

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### A. Pengertian Bambu

Bambu berdasarkan pertumbuhannya, dapat dibedakan dalam dua kelompok besar, yaitu bambu simpodial dan bambu monopodial. Bambu simpodial tumbuh dalam bentuk rumpun, setiap rhizome hanya akan menghasilkan satu batang bambu, bambu muda tumbuh mengelilingi bambu yang tua. Bambu simpodial tumbuh di daerah tropis dan subtropis, sehingga hanya jenis ini saja yang dapat dijumpai di Indonesia. Bambu monopodial berkembang dengan *rhizome* yang menerobos ke berbagai arah di bawah tanah dan muncul ke permukaan tanah sebagai tegakan bambu yang individual (Morisco, 2006).

Menurut Eratodi (2007), beberapa hal yang mempengaruhi sifat fisis adalah umur, posisi ketinggian, diameter, tebal daging bambu, posisi beban (pada buku atau ruas), posisi radial dari luar sampai ke bagian dalam dan kadar air bambu. Titik jenuh serat bambu 20-30%. Bagian dalam bambu lebih banyak mengandung lengas (air bebas), daripada bagian luar. Bagian buku-buku (*nodes*) mengandung +10% lebih sedikit kadar airnya dari pada bagian ruasnya. Bambu kurang tahan jika dipergunakan sebagai tulangan beton karena daya serap airnya bisa mencapai 300%. Bambu perlu diawetkan agar dapat mencapai mutu dan umur yang diharapkan. Penggunaan pada konstruksi

bangunan harus dihindarkan dari hujan dan panas matahari langsung, agar tidak mudah rapuh dan membusuk.

Kebanyakan bambu tumbuh pada temperatur 8.8° C sampai 36° C. Moso dan bambu Ma yang tumbuh di Jepang dapat tumbuh pada temperatur -10°C. Ketinggian tanah dimana bambu tumbuh dapat mencapai 3.600 m di atas permukaan laut seperti bambu yang tumbuh di Ekuador. Bambu umumnya tumbuh pada tanah yang berpasir (*sandy loam*) sampai di tanah liat (kuning, coklat kekuning-kuningan atau merah kekuning-kuningan). Kualitas tanah tidak penting bagi pertumbuhan bambu. Bambu sangat banyak jenisnya di dunia, termasuk di Indonesia.

#### 1. Keunggulan bambu

Keunggulan bambu menurut beberapa sumber adalah sebagai berikut:

a. Menurut Utomo (2011), beberapa keunggulan bambu antara lain:

- 1) Bambu mudah ditanam dan tidak memerlukan pemeliharaan secara khusus. Oleh karena itu bambu dapat tumbuh dimana saja, baik di lahan kering maupun lahan basah.
- 2) Budidaya bambu tidak memerlukan investasi yang besar, karena setelah bambu tumbuh pada posisi yang cukup mantap maka akan sendirinya bambu tumbuh secara terus menerus tanpa harus menanam lagi.
- 3) Pada masa pertumbuhan, bambu tertentu dapat tumbuh vertikal 5 cm per jam, atau 120 cm per hari. Berbeda dengan pohon kayu hutan yang

baru siap ditebang dengan kualitas baik setelah berumur 40-50 tahun. Sedangkan bambu dengan kualitas baik dapat diperoleh pada umur 3-5 tahun. Dengan sifat ini, bambu dapat berperan dalam menjaga kestabilan lingkungan.

- 4) Tanaman bambu mempunyai ketahanan yang luar biasa. Rumpun bambu yang telah dibakar, masih dapat tumbuh lagi, bahkan pada saat Hiroshima dijatuhi bom atom sampai rata dengan tanah, bambu adalah satu-satunya jenis tanaman yang masih dapat bertahan hidup.
- 5) Bambu mempunyai kekuatan yang cukup tinggi, dimana kuat tariknya dapat dipersaingkan dengan baja, namun sangat ringan dimana berat jenisnya yang berkisar di bawah satu, sehingga relatif aman terhadap gaya gempa.
- 6) Bambu berbentuk pipa, sehingga momen kelembamannya tinggi, oleh karena itu bambu cukup baik untuk memikul momen lentur. Ditambah dengan sifat bambu yang elastis sehingga struktur bambu mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap beban gempa maupun angin.
- 7) Dari segi ekonomi, bambu relatif lebih murah dibandingkan dengan material yang lain, selain itu bambu memiliki nilai estetika yang tinggi, sehingga bambu sudah banyak digunakan sebagai kerajinan tangan.

b. Menurut Arsad (2015), kelebihan bambu antara lain:

- 1) Bambu bersifat kosmopolit, yaitu dapat bertahan hidup dalam segala cuaca, baik di daerah panas maupun dingin, di dataran rendah, tebing maupun pegunungan.
- 2) Bambu memiliki sifat dasar kayu karena bisa digunakan untuk konstruksi rumah, jembatan, barang kerajinan, dll.

## 2. Kelemahan bambu

Selain beberapa kelebihan yang dimiliki oleh bambu, bambu juga memiliki beberapa kelemahan antara lain:

a. Menurut Utomo (2011), kelemahan bambu antara lain:

- 1) Bambu mempunyai durabilitas yang sangat rendah, bambu sangat potensial untuk diserang kumbang bubuk, sehingga bangunan atau perabot yang terbuat dari bambu tidak awet.
- 2) Kekuatan sambungan bambu pada umumnya sangat rendah karena perangkaian batang-batang struktur bambu sering kali dilakukan secara konvensional memakai paku, pasak, atau tali ijuk.
- 3) Kelangkaan buku petunjuk perancangan atau standar berkaitan dengan bangunan yang terbuat dari bambu.
- 4) Sifat bambu yang mudah terbakar. Sekalipun ada cara-cara untuk menjadikan bambu tahan terhadap api, namun biaya yang dikeluarkan relatif cukup mahal.
- 5) Bambu memiliki kuat geser yang rendah sehingga seringkali kelemahan konstruksi bambu ada pada kuat gesernya.

- 6) Bambu mempunyai tegangan yang tinggi meskipun itu terjadi pada kuat tarik yang tinggi, karena sifat ini, nilai modulus elastisitas bambu cukup rendah sehingga kurang cocok bila dijadikan tulangan pada beton. Hal tersebut juga mengakibatkan desain struktur bambu seringkali ditentukan oleh batasan defleksinya atau deformasinya daripada kekuatannya.
  - 7) Kecenderungan opini yang berkembang di masyarakat yang sering menghubungkan bambu dengan kemiskinan, dimana masyarakat segan tinggal di rumah bambu karena takut dianggap miskin.
- b. Menurut Sunardiyanto (2012, dalam Arsad, 2015) kelemahan bambu antara lain:
- 1) Bambu masih sedikit digunakan
  - 2) Ketidakteragaman panjang ruas
  - 3) Ketidak awetan terhadap organisme perusak

## **B. Gambaran Umum dan Sifat-Sifat Bambu Petung**

Sifat mekanika kayu sangat berhubungan dengan nilai berat jenis dan kerapatan. Kerapatan dan berat jenis merupakan besaran yang berbeda namun keduanya mengacu pada konsep yang sama. Kerapatan adalah ukuran massa atau berat persatuan volume. Kerapatan kayu berhubungan langsung dengan porositasnya yaitu volume rongga kosong. Berat total produk kayu adalah jumlah berat bahan kayu dan kandungan air, dimana pada umumnya kerapatan kayu dihitung menggunakan berat total sebenarnya termasuk berat air

(Mairing, 2018). Beberapa sifat mekanika bambu yang penting untuk perencanaan konstruksi bambu adalah kuat tarik, kuat tekan, kuat geser, dan modulus elastisitas. Pada penelitian ini, dipilih jenis bambu petung. Bambu dengan botani *Dendrocalamus Asper (schult. F) Backer ex Heyne* dikenal di Indonesia dengan nama bambu Petung.

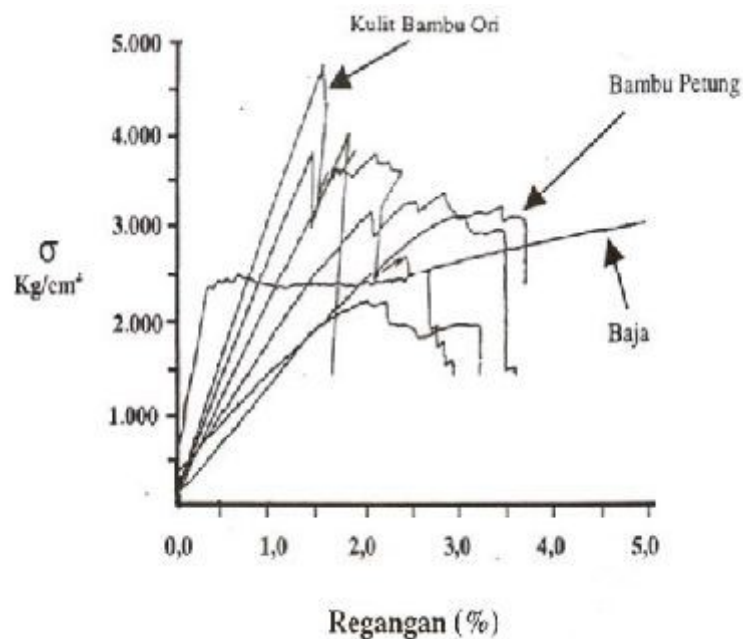
Bambu ini dalam habitatnya mempunyai rumpun agak rapat, warna kulit batang hijau kekuningan, dapat tumbuh di dataran rendah sampai pegunungan dengan ketinggian 2000 meter di atas permukaan laut. Pertumbuhannya cukup baik, khususnya pada daerah yang tidak terlalu kering. Batang dapat mencapai panjang 10-14 meter. Di berbagai daerah, bambu yang termasuk jenis ini dikenal dengan nama: buluh Petong, buluh Swanggi, bambu Batueng, Betong, bulo Lotung, awi Bitung dan Awo Petung. Bambu petung amat kuat, dengan jarak ruas pendek, tetapi dengan dinding yang tebal sehingga tidak begitu liat (Morisco, 1999).



Gambar 1. Bambu Petung  
(Sumber: agrobudidaya, 2014)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Morisco (1999) kekuatan tekan rata-rata dalam keadaan kering oven bambu adalah  $2.769 \text{ kg/cm}^2$  (pangkal),  $4.089 \text{ kg/cm}^2$  (tengah) dan  $5.479 \text{ kg/cm}^2$  (ujung). Kekuatan tarik rata-rata bambu petung dalam keadaan kering oven adalah  $1900 \text{ kg/cm}^2$  (tanpa buku) dan  $1160 \text{ kg/cm}^2$  (dengan buku). Ditinjau dari posisi potongan bambu, kekuatan tarik rata-rata bambu petung pada bagian pangkal  $2278 \text{ kg/cm}^2$ , bagian tengah  $1770 \text{ kg/cm}^2$  dan bagian ujung  $2080 \text{ kg/cm}^2$ .

Bambu memiliki kuat tarik yang tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai material struktural. Perbandingan tegangan-regangan bambu dan baja dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram tegangan regangan bambu dan baja  
(Sumber : Morisco, 1999)

### **C. Laminasi Bambu**

Teknologi perekatan kayu merupakan salah satu teknologi perkayuan yang dapat diterapkan untuk kayu-kayu dari hutan rakyat maupun hutan tanaman, juga dapat diterapkan untuk limbah-limbah industri kayu. Perekatan kayu telah mampu menawarkan nilai rendemen yang lebih tinggi dengan menekan kemungkinan terjadinya kayu-kayu yang tidak berguna sehingga bahan baku kayu dengan volume yang sama akan memenuhi kebutuhan kayu untuk jumlah yang besar dan waktu yang lebih lama (Prayitno, 1994).

Bambu laminasi merupakan bambu hasil rekayasa yang dibentuk dengan sistem perekatan beberapa bilah bambu untuk memperbaiki keseragaman sifat mekanika dari bambu alami (Setyo, 2014). Adapun syarat pembuatan papan laminasi yang baik menurut Badan Standarisasi Nasional dalam SNI 7944-2014 adalah :

1. Bahan yang digunakan harus kering atau memiliki kadar air seragam maksimal 14%.
2. Penampilan tidak diperkenankan ada gagal rekat/bubuk/lapuk namun masih diperkenankan memiliki cacat alami maupun cacat teknis yang minim. Gunawan (2007) menyatakan bahwa produk laminasi pada umumnya menghasilkan produk bahan bangunan dengan sifat-sifat sebagai berikut:
  1. Bentuk seragam pada bidang tertentu sesuai dengan tujuan pembuatannya dan mempunyai kekuatan tinggi. Hal ini lebih baik dibandingkan kayu utuh dan bambu utuh yang selalu dipengaruhi oleh posisi aksial dan radial batang.



2. Deformasi akan lebih sedikit karena setiap komponen laminasi akan menerima beban sesuai dengan kemampuannya. Defleksi produk dapat diatur dalam desain struktur bangunan.
3. Mutu produk laminasi dapat diatur dengan mutu lapisan lamina yang digunakan sehingga mampu menghasilkan lamina yang sesuai dengan tuntutan dan efisien.
4. Cacat bahan pada laminasi dapat dihilangkan karena titik lemah tersebut diatur kembali sehingga tidak menampakkan pengaruh yang signifikan.
5. Bentuk laminasi dapat dibuat sesuai selera pengguna seperti balok laminasi lurus, melengkung atau kubah, trapesium, dan bentuk lain.

Dalam penelitiannya, Gunawan (2017) menjelaskan bahwa disebabkan ukuran bahan baku laminasi jauh lebih kecil daripada dimensi bahan bangunan yang dikehendakan, maka banyak faktor yang harus diteliti dalam pembuatan laminasi yaitu sebagai berikut:

1. Jenis perekat yang digunakan dalam laminasi
2. Banyaknya perekat yang digunakan untuk penggabungan.
3. Jenis bambu yang digunakan dalam laminasi.
4. Ukuran bilah bambu berupa galar atau bilah yang digunakan dalam laminasi.
5. Jenis dan posisi sambungan yang dipakai dalam penyambungan laminasi
6. Ukuran bahan bangunan dengan titik lemah (kegagalan) lentur atau geser merupakan kelemahan balok laminasi.

#### **D. Perekatan Bambu Laminasi**

Perekatan di definisikan sebagai keadaan dimana permukaan disatukan oleh gaya antar permukaan yang terdiri dari gaya valensi, atau aksi saling kunci, atau keduanya (ASTM D907-03).

Menurut Prayitno (1996), tiga aspek utama dalam perekatan kayu yaitu aspek bahan yang direkat, aspek bahan perekat, dan aspek teknologi perekatan. Setiap aspek mempunyai pengaruh terhadap kualitas hasil perekatan. Aspek kayu meliputi struktur dan anatomi kayu (susunan sel arah serat), sifat fisika (kerapatan, kadar air, kembang susut, porositas, *wettability*), sifat kimia (kimia penyusun sel ekstraktif). Aspek perekat meliputi jenis perekat, sifat perekat, kegunaan perekat, komponen pembentuk termasuk bahan tambahan, aspek teknologi perekatan meliputi penyiapan perekat (durasi waktu, suhu, dan cara pelaksanaan).

Theodarmo (2012) menyatakan bahwa pemberian tekanan (pengempaan) dapat dilakukan dengan pengempaan panas (*hot pressing*), pengempaan dingin (*cold pressing*) dan pengempaan frekuensi tinggi.

##### **1. Pengempaan panas**

Pengempaan panas merupakan proses pengempaan yang dilakukan dalam keadaan suhu panas sesuai dengan jenis perekat yang digunakan. Sistem pengempaan panas tersebut dibutuhkan waktu yang lebih pendek apabila dibandingkan dengan sistem pengempaan dingin.

## 2. Pengempaan dingin

Pengempaan dingin merupakan suatu proses pengempaan permulaan yang dilakukan sebelum dilanjutkan pada proses pengempaan panas. Pengempaan dingin dapat dilakukan sebelum dilanjutkan pada proses pengempaan panas. Pengempaan dingin dapat dilakukan pada tahap akhir dari proses pematangan peekat setelah pengempaan panas selesai tetapi hal ini juga dapat dilakukan secara langsung yang diaplikasikan pada proses pembuatan laminasi (Ladisa, 2013).

Pengempaan dingin sangat membutuhkan waktu yang relatif panjang dalam proses perekatan sehingga dapat menurunkan kapasitas produksi tetapi lebih menguntungkan apabila dibandingkan dari segi biaya produksi.

## 3. Pengempaan frekuensi tinggi

Pengempaan frekuensi tinggi biasanya digunakan dalam pabrik laminasi yang membutuhkan peralatan yang lebih modern. Sistem pengempaan frekuensi tinggi membutuhkan suhu panas saat pengempaan seperti yang dilakukan dalam sistem pengempaan panas tetapi saat proses pengempaan dilakukan, maka papan laminasi harus diberi gelombang dengan frekuensi tinggi untuk menguapkan air yang berada dalam papan laminasi. Dengan menguapnya air dari papan laminasi, maka akan terjadi ikatan perekat dan kayu semakin kuat. Hal ini diakibatkan karena kadar air yang terdapat pada kayu semakin berkurang (Ladisa, 2013)

Pengempaan mengakibatkan perekat tertekan agar mengalir sisi (*flow*) atau meresap ke dalam bahan yang direkat (*penetrasi*) dan meninggalkan

sebagian perekat berada pada permukaan bahan yang direkat dalam bentuk film perekat yang continue (Prayitno, 1996). Pengempaan umumnya diberikan pada kisaran nilai 0,4-1,2 MPa. Selain itu, pengempaan 100-200 Pa sering direkomendasikan dalam perekatan (Selbo, 1975 dalam Irawati, 2004). Akan tetapi, terlalu tinggi tekanan kempa akan menyebabkan kerusakan atau kegagalan perekatan, akibat terdesaknya perekat pada garis rekatan berpindah ke permukaan ke dalam bahan direkat (penetrasi berlebih) dan perpindahan ke samping dan keluar sisi rekatan (Prayitno, 1996).

Teori perekatan merupakan cara-cara yang dilakukan untuk memperoleh suatu hasil perekatan dari beberapa bahan sehingga menjadi satu kesatuan dengan menggunakan prosedur maupun petunjuk teknis perekatan yang telah ditetapkan oleh pabrik. Setiap bahan perekat memiliki ketentuan dan prosedur tersendiri yang harus diikuti agar memperoleh hasil perekatan yang lebih baik. Dalam sistem laminasi terdapat teori perekatan yang perlu diketahui, yaitu:

1. Teori *five-chain glue line*

Teori *five-chain glue line* merupakan kemampuan suatu gaya yang ditimbulkan dari satu atau beberapa molekul yang berdekatan atau berjauha dengan molekul lainnya (Brown, 1949 dalam Ladisa, 2013). Gaya-gaya yang ditimbulkan dari beberapa molekul merupakan gaya adhesi dan gaya kohesi yang terjadi dalam suatu sistem yang saling berkaitan antara molekul yang satu dengan molekul lainnya baik secara fisika maupun kimia.

## 2. Teori mekanikal

Teori mekanikal merupakan suatu aksi bersekuncinya perekat yang telah mengeras secara mekanika dan fisika ke dalam ketidakaturan makro dan mikro pada permukaan *substrat* yang menjadi faktor utama dalam perekatan. Terjadinya ikatan permukaan perekat yang dilaburkan telah meresap masuk ke dalam pori-pori kayu dan kemudian mengeras. Akibat dari pengerasan tersebut timbul gaya tarik-menarik antara kedua permukaan yang diberi perekat. Sistem ikatan dari suatu bahan perekat dapat terjadi apabila permukaan yang diberi perekat dapat mengalir ke dalam dan mulai mengeras (Ladisa, 2013)

## 3. Teori spesifik

Teori *adhesi spesifik* yang biasa disebut teori adsorpsi yaitu sebagai keadaan dimana perekat tersebut akan menempel ke substrat karena adanya gaya intermolekul dan gaya interatom antara atom maupun molekul dari kedua jenis material dan kedua gaya tersebut sehingga semua jenis ikatan dapat terjadi di setiap lapisan (Sucipto, 2010).

Ikatan yang terdapat pada semua material memiliki peranan penting dalam sistem perekatan. Kegagalan dari sistem laminasi bisa saja terjadi apabila pada sistem perekatan tidak dapat menimbulkan interaksi antara permukaan bidang dari suatu material. *Adhesi spesifik* dapat menimbulkan gaya ikatan antara permukaan yang datar dan rata dengan sistem perekat. Hal ini dapat terjadi karena adanya ikatan kimia dari bagian perekat yang disebabkan oleh pengikatan air dengan lapisan yang lain.

Dalam perekatan kayu dipergunakan istilah *glue spread* adalah jumlah perekat yang dilaburkan per satuan luas permukaan bidang rekat yang menggambarkan banyaknya perekat terlabur agar tercapainya garis perekat yang pejal yang kuat. Satuan luas permukaan rekat ditentukan dengan satuan Inggris yakni seribu kaki persegi (1000 *square feet*) dengan sebutan MSGL (*Multilayer Single Glue Line*) yang dinyatakan dalam satuan *pound*. Bila kedua bidang permukaan dilabur maka disebut MDGL (*Multilayer Double Glue Line*) atau pelaburan dua sisi. Di laboratorium, satuan perekat dikonversikan menjadi lebih sederhana yang disebut GPU (*gram pick up*). Dengan persamaan:

$$\text{GPU} = \frac{S \times A}{2048,2} \quad (1)$$

Dengan

GPU : *Gram pick up* (gr)

S : Perekat dilaburkan (pound/MSGL)

Perekat merupakan bentuk penggabungan beberapa lapisan permukaan dari suatu bahan agar menjadi ikatan yang kuat pada setiap lapisan. Timbulnya ikatan yang kuat akan menimbulkan gaya tarik menarik pada setiap lapisan yang telah dilaburkan dengan bahan perekat. Dalam pekerjaan teknik rekayasa laminasi terdapat berbagai macam bahan perekat yang dapat digunakan untuk sistem laminasi. Bahan perekat yang digunakan pada sistem laminasi, tergantung dari bahan atau jenis kayu. Kekuatan bahan perekat tergantung dari bahan dasar pembuatannya sehingga hal ini dapat menimbulkan perbedaan dari setiap jenis serta sistem perekatannya (Ladisa, 2013).

Jenis-jenis perekat pada bambu laminasi menurut Eratodi (2010) adalah:

1. Perekat berbahan dasar *formaldehyde* atau perekat sintetis

Perekat sintetis yang umum dipakai dalam proses laminasi menurut Prayitno (1996) adalah sebagai berikut:

a) *Urea formaldehyde* (UF)

Resin jenis UF dapat dikerjakan untuk perekatan panas ( $\pm 100^{\circ}\text{C}$ ) ataupun dingin ( $\pm 30^{\circ}\text{C}$ ). Untuk proses panas lebih umum digunakan pada pemakaian non-struktural seperti industri kayu lapis, sedangkan proses dingin lebih sesuai untuk keperluan struktural mengingat ketebalan atau dimensi elemen yang direkatkan. Penggunaan perekat jenis ini perlu kontrol keasamaan dan harus ditambahkan bahan pengisi (*filler*) agar mengisi pori bahan yang direkat namun ketebalan garis perekat harus dikontrol untuk tidak lebih dari 0,1 mm agar terhindar retak. Disamping itu perekat UF mempunyai kelemahan terhadap air, suhu, dan kelembapan ekstrim sehingga lebih cocok digunakan untuk struktur terlindung (Prayitno, 1996).

b) *Melamin formaldehyde* (MF)

Perekat jenis MF tersedia dalam bentuk bubuk dan film. Pengerasan perekat MF pada suhu  $50-100^{\circ}\text{C}$ . Perekat MF mempunyai kekuatan tinggi, tahan air dan suhu maupun mikro-organisme, tidak berwarna, tetapi mempunyai sifat kurang baik seperti mahal, garis perekat getas (Prayitno, 1996).

c) *Phenol formaldehyde* (PF)

Perekat PF dapat berupa tepung, cairan (kental dan berwarna merah tua) ataupun lembaran (film dapat dikerjakan pada proses panas (115-150°C) maupun suhu ruang ( $\pm 20^\circ\text{C}$ ) juga telah dibuat dengan formulasi khusus cocok untuk rentang temperature lebar (20-90°C). Perekat PF bersifat tahan cuaca, air, dingin/panas, mikroba dan awet pada suhu tinggi, namun control katalis tidak baik akan terjadi keasaman dan mengakibatkan kerusakan pada kayu. Penggunaan perekat resin ini secara luas pada industry kayu lapis penggunaan luar ruangan.

d) *Resorsinol formaldehyde* (RF)

Perekat RF biasanya tersedia dalam bentuk cairan berwarna gelap. Mengeras pada variasi suhu 5-100°C, memungkinkan dipakai pada kadar air kayu relatif tinggi, tahan terhadap suhu tinggi atau rendah bahkan pembekuan, dan dapat membantu sifat tahan kembang susut dan *creep*, juga mempunyai PH netral, namun juga mempunyai kekurangan seperti mahal, dan terjadi penodaan pada garis perekat. Perekat RF telah diformulasikan dengan jenis PF dan terbentuk jenis perekat dengan sebutan *phenol resorsinol formaldehyde* (PRF) (Prayitno, 1996).

2. Perekat berbahan dasar air

Perekat/lem yang memakai sistem *water based adhesives*. Perekat ini merupakan hasil polimerisasi dari 2 komponen: *polymer resin* yang



reaktif terhadap air (*water based*) dan *polivinil asetat* (PVAc) sebagai *crosslinker* (pengikat), adapun proses polimerisasi kimiawi 2 komponen tersebut dengan kayu laminasi akan menghasilkan ikatan kimia yang kuat sekali.

### 3. Perekat berbahan dasar polimer

Salah satu perekat dengan bahan dasar polimer adalah perekat *polyurethane*. Apabila telah mengeras, maka akan berbentuk busa-busa yang fleksibel dan kuat. Jenis bahan perekat *polyurethane* dapat diperoleh dengan mudah dan mudah dibentuk sehingga banyak digunakan untuk keperluan *furniture* bangunan dan konstruksi, instalasi *tank* dan pipa, pabrik pelapis, alat-alat olahraga, serta dapat dilakukan sebagai pembungkus dan memiliki kelebihan dalam perekatan (Rohaeti, 2005)..

Poliuretan berbeda dengan kebanyakan bahan plastik lain, hal ini karena pada proses sintesis poliuretan memungkinkan untuk mengontrol sifat dari produk akhir. Bahan kimia reaktif dicampur secara bersamaan dan direaksikan untuk menghasilkan polimer dengan sifat yang diharapkan. Poliuretan disintesis menjadi bentuk akhir selama reaksi polimerisasi berlangsung (Rohaeti, 2005).

Untuk bahan plastik lain, khususnya termoplastik, pabrik kimia melakukan polimerisasi menghasilkan bahan polimer dalam bentuk butiran atau serbuk yang selanjutnya dijual kepada pemakai. Kemudian pemakai mengubah butiran atau serbuk itu menjadi bentuk yang sesuai dengan teknik pemrosesan termoplastik yang melibatkan pemanasan,

pelelehan polimer dengan penerapan tekanan, dan pendinginan. Sedangkan untuk poliuretan, polimerisasi tidak dilakukan oleh pabrik kimia tetapi oleh para konverter. Pabrik kimia menjual komponen kimia pembentuk poliuretan, biasanya dalam bentuk cairan dan dilengkapi dengan petunjuk dan informasi untuk pembeli dalam membuat poliuretan yang diperlukan dengan cara mencampurkan komponen- komponen kimia dalam perbandingan tertentu (Rohaeti, 2005)..

#### **E. Kayu Bengkirai**

Kayu bengkirai (*Shorea leavis Ridl*) merupakan kayu dengan daerah penyebaran diseluruh Kalimantan, kayu bangkirai memiliki tinggi pohon sampai 50 m dengan panjang batang bebas cabang 35-40 m. Kulit luar berwarna kelabu, merah atau coklat. Kayu bangkirai masuk dalam kelas kuat kayu I-II. Karena kekuatan dan keawetan yang tinggi, kayu bangkirai dipergunakan untuk konstruksi berat di bawah atap maupun di tempat terbuka, antara lain, untuk bangunan jembatan, bantalan, lantai, dan perumahan (Martawawijaya, 1981 dalam Febrimaulana, 2018). Harga yang dipatok untuk kayu bengkirai lebih rendah daripada kayu jati, maka dari itu kayu bengkirai banyak dipilih untuk digunakan sebagai material bahan bangunan.



Gambar 3. Struktur kayu bangkirai

#### **F. Kuat Lentur**

Tegangan tekan pada serat paling luar mencapai batas tegangan tekan maksimum, maka kondisi elastis akan terlewati dan masuk pada kondisi plastis. Pada tahap ini bagian tekan akan meleleh dan terus merambat keserat bagian dalam, sedangkan serat tarik akan terus mengalami tarik sampai mencapai tegangan tarik maksimum dan runtuh jika tegangan telah mencapai maksimum.

Tegangan lentur dihitung menggunakan persamaan 2 (Gere dan Timoshenko, 2000):

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I_x} \quad (2)$$

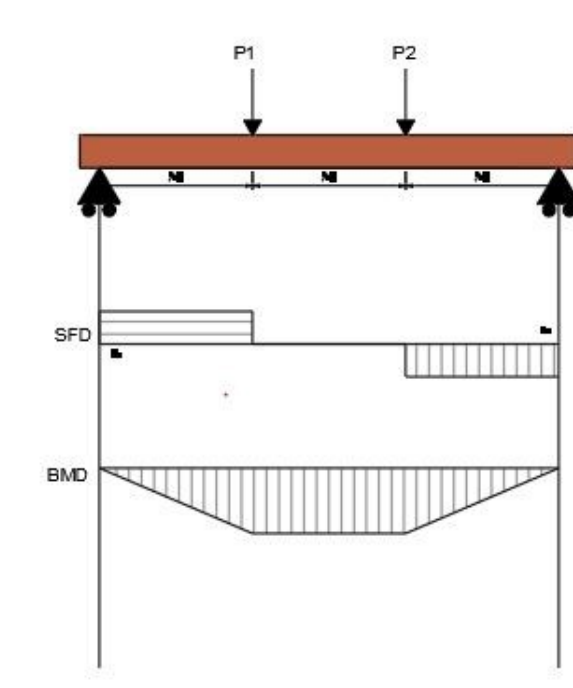
dengan

$\sigma$  : tegangan normal (lentur)

M : momen lentur

y : jarak dari titik berat penampang ke serat terluar

$I_x$  : adalah momen inersia penampang



Gambar 4. Pengujian lentur *four point load*

### 1. MOR

MOR untuk kondisi pembebanan terpusat dengan jarak 1/3 dari jarak tumpuan ditentukan dengan menggunakan persamaan sesuai dengan ASTM D198-02, sebagai berikut :

$$MOR = \frac{3 P a}{bh^2} \quad (3)$$

Dengan :

MOR = modulus of rupture (MPa)

P = beban maksimal yang bekerja pada benda uji (N)

b = lebar benda uji (mm)

h = tinggi benda uji (mm)

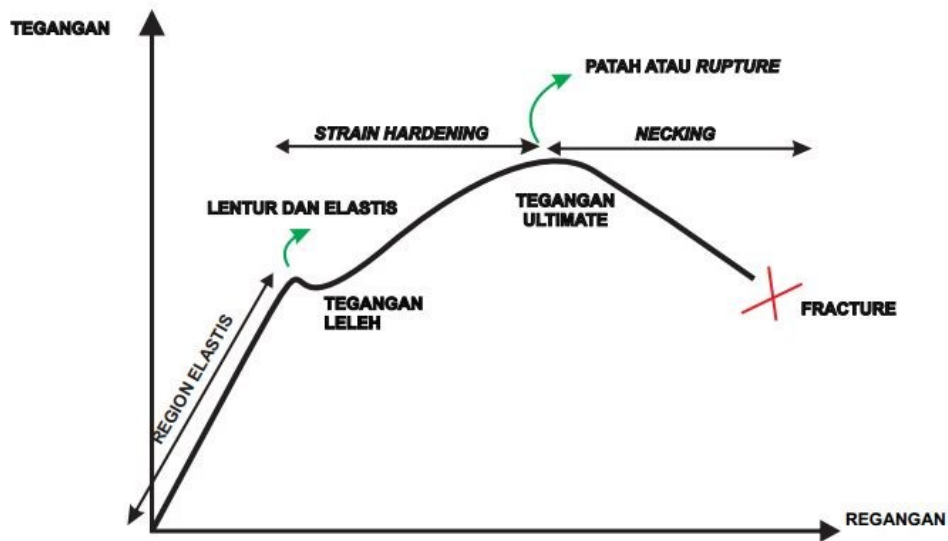
a = jarak dari titik reaksi ke titik beban terdekat (mm)

## 2. *MOE*

*MOE* merupakan sifat elastis kayu yang penting sebagai ukuran ketahanan terhadap perpanjangan apabila kayu mengalami tarikan, atau pemendekan apabila kayu mengalami tekanan selama pembebanan berlangsung dengan kecepatan pembebanan konstan (Kurniawan, 2010 dalam Febrimaaulana, 2018).

Sifat kelengkungan merupakan besaran kekuatan untuk menahan gaya luar yang dapat melengkungkan benda. Sifat kelengkungan dapat digunakan sebagai indikator jumlah beban yang dipikul/tahan oleh luas penampang benda dan biasanya diikuti penambahan panjang/regangan (*strain*) benda tersebut. Perbandingan antara tegangan dan regangan disebut dengan modulus elastisitas dimana modulus elastisitas menunjukkan nilai kekakuan suatu benda (Kurniawan, 2010 dalam Febrimaaulana, 2018).

Berikut grafik tegangan regangan disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik tegangan dan regangan

Tegangan luluh dan tegangan ultimit dari suatu bahan disebut juga masing-masing kekuatan luluh dan kekuatan ultimit. Kekuatan adalah sebutan umum yang merujuk pada kapasitas suatu struktur untuk menahan beban. Sebagai contoh kekuatan luluh dari suatu balok adalah besarnya beban yang dibutuhkan untuk terjadinya luluh di balok tersebut, dan kekuatan ultimit dari suatu rangka batang adalah beban maksimum yang dapat dipikulnya, yaitu beban gagal. Untuk kebanyakan bahan nilai batas elastis dan batas proporsional hampir sama. Nilai batas elastis selalu sedikit lebih besar dari pada batas proporsi. Selang elastis (*elastic ranges*) yaitu rentang kurva tegangan regangan yang terjadi dari origin sampai batas proporsi. Selang plastis (*plastic ranges*), yaitu rentang kurva tegangan-regangan yang ditarik dari batas proporsi sampai runtuh. Titik leleh, yaitu titik dimana terjadi peningkatan atau penambahan regangan tanpa adanya penambahan tegangan. Setelah pembebanan mencapai titik leleh, maka

selanjutnya dikatakan terjadi kelelahan. Tegangan maksimum, terjadi dimana titik maksimum pada kurva diketahui sebagai tegangan maksimum atau tegangan puncak dari bahan. Sedangkan tegangan putus terjadi di titik dimana tegangan putus dari bahan (Mulyati, Bahan ajar mekanika bahan).

Dalam hal ini yang menjadi tolak ukur adalah besaran modulus elastisitas. Semakin tinggi nilai modulus elastisitas, akan lebih kaku dan sebaliknya semakin rendah nilai modulus elastisitasnya, akan lebih fleksibel. Bila nilai modulus elastisitas semakin besar, maka akan semakin sulit benda tersebut mengalami regangan. Apabila gaya luar yang diberikan terlalu besar hingga menyebabkan deformasi permanen, nilai modulus elastisitas tidak lagi berlaku. Deformasi permanen artinya suatu benda mengalami regangan lebih besar daripada keadaan statisnya sehingga benda tersebut tidak bisa kembali statis.

$$MOE = \frac{P' a}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta} (3L^2 - 4a^2) \quad (4)$$

Dengan :

*MOE* : modulus elastisitas (MPa)

*P'* : beban pada batas proporsional (N)

*b* : lebar benda uji (mm)

*h* : tinggi benda uji (mm)

$\Delta$  : lendutan (mm)

*a* : jarak dari titik reaksi ke titik beban terdekat

*L* : panjang bentang

Berdasarkan nilai desain acuan, *MOE* dapat digolongkan sesuai dengan

Tabel 1.

Tabel 1. Nilai desain acuan dan modulus elastisitas

Kode Mutu	Nilai Desain Acuan (MPa)					Modulus Elastisitas Acuan (MPa)	
	$F_b$	$F_t$	$F_c$	$F_v$	$F_{c\perp}$	$E$	$E_{min}$
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	17,3	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	11,8	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: SNI 7973-2013)

Balok yang diuji lentur, akan mengalami kerusakan. Menurut Sumawa (2018) beberapa variasi kerusakan yang diakibatkan tarikan bergantung pada sifat keuletan, susunan seratnya adanya cacat atau tidak dan lainnya.



Lima jenis kerusakan yang terjadi menurut SNI adalah:

a. Retak tekan (*simple tension*)

Pada kerusakan ini terjadi sobekan di sisi bawah balok akibat beban tarik sejajar serat seperti yang ada pada gambar. Hal ini biasa terjadi pada balok berserat lurus yang telah dikeringkan.

b. Retak tekan (*cross grained tension*)

Kerusakan ini terjadi akibat adanya gaya tarik yang arahnya miring serat. Hal ini biasa terjadi pada contoh uji yang bercacat miring (*cross gain*), baik yang berupa serat diagonal, serat spiral atau yang lainnya dan terjadi di permukaan bawah balok benda uji.

c. Retak berserabut (*splintering tension*)

Kerusakan yang terjadi berbentuk zig-zag. Bagian yang mengalami kerusakan terlihat berserabut. Hal ini biasa terjadi pada kayu atau bambu yang regas atau rapuh (tidak ulet). Biasanya terjadi pada kayu yang mempunyai sifat keuletan yang besar.

d. Retak putus (*brittle tension*)

Bentuk kerusakan yang terjadi lebih rata, tidak terlihat berserabut. Kerusakan semacam ini biasa terjadi kerusakan secara mendadak tanpa adanya suara peringatan adanya kerusakan.

e. Retak mendatar (*horizontal tension*)

Bentuk kerusakan yang terjadi mendatar dan cenderung searah dengan serat bambu atau kayu. Kerusakan ini bisa disebut retak geser.

## G. Kuat Tekan

Kekuatan tekan adalah kemampuan menerima gaya per satuan luas. Kekuatan tekan ditopang oleh batang tekan. Batang tekan adalah elemen struktur yang mendukung gaya tekan aksial. Batang tekan pada struktur rangka batang dapat berupa batang tepi, batang diagonal, batang vertikal, dan batang-batang pengekang/pengaku (*bracing*). Aplikasi struktur sesungguhnya jarang dijumpai batang yang benar-benar hanya mendukung gaya aksial. Umumnya batang tekan juga bekerja gaya-gaya lain misalnya momen lentur, gaya lintang dan torsi. Analisis kekuatan batang tekan relatif lebih rumit jika dibandingkan dengan kekuatan batang tarik, mengingat pada batang tekan tegangan batas dipengaruhi oleh kelangsingannya, sedangkan pada batang tarik tegangan batas konstan (Morisco, 1999).

Kelangsingan batang tekan dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu batang tekan langsing, batang tekan sedang, dan batang tekan gemuk. Batang akan mengalami kegagalan akibat tekuk (*buckling*) jika kombinasi kedua tegangan ini mencapai tegangan leleh bahan. Batang langsing akan mengalami kegagalan akibat tekuk dengan tegangan normal kecil, disertai tegangan lentur besar. Jadi kuat tekan batang tekan dipengaruhi oleh kelangsingannya, semakin langsing batang (angka kelangsingan semakin tinggi), kuat tekannya semakin kecil (Gere dan Timoshenko, 2000). Perhitungan kuat tekan menggunakan rumus 5.

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A} \quad (5)$$

dengan

$\sigma_{ult}$  : tegangan tekan ultimit, dalam MPa atau N/mm

A : luas tampang dalam mm

$F_{ult}$  : beban maksimal yang bekerja pada benda uji (N)

Kekuatan tekan bambu untuk menahan gaya-gaya tekan akan berbeda-beda pada bagian ruas dan bagian di antara ruas batang bambu. Pada bagian batang tanpa tias memiliki kekuatan terhadap gaya tekan yang 8-45% lebih tinggi daripada batang bambu beruas (Permono, 2010).

Menurut Masdar (2015) pada pengujian kuat tekan ada tiga jenis kegagalan yang terjadi, yaitu:

a. Kegagalan tekuk (*buckling failure*)

Kegagalan bambu berupa batang bambu menekuk akibat kegagalan tekan di daerah titik pembebanan yang kemudian ditandai bambu pecah (*failure*).

b. Kegagalan geser (*split*)

Kegagalan bambu langsung pecah dan terbelah arah longitudinal akibat uji tekan.

c. Kegagalan tekuk dan geser, kegagalan bambu kombinasi tekuk dan geser yang terjadi bersamaan saat bambu akan *failure*.

## H. Kadar Air

Menurut Iswanto (2008) , bahwa kadar air merupakan banyaknya air yang terdapat dalam kayu yang dinyatakan dalam persen terhadap berat kering tanurnya. Kekuatan kayu yang baik tergantung dari kadar air yang berada di `akan lebih baik apabila dibandingkan dengan kadar air di atas titik jenuh serat.

Jenis kayu yang memiliki kandungan air yang lebih tinggi, maka akan mempersulit proses perekatan. Dalam proses perekatan akan memberikan perbedaan kadar air dalam kayu yang cukup tinggi sehingga akan mempercepat proses penguapan air dari dalam kayu.

Menurut Eratodi (2017), kadar air terdiri dari tiga jenis:

1. Kadar air segar, nilai kadar air bambu saat masih sesaat baru ditebang (fresh moisture content), nilai kadar air bambu sangat tinggi bahkan bisa melampaui.
2. Kadar air TJS, kadar air setelah bambu diawetkan baik secara tradisional maupun modern dimana dinding sel bambu dalam keadaan penuh berisi air sedangkan lumenselnya kosong air.
3. Kadar air *ovendry*, kadar air setelah bahan bambu di oven/dikeringkan sampai air dalam dinding sel dan lumen sel menguap seluruhnya.

Pengujian kadar air bambu lamina berdasarkan prosedur SNI 6850-2002 ukuran benda uji 5x5x5 cm, dihitung menggunakan persamaan :

$$K_a = \frac{W_b - W_a}{W_a} \times 100\% \quad (6)$$

Dengan

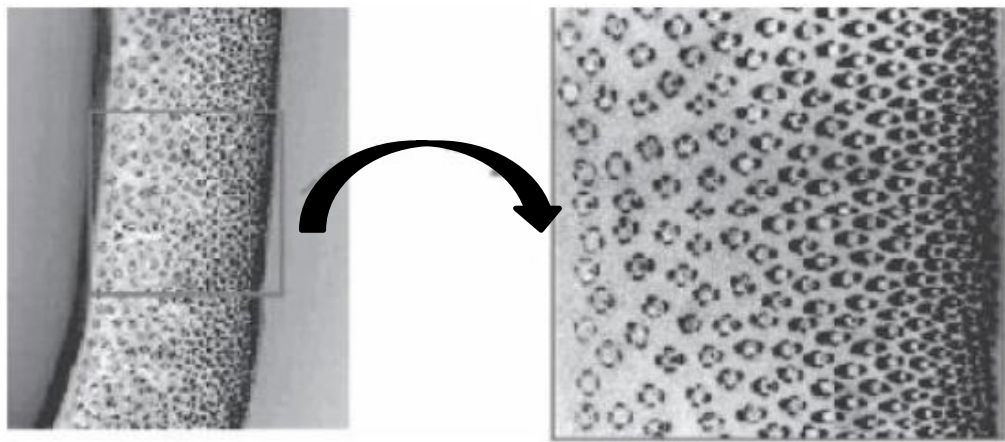
$K_a$  = kadar air bambu

$W_a$  = berat benda uji kering oven (gr)

$W_b$  = berat benda uji sebelum di oven (gr)

Nilai kadar air akan meningkat setelah dilaksanakan perekatan pada pembuatan bambu laminasi, hal ini diakibatkan oleh kandungan air yang terdapat pada bahan perekat. Semakin kecil

nilai RS (*resin solid*) dalam spesifikasi yang tercantum pada bahan perekat menunjukkan semakin besar jumlah air yang dikandungnya. Jumlah air ini akan masuk ke sel bambu saat proses perekatan dan pengempaan sehingga akan meningkatkan kadar air bambu.



Gambar 6. Distribusi serat beraneka ragam ukuran pada irisan bambu

Kerapatan bambu adalah perbandingan antara massa bambu dengan volume bambu baik pada kadar air tertentu maupun pada kadar air kering oven.

Nilai kerapatan bambu petung dihitung dengan menggunakan persamaan

$$\rho_w = \frac{m_w}{v_w} \quad (7)$$

Dengan

$\rho_w$  = kerapatan bambu pada kerapatan air ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$m_w$  = massa bambu pada kadar air w (gr)

$V_w$  = volume bambu pada kadar air w ( $\text{cm}^3$ )

Menurut Prayitno (1996), kerapatan kayu kurang dari 0,4 g/cm<sup>3</sup> dikategorikan kayu ringan, kerapatan kayu kurang dari 0,55 g/cm<sup>3</sup> kategori kayu sedang dan kerapatan krg dari 0,72 kategori kayu berat.