



BUKU AJAR

Mekanika Komposit dan Bio-Komposit

PENULIS

Edi Widodo
Iswanto



Buku Ajar
Mekanika Komposit dan Bio-Komposit

Penulis:

Edi Widodo

Iswanto



Diterbitkan oleh
UMSIDA PRESS
Jl. Mojopahit 666 B Sidoarjo
ISBN: 978-623-464-042-7
Copyright©2022

Buku Ajar

Mekanika Komposit dan Bio-Komposit

Penulis :

Edi Widodo

Iswanto

ISBN :

978-623-464-042-7

Editor :

M.Tanzil Multazam,S.H.,.M.Kn

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, M.Pd

Copy Editor :

Wiwit Wahyu Wijayanti

Design Sampul dan Tata Letak :

Wiwit Wahyu Wijayanti

Penerbit :

UMSIDA Press

Redaksi :

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Jl. Mojopahit No 666B

Sidoarjo, Jawa Timur

Cetakan pertama, September 2022

© Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dengan suatu apapun tanpa ijin tertulis dari penerbit.

Prakata

Alhamdulillah, segala puji kehadiran Allah SWT, dengan ini kami menulis usulan buku ajar Mekanika Komposit dan bio komposit. Buku ini memberikan pembahasan terkait mekanika bahan/material, lebih spesifik material komposit, meliputi pengantar/pendahuluan pengenalan material komposit, materi penyusun komposit, penguat dan matriksnya, proses penyusunan dan pembuatan komposit, sifat-sifat mekanik komposit, pengujian material dan aplikasi komposit pada dunia teknik. Materi ini ditulis untuk mendampingi mata kuliah mekanika kekuatan bahan yang akan diberikan kepada mahasiswa semester 2 dan semester 3. Mata kuliah ini ada keterkaitan dengan mata kuliah sebelumnya yaitu mekanika teknik. Secara garis besar buku ajar ini membahas mekanika bahan khususnya bahan dari material komposit mulai dari pengenalan materi penyusunnya hingga proses dan aplikasinya. Buku yang membahas komposit telah banyak dibuat, namun kekhususan dari buku ini memberikan penambahan pembahasan bio komposit (komposit dari bahan makhluk hidup/komposit natural).

Buku ini diperuntukkan sebagai pendamping mata kuliah Mekanika kekuatan bahan, pada mahasiswa jurusan teknik mesin pada awal-awal semester (semester 2-3). Dengan buku pendamping ini, diharapkan mahasiswa memiliki pegangan untuk menambah referensi dan pengayaan materi, khususnya mata kuliah mekanika bahan. Penggunaan buku ini dilengkapi dengan penjelasan dan contoh-contoh dalam setiap pembahasannya. Sehingga mahasiswa yang menggunakan buku ini hendaknya senantiasa membaca dan mempelajari buku ini dengan baik, serta memperkaya dengan referensi-referensi pendukung, sebagaimana buku ini telah dilengkapi dengan daftar-daftar referensi yang dijadikan sebagai rujukan. Penyusunan buku ini disesuaikan dengan penomoran bab pembahasan, pada tiap bab berisi penjabaran materi dengan disertai soal latihan/evaluasi untuk lebih memperdalam pemahaman dan mendorong pembaca buku/mahasiswa dapat memperluas referensi. Buku referensi yang dipakai diantaranya : Handbook of composites from renewable materials, Introduction to Composite Materials, Engineering mechanics. Dynamics, Materials science and engineering: an introduction dan lain-lain referensi yang relevan.

Sebagai akhir dari usulan ini, kami berharap bahwa buku ajar ini akan memberikan manfaat terutama bagi para mahasiswa dalam mendalami ilmu mekanika bahan, juga para dosen dalam mengembangkan materi dan menyusun metode pengajaran. Besar harapan kami dikabulkannya usulan draft buku ajar ini, yang nantinya dapat memberikan sumbangsih pengembangan materi perkuliahan terutama untuk mahasiswa dan dosen teknik mesin. Terimakasih kami ucapkan kepada institusi Universitas Muhammadiyah Sidoarjo yang telah memberikan kesempatan pengembangan mata kuliah dengan program hibah penyusunan buku ajar. ini

Daftar Isi

Prakata	i
Daftar Isi	ii
Bab 1	1
Reinforcement (Penguat komposit)	1
1.1. Introduksi	1
1.2. Matrik Polimer	5
1.3. Reinforcement	6
1.4. Hardener	7
1.5. Fleksibilitas	7
1.6. Rekayasa Teknologi composite	8
1.7. Struktur permukaan dan penguat	8
1.8. Laminasi Serat-Logam dan Struktur Antarmuka	9
1.9. Karakteristik Mekanik dan Perilaku Penuaan dari Struktur Antarmuka FML (Fiber Metal Laminates)	10
1.10. Interface Matriks Resin yang Diperkuat Serat	12
1.11. Optimalisasi komposit	13
1.12. Pengembangan komposit	14
Bab 2	15
Serat Penguat Buatan	15
2.1. Serat Kaca/fiber glass	15
2.2. Serat Karbon	18
2.3. Serat organik	19
2.4. Serat keramik	20
2.4.1. Serat Alumina	22
2.4.2. Serat karbid silikon	22
2.4.3. Serat boron nitrida (BN)	22
Bab 3	25
Serat Alam	25
3.1. Serat kapas	Error! Bookmark not defined.

3.2.	Serat nanas	29
3.3.	Serat abaca	32
3.4.	Serat pisang	34
3.5.	Serat rosella	34
3.6.	Serat rami	36
3.7.	Serat sissal	41
3.8.	Serat bambu	43
Bab 4		44
Material Matriks		44
4.1.	Polimer	45
4.2.	Resin epoxy	48
4.3.	Resin polyester	48
4.4.	Metal/logam	49
4.5.	Keramik	50
Bab 5		51
Material Komposit		51
5.1.	Properties Material Komposit	51
5.2.	Klasifikasi Komposit	54
5.3.	Bahan pembentuk Komposit.	56
5.4.	Composite Casting Resin	58
5.5.	Material Komposit Resin Casting	58
5.6.	Pembuatan komposit	59
Bab 5		57
Karakteristik Komposit		Error! Bookmark not defined.
6.1.	Sifat Komposit	Error! Bookmark not defined.
6.2.	Faktor Yang Mempengaruhi Tegangan - Regangan.	61
6.3.	Sifat Mekanik Komposit	62
6.3.1.	Fraksi volume	62
6.3.2.	Fraksi Berat /Fraksi Berat	62
6.3.3.	Densitas	63
6.3.4.	Void/rongga	66
Bab 7		69

Polimer Matrik komposit	69
7.1. Proses pembuatan PMC	69
7.2. Proses komposit polimer termoset	69
7.2.1. Hand lay up	69
7.2.2. Gulungan filamen	69
7.2.3. Pultrusi	70
7.2.4. Cetakan Transfer Resin	70
7.3. Komposit matrik polimer termoplastik	71
7.3.1. Film Stacking	71
7.3.2. Diaphragm Forming	72
7.3.3. Thermoplastic Tape Laying	72
7.3.4. Commingled Fibers	72
7.3.5. Thermoforming and Injection Molding	73
7.3.6. Long Fiber Thermoplastic Compression Molding	73
7.3.7. Carbon Fiber Reinforced Polymer Composites	74
7.4. Komposit Serat -Polyester	74
7.5. Komposit serat dan epoxy	74
7.6. Komposit Sisal-Polyethylene	74
7.7. Serat karbon komposit polimer	75

Bab 1

Reinforcement (Penguat komposit)

1.1. Introduksi

Material komposit memiliki peranan yang penting pada perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Sebagai material alternatif, material komposit memberikan banyak keunggulan dibanding dengan material logam diantaranya : komposit memiliki ketahanan korosi, desain yang fleksibel, memiliki ketangguhan material yang baik dan bobot yang ringan. Komposit memiliki tingkat penggunaan yang luas dalam kehidupan manusia, seperti untuk alat-alat medis, kendaraan, alat olah raga dan lain-lain. Komposit di alam sangat melimpah. Misalnya sebatang kayu, yang memiliki kandungan selulosa terbungkus menjadi satu dengan lignin. Komposit merupakan material yang tersusun dari dua atau lebih material yang memiliki karakteristik yang berbeda, bergabung menjadi satu membentuk material baru dengan tetap mempertahankan bentuk asli material, atau dengan kata lain tidak merubah struktur kandungan material awal penyusun komposit. Dua material yang berbeda tersebut membentuk material baru dengan sifat baru. Komposit telah lama dibuat dan digunakan dalam peradaban manusia sejak zaman kuno. Batu bata telah lama dipakai sebagai bahan bangunan. Batu bata tersusun dari tanah liat dan sekam yang dibakar dicampur dengan pasir. Bahan-bahan tembikar yang terbuat dari keramik, dengan bahan baku tanah liat juga telah lama dipakai. Ini adalah contoh komposit yang telah lama dikembangkan dalam peradaban manusia. Dalam perang dunia kedua, material komposit dikembangkan dengan untuk membantu pembuatan alat-alat perang dan penunjangnya. Komposit memiliki sifat yang fleksibel dan ketahanan yang kuat, serta fleksibilitas yang tinggi terhadap kebutuhan material.

Perkembangan dan kebutuhan komposit menghasilkan komposit polimer yang diperkuat dengan serat. Sejak ditemukan fiber glass, pada sekitar tahun 1945, ribuan ton fiber glass digunakan dalam berbagai produk industri, khususnya pada peralatan militer. Setelah perang dunia berhenti, penggunaan komposit terus berkembang tidak hanya pada pengembangan alat-alat militer, namun juga pada industri masal lainnya meliputi penerbangan, transportasi, rumah tangga, konstruksi dan lain-lain. Selanjutnya komposit ini dikenal luas karena sangat cepat dirasakan manfaatnya dalam berbagai bidang kehidupan. Fibre reinforced polymer (FRP) /polimer yang diperkuat serat menjadi produk yang dikenal luas. Bodi mobil dari bahan ini mulai tahun 1947, demikian juga kapal-kapal mulai dibuat dengan bahan ini sejak 1946. Dengan perkembangan ini, mulai digunakan metode-metode baru dalam pencetakan komposit. Bulk Molding compound (BMC) dan sheet molding compound (SMC) merupakan metode-metode baru pencetakan komposit yang mulai diperkenalkan.

Kedua teknik tersebut muncul sebagai metode pencetakan yang dominan untuk industri otomotif dan industri lainnya. Diawal 1950-an, metode manufaktur seperti penggulangan filamen skala besar, pultrusion, dan pencetakan dengan menggunakan vakum dikembangkan untuk meningkatkan kualitas komposit yang dicetak. Mulai tahun 1960-an, militer banyak menggunakan material komposit untuk perkakas alat-alat perang. Pada tahun 1961, ketika serat karbon mulai dikembangkan sebagai penguat komposit, perkembangan serat karbon untuk reinforcement semakin luas. Demikian juga, semakin banyak usaha untuk meningkatkan mutu resin sebagai matriknya. Perkembangan material penyusun komposit baik serat penguat maupun matrik terus berkembang seiring meningkatkan permintaan penggunaan material ini. Penggunaan komposit sebagai bodi kapal mulai banyak diterapkan, mengingat komposit fiber menghasilkan material yang ringan namun kuat, serta biaya produksi yang rendah. Pada tahun 1970-an dan awal 1980-an, komposit pertama kali digunakan dalam aplikasi infrastruktur di Asia dan Eropa. Semua komposit pertama jembatan penyeberangan dipasang di Aberfeldy, Skotlandia, pada 1990-an. Pada periode ini, Dek jembatan beton bertulang FRP pertama dibangun di McKinleyville, Virginia Barat, dan dek jembatan kendaraan komposit pertama dibangun di Russell, Kansas.

Perkembangan Nanomaterials mulai mengkaji potensi komposit dengan penelitian dan pengembangan serat dan resin. Nanoteknologi mulai digunakan dalam produk komersial di awal 2000-

an. Penggunaan karbon nanotube sebagai penguat komposit polimer untuk meningkatkan mekanik, termal, dan listrik mulai dikembangkan.

Saat ini, industri komposit terus berkembang dengan pesat, dan diarahkan pada pengembangan material dari sumber energi terbarukan. Material dari bahan nabati maupun hewani memiliki potensi besar karena sifatnya yang *degradable*, aman bagi lingkungan dan bisa dibangkitkan lagi atau diperbarui, baik dengan usaha peternakan maupun dengan pertanian. Teknologi pertanian dan peternakan saat ini pun sudah berkembang sangat cepat sehingga untuk menunjang pengembangan sumber-sumber terbarukan dari bidang pertanian maupun peternakan dan perikanan sangat memungkinkan. Sebagai contoh pengembangan Baling-baling turbin angin dari material komposit bisa memanfaatkan reinforcement dari serat-serat alam yang tersedia di alam dan dapat dihasilkan dari usaha pertanian. Serat rami, jute, kapas, serat nanas, rosella dan serat-serat lain yang telah terbukti memiliki kualitas tinggi dan mudah untuk dikembangkan biakkan lewat usaha pertanian baik tradisional maupun pertanian modern. Penelitian pengembangan material komposit terus dilakukan untuk melahirkan material komposit canggih. Para insinyur dapat merancang untuk menyesuaikan komposit berdasarkan kinerjanya, persyaratan yang dibutuhkan, misal membuat lembaran komposit yang sangat kuat dalam satu arah dengan menyelaraskan arah orientasi serat, tetapi memiliki karakteristik lebih lemah pada arah yang lain di mana kekuatannya memang tidak begitu penting. Para insinyur juga dapat memilih sifat-sifat khusus seperti ketahanan terhadap panas, ketahanan kimia, dan pelapukan dengan memilih bahan matriks yang sesuai.

Pada saat ini, pengembangan teknologi dan material yang berbasis ramah lingkungan mulai dikembangkan mengingat sumber energi dan material tak terbarukan semakin berkurang dan terkena isu perusakan lingkungan. Komposit berbasis sumber daya alam hayati dikembangkan untuk menunjang pelestarian lingkungan dan mendapat material yang aman. Bab ini berusaha memberikan gambaran umum ilmu pengetahuan dan teknologi terhadap material komposit, proses produksi, dan pemanfaatan.

Komposit adalah bahan struktural yang terdiri dari dua atau lebih unsur yang digabungkan pada tingkat makroskopik dan tidak dapat larut satu sama lain. Satu bagian disebut penguat dan bagian lain menjadi perekat yang disebut matriks. Bahan fase penguat dapat berupa serat, partikel, atau serpihan. Bahan fase matriks umumnya kontinu, berbentuk jel. Contoh sistem komposit termasuk beton yang diperkuat dengan baja dan epoksi yang diperkuat dengan serat grafit.

Contoh dari komposit adalah kayu, di mana matriks lignin diperkuat dengan serat selulosa dan tulang di mana pelat garam tulang yang terbuat dari ion kalsium dan fosfat memperkuat kolagen lunak.

Advance composite atau Komposit dengan teknologi tinggi adalah bahan komposit yang secara tradisional digunakan dalam industri kedirgantaraan. Komposit ini memiliki penguatan kinerja tinggi dari diameter tipis dalam bahan matriks seperti epoksi dan aluminium. Contohnya adalah grafit/epoksi, Kevlar®/epoksi, dan komposit boron/aluminium. Bahan-bahan ini sekarang telah mulai diaplikasikan secara luas dalam industri komersial.

Logam tunggal dan paduannya tidak selalu dapat memenuhi tuntutan teknologi dan industri. Hanya dengan menggabungkan beberapa bahan, akan didapat material dengan karakter khusus sesuai kebutuhan. Misalnya, rangka struktur yang digunakan dalam satelit harus stabil secara dimensi di ruang angkasa selama perubahan suhu ekstrim antara -160°C dan $93,3^{\circ}\text{C}$.

Dalam banyak kasus, menggunakan komposit lebih efisien. Misalnya, dalam industri maskapai penerbangan yang sangat kompetitif, diperlukan teknologi material untuk menurunkan massa keseluruhan pesawat tanpa mengurangi kekakuan dan kekuatan komponennya. Hal ini dimungkinkan dengan mengganti paduan logam konvensional dengan bahan komposit. Bahkan jika biaya material komposit mungkin lebih tinggi, pengurangan jumlah suku cadang dalam perakitan dan penghematan biaya bahan bakar membuatnya lebih menguntungkan.

Kekurangan dan kelemahan material komposit

- a. Tingginya biaya fabrikasi komposit adalah kendala yang dihadapi dalam pengembangan komposit. Misalnya, bagian yang terbuat dari komposit grafit/epoksi dapat menghabiskan biaya hingga 10 hingga 15 kali lipat dari biaya material. Usaha Perbaikan dan pengembangan penelitian dalam pengolahan dan teknik manufaktur diharapkan dapat menurunkan biaya pada masa yang akan datang. Teknik manufaktur seperti SMC (*sheet moulding compound*) dan SRIM (*structural reinforcement injection moulding*) telah menurunkan biaya dan waktu produksi dalam pembuatan suku cadang mobil.

- b. Karakterisasi mekanis struktur komposit lebih kompleks daripada struktur logam. Tidak seperti logam, bahan komposit tidak isotropik, yaitu sifat-sifatnya tidak sama ke segala arah. Oleh karena itu, bahan komposit membutuhkan lebih banyak parameter material. Misalnya, satu lapisan komposit grafit/epoksi membutuhkan sembilan kekakuan dan konstanta kekuatan untuk melakukan analisis mekanis. Dalam kasus bahan monolitik seperti baja, hanya diperlukan empat konstanta kekakuan dan kekuatan. Kompleksitas tersebut membuat analisis struktural komputasi dan eksperimental lebih rumit dan intensif. Selain itu, teknik evaluasi dan pengukuran beberapa sifat komposit seperti kuat tekan masih menjadi perdebatan.
- c. Perbaikan komposit bukanlah proses yang sederhana dibandingkan dengan logam. Terkadang cacat kritis dan retakan pada struktur komposit mungkin tidak terdeteksi.
- d. Komposit tidak memiliki kombinasi kekuatan dan patah yang tinggi ketangguhan dibandingkan dengan logam.
- e. Komposit tidak selalu memberikan kinerja yang lebih tinggi di semua properti yang digunakan untuk pemilihan material.

Pengaruh karakteristik serat terhadap sifat mekanik komposit

a. Panjang serat.

Serat bisa panjang atau pendek. Serat panjang dan kontinu mudah diorientasikan dan diproses, tetapi serat pendek tidak dapat dikontrol sepenuhnya untuk orientasi yang tepat. Serat panjang memberikan banyak manfaat dibandingkan serat pendek. Ini termasuk ketahanan benturan, penyusutan rendah, peningkatan permukaan akhir, dan stabilitas dimensi. Namun, serat pendek memberikan biaya rendah, mudah dikerjakan, dan memiliki prosedur fabrikasi waktu siklus yang cepat.

b. Orientasi

Serat yang berorientasi pada satu arah memberikan kekakuan dan kekuatan yang sangat tinggi pada arah tersebut. Jika serat diorientasikan pada lebih dari satu arah, seperti pada matras, akan ada kekakuan dan kekuatan yang tinggi pada arah orientasi serat tersebut. Namun, untuk volume serat yang sama per satuan volume komposit, tidak dapat menyamai kekakuan dan kekuatan komposit searah.

c. Bentuk

Bentuk serat yang paling umum adalah melingkar karena penanganannya dan pembuatannya mudah. Serat segi enam dan persegi bisa dibuat, tetapi karakteristik kekuatan lebih rendah serta menyulitkan dalam packaging.

d. Bahan

Bahan serat secara langsung mempengaruhi kinerja mekanik komposit. Serat umumnya diharapkan memiliki modulus elastisitas dan kekuatan yang tinggi. Harapan dan biaya ini telah menjadi faktor kunci dalam grafit, aramid, dan kaca yang mendominasi pasar serat untuk komposit.

Pengaruh matriks terhadap karakteristik komposit

Penggunaan serat sendiri terbatas, dengan pengecualian tali dan kabel. Oleh karena itu, serat digunakan sebagai penguat matriks. Fungsi matriks termasuk mengikat serat bersama-sama, melindungi serat dari lingkungan, melindungi dari kerusakan akibat penanganan, dan mendistribusikan beban ke serat. Meskipun matriks sendiri umumnya memiliki sifat mekanik yang rendah dibandingkan dengan serat, matriks mempengaruhi banyak sifat mekanik komposit. Sifat-sifat tersebut meliputi modulus dan kekuatan transversal, modulus dan kekuatan geser, kuat tekan, kuat geser interlamina, koefisien ekspansi termal, ketahanan termal, dan kekuatan lelah.

Faktor lain yang mempengaruhi karakteristik komposit

Faktor lain termasuk antarmuka serat-matriks. Ini menentukan seberapa baik matriks mentransfer beban ke serat. Ikatan kimia, mekanik, dan reaksi dapat membentuk antarmuka. Dalam kebanyakan kasus, lebih dari satu jenis ikatan terjadi.

- a. Ikatan kimia terbentuk antara permukaan serat dan matriks. Beberapa serat mengikat secara alami ke matriks dan yang lainnya tidak. Bahan penghubung* sering ditambahkan untuk membentuk ikatan kimia.
- b. Kekasaran alami atau penggoresan permukaan serat yang menyebabkan interlocking dapat membentuk ikatan mekanis antara serat dan matriks.
- c. Jika koefisien ekspansi termal matriks lebih tinggi dari serat, dan suhu pembuatan lebih tinggi dari suhu operasi, matriks secara radial akan menyusut lebih banyak daripada serat. Ini menyebabkan matriks terkompresi di sekitar serat.
- d. Ikatan reaksi terjadi ketika atom atau molekul serat dan matriks berdifusi satu sama lain pada antarmuka. Interdifusi ini sering menciptakan lapisan antarmuka yang berbeda, yang disebut interfase, dengan sifat yang berbeda dari serat atau matriks. Meskipun lapisan antarmuka tipis ini membantu membentuk ikatan, juga membentuk retakan mikro pada serat. Microcracks ini mengurangi kekuatan serat dan komposit

Antarmuka yang lemah atau retak dapat menyebabkan kegagalan pada komposit dan mengurangi sifat-sifat yang dipengaruhi oleh matriks. Mereka juga memungkinkan bahaya lingkungan seperti gas panas dan kelembaban menyerang serat. Meskipun ikatan yang kuat merupakan persyaratan dalam mentransfer beban dari matriks ke serat, debonding yang lemah dari antarmuka serat-matriks digunakan secara menguntungkan dalam komposit matriks keramik. Antarmuka yang lemah menumpulkan retakan matriks dan membelokkannya di sepanjang antarmuka. Ini adalah sumber utama untuk meningkatkan ketangguhan komposit tersebut hingga lima kali lipat dari keramik monolitik.

Klasifikasi komposit

- a. Komposit partikulat terdiri dari partikel yang direndam dalam matriks seperti paduan dan keramik. Mereka biasanya isotropik karena partikel ditambahkan secara acak. Komposit partikulat memiliki keunggulan seperti peningkatan kekuatan, peningkatan suhu operasi, ketahanan oksidasi, dll. Contoh umum termasuk penggunaan partikel aluminium dalam karet; partikel silikon karbida dalam aluminium; dan kerikil, pasir, dan semen untuk membuat beton.
- b. Komposit serpihan terdiri dari tulangan datar dari matriks. Khas bahan serpihan adalah kaca, mika, aluminium, dan perak. Komposit serpihan memberikan keuntungan seperti modulus lentur out-of-plane yang tinggi, kekuatan yang lebih tinggi, dan biaya yang rendah. Namun, serpihan tidak dapat diorientasikan dengan mudah dan hanya sejumlah bahan yang tersedia untuk digunakan.
- c. Komposit serat terdiri dari matriks yang diperkuat oleh serat pendek (tidak kontinu) atau panjang (kontinu). Serat umumnya anisotropik dan contohnya termasuk karbon dan aramid. Contoh matriks adalah resin seperti epoksi, logam seperti aluminium, dan keramik seperti kalsium-alumino silikat. Komposit serat kontinu ditekankan dalam buku ini dan dibahas lebih lanjut dalam bab ini berdasarkan jenis matriks: polimer, logam, keramik, dan karbon. Unit dasar komposit matriks serat kontinu adalah lamina serat searah atau anyaman. Lamina ditumpuk di atas satu sama lain di berbagai sudut untuk membentuk laminasi multi arah.
- d. Nanokomposit terdiri dari material dengan skala nanometer (10^{-9} m). Kisaran diterima untuk diklasifikasikan sebagai nanokomposit adalah bahwa salah satu konstituen kurang dari 100 nm. Pada skala ini, sifat bahan berbeda dari bahan curah. Umumnya, bahan komposit canggih memiliki konstituen pada: skala mikro (10^{-6} m). Dengan memiliki material pada skala nanometer, sebagian besar sifat material komposit yang dihasilkan lebih baik dibandingkan dengan material pada skala mikro. Tidak semua sifat anokomposit lebih baik; dalam beberapa kasus, ketangguhan dan kekuatan dampak dapat menurun.

Aplikasi nanokomposit termasuk aplikasi pengemasan untuk militer di mana film nanokomposit menunjukkan peningkatan dalam sifat seperti modulus elastisitas, dan tingkat transmisi untuk uap air, distorsi panas, dan oksigen. General Motors™ saat ini menggunakan 540.000 lb material nanokomposit per tahun. Karet yang mengandung hanya beberapa bagian per juta logam menghantarkan listrik dalam kondisi yang keras seperti logam padat. Disebut Metal Rubber®, dibuat molekul demi molekul melalui proses yang disebut perakitan mandiri elektrostatis. Aplikasi Metal Rubber yang ditunggu-tunggu termasuk otot buatan, pakaian pintar, kabel fleksibel, dan sirkuit untuk elektronik portabel.

1.2 Matrik Polimer

Komposit sebagai material spesifik secara umum terbagi dalam tiga komponen:

(i) matriks sebagai fase kontinu, berfungsi sebagai media pengikat; (ii) Penguat sebagai fase terdispersi, dalam hal ini mencakup serat dan partikel; dan (iii) daerah interfase halus, yang disebut interface / antarmuka. Proses selektif memilih matriks, bahan penguat, dan proses fabrikasi manufaktur yang menyusun ketiga unsur tersebut menjadi komposit dengan persyaratan tertentu untuk memenuhi kebutuhan yang diinginkan. Hampir semua Bahan apa pun dapat berfungsi sebagai bahan matriks untuk komposit. Namun, matriks yang umum digunakan terbuat dari keramik, logam, dan polimer. Sebagian besar bahan matriks yang ada di pasaran komposit dan dipakai luas adalah polimer. Ada beberapa matriks polimer yang berbeda yang dapat digunakan dalam bahan komposit, yaitu komposit matriks polimer, komposit matriks termoset dan komposit termoplastik. Bahan termoset dan termoplastik memiliki sifat dan aplikasi yang sangat berbeda. Pemilihan yang tepat penyusun komposit, baik matrik maupun bahan penguatnya sangat menentukan kualitas akhir dari produk komposit yang dibuat.

Termoset adalah bahan yang mengalami reaksi kimia atau pengawetan dan biasanya berubah dari cair menjadi padat. Bentuk fisik yang tidak diawetkan, bahan tersebut memiliki molekul kecil yang tidak terikat yang disebut monomer. Penambahan bahan kedua sebagai penghubung silang, bahan pengawet, katalis, dan/atau adanya panas atau lainnya pengaruh pengaktif akan memulai reaksi kimia atau reaksi pengawetan. Selama reaksi ini, molekul-molekul saling berikatan dan membentuk molekul yang jauh lebih panjang, rantai dan jaringan cross-link, menyebabkan material memadat. Perubahan dari keadaan termoset adalah permanen dan tidak dapat diubah. Selanjutnya, paparan panas setelah pepadatan akan menyebabkan material terdegradasi, bukan meleleh. Hal ini karena bahan-bahan ini biasanya terdegradasi pada suhu di bawah di mana ia dapat mencair.

Termoplastik adalah plastik yang mampu melelehkan. Bahan termoplastik adalah diproses dengan panas. Ketika cukup panas ditambahkan untuk membawa suhu plastik di atas titik lelehnya, plastik meleleh, mencair, atau cukup lunak untuk menjadi diproses. Ketika sumber panas dihilangkan dan suhu plastik turun di bawah titik lelehnya, plastik membeku kembali menjadi padatan seperti kaca. Bahan termoplastik memiliki kelebihan dapat diproses kembali, dipanaskan kembali akan meleleh, dan dapat membeku kembali seperti semula. Namun bahan dapat mengalami penurunan kualitas untuk pemanasan yang kedua kalinya.

Bahan termoset dan termoplastik memiliki karakteristik yang berbeda dimanfaatkan sesuai sifat dan karakteristiknya. Termoset adalah jenis polimer yang tidak mencair ketika dipanaskan. Ikatan silang termoset menyebabkan kenaikan berat molekul yang besar. Sifat ini menyebabkan termoset tidak bisa dibentuk ketika dipanaskan. Berbeda dengan termoplastik, yang menjadi lunak ketika dipanaskan, kemudian mengeras ketika mengalami pendinginan. Proses ini dapat berlangsung berulang kali. Sifat ini membuat termoplastik dapat dibentuk kembali ketika dipanaskan. Termoplastik mengandung resin hidrokarbon. Termoset cenderung memiliki biaya bahan baku yang lebih rendah, dan mudah bereaksi dengan serat, mudah diserap, sehingga proses penguatan menjadi lebih mudah dan pembentukan akhir menjadi lebih mudah. Dengan kata lain, termoset seringkali lebih mudah diproses daripada termoplastik. Termoplastik cenderung lebih keras atau kurang rapuh daripada termoset. Bahan ini memiliki ketahanan kimia yang lebih baik, tidak perlu pendinginan sebagaimana termoset dan dapat lebih mudah didaur ulang dan diperbaiki.

Termoset diklasifikasikan menjadi resin poliester, resin epoksi, resin vinil ester, fenolik, poliuretan, dan resin suhu tinggi lainnya seperti ester sianat,dll. Industrialisasi yang cepat di negara berkembang di seluruh dunia adalah salah satu dari faktor pendorong utama pada pasar termoset. Permintaan untuk kinerja tinggi dan bahan ringan dari berbagai industri penggunaan akhir seperti otomotif, tangki kimia, dan tangki air.

1.3 Reinforcement

Penguatan komposit dapat menggunakan serat, serpih, atau serbuk / partikel. Masing-masing penguat ini memperkuat komposit dengan karakteristik mekanik yang berbeda, sesuai dengan aplikasi yang dibutuhkan. Serat adalah yang paling umum digunakan dalam aplikasi komposit, karena serat memiliki rasio tinggi antara panjang dan diameter, yang memberikan transfer tegangan geser yang efektif antara matriks dan serat.

Berbagai jenis serat telah digunakan untuk memperkuat komposit matriks polimer. Yang paling umum adalah serat karbon (AS4, IM7, dll.), serat kaca (E-glass, S-glass, dll.), serat aramid (Kevlar), dan serat boron. Serat kaca telah digunakan sebagai penguat selama berabad-abad, secara komersial adalah mulai diproduksi pada tahun 1937 di Amerika.

Berbagai komposisi serat kaca tersedia untuk tujuan yang berbeda seperti:

Grade A adalah kaca kelas alkali tinggi, awalnya terbuat dari kaca jendela.

Grade C adalah kaca yang tahan bahan kimia untuk lingkungan asam atau korosi.

Grade D adalah kaca kelas dielektrik rendah dengan transparansi yang baik untuk radar (kaca kuarsa).

Grade E adalah serat kaca untuk isolasi listrik

Grade M adalah serat kaca yang memiliki modulus tinggi.

Grade R adalah kaca untuk reinforcement (penguat); jenis ini setara dengan S-glass Eropa.

Grade S adalah serat kaca dengan kekuatan tinggi, varian umumnya adalah kaca S2. Serat ini memiliki modulus Young dan ketahanan suhu yang lebih tinggi daripada E-glass. Jenis ini memiliki harga yang lebih mahal.

Nilai Modulusitas serat karbon cukup tinggi dengan diameter 7-8 μm dan terdiri dari kristalinitas kecil yaitu grafit "turbostratik". Lapisan serat karbon tidak memiliki urutan susun yang teratur, dan jarak rata-rata antara layer adalah 0,34 nm. Untuk mendapatkan modulus dan kekuatan yang tinggi, bidang lapisan dari grafit harus sejajar dengan sumbu serat [29]. Serat karbon memiliki beberapa keuntungan termasuk kekakuan tinggi, kekuatan tarik tinggi, bobot rendah, bahan kimia dengan nilai resistensi tinggi, dan suhu tinggi. Serat karbon dapat digunakan dalam berbagai aplikasi seperti kedirgantaraan, otomotif, barang olahraga, dan peralatan dapur. Menunjukkan sifat untuk kelas serat karbon yang berbeda. Kwolek adalah ahli kimia DuPont yang pada tahun 1965 menemukan serat aramid yang dikenal sebagai Kevlar, serat yang ringan dan lebih kuat dari baja yang digunakan dalam rompi antipeluru. Struktur kimia bahan sedang cincin aromatik (aril) benzena bergantian dan gugus amida (CONH). Serat ini diproduksi dengan menghilangkan hidrogen klorida dari tereftaloil klorida dan para-fenilen diamina. Polimer dicuci dan dilarutkan dalam asam sulfat untuk membentuk larutan kristal cair berorientasi parsial. Solusinya adalah berputar melalui lubang mati kecil, orientasi terjadi di pemintal, dan pelarut diuapkan. Hull menyarankan agar larutan dipertahankan antara 80 °C dan 50 °C sebelum berputar dan diekstrusi ke dalam silinder berdinding panas pada 200 °C.

Kevlar diperkenalkan untuk produk komersial pada tahun 1971.

Serat karbon pertama kali ditemukan di dekat Cleveland, Ohio, pada tahun 1958. Tidak sampai proses manufaktur baru dikembangkan di pusat penelitian Inggris pada tahun 1963, potensi kekuatan serat karbon direalisasikan. Prekursor utama untuk serat karbon adalah poliakrilonitril (PAN), pitch, selulosa (Rayon), dan beberapa prekursor potensial lainnya seperti lignin dan polietilen.

Modulus serat karbon tergantung pada tingkat kesempurnaan keselarasan. Ketidakesempurnaan dalam keselarasan menghasilkan rongga berbentuk kompleks yang memanjang sejajar dengan sumbu serat, yang bertindak sebagai penambah tegangan dan titik kelemahan. Itu

keselarasan bervariasi dengan rute manufaktur dan kondisi. Serat modulus tinggi adalah serat yang telah mengalami perlakuan panas lebih dari 1650 °C, memiliki susunan atom tiga dimensi, memiliki kandungan karbon.

Pada saat ini, periode abad 21, telah banyak dilakukan penelitian pada serat alam untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dan fisik dari serat alam. Serat alam memiliki keunggulan sifat mekanik yang baik, kepadatan rendah, bermanfaat terhadap lingkungan, bersifat terbarukan, dan memiliki kelayakan ekonomi.

Serat alam digunakan untuk menggantikan bahan sintetis. Serat tumbuhan alami seluruhnya berasal dari sumber vegetatif dan sepenuhnya biodegradable di alam. Penerapan serat alami yang diperkuat komposit polimer dan resin berbasis alami untuk menggantikan bahan yang diperkuat dengan serat poli atau kaca sintetis yang ada sangat besar. Namun, kualitas serat alami dipengaruhi secara nyata oleh umur tanaman, jenis, lingkungan tumbuh, masa panen, kelembaban, kualitas tanah, suhu, dan langkah-langkah pengolahan.

1.4 Hardener

Hardener adalah bahan yang memungkinkan terjadinya proses pengerasan, khususnya pengerasan resin (Romels C. A, 2011). Hardener ini terdiri dari dua bahan yaitu katalis dan promotor. Katalis dan akselerator menghasilkan panas, yang efeknya diperlukan untuk mempercepat proses pengeringan agar bahan menjadi stabil. Namun, jika panasnya terlalu tinggi, akan merusak ikatan antarmolekul dan juga merusak kain. Katalis adalah bahan yang mempercepat terbukanya ikatan rangkap molekul polimer, maka akan terjadi ikatan antar molekul. Katalis yang digunakan adalah metil etil keton peroksida (MEKP), yang merupakan hasil reaksi antara metil etil keton dengan hidrogen peroksida. Produk dari reaksi ini adalah campuran sebenarnya dari dua senyawa peroksida berbeda yang disebut monomer dan dimer. Masing-masing senyawa ini menunjukkan reaksi yang berbeda dengan kobalt. Accelerator, bahan yang mempercepat munculnya ikatan antara molekul yang sudah terikat dan untuk mempercepat proses curing (pengerasan). Katalis digunakan untuk mempercepat pengerasan komposit pada suhu ruangan dan luar ruangan. Sebagai alternatif, keberadaan katalis dapat digunakan untuk mengontrol pembentukan zat peniup, sehingga tidak mengembang secara berlebihan atau mengeras terlalu cepat, yang dapat menyebabkan penghambatan pembentukan gelembung bayangan. Jenis katalis yang digunakan adalah Methyl Ethyl Ketone Peroxide (MEKP), juga dikenal sebagai Butanone Peroxide.

1.5 Fleksibilitas

Sifat fleksibilitas material adalah sifat yang menunjukkan sifat kekakuan yang dimiliki material serta perubahan dimensi penampang. Dapat dikatakan bahwa semakin kaku suatu material, maka material tersebut semakin tidak fleksibel dan bisa berubah bentuk secara permanen.

Implikasi penting fleksibilitas sebagai berikut:

- Fleksibilitas serat merupakan fungsi invers yang sangat sensitif dari diameternya, d.
- Dengan diameter yang cukup kecil, pada prinsipnya dimungkinkan untuk memproduksi serat sefleksibel apapun dari polimer, logam, atau keramik.
- Seseorang dapat membuat serat yang sangat fleksibel dari bahan yang rapuh secara inheren seperti kaca, silikon karbida, alumina, dll., asalkan seseorang dapat membentuk bahan rapuh ini menjadi serat berdiameter halus. Memproduksi serat keramik berdiameter halus, bagaimanapun, adalah masalah yang menakutkan dalam pemrosesan

1.6 Rekayasa Teknologi composite

Secara umum, ilmu dan rekayasa logam, keramik, dan polimer merupakan faktor terpenting yang mempengaruhi komposit. Fitur unik dari komposit, termasuk permukaan dan antarmuka, pemrosesan, karakterisasi, kinerja dan prinsip fungsional, juga mempengaruhi struktur dan sifatnya. Sebagai contoh, komposit struktural dirancang untuk memiliki sifat mekanik yang lebih baik, sedangkan komposit fungsional dibuat dengan tujuan untuk memperoleh fungsi fisik/kimiawi antara atau yang sama sekali

baru dari bahan induknya. Sampai saat ini, kemajuan besar telah dibuat dalam komposit struktural dan fungsional. Fitur khas yang mendefinisikan komposit dalam kaitannya dengan bahan teknik lainnya adalah kekayaan struktur multi-skala, multi-level, bersama dengan korelasi yang diperkaya antara setiap dimensi dan level struktural dengan kinerja dan fungsi skala mikro dan makronya. Kinerja atau fungsi struktural dan morfologis mikroskopis suatu material dapat dinyatakan sebagai figur keunggulannya, yang umumnya merupakan integrasi spesifik dari sifat fisik dan parameter struktural suatu material (tensor). Komposit dapat memiliki parameter struktural yang dapat diubah yang tidak dapat ditampilkan oleh satu bahan. Dengan mengubah parameter struktural seperti komposisi, konektivitas, simetri, skala, dan periodisitas, tensor properti fisik suatu material dapat disesuaikan pada rentang yang luas. Jenis interkorelasi yang kuat antara struktur dan fungsi memberikan komposit dengan potensi perubahan yang besar, yang memungkinkan untuk merancang dan memproduksi komposit dengan kinerja gabungan yang tinggi berdasarkan kinerja spesifik atau persyaratan fungsional dan untuk memenuhi integrasi struktur dan fungsi. Mengontrol struktur intrinsik dan kinerja bahan fase matriks dan fase pengisian termasuk dalam kategori penelitian dan pengembangan bahan tunggal, seperti matriks polimer dan bahan pengisi seperti serat atau partikel anorganik. Dalam sistem komposit, dimensi krusial berada dalam kisaran struktur nanometer hingga mikron. Oleh karena itu, dimungkinkan untuk menghasilkan komposit dengan kinerja gabungan yang tinggi berdasarkan kinerja tertentu atau persyaratan fungsional untuk mengintegrasikan struktur dan fungsi. Tingkat struktural komposit yang paling berpengaruh adalah antarmuka fase polimer multifasa, antarmuka struktur heterogen (seperti serat dan resin) dan struktur interlaminar (termasuk fase antarmuka, interlaminasi serat, dan interlaminasi serpihan dimensi rendah), serta tekstur dan morfologinya. Yang penting, struktur ini tidak pernah ada dalam bahan individu. Tidak mungkin untuk sepenuhnya menggambarkan ilmu dan rekayasa komposit dalam pengenalan yang begitu singkat. Komposit matriks polimer dipilih untuk mencontohkan masalah permukaan dan antarmuka yang dihadapi material komposit canggih. Konstruksi multi-dimensi dan multi-level serta teknik pemrosesan inovatif untuk komposit struktural kedirgantaraan saat ini. Pengembangan komposit canggih juga disorot, dan tren penelitian saat ini dieksplorasi, termasuk komposit berdimensi rendah, dan integrasi struktur dan fungsi komposit. Kinerja nanokomposit diprediksi, dan prinsip-prinsip fungsi komposit pengisi 0–3 dan ekspresi matematis/fisiknya juga dibahas.

1.7 Struktur Permukaan dan Penguat

Umumnya, komposit terdiri dari komponen heterogen yang berbeda. Antarmuka dalam komposit, juga disebut antarmuka atau lapisan antarmuka, adalah lapisan material yang ada di antara dua komponen dengan struktur berbeda dari kedua sisi yang berdekatan. Jelas, lapisan bahan ini harus memiliki ketebalan. Ketebalan dan struktur antarmuka berkorelasi dengan sifat-sifat keadaan kontak pada kedua sisi yang berdekatan serta kondisi termodinamika, kinetik, dan pemrosesan. Dalam beberapa kasus, perawatan permukaan dari satu atau kedua sisi yang berdekatan juga dapat mempengaruhi struktur dan ketebalan antarmuka dan menentukan kinerja dan fungsi akhir dari komposit. Pada saat yang sama, struktur antarmuka tidak harus simetris dan mungkin tidak homogen, asimetris, atau tidak teratur. Jadi, dari sudut pandang umum, permukaan yang berbeda dapat dihasilkan oleh struktur unik di bawah permukaan komposit karena kontak permukaannya dengan cetakan atau media lain selama penggunaan jangka panjang, yang biasanya dapat diabaikan dalam praktik. adalah dua metode untuk membentuk lapisan antarmuka. Salah satunya adalah reaksi kimia dalam kondisi tertentu, atau difusi/pembubaran unsur-unsur dari kedua fase bahan heterogen. Yang lainnya adalah tegangan internal yang dihasilkan selama perawatan, atau interaksi antara struktur dua fase, yang dapat membuat struktur yang terletak dekat dengan permukaan tulangan berbeda dari matriks itu sendiri, menghasilkan antarmuka. Selain itu, berbagai lapisan pelapis yang diterapkan sebelumnya untuk memperkuat permukaan, atau perubahan struktural yang disebabkan oleh perawatan permukaan juga dapat disebut sebagai antarmuka. Struktur antarmuka mempengaruhi kinerja integral komposit, misalnya, tegangan harus ditransfer melalui antarmuka dalam komposit struktural, dan tegangan sisa pada antarmuka juga dapat mempengaruhi sifat mekanik integral komposit. Secara khusus, fungsi komposit fungsional perlu berkoordinasi melalui antarmuka. Akibatnya, antarmuka komposit perlu dirancang dan dikendalikan dengan baik.

Pengomposisian bahan heterogen melibatkan perumusan banyak bahan, sehingga sulit untuk menggambarkan seluruh proses secara menyeluruh. Pada bagian berikut, pengomposisian standar bahan heterogen yang disebut serat-logam laminasi (FMLs) digunakan sebagai contoh untuk membahas permukaan material dan perawatannya, antarmuka dan korelasi antara struktur antarmuka dan sifat antarmuka yang terkait.

1.8 Laminasi Serat-Logam dan Struktur Antarmuka

Pada akhir 1970-an dan awal 1980-an, jenis komposit baru, FML, dikembangkan di Delft University, Belanda, di mana lapisan logam (paduan Al dan Ti) secara bergantian diikat dengan resin prepreg yang terdiri dari serat kaca, aramid dan serat karbon dengan epoksi bismaleimide (BMI) untuk membentuk laminasi 2–2 dengan lima lapisan. Produk pertama yang dikembangkan adalah aramid fiber-reinforced Al laminate (ARALL), dan yang kedua adalah glass fiber-reinforced Al laminate (GLARE). FML menggabungkan keunggulan matriks logam dan resin untuk menunjukkan kinerja kelelahan yang sangat baik. FML telah disertifikasi secara luas dan digunakan dalam struktur badan pesawat di pesawat komersial seperti Airbus A380. Sampai saat ini, ini mungkin satu-satunya komposit canggih yang awalnya dikembangkan oleh universitas untuk menemukan aplikasi komersial yang sukses di industri kedirgantaraan. Untuk FML yang terdiri dari paduan Al, resin epoksi dan serat, antarmuka antara paduan Al dan epoksi adalah faktor dominan yang mengendalikan sifat mereka. Struktur antarmuka multi-level ini menghasilkan kinerja mekanis yang sangat rumit dan masalah penuaan.

Dalam percobaan berikut, panel paduan Al diperlakukan dengan bahan kimia yang berbeda untuk mengubah morfologi permukaannya. Karakteristik morfologi yang tidak merata dari permukaan Al teroksidasi diamati di bawah perbesaran rendah setelah perendaman asam kromat atau anodisasi asam kromat (CAA). Mikroskop elektron transmisi (TEM) mengungkapkan struktur rongga tertutup yang tidak teratur dari lapisan teroksidasi dengan ketebalan tertentu antara dua rongga. Mengamati penampang lapisan oksida yang dibentuk oleh CAA mengungkapkan bahwa kedalaman rongga ini adalah 3–4 μm , sedangkan diameternya hanya 20–30 nm, kurang dari 1% dari kedalaman rongga. Struktur rongga lapisan teroksidasi skala nano ini memberikan permukaan paduan Al area permukaan spesifik yang sangat besar.

Substrat paduan Al terletak di bawah lapisan oksida yang dibentuk oleh CAA. Setelah substrat paduan Al dihilangkan dengan etsa kimia, hanya lapisan oksida CAA yang tersisa. Bagian bawah struktur rongga yang tertutup berarti antarmuka antara lapisan oksida dan substrat paduan Al memiliki camber.

Proses pembentukan FML bergantung pada pembentukan lapisan oksida, yang dikendalikan oleh perlakuan permukaan. Akibatnya, penting untuk mempelajari pengaruh lapisan teroksidasi pada antarmuka logam-polimer. Selain pengawetan dan CAA, proses Laboratorium Hasil Hutan (FPL) dan anodisasi asam fosfat (PAA) juga telah banyak digunakan dan distandarisasi sebagai perawatan permukaan. Untuk lapisan oksida dengan luas permukaan spesifik yang besar dan reaktivitas tinggi, langkah pertama pengomposisian adalah impregnasi resin cair viskositas rendah, dan reaksi resin dengan lapisan teroksidasi. Analisis mikrozona permukaan Al teroksidasi dengan spektroskopi kehilangan energi elektron menunjukkan bahwa atom karbon di bagian bawah rongga diangkut melalui struktur rongga. Hal ini menunjukkan bahwa polimer dengan viskositas rendah, misalnya primer, bahan penghubung atau perekat, mampu menghamili struktur mikro dari lapisan teroksidasi, yang menjamin keberhasilan langkah pertama dari proses pengomposisian. Produk ini adalah struktur komposit tiga dimensi yang unik, di mana struktur antarmuka antara Al oksida dan polimer terbentuk dalam rongga nano di lapisan oksida.

Dalam struktur antarmuka ini, lapisan atas adalah polimer. Karena struktur Al oksida dengan luas permukaan spesifik yang besar memiliki rasio polimer termoset reaktif yang berbeda di zona lokal, resin yang diawetkan di lapisan oksida serta zona yang berdekatan mungkin berbeda dari zona di lokasi lain. Dengan demikian, struktur antarmuka polimer baru muncul. Jenis struktur antarmuka polimer yang dibentuk dengan resin epoksi umum akan memiliki morfologi yang sama. Morfologi khas adalah struktur seperti serat dengan satu ujung melekat pada struktur antarmuka antara Al oksida dan polimer, dan ujung lainnya menembus jauh ke dalam matriks resin epoksi. Karena matriks ini dihilangkan dari pengaruh

lapisan Al yang teroksidasi, struktur dan sifat-sifatnya akan menjadi identik dengan bahan epoksi curah konvensional. Berbeda dengan antarmuka, material tipe curah dengan partikel dan struktur ikatan silang ini dapat disebut sebagai fase dasar epoksi. Struktur seperti serat ini menunjukkan bahwa polimer tidak homogen, densitas material tidak seragam, dan densitas material yang ada di antara struktur serat rendah.

Setidaknya dua struktur antarmuka yang berbeda, oksida-polimer nano dan resin epoksi seperti serat, dapat berada di antara paduan Al curah dan resin epoksi curah (atau pada antarmuka), pembentukan, dan pertumbuhannya dapat dianggap sebagai tiga- struktur dimensi. Dengan demikian, beberapa teori tradisional, seperti impregnasi, difusi, listrik statis dan teori reologi, tidak cocok untuk sepenuhnya menggambarkan perilaku melekat Al-epoksi yang khas, karena antarmuka mereka hanya dianggap planar dalam teori-teori ini. Bahkan beberapa model modern dan lebih rumit, termasuk adhesi mikromekanis dan model pengikatan fisik-mekanik, tidak dapat secara komprehensif menjelaskan proses adsorpsi kimia dan fisika yang terjadi di zona antarmuka tiga dimensi tersebut. Berdasarkan pemahaman tentang adhesi antarmuka khas Al dan resin epoksi ini, tiga kondisi berikut harus dipenuhi untuk sisi logam:

- 1) Luas permukaan spesifik penyerapan harus sebesar mungkin;
- 2) Molekul dan bahkan atom pada kedua sisi adsorpsi harus berada sedekat mungkin untuk mencapai impregnasi yang dalam pada skala mikro;
- 3) Struktur kimia dan fisik pada setiap sisi penyerap antarmuka harus sekuat mungkin untuk membentuk ikatan antarmuka yang kuat.

Rekayasa antarmuka komposit berharap untuk mencapai struktur di atas melalui perawatan permukaan dan pemrosesan logam. Adapun polimer dalam komposit, terutama untuk resin termoset dengan tinggi reaktivitas, bahan heterogen khusus (lapisan Al oksida) harus memiliki beberapa pengaruh jarak pendek pada reaksi ikatan silang polimer untuk membentuk struktur seperti serat yang berorientasi vertikal ke permukaan lapisan logam teroksidasi. Jarak pengaruh ini tergantung pada kondisi reaksi. Struktur antarmuka yang terdiri dari bahan heterogen dapat dikontrol dengan menggunakan permukaan logam pelapisan dan proses aplikasi terkait, merancang dan menyiapkan bahan pelapis yang kompatibel, atau dengan mencocokkan bahan polimer dengan desain dan kondisi persiapan yang sesuai. Semua pendekatan ini penting dalam teknologi rekayasa komposit.

1.9 Karakteristik Mekanik dan Perilaku Penuaan dari Struktur Antarmuka FML (Fiber Metal Laminates)

Bahan lapisan tipis memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan bahan curah dan dapat mengalami reaksi jangka pendek dengan bahan heterogen yang melekat. Di balik pengamatan ini terletak masalah antarmuka/interface. Bahan antarmuka dapat memiliki struktur dan kinerja yang berbeda dari bahan yang berdekatan di kedua sisi. Ketika lapisan resin epoksi dikenai tegangan geser rata-rata, retak geser dengan orientasi 45° terbentuk pada bidang simetri dan hanya terletak di fase dasar lapisan polimer.

Sementara itu, retak tarik terbentuk di dekat lapisan Al oksida atau di bagian bawah struktur seperti serat, menunjukkan bahwa lapisan antarmuka yang lemah ada di dekat sisi logam dalam struktur antarmuka.

Cara paling sederhana untuk mempelajari hubungan antara struktur antarmuka dan kinerja dalam FML adalah dengan membangun laminasi logam-polimer-logam dan kemudian secara bertahap mengurangi ketebalan lapisan polimer ke ketebalan lapisan antarmuka yang setara untuk memeriksa respons mekanis. Di sini, masalah pertama adalah menemukan teknologi pengukuran yang cocok untuk menentukan respons mekanis lapisan polimer semacam itu. Laminasi logam-polimer-logam setara dengan sambungan lekat logam. Pengujian tarik-geser adalah metode utama yang digunakan untuk mengukur sifat mekanik sambungan tersebut dan memiliki beberapa standar internasional dan domestik. Namun, semua metode pengukuran mekanis tersebut menghadapi masalah umum; yaitu, kondisi tegangan multi-sumbu. Karena kondisi tegangan ini, kekuatan sambungan yang diukur tidak dapat mencerminkan perilaku respons mekanis bahan lapisan perekat dan tidak dapat digunakan untuk mempelajari kinerja bahan lapisan tipis. Umumnya, konfigurasi ini dapat memberikan kurva respons geser karakteristik lapisan perekat.

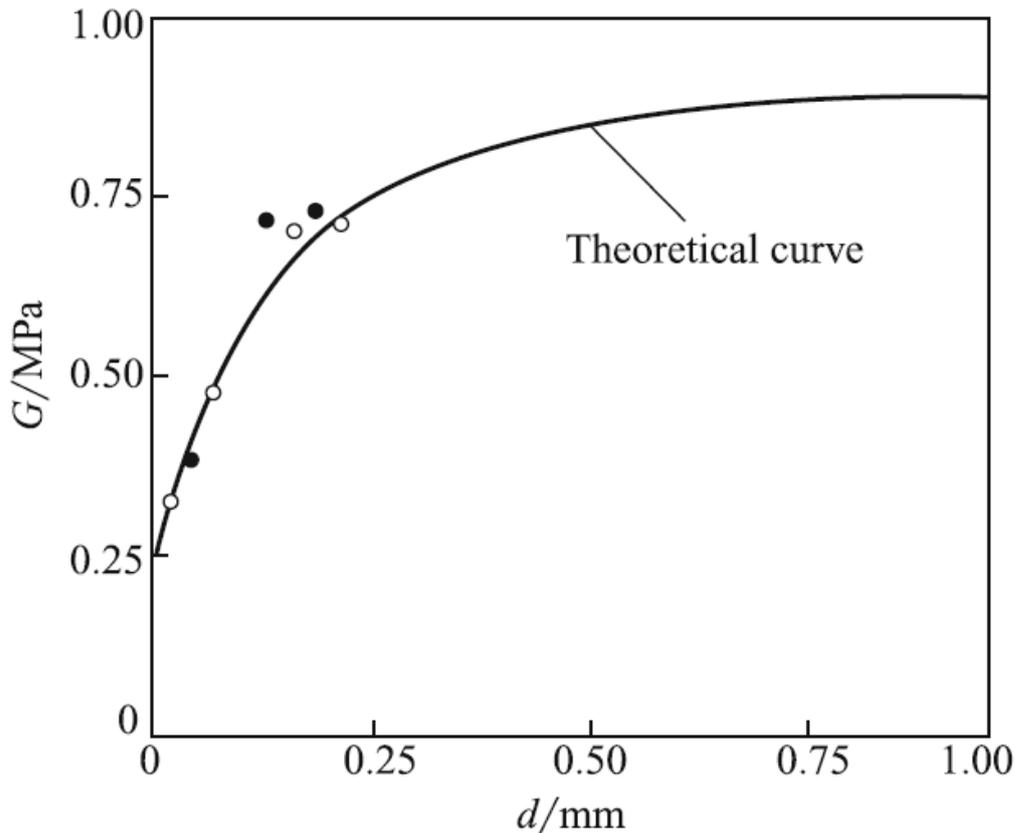
Respon geser murni lapisan resin epoksi sangat tergantung pada ketebalan lapisan perekat. Ketika lapisan perekat lebih tipis, regangan geser lebih besar dan cetakan geser awal lebih kecil dan sebaliknya. Dari aspek ilmu material, alasannya adalah karena dua lapisan polimer yang berbeda membentuk

konfigurasi struktur sandwich "lapisan antarmuka-lapisan fase dasar/lapisan fase menengah-lapisan antarmuka." Untuk satu set bahan tertentu, ketebalan lapisan antarmuka polimer pada dasarnya konstan, meskipun dapat dipengaruhi oleh lapisan Al oksida. Akibatnya, mengubah ketebalan lapisan perekat total hanya dapat mempengaruhi ketebalan lapisan fase polimer antara. Namun, jika sambungan ini dua kali ketebalan lapisan antarmuka, kurva geser lapisan perekat yang diukur akan menjadi kurva geser lapisan antarmuka. Ketika lapisan perekat sangat tebal, lapisan antarmuka yang lebih tipis dapat diabaikan. Pada titik ini, kurva geser hampir setara dengan lapisan polimer antara.

Sebagaimana dipahami dari lapisan struktur seperti serat berorientasi, terutama dibandingkan dengan fase lapisan antara dengan struktur agregat, respons lapisan antarmuka di bawah aksi geser eksternal dapat digunakan untuk mempelajari secara kuantitatif hubungan antara modulus total lapisan perekat, G , dan ketebalan total, d :

$$G = \frac{d}{\frac{d - 2d_{inter}}{G_m} + 2 \frac{d_{inter}}{G_{inter}}}$$

di mana d_{inter} adalah ketebalan lapisan antarmuka polimer, dan G_m dan G_{inter} adalah modulus geser polimer masing-masing pada lapisan perantara dan antarmuka. Kurva relasi G - d yang dihitung berdasarkan persamaan ini ditampilkan pada Gambar 1.1. kurva perbandingan modulus geser dan ketebalan layer. Kurva ini menunjukkan bahwa modulus geser dari lapisan yang menempel akan meningkat dengan ketebalan lapisan sampai tercapai titik maksimum. Nilai yang dihitung sesuai dengan hasil tes baik, yang memverifikasi model teoritis; yaitu, modulus geser awal lebih rendah dari modulus rata-rata lapisan perekat. Karena rasio tertentu dari bahan berdensitas rendah terdapat pada lapisan antarmuka, perilaku penyerapan kelembabannya akan berbeda dari lapisan antarmuka antara perekat dengan struktur agregat. Mengambil ketebalan lapisan perekat sebagai variabel untuk mengukur kadar penyerapan air, hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan, semakin tinggi kadar air yang diserap mutlak.



Gambar 1.1. perbandingan modulus geser dan ketebalan layer

Selanjutnya, kadar air yang diserap dalam volume tertentu lapisan antarmuka meningkat dengan ketebalan lapisan. Dengan kata lain, lapisan antarmuka dapat menyerap lebih banyak air daripada lapisan curah dalam interval waktu yang sama, menghasilkan konsentrasi kelembaban yang lebih tinggi. Kelembaban di lapisan antarmuka dapat menurunkan stabilitas panas/basah, yang harus dipertimbangkan secara hati-hati dalam struktur perekat logam berbasis aero. Mengesampingkan penuaan panas/basah asam atau alkali pada sisi Al dari lapisan antarmuka oksida, mulur geser yang lebih kuat dan kekuatan patah geser sisa yang lebih rendah telah diamati pada lapisan antarmuka resin epoksi dibandingkan dengan lapisan antarmuka perantara. Seiring berjalannya waktu, penurunan kekuatan geser ini serta peningkatan creep geser menjadi lebih jelas sampai lapisan perekat mengalami kegagalan. Dari sudut pandang mikroskopis, kerusakan creep skala mikro yang terbentuk selama proses penuaan telah ditemukan pada lapisan antarmuka seperti serat. Ketika deformasi geser nyata di seluruh lapisan perekat mencapai 22%, regangan geser nyata di lapisan antarmuka meningkat menjadi 31%. Struktur lapisan antarmuka seperti serat tidak dapat menahan regangan geser setinggi itu, sehingga kegagalan geser terjadi pada lapisan yang berdekatan dengan permukaan logam. Studi tentang FML telah membuktikan bahwa permukaan dan antarmuka materialnya serta konstruksi dan propertinya rumit. Faktanya, antarmuka terbentuk di area mana pun di mana struktur material mengalami perubahan. Dari sudut pandang ini, sulit untuk menggeneralisasi perilaku antarmuka komposit.

1.10 Interface Matriks Resin yang Diperkuat Serat

FML merupakan bagian dari jenis komposit hasil teknologi tinggi, termasuk anggota dari komposit polimer yang diperkuat serat. Permukaan pelat Al dan antarmuka yang dihasilkan dalam penyusunan komposisi logam dan resin yang dijelaskan di atas tidak termasuk permukaan serat atau antarmuka antara serat dan resin. Perawatan permukaan serat biasanya dilakukan untuk mencocokkan matriks resin pada tahap awal produksi serat sebelum pembuatan komposit, dan biasanya kompatibilitas antara serat dan

resin dapat memenuhi persyaratan layanan untuk komposit. Dengan kata lain, serat komersial telah dilapisi, sehingga dapat ditentukan menurut lapisan resin daripada permukaan serat itu sendiri. Ukuran dan penyelesaian serat komersial beragam dan dapat berbahan dasar organik atau air, termasuk resin encer, bahan pengawet, pelumas permukaan, bahan antistatis, bahan pengatur pH, dan emulsi. Serat biasanya dilapisi dengan beberapa lapisan untuk mendapatkan kinerja gabungan. Fungsi utama dari sizing/ atau reproses/pembuatan serat ulang dan finishing adalah untuk melindungi struktur dan kondisi permukaan serat segar untuk mendapatkan adhesi antarmuka yang baik antara serat dan resin (efek kopling) dan untuk meningkatkan sifat anti-gesekan dan antistatiknya. Bahan pengolah permukaan serat dan aplikasinya adalah teknik inti dalam produksi serat. Karena pemasok atau produsen serat harus mampu memenuhi permintaan berbagai pelanggan, pelapis permukaan untuk serat komersial dibuat secara general dan dapat digunakan semua user. Oleh karena itu, serat dari berbagai pemasok mungkin memiliki pelapis yang berbeda dengan sifat kimia yang berbeda, di antaranya tidak akan ada jenis pelapis yang diproduksi khusus untuk resin epoksi tertentu. Menggunakan metode de-coating untuk mempelajari serat-serat ini, atau menerapkan lapisan baru setelah yang lama dihilangkan, umumnya menghambat pengomposisian. Alasan untuk ini mungkin karena proses perawatan permukaan asli mungkin memberikan aktivitas permukaan yang jauh lebih tinggi daripada perawatan berikutnya. Pengecualian adalah serat atau matriks inovatif skala kecil, yang merupakan arah baru dari studi fundamental.

Antarmuka antara serat dan resin tidak dua dimensi, tetapi struktur antarmuka tiga dimensi, dan kinerjanya berbeda dari bahan curah seperti polimer atau pelapis. Seperti permukaan paduan Al, permukaan serat juga memiliki topologi tertentu, yang bergantung pada jenis serat. Pembentukan antarmuka dalam matriks serat dan resin merupakan proses kesetimbangan. Selama pemrosesan resin transfer moulding (RTM), misalnya, resin yang baru disuntikkan akan mengembang atau melarutkan lapisan serat, dan bereaksi dengannya untuk membentuk antarmuka sampai keadaan kesetimbangan tercapai. Proses ini membutuhkan waktu,

Untuk sistem multi-injeksi, antarmuka yang baru dan yang dibuat sebelumnya keduanya dapat diaplikasikan. Fase antar-reaksi juga dapat terbentuk di antara antarmuka ini, tergantung pada urutan pembasahan serat dengan resin baru dan waktu yang dibutuhkan untuk kesetimbangan. Jelas bahwa pembentukan antarmuka adalah proses multi-dimensi, multi-level, dan waktu/lokasi. Konstruksi antarmuka serat-resin membutuhkan reaksi permukaan dan terjadi sebagai akibat dari reaksi antar seimbang yang bergantung waktu yang terjadi di antarmuka antara permukaan serat padat dan resin cair. Namun demikian, insinyur komposit dapat menggunakan kondisi pemrosesan dan monitoring untuk mengontrol konstruksi antarmuka.

1.11 Optimalisasi Komposit

Konstruksi multi-dimensi, multi-level, dan optimalisasi komposit adalah masalah penelitian mendasar yang penting dalam sains dan teknik komposit yang tidak dapat dibatasi hanya pada antarmuka.

Menurut konsep konektivitas, komposit dengan pengisi didefinisikan sebagai konstruksi 0–3, sedangkan komposit laminasi adalah konstruksi 2–2 dan komposit bicontinuous adalah konstruksi 3–3. Dimulai dari fase homogen, reaksi menginduksi pemisahan fase. Dan proses pengkasaran bahan polimer termoset fase kompleks termoplastik setara dengan proses perubahan fase kontinu dengan konstruksi 0–0, 0–3 dan 3–3 sesuai dengan konsep konektivitas, yang berarti setiap domain waktu mengandung banyak perubahan dalam struktur dan morfologi bahan. Ketika perubahan fase kontinu ini ditempatkan di zona terbatas tipe 2–2 (seperti laminasi serat karbon), 3–3 struktur kontinu ganda dalam distribusi gradien dimensi akan terbentuk, yang dapat menghasilkan bahan dengan ketangguhan, kekakuan terintegrasi yang sangat baik, dan kekuatan. Kombinasi ini tidak mungkin diperoleh dalam kondisi yang tidak terkendali. Menurut klasifikasi di atas, umumnya bahan polimer fase kompleks termoplastik-termoset tipe 3–3 tidak termasuk dalam kelas komposit, tetapi merupakan bahan polimer multi fase. Dalam hal elemen hingga, kinerja mekanik yang sangat terintegrasi, adalah mungkin untuk mewujudkan desain dan pembuatan terkontrol dari konstruksi multi-skala, multi-level dengan morfologi seperti seri 0–3, 1–3, 2–2 dan 3–3. Deret 0–3, 3–3 dan periodik 2–2 diprediksi akan menjadi terobosan di tahun-tahun mendatang. Perlu juga

ditunjukkan bahwa konstruksi komposit nyata jauh lebih kompleks daripada ekspresi deret $X-X$ ini. Pada bagian ini, kami fokus pada komposit canggih yang diperkuat serat karbon struktural kedirgantaraan. Kami memeriksa tren perkembangan dan permintaan nasional mereka dan mendiskusikan konstruksi dan pengoptimalan multi-dimensi, multi-level mereka.

1.12 Pengembangan komposit

Pada awal 1996, lima organisasi di Amerika Serikat (AS)—Komite Bahan Baru untuk Pesawat Sipil Tingkat Lanjut, Dewan Penasihat Material Nasional, Dewan Teknik Penerbangan dan Antariksa, Komisi Teknik dan Sistem Teknis, dan Riset Nasional. Council—menerbitkan laporan penelitian bersama yang disebut “Material Baru untuk Transportasi Komersial Generasi Selanjutnya”, yang menyatakan “Iklim ekonomi yang bergejolak saat ini mempengaruhi maskapai penerbangan, pabrikan, dan industri material telah secara signifikan mengubah kriteria aplikasi untuk material canggih. Akibatnya, penampilan material tidak akan menjadi standar pertama untuk pemilihan material; produsen pesawat menanggapi kekhawatiran maskapai tentang pengurangan biaya keseluruhan termasuk biaya akuisisi dan pemeliharaan. Hasilnya adalah perubahan materi yang inkremental, evolusioner—bukan revolusioner.” Menurut laporan ini, hambatan utama untuk komersialisasi bahan berkinerja tinggi termasuk:

- (1) Tingginya biaya bahan baru dibandingkan dengan yang konvensional, termasuk akuisisi, manufaktur, sertifikasi dan biaya siklus hidup;
- (2) Pemahaman yang terbatas tentang mekanisme kegagalan dan interaksinya dalam komposit berkinerja tinggi dan strukturnya;

Evaluasi

1. Jelaskan yang dimaksud material komposit
2. Sebutkan contoh dari bagian suatu mesin yang termasuk komposit
3. Jelaskan keuntungan dan kerugian dari material komposit
4. Apa saja faktor yang mempengaruhi karakteristik atau sifat komposit
5. Jelaskan apa yang dimaksud dengan matrik
6. Jelaskan apa yang dimaksud dengan reinforcement
7. Sebutkan contoh-contoh dari reinforcement
8. Sebutkan contoh-contoh dari matrik
9. Apa yang dimaksud dengan FML
10. Jelaskan sifat fleksibilitas komposit

Bab 2

Serat Penguat Buatan

Dilihat dari bentuknya, serat memiliki penampang berbentuk lingkaran dan bentuk lainnya seperti persegi. Kekuatan serat juga dapat dilihat dari diameternya, perbandingan antara panjang dan diameternya harus cukup besar. Direkomendasikan bahwa tegangan geser yang terjadi pada antarmuka serat-matriks harus rendah. Berdasarkan komposisi serat yang digunakan sebagai bahan penguat komposit dibagi menjadi:

1. Serat organik, yaitu serat yang berasal dari bahan alami seperti, bulu, kapas, sutra, kapas dan rami.
2. Serat anorganik yaitu serat yang terbuat dari bahan anorganik seperti kaca dan serat karbon. Benang dengan kekuatan tinggi dan tahan panas (serat hybrid).

2.1 Serat Kaca/Fiber Glass

Serat kaca biasanya dibuat dari campuran cair pasir kuarsa, batu kapur, dolomit dan parafin, serta fraksi tertentu dari soda dan asam borat. Serat ini berupa lembaran benang yang diperoleh dari kaca cair yang ditarik menjadi serat lembut dan tipis. Ukuran serat ini berkisar 0,005 mm – 0,01 mm. Selanjutnya serat yang diperoleh dapat dimanfaatkan sebagai bahan penguat komposit, dengan mencampurkan resin pada serat. Serat ini memiliki sifat penyerapan yang baik sehingga bisa menyatu dengan sempurna dengan matrik penguat, yang pada umumnya menggunakan matrik resin. Serat ini dapat berupa lembaran benang atau dapat juga menjadi kain yang dipintal. Sifatnya yang ulet dan liat, menjadi pilihan yang baik untuk menjadi bahan komposit untuk berbagai aplikasi. Bodi kendaraan berbahan dasar fiber glass dan resin menjadi primadona karena bersifat ringan dan tahan karat. Serat kaca memiliki aplikasi yang luas dibidang industri sebagai material komposit yang memiliki properti yang baik. Serat ini dikenal sebagai penguat bahan plastik sehingga disebut sebagai penguat plastik (glass reinforced plastic/GRP) atau penguat resin (glass reinforced Epoxy/GRE).

Serat kaca memanfaatkan sifat kaca yang keras, namun memiliki sifat yang mudah retak bahkan pecah. Sehingga kaca yang kita kenal memiliki sifat rapuh terhadap benturan dan beban namun memiliki permukaan yang sangat keras. Untuk mengatasi hal ini, kaca dibuat menjadi bentuk benang tipis dengan diameter ukuran mikron. Ukuran yang kecil ini mengurangi sifat kaca yang rapuh dan mudah retak, karena memiliki luas permukaan yang sangat kecil, sehingga tidak ada ruang untuk mengalami rambatan retakan. Serat kaca yang kecil ini dipintal menjadi benang-benang halus namun ulet, dan dapat dianyam menjadi kain, atau di mixer secara acak menjadi bentuk lembaran, seperti lembaran potongan benang yang dilem menjadisatu membentuk lembaran baru (chopped strand mat) atau potongan-potongan (chopped strand), atau bisa juga dalam bentuk continuous roving/benang memanjang. .



Gambar 2.1 Woven roving



Gambar 2.2 Woven roving chopped strand mat

kelebihan lain dari Serat kaca adalah sifatnya yang tidak mudah terbakar, sehingga cocok untuk bahan-bahan yang membutuhkan sifat tahan api, atau paling tidak mengurangi risiko terbakar dari bahan yang mudah tersulut api. Namun sifat yang kurang menguntungkan dari serat ini adalah tidak terurai oleh tanah dan menjadi sumber pencemaran yang bersifat permanen. Keunggulan serat kaca ini memang cukup banyak disamping yang telah dijelaskan sebelumnya, yaitu memiliki stabilitas kimia yang baik, nilai ketahanan panas yang baik, kekuatan tarik tinggi, memiliki sifat insulasi listrik/ isolator, regangan tarik rendah. Serat kaca menjadi bahan utama pada komposit matriks polimer. Serat kaca dikenal memiliki nilai ekonomis yang baik, berbiaya rendah jika digunakan sebagai penguat plastik (FRP). Diameter serat kaca bervariasi dari 5 hingga 20 μm , dan diameter serat yang semakin halus umumnya menghasilkan sifat yang lebih baik.

Material Fiberglass merupakan jenis bahan fiber komposit yang ringan dan memiliki keunggulan sifat yang kuat. Bahan fiber glass banyak dipakai luas dalam berbagai aplikasi industri teknologi tinggi hingga pada bahan perlengkapan rumah tangga. Mulai dari pesawat terbang, bodi mobil baik interior maupun exterior, bodi perahu, sampai dengan perlengkapan kolam renang, atap, papan selancar, alat-alat olah raga, perlengkapan kamar mandi, tong sampah dan lain-lain.

Material komposit didefinisikan sebagai material yang tersusun dari dua komponen utama yaitu penguat (*reinforcement*) biasanya dalam bentuk serat serta material pengikat (*matrix*) biasanya dengan bahan polimer. Dua komponen ini membentuk dan melebur menjadi satu dan menghasilkan material baru dengan kombinasi sifat yang kaku, kuat dan ringan.

Komposit fiberglass memiliki komponen penguat berupa serat kaca. Kaca dengan karakteristik khas keras namun mudah retak dan pecah, nilai kekerasan permukaan kaca yang tinggi dan mudah terjadi proses perambatan retak pada permukaan kaca yang diakibatkan sedikit saja cacat atau beban, apalagi dengan beban kejutan, kaca akan mengalami kerusakan parah. Untuk menghindari retak awal atau cacat pada permukaan kaca, kaca dibuat benang yang sangat tipis dengan diameter sekitar 5-25 mikrometer. Diameter yang sangat kecil tersebut membuat serat kaca yang sangat kuat ini tidak diberikan kesempatan untuk mendapatkan cacat permukaan yang menjadi awal perambatan retak. Serat-serat kaca yang kecil

ini dipintal untuk kemudian disusun menjadi bentuk jahitan (*woven*), bulu-bulu yang disatukan membentuk lembaran (*chopped strand mat*), potongan-potongan kecil (*chopped strand*) ataupun benang panjang yang kontinyu (*continuos roving*). Fiberglass sering juga dikenal dengan nama *Glass-reinforced plastic* (GRP) atau *glass-fiber reinforced plastic* (GFRP) karena terdiri dari komponen glass-fiber dan dikuatkan dengan plastik (resin).

Diameter serat kaca dibuat dengan ukuran sangat kecil dengan tujuan membuat serat kaca mudah mengalami tekukan (*buckling*). Jika diilustrasikan sebuah tongkat yang sangat panjang dengan diameter yang sangat kecil, jika mendapatkan beban tekan kedua bagian ujungnya maka tongkat tersebut akan mengalami bengkok. Hal ini dikenal dengan istilah buckling. Untuk mengantisipasi *buckling*, atau mat fiberglass ini “diikat” dengan matriks yang berfungsi sebagai perekat atau lem kemudian ditambahkan katalis yang akan mempercepat proses reaksi kimia, mempercepat pengeringan, dan pada akhirnya menjadi bahan yang keras dan getas. Kombinasi kekerasan dari resin kering dan kekuatan dari serat fiberglass membentuk material baru yang disebut bahan paduan komposit fiberglass. Komposit ini memiliki sifat kuat, keras dan ulet. Sebagai matriks, resin memiliki fungsi meratakan tegangan antara serat satu dengan serat lainnya, sehingga komposit memiliki kemampuan untuk menahan beban yang berat, serat menahan terjadinya buckling. Ibaratkan mematahkan satu batang lidi akan jauh lebih mudah daripada mematahkan ratusan batang lidi secara bersama-sama. Proses pembuatan komposit dengan penguat fiberglass dilakukan dengan banyak metode, yaitu sebagai berikut:

1. *Filament winding*

Filament winding biasa dilakukan untuk membuat produk-produk berbentuk silinder dengan arah serat tertentu. Proses filament winding dilakukan dengan memutar cetakan bersamaan dengan menarik serat fiber yang sudah dibasahi dengan resin membentuk pola tertentu. Fiberglass yang digunakan pada proses ini adalah jenis *continuos roving*.

2. *Hand Lay Up*

Hand Lay-up merupakan proses fabrikasi fiberglass yang paling sederhana dan paling banyak digunakan untuk kalangan industri menengah kebawah. Proses ini dilakukan dengan cara meratakan fiberglass dengan jenis *woven roving* atau *choped strand mat* yang dibasahi dengan resin cair dalam cetakan secara manual menggunakan tangan, atau menggunakan kuas. Umumnya tidak menggunakan proses lainnya seperti pemberian tekanan, serta dilakukan pada suhu kamar/tanpa pemanasan.

3. *Spray Lay Up*

Proses pembuatan komposit dengan *spray up* banyak dipakai pada industri pembuatan bodi kapal dan perahu. Resin dan fiberglass dalam bentuk *chopped strand* dicampur dan disemprotkan ke cetakan kemudian diratakan dengan tangan dan menggunakan alat bantu berupa roller. Sebelum menjadi *choped strand*, fiberglass sebelumnya berbentuk *continuos roving* yang dipotong oleh alat sprayer. Proses ini dapat dilakukan untuk bentuk-bentuk yang kompleks dengan banyak lengkungan, yang sulit dilakukan pada proses hand lay-up biasa karena fiberglass jenis *woven roving* dan *choped strand mat* memiliki keterbatasan untuk cetakan dengan kurva-kurva yang kompleks. Untuk mendesain part-part atau struktur yang terbuat dari material komposit, salah satu cara untuk menganalisisnya secara lebih detail namun komprehensif adalah menggunakan metode komputasi yaitu Finite Element Method (FEM); Karena selain kompleksitas dari struktur yang ada, sifat dari material komposit yang anisotropic (berbeda ke berbagai arah) membuatnya sangat kompleks untuk dianalisis secara analitis.

Sifat Fiberglass

Setiap helai fiberglass terstruktur kaku dan kuat saat diregangkan, dikompresi atau dikompresi sepanjang porosnya. Secara umum diasumsikan bahwa serat sebenarnya lemah dalam kompresi atau di bawah kompresi, tetapi asumsi ini sebenarnya didasarkan pada rasio aspek dari serat itu sendiri.

Dalam arti; serat dikatakan mudah ditekuk karena bentuk seratnya tipis dan panjang. Fiberglass, di sisi lain, memiliki kekakuan terendah dan tidak terlalu tebal. H. Pada lebar sumbunya. Oleh karena itu, jika bundel serat dapat diorientasikan secara permanen di dalam bahan seperti yang diinginkan, mencegah serat menekuk di bawah tegangan, bahan akan sangat kuat ke arah tulangan. Setelah diskusi ini; dengan menumpuk beberapa lapisan serat dan mengarahkan setiap lapisan ke arah yang berbeda sesuai kebutuhan, modulus kekakuan dan kekuatan material secara keseluruhan dapat dikontrol secara lebih

efektif. Dalam kasus fiberglass, itu adalah bahan plastik yang menampung fiberglass bertekstur ke arah yang dipilih oleh perancang produk. Sedangkan untuk Cut Matte, dasar orientasinya adalah dua panel datar dengan kain atau lapisan dan tidak ada orientasi khusus.

Oleh karena itu, arah kekakuan dan kekuatan material dapat lebih tepat dikontrol dari dalam panel itu sendiri.

Bagian plastik fiberglass pada dasarnya adalah struktur kulit tipis yang dapat diisi secara internal dengan busa struktural, seperti struktur papan selancar. Komponen juga dapat dibuat dalam hampir semua bentuk, dalam kompleksitas dan toleransi cetakan yang digunakan untuk membuat cangkang.

Sifat Fiberglass

Fiberglass adalah suatu bahan serba guna yang mengkombinasikan keringanan bahan dengan kekuatan intrinsik untuk menyediakan suatu lapisan luar yang tahan segala cuaca, dengan berbagai variasi tekstur permukaan dan cakupan pilihan warna yang tidak terbatas.

Fiberglass dikembangkan di Inggris pada jaman PD II sebagai pengganti tripleks yang dibentuk untuk digunakan pada radome (radar dome atau kubah penutup radar) di pesawat-pesawat (sebab gelombang mikro mampu melewati GRP). Kegunaannya yang pertama di dunia sipil adalah dalam pembuatan perahu, dimana bahan ini diterima secara umum di tahun 1950an. Kegunaannya sekarang telah merambah bidang otomotif dan perlengkapan olahraga seperti juga model pesawat terbang, walaupun untuk yang disebut terakhir ini, kegunaannya sekarang sebagian telah diambil alih oleh bahan carbon fiber yang beratnya lebih ringan per volumenya namun lebih kuat baik secara volume maupun beratnya.

Kegunaan GRP juga meliputi bak air panas, perpipaan untuk air minum dan pembuangan air limbah, kotak display di kantor atau pabrik serta sistem atap datar. Teknik produksi canggih seperti pre-pregs dan fiber rovings akan menambah kegunaannya serta kemungkinan kekuatan regangan dengan plastik yang diperkuat dengan serat.

Fiberglass juga digunakan dalam industri telekomunikasi untuk menyelubungi penampilan luar dari antena. Hal ini disebabkan oleh kemampuannya untuk menyerap RF atau frekuensi radio dan kemampuannya untuk menurunkan kemungkinan pemancaran sinyal yang rendah.

Dapat juga digunakan sebagai penyelubung tampilan luar dari peralatan lain dimana penyerapan tanpa gelombang sangat dibutuhkan, seperti pada lemari perlengkapan dan struktur penyokong berbahan baja. Hal ini disebabkan oleh kemudahan bahan ini dibentuk, diproduksi dan dicat sesuai dengan desain khusus yang diinginkan, seperti untuk membaur dengan struktur yang telah berdiri sebelumnya atau dinding bata. Kegunaan lainnya lagi meliputi GRP berbentuk lembaran yang dibuat menjadi insulator elektrik dan komponen struktural lainnya yang umum ditemukan pada industri pembangkit tenaga.

Tangki Penampungan

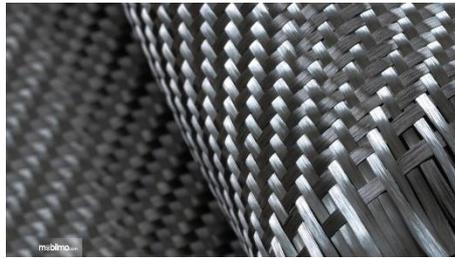
Tangki penyimpanan juga dapat dibuat dari bahan GRP dengan kapasitas hingga 300 ton. Tangki ukuran yang lebih kecil dapat dibuat menggunakan cetakan alas potong untuk lapisan termoplastik bagian dalam tangki. Ini bertindak sebagai alas cetakan dalam proses konstruksi. Tangki yang lebih andal terbuat dari anyaman tikar atau serat luka dengan serat yang berorientasi pada sudut kanan dibandingkan dengan tekanan lingkaran yang diberikan pada dinding tangki oleh isi tangki. Tangki jenis ini biasanya digunakan untuk penyimpanan bahan kimia. Ini karena lapisan plastik (biasanya polypropylene) tahan terhadap berbagai jenis bahan kimia keras. Tangki GRP juga digunakan sebagai septic tank.

2.2 Serat Karbon

Serat Karbon termasuk serat kontinu (grafit), serat karbon dan nanotube karbon dikembangkan menjadi serat yang kuat. Serat karbon adalah jenis bahan nonlogam baru, yang memiliki karakteristik sangat kuat bahkan lebih kuat dari baja. Serat karbon adalah sejenis serat polikristalin dengan grafit yang tidak mengkristal yang tersusun di sepanjang aksial serat.

Semua serat karbon kontinu komersial dibuat dari prekursor karbon diikuti dengan pemintalan menjadi bentuk serat (tahap pemintalan), pengikatan silang menggunakan bahan yang tepat (tahap stabilisasi), dan pemanasan hingga 1200–3000 °C di bawah gas inert untuk menghilangkan non-karbon elemen (langkah karbonasi). Serat karbon menjadi salah satu bahan penguat komposit, yang populer namun mahal karena sifatnya yang sangat kuat.

Sebagai hasil produk karbon komersial yang paling sukses dalam 40 tahun terakhir, serat karbon telah berkembang menjadi salah satu bahan industri modern yang paling penting. Serat ini terutama digunakan sebagai penguat untuk matriks polimer, matriks keramik dan komposit matriks karbon. Saat ini, sebagian besar negara menganggap serat karbon berkinerja tinggi sebagai bahan rekayasa penting untuk abad kedua puluh satu. Berdasarkan sifat mekaniknya, serat karbon dapat diklasifikasikan ke dalam kategori berikut: tipe kekuatan tinggi (HT), tipe kekuatan ultra tinggi (UHT), tipe modulus tinggi (HM) dan tipe modulus ultra tinggi (UHM). Rentang properti mekanik yang sesuai tercantum dalam Tabel 2.1.



Serat karbon
Tabel 2.1.

Properti	UHM	HM	UHT	HT
Modulus young/gpa	>400	300-400	200-350	200-250
Tensile strength	>1.70	>1.70	>2.76	2.0-2.75
Carbon content/%	99.8	99	96.5	94.5

Komposit karbon menggunakan serat karbon dalam matriks karbon. Komposit ini digunakan di lingkungan bersuhu sangat tinggi hingga 6000 ° F (3315 ° C), dan 20 kali lebih kuat dan 30% lebih ringan dari serat grafit. Karbon rapuh dan sensitif terhadap cacat seperti keramik. Penguatan matriks karbon memungkinkan komposit untuk gagal secara bertahap dan juga memberikan keuntungan seperti kemampuan untuk menahan suhu tinggi, kemuluran rendah pada suhu tinggi, kepadatan rendah, kekuatan tarik dan tekan yang baik, ketahanan leleh yang tinggi, konduktivitas termal yang tinggi, dan koefisien yang tinggi. gesekan. Kerugiannya termasuk biaya tinggi, kekuatan geser rendah, dan kerentanan terhadap oksidasi pada suhu tinggi.

Aplikasi komposit karbon

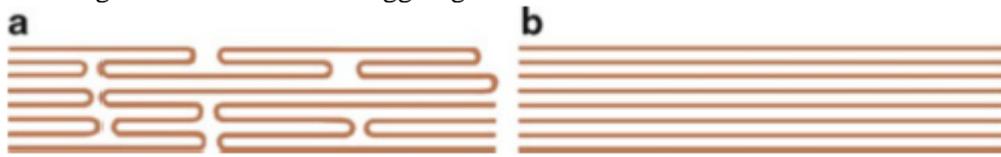
- Moncong hidung pesawat ulang-alik: Pesawat ulang-alik mengalami suhu setinggi sekitar 1700 °C saat memasuki atmosfer bumi. Karena memiliki berat keseluruhan terendah dari semua bahan ablatif, konduktivitas termal yang tinggi untuk mencegah retak permukaan, panas spesifik yang tinggi untuk menyerap fluks panas yang besar, dan ketahanan guncangan termal yang tinggi terhadap suhu rendah dalam ruang -150°C hingga 1700 °C karena masuk kembali, komposit karbon-karbon adalah bahan pilihan untuk kerucut hidung. bahan karbon-karbon juga masih utuh dan dapat digunakan berulang kali.
- Rem pesawat: rem karbon memiliki daya tahan yang unggul (dua hingga empat kali lipat dari baja) dan panas spesifik yang tinggi (2,5 kali lipat dari baja) dibandingkan dengan rem pasangan logam.
- Pengencang mekanis: Pengencang yang diperlukan untuk aplikasi suhu tinggi terbuat dari komposit karbon-karbon karena kekuatannya sedikit berkurang pada suhu tinggi.

2.3 Serat organik

Secara umum, rantai polimer mengasumsikan konfigurasi kumparan acak, yaitu, memiliki struktur yang digambarkan seperti spaghetti matang. Dalam struktur kumparan acak ini, rantai makromolekul tidak disejajarkan dalam satu arah atau direntangkan. Dengan demikian, mereka memiliki

interaksi van der Waals yang lebih lemah daripada interaksi kovalen yang kuat, menghasilkan kekuatan dan kekakuan yang rendah. Karena ikatan karbon-karbon kovalen sangat kuat, dapat diperkirakan bahwa polimer rantai linier, seperti polietilen, berpotensi sangat kuat dan kaku. Polimer konvensional menunjukkan modulus Young, E , sekitar 10 GPa atau kurang. Polimer dengan modulus Young sekitar 70 GPa dapat diperoleh dengan mudah.

Namun, jika menginginkan serat organik yang kuat dan kaku, dibutuhkan rantai molekul yang berorientasi teratur serta memiliki orientasi memanjang. Jadi, untuk mendapatkan polimer dengan kekakuan tinggi dan kekuatan tinggi, kita harus memperpanjang rantai polimer ini dan mengemasnya dalam susunan paralel. Orientasi rantai polimer ini sehubungan dengan sumbu serat dan cara mereka cocok bersama (yaitu, urutan atau kristalinitas) dikendalikan oleh sifat kimianya dan rute pemrosesan. Orientasi rantai molekul tanpa ekstensi molekul tinggi ditunjukkan pada Gambar. 2.1a sedangkan orientasi rantai dengan ekstensi molekul tinggi digambarkan 2.1 b



Gambar 2.1. ikatan molekular polimer (a) type ekstensi molekular rendah (b) ekstensi molekular tinggi

Struktur rantai yang ditunjukkan pada Gambar. 2.b, adalah struktur rantai yang memiliki orientasi rantai molekul ditambah dengan ekstensi rantai, yang diperlukan untuk kekakuan tinggi dan kekuatan tinggi. Untuk mendapatkan nilai modulus Young lebih besar dari 70 GPa, diperlukan rasio penarikan yang agak tinggi, yaitu tingkat pemanjangan yang sangat tinggi harus dilakukan dalam kondisi tertentu sehingga pemanjangan makroskopik menghasilkan pemanjangan yang sesuai pada tingkat molekuler. Modulus Young E dari serat polimer meningkat secara linier dengan rasio deformasi (rasio tarik dalam gambar tarik atau gambar mati dan rasio ekstrusi dalam ekstrusi hidrostatik). Perilaku menggambar polimer adalah fungsi sensitif dari (1) berat molekul dan distribusi berat molekulnya dan (2) kondisi deformasi (suhu dan laju regangan). Temperatur penggambaran yang terlalu rendah menghasilkan rongga, sedangkan temperatur penggambaran yang terlalu tinggi menghasilkan penarikan aliran, yaitu, pemanjangan makroskopik material yang tidak menghasilkan penjajaran molekul, dan akibatnya, tidak ada peningkatan kekakuan yang dihasilkan. Namun, struktur rantai makromolekul yang berorientasi dan diperluas tidak mudah untuk dicapai dalam praktiknya. Namun demikian, kemajuan besar di bidang ini dibuat selama seperempat terakhir abad kedua puluh. Serat organik, seperti aramid dan polietilen, yang memiliki kekuatan dan modulus tinggi adalah hasil dari realisasi ini. Dua pendekatan yang sangat berbeda telah diambil untuk membuat serat organik modulus tinggi :

1. Memproses polimer rantai fleksibel konvensional sedemikian rupa sehingga struktur internal mengambil pengaturan rantai yang berorientasi dan diperpanjang. Modifikasi struktural polimer "konvensional" seperti polietilen modulus tinggi dikembangkan dengan memilih distribusi berat molekul yang sesuai, diikuti dengan menggambar pada suhu yang sesuai untuk mengubah struktur rantai terlipat asli menjadi struktur rantai yang berorientasi dan diperpanjang.
2. Pendekatan kedua, yang sangat berbeda, melibatkan sintesis, diikuti dengan ekstrusi kelas polimer baru, yang disebut polimer kristal cair. Ini memiliki struktur rantai molekul batang kaku. Keadaan kristal cair, seperti yang akan kita lihat, telah memainkan peran yang sangat penting dalam menyediakan serat rantai panjang yang sangat teratur.

Kedua pendekatan ini telah menghasilkan dua serat kekuatan tinggi dan kekakuan tinggi yang dikomersialkan, polietilen dan aramid.

2.4 Serat keramik

Serat keramik kontinu menghadirkan paket properti yang menarik. Serat ini menggabungkan kekuatan tinggi dan modulus elastisitas dengan kemampuan suhu tinggi dan kuat terhadap perubahan lingkungan /iklim. Karakteristik ini membuat serat keramik menarik sebagai bahan struktural untuk suhu tinggi.

Ada tiga metode untuk membuat serat keramik: deposisi uap kimia, pirolisis polimer, dan teknik sol-gel. Dua yang terakhir melibatkan teknik yang agak baru untuk memperoleh keramik dari polimer organologam. Teknik sol-gel merupakan pembuatan serat kaca berbahan dasar silika. Teknik sol-gel juga digunakan untuk memproduksi berbagai serat oksida berbasis alumina secara komersial. Terobosan lain di bidang serat keramik adalah konsep pirolisis; dalam kondisi terkendali, polimer yang mengandung silikon dan karbon atau nitrogen dapat diubah menjadi serat keramik suhu tinggi. Ide ini tidak lain adalah perluasan rute pirolisis polimer untuk menghasilkan berbagai serat karbon di mana polimer berbasis karbon yang sesuai (misalnya, PAN atau pitch) dikenai pemanasan terkontrol untuk menghasilkan serat karbon. Jalur pirolisis untuk memproduksi serat keramik telah digunakan dengan polimer yang mengandung silikon, karbon, nitrogen, dan boron, dengan produk akhir berupa SiC, Si₃N₄, B₄C, dan BN dalam bentuk serat, busa, atau pelapis.

Keramik dikenal sebagai material kuno yang telah dikembangkan oleh peradaban Cina kuno. Sebagai salah satu pencapaian Tiongkok yang luar biasa, bahan keramik tradisional adalah kelas bahan tanah liat yang dapat dicetak menjadi berbagai bentuk yang mengeras pada perlakuan suhu tinggi. Bahan ini adalah bahan polikristalin dengan kekuatan spesifik. Pada saat ini, perkembangan ilmiah dan teknologi manufaktur keramik semakin berkembang dan melibatkan teknologi canggih. Diantaranya termasuk pemurnian dan bidang terkait, keramik telah berkembang dari keramik tradisional menjadi keramik canggih.

Keramik canggih terutama mengacu pada oksida bukan logam, oksida kuasi-logam, karbida, nitrida, alumina, aluminium nitrida dan karbon, dll. Bahan bakunya umumnya memiliki kemurnian tinggi, senyawa anorganik sintesis ultra-halus. Karakteristik umum bahan keramik memiliki stabilitas suhu tinggi, ketahanan oksidasi, ketahanan erosi, ketahanan korosi, ketahanan aus, kekerasan tinggi dan laju mulur rendah serta fitur kopling yang terkait dengan sifat cahaya, listrik, magnetik, akustik dan termal. Bahan keramik terutama digunakan di bidang teknis berteknologi tinggi dan militer yang membutuhkan stabilitas suhu tinggi, ketahanan korosi dan ketahanan aus, dll. Contohnya adalah segel mekanis, bantalan keramik, katup bola, silinder keramik, dan alat pemotong.

Dengan perkembangan ilmu dan rekayasa material, material keramik canggih telah berkembang dari material massal polikristalin ke material berdimensi rendah seperti serat. material ini tidak hanya mempertahankan karakteristik asli keramik tetapi juga memiliki fitur baru yang memperluas kemungkinan aplikasi bahan keramik dan menghasilkan variasi produk baru. Namun, bidang teknologi tinggi seperti meliputi, energi, dan bahan kimia menuntut bahan dengan sifat mekanik yang sangat baik dan juga mengharuskan sifat tahan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem seperti pemanasan aerodinamis dan suhu tinggi yang dihasilkan, kerapatan fluks panas tinggi, erosi partikel berkecepatan tinggi, dan erosi kandungan garam. Bahan-bahan ini harus memiliki stabilitas kimia dan mekanik termal yang sangat baik pada 1500 °C.

Banyak penelitian telah dikhususkan untuk pengembangan komposit matriks keramik dan komposit matriks senyawa intermetalik. Namun, karena sifat rapuh dan keandalan keramik yang buruk, ini adalah satu-satunya metode yang efektif untuk menghasilkan komposit matriks keramik yang sangat baik menggunakan keramik penguat dengan serat atau whisker berperforma tinggi. Komposit matriks keramik yang diperkuat serat keramik saat ini digunakan dalam pembuatan komponen pesawat ulang-alik, bahan perlindungan termal, mesin berkinerja tinggi, penukar panas suhu tinggi, dan bahan struktur suhu tinggi lainnya. Beberapa keramik oksida seperti kuarsa dan Al₂O₃ dapat dilebur menjadi serat keramik menggunakan kemurnian tinggi atau kemurnian terkontrol dan bahan keramik komposisi, tetapi sebagian besar keramik tidak dapat langsung dipintal menjadi serat keramik karena titik lelehnya yang tinggi. Pendekatan umum adalah mensintesis prekursor pra-keramik, yang dapat berupa prekursor anorganik atau prekursor polimer organik. Prekursor dapat dengan mudah dipintal menjadi serat hijau dan kemudian diubah menjadi serat keramik setelah pembakaran dan sintering pada suhu tinggi. Seperti serat organik, serat keramik memiliki kekuatan tinggi, modulus tinggi, diameter halus dan kinerja tenun yang baik; Namun, serat keramik juga memiliki stabilitas suhu tinggi, ketahanan oksidasi dan kekerasan tinggi. Oleh karena itu, serat keramik diyakini sebagai penguat penting untuk polimer canggih, logam, dan komposit matriks keramik.

2.4.1 Serat Alumina

Fase utama serat alumina adalah α - Al_2O_3 , dan sejumlah kecil SiO_2 , B_2O_3 , Zr_2O_3 , MgO , dll. juga ada. Serat ini memiliki ketahanan oksidasi suhu tinggi yang sangat baik dan stabilitas suhu tinggi hingga 1400°C . Serat ini banyak mendapat perhatian saat ini. Produksi serat Al_2O_3 baru menggunakan oksida besi untuk pemurnian butir. Kekuatan tarik dan modulus elastisitas serat ini masing-masing setinggi 3,2 dan 370 GPa (Nextel610). Selain itu, Nextel610 memiliki konduktivitas termal yang rendah, sifat elektrokimia yang unik, dan sifat ketahanan korosi. Dibandingkan dengan serat keramik lainnya, serat alumina memiliki prosedur pemrosesan yang sederhana, kebutuhan peralatan yang minimal dan tidak memerlukan perlindungan gas inert. Oleh karena itu, hemat biaya dan memiliki nilai komersial yang besar. Ini adalah serat penguat penting yang dapat digunakan secara luas di industri material komposit militer dan sipil. Metode persiapan dan komposisi serat alumina beragam, dan karakteristiknya berbeda dari produk ke produk. Serat alumina dapat berupa merek kontinu atau non-kontinu dan umum.

Sifat-sifat serat memiliki perbedaan pada variasi metode dan komposisi. Serat alumina terutama diklasifikasikan sebagai dua jenis serat, yaitu penguat komposit atau bahan isolasi suhu tinggi. Serat kontinu dapat ditunen menjadi lembaran, keping, tali dan bentuk khusus lainnya, terutama digunakan untuk memperkuat matriks Al, Ti, SiC dan oksida untuk memproduksi komposit insulasi fleksibel. Karena serat dan matriks ini sangat cocok, komposit mereka telah digunakan dalam pesawat supersonik, nozel mesin roket dan gasket. Serat pendek alumina terutama digunakan sebagai bahan tahan api isolasi di tungku metalurgi, tungku sintering keramik atau tungku suhu tinggi lainnya. Selain kemampuannya untuk meningkatkan sifat mekanik dan untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus dari matriks, serat alumina memiliki kepadatan rendah, insulasi yang baik, kapasitas termal rendah, hemat energi yang efektif, dan memiliki koefisien ekspansi termal yang rendah. Oleh karena itu, komposit matriks aluminium yang diperkuat serat alumina telah diterapkan pada produksi piston mobil, batang penghubung, bagian rem, bilah putar kompresor gas, dan perangkat transmisi helikopter. Selain itu, modulus Young serat alumina lebih tinggi daripada serat kaca dan kekuatan tekannya lebih tinggi daripada serat karbon. Yang penting, seratnya berwarna putih dan polimer yang diperkuat serat alumina dapat dibuat menjadi joran berwarna, par golf, ski, raket tenis, dan barang lain yang memerlukan intensitas tinggi dan sifat kekakuan tinggi.

Serat alumina masih dalam tahap pengembangan laboratorium di Cina, tetapi serat insulasi pendek aluminium silikat dan aluminium borat telah diproduksi dalam skala besar. China tertinggal dalam serat alumina kontinu berkinerja tinggi

2.4.2 Serat karbid silikon

Seri serat ini terdiri dari serat silikon karbida (SiC), serat silikon nitrida (Si_3N_4) dan serat keramik berbasis silikon baru di mana silikon adalah elemen utama yang mengandung sejumlah kecil B, Ti, Zr dan C.

Serat SiC adalah jenis baru dari serat keramik dengan kekuatan yang sangat baik, modulus, stabilitas suhu tinggi, ketahanan oksidasi, ketahanan korosi, sifat radiasi antineutron dan transmisi elektromagnetik dan sifat penyerapan. Serat SiC adalah spesies penting yang merupakan penguat ideal untuk komposit struktural dan telah mengalami perkembangan pesat untuk digunakan dalam serat keramik di industri.

1980-an. Persiapan serat SiC kontinu terutama dilakukan dengan deposisi uap kimia (CVD) dan dengan metode turunan polimer pra-keramik (PPD). Kedua metode dapat digunakan untuk menghasilkan serat SiC terus menerus.

2.4.3 Serat boron nitrida (BN)

Sebagai berbagai serat tahan panas anorganik, serat BN berwarna putih, serat polikristalin fleksibel. Menurut metode pembuatan dan struktur mikronya, serat ini biasanya dibagi menjadi serat komposit dan serat murni Yang pertama dibuat oleh CVD menggunakan borana, amonia dan boron triklorida sebagai uap gas, dan kawat W panas sebagai pendukung deposisi dan inti dari serat komposit. Yang terakhir biasanya berasal dari serat B_2O_3 yang meleleh setelah perlakuan dengan NH_3 untuk memberikan boron amina yang tidak stabil pada suhu rendah dan polikristalin BN tahan panas pada 1800°C . Serat BN memiliki insulasi termal yang unggul dan stabilitas suhu tinggi, insulasi listrik yang sangat

baik dan sifat dielektrik yang baik; selain itu, mereka memiliki ketahanan yang baik terhadap radiasi, sinar inframerah dan korosi kimia. Ketika digunakan sebagai penguat untuk komposit matriks keramik, mereka dapat meningkatkan ketangguhan dan ketahanan goncangan termal. Mereka telah digunakan untuk membuat komponen jendela gelombang mikro, cincin pemisah dalam teknologi pengecoran kontinu dan membran sel dalam satelit komunikasi. Misalnya, kuarsa yang diperkuat serat BN telah digunakan sebagai komponen jendela antena rudal dan memenuhi semua persyaratan lingkungan luar angkasa. Si_3N_4 yang diperkuat serat BN dapat bertahan dari erosi baja karbon dan baja tahan karat pada $1600\text{ }^\circ\text{C}$, menunjukkan bahwa komposit dapat menahan kejutan termal yang dihasilkan oleh perbedaan suhu yang luar biasa.

Serat BN dapat menahan erosi jangka panjang dengan larutan KOH 40% berat dan sebagai membran sel baterai alkaline dan baterai berenergi tinggi, serat ini tahan korosi, tahan migrasi Ag_2O , dan stabil pada suhu tinggi dengan kemampuan menahan elektrolit. Oleh karena itu, serat BN merupakan bahan membran sel yang baik.

Selain itu, serat BN adalah bahan pelumasan yang ideal karena sifat pelumasan suhu tinggi yang baik, yang berasal dari kesamaan strukturnya dengan grafit. Serat BN dapat digunakan sebagai bahan pakaian pelindung karena memiliki kemampuan menyerap neutron dengan ketahanan terhadap ultraviolet dan kosmik sinar. Berdasarkan stabilitas kimianya yang sangat baik, serat BN juga dapat digunakan dalam bentuk kertas dan karpet sebagai filter kimia dan filter gas.

Amerika Serikat adalah negara pertama yang memproduksi serat BN. Bekas Uni Soviet dan Jepang juga melakukan studi sistematis ke dalam serat BN. Pada tahun 1966, Emery Co. di AS adalah yang pertama memproduksi serat BN dan mereka memproduksi serat BN berkekuatan tinggi dan modulus tinggi pada tahun 1978. Pada saat yang sama, berbagai produk serat BN seperti kertas, kain kempa, dan papan dikembangkan. Pada tahun 1976, penelitian dilakukan di Cina untuk mereaksikan B_2O_3 dengan amonia, dan hubungan antara struktur mikro dan kinerja dipelajari secara sistematis. Pada tahun 1993, serat BN dengan kinerja serupa diperoleh.

Karena kompleksitas reaksi padat-gas, serat BN yang diperoleh hampir tidak homogen [43]. Pada 1990-an, penelitian difokuskan pada pembuatan serat BN dari prekursor polimer untuk mengatasi kekurangan proses nitridasi [44]. Saat ini, kekuatan tarik serat BN yang diturunkan dari polimer mencapai 1,5 IPK.

Amerika Serikat adalah negara paling awal dan paling penting dalam penelitian dan pengembangan serat boron. Pada pertengahan 1960-an, AVCO memproduksi serat boron inti W dan inti C menggunakan hidrogen dan boron triklorida. Diameter serat kontinu adalah 100-200 μm . Textron Inc. kemudian memproduksi serat boron berkekuatan tinggi, modulus tinggi, dan kepadatan rendah. Pada bulan Juli 1985, perusahaan metalurgi vakum Jepang mengembangkan serat boron dengan kekuatan tarik tertinggi di dunia pada 5,2 GPa dan mendirikan pabrik percontohan.

Bekas Uni Soviet dan Prancis juga melakukan penelitian dan membuat kemajuan yang luas. China memulai studi ini pada awal 1970-an, dan lima jalur percontohan telah diselesaikan. Kinerja serat yang dekat dengan negara-negara lain. Sifat-sifat serat boron tipikal tercantum dalam Tabel 2.36. Performa mereka terkait erat dengan diameternya.

Evaluasi

1. Jelaskan yang dimaksud dengan serat buatan
2. Sebutkan macam-macam serat buatan
3. Jelaskan kelebihan dari serat buatan
4. Jelaskan kekurangan dari serat buatan
5. Jelaskan serat kaca/fiber glass
6. Jelaskan perbedaan serat kaca dan serat karbon
7. Jelaskan kelebihan serat keramik

Bab 3

Serat Alam

Serat alami berasal dari lignoselulosa, yang mengandung sangat terpolarisasi gugus hidroksil. Serat ini menunjukkan sifat yang berlawanan dengan termoplastik, yaitu hidrofobik, yang tidak diinginkan, dan membatasi potensi serat alami. Kesulitan dalam pencampuran dengan matriks memperburuk masalah, yang menghasilkan komposit dengan lemah ikatan (Li et al. 2007). Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan perawatan permukaan serat alam.

Beberapa perawatan kimia dari permukaan serat termasuk mercerization, asetilasi, silane coupling agen, kopolimer cangkok dan benzoilasi. Perawatan permukaan ini berubah morfologi permukaan dan elemen struktur serat alam. Penting perbaikan dalam sifat mekanik dan stabilitas termal telah dihasilkan dari permukaan ini perawatan. Alkalisasi dan merserisasi adalah metode perawatan permukaan yang umum untuk serat alami. Banyak studi tentang efek merserisasi telah dilakukan, yang menunjukkan hasil positif pada sifat mekanik komposit

Contoh perawatan alkali termasuk perawatan menggunakan kalium hidroksida, litium hidroksida (LiOH), dan natrium hidroksida (NaOH); konsentrasi bahan kimia mempengaruhi perilaku hidrofilik serat. Perlakuan alkali mempengaruhi bahan kimia komposisi serat, yang dapat mengurangi penyerapan airnya. Hasil ini mungkin karena penghilangan komponen lignin dan hemiselulosa, lilin, dan minyak serat yang diilustrasikan pada . Selanjutnya, sifat hidrofilik serat diubah menjadi sifat yang lebih hidrofobik dengan perlakuan alkali. Perlakuan alkali juga mengurangi diameter serat, sehingga meningkatkan rasio aspek. Peningkatan rasio aspek membuat permukaan menjadi kasar, yang selanjutnya meningkatkan sifat mekanik serat, menghasilkan ikatan yang lebih baik antara serat dan matriks. Kenaf dan rosela agak mirip dalam hal sifat dan morfologi mereka. Serat kenaf sebelum dan sesudah perlakuan alkali untuk berbagai persentase konsentrasi NaOH. Setelah perawatan, serat kenaf jelas berkembang permukaan kasar dan kotoran dihilangkan, yang mengarah pada peningkatan mekanis sifat-sifat komposit. Secara fisik, adanya permukaan kasar memberikan sifat mekanis mengunci antara permukaan serat dan matriks, yang dapat meningkatkan ikatan antarmuka antara mereka. Perlakuan alkali serat alam diilustrasikan dalam skema 1. Menyajikan informasi yang dikumpulkan mengenai perlakuan alkali yang dilakukan oleh beberapa peneliti serat alam.

Serat alami, sebagai pengganti serat yang direkayasa, telah menjadi salah satu topik yang paling banyak diteliti selama beberapa tahun terakhir. Ini karena sifat-sifat yang melekat, seperti biodegradabilitas, keterbaruan dan ketersediaannya yang melimpah jika dibandingkan dengan serat sintetis. Serat sintetis berasal dari sumber daya terbatas (bahan bakar fosil) dan karenanya, terutama dipengaruhi oleh harga minyak volatilitas dan akumulasi mereka di lingkungan dan/atau lokasi TPA sebagai kelemahan utama sifat mekanik dan sifat termal mereka melebihi serat alami. Kombinasi serat/pengisi ini, sebagai penguat berbagai bahan polimer, menawarkan peluang baru untuk menghasilkan bahan dan struktur multifungsi untuk aplikasi canggih. Selain energi, perlindungan lingkungan adalah salah satu masalah utama yang dihadapi generasi saat ini. Strategi baru diperlukan sekarang lebih dari sebelumnya untuk melindungi lingkungan atau menghasilkan produk, yang tidak berbahaya bagi lingkungan. Serat alami telah banyak memperoleh perhatian sebagai alternatif pengganti untuk serat sintetis, sebagai penguat berbagai resin untuk aplikasi komposit karena sifat sifatnya, seperti: kepadatan rendah, kekuatan spesifik tinggi dan terbarukan, berkelanjutan, dan ramah lingkungan [2-4]. Serat alami memiliki fitur unik, seperti: biaya rendah, ketersediaan berlimpah dan sumber daya terbarukannya menyerap karbon dioksida, yang mengurangi polusi lingkungan. Selama pemrosesan, serat alami tidak menghasilkan gas berbahaya dan tidak abrasif terhadap peralatan pemrosesan. Perhatian utama serat alami adalah sifat hidrofilik yang diwariskan dan sangat mudah terbakar yang membatasi keberhasilannya dalam penguatan polimer. Karakter hidrofilik mereka menghasilkan

penyerapan air yang tinggi, adhesi antar-muka matriks-serat yang buruk dan dispersi serat yang buruk. Sebuah penelitian yang cukup signifikan telah dilakukan perlakuan pada permukaan serat alami untuk mengatasi keterbatasan ini. Diakui bahwa berbagai aspek seperti kondisi pertumbuhan, metode panen, dan kematangan sering mempengaruhi sifat serat alami. Keterbatasan serat sintetis adalah biaya tinggi dan mereka berasal dari sumber daya yang terbatas, yaitu. bahan bakar fosil. Pemrosesan bahan bakar fosil saja menghasilkan berbagai gas (mis. CO₂, metana, dinitrogen oksida dan banyak lainnya), yang berkontribusi pada pencemaran lingkungan yang tidak diinginkan. Selain itu, selama produksi komposit, gas berbahaya dibebaskan, yang menyebabkan penyakit mengerikan, mis. kanker dan proses serat sintetis dapat menyebabkan abrasi ke peralatan pemrosesan. Namun disisi lain, serat sintetis memiliki umur yang panjang, yang menawarkan lebih banyak keuntungan terhadap aplikasi industri. Kesadaran lingkungan telah menarik para peneliti untuk membuat komposit baru dengan lebih dari satu penguatan sumber daya alam melalui hibridisasi. Hibridisasi melibatkan kombinasi bahan pengisi dan serat alami yang menghasilkan peningkatan sifat mekanik komposit. Banyak literatur tersedia yang menunjukkan sifat mekanis komposit serat alami. Kinerja mekanis komposit yang diperkuat serat dapat dipengaruhi oleh banyak faktor termasuk volume atau fraksi berat tulangan, orientasi serat, rasio aspek serat, adhesi serat-matriks, penyejajaran serat, distribusi, penggunaan aditif, dan perlakuan kimia serat. Penting untuk menambahkan bahwa penyerapan kelembaban komposit juga mempengaruhi perilaku mekanis komposit yang mengarah pada ikatan antar muka yang buruk antara serat dan polimer matriks hidrofobik. Selama beberapa dekade terakhir, upaya telah dilakukan dalam mengembangkan bahan yang menggantikan bahan yang ada untuk memiliki sifat mekanik dan tribologis yang lebih baik untuk berbagai aplikasi. Dalam pandangan ini bahan monolitik digantikan oleh serat dan bahan- bahan seperti karbon, kaca, serat aramid yang banyak digunakan dalam industri penerbangan, otomotif, konstruksi, dan olahraga, dll. Namun, bahan- bahan ini memiliki beberapa kelemahan seperti non- biodegradabilitas, non-terbarukan, persyaratan energi tinggi untuk produksi, dan juga berbahaya bagi lingkungan karena produksi bahan-bahan ini melepaskan sejumlah besar karbon dioksida ke atmosfer. Oleh karena itu, untuk mengatasi semua kelemahan ini para peneliti telah berupaya untuk mempelajari berbagai komposit yang diperkuat serat alami yang memiliki sifat yang lebih baik sehingga mereka dapat menggantikan serat sintetis dalam berbagai aplikasi. Karena permintaan untuk bahan baru yang memiliki sifat lebih baik daripada yang sudah ada, para peneliti telah mencoba berbagai jenis bahan alami dengan serat alami berbeda yang diperoleh dari buah, biji, daun, batang, hewan, dll. Seperti dibahas di atas, serat alami dimodifikasi dengan menggunakan perlakuan kimia yang berbeda sehingga memodifikasi sifat-sifat dan meningkatkan sifat-sifat komposit serat alami. Juga, polimer dan bahan sintetis lainnya telah digunakan bersama dengan serat alami untuk meningkatkan sifat-sifat serat alami dan ide-ide ini telah menyebabkan pengembangan beberapa komposit hibrida yang diperkuat dengan serat alami. Serat alami sangat ringan jika dibandingkan dengan serat sintetis. Bahan komposit polimer sintetis dapat digantikan oleh bahan komposit serat- polimer alami karena kekuatan dan modulus spesifik tinggi, ketersediaan, biaya rendah, ringan, dapat didaur ulang, biodegradabilitas, tidak adanya bahaya kesehatan dan sifat non-abrasif. Komposit menggunakan serat alami dan resin berbasis bio diperkirakan akan berkembang eksplosif dalam beberapa tahun mendatang. Meskipun ada banyak jenis resin termoset yang digunakan dalam industri komposit, bagian strukturalnya terutama terbuat dari poliester, vinilester, epoksi dan fenol-formaldehida, dll. Hambatan utama dalam penggunaan luas serat alami ini dalam berbagai matriks polimer adalah kompatibilitas yang buruk antara serat dan matriks dan karakteristik penyerapan kelembaban tinggi yang melekat yang membawa perubahan dimensi pada serat berbasis ligno-selulosa.

3.1 Serat Kapas

Serat kapas adalah serat halus yang menutupi benih beberapa spesies *Gossypium* (biasa disebut "pohon"/tanaman kapas), yang merupakan tanaman "perdu" asli daerah tropis dan subtropis. Serat kapas merupakan bahan penting dalam industri tekstil. Serat dipintal menjadi benang dan ditunen menjadi

kain. Tekstil yang terbuat dari serat kapas biasa disebut dengan kapas (benang atau kain). Serat kapas adalah produk yang berharga karena hanya sekitar 10% dari total berat produk yang hilang dalam pemrosesan. Selulosa adalah struktur yang memberi kapas kekuatan, daya tahan, dan daya serap yang unik. Tekstil yang terbuat dari bahan katun (cotton) menyerap keringat, membuat Anda tetap hangat saat dingin dan sejuk saat panas.

Kapas mengandung selulosa sehingga sifat kimia cenderung sama dengan sifat kimia selulosa. Kapas tahan terhadap kondisi penyimpanan, pengolahan dan pemakaian normal. Kapas merupakan sebuah serat alami dalam pembuatan kain katun yang banyak digunakan dalam produksi pakaian, perabot rumah tangga, dan produk industri lainnya. Bahkan, pada tahun 2004, 40% serat yang digunakan dalam proses produksi adalah serat kapas.

Serat kapas adalah biji dari tanaman ordo Malvales, suku Gossypieae dan Genus Gossypium. Secara botani, ada 4 jenis spesies kapas utama yang dijinakan untuk komersil, yaitu *Hirsutum*, *Barbadense*, *Aboreum*, dan *Herbaceum*, sehingga sampai saat ini 4 jenis spesies ini dianggap sebagai semak liar yang tidak mempunyai nilai komersil. Jenis spesies diluar 4 jenis tersebut mempunyai varietas yang berbeda yang dikembangkan melalui program pemberdayaan untuk menghasilkan kapas dengan sifat-sifat yang terus meningkat. Pengembangan itu misalnya dalam hal cepat matang, peningkatan hasil, peningkatan resistensi serangga dan penyakit, dan serat dengan panjang, kekuatan, dan keseragaman yang lebih besar.

Serat kapas yang saat ini digunakan dalam industry atau perdagangan tekstil merupakan dinding sel kering dari sel kapas tersebut. Secara botani, serat kapas adalah trikoma atau bulu pembungkus biji yang membedakan dari sel epidermis biji kapas yang sedang berkembang. Biasanya, bunga kapas hanya mekar dalam satu hari, dan pada saat mekar kelopak bunga akan berwarna putih. Pada hari selanjutnya, kelopak berubah menjadi merah muda cerah dan setelah bunga mekar kelopak akan jatuh dari karpelnya (boll).

Kekuatan serat kapas dipengaruhi oleh kadar selulosa dalam serat, panjang rantai dan orientasinya. Kekuatan serat kapas perbundel rata-rata adalah 96.700 pound per inci² minimum 70.000 dan maksimum 116.000 pound per inci². Selama ini jenis serat kapas baru dimanfaatkan secara umum dan belum digunakan secara khusus dengan memanfaatkan potensi karakteristik mekanisnya sebagai material untuk struktur. Serat kapas sudah dikembangkan untuk industri material komposit hal ini karena potensi ketersediaan yang melimpah dan keistimewaan sifatnya. Serat kapas biasa digunakan untuk tambahan material papan komposit bermatrik polyster dan bahan restorasi gigi yang sering digunakan adalah resin komposit. Resin komposit terdiri dari matriks dan partikel pengisi (filler) anorganik. Sebagai penguat, serat kapas sangat menentukan sifat mekanik dari komposit. Hal ini sebagaimana fungsi penguat, serat kapas secara efektif meneruskan beban yang didistribusikan oleh matrik. Kekuatan sebuah komposit sangat dipengaruhi pada sifat dari fiber, fraksi volume fiber dan juga sifat dari interface fiber – matrik. Diketahui bahwa kekuatan dan sifat-sifat dari komposit tergantung pada serat pengisinya. Kekuatan komposit meningkat dengan meningkatnya fraksi volume fiber sampai 52%. Lebih dari 55% fraksi volume fiber akan mengakibatkan menurunkan nilai strain to failure.

Komposisi Serat Kapas

Sebagai salah satu jenis serat alami yang banyak digunakan untuk keperluan sandang serat kapas sendiri umumnya tersusun atas selulosa, protein, debu, minyak lemak dan lilin, substansi pektin, pigmen dan zat-zat lainnya.

a. Selulosa

Selulosa merupakan salah satu bahan utama penyusun serat kapas yang memiliki rumus molekul glukosa (CHO)

b. Protein

Protein pada serat kapas merupakan sisa-sisa protoplasma sel hidup yang tertinggal dalam lumen setelah selnya mati pada saat buah membuka

c. Debu

Debu pada serat kapas biasanya berasal dari kulit buah daun dan kotoran lain yang menempel pada serat. Kadar debu dalam serat biasanya akan berkurang pada proses pemasakan dan pengelantangan.

d. Minyak, Lemak dan Lilin

Minyak lemak dan lilin merupakan tiga jenis zat yang dapat berfungsi sebagai lapisan pelindung pada serat kapas dan biasanya tersebar diseluruh dinding primer. Ketiga bahan tersebut dapat digunakan sekaligus sebagai pelumas saat proses pemintalan serat.

e. Substansi Pektin

Pektin merupakan karbohidrat dengan berat molekul yang tinggi dan strukturnya hampir sama dengan zat selulosa. Yang menjadi perbedaannya adalah pektin ini akan terurai menjadi galaktosa, pentosa, metil alkohol dan asam poligalakturonat.

Selain selulosa pektin juga termasuk kedalam jenis zat penting yang berfungsi menyusun serat. Dengan pemasakan dalam larutan Natrium Hidroksiada (NaOH) pektin dapat hilang. Hilangnya pektin tidak mempengaruhi kekuatan serat dan kerusakan serat kapas.

Manfaat serat kapas

Manfaat serat kapas sangat luas. Sejak ditemukannya, serat kapas menjadi bagian yang tak terpisahkan dalam kehidupan manusia sehari-hari.

1. Sebagai bahan baku

Keuntungan utama dari serat kapas adalah pengolahannya menjadi benang. Benang yang terbuat dari serat pase dapat diolah kembali sebagai bahan baku di pabrik tekstil dan konveksi, atau dijual dalam bentuk gulungan ke toko kain dan kemudian dibeli sebagai bahan produksi oleh penjahit dan yang suka menjahit.

2. Bahan utama pembuatan kain dan bahan tekstil

Serat kapas dalam jaring benang dipasok ke pabrik tekstil. Di pabrik tekstil ini, serat dari kapas diolah menjadi tekstil. Ini umumnya dikenal hari ini sebagai kain katun. Kain ini biasa digunakan oleh produsen tekstil untuk membuat kain yang bermanfaat bagi masyarakat luas, seperti: Misalnya: - serbet, sapu tangan - sprej dan selimut.

3. Bahan utama pakaian dan pakaian adalah katun

Serbet serat kapas tidak hanya digunakan sebagai taplak meja, tetapi juga kapas dalam kehidupan, menjadikannya area bisnis yang menarik. Salah satunya adalah pengolahan komponen dasar kain katun dari serat kapas menjadi pakaian dan garmen. Pakaian atau bahan pakaian yang biasanya dibuat dengan menggunakan kain katun adalah kaos oblong, kemeja, celana jeans, celana pendek, dan berbagai aksesoris lainnya yang dapat digunakan sebagai pakaian atau apparel. Keunggulan baju dan garmen berbahan serat kapas adalah :

- menyerap keringat
- kuat
- sejuk saat panas, hangat saat dingin
- Mudah dimodifikasi dalam bentuk sablon

4. Kapas pembersih wajah dan kapas pembersih untuk membersihkan elektronik dengan alkohol

5. Sebagai komponen utama spons bedak

Jika Anda memakai banyak riasan, Anda harus terbiasa dengan bedak. Untuk mengaplikasikan bedak pada wajah, Anda membutuhkan spons agar bedak menempel dengan pas di wajah Anda. Tahukah Anda apa bahan utama spons yang Anda gunakan untuk bedak? Ya, sponsnya terbuat dari serat kapas, sehingga spons untuk bedak memiliki tekstur yang sangat halus dan lembut di wajah Anda.

6. Perban dan Perban

Manfaat serat kapas bagi tubuh yang perlu anda ketahui adalah salah satu bahan dasar yang digunakan dalam pembuatan perban dan plester dan biasa disebut dengan kain kasa. untuk kecelakaan yang membantu dalam banyak hal, seperti membalut luka dan membalut tulang yang patah.

7. Sebagai perhiasan atau perhiasan

Kapas banyak digunakan dalam pembuatan asesoris dalam pakaian maupun dekorasi.

Kapas memiliki sifat fisik dan kualitas kapas sendiri.

A. Sifat Fisik Kapas

1. Kapas hadir dalam warna katun putih kekuningan dan warna off-white, tetapi juga tersedia dalam warna keabu-abuan.
2. Kapas memiliki sifat kekuatan, sifat serat kapas lebih kuat saat basah dibandingkan saat kering. Ini karena ketika kering, serat melintir dan pekerjaan tidak merata di sepanjang serat, dan ketika basah, kapas membengkak dan menjadi silindris, menghasilkan distribusi yang lebih merata dan kekuatan yang meningkat.
3. Kapas melar. Kapas melar, tetapi kapas kurang melar dibandingkan wol atau sutra.
4. Kapas memiliki sifat plastisitas. Dengan kata lain, plastisitas adalah kemampuan suatu objek untuk melakukan tugas-tugas penting pada serat yang dirawat selama tahap proses serat. Serat kapas memiliki tingkat plastisitas yang cukup tinggi.
5. Higroskopisitas adalah kemampuan serat untuk menyerap air, higroskopisitas serat kapas adalah 7~8,5 D44B dalam kondisi normal.

Kualitas kapas ditentukan oleh tiga faktor:

1. Kualitas kapas pertama
Kualitas kapas ditentukan oleh warna, kotoran dan pengolahan kapas. warna ke-2
2. Kapas umumnya berwarna putih, tetapi tidak terlalu putih dan bervariasi. Kapas biasanya berwarna kekuningan dan ada juga yang berwarna keabu-abuan. Kapas berkualitas baik adalah katun yang lebih tipis dan katun berwarna gelap memiliki kualitas yang lebih rendah.
3. lumpur
Kotoran kapas berupa daun, ranting, biji, serpihan biji, rumput, minyak, pasir dan debu.
 1. Persiapan kapas
Persiapan kapas adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan kualitas dari biji kapas dan jumlah serat kusut yang terkandung dalam kapas. Nep adalah massa berserat. Neps membuat titik-titik putih pada adonan. Rajutan tidak dapat diurai, sehingga kecil kemungkinannya untuk menyerap pewarna
 2. Panjang serat
Panjang serat kapas sangat penting karena sangat mempengaruhi kehalusan dan kekuatan hasil benang. Pengukuran serat kapas dapat dilakukan oleh orang yang berpengalaman di bidang kapas dengan menggunakan alat yang disebut pengklasifikasi kapas.
 3. Sifat kapas
Selain jenis dan panjang kapas, faktor terpenting dalam perdagangan kapas adalah kematangan serat dan kehalusan serat, kekuatan serat kapas, keseragaman panjang serat, dan gaya gesek. sifat-sifat benang itu adalah ciri khasnya.

3.2 Serat nanas

Serat daun nanas /Pineapple Leaf Fiber (PALF) telah lama dikenal sebagai bahan tekstil di banyak negara. Meskipun secara mekanis sangat baik dan ramah lingkungan, PALF adalah serat alami yang paling sedikit dipelajari, terutama untuk komposit penguat.

Penelitian pada komposit yang diperkuat PALF banyak dilakukan untuk mendapatkan potensi maksimal serat nanas. Negara Indonesia memiliki kekayaan alam yang melimpah pada jenis tanaman nanas. Penelitian meliputi Proses ekstraksi PALF, karakterisasi serat, dan aplikasi PALF, modifikasi PALF, dan pembuatan dan sifat komposit yang diperkuat PALF. Dengan semakin pentingnya areal perkebunan nanas, aplikasi nilai tambah PALF sebagai serat penguat dalam komposit polimer harus dikembangkan untuk meningkatkan “potensi sumber daya” nanas dan akibatnya mendorong pemanfaatan PALF.

Komposit polimer mewakili kelas bahan serbaguna, masing-masing terdiri dari matriks yang mengikat fase pengisi atau penguat yang menghasilkan bahan dengan sifat yang lebih diinginkan

daripada konstituen yang diambil secara individual. Matriks dan serat sintesis yang terbuat dari sumber daya berbasis minyak bumi atau diproduksi menggunakan proses intensif energi telah menjadi konstituen standar dalam pembuatan komposit polimer hingga saat ini. Menipisnya sumber daya alam dan masalah lingkungan yang serius telah mendorong pencarian bahan terbarukan dan lebih ramah lingkungan. Sejak saat itu, komunitas ilmiah telah meninjau ulang secara serius penggunaan serat tumbuhan alami untuk memperkuat komposit seperti yang biasa digunakan pada masa-masa awal. Serat tumbuhan alami telah menjadi populer di kalangan ilmiah komunitas sebagai alternatif yang layak untuk serat kaca dalam plastik yang diperkuat serat. Serat lignoselulosa ini memiliki kepadatan yang lebih rendah, biaya produksi yang relatif lebih rendah, mengkonsumsi lebih sedikit energi selama produksi, tidak menimbulkan abrasi pada mesin dan tidak memiliki risiko kesehatan.

Salah satu sumber serat yang telah lama dikenal adalah daun nanas yang dapat diekstraksi dari serat daun nanas (PALF). Nanas (*Ananas comosus*) merupakan buah tropis terpenting ketiga di dunia setelah pisang dan jeruk. Meskipun dilaporkan memiliki beberapa sifat mekanik tertinggi, PALF masih merupakan serat yang paling sedikit dipelajari, dan daun nanas sebagian besar terbuang melalui pengomposan dan pembakaran. Sudah saatnya aplikasi PALF yang bernilai tambah diidentifikasi sebagai kawasan industri dan perkebunan nanas di banyak negara meningkat. Pengembangan PALF sebagai serat penguat dalam komposit polimer akan meningkatkan pemanfaatan "potensi sumber daya" nanas. Sifat-sifat komposit ditentukan oleh sifat intrinsik dari konstituen yang dapat diringkas sebagai arsitektur serat dan antarmuka serat-matriks. Efisiensi penguat serat alam tergantung pada sifat fisik, kimia, dan mekaniknya. Kekurangan utama dari serat tumbuhan alami termasuk ketidakseragaman serat, variasi properti bahkan antara tanaman individu, suhu degradasi rendah, resistensi mikroba rendah, dan kerentanan terhadap pembusukan. Selain ketidakseragaman yang terjadi secara alami, ekstraksi serat dan teknik pemrosesan juga memiliki dampak besar pada kualitas serat akhir, belum lagi biaya dan hasil serat.

Kelemahan serius lain dari penggunaan serat alami dengan matriks polimer adalah adhesi antarmuka serat-matriks yang buruk, sehingga merusak sifat mekanik dan sifat lainnya komposit. Optimalisasi adhesi antarmuka antara serat alami dan termoplastik dan matriks termoset telah menjadi fokus dari sejumlah besar penelitian yang dilakukan selama dua dekade terakhir.

Daun nanas

PALF diperoleh dari daun tanaman nanas (*A. comosus*) dari famili Bromeliaceae seperti yang ditunjukkan pada menyatakan bahwa tanaman nanas sebagian besar tumbuh di Amerika tropis, Afrika, dan Timur Jauh dan Negara-negara Asia. Thailand dan Filipina adalah yang terbesar penghasil buah nanas di dunia. Pangan dan Pertanian Organization (FAO) telah melaporkan bahwa sebagian besar produksi buah nanas dunia pada tahun 2001 sekitar 13,7 juta ton buah segar diproduksi di Asia. Daun nanas dari perkebunan terbuang begitu saja dipotong setelah buah dipanen sebelum dikomposkan atau dibakar. Ahmad

dkk. menyimpulkan bahwa praktik penguraian dan pembakaran daun in situ tidak berkontribusi pada peningkatan hasil perkebunan. Selain itu, pembakaran limbah pertanian yang bermanfaat ini menyebabkan

polusi.

Aplikasi daun nanas

PALF telah digunakan secara tradisional untuk membuat benang dan kain tekstil di banyak negara. Di Filipina, PALF telah digunakan untuk produk komersial seperti: sebagai gaun, taplak meja, tas, keset, dan pakaian lainnya PALF juga digunakan sebagai bahan tekstil di Indonesia, sementara pengerjaan menggunakan PALF untuk aplikasi ini baru saja dimulai di Malaysia.

Ekstraksi daun nanas

Daun nanas tempat PALF diekstraksi memiliki panjang sekitar 70–90 cm dan lebar 5–7,5 cm. Daun nanas hijau tua berbentuk pedang daun, dan PALF diekstraksi dari daun. Manual proses ekstraksi dapat mengekstrak setidaknya 3–4% serat dari daun. PALF kuat, putih, dan berkilau seperti sutera dan biasanya digunakan untuk memproduksi tali, sapu, tikar, jaring, dan kain. Seperti serat alami lainnya,

PALF bervariasi dalam sifat mereka sesuai dengan spesies, wilayah geografis, umur, lokasi di setiap tanaman, dan kondisi cuaca di antara yang lain. Ada banyak spesies berbeda di bawah genus *A. comosus*, saat sedang mengerjakan komposit polimer yang diperkuat PALF dan PALF ditinjau, spesies nanas tertentu dari mana PALF diekstraksi hampir tidak disebutkan.

PALF diekstraksi dari daun tiga varietas tanaman yang berbeda, yaitu. Giant Kew, Queen, dan Mauritius. Berbagai spesies nanas terutama yang buahnya tidak dapat dimakan dihasilkan serat yang berguna untuk industri tekstil. Mengingat variabilitas spesies-properti dan penelitian sebelumnya, PALF diekstrak dari tiga spesies paling populer di Malaysia yaitu Queen (Moris Gajah), Halus Cayenne (Sarawak), dan Spanyol (Josapine). Mereka menentukan Josapine sebagai spesies yang paling tepat untuk ekstraksi PALF mengingat kuantitas serat potensial, kemudahan ekstraksi, kehalusan serat, mekanis, dan termal properti. Cara mendapatkan PALF dari daun masih mentah dan terus berlanjut dipisahkan dengan tangan karena penggunaan mesin umumnya lebih lambat daripada manual proses meskipun memfasilitasi proses produksi. Meskipun lebih sederhana dan lebih hemat biaya, proses mekanis menyebabkan kerusakan alam serat melalui tindakan pemecahan, scotch, dan peretasan yang mengarah ke kekuatan tarik serat dasar hanya sedikit lebih tinggi dari serat teknis. Ekstraksi manual memungkinkan dua jenis serat yang akan diperoleh dari daun: 75 % berat ikatan pembuluh darah besar hadir di lamina atas dan 25% berat untaian serat halus di lamina bawah. Tidak seperti serat kulit kayu, PALF sudah tersedia sebagai bundel serat yang berbeda sekali mereka dipisahkan dari jaringan daun. Bundel besar terdiri dari longgar serat teknis terikat yang terdiri dari serat dasar dengan diameter kurang dari 10mm. Teknik pemisahan PALF sederhana menggunakan abrasive-combing di mana bundel vaskular ditarik antara amplas. Bundel besar dengan mudah dipisahkan menjadi dua bundel yang lebih halus mengurangi rata-rata diameter berkas vaskular PALF sebesar 50,3% ($p < 0,01$). Defibrilasi selanjutnya menggunakan teknik ini lebih sulit daripada yang dialami selama pemisahan manual dari bundel ini. Oleh karena itu, bundel vaskular mungkin divisualisasikan sebagai terdiri dari dua bundel paralel yang terikat longgar, relatif berbicara. Kedua bundel itu terdiri dari bundel yang lebih halus yang tidak mudah dipisahkan kecuali mereka diekstraksi dengan cara mekanis atau kimia lainnya dan bundel tunggal terkecil diharapkan menjadi yang ada di lapisan epidermis paling bawah di daun.

Biasanya, serat tanaman dicabut untuk memisahkan ikatan serat dari penyemenan bahan yang menghasilkan bundel yang lebih halus. Retting bakteri PALF menghasilkan pembersih serat dengan kekuatan tarik yang baik dan mengurangi konstituen nonfibrous sebagai retting proses mengubah sebagian besar hemiselulosa menjadi α -selulosa. Namun, masalah yang terkait dengan retting serat alami membatasi daya saing dan jangkauan aplikasinya. Ditemukan bahwa kurangnya retting tidak secara signifikan mengubah memperkuat kemampuan serat rami dan hal yang sama dapat diasumsikan secara wajar dengan PALF. Sementara itu mereka mendesak studi lebih lanjut tentang kemungkinan degradasi jaringan unretted dari waktu ke waktu setelah telah tertanam dalam resin untuk efek serius apapun pada masa manfaat komposit

Karakterisasi nanas

Properti fisik

Panjang rata-rata bundel PALF adalah sekitar 1 m seperti yang dilaporkan dalam, sedangkan panjang yang lebih rendah (0,6-0,7 m). Diameter PALF diukur dalam dua tegak lurus arah dan, tidak seperti praktik sebelumnya dengan asumsi sirkularitas serat, menggunakan elips sebagai bentuk yang dipilih. Mereka menemukan rasio mayor dan minor yang hampir konstan sumbu, maka kesesuaian menggunakan elips untuk menggambarkan bundel besar dan untaian halus. Sebagian besar karya sebelumnya tentang komposit yang diperkuat PALF dan PALF digunakan bundel halus dengan diameter kurang dari 100 mm. Serat nanas berbentuk bundel vaskular dan untaian halus dan menentukan bahwa yang pertama memiliki diameter rata-rata dari 241,9 mm dan kurang bervariasi, sedangkan yang terakhir memiliki diameter rata-rata 72,7 mm dan variasi diameter yang lebih besar sebagaimana dikonfirmasi oleh pengamatan visual. Mereka mengamati bahwa bundel vaskular PALF hadir dan diekstraksi satu lamina, sedangkan untaian serat halus terdapat di beberapa lapisan bawah. Diameter untaian serat halus semakin berkurang ke arah permukaan bawah daun.

Komposisi kimia dan struktur serat nanas Tabel 12.1 menunjukkan komposisi kimia PALF yang diperoleh dari penelitian sebelumnya. Komposisi dapat dilihat bahwa kandungan selulosa berada pada kisaran 67,12-82%; hemiselulosa 9,45–18,80%, holoselulosa 80–87,56%, lignin 4,4–15,4%, pektin 1,2–3%, lemak dan lilin 3,2–4,2%, dan abu 0,9–2,7%. Komposisi yang berbeda mungkin dikaitkan dengan faktor-faktor termasuk sumber serat, usia serat, kondisi iklim, dan proses untuk mendapatkan serat. Komposisi kimia, distribusi lignin, dan sel struktur dinding PALF dianalisis dalam Abdul Khalil et al. (2006). Menggunakan transmisi mikroskop elektron penulis mengkonfirmasi bahwa struktur dinding sel PALF.

Table 12.1 Chemical compositions of PALF

Chemical composition (%)	Source						
	Bhaduri et al. (1983)	Mohanty et al. (2000)	Abdul Khalil et al. (2006)	Saha et al. (1990)	Rowell and Han (2000)	Munirah et al. (2007)	Siregar et al. (2008)
Cellulose	69.5	70–82	73.4	68.5	80–81	78.11	67.12–69.34
Hemicellulose	–	–	–	18.80	16–19	9.45	–
Hollocellulose	–	–	80.5	–	–	87.56	82.3–85.5
Lignin	4.4	5–12.7	10.5	6.04	4.6–12	4.78	14.5–15.4
Pectin	1.2	–	–	1.10	2–3	–	–
Fat and wax	4.2	–	–	3.2	–	–	–
Ash	2.7	–	2	0.9	–	–	1.21
Extractive	–	–	5.5	–	–	–	3.83–0.97

Menggunakan transmisi mikroskop elektron penulis menegaskan bahwa struktur dinding sel PALF dapat dijelaskan dalam hal struktur dinding sel klasik primer (P) dan lapisan sekunder (S1, S2, dan S3).

PALF memiliki struktur multiseluler dengan konstituen nonselulosa seperti lignin dan hemiselulosa memegang serat utama bersama-sama. Dasar Satuan makromolekul selulosa adalah anhydro-D-glucoseopyranose, yang mengandung: tiga hidroksil (–OH) per unit. Bentuk hidroksil ini ikatan hidrogen intramolekul dan antarmolekul satu sama lain serta dengan gugus hidroksil dari udara lembab. Oleh karena itu, PALF bersifat hidrofilik di alam dan fitur ini mempengaruhi sifat mekanik PALFreinforced komposit Rantai molekul selulosa terletak paralel dan dalam tiga dimensi di wilayah kristal PALF, sementara yang lain bagian dari rantai molekul diyakini terletak dalam keadaan kurang teratur di daerah amorf. Melalui difraksi sinar-X (XRD) dan analisis termogravimetri, menyimpulkan bahwa besar Bundel vaskular PALF dan untaian serat halus secara kimiawi dan struktural sama. Kurva XRD yang diperoleh sangat mirip dengan selulosa.

3.3 Serat abaca

Pisang Abaca (*Musa Textilis*) adalah jenis pisang yang tidak dimanfaatkan buahnya, tetapi seratnya diperoleh dari batang semu. Pada awal abad ke-16, penduduk asli daerah Cebu Filipina menggunakan serat abaca dalam pakaian mereka. Oleh karena itu, tanaman abaca disebut *Musa Textilis*. Serat abaca telah lama populer secara komersial dalam pembuatan tali dan jaring ikan. Saat ini, serat diolah menjadi bahan kertas. Contoh: Kertas yang memerlukan daya tahan dan daya tahan tinggi seperti kertas cologne, kertas multipel, kertas teh celup, kertas stensil, kertas tembakau. B. Kertas uang kertas, kertas pengaman, kertas dokumen, kertas stok kartu, dan komoditi lainnya. Orang Filipina telah lama menggunakan serat abaca untuk membuat pakaian nasional. Di sisi lain, karena serat abaca memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan jenis serat alami dan sintetis lainnya, pemerintah AS memutuskan untuk mempromosikan serat abaca yang digunakan untuk membuat uang kertas dolar.

Kelebihannya adalah kuat dan sulit pecah, enak disentuh, memantulkan cahaya dan memiliki kilau, ketangguhan, kelenturan, dan ketahanan terhadap garam.

Sifat-sifat yang sangat baik ini membuat serat abaka populer untuk tali perahu dan jaring ikan, dan bahkan serat abaka juga digunakan dalam interior mobil yang dibuat secara tradisional untuk tali perahu dan jaring ikan. Berdasarkan klasifikasinya tanaman pohon pisang abaca ini termasuk ke dalam:

Kerajaan : Plantae
Divisi : Magnoliophyta
Ordo : Zingiberales
Family : Musaceae
Genus : Musa
Spesies : Musa Textilis

Serat abaca bisa dimanfaatkan untuk dijadikan suatu barang, namun serat abaca harus digabungkan dengan material lainnya dengan menggunakan pengikat agar mendapatkan hasil yang maksimal, di makalah ini penulis akan menjelaskan apa itu komposit. Nylon kuat terhadap air laut, tetapi tidak tahan panas dan rentan terhadap kerutan. Serat abaca dapat dipintal satu per satu atau dicampur dengan kapas, rami, rayon dan poliester. Abaca merupakan penghasil lignoselulosa potensial dengan kekuatan serat yang sangat tinggi, memungkinkan produksi pulp dan kertas berkekuatan tinggi seperti uang kertas. Selain itu, abaca merupakan tanaman yang relatif mudah dibudidayakan dalam waktu yang relatif singkat dibandingkan dengan tanaman berkayu.

Tanaman abaca dapat tumbuh tanpa mengolah lahan dan tidak memerlukan persiapan lahan yang intensif. Abaca merupakan tanaman peneduh yang tumbuh baik di bawah tajuk hutan, sehingga pengembangan abaca tidak merusak ekosistem. Sangat sedikit perusahaan yang terlibat dalam budidaya dan industri abaca di Indonesia. Perusahaan yang sudah mulai menggunakan abaca antara lain Abaca Crafts berupa industri tekstil dan kerajinan kertas dan PT Kertas Leces Probolinggo dalam industri pulp dan kertas. Produk utama abaca adalah serat yang telah diproses melalui proses pembentukan dan pengeringan serat. Selain serat, minyak biji abaca dapat dibuat dari abaca. Abaca dapat digunakan sebagai produk kesehatan dan perawatan kulit, dan limbah serat dan daun abaca dapat digunakan sebagai pupuk organik. Saat ini arah pemanfaatan abaca didominasi oleh produk tekstil, sehingga kurang memperhatikan pengembangan produk dari biji berupa minyak abaca dan pemanfaatan limbahnya sebagai pupuk organik. nilai tambah dari pengembangan produk yang kompetitif. Permintaan akan abaca dalam bentuk pulp dan kertas meningkat seiring dengan meningkatnya kepedulian terhadap keamanan lingkungan dan konservasi hutan, serta meningkatnya permintaan global akan pulp kertas berkualitas tinggi. Produktivitas abaca di Filipina rendah karena budidaya yang tidak intensif, penyakit virus abaca seperti bonggol dan mosaik ada, sebagian besar perkebunan abaca di kawasan perkebunan abaca Filipina sudah tua dan rusak, dan yang utama adalah sebab. Penyakit tersebut merupakan serangan abaca. Saat ini belum ada varietas abaca yang tahan terhadap virus tersebut. Untuk itu perlu dilakukan pengembangan minimal satu kultivar abaca melalui teknik rekayasa genetika, tetap berproduksi meskipun menderita penyakit, dan mengidentifikasi kultivar yang layak, oleh karena itu benih abaca dari Filipina harus dihindari.

Produk tekstil abaca saat ini dapat memenuhi kebutuhan pasar Filipina dan internasional. Diperkirakan 69,2% dari semua serat abaca yang diproduksi di Filipina dikonsumsi secara lokal, dengan sisanya diekspor ke Inggris (53,3%), Jepang (34%) dan Amerika Serikat (6%). Untuk pulp, Abaca diekspor ke Jerman, Inggris, Jepang, Prancis, AS, Inggris, dan Singapura. Selama ini kebutuhan kapas untuk industri tekstil dalam negeri mencapai 95%.

- a. Meningkatkan regangan (strain) sebesar 50,89% ;
- b. Meningkatkan kekuatan tarik (tensile strength) sebesar 26,52% ; dan
- c. Menurunkan modulus elastisitas (modulus of elasticity) sebesar 6,11% .

3.4 Serat pisang

Di Indonesia terdapat banyak sekali serat alam yang dapat digunakan sebagai penguat komposit. Salah satu serat alam yang banyak digunakan adalah serat batang pisang karena serat batang pisang, Penggunaan batang pohon pisang sebagai bahan komposit merupakan langkah yang tepat. Pohon pisang (Musaceae) merupakan jenis tumbuhan berserat yang pemanfaatannya masih sangat terbatas yaitu sebagai bahan dasar pembuatan kertas, pakaian. Serat adalah suatu jenis bahan berupa potongan-potongan komponen yang membentuk jaringan memanjang yang utuh. Serat pelepah pisang merupakan serat alam yang digunakan sebagai alternatif filler komposit untuk berbagai komposit polimer karena keunggulannya dibanding serat sintetis. Serat alam mudah didapatkan dengan harga yang murah, mudah diproses, densitasnya rendah, ramah lingkungan, dan dapat diuraikan secara biologi.

3.5 Serat rosella

Roselle memiliki potensi tinggi sebagai serat polimer diperkuat yang baik bahan karena sifat kimianya, yang mirip dengan serat rami yang mapan. Penelitian yang dilakukan mengkaji komposisi kimia dan sifat mekanik serat rosella. Diantaranya adalah rosella memiliki sifat yang sebanding sebagai kelompok kulit kayu serat. Dari segi sifat mekanik, serat rosella dapat diaplikasikan sebagai bahan perkuatan untuk: produk komposit rekayasa. Selain itu, aplikasi ini dapat berkontribusi pada metode yang lebih baik dari membuang limbah pertanian yang dihasilkan saat ini. Di Malaysia, tanaman rosella biasanya dibuang setelah a tahun. Oleh karena itu, lebih baik menggunakan tanaman ini untuk aplikasi komposit.

Rosela (Java Yute) Serat yang diperoleh dari tanaman *Hisbiscus sabdariffa*. Terutama ditanam di Indonesia di daerah Kulonprogo, Sleman, Semarang, Pati, Klaten dan Jepara. Serat Rosela yang baik warnanya krem sampai putih dan berkilau dengan kekuatan yang cukup baik. Serat Rosela banyak dipakai sebagai bahan pembuat kanvas, benang permadani, kain pelapis kursi. Bentuk tanaman rosella sama seperti kenaf. Batang dan daunnya berwarna hijau tua sampai kemerahan dan bunganya putih krem sampai kuning. Serat rosella berwarna krem sampai putih perak, berkilau dengan kekuatan yang cukup baik. Kekuatannya serat ini lebih rendah daripada serat jute.

Roselle adalah jenis serat kulit kayu yang memiliki kandungan selulosa tinggi, yang menyebabkan sifat tarik serat yang tinggi. Oleh karena itu, serat ini memiliki potensi yang besar untuk menjadi bahan penguat pada komposit. Baru-baru ini, banyak penelitian telah dilakukan pada komposit yang diperkuat serat alam. Namun, informasi tentang serat rosela masih langka, terutama tentang metode perawatan permukaan yang cocok untuk serat rosela. Kompatibilitas termoplastik dan polimer biodegradable dengan serat rosella juga belum dieksplorasi secara menyeluruh. Singkatnya, ada banyak tantangan yang perlu diatasi untuk menerapkan biokomposit ke berbagai aplikasi komposit, dengan keberhasilan di masa depan bergantung pada kemajuan teknologi dan menemukan pendekatan desain yang paling sesuai dengan karakteristik kinerja tertentu dari biokomposit. Sementara itu, berbagai aplikasi non-struktural dan semi-struktural kemungkinan besar akan berkembang untuk menggantikan kayu, plastik, dan bahan serupa dengan peningkatan kinerja moderat dan biaya yang kompetitif. Penelitian lebih lanjut harus dilakukan pada serat rosela untuk melepaskan potensi sebenarnya. Penggunaan serat rosela mungkin menghadapi beberapa tantangan dalam hal kompatibilitasnya dengan bahan lain. Kompatibilitas serat rosella dengan bahan polimer memerlukan studi mendalam untuk meningkatkan daya rekat antara matriks dan serat. Hibridisasi juga merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik komposit dengan

meningkatkan kekuatannya ke nilai yang relatif tinggi dibandingkan dengan penggunaan serat sintetis.

Sebuah studi tentang sejarah rosela dilakukan oleh Wester (1911). Dalam studinya, ia mengamati bahwa referensi paling awal untuk tanaman rosela dibuat oleh ahli botani Flemish M.De L'Obel pada abad ke-15. Tanaman rosella mungkin dibawa ke barat dari India oleh Muslim dari Turki yang menyerbu India. Tanaman itu awalnya dikenal dengan nama "Sabdariffa" sebuah kata Turki, yang mengkonfirmasi asal usul rosela. Gambar 1 menunjukkan tanaman Roselle yang diilustrasikan oleh L'Obel. Nama ilmiah Roselle adalah *Hibiscus sabdariffa* L., dan tanaman ini berasal dari keluarga Malvaceae. Roselle termasuk dalam keluarga kembang sepatu dan banyak ditemukan di daerah tropis. Tanaman ini biasa digunakan sebagai infus dan untuk menghasilkan serat kulit kayu dan memiliki dua jenis utama. Jenis ekonomis utama adalah *H. sabdariffa*, var. *Altissima* Wester, yang biasanya terlihat lurus, bercabang jarang tahunan setinggi 4,8 m dan dibudidayakan untuk serat seperti goni di India, Hindia Timur, Nigeria, dan sampai batas tertentu di Amerika tropis. Batangnya berwarna hijau atau merah, dan daunnya berwarna hijau, terkadang dengan urat merah. Bunganya berwarna kuning dan kelopaknya berwarna merah atau hijau, tidak berdaging, berduri, dan tidak dapat dimakan. Kadang-kadang, jenis rosela ini dikacaukan dengan kenaf, *H.cannabinus* L., sumber serat yang sedikit mirip tetapi lebih banyak dimanfaatkan.

Jenis Roselle lainnya adalah *H. sabdariffa*, var. *sabdariffa*. Tumbuhan ini memiliki bentuk yang lebih pendek, lebat, yang telah dibagi menjadi empat ras, *bhagalpuriensis*, *intermedius*, *albus*, dan *ruber* dan semuanya tumbuh dari biji. *Bhagalpuriensis* berwarna hijau, bergaris merah, tidak dapat dimakan. Kelopak, sedangkan *intermedius* dan *albus* memiliki kelopak kuning-hijau yang dapat dimakan dan juga menghasilkan serat. Ras *ruber* rosela biasanya ditemukan di sekelompok semak-semak dan tumbuh rata-rata setiap tahun

Roselle memiliki banyak nama di berbagai belahan dunia. Di sebagian besar tempat, ia dikenal sebagai coklat kemerah-merahan atau rosella (Qi et al. 2005). Roselle adalah spesies kembang sepatu yang berhubungan dengan dunia lama tropis. Dipercaya bahwa rosela berasal dari Afrika, di mana sebagian besar ditanam. Dapat tumbuh setiap tahun dan mencapai ketinggian antara 2 dan 2,5m (Chandramohan dan Marimuthu 2011). Daun tanaman rosella dewasa berwarna hijau dengan urat berwarna merah. Ukuran normal daun adalah antara 7,5 dan 12,5 cm, dan daun tumbuh bergantian pada batang. Tanaman rosela yang lebih muda dan yang lebih tua memiliki fisik yang berbeda, dengan daun bagian bawah dalam 3 sampai 7 lobed. Biasanya, marginnya bergigi. Bunga Roselle awalnya berukuran 12,5 cm (Morton 1987). Pada akhir siklus hidup mereka, warna awal kuning berubah menjadi merah muda saat layu. Saat bunga matang, kelopak berwarna merah. yang dibentuk oleh lima sepal dengan kerah, tumbuh dan membungkus kapsul beludru. Akhirnya, kapsul berubah menjadi coklat dan terbelah. Penting untuk dicatat bahwa semua bagian tanaman rosela, yaitu batang, daun, dan kelopaknya, bersifat asam. Karakteristik ini menyerupai cranberry.

Roselle dibudidayakan terutama untuk serat kulit kayu yang diperoleh dari batang. Baru-baru ini, serat rosela telah menarik banyak peneliti untuk mengeksplorasi potensinya sebagai bahan penguat karena sifatnya yang mirip dengan serat alami mapan lainnya seperti rami (Wester 1907) Gambar 3 menunjukkan penampang batang tanaman berserat. Pada bagian paling luar, kulit kayu memberikan perlindungan dari perubahan suhu yang ekstrim dan kehilangan kelembaban yang berlebihan saat batang mengeras. Serat tersembunyi di bawah kulit kayu di dalam floem. Serat menjaga batang kuat dengan mendukung sel konduktif floem. Xilem, juga dikenal sebagai inti kayu, ditemukan di bagian dalam tanaman (Kalia et al. 2011). menunjukkan fisik serat rosela setelah diekstraksi dari tanaman.

Untuk serat hijau umum, jerami tanaman mengalami sedikit proses retting air atau dikeringkan di lapangan untuk menghasilkan bahan baku. Namun, prosedur untuk serat kulit kayu relatif mudah. Serat dikeluarkan dari bagian kayu dengan mesin. Namun, serat yang terkena air lebih halus dan lebih halus dibandingkan dengan serat hijau yang dihasilkan (Kalia et al. 2011). Serat rosella biasanya diekstraksi dari tangkai rosella menggunakan water retting kecuali bila digunakan mesin dekortikasi tenaga penggerak (Julian 1949). Perhatikan bahwa studi terbatas telah dilakukan pada masalah ini. Gambar 5 menunjukkan proses ekstraksi serat rosella. Untuk mendapatkan serat berkualitas baik, tanaman rosella dipanen pada tahap kuncup. Batang-batang tersebut kemudian diikat menjadi satu bundel dan direndam dalam air selama 3-4 hari. Batang tanaman rosella yang dicabuti dicuci dengan air mengalir. Selanjutnya, ijuk dikeluarkan dari batangnya, dibersihkan, dan dikeringkan di bawah sinar matahari.

Serat rosella merupakan salah satu serat alam yang menarik para peneliti untuk mengeksplorasi kemampuannya sebagai material penguat dalam komposisi. Beberapa makalah yang diulas membahas sifat kimia dan mekanik serat rosella. contoh struktur sel serat alam, yang meliputi serat rosella. Perbedaan antara serat tumbuhan adalah komposisinya, yaitu rasio antara selulosa dan lignin/hemiselulosa, dan orientasi atau sudut spiral mikrofibril selulosa. Struktur serat kulit pohon hampir mirip untuk semua jenis serat. Serat dasar mengandung selulosa, lignin, dan hemiselulose. Biasanya, kekuatan tarik dan modulus Young serat meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan selulosa. Duktilitas serat tanaman tergantung pada orientasi mikrofibril ke sumbu serat. Jika orientasinya spiral, seratnya ulet. Namun, jika orientasinya sejajar, seratnya kaku, tidak fleksibel, dan memiliki kekuatan tarik yang tinggi. Permukaan serat rosella halus namun , gerinda atau partikel asing dan kotoran mungkin ada perawatan permukaan tidak dilakukan. Memiliki permukaan yang halus merupakan kerugian utama bagi serat alami, yang menambah sifat hidrofilik yang tidak diinginkan. Namun, permukaan yang halus dapat menjadi kasar pada proses pra-perawatan. Ketika permukaan kasar, terjadi interlocking di antara bahan polimer, yang menghasilkan ikatan antar muka yang lebih baik. Fenomena ini menunjukkan pentingnya mempelajari morfologi serat.

3.6 Serat rami

Tanaman rami, juga disebut rumput Cina, termasuk dalam kelompok serat batang. Rami menghasilkan serat dari kulitnya. Secara kimiawi, rami diklasifikasikan sebagai jenis serat selulosa yang sama seperti kapas, linen, rami, dll. Rami memiliki banyak keunggulan yang membedakannya dari serat batang lainnya. Rami memiliki afinitas tinggi dengan semua jenis serat, baik alami maupun sintesis, dan mudah bercampur dengan semua jenis serat.

Serat rami adalah serat kulit pohon yang panjang, lembut, dan berkilau serta dapat dipintal menjadi benang yang kasar dan kuat. Serat rami merupakan salah satu serat alami yang paling terjangkau, dan menempati peringkat dua setelah kapas, dalam hal jumlah yang diproduksi, fungsi guna, konsumsi global, produksi dan ketersediaan.

Serat rami digunakan untuk tali penambat kapal, karena dikenal sebagai bahan yang kuat. Sesungguhnya rami bukan hanya sebagai tali penambat kapal, namun masih banyak lagi kegunaannya. Serat rami dapat digunakan sebagai bahan baku tekstil, dengan cara mencampur bersama-sama serat kapas atau polyester (sebagai substitusi serat kapas/cotton).

Serat rami mempunyai sifat dan karakteristik serat kapas (cotton) yaitu sama-sama dipintal ataupun dicampur dengan serat yang lainnya untuk dijadikan bahan baku tekstil. Dalam hal tertentu serat rami mempunyai keunggulan dibanding serat-serat yang lain

seperti kekuatan tarik, daya serap terhadap air, tahan terhadap kelembaban dan bakteri, tahan terhadap panas. Rami menempati peringkat nomor dua setelah sutera dibanding serat alam yang lain, lebih ringan dibanding serat sintetis dan ramah lingkungan (tidak mengotori lingkungan sehingga baik terhadap kesehatan). Pengembangan tanaman rami memiliki prospek sangat cerah, kebutuhan serat rami dunia 400.000 ton per tahun sampai saat ini kekurangan pasokan sebesar 270.000 ton per tahun, dengan total penawaran 130.000 ton.

➤ **Kelebihan Serat Rami**

- Serat rami memiliki banyak kelebihan dibanding serat lain, sehingga menjadi serat kedua dengan penggunaan terbanyak di dunia.
- Serat rami 100% bio-degradable dan dapat didaur ulang sehingga sangat ramah lingkungan.
- Rami banyak diminati karena murah, lembut, panjang, berkilau dan keseragaman seratnya.
- Tumbuhan Rami memiliki kebutuhan pestisida dan pupuk yang rendah dibanding kapas.
- Serat rami memiliki kilau keemasan dan tekstur yang halus sehingga disebut serat emas.
- Serat rami juga merupakan serat nabati termurah yang diperoleh dari kulit batang tanaman.
- Memiliki kekuatan tarik tinggi, ekstensibilitas rendah, dan sirkulasi udara yang baik. Berkaitan dengan itu, rami sangat cocok digunakan dalam kemasan curah komoditas pertanian.
- Bulking benang rami menghasilkan penurunan keuletan putus dan peningkatan perpanjangan putus ketika dicampur sebagai campuran terner.
- Keunggulan lain dari serat rami adalah memiliki sifat isolasi dan antistatis yang baik, serta memiliki konduktivitas termal yang rendah dan kelembapan yang rendah.
- Terakhir, serat rami memiliki sifat isolasi akustik dan pembuatannya tanpa iritasi kulit.

Di antara serat tumbuhan alami yang tersedia, serat rami menempati urutan teratas karena serat rami adalah serat yang kuat dan tahan lama, dapat menyerap lebih banyak air daripada serat kapas (Brink dan Escobin, 2003). Seratnya sangat putih mengkilat, tidak berubah warna atau kusut. matahari, bersifat higroskopis dan memiliki sifat mudah kering yang sangat baik. Serat rami merupakan salah satu bahan baku tekstil yang dapat dicampur dengan serat kapas atau polyester. Serat rami juga dapat digunakan sebagai bahan untuk gorden, handuk, campuran wol dan kain tenda. Buxton dan Greenhalgh (1989) dan Tun Shikun (1992) menyatakan bahwa serat rami juga dapat digunakan dalam terpal, kaos oblong, uang kertas dan gulungan rokok. Tanaman rami dapat dikembangkan lebih luas dan prospeknya sangat bagus (Riyadi 1991).

Serat rami epoksi berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai material alternatif dalam pembuatan soket prosthesis ataslutut pada fraksi volume serat 40-50%. Karakteristik mekanik komposit lamina serat rami epoksi longitudinal pada fraksi volume serat 40% yaitu tegangan tarik 232MPa dan modulus elastisitas 9,7 GPa, sedangkan pada fraksi volume serat 50% tegangan tarik 260 MPa dan modulus elastisitas 11,23 GPa. Harga ini masih lebih besar dibandingkan dengan harga referensi pada penelitian ini, yaitu bahan polimer yang diaplikasikan di bidang kesehatan dengan harga minimal kekuatan tarik 80 MPa dan modulus elastisitas 3 GPa. Modus kegagalan yang terjadi pada komposit lamina ramiepoкси meliputi brittle failure (getas) untuk fraksi volume serat 10-30%, debonding dan delaminasi fraksi volume serat 40-50%. Karakteristik mekanik komposit lamina rami epoksi memenuhi

persyaratan sebagai bahan soket prosthesis, mengacu pada Standard ISO: *plastic/polymer for health application*.

Daunnya merupakan bahan kompos dan pakan tembak bergisi tinggi, pohonnya baik untuk bahan bakar, tetapi yang paling bernilai ekonomi tinggi adalah serat dari kulit kayunya. Serat rami ini merupakan bahan yang dapat diolah untuk kain fashion berkualitas tinggi dan bahan pembuatan selulosa berkualitas tinggi (selulose α). Selulosa α berkualitas tinggi merupakan salah satu unsur pokok pembuatan bahan peledak dan atau propelan (propellant) yaitu isian dorong untuk meledakkan peluru. Kayu dan serat rami dapat diolah menjadi pulp berkualitas tinggi sebagai bahan baku pembuatan aneka jenis kertas berharga. Serat rami panjangnya sangat bervariasi dari 2,5 cm sampai dengan 50 cm dengan panjang rata-rata 12,5 cm sampai dengan 15 cm. diameternya berkisar antara 25 μ sampai dengan 75 μ dengan rata-rata 30 – 50 μ . Bentuk memanjang serat rami seperti silinder dengan permukaan bergaris-garis dan berkerut-kerut membentuk benjolan-benjolan kecil.

Struktur tenunan serat rami

Model tenunan serat alam yang telah dijadikan benang terutama untuk aplikasi sandang memiliki struktur plain weave yang relatif sederhana. Untuk menghasilkan tenunan yang memiliki kekuatan mekanis tinggi diperlukan model konstruksi yang berbeda dengan aplikasi sandang pada umumnya. Model tenunan ini khusus dirancang agar mampu menahan beban sehingga tidak mengalami rusak atau kegagalan bahan pada batas tertentu.

Di antara serat tumbuhan alami yang tersedia, serat rami menempati urutan teratas karena serat rami adalah serat yang kuat dan tahan lama, dapat menyerap air lebih baik daripada serat kapas (Brink dan Escobin, 2003). Serat rami putih sangat mengkilap, tidak berubah warna atau kusut di bawah sinar matahari, higroskopis dan memiliki kualitas yang sangat baik yang cepat kering. Serat rami merupakan salah satu bahan baku tekstil yang dapat dicampur dengan serat kapas atau polyester. Serat rami juga dapat digunakan sebagai bahan untuk gorden, handuk, campuran wol dan kain tenda. Buxton dan Greenhalgh (1989) dan Tun Shikun (1992) menyatakan bahwa serat rami juga dapat digunakan dalam terpal, kaos press ringan, uang kertas dan kertas tembakau. Tanaman rami dapat dikembangkan lebih luas dan prospeknya sangat bagus (Riyadi, 1991).

Kekurangan serat rami

Perbanyakan tanaman rami umumnya dengan menggunakan rizoma. Dengan berbagai pertimbangan, penggunaan teknik perbanyakan dengan kultur jaringan juga bisa dipergunakan. Seperti halnya pada perbanyakan tanaman melalui stek rizoma, perbanyakan tanaman melalui kultur jaringan memiliki kekurangan.

Kekurangan pada perbanyakan melalui kultur jaringan adalah:

1. Untuk tahap awal diperlukan fasilitas-fasilitas yang cukup mahal (misal: ruang kultur, laminar air flow dll.)
2. Dibutuhkan tenaga ahli yang terampil karena harus bekerja pada kondisi steril dan mengetahui kapan kultur harus ditransfer ke media segar (subkultur).
3. Jika terjadi kontaminasi oleh bakteri atau cendawan, maka akan kehilangan bahan tanaman yang potensial.
4. Dibutuhkan metode khusus untuk perbanyakan yang efisien, termasuk kondisi untuk pembentukan akar dan planlet.
5. Ukuran planlet yang dihasilkan kecil.
6. Dibutuhkan metode khusus untuk menjaga kestabilan genetik (misal: perbanyakan harus secara langsung tidak melalui kalus).
7. Karena fasilitas yang digunakan mahal dan tenaga harus ahli, maka planlet yang dihasilkan akan menjadi mahal. Apabila pengadaan bibit dilakukan pada skala luas, kemungkinan harga bibit dapat lebih murah. Namun bila dibandingkan dengan bibit rami

yang berasal dari rizoma, bibit yang berasal dari kultur jaringan masih lebih mahal. Selama ini belum ada penjualan bibit rami dari kultur jaringan jadi belum bisa dibandingkan dengan rizoma.

Pengaplikasian serat rami dalam industri tekstil

Peminat dari penggunaan serat alam yang khususnya berasal dari sumber alam semakin meningkat. Produk yang dihasilkan dari serat alam 100% ataupun dengan campurannya dengan serat sintetis saat ini semakin beragam dan pengaplikasiannya yang semakin luas. Produk yang dihasilkan dari serat rami ini untuk dijadikan tekstil sandang terdapat dalam bentuk campuran antara 100% serat murni dengan serat lain. Campuran dari serat rami ini dapat dicampur menggunakan campuran antara rami dan juga kapas, pada umumnya dengan komposisi 55% rami dan 45% dari kapas. Dari tekstur yang tidak rata (uneven) seperti halnya yang terlihat pada tampilan dari linen yang mempunyai kesan lebih eksklusif sangat terlihat pada campuran tersebut.

Kombinasi antara serat rami dan serat kapas akan menghasilkan kualitas kilau dan kekuatan yang lebih tinggi daripada 100% kapas ataupun 100% rami. Campuran ini pada umumnya digunakan untuk pembuatan kain tenun dan kain rajut untuk produksi sweater. Campuran antara serat rami dengan jenis serat sintetis yang lainnya akan sangat sesuai untuk dijadikan bahan pakaian di negara yang mempunyai iklim tropis, dikarenakan rami mempunyai daya serap air yang cukup tinggi.

Selain itu campuran antara rami dan poliester atau dengan serat buatan yang lainnya akan memperbaiki sifat rami yang mudah kusut. Serat rami juga dapat dikombinasikan dengan serat wol dengan perbandingan 50:50. Pencampuran dari serat rami dan serat wol ini akan menghasilkan pengurangan sifat mengkeret wol dan peningkatan kecerahan pada kain.

Serat rami dapat dimanfaatkan untuk bahan pembuatan tekstil sandang maupun non sandang. Kain rami dapat digunakan untuk bahan pakaian, seprei, serbet, taplak meja, handuk, kain pelapis furniture, sapu tangan, kelambu, tirai, dan sebagainya. Serat rami yang kasar mempunyai kekuatan yang lebih tinggi namun mempunyai tekstur yang sangat kaku sehingga biasa digunakan untuk pembuatan tali atau benang. Selain itu, serat rami juga sangat cocok digunakan sebagai bahan untuk membuat jaring ikan, hal ini dikarenakan kekuatan rami saat kondisi basah akan lebih tinggi daripada saat keadaan kering, serta mudah dikeringkan dan tahan terhadap serangan bakteri.

Dalam perkembangan dunia pasar yang luas saat ini, untuk produk komposit yang menggunakan serat alam (serat batang dan juga daun) sudah terjadi pada beberapa decade terakhir ini. Salah satu bidang aplikasi yang saat ini sedang berkembang pesat adalah industri otomotif. Dari sebuah penelitian yang menyatakan bahwa pelapis jok mobil yang terbuat dari komposit campuran antara rami, wol dan juga polyester memberikan nilai thermal comfort dan kenyamanan yang lebih baik dari pelapis jok yang terbuat dari 100% polyester. Hal ini menjadikan suatu sinyal yang positif untuk dapat mendukung perkembangan produk komposit dari bahan serat alam yang khususnya serat rami.

Tahapan Proses Pengolahan Serat Rami

Rami atau *Boehmeria nivea* adalah tanaman tahunan tumbuh di negara beriklim tropis seperti Indonesia. Terkenal sebagai tanaman serba guna karena setiap bagian pohon rami dapat diolah menjadi sesuatu yang bermanfaat. Daun rami bisa diolah menjadi kompos dan pakan ternak, kayunya bisa dipakai untuk kayu bakar, dan serat dari kulitnya pun bisa digunakan sebagai bahan serat.

Setiap bagian pohon rami dapat diolah menjadi sesuatu yang bermanfaat. Daun rami bisa diolah menjadi kompos dan pakan ternak, kayunya bisa dipakai untuk kayu bakar, dan serat dari kulitnya pun bisa digunakan sebagai bahan serat.

Setelah tingginya sudah mencapai 2 meter dengan diameter sebesar jari orang dewasa. Pemanenan dilakukan dengan cara memangkas bagian pangkal dari batang rami. Selanjutnya berikut adalah beberapa tahapan pengolahan serat rami :

1. Dekortisasi

Setelah pemanenan batang pohon rami akan memasuki proses dekortisasi. Pengertian dari dekortikasi yaitu proses memisahkan kulit rami dengan batangnya. Proses ini dilakukan dengan menggaris batang rami secara memanjang menggunakan ujung pisau. Kemudian kulit dibuka dan ditarik dari batang. Proses dekortisasi bisa dilakukan secara manual dan menggunakan mesin.

2. Degumming

Degumming adalah proses menghilangkan sisa gum dan pektin yang menempel pada serat. Struktur kasar dari serat rami disebabkan oleh tingginya kandungan gum dan pektin. Proses degumming dilakukan dengan memasak larutan alkali menggunakan china grass dengan konsentrasi 25-30%, selama beberapa jam. Larutan alkali dibuat dengan campuran NaOH 0,5%, Na₂CO₃, NA-tripolifosfat 3%, dan juga bahan pembasah sebanyak 3%

3. Pemutihan dan penghalusan

Setelah gum dihilangkan serat masih kekuningan atau agak kecoklatan. Hal ini membuat serat agak sulit diolah lebih lanjut dengan warna lain. Oleh sebab itu, tahapan pengolahan serat rami selanjutnya adalah pemutihan. Proses ini dilakukan merendam serat pada bahan pemutih seperti senyawa klorin (ca-hipoklorit atau na-hipoklorit) atau hidrogenperoksida (H₂O₂) dengan suhu 50 derajat celcius selama 1 jam. Setelah itu, serat dicuci dan dikeringkan.

Tahapan selanjutnya adalah penghalusan atau softening serat. Proses ini dapat dilakukan secara mekanis ataupun secara kimiawi. Tujuan dari proses ini adalah untuk mempermudah proses pemintalan dan pertununan serat rami.

4. Pelurusan serat

Pelurusan serat rami dilakukan secara mekanis menggunakan alat bernama brushing machine. Tujuan dari proses ini yaitu meluruskan serat-serat untuk mempermudah pengolahan dan memperbaiki kualitas.

5. Pemotongan Serat

Setelah proses peurusan, serat dipotong menjadi sepanjang serat kapas dan juga serat polyester yang lain.

6. Penguraian bundel

Tahapan akhir pada proses pengolahan serat rami adalah penguraian bundel. Proses ini dilakukan agar serat rami dapat dipintal dan dicampur dengan serat yang lain.

3.7 Serat sissal

Sisal (*Agave Sisalana*) merupakan tanaman penghasil serat alam dengan potensi besar dengan keunggulan serat yang kuat, toleransi salinitas tinggi, manfaat terbarukan dan ramah lingkungan. Serat alam sisal digunakan dalam industri perumahan, interior mobil, tali-temali dan banyak lagi.

Agave sisalana berasal dari Meksiko dan dibawa ke Indonesia oleh orang Spanyol pada awal abad ke-17. Sisal ditanam di areal perkebunan pada awal abad ke-19 dan menjadi komoditas ekspor pada awal abad ke-20. Produksi serat sisal Indonesia mencapai 80.000 ton pada tahun 1939-an, tetapi terus menurun, mencapai hanya 450 ton serat per tahun antara tahun 1996 dan 2000. Brasil saat ini merupakan produsen dan pengeksport serat sisal terbesar. Natural Fiber Worldwide (WGC), dalam *Sisal Market Report*-nya dari November 2014 hingga Maret 2015, menemukan bahwa Brasil mengeksport 69,251 miliar ton serat sisal pada tahun 2014, dengan China sebagai pasar utama (64%). Perkebunan *Agave Sisarana* yang tersisa di Indonesia terletak di Blitar selatan dengan kondisi tanah berbatu dan iklim kering, namun saat ini jarang dibudidayakan karena persaingan dari serat sintetis.

Daun *agave* bisa diolah menjadi serat setelah tanaman berumur dua tahun. Dari daun *agave*. Serat yang dihasilkan disebut juga serat sisal (Gambar 2). Awalnya serat sisal hanya digunakan sebagai bahan baku tali-temali, seperti tali daun tembakau di Madura dan karung goni untuk kemasan produk pertanian. %, dengan kekuatan $31,363 \pm 1,849$ g/tex, serat kuning-putih mengkilat, umur siklus tanaman 8-13 tahun dengan panen pertama 36-48 bulan setelah tanam. Ini juga memiliki keunggulan morfologis karena tidak memiliki duri di tepi daun. Tepi daun berduri sangat tidak diinginkan karena tidak hanya mempersulit panen, tetapi memasukkan daun ke dalam pengerings dapat menyebabkan cedera kerja seperti cedera tangan. Kelemahan varietas H 11648 adalah kerentanannya terhadap penyakit *fusarium*. Namun, dengan perlakuan fungisida dan teknik budidaya yang baik, dapat dikembangkan dengan aman.

Salah satu faktor yang menentukan keberhasilan mendirikan perkebunan *agave* adalah ketersediaan benih dalam jumlah banyak dan berkualitas tinggi. Kebutuhan benih *agave* sangat tinggi, yaitu 4.000 hingga 6.000 benih per hektar. Biji *agave* umumnya diperoleh dengan anakan atau dikenal sebagai anakan atau umbi. Setiap orang.

Gambaran potensi serat sisal

Serat sisal memiliki potensi yang sangat baik dalam memenuhi kebutuhan industri. Pemanfaatan untuk penguat material seperti bahan bangunan, spare part dan komponen konstruksi, komponen otomotif sampai dengan industri tekstil pun menggunakan serat ini. Serat sisal sebagai serat alam memiliki kelebihan yang tidak dimiliki oleh serat mitasi. Yang paling mencolok adalah sifat *degradable* / sebagai serat alam, mampu terurai dengan baik di alam, sehingga tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Tanaman sisal memiliki keunikan dan potensi tersembunyi yang luar biasa. Batang tanaman sisal memiliki kandungan lignin yang tinggi. Potensi ini banyak dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan instrumen alat musik, misalnya drum. Serat sisal memiliki karakteristik mekanik yang baik, kekuatan mekanik yang unggul dan memenuhi syarat untuk dimanfaatkan sebagai penguat komposit. Komposit dari serat sisal dapat diperoleh dengan kombinasi polyester, epoxy dan polyethylene serta karet. Bahan sabun juga memanfaatkan kayanya kandungan saponin pada batang sisal. Selain bahan sabun, saponin juga dimanfaatkan dalam bidang farmasi untuk produksi bahan obat-obatan. Bahan antiseptik untuk mengobati radang pada alat pencernaan diambil dari getah tanaman sisal. Getah sisal mampu menghambat pertumbuhan bakteri patogen pada lambung dan usus. Pembuatan ethanol memanfaatkan selulosa dan hemiselulosa dalam serat sisal. Kandungan lignin yang rendah membuat proses pembuatan ethanol menjadi lebih cepat. Fermentasi pembentukan gula untuk proses pembuatan ethanol pada serat sisal diuntungkan dengan kandungan lignin yang rendah.

Morfologi, Habitat dan Reproduksi *Agave Sisalana*

Sekilas terlihat seperti lidah buaya atau *aloe vera*, hanya saja daunnya lebih besar, lebih tebal, dan lebih panjang. Menurut Jurnal Riset UMM, *agave* umumnya diperbanyak melalui metode reproduksi dan nutrisi. Bunganya biseksual, tinggi 3-5 m, dan tanaman sisal atau *agave sisalana* merupakan penghasil serat alam yang sangat populer.

Sisal sangat tahan lama. Adapun habitatnya, tanaman ini tumbuh baik di lingkungan tandus dan panas dengan karakteristik tanah kering. Salah satu syarat tumbuh *agave* di habitatnya adalah sinar matahari penuh dengan kelembaban 70-80% (sedang) dan curah hujan 1.000-1.250 mm per tahun.

Pertumbuhan penuh juga membutuhkan suhu maksimum 27-28°C, pH tanah 5,5-7,5 dan kadar Ca yang cukup.

Sisal sangat mudah beradaptasi dan dapat tumbuh di daerah tropis lembab, tropis kering dan subtropis dingin. Sisal juga merupakan tanaman CAM (Carssulaceae Acid Metabolism) yang menggunakan air dengan sangat efisien selama proses metabolismenya (33% lebih efisien daripada tanaman C3 dan 16% C4 untuk menghasilkan biomassa yang sama), dengan lebih rendah Dapat beradaptasi dengan kekeringan dengan transpirasi. Ini masih bekerja dengan baik dalam proses fotosintesis. Agave memiliki umur panjang 7 hingga 100 tahun. Berdasarkan hal tersebut, sisal dapat menjadi pilihan yang sangat potensial untuk dikembangkan sebagai bahan baku utama di daerah beriklim kering, gersang dan berbatu.

Seperti kaktus, spesies agave tidak membutuhkan banyak air untuk tumbuh. Mereka sebenarnya lebih menyukai lingkungan yang lembab dan tanah dengan banyak air. Mengingat karakteristik habitat tanaman ini, tidak masalah jika tanaman ini berasal dari daerah tropis dan subtropis seperti Meksiko, Amerika Tengah, dan Amerika Selatan. Brasil merupakan salah satu produsen sisal. Negara penghasil tekstil selain samsa adalah Cina, Kenya, Tanzania, Madagaskar, Thailand dan Indonesia.

Penyerbukan bunga sendiri biasanya dibantu oleh hewan seperti serangga, burung dan kelelawar, dengan tingkat efisiensi yang bervariasi tergantung spesiesnya. Reproduksi seksual sebenarnya bermanfaat. Karena biji tanaman ini menghasilkan cukup banyak. Namun, periode berbunga agave relatif singkat, sebelum mati. Berbeda dengan Agave sisalana, spesies ini memiliki tingkat poliploid yang tinggi, sehingga menghasilkan biji dengan jumlah kromosom yang tidak normal atau tidak menghasilkan buah sama sekali. Setelah melewati umbi, tanaman umumnya membentuk klon sendiri. Tumbuh dari cabang perbungaan dan tangkai ketiak buah. Sisal bisa dipanen dua kali.

Kegunaan Serat Sisal

Ke depan, serat sisal akan digunakan untuk perkuatan jalan beraspal, terutama tanah yang labil. Ini membutuhkan penelitian dan evaluasi yang cermat oleh lembaga penelitian berlisensi. Penelitian lain di bidang kedokteran gigi dapat menggunakan serat sisal sebagai alternatif penguat basis gigi tiruan akrilik. Kebutuhan masyarakat modern beragam dan meningkat dari tahun ke tahun. Kebutuhan tersebut meliputi infrastruktur transportasi (jalan, jembatan, dll), alat transportasi (mobil dan helm), dan peralatan keamanan pribadi (rompi antipeluru). Sebuah tim peneliti di Fakultas Teknik Universitas Trisakti Jakarta pernah menggunakan teknik dan teknik tertentu untuk membuat rompi anti peluru dari daun kelapa sawit bekas dengan harga yang jauh lebih murah. Waktu pengujian ditembak dengan pistol Colt pada jarak ± 5 meter. Rompi antipeluru tidak bisa ditembus. Bahkan kekuatan serat sisal lebih kuat dari kekuatan inti sawit.

Di salah satu industri di Jawa Barat, kebutuhan serat sisal untuk tali kapal mencapai 20-30 ton/bulan. Selain itu, keset, sapu dan sikat Blitar Selatan dipasok dalam bentuk serat kering grade A untuk industri kerajinan Tulungagung, dengan harga mencapai 10 ton/bulan dengan harga Rp 5.000/kg. Penggunaan serat sisal untuk keamanan tidak terbatas pada rompi anti peluru, tetapi juga dapat dikembangkan sebagai penguat pada kendaraan agar penumpang lebih aman dari benturan dengan benda keras. Demikian pula, pintu dan atap rumah dapat dibuat lebih tahan dengan proses tertentu daripada pintu serat sisal yang tidak dilapisi.

Peran penelitian dan evaluasi diharapkan dapat meningkatkan kegiatan penelitian antar lembaga penelitian (misalnya kerjasama antara kementerian pertanian dan kementerian perindustrian). Sisal dapat digunakan sebagai komposit untuk bahan bangunan, kendaraan, kereta api, geotekstil, dan kemasan. Sebagai bahan bangunan, sisal sering digunakan pada bangunan tahan gempa sebagai alternatif komposit kayu, kusen, pintu dan atap karena daya tahan dan biayanya yang murah. Di India, industri otomotif menggunakan komposit serat sisal untuk pengurangan berat 10%, penghematan energi hingga 80% dan penghematan biaya hingga 5%. **Sifat Fisika dan Kimia**

Secara umum, kekuatan dan kekakuan serat tanaman bergantung pada kandungan selulosa dan sudut heliks yang terbentuk antara ikatan mikrofibril pada lapisan kedua dinding sel dan sumbu serat. Selanjutnya, struktur dan sifat serat alam bervariasi tergantung pada asal dan umur serat. Kekuatan tarik serat sisal tidak sama di semua tempat. Bagian bawah serat umumnya memiliki kekuatan dan modulus yang lebih rendah daripada bagian atas serat. Namun, kekuatan putus bagian akan lebih tinggi. Inti serat lebih kuat dan kaku. Tabel di bawah ini menunjukkan sifat-sifat serat sisal hasil penelitian beberapa

peneliti. Perhatikan bahwa selain struktur dan sifat serat itu sendiri, kondisi eksperimental seperti panjang sampel serat dan kecepatan uji memengaruhi sifat serat alami.

Sebuah studi tentang pengaruh diameter serat, waktu pengujian dan kecepatan pada kekuatan tarik, modulus, dan laju mulur pada putus serat sisal menunjukkan bahwa diameter serat tidak membuat perbedaan yang signifikan dalam sifat mekanik serat sisal. Kekuatan tarik dan perpanjangan putus serat menurun dengan meningkatnya modulus elastisitas dan panjang serat. Meningkatkan kecepatan uji meningkatkan modulus dan kekuatan tarik, tetapi tidak secara signifikan mempengaruhi perpanjangan serat. Pada kecepatan uji 500 mm/menit, kekuatan tarik serat turun drastis.

Selama pengujian mekanis, serat menjadi elastis dan daerah kristal terkena tekanan yang menyebabkan peningkatan modulus dan kekuatan tarik. Saat kecepatan uji berkurang, beban yang diterapkan disimpan di daerah amorf. Pada kecepatan uji yang lambat, serat berubah menjadi larutan kental. Daerah amorf membawa sebagian besar beban yang diterapkan, menghasilkan modulus rendah dan kekuatan tarik rendah. Pada laju regangan tinggi (500 mm/menit), cacat serat secara signifikan mengurangi kekuatan tarik.

Menyelidiki sifat mekanik serat sisal pada umur tanaman yang berbeda dengan tiga perubahan suhu, kami menemukan bahwa nilai kekuatan tarik, modulus dan kekasaran serat (didefinisikan sebagai penyerapan energi per satuan volume) serat sisal bervariasi dengan suhu. bangkit. Pada 1000 °C, pengaruh umur tanaman terhadap sifat mekanik serat sisal kurang signifikan dibandingkan pada 300 °C. Hal ini tercermin dalam pemulihan yang lebih kuat dari air dan volatil lainnya dari serat pada suhu 100 °C. Pada suhu 800 °C, kekuatan tarik dan modulus serat sisal menurun dengan bertambahnya umur tanaman. Trennya berbeda dari 1000C. Tabel di bawah ini menunjukkan perbedaan sifat mekanik serat sisal pada umur tanaman dan suhu percobaan yang berbeda.

Aplikasi Teknis Serat Sisal untuk Komposit

Secara umum, serat sisal dapat digunakan sebagai komposit untuk bahan bangunan, kendaraan, kereta api, geotekstil, dan kemasan. Sebagai bahan bangunan, sisal sering digunakan sebagai alternatif pengganti kayu komposit, kusen, pintu, atap, dan bangunan tahan gempa karena daya tahan dan biayanya yang murah. Sebagai atap bangunan, serat sisal dinilai ramah lingkungan dibandingkan asbes karsinogenik. Di sektor otomotif, serat sisal digunakan sebagai trim mobil, sandaran kursi, dan bantalan rem. Di India, industri otomotif mendapat manfaat dari pengurangan berat 10%, penghematan energi hingga 80% dalam produksi, dan penghematan biaya hingga 5%. fitur komposit serat sisal untuk efisiensi. Awalnya terbuat dari kayu, bahan kemasan seperti tas, kotak dan wadah sekarang terbuat dari komposit sisal yang jauh lebih murah. Serat komposit polimer di kapal telah diganti dengan penguat sisal.

3.8 Serat bambu

Serat bambu diperoleh dari pohon bambu dan bambu mengandung komponen lignoselulosa berupa lignin, selulosa dan hemiselulosa. Karena selulosa adalah bahan baku serat bambu, lignin dan hemiselulosa harus dipisahkan untuk mendapatkan selulosa. Delignifikasi adalah proses penghilangan lignin dari bahan lignoselulosa.

Serat bambu dapat diperoleh melalui proses biologis, mekanis, atau kimia. Proses pemisahan serat bambu secara biologis terdiri dari penghancuran bambu dan kemudian menambahkan enzim alami. Pemesinan dilakukan dengan menghancurkan bambu dan menambahkan enzim. Proses kimia dilakukan dengan menambahkan bahan kimia NaOH (*natrium hidroksida*) dan CS₂ (*karbon disulfida*).

Evaluasi

1. Jelaskan yang dimaksud dengan serat natural atau serat alam
2. Jelaskan kelebihan dan kekurangan dari serat alam
3. Jelaskan kendala yang sering ditemui dalam pengembangan serat alam
4. Jelaskan kelebihan serat kapas sebagai bahan komposit
5. Jelaskan kelebihan serat nanas dibandingkan serat lainnya

Bab 4

Material Matriks

Bahan pengikat atau matriks bertindak sebagai perekat untuk bahan penguat dan mentransfer gaya yang diserap oleh bahan pengikat ke bahan penguat. Bahan pengikat juga berfungsi sebagai pencegah atau sarana memperlambat sobek dengan memisahkan serat dalam bahan komposit, memungkinkan masing-masing serat untuk bertindak secara terpisah untuk menahan gaya. Binder dapat melindungi bala bantuan dari kerusakan kimia dan abrasi. Bahan pengikat atau matriks bertindak sebagai perekat untuk bahan penguat dan mentransfer gaya yang diserap oleh bahan pengikat ke bahan penguat. Bahan pengikat juga berfungsi sebagai pencegah atau sarana memperlambat robek dengan memisahkan serat dalam komposit, memungkinkan masing-masing serat untuk bertindak secara terpisah untuk menahan gaya. Selain itu, pengikat dapat melindungi tulangan dari kerusakan kimia dan abrasi. Matriks juga berperan sebagai penyalur beban langsung yang bertujuan untuk mendistribusikan beban ke serat-serat sebagai bahan modulus kekuatan tinggi sebelum proses perpatahan terjadi. Jika matriks memiliki sifat adhesif yang buruk, maka proses distribusi beban tidak sempurna dan menyebabkan kegagalan.

Matriks dalam struktur komposit dapat berasal dari bahan polimer atau logam. Syarat pokok matriks yang digunakan dalam komposit adalah matriks harus bias meneruskan beban, sehingga serat harus bias melekat pada matriks dan kompatibel antara serat dan matriks. Matriks dalam susunan komposit berguna untuk melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik. Selain itu, matriks juga berfungsi sebagai pelapis serat. Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi Volume terbesar (dominan).

Matriks mempunyai fungsi sebagai berikut:

- a. Mentransfer tegangan ke serat
- b. Membentuk ikatan koheren, permukaan matriks/serat
- c. Melindungi serat
- d. Memisahkan serat
- e. Melepas ikatan
- f. Menjaga kestabilan dalam proses manufaktur

Jenis-jenis Pengikat (Matrix)

1. *Thermoset* Resin

Resin termoset memiliki sifat bahwa mereka tidak dapat meleleh dan berubah bentuk kecuali resin bereaksi dan mengering. Saat bahan termoset mengering, ikatan, atau ikatan molekul, terbentuk. Ikatan molekul ini membuat komposit menjadi kaku. Termoset yang paling umum digunakan di pasaran adalah poliester, bismaleimida, epoksi, vinil ester, resin fenolik, ester sianat, dan polimida.

2. *Thermoplastic* Resin

Pada dasarnya, resin jenis ini relatif ulet dan memiliki sifat yang lebih keras daripada termoset. Resin termoplastik memiliki sifat meleleh dan berubah bentuk. Dibandingkan dengan termoset, termoplastik meregang lebih mudah pada suhu tinggi. Jenis termoplastik dan sifat mekaniknya tercantum di bawah ini.

Cara membuat bahan komposit perlu pertimbangan yang baik antara bahan matrik dan reinforcement nya. Bahan matrik dengan reinforcement A belum tentu baik jika digunakan dengan reinforcement B. Antara matrik dan reinforcement memiliki hubungan yang sangat erat dalam membuat bahan komposit yang optimal.

Beberapa hal yang perlu Anda perhatikan dalam memilih bahan matrik komposit adalah:

1. Kesamaan antara nilai koefisien thermal ekspansi antara matrik dan reinforcement, jika ada perbedaan yang cukup signifikan maka komposit akan mudah retak.
2. Bahan matrik memiliki sifat perekat yang baik agar reinforcement tidak mudah lepas dari matrik

4.1 Polimer

Polimer merupakan bahan yang sangat berguna dalam dunia engineering, khususnya dalam industri konstruksi. Polimer sebagai bahan bangunan dapat digunakan sendiri atau dikombinasikan dengan bahan lain untuk membentuk komposit, seperti perekat, pelapis, cat dan kaca. Aplikasi struktural yang membutuhkan kekuatan dan kekakuan memerlukan peningkatan sifat mekanik polimer untuk memenuhi persyaratan. Komposit polimer telah dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan ini dan diperkuat dengan berbagai pengisi, termasuk serat. Bahan polimer yang biasa digunakan untuk membuat komposit adalah polimer termoset. Pemilihan bahan ini didasarkan pada kenyataan bahwa polimer termoset adalah cairan, sehingga bersifat cair. tahan panas, kimia dan pelarut dan terlalu kental untuk membasahi permukaan serat. Epoxy dan poliester adalah polimer termoset yang biasa digunakan dalam produksi komposit polimer. Sifat material komposit sangat dipengaruhi oleh sifat dan distribusi konstituen serta interaksi antara keduanya. Parameter penting lainnya yang dapat mempengaruhi sifat komposit adalah bentuk, ukuran, orientasi dan distribusi pengisi dan berbagai sifat matriks. Sifat mekanik merupakan salah satu sifat komposit yang penting untuk dipelajari. Dalam aplikasi struktural, pemilihan material menentukan sifat mekanik. Sifat mekanik komposit tergantung pada sifat bahan awal. Peran utama komposit yang diperkuat serat adalah untuk mentransmisikan tegangan antar serat, memberikan ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang merugikan, dan melindungi permukaan serat dari serangan mekanis dan kimia. Di sisi lain, kontribusi serat sangat mempengaruhi kekuatan tarik (tensile strength) komposit. Secara umum serat yang biasa digunakan sebagai bahan pengisi adalah serat kimia seperti serat gelas, karbon dan grafit. Kain sintesis ini memiliki kelebihan, tetapi harganya mahal. Menggunakan serat alami seperti serat kelapa dan serat pisang sebagai pengganti serat sintesis mengurangi biaya produksi. Hal ini dimungkinkan karena biaya yang diperlukan untuk memproses serat alami lebih rendah dibandingkan dengan serat sintesis. Sifatnya lebih rendah daripada serat sintesis dalam hal keunggulan, tetapi harus diingat bahwa serat alami lebih murah dalam hal biaya pemrosesan dan sumber daya dapat terus diperbarui. Pada penelitian ini dihasilkan komposit polimer yang diperkuat dengan serat alam berupa serat pisang dan serat kelapa sawit. Dampak pada sifat mekanik dan struktur mikro dari penambahan lapisan berserat ke matriks polimer kemudian dipertimbangkan. Ada banyak kemajuan penting dalam kimia polimer dalam beberapa tahun terakhir. B. Polimer dengan stabilitas termal yang sangat tinggi terutama digunakan dalam aplikasi kedirgantaraan kinerja tinggi. Plastik rekayasa dimaksudkan untuk menggantikan logam. Dengan menggunakan komonomer berupa lignoselulosa, kami telah berhasil mensintesis polimer ramah lingkungan (biodegradable). Berbagai bahan yang berasal dari tumbuhan seperti minyak sawit.

Polimer merupakan bahan yang sangat berguna dalam dunia engineering, khususnya dalam industri konstruksi. Sebagai bahan bangunan, polimer dapat digunakan sendiri atau dikombinasikan dengan bahan lain untuk membentuk komposit, seperti perekat, pelapis, cat, dan kaca. Aplikasi struktural yang membutuhkan kekuatan dan kekakuan memerlukan peningkatan sifat mekanik polimer untuk memenuhi persyaratan. Komposit polimer telah dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan ini dan diperkuat dengan berbagai pengisi, termasuk serat. Bahan polimer yang biasa digunakan untuk membuat komposit adalah polimer termoset. Pemilihan bahan ini didasarkan pada kenyataan bahwa polimer termoset adalah cairan, sehingga bersifat cair. tahan panas, kimia dan pelarut dan terlalu kental untuk membasahi permukaan serat. Epoxy dan poliester adalah polimer termoset yang biasa digunakan dalam produksi komposit polimer. Sifat material komposit sangat dipengaruhi oleh sifat dan distribusi konstituen serta interaksi antara keduanya. Parameter penting lainnya yang dapat mempengaruhi sifat komposit adalah bentuk, ukuran, orientasi dan distribusi pengisi dan berbagai sifat matriks. Sifat mekanik merupakan salah satu sifat komposit yang penting untuk dipelajari. Dalam aplikasi struktural, pemilihan material menentukan sifat mekanik. Sifat mekanik komposit tergantung pada sifat bahan awal. Peran utama komposit yang diperkuat serat adalah untuk mentransmisikan tegangan antar serat, memberikan

ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang merugikan, dan melindungi permukaan serat dari serangan mekanis dan kimia. Di sisi lain, kontribusi serat sangat mempengaruhi kekuatan tarik (tensile strength) komposit. Secara umum serat yang biasa digunakan sebagai bahan pengisi adalah serat kimia seperti serat gelas, karbon dan grafit. Kain sintetis ini memiliki kelebihan, tetapi harganya mahal. Menggunakan serat alami seperti serat kelapa dan pisang sebagai pengganti serat sintetis mengurangi biaya produksi. Hal ini dicapai karena biaya yang diperlukan untuk memproses serat alami lebih rendah dibandingkan dengan serat sintetis. Sifatnya lebih rendah daripada serat sintetis dalam hal keunggulan, tetapi harus diingat bahwa serat alami lebih murah dalam hal biaya pemrosesan dan sumber daya dapat terus diperbarui. Pada penelitian ini dihasilkan komposit polimer yang diperkuat dengan serat alam berupa serat pisang dan serat kelapa sawit. Dampak pada sifat mekanik dan struktur mikro dari penambahan lapisan berserat ke matriks polimer kemudian dipertimbangkan. Ada banyak kemajuan penting dalam kimia polimer dalam beberapa tahun terakhir. B. Polimer dengan stabilitas termal yang sangat tinggi terutama digunakan dalam aplikasi kedirgantaraan kinerja tinggi. Plastik rekayasa dimaksudkan untuk menggantikan logam. Polimer Ramah Lingkungan Polimer alami seperti lignin dan polisakarida dapat dipecah menjadi molekul yang lebih sederhana. Selanjutnya adalah produk yang sudah terurai ini. Pemanfaatan komposit polime telah berkembang sangat pesat. Tidak terkecuali pada bidang otomotif juga telah banyak memanfaatkan komposit. Polimer untuk membuat bermacam-macam produk. Produk/komponen otomotif yang telah menggunakan komposit serat alam sebagai bahan filler antara lain adalah dashboard, instrumental panel, seat back, hat rack, side and door panel, spare tire lining, business table, pillar cover panel, under body protection trim, boot lining, dan headliner panel. Sampai saat ini penggunaan komposit polimer serat alam terus berkembang pada pembuatan produk bumper mobil maupun bodi mobil hingga helm sebagai alat keselamatan berkendara. Sebesar 80 MPa, sedangkan serat fiber lain belum dapat mencapai 74 MPa seperti kekuatan tarik dari fiberglass. Artinya hanya serat rami saja yang dapat memenuhi standar safety/keselamatan.

Komposit polimer terbuat dari kombinasi polimer dan pengisi anorganik, sintetis atau alami. Pengisi digunakan untuk meningkatkan sifat polimer yang diinginkan dan mengurangi biaya. Saat ini, aplikasi komposit polimer sebagai bahan rekayasa sudah menjadi kebutuhan. Komposit polimer yang dapat meningkatkan sifat mekanik, tahan panas, gas dan sifat penghambat api banyak digunakan dalam jumlah yang sangat besar dalam berbagai aplikasi. Sifat akhir komposit polimer yang diperkuat serat dipengaruhi oleh jenis serat, kandungan komponen, ukuran komponen, struktur mikro komposit, dan interaksi penampang antara substrat dan fase terdispersi. Komposit polimer dengan rasio aspek tinggi yang merupakan pengisi berukuran nano seperti nanoclay, karbon nanotube, dan nanofiber menarik karena sifat multifungsi dan reproduktifitasnya yang tinggi. Menggabungkan filler skala nano ukuran tinggi dan rasio aspek dengan dispersi skala nano dalam matriks polimer dapat menghasilkan peningkatan yang signifikan dalam sifat polimer dengan fraksi volume pengisi yang sangat rendah. Karena penggunaan pengisi yang lebih rendah, keseragaman makro dan kepadatan rendah dari polimer utama dipertahankan serta transparansi (opacity) dalam produk nanokomposit akhir. Polimer nanosintetik adalah jenis bahan hibrida baru.

Nanokomposit didefinisikan sebagai material komposit dalam di mana setidaknya satu komponen adalah penguat dimensi pada skala nanometer. Polimer nanokomposit telah menerima minat besar dalam dunia akademik dan industri karena mewujudkan kualitas seperti modulus, kekuatan, ketangguhan dan penghalang jauh dari perkiraan mikrosintetik konvensional dan sebanding oleh logam. Dalam polimer nanosintetik, pengisi memiliki setidaknya satu dimensi skala nano dan dispersi skala nano yang menakutkan dalam matriks polimer menghasilkan efek kontak antarmuka yang luar biasa antara polimer dan pengisi anorganik, memberikan sifat yang lebih unggul dari fase polimer konvensional. Ketika ukurannya partikel pengisi berkurang pada skala nano, sehingga sifat-sifatnya secara ajaib berubah secara dramatis. Nanokomposit polimer/clay merupakan kelompok baru komposit dengan matrik polimer di mana fasa terdispersi berupa silikat sebagai pengisi yang memiliki setidaknya satu dimensi dalam rentang nanometer (10⁻⁹ m).

Polimer yang dibentuk oleh molekul yang besar atau disebut dengan makromolekul, di mana atom dihubungkan antara satu sama lain melalui ikatan kovalen. Sebagian besar dari polimer terdiri rantai panjang yang fleksibel yang umumnya terbuat dari atom karbon. Atom karbon rantai polimer memiliki dua elektron valensi yang tidak bebas karena berikatan antara atom karbon yang dapat menjadi bagian

dari ikatan antara atom atau radikal lainnya. Rantai ini terdiri unit kecil berulang yang disebut mero. salah satu bagian disebut dengan monomer dan kata polimer berarti kehadiran beberapa meros. Ketika semua meros polimer adalah sama maka polimer tersebut disebut dengan homopolimer. Namun, ketika polimer terdiri dari dua atau lebih meros berbeda maka polimer tersebut disebut kopolimer. Struktur molekul polimer disebut sebagai polimer linear ketika meros bersatu dalam rantai tunggal. Polimer bisa berbentuk amorf atau semi-kristal sesuai dengan strukturnya karena polimer yang memiliki sejumlah besar radikal terkait dengan rantai utama tidak mampu memiliki molekul yang dapat ditumpuk sedekat mungkin dan tersusun secara teratur.

Matrik polimer digolongkan dalam:

- a) Polimer alami. Polimer alam adalah polimer yang tersusun dari Proses alami. Beberapa contoh polimer alam anorganik termasuk silika, pasir, tanah liat, siloksan, sedangkan contoh polimer alam organik, termasuk selulosa dan karet alam yang berasal dari tanaman, sutra dan wol buatan hewan, dan asbes diperoleh dari mineral.
- b) Polimer buatan. Polimer sintetik adalah polimer yang terbuat dari reaksi kimia seperti poliester, serat karet, polistiren, nilon dan polietilen. Polimer buatan ada sebagai polimer polimer sintetik dan regenerasi. Polimer sintetis terbuat dari bahan kimia standar, yaitu dari molekul sederhana (monomer) yang terbentuk menjadi rantai dengan polimerisasi. Polimer sintetis pertama yang ditemukan oleh Leo Baekeland (Ahli kimia Belgia, 1907) dengan nama bakelite. Bakelite adalah kondensasi formaldehida dengan fenol dan sejenis produk yang banyak dikonsumsi. Contoh Polimer sintetis termasuk polipropilen, polietilen, nilon, polivinil klorida (PVC), kantong plastik, poliester, karet gelang, botol dan banyak produk lainnya. Sebagian besar polimer ini adalah plastik industri, tangga atau mainan anak. Polimer daur ulang adalah polimer karakter berubah. Contohnya adalah rayon, yang merupakan serat sintetis kayu (selulosa)

Polimer merupakan bahan yang sangat berguna dalam dunia engineering, khususnya dalam industri konstruksi. Sebagai bahan bangunan, polimer dapat digunakan sendiri atau dikombinasikan dengan bahan lain untuk membentuk komposit, seperti perekat, pelapis, cat, dan kaca. Aplikasi struktural yang membutuhkan kekuatan dan kekakuan memerlukan peningkatan sifat mekanik polimer untuk memenuhi persyaratan. Komposit polimer telah dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan ini dan diperkuat dengan berbagai pengisi, termasuk serat. Bahan polimer yang biasa digunakan untuk membuat komposit adalah polimer termoset. Pemilihan bahan ini didasarkan pada kenyataan bahwa polimer termoset adalah cairan, sehingga bersifat cair. tahan panas, kimia dan pelarut dan terlalu kental untuk membasahi permukaan serat. Epoxy dan poliester adalah polimer termoset yang biasa digunakan dalam produksi komposit polimer. Sifat material komposit sangat dipengaruhi oleh sifat dan distribusi konstituen serta interaksi antara keduanya. Parameter penting lainnya yang dapat mempengaruhi sifat komposit adalah bentuk, ukuran, orientasi dan distribusi pengisi dan berbagai sifat matriks.

Sifat mekanik merupakan salah satu sifat komposit yang penting untuk dipelajari. Dalam aplikasi struktural, pemilihan material menentukan sifat mekanik. Sifat mekanik komposit tergantung pada sifat bahan awal. Peran utama komposit yang diperkuat serat adalah untuk mentransmisikan tegangan antar serat, memberikan ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang merugikan, dan melindungi permukaan serat dari serangan mekanis dan kimia. Di sisi lain, kontribusi serat sangat mempengaruhi kekuatan tarik (tensile strength) komposit. Secara umum serat yang biasa digunakan sebagai bahan pengisi adalah serat kimia seperti serat gelas, karbon dan grafit. Kain sintetis ini memiliki kelebihan, tetapi harganya mahal. Menggunakan serat alami seperti serat kelapa dan serat pisang sebagai pengganti serat sintetis mengurangi biaya produksi. Hal ini dicapai karena biaya yang diperlukan untuk memproses serat alami lebih rendah dibandingkan dengan serat sintetis. Sifatnya lebih rendah daripada serat sintetis dalam hal keunggulan, tetapi harus diingat bahwa serat alami lebih murah dalam hal biaya pemrosesan dan sumber daya dapat terus diperbarui. Pada penelitian ini dihasilkan komposit polimer yang diperkuat dengan serat alam berupa serat pisang dan serat kelapa sawit. Dampak pada sifat mekanik dan struktur mikro dari penambahan lapisan berserat ke matriks polimer kemudian dipertimbangkan. Ada banyak kemajuan penting dalam kimia polimer dalam beberapa tahun terakhir. B. Polimer dengan stabilitas termal yang sangat tinggi terutama digunakan dalam aplikasi kedirgantaraan kinerja tinggi. Plastik rekayasa dimaksudkan untuk menggantikan logam. Polimer ramah lingkungan Polimer alam seperti lignin dan

polisakarida bersifat degradable Polimer nanokomposit dapat dibagi menjadi dua kelompok berdasarkan sifat nanopartikel.

Polimer yang banyak dipakai untuk advance composites adalah epoxy, phenolic, akrilik, urethane, dan polyamide. Alasan yang mendasari digunakannya polimer/resin dalam teknologi advance composites adalah :

- a. Poliester: Keuntungannya adalah biaya rendah dan kemampuan untuk dibuat tembus cahaya;
- b. Fenolik: Keuntungannya adalah biaya rendah dan kekuatan mekanik tinggi;
- c. Epoxy: Keuntungannya adalah kekuatan mekanik yang tinggi dan daya rekat yang baik terhadap logam dan kaca; kekurangannya adalah biaya tinggi dan kesulitan dalam pemrosesan

4.2 Resin epoxy

Resin epoksi adalah resin yang paling umum digunakan. Mereka adalah cairan organik dengan berat molekul rendah yang mengandung gugus epoksida. Epoksida memiliki tiga anggota dalam cincinnya: satu oksigen dan dua atom karbon. Reaksi epiklorohidrin dengan fenol atau amina aromatik membuat sebagian besar epoksi. Meskipun epoksi lebih mahal daripada matriks polimer lainnya, epoksi adalah matriks PMC (polymer Matrics composites) yang paling populer. Lebih dari dua pertiga matriks polimer yang digunakan dalam aplikasi luar angkasa berbasis epoksi. Alasan utama mengapa epoksi adalah bahan matriks polimer yang paling banyak digunakan adalah:

- a. Kekuatan tinggi
- b. Viskositas rendah dan laju aliran rendah, yang memungkinkan pembasahan serat yang baik dan mencegah misalignment serat selama pemrosesan
- c. Volatilitas rendah selama pengeringan
- d. Tingkat penyusutan rendah, yang mengurangi kecenderungan mendapatkan kekuatan geser besar, tegangan ikatan antara epoksi dan penguatnya
- e. Tersedia dalam lebih dari 20 tingkat untuk memenuhi persyaratan properti dan pemrosesan tertentu

4.3 Resin polyester

Resin Poliester Resin polyester tak jenuh atau sering disebut polyester merupakan matrik dari komposit. Resin ini termasuk juga dalam resin termoset. Pada polimer termoset resin cair diubah menjadi padatan yang keras dan getas yang terbentuk oleh ikatan silang kimiawi yang membentuk rantai polimer yang kuat. Resin termoset tidak mencair karena pemanasan. Resin poliester merupakan resin yang paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi yang menggunakan resin termoset, baik secara terpisah maupun dalam bentuk material komposit. Resin Polyester seperti yang telah dijelaskan diatas memiliki banyak kelebihan sekaligus beberapa kelemahan, dalam aplikasi komposit resin poliester dalam hal ini poliester tidak jenuh, biasanya ditambahkan penguat (reinforced) berupa serat. Serat yang digunakan sebagai penguat adalah bisa berupa serat gelas, serat alam, serta carbon dan berbagai serat lainnya. Karena sifatnya yang polar, hampir semua jenis serat bisa dikombinasikan dengan resin poliester.

Menurut Siswo, material tersebut tergolong polimer termoset dan memiliki sifat dapat diawetkan pada suhu kamar menggunakan katalis tanpa tekanan bila proses pencetakannya menggunakan peralatan tertentu. Resin poliester tak jenuh adalah hasil reaksi basa asam tak jenuh, seperti ftalat anhidrida, dengan alkohol dihidrat, seperti etilen glikol. Struktur material yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis struktur cross-linked yang memiliki keunggulan sangat tahan terhadap beban tertentu. Hal ini karena molekul bahan ini berupa rantai molekul raksasa dari atom carabiner yang terikat satu sama lain. Asam difungsional dan alkohol difungsional (glikol) menghasilkan poliester linier. Struktur molekul menghasilkan efek redaman yang cukup baik untuk beban yang diberikan. Kekuatan material ini dicapai ketika dalam keadaan komposit dicampur dengan bala bantuan seperti fiberglass, karbon. Dalam keadaan tunggal, bahan ini memiliki sifat kaku dan getas.

Tabel 4.1. Karakteristik Mekanik Polyester Resin/Tak Jenuh.

Sifat Mekanis	Satuan	Besaran
Berat Jenis	Mg.m ⁻³	1.2 s/d 1.5
Modulus Young (E)	Gpa	2 s/d 4.5
Kekuatan Tarik	Mpa	40 s/d 90

*Sumber data : Siswo Pranoto (2010)

Pada suhu kamar, resin ini cukup stabil, tetapi penambahan peroksida (biasa disebut katalis) akan menyembuhkannya. Perawatan ini terjadi melalui reaksi ikatan silang radikal bebas dari poliester dengan monomer reaktif yang ditambahkan ke resin poliester. Dalam hal ini, stirena, yang umumnya merupakan komposisi resin 30/70, ditambahkan sebagai monomer aktif. Dalam reaksi ini, ikatan rangkap diubah menjadi ikatan tunggal. Adanya radikal bebas yang terbentuk setelah dekomposisi memungkinkan terjadinya reaksi antara resin poliester dan stirena tak jenuh (monomer reaktif). Reaksi ini mengubah molekul resin poliester dan stirena menjadi radikal bebas, sehingga mekanisme reaksi berikut terjadi pada molekul resin berikut: Reaksi antara ikatan rangkap reaktif stirena dan poliester (Pritchard G, 1984) menghasilkan ikatan silang dalam bentuk polimer jaringan tiga dimensi.

4.4 Metal/logam

Komposit logam, atau dikenal dengan Komposit Matrik Logam (KML) atau Metal Matrix composites (MMC) adalah kombinasi dari dua material atau lebih dimana logam sebagai matrik dan keramik sebagai penguat. Umumnya aluminium dipilih sebagai matrik karena material ini ringan, relatif murah dan mudah difabrikasi. Permasalahannya adalah material ini mempunyai kekuatan yang lebih rendah dibandingkan material komersial lainnya seperti besi tuang, baja maupun tembaga. Namun demikian aluminium dapat ditingkatkan kekuatannya melalui proses pemaduan (alloying), proses pengerjaan dingin (cold working) dan perlakuan panas (heat treatment) dengan proses penuaan (aging). Dengan adanya konsep pengembangan material komposit maka aluminium tersebut dapat dikombinasikan dengan material keramik yang bertujuan untuk mendapatkan sifat fisis dan mekanis yang lebih unggul, seperti kekuatan modulus spesifik (specific strength and modulus) yang tinggi dengan berat yang rendah dibandingkan baja. Namun bila aluminium tersebut ditambahkan keramik sebagai penguat maka rasio kekuatan dan modulus material komposit ini akan meningkat secara signifikan bahkan melebihi besi tuang dan baja.

Material komposit merupakan sistem material yang tersusun dari suatu campuran atau kombinasi dua atau lebih unsur-unsur makro yang berbeda bentuk dimana komposisinya tidak saling melarutkan, dan diantara unsur-unsur yang satu dengan yang lainnya terdapat jarak antar muka/permukaan. (Mel M. Schwartz, 1997). Sedangkan menurut Esterling Kelly (1988), komposit material didefinisikan sebagai campuran heterogen dari dua atau lebih fasa homogen yang terikat secara bersamaan. Dari kedua definisi tersebut, dapat disimpulkan bahwa material komposit adalah suatu susunan material yang terdiri dari matrik dan struktur penguat atau merupakan penggabungan dua bahan atau lebih yang masing-masing bahan tidak saling melarutkan. Penggabungan dua bahan atau lebih ini dimaksudkan untuk mendapatkan kombinasi sifat yang tidak dimiliki oleh bahan-bahan tersebut.

Komposit dapat berupa penggabungan logam dengan logam, logam dengan bahan keramik, logam dengan polimer atau polimer dengan keramik (MK, Surappa, 1981, dan Calister, 2002). Dalam penggabungan tersebut salah satu bertindak sebagai bahan pengikat (matrik) dan yang lain bertindak sebagai bahan struktur penguat (reinforcing agent). Material komposit logam adalah material logam yang diperkuat dengan fiber continuous atau fiber discontinuous (whiskers) atau partikel. Bahan yang bertindak sebagai matriknya adalah logam atau paduan logam. Logam-logam yang biasa digunakan sebagai matrik dibatasi terutama pada jenis aluminium (Al), magnesium (Mg), tembaga (Cu), titanium

(Ti) dan beberapa paduan logam dasar nikel (Ni). Selain itu, material komposit logam memiliki batas temperatur operasi sangat tinggi dan hal ini sangat berlawanan dengan logam dasarnya.

Sebagai contoh: Al/SiC(p) dan Al/Al₂O₃(f). Sifat ini sangat penting untuk pemakaian komponen dengan temperatur tinggi. Material komposit logam juga memiliki kestabilan dimensi yang baik, kemampuan disambung (joint) cukup baik, keuletan tinggi dan tangguh, ketahanan terhadap moisture pick-up dan are fully dense when properly fabricated. Karena beberapa sifat unggulnya, komposit matrik logam dikategorikan ke dalam jenis material potensial dan digunakan secara luas pada pemakaian material teknik.

Secara umum, komposit memiliki kelebihan sebagai berikut:

- a. Memiliki specific strength yang tinggi
- b. *Specific stiffness* yang tinggi
- c. *Design flexibility* (*Fiber orientation* dan *Tailoring*)
- d. *High fatigue resistance*
- e. *Thermal stability* (*low coefficient of thermal expansion*)
- f. *Internal damping* yang tinggi (mampu menyerap getaran)
- g. *Near-net shape*

Komposit matriks logam (Metal Matrix Composites/MMCs), seperti namanya, memiliki matriks logam. Contoh matriks dalam komposit tersebut termasuk aluminium, magnesium, dan titanium. Serat khas termasuk karbon dan silikonkarbida.

Logam terutama diperkuat untuk menambah atau mengurangi sifat-sifatnya agar sesuai dengan kebutuhan desain. Misalnya, kekakuan elastis dan kekuatan logam dapat ditingkatkan, dan koefisien ekspansi termal yang besar dan konduktivitas termal dan listrik logam dapat dikurangi, dengan penambahan serat seperti silikon karbida.

Komposit matriks logam memiliki keunggulan dibandingkan logam monolitik seperti baja dan aluminium. Keuntungan ini mencakup kekuatan dan modulus spesifik yang lebih tinggi dengan memperkuat logam berdensitas rendah, seperti aluminium dan titanium; koefisien ekspansi termal yang lebih rendah dengan memperkuat serat dengan koefisien ekspansi termal yang rendah, seperti grafit; dan mempertahankan sifat-sifat seperti kekuatan pada suhu tinggi.

MMC memiliki beberapa keunggulan dibandingkan komposit matriks polimer. Hal ini termasuk sifat elastis yang lebih tinggi; ketahanan terhadap suhu yang lebih tinggi; ketidakepekaan terhadap kelembaban; konduktivitas listrik dan termal yang lebih tinggi; dan ketahanan aus, kelelahan, dan cacat yang lebih baik. Kelemahan MMC dibandingkan PMC adalah suhu pemrosesan yang lebih tinggi dan kepadatan yang lebih tinggi.

Aplikasi komposit matriks logam adalah:

- a. Luar Angkasa: Pesawat ulang-alik menggunakan tabung boron/aluminium untuk menopang rangka badan pesawatnya. Selain mengurangi massa pesawat ulang-alik lebih dari 320 lb (145 kg), boron/aluminium juga mengurangi persyaratan insulasi termal karena konduktivitas termalnya yang rendah. Tiang Teleskop Hubble menggunakan aluminium yang diperkuat karbon.
- b. Militer: Komponen presisi dari sistem pemandu misil menuntut stabilitas dimensi — yaitu, geometri komponen tidak dapat berubah selama penggunaan. Komposit matriks logam seperti komposit SiC/aluminium memenuhi persyaratan ini karena memiliki kekuatan hasil mikro yang tinggi. Selain itu, fraksi volume SiC dapat divariasikan untuk memiliki koefisien ekspansi termal yang kompatibel dengan bagian lain dari rakitan sistem.
- c. Transportasi: Komposit matriks logam mulai digunakan sekarang pada mesin otomotif yang lebih ringan dari jenis logam lain. Juga, karena kekuatannya yang tinggi dan bobotnya yang rendah, komposit matriks logam adalah bahan pilihan terbaik untuk mesin turbin gas.

4.5 Keramik

Komposit Matrik Keramik (Ceramic Matrix Composites – CMC) Ceramic metal composite yaitu material dua fasa dengan satu fasa berfungsi sebagai matriks di mana matriksnya tersebut dari keramik. Penguat yang umumnya digunakan pada CMC adalah; oksida, carbide, dan nitride. Salah satu pembuatan dari CMC yaitu dengan proses DIMOX yaitu proses pembentukan Komposit Matrik Keramik (Ceramic

Matrix Composites – CMC) Ceramic metal composite yaitu material dua fasa dengan satu fasa berfungsi sebagai matriks di mana matriksnya tersebut dari keramik. Penguat yang umumnya digunakan pada CMC adalah; oksida, carbide, dan nitride. Salah satu pembuatan dari CMC yaitu dengan proses DIMOX yaitu proses pembentukan. Ceramic Matrix Composites (CMCs) adalah bahan keramik, kaca-keramik, dan matriks kaca dan mengandung fase inklusi sekunder. Fase inklusi sekunder ini dapat berupa fibrous, kumis, plak, atau partikulat. Dalam komposit lengkap, fase inklusi ini berinteraksi secara sinergis dengan matriks untuk membentuk bahan dengan sifat yang lebih baik daripada bahan matriks atau bahan inklusi itu sendiri. Kaca, keramik kaca, dan keramik merupakan material dengan modulus elastisitas (kekakuan) yang tinggi. Bahan ini memiliki kekuatan tekan yang sangat baik dan sedikit lebih padat daripada kebanyakan logam struktural. Penggunaan kaca, keramik kaca, dan bahan keramik sangat terbatas dalam aplikasi struktural karena kerapuhannya, ketangguhan patah yang rendah, kepekaan terhadap cacat, dan kekuatan tarik curah yang sangat rendah. Termasuk Fase 2 dari meningkatkan toleransi kerusakan (toleransi ketangguhan), keandalan (koefisien Weibull tinggi), dan kekuatan lentur dan tegangan. Keramik struktural yang tidak diperkuat tetapi memiliki kekuatan lentur tinggi telah dikembangkan. Penggunaan material ini sangat menjanjikan dan pengembangan material ini akan sangat meningkatkan kinerjanya. Namun, banyak bahan tidak dapat mengakomodasi ini untuk mencapai kekuatan lentur yang tinggi. Ide penggunaan keramik bertulang dimungkinkan dalam hal ini dengan menggunakan CMC dan mengubah bahan keramik dengan kekuatan rendah dan ketangguhan patah tinggi. Faktor utama yang mempengaruhi sifat komposit adalah bentuk fase inklusi sekunder. Komposit yang mengandung serat kontinu mungkin lebih kuat dan lebih kuat daripada komposit yang mengandung partikel. Komposit, termasuk kumis dan trombosit sebagai fase inklusi sekunder, berada di daerah transisi dari fase inklusi sekunder berserat yang berlanjut dengan partikel. Secara umum, termasuk bahan isotropik menghasilkan komposit isotropik. Partikel sferis yang terdapat pada bahan kaca, keramik kaca, dan keramik merupakan bahan komposit dengan sifat mekanik isotropik. Termasuk bahan anisotropik kecil seperti kumis dan trombosit menghasilkan komposit dengan sifat anisotropik mikroskopis, dengan asumsi orientasi inklusi acak, tetapi sifat makroskopik akan isotropik. Memasukkan serat kontinu anisotropik ke dalam kaca, keramik kaca, dan bahan keramik umumnya menghasilkan komposit yang juga menunjukkan sifat mekanik yang sangat anisotropik. Fase inklusi yang merupakan struktur internal lain dari CMC adalah material komposit yang terdiri dari lapisan fase inklusi, partikel material bergradasi fungsional (FGM), material antarmuka polikristalin, atau fase perantara intergranular.

Komposit matriks keramik (CMC) memiliki matriks keramik seperti alumina kalsium aluminosilikat yang diperkuat oleh serat seperti karbon atau silikon karbida. Keuntungan CMC adalah sifat kekuatan tinggi, kekerasan, batas suhu servis tinggi untuk keramik, kelembaman kimia, dan kepadatan rendah. Namun di sisi lain, keramik memiliki ketangguhan patah yang rendah. Memperkuat keramik dengan serat, seperti silikon karbida atau karbon, meningkatkan ketangguhan patahnya karena menyebabkan kegagalan komposit secara bertahap. Kombinasi matriks serat dan keramik ini membuat CMC lebih menarik untuk aplikasi yang membutuhkan sifat mekanik yang tinggi dan suhu operasional yang ekstrem.

Komposit matriks keramik banyak diaplikasikan pada daerah bersuhu tinggi di mana komposit matriks logam dan polimer tidak dapat digunakan. Aplikasi yang umum termasuk sisipan pahat pemotong di lingkungan pengoksidasi dan suhu tinggi. Textron Systems Corporation® telah mengembangkan keramik yang diperkuat serat dengan monofilamen SCS™ untuk mesin pesawat masa depan.

Evaluasi

1. Jelaskan peranan matriks dalam material komposit
2. Jelaskan polimer dan jenis-jenis polimer
3. Jelaskan resin epoxy yang kamu ketahui
4. Jelaskan perbedaan resin epoksi dan poliester
5. Jelaskan material komposit logam serta sebutkan contohnya

Bab 5

Material Komposit

5.1 Properties Material Komposit

Secara umum Komposit memiliki sifat mekanik yang lebih baik dari material logam, nilai kekakuan jenis (modulus Young/density) dan kekuatan jenisnya lebih tinggi apabila dibandingkan dengan logam. Beberapa lamina komposit dapat disusun secara berlapis dengan arah orientasi serat yang sama atau berbeda. Gabungan lamina ini disebut sebagai laminat. Komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda, yaitu: 1. Penguat (Reinforcement), yang mempunyai sifat kurang elastis tetapi lebih kaku serta lebih kuat. 2. Matriks, umumnya lebih elastis tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih rendah.

Secara garis besar ada 3 macam jenis komposit berdasarkan penguat yang digunakannya, yaitu:

1. Fibrous Composites (Komposit Serat). Merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu lapisan yang menggunakan penguat berupa serat (fiber). Serat (fiber) yang digunakan bisa berupa glass fibers, carbon fibers, aramid fibers (poly aramide), dan sebagainya
2. Laminated Composites (Komposit Laminat). Merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri.
3. Particulate Composites (Komposit Partikel). Merupakan komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya

Dalam penyusunan matriks, harus mempertimbangkan faktor-faktor yang dapat memengaruhi kekuatan Fiber-Matrix Composites. Material komposit memiliki unsur penyusun yang memengaruhi kekuatan material akhir. Adapun faktor yang mempengaruhi kekuatan komposit sebagai berikut

1. Faktor Serat
Serat merupakan bahan pengisi matriks yang berfungsi untuk memperbaiki struktur dan sifat mekanik yang berfungsi sebagai bahan penguat matriks pada komposit dalam menahan gaya yang terjadi.
2. Panjang Serat
Kondisi morfologi dan sifat fisik serat memberikan karakteristik dari serat tersebut. Terdapat dua jenis serat untuk campuran komposit yaitu serat panjang (continuous fiber) dan serat pendek. Serat Panjang tersebut lebih efisien dalam peletakannya, lebih mudah penanganannya, dan lebih kuat dibanding serat pendek, namun serat pendek lebih mudah dalam peletakannya. Perbandingan antara panjang serat dengan diameter serat disebut aspect ratio, jika aspect ratio semakin besar maka kekakuan tarik serat pada komposit semakin besar.
3. Bentuk Serat
Dalam pembuatan komposit, bentuk serat tidak terlalu memengaruhi, melainkan diameter seratnya. Dimana semakin kecil diameter serat maka kekuatan komposit yang dihasilkan akan lebih tinggi. Menurut Schwartz (1984: 1- 4) selain bentuknya, kandungan serat juga akan memengaruhi
4. Faktor Matriks
Matriks pada komposit berfungsi untuk melindungi dari kerusakan eksternal, meneruskan atau memindahkan beban eksternal ke bidang geser diantara serat dan matriks, dan sebagai bahan pengikat serat yang akan menjadi unit struktur. Serat dibutuhkan ikatan permukaan yang kuat

antara serat dan matriks pada pembuatan komposit, dari hal tersebut serat dan matriks saling berhubungan.

Faktor Ikatan Fiber-Matriks Void adalah faktor yang memengaruhi ikatan matriks dan serat, dimana jika matriks tidak mampu mengisi ruang kosong pada cetakan maka hal tersebut disebabkan karena bentuk yang sempurna atau terdapat celah pada serat.

Katalis berfungsi dalam membantu pengeringan resin dan serat pada komposit. Jumlah katalis yang dicampurkan akan memengaruhi waktu yang dibutuhkan oleh resin dalam mengubah menjadi plastik. Namun pemberian katalis yang berlebihan akan berdampak pada material yang dihasilkan yaitu getas hingga resin dapat terbakar.

Komposit yang diperkuat dengan serat dapat digolongkan menjadi dua bagian yaitu komposit serat pendek (short fiber composite) dan komposit serat panjang (long fiber composite). Serat panjang lebih kuat dibanding serat pendek. Serat panjang (continuous fiber) lebih efisien dalam peletakannya daripada serat pendek tetapi serat pendek lebih mudah peletakannya dibanding serat panjang. Panjang serat mempengaruhi kemampuan proses dari komposit serat. Ditinjau dari teorinya, serat panjang dapat meneruskan beban maupun tegangan dari titik tegangan ke arah serat yang lain. Tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan karena tegangan yang diberikan pada komposit pertama diterima oleh matriks dan diteruskan ke serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu, serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matriks penyusun komponen.

Material komposit mempunyai sifat yang berbeda dari material yang umum atau biasa digunakan. Sedangkan proses pembuatan melalui proses pencampuran yang tidak homogen, sehingga kita dapat lebih leluasa dalam merencanakan kekuatan material komposit yang kita inginkan dengan cara mengatur komposit dari material pembentukannya. Pada umumnya sifat-sifat yang dimiliki komposit ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain:

- 1) Jenis bahan-bahan penyusunnya.
- 2) Bentuk geometrid an struktur bahan-bahan penyusunnya.
- 3) Rasio perbandingan bahan-bahan penyusunnya.
- 4) Daya lekat antara bahan-bahan penyusunnya.
- 5) Orientasi bahan penguat dan proses pembentukannya.

Penyusun Komposit

Komposit pada umumnya terdiri dari dua fasa yaitu matriks dan filler matriks berperan sebagai pengikat dan filler berperan sebagai pengisi.

Komposit serat dapat dibagi menjadi dua bagian: komposit serat pendek dan komposit serat panjang. Serat panjang lebih kuat dari serat pendek. Serat panjang (continuous fiber) lebih efisien untuk dipasang daripada serat pendek, tetapi serat pendek lebih mudah dipasang daripada serat panjang. Panjang serat mempengaruhi kemampuan proses komposit serat. Dilihat dari teori, serat panjang dapat mentransfer beban dan tegangan dari titik tegangan ke serat lainnya. Tinggi rendahnya kekuatan komposit tergantung pada serat yang digunakan, karena tegangan yang diberikan pada komposit pertama diserap oleh matriks dan diteruskan ke. Fiber sehingga fiber dapat menahan beban hingga beban maksimal. Oleh karena itu, serat harus memiliki tegangan tarik yang lebih tinggi dan modulus Young yang lebih tinggi daripada matriks komponen. Bahan komposit yang umum atau umum bahan yang digunakan. Meskipun proses pembuatannya melalui proses pencampuran yang tidak seragam, menyesuaikan komposit dari bahan memberi Anda lebih banyak kebebasan untuk merencanakan kekuatan komposit yang diinginkan. Secara umum sifat-sifat material komposit ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain: Komposit umumnya terdiri dari dua fase. Yaitu matriks yang berperan sebagai pengikat, matriks pengisi, dan pengisi yang berperan sebagai pengisi. Matriks struktur komposit dapat berasal dari polimer atau logam. Syarat utama dari matriks yang digunakan dalam komposit adalah matriks tersebut harus mampu menopang beban. Oleh karena itu, serat dapat menempel pada matriks dan harus kompatibel antara serat dan matriks. Matriks rakitan komposit membantu melindungi dan mengikat serat agar berfungsi dengan baik. Selain itu, matriks juga berperan sebagai pelapis serat. Matriks adalah fasa komposit dengan fraksi atau fraksi volume terbesar (dominan). Serat dasar termasuk selulosa, lignin dan hemiselulosa. Biasanya, keuletan dan modulus elastisitas serat meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan selulosa. Daktilitas

serat tanaman tergantung pada orientasi mikrofibril sehubungan dengan sumbu serat. Jika orientasinya spiral, seratnya ulet. Namun, ketika orientasinya paralel, serat menjadi kaku, tidak fleksibel, dan memiliki kekuatan tarik yang tinggi (Kalia et al. 2011). Gambar 9 menunjukkan scanning electron micrograph (SEM) dari permukaan serat rosella. permukaan rosella Serat halus; Namun, tanpa perawatan permukaan, gerinda, benda asing, dan kotoran dapat terjadi. Memiliki permukaan yang halus merupakan kelemahan utama serat alami dan menambah hidrofilisitas yang tidak diinginkan. Namun, pretreatment dapat menghasilkan permukaan yang halus. Jika permukaannya kasar, akan terjadi interlock antara bahan polimer dan ikatan antar muka akan meningkat. Fenomena ini menunjukkan pentingnya mempelajari morfologi serat.

Komposit masih memiliki beberapa keunggulan antara lain mempunyai densitas yang relatif rendah sehingga lebih ringan, mempunyai kekakuan dan kekuatan spesifik yang tinggi, tahan terhadap beban fatik atau beban lelah dan tahan juga terhadap korosi. Selain itu, dalam proses pabrikasinya, pembuatan komposit jauh lebih mudah dengan tingkat kepresisian yang tinggi. Bahkan sifat mekanik dari suatu produk berbahan komposit bisa diatur sesuai dengan kebutuhan. Namun ada juga kekurangannya antara lain tidak tahan terhadap beban kejut atau beban tumbuk, sifatnya sangat dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban dan relatif mahal. Walaupun ada beberapa kekurangan ini, tetapi karena keunggulannya maka material komposit menjadi semakin diminati untuk dikembangkan dalam penerapannya.

Jadi dapat dikatakan bahwa tujuan pembuatan komposit adalah untuk memperbaiki sifat mekaniknya seperti kekuatan dan kekakuan, mempermudah desain yang rumit dalam proses pabrikasinya, bentuk dan desain dapat lebih mudah sehingga dapat menghemat biaya, dan yang lebih disukai yaitu menjadikan suatu produk lebih ringan. Mengapa lebih ringan ? Salah satunya yaitu berdampak pada penghematan penggunaan bahan bakar baik dalam proses pabrikasinya maupun dalam penggunaannya.

Ada tiga faktor yang menentukan sifat- sifat dari material komposit yaitu:

1. Material pembentuk Sifat-sifat intrinsik material pembentuk memegang peran yang sangat penting terhadap pengaruh sifat kompositnya.
2. Susunan struktural komponen. Dimana bentuk serta orientasi dan ukuran tiap komponen penyusun struktur dan distribusinya merupakan faktor penting yang memberi kontribusi dalam penampilan komposit secara keseluruhan.
3. interaksi antar komponen. Karena komposit merupakan campuran atau kombinasi komponen komponen yang berbeda baik dalam hal bahannya maupun bentuknya maka sifat kombinasi yang diperoleh pasti akan berbeda.

Secara umum material komposit tersusun dari dua komponen utama yaitu matrik (bahan pengikat) dan filter (bahan pengisi). Filter adalah bahan pengisi yang digunakan dalam pembuatan komposit, biasanya berupa serat atau serbuk. Gibson (1984) mengatakan bahwa matrik dalam struktur komposit bisa berasal dari bahan polimer logam maupun keramik. Matrik secara umum berfungsi untuk mengikat serat menjadi satu struktur komposit.

5.2 Klasifikasi Komposit

Dalam pembuatan sebuah material komposit suatu pengkombinasian optimum dari sifat sifat bahan penyusunnya untuk mendapatkan sifat sifat tunggal sangat diharapkan. Beberapa material komposit polymer diperkuat serbuk yang memiliki kombinasi sifat-sifat yang ringan kaku kuat dan mempunyai nilai kekerasan yang "ukup tinggi. Disamping itu juga sifat dari material komposit dipengaruhi oleh beberapa, aktor yaitu material yang digunakan sebagai bentuk komponen dalam komposit bentuk geometri dari unsur-unsur pokok dan akibat struktur dari sistem komposit cara dimana bentuk satu mempengaruhi bentuk lainnya.

Menurut Agarwal dan Broutman yaitu menyatakan bahwa bahan komposit mempunyai ciri-ciri yang berbeda dan komposisi untuk menghasilkan suatu bahan yang mempunyai sifat dan ciri tertentu yang berbeda dari sifat dan ciri konstituen asalnya. Disamping itu konstituen asal masi kekal dan dihubungkan melalui suatu antara muka. Dengan kata lain bahan komposit adalah bahan yang heterogen yang terdiri dari fasa yang tersebar dan fasa yang berterusan. Fasa tersebar selalu terdiri dari serat atau bahan pengukuh manakalah yang berterusannya terdiri dari matriks.

Klasifikasi bahan komposit dapat dibentuk dari sifat dan strukturnya. Bahan komposit dapat diklasifikasikan kedalam beberapa jenis. Secara umum klasifikasi yang sering digunakan antara lain seperti:

1. Klasifikasi menurut kombinasi material utama seperti metal organic atau metal anorganic
2. Klasifikasi menurut karakteristik built-from seperti system matrik atau laminate
3. Klasifikasi menurut distribusi unsure pokok seperti continuous dan discontinuous
4. Klasifikasi menurut fungsinya seperti elektrik atau structural

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 B serat yang diikat oleh matrik. Bentuknya ada dua macam yaitu serat panjang dan serat pendek.

Bahan Komposit Partikel

Dalam struktur komposit bahan komposit partikel tersusun dari partikel-partikel yang disebut bahan komposit partikel (particulate composite) bahan komposit partikel umumnya digunakan sebagai pengisi dan penguat bahan komposit keramik (ceramic matrik composites) bahan komposit partikel lebih lemah dibanding bahan kompositserat. bahan komposit partikel mempunyai keunggulan ketahanan terhadap kekurangan air tidak muda retak dan mempunyai daya pengikat dengan matrik yang baik.

Bahan Komposit Serat

Bahan komposit serat terdiri dari serat serta 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.

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

Komposit serat dalam dunia industry 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 untuk memperoleh hasil yang maksimal. Komposit pada umumnya menggunakan bahan plastik yang merupakan material yang paling sering digunakan sebagai bahan pengikatseratnya selain itu plastik mudah didapat dan mudah perlakuannya dari pada bahan dari logam yang membutuhkan bahan sendiri untuk memperoleh komposit yang kuat harus dapat menempatkan serat dengan benar. Berdasarkan penempatannya terdapat beberapa tipe serat pada komposit yaitu:

1. Continuous Fiber Composite
Continuous atau uni-directional,mempunyai serat panjang dan lurus membentuk lamina di antara matriknya. Jenis komposit ini paling sering digunakan. Tipe ini mempunyai kelemahan pada pemisahan antar lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriknya.
2. Woven fiber Composite (bi-directional)
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. mahan pada pemisahan antar lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriknya.
3. Discontinuous Fiber Composite
Discontinuous Fiber Composite adalah tipe komposit dengan serat pendek. Tipe ini dibedakan lagi menjadi 3 (Gibson,1994:157):
 - A. Aligned Discontinuous Fiber
 - B. Ligned Discontinuous Fiber

- C. Randomly Oriented Discontinuous Fiber
- D. Hybrid Fiber Composite Hybrid Fiber Composite

merupakan komposit gabungan antara serat tipe serat lurus dengan serat acak. Tipe ini digunakan supaya dapat mengganti kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihan keduanya.

Kemajuan ini telah mendorong peningkatan dalam permintaan terhadap bahan komposit. Perkembangan bidang sciences dan teknologi mulai menyulitkan bahan konvensional seperti logam untuk memenuhi keperluan aplikasi baru. Bidang angkasa lepas, perkapalan, automobile dan industri pengangkutan merupakan contoh aplikasi yang memerlukan bahan-bahan yang berdensiti rendah, tahan karat, kuat, kokoh dan tegar. Dalam kebanyakan bahan konvensional seperti keluli, walaupun kuat ia mempunyai densiti yang tinggi dan rapuh.

Sifat maupun karakteristik dari komposit ditentukan oleh :

- a. Material yang menjadi penyusun komposit Karakteristik komposit ditentukan berdasarkan karakteristik material penyusun menurut rule of, mixture sehingga akan berbanding secara proporsional.
- b. Bentuk dan penyusunan struktural dari penyusun Bentuk dan cara penyusunan komposit akan mempengaruhi karakteristik komposit.
- c. Interaksi antar penyusun Bila terjadi interaksi antar penyusun akan meningkatkan sifat dari komposit.

5.3 Bahan pembentuk Komposit.

Bahan pembuat fiberglass pada umumnya terdiri dari 11 macam bahan, 6 macam sebagai bahan utama dan 5 macam sebagai bahan finishing. Sebagai bahan utama yaitu: Erosil, pigmen, resin, katalis, talk, mat, sedangkan sebagai bahan finishing antara lain: aseton, PVA, mirrorcobalt dan dempul.

1. Aerosil
Bahan ini berbentuk bubuk sangat halus seperti bedak bayi berwarna putih. Berfungsi sebagai perekat mat agar fiberglass menjadi kuat dan tidak mudah patah/pecah
2. Pigment
pigmen adalah zat pewarna sebagai pencampur saat bahan fiberglass dicampur. Pemilihan warna disesuaikan dengan selera pembuatnya. Pada umumnya pemilihan warna untuk mempermudah proses akhir saat pengcatan
3. Resin
Bahan ini berwujud cairan kental seperti lem, berkilir hitam atau bening. Berfungsi untuk mencairkan/melarutkan sekaligus juga mengeraskan semua bahan yang akan dicampur. Biasanya bahan ini dijual dalam literan atau dikemas dalam kaleng.
4. Katalis
Zat ini berwarna bening dan berfungsi sebagai pengencer. Zat kimia ini biasanya dijual bersamaan dengan resin, dan dalam bentuk pasta. Perbandingannya adalah resin 1 liter dan katalisnya 1/40 liter
5. Talk
Sesuai dengan namanya bahan ini berupa bubuk berwarna putih seperti sagu. Berfungsi sebagai campuran adonan fiberglass agar keras dan agak lentur.
6. Mat
Bahan ini berupa anyaman mirip kain dan terdiri dari beberapa model, dari model anyaman halus sampai dengan anyaman yang kasar atau besar dan jarang-jarang. Berfungsi sebagai pelapis campuran adonan dasar fiberglass, sehingga sewaktu unsur kimia tersebut bersenyawa dan mengeras, mat berfungsi sebagai pengikatnya. Akibatnya fiberglass menjadi kuat dan tidak getas.
7. Aseton
Pada umumnya cairan ini berwarna bening, fungsinya seperti katalis yaitu untuk mencairkan resin. Zat ini digunakan apabila adonan terlalu kental yang akan mengakibatkan pembentukan fiberglass menjadi sulit dan lama keringnya
8. PVA

Bahan ini berupa cairan kimia berkilir biru menyerupai spiritus. Berfungsi untuk melapis antara master mal/cetakan dengan bahan fiberglass. Tujuannya adalah agar kedua bahan tersebut tidak saling menempel, sehingga fiberglass hasil cetakan dapat dilepas dengan mudah dari master mal atau cetakannya.

9. Mirror

Sesuai namanya, manfaatnya hampir sama dengan PVA, yaitu menimbulkan efek licin. Bahan ini berwujud pasta dan mempunyai warna bermacam-macam.

10. Cobalt

Cairan kimia ini berwarna kebiru-biruan. Berfungsi sebagai bahan aktif pencampur katalis agar cepat kering, terutama apabila kualitas katalisnya kurang baik dan terlalu encer. Bahan ini dapat dikategorikan sebagai bahan penyempurna, sebab tidak semua bengkel menggunakannya. Hal ini tergantung pada kebutuhan pembuat dan kualitas resin yang digunakannya. Perbandingannya adalah 1 tetes cobalt dicampur dengan 3 liter katalis. apabila perbandingan cobalt terlalu banyak, dapat menimbulkan api.

11. Dempul fiberglass

setelah hasil cetakan terbentuk dan dilakukan pengamplasan, permukaan yang tidak rata dan berpori-pori perlu dilakukan pendempulan. Tujuannya agar permukaan fiberglass hasil cetakan menjadi lebih halus dan rata sehingga siap dilakukan pengerjaan lebih lanjut.

Pada umumnya konsep material komposit yang dibuat dapat dibagi ke dalam tiga kelompok utama:

1. Komposit Matrik Polimer (*Polymer Matrix Composites-PMC*).

Bahan ini merupakan bahan komposit yang sering digunakan disebut, Polimer Berpenguatan Serat (*FRP – Fibre Reinforced Polymers or Plastic*). Bahan ini menggunakan suatu polimer berdasar resin sebagai matriknya dan suatu jenis serat seperti kaca, karbon dan aramid (*Kevlar*) sebagai penguatan.

2. Komposit Matriks Logam (*Metal Matriks Composites-MMC*).

Ditemukan berkembang pada industri otomotif, bahan ini menggunakan suatu logam seperti aluminium sebagai matrik dan penguatnya dengan serat seperti silikon karbida.

3. Komposit Matrik Keramik (*Ceramic Matrix Composites-CMC*).

Digunakan pada lingkungan bertemperatur sangat tinggi, bahan ini menggunakan keramik sebagai matrik dan diperkuat dengan serat pendek, atau serabut-serabut (*whiskers*) dimana terbuat dari silikon karbida atau *boron nitride*.

1. Material Komposit Berlapis (*Laminated Composites Materials*)

Terdiri dari dua atau lebih lapisan material yang berbeda dan digabung secara bersama-sama. *Laminated composite* dibentuk dari berbagai lapisan-lapisan dengan berbagai macam arah penyusunan serat yang ditentukan yang disebut lamina. Yang termasuk *Laminated Composites* (komposit berlapis) yaitu :

- a) *Bimetals*
- b) *Cladmetals*
- c) *Laminated glass*
- d) *Plastic based laminates*

2. Material Komposit Partikel (*Particulate Composites Materials*)

Terdiri dari suatu atau lebih partikel yang tersuspensi di dalam matriks dari matriks lainnya. Partikel logam dan non-logam dapat digunakan sebagai matriks.

Empat kombinasi yang digunakan sebagai matriks komposit partikel yaitu :

- a) Material kompositpartikel non-logam di dalam matriks non-logam
- b) Material kompositpartikel logam di dalam matriks non-logam
- c) Material kompositpartikel non-logam di dalam matriks logam
- d) Material kompositpartikel logam di dalam matriks logam

4. Kombinasi dari ketiga tipe di atas

Secara umum, sifat-sifat komposit ditentukan oleh : a) Sifat-sifat serat

- b) Sifat-sifat resin
- c) Rasio serat terhadap resin dalam komposit fraksi volume serat (*fibre volume fraction*)
- d) Geometri dan orientasi serat pada komposit

5.4 Composite Casting Resin

Menurut Azom, *composite casting resin* adalah proses pengecoran plastik di mana resin sintetik cair diisi dalam cetakan dan dibiarkan mengeras. Secara tradisional proses ini digunakan untuk produksi skala kecil seperti *prototype* industri dan produk kedokteran gigi. Hal ini juga dapat digunakan oleh penggemar dan produsen untuk membuat mainan, model skala, model objek, patung-patung, dan produksi perhiasan skala kecil. *Casting resin* relatif sangat mudah digunakan.

Pengembangan berbagai jenis komposit telah meningkatkan permintaan untuk pengecoran resin. Komposit ringan yang banyak digunakan antara lain pada angkatan laut, otomotif, dll.

Proses sederhana untuk pengecoran resin adalah pengecoran gravitasi. Dalam proses ini, resin dituangkan ke dalam cetakan dan dibiarkan mengalir oleh gravitasi. Bila resin dicampur, gelembung udara dapat terjadi dalam cairan, ini dapat dihapus dalam ruang vakum. Pengecoran ini juga dapat dilakukan dalam ruang vakum terutama ketika menggunakan cetakan terbuka, untuk mengekstrak gelembung. Hal ini juga dapat dilakukan dalam *panic* tekanan untuk mengurangi ukuran gelembung udara ke titik di mana mereka tidak terlihat. Akhirnya, tekanan dan gaya sentrifugal dapat digunakan untuk mendorong cairan resin sesuai dengan cetakan.

Jenis Resin Casting Untuk Manufaktur Komposit

Ada beberapa jenis resin pengecoran tersedia di pasar :

1. Polyurethane *casting resin* digunakan bersama dengan cetakan karet silikon untuk menghasilkan coran plastik yang tepat dari bagian asli atau *prototype* cepat. Resin ini memiliki stabilitas termal yang sangat baik, viskositas yang sangat rendah, ketahanan pasn yang tinggi, dan dapat dengan mudah berpigmen untuk mencapai berbagai macam warna. Mereka mampu mereproduksi detail permukaan yang sangat unik. Hal ini relative murah, dan biayanya bahkan efektif untuk coran dengan ukuran yang lebih yang lebihbesar.
2. *Water clear polyurethane casting resin* memiliki kinerja tinggi, ultra *clear casting resin* dapat digunakan dalam *clear casting*, *prototyping* cepat, dan objek *embedding/* enkapsulasi dapat dipoles pada gloss tinggi dan UV yang stabil.
3. *Water clear polyester casting resin* ini cocok untuk objek *embedding*, pengecoran patung, membuat perhiasan dan mengatur desain.
4. *Aluminium filled epoxy casting resin* ini dirancang untuk aplikasi perkakas suhu tinggi dan dikenal untuk properti sangat keras.

5.5 Material Komposit Resin Casting

1. *Acrylic-* Ada beberapa jenis resin akrilik. Sebagai contoh, jenismetakrilat metal dari resin sintetis yang digunakan untuk memproduksi kaca akrilik seperti *plexi glass*, yang lebih dari polimer plastik bukan kaca. Resin ini ideal untuk *embedding* objek.

2. *Epoxy – Resin epoxy* memiliki viskositas rendah dari pada resin poliuretan. Ini adalah *resin polyester* yang mengandung lebih dari satu kelompok *epoxy*. Mereka mampu diubah menjadi bentuk thermoset.

3. *Polyester - Resin polyester* tak jenuh yang diproduksi oleh reaksi kondensasi antara asam seperti *anhidra ftalat, anhidra maleat, asam isoftalat*, dan *glkohol(propilen*

glikol, di-etilena glikol, mono-etilena glikol). Umumnya digunakan untuk aplikasi plastik yang diperkuat.

5.6 Pembuatan komposit

Menurut Siswo, bahan *polymer* memiliki keunggulan dari pada bahan logam dan keramik yakni lebih liat juga lebih murah tetapi juga memiliki kekurangan antara lain kurang kuat, kurang baik terhadap suhu tinggi juga kurang sesuai digunakan untuk menanggung beban tinggi. Oleh sebab itu sifat bahan *polymer* ini harus diperbaiki lagi. Salah satu metode yang digunakan adalah dengan mencampurkan bahan serat kedalamnya, yaitu dengan menjadikannya komposit. Berbagai macam proses pembuatan produk komposit matriks *polymer*.

1. Cara Hand Lay-Up

Cara ini merupakan metode yang paling mudah dan murah namun lambat dan membutuhkan tenaga kerja yang berpengalaman dan mahir. Prosesnya dilakukan dengan tangan dan peralatan yang sederhana yakni *roller* dan kuas saja. Bahan yang digunakan serat kaca sebagai tulangan dan *polyester resin* sebagai matriksnya. Kebanyakan produk yang dihasilkan adalah badan boat, sampan, tangki air, dan sebagainya.

2. Cara Semprot/Semburan

Semprotan/semburan dilakukan secara serentak dengan serat yang tak beraturan, biasanya serat kaca dan resin ke atas permukaan mal menggunakan alat penyemprot (*spray gun*) dengan tekanan yang sesuai. *Roller* juga dipergunakan untuk meratakan dan mengeluarkan udara yang terperangkap.

3. Cara kantong Vakum (Vacuum Bag)

Melalui cara ini cairan komposit resin dan cetakan dimasukkan ke dalam kantong atau membran yang lentur kemudian bagian dalam kantong dikeluarkan dengan cara divakum.

Ini menyebabkan tekanan atmosfer dari arah luar menekan kantong atau membran secara seragam ke atas resin komposit yang basah ini. Tekanan kerja sekitar 383 kPa.

4. Cara Kantong Tekanan (Preassure Bag)

Kantong tekanan digunakan apabila dibutuhkan tekanan yang lebih besar dari tekanan kantong vakum. Tekanan yang diberikan dari sebelah luar .

5. Cetakan Autoklaf

Cara ini dilakukan apabila tekanan kerja melebihi dari kantong bertekanan. Tekanan yang diberikan dapat mencapai 1380 kPa.

Umumnya produk yang dihasilkan dengan standar aeronautical dipergunakan antara lain untuk komponen struktur pesawat terbang (bagian ekor dan sayap), mobil *racing F1* dan raket tenis.

6. Cara Cetakan Suntikan (Injection Molding)

Metode suntikan sesuai untuk produksi massal tetapi hanya untuk komponen kecil. Cara ini dapat menghemat tenaga kerja selain juga lingkungan kerja yang bersih dan terjamin keselamatan kerja.

Cara ini merupakan penggabungan antara metode suntik dan juga dibantu dengan alat vakum. Produk yang dihasilkan banyak digunakan untuk komponen otomotif dan tempat duduk kereta api.

7. Proses Pultrusi (Pultrusion)

Pultrusi merupakan teknik pemrosesan istimewa yang menggabungkan serat penguat dan resin matriks dalam alat yang sesuai untuk menghasilkan profil penguatan dengan ketahanan membujur yang baik. Serat ditarik keluar melalui rendaman resin juga melalui pewarna yang dipanaskan. Proses ini merupakan cara yang cepat dan ekonomis dimana kandungan resin dan serat dapat diatur takarannya sesuai dengan yang diinginkan. Sifat struktur juga sangat baik karena profil yang dihasilkan mempunyai serat yang lurus dan pecahan isi paduan serat yang tinggi. Contoh produk yang dihasilkan adalah sambungan yang digunakan dalam struktur jembatan, tangga, dan sebagainya.

Evaluasi

1. Jelaskan yang dimaksud dengan laminat.
2. Sebutkan dan jelaskan jenis penguat material komposit
3. Jelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan material komposit
4. Jelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik dari komposit

5. Jelaskan klasifikasi komposit berdasarkan penempatan seratnya
6. Sebutkan bahan utama pembentuk fiber glas pada komposit
7. Jelaskan metode pembuatan komposit matriks polimer

Bab 6

Karakteristik Komposit

6.1 Sifat Komposit

Komposit adalah bahan hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan, baik itu struktur kimia maupun fisiknya, dan tetap terpisah ketika hasil akhir bahan tersebut. Didalam komposit unsur penunjangnya ialah serat (fiber), sedangkan bahan pengikatnya memakai bahan epoxy yang mudah dibentuk dan mempunyai daya pengikat yang tinggi. Keuntungan dari penggunaan komposit adalah bobotnya yang ringan dan mempunyai kekuatan yang baik, biaya produksi lebih murah, umur pemakaian yang lama serta tahan terhadap korosi.

Bila dilihat dari material pembentuk komposit, maka komposit dapat dibedakan dalam beberapa bagian antara lain (1) komposit partikel, (2) komposit serpih (*flake*), (3) komposit skeltal (*filled*), (4) komposit laminar, (5) komposit serat (*fiber composite*).

Material pengikat atau matrix berfungsi sebagai perekat material penguat dan penerus gaya yang diterima oleh material pengikat menuju material penguat. Material pengikat dapat berfungsi sebagai pencegah atau sebagai media untuk memperlambat retakan dengan cara memisahkan serat-serat pada material komposit. Selain itu material pengikat dapat melindungi material penguat dari kerusakan kimiawi dan keausan.

Serat penguat mempunyai penampang lingkaran dan bentuk lain misalnya bujur sangkar. Berdasarkan komposisinya serat sebagai bahan penguat komposit ada dua macam yaitu serat organik dan serat anorganik. Jenis-jenis Pengikat (Matrix) adalah (1) Thermoset resin memiliki sifat tidak dapat dicairkan dan dibentuk kembali kecuali resin sudah bereaksi dan mengering, (2) Thermoplastic Resin bersifat relatif lebih ulet dan juga memiliki sifat yang lebih tangguh dibandingkan dengan resin jenis thermoset.

Proses pengerasan dari resin adalah efek hasil keseimbangan reaksi antara katalis, akselerator serta inhibitor. Untuk mendapatkan pengerasan yang cepat, akselerator ditambahkan sehingga mempercepat katalis untuk berkornposisi. Proses pabrikasi dari material komposit banyak macamnya, proses hand lay-up ini adalah proses yang sangat sederhana. Caranya adalah cairan resin yang telah diberikan katalis dan kemudian meletakkan diatas penguat (fibre) yang telah diletakkan pada cetakan. Adapun proses dari pembuatan dengan metode ini adalah dengan cara menuangkan resin dengan tangan kedalam serat berbentuk anyaman, rajutan atau kain, kemudian memberi tekanan sekaligus meratakannya menggunakan rol atau kuas. Aplikasi dari pembuatan produk komposit menggunakan hand lay up biasanya digunakan pada material atau komponen yang sangat besar, seperti pembuatan kapal, bodi kendaraan, bilah turbin angin, bak mandi, perahu.

SMC (Sheet Moulding Compound) ialah proses yang menyerupai dengan proses tertutup, dikarenakan menggunakan peralatan yang cukup kompleks. Biasanya digunakan dalam industri otomotif dengan kontrol yang baik. Proses ini dapat menghasilkan panas hingga 300°F (130°C) dan tekanan sebesar 1000 psi.

Kekuatan impact adalah suatu kriteria penting untuk mengetahui kegetasan bahan polimer. Umumnya kekuatan impact bahan polimer lebih kecil dibandingkan bahan logam. Pengujian impact ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan benda uji terhadap beban dinamis. Prinsip pengujian impact ini adalah menghitung energi yang diberikan beban dan menghitung energi yang diserap oleh spesimen. Saat beban dinaikkan pada ketinggian tertentu, beban memiliki energi potensial, kemudian saat menumbuk spesimen energi kinetik mencapai maksimum.

Pada suatu konstruksi, keberadaan takik atau notch memegang peranan yang berpengaruh terhadap kekuatan impact. Matriks juga berfungsi sebagai penyalur dari beban langsung, yaitu

mendistribusikan beban ke serat sebagai bahan yang mempunyai modulus kekuatan tinggi sebelum terjadinya proses perpatahan. Jika matriks mempunyai sifat adhesi yang kurang baik maka proses penyaluran beban tidak sempurna dan menyebabkan kegagalan berupa lepasnya ikatan matriks dengan serat (*debonding failure*). Perpatahan spesimen pengujian *impact* dialokasikan menjadi 3 golongan yakni :

1. Patahan Berserat (*fibrous fracture*), melibatkan mekanisme pergerakan bidang kristal di dalam bahan (logam) yang ulet (*ductile*).
2. Patahan Granul atau Kristalin, disebabkan karena mekanisme pembelah (*cleavage*) terhadap butiran dari bahan (logam) yang rapuh (*brittle*).
3. Patahan Campuran (Berserat dan Granul atau Kristalin), kombinasi antara perpaduan dua jenis patahan yakni patah berserat dan patah granul.

Secara golbal perpatahan spesimen dalam pengujian *impact* bisa dikelompokkan atau digolongkan menjadi 2 golongan, yaitu (1) Patah ulet atau alot merupakan perpatahan yang terjadi akibat pembebanan yang berlebih dimana sebelumnya terjadi penyerapan energi dan deformasi plastis. (2) Patah Getas merupakan perpatahan akibat penambahan retak tanpa keuletan dengan didahului oleh deformasi plastis, namun tidak disertai dengan penyerapan energi.

Komposit polimer yang diperkuat serat alam (*natural fiber*) semakin banyak digunakan. Selain memiliki sifat mekanik yang sangat baik dengan masa jenis rendah dan berharga murah, komposit ini memiliki keunggulan ramah lingkungan. Komposit polimer yang diperkuat serat alam memiliki sifat terbiodegradasi (*biodegradability*), mudah didaurulang atau dapat rusak bila dibakar setelah tidak digunakan tanpa meninggalkan emisi gas berbahaya atau materi sisa atau dapat dinyatakan bahwa komposit polimer yang diperkuat serat alam merupakan komposit yang ramah lingkungan.

6.2 Faktor Yang Mempengaruhi Tegangan - Regangan

Hubungan tegangan - regangan pada beban tarik Komposit dipengaruhi oleh :

a. Pengaruh Temperatur.

Telah dikemukakan berkali-kali bahwa temperatur pada resin termoplastik sangat besar. Kalau temperatur dinaikkan kekuatan tariknya turun, kurva tegangan-regangan berubah pada setiap temperatur tertentu (titik lunak, titik transisi getas) sebagai batas, deformasi karena tarikan meningkat cepat dan tegangan patahnya serta modulus elastiknya menurun. Walaupun pada temperatur dekat pada temperatur kamar, perubahan tiba-tiba bisa terjadi pada polimer termoplastik, oleh karena itu perlu berhati-hati.

b. Pengaruh Kelembaban.

Pada umumnya pengaruh kelembaban hampir sama dengan pengaruh temperatur. Meningkatnya kadar air yang terabsorpsi cenderung memberikan hubungan tegangan-regangan serupa dengan pengaruh temperatur. dengan bertambahnya absorpsi air tegangan patah dan modulus elastis menurun sedangkan regangan patah meningkat. Akan tetapi pengaruh tersebut kurang dibandingkan dengan pengaruh temperatur. Akan tetapi, kadang-kadang kadar air dan surfaktan dalam air dapat menyebabkan pengurangan modulus elastik dan meningkatkan retakan-retakan karena regangan.

c. Pengaruh Laju Tegangan.

Telah diketahui dari berbagai bahan bahwa dari kekakuan bahan berubah karena pembebanan apakah beban itu ringan dan perlahan atau tiba-tiba, pengaruh tersebut sangat terlihat pada bahan yang mempunyai sifat viskoelastis seperti polimer. Kalau laju tegangan dikurangi perpanjangan bertambah yang mengakibatkan kurva tegangan-regangan menjadi landai maka modulus elastiknya menjadi kecil dan batas mulurnya tidak jelas. Kecendrungan ini sangat terlihat pada resin yang fleksibel pada temperatur kamar. Makin tinggi laju tegangan makin besar beban patah dan modulus elastiknya sedangkan perpanjangan menjadi kecil. Jadi laju tegangan memberikan pengaruh besar pada sifat-sifat mekanik bahan polimer, oleh karena itu persyaratan yang ketat ditetapkan pada setiap pengujian.

6.3 Sifat Mekanik Komposit

Pembentukan komposit atas elemen matriks dan penguat/ filler menentukan karakteristik material komposit yang terbentuk. Sifat mekanik meliputi kekutan tarik, kekuatan bending, kekuatan tekan, kekasaran permukaan, modulus elastisitas, dan sifat mekanik lainnya merupakan hasil perpaduan antara matriks dan filler. Komposit yang terbentuk diasumsikan menggunakan serat homogen dan memiliki orientasi teratur dan serat searah. Dengan kata lain komposit yang berupa lamina yang diperkuat serat kontinu searah. Komposit ini membentuk struktur morfologi dasar dari struktur penyusunnya, yang umumnya terbuat dari beberapa lamina searah yang ditempatkan pada berbagai sudut.

Pemodelan konsep fraksi relatif serat berdasarkan perbandingan volume. Konsep ini sangat penting karena rumus teoritis untuk menemukan kekakuan, kekuatan, dan sifat higrotermal dari lamina searah adalah fungsi dari fraksi volume serat. Pengukuran umumnya didasarkan pada massanya, sehingga fraksi massa serat juga harus ditentukan. Selain itu sangat penting menentukan densitas komposit karena nilai densitas digunakan dalam penentuan fraksi volume serat dan fraksi berat komposit.

6.3.1 Fraksi volume

Secara sederhana komposit tersusun atas dua komponen pokok yaitu serat penguat dan matriks. Maka kita dapat membuat variabelnya sebagai berikut:

$V_{c,f,m}$ = masing-masing adalah volume komposit, fiber, dan matrik

$\rho_{c,f,m}$ = masing-masing adalah densitas komposit, fiber, dan matrik

kemudia menentukan fraksi volume dari serat/fiber dan fraksi volume dari matriks sebagai berikut :

$$V_f = \frac{v_f}{v_c}$$

Dan

$$V_m = \frac{v_m}{v_c} \quad (6.1.)$$

Harus diingat bahwa jumlah dari fraksi volume adalah

$$V_f + V_m = 1$$

Dari persamaan 6.1 didapat

$$v_f + v_m = v_c$$

6.3.2 Fraksi Berat /Fraksi Berat

Sebagaimana penulisan notasi untuk komposit, yang terdiri dari fiber/serat, matriks, maka diperoleh

$W_{c,f,m}$ = masing-masing massa dari komposit, fiber dan matriks

Fraksi massa dari fiber/serat (W_f) dan fraksi massa dari matriks (W_m) sebagai berikut :

$$W_f = \frac{w_f}{w_c}$$

Dan

$$W_m = \frac{w_m}{w_c} \quad 6.2$$

Diketahui bahwa jumlah dari fraksi berat adalah

$$W_f + W_m = 1$$

Dari persamaan 6.2.

$$w_f + w_m = w_c$$

dari pengertian densitas pada material tunggal :

$$w_c = r_c \cdot v_c$$

$$w_f = r_f \cdot v_f$$

dan

6.3

$$w_m = r_m \cdot v_m$$

Dengan substitusi dari persamaan 6.3 pada persamaan 6.2, maka fraksi massa dan fraksi volume didapatkan :

$$W_f = \frac{\rho_f}{\rho_c} V_f$$

Dan

$$W_m = \frac{\rho_m}{\rho_c} V_m \quad 6.4$$

Antara fraksi massa dan fraksi volume didapatkan hubungan

$$W_f = \frac{\frac{\rho_f}{\rho_m} V_f}{\frac{\rho_f}{\rho_m} V_f + V_m}$$

$$W_f = \frac{1}{\frac{\rho_f}{\rho_m}(1-V_m) + V_m} V_m \quad 6.5.$$

Perhitungan fraksi massa dan fraksi volume pada serat natural terhadap matriksnya dilakukan untuk mendapatkan fraksi konsentrasi serat yang proporsional terhadap matriks. Perbedaan yang mencolok antara nilai densitas serat dan matriks menyebabkan permasalahan dalam menentukan prosentasi / fraksi beratnya. Densitas serat sangatlah rendah dibandingkan dengan densitas matriks. Hal ini menyebabkan nilai konsentrasi serat yang terlalu besar jika dibandingkan dengan densitas matriks secara langsung.

6.3.3 Densitas

Penurunan persamaan densitas komposit dengan fraksi volume didapat dengan persamaan berikut, di mana w_c adalah massa dari komposit, yang didapat dari total massa fiber / serat w_f dan massa matriks w_m

$$w_c = w_f + w_m \quad 6.6$$

substitusi dari persamaan 6.3 pada persamaan 6.6 diperoleh

$$\rho_c = \rho_f v_f + \rho_m v_m$$

dan

$$\rho_c = \rho_f \frac{v_f}{v_c} + \rho_m \frac{v_m}{v_c} \quad 6.7.$$

Dengan menggunakan persamaan fraksi volum serat dan fraksi volume matriks dari persamaan 6.1.

$$\rho_c = \rho_f v_f + \rho_m v_m \quad 6.8.$$

dengan persamaan volume komposit v_c , jumlah dari volume serat v_f dan matriks v_m

$$v_c = v_f + v_m \quad 6.9.$$

densitas komposit dengan fraksi massa diperoleh sebagai berikut

$$\frac{1}{\rho_c} = \frac{W_f}{\rho_f} + \frac{W_m}{\rho_m} \quad 6.10$$

Contoh :

Sebuah lamina epoxy dengan fiber glass sebagai filler terdiri dari 70 % fraksi volume. Gunakan tabel fiber glass dan epoxy untuk menentukan :

- Densitas laminat
- Fraksi massa dari fiber glass dan epoxy
- Volume dari laminat komposit jika massa lamina 4 kg
- Volume dan massa dari fiber glass dan epoxy pada point (c)

Tabel 6.1

Typical Properties of Fibers (SI System of Units)

Property	Units	Graphite	Glass	Aramid
Axial modulus	GPa	230	85	124
Transverse modulus	GPa	22	85	8
Axial Poisson's ratio	—	0.30	0.20	0.36
Transverse Poisson's ratio	—	0.35	0.20	0.37
Axial shear modulus	GPa	22	35.42	3
Axial coefficient of thermal expansion	$\mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$	-1.3	5	-5.0
Transverse coefficient of thermal expansion	$\mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$	7.0	5	4.1
Axial tensile strength	MPa	2067	1550	1379
Axial compressive strength	MPa	1999	1550	276
Transverse tensile strength	MPa	77	1550	7
Transverse compressive strength	MPa	42	1550	7
Shear strength	MPa	36	35	21
Specific gravity	—	1.8	2.5	1.4

Tabel 6.2.

Typical Properties of Matrices (SI System of Units)

Property	Units	Epoxy	Aluminum	Polyamide
Axial modulus	GPa	3.4	71	3.5
Transverse modulus	GPa	3.4	71	3.5
Axial Poisson's ratio	—	0.30	0.30	0.35
Transverse Poisson's ratio	—	0.30	0.30	0.35
Axial shear modulus	GPa	1.308	27	1.3
Coefficient of thermal expansion	$\mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$	63	23	90
Coefficient of moisture expansion	$\text{m}/\text{m}/\text{kg}/\text{kg}$	0.33	0.00	0.33
Axial tensile strength	MPa	72	276	54
Axial compressive strength	MPa	102	276	108
Transverse tensile strength	MPa	72	276	54
Transverse compressive strength	MPa	102	276	108
Shear strength	MPa	34	138	54
Specific gravity	—	1.2	2.7	1.2

Tabel 6.3

Typical Properties of Fibers (USCS System of Units)

Property	Units	Graphite	Glass	Aramid
Axial modulus	Msi	33.35	12.33	17.98
Transverse modulus	Msi	3.19	12.33	1.16
Axial Poisson's ratio	—	0.30	0.20	0.36
Transverse Poisson's ratio	—	0.35	0.20	0.37
Axial shear modulus	Msi	3.19	5.136	0.435
Axial coefficient of thermal expansion	$\mu\text{in.}/\text{in.}/^\circ\text{F}$	-0.7222	2.778	-2.778
Transverse coefficient of thermal expansion	$\mu\text{in.}/\text{in.}/^\circ\text{F}$	3.889	2.778	2.278
Axial tensile strength	ksi	299.7	224.8	200.0
Axial compressive strength	ksi	289.8	224.8	40.02
Transverse tensile strength	ksi	11.16	224.8	1.015
Transverse compressive strength	ksi	6.09	224.8	1.015
Shear strength	ksi	5.22	5.08	3.045
Specific gravity	—	1.8	2.5	1.4

Tabel 6.4.
Typical Properties of Matrices (USCS System of Units)

Property	Units	Epoxy	Aluminum	Polyamide
Axial modulus	Msi	0.493	10.30	0.5075
Transverse modulus	Msi	0.493	10.30	0.5075
Axial Poisson's ratio	—	0.30	0.30	0.35
Transverse Poisson's ratio	—	0.30	0.30	0.35
Axial shear modulus	Msi	0.1897	3.915	0.1885
Coefficient of thermal expansion	$\mu\text{in./in./}^\circ\text{F}$	35	12.78	50
Coefficient of moisture expansion	in./in./lb/lb	0.33	0.00	0.33
Axial tensile strength	ksi	10.44	40.02	7.83
Axial compressive strength	ksi	14.79	40.02	15.66
Transverse tensile strength	ksi	10.44	40.02	7.83
Transverse compressive strength	ksi	14.79	40.02	15.66
Shear strength	ksi	4.93	20.01	7.83
Specific gravity	—	1.2	2.7	1.2

Jawab:

1. Dengan mengacu pada tabel 6.1., densitas dari fiber glass adalah

$$\rho_f = 2.500 \text{ kg/m}^3$$

dengan tabel 3.2. , didapatkan densitas dari matriks

$$\rho_m = 1.200 \text{ kg/m}^3$$

dengan menggunakan persamaan 6.8., densitas dari komposit didapatkan

$$\rho_c = \rho_f \cdot v_f + \rho_m \cdot v_m$$

$$\rho_c = (2.500) (0.7) + (1.200)(0.3)$$

$$= 2.110 \text{ kg/m}^3$$

2. Dengan menggunakan persamaan 6.4 , fraksi massa fiber/serat dan matriks didapatkan

$$W_f = \frac{\rho_f}{\rho_c} V_f$$

$$W_f = \frac{2500}{2110} 0.3$$

$$= 0.8294$$

$$W_m = \frac{\rho_m}{\rho_c} V_m$$

$$W_m = \frac{1200}{2110} 0.3$$

$$= 0.1706$$

Jumlah fraksi massa

$$W_f + W_m = 1$$

$$W_f + W_m = 0.8294 + 0.1706$$

$$= 1$$

3. Volume dari komposit adalah

$$v_c = \frac{W_c}{\rho_c}$$

$$v_c = \frac{4}{2110}$$

$$= 1.896 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

4. Volume fiber didapatkan

$$V_f = V_f \cdot v_c$$

$$= (0.7) (1.896 \times 10^{-3})$$

$$= 1.327 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Volume matriks

$$\begin{aligned}
 V_m &= V_m \cdot v_c \\
 &= (0.3)(0.1896 \times 10^{-3}) \\
 &= 0.5688 \times 10^{-3} \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Massa dari fiber

$$\begin{aligned}
 w_f &= \rho_f \cdot v_f \\
 &= (2500)(1.327 \times 10^{-3}) \\
 &= 3.318 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Massa matriks

$$\begin{aligned}
 w_m &= \rho_m \cdot v_m \\
 &= (1200)(0.5688 \times 10^{-3}) \\
 &= 0.6829 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

6.3.4 Void/rongga

Selama pembuatan komposit, timbul rongga komposit. Hal ini menyebabkan densitas teoritis komposit lebih tinggi dari densitas sebenarnya. Juga, kandungan rongga dari komposit merusak sifat mekaniknya. Kerugian ini termasuk lebih rendah.

- Kekakuan dan kekuatan geser
- Kekuatan tekan
- Kekuatan tarik melintang
- Ketahanan lelah
- Tahan kelembaban

Penurunan 2 hingga 10% pada properti yang didominasi matriks sebelumnya secara umum terjadi dengan setiap peningkatan 1% dalam rongga kosong.

Untuk komposit dengan volume void / rongga V_v fraksi volume dari V_v adalah sebagai berikut:

$$V_v = \frac{v_v}{v_c} \quad 6.11$$

Kemudian, volume total dari composite v_c dengan void/rongga sebagai berikut

$$v_c = v_f + v_m + v_v \quad 6.12$$

dengan menggunakan densitas / massa jenis komposit dari hasil eksperimen pengukuran di laboratorium ρ_{ce} , volume aktual dari komposit adalah sebagai berikut

$$V_c = \frac{w_c}{\rho_{ce}} \quad 6.13$$

Dengan menggunakan densitas komposit teoritis ρ_{ct} , volume teoritis dari komposit diperoleh

$$v_f + v_m = \frac{w_c}{\rho_{ct}} \quad 6.14$$

Kemudian dengan substitusi persamaan 6.13 dan 6.14 pada persamaan 3.12 diperoleh

$$\frac{w_c}{\rho_{ce}} = \frac{w_c}{\rho_{ct}} + v_v$$

Volume dari void/rongga komposit diperoleh

$$V_c = \frac{w_c}{\rho_{ce}} \left(\frac{\rho_{ct} - \rho_{ce}}{\rho_{ct}} \right) \quad 6.15$$

Substitusi persamaan 6.13 dan persamaan 6.15 pada persamaan 3.11, didapatkan fraksi volume dari void :

$$\begin{aligned}
 V_v &= \frac{v_v}{v_c} \\
 V_v &= \frac{\rho_{ct} - \rho_{ce}}{\rho_{ct}} \quad 6.16
 \end{aligned}$$

Contoh

Spesimen kubus grafit/epoksi dengan rongga memiliki dimensi $a \times b \times c$ dan massanya adalah M_c . Setelah dimasukkan ke dalam campuran asam sulfat dan hidrogen peroksida, serat grafit yang tersisa memiliki

massa M_f . Dari pengujian independen, densitas grafit dan epoksi masing-masing adalah f dan m . Temukan fraksi volume rongga dalam notasi a , b , c , M_f , M_c , ρ_f , dan ρ_m .

Jawab:

Volume total komposit v_c adalah jumlah total dari serat v_f , matriks v_m dan void v_v

$$v_c = v_f + v_m + v_v \quad 6.17$$

persamaan densitas

$$V_f = \frac{M_f}{\rho_f} \quad 6.18a$$

$$V_m = \frac{M_c - M_f}{\rho_m} \quad 6.18b$$

Spesimen berbentuk kuboid/kubus, sehingga volumenya adalah

$$v_c = abc \quad 6.19$$

dengan substitusi persamaan 6.18 dan 6.19 pada persamaan 6.17

$$abc = \frac{M_f}{\rho_f} + \frac{M_c - M_f}{\rho_m} + v_v$$

Dan fraksi volume dari void adalah

$$v_v = \frac{v_v}{abc} = 1 - \frac{1}{abc} \left[\frac{M_f}{\rho_f} + \frac{M_c - M_f}{\rho_m} \right]$$

Perhitungan fraksi volume dari serat komposit

Penentuan eksperimental: fraksi volume serat dari konstituen komposit umumnya ditemukan dengan uji pembakaran atau pencernaan asam. Tes ini melibatkan pengambilan sampel komposit dan menimbanginya. Kemudian densitas spesimen ditemukan dengan metode perpindahan cairan di mana sampel ditimbang di udara dan kemudian di air. Kepadatan komposit diberikan oleh :

$$\rho_c = \frac{w_c}{w_c - w_i} \rho_w$$

Untuk spesimen yang mengapung di air, pemberat dipasang. Kepadatan komposit kemudian ditemukan oleh

$$\rho_c = \frac{w_c}{w_c - w_s - w_w} \rho_w$$

Dimana

w_c = massa komposit

w_s = massa pemberat ketika direndam di air

w_w = massa pemberat dan spesimen ketika dicelup di air

Evaluasi

1. Jelaskan sifat-sifat kegagalan patah pada material komposit ketika diuji di laboratorium
2. Jelaskan hal-hal yang mempengaruhi tegangan dan regangan pada komposit
3. Lamina epoxy menggunakan fiber glass sebagai filler dengan 60 % fraksi volume. Tentukan densitas laminat, fraksi massa fiber glass dan epoxy,
4. Jelaskan apa yang dimaksud dengan fraksi volume
Jelaskan apa yang dimaksud dengan fraksi berat

Bab 7

Polimer Matrik komposit

Komposit matriks polimer / Polymer Matrics Composites (PMC) merupakan bahan struktural rekayasa, yang semakin berkembang dan aplikatif dalam dunia industri. Hal ini karena PMC termasuk material berbahan serat berkinerja tinggi seperti karbon, boron, dan aramid dan didukung dengan bahan matriks baru dan lebih baik. Namun demikian, polimer yang diperkuat serat gelas mewakili kelas PMC terbesar. PMC yang diperkuat serat karbon mungkin merupakan komposit struktural yang paling penting; khususnya di bidang kedirgantaraan.

7.1 Proses Pembuatan PMC

Banyak teknik, awalnya dikembangkan untuk membuat komposit matriks polimer diperkuat serat kaca, yang juga dapat digunakan dengan serat lainnya. Komposit polimer yang diperkuat serat kaca mewakili kelas PMC terbesar. Bahan matriks polimer dapat dengan mudah diklasifikasikan sebagai termoset dan termoplastik. Termoset mengeras saat proses curing. Curing atau cross-linking terjadi pada termoset oleh bahan kimia yang sesuai dan/atau aplikasi panas dan tekanan.

Secara konvensional, energi panas (pemanasan hingga 200 °C atau lebih) disediakan untuk tujuan ini. Proses ini, bagaimanapun, membawa masalah gradien termal, tegangan sisa, dan waktu curing yang lama. Tegangan sisa dapat menyebabkan masalah serius pada laminasi PMC yang tidak simetris atau sangat tebal, di mana tegangan tersebut dapat dihilangkan dengan melengkungnya laminasi, serat bergelombang, retak mikro matriks, dan delaminasi lapis. Perawatan berkas elektron menawarkan alternatif untuk menghindari masalah ini. Ini adalah proses curing nonthermal yang membutuhkan siklus waktu curing yang jauh lebih pendek. Penyembuhan dengan berkas elektron terjadi dengan reaksi yang diprakarsai elektron pada suhu pengawetan yang dapat dipilih. Kami menjelaskan berbagai metode fabrikasi komposit matriks polimer—komposit berbasis termoset pertama dan kemudian komposit berbasis termoplastik.

7.2 Proses komposit polimer termoset

7.2.1 Hand lay up

Teknik hand layup dan spray mungkin merupakan teknik pemrosesan polimer yang paling sederhana. Serat dapat diletakkan pada cetakan dengan tangan dan resin (poliester tak jenuh adalah salah satu yang paling umum) disemprotkan atau disikat. Seringkali, resin dan serat (cincang) disemprotkan bersama ke permukaan cetakan. Dalam kedua kasus, lapisan yang diendapkan dipadatkan dengan roller. Akselerator dan katalis sering digunakan. Curing dapat dilakukan pada suhu kamar atau pada suhu yang cukup tinggi di dalam oven.

7.2.2 Gulungan filamen

Gulungan filamen adalah cara lain yang sangat baik teknik serbaguna di mana derek atau roving terus menerus dilewatkan melalui resin impregnasi di atas mandrel berputar atau stasioner. Sebuah keliling terdiri dari ribuan filamen individu.. Gulungan keliling dapat berbentuk kutub (lingkaran) atau heliks. Dalam belitan kutub, derek serat tidak menyeberang, sementara di heliks mereka lakukan. Serat tersebut tentunya diletakkan di atas mandrel dengan cara heliks dalam gulungan heliks; sudut heliks

tergantung pada bentuk benda yang akan dibuat. Lapisan berturut-turut diletakkan pada sudut yang konstan atau bervariasi sampai ketebalan yang diinginkan tercapai. Perawatan resin termoset dilakukan pada suhu tinggi dan mandrel dihilangkan. Bejana silinder yang sangat besar (misalnya pipa) dan bola (misalnya untuk penyimpanan bahan kimia) dibuat dengan lilitan filamen. Serat kaca, karbon, dan aramid secara rutin digunakan dengan resin epoksi, poliester, dan vinil ester untuk menghasilkan bentuk luka filamen.

Ada dua jenis proses lilitan filamen: lilitan basah dan lilitan prepreg. Dalam belitan basah, resin viskositas rendah diterapkan pada filamen selama proses belitan. Poliester dan epoksi dengan viskositas kurang dari 2 Pa s (2.000 cP) digunakan dalam belitan basah. Dalam belitan prepreg, proses pelelehan panas atau pelarutan adalah: digunakan untuk preimpregnasi serat. Amina kaku, novolak, polimida, dan epoksi dengan viskositas tinggi umumnya digunakan untuk proses ini. Dalam belitan filamen, situs rongga yang paling mungkin adalah persilangan keliling dan daerah antar lapisan dengan orientasi serat yang berbeda.

7.2.3 Pultrusi

Dalam proses ini, bagian kontinu dari komposit matriks polimer dengan serat yang berorientasi terutama secara aksial diproduksi. Tikar atau kain biaksial dapat ditambahkan untuk memberikan beberapa kekuatan melintang yang dilewatkan melalui resin yang mengandung katalis. Selanjutnya serat yang sudah terselimuti resin melewati serangkaian wiper untuk menghilangkan kelebihan polimer dan kemudian melalui kolimator sebelum memasuki die yang dipanaskan. Pembasahan menyeluruh dari roving sangat penting. Kelebihan resin yang dilucuti disirkulasikan kembali ke bak resin. Die yang dipanaskan memiliki bentuk komponen jadi yang akan diproduksi. Resin dikeluarkan dari cetakan dan komposit ditarik keluar. Pada akhir garis bagian dipotong oleh gergaji dengan panjang tetap. Biasanya, proses dapat menghasilkan secara terus menerus dengan kecepatan 10-200 cm/menit. Kecepatan yang tepat tergantung pada jenis resin dan ketebalan penampang dari bagian yang diproduksi. Profil pultruded selebar 1,25 m dengan fraksi volume serat lebih dari 60% dapat dibuat secara rutin. Produk berbentuk trapesium berongga yang ditampilkan adalah tiang kaca depan helikopter yang terbuat dari tikar dan penarik serat karbon dalam matriks resin vinil ester suhu tinggi.

Proses pultrusi memiliki siklus pencetakan terus menerus, yang mensyaratkan bahwa distribusi serat harus konstan dan bentuk penampang tidak bervariasi, yaitu, tidak ada tikungan atau ujung lancip yang diperbolehkan. Keuntungan utama dari proses ini adalah biaya tenaga kerja yang rendah dan konsistensi produk. Bentuk seperti batang, saluran, dan sudut dan flat mudah diproduksi. Penguatan serat dalam berbagai bentuk dapat digunakan.

Serat kontinu paling sering digunakan. Sangat mudah untuk menjenuhkan seikat serat seperti itu dengan resin. Tikar untai kontinu yang terdiri dari panjang serat kontinu dengan orientasi acak juga dapat digunakan. Mereka digunakan untuk mendapatkan aksi penguatan dalam arah melintang. Bentuk lain dari bahan yang digunakan termasuk tikar untai cincang yang terdiri dari serat pendek (cincang) yang dapat diikat atau dijahit ke bahan pembawa, biasanya pita satu arah, dan kain tenun dan pita dikepang. Bentuk-bentuk tersebut memberikan penguatan pada 0°, 90°, atau sudut sembarang θ terhadap arah pembebanan. Resin yang umum digunakan dalam pultrusion adalah poliester, vinil ester, dan epoksi.

7.2.4 Cetakan Transfer Resin

Resin transfer moulding (RTM) adalah proses bertekanan rendah dengan cetakan tertutup. Bentuk awal yang terbuat dari serat yang diinginkan (karbon, kaca, atau aramid) ditempatkan di dalam cetakan, dan resin cair seperti epoksi atau poliester disuntikkan ke dalam cetakan melalui pompa. Tulangan dapat dijahit, tetapi lebih umum dibuat menjadi bentuk awal yang mempertahankan bentuknya selama injeksi matriks polimer. Resin dibiarkan untuk membentuk komposit padat. Viskositas polimer harus cukup rendah (<1 Pas) agar serat mudah dibasahi. Aditif ditambahkan untuk meningkatkan kualitas permukaan, menambah sifat tahan api, tahan cuaca, kecepatan curing, dll. Termoplastik memiliki titik leleh yang terlalu tinggi dan viskositas yang terlalu tinggi (>1 Pas atau 1.000 cP) untuk diproses dengan RTM. Dalam pemrosesan RTM, hukum Darcy, yang menggambarkan permeabilitas media berpori, sangat penting. Hukum Darcy untuk aliran fluida satu fasa mengatakan bahwa rapat arus volume, J , yaitu volume/ (waktu area), dari fluida diberikan oleh:

$$j = -\frac{k}{\eta} \Delta P$$

Di mana k adalah permeabilitas media berpori, η adalah viskositas fluida, ΔP mewakili gradien tekanan yang mendorong aliran fluida. Dapat diketahui bahwa hukum Darcy adalah analog dari hukum Ohm untuk konduksi listrik, yaitu, permeabilitas hidrolik adalah analog dari konduktivitas listrik. Perhatikan bahwa permeabilitas, k , adalah fungsi dari sifat-sifat media berpori, yaitu, struktur mikronya; tidak tergantung pada sifat-sifat fluida.

Di antara kelebihan RTM, orang dapat mengutip yang berikut:

- Bentuk dan lekukan yang besar dan kompleks dapat diperoleh.
- Tingkat otomatisasi yang lebih tinggi dimungkinkan daripada di banyak proses lainnya.
- Layup lebih sederhana dan prosesnya lebih cepat daripada operasi manual.
- Dengan menggunakan woven, stitched, atau braided preforms, fraksi volume serat setinggi 65% dapat dicapai.
- Prosesnya melibatkan cetakan tertutup; oleh karena itu emisi styrene dapat dikurangi seminimal mungkin. Secara umum, RTM menghasilkan emisi yang jauh lebih sedikit dibandingkan dengan teknik hand layup atau spray-up.

Desain cetakan adalah elemen penting dalam proses RTM. Umumnya, preform/bentukan awal berserat dipanaskan terlebih dahulu. Cetakan memiliki elemen pemanas built-in untuk mempercepat proses pengawetan resin. Aliran resin ke dalam cetakan dan perpindahan panas dianalisis secara numerik untuk mendapatkan desain cetakan yang optimal.

Industri otomotif mendapati RTM sebagai proses yang hemat biaya untuk pemrosesan skala besar. Penggunaan RTM untuk membuat suku cadang otomotif dapat menghasilkan pengurangan berat yang signifikan. Misalnya, suku cadang komposit yang dibuat oleh RTM menghasilkan pengurangan 90 kg pada bobot mobil Dodge Viper.

7.3 Komposit matrik polimer termoplastik

Komposit matriks termoplastik memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan dibandingkan komposit matriks termoset. Kami pertama daftar ini dan kemudian kami akan menjelaskan beberapa proses penting yang digunakan untuk membentuk komposit matriks termoplastik.

Keuntungan dari komposit matriks termoplastik meliputi:

- Pendinginan tidak diperlukan dengan matriks termoplastik.
- Bagian dapat dibuat dan disambung dengan pemanasan.
- Bagian dapat dicetak ulang, dan sisa apapun dapat didaur ulang.
- Termoplastik memiliki ketangguhan dan ketahanan benturan yang lebih baik daripada termoset. Ini umumnya juga dapat diterjemahkan ke dalam komposit matriks termoplastik. Kerugiannya meliputi:
 - Suhu pemrosesan umumnya lebih tinggi daripada termoset.
 - Termoplastik bersifat kaku dan seperti papan, yaitu tidak memiliki daya rekat seperti epoksi yang diawetkan sebagian.

Laminasi berkualitas baik harus bebas dari void. Ini menyiratkan bahwa harus ada aliran yang cukup dari matriks termoplastik antara lapisan serta dalam penarik individu. Umumnya, tekanan 6-12 MPa, suhu antara 275 dan 350 C, dan waktu tinggal hingga 30 menit sesuai untuk termoplastik seperti polisulfon dan polieterketon (PEEK). Karena tidak ada waktu yang diperlukan untuk reaksi pengawetan, lamanya waktu siklus pencetakan dengan matriks termoplastik kurang dari itu dengan matriks termoset. Deskripsi singkat tentang metode pemrosesan untuk komposit matriks termoplastik berikut.

7.3.1 Film Stacking

Lamina matriks termoplastik yang mengandung serat dengan kandungan resin yang sangat rendah (~15 w/o) digunakan dalam proses ini. Kandungan resin yang rendah digunakan karena ini adalah bahan yang sangat padat. Lamina ditumpuk secara bergantian dengan film tipis dari bahan matriks polimer murni. Tumpukan lamina ini terdiri dari serat yang diresapi dengan matriks yang tidak mencukupi dan film polimer dengan berat komplementer untuk memberikan fraksi volume serat yang diinginkan pada produk akhir. Ini kemudian dikonsolidasikan dengan aplikasi panas dan tekanan secara simultan.

Impregnasi matriks termoplastik terjadi di bawah penerapan panas dan tekanan secara simultan; besarnya tekanan dan suhu harus cukup untuk memaksa lelehan polimer mengalir ke dalam dan melalui bentuk awal perkuatan. Tingkat penetrasi cairan ke dalam struktur preform berserat dijelaskan oleh hukum Darcy. Hukum Darcy mengatakan bahwa laju aliran berbanding lurus dengan tekanan yang diberikan dan berbanding terbalik dengan viskositas. Dengan demikian, meningkatkan tekanan yang diterapkan dan mengurangi viskositas polimer cair (yaitu, meningkatkan suhu) membantu dalam pemrosesan.

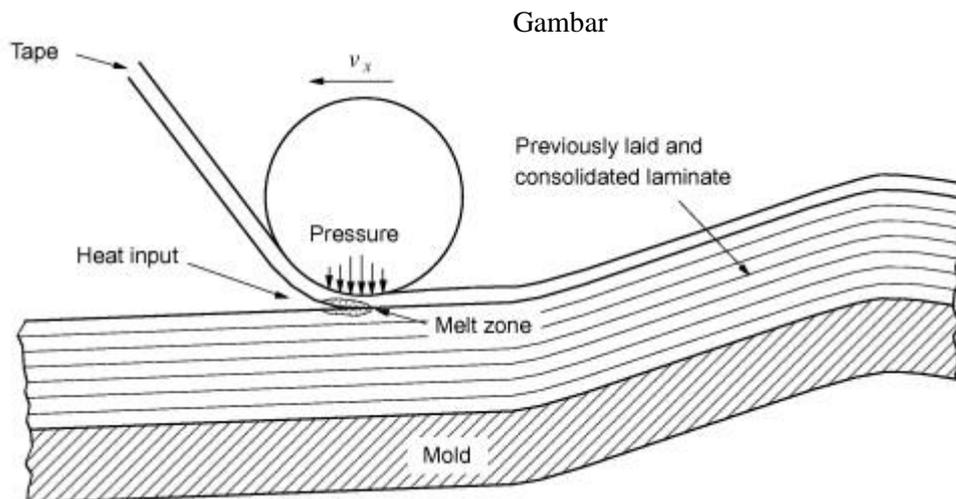
7.3.2 Diaphragm Forming

Proses ini melibatkan pengapitan lapisan prepreg termoplastik yang mengambang bebas di antara dua diafragma. Udara antara diafragma dievakuasi dan laminasi termoplastik dipanaskan di atas titik leleh matriks. Tekanan diterapkan ke satu sisi, yang merusak diafragma dan membuatnya mengambil bentuk cetakan. Lapisan laminasi mengambang bebas dan sangat fleksibel di atas titik leleh matriks, sehingga mudah menyesuaikan diri dengan bentuk cetakan. Setelah proses pembentukan selesai, cetakan didinginkan, diafragma dilepas, dan komposit diperoleh. Salah satu keunggulan teknik ini adalah dapat dibentuk komponen dengan kelengkungan ganda. Diafragma adalah kunci untuk proses pembentukan, dan kekakuannya merupakan parameter yang sangat penting. Diafragma yang sesuai melakukan pekerjaan untuk komponen sederhana. Untuk bentuk yang sangat kompleks yang membutuhkan tekanan pencetakan tinggi, diperlukan diafragma yang kaku.

Pada tekanan tinggi, aliran pemerasan melintang yang signifikan dapat terjadi, dan ini dapat menghasilkan variasi ketebalan yang tidak diinginkan pada komposit akhir.

7.3.3 Thermoplastic Tape Laying

Mesin peletakan pita termoplastik juga tersedia, meskipun tidak biasa seperti mesin peletakan pita termoseting. Gambar 7.1 menunjukkan skema dari salah satu mesin tersebut. Kepala pita yang dapat dikontrol memiliki pengeluaran pita dan gulungan pengeluaran/pengambil shim dan sepatu pemanas. Kepala panas mengeluarkan pita termoplastik dari gulungan pasokan. Ada tiga sepatu pemanas dan dua sepatu pendingin/pemadatan.



Gambar 7.1 Thermoplastic tape laying proses

Sepatu panas memanaskan pita ke keadaan cair. Sepatu dingin mendinginkan pita secara instan hingga menjadi padat.

7.3.4 Commingled Fibers

Matriks termoplastik dapat disediakan dalam bentuk serat. Serat matriks dan serat penguat dicampur untuk menghasilkan benang yang merupakan campuran matriks termoplastik dan benang penguat. Benang campuran seperti itu dapat ditenun, dirajut, atau dililit filamen. Benang yang dibentuk

menjadi bentuk yang sesuai kemudian mengalami panas dan tekanan untuk melelehkan komponen matriks termoplastik, membasahi serat penguat, dan mendapatkan komposit.

Ada banyak serat campur yang tersedia secara komersial untuk diproses menjadi komposit. Vectran adalah nama dagang dari serat poliester aromatik termoplastik kristal cair. Benang multifilamen diproduksi oleh pemintalan leleh. Ini memiliki titik leleh yang rendah, dan dengan demikian ketika dicampur dengan serat penguat, dapat menyediakan komponen matriks dalam komposit. Ini tersedia dalam bentuk benang multifilamen yang dapat dicampur dengan kaca atau serat penguat lainnya. Twintex adalah nama komersial lain yang melibatkan campuran serat polipropilen dan serat kaca.

7.3.5 Thermoforming and Injection Molding

Seperti yang ditunjukkan sebelumnya, termoplastik melunak pada pemanasan, dan oleh karena itu teknik aliran lelehan dapat digunakan. Teknik tersebut termasuk cetakan injeksi, ekstrusi, dan thermoforming. Thermoforming melibatkan produksi lembaran, yang dipanaskan dan dicap, diikuti oleh vakum atau pembentukan tekanan. Umumnya, tulangan berserat diskontinyu (terutama kaca) digunakan, yang menghasilkan peningkatan viskositas leleh. Komposit resin termoplastik yang diperkuat serat pendek juga dapat diproduksi dengan metode yang disebut Reinforced Reaction Injection Moulding (RRIM) (Lockwood dan Alberino 1981). RRIM sebenarnya merupakan perpanjangan dari reaksi injection molding (RIM) dari polimer. Di RIM, dua komponen cair dipompa dengan kecepatan dan tekanan tinggi ke kepala pencampur dan kemudian ke dalam cetakan di mana kedua komponen bereaksi untuk berpolimerisasi dengan cepat. Contoh penting adalah polimer RIM uretana. Di RRIM, serat pendek (atau pengisi) ditambahkan ke salah satu atau kedua komponen. Peralatan untuk RRIM harus mampu menangani bubur yang agak kasar. Panjang serat yang dapat ditangani umumnya pendek, karena keterbatasan viskositas. Karena panjang minimum tertentu dari serat, yang disebut panjang kritis (lihat Bab 10), diperlukan untuk penguatan serat yang efektif, lebih sering aditif RRIM adalah pengisi daripada penguatan. Sebagian besar aplikasi RIM dan RRIM ada di industri otomotif.

7.3.6 Long Fiber Thermoplastic Compression Molding

Cara paling umum untuk membuat komposit termoplastik melibatkan pencampuran serat pendek (sekitar 2-3 mm atau kurang) dengan matriks termoplastik dan cetakan injeksi komposit (lihat di atas). Sifat komposit yang diperkuat serat pendek ini lebih baik daripada bahan matriks tanpa tulangan, tetapi potensi penuh dari serat penguat tidak tercapai. Kami memperlakukan subjek penting dari panjang kritis serat untuk transfer beban di Bab. 10. Cukuplah di sini untuk menyatakan bahwa peningkatan panjang serat menjadi lebih besar dari 10 mm akan menghasilkan perbaikan dalam berbagai sifat komposit. Dalam literatur, akronim LFT digunakan untuk merujuk pada komposit dengan matriks termoplastik yang mengandung serat yang panjangnya lebih dari 10 mm.. Perhatikan peningkatan kekakuan dan kekuatan serta peningkatan sifat benturan dengan bertambahnya panjang serat. Hal ini menyebabkan inovasi dalam pengolahan komposit matriks termoplastik serat panjang, yang biasa disebut sebagai komposit LFT.

Langkah penting dalam pemrosesan LFT adalah produksi batang atau pita yang diperkuat serat terus menerus dari mana pelet serat panjang dipotong (Vaidya dan Chawla 2008). Dalam proses ini, penarik serat kontinu melewati bak matriks cair dan penarik yang diresapi melewati cetakan untuk dibentuk menjadi batang atau pita, diikuti dengan melewati chiller untuk mendinginkan. Tahap terakhir melibatkan penarik/perajang; penarik menarik derek pada kecepatan yang diinginkan sementara perajang memotong derek yang diresapi terus menerus hingga panjang pelet yang diinginkan yang cocok untuk digunakan dalam ekstruder dan cetakan kompresi. Pelet serat panjang cocok untuk proses pencetakan injeksi konvensional, kompresi injeksi pencetakan serta proses pencetakan kompresi ekstrusi. Pelet LFT yang dibuat dengan impregnasi lelehan panas dimasukkan ke dalam plasticator di mana mereka diukur dalam tong, dipanaskan di atas titik leleh resin termoplastik, dan campuran polimer ditambah serat mengalir melalui plasticator geser rendah untuk membentuk muatan cair.

Muatan cair (terlihat seperti permen kapas) yang keluar dari plasticator dengan cepat dipindahkan ke cetakan yang dipanaskan di mana ia dikompresi dalam alat tertutup (umumnya, pers dengan tonase tinggi). Bagian tersebut kemudian dilepas setelah pendinginan yang cukup.

7.3.7 Carbon Fiber Reinforced Polymer Composites

Silika kristalin murni meleleh pada 1.800 C dan dapat dikerjakan dalam kisaran 1.600–1.800 C. Namun, dengan menambahkan beberapa oksida logam, seseorang dapat memutuskan ikatan Si-O dan memperoleh serangkaian gelas amorf dengan suhu transisi gelas yang rendah sehingga dapat diproses pada suhu yang jauh lebih rendah suhu daripada silika murni. Secara umum, susunan atom atau molekul dalam bahan apapun berbeda di permukaan daripada di bagian dalam. Secara khusus, dalam kasus gelas berbasis silika yang mengandung berbagai oksida, lapisan hidroksil kompleks terbentuk dengan mudah. Oksida nonhigroskopis menyerap air sebagai gugus hidroksil sementara oksida higroskopis menjadi terhidrasi. Aktivitas permukaan kaca dengan demikian merupakan fungsi dari kandungan hidroksil dan kation tepat di bawah permukaan. Artinya, aktivitas permukaan E-glass akan berbeda dari silika leburan. Biasanya, serat kaca dirawat permukaannya dengan menerapkan ukuran pada serat kaca yang baru digambar untuk melindunginya dari lingkungan, untuk kemudahan penanganan, dan untuk menghindari kerusakan permukaan. Ukuran umum adalah gum pati, minyak sayur terhidrogenasi, gelatin, polivinil alkohol (PVA), dan berbagai pengemulsi nonionik. Ukurannya umumnya tidak sesuai dengan resin matriks dan oleh karena itu dihilangkan sebelum memasukkan serat kaca ke dalam matriks resin dengan pembersihan panas pada ~350 C selama 15-20 jam di udara, diikuti dengan pencucian dengan deterjen atau pelarut dan pengeringan. Setelah dibersihkan, bahan penghubung organologam atau organosilan diterapkan; larutan berair silan biasanya digunakan untuk tujuan ini. Senyawa organosilan memiliki rumus kimia.

7.4 Komposit Serat -Polyester

Komposit serat alam dengan matriks polyester dibuat dengan menuangkan polimer ke dalam cetakan panas bertekanan. Masing-masing berisi serat yang dibagi menjadi tiga lapis. Setelah lapisan pertama ditata pada cetakan, polimer dituangkan, demikian seterusnya hingga lapisan yang ketiga. Pembuatan komposit jenis ini dilakukan pada suhu 500C dengan tekanan 60 bar selama 20 menit, dilanjutkan dengan pemanasan pada suhu 800C selama semalam. Komposit sisal-epoxy dibuat dengan pemanasan pada suhu 800C dengan tekanan 60 bar selama 20 menit. Pengerjaan lanjutan dilakukan pada suhu 23 ± 10 C selama 23 jam kemudian dipanaskan pada 1000C selama 4 jam. Komposit. Pemberian perlakuan alkali pada serat alam akan meningkatkan kekuatan tarik komposit serat-*polyester*. Alkali yang digunakan merupakan larutan basa hidroksida yang berfungsi menghilangkan lignin pada serat, sehingga dapat menaikkan kemampuan penyerapan matrik oleh serat. kemampuan serat ini akan membentuk ikatan yang kuat pada serat dengan matriks penyusun / poliester.

7.5 Komposit Serat Dan Epoxy

Komposit serat dengan matrik epoxy dilakukan dengan pembuatan laminasi dan penggulangan. Alternatif proses ini terkenal mudah dan terbukti memiliki biaya operasional yang rendah. Dari hasil penelitian yang dilakukan para peneliti, kekuatan tarik serat alam dengan penguat epoxy bernilai setengah dari nilai kekuatan tarik epoxy dengan serat imitasi, dengan fraksi volume yang sama. Nilai densitas atau massa jenis serat alam pada umumnya rendah, dan sangat ringan dengan volume yang besar. Hal ini menguntungkan sehingga bahan komposit yang disusun dapat ditekan bobotnya. Serat alam yang melimpah di nusantara/Indonesia menjanjikan pemanfaatan yang baik dan maksimal untuk dunia industri. Pemanfaat komposit serat alam pada bidang industri otomotif, pembangunan fasilitas sipil, konstruksi, dan lain-lain, menjadi pilihan utama karena serat alam memiliki kualitas dan kuantitas yang baik.

7.6 Komposit Sisal-Polyethylene

Pembuatan komposit serat alam dengan poliethylene dilakukan sesuai dengan metode hasil penelitian yang telah dilakukan. Komposit ini menghasilkan Kekuatan tarik pada panjang serat 6 mm, yaitu mencapai 12.5 MPa. Pada panjang serat 10 mm, kekuatan serat akan turun menjadi 10.24 MPa. Kesejajaran serat akan meningkatkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas komposit. Perbedaan metode

pembuatan akan menyebabkan perbedaan sifat mekanis serat. Serat yang panjang akan cenderung keriting saat pencetakan. Hal ini menyebabkan berkurangnya panjang efektif serat sehingga sifat mekanisnya pun menurun.

7.7 Serat Karbon Komposit Polimer

Serat karbon merupakan salah satu bentuk material komposit. Material komposit yang diambil dari istilah Bahasa Inggris *composition materials* atau dipendekkan menjadi *composite materials*, adalah suatu material yang dibuat dari dua atau lebih material penyusun yang saling memiliki perbedaan sifat fisik dan kimia, yang jika dikombinasikan akan menghasilkan material berkarakteristik berbeda dengan material-material, penyusunnya. Komposit serat karbon merupakan salah satu jenis material komposit yang menggunakan fiber karbon sebagai salah satu penyusunnya.

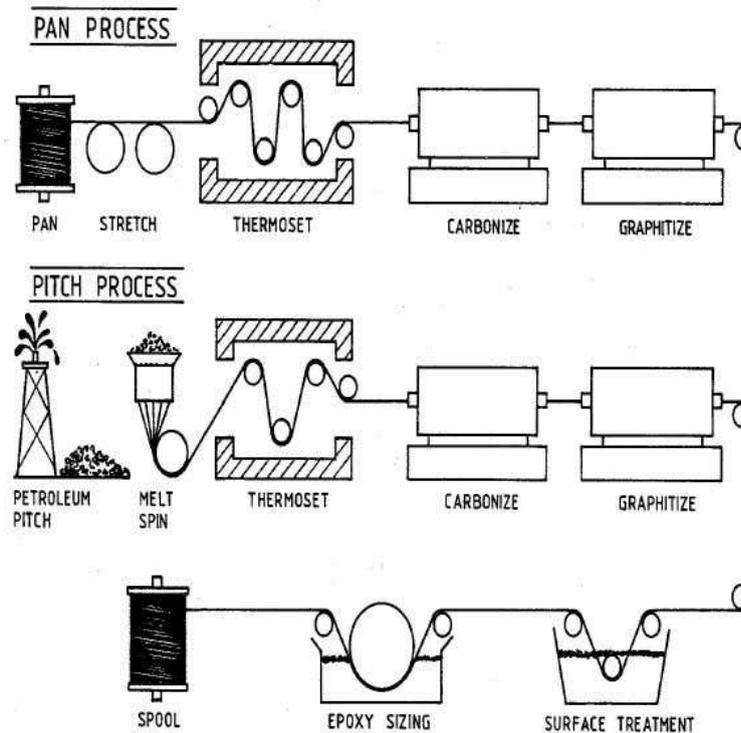
Material komposit tersusun atas dua komponen utama yakni matriks dan material penguat (*reinforcement*). Fiber karbon berfungsi sebagai material penguat pada komposit serat karbon. Sedangkan untuk matriksnya biasanya dipergunakan resin polimer semacam epoxy. Matriks resin ini berfungsi untuk mengikuti material-material penguat. Dikarenakan serat karbon hanya tersusun oleh dua material ini.

Sifat dari karbon fiber dipengaruhi oleh beberapa factor. Satu faktormyang paling utama adalah arah atau alur serat karbon. Berbeda dengan material logam, karbon diber khususnya dan material komposit lain pada umumnya, disebut sebagai material anisotropic. Maksudnya adalah sifat properti material ini dipengaruhi oleh bentuk dan arah arah serat penyusunnya. Sehingga kekuatan karbon fiber sangat bergantung pada terhadap bentuk dan arah serat karrbon penyusunnya. Di sisi lain, material-material semacam logam, plastic, dan berbagai macam lainnya memiliki sifat yang tetap sekalipun bentuk dan arah butir-butir molekulnya berbeda-beda. Karena itulah material-material ini disebut material isentropic.

Berikut adalah beberapa factor utama yang mempengaruhi sifat-sifat karakteristik karbon fiber:

- a. Tipe serat karbon dan resin yang digunakan
- b. Rasio campuran serat karbon dan resin
- c. Bentuk serat karbon: searah, bersilangan, berkaitan, atau tidak tentu
- d. Kualitas serat: distribusi serat yang merata, ada tidaknya celah

Bahan baku setiap karbon fiber berbeda-beda untuk setiap pabrikan, dan menjadi rahasia perusahaan mereka, Namun dapat dipastikan bahwa sekitar 90% karbon filter dibuat dari bahan dasar *polyacrylonitrile* (PAN). Sedangkan 10% sisanya diproduksi dari minyak bumi. Semua bahan baku yang digunakan ini merupakan polimer organic, memiliki karakter ikatan molekul Panjang yang tersusun atas atom-atom



Gambar 9.1. Proses Pembuatan Karbon Fiber

Proses pembuatan karbon fiber sebagaimana merupakan yang lain adalah proses mekanik. Berikut adalah tahapan proses manufaktur karbon fiber yang menggunakan bahan baku *polyacrylonitrile*.

1. Spining

Bubuk *acrylonitrile* dicampur dengan plastic lain seperti *methyl acrylate* atau *methyl methacrylate*, serta direaksikan dengan katalisator untuk menghasilkan plastic *polyacrylonitrile*. Plastik ini lalu dibentuk menjadi serat dengan jalan mencampurnya dengan bahan kimia tertentu, lalu dipompa melewati nozzle kecil di dalam sebuah wadah berisi cairan kimia sehingga terkoagulasi dan memadat membentuk serat-serat. Pada proses ini terjadi pembentukan struktur atom di dalam serat. Selanjutnya fiber dicuci dan ditarik (*stretching*) untuk mendapat ukuran diameter yang diinginkan.

2. Stabilling

Sebelum proses selanjutnya, fiber dipanaskan di media udara pada suhu 200-300°C untuk mengikat molekul oksigen dari udara sehingga susunan ikatan kimia molekul serat menjadi lebih stabil. Karena proses kimia yang terjadi akan menimbulkan panas internal, maka pengawasan proses ini harus dilakukan dengan ketat untuk menghindari *overheating* serat ke beberapa ruang panas yang tersusun secara seri

3. Carbonizing

Setelah molekul serat stabil, serat dipanaskan pada temperature 1.000-3.000°C di dalam ruangan berisi campuran gas yang tidak mengandung oksigen sama sekali. Tidak adanya kandungan oksigen di dalam ruangan pemanasan berfungsi untuk mencegah terbakarnya serat karbon. Tekanan gas di dalam pemanas dijaga lebih tinggi daripada tekanan udara atmosfer untuk mencegah udara luar masuk ke dalam pemanas. Selain itu sisi keluar dan masuk serat karbon di *sealing* untuk mencegah kebocoran gas. Tahapan proses ini berfungsi untuk menghilangkan atom-atom non-karbon yang terkandung di dalam seratseperti tiap air, gas ammonia, karbon monoksida, karbon dioksida. Hydrogen, nitrogen, dan lain-lain sebagainya. Keluarnya molekul-molekul non-karbon akan membuat molekul-molekul karbon sealing membentuk ikatan kristal yang lebih kuat. Proses karbonisasi ini biasanya dua atau lebih ruang pemanas yang masing-masing berbeda temperature untuk lebih memudahkan dalam mengontrol kenaikan temperature

4. Oxidation

Setelah proses karbonisasi, permukaan fiber tidak memiliki ikatan yang kuat dengan resin maupun juga komponen composite yang lainnya. Untuk menghasilkan ikatan yang dipermukaan fiber, maka diperlukan proses oksidasi lanjutan. Penambahan atom oksigen akan menghasilkan ikatan kimia yang lebih kuat pada permukaannya, serta menghasilkan semacam lapisan kuat dipermukaan serat. Proses oksidasi ini dapat dilakukan dengan merendam serat karbon di dalam udara, karbon dioksida, ozon, atau cairan kimia seperti sodium hipoklorit dan asam anitri. Proses ini harus dikontrol dengan amat cermat agar tidak menimbulkan cacat permukaan

5. Sizing

Setelah proses perlakuan permukaan serat karbon dilapisi dengan bahan yang sesuai dengan tipe resin yang digunakan seperti epoxy, polyester, nylon, urethane, dan bahan lainnya. Pelapisan ini berfungsi untuk melindungi fiber dari kerusakan pada proses selanjutnya. Serat karbon yang telah dilapisi ini berbentuk lembaran dan digulung untuk proses penyimpanan. Gulungan serat karbon ini disebut *bobbin*. Serat karbon dalam bentuk lembaran ini siap dipotong dan dibentuk untuk berbagai kebutuhan.

Aplikasi Nanoteknologi dalam Serat Karbon:

a. Pesawat terbang

Ekor helicopter RC, terbuat dari polimer diperkuat serat karbon. Serat karbon yang paling utama digunakan untuk memperkuat material komposit, dikenal sebagai bahan serat karbon atau grafit polimer diperkuat. Serat karbon digunakan secara structural pada aplikasi temperature tinggi. Serat ini juga digunakan dalam penyaringan gas suhu tinggi, sebagai elektroda dengan luas permukaan yang tinggi dan ketahanan korosi yang sangat baik, dan sebagai komponen anti statis. Molding lapisan tipis dan serat karbon secara signifikan meningkatkan ketahanan api.

b. Penerapan Nanoteknologi Untuk Serat Karbon Di Perusahaan Toyota

Toyota menggunakan teknologi nano untuk hal ini, sejak tahun 1980, mereka sudah berusaha mengembangkan material nano komposit yang ringan, demikian juga General motor mereka dikabarkan akan segera mengeluarkan nano komposit dari laboratorium untuk diproduksi menjadi material kendaraan mereka menggunakan plastic pada bagian assist 2002 GMC safari dan Chevrolet astro van. Material baru tersebut lebih keras, lebih ringan dan tidak rapuh pada suhu dingin perbaikannya ada pada kekuatan/strength dan pengurangan berat, sehingga dapat menghasilkan penghematan bahan-bahan bakar direncanakan selanjutnya GM akan menggunakan material nanokomposit untuk membuat interior mobil dan bumper, dan pada akhirnya pada bagian struktur dari load-bearing seperti rangka mobil

Sebagai bahan bakar alternative pengganti bahan bakar dari fosil, orang lebih suka beralih ke bahan bakar hidrogen yang bersih lingkungan tapi meskipun melimpah di udara hydrogen tidak banyak tersedia dalam bentuk yang bisa digunakan juga mesin yang menggunakan hydrogen masih sangat langka, karena itu para periset Tokyo institute of Technology sedang berusaha mengembangkan cara untuk saringan dari serat karbon tipis yang dicampur dengan molekul senyawa nikel, Saringan filter tersebut akan dilihat membuat gas alam menjadi karbon yang cukup murni yang digunakan sebagai bahan bakar.

c. Aplikasi Nanofiber dalam Filtrasi

Penggunaan jaring nonfiber sebagai media filtrasi sedang banyak dikembangkan. Karena ukuran-ukuran fiber (serat-serat) yang sangat kecil adanya gaya London Van Der Waals merupakan hal yang penting untuk terjadinya adhesi antara serat dan bahan yang diserap. Polimer Nanofiber sebagai media filtrasi telah lama digunakan selama lebih dari tujuh decade. Kunci sifat mekanik baik nanowebs tipis yang sangat rendah, jaring nonfiber ini diletakkan di atas substrat media filtrasi. Diameter serat yang kecil menyebabkan arus slip pada permukaan serat, sehingga terjadi peningkatan intresepsi dan efisiensi *impaction* inersia dan media filter komposit. Peningkatkan efisiensi penyaringan pada penurunan tekanan yang sama mungkin dilakukan untuk serat yang mempunyai diameter kurang dari 0,5 mikrometer.

Nanofiber memiliki aplikasi yang dapat sangat menguntungkan dalam proses filtrasi karena memiliki luas permukaan yang lebih besar dan mikropori yang lebih kecil dibandingkan dengan serat *melt blown* (MB). Nonfiber ini sangat cocok untuk menyaring partikel-partikel submicron dan air ataupun udara. Elektospun fiber ini memiliki diameter tiga kali lebih kecil dibandingkan dengan serat *melt blown*

Serat karbon ini merupakan salah satu bentuk komposit. Komposit ini dibuat dari dua atau lebih material yang memiliki perbedaan sifat fisik dan kimia. Tapi ketika keduanya dikombinasi, bisa saja komposit ini memiliki perbedaan karakteristik dibanding material penyusunnya.

Serat karbon adalah helai karbon yang lebih tipis dari rambut manusia. Helai karbon yang 90% bahan dasarnya adalah *polyacrylonitrile* (PAN) dan 10% minyak bumi ini, bisa dipilin seperti benang dan bisa dirajut seperti kain. Agar komposit karbon dapat mempertahankan bentuknya, anyaman serat karbon dapat diletakkan di sebuah cetakan dan diberi material penguat yakni resin seperti epoxy atau plastik. Sehingga ia bisa dibentuk seperti kap mesin, bumper, sepatbor, spoiler atau lainnya.

Sifat atau kekuatan komposit karbon ini bisa berbeda-beda. Beberapa faktor bisa memengaruhi karakteristik serat karbon itu. Seperti kualitas serat dan resin yang digunakan, perbandingan campuran serat karbon dan resin, dan desain alur serat karbon (bisa searah, bersilangan, berkaitan, atau acak). Penempatan serat yang merata dan tanpa celah serta jumlah lapisan (ketebalan) juga bisa meningkatkan karakter kekuatannya.

Selain itu, metoda meracik bahan baku dan proses pembuatan membuat komposit karbon juga bisa berbeda-beda setiap pabrikan mobil dan itu menjadi hal yang dirahasiakan. Terlebih jika komposit karbon itu memiliki karakteristik di atas rata-rata produk serupa, seperti kekuatan, kekakuan, atau bobot.

Soal proses pembuatan komponen mobil dari serat karbon, ada pabrikan yang menggunakan cetakan dan mesin pres hingga membentuk komposit karbon dengan jumlah lapisan dan bentuk yang diinginkan. Kemudian dipanaskan hingga tidak ada gelembung udara yang terjebak di dalam lapisan-lapisan serat karbon.

Namun, walau penggunaan serat karbon ini bisa mereduksi bobot mobil hingga 60%, tapi biaya material dan produksinya masih lebih mahal hingga 10 kali lipat dibanding menggunakan material baja. Makanya, saat ini penggunaan material serat karbon hanya bisa ditawarkan di mobil mewah atau sportscar.

Bagaimana Serat Karbon Dibuat?

Bahan yang digunakan untuk membuat serat karbon disebut prekursor. Mereka adalah polimer organik yang terdiri dari serangkaian molekul panjang yang terikat oleh atom karbon.

Prekursor yang digunakan untuk pembuatan serat karbon dapat berupa polyacrylonitrile (PAN), rayon atau ter minyak bumi. Sekitar 90% serat karbon terbuat dari PAN, dan sepuluh persen sisanya terbuat dari rayon atau ter minyak bumi.

Karbonisasi

Bahan yang digunakan untuk membuat serat karbon ditarik ke dalam untaian panjang dan kemudian dipanaskan tanpa mengenakan bahan dengan oksigen. Ketika material tidak terpapar oksigen, ia tidak terbakar tetapi bergetar dengan intensitas tinggi dan menghilangkan semua atom non-karbon. Pada tahap ini, serat tersusun dari rantai atom karbon yang padat.

Oksidasi

Setelah karbonisasi, permukaan dioksidasi untuk meningkatkan sifat ikatan permukaan sehingga secara kimia dapat mengikat dengan baik dengan bahan pelapis apa pun. Oksidasi melibatkan merendam serat dalam gas atau cairan. Gas yang digunakan untuk oksidasi adalah udara, karbon dioksida atau ozon. Cairan yang digunakan untuk oksidasi adalah natrium hipoklorit atau asam nitrat.

Perekatan

Langkah selanjutnya setelah perlakuan permukaan adalah perekatan. Serat karbon dilapisi untuk memperkuat dan melindungi serat dari kerusakan. Resin epoksi, poliester, nilon, uretan adalah beberapa bahan yang digunakan untuk melapisi serat karbon. Serat yang dilapisi digulung ke silinder besar yang disebut bobbin. Kumparan ini dimuat ke mesin pemintalan yang menenun serat menjadi benang dengan berbagai ukuran.

Evolusi Serat Karbon

Thomas Edison menggunakan filamen serat karbon untuk percobaannya dengan bola lampu pada tahun 1879. Dia menciptakan serat karbon dengan memanaskan bambu. Serat karbon ini tahan terhadap api sehingga membuatnya ideal untuk eksperimen bohlamnya. Pada tahun 1958, Roger Bacon membuat serat karbon dari bahan rayon tetapi serat karbon yang dibuatnya dengan rayon tidak terlalu kuat. Royal Aircraft Establishment di Farmborough, Hampshire, UK

mengembangkan serat karbon yang sangat kuat. Rolls Royce menggunakan ini saat membuat mesin pesawat mereka. Saat ini serat karbon terbuat dari PAN (polyacrylonitrile), rayon atau ter minyak bumi.

Penggunaan Serat Karbon

Kempa serat karbon digunakan untuk menyimpan ribuan megawatt energi yang dihasilkan oleh turbin angin dan panel surya. Energi yang tersimpan ini dapat digunakan di masa depan kapan pun ada kekurangan daya. Serat karbon digunakan dalam pembuatan barang-barang olahraga seperti poros golf, raket, ski, papan seluncur salju, tongkat hoki, pancing dan sepeda. Sifat serat karbon yang ringan dan kuat membuatnya menjadi bahan yang ideal untuk membuat produk olahraga yang ringan dan tahan lama. Kain serat karbon digunakan untuk memperkuat beton, baja, batu, kayu, dll. Ini juga dapat diterapkan pada dinding, pipa untuk memperkuat. Turbin angin yang terbuat dari serat karbon lebih ringan, lebih kuat dan sangat efisien. Efisiensi turbin angin sangat tergantung pada ringannya sudu turbin. Serat karbon digunakan dalam pembuatan mobil balap karena bobot dan kekuatannya yang ringan. BMW telah menggunakan serat karbon dalam produksi model mobil listrik i3 dan i8. Di bidang kedokteran, serat karbon digunakan dalam pembuatan peralatan x-ray, peralatan bedah, bagian badan buatan, dan implan.

Serat Karbon Dalam Pesawat

Serat karbon digunakan untuk membuat bagian-bagian pesawat. Bahan bakar yang digunakan oleh pesawat jauh lebih sedikit ketika berat pesawat berkurang. Serat karbon yang ringan namun tahan lama membantu mengurangi bobot keseluruhan pesawat. Boeing dan perusahaan Airbus telah menggunakan serat karbon untuk membangun pesawat mereka. Boeing 787 Dreamliner memiliki bagian yang terbuat dari serat karbon yang diperkuat serat karbon biasanya digunakan dalam kombinasi dengan bahan resin untuk membentuk bahan komposit serat karbon. Kualitasnya lebih ringan dari aluminium, dan kekuatannya lebih tinggi dari baja. Tidak hanya memiliki karakteristik yang melekat pada bahan karbon, tetapi juga memiliki kelembutan dan kemampuan proses serat tekstil. Kedua aspek pertahanan nasional dan sipil merupakan bahan struktural yang penting. Mari kita lihat karakteristik serat karbon.

Dari sudut pandang kimia: Serat karbon adalah bahan karbon berserat, sifat kimia karbon sangat stabil, serat karbon memiliki ketahanan korosi yang baik terhadap asam organik dan garam alkali, tidak larut dan tidak meluas, sama sekali tidak ada masalah Rusty. Komposit serat karbon digunakan dalam lingkungan -70°C hingga 150°C . Sulit untuk mengamati perubahan kimia dalam serat karbon, tidak ada oksidasi terjadi, dan tidak ada karbida yang terbentuk.

Dalam hal sifat fisik, label khas serat karbon ringan dan tinggi, kepadatan serat karbon sekitar $1,7\text{g/cm}^3$, dan kekuatan tarik lebih dari 3000MPa . Ini banyak digunakan di bagian yang membutuhkan pengurangan dan penguatan berat badan. Komposit serat karbon memiliki kekuatan kelelahan yang tinggi. Ketika beberapa serat pecah di satu bagian, beban dengan cepat didistribusikan ke serat lain yang tidak terputus dan tidak akan menyebabkan kerusakan dalam waktu singkat. Konduktivitas termal bahan anorganik dan organik umum buruk, tetapi konduktivitas termal serat karbon dekat dengan baja, yang membuatnya berlaku untuk industri fotovoltaiik, terutama bahan kolektor surya. Komposit serat karbon juga memiliki kemampuan transmisi sinar-X yang sangat baik untuk digunakan dalam perangkat medis.

Shenzhen Tasuns Composite Technology Co, Ltd didirikan pada tahun 2005. Bengkel produksi yang ada lebih dari 5.000 meter persegi. Perusahaan ini memiliki hot press skala besar, autoclave, stasiun hidroforming, mesin milling berkecepatan tinggi CNC, dll., Yang merupakan produk serat karbon berkualitas tinggi. Produksi menyediakan fasilitas lengkap. Kolom yang disarankan: VIA case produk serat karbon baru

Serat Karbon Dalam Industri Otomotif

Mobil lightweighting adalah salah satu langkah-langkah yang penting untuk mencapai penghematan energi dan emisi pengurangan. Ini mempunyai signifikans penting bagi pemanfaatan energi. Serat karbon, yang dikenal sebagai "black gold", kini telah menjadi bahan yang ideal untuk menyadari mobil ringan. Menerapkan serat karbon untuk mobil di aksesoris, sementara secara efektif memenuhi kekuatan yang diperlukan, ini juga dapat mengurangi berat dan memiliki aplikasi yang luas prospek.

Bahan-bahan serat karbon berapa banyak Apakah ada? Komponen utama dari serat karbon karbon, dan kandungan karbon lebih dari 95%. Luar kelembutan dan karet batin tidak hanya memiliki karakteristik melekat karbon bahan, tetapi juga memiliki kelembutan dan fleksibilitas dari serat tekstil. Kualitas bintang ini lebih ringan dari berat-rugi tradisional bahan aluminium alloy, tetapi kekuatan lebih

tinggi dari baja. Ini juga memiliki karakteristik ketahanan terhadap korosi dan anti-penuaan. Aplikasinya di dalam mobil tidak dapat hanya mencapai ringan dan safety, material komposit serat karbon. Dengan menahan getaran yang lebih tinggi, efek pengurangan kebisingan seluruh mobil secara signifikan meningkatkan, kenyamanan lebih baik, kekuatan kelelahan serat karbon dapat mencapai 70% - 80%, dan keandalan dari badan kendaraan ini juga sangat baik.

Ketika datang ke bagian auto serat karbon, BMW telah disebutkan. Saat ini adalah mobil yang menggunakan serat karbon diperkuat komposit teknologi produksi massal dan telah menjadi pemimpin dari struktur bintang cahaya yang cerdas di pasar mobil mewah yang besar. Saat ini, tidak hanya mobil BMW, tapi juga di dunia mobil besar OEM telah berinvestasi di bidang serat karbon. Namun, hambatan terbesar untuk mencapai starization cahaya mobil adalah biaya produksi yang tinggi serat karbon, pengurangan biaya bahan dan peningkatan kinerja.

Shenzhen Tasuns komposit Technology Co, Ltd adalah produsen produk serat karbon yang kuat. Perusahaan telah maju serat diperkuat komposit lembar, pipa, moulding, autoclave, Mesin CNC dan jalur produksi lainnya, dan dilengkapi dengan ruang bersih kelas 10.000 dan produksi standar lainnya. Lokakarya menyediakan rangkaian lengkap fasilitas untuk produksi berbagai produk serat karbon.

Teknologi nanopartikel adalah teknologi pembuatan dan penggunaan materi atau alat pada ukuran sangat kecil. Materi atau alat ini berukuran antara (1 – 100) nanometer. Dengan menyusun ulang atau merencanakan struktur material di level nanometer, maka akan diperoleh suatu bahan yang memiliki sifat istimewa jauh mengungguli material yang lain. Salah satu aplikasi nanoteknologi yang sedang berkembang adalah nanofiber, yaitu sesuatu material yang berbentuk seperti benang atau serat yang mempunyai diameter kurang dari 1 mikron. Aplikasi nanofiber antara lain digunakan sebagai media nanofiltrasi, bahan pembuatan pakaian nonwoven pada industri tekstil, sebagai drug delivery pada bidang kedokteran dan sebagainya.

Evaluasi

1. Jelaskan apa yang dimaksud komposit polimer
2. Jelaskan pultrusi dalam proses pembuatan komposit polimer
3. Jelaskan keunggulan dari Resin Transfer Moulding dalam pembentukan komposit polimer
4. Jelaskan keuntungan dari komposit matriks termoplastik
5. Jelaskan perbedaan mendasar antar termoset dan termoplastik
6. Jelaskan pembuatan komposit dengan metode tape laying.

Daftar Pustaka

- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2010). *Materials science and engineering: An introduction* (8th ed). John Wiley & Sons.
- Hibbeler, R. C. (2010). *Engineering mechanics. Dynamics* (12th ed). Prentice Hall.
- Jalongo, M. R. (2016). *Writing for publication*. Springer Berlin Heidelberg.
- Kaw, A. K. (2006). *Mechanics of composite materials* (2nd ed). Taylor & Francis.
- Klingelnberg, J. (Ed.). (2016). *Bevel gear: Fundamentals and applications*. Springer.
- Ngo, T.-D. (2020). Introduction to Composite Materials. In T.-D. Ngo (Ed.), *Composite and Nanocomposite Materials—From Knowledge to Industrial Applications*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.91285>
- Thakur, V. K., Thakur, M. K., & Kessler, M. R. (Eds.). (2017). *Handbook of composites from renewable materials*. John Wiley & Sons, Inc.



UMSIDA PRESS
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Jl. Mojopahit No. 666B
Sidoarjo, Jawa Timur

ISBN 978-623-464-042-7 (PDF)

