

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Serat alam terbuat dari bahan baku pertanian yang terbarukan merupakan salah satu alternatif untuk pengganti komposit serat sintesis. Beberapa keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan serat alami seperti sumber yang melimpah, *biodegradable*, tidak korosif, aman bagi kesehatan, *fracture resistance*, sifat yang lebih spesifik, dan terbarukan. Dalam dekade terakhir, penggunaan serat sintesis mengalami penurunan permintaan karena memiliki karakteristik dan kekuatan yang sama dengan serat alam. Penelitian lebih lanjut menemukan bahwa penambahan bahan aditif seperti pengisi dan katalis juga penerapan perawatan serat secara kimia telah menyebabkan produk berbasis serat alam dapat menggantikan serat konvensional (Jaafar dkk, 2018).

Bajuri dkk, (2016) yang meneliti tentang kekuatan lentur dan tekan pada komposit hibrid kenaf/nanosilica/epoxy dengan volume silica 0, 0,5, 2, 3, dan 4% menunjukkan bahwa penambahan nanosilica dapat meningkatkan dan menurunkan sifat mekanis bahan pada komposit hibrid kenaf/epoxy. Peningkatan sifat mekanis paling tinggi dengan penambahan 2% nanosilica menyebabkan kekuatan lentur dan modulus lentur optimal yaitu 43,8 MPa dan 3,05 GPa, serta 40,00 MPa dan 1,15 GPa untuk kekuatan tekan dan modulus tekan.

Penelitian yang dilakukan oleh Gowhtami dkk, (2013), tentang pengaruh penambahan silica pada sifat thermal dan mekanik komposit serat sisal matriks *polyester* dengan ukuran partikel silica yaitu 10 μm dan volume silica sebesar 5% menghasilkan kekuatan tarik tertinggi komposit dengan penambahan silica yaitu sebesar 92,6 MPa dibandingkan komposit tanpa silica sebesar 61,127 MPa dan *polyester* murni sebesar 36,28 MPa. Modulus tarik dengan penambahan silica optimal pada 1809,23 MPa dibandingkan dengan komposit tanpa silica sebesar 1667,245 MPa dan *polyester* murni sebesar 803 MPa. Dengan penambahan silica, kekuatan impak meningkat 1,36 kali lebih besar dibanding komposit tanpa silica dan 1,8 kali dibanding dengan *polyester* murni. Nilai thermal dari semua sample meningkat secara bertahap pada kisaran suhu 30°C-85°C. Peningkatan nilai thermal

optimal pada sample komposit dengan silica yaitu sebesar 19,16% dibandingkan komposit tanpa silica dan 35,37% dibandingkan polyester murni.

Penelitian tentang Pengaruh Fraksi Volume Filler terhadap Kekuatan Bending dan Ketangguhan Impak Komposit Nanosilika – Phenolic oleh Diharjo dkk, (2014) menunjukkan bahwa penambahan filler nanosilica meningkatkan kekuatan bending, ketangguhan impak serta densitas komposit. Kekuatan bending dan ketangguhan impak komposit meningkat ketika fraksi volume nanosilica dalam matriks mencapai 30 % dikarenakan nanosilica dapat merata pada komposit dan mencegah terjadinya retak. Nilai densitas semakin tinggi sebanding dengan peningkatan fraksi volume silica yang berdampak meningkatnya kepadatan komposit. Penurunan kekuatan bending dan ketangguhan impak pada fraksi volume nanosilica 40-60% disebabkan karena penurunan jumlah matriks dan ikatan matriks dengan filler. Hal ini dapat mengakibatkan munculnya filler yang menggumpal.

Jaafar dkk, (2018) yang meneliti karakterisasi komposit hibrid kenaf/silica/epoxy menggunakan metode hand lay-up menunjukkan ketangguhan impak dan kekuatan bending tertinggi sebesar 10,6 kJ/m² dan 54,1 MPa dengan metode alkalisasi kenaf dan penambahan silica 30 phr (*parts per hundred resin*). Hasil uji *Scanning Electron Microscope* (SEM) menunjukkan bahwa alkalisasi dengan 6% NaOH mampu memurnikan permukaan serat dan meningkatkan interaksi antar permukaan antara serat dengan matriks.

Bozkurt dkk, (2017) yang meneliti pengaruh nanosilica terhadap kekuatan tarik dan kekuatan bending komposit hibrid laminasi glass/nanosilica/epoxy dengan variasi nanosilica sebesar 0, 1, 1,5, 2, dan 3% menghasilkan kekuatan tarik optimal pada saat fraksi volume silica 2% yaitu sebesar 280,25 MPa dan kekuatan bending tertinggi dengan fraksi volume nanosilica 1,5% yaitu sebesar 346,35 MPa.

Bakar dkk. (2016) yang meneliti komposit serat kenaf menggunakan termoset epoksi dan poliester terhadap kekuatan tarik dan impak. Kekuatan tarik optimum terjadi pada fraksi volume kenaf/epoxy 25:75% yaitu sebesar 93,59 MPa dibandingkan dengan fraksi volume 10:90%, 15:85%, dan 20:80% sebesar 54,13 MPa, 78,92 MPa, dan 83,30 MPa.

Yusmaniar dan Suryani (2012) yang meneliti pemanfaatan silica padi pada komposit polyester/silica dengan variasi ukuran partikel silica ayak 60 mesh, 230 mesh dan 400 mesh menghasilkan kekuatan tarik optimum pada 400 mesh. Hal ini karena partikel yang lebih besar menghambat daya ikat matriks dalam menahan pembebanan sehingga mempercepat retak pada uji tarik, sedangkan partikel silica yang terdispersi mudah terdispersi lebih baik ke dalam matriks

Penelitian tentang panjang serat juga dilakukan oleh Osman dkk, (2011) yang meneliti pengaruh perawatan serat dan panjang serat terhadap kekuatan mekanis komposit kenaf/*unsaturated polyester*. Alkalisasi meminimalisir zat pengotor permukaan dan meningkatkan daya ikat antar permukaan antara serat dan matriks, juga menurunkan adanya *fiber pullout* yang mempengaruhi kekuatan tarik dan bending. *Post curing* dapat meningkatkan kekuatan bending dan tarik untuk komposit *treatment fiber*. Pada panjang serat 1-6 mm kekuatan tarik dan modulus maksimum sekitar 24,8 MPa pada saat volume 10% dan 3,98 GPa pada volume 30%. Ketika data sebesar 33,2 MPa saat volume 40% dan 4,98 GPa saat volume 30% dengan panjang serat 10-30 mm. Penelitian terkait modulus elastisitas untuk panjang serat 1-6 mm sebanding dengan teori model Hirsch tetapi bertentangan dengan data experiment Cox-Krenchel.

Penelitian tentang pengujian air (water absorption) dengan pengaruh ukuran serbuk partikel dilakukan oleh Zykova dkk. (2015) pada kapasitas daya serap air dan sifat mekanik komposit serbuk kayu/*polyethylene*. Kemampuan daya serap paling rendah pada partikel 0-80 μm dan memiliki kekuatan tarik optimal sebesar 8,2 MPa. Daya serap air meningkat pada 80-140 μm dan 140-200 μm seiring dengan bertambahnya ukuran partikel. Akan tetapi kekuatan tarik mengalami penurunan akibat penambahan ukuran partikel. Islam dkk. (2019) melakukan penelitian tentang proses, karakterisasi, dan potensi aplikasi bio komposit berbasis serat kenaf. Dengan variasi *filler Pure PLA*, TKKS/PLA, Kenaf/PLA, dan TKKS/Kenaf/PLA, hasil menunjukkan peningkatan penyerapan air meningkat pada 8 hari pertama. Setelah itu penyerapan cenderung konstan dengan kemampuan daya serap paling rendah yaitu TKKS/PLA. Bajuri dkk, (2018) melakukan penelitian tentang analisis uji penyerapan air dengan penambahan nanosilica komposit epoxy/kenaf. Dengan

variasi 40, 50, dan 60% tanpa silica dan 40, 50, dan 60% dengan silica 5%. Hasil menunjukkan serat kenaf 60% dengan silica 5% mempunyai nilai penyerapan air yang paling tinggi yaitu sebesar 29.63%. Peningkatan serat kenaf akan mempengaruhi penyerapan air pada komposit

Penelitian tentang panjang serat oleh Raghavendra dkk (2015) yang mana tentang pengaruh panjang serat terhadap kekuatan tarik komposit hibrid *epoxy/banana fibre* menunjukkan kekuatan tarik maksimum saat panjang serat 4 mm sebesar 158 MPa, Untuk ketangguhan impak paling optimal saat panjang serat 6 mm sebesar 20,3 j/m. Joseph dkk. (1993) yang melakukan penelitian kekuatan tarik dengan variasi panjang serat 2,1 mm, 5,8 mm, dan 9,2 mm dengan matriks polyethylene. Orientasi serat yang digunakan adalah acak, Hasil menunjukkan bahwa panjang serat paling optimal yaitu 5,8 mm dengan kekuatan tarik tertinggi mencapai 31,12 MPa.

Pada saat fabrikasi, tekanan pada saat pengepresan epoksi/kenaf/silica sebesar 8 MPa dan dilakukan dengan proses *coldpress curing* suhu 100°C untuk 25-50 menit tergantung kandungan serat yang digunakan. Pencampuran secara mekanik dengan cetakan berdimensi 165 x 165 x 3 mm dengan orientasi acak (Bakar dkk. 2010).

2.2 Dasar Teori

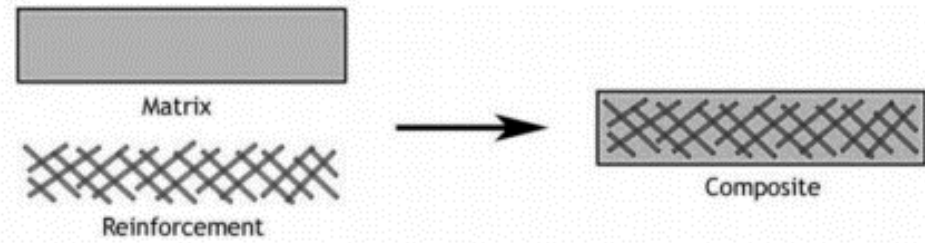
2.2.1 Komposit

Material Komposit merupakan material yang terdiri dari dua atau lebih material pada skala makroskopik (macroscale) untuk membentuk material yang mana kualitasnya lebih ditingkatkan. Bahan skala makro terdiri dari serat (fiber) dan matriks memiliki keunggulan masing masing dalam sifat bahan (Casey 2017).

Material Komposit dirancang untuk meningkatkan kekuatan, kekakuan, ketangguhan, ketahanan kerusakan, ketahanan aus, korosi, resistensi, umur kelelahan, dan isolasi thermal material. Karena sifat yang dapat direkayasa ini, penggunaan komposit telah lama digunakan beberapa tahun belakang dan sekarang dikembangkan ke dalam struktur dan teknologi lebih lanjut (Casey 2017).

Matriks dan *filler* memiliki fungsi yang berbeda, *filler* berfungsi sebagai penguat atau material rangka yang menyusun komposit, sedangkan matriks

berfungsi untuk merekatan serat dan meneruskan beban ketika material komposit memperoleh beban (Onny, 2017). Penyusunan matriks dan filler seperti pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Susunan komposit (Onny, 2017)

2.2.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Komposit

1. Faktor Serat

Serat memiliki pengaruh signifikan pada hasil sifat mekanis komposit, karena menjadi penguat utama menahan beban yang terjadi pada komposit. Menurut Nahyudin. (2016) factor pengaruh serat yaitu:

a. Panjang Serat

Terdapat dua jenis serat yang digunakan dalam proses pembuatan komposit yaitu serat panjang dan serat pendek. Serat panjang memiliki keunggulan seperti kekuatan yang tinggi, penyusutan serat yang rendah, dan dimensi lebih stabil. Sedangkan serat pendek memiliki kelebihan dalam proses fabrikasi yang mudah.

b. Orientasi Serat

Orientasi serat juga mempengaruhi sifat mekanik dari komposit. Serat dengan orientasi satu arah menghasilkan kekuatan dan kekakuan yang tinggi pada arah tertentu.

c. Bentuk Serat

Bentuk serat umumnya lingkaran. Tetapi serat dengan serat berbentuk persegi dan heksagonal memiliki kekuatan lebih besar.

d. Jenis Serat

Jenis serat merupakan faktor utama dalam menentukan sifat mekanis komposit. Serat sintetis seperti e glass memiliki kekuatan mekanik tinggi

dibandingkan dengan serat alam. Tetapi dari segi harga lebih mahal dibandingkan serat alam. Oleh sebab itu, saat ini sector industri manufaktur masih menggunakan serat sintetis untuk pembuatan komponen.

2. Faktor Matrik

Pembuatan komposit membutuhkan ikatan permukaan yang kuat antara serat dan matriks. Schwartz (1984) mengatakan dalam memilih matriks harus diperhatikan sifat-sifatnya, antara lain seperti tahan korosi, tahan terhadap panas, tahan cuaca yang buruk, dan tahan terhadap guncangan. Selain itu perlu juga diperhatikan berat jenis, viskositas, tekanan, dan suhu curing.

3. Faktor Ikatan

Faktor yang mempengaruhi ikatan dalam komposit adalah void. Void terbentuk karena adanya udara yang terjebak didalam komposit pada saat proses pembuatan material komposit. Void pada komposit menyebabkan ikatan antara matriks dan serat kurang baik, menyebabkan sifat mekanis cenderung menurun.

2.2.3 Klasifikasi Material Komposit

a. Berdasarkan Jenis Matriksnya

Material komposit diklasifikasikan berdasarkan bahan matriksnya komposit dibagi menjadi 3 jenis yaitu:

1) Komposit Matriks Keramik/CMC (Ceramic Matrixes Composite)

CMC merupakan komposit yang menggunakan bahan keramik sebagai matriksnya. Komposit ini mempunyai sifat yang keras.

2) Komposit Matriks Logam/MMC (Metal Matrixes Composite)

MMC merupakan komposit yang menggunakan bahan logam sebagai matriksnya. Komposit ini mempunyai sifat yang kuat.

3) Komposit Matriks Polimer/PMC (Polymer Matrixes Composite)

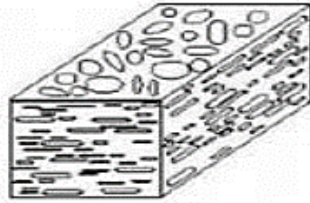
PMC merupakan komposit yang menggunakan bahan polimer sebagai matriksnya. Komposit ini sering digunakan dalam pembuatan komposit karena murah, mudah difabrikasi, serta mempunyai sifat yang kuat.

b. Berdasarkan bentuk struktur dari penyusunnya

Menurut Schwartz (1984), Material komposit diklasifikasikan berdasarkan bentuk struktur dan penyusunnya, yaitu :

1) Komposit Serpilh

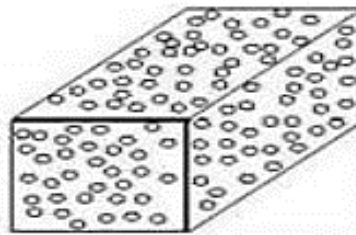
Komposit serpilh adalah komposit dengan penambahan material berupa serpilh ke dalam matriks. Serihan dapat berupa mika, *glass*, dan metal. Contoh komposit serpilh pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Komposit Serpilh (Schwartz. 1984)

2) Komposit Partikel

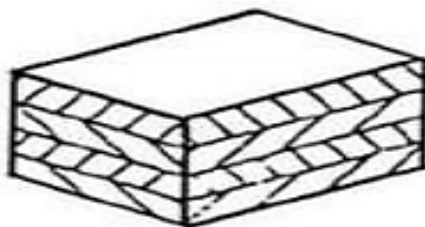
Komposit dengan penambahan partikel/serbuk. Pada komposit partikel penambahan terdistribusi secara acak atau kurang terkontrol pada komposit serpilh, sebagai contoh adalah beton. Contoh komposit partikel terdapat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Komposit Partikel (Schwartz, 1984)

3) Komposit Lamina

Komposit lamina adalah komposit dengan susunan lapisan dua atau lebih, dimana setiap lapisan dapat berbeda-beda tergantung jenis materialnya, Contoh komposit lamina terdapat pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Komposit Lamina (Schwartz, 1984)

4) Komposit Serat (*Fiber Composite*)

Komposit serat adalah komposit yang terdiri dari satu lapisan dan berpenguat serat. Serat dibagi menjadi 2 yaitu serat alam dan sintetis, disusun berdasarkan orientasi tertentu sesuai dengan kekuatan yang diinginkan (Schwartz, 1984)

c. Berdasarkan Letak dan Arah Serat menurut Gibson, (2012)

1) *Continuous Fiber Composite*

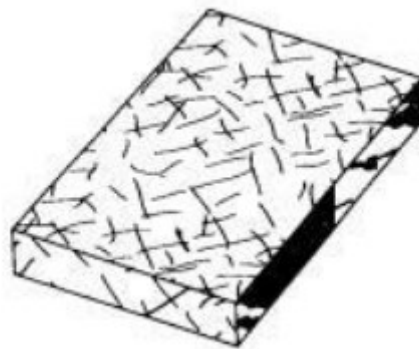
Tipe dengan tipe serat panjang dan cenderung lurus. Tersusun atas lamina dan matriks dengan jumlah lamina yang ditentukan. Penyusunan memanjang tetapi tidak lurus berpengaruh pada sifat mekanis komposit yang cenderung menurun.

2) *Woven Fiber Composite*

Komposit yang susunan serat anyaman yang mengikat di setiap lapisan, disusun per lamina dengan sifat mekanis cenderung meningkat disetiap arah.

3) *Discontinuous Fiber Composite*

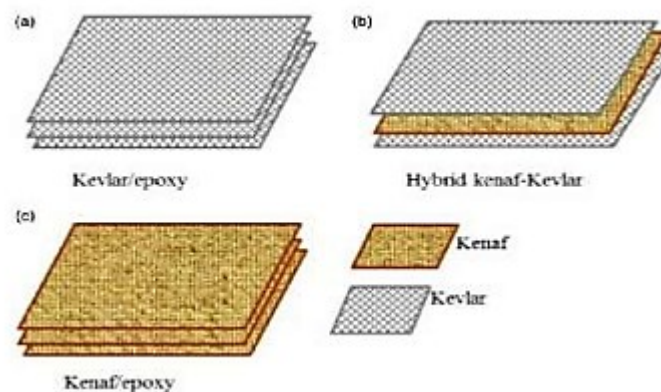
Tipe dengan *filler* serat pendek dan disusun secara acak serta tidak memanjang. Tipe ini sering digunakan oleh industri karena biaya manufaktur yang murah karena pembentukan tidak bergantung pada orientasi serat



Gambar 2.5 *Discontinuous Fiber Composite*

4) *Hybrid Fiber Composite*

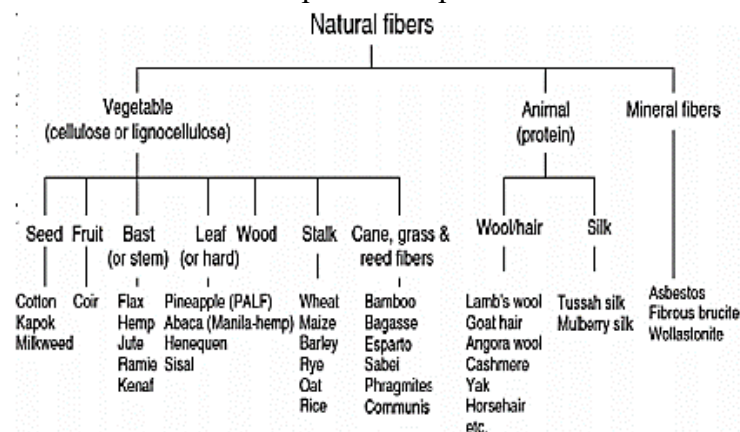
Hibrid fiber composite menggunakan 2 atau lebih dengan tujuan mengikat kekuatan mekanik. Contoh pada komposit hibrid kenaf/Kevlar dengan matriks epoxy seperti pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Hybrid Fiber Composite (Ridwan, 2010)

2.2.4 Serat Alam

Serat alam menurut Akil (2011) merupakan serat yang diperoleh dari alam. Secara umum serat alam dibagi menjadi 3 yaitu serat tumbuhan, hewan, dan mineral. Serat tumbuhan dapat diperoleh dari tanaman pisang, bambu, nanas, kenaf dll dengan klasifikasi serat alam dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Klasifikasi Serat Alam (Akil, 2011)

Saat ini serat alam dipakai secara luas di industri otomotif untuk *filler* material komposit karena memiliki beberapa keunggulan

1. Serat alam memiliki kekuatan spesifik yang tinggi.
2. Serat alam mudah diperoleh serta sumber daya yang dapat diolah kembali. Dari segi harga lebih murah dibandingkan serat sintetis

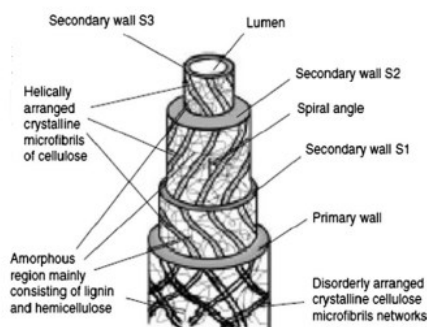
Untuk karakteristik sifat mekanis tiap serat dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Sifat mekanis serat alam (Akil, 2011)

Serat	Densitas (g/cm ³)	Diameter (μ m)	Tensile Strength (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

2.2.5 Potensi Serat Kenaf

Serat kenaf (*Hibiscus Cannabinus*) merupakan salah satu jenis serat alam yang berasal dari asia dan afrika, yang tinggi pohonnya mencapai 3-5 meter. Merupakan salah satu penguat dalam *Polymer Matrix Composite*. Kenaf mampu tumbuh diberbagai cuaca serta mudah dalam pemisahan batang dengan kulit kayu dan inti. Batang tanaman kenaf memiliki empat bagian utama, yaitu kulit batang luar (kenaf bark), kulit batang dalam (kenaf bast), inti batang luar (kenaf core), dan inti batang dalam (kenaf pith) seperti pada gambar 2.8

**Gambar 2.8** Struktur batang serat alam

Serat kenaf mengandung 69.2% selulosa, 2.8% lignin, 27% hemiselulosa, dan 0.8% komponen lain (Akil, 2011). Serat kenaf mempunyai diameter 100-150 μm (Sosiati dkk., 2014). Sifat mekanis serat kenaf dapat dilihat pada Tabel 2.1

2.2.6 Mikrosilica (*Silica Fume*)

Silica fume adalah produk sampingan dari pengurangan kuarsa kemurnian tinggi batubara pada tungku listrik dalam produksi paduan silicon dan ferrosilicon. *Silica fume* digunakan sebagai reaktif pozzolan tinggi bahan semen dalam konstruksi beton untuk meningkatkan sifat-sifatnya seperti kekuatan tekan, kekuatan ikatan, abrasi, dan dapat mengurangi permeabilitas serta membantu melindungi baja tulangan dari korosi (Khater, 2013)

Silica fume memiliki luas permukaan yang besar dan permukaan cenderung halus. Ukuran partikel hingga nanometer, biasanya 5-100 μm dan digunakan untuk penguat resin sekitar 5-10% dari berat polimer. Dalam hal ini pengaruh ukuran partikel mempengaruhi peningkatan sifat mekanik bahan (Jaafar, 2018)

2.2.7 Matriks

Matrik merupakan suatu material yang berfungsi sebagai pengikat *filler* didalam komposit menjadi sebuah unit struktur, melindungi dari perusak mekanis meneruskan atau memindahkan beban eksternal pada bidang geser matriks dan *filler* sehingga dapat saling berhubungan. Matriks bisa dari bahan logam, polimer, ataupun keramik. Matriks yang banyak digunakan dalam material komposit untuk produk komersil, transportasi, dan industri adalah matriks polimer. Ada dua jenis bahan polimer yang digunakan dalam material komposit, yaitu termoplastik dan termoset (Gibson, 2012).

1. Thermoplastik

Termoplastik merupakan material apabila dipanaskan maka akan menjadi lunak dan apabila didinginkan maka akan mengeras. Struktur molekulnya linier atau bercabang tanpa ikatan silang antar rantai (*crosslink*). Proses melunak dan mengeras ini dapat terjadi berulang kali. Contohnya yaitu polypropylene (PP), nylon, polyvinylchlorida (PVC), polyethylene (PE), polystrene (PS) dan lain-lain.

2. Termoset

Berbeda dengan polimer termoplastik. Polimer termoset tidak dapat didaur ulang karena molekul-molekulnya telah membentuk ikatan silang (*cross linking*). Contoh dari polimer termoset adalah epoxy, polyester, bakelit, dan lain-lain.

a. Epoksi Resin

Epoksi merupakan salah satu polimer termoset dengan sifat adhesi yang baik, sifat mekanik tinggi, kadar air rendah, serta kemudahan dalam pembentukannya (Faruk dkk, 2012). Aplikasi untuk epoxy resin sangat luas dan mencakup pelapis, perekat dan material komposit seperti yang menggunakan serat karbon maupun fiberglass. Epoxy resin memiliki perlindungan korosi yang tinggi, dengan stabilitas termal dan kekuatan mekanik yang baik, serta isolator listrik yang baik sehingga terutama dipergunakan sebagai pelapis untuk sejumlah industri, seperti pada kaleng makanan dan minuman kaleng

Menurut Towaha (2011), Epoxy resin merupakan kopolimer yang terbentuk dari dua bahan kimia yang berbeda, yaitu resin dan hardener. Sifat mekanis *epoxy* cenderung keras dan getas. Akan tetapi dalam penggunaannya, epoksi sering dicampur dengan bahan lain untuk mendapatkan sifat mekanis yang diinginkan. Sifat mekanis epoksi dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Sifat Mekanis Polimer Termoset (Holbery, 2006)

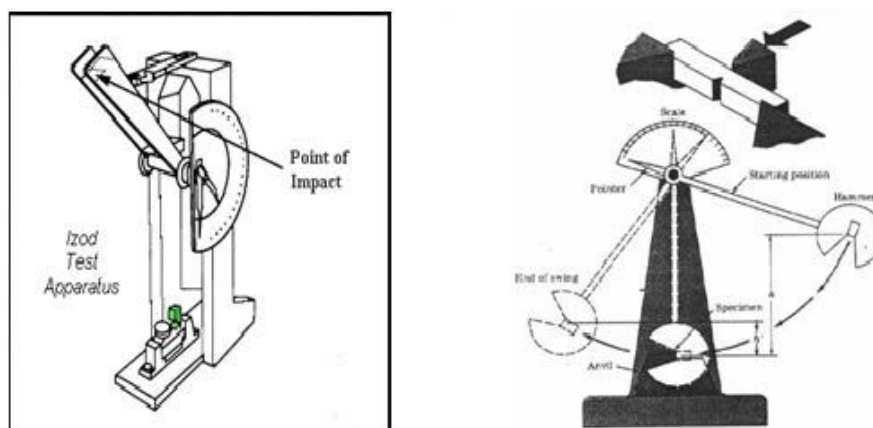
Properties	Polyester Resin	Vinylester Resin	Epoxy
Densitas (g/cc)	1.2 - 1.5	1.2 – 1.4	1.1 – 1.4
Modulus Elastisitas (GPa)	2 - 4.5	3.1 – 3.8	3 – 6
Kekuatan Tarik (MPa)	40 – 90	69 – 83	35 – 100
Kekuatan Tekan (MPa)	90 – 250	100	100 – 200

Properties	Polyester Resin	Vinylester Resin	Epoxy
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

2.2.8 Pengujian Impak Komposit

Uji impak merupakan pengujian untuk mendapatkan ketahanan terhadap beban kejutan dan mengetahui berapa energi yang dibutuhkan saat mematahkan specimen dalam satu pukulan.

Metode impak dibagi menjadi 2 yaitu metode Charpy dan metode Izod dengan *notch* (takikan) maupun tanpa *notch* sesuai dengan standar pengujian bahan tersebut. Pemberian *notch* memberikan konsentrasi tegangan sebelum kegagalan *ultimate* serta memberikan tegangan titik efektif (Tan, 1988). Pada penelitian ini menggunakan impak *Charpy* dikarenakan mengukur kekuatan polimer bahan. Skema pengujian impak seperti pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Skema pengujian impak Charpy ASTM D6110-04

Rumusan yang digunakan untuk menghitung besar energy yang terserap oleh specimen komposit pada pengujian impact charpy adalah.

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

Dimana

m = Massa pendulum (kg)

g = Percepatan Gravitasi (m/s²)

R = Panjang lengan pendulum (m)

β = Sudut ayun pendulum setelah menabrak spesmen (°)

α = Sudut ayun bebas pendulum (°)

Dari hasil perhitungan energy terserap diatas, kekuatan impact dapat dihitung dengan persamaan :

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

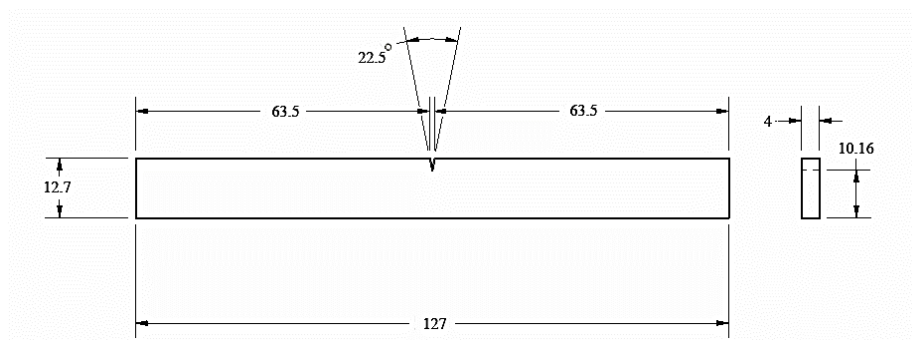
Dimana :

HI = Kekuatan impact (kJ/mm²)

Energi Serap = Energi serap specimen (kilo Joule)

A = Luas penampang specimen (mm²)

Setelah mengetahui mekanisme serta rumus pengujian impact, perlu adanya penambahan *v-notch* (takikan berbentuk v) pada specimen. *Notch* menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada takikan sehingga material mudah patah dan terjadi *traxial stress*. *Traxial stress* menyebabkan tidak terjadinya deformasi plastis dan specimen cenderung getas, sehingga tidak ada kegagalan pada specimen. Berikut ini ketentuan ukuran specimen dan *v-notch* menurut ASTM D6110-04 seperti gambar 2.10.



Gambar 2.10 Ukuran Spesimen Uji Impact ASTM D6110-04

2.2.9 Uji Mekanik Bending

Pengujian bending merupakan pengujian sifat mekanik specimen, 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.

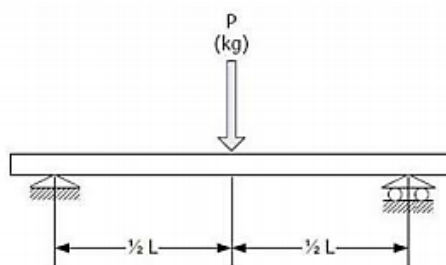
Pengujian lengkung beban bertujuan untuk mengetahui berbagai aspek yaitu:

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

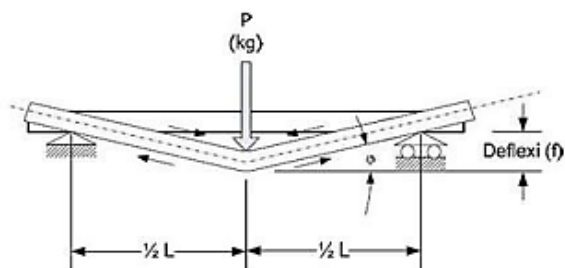
Pengujian bending dapat dilakukan dengan 2 metode yaitu *Three Point Bending* atau *Four Point Bending* menurut kondisi dari specimen uji. Untuk benda uji dengan kerataan kurang sempurna dilakukan metode *Three Point Bending*.

Metode *Three Point Bending* yaitu metode dengan pembebanan satu titik pada specimen tepat pada bagian tengah ($\frac{1}{2} L$). Pada metode ini material harus tepat berada di titik tengah, agar mendapatkan momen maksimum kekuatan dan tegangan bending (σ).

Berikut ini ilustrasi pengujian kekuatan 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 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 :

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

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

Dimana

- σ_b = tegangan bending (MPa)
- P = gaya pembebanan (N)
- L = jarak antar tumpuan/span (mm)
- b = lebar specimen (mm)
- d = tebal specimen (mm)
- D = defleksi maksimum (mm)

Untuk menghitung laju gerak pembebanan rata rata pada uji bending digunakan persamaan berikut.

$$R = ZL^2/6d \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana

- R = Laju gerak pembebanan (mm/min)
- L = Panjang *support* span (mm)
- d = Kedalaman lebar specimen (mm)
- Z = Nilai regangan bagian luar specimen, Z juga dapat bernilai 0,01

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

$$\epsilon_b = \frac{6Dd}{L^2} \dots\dots\dots(2.6)$$

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

$$E_B = \frac{L^3 m}{4bd^3} \dots\dots\dots(2.7)$$

E_B = modulus elastisitas bending (MPa)

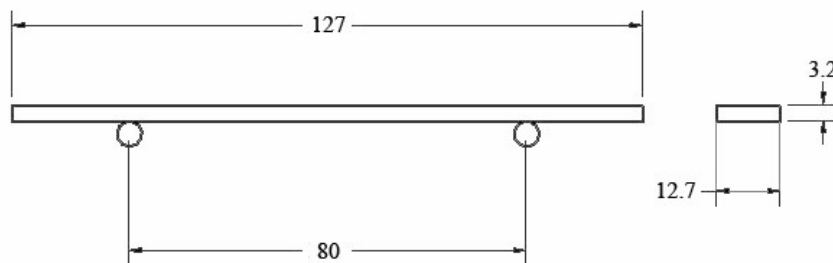
L = Panjang span (mm)

b = lebar specimen (mm)

d = tebal specimen (mm)

m = slope tangent pada kurva beban defleksi (N/mm)

Berikut ini adalah ukuran specimen uji bending dengan ASTM D790-02 yang akan digunakan pada penelitian ini seperti pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Ukuran spesimen uji bending dengan span ASTM D790-02

2.2.10 Uji penyerapan air (*Water Absorption*)

Penyerapan air adalah salah satu karakteristik terpenting dari komposit karena dengan melihat hasil tersebut akan mempengaruhi aplikasi penggunaan bahan komposit. Uji ini merupakan yang terpenting karena untuk melihat difusi antar molekul air ke dalam permukaan matriks (Ashori dan Shesmani, 2010). Data yang diambil adalah perbedaan berat dan tebal specimen sebelum dan setelah perendaman. Ukuran specimen untuk pengujian daya serap air mengacu pada

ASTM D570-98 (Shakeri, 2009). Dimensi benda uji (76,2 mm x 25,4 mm x 3,2 mm) untuk spesimen berbentuk lembaran.

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

$$WG = \frac{B_2 - B_1}{B_1} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana

WG = Penambahan berat (*weight gain*) (%)

B₁ = Berat sebelum perendaman (gram)

B₂ = Berat setelah perendaman (gram)

Persamaan 2.8 menghitung pertambahan tebal (*thickness swelling*) :

$$TS = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana

TS = Penambahan tebal (*weight gain*) (%)

T₁ = Tebal sebelum perendaman (mm)

T₂ = Tebal setelah perendaman (mm)

2.2.11 Pengujian Makro Menggunakan Mikroskop Optik

Mikroskop optic merupakan salah satu alat bantu digunakan untuk melihat objek berukuran kecil. Menjadikan alat ini sebagai alat bantu untuk melihat struktur pada komposit. Mikroskop optik dapat dilihat pada Gambar 2.14



Gambar 2.14 *Microscope Optic Usb*

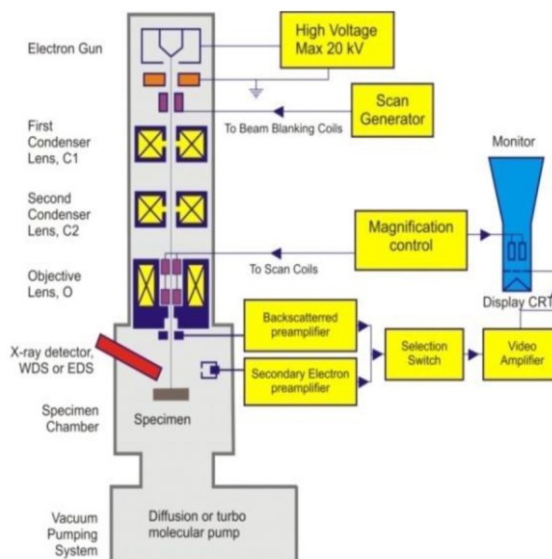
Tabel 2.3 menjelaskan spesifikasi mikroskop yang digunakan, berikut spesifikasinya.

Tabel 2.3 Spesifikasi *Microscope Optic*

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)

2.2.12 Pengujian Mikro Menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Saat ini diperlukan metode identifikasi dan karakterisasi lain yang dapat memberikan resolusi yang lebih tinggi sehingga dapat memberikan bantuan “penglihatan” bagi para peneliti untuk dapat mengamati apa yang terjadi di dalam dan sekitar interface antara bahan dengan lapisan oksida secara detil atau bahkan secara In-Situ. Untuk keperluan tersebut, Scanning Electron Microscopy (SEM) dipahami sebagai teknik yang sesuai yang diterima dan diakui oleh komunitas peneliti material dunia. (Sujatno, dkk 2015)



Gambar 2.15 Blok diagram SEM

Prinsip kerja dari SEM pada Gambar 2.15 ditunjukkan dalam langkah – langkah berikut.

1. Ketika berkas elektron discan pada permukaan sampel, terjadi interaksi elektron dengan atom-atom di permukaan maupun di bawah permukaan sampel.
2. Interaksi tersebut mengakibatkan sebagian besar berkas elektron berhasil keluar kembali, elektron-elektron tersebut disebut sebagai Backscattered Electrons (BSE),
3. Sebagian kecil elektron masuk ke dalam bahan kemudian memindahkan sebagian besar energi pada elektron atom sehingga terpental ke luar permukaan bahan, yaitu Secondary Electrons (SE).
4. Pembentukan elektron-elektron sekunder selalu diikuti proses munculnya X-ray yang karakteristik untuk setiap elemen, sehingga dapat digunakan untuk mengukur kandungan elemen yang ada di dalam bahan yang diteliti.