

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Teknik

Material menjadi tonggak sejarah peradaban manusia, dimana kita mengenal adanya zaman batu, zaman besi, zaman perunggu. Pada zaman sekarang material telah memainkan peranan yang sangat penting dalam perkembangan teknologi (*Ario Kurniadi, 2013*). *Matrrial science* adalah disiplin ilmu yang mempelajari hubungan antara struktur material dengan sifat-sifat material. *Material engineering* merupakan dasar hubungan struktur dan sifat bahan, mendisain struktur bahan untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan. Berdasarkan pengertian tersebut maka materia teknik adalah matrial yang digunakan untuk menyusun sebuah benda dan digunakan untuk perekayasaan dan perancangan di bidang teknik (*Diktat Material Teknik, Ir. Asyari Daryus SE. MSc*). Secara garis besar material teknik dapat dikelompokkan menjadi 6 golongan berdasarkan sifat dan elemen struktur material yaitu logam, keramik, polimer, komposit.

2.1.1 Logam

Logam adalah material yang mempunyai daya hantar listrik yang tinggi dengan mempunyai sifat konduktor yang baik dan tahan terhadap temperatur tinggi, mempunyai titik didih tinggi, keras, mengkilap, tidak tembus cahaya, dan dapat dideformasi sehingga banyak digunakan pada banyak kontruksi. Jenis logam dibedakan menjadi 2 jenis yaitu logam *ferro* dan *non ferro*.



Gambar 2.1 Logam

Sumber : (Sri Nur Haslinda 2020)

2.1.2 Keramik

Keramik merupakan campuran antara unsur logam dan non logam, kebanyakan dalam bentuk oksida, nitrida, dan karbida. Material yang termasuk dalam kelompok ini tersusun atas clay, semen dan gelas. Material ini bersifat insulator terhadap listrik dan panas dan lebih tahan pada temperatur tinggi dan lingkungan yang berat daripada logam dan polymer. Sifat mekanik material ini keras namun getas.



Gambar 2.2 Keramik

Sumber : (Sri Nur Haslinda 2020)

2.1.3 Polymer

Polymer adalah molekul rantai panjang yang mengandung beberapa ikatan mer. Mer dalam sebuah polymer adalah sebuah molekul hidrokarbon tunggal seperti etilen (C_2H_4). Karet dan plastik termasuk dalam kelompok ini, kebanyakan berupa senyawa organik yang secara kimia tersusun atas unsur karbon, hidrogen dan nonlogam lainnya. Sifat polymer terdiri dari beberapa sifat yakni sifat thermal, sifat kelenturan.



Gambar 2.3 Polymer
Sumber : (Sri Nur Haslinda 2020)

2.2 Komposit

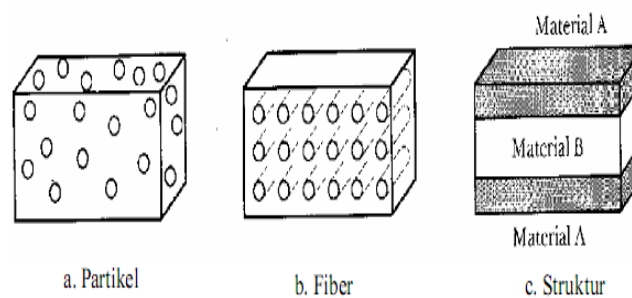
Komposit adalah sistem yang tersusun melalui pencampuran dua material atau lebih yang berbeda, dalam bentuk dan komposisi material yang tidak larut satu sama lain (*Rahmat Iskandar Fajri 2013*). Pada umumnya bahan komposit adalah bahan yang memiliki beberapa sifat yang tidak mungkin dimiliki oleh masing-masing komponennya. Dalam pengertian ini sudah tentu kombinasi tersebut tidak terbatas pada bahan matriksnya (*Surdia T dan Saito S., 1985*).

Kata komposit bersal dari kata “*to compose*” yang berarti menyusun atau menggabung. Secara sederhana material komposit adalah material gabungan dari dua atau lebih material yang berlainan. Jadi komposit adalah suatu bahan yang merupakan gabungan atau campuran dari beberapa material pada skala *mikroskopik* untuk membentuk material ketiga yang lebih bermanfaat. Adapun sifat maupun karakteristik dari komposit ditentukan oleh: (*Pramono, A, 1989*).

- a. Material yang menjadi penyusun komposit, karakteristik komposit ditentukan berdasarkan karakteristik material penyusun, menurut rule ofmixture sehingga hasilnya akan berbanding secara proposional.

- b. Bentuk dan penyusunan structural dari komposit, Bentuk dan cara penyusunan komposit akan mempengaruhi karakteristik komposit.
- c. Interaksi antar penyusun, bilah terjadi interaksi antar penyusun akan meningkatkan sifat dari komposit itu.

Adapun ilustrasi material komposit berdasarkan penguatnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Gambar 2.4 Ilustrasi Komposit Berdasarkan Penguatnya

Sumber : (Pramono, A, 1989)

Komposit merupakan sejumlah sistem multifase sifat dengan bangunan yaitu antara baris matriks atau pengikat dengan penguat material tersebut adalah komposit (Hadi 2006). Pada penelitian ini bertujuan untuk membuat komposisi dan menguji material komposit dengan uji bending dan truktur mikro untuk membandingkan uji terebut dengan bahan kayu pada peralatan yang lazim digunakan seperti gerobak dan lainnya (Hartanto 2019). Sehingga bilah dari hasil penelitian terbukti bawah material tersebut cocok untuk memproduksi bentuk menggantikan bahan kayu pada gerobak jenis baru yang memiliki karakteristik yang lebih baik daripada sebelumnya. Fungsi umum serat pada komposit adalah untuk memperkuat, sehingga dapat memperoleh produk yang lebih kuat dan koko. Selain itu juga untuk mengurangi penggunaan resin (Erri ningsi dkk 2011).

2.2.1 Komposit Berserat (*fibrous composite*)

Komposit berserat adalah jenis komposit yang paling banyak digunakan dalam aplikasi komposit. Komposit serat terdiri dari serat sebagai penguat dan matriks sebagai pengikat yang mengikat serat untuk mendistribusikan kekuatan atau beban hantar serat. Kekuatan material komposit berserat ditentukan oleh ikatan mekanik atau ikatan kimia. Ikatan yang buruk antar serat dan matriks dapat menyebabkan kegagalan komposit (*Schwartz 1984*). Jenis komposit serat terbagi menjadi tiga yaitu :

a. *Continous fiber composite*

Continous fiber composite atau *uni- directional* mempunyai susunan serat panjang dan lurus membentuk lamina diantara maktriksnya. Jenis komposit ini paling banyak digunakan. Tipe ini mempunyai kelemahan pada pemisahan antar lapisan, hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya.



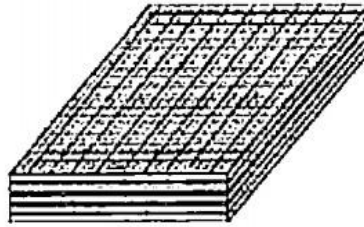
Gambar 2.5 Continous Fiber Composite

Sumber : (Gybson 1994)

b. *Woven fiber composite*

Woven fiber komposite tidak mudah dipengaruhi pemisahan antar lapisan karna susunan seratnya mengikat antar lapisan. Susunan serat

memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan lemah.

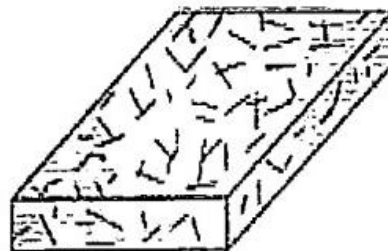


Gambar 2.6 Woven Fiber Composite

Sumber : (Gybson 1994)

c. *Chopped fiber composite*

Komposit *chopped fiber composite* atau tipe serat pendek masih dibedakan menjadi tiga, yaitu *alingned discontinous fiber*, *off axis alinged discontinous fiber* dan *randomly oriented discontinous fiber*.

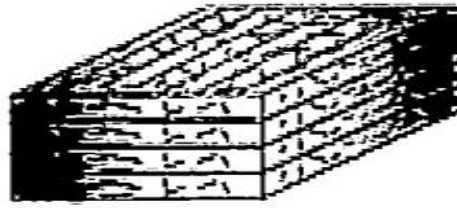


Gambar 2.7 Chopped Fiber Composite

Gambar : (Gybson 1994)

d. *Hybird fiber composite*

Hybird fiber composite merupakan gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak. Pertimbangannya supaya dapat mengeliminir kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihanannya (Nurun Nayiroh 2013).



Gambar 2.8 Hybrid Fiber Composite
Sumber : (Gybson 1994)

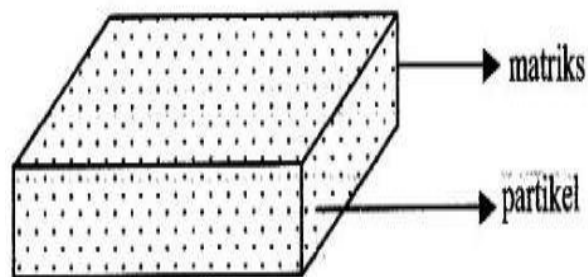
2.2.2 Komposit Partikulat (*particulate composite*)

Komposit partikel tersusun dari partikel sebagai penguat dan didistribusikan secara seragam dalam matriks. Komposit ini memiliki ukuran partikel yang sama dan dapat dibuat lebih dari satu jenis partikel dalam matriks partikel-partikel itu dapat berupa logam atau non logam, seperti halnya matriks. Selain itu tidak seperti polimer yang mengandung partikel yang hanya dimaksudkan untuk meningkatkan volume material dan bukan untuk kepentingan sebagai bahan penguat (*Jones 1975*).

Komposit partikel merupakan produk yang dihasilkan dengan menempatkan partikel-partikel dan sekaligus mengikatnya dengan suatu matriks bersama-sama dengan satu atau lebih unsur-unsur perlakuan seperti panas tekanan kelembaban, katalisator dan lain-lain. Komposit partikel ini berbeda dengan jenis serat acak sehingga bersifat isotropis. Kekuatan komposit serat dipengaruhi oleh tegangan koheren antara fase partikel dan matriks yang menunjukkan sambungan yang baik partikelnya bisa logam atau non logam, seperti halnya matriks. Selain itu adapula polimer yang mengandung partikel yang hanya dimaksudkan untuk memperbesar volume material dan bukan untuk kepentingan sebagai bahan penguat komposit.

Komposit yang disusun oleh reinforcement berbentuk partikel, dimana interaksi partikel dan matriks terjadi tidak dalam skala mik atau molekular partikel

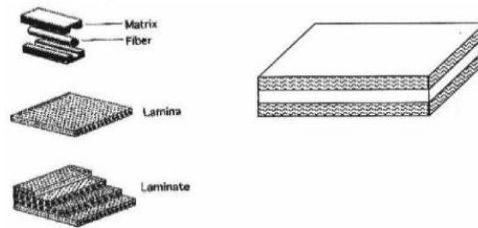
seharusnya berukuran kecil dan terdistribusi merata agar dapat menghasilkan kekuatan lebih seragam pada berbagai arah dan dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan material. Komposit partikel ini berbeda dengan jenis serat acak sehingga bersifat isotropis.



Gambar 2.9 Particulate Composite
Sumber : (Gybson 1994)

2.2.3 Komposit Lapis (*laminatete compasite*)

Komposit lapis atau *laminatete compasite* terdiri dari lapisan setidaknya terdiri dari dua bahan yang berbeda yang terikat bersama. Laminasi digunakan untuk menggabungkan aspek terbaik dari lapisan penyusun dan bahan pengikat untuk mencapai bahan yang lebih berguna. Sifat-sifat yang dapat ditekankan oleh laminasi adalah kekuatan, berat badan rendah, kekakuan, ketahanan korosi, ketahanan aus, isolasi termal, dan isolasi akustik (*Jones 1999*). Contoh komposit ini yaitu bimetal pelapis, logam kaca yang dilapisi, komposit lapis serat dan *polywood laminated glass* yang sering digunakan sebagai bahan bangunan dan kelengkapannya. Komposit laminate ini terdiri dari empat jenis yaitu komposit serat kontinyu, komposit serat anyam, komposit serat acak dan komposit serat hybrid.



Gambar 2.10 Laminate Composite
Sumber : (Gybson 1994)

2.3 Sifat-Sifat Material

Secara garis besar material mempunyai sifat-sifat yang mencirikannya, pada bidang teknik mesin umumnya sifat tersebut dibagi menjadi tiga sifat. Sifat-sifat itu akan mendasari dalam pemilihan material, sifat tersebut adalah:

2.3.1 Sifat Mekanik

Sifat mekanik adalah sifat yang menunjukkan kelakuan material apabila material tersebut diberi beban mekanik (*statis* atau *dinamik*), contoh sifat mekanik diantaranya adalah:

- a. Kekuatan (*strength*), merupakan kemampuan suatu material untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan material menjadi patah. Berdasarkan pada jenis beban yang bekerja, kekuatan dibagi dalam beberapa macam yaitu kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi, dan kekuatan lengkung.
- b. Kekakuan (*stiffness*), adalah kemampuan suatu material untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya deformasi atau difleksi, semakin kaku material semakin sulit untuk mengubah bentuknya.
- c. Kekenyalan (*elasticity*), didefenisikan sebagai kemampuan material untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah setelah tegangan dihilangkan atau kemampuan material

untuk kembali ke bentuk semula setelah mengalami deformasi (perubahan bentuk).

- d. Plastisitas (*plasticity*), adalah kemampuan material untuk mengalami deformasi plastik (perubahan bentuk secara permanen) tanpa mengalami kerusakan. Material yang mempunyai plastisitas tinggi dikatakan sebagai material yang ulet (*ductile*).
- e. Keuletan (*ductility*), adalah suatu sifat material yang menggambarkan seperti kabel dengan aplikasi kekuatan tarik. Material *ductile* harus kuat dan lentur. Keuletan biasanya diukur dengan satu periode tertentu, presentase keregangan.
- f. Ketangguhan (*toughness*), merupakan kemampuan material untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan.
- g. Kegetasan (*brittleness*), adalah suatu sifat bahan yang mempunyai sifat berlawanan dengan keuletan. Kerapuhan ini merupakan suatu sifat pecah dari suatu material dengan sedikit pergeseran permanent.
- h. Kelelahan (*fatigue*), merupakan kecenderungan dari logam untuk menjadi patah bilah menerima beban bolak-balik (*dynamic load*) yang besarnya masih jauh dibawah batas kekakuan elastinya.
- i. Melar (*creep*), merupakan kecenderungan suatu logam untuk mengalami deformasi plastik bilah pembebanan yang besarnya relatif tetap dilakukan dalam waktu yang lama pada suhu yang tinggi.
- j. Kekerasan (*hardness*), merupakan ketahanan material terhadap penekanan atau indentasi/penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus (*wear resistance*) yaitu ketahanan material terhadap penggoresan atau pengikisan.

2.3.2 Sifat Fisik dan Kimia

Sifat fisik dan kimia adalah suatu sifat yang berkaitan dengan karakteristik fisik atau kondisi dari material, contoh sifat fisik- kimia dari suatu material diantaranya adalah:

- a. Titik cair (*Melting Point*), adalah suhu di mana suatu zat padat berubah menjadi cair. Sifat ini penting untuk menentukan suhu operasi dan proses manufaktur suatu material. Misalnya, logam seperti besi memiliki titik cair yang tinggi, sehingga cocok untuk aplikasi struktural yang memerlukan ketahanan terhadap suhu tinggi.
- b. Konduktifitas panas (*Thermal Conductivity*), adalah mengukur kemampuan suatu material untuk menghantarkan panas. Material dengan konduktivitas panas tinggi, seperti tembaga dan aluminium, efektif dalam aplikasi yang memerlukan transfer panas cepat, seperti radiator atau pendingin. Sebaliknya, material dengan konduktivitas panas rendah, seperti kayu atau plastik, digunakan sebagai isolator termal.
- c. Massa jenis (*density*), adalah massa per satuan volume suatu material. Sifat ini menentukan kerapatan material dan memengaruhi berat serta kekuatan struktur. Material dengan massa jenis tinggi, seperti baja, digunakan dalam konstruksi yang memerlukan kekuatan tinggi, sedangkan material dengan massa jenis rendah, seperti aluminium, digunakan untuk mengurangi berat total struktur.
- d. Warna adalah sifat optik yang dapat diamati secara langsung dan sering digunakan untuk identifikasi material. Misalnya, tembaga berwarna merah kecokelatan, aluminium berwarna perak, dan emas berwarna kuning keemasan.

Perubahan warna juga dapat menunjukkan adanya reaksi kimia atau degradasi material.

- e. Ketahanan korosi (*Corrosion Resistance*), adalah kemampuan suatu material untuk menahan degradasi akibat reaksi kimia dengan lingkungan, seperti oksidasi atau reaksi dengan asam. Material seperti stainless steel memiliki ketahanan korosi yang baik karena membentuk lapisan pasif yang melindungi permukaan dari kerusakan lebih lanjut. Ketahanan korosi sangat penting dalam aplikasi yang terpapar lingkungan agresif, seperti industri kimia atau kelautan.

2.3.3 Sifat Teknologi

Sifat teknologi adalah suatu sifat yang berkaitan dengan kemudahan material tersebut untuk di proses lebih lanjut, contoh dari sifat teknologi diantaranya adalah:

- a. Mampu Mesin, adalah kemampuan suatu material untuk dipotong dengan menggunakan alat potong (pahat, gergaji, kikir dan gerinda). Proses pemotongan akan terjadi apabila ada gerak relatif antara benda kerja dan pahat.
- b. Mampu Cor, adalah kemampuan suatu material untuk dicairkan dan dituang ke dalam cetakan tanpa adanya cacat (cacat seperti: patah, retak, porositas, dan segregasi).
- c. Mampu Las, kemampuan suatu material untuk disambung dengan menggunakan panas tanpa adanya cacat seperti (fasa, keras, retak dan distorsi).
- d. Mampu Bentuk, adalah kemampuan suatu material untuk dideformasi plastis dengan tidak terjadinya necking dan beban yang diperlukan rendah. Necking adalah pengecilan penampang pada saat deformasi plastis berlangsung.

2.4 Tanaman Sisal (*Agave Sisalana*)

Tanaman sisal merupakan salah satu serat alam yang paling banyak digunakan dan paling mudah dibudidayakan. Sisal tumbuh liar sebagai pagar dan di sepanjang rel kereta api di India (*Murherjee Dkk, 1984*). Tanzania dan Brazil merupakan negara penghasil sisal terbesar (*Chand et.al, 1988*). Serat sisal merupakan serat kertas yang dihasilkan dari proses ekstraksi daun tanaman sisal (*Agave Sisalana*). Meskipun tanaman ini berasal dari Amerika Utara dan Selatan, sisal dapat tumbuh dengan baik hingga di Afrika, Hindia Barat, dan Timur Jauh. Di Indonesia produksi tanaman sisal mencapai hampir 4,5 juta ton tiap tahunnya. Tanaman sisal dapat menghasilkan 200-250 daun, dimana masing-masing daun terdiri dari 1000-1200 bundel serat yang mengandung 4% serat, 0,75% kutikula, 8% material kering, dan 87,25% air. Normalnya selembar daun sisal mempunyai berat sekitar 600gram yang dapat menghasilkan 3% berat serat atau 1000 helai serat.

Daun sisal terdiri dari tiga tipe yaitu mekanis, ribbon, dan xylem. Serat mekanis diekstrak dari bagian tepi daun (*periphery*). Seratnya kasar dan tebal berbentuk seperti kuda dan jarang dipisahkan saat proses ekstraksi bagian ini merupakan bagian terpenting dari serat sisal. Serta ribbon terbentuk dibagian tengah daun. Struktur jaringan ribbon sangat kuat dan merupakan bagian serat terpanjang. Dibandingkan serat mekanis serat ribbon mudah dipisahkan secara membujur selama proses berlangsung. Ketebalan, panjang dan kekuatan serat tergantung pada kedewasaan daun serta posisi serat pada daun. Daun tertua terletak paling dekat dengan tanah, yang mengandung serat terpanjang dan kasar. Serta yang diekstrak dari daun yang masih muda biasanya lebih pendek, halus, dan lebih lemah.



Gambar 2.11 Tanaman Sisal
Sumber : (Mazharul Islam 2013)

2.4.1 Manfaat Tanaman Sisal

Tanaman sisal pasti masih terdengar asing khususnya bagi masyarakat Indonesia sesuai namanya sisal adalah serat alami yang diperoleh dari daun tanaman sisal (*Agave Sisalana*) atau biasa disebut dengan daun henequen. Seratnya panjang dan cukup keras, diperoleh dengan cara memukul daun agar menyisakan serat yang kuat. Serat ini memiliki tekstur yang kasar dengan warna putih krem yang mengkilap. Ini merupakan tanaman asli dari negara Amerika namun dapat tumbuh di daerah yang memiliki iklim tropis. Serat sisal dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan produk tekstil ataupun produk rumah tangga. Berikut ini contoh pemanfaatan daun henequen atau serat sisal.

a. Bahan Dasar Tekstil

Seperti halnya serat-serat yang lainnya serat sisal juga dikelompokkan menurut kualitas serat yang dihasilkan, serat sisal dengan kualitas yang baik dapat dijadikan bahan dasar tekstil untuk membuat produk garmen seperti halnya pakaian.

b. Pembuatan Tali

Salah satu pemanfaatan serat sisal adalah untuk pembuatan tali, dibandingkan dengan serat dari tanaman yang lain, serat yang berasal dari tanaman daun

henequen ini adalah jenis tanaman yang menghasilkan serat yang terkuat. Di Indonesia serat sisal ini dipilih untuk dijadikan tali kapal karena mempunyai kualitas tali yang sangat kuat dan tahan terhadap air asin.

c. Rompi Anti Peluru

Mungkin sebagian orang tidak menduga serat sisal dapat dimanfaatkan sebagai rompi anti peluru. Perkembangan teknologi saat ini dari suatu bahan memang sangat pesat, serat sisal yang tergolong jenis dan kualitas yang baik dan terkenal dengan kekuatannya kemudian dikembangkan menjadi bahan untuk pembuatan rompi anti peluru.

d. Pembuatan Kertas

Serat sisal didapatkan dari tanaman sisal yang juga dapat dimanfaatkan untuk pembuatan kertas. Tanaman ini dapat tumbuh dilahan yang kritis sekalipun, itu artinya dapat menjadi solusi tanpa harus melakukan penebangan hutan secara besar-besaran untuk dapat memenuhi kebutuhan kertas.

e. Bahan Dasar Karpet

Kebanyakan orang mengetahui bahan dasar pembuatan karpet adalah serat goni. Pada dasarnya memang benar, namun semakin berkembangnya teknologi dan banyaknya penelitian-penelitian yang dilakukan serat sisal ini dapat bersaing dengan goni untuk dijadikan bahandaar karpet, karena serat sisal mempunyai karakteristik yang sangat kuat.

f. Peralatan Rumah Tangga dan Aksesoris.

Selain tali, produk tekstil serat sisal juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan untuk pembuatan perabot rumah tangga seperti halnya keranjang, kaset, ataupun sapu selain itu digunakan juga untuk aksesoris seperti topi dan tas.

2.4.2 Sifat Serat Sisal

Harga serat sisal sangat murah dibandingkan serat sintesis, yaitu 0.36US\$/kg. Harga tersebut hanya sepersembilan harga serat gelas yang mencapai 3.25 US\$/kg, serta seperlimaratus harga serat karbon yang mencapai 500US\$/kg (*Li Et, Al 2000*).

Umumnya kekuatan dan kekakuan serat tumbuhan tergantung pada kandungan selulosa dan sudut spiral yang terbentuk antara ikatan mikrofibril pada lapisan kedua dinding sel dengan sumbu serat. Selain itu struktur dan sifat serat alam tergantung pada asal dan umur serat. Komposisi kimia serat sisal telah dikaji beberapa peneliti. (*Ansell 1971*) menemukan bahwa serat sisal mengandung 78% selulosa, 8% lignin, 10% hemi-celluloses, 2% wax dan 1% ash. Tetapi *rowell 1992* menyatakan bahwa sisal mengandung 43-56% sellulosa, 7-9% lignin, 21-24% pentosan dan 0,5-1% ash. Menurut *Joseph at.al 1996*, sisal mengandung 85-88% sellulosa. Bervariasinya komposisi kimia serat sisal disebabkan oleh perbedaan asal dan umur serat serta metode pengukuran. *Chand dan hashmi, 1993* menunjukkan bahwa sellulosa dan lignin yang terdapat pada sisal bervariasi dari 46.62-60.95 dan 3.75-4.40%, tergantung pada usia tanaman.

Kekuatan tarik serat sisal tidak sama sepanjang serat, bagian bawah serat umumnya mempunyai kekuatan tarik dan modulus yang lebih rendah dibanding bagian atas serat. Namun kekuatan tahan pecah bagian tersebut lebih tinggi, pada bagian tengah serat lebih kuat dan kaku. Pada tabel dibawah ini menunjukkan sifat serat sisal hasil kajian beberapa penelitian. Perlu diketahui bahwa struktur dan sifat serat itu sendiri, kondisi percobaan seperti panjang sampel serat dan kecepatan pengujian mempengaruhi sifat serat alam itu sendiri.

Tabel 2.1 Sifat Serat Sisal Hasil Kajian Beberapa Penelitian

Densitas (kg/m ³)	Maisture Content (%)	Kekuatan Tarik (Mpa)	Modulus (Gpa)	Maximum Starin (%)	Diameter (μm)
1450	11	604	9.4-15.8	-	50-200
1450	-	530-640	9.4-22	3-7	50-300
-	-	347	14	5	-
1030	-	500-600	16-21	3.6-5.1	-
1410	-	400-700	9-20	5-14	100-300
1400-	-	4500-700	7-13	4-9	-
-	-	530-630	17-22	3.64-5.12	100-300
1450	-	450-700	7-13	4-9	-

Sumber: (Mukherje dan Satyanarayana, 1984)

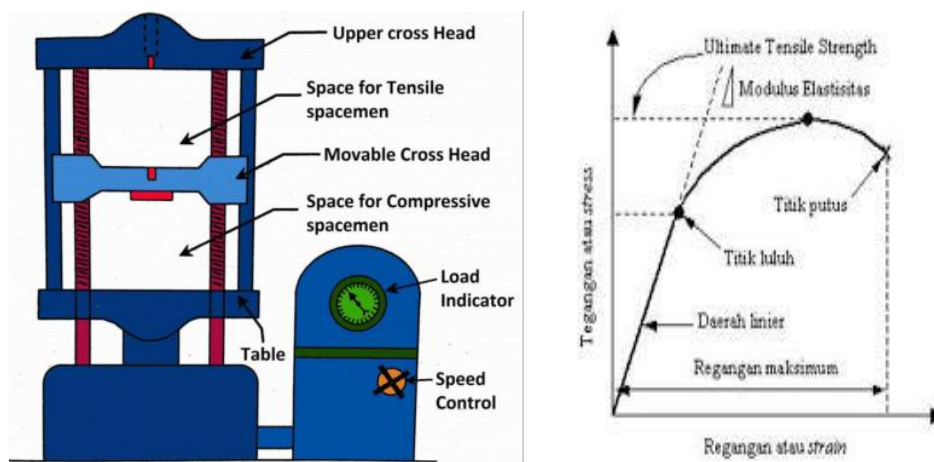
2.5 Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik, atau *ultimate tensile strength* (UTS), adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh suatu material saat ditarik sebelum patah. Tegangan ini dihitung dengan membagi gaya maksimum (F) yang diterapkan pada material dengan luas penampang awal (A_0) dari material tersebut. Nilai UTS tidak bergantung pada ukuran material, tetapi tergantung pada sifat intrinsik material tersebut.

Uji tarik merupakan jenis pengujian yang dilakukan dengan melakukan penarikan terhadap suatu bahan sampai bahan tersebut putus atau patah. Benda uji yang diberi gaya tarik diletakkan secara sejajar dengan garis sumbunya dan seranjang terhadap permukaan penampangnya. Standar dimensi dari benda uji ditentukan menurut standart teknik untuk matrial yang berlaku ditempat pengujian dan dianalisis lebih lanjut sebelum diterapkan.

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui tegangan, regangan, modulus elastisitas bahan dengan cara memberikan beban tarik secara perlahan sampai

material komposit mengalami putus. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin *Universal Testing Machine*. Dalam uji tarik, gaya tarik aksial yang terus meningkat diterapkan pada spesimen sambil secara bersamaan mengamati perpanjangan benda hingga putus. Elastisitas maksimum dari suatu bahan disebut “kekuatan tarik tertinggi”. Kekuatan tarik suatu bahan diperoleh dari hasil uji tarik standar ASTM D 638-02 dengan panjang 250 mm lebar 25 mm.



Gambar 2.12 Alat Uji Tarik dan Kurva Tegangan-Regangan
Sumber : (Rizki, 2020, Santoso, 2006)

Rumus dari uji tarik melibatkan perhitungan tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*). Adapun kekuatan tarik mempunyai rumus sebagai berikut yaitu:

$$\sigma_t = \frac{F_{max}}{A_0} \left(\frac{N}{mm^2} \right) \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

σ_t = Tegangan Tarik Maksimum (*Mpa*)

F_{max} = Beban Maksimum (N)

A_0 = Luas Penampang (mm^2)

Luas penampang adalah ukuran area permukaan suatu objek (biasanya batang, pipa, atau balok) yang dipotong secara tegak lurus terhadap arah panjang atau aliran.

Adapun luas penampang dihitung dengan rumus berikut:

$$A_0 = W.t \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

W = lebar (mm)

T = tebal (mm)

Kekuatan luluh adalah tegangan yang diperlukan untuk menginduksi deformasi plastis kecil tertentu titik luluh dihitung dengan rumus berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

σ = Tegangan tarik maksimum (N/mm²)

F = Beban Maksimum (N)

A₀ = Luas Awal Penampang (mm)

Untuk perhitungan nilai regangan dari sampel material dapat diketahui dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A_0} (100\%) \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

ε = Regangan Maksimum (Mpa, N/mm²)

A₀ = Luas Mula Penampang (mm²)

ΔA = Luas Akhir Penampang (mm²)

Modulus elastisitas adalah ukuran kekakuan material dalam digaram tegangan regangan. Modulus elastisitas dapat dihitung dari kemiringan garis elastisitas linier. Adapun rumus untuk menghitung modulus elastisitas sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana:

E = Modulus Elastisitas (Mpa)

σ = Tegangan (N/mm²)

ε = Regangan Maksimum (%)

2.6 Struktur Makro

Metalografi adalah teknik atau metode persiapan material untuk mengukur, baik secara kuantitatif maupun kualitatif dari informasi yang terkandung dalam material yang dapat diamati, seperti fase, biji-bijian, komposisi kimia, orientasi butir, jarak atom, dislokasi, topografi dan sebagainya. Dalam metalografi ada dua hal yang dicermati, yaitu struktur makro dan struktur mikro. Struktur makro adalah struktur logam yang terlihat dalam makro pada permukaan terukir dari spesimen yang telah dipoles. Sedangkan struktur mikro adalah struktur permukaan logam yang telah dipersiapkan secara khusus terlihat dengan menggunakan pembesaran minimal 25× (Yogie Pranata 2015).

Struktur *makro* material komposit mengacu pada susunan besar atau tata letak komponen-komponen dalam suatu material. Ini melibatkan bagaimana partikel-partikel tersebut tersusun dan berinteraksi dalam skala yang cukup besar, sehingga bisa diamati dengan mata telanjang atau menggunakan alat sederhana seperti mikroskop biasa. Struktur makro material sangat mempengaruhi sifat-sifat material seperti kekuatan,

kekerasan, dan keuletan misalnya dalam logam dan material komposit, struktur makro dapat berupa butir-butir yang terlihat dengan jelas.

Analisis struktur *makro* digunakan untuk menentukan apakah parameter struktur berada dalam spesifikasi tertentu dan didalam penelitian digunakan untuk menentukan perubahan-perubahan struktur *makro* yang terjadi sebagai akibat komposisi atau perlakuan yang diberikan. Dengan analisa *makro* struktur, kita dapat mengamati bentuk dan ukuran kristal material, kerusakan material akibat proses deformasi, proses perlakuan panas, dan perbedaan komposisi. Dalam material komposit, struktur makro melibatkan tata letak dan distribusi fase-fase yang berbeda dalam material tersebut, ini dapat mencakup matriks yang mengelilingi serat atau partikel penguat, struktur makro yang baik akan memastikan distribusi serat seragam dan interaksi yang efektif antara serat dan matriks untuk mencapai sifat yang diinginkan.



Gambar 2.13 Mikroskop

Sumber : (Sita Yusnia 2022)

Objek yang difoto adalah penampang melintang spesimen serat. Pengambilan foto makro bertujuan untuk mengetahui luas penampang serat dan keliling serat, dan juga jenis patahan, objek difoto kemudian hasil foto dianalisis.

2.6.1 Jenis-Jenis kerusakan pada material komposit.

a. *Matrix Cracking* (Retak Matriks)

Retak pada matriks adalah salah satu bentuk kerusakan awal yang umum terjadi pada material komposit. Retakan ini biasanya muncul akibat

beban mekanis atau dampak energi rendah hingga sedang, terutama pada arah yang sejajar dengan serat. Meskipun retakan ini tidak langsung menyebabkan kegagalan struktural, namun dapat membuka jalan bagi kelembaban atau zat kimia untuk masuk, yang pada akhirnya dapat mempercepat degradasi material.

b. *Fibre Breakage* (Patah Serat)

Patah serat terjadi ketika serat penguat dalam komposit mengalami beban yang melebihi kekuatannya, seperti beban tarik tinggi atau dampak mendadak. Kerusakan ini sangat kritis karena serat merupakan elemen utama yang menanggung beban dalam material komposit. Patah serat dapat menyebabkan penurunan signifikan dalam kekuatan tarik dan kekakuan material.

c. *Fibre-Matrix Debonding* (Pelepasan Serat-Matriks)

Pelepasan antara serat dan matriks terjadi ketika ikatan di antara keduanya gagal, biasanya akibat beban siklik atau ketidaksesuaian sifat mekanis. Kerusakan ini mengurangi efisiensi transfer beban dari matriks ke serat, yang dapat menyebabkan retakan transversal dan delaminasi.

d. Delaminasi

Delaminasi adalah pemisahan antara lapisan-lapisan dalam material komposit, sering kali terjadi akibat beban siklik, benturan, atau cacat manufaktur. Kerusakan ini dapat menyebabkan penurunan kekakuan dan kekuatan struktural secara signifikan, serta mempercepat kegagalan material jika tidak segera ditangani.

e. *Void dan Porosity* (Rongga dan Porositas)

Void dan porositas adalah cacat manufaktur berupa ruang kosong atau gelembung udara yang terperangkap dalam matriks selama proses produksi. Kehadiran void dapat mengurangi kekuatan mekanis material, seperti kekuatan tekan dan tarik, serta meningkatkan kerentanan terhadap penetrasi kelembaban. Dalam aplikasi seperti dirgantara, kandungan void sekitar 1% masih dapat diterima, namun peningkatan 1–3% dapat mengurangi sifat mekanis hingga 20%.

f. *Fatigue Damage* (Kerusakan Akibat Kelelahan)

Kerusakan akibat kelelahan terjadi karena beban berulang yang menyebabkan akumulasi kerusakan mikro, seperti retak matriks, pelepasan serat-matriks, dan patah serat. Proses ini mengarah pada penurunan kekakuan dan kekuatan material secara bertahap, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kegagalan struktural.

2.7 Resin Polyester

Resin polyetser adalah jenis plastik atau polimer yang dibuat dari poliester dan pengeras, yang digunakan sebagai matriks dalam komposit. Resin ini termasuk kedalam resin termoset, yang mengeras karena reaksi kimia, reaksi kimia ini membentuk rantai panjang polimer yang menghasilkan bahan padat dan tahan lama saat diawetkan. Resin poliester dikenal karena fleksibilitas, ketahanan terhadap panas, dan biaya yang relatif rendah dibandingkan resin lainnya. Resin poliester umumnya digunakan dalam kombinasi dengan berbagai bahan penguat seperti fiberglass untuk membuat material komposit dengan sifat mekanik yang ditingkatkan.

Resin poliester merupakan bahan utama yang banyak digunakan di industri karena keserbagunaan dan kegunaannya yang tak tertandingi. Dari konstruksi hingga aplikasi kelautan, otomotif hingga seni dan kerajinan. Matriks yang dipergunakan adalah matriks jenis termoset yaitu polyester BQTN 157. Matriks polyester berupa resin cair dengan viscositas yang relatif rendah, mengeras pada suhu kamar dengan menggunakan katalis tanpa menghasilkan gas sewaktu pengesetan seperti banyak resin lainnya. Sifat resin ini adalah kaku dan getas. Mengenai sifat thermalnya karena banyak mengandung monomer stiren, maka suhu deformasi thermal lebih rendah daripada resin termoset lainnya. Resin ini mempunyai karakteristik yang khas yaitu dapat dibuat kaku dan fleksibel, transparan, dapat diwarnai, tahan air, tahan bahan kimia dan cuaca. Resin polyester ini dapat digunakan pada suhu 79°C. berat jenis resin ini 1,3-1,4 kg/cm³. Adapun karakteristik resin polyester BQTN 157 adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Karakteristik resin polyester BQTN 157

Item	Satuan	Nilai Tipikal	Catatan
Berat jenis	gr/cm ³	1,4	25%
Kekerasan	-	40	Barcol GYZJ 934-1
Suhu distorsi panas	°C	70	
Penyerapan air suhu ruang	% %	0,188 0,446	24 Jam 7 Jam
Kekuatan Fleksural	Kg/mm ²	9,4	
Modulus fleksural	Kg/mm ²	300	
Kekuatan tarik	Kg/mm ²	5,8	
Modulus elastisitas	Kg/mm ²	300	
Elongasi	%	2,4	

Sumber: (Mirwan Irsyad, 2015)

Bahan tambah yang digunakan untuk mengerasakan matriks adalah katalis mekpo (*Metyl Etyl Keton Peroksida*). Proses pengerasan resin diberi bahan tambah

yaitu katalis untuk resin polyester yaitu *Metyl Etyl Keton Peroksida*, katalis digunakan untuk mempercepat pengerasan resin pada suhu yang tinggi. Semakin banyak katalis maka reaksi pengerasan resin akan semakin cepat tetapi terlalu banyak katalis bisa membuat resin getas dan rapuh. Oleh karena itu pemakaian katalis dibatasi sampai 1% dari volume resin



Gambar 2.14 Resin Polyester dan Katalis
Sumber: (ICSA 2023)

2.8 Cetakan Dan Fraksi Berat.

Composite Moulding Materials adalah material yang digunakan untuk membuat cetakan yang digunakan dalam proses pembuatan komposit. Cetakan ini terbuat dari berbagai material seperti serat karbon, grafit, keramik, atau logam. Proses pencetakan komposit memungkinkan pembuatan komponen yang kuat tahan lama dan berkinerja tinggi dengan bentuk yang rumit. Fungsi dari cetakan komposit adalah memberikan bentuk dan dimensi akhir pada komponen komposit, selain itu cetakan juga membantu mengontrol jumlah resin yang digunakan dalam proses pembuatan komposit, memastikan proses pengerasan resin terjadi dengan baik dan menghasilkan produk yang diinginkan. Dalam penelitian ini volume cetakan yang digunakan adalah;

$$V_{\text{cetakan}} = P \times L \times T \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

P= Panjang (mm)

L= Lebar (mm)

T= Tinggi (mm)

Fraksi berat dalam material komposit adalah perbandingan berat dari masing masing komponen bahan yang membentuk komposit terhadap berat total komposit. Fraksi berat dalam material komposit sangat penting karena dapat mempengaruhi sifat mekanik komposit seperti kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan modulus elastisitas, dan juga mempengaruhi sifat fisik material komposit seperti kepadatan dan berat jenis.

Adapun perhitungan fraksi berat komposit yang digunakan adalah:

$$\text{Fraksi berat} = V_{\text{cetakan}} \times \text{Density} \times \text{Presentase Serat} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

V_{cetakan} = Volume Cetakan (mm^3)

Density = Berat Jenis (Kg/m^3)

Presentase = Presentase Serat (%).

2.9 Jurnal Rujukan

Penelitian yang dilakukan (Anang Soebardi Dkk, 2019) tentang “*Analisis Pengaruh Kekuatan Tarik dan Impact pada Komposit dengan Penguat Serat Sisal (Agave Sisalana) dan Polyester pada Fraksi Volume 35%, 45%, 55%*”. Menunjukkan bahwa setelah dilakukan pengujian tarik pada komposit serat sisal dengan pesentase fraksi volume tidak selalu berpengaruh terhadap kekuatan tarik. Hal tersebut dikarenakan serat sisal memiliki bentuk yang tidak sama di setiap pori-porinya. Hal ini dapat terlihat dimana pada fraaksi volume serat 35% dan matriks 65% mengalami peningkatan kekuatan tarik (Max Stress) yaitu sebesar $857,86 \text{ N/mm}^2$. Hal tersebut dapat diartikan bahwa pengaruh fraksi volume serat 35% dan matriks 56% pada komposit ini menghasilkan sifat mekanik yang baik, sementara itu serat 45% dan

matriks 55% memiliki kekuatan tarik terendah yaitu 722,36 N/mm² dibandingkan dengan fraksi volume yang lainnya. Kecenderungan penurunan nilai kekuatan tarik disebabkan karena sedikitnya serat dalam komposit sehingga matriks mudah terperangkap gelembung udara sehingga ikatan antara serat dan matriks tidak baik.

Sementara itu penelitian yang dilakukan oleh (Aryan Fitrayuda Dkk, 2020) tentang “*Analisis Sifat Mekanis Komposit Polyester Sisal Menggunakan Metode Anova*”. Menyimpulkan bahwa peningkatan kekuatan mekanis pada variable fraksi volume dipengaruhi oleh densitas dari komposit itu sendiri. Berdasarkan hasil analisis *One Way Anova* diperoleh nilai *P-Value* sebesar 0,008 selanjutnya dibandingkan dengan taraf signifikan ($\alpha=0,05$). Dengan mengacu pada persamaan (1) bahwa nilai *p-Value* ($0,008 < \alpha 0,05$) maka hipotesis H_0 ditolak yang berarti terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai rata-rata perlakuan atau dengan kata lain variable fraksi volume serat berpengaruh signifikan terhadap kuat tarik komposit.