

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memaparkan teori-teori yang mendasari penelitian yang akan dilakukan. Beberapa teori yang akan diuraikan antara lain mengenai komposit secara umum, komponen penyusun komposit, serat *nata de coco*, nanopartikel/nanofiller (SiO_2 , Al_2O_3 , dan clay), berbagai jenis resin dan beberapa teknik untuk pabrikan komposit.

2.1. KOMPOSIT

Komposit adalah gabungan dari dua komponen atau lebih yang memberikan sifat kaku [22]. Komposit mempunyai kelebihan akan daya tahan terhadap lingkungan korosif, rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, sifat mekanik, insulasi listrik yang baik serta dapat dibuat dalam berbagai bentuk. Disamping kelebihan, komposit juga memiliki kekurangan sebagai berikut: tidak dapat digunakan pada temperatur $> 400^\circ\text{F}$, kekakuan tidak terlalu tinggi dibandingkan dengan logam dan harga bahan baku yang relatif tinggi [23].

Menurut Silalahi [24], bahwa laju pemanasan yang optimum pada komposit akan dihasilkan ikatan-ikatan segmen polimer yang baik dan kuat. Pemanasan yang melebihi batas temperatur dan waktu *curing* optimum akan mengakibatkan material komposit mengalami kerusakan pada ikatan-ikatan molekulnya. Pada saat *curing*, jika diberikan tekanan yang lebih besar dapat menyebabkan berkurangnya sifat-sifat mekanik dari material komposit tersebut, diantaranya kuat tarik dan modulus fleksural.

Menurut Gaylord, M.W. [23] dan Charles, A.H. [25], bahwa matriks pada material komposit antara lain berfungsi untuk mendistribusikan beban pada serat-serat penguat. Oleh karena itu adanya cacat seperti *void* dan retak pada matriks akan mempengaruhi fungsi matriks sebagai pendistribusi beban, misalnya terjadi pada konsentrasi tegangan disekitar cacat yang dapat menurunkan sifat mekanik baik statis maupun dinamis dari material komposit.

Karena keuntungan dari komposit adalah ringan, kaku dan kuat, maka komposit banyak digunakan dalam aplikasi kehidupan sehari-hari.

Beberapa pertimbangan dalam memilih komposit, alasan penggunaan dan aplikasinya, dapat dilihat pada Tabel 2.1. berikut ini :

Tabel 2.1. Pertimbangan Pemilihan Komposit [25]

Alasan Digunakan	Material yang Dipilih	Aplikasi
Ringan, kaku dan kuat	Boron, semua karbon/grafit, dan beberapa jenis aramid	Peralatan militer
Tidak mempunyai nilai ekspansi termal	Karbon/grafit yang mempunyai nilai modulus yang sangat tinggi	Untuk peralatan luar angkasa, contohnya sensor optik pada satelit
Tahan terhadap perubahan lingkungan	Fiber glass, <i>vinyl ester</i> . Bisphenol A.	Untuk tangki dan sistem perpipaan, tahan korosi dalam industri kimia

2.1.1 Komponen Penyusun Komposit

Komponen penyusun komposit terbagi atas dua bagian besar, yaitu *reinforcement* (penguat) dan matriks.

1. *Reinforcement* (penguat).

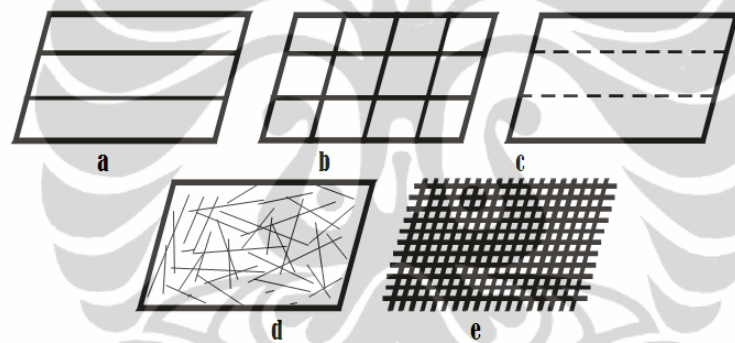
Reinforcement berfungsi sebagai penguat atau kerangka dari suatu komposit. Biasanya *reinforcement* ini berupa fiber atau logam, yang memiliki fase diskontinyu. Berikut ini adalah beberapa *reinforcement* yang paling banyak digunakan antara lain: *fiber glass*, *asbestos*, kertas, katun atau linen, fiber organik, *polyethylene*, aramid dan lain-lain.

2. Matriks (pengisi).

Matriks berfungsi untuk menjaga *reinforcement* agar tetap pada tempatnya di dalam struktur, membantu distribusi beban, melindungi filamen di dalam struktur, mengendalikan sifat elektrik dan kimia dari komposit, serta membawa regangan interlaminer. Matriks yang paling umum dipakai adalah logam, keramik dan polimer, baik polimer termoset, maupun polimer termoplastik.

2.1.2 Orientasi Serat dalam Komposit

Komposit lembaran merupakan material yang tersusun atas lapisan-lapisan yang terikat satu sama lain. Setiap lapisan terdiri dari banyak serat yang terendam di dalam matriks. Serat panjang (*continuous fiber*) digunakan untuk membuat lapisan, serat tersebut dapat diorientasikan pada satu arah (*unidirectional orientation*) (Gambar 2.1a) atau pada dua arah (*bidirectional orientation*) (Gambar 2.1b). Lapisan juga dapat dikonstruksikan dengan menggunakan serat pendek (*discontinuous fiber*) baik pada satu arah (Gambar 2.1c) maupun secara acak (Gambar 2.1d). Beberapa lapisan yang ditumpuk satu sama lain untuk mendapatkan ketebalan tertentu akan membentuk lembaran (*laminated*), dimana variasi lapisan dalam lembaran terdiri dari serat searah maupun berbeda arah (Gambar 2.1e). [26].



Gambar 2.1. Susunan Dasar Pembentukan Komposit Lembaran, (a) Serat panjang searah, (b) Serat panjang dua arah, (c) Serat pendek searah, (d) Serat pendek acak, (e) *Woven fiber*.

2.1.3 Serat

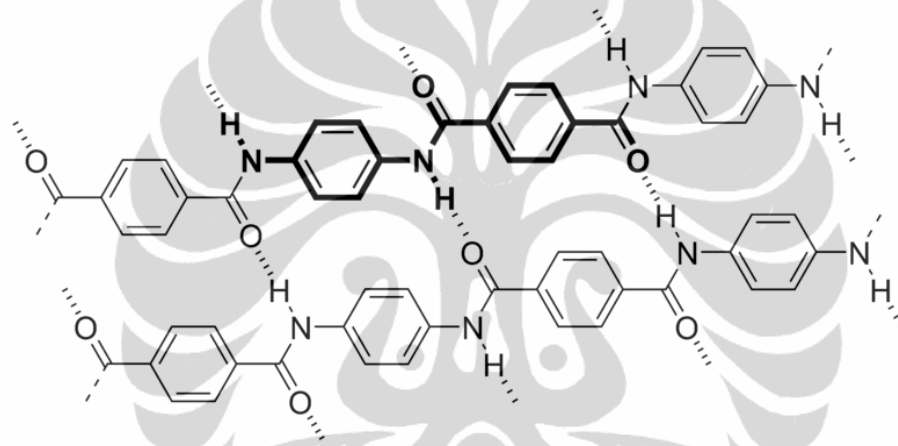
Serat sebagai bahan komposit dapat terdiri dari serat sintetik maupun serat alam. Adapun serat sintetik dan serat alam yang umum digunakan akan dijelaskan pada bagian berikut.

1. Serat Sintetik

Kevlar merupakan serat sintetik dengan nama kimia *poly paraphenylene terephthalamide*, termasuk senyawa poliamida aromatik. Kevlar merupakan merek dagang fiber sintetik hasil temuan Stephanie Kwolek's seorang peneliti yang bekerja pada DuPont Company kelahiran Pennsylvania, Amerika Serikat

pada 31 Juli 1923. Pada awalnya perusahaan DuPont menciptakan kevlar sebagai bahan anti peluru yang sangat rahasia. Kevlar sangat sulit didapat di pasar bebas dan juga harganya cukup mahal karena proses produksinya menggunakan asam sulfat dengan konsentrasi yang tinggi. Asam sulfat dengan konsentrasi yang tinggi ini dibutuhkan untuk menjaga agar larutan polimer tidak larut selama proses sintesa dan pemintalan [27].

Setiap bagian monomer Kevlar terdiri dari 14 atom karbon, 2 atom nitrogen, 2 atom oksigen dan 10 atom hidrogen seperti yang terlihat pada Gambar 2.2 dibawah ini.



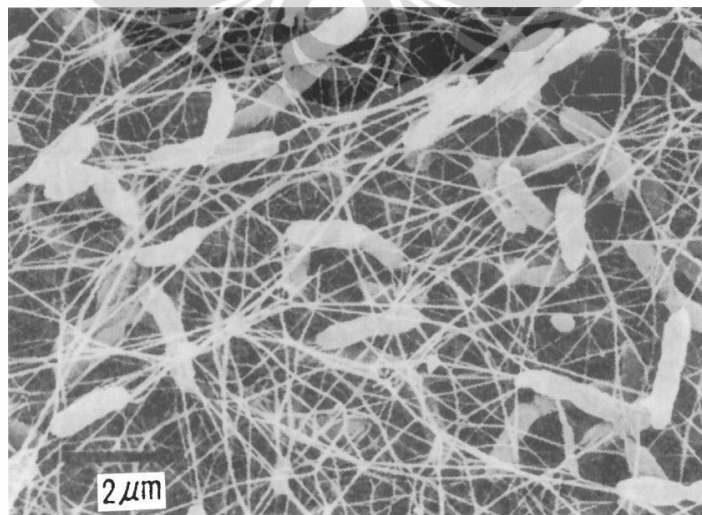
Gambar 2.2. Struktur Kimia Kevlar [28]

2. Serat Alam

Ada banyak serat alam yang keberadaannya cukup besar di Indonesia, salah satunya adalah *nata de coco*. Kata 'Nata' berasal dari bahasa Spanyol yang berarti krim. Nata diterjemahkan ke dalam bahasa latin sebagai 'Natare' yang berarti terapung-apung. Nata dapat dibuat dari air kelapa, santan kelapa, tetes tebu, limbah cair tebu (*molases*), atau sari buah (nanas, melon, pisang, jeruk, jambu biji, strawberi dan lain-lain). Nata yang dibuat dari air kelapa disebut *nata de coco*. Di Indonesia, *nata de coco* sering disebut sari air kelapa atau sari kelapa. *Nata de coco* pertama kali berasal dari Filipina [29]. Di Indonesia, *nata de coco* mulai dicoba pada tahun 1973 dan mulai diperkenalkan pada tahun 1975. Namun demikian, *nata de coco* mulai dikenal luas di pasaran pada tahun 1981 [30].

Bibit nata adalah bakteri *Acetobacter xylinum* yang dapat membentuk serat nata jika ditumbuhkan dalam air kelapa yang sudah diperkaya dengan karbon dan nitrogen melalui proses yang terkontrol. Dalam kondisi demikian, bakteri tersebut akan menghasilkan enzim yang dapat menyusun zat gula menjadi ribuan rantai serat atau selulosa. Dari jutaan renek yang tumbuh pada air kelapa tersebut, akan dihasilkan jutaan lembar benang-benang selulosa yang akhirnya nampak padat berwarna putih hingga transparan, yang disebut sebagai nata atau selulosa bakteri [17].

Faktor-faktor yang mempengaruhi *Acetobacter xylinum* mengalami pertumbuhan adalah nutrisi, sumber karbon, sumber nitrogen, serta tingkat keasaman media, temperatur, dan udara (oksigen). Senyawa karbon yang dibutuhkan dalam fermentasi nata berasal dari monosakarida dan disakarida. Sumber dari karbon ini yang paling banyak digunakan adalah gula. Sumber nitrogen bisa berasal dari bahan organik seperti ZA atau urea. Meskipun bakteri *Acetobacter xylinum* dapat tumbuh pada pH 3,5 – 7,5, namun akan tumbuh optimal bila pH-nya 4. Sedangkan suhu ideal bagi pertumbuhan bakteri *Acetobacter xylinum* pada suhu 28 – 30 °C [7,31]. Bakteri ini sangat memerlukan oksigen, sehingga dalam fermentasi tidak perlu ditutup rapat namun hanya ditutup dengan menggunakan kertas berpori (koran) untuk mencegah kotoran masuk ke dalam media yang dapat mengakibatkan kontaminasi.



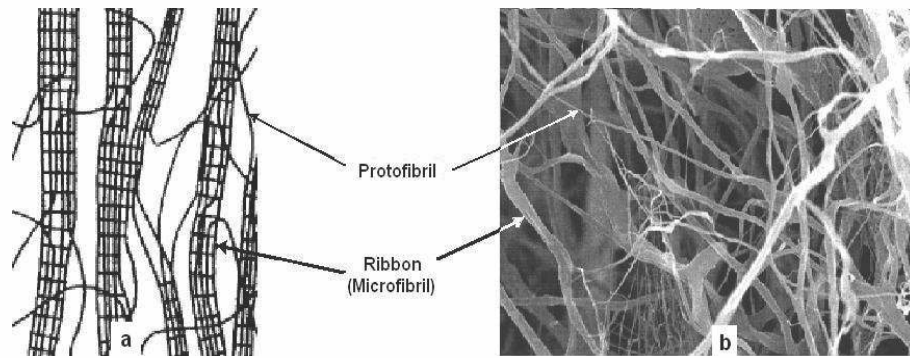
Gambar 2.3. Hasil *Scanning Electron Microscopy* (SEM) Permukaan *Nata de coco* [7].

Pada tahap awal setelah starter atau bakteri *Acetobacter xylinum* dimasukkan ke dalam media air kelapa yang sudah diperkaya dengan unsur karbon, nitrogen dan nutrisi lainnya, bakteri yang masih dalam bentuk cairan akan mengalami peningkatan jumlah secara cepat, kemudian lama kelamaan bakteri yang ada pada media tersebut memproduksi serat selulosa dalam jumlah banyak, sehingga pada bagian permukaan media terlihat keruh (membentuk gel) dengan viskositas yang lebih tinggi daripada cairan yang ada di bawahnya, semakin lama lapisan gel (fasa padat) tersebut semakin tebal dan sangat jelas penampakkannya. Seiring dengan bertambahnya waktu, jumlah fasa cair pada media tersebut semakin lama semakin sedikit, sedangkan lapisan gel semakin lama semakin membesar sampai cairan pada media habis [7].

Menurut K. Watanabe et al. 1995 [10], pada proses terbentuknya gel media *nata de coco* ini mengalami pengurangan massa, hal ini terjadi karena adanya sebagian unsur karbon dari sukrosa yang terkonversi menjadi CO₂ selama proses pembentukan serat selulosa dan juga terjadi pengurangan massa, karena adanya penguapan sebagian air yang terdapat di dalam media melalui pori-pori dari lapisan serat *nata de coco* tersebut.

2.1.4 Struktur dan Sifat Selulosa Bakteri (Serat Selulosa)

Gugus fungsional dari rantai selulosa bakteri atau serat *nata de coco* adalah gugus *hydroxyl*. Gugus –OH ini dapat berinteraksi satu sama lain dengan gugus –O, –N, dan –S, membentuk ikatan hydrogen. Ikatan –H juga terjadi antara gugus –OH selulosa dengan air. Gugus –OH menyebabkan permukaan selulosa menjadi bersifat hidrofilik. Struktur rantai selulosa distabilkan oleh ikatan hidrogen yang kuat di sepanjang rantai. *Protofibrils* selulosa bakteri saling mengikat seperti pita membentuk *microfibrils* yang memiliki diameter 20-50 nm, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.4 pita tersebut memiliki ketebalan 3-4 nm, lebar ~ 80 nm dan panjang 1-9 µm. Pita yang sangat baik dari selulosa bakteri membentuk struktur jaringan yang padat. Struktur dari *protofibrils* inilah yang membuat sifat dari serat *nata de coco* memiliki kuat tarik yang tinggi setelah airnya dipisahkan [32].



Gambar 2.4. Struktur dari Selulosa Bakteri. (a) Model skematik dari mikrofibril selulosa dan *ribbon*, (b) Struktur jaringan dari selulosa bakteri dalam larutan air [32].

2.1.5 Resin

Resin adalah suatu material yang berbentuk cairan pada suhu ruang, atau dapat pula berupa material padatan yang dapat meleleh pada suhu di atas 200°C. Pada dasarnya resin adalah matriks, sehingga memiliki fungsi yang sama dengan matriks. Resin dapat dibagi menjadi dua bagian besar [22-23], yaitu :

1. Resin Termoplastik

Resin termoplastik adalah resin yang melunak jika dipanaskan dan akan mengeras jika didinginkan, atau dapat dikatakan bahwa proses pengerasannya bersifat *reversible*. Resin termoplastik memberikan sifat-sifat yang lebih unggul daripada resin termoset, karena memiliki kekuatan lentur yang lebih baik, ketahanan terhadap *cracking* yang lebih tinggi, dan lebih mudah dibentuk tanpa katalis. Namun resin tipe ini sulit dikombinasikan dengan *reinforcement* karena viskositas dan kekuatannya yang tinggi. Beberapa contoh resin termoplastik antara lain : *polyvinylchloride* (PVC), *polyethylene*, *polypropylene* dan lain-lain .

2. Resin Termoset

Resin termoset adalah resin yang akan mengeras jika dipanaskan, namun jika dipanaskan lebih lanjut tidak akan melunak, atau dengan kata lain proses pengerasannya *irreversible*. Beberapa contoh resin termoset antara lain resin *phenolic*, polimer melamin, resin epoksi, *polyester*, silikon dan *polyamide*.

a. Resin Epoksi

Resin epoksi termasuk ke dalam golongan *thermosetting*, sehingga dalam pencetakan perlu diperhatikan hal sebagai berikut:

1. Mempunyai penyusutan yang kecil pada pengawetan.
2. Dapat diukur dalam temperatur kamar dalam waktu yang optimal.
3. Memiliki viskositas yang rendah disesuaikan dengan material penyangga.
4. Memiliki kelengketan yang baik dengan material penyangga.

Resin epoksi mengandung struktur epoksi atau *oxirene*. Resin ini berbentuk cairan kental atau hampir padat, yang digunakan untuk material ketika hendak dikeraskan. Resin epoksi jika direaksikan dengan *hardener* yang akan membentuk polimer *crosslink*. *Hardener* untuk sistem *curing* pada temperatur ruang dengan resin epoksi pada umumnya adalah senyawa poliamid yang terdiri dari dua atau lebih grup amina. *Curing time* sistem epoksi bergantung pada kereaktifan atom hidrogen dalam senyawa amina.

Reaksi *curing* pada sistem resin epoksi secara eksotermis, berarti dilepaskan sejumlah kalor pada proses *curing* berlangsung. Laju kecepatan proses *curing* bergantung pada temperatur ruang. Untuk kenaikan temperatur setiap 10°C, maka laju kecepatan *curing* akan menjadi dua kali lebih cepat, sedangkan untuk penurunan temperaturnya dengan besar yang sama, maka laju kecepatan *curing* akan turun menjadi setengah dari laju kecepatan *curing* sebelumnya. Epoksi memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dari pada *polyester* pada keadaan basah, namun tidak tahan terhadap asam. Epoksi memiliki sifat mekanik, listrik, kestabilan dimensi dan penahan panas yang baik [33].

b. Resin Polyester

Resin *polyester* mempunyai harga yang murah, mudah digunakan dan sifat versalitasnya. Selain itu *polyester* mempunyai daya tahan terhadap impak, tahan terhadap segala cuaca, transparan dan efek permukaan yang baik. Kerugian dari penggunaan resin *polyester* adalah memiliki daya rekat yang kurang baik dan sifat inhibisi dari udara dan filler.

Jenis *hardener* pada sistem *curing* untuk resin *polyester* kebanyakan adalah peroksida seperti benzoil peroksida atau peroksida metil etil keton yang lebih

dikenal dengan nama MEKPO. Sedangkan filler yang banyak digunakan adalah kalsium karbonat karena harganya yang murah dan kemampuannya yang tinggi dalam kekuatan terhadap tekanan [24].

c. Resin Vinyl Ester

Resin ini dihasilkan dari *methacrylic* atau *acrylic acid* dengan *bisphenol diepoxide* dengan katalis *benzyl dimethylamine* dan *triphenyl phosphine* menghasilkan *bisphenol A epoxy dimethacrylates (vinyl ester)*. Produk *vinyl ester* mempunyai *flexural properties* dan performa kimia yang tinggi [34].

Perbandingan beberapa sifat resin termoset adalah seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.2. berikut ini:

Tabel 2.2. Perbandingan Sifat Termoset Resin [34]

Jenis Polimer	Termoset		
Nama Polimer	<i>Epoxy</i>	<i>Polyester</i>	<i>Vinyl Ester</i>
<i>Spesific gravity</i>	1,11 - 1,40	1,04 - 1,46	1,16 - 1,35
<i>Tensile Strength, Mpa</i>	27,58 - 89,63	4,14 - 89,63	72,39 - 81,01
<i>Tensile Modulus, (10³ Mpa)</i>	2,413	2,068 - 3,447	2,413 - 4,137
<i>Elongation, %</i>	3 - 6	1 - 5	3,5 - 5,5
<i>Deflection Temperature, °C</i>	97 - 532	122 - 382	132 - 152
<i>Flexural Strength, MPa</i>	89,63 - 1444,79	58,61 - 158,58	117,21 - 124,11

d. Beberapa jenis resin yang digunakan sebagai *Coating*:

1). *Epoxy Ester*

Epoxy Ester adalah campuran dari resin epoksi dengan asam lemak melalui esterifikasi. Jenis resin ini mempunyai fleksibilitas yang baik, tahan panas (tidak menguning) dan mengkilap. Temperatur pemanasan berkisar antara 140°C – 160°C karena pengeringan *epoxy ester* adalah sebagian karena oksidasi dan sebagian polimerisasi.

2). *Alkyd*

Alkyd adalah campuran dari *phtalic acid* dan asam lemak. Jenis resin ini adalah yang paling tua dan paling murah tetapi mudah menguning apabila

dioven dan fleksibilitas kurang. Temperatur pemanasan berkisar antara 140°C–150°C.

3). *Acrylic*

Acrylic adalah jenis resin yang baru dan dipakai untuk keperluan yang khusus karena tahan panas (tidak menguning), keras, fleksibilitas tinggi, tahan sterilisasi dan kilap yang tinggi, mengering karena panas polimerisasi. Temperatur pengeringan berkisar antara 180 °C – 200 °C.

4). *Vinyl*

Vinyl termasuk dalam keluarga plastik, karenanya sangat fleksibel, tidak mempengaruhi rasa maupun bau. Karena daya rekat yang tinggi terutama aluminium, *vinyl* banyak dipakai untuk *caps* dan *closures*, *easy open end* untuk bagian luar dan dalam.

5). *Epoxy phenolic*

Epoxy phenolic adalah kombinasi dari *epoxy resin* dan *phenolic resin*. Pada umumnya dipakai untuk *inside lacquer* karena fleksibilitas yang tinggi, tahan kimia dan sterilisasi. Banyak dipakai untuk bagian dalam kaleng makanan, cat tembok, obat hama, aerosol dan sebagainya. Biasanya *epoxy phenolic* mengandung bahan pelicin supaya tidak tergores sewaktu di tempa. Penambahan aluminium *pigment* berguna untuk menahan bercak-bercak karena adanya kandungan belerang (sulfur) pada ikan laut, kepiting, kerang dan sebagainya. *Epoxy phenolic* mengering karena terjadinya proses polimerisasi warna dan terlihat dalam kondisi kering.

6). *Epoxy amino*

Epoxy amino adalah campuran antara *epoxy resin* dan *amino resin*. Jenis ini ada yang bening (*clear*) atau berwarna (*yellow*) dan dapat dipakai untuk *varnish sizing* atau *inside lacquer* karena tahan *pasteurisasi*, tidak menguning dan tahan bahan kimia. Sangat baik untuk bagian dalam kaleng minuman karena tidak mempengaruhi rasa maupun bau, baik untuk makanan kering maupun untuk cat tembok. Temperatur pengeringan berkisar antara 180°C – 200°C.

2.2. NANOPARTIKEL

Nanopartikel adalah partikel-partikel kecil dalam bentuk padatan dari suatu senyawa dengan ukuran sekitar 20 – 100 nm [33], misalnya nanopartikel SiO_2 , Al_2O_3 , clay (*Ca Montmorillonite*) dan lain sebagainya.

2.2.1 Sifat-sifat Nanopartikel

Nanopartikel mempunyai ukuran diantara ukuran molekuler dan keadaan struktur *bulk* padatan, memberikan sifat-sifat yang unik dan berbeda bila dibandingkan dengan material yang berukuran lebih besar. Beberapa contoh dari sifat-sifat nanopartikel adalah titik lebur yang rendah, tekanan transisi fasa padat-padat yang lebih tinggi, koefisien difusi yang tinggi dan perubahan sifat termofisik pada partikel. Nanopartikel sangat reaktif dan sangat cepat bergabung dengan partikel lain yang ada disekitarnya sebagai contoh bergabung dengan nanopartikel lain, mudah beraglomerasi dan setelah itu tidak dapat digunakan lagi sebagai nanopartikel.

a. Silika

Diperkirakan kandungan silika pada lapisan terluar kulit bumi tidak kurang dari 59%, sebagian besar diantaranya dalam bentuk pepaduan dengan berbagai oksida basa yang dikenal sebagai silikat. Kristal silikat terdiri dari rangkaian sel satuan tetrahedral yang dibangun oleh satu atom Si dan empat atom O, biasanya dalam bentuk elektrovalen. Karena tetrahedral tersebut dapat dirangkai dengan berbagai cara, maka terjadi bentuk kristal yang berbeda. Berdasarkan bentuk kristalnya silika dapat dibedakan dalam 3 jenis utama, yaitu: kuarsa, kristobalit dan tridimit [21].

Pada kristal kuarsa, ikatan atom Si-O-Si dari tetrahedral yang berdekatan dihubungkan dalam arah melingkar dan membentuk spiral, sehingga struktur kuarsa terdiri dari rantai-rantai spiral tersebut.

Struktur kristobalit sama dengan struktur tridimit. Rangkaian tetrahedral membentuk cincin-cincin datar, setiap cincin terdiri dari 6 atom Si dan 6 atom O, tetapi karena bidang cincin sedikit terdistorsi, maka tidak semua atom Si terletak sebidang. Struktur kristobalit dan tridimit merupakan susunan dari rantai-rantai

cincin tersebut. Perbedaannya adalah distorsi bidang cincin pada kristobalit lebih besar dibandingkan distorsi bidang cincin tridimit.

Tabel 2.3. Beberapa Sifat Fisik dan Mekanik SiO₂ [21]

Sifat	Unit	Quartz	Fused Silica
Kerapatan	g/cm ³	2,65	2,2
Konduktivitas Termal	Wm ⁻¹ .K	1,3	1,4
Koefisien Ekspansi Termal	10 ⁻⁶ .K ⁻¹	12,3	0,4
Daya Rentang	Mpa	55	110
Daya Tekan	Mpa	2070	690 - 1380
Rasio Poisson		0,17	0,165
Fracture Toughness	Mpa	-	0,79
Titik Lebur	°C	1830	1830
Modulus Elastisitas	GPa	70	73
Daya Tahan Getaran Termal		Excellent	Excellent
Permitivitas	ε'	3,8 - 5,4	3,8
Loss Factor	ε''	0,0015	
Kuat Medan Listrik	kV/mm	15,0 - 25,0	15,0 - 40,0
Resistivitas	Ωm	10 ¹² - 10 ¹⁶	> 10 ¹⁸

b. Alumina

Aluminium oksida adalah sebuah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen, dengan rumus kimia Al₂O₃. Nama mineralnya adalah alumina dan dalam bidang pertambangan, keramik dan teknik material, senyawa ini juga disebut dengan nama alumina.

- **Sifat-sifat Alumina**

Aluminium oksida adalah insulator (penghambat) panas dan listrik yang baik. Umumnya Al₂O₃ terdapat dalam bentuk kristalin yang disebut *corundum* atau alpha-aluminium oksida. Al₂O₃ dipakai sebagai bahan abrasif dan sebagai komponen dalam alat pemotong, karena sifat kekerasannya.

Aluminium oksida berperan penting dalam ketahanan logam aluminium terhadap perkaratan dengan udara. Logam aluminium sebenarnya amat mudah bereaksi dengan oksigen di udara. Aluminium bereaksi dengan oksigen membentuk aluminium oksida, yang berupa lapisan tipis yang dengan cepat menutupi permukaan aluminium. Lapisan ini melindungi logam aluminium dari

oksigen lebih lanjut. Ketebalan lapisan ini dapat ditingkatkan melalui proses anodisasi. Beberapa *alloy* (paduan logam), seperti perunggu aluminium, memanfaatkan sifat ini dengan menambahkan aluminium pada *alloy* untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi.

Al_2O_3 yang dihasilkan melalui anodisasi bersifat amorf, namun beberapa proses oksidasi seperti plasma *electrolytic oxydation* menghasilkan sebagian besar Al_2O_3 dalam bentuk kristalin, yang meningkatkan kekerasannya. Alumina (Al_2O_3) dapat juga dibuat dengan pemanasan alumina hidrat, perubahan struktur alumina dapat dilakukan dengan meningkatkan temperatur, tetapi semua struktur akan mengalami perubahan *irreversible* ke α -alumina dengan struktur yang stabil pada temperatur di atas 1200°C , α -alumina biasa digunakan untuk keperluan struktural dan elektrik [35]. Sifat fisik dan mekanik dari alumina dapat dilihat pada Tabel 2.4. berikut ini:

Tabel 2.4. Sifat Fisik dan Mekanik Alumina [36]

Properties	Unit	Grade Alumina						
		86%	94%	97,5%	99,5%	99,9%	99% recry*	Sapphire
Density	gr/cm ³	3,5	3,7	3,78	3,89	3,9	3,9	3,985
Dielectric Constant		8,5	9,2	9,5		9-10,1	9-10,1	7,5-10,5
Dielectric Strength	kVmm ⁻¹	28		30-43		10-35	10-35	17
Volume Resistivity	Ohm.cm	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁶
Thermal Conductivity	Wm ⁻¹ .K ⁻¹	15	20	24	26	28-35	28-35	41,9
Thermal Expansion Coeff.	10 ⁻⁶ .K ⁻¹	7	7,6	8,1	8,3	8	8	5,8
Specific Heat	JK ⁻¹ .kg ⁻¹	920	900		850			753
Compressive Strength	Mpa	1800	2000	1750-2500		2200-2600	2200-2600	2100
Modulus of Rupture	Mpa	250	330		262	320-400		260
Hardness	Vickers kgf.mm ⁻²			1500-1600		1500-1650	1500-1650	2500-3000

*recrystallised

c. Clay (*Montmorillonite*)

Clay (tanah liat), bila ditinjau dalam bidang geologi berarti bahan alam yang berasal dari dalam tanah yang sebagian besar komposisinya adalah mineral yang berbentuk kristal dan dikenal sebagai bagian dari mineral silika. Salah satu contoh clay yang paling umum digunakan adalah *montmorillonite* (MMT). MMT merupakan mineral aluminosilikat (Al-silikat) yang banyak digunakan pada berbagai industri contohnya adalah industri katalis dan industri pengeboran minyak bumi. Pada industri pengeboran (*mining*), MMT digunakan sebagai

lumpur pendingin, agar mata bor yang digunakan saat proses pengeboran tidak cepat aus. Selain itu, MMT juga dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan berbagai produk industri, contohnya adalah penyangga katalis untuk reaksi organik dan juga bahan baku penyusun komposit [36].

Sifat dari clay terutama MMT yang sangat penting sehingga banyak digunakan dalam komposit adalah memiliki Kapasitas Tukar Kation (KTK) yang besar, permukaan bidang sentuh yang besar dan ukuran partikel yang kecil. Dengan KTK yang besar, maka pertukaran ion dalam galeri MMT mudah dilakukan. Kemudian dengan ukuran partikel yang kecil maka secara otomatis permukaan bidang sentuh yang dimiliki MMT besar, maka antar muka (*interface*) tempat berpegangnya matriks semakin kuat, sehingga secara umum komposit tersebut akan semakin kuat. Karena itulah, MMT dapat digunakan sebagai penguat komposit yang efektif.

Tabel 2.5. Sifat Fisik Clay jenis *Montmorillonite* [36]

Sifat	Unit	Nilai
Kelas		Silika
Subkelas		<i>Phyllosilicates</i>
Grup		<i>Montmorillonite/Smectite</i>
Warna		Abu-abu
Karakteristik		Hidrofilik
Permukaan Bidang Sentuh	m ² /g	700-800
KTK	meq/100 gram	80 - 100
<i>Specific Gravity</i>		2,3 - 3

2.3. PROSES PABRIKASI KOMPOSIT

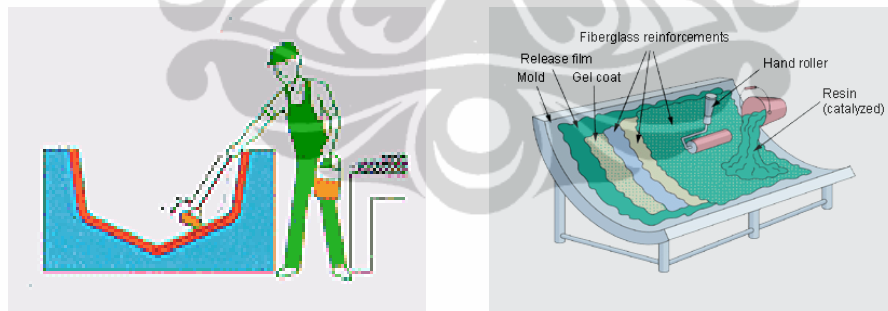
Material komposit dapat diproduksi dengan berbagai macam metode proses pabrikan, metode-metode pabrikan ini disesuaikan dengan jenis matriks penyusun komposit dan bentuk material komposit yang diinginkan sesuai aplikasi selanjutnya [37-38].

2.3.1 *Open Molding Process (Pencetakan Terbuka)*

1. *Handlay up Process.*

Proses ini dilakukan dalam kondisi dingin dan dengan memanfaatkan keterampilan tangan. Serat bahan komposit ditata sedemikian rupa mengikuti bentuk cetakan atau mandril, kemudian dituangkan resin sebagai pengikat antara satu lapisan serat dengan lapisan yang lain. Demikian seterusnya, sehingga sesuai dengan ukuran dan bentuk yang telah ditentukan. Ada dua cara aplikasi resin yaitu:

- *Manual Resin Application*, proses pengaplikasian antara resin dan fiber dilakukan secara manual dengan tangan.
- *Mechanical Resin Application*, proses pengaplikasian antara resin dan fiber menggunakan bantuan mesin dan berlangsung secara kontinyu.



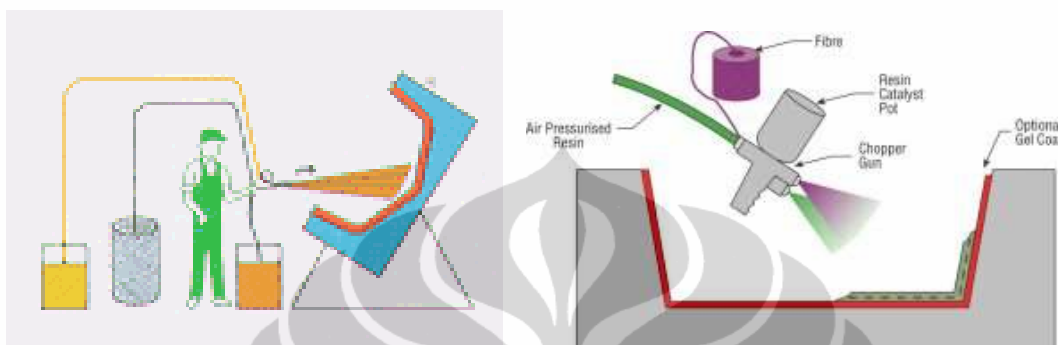
Gambar 2.5. Metode *Hand Lay Up* [39]

2. *Chopped Laminate Process.*

Proses ini menggunakan alat pemotong fiber yang biasanya serat panjang membentuk serat menjadi lebih pendek.

- *Atomized Spray-Up*, pada teknik pabrikasinya sistem pada metode ini tidak kontinyu, biasanya digunakan untuk membuat material komposit dengan ukuran yang lebih kecil.

- *Non Atomized Application*, untuk metode ini pada pengaplikasiannya menggunakan mesin potong fiber, pelaminasi resin dan tekanan dari *roller* yang berjalan kontinyu. Metode ini lebih menguntungkan bila digunakan untuk pabrikasi material komposit yang berdimensi besar mengingat prosesnya yang kontinyu.



Gambar 2.6. Metode *Spray Lay Up* [40]

3. *Filament Winding Process.*

Proses ini melalui metode yang memanfaatkan sistem gulungan benang pada sebuah sumbu putar. Serat komposit dibuat dalam bentuk benang digulung pada sebuah mandril yang dibentuk sesuai dengan bentuk rancangan benda teknik, misalnya berbentuk tabung, kemudian resin yang berfungsi sebagai matriks dituangkan bersamaan dengan proses penggulungan serat tersebut, sehingga keduanya merekat dan saling mengikat antara satu lapisan gulungan dengan gulungan berikutnya, sampai membentuk benda teknik yang direncanakan.

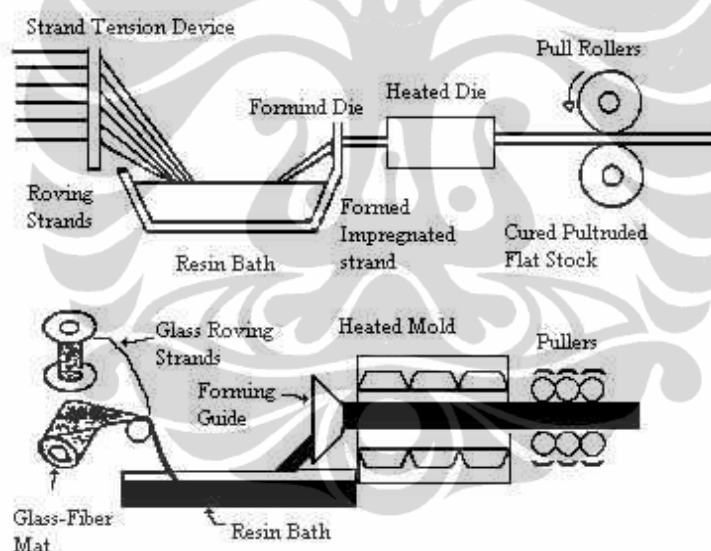
2.3.2 *Close Molding Process (Pencetakan Tertutup)*

1. *Compression molding*

Metode ini menggunakan cetakan yang ditekan pada tekanan tinggi sampai mencapai 1000 psi. Di awali dengan mengalirkan resin dan *reinforcement* dengan viskositas yang tinggi ke dalam cetakan dengan suhu 330 - 400°F, kemudian *mold* ditutup dan penekanan terhadap material komposit tersebut, sehingga terjadi perubahan kimia yang menyebabkan mengerasnya material komposit secara permanen mengikuti bentuk cetakan.

2. *Pultrusion*

Pada metode ini pembentukan material komposit yang menggabungkan antara resin dan fiber berlangsung secara kontinyu. Proses pultrusi digunakan pada pabrikasi komposit yang berprofil penampang lintang tetap, seperti pada berbagai macam *rods* dan *bar section*, *ladder side rails*, *tool handles* dan komponen elektrikal kabel. *Reinforcement* yang digunakan seperti *roving*, *mat* atau pabrik diletakkan pada tempat yang khusus dengan menggunakan *performing shapers* atau *guides* untuk membentuk karakteristiknya. Proses penguatan dilakukan melalui *resin bath* atau *wet out* yaitu tempat material diselubungi dengan cairan resin. Adanya panas akan mengaktifkan sistem *curing* sehingga akan mengubah fasa resin menjadi padat. Berikut ini gambar pabrikasi dengan metode kontinyu *pultrusion*:



Gambar 2.7. Metode *Pultrusion* [23,41]

3. *Resin Transfer Molding (RTM)*

Pada proses ini resin ditransfer atau diinjeksikan ke dalam suatu tempat yang berisi *fiberglass reinforcement*. Metode ini termasuk *closed mold process* dimana *reinforcement* diletakkan di antara dua permukaan cetakan yang terdiri dari dua bagian yang satu disebut bagian *female* dan yang lainnya disebut *male*. Pasangan cetakan tersebut lalu ditutup, diberi klem, lalu resin termoset berviskositas rendah diinjeksikan pada tekanan 50 - 100 psi ke dalam lubang

cetakan melalui *port* injeksi. Resin diinjeksikan sampai memenuhi seluruh rongga cetakan hingga meresap dan membasahi seluruh material *reinforcement*.

4. *Vacuum Bag Molding*

Metode ini merupakan pengembangan metode *close mold* yang bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik dengan cara meminimalisasi jumlah udara yang terperangkap dalam proses pembuatannya. Selain itu dengan berkurangnya tekanan di dalam *vacuum bag molding* maka tekanan udara atmosferik dari luar akan digunakan sebagai gaya untuk menghilangkan kelebihan resin yang ada dalam laminasi sehingga menghasilkan kandungan *fiber reinforcement* yang tinggi. Bentuk cetakan yang digunakan disesuaikan dengan bentuk produk yang ingin dibuat.

5. *Wet Lay-Up*

Metode ini *reinforcement* digabungkan dengan menggunakan tangan seperti metode *hand lay-up* untuk kemudian ditaruh ke dalam cetakan *vacuum bag* untuk mempercepat proses laminasi dan menghilangkan udara yang terperangkap yang dapat menimbulkan adanya *void* dalam produk komposit yang dicetak.

6. *Prepreg*

Metode ini merupakan metode *advance* dalam pembuatan komposit dengan adanya pemanasan atau cetakan yang diletakan pada *autoclave* setelah campuran komposit dimasukkan. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan gaya tekan dari luar. Teknik menggunakan *prepreg-vacuum bag-autoclave* banyak dimanfaatkan untuk pembuatan peralatan pesawat terbang dan perlengkapan militer.

7. *Vacuum Infusion Processing*,

Metode ini adalah variasi dari *vacuum bag molding* dimana resin yang dituang dalam ruang hampa masuk ke dalam cetakan dan membentuk laminasi. Pada metode ini tekanan dalam rongga cetakan lebih rendah dibandingkan tekanan atmosferik udara. Setelah cetakan dipenuhi resin kemudian dilapisi dengan *fiber reinforcement* dapat menggunakan tangan yang disebut dengan istilah *lay-up dry*, kemudian resin diinfusikan kembali ke dalam cetakan untuk menyempurnakan sistem laminasi komposit sehingga tidak terdapat ruang untuk

kelebihan resin. Rasio resin yang sangat tinggi terhadap *fiber glass* yang digunakan memungkinkan penggunaan metode *vacuum Infusion* yang menghasilkan sifat mekanik sistem laminasi yang sangat baik. *Vacuum Infusion Processing* dapat digunakan untuk pencetakan dengan struktur yang besar dan tidak dianjurkan untuk proses dengan volume yang rendah.

2.4. KARAKTERISASI

Berbagai metode karakterisasi material komposit pada saat ini telah banyak dikembangkan. Metode-metode ini diklasifikasikan dalam :

1. Metode fisik digunakan untuk mengetahui ketebalan, distribusi dan morfologi serat yang ada di permukaan.
2. Metode mekanik digunakan untuk mengetahui tingkat kekuatan dari material komposit tersebut.

Dengan mengetahui sifat fisik dan mekanik dari material komposit tersebut, maka akan dapat diketahui, paduan material komposit apa yang layak untuk dijadikan bahan dasar dalam pembuatan komposit produk baru misalnya *reinforcement body* kendaraan atau panel tahan peluru. Adapun karakterisasi material komposit yang akan dilakukan antara lain uji sifat fisik dengan menggunakan mikrometer skrup untuk mengetahui ketebalan hidrogel serat *nata de coco* dan *digital analitical balance* untuk mengukur densitas serat dan derajat *swelling* (penyerapan air), serta uji mekanik dengan menggunakan SEM, SEM-EDX, XRD, dan *Ultimate Tensile Strength* (UTS).

2.4.1 *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Electron Microscopy (EM) adalah salah satu teknik yang digunakan untuk karakterisasi material komposit. Dua teknik utama EM dibedakan menjadi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Transmission Electron Microscopy* (TEM). SEM merupakan metode yang tepat untuk mengkarakterisasi material komposit dengan batas maksimum resolusi mikroskop elektron 10 nm.

Metode mikroskopi dapat secara cepat menunjukkan ukuran nominal dan bentuk serat. Permukaan spesimen yang akan diuji, di-*scan* dengan pancaran berkas elektron dan pantulan dari elektron ditangkap, kemudian ditampilkan di

atas tabung sinar katoda. Bayangan yang tampak diatas *layer* menampilkan gambaran permukaan dari spesimen [42].

2.4.2 Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive (SEM-EDX)

Uji ini dilakukan untuk melihat morfologi permukaan material dan mengetahui persentase komposisi suatu unsur atau senyawa dari material yang dianalisa, selain itu uji ini digunakan untuk mengetahui apakah partikel-partikel filler yang dikomposit telah tersebar merata di bagian permukaan serat.

2.4.3 X-Ray Diffraction (XRD)

Sinar X adalah bentuk dalam radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi dan panjang gelombang pendek. Panjang gelombang tersebut hampir sama dengan jarak antar atom dalam padatan. Jika seberkas sinar X ditembakkan kepadatan, sebagian dari sinar tersebut akan disebarkan ke segala arah oleh elektron dari atom atau ion yang terletak pada jalur datangnya sinar. Susunan atom yang tertentu dari kristal mengakibatkan sebaran sinar tersebut akan melewati jalur yang berbeda. Akibatnya, gelombang sinar tersebut memiliki fasa yang berbeda sehingga dapat terjadi interferensi saling meniadakan atau interferensi saling memperkuat yang akan menimbulkan sinar difraksi.

Dari hasil XRD ini dapat dilakukan karakterisasi secara kualitatif dan kuantitatif. Secara kualitatif yaitu untuk mengetahui jenis kristal dengan cara membandingkan puncak-puncak difraktogram dengan data difraktogram standar. Dan secara kuantitatif untuk mengetahui persen kristalinitas dengan cara membandingkan puncak tertinggi difraktogram sampel terhadap difraktogram standar pada nilai d (jarak antar unit sel) yang sama [42].

2.4.4 Tensile Test

Tensile test digunakan untuk menguji kekuatan tarik dari material komposit yang telah dibuat. Dimensi material komposit atau spesimen yang diuji tergantung dari metode pengukuran *tensile* yang digunakan, contohnya untuk pengukuran *tensile strength* dengan metode ASTM-638 biasanya dimensi yang digunakan adalah tebal 0,5 mm, lebar 12,5 mm dan *gauge length* 50 mm.