

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Serat alam memiliki segudang manfaat dalam kehidupan manusia seperti di bidang industri, otomotif, transportasi dan biomedis. Dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu ketersediaan di alam yang melimpah, harganya yang terjangkau, memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, bahannya fleksibel dan dapat diperbarui. Hal ini menjadi landasan para ilmuwan untuk memanfaatkan serat alam untuk kelangsungan hidup. Serat alam merupakan penguat yang sangat menjanjikan pada komposit dan mampu menggeser serat sintetik (serat *glass*) karena merusak lingkungan, harga yang tidak ekonomis dan massa jenisnya besar (Sabuin dkk 2015).

Serat sisal atau *agave sisalana perrine* mengandung 78% selulosa, 8% lignin, 10% hemiselulosa dan 1% *ash* (Waikambo dkk 2002). Adanya ekstrak *hydroalcoholic* dari serat sisal diketahui menghambat bakteri *Candida albicans* penyebab penyakit kulit (Santos dkk, 2009).

Stepashkin dkk (2012) melakukan penelitian tentang modifikasi serat dan dampaknya pada struktur permukaan, fisik dan mekanik dari serat karbon. Metode yang digunakan dengan modifikasi kimia oleh asam nitrat dengan konsentrasi 68.3%. Serat direndam selama 1 sampai 72 jam dengan suhu 25°C. Hal ini ditujukan untuk meningkatkan gaya adhesi untuk mengikat matriks.

Joseph dkk (1993) melakukan penelitian tentang pengaruh panjang serat sisal terhadap sifat tarik komposit dengan menggunakan matriks *polyethelene*. Variasi panjang serat 2.1 mm, 5.8 mm dan 9.2 mm dan perbandingan fraksi 20:80 dengan menggunakan orientasi serat acak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik paling tinggi dimiliki oleh panjang serat 5.8 mm yaitu sebesar 12,5 MPa

Pilliar dkk (1976) melakukan penelitian membandingkan potensi karbon sebagai bahan implan yaitu semen tulang dengan diperkuat *polimethyl methacrylate* (PMMA) dengan PMMA murni. Penelitian melakukan uji tarik dengan menggunakan ASTM 638 untuk mengetahui kekuatan tarik karbon yang

diperkuat PMMA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik karbon yang diperkuat dengan PMMA sebesar 38 MPa lebih tinggi dari kekuatan tarik PMMA murni sebesar 24 MPa. Hasil menunjukkan bahwa serat karbon yang diperkuat PMMA tidak abrasif dengan jaringan tubuh manusia manusia dan semen tulang yang dihasilkan lebih kuat dan tahan lebih lama dibandingkan dengan PMMA murni.

Penelitian yang menggunakan komposit hibrid juga banyak dilakukan seperti Khanam dkk (2010) meneliti tentang komposit hibrid serat sisal/karbon terhadap sifat tarik, lentur dan ketahanan kimia menggunakan matriks *polyester* untuk aplikasi otomotif. Penelitian ini menggunakan perbandingan rasio berat sisal/karbon 75:25, 50:50, dan 25:75 dengan orientasi serat secara acak terhadap sifat tarik dan lentur. Uji mekanis pada penelitian mengacu pada ASTM 638 dan menggunakan Teknik hand *lay-up* Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio berat sisal/karbon 25:75 memiliki kekuatan tarik paling tinggi sebesar 50,85 MPa dan modulus elastisitas sebesar 2,37 Gpa dibandingkan dengan perbandingan rasio berat sisal/karbon 75:25 dan 50:50. Hal ini menunjukkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas meningkat dengan meningkatkan kandungan serat karbon komposit hibrid sisal/karbon.

Singh dkk (2008) melakukan penelitian tentang modifikasi *hydroxyapatite* oleh karbon *nanotube* yang diperkuat *polimethyl methacrylate* yang diaplikasikan pada bidang biomedis. Penelitian ini menggunakan Teknik *freeze-granulation* untuk menyiapkan *nanocomposite* baru *polimethyl methacrylate* (PMMA) dimodifikasi *hydroxyapatite* (HA) dengan karbon *nanotube multiwalled* (MWCNTs) sebagai penguat generasi baru semen tulang biomedis dan pelapis implant. Teknik *freeze-granulation* juga meningkatkan homogenitas material dan meningkatkan disperse MWCNTs dalam sebuah matriks komposit serta bahan nano komposit dipelajari dengan difraksi sinar-X dan SEM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat mekanik dari komposit yang diperkuat MWCNT yang dilihat dari lekukan menunjukkan bahwa konsentrasi 0.1% berat MWCNT di PMMA/HA memberikan sifat mekanik yang terbaik.

Berdasarkan beberapa contoh penelitian di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa komposit hibrid dapat meningkatkan kekuatan mekanik komposit seperti

sifat tarik, lentur, regangan dan lain-lain. Kekuatan mekanik komposit juga dipengaruhi oleh fraksi volume serat, orientasi serat dan pengaruh perlakuan baik pada serat maupun pada matriksnya.

## 2.2 LANDASAN TEORI

### 2.2.1 Pengertian Komposit

Komposit merupakan penggabungan dua jenis material atau lebih yang di dalamnya terdapat antara matriks dan penguat sehingga menghasilkan komposit dengan material yang mempunyai sifat mekanis dan karakteristik berbeda dari pembentuknya dan diperoleh material baru (Widodo 2007). Komposit disusun dari dua komponen yaitu matriks/resin dan penguat (*reinforcement*) atau bahan pengisi (*filler*). Filler berfungsi sebagai penguat berupa partikel atau serat yang menerima distribusi tegangan dari komposit.

Penggunaan komposit diberbagai bidang tergantung pada karakteristik fisik, termal, kimia dan mekanisnya. Kelebihan komposit terhadap berbagai paduan logam diantaranya ringan, relatif murah, kekakuan spesifik yang tinggi dan kekuatan spesifik, ketahanan lelah yang baik, tahan korosi, perambatan panas yang rendah.

### 2.2.2 Penyusun Bahan Komposit

Pada dasarnya komposit terdiri dari 2 bahan penyusun :

#### 1. Matriks

Matriks merupakan fasa di dalam komposit yang mempunyai bagian/fraksi volume besar (dominan). Matriks memiliki fungsi mentransfer tegangan ke serat, melindungi serat, dibentuknya ikatan koheren dan lain-lain.



Gambar 2.1 Ilustrasi matriks komposit

## 2. *Reinforced* atau *filler* atau *fiber*

*Reinforced* atau *filler* atau *fiber* disebut juga penguat yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit



Gambar 2.2 Ilustrasi *reinforced* atau penguat komposit

### 2.2.3 *Properties* Komposit

Karakteristik dan sifat dari komposit dipengaruhi oleh :

#### 1. Bentuk dan penyusunan struktural dari penyusun

Karakteristik komposit dapat dipengaruhi oleh bentuk dan cara penyusunan komposit agar memperoleh komposit yang baik

#### 2. Interaksi antar penyusunan

Komposit yang didalamnya terjadi interaksi antar penyusun dapat meningkatkan sifat dari komposit

#### 3. Material yang menjadi komposit

Menurut *rule of mixture* karakteristik komposit ditentukan dari karakteristik penyusun komposit sehingga mempunyai perbandingan secara rinci.

### 2.2.4 Klasifikasi Material Komposit Berdasarkan Bentuk Komponen Struktural

Menurut Jones (1975) komposit dibedakan menjadi 3 macam :

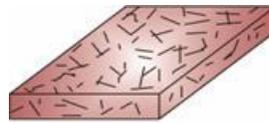
1. Komposit serat (*fibrous composites*)
2. Komposit partikel (*particulate composites*)
3. Komposit lapis (*laminates composites*)

#### 2.2.4.1 Komposit Serat (*Fibrous Composites*)

Komposit serat merupakan komposit yang terdiri dari *fiber*/penguat dalam matriks. Dilihat dari proses alami serat yang berbentuk curah(*bulk*) mempunyai kekuatan yang rendah dibanding serat yang berbentuk panjang. Komposit ini hanya memiliki satu penguat di dalam lapisan atau lamina berupa serat/fiber. *Fiber* yang biasa digunakan *carbon fibers*, *fiber glass*, *aramid fibers* dan lain-lain. *Fiber*/penguat dapat disusun secara acak dan dibentuk seperti anyaman dengan orientasi tertentu. Diameter serat berukuran mendekati kristal, menurut Jones (1975) serat memiliki kekakuan dan kekuatan terhadap densitas yang tinggi.

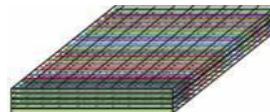
Komposit juga dibedakan dengan cara diperkuatnya serat menjadi beberapa komposit diantaranya :

1. *Chopped fiber composites* (serat yang berbentuk pendek/acak yang memperkuat komposit)



Gambar 2.3 Serat Berbentuk Pendek/Acak (Gibson, 1994)

2. *Woven fiber composites* (serat yang berbentuk anyaman yang memperkuat komposit)



Gambar 2.4 Serat Berbentuk Anyaman (Gibson, 1994)

3. *Continuous fiber composite* (serat yang berbentuk *continue* yang memperkuat komposit)



Gambar 2.5 Serat Berbentuk *continue* (Gibson, 1994)

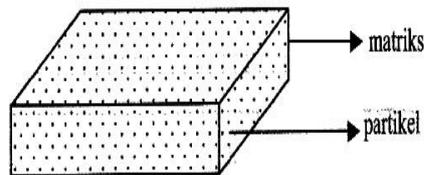
4. *Hybrid composite* (komposit berbentuk serat kontinyu dan serat acak yang memperkuat komposit)



Gambar 2.6 Serat Berbentuk Kontinyu dan Serat Acak (Gibson, 1994)

#### 2.2.4.2 Komposit Partikel (Particulate Composites)

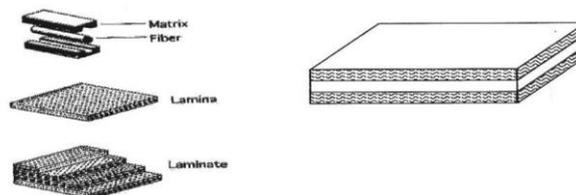
Komposit partikel adalah komposit yang penguatnya ,menggunakan partikel serbuk secara merata didistribusikan di dalam matriks. Partikel pada komposit ini biasanya logam atau non logam seperti halnya matriks. Menurut Jones (1975) polimer juga ada mengandung partikel yang difungsikan untuk memperbesar volume material sedangkan polimer tidak bisa sebagai penguatnya.



Gambar 2.7 komposit Partikel

#### 2.2.4.3 Komposit Lapis (*Laminates Composites*)

Komposit lapis merupakan komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang disatukan dan di setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri.



Gambar 2.8 komposit lapis

Menurut Jones (1975) komposit lamina dibedakan menjadi bentuk nyata seperti:

1. Pelapisan logam

Pelapisan logam berfungsi untuk melapisi suatu logam dengan logam yang lain agar dapat menghasilkan sifat yang terbaik.

2. Kaca yang dilapisi

Kaca disini berfungsi sama dengan logam untuk melapisi agar tahan terhadap cuaca.

3. Bimetal

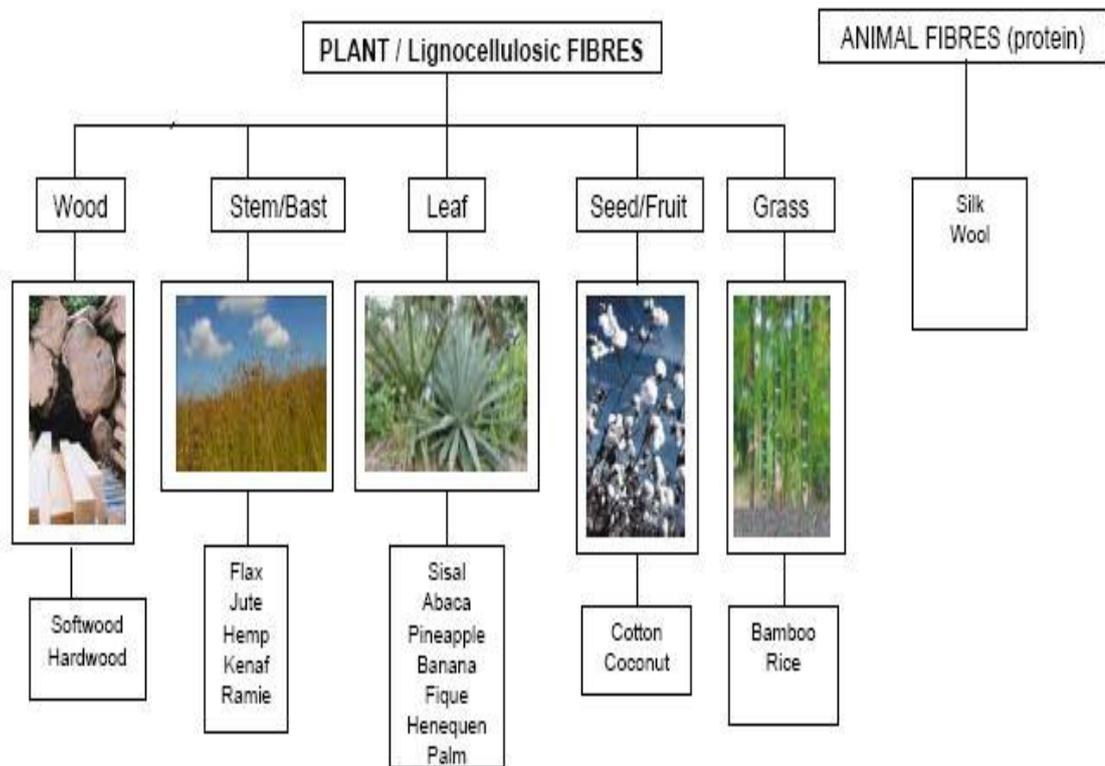
Bimetal merupakan gabungan dari dua bahan logam yang memiliki koefisien ekspansi thermal yang berbeda.

4. Komposit lapis serat

Komposit yang dilapisi serat disuse dengan berbagai orientasi serat agar mendapatkan sifat yang bagus.

#### 2.2.5 Serat Alam (*Natural Fibers*)

Serat alam merupakan serat yang dibentuk secara alami atau biologis oleh hewan dan tumbuhan. Serat alam mempunyai banyak keunggulan daripada serat sintetis, salah satunya ketersediaannya yang sangat melimpah. Menurut Chandramohan (2011) klasifikasi serat alam dijelaskan oleh gambar 2.9 dibawah ini.



Gambar 2.9 Klasifikasi Serat Alam (Chandramohan dkk 2011)

### 2.2.6 Klarifikasi Serat Alam

Serat alam biasanya terbiuat dari hewan, tanaman dan sumber mineral, serat alami dapat dibedakan menjadi berikut :

#### 2.2.6.1 Serat Hewani

Serabut pada hewan umumnya terdiri dari protein. Contohnya seperti wol, sutra, mohair, angora dan alpaka.

- Serat sutra merupakan serat yang diperoleh dari serangga yang memproduksi air liur kering selama masa persiapan kepompong. Contoh sutra dari acing sutra
- Serat unggas merupakan serat dari burung. Contoh bulu dari unggas
- Rambut hewan /wol merupakan serat yang diperoleh dari mamalia yang mempunyai bulu. Contoh domba, kambing dan lain-lain

#### 2.2.6.2 Serat Nabati

Serat nabati merupakan serat yang didalamnya terdapat selulosa. Contohnya kapas, rami, sisal dan lain-lain. Kertas dan kain diproduksi oleh serat berbentuk selulosa. Serat ini dapat dibedakan menjadi :

- Serat daun merupakan serat yang berasal dari daun yang dikumpulkan. Contoh serat sisal
- Serat biji merupakan serat yang berasal dari biji yang dikumpulkan. Contoh kapuk dan kapas
- Serat buah merupakan serat yang berasal dari buah yang dikumpulkan. Contoh serat kelapa (sabut)
- Serat tangkai merupakan serat yang berasal dari tangkai atau batang tanaman yang dikumpulkan. Contoh beras, gandum dan lain-lain
- Serat kulit merupakan serat yang berasal dari kulit pohon yang dikumpulkan. Contoh kenaf, rotan ,pisang dan lain-lain

#### 2.2.6.3 Serat Mineral

Serat mineral merupakan serat yang diperoleh secara alami atau sedikit modifikasi dari mineral. Serat ini dibedakan menjadi :

- Serat keramik : aluminium oksida, serat kaca, boron karbida dan silikon karbida
- Serat logam : serat aluminium
- Asbes : satu-satunya serat mineral alami. Variasi *amphiboles* dan *chrysotile*

#### 2.2.7 Serat Sisal

Sisal atau agave sisalana perrine merupakan suatu tanaman tropis tahunan (*tropical plant*) dan seratnya diambil dari daun (*leaf fiber*) secara periodik. Serat sisal termasuk ke dalam serat alam dan memiliki kekuatan dan modulus tinggi, bisa di daur ulang, harga murah dan ketersediannya melimpah (Chandramohan, dkk 2011). Komposit yang berpenguat serat sisal banyak dilakukan penelitian karena mempunyai sifat mekanik yang

baik serta menemukan cara yang efisien untuk meningkatkan sifat ikatan antar muka antara serat sisal, perlakuan pada permukaan serat dan matriks polimerik pada kinerja komposit.



Gambar 2.10 Serat Sisal

Sisal memiliki rentang hidup diantara 7 sampai 10 tahun dan 200-250 daun dihasilkan yang digunakan secara komersial, rata-rata 1000 serat dihasilkan oleh setiap daun. 4% unsur serat disumbangkan tanaman menurut beratnya dan diekstraksi dengan proses dekortikasi). Menurut Brink dkk (2003) negara Indonesia dapat memproduksi serat sisal 500 ton setiap tahunnya atau 0,2% dari produksi serat sisal dunia. Serat sisal didalamnya mengandung unsur selulosa,. Menurut Joseph dkk (1996) serat sisal didalamnya mengandung 85% sampai 88% selulosa sedangkan Waikambo dkk (2002) mengatakan bahwa sisal memiliki 78% selulosa yang dikategorikan tinggi, lignin 8%, hemiselulosa 10%, *ash* 1% dan 2% wax.

Biasanya, selembur daun sisal memiliki berat sekitar 600 gram yang dapat menghasilkan 3% berat serat atau 1000 helai serat. Daun sisal memiliki 3 tipe, yaitu mekanis, *ribbon*, dan *xylem*. Serat mekanis diekstrak dari bagian tepi daun (*periphery*). Seratnya kasar dan tebal berbentuk sepatu kuda dan jarang dipisahkan saat proses ekstraksi. Bagian ini merupakan bagian terpenting dari serat sisal. Serat *ribbon* dibentuk di bagian tengah daun. Struktur jaringan *ribbon* sangat kuat dan merupakan bagian serat yang terpanjang. Dibanding bagian serat mekanis, serat *ribbon* mudah dipisahkan secara membujur selama proses berlangsung. Ketebalan, panjang, dan kekuatan serat tergantung pada kedewasaan daun serta posisi serat pada

daun. Serat yang paling tebal terletak pada pangkal daun. Daun tertua terletak paling dekat dengan tanah, yang mengandung serat terpanjang dan kasar. Serat yang diekstrak dari daun yang masih muda biasanya lebih pendek, halus, dan lebih lemah.

Sifat serat sisal memiliki kekauan dan kekuatan yang berasal dari selulosa dan sudut spiral pada lapisan kedua dinding sel dengan sumbu serat yang dibentuk oleh ikatan antara mikrofiliar (kusumastuti 2009). Chand dkk, (1988) mengatakan sepanjang serat sisal memiliki kekuatan tarik yang tidak sama antar seratnya. Tabel 2.1 menunjukkan klasifikasi sifat serat sisal dibawah ini.

Tabel 2.1 Klasifikasi Serat Sisal (Kusumastuti 2009)

Densitas (kg/m <sup>3</sup> )	<i>Moisture Content</i> (%)	Kekuatan Tarik (MPa)	Modulus (GPa)	Maximum Strain (%)	Diameter (µm)
1450	11	604	-	-	50-200
1450	-	530-640	3-7	3-7	50-300
-	-	347	5	5	-
1030	-	500-600	3.5-5.1	3.6-5.1	-
1410	-	400-700	5-14	5-14	100-300
1400	-	450-700	4-9	4-9	-
-	-	530-630	3.64-5.12	3.64-5.12	100-300
1450	-	450-700	4-9	4-9	-

Klasifikasi serat sisal memiliki keunggulan dalam sifat mekanik sehingga serat sisal banyak dikembangkan atau diteliti dijadikan sebuah terobosan baru dalam bidang komposit yang diaplikasikan di dalam dunia industri yang digunakan pengganti bahan asbes, *fiber glass*, furnitur maupun yang di dalam bidang biomedis.

#### 2.2.8 Polymethyl methacrylate atau PMMA

*Polymethyl methacrylate* atau PMMA merupakan polimer yang berasal dari monomer metil metakrilat dimana monomer mempunyai sifat *non biodegradable*. Polimer ini termasuk ke dalam material termoplastik yang bersifat kaku, keras dan rapuh pada suhu ruang serta bersifat amorf. Selain itu PMMA memiliki sifat *biocompatible* karena PMMA memiliki

fungsi atau aplikasi yang luas. Di dalam air PMMA akan bereaksi dari hidrofobik menjadi hidrofilik. Hal ini terungkap karena PMMA termasuk golongan poliakrilat yang merupakan alternatif terhadap Polikarbonat (PC) dimana sifatnya dalam pengananan yang mudah dan biaya yang terjangkau.

*Polymethyl methacrylate* atau PMMA merupakan material yang memiliki banyak fungsi dan aplikasi karena PMMA berbentuk transparan dan rapuh dibanding polimer lainnya sehingga mudah dibentuk dalam berbagai bidang industri, furniture maupun kesehatan. PMMA juga dijadikan sebagai matriks untuk meningkatkan karakteristik sifat mekanik matriks *biodegradable*. Di dunia medis PMMA diaplikasikan pada implan gigi, pembuatan sendi palsu, pembuatan pen atau perekat antar tulang.



Gambar 2.11 *Polymethyl methacrylate* atau PMMA

### 2.2.9 Karbon

Komposit karbon dikatakan salah satu jenis material komposit yang tersusun dari serat karbon sebagai *filler*. Serat karbon memiliki sifat sangat ringan dan kekuatan mekanik yang kuat dibandingkan dengan serat alam. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi sifat dari serat karbon, salah satu faktor utama adalah alur atau arah dari serat karbon. Serat karbon memiliki sifat anisotropic atau kekuatan serat karbon bergantung pada arah dan bentuk dari serat penyusunannya. Sedangkan material seperti plastik, logam dan semacamnya memiliki sifat anisotropik yaitu kekuatan material tergantung pada arah molekul dan butir-butirnya berbeda.

Dibawah ini faktor-faktor yang mempengaruhi sifat karakteristik serat karbon :

1. Tingkat campuran antara resin dan serat karbon
2. Jenis serat karbon dan resin yang dipakai
3. Kualitas serat, diusahakan tidak ada celah dan kerataan
4. Bentuk serat karbon seperti besilangan, searah dan tidak tentu atau berkaitan.

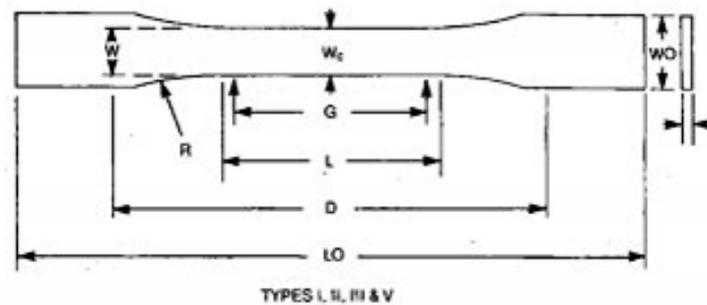
Setiap perusahaan atau pabrik yang memproduksi serat karbon memiliki bahan baku tersendiri tapi dapat dipastikan bahwa 90% serat karbon terbuat dari bahan *polyacrylonitrile* (PAN) dan 10% dibentuk dari proses minyak bumi. Bahan baku dari pembuatan serat karbon menggunakan polimer organik. Untuk tahapan pembuatan serat karbon adalah *spinning*, *stabilizing*, *carbonizing*, *oxidation* dan terakhir *sizing*. Klasifikasi sifat serat karbon akan dijelaskan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Klasifikasi sifat serat karbon (Buckley, 1993)

Fiber Name	Tensile Strength (MPa)	Tensile Modulus (GPa)	Failure Strain (%)	Interlayer Spacing, <sup>d</sup> 002,nm	Crystallite thickness, L <sub>c</sub> ,nm
Pitch-based fiber	2200	690	0,3	0,3392	24
Thorne1 <sup>a</sup> P100	2400	830	0,3	0,3378	28
P120	2800	490	0,6	0,3423	13
Carbonic <sup>b</sup>	3000	590	0,5	0,3416	15
HM50	3500	790	0,4	0,3399	18
HM60					
HM80					
Pan-based Fiber					
Torayca <sup>c</sup> M46	2500	450	0,3434	0,3434	6,2

### 2.2.10 Pengujian Kekuatan Tarik

Uji tarik yang dilakukan pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM D638 type 1. Pengujian tarik dilakukan untuk mencari tegangan dan regangan dan modulus elastisitas material komposit.



Gambar 2.12 Dimensi spesimen uji tarik ASTM D638

Tabel 2.3 Dimensi spesimen uji tarik ASTM D638

Dimensions (see drawings)	7 (0,28) or under		Tolerances
	Type I	Type II	
<i>W</i> —Width of narrow section <sup>E,F</sup>	13 (0.50)	6 (0.25)	±0.5 (±0.02) <sup>B,C</sup>
<i>L</i> —Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	±0.5 (±0.02) <sup>C</sup>
<i>WO</i> —Width overall, min <sup>G</sup>	19 (0.75)	19 (0.75)	+ 6.4 (+ 0.25)
<i>WO</i> —Width overall, min <sup>G</sup>	...	...	+ 3.18 (+ 0.125)
<i>LO</i> —Length overall, min <sup>H</sup>	165 (6.5)	183 (7.2)	no max (no max)
<i>G</i> —Gage length <sup>I</sup>	50 (2.00)	50 (2.00)	±0.25 (±0.010) <sup>C</sup>
<i>G</i> —Gage length <sup>I</sup>	...	...	±0.13 (±0.005)
<i>D</i> —Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	±5 (±0.2)
<i>R</i> —Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	±1 (±0.04) <sup>C</sup>
<i>RO</i> —Outer radius (Type IV)	...	...	±1 (±0.04)

Surdia (1995) mengatakan ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi komposit :

#### 1. Kelembaban

Tingginya kelembaban berpengaruh kepada absorpsi air sehingga membuat regangan patah dan di sisi lain modulus elastisitas menurun serta tegangan mengalami kepatahan.

#### 2. Laju Tegangan

Jika laju tegangan tinggi maka beban patah dan modulus elastisitasnya meningkat dengan regangan mengecil begitupun sebaliknya laju regangan kecil maka modulus elastisitasnya rendah dan tegangan-regangan rendah.

Berikut rumus regangan tegangan :

Besarnya nilai kekuatan tarik komposit dapat dihitung dengan persamaan :

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana:

$\sigma$  = Tegangan normal (MPa)

F = Gaya yang bekerja (N)

$A_0$  = Luas penampang mula-mula komposit ( $\text{mm}^2$ )

Besarnya regangan adalah jumlah pertambahan panjang akibat pembebanan dibandingkan dengan panjang daerah ukur (*gage length*) dan dinyatakan dalam persamaan (Surdia, 1995):

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana:

$\varepsilon$  = Regangan.

$\Delta L$  = Pertambahan panjang. (mm)

$L_0$  = Panjang daerah ukur (*gage length*) (mm)

Pada daerah proporsional yaitu daerah dimana tegangan-regangan yang terjadi masih sebanding, defleksi yang terjadi masih bersifat elastis dan masih berlaku hukum Hooke. Besarnya nilai modulus elastisitas komposit yang juga merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan pada daerah proporsional dapat dihitung dengan persamaan (Surdia, 1995).

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana:

E = Modulus elastisitas (MPa)

$\sigma$  = Kekuatan tarik komposit (MPa)

$\varepsilon$  = Regangan.

### 3. Temperatur

Kekuatan tarik akan mengalami penurunan apabila temperatur naik sebaliknya kekuatan tarik mengalami kenaikan apabila temperatur turun.

### 2.2.11 *Microscope Optic Digital*

Gambar 2.13 *Microscope Digital USB*



Mikroskop digital adalah variasi dari mikroskop optik tradisional yang menggunakan optik dan charge coupled device (CCD) kamera ke output gambar digital yang disambungkan ke monitor, atau dengan menggunakan perangkat lunak yang berjalan pada komputer. Sebuah mikroskop digital berbeda dengan mikroskop optik yang ketentuannya untuk mengamati sampel secara langsung melalui sebuah lensa mata. Karena gambar diproyeksikan langsung pada kamera CCD, seluruh sistem ini dirancang untuk gambar monitor. Bagian-bagian Mikroskop Digital USB ditunjukkan pada Gambar 2.13.

- a. LED Switch, untuk mengatur pencahayaan terang atau redup.
- b. LED Light, lampu mikroskop.
- c. Zoom Button, tombol untuk memperbesar pengelihatan mikroskop.
- d. Snap Button, tombol untuk mengambil gambar.
- e. Focus Wheel, untuk mengatur fokus gambar.

### 2.2.12 *Scanning Electron Microscope (SEM)*

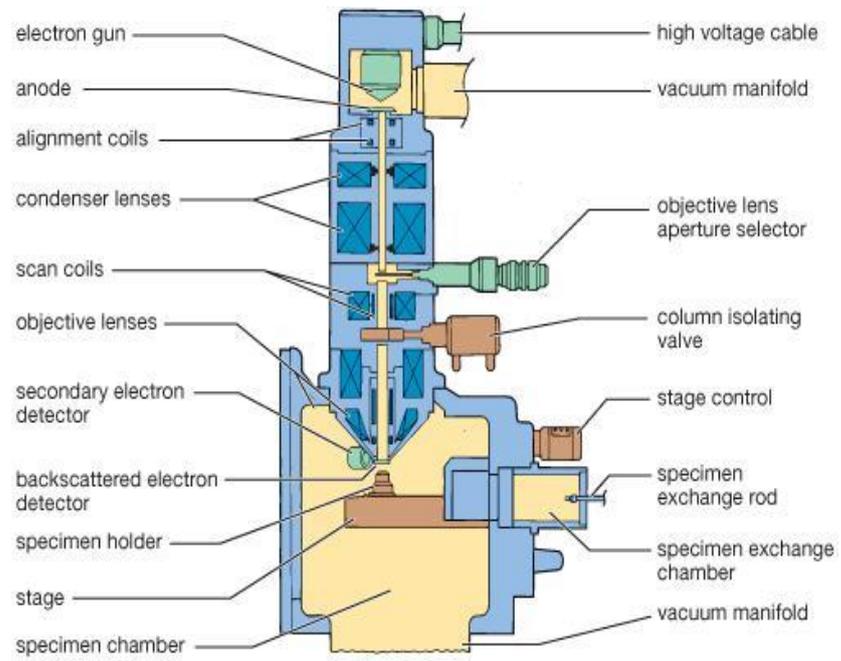
SEM atau *Scanning Electron Microscopy* merupakan mikroskop yang dapat melihat suatu objek sampai 10-3000000x, *depth of field* 4-0.4 mm dan mampu mencapai resolusi 1-10 mm untuk pengontrolan pencahayaan dan tampilan berupa gmabar menggunakan elektro magnetik dan elektro statik serta kemampuan dalam pembesaran objek dengan

resolusi yang baik dibandingkan dengan mikroskop cahaya. SEM atau scanning electron microscopy memiliki fungsi utama yaitu sebagai berikut

1. Fungsi Morfologi merupakan sebuah partikel untuk menyusun objek berupa bentuk dan ukuran (cacat pada *Integrated Circuit (IC)*, *chip*, kekuatan dan lain-lain).
2. Komposisi merupakan objek yang didalamnya terdapat data kuantitatif unsur dan senyawa (kekerasan, titik lebur, kereaktifan dan lain-lain).
3. Topografi merupakan rincian dari tekstur dan permukaan suatu objek (sifat memantulkan cahaya, kekerasan dan lain-lain).
4. Informasi kristalografi, yaitu suatu objek didalamnya terdapat informasi yang berupa butir-butir (sifat elektrik, konduktifitas, kekuatan dan lain-lain).

Prinsip kerja dari SEM adalah sebagai berikut :

- a. *Electron gun* menghasilkan *electron beam* dari filamen. Pada umumnya *electron gun* yang digunakan adalah tungsten *hairpin gun* dengan filamen berupa lilitan tungsten yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan yang diberikan kepada lilitan mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian akan menarik elektron melaju menuju ke anoda.
- b. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju suatu titik pada permukaan sampel.
- c. Sinar elektron yang terfokus memindai (scan) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
- d. Ketika elektron mengenai sampel, maka akan terjadi hamburan elektron, baik *Secondary Electron (SE)* atau *Back Scattered Electron (BSE)* dari permukaan sampel dan akan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor.



Gambar 2.14 Bagian SEM