

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1`Tinjauan Pustaka

Pengaruh jenis matriks terhadap sifat tarik komposit kulit waru telah diteliti Wirawan dkk. (2017) dengan variasi jenis matriks *polyester*, *epoxy*, *repxy*, dan *bisphenol*. Serat kulit waru terlebih dahulu diberi perlakuan alkali (NaOH) 6% selama 120 menit. Komposit dibuat dengan menggunakan metode *vaccum pressure resin infusion* dengan tekanan mencapai 68 cmHg dan spesimen dicetak sesuai ASTM D638-03 untuk pengujian tarik. Serat dimasukkan dalam cetakan, ditutup menggunakan die cetakan atas, kemudian dipress menggunakan plastik bag. Resin masuk melalui saluran inlet dan membasahi serat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komposit dengan resin *polyester* memperoleh nilai tegangan tarik maksimum sebesar 337,78 MPa. *Polyester* memiliki viskositas yang rendah sehingga resin dapat merasuk dalam serat secara baik. Sementara komposit dengan resin *epoxy* memiliki viskositas sangat tinggi sehingga sulit untuk merasuk ke dalam serat. Namun, hal ini berdampak pada peningkatan regangan.

Penelitian tentang pengaruh perlakuan pada serat untuk meningkatkan sifat mekanis komposit *epoxy/kenaf* telah dilakukan Abu Bakar dkk. (2010) dengan alkalisasi menggunakan 4% larutan NaOH selama 24 jam dan variasi fraksi volume serat 5, 10, 15, 20, dan 25%. Pembuatan komposit menggunakan metode *hot press* dengan tekanan 8 MPa pada suhu 100°C dan ditahan selama 20-25 menit. Pengujian mekanis yang dilakukan ialah uji bending ASTM D790-96 dan uji impak ASTM D256-88. Kekuatan lentur terbaik diperoleh pada fraksi volume serat 25% dengan nilai 53,4 MPa dan modulus lentur sebesar 4,2 GPa. Kekutan impak terbaik diperoleh pada fraksi volume serat 15% dengan nilai 5,12 kJ/m².

Jaafar dkk. (2018) melakukan penelitian tentang penambahan *silica* sebagai penguat komposit *epoxy/kenaf* dengan variasi *silica* 10, 15, 20, 25, dan 30% yang dapat meningkatkan sifat mekanis komposit. Metode pembuatan komposit menggunakan *hand lay up* dengan tekanan 1 kg dan dipanaskan pada suhu 80°C selama 2 jam, kemudian dilanjutkan pemanasan dengan suhu 110°C selama 1 jam.

Pengujian mekanis yang dilakukan ialah uji bending ASTM D790 dan uji impak ASTM D6110. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *silica* sebanyak 20% menghasilkan sifat mekanis terbaik yaitu kekuatan impak 3,1 kJ/m², kekuatan lentur 44,5 MPa, dan modulus lentur 2,7 GPa.

Jaafar dkk. (2018) melakukan penelitian tentang komposit *epoxy/kenaf* yang diperkuat *silica* 20 % dan dilakukan perlakuan alkalisasi pada serat dengan variasi 0, 3, 6, dan 9% NaOH selama 24 jam untuk meningkatkan sifat mekanis komposit. Setelah perlakuan alkalisasi selesai, serat dicuci dengan air sebanyak tiga kali untuk menghilangkan sisa NaOH di permukaan. Setelah itu serat dikeringkan pada suhu kamar selama 48 jam. Kemudian proses pasca-pengeringan dilakukan dalam oven pada suhu 100°C selama 6 jam. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa perlakuan alkalisasi 3% pada serat menghasilkan sifat mekanis terbaik, dengan kekuatan impak sebesar 10,6 kJ/m², kekuatan lentur 54,1 MPa, dan modulus lentur 3,5 GPa.

Analisa sifat mekanis material komposit serat sabut kelapa/*polyester* 157 *BQTN* dilakukan Oroh dkk. (2013) dengan fraksi volume berbeda dan perlakuan alkali (NaOH) 5% selama 2 jam dan tanpa perlakuan. Tujuan penelitian tersebut adalah untuk mengetahui kekuatan bending yang optimal dari variasi fraksi volume serat 0 sampai 70%. Hasil penelitian menunjukkan fraksi volume serat 30% dengan alkalisasi NaOH 5% selama 2 jam menghasilkan nilai optimum tegangan bending yaitu 115,05 MPa.

Studi pengaruh fraksi volume terhadap ketangguhan impak komposit *polyester/kenaf* dilakukan Daroini dkk. (2014) dengan variasi fraksi volume 0, 30, 35, 40, dan 45%. Pembuatan komposit dilakukan dengan metode *hand lay up* dan penekana cetakan menggunakan binder klip dan dikeringkan pada suhu ruang selama 9-10 jam. *Polyester* yang digunakan adalah 157 *BQTN* dengan penambahan katalis *Metyl Etyl Ketone Perokside* (MEKPO) untuk mempercepat pembekuan resin. Ketangguhan impak maksimum diperoleh pada fraksi volume serat 35% yaitu $4,576 \times 10^2$ J/mm².

Hermawan dkk. (2016) melakukan analisa sifat mekanis biokomposit laminat serat tebu/*polyester* dengan variasi fraksi volume 10, 15, dan 20%, dan orientasi arah serat 0°-90°, 45°-45°, dan acak. *Polyester* yang digunakan adalah *SHCP 268*

BQTN dengan penambahan katalis MEKPO 1%. Serat direndam dalam larutan alkali NaOH 5% selama 2 jam, kemudian dilakukan netralisasi dengan perendaman air selama 3 hari. Proses pembuatan komposit menggunakan metode cetak tekan. Spesimen komposit laminat tersebut dilakukan *post cure* dalam oven dengan suhu 62°C selama 4 jam, dan sebelum pengujian dilakukan spesimen dioven pada suhu 60°C selama 3 jam agar tidak ada delaminasi. Dari hasil analisa disimpulkan bahwa nilai kekuatan impak dan kekuatan tarik maksimum terdapat pada fraksi volume serat 20% dan arah serat acak dengan masing-masing sebesar 0,76 J/mm² dan 1,719 N/mm².

Pengaruh perbandingan tebal lapisan terhadap sifat mekanis komposit serat pandan berduri acak dan kontinyu bermatriks *polyester* telah dilakukan Bastian (2017). Komposit dibuat dengan satu fraksi volume yaitu 25% serat dan 75% matriks, dengan variasi penyusunan serat kontinyu dan acak. Serat terlebih dahulu diberi perlakuan alkali (NaOH) 2,5% selama 2 jam, kemudian direndam air selama 1 minggu untuk mempermudah pengambilan serat. Resin yang digunakan adalah *polyester 268 BQTN*. Pengujian mekanis yang dilakukan ialah uji tarik ASTM D638-01 dan uji impak D256. Hasil penelitian menunjukkan variasi serat 2 lapis acak dan 2 lapis lurus mempunyai nilai kekuatan impak tertinggi yaitu 0,03 J/mm². Sementara untuk kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada variasi serat kontinyu keseluruhan sebesar 43,36 MPa.

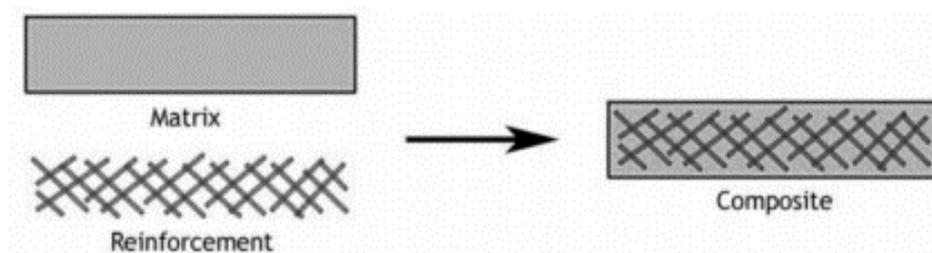
Analisa sifat mekanis komposit kenaf/*polyester* dengan dan tanpa penambahan 3% *liquid natural rubber* (LNR) telah dilakukan oleh Bonnia dkk. (2012) dengan variasi fraksi volume serat 5, 10, 15, 20, dan 25 %. Resin yang digunakan adalah *polyester reversol UN* dengan penambahan katalis MEKPO dan *hardener cobalt octnol* 1%. LNR dan resin diaduk selama 30 sebelum dituangkan pada cetakan. Dari hasil pengujian, kekuatan impak maksimum terdapat pada fraksi volume serat 25% dengan penambahan LNR yaitu sebesar 9 kJ/m², sementara untuk kekuatan lentur maksimum terdapat pada fraksi volume serat 25% dengan penambahan LNR yaitu sebesar 74 MPa. Hasil morfologi dapat diketahui bahwa antara serat dan matriks tidak berikatan dengan baik, lubang debonding terjadi sepanjang serat dikarenakan interaksi antar muka.

Analisis penyerapan air pada komposit *epoxy/kenaf/silica* dilakukan oleh Bajuri dkk. (2018) dengan perendaman selama 80 hari. Uji daya serap air menggunakan ASTM D570-98, sampel ditimbang pada 3, 6, 24, 48, 72, dan 96 jam untuk minggu pertama. Kemudian penimbangan dilakukan setiap satu sampai dua minggu selama lebih kurang dua setengah bulan. Pada hari pertama spesimen menyerap air secara signifikan, hal ini terjadi pada semua variasi kemudian melambat secara bertahap. Komposit dengan fraksi volume serat 50% dan *nanosilica* 5% memiliki daya serap air terendah yaitu 13,44%. Penambahan *nanosilica* dapat membantu mengurangi tingkat penyerapan air karena bisa menutup pori-pori komposit.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Komposit

Komposit adalah suatu material baru hasil rekayasa yang terdiri dari sedikitnya dua bahan dengan sifat fisik maupun kimia pada skala makroskopik yang berbeda, masing-masing sebagai pengikat (*matriks*) dan penguat (*filler*). Pembuatan komposit bertujuan untuk memperoleh sifat mekanis atau sifat spesifik tertentu, mempermudah *design* yang sulit pada manufaktur, dan menghemat biaya. Dengan adanya perbedaan dari bahan penyusunnya, maka perlu penambahan *wetting agent* supaya antar bahan tersebut dapat berikatan kuat. (Nayiroh, 2010). Penyusunan *matriks* dan *filler* pada pembuatan komposit dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Penyusunan Komposit (Onny, 2017)

2.2.2 Faktor-faktor yang Memengaruhi Kualitas Komposit

1. Faktor Serat

Serat mempunyai pengaruh sangat besar bagi komposit karena menjadi penopang kekuatan dari suatu komposit. Beberapa faktor yang memengaruhi kekuatan pada serat yaitu panjang serat, orientasi serat, dan jenis serat.

2. Faktor Matriks

Jenis matriks sangat memengaruhi kualitas suatu komposit, karena memiliki fungsi utama mentransfer tegangan ke serat dan membentuk ikatan koheren permukaan dengan serat.

3. Faktor Ikatan

Faktor ikatan antara matriks dengan *filler* sangat menentukan kualitas suatu komposit. Adanya *void* pada komposit menyebabkan ikatan antar muka kurang baik sehingga sifat mekanis menurun.

2.2.3 Klasifikasi Material Komposit

Menurut Nayiroh (2010) komposit berdasarkan bahan matriksnya dibagi menjadi 3 yaitu:

1. Komposit Matriks Keramik/*Ceramic Matrix Composite* (CMC)

CMC merupakan komposit yang menggunakan bahan keramik sebagai matriksnya. Komposit jenis ini bersifat keras.

2. Komposit Matriks Logam/*Metal Matrix Composite* (MMC)

MMC merupakan komposit yang menggunakan bahan logam sebagai matriksnya. Komposit jenis ini bersifat kuat.

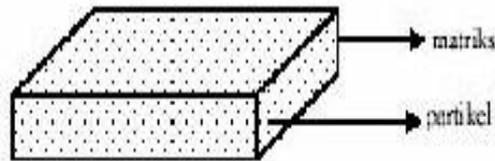
3. Komposit Matriks Polimer/*Polymer Matrix Composite* (PMC)

PMC merupakan komposit yang menggunakan bahan polimer sebagai matriksnya. Komposit jenis ini bersifat kuat.

Menurut Gibson (2012) komposit berdasarkan material penyusunnya diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu komposit partikel (*particulates composites*), komposit lamina (*laminates composites*), dan komposit serat (*fibrous composites*).

1. Komposit Partikel (*Particulates Composite*)

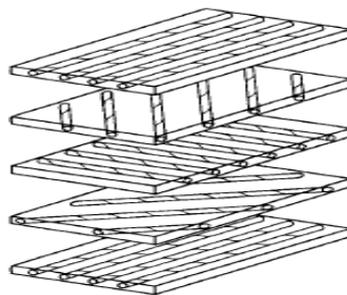
Komposit partikel tersusun dari satu atau lebih jenis partikel yang terikat dengan matriks. Partikel bisa berasal dari bahan logam atau non logam. Komposit partikel bisa dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Komposit Partikel (Jones, 1999)

2. Komposit Lamina (*Laminate Composite*)

Komposit lamina adalah komposit yang penyusunan antara matriks dengan bahan pengisinya tersusun secara berlapis-lapis. Pada komposit jenis ini matriks berbentuk lembaran laminat.. Komposit lamina dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Komposit Lamina (Jones, 1999)

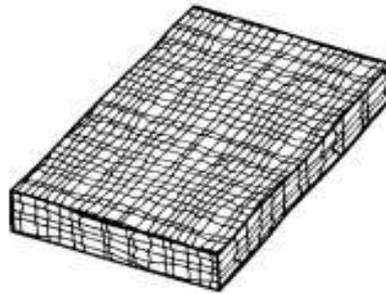
3. Komposit Serat (*Fibrous Composite*)

Komposit serat adalah komposit yang tersusun dari serat sebagai penguat dan terikat dengan matriks. Penguat komposit jenis ini bisa berasal dari serat alam maupun serat sintetis.

Berdasarkan orientasi seratnya, komposit serat diklasifikasikan menjadi empat yaitu komposit serat anyam (*woven fiber composite*), komposit serat panjang kontinyu (*continuous fiber composite*), komposit serat gabungan (*hybrid composite*), dan serat pendek acak (*discontinuous fiber composite*).

a. Komposit Serat Anyam (*Woven Fiber Composite*)

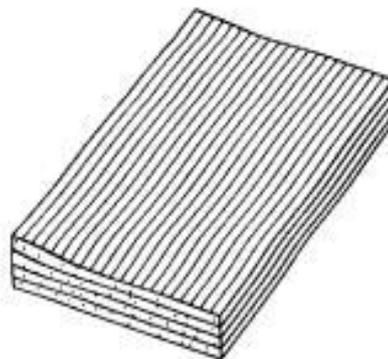
Komposit serat anyam merupakan komposit yang tersusun dari serat yang sudah dianyam. Komposit jenis ini dapat kita lihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Komposit Serat Anyam (Gibson, 2012)

b. Komposit Serat Panjang Kontinyu (*Continuous Fiber Composite*)

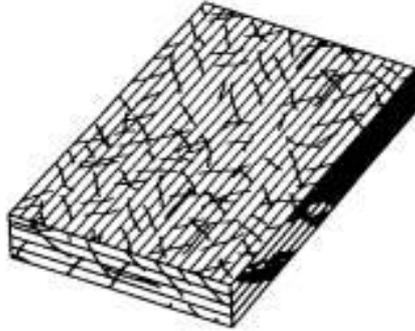
Komposit serat Panjang kontinyu tersusun dari serat yang berukuran panjang dan disusun secara teratur, seperti terlihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Komposit Serat Panjang Kontinyu (Gibson, 2012)

c. Komposit Serat Gabungan (*Hybrid Composite*)

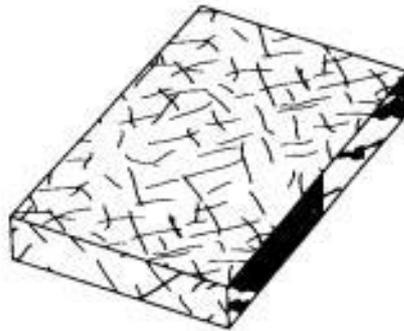
Komposit *hybrid* tersusun dari dua atau lebih jenis serat untuk meningkatkan sifat mekanis komposit dan menutupi kekurangan sifat kedua serat tersebut. Komposit jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Komposit Serat Gabungan (Gibson, 2012)

d. Komposit Serat Pendek Acak (*Discontinuous Fiber Composite*)

Komposit serat pendek acak tersusun dari serat berukuran pendek dan tersebar secara acak, seperti yang terlihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Komposit Serat Pendek Acak (Gibson, 2012)

2.2.4 Matriks

Matriks adalah fasa dengan fraksi volume terbesar (dominan) pada komposit. Fungsi matriks ialah mentransfer tegangan ke serat, melindungi serat, membentuk ikatan koheren permukaan dengan serat, dan stabil setelah proses manufaktur. Matriks bisa dari bahan polimer, logam ataupun keramik. Matriks yang sering digunakan dalam pembuatan komposit untuk produk komersil, industri, dan transportasi adalah polimer. Ada dua jenis bahan polimer yang digunakan pada material komposit yaitu termoplastik dan termoset (Gibson, 2012).

1. Termoplastik

Termoplastik merupakan polimer yang dapat dilunakkan berulang kali dengan menggunakan panas, dan akan mengeras ketika didinginkan. Termoplastik memiliki sifat *reversible* yaitu dapat kembali pada sifat

aslinya (Nayiroh, 2010). Contoh polimer termoplastik adalah *polyvinylchlorida* (PVC), *polypropylene* (PP), *polyethylene* (PE), dan lain-lain.

2. Termoset

Termoset berbeda dengan termoplastik, polimer ini tidak dapat didaur ulang karena molekul-molekulnya telah membentuk ikatan silang (*cross linking*). Termoset bersifat *irreversible*, apabila telah dikeraskan tidak dapat dilunakkan kembali. Contoh polimer termoset adalah *polyester*, *epoxy*, *vinylester*, dan lain-lain. Pada tabel 2.1 disajikan sifat mekanis polimer jenis termoset.

Tabel 2.1 Sifat Mekanis Polimer Termoset (Holbery, 2006)

Properties	Polyester Resin	Vinylester Resin	Epoxy
Densitas (g/cc)	1.2 - 1.5	1.2 – 1.4	1.1 – 1.4
Modulus Elastisitas (GPa)	2 - 4.5	3.1 – 3.8	3 – 6
Kekuatan Tarik (MPa)	40 – 90	69 – 83	35 – 100
Properties	Polyester Resin	Vinylester Resin	Epoxy
Kekuatan Tekan (MPa)	90 – 250	100	100 – 200
Elongasi (%)	2	4 – 7	1 – 6
Penyusutan (%)	4 – 8		1 – 2
Water Absorption (24 h @ 20°C)	0.1 – 0.3	0.1	0.1 – 0.4
Impak Izod (J/cm)	0.15 – 3.2	2.5	0.3

a. *Epoxy*

Epoxy merupakan suatu jenis polimer termoset bermassa jenis $1,2 \text{ gr/cm}^3$ dengan sifat adhesi yang baik, memiliki sifat mekanis tinggi, dan mudah dalam pembentukannya (Faruk dkk, 2012). Aplikasi dari *epoxy* resin sangat luas sebagai perekat dan pelapis. *Epoxy* memiliki sifat tahan korosi yang cukup tinggi dengan stabilitas termal dan isolator listrik yang baik. *Epoxy* merupakan kopolimer yang terbentuk dari dua bahan kimia yaitu resin dan *hardener*. Meskipun cenderung getas, *epoxy* dapat dicampur dengan bahan lain untuk mendapatkan sifat mekanis yang diinginkan. *Epoxy* merupakan resin dengan sifat *viscous* atau kental, sehingga perlu penambahan aseton untuk menjadikannya lebih cair agar mempermudah penyerapan pada serat (Sudarisman, 2019).

b. *Polyester*

Polyester juga termasuk dalam polimer termoset, resin ini banyak digunakan pada aplikasi konstruksi ringan dan harga relatif murah. *Polyester* memiliki karakteristik transparan, dapat diwarnai, tahan air, tahan cuaca dan bahan kimia. Kelebihan resin ini ialah mudah dikombinasikan dengan berbagai serat, kestabilan dimensional, dan dapat digunakan pada berbagai bentuk penguatan plastik. Penggunaan *polyester* pada umumnya perlu penambahan katalis untuk mempercepat pembentukannya, namun demikian resin ini memiliki viskositas yang rendah sehingga mudah dalam pencampuran saat pembuatan komposit.

- *Polyester 157 BQTN*

Polyester 157 BQTN secara umum diaplikasikan pada pembuatan kapal, sehingga resin ini sering disebut resin kapal. *Polyester 157* cocok untuk proses manufaktur dengan metode *hand lay up* dan *spray up molding*. Berikut adalah spesifikasi resin *polyester 157 BQTN*.

Tabel 2.2 Spesifikasi *Polyester 157 BQTN* (PT. Justus Kimia Raya, 1996)

Item	Nilai	Catatan
Massa jenis	1,23 gr/cm	0-90°C
Kekerasan	40 Hv	Barcol/GYZJ 934-1
Suhu distorsi panas	70°C	
Penyerapan air	0,1888 %	24 jam
Suhu ruang	0,466 %	
Kekuatan <i>flexural</i>	9,4 Kgf/mm	
Modulus <i>Fleksural</i>	300 Kgf/mm	
Daya rentang	5,5 Kgf/mm	
Modulus rentang	300 Kgf/mm	
Elongasi	1,6 %	
Kekuatan tarik	65 MPa	

- *Polyester SHCP 268*

Polyester SHCP 268 secara umum berwarna merah dan berbau pekat. Resin ini kuat terhadap asam kecuali asam pengoksid, namun lemah terhadap alkali. Secara umum resin ini digunakan untuk konstruksi sebagai bahan komposit. Berikut adalah spesifikasi resin *polyester SHCP 268*.

Tabel 2.3 Spesifikasi *Polyester SHCP 268*

(www.frpservice.com)

Item	Nilai	Metode Uji
Penyerapan air	0,35 %	ISO-62-1980
Kekerasan	48 BHC	ASTM D 2583-67
Suhu distorsi panas	67,3°C	ASTM D 648-72
Perpanjangan	3,2 %	ASTM D 638-72
Massa jenis resin pada 25°C	1,13 kg/liter	ASTM D 1475
Volume penyusutan	9 %	Massa jenis

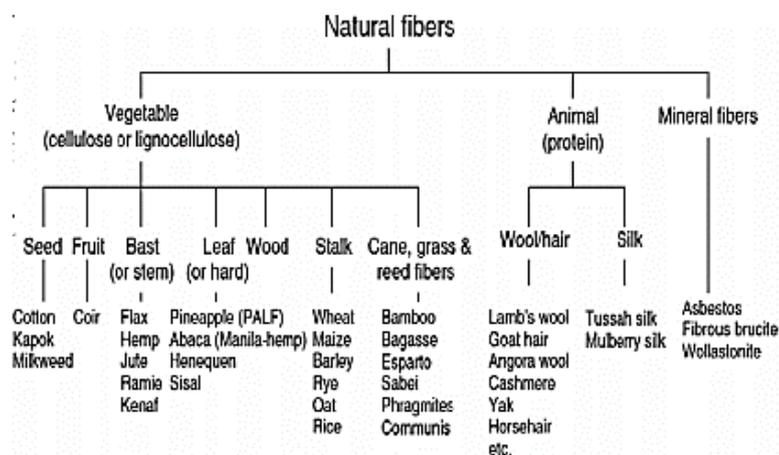
Penguapan	40-43 %	ASTM D 3030
Kekuatan bending	82,4 MPa	ASTM D 790
Modulus bending	5257,3 MPa	ASTM D 790
Kekuatan tarik	29,4 MPa	ASTM D 638

2.2.5 Filler (Pengisi/Penguat)

Menurut Jones (1999) *filler* adalah bahan pengisi yang digunakan pada pembuatan komposit, *filler* bisa berupa serat atau serbuk. *Filler* berfungsi sebagai penguat, penanggung beban utama pada komposit, sehingga penggunaan *filler* yang tepat mampu meningkatkan sifat mekanis komposit. Serat yang digunakan pada pembuatan komposit adalah serat alam dan serat sintetis, sedangkan serbuk yang digunakan adalah serbuk logam dan non logam.

1. Serat Alam

Serat alam merupakan serat yang diperoleh langsung dari alam. Secara umum serat alam dibagi menjadi 3 yaitu serat hewan, tumbuhan, dan mineral. Serat tumbuhan dapat diperoleh dari berbagai tanaman seperti kenaf, pisang, sisal, rami, dan lain-lain. Klasifikasi serat alam dapat dilihat pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Klasifikasi Serat Alam (Akil, 2011)

Penggunaan serat alam pada material komposit sudah banyak dilakukan, karena serat alam mudah diperoleh dan memiliki sifat mekanis yang cukup baik. Serat alam juga lebih ekonomis daripada serat sintetis. Pada Tabel 2.4 disajikan berbagai sifat mekanis serat.

Tabel 2.4 Sifat Mekanis Serat (Akil, 2011)

Serat	Densitas (g/cm ³)	Diameter (μ m)	Tensile Strenght (MPa)	Modulus Young (GPa)	Elongation at break (%)
Flax	1.5	40-600	345-1500	27.6	2.7-3.2
Hemp	1.47	25-500	690	70	1.6
Jute	1.3-1.49	25-200	393-800	13-26.5	1.16-1.5
Kenaf	0.2-1.2	25-200	930	53	1.6
Rami	1.55	25-200	400-938	38	1.2-3.8
Sisal	1.45	50-200	468-700	9.4-22	3-7
Abaca	1.5	150-500	430-760	3.2	1.6
Kapas	1.5-1.6	12-38	121-220	5.5-12.6	7-8
Eglass	2.55	<17	3400	73	2.5
Kevlar	1.44		3000	60	2.5-3.7
Carbon	1.78	5-7	3400-4800	240-425	1.4-1.8

2. Serat Kenaf

Kenaf (*Hibiscus Cannabinus*) adalah tanaman dengan sekitar 300 spesies, berpotensi sangat baik sebagai bahan baku pada produk komposit (Faruk dkk, 2012). Kenaf merupakan tanaman yang tumbuh sepanjang musim dan mudah dibudidayakan, serta mempunyai harga yang ekonomis. Tanaman kenaf berasal dari asia dan afrika, tinggi pohonnya mencapai 3-5 meter, dan mampu tumbuh diberbagai cuaca, serta mudah dalam pemisahan antara batang dengan kulit kayunya. Serat kenaf mengandung 69.2% selulosa, 27% hemiselulosa, 2.8% lignin, dan 0.8% komponen lain (Akil, 2011).

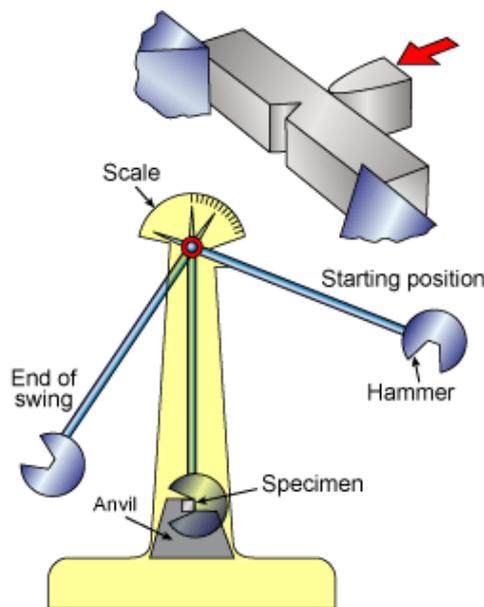
3. Mikrosilica (*Silica Fume*)

Menurut Khater (2013) mikrosilika atau *silica fume* adalah produk sampingan dari pengurangan kuarsa kemurnian tinggi batubara pada tungku listrik dalam produksi paduan *silicon* dan *ferosilicon*. Mikrosilica mempunyai kehalusan sangat baik dan mengandung silika (SiO₂) yang

sangat tinggi. Microsilica merupakan bahan pozzolan (mengandung senyawa silika dan alumina), dengan masa jenis 2,65 gr/cm³ (Kosmatka, 2011), dan mempunyai diameter partikel berkisar 0,1-150 μm (hasil pengukuran dengan *scanning electron microscopy*).

2.2.6 Pengujian Impak

Pengujian impak bertujuan untuk mendapatkan nilai ketahanan terhadap beban kejut dan mengetahui energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen dalam satu pukulan. Metode pengujian impak dibagi menjadi 2 yaitu *charpy* dan *izod* dengan *notch* (takikan) maupun tanpa *notch* sesuai dengan standar pengujian bahan tersebut. Pada penelitian ini jenis pengujian menggunakan impak *charpy*. Skema pengujian seperti pada Gambar 2.9



Gambar 2.9 Skema Pengujian Impak *Charpy* (Putra, 2017)

Rumusan yang digunakan untuk menghitung besar energi yang terserap oleh spesimen pada pengujian impak *charpy* adalah sebagai berikut:

$$\text{Energi serap} = m \cdot g \cdot R [\cos\beta - \cos\alpha] \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana

m = Massa pendulum (kg)

g = Percepatan Gravitasi (m/s²)

- R = Panjang lengan pendulum (m)
- β = Sudut ayun pendulum setelah menabrak spesmen ($^{\circ}$)
- α = Sudut ayun bebas pendulum ($^{\circ}$)

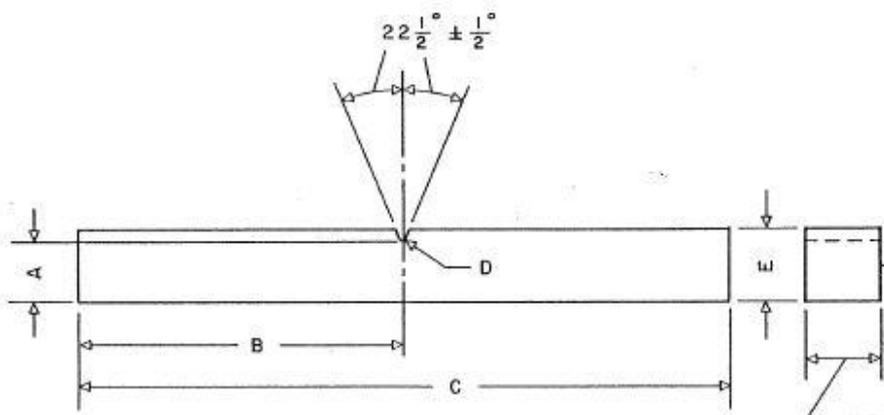
Dari hasil perhitungan energi terserap diatas, kekuatan impak dapat dihitung denga persamaan :

$$\text{Harga impak (HI)} = \frac{\text{Energi Serap}}{A} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- HI = Kekuatan impak (kJ/mm^2)
- Energi Serap = Energi serap specimen (kilo Joule)
- A = Luas penampang specimen (mm^2)

Setelah mengetahui mekanisme serta rumus pengujian impak, perlu adanya penambahan *v-notch* (takikan berbentuk v) pada spesimen. Fungsi *v-notch* adalah pengujian perpatahan spesimen tepat pada titik tengah. *Notch* menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada takikan sehingga material mudah patah dan terjadi *traxial stress*. *Traxial stress* menyebabkan tidak terjadinya deformasi plastis dan spesimen cenderung getas, sehingga tidak ada kegagalan pada specimen. Pada Gambar 2.10 terdapat ketentuan ukuran spesimen dan *v-notch* menurut ASTM D6110-04



Tebal spesimen 3 - 12,7 mm		
A	10.16 ± 0.05	0.400 ± 0.002
B	63.5 max 61.0 min	2.50 max 2.40 min
C	127.0 max 124.5 min	5.00 min 4.90 min
D	0.25R ± 0.05	0.010R ± 0.002
E	12.70 ± 0.15	0.500 ± 0.006
Satuan dalam mm dan inch		

Gambar 2.10 Ukuran Spesimen Pengujian Impak ASTM D6110

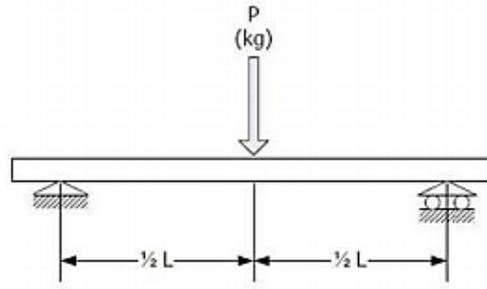
2.2.7 Pengujian Bending

Pengujian bending merupakan pengujian sifat mekanis komposit, digunakan pada konstruksi atau komponen yang menerima beban lentur maupun fabrikasi pelengkungan. Pelengkungan (bending) merupakan pembebanan satu titik ditengah-tengah dari bahan yang ditahan pada tumpuan. Pengujian lengkung beban bertujuan untuk mengetahui berbagai aspek yaitu:

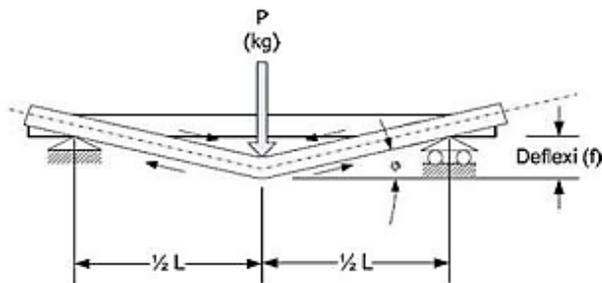
1. Kekuatan dan tegangan bending (σ)
2. Defleksi sudut yang terbentuk oleh lenturan (δ)
3. Elastisitas (E)

Pengujian bending dapat dilakukan dengan 2 metode yaitu *Three Point Bending* dan *Four Point Bending* menurut kondisi dari spesimen uji. Untuk benda uji dengan kerataan kurang sempurna dilakukan metode *Three Point Bending*.

Metode *Three Point Bending* yaitu metode dengan pembebanan satu titik pada specimen tepat pada bagian tengah ($1/2 L$). Pada metode ini material harus tepat berada di titik tengah agar mendapatkan momen maksimum kekuatan dan tegangan bending (σ). Pengujian bending material bermatriks polimer menggunakan ASTM D790, dengan panjang span 80 mm. Berikut ilustrasi pengujian bending menggunakan metode *Three Point Bending* seperti pada Gambar 2.11



Gambar 2.11 Pembebanan Lengkung *Three Point Bending*



Gambar 2.12 Pengaruh Pembebanan Lengkung Menyebabkan Defleksi

Penambahan beban secara terus menerus akan menyebabkan deformasi elastis menuju plastis dan akhirnya mengalami kerusakan. Gambar 2.12 menunjukkan adanya defleksi yaitu sudut yang terbentuk oleh lenturan. Setelah dilakukan uji bending, untuk mendapatkan kekuatan bending dilakuakn perhitungan sebagai berikut :

$$\sigma_b = \frac{3PL}{(2bd^2)} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

σ_b = Kekuatan bending (Mpa)

P = Beban (N)

L = Panjang span (mm)

b = Lebar batang uji (mm)

d = Tebal batang uji (mm)

$$\sigma_b = \frac{3PL}{(2bd^2)} \left[1 + 6 \left(\frac{D}{L} \right)^2 - 4 \left(\frac{d}{L} \right) \left(\frac{D}{L} \right) \right] \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana

- σ_b = Kekuatan bending (MPa)
- P = Gaya pembebanan (N)
- L = Jarak antar tumpuan/span (mm)
- b = Lebar specimen (mm)
- d = Tebal specimen (mm)
- D = Defleksi maksimum (mm)

Persamaan 2.3 digunakan apabila perbandingan $L/d \leq 16$ dimana L adalah *support span* dan d adalah tebal spesimen. Pada persamaan 2.4 digunakan jika nilai perbandingan $L/d > 16$. Untuk mendapatkan nilai regangan bending digunakan persamaan berikut :

$$\epsilon_b = \frac{6Dd}{L^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana

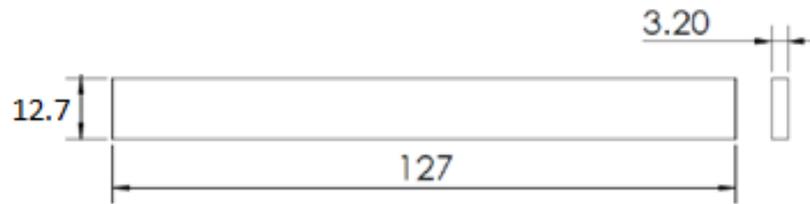
- ϵ_b = regangan (mm/mm)
- D = defleksi maksimum (mm)
- L = panjang span (mm)
- d = tebal (mm)

Untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas, menggunakan persamaan berikut:

$$E_B = \frac{L^3 m}{4bd^3} \dots\dots\dots(2.6)$$

- E_B = modulus elastisitas bending (MPa)
- L = Panjang span (mm)
- b = lebar specimen (mm)
- d = tebal specimen (mm)
- m = slope tangent pada kurva beban defleksi (N/mm)

Gambar 2.13 berikut adalah ukuran spesimen pengujian bending dengan ASTM D790-02 yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 2.13 Ukuran Spesimen Pengujian Bending ASTM D790

2.2.8 Pengujian Daya Serap Air

Pengujian daya serap air bertujuan untuk mengetahui kemampuan komposit dalam menyerap air. Pengujian ini sangat penting untuk mengetahui difusi antar molekul air ke dalam permukaan matriks. Data yang diambil adalah berat dan tebal spesimen sebelum dan setelah perendaman dalam air. Ukuran spesimen pengujian daya serap air mengacu ASTM D570-98 dengan dimensi (76,2 mm x 25,4 mm x 3,2 mm).

Untuk menghitung pertambahan berat (*weight gain*) dan tebal (*thickness swelling*) pada pengujian daya serap air, dapat menggunakan persamaan 2.7 dan persamaan 2.8 sebagai berikut:

$$WG = \frac{B_2 - B_1}{B_1} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.7)$$

- Dimana
- WG = Penambahan berat (*weight gain*) (%)
 - B₁ = Berat sebelum perendaman (gram)
 - B₂ = Berat setelah perendaman (gram)

$$TS = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.8)$$

- Dimana
- TS = Penambahan tebal (*Thickness Swelling*) (%)
 - T₁ = Tebal sebelum perendaman (mm)
 - T₂ = Tebal setelah perendaman (mm)

2.2.9 Pengujian Makro dengan Mikroskop Optik

Mikroskop optik merupakan suatu alat bantu yang digunakan untuk mengamati objek berukuran sangat kecil dengan memperbesar bayangan objek.

Bayangan objek dapat diperbesar 50 kali, 100 kali, hingga 400 kali. Mikroskop optik dapat dilihat pada Gambar 2.14 dan spesifikasinya pada Tabel 2.3



Gambar 2.14 Mikroskop Optik USB

Tabel 2.5 Spesifikasi Mikroskop Optik

Warna	Hitam
Resolusi Gambar/Video	640*480 pixels
Kontroler	16Bit DSP
Pembesaran	50x-1600x (manual)
Format Foto	JPEG
Format Video	AVI
Lampu LED	8
Penghubung	USB 2.0
Penerima system	WIN XP/VISTA, WIN 7 32/64-bit
Ukuran Microscope	3.2*11.4 (cm) (diameter*panjang)

2.2.10 Pengujian Mikro dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan mikroskop elektron untuk mengamati objek solid dengan perbesaran 10-3.000.000 kali, *depth of field* mencapai 4-0.4 mm dan resolusi sebesar 1-10 nm. Kombinasi dari resolusi yang baik, perbesaran yang tinggi, dan *depth of field* yang besar membuat SEM banyak digunakan untuk penelitian industri (Prasetyo, 2011).

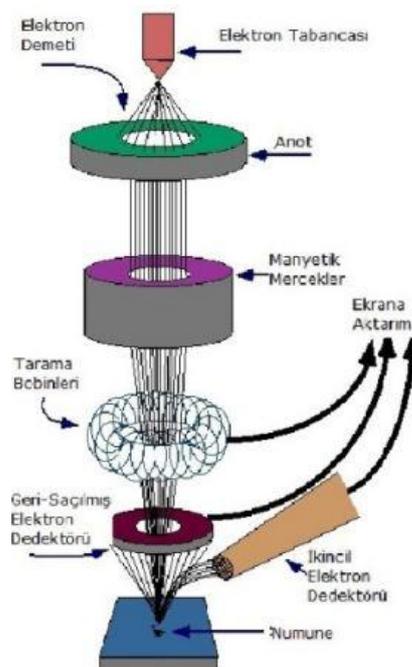
Fungsi utama dari SEM adalah untuk mengetahui berbagai informasi seperti berikut:

1. Topografi : ciri-ciri permukaan dan teksturnya.
2. Morfologi : bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek.

3. Komposisi : data kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung pada objek.
4. Informasi kristalografi : informasi mengenai susunan dari butir-butir yang ada pada onjek pengamatan.

Peralatan utama yang terdapat pada SEM adalah sebagai berikut:

1. Piston elektron : berupa filamen yang terbuat dari unsur yang mudah melepas elektron, seperti tungsten.
2. Lensa untuk elektorn : berupa lensa magnetis karena elektron yang bermuatan negatif dapat dibelokkan medan magnet.
3. Sistem vakum : sistem vakum digunakan untuk menghindari adanya molekul udara yang dapat mengakibatkan terpecahnya elektron.



Gambar 2.15 *Scanning Electron Microscopy* (SEM)
(materialcerdas.wordpress.com)

Prinsip kerja *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada Gambar 2.15 adalah sebagai berikut:

1. Sebuah pistol elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda.

2. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju sampel.
3. Sinar elektron yang terfokus memindai (scan) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
4. Ketika elektron mengenai sampel, maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT).