

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Serat alami dari sumber terbarukan menawarkan potensi sebagai alternatif bahan penguat penggunaan komposit. Serat alami menawarkan berbagai keunggulan seperti nilai massa jenis rendah, sumberdaya melimpah dan beberapa berupa limbah, biodegradable, sifat termal dan insulasi yang lebih baik, dan rendah konsumsi energi selama pemrosesan. Penggabungan dari dua atau lebih serat dengan satu matriks telah menyebabkan perkembangan dari komposit hibrida. Serat alami diperoleh oleh alam dari tumbuhan berasal dari batang, daun, akar, buah dan biji, dan lainnya. Serat alam memiliki potensi untuk bertindak sebagai penguat komposit yang aplikasinya diterapkan pada bidang seperti otomotif, alat olahraga, maupun biomedis (Jawaid, 2012).

Dalam beberapa tahun terakhir, serat alami menjadi perhatian para peneliti. Serat alami dinilai menggantikan serat kaca untuk membuat material komposit. Studi-studi ini termasuk sawit, kenaf, rami, bambu, dan lainnya. Menurut Muthia (2017), serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan kumpulan serat yang tertinggal setelah memisahkan buah dari tandan buah. Uji SEM dilakukan pada serat Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk mengetahui morfologi permukaan serat, dengan perbesaran 100 kali. Serat tandan kosong kelapa sawit menunjukkan permukaan yang kasar dengan ukuran diameter sekitar 343 - 365 μm . Morfologi yang kasar ini disebabkan oleh kandungan lapisan lilin, substansi lemak, dan kotoran tanah atau debu. Senyawa kimia yang paling banyak terkandung dalam serat kelapa sawit adalah selulosa 42,7%-65%, lignin 13,2%-25%, hemiselulosa 17%-33,5%, dan holoselulosa 68%-86%. Kekuatan tarik dan modulus elastisitas serat kelapa sawit cukup tinggi, yaitu mencapai 400 MPa dan 9 GPa, sehingga cocok untuk dijadikan bahan penguat pada komposit (Muthia 2017).

Menurut Mandiri (2012) industri kelapa sawit sendiri menghasilkan 126.317,54 ton kelapa sawit per tahun. Dari 1 ton kelapa sawit menghasilkan dapat limbah berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebanyak 23% atau 230 kg, limbah cangkang (*Shell*) sebanyak 6,5% atau 65 kg, *wet decanter solid* (lumpur sawit) 4 % atau 40 kg, serabut (*fiber*) 13% atau 130 kg serta limbah cair sebanyak 50%. Melimpahnya limbah ini yang mendorong peneliti untuk memanfaatkan limbah kelapa sawit sebagai inovasi bahan penguat dalam teknologi material komposit.

Beberapa penelitian mengenai TKKS sebagai bahan penguat komposit telah dilakukan. Salah satu diantaranya oleh Kim (2016) yang meneliti kekuatan tarik dan bending pada komposit TKKS/Epoksi menggunakan metode *vacuum bagging* dengan variasi fraksi berat TKKS 0-30% didapatkan kekuatan tarik dan bending maksimum pada variasi 27.3%, dengan kekuatan tarik sebesar 40 MPa, *modulus young* sebesar 2.54 GPa, dan untuk kekuatan bending sebesar 63.5 MPa.

Penelitian tentang komposit hibrid serat TKKS dilakukan oleh Hariharan (2005), yang meneliti kekuatan tarik dan impak komposit serat TKKS-Eglass/Epoksi, dengan metode bilayer komposit menggunakan *vacuum bagging*. Dimana serat TKKS dicuci dan dibersihkan dari kotoran kemudian di keringkan dalam oven dengan suhu 80°C dalam waktu 24 jam. Setelah itu serat TKKS dibentuk menjadi lembaran serat anyam. Kemudian serat TKKS dan *e-glass* ditumpuk dalam cetakan dengan variasi penambahan serat *e-glass* pada komposit TKKS sebesar 20%-80% dari fraksi berat serat. Resin yang digunakan adalah epoksi dan *polyamide* dengan penambahan *benzyl alcohol* sebesar 10% dari berat epoksi-*polyamide*. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh kekuatan tarik dan impak tertinggi dimiliki oleh variasi penambahan serat *e-glass* 80%, yaitu 87 Mpa dan 70 MPa. Sedangkan komposit TKKS/Epoksi tanpa penambahan serat *e-glass* hanya memiliki kuat tarik sebesar 24 MPa dan impak sebesar 18 MPa. Sedangkan untuk kuat tarik dan impak komposit *e-glass*/Epoksi sendiri adalah 111 Mpa dan 107 MPa.

Myrtha (2008) meneliti kekuatan bending komposit hibrid TKKS-Eglass/Polyester dengan variasi perbandingan fraksi volume serat TKKS-Eglass

40%:60% dan 70%:30%. Serat TKKS direndam dalam larutan alkali pada suhu 100°C selama 30 menit, kemudian diletakkan pada *aluminum sheet* dan dipress pada tekanan 1 MPa untuk membuatnya tipis dan saling silang satu sama lain. Metode yang digunakan dalam fabrikasi adalah *hand lay up*. Masing-masing lembaran serat TKKS dan e-glass disusun dalam cetakan tertutup, kemudian tuangkan resin polyester pada tumpukan serat lalu tutup cetakan. Setelahnya cetakan dipress pada tekanan 7,4 MPa pada suhu ruangan selama 24 jam. Dari hasil penelitian didapatkan kekuatan bending pada variasi penambahan TKKS 40% dan 70% berturut turut adalah sebesar 165,9 Mpa dan 143,0 MPa. Penambahan serat TKKS sebesar 40% terhadap serat e-glass memberikan hasil kuat tarik lebih baik daripada penambahan sebesar 70%.

Studi tentang kelayakan material komposit serat alam sebagai bahan penyusun tempurung helm sendiri sudah dilakukan oleh Allaya (2014) yang meneliti kekuatan mekanis komposit serat rami acak-polyester sebagai bahan tempurung helm dan membandingkannya dengan kekuatan helm standar SNI. Hasil tarik ASTM D 638-02 pada material helm SNI menunjukkan kekuatan sebesar 33,11 MPa, nilai tersebut sama dengan material UPRs (Unsaturated Polyester Resin) yang digunakan sebagai bahan penyusun helm SNI, yaitu sebesar 33,11 MPa. Kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada material Biokomposit UPRs-serat acak rami $V_f \approx 60\%$ yaitu sebesar 48,41 MPa. Kekuatan tarik pada material komposit meningkat seiring dengan penambahan fraksi volume serat rami. Sedangkan hasil pengujian impaknya menunjukkan kekuatan impak tertinggi diperoleh pada material biokomposit dengan $V_f \approx 60\%$ yaitu sebesar 42,55 kJ/m².

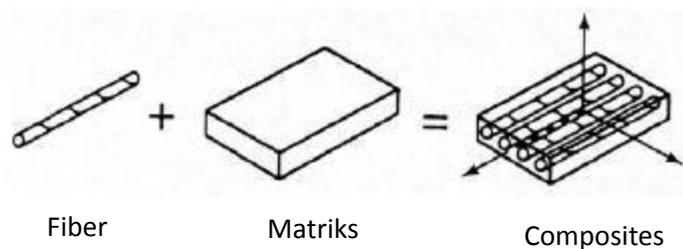
2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengertian Material Komposit

Komposit didefinisikan sebagai kombinasi dari dua material atau lebih yang berbeda bentuk, komposisi kimia, dan tidak saling melarutkan satu sama lain, dimana material yang satu berperan sebagai penguat dan material yang lainnya berfungsi sebagai perekat untuk membentuk satu material baru. Secara

umum terdapat dua kategori material penyusun komposit yaitu matrik dan *reinforcement* (Maryanti, 2011).

Menurut Krevelen (1994) komposit atau material komposit merupakan suatu materi yang tersusun atas lebih dari dua elemen penyusunnya. Komposit bersifat heterogen dalam skala makroskopik. Bahan penyusun komposit tersebut masing-masing memiliki sifat yang berbeda, dan ketika digabungkan dalam komposisi tertentu terbentuk sifat-sifat baru yang disesuaikan dengan keinginan. Pada umumnya dalam proses pembuatannya melalui pencampuran yang homogen, sehingga kita leluasa merencanakan kekuatan material komposit yang kita inginkan dengan jalan mengatur komposisi dari material pembentuknya. (Mehta, 1996). Komposisi komposit dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Komposisi Komposit (Van Rijswijk, 2001)

2.2.2 Penyusun Komposit

Komposit pada umumnya terdiri dari dua fasa

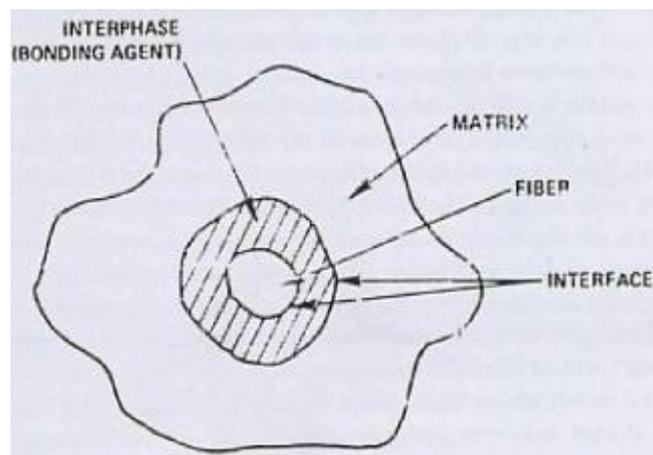
1. Reinforcement (filler / fiber)

Menurut Surdia (2005) Salah satu bagian utama dari komposit adalah reinforcement (penguat) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit. Adanya dua penyusun komposit atau lebih menimbulkan beberapa daerah dan istilah penyebutannya. Matriks (penyusun dengan fraksi volume terbesar), penguat (penahan beban utama), Interfase (pelekat antar dua penyusun), interfface (permukaan fasa yang berbatasan dengan fasa lain)

2. Matriks atau perekat

Mariks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume lebih besar dari penguatnya. Fungsi matriks adalah sebagai berikut :

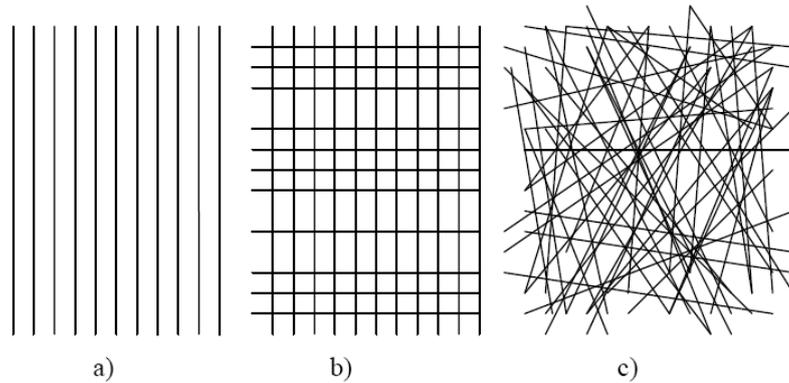
- a. Mentransfer tegangan ke serat
- b. Membentuk ikatan dengan serat
- c. Melindungi serat
- d. Memisahkkan serat
- f. Tetap stabil setelah proses manufaktur



Gambar 2.2 Penyusun komposit (Surdia, 2005)

2.2.3 Komposit Serat

Komposit serat adalah jenis komposit yang hanya menggunakan serat sebagai bahan penguatnya. Serat yang digunakan dapat berupa serat kaca, serat karbon, serat aramid (*polyaramide*), termasuk juga serat alam. Serat ini dapat disusun secara acak maupun dengan orientasi arah tertentu, bahkan dapat juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman. Komposit serat terdiri dari serat-serat yang diikat oleh matriks. Komposit serat juga terdiri dari dua macam yaitu serat panjang (*Continuous fiber*) dan serat pendek (*short fiber*) (Maryanti, 2011)



Gambar 2.3. Orientasi serat searah, Anyam, dan Acak

2.2.4 Fungsi Serat Sebagai Penguat

Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari material komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan mekanis komposit sangat dipengaruhi oleh jenis serat yang digunakan. Tegangan yang diberikan pada komposit awalnya diterima oleh matriks akan diteruskan menuju serat, sehingga serat akan menahan beban sampai titik maksimum. Oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang tinggi Nayiroh (2010).

Serat yang digunakan harus memiliki syarat sebagai berikut :

- a) Mempunyai diameter yang lebih kecil dari diameter bulknya (matriksnya) namun harus lebih kuat dari bulknya
- b) Harus mempunyai tensile strength yang tinggi.

2.2.5 Potensi Serat Tandan Kelapa Sawit sebagai Penguat Komposit

Industri pengolahan kelapa sawit menghasilkan minyak kelapa sawit yang juga menyisakan limbah cair, gas dan padat. Salah satu limbah padat yang dihasilkan dari industri pengolahan kelapa sawit adalah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). setiap pengolahan 1 ton TBS (Tandan Buah Segar) akan dihasilkan TKKS (Tandan Kosong Kelapa Sawit) sebanyak 23% TKKS atau sebanyak 230 kg TKKS (Mandiri, 2012). Pabrik kelapa sawit (PKS) umumnya mengembalikan TKKS tersebut ke lahan perkebunan untuk dijadikan pupuk.

Potensi limbah kelapa sawit telah menjadi penelitian di berbagai negara di luar negeri tentang perannya sebagai salah satu bahan penguat komposit. Ada

beberapa bagian dari kelapa sawit yang dapat berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan penyusun komposit diantaranya serat buah kelapa sawit, daun kelapa dan serat tandan kosong kelapa sawit. Serat tandan kosong kelapa sawit dapat digunakan sebagai penguat komposit dan menunjukkan bahwa panjang serat tandan kelapa sawit berpengaruh terhadap sifat mekanis komposit. Dari penelitian ini diketahui bahwa semakin panjang serat tandan kelapa sawit, semakin baik sifat mekaniknya (Sunardi, 2016).

Perlakuan awal berupa perendaman serat dalam alkaline atau silane dapat menghilangkan kotoran-kotoran yang menempel pada serat. Perlakuan ini dapat meningkatkan ikatan antar muka serat dan matriknya. Hal ini disebabkan oleh peningkatan kekasaran permukaan serat tandan kosong kelapa sawit (Sunardi, 2016)..

2.2.6 Serat Glass

Serat *glass* dibagi menjadi beberapa jenis, dan masing-masing mempunyai karakteristik yang berbeda antara satu dengan yang lain. Pada penggunaannya, serat *glass* disesuaikan dengan sifat atau karakteristik yang dimilikinya. Serat *glass* terbuat dari *silica, alumina, lime, magnesia* dan lain-lain. Keunggulan serat *glass* terletak pada ratio (perbandingan) harga dan performance yaitu biaya produksi rendah, proses produksi sangat sederhana. Serat *glass* aplikasinya sering dijumpai pada komponen otomotif dan perlengkapannya, seperti bodi sepeda motor, dan interior mobil. Komposit *glass-epoxy* dan *glass-polyester* diaplikasikan juga pada lambung kapal dan beberapa bagian pada pesawat terbang.

Serat *glass* dibagi menjadi tiga kelas, yaitu *E-glass, S-glass* dan *C-glass*. *C-glass* ditujukan untuk penggunaan pada aplikasi kelistrikan, *S-glass* digunakan untuk kekuatan tinggi dan *E-glass* digunakan untuk ketahanan korosi yang tinggi. Dibawah ini adalah tabel komposisi yang menunjukkan sifat dari serat E-glass yang akan digunakan pada penelitian ini pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi serat *e-glass* (Mallick 2007)

Type	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	B ₂ O ₃	Na ₂ O
E-glass	54.5	14.5	17	4.5	8.5	0.5
S-glass	64	26	—	10	—	—

Tabel 2.3 Sifat dari serat *e-glass* (Mallick 2007)

Sifat	Nilai
Massa Jenis	2,42 g/cm ³
Kuat Tarik	2400 MPa
E-Modulus	73 GPa
Spesifik Modulus	29 E-modulus/massa jenis

2.3 Matriks sebagai perekat

Matriks dalam komposit berfungsi sebagai bahan mengikat serat menjadi sebuah unit struktur, melindungi dari kerusakan eksternal, meneruskan atau memindahkan beban eksternal pada bidang geser antara serat dan matrik, sehingga matrik dan serat saling berhubungan. Pembuatan komposit serat membutuhkan ikatan permukaan yang kuat antara serat dan matrik. Selain itu matrik juga harus mempunyai kecocokan secara kimia agar reaksi yang tidak diinginkan tidak terjadi pada permukaan kontak antara keduanya. Untuk memilih matrik harus diperhatikan sifat-sifatnya antara lain seperti tahan terhadap panas, tahan cuaca yang buruk dan tahan terhadap guncangan yang biasanya menjadi pertimbangan dalam pemilihan material matrik. Bahan Polimer yang sering digunakan sebagai material matrik dalam komposit ada dua macam yaitu termoplastik dan termoset. Termoplastik dan termoset ada banyak macam jenisnya yaitu :

1. *Thermoplastic*

Thermoplastic adalah plastik yang dapat dilunakkan berulang kali (*recycle*) dengan menggunakan panas. *Thermoplastic* merupakan polimer

yang akan menjadi keras apabila didinginkan. *Thermoplastic* akan meleleh pada suhu tertentu, melekat mengikuti perubahan suhu dan mempunyai sifat dapat balik (reversibel) kepada sifat aslinya

Contoh *Thermoplastic*:

- *Polyamide (PI)*,
- *Polysulfone (PS)*,
- *Poluetheretherketone (PEEK)*,
- *Polyhenylene Sulfide (PPS)*,
- *Polypropylene (PP)*,
- *Polyethylene (PE) dll.*

2. *Thermoset*

Thermoset tidak dapat mengikuti perubahan suhu (*irreversibel*). Bila sekali pengerasan telah terjadi maka bahan tidak dapat dilunakkan kembali. Pemanasan yang tinggi tidak akan melunakkan *thermoset* melainkan akan membentuk arang dan terurai karena sifatnya yang demikian sering digunakan sebagai tutup ketel, seperti jenis-jenis melamin. Plastik jenis *thermoset* tidak begitu menarik dalam proses daur ulang karena selain sulit penanganannya juga volumenya jauh lebih sedikit (sekitar 10%) dari volume jenis plastik yang bersifat *thermoplastic*

Contoh *Thermoset*

- *Epoksi*,
- *Polyester*.
- *Phenolic*,
- *Plenol*,
- *Resin Amino*,
- *Resin Furan dll.*

Sedangkan menurut Ellyawan, sifat-sifat matrik yang baik adalah sebagai berikut:

- a. Sifat mekanis yang baik.
- b. Kekuatan ikatan yang baik.
- c. Ketangguhan yang baik.
- d. Tahan terhadap temperatur ekstrim

2.4 Resin Epoxy dan Hardener

Resin epoksi atau secara umum dikenal dengan bahan epoksi adalah salah satu dari jenis polimer yang berasal dari kelompok thermoset, yang dibentuk melalui proses polimerisasi kondensasi, bahan plastik yang tidak dapat dilunakkan kembali atau dibentuk kembali kekeadaan sebelum mengalami pengeringan. Proses pembuatannya dapat dilakukan pada suhu kamar dengan memperhatikan zat-zat kimia yang digunakan sebagai pengontrol polimerisasi jaringan silang agar didapatkan hasil yang optimum. Epoksi termasuk kelompok polimer yang digunakan sebagai bahan pelapis, perekat, dan sebagai matriks pada material komposit di beberapa bagian struktural, resin ini juga dipakai sebagai bahan campuran pembuatan kemasan, bahan cetakan, dan perekat. Digunakan juga pada banyak aplikasi seperti automotif, *aerospace*, perkapalan, dan peralatan elektronik yang secara umum memiliki sifat yang baik dalam hal reaksi kimia, konduktivitas termal, konduktivitas listrik, tahan korosi, kekuatan tarik dan kekuatan bending sangat baik (Fred, 1994).

Resin epoksi mempunyai sifat-sifat: berstruktur amorf, tidak bisa meleleh, tidak bisa didaur ulang, atom-atomnya berikatan kuat sekali. Keunggulan yang dimiliki resin epoksi ini adalah ketahanannya terhadap panas dan kelembaban, sifat mekanik yang baik, tahan terhadap bahan-bahan kimia, sifat insulator, sifat perekatnya yang baik terhadap berbagai bahan, dan resin ini mudah dalam modifikasi dan pembuatannya. Namun demikian epoksi juga mempunyai kelemahan pada sifat sensitif menyerap air dan getas. Kegunaan epoksi sebagai bahan matriks dibatasi oleh ketangguhan yang rendah dan cenderung rapuh (Liu, 2004).

Epoksi bertekstur kental dan membutuhkan katalis. Katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metyl Etyl Keton Peroksida (MEKPO) yaitu bahan kimia yang dikenal dengan sebutan hardener. Fungsi dari katalis adalah mempercepat proses pengeringan (*curing*) pada bahan matrik suatu komposit. Semakin banyak katalis yang dicampurkan pada cairan matrik akan mempercepat proses laju pengeringan (Kusuma, 2015). Dari penelitian Kumar (2008) menjelaskan bahwa resin epoxy memiliki nilai *tensile strength* mencapai 132,4 MPa.

2.5 Komposit Hibrid

Komposit hibrid merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak atau dengan dengan memadukan dua serat yang berbeda, contohnya serat alam dan serat sintetis. Pertimbangannya supaya dapat mengeliminir kekurangan sifat dari kedua tipe serat dan dapat menggabungkan kelebihanannya. Jenis serat yang biasa digunakan untuk pembuatan komposit hibrid antara lain serat glass tipe E-glass, C-glass, dan S-glass, serat carbon (Nayiroh, 2010). Serat alam juga memiliki potensi untuk bertindak sebagai penguat komposit seperti rami, sisal, kenaf dan sawit yang aplikasinya diterapkan pada bidang seperti otomotif, alat olahraga, maupun biomedis (Jawaid, 2012).



Gambar 2.4. Hybrid fibre composites (Gibson, 1994)

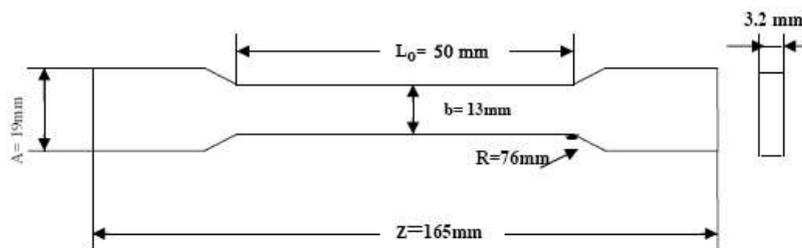
2.6 Uji Mekanik

Uji mekanik yang dilakukan pada penelitian ini meliputi uji tarik dan uji impact. Uji tarik yang dilakukan mengacu pada standar ASTM D638, sedangkan uji impact standar ASTM D6110. Pengujian tarik dilakukan untuk mencari kuat tarik, regangan dan modulus elastisitas material komposit. Sedangkan uji impact mencari kuat impact, dan energi serap energi dari beban kejut yang diberikan terhadap spesimen.

2.6.1 Pengujian Tarik

Kekuatan tarik diukur dengan menarik spesimen uji komposit dengan dimensi yang seragam. Tegangan tarik, σ , adalah gaya yang diaplikasikan, F , dibagi dengan luas penampang, A . Dari pengujian tarik diperoleh data berupa beban maksimum yang dapat ditahan komposit sebelum patah dan pertambahan panjang. Dari data-data tersebut dapat dicari nilai kekuatan tarik (tegangan), regangan dan modulus elastisitas komposit (Surdia, 1995).

Dimensi spesimen tarik menurut standar ASTM D638 adalah sebagai berikut pada gambar 2.1



Gambar 2.5 Dimensi spesimen uji tarik ASTM D638

Nilai kekuatan tarik suatu komposit dapat dinyatakan dalam persamaan 2.4

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots \dots \dots (2.4)$$

dimana:

σ = Tegangan normal (MPa)

F = Gaya yang bekerja (N)

A_0 = Luas penampang mula-mula komposit (mm²)

Besarnya regangan adalah perpanjangan tarik, ϵ , perubahan panjang sampel dibagi dengan panjang awal. Dinyatakan dalam persamaan 2.5 berikut

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana:

ϵ = Regangan.

ΔL = Pertambahan panjang. (mm)

L_0 = Panjang daerah ukur atau panjang awal (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. Dinyatakan dalam persamaan 2.6 berikut

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana:

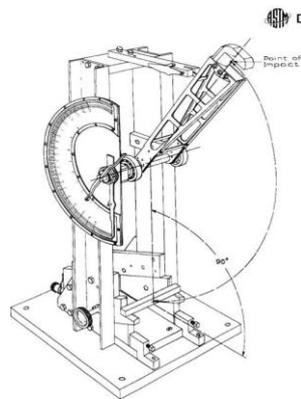
E = Modulus elastisitas (MPa)

σ = Kekuatan tarik komposit (MPa)

ϵ = Regangan.

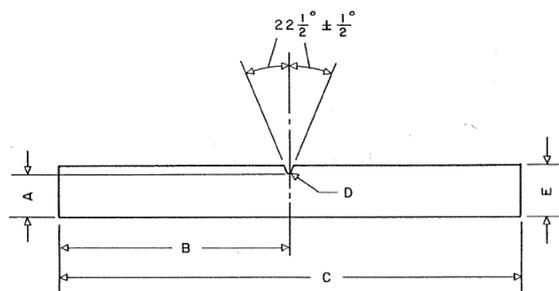
2.6.2. Uji Impak

Pengujian impak bertujuan untuk menguji energi serap suatu material sampai pada titik maksimal suatu material tersebut patah. Uji impak merupakan respon terhadap beban kejut atau beban tiba-tiba. Skema alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Charpy* yang ditunjukkan pada gambar 2.3



Gambar 2.6 . Skema alat uji impak

Energi yang diserap dihitung dari perbedaan h' dan h (mgh' dan mgh). Posisi simpangan lengan pendulum terhadap garis vertikal adalah α , dan posisi lengan pendulum terhadap garis vertikal setelah membentur spesimen adalah β . Panjang lengan ayunnya adalah R . dengan mengetahui energi potensial yang diserap material, maka dapat diketahui ketangguhan suatu material terhadap uji impak. Berikut adalah dimensi spesimen uji impak menurut standar ASTM D6110 pada Gambar 2.4.



Gambar 2.7 Dimensi spesimen uji impak standar ASTM D6110

- A = 10.16 ± 0.05
- B = 63.5 max - 61.0 min
- C = 127.0 max - 124.5 min
- D = $0.25R \pm 0.05$
- E = 12.70 ± 0.15

Persamaan yang dibutuhkan untuk mengetahui besaran nilai energi serap dijelaskan pada persamaan 2.7

$$\begin{aligned}
 \text{Eserap} &= \text{Energi awal} - \text{E sisa} \\
 &= m \cdot g \cdot h - m \cdot g \cdot h' \\
 &= m \cdot g \cdot (R \cdot \cos \alpha) - m \cdot g \cdot (R \cdot \cos \beta) \\
 \text{Eserap} &= m \cdot g \cdot R \cdot (\cos \beta - \cos \alpha) \dots \dots \dots (2.7)
 \end{aligned}$$

Dimana,

Eserap = energi serap (J)

m = massa pendulum (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

R = panjang lengan (m)

α = sudut ayunan pendulum tanpa spesimen ($^\circ$)

β = sudut ayunan pendulum setelah mematahkan spesimen ($^\circ$)

Dari hasil perhitungan energi yang diserap tersebut, maka dapat diketahui besaran harga impact yang dihitung dengan persamaan 2.8

Harga Impact

$$(\text{HI}) = \frac{\text{Eserap}}{A} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana,

HI = harga impact (J/mm^2)

Eserap = energi serap (j)

A = luas penampang spesimen (mm^2)

2.7 Karakterisasi Kekuatan Mekanis Komposit

Kekuatan komposit dengan bahan penguat berupa serat acak dan matrik dari resin akan tergantung pada: (a) bahan serat dan diameter serat, (b) bahan resin, (c) daya ikat antara resin dan serat dan sudut orientasi serat di dalam matrik. Bila beban yang bekerja pada komposit sejajar dengan arah serat, maka sudut orientasi serat adalah 0° dan bila beban yang bekerja pada komposit tegak lurus dengan arah serat maka sudut orientasi serat adalah 90° . Kekuatan komposit akan semakin rendah bila sudut orientasi serat semakin besar (menuju 90°). Kerusakan yang timbul pada komposit dapat berupa: kerusakan serat, serat melengkung (*buckling / kinking*), *fiber splitting*, *fiber pullout*, ikatan serat/matrik *debonding*, matrik retak dan retak radial (*radial crack*) (Viktor, 2010).