

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Scherf dan Wagner (1992) melakukan penelitian mengenai efek dari *pre-tension* yang diterapkan pada komposit serat tunggal. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa serat yang diberi tarikan mula (*pre-tension*) akan mempengaruhi gesekan dan secara signifikan akan meningkatkan tegangan geser pada komposit. Penelitian mereka menunjukkan bahwa nilai tegangan geser meningkat dengan meningkatnya *pre-tension* pada serat dalam komposit serat tunggal.

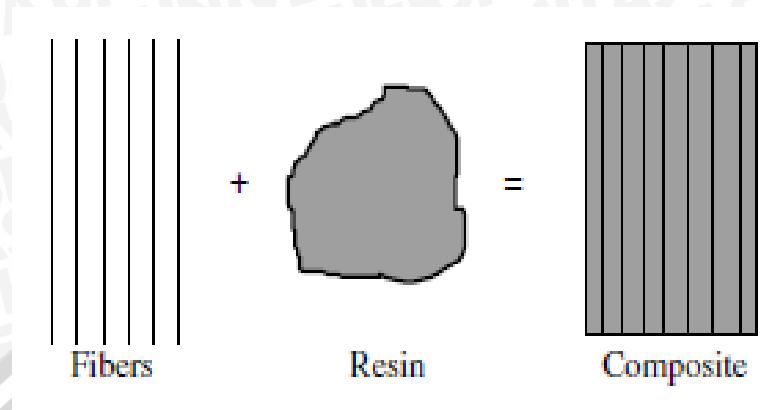
Zhang dan Cameron (1992) melakukan pengujian kekuatan bending dan impact terhadap komposit serat prategang dengan matrik *epoxy*. Dalam penelitian ini, mereka melaporkan peningkatan kekuatan tekuk dan *impact* hingga 52% dan 44% jika dibandingkan dengan komposit yang dilakukan tanpa serat pra-tegang. Mereka juga menunjukkan bahwa serat pra-tegang dapat mencapai nilai kekuatan maksimum, apabila batas penarikan tidak melebihi batas elastisitas serat. Apabila pra-tegang diteruskan melebihi batas elastisitas maka akan terjadi penurunan batas elastisitas dan kekuatan komposit.

Jorge L. D (1990) meneliti tentang pengaruh *pretension* terhadap kekuatan tarik komposit. Untuk membuat komposit digunakan serat *E-Glass* dan resin *epoxy* sebagai matriksnya. Dalam eksperimennya, beban *pretension* diberikan dengan menggunakan bobot dan katrol di ujung serat anyaman. Dari hasil eksperimennya didapatkan peningkatan yang cukup baik pada nilai kekuatan tarik. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa ketika nilai *pre-tension* pada *fiber* ditingkatkan maka sifat mekanik pada komposit juga akan meningkat sampai pada titik maksimum lalu cenderung stabil.

2.2 Komposit

Material komposit dapat di definisikan sebagai material yang tersusun dari dua gabungan komponen atau lebih yang berbeda pada gambar 2.1. Kombinasi material ini tidak larut dalam satu sama lain. Komponen penyusun bahan komposit terdiri dari komponen penguat dan komponen pengikat atau yang biasa disebut dengan matrik. Bahan fase penguat berbentuk serat, partikel, atau serpihan. Bahan-bahan fase matriks

umumnya saling berikatan. Contoh sistem komposit termasuk beton bertulang dengan baja dan *epoxy* diperkuat dengan serat, grafit, dll. (Kaw, 2006)



Gambar 2.1 Komposit

Sumber : Mazumdar, 2002

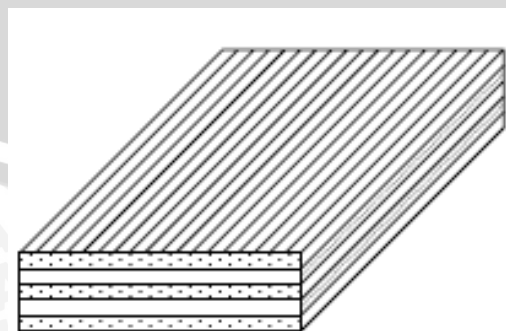
2.2.1 Klasifikasi Komposit

Komposit dapat diklasifikasikan terhadap geometri partikel, serpihan, dan serat, atau dengan jenis matriks (polimer, logam, keramik, dan karbon). (Kaw, 2006)

Klasifikasi berdasarkan bahan penguatnya yaitu :

1. Komposit laminat (*laminated composite*)

Bahan komposit yang terdiri dari dua lapisan bahan berbeda yang digabungkan menjadi satu seperti pada gambar 2.2. Penggunaan sistem laminasi merupakan aspek yang baik dalam mengkombinasikan material untuk memperoleh sifat yang lebih baik. Sifat yang diperoleh dari proses laminasi adalah ketangguhan, kekuatan, ringan, ketahanan terhadap korosi dan ketahanan keausan. (Jones, 1999)

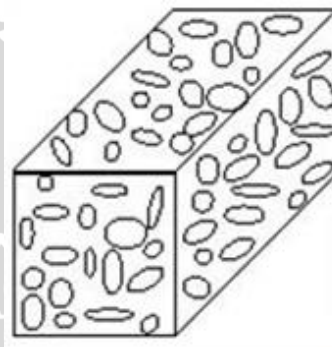


Gambar 2.2 Komposit laminat (*laminated composite*)

Sumber : Gibson, 1994

2. Komposit serpihan (*flake composites*)

Flake Composites adalah komposit dengan penambahan material berupa serpihan kedalam matriksnya pada gambar 2.3. 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 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 dapat berupa serpihan mika dan alumunium.

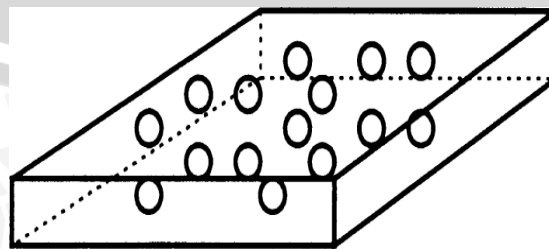


Gambar 2.3 Komposit serpihan (*flake composites*)

Sumber : Kaw, 2006

3. Komposit partikel (*particulate composites*)

Komposit partikel adalah salah satu jenis komposit di mana dalam matrik ditambahkan material lain berupa serbuk atau butir seperti pada gambar 2.4. Perbedaan dengan *flake* dan *fibre composites* terletak pada distribusi dari material penambahnya. Dalam komposit partikel, material penambah terdistribusi secara acak atau kurang terkontrol daripada *flake composites*. Sebagai contoh adalah beton (Schwartz, 1984).



Gambar 2.4 Komposit partikel (*particulate composites*)

Sumber : Kaw, 2006

5. Komposit serat (*fiber composite*)

Komposit serat merupakan jenis komposit yang menggunakan serat sebagai penguat seperti pada gambar 2.5. Serat yang digunakan biasanya berupa serat gelas, serat karbon, serat aramid dan sebagainya. Serat ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman.

Bila peningkatan kekuatan menjadi tujuan utama, komponen penguat harus mempunyai rasio aspek yang besar, yaitu rasio panjang terhadap diameter harus tinggi, agar beban ditransfer melewati titik dimana mungkin terjadi perpatahan (Vlack L. H., 2004).

Tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit (Vlack L. H., 1985).

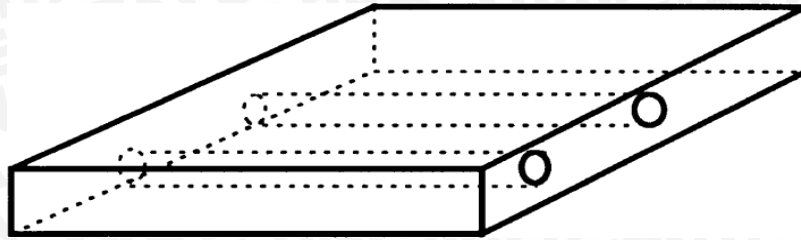
Komposit yang diperkuat dengan serat dapat digolongkan menjadi dua bagian yaitu:

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

Berdasarkan arah orientasi material komposit yang diperkuat dengan serat pendek dapat dibagi lagi menjadi dua bagian yaitu serat acak (*inplane random orientasi*) dan serat satu arah. Tipe serat acak sering digunakan pada produksi dengan volume besar karena faktor biaya manufakturnya yang lebih murah. Kekurangan dari jenis serat acak adalah sifat mekanik lebih kecil dibandingkan dengan serat lurus pada jenis serat yang sama.

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.



Gambar 2.5 Komposit serat (*fiber komposit*)

Sumber : Kaw, 2006

2.3 Material Penyusun Komposit

Matrik dan fiber adalah bahan pembentuk material komposit, dimana matrik memberikan ketahanan terhadap temperatur tinggi, ketahanan terhadap tegangan geser dan mampu mendistribusikan beban. Selain matrik aspek lain yang sangat berperan dalam memberikan kekuatan dan kekakuan komposit adalah serat fiber.

2.3.1 Matrik

Pada material komposit matrik memberikan pengaruh yang lebih besar dalam pengikatan material penyusun selain bertugas untuk mendistribusikan beban dan memberikan perlindungan dari pengaruh lingkungan. (Turnip, 2010)

Matrik didefinisikan sebagai bahan yang berfungsi mengikat penguat satu dengan yang lain. Walaupun demikian matrik merupakan bagian terlemah dari suatu komposit sehingga kegagalan umumnya dimulai dari *microcrack* pada matrik yang tidak akan kuat menahan beban yang besar tanpa adanya penguat.

Pemilihan matrik harus sesuai dengan penggunaan komposit dan melibatkan banyak faktor yang meliputi kemampuan matrik berikatan dengan serat, mudah dibentuk, tahan terhadap korosi dan viskositas yang rendah.

Matrik dapat dibagi menjadi dua macam yaitu :

1. Termoplastik

Pada matrik termoplastik ini berbentuk padat dan akan menjadi cair dengan memanaskannya terlebih dahulu hingga mencapai temperatur leleh (*melting*) dan akan kembali menjadi keras jika didinginkan. Matrik termoplastik ini jika dipanaskan kembali sampai temperatur yang sesuai akan kembali mencair dan proses ini dapat dilakukan secara berulang-ulang tanpa mempengaruhi sifat materialnya.

2. Termoset

Matrik termoset merupakan resin dengan fasa cair, yang akan mengeras jika ditambahkan *aktivator* atau *katalisator*. Metode pencampuran yang digunakan pada matrik termoset relatif lebih sederhana, resin cair dicampurkan dengan fiber dengan kadar yang diinginkan, kemudian diaduk, setelah itu ditambahkan *hardener* atau *katalisator*. Berbeda dengan matrik termoplastik sekali mengeras maka matrik termoset tidak dapat mencair kembali jika dipanaskan. Hal ini diakibatkan karena molekul-molekulnya membentuk ikatan silang (*cross link*) sehingga bahan tersebut sulit dan bahkan jarang di daur ulang kembali. (Bramantyo, 2008)



Gambar 2.6 (a) Molekul pada matrik termoset sebelum mengalami *crosslink* dan (b) Sesudah mengalami *crosslink*.

Sumber : Hartomo, 1992

2.3.1.1 Matrik Vinyl Ester

Resin *vinyl ester* adalah produk penambahan berbagai resin *epoksi* dan asam *monocarboxylic* tak jenuh, umumnya dikenal *methacrylic acid*. Zat tersebut mengandung reaktif ikatan ganda yang berasal dari asam karboksilat yang digunakan. Reaksi ini dapat membentuk sebuah jaringan kelompok *crosslinked* yang saling berikatan. Resin *vinyl ester* ini menggabungkan sifat-sifat dari *epoxy* dan *polyester* tak jenuh. Resin *vinyl ester* memiliki ketahanan bahan kimia yang lebih baik dibandingkan dengan resin *polyester* dan memiliki sifat mekanik yang mirip dengan resin *epoxy*.

Tabel 2.1 Tabel sifat mekanik resin *vinyl ester* R802 (Justus).

Density	(25°C) Kg/m ³	1.1
Specific gravity	(25°C)	1.134
Tensile strength	MPa	80
Tensile Elongation	%	6.0
Flexural strength	MPa	130
Flexural modulus	GPa	2.8

Vinyl ester adalah jenis resin yang paling banyak digunakan sebagai matrik pada serat gelas karena memiliki ketahanan kimia yang sangat baik dan banyak digunakan dalam bidang transportasi dan infrastruktur. Banyaknya penggunaan resin ini juga didasarkan pada pertimbangan harga relatif murah, curing cepat, mudah penanganannya dan memiliki kemampuan terhadap cuaca sangat baik, tahan terhadap kelembaban dan sinar U.V bila dibiarkan diluar. Berdasarkan karakteristik ini, bahan ini dikembangkan secara luas sebagai penguat serat dengan menggunakan serat gelas.

2.3.2 Serat

Serat merupakan bahan yang kuat, kaku dan getas. Karena fungsi utama serat adalah sebagai penguat bahan untuk memperkuat komposit sehingga sifat mekanik komposit lebih kaku, tangguh dan lebih kokoh dibandingkan dengan tanpa serat penguat, selain itu serat juga menghemat penggunaan resin.

Komposit dengan penguat serat bekerja dengan mekanisme sebagai berikut : beban yang diterima oleh komposit akan ditahan terlebih dahulu oleh matrik sampai batas kemampuan elastis matrik, kemudian diteruskan kepada serat sebagai penahan beban terakhir. Hasilnya adalah suatu material komposit yang mempunyai kekuatan dan modulus elastisitas yang tinggi. Beberapa jenis fiber yang umum digunakan adalah:

2.3.2.1 Serat Gelas

Sangat umum digunakan dalam industri karena bahan baku yang sangat banyak tersedia. Komposisi fiber glass mengandung *silica* yang berguna memberikan kekerasan, fleksibilitas dan kekakuan. Proses pembentukan fiber glass melalui proses fusi (*melting*) terhadap *silica* dengan campuran mineral oksida. Pada proses ini diberikan pendinginan yang sangat cepat untuk pembentukan kristalisasi yang sempurna, proses ini biasa disebut dengan *fiberization*, (Turnip, 2010).

Produk fiber glass dibedakan dalam beberapa jenis berdasarkan propertis dan karakteristiknya (Miller, 1991).

1. *E-glass* adalah tipe serat yang mengandung alumunium borosilikat dan mempunyai kandungan alkali maksimum 2%. Penggunaan *E-glass* ini umumnya pada aplikasi yang membutuhkan kekuatan tinggi dan *resistivitas* listrik tinggi.

Tabel 2.2 Sifat Mekanis dari serat *E-glass* (Sumber : J.M Barthelot, 1999)

Sifat Mekanis	Satuan	Nilai
Densitas	Kg/m ³	2,58
Modulus Elastisitas	GPa	7,3
Kekuatan Tarik	MPa	350
Elongation	%	4,8

2. *S-glass* adalah tipe serat yang mengandung magnesium alumino-silikat sehingga menghasilkan kekuatan yang tinggi dan digunakan pada aplikasi yang membutuhkan kekuatan tarik tinggi.

3. *C-glass* adalah tipe gelas yang mengandung soda kapur borosilikat dan umumnya digunakan untuk kestabilan kimia pada lingkungan yang korosif. Juga digunakan pada material yang kontak atau mengandung asam.

Tabel 2.3 Sifat-sifat serat gelas (Antonia, 2006).

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

Berdasarkan bentuknya serat gelas dapat dibagi menjadi beberapa macam antara lain berbentuk : *roving*, *woven roving*, dan *chopped strand mats*.

1. *Roving*

Serat ini merupakan kumpulan dari serat kontinyu yang sejajar dan dikemas dalam bentuk gulungan seperti benang.

2. *Woven Roving*

Serat gelas ini berbentuk anyaman yang bergelombang. Bentuk ini dibuat dengan menganyam untaian dalam dua arah yang saling tegak lurus.

3. *Chopped Strand Mats*

Serat jenis ini berorientasi acak dan tidak di anyam, dibuat dengan memotong serat dalam bentuk untaian (*strand*) menjadi serat-serat pendek. CSM ini lebih fleksibel, sehingga mudah dibentuk dan mudah digunakan untuk bagian berlekuk tajam.

2.3.3 Katalis

Bahan tambahan yang paling penting untuk ditambahkan adalah katalis. Katalis berfungsi untuk mempercepat proses *curing* (pengerasan) cairan resin pada temperatur yang lebih tinggi. Pemberian katalis yang terlalu banyak akan menimbulkan panas yang berlebihan pada saat proses *curing*. Hal ini akan menurunkan kualitas atau bahkan akan merusak produk yang dihasilkan. Oleh karena itu pemakaian katalis dibatasi sampai 2% dari berat resin. Katalis yang biasa digunakan untuk mempercepat proses *curing* pada komposit GFRP adalah senyawa peroksida organik jenis *metyl etyl keton peroksida* (MEKPO).

2.4 Metode Pembuatan Komposit

Material komposit dapat diproduksi dengan berbagai macam metode pabrikasi, metode-metode pabrikasi ini disesuaikan dengan jenis matrik penyusun dan bentuk material komposit yang diinginkan sesuai aplikasi selanjutnya. 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 manufaktur bahan komposit dengan metode *hand lay up* merupakan metode yang paling sederhana diantara metode-metode manufaktur bahan komposit yang lain. Dikatakan sederhana karena tekniknya sangat mudah di aplikasikan yaitu cairan resin dioleskan diatas sebuah cetakan dan kemudian serat layer pertama diletakkan diatasnya, kemudian dengan menggunakan *roller* / kuas resin kembali diratakan, penggunaan *roller* ini juga untuk meningkatkan densitas lapisan dan

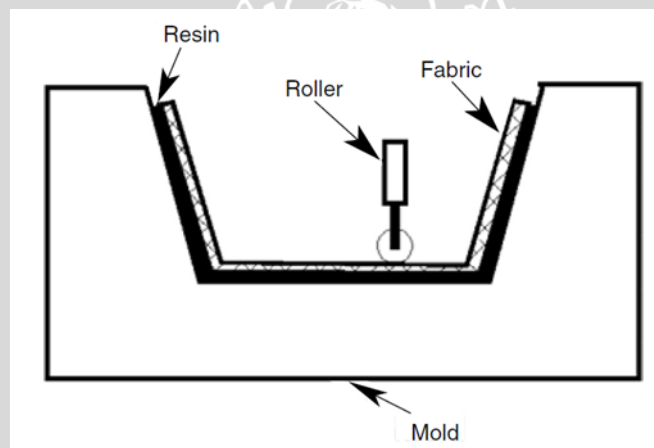
menghilangkan udara terjebak. Langkah ini dilakukan terus menerus hingga didapatkan ketebalan spesimen yang diinginkan.

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 memakan waktu yang lama



Gambar 2.7 Metode *hand lay up*

Sumber : Mazumdar, 2002

2. Metode *Spray Up*

Metode *spray up* ini merupakan metode cetakan terbuka yang dapat menghasilkan bagian-bagian yang lebih kompleks ekonomis dari *hand lay up*. Proses *spray up* dilakukan dengan cara penyemprotan serat fiber yang telah melewati tempat pemotongan (*chopper*). Sementara resin yang telah dicampur dengan katalis juga disemprotkan secara bersamaan pada tempat cetakan.

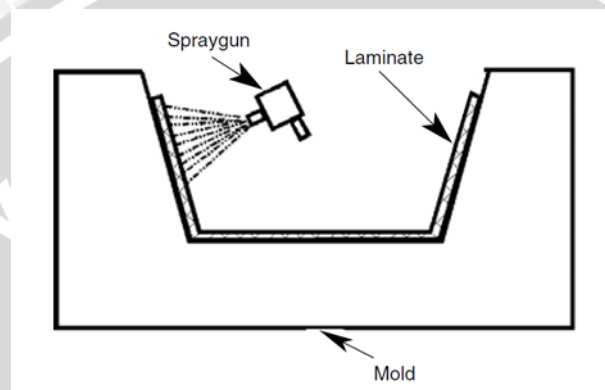
Kelebihan :

- 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 2.8 Metode *spray up*

Sumber : Mazumdar, 2002

3. Injection Molding.

Injection molding merupakan metode yang paling sering digunakan dalam manufaktur komposit resin termoplastik. 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.

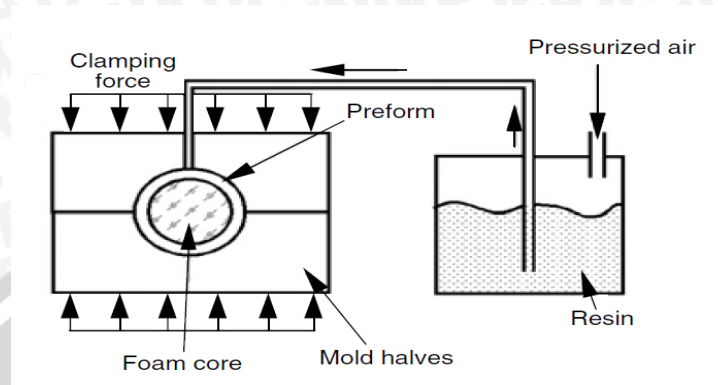
Kelebihan :

- 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.



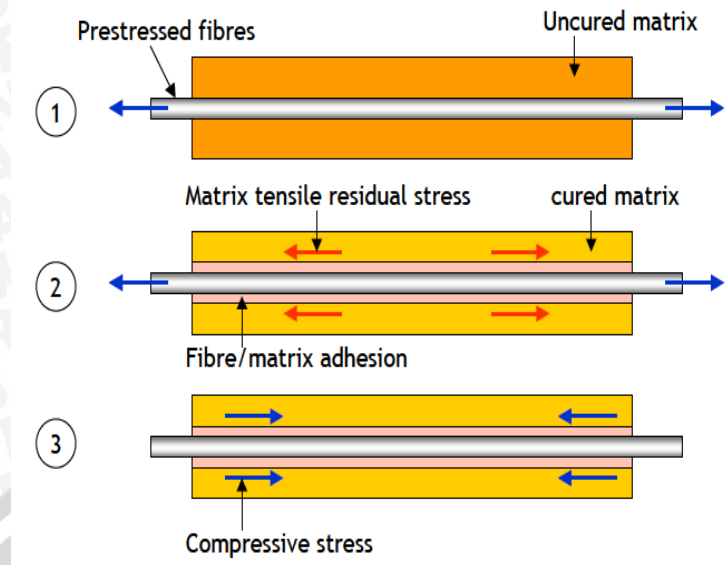
Gambar 2.9 Metode *injection molding*

Sumber : Mazumdar, 2002

2.5 Sistem *Prestress*

Prinsip dasar dari sistem *prestress* komposit ini berasal dari pengembangan dalam pembuatan beton prategang. Metode *prestress* ini menerapkan tarikan mula pada serat kemudian mengeringkan matrik pada suhu ruangan dan mempertahankan tarikan pada serat selama proses pengerasan. Setelah matrik mengering dan berikatan dengan serat, beban tarik pada serat dilepaskan maka serat akan cenderung kembali ke kondisi awal dan menimbulkan gaya tekan untuk mengurangi sisa tegangan tarik matrik pada siklus pengerasan.

Metode *prestress* ini sangat mudah diterapkan pada serat dan sangat penting dalam proses pengolahan komposit, karena tegangan sisa memiliki kontribusi yang besar terhadap kekuatan komposit. Pengaruh besar dan kecilnya sumber tegangan sisa pada matrik tergantung sifat material dan tegangan pada serat.



Gambar 2.10 Sistem *prestress*

Sumber : Krisnamurthy, 2006

2.6 Tegangan Sisa (*Residual Stress*)

Tegangan sisa (*residual stress*) adalah tegangan yang tetap berada pada material meskipun beban luar (*external load*) dilepas dari material tersebut. Tegangan sisa dapat ditimbulkan dari aktifitas *thermal* maupun akibat deformasi. *Residual stress* sebenarnya ada yang menguntungkan dan juga ada yang merugikan, tergantung dari arah, besar dan tipe tegangannya. Jika beban berupa tegangan tarik akan menimbulkan tegangan sisa tekan pada material, maka tegangan sisa ini akan mengurangi efek beban ke material. Walaupun tegangan sisa secara visual tidak nampak, namun sesungguhnya tegangan sisa tersebut juga bertindak sebagai beban tetap yang akan menambah nilai beban kerja yang diberikan dari luar.

Untuk menghitung tegangan sisa dapat dilakukan dengan menggunakan teknik pengukuran *destruktif* dan *non-destruktif*. Teknik *non-destruktif* merupakan pengukuran yang dilakukan tanpa merusak sample. Teknik ini memberikan hasil yang lebih akurat daripada metode *destruktif* yang melakukan pengukurannya dengan cara merusak sample.

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*

2.7 Pengaruh Konsentrasi dan Arah Serat

Analisis kekuatan komposit biasanya dilakukan dengan mengasumsikan ikatan serat dan matrik sempurna. Pergeseran antara serat dan matriks dianggap tidak ada dan deformasi serat sama dengan deformasi metrik. Kekuatan tekan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2-1)$$

Keterangan :

σ : Tegangan (MPa)

A : Luas Penampang (mm^2)

F : Gaya

Regangan dapat dihitung dengan persamaan:

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2-2)$$

Keterangan

ε : Regangan (mm/mm)

l_0 : Panjang awal (mm)

l_1 : Deformasi (mm)

Δl : Pertambahan panjang (mm)

Berdasarkan kurva uji, modulus elastisitas dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} \quad (2-3)$$

Berdasarkan pada hukum pencampuran (*Rule of Mixture*), kekuatan dan modulus tekan komposit berpenguat serat kontinyu dan acak dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma_c = \sigma_f \nu_f + \sigma_m \nu_m \quad (2-4)$$

$$E_c = K E_f V_f + E_m V_m \quad (2-5)$$

Keterangan:

E : Modulus Elastisitas (MPa)

$\Delta\sigma$: Selisih Tegangan (MPa)

σ_f : Tegangan Fiber (MPa)

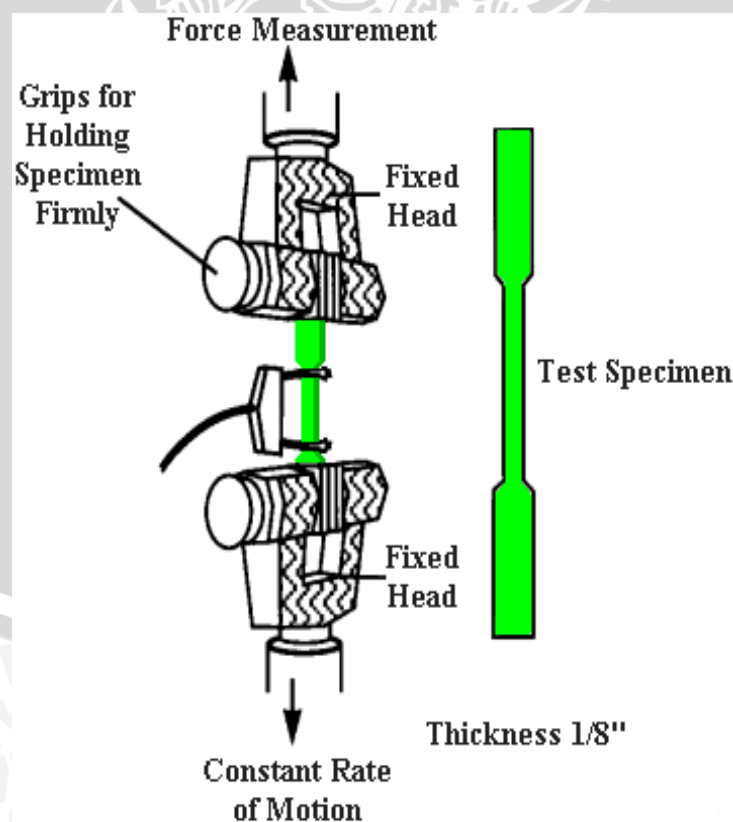
$\Delta\varepsilon$: Selisih Regangan (mm/mm)

σ_m : Tegangan Matriks (MPa)

2.8 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 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 / D 3039M).



Gambar 2.11 Pengujian kekuatan tarik

Sumber : Matweb, 2011

2.9 Hipotesis

Pemberian gaya tarikan mula satu arah pada panel komposit dalam penelitian ini dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik komposit, meningkatnya nilai kekuatan tarik disebabkan adanya *residual stress* atau tegangan sisa yang berupa tegangan tekan pada resin atau matrik yang disebabkan oleh gaya tarik serat, karena tarikan mula atau *pre-tension* masih dalam batas elastis, serat akan kembali ke bentuk awal sehingga menimbulkan gaya adhesi serat, yang akan memberikan gaya tekan pada matrik. Dengan memberi gaya tekan awal pada matrik maka akan menambah nilai kekuatan tariknya.

Dengan variasi tarikan mula satu arah (*one direction pre-tension*) terhadap *reinforcement fiber* komposit maka akan dapat diketahui perbandingan pemberian *tension* yang dapat menghasilkan kekuatan tarik yang maksimal dalam batas elastisitas serat.

