapat dicapai kayu ketika komponen kayu tersebut mengalami kegagalan akibat tekuk (Pranata et.al., 2011). Berdasarkan ASTM D143 (ASTM, 2008) kriteria kegagalan tekuk (static bending flexural failures) balok dengan model benda uji center point loading terdiri dari beberapa klasifikasi tergantung kondisi retak permukaan kayu. Klasifikasi kegagalan balok yaitu simple tension, cross-grain tension, splinter tension, brash tension, compression, dan horizontal shear.



Gambar 2. 13 Klasifikasi kegagalan tekuk balok  
(Sumber:ASTM, 2008)

Tipe kegagalan simple tension (Gambar 2.4.1.a) adalah terjadi retak pada serat terluar bagian tarik kemudian retak menjalar pada arah sejajar serat. Tipe kegagalan cross-grain tension (Gambar 2.4.1.b) adalah terjadi retak pada serat terluar bagian tarik dengan arah penjalaran retak menyilang atau melintasi arah serat. Tipe kegagalan splinter tension (Gambar 2.4.1.c) adalah pada serat terluar bagian tarik terjadi retak berbentuk serpih sehingga kayu terpecah. Tipe kegagalan brash tension (Gambar 2.4.1.d) adalah terjadi retak bersifat getas atau regas (brittle) pada serat terluar bagian tarik. Tipe kegagalan compression (Gambar 2.4.1.e) adalah retak terjadi pada serat terluar bagian tekan. Tipe kegagalan horizontal shear (Gambar 2.4.1.f) adalah retak menjalar mengikuti arah serat atau disebut gagal geser (ASTM, 2008; Pranata et.al., 2011).

Alat uji bending adalah alat yang digunakan untuk melakukan pengujian kekuatan lengkung (bending) pada suatu bahan atau material. Pada umumnya alat uji bending memiliki beberapa bagian utama, seperti: rangka, alat tekan, point bending dan alat ukur. Rangka berfungsi sebagai penahan gaya balik yang terjadi pada saat melakukan uji bending. Rangka harus memiliki kekuatan lebih besar dari kekuatan alat tekan, agar tidak terjadi kerusakan pada rangka pada saat melakukan pengujian. Alat tekan berfungsi sebagai alat yang memberikan gaya tekan pada benda uji pada saat melakukan pengujian. Alat penekan harus memiliki kekuatan lebih besar dari benda yang di uji (ditekan). Point bending berfungsi sebagai tumpuan benda uji dan juga sebagai penerus gaya tekan yang dikeluarkan oleh alat tekan. Panjang pendek tumpuan point bending berpengaruh terhadap hasil pengujian. Alat ukur adalah suatu alat yang yang menunjukkan besarnya kekuatan tekan yang terjadi pada benda uji.

Uji bending adalah suatu proses pengujian material dengan cara di tekan untuk mendapatkan hasil berupa data tentang kekuatan lengkung (bending) suatu material yang di uji. Proses pengujian bending memiliki 2 macam pengujian, yaitu 3 point bending dan 4 point bending.

Untuk melakukan uji bending ada factor dan aspek yang harus dipertimbangkan dan dimengerti yaitu :

#### A. Tekanan (p)

Tekanan adalah perbandingan antara gaya yang terjadi dengan luasan benda yang dikenai gaya. Besarnya tekanan yang terjadi dipengaruhi oleh dimensi benda yang di uji. Dimensi mempengaruhi tekanan yang terjadi karena semakin besar dimensi benda uji yang digunakan maka semakin besar pula gaya yang terjadi. Selain itu alat penekan juga mempengaruhi besarnya tekanan yang terjadi. Alat penekan yang digunakan menggunakan system hidrolik. Hal lain yang mempengaruhi besar tekanan adalah luas penampang dari torak yang digunakan. Maka daya pompa harus lebih besar dari daya yang dibutuhkan. Dan motor harus bias melebihi daya pompa, perhitungan tekanan (Sularso & Tahara, 1983).

#### B. Benda uji

Benda uji adalah suatu benda yang di uji kekuatan lengkungnya dengan menggunakan alat uji bending. Jenis material benda uji yang digunakan sebagai benda uji sangatlah berpengaruh dalam pengujian bending. Karena tiap jenis material memiliki kekuatan lengkung yang berbeda-beda, yang nantinya berpengaruh terhadap hasil uji bending itu sendiri.

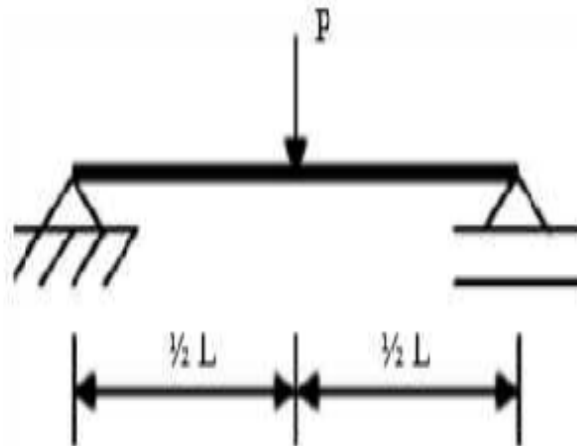
#### C. Point Bending

Point bending adalah suatu sistem atau cara dalam melakukan pengujian lengkung (bending). Point bending ini memiliki 2 tipe, yaitu: three point bending dan four point bending.

Perbedaan dari kedua cara pengujian ini hanya terletak dari bentuk dan jumlah point yang digunakan, three point bending menggunakan 2 point pada bagian bawah yang berfungsi sebagai tumpuan dan 1 point pada bagian atas yang berfungsi sebagai penekan sedangkan four point bending menggunakan 2 point pada bagian bawah yang berfungsi sebagai tumpuan dan 2 point (penekan) pada bagian atas yang berfungsi sebagai penekan. Selain itu juga terdapat beberapa kelebihan dan kelemahan dari cara pengujian three point dan four point.

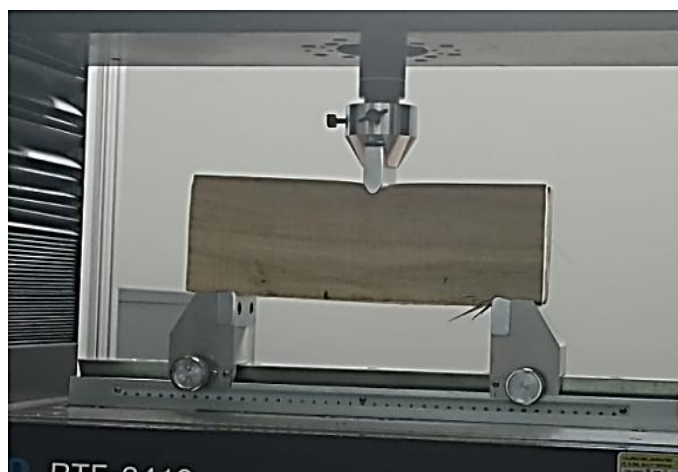
### 2.6.1 Flexural Test 3 point

Flexural test 3 point adalah cara pengujian yang menggunakan 2 tumpuan dan 1 penekan.



Gambar 2. 14 Uji bending 3 poin  
(Sumber:Khamid,2011)

Perangkat pemuatan terdiri dari dua landasan yang diposisikan paralel untuk spesimen dan landasan atas yang diposisikan secara terpusat di antara landasan. Landasan atas menerapkan beban ke spesimen. Bergantung pada persyaratan (standar), landasan dan landasan atas harus memiliki kedudukan tetap, berputar atau goyang untuk memungkinkan pengujian sesuai dengan spesifikasi.



Gambar 2. 15 Uji bending 3 poin pada kayu  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tes ini terutama digunakan untuk bahan yang keras dan elastis. Untuk meminimalkan pengaruh gesekan selama pengujian, landasan dapat dipasang

sedemikian rupa sehingga berputar di sekitar sumbu longitudinalnya. Pemasangan goyang dapat digunakan dengan landasan atas dan penyangga landasan untuk memastikan bahwa mereka sejajar dengan spesimen.

Sebelum melakukan tes ini terlebih dahulu dilakukan pengukuran spesimen untuk menentukan panjang spesimen dengan menggunakan rumus seperti di bawah ini:

Perhitungan yang digunakan (West Conshohocken,1996):

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2} \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan rumus:

$\sigma_f$  = Tegangan lengkung (kgf/mm<sup>2</sup>)

$P$  = Beban atau gaya yang terjadi (kgf)

$L$  = Jarak *point* (mm)

$b$  = lebar benda uji (mm)

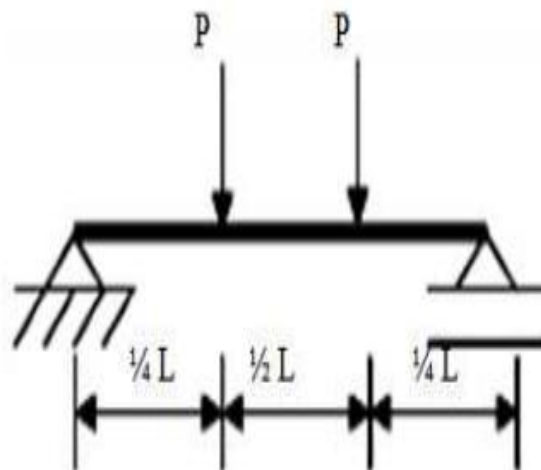
$d$  = Ketebalan benda uji (mm)

### 2.6.2 Flexural Test 4 point

Seperti pada uji tekuk 3 titik, uji tekuk 4 titik terdiri dari dua landasan dengan posisi paralel yang, bergantung pada persyaratan pengujian, harus memiliki kedudukan tetap, berputar, atau goyang. Perbedaan dari uji tekuk 3 titik terletak pada cara pengaplikasian beban pada benda uji. Ini dilakukan melalui 2 landasan atas yang terletak secara simetris ke landasan. Momen tekuk kemudian konstan antara dua area penerapan gaya. Uji ini terutama digunakan untuk menentukan modulus elastisitas dalam pembengkokan material getas.

Flexural test 4 point adalah cara pengujian yang menggunakan 2 tumpuan dan 2 penekan. Dapat dilihat pada gambar dibawah ini.





Gambar 2. 16 Uji bending 4 poin  
(Sumber:Khamid, 2011)

Perbedaan dari kedua cara pengujian ini hanya terletak dari bentuk dan jumlah point yang digunakan, three point bending menggunakan 2 point pada bagian bawah yang berfungsi sebagai tumpuan dan 1 point pada bagian atas yang berfungsi sebagai penekan sedangkan four point bending menggunakan 2 point pada bagian bawah yang berfungsi sebagai tumpuan dan 2 point (penekan) pada bagian atas yang berfungsi sebagai penekan. Secara umum proses pengujian bending memiliki 2 cara pengujian, yaitu: Three point bending dan Four point bending. Kedua cara pengujian ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing karena tiap cara pengujian memiliki cara perhitungan yang berbeda-beda.