

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Penelitian Sebelumnya

Nwanonenyi dkk. (2003) melakukan penelitian tentang komposit termoplastik yang terbuat dari polietilen kerapatan linier rendah dan serbuk cangkang periwinkle (psp) dengan berbagai ukuran partikel (75 $\mu$ m, 125 $\mu$ m dan 150 $\mu$ m) menggunakan mesin *injection molding* dengan dan tanpa zat *compatibilizing*. Anhidrida maleat digunakan sebagai compatibilizer yang berguna sebagai agen *interfacial* antara LLDPE dan fase filler organik. Sifat mekanik dari polietilen kerapatan linier yang diteliti berada pada beban pengisi 0 sampai 30% berat. Juga, efek dari ukuran partikel dan isi *compatibilizer* (0,5 sampai 2,5 wt%). Hasil percobaan menunjukkan bahwa semakin besar ukuran partikel periwinkle (psp) akan menurunkan kekerasan. Urutan ukuran partikel pengisi komposit polietilen linier rendah berdasarkan kekerasannya adalah 75 $\mu$ m > 125 $\mu$ m > 150 $\mu$ m.

Haryanto (2008) Telah meneliti tentang komposit diperkuat dengan partikel tempurung kelapa dengan matriks *epoxy*. Variasi yang digunakan yaitu fraksi volume  $V_f = (10\%, 20\%, 30\%, 40\%, \text{ dan } 50\%)$  dan diameter partikel ( $\phi_p$ ) = (1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, dan 5 mm). Metode yang dilakukan dengan menyusun partikel tempurung kelapa dengan matriks *epoxy*. Hardener yang digunakan adalah *epoxy* Hardener dengan rasio 1:1. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Kekuatan tarik tertinggi pada komposit partikel tempurung kelapa sebesar 25,02 MPa pada  $V_f = 10\%$  dan 13,25 Mpa pada ( $\phi_p$ ) = 1mm sedangkan kekuatan impak tertinggi pada komposit partikel tempurung kelapa besar 0,074J/mm<sup>2</sup> pada  $V_f = 50\%$  dan 0,0112 J/mm<sup>2</sup> pada ( $\phi_p$ ) = 3mm. Mekanisme patahan pada pengujian tarik dan pengujian impak, pengamatan struktur makro fraksi volume  $V_f = 10\%$ ,  $V_f = 20\%$ ,  $V_f = 30\%$ ,  $V_f = 40\%$ , dan  $V_f = 50\%$  dan diameter partikel = 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, dan 5 mm mengindikasikan bahwa jenis patahan yang terjadi adalah patah getas.

Sijabat dkk. (2013) meneliti tentang komposit poliester tak jenuh berpenguat serbuk tempurung kelapa. Poliester tak jenuh dicampur dengan STK dengan ukuran 50, 70 dan 100 mesh dengan perbandingan STK : Poliester tak jenuh 20 : 80 (berat) menggunakan metode hand lay-up. Dari hasil pengujian sifat-sifat mekanik menunjukkan kekuatan tarik maksimum sebesar 42,558 MPa dihasilkan pada komposit dengan ukuran STK 70 mesh. Analisa terhadap sifat kekuatan impak diperoleh bahwa peningkatan hanya terjadi

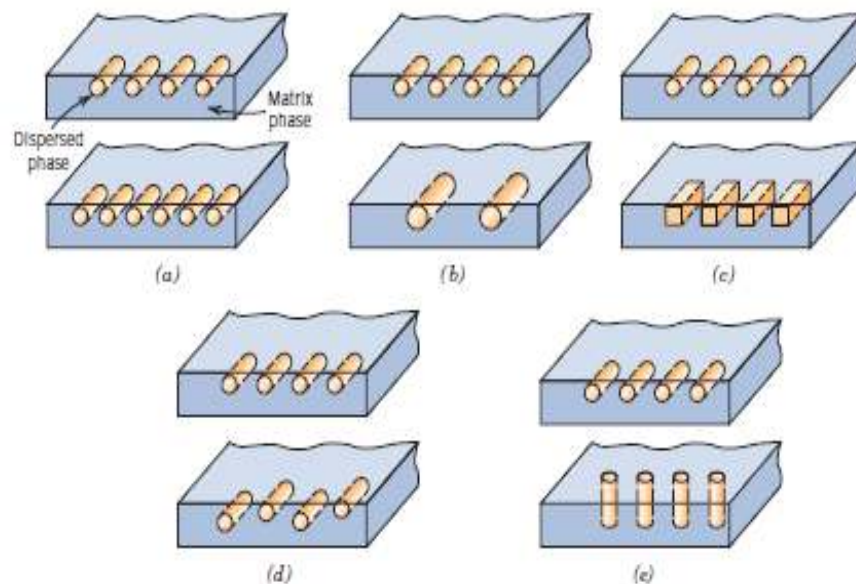
pada ukuran STK 100 mesh 6083,47 J/m<sup>2</sup>. Pada uji daya serap air, penyerapan air yang paling tinggi terjadi pada hari pertama dan STK yang paling banyak menyerap air terdapat pada ukuran STK 70 mesh.

Setiawan dkk. (2013) melakukan penelitian tentang komposit bermatrik *epoxy* dengan penguat serbuk *fly ash* dengan rasio campuran 60% *epoxy* dan 40% *fly ash*. Ukuran partikel yang digunakan yaitu : 40 mesh, 80 mesh, 120 mesh. Sedangkan resin *epoxy* yang digunakan adalah jenis (*Bisphenol A-epichlorohydrin*) Bakelite EPR 174 dengan rasio antara resin *epoxy* dan *hardener* 1: 1. Proses pencampuran resin *epoxy* dengan limbah *fly ash* batubara dilakukan dengan matriks rasio pencampuran sebesar 60% dan 40% *fly ash*. Kemudian lakukan tes dampak untuk resin *epoxy* murni dan untuk komposit. Hasil tes menunjukkan penambahan partikel *fly ash* dengan meningkatnya ukuran partikel 40 mesh, 80 mesh dan 120 mesh dapat meningkatkan kekuatan impak komposit. Kekuatan impak tertinggi dari komposit diperoleh pada ukuran partikel 120 mesh yaitu :  $3,967 \times 10^{-3} \text{ J / mm}^2$ . Dengan penurunan ukuran partikel, kontak yang luas antara permukaan *fly ash* dengan resin akan semakin banyak. Jadi, kekuatan impak meningkat. Dalam hasil gambar SEM terlihat ikatan antarmuka yang sangat baik antara matriks dengan partikel *fly ash*. Dalam komposit terlihat banyak *void* atau porositas.

Khoirul (2017) meneliti pembuatan sampel kampas rem sepeda motor dengan menggunakan bahan komposit yang ramah lingkungan dengan beberapa variasi komposisi bahan untuk mengetahui tingkat kekerasan, keausan dan koefisien gesek kampas rem tersebut. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah yaitu fiberglass, serbuk tembaga variasi mesh 50, 60, 70 dan 100, karbon kulit bambu, kalsium karbonat, barium sulfat dan resin polyester dengan katalis sebagai pengikat/matriks. Kemudian diuji kekerasan dengan menggunakan alat Durometer dengan standar ASTM D2240. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa kekerasan kampas rem variasi tembaga mesh 100 memiliki kekerasan yang mendekati nilai kekerasan kampas rem pasaran. Dimana nilai kekerasan rata-rata kampas rem variasi tembaga mesh 100 sebesar 87,83 HD sedangkan kampas rem pasaran sebesar 89,75 HD, jadi dari hasil dapat dideskripsikan bahwa semakin kecil serbuk tembaga dapat meningkatkan nilai kekerasan kampas rem dikarenakan ikatan antar material lebih kuat.

## 2.2. Material Komposit

Sebuah material komposit dibuat dengan menggabungkan dua atau lebih bahan-bahan untuk memberikan kombinasi sifat yang unik. (Mazumdar, 2003) Salah satu penyusunnya disebut fase penguat dan dimana penguat tertanam disebut matriks. Bahan fase penguat mungkin dalam bentuk serat, partikel, atau serpihan. Material komposit yang diperkuat serat bahan penyusunnya berbeda pada tingkat molekuler dan secara mekanis terpisah. Kedua bahan bergabung namun masih dalam bentuk aslinya. Sifat akhir dari bahan komposit yaitu lebih baik dari sifat material penyusunnya. Contoh sistem komposit termasuk beton bertulang dengan baja dan epoxy diperkuat dengan serat grafit, dll.



Gambar 2.1 Representasi skematis dari berbagai geometris dan tata letak karakteristik partikel dari fase terdispersi yang dapat mempengaruhi sifat-sifat komposit : (a) konsentrasi, (b) ukuran, (c) bentuk, (d) distribusi, dan (e) orientasi.

Sumber : Callister (2006, 579)

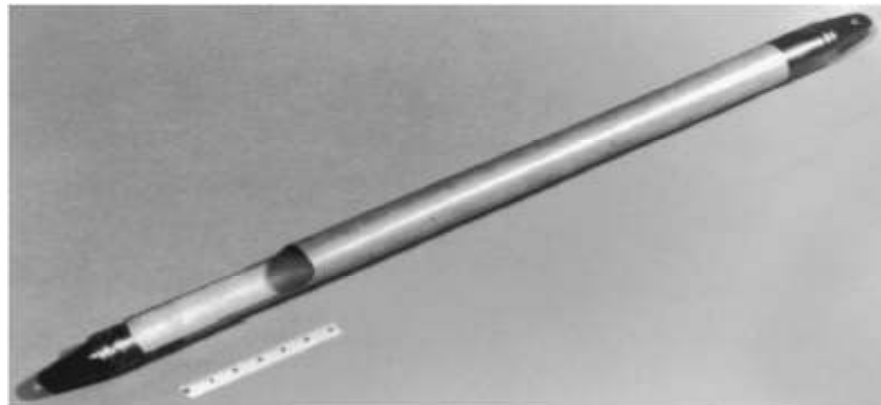
### 2.2.1. Klasifikasi Komposit Berdasarkan Matriknya

#### a. MMC

*Metal Matrix Composite* (MMC), komposit yang menggunakan logam sebagai matriks. Contoh matriks pada MMC tersebut termasuk aluminium, magnesium, dan titanium. Serat khas yang digunakan pada MMC termasuk karbon dan silikon karbida. Penggunaan logam sebagai penguat berfungsi untuk menambah atau mengurangi sifat-sifat MMC untuk memenuhi kebutuhan desain. Sebagai contoh, kekakuan elastis, kekuatan logam dapat ditingkatkan, besar koefisien ekspansi termal dan konduktivitas termal, dengan penambahan serat seperti silikon karbida.

Komposit logam matriks terutama digunakan untuk memberikan keunggulan dibandingkan logam monolitik seperti baja dan aluminium. Keuntungan ini termasuk kekuatan dan modulus dengan memperkuat logam *low-density*, seperti aluminium dan titanium tertentu yang lebih tinggi; koefisien ekspansi termal rendah dengan memperkuat menggunakan serat dengan koefisien ekspansi termal rendah, seperti grafit; dan mempertahankan sifat seperti kekuatan pada suhu tinggi. Contoh dari MMC adalah MMC memiliki beberapa keunggulan dibandingkan komposit matriks polimer. Ini termasuk sifat elastis yang lebih tinggi; Suhu perlakuan yang lebih tinggi; ketidakepekaan terhadap kelembaban; konduktivitas listrik dan panas yang lebih tinggi; dan lebih baik resistensi pakai, kelelahan, dan cacat. Kelemahan dari MMC terhadap PMC meliputi suhu pengolahan yang lebih tinggi dan kepadatan tinggi. (Kaw, 2006)

- Aplikasi dari *Metal Matrix Composite* (MMC) antara lain :
  1. Pesawat : Pesawat ulang-alik menggunakan tabung boron / aluminium untuk mendukung kerangka pesawat tersebut. Selain penurunan massa pesawat ruang angkasa lebih dari 145 kg, boron / aluminium juga mengurangi persyaratan isolasi termal karena konduktivitas termal rendah. Contoh penggunaan boron / aluminium dapat dilihat pada gambar 2.2.

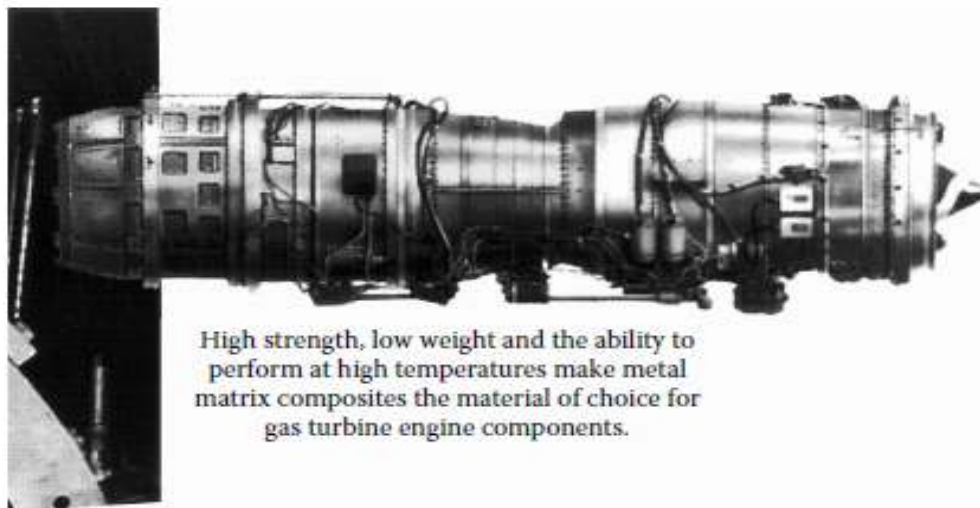


Gambar 2.2 Komponen terbuat dari boron / aluminium dengan metode diffusion bonding  
Sumber : Kaw (2006, 44 )

2. Militer : Komponen presisi sistem panduan rudal menuntut stabilitas dimensi yaitu, geometri komponen tidak dapat berubah selama digunakan. 27 komposit logam matriks seperti komposit SiC / aluminium memenuhi persyaratan ini karena MMC memiliki kekuatan luluh mikro tinggi. Selain itu, fraksi volume

SiC dapat divariasikan untuk memiliki koefisien ekspansi termal yang kompatibel dengan bagian-bagian lain dari sistem perakitan.

3. Transportasi : Komposit logam matriks sekarang telah ditemukan kegunaannya dalam mesin otomotif yang lebih ringan daripada logam lain. Juga, karena kekuatan tinggi dan massa rendah, komposit matriks logam adalah bahan pilihan untuk mesin turbin gas dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Komponen mesin gas turbin terbuat dari MMC  
Sumber : Kaw (2006, 44)

#### b. CMC

*Ceramic Matrix Composite* (CMC) merupakan material yang terdiri dari matriks keramik yang dikombinasikan dengan keramik (oksida, karbida) fase yang terdispersi. Keuntungan dari CMC termasuk kekuatan tinggi, kekerasan, tinggi batas temperatur yang tinggi untuk keramik, inertness kimia, dan kepadatan rendah. Namun, keramik sendiri memiliki ketangguhan patah rendah. Di bawah tarik atau beban impact. Memperkuat keramik dengan serat, seperti silikon karbida atau karbon, meningkatkan ketangguhan retak CMC dapat dilihat pada tabel 2.1, karena menyebabkan kerusakan bertahap pada komposit. Kombinasi serat dan matriks keramik membuat CMC lebih menarik untuk diaplikasikan dimana sifat mekanik yang tinggi dan suhu ekstrim. (Kaw, 2006)

Tabel 2.1 Tipe Sifat Mekanik Dari Beberapa CMC

Sifat	Satuan	SiC/LAS	SiC	Steel	Aluminium
Sistem satuan : USCS					
Berat jenis	-	2.1	2.5	7.8	2.6
Modulus young	Msi	13	17.55	30.0	10.0
Kekuatan tarik ultimate	Ksi	72	58.0	94.0	34.0
Koefisien ekspansi termal	$\mu\text{in./in.}/^{\circ}\text{F}$	2	2.5	6.5	12.8
Sistem satuan : SI					
Berat jenis	-	2.1	2.5	7.8	2.6
Modulus young	GPa	89.63	121	206.8	68.95
Kekuatan tarik ultimate	MPa	496.4	400	648.1	234.4
Koefisien ekspansi termal	$\mu\text{m/m}/^{\circ}\text{C}$	3.6	4.5	11.7	23

Sumber : Kaw (2006, 46)

CMC dapat diaplikasikan pada kondisi temperatur tinggi, dimana MMC dan PMC tidak dapat digunakan, mengingat kekuatan dan modulus yang tinggi, dan kepadatan rendah. Aplikasi CMC yaitu *cutting tool insert*, oksidasi dan lingkungan bersuhu tinggi. *Textron Sistem Corporation*® telah mengembangkan keramik-diperkuat serat dengan *monofilamen SCS*™ untuk mesin pesawat terbang masa depan dapat di lihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Aplikasi CMC untuk temperatur tinggi dan ketahanan oksidasi  
Sumber : Kaw (2006, 48)

### c. PMC

*Polymer Matrix Composite* (PMC) adalah material yang terdiri dari matriks polimer (resin) yang dikombinasikan dengan serat yang terdispersi. *Polimer Matrix*

*Composites* sangat populer karena biaya rendah, kekuatannya tinggi dan metode pembuatannya mudah. (Kaw, 2006)

Penggunaan matriks polimer sebagai struktur material dibatasi oleh rendahnya tingkat sifat mekaniknya, kekuatan tarik terkuat yaitu resin epoxy adalah 20000 psi (140 MPa). Selain kekuatan yang relatif rendah, material polimer memiliki ketahanan impak yang rendah.

- Kelemahan utama dari *Polymer Matrix Composites* (PMC) adalah : (Autar, 2006)

1. Temperatur operasional yang rendah
2. Koefisien termal yang tinggi
3. Sifat elastis rendah

Dua jenis polimer yang digunakan sebagai bahan matriks untuk pembuatan komposit yaitu : Termoset (epoxies, fenolat) dan Termoplastik (*Low Density Polyethylene* (LDPE), *High Density Polyethylene* (HDPE), *polypropylene*, *nylon*, *akrilik*).

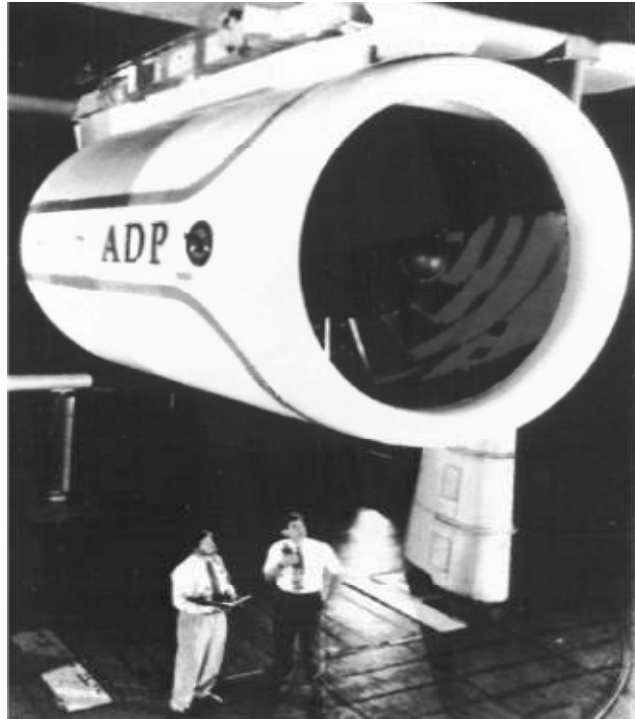
- Serat penguat dapat diatur dalam bentuk yang berbeda:

1. *Unidirectional fibers*
2. *Rovings*
3. *Veil mat*: tumpukan tipis serat yang berorientasi acak dan serat continue yang dilingkarkan
4. *Chopped strands*: tumpukan tipis dari serat berorientasi acak dan serat pendek (3-4 inci) yang dilingkarkan
5. *Woven fabric*.

- Sifat Polimer Matrix Composites ditentukan oleh:

1. Sifat serat
2. Orientasi dari serat
3. Konsentrasi serat
4. Sifat matriks

*Polymer Matrix Composites* (PMC) yang digunakan untuk manufaktur yaitu : *skins of aircraft* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5, badan perahu, kano, kayak, suku cadang otomotif, barang-barang olahraga (klub golf, ski, raket tenis, pancing), rompi anti peluru dan bagian armor lainnya.



Gambar 2.5 Mesin *aircraft cowling*  
 Sumber : Kaw (2006, 35)

### 2.2.2. Klasifikasi Komposit Berdasarkan Penguatnya

#### a. *Particulate Composite*

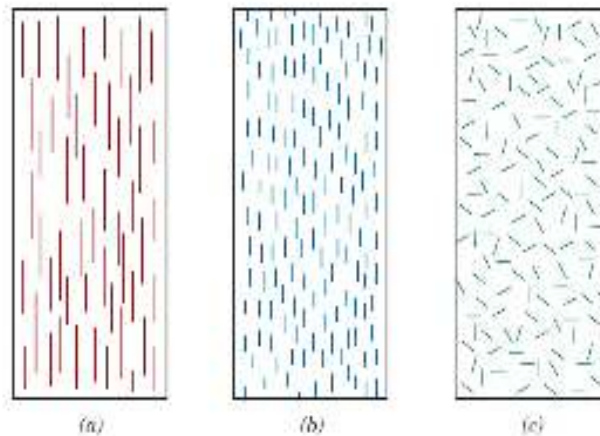
*Particulate composite* terdiri dari matriks yang diperkuat oleh fasa terdispersi dalam bentuk partikel. *Particulate composite* di bagi menjadi dua yaitu :

- Komposit dengan orientasi acak partikel
- Komposit dengan orientasi pilihan partikel.

#### b. *Fibrous Composite*

1. Komposit serat pendek merupakan komposit yang terdiri dari matriks dan diperkuat oleh fasa terdispersi dalam bentuk serat *discontinuous* (panjang  $< 100$  x diameter).
  - Komposit dengan orientasi serat acak
  - Komposit dengan orientasi serat prefered
2. Komposit serat panjang merupakan komposit yang terdiri dari matriks dan diperkuat oleh fasa terdispersi dalam bentuk serat *continuous*.
  - Komposit dengan orientasi serat searah
  - Komposit dengan orientasi serat dua arah (tenun).





Gambar 2.6 Susunan serat pada komposit : (a) serat *continuous* (b) serat *discontinuous* (c) serat *discontinuous* dan *randomly*  
 Sumber : Callister (2006, 587)

### c. *Laminate Composite*

Komposit laminasi terdiri dari lapisan dengan orientasi anisotropi yang berbeda atau dari matriks diperkuat dengan fase terdispersi dalam bentuk lembaran. Ketika serat diperkuat komposit terdiri dari beberapa lapisan dengan orientasi serat yang berbeda, hal itu disebut multilayer (*angle-ply*) komposit. Komposit laminasi memberikan peningkatan kekuatan mekanik dalam dua arah dan hanya dalam satu arah, tegak lurus dengan orientasi pilihan dari serat atau lembaran, sifat mekanik material rendah.

## 2.3. Matriks

Seperti yang telah dibahas, komposit terbuat dari serat penguat dan bahan matriks. Matriks mengelilingi serat dan dengan demikian melindungi mereka serat terhadap serangan kimia dan lingkungan. Untuk serat untuk membawa beban maksimum, matriks harus memiliki modulus lebih rendah dan elongasi lebih besar dari pemilihan penguat. Matriks digunakan berdasarkan kimia, termal, listrik, mudah terbakar, lingkungan, biaya, kinerja, dan persyaratan bidang manufaktur. Matriks menentukan suhu operasi layanan komposit serta parameter pengolahan untuk bagian bidang manufaktur.

### 2.3.1. *Resin Thermoset*

Bahan termoset yang pernah dicuring tidak dapat dileburkan atau dirombak kembali. Selama curing, resin membentuk rantai molekul tiga dimensi, yang disebut *cross-linking*. Karena *cross-linking ini*, molekul tidak fleksibel dan tidak dapat

dileburkan dan dibentuk kembali. Semakin tinggi jumlah *cross-linking*, yang lebih kaku dan termal material lebih stabil. Pada rubbers karet dan elastomer lainnya, kepadatan *cross-linking* yang jauh lebih sedikit oleh karena itu *thermoset* fleksibel. *Thermoset* mungkin melunak sampai batas tertentu pada suhu tinggi. Karakteristik ini kadang-kadang digunakan untuk membuat sebuah kurva dalam struktur tubular, seperti tabung *filamen-wound tubes*. *Thermoset* yang rapuh di alam dan biasanya digunakan untuk pengisi dan penguat. Resin termoset menyediakan *processability* yang mudah dan *impregnation* serat yang lebih baik karena resin cair digunakan pada suhu kamar untuk berbagai proses seperti *filament winding*, pultrusion, dan RTM. *Thermoset* memberikan thermal yang tinggi, *dimensional stability*, kekakuan yang lebih baik, dan higher electrical, chemical, dan ketahanan larut. Bahan resin yang paling umum digunakan dalam komposit termoset yaitu : *epoxy*, *polyester*, *vinyl ester*, *fenolat*, *cyanate ester*, *bismaleimides*, dan *polyimides*. (Mazumdar,2003)

### 1. *Epoxy*

*Epoxy* adalah sistem resin yang sangat serbaguna, yang memungkinkan untuk berbagai sifat dan kemampuan pemrosesan. Hal ini ditunjukkan dengan penyusutan yang rendah serta adhesi yang sangat baik untuk berbagai bahan substrat. *Epoxy* adalah bahan resin yang paling banyak digunakan dan digunakan dalam berbagai aplikasi, dari luar angkasa maupun alat olahraga. Ada berbagai level performa *epoxy* untuk memenuhi kebutuhan aplikasi yang berbeda. *Epoxy* dapat digabungkan dengan bahan lain atau dapat dicampur dengan *epoxy* lain untuk memenuhi kebutuhan performa tertentu. Dengan mengubah formulasi, sifat-sifat *epoxy* dapat diubah; tingkat penyembuhan dapat dimodifikasi, suhu pengolahan dapat diubah, waktu siklus dapat diubah, ketangguhan bisa berubah, ketahanan suhu dapat ditingkatkan, dll. *Epoxy* dapat dicuring oleh reaksi bahan kimia seperti amina, anhidrida, fenol, asam karboksilat, dan alkohol.

### 2. *Polyester*

*Polyester* adalah sistem resin murah dan menawarkan ketahanan korosi yang sangat baik. Suhu layanan operasi untuk poliester lebih rendah daripada epoxy. Polyester secara luas digunakan untuk pultrusion, filamen berkelok-kelok, SMC, dan operasi RTM. Poliester bisa menjadi resin thermosetting atau resin termoplastik. Poliester tak jenuh diperoleh dengan reaksi asam organik difungsi jenuh dengan alkohol difungsi. Asam yang digunakan meliputi maleat, fumarat, ftalat, dan tereftalat. Alkohol termasuk etilena glikol, propilen glikol, dan terhalogenasi glikol.

Untuk proses penyembuhan atau silang, monomer reaktif seperti stirena ditambahkan pada kisaran 30 sampai 50% berat. Ikatan ganda karbon-karbon dalam molekul tak jenuh poliester dan molekul stirena berfungsi sebagai situs cross-linking. Dengan masalah kesehatan tumbuh lebih emisi styrene, penggunaan stirena sedang dikurangi untuk poliester berbasis produksi komposit. Dalam metode baru-baru ini, katalis yang digunakan untuk menyembuhkan poliester dengan mengurangi stirena.

### 3. *Vinylester*

*Vinylester* banyak digunakan untuk pultrusion, filamen berkelok-kelok, SMC, dan proses RTM. *Vinylester* menawarkan struktur kimia dan ketahanan korosi yang baik dan digunakan untuk pipa FRP dan tangki di industri kimia. Mereka lebih murah daripada epoxies dan digunakan dalam aplikasi volume tinggi otomotif dan lainnya di mana biaya sangat penting dalam membuat pemilihan material.

*Vinylester* dibentuk oleh reaksi kimia dari asam organik tak jenuh dengan molekul epoksida-dihentikan. Dalam molekul *vinylester*, ada situs tak jenuh yang lebih sedikit untuk cross-linking dibandingkan poliester atau *epoxy* dan, oleh karena itu, *vinylester* disembuhkan memberikan peningkatan daktilitas dan ketangguhan.

### 4. *Phenolics*

Fenolat dengan FAA dan JAR persyaratan untuk asap rendah dan toksisitas. Mereka digunakan untuk interior pesawat, *stowbins*, dan dinding dapur, serta pasar komersial lainnya yang memerlukan biaya rendah, tahan api, dan produk lowsmoke. Fenolat dibentuk oleh reaksi fenol (asam karbol) dan *formaldehid*, dan dikatalisasi oleh asam atau basa. Urea, resorsinol, atau melamin dapat digunakan sebagai pengganti fenol untuk mendapatkan sifat yang berbeda. Karakteristik menyembuhkan mereka berbeda dari resin thermosetting lain seperti *epoxy*, karena fakta bahwa air yang dihasilkan selama reaksi obat. Airnya dibuang selama pemrosesan. Dalam proses pencetakan kompresi, air dapat dihilangkan dengan menabrak pers. Fenolat umumnya berwarna gelap dan karena itu digunakan untuk aplikasi di mana warna tidak masalah. Produk fenolik biasanya berwarna merah, biru, coklat, atau hitam. Untuk mendapatkan produk *lightcolored*, urea *formaldehyde* dan *melamine formaldehyde* yang digunakan. Selain tahan api, produk fenolik telah menunjukkan kemampuan mereka dalam berbagai aplikasi lain di mana:

- Ketahanan suhu tinggi diperlukan.
- Sifat listrik yang dibutuhkan.

- *Wear resistance* penting.
- Ketahanan kimia yang baik dan stabilitas dimensi yang baik.

Fenolat yang digunakan untuk berbagai proses manufaktur komposit seperti filamen, RTM, injection molding, dan pencetakan kompresi. Fenolat memberikan processability yang mudah, toleransi ketat, mengurangi proses pemesinan, dan kekuatan yang tinggi. Karena ketahanan suhu tinggi, fenolat yang digunakan dalam komponen knalpot, bagian rudal, *spacer manifold*, dan rem cakram.

#### 5. *Cyanate esters*

Ester cyanate memberikan kekuatan dan ketangguhan yang sangat baik, sifat listrik yang lebih baik, dan penyerapan air yang lebih rendah dibandingkan dengan resin lainnya. Jika mereka dirumuskan dengan benar, sifat suhu tinggi mereka sama dengan bismaleimide dan resin Polimida. Mereka digunakan untuk berbagai aplikasi, termasuk peralatan antariksa, pesawat, rudal, antena, kubah, mikroelektronika, dan produk microwave. Ester cyanate terbentuk melalui reaksi ester bisphenol dan asam sianat yang cyclotrimerize untuk menghasilkan cincin triazina selama obat kedua. Ester cyanate lebih mudah disembuhkan daripada epoxies. Ketangguhan ester cyanate dapat ditingkatkan dengan menambahkan termoplastik atau partikel karet bulat.

#### 6. *Bismaleimides (BMI) dan polyimides*

BMI dan Polimida digunakan untuk aplikasi suhu tinggi dalam pesawat, rudal, dan papan sirkuit. Suhu transisi gelas ( $T_g$ ) dari BMI adalah di kisaran  $550^\circ - 600^\circ$  F, sedangkan beberapa poliimida menawarkan  $T_g$  lebih besar dari  $700^\circ$  OF. Nilai-nilai ini jauh lebih tinggi daripada epoxies dan poliester. Kurangnya penggunaan BMI dan polyimides dikaitkan dengan kesulitan pengolahan mereka. Mereka memancarkan volatil dan kelembaban selama imidization dan menyembuhkan. Oleh karena itu, ventilasi yang tepat diperlukan selama curing resin tersebut; jika tidak, hal itu dapat menyebabkan cacat-proses terkait seperti void dan delaminations. Kelemahan lain dari resin tersebut termasuk fakta bahwa nilai ketangguhan mereka lebih rendah dari epoxies dan ester cyanate, dan mereka memiliki kemampuan penyerapan air lebih tinggi.

### 2.3.2. *Resin Thermoplastic*

Resin termoplastik, secara umum, ulet dan tangguh daripada bahan termoset dan digunakan untuk berbagai macam aplikasi nonstruktural tanpa pengisi dan bala bantuan.

Termoplastik dapat dicairkan dengan pemanasan dan dipadatkan dengan pendinginan, yang membuat mereka mampu berulang membentuk kembali dan reformasi. Molekul termoplastik tidak cross-link dan karena itu mereka fleksibel dan reformable. Termoplastik dapat berupa amorf atau semicrystalline. Dalam termoplastik amorf, molekul secara acak diatur; sedangkan di wilayah kristal plastik semi-kristal, molekul disusun secara teratur. Hal ini tidak mungkin untuk memiliki 100% kristalinitas dalam plastik karena sifat kompleks dari molekul. Kekakuan dan kekuatan yang lebih rendah nilai-nilai mereka memerlukan penggunaan pengisi dan bala bantuan untuk aplikasi struktural. Termoplastik umumnya menunjukkan ketahanan mulur miskin, terutama pada temperatur tinggi, dibandingkan dengan termoset. Mereka lebih rentan terhadap pelarut dari termoset. Resin termoplastik dapat dilas bersama-sama, membuat perbaikan dan bergabung bagian yang lebih sederhana daripada termoset. Perbaikan komposit termoset adalah proses yang rumit, memerlukan perekat dan persiapan permukaan hati. Komposit termoplastik biasanya membutuhkan membentuk suhu dan tekanan tinggi dari sistem termoset sebanding. Komposit termoplastik tidak menikmati tingkat tinggi integrasi seperti yang saat ini diperoleh dengan sistem thermosetting. Viskositas tinggi resin termoplastik membuat beberapa proses manufaktur, seperti tangan lay-up dan tape berlaku operasi, lebih sulit. Sebagai konsekuensi dari ini, fabrikasi bagian komposit termoplastik telah menarik banyak perhatian dari para peneliti untuk mengatasi masalah ini. Berikut jenis resin thermoplastic : (Mazumdar, 2002)

#### 1. *Nylon*

Nilon yang digunakan untuk membuat asupan manifold, perumahan, roda gigi, bantalan, ring, sprocket, dll Kaca-diisi dan nilon karbon penuh dalam bentuk pelet yang tersedia untuk keperluan cetak injeksi. Nilon yang paling banyak digunakan untuk keperluan cetak injeksi, tetapi juga tersedia sebagai prepregs dengan berbagai bala bantuan. Nilon telah digunakan untuk berbagai komponen pultruded. Nilon juga disebut poliamida. Ada beberapa jenis nilon, termasuk nilon 6, nilon 66, nilon 11, dll, masing-masing menawarkan berbagai sifat mekanik dan fisik; tapi secara keseluruhan, mereka dianggap plastik rekayasa. Nilon memberikan penampilan permukaan yang baik dan pelumasan yang baik. Pertimbangan desain penting dengan nilon adalah bahwa mereka menyerap kelembaban, yang mempengaruhi sifat dan stabilitas dimensi bagian. Kaca penguatan meminimalkan masalah ini dan menghasilkan, bahan dampak-tahan yang kuat. Resistensi dampak panjang nilon

kaca yang dipenuhi lebih tinggi dari bahan rekayasa konvensional seperti aluminium dan magnesium

## 2. *Polypropylene* (PP)

Polypropylene (PP) mempunyai kelebihan biaya rendah, densitas rendah, plastik serbaguna dan tersedia dalam berbagai kelas dan sebagai *co-polymer* (etilena / propilena). PP memiliki kepadatan terendah (0,9 g / cm<sup>3</sup>) dari semua termoplastik dan memberikan kekuatan, kekakuan, ketahanan kimia, dan ketahanan lelah yang baik. PP digunakan untuk bagian mesin, komponen mobil (fans, panel fascia, dll), dan barang-barang rumah tangga lainnya.

## 3. *Polyetheretherketone* (PEEK)

PEEK adalah termoplastik generasi baru yang dapat digunakan pada temperatur tinggi. Komposit PEEK (APC-2) diperkuat carbon telah menunjukkan kegunaannya dalam pesawat, bagian satelit, dan struktur kedirgantaraan lainnya; PEEK dapat digunakan terus menerus pada temperatur 250°C. Temperatur *glass transition* (T<sub>g</sub>) dari PEEK adalah 143°C dan temperatur kristal mencair adalah 336°C. Komposit termoplastik PEEK / karbon (APC-2, komposit polimer aromatik) telah menarik perhatian para peneliti dan industri pesawat terbang karena toleransi kerusakan yang lebih besar, ketahanan pelarut yang lebih baik, dan penggunaan suhu tinggi. Selain itu, PEEK memiliki keuntungan penyerapan air yang hampir 10 kali lebih rendah dari *epoxy*. Penyerapan air PEEK adalah 0,5% pada suhu kamar, sedangkan *epoxy aerospace-grade* memiliki 4% sampai 5% penyerapan air. Kelemahan komposit berbasis PEEK adalah harga material sangat tinggi, lebih dari \$ 50,00 / lb.

## 4. *Polyphenylene sulfide* (PPS)

PPS adalah *thermoplastic* rekayasa dengan kristalinitas maksimal 65%. Ini memberikan suhu operasi yang tinggi dan dapat digunakan secara terus-menerus pada 225°C. The T<sub>g</sub> PPS adalah 85°C dan suhu kristal mencair adalah 285°C. Prepreg tape dari PPS dengan beberapa penguat yang tersedia. Nama dari PPS yang berbasis sistem prepreg adalah *Ryton* dan *Techtron*. Hal ini diproses dalam kisaran suhu 300-345°C. PPS berbasis komposit digunakan untuk aplikasi di mana kekuatan besar dan ketahanan kimia yang diperlukan pada suhu tinggi.

### 2.4. Serbuk Tempurung Kelapa

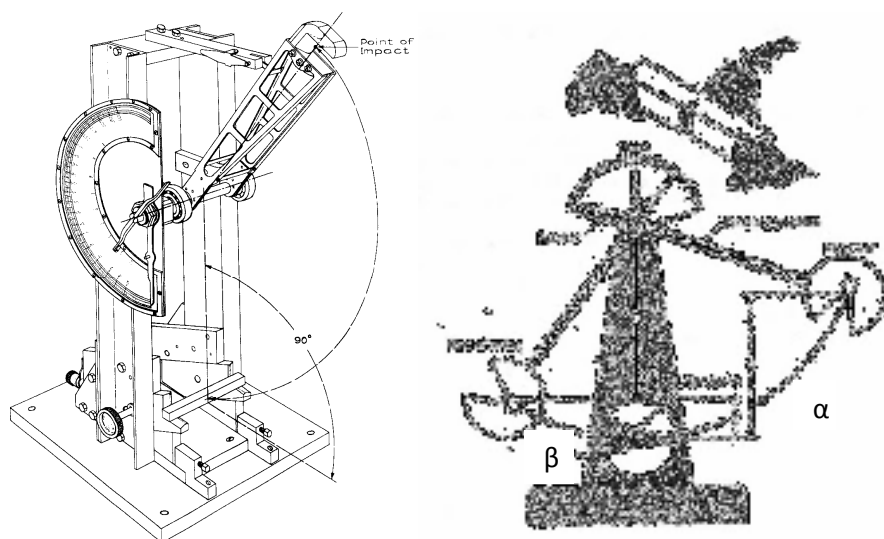
Tanaman kelapa dikenal sebagai pohon yang mempunyai banyak kegunaan, mulai dari akar sampai pada ujungnya (daun). Tinggi pohon kelapa dapat mencapai 15 sampai

30 meter di daerah perkebunan. Buah kelapa berbentuk lonjong dan dilapisi oleh kulit yang licin yang berwarna hijau terang, jingga cerah atau warna - warna gading. Di bawah lapisan kulit terdapat lapisan serat tebal yang digunakan untuk sabut. Lapisan berikutnya adalah tempurung. Tempurung dapat digunakan untuk membuat arang dan alat - alat makan.

Berat dan tebal tempurung kelapa sangat ditentukan oleh jenis tanaman kelapa. Tempurung kelapa beratnya sekitar 15 - 19% bobot buah kelapa dengan ketebalan 3 - 5 mm. Komposisi kimia tempurung kelapa terdiri atas selulosa (26,60%), pentosan (27,70%), lignin (29,40%), abu (0,60%), solvent ekstraktif (4,20%), uronat anhidrat (3,50%), nitrogen (0,11%) dan air 8,00%) (Rusdianto, 2011).

## 2.5. Pengujian Kekuatan Impak

Pengujian impak yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan bahan untuk menahan beban kejut. Pada umumnya pengujian Impak memiliki 2 metode yaitu Charpy dan Izod. Untuk melihat pengaruh takikan ada cara pengujian dengan takikan pada batang uji sehingga kekuatan impak bahan polymer termasuk komposit lebih kecil dari pada kekuatan impak logam. Pada Uji impak dengan metode charpy kita mengukur energy yang diserap untuk mematahkan benda uji. Setelah benda uji patah, bandul akan berayun kembali. Makin besar energi yang diserap makin rendah ayunan kembali dari bandul. Energi patahan yang diserap biasanya dinyatakan dalam satuan Joule. Skema pengujian charpy dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Ilustrasi skematis pengujian impak dengan uji charpy

Sumber : Annual book of ASTM D 6110-04, 2004

Karakter keretakan uji impak terdiri atas 3 jenis yaitu Pertama patahan getas merupakan permukaan patahan terlihat rata dan mengkilap, jika potongan-potongannya disambungkan kembali, ternyata keretakannya tidak disertai deformasinya bahan. Patahan jenis ini mempunyai nilai impak yang rendah. Kedua bentuk patahan liat merupakan permukaan patahan ini tidak rata, Nampak seperti buram dan berserat, tipe ini mempunyai nilai impak yang tinggi. Dan yang ketiga patahan campuran merupakan patahan yang terjadi merupakan campuran dari patahan getas dan patahan. Besarnya energi potensial yang diserap oleh material akan menunjukkan kekuatan impak benda uji dapat dihitung dengan persamaan (2-1) dan (2-2): (Bella, 2014)

$$\begin{aligned} E_{\text{serap}} &= \text{energi awal} - \text{energi yang tersisa} \dots\dots\dots (2-1) \\ &= m \cdot g \cdot h - m \cdot g \cdot h' \\ &= m \cdot g \cdot (R - R \cos \alpha) - m \cdot g \cdot (R - R \cos \beta) \end{aligned}$$

Persamaan menjadi :

$$E_{\text{serap}} = m \cdot g \cdot R \cdot (\cos \beta - \cos \alpha) \dots\dots\dots (2-2)$$

Dimana :

- Eserap = energi yang serap (J)
- m = berat pandulum (kg)
- g = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )
- R = panjang lengan (m),
- $\alpha$  = sudut pendulum sebelum diayun ( $^\circ$ ),
- $\beta$  = sudut ayunan pendulum setelah mematahkan spesimen ( $^\circ$ )
- h = tinggi maksimum ayunan

Besar nilai Impak dapat dihitung dengan persamaan (2-3):

$$HI = \frac{E_{\text{serap}}}{A_0} \dots\dots\dots (2-3)$$

Dimana:

- HI = besar nilai impak ( $\text{J/mm}^2$ ),
- Esrp = energi serap (J),
- $A_0$  = luas penampang ( $\text{mm}^2$ )



## 2.6. Pengujian Kekerasan

Kekerasan (*Hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami pergesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuknya semula. Lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan).

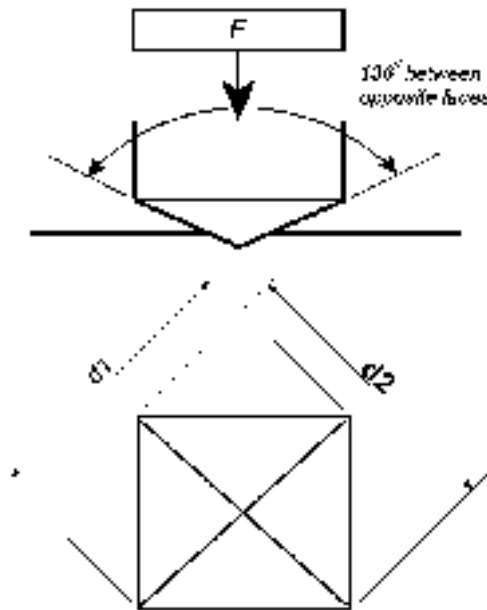
Uji kekerasan adalah pengujian yang paling efektif untuk menguji kekerasan dari suatu material, karena dengan pengujian ini kita dapat dengan mudah mengetahui gambaran sifat mekanis suatu material. Meskipun pengukuran hanya dilakukan pada suatu titik, atau daerah tertentu saja, nilai kekerasan cukup valid untuk menyatakan kekuatan suatu material. Dengan melakukan uji keras, material dapat dengan mudah di golongkan sebagai material ulet atau getas.

Pada umumnya pengujian kekerasan menggunakan 4 macam metode pengujian kekerasan, yakni :

- *Brinell* (HB / BHN)
- *Rockwell* (HR / RHN)
- *Vickers* (HV / VHN)
- *Micro Hardness*

Pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam yaitu daya tahan material terhadap indenter intan yang cukup kecil dan mempunyai bentuk geometri berbentuk piramid. Beban yang dikenakan juga jauh lebih kecil dibanding dengan pengujian *rockwell* dan *brinell* yaitu antara 1 sampai 1000 gram.

Angka kekerasan *Vickers* (HV) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) dengan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) dari indenter (diagonalnya) (A) yang dikalikan dengan  $\sin(136^\circ/2)$  yang dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 ilustrasi pengujian kekerasan menggunakan vickers  
 Sumber : Annual book of ASTM E 384-99, 2004

Rumus untuk menentukan besarnya nilai kekerasan dengan metode *vickers* yaitu :

$$VHN = \frac{2F \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{d^2} \dots\dots\dots (2-4)$$

Dimana :

VHN : Angka kekerasan *vickers*

F : Gaya tekan (kgf)

d : Diagonal tampak tekan rata-rata (mm)

$\alpha$  : Sudut puncak indenter ( $136^\circ$ )

## 2.7. Mesh

Mesh merupakan jumlah bukaan per inci linear. mesh dalam penggunaan istilah semakin besar nilai mesh, jumlah lubang per inchi akan semakin banyak sehingga ukuran lubang semakin kecil.

Terdapat rasio tetap antara ukuran yang berbeda dari skala sieve. rasio tetap ini telah diambil sebagai 1.414, atau akar kuadrat dari 2 ( $\sqrt{2}$ ). misalnya, menggunakan U.S. Series setara No. 200 sebagai saringan awal yang dapat dilihat pada tabel 2.2, lebar setiap bukaan berturut-turut adalah persis 1.414 kali bukaan di saringan sebelumnya. Daerah, atau permukaan, dari setiap bukaan berturut-turut dalam skala itu dua kali lipat

dari saringan halus berikutnya, atau satu-setengah dari saringan kasar berikutnya. (Heine, 1976)

Tabel 2.2 Skala Sieves (Ayakan)

U.S. Series equivalent No.	Tyler screen scale sieves, meshos per lin in.	Openings, mm	Openings, in., ratio $\sqrt{2}$ , or 1,414	Permissible variations in avg opening % $\pm$	Diam wire, decimal of an in	Mesh openings microns
4	4	4,699	0,187	3	0,065	4760
6	6	3,327	0,132	3	0,036	3327
8	8	2,302	0,0937	3	0,035	2362
12	10	1,651	0,0661	3	0,032	1651
16	14	1,167	0,0409	3	0,025	1167
20	20	0,833	0,0331	5	0,0172	833
30	28	0,580	0,0232	5	0,0125	589
40	36	0,414	0,0165	5	0,0122	414
50	48	0,295	0,0117	5	0,0092	295
70	65	0,208	0,0083	5	0,0072	208
100	100	0,147	0,0059	6	0,0042	147
140	150	0,104	0,0041	6	0,0026	104
200	200	0,074	0,0029	7	0,0021	74
270	270	0,053	0,0021	7	0,0016	53

Sumber : Heine (1976, 102)

## 2.8. Rules of Mixtures

### 2.8.1. Fraksi Volume

Fraksi volume merupakan perbandingan banyaknya volume suatu zat dengan jumlah seluruh zat yang ada dalam campuran. Definisikan Fraksi volume serat ( $V_f$ ) dan fraksi volume matriks ( $V_m$ ) sebagai berikut : (Kaw, 2006)

$$V_f = \frac{v_f}{v_c} \dots\dots\dots (2-5a)$$

Dan

$$V_m = \frac{v_m}{v_c} \dots\dots\dots (2-5b)$$

Dimana :

$V_f$  = Fraksi volume serat (%)

$V_m$	= Fraksi volume matriks (%)
$v_f$	= Volume serat ( $mm^3$ )
$v_m$	= Volume matriks ( $mm^3$ )
$v_c$	= volume komposit ( $mm^3$ )

Maka jumlah dari fraksi volume adalah :

$$V_f + V_m = 1 \dots\dots\dots (2-6)$$

Dari persamaan (2-4) didapatkan :

$$v_f + v_m = v_c \dots\dots\dots (2-7)$$

Contoh perhitungan fraksi volume serat tempurung kelapa pada komposit :

$$V_f = \frac{v_f}{v_c} \dots\dots\dots (2-5a)$$

$$20\% = \frac{v_f}{100}$$

$$20\% \times 100 = v_f$$

$$v_f = 20 \text{ mm}^3$$

Maka massa serat tempurung kelapa yang diperlukan :

$$v_f \times \rho_f = w_f \dots\dots\dots (2-8)$$

$$20 \times 1,38 = w_f$$

$$w_f = 27,6 \text{ gram}$$

Dimana :

$w_f$  = massa serat (gram)

$\rho_f$  = Massa jenis serat ( $gram/mm^3$ )

$v_f$  = Volume serat ( $mm^3$ )

### 2.8.2. Fraksi Massa

Fraksi massa merupakan perbandingan jumlah massa suatu zat dengan jumlah total zat yang terdapat dalam campuran. Fraksi massa serat ( $W_f$ ) dan fraksi massa matriks ( $W_m$ ) bisa didefinisikan sebagai berikut : (Kaw, 2006)

$$W_f = \frac{w_f}{w_c} \dots\dots\dots (2-9a)$$

Dan

$$W_m = \frac{w_m}{w_c} \dots\dots\dots (2-9b)$$

Dimana :

$W_f$  = Fraksi massa serat (%)

$W_m$  = Fraksi massa matriks (%)

$w_f$  = massa serat (gram)

$w_m$  = massa matriks (gram)

$w_c$  = massa komposit (gram)

Jadi jumlah fraksi massa adalah :

$$W_f + W_m = 1 \dots\dots\dots (2-10)$$

Dari persamaan (2-10) maka :

$$w_f + w_m = w_c \dots\dots\dots (2-11)$$

Dari definisi densitas dari satu material sebagai berikut :

$$w_c = \rho_c v_c \dots\dots\dots (2-12a)$$

$$w_f = \rho_f v_f \dots\dots\dots (2-12b)$$

$$w_m = \rho_m v_m \dots\dots\dots (2-12c)$$

Dimana :

$\rho_c$  = Massa jenis komposit (gram/mm<sup>3</sup>)

$\rho_f$  = Massa jenis serat (gram/mm<sup>3</sup>)

$$\rho_m = \text{Massa jenis matriks (gram/mm}^3\text{)}$$

Substitusikan persamaan (2-10) ke dalam persamaan (2-9), maka fraksi massa dan fraksi volume akan berkaitan dan persamaan menjadi :

$$Wf = \frac{\rho_f}{\rho_c} Vf \dots\dots\dots (2-13a)$$

$$Wm = \frac{\rho_m}{\rho_c} Vm \dots\dots\dots (2-13b)$$

Dari segi fraksi volume serat dan matriks dan dari segi sifat penyusun masing-masing, fraksi massa dan fraksi volume dapat berkaitan sebagai berikut :

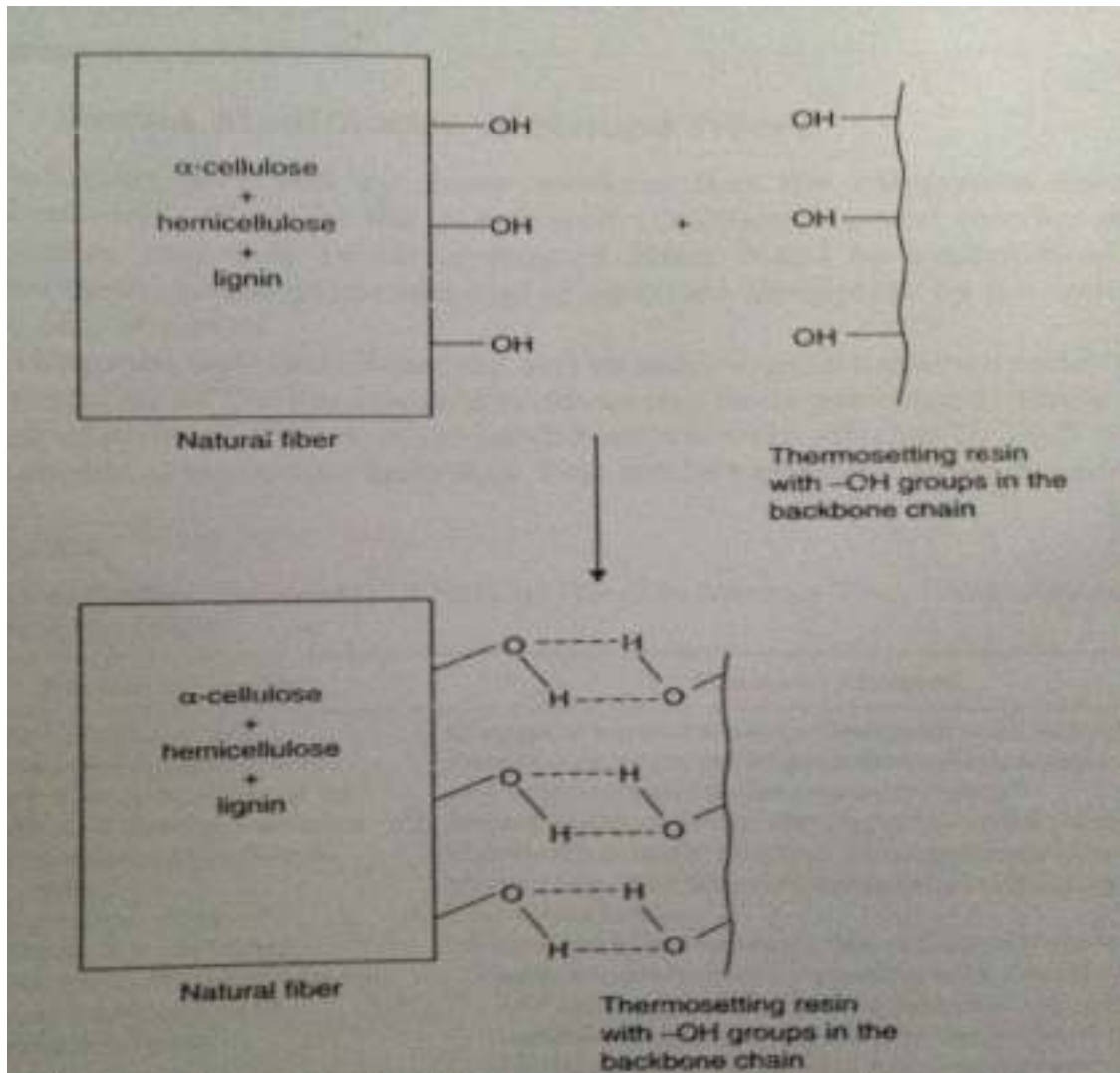
$$Wf = \frac{\frac{\rho_f}{\rho_m} Vf}{\frac{\rho_f}{\rho_m} Vf + Vm} \dots\dots\dots (2-14a)$$

$$Wm = \frac{1}{\frac{\rho_f}{\rho_m}(1-Vm) + Vm} Vm \dots\dots\dots (2-14b)$$

Salah satu harus selalu menyatakan dasar perhitungan kandungan serat komposit. Hal ini diberikan dalam hal massa atau volume. Berdasarkan Persamaan (2-11), jelas bahwa volume dan massa fraksi tidak sama dan bahwa ketidaksesuaian antara fraksi massa dan volume meningkat sebagai rasio antara kepadatan serat dan matriks berbeda dari satu sama lain.

## 2.9. Ikatan Antar Serat Alam Dengan Resin Thermoset

Pada resin thermoset terdapat rantai gugus OH yang berfungsi untuk berikatan dengan serat alam yang mempunyai banyak gugus hidroksil (OH) pada struktur kimianya. Serat alam yang tersusun oleh selulosa, hemiselulosa, dan lignin berikatan dengan resin thermoset pada masing-masing gugus hidroksil (OH) dimana Oksida (O) pada serat alam berikatan dengan hidrogen(H) pada resin thermoset begitu juga dengan oksida (O) pada resin thermoset berikatan dengan hidrogen (H) pada serat alam yang dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.9 Ikatan yang dimungkinkan antara serat alam dengan resin  
 Sumber : Mohanty (2005, 304)

Selulosa merupakan komponen utama penyusun dinding sel tanaman dan hampir tidak pernah ditemui dalam keadaan murni di alam melainkan berikatan dengan lignin dan hemiselulosa membentuk lignoselulosa. Lignin berikatan dengan hemiselulosa melalui ikatan kovalen.

Hemiselulosa adalah polisakarida yang berikatan dengan selulosa pada bagian tanaman yang telah mengalami *delignifikasi*. Hemiselulosa terutama terdapat pada bagian lamela tengah dari dinding sel tanaman. Kebanyakan hemiselulosa mempunyai derajat polimerisasi 100-200 (Sjostrom, 1995). Hemiselulosa tidak larut dalam air pada temperatur rendah. Kehadiran asam sangat meningkatkan kelarutan hemiselulosa dalam air.

Lignin merupakan fraksi non karbohidrat yang bersifat kompleks dan sulit dikarakterisasi. Lignin adalah bagian utama dari dinding sel tanaman yang merupakan

polimer terbanyak setelah selulosa. Komponen lignin pada sel tanaman (monomer guasil dan siringil) berpengaruh terhadap pelepasan dan hidrolisis polisakarida. Adanya lignin mengakibatkan sifat kaku dan ketahanan tarik pada serat. Lignin dapat dioksidasi oleh larutan alkali dan bahan oksidator lain. Lignin tahan terhadap proses hidrolisis oleh asam- asam mineral tetapi mudah larut dalam larutan sulfit pada suhu kamar. Delignifikasi adalah salah satu proses *pretreatment* dimana proses *delignifikasi* menggunakan larutan NaOH karena larutan ini dapat menyerang dan merusak struktur lignin, bagian kristalin dan amorf, memisahkan sebagian lignin dan hemiselulosa serta menyebabkan pengembangan struktur selulosa

### **2.10. Hipotesis**

Semakin kecil ukuran partikel pengisi komposit, maka luas bidang kontak permukaan antar partikel semakin luas. Mengakibatkan bertambah banyaknya permukaan yang terbentuk diantara matriks dan *filler*. Sehingga beban yang diterima akan terserap untuk memisahkan ikatan antara matriks dan partikel serbuk tempurung kelapa. Hal ini menyebabkan kekuatan impak komposit meningkat. Semakin kecil ukuran partikel pengisi komposit, partikel pengisi komposit akan semakin merata menyebar di seluruh bagian komposit. Sehingga akan meningkatkan kekerasan komposit.