

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Scherf dan Wagner (1992), dalam risetnya meneliti pengaruh dari pratarik ( *pre-tension* ) yang diterapkan pada komposit serat tunggal. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa serat pratarik secara signifikan mempengaruhi jumlah potongan-potongan dan juga antar muka kekuatan geser. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa jumlah potongan-potongan serat dalam uji tarik dari komposit meningkat ketika serat pratarik meningkat. Perhitungan tegangan, antar muka kekuatan geser, juga dilakukan oleh Scherf dan Wagner. Perhitungan mereka menunjukkan bahwa kekuatan geser pada antarmuka meningkat sebagai hasil dari pratarik meningkat pada komposit serat tunggal.

Carli (2012), dalam risetnya meneliti serat gelas jenis woven dengan matriks epoxy dan polyester berlapis simetri. Dari hasil penelitian ini menunjukkan perbedaan antara hasil uji tarik dan bending untuk komposit dengan matriks *polyester* dan *epoxy*. Karakteristik bahan komposit *epoxy* jauh lebih baik dibandingkan dengan komposit *polyester*, dimana karakteristik *flextural strength* dan *tensile strength matrix epoxy* lebih baik dari matriks *polyester*.

Jorge (1990), melakukan penelitian dalam tesisnya dengan menggunakan serat *E-glass* dan resin *polyester* untuk membuat *unidirectional composites* (komposit searah). Dalam penelitian ini menerapkan beban pratarik dengan menggunakan beban katrol pada serat. Hasil uji tarik pada sampel material komposit tersebut menunjukkan peningkatan kekuatan tarik dan modulus tarik yang disebabkan ketika serat diberikan beban berupa pratarik (*pre-tension*) mengakibatkan meningkatnya sifat mekanik material komposit.

#### 2.2 Pengertian Material Komposit

Komposit adalah bahan material struktural yang terdiri dari kombinasi dua atau lebih unsur material yang digabungkan pada tingkat makroskopik dan memiliki sifat mekanik yang berbeda-beda. Dikarenakan karakteristik pembentuknya berbeda-beda, maka akan dihasilkan material baru yaitu komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material-material pembentuknya (Schwartz, 1992).

### 2.2.1 Kegunaan Bahan Komposit

Kegunaan bahan komposit sangat luas yaitu untuk :

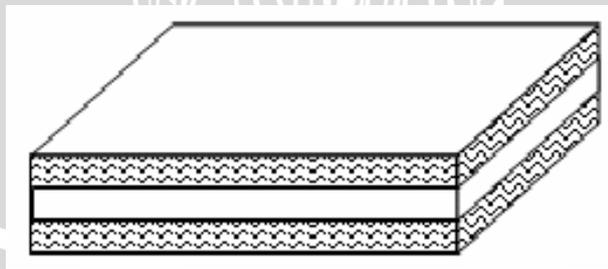
1. Industri penerbangan dan angkasa luar seperti komponen pesawat terbang, komponen helikopter, komponen satelit.
2. Industri *automobile* seperti komponen mesin mobil, badan kereta.
3. Alat olah raga seperti sepeda, *stick golf*, raket tenis, sepatu olah raga.
4. Industri pertahanan seperti komponen pesawat jet tempur, peluru, komponen kapal selam.
5. Industri pembangunan infrastruktur seperti jembatan, terowongan, rumah.
6. Alat kesehatan seperti kaki palsu, gigi palsu dan sambungan sendi pada pinggang
7. Industri kelautan seperti kapal layar, kapal transportasi.

### 2.2.2 Klasifikasi Material Komposit

Bahan komposit dapat diklasifikasikan kedalam beberapa jenis, tergantung pada geometri dan jenis seratnya (Schwartz, 1992) :

1. Komposit laminat ( *laminated composite* )

Komposit laminat merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabungkan menjadi satu dan setiap lapisannya memiliki karakteristik khusus seperti pada gambar 2.1. Pada umumnya sifat-sifat yang ditekankan pada komposit laminasi adalah kekakuan, kekuatan, ketahanan korosi, ketahanan aus, isolasi termal. Komposit laminat terdiri dari empat jenis yaitu komposit serat kontinyu, komposit serat anyam, komposit serat acak dan komposit serat hibrid.

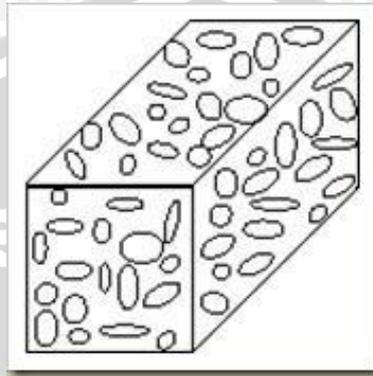


Gambar 2.1 Komposit laminat ( *laminated composite* )

Sumber : *Anonymous* 1, 2014

## 2. Komposit pengisi ( *filler composites* )

Pada gambar 2.2 komposit pengisi merupakan komposit yang terdiri dari struktur sambungan tiga dimensi yang struktur dimensi atau impregnasi dengan dua – phase material pengisi. Pengisi juga mempunyai bentuk tiga dimensi yang ditentukan oleh kekosongan di dalam matrik.

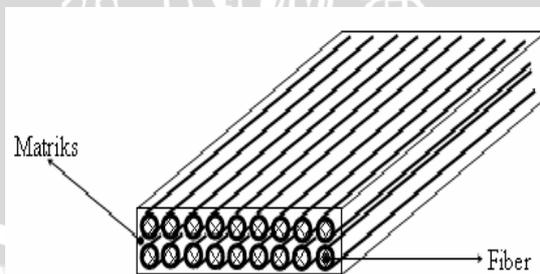


Gambar 2.2 Komposit pengisi ( *filler composites* )

Sumber : *Anonymous 2*, 2014

## 3. Komposit serat ( *fiber composite* )

Pada gambar 2.3 komposit serat terdiri dari matriks yang diperkuat oleh serat pendek ( *short fiber composite* ) atau serat panjang ( *long fiber composite* ). Serat umumnya anisotropik seperti karbon dan aramid. Serat ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman. Komposit tersebut hanya terdiri dari satu lamina atau satu lapisan menggunakan serat penguat. Komposit yang diperkuat dengan serat dapat digolongkan menjadi dua bagian yaitu:



Gambar 2.3 Komposit serat ( *fiber composite* )

Sumber : *Anonymous 3*, 2014

a. Komposit serat pendek ( *short fiber composite* )

Komposit yang diperkuat dengan serat pendek umumnya sebagai matriknya adalah resin termoset yang amorf atau semikristalin. Material komposit yang diperkuat dengan serat pendek yang mengandung orientasi secara acak. Secara acak biasanya derajat orientasi dapat terjadi dari suatu bagian ke bagian lain. Akibat langsung dari distribusi acak serat ini adalah nilai fraksi volume lebih rendah dalam material yang menyebabkan bagian resin lebih besar. Tujuan pemakaian serat pendek adalah memungkinkan pengolahan yang mudah, lebih cepat, produksi lebih murah dan lebih beraneka ragam.

b. Komposit serat panjang ( *long fiber composite* )

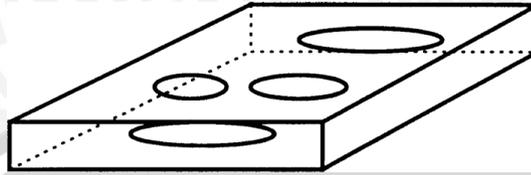
Keistimewaan komposit serat panjang adalah lebih mudah diorientasikan, jika dibandingkan dengan serat pendek. Secara teoritis serat panjang dapat menyalurkan pembebanan atau tegangan dari suatu titik pemakaiannya. Pada prakteknya, hal ini tidak mungkin karena variabel pembuatan komposit serat panjang tidak mungkin memperoleh kekuatan tarik melampaui panjangnya. Perbedaan serat panjang dan serat pendek yaitu serat pendek dibebani secara tidak langsung atau kelemahan matriks akan menentukan sifat dari produk komposit tersebut yakni jauh lebih kecil dibandingkan dengan besaran yang terdapat pada serat panjang. Bentuk serat panjang memiliki kemampuan yang tinggi, disamping itu kita tidak perlu memotong-motong serat.

Fungsi penggunaan serat sebagai penguat secara umum adalah sebagai bahan yang dimaksudkan untuk memperkuat komposit, disamping itu penggunaan serat juga mengurangi pemakaian resin sehingga akan diperoleh suatu komposit yang lebih kuat, kokoh dan tangguh jika dibandingkan produk bahan komposit yang tidak menggunakan serat penguat.

4. Komposit serpihan ( *flake composites* )

Pada gambar 2.4 komposit serpihan merupakan partikel kecil yang telah ditentukan sebelumnya yang dihasilkan dalam peralatan yang khusus dengan orientasi serat sejajar permukaannya. Suatu komposit serpihan terdiri atas serpih-serpih yang saling menahan dengan mengikat permukaan atau dimasukkan ke dalam matriks. Sifat-sifat khusus yang dapat diperoleh dari serpihan adalah bentuknya besar dan datar sehingga dapat disusun dengan rapat untuk menghasilkan suatu bahan penguat yang tinggi untuk luas penampang lintang tertentu. Pada umumnya

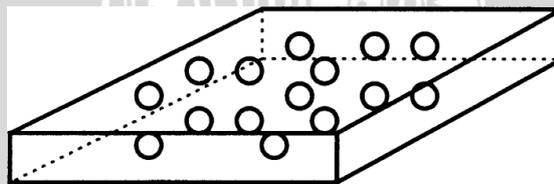
serpihan-serpihan saling tumpang tindih pada suatu komposit sehingga dapat membentuk lintasan fluida ataupun uap yang dapat mengurangi kerusakan mekanis karena penetrasi atau perembesan. Tipe material serpihan seperti kaca, mika, alumunium dan perak.



Gambar 2.4 Komposit serpihan ( *flake composites* )  
Sumber : Autar (2006 : 18)

#### 5. Komposit partikel ( *particulated composite* )

Komposit partikel merupakan komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriks seperti pada gambar 2.5. Komposit yang terdiri dari partikel dan matriks yaitu butiran (batu, pasir) yang diperkuat semen yang kita jumpai sebagai beton, senyawa kompleks ke dalam senyawa kompleks. Komposit partikel merupakan produk yang dihasilkan dengan menempatkan partikel-partikel dan sekaligus mengikatnya dengan suatu matriks bersama-sama dengan satu atau lebih unsur-unsur perlakuan seperti panas, tekanan, kelembaban, katalisator. Komposit partikel ini berbeda dengan jenis serat acak sehingga bersifat isotropis.



Gambar 2.5 Komposit partikel ( *particulated composite* )  
Sumber : Autar (2006:18)

### 2.3 Polimer

Dalam kehidupan sehari-hari kita banyak menggunakan plastik dan serat, baik serat alam maupun serat buatan. Plastik maupun serat yang biasa kita gunakan tersebut disebut polimer. Istilah polimer dapat pula diartikan sebagai molekul besar yang terbentuk dengan pengulangan unit-unit molekul yang disebut monomer.

Polimer berasal dari bahasa Yunani yang terdiri dari dua kata, yaitu : *poly* berarti banyak dan *meros* berarti bagian-bagian atau unit-unit dasar. Jadi polimer adalah

molekul-molekul yang terdiri atas banyak bagian-bagian. Polimer merupakan molekul raksasa yang tersusun dari ikatan kimia sederhana atau bahan dengan berat molekul yang besar mempunyai struktur dan sifat-sifat yang rumit disebabkan jumlah atom pembentuk yang jauh lebih besar dibandingkan dengan senyawa yang berat atomnya rendah (Surdia, 2003).

Sifat-sifat umum yang dimiliki bahan-bahan polimer adalah sebagai berikut:

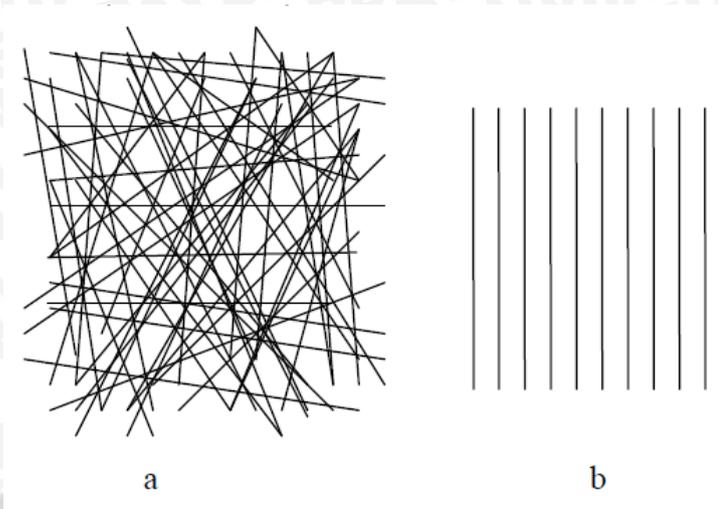
1. Kemampuan cetaknya cukup baik, artinya pada temperatur relatif rendah bahan dapat dicetak dengan berbagai cara, diantaranya : dengan penyuntikan, penekanan, ekstruksi.
2. Produk yang ringan dan kuat dapat dibuat.
3. Baik sekali ketahanannya terhadap air dan zat kimia.
4. Banyak diantaranya polimer bersifat isolasi listrik yang baik dan mudah termuati listrik secara elektrostatik.
5. Kurang tahan terhadap panas.
6. Kekerasan permukaannya sangat kurang.

#### 2.4 Serat Pengisi (*Filler*)

Serat merupakan bahan yang kuat, kaku, getas. Karena serat yang terutama menahan gaya luar, ada dua hal yang membuat serat menahan gaya yaitu :

- a. Perekatan (*bonding*) antara serat dan matriks (*interfasial bonding*) sangat baik dan kuat sehingga tidak mudah lepas dari matriks (*debonding*).
- b. Kelangsingan (*aspect ratio*) yaitu perbandingan antara panjang serat dengan diameter serat cukup besar.

Arah serat penguat menentukan kekuatan komposit dan mempengaruhi jumlah serat yang dapat diisikan ke dalam matrik seperti pada gambar 2.6. Makin cermat penataannya, makin banyak penguat dapat dimasukkan. Hal tersebut menentukan optimum saat komposit maksimum (Surdia, 2003).



Gambar 2.6 Susunan serat acak (a) dan teratur (b)  
Sumber : Surdia : 2003

#### 2.4.1 Serat Sebagai Penguat

Secara umum dapat dikatakan bahwa fungsi serat adalah sebagai penguat bahan untuk memperkuat komposit sehingga sifat mekaniknya lebih kaku, tangguh dan lebih kokoh dibandingkan dengan tanpa serat penguat, selain itu serat juga menghemat penggunaan resin. Kaku adalah kemampuan dari suatu bahan untuk menahan perubahan bentuk jika dibebani dengan gaya tertentu dalam daerah elastis pada pengujian tarik. Tangguh adalah bila pemberian gaya atau beban yang menyebabkan bahan-bahan tersebut menjadi patah pada pengujian tiga titik lentur. Kokoh adalah kondisi yang diperoleh akibat benturan atau pukulan serta proses kerja yang mengubah struktur komposit sehingga menjadi keras pada pengujian impact.

Beberapa syarat untuk dapat memperkuat matriks antara lain :

1. Mempunyai modulus elastisitas yang tinggi
2. Kekuatan lentur yang tinggi
3. Perbedaan kekuatan diameter serat harus relatif sama
4. Mampu menerima perubahan gaya dari matriks dan mampu menerima gaya yang bekerja padanya.
5. Mempunyai koefisien gesek yang kecil (Charles, 1975)

#### 2.4.2 Serat Gelas

Serat gelas (*glass fiber*) adalah bahan yang tidak mudah terbakar. Serat jenis ini biasanya digunakan sebagai penguat matrik jenis polimer. Komposisi kimia serat gelas

sebagian besar adalah SiO dan sisanya adalah oksida-oksida aluminium (Al), kalsium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na), dan unsur-unsur lainnya.

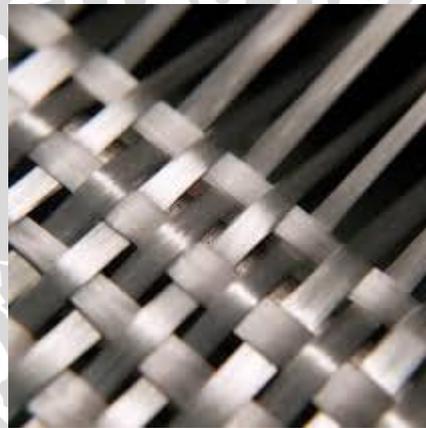
Berdasarkan bentuknya serat gelas dapat dibedakan menjadi beberapa macam antara lain :

a. *Roving*

Berupa benang panjang yang digulung mengelilingi silinder.

b. *Woven Roving (WR)*

Pada gambar 2.7 merupakan serat gelas jenis anyaman (*woven roving*) mempunyai bentuk seperti anyaman tikar, serat gelas yang teranyam dibuat saling bertindih secara selang seling ke arah vertikal dan horisontal ( $0^\circ$  dan  $90^\circ$ ).



Gambar 2.7 *Woven Roving (WR)*

Sumber : *Anonymous 4*, 2014

Kumpulan anyaman adalah seperti tali; anyaman ini memberikan penguatan ke arah vertikal dan horisontal. Pemakaiannya dalam konstruksi terutama pada bagian frame. WR ini sedikit kaku, sehingga agak sulit dibentuk terutama bila digunakan untuk bagian berlekuk tajam. Bentuk serat gelas *woven roving* adalah merupakan gulungan serat gelas bentuk serat gelas ini sangat baik dipergunakan dalam bidang industri misalnya: pembuatan bak mandi, pembuatan kapal dan lain – lain.

c. *Chop Strand Mat (CSM)*

Serat gelas acak (*chop strand mat*) mempunyai bentuk seperti acak (*random*), serat gelas yang teranyam dibuat bertindih secara tidak teratur ke segala arah (*undirectional*) seperti pada gambar 2.8. Serat gelas yang teranyam mempunyai panjang serat yang relatif lebih pendek dari panjang serat WR. Pemakaiannya dalam konstruksi. CSM ini lebih fleksibel, sehingga mudah dibentuk dan mudah digunakan untuk bagian berlekuk tajam.



Gambar 2.8 Chop Strand Mat (CSM)

Sumber : Anonymous 5, 2014

d. *Yarn*

Berupa bentuk benang yang lekat dihubungkan pada filamen.

e. *Reinforcing Mat*

Berupa lembaran *chopped strand* dan *continuous strand* yang tersusun secara acak.

f. *Woven Fabric*

Berupa serat yang dianyam seperti kain tenun.

Berdasarkan jenisnya serat gelas dapat dibedakan menjadi beberapa macam antara lain :

a. Serat *E-Glass*

Serat *E-Glass* adalah salah satu jenis serat yang dikembangkan sebagai penyekat atau bahan isolasi. Jenis ini mempunyai kemampuan bentuk yang baik. Spesifikasi sifat mekanik dari serat *E-Glass* dijelaskan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat mekanik dari serat *E-Glass* (Barhelot, 1999)

Sifat Mekanis	Satuan	Nilai
Densitas Massa	Kg/m <sup>3</sup>	2530 s.d 2600
Modulus Elastisitas	GPa	7,3
Kekuatan Tarik	MPa	350
<i>Elongation</i>	%	4,8

b. Serat *C-Glass*

Serat *C-Glass* adalah jenis serat yang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap korosi.

c. Serat *S-Glass*

Serat *S-Glass* adalah jenis serat yang mempunyai kekakuan yang tinggi.

Pada Tabel 2.2 dijelaskan merupakan sifat-sifat serat gelas pada jenis serat *E-Glass*, *C-Glass* dan *S-Glass*.

Tabel 2.2 Sifat-sifat serat gelas (Frida, 1992)

No	Jenis serat		
	<i>E-glass</i>	<i>C-glass</i>	<i>S-glass</i>
1	Isolator listrik yang baik	Tahan terhadap korosi	Modulus lebih tinggi
2	Kekakuan tinggi	Kekuatan lebih rendah dari <i>E-glass</i>	Lebih tahan terhadap suhu tinggi
3	Kekuatan tinggi	Harga lebih mahal dari <i>E-glass</i>	Harga lebih mahal dari <i>E-glass</i>

Serat gelas mempunyai banyak macam keuntungan, sebagai bahan penguat karena :

1. Mudah didapat dan dipabrikan menjadi plastik yang diperkuat dengan serat gelas
2. Sebagai serat ia kuat, dan bila disatukan dengan matriks plastik akan memberikan komposit yang mempunyai kekuatan tinggi
3. Sangat berguna pada lingkungan yang korosi.

## 2.5 Matriks

### 2.5.1 Defenisi Fungsi Dan Klasifikasi Matriks

Matrik adalah bahan yang berfungsi mengikat penguat satu dengan yang lain. Bahan yang umum dipakai sebagai matrik adalah metal, keramik, atau polimer. Pada saat ini polimer sering dipergunakan karena lebih ringan dan tahan korosi. (Schwartz, 1992). Persyaratan di bawah ini perlu dipenuhi sebagai bahan matriks untuk pencetakan bahan komposit :

1. Mempunyai penyusutan yang kecil pada pengawetan.
2. Dapat diukur pada temperatur kamar dalam waktu yang optimal.
3. Resin yang dipakai perlu memiliki viskositas rendah, sesuai dengan bahan penguat dan *permeable*.
4. Memiliki daya rekat yang baik dengan bahan penguat. (Surdia,2003).

Pada umumnya matriks berfungsi didalam material komposit sebagai (Schwartz, 1992):

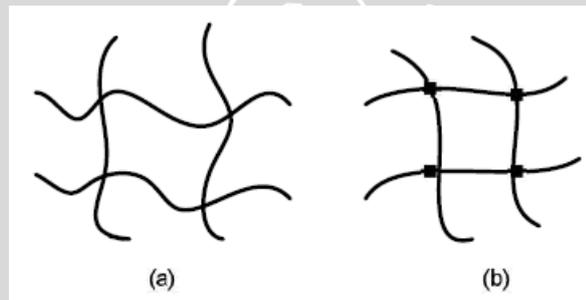
1. Menjaga agar serat tetap berada di dalam struktur komposit.
2. Membantu mendistribusi beban yang diterima.
3. Melindungi serat dari kerusakan eksternal seperti pengausan.
4. Memberi perlindungan serat terhadap keadaan lingkungan yang kurang baik.

Bahan pengisi yang berfungsi sebagai penguat pada material komposit dapat berbentuk serat, partikel, dan serpihan. Dalam hal ini sebagai pengikat atau penyatu antara serat dengan serat, partikel dengan partikel yaitu digunakan matriks.

Secara umum matriks terbagi atas dua kelompok yaitu:

### 1. Termoset

Merupakan bahan yang sulit mencair atau lunak apabila dipanaskan karena harus membutuhkan temperatur yang sangat tinggi. Hal ini diakibatkan karena molekul-molekulnya mengalami ikatan silang (*cross linking*) sehingga bahan tersebut sulit dan bahkan jarang didaur ulang kembali (Hartomo, 1992). Gambar 2.9 memperlihatkan bahwa pemanasan bahan termoset akan mengakibatkan terjadinya *cross linking* antara molekul-molekul sehingga jika bahan termoset telah mengeras maka sulit untuk dilunakkan kembali dengan pemanasan.



Gambar 2.9 Molekul pada polimer termoset mengalami *cross linking* (a) Sebelum dipanaskan dan (b) Sesudah dipanaskan.

Sumber : Hartomo, 1992

### 2. Termoplastik

Merupakan bahan yang mudah menjadi lunak kembali apabila dipanaskan dan mengeras apabila didinginkan sehingga pembentukan dapat dilakukan berulang-ulang karena mempunyai struktur yang linier.

#### 2.5.2 Matriks Polyester

Resin *polyester* sebelum dicampur dengan zat pengeras/katalis, akan tetap dalam keadaan cair dan akan mengeras setelah pencampuran dengan katalisnya setelah beberapa menit, sesuai dengan jenis dan banyaknya katalis yang digunakan dalam pencampuran seperti ditunjukkan pada tabel 2.3. Semakin banyak penggunaan katalis tersebut maka waktu pengerasan cairan matrik (*curing time*) akan semakin cepat.

Tabel 2.3 Hubungan persentase (%) katalis dengan *potlife* pada *polyester* BQTN 157 - ex (Hartomo, 1992).

Katalis (%)	Potlife (menit)
1	46
2	30
3	22
4	21
5	20

*Curing* merupakan suatu proses pengeringan untuk merubah material pengikat dari keadaan cair menjadi padat. *Curing* ini terjadi melalui reaksi kepolimerisasi radikal antara molekul jenis vinil yang membentuk hubungan silang melalui bagian tak jenuh dari *polyester*. Reaksi ini timbul karena dipicu oleh katalis yang ada, yang mulai diaktifkan oleh sejumlah kecil akselerator. Standar yang dianjurkan untuk penggunaan katalis adalah 1% pada suhu kamar.

Karena berupa resin cair dengan viskositas yang relatif rendah, mengeras pada suhu kamar dengan penggunaan katalis tanpa menghasilkan gas sewaktu pengesetan seperti banyak resin termoseting yang lainnya, maka tak perlu diberi tekanan untuk pencetakan. Kemampuan *polyester* terhadap cuaca sangat baik, tahan terhadap kelembaban dan sinar *ultra violet* bila dibiarkan diluar. Berdasarkan karakteristik ini, bahan ini dikembangkan secara luas sebagai penguat serat dengan menggunakan serat gelas. *Polyester* adalah jenis resin yang paling banyak digunakan sebagai matrik pada serat gelas untuk badan kapal, mobil, tandon air dan sebagainya (Hartomo, 1992).

Sifat-sifat resin *polyester* dijelaskan pada tabel 2.4 dan Spesifikasi resin *unsaturated polyester yukalac 157 BQTN* dijelaskan pada tabel 2.5 sebagai berikut :

Tabel 2.4 Sifat – Sifat Resin *Polyester* (Frida, 1992)

Sifat	
Kekentalan ( $\text{Mgm}^{-3}$ )	1,2 – 1,5
Modulus young ( $\text{GNm}^{-2}$ )	2 – 4,5
Poisson ratio	0,37 – 0,39
Kekuatan tarik ( $\text{MNm}^{-2}$ )	40 – 90
Kekuatan tekan ( $\text{MNm}^{-2}$ )	90 – 150
Regangan maksimum (%)	2
Temperatur maksimum ( $^{\circ}\text{C}$ )	50 – 110

Tabel 2.5 Spesifikasi resin *unsaturated polyester yukalac 157 BQTN*

Item	Nilai Tipikal	Catatan
Berat jenis ( $\text{gr} / \text{cm}^3$ )	1,215	
Suhu distorsi panas ( $^{\circ}\text{C}$ )	70	
Penyerapan air (suhu ruangan) (%)	0,188	24 jam
	0,466	3 hari
Kekuatatan Flexural ( $\text{Kg} / \text{mm}^2$ )	9,4	
Modulus Flexural ( $\text{Kg} / \text{mm}^2$ )	300	
Daya rentang ( $\text{Kg} / \text{mm}^2$ )	5,5	
Modulus rentang ( $\text{Kg} / \text{mm}^2$ )	300	
Elongasi (%)	1,6	

(Sumber : Frida, 1992)

## 2.6 Metode Pembuatan Komposit

Dalam pembuatan komposit diperlukan suatu cetakan dimana cetakan tersebut harus bersih dari kotoran dan permukaannya halus. Cetakan dapat terbuat dari logam, kayu, gips, plastik, dan kaca. Ada 3 metode pembuatan komposit yang sering digunakan, yaitu :

- Metode *Hand Lay Up*
- Metode *Spray Up*
- Metode *Injection Molding*

### 1. Metode *Hand Lay Up*

Proses ini merupakan metode yang paling sederhana untuk memproduksi plastik yang diperkuat serat cara pembuatan dengan sistem *hand lay-up* dilakukan dengan meletakkan serat pada cetakan yang telah dilapisi dengan *release film* yang bertujuan untuk mencegah lengketnya material-material komposit pada cetakan, terutama pada

sudut-sudut cetakan, *release film* ini juga membantu membentuk permukaan komposit menjadi lebih baik, setelah serat diletakkan pada cetakan selanjutnya matrik dituang dalam cetakan, rol penekanan digunakan untuk meratakan dan menghilangkan udara yang terperangkap seperti pada gambar 2.10.

Kelebihan :

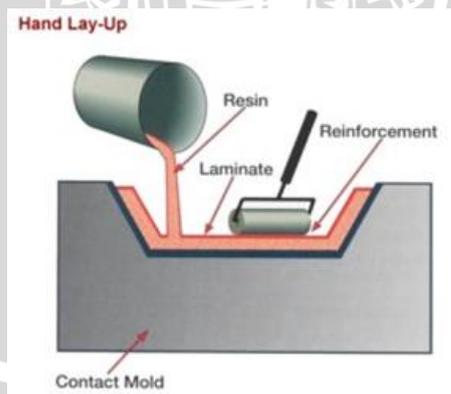
- Biayanya murah
- Dapat digunakan untuk benda besar maupun kecil
- Alat yang digunakan sederhana
- Bisa digunakan untuk serat pendek / panjang
- Mudah mengerjakannya

Kekurangan :

- Kekuatan lapisan tergantung oleh pengerjaan tangan yang melapisi
- Keseragaman produk kurang
- Pengerjaan lama

Tahap proses pembuatan produk material komposit :

1. Pembersihan dan pemberian pelicin.
2. Pemberian pigmen warna (*gel coat*) sebagai permukaan luar panel komposit yang dihasilkan
3. Pemberian resin dan penguat serat
4. Proses pengeringan
5. Proses pelapisan panel komposit dari cetakan.



Gambar 2.10 Metode *hand lay up*  
Sumber : *Anonymous* 6, 2014

## 2. Metode *Spray Up*

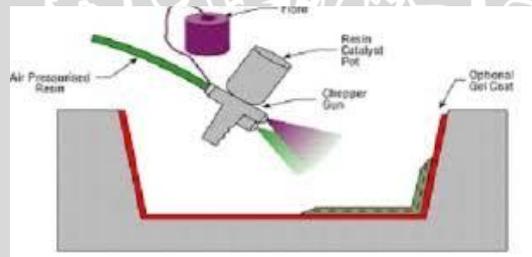
Dalam pembuatan komposit dengan menggunakan metode *spray up* ini menggunakan alat penyemprot seperti pada gambar 2.11. Alat penyemprot tersebut berisi resin, katalis, dan potongan serat yang secara bersamaan disemprotkan ke dalam cetakan.

Kelebihan :

- Hemat dalam penggunaan resin dan *filler*
- Peralatan yang dipakai murah

Kekurangan :

- Karena proses penyemprotan maka mesin yang dipakai harus mempunyai viskositas yang rendah
- Hanya dapat dipakai untuk *filler* berbentuk partikel dan serat pendek acak
- Dapat membahayakan kesehatan karena adanya kemungkinan partikel-partikel resin yang terhirup selama proses penyemprotan.



Gambar 2.11 Metode *spray up*  
Sumber : *Anonymous 7*, 2014

## 3. *Injection Molding*.

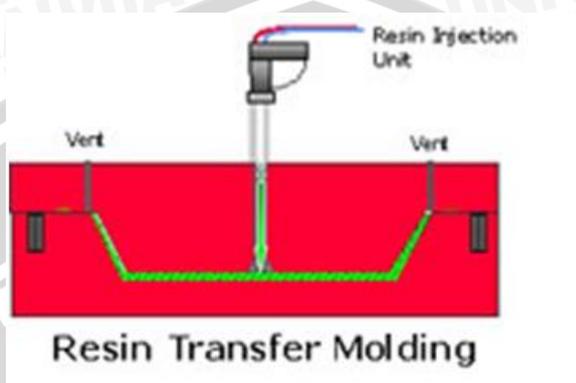
*Injection molding* merupakan metode yang paling sering digunakan dalam manufaktur komposien resin termoplastik. Seperti pada gambar 2.12 metode ini dilakukan dengan cara memberikan tekanan injeksi (*injection pressure*) dengan besar tertentu pada material plastik yang telah dilelehkan oleh sejumlah energi panas untuk dimasukkan ke dalam cetakan sehingga didapatkan bentuk yang diinginkan.

Kelebihan :

- Produk dapat dibuat dengan toleransi ukuran kecil.
- Komponen dapat dihasilkan dengan tingkat produksi tinggi.
- Dapat mencetak produk yang sama dengan bahan baku yang berbeda tanpa merubah mesin dan cetakan.

Kekurangan :

- Digunakan untuk serat pendek acak dan partikel namun sulit apabila digunakan untuk serat *continour*.
- Apabila resin yang digunakan mempunyai titik leleh tinggi maka energi yang dibutuhkan untuk pemanasan juga lebih tinggi maka energi yang dibutuhkan untuk pemanasan juga lebih besar sehingga biaya pengerjaan bisa lebih tinggi.



Gambar 2.12 Metode injection molding  
Sumber : *Anonymous* 8, 2014

### 2.7 Sistem *Pre-stress*

Ditinjau dari waktu pemberian *prestressed*, dibedakan menjadi 2 macam (Sri Murni Dewi, 2000) :

1. Sistem *pre-tension* (pra tarik), serat diregangkan dengan pemberian beban tarik sebelum dicetak menjadi fiber komposit.
2. Sistem *post-tension* (pasca tarik), serat diregangkan dengan pemberian beban tarik setelah fiber komposit dicetak dan mengeras.

Kedua kondisi tersebut membedakan sistem prategang, yaitu *Pre-tension* (pratarik) dan *Post-tension* (pasca tarik).

### 2.8 Tegangan Sisa (*Residual Stress*)

Tegangan sisa merupakan tegangan yang terjadi dalam suatu material setelah gaya luar diiadakan. Tegangan sisa terjadi beragam mulai dari struktur logam yang luas hingga atomik. Tegangan sisa merupakan tegangan internal yang tersisa dalam material. Ada berbagai faktor yang mempengaruhi jumlah dan distribusi tegangan sisa, seperti, proses penyusutan, proses pendinginan cepat dan transformasi fasa.

Untuk menghitung tegangan sisa dapat dilakukan dengan menggunakan teknik pengukuran *destruktrif* dan *non destruktif*.

Beberapa metode pengukuran tegangan sisa dengan menggunakan metode *destruktif*, antara lain :

1. Metode *Hole Drilling*
2. Metode *Ring Core Technique*
3. Metode *Bending Deflection*

Pengukuran tegangan sisa dengan menggunakan metode *non destruktif*, antara lain :

1. *Ultrasonic Technique*
2. *Magnetics methods*
3. *X-Ray*

### 2.9 Rule Of Mixtures

Dalam ilmu material aturan secara umum untuk mencampur 2 atau lebih material menjadi komposit disebut dengan *rule of mixtures*, yang digunakan untuk memprediksi secara teoritis dari material *properties* dari komposit yang terdiri dari *filler* dan *matrix*. Hal ini memberikan teori prediksi material *properties* secara maksimum dan minimum yang dapat dicapai material *properties* komposit. Rumus yang digunakan untuk menghitung kekuatan tarik dan modulus elastisitas sebagai berikut :

$$\bullet \quad \sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma_m V_m \quad \text{Jones (1999 : 127)} \quad (2-1)$$

$$\bullet \quad E_c = E_f V_f + E_m V_m \quad \text{Jones (1999 : 127)} \quad (2-2)$$

Keterangan :

$\sigma_c$  = Kekuatan komposit (MPa)

$\sigma_f$  = Kekuatan *fiber* (MPa)

$\sigma_m$  = Kekuatan matrik (MPa)

$E_c$  = Modulus elastisitas komposit (MPa)

$E_f$  = Modulus elastisitas *fiber* (MPa)

$E_m$  = Modulus elastisitas matrik (MPa)

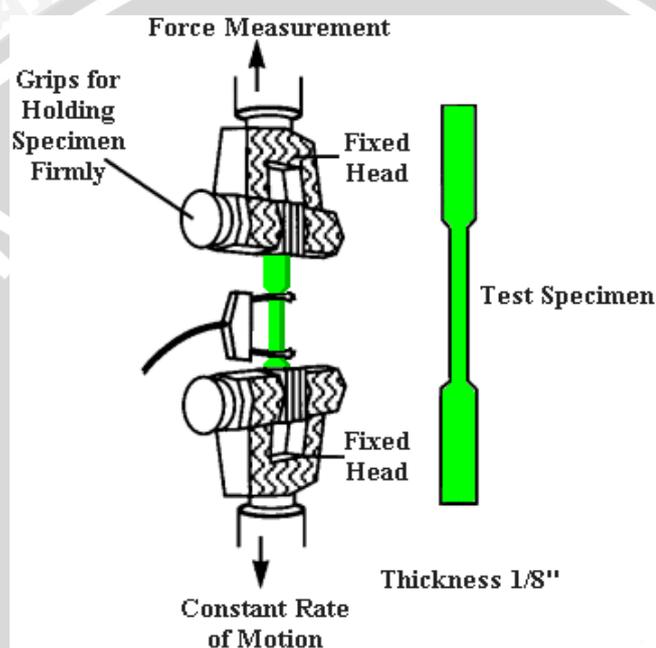
$V_f$  = Fraksi volume *fiber* (%)

$V_m$  = Fraksi volume matrik (%)

## 2.10 Pengujian Kekuatan Tarik

Sebuah mesin dan bagian-bagian strukturnya akan mengalami perubahan bentuk sampai pada batasan tertentu jika dikenai beban yang berlebih pada material tersebut.

Pengujian kekuatan tarik pada gambar 2.13 bertujuan untuk mengetahui tegangan, regangan, modulus elastisitas pada bahan material komposit dengan cara menarik spesimen sampai putus. Pengujian tarik dilakukan dengan mesin uji tarik atau dengan *universal testing machine*. (Standar ASTM D 3039).



Gambar 2.13 Pengujian kekuatan tarik

Sumber : *Anonymous* 9, 2014

Hal-hal yang mempengaruhi kekuatan tarik komposit antara lain : ( Surdia, 2003).

a. Temperatur

Pengaruh temperatur terutama pada resin termoplastik sangat besar yang akan berpengaruh pada kekuatan tarik komposit. Apabila temperatur naik maka kekuatan Tarik komposit akan turun.

b. Kelembapan

Pengaruh kelembapan ini akan mengakibatkan bertambahnya absorbs air, akibatnya akan menaikkan regangan patah sedangkan tegangan patah dan modulus elastisitasnya menurun.

c. Laju tegangan

Apabila laju tegangan kecil, maka perpanjangan bertambah dan mengakibatkan kurva tegangan-regangan menjadi landai, modulus elastisitasnya rendah. Sedangkan

kalau laju tegangan tinggi, maka beban patah dan modulus elastisitasnya meningkat tetapi regangannya mengecil.

$$P = \sigma \cdot A \text{ atau } \sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Surdia (2003 : 32)} \quad (2-3)$$

Keterangan :

P = Beban (N)

A = Luas penampang (mm<sup>2</sup>)

$\sigma$  = Tegangan (MPa)

Besarnya regangan adalah jumlah pertambahan panjang karena pembebanan dibandingkan dengan panjang daerah ukur (*gage length*). Nilai regangan ini adalah regangan proporsional yang didapat dari garis. Proporsional pada grafik tegangan-tegangan hasil uji tarik komposit. (Surdia, 2003).

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \text{Surdia (2003 : 33)} \quad (2-4)$$

Keterangan :

$\varepsilon$  = Regangan (mm/mm)

$\Delta L$  = Pertambahan panjang (mm)

$L_0$  = Panjang daerah ukur (*gage length*) (mm)

Pada daerah proporsional yaitu daerah dimana tegangan regangan yang terjadi masih sebanding, defleksi yang terjadi masih bersifat elastis dan masih berlaku hukum hooke. Besarnya nilai modulus elastisitas komposit yang juga merupakan perbandingan antara tegangan regangan pada daerah proporsional dapat dihitung dengan persamaan (Surdia, 2003).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{Surdia (2003 : 33)} \quad (2-5)$$

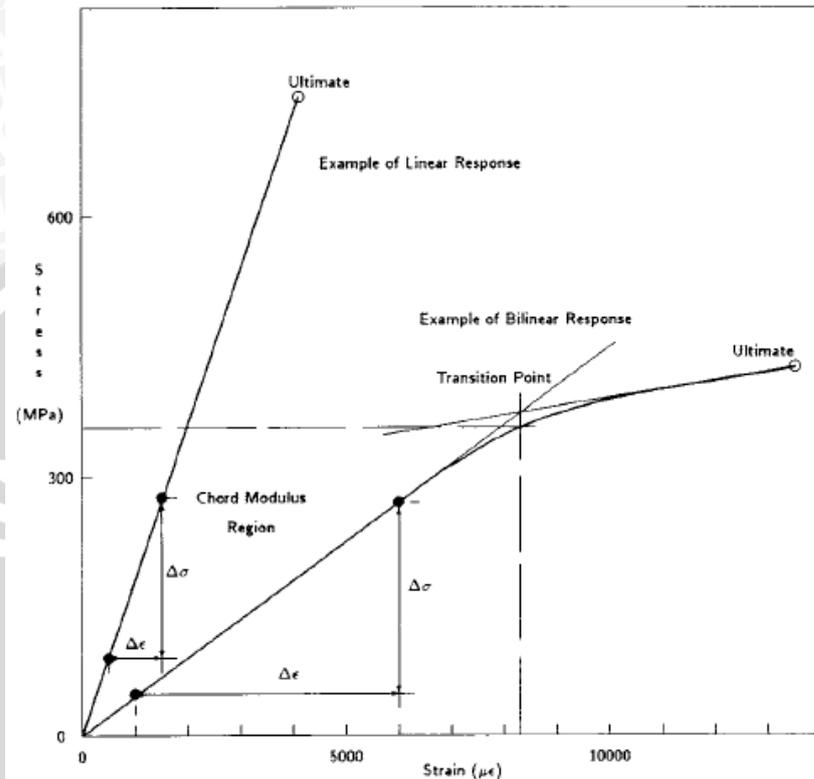
Keterangan :

E = Modulus elastisitas (MPa)

$\sigma$  = Tegangan (MPa)

$\epsilon$  = Regangan (mm/mm)

Pada gambar 2.14 merupakan *Tensile stress-strain curves of polymer matrix composite material* sesuai standar ASTM D 3039.



Gambar 2.14 *Tensile stress-strain curves of polymer matrix composite material*  
Sumber : ASTM D 3039 (2010 : 10)

Hubungan tegangan regangan pada tarikan memberi nilai yang cukup berubah tergantung pada laju tegangan, temperatur, kelembaban, dan seterusnya. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban tarik sesumbu pada batang uji standar yang dijepit kedua ujungnya secara perlahan-lahan sampai patah.

## 2.11 Hipotesis

Dengan memvariasikan kekencangan mula dua arah (*two direction pre-tension*) terhadap *reinforcement fiber* maka akan dapat diketahui perbandingan pemberian *tension* yang dapat menghasilkan kekutan tarik yang maksimal dalam batas elastisitas serat. Hipotesis yang dibuat pada penelitian ini dengan pemberian kekencangan mula dua arah (*two direction pre-tension*) pada *reinforcement fiber* dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik.