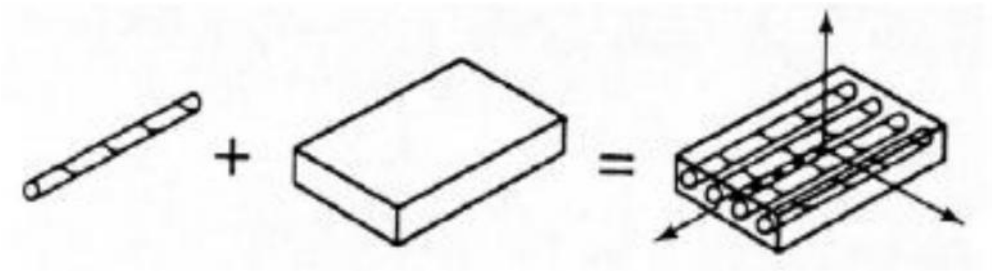
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Komposit

Komposit merupakan suatu bahan yang terbuat dari pada dua ataupun lebih komponen-komponen yang mempunyai perbedaan sifat kimia ataupun fisika yang signifikan, kata komposit berasal dari kata "*to compose*" yang berarti menyusun atau menggabung, dalam kata lain komposit adalah campuran makroskopis antara komponen serat dan matrik dalam hal ini makroskopis yang dimaksut menunjukkan bahwa material pembentuk dalam matrik masih terlihat seperti aslinya (L.Hertanto 2009).

Pada umumnya komposit tersusun atas dua komponen material yaitu material matrik dan subastrat (*reinforcment*) ataupun penguat, kedua bagian material ini saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya berdasarkan atas fungsi masing-masing bagian tersebut. Substrat ataupun bahan pengisi berfungsi memperkuat matrik karena pada umumnya substrat jauh lebih kuat dari pada matrik dan nantinya akan memperkuat pembentukan bahan dengan mempengaruhi sifat fisik dan mekanik bahan yang terbentuk. Sedangkan matrik polimer berfungsi sebagai pelindung substrat dari pada efeklingkungan

dan kerusakan akibat adanya benturan (Arif, D., 2008), Ilustrasi ikatan dan sifat fisik polimer dapat dilihat pada gambar 2.1.



Fiber (serat) Resin composite material

Gambar 2.1. Komposisi Komposit

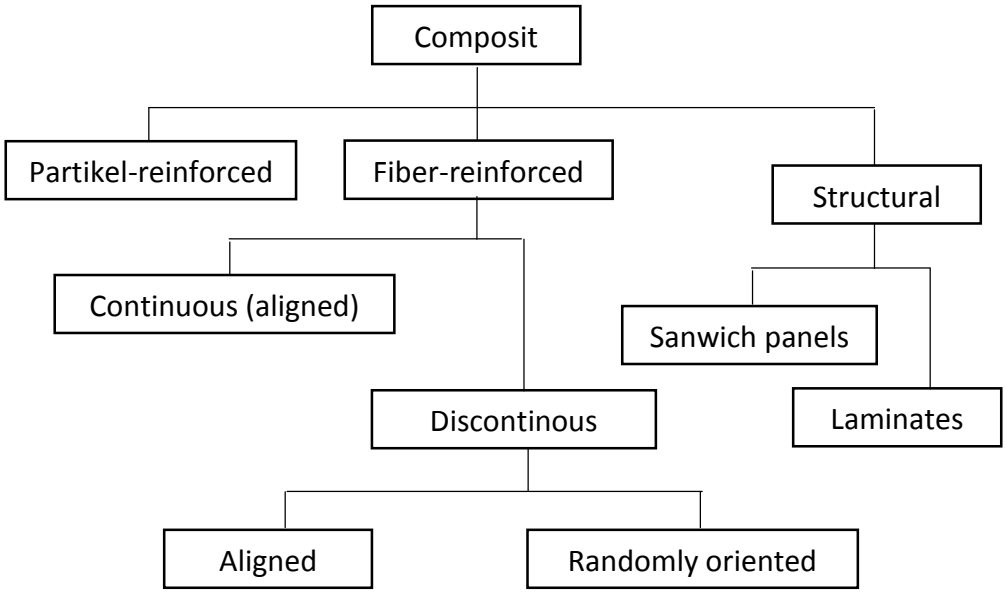
(Sumber: K. van Rijswijk, et.al, 2002)

Bahan komposit merupakan bahan gabungan secara makro yang didefinisikan sebagai suatu sistem material yang tersusun dari campuran atau kombinasi dua atau lebih unsur-unsur utama yang secara makro berbeda dalam bentuk dan atau komposisi material yang tidak dapat dipisahkan. Material komposit mempunyai beberapa keuntungan diantaranya (Schwartz, 1997):

1. Bobotnya ringan
2. Mempunyai kekuatan dan kekakuan yang baik
3. Biaya produksi murah
4. Tahan korosi

B. KLASIFIKASI MATERIAL KOMPOSIT

Sesuai dengan definisinya, maka bahan material komposit terdiri dari unsur-unsur penyusun. Komponen ini dapat berupa unsur organik, anorganik ataupun metalik dalam bentuk serat, serpihan, partikel dan lapisan. Seperti terlihan pada gambar 2.2 mengenai komposit dengan unsur-unsur penyusun yang berbeda-beda.



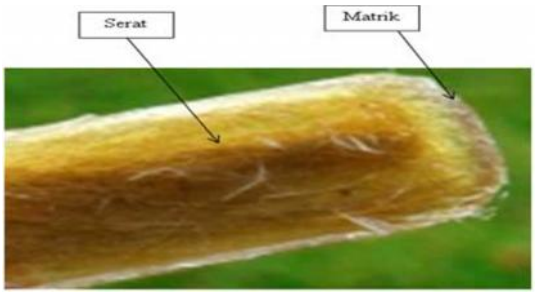
Gambar 2.2 Komposit dengan unsur-unsur penyusun yang berbeda-beda

Berdasarkan bahan penguat, material komposit dapat diklasifikasikan menjadi komposit serat, komposit lamina, komposit partikel dan komposit serpihan.

1. **Komposit serat *(fiber komposite)***

   Komposit serat merupakan jenis komposit yang menggunakan serat sebagai penguat. Jenis komposit ini hanya terdiri dari satu lamina atau

satu lapisan yang menggunakan pengisi berupa serat. Biasanya disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman. Seperti yang terlihan pada gambar 2.3 mengenai komposit berpenguat serat (tobias, 2007).



Gambar 2.3. Komposit serat

Tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterimaoleh 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., 1995).

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 yang masih dibawah dari penguatan dengan serat lurus pada jenis serat yang sama.

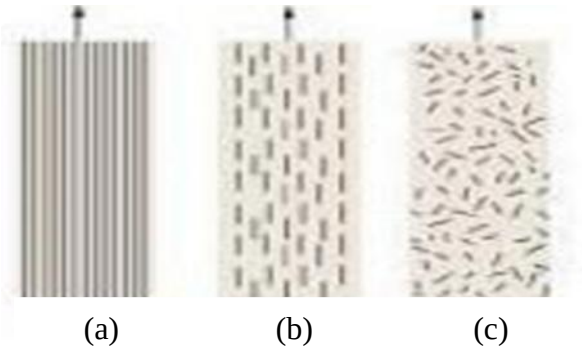
b. Komposit serat panjang (*long fiber composite*)

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.

Perbedaan serat panjang dan serat pendek yaitu serat pendek dibebani secara tidak langsung atau kelemahan matriks akan menentukan sifat dari produk komposit tersebut yakni jauh lebih kecil dibandingkan dengan besaran yang terdapat pada serat panjang(Surdia, 1995).

Secara umum arah serat pada komposit berpenguat serat dapat dibagi menjadi 3, yaitu:

a. Serat panjang dengan arah yang sama, gambar 2.4 (a)
b. Serat pendek dengan arah yang sama, gambar 2.4 (b)
c. Serat pendek dengan arah acak, gambar 2.4 (c)



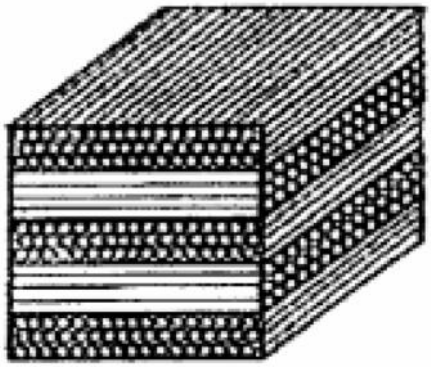
Gambar 2.4. Jenis-jenis orientasi serat pada komposit berpenguat serat

Matrik yang baik untuk digunakan pada komposit serat harus mampunyai sifat-sifat sebagai berikut :

a. Matrik melekat dengan baik pada permukaan serat sehingga beban yang diberikan pada komposit akan didistribusikan dengan baik kepada serat, karena serat inilah yang memegang peranan penting dalam menahan beban yang diterima oleh komposit.
b. Melindungi permukaan serat dari kerusakan.
c. Melindungi serat dari perambatan keretakan.

2. **Komposit Laminat (*laminated composite)***

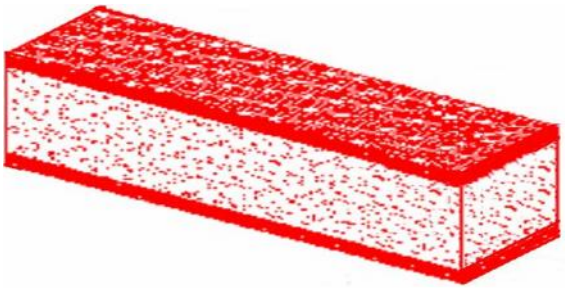
Komposit Laminat merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabungkan menjadi satu dan setiap lapisannya memiliki karakteristik khusus seperti ditunjukkan pada gambar 2.5. Komposit laminat ini terdiri dari empat jenis yaitu komposit serat kontinyu, komposit serat anyam, komposit serat acak dan komposit serat hibrid. Terlihan pada gambar 2.5 menunjukkan lapisan karakteristik komposit laminat.



Gambar 2.5. Komposit laminat

3. **Komposit Partikel *(particulated composite*)**

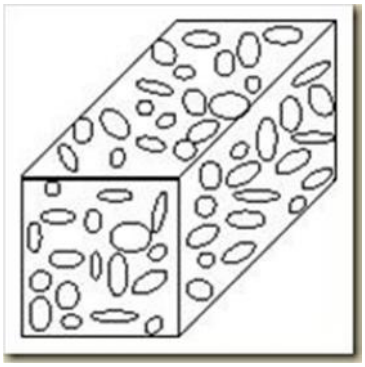
Komposit Partikel merupakan komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriks. Komposit yang terdiri dari partikel dan matriks yaitu butiran (batu, pasir) yang diperkuat semen yang kita jumpai sebagai beton, senyawa komplek ke dalam senyawa komplek. Komposit partikel merupakan produk yang dihasilkan dengan menempatkan partikel-partikel dan sekaligus mengikatnya dengan suatu matriks bersama-samadengan satu atau lebih unsur-unsur perlakuan seperti panas, tekanan, kelembaban, katalisator dan lain- lain. Komposit partikel ini berbeda dengan jenis serat acak sehingga bersifat isotropis. Kekuatan komposit serat dipengaruhi oleh tegangan koheren di antara fase partikel dan matriks yang menunjukkan sambungan yang baik. Seperti yang terlihan pada gambar 2.6 yang menunjukkan komposit partikel.



Gambar 2.6. Komposit partikel

4. **Komposit serpihan (*flake komposite*)**

Komposit serpihan terdiri atas serpihan-serpihan yang saling menahan dengan mengikat permukaan atau dimasukkan ke dalam matriks. Pengertian dari serpihan adalah partikel kecil yang telah ditentukan sebelumnya yang dihasilkan dalam peralatan yang khusus dengan orientasi serat sejajar permukaannya. Sifat-sifat khusus yang dapat diperoleh dari serpihan adalah bentuknya besar dan datar sehingga dapat disusun dengan rapat untuk menghasilkan suatu bahan penguat yang tinggi untuk luas penampang lintang tertentu. Pada umumnya serpihan-serpihan saling tumpang tindih pada suatu komposit sehingga dapat membentuk lintasan fluida ataupun uap yang dapat mengurangi kerusakan mekanis karena penetrasi atau perembesan. Seperti yang terlihan pada gambar 2.7 yang menunjukkan komposit serpihan.



Gambar 2.7. Komposit serpihan

C. Serat (*fibre*)

Serat adalah suatujenisbahan berupapotongan-potongan komponen yangmembentuk jaringan memanjang yang utuh. Serat dapat dibedakan menjadi dua, yaitu serat alam dan serat sintetis. Serat sintetisumumnya berasal dari bahan petrokimia dan dapat diproduksi dalam jumlah yang besar. Sedangkan, serat alam merupakan serat yang banyak diperoleh di alam. Serat alam banyak diproduksi oleh tumbuh-tumbuhan seperti bambu, pelepah pisang, nanas, kelapa, aren atau ijuk dll.

Serat merupakan bahan tambahan yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat komposit. Serat memiliki peranan yang penting dalam komposit karena menentukan kinerja komposit secara keseluruan (Balaguru dan Shah, 1992; Li, 2002a,b). kinerja antara muka (*Interface*) antara serat dan matrik sangat ditentukan oleh kerja serat, karena istilah lain untuk mempresentasikan antar muka adalah zona transisi antar muka, ZTA (*Interfacial Transition Zona*).Menurut Chandrabakty (2011)terdapat beberapa kelebihan dan kekurangan serat alamsebagai penguat komposit sebagai berikut :

1. Kelebihan Serat Alam

   Serat alam mendapat perhatian dari para ahli material komposit karena:

   a. Lebih ramah lingkungan dan *biodegradable*dibandingkan dengan serat sintetis.
   b. Merupakan raw material terbaharui dan ketersediaannya berlimpah

didaerah tertentu.

c. Mempunyai sifat mekanik yang baik, terutama kuat tarik.

d. *Combustibility*, artinya serat alam dapat dapat dibakar jika jika tidak digunakan lagi, dan energi pembakarannya dapat dimanfaatkan.

e. Berat jenis serat alam lebih kecil.

f. Aman bagi kesehatan karena merupakan bahan alam yang bebas dari bahan kimia sintetis, selain itu bila dibakar tidak menimbulkan racun.

g. Serat alam lebih ekonomis dari serat glass danserat karbon.

2. Kekurangan Serat Alam

Selain kelebihannya, serat alam juga memiliki kekurangan yang perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengurangikekurangan tersebut. Kekurangan serat alam yaitu:

a. Kualitas bervariasi tergantung pada cuaca, jika cuaca cerah atau tidak hujan, maka serat yang didapat memiliki kelembaban yang rendah yang berguna dalam proses pembuatan komposit. Serat yang lembab menyebabkan matrik mengembang dan timbul void.

b. Temperature prosesnya terbatas. Hal ini disebabkan karena sifat serat alam adalah mudah terbakar sehingga jika temperatur prosesnya terlalu tinggi maka serat akan terbakar.

c. Kemampuan rekatnya rendah. Hal ini dikarenakan kandungan lignin dan minyak. Pertemuan antara serat dan matrik dibatasi oleh lignin

atau minyak yang mana mengurangi kekuatan rekat serat dengan matrik.

d. Dimensinya bervariasi antara serat yang setu dengan yang lain walau satu jenis serat. Hal ini dikarenakan sifat serat alam higroskopik, dimana antara serat yang satu dengan yang lain memiliki kadar penyerapan air yang berbeda-beda. Jika daya serapnya tinggi, maka dimensi serat menjadi lebih besar dibandingkan serat yang daya serapnya rendah.

Kualitas dan sifat dari serat tergantung dari beberapa faktor seperti ukuran, kematangan (umur) dan proses/metode yang digunakan untuk mengekstrak serat. Sifat-sifat seperti *densitas*, *electrical resistivity*, kekuatan tarik dan *initial modulus* sangat berkaitan dengan struktur internal dan kandungan kimia dari serat. Terlihat pada tabel 2.1.(Mohanty dkk,2001).

Tabel 2.1. Perbandingan beberapa sifat dari serat alam dan sintetik

Jenis Serat	Density (g/cm^3)	Diameter (μm)	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Elongation at Break (%)
Jute	1.3-1.45	20-200	393-773	13-26.5	7-8
Flax	1.5	-	345-1100	27.6	2.7-3.2
Hemp	-	-	690	-	1.6
Ramie	1.5	-	400-938	61.4-128	1.2-3.8
Sisal	1.45	50-200	468-640	9.4-22	3-7
PALF	-	20-80	413-1627	34.5-82.51	1.6
Cotton	1.5-1.6	-	287-800	5.5-12.6	7-8
Coir	1.15	100-450	131-175	4-6	15-40
E-Glass	2.5	-	2000-3500	70	2.5
S-Glass	2.5	-	4570	86	2.8
Aramid	1.4	-	3000-3150	63-67	3.3-3.7
Carbon	1.7	-	4000	230-240	1.4-1.8

Serat Jute yaitu serat alami(tumbuhan) yang paling banyak digunakan sebagai kebutuhan hidup manusia.serat ini terbuat dari semua jenis batang kulit

pohon.jute ini banyak digunakan untuk membuat tali tambang,kertas,karpet,gorden,dan juga pelapis kursi mebel.

D. Pohon Melinjo

Pohon melinjo (*Gnetum Gnemon*) merupakan tumbuhan khas Asia Tenggara di mana pertumbuhannya menyebar dari semenanjung Asia Tenggara, Kepulauan Indonesia, Philipina hingga ke Melanesia. Pohon ini cukup mudah berkembang biak pada daerah dengan ketinggian 1700 m di atas permukaan laut. Tinggi pohon dapat mencapai 15 m dengan diameter batang hingga 40 cm. Serat batang pohon melinjo telah digunakan secara tradisional oleh masyarakat, misalnya di pedalaman Malaysia telah digunakan sebagai tali kekang kuda, masyarakat Pulau Sumba memanfaatkan sebagai tali busur panah dan masyarakat pantai Papua Nugini menggunakan sebagai tali pancing dan jaring ikan. Terlihan pada gambar 2.7. tumbuhan melinjo dan serat kulit batangnya.(Tomlinson2003)

(a) (b)

Gambar 2.8. (a) Tumbuhan melinjo (*Gnetum gnemon*), (b) Serat kulit batang melinjo yang telah diurai

Semua serat alam *cellulose* memiliki sifat yang sangat mampu menyerap air dari lingkungan bebas yang disebut sifat *hydrophilic*. Kandungan air yang tinggi dapatmenurunkan daya rekat dengan matrik polimer yang bersifat *hydrophobic* (Marsyahyo, 2009). Chandrabakty (2009) melaporkan, bahwa serat batang melinjo mempunyai kandunganair (*moisture content*) berkisar antara 6.20% - 10.42%.

Sifat mekanis serat dari tumbuhan (*plant fibers*) sangat terkait dengan jumlah *cellulose*, di mana sangat berhubungan dengan *crystallinity* dari serat dan sudut *micro-fibril* terhadap sumbu serat utama. (Sreekala dkk., 1997). Menurut Mohanty dkk (2005) *Cotton, flax*, dan rami memiliki derajat *crystallinity* tertinggi (65–70%). Sifat *crystalline* dari serat dihasilkan dari ikatan hidrogen antara rantai *cellulosic*, namun dalam beberapa ikatan hidrogen juga muncul pada fase *amorphous*. Dari hasil penelitian sebelumnya komposisi kimia serat batang melinjo diukur dengan mengacu pada ASTM D 1107- 56, diperoleh komposisi kimia seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.2

Tabel 2.2. Komposisi kimia Serat batang melinjo (*Gnetum Gnemon*) (Chandrabakty, 2009)

Komponen	Persentase (%)
Hemisellulosa	24.02%
Alfasellulosa	39.3%
Lignin	9.82%

E. Matriks

Matriks dalam struktur komposit dapat berasal dari bahan polimer atau logam. Syaratpokok matriks yang digunakan dalam komposit adalah matriks harus bisameneruskan beban, sehingga serat harus bisa melekat pada matriks dan kompatibelantara serat dan matriks. Matriks dalam susunan komposit bertugas melindungi danmengikat serat agar dapat bekerja dengan baik. Selain itu, matriks juga bergungsisebagai pelapis serat. Umumnya matriks terbuat dari bahan-bahan lunak dan liat.

Persyaratan di bawah ini perlu dipenuhi sebagai bahan matriks untuk pencetakan bahan komposit (Surdia, 2000) :

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 kelengketan yang baik dengan bahan penguat (*fiber*).
5. Mempunyai sifat baik dari bahan yang diawetkan.

Sebagai bahan penyusun utama dari komposit, matriks harus mengikat penguat(serat) secara optimal agar beban yang diterima dapat diteruskan secara optimal olehserat secara maksimal, sehingga diperoleh kekuatan yang tinggi. Pada dasarnya,matriks dalam komposit berfungsi untuk:

1. Melindungi dari pengaruh lingkungan yang merugikan.
2. Mencegah permukaan serat dari gesekan mekanik.
3. Memegang dan mempertahankan posisi agar serat tetap pada posisinya.

4. Mendistribusikan sifat-sifat tertentu bagi komposit, yaitu : keuletan, ketangguhan dan ketahanan panas.

F. Resin *Epoxy*

Resin *epoxy* umumnya dikenal dengan sebutan bahan *epoxy*. Bahan *epoxy* adalah salah satu dari jenis polimer yang berasal dari kelompok *thermoset*. Bahan *epoxy*mempunyai sifat tidak bisa meleleh, tidak bisa diolah kembali, dan atomnyaberikatan kuat sekali. *Epoxy* sangat baik sebagai bahan matriks pada pembuatanbahan komposit. Secara umum *epoxy* mempunyai karakteristik sebagai berikut :

1. Mempunyai kemampuan mengikat paduan metalik yang baik. Kemampuan inidisebabkan oleh adanya gugus hidroksil yang memiliki kemampuanmembentuk ikatan hydrogen. Gugus *hidroksil* ini juga dimiliki oleh oksidametal, dimana pada kondisi normal menyebar pada permukaan logam.
2. Ketangguhan, kegunaan *epoxy* sebagai bahan matriks dibatasi olehketangguhan yang rendah dan cenderung rapuh.

   Proses pengerasan terjadi jika polimer *epoxy* resin dicampurkan dengan*hardener*-nya. Resin *epoxy* mengeras lebih cepat pada selang temperatur 5°Csampai 150°C. Namun hal ini bergantung pula pada jenis *hardener* yangdigunakan. Jika dilihat dari segi waktu yang dibutuhkan untuk prosespengerasan, maka *epoxy* ini lebih lambat. Dalam industri bisaanya bahan*epoxy* dipakai sebagai perekat logam.

Di bawah ini ditunjukkan spesifikasi matriks *epoxy*pada tabel 2.3., sebagai berikut :

Tabel 2.3. Spesifikasi matriks epoksi.

Sifat-sifat	**Satuan**	**Nilai Tipikal**
Massa Jenis	Gram/cm³	1,17
Penyerapan air (suhu ruang)	°C	0,2
Kekuatan tarik	Kgf/mm²	5,95
Kekuatan tekan	Kgf/mm²	14
Kekuatan lentur	Kgf/mm²	12
Temperatur pencetakan	°C	90

(Surdia, 2000)

Berikut ini adalah kelebihan dan kekurangan resin jenis *epoxy* :

Kelebihan yang dimiliki oleh resin epoksi adalah:

1. Ringan, sehingga dapatmenurunkan biaya instalasi,
2. Tahan polusi,
3. Bersifat hidrofobik,
4. Membutuhkan waktu yangsingkat dalam proses pembuatan,
5. Memiliki kekuatandielektrik yang baik.

Sedangkan kekurangan yang dimiliki oleh resin epoksi adalah:

1. Mudah mengalami proses penuaan(*aging*) dan degradasi pada permukaanakibat adanya *stress* listrik dan termal.
2. Proses pembuatan lebih mahaldibandingkan dengan isolator keramikdan gelas,

3. Bersifat getas

Jika dibandingkan dengan resin jenis polyester, resin epoxy memiliki kekuatan rekatan yang bagus karena adanya gugusan hidroksil polar dan eter dalam rumus kimianya (Kartini, 2002).

Resin epoksi termasuk ke dalam golongan *thermosetting*, sehingga dalam pencetakan perlu diperhatikan hal sebagai berikut:

1. Mempunyai penyusutan yang kecil pada pengawetan.
2. Dapat diukur dalam temperatur kamar dalam waktu yang optimal.
3. Memiliki viskositas yang rendah disesuaikan dengan material penyangga.
4. Memiliki kelengketan yang baik dengan material penyangga.

Resin epoksi adalah salah satu dari jenispolimer yang berasal dari kelompok termoset danmerupakan bahan perekat sintetik yang banyakdipakai untuk berbagai keperluan termasuk buatkontruksi bangunan. Resin termoset adalah polimercairan yang diubah menjadi bahan padat secara polimerisasi jaringan silang dan juga secara kimia,membentuk formasi rantai polimer tiga dimensi.Sifat mekanis tergantung pada unit molekuler yangmembentuk jaringan silang.

Resin epoksi mengandung struktur epoksi atau *oxirene*. Resin ini berbentuk cairan kental atau hampir padat, yang digunakan untuk material ketika hendak dikeraskan. Resin epoksi jika direaksikan dengan *hardener* yang akan membentuk polimer *crosslink*. *Hardener* untuk sistem *curing* pada temperatur

ruang dengan resin epoksi pada umumnya adalah senyawa poliamid yang terdiri dari dua atau lebih grup amina. *Curing time* sistem epoksi bergantung pada kereaktifan atom hidrogen dalam senyawa amina. Epoksi memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dari pada *polyester* pada keadaan basah, namun tidak tahan terhadap asam. Epoksi memiliki sifat mekanik, listrik, kestabilan dimensi dan penahan panas yang baik.Proses pembuatanyadapat dilakukan pada suhu kamar denganmemperhatikan zat-zat kimia yang digunakan sebagai pengontrol polimerisasi jaringan silangagar didapatkan sifat optimim bahan(Hartomo,1992).

G. Fraksi Volume

Salah satu faktor penting yang menentukan karakteristik mekanik dari komposit yaituperbandingan serat dan matriknya. Umumnyaperbandingan ini dapat ditunjukkan dalam bentukfraksi volume serat (υf) atau fraksi berat serat (wf).Namun formulasi kekuatan komposit lebih banyak menggunakan fraksi volume serat. Menurut Gibson(1994), fraksi volume serat dapat dihitung denganmenggunakan persamaan berikut:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{.....} \quad (2.1)$$

Dimana:

ρ = densitas (gr/cm3)

m= Massa serat (gram)

v = volume (cm3)

H. Pengujian Tarik

Pengujian tarik (*tensile test*) adalah pengujian mekanik secara statis dengan cara sampel ditarik dengan pembebanan pada kedua ujungnya dimana gaya tarik yang diberikan sebesar P (Newton). Tujuannya untuk mengetahui sifat-sifat mekanik tarik (kekuatan tarik) dari komposit yang diuji. Pertambahan panjang (Δl) yang terjadi akibat gaya tarikan yang diberikan pada sampel ujidisebut deformasi. Regangan merupakan perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang mula-mula. Regangan merupakan ukuran untuk kekenyalan suatu bahan yang harganya biasanya dinyatakan dalam persen (Sears, 2002).

Kekuatan tarik adalah salah satu sifat dasar dari bahan. Hubungan tegangan-regangan pada tarikan memberikan nilai yang cukup berubah tergantung pada laju tegangan, temperature, kelembaban, dan seterusnya.

Kekuatan tarik diukur dengan menarik sekeping sampel dengan dimensi yang seragam. Tegangan tarik σ, adalah gaya yang diaplikasikan, *F*, dibagi dengan luas penampang A_0yaitu:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad \text{.....} \quad (2.2)$$

Keterangan :

F = Beban yang diberikan arah tegak lurus terhadap penampang spesimen (N)

A_0 = Luas penampang mula-mula spesimen sebelum diberikan pembebanan (m^2)

σ = *Enginering Stress* (N/m^2)

Satuan yang dipakai adalah dyne per sentimeter kuadrat (CGS) atau Newton per meter kuadrat (MKS). Perpanjangan tarik ε adalah perubahan panjang *(Δl)* sampel dibagi dengan panjang awal (*l*):

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} = \frac{\Delta L}{l_0} \quad \text{.....} \quad (2.3)$$

Keterangan :

ε = *Enginering Strain*

l_0 = Panjang mula-mula spesimen sebelum diberikan pembebanan (m)

ΔL = Pertambahan panjang (m)

Perbandingan tegangan (σ) terhadap perpanjangan (*ε*) disebut modulus tarik E

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{.....} \quad (2.4)$$

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui tegangan, regangan, moduluselastisitas bahan dengan cara menarikspesimen sampai putus. Pengujian tarikdilakukan dengan mesin uji tarik.

I. *Scanning Electron Microscopy*

Scanning electron microscope (SEM) merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengamati serat di dalam matriks bersama dengan beberapa sifat

ikatan antara matriks dengan serat penguatnya. Cara untuk mendapatkan struktur mikro dengan membaca bekas elektron. Di dalam SEM, berkas elektron berupa noda kecil yang umumnya berukuran 1μm pada permukaan spesimen diteliti berulang kali. Permukaan spesimen diambil gambarnya dan dari gambar ini dianalisa keadaan atau kerusakan spesimen. Pentingnya SEM adalah memberikan gambaran nyata dari bagian kecil spesimen, dimana kita dapat menganalisa berat serat, kekasaran serat dan arah serat dan ikatan terhadap komponen matriksnya.Pada SEM suatu berkas insiden elektron yang sangat halus di-*scan* menyilangi permukaan sampel dalam sinkronisasi dengan berkas tersebut dalam tabung sinar katoda. Elektron-elektron yang akan terhambur digunakan untuk memproduksi sinyal yang memodulasi berkas dalam tabung sinar katoda, yang memproduksi suatu citra dengan kedalaman medan yang besar dan penampakan yang hampir tiga dimensi (Stevens, 2001).

Alat ini memiliki banyak keuntungan jika dibandingkan dengan menggunakan mikroskop cahaya.SEM menghasilkan bayangan dengan resolusi yang tinggi, yang maksudnya adalah pada jarak yang sangat dekat tetap dapat menghasilkan perbesaran yang maksimal tanpa memecahkan gambarPersiapan sampel relatif mudahKombinasi dari perbesaran kedalaman jarak fokus, resolusi yang bagus, dan persiapan yang mudah, membuat SEM merupakan satu dari alat-alat yang sangat penting untuk digunakan dalam penelitian saat ini

Kelebihan dari SEM adalah bahwa tidak diperlukan penyiapan sampel secara khusus. Tebal sampel tidak masalah bagi SEM seperti halnya pada

Transmission Electron Microscopy (TEM). Oleh karena itu sampel tebal dapat juga dianalisa dengan SEM asalkan dapat ditaruh di atas tatakan sampelnya. Hampir semua bahan non-konduktor yang dianalisa dengan SEM perlu dilapisi dengan lapisan tipis pada permukaannya dengan bahan konduktor. Lapisan ini penting untuk meniadakan atau mereduksi muatan listrik yang tertumpuk secara cepat dibahan non-konduktor pada saat disinari dengan berkas elektron energi tinggi. Bahan pelapisan yang biasa dipakai adalah emas atau karbon. Bila lapisan ini tidak ada maka pada sampel non-konduktor akan menghasilkan distorsi, kerusakan thermal dan radiasi yang dapat merusak material sampelPada situasi yang ekstrim, sampel dapat memperoleh muatan yang cukup untuk melawan berkas elektron yang jatuh padanya sehingga sampel ini bertindak sebagai cermin

Sedangkan kelemahan dari teknik SEM antara lain memerlukan kondisi vakum, hanya menganalisa permukaan, resolusi lebih rendah dari TEM, dan sampel harus bahan yang konduktif, jika tidak konduktor maka perlu dilapis logam seperti mikroskop cahaya dengan elektron.

Komponen utama SEM terdiri dari dua unit, *electron column* dan *display console*. *Electron column* merupakan model *electron beam scanning.*

Sedangkan *display console* merupakan elektron sekunder. Pancaran elektron energi tinggi dihasilkan oleh *electron gun* yang kedua tipenya berdasar pada pemanfaatan arus (Hartanto, L., 2009).