

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Meivy (2013) dalam risetnya mengenai pengaruh variasi kekencangan mula (*pre-tension*) pada *reinforcement fiber* panel komposit terhadap kekuatan tarik, didapatkan bahwa hasil dari analisis penelitiannya adalah kekencangan mula satu arah (*one direction pre-tension*) pada *reinforcement fiber* berpengaruh terhadap kekuatan tarik komposit. Besar kekuatan tarik yang dihasilkan oleh *reinforced fiber* bergantung atau berbanding lurus dengan variasi kekencangan yang diberikan. Semakin besar kekencangan yang diberikan terhadap *reinforcement fiber*, maka semakin besar pula kekuatan tarik yang dihasilkan.

Marlin (2013) meneliti tentang perilaku *creep* pada komposit *polyester yukalac 157 BQTN-EX* dengan *filler* serat gelas. Pengujian dilakukan dengan 3 macam yaitu pengujian tarik yang bertujuan mendapatkan nilai kekuatan tarik maksimum dari setiap variasi fraksi massa masing-masing komposit, pengujian *creep* bertujuan untuk melihat perilaku *creep* komposit dengan cara memberikan beban pada komposit sebesar 60% dari hasil pengujian tarik, dan pengujian SEM untuk mengetahui mekanisme kegagalan pada bidang patahan komposit. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah semakin tinggi penambahan serat pada komposit polimer berbahan serat gelas dan matriks resin *polyester* berdampak pada peningkatan usia pakai dan selain itu terbukti mampu meningkatkan kekuatan tarik, perilaku *creep* komposit serat gelas dengan bahan matriks resin *polyester yukalac 157 BQTN-EX* sangat buruk sekali yang dapat dilihat pada nilai waktu patah yang terbilang rendah dari hasil pengujian *creep*, dan dari hasil uji SEM dapat terlihat jelas struktur mikro komposit seperti kerusakan pada spesimen pada komposit.

Maryanti (2011) meneliti tentang pengaruh alkalisasi komposit serat kelapa *polyester* terhadap kekuatan tarik. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan proses alkalisasi serat yaitu serat kelapa direndam selama 60 menit dalam larutan NaOH 2%, NaOH 5%, dan NaOH 8%, pencucian serat dengan aquades, dan pengeringan serat pada temperatur kamar selama 8 jam. Komposit

serat kelapa polyester dibuat dengan menggunakan metode *wet hand lay up*. Hasil analisis menunjukkan bahwa variasi persentase konsentrasi NaOH 0%, 2%, 5%, dan 8% memberikan pengaruh pada permukaan serat dimana konsentrasi NaOH 5% menghasilkan komposit dengan nilai optimum untuk kekuatan tariknya sebesar 97.356 N/mm^2 , sedangkan tanpa alkalisasi atau alkalisasi 0% menghasilkan komposit dengan kekuatan tarik terendah sebesar 90.144 N/mm^2 .

Dewangga (2014) melakukan penelitian pengaruh pengaruh variasi *two direction pre-tension* pada *reinforcement fiber panel* komposit datar terhadap kekuatan tarik dengan variasi *tension* sebesar 0 N, 10 N, 20 N, 30 N, dan 40 N. Metode yang digunakan adalah perhitungan *calculation stress*, analisa varian satu arah, dan pengujian kekuatan tarik. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan nilai kekencangan mula dua arah (*two direction pre-tension*) pada *reinforcement fiber panel* komposit datar pada perlakuan *tension* 0 N, 10 N, 20 N, 30 N, dan 40 N cenderung mengalami peningkatan.

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, maka dalam penelitian ini menggunakan variasi kekencangan mula dua arah (*two direction pre-tension*) untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekuatan tarik dan jarak antar serat. Serat yang digunakan adalah *E-Glass* jenis *woven roving* dengan bahan matriks resin *polyester yukalac 157 BQTN-EX*. Variasi *tension* yang diberikan pada penelitian ini adalah 0 N, 30 N, 60 N, 90 N, dan 120 N.

2.2 Komposit

Komposit merupakan bahan yang secara struktural terdiri dari dua atau lebih unsur gabungan pada tingkat makroskopik serta tidak larut satu sama lain. Komposit umumnya terdiri atas dua unsur yaitu serat (*fiber*) sebagai bahan pengisi, dan *matriks* sebagai bahan pengikat serat (Kaw, 2006). Karena karakteristik pembentuknya berbeda, maka nantinya didapatkan material baru berupa komposit yang memiliki karakteristik dan sifat mekanik yang berbeda dari material pembentuknya. Bahan utama komposit adalah serat dan bahan pengikatnya adalah polimer yang mudah dibentuk. Manfaat dari penggunaan serat adalah agar dapat menentukan karakter suatu komposit seperti sifat mekaniknya dan kekuatannya.

2.2.1 Klasifikasi dan Karakteristik Material Komposit

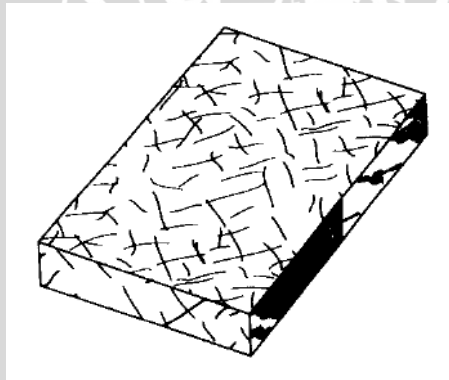
Adapun empat jenis yang dapat diterima secara umum terkait dengan klasifikasi dan karakteristik material komposit (Jones, 1999), antara lain adalah sebagai berikut:

1. Material komposit berserat (*fiber composite*):

Komposit jenis ini hanya terdiri dari satu *laminated* atau satu lapisan menggunakan serat penguat. Serat yang digunakan berupa serat aramid, serat gelas, serat karbon dan sebagainya. Serat ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk seperti anyaman. Komposit yang diperkuat dengan serat dapat digolongkan menjadi dua bagian yaitu (Gibson, 1994):

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

Komposit yang diperkuat dengan serat pendek umumnya ada yang mengandung orientasi serat acak dan ada yang sejajar. Tujuan pemakaian serat pendek adalah memungkinkan pengolahan yang lebih cepat, mudah, beraneka ragam, dan produksi lebih murah.

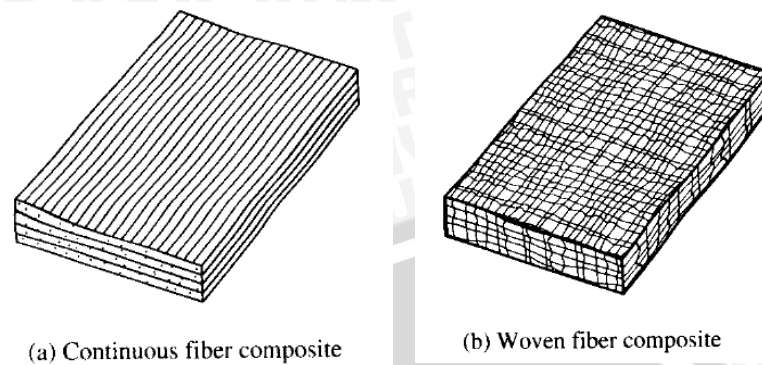


Gambar 2. 1 Komposit Serat Pendek

Sumber : *Principles of Composite Material Mechanics*, 1994

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

Komposit serat panjang lebih mudah diorientasikan, jika dibandingkan dengan serat pendek. Bentuk serat panjang memiliki kemampuan yang tinggi, disamping itu kita tidak perlu memotong-motong serat.



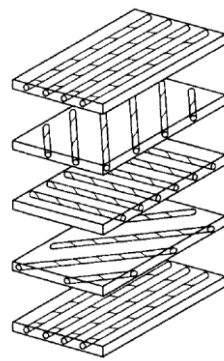
Gambar 2. 2 Komposit Serat Panjang

Sumber : *Principles of Composite Material Mechanics*, 1994

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

2. Material komposit berlapis-lapis (*laminated composite*):

Komposit laminat terdiri dari empat jenis yaitu komposit serat anyam, komposit serat kontinyu, komposit serat *hybrid* dan komposit serat acak. Jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabungkan menjadi satu dan setiap lapisannya memiliki karakteristik khusus.

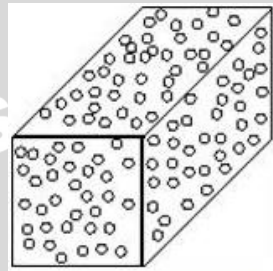


Gambar 2. 3 Komposit Laminate

Sumber : *Mechanics of Composite Materials*, Second Edition

3. Bahan komposit tertentu (*particulated composite*):

Komposit partikel merupakan produk yang dihasilkan dengan menempatkan partikel-partikel dan sekaligus mengikatnya dengan suatu matriks. Komposit yang menggunakan serbuk atau partikel sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriks. Komposit yang terdiri dari partikel dan matriks yaitu butiran (batu, pasir) yang diperkuat semen yang kita jumpai sebagai beton.

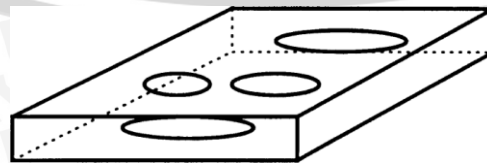


Gambar 2. 4 Komposit Partikel

Sumber : *Mechanics of Composite Materials, Second Edition*

4. Komposit serpihan (*flake composite*):

Komposit serpihan adalah partikel kecil yang telah ditentukan sebelumnya yang dihasilkan dalam peralatan yang khusus dengan orientasi serat sejajar permukaannya. 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 datar dan besar 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.



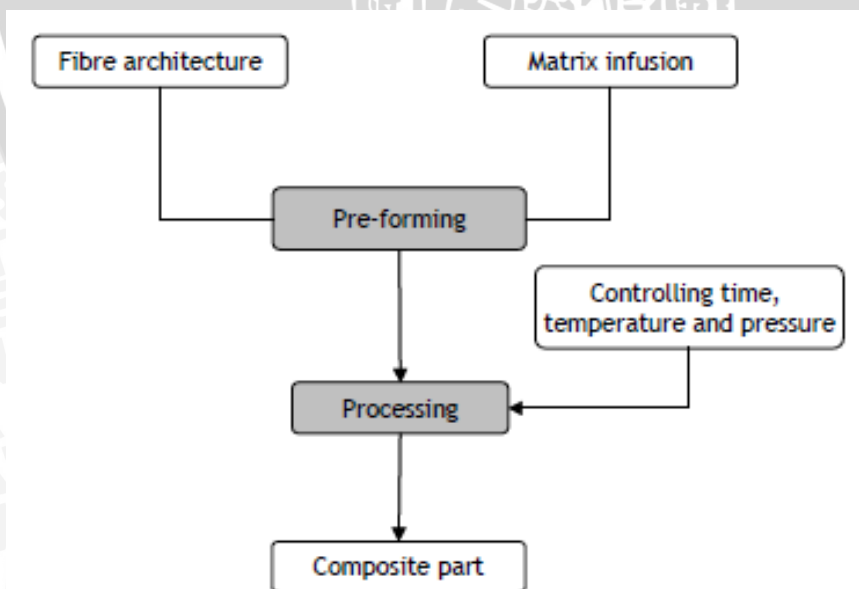
Gambar 2. 5 Komposit Serpihan (*flake composite*)

Sumber : *Mechanics of Composites Materials Second Edition*

2.2.2 Pembentukan Komposit

Material komposit memiliki banyak karakteristik perilaku mekanis yang berbeda-beda dengan berbagai macam bahan rekayasa secara konvensional. Karakteristik tersebut hanyalah hasil yang didapat dari modifikasi secara konvensional. Perilaku komposit bisa didapatkan dengan berbagai macam eksperimen baru dan memerlukan prosedur secara analitis. Secara umum, bahan rekayasa bersifat homogen dan isotropik. Bahan yang bersifat homogen memiliki sifat yang seragam pada seluruh bagiannya dan bersifat independen dari keseluruhan bagiannya. Sedangkan bahan yang bersifat isotropik memiliki sifat yang sama di setiap arah pada titik dalam bagiannya.

Pembuatan komposit secara umum dapat dikategorikan menjadi 2 fase yaitu: *pre-forming* (sebelum pembentukan) dan *processing* (pemrosesan). Bahan utama pembentuk komposit hanya ada 2 yaitu serat dan matriks. Pada fase *pre-forming* serat penguat dan material matriks pengikat disatukan atau dibentuk ke dalam satu bentuk struktural. Proses selanjutnya temperature dan tekanan digunakan untuk menyatukan struktur. Pada matriks termoset reaksi kimia yang terjadi memadatkan struktur, sedangkan pada matriks termoplastik menjadi keras setelah terjadi pendinginan dari suhu lelehnya. Berikut adalah skema pembentukan komposit (Krishnamurthy, 2006)



Gambar 2. 6 Skema Pembentukan Komposit

Sumber : *Prestressed Advenced Fibre Reinforced*

2.3 Bagian Pembentuk Komposit

Komposit merupakan suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut (bahan komposit). Berikut adalah bagian pembentuk komposit.

2.3.1 Matriks

A. Definisi, Fungsi, dan Klasifikasi Matriks

Matriks adalah bahan atau material yang digunakan untuk mengikat atau menyatukan bahan pengisi tanpa bereaksi secara kimia dengan bahan pengisi tersebut. Persyaratan di bawah ini perlu dipenuhi sebagai bahan matriks untuk pencetakan bahan komposit:

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

Pada umumnya, matriks memiliki fungsi sebagai:

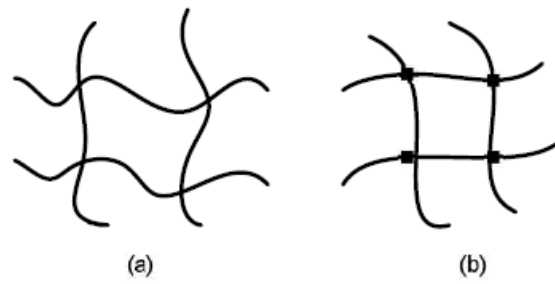
1. Untuk melindungi material komposit dari kerusakan-kerusakan secara mekanik maupun kimiawi;
2. Untuk mengalihkan atau meneruskan beban dari luar ke serat;
3. Sebagai pengikat.

Bahan pengisi 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, dan seterusnya 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 barang tersebut sulit dan bahkan jarang didaur ulang kembali (Hartomo, 1992). Pemanasan bahan termoset akan mengakibatkan terjadinya *cross linking*

antara molekul-molekul sehingga jika bahan termoset telah mengeras maka sulit dilunakkan kembali dengan pemanasan.



Gambar 2. 7 Molekul pada Polimer Termoset Mengalami *Cross Linking*. (a) Sebelum dipanaskan, dan (b) Sesudah dipanaskan

Sumber : Memahami Polimer dan Perekat, 1992

2. Termoplastik:

Termoplastik merupakan bahan yang mudah menjadi lunak kembali apabila dipanaskan dan mengeras apabila didinginkan sehingga pembentukan dapat dilakukan berulang-ulang. Termoplastik meleleh pada suhu tertentu namun biasanya jauh dibawah suhu leleh logam. Contoh termoplastik adalah PVC (*Poli Vinil Clorida*), bFE (polietilen), nilon 66, poliamida, poliasetal, dan lain-lain.

B. 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. Semakin banyak katalis yang dipakai maka waktu pengerasan matriks (*curing time*) akan semakin cepat (Hartomo, 1992). Berikut merupakan tabel prosentase katalis dengan *potlife* pada *polyester* BQTN 157:

Tabel 2. 1 Hubungan prosentase katalis dengan *potlife* pada *polyester* BQTN 157

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

Sumber : Memahami Polimer dan Perekat, 1992

Curing adalah 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*. Karena reaksi ini 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 dan 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, secara luas penguat serat dengan menggunakan serat gelas. *Polyester* adalah jenis resin yang paling banyak digunakan sebagai matriks pada serat gelas untuk badan kapal, mobil, tandon air dan sebagainya (Hartomo, 1992). Berikut adalah tabel sifat-sifat resin *polyester* (Frida, 1992):

Tabel 2. 2 Sifat-sifat Resin Polyester

Sifat	
Kekentalan (Mgm ⁻³)	1,2 – 1,5
Modulus young (GNm ⁻²)	2 – 4,5
Poisson ratio	0,37 – 0,39
Kekuatan tarik (MNm ⁻²)	40 – 90
Kekuatan tekan (MNm ⁻²)	90 – 150
Regangan maksimum (%)	2
Temperatur maksimum (°C)	50 – 110

Sumber : Skripsi Sifat Mekanis dari Papan Komposit erat Pendek Ijuk dengan Resin Epoksi dan Resin Poliester.

Tabel 2. 3 Spesifikasi resin *unsaturated polyester yukalac 157* BQTN

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

Sumber : Skripsi Sifat Mekanis dari Papan Komposit erat Pendek Ijuk dengan Resin Epoksi dan Resin Poliester.

2.3.2 Polimer

Istilah polimer dapat diartikan sebagai molekul besar yang terbentuk karena adanya pengulangan unit-unit molekul yang disebut monomer. Polimer berasal dari bahasa Yunani yang terdiri dari dua kata, yaitu *poly* yang berarti banyak, dan *meros* yang berarti bagian-bagian atau unit-unit dasar. Jadi polimer merupakan molekul-molekul yang tersusun atas banyak bagian. Polimer

merupakan molekul raksasa yang terdiri dari ikatan kimia sederhana atau bahan dengan berat molekul besar, mempunyai struktur dan sifat-sifat yang rumit yang dikarenakan jumlah atom pembentuk yang jauh lebih besar dibanding dengan senyawa yang berat atomnya rendah (Triyono & Diharjo., 2000 dalam Jonathan. O.,dkk.,2013).

Sifat-sifat umum yang dimiliki bahan polimer antara lain sebagai berikut:

1. Mempunyai kemampuan cetak cukup baik, dalam arti pada temperatur yang cukup rendah bahan dapat dicetak dengan beberapa cara, seperti : dengan penyuntikan, penekanan, ekstruksi;
2. Merupakan produk yang ringan dan kuat;
3. Memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap air dan zat kimia;
4. Terdapat beberapa polimer yang bersifat isolasi listrik yang baik dan mudah termuati listrik secara elektrostatis;
5. Memiliki ketahanan yang kurang terhadap panas;
6. Memiliki kekerasan permukaan yang sangat kurang.

2.4 Metode Pembuatan Komposit

Pada pembuatan komposit dibutuhkan suatu cetakan dimana cetakan yang akan digunakan harus bersih dari kotoran dan memiliki permukaan yang halus. Cetakan bisa terbuat dari logam, kayu, *gips*, plastik, dan kaca. Terdapat 3 metode untuk pembuatan komposit yang banyak digunakan, yaitu :

1. *Spray Up*

Pada pembuatan komposit menggunakan metode *spray up* ini, menggunakan alat penyemprot. Alat penyemprot tersebut berisi resin, katalis, dan potongan serat yang secara bersamaan disemprotkan ke dalam cetakan.

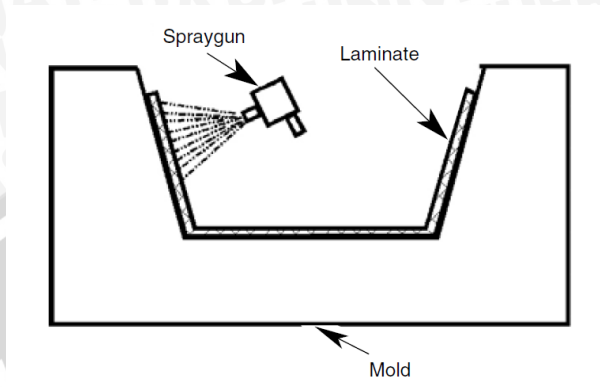
Kelebihan :

- a. Hemat dalam penggunaan resin dan *filler*;
- b. Peralatan yang dipakai murah.

Kekurangan :

- a. Karena proses penyemprotan maka mesin yang dipakai harus mempunyai viskositas yang rendah;

- b. Hanya dapat dipakai untuk *filler* berbentuk partikel dan serat pendek acak;
- c. Dapat membahayakan kesehatan karena adanya kemungkinan partikel-partikel resin yang terhirup selama proses penyemprotan.



Gambar 2. 8 Metode *Spray Up*

Sumber : Mazumdar, S.K. (2002)

2. *Hand Lay Up*

Metode pembuatan komposit dengan cara *hand lay up* ini merupakan cara yang paling sederhana karena dilakukan secara manual. Metode ini pada umumnya menggunakan resin termoset sebagai matriksnya.

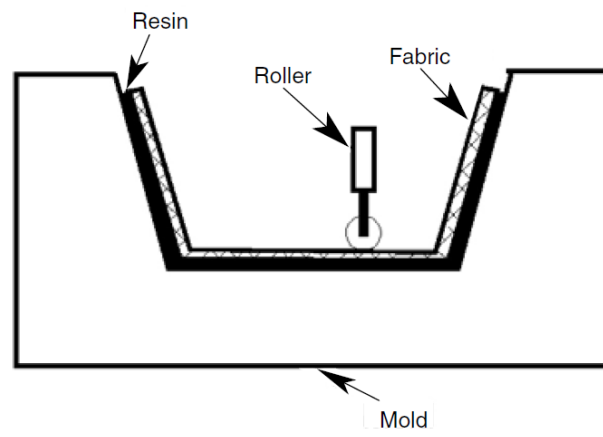
Terdapat pengerjaan lapisan pada metode ini sehingga didapatkan ketebalan yang dikehendaki. Sesudah tercapai ketebalan yang dikehendaki, tahapan berikutnya adalah perataan permukaan dengan *roller*. *Roller* ini digunakan hingga permukaan menjadi rata dan tidak terdapat udara terjebak di dalamnya.

Kelebihan :

- a. Biaya pembuatan relatif murah;
- b. Dapat diterapkan untuk benda berukuran besar dan kecil;
- c. Alat yang dipakai sederhana;
- d. Dapat dipakai untuk serat pendek / panjang;
- e. Pengerjaan mudah.

Kekurangan :

- a. Kekuatan lapisan bergantung pada pengerjaan tangan yang melapisi;
- b. Kurangnya keseragaman produk;
- c. Pengerjaannya cukup lama.



Gambar 2. 9 Metode Hand Lay Up

Sumber : Mazumdar, S.K. (2002)

3. Injection molding

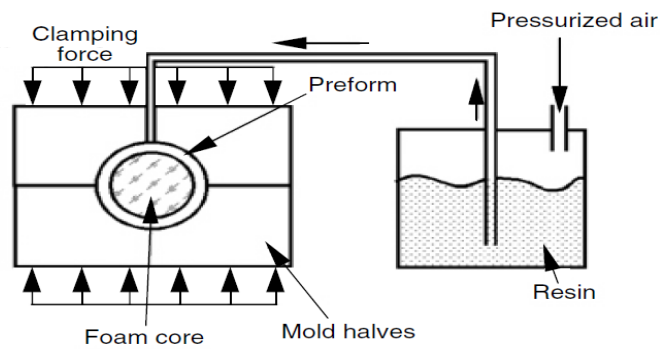
Injection molding merupakan metode pembuatan komposit yang dilakukan dengan cara memberikan tekanan injeksi (*injection pressure*) dengan besar tertentu pada material plastik yang sudah dilelehkan dengan sejumlah energi panas untuk dimasukkan ke dalam cetakan sehingga diperoleh bentuk yang diharapkan. Pada metode ini biasanya menggunakan resin termoplastik untuk matriksnya.

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 *continuous*;
- 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. 10 Metode Injection Molding

Sumber : Mazumdar, S.K. (2002)

2.5 Serat Sebagai Penguat (*Fiber Reinforcement*)

Pada dasarnya fungsi serat yaitu sebagai penguat bahan guna memperkuat komposit sehingga memiliki sifat mekanik yang lebih kaku, tangguh dan lebih kokoh dibandingkan dengan tanpa adanya serat penguat, di samping itu serat dapat menghemat penggunaan resin. Kaku dalam hal ini merupakan kemampuan yang dimiliki suatu bahan dalam menahan perubahan bentuk jika terbebani oleh gaya tertentu pada daerah elastis dalam suatu pengujian kekuatan tarik. Tangguh dalam hal ini dapat dikatakan jika perlakuan gaya atau beban menyebabkan bahan tersebut patah pada pengujian tiga titik lentur. sedangkan kokoh yaitu keadaan yang didapat karena adanya pukulan atau benturan dan proses kerja yg merubah struktur dari komposit sehingga menjadi keras pada pengujian impak pengujian. Adapun beberapa syarat yang harus dipenuhi untuk dapat memperkuat matriks diantaranya adalah :

1. Nilai modulus elastisitas yang tinggi;
2. Memiliki kekuatan lentur tinggi;
3. Kekuatan diameter serat harus memiliki perbedaan yang relatif sama;
4. Memiliki kemampuan dalam menerima perubahan gaya dari matriks dan bisa menerima gaya yang bekerja padanya;
5. Mempunyai koefisien gesek yang kecil (Charles, 1975)

Fiber reinforced composite (FRC) merupakan material yang tersusun dari matriks polimer yang diperkuat oleh *fiber* tipis halus. Kombinasi dari matriks dan *fiber* menghasilkan konstruksi yang lebih kuat dan relatif ringan. Material *fiber*

bisa berasal dari bahan *glass*, *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE), atau *carbon*. *Fiber* berbahan *glass* sering digunakan di laboratorium sedangkan *fiber* dengan bahan *polyethylene* sering digunakan di klinik gigi.

2.5.1 Serat Gelas

Serat gelas (*glass fiber*) adalah bahan yang tidak mudah terbakar. Serat gelas 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.

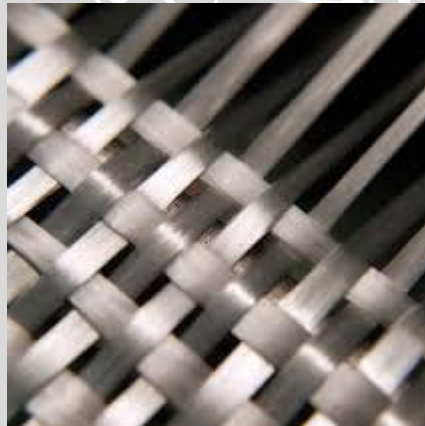
Berdasarkan bentuknya serat gelas dapat dibedakan menjadi beberapa macam antara lain:

a. *Roving*

Berupa benang panjang yang digulung mengelilingi silinder.

b. *Woven Roving (WR)*

Serat gelas jenis anyaman (*woven roving*) mempunyai bentuk saling mengikat serat antar lapisan, serat gelas yang teranyam dibuat secara selang seling ke arah vertikal dan horisontal (0° dan 90°).



Gambar 2. 11 Woven Roving (WR)

Sumber : AMT Composites (1990)

Kumpulan anyaman adalah seperti tali anyaman ini memberikan penguatan kearah 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. Serat gelas ini sangat baik digunakan

dalam bidang industri misalnya: pembuatan kursi, pembuatan tong sampah, 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*). 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. 12 *Chop Strand Mat* (CSM)

Sumber : AMT Composites (1990)

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.

Tabel 2. 4 Sifat mekanik dari serat E-Glass (Barthelot, 1999)

SifatMekanis	Satuan	Nilai
Densitas Massa	Kg/m ³	2530 s.d 2600
Modulus Elastisias	GPa	7,3
Kekuatan Tarik	MPa	350
Elongation	%	4,8

Sumber : J.M Barthelot, 1999

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.

Tabel 2. 5 Sifat-sifat serat gelas

No.	JenisSerat		
	<i>E-Glass</i>	<i>C-Glass</i>	<i>S-Glass</i>
1.	Isolatorlistrik yang baik	Tahan korosi	Modulus lebih tinggi
2.	Kekakuan tinggi	Kekuatan lebih rendah dari <i>E-Glass</i>	Lebih tahan lama pada suhu tinggi
3.	Kekuatan tinggi	Harga lebih mahal dari <i>E-Glass</i>	Harga lebih mahal dari <i>E-Glass</i>

Sumber: Frida, 1992

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

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

2.6 *Rules of Mixture*

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 komposit dan modulus elastisitas sebagai berikut (Jones 1999 : 127) :

$$\sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma_m V_m \quad \dots\dots\dots(2- 1)$$

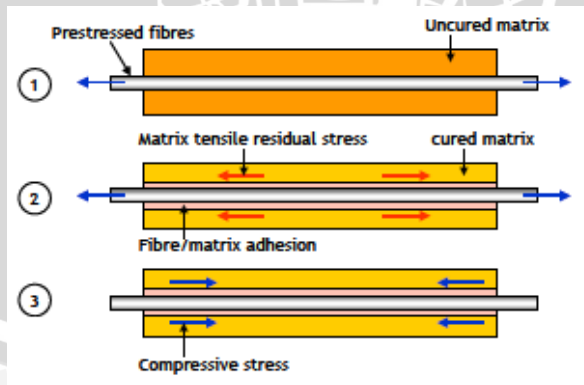
$$E_c = E_f V_f + E_m V_m \quad \dots\dots\dots(2- 2)$$

Keterangan :

- σ_c = Tegangan komposit (MPa)
- σ_f = Tegangan *fiber* (MPa)
- σ_m = Tegangan matrik (MPa)
- E_c = Modulus elastisitas komposit (MPa)
- E_f = Modulus elastisitas *fiber* (MPa)
- E_m = Modulus elastisitas matrik (MPa)

2.7 Residual Stress (Tegangan Sisa)

Residual Stress (Tegangan Sisa) dikembangkan dalam komposit selama proses pengolahan, kemudian dalam perluasan termal atau suhu secara anisotropik, serta sifat elastis dari komposit itu sendiri. Maksud dari anisotropik adalah penyusutan yang memiliki besaran yang berbeda dalam arah yang berbeda. Anisotropik merupakan penyusutan yang terjadi pada bahan yang sudah diisi karena adanya pembatasan penyusutan sepanjang serat yang cenderung dalam arah aliran (Krishnamurthy, 2006). Selama pengolahan komposit pada suhu tinggi, tegangan sisa dapat berkembang karena adanya induksi penyusutan matriks polimer. Berikut merupakan contoh ilustrasi *residual stress* pada komposit searah:



Gambar 2. 13 Ilustrasi dalam Proses *Residual Stress* pada Komposit Searah

Sumber : Krishnamurthy, 2006

Berdasarkan Gambar 2.13, dapat dilihat bahwa nomor 1 merupakan proses ketika serat diberi *prestress* pada matriks yang belum membeku, nomor 2 merupakan pembekuan matriks dan formasi pembentukan ikatan dari serat dan

pengembangan dari tegangan sisa pada matriks dan nomor 3 merupakan pelepasan dari pemberian tegangan mula pada suhu ruangan dimana memberikan tekanan pada matriks. Tidak seperti bahan homogen, tegangan sisa dalam komposit tidak dapat dihilangkan dengan *annealing* karena ketidakcocokan antara dua bahan yang berbeda, bukan dalam materi yang sama. Namun, beberapa relaksasi dari tegangan sisa dalam waktu yang dimungkinkan sebagai hasil dari elastisitas yang melekat di sebagian resin. Tegangan sisa dapat menyebabkan ketidakstabilan dimensi bagian komposit. Tegangan sisa dapat cukup tinggi untuk menyebabkan retak dalam matriks bahkan sebelum beban mekanis diterapkan. Selain itu, kegagalan mikro seperti matriks, dan serat tekit dapat dikembangkan dalam komposit yang dapat mempengaruhi ketahanan terhadap retak awal, kekuatan, batas layanan, dan mengekspos serat untuk degradasi kimia.

2.8 Metode Perhitungan Jarak Antar Serat

Perhitungan jarak antar serat dilakukan dengan cara metode kalibrasi agar jarak antar serat dapat terhitung dengan benar dan persentasenya kecil. Pada penelitian ini, jarak serat yang akan dihitung adalah jarak antar serat secara memanjang dan melintang. Setelah dilakukan kalibrasi, maka jarak serat dihitung dengan perhitungan standar deviasi agar mengetahui sebaran data terkait jarak antar serat yang dihitung.

2.8.1 Metode Kalibrasi

Kalibrasi adalah serangkaian kegiatan yang membentuk hubungan antara nilai yang ditunjukkan oleh instrument ukur atau sistem pengukuran, atau nilai yang diwakili oleh bahan ukur, dengan nilai-nilai yang sudah diketahui yang berkaitan dari besaran yang diukur dalam kondisi tertentu (*ISO/IEC Guide 17025:2005* dan *Vocabulary of International Metrology*).

Tujuan kalibrasi adalah untuk mencapai ketertelusuran pengukuran. Hasil pengukuran dapat dikaitkan sampai ke standar yang lebih tinggi/teliti. Adapun manfaat dari dilakukannya kalibrasi adalah untuk mendukung system mutu yang diterapkan di berbagai industry pada peralatan laboratorium dan produksi yang dimiliki, untuk mengetahui seberapa jauh perbedaan (penyimpangan) antara harga benar dengan harga yang ditunjukkan oleh alat ukur.

2.8.2 Standar Deviasi

Standar deviasi merupakan salah satu konsep dasar *Principal Component Analysis* (PCA). PCA merupakan analisis yang digunakan untuk mengurangi besarnya dimensi dari data yang diobservasi, menjadi dimensi yang lebih kecil tanpa kehilangan informasi yang signifikan dalam menggambarkan keseluruhan data (Reza, 2008).

Standar deviasi adalah nilai statistic yang digunakan untuk menentukan bagaimana sebaran data dalam sampel dan seberapa dekat titik data individu ke rata-rata nilai sampel. Sebuah standar deviasi dari kumpulan data sama dengan nol menunjukkan bahwa semua nilai-nilai dalam himpunan tersebut adalah sama. Sebuah nilai deviasi yang lebih besar akan memberikan makna bahwa titik data individu jauh dari nilai rata-rata.

Standar deviasi merupakan salah satu ukuran dispersi yang diperoleh dari akar kuadrat positif varians. Varians adalah rata-rata hitung dari kuadrat simpangan setiap pengamatan terhadap rata-rata hitungnya (Supranto, 2008).

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2-4)$$

(Supranto, 2008)

Keterangan:

S : Standar deviasi

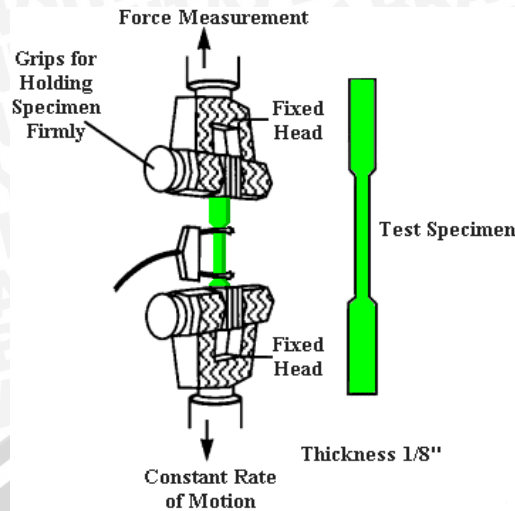
\bar{X} : Rata-rata

X_i : Nilai data

n : Banyaknya data

2.9 Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian kekuatan tarik memiliki tujuan untuk menganalisis tegangan, regangan, modulus elastisitas pada bahan material komposit dengan cara menarik spesimen hingga patah. Pengujian kekuatan tarik dilakukan dengan mesin uji tarik atau dengan *universal testing machine*. (Standar ASTM D 3039)



Gambar 2. 14 Pengujian Kekuatan Tarik

Sumber : Matweb, 2015

$$P = \sigma \cdot A \text{ atau } \sigma = \frac{P}{A} \quad \dots\dots\dots(2-5)$$

(Surdia dan Saito, 2003)

Keterangan :

P = Beban (N)

A = Luas penampang (mm²)

σ = Tegangan (N/mm²)

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. Prosorsional pada grafik tegangan-tegangan hasil uji tarik komposit.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \dots\dots\dots(2-6)$$

(Surdia dan Saito, 2003)

Keterangan :

ε = Regangan (mm/mm)

ΔL = 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 dan Saito, 2003).

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots(2-7)$$

(Surdia dan Saito, 2003)

Keterangan :

E = Modulus elastisitas (MPa)

σ = Tegangan (MPa)

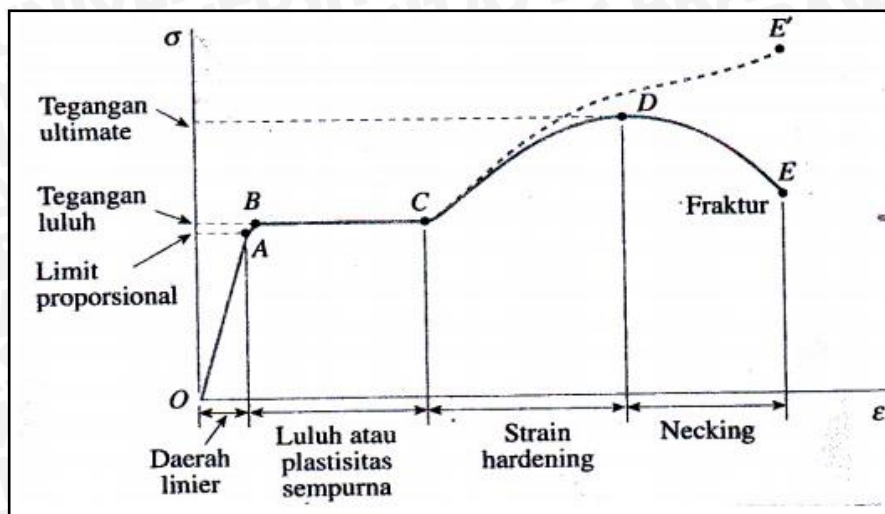
ϵ = Regangan (mm/mm)

A. Kurva Tegangan Regangan

Hasil-hasil pengujian biasanya tergantung pada benda uji. Karena sangat kecil kemungkinannya untuk menggunakan struktur yang ukurannya sama dengan ukuran benda uji, maka diperlukan hasil pengujian dalam bentuk yang dapat diterapkan pada elemen struktur yang berukuran apapun yaitu dengan cara mengkonversikan hasil pengujian tersebut ke tegangan dan regangan.

Setelah melakukan uji tarik atau tekan dan menentukan tegangan dan regangan pada berbagai taraf beban, kita dapat memplot diagram tegangan dan regangan. Diagram tegangan-regangan merupakan karakteristik dari bahan yang diuji dan memberikan informasi penting tentang besarab mekanis dan jenis perilaku.

Dimana diagram dimulai dengan garis lurus dari pusat sumbu 0 ke titik A, yang berarti bahwa hubungan antara tegangan dan regangan pada daerah ini linier dan proporsional, dimana titik A tegangan maksimum, tidak terjadi perubahan bentuk ketika beban diberikan disebut batas elastis, jadi tegangan di A disebut limit proporsional, dan OA disebut daerah elastis.



Gambar 2. 15 Kurva Tegangan-Regangan

Dengan meningkatnya tegangan hingga melewati limit proporsional, maka regangan mulai meningkat secara lebih cepat untuk setiap pertambahan tegangan. Dengan demikian kurva tegangan-regangan mempunyai kemiringan yang berangsur-angsur semakin kecil sampai pada titik B kurva tersebut menjadi horisontal. Mulai dari titik B terjadi perpanjangan yang cukup besar pada benda uji tanpa adanya pertambahan gaya tarik (dari B ke C), fenomena ini disebut luluh dari bahan, dan titik B disebut titik luluh. Di daerah antara B dan C, bahan menjadi plastis sempurna, yang berarti bahwa bahan terdeformasi tanpa adanya pertambahan beban. Sesudah mengalami regangan besar yang terjadi selama peluluhan di daerah BC, baja mulai mengalami pengerasan regang (strain hardening). Perpanjangan benda di daerah ini membutuhkan peningkatan beban tarik, sehingga diagram tegangan-regangan mempunyai kemiringan positif dari C ke D, dan beban pada akhirnya mencapai harga maksimum, dan tegangan di titik D disebut tegangan ultimit. Penarikan batang lebih lanjut akan disertai dengan pengurangan beban dan akhirnya terjadi putus/patah di suatu titik yaitu pada titik E.

Tegangan luluh dan tegangan ultimit dari suatu bahan disebut juga masing-masing kekuatan luluh dan kekuatan ultimit. Kekuatan adalah sebutan umum yang merujuk pada kapasitas suatu struktur untuk menahan beban. Sebagai contoh kekuatan luluh dari suatu balok adalah besarnya beban yang dibutuhkan untuk terjadinya luluh di balok tersebut, dan kekuatan ultimit dari suatu rangka

batang adalah beban maksimum yang dapat dipikulnya, yaitu beban gagal. Tetapi dalam melakukan uji tarik untuk suatu bahan, didefinisikan kapasitas pikul beban dengan tegangan di suatu benda uji, bukannya beban total yang bekerja pada benda uji. Karena itu, kekuatan bahan biasanya dinyatakan dalam tegangan.

B. Sifat-sifat Mekanis Bahan

1. Batas proposionalitas (*Proportionality limit*)

Adalah daerah batas dimana tegangan regangan mempunyai hubungan proporsionalitas satu dengan lainnya. Setiap penambahan tegangan akan diikuti dengan penambahan regangan secara proposional dalam hubungan linier.

2. Batas elastis (*Elastic limit*)

Adalah daerah dimana bahan akan kembali kepada panjang semula bila tegangan luar dihilangkan. Daerah proporsionalitas merupakan bagian dari batas elastis pada akhirnya akan terlampaui sehingga bahan tidak kembali seperti ukuran semula. Maka batas elastis merupakan titik dimana tegangan yang diberikan akan menyebabkan terjadinya deformasi plastis untuk pertama kalinya. Kebanyakan material teknik mempunyai batas elastis yang hamper berhimpitan dengan batas proposionalitasnya.

3. Modulus Elastisitas (*Modulus Young*)

Adalah ukuran kekakuan suatu material, semakin besar harga modulus ini maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi atau semakin kaku.

4. Modulus Kelentingan (*Modulus of Resilience*)

Adalah kemampuan material untuk menyerap energi dari luar tanpa terjadinya kerusakan. Nilai modulus *resilience* (U) dapat diperoleh dari luas segitiga yang dibentuk oleh area elastic diagram tegangan regangan.

5. Modulus Ketangguhan (*Modulus of Toughness*)

Adalah kemampuan material dalam mengabsorb energi hingga terjadinya perpatahan. Secara kuantitatif dapat ditentukan dari luas area keseluruhan dibawah kurva tegangan-regangan hasil pengujian tarik.

6. Titik Luluh (*Yield Point*) dan Kekuatan Luluh (*Yield Strength*)

Adalah batas dimana material akan terus mengalami deformasi tanpa adanya penambahan beban. Tegangan (*stress*) yang mengakibatkan bahan menunjukkan mekanisme luluh ini disebut tegangan luluh (*yield stress*). Gejala

luluh umumnya hanya ditunjukkan oleh logam-logam ulet dengan struktur kristal BCC dan FCC yang membentuk interstitial solid *solution* dari atom-atom karbon, boron, hidrogen dan oksigen. Interaksi antar dislokasi dan atom-atom tersebut menyebabkan baja ulet seperti *mild steel* menunjukkan titik luluh bawah (*lower yield point*) dan titik luluh atas (*upper yield point*).

Untuk baja berkekuatan tinggi dan besi tuang yang getas pada umumnya tidak memperlihatkan batas luluh yang jelas. Sehingga digunakan metode *offset* untuk menentukan kekuatan luluh material. Dengan metode ini kekuatan luluh ditentukan sebagai tegangan dimana bahan memperlihatkan batas penyimpangan / deviasi tertentu dari keadaan proporsionalitas tegangan dan regangan.

Kekuatan luluh atau titik luluh merupakan suatu gambaran kemampuan bahan menahan deformasi permanen bila digunakan dalam penggunaan struktural yang melibatkan pembebanan mekanik seperti tarik, tekan, bending atau puntiran. Di sisi lain, batas luluh ini harus dicapai ataupun dilewati bila bahan dipakai dalam proses manufaktur produk-produk logam seperti proses *rolling*, *drawing*, *stretching* dan sebagainya. Dapat dikatakan titik luluh adalah suatu tingkatan tegangan yang tidak boleh dilewati dalam penggunaan struktural (*in service*) dan harus dilewati dalam proses manufaktur logam (*forming process*).

7. Kekuatan Tarik Maksimum (*Ultimate Tensile Strength*)

Adalah tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadinya perputahan (*fracture*). Nilai kekuatan tarik maksimum tarik ditentukan dari beban maksimum dibagi luas penampang.

8. Kekuatan Putus (*Breaking Strength*)

Kekuatan putus ditentukan dengan membagi beban pada saat benda uji putus (*F_{breaking}*) dengan luas penampang awal (A_0). Untuk bahan yang bersifat ulet pada saat beban maksimum M terlampaui dan bahan terus terdeformasi hingga titik putus B maka terjadi mekanisme penciutan (*necking*) sebagai akibat adanya suatu deformasi yang terlokalisasi. Pada bahan ulet, kekuatan putus lebih kecil dari kekuatan maksimum, dan pada bahan getas kekuatan putus sama dengan kekuatan maksimumnya.

2.10 Hipotesis

Hipotesis yang digunakan dalam penelitian penelitian pengujian jarak antar serat ini yaitu dengan adanya variasi *two direction pre-tension* pada *reinforcement fiber* dapat mempengaruhi jarak antar serat pada komposit baik arah memanjang maupun melintang saat sebelum pengujian tarik dan setelah pengujian tarik, hal tersebut dikarenakan semakin tinggi *two direction pre-tension* yang diberikan untuk menarik serat akan mempengaruhi lebar serat, sehingga jarak antar serat dapat berubah seiring bertambahnya *tension* yang diberikan. Selanjutnya pemberian *two direction pre-tension* pada *reinforcement fiber* dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik, hal tersebut dikarenakan semakin besar *tension* yang diberikan untuk menarik serat, akan membuat serat semakin kencang dimana hal tersebut akan mempengaruhi kekuatan tarik dalam batas elastisitas serat.

