

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Jorge (1990), meneliti tentang pengaruh *pre-tension* terhadap kekuatan tarik komposit. Untuk membuat komposit digunakan serat *E-Glass* dan resin *epoxy* sebagai matriksnya. Metode yang digunakan untuk memberi *pre-tension* adalah *dead weight pre-tension*. Dalam eksperimen, pemberian beban *pre-tension* dengan cara menggunakan bobot dan katrol di ujung serat *woven roving*. Dari hasil eksperimen didapatkan peningkatan yang cukup baik pada nilai kekuatan tarik. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa ketika nilai *pre-tension* pada *fiber* ditingkatkan maka sifat mekanik seperti kekuatan tarik pada komposit juga akan meningkat sampai pada titik maksimum lalu cenderung stabil.

Motahhari dan **Cameron** (1999), pada penelitiannya menggunakan serat E-glass dan matrix *epoxy unidirectional composite* yang diberi *pre-stress* menggunakan *horizontal tensile testing machine* menghasilkan *flexural strength* meningkat hingga 33%.

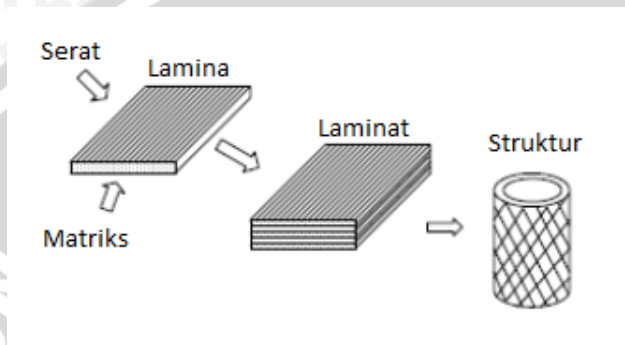
Carli (2012), dalam risetnya meneliti serat gelas jenis *woven* dengan matriks *epoxy* dan *polyester* berlapis simetri. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan antara hasil uji tarik dan bending untuk komposit dengan matriks *polyester* dan *epoxy*. Karakteristik bahan komposit *epoxy* jauh lebih baik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

Richarmond (2015) melakukan penelitian dengan menggunakan serat e-glass dan *vinyl ester* sebagai matriksnya dengan variasi *pre-tension* dan dibuat menggunakan metode *hand lay-up* dengan pengujian tarik. Didapatkan hasil kekuatan tarik sebesar 111,2345 N/mm² pada tension sebesar 40 N sedangkan kekuatan tarik terendah sebesar 79,3769 N/mm² berada pada variasi tanpa *pre-tension*. Dari hasil penelitian didapatkan pemberian *pre-tension* pada komposit memberikan pengaruh terhadap kekuatan tariknya.

2.2. Komposit

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material yang memiliki sifat mekanik yang berbeda - beda. Dikarenakan karakteristik pembentuknya berbeda-beda, maka akan dihasilkan material baru yang mempunyai sifat

mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material-material pembentuknya (Schwartz, 1992). Komposit terdiri dari matriks dan serat penguat. Serat penguat biasanya berupa serat kaca, serat karbon atau aramid dan matriks dapat berupa resin dari polimer, logam ataupun keramik. Komposit pada awalnya merupakan sebuah konsep yang ditemukan di alam, contohnya adalah kayu. Kayu adalah komposit yang terdiri dari serat selulosa dan matriksnya adalah lem alami yang disebut *lignin*. Selain kayu, cangkang pada hewan *invertebrate* seperti keong dan kerang adalah contoh lain dari komposit yang ada di alam.



Gambar 2.1 Struktur Pembentukan Komposit
Sumber: Gibson, 1994

2.2.1. Kegunaan Bahan Komposit

Bahan komposit memiliki kegunaan yang luas yaitu:

1. Penerbangan seperti komponen pada sayap, *fan blade*, dan sirip
2. Otomotif seperti komponen mesin, cakram rem, dan *body* mobil
3. Olahraga seperti rangka sepeda, *stick* golf, dan raket tenis
4. Industri pertahanan seperti komponen jet tempur, rompi anti peluru dan senjata
5. Konstruksi infrastruktur seperti jembatan dan terowongan
6. Kesehatan seperti organ tubuh palsu
7. Kelautan seperti komponen pada jetski dan perahu kecil

Bahan komposit dapat digunakan secara luas karena memiliki beberapa kelebihan yang tidak dimiliki oleh bahan jenis lain, kelebihan-kelebihan itu adalah:

1. Material komposit memiliki kekuatan spesifik yang tinggi. Kekuatan spesifik pada bahan komposit nilainya 3 hingga 5 kali lebih baik dibandingkan baja dan aluminium paduan. Sehingga pesawat dan otomotif dapat bergerak lebih cepat dan lebih irit bahan bakar.
2. Bahan komposit menawarkan ketahanan korosi. Besi dan aluminium berkarat ketika adanya air dan udara serta membutuhkan perlakuan khusus seperti pelapisan dan

penambahan paduan. Pada bahan komposit, karena permukaan terluarnya terbuat dari plastik, ketahanan korosi dan kimianya sangat baik.

3. Bagian – bagian yang kompleks, bentuk dan kontur tertentu yang kadang tidak memungkinkan dibuat dengan logam, dapat dibuat menggunakan bahan komposit tanpa memerlukan pengelasan dan penggabungan bagian – bagian yang terpisah. Hal ini mengurangi waktu produksi dan dapat meningkatkan produktivitas.
4. Biaya yang diperlukan untuk memproses komposit jauh lebih murah dibandingkan dengan pemrosesan logam karena temperature yang diperlukan lebih rendah. Hal ini menawarkan kemudahan untuk perubahan desain. (Mazumdar,2002)

2.2.2. Klasifikasi Komposit

Secara garis besar, komposit dibedakan menjadi tiga, berdasarkan penguat yang digunakan (Schwartz, 1984):

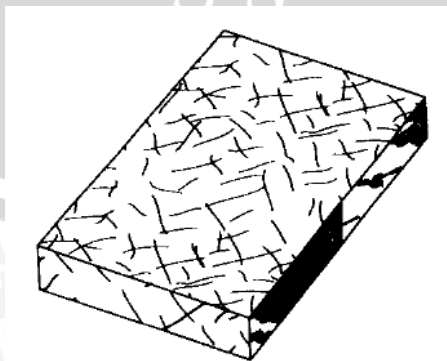
1. Komposit serat (*fiber composite*)

Jenis komposit ini terdiri dari satu lapisan (lamina) dan menggunakan serat sebagai penguatnya. Jenis serat yang biasa digunakan sebagai penguat adalah serat karbon, aramid dan serat gelas. Serat ini dapat disusun dengan orientasi tertentu ataupun secara acak. Serat ini juga tersedia dalam bentuk anyaman.

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

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

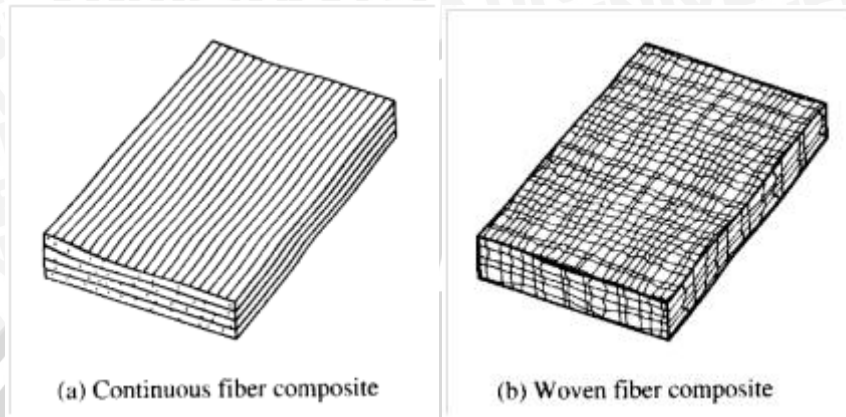
Komposit serat pendek umumnya diorientasikan sejajar ataupun acak. Gambar 2.2 adalah contoh komposit serat pendek. Tujuan pemakaian serat pendek adalah memungkinkan produksi yang lebih sederhana, pengolahan yang lebih murah dan bentuk yang kompleks (Emma, 1992).



Gambar 2.2 Komposit Serat Pendek.
Sumber: Gibson, 1994

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

Komposit serat panjang lebih mudah diorientasikan, jika dibandingkan dengan serat pendek. Kemampuan serat panjang dalam menerima beban juga lebih baik dibandingkan dengan serat pendek. Komposit serat panjang tersedia dalam 2 bentuk, yaitu *continuous fiber* dan *woven fiber* seperti yang terlihat pada gambar 2.3.

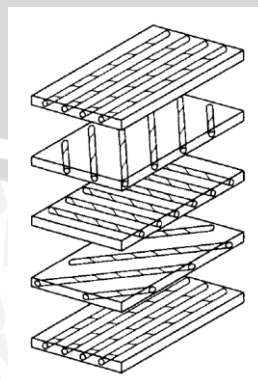


Gambar 2.3 Komposit Serat Panjang
Sumber : Gibson, 1994

Serat pada komposit secara umum berfungsi sebagai bahan untuk memperkuat komposit. Penggunaan serat juga dapat menghemat pemakaian resin. Komposit berpenguat serat lebih kokoh, tangguh dan kuat jika dibandingkan dengan komposit tanpa serat penguat (Emma, 1992).

2. Komposit laminat (*laminated composite*)

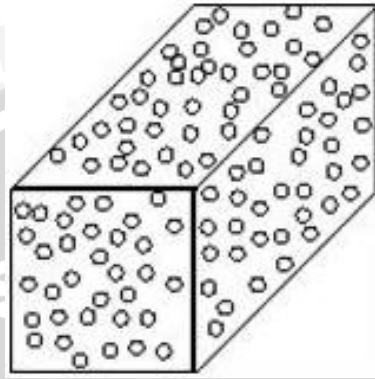
Merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua atau lebih lapisan yang digabungkan menjadi satu dan setiap lapisannya memiliki karakteristik khusus. Komposit laminat dapat dibagi lagi menjadi empat jenis yaitu komposit serat kontinyu, komposit serat anyam, komposit serat acak dan komposit serat hybrid.



Gambar 2.4 Komposit laminat.
Sumber : Jones, 1998

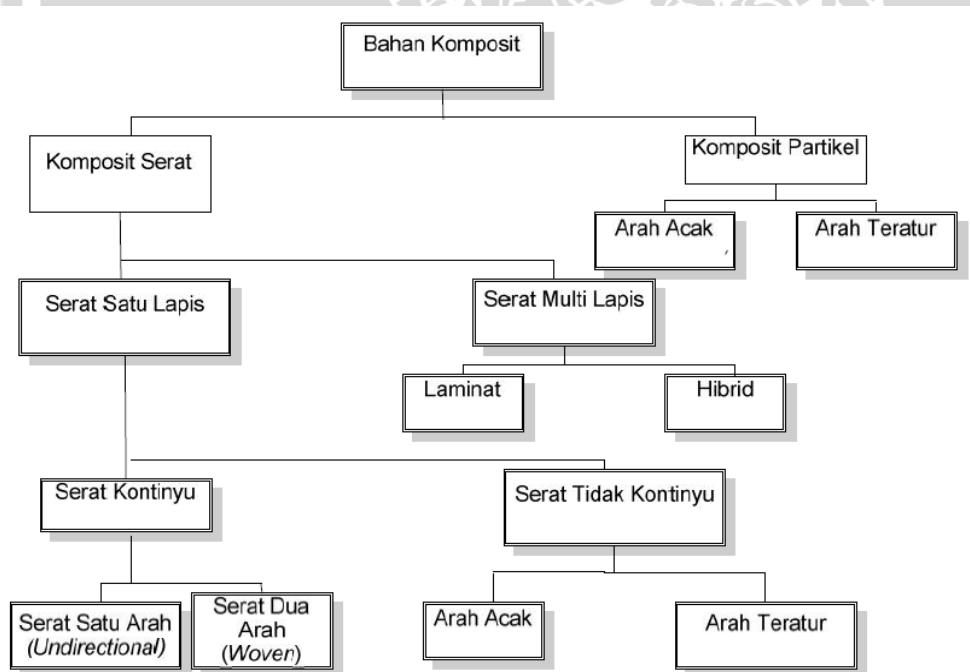
3. Komposit partikel (*particulated composite*)

Adalah jenis komposit yang menggunakan serbuk atau partikel sebagai penguatnya. Material serbuk atau partikel yang digunakan terdistribusi secara merata dalam matriks. Contoh komposit partikel yang sering dijumpai adalah beton. Batu dan krikil berperan sebagai partikel penguat kemudian semen mengikat partikel sebagai matriksnya.



Gambar 2.5: Komposit partikel.
Sumber: Jones, 1998

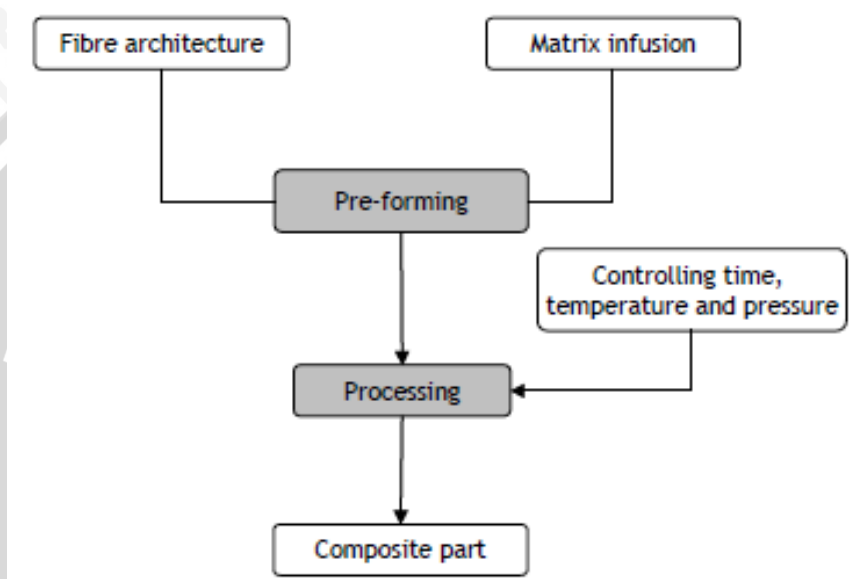
Pada Gambar 2.6 dapat dilihat klasifikasi dari komposit.



Gambar 2.6 Diagram Klasifikasi Bahan Komposit
Sumber: Schwartz, 1984

2.2.3. Pembentukan Komposit

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 structural. 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.



Gambar 2.7 Skema Pembentukan Komposit
Sumber: Krishnamurthy, 2006

Berdasarkan matriksnya, komposit dapat dibedakan menjadi 4 jenis utama yaitu:

1. MMC (*Metal Matrix Composite*)

Metal matrix composite adalah material komposit yang tersusun oleh matriks logam dan penguat logam seperti contohnya serat kontinyu Al_2O_3 dengan matriks Al yang digunakan pada *Power Transmission Line* dan penguat partikel SiC dengan matriks Al yang digunakan untuk otomotif, penerbangan dan aplikasi pengaturan temperature. MMC diklasifikasikan berdasarkan bentuk penguat yang digunakan yaitu:

- a. MMC berpenguat partikel
- b. MMC berpenguat serat pendek atau whiskers
- c. MMC berpenguat serat kontinyu atau serat lembaran

2. CMC (*Ceramic Matrix Composite*)

Ceramic matrix composite adalah material komposit yang tersusun oleh matriks keramik dan penguat serat pendek/*whisker* atau penguat partikel. Penggunaan penguat

pada CMC biasanya terbuat dari silikon karbida atau boron nitride. Material komposit ini unggul pada suhu pengoperasian yang tinggi, getas dan lebih tahan gesek dibandingkan jenis komposit yang lainnya. Material ini mulai dikembangkan pada tahun 1980an karena potensinya untuk struktur material pada temperature tinggi. Kelas komposit baru ini dikembangkan secara khusus untuk kebutuhan material pada turbin pesawat terbang, generator pembangkit listrik, dan beberapa jenis industri. Material komposit ini identik dengan ketahanan gesek, tahan suhu tinggi dan biaya pembuatannya yang mahal.

3. PMC (Polymer Matrix Composite)

Polymer matrix composite adalah material komposit yang matriksnya terbuat dari bahan – bahan polymer seperti *polyester*, *polypropylene*, *polyethylene* dan sebagainya. Material komposit ini adalah jenis komposit yang paling banyak digunakan saat ini karena proses pembuatannya yang mudah dan paling murah. Proses yang sering digunakan untuk membuat material komposit ini seperti *filament winding*, *injection molding* dan *spraying*.

4. OMC (Organic Matrix Composite)

Organic matrix composite adalah jenis material komposit yang menggunakan bahan organik seperti karbon, serat kayu dan resin alami.

2.3. Bagian Pembentuk Komposit

2.3.1. Matriks

Matriks adalah bahan atau material yang digunakan untuk mengikat atau menyatukan bahan pengisi tanpa bereaksi secara kimia dengan bahan pengisi tersebut. Dalam pencetakan bahan komposit, bahan matriks perlu memenuhi beberapa persyaratan yaitu:

1. Memiliki Viskositas yang rendah.
2. Mempunyai prosentase penyusutan yang kecil.
3. Memiliki daya rekat yang baik dengan bahan penguat (Surdia, 2003).

Pada umumnya matriks berfungsi sebagai:

1. Pengalih atau penerus beban dari luar ke dalam serat.
2. Sebagai pengikat.

Matriks pada material komposit dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis. Ada 4 jenis matriks yang digunakan untuk material komposit. Ke empat matriks tersebut adalah polimer, logam, keramik dan organik.

2.3.1.1. Polimer

Material komposit yang menggunakan polimer sebagai matriks dikategorikan dalam *Polimer Matrix Composite* (PMC). Dalam kehidupan sehari – hari kita banyak menggunakan plastik. Plastik yang biasa kita gunakan tersebut dapat disebut polimer.

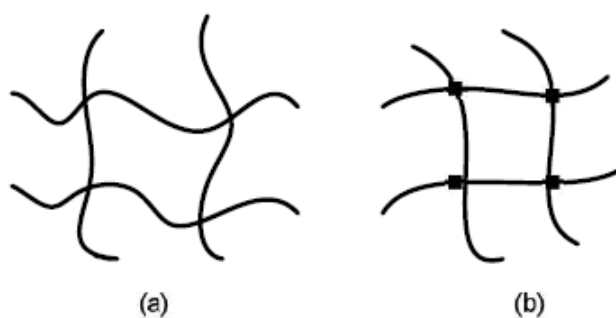
Polimer berasal dari bahasa Yunani yang terdiri dari dua kata , yaitu : *poly* berarti banyak dan *meros* berarti bagian-bagian atau unit-unit dasar. Istilah polimer dapat pula diartikan sebagai molekul besar yang terbentuk dari pengulangan unit-unit molekul yang disebut monomer. Polimer diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu :

1. Termoplastik

Termoplastik adalah jenis polimer yang dapat didaur ulang (recycle). Proses daur ulang termoplastik dilakukan dengan menggunakan panas. Termoplastik merupakan polimer yang akan menjadi lunak ketika dipanaskan dan mengeras kembali setelah didinginkan. Termoplastik meleleh pada suhu tertentu namun biasanya jauh dibawah suhu leleh logam. Memiliki sifat dapat kembali lagi (reversible). Contoh dari termoplastik adalah *polietilen*, *polipropilen*, *PTFE*, *PET* dan *PEEK*.

2. Termoset

Termoset adalah jenis polimer yang tidak dapat berubah kembali (irreversible). Jika polimer termoset sudah mengeras, maka bahan ini tidak dapat dilunakkan kembali. Pemanasan yang diberikan pada termoset tidak akan melunakkan bahan ini, melainkan akan membentuk arang dan terurai. Hal ini diakibatkan karena molekul-molekulnya mengalami ikatan silang (*cross linking*) sehingga bahan tersebut sulit untuk didaur ulang kembali, contohnya resin epoksi, *polyester*, *urea formaldehyde*, *phonol-formaldehyde*, *melamine formaldehyde*, *vinyl ester* dan lain-lain. Gambar 2.9 memperlihatkan bahwa pemanasan bahan termoset akan mengakibatkan terjadinya *cross linking* antara molekul-molekul sehingga jika bahan termoset telah mengeras maka tidak dapat dilunakkan kembali dengan pemanasan. Karena sifatnya yang seperti ini, bahan termoset dapat digunakan untuk peralatan yang tidak sering terkena panas seperti melamin.



Gambar 2.8: Molekul pada polimer termoset mengalami *cross linking* (a) Sebelum dipanaskan dan (b) Sesudah dipanaskan.

Sumber: Hartomo, 1992

3. Vinyl Ester (Ripoxy)

Ripoxy / vinyl ester adalah resin termoset yang memiliki physical properties yang baik dibandingkan dengan resin epoxy. Tidak seperti epoxy, ripoxy mudah mengeras. Physical properties pada ripoxy R – 802 adalah

Tabel 2.1 Sifat Fisik dan Mekanik dari Vinyl Ester R - 802

Vinyl Ester R – 802	
Specific Gravity (g/cm^3) at 25°C	1.134
Heat Distortion ($^\circ\text{C}$)	100
Tensile Strength (MPa)	80
Flexural Strength (MPa)	130
Compressive Strength (MPa)	120
Charpy Impact (kJ/m^3)	6,9
Curing shrinkage percentage (%)	7,8

Sumber: Showa Highpolymer Co., Ltd, 2015

2.3.1.2. Logam

Logam sebagai matriks masuk dalam kategori *Metal Matrix Composite* (MMC). Seperti material komposit lainnya yang terdiri dari 2 jenis material yang berbeda. Logam sebagai matrix juga terdiri dari 2 fase yaitu serat atau partikel yang didistribusikan dalam matriks logam. Contohnya adalah Al_2O_3 , berpenguat serat Al yang digunakan pada jaringan transmisi. Logam sebagai matriks memiliki beberapa keuntungan dibandingkan logam tanpa serat penguat dan dibandingkan dengan Polimer Matrix Composite (PMC).

Keuntungan MMC dibandingkan dengan logam tanpa penguat adalah:

- a. Pengurangan berat yang signifikan yang disebabkan oleh perbandingan kekuatan terhadap berat yang lebih tinggi

- b. Stabilitas dimensional yang luar biasa (jika dibandingkan dengan SiC/Al dengan Al
 - c. Stabilitas kenaikan temperature yang lebih baik, yaitu ketahanan mulur
 - d. Sifat ketahanan siklus lelah yang bertambah secara signifikan
- Keuntungan yang dimiliki MMC dibandingkan dengan PMC adalah
- a. Kekakuan dan kekuatan yang lebih tinggi
 - b. Temperature operasional yang lebih tinggi
 - c. Konduktivitas elektris yang lebih tinggi
 - d. Konduktivitas termal yang lebih tinggi
 - e. Daya tahan radiasi (laser, UV, nuklir, dsb.)
 - f. Sedikit hingga tidak adanya kontaminasi (tidak ada masalah penyerapan embun atau keluarnya gas)

Logam dikarakterisasi berdasarkan ikatan logamnya. Ketika logam didinginkan dari bentuk cairnya, sebagian besar logam memiliki struktur kristal dibawah titik cairnya. Beberapa logam dan paduan tidak mengalami kristalisasi dan dianggap berstruktur amorf, tetapi hanya terjadi pada laju pendinginan yang tinggi ($<10^6 \text{ Ks}^{-1}$). Perbedaan mendasar antara struktur Kristal dan non- Kristal adalah tingkat urutannya.

2.3.1.3. Keramik

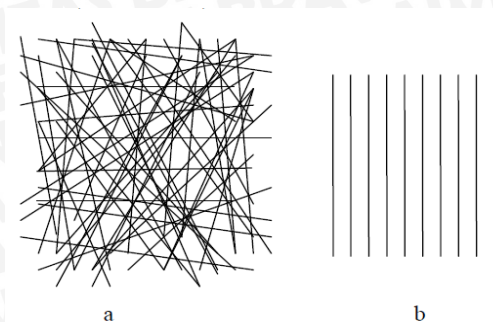
Material keramik sebagai matriks dari komposit digunakan karena sifat rekatnya yang baik, ketahanan gesek dan ketahanan terhadap suhu tinggi dibandingkan material matriks lainnya.

2.3.2. Serat Penguat

Serat penguat merupakan bahan yang kuat, kaku, getas. Fungsi utama serat adalah menahan gaya luar. Dua hal yang dapat membuat serat menahan gaya yaitu:

1. Perekatan (*bonding*) antara serat dan matriks (*intervarsial bonding*) sehingga serat tidak terlepas dari matriks(*debonding*).
2. Kelangsingan (*aspec ratio*) yaitu perbandingan antara panjang serat dengan diameter serat.

Arah orientasi serat menentukan kekutan komposit dan mempengaruhi jumlah serat yang dapat disusun ke dalam matrik. Kerapatan dan jumlah serat dalam komposit menentukan kemampuan optimal komposit (Surdia, 2003).



Gambar 2.9: Susunan serat a). Susunan arah serat acak, b). Susunan arah serat teratur
Sumber: Surdia, 2003

Serat berfungsi sebagai penguat bahan komposit sehingga sifat mekaniknya lebih kaku, tangguh dan lebih kokoh dibandingkan dengan komposit tanpa berpenguat serat, serat juga dapat menghemat penggunaan resin. Kekakuan adalah kemampuan dari suatu bahan untuk menahan perubahan bentuk jika dibebani dengan gaya tertentu dalam daerah elastis pada pengujian. Tangguh adalah kemampuan material menerima gaya atau beban yang menyebabkan material tersebut patah pada pengujian lentur. Kokoh adalah kondisi yang diperoleh akibat benturan atau pukulan serta proses kerja yang mengubah struktur komposit sehingga menjadi keras pada pengujian impak (Nurdin B, 1988).

Agar material komposit mengalami kenaikan sifat yang berguna, fraksi volume serat yang digunakan harus diatas 10% (ASM Handbook Vol. 21, 2001)

Beberapa syarat serat sebagai penguat antara lain :

1. Mempunyai modulus elastisitas yang tinggi
2. Kekuatan lentur yang tinggi
3. Mampu menerima perubahan gaya dari matriks dan mampu menerima gaya yang bekerja padanya.

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 (Faltermeier et al., 2007).

Beberapa jenis serat yang biasa digunakan pada material komposit adalah serat kaca/fiberglass, serat karbon/carbon-fiber dan aramid/Kevlar. Setiap jenis serat memiliki sifat yang berbeda sehingga penggunaannya dapat disesuaikan dengan sifat material komposit yang dibutuhkan.

2.3.2.1. Serat Kaca / *Fiberglass*

Serat yang biasa digunakan sebagai penguat matriks polimer, tidak mudah terbakar dan tersedia dalam bermacam bentuk. Komposisi kimia serat gelas sebagian besar adalah SiO dan sisanya adalah oksida-oksida kalsium (*Ca*), magnesium (*Mg*), natrium (*Na*), dan unsur lainnya. Berdasarkan bentuknya serat gelas dapat dibedakan menjadi beberapa macam antara lain (Santoso, 2002).

1. *Roving*

Berbentuk benang panjang.

2. *Woven Roving (WR)*

Jenis anyaman (*woven roving*) mempunyai bentuk seperti anyaman tikar, teranyam dibuat secara selang seling ke arah vertikal dan horisontal.



Gambar 2.10 Serat Gelas Anyaman
Sumber: AMT Composite, 1990

Kumpulan anyaman serat berbentuk seperti tali; anyaman ini memberikan penguatan kearah vertikal dan horisontal. Serat *woven roving* ini agak sulit dibentuk terutama bila digunakan untuk bagian berlekuk tajam karena sifatnya yang kaku. Jenis serat ini sangat baik dipergunakan dalam bidang industri misalnya: pembuatan kapal, pembuatan bak mandi dan sebagainya.

3. *Chop Strand Mat (CSM)*

Serat gelas acak mempunyai bentuk seperti potongan – potongan benang yang disusun secara acak (*random*). Bentuknya dibuat bertindih secara tidak teratur ke segala arah (*undirectional*). Sifat *CSM* ini lebih fleksibel, sehingga mudah dibentuk dan banyak digunakan untuk struktur kompleks yang berlekuk tajam.



Gambar 2.11 Serat gelas acak
Sumber: AMT Composites, 1990

4. Yarn

Berupa bentuk benang yang lekat dihubungkan pada filament. 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.

Tabel 2.2 Sifat Mekanik dari Serat *E-glass*

Sifat Mekanis	Satuan	Nilai
Densitas	Kg/m ³	2530-2600
Modulus Elastisitas	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

2.3.2.2. Serat Karbon / *Carbon-fiber*

Carbon fiber atau nama lainnya adalah *graphite fiber* atau CF adalah serat dengan ukuran 5 - 10 μ m yang tersusun dari atom carbon. Sifat serat karbon yang memiliki kekakuan yang tinggi, kekuatan tarik yang besar, ringan, memiliki ketahanan kimia yang baik serta ketahanan panas yang baik membuatnya populer untuk penggunaan dirgantara, teknik sipil, otomotif militer dan sebagainya. Kekurangan dari serat karbon adalah harganya yang mahal jika dibandingkan dengan serat jenis lain seperti serat kaca dan serat serat plastic. Serat karbon memiliki kekuatan yang tinggi dibandingkan dengan beratnya yang ringan.



Gambar 2.12 Serat Karbon
Sumber: store.carbonfiberglass.com

2.3.2.3. Aramid/Kevlar

Serat aramid adalah salah satu serat sintetis yang diklasifikasikan sebagai serat tahan panas dan memiliki kekuatan yang tinggi. Aramid adalah kepanjangan dari aromatic polyamide. Serat aramid memiliki banyak nama seperti Kevlar, technora, dan twaron. Aramid memiliki beberapa sifat seperti kekuatan disbanding berat yang sangat baik, nilai modulus young yang tinggi, keuletan yang tinggi. Biasa digunakan untuk membuat rompi anti peluru, pakaian tahan api, ban mobil, peralatan militer dan penerbangan.



Gambar 2.13 Serat Aramid
Sumber: aircraftspruce.com

2.4. Metode Pembuatan Komposit

Dalam pembuatan komposit diperlukan suatu cetakan yang bersih dari kotoran dan memiliki permukaannya halus. Cetakan dapat terbuat dari logam, plastik, kayu, gips, dan kaca. Ada 3 metode pembuatan komposit yang sering digunakan, yaitu *Spray Up*, *Hand Lay Up* dan *Injection Molding*

2.4.1. Spray - up

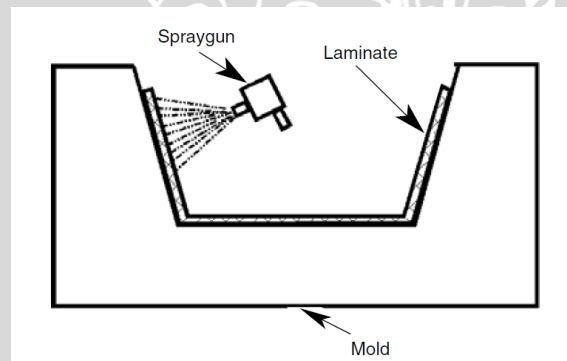
Dalam pembuatan komposit dengan menggunakan metode *spray up* ini menggunakan alat penyemprot. Alat penyemprot tersebut berisi resin, katalis, dan potongan serat yang secara bersamaan disemprotkan ke dalam cetakan.

Kelebihan:

1. Hemat dalam penggunaan resin dan *filler*
2. Peralatan yang dipakai murah

Kekurangan:

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



Gambar 2.14 Metode *Spray Up*
Sumber: Mazumdar, 2002

2.4.2. Hand lay-up

Metode hand – lay up adalah proses pembuatan komposit yang paling sederhana. Metode ini biasanya digunakan untuk membuat komposit yang menggunakan resin termoset.

Cara pembuatan komposit dengan metode hand – lay up, matriks dituang secara berlapis dan diratakan hingga mencapai ketebalan yang direncanakan. Setelah mencapai

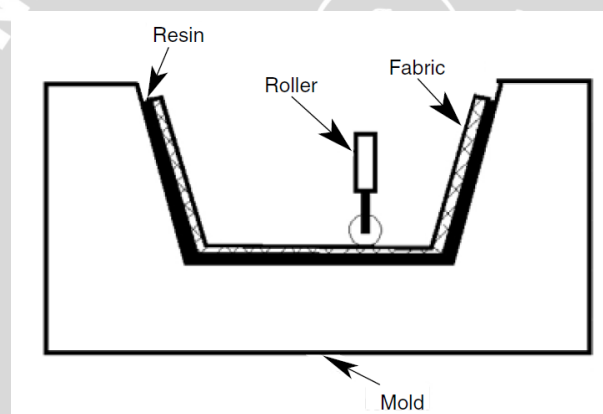
ketebalan yang direncanakan, proses selanjutnya adalah meratakan permukaan dengan *roller* sehingga tidak terdapat udara terjebak didalamnya.

Kelebihan:

1. Biayanya murah
2. Dapat digunakan untuk benda besar maupun kecil
3. Alat yang digunakan sederhana
4. Bisa digunakan untuk serat pendek / panjang
5. Mudah mengerjakannya

Kekurangan:

1. Kekuatan lapisan tergantung oleh pengerjaan tangan yang melapisi
2. Keseragaman produk kurang
3. Waktu pengerjaan yang lama



Gambar 2.15 Metode *Hand Lay Up*
Sumber: Mazumdar, 2002

2.4.3. Injection Molding

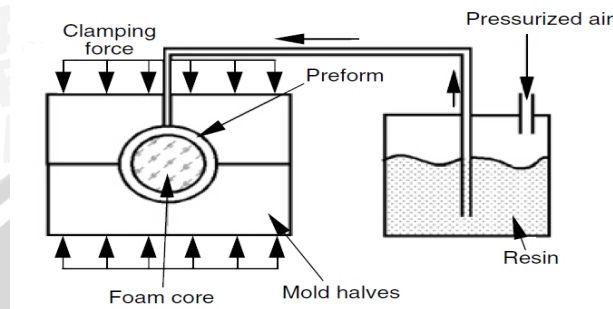
Injection molding dilakukan dengan cara memberikan tekanan injeksi (*injection pressure*) dengan besar tertentu pada material *polymer* yang telah dilelehkan oleh sejumlah energi panas untuk dimasukkan ke dalam cetakan sehingga didapatkan bentuk yang diinginkan. Pada metode ini biasanya digunakan resin termoplastik sebagai matriksnya.

Kelebihan:

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

Kekurangan:

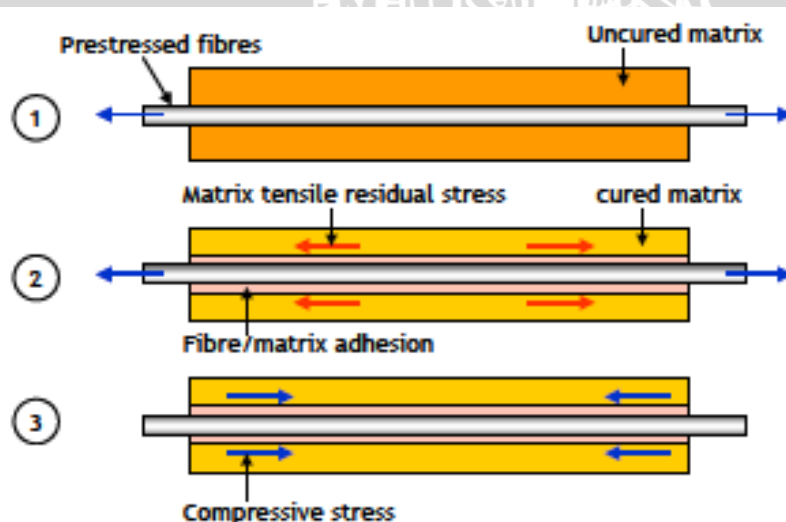
1. Digunakan untuk serat pendek acak dan partikel namun sulit apabila digunakan untuk serat *continue*
2. Apabila resin yang digunakan mempunyai titik leleh tinggi maka energi yang dibutuhkan untuk pemanasan juga lebih tinggi maka energi yang dibutuhkan untuk pemanasan juga lebih besar sehingga biaya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



Gambar 2.16 Metode *Injection Molding*
Sumber: Mazumdar, 2002

2.5. 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.



Gambar 2.17: Skema prinsip pemberian prestress pada serat. 1) Serat diberi prestress pada matriks yang belum membeku. 2) Pembekuan matriks dan formasi pembentukan ikatan dari serat dan pengembangan dari tegangan tarik sisa pada matriks. 3) Pelepasan dari pemberian tegangan mula pada suhu ruangan, dimana memberikan tegangan tekan pada matriks.

Sumber: Krishnamurthy, 2006

Tegangan sisa yang tidak direncanakan dapat menyebabkan retak korosi, distorsi, *fatigue cracking* dan *premature failures* pada komponen. Tegangan sisa perlu diperhitungkan dalam proses pembuatan material untuk meningkatkan umur pemakaian.

Memperhitungkan dan memantau tegangan sisa memiliki beberapa keuntungan dalam proses manufaktur. Meningkatkan kualitas produk, memperpanjang umur material atau struktur, meningkatkan keamanan serta mengurangi resiko *catastrophic failure*. Tegangan sisa mempengaruhi *low cycle* dan *high cycle fatigue performance*, distorsi dan *crack initiation and propagation (damage tolerance)*. Untuk menghitung tegangan sisa dapat dilakukan dengan menggunakan teknik pengukuran *destruktrif*, *semi – destruktif* dan *non - destruktif*.

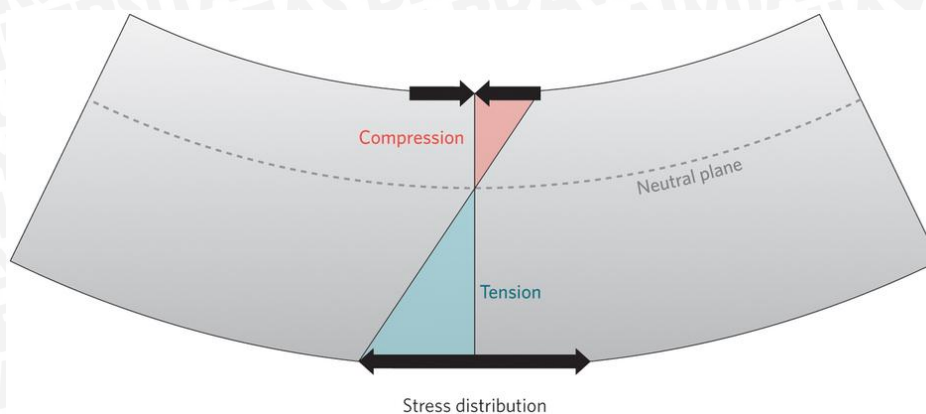
Besarnya tegangan sisa dapat disesuaikan, tegangan sisa yang tidak diinginkan dapat dikurangi. Pengurangan tegangan sisa dapat dilakukan dengan cara *thermal* yaitu *stress relief bake* dan *cryogenic stress relief*. Secara *non-thermal*, pengurangan tegangan sisa menggunakan *shot peening* dan *laser peening*.

Pre-tension adalah metode yang umum digunakan untuk meningkatkan *tensile strength* sebuah material. Penelitian belakangan ini mengembangkan gagasan *pre-tension* pada *woven fabric* untuk meningkatkan kualitas dan kekuatan dari komposit serat alam maupun serat sintesis.

Pre-tension 2 arah merupakan metode *pre-tension* yang dilakukan ke arah transversal dan arah longitudinal suatu material. Metode ini terinspirasi dari beton pra-tarik 2 arah yang digunakan untuk jembatan.

Penguatan komposit dengan *pre-tension* 2 arah bekerja dengan cara yang sama seperti *pre-tension* 1 arah. Perbedaannya terletak pada arah gaya yang digunakan dan jumlah penguatan yang lebih besar dibandingkan metode *pre-tension* searah. Peningkatan nilai kekuatan tarik pada *pre-tension* 2 arah sebesar 12 % ke arah *warp*, 58 % ke arah *weft*, dan 39 % ke arah *bias* (Bekampiene, 2011).

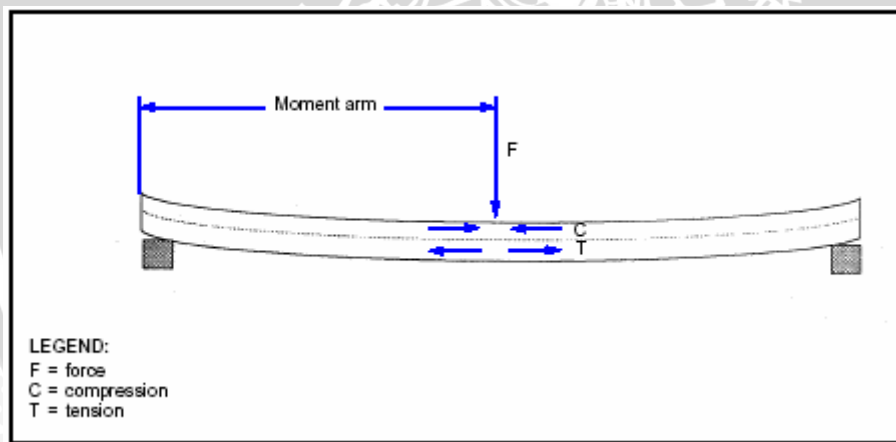
Cara kerja *pre-tension* adalah menarik serat hingga menegang dengan besar gaya tertentu sebelum matriks mengering dan menyatu dengan serat. Setelah matriks mengering, tegangan dilepas yang kemudian menjadi tegangan sisa berbentuk *compressive stress* yang memperkuat material.



Gambar 2.18: Distribusi Tegangan pada Material

Sumber: www.nature.com

Material yang telah diberi *pre-tension* menyimpan *compressive stress* yang arahnya berlawanan dengan *tension* sehingga material mampu menahan gaya *bending* yang lebih besar dibandingkan material tanpa perlakuan *pre-tension*. Konsep dari *pre-tension* adalah menyeimbangkan *tension* dan *compression stress* pada material sehingga besar beban *bending* yang diterima material lebih besar. Metode *pre-tension* adalah salah satu metode yang digunakan pada teknik sipil untuk membuat jembatan.



Gambar 2.19: Pembebanan *Bending*

Sumber: www.globalsecurity.org

2.6. 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 komposit dan modulus elastisitas sebagai berikut:

$$\sigma_c = \sigma_f v_f + \sigma_m v_m \quad (2-1)$$

Sumber: Jones, 1999:127

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

Sumber: Jones, 1999:127

$$V_f = \frac{A_f}{A} \text{ dan } V_m = \frac{A_m}{A} \quad (2-3)$$

Sumber: Jones, 1999:127

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)

V_f = Fraksi volume *fiber* (%)

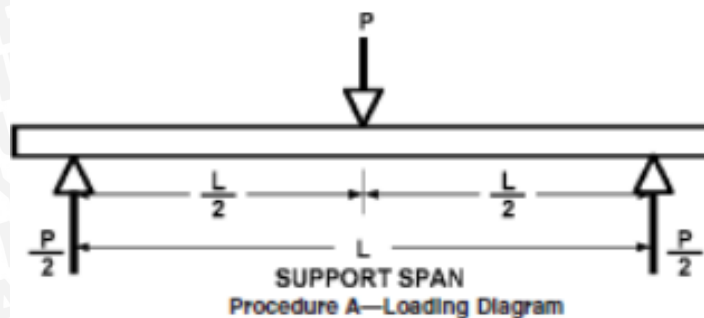
V_m = Fraksi volume matrik (%)

2.7. Pengujian Kekuatan *Bending*

Pengujian kekuatan *bending* bertujuan untuk mengetahui *flexural properties* suatu material seperti kekuatan, kekakuan dan defleksi. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan spesimen pembebanan di beberapa titik hingga spesimen mengalami kegagalan. Pengujian *bending* dilakukan dengan mesin uji *bending* atau dengan *universal testing machine*. (ASTM D 7264).

Pengujian kekuatan *bending* memiliki 2 prosedur standard menurut ASTM yaitu prosedur A yang menggunakan 3 titik pembebanan dimana 2 titik untuk meletakkan specimen dan 1 titik untuk pemberian beban.

Prosedur B menggunakan 4 titik pembebanan, dengan 2 titik untuk *support span* dan 2 titik lagi untuk pemberian beban tekan yang dapat menghasilkan defleksi pada specimen.



Gambar 2.20: Pembebanan 3 Titik
Sumber: ASTM D7264

Penelitian ini menggunakan pembebanan 3 titik. Perhitungan kekuatan *bending* maksimal menggunakan prosedur A dengan 3 titik pembebanan.

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (2-4)$$

Sumber: ASTM D7264, 2006

Keterangan:

σ = Stress pada permukaan, MPa

P = Gaya yang diberikan, N

L = Jarak antar titik tumpuan, mm

b = Lebar spesimen, mm

h = Tebal spesimen, mm

2.8. Hipotesis

Dengan memvariasikan besar *pre-tension* pada *reinforcement fiber* maka dapat diketahui besar tension yang dapat menghasilkan kekuatan *bending* yang maksimal dalam batas elastisitas serat. Hipotesis yang dibuat pada penelitian ini, dengan pemberian *two direction pre-tension* pada *reinforcement fiber* dapat meningkatkan nilai kekuatan *bending*.