

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang komposit serat kenaf/*epoxyresin* pernah dilakukan oleh Fauzi dkk (2016). Metode yang digunakan yaitu *hand lay up* dengan temperatur kamar selama 24 jam. Variasi serat sebanyak 5%, 10%, 15%, dan 20%. Matriks yang digunakan adalah *epoxyresin* dan *hardener* dengan perbandingan 2:1. Dari hasil penelitiannya didapat nilai ketangguhan impak tertinggi pada komposisi 5% sebesar 0.56 kJ/m^2 .

Diharjo dkk (2013) telah melakukan penelitian tentang pengaruh kandungan dan ukuran serbuk genteng sokka terhadap ketahanan bakar. Variasi volume genteng sokka yang dipakai adalah 10%, 20%, 30%, dan 40%. Serbuk genteng sokka diayak menggunakan 3 variasi yaitu 100mesh, 150mesh, dan 200 mesh. Dari hasil pengujian diketahui bahwa SGS yang kecil lolos ukuran mesh pada 200 mesh terjadi peningkatan *time of burning* dan penurunan *rate of burning*. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran butir SGS mampu meningkatkan ketahanan bakar komposit SGS/*Ripoxy* R-802.

Kemudian Utomo dkk (2016) melakukan penelitian tentang analisa sifat mekanis komposit matrik epoksi diperkuat serbuk cangkang telur itik untuk roda gigi transporter pada mesin bubut. Variasi perbandingan penambahan serbuk cangkang telur itik yaitu 6%, 9%, 12%, dan 18%. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil uji keausan tertinggi pada variasi 12% sebesar $6,468 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{kg}$. Namun berbeda dengan hasil uji impak, hasil tertinggi didapatkan dengan variasi 6% yang memiliki kekuatan impak sebesar $0,0016 \text{ J/mm}^2$.

Elok (2015) melakukan penelitian tentang pengaruh komposisi bahan terhadap sifat kekerasan dengan metode *hand lay-up* pada komposit epoksi/serbuk kayu dan serbuk aluminium dengan variasi 40:10:50 ; 40:20:40 ; 40:30:30 ; 40:40:20 ; dan 40:50:10. Dari penelitian tersebut didapatkan nilai kekerasan tertinggi pada

variasi 40:10:50 sebesar 44.84 BHN. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan serbuk aluminium atau dengan menurunkan presentase serbuk kayu dapat mempengaruhi nilai kekerasan komposit tersebut.

Kemudian Fajar, dkk (2016) meneliti tentang pengaruh ukuran butir serbuk tulang terhadap sifat mekanis dengan variasi ukuran serbuk mesh 40, 60, dan 100. Dari penelitian tersebut hasil uji gesek dan uji kekerasan terbesar pada variasi ukuran serbuk 100mesh sebesar $9.59 \times 10^{-8} \text{ mm}^2/\text{kg}$ dan 25.82 BHN. Faktor ukuran butir serbuk mempengaruhi melekatnya serbuk dan epoksi sebagai penguat dan juga mempengaruhi nilai yang dihasilkan.

Sudirman (2012) melakukan penelitian tentang mekanis dari biokomposit limbah polipropilen/serat kenaf (65/15)% dengan variasi penambahan nano CaCO_3/DAP dan nano $\text{CaCO}_3/\text{NaPP}$ masing-masing (13/7)%. Dari penelitian tersebut hasil ketangguhan impak tertinggi pada variasi $\text{CaCO}_3/\text{NaPP}$ sebesar 0.0017 J/mm^2 . Ketangguhan impak cenderung meningkat dengan penambahan nano CaCO_3/DAP maupun nano $\text{CaCO}_3/\text{NaPP}$.

Perbedaan sifat alami pada serat alam (*hydrophilic*) dan matriks (*hydrophobic*) menyebabkan ikatan antar serat dan matriks menjadi lemah dan dapat menurunkan sifat mekanik komposit, sehingga diperlukannya proses alkalisasi menggunakan larutan NaOH agar serat alam dapat terikat dengan matriks secara sempurna (Akil dkk, 2011). Penelitian tentang serat tunggal kenaf dengan cara alkali yaitu perendaman 6% NaOH selama 1 jam pada temperatur ruangan, 6% NaOH selama 1 jam pada temperatur 100°C , 6% NaOH selama 3 jam pada temperatur 100°C , dan 9% NaOH selama 2 jam pada temperatur 100°C didapatkan hasil yang optimal kuat tarik yaitu pada perendaman 6% NaOH selama 1 jam pada temperatur ruangan sebesar 512 MPa (Sosiati dkk, 2015).

Putra (2013) telah mempelajari perlakuan alkali terhadap sifat mekanik komposit kenaf/polipropilen. Kenaf yang direndam pada larutan NaOH dengan variasi konsentrasi 4%, 5%, 6%, 7%, dan 8% selama 2 jam. Komposit di fabrikasi menggunakan metode hot press dengan temperatur 180°C selama 15 menit. Hasil

pengujian menunjukkan bahwa perlakuan 6% NaOH menghasilkan ketangguhan impak sebesar 0.00347 J/mm^2 .

Perdana dkk, (2016) telah meneliti komposit hybrid bermatrik *resin polyester* dengan variasi dari serat ampas tebu dan kalsium karbonat yaitu 10:20, 15:15, dan 20:10 terhadap kekuatan lentur. Didapat bahwa dengan variasi dari serat bagasse dan kalsium karbonat yang memiliki kekuatan lentur yang tertinggi yaitu dengan variasi 20:10 sebesar 59.76 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan serat maka komposit menjadi relatif kuat dan kaku.

Raghavendra, dkk (2012) meneliti tentang pengaruh variasi panjang serat pisang (2, 4, dan 6 mm) terhadap kekuatan mekanik komposit. Hasil penelitian menunjukkan kekuatan tarik tertinggi ada pada panjang serat 4 mm sebesar 158 Mpa dan kekuatan impak tertinggi 20,3 J/m pada panjang serat 6 mm.

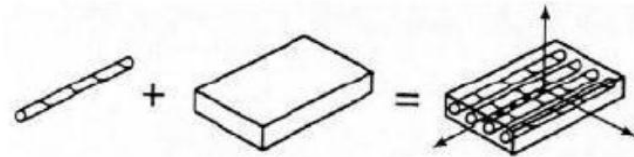
2.2 Dasar Teori

2.2.1 Komposit

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material yang mempunyai sifat mekanik lebih kuat dari material pembentuknya (Franciska, 2008). Komponen penyusun dari komposit, yaitu berupa penguat (*filler*) dan pengikat (matrik). Kekuatan komposit dan sifat dari komposit merupakan fungsi dari fasa penyusunnya, komposisinya serta geometri dari fasa penguat. Geometri fasa penguat disini adalah bentuk dan ukuran partikel, distribusi, dan orientasinya. Penguat merupakan material yang umumnya jauh lebih kuat dari matrik dan berfungsi memberi kekuatan tarik. Matrik berfungsi sebagai media transfer beban ke penguat, menahan penyebaran retak dan melindungi penguat dari efek lingkungan serta kerusakan akibat benturan. Oleh karena itu bahan serat digunakan bahan yang kuat, sedangkan bahan matrik dipilih bahan-bahan yang sesuai dengan jenis bahan penguat yang akan digunakan. Serat alam merupakan alternatif *filler* komposit untuk berbagai komposit polimer karena keunggulannya dibanding serat sintetis.

Komposit terdiri dari elemen yang berbeda, yaitu:

1. Matrik sebagai pengikat pada komposit dan melindungi *filler* dari kerusakan eksternal.
2. *Filler* sebagai penguat dan penompang pada komposit. *Filler* dapat berasal dari alam maupun sintesis.



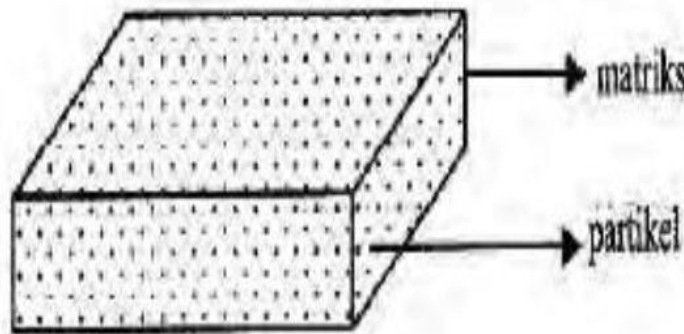
Serat (*Fiber*) + Matrik = Material Komposit

Gambar 2.1 Ilustrasi Komposisi Komposit (Jones, 1999)

Jika dilihat dari bentuk penguatnya, komposit dapat digolongkan menjadi tiga jenis yaitu: komposit partikel, komposit serat, dan komposit lapis (Jones 1999)

a. Komposit Partikel (*Particulate Composite*)

Jika dilihat dari namanya, komposit partikel merupakan jenis komposit yang *filler* dan matriknya berbentuk seperti partikel atau serbuk yang tercampur dengan rata didalam matrik. Partikel tersuspensi kedalam matriks dapat berupa logam maupun non logam yang berukuran 0,01-0,1 μm (10-100 nm) (Callister, 2007).



Gambar 2.2 Komposit Partikel (Gibson, 1994)

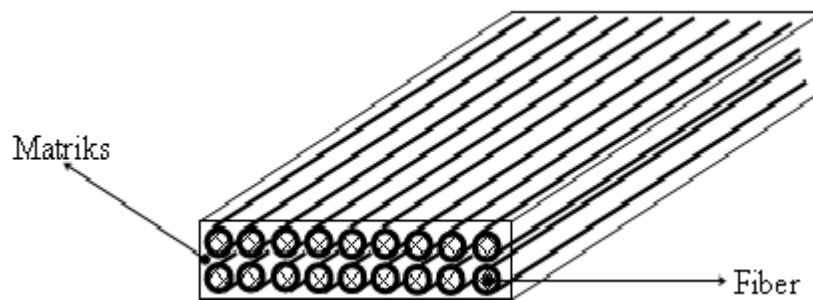
Kelebihan dari komposit partikel :

1. Matriks dan *filler* dapat tersebar dengan merata sehingga kekuatan lebih seragam pada berbagai arah.
2. Dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan material.

3. Cara penguatan dan pengerasan oleh partikular adalah dengan menghalangi pergerakan distorsi.

b. Komposit Serat (*Fiber Composite*)

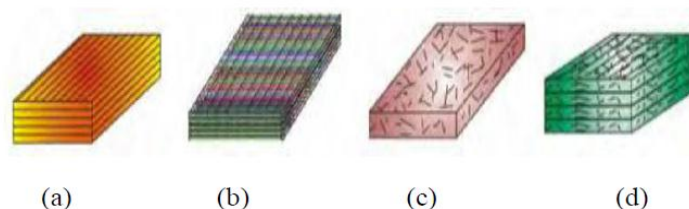
Komposit serat adalah komposit dengan material pembentuknya terdiri dari serat dan matriks. Jenis komposit ini hanya terdiri dari satu lamina atau satu lapisan yang menggunakan penguat (*filler*) berupa serat. Serat yang biasanya digunakan yaitu berupa *glass fibers*, *carbon fibers*, *aramid fibers (poly aramide)*, serat alam dan sebagainya. Serat ini dapat disusun secara acak maupun dengan arah orientasi tertentu bahkan dapat juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman.



Gambar 2.3 Komposit Serat (Yunus, 2011)

Berdasarkan dari penyusunan serat, komposit serat dapat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu :

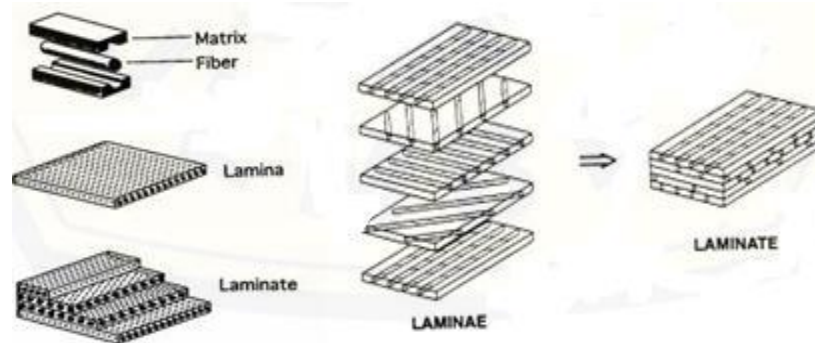
1. *Continous fiber composite* (penyusunan komposit serat secara kontinue)
2. *Woven fiber composite* (penyusunan komposit serat secara anyam)
3. *Chopped fiber composite* (penyusunan komposit serat secara pendek/acak)
4. *Hybrid composite* (penyusunan komposit serat secara kontinyu dan serat acak)



Gambar 2.4 Jenis Komposit Serat (a) *Continous fiber composite* , (b) *Woven fiber composite*, (c) *Chopped fiber composite*, (d) *Hybrid composite*. (Gibson, 1994)

c. Komposit Lapis (*Laminates Composite*)

Komposit lapis adalah komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang kemudian digabung menjadi satu dan setiap lapisannya memiliki karakteristik sifat yang berbeda. Contoh dari komposit ini adalah bimetal, pelapis logam kaca dan komposit lapis serat. (Jones, 1999)



Gambar 2.5 Struktur Komposit Lapis (Masruri, 2011)

Dilihat dari jenis matrik yang digunakan komposit dapat dibagi kedalam tiga kelompok utama yaitu:

A. Komposit dengan Matrik Polimer (*Polymer Matrix Composites – PMC*)

Jenis matriks ini merupakan jenis yang paling banyak digunakan, biasa disebut polimer berpenguat serat (*Fibre Reinforced Polymer – FRP*). Jenis ini menggunakan suatu polimer berbahan resin sebagai matriksnya dan serat sebagai penguatnya.

Keunggulan komposit ini diantaranya :

- a. Biaya produksi lebih rendah
- b. Ketangguhan baik
- c. Tahan simpan
- d. Ringan
- e. Dapat dibuat dengan produksi massal
- f. Kemampuan mengikuti bentuk

Jenis polimer yang sering digunakan (Surdia & Saito, 1999) antara lain:

1. *Thermoplastic*

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

akan meleleh pada temperatur tertentu, melekat mengikuti perubahan suhu dan mempunyai sifat dapat balik (*reversible*) kepada sifat aslinya, yaitu kembali mengeras bila didinginkan. Contoh bahan *thermoplastic* yaitu poliester, Nylon 66, PET, PP, PTFE, PES dan poliester eterketon (PEEK).

2. *Thermoset*

Thermoset merupakan jenis matriks yang bila telah mengalami pengerasan tidak dapat dilunakkan kembali (*irreversible*). 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. Contoh dari *thermoset* yaitu *Epoxyresin*, Bismaleimida (BMI), dan Poliimida (PI).

B. Komposit dengan Matrik logam (*Metal Matrix Composites* - MMC)

Komposit matrik logam (*metal matrix composites*) paling banyak digunakan pada industri otomotif, *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. Sejak tahun 1996 material MMC mulai dikembangkan, pertama kali yang diteliti adalah *continous filamen* MMC. yang digunakan dalam aplikasi *aerospace*. Contoh : aluminium dan paduannya, titanium dan paduannya, magnesium dan paduannya.

Keunggulan MMC dibandingkan dengan komposit polimer yaitu :

- a. Transfer regangan dan tegangan yang baik.
- b. Tahan terhadap temperature tinggi
- c. Tidak menyerap kelembapan.
- d. Tidak mudah terbakar.
- e. Kekuatan geser serta tekan yang baik.
- f. Mempunyai muai thermal dan ketahanan aus yang lebih baik

Kekurangan :

- a. Mahal
- b. Standarisasi material dan proses yang sedikit

Sifat Matrik pada MMC :

- a. Mempunyai keuletan yang besar
- b. Mempunyai densitas yang rendah
- c. Mempunyai titik lebur yang rendah

Aplikasi MMC, yaitu sebagai berikut :

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

C. Komposit dengan Matrik Keramik (*Ceramic Matrix Composites –MMC*)

Komposit matrik keramik CMC (*ceramic matrix composites*) merupakan material 2 fasa dengan 1 fasa sebagai matrik dan 1 fasa berfungsi sebagai penguat. Bahan ini menggunakan keramik sebagai matriks yang diperkuat dengan serat pendek, atau serabut-serabut (*whiskers*) yang terbuat dari silikon karbida atau boron nitrida. CMC umumnya menggunakan *oksida*, *carbide*, dan *nitrid* sebagai bahan penguat. Salah satu proses pembuatan dari CMC yaitu dengan reaksi oksidasi leburan logam untuk pertumbuhan matriks keramik disekeliling daerah penguat atau biasa disebut dengan proses DIMOX.

Matrik yang digunakan pada CMC antara lain :

1. Alumina
2. Silikon Nitrida
3. Gelas anorganik
4. Keramik gelas

Keunggulan dari CMC :

1. Mempunyai karakteristik permukaan yang tahan aus
2. Sangat tangguh, bahkan hampir sama dengan ketangguhan dari *cast iron*
3. Memiliki dimensi yang stabil, bahkan lebih stabil dari pada logam
4. Ketangguhan dan kekuatan tinggi, serta tahan korosi
5. Tahan pada temperatur tinggi (*creep*)

6. Pada temperatur tinggi unsur kimianya stabil

Kerugian dari CMC :

1. Dalam jumlah besar sulit diproduksi
2. Hanya untuk pengaplikasian tertentu
3. Mahal dan *non-cot effective*

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.

2.2.2 Matrik

Matrik merupakan salah satu elemen pada komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (Gibson, 1994). Matrik dalam komposit berguna sebagai bahan pengikat serat agar menjadi sebuah unit struktur, meneruskan atau memindahkan beban eksternal pada bidang geser antara serat dan matrik, serta melindungi dari kerusakan eksternal. Matrik dan serat harus saling melekat satu sama lain dan juga harus bebas dari reaksi yang mengganggu. Menurut Hartanto (2009) fungsi dari matrik antara lain:

- a. Mengikat *filler* agar tetap pada posisinya.
- b. Melindung serat dari gesekan mekanik.
- c. Mentrasfer tegangan ke serat secara merata.
- d. Tetap Stabil setelah proses fabrikasi.

e. Melindungi dari kerusakan eksternal

Pemilihan matrik harus didasarkan pada kemampuan elongasi saat patah yang lebih besar dibandingkan dengan *filler*. Selain itu juga perlu diperhatikan berat jenis, viskositas, tekanan, suhu curing, penyusutan, dan voids. Voids jika terjadi pada matrik sangatlah berbahaya karena pada bagian tersebut serat tidak dapat didukung oleh matrik, sedangkan serat selalu mentransfer tegangan ke matrik tersebut.

Hal seperti ini menjadi penyebab munculnya retak pada spesimen tersebut, sehingga komposit akan gagal lebih awal. Semakin banyak void pada komposit maka akan mudah rapuh. Begitu sebaliknya jika sedikit void ataupun tidak terdapat void maka komposit akan semakin kuat.

Matriks yang umum dipakai ialah matrik jenis termoset, yaitu material yang tidak bias jadi lunak kembali bila dilakukan pemanasan ulang meskipun melebihi temperatur pembentuknya. Jika panas yang diberikan terus menerus, material akan terurai menjadi karbon (hangus). Beberapa jenis matrik termoset yaitu:

a. Felonik

Felonik memiliki sifat sangat keras, rigid dengan modulus elastisitas yang baik bila dibandingkan dengan resin lainnya karena sifatnya yang keras, kuat, mudah dibentuk, dapat diberi warna, dan tidak transparan.

b. Polyester

Polyester merupakan resin cair dengan viskositas yang relative rendah, mengeras pada temperatur ruang dengan penggunaan katalis tanpa menghasilkan gas sewaktu fabrikasi seperti resin termoset lainnya, maka tak perlu diberi tekanan untuk pencetakan (fabrikasi).

c. Epoksi

Resin jenis ini memiliki sifat ulet, elastis, tidak bereaksi dengan sebagian besar bahan kimia dan mempunyai dimensi yang lebih stabil. Epoksi ini memiliki molekul yang lebih pendek dibandingkan dengan matrik polimer lainnya. Oleh karena itu, bila diberi bahan penguat komposit maka epoksi mempunyai kekuatan yang lebih baik disbanding dengan resin jenis termoset lainnya.

2.2.3 Epoxy Resin

Epoxy adalah salah satu polimer yang terbentuk dari dua bahan kimia yang berbeda yaitu resin dan *hardener*. Resin ini terdiri dari polimer atau monomer rantai pendek dengan kelompok epoksida pada kedua ujungnya. Bila dicampur dengan takaran perbandingan yang tepat, maka akan menghasilkan massa yang padat dan dapat melekat dengan baik pada kayu, logam, kulit maupun beton. Menurut Surdia (1999), jenis epoksi dapat diperkuat dengan logam, keramik dan bermacam-macam serat atau partikel.

Adapun beberapa sifat yang terdapat pada *epoxyresin* yaitu :

1. Sifat Fisik

Seperti kebanyakan plastik, *epoxyresin* adalah konduktor panas yang buruk dan isolator listrik. Kecuali jika ada penambahan campuran, misalnya serbuk logam/karbon.

2. Sifat Kimia

Sinar ultraviolet mempengaruhi struktur kimia dari *epoxyresin* jika terpapar pada jangka waktu yang lama.

3. Sifat Mekanik

Epoxyresin jika dalam bentuk asli mempunyai sifat keras dan getas. Akan tetapi dalam penggunaannya, untuk mendapatkan sifat mekanik yang baik, selalu dicampur dengan bahan lain. Sifat mekanik juga sangat banyak dimodifikasi sifatnya. Baik dari segi keuletan, kekuatan, kelenturan, sampai kearah sobekan. Pada tabel 2.1 menunjukkan sifat mekanik *epoxyresin*.

Tabel 2.1 Sifat mekanik *epoxyresin* (Smith & Hashemi, 2006)

Sifat	Nilai
Massa Jenis	1,2 g/cm ³
Modulus Elastisitas	2,25 Gpa
Kekuatan Tarik	70 Mpa

Kelebihan *epoxyresin* (Penn & Wang, 1998):

- a. Pengerutan pada waktu konsolidasi kecil dan merekat sangat baik dengan berbagai jenis serat.
- b. Akurasi ukuran produk lebih terjamin.
- c. Tegangan sisa hasil konsolidasi kecil.
- d. Pemakaiannya sangat luas dalam produksi komposit FRP.
- e. Penyerapan airnya lambat.
- f. Sangat tahan terhadap lingkungan
- g. Reaksi konsolidasinya tidak menghasilkan produk sampingan yang berbahaya.
- h. Kandungan gelembung/rongga udara kecil

Kekurangan *epoxyresin* (Penn & Wang, 1998):

- a. Harganya lebih mahal dibandingkan *polyester* dan *vinilester*.
- b. Proses konsolidasi memakan waktu yang lama.

2.2.4 Serat Kenaf

Kenaf (*Hibiscus cannabinus L.*) merupakan salah satu bahan berlignoselulosa yang potensial untuk dikembangkan sebagai bahan baku alternatif industri. Kenaf dikategorikan sebagai tanaman penghasil *fiber* pada tanaman *Hibiscus (Malvaceae)* yang bisa ditumbuhkan di daerah tropis maupun subtropis. Sistematika tanaman kenaf adalah sebagai berikut:

Kingdom : *Plantae* (tumbuhan)

Subkingdom : *Tracheobionta* (tumbuhan berpembuluh)

Super divisi : *Spermatophyta* (menghasilkan biji)

Divisi : *Magnoliophyta* (tumbuhan berbunga)

Kelas : *Magnoliopsida* (berkeping dua)

Subkelas : *Dilleniidae* Ordo : *Malvales*

Serat kenaf terdiri atas serat bagian luar yang terdapat pada kulit sebesar 35% berat kering tangkai dan serat bagian dalam yang terdapat pada inti (core) sebesar 65% berat tangkai. Serat ini tergolong serabut sklerenkim (sel berdinding

tebal berlignin) yang berfungsi sebagai penahan terhadap tegangan yang disebabkan oleh penarikan dan pembengkokan. Dimensi dan komposisi kimia serat dapat dilihat dari pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.2 Dimensi serat kenaf

Tipe serat	Lebar sel	Tebal dinding	Lebar lumen
Kulit	14-24	3.8–8.6	6.6–12.8
Core	22-37	4.8–8.2	16.5–22.7

Tabel 2.3 Komposisi kimia serat kenaf

Bahan Kimia	Kulit (%)	Core/Inti (%)
Lignin	6-19	18.7–20.0
Selulosa	44-62	37.6–51.2
Gula	70.6–75.9	68.3–70.2
Ekstraktif	2.5–2.7	1.7–1.9
Abu	5.9–8.3	2.9–4.2

Kenaf tahan terhadap genangan air karena pada batang yang terendam air akan tumbuh akar adventif. Fungsi akar adventif yaitu mengambil udara dari atmosfer untuk disalurkan ke rizosfer agar metabolisme akar berlangsung secara aerobik sehingga serapan hara tidak terganggu. Selain itu, kenaf memiliki kualitas serat yang baik di lingkungan air dan tanah dengan pH 5,5 seperti lahan gambut. Serat ini yang dikenal sebagai sumber bahan selulosa yang memiliki manfaat untuk perekonomian dan lingkungan. Kenaf digunakan sebagai alternatif bahan baku untuk industri pulp, kertas, menghindari perusakan hutan dan sebagai substitusi *fiberglass* dalam industri otomotif.

2.2.5 Partikel (Serbuk atau Butiran)

Ukuran partikel yang sangatlah bervariasi dari skala mikroskopis sampai makroskopis. Distribusi partikel didalam matrik komposit tersusun secara random, sehingga komposit yang dihasilkan mempunyai sifat isotropoe. Partikel didalam

matrik juga berfungsi menjadikan matrik menjadi lebih keras dan menghambat gerakan dislokasi yang akan timbul.

Dalam pembuatan komposit partikel ada tiga jenis partikel yang dapat digunakan yaitu partikel logam, partikel non-logam, dan partikel keramik. Penggunaan partikel dalam komposit dapat berupa bahan organik atau non-organik. Berikut adalah kombinasi komposit partikel yang dapat dilakukan yaitu :

a. *Nonmetallic in nonmetallic composite*

Pada jenis ini partikel dan matrik yang digunakan berasal dari bahan baku logam. Contohnya beton, beton tersusun dari pasir, kerikil, semen, dan air yang dicampurkan sesuai dengan takaran yang sudah ditentukan lalu bereaksi secara kimia sehingga hasilnya mengeras setelah kering.

b. *Metallic in nonmetallic composites*

Komposit jenis ini tersusun oleh partikel logam. Contohnya adalah serbuk logam yang dicampurkan dengan resin termoset, komposit jenis ini sangat kuat, keras, dan memiliki kemampuan menahan panas yang baik.

c. *Metallic in metallic composites*

Pada jenis ini sangat jarang digunakan, namun hasil yang diharapkan dari paduan ini adalah adanya keunggulan-keunggulan tertentu.

d. *Nonmetallic in metallic composites*

Pada jenis ini partikel non-logam seperti keramik dimasukkan kedalam matrik logam. Kemudian dari campuran ini biasanya menghasilkan *carmet*. *Carmet* sangatlah berguna untuk alat potong yang tahan terhadap temperatur yang sangat tinggi.

2.2.6 Kalsium Karbonat (CaCO₃)

Kalsium karbonat adalah mineral inorganik yang dikenal tersedia dengan harga murah secara komersial. Sifat fisis kalsium karbonat seperti, morfologi, fase, ukuran dan distribusi ukuran harus dimodifikasi menurut bidang pengaplikasiannya. Bentuk morfologi dan fase kalsium karbonat CaCO₃ terkait dengan kondisi sintesis seperti, konsentrasi reaktan, suhu, waktu aging dan zat adiktif alam (Kirboga dkk, 2013). Senyawa ini merupakan komponen utama

cangkang organisme laut, siput, bola arang, mutiara, dan kulit telur. CaCO_3 di gunakan sebagai pengisi fungsional, pigmen pelapis untuk kertas, karet, plastik, perekat, dan cat. Kalsium karbonat dalam tiga bentuk polimorf: kalsit, aragonit, dan vaterite (Ji-Whan Ahn, 2015).

Table 2.4 Data Kalsium Karbonat (Kiborga dkk, 2013)

Rumus molekul	CaCO_3
Massa molar	100.0869 g/mol
Penampilan	Serbuk putih halus; rasa kecapuran
Bau	tidak berbau
Densitas	2.711 g/cm^3 (kalsit) 2.83 g/cm^3 (aragonit)

2.2.7 Cangkang Telur Bebek

Cangkang atau kulit telur merupakan bagian terluar yang berkapur dan berpori-pori dengan ketebalan 0.2-0.4 mm (koswara, 2009). Warna pada cangkang telur bebek dipengaruhi oleh genetik dan strukturnya. Cangkang telur bebek memiliki warna biru, hal itu disebabkan oleh pigmen biliverdin (Hargitai dkk, 2011). Biliverdin adalah suatu pigmen yang berwarna hijau kebiruan yang terbentuk dari bilirubin yang terkonjugasi dari hasil pemecahan hemoglobin oleh sel *retikuloendotelial* (Septianan dkk, 2015).

Menurut Nasution (1997), cangkang telur unggas terdiri dari empat lapisan, yaitu:

1. Lapisan kutikula

Lapisan kutikula adalah protein transparan yang melapisi pori-pori pada permukaan kulit telur, tetapi sifatnya masih bias dilalui gas sehingga uap air dan CO_2 masih dimungkinkan untuk keluar.

2. Lapisan busa

Lapisan Busa merupakan lapisan terbesar dari kulit telur yang terdiri dari protein dan lapisan kapur. Lapisan kapur terdiri dari kalsium karbonat, kalsium fosfat, magnesium karbonat, dan magnesium fosfat.

3. Lapisan mamilari

Lapisan ini terdiri dari lapisan yang berbentuk kerucut dengan penampang bulat atau lonjong yang sangat tipis dan terdiri dari anyaman protein dan mineral.

4. Lapisan membran

Lapisan membran merupakan lapisan kulit telur yang terdalam. Terdiri dari dua lapisan selaput yang menyelubungi seluruh isi telur dengan ketebalan ≤ 65 mikron,

Table 2.5 Komposisi cangkang telur

Komponen	Berat (%)
Kalsium Karbonat (CaCO_3)	94
Magnesium karbonat (MgCO_3)	1
Kalsium Fosfat (CaPO_4)	1
Bahan organik	4

Sumber: Jaso (2009)

2.2.8 Serbuk Limbah *Coating*

Powder coating sepenuhnya adalah proses *finishing* kering yang terdiri dari partikel-partikel yang dihaluskan, seperti *resin*, *pigmen*, dan bahan baku lainnya yang diberikan muatan elektrostatis dan disemprotkan ke objek yang akan dilapisi atau dicat. *Powder coating* merupakan proses pelapisan pada permukaan logam dengan suatu lapisan film, kemudian dipanaskan untuk polimerisasi dan mengawetkan *coating*. *Powder* dilekatkan pada permukaan profil material dengan menggunakan alat *electric spray gun*. Partikel yang bermuatan negatif disemprotkan ke benda kerja. Besarnya muatan partikel tersebut tergantung dari besarnya medan listrik ketika muatan negatif, gaya yang timbul tergantung arus yang mengalir. Pada saat *powder coating* disemprotkan arahnya tidak lurus ke benda kerja tetapi membentuk suatu *wrap round effect*.

Jenis-jenis pelapisan yang sering digunakan yaitu:

1. *Zinc phosphate coating*

2. *Iron phosphate coating*

Zinc phosphate coating lapisan berat berwarna abu-abu, sedangkan *iron phosphate coating* berwarna biru ke abu-abuan. Proses *zinc phosphating* memberikan ketahanan bagian yang dicat.

Powder Coating umumnya dipakai untuk melapisi permukaan logam seperti besi dan aluminium. Untuk mencapai daya rekat yang maksimal maka sebelum dilakukan pengecatan, bahan yang akan dicat dibersihkan dan diberikan treatment tertentu. Agar cat yang tadinya berupa *powder* atau serbuk bisa merekat dengan sempurna maka harus melalui oven dengan suhu 160 - 220 C°

Kelebihan *powder coating* :

1. Serbuk pelapis cat dapat menghasilkan lapisan lebih tebal dari pada lapisan cair konvensional.
2. Serbuk pelapisan *overspray* dapat didaur ulang dan oleh karena itu mungkin untuk mencapai hampir 100% dari penggunaan lapisan.
3. Pelapisan *powder coating* menghasilkan limbah yang kurang berbahaya dibandingkan pelapisan menggunakan cat cair konvensional.
4. Modal peralatan dan biaya operasional untuk *powder coating* umumnya lebih rendah dibandingkan menggunakan cat cair konvensional.
5. Benda kerja yang dilapisi dengan serbuk cat *powder coating* umumnya memiliki penampilan sedikit berbeda antara permukaan horisontal dan vertikal dibandingkan benda kerja dilapisi cat cairan.
6. Berbagai efek khusus yang dapat mudah ditambahkan dengan menggunakan pelapisan *powder coating*, yang sulit didapat dengan proses pelapisan lainnya

Tabel 2.6 Karakterisasi *Phosphate coating* (Sankara, 2005)

Characteristic	Type of Coating	
	Zinc Phosphate	Iron Phosphate
Coating weight types (g/cm ³)	41.4 – 4.0	0.16 – 0.80
Operating Temp (°C)	70	70
Primary Use	Paint base for low corrosion environments	Paint base for high corrosion environments
Application method	Spray and immersion	Spray and Immersion

2.2.9 Alkalisasi

Perbedaan sifat alami pada serat alam (*hydrophilic*) dan matriks (*hydrophobic*) menyebabkan ikatan antar serat dan matriks menjadi lemah dan dapat menurunkan sifat mekanik komposit, sehingga diperlukannya proses alkalisasi (Akil dkk, 2011). Alkalisasi pada serat alam dilakukan dengan tujuan untuk melarutkan kotoran yang menempel pada lapisan luar serat dan kandungan lignin. Larutan yang biasanya digunakan dalam proses alkalisasi yaitu NaOH (Natrium Hidroksida), KOH (Kalium Hidroksida) dan LiOH (Lithium Hidroksida). Serat yang telah diberi perlakuan alkalisasi akan memiliki tingkat penyerapan *moisture* yang tinggi jika proses alkalisasi terlalu lama dan konsentrasi yang tinggi, dikarenakan lignin yang masih menempel pada selulosa telah larut. Lignin memiliki sifat *hydrophobic* yang kompatibel dengan matrik, sehingga dengan proses alkalisasi yang tepat dapat memperbaiki kompatibilitas serat dengan matriknya dikarenakan lignin yang melekat pada selulosa tidak seluruhnya larut (John & Anandjiwala, 2008).

2.2.10 Pengujian Impak

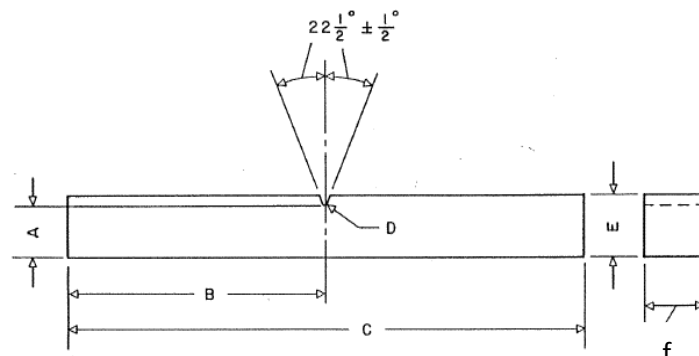
Uji impak adalah uji yang dilakukan untuk mengukur ketangguhan material terhadap benturan dengan menumbuk benda kerja menggunakan sebuah pendulum yang diayunkan. Impak dinyatakan sebagai energi kinetik yang dibutuhkan untuk memulai keretakan dan meneruskan hingga material benar-benar patah. Tujuan dari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

Pada dasarnya energi terserap pada uji impak adalah penyerapan perubahan energi potensial oleh spesimen (benda uji) dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji tersebut mengalami deformasi.

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 D 6110 yang digunakan pada komposit polimer.

Pada pengujian impak charpy, spesimen uji pada keduanya ditahan oleh anvil kemudian dipukul dari arah belakang takikan. Takik berfungsi untuk mengkonsentrasikan tegangan saat terjadi perpatahan, meminimalkan deformasi plastis, dan meneruskan perpatahan pada bagian belakang takik spesimen uji.

Berikut adalah gambar dimensi spesimen uji impak dengan ASTM D6110 :



Gambar 2.6 Dimensi spesimen uji impak (ASTM D6110)

Keterangan:

A = 10.16 ± 0.05 (mm)

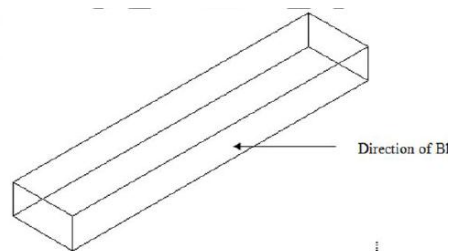
F = 3mm

B = 63.5 (mm) max, 61.0 (mm) min.

C = 127 (mm) max, 124.5 (mm) min

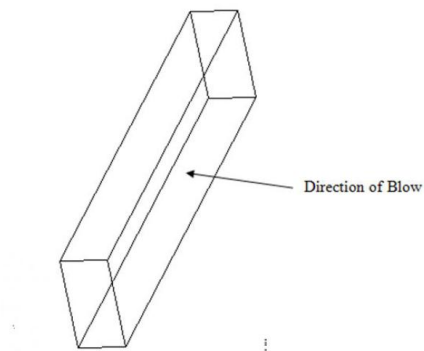
D = $0.25R \pm 0.05$

E = 12.7 ± 0.15 (mm)

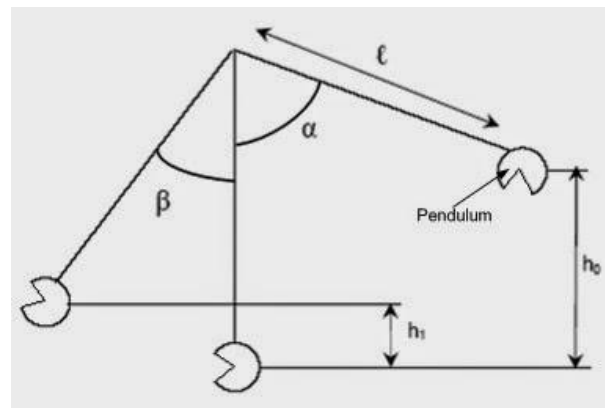


Gambar 2.7 *Edgewise Direction of Blow* (ASTM D5942)

Untuk arah *flatwise* digunakan untuk spesimen dengan menggunakan dua takik dan yang tidak menggunakan takik. Untuk penggunaan takik tunggal dalam spesimen tidak direkomendasikan dalam ASTM D 5942. Gambar 2.8 dibawah menjelaskan arah pemukulan flatwise.



Gambar 2.8 *Flatwise Direction of Blow* (ASTM D5942)



Gambar 2.9 Sketsa dimensi sudut α dan β (Prasojo, 2002)

Usaha yang dilakukan pendulum waktu memukul benda uji atau energi yang diserap benda uji sampai patah didapat rumus yaitu :

$$W = m.g \dots \dots \dots (2.1)$$

$$E_0 = W.h_0 \dots \dots \dots (2.2)$$

$$E_1 = W.h_1 \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\begin{aligned} \Delta E &= E_0 - E_1 \\ &= W.(E_0 - E_1) \dots \dots (2.4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_0 &= l - l.\cos\alpha \\ &= l.(1 - \cos\alpha) \dots \dots (2.5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_1 &= l - l.\cos\beta \\ &= l.(1 - \cos\beta) \dots \dots (2.6) \end{aligned}$$

Substitusikan perhitungan (2.5) dan (2.6) kedalam perhitungan (2.4), maka akan menghasilkan perhitungan untuk mencari nilai energi yang telah digunakan (ΔE), yaitu sebagai berikut :

$$(\Delta E) = W.l.(\cos\beta - \cos\alpha) \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

W = Berat pendulum, (N)

H_0 = ketinggian bandul sebelum dilepas (m)

h_1 = ketinggian bandul sebelum dilepas (m)

l = Jarak lengan pengayun (m)

β = sudut pendulum setelah menabrak benda uji ($^\circ$)

α = sudut pendulum tanpa benda uji ($^{\circ}$)

Setelah mendapatkan energi yang diserap maka langkah selanjutnya adalah mencari kekuatan impaknya melalui persamaan berikut :

$$I_t = \frac{\Delta E}{lxt}$$

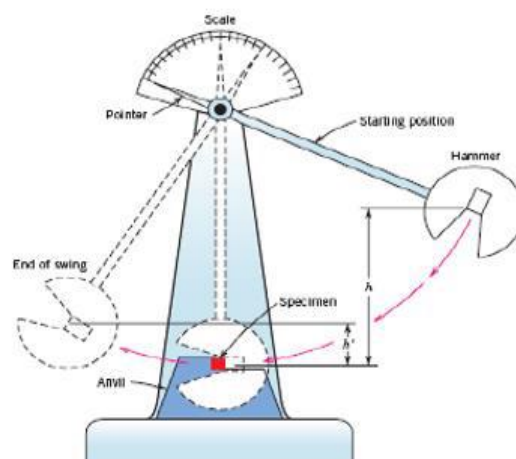
Keterangan :

I_t = Ketangguhan Impak (J/mm^2)

l = kedalaman spesimen setelah dibuat takikan (mm)

t = tebal spesimen (mm)

Setelah mengetahui mekanisme uji impak dan rumus perhitungan impak, perlu diketahui juga bahwa sebelum melakukan pengujian impak diperlukan pembuatan celah takikan atau *v-notch* pada spesimen uji impak. fungsi dari takikan adalah menguji patahan spesimen pada titik tengah pada pengujian, takikan pada material menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada daerah takikan sehingga material mudah patah, adanya takikan akan terjadi triaxial stress. Triaxial stress adalah spesimen tidak akan terjadideformasi plastis dan menyebabkan spesimen getas, sehingga tidak ada tanda bahwa spesimen mengalami kegagalan.



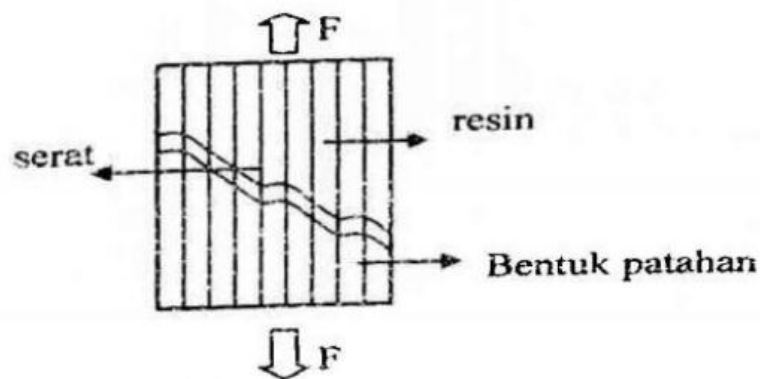
Gambar 2.10 Skematik Peralatan Uji Impak (Callister, 2007)

2.2.11 Karakteristik Patahan Pada Material Komposit

Kegagalan pada suatu bahan material harus dihindari karena akan mengakibatkan nilai jual produk menurun. Kegagalan pada material komposit khususnya akan terjadi apabila salah satu tegangan utama pada sistem koordinat material melebihi besar kekuatannya secara matematis. 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

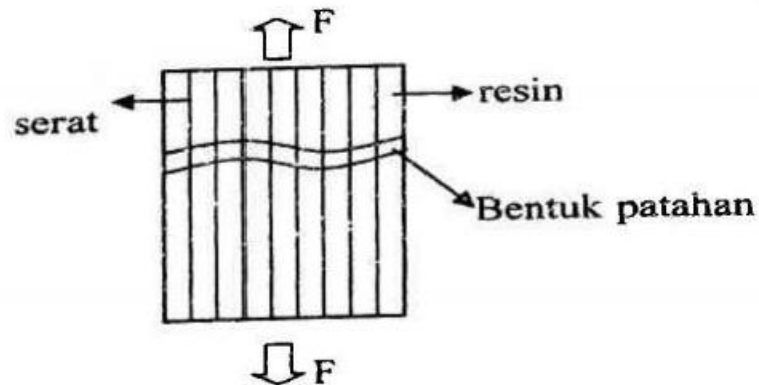
Chawla (1987) mengatakan bahwa ketika jumlah serat yang putus akibat beban tarik masih sedikit dan kekuatan interface masih baik, resin mampu mendukung beban yang diterima dengan mendistribusikan beban tersebut ke sekitarnya. Apabila resin mampu menahan gaya geser dan meneruskan beban keserat yang lain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



Gambar 2.11 Patahan banyak (Schwartz, 1984)

b. Patah tunggal

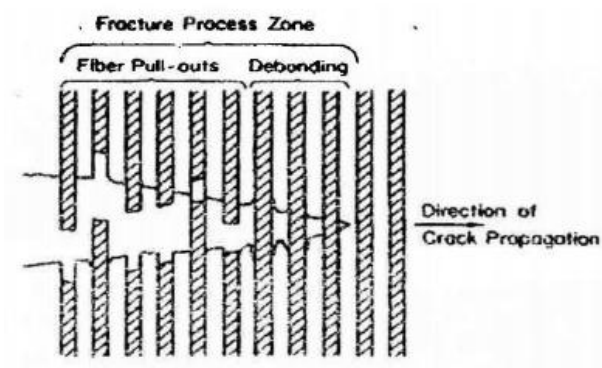
Patah tunggal adalah patah yang disebabkan ketika serat putus akibat beban tarik, matriks tidak mampu menerima lagi beban tambahan. Patah terjadi pada satu bidang kontak secara linier



Gambar 2.12 Patahan tunggal (Schwartz, 1984)

c. *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 *Fibre pull out* (Schwartz, 1984)

2.2.12 Pengujian 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

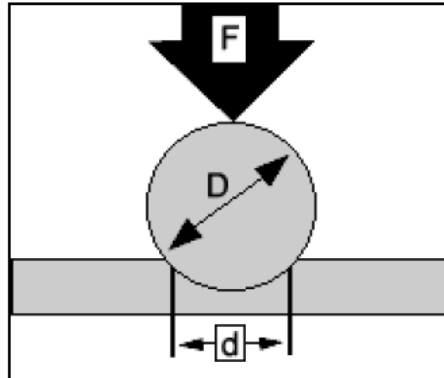
material berbeda dengan tempat yang lainnya. Tetapi nilai kekerasan suatu material adalah homogen secara teoritik akan sama untuk tiap-tiap titik.

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 ditekankan pada permukaan material uji tersebut. Besar pemberian pembebanan bergantung kepada *ball indentor* yang digunakan, menurut ASTM E10 pemberian pembebanan seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.6.

Tabel 2.6 Gaya yang diterapkan menurut ASTM E10

	Force-diameter ratio (F/D²)				
D (mm)	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 *indenter* uji kekerasan *brinell* (ASTM E10)

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

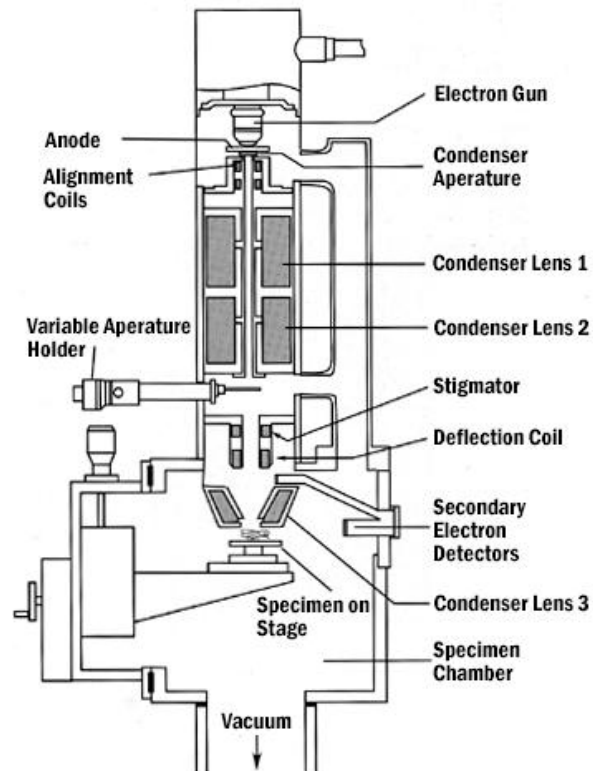
Keterangan :

- HB = *Brinell hardness number* BHN (kg/mm^2)
- F = Beban yang diberikan (kg)
- D = Diameter indenter (mm)
- d = Diameter lekukan rata-rata hasil indentasi (mm)

2.2.13 Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah sebuah mikroskop elektron yang berfungsi 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 – 3.000.000x sesuai kebutuhan.

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 (Sari, 2015)



Gambar 2.15 Komponen pada SEM (Radetic, 2011)

SEM dapat mengamati struktur dan bentuk permukaan yang berskala lebih halus, dilengkapi dengan *electron dispersive X ray spectroscopy* (EDS) dan dapat mendeteksi unsur-unsur pada material. 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 2.16 menunjukkan komponen pada SEM.