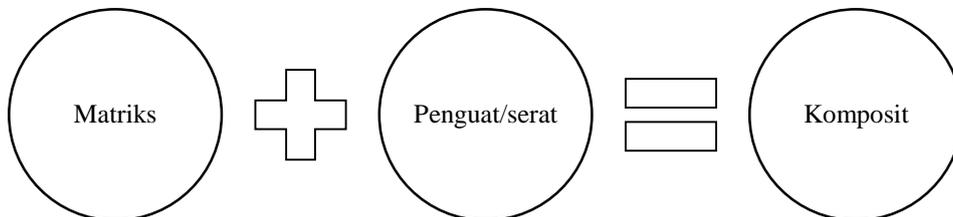


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Komposit

Komposit yang diperkuat dengan serat dapat digolongkan menjadi dua bagian yaitu komposit serat pendek (*short fiber composite*) dan komposit serat panjang (*long fiber composite*). Serat panjang lebih kuat dibanding serat pendek. Serat panjang (*continous fiber*) lebih efisien dalam peletakannya daripada serat pendek tetapi serat pendek lebih mudah peletakannya dibanding serat panjang. Panjang serat mempengaruhi kemampuan proses dari komposit serat. Ditinjau dari teorinya, serat panjang dapat meneruskan beban maupun tegangan dari titik tegangan ke arah serat yang lain (Schwart, 1984).

Tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan karena tegangan yang diberikan pada komposit pertama diterima oleh matriks dan diteruskan ke serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu, serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matriks penyusun komposit (Vlack, 1995).



Gambar 2. 1 Komponen Penyusun Komposit

(Sumber : Tamba, 2009)

Keterangan gambar :

- 1) Matrik berfungsi sebagai penyokong, pengikat phasa, penguat
- 2) Penguat/serat merupakan unsur penguat kepala matriks
- 3) Komposit merupakan gabungan, campuran dua atau lebih bahan yang terpisah

Material komposit mempunyai sifat yang berbeda dari material yang umum atau biasa digunakan. Sedangkan proses pembuatan melalui proses pencampuran yang tidak homogen, sehingga kita dapat lebih leluasa dalam merencanakan

kekuatan material komposit yang kita inginkan dengan cara mengatur komposit dari material pembentukannya.

Pada umumnya sifat-sifat yang dimiliki komposit ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain:

- 1) Jenis bahan-bahan penyusunnya.
- 2) Bentuk geometrid an struktur bahan-bahan penyusunnya.
- 3) Rasio perbandingan bahan-bahan penyusunnya.
- 4) Daya lekat antara bahan-bahan penyusunnya.
- 5) Orientasi bahan penguat dan proses pembentukannya.

2.2 Penyusun Komposit

Komposit pada umumnya terdiri dari dua fasa yaitu matriks dan filler matriks berperan sebagai pengikat dan filler berperan sebagai pengisi.

2.2.1 Matriks

Matriks dalam struktur komposit dapat berasal dari bahan polimer atau logam. Syarat pokok matriks yang digunakan dalam komposit adalah matriks harus bias meneruskan beban, sehingga serat harus bias melekat pada matriks dan kompatibel antara serat dan matriks. Matriks dalam susunan komposit berguna untuk melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik. Selain itu, matriks juga berfungsi sebagai pelapis serat.

Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi Volume terbesar (dominan).

Matriks mempunyai fungsi sebagai berikut:

- a. Mentransfer tegangan ke serat
- b. Membentuk ikatan koheren, permukaan matriks/serat
- c. Melindungi serat
- d. Memisahkan serat
- e. Melepas ikatan
- f. Tetap stabil proses manufaktur

Matrik yang baik untuk digunakan pada komposit serat harus mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

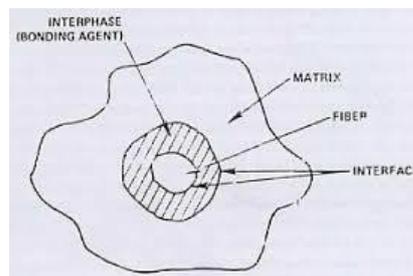
- a. Matriks melekat dengan baik pada permukaan serat sehingga beban yang diberikan pada komposit akan didistribusikan dengan baik kepada serat, karena serat inilah yang memegang peranan penting dalam menahan beban diterima oleh komposit.
- b. Melindungi permukaan serat dari kerusakan.
- c. Melindungi serat dari perambatan keretakan.

Berdasarkan jenis matriksnya, maka komposit dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

- a. *Polymer matrix composite* (PMC) komposit ini menggunakan bahan polimer oleh matriknya. Secara umum, sifat-sifat komposit polimer ditentukan oleh sifat-sifat penguat, sifat-sifat polimer, rasio penguat terhadap polimer dalam komposit (fraksi volume penguat), geometri dan orientasi penguat pada komposit, contoh: thermoplastic, thermosetting.
- b. *Metal matrix composite* (MMC) komposit ini berkembang pada industri otomotif, *metal matrix composites* adalah salah satu jenis komposit yang memiliki matrik logam. Bahan-bahan ini menggunakan suatu logam seperti aluminium sebagai matrik dan penguatnya dengan serat seperti silikon karbida. Pada mulanya yang diteliti adalah *continuous filament* MMC yang digunakan dalam aplikasi aerospace. Contoh: aluminium beserta paduannya, titanium, magnesium beserta paduannya, titanium beserta paduannya, magnesium beserta paduannya, contoh: aluminium, magnesium dan titanium
- c. *Ceramic matrix composite* (CMC) digunakan pada lingkungan bertemperatur sangat tinggi, CMC merupakan material 2 fasa dengan 1 fasa berfungsi sebagai penguat dan 1 fasa sebagai matrik, dimana matriknya terbuat dari keramik. Bahan ini menggunakan keramik sebagai matrik dan diperkuat dengan serat pendek, atau serabut-serabut (*whiskers*) dimana terbuat dari silikon karbida atau boron nitride. Penguat yang umum digunakan pada CMC adalah oksidasi, carbide, dan nitrid. Salah satu proses pembuatan dari CMC yaitu dengan proses DIMOX, yaitu proses pembentukan komposit dengan reaksi oksidasi leburan logam untuk pertumbuhan matrik keramik disekeliling daerah penguat, contoh: alumina, aluminium titanate, silicon carbide.

2.2.2 Reinforcement atau Filler atau Feiber

Salah satu bagian utama dari komposit adalah *reinforcement* (penguat) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit. Adanya dua penyusun komposit atau lebih menimbulkan beberapa daerah dan istilah penyebutannya; Matrik (penyusun dengan fraksivolume terbesar), Penguat (penahan beban utama), *Interphase* (perekat anatar dua penyusun), *interface* (permukaan *phase* yang berbatasan dengan phase lain).



Gambar 2. 2 Pengertian Komposit

(Sumber : Tamba, 2009)

Scara struktur mikro material komposit tidak merubah material pembentukannya (dalam orde kristalin) tetapi secara keseluruhan material komposit berbeda dengan material pembentuknya karena terjadi ikatan antar permukaan matriks dan filler.

Syarat terbentuknya komposit antara lain : adanya ikatan permukaan antara matriks dan filler. Ikatan antar permukaan ini terjadi karena adanya gaya adhesi dan kohesi. Dalam material kopolit gaya adhesi-kohesi terjadi melalui 3 cara utama, antara lain :

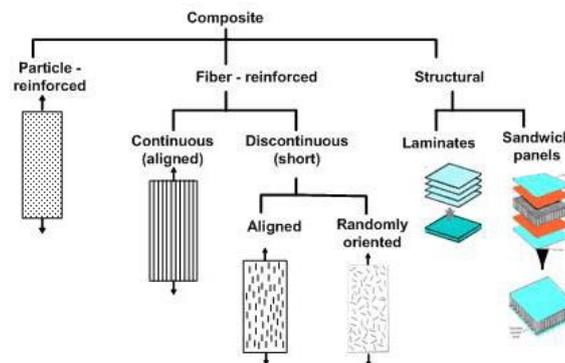
- Interlocking antar permukaan → ikatan yang terjadi karena kekasaran bentuk permukaan partikel.
- Gaya elektrostatis → ikatan yang etrjadi karena adanya gaya Tarik menarik antara atom bermuatan (ion).
- Gaya vanderwalls → ikatan yang terjadi karena adanya pengutupan anatar partikel.

Kualitas ikatan antara matriks dan filler dipengaruhi oleh beberapa variable antara lain :

- Ukuran partikel
- Rapat jenis bahan yang digunakan
- Komposisi material
- Bentuk partikel
- Kecepatan dan waktu pencampuran
- Penekanan
- Pemanasan

2.3 Jenis dan Klasifikasi Komposit

Selain itu, adapun kualifikasi komposit berdasarkan penguatnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2. 3 Klasifikasi komposit

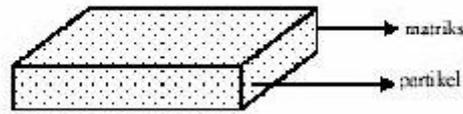
(Sumber : Tamba, 2009)

Berdasarkan Gambar 2.3 klasifikasi komposit berdasarkan jenis penguatnya dapat dijelaskan sebagai :

1) Komposit Partikel (*Particle Composite*)

Komposit partikel merupakan komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriks. Komposit yang terdiri dari partikel dan matriks yaitu butiran (pasir, batu) yang diperkuat semen yang sering dijumpai sebagai beton, senyawa kompleks ke dalam senyawa kompleks. 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 diantara fase partikel dan matriks yang menunjukkan sambungan yang baik.

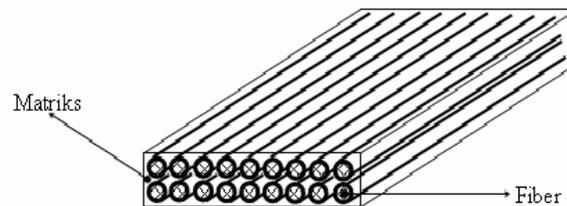


Gambar 2. 4 Komposit partikel penguatnya berbentuk partikel atau serbuk

(Sumber : Surdia, 1995)

2) Komposit Serat

Komposit serat merupakan jenis komposit yang menggunakan serat sebagai penguat. Jenis komposit ini hanya terdiri dari satu lamina atau satu lapisan yang menggunakan pengisi berupa serat. Biasanya disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman (Martikno, 2007).



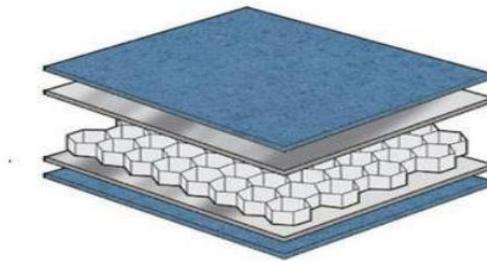
Gambar 2. 5 Komposit serat dapat berupa serat sintetis atau serat alam

(Sumber : Surdia,1995)

3) Komposit Struktural (*Structural Composite*)

Komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih material yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat tersendiri.

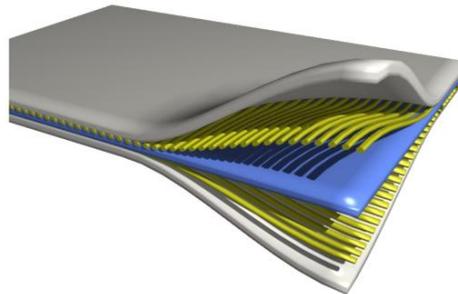
- a. Komposit Sandwich (*Sandwich Composite*) Komposit sandwich merupakan gabungan dua lembar skin yang disusun pada dua sisi luar dan core yang ringan di antara dua skin. Struktur sandwich biasanya digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan dan kekakuan bending yang tinggi dengan bobot yang ringan. Skin berfungsi untuk menahan beban aksial dan tranfersal (sehingga harus kuat dan kaku).



Gambar 2. 6 Komposit Sandwich

(Sumber : Jumarsi, 2005)

- b. Komposit Laminat (*Laminated Composite*) Komposit Laminat merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabungkan menjadi satu dan setiap lapisannya memiliki karakteristik khusus seperti ditunjukkan pada gambar 2.3. Komposit laminat ini terdiri dari empat jenis yaitu komposit serat kontinyu, komposit serat anyam, komposit serat acak dan komposit serat hybrid.



Gambar 2. 7 Komposit Lamina

(Sumber : Jumarsi, 2005)

2.4 Tipe Arah Serat Pada Material Komposit

Untuk memperoleh komposit yang kuat harus dapat memampatkan serat dengan benar. Berdasarkan penempatannya terdapat beberapa tipe arah serat pada komposit yaitu :

1. *Continuous Fiber Composite*

Continuous atau *uni-directional*, mempunyai serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriknya. Jenis komposit ini paling sering digunakan. Tipe ini mempunyai kelemahan pada pemisahan antar lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriknya.

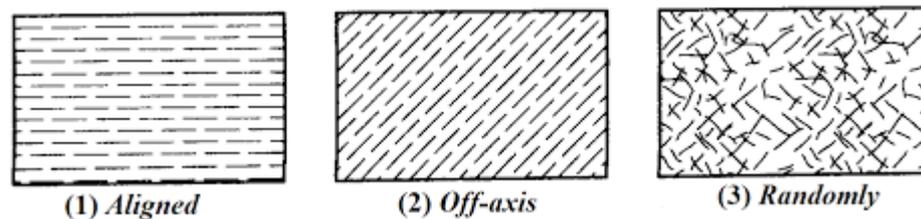
2. *Woven Fiber Composite (bi-directional)*

Komposit ini tidak mudah dipengaruhi pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat serat antar lapisan. Akan tetapi susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan akan melemah.

3. *Discontinuous Fiber Composite*

Discontinuous Fiber Composite adalah tipe komposit dengan serat pendek. Tipe ini dibedakan lagi menjadi 3 :

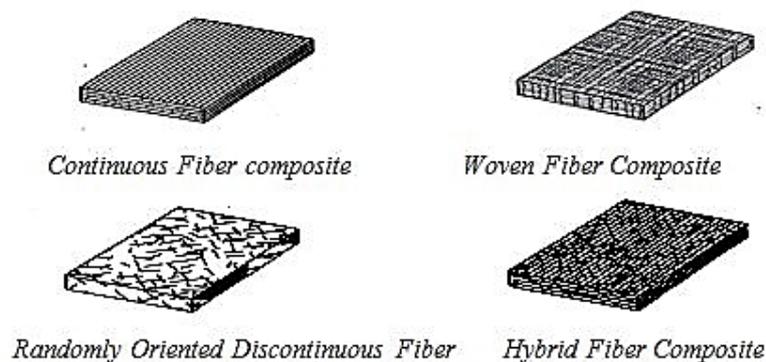
- a. *Aligned discontinuous fiber*
- b. *Off-axis aligned discontinuous fiber*
- c. *Randomly oriented discontinuous fiber*



Gambar 2. 8 Tipe Discontinuous fiber
(Sumber : Gibson, 1994)

4. *Hybrid Fiber Composite*

Hybrid Fiber Composite merupakan komposit gabungan antara serat tipe serat lurus dengan serat acak. Tipe ini digunakan supaya dapat mengganti kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihan keduanya.



Gambar 2. 9 Tipe serat pada komposit
(Sumber : Junus, 2011)

2.5 Serat

Serat dalam bahan komposit berperan sebagai bagian utama yang menahan beban, sehingga besar kecilnya kekuatan bahan komposit sangat tergantung dari kekuatan serat pembentuknya. Semakin kecil bahan (diameter serat mendekati ukuran kristal) maka semakin kuat bahan tersebut, karena minimnya cacat pada material (Diharjo, 2003).

Dilihat dari jenisnya, serat dibagi menjadi dua yaitu serat alam (*nature fiber*) dan serat sintetik atau serat buatan.

2.5.1 Serat Alam (*Nature Fiber*)

Salah satu bagian utama dari komposit adalah *reinforcement* (penguat) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit seperti contoh serat. Serat (*fiber*) adalah suatu jenis bahan berupa potongan-potongan komponen yang membentuk jaringan memanjang yang utuh. (Wikipedia, Serat, 2019). Serat dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu:

1. Serat Alami

Serat alami adalah serat yang didapatkan dari alam khususnya serat bagian dari hewan: serat rambut, bulu, dan kepompong. Serat tumbuhan seperti bagian daun, akar, dan batang yang diolah menjadi serat. Serat ini banyak dikembangkan karena limbahnya lebih ramah lingkungan. Gambar serat alami dapat dilihat pada gambar 2.11 di bawah.



Gambar 2. 10 Beberapa serat alami
Sumber: Serat (2019)

2.5.2 Serat Sintetis

Serat sintetis adalah serat buatan/hasil olahan manusia yang bukan dari alam. Gambar serat alami dapat dilihat pada gambar 2.11 di bawah.



Gambar 2. 11 Beberapa serat sintetis karbon biasa dan nylon
Sumber: Serat (2019)

Dari berbagai serat yang ada dalam skripsi ini, penulis menggunakan serat sintetis yang terbaik yaitu serat karbon kevlar dan serat alami yaitu serat rami serta serat kapas. Berikut ini penjelasan detail mengenai ketiga serat tersebut:

1. Karbon Kevlar

Serat karbon adalah serat sintetis yang dibuat oleh manusia yang bukan dari alam. Jenis material yang satu ini punya beberapa karakteristik tertentu yang dipengaruhi oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah alur atau arah serat karbon, yang membuat serat karbon maupun beragam jenis material komposit lainnya disebut pula dengan istilah material anisotropik. Artinya, arah dan bentuk serat penyusunnya sangat memengaruhi karakteristik material (Fachur Sag, 2019). Dari pengembangan serat karbon tersebut didapat serat baru yang sifatnya lebih baik, yaitu serat Karbon Kevlar. Dalam Septyawan Dwi (2010) menerangkan serat kevlar adalah merek dagang yang inovatif dari DuPont. Aramid (Kevlar) adalah suatu Material yang ditemukan tahun 1964, oleh Stephanie Kwolek, seorang ahli kimia berkebangsaan Amerika, yang bekerja sebagai peneliti pada perusahaan DuPont.

Aramid adalah kependekan dari kata *aromatic polyamide*. Aramid memiliki struktur yang kuat, alot (*tough*), memiliki sifat peredam yang bagus (*vibration damping*), tahan terhadap asam (*acid*) dan basa (*leach*), dan selain itu dapat menahan panas hingga 370°C, sehingga tidak mudah terbakar. Karena sifatnya yang demikian, aramid juga digunakan di bidang pesawat terbang, tank, dan antariksa (roket). Produk yang dipasarkan dikenal dengan nama Kevlar. Kevlar memiliki berat yang ringan, tapi 5 kali lebih kuat dibandingkan besi. Gambar serat karbon kevlar dapat dilihat pada gambar 2.12 di bawah.



Gambar 2. 12 Karbon kevlar

Satu lapisan Kevlar tebalnya kisaran 0.25 mm. Mengapa Kevlar tidak digunakan di seluruh bahan komposit? Karna penggunaan serat Kevlar dalam komposit adalah bahan yang lebih mahal dibandingkan dengan serat lainnya seperti kaca.

Dibandingkan dengan serat karbon biasa, serat kevlar termasuk kelompok serat poliarnida yang mempunyai berat jenis 1,44 gr/cc dan mempunyai kekuatan tarik (*tensile strength*) kurang lebih 3620 MPa. Polimer Kevlar mempunyai gugus amida dan oksigen secara beraturan sehingga dapat menciptakan ikatan-ikatan hidrogen yang teratur. Data perbandingan sifat fisik serat karbon biasa dengan serat karbon kevlar dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan 2.2 di bawah.

Tabel 2. 1 Sifat fisik serat karbon biasa

Physical Properties	Metric	English
Density	1.79 gr/cc	0.0647 lb/in ³
Mechanical Properties	Metric	English
Tensile Strength, Ultimate	3300 MPa	478500 psi
Elongation at Break	1.8%	1.8%
Modulus of Elasticity	228 GPa	33100 ksi

Sumber: septyawan dwi 2010

Tabel 2. 2 Spesifikasi serat karbon kevlar

Physical Properties	Metric	English
Density	1.44 gr/cc	0.0031 lb/in ³
Mechanical Properties	Metric	English
Tensile Strength, Ultimate	3620 MPa	524900 psi
Elongation at Break	1.7%	1.7%
Modulus of Elasticity	186 GPa	26970 ksi

Sumber: Septyawan Dwi (2010)

2. Serat Rami

Serat rami atau yang dikenal dengan sebutan China grass tergolong ke dalam kelompok serat selulosa/serat alam. Serat rami ini berasal dari batang tanaman rami/*boehmeria nivea* yang menghasilkan serat dari kulit kayunya. Secara kimia rami diklasifikasikan ke dalam jenis serat selulosa sama halnya seperti kapas, linen, hemp dan lain-lain. Rami memiliki sejumlah keunggulan yang membedakannya dengan serat batang lainnya. Rami memiliki kompatibilitas yang baik dengan seluruh jenis serat baik serat alam maupun sintetis sehingga mudah untuk dicampur dengan jenis serat apapun (Eva Novarini dan Mochammad Danny Sukardan 2015). Berikut gambar pohon dan serat rami dibawah ini.



Gambar 2. 13 Pohon rami dan serat rami

Sumber:

http://1.bp.blogspot.com/h37FedswHqM/U46jiFn2GYI/AAAAAAAAAIE/80T0j_KdKk0/s1600/rami_1.jpg

Nilai kekuatan tarik serat rami berada pada kisaran 95 kg/mm^2 atau setara dengan 931 MPa dan spesifikasi serat rami secara detail dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 3 Karakteristik serat rami

Karakteristik	Rami
<i>Average ultimate fibre length (mm)</i>	120-150
<i>Average ultimate fibre diameter (μ)</i>	40-60
<i>Tensile strength (kg/mm²)</i>	95
<i>Moisture regain (%)</i>	12
<i>Cellulose</i>	72-97*
<i>Lignin</i>	1-0
<i>Hemicellulose, pektin, etc</i>	27-3

Sumber: Eva Novarini dan Mochammad Danny Sukardan (2015)

3. Serat kapas/katun

Kapas adalah serat halus yang menyelubungi biji beberapa jenis *Gossypium* biasa disebut pohon/tanaman kapas, tumbuhan semak yang berasal dari daerah tropika dan subtropika. Serat kapas menjadi bahan penting dalam industri tekstil. Serat itu dapat dipintal menjadi benang dan ditenun menjadi kain. Produk tekstil dari serat kapas biasa disebut sebagai katun, benang maupun kainnya (Wikipedia, Kapas. 2019). Gambar pohon dan serat kapas dapat dilihat pada gambar 2.14 di bawah.



Gambar 2. 14 Pohon kapas dan serat kapas

Sumber: <https://docplayer.info/docs-images/57/40086503/images/4-0.jpg>

Selulosa ini tersusun sedemikian rupa sehingga memberikan kapas kekuatan, daya tahan (*durabilitas*), dan daya serap yang baik. Data sifat fisik perbandingan serat kapas dapat dilihat pada tabel 2.4 di bawah.

Tabel 2. 4 Sifat mekanis serat selulosa: rami, kapas, dan rayon

Fiber	Density (g cm ⁻³)	Diameter (μm)	Fiber aspect ratio (Average)	E-Modulus (GPa)	Tensile strength (MPa)	Specific strength (kN m kg ⁻¹)
MFs	0.892	33.8 ± 5.6	101*	17.4 ± 3.9	452 ± 47	507
MFs treated NaOH 5%	–	27.1 ± 4	–	20.9 ± 4.3	497 ± 17	–
Cotton	1.5–1.6	12–38	1919	5.5–12.6	287–597	179–398
Flax	1.5	40–600	1000	27.6	345–1035	230–690
Rice straw	1.36	4–16	74	26	450	331
Wheat straw	0.909	76 ± 3	75	7.9 ± 2	146.5 ± 53	331
Jute	1.3	26.0	100	91.9	1316	1012
Sisal	1.45	50–200	150	9.4–22	530–630	382
Sea grass	1–1.5	5	–	1	573 ± 120	458
Sansevieria	0.915	50–100	–	7	658	719
Coir	1.15–1.46	100–460	–	4–6	131–220	169
Alfa grass	0.89	113	92	22	565	634
Baggase	0.341	20	85	4.5	89.9	264

Sumber: Bahan Kain (2019)

2.6 Silicone Rubber (Karet Silikon)

Santo Rubber (2019) menerangkan karet silikon/*silicon rubber* adalah jenis polymer sintetik yang memiliki fungsi dan kelebihan yang sangat istimewa, hal ini disebabkan karena karet silikon memiliki beberapa sifat fisik yang tidak ditemukan pada jenis polimer sintetik/karet sintetik lainnya.



Gambar 2. 15 Karet silikon/silicon rubber

Sumber: Santo Rubber, (2019)

Beberapa keunggulan dari bahan baku karet silikon adalah sebagai berikut (Santo Rubber, 2019):

- a. Tahan terhadap penuaan (*aging*)
- b. Tahan terhadap suhu panas hingga 250°C dan juga tahan terhadap suhu dingin.
- c. Produk yang terbuat dari karet silikon memiliki ketahanan terhadap air hujan serta tidak terpengaruh oleh perendaman dalam air laut.
- d. Produk dari karet silikon dapat diformulasikan menjadi produk yang bersifat elektrik insulative atau konduktif, hal ini membuat produk dari bahan karet silikon cocok untuk dipergunakan peralatan listrik seperti pembungkus kabel.
- e. Produk dari karet silikon tidak mendukung pertumbuhan mikroorganisme, tidak berbau dan tidak berasa, tidak menyebabkan perubahan warna, korosi dan sangat ideal untuk dipergunakan untuk perangkat medis, produk ini bisa pula dikategorikan sebagai produk *food grade*.

2.7 Epoxy

Anhar Pulungan Muhammad (2017) menerangkan *epoxy* didapatkan dengan proses curing (*cross-linking*) secara kimiawi dengan amina, anhidrida, fenol, asam karboksilik, dan alkohol. *Epoxy* merupakan resin cair yang mengandung beberapa group epoksida seperti *diglycidyl ether of bisphenol A* (DGEBA) yang memiliki dua grup epoksida. Proses curing dilakukan dengan cara menambahkan *curing agent*, misalnya *diethylene triamine* (DETA). Selama proses curing molekul-molekul DGEBA akan membentuk ikatan cross-link. Ikatan ini akan menghasilkan bentuk tiga dimensi yang disebut network dan akhirnya membentuk *epoxy* padat.

Epoxy merupakan salah satu polimer termoset yang merupakan material serba guna yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. *Epoxy* banyak digunakan dalam industri penerbangan maupun digunakan untuk peralatan olahraga. Ada berbagai jenis dan grade, sehingga bisa disesuaikan untuk aplikasinya. Adapun beberapa kelebihan dari *epoxy* antara lain:

- a. Penyusutan material rendah.
- b. Sifat adhesif material baik.

- c. Ketahanan kimia material yang baik.
- d. Material memiliki sifat mekanik, seperti ketangguhan yang baik.
- e. *Epoxy* dapat diformulasikan dengan material lain maupun *epoxy* jenis lain untuk mendapatkan sifat sesuai keinginan. Tabel 2.5 berikut menunjukkan sifat material termoset.

Tabel 2. 5 Sifat material termoset

Resin Material	Density (g/cm ³)	Tensile Modulus GPa (10 ⁶ psi)	Tensile Strength MPa (10 ³ psi)
Epoxy	1.2-1.4	2.5-5.0 (0.36-0.72)	50-110 (7.2-16)
Phenolic	1.2-1.4	2.7-4.1 (0.4-0.6)	35-60 (5-9)
Polyester	1.2-1.4	1.6-4.1 (0.23-0.6)	35-95 (5.0-13.8)

Sumber : Anhar Pulungan Muhammad (2017)

2.8 Fraksi Folume

Salah satu faktor penting yang menentukan karakteristik dari komposit adalah perbandingan matriks dan penguat atau serat. Perbandingan ini dapat ditunjukkan dalam bentuk fraksi volume serat (v) atau fraksi massa serat (w). Namun formulasi kekuatan komposit lebih banyak menggunakan fraksi volume serat. Jadi semakin besar fraksi volumenya semakin besar pula kekuatannya. Berikut adalah persamaan dalam menghitung fraksi volume serat:

$$v_c = v_f + v_m = \frac{m_f}{\rho_f} + \frac{m_m}{\rho_m} \dots\dots\dots (1)$$

$$V_f = \frac{v_f}{v_c} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

$$W_f = \frac{m_f}{m_c} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

- a. v_c = Volume Komposit (cm^3)
- b. v_f = Volume Serat (cm^3)
- c. v_m = Volume Matriks (cm^3)
- d. m_f = Massa Serat (g)
- e. ρ_f = Berat Jenis Serat (g/cm^3)
- f. ρ_m = Berat Jenis Matrik (g/cm^3)

g. V_f = Fraksi Volume Serat (%)

h. W_f = Fraksi Berat Serat (%)

2.9 Proses Manufaktur Komposit

Proses pembuatan atau proses produksi dari komposit tersebut merupakan hal yang sangat penting dalam menghasilkan material komposit. Banyak cara atau metode yang dapat digunakan untuk menghasilkan material komposit yang diinginkan.

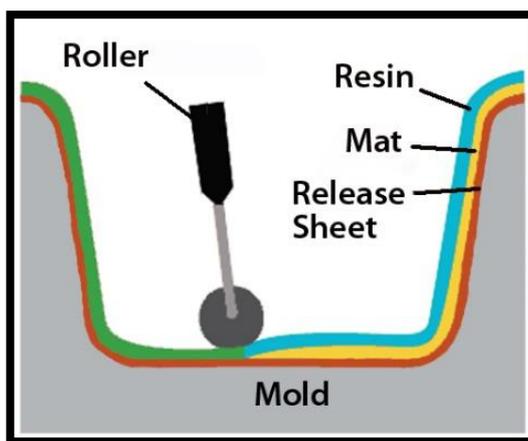
Secara garis besar, metode pembuatan material komposit terdiri atas dua cara yaitu (Wordpress, 2016) :

1. Proses Cetakan Terbuka (*Open Mould Process*)
2. Proses Cetakan Tertutup (*Closed Mould Process*)

2.9.1 Proses Cetakan Terbuka (Open Mould Process)

1. *Hand Lay Up*

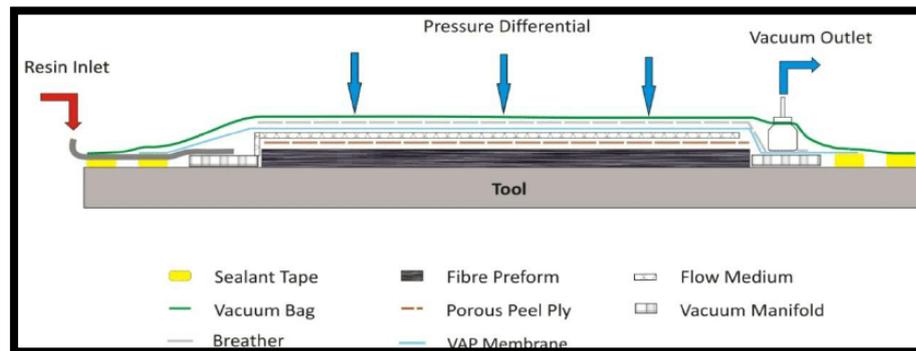
Hand lay up merupakan cara yang paling sederhana dalam pembuatan produk komposit. Adapun proses dari metode ini adalah dengan cara menuangkan resin kedalam serat berbentuk anyaman menggunakan tangan. Kemudian memberi tekanan sekaligus meratakannya dengan rol atau kuas. Proses tersebut dilakukan berulang-ulang samapai mencapai ketebalan yang diinginkan.



Gambar 2. 16 Proses Hand Lay Up
(Sumber : Wordpress, 2016)

2. Vacuum Bag

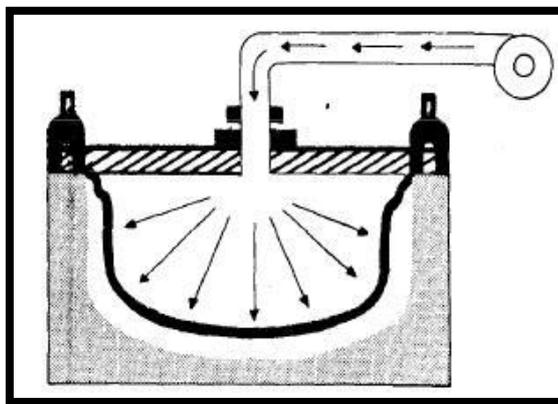
Proses pembuatan produk komposit menggunakan *vacuum bag* merupakan penyempurnaan dari hand lay up. Penggunaan proses vakum ini adalah untuk menghilangkan udara yang terperangkap dan berlebih dalam penggunaan resin. Metode ini menggunakan pompa vakum untuk menghisap udara dalam wadah diletakkannya komposit yang akan dilakukan proses pencetakan. Artinya, dengan divakumkannya udara dalam wadah, maka udara yang ada diluar penutup plastik akan menekan ke arah dalam. (Wordpress, 2016).



Gambar 2. 17 Metode Vacuum Bag
(sumber : Wordpress, 2016)

3. Pressure Bag

Proses *pressure bag* hampir sama dengan vakum bag, namun cara ini tidak menggunakan pompa vakum, melainkan menggunakan udara atau uap bertekanan yang dimasukkan melalui suatu wadah elastis. Tekanan udara yang masuk ke dalam cetakan akan menekan komposit tersebut. Tekanan yang biasanya digunakan sebesar 30 sampai 50 psi.

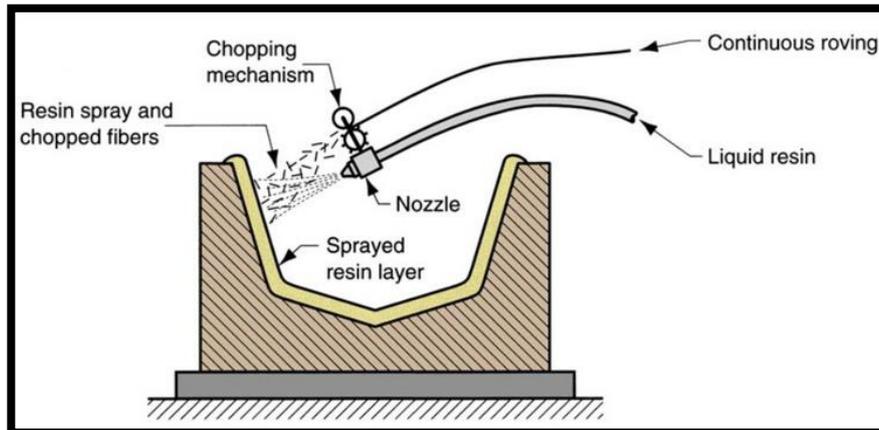


Gambar 2. 18 Pressure Bag

(Sumber : Wordpress, 2016)

4. *Spray Up*

Proses *spray up* dilakukan dengan cara menyemprotkan serat (*fiber*) yang telah melewati tempat pemotongan (*chopper*). Sementara itu, resin yang telah dicampur dengan katalis juga disemprotkan secara bersamaan. Setelah proses penyemprotan selesai, maka hasil semprotan akan didiamkan dan dibiarkan mengeras dengan sendirinya pada kondisi atmosfer standar.

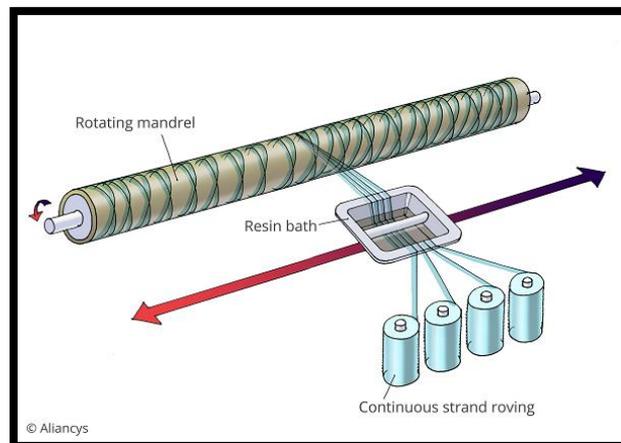


Gambar 2. 19 Metode Spray Up

(Sumber : Wordpress, 2016)

5. *Filament Winding*

Fiber tipe roving atau *single strand* dilewatkan melalui wadah yang berisi resin. Kemudian fiber tersebut akan diputar sekeliling mandrel yang sedang bergerak dua arah yaitu arah radial dan arah tangensial. Proses ini dilakukan berulang hingga melalui cara ini dihasilkan lapisan serat sesuai dengan yang diinginkan.



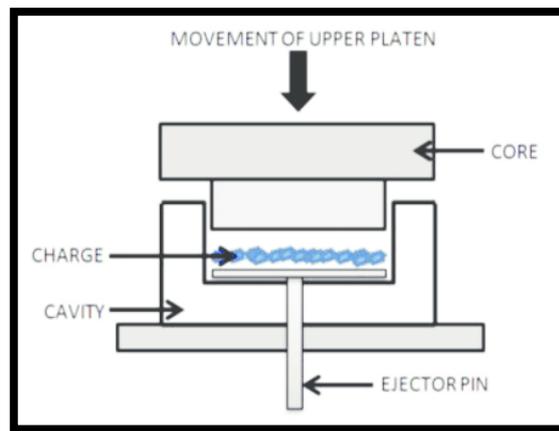
Gambar 2. 20 Metode Filament Winding

(Sumber : Wordpress, 2016)

2.9.2 Proses Cetaka Tertutup (Closed Mould Process)

1. Compression Moulding

Proses ini menggunakan hydraulic sebagai penekannya. Fiber yang telah dicampur dengan resin dimasukkan ke dalam rongga cetakan, kemudian dilakukan penekanan dan pemanasan.

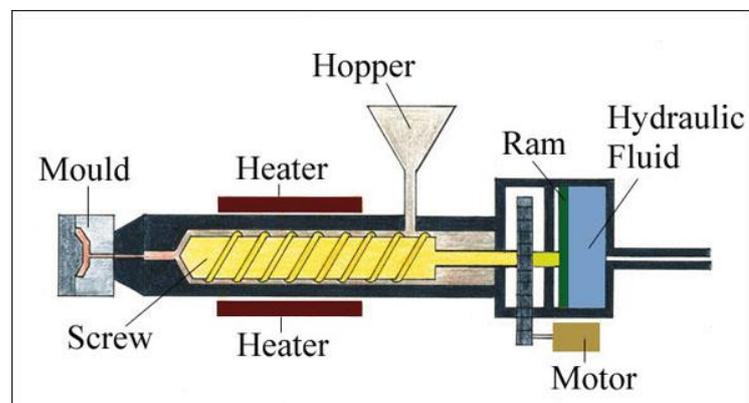


Gambar 2. 21 Konsep Compression Moulding

(Sumber : Wordpress, 2016)

2. Injection Moulding

Injection moulding merupakan proses pembuatan komposit dengan cara mengalirkan resin dan fiber ke dalam cetakan dengan tekanan tinggi. Fiber dan resin dimasukkan ke dalam rongga cetakan bagian atas, kondisi temperatur tetap dijaga agar tetap dapat mencairkan resin. Resin cair beserta fiber akan mengalir ke bagian bawah, kemudian injeksi dilakukan oleh mandrel ke arah nozzle menuju cetakan.

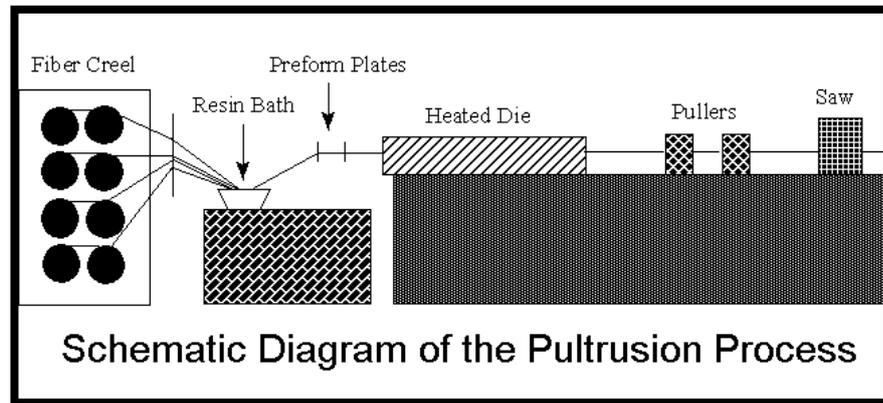


Gambar 2. 22 Konsep Injection Moulding

(Sumber Wordpress, 2016)

3. *Continuous Pultrusion*

Fiber jenis roving dilewatkan melalui wadah berisi resin, kemudian secara kontinu dilewatkan ke cetakan pracetak dan diawetkan (cure). Kemudian dilakukan pengerolan sesuai dengan dimensi yang diinginkan.

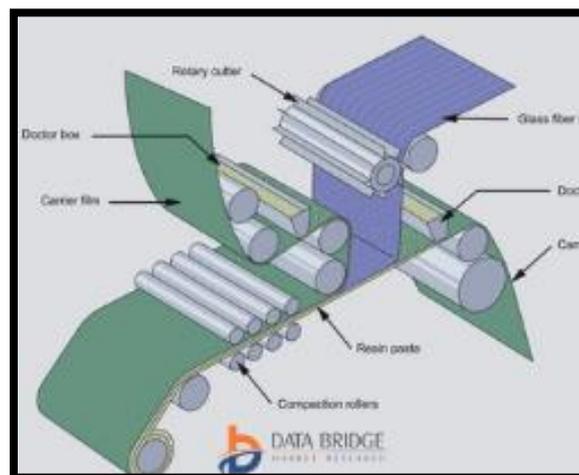


Gambar 2. 23 Pultrusion Process

(Sumber : Wordpress, 2016)

4. *Sheet Moulding Compound (SMC)*

SMC merupakan suatu proses yang dijalankan secara otomatis. Proses ini memungkinkan kontrol resin sangat baik serta produk memiliki kekuatan mekanis baik dengan volume produksi, ukuran yang tinggi, dan produk dengan tinggi sifat keseragamannya.

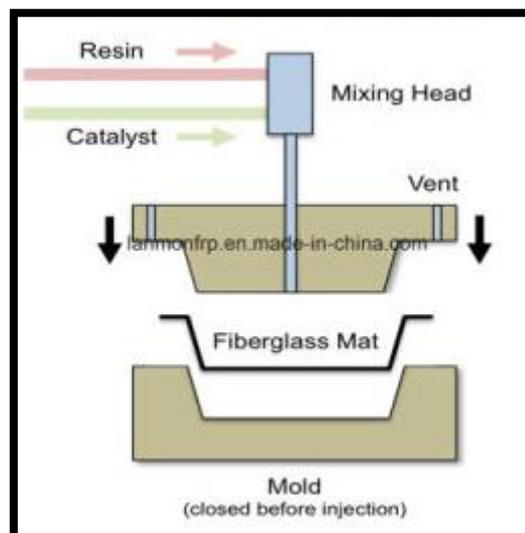


Gambar 2. 24 Sheet Moulding Compound

(sumber : Wordpress, 2016)

5. Resin Transfer Moulding

Serat penguat dipotong dan dibentuk sedemikian rupa sesuai dengan bentuk yang diinginkan ke dalam cetakan. Cetakan ditutup lalu resin dan katalis disemprotkan melalui pompa ke dalamnya.



Gambar 2. 25 Resin Transfer Moulding

(Sumber : Wordpress, 2016)

2.10 Teori Sifat Mekanik Komposit

Penggunaan bahan-bahan teknik secara tepat dan efisien membutuhkan pengetahuan yang luas akan sifat-sifat mekanisnya. Diantara sifat ini yang penting adalah kekuatan, elastisitas, dan kekakuan.

Sifat-sifat lainnya adalah keliatan, kemampuan tempaan (malleability), kekerasan, daya lenting, keuletan, mulur dan kemampuan mesin (machinability).

2.10.1 Teori Pengujian Tarik (Tensile Strage)

Pengujian tarik adalah suatu pengukuran terhadap bahan untuk mengetahui keuletan dan ketangguhan suatu bahan terhadap tegangan tertentu serta pertambahan panjang yang dialami oleh bahan tersebut. Pada uji tarik (Tensile Test) kedua ujung benda uji dijepit, salah satu ujung dihubungkan dengan perangkat penegang. Regangan diterapkan melalui kepala silang yang digerakkan motor dan alongasi benda uji, dengan pergerakan relatif dari benda uji.

Beban yang diperlukan untuk menghasilkan regangan tersebut, ditentukan dari defleksi suatu balok atau proving ring, yang diukur dengan menggunakan

metode hidrolis, optik atau elektro mekanik. Uji tarik merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan ini bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkraman yang kuat dan kekakuan yang tinggi (highly stiff).

Dalam pengujian tarik benda uji mengalami perlakuan tertentu yang berkaitan dengan tegangan. Secara matematik tegangan tarik dapat di tulis sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots (4)$$

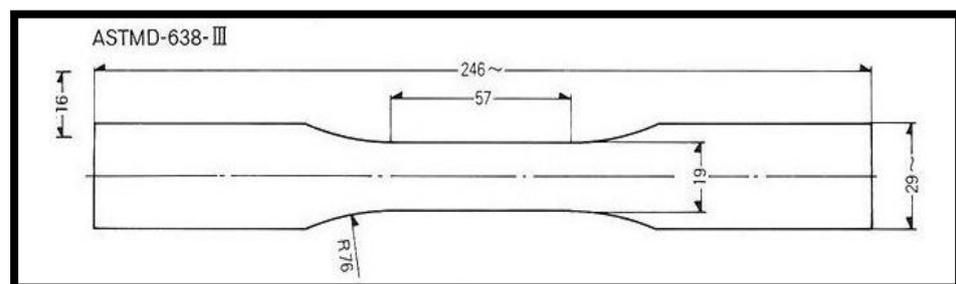
Dimana :

σ = Tegangan (N/mm²)

P = Beban Tarik (N)

A₀ = Luas penampang specimen awal (mm²)

Dalam pelaksanaan uji tarik, peneliti menggunakan standar ukuran spesimen yaitu ASTM D638 – Type III. Gambar spesimen dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. 26 Spesimen Uji Tarik

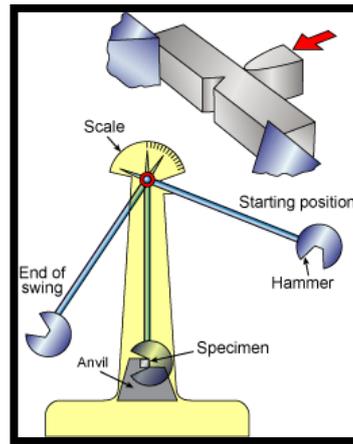
Tabel 2. 6 Standar ukuran spesimen ASTM D638 untuk tiap tipe (mm)

size	Type I	Type II	Type III	Type IV	Type V
Full length	165	185	246	115	
Parallel length	57	57	57	33	63,5
Gauge length	50	50	50	25	-
Parallel section width, $strong_1$	13	6	19	6	7,62
Thickness, h	7 mm or less (recommend $3,2 \pm 0,4$ mm)		7 mm to 14 mm	4 mm or less	
Grip section width, $strong_2$	19	19	29	19	9,53
Distance between grips	115	135	115	65	25,4

2.10.2 Teori Pengujian Impact (Impact Strenght)

Uji impact merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui keuletan (toughness) suatu bahan atau material yang diberikan beban secara tiba-tiba (kejut).

Cara kerja alat uji impact adalah dengan memukul benda yang akan diuji kekuatannya dengan pendulum yang berayun. Pendulum tersebut ditarik hingga ketinggian tertentu lalu dilepas, sehingga pendulum tersebut memukul benda uji hingga patah .



Gambar 2. 27 Pengujian Impact Metode Charpy

Usaha yang digunakan untuk mematahkan bahan atau material per satuan luas penampang pada takikan dinamakan kekuatan impact bahan tersebut. Bandul kemudian dilepaskan dengan sudut yang telah ditentukan (α) pada sumbu tegak dan setelah memutuskan spesimen mengayun sampai maksimum membuat sudut β dengan sumbu tegak.

Usaha untuk mematahkan material atau spesimen dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$E = W \times R [\cos(\beta) - \cos(\alpha)] \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

- E : Energi (joule)
- W : Weight of hammer
- R : Panjang lengan bandul
- β : Sudut akhir bandul
- α : Sudut awal bandul

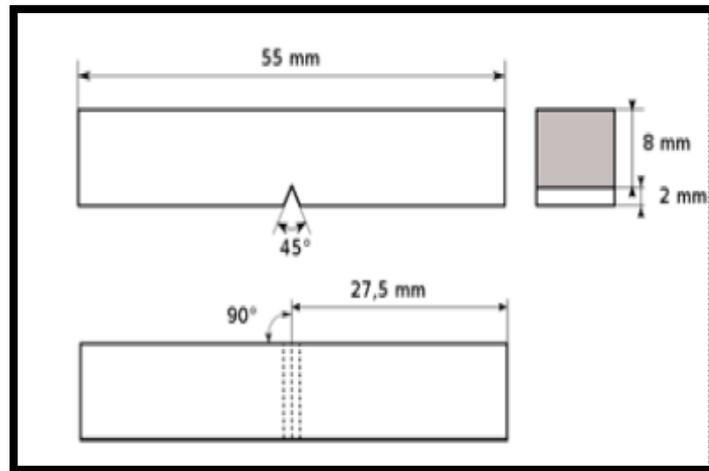
Harga impact dapat dihitung dengan rumus :

$$HI = \frac{E}{A_0}$$

Keterangan :

- HI : Harga impact (joule)
- E : Energi untuk mematahkan material
- A_0 : Luas penampang terkecil takik (cm^2)

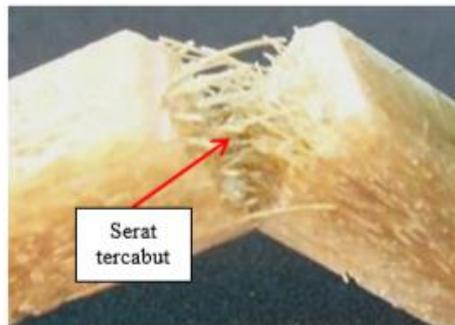
Dimensi untuk spesimen uji impact dapat dilihat pada gambar 2.28 di bawah :



Gambar 2. 28 Dimensi bahan pengujian impact ASTM D256

Setelah dilakukan pengujian tarik dan impact, secara umum perpatahan tarik dan impact digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu:

a. Perpatahan berserat (fibrous fracture), yang melibatkan mekanisme pergeseran bidangbidang kristal di dalam bahan (logam) yang ulet (ductile). Ditandai dengan permukaan patahan berserat yang berbentuk dimpel yang menyerap cahaya dan berpenampilan buram seperti pada Gambar 2.29.



Gambar 2.29 Penampakan patah berserat

Sumber: Hidayat Achmad (2019)

b. Perpatahan granular/kristalin, yang dihasilkan oleh mekanisme pembelahan pada butir-butir dari bahan yang rapuh (brittle). Ditandai dengan permukaan patahan yang datar yang mampu memberikan daya pantul cahaya yang tinggi/mengkilat seperti Gambar 2.30.



Gambar 2.30 Penampakan patah granular

Sumber: Hidayat Achmad (2019)

c. Perpatahan campuran (berserat dan granular). Merupakan kombinasi dua jenis perpatahan di atas.

2.11 Kelebihan dan Kekurangan Material Komposit

Seperti material yang lain, komposit juga memiliki kekurangan dan kelebihan, berikut adalah beberapa kelebihan dan kekurangan komposit

1. Kelebihan Material Komposit

Material komposit memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan logam, umumnya dapat dilihat dari beberapa faktor, antara lain :

a) Sifat Mekanik dan Fisik

Pemilihan bahan matriks dan serat pada umumnya memiliki peranan penting dalam menentukan sifat-sifat mekanik dari komposit. Gabungan matriks dan serat dapat menghasilkan komposit yang memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi dari bahan konvensional.

b) Biaya

Biaya juga merupakan faktor yang sangat penting dalam membantu perkembangan industri komposit dalam pembuatan suatu produk yang mempengaruhi beberapa aspek yaitu bahan mentah, proses pembuatan, dsb.

2. Kekurangan Material Komposit

Selain memiliki kelebihan, material komposit juga memiliki beberapa kekurangan antara lain :

a. Tidak tahan terhadap beban kejut (*shock*) dan tabrak (*crash*) dibandingkan logam.

b. Kurang elastis.

- c. Lebih sulit dibentuk secara plastis.