

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian yang serupa pernah dilakukan oleh Hariyanto (2009) tentang pengaruh fraksi volume komposit serat kenaf dan serat rayon bermatriks poliester terhadap kekuatan tarik dan ketangguhan impak. Metode yang digunakan yaitu dengan menyusun serat kenaf dan serat rayon lurus (kontinyu) dengan matriks poliester tipe 2504 dan variasi volume serat 10%, 15%, dan 20%. Pembuatan komposit menggunakan metode cetak tekan (*press mold*). Hasil penelitiannya menunjukkan penambahan fraksi volume serat 10%, 15%, dan 20% mampu meningkatkan kekuatan tarik dan ketangguhan impak dengan nilai ketangguhan impak tertinggi pada komposit serat rayon sebesar $0,031 \text{ J/mm}^2$ dibanding dengan komposit serat kenaf sebesar $0,014 \text{ J/mm}^2$ pada fraksi volume 20%.

Diharjo dkk (2014) meneliti tentang pengaruh fraksi volume *filler* terhadap kekuatan *bending* dan ketangguhan impak komposit *nanosilika-phenolic*. Fraksi volume nanosilika yang digunakan yaitu 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, dan 60%. Ketangguhan impak paling tinggi didapat pada fraksi volume 30% dikarenakan partikel nanosilika dapat terikat secara menyeluruh oleh matriks *phenolic*. Kemudian mengalami penurunan nilai ketangguhan impak seiring dengan penambahan fraksi volume nanosilika.

Fahmi dkk (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh variasi komposit resin *epoxy*/serat *glass* dan serat daun nanas terhadap ketangguhan. Variasi fraksi volume matriks dan *filler* yang digunakan yaitu 90:10, 60:40, dan 70:30. Hasilnya menunjukkan bahwa ketangguhan impak paling tinggi didapat pada variasi volume 70:30 dengan nilai $0,008 \text{ J/mm}^2$. Perbandingan 70:30 memiliki ketangguhan impak

yang tinggi dikarenakan penyebaran serat merata keseluruh bagian komposit dan matriks yang digunakan dapat mengikat dengan sempurna.

Penelitian CaCO_3 telah dilakukan oleh Kasmujiastuti dkk (2012) tentang pengaruh *filler* PCC (*Precipitated Calcium Carbonat*) terhadap sifat mekanik, elektrik, termal dan morfologi komposit HDPE/PCC. Penelitian dilakukan dengan variasi penambahan PCC yaitu 10, 15, 20, 30, 40, dan 50 phr (per hundred resin). Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan PPC 10 phr memiliki ketangguhan impak yang paling tinggi dengan nilai 35 kJ/m^2 . Kemudian mengalami penurunan seiring dengan penambahan PCC.

Sidiq dkk (2016) meneliti tentang pengaruh ukuran butir serbuk tulang pada pembuatan komposit bermatriks *epoxy*. Variasi ukuran butir serbuk tulang yang digunakan yaitu 40, 60, dan 100 *mesh* dengan fraksi volume 1:1. Hasil penelitiannya menunjukkan nilai kekerasan sebesar 21,35 BHN pada ukuran serbuk tulang 40 *mesh*. Kemudian pada ukuran serbuk tulang 60 dan 100 *mesh* menunjukkan nilai kekerasan sebesar 24,04 BHN dan 25,82 BHN.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Suartama dkk (2016) berkaitan dengan pengaruh fraksi volume serat terhadap sifat mekanik (ketangguhan impak) pada komposit dengan matriks polimer poliester dan diperkuat serat pelepah gebang. Variasi fraksi volume serat dalam komposit yang digunakan 0% (tanpa serat), 20%, 40%, dan 60%. Serat pelepah gebang sebelumnya dibersihkan dengan kapi kemudian dikeringkan dan diberi perlakuan alkali NaOH 5% selama 2 jam. Hasilnya ketangguhan impak tertinggi pada fraksi volume serat 60% yaitu sebesar $4.495,04383 \text{ J/m}^2$ dan ketangguhan impak terendah pada fraksi volume serat 0% yaitu sebesar $604,50120 \text{ J/m}^2$. Spesimen komposit pada fraksi volume serat 0%-60% rata-rata mengalami patah gelas (*brittle*).

Penelitian dengan matriks *epoxy* pada komposit arang limbah serbuk gergaji kayu jati untuk mengetahui kekuatan tarik dan koefisien geseknya yang dilakukan oleh Puja (2011). Serbuk gergaji kayu jadi yang digunakan dalam penelitian diarang pada suhu $200 \text{ }^\circ\text{C}$ dan $300 \text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 jam, kemudian dua jenis arang tersebut dijadikan sebagai *filler* komposit dengan variasi komposisi jenis arang pada kandungan *filler* keseluruhan konstan 40% (v/v). Metode pembuatan komposit

dengan cara cetak tekan hidrolis. Hasil penelitian menunjukkan komposit dengan jenis arang dengan pengarangannya 200 °C memberikan kekuatan tarik tertinggi yaitu 21 MPa pada *filler* 40% dan koefisien gesek tertinggi dengan nilai 0,79 terjadi pada komposit dengan kandungan partikel 54%.

Perdana dkk. (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh fraksi volume penguat terhadap kekuatan lentur *green composite* untuk aplikasi bodi kendaraan, dengan menggunakan komposit serat hibrid antara serbuk kalsium karbonat (CaCO_3) dan serat ampas tebu (*bagasse*). Matriks yang digunakan yaitu resin poliester, dengan fraksi volume antara serat hibrid dan poliester 30:70. Variasi fraksi volume antara ampas tebu dan serbuk kalsium karbonat adalah 10:20, 15:15, dan 20:10. Pembuatan komposit dengan metode *hand lay up*. Hasilnya menunjukkan bahwa kekuatan *bending* tertinggi pada fraksi volume 20% bagasse dan 10% serbuk kalsium karbonat dengan nilai 59,76 MPa.

Penelitian komposit yang menggunakan serat alami selanjutnya yaitu tentang komposit hibrid serat lidah mertua dan karung goni dengan *filler* abu sekam padi 5% bermatriks *epoxy* yang dilakukan oleh Muslim dkk (2013). Sebelumnya serat dialkalisasi terlebih dahulu dengan larutan NaOH 4% selama 2 jam. Kemudian dilakukan penelitian dengan variasi fraksi volume serat lidah mertua dan karung goni masing-masing 0%/35%, 10%/25%, 15%/20%, 20%/15%, 25%/10%, 35%/0%. Teknik pembuatan komposit dengan cara *hand lay up* dengan penekanan manual menggunakan kaca sebagai cetakan dan penekan. Hasil dari penelitian didapatkan bahwa komposisi komposit serat lidah mertua dan karung goni dengan *filler* abu sekam padi lebih tinggi dibandingkan serat yang tanpa *filler* abu sekam padi. Hasil lainnya yaitu kekuatan *bending* pada variasi fraksi volume *filler* 0:35, 10:25, 15:20, 20:15, 25:10, 35:0 mengalami penurunan namun kekuatan *bending*nya masih di atas rata-rata sedangkan komposit tanpa *filler* kekuatan *bending*nya mengalami kenaikan pada variasi fraksi volume memiliki kekuatan *bending* 0:35, 10:25, 15:20, 20:15 dan mengalami penurunan pada variasi fraksi volume 25:10 dan 35:0. Kemudian hasil uji tarik menunjukkan bahwa komposit yang menggunakan *filler* pada fraksi volume 0:35, 10:25, 15:20 mengalami kenaikan dan pada fraksi volume 20:15, 25:10, 35:0 mengalami penurunan,

sedangkan yang tanpa *filler* mengalami kenaikan pada variasi fraksi volume 0:35, 10:25, 15:20, 20:15, 25:10 dan mengalami penurunan pada variasi fraksi volume 35:0.

Joseph dkk. (1993) melakukan penelitian pengaruh panjang potongan serat silsil pada kekuatan tarik bermatrik *polyethylene* (LDPE). Panjang potongan serat sisal 2,1 mm, 5,8 mm dan 9,2 mm, dengan perbandingan volume 30% serat dan 70% matrik. Jenis penyusunan serat menggunakan metode serast acak, dari hasil pengujian dengan panjang potongan serat 5,8 mm memiliki kekuatan tarik paling tinggi, yaitu sebesar 31,12 MPa.

Sosiati, dkk (2015) pernah melakukan penelitian yang mengkaji tentang pengaruh alkalisasi pada serat kenaf terhadap kekuatan tarik dan morfologi permukaan serat kenaf. Dari hasil pengujian didapatkan penambahan larutan NaOH berkonsentrasi 6% selama 1 jam pada suhu ruangan dapat meningkatkan kekuatan tarik serat kenaf. Sedangkan penambahan larutan NaOH berkonsentrasi 9% pada suhu 100 °C selama 2 jam dapat merusak struktur morfologi serat kenaf.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Adriana (2011) tentang pembuatan komposit serat sabut kelapa yang merupakan limbah buah kelapa digunakan sebagai *filler* dan *polipropilena* sebagai matriks. Serat sabut kelapa yang dilakukan dalam penelitian dengan variasi 3 cm, 5 cm, dan 7 cm dengan variasi komposisi polipropilena dan serat masing-masing adalah 90%:10%, 80%:20%, 70%:30%, dan 60%:40%. Metode pembuatan komposit dengan cara kempa panas, plastik dilelehkan pada suhu 170 °C kemudian ditambahkan sabut kelapa dengan bahan pengikat *anhidrida maleat* dan pemicu *benzoil peroksida*. Hasil dari penelitian menunjukkan kekuatan tarik terbesar yaitu 3339,08 kgf/cm² pada komposisi 90%:10% dengan panjang serat 5 cm, serta perpanjangan maksimum diperoleh pada komposisi 80%:20% pada panjang serat 7 cm yaitu 20%.

Femi dan Wdjijono (2014) melakukan penelitian perbedaan kekuatan tarik dan *bending fiber reinforce composite* (FRC) dengan serat sisal teralkalisasi larutan 5% NaOH selama 4 jam dan non-alkalisasi. Matriks yang digunakan *Flowable composites* (*Masterflow*, Brazil) yang biasa digunakan untuk aplikasi kedokteran gigi. Hasil kuat tarik menunjukkan FRC dengan serat sisal alkalisasi 46,97 MPa dan

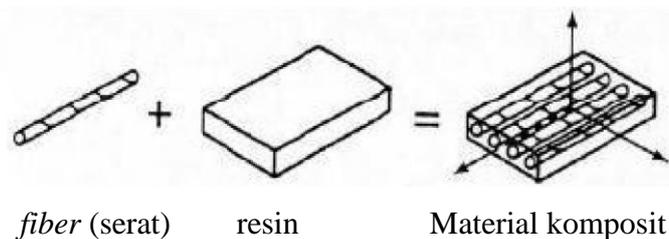
tanpa alkalisasi 28,4 MPa. Sedangkan hasil pengujian *bending* untuk FRC dengan serat sisal alkalisasi 64,31 MPa dan tanpa alkalisasi 41,15 MPa.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pengertian Komposit

Komposit adalah penggabungan antara dua buah material atau lebih, dimana sifat dari material yang membentuknya berbeda-beda. Sifat mekanik material yang baru akan dihasilkan dari pencampuran bahan-bahan tersebut, dimana sifat-sifat tersebut dibawa dari material yang membentuknya (Matthews dkk., 1993). Keunggulan bahan komposit salah satunya yaitu terbentuknya struktur baru yang memiliki sifat-sifat unggul yang tidak dapat diperoleh dari material pembentuknya jika bekerja sendiri sendiri. Komposit yang biasa digunakan contohnya struktur beton bertulang sebagai penyangga bangunan yang terdiri dari semen (matriks) dan besi sebagai penguat.

Material komposit terbentuk dari dua tipe material yang berbeda yaitu, matriks dan *filler (reinforcement)*. Matriks berfungsi sebagai perekat atau pengikat *filler* dan menjaganya agar tidak berubah posisi. Kemudian *Filler* berfungsi sebagai pengisi, penopang, dan menjadi material yang menyusun komposit. Penggabungan kedua jenis material tersebut menghasilkan material dengan keuntungan sifat materialnya yang keras, kuat, tahan korosi, namun tetap ringan.



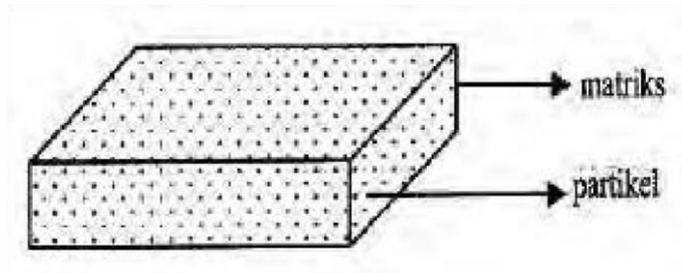
Gambar 2.1 Material Komposit (Jones, 1999)

Jones (1999) membagi komposit mejadi tiga jenis dilihat dari bentuk penguatnya, yaitu:

1. Komposit partikel (*particulate composite*)

Komposit partikel merupakan komposit yang tersusun dari partikel-partikel sebagai penguatnya yang tersebar dan diikat oleh matriks. Dari segi

ukurannya partikel dapat dibedakan menjadi dua yaitu partikel besar (> 1 mm) dan partikel kecil acak (*discontinuous fibers*) dengan ukuran $\pm 0,01-0,1$ mm). Komposit partikel memiliki sifat tidak lembut dan lebih tahan terhadap aus namun lebih lemah dibandingkan komposit serat (Muhammad dkk, 2014).



Gambar 2.2 Komposit Partikel (Gibson, 1994)

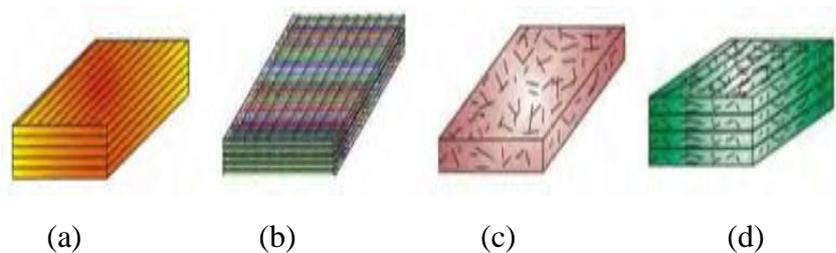
2. Komposit serat (*fibrous composites*)

Komposit serat merupakan komposit yang tersusun atas bahan penguat berupa serat dan matriks. Berdasarkan ukuran panjang serat, serat dibagi menjadi dua yaitu serat panjang (kontinu) dan serat pendek. Ukuran panjang serat mempengaruhi kemampuan komposit menerima gaya dari luar. Dapat dijelaskan bahwa semakin panjang ukuran serat maka semakin efisien dalam menerima gaya yang searah dengan serat. Keunggulan dari komposit serat yaitu efisiensi dalam menerima beban. Matriks melimpahkan beban kepada serat kemudian diujung serat beban tersebut dipindahkan kembali ke matriks dan selanjutnya kembali dialihkan ke serat lainnya.

Komposit serat dibagi dalam beberapa jenis berdasarkan tata letak susunan seratnya, yaitu:

- a. *Continous fiber composite* (komposit serat yang susunannya secara kontinu), mempunyai susunan serat yang relatif panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya yang tersusun secara teratur. Jenis ini memiliki kelemahan pada pemisahan antar lapisan, hal ini terjadi karena kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya.

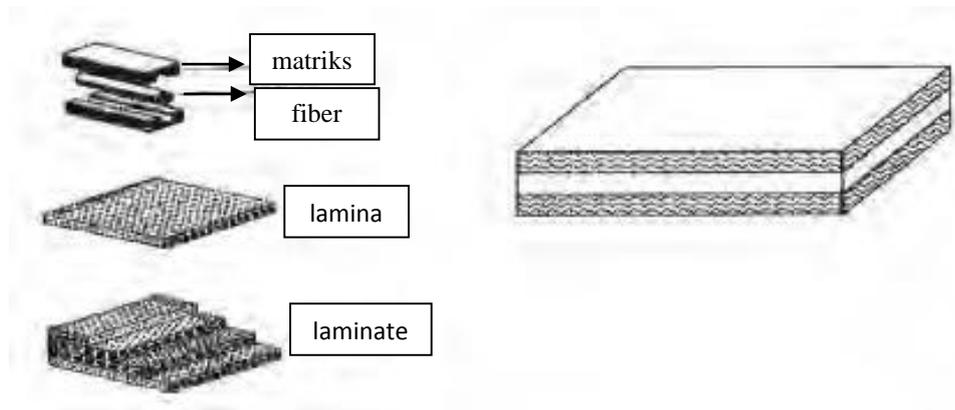
- b. *Woven fiber composite* (komposit serat yang susunannya secara anyam), merupakan komposit yang menggunakan serat yang dianyam. Komposit ini tidak terpengaruh pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya yang mengikat antar lapisan.
- c. *Randomly Oriented Discontinuous Fiber* (komposit serat yang susunannya secara pendek atau acak). *Hybrid Fiber composite* (komposit serat yang susunannya secara kontinu dan serat acak). *Hybrid fiber composite* merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak. Pertimbangannya supaya dapat mengeliminir kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihan.



Gambar 2.3 Jenis komposit serat (a) *Continuous fiber composite*, (b) *Woven fiber composite*, (c) *Chopped fiber composite*, (d) *Hybrid composite*. (Gibson, 1994)

3. Komposit Lapis (*laminates composites*)

Komposit lapis merupakan komposit yang tersusun dari beberapa material dengan bentuk berlapis-lapis yang digabung menjadi satu kesatuan. Lapisan pembentuk komposit jenis ini minimum tersusun dari dua lapis dengan tujuan untuk mendapatkan sifat-sifat unggul dari masing-masing lapisan pembentuknya. Sifat-sifat yang dapat dihasilkan dari komposit jenis ini antara lain *strength*, *stiffness*, *low weight*, *corrosion resistance*, *wear resistance*, dan *insulation* (Jones, 1999).



Gambar 2.4 Komposit Lapis (Gibson, 1994)

Selain berdasarkan bentuk penguatnya, komposit juga dapat diklasifikasikan berdasarkan bahan matriksnya, antara lain:

- a. Komposit bermatriks polimer (*Polymer Matrix Composites*)
- b. Komposit bermatriks logam (*Metal Matrix Composites*)
- c. Komposit bermatriks keramik (*Ceramic Matrix Composites*)
- d. Komposit bermatriks karbon (*Carbon Matrix Composites*)

2.2.2 Matriks

Matriks merupakan bahan pengikat serat pada komposit agar menjadi sebuah unit struktur, melindungi *filler* dari kerusakan eksternal, dan memindahkan beban eksternal pada bidang geser antara matriks dan serat. Matriks menjadi salah satu elemen pada komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (Gibson, 1994). Matriks dan serat harus saling melekat satu sama lain dan juga harus bebas dari reaksi yang mengganggu.

Fungsi dari matriks antara lain:

- a. Mengikat *filler* agar tetap pada posisinya.
- b. Melindungi serat dari gesekan mekanik.
- c. Mentrasfer tegangan ke serat secara merata.
- d. Tetap stabil setelah proses fabrikasi.
- e. Melindungi dari kerusakan eksternal.

2.2.3 Epoxy Resin

Epoxy resin adalah jenis matrik polimer yang terbentuk dari bahan kimia yang berbeda yaitu antara resin dan *hardener*. Resin memiliki monomer rantai yang pendek dengan kelompok epoksida pada kedua ujungnya. Bila dicampur dengan perbandingan takaran yang tepat, maka hasilnya akan memiliki massa yang padat dan dapat melekat dengan baik pada kayu, logam, kulit maupun beton. Menurut Surdia (1999), jenis epoksi dapat diperkuat dengan logam, keramik dan bermacam-macam serat atau partikel.

Berikut beberapa sifat yang dimiliki oleh *epoxy resin* yaitu:

a. Sifat Fisik

Seperti kebanyakan plastik, *epoxy resin* adalah konduktor panas yang buruk dan isolator listrik. Kecuali jika ada penambahan campuran, misalnya serbuk logam/karbon.

b. Sifat Kimia

c. Sinar ultraviolet dapat mempengaruhi struktur kimia dari *epoxy resin* jika terpapar dalam jangka waktu yang lama.

d. Sifat Mekanik

e. *Epoxy resin* jika dalam bentuk asli mempunyai sifat keras dan getas. Akan tetapi dalam penggunaannya, untuk mendapatkan sifat mekanik yang baik plastik selalu dicampur dengan bahan lain. Sifat mekanik juga sangat banyak dimodifikasi sifatnya. Baik dari segi keuletan, kekuatan, kelenturan, sampai kearah sobekan.

2.2.4 Serat Kenaf

Kenaf (*Hibiscus cannabinus L.*) merupakan salah satu tanaman berasal dari Afrika penghasil serat alam yang banyak dibudidayakan di negara-negara berkembang. Tumbuhan kenaf mampu tumbuh diberbagai kondisi lingkungan mulai dari lahan bonorowo (lahan yang menjadi rawa saat musim hujan) hingga lahan yang kering dengan sedikit perawatan. Produk diversifikasi dari tanaman kenaf sangat banyak yang bernilai ekonomis tinggi (Sudjindro, 2013). Manfaat dari serat kenaf yaitu dapat dijadikan bioplastik, tali, matras, *furniture*, kerajinan tangan,

kain, pembungkus makanan, media produksi jamur, *fiber board*, geotekstil, dan *bumper* mobil.

Serat kenaf didapatkan dari kulit pohon yang terikat dengan serat *lignocellulosic*. Ukuran ikatan pohon kenaf dipengaruhi oleh sel utama disetiap ikatan, yang biasanya ditunjukkan dengan kandungan *lignin*. Kandungan *lignin* dalam serat kenaf mempresentasikan jumlah sel utama disetiap ikatan serat. Serat kenaf tersusun atas 65,7 % selulosa, 21,6 % terdiri dari *lignin*, *pectin* dan komposisi lainnya. *Lignin* harus diekstraksi untuk memisahkan serat (Kaldor, 1989).

2.2.5 Kalsium Karbonat (CaCO_3)

Kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan senyawa kimia paling umum dari mineral nonsilikat yang memiliki warna putih. CaCO_3 yang ada di alam memiliki bentuk *limestone* dan kapur (Alger, 1989). CaCO_3 dapat larut sedikit dalam air yang mengandung CO_2 dan bergabung membentuk $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ seperti reaksi pada *limestone* pembentuk *stalaktit* dan *stalagmite* pada gua. *Whiting* atau yang biasa disebut kapur tanah memiliki ukuran partikel sekitar 1,5 μm dengan kadar kemurnian sampai 99% *calcite*. Ada tiga proses pembentukan CaCO_3 yang ada di bumi.

Berikut tiga proses pembentukan CaCO_3 :

- a. Alamiah (*life process*).
- b. Presipitasi kimia dengan suhu yang rendah.

Terlarutnya CaCO_3 dalam air dan CO_2 yang dapat ditemukan pada dinding goa.

- c. Reaksi *shockware*

Secara luas CaCO_3 digunakan sebagai *filler* komposit plastik dan karet. Keunggulan dari material ini yaitu memiliki warna yang sangat putih, harga terjangkau, dan ukuran partikelnya dapat diatur.

2.2.6 Tegangan, Regangan, dan Modulus

Setiap material tentunya memiliki suatu bentuk hubungan antara tegangan dan regangan yang dimiliki material tersebut. Hubungan antara tegangan dan

regangan ini menggambarkan kekakuan suatu material. Parameter yang menghubungkan antara tegangan dan regangan ini disebut modulus elastisitas.

a. Tegangan

Tegangan adalah besaran yang menyatakan perbandingan antara suatu besaran gaya terhadap luas penampang tempat gaya tersebut bekerja, berikut adalah persamaan matematis untuk tegangan:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

σ = Tegangan (N/m²)

F = Gaya (N)

A = Luas Penampang (m²)

Secara umum sifat tegangan memiliki dua buah kondisi, pertama adalah kondisi dimana suatu material mengalami pertambahan panjang akibat tegangan tarik dan mengalami perpendekan panjang akibat tegangan kompresional (tekan).

Dalam aplikasinya terdapat beberapa jenis tegangan yang dapat ditemukan, jenis-jenis tegangan tersebut adalah:

1. Tegangan Normal

Tegangan normal adalah tegangan yang terjadi pada suatu benda akibat gaya yang tegak lurus dengan penampang benda.

2. Tegangan Geser

Tegangan geser adalah tegangan yang terjadi pada suatu benda akibat gaya yang diberikan searah/sejajar penampang benda.

3. Tegangan Puntir

Tegangan puntir adalah tegangan yang terjadi pada suatu benda akibat gaya putar yang mengakibatkan benda menjadi terpuntir.

b. Regangan

Regangan adalah besaran yang menyatakan suatu perbandingan antara perubahan panjang terhadap panjang awal dari suatu material, berikut adalah persamaan matematis untuk regangan:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

ε = Regangan (m/m)

ΔL = Perubahan Panjang (m)

L_0 = Panjang Awal (m)

c. Modulus

Modulus elastisitas yang memiliki istilah lain yaitu Modulus Young adalah perbandingan antara tegangan dan regangan aksial (satu dimensi) dalam deformasi yang elastis. Modulus elastisitas menggambarkan kekakuan suatu material yang berarti bahwa apabila suatu material memiliki nilai modulus elastisitas yang besar, maka semakin kecil perubahan bentuk yang terjadi apabila diberi tegangan tertentu. Hubungan antara tegangan dan regangan yang dinyatakan dalam modulus elastisitas secara matematis dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

E = Modulus Elastisitas (N/m²)

σ = Tegangan (N/m²)

ε = Regangan (m/m)

2.2.7 Pengujian Impak

Uji impak adalah suatu pengujian yang dilakukan untuk mengukur kekuatan dan penyerapan energi suatu material terhadap benturan dengan cara menghantamkan suatu pendulum yang diayunkan. Tujuan dari dilakukannya pengujian impak yaitu untuk pemeriksaan kualitas secara cepat dan mudah dalam menentukan sifat impak spesifik maupun secara umum suatu material.

Metode pengujian impak terdapat dua standar yaitu uji impak metode *Charpy* dan metode *Izod* (Callister, 2007). Terdapat beberapa faktor dalam pengujian impak yang dapat mempengaruhi besar kecilnya kekuatan impak pada komposit diantaranya berat pendulum, jarak pendulum ke pusat rotasi sudut sebelum dan sesudah spesimen ditabrak.

2.2.8 Energi Serap Impak

Energi serap adalah besarnya energi yang mampu diserap oleh spesimen untuk terjadinya perpatahan dalam pengujian impak. Energi yang diserap material ini dapat dihitung dengan menggunakan prinsip perbedaan energi potensial. Dasar pengujiannya yakni penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi. Semakin besar energi yang diserap oleh bahan maka ketahanan impak atau ketangguhan bahan tersebut semakin besar. Energi yang diserap oleh spesimen dapat ditemukan melalui persamaan berikut:

1. Usaha yang dilakukan pendulum waktu memukul benda uji atau usaha yang diserap benda uji sampai patah dapat diketahui melalui rumus berikut:

$$W_1 = G \times h_1 \dots\dots\dots (2.4)$$

Atau dapat diselesaikan dengan menggunakan rumus berikut:

$$W = G \times R (1 - \cos \alpha) \dots\dots\dots (2.5)$$

2. Sedangkan sisa usaha setelah mematahkan benda uji dapat diketahui melalui rumus sebagai berikut:

$$W_2 = G \times h_2 \dots\dots\dots (2.6)$$

Atau dapat diselesaikan dengan menggunakan rumus berikut:

$$W = G \times R (1 - \cos \beta) \dots\dots\dots (2.7)$$

3. Besarnya usaha yang diperlukan untuk memukul patah benda uji dapat diketahui melalui rumus sebagai berikut:

$$W = W_1 - W_2 \dots\dots\dots (2.8)$$

Sehingga persamaan yang diperoleh dari rumus di atas adalah sebagai berikut:

$$W = G \times R (\cos \beta - \cos \alpha) \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

W = Energi yang diserap benda uji (J)

W_1 = Usaha yang dilakukan (J)

W_2 = Sisa usaha setelah mematahkan benda uji (J)

G = Berat pendulum (N)

h_1 = Tinggi awal pendulum diukur dari benda uji (m)

h_2 = Tinggi akhir pendulum diukur dari benda uji (m)

R = Jarak pendulum ke pusat rotasi (m)

β = Sudut pendulum setelah menabrak benda uji ($^\circ$)

α = Sudut pendulum tanpa benda uji ($^\circ$)

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

$$I_s = \frac{W}{l \times t} \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan:

I_s = Kekuatan impak (J/mm^2)

l = Lebar spesimen (mm)

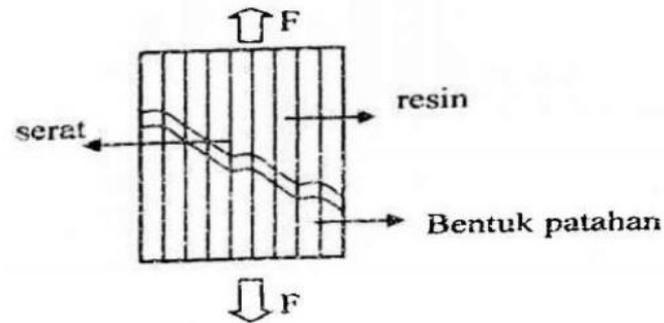
t = Tebal spesimen (mm)

2.2.9 Karakteristik Patahan Pada Material Komposit

Kegagalan dari suatu bahan material harus dihindari karena mengakibatkan kerugian seperti menurunkan nilai jual suatu produk. Kegagalan pada material komposit khususnya akan terjadi apabila salah satu tegangan utama pada sistem koordinat material melebihi besar kekuatannya secara matematis. 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 sebelum patah menyerap energi cukup besar ditandai dengan terjadinya deformasi plastik, sedangkan material yang memiliki sifat getas pada patahanya ditandai dengan terjadinya deformasi kecil atau bahkan tidak ada. Berikut adalah beberapa jenis patahan pada material komposit:

a. Patah banyak

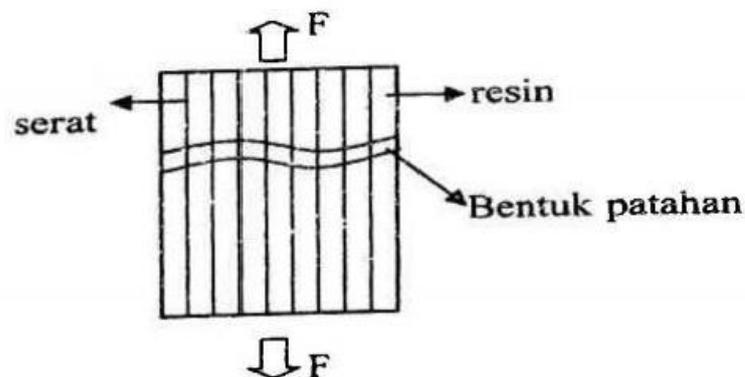
Chawla (1987) mengatakan bahwa ketika jumlah serat yang putus akibat beban tarik masih sedikit dan kekuatan *interface* masih baik, resin mampu mendukung beban yang diterima dengan mendistribusikan beban tersebut ke sekitarnya. Apabila resin dapat menahan gaya geser dan mampu meneruskan beban keserat yang lain maka serat yang putus jumlahnya semakin banyak.



Gambar 2.5 Patah Banyak (Schwartz, 1984)

b. Patah tunggal

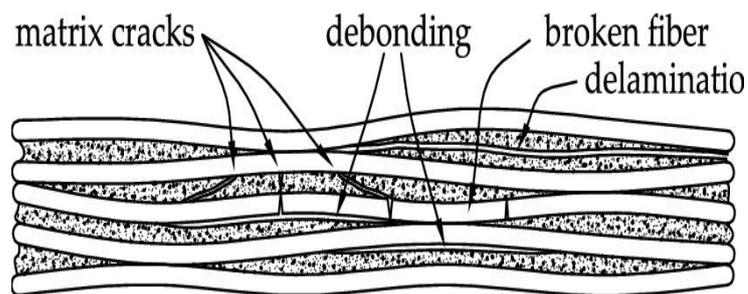
Patah tunggal adalah patah yang disebabkan putusnya serat akibat beban tarik, matriks tidak mampu menerima lagi beban tambahan. Patah terjadi pada satu bidang kontak secara *linier*.



Gambar 2.6 Patah Tunggal (Schwartz, 1984)

c. *Delaminasi*

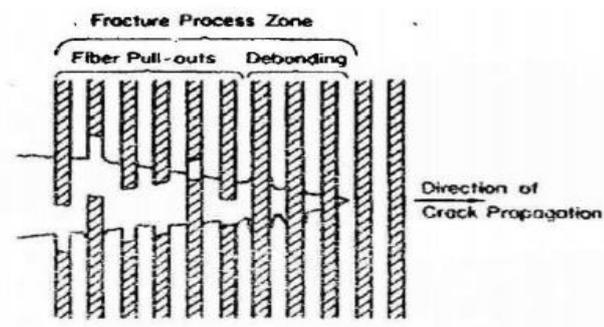
Delaminasi (*interlaminar*) adalah terlepasnya ikatan antar lapisan penguat yang mengakibatkan material patah. Penyebab utama patahan ini adalah lemahnya gaya adhesi antara matriks dan penguat. Selain itu kemampuan matriks untuk mengisi ruang antara serat juga menjadi pengaruhnya.



Gambar 2.7 Delaminasi (Schwartz, 1984)

d. *Fiber Pull Out dan Debonding*

Fiber pull out adalah adanya beban tarik yang mengakibatkan tercabutnya serat ketika resin retak, sehingga kemampuan komposit untuk menahan beban berkurang. Komposit masih mampu menahan beban meskipun beban yang ditahan relatif kecil dari beban maksimal. Saat resin retak, beban akan ditransfer dari resin ke serat 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 2.8 *Fiber Pull Out dan Debonding* (Schwartz, 1984)

2.2.10 Pengujian Kekerasan

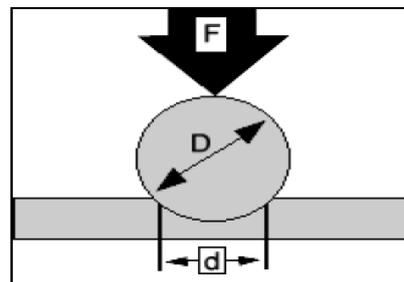
Kekerasan adalah ukuran ketahanan suatu material terhadap deformasi plastis lokal. Nilai kekerasan hanya dihitung pada tempat dilakukannya pengujian tersebut (lokal), sedangkan pada tempat lain bisa jadi kekerasan suatu material berbeda dengan tempat yang lainnya. Secara teoritik nilai kekerasan suatu material akan homogen untuk tiap-tiap titikny.

Pengujian kekerasan *Brinell* menggunakan penumbuk (penetrator) yang terbuat dari bola baja yang diperkeras (*tungsten carbide*). Diameter dari bola adalah 2,5 mm, berat pembebanan 15,625 kg dengan lama pembebanan 10 sampai 15 detik. Pemilihan berat pembebanan tergantung dari kekerasan material, semakin keras suatu material maka beban yang diterapkan juga semakin besar. Pengujian kekerasan dengan metode *Brinell* bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja (identor) yang ditekan pada permukaan material uji tersebut (spesimen). Besar pemberian pembebanan bergantung kepada *ball indentor* yang digunakan, menurut ASTM E10 pemberian pembebanan seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Gaya yang Diterapkan Menurut ASTM E10

D (mm)	Force-diameter ratio (F/D ²)				
	30	10	5	2,5	1
10	3000	1000	500	250	100
5	750	250	125	62,5	25
2,5	187,5	62,5	31,25	15,625	6,25
1	30	10	5	2,5	1
	A	B	C	D	E

A: Steels and iron alloys; B: Heat treated Cu/Al light alloys; C: No heat treated Cu/AL light alloys; D-E : soft metallic materials.



Gambar 2.9 Bentuk indentor *brinell* (ASTM E10)

$$BHN = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

BHN = *Brinell hardness number*

F = Beban yang diberikan (kg)

D = Diameter indentor (mm)

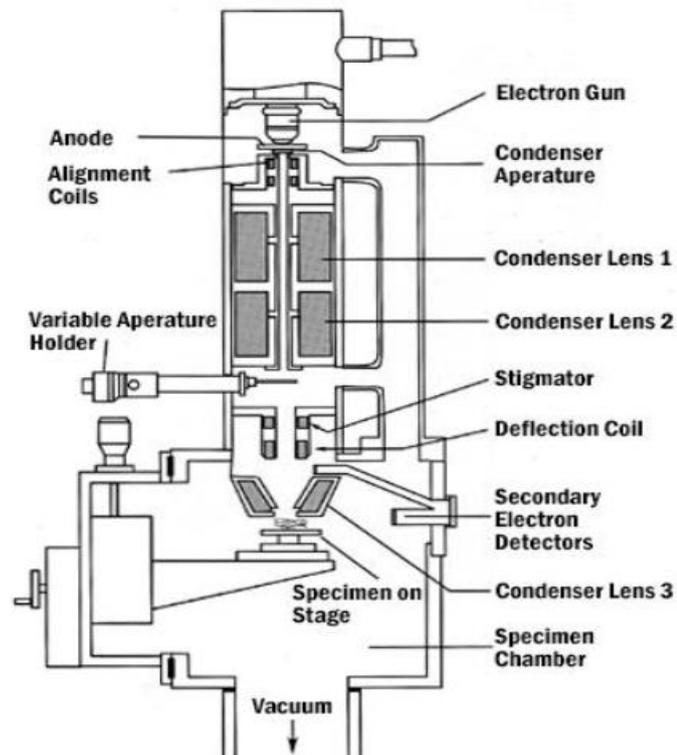
d = Diameter lekukan rata-rata hasil indentasi (mm)

Pengujian kekerasan dalam penelitian ini menggunakan standar ASTM E10 dikarenakan jurnal yang digunakan sebagai acuan menggunakan standar ASTM E10. Sebenarnya standar ASTM E10 ini merupakan standar uji kekerasan untuk material berbahan metal. Material yang digunakan dalam penelitian ini berbahan polimer, oleh karena itu standar pengujian kekerasan yang dianjurkan adalah standar *shore Hardness* (ASTM D570).

2.2.11 Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan mikroskop elektron yang digunakan untuk mengamati permukaan suatu patahan hasil uji mekanis dan mampu menampilkannya dalam bentuk 3 dimensi. Sesuai dengan keperluannya sebagai alat pengamatan suatu permukaan objek, SEM didesain mampu untuk mengamati suatu permukaan objek dengan ukuran mikron secara langsung pada perbesaran 10 – 3.000.000 kali sesuai kebutuhan.

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).



Gambar 2.10 Komponen pada SEM (Radetic, 2011)

SEM dapat mengamati struktur dan bentuk permukaan yang berskala lebih halus, dilengkapi dengan *electron dispersive X ray spectroscopy* (EDS) dan dapat mendeteksi unsur-unsur pada material. Dalam SEM terdapat elektron yang memiliki resolusi lebih tinggi daripada cahaya, dimana cahaya hanya mampu mencapai 200 nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi 0,1 – 0,2 nm (Radetic, 2011).