

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Komposit

Didalam dunia industri kata komposit dalam pengertian bahan komposit berarti penggabungan atau pencampuran antara dua atau lebih bahan yang berbeda kemudian digabung menjadi satu. Bahan komposit terdiri dari dua fase yaitu matriks dan fasa terdispersi. Matriks berfungsi sebagai pengikat serat, sedangkan fasa terdispersi berupa serat. Serat inilah yang dapat menentukan karakteristik sifat mekanis dan fisis dari komposit yaitu kekuatan, kekakuan, keuletan, kelenturan, dan lain sebagainya. (Tata Surdia, 1992).

Salah satu keuntungan material komposit adalah kemampuan material yang dapat diatur kekuatannya sesuai dengan kehendak kita. Hal ini dinamakan *tailoring properties* dan ini adalah salah satu sifat istimewa komposit dibandingkan dengan material konvensional lainnya. Selain itu komposit tahan terhadap korosi yang tinggi serta memiliki ketahanan yang tinggi pula terhadap beban. Oleh karena itu, untuk bahan serat yang digunakan bahan yang kuat, kaku, dan getas, sedangkan bahan matriks dipilih bahan-bahan yang liat dan lunak. (Hadi, 2001).

Komposit dan *alloy* memiliki perbedaan dari cara penggabungannya yaitu apabila komposit digabung secara makroskopis sehingga masih kelihatan serat maupun matriksnya (komposit serat) sedangkan *alloy* atau paduan digabung secara mikroskopis sehingga tidak kelihatan lagi unsur-unsur pendukungnya. (Jones, 1975).

Sifat material hasil penggabungan ini diharapkan dapat saling melengkapi kelemahan-kelemahan yang ada pada masing-masing material penyusunnya. Sifat-sifat yang dapat diperbaharui antara lain : (a) Kekuatan (*Strength*), merupakan kemampuan material untuk menahan beban tanpa mengalami perpatahan, (b) Kekakuan (*Stiffness*), yaitu sesuatu yang tidak dapat dipisahkan dari suatu materi. Banyak material yang kaku memiliki kepadatan yang rendah untuk menahan deformasi dari pemasangan, grafitasi, dan vibrasi pada saat pengoperasiannya. (c) Ketahanan korosi (*Corrosion Resistance*) yaitu tidak cepat berkarat sehingga memiliki masa umur pakai yang panjang, (d) Berat (*Weight*) yaitu berat material yang dapat berubah menjadi ringan tanpa mengurangi unsur-unsurnya. (e) Ketahanan lelah (*Fatigue Life*), merupakan fenomena terjadinya kerusakan material karena pembebanan yang berulang-ulang. Apabila suatu logam dikenakan tegangan berulang, maka akan patah pada tegangan yang jauh lebih rendah dibandingkan tegangan yang dibutuhkan untuk menimbulkan perpatahan pada beban statik. (f) Meningkatkan konduktivitas panas yaitu

menambah laju perambatan panas pada padatan dengan aliran yang mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur rendah.

Pada umumnya sifat-sifat komposit ditentukan oleh beberapa faktor antara lain :

(a) jenis bahan-bahan penyusun, yaitu bahan serat yang akan digunakan seperti serat sabut kelapa, ijuk, serat nanas, serat pisang, dan lain-lain. (b) bentuk geometris dan struktur bahan penyusun, yaitu bentuk dari serat, setakan, dan struktur bahan-bahan penyusun dalam pembuatan material komposit. (c) rasio perbandingan bahan-bahan penyusun, yaitu perbandingan bahan yang akan digunakan untuk menghasilkan material komposit yang baru dan baik. (d) daya lekat antar bahan-bahan penyusun, merupakan kemampuan serat untuk saling mengikat antar bahan penyusunnya. (e) proses pembuatan, pada proses ini perlu diperhatikan langkah-langkah dalam membuat material baru sehingga diperoleh material yang baik dan sesuai dengan standar.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Kuncoro Diharjo, Komposit alam adalah material yang memiliki potensi yang baik untuk dikembangkan di Indonesia. *Mechanical bonding* komposit yang diperkuat serat alam dapat ditingkatkan dengan perlakuan kimia serat atau menggunakan *coupling agent*. Perlakuan kimia, seperti perlakuan alkali, sering digunakan karena lebih ekonomis. Tujuan penelitian ini adalah menyelidiki pengaruh perlakuan alkali terhadap sifat tarik komposit berpenguat serat rami kontinyu dengan matriks polyester. Pengamatan visual dilakukan untuk menyelidiki mekanisme perpatahan. Serat rami direndam

di dalam larutan alkali (5% NaOH) selama 0, 2, 4, dan 6 jam. Selanjutnya, serat tersebut dicuci menggunakan air bersih dan dikeringkan secara alami.

Matrik yang digunakan dalam penelitian ini adalah resin unsaturated polyester 157 BQTN dengan hardner MEKPO 1%. Komposit dibuat dengan metode cetak tekan pada $V_f = 35\%$. Semua spesimen dilakukan post cure pada suhu 62°C selama 4 jam. Spesimen uji tarik dibuat mengacu pada standar ASTM D-638. Pengujian tarik dilakukan dengan mesin uji tarik dan perpanjangan diukur dengan menggunakan extensometer. Penampang patahan diselidiki untuk mengidentifikasi mekanisme perpisahannya. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa kekuatan dan regangan tarik komposit memiliki harga optimum untuk perlakuan serat 2 jam, yaitu 190.27 MPa dan 0.44%. Komposit yang diperkuat serat yang dikenai perlakuan 6 jam memiliki kekuatan terendah. Penampang patahan komposit yang diperkuat serat perlakuan selama 0 jam, 2 jam, dan 4 jam diklasifikasikan sebagai jenis patah *slitting in multiple area*. Sebaliknya, penampang patahan komposit yang diperkuat serat perlakuan 6 jam memiliki jenis patah tunggal.

Kuncoro Diharjo menyimpulkan bahwa komposit yang diperkuat serat rami dengan perlakuan 5% NaOH selama 2 jam memiliki kekuatan tarik dan regangan terbesar, yaitu $\sigma = 190.27$ MPa dan $\varepsilon = 0.44\%$. Semakin lama perlakuan serat rami, maka modulus elastisitas kompositnya pun meningkat. Patahan komposit yang diperkuat serat rami tanpa perlakuan dan dengan perlakuan 5% NaOH

selama 2 jam dapat diklasifikasikan sebagai jenis patah banyak (*splitting in multiple area*). Penampang patahan komposit yang diperkuat serat rami tanpa perlakuan didominasi perilaku kegagalan *fiber pull out*. Namun pada komposit yang diperkuat serat dengan perlakuan 5% NaOH, penampang patahannya mengindikasikan tanpa adanya *fiber pull out*. (Diharjo, 2006).

Penelitian yang berjudul Karakteristik Mekanik Komposit Lamina Serat Rami Epoxy Sebagai Bahan Alternatif Soket Protesis ini bertujuan untuk mendapatkan karakteristik mekanik komposit serat alam khususnya serat rami dengan matriks epoxy yang akan diaplikasikan sebagai bahan alternatif pada desain soket protesis. Pengujian komposit lamina serat rami epoxy mengacu standar American Society for Testing Material (ASTM) D 3039/D 3039M untuk pengujian tarik dan ASTM D 4255/D 4255M-83 untuk pengujian geser.

Serat rami yang digunakan adalah serat kontinu dengan kode produksi 100% Ne 14'S, menggunakan matriks berupa Epoxy Resin Bakelite EPR 174 dan Epoxy Hardener V-140. Metode pembuatan sampel uji komposit lamina dengan cara *hand lay up* terhadap serat rami kontinu pada suhu kamar. Hasil pengujian karakteristik mekanik komposit serat rami epoxy akan dibandingkan dengan standard ISO untuk bahan plastik/polymer yang diaplikasikan pada bidang kesehatan, khususnya untuk Prosthetics dan Orthotics. Analisis dilengkapi dengan hasil pengamatan berbantuan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengetahui modus kegagalan dan kriteria kegagalan.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa komposit lamina serat rami epoxy berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai material alternatif dalam pembuatan soket prosthesis atas lutut pada fraksi volume serat 40-50%. Karakteristik mekanik komposit lamina serat rami epoxy longitudinal pada fraksi volume serat 40% yaitu tegangan tarik 232 MPa dan modulus elastisitas 9,7 GPa, sedangkan pada fraksi volume serat 50% tegangan tarik 260 MPa dan modulus elastisitas 11,23 GPa. Harga ini masih lebih besar dibandingkan dengan harga referensi pada penelitian ini, yaitu bahan polimer yang diaplikasikan di bidang kesehatan dengan harga minimal kekuatan tarik 80 MPa dan modulus elastisitas 3 GPa.

Modus kegagalan yang terjadi pada komposit lamina rami epoxy meliputi *brittle failure* (getas) untuk fraksi volume serat 10%-30%, bonding dan delaminasi fraksi volume serat 40-50%. Karakteristik mekanik komposit lamina rami epoxy memenuhi persyaratan sebagai bahan soket prosthesis, mengacu pada Standard ISO: *plastic/polymer for health application*. (Soemardi, 2009)

Totok suwanda melakukan penelitian yang berjudul Pengaruh Fraksi Volume Serat terhadap Peningkatan Kekuatan Impak Komposit Berpenguat Serat Nanas-Nanasan (*Bromeliaceae*) Kontinyu Searah dengan Matrik Unsaturated Polyester. Dalam penelitian ini disimpulkan bahwa Peningkatan fraksi volume serat akan meningkatkan nilai energi patah dan kekuatan impak komposit serat nanas-

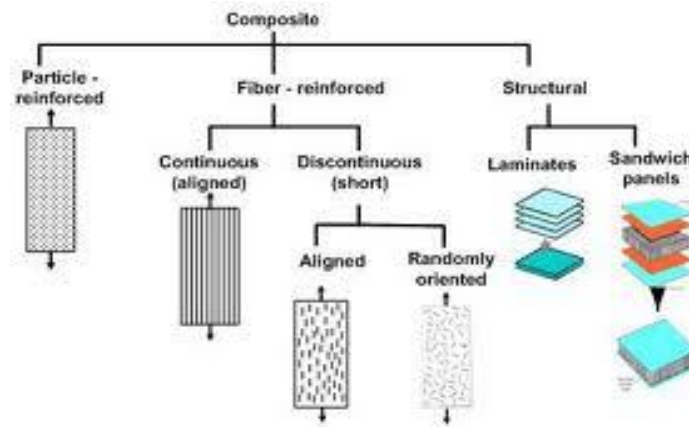
nanasan kontinyu. Kekuatan impak komposit dengan kandungan serat 34,44% dan 39,85% sama, yaitu sebesar 0,0046 J/mm².

Hasil ini menunjukkan bahwa kekuatan impak komposit optimum pada fraksi volume sekitar 35%. Karakteristik patahan komposit adalah *hinge break*, dan *fiber pull out*. Pada fraksi volume 39,85% penampang patah berbentuk patah banyak. (Totok Suwanda, 2010).

Pada penelitian yang telah dilakukan Sugiyanto dengan judul Kekuatan Ikatan (*bonding*) antara Serat Ijuk dengan *Epoxy* pada Komposit Ijuk dengan tujuan untuk mengetahui kekuatan ikatan antara serat dengan matrik pada semua spesimen uji dimana pembuatan komposit menggunakan serat ijuk dengan diameter (0,25–0,35 mm), (0,36–0,45 mm) dan (0,46–0,55 mm). Pada penelitian tersebut didapatkan komposit menggunakan serat ijuk dengan diameter 0,3 mm memiliki kekuatan bonding lebih kuat. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil diameter serat ijuk maka semakin kuat kekuatan ikatannya. (Sugiyanto, 2014)

2.2. Klasifikasi 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.



Gambar 1. Komposit Dengan Unsur-Unsur Penyusun Yang Berbeda-Beda
(Gibson, 1994).

Jika ditinjau dari unsur pokok penyusun suatu bahan komposit, maka komposit dapat dibedakan atas beberapa bagian antara lain :

a. Komposit Serat (*Fibrous Composites Material*)

Komposit serat, yaitu komposit yang terdiri dari serat dan matriks (bahan dasar) yang diproduksi secara fabrikasi, misalnya serat ditambahkan resin sabagai bahan perekat.



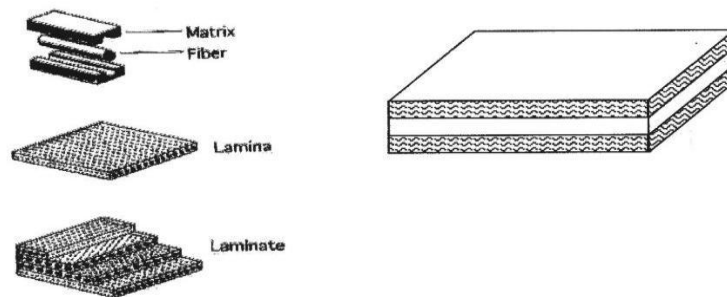
Gambar 2. Komposit Serat (Gibson, 1994)

Komposit serat Merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu lamina atau lapisan yang menggunakan penguat berupa serat (*fiber*). *Fiber* yang digunakan bisa berupa *glass fiber*, *carbon fibers*, *armid fibers* (*poly*

aramide), dan sebagainya. *Fiber* ini bisa disusun secara acak (*chopped strand mat*) maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman.

b. Komposit Lapis (*Laminated Composite Materials*)

Merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisannya memiliki karakteristik sifat sendiri.



Gambar 3. *Laminated Composites* (Gibson, 1994)

Komposit yang terdiri dari lapisan serat dan matriks, yaitu lapisan yang diperkuat oleh resin sabagai contoh plywood, laminate glass yang sering digunakan bahan bangunan dan kelengkapannya. Pada umumnya manipulasi makroskopis yang dilakukan terhadap ketahanan korosi, kuat dan tahan terhadap temperatur. Komposit ini terdiri dari bermacam-macam lapisan material dalam satu matriks. Bentuk nyata dari komposit lamina adalah :

1) Bimetal

Adalah lapis dari dua buah logam yang mempunyai koefisien ekspansi termal yang berbeda. Bimetal akan melengkung dengan seiring berubahnya suhu sesuai dengan perancangan, sehingga jenis ini sangat cocok dengan alat ukur suhu.

2) Pelapisan Logam

Adalah pelapisan yang dilakukan antara logam yang satu dengan yang lainnya dengan tujuan untuk mendapatkan sifat terbaik dari keduanya.

3) Kaca Yang Dilapisi

Konsep ini sama dengan pelapisan logam, kaca yang dilapisi akan lebih tahan terhadap cuaca.

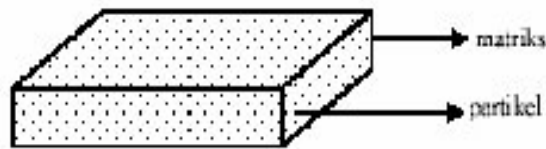
4) Komposit Lapis Serat

Dalam hal ini lapisan dibentuk dari komposit serat dan disusun dalam berbagai orientasi serat. Komposit jenis ini biasa dipakai pada panel sayap pesawat dan badan pesawat.

c. Komposit Partikel (*Particulate Composites Materials*)

Merupakan jenis komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya. Komposit ini biasanya mempunyai bahan penguat yang dimensinya kurang lebih sama, seperti bulat serpih, balok, serat bentuk-bentuk lainnya yang memiliki sumbu hampir sama yang disebut partikel, dan bisa terbuat dari satu atau lebih material yang ditenamkan dalam suatu matriks dengan material yang

berbeda. Partikelnya bisa logam atau non logam seperti halnya matriks. Selain itu adapula polimer yang mengandung partikel yang hanya dimaksudkan untuk memperbesar volume material dan bukan untuk kepentingan sebagai bahan penguat.



Gambar 4. Komposit Partikel (Gibson, 1994)

Pada umumnya komposit dibagi dalam tiga kelompok adalah : (a). Komposit Matrik Polimer (*Polymer Matrix composite* – PMC) bahan ini merupakan bahan komposit yang sering digunakan yang biasa disebut dengan Polimer Berpenguat Serat (FRP – *Fiber Reinforced Polymers or Plastis*), bahan ini menggunakan suatu polimer berdasar resin sebagai matriknya, seperti kaca, karbon dan aramid (Kevlar) yang digunakan sebagai penguatnya. (b). Komposit Matrik Logam (*Metal Matrix Composite* – MMC) ditemukan berkembang pada industri otomotif, bahan ini menggunakan suatu logam seperti aluminium sebagai matrik dan penguatnya dengan serat seperti silikon karbida. (c). Komposit Matrik Keramik (*Ceramic Matrix Composite* – CMC) digunakan pada lingkungan bertemperatur sangat tinggi, bahan ini menggunakan keramik sebagai matrik dan

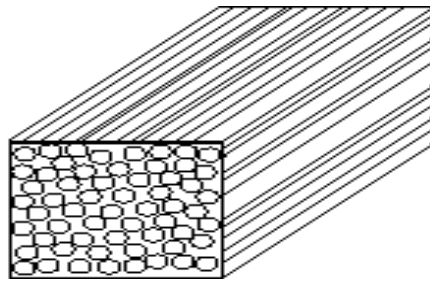
diperkuat dengan serat pendek, atau serabut-serabut (*Whiskers*) dimana terbuat dari silikon karbida.

2.3. Tipe Komposit Serat

Berdasarkan penempatannya terdapat beberapa jenis serat pada komposit, yaitu :

a. *Continous Fibre Composite*

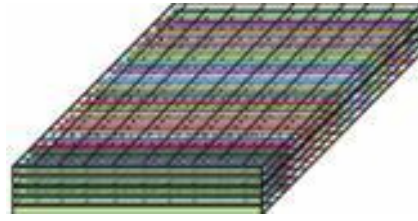
Tipe ini mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya. Tipe ini mempunyai kelemahan pemisahan antar lapisan.



Gambar 5. *Continous Fiber Composite* (Gibson, 1994)

b. *Woven Fibre Composite (Bi-Rectional)*

Komposit jenis ini tidak mudah dipengaruhi pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya mengikat antar lapisan. Susunan seratnya memanjang yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan melemah.



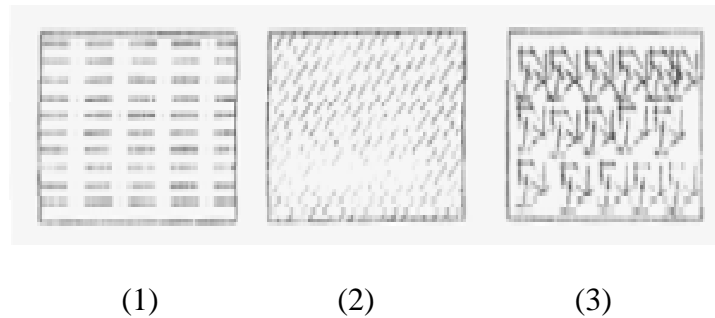
Gambar 6. *Woven Fibre Composite (Bi-Rectional)* (Gibson, 1994).

c. *Discontinuous Fibre Composite*

Discontinuous fibre composite adalah tipe serat pendek. Komposit yang diperkuat oleh serat pendek pada umumnya menggunakan resin sebagai matriksnya. Dalam pembuatan komposit serat pendek ini dipotong-potong pendek 20-100 mm panjangnya. Tipe ini dibagi menjadi tiga macam yaitu :

1. *Aligned Discontinuous Fibre*, yaitu untuk mendapatkan komposit jenis ini digunakan teknik yang berbeda dengan terorientasi acak, yaitu *lay up*. Metode ini khusus digunakan cetak suntik (*injection moulding*) dan proses ekstruksi.
2. *Off-Axis Aligned Continuous Fibre*, yaitu untuk mendapatkan komposit jenis ini digunakan teknik yang berbeda dengan terorientasi acak, yaitu *lay up*. Metode ini khusus digunakan cetak suntik (*injection moulding*) dan proses ekstruksi. Perbedaannya dengan *aligned discontinuous fibre* adalah hanya penempatan posisi serat dalam cetakan.

3. *Randomly Oriented Continuous Fibre*, yaitu pembuatan komposit jenis ini dilakukan dengan teknik *hand lay up*. Ukuran serat dapat dipilih untuk mendapatkan perbedaan jumlah penyebaran serat selama pencetakan



Gambar 7. Tipe *Discontinuous Fibre Composite* (Gibson, 1994).

4. *Hybrid Fibre Continuous*

Hybrid fibre continuous merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dan serat acak. Tipe ini digunakan untuk supaya dapat mengganti dari kekurangan sifat kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihanannya.



Gambar 8. Tipe *Hybrid Fibre Continuous* (Gibson, 1994).

2.4. Faktor yang Mempengaruhi Sifat-Sifat Mekanik Komposit

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi performa komposit, baik dari faktor serat penyusunnya, maupun faktor matriksnya, yaitu:

1. Faktor Serat

a. Letak Serat

- a) *One Dimensional Reinforcement*, mempunyai kekuatan pada arah axis serat.
- b) *Two Dimensional Reinforcement (planar)*, mempunyai kekuatan pada dua arah atau masing-masing arah orientasi serat.
- c) *Three Dimensional Reinforcement*, mempunyai sifat *isotropic*, kekuatannya lebih tinggi disbanding dengan dua tipe sebelumnya.

b. Panjang Serat

Serat panjang lebih kuat dibandingkan dengan serat pendek. Oleh karena itu panjang dan diameter sangat berpengaruh pada kekuatan maupun modulus komposit. Serat panjang (*continous fibre*) lebih efisien dalam peletakannya daripada serat pendek.

c. Bentuk Serat

Bentuk serat tidak mempengaruhi, yang mempengaruhi adalah diameter seratnya. Semakin kecil diameter serat, maka akan menghasilkan kekuatan komposit yang tinggi.

2. Faktor Matriks

Matriks sangat berpengaruh dalam mempengaruhi performa komposit. Tergantung dari matriks jenis apa yang dipakainya, dan untuk tujuan apa dalam pemakaian matriks tersebut.

3. Katalis

Katalis digunakan untuk membantu proses pengeringan (*curing*) pada bahan matriks suatu komposit. Penggunaan katalis yang berlebihan akan semakin mempercepat proses laju pengeringan, tetapi akan menyebabkan bahan komposit yang dihasilkan semakin getas.

2.5. Kelebihan Dan Kekurangan Material Komposit

Material komposit mempunyai beberapa kelebihan berbanding dengan bahan konvensional seperti logam. Kelebihan tersebut pada umumnya dapat dilihat dari beberapa sudut yang penting seperti sifat-sifat mekanik, fisik dan biaya. Seperti yang diuraikan dibawah ini:

a. Sifat Mekanik dan Fisik

Pada umumnya pemilihan bahan matriks dan serat memainkan peranan penting dalam menentukan sifat-sifat mekanik dan sifat komposit. Gabungan matriks dan serat dapat menghasilkan komposit yang mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi dari bahan konvensional. seperti besi baja.

b. Biaya

Faktor biaya juga memainkan peranan yang sangat penting dalam membantu perkembangan industri komposit. Biaya yang berkaitan erat dengan penghasilan suatu produk yang seharusnya memperhitungkan beberapa aspek seperti biaya bahan mentah, proses pembuatan, upah tenaga kerja, dan sebagainya.

Selain kelebihan yang dimiliki, komposit juga memiliki beberapa kekurangan, antara lain :

1. Tidak tahan terhadap beban *shock* (kejut) dan *crash* (tabrak) jika dibandingkan dengan metal
2. Kurang elastic
3. Lebih sulit dibentuk secara plastis

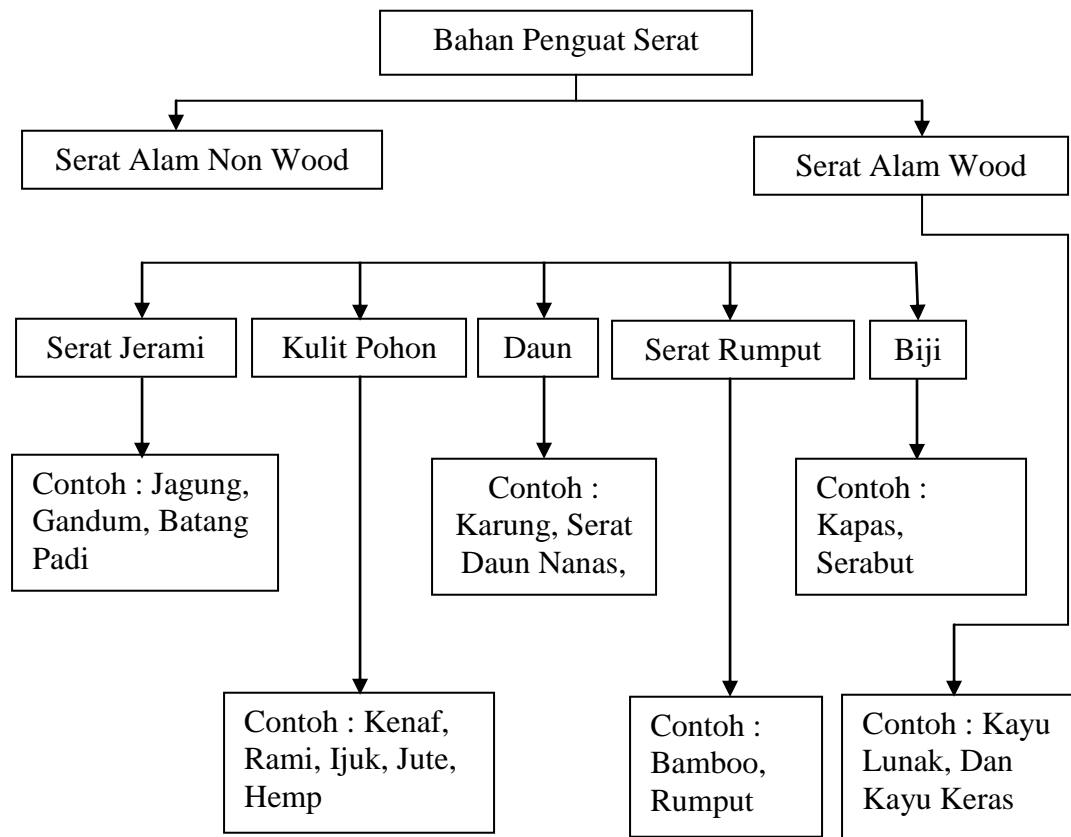
2.6. Serat Alam Dan Serat Sintetis

Serat alam dan sintesis banyak jenis klasifikasinya. Serat alam yang sering digunakan adalah serat pisang, kapas, wol, serat nanas, serat rami, dan serat sabut kelapa, sedangkan serat sintesis diantaranya nilon, akril, dan rayon. Serat alam adalah serat yang banyak diperoleh di alam sekitar, yang berasal dari tumbuh-tumbuhan seperti serat pelepah pisang, bambu, rosella, nanas, kelapa, ijuk, dan lain-lain.

Tabel 1. Klasifikasi Serat/ Serat Tekstil (Surdia, dkk.1999).

NO	Serat	Jenis
1.	Serat kimia atau serat buatan	Serat regenerasi
		Serat sintesis
		Serat anorganik
2.	Serat alam	Serat tumbuhan
		Serat binatang
		Serat galian atau asbes

Saat ini, serat alam mulai mendapatkan perhatian serius dari para ahli material komposit karena, (a) Serat alam memiliki kekuatan spesifik yang tinggi karena serat alam memiliki masa jenis yang rendah. (b) Serat alam mudah diperoleh dan merupakan sumber daya alam yang dapat diolah kembali, harganya relatif murah, dan tidak beracun. Serat alam seperti ijuk, sabut kelapa, sisal, jerami, nanas dan lain-lain merupakan hasil alam yang banyak tumbuh di Indonesia. Berikut ini adalah skema klasifikasi jenis serat alam.



Gambar 9. Klasifikasi Jenis Serat Alam (Thi Thu Loan, 2006).

Macam- macam jenis serat diantaranya adalah sebagai berikut:

a. Serat *Asbestos*,

serat ini dibagi menjadi 2, yaitu :(a). *Crhysotile asbestos* (serat asbestos putih) mempunyai rumus kimia $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dan merupakan mineral yang tersedia cukup banyak di alam. Serat ini mempunyai diameter minimum 0,001 m. Ditinjau dari segi kekuatannya cukup baik, tetapi serat ini jarang tersedia di pasaran umum sehingga menjadikan kurang banyak digunakan sebagai bahan tambahannya. *Crhysotile asbestos* mempunyai rumus kimia $\text{Na}_2\text{O}, \text{Fe}_2\text{O}_3, 3\text{FeO} \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Serat ini mempunyai kuat tarik yang cukup tinggi sekitar 3500. (b) Mpa dan cukup banyak di Kanada, Afrika Selatan dan Rusia. Hambatan jarang dipakainya serat ini adalah sulit didapatkan di setiap Negara sehingga harganya relatif mahal, disamping itu beberapa tahun belakangan ini banyak pendapat tentang bahaya serat ini terhadap kesehatan manusia, serat ini dianggap sebagai salah satu penyebab penyakit kanker (*karsinorganik*).

b. Serat Kaca

Serat ini mempunyai kuat tarik yang cukup tinggi, sehingga penambahan serat kaca pada beton akan meningkatkan kuat lentur beton. Tetapi permukaan serat kaca yang licin mengakibatkan daya lekat terhadap bahan ikatnya menjadi lemah dan serat ini kurang tahan terhadap sifat alkali semen sehingga dalam jangka waktu lama serat akan rusak. Serat ini banyak digunakan sebagai bahan penguat dalam komposit. Fungsi utama dari serat ini adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat bergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matriks yang diteruskan serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu, serat haruslah mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang tinggi daripada matriks penyusun komposit. Aplikasi dari serat gelas yang terkenal misalnya otomotif dan bodi kapal, pipa plastik, kotak penyimpanan, dan industri dasar.

c. Serat Baja (*Steel Fiber*)

Serat baja mempunyai banyak kelebihan diantaranya : mempunyai kuat tarik dan modulus elastisitas yang cukup tinggi, tidak mengalami perubahan bentuk akibat pengaruh sifat alkali semen. Penambahan serat baja pada beton akan menaikkan kuat tarik, kuat lentur, dan kuat impak. Sedangkan kelemahan serat baja adalah apabila serat baja tidak terlindung dalam beton akan mudah terjadi karat (korosi), adanya kecenderungan serat baja tidak menyebar secara merata dalam adukan dan serat baja hasil produksi pabrik harganya cukup mahal.

d. Serat Karbon

Serat karbon mempunyai beberapa kelebihan yaitu tahan terhadap lingkungan agresif, stabil pada suhu yang tinggi, tahan terhadap abrasi, relatif kaku dan lebih tahan lama. Tetapi penyebaran serat karbon dalam adukan beton lebih sulit dibandingkan dengan serat jenis lain.

e. Serat *Polypropylene*

Serat *polypropylene* dalam kehidupan sehari-hari dikenal sebagai tali rafia. Serat *polypropylene* mempunyai sifat tahan terhadap serangan kimia, permukannya tidak basah sehingga mencegah terjadinya penggumpalan serat selama pengadukan. Serat *polypropylene* mempunyai titik leleh 165°C dan mampu digunakan pada suhu lebih dari 100°C untuk jangka waktu yang pendek.

f. Serat *Polyethylene*

Serat *polyethylene* dalam kehidupan sehari-hari dikenal sebagai tali tambang plastic. Serat *polyethylene* ini hampir sama dengan serat *polypropylene* hanya bentuknya berupa serat tunggal.

g. Serat Alami

Ada bermacam-macam serat alami antara lain; abaca, sisal, jute, ramie, ijuk, serat sabut kelapa, pisang, dan lain-lain. Serat ijuk yaitu berwarna hitam dan liat yang terdapat pada bagian pangkal pelepah daun pohon aren. Pohon aren menghasilkan ijuk pada 4-5 tahun terakhir. Serat ijuk yang memuaskan diperoleh dari pohon yang sudah tua, tetapi sebelum tandan (bakal) buah muncul (sekitar umur 4 tahun), karena saat tandan bakal buah muncul ijuk menjadi kecil-kecil dan jelek. (Evi Cristiani, 2008).

2.7. Serat Ijuk

Serat ijuk adalah serat alam yang mungkin hanya sebagian orang mengetahui kalau serat ini sangatlah istimewa dibandingkan serat alam lainnya. Serat berwarna hitam yang dihasilkan dari pohon aren memiliki banyak keistimewaan diantaranya:

- a. Tahan lama hingga ratusan bahkan ribuan tahun lebih, Bahwa serat ijuk aren mampu bertahan hingga ribuan tahun lebih dan tidak mudah terurai.
- b. Tahan terhadap asam dan garam air laut, Serat ijuk merupakan salah satu serat yang tahan terhadap asam dan garam air laut, salah satu bentuk

pengolahan dari serat ijuk adalah tali ijuk yang telah digunakan oleh nenek moyang kita untuk mengikat berbagai peralatan nelayan laut.

c. Mencegah penembusan rayap tanah.

Serat ijuk aren sering digunakan sebagai bahan pembungkus pangkal kayu-kayu bangunan yang ditanam dalam tanah untuk memperlambat pelapukan kayu dan mencegah serangan rayap. (Widodo, 2007).

Serat merupakan salah satu material rancang bangun paling tua. Jute, *flax*, dan hemp telah digunakan untuk menghasilkan produk seperti tali tambang, jaring, *cordage*, *water hose* dan *container* sejak dahulu kala. Serat tumbuhan dan binatang masih banyak digunakan untuk *felts*, kertas, sikat tau kain tebal.

Tabel 2. Sifat Mekanik Dari Beberapa Jenis Serat (Dieter, 2003)

	Cotton	Flax	Jute	Kenaf	E-Glass	Ramie	Sisal
Diameter (mm)	-	11-33	200	200	5-25	40-80	50-200
Panjang (mm)	10-60	10-40	1-5	2-6	-	60- 260	1-5

Kekuatan Tarik (MPa)	330- 585	345- 1035	393- 773	930	1800	400- 1050	511- 635
Modulus Elastisitas (GPa)	4,5- 12,6	27,6- 45	26,5	53	69-73	61,5	9,4- 15,8
Massa Jenis (gr/cm ³)	1,5- 1,54	1,43- 1,52	1,44- 1,5	1,5	2,5	1,5- 1,6	1,16- 1,5
Regangan Maksimum (%)	1,0-8,0	2,7- 3,2	1,5- 1,8	1,6	2,5-3	3,6- 3,8	2-2,5
Spesifik Kekuatan Tarik (km)	39,2	73,8	52,5	63,2	73,4	71,4	43,2
Spesifik Kekakuan (km)	0,85	3,21	1,8	3,6	2,98	4,18	1,07

Keunggulan komposit serat ijuk dibandingkan dengan serat gelas adalah komposit serat ijuk lebih ramah lingkungan karena mampu terdegradasi secara alami dan harganya pun lebih murah bila dibandingkan serat lain seperti serat gelas. Sedangkan serat gelas sukar terdegradasi secara alami. Selain itu serat

glas juga menghasilkan gas CO dan debu yang berbahaya bagi kesehatan jika serat gelas didaur ulang, sehingga perlu adanya bahan alternatif pengganti serat gelas tersebut. Dalam industri manufaktur dibutuhkan material yang memiliki sifat-sifat yang khusus dan khas yang sulit didapat dari material lain seperti logam.



Gambar 10. Serat Ijuk

2.8. Metode Pengekstrakan Serat Ijuk

Pada umumnya metode pengekstrakan serat ijuk dari pohon aren hanya dilakukan secara manual yaitu ijuk dihasilkan dari pohon aren yang telah berumur lebih dari 4-5 tahun sampai dengan tongkol-tongkol bunganya keluar. Pohon yang masih muda produksi ijuknya kecil. Demikian pula pohon yang mulai berbunga kualitas dan hasil ijuknya tidak baik.

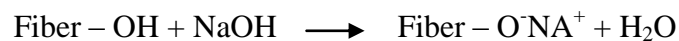
Tahap awal pengekstrakannya yaitu dengan memotong pangkal pelepah-pelepah daun, kemudian ijuk yang bentuknya berupa lempengan anyaman ijuk itu lepas dengan menggunakan parang dari tempat ijuk itu menempel. Lempengan-lempengan anyaman ijuk yang baru dilepas dari pohon aren masih mengandung lidi-lidi ijuk. Lidi-lidi ijuk dapat dipisahkan dari serat-serat ijuk dengan menggunakan tangan. Untuk membersihkan serat ijuk dari berbagai kotoran dan ukuran serat ijuk yang besar, digunakan sisir kawat.

Dalam proses produksinya, serat ijuk dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu (a). Proses secara manual merupakan suatu proses produksi yang dalam seluruh rangkaianannya hanya menggunakan tenaga manusia dan peralatan yang digunakan adalah peralatan yang seadanya (*konvensional*). Dalam proses ini semua dilakukan dengan manual tanpa tersentuh oleh automasi sedikit pun, semua rangkaian proses mulai dari proses pertama sampai proses *finishing* semuanya dilakukan dengan tenaga manusia. (b) Proses secara *automatic* yaitu satu rangkaian proses produksi yang di dalam prosesnya sudah menggunakan peralatan yang canggih (*automatic*) bahkan ada yang sudah menggunakan robot dalam rangkaian prosesnya, dan tenaga manusia hanya digunakan saat proses *setting machine* saja. (c) Proses secara *semiautomatis* yaitu proses yang paling banyak digunakan di dunia industri, cara ini adalah gabungan antara cara manual dan otomatis.

2.9. Perlakuan Alkali

Serat alami adalah *hydrophilic*, yaitu suka terhadap air berbeda dari polimer yang *hydrophilic*. Pengaruh perlakuan alkali terhadap sifat permukaan serat alam selulosa telah diteliti dimana kandungan optimum air mampu direduksi sehingga sifat alami *hydrophilic* serat dapat memberikan ikatan interfacial dengan matrik secara optimal.

Perlakuan alkali (KOH, LiOH, NaOH) terhadap serat dilakukan untuk memisahkan lignin dan kontaminan yang terkandung di dalam serat, sehingga didapat serat yang lebih bersih. Reaksi dari perlakuan alkali terhadap serat adalah:



NaOH merupakan larutan basa yang tergolong mudah larut dalam air dan termasuk basa kuat yang dapat terionisasi dengan sempurna. Menurut teori *Arrhenius* basa adalah zat yang dalam air menghasilkan ion OH negative dan ion positif. Larutan basa memiliki rasa pahit, dan jika mengenai tangan terasa licin (seperti sabun). Sifat licin terhadap kulit itu disebut sifat kaustik basa.

Salah satu indikator yang digunakan untuk menunjukkan kebasaaan adalah lakmus merah. Bila lakmus merah dimasukkan ke dalam larutan basa maka berubah menjadi biru. Penelitian mengenai efek modifikasi kimia terhadap serat

menyebutkan bahwa perlakuan alkali meningkatkan kekuatan rekat antara serat dengan matrik. Kekuatan tarik disebutkan mengalami peningkatan sebesar 5%. Dibandingkan alkali lain seperti KOH dan LiOH, perlakuan alkali NaOH adalah yang paling baik. Penelitian menyatakan bahwa Na^+ memiliki diameter partikel yang sangat kecil dimana dapat masuk ke pori terkecil serat dan masuk ke dalamnya sehingga dapat melepaskan minyak dan kontaminan lebih baik.

2.10. Polimer Sebagai Matrik

Matriks adalah bahan/material yang dipergunakan sebagai bahan pengikat bahan pengisi namun tidak mengalami reaksi kimia dengan bahan pengisi. Secara umum, matriks berfungsi sebagai : (a). Pelindung komposit dari kerusakan-kerusakan, baik kerusakan secara mekanis maupun kimia. (b). Untuk mentransfer beban dari luar ke bahan pengisi (c). Untuk mengikat bahan pengisi

Secara umum, matriks dapat diklasifikasikan atas 4 jenis yaitu : (a). Termoplastik yaitu suatu matriks dikatakan termoplastik apabila matriks tersebut dapat menjadi lunak kembali apabila dipanaskan dan mengeras apabila didinginkan. Hal ini disebabkan karena molekul matriks tidak mengalami ikatan silang sehingga bahan tersebut dapat didaur ulang kembali. (b). Termoset, Suatu matriks dikatakan termoset apabila matriks tersebut tidak dapat didaur ulang kembali bila dipanaskan. Hal ini disebabkan molekul matriks mengalami ikatan silang, sehingga bila matriks telah mengeras tidak dapat lagi dilunakkan. (c).

Elastomer merupakan jenis polimer dengan elastisitas tinggi (d). Polimer Natural seperti selulosa dan protein dimana bahan dasar yang terbuat dari tumbuhan dan hewan.

Resin adalah polimer dalam komposit sebagai matrik, yang mempunyai fungsi sebagai pengikat, sebagai pelindung struktur komposit, memberi kekuatan pada komposit dan bertindak sebagai media transfer tegangan yang diterima oleh komposit serta melindungi serat dari abrasi dan korosi. Resin thermoset adalah tipe system matrik yang paling umum dipakai sebagai material komposit. Mereka menjadi populer penggunaanya dalam komposit dengan sejumlah alasan, mempunyai kekuatan leleh yang cukup rendah, kemampuan interaksi dengan serat yang bagus dan membutuhkan suhu kerja yang relatif rendah. Selain itu juga mempunyai harga yang lebih rendah daripada resin thermoplastis.

(Michael, H.W., 1998)

2.11. Resin *Epoxy*

Epoxy adalah suatu kopolimer, terbentuk dari dua bahan kimia yang berbeda. Ini disebut sebagai "resin" dan "pengeras". Resin ini terdiri dari monomer atau polimer rantai pendek dengan kelompok epoksida di kedua ujung. Epoxy resin Paling umum yang dihasilkan dari reaksi antara epiklorohidrin dan bisphenol-A, meskipun yang terakhir mungkin akan digantikan dengan bahan kimia yang serupa. Pengeras terdiri dari monomer polyamine, misalnya Triethylenetetramine

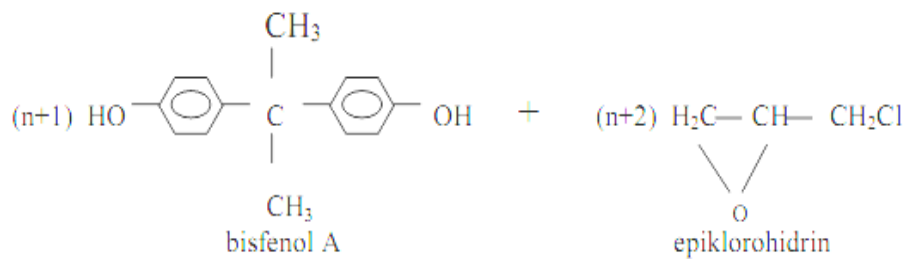
(Teta). Ketika senyawa ini dicampur bersama, kelompok amina bereaksi dengan kelompok epoksida untuk membentuk ikatan kovalen. Setiap kelompok NH dapat bereaksi dengan kelompok epoksida, sehingga polimer yang dihasilkan sangat silang, dan dengan demikian kaku dan kuat. Proses polimerisasi disebut "curing", dan dapat dikontrol melalui suhu, pilihan senyawa resin dan pengeras, dan rasio kata senyawanya; proses dapat mengambil menit untuk jam.

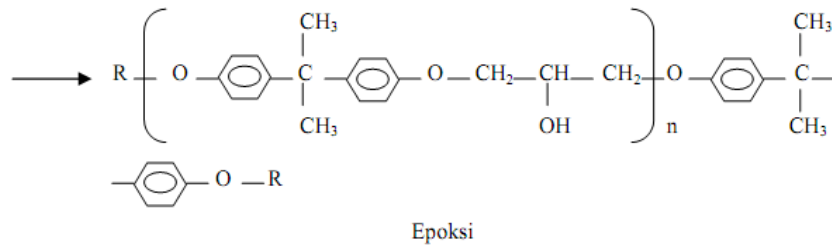
Reaksi *curing* pada sistem resin *epoxy* secara eksotermis, berarti dilepaskan sejumlah kalor pada proses *curing* berlangsung. Laju kecepatan proses *curing* bergantung pada temperatur ruang. Untuk kenaikan temperatur 10°C , maka laju kecepatan *curing* akan menjadi dua kali lebih cepat, sedangkan untuk penurunan temperaturnya dengan besar yang sama, maka laju kecepatan *curing* akan turun menjadi setengah dari laju kecepatan *curing* sebelumnya.

Epoxy memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dari pada *polyester* pada keadaan basah, namun tidak tahan terhadap asam. *Epoxy* mempunyai tiga sifat yang utama yaitu : (a) Sifat fisik, sebagaimana jenis plastic lain kebanyakan plastic adalah isolator listrik dan konduktor panas yang baik. Kecuali jika ditambahkan campuran lain misalnya serbuk logam/karbon lain. (b) Sifat kimia, Sebagaimana umumnya plastik, secara kimia plastik termasuk inert. Dalam jangka lama, sinar ultraviolet mempengaruhi struktur kimia plastik. (c) Sifat mekanik, Dalam bentuk asli epoksi resin keras dan getas tetapi dalam penggunaan, plastik hampir selalu mengandung bahan campuran lain untuk

menyesuaikan sifat mekaniknya. Sifat mekanik sangat banyak dimodifikasi sifatnya, baik dari sisi kekuatan, kekenyalan, keuletan, sampai kearah sobekan. Selain sifat tersebut epoxy jg memiliki ulet, elastis, tidak bereaksi dengan sebagian besar bahan kimia dan mempunyai dimensi yang lebih stabil . *Epoxy* bila diberi bahan penguat komposit *epoxy* mempunyai kekuatan lebih baik dari dibanding resin lain. (Michael, H.W., 1998).

Resin *epoxy* termasuk ke dalam golongan *thermosetting*, sehingga dalam pencetakan perlu diperhatikan hal sebagai berikut : (a).Mempunyai penyusutan yang kecil pada pengawetan. (b).Dapat diukur dalam temperatur kamar dalam waktu yang optimal. (c).Memiliki viskositas yang rendah disesuaikan dengan material penyangga. (d).Memiliki kelengketan yang baik dengan material penyangga. Epoxy terbentuk dari reaksi antara epiklorohidrin dengan bisfenol propane (bisfenol A) dengan persamaan reaksi sebagai berikut:





Gambar 11. Reaksi Antara Bisfenol A Dan Epiklorohidrin

(Michael, H.W., 1998).

Pembuatan dari jaringan *epoxy* yang sangat bagus dengan cara menambahkan katalis yang akan bereaksi dengan baik dengan struktur jaringan, maka kemampuan mekanik dari *epoxy* tergantung dari tipe katalis yang digunakan. Resin *epoxy* mengandung struktur *epoxy* atau *oxirene*. Resin ini berbentuk cairan kental atau hampir padat, yang digunakan untuk material ketika hendak dikeraskan.

Tabel 3 . Spesifikasi Matriks Epoksi. (Surdia, 1992).

Sifat-sifat	Satuan	Nilai Tipikal
Massa Jenis	Gram/cm ³	1,17
Penyerapan air (suhu ruang)	°C	0,2
Kekuatan tarik	Kgf/mm ²	5,95
Kekuatan tekan	Kgf/mm ²	14
Kekuatan lentur	Kgf/mm ²	12
Temperatur pencetakan	°C	90

2.12. Karakteristik Material Komposit

Salah satu faktor yang sangat penting dalam menentukan karakteristik material komposit adalah perbandingan antara matriks dengan serat. Sebelum melakukan proses pencetakan komposit, terlebih dahulu dilakukan perhitungan perbandingan keduanya.

Dalam menentukan perbandingan antara komponen matriks dengan serat (pengisi) material komposit ini biasanya dilakukan dengan menggunakan dua metode, yaitu:

a. Metode Fraksi Massa

Metode ini digunakan jika massa komponen matriks dan pengisi material komposit tidak jauh berbeda atau serat yang dipakai cukup berat. Untuk menghitung perbandingan massa digunakan persamaan sebagai berikut:

1. Massa Komposit

$$M_c = m_f + m_m \dots\dots\dots (1)$$

2. Massa Serat Komposit

$$M_{fc} = \frac{m_f \cdot f_m}{100\%} \dots\dots\dots (2)$$

3. Massa Matriks Komposit

$$M_{mc} = \frac{m_m (100\% \times f_m)}{100\%} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana M_c = massa komposit (gr), M_{fc} = massa serat komposit (gr), M_{mc} = massa matriks komposit (gr), m_f = massa serat (gr), f_m = fraksi massa (%), m_m = massa matriks (gr).

b. Metode Fraksi Volume

Metode ini digunakan apabila berat antara komponen matriks dan penguat (serat) material komposit jauh berbeda. Fraksi volume dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

1. Massa Komposit

Massa komposit dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$M_c = m_f + m_m \dots\dots\dots (4)$$

2. Massa Jenis Komposit

$$\rho_c = \frac{m_c}{v_c} \dots\dots\dots (5)$$

3. Massa Serat

$$W_f = \frac{m_f}{m_c} \times 100 \% \dots\dots\dots (6)$$

$$V_f = \frac{m_f / \rho_f}{m_f / \rho_f + m_m / \rho_m} \times 100 \% \dots\dots\dots (7)$$

Dimana m_c = massa komposit (gr), m_f = massa serat (gr), m_m = massa matriks (gr), ρ_c = massa jenis komposit (gr/cm³), V_c = volume komposit (cm³), W_f = fraksi massa serat (%), V_f = fraksi volume serat (%), ρ_m = massa jenis matriks (gr/cm³).

2.13. Pengujian Tarik

Kekuatan tarik (*ultimate tensile strength*) merupakan salah satu sifat penting suatu material. Kekuatan tarik adalah kemampuan suatu material untuk menahan beban tarik. Hal ini dapat diukur dari beban atau gaya maksimum berbanding terbalik dengan luas penampang bahan uji dan memiliki satuan Mega Pascal (MPa), N/mm^2 , Kgf/mm^2 , atau Psi. (Supardi, 1994).

Uji tarik dilakukan dengan cara memberikan beban pada kedua ujung spesimen uji yang ditingkatkan secara perlahan-lahan hingga spesimen uji tersebut putus. Dengan pengujian ini dapat diketahui kekuatan tarik, beban luluh (mulur), modulus elastisitas (modulus *young*) tegangan, pengurangan luas penampang, dan penambahan panjang.

Tujuan dari dilakukan pengujian tarik adalah untuk mengetahui material tersebut liat atau tidak dengan mengukur perpanjangannya, untuk mengetahui tegangan dan regangan dari papan partikel yang telah dibuat. Hasil dari pengujian tersebut adalah grafik beban terhadap perpanjangan (elongasi).

Tegangan

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots (8)$$

Regangan

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{l_0} \dots\dots\dots (9)$$

Modulus Elastisitas

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \dots\dots\dots (10)$$

Dimana F = beban yang diberikan (N), A₀ = luas penampang mula-mula (m²), L₀ = panjang mula-mula, ΔL = pertambahan panjang (mm), σ = tegangan (MPa), ε = regangan (%), E = modulus elastisitas (GPa).

2.14. Kurva Tegangan-Regangan Komposit

Sebuah specimen uji tarik dikatakan elastis apabila diberikan beban, specimen meregang sesuai dengan beban. Efek ini disebut sifat elastis linier, jika beban ditiadakan spesimen kembali ke bentuk dan panjangnya semula. (Kalpakijan dkk, 2001).

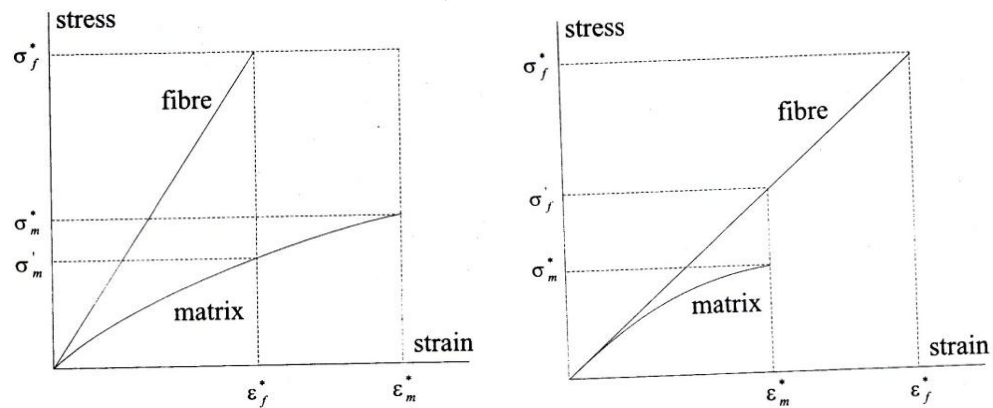
Ketika beban mulai mengalami peningkatan pada level tegangan tertentu, spesimen mengalami perubahan bentuk permanen (plastis). Pada tingkatan itu, tegangan dan regangan tidak lagi sebanding seperti pada daerah elastis. Tegangan dimana peristiwa ini terjadi disebut dengan tegangan *yield* (*yield strength*). Istilah tegangan yield juga digunakan untuk menetapkan titik dimana tegangan dan regangan tidak lagi sebanding.

Kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) adalah tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadinya perpatahan (*fracture*). Nilai kekuatan tarik maksimum ditentukan dari beban maksimum dibagi dengan luas penampang lintang awal. (Yuwono,2009)

Jika spesimen diberi beban diluar dari kekuatan tarik maksimumnya, maka akan terjadi *necking*. Sepanjang daerah *necking* luas daerah specimen tidak lagi seragam panjangnya dan lebih kecil pada daerah *necking*. Ketika pengujian diteruskan maka tegangan teknik akan turun dan specimen akan mengalami perpatahan di daerah *necking*. Tegangan teknik saat terjadi patah disebut sebagai tegangan patah atau tegangan putus. (Kalpakijan dkk, 2001)

Pada kurva tegangan-regangan komposit yang ditunjukkan oleh gambar 2.12 dibawah ini dapat dijelaskan bahwa pada titik O-A komposit (fiber dan matriks) mengalami deformasi elastis, yaitu perubahan bentuk dimana fiber dan matriks masih dapat kembali ke bentuk semula, pada titik A-B komposit mengalami deformasi plastis (perubahan bentuk secara permanen) dimana fiber masih mengalami fase elastis sedangkan matriksnya sudah tidak elastis.

Titik B merupakan titik regangan maksimum dari fiber, sehingga pada saat titik B menuju ke titik C fiber putus namun masih tertahan oleh matriks. Dari titik C-D matriks perlahan-lahan mulai putus, titik D merupakan titik maksimum kekuatan matriks menahan fiber sebelum akhirnya komposit mengalami patah/ putus total pada titik E.

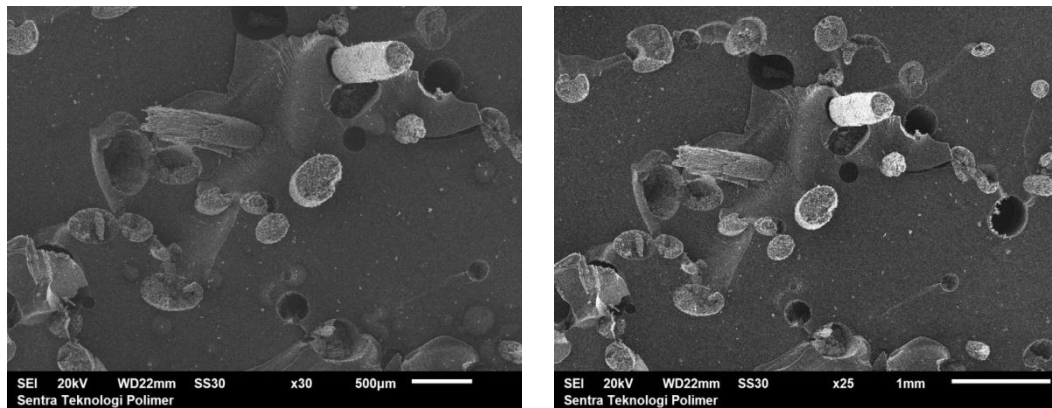


Gambar 12 . Kurva tegangan-regangan

2.15. Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengamati serat didalam matriks bersama dengan beberapa sifat ikatan antara matriks dengan serat penguatnya. Cara untuk mendapatkan struktur mikro dengan membaca berkas elektron, didalam SEM berkas elektron berupa noda kecil yang umumnya $1\mu\text{m}$ 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, yang artinya kita bisa menganalisa besar serat, kekasaran serat dan arah serat serta ikatan terhadap komponen matriksnya. Berikut ini adalah contoh dari foto Scanning Electron Microscope (SEM).

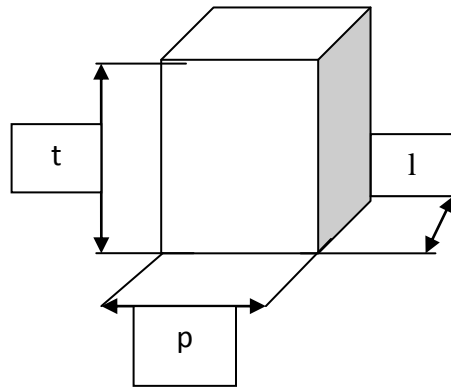


Gambar 13. Contoh Foto *Scanning Electron Microscope* (SEM)

(Adhan, 2013)

Prinsip kerja dari SEM adalah sebagai berikut:

- a. Sebuah pistol elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda.
- b. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel.
- c. Sinar elektron yang terfokus memindai (*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
- d. Ketika elektron mengenai sampel, maka sampel tersebut akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT).



Gambar 14. Spesimen untuk pengamatan dengan SEM

Keterangan gambar :

P : Panjang spesimen uji (mm)

t : Tinggi spesimen uji (mm)

l : Lebar Spesimen uji (mm)