

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### A. Komponen Teknik

Seorang teknisi yang ahli harus selalu mempertimbangkan bahan-bahan yang akan digunakan untuk membuat atau membentuk bahan yang akan dibuat. Untuk mendapatkan produk yang diinginkan, seorang ahli dalam teknik tertentu harus memiliki pengetahuan tentang klasifikasi dan sifat *material* dari bahan yang akan digunakan, bahan-bahan ini dibagi menjadi empat kategori sebagai berikut:

#### 1. Komposit

Menurut Harini (2017) bahan komposit terdiri dari banyak bahan berbeda yang digabungkan menjadi satu, dengan karakteristik mekanik zat pembentuk yang bervariasi. Komposit dirancang untuk menunjukkan kombinasi sifat/karakteristik yang paling baik dari masing-masing *material* komponen. *Fiberglass* adalah satu dari contoh yang paling umum, dimana serat kaca dimasukkan ke dalam material polimer. *Fiberglass* mempunyai karakteristik yang kuat seperti kaca dan fleksibel seperti polimer. Sampai saat ini telah banyak pengembangan *material* baru dari *material* komposit (Sari, 2018).

#### 2. Logam

Logam adalah *material* yang mempunyai keunggulan sifat mekanis, seperti kekakuan, kekuatan, dan keuletan serta konduktor listrik dan panas (Vlan Vlack, 1989). Logam umumnya dikenal dengan sifat kelistrikan dan konduktivitas panasnya yang tinggi. Hal ini disebabkan karena *elektron* valensinya tidak terikat, namun dapat melepaskan diri dari *atom* 'induknya'. Pada *material* logam sebgaiian elektronnya bersifat mobile sehingga memudahkan perpindahan muatan listrik dan energi panas. Disamping itu, logam juga mempunyai karakteristik yang tidak tembus cahaya. Hal ini dikarenakan adanya respon *elektron* bebas pada getaran elektromagnetik pada frekuensi cahaya. Pada umumnya, logam bisa dipoles hingga terlihat mengkilap, matrialnya relatif berat, sangat kuat, dan dapat berubah bentuk (Sari, 2018).

### 3. Polimer

Molekul besar yang disebut polimer tercipta ketika monomer berulang terikat secara kimiawi satu sama lain. Rantai atau jaringan panjang yang dibuat oleh struktur ini adalah yang memberikan kualitas khusus pada bahan polimer, termasuk elastisitas, keuletan, dan kekuatan. Dalam kehidupan sehari-hari, polimer digunakan dalam produksi tekstil sintetis, karet, plastik, dan banyak bahan lainnya (Young, R.J, 2011). Pada umumnya, polimer adalah gabungan senyawa organik yang secara kimiawi berbasis karbon, hidrogen, dan unsur non-logam lainnya. Pada nyatanya, polimer mempunyai struktur molekul yang sangat besar. Sifat dari material ini meliputi: densitas yang rendah, sangat lentur, dan mudah dibentuk. Pada umumnya, polimer lebih dikenal dengan sebutan plastik. Plastik adalah material yang kurang baik dalam pemantulan cahaya, transparan, dan dapat ditembus oleh cahaya (Sari, 2018).

### 4. Keramik

Produk yang dikenal sebagai keramik dibuat dengan mengolah bahan anorganik non-logam pada suhu tinggi. Selain itu, produk akhir mungkin termasuk kombinasi struktur kristal dan non-kristal (Sumitro, 1984). Keramik adalah suatu senyawa yang memiliki kandungan unsur logam dan non-logam misalnya dalam bentuk *nitrida*, *oksida*, dan *karbida*. Adapun contoh dari bahan keramik misalnya semen pada beton, kaca, isolator listrik, dan magnet permanen. Material ini mempunyai daya tahan terhadap listrik, ketahanan terhadap temperatur yang tinggi dan juga lingkungan yang kurang baik dibandingkan dengan logam dan polimer. Disamping itu, keramik mempunyai sifat yang keras akan tetapi mudah pecah (Sari, 2018).

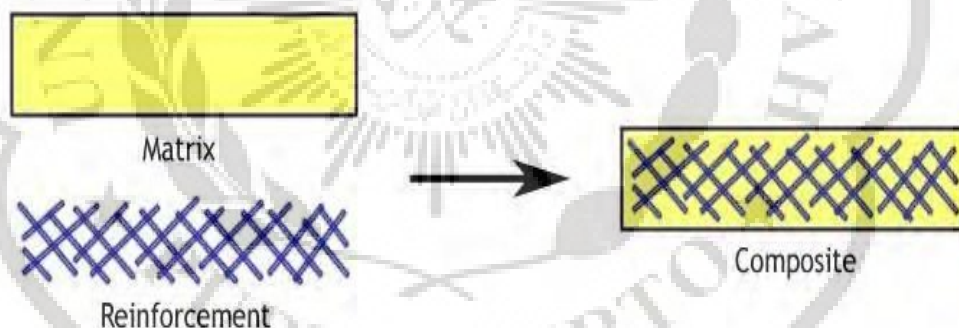
## B. Komposit

Kata komposit memiliki definisi atau arti yang sangat luas dan beragam mengikuti kondisi dan berkembangnya material itu sendiri. Gabungan dari dua atau lebih *material* adalah sebuah konsep yang digunakan untuk menjelaskan definisi komposit (Harris, 1999). Namun, definisi ini masih terlalu umum karena komposit mencakup semua bahan termasuk plastik yang diperkuat serat, campuran logam,

keramik, polimer, plastik yang diisi atau campuran dua atau lebih bahan untuk memperoleh bahan baru (Sari, 2018).

Serat (*fiber*) dan *matriks*, atau bahan pengisi dan pengikat serat tersebut, merupakan dua komponen utama *material* komposit. Sebuah serat berada di inti komposit, dan polimer yang dapat ditebuk dengan daya ikat tinggi digunakan sebagai bahan pengikat. Faktor utama dalam menentukan sifat mekanik, kekuatan, kekakuan, dan atribut lain dari *material* komposit adalah serat itu sendiri. Salah satu manfaat *material* komposit adalah kemampuannya untuk diarahkan, atau "d disesuaikan", sehingga kekuatannya hanya dapat dikendalikan ke arah yang diinginkan. Sifat-sifat ini unik untuk *material* komposit ringan dan membuatnya kuat, tahan terhadap korosi, dan mampu bersaing dengan logam tanpa kehilangan kualitas atau kekuatan mekaniknya (Sulistiyowati et al., 2012).

Gambar 2.1 di bawah ini menunjukkan ilustrasi komposisi komposit yang mengandung bahan pengikat (*matriks*) dan komponen penyusun penguat (*reinforcement*).



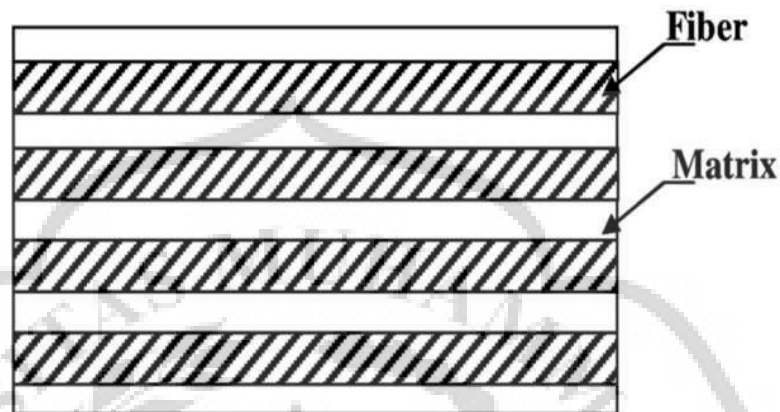
**Gambar 2. 1** Ilustrasi Komposit (Saragih, 2022).

Klasifikasi komposit dapat ditentukan oleh jenis bahan pengikat yang digunakan:

### **1. Komposit Serat (*Fibrous Composite*)**

*Fiber composite* adalah suatu jenis komposit dimana hanya terdiri atas satu lapisan (*lamina*) dan menggunakan penguat serat (*fibre stripped*). *Material* komposit serat tersusun dari serat yang diikat oleh matriks yang saling berhubungan. Serat yang dipergunakan bisa berupa serat gelas, serat karbon, serat armid (*poli-armida*) dan lain sebagainya. Susunan serat dapat disusun

secara acak ataupun dengan orientasi tertentu dan bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman, contohnya karbon-karbon. Material komposit serat mempunyai keunggulan utama yaitu kuat, tangguh, dan lebih tahan terhadap panas ketika pada saat didalam *matriks* (Schwartz, 1992).



**Gambar 2. 2** Lapisan Komposit (Siregar, 2021)

*Fiberglass* adalah istilah umum untuk FRP (*Fiber Reinforced Plastic*), yaitu plastik yang diperkuat dengan serat. *Material* komposit biasanya terdiri dari serat, baik serat panjang maupun pendek yang terbungkus dalam suatu *matriks*. Tujuan dari *matriks* adalah untuk membungkus serat dan melindunginya dari kerusakan kimia dan mekanis, sedangkan tujuan serat adalah untuk mengandung zat tertentu. Aplikasi dan kegunaan: Industri otomotif, pesawat terbang, dan perumahan semuanya memanfaatkan komposit yang diperkuat serat secara ekstensif. Mengingat bahwa komposit memiliki ketahanan kimia dan air yang kuat, hal ini menunjukkan evolusi cepat *material* tersebut seperti tahan lembab, anti rayap, dan tidak berkarat.

Berikut ini adalah komposit berbasis serat:

a. Komposit serat pendek (*random orientation*)

Resin biasanya digunakan sebagai matriks dalam komposit yang diperkuat oleh serat pendek, dengan rasio panjang terhadap diameter kurang dari 100 mm. Menurut arah orientasinya, material komposit yang diperkuat menggunakan serat pendek dibedakan menjadi dua, yaitu serat acak (*random orientation*) dan serat searah. Jenis serat acak umumnya digunakan pada produksi dengan jumlah yang banyak karena biaya produksi yang lebih rendah.

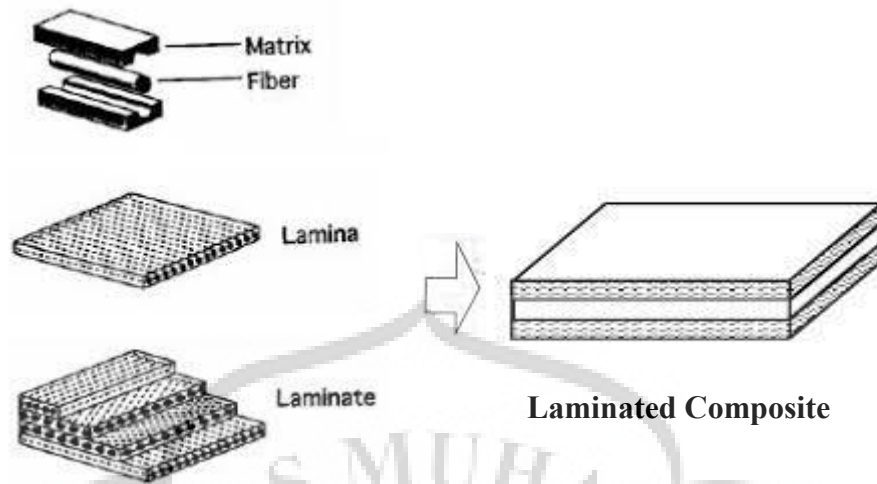
Kekurangan dari tipe serat acak adalah sifat mekaniknya yang masih dibawah sifat mekanik dari penguat serat lurus untuk jenis serat yang sama (Sari, 2018).

b. Komposit serat panjang (*continous serat composite*)

Serat panjang memiliki potensi untuk mengangkut beban atau daya secara teoritis dari lokasi aplikasi. Ini pada kenyataannya tidak mungkin dilakukan saat membuat komposit dengan panjang variabel dari serat karena tidak dapat mencapai kekuatan tarik yang lebih tinggi dari panjang tersebut. Kelebihan yang dimiliki oleh komposit yang diperkuat serat panjang adalah lebih gampang untuk diarahkan, jika dibandingkan dengan serat pendek. Secara teoritis, serat panjang bisa meneruskan pembebanan atau tegangan dari suatu titik penggunaan. Serat pendek dapat dibebani secara tidak langsung atau lemahnya matriks atau menentukan sifat-sifat produk komposit yang lebih kecil jika dibandingkan dengan serat panjang (Sari, 2018).

c. Komposit Laminat (*Laminated Composites*)

*Laminated Composites* (Komposit Laminat) merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri. Dalam material komposit dikenal dengan lamina (*laminate*). Lamina merupakan satu lembar komposit dalam satu arah serat tertentu. Sebagai contoh serat yang digunakan dalam industri pesawat terbang biasanya terbuat dari karbon dan kaca, sedangkan resinnya adalah *epoxy* dari bahan *polymer*. Sedangkan *laminate* merupakan gabungan dari beberapa lamina. Laminasi ini dibuat dengan cara memasukan lamina pre-preg kedalam autoclave dalam jangka waktu tertentu dan pada tekanan temperatur tertentu pula. *Autoclave* adalah sebuah alat seperti oven bertekanan untuk mengkombinasikan lamina. Ketebalan lamina untuk komposit serat karbon adalah 0.125 mm (Sari, 2018). Komposit ini terdiri dari lapisan serat dan lapisan matriks, yang sering digunakan sebagai bahan konstruksi dan diperkuat oleh resin, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Secara umum, bahan yang digunakan dalam manipulasi makroskopik kuat, tahan suhu, dan tahan korosi.



**Gambar 2. 3** Komposit Laminat (Siregar, 2021)

d. Komposit Partikel (Particular Composites)

Komposit partikel adalah komposit yang memakai partikel serbuk yang digunakan sebagai penguat dan tersebar secara merata didalam *matriks*. Bentuk partikel ini bisa bermacam-macam seperti bulat, kubik, tetragonal atau dengan bentuk yang tidak beraturan atau acak (Schwartz, 1992). Pada struktur komposit, material komposit partikel disusun oleh partikel-partikel yang dikenal dengan material komposit partikel. Menurut definisinya, partikel terdiri dari berbagai macam bentuk seperti bulat, kubik, tetragonal atau bahkan bentuk secara acak yang tidak beraturan, tetapi rata-rata mempunyai dimensi yang sama. *Material* komposit partikel biasanya digunakan sebagai pengisi dan penguat *material* komposit keramik (Hadi, 2000). Secara umum, sifat komposit partikel lebih lemah dibandingkan komposit serat. Namun, komposit partikel memiliki kelebihan sebagai berikut: tahan terhadap keausan, tidak mudah retak, dan memiliki pengikatan yang baik terhadap *matriks* (Sari, 2018).

e. Serat Alam (*Natural Fiber*)

Serat alam adalah serat yang berasal langsung dari alam atau digunakan sebagai bahan baku dalam industri tekstil. Serat alami dibagi menjadi beberapa kategori, antara lain serat tumbuhan, mineral, dan serat hewani.

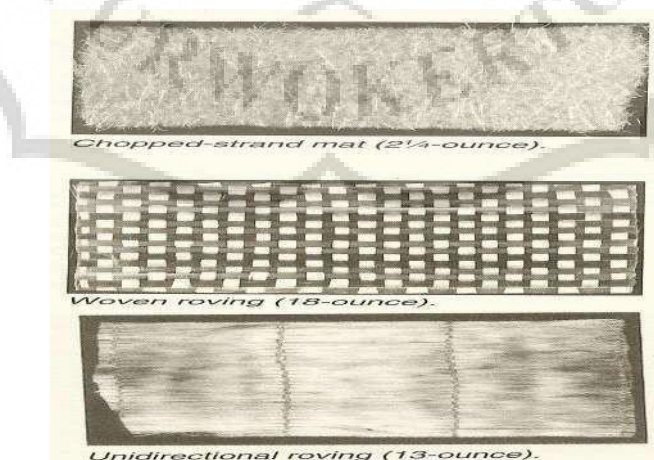
Serat yang digunakan sebagai penguat pada material komposit harus dapat:

- 1) Menerima perubahan dari *matriks* dan menerima tenaga kerja.
- 2) Memiliki kekuatan lentur dan modulus elastisitas yang tinggi.
- 3) Memiliki perbedaan kekuatan yang rendah antara serat tunggal.

Berikut ini adalah variabel yang mempengaruhi kekuatan komposit:

#### 1. Orientasi Serat

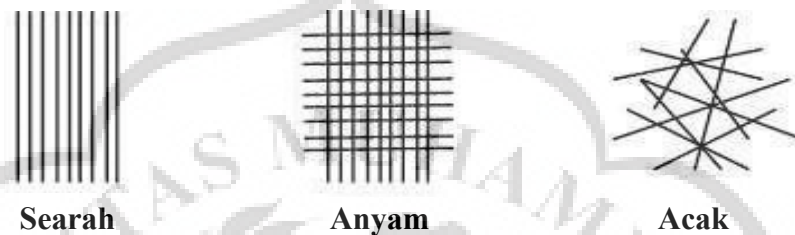
Arah optimalisasi kekuatan komposit dan kekuatan mekaniknya ditentukan oleh orientasi serat. Penguatan satu dimensi, dua dimensi, dan tiga dimensi adalah tiga bentuk orientasi serat yang berbeda. Sementara serat dua dimensi yang diperkuat menunjukkan kekuatan yang bervariasi pada setiap arah orientasi serat, jenis serat satu dimensi yang diperkuat memiliki kekuatan komposit dan modulus elastisitas tertinggi pada arah orientasi sumbu serat. Meskipun jenis tulangan tiga dimensi bersifat *isotropik*, artinya kekuatan komposit akan konstan di seluruh titik. Contoh bentuk CSM (*random chopped strand mat*) pada komposit disebut *isotropik*, sedangkan *material anisotropik* adalah *material* dengan bentuk anyaman keliling yang menunjukkan karakteristik yang bervariasi di setiap titik. Kekuatan pada arah serat lebih kuat daripada kekuatan pada arah non-serat pada komposit dengan sistem keliling anyaman. Atribut ini juga dipengaruhi oleh persentase volume serat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Kekuatan tarik untuk anyaman satu arah (pelurusan) lebih tinggi pada arah serat dari pada arah tegak lurus terhadap serat.



**Gambar 2. 4** Bentuk Penguatan Pada *Lamina Ortotropik*

(Siregar, 2021)

Jumlah serat per volume yang berorientasi pada arah serat menentukan karakteristik mekanis setiap arah dalam tulangan tiga dimensi. Karakteristik mekanis menurun di setiap arah karena orientasi serat menjadi lebih tidak menentu. Serat disusun secara searah dalam penguatan satu dimensi dan pada sudut 90 derajat dalam penguatan dua dimensi. Penguatan tiga dimensi menunjukkan konfigurasi serat acak, seperti yang terlihat pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Orientasi Serat Penguat (Siregar, 2021)

## 2. Panjang Serat

Selain diameter serat, panjang serat juga dapat berdampak pada karakteristik mekanis komposit. Pengurangan panjang serat komposit menghasilkan penurunan yang sesuai pada efek kekakuan dan penguatan. Serat panjang dapat memberikan arah beban kontinu dari lokasi aplikasi ke titik respons, mentransmisikan beban atau tegangan (Fahmi H, 2011).

Panjang serat pada saat pembuatan komposit serat didalam *matriks* sangat berpengaruh terhadap kekuatan. Ada 2 penggunaan komposit pada campuran komposit, yaitu serat pendek dan serat panjang. Serat panjang bersifat lebih kuat dari serat pendek. Serat alam jika dibandingkan dengan serat sintesis mempunyai panjang dan diameter yang berbeda pada setiap jenisnya. Sehingga panjang dan diameter sangat mempengaruhi kekuatan dan modulus komposit. Panjang serat terhadap diameter seringkali disebut dengan aspect ratio. Apabila aspect ratio semakin besar, maka akan semakin besar pula kekuatan tarik dalam komposit. Serat yang panjang (*continous fibers*) lebih efisien dalam penyusunannya dibandingkan dengan serat pendek. Akan tetapi, serat yang lebih pendek akan gampang disusun dibandingkan serat panjang. Panjang serat mempengaruhi kemampuan proses komposit serat. Secara

umum, serat yang panjang lebih gampang diatur jika dibandingkan dengan serat yang pendek. Serat yang panjang pada keadaan normal terbentuk dari proses *filament winding*, dimana lapisan serat dengan matrik akan mengakibatkan distribusi yang baik dan orientasi yang baik pula (Sari, 2018).

### 3. Letak Serat

Saat membuat komposit, susunan dan orientasi serat di dalam matriks akan menentukan kekuatan mekanik material, dan faktor-faktor ini juga dapat berdampak pada fungsionalitas komposit (Fahmi H, 2011).

Pada pembuatan komposit, penempatan dan arah penyebaran serat pada matriks akan sangat menentukan kekuatan mekanik komposit, dimana letak dan arahnya dapat mempengaruhi performa komposit. Menurut Sari (2018) berdasarkan tata letak arah serat, dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian, yaitu:

- a. *One dimensional reinforcement*, memiliki kekuatan dan modulus maksimum pada arah sumbu serat.
- b. *Two dimensional reinforcement (planar)*, memiliki kelebihan kekuatan dalam dua arah atau tiap arah orientasi serat.



**Gambar 2. 6** Tiga Tipe Orientasi Pada Penguat (Sari, 2018)

- c. *Three dimensional reinforcement*, memiliki kekuatan yang lebih tinggi sifat isotropisnya dibandingkan dengan dua jenis sebelumnya. Pada pencampuran dan arah serat memiliki beberapa keuntungan, jika orientasi

serat semakin acak (*random*) maka sifat mekanik pada 1 arah akan melemah, jika arah serat menyebar maka kekuatannya juga akan menyebar kesegala arah maka kekuatannya juga akan bertambah.

f. Alternatif Serat Pelelah Pisang

Pisang (*Musa*) yaitu tanaman *herbaceous* yang tinggi dengan tinggi 2-16 m. Baik serat batang maupun serat pelelah pisang telah diteliti untuk digunakan sebagai penguat komposit polimer. Serat batang dan pelelah pisang dapat diekstraksi setelah tanaman dipotong menggunakan alat pemotong seperti pisau atau dengan menggunakan mesin ekstraksi dalam waktu kurang dari dua minggu. Serat pisang memiliki struktur *non-mesh* dan memiliki filamen yang panjang (Paul, 1980).

Serat batang pisang merupakan jenis serat yang berkualitas baik, dan merupakan salah satu bahan potensial alternatif yang dapat digunakan sebagai filler pada pembuatan komposit, adapun komposisi kimia serat alam terdiri dari selulosa, lignin, hemiselulosa dan kadar air. Dapat dilihat pada tabel berikut ini:

**Tabel 2. 1** Komposisi kimia serat alam (Lokantara, 2010)

Serat (%)	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)	Kadar Air (%)
Pisang	60-65	6-8	5-10	10-15
Sabut	43	<1	45	10-12
Flax	70-72	14	4-5	7
Jute	61-63	13	5-13	12,5
Rami	80-85	3-4	0,5	5-6
Sisal	60-67	10-15	8-12	10-12
Sun hemp	70-78	18-19	4-5	10-11
cotton	90	6	-	7

Dibawah ini merupakan gambar serat pelepah pisang.



**Gambar 2. 7** Serat Pelepah Pisang

### **C. Anyaman**

Bahan yang dihasilkan dari plastik dan serat tumbuhan sering digunakan untuk membuat anyaman. Anyaman dapat didefinisikan sebagai proses persilangan bahan tanaman untuk menghasilkan kelompok kuat yang dapat digunakan, atau sebagai serat yang dirangkai menjadi satu menjadi benda padat. Batang, mengkuang, rami, akar, rotan, dan tanaman bahna lainnya termasuk yang bisa ditenun. Kekuatan komposit dapat dipengaruhi oleh pola anyaman selain komponen *matriks* dan serat. Ini adalah contoh desain anyaman yang telah diproduksi. Ini termasuk campuran *twill*, *satin*, *basket*, dan anyaman polos. Anyaman tersedia dalam tiga variasi dasar yang umum digunakan: polos, *twill*, dan *satin*. Jenis anyaman yang paling sederhana dan paling umum disebut anyaman polos. Dibandingkan dengan gaya anyaman lainnya, yang satu ini paling mudah dan memiliki jumlah persilangan paling banyak. Selain itu, anyaman sederhana ini sering dipasangkan dengan sejumlah elemen konstruksi tambahan (Abd Kadir et al., 2014).

## D. Resin

Laminasi dengan *filler* (inti) dan laminasi diikat menjadi satu oleh resin. Untuk mencegah *delaminasi* antara kulit dan inti, kekuatan tarik resin harus lebih besar dari kekuatan lenturnya. Untuk mencegah kerusakan perekat, resin harus tahan terhadap panas dan bahan kimia. Ada dua jenis resin: *termoplastik* dan *termoset* (Irianto, 2016).

### 1. *Unsaturated Polyester Resin*

Resin ini adalah jenis termoset yang sering digunakan dengan resin poliester. *Viskositas* poliester, resin cair, relatif rendah. Dengan menggunakan katalis, resin ini memiliki kemampuan untuk mengeras pada suhu kamar tanpa melepaskan gas selama proses pengawetan awal. Resin poliester pada dasarnya rapuh dan kaku.

Karakteristik termal resin *poliester* menunjukkan suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan resin lain karena adanya beberapa unit *stirena monometer* dan ketahanan panas berkisar antara sekitar 110% hingga 140% C. Selain lebih tahan terhadap dingin dan memiliki kualitas penghantar listrik yang unggul dibandingkan resin lainnya, resin poliester umumnya sangat kuat terhadap asam-dengan pengecualian *oksidator* tertentu-tetapi sangat lemah terhadap alkali.

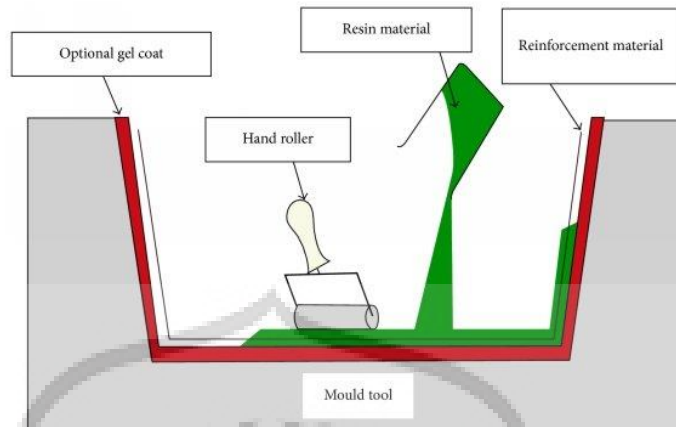
Zat tersebut akan patah atau pecah setelah terendam air panas selama 300 jam. Resin ini menunjukkan ketahanan yang luar biasa terhadap retakan, sedikit penyusutan setelah pengeringan, tahan cuaca, tahan lembab, dan kinerja luar biasa saat terkena radiasi UV luar ruangan. Tapi selama bertahun-tahun, permukaannya mungkin rusak oleh sinar matahari. Resin ini dimanfaatkan sebagai bahan bangunan komposit dalam konstruksi. Resin ini bekerja paling baik pada suhu antara  $80^{\circ} C$  dan  $130^{\circ} C$  (Irianto, 2016).

**Tabel 2. 2** Spesifikasi *Unsaturated Polyester Resin Yulakac 157 BQTN* (Indra et al, 2016).

Item	Satuan	Nilai	Catatan
Berat jenis	$g/cm^3$	1,215	25°C
Suhu distorsi panas	$^{\circ}C$	70	
Penyerapan air	%	0,188	1 Hari
Suhu ruangan %	0,446	0,446	7 Hari
Kekuatan <i>flexural</i>	$Kg/mm^2$	9,4	
Modulus <i>flexural</i>	$Kg/mm^2$	300	
Daya renting	$Kg/mm^2$	5,5	
Modulus renting	$Kg/mm^2$	300	
<i>Elongation</i>	%	1,6	

## 2. *Contact Molding/Hand Lay Up*

Sari (2018) menyatakan teknik paling sederhana, yang dikenal sebagai *hand lay up* adalah sebuah metode sederhana untuk produksi komposit. Untuk produksi atau pembuatan komposit, cetakan harus digunakan. *Mold* bisa dibuat dari pelat lembaran, kaca atau tepi yang tak terbatas. Pada beberapa bentuk, *mold* harus dipadukan dalam bentuk beberapa bagian agar dapat dipisahkan untuk membuang bagian yang tidak diperlukan setelah proses pengeringan. Penggunaan serat bisa dipotong dan dimasukkan ke dalam cetakan, tergantung pada perancang untuk mengatur jenis, jumlah, dan arah serat yang digunakan. Resin selanjutnya harus diberi katalis dan ditambahkan ke serat. Kuas atau gulungan dapat digunakan untuk mengisi serat dengan resin. Teknisi *lay-up* bertanggung jawab untuk mengendalikan jumlah resin dan katalis. Proses dasar *lay up* ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2. 8** Proses dasar dari *hand lay-up* (Sari, 2018)

### 3. Polimer

Polimer adalah rangkaian panjang molekul yang dihubungkan oleh ikatan *kovalen* kuat yang terdiri dari satu atau lebih *atom* berulang. Bahan polimer, yang biasa disebut plastik, terdiri dari banyak molekul polimer yang memiliki struktur kimia yang sama tetapi panjangnya berbeda. Molekul-molekul ini membeku dalam bentuk padat, mereka juga muncul secara acak dalam polimer tak berbentuk atau dalam campuran penampilan campuran (deret terlipat) dalam polimer semi-kristalin. Meskipun demikian, segmen molekul polimer tertentu dapat bermanifestasi sebagai *eksitasi* acak pada tingkat *submikroskopik*. Dengan naiknya suhu, kuantitas, intensitas, dan frekuensi gerakan komponen meningkat, sehingga menimbulkan karakteristik polimer padat yang bergantung pada suhu (Mallick, 2007).

Bahan polimer dibagi menjadi dua kategori:

#### a. Termoplastik

Suatu bahan yang dibentuk dengan cara ditekan kemudian dikeraskan disebut termoplastik. Kekuatan insulasi termal dapat melebihi 260°. Beberapa contoh polimer termoplastik meliputi:

- 1) Resin *Polyethylene* (PE)
- 2) Resin *Polycarbonate* (PC)
- 3) Resin *Polypropylene* (PP)
- 4) Resin *Polyvinyl Asetat*

- 5) Resin *Polystyrene* (PS)
- 6) Resin *Polyvinyl Chloride* (PVC)
- 7) Resin *Polymethly Methacrylane* (PMMA)

b. *Thermoset*

*Thermoset* adalah sejenis *matriks* polimer yang sering digunakan dalam produksi komposit kontemporer. Resin poliester memiliki atribut seperti transparan, fleksibel, dapat diwarnai, tahan air, dan tahan cuaca. Poliester dapat beroperasi pada suhu hingga 70°. Poliester dapat dibuat untuk *curing* (mengeras) dengan memasukkan katalis. Perbandingan dalam penambahan katalis menentukan laju pengawetan. Sifat-sifatnya sebagai resin cair dengan viskositas rendah yang mengeras pada suhu sekitar menyebabkan perkembangan *material* yang meluas sebagai plastik polimer yang diperkuat *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) (Siregar, 2021).

Polimer termoset dapat menjadi keras dan kaku karena keterkaitannya yang mudah dibuat saat dipanaskan. Jumlah ikatan silang pada polimer menentukan kekakuannya. Semakin banyak ikatan silang, semakin mudah polimer tersebut pecah. Siklus pemanasan kedua dari polimer jenis ini akan memutuskan ikatan dengan merusak ikatan silang yang menyatukan rantai. Jumlah *matriks* termoset yang sering digunakan adalah sebagai berikut:

1) Resin *Polyester*

Resin *polyester* adalah sejenis *matriks* polimer yang sering digunakan dalam produksi komposit *kontemporer*. Resin poliester memiliki ketahanan seperti transparan, fleksibel, dapat diwarnai, tahan air, dan tahan cuaca. Poliester dapat beroperasi pada suhu hingga 70°. Poliester dapat keras dengan memasukkan katalis. Perbandingan dalam penambahan katalis menentukan laju pengawetan. Sifat-sifatnya sebagai resin cair dengan viskositas rendah yang mengeras pada suhu sekitar menyebabkan perkembangan *material* yang meluas sebagai plastik polimer yang diperkuat *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) (Siregar, 2021).

Ikatan silang yang sangat baik menghasilkan struktur *material* yang lebih tahan terhadap benturan dan jenis pembebanan statis. Hal ini disebabkan oleh

fakta bahwa molekul-molekul dalam zat ini tersusun menjadi rantai atom karbon yang sangat besar dan saling terkait. Oleh karena itu, terhadap tekanan tertentu, struktur molekulnya menciptakan efek redaman yang sangat kuat.

## 2) Resin Epoxy

Epoksi adalah kopolimer, dibentuk dari dua bahan kimia yang berbeda. Dua bahan kimia tersebut adalah “resin” dan “pengeras”. Resin terdiri dari monomer atau polimer rantai pendek dengan gugus epoksida di kedua ujungnya. Resin epoksi umumnya dihasilkan dari reaksi antara *epiklorohidrin* dan *bisphenol-A*, walaupun yang terakhir ini dapat digantikan oleh bahan kimia serupa. Pengeras terdiri dari monomer poliamina, misalnya *triethylenetetramine (teta)*. Saat senyawa ini dicampur bersama, gugus amina bereaksi dengan gugus epoksida untuk membentuk ikatan kovalen. Setiap gugus NH dapat bereaksi dengan gugus epoksida, sehingga polimer yang dihasilkan sangat berikatan silang, dan dengan demikian kaku dan kuat. Proses polimerisasi disebut “*curing*”, dan dapat dikontrol melalui suhu, pilihan senyawa resin dan pengeras. Prosesnya bisa memakan waktu beberapa menit hingga beberapa jam.

Epoksi punya ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan poliester dalam keadaan basah, tetapi tidak tahan terhadap asam. Epoksi mempunyai tiga sifat utama yaitu: (a) Sifat fisik, seperti halnya jenis plastik lainnya umumnya plastik bersifat isolator dan konduktor listrik yang baik. Kecuali ditambahkan campuran lain seperti serbuk logam/karbon lainnya. (b) Sifat kimia, seperti halnya kebanyakan plastik, plastik secara kimiawi bersifat *inert*. Dalam jangka panjang, sinar ultraviolet mempengaruhi struktur kimia plastik. (c) Properti sifat mekanik, pada bentuk aslinya resin epoksi keras dan rapuh tetapi dalam penggunaan, plastik hampir selalu memiliki kandungan bahan campuran lain untuk menyesuaikan sifat mekaniknya. Sifat mekanik sangat banyak dimodifikasi sifat-sifatnya baik dari segi kekuatan, elastisitas, keuletan, dan daya sobek. Selain sifat-sifat tersebut epoksi juga mempunyai sifat ulet, elastis, tidak dapat bereaksi dengan sebagian besar bahan kimia dan mempunyai sifat dimensi. Kebanyakan bahan kimia memiliki dimensi yang

lebih stabil. *Epoxy* apabila diberi bahan penguat komposit memiliki kekuatan yang lebih baik dibandingkan dengan resin lainnya (Michael, H.W., 1998).

#### E. Sifat Mekanis

Menurut Siregar (2021) salah satu pertimbangan paling penting saat memilih bahan untuk merancang adalah kualitas mekaniknya. Karakteristik mekanis adalah cara suatu material berperilaku atau merespons beban tertentu. Beban statis dan dinamis adalah dua kategori di mana beban pada suatu material dapat benar-benar dipisahkan. Fungsi waktu adalah faktor tunggal yang memisahkan keduanya. Beban dinamis dipengaruhi oleh fungsi waktu, tetapi beban statis tidak.

Pengujian mekanis sering dilakukan untuk mengetahui karakteristik mekanik *material*. Intinya, pengujian mekanis adalah pengujian destruktif yang menghasilkan data atau kurva yang menggambarkan kondisi atau kualitas material. Sampel atau spesimen kecil dibuat untuk dijadikan sebagai spesimen uji. Hanya bahan uji yang memenuhi persyaratan presisi pengukuran, kapasitas mekanis, kuantitas atau kualitas cacat *material*, dan ketepatan pembuatan benda uji yang dapat menghasilkan hasil pengujian yang valid. Ketangguhan, kelenturan, keuletan, kekuatan tarik, daya tahan, kekerasan, ketahanan aus, kekuatan impact, kekuatan ulet, kekuatan leleh, dan beberapa karakteristik lainnya merupakan contoh kualitas mekanik. Diantara karakteristik mekanis yang perlu diperhatikan adalah:

- Kekuatan adalah jumlah tegangan yang diperlukan untuk menyebabkan material berubah bentuk atau kapasitasnya untuk mentolerir deformasi.
- Tegangan adalah jumlah gaya yang diserap suatu *material* ketika mengalami deformasi penyatuan yang signifikan.
- Kekuatan luluh, yaitu tegangan di mana plastik harus berdeformasi.
- Ketangguhan, atau gaya yang diperlukan untuk menyebabkan terjadinya patahan.
- Kekuatan maksimum yang ditentukan oleh ukuran awal dikenal sebagai kekuatan tarik.

- Kekerasan material mengacu pada kapasitasnya untuk mentolerir deformasi plastis lokal yang disebabkan oleh penetrasi permukaan.
- Keuletan adalah deformasi plastis hingga putus atau patah.
- Rasio pertambahan panjang dengan panjang awal dikenal sebagai regangan.

## F. Uji Tarik

Pengujian tarik adalah mengukur bahan untuk mengetahui keuletan dan ketangguhan dari suatu bahan tersebut terhadap tegangan tertentu dan penambahan panjang yang terjadi pada bahan tersebut. Pengujian tarik adalah metoda yang paling dasar dalam pengujian material. Pengujian ini tergolong sangat sederhana, tidak mahal, dan telah distandarisasi di seluruh dunia. Contohnya ASTM digunakan di Amerika Serikat dan JIS digunakan di Jepang. Dengan menarik *material*, dapat dengan cepat mengetahui respon *material* terhadap tegangan dan memahami kekuatan tarik *material*. Pengujian tarik dilaksanakan untuk mengetahui kekuatan tarik *material* komposit. Pengujian dilaksanakan dengan alat ‘*Universal Testing Machine*’ yang dibuat di Jepang. Hasil uji ini lebih tepat karena dengan grafik-grafik tegangan regangan (Harini et al., 2017). Adapun tujuan dari pengujian tarik adalah untuk mengetahui kakuatan, regangan, dan modulus tarik komposit yang telah dibuat. Hasil pengujian tarik yang berupa grafik beban dengan pertambahan panjang atau *elongation* dapat diolah dan dibentuk menjadi grafik grafik perbandingan dengan persamaan-persamaan dibawah ini (Rizal & Effendi, 2020).

- a. Kekuatan tarik ( $\sigma$ )

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots (1)$$

- b. Regangan tarik ( $\epsilon$ )

$$\epsilon = \frac{L_f - L_0}{L_0} \dots\dots\dots (2)$$

- c. Modulus elastisitas

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

$\sigma$  = Tegangan (Mpa)

F = Beban (N)

$A_0$  = Luas Penampang ( $mm^2$ )

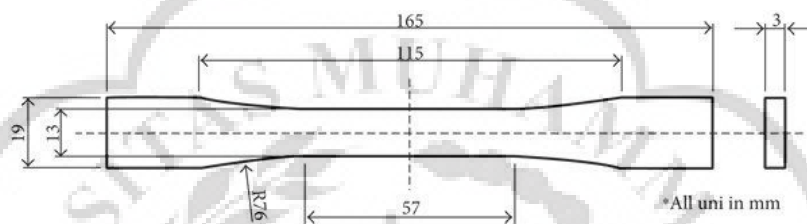
$\varepsilon$  = Regangan (%)

$L_0$  = Panjang awal ( $mm^2$ )

$E$  = Modulus elastisitas (Mpa)

$L_f$  = Panjang akhir ( $mm^2$ )

Spesimen Uji tarik dibentuk sesuai standar pengujian ASTM D368-01 yang di tujukan pada gambar dibawah ini beserta alat pengujiannya.



**Gambar 2. 9** Spesimen pengujian tarik ASTM D638-01 (ASTM, 2003)



**Gambar 2. 10** Spesimen uji tarik



**Gambar 2. 11** Universal testing machine (tensile)

### G. Uji *Bending*

*Material* komposit menunjukkan kualitas tekan yang unggul dibandingkan dengan material tarik. Selama uji *Bending* spesimen, bagian atas spesimen mengalami perlakuan tekan sedangkan bagian bawah mengalami perlakuan tarik. Hal ini mengakibatkan kegagalan dasar yang patah karena spesimen tidak dapat menahan tegangan tarik.

Kekuatan bending dapat dihitung dengan (Gundara et al, 2019):

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bh^2} \dots\dots\dots (4)$$

Modulus elastisitas *bending*

$$E_b = \frac{1}{4} \cdot \frac{L^3}{bh^3} \cdot \frac{P}{\delta} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

P = beban (N)

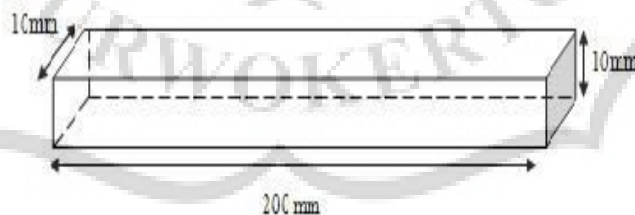
L = panjang antar penumpu batang (mm)

b = lebar (mm)

h = tebal batang (mm)

$\delta$  = defleksi (mm)

Dibawah ini menunjukkan dimensi balok beserta alat pengujiannya: (Standar ASTM D 790-92).



**Gambar 2. 12** Spesimen pengujian *bending* ASTM D 790-92 (ASTM, 2000)



**Gambar 2. 13** Spesimen uji *bending*



**Gambar 2. 14** *Universal testing machine (bending)*

#### **H. Foto Makro**

Foto makro disini adalah untuk mengidentifikasi patahan dari spesimen. Foto-foto makro patahan dalam pengujian mekanis komposit serat alam dipakai untuk mengetahui jenis kegagalan dan karakter mikrostruktur dari patahan tersebut. Dengan foto makro, para peneliti dapat menentukan pola interaksi antara serat dan matriks dan bagaimana kegagalan itu bisa terjadi, yang penting untuk meningkatkan desain dan performa material komposit.



**Gambar 2. 15** Alat foto makro

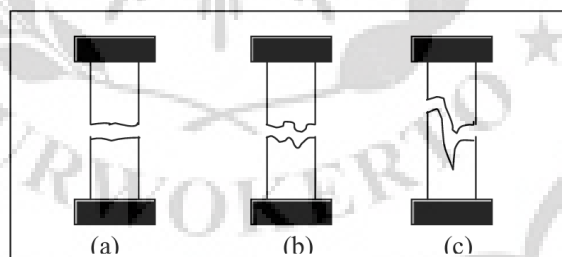
#### **I. Modus Kegagalan Akibat Beban Tarik dan Tekan Longitudinal**

Dalam *material* komposit laminat yang dikenai beban tarik searah, kegagalan dimulai dengan serat yang putus pada penampang terlemah. Seiring

dengan bertambahnya beban, semakin banyak serat yang putus. Sehingga dalam kebanyakan kasus, serat tidak putus pada waktu yang bersamaan. Variasi kumulatif kerusakan serat berdasarkan eksperimen, serat putus pada beban yang relatif kecil, kurang dari 50% dari beban maksimum. Pada awalnya, saat jumlah serat yang putus sedikit, matriks masih dapat mengulangnya dengan mendistribusikan gaya disekelilingnya atau keserat lain (Basworo, 2007).

Jika patahan serat semakin banyak, maka ada 3 kemungkinan (Hadi, B.K., 2000):

1. Jika matriks sanggup menahan gaya geser dan meneruskannya ke serat-serat disekitarnya, maka serat yang patah akan semakin banyak sehingga muncul retakan. Material komposit akan patah getas (*brittel failure*) seperti gambar a dibawah ini.
2. Jika matriks tidak bisa menahan konsentrasi tegangan geser yang timbul pada ujung serat dapat terlepas dari matriks (*debounding*) dan menyebabkan komposit rusak seperti pada gambar b dibawah ini.
3. Kombinasi kedua tipe diatas dimana kerusakan serat terjadi di tempat-tempat acak disertai dengan adanya kerusakan matriks. Modus kerusakan ini adalah berbentuk sikat (*brush type*) seperti yang ditunjukkan pada gambar c dibawah ini.



**Gambar 2. 16** Kegagalan tarik dan *bending*

(Hadi, B.K., 2000)