

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pemanfaatan serat alam adalah salah satu alternatif sebagai bahan pembuatan material komposit yang di aplikasikan dalam dunia industri di bidang otomotif. Serat alam merupakan bahan penguat matrik dalam pembuatan komposit yang memiliki sifat mekanis dan fisis. Salah satu jenis serat alam adalah serat kenaf. Dalam komposit berpenguat serat kenaf sudah banyak di aplikasikan dalam dunia industri untuk pembuatan panel otomotif atau *composite board* salah satunya dari perusahaan Toyota Motor Corporation (Yusoff, 2015). Namun, untuk meningkatkan kekuatan mekanisnya pada komposit perlu penambahan pengisi (*filler*) (Gowthami *et.al.* 2013).

Kongkaew dkk, (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh panjang serat 3, 5, 7, 9 dan 13 mm komposisi serat sebesar 12% berat, terhadap kekuatan mekanis komposit serat akar wangi / *epoxy*. Matriks yang digunakan *epoxy* , perbandingan matriks yang digunakan resin *epoxy* dan hardener 1:1. Perlakuan alkalisasi pada serat vetiver menggunakan NaOH 5% selama 3jam. Metode fabrikasi menggunakan *Lay-up molding*. Pengujian meknis pengujian bending menunjukkan kekuatan *bending* tertinggi pada variasi panjang serat vetiver tertinggi sebesar 30,05 MPa pada panjang serat 7mm.

Pelitian komposit filler menggunakan serat alam juga telah dilakukan Vinod dkk,(2014) malakukn penelitian penggunaan serat nanas/ *epoxy* . Perlakuan alkalisasi pada serat nanas menggunakan NaOH 5% selama 1jam serat dinetral kan menggunakan HCl 1%.Serat nanas dipotong sepanjang 3, 6, 9, 12 mm. Metode fabrikasi menggunakan *Lay-up molding*. Pengujian mekanis impak ASTM 256 , hasil penelitian kekuatan impak variasi panjang serat 6 mm yaitu 3,2 kJ/m²

Zhang dkk. (2011) yang meneliti pengaruh kombinasi serbuk *polypropylene* dan *silica fume* terhadap sifat mekanis pada komposit beton yang mengandung abu terbang dengan menggunakan fraksi volume *silica fume* berbeda yaitu 0, 3, 6, 9, dan 12%. Menghasilkan kekuatan tarik yang meningkat dari 6,12 MPa pada fraksi

volume 3% dan menjadi 6,58 MPa pada fraksi volume 12%.

Pengujian fisis *water absorption* dilakukan untuk mengetahui ketahanan dan kemampuan komposit terhadap air ataupun kelembaban. Kanishka Jha dkk, (2016) melakukan penelitian *water absorption* komposit hibrid *epoxy* / serat sisal 70:30. Metode pengujian *water absorption* ASTM 570. Metode fabrikasi megunakan *hand lay-up* dan pengepresan bertekana 1 MPa. Pengujian *water absorption* selama 132 jam setiap 12 jam spesimen diangkat, hasil pengujian kenaikan berat terendah pada variasi panjang serat 5 mm sebesar 4,4%

Serat kenaf sebagai bahan komposit pernah dilakukan penelitian oleh (Abubakar dkk, 2010). Serat kenaf perlakuan alkalisai menggunakan NaOH 4% selama 24 jam. Fabrikasi menggunakan metode *hot press* dengan temperatur 100°C dan tekanan 8 MPa (± 1160 psi). variasi penambahan serat sebanyak 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Matrik yang digunakan resin *epoxy*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modulus lentur dan kekuatan lentur yang didapatkan nilai modulus bending tertinggi pada komposisi 25% serat yaitu 53,5 Mpa

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Komposit

Komposit adalah suatu material baru hasil rekayasa yang terdiri dari sedikitnya dua bahan dengan sifat fisik maupun kimia pada skala makroskopik yang berbeda, masing-masing sebagai pengikat (*matriks*) dan penguat (*filler*). Pembuatan komposit bertujuan untuk memperoleh sifat mekanis atau sifat spesifik tertentu, mempermudah *design* yang sulit pada manufaktur, dan menghemat biaya. Dengan adanya perbedaaan dari bahan penyusunnya, maka perlu penambahan *wetting agent* supaya antar bahan tersebut dapat berikatan kuat. (Nayiroh, 2010). Penyusunan *matriks* dan *filler* pada pembuatan komposit dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Penyusunan Komposit (Onny, 2017)

2.2.2 Faktor-faktor yang Memengaruhi Kualitas Komposit

1. Faktor Serat

Serat mempunyai pengaruh sangat besar bagi komposit karena menjadi penopang kekuatan dari komposit sehingga memengaruhi kekuatan komposit. Berikut beberapa faktor yang memengaruhi kekuatan pada serat yaitu:

a. Panjang Serat

Ada dua jenis panjang serat yang digunakan dalam pembuatan dalam pembuatan komposit yaitu serat panjang dan serat pendek. Serat panjang mempunyai keuntungan seperti menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi, penyusutan serat yang rendah, dan lebih stabil dimensinya. Sedangkan serat pendek mempunyai keuntungan yaitu mudah dalam proses fabrikasinya, dan tidak memerlukan waktu yang lama.

b. Orientasi Serat

Orientasi serat dapat memengaruhi kekuatan mekanis komposit. Serat dengan orientasi satu arah akan menghasilkan kekakuan dan kekuatan yang tinggi.

c. Bentuk serat

Bentuk serat pada dasarnya adalah lingkaran. Namun serat yang berbentuk lingkaran mempunyai kekuatan lebih kecil dibandingkan dengan serat yang berbentuk persegi dan heksagonal.

d. Jenis Serat

Jenis serat merupakan faktor yang menentukan sifat mekanis komposit. Serat sintetis mempunyai kekuatan mekanis lebih daripada serat alam. Akan tetapi, secara harga serat alam lebih ekonomis.

2. Faktor Matriks

Jenis matriks sangat memengaruhi kualitas suatu komposit, karena memiliki fungsi utama mentransfer tegangan ke serat dan membentuk ikatan koheren permukaan dengan serat.

3. Faktor Ikatan

Faktor ikatan antara matriks dengan *filler* sangat menentukan kualitas suatu komposit. Adanya *void* pada komposit menyebabkan ikatan antar muka kurang baik sehingga sifat mekanis menurun.

2.2.3 Klasifikasi Material Komposit

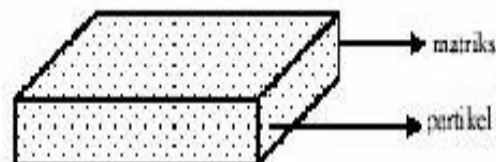
Menurut Nayiroh (2010) komposit berdasarkan bahan matriksnya dibagi menjadi 3 yaitu:

1. Komposit Matriks Keramik/*Ceramic Matrix Composite* (CMC)
CMC merupakan komposit yang menggunakan bahan keramik sebagai matriksnya. Komposit jenis ini bersifat keras.
2. Komposit Matriks Logam/*Metal Matrix Composite* (MMC)
MMC merupakan komposit yang menggunakan bahan logam sebagai matriksnya. Komposit jenis ini bersifat kuat.
3. Komposit Matriks Polimer/*Polymer Matrix Composite* (PMC)
PMC merupakan komposit yang menggunakan bahan polimer sebagai matriksnya. Komposit jenis ini bersifat kuat.

Menurut Gibson (2012) komposit berdasarkan material penyusunnya diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu komposit partikel (*particulates composites*), komposit lamina (*laminates composites*), dan komposit serat (*fibrous composites*).

1. Komposit Partikel (*Particulates Composite*)

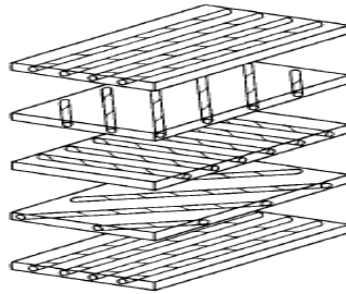
Komposit partikel tersusun dari satu atau lebih jenis partikel yang terikat dengan matriks. Partikel bisa berasal dari bahan logam atau non logam. Komposit partikel bisa dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Komposit Partikel (Jones, 1999)

2. Komposit Lamina (*Laminate Composite*)

Komposit lamina adalah komposit yang penyusunan antara matriks dengan bahan pengisinya tersusun secara berlapis-lapis. Pada komposit jenis ini matriks berbentuk lembaran laminat.. Komposit lamina dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Komposit Lamina (Jones, 1999)

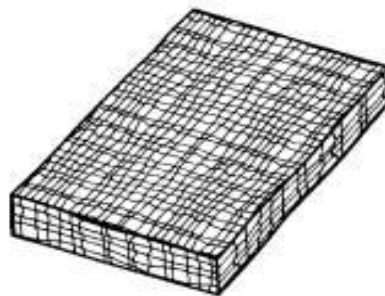
3. Komposit Serat (*Fibrous Composite*)

Komposit serat adalah komposit yang tersusun dari serat sebagai penguat dan terikat dengan matriks. Penguat komposit jenis ini bisa berasal dari serat alam maupun serat sintetis.

Berdasarkan orientasi seratnya, komposit serat diklasifikasikan menjadi empat yaitu komposit serat anyam (*woven fiber composite*), komposit serat panjang kontinyu (*continuous fiber composite*), komposit serat gabungan (*hybrid composite*), dan serat pendek acak (*discontinuous fiber composite*).

a. Komposit Serat Anyam (*Woven Fiber Composite*)

Komposit serat anyam merupakan komposit yang tersusun dari serat yang sudah dianyam. Komposit jenis ini dapat kita lihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Komposit Serat Anyam (Gibson, 2012)

b. Komposit Serat Panjang Kontinyu (*Continuous Fiber Composite*)

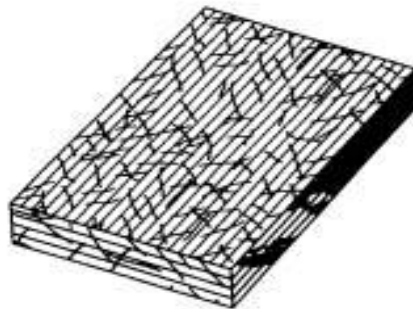
Komposit serat Panjang kontinyu tersusun dari serat yang berukuran panjang dan disusun secara teratur, seperti terlihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Komposit Serat Panjang Kontinyu (Gibson, 2012)

c. Komposit Serat Gabungan (*Hybrid Composite*)

Komposit *hybrid* tersusun dari dua atau lebih jenis serat untuk meningkatkan sifat mekanis komposit dan menutupi kekurangan sifat kedua serat tersebut. Komposit jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Komposit Serat Gabungan (Gibson, 2012)

d. Komposit Serat Pendek Acak (*Discontinuous Fiber Composite*)

Komposit serat pendek acak tersusun dari serat berukuran pendek dan tersebar secara acak, seperti yang terlihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Komposit Serat Pendek Acak (Gibson, 2012)

2.2.4. Matriks

Matriks merupakan suatu material yang memiliki faksi volume terbesar (dominan) didalam komposit. Matriks mempunyai peranan yang sangat penting dalam komposit karena bertugas sebagai pengikat bahan pengisi atau *filler* yang berfungsi menanggung beban dalam material komposit. Matriks bisa dari bahan logam, polimer, atau pun kerami. Matriks yang banyak digunakan dalam material komposit untuk produk komersil, transportasi, industri adalah matriks polimer. Ada dua jenis bahan polimer yang digunakandalam material, yaitu termoset (Gibson, 2012).

1. Termoset

Berbeda dengan polimer termoplastik . polimer termoset tidak dapat didaur ulang karena mekul- mekulnya telah membentuk ikatan saling (*cross linking*). Contoh dari polimer termoset adalah *epoxy, polyester, phenolic, plenol*, dan lain – lain.

a. Epoxy

Epoxy adalah salah satu jenis matriks polimer termoset yang mempunyai sifat mekanik yang baik, kadar air yang rendah, dan mudah dalam fabrikasinya (Faruk dkk, 2012). *Epoxy* mempunyai massa jenis $1,2 \text{ gr/cm}^3$ (Holbery, 2006). Epoxy terbentuk dari dua bahan yaitu *resin* dan *hardener* dimana pencampun keduanya harus sesuai rekomendasi dari parik supaya mendapatkan hasil campran yang baik. Epoxy dapat diperkuat dengan berbagai macam serat, partikel dan keramik. Adapun sifat yang terdapat pada epoxy, yaitu :

1. Sifat Fisis

Epoxy merupakan konduktor panas dan isolator listrik yang buruk seperti kebanyakan polimer lainnya.

2. Sifat Mekanis

Epoxy mempunyai sifat yang keras dan getas. Akan tetapi dalam penggunaannya, *epoxy* sering dicampur dengan bahan lain untuk mendapatkan sifat mekanis yang baik. Sifat mekanis *epoxy* dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2,1 Sifat Mekanis Polimer Termoset (Holbery, 2016)

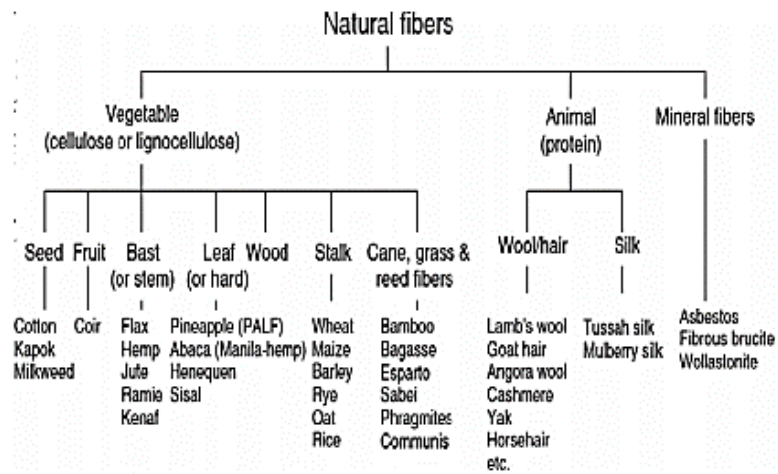
Property	Polyester Resin	Vinylester Resin	Epoxy
Density (g/cc)	1.2–1.5	1.2–1.4	1.1–1.4
Elastic Modulus (GPa)	2–4.5	3.1–3.8	3–6
Tensile Strength (MPa)	40–90	69–83	35–100
Compressive Strength (MPa)	90–250	100	100–200
Elongation (%)	2	4–7	1–6
Cure Shrinkage (%)	4–8	—	1–2
Water Absorption (24 h @ 20°C)	0.1–0.3	0.1	0.1–0.4
Izod Impact, Notched (J/cm)	0.15–3.2	2.5	0.3

2.1.1 Filler (Pengisi/Penguat)

Menurut Jones (1999) *filler* adalah bahan pengisi yang digunakan pada pembuatan komposit, *filler* bisa berupa serat atau serbuk. *Filler* berfungsi sebagai penguat, penanggung beban utama pada komposit, sehingga penggunaan *filler* yang tepat mampu meningkatkan sifat mekanis komposit. Serat yang digunakan pada pembuatan komposit adalah serat alam dan serat sintesis, sedangkan serbuk yang digunakan adalah serbuk logam dan non logam.

1. Serat Alam

Serat alam merupakan serat yang diperoleh langsung dari alam. Secara umum serat alam dibagi menjadi 3 yaitu serat hewan, tumbuhan, dan mineral. Serat tumbuhan dapat diperoleh dari berbagai tanaman seperti kenaf, pisang, sisal, dan rami. Klasifikasi serat alam dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.8 Klasifikasi Serat Alam (Akil, 2011)

Penggunaan serat alam pada material komposit sudah banyak dilakukan, karena serat alam mudah diperoleh dan memiliki sifat mekanis yang cukup baik. Serat alam juga lebih ekonomis daripada serat sintetis. Pada Tabel 2.2 disajikan sifat mekanis serat alam.

Tabel 2.2 Sifat Mekanis Serat (Akil, 2011)

Serat	Densitas (g/cm ³)	Diameter (μ m)	Tensile Strenght (MPa)	Modulus Young (GPa)	Elongation at break (%)
Flax	1.5	40-600	345-1500	27.6	2.7-3.2
Hemp	1.47	25-500	690	70	1.6
Jute	1.3-1.49	25-200	393-800	13-26.5	1.16-1.5
Kenaf	0.2-1.2	25-200	930	53	1.6
Rami	1.55	25-200	400-938	38	1.2-3.8
Sisal	1.45	50-200	468-700	9.4-22	3-7
Abaca	1.5	150-500	430-760	3.2	1.6
Kapas	1.5-1.6	12-38	121-220	5.5-12.6	7-8
Eglass	2.55	<17	3400	73	2.5
Kevlar	1.44		3000	60	2.5-3.7
Carbon	1.78	5-7	3400-4800	240-425	1.4-1.8

2. Serat Kenaf

Kenaf (*Hibiscus Cannabinus*) adalah tanaman dengan sekitar 300 spesies, berpotensi sangat baik sebagai bahan baku pada produk komposit (Faruk dkk, 2012). Kenaf merupakan tanaman yang tumbuh sepanjang musim dan mudah dibudidayakan, serta mempunyai harga yang ekonomis. Tanaman kenaf berasal dari asia dan afrika, tinggi pohonnya mencapai 3-5 meter, dan mampu tumbuh diberbagai cuaca, serta mudah dalam pemisahan antara batang dengan kulit kayunya. Serat kenaf mengandung 69.2% selulosa, 27% hemiselulosa, 2.8% lignin, dan 0.8% komponen lain (Akil, 2011).

3. Mikrosilika (Silica Fume)

Menurut Khater (2013) mikrosilika atau yang dikenal sebagai *silica fume* (SF) adalah produk sampingan dari pengurangan kuarsa kemurnian tinggi batubara pada tungku listrik dalam produksi paduan *silicon* dan *ferosilicon*. *Silica fume* mempunyai kehalusan yang sangat baik dan mempunyai kandungan silika (SiO_2) yang sangat tinggi. *Silica fume* merupakan bahan pozzolan (bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina). *Silica fume* mempunyai density/massa jenis 2,65 gr/cm³ (Kosmatka, 2011) dan mempunyai diameter partikel berkisar 0,1-150 μm (hasil pengukuran menggunakan *scanning electron microscopy*)

2.2.6 Uji Mekanik Bending

Pengujian lengkung merupakan salah satu pengujian sifat mekanik bahan yang dilakukan terhadap spesimen dari bahan, baik yang akan digunakan sebagai konstruksi atau komponen yang akan menerima pembebanan lengkung maupun proses pelengkungan dalam pembentukan. Pelengkuan (bending) merupakan proses pembebanan terhadap suatu bahan pada suatu titik ditengah-tengah dari bahan yang ditahan diatas dua tumpuan.

Pengujian lengkung beban ialah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui aspek-aspek kemampuan bahan uji dalam menerima pembebanan lengkung, yakni :

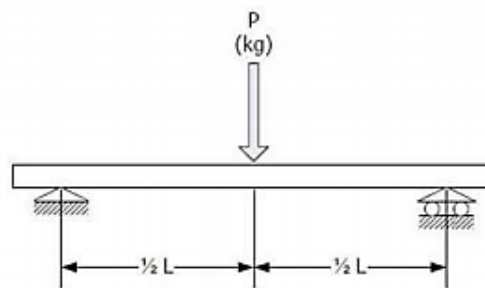
1. Kekuatan atau tegangan lengkung (σ)

2. Lentur atau defleksi (δ) sudut yang terbentuk oleh lenturan atau sudut defleksi
3. Elastisitas (E) (Prayoga, 2012).

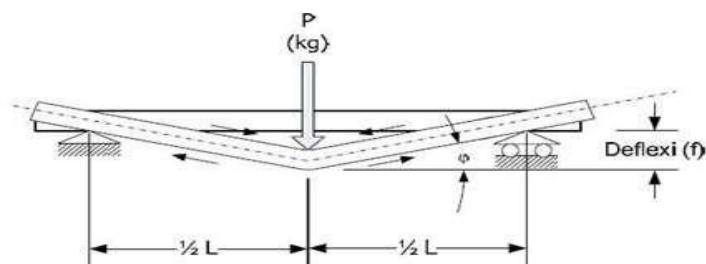
Pengujian kekuatan bending dapat dilakukan dengan Metode *Three Point Bending* atau Metode *Four Point Bending* menurut kondisi dari benda uji yang dipergunakan. Biasanya pada benda uji dengan kerataan yang kurang begitu sempurna dilakukan dengan Metode *Three Point Bending*, akan tetapi dengan hasil yang kurang maksimal apabila dipergunakan Metode *Four Point Bending*. Hal ini disebabkan terjadi konsentrasi pembebanan pada Metode *Three Point Bending*.

Metode *Three Point Bending* Pada *three point bending*, spesimen atau benda dikenai beban pada satu titik yaitu tepat pada bagian tengah batang ($\frac{1}{2} L$). Pada metode ini material harus tepat berada di ($\frac{1}{2} L$), agar mendapatkan momen maksimum karena saat mencari σ dibutuhkan momen maksimum tersebut.

Berikut ini adalah ilustrasi dari pengujian kekuatan bending dengan Metode *Three Point Bending* :



Gambar 2.9 Pembebanan Lengkung *Three Point Bending*



Gambar 2.10. Pengaruh Pembebanan Lengkung Menyebabkan Defleksi

Sebagaimana perilaku bahan terhadap pembebanan, semua bahan akan mengalami perubahan bentuk (deformasi) secara bertahap dari elastis menjadi plastis hingga akhirnya mengalami kerusakan (patah). Dalam proses pembebanan lengkung dimana dua gaya bekerja dengan jarak tertentu ($L/2$) serta arah yang berlawanan bekerja secara bersamaan (lihat Gambar 2.10).

Setelah dilakukan pengujian bending, untuk mendapatkan angka kekuatan bending digunakan persamaan berikut:

$$\sigma_b = \frac{3PL}{(2bd^2)} \dots\dots\dots [2.1]$$

Keterangan:

- σ_b = Kekuatan bending (Mpa)
- P = Beban (N)
- L = Panjang span (mm)
- b = Lebar batang uji (mm)
- d = Tebal batang uji (mm)

$$\sigma_b = \frac{3PL}{(2bd^2)} \left[1 + 6 \left(\frac{D}{L} \right)^2 - 4 \left(\frac{d}{L} \right) \left(\frac{D}{L} \right) \right] \dots\dots\dots [2.2]$$

Keterangan :

- σ_b = tegangan bending (MPa)
- P = gaya pembebanan (N)
- L = jarak antar tumpuan/span (mm)
- b = lebar specimen (mm)
- d = tebal specimen (mm)
- D = defleksi maksimum (mm)

Persamaan 2.1 digunakan apabila perbandingan $L/d \leq 16$ dimana L adalah *support span* dan d adalah tebal specimen. Pada persamaan 2.2 digunakan jika nilai perbandingan $L/d > 16$. Untuk mendapatkan nilai regangan bending digunakan persamaan berikut :

$$\epsilon_b = \frac{6Dd}{L^2} \dots\dots\dots [2.3]$$

Keterangan :

- ϵ_b = regangan (mm/mm)
- D = defleksi maksimum (mm)
- L = panjang span (mm)
- d = tebal (mm)

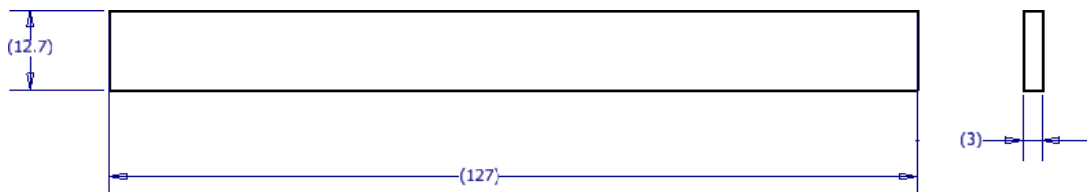
Sedangkan untuk mengetahui modulus elastisitas komposit dihitung menggunakan persamaan 2.4 sebagai berikut.

$$E_B = \frac{L^3 m}{4bd^3} \dots\dots\dots [2.4]$$

Keterangan :

- E_B = modulus elastisitas bending (MPa)
- L = Panjang span (mm)
- b = lebar specimen (mm)
- d = tebal specimen (mm)
- m = slope tangent pada kurva beban defleksi (N/mm)

Berikut adalah ukuran dari spesimen uji bending dengan ASTM D790-02 yang digunakan pada penelitian, ditunjukkan pada gambar 2.11.

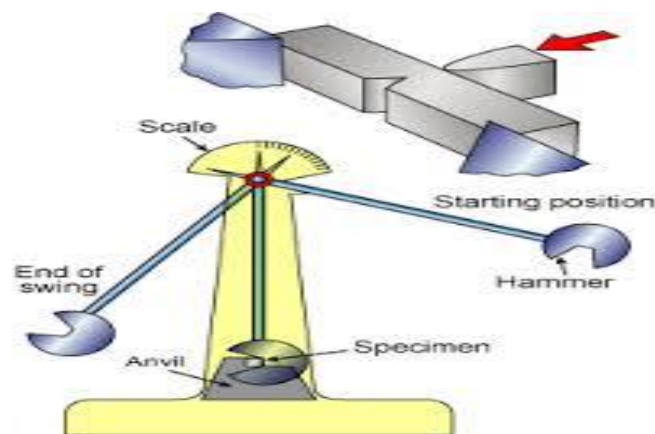


Gambar 2.11. Ukuran Spesimen ASTM 790-02

2.2.7 Uji Mekanik Impak

Uji impak merupakan pengujian material untuk mendapatkan kualitas ketahanan terhadap beban kejut, dan mempengaruhi energi yang dibutuhkan pada saat mematahkan batang spesimen dalam sekali pukul.

Metode pengujian impak ada dua metode yaitu metode charpy dan metode izod dengan takikan maupun tanda takikan pada spesimen yang disesuaikan dengan standar pengujian bahan tersebut . pada dasarnya setiap pengujian impak memiliki kelebihanannya masing – masing, pada penelitian ini menggunakan uji impak charpy untuk mengukur kekuatan dan kualitas pada spesimen polimer. Skema pengujian impak ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. skema pengujian impak *charpy*

Rumus yang digunakan untuk menghitung besarnya energi yang terserap oleh komposit pada pengujian impak charpy sebagai berikut.

$$\text{Energi serap} = m \cdot g \cdot R [\cos \beta - \cos a] \dots\dots\dots [2.5]$$

Keterangan :

m = Massa pendulum (kg)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

R = Panjang lengan Pendulum (m)

B = Sudut ayun pendulum setelah menabrak spesimen ($^\circ$)

a = Sudut ayun beban pendulum ($^\circ$)

Dari hasil perhitungna energi terserap tersebut diatas, besarnya kekuatan impak dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Harga Impak (HI)} = \frac{\text{Energi Serap}}{A} \dots\dots\dots [2.6]$$

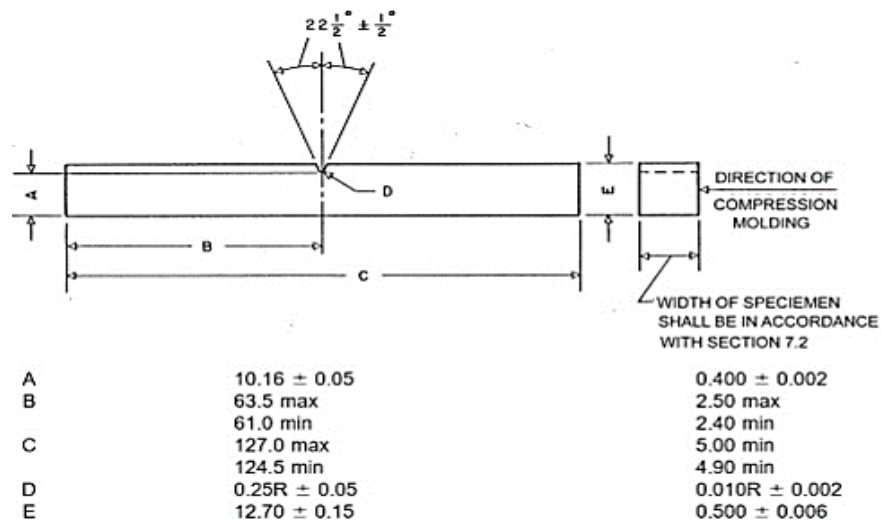
Keterangan :

HI = Kekuatan impak (kJ/ m^2)

Esrp = Energi serap spesimen (Joule)

A = Luas penampang spesimen (mm^2)

Setelah mengetahui mekanisme pengujian impact dan rumus perhitungan impact, perlu diketahui juga bahwa sebelum melakukan pengujian impact diperlukan pembuatan celah v-notch pada spesimen pengujian impact. Fungsi pada pengujian, notch pada material akan menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada daerah takikan sehingga material mudah patah, adanya notch akan terjadi trail stress. Trail stress adalah spesimen tidak akan terjadi deformasi plastis dan menyebabkan spesimen getas, sehingga tidak ada tanda bahwa spesimen mengalami kegagalan. Berikut ini ketentuan V-notch pada spesimen dan alat untuk membuat celah v – notch ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Ukuran spesimen (ASTM D6110-04)

2.2.8 Pengujian Daya Serap

Uji daya serap air merupakan pengujian yang dimaksudkan untuk melihat kemampuan suatu material dalam menyerap air dalam kondisi yang sudah ditentukan sesuai standar. Perbandingan berat material pada kondisi sebelum dan diuji merupakan hasil dari pengujian daya serap air. ASTM D570-98 adalah standar uji daya serap air untuk polimer dan komposit. Ukuran spesimen dan kondisi telah ditentukan di dalamnya.

Berikut adalah persamaan 2.6 untuk menghitung pertambahan berat dalam uji daya serap air.

$$WB = \frac{B2-B1}{B1} \times 100 \% \dots\dots\dots [2.7]$$

Keterangan :

WB = Penambahan berat (*weight gain*) (%)

B1 = berat sebelum perendaman (gram)

B2 = berat setelah perendaman (gram)

Dan berikut persamaan 2.7 untuk menghitung *thickness swelling*.

$$TS = \frac{T2-T1}{T1} \times 100 \% \dots\dots\dots [2.8]$$

Keterangan :

Ts = Penambahan tebal (*Thickness Swelling*) (%)

T1 = berat sebelum perendaman (mm)

T2 = berat setelah perendaman (mm)

2.2.9. Microscope optic

Microscope optic yang digunakan berjenis microscope optic usb. *Microscope* berfungsi sebagai melihat pertikel kecil yang tidak bisa dilihat oleh mata manusia, menjadikan alat ini sebagai pembantu untuk melihat struktur secara kasar detail dari material. Ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 14 *Microsope optic* usb

Tabel 2.4 akan menjelaskan spesifikasi dari microscope optic, berikut spesifikasi alat tersebut:

Tabel 2. 3 Spesifikasi *Microscope optic*

Warna	Hittam
Resolusi Gambar/Video	640*480 pixels
Kontroler	16Bit DSP
Pembesaran	50x-1600x (manual)
Format Foto	JPEG
Format Video	AVI
Lampu LED	8
Penghubung	USB 2.0
Penerima system	WIN XP/VISTA, WIN 7 32/64-bit
Ukuran Microscope	3.2*11.4 (cm) (diameter*panjang)

2.2.10 Scanning Electron Microscopy

SEM merupakan mikroskop electron yang digunakan untuk mengamati morfologi permukaan objek atau mengamati ukuran partikel secara langsung. SEM memiliki kemampuan untuk melakukan perbesaran 10-3.000.000 kali, *depth of field* 4–0.4 mm, dan resolusi sebesar 1–10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik membuat SEM banyak digunakan untuk penelitian (Prasetyo, 2011). Ditunjukkan pada gambar 2.15.

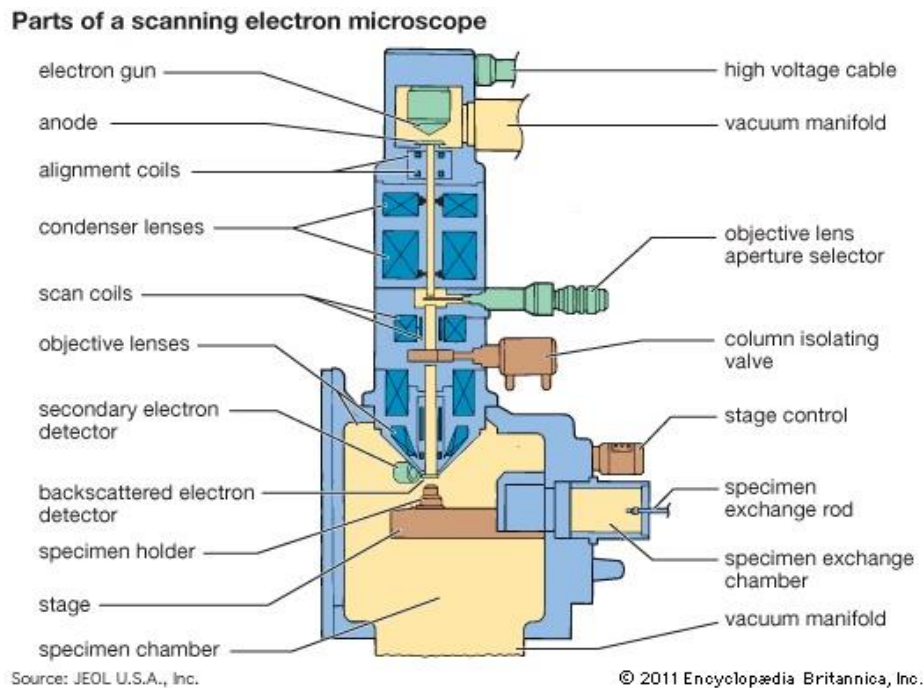
Fungsi utama dari SEM adalah untuk mengetahui berbagai informasi seperti berikut:

1. Topografi : ciri-ciri permukaan dan teksturnya.
2. Morfologi : bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek.
3. Komposisi : data kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung pada objek.
4. Informasi kristalografi : informasi mengenai susunan dari butir-butir yang ada pada onjek pengamatan.

Peralatan utama yang terdapat pada SEM adalah sebagai berikut:

1. Piston elektron : berupa filamen yang terbuat dari unsur yang mudah melepas elektron, seperti tungsten.

2. Lensa untuk elektron : berupa lensa magnetis karena elektron yang bermuatan negatif dapat dibelokkan medan magnet.
3. Sistem vakum : sistem vakum digunakan untuk menghindari adanya molekul udara yang dapat mengakibatkan terpecahnya elektron.



Gambar 2.15. Bagian *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Prinsip kerja dari SEM pada Gambar 2.15 ditunjukkan dalam langkah – langkah berikut.

1. Electron gun dapat menghasilkan electron beam dari filamen. Lilitan yang menerima tegangan mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda akan membentuk gaya yang dapat menarik elektron.
2. Lensa kondensor atau lensa magnetik akan memfokuskan elektron menuju suatu titik pada permukaan sampel.
3. Sinar elektron yang terfokus akan memindai keseluruhan sampel oleh koil pemindai.

Ketika elektron mengenai sampel, terjadilah hamburan elektron, baik *secondary electron* (SE) atau *back scattered electron* (BSE) dari permukaan sampel yang dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor *cathode-ray tube* CRT (Khairurrijal dkk, 2008)