

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pada saat ini banyak mengalami kemajuan, hal tersebut dapat dilihat dari teknologi yang dapat mempermudah manusia baik untuk keperluan sehari-hari maupun untuk keperluan industri. Penggunaan blower saat ini telah bersifat umum mulai dari industri dan laboratorium, sedangkan untuk gedung-gedung dan rumah blower digunakan sebagai alat sirkulasi udara.

Blower merupakan alat yang sering digunakan karena mampu menaikkan atau memperbesar tekanan udara atau gas yang akan dialirkan dalam suatu ruangan tertentu juga sebagai pengisapan atau pemvakuman udara dan gas tertentu.

Blower jenis sentrifugal telah banyak diproduksi oleh industri-industri besar nasional maupun internasional. Menurut Austin (1990) Blower sentrifugal dengan jumlah sudu yang diperbanyak dan susunannya sedemikian rupa sehingga udara yang terhisap masuk blower oleh sudu-sudu yang berputar dan terdorong oleh gaya sentrifugal dan mengarah ke dinding casing yang dibentuk spiral sehingga udara mengarah kembali masuk hampir ke awal mula udara masuk blower sebagaimana telah disebutkan di atas bahwa tekanan output udara pada blower regeneratif ini hampir setara dengan tekanan output udara pada blower multi-stage.

Yadi Yunus dkk (2011) mengatakan unjuk kerja blower sangat bergantung pada desain impeller dimana komponen tersebut sangat berperan penting dalam menaikkan tekanan udara didalam casing agar udara yang terhisap bisa tervakum secara maksimal, sehingga dengan pemanfaatan udara didalam casing akan terdorong keluar dengan tekanan yang lebih besar. Disamping blower sebagai sirkulator udara, blower juga berfungsi sebagai pembuang gas-gas beracun yang berada di dalam ruangan, baik itu gas beracun yang keluar akibat dari aktivitas kerja di dalam ruangan tersebut maupun gas-gas beracun yang secara alamiah keluar dari permukaan bumi. Disinilah letak pentingnya blower sebagai sarana

penunjang aktifitas kerja sebenarnya. Oyelami dkk (2012) mengatakan Impeller adalah komponen yang berputar dari blower sentrifugal yang digunakan untuk menyalurkan energi dari motor dengan mempercepat udara keluar dari pusat rotasi. Pemakaian blower pada saat sekarang ini sudah bersifat menyeluruh, mulai dari industri, laboratorium, hingga gedung-gedung perkantoran komersil.

Menurut Matthews (1993) dalam Widodo (2008), Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih, material yang terbentuk melalui campuran material yang tidak homogen. Material komposit pada umumnya telah diterapkan pada industri otomotif maupun perkapalan.

P.K.Mallick (2008) Bahan komposit banyak digunakan di beberapa industri seperti industri otomotif, kedirgantaraan, kelautan dan infrastruktur. Material komposit juga telah digunakan secara luas untuk aplikasi dalam bidang militer. Menurut (Ru-Min Wang dkk 2011) faktor pendorong utama dalam penggunaan bahan komposit adalah densitasnya yang rendah, sifat mekanik spesifik yang tinggi, kinerja yang sebanding dengan logam, tahan terhadap korosi dan mudah untuk difabrikasi.

Penelitian ini berfokus pada studi tentang bahan alternatif impeller menggunakan material komposit sebagai komposisinya. Penelitian ini bertujuan dalam merancang, membangun dan menganalisis karakteristik impeller blower dari bahan serbuk Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan menggunakan Resin BQTN 157 EX dan Katalis MEKPO. impeller komposit yang diinginkan dalam penelitian ini adalah memiliki massa yang ringan, kuat, tahan terhadap korosi dan memiliki harga yang relatif murah.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini untuk mengidentifikasi:

1. Untuk merancang dan membangun produk impeller blower berbahan komposit serbuk Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS).
2. Mengidentifikasi kekuatan komposit serbuk TKKS pada pembuatan impeller blower dengan berbagai variasi pengujian
3. Pengaruh sifat mekanik impeller blower serat alam serbuk TKKS terhadap

kekuatan dan ketahanan pada pengujian spesifik.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini:

1. *Impeller blower*.
2. Persentase jumlah penggunaan serbuk Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai variasi pembeda pembuatan material komposit.
3. Proses pembuatan cetakan *impeller* komposit serat alam Penguat serbuk Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS).
4. Proses pembuatan *impeller blower* komposit serbuk TKKS.
5. Pengujian yang dilakukan berat dan ukuran *impeller* komposit serbuk TKKS.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh serbuk Tandan Kosong Kelapa Sawit terhadap sifat mekanik *impeller blower*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Menambah wawasan dan pengetahuan dalam desain dan produksi material komposit terhadap *impeller blower*.
2. Penelitian ini diharapkan dapat diaplikasikan untuk penggunaan *impeller blower* selanjutnya.
3. Pengembangan material komposit.
4. Memanfaatkan Serbuk Tandan Kosong Kelapa Sawit agar tidak dibuang menjadi limbah.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika Penulisan pada tugas akhir ini dibagi dalam 5 bab, antara lain:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai tugas akhir yang meliputi pembahasan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat dan sistematika Penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan uraian dari teori-teori dan referensi yang berkaitan dengan pokok permasalahan serta metode pendekatan yang digunakan untuk menganalisis persoalan.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang prosedur pengerjaan. Dimulai dari waktu dan tempat, persediaan alat dan bahan, prosedur penelitian dan proses yang dilaksanakan.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan penyajian hasil data analisis yang diperoleh dari pengujian dan penelitian.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan jawaban dari tujuan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA**LAMPIRAN**

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Blower Fan

Blower sentrifugal pada dasarnya terdiri dari suatu impeller atau dilengkapi dengan sudu-sudu, yang dipasangkan pada poros yang berputar dan diselubungi oleh sebuah rumah keong (*casing*). Impeller adalah komponen yang berputar dari blower sentrifugal, biasanya terbuat dari besi, baja, perunggu, kuningan, aluminium, plastic, atau kayu yang berfungsi untuk mentransfer energy dari motor dengan mempercepat udara keluar dari pusat rotasi (Khairul dkk, 2019).

Fluida memasuki impeller secara aksial di dekat poros yang mempunyai energy, baik energi kinetik maupun potensial, yang diberikan padanya oleh sudu-sudu. Begitu fluida meninggalkan impeller pada kecepatan yang relative tinggi, fluida itu dikumpulkan di dalam suatu seri laluan *diffuser* yang mentransformasikan energi kinetik menjadi tekanan. Ini tentu saja diikuti oleh pengurangan kecepatan. sesudah konversi diselesaikan, fluida kemudian dikeluarkan dari mesin tersebut (Christina dkk, 2020).

Impeller berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari blower menjadi energi kecepatan pada udara yang dialirkan secara kontinu, sehingga udara pada sisi hisap secara terus mengisi ruangan didalam ruang blower akibat perpindahan udara yang masuk sebelumnya. Aksi itu sama untuk pompa-pompa maupun blower-blower dengan pengecualian bahwa volume gas akan berkurang begitu gas-gas tersebut melewati blower, sementara volume fluida secara praktis akan tetap begitu fluida tersebut melewati blower.

Disamping *blower* sebagai sirkulator udara juga dapat berfungsi sebagai pembuang gas-gas beracun yang ada di dalam ruangan, baik itu gas beracun yang keluar akibat dari aktivitas kerja di dalam ruangan tersebut maupun gas-gas beracun yang secara alamiah keluar dari permukaan bumi. Disinilah letak pentingnya blower

sebagai sebagai sarana penunjang aktifitas kerja (K. T. Myaing, 2014).

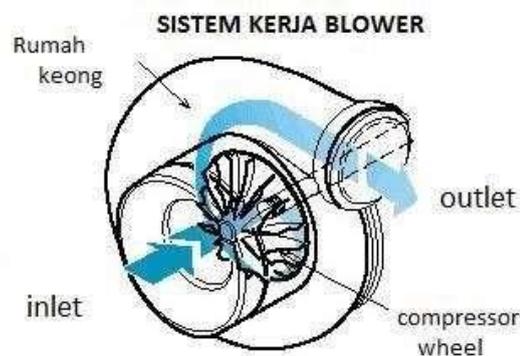
Fan digunakan untuk memindahkan sejumlah volume udara atau gas melalui suatu saluran (*duct*). Hal-hal yang berkaitan dengan kualitas udara di dalam ruangandan pengendalian pencemaran menyebabkan sebuah keperluan yang kontinyu terhadap fan dan blower yang memiliki kualitas baik, efisien dan murah. Penempatan yang tepat terhadap ukuran dan tipe fan dan blower merupakan hal yang sangat penting kaitannya dengan sistem energi yang efisien. Fan, blower dan kompresor dibedakan oleh metode yang digunakan untuk menggerakkan udara dan oleh tekanan sistem operasinya. *American Society of Mechanical Engineers (ASME)*. Menggunakan rasio spesifik sesuai tabel 2.1, yaitu rasio tekanan pengeluaran terhadap tekanan hisap, untuk mendefinisikan *fan*, *blower* dan kompresor.

Tabel 2.1 Perbandingan Antara *Fan*, *Blower* dan *Compressor*.

No.	Peralatan	Perbandingan Rasio	Spesifik Kenaikan Tekanan
1.	Fan	1.11	1.136
2.	Blower	1.11 – 2.0	1.136-2.066
3.	Compressor	≥ 1.20	≥ 2.066

2.2 Bagian-Bagian Blower

Blower memiliki beberapa komponen seperti terlihat pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Komponen Blower Sentrifugal

1. *Air inlet*

Air inlet adalah salah satu bagian dari komponen blower sebagai masuknya udara kedalam blower sebelum melakukan ke proses selanjutnya.

2. *Air outlet*

Air outlet adalah salah satu bagian dari komponen blower sebagai keluarnya udara dari dalam blower setelah melakukan proses yang terjadi didalam blower.

3. *Impeller* dan sudu

Impeller dan sudu adalah salah satu bagian dari komponen lower yang berfungsi sebagai memutar udara yang masuk dari air inlet yang melewati berbagai proses untuk menuju ke air outlet.

4. Rumah blower

Rumah blower adalah bagian luar blower yang melindungi seluruh komponen blower yang berada didalam rumah blower, bagian komponen rumah blower ini tidak boleh ada kebocoran sedikitpun agar kinerja blower berjalan dengan lancar.

5. Bantalan-bantalan

Bantalan-bantalan adalah salah satu bagian dari komponen blower yang berfungsi sebagai menahan getaran dari proses pemutaran udara yang masuk melewati impeller dan sudu-sudu agar tidak terjadi pergesekan akibat kecepatan yang lebih besar.

2.3 Material Komposit

2.3.1 Pengertian Komposit

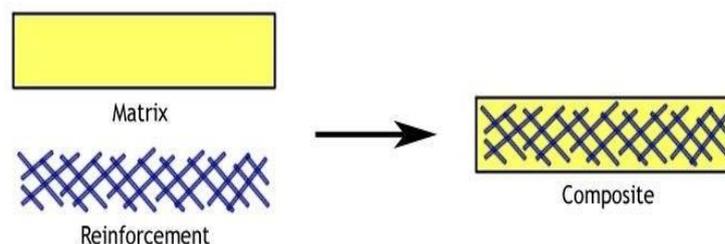
Komposit berasal dari kata kerja *to compose* yang berarti menyusun atau menggabung. Menurut (Kaw A.K, 1997) komposit dapat dikatakan sebagai penggabungan dari dua atau lebih bahan atau material yang dikombinasikan menjadi satu dalam skala *makroskopis* sehingga menjadi satu kesatuan. Jadi secara sederhana komposit adalah suatu material yang dibentuk dari kombinasi dua atau lebih material yang sifat mekanik dari material pembentuknya berbeda-beda dimana satu material sebagai pengikat (*Matrix*) dan lainnya sebagai fasa Penguat

(*reinforcement*). Komposit termasuk kombinasi atau penggabungan dari dua atau lebih bahan dengan skala makroskopis untuk menghasilkan material ketiga yang lebih berguna. Komposit dan *alloy*/paduan memiliki perbedaan dari metode pencampurannya, yaitu jika komposit digabung secara makroskopis maka paduan (*alloy*) digabung secara mikroskopis sehingga tidak dapat terlihat secara langsung oleh mata (Jones, R 1975).

Komposit disebut juga sebagai material rekayasa baru yang tersusun dari dua atau lebih bahan utama yang dikombinasikan guna mendapatkan sifat mekanis (*mechanical properties*) yang lebih baik dan tidak mungkin dimiliki oleh masing-masing komponennya (Surdia, 1992).

Kombinasi dari dua atau lebih bahan inilah yang menjadikan bahan komposit memiliki sifat yang berbeda dengan semua bahan yang ada di alam. Bahan-bahan penyusun komposit ini saling mengikat sehingga sifat yang dihasilkan menjadi solid.

Berikut ini adalah gambaran dari proses terbentuknya suatu bahan material komposit ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Fasa-Fasa Pembentuk Komposit

Komposit memiliki sifat-sifat sebagai berikut yaitu kekuatan dan kekakuan tinggi, sangat ringan, ketahanan korosi oleh bahan kimia dan cuaca baik, mudah dibentuk dan kekuatan pada temperatur tinggi baik. Dengan beberapa kelebihan tersebut, menyebabkan komposit banyak diaplikasikan dalam peralatan-peralatan berteknologi tinggi di bidang industri, transportasi dan konstruksi bangunan. Pada zaman ini banyak penggunaan material komposit yang telah digunakan dalam berbagai bidang, contohnya pada aplikasi struktural mulai dari aplikasi otomotif, bidang kelautan dan sebagai pengganti bahan komersial yang sudah ada

sebelumnya (Lenka Markovicova dkk, 2015).

Adapun beberapa keunggulan material komposit adalah sebagai berikut:

1. Bahan komposit dirancang dengan kekuatan dan kekakuan yang tinggi, sehingga dapat memberikan kekuatan dan kekakuan spesifik yang dapat melebihi sifat logam.
2. Memiliki sifat kekakuan dan kekuatan yang baik.
3. Bahan komposit dirancang dapat terhindar dari korosi.
4. Tampilan permukaan dapat dirancang dengan memiliki kehalusan yang lebih baik.
5. Memiliki daya redam yang baik.
6. Komposit dapat dirancang sesuai kebutuhan.
7. Komposit dapat dirancang supaya tidak mudah berkarat.
8. Material komposit memungkinkan kita memperoleh sifat yang tidak dapat dicapai oleh logam, keramik dan polimer.

Material komposit juga memiliki kekurangan, beberapa diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Proses pembuatan dan pembentukan material komposit lambat.
2. Kurang elastis.

2.3.2 Bahan Utama Penyusun Komposit

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari penggabungan atau kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanika dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Pada umumnya penggabungan bahan komposit tersusun dari dua jenis material yang berbeda yaitu matriks yang berfungsi sebagai bahan pengikat dan serat atau *reinforcement* yang berfungsi sebagai bahan Penguat. Biasanya serat yang banyak digunakan adalah serat gelas. Berikut dibawah ini dijelaskan bahan-bahan utama penyusun komposit.

1. Matriks

Matriks dalam teknologi komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai pengisi dan pengikat yang mendukung,

melindungi dan dapat mendistribusikan beban dengan baik ke material Penguat komposit. Pada umumnya, matriks merupakan fase dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar atau dominan. Jika dibandingkan dengan bahan Penguat atau *reinforcement*, matriks biasanya lebih elastis (*ductile*) tetapi memiliki kekuatan dan kekakuan (*rigiditas*) yang lebih rendah. Syarat pokok matriks yang digunakan dalam komposit adalah matriks harus bisa melekatkan serat dan kompatibel antara serat dan matriks, yang artinya tidak ada reaksi yang mengganggu. Pada umumnya, matriks yang dipilih adalah yang memiliki ketahanan panas yang tinggi (Diharjo, K. 2000).

Berdasarkan bahan penyusunnya matriks terbagi atas dua bagian, yaitu matriks organik dan matriks inorganik. Matriks organik adalah matriks yang tersusun atas bahan-bahan organik yang diproses secara sintesis. Matriks jenis ini sering digunakan karena proses pembuatan menjadi bahan material komposit cepat dan dengan biaya pembuatan yang cukup murah. Contoh dari matriks organik yang sering digunakan adalah Resin *polyester*. Sedangkan matriks inorganik memiliki pengertian sebagai matriks yang terstruktur atas bahan logam. Matriks ini umumnya memiliki kekuatan dan berat yang terbilang tinggi.

Pemilihan bahan matriks dan Penguat (*reinforcement*) sangat mempengaruhi sifat mekanik material atau *mechanical properties* yang dihasilkan. Tujuan membuat material komposit adalah untuk mendapatkan sifat material baru yang lebih baik dari sebelumnya, sehingga sifat mekanik material atau *mechanical properties* harus lebih tinggi dari matriksnya.

Matriks merupakan bahan utama dari sebuah material komposit yang akan dinaikkan sifat mekanik materialnya atau *mechanical properties* oleh bahan Penguat (*reinforcement*). Bahan ini harus mampu mengikat bahan Penguat (*reinforcement*) dengan baik agar tidak terjadi fenomena *fiber pull out* yaitu serat yang terlepas dari matriks. Syarat yang baik agar *mechanical properties* bahan matriks ini meningkat yaitu kekuatan bahan Penguat (*reinforcement*) harus memiliki kekuatan yang lebih baik daripada matriks.

Chun-Yung, (1982) matriks memiliki beberapa fungsi yaitu sebagai berikut:

- a. Melindungi serat dari dampak dan abrasi
 - b. Mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik
 - c. Menentukan sifat mekanik arah melintang
 - d. Menentukan kekuatan tekan
 - e. Menyumbangkan ketahanan patah
2. Bahan Penguat (*reinforcement*)

Bahan Penguat adalah salah satu unsur utama bagian dari komposit yang berfungsi sebagai Penguat. Pada umumnya bahan Penguat atau *reinforcement* yang digunakan dalam pembuatan suatu komposit adalah serat. Serat dalam bahan komposit berfungsi sebagai bahan utama dalam menahan beban. Kekuatan bahan komposit sangat bergantung pada kekuatan serat sebagai bahan pembentuk dari komposit tersebut. Bahan Penguat (*reinforcement*) mengalami penanggungan beban paling besar dibandingkan matriks dalam suatu komposit. Ikatan antara bahan Penguat (*reinforcement*) dan matriksnya harus saling mengikat dan kritis, dikarenakan apabila terjadi pembebanan, maka matriks akan meneruskan beban tersebut ke bahan Penguat (*reinforcement*)

Dalam menentukan kekuatan mekanis dari suatu bahan komposit sangat bergantung juga pada orientasi dan kandungan serat. Perbandingan antara matriks dan serat juga merupakan faktor yang sangat menentukan dalam memberikan karakteristik sifat mekanis atau *mechanical properties* produk yang dihasilkan. Secara umum, serat terbagi atas dua jenis, yaitu serat alam dan serat sintetis. Serat alam adalah serat yang dapat diperoleh langsung dari alam, biasanya berupa serat organik yang berasal dari binatang dan tumbuh-tumbuhan. Sampai kini, serat alam telah banyak digunakan oleh manusia diantaranya adalah aren, ijuk, rami, goni (kenaf). Sedangkan serat sintetis atau disebut juga serat buatan merupakan jenis serat yang saat ini yang paling banyak digunakan dalam industri tekstil sebagai bahan utama atau bahan campuran. Serat sintetis yang banyak digunakan manusia seperti *fiberglass, nylon, carbon, aluminium dan graphite* (Bismarck dkk, 2002).

3. Bahan tambahan

Selain matriks dan bahan Penguat (*reinforcement*), bahan lainnya atau

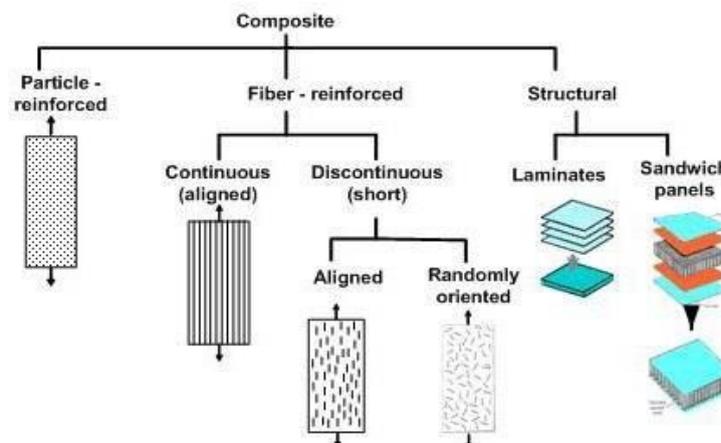
disebut juga sebagai bahan tambahan yang digunakan dalam pembuatan suatu bahan komposit ada beberapa macam, tetapi yang paling sering digunakan adalah:

a. Katalis

Katalis merupakan suatu zat yang mempercepat reaksi kimia pada suhu tertentu dengan cara menurunkan energi aktivasi suatu reaksi, tanpa mempengaruhi hasil reaksi komposit (produk). Katalis merupakan bahan tambahan komposit berupa cairan yang sering digunakan pada proses pembuatan komposit. Fungsi dari bahan ini yaitu membantu proses pengeringan Resin dan serat pada komposit. Pencampuran Katalis ke dalam Resin akan berpengaruh terhadap waktu yang dibutuhkan dalam proses pengeringan bahan komposit. Bahan ini juga berfungsi untuk menghasilkan produk komposit lebih cepat dan menurunkan temperatur reaksi.

2.3.3 Klasifikasi Bahan Komposit

Material komposit tentunya memiliki unsur-unsur penyusunnya yang dapat berupa organik, anorganik ataupun metalik dalam bentuk partikel, serat, lapisan atau serpihan. Berikut ditunjukkan klasifikasi komposit berdasarkan jenis Penguatnya pada Gambar 2.3.

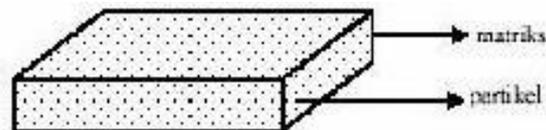


Gambar 2.3 Klasifikasi Komposit Berdasarkan Jenis Penguatnya [20]

Secara garis besar berdasarkan jenis Penguatnya, material komposit dapat diklasifikasikan dalam 3 bagian, dimana klasifikasi materialnya adalah:

1. Komposit partikel (*particle composite*)

Bagian ini merupakan jenis komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai Penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya. Pengaruh partikel pada sifat mekanik (*mechanical properties*) komposit tergantung pada dimensi dan ukuran partikel (Al-Namie, 2011). Komposit biasanya mempunyai bahan Penguat yang dimensinya kurang lebih sama, seperti bulat serpih, balok, serat bentuk-bentuk lainnya yang memiliki sumbu hampir sama yang disebut partikel dan bisa terbuat dari satu atau lebih material yang dinamakan dalam suatu matriks dengan material yang berbeda. Partikelnya bisa logam atau *non* logam seperti halnya matriks. Pada Gambar 2.4 ditunjukkan bentuk struktur komposit partikel (*particle reinforced composite*).

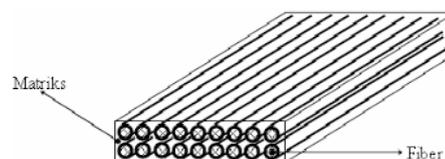


Gambar 2.4 Komposit Partikel (*Particle reinforced composite*) [21]

2. Komposit serat (*fiber composite*)

Komposit serat yaitu komposit yang terdiri dari serat dan matriks. Komposit jenis ini hanya terdiri dari satu lapisan atau lamina yang menggunakan serat (*fiber*) sebagai bahan Penguat.

Jones (1975) mengatakan serat (*fiber*) juga memiliki kekakuan dan kekuatan terhadap densitas atau massa jenis yang besar. Serat yang digunakan dapat berupa serat sintesis berupa *fiberglass*, *carbon fibers*, *aramid fibers (poly aramide)* atau serat organik berupa selulosa, ijuk, tandan kosong sawit, sabut kelapa dan polietilena bermodulus tinggi. *Fiber* ini bisa disusun secara acak (*chopped strand mat*) maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman. Pada Gambar 2.5 ditunjukkan bentuk struktur komposit serat (*fiber reinforced composite*).

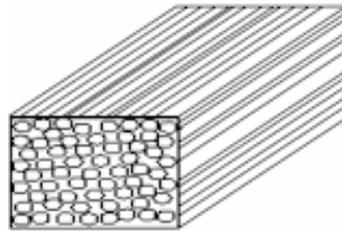


Gambar 2.5 Komposit Serat (*Fiber Reinforced Composit*) [21]

Komposit bagian ini dimana komposit yang fasa dispersinya memiliki bentuk geometri serat (memiliki rasio antara panjang dan berdiameter besar). Dari panjang seratnya, dapat dibagi menjadi 4 bagian, yaitu:

a. *Continuous fibre composite*

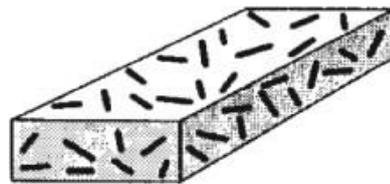
Tipe ini mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya. Tipe ini mempunyai kelemahan pemisahan antar lapisan. Pada Gambar 2.6 ditunjukkan bentuk struktur dari *continuous fibre composite*.



Gambar 2.6 *Continuous Fibre Composite* [21]

b. *Discontinuous fibre composite*

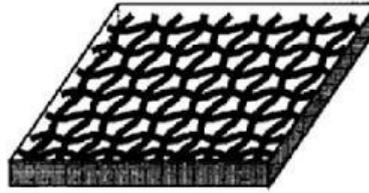
Tipe ini yaitu digunakan serat yang pendek atau dipotong kecil- kecil 20-100 mm panjangnya. Berdasarkan susunan seratnya dibagi lagi menjadi *paralel (align)* dan acak sama sekali (*random*). Pada Gambar 2.7 ditunjukkan bentuk struktur dari *discontinuous fibre composite*.



Gambar 2.7 *Discontinuous Fibre Composite* [21]

c. *Woven fibre composite* (bi-rectional)

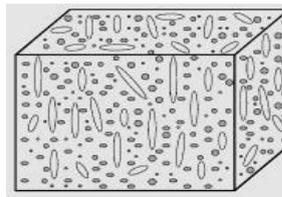
Komposit jenis ini tidak mudah dipengaruhi pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya mengikat antar lapisan. Susunan seratnya memanjang yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan melemah. Pada Gambar 2.8 ditunjukkan bentuk struktur dari *woven fibre composite* (bi-rectional).



Gambar 2.8 *Woven Fibre Composite (Bi-directional)* [21]

d. *Hybrid fibre composite*

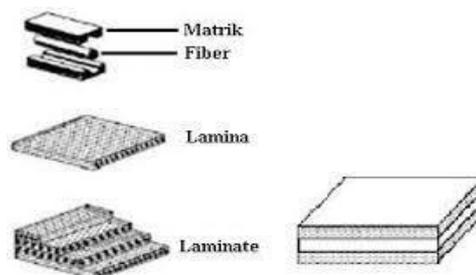
Hybrid fibre composite merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak. Tipe ini digunakan supaya dapat mengganti kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihanannya. Pada Gambar 2.9 ditunjukkan bentuk struktur dari *hybrid fibre composite*.



Gambar 2.9 *Hybrid Fibre Composite* [21]

3. *Laminated composite* (komposit berlapis)

Komposit jenis ini terdiri dari sekurang-kurangnya dua material atau lapisan berbeda yang direkatkan bersama-sama. Proses pelapisan dilakukan dengan mengombinasikan aspek terbaik dari masing-masing lapisan untuk memperoleh bahan komposit yang lebih baik dan berguna. Sifat yang dapat ditekankan oleh laminasi adalah kekuatan, kekakuan, berat badan rendah, ketahanan korosi, ketahanan aus, keindahan dan daya tarik, isolasi termal, insulasi akustik dan lainnya (Gibson, 1994). Berikut adalah bentuk struktur dari *laminated composite* (komposit berlapis) ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 *Laminated Composite (Komposit Berlapis)* [21]

Komposit yang terdiri dari lapisan serat dan matriks, yaitu lapisan yang diperkuat oleh Resin sebagai contoh *plywood*, *laminat glass* yang sering digunakan bahan bangunan dan kelengkapannya. Komposit ini terdiri dari bermacam-macam lapisan material dalam satu matriks. Bentuk nyata dari komposit berlapis adalah (Jones, 1999):

1. Bimetal

Bimetal adalah lapisan dari dua buah logam yang mempunyai koefisien ekspansi termal yang berbeda. Bimetal akan melengkung dengan seiring berubahnya suhu sesuai dengan perancangan, sehingga jenis ini sangat cocok dengan alat ukur suhu.

2. Komposit lapis serat

Dalam hal ini lapisan dibentuk dari komposit serat dan disusun dalam berbagai orientasi serat. Komposit jenis ini biasa dipakai pada panel sayap pesawat dan badan pesawat.

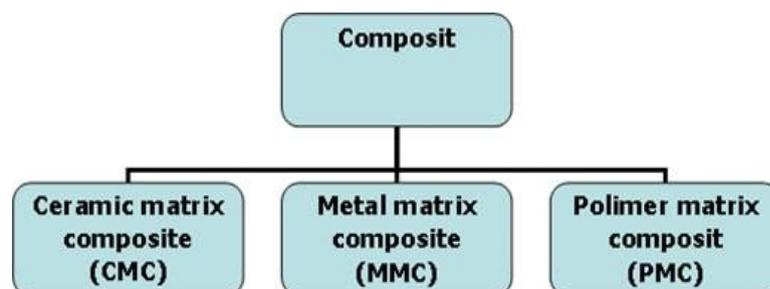
3. Pelapisan logam

Pelapisan logam adalah pelapisan yang dilakukan antara logam yang satu dengan yang lainnya dengan tujuan untuk mendapatkan sifat terbaik dari keduanya.

4. Kaca yang dilapisi

Konsep ini sama dengan pelapisan logam, kaca yang dilapisi akan lebih tahan terhadap cuaca.

Selain komposit berdasarkan jenis Penguatnya, ada juga klasifikasi komposit berdasarkan matriks. Pembagian komposit berdasarkan matriksnya dibagi menjadi tiga jenis (Hull, D. and Clyne, T.W., 1996).



Gambar 2.11 Klasifikasi Komposit Berdasarkan Matriks

1. Komposit matriks logam (*Metal Matrix Composite* – MMC)

Komposit jenis ini berkembang dan banyak digunakan dalam dunia industri otomotif. Komposit matriks logam terdiri dari suatu matriks logam sesuai namanya seperti aluminium sebagai matriks dan Penguatnya dengan serat seperti silikon karbida. Dalam meningkatkan sifat mekanik atau *mechanical properties* sangat dibutuhkan ketahanan aus, kekakuan dan kekuatan yang tinggi, modulus elastisitas yang tinggi dan tahan terhadap korosi atau tahan karat. Contoh lainnya adalah magnesium, tembaga, besi dan sebagainya.

Komposit ini memiliki beberapa kelebihan, antara lain:

- a. Tidak mudah terbakar
- b. Ketahanan aus dan memiliki muai termal yang cukup baik
- c. Memiliki transfer tegangan dan regangan yang baik
- d. Tahan terhadap temperatur tinggi
- e. Memiliki kekuatan tekan yang baik

Komposit ini juga memiliki kekurangan, yaitu:

- a. Biayanya terbilang cukup mahal
- b. Standarisasi material kurang

2. Komposit matriks keramik (*Ceramic Matrix Composite* – CMC)

Jenis komposit ini pada umumnya digunakan pada lingkungan yang memiliki temperatur tinggi maupun sangat tinggi. Komposit ini diperkuat dengan serat pendek atau serabut (*whiskers*) yang terbuat dari silikon karbida dan menggunakan keramik sebagai matriks. Bahan ini menjadi salah satu alternatif dalam penggunaan bahan yang membutuhkan suhu tinggi, misalnya dalam pembuatan komponen pesawat terbang (Callister W. D dan Rethwisch D. G. 2010). Contoh dari komposit ini yaitu alumina, gelas anorganik dan keramik gelas.

Komposit jenis ini memiliki beberapa kelebihan, yaitu:

- a. Tahan pada temperatur tinggi
- b. Dimensinya stabil, bahkan lebih stabil dari logam
- c. Permukaannya tahan aus
- d. Kekuatan dan ketangguhan yang tinggi
- e. Tahan korosi

Berikut kekurangan dari komposit ini antara lain adalah:

- a. Memiliki tingkat harga yang mahal
 - b. Kurang efektif
 - c. Digunakan untuk aplikasi tertentu
 - d. Sulit diproduksi dalam jumlah besar
3. Komposit matriks polimer (*Polymer Matrix Composite* – PMC)

Komposit jenis ini disebut juga dengan polimer berpenguat serat (FRP – *Fiber Reinforced Polymers or Plastics*). Bahan ini merupakan komposit yang sering menggunakan suatu polimer berdasarkan Resin sebagai matriksnya, seperti kaca, karbon dan serat yang digunakan sebagai Penguatnya. Jenis komposit ini banyak digunakan dalam dunia industri yang menggunakan komposit dengan jumlah besar pada temperatur ruangan. Harga dari bahan ini relatif murah dan memiliki karakteristik mudah dibentuk (Callister W. D 1996).

Surdia dkk (1985) menyatakan jenis polimer yang banyak digunakan adalah *thermoplastic* dan *thermoset*. *Thermoplastic* adalah plastik yang dapat dilunakkan berulang kali (*recycle*) dengan menggunakan panas. *Thermoplastic* merupakan polimer yang akan menjadi keras apabila didinginkan. *Thermoplastic* meleleh pada suhu tertentu, melekat mengikuti perubahan suhu dan mempunyai sifat dapat balik (*reversibel*) kepada sifat aslinya, yaitu kembali mengeras bila didinginkan. Contoh dari *thermoplastic* yaitu Poliester dan Nylon 66. Sedangkan *thermoset* tidak dapat mengikuti perubahan suhu (*irreversibel*). Bila sekali pengerasan telah terjadi maka bahan tidak dapat dilunakkan kembali.

Pemanasan yang tinggi tidak akan melunakkan *thermoset* melainkan akan membentuk arang dan terurai karena sifatnya yang demikian sering digunakan sebagai tutup ketel, seperti jenis-jenis melamin. Plastik jenis *thermoset* tidak begitu menarik dalam proses daur ulang karena selain sulit penanganannya juga volumenya jauh lebih sedikit (sekitar 10%) dari volume jenis plastik yang bersifat termoplastik. Contoh dari *thermoset* yaitu *Epoksida*, *Bismaleimida* (BMI) dan *Poli-imida* (PI).

Kelebihan dari komposit tipe ini, yaitu:

- a. Biaya pembuatan yang murah
- b. Ketangguhan yang baik

- c. Kemampuan mengikut bentuk
- d. Dapat diproduksi dalam jumlah yang besar
- e. Lebih ringan dari komposit jenis lainnya

2.4 Serat Penguat Komposit Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan tumbuhan industry yang minyak dari buahnya dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku industry, minyak hingga bahan bakar. Kelapa sawit dapat dilihat pada gambar 2.12. klasifikasi tumbuhan kelapa sawit adalah sebagai berikut:

Kingdom	: <i>Plantae</i> (tumbuhan)
Subkingdom	: <i>Tracheobionta</i> (Tumbuhan berpembuluh)
Super Divisi	: <i>Spermatophyta</i> (Menghasilkan biji)
Kelas	: <i>Liliopsida</i> (Berkeping satu/monokotil)
Sub Kelas	: <i>Arecidae</i>
Ordo	: <i>Arecales</i>
Famili	: <i>Areceaceae</i> (Suku pinang-pinangan)
Genus	: <i>Elaeis</i>
Spesies	: <i>elaeis guineensis jacq</i>



Gambar 2.12 Pohon Kelapa Sawit

Herawan dan Rivani (2013) mengatakan berdasarkan neraca massa bahan, setiap tandan buah segar (TBS) sawit yang diolah di pabrik kelapa sawit

selain akan menghasilkan minyak sawit juga akan menghasilkan sekitar 25–26% Tandan Kosong Kelapa Sawit. Secara visual, TKKS merupakan sekumpulan serat yang tebal berwarna coklat yang sengaja disisihkan setelah proses perebusan buah proses melalui *rotary drum thresher* di pabrik pengolahan kelapa sawit. TKKS berbentuk tidak teratur dengan bobot kira-kira 3,5 kg dan memiliki ketebalan 130 mm dengan panjang bervariasi 170-300 mm dan lebar 250-350 mm (Chang, 2014). Hasil perhitungan dari 200 sampel TKKS di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS), diperoleh bobot rata-rata 5,1 kg, panjang tandan 44,8 cm, lebar 35 cm dan ketebalan 19,4 cm. Tandan Kosong Kelapa Sawit dapat dilihat pada Gambar 2.13.

Gambar 2.13 Tandan Kosong Kelapa Sawit



Pada penelitian ini menggunakan pengisi komposit berbentuk serbuk Tandan Kosong Kelapa Sawit seperti pada Gambar 2.13. Tandan Kosong Kelapa Sawit adalah salah satu produk sampingan berupa padatan dari industri pengolahan kelapasawit. Secara fisik Tandan Kosong Kelapa Sawit terdiri dari berbagai macam serat dengan komposisi antara lain *selulosa* sekitar 45.95%, *hemisellulosa* sekitar 16.49% dan *lignin* sekitar 22.84% (Darnoko dkk, 2002).



Gambar 2.14 Serbuk Tandan Kosong Kelapa Sawit

Tandan Kosong Kelapa Sawit memiliki potensi yang cukup besar untuk dapat dimanfaatkan. Namun, selama ini TKKS baru dimanfaatkan sebagai pupuk organik, bahan baku pembuatan kertas, briket dan umumnya baru sampai pada pemanfaatannya sebagai bahan pengisi suatu medium seperti pengisi rongga jok mobil dan kasur. Oleh karena itu diperlukan adanya penelitian yang mengaji mengenai potensi TKKS sebagai material serat alam yang bisa dimanfaatkan untuk produk yang tidakhanya sekedar menjadi produk hasil cacahan tetapi juga dapat digunakan sebagai bahan Penguat komposit.

Aritonang (2017) melakukan penelitian resin penguat serat tandan kosong kelapa sawit dengan fraksi 3%, 5% dan 7%. Dari hasil penelitian didapatkan nilai kekuatan Tarik terbaik pada fraksi volume 3% sebesar 28 MPa.

2.5 Polimer Resin

Resin merupakan salah satu bahan utama penyusun dalam pembuatan suatu material komposit. Polimer Resin termasuk dalam kategori matriks. Bahan ini juga sebenarnya termasuk dalam kategori polimer termoset. Polimer ini adalah suatu campuran yang kompleks dari ekskret tumbuh-tumbuhan dan insekta. Secara fisik, Resin umumnya memiliki sifat keras, plastis, transparan jika dilakukan pemanasan akan menjadi lembek. Secara kimia, bahan ini merupakan campuran yang kompleks dari Resin *tannol*, *alkohol Resinat*, asam-asam Resinat, *ester dan resene*. Bahan ini juga mengandung sedikit oksigen dikarenakan didalamnya terdapat zat karbon dalam kadar tinggi yang apabila dibakar atau diberikan kalor secara langsung akan menghasilkan angus.

Resin juga memiliki beberapa kegunaan antara lain seperti sebagai pengikat serat yang baik, memiliki viskositas rendah, lengket dengan bahan Penguat tanpa merusak struktur bahan Penguat atau serat serta memiliki tingkat kekakuan yang cukup baik. Resin yang sering digunakan terdiri dari beberapa jenis, antara lain adalah sebagai berikut:

1. Resin *Polyester*

Kata *polyester* memiliki pengertian polimer sintetis yang satuan pembentuknya adalah gugus ester. Resin ini merupakan Resin sintetis yang

dibentuk oleh asam organik dibasa dan alkohol *polihidrat*. Bahan ini merupakan bagian dari termoset dengan bentuk cair yang memiliki viskositas relatif rendah dan paling sering digunakan dalam berbagai aplikasi. Resin jenis ini umumnya tahan terhadap kelembaban dan sinar *ultraviolet* apabila dibiarkan di luar ruangan atau kamar. Resin *polyester* ini memiliki kemampuan terhadap cuaca yang sangat baik, tetapi memiliki kelemahan yaitu sifat tembus cahaya yang menjadi pemicu rusak dalam beberapa tahun (Surdia dkk, 1999). Keunggulan dari Resin ini adalah mudah diproses dan harganya relatif murah. Resin ini akan mengeras pada suhu kamar apabila dilakukan penambahan dengan Katalis *polyester*. Resin *polyester* banyak mengandung monomer stiren sehingga suhu deformasi termal lebih rendah dari pada jenis Resin lainnya. Gambar 2.15 menunjukkan gambar dari Resin *polyester*.



Gambar 2.15 Resin *Polyester*

Bahan ini memiliki temperatur transisi berkisar 70° dan titik leleh $255-270^{\circ}\text{C}$. Resin ini juga memiliki kepadatan $1,39 \text{ g/cc}$. Resin *polyester* memiliki beberapa karakteristik, yaitu:

- a. Tahan air
- b. Transparan
- c. Fleksibel
- d. Resistensi yang baik terhadap panas dan bahan kimia
- e. Ketahanan dingin yang relatif baik

Jenis dari Resin *polyester* yang digunakan sebagai matriks komposit adalah tipe yang tidak jenuh (*unsaturated polyester*) yang merupakan termoset yang dapat mengalami *curing* (pengerasan) dari fasa cair menjadi fasa padat saat mendapat perlakuan yang tepat. Resin tak jenuh (*unsaturated polyester resin*) terbentuk dari

reaksi antara *dyhidric alcohol* (glycol) dengan asam organik. Polimer dilarutkan dalam monomer reaktif seperti *styrene* untuk menghasilkan cairan dengan viskositas rendah. Ketika mengering, monomer bereaksi dengan ikatan tak jenuh pada polimer dan berubah menjadi struktur termoset padat. Resin *polyester* tak jenuh merupakan jenis termoset yang sering digunakan sebagai matriks atau bahan pengikat komposit dengan Penguat dari serat alam selulosa (Mwaikambo dkk 1999).

Curing merupakan istilah proses pengeringan atau polimerisasi dalam mengubah material pengikat dari keadaan cair menjadi padat. Proses *curing* terjadi setelah Katalis ditambahkan ke dalam Resin. Persentase Katalis juga mempengaruhi laju reaksi pengeringan. Semakin cepat reaksi pengeringan atau polimerisasi berlangsung maka semakin tinggi juga suhu yang dihasilkan dan matriks yang akan semakin getas.

Jenis Resin tak jenuh (*unsaturated polyester* Resin) yang digunakan dalam penelitian ini adalah Resin *polyester* Yukalac 157 BQTN-EX. Resin tipe ini tahan terhadap air (suhu normal) dan asam lemah. Bahan ini sangat populer dalam bidang pembuatan kapal di Indonesia. Berikut karakteristik dari Resin *polyester* Yukalac 157 BQTN-EX dijelaskan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Karakteristik Resin *Polyester* Yukalac 157 BOTN-EX [30]

No.	Spesifikasi	Satuan	Nilai Tipikal	Keterangan
1.	Massa Jenis	gr/cm ³	1,215	25°
2.	Kekerasan	-	40	-
3.	Penyerapan Air (Suhu Ruangan)	%	0,188 0,466	24 jam 7 hari
4.	Kekuatan Lentur	kg/mm ²	9,4	-
5.	Modulus Lentur	kg/mm ²	300	-
6.	Kekuatan Tarik	kg/mm ²	5,5	-

7.	Modulus Tarik	kg/mm ²	300	-
8.	Elongasi	%	1,6	-
9.	Modulus Elastisitas (E)	GPa	3,2	-

2. Resin *Epoxy*

Resin *epoxy* merupakan salah satu jenis matriks yang digunakan dalam produksi material komposit. Resin *epoxy* atau yang biasa juga disebut poliepoksida, termasuk tipe propolimer reaktif dan polimer yang mengandung kelompok epoksida.

Epoxy merupakan suatu kopolimer yang terdiri dari Resin dan pengeras. Bahan ini terdiri dari monomer atau polimer rantai pendek pada kedua ujung dengan kelompok epoksida.

Pada umumnya, Resin epoxy dihasilkan dari reaksi antara epiklorohidrin dan bisphenol-A. Pengeras Resin ini terdiri dari monomer polyamine, misalnya Triethylenetetramine (Teta). Pada saat senyawa-senyawa tersebut dicampurkan, kelompok amina bereaksi dengan kelompok epoksida untuk membentuk ikatan kovalen. Setiap kelompok NH dapat bereaksi dengan kelompok epoksida, sehingga polimer yang dihasilkan sangat silang. Dengan demikian dihasilkan sifat kaku dan kuat. Serupa dengan Resin *polyester*, proses polimerisasi dari Resin ini disebut dengan *curing*. Proses *curing* tersebut dapat dikontrol melalui pilihan senyawa Resin, suhu dan pengeras.

Akinyede dkk (2007) mengatakan proses *curing* atau pengerasan yang terjadi pada Resin ini memiliki tahap. Jika pada Resin *polyester* mengeras dengan cepat ketika menggunakan Katalis dalam jumlah yang banyak, berbeda pada Resin *epoxy* yang memiliki reaksi kimia eksotermik yang artinya campuran ini sendiri akan menghasilkan panas sendiri yang dapat mempercepat reaksi. Waktu *curing* Resin jenis *epoxy* ini sangat bergantung pada kereaktifan antara senyawa amina dan atom hydrogen. Resin ini memiliki suhu transisi yang bervariasi, yaitu berkisar antara 50°C sampai dengan 175°C. Resin ini biasanya lebih kurang tiga

kali lebih kuat dibandingkan dengan jenis Resin terkuat lainnya. Gambar 2.16 menunjukkan gambar dari Resin *epoxy*.



Gambar 2.16 Resin *Epoxy*

Epoxy mengandung serat karbon (*carbon fiber*), serat kaca (*fiberglass*) dan aramid atau kevlar yaitu sejenis sintesis yang tahan panas dan benturan yang biasanya digunakan untuk bidang pertahanan militer. Resin *epoxy* umumnya berwarna bening kekuningan dan merekat dengan kuat pada permukaan kayu. Berbeda dengan Resin *polyester*, Resin *epoxy* ini tidak memerlukan lapisan akhir (*finishing*). Tidak hanya pada kayu, Resin *epoxy* ini juga merekat kuat hampir di semua permukaan sehingga cocok untuk bahan pelapis akhir.

Bahan ini memiliki beberapa karakteristik, beberapa diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Resistensi yang sangat baik terhadap zat kimia dan panas
- b. Ulet dan elastis
- c. Memiliki kekuatan yang baik
- d. *Absorpsi* kelembapan yang rendah
- e. Tingkat penyusutan rendah yang mengurangi kecenderungan mendapatkan tegangan geser yang besar antara epoksi dan Penguatnya.
- f. Dapat digunakan sebagai zat perekat yang cukup efektif

Resin *epoxy* memiliki beberapa karakteristik mekanik, antara lain dijelaskan pada Tabel 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.3 Karakteristik Resin *Epoxy*

No.	Spesifikasi	Nilai Tipikal
1.	Suhu Transisi, °C (°F)	51 (123)
2.	Suhu Distorsi Panas, °C (°F)	49 (120)
3.	Kekerasan	81
4.	Kekuatan Tarik, MPa (ksi)	51 (7,45)
5.	Modulus Tarik, MPa (ksi)	2979 (432)
6.	Elongasi, %	2,8

3. Resin *Vinylester*

Resin *vinylester* merupakan hasil reaksi esterifikasi Resin *epoxy* dengan asam akrilik atau metakrilat (monokarboksilat tak jenuh). Pada dasarnya bahan ini terdiri dari basis Resin *polyester* yang diperkuat dengan molekul epoksi di tulang punggung rantai molekul. Resin ini juga menggunakan peroksida untuk proses *curing* atau pengerasan. Material termoset ini dapat digunakan sebagai alternatif pengganti Resin *polyester* dan *epoxy* sebagai matriks polimer termoset pada material komposit dimana karakteristik, kekuatan dan biaya curahnya berada di antara *polyester* dan *epoxy*. *Vinylester* memiliki viskositas Resin yang lebih rendah daripada jenis Resin yang lain. Gambar 2.17 menunjukkan gambar dari Resin *vinylester*.

Gambar 2.17 Resin *vinylester*

Resin ini terdiri dari beberapa tipe, yaitu tipe Novolac dan Bisphenol-A. Keduanya sama-sama memiliki ketahanan dan kekuatan yang baik terhadap bahan kimia. Bahan ini umumnya digunakan sebagai matriks *fiberglass*, namun bisa juga digunakan sebagai aplikasi kosmetik apabila dicampurkan dengan karbon. Resin ini juga sering digunakan sebagai bahan perbaikan dan bahan pelapis karena sifatnya tahan air dan tahan terhadap suhu tinggi.

Berikut adalah perbandingan antara Resin *polyester*, Resin *vinylester* dan Resin *epoxy* ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Perbandingan Resin *polyester*, Resin *vinylester* dan Resin *epoxy* [31]

No.	Resin	Kelebihan	Kekurangan
1.	<i>Polyester</i>	- Mudah digunakan - Resin yang paling murah.	- Penyusutan tinggi - Waktu kerja terbatas
2.	<i>Vinylester</i>	- Ketahanan kimia yang baik - Sifat mekanik yang lebih baik dari <i>polyester</i>	- Membutuhkan proses <i>curing</i> untuk hasil yang lebih baik - Penyusutan tinggi - Harga lebih mahal dari <i>polyester</i>
3.	<i>Epoxy</i>	- Ketahanan air yang baik. - Ketahanan temperatur mencapai 140°C - 220°C - Penyusutan rendah.	- Waktu kerja yang cukup lama - Lebih mahal dari <i>vinylester</i> - Pencampuran yang sulit - Ketahanan korosi kurang.

2.6 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Sifat Mekanik Komposit

Dalam performa suatu komposit, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi sifat mekanik dari komposit tersebut. Berikut adalah beberapa faktor yang mempengaruhi sifat mekanik komposit (Mawardi, 2018):

1. Faktor bahan Penguat (serat)

a. Panjang serat

Serat yang panjang lebih kuat jika dibandingkan dengan serat pendek. Oleh karena itu panjang dan diameter sangat berpengaruh pada kekuatan maupun modulus komposit. Serat panjang (*continuous fiber*) lebih efisien dalam peletakannya dari pada serat pendek.

b. Diameter serat

Bentuk serat tidak mempengaruhi, yang mempengaruhi adalah diameter seratnya. Semakin kecil diameter serat, maka akan menghasilkan kekuatan komposit yang lebih tinggi.

c. Letak serat

1. *One dimensional reinforcement* artinya mempunyai kekuatan pada arah axis serat.
2. *Two dimensional reinforcement* (planar) artinya mempunyai kekuatan pada dua arah atau masing-masing arah orientasi serat.
3. *Three dimensional reinforcement* artinya mempunyai sifat isotropic, kekuatannya lebih tinggi dibanding dengan dua tipe sebelumnya.

2. Faktor matriks

Matriks sangat berpengaruh dalam mempengaruhi performa komposit. Tergantung dari matriks jenis apa yang dipakainya dan untuk tujuan apa dalam pemakaian matriks tersebut.

3. Faktor Katalis

Katalis digunakan untuk membantu proses pengeringan (*curing*) pada bahan matriks suatu komposit. Penggunaan Katalis yang berlebihan akan semakin mempercepat proses laju pengeringan, tetapi akan menyebabkan bahan komposit yang dihasilkan semakin getas.

2.7 Metode Pembuatan Material Komposit

Pada dasarnya proses manufaktur bahan komposit terdiri atas beberapa metode laminasi yang sering digunakan. Proses pembuatan atau pencampuran ini umumnya tidak melibatkan tekanan yang tinggi dan temperature di sekitarnya. Hal tersebut dikarenakan bahan pembuatan material komposit ini mudah melebur. Proses pembuatan ini hanya dilakukan pada saat bahan matriks masih dalam keadaan cair atau cairan. Secara garis besar terdapat 2 proses pembuatan material komposit (Mawardi, 2018).

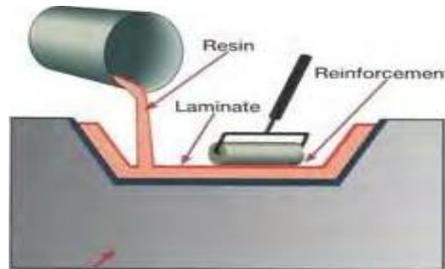
2.7.1 Proses Cetakan Terbuka (*Open Mold Process*)

1. Metode *hand lay-up* / *contact molding* (penuangan secara langsung)

Hand lay-up adalah metode pembuatan material komposit yang paling sederhana. Proses dari pembuatan bahan material komposit dengan menggunakan metode ini yaitu dengan cara menuangkan Resin dengan tangan ke dalam serat. Kemudian setelah itu diberi tekanan sekaligus meratakannya menggunakan rol atau kuas. Proses tersebut dilakukan berulang-ulang hingga ketebalan yang diinginkan tercapai. Pada proses ini Resin secara langsung berkontak dengan udara. Metode ini umumnya memiliki waktu *curing* (pengeringan) pada temperatur kamar dan akan mengering tergantung pada jenis dan jumlah Resin serta Katalis yang diberikan. Waktu *curing* ini dapat dipersingkat dengan cara menyemburkan udara panas atau meletakkannya di bawah sinar matahari langsung. Contoh aplikasi produk komposit menggunakan metode *hand lay-up* ini seperti pembuatan bodi kapal dan kendaraan, bilah turbin angin serta bak mandi. Kelebihan dari metode ini, yaitu:

- a. Mudah dilakukan
- b. Volume rendah
- c. Penggunaan biaya yang tergolong murah
- d. Cetakan dapat digunakan berulang-ulang
- e. Cocok digunakan pada komponen yang besar

Berikut adalah gambar dari proses pembuatan material komposit dengan metode *hand lay-up* ditunjukkan pada Gambar 2.18.



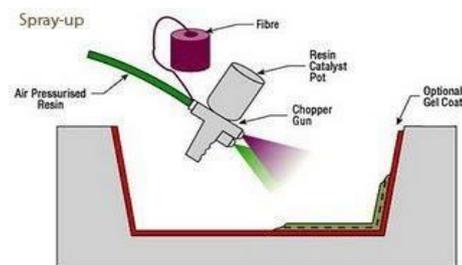
Gambar 2.18 Metode *Hand Lay-Up*

2. Metode *spray lay-up* (pencetakan semprot)

Metode *spray lay-up* merupakan jenis metode cetakan terbuka yang dapat menghasilkan bagian-bagian yang lebih kompleks ekonomis dari *hand lay-up*. Sebelum proses pembuatan bahan material komposit, sebelumnya tempat pencetakan *spray lay-up* sudah terlebih dahulu dipersiapkan. Proses *spray lay-up* dilakukan dengan cara penyemprotan serat (*fibre*) secara bersamaan dengan penyemprotan Resin yang telah dicampur dengan Katalis melewati tempat pemotongan (*chopper*). Sesudah itu proses selanjutnya adalah dengan membiarkannya mengeras pada kondisi atmosfer standar.

Metode ini menghasilkan struktur kekuatan yang rendah yang umumnya tidak termasuk pada produk akhir. *Spray lay-up* digunakan bersamaan dengan struktur back-up untuk lembaran wajah komposit pada alat komposit. Metode ini juga digunakan terbatas untuk mendapatkan *fiberglass splash* dari alat transfer. Contoh aplikasi penggunaan dari metode ini adalah panel-panel dan sampan.

Berikut ini adalah gambar dari proses pembuatan material komposit dengan metode *spray lay-up* ditunjukkan pada Gambar 2.19.

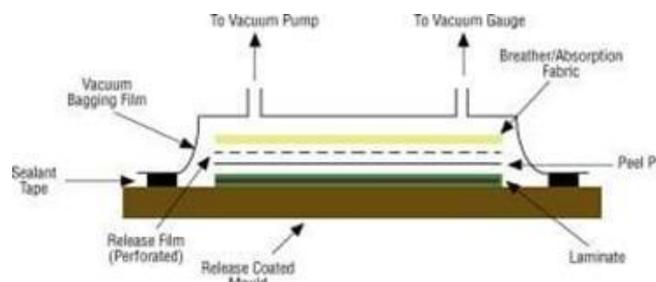


Gambar 2.19 Metode *Spray Lay-Up*

3. Metode *vacuum bag molding*

Proses *vacuum bag molding* merupakan penyempurnaan dari metode *hand lay-up*. Penggunaan dari metode ini adalah untuk menghilangkan udara yang terperangkap dan mengurangi penggunaan Resin yang berlebihan. Pada metode ini digunakan pompa *vacuum* untuk menghisap udara yang ada dalam wadah tempat diletakkannya komposit yang akan dilakukan proses pencetakan. Dengan divakumkan udara dalam wadah, maka udara yang ada diluar penutup plastik akan menekan ke arah dalam. Hal ini akan menyebabkan udara yang terperangkap dalam Spesimen komposit akan dapat diminimalkan. Jika dibandingkan dengan *hand lay-up*, metode vakum memberikan Penguatan konsentrasi yang lebih tinggi, adhesi yang lebih baik antara lapisan dan kontrol yang lebih Resin / rasio kaca. Contoh aplikasi dari metode *vacuum bag molding* ini adalah pembuatan kapal pesiar, komponen mobil balap dan perahu.

Berikut ini adalah gambar dari proses pembuatan material komposit dengan metode *vacum bag molding* ditunjukkan pada Gambar 2.20.

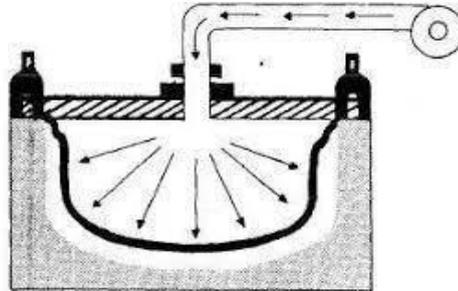


Gambar 2.20 Metode *vacum bag molding*

4. Metode *pressure bag*

Metode *pressure bag* memiliki kesamaan dengan metode *vacuum bag molding*. Tetapi bedanya metode ini tidak menggunakan pompa vakum melainkan menggunakan udara atau uap bertekanan yang dimasukkan melalui suatu wadah elastis. Wadah elastis ini yang akan berkontak pada komposit saat dilakukannya proses pembuatan bahan material komposit. Pada umumnya tekanan yang diberikan dalam metode ini berkisar antara 30 sampai 50 psi. Contoh aplikasi dari metode ini adalah pembuatan bodi tangki dan turbin angin. Berikut ini adalah gambar dari proses pembuatan material komposit dengan metode *pressure bag* ditunjukkan pada

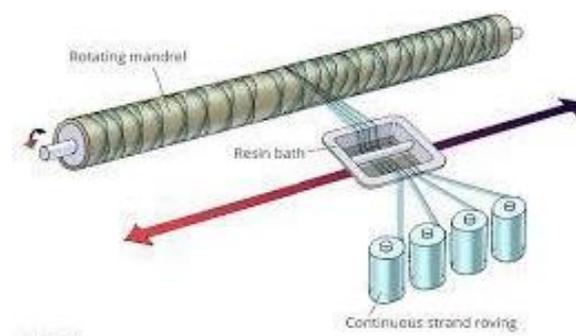
Gambar 2.21.

**Gambar 2.21** Metode *Pressure Bag*

5. Metode *filament winding*

Pada metode ini, *fiber* yang paling sering digunakan adalah *fiber* tipe *roving* atau *single strand*. *Fiber* tipe *roving* atau *single strand* ini dilewatkan melalui wadah yang berisi Resin dan kemudian *fiber* tersebut akan diputar sekeliling mandrel yang sedang bergerak dua arah, arah radial dan arah tangensial. Proses ini dilakukan berulang, sehingga cara ini didapatkan lapisan serat sesuai dengan yang diinginkan. Resin termoset yang biasa digunakan pada proses ini adalah poliester, vinil ester, epoxies dan fenolat. Contoh aplikasi dari metode ini yaitu motor roket, tank, tongkat golf dan pipa.

Berikut ini adalah gambar dari proses pembuatan material komposit dengan metode *filament winding* ditunjukkan pada Gambar 2.22.

**Gambar 2.22** Metode *Filament Winding*

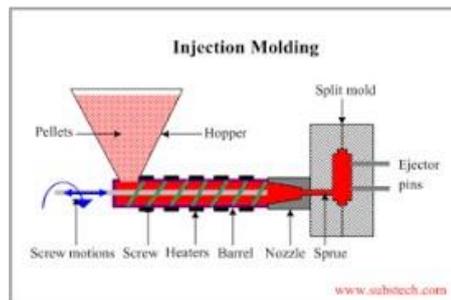
2.7.2 Proses Cetakan Tertutup (*Closed Mold Process*)

1. *Injection molding*

Metode *injection molding* juga dikenal sebagai reaksi pencetakan cairan

atau pelapisan tekanan tinggi. *Fiber* dan Resin dimasukkan ke dalam rongga cetakan bagian atas dengan kondisi suhu dijaga supaya tetap dapat mencairkan Resin. Resin cair beserta *fiber* akan mengalir ke bagian bawah dan setelah itu injeksi dilakukan oleh *Barrel* ke arah nozel menuju cetakan. Pada proses ini Resin polimer reaktif yang di gunakan seperti *poliol*, *isosianat*, *poliuretan* dan *poliamida* menyediakan siklus pencetakan cepat cocok untuk aplikasi otomotif dan furnitur. Contoh aplikasi dari metode ini yaitu bumper otomotif dan komponen mebel.

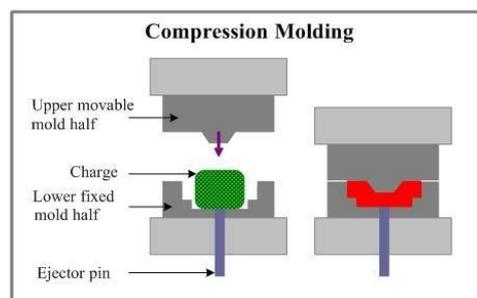
Berikut ini adalah gambar dari proses pembuatan material komposit dengan metode *injection molding* ditunjukkan pada Gambar 2.23.



Gambar 2.23 Metode *Injection Molding*

2. *Compression molding*

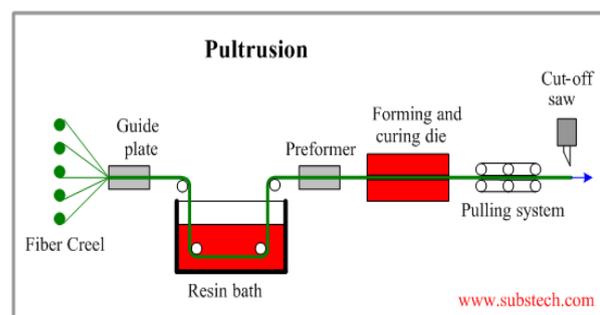
Metode ini menggunakan *hydraulic* sebagai penekannya. *Fiber* yang telah dicampur dengan Resin dimasukkan ke dalam rongga cetakan, kemudian dilakukan penekanan dan pemanasan. Berikut ini adalah gambar dari proses pembuatan material komposit dengan metode *compression molding* ditunjukkan pada Gambar 2.24.



Gambar 2.24 Metode *Compression Molding*

3. *Continuous pultrusion*

Metode ini umumnya menggunakan *fiber tipe roving*. *Fiber tipe roving* dimasukkan melalui wadah berisi Resin, kemudian secara kontinu dilewatkan ke cetakan pra cetak dan diawetkan (*cure*), kemudian dilakukan pengerolan sesuai dengan dimensi yang diinginkan. Atau juga bisa di sebut sebagai penarikan serat dari suatu jaring atau *creel* melalui bak Resin, kemudian dilewatkan pada cetakan yang telah dipanaskan. Fungsi dari cetakan tersebut mengontrol kandungan Resin, melengkapi pengisian serat dan mengeraskan bahan menjadi bentuk akhir setelah melewati cetakan. Contoh aplikasi metode ini yaitu struktur atap, jembatan. Berikut ini adalah gambar dari proses pembuatan material komposit dengan metode *continuous pultrusion* ditunjukkan pada Gambar 2.25.



Gambar 2.25 Metode *Continuous Pultrusion*

2.8 Pengujian Spesimen Komposit Serbuk Tandan Kosong Kelapa Sawit

2.8.1 Uji Tarik (*Tensile Test*)

Pengujian tarik adalah suatu metode atau prosedur untuk menguji kekuatansuatu bahan atau lebih dengan memberikan beban gaya sebesar pada sumbu yang sama. Hasil yang diperoleh dari uji tarik menentukan kekuatan material dan sangat penting untuk desain dan rekayasa produk, karena digunakan untuk mengukur ketahanan material terhadap gaya statis yang diterapkan. Kemampuan suatu bahan menahan beban tarik sebesar disebut kuat tarik dapat diukur dalam megapascal (MPa), 1N/mm², psi (Sehono dkk 2022).

Pada batang uji bekerja tegangan yaitu sebesar :

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots [1]$$

Keterangan :

σ = Tegangan (kg/mm²), atau (N/mm²)

F = Gaya tarik (N), atau P = beban tarik(kg)

A = luas penampang mula-mula (mm²)

Pada batang uji bekerja rengangan yaitu sebesar :

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L^{\circ}} = \frac{(L-L^{\circ})}{L^{\circ}} \dots\dots\dots [2]$$

Keterangan :

ϵ = rengangan (%)

L^o = panjang “ batang uji” mula-mula (m)

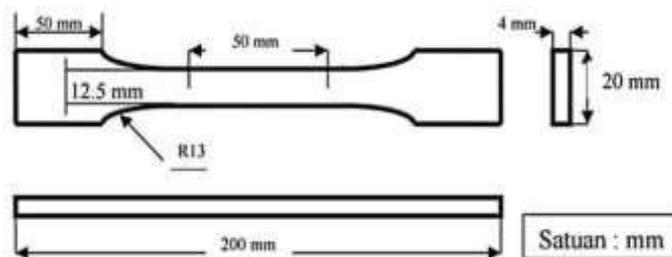
L = panjang “ batang uji” saat menerima beban (mm)

Hubungan antara tegangan dan regangan dihubungkan dengan persamaan :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots [3]$$

Keterangan:

E = Modulus elastisitas (MPa)



Gambar 2.26 Uji Tarik Komposit ASTM D638-02

2.8.2 Uji Impak (*Impact Test*)

Hartono Yudo dkk (2017) menyatakan bahwa Ketangguhan material komposit dapat diukur dengan menggunakan uji impak (uji impak). Pengujian impak merupakan pengujian pembebanan (pendulum) yang dirancang untuk mengetahui kekuatan atau ketangguhan material (sampel) yang diuji dengan pembebanan impak. Pengujian ini dijalankan hingga sampel mengalami

maksimum tabrakan (Wisnu Santoso dkk 2022)

Pada batang uji nilai besarnya energi impact (Joule) :

$$E = m \times g \times r (\cos \beta - \cos \alpha) \dots\dots\dots [4]$$

Keterangan:

E = Energi Impact (J)

m = Berat pendulum (kg)

g = Gravitasi (m/s^2)

r = Panjang lengan bandul (m)

α = Sudut awal ($^\circ$)

β = Sudut akhir ($^\circ$)

Pada batang uji besar nilai kekuatan *impact strength* (Is)

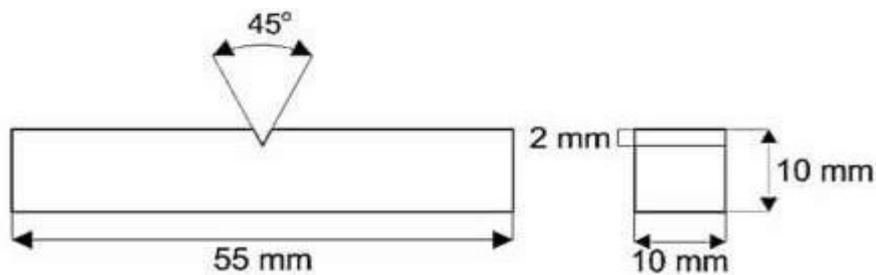
$$HI = \frac{E}{A} = W L \frac{(\cos \beta - \cos \alpha)}{A} \dots\dots\dots [5]$$

Keterangan :

HI = Nilai *impact strength* (J/mm^2)

E = Energi terserap benda uji (Joule)

A = Luas penampang dibawah takikan (mm^2)



Gambar 2.27 Uji Impak Komposit ASTM E23