

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan pustaka

Pemanfaatan serat alam untuk berbagai kebutuhan manusia sangat banyak, diantaranya untuk aplikasi dibidang otomotif, industri, dan penerbangan. Ketersediaan yang banyak dialam, bahan yang relatif murah, memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, ringan dan dapat diperbaharui menjadi alasan ilmuwan untuk memanfaatkan serat alam untuk berbagai kebutuhan manusia. Akan tetapi beberapa kekurangan yang dimiliki oleh serat alam terutama serat TKKS yang memiliki gaya adhesi yang tinggi sehingga menyebabkan pembesaran dimensi permukaan dan degradasi permukaan yang dapat menurunkan kekuatan mekanik (Rana dkk, 2016).

Jamasri dkk (2005), meneliti komposit serat sawit acak bermatrik polyester terhadap kekuatan tarik. Variasi fraksi volume serat adalah 19%, 27%, 30%, 36%, 42% dengan diameter serat 1 mm dengan panjang 4-6 cm. Komposit dibuat dengan metode cetak tekan untuk variasi fraksi berat dan semua sampel dilakukan *post cure* dengan suhu 62⁰C selama 4 jam. Dihasilkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas optimal pada komposit berpenguat serat 42% yaitu 18,51 MPa, dan 4,75 GPa. Hasil terendah didapatkan pada komposit berpenguat serat 19% dengan hasil kuat tarik dan modulus elastisitas sebesar 11 MPa dan 3,44 GPa.

Yusoff dkk (2010), meneliti kekuatan tarik dan bending komposit serat TKKS-Epoksi dengan variasi penguat serat TKKS 5%, 10%, 15%, dan 20% yang disusun secara acak dengan panjang serat 10-20 mm.. Kemudian dilakukan pembuatan komposit dengan metode *hand lay up*, pencampuran epoksi dan hardener sebagai matrik menggunakan rasio 4:1 dan komposit dilakukan proses curing. Menghasilkan kekuatan tarik yang paling optimal dengan penguat serat 5% yaitu 29.9 MPa dan kekuatan bending didapatkan hasil yang paling optimal dengan penguat serat 10% yaitu 51 MPa sedangkan komposit dengan 5% fraksi volume memiliki nilai kekuatan bending yaitu 40.9 MPa.

Kim dkk (2016), meneliti kekuatan tarik dan bending pada komposit TKKS/Epoxy dengan perlakuan pencucian serat menggunakan aquades dan pengeringan menggunakan oven dengan suhu 60° selama 5 jam. Variasi yang digunakan adalah fraksi berat TKKS 0-30% dengan metode fabrikasi *vacum bagging* dengan waktu penahanan selama 24 jam. Didapatkan kekuatan tarik dan bending maksimum pada variasi 27.3%, dengan kekuatan tarik sebesar 40 MPa, *modulus young* sebesar 2.54 GPa, dan untuk kekuatan bending sebesar 63.5 MPa.

Widodo (2008), melakukan penelitian tentang pengaruh fraksi volume serat terhadap sifat mekanis komposit berpenguat serat pohon aren (ijuk) berorientasi sudut acak (random) dengan matrik epoxy. Variasi fraksi volume serat yang digunakan yaitu 20%-60%. Hasilnya menunjukkan fraksi volume serat 40% mendapatkan nilai paling optimal dengan kekuatan tarik sebesar 50,29 MPa dan kekuatan impak sebesar 11,132 Joule/mm². Hasil kekuatan tarik terendah pada fraksi volume 20% sebesar 25,28 MPa sedangkan hasil kekuatan impak terendah dihasilkan pada fraksi volume 60 % yaitu sebesar 3,89 Joule/mm².

Shirley (2012), meneliti kekuatan tarik dan bending komposit serat TKKS-Polyester dengan variasi volume serat TKKS adalah 5%, 10% dan 15% yang disusun secara acak. Kemudian dilakukan proses *post-curing* menghasilkan komposit dengan volume fraksi serat 5% mempunyai kekuatan bending yaitu 44,48 MPa, komposit berpenguat serat 10% yaitu 56,01 MPa dan komposit 15% memiliki kekuatan bending tertinggi yaitu 63,63 MPa.

Berdasarkan beberapa penelitian diatas, belum adanya dilakukan penelitian tentang pengaruh fraksi volume serat TKKS di atas 40% terhadap ketangguhan impak dan kekuatan bending komposit. Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui nilai optimal pada pengaruh fraksi volume serat TKKS di atas 40% terhadap sifat mekanis komposit dengan menggunakan variasi fraksi volume 30%, 40%, dan 50% dengan metode *cold press*. Sehingga nantinya dapat diperoleh fraksi volume yang optimal dan dapat dikembangkan sebagai material baru yang lebih ramah lingkungan.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Komposit

Material komposit yaitu kombinasi antara dua material atau lebih yang memiliki perbedaan sifat material, bentuk, komposisi kimia, dan tidak saling melarutkan dimana material ada yang berperan sebagai penguat (*reinforcement*) atau sebagai bahan pengisi (*filler*) (Ony, (2017).

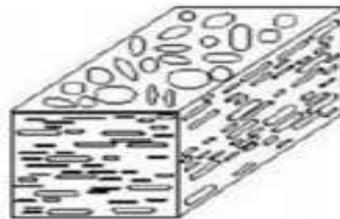
Penggunaan komposit di berbagai bidang tergantung pada karakteristik fisik, termal, kimia, dan mekanisnya. Kelebihan komposit dibandingkan logam paduan diantaranya ringan, relatif murah, kekakuan pesifik, ketahanan lelah yang baik, tahan korosi dan perambatan panas yang cukup rendah dibandingkan dengan bahan lainnya.

2.2.2. Klasifikasi Bahan Komposit

Komposit dibedakan menjadi 4 kelompok menurut bentuk struktur dari penyusunnya, yaitu:

a. Komposit Serpih (*Flake Composite*)

Komposit serpih adalah komposit dengan penambahan material berupa serpih kedalam matriksnya. Serpih dapat berupa serpihan mika, glass dan metal. Contoh komposit serpih dapat dilihat pada Gambar 2.1.

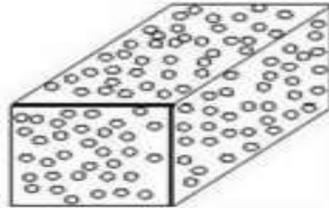


Gambar 2.1. Komposit serpih (Schwartz, 1984)

b. Komposit Partikel (*Particulate Composite*)

Komposit partikel adalah salah satu jenis komposit dimana dalam matriksnya ditambahkan material lain berupa serbuk/butir.

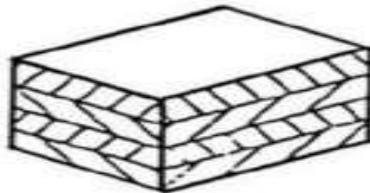
Pada komposit partikel material penambah terdistribusi secara acak atau kurang terkontrol dari pada komposit serpih, sebagai contoh adalah beton. Contoh komposit partikel dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Komposit partikel (Schwartz, 1984)

c. *Laminat Composite*

Laminat Composite adalah komposit dengan susunan dua atau lebih layer, dimana masing-masing layer dapat berbeda-beda dalam hal material. Contoh komposit laminat dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Laminat composite (Schwartz, 1984)

d. Komposit Serat (*Fiber Composite*)

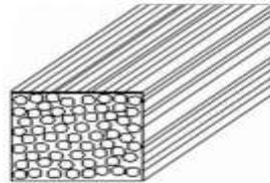
Merupakan komposit yang hanya terdiri dari satu lapisan yang menggunakan penguat berupa serat. Serat yang digunakan dapat berupa serat sintetis atau serat alam atau keduanya. Serat disusun secara acak maupun orientasi tertentu bahkan dapat juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyam. (Schwartz,1984).

Komposit serat dapat dibagi berdasarkan letak dan arah serat, yaitu:

1) *Continuous Fiber Composite*

Tipe ini mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya. Tipe ini mempunyai Susunan serat memanjang yang tidak begitu lurus

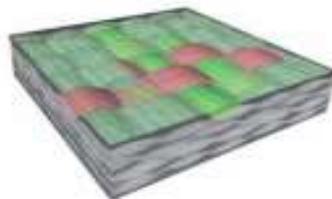
mengakibatkan kekuatan dan kekakuan melemah. Contoh *continuous fiber composite* dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4. *Continuous fiber composite* (Gibson, 1994)

2) *Woven Fiber Composite*

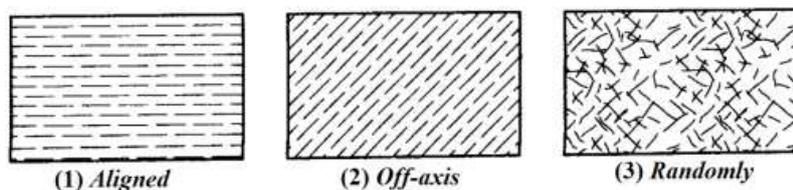
Komposit ini tidak mudah dipengaruhi pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya mengikat antar lapisan. Contoh *woven fiber composite* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. *Woven fiber composite* (Gibson, 1994)

3) *Discontinuous Fiber Composite*

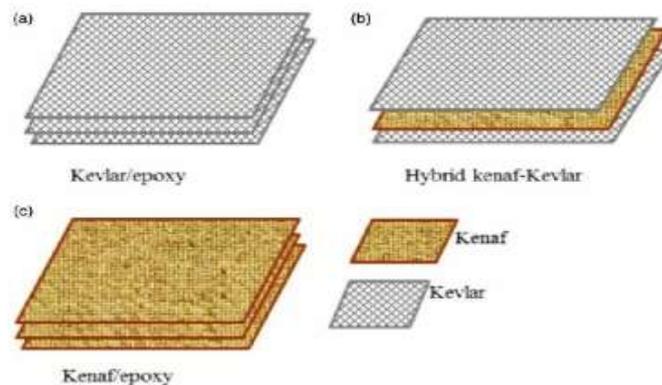
Discontinuous Fiber Composite adalah tipe komposit dengan serat pendek, tipe serat pendek masih dibedakan menjadi, *Aligned discontinuous fiber*, *off-axis aligned discontinuous fiber*, *Random oriented discontinuous fiber*. Tipe acak sering digunakan pada produksi dengan volume besar karena factor biaya manufakturnya yang lebih murah. Kekurangan dari jenis serat acak adalah sifat mekanik yang masih kurang dari penguatan dengan serat searah, dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Tipe *Discontinuous Fiber* (Gibson, 1994)

4) *Hybrid fiber composite*

Hybrid fiber composite menggunakan dua atau lebih jenis fiber dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan mekanik, sebagai contoh komposit hibrida serat kenaf/kevlar dengan matriks epoksi seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. *Hybrid fiber composite* (Ridwan, 2010)

Tipe serat komposit diatas dapat mempengaruhi kekuatan mekanik pada komposit. Selain tipe komposit ada beberapa factor lain yang dapat mempengaruhi kekuatan mekanik komposit, diantaranya sebagai berikut (Nahyudin, 2016) :

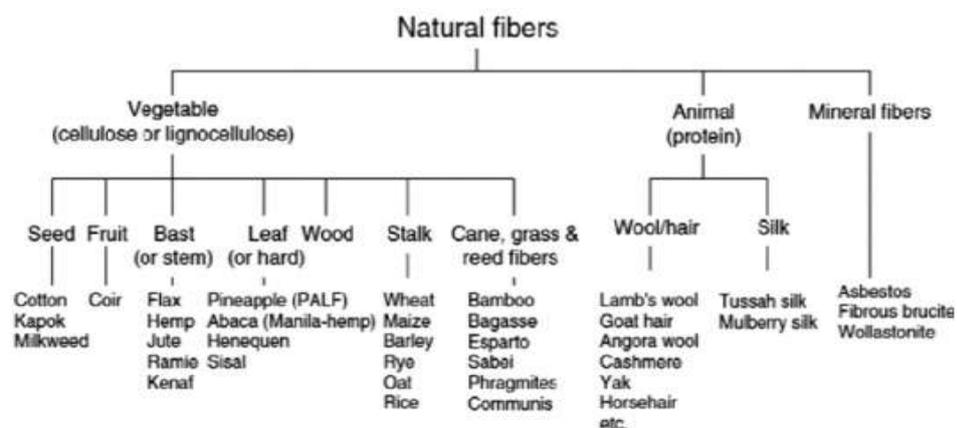
- a. Panjang serat bisa berbentuk panjang ataupun pendek. Pada serat panjang mempunyai beberapa keuntungan, seperti daya tahan terhadap tekanan yang baik, penyusutan yang rendah, dan kestabilan dalam dimensi. Sedangkan serat pendek memiliki beberapa keuntungan, seperti mudah dalam proses pembuatan dan membutuhkan waktu yang lebih cepat dalam proses pembuatan.
- b. Orientasi serat pada satu arah menghasilkan kekakuan dan kekuatan yang tinggi.
- c. Bentuk serat pada dasarnya adalah lingkaran. Bentuk lingkaran ini mempunyai keuntungan mudah dalam pembuatan komposit, akan

tetapi kekuatannya lebih kecil daripada serat yang berbentuk heksagonal atau pun persegi.

- d. Material serat ini secara langsung merupakan faktor yang menentukan kekuatan mekanik dari komposit. Grafit, aramid, serat gelas lebih kuat daripada serat alam. Dalam hal ini matriks berfungsi untuk mengikat serat, melindungi serat, dan mendistribusikan tekanan pada serat (Kaw, 2006).

2.2.3. Serat Alam

Serat alam adalah serat yang langsung diperoleh dari alam. Secara umum serat alam dibagi menjadi 3, yakni serat alam yang berasal dari tumbuhan, mineral, dan hewan. Serat alam dapat diperoleh dari tanaman pisang, bambu, nanas, rosella, kelapa, kenaf, sisal, palem-paleman dan lain-lain, klasifikasi serat alam dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Klasifikasi serat alam (Mohanty, 2005)

Saat ini, serat alam mulai mendapatkan perhatian dari para ahli material komposit, karena :

1. Serat alam memiliki kekuatan spesifik yang tinggi karena serat alam memiliki berat jenis yang rendah.

2. Serat alam mudah diperoleh dan merupakan sumber daya alam yang dapat diolah kembali, harganya relative murah dan tidak beracun.

Kemudian untuk sifat mekanis dari beberapa serat alam dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2.1. Sifat mekanis serat alam (Jawaid, et al, 2011)

Fiber	Density (g/cm³)	Tensile Strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Elongation at break (%)
OPEFB/TKKS	0.7-1.55	248-300	1.0-3.2	1.1-2.2
Flax	1.4	88-1500	60-80	1.2-1.6
Hemp	1.48	550-900	70	1.6
Jute	1.46	400-800	10-30	1.8
Ramie	1.5	500	44	2
Coir	1.25	220	6	15-25
Sisal	1.33	600-700	38	2-3
Abaca	1.5	980	-	-
Cotton	1.51	400	12	3-10
Kenaf (bast)	1.2	295-1191	-	2.7-6.
Kenaf (core)	0.21	-	-	-
Bagasse	1.2	20-290	19.7-27.1	1.1
Henequen	1.4	430-580	-	3-4.7
Pineapple	1.5	170-1672	82	1-3
banana	1.35	355	33.8	53

2.2.3.1. Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

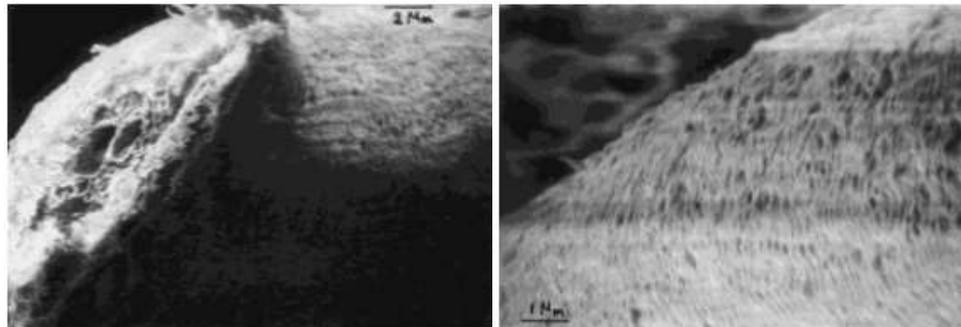
Tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) berasal dari Benua Afrika dan mulai dikenalkan di Indonesia pada tahun 1848 oleh pemerintah Belanda. Penanaman kelapa sawit umumnya dilakukan di negara yang beriklim tropis yang memiliki curah hujan tinggi (1600 mm/tahun) (Lubis, 2011). Meski bukan merupakan tanaman asli Asia Tenggara, namun perkebunan dan industri pengolahan kelapa sawit justru berkembang pesat disini.

Seperti dijelaskan pada latar belakang, salah satu masalah industri sawit di dunia dan Indonesia pada khususnya adalah persoalan limbah. Limbah padat terbesar industri kelapa sawit adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS), yang akar masalah teknisnya adalah kurangnya inovasi dalam hal pengolahannya (Farkhan, 2016). TKKS adalah bahan yang keras dan kuat dan hampir memiliki kesamaan morfologis dengan sabut kelapa (Sreekala et al. 1997). Contoh limbah buah TKKS dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Tandan Kosong Kelapa Sawit

Citra SEM (*scanning microscopic electron*) dari serat TKKS yang terlihat pada gambar 2.10 menunjukkan terdapatnya kekosongan pada bagian tengah yang dikelilingi struktur tubular berpori (Sreekala dkk, 1997).



Gambar 2.10. Foto SEM serat TKKS (Sreekala dkk, 1997)

Pori-pori permukaan serat tersebut berdiameter rata-rata 0.7 mm dan morfologi permukaan berpori ini berguna menghasilkan ikatan mekanis yang lebih baik dengan matriks *epoxy* dalam pembentukan komposit (Sreekala dkk, 1997). Struktur permukaan berpori juga memfasilitasi penetrasi air ke dalam serat secara kapiler, terutama ketika serat TKKS ini diberi air (Farkhan, 2016).

Beberapa peneliti telah mempelajari serat TKKS dan telah membuktikan bahwa serat ini sangat baik untuk bahan baku komposit. Dalam mikrofibril TKKS terdapat selulosa, lignin, dan hemiselulosa sebagai komponen utama yang terlihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. Komposisi Kimia di dalam TKKS (Shinoj dkk, 2011)

Unsur	Nilai
Selulosa (%)	42.7 – 65
Lignin (%)	13.2 – 25.31
Hemiselulosa (%)	17.1 – 33.5
Holoseululosa (%)	68.3 – 86.3
Kadar abu (%)	1.3 – 6.04
Ekstraktif dalam air panas (100°C) (%)	2.8 – 14.79
Kelarutan dalam air dingin (30°C) (%)	8 – 11.46
Alkali larut (%)	14.5 – 31.17
Alfa selulosa (%)	41.9 – 60.6

Tabel 2.2 menunjukkan komposisi kimia serat TKKS. Senyawa yang paling banyak terkandung dalam serat TKKS adalah lignin sebesar 13%-25%, hemiselulosa sebesar 17%-33%, dan holoseululosa 68%-86% membuatnya cocok dengan beberapa bahan baku polimer seperti karet alam, *polypropylene*, *polyvinyl chloride*, *phenol formaldehyde*, *polyurethane*, *epoxy*, dan *polyester* (Farkhan, 2016). Kandungan selulosa yang tinggi dan nilai ketangguhan (*toughness*) yang tinggi dari serat TKKS membuatnya cocok untuk penggunaan komposit (Sreekala dkk, 2004).

Secara umum kelebihan dari serat TKKS sebagai serat alam dibandingkan dengan serat sintetis lainnya adalah sumber dapat diperbarui dan berkelanjutan, dapat didaur ulang, lebih ringan, dan tersedia dalam jumlah banyak dan lebih murah. Adapun kekurangan dari serat TKKS ini adalah kualitasnya tidak seragam, sumber bahan baku yang tidak kontinyu, mempunyai sifat hydrophilic yang menyebabkan sulit berikatan dengan polimer yang bersifat hydrophobic, dan penyerapan air yang tinggi.

2.2.4. Matriks

Matriks dalam struktur komposit dapat berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik (Gibson, 1994). Matrik adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). Matrik mempunyai fungsi untuk mentransfer tegangan ke serat secara merata, melindungi serat dari gesekan mekanik, memegang dan mempertahankan serat pada posisinya, melindungi dari lingkungan yang merugikan, dan tetap stabil setelah proses manufaktur. Matriks dalam komposit mempunyai sifat – sifat mekanis seperti diantaranya (Ellyawan, 2008):

- a. Sifat mekanis yang baik
- b. Kekuatan ikatan yang baik
- c. Ketangguhan yang baik
- d. Tahan terhadap temperature

2.2.4.1. Polimer

Polimer adalah salah satu bahan rekayasa bukan logam (*non-metallic material*) yang penting. Saat ini bahan polimer telah banyak digunakan sebagai bahan substitusi untuk logam terutama karena sifat-sifatnya yang ringan, tahan korosi, murah, khususnya untuk aplikasi-aplikasi pada temperatur rendah. Hal lain yang banyak menjadi pertimbangan adalah daya hantar listrik dan panas yang rendah, kemampuan untuk meredam kebisingan, warna dan tingkat transparansi yang bervariasi, kesesuaian desain dan manufaktur. Menurut sifatnya polimer dapat dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu jenis thermoset dan thermoplastic (Calister, 2009).

1. *Thermoplastic*

Thermoplastic adalah plastik yang dapat dilunakkan berulang kali (*recycle*) dengan menggunakan panas. Thermoplastic merupakan polimer yang akan menjadi keras

apabila didinginkan. Thermoplastic akan meleleh pada suhu tertentu, melekat mengikuti perubahan suhu dan mempunyai sifat dapat balik (reversible) kepada sifat aslinya. Contoh dari thermoplastic yaitu polyester, PP, PTFE, PET, Poliester sulfon, PES (Calister, 2009).

2. *Thermoset*

Thermoset tidak dapat mengikuti perubahan suhu (irreversible). Bila sekali pengerasan telah terjadi maka bahan tidak dapat dilunakkan kembali. Pemanasan yang tinggi tidak akan melunakkan thermoset melainkan akan membentuk arang dan terurai karena sifatnya yang demikian sering digunakan sebagai tutup ketel, seperti jenis melamin. Plastik jenis thermoset tidak begitu menarik dalam proses daur ulang karena selain sulit penanganannya juga volumenya jauh lebih sedikit (sekitar 10%) dari volume jenis plastik yang bersifat thermoplastik. Contoh dari thermoset adalah Epoksida, Bismaleimida (BMI), Dan Poli-imida (PI) (Calister, 2009).

2.2.4.1.1. Epoxy Resin

Resin Epoxy merupakan gugus polimer bergolongan termoset yang biasa digunakan sebagai bahan adhesif dan lapisan pelindung yang sangat baik karena memiliki kekuatan yang tinggi, dan daya rekat yang kuat. Selain itu epoxy juga baik dalam ketahanan terhadap bahan kimia, sifat dielektrik dan sifat isolasi, penyusutan rendah, stabilitas dimensi dan ketahanan lelehnya (Ray. 2005).

Menurut Kuntari (2009), epoxy terbentuk dari dua bahan kimia yang berbeda yaitu resin dan hardener, dimana bila dicampur dengan perbandingan yang tepat akan menghasilkan masa yang padat dan dapat melekat dengan baik pada logam, kulit, kayu, maupun beton.

Jenis lain dari epoxy yakni *cycloaliphatic* yang menghasilkan produk jadi yang memiliki resistansi listrik lebih baik dan daya tahan lebih baik terhadap cahaya matahari. Tabel 2.3 adalah sifat-sifat dasar bahan epoxy baik dengan menggunakan bahan penguat serat sintetis maupun yang murni, dikutip dari buku Handbook of Plastic Technology (2006).

Tabel 2.3. Sifat-sifat dasar bahan epoxy (Handbook of Plastic Technology 2006)

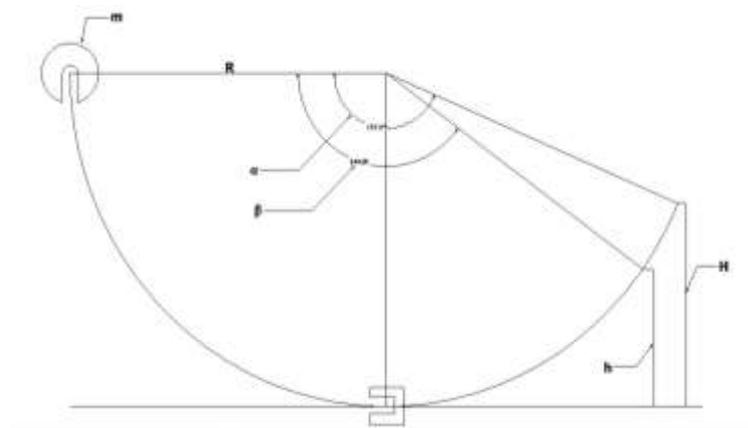
Epoxy resin	BPA			Novolac
	None	Glass	Graphite	Graphite
Reinforcing fiber				
Flex. modulus, kpsi	350	2500	5000	5500
Tensile str., kpsi	8.5	27.5	45	20
Flexural str., kpsi	17	60	85	40
Compressive str., kpsi	20	25	35	28
Impact str., fpi	0.6	35	18	10
Thermal exp., $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	55	12	3	1
HDT, $^{\circ}\text{C}$	167	288	288	260
H ₂ O abs., %	0.1	1.4	1.6	0.8

Dapat disimpulkan bahwa epoxy memiliki sifat dan unjuk kerja fisik-mekanik yang meningkat drastis ketika dijadikan komposit dibanding sifat-sifat aslinya. Beberapa contoh dari aplikasi epoxy antara lain sebagai bahan penguat pada industri perkapalan, penerbangan, dan bahan pembuatan rotor turbin angin, selain itu epoxy dapat menggantikan polyester karena memiliki kekuatan mekanis yang lebih tinggi. Keuntungan lain matriks epoxy adalah mudah dikombinasikan dengan berbagai serat baik serat sintetis maupun serat alam, dan dapat digunakan untuk semua bentuk penguatan plastik.

2.2.5. Uji Mekanik Impak

Uji impak merupakan pengujian material untuk mendapatkan kualitas ketahanan terhadap beban kejut, dan mengetahui energi yang dibutuhkan pada saat mematahkan batang spesimen dalam sekali pukul.

Metode pengujian impak ada dua metode yaitu metode Charpy dan metode Izod dengan takikan maupun tanpa takikan pada spesimen yang disesuaikan dengan standar pengujian bahan tersebut. Pada dasarnya setiap pengujian impact memiliki kelebihannya masing-masing, pada penelitian ini menggunakan impact Charpy dikarenakan untuk mengukur kekuatan dan kualitas pada spesimen polimer. Skema pengujian impact seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.11. Skema pengujian impact Charpy

Rumusan yang digunakan untuk menghitung besarnya energi yang terserap oleh komposit pada pengujian impact Charpy adalah.

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

Dimana:

m = Masa pendulum (kg)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

R = Panjang lengan pendulum (m)

β = Sudut ayun pendulum setelah menabrak spesimen ($^\circ$)

α = Sudut ayun bebas pendulum ($^\circ$)

Dari hasil perhitungan energi terserap tersebut di atas, besarnya kekuatan impak dapat dihitung dengan persamaan:

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

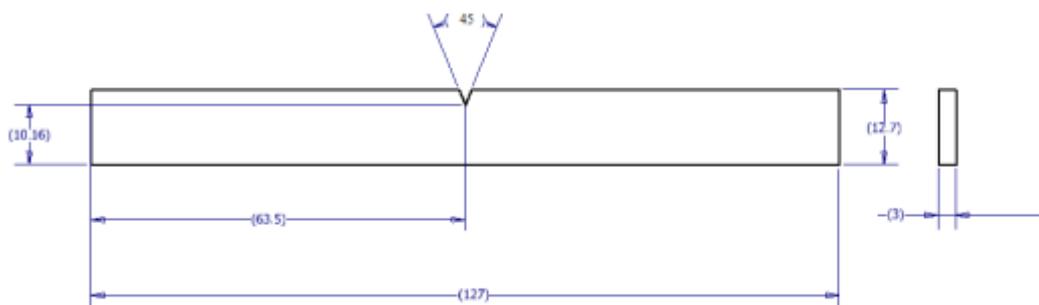
Dimana:

HI = Kekuatan impact (J/m^2)

$Esrp$ = Energi serap spesimen (joule)

A = Luas penampang spesimen (m^2)

Setelah mengetahui mekanisme pengujian impact dan rumus perhitungan impact, perlu diketahui juga bahwa sebelum melakukan pengujian impact diperlukan pembuatan celah v-notch pada spesimen pengujian impact. Fungsi dari v-notch adalah untuk menguji perpatahan specimen pada titik tengah pada pengujian, notch pada material akan menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada daerah takikan sehingga material mudah patah, adanya notch akan terjadi traxial stress. Traxial stress adalah specimen tidak akan terjadi deformasi plastis dan menyebabkan specimen getas, sehingga tidak ada tanda bahwa spesimen mengalami kegagalan. berikut ketentuan v-notch pada specimen dan alat untuk membuat celah v-notch:



Gambar 2. 12. Ukuran spesimen (ASTM D6110-04)

Kegunaan dibuatnya notch pada spesimen yaitu untuk mempermudah terjadinya patahan dan hasil patahan lebih terkonsentrasi di titik tengah yang membuat spesimen menjadi getas. Penggunaan notch sesuai standar yang digunakan ada standar yang tanpa notch dan menggunakan notch seperti standar ASTM D6110-04.

2.2.6. Uji Mekanik Bending

Pengujian lengkung merupakan salah satu pengujian sifat mekanik bahan yang dilakukan terhadap spesimen, baik yang akan digunakan sebagai konstruksi atau komponen yang akan menerima pembebanan lengkung maupun proses pelengkungan dalam pembentukan. Pelengkuan (bending) merupakan proses pembebanan terhadap suatu bahan pada suatu titik ditengah-tengah dari bahan yang ditahan diatas dua tumpuan.

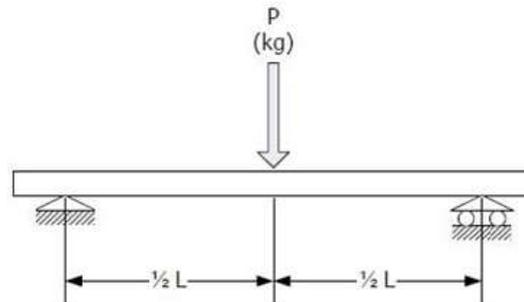
Pengujian lengkung beban ialah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui aspek-aspek kemampuan bahan uji dalam menerima pembebanan lengkung, yakni (Yogi 2012):

1. Kekuatan atau tegangan lentur (σ)
2. Lentur atau defleksi (δ) sudut yang terbentuk oleh lenturan atau sudut defleksi
3. Elastisitas (E)

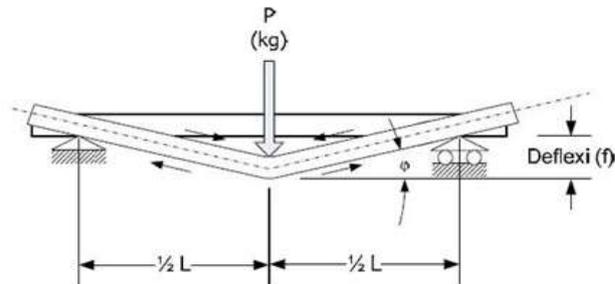
Pengujian kekuatan bending dapat dilakukan dengan Metode *Three Point Bending* atau Metode *Four Point Bending* menurut kondisi dari benda uji yang dipergunakan. Biasanya pada benda uji dengan kerataan yang kurang begitu sempurna dilakukan dengan Metode *Three Point Bending*, akan tetapi dengan hasil yang kurang maksimal apabila dipergunakan Metode *Four Point Bending*. Hal ini disebabkan terjadi konsentrasi pembebanan pada Metode *Three Point Bending*.

Metode *Three Point Bending*, metode ini spesimen atau benda dikenai beban pada satu titik yaitu tepat pada bagian tengah batang ($\frac{1}{2} L$). Pada metode ini material harus tepat berada di ($\frac{1}{2} L$), agar mendapatkan momen maksimum karena saat mencari σ dibutuhkan momen maksimum tersebut.

Berikut ini adalah ilustrasi dari pengujian kekuatan bending dengan Metode *Three Point Bending* :



Gambar 2.13. Pembebanan lengkung *Three point bending*



Gambar 2.14. Pengaruh pembebanan lengkung terhadap bahan uji

Sebagaimana perilaku bahan terhadap pembebanan, semua bahan akan mengalami perubahan bentuk (deformasi) secara bertahap dari elastis menjadi plastis hingga akhirnya mengalami kerusakan (patah). Dalam proses pembebanan lengkung dimana dua gaya bekerja dengan jarak tertentu ($L/2$) serta arah yang berlawanan bekerja secara bersamaan (lihat Gambar 2.14).

Setelah dilakukan pengujian bending, untuk mendapatkan angka kekuatan bending digunakan persamaan berikut:

$$\sigma_b = 3PL/(2bd^2) \dots\dots\dots (2.3)$$

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

Dimana:

σ_b = tegangan bending (MPa)

P = gaya pembebanan (N)

L = jarak antar tumpuan /span (mm)

b = lebar spesimen (mm)

d = tebal spesimen (mm)

D = defleksi maksimum (mm)

Persamaan 2.1 digunakan jika perbandingan $L/d \leq 16$, dimana L adalah support span dan d adalah tebal spesimen. Pada persamaan 2.2 digunakan jika nilai perbandingan $L/d > 16$.

Untuk mendapatkan nilai regangan bending digunakan persamaan berikut:

$$\epsilon_b = 6Dd/L^2 \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

ϵ_b = regangan (mm/mm)

D = defleksi maksimum (mm)

L = panjang span (mm)

d = tebal (mm)

Untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas bending digunakan persamaan berikut:

$$E_B = L^3m/4bd^3 \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

E_B = modulus elastisitas bending (MPa)

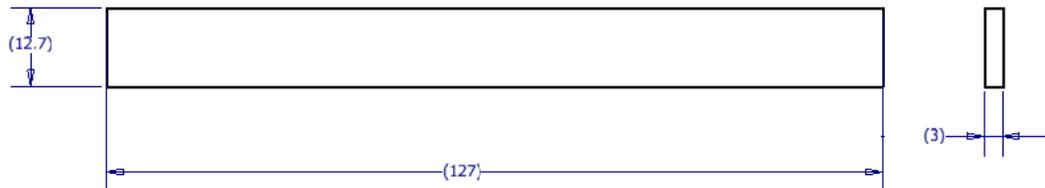
L = panjang span (mm)

b = lebar spesimen (mm)

d = tebal spesimen (mm)

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

Berikut adalah ukuran dari spesimen uji bending dengan ASTM D790-02 yang akan digunakan pada penelitian ini :



Gambar 2.15. Ukuran Spesimen ASTM 790-02

2.2.7. Pengujian Densitas

Densitas atau massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa per volumenya. Massa jenis rata-rata setiap benda merupakan total massa dibagi dengan total volumenya. Sebuah benda yang memiliki massa jenis lebih tinggi akan memiliki volume yang lebih rendah dari pada benda bermassa sama yang memiliki massa jenis lebih rendah.

Pengujian densitas ditujukan untuk mengetahui rapat massa dari bahan komposit yang telah dibuat. Pengujian ini dilakukan dengan metode arcimides. Dengan mencari nilai massa dan volume dari benda. Setelah massa dan volume komposit diketahui maka densitas dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan ρ = Massa jenis komposit (g/mm³)

m = Massa komposit (g)

v = Volume komposit (mm³)

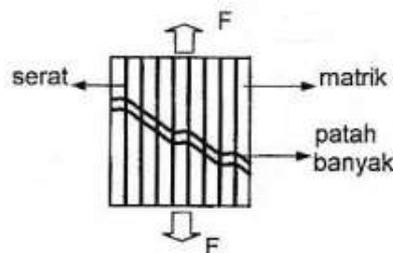
2.2.8. Karakteristik Patahan pada Material Komposit

Patah didefinisikan sebagai pemisahan sebuah bahan menjadi dua atau lebih potongan sebagai respon dari tegangan statik yang berkerja dan pada temperature yang relativ rendah terhadap temperatur cairnya. Dua model patah yang mungkin terjadi pada bahan teknik adalah patah liat (*ductile fracture*) dan patah getas (*brittle fracture*).

Klasifikasi ini didasarkan pada kemampuan bahan mengalami deformasi plastik. Bahan liat (*ductile*) memperlihatkan deformasi plastik dengan menyerap energi yang besar sebelum patah. Sebaliknya, patah getas (*brittle*) hanya memperlihatkan deformasi palstik yang kecil atau bahkan tidak ada. Jenis patahan sangat tergantung pada mekanisme perambatan retak. (Ray 2005).

a) Patah Banyak

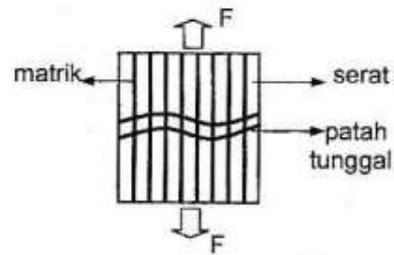
Patah banyak adalah ketika jumlah serat yang putus akibat beban tarik masih sedikit dan kekuatan interface masih baik. Matrik mampu mendukung beban yang diterima dengan cara mendistribusikan beban tersebut ke sekitarnya. Apabila matrik mampu menahan gaya geser dan meneruskan beban ke serat yang lain maka jumlah serat yang putus semakin banyak. Patahan terjadi pada lebih dari satu bidang (Schwartz, 1984).



Gambar 2. 16 Patah Banyak (Schwartz, 1984)

b) Patah Tunggal

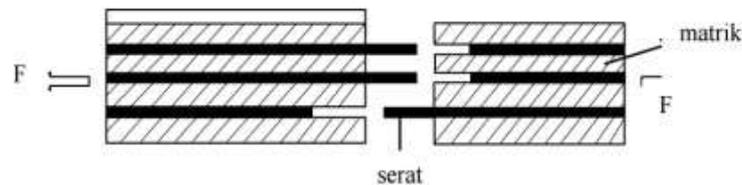
Patahan terjadi pada satu bidang, yang disebabkan ketika serat putus akibat beban tarik, matrik tidak mampu lagi menahan beban tambahan (Schwartz, 1984). Gambar 2.17 dibawah ini menunjukkan patah tunggal



Gambar 2. 17. Patah Tunggal (Schwartz, 1984)

c) Fiber Pullout

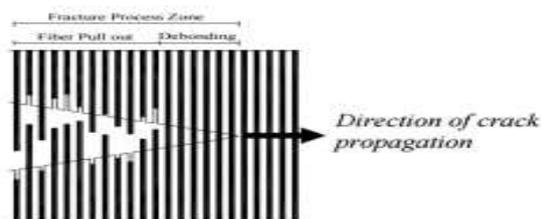
Fiber pullout adalah tercabutnya serat dari matrik yang disebabkan ketika matrik retak akibat beban tarik, kemampuan untuk menahan beban akan segera berkurang namun komposisi masih mampu menahan beban yang mampu ditahan kecil daripada bebanmaksimum. Saat matrik retak, beban akan ditransfer dari matrik ke serat ditempat persinggungan retak. Seiring dengan bertambahnya deformasi, serat akan tercabut dari matrik akibat debonding dan patahnya serat (Schwartz, 1984).



Gambar 2.18. Fiber pullout (Schwartz, 1984)

d) Fiber breakage/ fiber break-up

Tercabutnya serat dari matrik sebelum matrik pecah/putus akibat adanya beban tarik. Hal ini disebabkan karena tegangan pada serat jauh lebih besar daripada tegangan matrik. Patahan pada ujungnya masih ada ikatan matrik yang merekat dan patahan pada ujung serat pendek-pendek (Schwartz, 19884).



Gambar 2.19. Fiber breakage/ fiber break-up (Agawal, 1990)

2.2.9. *Microscope optic*

Microscope optic yang digunakan adalah tipe *microscope optic usb*. *Microscope* berfungsi sebagai melihat objek kecil yang tidak bisa dilihat oleh mata manusia, menjadikan alat ini sebagai pembantu untuk melihat struktur secara kasar detail dari material. Berikut gambar alat *microscope* tersebut :



Gambar 2.20. *Microscope optic usb*

Tabel 2.4 akan menjelaskan spesifikasi dari *microscope optik*, berikut spesifikasi alat tersebut :

Tabel 2.4. Spesifikasi *Mircscope optic*

Warna	Hittam
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. *The Rule of Mixtures*

Sifat komposit dapat diprediksi dengan *The Rule of Mixture (ROM)* dengan syarat, sifat –sifat bahan pembentuknya diketahui:

$$\sigma_C = \sigma_f V_f + \sigma_m V_m \dots\dots\dots(2.8)$$

$$E_C = E_f V_f + E_m V_m \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan : σ_c = kekuatan komposit (N/mm²)

σ_f = kekuatan filler (N/mm²)

σ_m = kekuatan matrik (N/mm²),

V_f = volume filler (mm³)

V_m = volume matrik (mm³)

E_c = modulus elastisitas komposit (MPa)

E_f = modulus elastisitas filler (MPa)

E_m = modulus elastisitas matrik (MPa)