

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Serat Rami

Rami adalah jenis serat tekstil yang tertua yang digunakan pada kehidupan sehari-hari. Rami sudah digunakan pada 5000-3000 tahun sebelum masehi di Mesir dan digunakan di Cina sejak berabad-abad yang lalu. Saat ini, produsen besar rami adalah Cina, Brasil, Filipina, India, Korea Selatan, dan Thailand. Serat rami banyak digunakan pada industri tekstil dan kertas. Hampir sama dengan serat kapas, kandungan serat rami ini adalah selulosa 72-97%. Serat rami mengandung selulosa dan hemiselulosa masing-masing sekitar 75% dan 16%. Oleh sebab itu serat rami diharapkan menjadi alternatif dari penghasil serat selulosa yang lain untuk menjadi bahan baku. Seiring berkembangnya pengetahuan dan teknologi pemanfaatan serat rami, salah satunya adalah sebagai serat penguat dalam industri komposit.

2.2. Fibrilasi Serat Alam Skala Nanometer

Serat alam skala nanometer merujuk pada serat alam yang telah diproses hingga mencapai ukuran nanometer. Ukuran nanometer umumnya memiliki batasan yang diterima secara luas dalam rentang 1–100 nm. Batasan ukuran nanometer pada 1 hingga 100 nm diatur berdasarkan perbedaan karakteristik dan sifat material dalam skala tersebut. Material yang memenuhi rentang ini dianggap sebagai nanopartikel atau material nanometer, dan sifat-sifat uniknya membuatnya sangat berguna dalam aplikasi komposit. Dalam konteks fibrilasi serat alam, ukuran nanometer sangat penting karena dapat mempengaruhi sifat mekanik dan fungsional dari serat tersebut. Dan dalam pembuatan bahan komposit, mengubah

serat alam menjadi skala nanometer memiliki beberapa keuntungan utama terkait kekuatan, stabilitas, dan sifat mekanik yang dihasilkan, antara lain peningkatan luas permukaan, distribusi yang lebih merata, peningkatan sifat mekanik, dan peningkatan ketahanan terhadap air dan degradasi.

2.2.1. Peningkatan Luas Permukaan

Ketika serat alam diubah ke skala nanometer, luas permukaannya meningkat secara signifikan. Luas permukaan yang lebih besar memungkinkan serat berinteraksi lebih baik dengan matriks komposit (misalnya resin), menghasilkan ikatan yang lebih kuat antara serat dan matriks. Hal ini berkontribusi pada peningkatan kekuatan tarik, kekakuan, dan ketangguhan komposit.

2.2.2. Distribusi yang Lebih Merata

Serat dengan ukuran nanometer dapat terdistribusi lebih merata dalam matriks komposit. Distribusi serat yang lebih baik ini mencegah terjadinya penggumpalan atau kelemahan struktural yang dapat mengurangi kekuatan keseluruhan komposit. Hasilnya, serat yang dihasilkan lebih homogen dengan sifat mekanik yang konsisten.

2.2.3. Peningkatan Sifat Mekanik

Serat berukuran nanometer cenderung memiliki sifat mekanik yang lebih baik, seperti kekuatan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan serat dalam ukuran mikro. Ini berarti serat nano dapat memberikan kontribusi yang lebih besar pada kekuatan dan kekakuan komposit secara keseluruhan.

2.2.4. Peningkatan Ketahanan terhadap Air dan Regradasi

Serat alam berukuran besar biasanya menyerap air lebih banyak, yang dapat menyebabkan degradasi pada bahan komposit. Namun, dengan mem-fibrilasi serat ke skala nano, serat alam menjadi lebih tahan terhadap penetrasi air dan degradasi. Hal ini meningkatkan ketahanan komposit terhadap lingkungan yang lembab, sehingga memperpanjang umur pemakaian bahan komposit. Dengan mengubah ukuran serat alam menjadi ukuran nanometer, komposit yang dihasilkan tidak hanya lebih kuat dan stabil tetapi juga tahan lama, sehingga cocok untuk aplikasi yang membutuhkan performa tinggi.

2.3. Aplikasi Perlakuan Fisik Awal untuk Proses Fibrilasi

Sebelum memasuki tahap fibrilasi menggunakan proses putaran tinggi, serat rami terlebih dahulu menjalani perlakuan fisik berupa penyisiran. Proses setelah penyisiran yaitu memotong serat berukuran 10 cm. Perlakuan ini dilakukan untuk memisahkan serat dari kotoran kasar yang masih menempel, melonggarkan ikatan antar serat, serta mengurai bundel serat menjadi serat-serat individual yang lebih halus.

Penyisiran serat merupakan tahap penting karena mampu meningkatkan kebersihan serat, memperbesar luas permukaan, dan mengurangi kekakuan serat sehingga lebih mudah terfibrilasi pada tahap mekanis berikutnya. Oleh sebab itu, penyisiran berfungsi sebagai tahap persiapan untuk memperoleh distribusi serat yang lebih homogen serta mendukung proses fibrilasi hingga mencapai skala nanometer.

2.4. Aplikasi Perlakuan Kimia untuk Proses Fibrilasi

Perlakuan kimia awal (pra-perlakuan) merupakan tahap krusial untuk keberhasilan proses fibrilasi selulosa. Tujuan utamanya adalah untuk delignifikasi, yaitu memecah dan melarutkan komponen non-selulosa (terutama lignin dan hemiselulosa) yang bertindak sebagai matriks pengikat antar mikrofibril selulosa. Dengan hilangnya matriks ini, struktur serat menjadi lebih longgar, sehingga proses fibrilasi mekanis menjadi lebih efisien.

Metode pra-perlakuan kimia yang paling umum adalah alkalisasi menggunakan Natrium Hidroksida (NaOH). Perlakuan ini terbukti efektif membersihkan permukaan serat, meningkatkan kandungan selulosa, dan mengurangi kadar hemiselulosa.

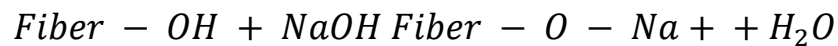
2.5. Perlakuan Alkali

Perlakuan alkali (NaOH) dari serat alami adalah salah satu perlakuan kimia yang telah dikenal untuk meningkatkan kandungan selulosa melalui penghilangan hemiselulosa dan lignin. Perlakuan alkali adalah metode umum untuk membersihkan dan memodifikasi permukaan serat untuk menurunkan tegangan permukaan dan meningkatkan adhesi antarmuka antara serat alami dan matriks polimer. Mengingat begitu pentingnya perlakuan permukaan sebagai perlakuan awal dalam proses pembuatan komposit berpenguat serat alam maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menjelaskan pengaruh perlakuan serat alkali (NaOH) terhadap kekuatan tarik dan morfologi serat aren.

Untuk mendapatkan komposit dengan karakteristik yang baik dari bahan penguat serat alam, hal yang perlu diperhatikan adalah memperbaiki ikatan antarmuka serat alam dengan resin. Sifat alami serat adalah *Hydrophilic*, yaitu suka

terhadap air berbeda dari polimer yang *hydrophobic* yaitu menolak air. Adanya perbedaan sifat tersebut dapat menurunkan kemampuan resin untuk mengikat serat. Pengaruh perlakuan alkali terhadap sifat permukaan serat alam selulosa telah diteliti dimana kandungan optimum air mampu direduksi sehingga sifat alami *hydrophilic* serat dapat memberikan ikatan *interfacial* dengan matrik secara optimal.

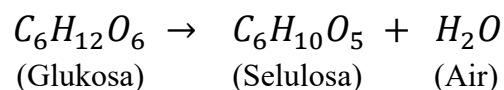
Reaksi dari perlakuan alkali terhadap serat adalah:



2.6. Kandungan Kimia Serat Alam

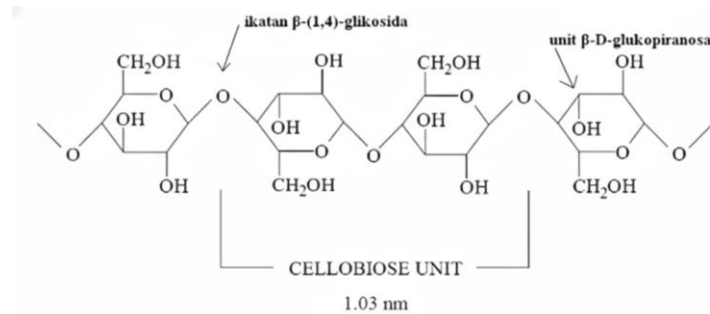
2.6.2. Selulosa

Selulosa merupakan suatu senyawa karbohidrat yang dapat ditemukan secara melimpah di alam ini. Selulosa terdapat di dalam dinding sel tumbuhan. Selulosa tersusun atas unit-unit glukosa yang berasal dari proses fotosintesis tumbuhan. Kemudian dalam suatu proses yang kompleks, glukosa mengalami modifikasi secara kimia dengan dipindahkannya satu molekul air dari setiap unit sehingga terbentuklah anhidrid glukosa



2.6.3. Struktur Selulosa

Selulosa adalah suatu polimer yang terdiri dari unit-unit anhidrid glukosa yang saling bersambungan ujung-ujungnya secara bersama-sama. Dengan eliminasi bersama air membentuk rantai panjang yang dikenal dengan selulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$ dengan n (derajat polimerisasi) sekitar 500-10000. Tinjauan bidang glukosa pada selulosa seperti ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur Selulosa

Molekul selulosa memiliki bentuk yang seluruhnya linier dan kecenderungan membentuk ikatan-ikatan hidrogen intra- dan *intermolekul*. Sehingga susunan senyawa selulosa membentuk suatu kumpulan dalam bentuk mikrofibril, daerah yang teratur (*kristalin*) diselingi dengan daerah yang tidak teratur (*amorf*). Mikrofibril ini membentuk fibril-fibril dan akhirnya terbentuklah serat-serat selulosa. Selulosa memiliki struktur yang berserat dan ikatan hidrogen yang kuat mengakibatkan selulosa mempunyai kekuatan tarik yang tinggi dan tidak larut dalam kebanyakan pelarut. Meskipun selulosa merupakan karbohidrat, selulosa bukanlah sumber makanan bagi manusia atau hewan.

2.6.4. Sumber Selulosa

Sumber selulosa terutama berasal dari serat kayu, baik dari jenis kayu *hardwood* maupun kayu *softwood*. Proses memisahkan serat dari komponen selain serat, disebut dengan *pulping*. Proses *pulping* dapat dilakukan dengan cara mekanis, menggunakan bahan kimia, menggunakan panas atau kombinasinya. Produk yang dihasilkan setelah lignin dipisahkan dari serat kayu disebut *pulp* (Shackford, L. D, 2003).

Selulosa $C_6H_{10}O_5$ adalah homopolymer yang terdiri dari unit β -D'Glukopiranososa yang dihubungkan oleh ikatan (1,4)-glikosida, di mana n merupakan derajat polimerisasi selulosa (DP), selulosa mengandung karbon

(44,44%) *hydrogen* (6,17%), dan oksigen (49,39%). Secara umum, kandungan selulosa berkisar 40-50% dari berat kering berlignoselulosa (Chen, 2014).

Tiga komponen utama pada dinding sel tumbuhan yaitu terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Struktur mikrofibril selulosa Menyusun inti dinding sel dan berfungsi memperkuat dinding sel. Hemiselulosa berada di sekeliling selulosa, berperan meningkatkan kekuatan dan sebagai penghubung antara selulosa dan lignin. Dengan struktur polimer bercabang, hemiselulosa dapat mencegah terjadinya aglomerasi *microfibril* selulosa. Sedangkan lignin merupakan matriks tempat melekatnya selulosa dan hemiselulosa.

2.6.5. Lignin

Lignin adalah suatu polimer yang kompleks dengan berat molekul tinggi, tersusun atas unit-unit fenilpropana. Meskipun tersusun atas karbon, hidrogen dan oksigen, lignin bukanlah suatu karbohidrat dan bahkan tidak ada hubungannya dengan golongan senyawa tersebut. Sebaliknya, lignin pada dasarnya adalah suatu fenol. Lignin sangat stabil dan sukar dipisahkan dan mempunyai bentuk yang bermacam-macam karenanya susunan lignin dalam tumbuhan tidak menentu.

Lignin terdapat di antara sel-sel dan di dalam dinding sel. Di antara sel-sel, lignin berfungsi sebagai perekat untuk mengikat sel-sel bersama sama. Dalam dinding sel, lignin sangat erat hubungannya dengan selulosa dan berfungsi untuk memberi ketegaran pada sel. Lignin juga berpengaruh dalam memperkecil perubahan dimensi sehubungan dengan perubahan kandungan air kayu dan juga dikatakan bahwa lignin mempertinggi sifat racun kayu tahan terhadap serangan cendawan dan serangga. Keterangan yang diberikan oleh lignin merupakan faktor penentu sifat-sifat kayu. Lignin merupakan bahan yang tidak berwarna. Apabila

lignin terkena udara, terutama dengan sinar matahari, maka (bersama dengan karbohidrat karbohidrat tertentu) lama kelamaan lignin cenderung menjadi kuning. Massa yang besar dan kekuatannya rendah karena serat-serat lignin kaku memiliki ikatan antar serat yang lemah.

Lignin bersifat termoplastik-artinya lignin akan menjadi lunak dan dapat dibentuk pada suhu yang lebih tinggi dan keras kembali apabila menjadi dingin. Sifat termoplastik lignin inilah yang menjadi pedoman pembuatan papan kertas (*hardboard*) dan lain-lain pada produk kayu yang dimampatkan.

2.7. Fibrilasi Selulosa

Microfibrillated cellulose (mikrofibril selulosa) merupakan selulosa yang mengalami perlakuan pemisahan serat menjadi mikrofibril-mikrofibril dengan kisaran diameter 10-100 nm dan panjang beberapa mikrometer. Mikrofibril selulosa mulai dikembangkan melalui perlakuan homogenisasi. Hingga saat ini mikrofibril selulosa merupakan bahan yang diminati karena memiliki karakteristik, antara lain memiliki luas permukaan spesifik, kekuatan dan kekakuan yang tinggi, memiliki berat yang rendah, bersifat *biodegradable* dan *renewable*. Karakteristik tersebut membuat mikrofibril selulosa memiliki sifat mekanik yang baik, sehingga berpotensi digunakan pada industri komposit, otomotif, pulp dan kertas, elektronik, cat dan *coating*, dan lain-lain. Kelebihannya sebagai penguat pada komposit selain mengurangi penggunaan komponen berbasis minyak bumi juga mengurangi abrasi pada komponen seperti baja dan keramik. Mikrofibril selulosa dapat dihasilkan melalui beberapa metode, terutama metode mekanik seperti *homogenization*, *microfluidization*, *micro grinding*, *refining*, *ultrasonication*, *cryo crushing* dan *electrospinning*.

Pengaplikasian produk komposit polimer-serat alam dapat diterapkan dalam berbagai, diantaranya bidang konstruksi, *furniture*, peralatan olahraga, peralatan elektronik, peralatan komunikasi, pesawat dan otomotif. Untuk tujuan komersialisasi produk komposit polimer serat alam, faktor yang perlu dipertimbangkan di antaranya adalah ketersediaan bahan baku dan permintaan pasar.

2.8. Aplikasi Perlakuan Mekanik untuk Proses Fibrilasi

Perlakuan mekanik pada serat rami dalam penelitian ini dilakukan melalui dua tahap utama. Tahap pertama adalah *high-speed stirring*, di mana serat dicampurkan dalam medium cair dan dikenai gaya geser (*shear force*) yang tinggi akibat putaran cepat pengaduk. Proses ini bertujuan untuk memisahkan serat menjadi ukuran lebih halus, membuka ikatan antar-mikrofibril, serta meningkatkan kontak dengan medium sehingga serat lebih siap untuk tahap perlakuan berikutnya. Uetani dan Yano (2011) melaporkan bahwa metode *high-speed Stirring* mampu menghasilkan *nanofiber* selulosa dengan diameter rata-rata 15–20 nm tanpa perlakuan kimia tambahan, membuktikan efektivitas gaya geser dalam memecah struktur mikrofibril selulosa.

Tahap kedua sekaligus metode utama adalah *steam explosion*, yaitu perlakuan menggunakan uap bertekanan tinggi yang kemudian valve dibuka secara cepat. Mekanisme ledakan uap ini memberikan efek kejutan termomekanik yang kuat pada serat, menyebabkan terjadinya defibrilasi hingga skala nanometer, pelepasan hemiselulosa dan sebagian lignin, serta pembentukan morfologi serat yang lebih halus dan berpori. Metode ini efektif dalam memodifikasi struktur serat alam, di mana peningkatan tekanan uap berbanding lurus dengan derajat defibrilasi,

penurunan kandungan lignin, serta peningkatan kristalinitas selulosa (Sun et al., 2014).

Kombinasi kedua metode ini dipilih karena *high-speed stirring* mampu mempersiapkan serat dengan memecah struktur awal, sementara *steam explosion* berfungsi sebagai perlakuan utama yang efektif untuk menghasilkan fibrilasi intensif. Penerapan kedua teknik ini diharapkan dapat meningkatkan dispersi serat dalam matriks serta berkontribusi pada perbaikan sifat mekanik material berbasis *nanofiber* selulosa.

2.9. Perlakuan Fisik untuk Fibrilasi Serat Alam

Perlakuan fisik mempunyai tujuan utama yaitu untuk mengoptimalkan sifat selulosa dan untuk meningkatkan gaya adhesi antara serat dengan matriks polimer dikarenakan serat alam memiliki kekurangan apabila digunakan sebagai penguat dalam komposit.

Keuntungan utama dari penggunaan selulosa sebagai bahan penguat pada matriks polimer yaitu densitas rendah, tidak mudah terkikis, sifat kekakuan tinggi dikarenakan kemampuan pengisian tinggi, mudah didaur ulang, bahan mudah didapat karena banyak tersedia di alam, dan murah. Akan tetapi serat rami serta serat alam lainnya memiliki kekurangan apabila digunakan sebagai penguat dalam komposit. Serat alam bersifat hidrofilik sehingga menyebabkan gaya adhesi antara serat dan matriks bernilai rendah.

2.10. Perlakuan Kimia untuk Fibrilasi Serat Alam

Serat Perlakuan kimia bertujuan untuk meningkatkan biodegradasi selulosa dengan menghilangkan lignin dan hemiselulosa. Metode ini bertujuan menurunkan tingkat polimerisasi dan kristalinitas komponen selulosa. Perlakuan kimia ini

awalnya dikembangkan di industri kertas untuk delignifikasi bahan selulosa agar dihasilkan produk kertas berkualitas (Menon V dan Rao , 2012). Perlakuan berbagai biomassa lignoselulosa seperti jerami gandum, rumput, kayu keras, dan kayu lunak menggunakan NaOH juga mampu mengurangi kadar lignin menjadi kurang dari 26% (Zhao et al., 2008).

Perlakuan kimia perlu dilakukan terhadap serat alam untuk meningkatkan kompatibilitas serat alam sebagai penguat dalam komposit. Modifikasi kimia secara langsung mempengaruhi struktur serat dan mengubah komposisi kimia serat, mengurangi kecenderungan penyerapan kelembaban oleh serat, sehingga memberikan ikatan yang lebih baik antara serat dengan matriks. Hal ini akan menghasilkan sifat mekanik dan termal komposit yang lebih baik.

2.11. Perlakuan Mekanik untuk Fibrilasi Serat Alam

Perlakuan mekanik merupakan salah satu pendekatan utama dalam menghasilkan fibrilasi serat alam menuju skala nanometer. Pada penelitian ini, dua metode yang digunakan adalah *high-speed stirring* dan *steam explosion*. Metode *high-speed stirring* memanfaatkan gaya geser (*shear force*) yang timbul dari putaran sangat cepat dalam medium cair. Gaya ini mampu memisahkan serat ke ukuran yang lebih halus, membuka ikatan antar-mikrofibril, serta memperluas kontak serat dengan medium. Sehingga struktur serat menjadi lebih siap untuk perlakuan lanjutan dan memiliki kecenderungan lebih baik dalam proses fibrilasi.

Metode *steam explosion* diterapkan sebagai perlakuan utama, di mana serat dikenai uap bertekanan tinggi yang kemudian dilepaskan secara tiba-tiba. Proses pelepasan tekanan secara mendadak menimbulkan efek kejutan termomekanik yang kuat, sehingga mampu menyebabkan defibrilasi intensif, pelepasan sebagian

hemiselulosa dan lignin, serta pembentukan serat dengan morfologi lebih halus dan berpori.

Kombinasi kedua metode ini dipilih karena saling melengkapi *high-speed stirring* berperan sebagai tahap awal untuk memecah struktur serat, sementara *steam explosion* memberikan perlakuan utama yang efektif dalam mendorong terbentuknya serat berukuran nanometer dengan kualitas morfologi yang lebih baik.

2.12. Scanning Electromagnetic Microscope (SEM)

Scanning electron microscope (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari sampel yang dianalisis. SEM memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada *optical microscope* (OM). Hal ini disebabkan panjang gelombang de Broglie yang memiliki elektron lebih pendek daripada gelombang OM. Karena semakin kecil panjang gelombang yang digunakan maka semakin tinggi resolusi mikroskop. SEM memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada OM. Resolusi yang mampu dihasilkan OM hanya 200 nm, sedangkan resolusi yang dapat dihasilkan SEM mencapai 0.1 – 0.2 nm.

2.13. Komposit

Komposit adalah perpaduan dari bahan yang dipilih berdasarkan kombinasi sifat fisik masing-masing material penyusun untuk menghasilkan material baru dengan sifat yang unik dibandingkan sifat material dasar sebelum dicampur dan terjadi ikatan permukaan antara masing-masing material penyusun. Komposit juga dapat dibagi menjadi tiga pengertian dasar beberapa definisi komposit adalah sebagai berikut:

- a) Tingkat dasar pada komposit adalah material yang terbentuk dari penggabungan dua atau lebih bahan berbeda untuk memperoleh sifat baru yang lebih baik. Contohnya adalah beton bertulang atau fiberglass, yang memiliki kekuatan dan fungsi lebih unggul dibandingkan material tunggal penyusunnya.
- b) *Mikrostruktur* pada kristal, *phase* dan senyawa, bila material disusun dari dua phase atau senyawa atau lebih disebut komposit (contoh paduan Fe dan C)
- c) Makrostruktur merupakan material yang disusun dari campuran dua atau lebih penyusun makro yang berbeda dalam bentuk dan / atau komposisi dan tidak larut satu dengan yang lain disebut material komposit.

Material komposit memiliki karakteristik unik yang berasal dari kombinasi sifat masing-masing penyusunnya, sehingga memungkinkan penggunaannya dalam berbagai bidang industri dan teknologi untuk meningkatkan performa serta efisiensi material.

2.14. Karakteristik Komposit

Komposit merupakan paduan dari dua atau lebih bahan yang mempunyai sifat yang berbeda, maka hasilnya akan diperoleh sifat serta karakteristik yang berbeda pula. Menurut Urquhart (1991) 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 struktur 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.

Karakteristik komposit sangat bergantung pada material penyusun, struktur, serta interaksi antar komponennya, sehingga pemilihan dan penyusunan yang tepat dapat menghasilkan material dengan sifat yang dioptimalkan untuk berbagai aplikasi.

2.15. Klasifikasi Komposit

Secara umum pengelompokan komposit dapat dibedakan menjadi dua, pengelompokan tersebut yaitu berdasarkan matrik dan penguatnya. Berdasarkan matriksnya komposit dapat digolongkan menjadi tiga yaitu:

1. Komposit matrik logam (KML), yaitu logam sebagai matrik.
2. Komposit matrik polimer (KMP), yaitu polimer sebagai matrik.
3. Komposit matrik keramik (KMK), yaitu keramik sebagai matrik.

Yang kedua adalah berdasarkan unsur penguatnya, dapat dibedakan menjadi tiga:

1. *Particulate composite*, yaitu penguatnya berbentuk partikel.
2. *Fibre composite*, yaitu penguatnya berbentuk serat.
3. *Structural composite*, yaitu cara penggabungan material komposit.

Klasifikasi komposit berdasarkan matriks dan unsur penguatnya memungkinkan pemilihan material yang sesuai dengan kebutuhan spesifik, sehingga dapat dioptimalkan untuk berbagai aplikasi di industri dan teknologi.