

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Jafferjee Brothers, 2003. Pada penelitian ini menggunakan serat sabut kelapa sebagai *filler* dan poliester sebagai matriknya. Metode cetakan yang digunakan adalah cetakan tekan. Penelitian menunjukkan bahwa serat sabut itu dapat digunakan sebagai komposit serat alami. Kekuatan lendut bervariasi dari 29 MPa – 47 MPa dan kekakuan 2,91 GPa – 2,99 GPa untuk serat sabut antara 20% sampai 40% dengan perlakuan serat yang berbeda. Pada serat dengan perlakuan impregnasi getah, kelendutan maksimum yang dicapai yaitu 67 MPa dan kekakuan 3,80 GPa, untuk fraksi volume serat 53%.

Tabel 2.1 Efek perlakuan serat pada spesimen komposit

material	fibre vol. content (%)	flex. strength (MPa)	flex. stiffness (GPa)
1 + Vac.Inj.	20	29	2.91
2 + 3 + Vac.Inj.	30	25	1.85
2 + 4 + Vac.Inj.	40	45	2.64
2 + 5 + Vac.Inj.	40	47	2.99
2 + 4+Latex	53	67	3.80
2 + Monomer	-	-	-
2+4+6+ vac. inj.	50	69	3.88

(Sumber: Jafferjee, 2003 : 21)

Keterangan angka pada tabel:

- 1) Tidak ada pembersihan
- 2) Pembersihan dengan air panas
- 3) Membersihkan dalam amoniak (NH₄)
- 4) Membersihkan dalam NaOH
- 5) Pre-impregnating dengan *styrene* murni
- 6) Penekan pada kondisi basah/dingin dan panas = 8 bar

Mahfudh Kurniawan., 2004. Menyatakan bahwa salah satu tujuan penambahan *filler* kedalam matrik dengan penguatan serat secara kontinyu adalah untuk meningkatkan sifat mekanik komposit melalui penyebaran tekanan yang efektif diantara serat dan matrik. Pada penelitian ini menggunakan serat kenaf sebagai *filler* dan *polyester* sebagai matriknya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik dan kekuatan impact komposit meningkat dengan bertambahnya fraksi volume serat kenaf sampai dengan 30%. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa kekuatan tarik rata-rata terbesar pada fraksi volume serat 30% sebesar 88,852 N.mm⁻². sedangkan kekuatan impact rata-rata adalah 2,974. 10⁻² J.mm⁻² pada komposit dengan 30% serat kenaf.

Perbandingan dengan ROM menunjukkan bahwa sebagian besar kekuatan tarik aktual untuk masing-masing komposisi serat kenaf lebih besar dari pada kekuatan tarik teoritis, hal ini membuktikan bahwa serat kenaf cocok apabila digunakan sebagai penguat pada matrik poliester.

2.2 Pengertian Material Komposit

Komposit adalah suatu material yang tersusun atas dua atau lebih unsur yang memiliki perbedaan karakteristik, sifat kimia dan tidak saling melarutkan, kemudian dicampurkan dan disusun secara sistematis untuk memperoleh sifat tertentu yang berbeda dari sifat pembentuknya. Komposit terdiri dari dua unsur pembentuk yaitu matrik dan *filler*. Matrik adalah unsur yang bertindak sebagai pengikat, biasanya secara kuantitas lebih banyak terdapat pada komposit daripada penguatnya. Sedangkan *filler* adalah bahan yang bertindak sebagai penguat yang akan menanggung beban jika material komposit tersebut dikenai gaya dari luar. Penambahan *filler* ke dalam matriks bertujuan mengurangi densitas, meningkatkan kekakuan dan mengurangi biaya per unit volume. Dari pencampuran tersebut akan menghasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya.

Material komposit memiliki sifat yang berbeda dari material konvensional pada umumnya dan proses pembuatannya melalui pencampuran yang tidak homogen, sehingga kita leluasa merencanakan kekuatan material komposit yang kita inginkan dengan jalan mengatur komposisi dari material pembentuknya (Schwartz, 1996:12-14).

Keuntungan penggunaan material komposit adalah :

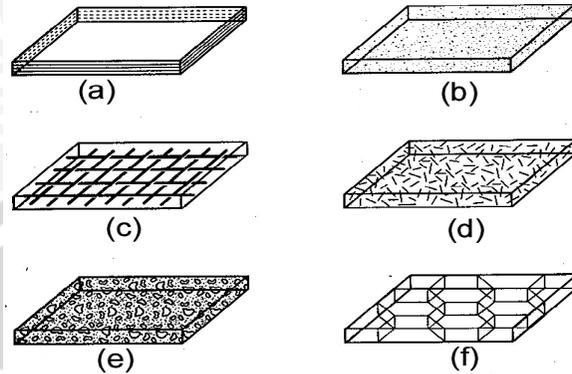
- Berat jenis yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan material logam
- Mudah diproduksi
- Biaya produksi rendah
- Tidak sensitif terhadap bahan kimia dan tahan terhadap korosi
- Hasil akhir (permukaan dan penampilan) yang baik.

(Powel, Peter, 1999)

Kekurangan material komposit adalah :

- Pada komposit tertentu peka terhadap perubahan temperatur yang drastis dan mudah terbakar.
- Lebih sulit melakukan perbaikan bila terjadi kerusakan.

Karakteristik komposit tergantung dari jenis polimer yang digunakan sebagai matriks, jenis pengisi yang umumnya bahan penguat (*reinforcement*), perbandingan antara polimer dengan penguat dan metode penguatan. Berikut gambar 2.1 menunjukkan berbagai jenis metode penguatan pada komposit polimer.



Gambar 2.1 (a) Laminar, (b) *Particulate* (butir), (c) Serat kontinyu, (d) Serat tidak kontinyu, (e) *Flake* (Serpilh), dan (f) Sarang tawon (*honeycomb*).

Sumber : Budinski, 1996 : 121

2.3 Klasifikasi Material Komposit

Berdasarkan jenis penguatnya komposit dapat dibedakan menjuadi dua yaitu komposit berpenguat serat (*Fiber Composite*) dan komposit berpenguat partikel (*Particulate Composite*). Bentuk dan ukuran penguat merupakan salah satu parameter utama yang mempengaruhi sifat komposit.

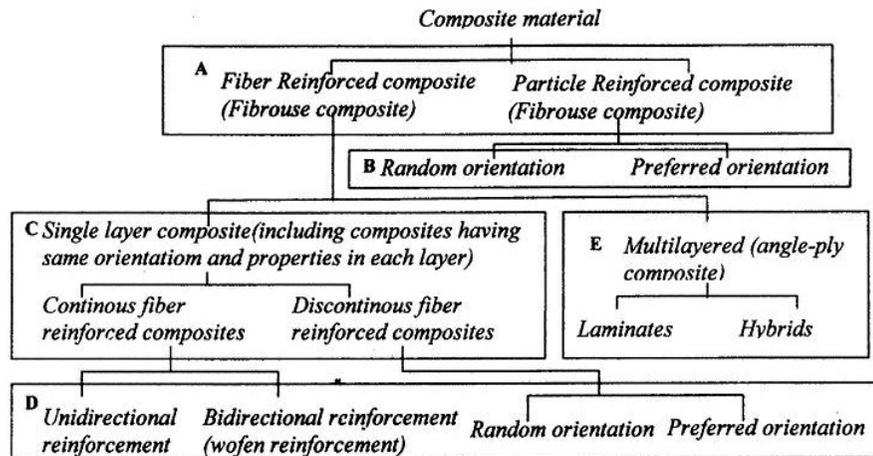
2.3.1 Komposit Serat (*Fiber Reinforced Composite*)

Komposit ini menggunakan serat sebagai penguat. Penguat serat dicirikan oleh panjang penguat yang jauh lebih besar daripada diameternya (dimensi persilangan). Nilai perbandingan antara panjang serat dengan diameternya disebut aspek rasio. Untuk penggunaan serat tunggal, serat yang memiliki aspek rasio tinggi atau menggunakan serat panjang disebut *continuous fiber reinforced composites*, sedangkan sebaliknya, yang menggunakan serat pendek disebut *discontinuous fiber reinforced composites*. Penyusunan serat panjang bisa longitudinal memanjang searah spesimen ataupun membentuk sudut tertentu. Untuk serat pendek bisa disusun secara acak (*random*) ataupun teratur (*preferred*). (gambar 2.2).

Penyusunan serat juga bisa dilakukan secara multilayer yaitu dengan *Laminates* dimana penguat disusun sebanyak beberapa lapisan (4-40 lapis) dengan merubah arah penyusunan serat pada tiap-tiap lapisnya atau dengan *hybrid* dimana beberapa jenis serat atau serat dengan partikel dicampur kemudian disusun sebanyak beberapa lapis pada matrik. Seperti klasifikasi pada gambar 2.2.

2.3.2 Komposit Partikel (*Partikular Composite*)

Partikel adalah penguat yang memiliki ukuran menyerupai butiran seragam dan tidak memiliki dimensi panjang. Ukuran partikel sebagai penguat berkisar 10 μm . Penyusunan partikel dalam matrik bisa teratur (*preferred*) maupun acak (*random*) dan masing-masing menghasilkan sifat yang berbeda pula.



Gambar 2.2 Klasifikasi Material Komposit

Sumber : Matthews, 1994 : 7

Jika ditinjau dari jenis matrik yang digunakan, maka material komposit dapat diklasifikasikan, sebagai berikut (Sumber: Schwartz, 1996)

a. *Polymer Matric Composites*

Terdiri dari *filler* bisa dari serat atau partikel dan matrik yang terbuat dari polimer. Serat penguat memiliki kekuatan dan modulus elastisitas yang tinggi, sedangkan matrik berfungsi untuk melindungi serat penguat dari pengaruh lingkungan luar dan sebagai pengikat antar serat penguat.

b. *Metal Matric Composites*

Terdiri dari *metal alloy* sebagai matrik yang diperkuat dengan serat *continuu*, *wisker* (serat-seratnya pendek yang berbentuk kristal tunggal) atau partikel. Komponen komposit ini menggunakan material logam sebagai matriknya, sehingga material ini tahan terhadap temperatur yang tinggi. Akan tetapi memiliki berat jenis yang relatif tinggi.

c. *Ceremic Matric Composites*

Serat penguat yang digunakan bisa berupa serat *continuu*, *discontinuu*, ataupun bentuk partikel yang tersusun dari bahan keramik ataupun grafit. Komposit ini memiliki ketahanan terhadap temperatur tinggi sampai dibawah temperatur 1649 °C.

d. *Carbon-carbon Composites*

Terdiri dari serat karbon sebagai penguat dan *carbonaceous* (mengandung zat arang) sebagai matrik. Komposit jenis ini banyak digunakan untuk aplikasi material yang memerlukan ketahanan terhadap temperatur tinggi dan perubahan temperatur yang mendadak. Komposit ini dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu *Nonstructural class material*, biasanya diproduksi untuk keperluan komersial dan militer seperti *air craft brake*. Kemudian yang kedua adalah *Structural class material*, biasanya untuk keperluan proyek yang memakan biaya sangat tinggi. Produk ini tidak dibuat masal atau masih dalam pengembangan misalnya bahan komponen satelit, peluru kendali, dan *aerospace vehicle structure-thermal protection system*. Alasan komposit ini diklasifikasikan menjadi dua adalah didasarkan pada ketahanan terhadap temperatur yang tinggi, ketahanan (*service live*) dan bahan yang mampu untuk ditahan oleh struktur.

e. *Intermetallic Composites*

Komposit ini banyak digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan terhadap temperatur tinggi, efisiensi tinggi, misalnya pada elemen turbin gas.

2.4 Manfaat Material Komposit

Material komposit banyak digunakan untuk memproduksi barang-barang yang diperlukan sehari-hari, mulai dari sektor industri pesawat terbang, elektronik, kendaraan. Selain itu komposit banyak digunakan sebagai alat-alat olahraga, kedokteran dan bahan bangunan. Penggunaan material komposit (*fiber reinforced plastics*) biasanya digunakan juga untuk keperluan industri. Beberapa aplikasi dari komposit dengan matrik polimer dapat dilihat pada table 2.1.

Tabel 2.2 Aplikasi komposit dengan matrik polimer

Industrial sector	Examples
<i>Aerospace</i>	<i>interior panel, wing, landing gears, fuel tank, seats, floor, tail panels</i>
<i>Automobile</i>	<i>body panel, spoiler, lamp housing, bumpers, instrument panel.</i>
<i>Boats</i>	<i>decks, interior panel.</i>
<i>Chemical</i>	<i>pipes, tanks, pumps, valves.</i>
<i>Domestic</i>	<i>chairs, tables, baths, shower unit, interior and exterior panel.</i>
<i>Electrical</i>	<i>panels, housing, connector.</i>

Sumber: Matthews, 1993 :16

2.5 Matriks

Matrik merupakan unsur pada komposit yang bertindak sebagai perekat yang menyatukan dan melindungi serat. Matrik untuk material komposit tidak hanya terbatas pada polimer tapi juga bisa berupa keramik dan logam. Polimer adalah jenis matrik yang banyak digunakan dalam pembuatan komposit karena polimer lebih ringan dan tahan terhadap korosi. Pada penelitian kali ini bahan matrik yang dipergunakan adalah dari polimer.

Adapun fungsi matrik didalam material komposit adalah sebagai berikut:

- Menjaga agar serat tetap berada didalam struktur komposit.
- Membantu mendistribusikan atau mentransfer beban yang diterima.
- Melindungi serat dari kerusakan eksternal.
- Memberi perlindungan serat terhadap keadaan lingkungan yang kurang baik.

(Schwartz,1996 : 43).

2.6 Polimer

Polimer adalah senyawa organik alami maupun sintesis yang mempunyai berat molekul yang tinggi dan merupakan struktur berulang dari unit kecil yang disebut monomer. Monomer-monomer tersebut bergabung melalui sebuah reaksi yang disebut dengan reaksi polimerisasi. Secara garis besar ada dua jenis reaksi polimerisasi, yaitu reaksi adisi dan reaksi kondensasi. Reaksi adisi adalah reaksi dimana ikatan-ikatan rangkap berubah menjadi ikatan tunggal bersamaan dengan terjadinya pemanjangan rantai. Sementara pada reaksi kondensasi adalah pemanjangan rantai molekul terjadi dengan bereaksinya gugus fungsi yang sering disertai dengan pelepasan molekul-molekul kecil, biasanya molekul air.

Monomer dalam polimer dapat tersusun dalam beberapa cara yaitu susunan linear, bercabang dan berikatan silang (*Cross-link*). Polimer linear terbuat dari satu rantai kontinyu yang panjang, tanpa tambahan atau sisipan. Polimer bercabang memiliki struktur rantai yang terdiri dari satu molekul berantai panjang dengan rantai-rantai molekul yang lebih kecil yang merupakan cabang dari rantai utama. Polimer bercabang cenderung memiliki densitas yang lebih rendah. Polimer yang berikatan silang akan terbentuk bila ikatan terbentuk antar rantai molekul polimer yang berbeda. Secara umum polimer memiliki beberapa sifat yang menguntungkan, yaitu :

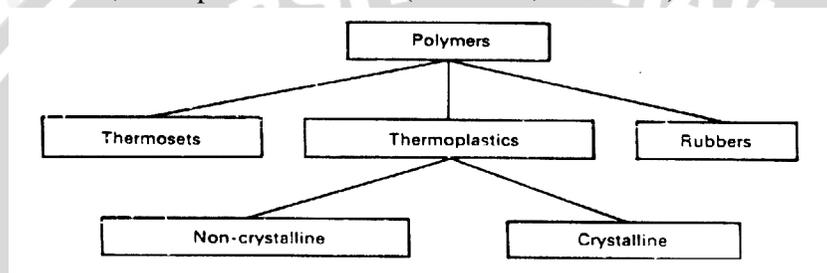
- Tahan terhadap korosi kimia.

- Massa jenis rendah.
- Dapat diwarnai.
- Mempunyai permukaan yang baik.

Sedangkan kekurangannya adalah :

- Mudah rusak pada suhu rendah.
- Modulus elastisitas (keuletan) rendah.
- Mudah terbakar.

Berdasarkan klasifikasi penggunaan polimer sebagai matrik dalam komposit (*Polymer Matrix Composites – PMCs*), maka polimer dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu termoset, termoplastik dan karet (Matthews, 1994 : 169).



Gambar 2.3 Klasifikasi Polimer Sebagai Matrik Komposit

Sumber : Matthews, 1994 : 169

2.6.1 Termoset (*Thermosetting*)

Penggunaan polimer jenis ini sebagai matrik dalam komposit diperkirakan lebih dari tiga per empat dari keseluruhan jenis polimer. Resin termoset ini akan mengeras karena suatu rangkaian/ikatan kimia yang bersifat *irreversible*. Termoset ini terbentuk dari proses pembentukan struktur *crosslinking* atau hubungan silang yang mana tidak bisa dicairkan maupun diproses ulang walaupun dengan pemanasan, dan apabila panas yang diberikan berlebih, material ini akan terbakar hangus. Struktur *cross-link* mengakibatkan rantai polimer terikat permanen. Secara fisik resin termoset lebih rapuh dan kaku tetapi lebih keras dan lebih ringan daripada termoplastik dan biasanya tidak dapat digunakan bila tanpa diberi penguat atau *filler*. Beberapa jenis termoset adalah :

a. *Phenolic*

Resin ini telah dikembangkan lebih awal dari termoset lainnya. Memiliki ketahanan panas yang baik dan mudah dibentuk sehingga banyak dimanfaatkan untuk membuat produk yang memiliki bentuk yang rumit seperti peralatan dalam bidang listrik dan komunikasi. Namun tidak tahan terhadap alkali dan pewarnaan sulit

dilakukan. Resin fenol dibuat dari reaksi kondensasi antara *phenol* dengan *formaldehid*.

b. *Melamin*

Dibuat dengan mereaksikan melamin dengan *formaldehid*. Dalam pencetakan resin ini memerlukan temperatur tinggi sekitar 150 °C dan penekanan. Kelebihan yang dimiliki adalah lebih tahan air, tahan panas dan merupakan isolator listrik yang baik, dapat diwarnai dengan bebas. Pemanfaatannya sebagian besar pada pelapisan dekorasi karena mudah diwarnai dan tahan terhadap air, juga banyak digunakan dalam perekat cat.

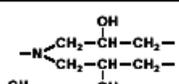
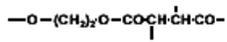
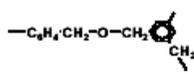
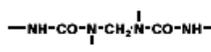
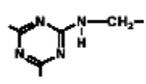
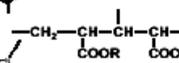
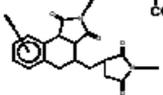
c. *Epoxy*

Resin ini lebih kental dan lebih mahal harganya dari resin poliester. Oleh karena itu dalam pencetakannya memerlukan penekanan dan temperatur pemanasan diatas 180 °C. Secara umum resin *epoxy* lebih kaku dan kuat tapi lebih rapuh. Penggunaannya adalah cukup luas baik sebagai bahan coran komponen listrik, perekat cat sampai pelapis kayu karena katahanan airnya cukup baik.

d. *Polyester*

Resin ini adalah jenis resin yang mendominasi pasar, yang pertama dikembangkan pada tahun 1942. Berupa resin dengan viskositas rendah, mengeras pada temperatur ruang dengan penambahan sedikit katalis sehingga mudah dalam penggunaannya. Berdasarkan sifat tersebut maka poliester banyak dikembangkan sebagai matrik dalam komposit berpenguat serat.

Tabel 2.3 Jenis-jenis resin termoset dan unit pembentuknya

symbol	name	basic unit	typical applications	level of prize
EP	epoxy resins		printed circuit boards, laminates, coatings, backing paints, claddings in aeroplanes, artificial limbs	low
SIR	silicon resins		elastomers, implants, waterrepellend coatings	high
UP	unsaturated polyesters		storage tanks, Vorrattanks, boat hulls	intermediate
PF	phenolic resins		knife handle, electrical insulators	low
UF	urea-formaldehyde resins		foams	low
MF	melamine-formaldehyde resins		furniture construction, laminates, wood adhesives, molding compounds, binders, dishes, electronic	low
AC(X)	acrylates		adhesives, impact adhesives, outdoor paints	intermediate
BMI	bismaleimides		insulators in electronics, engine engineering aeroplane engineering	high

(Sumber: <http://www.tu-cottbus.de>)

2.6.2 Termoplastik (*Thermoplastic*)

Resin ini mempunyai ikatan linier antara monomer-monomernya, sehingga kestabilan struktur kimianya akan relatif rendah. Reaksi kimianya bersifat *reversible* yang memungkinkan suatu komponen untuk dibentuk kembali, dengan memberikan pemanasan pada material sehingga bisa mencair. Penggunaan polimer ini biasanya dikombinasikan bersama-sama dengan pengisi berupa partikel maupun serat. Beberapa jenis termoplastik adalah :

a. *Polyethylene*

Merupakan hasil dari reaksi polimerisasi gas etilen yang diperoleh dari pemecahan minyak (nafta). Secara kimia *polyethylene* merupakan jenis paraffin yang memiliki berat molekul tinggi. Sehingga sifat-sifatnya serupa dengan parafin. Produk-produk *polyethylene* memiliki fleksibilitas pada temperatur ruang dan temperatur rendah, tahan terhadap bahan kimia, dapat disambung dengan jalan pemanasan, mudah terbakar dan dapat diwarnai. Pemanfaatan *polyethylene* mencakup barang-barang peralatan rumah tangga, cetakan es, pencuci film, botol susu, hingga bahan selang air.

b. *Polypropylene*

Polypropylene juga merupakan hasil pengolahan lanjut dari penguraian *petroleum* (nafta). Sifat-sifat yang dimiliki serupa dengan sifat pada *polyethylene*, namun memiliki beberapa kelebihan yaitu massa jenis sedikit lebih rendah, kekuatan tarik lebih baik, mengkilap, penyusutan pada waktu pencetakan kecil, lebih tahan terhadap bahan kimia. Penggunaan *polypropylene* mencakup barang-barang rumah tangga, peralatan listrik hingga peralatan makan. Luasnya pemanfaatan ini dikarenakan *polypropylene* memiliki kemampuan cetak yang baik.

c. *Polyvinyl chloride*

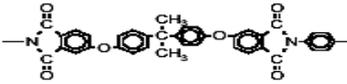
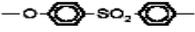
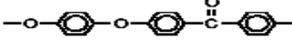
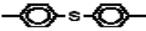
Berupa serbuk putih dengan massa jenis 1.4 gram/ml, ini memiliki ketahanan terhadap air, ketahanan asam, ketahanan alkali, tidak bersifat racun dan tidak menyala. Sifat isolasi listriknya baik dan tahan terhadap beberapa bahan pelarut. Penggunaannya sangat luas karena kelebihan yang dimilikinya, seperti alat pertanian, peralatan kelistrikan (kabel, isolasi), sarung tangan, mainan anak-anak dan yang paling terkenal adalah sebagai bahan selang dan pipa.

d. *Nylon (Polyamide)*

Sifat yang menonjol dari *nylon* adalah tahan panas, kekuatan tinggi dan modulus elastisitasnya tinggi, sehingga bahan ini banyak digunakan sebagai serat penguat

untuk komposit seperti serat penguat ban mobil, tambang, ban konveyor dan isolasi listrik. *Nylon* merupakan salah satu jenis polimer komersial yang banyak dipakai di dunia industri.

Tabel 2.4 Jenis-jenis resin termoplastik dan unit pembentuknya

symbol	name	basic unit	typical applications	level of prize
PE	Polyethylene	$\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---}$	packaging films, bottles, cable jackets	low
PP	Polypropylene	$\text{---CH}_2\text{---}\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}\text{---}$	automobile parts, pipes for drainage and hot water, outdoor carpets	low
PS	Polystyrol	$\text{---CH}_2\text{---}\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}\text{---}$	cups, TV covers, toys, foams for heat isolation and packaging	low
PVC	Polyvinylchlorid	$\text{---CH}_2\text{---}\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}\text{---}$	pipes, tubes, cable isolation, artificial leather, shopping bags	low
PVDC	Polyvinylidenchlorid	$\text{---CH}_2\text{---CCl}_2\text{---}$	aroma dense packaging foils, non-burning doll hair	low
PMMA	Polymethylmethacrylate	$\text{---CH}_2\text{---}\underset{\text{COOCH}_3}{\text{C(CH}_3\text{)}}\text{---}$	organic glass for lamps, shields and bulletproofed discs, bath room cells, lenses	Intermediate
PTFE	Polytetrafluorethylene	$\text{---CF}_2\text{---CF}_2\text{---}$	electrical insulators, Elektrische Isolierungen, frying pan coatings	high
POM	Polyoxymethylene	$\text{---O---CH}_2\text{---}$	precision parts, e.g. model railway	high
PET	Polyethylenterephthalate	$\text{---O---(CH}_2\text{)}_2\text{---O---CO---C}_6\text{H}_4\text{---CO---}$	fibres, bottles	Intermediate
PA6	Polyamid 6	$\text{---NH---(CH}_2\text{)}_5\text{---CO---}$	fibres, gear wheels	Intermediate
PUR	Polyurethan	$\text{---R---NH---COO---R'---OOC---NH---}$	automobile parts, elastomers, fibres, foams	Intermediate
PI	Polyimide		adhesives, printing inks, insulators in electronic and electric	high
PES	Polyethersulfone		wheels for pumps, insulators, coils forms, electrical protective caps, adhesives, inner outfit of aeroplanes	high
PEEK	Polyetheretherketone		insulators for cables, belt conveyors, asbestos substitute, seals for bearings, pumps, flexible fibres, aircraft engineering	high
PPS	Polyphenylensulfide		photoconductive polymer films, automobile engineering (motor room), electronic system (high temperature films)	high

(Sumber: <http://www.tu-cottbus.de>)

2.6.3 Karet

2.6.3.1 Karet Alam

karet alam dibuat dari sari getah pohon. Sari yang berupa susu dipanaskan sampai kering untuk dibuat karet mentah. Kemudian dimastikasi, diplastiskan agar dapat diproses dengan lebih mudah, dan dicampur pengisi seperti karbon hitam, zat berwarna, belerang, dibuat campuran, dibentuk dengan tekanan, dan divulkanisasi oleh reaksi penyilangan sambil dipanaskan untuk mendapatkan benda cetakan. Dengan berat jenis 0,91 – 0,93, bahan ini digunakan secara luas untuk ban mobil, pengemas karet, penutup isolasi listrik, sol sepatu dan lain-lainnya (Surdia, 1999 : 239).

2.6.3.2 Karet Butadien

a. Kopolimer stiren-butadien (SBR)

Ini adalah bahan kenyal yang dibuat secara kopolimerisasi butadien dan stiren. Sifatnya bervariasi, bergantung pada perbandingan mol kedua bahan itu. Biasanya yang dicampur adalah 5 – 6 mol stiren. Bila mol melebihi 50% kekenyalannya hilang dan bahan menjadi kaku.

b. Karet nitril (Butadien akrilonitril kopolimer)

Butadien dan akrilonitril dikopolimerisasi menurut perbandingan yang sifatnya bervariasi. Bila akrilonitril bertambah, bahan menjadi kaku, semakin tinggi kekenyalan dan kekuatan tariknya, dan makin rendah perpanjangannya.

(Surdia, 1999 : 240)

2.6.3.3 Karet Uretan

Bahan tersebut dibuat dari poliuretan. Poliester berantai lurus dan isosianat dengan gugus hidroksil bereaksi, atau terdapat berbagai sintesis lain. Strukturnya adalah struktur jaringan. Bahannya sangat kenyal menguntungkan sifat mekaniknya dan secara relatif unggul dalam ketahanan kimianya. Ketahanan terhadap ozon, minyak dan penuaan yang baik.

Tabel 2.5 Sifat-sifat elastomer uretan

Sifat-sifat	Jenis termoset (resin coran)		Jenis termoplastik
	Dasar poliester	Dasar Polieter	
Kekuatan tarik (Kgf/cm ²)	250 – 500	210 – 420	320 – 500
Perpanjangan (%)	300 – 700	200 – 500	350 – 600
Deformasi perpanjangan permanen (%)	5 – 50	0 – 85	15 – 70
Modulus (Kgf/cm ²)			
Pada 100%	20 – 40	70 – 350	45 – 210
Pada 300%	35 – 280	140 -210	100 – 280
Kekerasan shore	60A – 75D	70A – 75D	80A – 60D
Kekuatan robek (Kgf/cm ²)	10 – 45	5 – 25	20 – 35

(Sumber : Surdia, 1999 : 241)

2.6.3.4 Karet Etilen Propilen

Bahan ini adalah kopolimer etilen dan propilen, yang kadar etilennya 40 – 70% dapat digunakan sebagai karet sintetis. Tanpa adanya suatu gugus tak jenuh, ketahanan terhadap penuaan sangat baik. Bahan tak diawetkan dengan belerang seperti halnya karet biasa. Viskositas, sifat sobek dan ketahanan abrasinya agak kurang baik. Bahan ini unggul ketahanannya terhadap: ozon, cuaca, panas, tegangan listrik dan uap dibandingkan dengan karet biasa, tetapi sifat pada pengerolan kurang menguntungkan dan daya rekat terhadap tali ban kurang baik (Surdia, 1999 : 242).

2.7 Katalis

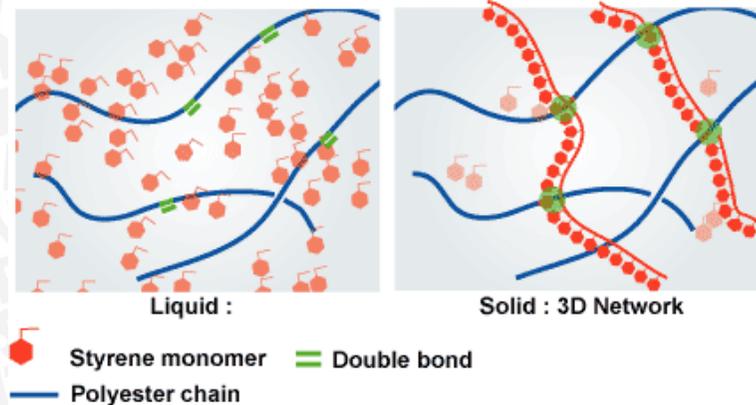
Katalis yang sering digunakan untuk jenis *polyester* adalah MEKPO (*methyl ethyl ketone peroxide*). Untuk setiap matrik yang berbeda akan mempunyai *gelling time* dan *curing time* yang berbeda. *Gelling time* merupakan waktu yang dibutuhkan oleh matrik untuk menjadi gel yaitu matrik menjadi kental (hampir padat). Kecepatan *polyester* untuk menjadi gel memerlukan waktu ± 30 menit untuk menjadi gel dengan pemberian inisiator atau katalis yaitu sebesar 0,5% - 3% dari jumlah fraksi volume matrik pada temperatur ruang. Sedangkan *curing time* merupakan waktu yang dibutuhkan oleh katalis untuk menjadi padat. *Gelling time* dan *curing time* ini juga dipengaruhi oleh tekanan dan temperatur.

Dalam penelitian ini jumlah fraksi volume katalis ditentukan sebesar 1% sesuai dengan aturan dari PT Justus sakti raya *corporation* selaku produsen poliester 157 BQTN-EX series. Untuk setiap 100% fraksi volume resin membutuhkan $\pm 1\%$ katalis MEKPO.

2.8 Resin Poliester Tak Jenuh

Poliester merupakan resin cair dengan viskositas relatif rendah, mengeras pada suhu kamar dengan penggunaan katalis tanpa menghasilkan gas sewaktu pengesetan seperti resin termoset lainnya, maka tidak perlu diberi tekanan untuk pencetakan. Berdasarkan karakteristik ini, bahan dikembangkan secara luas sebagai plastik penguat serat (FRP) dengan menggunakan serat gelas (Surdia, 1999 : 256).

Resin poliester dibuat dengan mereaksikan secara kondensasi suatu asam dikarboksilat (termasuk asam tak jenuh) dengan alkohol hidrat, yang menghasilkan larutan jenuh dan tak jenuh yang ditentukan dengan keberadaan ikatan rangkap dalam polimer. Pada poliester tak jenuh, untuk meningkatkan karakteristiknya maka ditambahkan monomer vinil (stiren, dialil ftalat, trialil ftalat, metal metakrilat) yang akan bereaksi dengan gugus tak jenuh. Resin ini lebih dikenal dengan sebutan poliester yang memiliki kekakuan dan rapuh karena memiliki ikatan silang pada molekulnya. Gambar 2.2 menunjukkan bahwa ikatan molekul pada matrik *polyester* yang terbentuk merupakan *cross-link* polimer sehingga sifatnya menjadi kaku (*rigid & stiff*).



Gambar 2.4 Struktur *cross-link* Polimer
 Sumber : <http://www.specialchem4polimer.com>

Bahan ini mudah mengembang dalam pelarut, yang melarutkan polimer stiren. Kemampuan terhadap cuaca sangat baik, tahan terhadap kelembaban dan sinar UV bila dibiarkan diluar, tetapi sifat tembus cahaya permukaan rusak dalam beberapa tahun. Secara luas digunakan untuk konstruksi sebagai bahan komposit, khususnya dengan serat gelas (Surdia, 1999 : 258).

Dalam memilih bahan komposit yang cocok agar dapat memperkuat matrik dari komposit perlu diperhatikan persyaratan sebagai berikut :

1. Resin yang dipakai perlu memiliki viskositas rendah, dapat sesuai dengan bahan penguat dan permeabel.
2. Mempunyai penyusutan yang kecil saat pencetakan.
3. Memiliki kelengketan yang baik dengan bahan penguat.
4. Mempunyai sifat yang baik untuk diawetkan.

2.9 Sabut Kelapa (*Cocos Nucifera*)

2.9.1 Mengenal Kelapa

Tanaman kelapa diperkirakan berasal dari Amerika Selatan. tanaman kelapa telah dibudidayakan di sekitar Lembah Andes di Kolumbia, Amerika Selatan sejak ribuan tahun sebelum Masehi. Catatan lain menyatakan bahwa tanaman kelapa berasal dari kawasan Asia Selatan atau Malaysia, atau mungkin Pasifik Barat. Selanjutnya, tanaman kelapa menyebar dari pantai yang satu ke pantai yang lain. Cara penyebaran buah kelapa bisa melalui aliran sungai dan lautan.

Sabut kelapa berasal dari buah kelapa, tanaman ini merupakan tanaman asli daerah tropis dan dapat ditemukan di seluruh Indonesia, mulai dari daerah pesisir pantai

hingga daerah pegunungan yang agak tinggi. Bagi rakyat Indonesia kelapa merupakan salah satu komoditas terpenting sesudah padi dan merupakan sumber pendapatan yang dapat diandalkan dari pemanfaatan tanah pekarangan (Setyamidjaja, 1995 : 11).

2.9.2 Sifat-Sifat Serat Sabut Kelapa

Serat sabut kelapa memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- Berat jenis (ρ) : $1,25 \times 10^3 \text{ Kg.m}^{-3}$
- Kekuatan tarik (σ) : 220 MPa
- Modulus elastisitas (E) : 6 GPa

(Sumber: Jafferjee, 2003 : 10)

2.9.3 Morfologi Tanaman

Kingdom	: <i>Plantae</i>	Ordo	: <i>Palmales</i>
Divisio	: <i>Spermatophyta</i>	Family	: <i>Palmae</i>
Sub divisio	: <i>Angiospermae</i>	Genus	: <i>Cocos</i>
Class	: <i>Monocotyledonae</i>	Species	: <i>Cocos nucifera L</i>



Gambar 2.5 Serat sabut kelapa

2.10 Serat E-Glass (Electrical glass)

Adalah jenis serat *glass* yang berfungsi sebagai penguat, umumnya berbentuk *roving* (benang), *choped* (serat pendek). *E-Glass* paling banyak digunakan karena memiliki sifat mekanik yang baik, tahan terhadap air, dan keuletan cukup tinggi. Walaupun kekuatan lebih rendah dibandingkan dengan serat karbon, penggunaan serat *E-Glass* sudah sangat umum dan pemanfaatannya sudah sampai pada instalasi perpipaan untuk mencegah korosi. Disamping itu serat *E-Glass* relatif ekonomis dibandingkan dengan serat karbon atau kevlar.

Serat *E-glass* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *taiwan glass fiber roving laminating-4400* (gambar 2.8) yang memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- Berat jenis (ρ) : $2,54 \times 10^3 \text{ Kg.m}^{-3}$

- Kekuatan tarik (σ) : 2200 MPa
- Modulus elastisitas (E) : 70 GPa
(Matthews,1994 : 40)



Gambar 2.6 Serat E-Glass
(Sumber: <http://www.Taiwanglass.Com>)

2.11 Teori Penguatan Serat

Sifat-sifat dari pada kekuatan komposit ditentukan oleh kekuatan serat. Material yang digunakan di dalam komposit penguat serat antara lain: metal, keramik, polimer, karbon dan boron. Penataan arah serat dimaksudkan untuk mengoptimalkan kekuatan bahan, terdapat tiga macam penataan arah serat yang umum, yang dikenal dengan istilah sistem penguatan serat (*fiber strengthening*), yaitu:

1. *Unidirectional* adalah jenis penataan dimana serat penguat diletakkan dalam arah yang sama, dimana kekuatan terbesarnya adalah searah dengan arah serat tersebut.
2. *Bidirectional* adalah penataan serat yang saling membentuk sudut dan kekuatan terbesarnya berada pada kedua arah serat tersebut.
3. *Multidirectional (Random)* mempunyai kekuatan yang merata dan menempatkan serat dalam potongan menyebar ke semua arah.

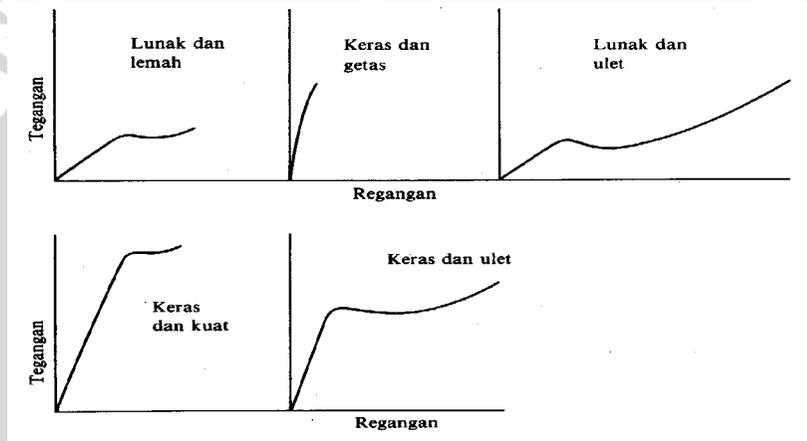
Ikatan antara matrik dan penguat harus baik agar tidak terjadi kegagalan yaitu timbulnya tegangan geser apabila komposit tersebut dikenai beban kerja.

Pada penguatan serat hampir seluruh beban ditanggung oleh serat. Sedangkan matrik berfungsi untuk meneruskan beban ke serat, memisahkan serat yang satu dengan serat lainnya, serta meredam retak yang diakibatkan oleh serat yang retak atau patah. Pada analisis kekuatan komposit dapat juga diasumsikan sebagai material yang kontinyu seperti pada beton bertulang.

2.12 Sifat Mekanis

2.12.1 Kekuatan Tarik Komposit

Tegangan tarik adalah suatu sifat dasar dari bahan. Pada proses tarikan hubungan tegangan mempunyai nilai yang fluktuatif hal ini tergantung pada laju tegangan, temperatur dan kelembaban. Karena pada bahan polimer sifat-sifat viskoelastis mempunyai kekhasan seperti dinyatakan sebelumnya. Umumnya tegangan tarik dari bahan polimer rendah daripada umpamanya baja: 70 kg.mm⁻², duralumin 44 kg.mm⁻², dan sebagainya. Tegangan tarik *nylon66* adalah 6,5-8,4 kg.mm⁻², dan PVC 3,5-6,3 kg.mm⁻². Pada resin biasa seperti polistiren, polietilen dan polipropilen tegangan tariknya antara 0,7-8,4 kg.mm⁻². Gb 2.7 menunjukkan tegangan tarikan dari bahan polimer dalam bentuk kurva tegangan-regangan menurut kekhasannya lunak atau keras, lemah atau kuat, getas atau ulet (Surdia, 1999 : 179).



Gambar 2.7 Kelakuan Tarik Polimer

Sumber : Surdia, 1999 : 180

Tegangan tarik suatu material polimer ditentukan oleh sejauh mana kemampuan dalam menerima beban maksimum tanpa mengalami kerusakan atau kepatahan.

Untuk komposit serat kontinu dianggap bahwa *filler* dan *matrik* mengalami tegangan yang sama sepanjang arah serat (Matthews and Rawlings, 1993 : 252):

$$\sigma_c = \sigma_m = \sigma_f \dots \dots \dots (2-1)$$

$$\sigma_c = \frac{P}{A_c} \dots \dots \dots (2-2)$$

Dimana :

$$P = P_m + P_f$$

$$A_c = A_f + A_m, \text{ maka}$$

$$P = \sigma_f \cdot A_f + \sigma_m \cdot A_m \dots\dots\dots (2-3)$$

- Dengan: σ_f = Tegangan bekerja pada filler ($N \cdot mm^{-2}$)
- σ_m = Tegangan bekerja pada matrik ($N \cdot mm^{-2}$)
- A_f = Luas penampang serbuk (mm^2)
- A_m = Luas penampang matrik (mm^2)
- A_c = Luas penampang komposit (mm^2)

Dari persamaan (2-1) dan persamaan (2-2) didapatkan (Matthews and Rawlings, 1993 :254):

$$\sigma_c = \sigma_f \frac{A_f}{A_c} + \sigma_m \frac{A_m}{A_c} \dots\dots\dots (2-4)$$

Fraksi luas penampang serat = $\frac{A_f}{A_c}$

Fraksi luas penampang matrik = $\frac{A_m}{A_c}$

Sedangkan berdasarkan aturan campuran (Hashemi dkk, 1997) besarnya harga modulus elastisitas longitudinal (E_{1HC}) pada komposit hibrid ditentukan oleh persamaan:

$$E_{1HC} = E_{1mA} \cdot X_{fA} + E_{1mB} \cdot X_{fB} \dots\dots\dots (2-5)$$

Dengan:

E_{1mA} = Modulus elastisitas longitudinal komposit dengan matrik A

E_{1mB} = Modulus elastisitas longitudinal komposit dengan matrik B

X_{fA} = Rasio hibrid serat tunggal A

X_{fB} = Rasio hibrid serat tunggal B

Dengan rasio hibrid serat A dan serat B ditentukan dengan rumus:

$$X_{fA} = \frac{V_{HfA}}{V_{Hff}} \quad \text{dan} \quad X_{fB} = \frac{V_{HfB}}{V_{Hff}} \dots\dots\dots (2-6)$$

Dengan:

V_{HfA} = Fraksi volume serat tunggal A

V_{HfB} = Fraksi volume serat tunggal B

V_{Hff} = Jumlah fraksi volume serat tunggal A dan B

Menurut aturan campuran (Hashemi dkk, 1997), kekuatan tarik longitudinal komposit hibrid dapat ditentukan dengan persamaan *rule of hibrid mixture*:

$$\sigma_{1HC} = \sigma_{1fA} \cdot X_{fA} + \sigma_{1fB} \cdot X_{fB} \dots\dots\dots (2-7)$$

Dengan :

σ_{1HC} = Tegangan tarik longitudinal komposit hibrid

σ_{1fA} = Kekuatan tarik longitudinal komposit dengan serat penguat A

σ_{1fB} = Kekuatan tarik longitudinal komposit dengan serat penguat B

X_{fA} = Rasio hibrid serat tunggal A

X_{fB} = Rasio hibrid serat tunggal B

Perbedaan antara logam dan polimer adalah pada polimer tidak terdapat daerah luluh yang pasti kedudukannya, sehingga secara umum pengukuran tegangan tarik hanyalah pada saat tegangan maksimum yang dapat diterima oleh material polimer tanpa menyertakan tegangan luluh.

2.12.2 Kekuatan Impak Komposit

Kekuatan impak adalah energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen tiap satuan luas penampang. Pengujian impak bertujuan untuk mengetahui daya tahan suatu logam terhadap beban dinamis atau beban kejut yang mengakibatkan terjadinya retak atau patah. Patahan sering terjadi pada bagian yang berbentuk *notch* (lengkungan) karena pada bagian ini terjadi pemusatan tegangan (*Stress concentration*).

Macam-macam pengujian impak sebagai berikut :

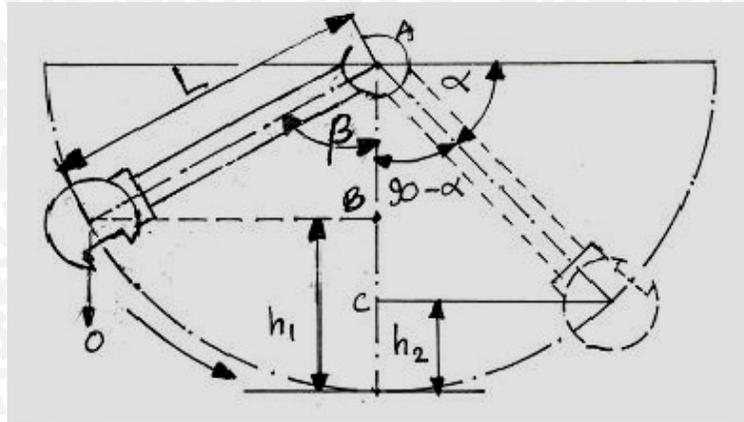
a. *Charpy Impact Test* (Cara Pembebanan Charpy)

Pengujian dilakukan dengan beban pemukul terletak pada posisi vertikal seperti pada gambar 2.6. Energi yang diperlukan untuk mematahkan/merusak spesimen merupakan energi potensial pendulum, karena pendulum diletakkan pada ketinggian tertentu. Energi ini nantinya yang akan diserap sebagian oleh spesimen untuk mematahkan spesimen dan sebagian hilang karena adanya gesekan pada poros pendulum.

b. *Izod Impact Test* (Cara Pembebanan Izod)

Pengujian ini dilakukan dengan cara menjepit spesimen pada salah satu ujungnya secara vertikal seperti pada gambar 2.6, posisi *notch* terletak sejajar dengan penjepit.

Beban impak bekerja secara horizontal pada bagian atas spesimen.



Gambar 2.8 Cara pembebanan uji impact
 Sumber: Hadi P, Bardji, 1992 : 57

Analisis kekuatan impact dilakukan dengan menggunakan pengujian impact Charpy. Rumus yang digunakan dalam melakukan perhitungan pada pengujian impact dapat diturunkan sebagai berikut (lihat gambar 2.8).

- $OA = L$

$$OB = L \cos \beta^0$$

$$OC = L \cos(90 - \alpha)^0$$

$$BA = h_1 = (L - L \cos \beta^0)$$

$$BC = h_2 = \{L - L \cos(90 - \alpha)^0\}$$

$$G = m \cdot g$$

- Energi yang digunakan secara ideal (Ao)

$$Ao = G.L [\cos(90 - \alpha)^0 - \cos \beta^0] \dots \dots \dots (2-8)$$

- Kerugian energi akibat gesekan (f)

$$f = G.L [\cos(90 - \alpha)^0 - \cos \beta^0] \dots \dots \dots (2-9)$$

- Energi yang digunakan secara aktual (A)

$$A = Ao - f \dots \dots \dots (2-10)$$

- Energi untuk mematahkan specimen tiap luasan penampang (Ak)

$$Ak = \frac{A}{F_0} \dots \dots \dots (2-11)$$

(Sumber: Hadi P, Bardji, 1992 : 57)

Dengan :

L = Panjang lengan pendulum (mm)

m = Berat pendulum (Kg)

α_0 = Sudut *dry run* (°)

α_1 = Sudut akhir (°)

β = sudut awal (°)

Fo = luas penampang (mm²)

Pada komposit hibrid, kekuatan impact komposit hibrid (a_{HCN}) dapat juga ditentukan berdasarkan *rule of hybrid micture* (Hashemi dkk, 1997) yaitu:

$$a_{HCN} = a_{cFA} \cdot X_{fA} + a_{cFB} \cdot X_{fB} \dots\dots\dots(2-12)$$

Dengan:

a_{HCN} = Kekuatan impact komposit hibrid

a_{cFA} = Kekuatan impact komposit dengan serat A

a_{cFB} = Kekuatan impact komposit dengan serat B

X_{fA} = Rasio hibrid serat tunggal A

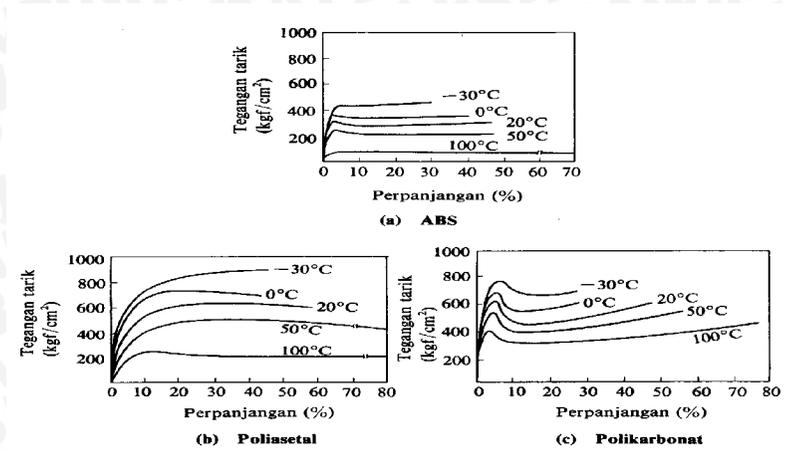
X_{fB} = Rasio hibrid serat tunggal B

2.12.3 Hal-Hal yang Mempengaruhi Sifat Mekanis

Selain faktor viskoelastis yang sangat mempengaruhi sifat mekanis material polimer, maka sifat mekanik material polimer juga dipengaruhi oleh faktor - faktor eksternal :

1. Pengaruh temperatur

Telah dikemukakan sebelumnya bahwa temperatur berpengaruh pada resin termoplastik. Perubahan temperatur mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap sifat-sifat mekanik material polimer. Sebagai contoh, kalau temperatur dinaikkan pada saat pengujian maka tegangan tarik akan turun sehingga hubungan tegangan - regangan akan berubah. Pada setiap temperaur tertentu (titik lunak, titik transisis gelas) sebagai batas deformasi karena tarikan meningkat cepat dan tegangan patahnya dan modulus elastiknya menurun. Sebaliknya jika temperatur pengujian diturunkan maka tegangan patah dan modulus elastisitasnya akan naik serta regangan patahnya akan turun, hal ini dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Diagram Tegangan-Regangan yang Dipengaruhi Temperatur

Sumber : Surdia, 1999 : 182

2. Pengaruh kelembaban

Pada umumnya pengaruh kelembaban terhadap sifat-sifat mekanik material plastik sama dengan pengaruh temperatur tersebut. Meningkatnya kadar air yang terabsorpsi cenderung memberikan hubungan tegangan-regangan sebagaimana hubungan tegangan regangan dengan meningkatnya temperatur. Dengan bertambahnya absorpsi maka tegangan patah dan modulus elastisitasnya menurun sedangkan regangan patah meningkat. Akan tetapi pengaruh tersebut kurang dibandingkan dengan pengaruh temperatur. Pada resin termoset dan resin termoplastik sama sekali tidak higroskopis, tentunya pengaruh air tidak terlihat. Akan tetapi kadar air yang rendah dan surfaktan dalam air dapat menyebabkan pengurangan modulus elastik dan meningkatkan retakan karena tegangan.

3. Pengaruh laju tegangan

Telah diketahui pada berbagai bahan bahwa kekuatan bahan akan berubah karena pembebanan, baik secara perlahan-lahan atau tiba-tiba dengan beban ringan atau berat. Kalau laju tegangan diturunkan maka regangan akan bertambah yang akan mengakibatkan kurva tegangan regangan menjadi landai dan modulus elastisitasnya menjadi turun. Makin tinggi laju tegangan, makin besar pula beban patah dan modulus elastisitasnya, sedangkan regangannya menjadi kecil. Sifat – sifat mekanik polimer dapat dilihat dalam tabel 2.6.

Tabel 2.6 Sifat-Sifat Mekanik

POLYMER	Tensile Strength (kgf/mm²)	Compressive Strength (kgf/mm²)	Flexure Strength (kgf/mm²)	Hardness	Izodimpact at 21⁰C (kgmm/mm²)
<u>Resin Termoplastik</u>					
ABS	2,91 – 5,1	-	3,6 – 8	R 75 – 115	1,5 – 7,3
Nyolon 6	5,1 – 8,7	5,1 – 9,4	5,8 – 10,2	R 110	0,7 – 2,2
Nyolon 66	6,5 – 8,7	5,1 – 8,7	8,7 – 10,2	R 110	0,7 – 1,5
<u>Polyethylene</u>					
LDPE	6,7 – 1,5	-	-	D45	No break
MDPE	0,7 – 2,2	-	3,6 – 5,1	D55	0,7 – 14,5
HDPE	2,2 – 3,6	2,2	0,7	D65	0,7 – 14,5
Polypropilene	2,9 – 4	4,4 – 5,8	4,4 – 5,8	R 85 – 110	0,7 – 4,4
Polystyrene	3,6 – 6,5	8 – 11,6	7,3 – 12,3	M 75	0,2
<u>Resin Termoset</u>					
Epoxy	9,2 – 9,4	10,9 – 18,2	9,4 – 14,5	M 80 – 110	0,15 – 0,7
Phenolic	4,4 – 6,5	8,7 – 10,9	8 – 12,3	M 100 – 120	0,15 – 0,3
Polyester	4,4 – 9,4	9,4 – 26,2	5,8 – 16,7	M 70 – 115	0,15 – 0,3
Silicone	0,7	-	-	40 (a)	-
Urethane	0,7 – 7,3	14,5	-	M 28	-

Sumber : Earl R Parker, 1967, *Material Data Book* : 320

2.13 Proses Cetakan Komposit *Hand Lay-Up*

Proses yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah proses *hand lay up* yaitu dengan menggabungkan serat penguat dengan resin cair secara manual atau dengan tangan. Keuntungan utamanya adalah proses yang sangat simpel sehingga dibutuhkan sedikit peralatan dan cetakan dapat dibuat dari gips, kayu, lembaran plat.

Proses ini merupakan metode yang paling sederhana untuk memproduksi plastik yang diperkuat serat. Cara pembuatan dengan sistem *hand lay up* dilakukan dengan meletakkan serat pada cetakan yang telah dilapisi dengan *release film* (wax atau lapisan lilin) yang bertujuan untuk mencegah lengketnya material komposit pada cetakan, terutama pada sudut-sudut cetakan. *Release film* ini juga membantu membentuk permukaan komposit menjadi lebih baik. Setelah serat diletakkan pada cetakan, selanjutnya matrik dituang dalam cetakan. Rol penekan digunakan untuk meratakan dan menghilangkan udara yang terperangkap.

Resin yang paling umum dipakai pada pembuatan komposit dengan metode *hand lay up* adalah poliester karena resin ini dapat dengan cepat membeku pada suhu kamar. Kekurangan dari metode ini adalah sulitnya menghilangkan udara yang terjebak didalam cetakan pada saat membuat material komposit dan rendahnya fraksi volume serat yang dapat menjadi komposit.



Gambar 2.10 Proses Cetakan *Hand lay up*
Sumber : Crawford, 1987

2.14 Hipotesis

Serat *E-Glass* memiliki kekuatan yang lebih tinggi dari sabut kelapa (*Cocos nucifera*) sehingga dengan semakin meningkatnya fraksi volume serat *E-Glass* yang diikuti dengan penurunan fraksi volume sabut kelapa di dalam material komposit hibrid matrik poliester menyebabkan kekuatan tarik dan kekuatan impak semakin meningkat.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

