

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tebu

Tebu (bahasa Inggris: *sugar cane*) adalah tanaman yang ditanam untuk bahan baku gula dan vetsin. Tanaman ini hanya dapat tumbuh di daerah beriklim tropis. Tanaman ini (Gambar 1.) termasuk jenis rumput-rumputan. Umur tanaman sejak ditanam sampai bisa dipanen mencapai kurang lebih 1 tahun. Di Indonesia tebu banyak dibudidayakan di pulau Jawa dan Sumatra. Untuk pembuatan gula, batang tebu yang sudah dipanen diperas dengan mesin pemeras (mesin *press*) di pabrik gula. Sesudah itu, nira atau air perasan tebu tersebut disaring, dimasak, dan diputihkan sehingga menjadi gula pasir yang kita kenal. Dari proses pembuatan tebu tersebut akan dihasilkan gula 5%, ampas tebu 90% dan sisanya berupa tetes (molasse) dan air.

Daun tebu yang kering (dalam bahasa Jawa, *dadhok*) adalah biomassa yang mempunyai nilai kalori cukup tinggi. Ibu-ibu di pedesaan sering memakai *dadhok* itu sebagai bahan bakar untuk memasak; selain menghemat minyak tanah yang makin mahal, bahan bakar ini juga cepat panas. Dalam konversi energi pabrik gula, daun tebu dan juga ampas batang tebu digunakan untuk bahan bakar *boiler*, yang uapnya digunakan untuk proses produksi dan pembangkit listrik.

Di beberapa daerah air perasan tebu sering dijadikan minuman segar melepas lelah, air perasan tebu cukup baik bagi kesehatan tubuh karena dapat menambah glukosa.

Klasifikasi ilmiah

Kerajaan: Plantae
Divisi: Magnoliophyta
Kelas: Liliopsida
Ordo: Poales
Famili: Poaceae
Genus: *Saccharum*
L.



Gambar 1. Tanaman Tebu (*Saccharum Officinarum*)
Sumber : wordpress, 2016.

2.2 Pengertian Komposit

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material sehingga dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. Komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari logam, kekakuan jenis (modulus Young/density) dan kekuatan jenisnya lebih tinggi dari logam. Beberapa lamina komposit dapat ditumpuk dengan arah orientasi serat yang berbeda, gabungan lamina ini disebut sebagai laminat.

Komposit terdiri dari 2 bagian utama yaitu (Gambar 2.):

Matriks, berfungsi untuk perekat atau pengikat dan pelindung filler (pengisi) dari kerusakan eksternal. Matriks yang umum digunakan : polimer.

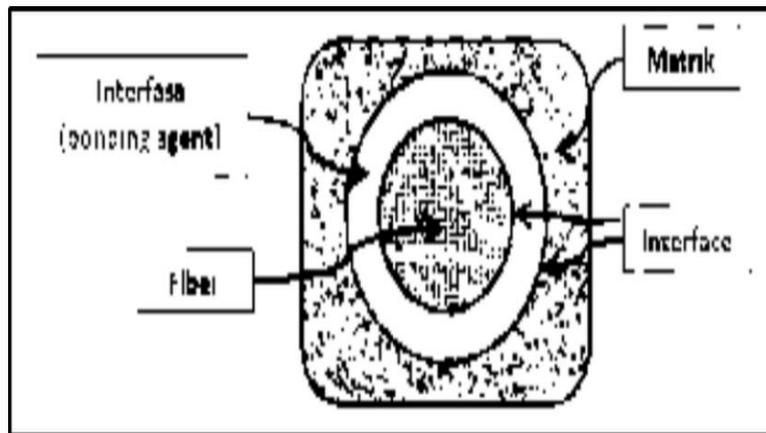
Filler (pengisi), berfungsi sebagai Penguat dari matriks. Filler yang umum digunakan : serat karbon.

Nilai kekuatan mekanis komposit berdasarkan Biro Klasifikasi Indonesia pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Kekuatan Mekanis Komposit Oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI)

Kuat Tarik (Kg/mm ²)	Modulus Elastisitas (Kg/mm ²)
10.00	700.00

Sumber : Hartono Yudo & Sukanto Jatmiko , 2008



Gambar 2. Ilustrasi Material Penyusun Komposit

Sumber : Nurun Nayiroh, Tanpa Tahun

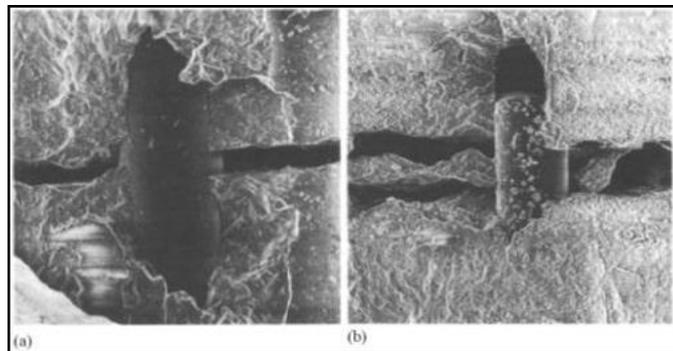
Komposit memberikan suatu pengertian yang sangat luas dan berbeda-beda, serta mengikuti situasi dan perkembangan bahan itu sendiri. Gabungan dua atau lebih bahan merupakan suatu konsep yang diperkenalkan untuk menerangkan definisi komposit. Walaupun demikian definisi ini terlalu umum, karena komposit ini merangkumi semua bahan termasuk plastik yang diperkuat dengan serat, logam *alloy*, keramik, kopolimer, plastik berpengisi atau apa saja campuran dua bahan atau lebih untuk mendapatkan suatu bahan yang baru. Komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari logam, kekakuan jenis (modulus *Young/density*) dan kekuatan jenisnya lebih tinggi dari logam. Beberapa lamina komposit dapat ditumpuk dengan arah orientasi serat yang berbeda, gabungan lamina ini disebut sebagai laminat.

2.2.1 Material Penyusun Komposit

Matrik dan fiber adalah bahan pembentuk material komposit dimana fiber sangat berperan dalam memberikan kekuatan dan kekakuan komposit. Namun aspek lain yang menjadi sumber kekuatan komposit di dapat dari matrik yang memberikan ketahanan terhadap temperatur tinggi, ketahanan terhadap tegangan geser, dan mampu mendistribusikan beban.

1. Matrik

Pada material komposit, matrik (Gambar 3.) memberikan pengaruh yang lebih besar dalam pengikatan material penyusun selain bertugas untuk mendistribusikan beban dan memberikan perlindungan dari pengaruh lingkungan. Polyester dan vinyl ester resin umumnya yang paling banyak digunakan sebagai bahan matrik dan biasanya digunakan untuk pembuatan produk-produk komersial, industri, dan transportasi. Namun bila produk yang dibutuhkan diharapkan untuk memiliki kekuatan yang lebih tinggi maka bahan epoksi menjadi pilihan sebagai matrik. Meskipun epoksi sensitif terhadap kelembaban, namun tetap masih lebih baik dibanding dengan polyester serta tahan terhadap penyusutan. Dalam aplikasinya epoksi terbatas terhadap temperatur hingga 120°C untuk pemakaian jangka panjang, bahkan pada kondisi tertentu temperatur tertinggi hanya pada sekitar 80-105°C. Untuk pemakaian pada temperatur lebih tinggi sekitar 177-230°C dapat menggunakan bismaleimide resins (BMI) sebagai matrik.



Gambar 3. Matriks Pada Komposit

Sumber : jansetiawan, 2013

Matrik adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). Matrik mempunyai fungsi untuk mentransfer tegangan ke serat secara merata, melindungi serat dari gesekan mekanik, memegang dan mempertahankan serat pada posisinya, melindungi dari lingkungan yang merugikan, tetap stabil setelah proses manufaktur.

Sifat-sifat matrik (Ellyawan, 2008) :

- a. Sifat mekanis yang baik.
- b. Kekuatan ikatan yang baik.
- c. Ketangguhan yang baik.
- d. Tahan terhadap temperatur.

Matriks yang di gunakan dalam penelitian pembuatan komposit ini adalah recycled polypropylene (RPP). Menurut Gibson (1994) matrik dalam struktur komposit dapat dibedakan menjadi:

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

Bahan ini merupakan bahan komposit yang sering digunakan, biasa disebut polimer berpenguat serat (FRP–*Fibre Reinforced Polymers or Plastics*). Bahan ini menggunakan suatu polimer berbahan resin sebagai matriknya, dan suatu jenis serat seperti kaca, karbon dan aramid (Kevlar) sebagai penguatannya.

Komposit ini bersifat :

- a. Biaya pembuatan lebih rendah
- b. Dapat dibuat dengan produksi massal
- c. Ketangguhan baik
- d. Tahan simpan
- e. Siklus pabrikan dapat dipersingkat
- f. Kemampuan mengikuti bentuk
- g. Lebih ringan.

Jenis polimer yang sering digunakan (Sudira, 1985) :

- ***Thermoplastic***

Thermoplastic adalah plastik yang dapat dilunakkan berulang kali (*recycle*) dengan menggunakan panas. *Thermoplastic* merupakan polimer yang akan menjadi keras apabila didinginkan. *Thermoplastic* akan meleleh pada suhu tertentu, melekat mengikuti perubahan suhu dan mempunyai sifat dapat balik (*reversibel*) kepada sifat aslinya, yaitu kembali mengeras bila didinginkan. Contoh dari *thermoplastic* yaitu Poliester, Nylon 66, PP, PTFE, PET, Polieter sulfon, PES, dan Polieter eterketon (PEEK).

- ***Thermoset***

Thermoset tidak dapat mengikuti perubahan suhu (*irreversibel*). Bila sekali pengerasan telah terjadi maka bahan tidak dapat dilunakkan kembali. 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. Plastik jenis *thermoset* tidak begitu menarik dalam proses daur ulang karena selain sulit penanganannya juga volumenya jauh lebih sedikit (sekitar 10%) dari volume jenis plastik yang bersifat *thermoplastic*. Contoh dari *thermoset* yaitu Epoksida, Bismaleimida (BMI), dan Poli-imida (PI).

b. Komposit Matrik Logam (*Metal Matrix Composites – MMC*)

Bahan ini menggunakan suatu logam seperti aluminium sebagai matrik dan penguatnya dengan serat seperti *silikon karbida*. Kelebihan MMC dibandingkan dengan PMC adalah transfer tegangan dan regangan yang baik, ketahanan terhadap temperature tinggi, tidak menyerap kelembapan, tidak mudah terbakar, kekuatan tekan dan geser yang baik serta ketahanan aus dan muai termal yang lebih baik sedangkan kekurangan MMC biayanya mahal dan standarisasi material dan proses yang sedikit. Contohnya Aluminium beserta paduannya, Titanium beserta paduannya, Magnesium beserta paduannya. MMC sering digunakan pada komponen automotiv (blok-silinder-mesin, pully, poros gardan, dll), Peralatan militer (sudu turbin, cakram kompresor, dll), Aircraft (rak listrik pada pesawat terbang) dan peralatan Elektronik.

c. Komposit Matrik Keramik (*Ceramic Matrix Composites – CMC*)

Bahan ini menggunakan keramik sebagai matrik dan diperkuat dengan serat pendek, atau serabut-serabut (*whiskers*) dimana terbuat dari *silikon karbida* atau *boron nitride*. Matrik yang sering digunakan pada CMC adalah gelas anorganik, keramik gelas, alumina dan silikon nitrida. Keuntungan dari CMC diantaranya dimensinya stabil bahkan lebih stabil daripada logam, sangat tangguh bahkan hampir sama dengan ketangguhan dari cast iron, mempunyai karakteristik permukaan yang tahan aus, unsur kimianya stabil pada temperature

tinggi, tahan pada temperatur tinggi (creep), kekuatan dan ketangguhan tinggi serta ketahanan terhadap korosi. Kerugian dari CMC adalah sulit untuk diproduksi dalam jumlah besar, selang relatif mahal dan non-cot effective hanya untuk aplikasi tertentu. CMC biasanya digunakan pada proses kimia yaitu Filter, membran, seals, liners, piping, hangers. Power generation yaitu Combustors, Vanrs, Nozzles, Recuperators, heat exchange tubes, liner. Waste incineration yaitu Furnace part, burners, heat pipes, filters, sensors. Kombinasi dalam rekayasa whisker SiC/alumina polikristalin untuk perkakas potong. Serat grafit/gelas boron silikat untuk alas cermin laser. Grafit/keramik gelas untuk bantalan, perapat dan lem. SiC/litium aluminosilikat (LAS) untuk calon material mesin panas.

Recycled Polypropylene (RPP)

Polypropylene pertama kali dipolimerisasikan oleh *Dr. Karl Rehn* di Hoechst AG, Jerman, pada 1951, yang tidak menyadari pentingnya penemuan itu. Ditemukan kembali pada 11 Maret 1954 oleh *Giulio Natta*, *Polypropylene* pada awalnya diyakini lebih murah daripada polietilena. *Polypropylene* (PP) adalah sebuah polimer termo-plastik yang dibuat oleh industri kimia dan digunakan dalam berbagai aplikasi, diantaranya pengemasan, tekstil (contohnya tali, pakaian dalam termal, dan karpet), alat tulis, berbagai tipe wadah terpakai ulang serta bagian plastik, perlengkapan laboratorium, pengeras suara, komponen otomotif, dan uang kertas polimer. Polimer adisi yang terbuat dari propilena monomer, permukaannya tidak rata serta memiliki sifat resistan yang tidak biasa terhadap kebanyakan pelarut kimia, basa dan asam. Polipropena biasanya didaur-ulang, dan simbol daur ulangnya adalah nomor "5". Pengolahan lelehnya polipropilena bisa dicapai melalui ekstrusi dan pencetakan. Metode ekstrusi (peleleran) yang umum menyertakan produksi serat pental ikat (spun bond) dan tiup (hembus) leleh untuk membentuk gulungan yang panjang untuk diubah menjadi berbagai macam produk yang berguna seperti masker muka, penyaring, popok dan lap.

Teknik pembentukan yang paling umum adalah pencetakan suntik, yang digunakan untuk berbagai bagian seperti cangkir, alat pemotong, botol kecil, topi, wadah, perabotan, dan suku cadang otomotif seperti baterai. Teknik pencetakan

tiup dan injection-stretch blow molding juga digunakan, yang melibatkan ekstrusi dan pencetakan. Ada banyak penerapan penggunaan akhir untuk PP karena dalam proses pembuatannya bisa dengan aditif serta sifat molekul yang spesifik. Sebagai misal, berbagai aditif antistatik bisa ditambahkan untuk memperkuat resistensi permukaan PP terhadap debu dan pasir. Kebanyakan teknik penyelesaian fisik, seperti pemesinan, bisa pula digunakan pada PP. Perawatan permukaan bisa diterapkan ke berbagai bagian PP untuk meningkatkan adhesi (rekatan) cat dan tinta cetak.

Polipropilena dapat mengalami degradasi rantai saat terkena radiasi ultraungu dari sinar matahari. Jadi untuk penggunaan propilena di luar ruangan, bahan aditif yang menyerap ultraungu harus digunakan. Jelaga (celak) juga menyediakan perlindungan dari serangan UV. Polimer bisa dioksidasi pada suhu yang tinggi, merupakan permasalahan yang umum dalam operasi pencetakan. Antioksidan normalnya ditambahkan untuk mencegah degradasi atau oksidasi polimer. Polipropilena sering digunakan sebagai wadah penyimpanan makanan seperti yoghurt. Kebanyakan polipropilena komersial merupakan isotaktik dan memiliki kristalinitas tingkat menengah di antara polietilena berdensitas rendah dengan polietilena berdensitas tinggi; modulus Youngnya juga menengah. Melalui penggabungan partikel karet, PP bisa dibuat menjadi liat serta fleksibel, bahkan di suhu yang rendah. Hal ini membolehkan polipropilena digunakan sebagai pengganti berbagai plastik teknik, seperti ABS. Polipropilena memiliki permukaan yang tak rata, seringkali lebih kaku daripada beberapa plastik yang lain, lumayan ekonomis, dan bisa dibuat translusen (bening) saat tak berwarna tapi tidak setransparan polistirena, akrilik maupun plastik tertentu lainnya. Bisa bula dibuat buram dan berwarna-warni melalui penggunaan pigmen, Polipropilena memiliki resistensi yang sangat bagus terhadap kelelahan (bahan). Polipropilena memiliki titik lebur $\sim 160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($320\text{ }^{\circ}\text{F}$), sebagaimana yang ditentukan Differential Scanning Calorimetry (DSC).

Kebanyakan barang dari plastik untuk keperluan medis atau laboratorium bisa dibuat dari polipropilena karena mampu menahan panas di dalam autoklaf. Sifat tahan panas ini menyebabkannya digunakan sebagai bahan untuk membuat

ketel (ceret) tingkat konsumen. Wadah penyimpan makan yang terbuat darinya takkan meleleh di dalam mesin cuci piring dan selama proses pengisian panas industri berlangsung. Untuk alasan inilah, sebagian besar tong plastik untuk produk susu perahan terbuat dari propilena yang ditutupi dengan foil aluminium (keduanya merupakan bahan tahan-panas). Seusai produk didinginkan, tabung sering diberi tutup yang terbuat dari bahan yang kurang tahan panas, seperti polietilena berdensitas rendah (LDPE) atau polistirena. Wadah seperti ini merupakan contoh yang bagus mengenai perbedaan modulus, karena tampak jelas beda kekenyalan LDPE (lebih lunak, lebih mudah dilenturkan) dengan PP yang tebalnya sama. Jadi wadah penyimpan makanan dari polipropilena sering memiliki tutup yang terbuat dari LDPE yang lebih fleksible agar bisa tertutup rapat-rapat. Polipropilena juga bisa dibuat menjadi botol sekali pakai untuk menyimpan produk konsumen berbentuk cairan atau tepung, meski HDPE dan polietilena tereftala yang umum dipakai untuk membuat botol semacam itu. Ember plastik, baterai mobil, kontainer penyejuk, piring, dan kendi sering terbuat dari polipropilena atau HDPE, keduanya memiliki penampilan, rasa, serta sifat yang hampir sama pada suhu ambien.

Polipropilena merupakan sebuah polimer utama dalam barang-barang tak tertentu. Sekitar 50% digunakan dalam popok atau berbagai produk sanitasi yang dipakai untuk menyerap air (hidrofil), bukan yang secara alami menolak air (hidrofobik). Penggunaan tak tertentu lainnya yang menarik adalah saringan udara, gas, dan cair dimana serat bisa dibentuk menjadi lembaran atau jaring yang bisa dilipat untuk membentuk lapisan yang menyaring dalam batas-batas 0,5 sampai 30 mikron. Aplikasi ini bisa ditemukan di dalam rumah sebagai saringan air atau saringan tipe pengondisian udara. Wilayah permukaan tinggi serta polipropilena hidrofobik alami yang tak tertentu merupakan penyerap tumpahan minyak yang ideal dengan perintang apung yang biasanya diletakkan di dekat tumpahan minyak di sungai.

Polipropilena juga umum digunakan sebagai polipropilena berorientasi dwi sumbu atau *Biaxially Oriented polypropylene (BOPP)*. Lembaran BOPP ini digunakan untuk membuat berbagai macam bahan seperti clear bag (tas yang

transparan). Saat polipropilena berorientasi dwi sumbu, ia menjadi sejernih kristal dan berfungsi sebagai bahan pengemasan untuk berbagai produk artistik serta eceran. Polipropilena yang berwarna-warni banyak dipakai dalam pembuatan permadani dan tatakan untuk digunakan di rumah. Militer AS pernah menggunakan polipropilena atau 'polypro' untuk membuat lapisan dasar cuaca dingin seperti kaos lengan panjang atau celana dalam yang panjang. (Saat ini, poliester menggantikan polipropilena dalam berbagai aplikasi di militer AS). Kaos dari polipropilena tidak mudah terbakar, tapi bisa meleleh yang berakibat pada bekas terbakar pada bagian baju yang terkena apapun jenis ledakan atau api. Tali yang terbuat dari polipropilena cukup ringan untuk mengapung di air.

Polipropilena digunakan pula sebagai pengganti polivinil klorida (PVC) sebagai insulasi untuk kabel listrik LSZH (Low Smoke Zero Halogen) dalam lingkungan ventilasi-rendah, terutama sekali terowongan. Ini karena PP mengeluarkan sedikit asap serta halogen yang tidak beracun, yang akan menghasilkan asam pada suhu tinggi.

Polipropilena juga dipakai dalam membran atap sebagai lapisan paling atas kebal airnya sistem kayu lapis tunggal yang bertentangan dengan sistem bit termodifikasi. Penggunaan medis dari PP yang paling umum adalah sebagai bahan pembuat benang jahit untuk operasi yang diberi nama Prolene, yang dibuat oleh Ethicon Inc. Polipropilena sangat umum digunakan untuk pencetakan plastik dimana ia disuntikkan ke dalam cetakan dalam keadaan meleleh, membentuk berbagai bentuk yang kompleks pada volume yang tinggi dan biaya yang relatif rendah. Hasilnya bisa berupa tutup botol, botol, dll. Polipropilena yang diproduksi dalam bentuk lembaran telah digunakan secara meluas untuk produksi stationary folder, pengemasan, dan kotak penyimpanan. Warna yang beragam, durabilitas, serta sifat resistensi PP terhadap debu membuatnya ideal sebagai sampul pelindung untuk kertas serta berbagai bahan yang lain. Karakteristik tadi juga membuat PP digunakan dalam stiker kubus rubik.

Polipropilena telah digunakan dalam operasi memperbaiki hernia untuk melindungi tubuh dari hernia baru di lokasi yang sama. Tambalan kecil dari PP yang diletakkan di lokasi hernia, di bawah kulit, tidak menyebabkan rasa saki

Expanded Polypropylene (EPP) merupakan bentuk busanya polipropilena. Karena kekakuannya yang rendah, EPP tetap mempertahankan bentuknya sesudah mengalami benturan. EPP digunakan secara luas dalam miniatur pesawat dan kendaraan yang dikontrol radio lainnya. Dikarenakan kemampuannya menyerap benturan, EPP menjadi bahan yang ideal untuk pesawat RC bagi para pemula dan amatir.

Karakteristik polipropilena menurut Parlin (2004) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Polipropilena

Deskriptif	Polipropilena
Densitas pada suhu 20°C (gr/cm ³)	0,90
Suhu melunak (°C)	149
Titik lebur (°C)	170
Kristalinitas (%)	60 – 70
Indeks fluiditas	0,2 – 2,5
<i>Modulus of elacticity</i> (kg/cm ³)	11000 – 13000
Tahanan volumetrik (Ohm cm ²)	1017
Konstanta dielektrik (60-108 cycle)	2,3
Permeabilitas gas-Nitrogen	4,4
Oksigen	23
Gas karbon	92
Uap air	600

Sumber : Parlin, 2004

2. Fiber

Pada material Komposit Matrik Polimer (KMP), fungsi utama fiber penguat adalah menaikkan kekuatan dan kekakuan komposit sehingga didapatkan material yang kuat dan ringan. Beberapa jenis fiber yang umum digunakan adalah sebagai berikut.

a. Fiber Glass (Gambar 4)

Sangat umum digunakan dalam industri karena bahan baku yang sangat banyak tersedia. Komposisi fiber glass mengandung silica yang berguna memberikan kekerasan, fleksibilitas, dan kekakuan. Proses pembentukan fiber glass melalui proses fusion (melting) terhadap silica dengan campuran mineral oksida. Pada proses ini diberikan pendinginan yang sangat cepat untuk pembentukan kristalisasi yang sempurna, proses ini biasa disebut dengan fiberization. Produk

fiber glass dibedakan dalam beberapa jenis berdasarkan propertis dan karakteristiknya.

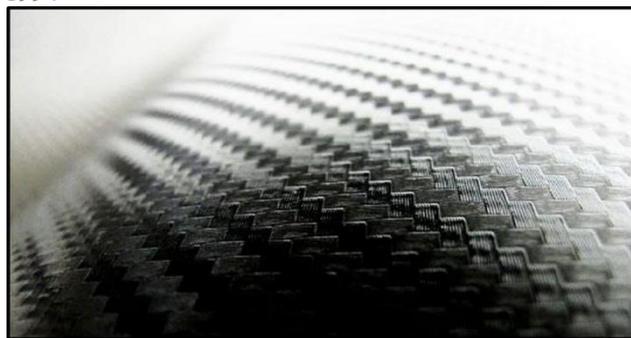
b. Karbon Fiber (Gambar 5)

Salah satu keunggulan karbon fiber adalah sangat unggul terhadap ketahanan fatik, tidak rentan terhadap beban perpatahan dan mempunyai elastic recovery yang baik. Perkembangan penggunaan karbon fiber tergolong sangat cepat untuk aplikasi penerbangan, produk olahraga, dan berbagai kebutuhan industri. Sebagai bahan anorganik, karbon fiber tida terpengaruh oleh kelembaban, atmosfir, pelarutan basa dan weak acid pada temperatur kamar. Namun oksidasi menjadi permasalahan pada fiber karbon pada suhu tinggi dimana impuritis dapat menjadi katalisator dan menghambat proses oksidasi yang menyebabkan kemurnian fiber karbon tidak tercapai.



Gambar 4. Fiber Glass

Sumber : Gibson, 1994



Gambar 5. Carbon Fiber

Sumber : Gibson, 1994

d. Aramid Fiber (Gambar 6)

Aramid fiber memiliki kekuatan yang sangat tinggi dibandingkan dengan rasio berat yang dimilikinya. Pada awalnya aramid fiber di produksi oleh E.I. Du

Pont de Nemours & Company, Inc. dengan merek Kevlar yang dipakai sebagai fiber penguat dalam produksi ban dan plastik. Karena aramid fiber relatif flexible dan non-brittle maka aramid fiber dapat diproses dengan berbagai metode seperti twisting, weaving, knitting, carding, dan felting. Aramid Kevlar terdapat dalam tiga jenis, yaitu Kevlar 29 (high toughness), Kevlar 49 (high modulus), dan Kevlar 149 (ultrahigh modulus). Menurut Charley Yan, Kevlar memiliki nilai rasio kekuatan dan berat sebesar lima kali lebih kuat dari logam.



Gambar 6. Aramid Fiber
Sumber : Gibson, 1994

2.2.2 Klasifikasi Komposit

Secara umum bahan komposit terdiri dari dua macam, yaitu bahan komposit partikel (*particulate composite*) dan bahan komposit serat (*fiber composite*). Bahan komposit partikel terdiri dari partikel–partikel yang diikat oleh matrik. Bentuk partikel ini dapat bermacam–macam seperti bulat, kubik, tetragonal atau bahkan berbentuk yang tidak beraturan secara acak. Sedangkan bahan komposit serat terdiri dari serat – serat yang diikat oleh matrik. Bentuknya ada dua macam yaitu serat panjang dan serat pendek.

1. Komposit Partikel

Dalam struktur komposit, bahan komposit partikel tersusun dari partikel–partikel disebut bahan komposit partikel (*particulate composite*) menurut definisinya partikel ini berbentuk beberapa macam seperti bulat, kubik, tetragonal atau bahkan berbentuk yang tidak beraturan secara acak, tetapi rata–rata berdimensi sama. Bahan komposit partikel umumnya digunakan sebagai pengisi

dan penguat bahan komposit keramik (*ceramic matrix composites*). Bahan komposit partikel pada umumnya lebih lemah dibanding bahan komposit serat. Bahan komposit partikel mempunyai keunggulan, seperti ketahanan terhadap aus, tidak mudah retak dan mempunyai daya pengikat dengan matrik yang baik.

2. Komposit Serat

Unsur utama komposit adalah serat yang mempunyai banyak keunggulan, oleh karena itu bahan komposit serat yang paling banyak dipakai. Bahan komposit serat terdiri dari serat-serat yang terikat oleh matrik yang saling berhubungan. Bahan komposit serat ini terdiri dari dua macam, yaitu serat panjang (*continuous fiber*) dan serat pendek (*short fiber* dan *whisker*). Penggunaan bahan komposit serat sangat efisien dalam menerima beban dan gaya. Karena itu bahan komposit serat sangat kuat dan kaku bila dibebani searah serat, sebaliknya sangat lemah bila dibebani dalam arah tegak lurus serat.

Komposit serat dalam dunia industri mulai dikembangkan dari pada menggunakan bahan partikel. Bahan komposit serat mempunyai keunggulan yang utama yaitu *strong* (kuat), *stiff* (tangguh), dan lebih tahan terhadap panas pada saat didalam matrik (Schwartz, 1984). Dalam pengembangan teknologi pengolahan serat, membuat serat sekarang semakin diunggulkan dibandingkan material-material yang digunakan. Cara yang digunakan untuk mengkombinasi serat berkekuatan tarik tinggi dan bermodulus elastisitas tinggi dengan matrik yang bermassa ringan, berkekuatan tarik rendah, serta bermodulus elastisitas rendah makin banyak dikembangkan guna memperoleh hasil yang maksimal. Komposit pada umumnya menggunakan bahan plastik yang merupakan material yang paling sering digunakan sebagai bahan pengikat seratnya selain itu plastik mudah didapat dan mudah perlakuannya, dari pada bahan dari logam yang membutuhkan bahan sendiri.

3. Tipe Komposit Serat

Untuk memperoleh komposit yang kuat harus dapat menempatkan serat dengan benar. Berdasarkan penempatannya terdapat beberapa tipe serat pada komposit yaitu :

a. *Continuous Fiber Composite*

Continuous atau *uni-directional*, mempunyai serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriknya. Jenis komposit ini paling sering digunakan. Tipe ini mempunyai kelemahan pada pemisahan antar lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriknya.

b. *Woven Fiber Composite*

Komposit ini tidak mudah dipengaruhi pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat serat antar lapisan. Akan tetapi susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan akan melemah.

c. *Discontinuous Fiber Composite*

Discontinuous Fiber Composite adalah tipe komposit dengan serat pendek.

d. *Random Fiber Composite*

Random Fiber Composite merupakan komposit serat acak. Tipe ini digunakan supaya dapat mengganti kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihan keduanya.

2.2.3 Bagian Utama dari Komposit

1. *Filler*

Salah satu bagian utama dari komposit adalah *filler* (penguat) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit. Serat secara umum terdiri dari dua jenis yaitu serat alam dan serat sintetis. Serat alam adalah serat yang dapat langsung diperoleh dari alam. Biasanya berupa serat yang dapat langsung diperoleh dari tumbuh-tumbuhan dan binatang. Serat ini telah banyak digunakan oleh manusia diantaranya adalah kapas, wol, sutera, pelepah pisang, sabut kelapa, ijuk, bambu, nanas dan knaf atau goni. Serat alam memiliki kelemahan yaitu ukuran serat yang tidak seragam, kekuatan serat sangat

dipengaruhi oleh usia. Serat sintetis adalah serat yang dibuat dari bahan-bahan anorganik dengan komposisi kimia tertentu. Serat sintetis mempunyai beberapa kelebihan yaitu sifat dan ukurannya yang relatif seragam, kekuatan serat dapat diupayakan sama sepanjang serat. Serat sintetis yang telah banyak digunakan antara lain serat gelas, serat karbon, kevlar, nylon, dan lain-lain (Schwartz, 1984). Mengenai sifat mekanisnya serat alam dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Serat Alam dan Sifat Mekanisnya

Serat	Diameter (μm)	<i>Ultimate tensile stress,</i> σ (Mpa)	Modulus E (GPa)	Berat Jenis
<i>Wood</i>	15-20	160	23	1,5
<i>Bamboo</i>	15-30	550	36	0,8
<i>Jute</i>	10-50	580	22	1,5
<i>Cotton</i>	15-40	540	28	1,5
<i>Wool</i>	75	170	5,9	1,32
<i>Coir</i>	10-20	250	5,5	1,5
<i>Bagasse</i>	25	180	9	1,25
<i>Rice</i>	5-15	100	6	1,24
<i>Natural silk</i>	15	400	13	1,35
<i>Spider silk</i>	4	1750	12,7	–
<i>Linen</i>	–	270	–	–
<i>Sisal</i>	–	560	–	–
<i>Asbestos</i>	0.2	1700	160	2,5

Sumber : Vasiliev & Morozov, 2001

Stark dan Rowlands (2002) mengungkapkan bahwa komposit yang diperkuat serat tanaman, sifat-sifat mekanisnya akan meningkat secara linear seiring dengan penambahan persen berat serat. Karakteristik mekanik yang meningkat adalah kekuatan tarik, kekuatan bending, serta kekuatan impak. Menurut Biswas, *etal.* (2001), beberapa karakteristik yang juga merupakan kelebihan dari komposit yang diperkuat serat alam yaitu :

1. Dapat dicat, dipoles, maupun dilaminasi
2. Tahan terhadap penyerapan air
3. Murah karena bahan baku seratnya banyak tersedia di alam dan proses pembuatannya relatif muda dan sederhana
4. Kuat dan kaku

5. Ramah lingkungan, karena materialnya merupakan bahan organik dan bisa didaur ulang secara alami oleh lingkungan
6. Memiliki kemampuan dan diproses dengan baik.

Disamping kelebihan-kelebihan di atas, komposit serat alam juga memiliki beberapa kelemahan, Rowell (1997) menyebutkan beberapa kelemahan komposit serat alam yaitu :

1. Penurunan karena faktor biologi, yaitu adanya organisme yang mungkin tumbuh dan memakan karbohidrat yang terkandung dalam serat, sehingga menimbulkan enzim khusus yang akan merusak struktur serat, dan melepaskan ikatan antara serat dan matrik,
2. Penurunan kualitas karena panas atau *termal*,
3. Penurunan panas karena radiasi ultraviolet, hal ini terjadi karena penyinaran ultraviolet akan menyebabkan meningkatnya karbohidrat dan berkurangnya lignin. Serat yang banyak mengandung karbohidrat akan memiliki kemampuan ikatan dengan matrik yang rendah, sehingga kekuatan matrik akan turun,
4. Kekuatannya masih lebih rendah jika dibanding serat buatan.

Serat berperan sebagai penyangga kekuatan dari struktur komposit. Beban yang awalnya diterima oleh matrik kemudian diteruskan ke serat, oleh karena itu serat harus mempunyai kekuatan tarik dan elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik. Schwartz (1984) menjelaskan bahwa serat sebagai penguat dalam struktur komposit harus memenuhi persyaratan yaitu modulus elastisitas yang tinggi, kekuatan patah yang tinggi, kekuatan yang seragam di antara serat, stabil selama penanganan proses produksi dan diameter serat yang seragam. Secara teoritis komposit serat yang menggunakan serat panjang akan memberikan nilai penguatan yang lebih efisien dan seragam dibanding serat pendek karena beban yang terjadi disalurkan secara merata sepanjang serat. Namun dalam prakteknya hal tersebut sulit dicapai karena sulit didapatkan nilai kekuatan optimum sepanjang serat serta tegangan yang terjadi tidak terbagi merata ke semua serat (Schwartz, 1984).

Serat tanaman, seperti kenaf, *flax* dan *hemp*, sangat berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai penguat komposit untuk menggantikan serat gelas karena serat tanaman memiliki beberapa kelebihan, seperti dapat diperbaharui, jumlahnya berlimpah, murah, ringan, dapat didegradasi, tidak kasar untuk pembuatan peralatan, ketika dibakar menetralkan CO₂ dapat dibakar dengan menghasilkan energi, tidak menyebabkan iritasi kulit, sifat mekanis yang baik, sifat akustik dan isolasi panas yang baik. Massa jenis serat tanaman adalah 40% dibawah massa jenis serat gelas (Peijs, 2002).

Menurut *Building Material and Technology Promotion Council*, komposisi unsur kimia serat alam yang ditunjukkan pada Tabel 4 dan sifat mekanis dan dimensi dari beberapa serat alam ditunjukkan oleh Tabel 5.

Tabel 4. Komposisi Unsur Kimia Serat Alam

Serat	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)	Kadar air(%)
Pisang	60-65	6-8	5-10	10-15
Sabut	43	<1	45	10-12
<i>Flax</i>	70-72	14	4-5	7
<i>Jute</i>	61-63	13	5-13	12,5
<i>Rami</i>	80-85	3-4	0,5	5-6
<i>Sisal</i>	60-67	10-15	8-12	10-12
<i>Sun hemp</i>	70-78	18-19	4-5	10-11
<i>Cotton</i>	90	6	–	7

Sumber :*Building Material and Technology Promotion Council, 2001*

Tabel 5.Sifat Mekanis Beberapa Serat Alam

Serat	Panjang (mm)	Diameter (mm)	Massa jenis (Kg/m ³)	Modulus Young (GPa)	Kekuatan Tarik (MPa)	Regangan (%)
Bambu	–	0,1-0,4	1500	27	575	3
Pisang	–	0,8-2,5	1350	1,4	95	5,9
Sabut	50-350	0,1-0,4	1440	0,9	200	29
Flax	500	NA	1540	100	1000	2
Jute	1800-3000	0,1-0,2	1500	32	350	1,7
Kenaf	30-750	0,04-0,09	–	22	295	–
Sisal	–	0,5-2	1450	100	1100	–

Sumber :*Building Material and Technology Promotion Council, 2001*

2.3 Kelebihan, Kekurangan dan Kegunaan Material Komposit

2.3.1 Kelebihan Komposit

Material komposit mempunyai beberapa kelebihan berbanding dengan bahan konvensional seperti logam. Kelebihan tersebut pada umumnya dapat dilihat dari beberapa sudut yang penting seperti sifat-sifat mekanikal dan fisikal dan biaya. Seperti yang diuraikan dibawah ini :

1. Sifat-sifat mekanik dan fisik

Pada umumnya pemilihan bahan matriks dan serat memainkan peranan penting dalam menentukan sifat-sifat mekanik dan sifat komposit. Gabungan matriks dan serat dapat menghasilkan komposit yang mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi dari bahan konvensional.

2. Biaya

Faktor biaya juga memainkan peranan yang sangat penting dalam membantu perkembangan industri komposit. Biaya yang berkaitan erat dengan penghasilan suatu produk yang seharusnya memperhitungkan beberapa aspek seperti biaya bahan mentah, pemrosesan, tenaga manusia, dan sebagainya.

2.3.2 Kekurangan Material Komposit

Kekurangan material komposit adalah :

- 1) Tidak tahan terhadap beban shock (kejut) dan crash (tabrak) dibandingkan dengan metal.
- 2) Kurang elastis
- 3) Lebih sulit dibentuk secara plastis.

2.3.3 Kegunaan Material Komposit

Penggunaan material komposit sangat luas, yaitu untuk :

- 1) Angkasa luar seperti komponen kapal terbang, Komponen Helikopter, Komponen satelit.
- 2) Kesehatan seperti kaki palsu, Sambungan sendi pada pinggang
- 3) Marine / Kelautan seperti kapal layar, Kayak
- 4) Industri Pertahanan seperti komponen jet tempur, Peluru, Komponen kapal selam
- 5) Industri Pembinaan seperti Jembatan, Terowongan, Rumah, Tanks.
- 6) Olah raga dan rekreasi seperti Sepeda, Stick golf, Raket tenis, Sepatu olah raga
- 7) Automobile seperti Komponen mesin, Komponen kereta

2.4 Proses Pembuatan Komposit

Secara Garis besar metoda pembuatan material komposit terdiri dari atas dua cara, yaitu :

1. Proses Cetakan Terbuka (*Open-Mold Process*)
2. Proses Cetakan Tertutup (*Closed mold Processes*)

1. Proses Cetakan Terbuka (*Open-Mold Process*)

a) *Contact Molding/ Hand Lay Up* (**Gambar 7**)

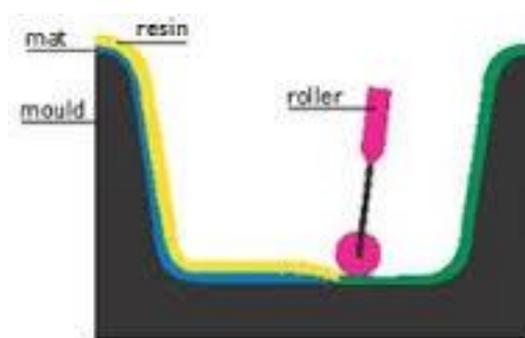
Hand lay-up adalah metoda yang paling sederhana dan merupakan proses dengan metode terbuka dari proses fabrikasi komposit. Adapun proses dari pembuatan dengan metoda ini adalah dengan cara menuangkan resin dengan tangan kedalam serat berbentuk anyaman, rajuan atau kain, kemudian memberi

takanan sekaligus meratakannya menggunakan rol atau kuas. Proses tersebut dilakukan berulang-ulang hingga ketebalan yang diinginkan tercapai. Pada proses ini resin langsung berkontak dengan udara dan biasanya proses pencetakan dilakukan pada temperatur kamar.

Kelebihan penggunaan metoda ini:

- Mudah dilakukan
- Cocok di gunakan untuk komponen yang besar
- Volumennya rendah

Pada metoda *hand lay up* ini resin yang paling banyak di gunakan adalah polyester dan epoxies. Proses ini dapat kita lihat pada gambar berikut :



Gambar 7. Metode hand lay up

Sumber : Faisal, 2011

Aplikasi dari pembuatan produk komposit menggunakan hand lay up ini biasanya di gunakan pada material atau komponen yang sangat besar, seperti pembuatan kapal, bodi kendaraan, bilah turbin angin, bak mandi, perahu.

b) Vacuum Bag

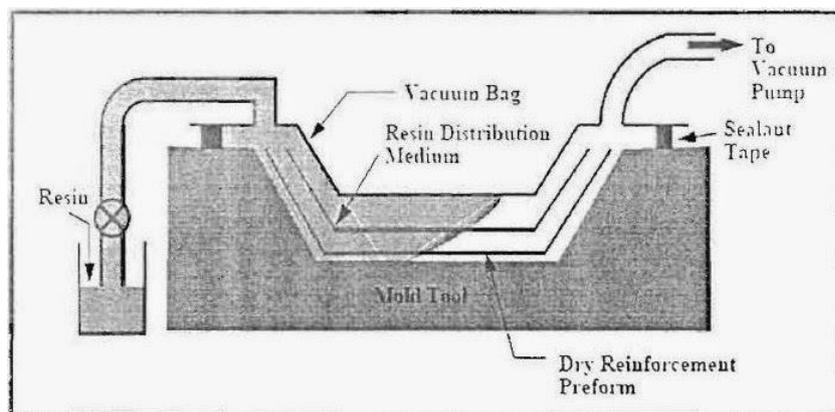
Proses vacuum bag merupakan penyempurnaan dari hand lay-up, penggunaan dari proses vakum ini adalah untuk menghilangkan udara terperangkap dan kelebihan resin. Pada proses ini digunakan pompa *vacuum* untuk menghisap udara yang ada dalam wadah tempat diletakkannya komposit yang akan dilakukan proses pencetakan. Dengan divakumkan udara dalam wadah maka udara yang ada diluar penutup plastic akan menekan kearah dalam. Hal ini

akan menyebabkan udara yang terperangkap dalam specimen komposit akan dapat diminimalkan.

Dibandingkan dengan hand lay-up, metode vakum memberikan penguatan konsentrasi yang lebih tinggi, adhesi yang lebih baik antara lapisan, dan kontrol yang lebih resin / rasio kaca.

c) *Pressure Bag* (Gambar 8)

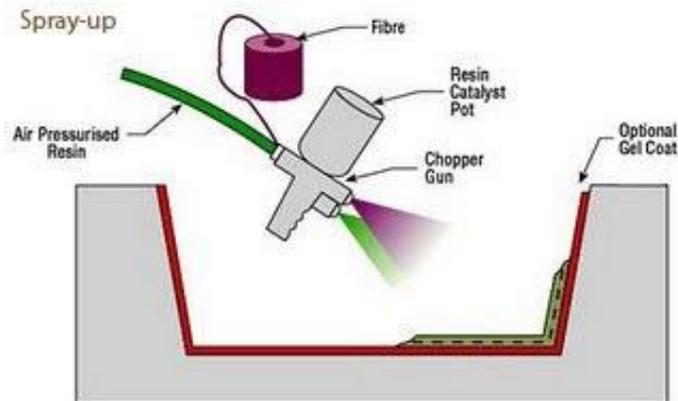
Pressure bag memiliki kesamaan dengan metode *vacuum bag*, namun cara ini tidak memakai pompa vakum tetapi menggunakan udara atau uap bertekanan yang dimasukkan melalui suatu wadah elastis. Wadah elastis ini yang akan berkontak pada komposit yang akan dilakukan proses. Biasanya tekanan besar tekanan yang di berikan pada proses ini adalah sebesar 30 sampai 50 psi. Aplikasi dari metoda *vacuum bag* ini adalah pembuatan tangki, wadah, turbin angin, vessel.



Gambar 8. Proses Pencetakan dengan *Vacuum Bag*
Sumber : Faisal , 2011

d) *Spray-Up* (Gambar 9)

Spray-up merupakan metode cetakan terbuka yang dapat menghasilkan bagian-bagian yang lebih kompleks ekonomis dari hand lay-up. Proses *spray-up* dilakukan dengan cara penyemprotan serat (*fibres*) yang telah melewati tempat pemotongan (*chopper*). Sementara resin yang telah dicampur dengan katalis juga disemprotkan secara bersamaan. Wadah tempat pencetakan *spray-up* telah disiapkan sebelumnya. Setelah itu proses selanjutnya adalah dengan membiarkannya mengeras pada kondisi atmosfer standar.



Gambar 9. Metode Spray lay up

Sumber : Faisal, 2011

Spray-up telah sangat sedikit aplikasi di ruang angkasa. Teknologi ini menghasilkan struktur kekuatan yang rendah yang biasanya tidak termasuk pada produk akhir. Spray-up sedang digunakan untuk bergabung dengan struktur back-up untuk lembaran wajah komposit pada alat komposit. Spray-up ini juga digunakan terbatas untuk mendapatkan fiberglass splash dari alat transfer. Aplikasi penggunaan dari proses ini adalah panel-panel, bodi karavan, bak mandi, sampan, sampan.

e) *Filament Winding*

Fiber tipe *roving* atau *single strand* dilewatkan melalui wadah yang berisi resin, kemudian fiber tersebut akan diputar sekeliling mandrel yang sedang bergerak dua arah, arah radial dan arah tangensial. Proses ini dilakukan berulang, sehingga cara ini didapatkan lapisan serat dan fiber sesuai dengan yang diinginkan. Resin termoseting yang biasa di gunakan pada proses ini adalah poliester, vinil ester, epoxies, dan fenolat.

Proses ini terutama digunakan untuk komponen belah berlubang, umumnya bulat atau oval, seperti pipa dan tangki. Serat TOWS dilewatkan melalui mandi resin sebelum ke Mandrel dalam berbagai orientasi, dikendalikan oleh mekanisme serat, dan tingkat rotasi mandrel tersebut. Adapun aplikasi dari proses filament winding ini digunakan untuk menghasilkan bejana tekan, motor roket, tank, tongkat golf dan pipa.

2. Proses Cetakan Tertutup (*Closed mold Processes*)

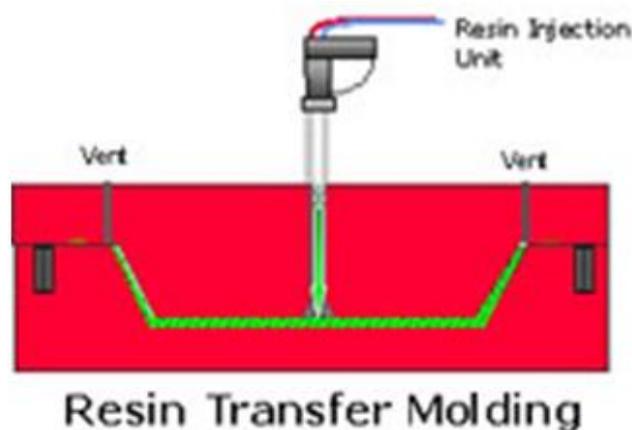
a) Proses Cetakan Tekan (*Compression Molding*)

Proses cetakan ini menggunakan *hydraulic* sebagai penekannya. *Fiber* yang telah dicampur dengan resin dimasukkan ke dalam rongga cetakan, kemudian dilakukan penekanan dan pemanasan. Resin termoset khas yang digunakan dalam proses cetak tekan ini adalah poliester, vinil ester, epoxies, dan fenolat.

Aplikasi dari proses *compression molding* ini adalah alat rumah, kontainer besar, alat listrik, untuk panel bodi kendaraan rekreasi seperti ponsel salju, kerangka sepeda dan jet ski.

b). *Injection Molding* (Gambar 10)

Metoda *injection molding* juga dikenal sebagai reaksi pencetakan cairan atau pelapisan tekanan tinggi. *Fiber* dan resin dimasukkan kedalam rongga cetakan bagian atas, kondisi temperature dijaga supaya tetap dapat mencairkan resin. Resin cair beserta *fiber* akan mengalir ke bagian bawah, kemudian injeksi dilakukan oleh mandrel ke arah nozel menuju cetakan.



Gambar 10. Metode Injection Molding

Sumber : Faisal, 2011

Pada proses ini resin polimer reaktif yang di gunakan seperti polioliol, isosianat, poliuretan, dan poliamida menyediakan siklus pencetakan cepat cocok untuk aplikasi otomotif dan furnitur. Aplikasi secara umum meliputi bumper otomotif, komponen fender dan panel, alat rumah, dan komponen mebel.

c). Continuous Pultrusion

Fiber jenis roving dilewatkan melalui wadah berisi resin, kemudian secara kontinu dilewatkan ke cetakan pra cetak dan diawetkan (*cure*), kemudian dilakukan pengerolan sesuai dengan dimensi yang diinginkan. Atau juga bisa disebut sebagai penarikan serat dari suatu jaring atau creel melalui bak resin, kemudian dilewatkan pada cetakan yang telah dipanaskan. Fungsi dari cetakan tersebut ialah mengontrol kandungan resin, melengkapi pengisian serat, dan mengeraskan bahan menjadi bentuk akhir setelah melewati cetakan.

Aplikasi penggunaan proses ini digunakan untuk pembuatan batang digunakan pada struktur atap, jembatan. Adapun contohnya adalah Round Rods, Rectangles, Squares, 'I' sections, 'T' sections, Angles, Channels, Dog Bone Profiles, Dove Tail Sticks and Spacers, Corner Profiles, Hollow Sections. (Faisal, 2011)

2.5 Zat Kimia Dalam Daun Tebu

2.5.1 Selulosa

Selulosa Jelas bahwa pemanfaatan selulosa secara tradisional yang terpenting, yang merupakan setengah dari zat penyusun kayu, adalah sebagai bahan baku untuk produksi kertas. Dalam berbagai bentuk pulp, selulosa mewakili bahan baku untuk produksi berbagai tipe kertas dan karton, dan juga menghasilkan produk-produk selulosa yang dimodifikasi. (Hohnholz.J.H, 1988) Selulosa merupakan komponen kayu yang terbesar, yang dalam kayu lunak dan kayu keras jumlahnya mencapai hampir setengahnya. Selulosa merupakan polimer linear dengan berat molekul tinggi yang tersusun seluruhnya atas β -Dglukosa. Karena sifat-sifat kimia dan fisiknya maupun struktur supramolekulnya maka ia dapat memnuhi fungsinya sebagai komponen struktur utama dinding sel tumbuhan. (Fengel.D, 1995) Bahan dasar selulosa ialah glukosa, dengan rumus $C_6H_{12}O_6$. Molekul-molekul glukosa disambung menjadi molekul-molekul besar, panjang dan berbetuk rantai dalam susunan menjadi selulosa. Selulosa merupakan bahan dasar yang penting bagi industri-industr yang memakai selulosa sebagai

bahan baku, misalnya : pabrik kertas, pabrik sutera tiruan dan lain sebagainya. (Dumanauw.J.F, 1993)

2.5.2 Hemiselulosa

Poliosa (Hemiselulosa) Persentase dalam kayu lembek lunak (softwood) rata-rata lebih rendah (15-25%). Di samping itu, strukturnya dibedakan dalam dua tipe kayu. Dalam kayu keras dan tanaman tahunan yang dominan adalah jenis pentose (terutama xilan), sedangkan dalam hemiselulosa kayu lunak yang dominan adalah jenis hexosa mudah diisolasi dari kayu dan lebih mudah dihidrolisis dibandingkan tanaman yang kadang-kadang terikat rapat oleh selulosa. Dalam pulp kertas atau dalam kertas, hemiselulosa berperan sebagai perekat alam dan memperkuat ikatan antara serat ke serat. (Hohnholz.J.H, 1988) Beberapa polisakarida kayu secara ekstensif dapat larut di dalam air. Jenis pohon tropis tertentu membentuk suatu getah secara spontan, yang dikeluarkan berupa cairan kental pada bagian yang diberi luka/goresan dan setelah pengeringan getah tersebut akan mengeras, getah-getah yang mengeras tersebut yang berbentuk kecil kaya akan polisakarida. Sebagai contoh dari getah ini adalah getah arabic, yang terdiri dari polisakarida yang dapat larut dalam air. (Sjostrom.E, 1993) Jumlah hemiselulosa dari berat kering kayu biasanya antara 20 dan 30%. Komposisi dan struktur hemiselulosa dalam kayu lunak secara khas berdeda dari kayu keras. Perbedaan-perbedaan yang besar juga terdapat dalam kandungan dan komposisi hemiselulosa antara batang, cabang, akar, dan kulit kayu. Seperti halnya selulosa kebanyakan hemiselulosa berfungsi sebagai bahan pendukung dalam dinding sel. (Sjostrom.E, 1995).

2.5.3 Lignin

Lignin adalah komponen makromolekuler dinding sel ketiga. Lignin tersusun dari satuan-satuan fenilpropan yang satu sama lain dikelilingi berbagai jenis zat pengikat. Persentase rata-ratanya dalam kayu lunak adalah antara 25-35% dan dalam kayu keras antara 20-30%. Perbedaan struktural yang terpenting dari lignin kayu lunak dan lignin kayu keras, adalah bahwa lignin kayu keras mempunyai kandungan metoxil (-OCH₃) yang lebih tinggi. (Hohnholz.J.H, 1988)

Lignin adalah suatu polimer yang kompleks dengan berat molekul tinggi, tersusun atas unit-unit fenilpropan. Meskipun tersusun atas karbon, hydrogen dan oksigen, lignin bukanlah suatu karbohidrat dan bahkan tidak ada hubungannya dengan golongan senyawa tersebut. Sebaliknya, lignin pada dasarnya adalah suatu fenol. Lignin sangat stabil dan sukar dipisahkan dan mempunyai bentuk yang bermacam-macam karenanya susunan lignin yang pasti didalam kayu tetap tidak menentu. Lignin terdapat di antara sel-sel dan di dalam dinding sel. Di antara sel-sel, lignin berfungsi sebagai perekat untuk mengikat sel-sel bersama-sama. Dalam dinding sel, lignin sangat erat hubungannya dengan selulosa dan berfungsi untuk memberikan ketegaran pada sel. Lignin juga berpengaruh dalam mempertinggi sifat racun kayu yang membuat kayu tahan terhadap serangan cendawan dan serangga.

1. Isolasi Lignin

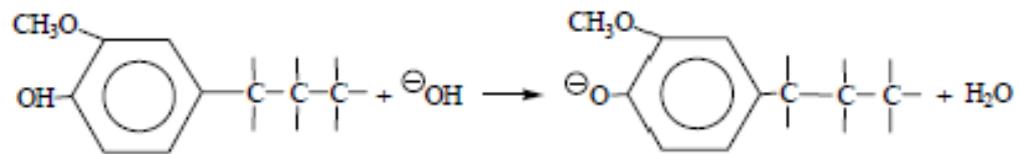
Isolasi lignin merupakan tahap pemisahan lignin. Berbagai teknik isolasilignin telah dipelajari, tetapi pada prinsipnya sama yaitu diawali dengan proses pengendapan padatan. Menurut Damat (1989), pengendapan lignin dalam larutan sisa pemasak terjadi sebagai akibat terjadinya reaksi kondensasi pada unit-unit penyusun lignin (para-koumaril alkohol, koniferil alkohol dan sinapil alkohol) yang semula larut akan terpolimerisasi dan membentuk molekul yang lebih besar. Menurut Sjostrom (1995), isolasi lignin dibedakan pada tiga metode yaitu isolasi dengan pengasaman yang menggunakan pereaksi anorganik, isolasi dengan metode *Cellulolytic Enzyme Lignins* (CEL), dan *Milled Wood Lignin* (MWL). Setiawan (2001) menyatakan proses pemisahan lignin dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti di bawah ini :

1. Pengasaman dan presipitasi dengan gas buang atau CO₂
2. Pengasaman dan presipitasi dengan limbah asam
3. Ultrafiltrasi
4. Penukaran Ion
5. Elektrodialisis
6. Koagulasi dengan bahan kimia

7. Flokulasi dengan pemanasan

Lignin yang terdapat di dalam limbah cair industri pembuatan pulp di Indonesia pada umumnya merupakan lignin basa hasil pengolahan secara kimia menggunakan proses soda, sulfat atau sulfit. Sesuai dengan struktur kimianya yang merupakan garam dari logam-logam alkali khususnya natrium, maka lignin basa memiliki sifat mudah larut dalam air hingga dapat dipisahkan dari selulosa. Jika direaksikan dengan asam sulfat maka garam lignin tersebut akan berubah menjadi lignin asam yang tidak larut dalam air. Dengan demikian maka lignin asam itu akan diperoleh sebagai endapan yang mudah dipisahkan dari sistem larutan air dengan cara penyaringan. Prinsip seperti inilah yang telah diterapkan oleh para peneliti terdahulu dalam mengisolasi lignin dari limbah cair industri pembuatan pulp (Jumina *et al.*, 2000).

Beberapa cara untuk memisahkan lignin dari bahan baku digunakan pereaksian organik yaitu NaOH pekat dengan tujuan untuk mendestruksi karbohidrat (Sugesty, 1991). Pengendapan lignin dalam larutan sisa pemasak terjadi sebagai akibat terjadinya reaksi kondensasi pada unit-unit penyusun lignin yaitu para-koumaril alkohol, koniferil alkohol dan sinapil alkohol yang semula larut akan mengalami repolimerisasi dan membentuk molekul yang lebih besar. Menurut Lin (1992), secara umum pengasaman lindi hitam dapat menggunakan basa mineral seperti NaOH dengan proses pengadukan yang baik. Konsentrasi asam yang digunakan sebaiknya berada diantara 5 dan 20% untuk mencegah terjadinya proses pengasaman sebagian sehingga mencapai pengasaman yang seragam. Menurut Sjostrom (1995), reaksi kondensasi akan meningkat dengan semakin meningkatnya keasaman. Barsinai dan Wayman (1976) juga menyatakan bahwa penambahan asam kuat pada larutan sisa pemasak pulp dapat menyebabkan terjadinya degradasi polisakarida, dekomposisi kompleks ligninkarbohidrat dan meningkatnya berat molekul lignin karena adanya reaksi polimerisasi. Berikut reaksi antara lignin dengan NaOH. (Gambar 11)



Gambar 11. Reaksi antara lignin dengan NaOH

Sumber : Kim et al, 1987

Proses isolasi dengan metode pengasaman banyak digunakan untuk mendapatkan lignin dengan kemurnian tinggi (Kim *et al.*, 1987). Urutan prosesnya adalah sebagai berikut :

1. Pengendapan lignin dengan asam sulfat
2. Pelarutan endapan lignin dengan menggunakan NaOH
3. Pengendapan lagi dengan menggunakan asam sulfat
4. Pencucian dengan air
5. Pengeringan padatan lignin

2.6 Pengujian Komposit

2.6.1 Karakteristik Komposit

Untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan, tentu kita harus mengadakan pengujian terhadap bahan tersebut. Ada beberapa jenis uji yang akan dilakukan, yaitu uji fisis yang meliputi uji porositas dan daya serap air, uji mekanis yang meliputi uji lentur, uji dampak, dan uji tarik, dan uji termal yang meliputi uji titik nyala dan uji titik bakar.

1. Kerapatan

Kerapatan adalah nilai perbandingan antara massa dengan volume papan komposit. Maloney dalam Adi Jatmiko (2006) mengemukakan bahwa kerapatan merupakan factor penting dalam menentukan jenis bahan yang akan digunakan dalam pembuatan produk papan komposit, dimana sifat ini sangat berpengaruh terhadap sifat fisis dan mekanis papan lainnya. Makin tinggi kerapatan papan komposit yang dibuat maka semakin besar tekanan yang digunakan pada saat pengempaan (Widarmana dalam Adi Jatmiko, 2006).

Kerapatan merupakan ukuran kepadatan dari suatu material. Ada dua macam densitas yaitu : *bulk density* dan *true density*. *Bulk density* adalah densitas dari suatu sampel yang berdasarkan volume *bulk* atau volume sampel yang termasuk dengan pori-pori atau rongga yang ada pada sampel tersebut.

Berdasarkan kerapatannya, Maloney dalam Adi Jatmiko (2006) membagi papan partikel dalam tiga golongan yaitu:

- a. Papan partikel berkerapatan rendah (*low density particle board*) yaitu papan yang mempunyai kerapatan kurang dari $0,4 \text{ g/cm}^3$.
- b. Papan partikel berkerapatan sedang (*medium density particle board*) yaitu papan yang mempunyai kerapatan $0,4 - 0,8 \text{ g/cm}^3$.
- c. Papan partikel berkerapatan tinggi (*high density particle board*) yaitu papan yang mempunyai kerapatan lebih dari $0,8 \text{ g/cm}^3$.

2. Daya Serap Air

Pada saat terbentuk sampel, kemungkinan terjadinya udara yang terjebak dalam lapisan agregat atau terjadi karena dekomposisi mineral yang pembentuk akibat perubahan cuaca, maka terbentuklah lubang atau rongga kecil di dalam butiran agregat (pori). Pori dalam sampel bervariasi dan menyebar diseluruh butiran. Pori-pori mungkin menjadi reservoir air bebas didalam agregat.

Presentase berat air yang mampu diserap agregat dan serat didalam air disebut daya serapan air, sedangkan banyaknya air yang terkandung dalam agregat dan serat disebut kadar air.

Pengujian daya serap air ini telah dilakukan terhadap semua jenis variasi sampel yang ada, berikut data hasil penimbangan berat sampel kering dan berat sampel basah. Pengujian daya serap air (*Water absorbtion*) dilakukan pada masing-masing sampel pengeringan. Lama perendaman dalam air adalah selama 24 jam dalam suhu kamar. Massa awal sebelum direndam diukur dan massa sesudah perendaman.

Pengujian daya serap air ini mengacu pada ASTM C-20-00-2005 tentang prosedur pengujian, dimana bertujuan untuk menentukan besarnya persentase air yang terserap oleh sampel yang direndam dengan perendaman selama 24 jam.

3. Kadar Air

Kadar air papan partikel merupakan jumlah air yang masih tertinggal didalam rongga sel, rongga intraselular, dan antar partikel selama proses pengepresan perekat dengan kempa panas. Kadar air ini ditentukan oleh kadar air sebelum kempa panas, jumlah air yang terkandung pada perekat serta kelembaban udara sekeliling karena adanya lignoselulosa yang bersifat higroskopis. Kadar air komposit akan semakin rendah dengan meningkatnya kadar perekat yang digunakan, karena kontak antar partikel semakin rapat sehingga air akan sulit untuk masuk di antara partikel kayu (Widarmana dalam Adi Jatmiko, 2006).

4. Pengembangan Tebal

Menurut Mulyadi dalam Adi Jatmiko (2006) menyatakan bahwa factor terpenting yang mempengaruhi pengembangan tebal komposit atau papan partikel adalah kerapatan kayu pembentuknya. Papan partikel yang dibuat dari kayu dengan kerapatan rendah akan mengalami pengempaan yang lebih besar pada saat pembentukan sehingga dalam air akan terjadi pembebasan tekanan yang lebih besar yang mengakibatkan pengembangan tebal menjadi lebih tinggi.

5. Modulus Patah dan Modulud Elastisitas

Sifat yang dimaksud adalah tingkat keteguhan papan komposit dan papan partikel dalam menerima beban tegak lurus terhadap permukaan papan. Semakin tinggi kerapatan papan penyusunnya maka akan semakin tinggi sifat keteguhan dari papan komposit dan papan partikel (Haygreen dan Bowyer dalam Adi Jatmiko, 2006).

2.6.2 Standar Pengujian

Standar yang digunakan dalam pengujian sifat-sifat komposit, yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2105-1996 dan *Japanese Industrial Standards* (JIS) A 5908 (2003). Karakteristik papan partikel komposit berdasarkan Standar pengujian sifat-sifat papan komposit berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2105-2006 dapat dilihat pada Tabel 6 dan Standar JIS A 5908-2003 dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 6. Sifat Fisis dan Mekanis dari Komposit Berdasarkan SNI 03-2105-2006

Sifat Fisik Mekanis	Persyaratan Nilai
Kerapatan (gr/cm^3)	0,5 - 0,9
Kadar Air (%)	≤ 14
Daya Serap Air (%)	-
Pengembangan Tebal (%)	Maks 12
MOR (kg/cm^2)	Maks 82
MOE (kg/cm^2)	Maks 20.400
Kuat Rekat Internal (kg/cm^2)	Maks 1,5
Kuat Pegang sekrup (kg)	Min 30
<i>Linear Expansion</i> (%)	-
<i>Hardness</i> (N)	-
Emisi Formaldehid (ppm)	-

Sumber : Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2006

Tabel 7. Standar Pengujian Sifat-sifat Komposit Berdasarkan Standar JIS A 5908-2003.

Sifat Papan Partikel	Persyaratan Nilai
Kerapatan (gr/cm^3)	0,40 – 0,90
Kadar Air (%)	5 – 13
Pengembangan Tebal (%)	Maks 12
MOR (N/mm^3)	
Tipe 8	Min 8
Tipe 13	Min 13
Tipe 18	Min 18
MOE (Mpa)	
Tipe 8	Min 2,0
Tipe 13	Min 2,5
Tipe 18	Min 3,0
Daya Pegang Sekrup (N)	
Tipe 8	Min 300
Tipe 13	Min 400
Tipe 18	Min 500
Keteguhan Retak Internal (N/mm^3)	
Tipe 8	Min 1,5 ($> 15 \text{ kg}/\text{cm}^2$)
Tipe 13	Min 4,077 ($> 41 \text{ kg}/\text{cm}^2$)
Tipe 18	Min 3,0 ($> 30 \text{ kg}/\text{cm}^2$)

Sumber : Adi Jatmiko, 2006