II. KAJIAN PUSTAKA

A. Komposit

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material sehingga dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya.

Komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari logam, kekakuan jenis (*modulus Young/density*) dan kekuatan jenisnya lebih tinggi dari logam. Beberapa lamina komposit dapat ditumpuk dengan arah orientasi serat yang berbeda, gabungan lamina ini disebut sebagai laminat. Komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda, yaitu:

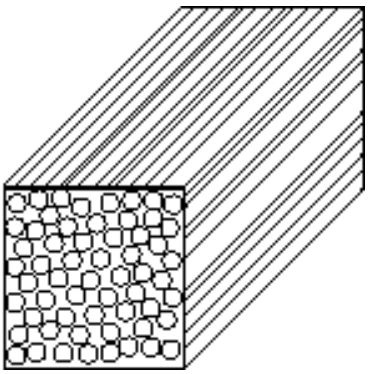
Penguat (*reinforcement*), yang mempunyai sifat kurang ductile tetapi lebih rigid serta lebih kuat, dalam laporan ini penguat komposit yang digunakan yaitu dari serat alam. Matriks umumnya lebih *ductile* tetapi mempunyai kekuatan dan *rigiditas* yang lebih rendah.Secara garis besar ada 3 macam jenis komposit berdasarkan penguat yang digunakannya, yaitu :

1. *Fibrous Composite*(Komposit Serat).

   Merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu laminat atau satu lapisan yang menggunakan penguat berupa serat / fiber. Fiber yang digunakan bisa berupa glass fibers, carbon fibers, aramid fibers (poly aramide), dan sebagainya. Fiber ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman.

   a. *Continous Fibre Composite*

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



Gambar 1. *Continous Fibre Composites* (Schwartz, 1984)

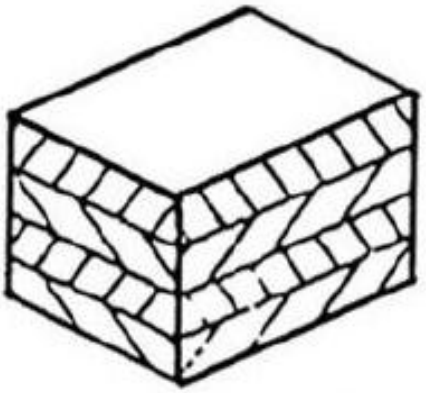
   b. *Woven Fibre Composites (bi-directional)*

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

Gambar 2. *Woven Fibre Composites* (Schwartz, 1984)

2. *Laminated Composites* (Komposit Laminat).

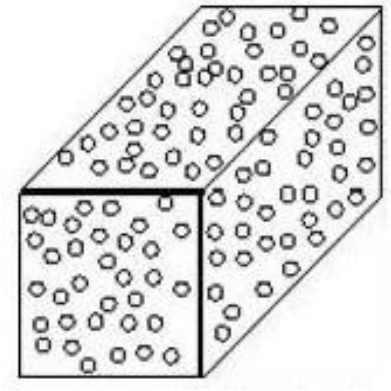
   Merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri.



Gambar 3. *Laminar composites* (Schwartz, 1984)

3. *Particulalate Composites* (Komposit Partikel).

   Merupakan komposit yang menggunakan partikel/serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya.



Gambar 4. Komposit Partikel (Schwartz, 1984)

Sehingga komposit dapat disimpulkan adalah sebagai dua macam atau lebih material yang digabungkan atau dikombinasikan dalam sekala makroskopis (dapat terlihat langsung oleh mata) sehingga menjadi material baru yang lebih berguna.

Komposit terdiri dari 2 bagian utama yaitu matriks, berfungsi untuk perekat atau pengikat dan pelindung filler (pengisi) dari kerusakan eksternal. Matriks yang umum digunakan : carbon, glass, kevlar, dll. *Filler* (pengisi), berfungsi sebagai Penguat dari matriks. Filler yang umum digunakan : *carbon*, *glass*, aramid, kevlar.

B. Klasifikasi Bahan Komposit

Klasifikasi bahan komposit dapat dibentuk dari sifat dan sturkturnya. Bahan komposit dapat diklasifikasikan kedalam beberapa jenis. Secara umum klasifikasi komposit yang sering digunakan antara lain seperti :

1. Klasifikasi menurut kombinasi material utama, seperti metal-organic atau metal anorganic.
2. Klasifikasi menurut karakteristik *bult-from*, seperti sistem matrik atau *laminate*.
3. Klasifikasi menurut istribusi unsure pokok, seperti *continous* dan *disontinous*.
4. Klasifikasi menurut fungsinya, seperti elektrikal atau structural (Schwartz, 1984)

Sedangkan klasifikasi menurut komposit serat (*fiber-matrik composites*) dibedakan menjadi beberapa macam antara lain :

1. *Fiber composite* (komposit serat) adalah gabungan serat dengan matrik
2. *Filled composite* adalah gabungan matrik continous skeletal dengan matrik yang kedua
3. *Flake composite* adalah gabungan serpih rata dengan metrik
4. *Particulate composite* adalah gabungan partikel dengan matrik
5. *Laminate composite* adalah gabungan lapisan atau unsur pokok lamina (Schwartz, 1984)

Secara umum bahan komposit terdiri dari dua macam, yaitu bahan komposit partikel (*particulate composite*) dan bahan komposit serat (*fiber composite*). Bahan komposit partikel terdiri dari partikel–partikel yang diikat oleh matrik. Bentuk partikel ini dapat bermacam–macam seperti bulat, kubik, tetragonal atau bahkan berbentuk yang tidak beraturan secara acak. Sedangkan bahan

komposit serat terdiri dari serat – serat yang diikat oleh matrik. Bentuknya ada dua macam yaitu serat panjang dan serat pendek.

1. Bahan Komposit Partikel

   Dalam struktur komposit, bahan komposit partikel tersusun dari partikel–partikel disebut bahan komposit partikel (*particulate composite*) menurut definisinya partikel ini berbentuk beberapa macam seperti bulat, kubik, tetragonal atau bahkan berbentuk yang tidak beraturan secara acak, tetapi rata–rata berdimensi sama.

   Bahan komposit partikel umunya digunakan sebagai pengisi dan penguat bahan komposit keramik (*ceramic matrik composites*). Bahan komposit partikel pada umumya lebih lemah dibanding bahan komposit serat. bahan komposit partikel mempunyai keunggulan, seperti ketahanan terhadap aus, tidak muda retak dan mempunyai daya pengikat dengan matrik yang baik. (Arbintarso, 2009)

2. Bahan Komposit Serat

   Unsur utama komposit adalah serat yang mempunyai banyak keunggulan, oleh karena itu bahan komposit serat yang paling banyak dipakai. Bahan komposit serat terdiri dari serat–serta yang terikat oleh matrik yang saling berhubungan. Bahan komposit serat ini terdiri dari dua macam, yaitu serat panjang (*continous fiber*) dan serat pendek (*short fiber* dan whisker).

C. 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

      1) *One dimensional reinforcement,* mempunyai kekuatan pada arah axis serat.

      2) *Two dimensional reinforcement (planar),* mempunyai kekuatan pada dua arah atau masing-masing arah orientasi serat.

      3) *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. Kelebihan 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.

4. Kekurangan Material Komposit

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

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

D. Serat

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

Serat dan *fiber* dalam bahan komposit berperan sebagai bahan utama yang menahan beban, sehingga besar kecilnya kekuatan bahan komposit sangat tergantung dari kekuatan serat pembentuknya. Semakin kecil bahan atau diameter serat yang mendekati Kristal, maka semakin kuat bahan tersebut, karena minimnya cacat pada material (Triyono & Diharjo, 2003).

1. Macam – Macam Jenis Serat

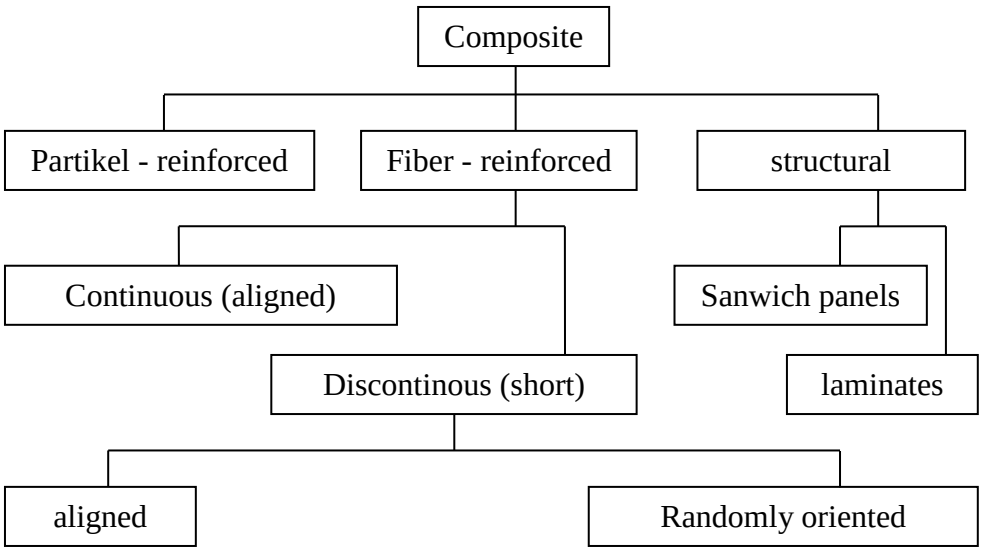
   Serat dalam kajian sebagai bahan penguat komposit dapat dibagi menjadi dua, yaitu serat alam dan serat sintetis. Serat alam dan sitetis banyak jenis dan klasifikasinya. Serat alam yang sering digunakan adalah serat pisang,

kapas, wol, serat nanas, serat rami dan serat sabut kelapa. Sedangkat serat sintetis diantaranya adalah *nylon, acrylic*, dan rayon.

2. Serat Alam

Serat alam adalah serat yang banyak diperoleh di alam sekitar, yang berasal dari tumbuh-tumbuhan seperti serat pelepah pisang, bambu, rosella, nanas, kelapa, dan ijuk. Saat ini serat alam mulai mendapatkan perhatian serius dari para ahli marerial komposit karena :

a. Serat alam memiliki kekuatan spesifik yang tinggi karena serat alam memiliki massa jenis yang rendah.
b. Serat alam mudah diperoleh dan merupakan sumber daya alam yang dapat diolah kembali, harganya relative murah, dan tidak beracun. Serat alam seperti ijuk, sabut kelapa, sisal, jerami, dan nanas merupakan hasil alam yang banyak tumbuh di Indonesia. Skema klasifikasi jenis serat alam adalah sebagai berikut :



Gambar 5. Klasifikasi Jenis Serat Alam
(Thi Thu Loan, 2006)

E. Serat Rami

Serat ialah suatu jenis bahan berupa potongan-potongan yang membentuk jaringan memanjang yang utuh ataupun senyawa. serat yang paling sering dijumpai disekitar kita yaitu kain. Bahan ini sangat penting dalam kehidupan kita, baik hewan maupun tumbuhan sebagai kebutuhan tubuh kita sendiri. Manusia menggunakan serat dalam banyak hal seperti: membuat tali, kain, kertas dll. Serat dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu serat alami dan serat sintetis (serat buatan manusia).Serat sintetis dapat diproduksi secara murah dalam jumlah yang besar.Serat alami memiliki kelebihan khususnya dalam hal kenyamanankarena terbuat dari tumbuhan dan hewan.(Kartini,2002)

Serat Rami yaitu serat alami(tumbuhan)yang dihasilkan oleh tanaman rami. Kulit batangnya banyak digunakan untuk baku tekstil.Serat rami juga bisa dipintal jadi benang yang akan dirajut menjadi kain. Karakternya sama dengan

kapas,tapi rami lebih berkilap, kuat, jauh dari bakteri dan dapat menyerap air dengan sangat baik. Serat rami sangat digemari oleh perancang karena teksturnya yang nyaman dan baik digunakan untuk busana apapun.

Gambar 6**.** Serat Rami (Kartini,2002)

Pengembangan rami (*Boehmeria nivea*) di Indonesia sudah dimulai sejak abad 19 oleh Pemerintah Kolonial Belanda. Tanaman rami cocok dikembangkan pada lahan yang kaya bahan organik dengan curah hujan berkisar antara 1.500-2.500 mm/tahun tersebar merata sepanjang tahun (Kartini,2002)

Kebutuhan serat pintal rami dunia berkisar antara 400.000-500.000 ton yang hanya dipasok oleh Cina, Brasil, dan Filipina sebesar 120.000-150.000 ton. Dalam periode 2000-2003 rata-rata impor rami Indonesia 11 ton dalam bentuk serat dan 196 ton dalam bentuk benang.(Kartini,2002)

Daun rami berbentuk seperti hati, dengan ukuran yang relatif cukup besar dibandingkan dengan daun tanaman lain yang sejenis. Daun berwarna hijau muda sampai hijau tua, tergantung varietas, umur, perawatan, dan sistem budi

daya. Secara garis besar, ada dua kelompok tanaman rami, yaitu rami putih yang memiliki lapisan bawah daun berwarna putih keabuan dan mengkilap, serta rami hijau dengan lapisan daun berwarna hijau dengan ukuran daun yang lebih kecil. Daun rami sedikit berbulu pendek sehingga terkesan agak kasar, namun relatif lunak dan tidak berkayu. Dari setiap kali pemotongan atau panen, hampir 44% dari total biomassa yang dihasilkan adalah daun, sehingga setiap tahun dapat dihasilkan daun segar sebanyak 14 ton/ha. Kandungan protein kasar daun rami cukup tinggi, berkisar 22-24%.(Kartini,2002)

Dengan demikian daun rami mempunyai potensi yang besar untuk pakan, baik untuk ternak ruminansia (sapi, domba dan kambing) maupun nonruminansia (seperti unggas) dan kelinci. Limbah berupa daun dalam bentuk tepung untuk campuran konsentrat pakan sebanyak 25% dapat meningkatkan bobot badan ternak setara konsentrat murni, limbah dekortikasi untuk pulp dan kompos. Di Garut telah dilakukan pengembangan rami terpadu dengan ternak domba dan konservasi lahan yang dirintis oleh Koppontren Darussalam, Garut.

Tabel 1. Sifat Mekanik Serat Rami (Schwartz, 1984.)

Sifat Mekanik	Nilai
Kelenturan	9.5×10^5 N/m^2
Kelembaban	12.0 %
Kehalusan	6.0 denier
Kuat Tarik	9.1×10^{10} N/m^2
Daya Mulur	3.7 %

F. Pengertian Material Komposit

Secara umum material komposit merupakan penggabungan dua atau lebih material berbeda (pengisi atau elemen penguat dan pengikat) yang kemudian disusun secara kombinasi sistematik untuk memperoleh sifat tertentu. Komposit sendiri dapat didefinisikan sebagai kombinasi antara 2 material atau lebih yang berbeda bentuknya, komposisi kimianya, dan tidak saling melarutkan antara materialnya dimana material yang satu berfungsi sebagai penguat dan material yang lainnya berfungsi sebagai pengikat untuk menjaga kesatuan unsur-unsurnya. Keuntungan penggunaan material komposit adalah (Kartini,2002):

1. Bobotnya ringan tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang baik.
2. Spesimen dengan permukaan yang baik.
3. Biaya produksi lebih murah.
4. Umur pemakaian lama.
5. Tahan terhadap korosi.

Sedangkan kekurangan dari material komposit adalah (Kartini,2002) :

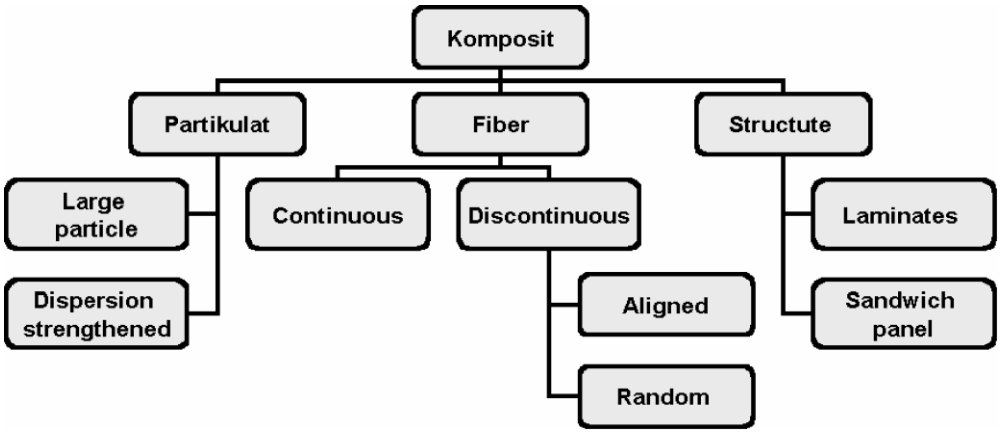
1. Komposit tertentu peka terhadap perubahan temperatur yang drastis.
2. Beberapa bahan penyusun komposit mudah terbakar.
3. Perbaikan bila terjadi kerusakan lebih sulit.

G. Klasifikasi Komposit

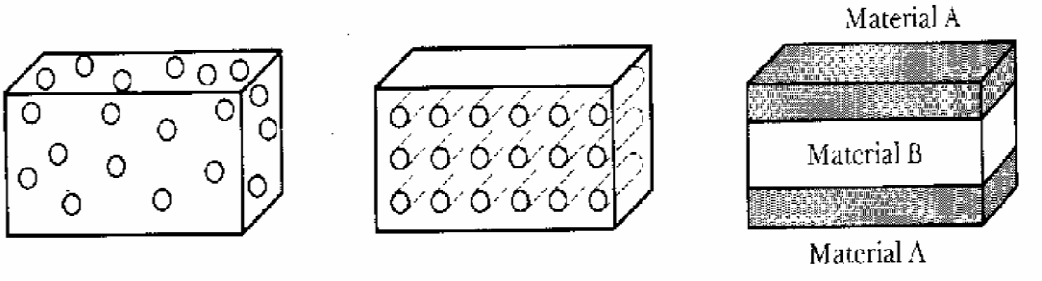
Secara garis besar ada 3 macam jenis komposit berdasarkan penguat yang digunakan , yaitu:

1. *Fibrous Composites* (Komposit Serat) merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu lamina atau satu lapisan yang menggunakan penguat berupa serat (fiber).
2. *Laminated Composites* (Komposit Laminat) merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih.
3. *Particulate Composites* (Komposit Partikel) merupakan komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya.

Pembagian komposit berdasarkan jenis penguatnya dapat dilihat dari gambar dibawah ini:



Gambar **7.** Pengelompokan komposit berdasarkan jenis penguatnya (Schwartz, 1984.).



Partikel Fiber Struktur

Gambar 8. Ilustrasi komposit berdasarkan penguatnya (Schwartz, 1984.)

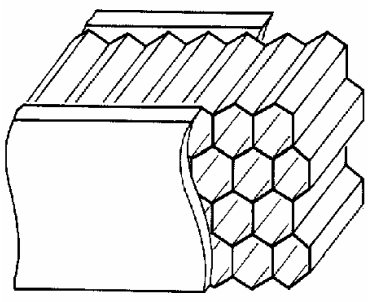
Berdasarkan matrik, komposit dapat diklasifikasikan kedalam tiga kelompok besar yaitu :

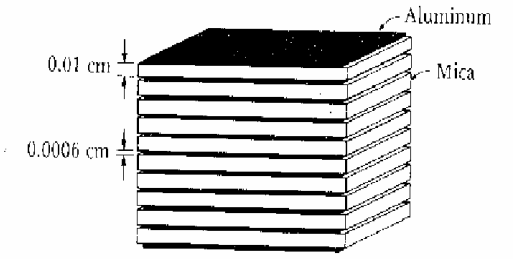
1. Komposit matrik logam (KML), logam sebagi matrik

2. Komposit matrik polimer (KMP), polimer sebagai matrik

3. Komposit matrik keramik (KMK), keramik sebagai matrik

Berdasarkan struktur, komposit dapat dibagi menjadi dua yaitu struktur *laminate* dan struktur *sandwich*,





Struktur *laminate* *Sandwich panel*

Gambar 9. Ilustrasi komposit berdasarkan Strukturnya
(Schwartz, 1984.)

H. Komposit Partikel

Komposit partikel merupakan komposit yang mengandung bahan penguat berbentuk partikel atau serbuk. Partikel sebagai bahan penguat sangat menentukan sifat mekanik dari komposit karena meneruskan beban yang didistribusikan oleh matrik. Ukuran, bentuk, dan material partikel adalah faktor-faktor yang mempengaruhi sifat mekanik dari komposit partikel. (Mathew,1994)

Sifat-sifat komposit partikel dipengaruhi beberapa faktor, antara lain:

1. Ukuran dan bentuk partikel
2. Sifat-sifat atau bahan partikel
3. Rancangan partikel

4. Rasio perbandingan antara partikel
5. Jenis matrik.

Hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan komposit partikel adalah menghilangkan unsur udara dan air karena partikel yang berongga atau memiliki lubang udara kurang baik digunakan dalam campuran komposit. Adanya udara dan air di sela-sela partikel dapat mengurangi kekuatan dan mengurangi ketahanan retak bahan. (Mathew,1994)

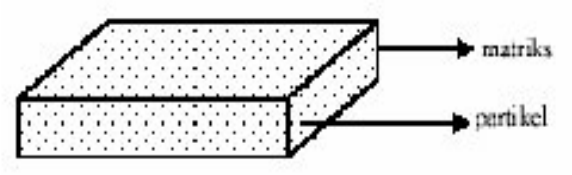
Partikel sebagai elemen penguat sangat menentukkan sifat mekanik dari komposit karena meneruskan beban yang didisrtibusikan oleh matrik. Ukuran, bentuk dan material partikel adalah faktor-faktor yang memepengaruhi property mekanik dari komposit partikel.

Pengaruh peningkatan kehalusan partikel pada komposit antara lain. (Mathew,1994) :

1. Memperkecil diameter pori.
3. Meningkatkan kerapatan
4. Meningkatkan nilai porositas
5. Meningkatkan kekuatan tekan dan kekuatan lentur.

Keunggulan komposit polimer yang menggunakan partikel antara lain dapat menigkatkan sifat fisis material seperti kekuatan mekanis, dan modulus elastisitas, serta kekuatan komposit lebih homogen (merata). Dalam pembuatan

komposit partikel sangat penting menghilangkan unsur udara dan air karena partikel yang berongga atau yang memiliki lubang udara kurang baik jika digunakan dalam campuran komposit. Adanya udara dan air pada sela-sela partikel dalam komposit dapat mengurangi kekuatan dan ketahanan retak bahan. (Mathew,1994)



Gambar 10. Komposit Partikel (Mathew,1994)

Partikel yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah potong dari batu marmer. Dalam pembuatan komposit limbah potong dari batu marmer ini sangat mudah dibuat, karena limbah ini sudah berbentuk partikel halus, selanjutnya di pisahkan menggunakan ayakan untuk memperoleh variasi ukuran partikelnya. Limbah batu marmer dalam penelitian ini dijadikan partikel penguat komposit guna mengetahui keunggulan-keunggulan yang dimiliki oleh limbah batu marmer.

I. 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 :

1. Pelindung komposit dari kerusakan-kerusakan, baik kerusakan secara mekanis maupun kimia.

2. Untuk mentransfer beban dari luar ke bahan pengisi
3. Untuk mengikat bahan pengisi

Secara umum, matriks dapat diklasifikasikan atas 4 jenis yaitu :

1. 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 ikat silang sehingga bahan tersebut dapat didaur ulang kembali.
2. Termoset, Suatu matriks dikatakan termoset apabila matriks tersebut tidak dapat didaur ulang kembali bila dipanaskan. Hal ini disebabkan molekul matriks mengalami ikat silang, sehingga bila matriks telah mengeras tidak dapat lagi dilunakan.
3. Elastomer merupakan jenis polimer dengan elastisitas tinggi.
4. Polimer Natural seperti selulosa dan protein dimana bahan dasar yang terbuat dari tumbuhan dan hewan.

Matrik dalam komposit mempunyai peran sebagai berikut (Sulistia Rudi, 2006):

1. Sebagai pengikat partikel penguat.
2. Pendistribusi beban yang dikenakan pada material koposit kepada partikel penguat.
3. Melindungi partikel penguat dari kerusakan eksternal.

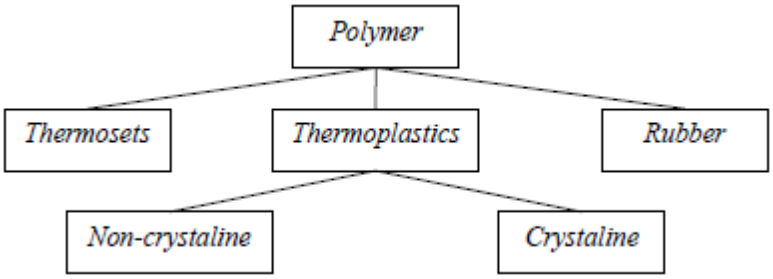
Secara umum matrik terdiri dari 3 macam yaitu:

1. Polimer

2. Logam
3. Keramik

J. Polimer

Polimer merupakan suatu makro molekul, tersusun dari molekul rantai panjang yang berulang-ulang. Saat ini polimer digunakan secara luas karena sifat polimer lebih ringan dan tidak korosif dibandingkan dengan matrik logam dan harganya yang relatif lebih murah dibandingkan matrik keramik. Polimer terdiri dari banyak monomer yang saling mengikat dalam ikatan kimia (kovalen) membentuk suatu solid. Polimer matrik komposit secara umum terdiri dari tiga macam yaitu termoset, termoplastik (non-cristaline dan crystaline), dan rubber (karet).



Gambar 11. Klasifikasi polimer untuk matrik komposit
(Schwartz, 1984.)

Polimer terbuat dari ribuan unit molekul kecil yang disebut monomer. Proses penggabungan molekul-molekul tersebut dinamakan polimerisasi dan jumlah unit dalam molekul besar yang tersusun dinamakan derajat polimerisasi.

Nama-nama dari polimer yang tersusun dari awalan poli dan diikuti nama monomernya, misalnya poliester tersusun dari poli dan ester. Secara umum terdapat dua macam plastik, yaitu:

1. Termoset

   Termoset adalah salah satu jenis plastik yang sering digunakan dalam pembuatan komposit dengan penguat serat maupun serbuk. Matrik jenis ini memiliki rantai-rantai molekul yang saling berhubungan sehingga walaupun mengalami pemanasan dan penekanan, masing-masing rantai molekul tidak akan saling bergerak relatif. Matrik akan mencair dan kemudian mengeras bersamaan dengan terbentuknya suatu jaringan ikatan rantai monomer sehingga akan bersifat stabil. Beberapa kelebihan penggunaan termoset sebagai matrik adalah :

   a. Mengikat filler dengan mudah dan baik
   b. Memiliki viskositas yang rendah
   c. Memiliki kelengketan yang baik dengan bahan penguat
   d. Kekakuan yang baik
   e. Stabilitas dimensi yang baik
   f. Ringan
   g. Tahan korosi

Macam-macam dari plastik jenis termoset antara lain sebagai berikut :

a. Polyester

Jenis perekat sintetis yang digunakan dalam industri papan serat maupun papan partikel ada dua macam yaitu: *Urea formaldehida dan Phenol formaldehida.* Perekat resin *urea formaldehida* biasanya digunakan untuk membuat jenis papan yang pada aplikasinya digunakan didalam ruangan (*interior*) dan tidak memerlukan ketahanan yang kuat terhadap cuaca.

Keuntungan dari *urea formaldehida* adalah harganya yang relatif murah, mudah dalam penuangan dan proses pemotongan cepat dan tidak meninggalkan bekas warna pada papan yang dihasilkan. Untuk papan yang memerlukan ketahanan terhadap cuaca atau digunakan pada luar ruangan biasanya perekat yang digunakan adalah resin *phenol formaldehyde.*

Polyester tak jenuh merupakan salah satu jenis polimer termoset. *Polyester* merupakan pilihan yang banyak digunakan dalam komposit modern. Bahan ini memiliki ketahanan sifat mekanik yang baik ketika beroperasi pada kondisi lingkungan yang panas maupun basah, ketahanan kimia yang baik, kestabilan bentuk, harga yang relatif rendah (dibandingkan dengan harga epoxy) dan memiliki pelekatan yang baik pada berbagai penguat.

Keunggulan *polyester* bila dibandingkan dengan resin lainnya adalah :

1) Matriks *polyester* lebih keras.
2) Harganya yang lebih murah.
3) Mempunyai daya tahan terhadap air, cuaca, dan pengaruh zat-zat kimia.

Sifat-sifat fisik dari bahan *polyester* yaitu :

1) Retakan baik.
2) Tahan terhadap bahan kimia.
3) Pengerutan sedikit (saat *curing*)

Sifat-sifat mekanik*polyester* adalah sebagai berikut :

1) Temperatur optimal 110°C-140°C.
2) Ketahanan dingin adalah baik secara relative.
3) Bila dimasukkan air mendidih untuk waktu yang lama, bahan akan retak atau pecah.
4) Kemampuan terhadap cuaca baik.
5) Tahan terhadap kelembaban dan sinar ultra violet.

Polyester merupakan resin yang sangat banyak dipergunakan pada pembuatan komposit karena keunggulan resin tersebut jika dibandingkan dengan resin yang lain.

Keunggulan *polyester* dengan resin yang lain bla dibandingkan adalah :

1) Matriks*polyester* lebih keras.
2) Menghasilkan bahan yang transparan.
3) Bersifat kuat.
4) Mempunyai daya tahan yang bak terhadap air, cuaca dan pengaruh zat-zat kimia.
5) Dapat dilombinasi dengan semua tipe serat gelas.
6) Harganya yang lebih murah.

b. Epoksi

Resin ini banyak digunakan untuk aplikasi rekayasa karena memiliki sifat-sifat yang lebih unggul dibandingkan dengan resin lainnya, antara lain kekuatan tarik serta kekuatan tekan yang tinggi, tahan terhadap bahan kimia, sedikit *volatiles* (Gas-gas pengotor), stabilitas ukuran yang baik, ketahanan termal yang tinggi, dan mudah dibentuk tanpa dipanaskan terlebih dahulu. Epoxy juga 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.

c. Fenol

Resin fenol adalah jenis termoset pertama yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Memiliki sifat kestabilan dimensi yang baik, rambatan patahan yang lambat, ketahanan kimia yang baik, dan emisi racun yang rendah pada saat terbakar. Material ini banyak digunakan sebagai peralatan elektronik, dan beberapa peralatan otomotif.

Tabel 2. Perbandingan sifat-sifat matrik thermoset(Schwartz, 1984.)

	EPOKSI	**POLIESTER**	**FENOL**
Masa Jenis (Mg/m^3)	1,1-1,4	1,1-1,5	1,3
Modulus Young (Gpa)	2,1-6,0	1,3-4,5	4,4
Kekuatan Tarik (Mpa)	35-90	45-85	50-60

2. Termoplastik

Resin ini merupakan jenis resin yang memerlukan pemanasan pada proses pembentukannya. Termoplastik digunakan secara luas sebagai bahan dasar penguat pada plastik. Resin ini mempunyai ikatan linear antara monomer-monomer penyusunnya, sehingga kestabilan struktur kimianya relatif rendah. Reaksi kimia pada thermoplastik resin yang bersifat reversibel memungkinkan suatu komponen untuk dibentuk kembali. Sifat-sifat termoplastik adalah densitas antara 1,06 sampai 1,42 kg/m3. Selain itu termoplastik mempunyai sifat isolator yang baik, mempunyai ketahanan sampai temperatur 260^0C, mudah dibentuk, dan tahan terhadap korosi yang sangat baik.

Macam-macam dari plastik jenis termoplastik adalah sebagai berikut :(Michael, 1998)

a. Polietilen

Polietilen dibuat melalui polimerisasi gas etilen. Secara kimia polietilen mempunyai berat molekul yang tinggi dan terbakar bila dinyalakan. Polietilen merupakan polimer yang memiliki sifat listrik yang baik. Sehingga banyak dipakai sebagai bahan isolasi untuk radar, TV dan berbagai alat komunikasi.

b. Polipropilen

Polipropilen mempunyai massa jenis yang rendah dan termasuk kelompok yang paling ringan di antara bahan polimer. Resin ini memiliki

kekuatan tarik, kekuatan lentur dan kekakuannya yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan polietilen.

Akan tetapi memiliki ketahanan impak yang lebih rendah. Polipropilen memilki penyusutan yang kecil saat proses pencetakan sehingga memiliki kestabilan dimensi yang lebih baik. Plastik polipropilen banyak digunakan dalam produksi peralatan meja, keranjang, peralatan kamar mandi, mainan, dan sebagainya.

c. Nilon

Nilon mempunyai ketahanan terhadap reaksi kimia dan melting pointnya 260 ^{o}C. Merupakan plastik berstruktur kristalin, tangguh dan memiliki sifat listrik yang baik tetapi memiliki kestabilan dimensi yang rendah apabila dibandingkan dengan jenis resin yang lain. Aplikasi nilon banyak sekali digunakan dalam industri peralatan otomotif.

d. Polistiren

Resin ini memiliki monomer stiren yang dibuat dari benzena dan etilen yang dipolimerisasikan oleh panas, cahaya, dan katalis. Resin ini tidak memilki warna yang khas dan merupakan resin trasparan. Resin ini memiliki massa jenis yang lebih rendah daripada polietilen dan polipropilen, dan sedikit menyerap air tetapi strukturnya rapuh serta memiliki tahanan panas dan kimia yang rendah.

e. Acetals

Acetals mempunyai kekakuan yang baik, ketahanan lelah yang memuaskan, mempunyai stabilitas dimensional yang baik, koefisien gesek yang kecil, dan ketahanan temperatur hingga 90 ^{o}C. Material ini digunakan sebagai bahan komponen yang memerlukan ketelitian.

f. Polysulfones

Polysulfones mempunyai penampakan yang transparan. Material ini mempunyai ketangguhan dan ketahanan panas yang baik. Mempunyai ketahanan kekakuan yang baik sampai temperatur 174 ^{o}C. Penggunaan dari material ini adalah sebagai komponen elektronik seperti connector, komponen TV, peralatan kedokteran, dan bahan pipa tahan karat.

K. Bahan Penguat

Ikatan antara matrik dengan bahan penguat sangat penting, karena beban yang diberikan pada komposit diteruskan pada bahan penguat. Oleh karena itu modulus elastisitas bahan penguat harus lebih tinggi daripada modulus elastisitas matriknya karena bahan penguat memikul beban yang diterima komposit yang diteruskan dalam matriks (Michael, 1998)

Pada umumnya bentuk bahan penguat dibedakan menjadi tiga macam yaitu:

1. Serat

   Serat (fiber) adalah suatu jenis bahan berupa potongan-potongan komponen yang membentuk jaringan memanjang yang utuh. Serat dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu serat alami dan serat sintetis

2. Partikel

   Terdiri dari satu atau lebih partikel yang tersuspensi di dalam matriks dari matriks lainnya. Partikel logam dan non-logam dapat digunakan sebagai matriks

3. Serpihan

   Serpihan merupakan jenis bahan ang berasal dari batuan yang ukuranya lebih besar dari penguat partikel.

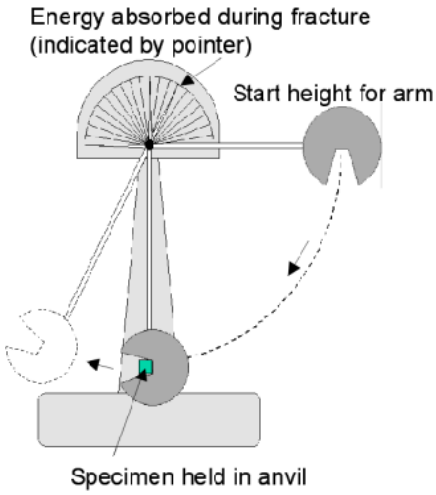
L. Uji *Impact*

Uji *impact* adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*). Pada uji *impact* terjadi proses penyerapan energi yang besar ketika beban menumbuk spesimen. Energi yang diserap material ini dapat dihitung dengan menggunakan prinsip perbedaan energi potensial. Proses penyerapan energi ini akan diubah menjadi berbagai respon material, yaitu :

1. Deformasi Plastis
2. Efek Hysteresis
3. Efek Inersia

Prinsip pengujian *impact* ini adalah menghitung energi yang diberikan oleh beban (pendulum) dan menghitung energi yang diserap oleh specimen. Pada

saat beban dinaikkan pada ketinggian tertentu, beban memiliki energi potensial maksimum, kemudian saat akan menumbuk spesimen, energi kinetik mencapai maksimum. Energi kinetik maksimum tersebut akan diserap sebagian oleh spesimen hingga spesimen tersebut patah.



Gambar 12. Skema pengujian impak

Nilai harga *impact* pada suatu spesimen adalah energi yang diserap tiap satuan luas penampang lintang spesimen uji. Persamaannya sebagai berikut (Hartanto, 2009)

$$HI = \frac{E}{A} = \frac{m\,.\,g\,(h1-h2)}{A} \quad \text{.....} \quad (1)$$

Keterangan :

m = massa bandul pemukul

g = percepatan gravitasi

h1 = tinggi pusat bandul sebelum pemukulan

h2 = tinggi pusat bandul setelah pemukulan

M. Jenis-Jenis Metode *Impact*

Secara umum metode pengujian *impact* terdiri dari 2 jenis, yaitu :

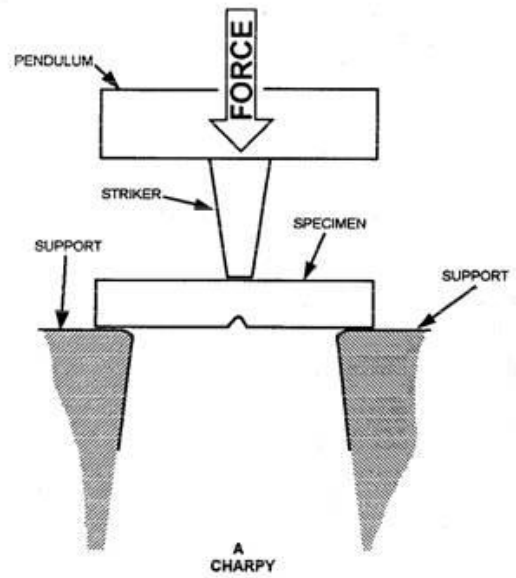
1. Metode *Charpy*

   Pengujian *impact Charpy* banyak digunakan di Amerika Serikat. Benda uji *Charpy* mempunyai luas penampang lintang bujursangkar (10 x 10 mm) dan mempunyai takik V-45°, dengan jari-jari dasar 0,25 mm dan kedalaman 2 mm.

Benda uji diletakkan pada tumpuan dalam posisi mendatar dan bagian yang tak bertakik diberi beban *impact* dengan ayunan bandul (kecepatan *impact* sekitar 16 ft/detik). Benda uji akan melengkung dan patah pada laju regangan yang tinggi, kira-kira 10^3 detik^(-1) (Hartanto, 2009)

Ada beberapa nomor standar uji metode *charpy* sesuai dengan ASTM, yaitu :

a. ASTM D 256 – 00
b. ASTM D 256 – 01
c. ASTM D 256 – 02
d. ASTM D 256 – 03
e. ASTM D 256 – 04



Gambar 13. Metode Pengujian *Impact Charpy*

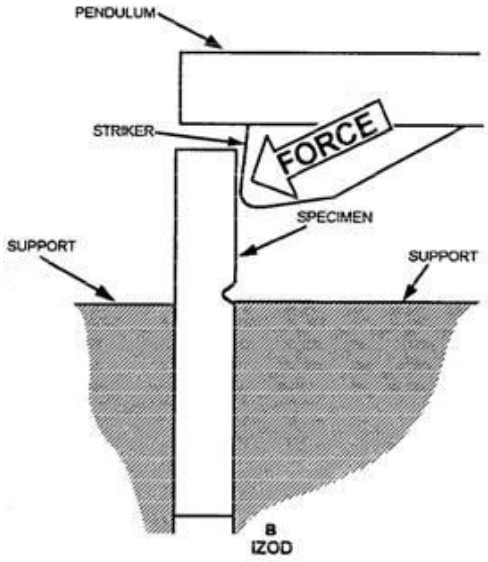
2. Metode *Izod*

Benda uji *Izod* lazim digunakan di Inggris, namun saat ini jarang digunakan. Benda uji *Izod* mempunyai penampang lintang bujursangkar atau lingkaran dan bertakik V di dekat ujung yang dijepit

Ada beberapa nomor standar uji metode *Izod* sesuai dengan ASTM, yaitu :

f. ASTM D 6110 – 02

g. ASTM D 6110 – 04



Gambar 14. Metode Pengujian *impact Izod*

N. Perpatahan *Impact*

Faktor-faktor yang mempengaruhi perpatahan ada beberapa hal, yaitu (Callister,2003):

1. Temperatur

Pada temperatur yang sangat rendah, spesimen dapat bersifat getas. Hal tersebut disebabkan butiran-butiran atom spesimen berotasi lebih cepat dan bervibrasi sehingga lebih leluasa untuk melakukan slip sistem.

2. Jenis Material

   Jenis material yang atom-atomnya membentuk struktur FCC cenderung lebih ulet dibandingkan yang membentuk struktur BCC. Hal tersebut terjadi karena atom-atom pada struktru FCC lebih banyak melakukan slip sistem sehingga banyak menyerap energi ketika dilakukan uji *impact.*

3. Arah Butiran Spesimen

   Arah butiran spesimen yang tegak lurus dengan arah pembebanan menyebabkan harga *impact* suatu spesimen lebih tinggi daripada arah spesimen yang sejajar dengan arah pembebanan. Hal tersebut terjadi karena pembebanan memerlukan energi lebih untuk memecah butiran-butiran spesimen tersebut.

4. Kecepatan Pembebanan

   Pembebanan yang terlalu cepat menyebabkan spesimen mempunyai lebih sedikit waktu yang diperlukan untuk menyerap energi, sehingga hal tersebut mempunyai pengaruh harga *impact* yang berbeda pada kecepatan yang berbeda

5. Tegangan *Triaxial*

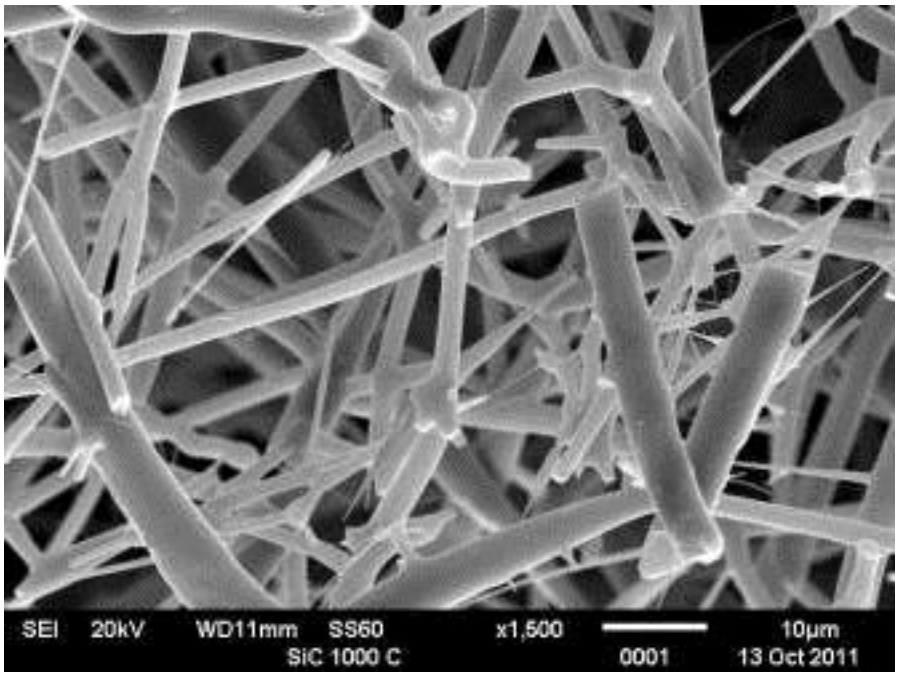
   Tegangan *triaxial* adalah tegangan tiga arah yang hanya terjadi di takikan (*notch*). Tegangan pada spesimen akan berpusat pada takikan tersebut sehingga bentuk takikan akan mempengaruhi nilai harga *impact*.

O. *Scanning Electrone Microscope* (SEM)

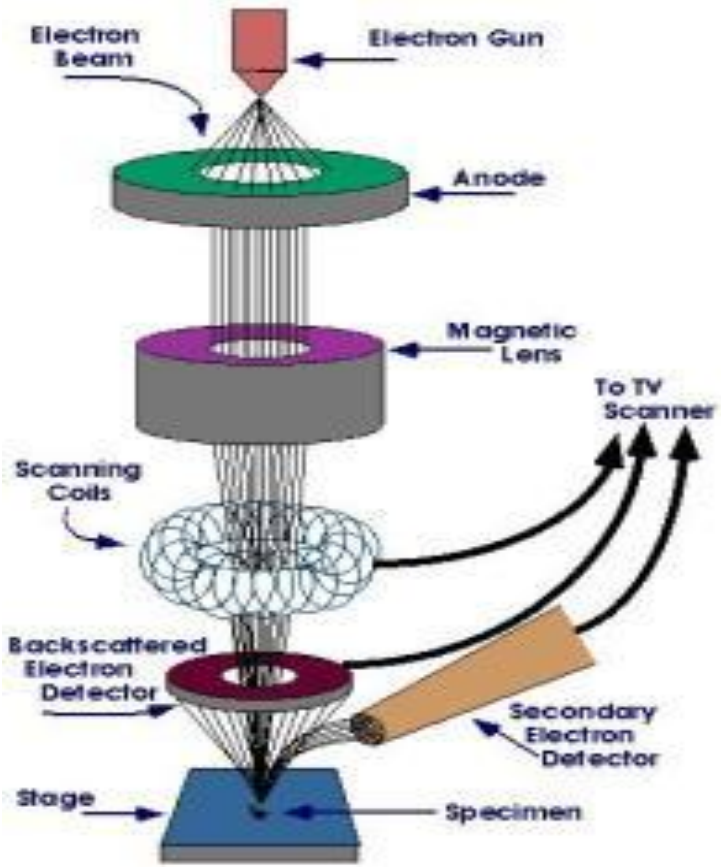
Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengamati serat didalam matriks bersama dengan beberapa sifat ikatan

antara matriks dengan serat penguatnya. Cara untuk mendapatkan struktur mikro dengan membaca berkas elektron, didalam SEM berkas elektron berupa noda kecil yang umumnya 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, 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 15. Contoh foto *scanning electrone microscope* (SEM)



Gambar 16. Skema mikroskop elektron (http://www.bacteria-world.com/what-is-SEM.htm)

Prinsip kerja dari SEM adalah sebagai berikut :

1. Sebuah pistol elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda.
2. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel.
3. Sinar elektron yang terfokus memindai (*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.

4. Ketika elektron mengenai sampel, maka sampel tersebut akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT).