

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian yang dilakukan oleh Hadi, dkk (2016) tentang penggunaan serat daun nanas/epoksi sebagai aplikasi kulit kapal menunjukkan bahwa ketangguhan impak rata-rata pada komposit serat daun nanas dengan arah sudut bersilangan  $0^\circ$  sebesar  $0,0229 \text{ J/mm}^2$ , arah sudut bersilangan  $11,25^\circ$  sebesar  $0,0375 \text{ J/mm}^2$ , arah sudut bersilangan  $22,5^\circ$  sebesar  $0,0333 \text{ J/mm}^2$ , arah sudut bersilangan  $45^\circ$  sebesar  $0,0375 \text{ J/mm}^2$ . Hal ini menunjukkan komposit serat daun nanas/epoksi dengan arah sudut bersilangan  $11,25^\circ$  dan  $45^\circ$  memiliki ketangguhan impak yang sama besar. Sehingga menunjukkan bahwa variasi arah serat tidak terlalu berpengaruh terhadap ketangguhan impak karena didapatkan hasil yang tidak terlalu berbeda pada tiap variasinya.

Pada umumnya serat alam memiliki sifat *hydrophilic* yaitu tidak kompatibel dengan matriks termoset/termoplastik yang memiliki sifat *hydrophobic*. Perlakuan alkalisasi pada serat alam dapat meningkatkan sifat mekanik komposit serta ikatan antar permukaan serat dan matriks (Sosiati dkk, 2016). Modifikasi permukaan serat sisal menggunakan larutan alkali (6 % NaOH selama satu dan tiga jam pada temperature  $100^\circ\text{C}$ ) melarutkan sebagian besar lignin yang terkandung dalam serat alam, sehingga menyebabkan serat lebih bersifat *hydrophilic* yang dapat menurunkan kompatibilitas antara serat sisal dengan matriks *polypropylene* (Sosiati dkk, 2015). Ray, dkk (2001) menyatakan bahwa modulus elastisitas pada serat jute dapat ditingkatkan dengan perlakuan alkalisasi selama 0, 2, 4, 6 dan 8 jam, dilanjutkan dengan pencucian serat untuk menetralkan larutan alkali dengan asam asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), kemudian serat dikeringkan pada suhu ruangan selama 48 jam.

Sifat mekanis juga dapat ditingkatkan dengan penambahan jumlah lamina. Penelitian yang dilakukan oleh Wijoyo dan Nurhidayat (2013) menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah lamina (layer) pada komposit sandwich serat aren polyester dengan core pelepah pohon pisang, maka semakin besar ketangguhan impact komposit tersebut. Proses fabrikasi komposit menggunakan metode *hand lay up*. Pada 1 lamina-pelepah-serat aren bagian bawah dengan 3 lamina serat aren pada bagian atas menghasilkan ketangguhan impact sebesar  $0,143 \text{ J/mm}^2$  meningkat 14,69% dibandingkan dengan 1 lamina-pelepah-serat aren bagian bawah dengan 1 lamina serat aren pada bagian atas sebesar  $0,0122 \text{ J/mm}^2$ . Semakin banyak jumlah lamina mengakibatkan semakin besar energi yang diserap komposit.

Fahmi dan Arifin (2014) melakukan pengujian terhadap ketangguhan impact serat nanas *E-Glass* dengan matriks resin epoxy dengan metode *hand lay up* menggunakan variasi fraksi volume matriks dan filler. Variasinya sebagai berikut :

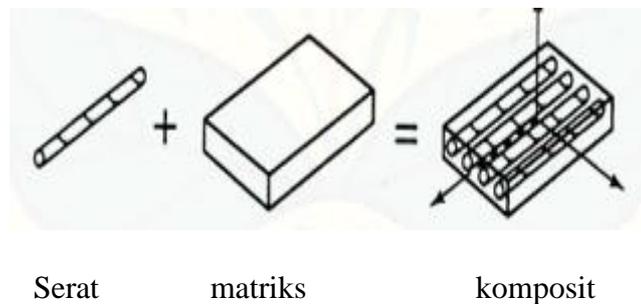
1. 90% resin, 10% serat (6% serat nanas, 4% serat *E-Glass*)
2. 80% resin, 20% serat (12% serat nanas, 8% serat *E-Glass*)
3. 70% resin, 30% serat (18% serat nanas, 12% serat *E-Glass*)
4. 60% resin, 40% serat (24% serat nanas, 16% serat *E-Glass*)

Pada perbandingan matriks dan *filler* 90:10 menghasilkan ketangguhan impact paling kecil yaitu sebesar  $0,003 \text{ J/mm}^2$ . Hal ini dikarenakan jumlah filler yang digunakan terlalu sedikit dibandingkan dengan yang lain, sehingga kemampuan energi untuk menyerap beban terlalu kecil. Sementara itu ketangguhan impact terbesar terdapat pada perbandingan matriks dan *filler* 70:30 yaitu sebesar  $0,008 \text{ J/mm}^2$ . Jumlah *filler* dianggap tepat karena dapat memenuhi seluruh bagian matriks sehingga pembebanan akan tersalurkan secara sempurna dari matriks ke *filler*.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Komposit

Komposit merupakan gabungan dari dua atau lebih material yang memiliki sifat mekanik lebih tinggi daripada material pembentuknya. Ada dua bagian pada komposit. Pertama *filler* sebagai material pengisi komposit dan kedua matriks sebagai pengikat *filler* atau pelindung komposit. Serat alam merupakan serat yang dihasilkan oleh tumbuhan, misalnya pada daun, batang atau akar. Serat alam ini merupakan *filler* yang tepat untuk komposit karena disamping harganya murah, memiliki densitas rendah modulus elastisitas tinggi serta ramah lingkungan. (Kusumastuti, 2009). Komposit disusun dari dua komponen yaitu matrik atau resin dan *filler* atau penguat. *Filler* atau penguat berupa lamina, partikel atau serat yang berfungsi sebagai penguat dalam menerima distribusi tegangan dari komposit (Yunus, 2011). Sedangkan matrik dapat berupa keramik, logam atau polimer yang berfungsi sebagai penyelubung serat dari kerusakan antar serat, pelindung terhadap lingkungan (serangan zat kimia, kelembaban), transfer beban antar serat, dan perekat agar tetap stabil secara fisika dan kimia setelah proses manufaktur.



Gambar 2.1 Komponen Komposit (Jones, 1999)

#### 2.2.1.1 Jenis-jenis komposit

Ada beberapa jenis komposit diantaranya :

##### 1. Komposit serat (*Fibrous Composites*)

Jenis komposit yang hanya terdiri dari satu lamina atau satu lapisan yang menggunakan penguat (*filler*) berupa serat. Serat yang biasanya digunakan yaitu berupa *glass fibers*, *carbon fibers*, *aramid fibers* (*poly*

*aramide*), serat alam dan sebagainya. Serat ini dapat disusun secara acak maupun dengan arah orientasi tertentu bahkan dapat juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman.



Gambar 2.2 Komposit serat (Yunus, 2011)

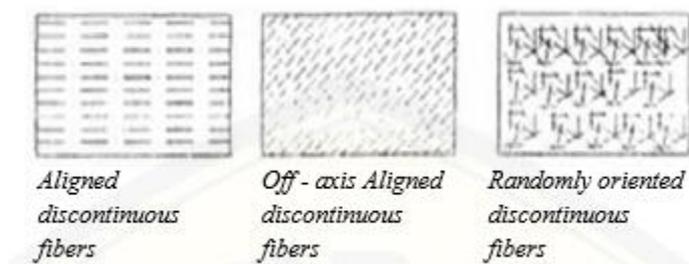
Terdapat tipe serat pada komposit berdasarkan penempatan diantaranya :

a. *Continuous Fiber Composite*

Continuous mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya. Jenis komposit ini paling banyak digunakan. Tetapi kekurangan tipe ini adalah lemahnya kekuatan antar lapisan. Hal ini disebabkan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya.

b. *Discontinuous Fiber Composite*

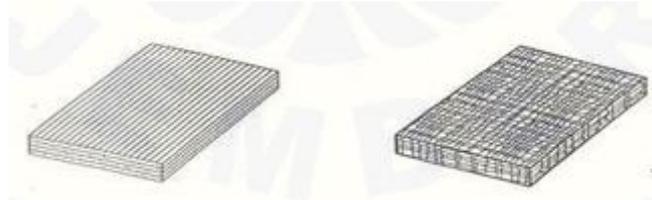
Komposit dengan serat pendek terdiri dari 3 jenis diantaranya *Aligned discontinuous fiber*, *Off-axis aligned discontinuous fiber*, *randomly oriented discontinuous fiber*. Randomly oriented discontinuous fiber merupakan komposit dengan serat pendek yang tersebar secara acak diantara matriksnya. Tipe acak sering digunakan pada produksi dengan volume besar karena faktor biaya manufakturnya yang lebih murah. Kekurangan dari jenis serat acak adalah sifat mekanik yang masih dibawah dari penguatan dengan serat lurus pada jenis serat yang sama. Berikut adalah gambar pada *Discontinuous Fiber Composite*.



Gambar 2.3 Jenis-jenis Discontinuous Fiber Composite (Gibson, 1994)

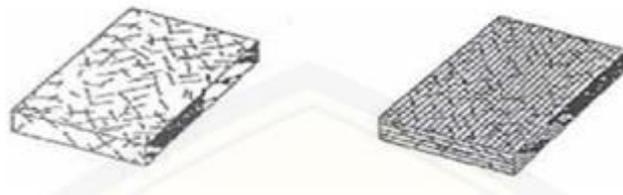
c. *Hybrid fiber Composite*

*Hybrid fiber composite* merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak atau serat alami dengan serat buatan. Dimana pertimbangannya supaya dapat meminimalisir kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihan keduanya.



a. *Continuous Fiber Composite*

c. *Woven Fiber Composite*



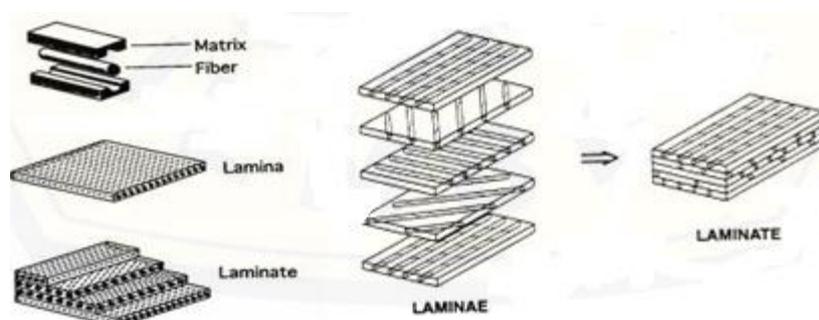
b. *Discontinuous Fiber Composite*

d. *Hybrid Fiber Composite*

Gambar 2.4 Tipe serat pada komposit (Gibson, 1994)

2. **Komposit Lapis (*Laminated Composite*)**

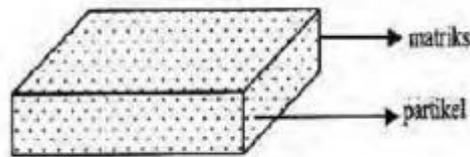
Komposit lapis adalah komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih atau lebih yang akan digabung menjadi satu dan setiap lapisannya memiliki karakteristik sifat yang berbeda. Contoh dari komposit ini adalah bimetal, pelapis logam kaca dan komposit lapis serat. (Jones, 1999)



Gambar 2.5 Struktur Komposit lapis (Masruri, 2011)

### 3. Komposit Partikel (*Particulate Composite*)

Komposit partikel merupakan material komposit yang terdiri dari partikel-partikel yang tersuspensi kedalam matriks. Partikel tersuspensi kedalam matriks dapat berupa logam maupun non logam yang berukuran 0,01-0,1  $\mu\text{m}$  (10-100 nm) (Callister, 2007).



Gambar 2.6 Komposit partikel (Gibson, 1994)

Keuntungan pada komposit partikel diantaranya :

- a) Kekuatan lebih seragam pada berbagai arah.
- b) Dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan material.
- c) Cara penguatan dan penegerasan oleh partikular adalah dengan menghalangi pergerakan distorsi.

#### 2.2.2 Matriks

Matriks adalah suatu material pada komposit yang fungsinya sebagai bahan pengikat serat menjadi sebuah unit struktur, melindungi bahan penguat atau *filler* dari kerusakan secara eksternal baik secara mekanis atau fisis. Meneruskan serta memindahkan beban pada bidang geser antara serat dan matriksnya, sehingga antara serat dan matriks saling terikat (Schwartz, 1996). Matriks merupakan salah satu elemen pada komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (Gibson, 1994). Secara umum matriks pada komposit serat alam dibagi menjadi 2 yaitu (Surdia dan Saito, 1999) :

## 1. Termoplastik

Termoplastik adalah bahan plastik yang mudah menjadi lunak kembali apabila dipanaskan dan mengeras apabila didinginkan sehingga pembentukan dapat dilakukan berulang-ulang karena mempunyai struktur yang linier. Kelebihan yang dimiliki oleh termoplastik adalah jika sudah digunakan dan menjadi keras dapat digunakan kembali atau dibuat dalam bentuk lain, sedangkan termoset tidak bisa. Contoh termoplastik adalah *Polypropylene*, PVC (*poly vinyl clorida*), *polyetilene*, *polyamida*, dan lain-lain.

## 2. Termoset

Termoset merupakan bahan yang sulit mencair atau melunak apabila dipanaskan karena harus membutuhkan temperatur yang sangat tinggi. Hal ini disebabkan karena molekul-molekul mengalami ikatan silang (*cross linking*). Kelebihan pada termoset adalah tahan terhadap suhu tinggi jika dibandingkan dengan termoplastik. Beberapa contoh termoset diantaranya resin epoxy, *polyester*, *melamine formaldehyde* dan lain-lain.

### 2.2.2.1 Polypropylene

*Polypropylene* adalah material plastik yang termasuk dalam jenis termoplastik dan memiliki sifat tidak berbau, tahan terhadap asam dan basa, memiliki densitas rendah sehingga sangat cocok digunakan pada komponen otomotif, peralatan laboratorium, wadah atau kontainer, serta masih banyak lagi peralatan sehari-hari yang menggunakan *polypropylene*.



Gambar 2.7 Proses polimerisasi

Modulus elastisitas dari PP adalah 1300-1800 N/mm<sup>2</sup>. PP memiliki sifat alot dan kaku sehingga memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap

kelelahan, untuk alasan itu PP digunakan untuk aplikasi engsel atau aplikasi lain yang memungkinkan penggunaan lipat dan tekuk dari sebuah keaktifan (Maier dkk, 1998). Titik leleh PP terjadi pada satu rentang tergantung kristalinitasnya, sehingga titik lebur ditentukan dengan menentukan suhu tertinggi dari scanning grafik diferensial kalorimetri. Sindiotaktik PP dengan kristalinitas 30% memiliki titik leleh 130 °C, PP dengan isotaktik sempurna memiliki titik leleh 171°C, isotaktik PP komersial memiliki titik leleh yang berkisaran 160-166 °C (Maier dkk, 1998). PP memiliki masa jenis 0,90-0,91 g/cm<sup>3</sup> (Callister, 1997). Pengembangan material komposit serat alam menggunakan matriks termoplastik berupa Polypropylene telah dilakukan oleh PT. Toyota Motor Manufacturing Indonesia sebagai komponen interior mobil (Fauziah, 2009).

Tabel 2.1 Sifat mekanis polimer (Callister, 2007)

<i>Material/Condition</i>	<i>Yield Strength (MPa [ksi])</i>	<i>Tensile Strength (MPa [ksi])</i>	<i>Percent Elongation</i>
Elastomers			
• Butadiene-acrylonitrile (nitrile)	—	6.9–24.1 (1.0–3.5)	400–600
• Styrene-butadiene (SBR)	—	12.4–20.7 (1.8–3.0)	450–500
• Silicone	—	10.3 (1.5)	100–800
Epoxy	—	27.6–90.0 (4.0–13)	3–6
Nylon 6,6			
• Dry, as molded	55.1–82.8 (8–12)	94.5 (13.7)	15–80
• 50% relative humidity	44.8–58.6 (6.5–8.5)	75.9 (11)	150–300
Phenolic	—	34.5–62.1 (5.0–9.0)	1.5–2.0
Poly(butylene terephthalate) (PBT)	56.6–60.0 (8.2–8.7)	56.6–60.0 (8.2–8.7)	50–300
Polycarbonate (PC)	62.1 (9)	62.8–72.4 (9.1–10.5)	110–150
Polyester (thermoset)	—	41.4–89.7 (6.0–13.0)	<2.6
Polyetheretherketone (PEEK)	91 (13.2)	70.3–103 (10.2–15.0)	30–150
Polyethylene			
• Low density (LDPE)	9.0–14.5 (1.3–2.1)	8.3–31.4 (1.2–4.55)	100–650
• High density (HDPE)	26.2–33.1 (3.8–4.8)	22.1–31.0 (3.2–4.5)	10–1200
• Ultrahigh molecular weight (UHMWPE)	21.4–27.6 (3.1–4.0)	38.6–48.3 (5.6–7.0)	350–525
Poly(ethylene terephthalate) (PET)	59.3 (8.6)	48.3–72.4 (7.0–10.5)	30–300
Poly(methyl methacrylate) (PMMA)	53.8–73.1 (7.8–10.6)	48.3–72.4 (7.0–10.5)	2.0–5.5
Polypropylene (PP)	31.0–37.2 (4.5–5.4)	31.0–41.4 (4.5–6.0)	100–600
Polystyrene (PS)	25.0–69.0 (3.63–10.0)	35.9–51.7 (5.2–7.5)	1.2–2.5
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	13.8–15.2 (2.0–2.2)	20.7–34.5 (3.0–5.0)	200–400
Poly(vinyl chloride) (PVC)	40.7–44.8 (5.9–6.5)	40.7–51.7 (5.9–7.5)	40–80

### 2.2.3 Serat Daun Nanas

Tanaman nanas (*Ananas Comosus*) merupakan tanaman tropis yang sangat mudah dalam pertumbuhannya. Potensi dari pemanfaatan nanas ini

adalah pada buah sebagai konsumsi dan serat daunnya sebagai bahan baku tekstil. Penggunaan serat daun nanas sebagai bahan komposit merupakan salah satu alternatif dalam pembuatan komposit secara alamiah, dimana serat daun nanas sudah terkenal akan kekuatannya serta memiliki permukaan yang halus (Arifin, 2014). Dari penelitian yang sudah dilakukan oleh Mujiyono dan Didik (2009) menyatakan bahwa kuat tarik serat nanas hampir 2 kali lebih tinggi dari serat *E-Glass* yaitu sebesar 42,33 kg/mm<sup>2</sup> untuk serat nanas dan 21,65 kg/mm<sup>2</sup> untuk serat *E-Glass*. Serat daun nanas memiliki kandungan lignin sebanyak 4,4 - 4,7%, lemak dan wax 3 - 3,3%, alpha selulosa 69,5 - 71,5%, pentosan 17- 17,8%, serta zat-zat lain seperti protein dan asam organik sebanyak 4,5 - 5,3% (Doraiswamy dan Chellamani, 1993).

Tabel 2.2 Sifat mekanik serat daun nanas (George dkk, 1997)

Massa jenis	1,526 g/cm <sup>3</sup>
Tegangan tarik	170 MPa
Modulus Elastisitas	6260 MPa
Elongasi	3%
<i>Moisture Regain</i>	12%

#### 2.2.4 Serat *E-Glass*

Serat gelas adalah serat sintetis atau buatan yang banyak digunakan sebagai penguat pada komposit polimer. Sifat yang dimiliki serat gelas diantaranya memiliki harga yang relatif murah, kekuatan mekanik tinggi, serta tahan terhadap sifat kimia. Kekurangan dari serat gelas adalah butuh waktu untuk terurai yang sangat lama sehingga pemakaiannya tidak ramah lingkungan serta dapat menimbulkan gatal saat disentuh. Ada beberapa serat gelas diantaranya :

### 1. Serat *E-Glass*

Serat ini merupakan serat yang memiliki harga paling murah, digunakan pada komposit polimer karena memiliki sifat mekanis yang tinggi, contohnya pada komponen otomotif.

### 2. Serat *S-Glass*

Serat *S-Glass* mempunyai kekuatan mekanis yang paling tinggi diantara serat gelas yang lain sehingga sering digunakan pada komponen pesawat.

### 3. Serat *C-Glass*

Serat *C-glass* merupakan serat yang memiliki ketahanan terhadap korosi yang tinggi, sehingga dapat diaplikasikan pada industri kimia (*chemical application*).

Penelitian yang dilakukan oleh Thomason dkk, (2016) menyatakan bahwa dengan menggunakan perlakuan *furnace* pada suhu 400° C selama 20 menit dapat meningkatkan ikatan antara serat *E-Glass* dan matriks.

Berikut ini merupakan tabel sifat mekanis serat sintesis dan serat alam.

Tabel 2.3 Sifat mekanis serat komersil (Holbery & Houston, 2006).

Fiber	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Elongation (%)	Tensile Strength (MPa)	Elastic Modulus (GPa)
Cotton	1.5–1.6	7.0–8.0	400	5.5–12.6
Jute	1.3	1.5–1.8	393–773	26.5
Flax	1.5	2.7–3.2	500–1,500	27.6
Hemp	1.47	2–4	690	70
Kenaf	1.45	1.6	930	53
Ramie	—	3.6–3.8	400–938	61.4–128
Sisal	1.5	2.0–2.5	511–635	9.4–22
Coir	1.2	30.0	593	4.0–6.0
Softwood Kraft Pulp	1.5	4.4	1,000	40.0
E-glass	2.5	0.5	2,000–3,500	70.0
S-glass	2.5	2.8	4,570	86.0
Aramid (Std.)	1.4	3.3–3.7	3,000–3,150	63.0–67.0
Carbon (Std. PAN-based)	1.4	1.4–1.8	4,000	230–240

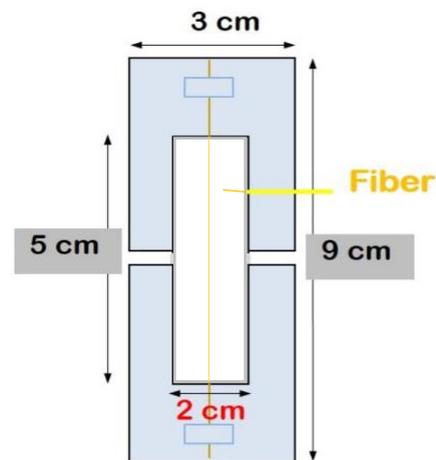
#### 2.2.5 Alkalisasi

Alkalisasi pada serat alam bertujuan untuk meluruhkan kotoran dan lignin yang terdapat pada serat alam. Alkalisasi juga dapat meningkatkan sifat mekanik pada komposit serat alam dan ikatan antara serat dan matriks

(Sosiati dkk, 2016). Larutan yang digunakan pada proses alkalisasi adalah NaOH (Natrium Hidroksida), KOH (Kalium Hidroksida) dan LiOH (Lithium Hidroksida). Serat yang telah diberi perlakuan alkalisasi akan memiliki tingkat penyerapan *moisture* yang tinggi jika proses alkalisasi terlalu lama dan konsentrasi yang tinggi, dikarenakan lignin yang masih menempel pada selulosa telah larut. Lignin memiliki sifat *hydrophobic* yang kompatibel dengan matrik, sehingga dengan proses alkalisasi yang tepat dapat memperbaiki kompatibilitas serat dengan matriknya dikarenakan lignin yang melekat pada selulosa tidak seluruhnya larut (John & Anandjiwala, 2008).

### 2.2.6 Pengujian Tarik Serat Tunggal

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya kuat tegangan tarik maksimum, regangan patah dan modulus elastisitas serat tunggal. Standar yang bisa digunakan antara lain ASTM D3379. Berikut ini adalah gambar spesimen uji tarik serat tunggal.



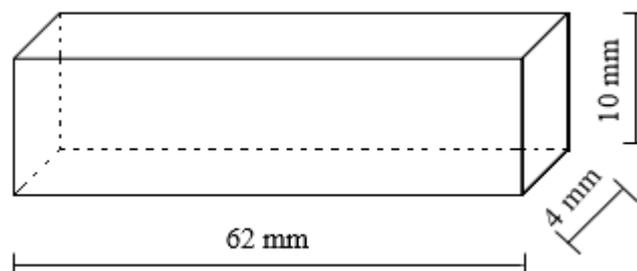
Gambar 2.8 Spesimen uji tarik serat tunggal

Pastikan serat benar merekat pada kertas sehingga dapat terbebas dari beban awal (*initial stress*). Setelah dipasang pada mesin uji dan dibuat celahnya, spesimen diberi pembebanan secara gradual hingga putus dan secara simultan grafik gaya dan perpanjangannya direkam ( $F$  vs  $\Delta l$ ) (Saputra, 2017).

### 2.2.7 Pengujian Impak

Pengujian impak merupakan uji yang mengukur ketahanan material terhadap benturan dengan menumbuk benda kerja menggunakan sebuah pendulum yang diayunkan. Impak dinyatakan sebagai energi kinetik yang dibutuhkan untuk memulai keretakan dan meneruskan hingga material benar-benar patah. Pengujian ini dilakukan sebagai pemeriksaan kualitas secara cepat dan mudah dalam menentukan sifat impak spesifik maupun secara umum.

Besar nilai ketangguhan impak dari material komposit merupakan fungsi dari matrik ditambah kehadiran serat. Faktor lingkungan, sebagai akibat perubahan temperatur akan memberi pengaruh terhadap ketangguhan impak. Misalnya kondisi lembab dan banyak mengandung air akan menyebabkan material komposit dengan resin *polyester* yang memiliki nilai ketangguhan impak tinggi suatu keadaan (setimbang dengan *atmosphere moisture*) dibanding pada kondisi kering, karena sifatnya akan lebih lunak atau *ductile*. Pengujian impak merupakan respon terhadap beban kejut atau beban tiba-tiba (beban impak). Dalam pengujian impak terdiri dari dua teknik pengujian standar yaitu Charpy dan Izod (Callister, 2007). Berikut ini adalah spesimen uji impak *Charpy* berdasarkan ASTM D5942 yang digunakan pada polimer.



Gambar 2.9 Spesimen uji impak

Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi besar kecilnya ketangguhan impak pada komposit diantaranya berat pendulum, jarak pendulum ke pusat rotasi sudut sebelum dan sesudah spesimen di tabrak.

Dari beberapa faktor tersebut dapat ditemukan energi yang diserap oleh spesimen dan melalui persamaan berikut :

$$W = G \times R (\cos \beta - \cos \alpha) \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

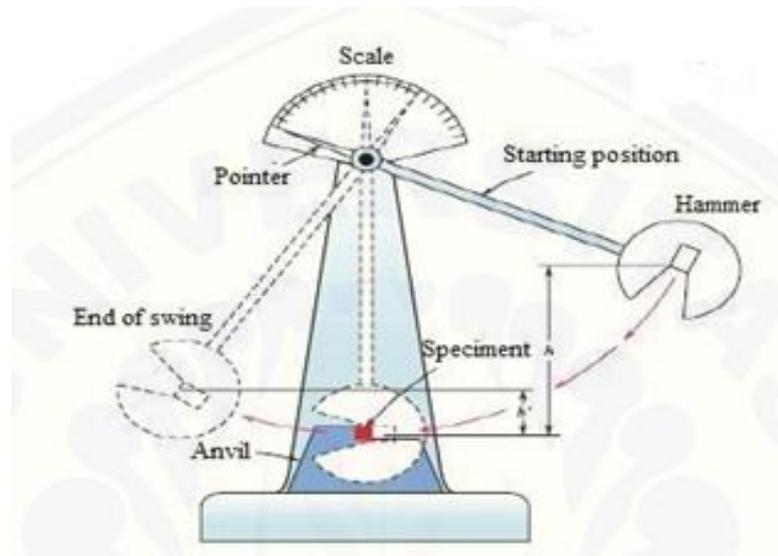
W	= Energi yang diserap benda uji	(J)
G	= berat pendulum	(N)
R	= jarak pendulum ke pusat rotasi	(m)
$\beta$	= sudut pendulum setelah menabrak benda uji	( $^{\circ}$ )
$\alpha$	= sudut pendulum sebelum menabrak benda uji	( $^{\circ}$ )

Setelah mendapatkan energi yang diserap maka langkah selanjutnya adalah mencari ketangguhan impaknya melalui persamaan berikut :

$$I_s = \frac{W}{l \times t} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

$I_s$	= Ketangguhan Impak	(J/mm <sup>2</sup> )
l	= lebar spesimen	(mm)
t	= tebal spesimen	(mm)



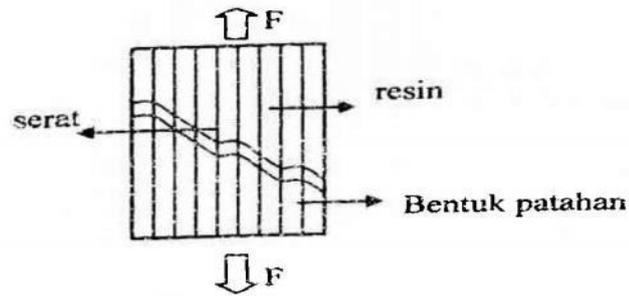
Gambar 2.10 Skematik peralatan uji impak (Callister, 2007)

### 2.2.8 Karakteristik Patahan pada Material Komposit

Kegagalan pada material komposit akan terjadi apabila salah satu tegangan utama pada sistem koordinat material melebihi besar kekuatannya secara matematis. Sebisa mungkin kegagalan pada komposit harus dihindari karena dapat menyebabkan umur pakainya berkurang dan menurunkan nilai jual produk. Ada dua jenis patahan pada material komposit yaitu model patah liat (*ductile fracture*) dan patah getas (*brittle fracture*). Pada patahan yang bersifat liat (*ductile*) material menyerap energi yang besar sebelum patah yang diperlihatkan oleh deformasi plastik, sedangkan pada patahan material yang memiliki sifat getas hanya memperlihatkan deformasi kecil atau bahkan tidak ada. Berikut adalah beberapa jenis patahan pada material komposit :

#### a. Patah banyak

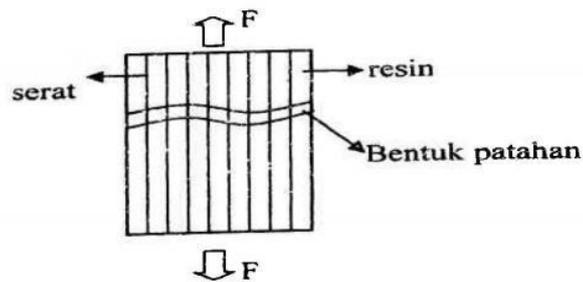
Pada material komposit ketika jumlah serat yang putus akibat beban tarik masih sedikit dan kekuatan *interface* masih baik, resin mampu mendukung beban yang diterima dengan mendistribusikan beban tersebut ke sekitarnya. Apabila resin mampu menahan gaya geser dan meneruskan beban keserat yang lain maka jumlah serat yang putus semakin banyak. Patahan terjadi lebih dari satu bidang.



Gambar 2.11 Patah banyak (Schwartz, 1984)

b. Patah tunggal

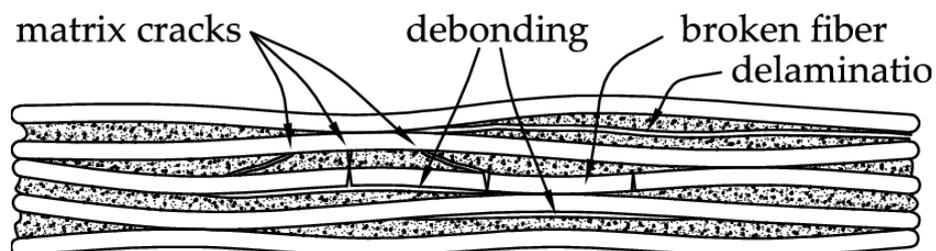
Patah tunggal adalah patah yang disebabkan ketika serat putus akibat beban tarik, matriks tidak mampu menerima lagi beban tambahan. Patah terjadi pada satu bidang kontak secara linier



Gambar 2.12 Patah tunggal (Schwartz, 1984)

c. Delaminasi

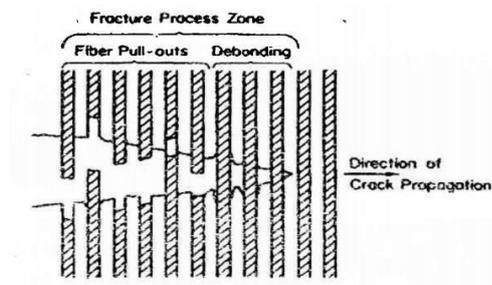
Delaminasi (*interlaminar*) adalah perpatahan yang terjadi akibat terlepasnya ikatan antar lapisan penguat. Penyebab utama perpatahan ini adalah gaya adhesi antara penguat dan matriks yang lemah. Selain itu kemampuan matriks untuk mengisi ruang antara serat juga menjadi pengaruhnya.



Gambar 2.13 Delaminasi (Schwartz, 1984)

d. *Fiber Pull Out*

*Fiber pull out* adalah tercabutnya serat dari resin yang disebabkan ketika resin retak akibat beban tarik, kemampuan untuk menahan beban akan segera berkurang. Komposit masih mampu menahan beban walau beban yang ditahan relatif kecil dari beban maksimal. Saat resin retak, beban akan ditransfer dari resin keserat di tempat persinggungan retak. Kemampuan untuk mendukung beban berasal dari serat. Seiring dengan bertambahnya deformasi, serat akan tercabut dari resin (akibat *debonding* dan patahnya serat).



Gambar 2.14 *Fiber pull out* (Schwartz, 1984)

### 2.2.9 Pengujian Daya Serap Air

Penyerapan air (*water absorption*) dalam komposit merupakan kemampuan komposit dalam menyerap air pada waktu tertentu. Daya serap air pada komposit merupakan salah satu masalah utama dalam penggunaan komposit di luar ruangan. Semua komposit polimer akan menyerap air jika berada di udara lembab atau ketika polimer tersebut dicelupkan kedalam air. Penyerapan air pada komposit berpenguat serat alam memiliki beberapa pengaruh yang merugikan dalam sifatnya dan mempengaruhi kemampuannya dalam jangka waktu yang lama, penurunan secara perlahan dari ikatan antar muka komposit serta menurunkan sifat mekanis komposit seperti kuat tarik, impak dan bending. (Lokantara dan Suardana, 2009). Persamaan yang digunakan untuk menghitung presentase daya serap air adalah sebagai berikut :

$$W_g = \frac{W_e - W_o}{W_o} \times 100\% \dots\dots \quad (2.3)$$

Keterangan :

$W_g$  = Persentase pertambahan berat komposit (%)

$W_e$  = Masa komposit setelah perendaman (gram)

$W_o$  = Masa komposit sebelum perendaman (gram)

### 2.2.10 Pengujian menggunakan Mikroskop optik

Mikroskop optik atau cahaya, disebut demikian sebab penggunaan mikroskop ini menggunakan cahaya sebagai sumber penerangan utama dalam mengamati objek. Mikroskop cahaya pertama kali ditemukan oleh Zacharias Janssen pada tahun 1595. Setelah itu mikroskop mengalami banyak perbaikan seperti yang dilakukan Antony van Leeuwenhoek serta Robert Hooke. Saat ini, mikroskop cahaya sudah benar-benar termodifikasi menjadi lebih baik dengan efektivitas lebih tinggi. Mikroskop jenis ini paling sering kita temukan, baik di laboratorium sekolah maupun di laboratorium rumah sakit.

Beberapa karakteristik dari mikroskop optik ini adalah :

- Menggunakan beberapa lensa yang diatur sedemikian rupa, sebagai media pembesaran bayangan objek. Bayangan objek bisa diperbesar 4X – 1.500X.
- Biasanya digunakan untuk mengamati morfologi objek.
- Objek yang diamati bisa dalam keadaan hidup maupun mati, dengan syarat harus tembus cahaya. Oleh sebab itu, objek harus berukuran tidak lebih dari 5 mikron. Air sering digunakan sebagai media untuk memindahkan objek yang sangat kecil ke atas kaca pengamatan, hal ini dikarenakan air bersifat tembus cahaya.
- Mikroskop cahaya digunakan secara manual, jadi pengamat dapat secara langsung melihat bentuk, warna, maupun gerakan objek melalui lensa okuler.
- Dapat mengamati objek dengan ukuran 0,25 mikrometer, sehingga memungkinkan untuk mengamati mitokondria maupun klorofil.

- Ada dua jenis mikroskop cahaya berdasarkan jumlah lensa okulernya, yaitu mikroskop monokuler (berlensa okuler 1) dan binokuler (berlensa okuler 2). Sedangkan dari jenis cahaya yang digunakan, ada mikroskop cahaya konvensional yang memanfaatkan cahaya alami dan mikroskop iluminasi cahaya lampu.

Bagian-bagian dari mikroskop optik adalah sebagai berikut :

1. Lensa mata (lensa okuler)
2. Pemutar obyektif (untuk menahan beberapa lensa obyektif)
3. Lensa obyektif
4. Pengatur fokus (untuk menggerakkan platform) -> Pengaturan kasar
5. Pengatur fokus (untuk menggerakkan platform) -> Pengaturan halus
6. Platform (untuk menahan sampel/objek/preparat)
7. Sumber cahaya (lampu atau cermin)
8. Diafragma dan kondensor (memadatkan cahaya)
9. Bagian mekanis platform

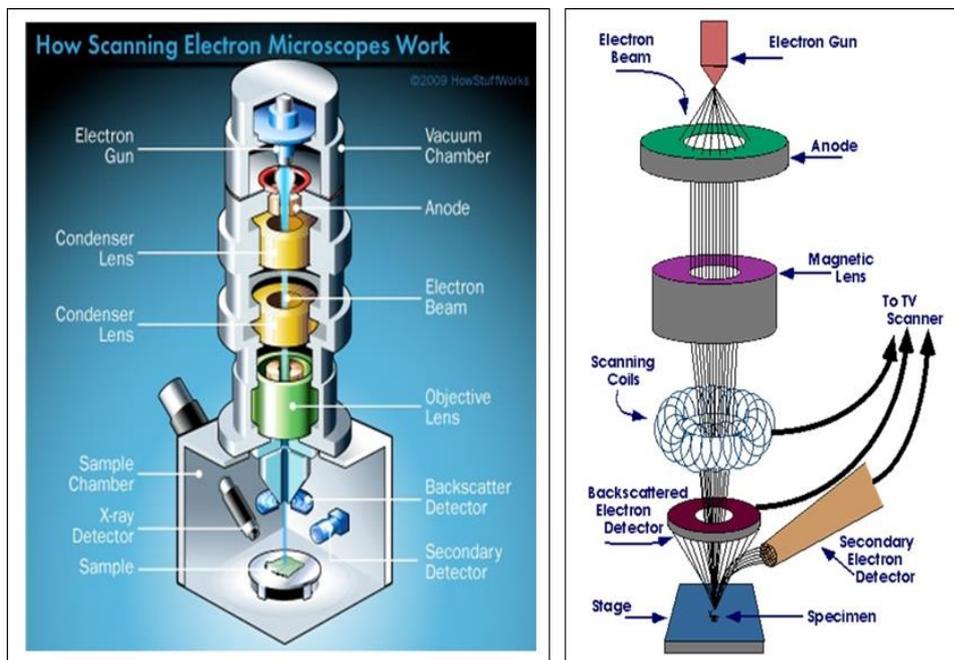


Gambar 2.15 Mikroskop optik  
(sumber:<https://www.tentorku.com/mikroskop-cahaya-dan-mikroskop-elektron/> Diakses pada tanggal 05/06/2018)

### 2.2.11 Scanning Electron Microscope

*Scanning Electron Microscope* (SEM) merupakan alat untuk mengkarakterisasi suatu obyek atau spesimen secara solid dan langsung. Memiliki perbesaran 10-3000000x, *depth of field* 4-0,4 mm serta memiliki resolusi sebesar 1-10 nm. SEM banyak digunakan pada penelitian dan bidang industri karena memiliki perbesaran yang tinggi, resolusi yang baik serta mempunyai kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi.

SEM merupakan alat yang dapat membentuk bayangan permukaan. Struktur suatu objek yang akan diuji dapat diamati dengan mikroskop elektron pancaran karena jauh lebih mudah untuk mempelajari struktur permukaan itu secara langsung. Pada dasarnya, SEM menggunakan sinyal yang dihasilkan oleh elektron dan dipantulkan atau berkas sinar elektron sekunder (Sari, 2015). Berikut adalah gambar bagian-bagian pada SEM.



Gambar 2.16 SEM (sumber: <http://emicroscope.blogspot.co.id>. Diakses pada tanggal 04/05/2018)

Prinsip kerja dari SEM adalah sebagai berikut :

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

2. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke 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).

Adapun kelebihan teknik SEM yaitu terdapat sistem vakum pada electron-optical column dan sample chamber yang bertujuan antara lain:

1. Menghilangkan efek pergerakan elektron yang tidak beraturan karena adanya molekul gas pada lingkungan tersebut, yang dapat mengakibatkan penurunan intensitas dan stabilitas.
2. Meminimalisasi gas yang dapat bereaksi dengan sampel atau mengendap pada sampel, baik gas yang berasal dari sampel atau pun mikroskop. Karena apabila hal tersebut terjadi, maka akan menurunkan kontras dan membuat gelap.

Sedangkan kelemahan dari teknik SEM antara lain:

1. Memerlukan kondisi vakum.
2. Hanya menganalisa permukaan.
3. Resolusi lebih rendah dari TEM .
4. Sampel harus bahan yang konduktif, jika tidak konduktor maka perlu dilapis logam.