

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu mengenai material komposit berbasis serat alam telah banyak dilakukan sebagai upaya pengembangan material ramah lingkungan yang memiliki sifat mekanik cukup baik untuk aplikasi teknik. Berbagai jenis serat alam, telah diteliti sebagai bahan penguat (*reinforcement*) dalam matriks polimer termoset maupun termoplastik. Fokus utama penelitian – penelitian tersebut umumnya adalah pengaruh jenis serat, fraksi volume serat, perlakuan permukaan serat, serta jenis matriks terhadap sifat mekanik komposit, khususnya kekuatan tarik dan ketahanan impact.

(Risqi Romadhon & Deni Andriyansyah, 2025) melakukan penelitian terhadap komposit berbasis resin poliester yang diperkuat dengan serat sabut kelapa menggunakan variasi fraksi volume serat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan fraksi volume serat sabut kelapa mampu meningkatkan ketahanan impact komposit hingga sekitar 25%. Namun demikian, peningkatan fraksi serat yang terlalu tinggi menyebabkan penurunan homogenitas material akibat terbentuknya rongga (*void*) dan distribusi serat yang tidak merata.

(Mohammed et al., 2017) meneliti komposit berbasis resin epoksi dengan penguat serat pisang. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa serat pisang memiliki kontribusi signifikan terhadap peningkatan kekuatan tarik komposit. Hasil uji tarik menunjukkan peningkatan 30% dibandingkan resin murni. Hal ini disebabkan oleh kandungan selulosa serat pisang yang tinggi, sehingga mampu mentransfer beban tarik dari matriks ke serat secara efektif.

(Gundara & Nur Rahman, 2019) melakukan studi eksperimental terhadap komposit serat pisang dengan berbagai orientasi dan panjang serat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa serat pisang sangat potensial digunakan sebagai penguat komposit alami karena memiliki kekuatan tarik yang relatif tinggi serta kompatibilitas yang baik dengan matriks polimer. Penelitian ini juga menegaskan bahwa parameter panjang dan orientasi serat sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik komposit yang dihasilkan.

(Bledzki & Gassan, 1999) dalam penelitiannya mengenai komposit serat alam menyimpulkan bahwa serat dengan kandungan lignin tinggi, seperti sabut kelapa, cenderung memberikan ketahanan impact yang lebih baik dibandingkan serat dengan kandungan selulosa dominan. Sebaliknya, serat dengan kandungan selulosa tinggi, seperti serat pisang, lebih unggul dalam meningkatkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas komposit.

Penelitian (Suriani & et al., 2019) juga menunjukkan bahwa sifat mekanik tarik dan impact pada komposit serat alam tidak selalu berbanding lurus. Komposit dengan kekuatan tarik tinggi belum tentu memiliki ketahanan impact yang tinggi, sehingga pemilihan jenis serat harus disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi material.

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa baik serat sabut kelapa maupun serat pisang memiliki keunggulan dan keterbatasan masing – masing. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk membandingkan secara langsung sifat mekanik berupa kekuatan tarik dan ketahanan impact antara komposit serat sabut kelapa dan komposit serat pisang dengan matriks resin poliester, sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pemilihan material komposit berbasis serat alam yang tepat.

2.2 Definisi Komposit

Material komposit merupakan material yang tersusun dari dua atau lebih bahan dengan sifat fisik kimia yang berbeda, kemudian digabungkan untuk menghasilkan material baru dengan karakteristik yang lebih unggul daripada masing-masing material penyusunnya secara terpisah. Komposit umumnya terdiri dari dua komponen utama, yaitu *matriks (matrix)* sebagai fase kontinu dan *penguat (reinforcement)* sebagai fase kontinu yang memberikan kontribusi utama terhadap peningkatan sifat mekanik (Callister & Rethwisch, 2018).

Secara umum, komponen-komponen komposit terdiri dari:

1. Matriks (*Matrix*)

Matriks berfungsi sebagai pengikat serat, mentransfer tegangan dari matriks ke serat, serta melindungi serat dari kerusakan mekanik maupun pengaruh lingkungan. Matriks dapat polimer, logam maupun keramik, dan pemilihannya bergantung pada aplikasi komposit.

2. Penguat (*Reinforcement*)

Penguat berfungsi untuk meningkatkan sifat mekanik komposit seperti kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan ketahanan impak. Penguat dapat berupa serat Panjang, serta pendek, partikel, atau flake, baik dari bahan sintetis (misalnya serat, kaca, karbon) maupun bahan alami (misalnya serat sabut kelapa, serat pisang, kenaf dan rami)

Gambar berikut menunjukkan skema sederhana dari struktur material komposit:



Gambar 2. 1 Struktur Umum Material Komposit

Sumber: Gibson (2016)

Material komposit banyak digunakan dalam berbagai sector industri, antara lain:

1. Industri Otomotif: Untuk pembuatan bodi mobil yang ringan dan kuat.
2. Industri Dirgantara: Pada pesawat terbang untuk menurunkan berat pesawat tanpa mengurangi kekuatan struktural.
3. Industri Kelautan: Digunakan pada lambung kapal karena tahan terhadap korosi air laut.
4. Industri Konstruksi: Dalam bentuk panel, beton bertulang serat, dan pelapis tahan api.

Keunggulan komposit antara lain:

1. Rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi.
2. Tahan korosi.
3. Dapat direkayasa untuk sifat tertentu.

4. Bobot ringan dan umur pakai tinggi.

Dalam beberapa dekade terakhir, penggunaan serat alam sebagai penguat dalam material komposit semakin populer, karena sifatnya yang ramah lingkungan, terbarukan, dan biaya produksinya rendah. Contoh serat alam yang digunakan sebagai penguat antara lain serat sabut kelapa (*coconut fiber*), serat pisang (*banana fiber*), rami, dan kenaf.

Komposit dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan bentuk penguat, yaitu:

1. Komposit serat pendek (*short fiber composites*)
2. Komposit serat Panjang (*continuous fiber composites*)
3. Komposit partikel (*particulate composites*)

Dalam penelitian ini digunakan komposit serat pendek alami dari sabut kelapa dan serat pisang dengan matriks resin polyester.

2.3 Komposit Serat Alam

Serat alam merupakan material organik yang berasal dari sumber hayati, seperti tumbuhan, hewan, dan mineral. Dalam konteks material komposit, serat alam yang paling umum digunakan adalah serat dari tumbuhan (*plant-based fiber*), seperti serat sabut kelapa, serat pisang, rami kenaf, sisal, dan lainnya. Serat ini tersusun atas selulosa, hemiselulosa, dan lignin, yang memberikan kekuatan dan kekakuan mekanik yang cukup baik.

Penggunaan serat alam sebagai penguat dalam material komposit mengalami peningkatan signifikan dalam beberapa

decade terakhir. Hal ini disebabkan oleh berbagai keunggulan yang ditawarkan serat alam dibandingkan serat sintetis, seperti serat kaca atau serat karbon. Beberapa keunggulan serat alam antara lain:

1. Ramah lingkungan (*biodegradable*): Serat alam dapat terurai secara alami dan tidak menimbulkan pencemaran lingkungan setelah masa pakainya habis, sehingga lebih sesuai dengan prinsip material berkelanjutan.
2. Ketersediaan melimpah: Serat alam diperoleh dari limbah pertanian atau tanaman yang mudah dibudidayakan, sehingga menjamin pasokan yang berkelanjutan
3. Ringan: Serat alam memiliki densitas rendah (antara 1,2 – 1,5 g/cm³), menjadikannya ideal untuk aplikasi yang memerlukan bobot ringan.
4. Biaya rendah: Proses produksi dan pengolahan serat alam umumnya lebih murah dibandingkan serat sintetis.

Kekuatan mekanik layak: Meskipun tidak sekuat serat karbon atau serat kaca, banyak serat alam memiliki sifat mekanik yang cukup untuk berbagai aplikasi Teknik menengah, terutama jika dikombinasikan dengan matriks polimer yang sesuai.

Namun, serat alam juga memiliki beberapa keterbatasan Seperti Sifat higroskopis (mudah menyerap air), ketahanan panas Rendah, dan ketidakkonsistenan dimensi. Oleh karena itu, sering dilakukan perlakuan kimia (seperti alkalinisasi atau silanisasi) untuk meningkatkan ikatan antar serat dan matriks serta meningkatkan stabilitas termalnya. Gambar berikut menunjukkan ilustrasi struktur serat alam dan aplikasinya dalam komposit



Gambar 2. 2 Struktur Serat Alam

Sumber: Pickering (2016)

Dengan mempertimbangkan keunggulan dan potensi pengembangannya, serat alam menjadi alternatif yang sangat menjanjikan untuk menggantikan sebagian penggunaan serat sintetis dalam berbagai aplikasi teknik

2.4 Pengertian Serat Alam

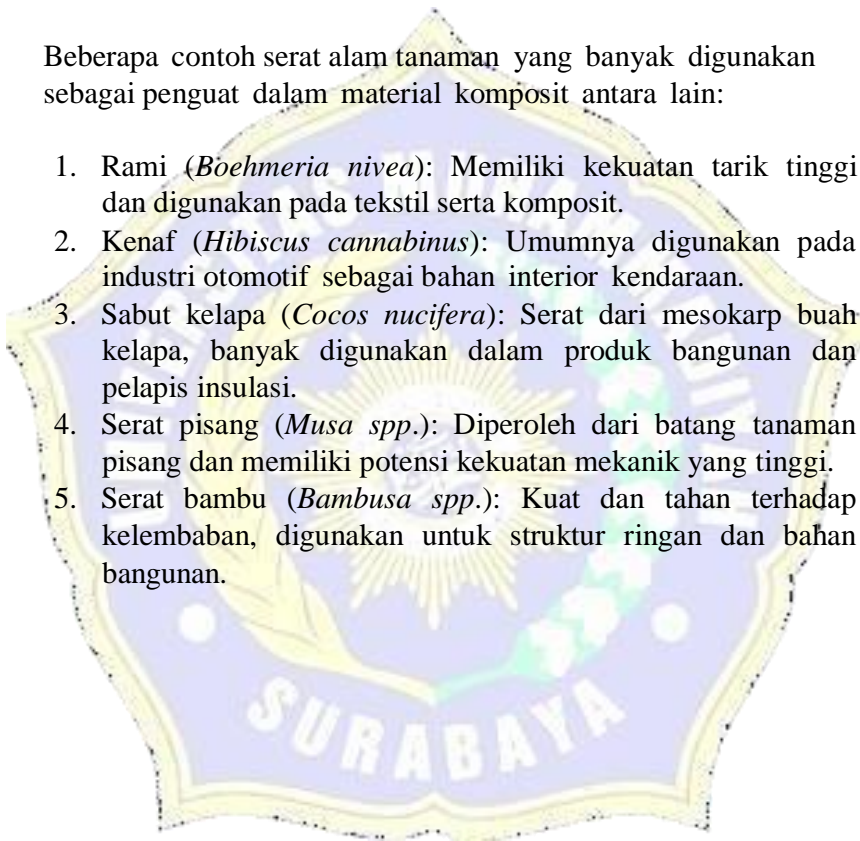
Serat alam adalah serat yang berasal dari sumber daya hayati seperti tumbuhan, hewan, maupun mineral. Dalam konteks komposit, serat alam yang paling umum digunakan berasal dari tumbuhan, yang disebut juga sebagai serat lignoselulosa. Serat ini diperoleh dari bagian tanaman seperti batang, daun, buah, atau biji, dan memiliki potensi besar sebagai bahan penguat (*reinforcement*) dalam material komposit karena sifatnya yang ramah lingkungan, ringan, murah, dan terbarukan. Secara kimiawi, serat alam tanaman tersusun atas tiga komponen utama:

1. Selulosa (*Cellulose*): Komponen utama penyusun dinding sel tanaman yang memberikan kekuatan tarik. Selulosa bersifat kristalin dan bertanggung jawab atas sifat mekanik serat.

2. Hemiselulosa (*Hemicellulose*): Polisakarida amorf yang membantu mengikat serat dan memberikan fleksibilitas, namun memiliki ketahanan air yang rendah.
3. Lignin: Senyawa aromatik kompleks yang memberikan kekakuan dan ketahanan terhadap degradasi biologis dan kimia. (Siagian et al., 2024)

Beberapa contoh serat alam tanaman yang banyak digunakan sebagai penguat dalam material komposit antara lain:

1. Rami (*Boehmeria nivea*): Memiliki kekuatan tarik tinggi dan digunakan pada tekstil serta komposit.
2. Kenaf (*Hibiscus cannabinus*): Umumnya digunakan pada industri otomotif sebagai bahan interior kendaraan.
3. Sabut kelapa (*Cocos nucifera*): Serat dari mesokarp buah kelapa, banyak digunakan dalam produk bangunan dan pelapis insulasi.
4. Serat pisang (*Musa spp.*): Diperoleh dari batang tanaman pisang dan memiliki potensi kekuatan mekanik yang tinggi.
5. Serat bambu (*Bambusa spp.*): Kuat dan tahan terhadap kelembaban, digunakan untuk struktur ringan dan bahan bangunan.



Tabel berikut menunjukkan komposisi kimia umum dari beberapa serat alam:

Tabel 2. 1 Komposisi kimia umum

Jenis Serat	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)	Densitas (g/cm ³)
Rami	68-76	13-16	0.6-0.8	1.50
Kenaf	45-57	21.5	8-13	1.45
Kelapa	32-43	0.15-0.25	40-45	1.15
Serat Pisang	60-65	6-10	5-10	1.35
Bambu	40-60	15-25	20-30	1.20-1.40

Sumber: Mohanty et al. (2005)

Karena ketersediaannya yang melimpah dan sifatnya yang dapat diperbaharui, serat alam tanaman menjadi solusi alternatif untuk menggantikan serat sintetis dalam penguatan komposit, terutama dalam aplikasi yang tidak memerlukan ketahanan suhu ekstrem.

2.5 Sabut Kelapa

Sabut kelapa adalah bagian luar dari buah kelapa (*Cocos nucifera*) yang terdiri dari jaringan serat kasar dan matriks pengikat berupa lignin dan pektin. Sabut ini dikenal sebagai salah satu sumber serat alam yang memiliki potensi besar sebagai bahan penguat (*reinforcement*) dalam material komposit karena sifat mekanik dan ketahanannya terhadap lingkungan yang cukup baik. (Ningtyas et al., 2022).

Serat sabut kelapa (*coir fiber*) merupakan salah satu jenis serat lignoselulosa yang memiliki kandungan lignin tinggi, yaitu sekitar 40–45%, menjadikannya tahan terhadap kelembapan dan degradasi biologis. Kandungan lignin yang tinggi juga menyebabkan serat ini lebih kaku dan tahan impak dibandingkan serat alam lainnya seperti kapas atau rami (Bledzki & Gassan, 1999).

Karakteristik Fisik dan Mekanik Sabut Kelapa Berikut ini adalah beberapa karakteristik utama dari serat sabut kelapa:

- Densitas : $\pm 1,15 \text{ g/cm}^3$
- Kekuatan Tarik : 131-175 MPa
- Modulus elastisitas : 4 – 6 GPa
- Panjang serat : 15 - 35 cm
- Kadar lignin : $\pm 40 - 45\%$
- Warna : coklat muda sampai tua

Sumber: Ramesh et al. (2013)

Kelebihan Sabut Kelapa, beberapa kelebihan sabut kelapa sebagai bahan penguat komposit antara lain:

1. Elastisitas yang baik – memberikan fleksibilitas pada komposit.
2. Tahan terhadap kelembapan – cocok digunakan di lingkungan tropis atau aplikasi luar ruang.
3. Daya redam getaran tinggi – berpotensi diaplikasikan pada komponen otomotif atau konstruksi yang memerlukan peredaman suara dan getaran.

Kelemahan Sabut Kelapa, meskipun memiliki banyak kelebihan, serat sabut kelapa juga memiliki beberapa keterbatasan, seperti:

1. Variasi dimensi yang besar – panjang, diameter, dan ketebalan serat bervariasi, yang dapat mempengaruhi homogenitas dan kualitas komposit.
2. Struktur serat yang kasar – menyebabkan kesulitan dalam pencampuran dengan matriks jika tidak dilakukan perlakuan permukaan terlebih dahulu.



Gambar 2. 3 Sabut Kelapa

Sumber: Ramesh et al. (2013)

Untuk meningkatkan interaksi antara serat sabut kelapa dan matriks polimer, biasanya dilakukan perlakuan kimia seperti alkalisasi (NaOH treatment) guna membersihkan permukaan serat dari pengotor, mengurangi hemiselulosa, dan meningkatkan kekasaran permukaan agar ikatan antarmuka lebih kuat (Kalia et al., 2009).

2.6 Serat Pisang

Serat pisang merupakan salah satu jenis serat alam yang berasal dari batang tanaman pisang (*Musa spp.*), terutama bagian pseudostem (batang semu). Serat ini tergolong dalam kelompok serat lignoselulosa dan memiliki kandungan selulosa yang tinggi, yaitu sekitar 60–65%. Karena kandungan selulosanya yang dominan, serat pisang memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan sifat biodegradabilitas yang baik, sehingga sangat potensial digunakan sebagai bahan penguat (*reinforcement*) dalam pembuatan material komposit ramah lingkungan.

Serat pisang dapat diperoleh melalui proses mekanik (ekstraksi manual atau semi-otomatis), dan kualitasnya dapat ditingkatkan melalui perlakuan kimia seperti alkalisasi (perlakuan NaOH). Perlakuan ini mampu menghilangkan hemiselulosa dan lignin berlebih, memperbaiki kekasaran permukaan serat, serta meningkatkan adhesi antara serat dan matriks dalam komposit (Kalia et al., 2009).

1. Densitas : $\pm 1,35 \text{ g/cm}^3$
2. Kekuatan Tarik : 400 – 500 MPa
3. Modulus elastisitas : 12 – 20 GPa
4. Panjang serat : 10–30 cm
5. Kadar selulosa : $\pm 60\text{--}65\%$
6. Warna : putih kekuningan

Sumber: Kalia et al. (2009)

Kelebihan Serat Pisang, serat pisang memiliki beberapa keunggulan penting sebagai penguat dalam komposit:

1. Kekuatan tarik tinggi – sangat cocok untuk aplikasi struktural menengah yang membutuhkan ketahanan terhadap gaya Tarik.
2. Permukaan serat halus – memudahkan proses pencampuran dengan matriks dan meningkatkan daya ikat antar fase.
3. Dapat diproses lebih presisi – baik dalam bentuk serat panjang maupun sebagai bagian dari campuran komposit cetak.

Kelemahan Serat Pisang, meski memiliki sifat mekanik yang unggul, serat pisang juga memiliki beberapa keterbatasan:

1. Cenderung kaku dan getas – kurang cocok untuk aplikasi yang membutuhkan fleksibilitas tinggi atau deformasi berulang.
2. Kurang elastis terhadap beban dinamis – menyebabkan keterbatasan dalam aplikasi seperti peredam getaran atau komponen dinamis.



Gambar 2. 4 Serat Pisang

Sumber: Mohanty et al. (2005)

Dengan karakteristik tersebut, serat pisang sangat menjanjikan

dalam pengembangan komposit polimer berbasis serat alam, baik sebagai penguat tunggal maupun dalam kombinasi dengan serat lain (komposit hibrid), terutama untuk aplikasi produk ringan, bahan bangunan, atau interior otomotif

2.7 Resin Polyester

Resin polyester adalah salah satu jenis resin termoset (*thermosetting resin*) yang paling umum digunakan sebagai matriks dalam pembuatan material komposit, termasuk komposit berbasis serat alam seperti sabut kelapa dan serat pisang. Resin ini merupakan hasil dari polimerisasi tak jenuh antara asam organik (seperti *maleic anhydride*) dan alkohol poli-fungsional, dengan penambahan monomer stirena sebagai pelarut reaktif.

Penggunaan resin polyester dalam komposit sangat populer karena sifatnya yang ekonomis, mudah diproses, dan memiliki kekakuan yang baik. Resin ini bekerja sebagai media pengikat antara serat penguat dan menjaga integritas bentuk material komposit.

Karakteristik Umum Resin Polyester:

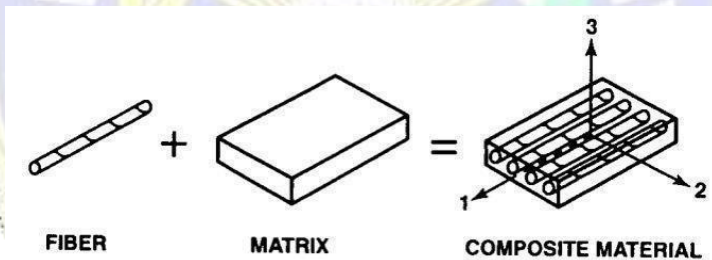
1. Sifat mekanik sedang: Resin polyester memiliki kekuatan tarik dan modulus elastisitas yang cukup untuk berbagai aplikasi teknik ringan hingga sedang.
2. Ketahanan kimia baik: Tahan terhadap kelembapan, bahan kimia ringan, dan pelarut organik, sehingga cocok untuk aplikasi luar ruang dan kelautan.
3. Proses pencampuran sederhana: Tidak memerlukan alat khusus dan dapat dicampurkan secara manual dengan katalis seperti MEKPO (*Methyl Ethyl Ketone Peroxide*) untuk proses curing.

Kelebihan Resin Polyester:

1. Biaya produksi rendah.
2. Proses pengolahan cepat dan mudah.
3. Stabil secara kimia terhadap kelembapan dan pelarut ringan.
4. Umur simpan panjang dalam kondisi penyimpanan yang sesuai.

Kelemahan Resin Polyester:

1. Bersifat getas (*brittle*), sehingga mudah retak jika terkena beban impak tinggi.
2. Ketahanan terhadap impak relatif rendah dibanding resin epoksi.
3. Cenderung mengalami penyusutan selama proses curing, yang dapat memengaruhi kualitas produk akhir.



Gambar 2. 5 Ilustrasi penggabungan serat dan matriks

Sumber: Callister & Rethwisch (2020)

Dalam aplikasi komposit serat alam, resin polyester sering digunakan pada proses *hand lay-up*, *spray-up*, dan *compression molding* karena kepraktisannya. Meskipun demikian, untuk aplikasi struktural yang memerlukan ketangguhan dan impak resistance yang lebih tinggi, resin ini terkadang digantikan oleh

resin epoksi atau dimodifikasi dengan aditif.

2.8 Uji Tarik (*Tensile Test*)

Uji tarik merupakan metode untuk mengukur seberapa besar gaya maksimum yang dapat ditahan oleh suatu

material sebelum mengalami kerusakan saat ditarik. Pengujian ini menghasilkan kurva tegangan-regangan yang digunakan untuk mengetahui:

Kekuatan tarik maksimum (*Ultimate Tensile Strength/UTS*)

$$\sigma = F / A \dots\dots\dots (2. 1)$$

Keterangan :

- σ = Tegangan (MPa)
- F = Gaya tarik maksimum (N)
- A = Luas penampang (mm²)

Modulus elastisitas (*Young's modulus*)

$$E = \sigma / \varepsilon \dots\dots\dots (2. 2)$$

Keterangan :

- E = Modulus elastisitas (MPa)

***Yield Strength* (σ_Y)**

Yield Strength adalah tegangan saat material mulai mengalami deformasi plastis.

$$\sigma_Y = \frac{F_y}{A} \dots\dots\dots (2. 3)$$

Keterangan :

- σ_Y = *Yield Strength* (N/mm² atau MPa)

F_y = Gaya pada titik luluh / yield (N)
 A = Luas penampang spesimen (mm²)

Tensile Strength (σ_u)

$$\sigma_u = \frac{F_{max}}{A} \dots\dots\dots (2. 4)$$

Keterangan :

σ_u = *Tensile Strength* (N/mm² atau MPa)

F_{max} = Gaya maksimum (N)

A = Luas penampang spesimen (mm²)

Standar pengujian yang digunakan adalah ASTM D638 untuk material komposit berbasis plastik.



Gambar 2. 6 Mesin Uji Tarik Universal

Sumber: ASTM D638-14

2.9 Uji Impak (*Impact Test*)

Uji impak digunakan untuk mengukur kemampuan material dalam menyerap energi saat terkena beban secara tiba-tiba atau

tumbukan. Salah satu metode uji impact adalah Izod atau Charpy, dengan standar ASTM D256.

Uji ini penting untuk mengetahui seberapa tahan suatu material terhadap benturan atau kerusakan mendadak, khususnya pada material getas seperti komposit resin.

1. Energi Impact (manual):

$$E = m \times g \times (h_1 - h_2) \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

- E = Energi impact (Joule)
- m = Massa bandul (kg)
- g = 9.81 m/s²
- h₁ = Ketinggian awal
- h₂ = Ketinggian akhir

2. Energi per luas penampang:

$$E = W / (b \times d) \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

- E = Energi per satuan luas (J/mm²)
- W = Energi serap (J)
- b = Lebar spesimen (mm)
- d = Ketebalan spesimen (mm)



Gambar 2. 7 Mesin Uji Impak Charpy

Sumber: ASTM D256-10

2.10 Komposit Termoplastik dan Thermoset

Komposit dapat menggunakan dua jenis matriks yaitu:

1. Termoplastik: seperti *polipropilena* (PP) dan *Polietilena* (PE), yang dapat dilelehkan dan dibentuk ulang.
2. Termoset: seperti resin epoksi dan polyester, yang mengeras secara permanen setelah proses curing.

Jenis matriks sangat mempengaruhi sifat akhir dari material komposit termasuk ketahanan terhadap suhu kelembaban dan beban mekanik (Strong, 2008).

2.11 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Sifat Mekanik Komposit Serat Alam

Beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan mekanik komposit serat alam antara lain:

1. Fraksi volume serat
2. Panjang dan orientasi serat

3. Kualitas interaksi antara serat dan matriks
4. Jenis perlakuan kimia terhadap serat (alkalisasi, silanisasi dll.)
5. Jenis dan metode fabrikasi komposit (*Hand Lay-Up*, *compression molding* *injection molding*, dll.)

2.11.1 Proses Fabrikasi Komposit Serat Alam

Proses fabrikasi komposit memegang peran penting dalam pembentukan kualitas akhir material. Beberapa metode umum yang digunakan dalam pembuatan komposit serat alam antara lain:

1. *Hand Lay-Up* Merupakan metode manual paling sederhana di mana serat diletakkan dalam cetakan resin dituangkan atau disikat di atasnya. Setelah itu proses curing dilakukan pada suhu kamar atau menggunakan pemanas. Teknik ini cocok untuk produksi skala kecil.
2. *Compression Molding* Dalam metode ini campuran serat dan resin ditempatkan dalam cetakan logam dengan kepadatan dan homogenitas yang lebih baik.
3. *Injection Molding* Digunakan untuk produksi massal, Teknik ini melibatkan pencampuran serat pendek dengan resin termoplastik kemudian dilelehkan dan disuntikkan ke dalam cetakan metode ini cocok untuk komposit berbasis serat pendek dan material termoplastik.