

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kayu Gelam

Kayu putih atau kayu gelam merupakan salah satu jenis tumbuhan yang memiliki peran cukup penting dalam industri minyak atsiri. Tumbuhan ini dapat tumbuh pada lahan marginal yang umumnya dekat dengan pemukiman masyarakat yang biasanya adalah masyarakat dengan kondisi sosial ekonomi lemah. Tanaman kayu putih merupakan salah satu jenis tumbuhan yang berpotensi dalam upaya rehabilitasi lahan dari segi ekologis maupun segi ekonomis. (Rahyudi, 2016)

Hingga saat ini kebutuhan bahan baku kayu, khususnya kayu gelam (*Melaleuca cajuputi*), dalam mendukung pembangunan perumahan dan infrastruktur lainnya semakin besar di Indonesia. Khususnya di Kalimantan yang sebagian wilayahnya terdiri dari kawasan rawa yang menyebabkan kebutuhan akan kayu gelam sangat besar dan akan ada terus menerus. Akan tetapi kawasan hutan rawa gambut yang menjadi habitat dimana tumbuhan itu terdapat dari tahun ketahun mengalami degradasi dan penyusutan. Aktifitas ini tentu saja sangat besar sekali pengaruhnya secara ekologis terhadap populasi gelam tersebut, sedangkan sistem pengelolaan dan tata niaganya belum diatur dengan baik, sehingga dikhawatirkan dimasa yang akan datang akan terjadi kelangkaan pada jenis ini dan tentunya akan berdampak bagi terhambatnya pembangunan yang membutuhkan bahan baku dari jenis kayu ini, terutama pembangunan perumahan dan infrastruktur lainnya. (Arifin.Y.F., 2014)

Kayu gelam termasuk kayu dengan keawetan kelas III dan kekuatan kelas II, digunakan untuk kayu bakar, tiang pancang kecil (*minipile*), tiang bangunan, sumber bahan baku industri pengolahan kayu. Pondasi rumah panggung di Kalimantan Selatan umumnya menggunakan kayu gelam dengan ukuran diameter 10 cm dan panjang 4-7 meter. (Wildan, 2019)



Gambar 2.1 Kayu Gelam  
Sumber: Martawijaya 2005

Tinggi pohon gelam umumnya berkisar 40 m, Panjang batang bebas cabang  $\leq 30$  m, diameter 30-35 cm. Permukaan pepagan berwarna putih, kuning kecokelatan, mudah mengelupas kasar seperti lembaran kertas yang sangat tipis dan lembut, kulit dalam merah. Ranting abu-abu terang atau coklat terang, berambut halus. Serat dengan ceruk antar serat sederhana sampai berhalaman sangat kecil, ditemui pada dinding radial dan tangensial. Panjang  $1.275 \pm 98$  mikron, diameter  $24,4 \pm 2,9$  mikron, lebar lumen  $15,5 \pm 2,6$  mikron, dinding tipis sampai tebal,  $4,4 \pm 0,6$  mikron. (Martawijaya, 2005).

Umumnya pada kayu dapat terdiri dari selulosa, pentosan, lignin, silica dan abu. Bagian yang terbesar pada kayu ialah selulosa yang terdiri dari 78,6%, yang selanjutnya adalah lignin yang memiliki kadar sekitar 32%, pentosan 17,1%, abu 0,9% dan silica 0,5%. Selulosa merupakan zat yang dapat digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan pulp, kertas, dan lain-lain. Lignin merupakan polimer organik yang berbentuk *amorf* yang berfungsi sebagai bahan perekat serbuk. Pada pulp kertas yang baik hanya memiliki kadar lignin yang rendah yaitu sebesar 4-6%. Hal ini dikarenakan kadar lignin yang rendah dapat memiliki kekuatan sobek, tarik, pecah, dan lipat yang tinggi. Pentosan merupakan bagian hemiselulosa yang penting sebagai zat pengikat antara serbuk dan pelumas dalam pembuatan kertas. Abu dan silika merupakan zat yang dapat mengganggu proses pengolahan kayu secara kimia. Hal ini dapat menimbulkan adanya endapan (*sludge*) dan karet. Sedangkan kadar silika yang tinggi dapat membuat kayu tahan terhadap serangan binatang air. (Martawijaya, 2005) Berikut adalah komposisi kayu gelam, yang terlihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Komposisi Kayu Gelam

Kadar	Presentase (%)
Holoseulosa	78,6
Lignin	32,0
Pentosan	17,1
Abu	0,9
Silika	0,5

Sumber: Martawijaya 2005

Berikut adalah penampakan Kayu dan Kulit dari kayu gelam, yang terlihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Kayu (*wood*)  
Sumber: Martawijaya 2005



Gambar 2.3 Kulit (*bark*)  
Sumber: Martawijaya 2005

## 2.2 Komposit

Komposit adalah material yang buatannya memiliki kombinasi yang diinginkan untuk sifat terbaik dari fasa konstituen. Komposit diklasifikasikan menjadi penguat partikel, penguat serat, dan struktural. Komposit yang tersusun atas matriks kontinyu dan penguat (reinforced) yang diskontinyu berbentuk partikel, fiber pendek atau whisker disebut komposit partikel. Secara umum penguat partikel kurang efektif dalam meningkatkan ketahanan patah matriks,

berbeda dengan komposit berpenguat serat yang bagus dalam meningkatkan ketahanan patah matriks. Namun, untuk komposit dengan matriks yang getas (brittle) berpenguat partikel ulet akan bisa meningkatkan kepatahan brutal (mendadak). (Callister, 2010)

Penggabungan dari dua atau lebih material yang berbeda inilah akan mengembangkan dan memperbaiki sifat-sifat mekanik dari material penyusunan diantaranya adalah kekuatan, kekakuan, ketahanan korosi, konduktivitas termal, dan ketahanan fatik. Kekuatan (Strength) merupakan kemampuan material untuk menahan beban tanpa mengalami perpataha. Kekakuan (Stiffness) merupakan sesuatu yang tidak dapat dipisahkan dari suatu materi. Banyak material yang kaku memiliki kepadatan yang rendah untuk menahan deformasi dari pemasangan, gravitasi, dan vibrasi pada saat pengoperasian. Ketahanan korosi (Corrosion Resistance) merupakan tidak cepat berkarat sehingga memiliki masa umur pakai yang panjang. Konduktivitas termal yaitu menambahnya laju perambatan panas pada padatan dengan aliran yang mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur rendah. Ketahanan fatik (Fattigue Life) merupakan fenomena terjadinya kerusakan material karena pembebanan yang berulang-ulang. Apabila suatu logam dikenakan tegangan berulang, maka akan patah pada tegangan yang dibutuhkan untuk menimbulkan perpatahan pada beban statik. Fiber natural/nabati/alami adalah fiber yang terbuat dari bahan-bahan nabati seperti aren, serabut kelapa, pelapah pisang, serat pohon, residu dari gergajian, dan bahan nabati lain yang dapat digunakan sebagai fiber. Penggunaannya juga beraneka ragam yaitu sebagai interior kereta dengan menggunakan serat dari pohon kelapa, bahan anti radar dan lain sebagainya. Tetapi peran penggunaan fiber nabati bukanlah memberikan efek penguatan, tetapi hanya sebagai penambah massa dari material komposit sehingga mempunyai kekuatan dan kekakuan yang rendah, bahkan menurunkan kekuatan dan kekakuan matriks sebelumnya. Hal ini bertentangan dengan penggunaan komposit yang bertujuan untuk memperbaiki sifat material sebelumnya dengan inovasi-inovasi penggunaan serat. (Sulistijono, 2012)

Komposit terbentuk dari dua unsur utama, yaitu matriks dan penguat (reinforcement). Matriks merupakan fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar. Fungsi utama dari matriks dalam komposit

yaitu sebagai pengikat partikel-partikel yang digunakan untuk mempertahankan partikel tersebut agar berada pada tempatnya (Fahmi, 2011). Selain itu, matriks berfungsi sebagai distributor tekanan dan pelindung serat dari kerusakan permukaan akibat reaksi kimia dengan lingkungan. Fasa matriks dapat berupa keramik, logam atau polimer (Kurniawan, 2016)

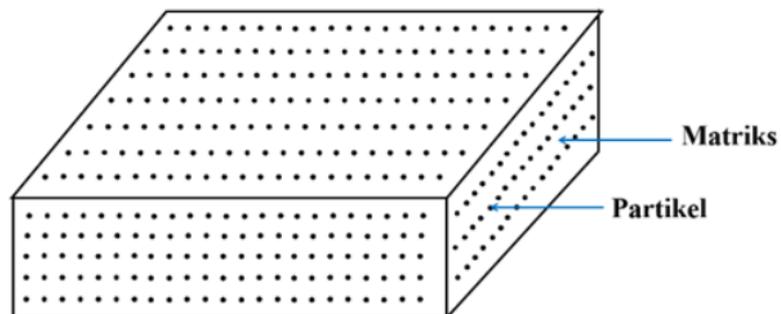
Penguat (reinforcement) merupakan pengisi yang ditempatkan didalam matriks pada komposit dan memiliki kekuatan mekanik cenderung lebih tinggi dibandingkan matriksnya. Penambahan penguat digunakan bertujuan untuk mengubah sifat fisis seperti sifat tahan aus, koefisien friksi atau konduktivitas termal. Serat yang ditempatkan dalam matriks akan membuat ikatan kuat pada matriks dan memberikan modulus elastisitas yang tinggi (Sulistijono, 2012)

### 2.3 Klasifikasi Komposit

Komposit berdasarkan jenis penguatnya (reinforcement) terbagi atas dua kelompok, yaitu komposit partikel dan komposit serbuk.

#### 1. Komposit Partikel

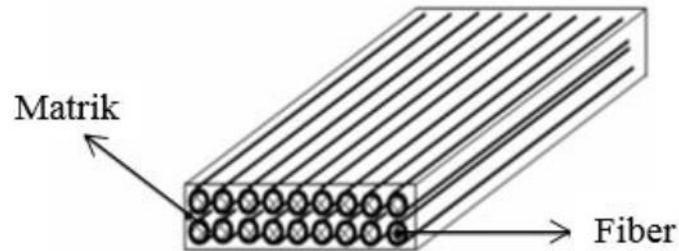
Komposit yang tersusun dari matriks continue dan penguat discontinue yang dapat berbentuk partikel, serbuk pendek atau whiskers. Dengan penguat berbentuk partikel, komposit dapat membagi beban agar terdistribusi secara merata dalam material dan dapat menghambat deformasi plastis matriks (Sulistijono, 2012). Berikut gambar 2.3 memperlihatkan komposit partikel.



Gambar 2.4 Komposit Partikel  
Sumber : Sulistijono 2012

## 2. Komposit Serat

Komposit jenis ini memiliki matriks yang continue dan penguat berbentuk serat panjang. Serat dapat terdiri dari banyak filament, masing-masing filament memiliki 5-15 $\mu$ m, sehingga dapat diproses lebih lanjut (Sulistijono, 2012). Berikut gambar 2.4 memperlihatkan komposit serat.



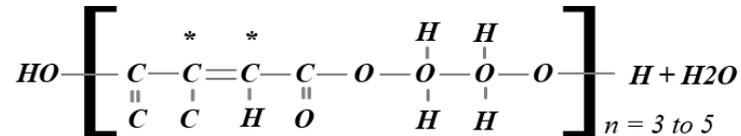
Gambar 2.5 Komposit Serat  
Sumber : Sulistijono 2012

### 2.4 Resin Polyester

Polyester (Poliester) membentuk kelas yang besar dari polimer penting secara komersial. Polyester yang khas adalah poly-ethylene-terephthalate (PETP), adalah serbuk sintesis bervolume besar. PETP juga bias digunakan sebagai lapisan dan diterapkan pada botol (Ebewele, 2000). Polyester resin dapat diformulasikan dalam berbagai sifat mulai dari keras dan getas ke lunak dan fleksibel. Keuntungannya adalah kekentalan yang rendah, waktu yang cepat untuk kering, dan harga yang murah. Pada umumnya sifatnya lebih rendah dari epoxy adalah penyusutan volume yang besar. Oleh karena itu, polyester dapat dengan mudah dilepaskan dari cetakan (Mallick, 2007).

Poliester yang umum digunakan adalah poliester tak jenuh, dimana rantai pendek poliester mengandung ikatan ganda polymerizable dan monomer vinil dapat dilihat pada Gambar 2.5. Resin poliester tak jenuh merupakan gabungan antara poliester tak jenuh dengan monomer vinil ini banyak dijual di pasaran. Reaksi curing terdiri dari copolimerisasi dari monomer vinyl dengan poliester ikatan ganda. Dalam proses curing, sebuah jaringan tiga dimensi terbentuk (Callister W. , 2010). Proses curing merupakan proses pengerasan dari fasa cair ke fasa padat. Resin poliester merupakan resin cair dengan viskositas rendah, dan

akan mengeras dalam temperatur kamar dengan penggunaan katalis (Rosyadi, 2016).



Gambar 2.6 Struktur Kimia Polyester

Sumber : Callister W, 2010

Matriks dapat berfungsi untuk mentransfer tegangan ke serat, melindungi serbuk, dan mengikat serat. Matriks poliester banyak digunakan karena dijual dengan harga terjangkau serta mempunyai karakteristik seperti tahan cuaca, bahan kimia, serta dapat dibuat kaku dan fleksibel (Cahyono, 2015). Unsaturated Polyester dapat digunakan pada suhu kerja mencapai 79°C atau lebih tinggi tergantung partikel resin dan keperluannya, berat jenis 1.4 kg/cm<sup>3</sup>, kekuatan tarik 58 MPa, dan elongasi 2,4%. Keuntungan lain matriks polyester adalah mudah dikombinasikan dengan serat dan dapat digunakan untuk semua bentuk penguatan plastik (*Show a highpolymer. Co. Ltd*). Bahan tambahan utama pada polimer adalah katalis (Hardener). Jenis katalis untuk resin polyester yaitu Metyl Etyl Keton Peroksida (MEKPO). Katalis berfungsi untuk mempercepat proses pengerasan cairan resin (curing). Pemberian katalis dibatasi 1% sampai 2% dari berat resin.

## 2.5 Proses Perlakuan Curing

Curing merupakan proses perlakuan panas atau polimerisasi terhadap komposit untuk merubah resin memiliki daya ikat yang tinggi dengan serbuk pada saat komposit telah padat. Curing sudah dimulai saat pembentukan komposit pada temperature kamar dan hal ini akan menghasilkan komposit dengan kekuatan masih rendah. Proses curing sebenarnya terjadi pada pemanasan di atas temperatur kamar dan dilaksanakan setelah bahan komposit menjadi padat. Adanya kenaikan temperatur curing (lebih besar dari temperature kamar) dapat menyebabkan terjadinya peningkatan kecepatan curing yang diikuti kenaikan kekuatan ikatan antar bahan pembentukannya. Kondisi ini akan memberikan *cross-linking* pada komposit yang diikuti pepadatan matriks/resin, pada proses curing ini biasanya

mengurangi rongga-rongga yang ada di dalam komposit sehingga dihasilkan komposit yang berkualitas baik. Proses curing diatas temperature kamar ini dapat dilakukan dengan oven, *hot oil*, *lamps method*, *steam methode autoclave*, *microwave* atau metode lain nya seperti *electron laser beam*, *radio frequency energy*, *ultrasonics* (Malau, 2010).

## **2.6 Komposit Serat Alam**

Serat adalah suatu jenis bahan berupa potongan-potongan komponen yang membentuk jaringan memanjang yang utuh. Serat alami meliputi serat yang diproduksi alias dihasilkan oleh tumbuhan, hewan dan proses geologis. Serat jenis ini sendiri memiliki sifat yang mampu mengalami pelapukan. Serat yang berasal dari tumbuhan berupa katun, rami, pisang abakan, linen, sisal, sabut kelapa, kenaf, dan daun nanas kebanyakan merupakan golongan selulosa (Fernando, 2016).

Karena sifat-sifat inilah, serat alam mulai banyak dikembangkan sebagai penguat pada komposit untuk aplikasi seperti bahan baku otomotif, medis, konstruksi dan lain-lain.

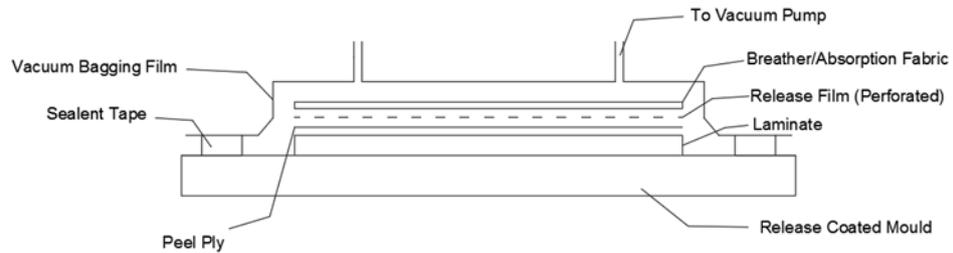
## **2.7 Metode Pembuatan Komposit**

Fungsi dari metode pembuatan komposit untuk mempersatukan bahan komposit yaitu matriks dan reinforcement secara merata. Secara garis besar metode pembuatan material terdiri dari dua metode, yaitu:

### **2.7.1 Metode Komposit *Vacuum Bag***

Proses *vacuum bag* merupakan penyempurnaan dari *hand lay-up*, penggunaan dari proses vakum ini adalah untuk menghilangkan udara yang terperangkap dan kelebihan resin. Pada proses ini digunakan pompa vakum untuk menghisap udara yang ada dalam wadah/tempat dimana komposit akan dilakukan proses pencetakan. Dengan divakumkan udara akan menyebabkan udara yang terperangkap dalam specimen komposit akan dapat diminalkan.

Dibandingkan dengan *hand lay-up*, metode vakum memberikan penguatan konsentrasi yang lebih tinggi, adhesi yang lebih baik antara lapisan, dan kontrol yang lebih terhadap rasio resin/kaca. Aplikasi dari metode *vacuum bag* ini adalah pembuatan kapal pesiar, komponen mobil balap, perahu, dan lain-lain.



Gambar 2.7 Vacuum bag  
Sumber : R. Hari Setyanto 2012

### 2.7.2 Metode Komposit Compression Molding

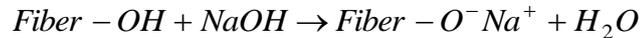
Proses cetakan ini umumnya menggunakan *hydraulic* sebagai penekannya serat yang telah dicampur dengan resin dimasukkan ke dalam rongga cetakan, kemudian dilakukan penekanan dan pemanasan. Resin termoset yang digunakan dalam proses cetak tekan ini adalah *polyester*, *vinil ester*, *epoxies*, dan *fenolet*. Metode cetak tekan (*Compression Molding*) yang diaplikasikan pada pembuatan komposit dengan menggunakan tekanan pengepresan diharapkan mampu meningkatkan kekuatan komposit. Pembuatan komposit dapat dilakukan dengan metode cetak (*Compression Molding*) untuk dapat menstribusikan fiber dan matrik secara merata sesuai dengan tekanan yang digunakan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan bahan antara lain adalah: ukuran dan kandungan *filler*, tekanan pengepresan, temperature, lamanya waktu penahanan, dan volume zat pengikat (Masturi, 2011). Melakukan proses pengepresan yang diaplikasikan pada pembuatan komposit mampu meningkatkan kekuatan komposit. Proses pengepresan pada komposit sampah dengan matriks PVAc (*Polyinyl acetate*) akan meningkatkan kekuatan tekan dari komposit. Meningkatkan tekanan akan mengakibatkan terjadinya kontak yang lebih intim antara permukaan adhesi dengan permukaan pengisi yang pada akhirnya berdampak pada peningkatan kekuatan mekanik (Masturi, 2010).

www.itk.ac.id

### 2.8 Perlakuan Kimia

Perlakuan larutan kimia (*alkali treatment*) pada serbuk bertujuan untuk menghilangkan lapisan lignin pada permukaan serbuk. Lapisan tersebut yang dapat menyebabkan rendahnya ikatan antara serbuk pengat dengan matrik (Panigrahi, 2004). Perlakuan alkali dapat menggunakan larutan KOH, LiOH, dan NaOH yang berpengaruh pada penguat yaitu dapat meningkatkan sifat-sifat dari

meningkatkan sifat-sifat dari penguat dan menghilangkan kotoran-kotoran yang ada pada serbuk. Berikut adalah reaksi dilakukannya proses perlakuan alkali pada serat yang terlihat pada reaksi persamaan berikut.



*Natrium hidroksida* (NaOH) merupakan basa yang paling umum digunakan dalam laboratorium pada perlakuan alkali. *Natrium hidroksida* (NaOH) murni berbentuk putih padat dan bersifat lembab cair serta secara spontan menyerap karbondioksida dari udara bebas permukaan serbuk. NaOH memiliki pengaruh terhadap kekuatan serbuk karena proses alkalisasi dapat menghilangkan komponen penyusun serbuk yang kurang efektif yaitu hemiselulosa, lignin atau pectin (Fitriyan, 2014).

## 2.9 Fraksi Volume Komposit

Pada proses pencetakan, resin ditambahkan dengan hardener, katalis atau akselerator, dicampur secara manual atau secara mekanis, dan kemudian dituangkan ke dalam cetakan, yang mana secara normal dilapisi dengan bahan *release agent* pada cetakan. Penghapusan udara dilakukan jika diperlukan dan resin dapat berubah menjadi padat. Cetakan untuk proses pengecoran dibuat dari beberapa jenis bahan, termasuk kayu, tanah liat, kaca, logam, karet dan lateks (untuk bahan yang fleksibel), dan plastik. Untuk memfasilitasi pelepasan coran dari cetakan menggunakan *releasing agent* seperti wax, minyak silicon, lemak, dan beberapa pertimbangan, pilihan untuk bahan pelepasan didasari dari kekurangan interaksi antara sistem resin dan bahan pelepas (Ebewele, 2000).

Dengan pemberian resin, perlakuan permukaan dari serbuk adalah faktor kritis dan menemukan sidat dasar dan tingkatan dari pelekatan yang dapat diterima antara serbuk matrik. Sebagian hasil pada kegagalan bahan, serbuk akan berpisah dari matrik dengan jelas (Akay, 2015).

Menurut Akay 2015 dibawah ini adalah perhitungan pencampuran bahan komposit berdasarkan fraksi volume bahan pengikat (matrik) dan volume serbuk:

Volume cetakan ( $V_{cetak}$ ) komposit

$$V_{cetak} = P_{cetak} \times L_{cetak} \times t_{cetak} \quad (2.1)$$

Dengan  $V_{cetak}$  adalah volume cetakan ( $\text{cm}^3$ ),  $P_{cetak}$  adalah panjang cetakan (cm),  $L_{cetak}$  adalah lebar cetakan (cm), dan  $t_{cetak}$  adalah tebal cetakan (cm).

Volume Serbuk ( $V_{serat}$ ) terhadap volume matrik

$$V_{serat} = \frac{V_{cetak} \times FV}{100\%} \quad (2.2)$$

Dengan  $V_{serat}$  adalah volume serat ( $\text{cm}^3$ ),  $V_{cetak}$  adalah volume cetakan ( $\text{cm}^3$ ),  $FV$  adalah fraksi volume yang digunakan (%).

Massa serat ( $M_{serat}$ ) terhadap volume serat

$$M_{serat} = V_{serat} \times \rho_{serat} \quad (2.3)$$

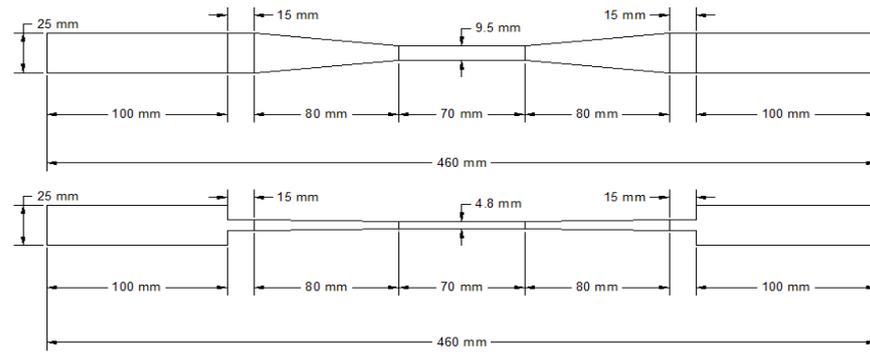
Dengan  $M_{serat}$  adalah massa serat (gr),  $V_{serat}$  adalah volume serat ( $\text{cm}^3$ ) dan  $\rho_{serat}$  adalah massa jenis serbuk ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

## 2.10 Sifat Mekanik Kayu Gelam

Menurut Renna dkk 2016 sifat mekanik kayu adalah sifat yang berhubungan dengan ukuran kemampuan kayu untuk menahan gaya luar yang membebani kayu. Kayu yang dibebani ini akan menyebabkan tegangan dalam kayu dan dapat merubah bentuk kayu. Adapun sifat-sifat mekanik kayu, yaitu:

### 2.10.1 Pengujian Tarik

Menurut SNI 03-3399-1994 tentang metode pengujian kuat tarik kayu tempat pengujiannya di laboratorium. Metode pengujian Kuat Tarik Kayu Bangunan Struktural dimaksudkan untuk dipakai sebagai acuan dan pegangan dalam pengujian kuat tarik kayu sejajar serat. Tujuan metode pengujian ini adalah untuk memperoleh nilai kuat tarik sejajar serat kayu. Ketentuan benda uji meliputi ukuran dan bentuk benda uji untuk kuat tarik sejajar, serat harus memenuhi ketentuan seperti pada gambar 2.7.



Gambar 2.8 Sketsa Benda Uji Kayu Sejajar Serat  
Sumber: SNI 03-3399-1994

Perhitungan Kuat tarik dari benda uji dihitung dengan Persamaan sebagai berikut:

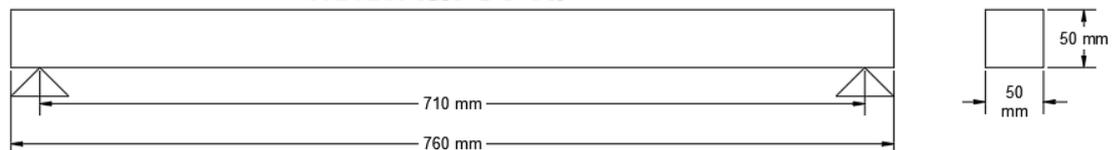
$$ft = \frac{P}{b.h} \quad (2.4)$$

Dimana:

- $Ft$  = Kuat tarik
- $p$  = Beban maksimum
- $b$  = Lebar (mm)
- $h$  = Tinggi (mm)

### 2.10.2 Pengujian Lentur

Menurut SNI 03-3959-1995 tentang metode pengujian kuat lentur kayu tempat pengujiannya di laboratorium. Metode pengujian Kuat lentur pada kayu Bangunan Struktural dimaksudkan untuk dipakai sebagai acuan dan pegangan dalam pengujian kekuatan lentur kayu. Tujuan metode pengujian ini adalah untuk memperoleh nilai kuat lentur kayu. Pada Benda uji harus memenuhi ketentuan dengan bentuk dan ukuran (50 x 50 x 760) mm seperti pada gambar 2.8.



Gambar 2.9 Sketsa Bentuk dan Ukuran Benda Uji  
Sumber: SNI 03-3959-1995

Perhitungan kuat lentur dari benda uji dihitung dengan Persamaan sebagai berikut:

$$f_b = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (2.5)$$

Dimana:

$P$  = beban uji maksimum

$L$  = jarak tumpuan

$b$  = lebar benda uji

$h$  = tinggi benda uji

$fb$  = kuat lentur

www.itk.ac.id

## 2.11 Sifat Mekanik Komposit

Sifat mekanis komposit adalah sifat yang berhubungan dengan ukuran kemampuan komposit untuk menahan gaya luar yang membebani komposit. Komposit yang dibebani ini akan menyebabkan tegangan dalam komposit dan dapat merubah bentuk komposit. Adapun sifat-sifat mekanis komposit, yaitu:

### 2.11.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik dan regangan dari matrik, maupun komposit partikel. Metode yang digunakan adalah benda uji dijepit pada mesin uji dengan pembebanan perlahan-lahan meningkat sampai suatu beban tertentu hingga benda uji patah. Beban tarik yang bekerja pada benda uji akan menimbulkan pertambahan panjang disertai pengencilan diameter benda uji. (Suryawan,2019) Perbandingan antara pertambahan panjang ( $\Delta L$ ) dengan panjang awal benda uji ( $L$ ) disebut regangan.

Untuk mengetahui kekuatan tarik dan regangan dari matrik maupun komposit serat dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan berikut :

#### 1. *Engineering Stress (Tensile Strength)*

Gaya per unit luas dari material yang menerima gaya tersebut. Adapun persamaan 2.6 yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.6)$$

Dimana:

$\sigma$  = kekuatan tarik (MPa)

$P$  = beban maksimal (Kg)

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

(Saba, 2019)

## 2. Engineering Strain (Tensile Strain)

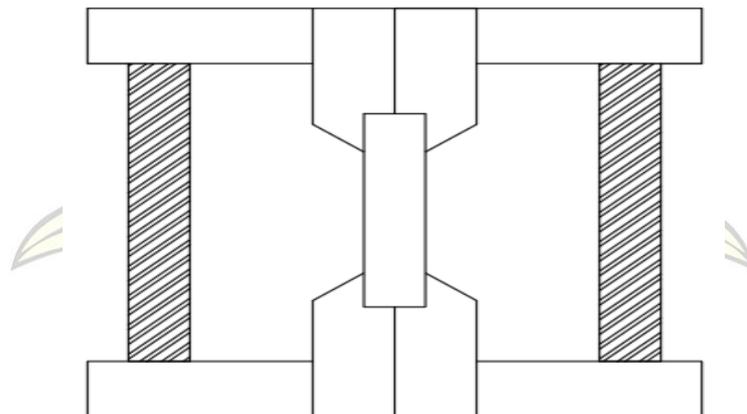
Ukuran perubahan panjang dari suatu material. Adapaun persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \quad (2.7)$$

Dimana:

- $\varepsilon$  = regangan (%)  
 $\Delta L$  = pertambahan panjang (mm)  
 $L_0$  = panjang mula-mula (mm)

(Saba, 2019)

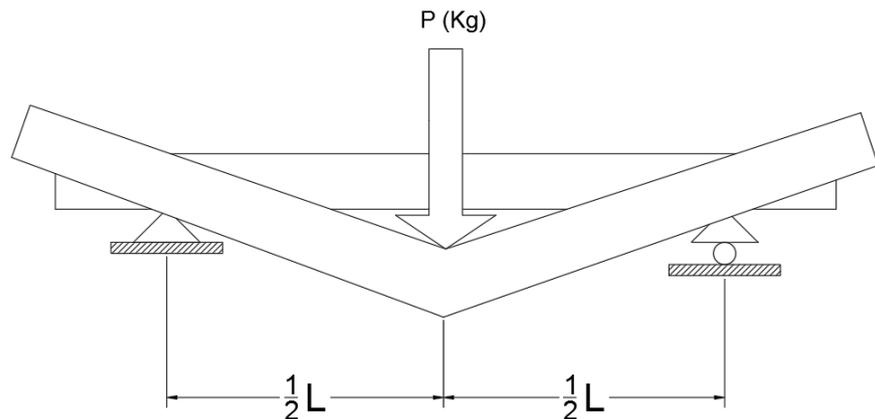


Gambar 2.10 Sketsa Alat Uji Tarik  
Sumber : (Saba, 2019)

### 2.11.2 Pengujian Bending

Menurut Khamid 2011 pengujian bending merupakan pengujian kekuatan lentur (bending) yang dapat mengetahui ketahanan komposit terhadap pembebanan pada titik lentur. Selain itu, pengujian ini dapat mengetahui elastisitas suatu bahan. Pada umumnya alat uji bending memiliki beberapa bagian utama, seperti: rangka, alat tekan, point bending dan alat ukur. Rangka harus memiliki kekuatan lebih besar dari kekuatan alat tekan, agar tidak terjadi kerusakan 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 menunjukkan besarnya kekuatan tekan yang terjadi pada benda uji. Desain spesimen uji komposit serat lontar dibuat berdasarkan standar ASTM D790 untuk pengujian bending bisa dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.11 Sketsa Proses Uji Bending  
Sumber : Khamid 2011

Pada material simetris kekuatan bending dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\sigma = \frac{3 PL}{2 bd^2} \quad (2.8)$$

Dimana:

$\sigma$  = kekuatan bending (MPa)

$P$  = beban yang diberikan (N)

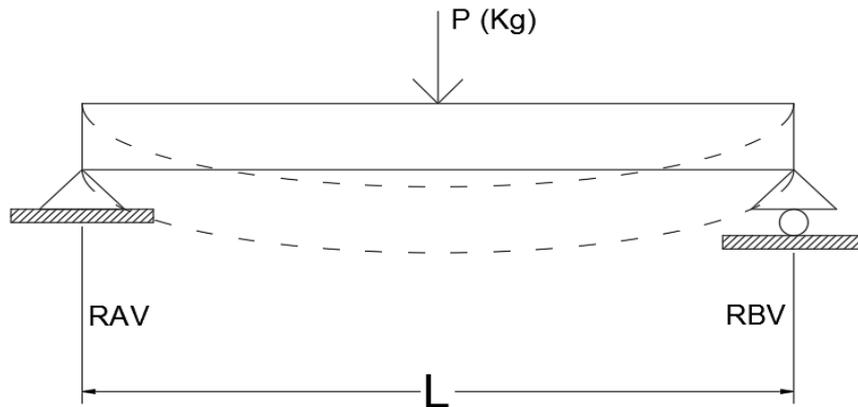
$L$  = support span (mm)

$b$  = lebar spesimen (mm)

$d$  = tebal spesimen (mm) .itk.ac.id

## 2.12 Tegangan Lentur

Tegangan lentur terjadi bila balok memikul beban dan terjadi lenturan pada balok. Tegangan lentur dengan notasi ini dipengaruhi oleh besarnya gaya dalam momen yang terjadi. Balok pada gambar 2.9 menerima beban yang mengakibatkan balok tersebut melentur. Dengan demikian balok tersebut akan menerima gaya dalam momem (M). (M.Shofi'ul Amin).



Gambar 2.12 Sketsa Balok yang Mengalami Lentur  
 Sumber : M.Shofi'ul Amin

Tegangan lentur berbanding lurus dengan dikalikan dengan momen dan jarak serat yang ditinjau terhadap garis netral atau titik beratnya dan berbanding terbalik dengan momen inersia balok tersebut. Adapun persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} \quad (2.9)$$

Dimana:

- $\sigma$  = tegangan lentur
- $M$  = momen ultimate
- $y$  = jarak serat ke garis netral
- $I$  = momen inersia terhadap sumbu x

### 2.13 Beton Bertulang

Menurut SNI 03-2847-2002 beton bertulang merupakan beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja. Penambahan tulangan baja pada beton bertulang ini dikarenakan beton mempunyai sifat kuat terhadap gaya tekan tetapi lemah terhadap gaya tarik. Sehingga penambahan tulangan bertujuan agar beton mampu menahan gaya tarik yang terjadi. Beton bertulang umumnya dipakai pada struktur pelat lantai, balok dan kolom bangunan, struktur jembatan, pondasi pada bored pile dan sebagainya. Beton bertulang yang digunakan pada struktur balok

umumnya terdiri dari tulangan longitudinal dan tulangan sengkang. Tulangan longitudinal berfungsi untuk menahan gaya tarik yang terjadi pada balok sedangkan tulangan sengkang berfungsi untuk menahan gaya geser yang terjadi. (Edward, 1998).

Dengan adanya kelebihan masing-masing elemen tersebut, maka konfigurasi antara beton dan tulangan baja diharapkan dapat saling bekerjasama dalam menahan gaya-gaya yang berkerja dalam struktur tersebut, dimana gaya tekan ditahan oleh beton, dan tarik ditahan oleh tulangan baja. (Naibaho, 2008)

Elemen balok beton bertulang pada umumnya diberikan tulangan tunggal atau tulangan rangkap. Tulangan tunggal merupakan tulangan longitudinal (tulangan memanjang) yang dipasang pada serat beton yang mengalami tegangan tarik.

Menurut SNI 03-2847-2002 dalam penentuan tulangan, perlu mengetahui rasio tulangan terlebih dahulu. Rasio tulangan merupakan nilai perbandingan anatar luas besi tulangan pada suatu penampang dengan luas beton. Untuk penampang balok dapat dihitung rasio tulangan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\rho = \frac{A_s}{b.d} \quad (2.10)$$

Keterangan:

$\rho$  = rasio tulangan

$A_s$  = Luas Tulangan

$b$  = lebar beton

$d$  = tinggi beton sampai titik tengah tulangan.

Adapun persamaan untuk menghitung batas bawah rasio dapat pada persamaan dibawah ini.

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f'c}}{4.f_y} \quad (2.11)$$

Keterangan:

$\rho_{\min}$  = rasio tulangan minimum

$f'c$  = mutu beton

$f_y$  = tegangan leleh

Nilai rasio minimum harus lebih besar dengan  $1,4/f_y$ . Jika nilai rasio minimum lebih kecil dari  $1,4/f_y$ , maka nilai yang digunakan adalah  $1,4/f_y$ .

Untuk mencari nilai rasio tulangan maksimum digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\rho_{maks} \leq 0,75 \cdot \rho_{bal} \quad (2.12)$$

Rasio tulangan = (0,4 hingga 0,5) rasio balance adalah yang ideal agar terdapat ruang yang cukup untuk penempatan tulangan dapat membatasi retak dan lendutan yang terjadi. Dalam menghitung rasio maksimum terlebih dahulu harus mencari nilai rasio balance yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\rho_{bal} = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2.13)$$

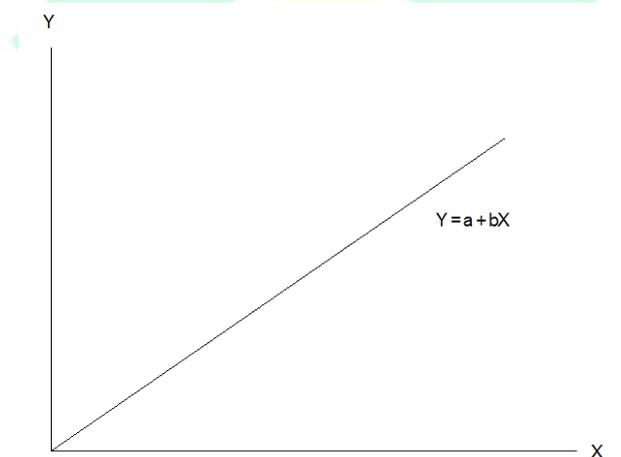
Keterangan:

$\rho_{maks}$  = rasio tulangan maksimum

$\rho_{bal}$  = rasio tulangan balance

#### 2.14 Regresi Linear Sederhana

Berdasarkan I Made Yuliara persamaan regresi linear sederhana merupakan suatu model persamaan menggambarkan hubungan satu variabel bebas bisa disebut dengan *predictor* (X) dengan satu variasi bebas bisa disebut dengan *response* (Y), yang biasanya digambarkan dengan garis lurus. Seperti disajikan digambar 2.13.



Gambar 2.13 Ilustrasi Garis Regresi Linear  
Sumber : I Made Yuliara

Persamaan regresi linear sederhana secara matematik diekspresikan oleh:

$$Y = a + bX \quad (2.14)$$

Untuk mencari nilai besarnya konstanta a dan b dapat ditentukan persamaan dibawah ini.

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{n\sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (2.15)$$

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n\sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (2.16)$$

n adalah jumlah data

Adapun langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk melakukan analisis dan uji regresi linear sederhana adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan tujuan dari analisis regresi linear sederhana
- b. Mengidentifikasi variabel X dan variabel Y
- c. Melakukan pengumpulan data dalam bentuk tabel
- d. Menghitung X kuadrat, XY dan total dari masing-masingnya
- e. Menghitung a dan b menggunakan rumus yang telah ditentukan
- f. Membuat model persamaan garis regresi
- g. Melakukan prediksi terhadap variabel X dan Y

Untuk mengukur kekuatan hubungan antara variabel X dan variabel Y, dilakukan analisis korelasi yang hasilnya dinyatakan oleh suatu bilangan yang dikenal dengan koefisien korelasi. Biasanya analisis regresi sering dilakukan bersama-sama dengan analisa korelasi. Persamaan koefisien (r) ditentukan dibawah ini.

$$r = \frac{n\sum_{i=1}^n XiYi - \left(\sum_{i=1}^n Xi\right)\left(\sum_{i=1}^n Yi\right)}{\sqrt{\left[n\sum_{i=1}^n Xi^2 - \left(\sum_{i=1}^n Xi\right)^2\right]\left[n\sum_{i=1}^n Yi^2 - \left(\sum_{i=1}^n Yi\right)^2\right]}} \quad (2.17)$$

## 2.15 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan sebagai berikut :

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

No.	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1.	Diharjo, 2006	<p>Metode : Perlakuan kimia 5% NaOH selama 0,2,4 dan 6 jam. Setelah direndam, serbuk rami dicuci menggunakan air dan dikeringkan secara alami menggunakan cahaya matahari. Komposit dibuat dengan metode cetak tekan.</p> <p>Hasil : Kekuatan dan regangan tarik komposit memiliki hasil yang optimum pada perlakuan 5% NaOH selama 2 jam, yaitu 190,27 Mpa dan 0,44%. serta patahan serbuk rami dengan perlakuan mengindikasikan tanpa adanya <i>fiber pull out</i>. Sedangkan serbuk tanpa perlakuan didominasi kegagalan <i>fiber pull out</i>.</p>
2.	Salleh DKK, 2012	<p>Metode : <i>Hand lay up</i> dan <i>cold press</i> jenis <i>hybrid composite</i> dengan <i>unsaturated polyester resins</i>.</p> <p>Hasil : jenis <i>hybrid composite</i> kemudian di lakukannya proses penyusunan lamina komposit menggunakan metode <i>hand lay up</i> dan kemudian dilanjutkan menggunakan metode <i>cold press</i> pada <i>hybrid composite</i> yang telah dicetak pada cetakan logam berukuran 300mm x 210mm x 3mm dengan <i>cold press</i> 10 kN/m<sup>2</sup> ditahan selama 20 menit pada temperatur kamar untuk memastikan homogenitas laminasi tanpa gelembung udara (<i>Void</i>).</p>
3.	Witono Dkk, 2013	<p>Metode : Perlakuan kimia dengan Variasi konsentrasi (2,5%, 5% dan 7,5%), variasi lama perendaman (2, 4 dan 6 jam) dan interaksi kedua variasi pada perlakuan alkali (NaOH) terhadap kekuatan tarik serbuk mendong.</p> <p>Hasil : Konsentrasi alkali, variasi lama perendaman</p>

---

dan interaksi kedua variasi berpengaruh terhadap kekuatan tarik. Kekuatan tarik serbuk mendong yang telah mengalami perlakuan alkali cenderung meningkat, kemudian cenderung menurun setelah melampaui kadar NaOH dan lama perendaman tertentu. Kekuatan tarik pada konsentrasi 5% dengan lama perendaman 2 jam menghasilkan kekuatan tarik tertinggi yaitu 497,34 MPa.

- 
4. Pratama, 2016 Metode : komposit papan partikel menggunakan bahan serbuk dari tongkol jagung jumlah resin (*polyester*) 30% dari massa bahan dengan variasi ukuran mesh 8, 16, dan 30, katalis 1 % dari massa resin, lama waktu pengempaan 20 menit, temperatur mesin *hot press* 150°C, tekanan mesin *press* 160 Pa (0,0016 bar) setelah itu di lakukan pengeringan papan partikel di udara bebas selama 15 hari.  
Hasil : dari penelitian ini ingin didapatkn data konduktifitas termal papan partikel 8 mesh 0,1012 W/m°C, 16 mesh 0,1320 W/m°C dan 30 mesh 0,2090 W/m°C. dari ketiga variasi mesh diatas menunjukan mesh 30 memiliki nilai konduktivitasnya tinggi, sehingga semakin besar ukuran mesh yang digunakan nilai konduktivitasnya termal dari papan partikel semakin besar dan baik. Sehingga pengaruh ukuran partikel semakin kecil pada papan komposit maka semakin besar nilai konduktivitasnya.
- 
5. Irfa, 2016 Metode : Komposit tersusun dari 3 lamina serbuk ijuk acak yang telah di *treatment* NaOH (5%), resin *polyester* dengan fraksi volume serbuk 20%, 30%, 40%, 50% dan 60%. Serbuk direndam dalam larutan NaOH 5% dengan lama waktu perendaman 0, 2, 4, 6 dan 8 jam. Pembuatan komposit menggunakan
-

---

metode *hand lay up*.

Hasil : Komposit poliester berpenguat serbuk ijuk memiliki kekuatan impak tertinggi 0,9703 joule pada fraksi volume serbuk 30% dengan lama waktu perendaman optimal ialah selama 2 jam.

---

6. Indra, 2016

Metode : Pembuatan komposit termoplastik serbuk alam dengan tekan panas (*hot press*) dengan tekanan 50 bar selama 25 menit

Hasil : Pengaruh bertambahnya temperatur *hot press* menyebabkan ikatan antar muka antara matrik dan serbuk kurang baik, maka yang terjadi adalah serbuk hanya akan berperan sebagai pengotor dalam spesimen, akibatnya kekuatan *Bending* menjadi menurun. Penurunan kekuatan *Bending* dari temperatur hotpress 150°C hingga 180°C mengalami penurunan. Pengamatan foto SEM menunjukkan bahwa kekuatan ikatan antar muka antara matrik dan serbuk ditandai dengan tidak terselubungi dengan baik antara matik dan serbuk mengakibatkan terjadi pullout dan serbuk terlepas dari matrik.

---

7. Ningrum, 2019

Metode : Komposit dari serbuk Kayu Galam - poliester melalui metode *hand lay up*

Hasil : Bentuk serbuk berpengaruh terhadap sifat kelenturan, ketangguhan dan kekuatan tarik dari komposit, dimana komposit yang memiliki serbuk berbentuk serbuk 70% memiliki nilai yang optimum dibandingkan serbuk berbentuk serutan. Dengan kekuatan tarik sebesar 14,678 MPa, kekuatan tekuk kayu galam sebesar 118,32 MPa dengan komposit berpenguat serbuk 70% sebesar 53,12 MPa dan nilai optimum dari kekuatan impak berada pada kayu

---

	<p>galam sebesar 955,43 MPa dengan komposit berpenguat serbuk 70% sebesar 755,48 Mpa. Pada morfologi patahan pada serbuk menunjukkan <i>fiber pull out</i> pada serbuk.</p>
8. Roberto, 2017	<p>Metode : Menggunakan metode <i>hand lay up</i> dengan proses <i>curing</i> dengan temperature 60°C, 80 °C dan 100°C selama 3 jam, merendam serbuk dengan NaOH (5%) selama 2 jam, pengeringan serbuk dibawah sinar matahari selama 3 jam</p> <p>Hasil : komposit dengan matriks epoksi 92% dan 8% serbuk buah pinang dengan oreintasi serbuk acak, digabungkan di atas cetakan kaca berukuran 20cm x 30 cm x 0,5 cm. komposit diberikan perlakuan <i>curing</i> dengan variasi temperature 60°C, 80°C dan 100°C selama 3 jam. Dihasilkan nilai kekuatan Tarik rata-rata terbesar pada komposit yang diberikan perlakuan curing 100°C yaitu 39.177 Mpa. Kenaikan kekuatan Tarik komposit ini mencapai 24,13% dari nilai kekuatan tarik tanpa <i>curing</i>. Nilai regangan rata-rata terbesar terdapat pada komposit yang mendapatkan perlakuan <i>curing</i> temperature 60°C yaitu 2,67%. Perlakuan curing temperature 60°C-100°C meningkatkan nilai regangan dari mula-mula (tanpa <i>curing</i>) 2,27% menjadi 2,67% setelah perlakuan curing, dan nilai modulus elastisnya terbesar terdapat pada komposit perlakuan <i>curing</i> temperature 100°C yaitu 15,199 Mpa.</p>
9. Sihotang, 2016	<p>Metode : Menggunakna metode <i>hand lay up</i> dengan variasi curing 80°C, 100 °C dan 120°C selama 3 jam, melakukan perlakuan alkali dengan NaOH (5%) selama 2 jam pada serbuk, dikeringkan di udara terbuka</p>

---

Hasil : komposit ini menggunakan perbandingan 69,7 resin *polyester*, 0,3% katalis dan 30% serbuk serabut kelapa. Ukuran cetakan yang dibuat 30cm x 20cm x 0,5 cm. Komposit dengan temperature *curing* 80°C sebesar 17,88 Mpa, regangan sebesar 1,01% dan modulus elastisitas sebesar 1770,3 Mpa. Kekuatan tarik rata-rata pada komposit dengan temperature *curing* 100°C sebesar 22,92 Mpa regangan sebesar 0,84% dan modulus elastisitas 2728,57 Mpa. Kekuatan tarik pada komposit temperature *curing* 120°C sebesar 18,24 Mpa, regangan 1% dan modulus elastisitas 1824 Mpa. Kekuatan tarik dan modulus elastisitas rata-rata yang terbaik pada komposit adalah dengan perlakuan *curing* 100°C, dan regangan rata-rata yang terbaik pada komposit dengan perlakuan *curing* di bawah 60°C.

---

10. Irfandi, 2017

Metode: Menggunakan metode *Compression molding* dengan serbuk tempurung kelapa ukuran 80 mesh dan matriks polipropilen, perbandingan matriks dan serat

Metode: Menggunakan metode *Compression molding*

dengan serbuk tempurung kelapa ukuran 80 mesh dan matriks polipropilen, perbandingan matriks dan serat dengan serbuk tempurung kelapa ukuran 80 mesh dan matriks polipropilen, perbandingan matriks dan serat 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30 dengan tekanan 400 kN/m<sup>2</sup> (40 bar) selama 15 menit dengan *hot press* 1700°C dan didinginkan pada temperatur ruangan.

Hasil: Dari hasil penelitian ditunjukkan bahwa nilai sifat fisis papan partikel komposit polipropilena dan serbuk tempurung kelapa yang dihasilkan memenuhi standar SNI 03 – 2105 – 2006

---

---

11. Agustin, 2020

Metode : Menggunakan metode *Compression Molding* dengan curing 100 °C selama 15 menit, melakukan perlakuan alkali dengan NaOH (5%) selama 2 jam pada serbuk, dikeringkan dengan cahaya matahari

Hasil : komposit ini menggunakan perbandingan 60% resin *polyester*, dan 30% serbuk kayu bangkirai dan kayu kapur Untuk pengujian penelitian ini ada uji tarik komposi, uji bending, uji kekerasan, dan uji SEM. Perbandingan sifat mekanik dari kayu bangkirai, kayu kapur, komposit serbuk kayu bangkirai dan serbuk kayu kapur, terdapat rata-rata peningkatan nilai sifat mekanik setelah di jadikan komposit dengan matriks *polyester*. Untuk kayu bangkirai mengalami kenaikan 18 MPa pada kekuatan tarik, kekuatan *bending* mengalami kenaikan 305,75 MPa, Modulus elastisitas mengalami kenaikan 4.646,46 MPa, dan kekerasan mengalami kenaikan 9,27 kgf/mm<sup>2</sup>, untuk kayu kapur mengalami kenaikan 24,83 MPa pada kekuatan tarik, kekuatan *bending* mengalami kenaikan 358,51 MPa, Modulus elastisitas mengalami kenaikan 5.348,46 MPa, dan kekerasan mengalami kenaikan 11,92 kgf/mm<sup>2</sup>. Dari hasil pola patahan pengujian tarik sesuai pengamatan SEM menunjukkan jika komposit berpenguat serbuk kayu bangkirai dan kayu kapur dengan matriks *polyester* memiliki bentuk partikel yang berbeda pada *filler* komposit serbuk kayu bangkirai partikel yang dihasilkan cenderung pipih, dan untuk *filler* komposit serbuk kayu kapur cenderung berbentuk butiran bulat yang menyebar merata pada matriks.