

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Material

Dalam dunia rekayasa teknik, pemilihan bahan merupakan salah satu aspek krusial yang tidak bisa diabaikan oleh seorang ahli teknik. Setiap proses perancangan maupun pembuatan suatu komponen atau produk teknik membutuhkan pemilihan material yang tepat agar hasil akhir dapat memenuhi standar kualitas, fungsi, dan daya tahan yang diharapkan. Oleh karena itu, seorang insinyur atau teknisi harus memiliki pengetahuan yang mendalam tentang berbagai jenis bahan teknik yang tersedia, termasuk karakteristik fisik, mekanik, dan kimiawi dari masing-masing bahan tersebut. Material teknik adalah bahan dasar yang digunakan untuk membuat berbagai produk teknik, seperti komponen mesin, struktur bangunan, alat transportasi, hingga peralatan industri. Material memiliki peran vital dalam bidang teknik karena sifat-sifatnya akan sangat memengaruhi kekuatan, daya tahan, fungsi, dan efisiensi dari suatu produk. Oleh sebab itu, pemilihan material tidak dapat dilakukan secara sembarangan, melainkan harus mempertimbangkan berbagai aspek teknis dan ekonomis. Seorang insinyur dituntut untuk memahami karakteristik material, mulai dari struktur mikronya, sifat mekanik, sifat kimia, hingga responnya terhadap kondisi lingkungan kerja. Menurut Sutrisno (2009),

Pemahaman ini sangat penting karena setiap material memiliki kelebihan dan keterbatasan yang berbeda, sehingga penggunaannya pun harus disesuaikan dengan kebutuhan spesifik dari desain atau aplikasi yang sedang dikembangkan. Untuk mempermudah dalam mengenali dan mempelajari berbagai jenis bahan tersebut, para ahli teknik biasanya mengelompokkan material teknik ke dalam empat kategori utama.

Masing-masing kelompok ini memiliki ciri khas dan kegunaan tersendiri yang mendukung berbagai aplikasi di bidang teknik dan industri.

2.1.1. Jenis Material

Dalam bidang rekayasa teknik, pemilihan material merupakan aspek fundamental yang menentukan keberhasilan suatu rancangan maupun proses manufaktur. Secara umum, material teknik dapat digolongkan menjadi empat kelompok utama, yaitu logam, keramik, polimer, dan komposit. Klasifikasi ini tidak hanya membantu dalam proses seleksi material, tetapi juga menjadi dasar dalam pengembangan teknologi material baru yang sesuai dengan kebutuhan spesifik industri modern. Setiap golongan memiliki keunggulan dan keterbatasan masing-masing, serta digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi teknik dan industri sesuai dengan karakteristiknya. Material digolongkan menjadi 4 bagian yaitu:

A. Komposit

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material, dimana sifat mekanik dari material pembentuknya berbeda-beda (Susilowati, 2022).

B. Logam

Logam adalah sebuah unsur kimia yang siap membentuk ion dan memiliki ikatan logam, logam merupakan salah satu dari tiga kelompok unsur yang dibedakan oleh sifat ionisasi dan ikatan, bersama dengan metaloid dan non logam. Logam yang sering digunakan di dalam teknologi permesinan adalah baja, karena baja merupakan logam yang dapat dipakai secara fleksibel dan mempunyai beberapa karakteristik. Logam merupakan material yang kuat tetapi logam juga dapat dibentuk sesuai dengan macam-macam keperluan

teknik, logam juga mempunyai kemampuan berdeformasi secara permanen (Iswandi, 2015)

C. Polimer

Polimer merupakan senyawa molekul besar berbentuk rantai atau jaringan yang tersusun dari gabungan ribuan hingga jutaan unit pembangun yang berulang. Plastik pembungkus, botol plastik, styrofoam, nilon, dan pipa paralon adalah yang termasuk material polimer. Plastik adalah bahan yang mudah dibentuk dari beberapa polimer selama pabrikan (Iswandi, 2015).

D. Keramik

Keramik merupakan material padat anorganik yang bukan logam. Keramik banyak digunakan dalam bidang teknik karena mempunyai kekerasan yang tinggi, tahan air, dan tahan terhadap temperatur yang tinggi (Iswandi, 2015).

2.1.2. Sifat Material

Secara umum, sifat material teknik dapat diklasifikasikan menjadi empat kelompok utama, yaitu sifat mekanik, sifat fisik, sifat kimia, dan sifat teknologi (atau sifat proses manufaktur). Masing-masing sifat ini memiliki peranan penting dalam menentukan kesesuaian material untuk aplikasi tertentu.

A. Sifat Mekanik

Sifat Mekanik menggambarkan bagaimana suatu material merespons terhadap gaya atau beban yang dikenakan padanya. Sifat ini mencakup kekuatan tarik, kekerasan, elastisitas, keuletan, dan ketangguhan. Kekuatan tarik menunjukkan sejauh mana material mampu menahan gaya tarik sebelum putus, sedangkan kekerasan

menunjukkan ketahanan terhadap goresan atau penetrasi. Elastisitas adalah kemampuan bahan untuk kembali ke bentuk semula setelah gaya dilepaskan. Keuletan berkaitan dengan kemampuan material mengalami deformasi plastis sebelum patah, dan ketangguhan adalah kemampuan bahan menyerap energi sebelum mengalami kerusakan. Menurut Callister (2007), sifat-sifat ini sangat penting dalam menentukan bagaimana bahan akan berperilaku dalam kondisi kerja tertentu.

B. Sifat Fisik

Sifat Fisik merupakan karakteristik material yang dapat diukur tanpa mengubah struktur kimianya. Beberapa contoh sifat fisik meliputi densitas (massa jenis), titik leleh, konduktivitas termal, konduktivitas listrik, dan koefisien muai panas. Densitas menunjukkan seberapa padat suatu bahan, sedangkan titik leleh adalah suhu di mana bahan berubah dari padat menjadi cair. Konduktivitas termal dan listrik masing-masing menunjukkan kemampuan bahan dalam menghantarkan panas dan arus listrik. Koefisien muai panas mengindikasikan seberapa besar perubahan dimensi suatu material terhadap perubahan suhu. Seperti dijelaskan oleh Askeland dan Phulé (2006), sifat fisik ini menentukan kinerja bahan dalam lingkungan tertentu, termasuk pada aplikasi yang melibatkan suhu tinggi atau arus listrik.

C. Sifat Kimia

Sifat Kimia berkaitan dengan stabilitas dan reaktivitas bahan terhadap lingkungan sekitarnya. Sifat ini mencakup ketahanan terhadap korosi, oksidasi, dan reaksi kimia lainnya. Ketahanan korosi, misalnya, penting untuk material yang akan digunakan di lingkungan lembap atau mengandung zat kimia agresif. Material dengan reaktivitas tinggi mungkin akan mudah rusak dalam kondisi lingkungan tertentu. Rostam dan Mulyadi (2010) menekankan bahwa pemahaman terhadap sifat kimia sangat penting untuk memastikan umur pakai material dalam berbagai aplikasi teknik.

D. Sifat Teknologi

Sifat teknologi atau sifat proses menunjukkan kemampuan suatu material untuk diproses dengan teknik manufaktur tertentu. Termasuk di dalamnya adalah kemampuan las (*weldability*), kemampuan mesin (*machinability*), kemampuan tempa (*formability*), dan kemampuan cor (*castability*). Sifat ini sangat berpengaruh pada efisiensi dan biaya proses produksi. Degarmo (2003) menjelaskan bahwa material dengan sifat teknologi yang baik akan mempermudah proses produksi dan menghasilkan produk dengan kualitas yang konsisten.

2.2. Komposit

Material Komposit Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material, dimana akan terbentuk material yang lebih baik dari material pembentuknya. Dikarenakan karakteristik pembentuknya berbeda-beda, maka akan dihasilkan material baru yaitu komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material-material pembentuknya. Komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda yaitu penguat (*reinforcement*) dan matriks sebagai pengikat (Sirait, 2010). Menurut Mathews dkk. (1993), komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Bahan penyusun komposit tersebut masing-masing memiliki sifat yang berbeda, dan ketika digabungkan dalam komposisi tertentu terbentuk sifat-sifat baru, yang disesuaikan dengan keinginan (Krevelen, 1994). Penjelasan lain tentang komposit juga diutarakan oleh Van Rijswijk, M.Sc, dkk (2001), dalam bukunya *Natural Fibre Composites*, komposit adalah bahan hibrida yang terbuat dari resin polimer diperkuat dengan serat, menggabungkan sifat-sifat

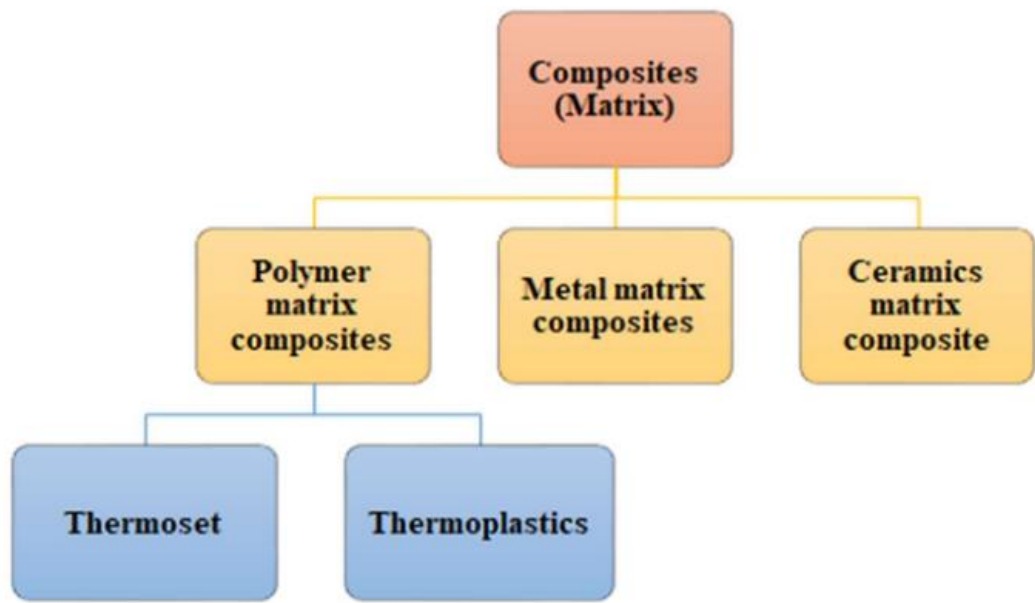
mekanik dan fisik. Ada tiga faktor yang menentukan sifat-sifat dari material komposit, yaitu:

1. Material pembentuk, Sifat-sifat intrinsik material pembentuk memegang peranan yang sangat penting terhadap pengaruh sifat kompositnya.
2. Susunan struktural komponen, dimana bentuk serta orientasi dan ukuran tiap-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 (Sirait, 2010).

Secara umum material komposit tersusun dari dua komponen utama yaitu *matrik* (bahan pengikat) dan *filler* (bahan pengisi). *Filler* 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. Berdasarkan matriks dan penguat komposit dibedakan menjadi beberapa bagian.

2.2.1 Komposit Berdasarkan Matriks

Komposit menurut matriknya dapat digolongkan menjadi tiga (Harsi, dkk, 2020) yaitu :



Gambar 2.1. Klasifikasi komposit berdasarkan matriks
Sumber: Kator Jeff Jomboh (2024)

1. PMC (*Polymer Matriks Composites*)

Polymer matriks composites (PMC) adalah bahan komposit yang banyak digunakan, *Polymer matriks composites* (PMC) juga sering dinamakan *Fiber Reinforced Polymers of Plastics* (polimer berpenguat serat FRP). Komposit dari bahan ini umumnya menggunakan matriks polimer berbahan resin, serta sebagai penguatnya menggunakan serat semacam karbon, kaca, dan armid

2. MMC (*Metal Matriks Composites*)

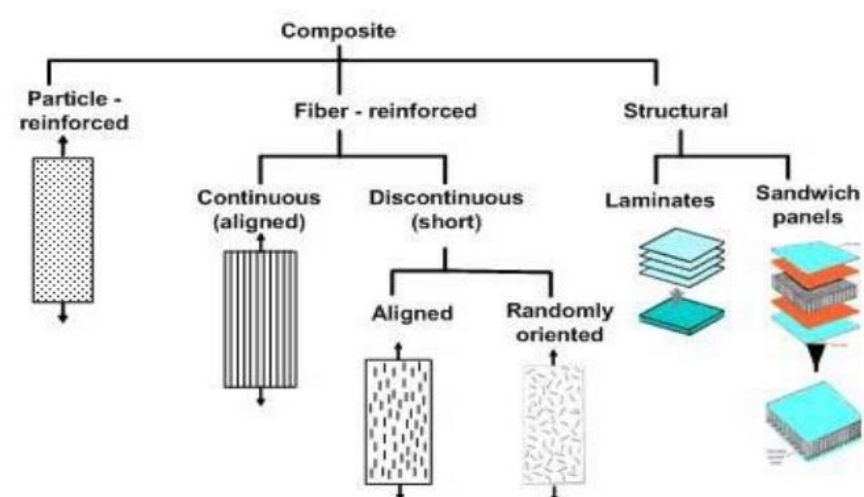
Metal matriks composites (MMC) merupakan komposit dengan matriks berbahan logam, jenis komposit ini mempunyai kelebihan dalam ketahanan serta kekuatan terhadap keausan (*using*).

3. CMC (*Ceramic Matriks Composite*)

Ceramic matriks composite (CMC) merupakan komposit yang bahan dasarnya dari keramik. Keramik yakni material dengan stiffnes atau modulus elastisitas young yang tinggi. Bahannya bisa menjadi alternatif dalam menggunakan bahan yang memerlukan ketegangan berat dan temperature tinggi.

2.2.2 Komposit Berdasarkan Penguat

Komposit berdasarkan jenis penguatnya dibagi menjadi 3 macam yaitu komposit partikulat, komposit fiber dan komposit structural, dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2. Klasifikasi komposit berdasarkan fiber
Sumber: Abdillah, (2020)

Berdasarkan sifat penguatnya, komposit dibagi menjadi dua yaitu komposit isotropik dan anisotropik. Komposit isotropik adalah komposit yang penguatnya memberikan penguatan yang sama untuk berbagai arah (baik dalam arah transversal maupun longitudinal) sehingga segala pengaruh tegangan atau regangan dari luar akan mempunyai nilai kekuatan yang sama. Sebaliknya komposit anisotropik adalah komposit yang penguatnya memberikan penguatan tidak sama terhadap arah yang

berbeda, sehingga segala pengaruh tegangan atau regangan dari luar akan mempunyai nilai kekuatan yang tidak sama (baik arah transversal maupun longitudinal).

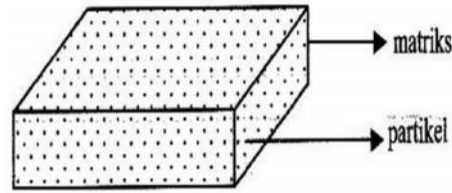
1. Komposit partikel (*Particulate composite*)

Particulate composite adalah komposit dengan penguat berupa serbuk atau partikel yang terdapat pada semua lapisan dan semua arah dari komposit dan partikel yang terkandung di dalam matriks. Komposit memiliki material penguat yang ukurannya kurang lebih sama, seperti bulat serpih, alok, serta bentuk” lainnya yang memiliki sumbu hamper sama, yang sering disebut partikel. Komposit yang tersusun oleh *reinforcement* berbentuk partikel, dimana hubungan antara matriks dan partikel terjadi diluar skala molekular atau atomik. Partikel seharusnya berdimensi kecil dan tersebar merata agar dapat menghasilkan kekuatan lebih seragam pada berbagai arah dan dapat meningkatkan kekerasan material dan meningkatkan kekuatan.

Komposit partikel adalah produk yang dihasilkan dengan cara menempatkan partikel” dan langsung mengikatnya dengan suatu matriks bersamaan dengan satu atau lebih unsur” perlakuan seperti tekanan, panas, kelembaban, katalisator dan lain sebagainya. Komposit partikel ini akan berbeda jika dibandingkan dengan jenis serat acak sehingga bersifat isotropis. Kekuatan komposit serat dipengaruhi oleh tegangan koheren antara fase matriks dan partikel yang menunjukkan hubungan yang baik. Partikelnya bisa logam atau non logam, seperti hal nya matriks. Selain itu ada juga polimer yang mengandung partikel yang hanya digunakan untuk memperbesar volume

material dan bukan untuk kepentingan sebagai bahan penguat komposit (Jones, 1975).

Particulate composite (komposit partikel) seperti gambar 2.3.



Gambar 2.3. *Particulate Composite* (Jones, 1975).
Sumber: Jones, (1975)

2. Komposit Serat (*Fiber composite*)

Komposit serat adalah jenis komposit yang menjadikan serat sebagai penguat atau komposit yang terdiri dari matriks dan *fiber* sebagai pengikat. Komposit yang tersusun dari satu lapisan atau satu lamina yang menjadikan penguat berupa serat.

Serat yang dipakai biasanya merupakan serat karbon, gelas, serat aramid dan sejenisnya. Serat ini bisa dirangkai secara acak atau dengan susunan tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman.

Peningkatan kekuatan menjadi tujuan utama, komponen penguat harus mempunyai rasio aspek yang besar, yaitu rasio panjang terhadap diameter harus tinggi agar beban didistribusikan melalui titik dimana mungkin terjadi patahan (Vlack L. H, 2004).

Serat yang digunakan sangat mempengaruhi tinggi rendahnya kekuatan komposit, karena tegangan yang diterima oleh komposit mulanya diterima dahulu oleh matriks dan akan didistribusikan pada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh sebab itu serat harus memiliki modulus elastisitas dan tegangan tarik yang lebih tinggi dari pada matriks penyusun kompositnya (Vlack L. H, 2004).

Serat pada material komposit bekerja sebagai bahan utama yang menahan beban, sehingga besar kecilnya kekuatan bahan komposit sangat tergantung dari

kekuatan serat pembentuknya. Semakin kecil bahan atau diameter serat yang mendekati kristal, maka semakin kuat bahan tersebut karena minimnya cacat pada material.

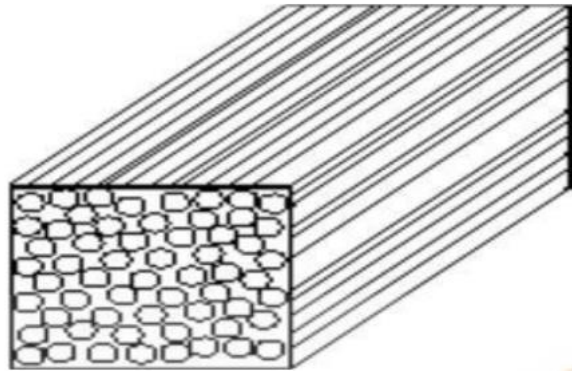
Fiber (serat) merupakan suatu macam bahan berupa potongan” komponen yang akan membentuk rangkaian memanjang yang utuh. Berdasarkan jenisnya, serat penguat untuk komposit dapat dibedakan menjadi 2, yaitu:

- a. *Natural fiber* (Serat alami), merupakan serat penguat untuk material komposit yang merupakan serat alami dari hasil alam. Serat alam dapat berasal dari hewan walaupun pada umumnya kebanyakan berasal dari tumbuh”. Contoh: bulu domba (hewan), serat rami dan serat nanas (tumbuhan) dan masih banyak lagi.
- b. *Sintetic fiber* (Serat buatan), merupakan serat penguat untuk material komposit yang dibuat dari bahan” kimia. Contohnya: fiber glass (serat gelas), fiber optic (serat optik), Polyester fiber (serat poliester) dan lain”.

Penempatan arah serat dan serat yang bagus pada posisinya akan berpengaruh pada komposit yang dapat menahan beban lebih tinggi. Serat dapat dibedakan menjadi 4 bagian:

- a. *Continous fiber composite*

Continous fiber composite memiliki komposisi serat lurus dan panjang, membentuk lamina diantara matriks dan mempunyai kekurangan pemisahan antar lapisan.

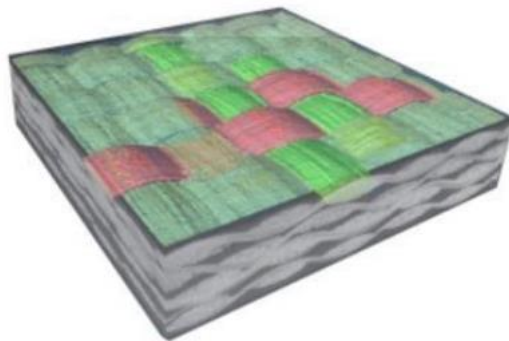


Gambar 2.4. *Particulate Composite*

Sumber: Jones, (1975)

b. *Woven fiber composite*

Woven fiber composite sulit dipengaruhi pemisahan antar lapisan karena komposisi seratnya mengikat antar lapisan. Komposisi serat yang memanjang naik turun mengakibatkan kekakuan dan kekuatan melemah. (komposit yang dirangkai dengan serat anyaman)

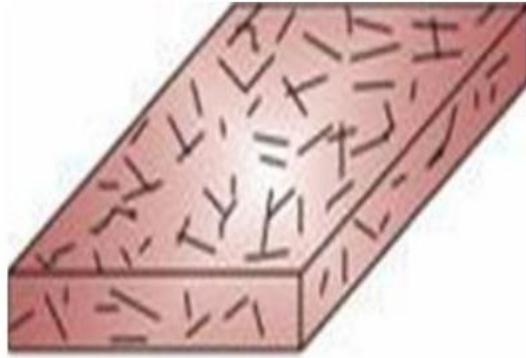


Gambar 2.5. *Woven fiber composite*

Sumber: Gibson, (1994)

c. *Chopped fiber composite*

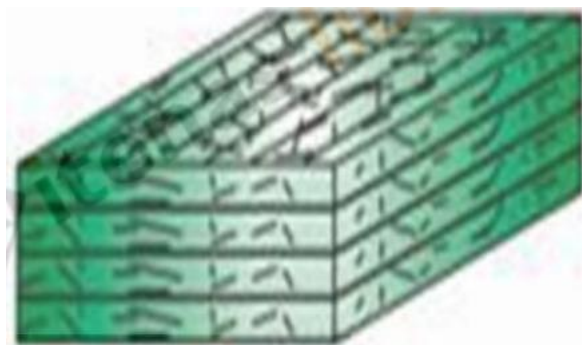
Chopped fiber composite komposit ini disusun oleh serat pendek dan serat acak.



Gambar 2.6. *Chopped fiber composite*
Sumber: Gibson, (1994)

d. *Hybrid fiber composite*

Hybrid fiber composite adalah komposit paduan antara serat acak dengan serat lurus. Tipe ini digunakan supaya dapat mengganti kelemahan sifat” kedua jenis material dan dapat menyatukan kelebihanannya.



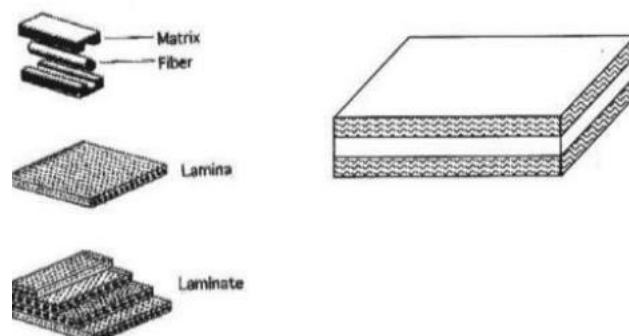
Gambar 2.7. *Hybrid composite*
Sumber: Gibson, (1994)

3. Sturktural komposit (*Structute composite*)

Komposit struktural (*Structute composite*) adalah srtuktur yang tersusun dari 2 material atau lebih dengan sifat yang berbeda dan membentuk satu kesatuan sehingga menghasilkan sifat gabungan yang lebih baik.

a. Komposit *Laminate*

Komposit *laminate* adalah salah satu macam komposit yang tersusun dari 2 lapis atau lebih yang disatukan menjadi satu dan setiap lapisannya memiliki karakter sifat yang berbeda. Komposit laminar ini tersusun atas 4 jenis yaitu komposit serat acak, serat *kontinyu*, komposit serat anyam, dan komposit serat *hibrid*. Komposit laminar yang serat penguatnya hanya searah, pada umumnya tidak merubah menjadi lebih baik karena memiliki sifat yang kurang baik. Untuk itulah struktur komposit dibuat dalam bentuk *laminate* yang tersusun dari beberapa macam lapisan yang dimasukan dalam arah yang diinginkan dan disatukan bersama sebagai sebuah unit struktur. Laminate composite seperti pada berikut:



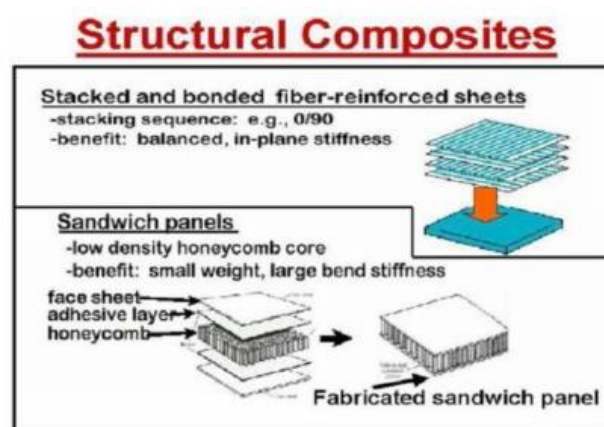
Gambar 2.8. *Laminate composite*

Sumber: Zankert, (1999)

b. Komposit *sandwich*

Komposit sandwich adalah material yang tersusun dari 3 lapisan yang tersusun dari *metal sheet* (flat komposit), *skin* (sebagian kulit permukaannya), serta *core* (material inti) dibagian tengahnya. Bagian skin

ini biasanya merupakan lembaran *metals*, *fiber composite*, atau *wood*. Jenis *core* dapat berupa *cellular foams*, *corrugated*, *albasiah wood*, dan *honeycombs*. *sandwich* dibuat untuk menghasilkan struktur yang mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi tetapi ringan. Pada umumnya pemilihan bahan untuk komposit sandwich ini, syaratnya adalah harga yang murah, tahan panas dan korosi, serta ringan. Komposit *sandwich* adalah jenis komposit yang baik untuk menahan beban Impact, lentur, meredam suara dan getaran. Komposit *sandwich* merupakan jenis komposit yang sangat baik untuk struktur (Zenkert, 1999).



Gambar 2.9. *Structural composite sandwich panels*
Sumber: Zankert, (1999)

2.3. Matriks Polimer

Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). Umumnya lebih ulet tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih rendah. Matriks dalam struktur komposit dapat berasal dari bahan polimer atau logam. Syarat pokok matriks yang digunakan dalam komposit adalah matriks harus bisa meneruskan beban, sehingga serat harus bisa melekat pada matriks dan kompetibel antara serat dan matriks. Matriks dalam susunan komposit bertugas melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik. Selain itu, matriks

berfungsi sebagai pelapis serat, mentransfer tegangan keserat, dan tetap stabil setelah proses manufaktur. Umumnya matriks terbuat dari bahan- bahan lunak dan liat. Polimer (plastik) merupakan bahan umum yang bisa digunakan dalam komposit. Matriks juga umumnya dipilih dari kemampuannya menahan panas. Epoksi, Polyester, dan vinilester adalah bahan-bahan polimer yang sejak dahulu telah dipakai sebagai bahan matriks (Fajar Sodik, 2016). Persyaratan dibawah ini perlu dipenuhi sebagai bahan matriks untuk pencetakan bahan komposit:

1. Resin yang dipakai perlu memiliki viskositas rendah, dapat sesuai dengan bahan penguat dan permeable.
2. Dapat diukur pada temperatur kamar dalam waktu yang optimal.
3. Mempunyai penyusutan yang kecil dalam pengawetan.
4. Memiliki kelengketan yang baik dengan bahan penguat.
5. Mempunyai sifat baik dari bahan yang diawetkan.

Umumnya matriks yang dipilih mempunyai ketahanan panas yang tinggi (Materail teknik, buku pegangan kuliah, Triyono dan Diharjo, 2000). Sebagai bahan penyusun utama dari komposit, matriks harus mengikat penguat (serat) secara optimal agar beban yang diterima dapat diteruskan keserat dengan maksimal, sehingga diperoleh kekuatan yang tinggi. Pada dasarnya matriks dalam komposit berfungsi untuk (Materail teknik, buku pegangan kuliah, Diharjo, 1999):

1. Melindungi dari pengaruh lingkungan yang merugikan.
2. Mencegah permukaan serat dari permukaan mekanik.
3. Mencegah dan mempertahankan posisi serat agar tetap pada posisinya.
4. Mendistribusikan beban yang diterima pada serat secara merata.

5. Memberikan sifat-sifat tertentu pada serat yaitu: keuletan, ketangguhan, dan ketahanan panas.

2.3.1 Klasifikasi Matriks Polimer

Berbagai macam jenis dari polimer sekarang dipergunakan untuk industri, masing-masing mempunyai komposisi atau kombinasi tersendiri sesuai dengan penggunaannya. polimer sangat membantu sekali untuk pembuatan bentuk yang sulit yang dilaksanakan secara cepat dan berulang-ulang yang mungkin memerlukan perakitan dari bagian lain. Matrik polimer digolongkan menjadi 2 golongan besar, yaitu *Thermoset Resin* dan *Thermoplastic Resin*

a. *Thermoset Resin*

Polimer kategori termoset ini adalah polimer yang dapat menerima suhu tinggi dan tidak berubah karena panas, atau molekul-molekul yang secara kimiawi digabungkan dengan sambungan silang menjadi bentuk yang kaku dan struktur jaringan tiga dimensi (Mazumdar, 2002). Resin *thermosetting* tidak meleleh karena panas tetapi menjadi hancur. Walaupun memiliki sifat yang tidak fleksibel, namun dalam penggunaannya *thermoset* resin dapat dibentuk dengan cara dilakukan pemanasan terlebih dahulu. Pemanasan *thermoset* resin ini biasanya digunakan pada strutur yang berbentuk melengkung. *Thermoset* memiliki kelebihan yaitu kestabilan bentuk dan thermal yang baik, kekakuan yang baik, ketahanan terhadap lingkungan sekitar yang lebih baik. *Thermoset resin* yang paling umum digunakan adalah *epoxy*, *Polyester*, *vinylester*, *phenolics*, *cyanate esters*, *bismaleimids*, dan *polymides*.

b. *Thermoplastic Resin*

Resin *thermoplastik* 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 dari pada 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.

2.3.2 Resin *Polyester*

Resin *Polyester* adalah salah satu material yang paling banyak digunakan dalam pembuatan komposit, terutama dalam industri otomotif dan konstruksi. Material ini memiliki karakteristik unik yang menjadikannya pilihan utama bagi banyak aplikasi. Resin *Polyester* dikenal karena kemampuannya untuk membentuk ikatan yang kuat dan tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan, termasuk kelembapan dan suhu yang bervariasi. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Pramudia & Prasetyo, 2024), resin *Polyester* memiliki sifat mekanik yang sangat baik, seperti kekuatan tarik dan kekuatan lentur, yang menjadikannya pilihan utama dalam aplikasi komposit.



Gambar 2.10. Resin *Polyester* dan Katalis

Sumber: Dokumentasi Penelitian (2025)

Dalam konteks komposit serat sisal, Resin *Polyester* berfungsi sebagai matriks yang mengikat serat-serat sisal, memberikan kekuatan dan ketahanan yang diperlukan. Misalnya, dalam pembuatan panel komposit untuk kendaraan, Resin *Polyester* tidak hanya berfungsi sebagai pengikat, tetapi juga memberikan perlindungan tambahan

terhadap kerusakan akibat benturan. Selain itu, Resin *Polyester* memiliki kemampuan untuk mengisi ruang kosong di antara serat, yang membantu menciptakan struktur yang lebih padat dan kuat (Gebremichael et al., 2025).

Keunggulan lain dari resin *Polyester* adalah biaya yang relatif rendah dibandingkan dengan resin lainnya, seperti *epoxy*. Menurut data dari (RND,2020), pasar Resin *Polyester* diperkirakan akan tumbuh dengan CAGR sebesar 5% hingga tahun 2025, menunjukkan permintaan yang terus meningkat untuk aplikasi komposit. Hal ini disebabkan oleh sifatnya yang ringan, daya tahan yang baik, dan kemudahan dalam proses fabrikasi. Dalam pembuatan komposit serat sisal, Resin *Polyester* tidak hanya memberikan kekuatan, tetapi juga meningkatkan ketahanan terhadap kelembapan dan bahan kimia, yang sangat penting dalam aplikasi luar ruangan. Sebagai contoh, komposit yang terbuat dari Resin *Polyester* dan serat sisal dapat digunakan dalam pembuatan furnitur luar ruangan yang harus tahan terhadap cuaca ekstrem.

Tabel 2.1. Karakteristik Unsaturated Polyester Resin Yukalac BQTN 157

Item	Satuan	Nilai Tipikal	Catatan
Berat Jenis	gr/cm ³	1.215	25°C
Kekerasan	-	40	Barcol GYZJ 934-1
Suhu distorsi panas	°C	70	
Penyerapan air (suhu ruang)	%	0.188	24 Jam
	%	0.446	3 Hari
Kekuatan Fleksural	Kg/mm ²	9.4	-
Modulus Fleksural	Kg/mm ²	300	-
Daya Rentang	Kg/mm ²	5.5	-
Modulus Elastisitas	Kg/mm ²	300	-
Elognasi	%	2.4	-

Sumber: PT. Justus Kimia Raya,(1996)

Namun, perlu dicatat bahwa Resin *Polyester* juga memiliki beberapa kelemahan. Sifat ketahanan yang rendah terhadap suhu tinggi dan pelarut organik menjadi tantangan tersendiri. Penelitian oleh (Jamilah & Hidayah, 2024) menunjukkan bahwa meskipun Resin *Polyester* memberikan kekuatan yang baik, perlakuan tambahan mungkin diperlukan untuk meningkatkan sifat-sifat tersebut, terutama dalam aplikasi yang memerlukan ketahanan lebih. Dalam konteks ini, pemilihan resin *Polyester* yang tepat dan teknik pengolahan yang baik sangat penting untuk mencapai performa yang diinginkan dalam komposit serat sisal. Misalnya, dalam aplikasi yang melibatkan suhu tinggi, penggunaan Resin *Polyester* yang dimodifikasi atau campuran dengan resin lain dapat menjadi solusi yang efektif.

2.4. Serat

Serat adalah suatu jenis bahan berupa potongan-potongan komponen yang membentuk jaringan memanjang yang utuh. Salah satu unsur penyusun bahan komposit adalah serat. Serat inilah yang terutama menentukan karakteristik bahan

komposit, seperti kekakuan, serta sifat-sifat mekanik lainnya. Serat inilah yang menahan sebagian besar gaya-gaya yang bekerja pada bahan komposit.

2.4.1 Jenis- Jenis Serat

Serat (*Fiber*) dapat dibedakan menjadi 2 yaitu serat alami dan serat sintetis (serat buatan), yaitu:

1. Serat Alami

Serat alami adalah serat yang langsung diperoleh dari alam. Selain itu, dilihat dari namanya serat alami dibedakan lagi menjadi beberapa klasifikasi serat yang berasal dari alam, yaitu:

- a. Serat dari tumbuhan: serat yang mengandung unsur berupa selulosa. Bagian tumbuhan yang dapat dijadikan serat adalah biji yang biasanya dibuat menjadi kapas dan kapuk, bagian batang yang biasanya dijadikan sebagai jute dan rami, bagian daun yang dijadikan serat seperti tumbuhan abaca, sisal, dan daun nanas.
- b. Serat dari hewan: serat yang mengandung unsur berupa protein. Bagian hewan yang dapat dijadikan menjadi serat adalah rambut domba yang biasanya dibuat menjadi serat wol, selain itu ulat sutra saat menjadi kepompong akan menghasilkan serat sutra, selain itu laba-laba juga dapat menghasilkan serat yang dihasilkan dari jaring yang dibentuk.
- c. Serat dari bahan tambang: bahan tambang yang menghasilkan serat merupakan mineral. Salah satu hasil serat yang dihasilkan dari bahan tambang adalah asbes yang bahan galiannya berupa mineral jenis aktinolit dan krisatil yang menghasilkan serabut.

2. Serat Sintetis

Serat sintetis (serat buatan) adalah serat yang bagian-bagiannya dibentuk secara sengaja oleh manusia. Contoh hasil serat sintetis adalah rayon, Polyester, dakron, dan nilon. Ciri-ciri serat sintetis atau serat buatan ini dapat dilihat menggunakan metode pembakaran seperti serat nilon yang mudah meleleh serta meninggalkan bentuk pinggiran yang keras serta berwarna coklat. Begitupula dengan serat Polyester ciri-cirinya sama dengan serat nilon tetapi serat Polyester saat terbakar apinya akan lebih cepat padam.

2.4.2 Serat Sisal (*Agave sisalana*)

Serat panjang, seperti serat sisal, memiliki peran penting dalam meningkatkan sifat mekanik komposit. Serat sisal, yang berasal dari tanaman *Agave sisalana*, dikenal karena kekuatan tensile yang tinggi dan modulus elastisitas yang baik. Menurut penelitian oleh (Rahman & Sosiati, 2020), serat sisal memiliki kekuatan tarik sekitar 600-700 (N/mm²), yang menjadikannya salah satu serat alami yang paling kuat. Dalam aplikasi komposit, serat panjang ini memberikan kontribusi signifikan terhadap kekuatan bending dan ketangguhan material.



Gambar 2.11 Pohon *Agave Sisalana*
Sumber :Balfas, (2022)

Sifat serat panjang yang unik juga dapat mempengaruhi distribusi beban dalam komposit. Dengan orientasi serat yang tepat, beban dapat didistribusikan secara

merata, meningkatkan kinerja mekanik komposit secara keseluruhan. Misalnya, dalam studi yang dilakukan oleh (Endramawan et al., 2024), ditemukan bahwa komposit yang menggunakan serat panjang dengan orientasi sejajar menunjukkan peningkatan kekuatan bending hingga 30% dibandingkan dengan komposit yang menggunakan serat pendek. Hal ini menunjukkan pentingnya pemilihan jenis serat dan orientasi dalam pembuatan komposit.

Selain itu, serat sisal memiliki keunggulan dalam hal keberlanjutan dan ramah lingkungan. Dengan meningkatnya kesadaran akan dampak lingkungan dari material sintetis, penggunaan serat alami seperti sisal semakin mendapat perhatian. Menurut laporan dari (FAO, 2025), produksi serat sisal di seluruh dunia mencapai sekitar 200.000 ton per tahun, dengan potensi yang lebih besar untuk digunakan dalam berbagai aplikasi komposit. Ini menunjukkan bahwa serat sisal tidak hanya memberikan keuntungan mekanik, tetapi juga berkontribusi pada keberlanjutan industri. Misalnya, dalam pembuatan bahan bangunan ramah lingkungan, serat sisal dapat digunakan sebagai alternatif yang lebih berkelanjutan dibandingkan dengan serat sintetis.

Tabel.2.2 Tabel sifat Mekanis Serat Alam

fiber	property					
	Kekuatan Tarik (Mpa)	Modulus Young (Gpa)	Pemanjangan (%)	Densitas (gr/cm ³)	Diameter (μm)	Panjang (mm)
Ramie bast	1050	61,5	3,6-3,8	1,5-1,6	40-80	60-26
Kenaf Bast	930	53	1,6	1,4	200	2-6
Coco Shell	175	4-6	25	1,2	100-400	-
Sisal Leaf	835	9,4-2,2	2-4	1,16-1,5	50-200	1-5
Banana Bast	540	-	3	1,3	50-250	-
Pineapple Bast	740	-	2,4	-	-	-
E-Glass	1800	69-73	2-3	2,5	5-25	-

Sumber : Muller dan Krobjiloski, (2003)

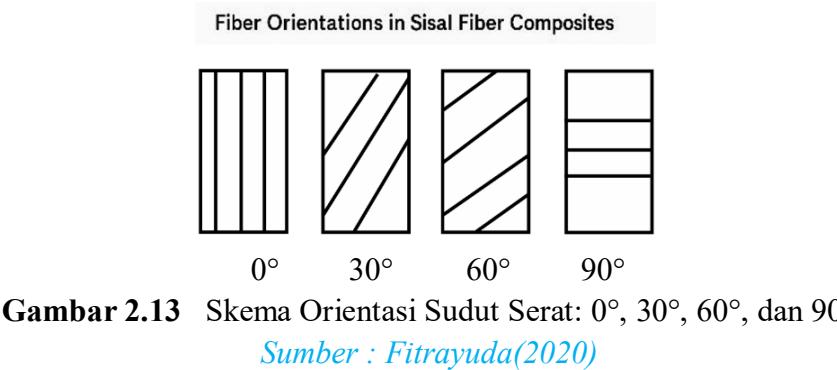
Namun, meskipun serat sisal memiliki banyak kelebihan, penting untuk mempertimbangkan bahwa karakteristik serat alami dapat bervariasi tergantung pada kondisi pertumbuhan dan proses pengolahan. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut mengenai pemrosesan dan perlakuan serat sisal perlu dilakukan untuk memaksimalkan potensi penggunaannya dalam komposit. Dengan demikian, serat panjang seperti sisal tidak hanya memberikan kontribusi pada kekuatan mekanik, tetapi juga berperan penting dalam pengembangan material yang lebih berkelanjutan.



Gambar 2.12 Serat *Agave sisalana*
Sumber: Febri Setyo Nugroho.(2022)

2.5 Orientasi Sudut Serat dalam Komposit

Orientasi serat merupakan salah satu faktor paling berpengaruh dalam menentukan sifat mekanik suatu material komposit, khususnya dalam struktur laminat berpenguat serat alami seperti sisal. Orientasi ini merujuk pada sudut kemiringan serat terhadap arah utama gaya luar. Setiap sudut orientasi akan mempengaruhi arah transfer beban, modulus elastisitas, kekuatan lentur, dan ketangguhan terhadap tumbukan dari komposit secara keseluruhan (Kumar et al., 2020).



Tabel.2.3 Keterangan Gambar:

0°	: Serat sejajar dengan arah pembebanan, sehingga transfer beban ke serat berlangsung maksimal. Konfigurasi ini menghasilkan kekuatan bending tertinggi karena serat bekerja optimal menahan gaya.
30°	: Serat membentuk sudut miring kecil terhadap arah pembebanan. Distribusi tegangan mulai tidak searah dengan serat, sehingga kekuatan menurun namun masih berkontribusi sedang terhadap ketahanan lentur.
60°	: Serat miring besar terhadap arah pembebanan, sehingga gaya yang diteruskan ke serat sangat kecil. Beban lebih banyak ditanggung matriks, menyebabkan kekuatan bending sangat rendah dan material lebih mudah mengalami retak.
90°	: Serat tegak lurus terhadap arah pembebanan. Serat tidak berperan menahan gaya lentur, hanya sebagai pengisi volume.

Sumber : Fitrayuda(2020)

Dalam praktiknya, konfigurasi orientasi umum yang digunakan antara lain 0° (tegaklurus terhadap arah beban), 30° (diagonal), 60° (arah miring terhadap beban), hingga sudut sejajar seperti 90°, tergantung pada kebutuhan struktural. Orientasi sejajar (0°) memungkinkan serat menanggung beban tarik secara langsung, memberikan kekuatan bending maksimum. Sebaliknya, orientasi 90° cenderung menyebabkan beban lebih banyak diteruskan ke matriks, yang bersifat lebih lemah, sehingga menghasilkan penurunan kekuatan bending secara drastis (Almeida et al., 2020).

Orientasi serat dalam komposit sangat mempengaruhi sifat mekanik material. Orientasi sejajar, di mana serat-serat disusun dalam satu arah, dapat meningkatkan kekuatan bending dan ketangguhan komposit secara signifikan. Penelitian oleh

(Fitrayudha et al., 2020) menunjukkan bahwa komposit dengan orientasi serat sejajar memiliki kekuatan bending yang lebih tinggi dibandingkan dengan orientasi acak. Hal ini disebabkan oleh kemampuan serat untuk mendukung beban dalam arah yang sama, mengurangi kemungkinan terjadinya keretakan dan kegagalan.

2.6 Tanpa Perlakuan

Pengaruh perlakuan terhadap sifat mekanik komposit sering menjadi fokus dalam penelitian material. Namun, komposit yang diproduksi tanpa perlakuan khusus juga memiliki potensi yang signifikan. Dalam konteks komposit serat sisal bermatriks *Polyester*, penelitian menunjukkan bahwa meskipun tanpa perlakuan, komposit ini masih dapat menunjukkan sifat mekanik yang baik. Menurut studi oleh (Bahri et al., 2024), komposit serat sisal tanpa perlakuan menunjukkan kekuatan bending yang cukup baik, meskipun tidak sekuat komposit yang mengalami perlakuan.

Salah satu alasan mengapa komposit tanpa perlakuan masih dapat memiliki performa yang baik adalah karena sifat intrinsik dari serat sisal itu sendiri. Serat sisal memiliki daya ikat yang baik dengan resin *Polyester*, yang memungkinkan terbentuknya ikatan yang kuat meskipun tanpa perlakuan tambahan. Namun, ada beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan. Komposit tanpa perlakuan cenderung memiliki ketahanan yang lebih rendah terhadap kelembapan dan degradasi lingkungan. Oleh karena itu, meskipun komposit tanpa perlakuan dapat memiliki performa yang baik, perlakuan tambahan mungkin diperlukan untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan lebih.

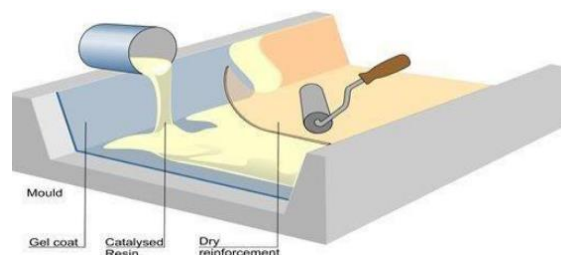
Sebagai ilustrasi, dalam penggunaan komposit serat sisal dalam aplikasi luar ruangan, seperti panel dinding atau atap, perlakuan tambahan mungkin diperlukan untuk meningkatkan ketahanan terhadap cuaca dan kelembapan. Dengan demikian,

meskipun komposit tanpa perlakuan dapat memiliki sifat mekanik yang baik, pemilihan perlakuan yang tepat sangat penting untuk memastikan daya tahan dan kinerja jangka panjang.

2.7 Metode *Hand-lay-up*

Teknik *hand lay-up* adalah salah satu metode yang umum digunakan dalam pembuatan komposit, terutama untuk aplikasi yang membutuhkan kontrol tinggi terhadap orientasi serat dan ketebalan material. Metode ini melibatkan penempatan serat secara manual ke dalam cetakan, diikuti dengan pengisian Resin *Polyester* untuk mengikat serat. Teknik *hand lay-up* memberikan fleksibilitas dalam desain dan memungkinkan pembuatan komposit dengan berbagai orientasi serat (Elkington et al., 2015).

Salah satu keuntungan dari metode *hand lay-up* adalah kemampuannya untuk menghasilkan komposit dengan sifat mekanik yang baik. Dalam studi oleh (Setiawan et al., 2023), ditemukan bahwa komposit serat sisal yang diproduksi dengan teknik *hand lay-up* menunjukkan peningkatan kekuatan bending hingga 25% dibandingkan dengan metode cetak lainnya. Hal ini disebabkan oleh kemampuan untuk mengontrol distribusi resin dan serat, yang sangat penting dalam mencapai ikatan yang kuat antara komponen. Namun, teknik *hand lay-up* juga memiliki beberapa tantangan.



Gambar 2.14 Proses Hand Lay- Up

Sumber : Jatmiko, (2017)

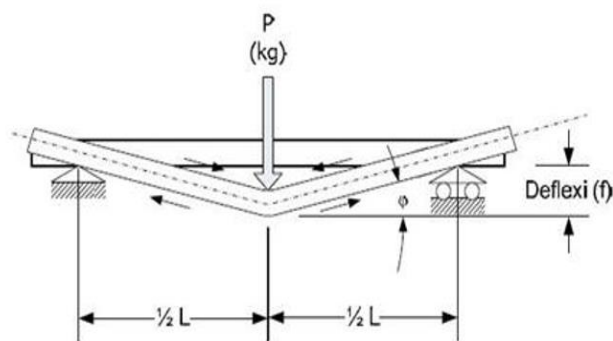
Proses manual dapat menyebabkan variasi dalam kualitas produk akhir, dan waktu produksi yang lebih lama dibandingkan dengan metode otomatis meskipun *hand lay-up* memberikan hasil yang baik, pengendalian kualitas yang ketat diperlukan untuk memastikan konsistensi produk. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan prosedur yang baik dalam proses *hand lay-up* untuk meminimalkan variabilitas.

Sebagai contoh, dalam pembuatan komposit untuk industri penerbangan, di mana keamanan dan keandalan sangat penting, teknik *hand lay-up* memungkinkan insinyur untuk memeriksa setiap lapisan secara manual, memastikan bahwa tidak ada cacat dalam struktur. Dengan demikian, meskipun ada tantangan, teknik *hand lay-up* tetap menjadi pilihan yang populer dalam pembuatan komposit berkualitas tinggi.

2.8 Pengujian Bending

Kekuatan Bending (*Flexural Strength*) Kekuatan bending, atau sering disebut juga sebagai *flexural strength*, merupakan salah satu parameter mekanik penting dalam menilai ketahanan suatu material terhadap gaya lentur. Pengujian bending dapat dilakukan untuk menentukan seberapa besar kekuatan lentur suatu material komposit. Kekuatan bending merujuk pada tegangan maksimum yang mampu ditahan material akibat beban luar, tanpa menyebabkan deformasi signifikan maupun kerusakan struktural. Besarnya kekuatan lentur ini dipengaruhi oleh karakteristik material serta jenis beban yang diberikan. Selama pengujian bending, bagian atas spesimen mengalami tekanan, sementara bagian bawahnya dikenai tegangan tarik.

Pada material komposit, umumnya kekuatan tekan lebih tinggi dibandingkan kekuatan tariknya. Ketika spesimen tidak mampu menahan tegangan tarik tersebut, maka terjadi patahan yang menyebabkan kegagalan material dalam uji bending. Nilai kekuatan lentur pada sisi atas dan bawah spesimen dianggap setara. Pengujian ini dilakukan menggunakan metode *three point bending*.



Gambar 2.15 pengaruh pembebanan threepoint bending
Sumber : Chandra (2020).

Tegangan bending pada material dapat dihitung dengan persamaan:

$$S = \frac{3.P.L}{2.b.d^2} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

- P = beban (N)
- L = support span (mm)
- b = lebar benda uji (mm)
- d = tebal bunda uji (mm)

Sedangkan untuk menghitung modulus elastisitas bending di gunakan rumus (Chandra2020).:

$$Eb = \frac{11.P.L}{4bd^3\delta} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

- Eb = modulus elastisitas bending

P = Beban (N)

b = lebar benda uji (mm)

d = tebal benda uji (mm)

δ = Defleksi (mm)

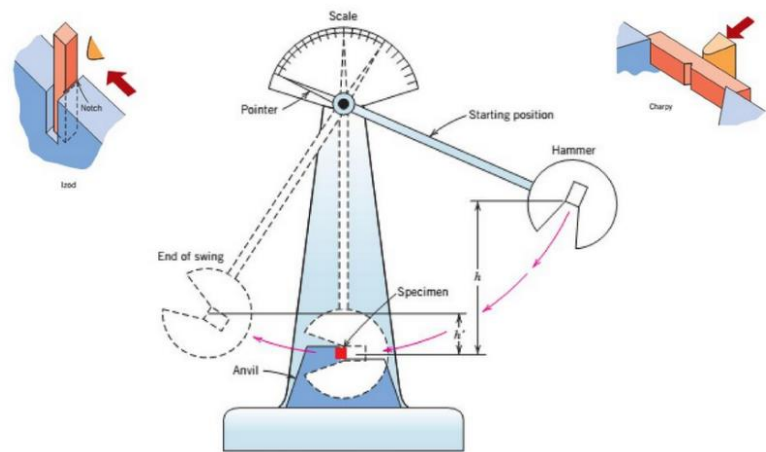
L = panjang support span (mm)

2.9 Pengujian *Impact* (Ketangguhan)

Kekuatan *Impact* adalah suatu kriteria penting untuk mengetahui kegetasan bahan polimer. prinsip uji *Impact* adalah menghitung energi yang diberikan beban dan menghitung energi yang di serap oleh spesimen. saat beban dinaikkan pada ketinggian tertentu, beban memiliki energi potensial, kemudian saat menumbuk spesimen energi kinetik mencapai maksimum. energi yang diserap spesimen akan menyebabkan spesimen mengalami kegagalan. bentuk dari kegagalan itu tergantung pada jenis materialnya.

Uji *Impact* terdiri dari dua teknik uji standar yaitu *Charpy* dan *Izod*. Pada uji standar *Charpy* dan *Izod* dirancang dan masih digunakan untuk mengukur energi *Impact* (J/cm²) yang juga dikenal dengan ketangguhan takik (*notch toughness*). Pengujian ini bertujuan untuk melihat dampak yang ditimbulkan oleh

adanya takikan, bentuk takikan, temperatur, dan faktor-faktor lainnya. Pengujian ini diartikan sebagai suatu tes yang mengukur kemampuan suatu bahan dalam menerima beban tumbuk yang diukur dengan besarnya energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen dengan ayunan. Bandul dengan ketinggian tertentu berayun dan memukul spesimen. Berkurangnya energi potensial dari bandul sebelum dan sesudah memukul benda uji merupakan energi yang diserap oleh spesimen.



Gambar 2.16. Skema Alat uji *Impact*
Sumber : Calliester, (2007)

Dalam pengujian spesimen uji *Impact* pada penelitian ini dibentuk berdasarkan standar ASTM D 6110-04 (*Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics*).

Nilai kekuatan *Impact* pada suatu spesimen adalah energi yang diserap tiap satuan luas penampang lintang spesimen uji. Persamaanya sebagai berikut:

$$K = \frac{E}{A} \left(\frac{J}{mm^2} \right) \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

K= Kekuatan *Impact* (J/cm²)

E= Energi Serap (J)

A= Luas Penampang (cm²)

2.10. Patahan pada bahan komposit

Banyak faktor yang dapat menyebabkan proses retak pada komposit, maka tidaklah mengherankan jika mode gagal yang beragam dapat dijumpai pada suatu sistem komposit tertentu. Berikut ini jenis jenis karakteristik patahan material komposit antara lain (Triana, 2011):

1. *Fiber pull out* adalah tercabutnya serat dari matrik yang terjadi ketika matrik retak akibat beban tarik. Kemampuan untuk menahan beban akan segera berkurang, namun komposit masih mampu menahan beban walaupun beban yang mampu ditahan lebih kecil dari pada beban maksimum. Saat matrik retak, beban akan ditransfer dari matrik ke serat ditempat persinggungan retak. Selanjutnya, kemampuan untuk mendukung beban berasal dari serat. Seiring dengan bertambahnya deformasi, serat akan tercabut dari matrik akibat debonding dan patahnya serat.
2. Patah banyak, Ketika jumlah serat yang putus akibat beban tarik masih sedikit dan kekuatan *interface* masih baik, matrik mampu mendukung beban yang diterima dengan cara mendistribusikan beban tersebut ke sekitarnya.
3. Patah Tunggal, disebabkan oleh serat yang putus akibat beban tarik. Matrik tidak mampu lagi menahan beban tambahan.
4. Debonding, Lepasnya ikatan pada bidang kontak matrik serat. Hal ini dapat disebabkan oleh gaya geser yang tidak mampu ditahan oleh matrik.

2.11. Jurnal Rujukan

Fikran (2022), dalam penelitiannya dengan judul Analisis Sifat Mekanis Bahan Komposit Lamina Serat Sisal (*Sisalana Agave*) Bermatriks Polimer Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui sifat mekanis dari pengaruh susunan kombinasi variasi sudut lamina dan komposisi campuran serat dan matriks. Pada penelitian ini menggunakan resin Polyester, katalis, dan serat sisal sebagai bahan dalam pembuatan material komposit. Dalam pembuatan spesimen mengacu pada standar pengujian ASTM D 638-02 tipe 3 untuk uji tarik sedangkan untuk uji *Impact* menggunakan standar ASTM D 6110-04. Hasil pengujian tarik bahan komposit lamina serat sisal dengan asumsi perbandingan komposisi 5% serat dan 95 % resin menghasilkan

tegangan tarik maksimum sebesar $\sigma_{\max} = 23,04583 \text{ N/mm}^2$ dan regangan maksimum sebesar $\epsilon = 5,9780 \%$ serta beban maksimum sebesar $F_m = 5560,9598 \text{ N}$ sedangkan dengan asumsi perbandingan komposisi 15% serat 85% resin menghasilkan tegangan tarik maksimum sebesar $\sigma_{\max} = 45,18234 \text{ N/mm}^2$ dan regangan maksimum sebesar $\epsilon = 9,6849 \%$ serta beban maksimum sebesar $F_m = 10902,4996 \text{ N}$. Hasil pengujian *Impact* bahan komposit lamina serat sisal dengan asumsi perbandingan komposisi 5% serat 95% resin menghasilkan kekuatan *Impact* rata-rata sebesar $K = 553,33 \text{ J/cm}^2$, dan bahan komposit lamina serat sisal dengan perbandingan komposisi 15% serat 85% resin menghasilkan kekuatan *Impact* rata-rata sebesar $K = 831,80 \text{ J/cm}^2$. Hasil penelitian ini menunjukkan semakin besar perbandingan serat dan resin maka nilai kekuatan rata-rata yang dihasilkan semakin meningkat.

Zulmiardi (2022) dalam penelitiannya dengan judul pengaruh fraksi volume terhadap kekuatan bending pada komposit berpenguat serat daun sisal menggunakan resin bqtn 157-ex. Penelitian ini bertujuan untuk membuat prototipe komposit plastik berpenguat serat daun sisal, dengan variasi fraksi volume (V_f) 5%, 10%, 15% dengan perlakuan alkali sebesar 5%. Komposisi serat disusun didalam cetakan dengan arah memanjang (0°) dengan orientasi laminat acak, menggunakan metode Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI). Dari penggunaan metode ini dapat mengeluarkan udara yang terperangkap masuk pada spesimen komposit maka diharapkan nilai dari kekuatan uji bending menjadi lebih besar. Hasil dari proses pengujian bending diharapkan nilai kekuatan uji bending terbesar dengan fraksi volume 15% dengan nilai rata-rata yaitu 153,76 Newton, untuk pengujian bending terendah pada fraksi volume 5% dengan nilai rata-rata 78,45 Newton. Fitrayudha (2020) dalam penelitiannya dengan judul analisis sifat mekanis komposit Polyester sisal menggunakan metode

anova. Dibuat sesuai standar ASTM D-638 dan ASTM D-790 dengan masing-masing variasi terdiri dari fraksi volume serat (VF) 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan variasi orientasi arah serat (OS) 0° (sejajar serat), chopped (serat pendek acak), 45°, 0°-90° (tegak-lurus), dan 45°-135° (diagonal). Pembuatan komposit dilakukan dengan teknik *hand lay-up* menggunakan cetakan kaca dengan proses curing selama 24 jam. Sampel yang telah kering sempurna kemudian dipotong sesuai ukuran standar untuk dilakukan pengujian kekuatan mekanis. Hasil pengujian mekanis komposit selanjutnya dianalisis menggunakan metode anova dengan bantuan software Minitab 18. Hasil eksperimen menunjukkan variasi fraksi volume dan orientasi arah serat sangat berpengaruh terhadap kekuatan mekanis komposit Polyester. Kekuatan mekanis komposit meningkat secara signifikan seiring penambahan fraksi volume dari 0% hingga 40% serat. Komposit berfraksi volume 40% dengan arah serat sejajar menghasilkan kuat Tarik dan lentur tertinggi, yaitu masing-masing sebesar 41,110 (N/mm²) dan 176,590 (N/mm²). Sedangkan komposit dengan kekuatan mekanis terendah terjadi pada fraksi volume 0% dengan arah serat *chopped*.