

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kayu

Menurut Bambang (2014), kayu adalah bagian batang atau cabang serta ranting tumbuhan yang mengeras karena mengalami lignifikasi. Penyebab terbentuknya kayu adalah akibat akumulasi selulosa dan lignin pada dinding sel berbagai jaringan dibatang. Kayu dihasilkan oleh tumbuhan berkayu yang memiliki ketinggian 15 - 20 kaki atau lebih dengan ciri memiliki batang tunggal bukan batang banyak. Penentuan jenis kayu pada umumnya dengan cara memperhatikan sifat-sifat kayu yang terlihat seperti warna kayu, penampakan kulit, arah serat dan sebagainya. Sifat kayu sangat mempengaruhi kualitas yang dimiliki oleh kayu apabila digunakan pada pekerjaan yang membutuhkan ketelitian. Sifat-sifat kayu yang terpenting adalah sifat fisika dan mekanika. Sifat fisika kayu adalah kadar air dan berat jenis kayu. Pada umumnya kekuatan dan kekerasan kayu berbanding lurus dengan berat jenisnya. Sedangkan sifat lainnya yaitu mekanika kayu diantaranya adalah kekuatan tarik sejajar serat, kuat lentur dan modulus elastisitas.

Kekuatan kayu memegang peranan penting dalam penggunaan di bidang konstruksi. Sehingga pengetahuan tentang sifat kayu semakin penting karena sifat kayu yang dapat terbaru akan terus menerus dilakukan pengembangan lebih lanjut mengenai teknologi yang ada. Untuk meningkatkan produksi penyediaan kayu, perlu diketahui sifat kayu dari jenis-jenis pohon yang kurang dikenal, kelas kayu yang rendah atau jenis kayu yang belum banyak dimanfaatkan sekalipun memiliki potensi cukup untuk digunakan sebagai suplemen didalam usaha memenuhi kekurangan bahan baku industri (Mody, 2003). Dalam Mahardika (2018) Klasifikasi berat jenis kayu terdiri dari :

- a) Kayu dengan berat ringan, bila BJ kayu  $< 0,3$
- b) Kayu dengan berat sedang, bila BJ kayu  $0,36 - 0,56$
- c) Kayu dengan berat berat, bila BJ kayu  $> 0,56$

### 2.1.1 Kayu Laminasi

Kayu laminasi merupakan produk pemanfaatan yang terbuat dari kayu atau limbah kayu. Teknologi pemanfaatan papan laminasi ini sudah dikenal selama lebih dari 100 tahun untuk mengembangkan industri kayu. Kayu laminasi terdiri dari sejumlah lembaran atau bilah-bilah kayu yang berdekatan satu sama lain untuk membentuk suatu papan laminasi. Bahan pengikat adhesif diposisikan diantara lembaran kayu sehingga lembaran tersebut melekat dengan tekanan tertentu dan dapat terikat secara permanen.

Menurut Jihannanda (2013), proses pengeleman dilakukan mengikuti arah panjang kayu dan ketebalan kayu yang diijinkan antara tebal 25 mm sampai 50 mm (1-2 inci). Laminasi yang tersusun dari kayu biasanya digunakan untuk menahan gaya lentur. Contoh laminasi yaitu menggabungkan kayu kualitas rendah dengan kayu yang berkualitas tinggi agar menghasilkan mutu yang menyerupai sifat aslinya. Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas kayu laminasi, antara lain adalah bahan baku, persyaratan bahan baku yang memiliki kerapatan serat dan berat jenis yang berdekatan. Bahan perekat yang digunakan harus sesuai dengan tujuan penggunaan kayu laminasi. Hal lain yang harus diperhatikan yaitu bentuk sambungan, proses perekatan dan pengempaan. Maka dari itu perlu dilakukan pengujian yang memenuhi standar terlebih dahulu sebelum kayu laminasi digunakan, terutama jika tujuan penggunaan adalah untuk elemen struktural.

### 2.1.2 Karakteristik Kayu Sengon

Menurut Fakhri (2001) pada Lezian Arsina, Karyadi, dan Sutrisno (2009), Kayu sengon (*Albizia falcata Backer*) merupakan salah satu produk Hutan Tanaman Industri (HTI). Kayu sengon termasuk jenis cepat tumbuh dengan kelas kuat IV-V. Keawetan sengon termasuk dalam kelas awet IV sampai V. Sehingga, sebelum digunakan sebagai material konstruksi dilakukan pengawetan terlebih dahulu. Untuk pohon sengon di Indonesia, jumlahnya cukup besar yang tersebar diseluruh Jawa, Maluku, dan Papua. Kecepatan pohon sengon dapat tumbuh baik

dan dapat hidup diberbagai kondisi tanah. Ketinggian pohon sengon dapat tumbuh mencapai 40 m dengan cabang mulai dari ketinggian 20 m.

Sampai saat ini kayu sengon banyak digunakan untuk membuat kuda-kuda karena dapat menghemat biaya sekitar 40-50% dibandingkan menggunakan baja. Diperkirakan 80% konsumsi kayu diperuntukkan pada bangunan rumah/gedung, 20% untuk perancah, jembatan. Selain itu, kayu sengon dapat digunakan untuk pembangunan tiang pancang. Namun, penggunaan konstruksi kayu ini terlebih dahulu harus sesuai dengan persyaratan teknis (Lestari, 2015).

## 2.2 Bambu

Bambu adalah tanaman jenis tanaman kayu yang tumbuh dengan cepat dari keluarga rumput-rumputan yaitu *Bamboidae* dengan rongga dan ruas pada batangnya. Nama lain dari bambu adalah buluh, aur, pring, dan eru. Bambu merupakan tanaman laju pertumbuhan tertinggi di dunia yang di tentukan oleh kondisi tanah lokal, iklim, dan jenis spesies. Laju pertumbuhan yang paling umum adalah sekitar 3-12 cm per hari. Beberapa dari spesies bambu dapat tumbuh hingga tingginya melebihi 30 m dan diameter batang mencapai 30 cm. Sebagian besar spesies bambu ini menghasilkan serat lebih cepat daripada pohon berkayu lainnya yakni sekitar 3 tahun (Pusat Pengendalian Pembangunan Ekoregion Kalimantan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2018).

Menurut Jansen (1980) dalam Handayani (2007), faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan bambu adalah kandungan air, dengan meningkatnya kandungan air maka kekuatan tarik bambu akan menurun. Selain itu, bagian luar batang bambu mempunyai kekuatan tarik maksimum diantara bagian-bagian lainnya. Bambu mempunyai keunggulan antara lain mudah ditanam, pertumbuhannya cepat, mempunyai sifat mekanik baik. Pada bidang struktural, kuat tariknya mendekati dua kali kuat tarik baja hal ini disebabkan karena bentuk penampang yang bulat menjadikan bambu memiliki momen kelembaban yang besar sehingga mempengaruhi kuat tariknya.

### 2.2.1 Karakteristik Bambu Petung

Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*) termasuk dalam *family gramineae* disebut juga *giant grass* dimana bambu petung adalah istilah penamaan bambu betung bagi masyarakat Jawa Tengah. Di Indonesia nama lain dari bambu petung dikenal dengan nama pring petung (Jawa), awi bitung (Sunda), awo petung (Bugis), dan bambu swanggi (Papua). Bambu jenis ini mempunyai rumpun agak rapat, dapat tumbuh di dataran rendah hingga pegunungan dengan ketinggian 2000 m di atas permukaan laut. Pertumbuhannya cepat pada daerah yang tidak terlalu kering. Warna bambu ini hijau kekuning-kuningan dengan panjang batang antara 10 - 14 m dengan diameter 6 - 15 cm dan tebal dinding antara 10 - 20 mm (Morisco, 1994:2-4 pada Made, 2005). Bambu petung memiliki keunggulan antara lain ketersediaan bambu masih banyak, harganya relatif murah, masa panennya cepat, serta sifat mekaniknya yang tinggi dapat mengoptimalkan produk dengan memanfaatkan rekayasa laminasi. Untuk saat ini, penggunaan bambu petung selama ini masih bersifat sekunder yaitu sebagai kepentingan pembuat reng, perancah, dan *furniture* (Sri Handayani, 2007).

Penelitian yang telah dilakukan oleh Pratama (2015) yaitu membandingkan sifat mekanik yaitu kuat lentur dan kuat geser antara kayu jati, kayu mahoni dengan bambu laminasi petung, ori, dan wulung. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa balok bambu laminasi memiliki kuat lentur terkecil jika dibandingkan dengan sampel kayu jati atau mahoni. Hal tersebut disebabkan karena bambu laminasi memiliki defleksi hingga melebihi kayu jati maupun mahoni.

Dengan kecilnya penambahan panjang maka bambu laminasi dapat kembali kebentuk semula. Berbeda dengan kayu jati dan mahoni jika sudah melampaui batas lentur, tidak akan kembali ke bentuk semula. Sehingga, kuat lentur rata-rata yang diperoleh oleh balok laminasi bambu petung, ori, dan wulung berturut-turut adalah sebesar 22,61, 34,13, dan 15,98 MPa terhadap balok kayu jati dan mahoni utuh yaitu 55,68 dan 31,88 MPa. Dari pengujian tersebut dapat

diperoleh rata-rata kuat lentur bambu laminasi mencapai 50% terhadap balok kayu jati dan mahoni utuh yang memiliki jenis kelas II.

### 2.2.2 Bambu Laminasi

Menurut Hermanto, N.I., Satyarno, I., Sulistyono, D., & Prayitno, T. (2014) bambu laminasi merupakan rekayasa struktur untuk memperbaiki sifat mekanika bambu. Rekayasa ini dilakukan dalam rangka pemenuhan kebutuhan bahan bangunan untuk struktur bangunan. Bambu laminasi telah digunakan sejak tahun 1942 di Amerika Serikat. Bambu laminasi tersusun atas bilah bambu yang direkatkan dengan arah sejajar dimana perekatan tersebut dapat dilakukan ke arah lebar (horizontal) dan ke arah tebal (vertikal). Hasil dari perekatan tersebut dapat berupa papan atau balok laminasi tergantung tebal dan lebar yang dibutuhkan.

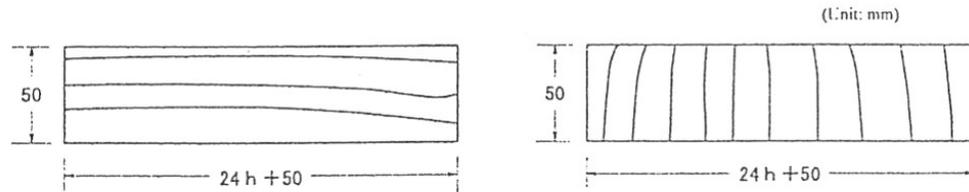
### 2.3 Desain Struktur

Berkembangnya produk teknologi kayu ditunjukkan dengan semakin banyaknya riset yang dilakukan untuk menganalisis komponen papan laminasi komposit. Seperti sistem sertifikasi yang dikeluarkan oleh Jepang yaitu *Japanese Agricultural Standard* (JAS) tahun 2003. Standar ini merupakan sertifikasi berbasis pada produk kayu seperti kayu laminasi dengan *veneer*, kayu lapis, dan *laminated flooring*. Sehingga desain struktur pada penelitian ini mengacu pada peraturan JAS (*Japanese Agricultural Standard*) tahun 2003 agar mengetahui pengaruh papan laminasi terhadap kuat lentur.

Struktur pada penelitian ini terdiri dari beberapa lapisan yaitu lapisan tipis dan kuat yang terletak pada permukaan atas dan bawah berupa *veneer* dan lapisan inti berupa *barecore* yang terletak di tengah diantara *veneer*, agar lebih jelas dapat dilihat pada gambar 2.1 Dimensi yang digunakan pada komponen struktur mengacu pada JAS 2003 dengan rincian rumusnya dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2. 1 Desain Struktur

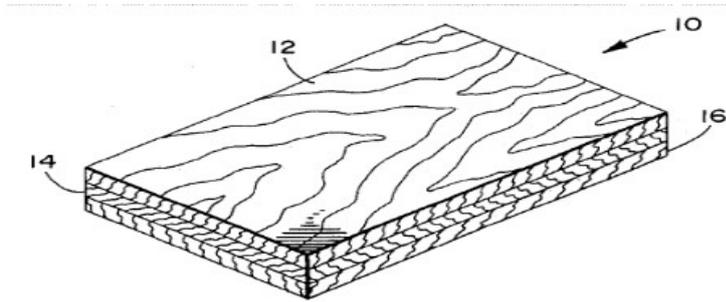


Gambar 2. 2 Dimensi Desain

Panjang papan laminasi didapatkan dari rumus  $24h + 50$  (satuan mm) dimana panjang papan tersebut didapatkan dari asumsi tebal ( $h$ ) benda uji yang akan dibuat. Untuk lebar papan sudah ditentukan sebesar 50 mm atau 5 cm.

#### 2.4 Papan Laminasi Komposit

Komposit adalah suatu kombinasi material yang terbentuk dari satu atau lebih material pembentuknya dengan sifat dari masing-masing berbeda (Matthews dkk, 1993 pada Widodo, 2008). Sedangkan papan laminasi komposit merupakan istilah yang digunakan untuk produk papan dengan kombinasi *veneer* dimana papan tersebut terbuat dari kayu dan bahan baku yang biasa dijadikan kombinasi papan laminasi komposit antara lain *veneer*, papan partikel dan lain sebagainya. *Veneer* dapat dibuat dari berbagai spesies kayu maupun non kayu. Sebagian besar material *veneer* yang dijadikan papan laminasi komposit memiliki kekuatan berbeda dan variasi yang sangat beragam. Untuk representasinya, dapat dilihat pada gambar 2.3 pada nomor 10 adalah lapis pertama dari *veneer* yang membentuk lapis terluar (nomor 12). Lapisan kedua *veneer* membentuk lapisan dalam seperti pada lapisan nomor 14 dan lembaran yang terakhir yaitu nomor 16, pada lembaran ini *veneer* terikat bersama.



Gambar 2. 3 Papan Laminasi Komposit

Karena biaya kayu yang bervariasi (tergantung pada jenis dan umur kayu), dalam penelitian Tellman *et al.* (1987) untuk lapisan dalam yaitu pada nomor 14 menggunakan jenis kayu yang kurang kuat atau lebih murah. Sedangkan lapisan luar yaitu nomor 12 dan 16 menggunakan bahan jenis kayu atau non kayu yang lebih kuat.

Papan laminasi komposit mempunyai variasi sambungan yang terlihat indah sehingga menciptakan sebuah arsitektur baru yang dapat diaplikasikan pada proyek konstruksi. Adapun beberapa manfaat penggunaan papan komposit antara lain adalah sebagai perabot rumah tangga dalam bentuk pintu geser, dinding belakang dan daun meja. Dalam pembuatan panil digunakan sebagai dinding dan panil pintu garasi. Selain itu, manfaat produk papan komposit yang lainnya dalam bidang konstruksi yaitu sebagai kerangka dinding bangunan, papan reklame atau pagar, plafon rumah, penopang atau *decking* dan kerangka lantai atau *floor joint*.

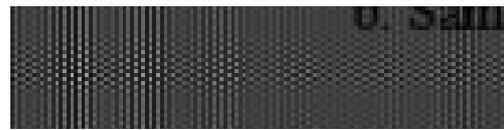
## 2.5 Sambungan

Sambungan adalah bagian penting pada kayu karena bagian terlemah kayu terletak pada sambungan. Sambungan pada konstruksi kayu dibagi menjadi 3 golongan yaitu sambungan tekan, sambungan tarik dan sambungan momen. Sedangkan sambungan untuk merekatkan kayu berbeda dengan jenis sambungan yang lain, yaitu kayu tidak disambung pada titik tertentu melainkan dengan merekatkan pada bidang. Sehingga perekat memiliki kekakuan yang lebih besar (Widyawati, 2009).

SNI 01.5008.4-1999 menyatakan bahwa terdapat lima cara penyambungan papan sambung dan bilah sambung, yaitu sambungan tegak (*butt joint*), sambungan jari (*finger joint*), sambungan miring (*scarf joint*), sambungan lidah dan alur (*tongue and groove joint*), dan sambungan bangku (*desk joint*). Berikut adalah bentuk-bentuk sambungan dengan perekat dapat dilihat pada gambar 2.4 ,2.5 ,2.6 , 2.7 dan 2.8.



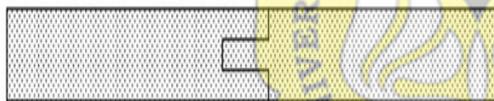
Gambar 2. 4 *Butt Joint*



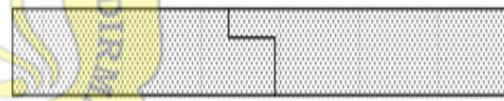
Gambar 2. 5 *Finger Joint*



Gambar 2. 6 *Scarf Joint*



Gambar 2. 7 *Tongue and Groove Joint*



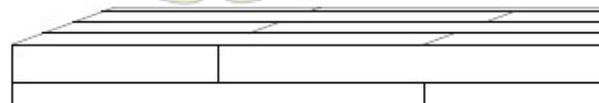
Gambar 2. 8 *Desk Joint*

Penelitian yang dilakukan Widyawati (2009) yaitu membandingkan *scarf joint* dan *but joint* dengan bahan kayu sengon. Pada sambungan miring (*scarf joint*) kerusakan yang terjadi dominan pada daerah kayu. Hal ini disebabkan oleh kuat rekat sambungan melebihi kekuatan kayunya. Dari hasil penelitian bahwa kuat tekan sambungan miring (*scarf joint*) dengan perekat tidak dipengaruhi oleh kemiringan sambungan. Sedangkan sambungan tegak (*butt joint*), kuat tekannya lebih tinggi dibandingkan sambungan miring karena pada sambungan miring tidak mampu menerima gaya tekan yang besar. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar kemiringan sambungan, maka nilai kuat tekannya lebih kecil. Hasil perbandingan kuat tekan *butt joint* dan *scarf joint* pada penelitian Widyawati (2009) dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Perbandingan Kuat Tekan *Butt Joint* dan *Scarf joint* Kayu Sengon

No. Benda Uji	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
TKN-BJ	190,07	<i>Butt joint</i>
TKN-SJ-3	78,709	<i>Scarf joint l/h=3</i>
TKN-SJ-6	75,164	<i>Scarf joint l/h=6</i>
TKN-SJ-8	74,629	<i>Scarf joint l/h=8</i>

Pada saat ini sambungan *butt joint* memberikan solusi untuk diaplikasikan karena pembuatannya yang mudah jika dibandingkan *scarf joint*, *finger joint* dan tipe sambungan yang lainnya. Tipe sambungan *finger joint* dan tipe lainnya masih tergantung konfigurasi serta teknik khusus yang cukup menghabiskan waktu karena proses pemasangan yang sulit. Walaupun dalam pengerjaannya sambungan tegak (*butt joint*) lebih mudah dibuat dibandingkan sambungan jenis lainnya, tetapi sambungan ini memiliki kelemahan yaitu tidak dapat meneruskan tegangan (tegangan tarik atau tekan) dari satu laminasi ke laminasi lainnya (Karnasudirja, 1989 dalam Widyawati, 2009). Berikut ini adalah ilustrasi model *butt joint* ditampilkan pada gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Tipe *Butt Joint*

## 2.6 Lamina

Moody dan Hernandes (1997); Moody et al. (1999) dalam Herawati (2008), menyatakan bahwa pembuatan balok laminasi harus mengikuti standar nasional yang diakui untuk membuktikan kebenaran nilai desain rekayasa yang ditentukan. Proses pembuatan balok laminasi terdiri atas: pembuatan atau penyusunan lamina, pengeringan dan pemilahan, penyambungan ujung lamina, perekatan permukaan, *finishing* dan pabrikasi.

Penyusunan lamina menjadi elemen dengan ukuran yang ditentukan merupakan merupakan tahap kritis dalam proses pembuatan balok laminasi. Untuk menghasilkan permukaan yang bersih, sejajar dan dapat direkat, lamina harus diketam pada kedua permukaan lebarnya sebelum proses perekatan. Hmerata (Moody *et al.* 1999 dalam Susanto, 2013).

Jika bahan yang digunakan dengan kadar air yang tinggi maka perlu dilakukan pengawetan. Pada umumnya, kadar air maksimum lamina adalah 16% dengan perbedaan tiap lamina maksimum adalah 5% berdasarkan *American National Standards Institute* (ANSI). Kebanyakan pabrik menggunakan lamina dengan kadar air 12% atau sedikit lebih rendah. Pada proses produksi skala laboratorium pemilahan lamina dilakukan dengan menggunakan mesin pemilah kayu (MPK) panter seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Rostina (2001).

Serrano (2000) menyatakan bahwa pemanfaatan dengan metode laminasi dapat meningkatkan kekuatan dan kekuan, memberi pilihan geometri yang beragam mampu menyesuaikan kualitas lamina sesuai dengan tegangan yang diinginkan, dan meningkatkan akurasi dimensi dan stabilitas bentuk. Menurut Moody dan Hernandez (1997) ; Moody *et al.* (1999) dalam Susanto (2013), Metode paling umum dalam memberikan tekanan adalah dengan pengempaan. Pengempaan yang dilakukan pada beberapa penelitian umumnya menggunakan pengempaan dingin sebesar tekanan 10 kg/cm<sup>2</sup>. Tahap akhir yang penting dalam menjamin mutu balok laminasi adalah perlindungan selama pemindahan dan penyimpanan.

## **2.7 Perekatan Kayu**

Perekat didefinisikan sebagai keadaan dimana permukaan disatukan oleh gaya valensi dan berfungsi sebagai penggabung antar dua substrat yang direkat. Industri panel kayu komposit, perekat memegang peranan penting karena sangat menentukan kualitas produk rekatan yang dihasilkan. Faktor yang mempengaruhi kualitas perekatan dan sifat produk komposit ditentukan antara lain oleh tipe dan kualitas perekat yang digunakan (Dunky et al., 2002 dalam I.M. Sulastiningsih,

2014). Kekuatannya dipengaruhi oleh faktor sifat perekatnya sendiri dan kompatibilitas atau kesesuaian antar bahan yang direkat dengan bahan perekat (Prayitno, 1996 dalam Made, 2005) dan faktor perekat dipengaruhi oleh bahan pengisi (*filler*), bahan pengembang (*extender*), bahan pengeras (*hardener*), bahan pengawet dan lain sebagainya. Adapun faktor bahan yang direkat dipengaruhi oleh struktur anatomi bahan, massa jenis, kadar air, sifat permukaan dan lain-lain.

Perekat *Poly Vinil Acetat* (PVAc) adalah perekat yang umum digunakan dalam proses perekatan kayu lapis untuk pembuatan laminasi. PVAc merupakan sintesis yang bersifat *thermoplastic* (mengeras dalam keadaan dingin, melunak bila dipanaskan dan kembali mengeras bila didinginkan), sehingga perekat ini lebih efektif dan mudah dalam pengerjaannya karena tidak memerlukan kondisi panas. Namun, perekat ini kurang tahan terhadap cuaca dan kelembaban tertentu. Masa tunggu perekat PVAc yaitu 10 - 15 menit (Prihandini, 2012).

## 2.8 Sifat Fisik

### 2.8.1 Kadar Air

Bambu atau kayu mempunyai kemampuan menyerap air baik dalam cairan maupun uap. Penyerapan air tergantung dari umur, jenis bambu atau kayu serta waktu penebangan. Menurut Susanto (2013), kadar air merupakan berat air dalam kayu yang dinyatakan dalam persen terhadap Berat Kering Tanur (BKT) yang cukup mempengaruhi kekuatan kayu. Pada penelitian balok laminasi yang dilakukan umumnya dengan kadar air kering udara antara 8-18%. Berikut ini adalah perhitungan kadar air dapat dihitung berdasarkan rumus (SNI 03-06844-2003) :

$$KA = \frac{BB - BKO}{BKO} \times 100\% \dots\dots\dots 2.1$$

Keterangan :

- KA = Kadar Air (%)
- BB = Berat benda uji kadar air pada saat pengujian (gram)
- BKO = Berat benda uji kadar air kering oven (gram)

## 2.8.2 Berat Jenis

Berat jenis adalah perbandingan kerapatan bahan dengan kerapatan air dengan volume yang sama ( $1 \text{ gr/cm}^3$ ) pada Bowyer *et al.* (2003) dalam Susanto (2013). Sebagian besar sifat mekanik kayu berhubungan dengan berat jenis dan kerapatan guna mendapatkan berat per satuan volume (massa). Dalam penelitian Handayani (2003), hubungan berat jenis berbanding terbalik dengan kadar air. Semakin tinggi berat jenis bambu atau kayu maka semakin kecil kadar airnya. Berikut perhitungan besarnya berat jenis (SNI 03-06844-2003):

$$BJ = \frac{P}{1000 + (1 + \frac{KA}{100})} \dots\dots\dots 2.2$$

Keterangan:

- p = Kerapatan ( $\text{kg/m}^3$ )
- BA = Berat Benda Uji Kotor (gr)
- KA = Kadar Air (%)



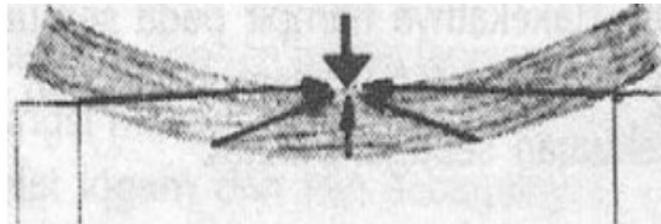
## 2.9 Sifat Mekanik

Sifat mekanik merupakan kemampuan papan partikel untuk menahan muatan dari luar struktur kayu. Maksud muatan dari luar adalah gaya-gaya maupun beban yang berada diluar benda dan mempunyai kecenderungan untuk merubah bentuk ataupun dimensi benda. Adapun sifat mekanik adalah sebagai berikut.

### 2.9.1 Keteguhan Lengkung (Lentur)

Menurut Yoresta, Fengki (2015), keteguhan lengkung (lentur) merupakan kekuatan untuk menahan gaya-gaya yang berusaha melengkungkan kayu dan menentukan kapasitas beban eksternal yang mampu dipikul oleh sebuah balok. Keteguhan lentur dapat dibagi 2 macam yaitu, keteguhan lengkung statik dimana kekuatan kayu menahan kelengkungannya ketika dikenai gaya secara perlahan-lahan dan keteguhan lengkung pukul yaitu kekuatan kayu dalam

menahan gaya secara mendadak. Seperti pada balok sederhana yang dikenai beban, bagian bawah akan mengalami tarik dan bagian atas mengalami tekan seperti yang tertera pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Pembebanan Kayu

Kekuatan lentur kayu biasanya dinyatakan dengan modulus patah atau *Modulus Of Rupture* (MOR). MOR merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan dibawah batas proporsi dan nilainya konstan. Tegangan yang digunakan yaitu tegangan tertinggi dibagian serat terluar ketika gelagar mengalami retak/patah karena beban yang diberikan berangsur-angsur selama beberapa menit. MOR bervariasi antara 55-60 N/mm<sup>2</sup>. Menurut Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia (PKKI) (1961) dalam Mahardika (2018), kelas kayu dibagi menjadi 5 kelompok kelas kuat, diantaranya kelas kuat I, II, III, IV, dan V. Berikut kuat kelas kayu disajikan pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Kuat Kelas Kayu

Kelas kuat	Berat Jenis	Kekuatan lengkung Mutlak (kg/cm <sup>2</sup> )	Kekuatan tekan absolut (kg/cm <sup>2</sup> )
I	≥ 0,90	≥ 1100	≥650
II	0,90-0,60	110-725	650-425
III	0,60-0,40	725-500	425-300
IV	0,40-0,30	500-300	300-215
V	<0,30	<300	<215

Sumber : Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia (PKKI) Tahun 1961

Berikut adalah perhitungan keteguhan lentur kayu dapat dihitung berdasarkan rumus (Rochadi *et al.*, 1996 pada Jihannanda, 2013).

$$\sigma_{lt} = \frac{3PL}{2bh^2} \dots\dots\dots 2.3$$

Keterangan :

- |   |                           |
|---|---------------------------|
| $\sigma_{lt}$ = keteguhan lentur maksimum (kg/cm <sup>2</sup> ) | L = jarak tumpu (cm)      |
| M = momen   | b = lebar benda uji (cm)  |
| W = tahanan momen   | h = tinggi benda uji (cm) |
| P = beban maksimum (kg)   |                           |

### 2.9.2 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah ukuran hubungan antara tegangan dan regangan dalam limit proporsional yang memberikan angka umum. MOE atau sering disebut kekakuan merupakan kekuatan dalam mempertahankan bentuk saat dikenai beban.

Semakin besar modulus elastisitas, maka semakin kaku. MOE berkaitan dengan regangan, defleksi dan perubahan bentuk yang terjadi. Sehingga, semakin tinggi MOE maka semakin kecil nilai defleksi dan semakin besar sifat kekakuannya yang mengakibatkan kayu sukar untuk dirubah bentuknya. Nilai MOE dihitung dengan persamaan (Tsoumis 1991) :

$$MOE \text{ ( kgf / cm}^2 \text{ )} = \frac{\Delta PL^3}{4\Delta Ybh^3} \dots\dots\dots 2.4$$

Keterangan:

- |   |                            |
|---|----------------------------|
| MOE : <i>Modulus Of Elasticity</i> (kgf/cm <sup>2</sup> ) | $\Delta Y$ : Defleksi (cm) |
| $\Delta P$ : Beban dibawah batas proporsi (kgf)           | b : Lebar contoh uji (cm)  |
| L : Jarak sangga (cm)                                     | h : Tebal contoh uji (cm)  |

### 2.9.3 Momen

Setelah benda uji dilakukan pengujian MOE dan MOR, maka dapat dilakukan analisa pada momen lentur. Perhitungan momen lentur dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$M = \frac{PL}{4} \dots\dots\dots 2.5$$

Keterangan : P = Beban maksimum (kg)  
L= Jarak sangga (cm)

### 2.10 Klasifikasi Kegagalan Lentur Balok

Terdapat dua jenis kegagalan dalam pengujian balok, yaitu kegagalan lentur dan kegagalan geser. Kegagalan lentur sesuai dengan hasil yang diharapkan untuk pengujian, namun kemungkinan kegagalan geser terjadi karena faktor rasio ketebalan bambu terhadap balok maupun ketidaksempurnaan benda uji, baik oleh teknik perekatan, bahan, maupun bentuk penampangnya. Sebagian besar benda uji mengalami kerusakan awal yaitu keretakan atau tekuk pada titik pembebanan khususnya daerah tekan, serta pergeseran maupun lepasnya sambungan pada lamina kayu (Mahardika, 2018).

### 2.11 Kuat Acuan

#### 2.11.1 Kuat Acuan Secara Mekanik

Pemilihan secara mekanis untuk mendapatkan modulus elastisitas lentur harus mengikuti standar mekanis yang berlaku. Berdasarkan modulus elastis lentur yang diperoleh, untuk lebih jelasnya kuat acuan dapat dilihat pada tabel 2.3 yang mengacu pada SNI 7973-2013 tentang “Spesifikasi Desain Untuk Konstruksi Kayu” untuk mengetahui kekuatan mekanik.

Tabel 2. 3 Nilai Desain dan Modulus Elastisitas Lentur Acuan

Kode Mutu	Nilai Desain Acuan (MPa)					Modulus Elastisitas Acuan (MPa)	
	F <sub>b</sub>	F <sub>t</sub>	F <sub>c</sub>	F <sub>v</sub>	F <sub>c⊥</sub>	E	E <sub>min</sub>
E25	26,0	22,9	22,9	3,06	6,11	25000	12500
E24	24,4	21,5	21,5	2,87	5,74	24000	12000
E23	23,2	20,5	20,5	2,73	5,46	23000	11500
E22	22,0	19,4	19,4	2,59	5,19	22000	11000
E21	21,3	18,8	18,8	2,50	5,00	21000	10500
E20	19,7	17,4	17,4	2,31	4,63	20000	10000
E19	18,5	16,3	16,3	2,18	4,35	19000	9500
E18	17,9	15,3	15,3	2,04	4,07	18000	9000
E17	16,5	14,6	14,6	1,94	3,89	17000	8500
E16	15,0	13,2	13,2	1,76	3,52	16000	8000
E15	13,8	12,2	12,2	1,62	3,24	15000	7500
E14	12,6	11,1	11,1	1,48	2,96	14000	7000
E13	11,6	10,4	10,4	1,39	2,78	13000	6500
E12	10,6	9,4	9,4	1,25	2,50	12000	6000
E11	9,1	8,0	8,0	1,06	2,13	11000	5500
E10	7,9	6,9	6,9	0,93	1,85	10000	5000
E9	7,1	6,3	6,3	0,83	1,67	9000	4500
E8	5,5	4,9	4,9	0,65	1,30	8000	4000
E7	4,3	3,8	3,8	0,51	1,02	7000	3500
E6	3,1	2,8	2,8	0,37	0,74	6000	3000
E5	2,0	1,7	1,7	0,23	0,46	5000	2500

Sumber : Badan Standar Nasional, SNI 7973 Tahun 2013

### 2.11.2 Kuat Acuan Secara Visual

Pemilahan secara visual harus mengikuti standar pemilahan secara visual yang baku. Apabila pemeriksaan visual dilakukan berdasarkan atas pengukuran berat jenis, maka kuat acuan untuk kayu berserat lurus tanpa cacat dapat dihitung dengan menggunakan langkah – langkah sebagai berikut (Sinaga, 2010).

Kerapatan  $\rho$  pada kondisi basah (berat dan volume diukur pada kondisi basah, tetapi kadar airnya lebih kecil dari 30%) dihitung dengan mengikuti prosedur baku. Gunakan satuan  $\text{kg/m}^3$  untuk  $\rho$  (Mahardika, 2018).

a. Kadar air, m% (m<30), diukur dari prosedur baku.

b. Hitung berat jenis pada m% (Gm) dengan rumus :

$$Gm = \frac{\rho}{1000(1+\frac{m}{100})} \dots\dots\dots(2.6)$$

c. Hitung berat jenis dasar (Gb) dengan rumus :

$$Gb = \frac{Gm}{(1+0,265 \times a \times Gm)} \text{ dengan } a = \frac{30-m}{30} \dots\dots\dots(2.7)$$

d. Hitung berat jenis pada kadar air 15% (G<sub>15</sub>) dengan rumus :

$$G_{15} = \frac{Gb}{1-0.159 Gb} \dots\dots\dots(2.8)$$

e. Hitung estimasi kuat acuan dengan modulus elastisitas lentur

$$Ew = 16500 \times G^{07} \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana G = G<sub>15</sub> = berat jenis kayu pada kadar air 15%

f. Hitung kuat lentur

$$G = 17130 \times G_{15}^{07} \dots\dots\dots(2.10)$$

