

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian pada bidang komposit masih dikembangkan oleh peneliti, baik didalam maupun diluar negeri, antara lain komposit dengan penambahan serat mikro seperti penambahan silika (Charbet dkk, 2004) dan kalsium karbonat (Chen dkk, 2004) yang melaporkan penambahan serat mikro dapat meningkatkan sifat mekanis, adapun komposit yang memanfaatkan serat alam antara lain serat nanas (Nuri dkk, 2006) dan serat kenaf (Diharjo, N. P, 2005) sehingga potensi untuk mengembangkan berbagai metode penelitian masih terbuka lebar.

Pernyataan Tuati dkk, (2015) mengemukakan bahwa kekuatan mekanik yang terdapat pada material komposit berpenguat serat akan sangat dipengaruhi oleh fraksi volume. Penelitian yang dilakukan oleh Wijoyo dkk, (2011) tentang pengaruh fraksi volume serat terhadap ketangguhan impak komposit limbah serat aren-*polyester* didapatkan hasil ketangguhan impak komposit aren-*polyester* dengan fraksi volume (V_f) 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% adalah 0,006 J/mm², 0,008 J/mm², 0,010J/mm², 0,012 J/mm², dan 0,010 J/mm². Sedangkan pada penelitian yang dilakukan Hariyanto (2009) yang melakukan penelitian tentang fraksi volume komposit serat kenaf dan serat rayon dengan matriks poliester terhadap kekuatan impak dengan variasi fraksi volume serat yang digunakan sebesar 10%, 15%, dan 20%. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi serat kenaf yang memiliki fraksi volume $V_f = 20%$ memiliki nilai kekuatan impak tertinggi yaitu sebesar 0,014 J/mm². Penelitian tersebut membuktikan bahwa semakin besar fraksi volume maka semakin besar juga kekuatan mekaniknya, dengan catatan adanya keseimbangan komposisi *matrik* dan *filler* karena pada penelitian Wijoyo dkk, (2011) menunjukan pelemahan kekuatan impak pada fraksi volume 50% yang diakibatkan komposisi matrik yang kurang sehingga penguatan seakan hanya berasal dari serat (*filler*) saja.

Selanjutnya, Sosiati dkk, (2015) mengemukakan tentang pengaruh alkalisasi serat kenaf terhadap kuat Tarik dan morfologi permukaan serat kenaf. Dari hasil pengujian, menyatakan bahwa penambahan NaOH 6% selama 1 jam pada suhu

ruang dapat meningkatkan kuat tarik kenaf. Sedangkan pada penelitian lain yang dilakukan Nuri dkk, (2006) tentang kajian komprehensif pengaruh perlakuan alkali terhadap kekuatan komposit berpenguat serat nanas-nanas (*bromeliaceae*). Serat yang digunakan dikenai perlakuan alkali (5% NaOH) selama 0, 2, 4, 6, dan 8 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan alkali (5% NaOH) mampu menghilangkan lapisan seperti lilin di permukaan serat sehingga serat dan resin memiliki ikatan (*mechanical bonding*) yang kuat. Kekuatan tarik paling besar terjadi pada komposit yang diperkuat serat dengan perendaman alkali selama 4 jam.

Penelitian tentang komposit hibrid yang menggabungkan dua jenis *filler* berbeda dalam satu matriks pernah dilakukan oleh Perdana dkk, (2016) tentang pengaruh fraksi volume penguat terhadap kekuatan lentur *green composite* untuk aplikasi pada bodi kendaraan, yang pada penelitiannya menggunakan komposit hibrid dengan matriks resin *polyester* dan *filler* yang digunakan merupakan perpaduan antara serbuk CaCO_3 dan serat ampas tebu (*bagasse*). Fraksi volume matriks dan filler adalah 70%:30% dengan variasi fraksi volume *filler* hibrid antara *bagasse* dan serbuk CaCO_3 masing-masing (10:20, 15:15 dan 20:10) %. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan bending tertinggi komposit hibrid berbasis *bagasse* dan serbuk CaCO_3 adalah fraksi volum 20%:10% yang mempunyai kekuatan bending sebesar 59.76 MPa.

Berikutnya penelitian tentang pengaruh variasi ukuran serat mikro yang dilakukan Yusmaniar dkk, (2012) dalam penelitiannya yang membahas tentang pemanfaatan silika dari sekam padi pada komposit polyester/silika dengan variasi ukuran silika 60, 100, 230, dan 400 mesh, disimpulkan bahwa komposit dengan *nanofiller* ukuran 400 mesh memiliki kuat tarik paling besar dibandingkan komposit 230 mesh dan 100mesh. Kemudian pada penelitian serupa yang dilakukan oleh Sidiq dkk, (2016) tentang pengaruh ukuran butir serbuk tulang dengan variasi ukuran butir serbuk tulang mesh 40, 60, dan 100 mesh, melaporkan hasil dari pengujian keausan dengan variasi ukuran mesh 100 memiliki nilai ketahanan keausan sebesar $9,59 \times 10^{-8} \text{ mm}^2/\text{kg}$. Sedangkan pada pengujian kekerasan variasi ukuran mesh 100 juga memiliki nilai tertinggi yaitu 25,82 BHN.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengertian Komposit

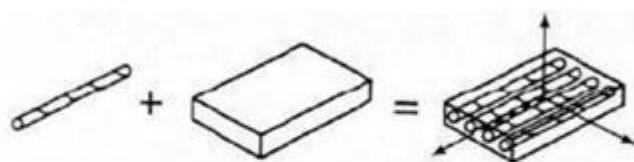
Komposit merupakan penggabungan antara dua buah material atau lebih, dengan fungsi *matriks* sebagai pengikat dan material lainnya menjadi *filler* yang berfungsi sebagai penguat, dimana sifat dari material yang membentuknya berbeda-beda (Daulay dkk, 2014). Sedangkan menurut Kuntari dkk, (2009), komposit merupakan suatu material yang terbentuk dari penggabungan dua atau lebih jenis bahan yang memiliki sifat fisis dan mekanik berbeda atau tidak homogen, dimana pembuatannya dengan cara mencampurkan bahan tersebut. Tujuan dari pembuatan material komposit ini adalah untuk menggabungkan kedua jenis bahan berbeda yang masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan untuk memperoleh suatu material yang lebih baik. Penyusun material komposit terdiri dari 2 jenis material, yaitu *matriks* dan *filler*, ilustrasi ikatan komposit dilihat pada Gambar 2.1.

1. Matriks

Berfungsi sebagai pengikat dan mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar dan melindungi penguat atau *filler* dari kerusakan.

2. Penguat (*filler*)

Berfungsi sebagai bahan utama dari komposit yang menopang dan penanggung beban utama.



Serat (*Fiber*) + Matrik = Material Komposit

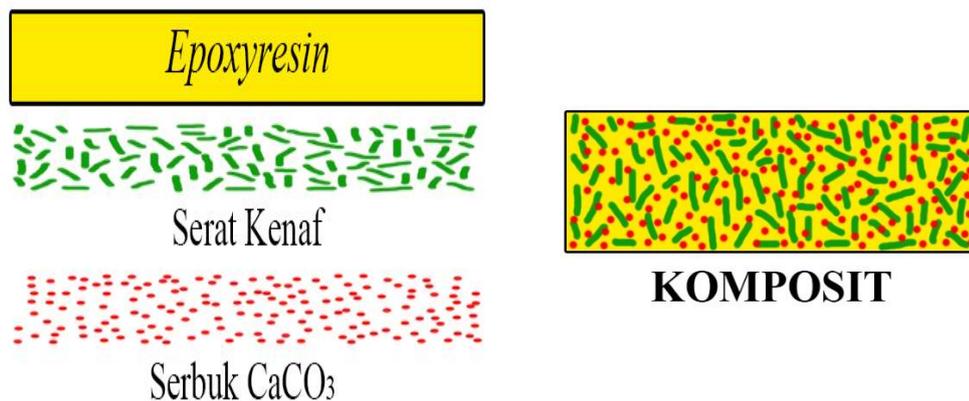
Gambar 2.1 Ilustrasi Ikatan Komposisi Komposit (Jones, 1999)

Berdasarkan manual spesification standard (MSS), IPTN, tahun 1993, dinyatakan bahwa terdapat tiga karakteristik yang identik yang dimiliki oleh material komposit yaitu:

- a. Isotropik: sifat material tidak tergantung pada arah sumbu koordinat, sehingga sifat material pada arah sumbu-x, sumbu-y dan sumbu-z adalah

sama. Termasuk kelompok ini adalah logam pada umumnya, komposit partikel, komposit berserat pendek dengan arah dan distribusi serat secara acak/random, ditunjukkan pada gambar 2.2.

- b. Ortotropik: sifat material pada dua sumbu yang saling tegak lurus sama, sedangkan pada arah satu sumbu lainnya berbeda. Misalnya komposit serat dengan arah serat tunggal, yang memiliki sifat istimewa pada arah memanjang serat dengan sifat pada sembarang arah di bidang tegak lurus sumbu memanjang serat adalah sama.
- c. Anisotropik: sifat material tergantung pada arah sumbu koordinat, atau sifat material yang berbeda pada setiap arah yang berbeda. Misalnya komposit laminat yang tersusun atas lamina-lamina dengan arah yang berbeda-beda.

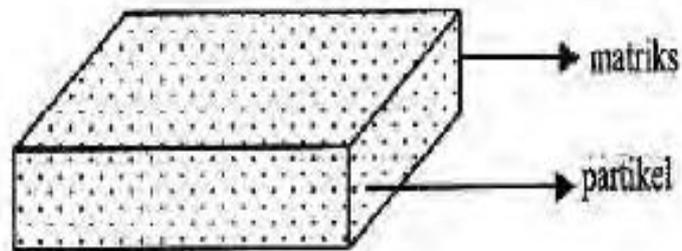


Gambar 2.2. Ilustrasi Material Isotropik.

Dilihat dari bentuk penguatnya, komposit digolongkan kedalam tiga jenis yaitu: komposit partikel, komposit serat dan komposit lapis (Gibson, 1994).

1. Komposit partikel (*particulate composites*)

Komposit partikel merupakan komposit yang dimana pengisinya atau penguatnya berupa serbuk yang tercampur merata didalam matriknya. Ilustrasi dari komposit partikel ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Komposit Partikel (Gibson, 1994)

Menurut Gibson (1994) memaparkan bahwa komposit ini biasanya memiliki bahan penguat yang ukurannya kurang lebih sama, seperti bentuk bulat serpih, bentuk balok, serta bentuk yang memiliki sumbu hampir sama, yang biasanya disebut partikel atau serbuk dan terbuat dari satu atau lebih material yang didistribusikan dalam suatu matriks yang berbeda. Partikel atau serbuk ini dapat berupa logam atau non logam.

2. Komposit serat (*fibrous composites*)

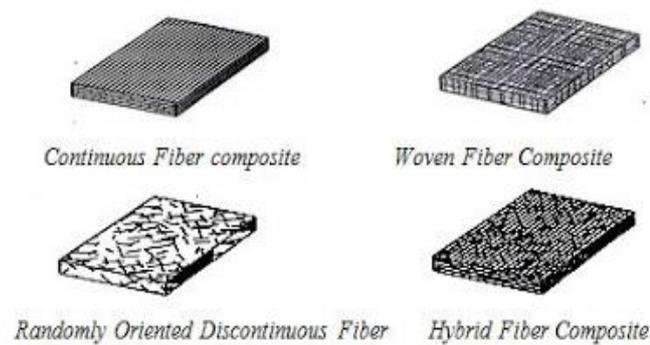
Komposit serat adalah komposit dimana material pembentuknya terbuat dari serat dengan matriks. Serat disini mempunyai peran sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga besar kecilnya kekuatan dari komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan.

Komposisi serat dibedakan berdasarkan penempatan atau orientasi seratnya, yaitu:

- a. *Continous fiber composite* (komposit serat yang susunannya secara kontinu), mempunyai susunan serat yang relatif panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya yang tersusun secara teratur. Jenis ini memiliki kelemahan pada pemisahan antar lapisan, hal ini terjadi karena kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya.
- b. *Woven fiber composite* (komposit serat yang susunannya secara anyam), merupakan komposit yang menggunakan serat yang dianyam. Komposit ini tidak terpengaruh pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya yang mengikat antar lapisan.

- c. *Randomly Oriented Discontinuous Fiber* (komposit serat yang susunannya secara pendek atau acak).
- d. *Hybrid Fiber composite* (komposit serat yang susunannya secara kontinyu dan serat acak). Tipe ini merupakan gabungan dari tipe serat lurus dengan serat acak dan digunakan agar dapat mengatasi kekurangan sifat dari kedua tipe serta menggabungkan kelebihan keduanya.

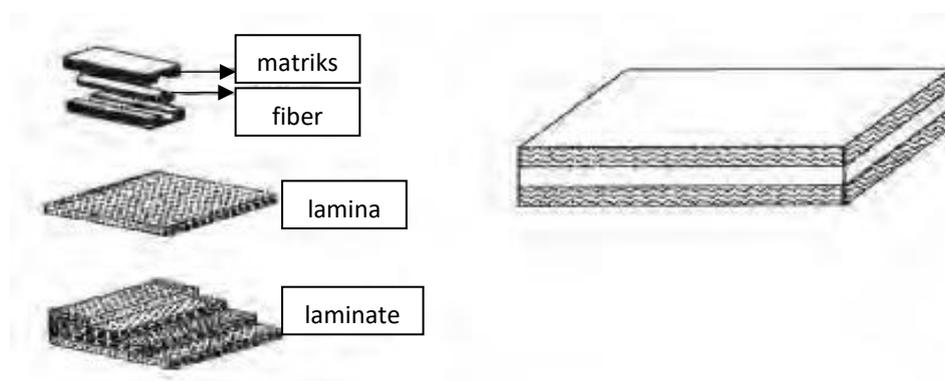
Komposisi serat berdasarkan penempatan atau orientasi serat, ditunjukkan pada Gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2.4 Jenis Orientasi Komposit Serat (Gibson, 1994)

3. Komposit lapis (*laminates composites*)

Gambar 2.5 menunjukkan ilustrasi komposit lapis, komposit ini merupakan komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih, kemudian digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat berbeda.



Gambar 2.5 Komposit Lapis (Gibson, 1994).

Menurut Matthews dkk, (1993) dilihat dari jenis matrik yang digunakan komposit dibagi kedalam tiga kelompok utama yaitu:

A. Komposit dengan matrik logam (*Metal Matrix Composites/MMC*),

Metal matrix composites adalah jenis komposit yang menggunakan logam sebagai matriksnya. Bahan ini menggunakan suatu logam seperti aluminium atau yang lainnya sebagai matriks kemudian penguatnya menggunakan serat seperti silikon karbida. Contoh: aluminium dan paduannya, titanium dan paduannya, magnesium dan paduannya.

Keunggulan MMC (*Metal Matrix Composites/MMC*) dibandingkan dengan komposit polimer yaitu:

- a. Tahan terhadap temperature tinggi
- b. Tidak menyerap kelembaban.
- c. Tidak mudah terbakar.

Kekurangan MMC (*Metal Matrix Composites/MMC*):

- a. Biaya relative mahal.
- b. Standarisasi material dan proses yang sedikit.

Aplikasi MMC (*Metal Matrix Composites/MMC*), yaitu sebagai berikut:

- a. Komponen automotive (blok-silinder-mesin, *pully* poros gardan dll).
- b. Peralatan militer (sudu turbin, cakram dll).
- c. Aircraft (rak listrik pada pesawat terbang).
- d. Peralatan elektronik.

B. Komposit dengan matrik keramik (*ceramic matrix composites/CMC*)

Komposit CMC menggunakan keramik sebagai bahan yang digunakan sebagai matriks. Keunggulan CMC adalah mempunyai karakteristik permukaan yang tahan aus, tahan korosi, tahan pada temperature tinggi dan memiliki ketangguhan dan kekuatan tinggi.

Kerugian dari CMC

1. Dalam jumlah besar sulit diproduksi.
2. Hanya untuk pengaplikasian tertentu.
3. Mahal.

Aplikasi CMC, antara lain sebagai berikut:

1. *Chemical processing* contohnya *seals, piping, filters, membranes liners, dan hangers*.
2. Kombinasi dalam rekayasa *wiskers* SiC/alumina *polikristalin* untuk perkakas potong.
3. *Wate inineration* contohnya *heat pipes, sensors, burnes, furnacc part, dan filters*.
4. *Power generation* contohnya *nozzles, heat exchange tubes, liner, vanrs, recuperators, dan combustorrs*.
5. SiC/litium aluminosilikat (LAS) untuk calon material mesin panas.
6. Serat grafit/gelas boron silikat untuk alas cermin laser.
7. Grafit/keramik gelas untuk bantalan, perapat dan lem.

C. Komposit dengan matrik polimer (polymer matrix composites/PMC)

Komposit ini menggunakan bahan polimer sebagai matriknya. Sifat-sifat komposit polimer secara umum ditentukan oleh sifat-sifat penguat, sifat-sifat polimer, rasio penguat terhadap polimer dalam komposit (fraksi volume penguat), dan orientasi penguat pada komposit.

Adapun sifat-sifat yang diperlukan komposit polimer adalah sebagai:

1. Mempunyai sifat mekanis yang bagus.
2. Mempunyai daya rekat yang bagus.
3. Mempunyai ketangguhan yang bagus.

Komposit polimer memiliki beberapa keuntungan, yaitu dapat dibuat dengan produksi massal, biaya produksi yang murah, awet (*life time*), ketangguhan baik, ringan, siklus pabrikan dapat dipersingkat, kemampuan mengikuti bentuk.

2.2.2 Matrik

Menurut Diharjo (2003), matrik dalam komposit berfungsi sebagai bahan pengikat 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 harus saling melekat satu sama lain, disisi lain serat dan matrik juga harus bebas dari reaksi yang mengganggu (*kompatible*).

Kegunaan matrik adalah sebagai berikut:

1. Matrik mempertahankan serta memegang serat pada posisinya.
2. Pada saat pembebanan mendistribusikan tegangan ke unsur utamanya yaitu serat dan merubah bentuk.
3. Mampu memberikan sifat tertentu, misalnya *electrical insulation*, *toughness* dan *ductility*.

2.2.3 *Epoxyresin*

Kuntari (2009) memaparkan bahwa *epoxyresin* terbentuk dari dua bahan kimia yang berbeda yaitu resin dan hardener, dimana bila dicampur dengan perbandingan yang tepat akan menghasilkan massa yang padat dan dapat melekat dengan baik pada logam, kulit, kayu maupun beton. Resin ini terdiri dari polimer atau monomer rantai pendek dengan kelompok *epoxyda* pada dikedua ujungnya. Menurut (Surdia, 1999) jenis epoxy ini dapat diperkuat dengan logam, keramik, bermacam-macam serat atau partikel.

Adapun sifat yang terdapat pada zat epoxyresin:

1. Sifat Fisik

Epoxyresin adalah konduktor panas yang buruk dan isolator listrik. Kecuali jika ada penambahan campuran, misalnya serbuk logam/karbon lain.

2. Sifat Kimia

Seperti kebanyakan plastik, secara kimia plastik termasuk inet. Dimana sinar ultraviolet mempengaruhi struktur kimia plastik jika dalam jangka waktu lama.

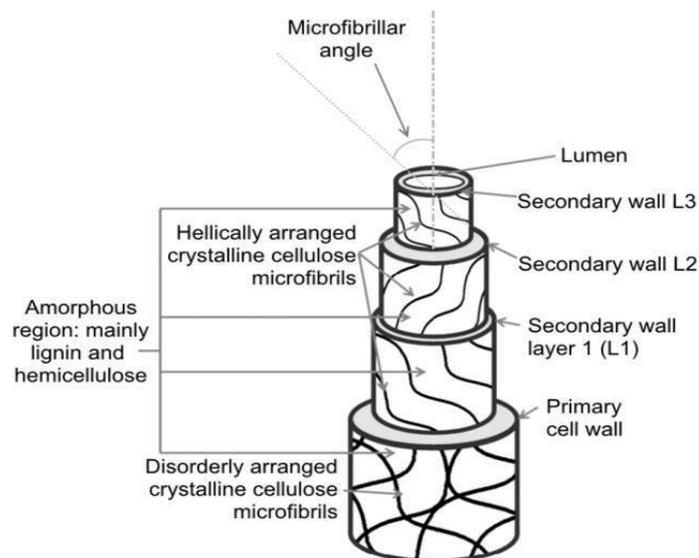
3. Sifat Mekanik

Epoxyresin jika dalam bentuk asli mempunyai sifat keras dan getas. Akan tetapi dalam penggunaannya, untuk mendapatkan sifat mekanik yang baik plastik selalu dicampur dengan bahan lain. Sifat mekanik juga sangat banyak dimodifikasi sifatnya. Baik dari segi keuletan, kekuatan, kelenturan, sampai kearah sobekan.

2.2.4 Serat Alam

Serat alam adalah serat yang dapat diperoleh langsung dari alam atau jenis serat yang berasal dari tumbuhan dan hewan. Serat alam memiliki keunggulan dibandingkan dengan serat sintetis yaitu massa jenisnya yang rendah, murah, ramah lingkungan, dan tidak berbahaya atau beracun. Serat alam sekarang banyak digunakan dan dikembangkan diberbagai bidang industri, misalnya industri otomotif, farmasi, dan industri kertas (Diharjo, 2005).

Serat alam yang sering digunakan yaitu, serat rami, kenaf, sisal, nanas, pelepah kurma, bambu dan serabut kelapa. Secara umum, serat yang berasal dari tumbuhan tersusun dari beberapa komponen penyusun yaitu selulosa, hemiselulosa, lignin, lilin dan komponen yang dapat larut dalam air. Struktur serat alam yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 terdiri dari dua bagian utama, yang pertama yaitu dinding sel yang didalamnya terdapat beberapa lapisan yaitu lamella tengah, dinding primer yang sangat tipis, dan dinding sekunder dengan kandungan *amorf* yang meliputi dari komponen lignin dan hemiselulosa dan tersusun oleh dinding sekunder (S1), dinding sekunder tengah (S2), dan dinding sekunder internal (S3). Bagian utama yang kedua dari struktur serat yaitu inti sentral yang biasanya sering disebut lumen, dimana lumen ini berfungsi sebagai yang membawa air dan nutrisi (Kabir dkk, 2012).



Gambar 2.6 Struktur Serat Alam (Kabir dkk, 2012).

Serat memiliki selulosa yang dimana merupakan komponen utama penyusun dinding sel pada serat alam dan sering ditemui dalam keadaan yang tidak murni, melainkan selalu berkaitan dengan lignin, dan hemiselulosa yang membentuk lignin selulosa. Kandungan selulosa pada serat alam sangat tinggi yaitu mencapai hingga 35% – 50% dari berat kering tanaman tersebut (Kabir dkk, 2012).

2.2.5 Serat Kenaf

Tanaman kenaf (*Hisbiscus Cannabinus*) merupakan salah satu tanaman tropis yang memiliki batang tunggal bercabang yang dikembangkan di Indonesia sejak sekitar tahun 1979/1980 bersama tanaman rosela (*Hisbiscus sabdariffa L*), dan tanaman yute (*Corchorus capsularis L.*) yang dikenal dalam program ISKARA (Intesifikasi Serat Karung Rakyat). Tanaman kenaf ini terdapat di Provinsi Jawa Barat, Jawa Timur, Jawa Tengah, Lampung, dan Kalimantan Selatan. Tanaman kenaf dapat dipanen ketika berumur 4 bulan dengan tinggi batang mencapai 2,5 – 4,2meter dan memiliki diameter 2,7 cm. Di Indonesia awalnya kenaf digunakan untuk bahan baku industri goni, namun saat ini tanaman kenaf yang dikembangkan dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam industri otomotif seperti interior mobil, *body* gerbong kereta, dll (Hariyanto, 2009).

Serat kenaf berpotensi sebagai penguat komposit yang mempunyai keunggulan yang mudah diperbaharui (*renewable*), dapat terbiodegradasi, ringan, murah, ramah lingkungan, tidak beracun, sifat mekanik tinggi, dan tidak beracun, non abrasif, dan berlimpah di Indonesia (Hariyanto, 2009). Serat kenaf diperoleh dari kulit pohon kenaf yang terikat dengan serat *lignocellulosic* dengan melalui proses. Ukuran ikatan serat yang akan digunakan tergantung dari sel utama disetiap ikatan, yang biasanya ditunjukkan dengan adanya kandungan *lignin* didalamnya. Kandungan *lignin* yang terdapat didalam serat kenaf mempresentasikan jumlah sel utama disetiap ikatan serat. Serat kenaf tersusun dari 44-62 % selulosa, 14-20 % hemiselulosa, 6-19% *lignin*, 4-5% *pectin* dan 0-3% abu. *Lignin* harus dilakukan pengekstraksian untuk memisahkan serat yang ingin dihasilkan.

2.2.6 Kalsium Karbonat

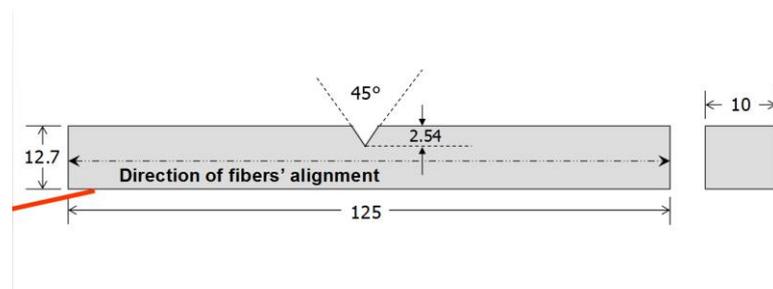
Kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan senyawa kimia paling umum dari mineral nonsilikat yang memiliki warna putih. CaCO_3 yang ada di alam memiliki bentuk limestone dan kapur (Alger, 1989).

Secara luas CaCO_3 digunakan sebagai *filler* komposit plastik dan karet. Keunggulan dari material ini yaitu memiliki warna yang sangat putih, harga terjangkau, dan ukuran partikelnya dapat diatur (Brotoningsih, 2012).

2.2.7 Uji Impak

Uji impak adalah uji yang dilakukan untuk mengukur kekuatan material terhadap benturan dengan menumbuk benda kerja menggunakan sebuah pendulum yang diayunkan. Impak dinyatakan sebagai energi kinetik yang dibutuhkan untuk memulai keretakan dan meneruskan hingga material benar-benar patah. Tujuan dari dilakukannya pengujian impak ini sebagai pemeriksaan kualitas secara cepat dan mudah dalam menentukan sifat impak spesifik maupun secara umum suatu material (Husaini, 2014).

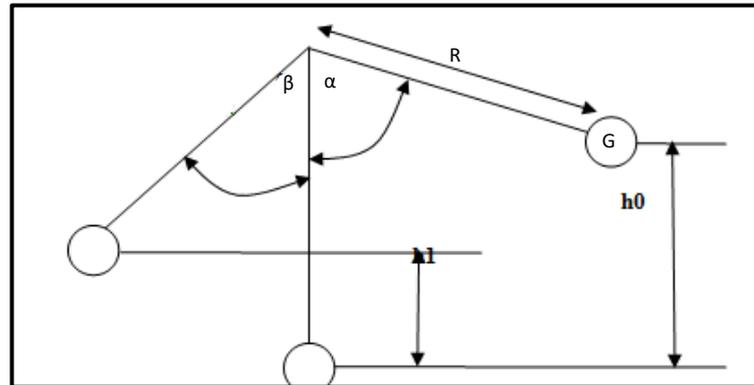
Pengujian impak merupakan respon terhadap beban kejut atau beban tiba-tiba (beban impak). Dalam pengujian impak terdiri dari dua teknik pengujian standar yaitu Charpy dan Izod (Callister, 2007). Berikut ini adalah spesimen uji impak *charpy* yang digunakan sesuai dengan standar ASTM D6110 yang digunakan pada komposit polimer.



Gambar 2.7 Spesimen Uji Impak (Husaini, 2014)

Dalam pengujian impak terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi besar kecilnya kekuatan impak pada komposit diantaranya berat pendulum, jarak pendulum ke pusat rotasi sudut sebelum dan sesudah spesimen di tumbuk. Dari

beberapa faktor tersebut dapat ditemukan energi yang diserap oleh spesimen, skematik perhitungan impact secara teoritis dapat pada Gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.8 Skematik Perhitungan Uji Impact (Husaini, 2014)

Besarnya energi impact yang diserap dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$E_0 = G \times h_0 \dots\dots\dots (2.1)$$

$$E_1 = G \times h_1 \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\Delta E = E_0 - E_1 = G (h_0 - h_1) \dots\dots\dots (2.3)$$

dari Gambar 2.8 didapatkan,

$$h_0 = R - R \cos \alpha = R (1 - \cos \alpha) \dots\dots\dots (2.4)$$

$$h_1 = R - R \cos \beta = R (1 - \cos \beta) \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan substitusi persamaan 2.4 dan 2.5 pada 2.3 di dapatkan:

$$\Delta E = W = G \times R (\cos \beta - \cos \alpha) \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

E_0 = Energi awal (J)

E_1 = Energi akhir (J)

G = Berat bandul pendulum (N)

h_0 = Ketinggian bandul sebelum dilepas (m)

h_1 = Ketinggian bandul setelah dilepas (m)

R = Panjang lengan bandul (m)

α = sudut awal ($^\circ$)

β = sudut akhir ($^\circ$)

Setelah mendapatkan energi yang diserap, kemudian untuk mengetahui ketangguhan impact (I_s) maka energi impact tersebut harus dibagi dengan luas penampang efektif spesimen (A) melalui persamaan berikut :

$$I_s = W/A = G \times R (\cos \beta - \cos \alpha) / l \times t \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

I_s = Ketangguhan Impak (J/mm^2)

l = lebar spesimen (mm)

t = tebal spesimen (mm)

Ketangguhan suatu bahan adalah kemampuan suatu bahan material untuk menyerap energi pada daerah plastis atau ketahanan bahan terhadap beban tumbukan atau kejutan. Penyebab ketangguhan bahan adalah pencampuran antara satu bahan dengan bahan lainnya. Misalnya baja di campur karbon akan lebih tangguh dibandingkan dengan baja murni. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi ketangguhan bahan adalah :

1. Bentuk takikan

Bentuk takikan amat berpengaruh pada ketangguhan suatu material, karena adanya perbedaan distribusi dan konsentrasi tegangan pada masing-masing takikan tersebut yang mengakibatkan energi impact yang dimilikinya berbeda-beda pula. Notch pada material akan menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada daerah yang lancip sehingga material lebih mudah patah. Ada beberapa jenis takikan berdasarkan kategori masing-masing. Berikut ini adalah urutan energi impact yang dimiliki oleh suatu bahan berdasarkan bentuk takikannya. Ada tiga macam bentuk takikan menurut standart ASTM pada pengujian impact yakni takikan type A (V), type B (key hole) dan type C (U) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.9 berikut ini.

a. Takikan segitiga (V)

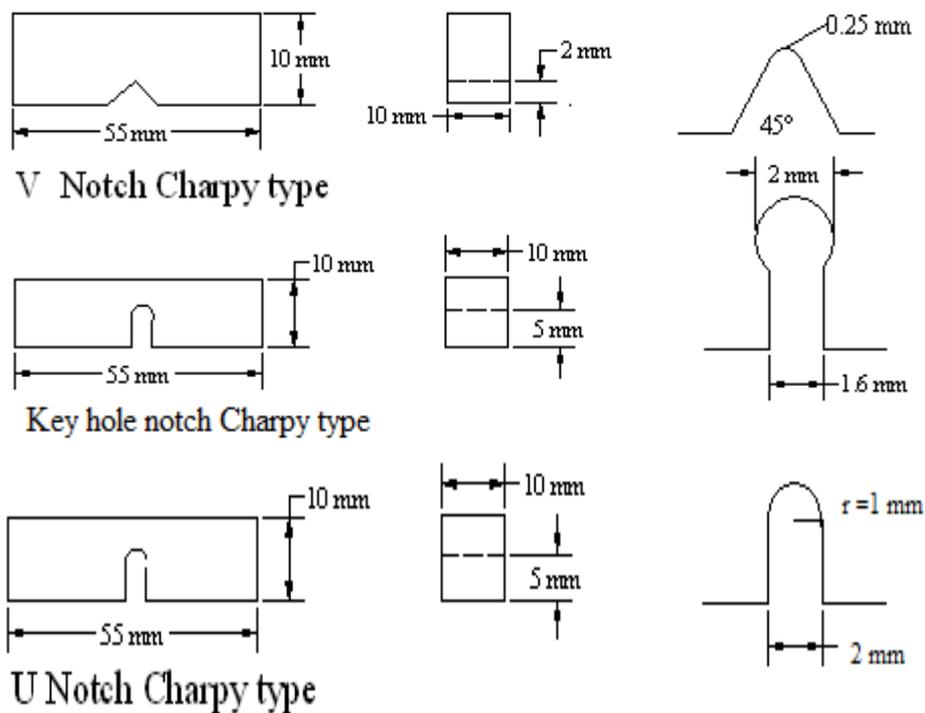
Memiliki energi impact yang paling kecil, sehingga paling mudah patah. Hal ini disebabkan karena distribusi tegangan hanya terkonsentrasi pada satu titik saja, yaitu pada ujung takikan.

b. Takikan segi empat (key hole)

Memiliki energi yang lebih besar pada takikan segitiga karena tegangan terdistribusi pada 2 titik pada sudutnya.

c. Takikan Setengah lingkaran (U)

Memiliki energi impact yang terbesar karena distribusi tegangan tersebar pada setiap sisinya, sehingga tidak mudah patah.



Gambar 2.9 Takikan type A (V), type B (key hole) dan type C (U).

2. Beban

Semakin besar beban yang diberikan, maka energi impact semakin kecil yang dibutuhkan untuk mematahkan specimen, dan demikianpun sebaliknya. Hal ini diakibatkan karena suatu material akan lebih mudah patah apabila dibebani oleh gaya yang sangat besar.

3. Temperatur

Semakin tinggi temperature dari specimen, maka ketangguhannya semakin tinggi dalam menerima beban secara tiba-tiba, demikianpun sebaliknya, dengan temperature yang lebih rendah. Namun temperature memiliki batas tertentu dimana ketangguhan akan berkurang dengan sendirinya.

4. Transisi ulet rapuh

Hal ini dapat ditentukan dengan berbagai cara, misalnya kondisi struktur yang susah ditentukan oleh system tegangan yang bekerja pada benda uji yang bervariasi, tergantung pada cara pengusiaannya

5. Efek komposisi ukuran butir

Ukuran butir berpengaruh pada kerapuhan, sesuai dengan ukuran besarnya. Semakin halus ukuran butir maka bahan tersebut akan semakin rapuh sedangkan bila ukurannya besar maka bahan akan ulet.

6. Perlakuan panas dan perpatahan

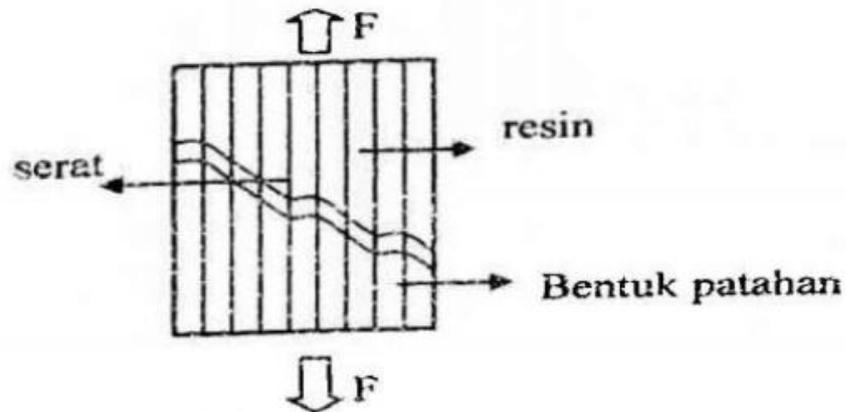
Perlakuan panas umumnya dilakukan untuk mengetahui atau mengamati besar-besar butir benda uji dan untuk menghaluskan butir.

2.2.8 Karakteristik Patahan Material Komposit

Kegagalan pada suatu bahan material harus dihindari karena akan mengakibatkan nilai jual produk menurun. Ada dua jenis patahan pada material komposit yaitu model patah liat (*ductile fracture*) dan patah getas (*brittle fracture*). Pada patahan yang bersifat liat (*ductile*) material menyerap energi yang cukup besar sebelum patah dengan dapat diperlihatkan oleh terjadinya deformasi plastik, sedangkan pada patahan material yang memiliki sifat getas hanya memperlihatkan deformasi kecil atau bahkan tidak ada. Berikut adalah beberapa jenis patahan pada material komposit:

a. Patah banyak

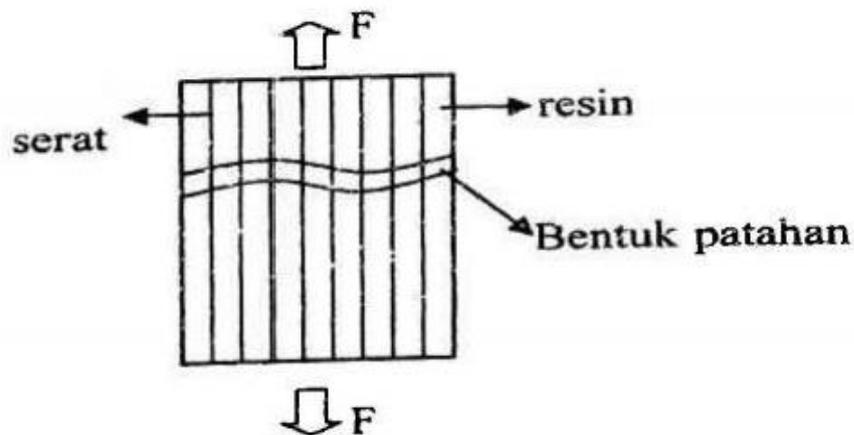
Chawla (1987) mengatakan bahwa ketika jumlah serat yang putus akibat beban t masih sedikit dan kekuatan interface masih baik, resin mampu mendukung beban yang diterima dengan mendistribusikan beban tersebut ke sekitarnya. Apabila resin mampu menahan gaya geser dan meneruskan beban ke serat yang lain, maka jumlah serat yang putus semakin banyak. Patahan terjadi lebih dari satu bidang. Patah banyak ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.10 Patah Banyak (Schwartz, 1984)

b. Patah tunggal

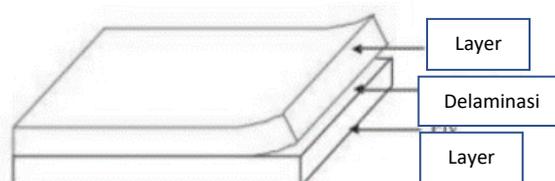
Patah tunggal adalah patah yang disebabkan ketika serat putus akibat beban diterima, matriks tidak mampu menerima lagi beban tambahan. Patah terjadi pada satu bidang kontak secara linier



Gambar 2.11 Patah Tunggal (Schwartz, 1984)

c. Delaminasi

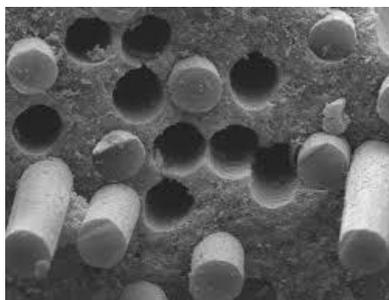
Delaminasi (*interlaminar*) adalah perpatahan yang terjadi akibat terlepasnya ikatan antar lapisan penguat. Penyebab utama perpatahan ini adalah gaya adhesi antara penguat dan matriks yang lemah. Selain itu kemampuan matriks untuk mengisi ruang antara serat juga menjadi pengaruhnya, lihat Gambar 2.11.



Gambar 2.12 Delaminasi (Schwartz, 1984)

d. *Fiber Pull Out*

Fiber pull out adalah tercabutnya serat dari resin yang disebabkan ketika resin retak akibat beban tarik, kemampuan untuk menahan beban akan segera berkurang. Komposit masih mampu menahan beban walau beban yang ditahan relatif kecil dari beban maksimal. Saat resin retak, beban akan ditransfer dari resin keserat di tempat persinggungan retak. Kemampuan untuk mendukung beban berasal dari serat. Seiring dengan bertambahnya deformasi, serat akan tercabut dari resin (akibat *debonding* dan patahnya serat).



Gambar 2.13 *Fiber Pull Out* (Schwartz, 1984)

2.2.9 Uji Kekerasan Brinell

Kekerasan adalah ukuran ketahanan suatu material terhadap deformasi plastis lokal. Nilai kekerasan tersebut dihitung hanya pada tempat dilakukannya pengujian tersebut (lokal), sedangkan pada tempat lain bisa jadi kekerasan suatu material berbeda dengan tempat yang lainnya. Tetapi nilai kekerasan suatu material adalah homogen secara teoritik akan sama untuk tiap-tiap titik.

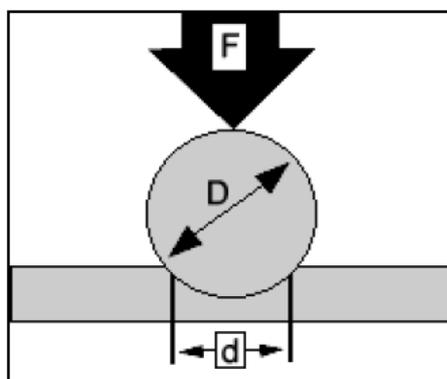
Pengujian kekerasan *Brinell* menggunakan penumbuk (penetrator) yang terbuat dari bola baja yang diperkeras (*tungsten carbide*). Diameter bola adalah

2,5 mm, pembebanan 15,652 kg, selama pembebanan beban ditahan 10 sampai 15 detik. Pemilihan beban tergantung dari kekerasan material, semakin keras material maka beban yang diterapkan juga semakin besar. Pengujian kekerasan dengan metode *Brinell* bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja (*indentor*) yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. Besar pemberian pembebanan bergantung kepada *ball indentor* yang digunakan, menurut ASTM E10 pemberian pembebanan seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Gaya yang diterapkan menurut ASTM E10

D (mm)	Force-diameter ratio (F/D^2)				
	30	10	5	2,5	1
10	3000	1000	500	250	100
5	750	250	125	62,5	25
2,5	187,5	62,5	31,25	15,625	6,25
1	30	10	5	2,5	1
	A	B	C	D	E

A: Steels and iron alloys; B: Heat treated Cu/Al light alloys; C: No heat treated Cu/AL light alloys; D-E: soft metallic materials



Gambar 2.14 Bentuk *Indentor Brinell* (ASTM E10)

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

HB = *Brinell hardness number* BHN (kg/mm²)

F = Beban yang diberikan (kg)

D = Diameter indentor (mm)

d = Diameter lekukan rata-rata hasil indentasi (mm)

Penelitian ini menggunakan ASTM E10 dikarenakan jurnal yang dipakai sebagai acuan (Sidiq, 2016) itu menggunakan standard tersebut. Akan tetapi, ASTM E10 sebenarnya adalah sebuah standar untuk pengujian kekerasan *metallic material*. Standar untuk uji kekerasan yang benar untuk bahan material komposit plastic yaitu standard *Shore D Hardness Test* (ASTM D2240 / D1415).

2.2.10 Mesh

Mesh adalah banyaknya jumlah lubang/bukaan dalam panjang 1 inch. Mesh juga bias disebut sebagai ukuran dari jumlah lubang suatu jaring atau kasa pada 1 inch jaring / kasa yang bisa dilalui oleh material padat. Mesh 200 memiliki arti terdapat 200 lubang pada jaring / kasa sepanjang 1 inch, demikian seterusnya. Ukuran mesh banyak digunakan pada proses penepungan atau penghalusan suatu bahan padatan, yang sebelum dihaluskan memiliki ukuran yang lebih besar. Makin besar angka ukuran mesh screen, makin halus material yang bisa terloloskan. Lihat Gambar 2.15.

Comparative Particle Size:		
U.S. Mesh	Inches	Microns
100	.0059	149
120	.0049	125
140	.0041	105
170	.0035	88
200	.0029	74
230	.0024	63
270	.0021	53
325	.0017	44
400	.0015	37
550	.00099	25
625	.00079	20
1250	.000394	10
1750	.000315	8
2500	.000197	5

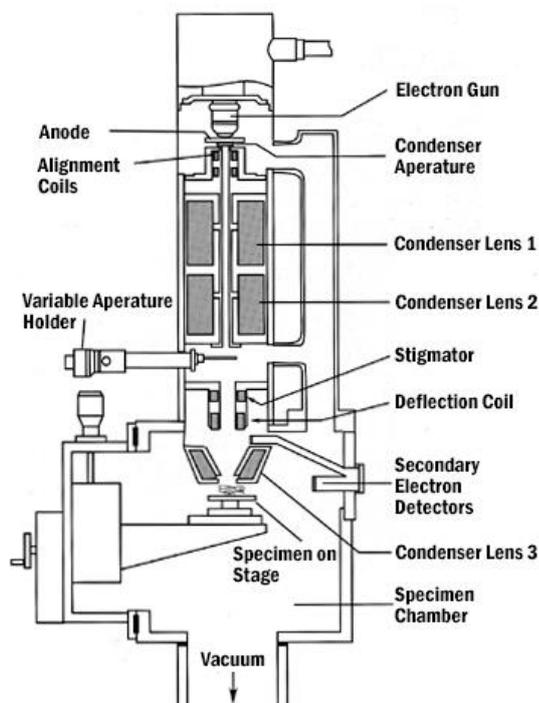
Gambar 2.15 Ukuran Partikel dalam Mesh

2.2.11 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah sebuah mikroskop elektron yang digunakan untuk mengamati detail suatu struktur permukaan sebuah objek, dan mampu menampilkan pengamatan objek tersebut secara 3 dimensi. SEM didesain untuk keperluan pengamatan suatu permukaan objek dengan ukuran mikron secara langsung pada perbesaran 10 – 3.000.000 kali sesuai kebutuhan (Redetic, 2011).

Struktur suatu objek yang akan diuji dapat diamati dengan mikroskop elektron pancaran karena jauh lebih mudah untuk mempelajari struktur permukaan itu secara langsung. Pada dasarnya, SEM menggunakan sinyal yang dihasilkan oleh elektron dan dipantulkan atau berkas sinar elektron sekunder (Redetic, 2011)

SEM dapat mengamati struktur dan bentuk permukaan, karena pada SEM terdapat *electron* yang memiliki resolusi lebih tinggi daripada cahaya, dimana cahaya hanya mampu mencapai 200nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi 0,1 – 0,2 nm (Radetic, 2011). Gambar 2.14 menunjukkan bagian-bagian pada SEM.



Gambar 2.16 Komponen pada SEM (Radetic, 2011).