

## BAB II

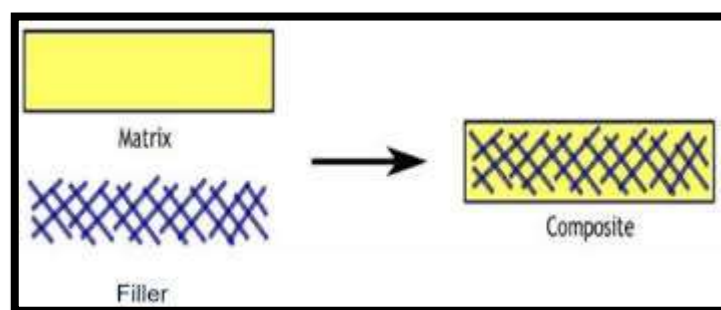
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Umum

Material merupakan suatu zat atau benda. Material bisa dalam bentuk murni atau tidak murni, benda hidup atau tidak hidup. Bahan baku dapat diproses dengan berbagai cara untuk memengaruhi sifat-sifatnya, dengan memurnikan, membentuk, atau memperkenalkan bahan-bahan lainnya. Dalam dunia teknik material dapat digolongkan menjadi enam, yaitu logam, polimer, karet, gelas, keramik dan hibrida.

#### 2.2 Material Komposit

Komposit adalah suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda tersebut baik itu sifat kimia maupun fisiknya tetap terpisah walaupun sudah menjadi suatu produk baru. Sifat mekanik dari komposit sangat tergantung dari geometri dan sifat-sifat dari penguatnya. Kata komposit (*composite*) dapat diartikan menyusun atau menggabung. Jadi, pengertian komposit adalah suatu sistem material yang merupakan campuran dari dua atau lebih material yang berbeda namun sifat bawaan dari masing-masing material berbeda tersebut masih tetap ada dan diharapkan dapat saling melengkapi kelemahan-kelemahan yang ada pada material penyusunnya (Mawardi,I., & Lubis,H., 2018 ).



Gambar 2.1 Ilustrasi Komposite  
( Sumber : Mawardi,I., & Lubis,H., 2018)

Karakteristik dan sifat komposit dipengaruhi oleh material-material penyusunnya. Interaksi antara unsur-unsur penyusun komposit yaitu serat dan matrik sangat berpengaruh terhadap kekuatan ikatan antarmuka. Kekuatan ikatan antarmuka yang optimal antara matriks dan serat merupakan aspek penting dalam penunjukan sifat-sifat mekanik komposit.

Material komposit memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah :

1. Memiliki kekuatan yang dapat diatur.
2. Berat yang lebih ringan.
3. Tahan korosi.
4. Biaya produksi yang relatif rendah.

Material penyusun komposit terdiri atas matriks yang berfungsi sebagai pengikat yang dapat berupa polimer, logam maupun keramik. Matriks juga sering disebut sebagai unsur pokok bodi. Sedangkan penguat dapat berupa serat, partikel dan flakes disebut sebagai unsur pokok struktur untuk menambah sifat-sifat produk komposit yang berasal dari sifat bawaan dari penguat tersebut.

### **2.3 Matriks**

Pada material komposit, matriks memberikan pengaruh besar dalam mengikat material penguat selain bertugas untuk mendistribusikan beban dan memberikan perlindungan dari pengaruh lingkungan. Matriks dalam struktur komposit bisa berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik. Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan).

Beberapa fungsi lain dari matrik, antara lain (Mawardi,I., & Lubis,H., 2018) :

1. Memindahkan dan mendistribusikan tegangan ke serat.
2. Membentuk ikatan koheren pada permukaan matriks atau serat.
3. Melindungi serat dari kerusakan akibat kondisi lingkungan.
4. Mengikat serat menjadi satu kesatuan struktur.

5. Menyumbang beberapa sifat, seperti kekakuan ketangguhan, dan tahanan listrik.
6. Tetap stabil setelah proses manufaktur

Berdasarkan matriks yang digunakan , komposit dapat dikelompokkan menjadi tiga macam, yaitu sebagai berikut :

1. *Metal matrix composite* (matriks logam).
2. *Ceramic matrix composite* (matriks keramik).
3. *Polymer matrix composite* (matriks polimer)

## **2.4 Penguat**

Penguat (*reinforcement*) berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit. Penguat dapat berupa serat, partikel dan *flakes*. Ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dalam memilih reinforcement komposit berjenis serat yaitu :

1. Memiliki kestabilan thermal yang baik
2. Elongasi saat patah
3. Memiliki sifat tarik merarik (adhesi) yang baik antara penguat dan matriksnya.
4. Ekonomis.

## **2.5 Klasifikasi Komposit**

Secara umum material komposit dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis sesuai sifat dan strukturnya yaitu sebagai berikut :

### **2.5.1 Komposit Berdasarkan Matriks**

Berdasarkan matriksnya, material komposit dapat dibedakan menjadi tiga. Yaitu sebagai berikut :

1. *Polymer Matrix Composite* (PMC)

PMC merupakan komposit yang menggunakan polimer sebagai matriksnya. Polimer sebagai matriks dengan serat-serat sebagai media penguat. Bahan tersebut digunakan paling banyak ragamnya dari aplikasi

komposit, juga dalam jumlah terbanyak dalam temperatur ruang, mudah difabrikasi, dan murah (Hadi.,S., 2018).

Dalam komposit PMC, terdapat jenis-jenis polimer yang sering digunakan, yaitu sebagai berikut :

#### A. Termoplastik

Polimer termoplastik adalah material yang memerlukan panas dalam pembentukannya. Jika material ini dipanaskan, maka material ini akan menjadi lunak dan bila didinginkan akan menjadi keras. Bahan tersebut dapat dipanaskan dan dibentuk ulang ke dalam bentuk baru untuk beberapa kali tanpa perubahan nyata dari sifat-sifatnya.

#### B. Termoset

Polimer termoset adalah material yang lebih kuat dan lebih kaku daripada termoplastik yang umumnya dapat digunakan pada temperatur yang lebih tinggi. Mereka tidak dapat dibentuk kembali setelah reaksi awal yang mana rantai-rantai polimernya telah terbentuk dan bercabang yang prosesnya dapat dibentuk secara terbatas pada produk yang langsung dibentuk dari bahan baku polimernya. Plastik termoset dibentuk ke dalam bentuk permanen dan diikat oleh reaksi kimia yang tidak dapat dilelehkan dan dibentuk kembali ke bentuk asli dan tidak dapat di daur ulang.

#### C. Karet (*elastomer*)

Karet adalah polimer yang menunjukkan regangan yang sangat besar dikenai tegangan, dan akan kembali ke dimensi semulajika tegangannya ditiadakan. Elastomer adalah polimer amorf yang mempunyai temperatur transisi kaca ( $T_g$ ) di bawah temperatur kerjanya.

### 2. *Ceramic Matrix Composite*

CMC merupakan material yang memiliki dua atau lebih fasa yang mana satu menjadi matriks, dan fasa yang lain menjadi penguat. Penguat yang sering dipakai pada komposit CMC adalah : oksida, carbide, nitride.

Salah satu proses pembuatan dari CMC yaitu proses dmox, yaitu proses pembentukan komposit dengan reaksi oksida leburan logam untuk pertumbuhan matriks keramik di sekeliling daerah filler.

### 3. *Metal Matrikx Composite*

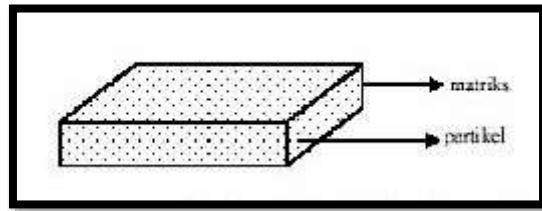
Metal matrix composite (MMC) adalah satu jenis komposit yang menggunakan logam sebagai matriksnya. MMC jauh lebih mahal daripada PMC, dan oleh karenanya, MMC digunakan secara terbatas. Paduan super (superalloy) juga paduan aluminium, magnesium, titanium, dan tembaga digunakan sebagai bahan matriks. Penguat dalam bentuk serat-serat menerus atau terputus. Bahan serat menerus termasuk karbon, karbida silikon, boron, oksida aluminium, dan logam refraktori (logam tahan temperatur tinggi). Pada sisi lain, penguat tidak kontinu terutama terdiri dari whiskers karbida silikon, potongan serat-serat oksida aluminium dan karbon.

## **2.5.2 Komposit Berdasarkan Penguat**

Berdasarkan penguatnya, material komposit dapat dibagi menjadi tiga. Yaitu sebagai berikut :

### 1. Komposit Berpenguat Partikel

Komposit partikel adalah gabungan antara matriks dengan partikel yang mana partikel-partikel tersebut diikat oleh matriks. Partikel dapat berupa logam atau bukan logam dalam matriks. Material komposit partikel umumnya lebih lemah dibandingkan dengan komposit serat, tetapi memiliki keunggulan seperti ketahanan terhadap aus, tidak mudah retak, dan mempunyai daya pengikat dengan matriks yang baik. Gambar komposit berpenguat partikel dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Komposit Berpenguat Partikel  
( Sumber : Antekuk, 2013)

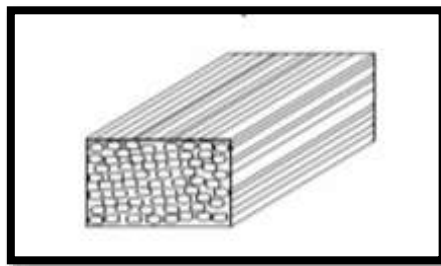
## 2. Komposit Berpenguat Serat

Komposit berpenguat serat adalah material gabungan antara matrik dengan serat. Komposit ini terdiri dari serat-serat yang di ikat oleh matrik yang saling berhubungan. Serat yang dapat digunakan pada material komposit ini yaitu serat alami maupun serat sintetis. Material komposit serat ini terdiri dari dua macam, yaitu serat panjang (continuos fiber) dan serat pendek (discontinuos atau shortfiber atau whisker). Material komposit serat lebih kuat bila dan kaku bila dibebani searah dengan serat. Sebaliknya sangat lemah bila dibebani dalam arah tegak lurus serat.

Berdasarkan penempatannya, ada beberapa tipe serat pada komposit. Yaitu sebagai berikut :

### A. *Continuous Fiber Composite*

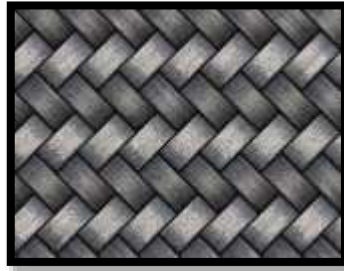
Susunan serat ini yaitu panjang dan lurus. Tipe ini memiliki kelemahan bila diberikan beban pada arah yang berlawanan dari orientasi serat.



Gambar 2.3 *Contiuous Fiber Composite*  
(sumber :slideshare, 2019)

### B. *Woven Fiber Composite*

Komposit ini terdiri dari beberapa lapisan serat, dan tidak mudah dipengaruhi pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya mengikat antar lapisan. Susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan melemah.



Gambar 2.4 *Woven Fiber Composite*  
(Sumber : filterforge, 2019)

### C. *Discontiuous Fiber Composite*

Discontiuous fiber composite adalah tipe komposite yang menggunakan serat pendek (chopped) dan tersebar secara acak dalam matriks. Komposit serat pendek digunakan secara ekstensif dalam aplikasi volume tinggi karena biaya produksi yang rendah, tetapi sifat mekanik jauh lebih rendah daripada continuous fiber composite.



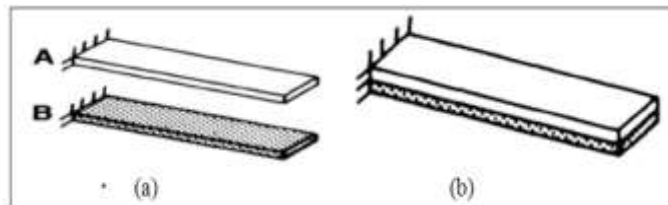
Gambar 2.5 *Discontinuous Fiber Composite*  
(Sumber : Sukoco, 2018)

### 3. Komposit Berpenguat Struktural

Komposit struktural terbagi menjadi dua. Yaitu sebagai berikut :

#### A. Komposit Laminasi

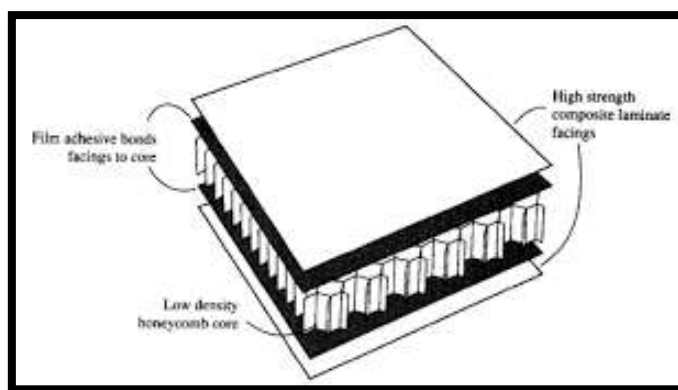
Komposit laminasi adalah komposit yang terbentuk dari beberapa lapisan yang berbeda dan terikat bersama. Laminasi digunakan untuk menggabungkan aspek terbaik dari lapisan konstituen dan bahan pengikat untuk mendapatkan bahan yang lebih berguna. Sifat yang ditekankan oleh laminasi adalah kekuatan, kekakuan, ketahanan korosi, ketahanan aus, isolasi termal dan lainnya.



Gambar 2.6 a). Material 1 & 2, b). Komposit Laminasi  
(Sumber : irianpoo, 2016)

#### B. Komposit *Sandwich*

Komposit *sandwich* terdiri dari lembaran komposit yang terikat pada busa ringan atau inti. Komposit sandwich memiliki kelenturan yang sangat tinggi, rasio kekakuan yang juga tinggi dan secara luas digunakan dalam struktur aerospace.



Gambar 2.7 Komposit Sandwich  
(sumber : Mawardi,I., & Lubis,H., 2018)



Beberapa faktor yang memengaruhi kinerja komposit serat, antara lain (Mawardi,I., & Lubis,H., 2018) :

1. Faktor Serat

Serat adalah bahan pengisi matriks yang digunakan untuk memperbaiki sifat dan struktur matrik sesuai dengan sifat bawaan dari serat yang dipakai dan diharapkan mampu untuk menahan gaya yang terjadi.

2. Letak Serat

Tata letak dan arah serat dapat memengaruhi kinerja komposit tersebut. Ada tiga model tata letak dan arah serat. Yaitu :

A. *One dimensional reinforcement*. Mempunyai kekuatan dan modulus maksimum pada arah horizontal serat.

B. *Two dimensional reinforcement*. Mempunyai kekuatan pada dua arah atau masing-masing arah orientasi serat.

C. *Three dimensional reinforcement*. Mempunyai sifat isotropic yang kekuatannya lebih tinggi dibanding dengan dua tipe sebelumnya.

3. Panjang Serat

Panjang serat dalam pembuatan komposit pada matriks sangat berpengaruh terhadap kekuatan. Ada dua penggunaan serat dalam campuran komposit, yaitu serat pendek dan serat panjang. Serat panjang lebih kuat dibanding serat pendek. Serat panjang (*continuous fiber*) lebih efisien dalam peletakannya dibanding serat pendek. Akan tetapi serat pendek lebih mudah peletakannya dibanding serat panjang.

4. Bentuk Serat

Bentuk serat pada komposit tidak terlalu berpengaruh. Yang lebih berpengaruh adalah diameter seratnya. Pada umumnya, semakin kecil diameter serat akan menghasilkan kekuatan komposit yang lebih tinggi. Selain bentuknya, kandungan serat juga memengaruhi.

## 5. Faktor Matriks

Matriks berfungsi sebagai pengikat serat. Pembuatan komposit serat membutuhkan ikatan permukaan yang kuat antara matriks dan serat. Selain itu, matriks juga harus mempunyai kecocokan secara kimia agar reaksi yang tidak diinginkan tidak terjadi pada permukaan kontak antara keduanya. Kemudian, untuk memilih matriks juga harus mempertimbangkan sifat-sifatnya sebagai pertimbangan dalam pemilihan matrik untuk komposit.

## 6. Faktor Ikatan Fiber-Matriks

Komposit serat harus mempunyai kemampuan untuk menahan tegangan tinggi. Alasannya karena serat maupun matriks yang berinteraksi pada akhirnya akan terjadi pendistribusian tegangan. Hal yang memengaruhi ikatan antara serat dan matriks adalah void. Apabila komposit tersebut menerima beban, maka daerah tegangan akan berpindah ke daerah void yang berakibat pada berkurangnya kekuatan komposit tersebut.

## 2.6 Resin

Resin merupakan istilah yang merujuk pada polimer (plastik), atau campuran formulasi dari berbagai macam zat tambahan atau komponen reaktif kimia. Resin dalam komposit bertugas untuk mengikat serat agar bekerja dengan baik, sekaligus untuk meneruskan beban dari luar ke serat. Resin yang paling umum digunakan dalam pembuatan komposit adalah polyester, vinilester dan epoxy.

### 2.6.1 Polyester

*Unsaturated Polyester Resin* (UPR) adalah jenis polimer termoset. UPR terbuat dari reaksi polimerisasi antara asam dikarboksilat dengan glikol. 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 (Yukalac, 2019).

Salah satu *polyester* resin adalah *Polyethylene Terephthalate* (PET). PET dibuat dari *glicol* (EG) dan *terephthalic acid* (TPA) atau *dimethyl ester* atau asam terephthalat (DMT). PET resin mempunyai kombinasi sifat-sifat, seperti kekuatannya tinggi, kaku (*stiffness*), dimensinya stabil, tahan bahan kimia maupun panas, dan mempunyai sifat elektrikal yang baik. PET memiliki daya serap uap air yang rendah, demikian juga daya serap terhadap air (Mawardi, I. & Lubis, H. 2018). Beberapa kelebihan dari resin polyester adalah sebagai berikut :

1. Ringan
2. Mudah dibentuk
3. Tahan korosi
4. Lebih murah dari epoxy

Tabel 2.1 Sifat Mekanik Resin *Polyester*

Properties	Polyester Resin
Density (g/cm <sup>3</sup> )	1,2 – 1,5
Young modulus (GPa)	2 – 4,5
Tensile strength (MPa)	40 – 90
Compressive strength (MPa)	90 – 250
Tensile elongation at break (%)	2
Water absorption 24h at 20°C	0,1 – 0,3

(Sumber : Ramadhani, IA. 2015)

### 2.6.2 Epoxy

*Epoxy* merupakan salah satu polimer termoset yang diperoleh dari proses polimerisasi dari epoksida. Epoxy resin bereaksi dengan beberapa bahan kimia kain seperti amina, asam serat fenol, dan alcohol umumnya dikenal dengan bahan pengeras atau hardener.

Adapun beberapa kelebihan dari epoxy, yaitu sebagai berikut (Pulungan, MA, 2017) :

1. Peyusutan material rendah.
2. Sifat adhesif material baik.

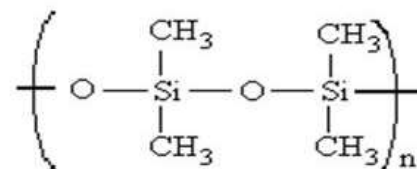
3. Ketahanan kimia material yang baik.
4. Material memiliki sifat mekanik, seperti ketangguhan yang baik.
5. Dapat diformulasikan dengan material lain maupun epoxy jenis lain.

Tabel 2.2 Sifat Mekanik *Epoxy*

Property	Value
Glass transition temperature (T <sub>g</sub> ), °C (°F)	51 (123)
Heat distorsion temperatue, oC, (°F)	49 (120)
Tensile strenght, MPa (ksi)	51 (7,45)
Tensile modulus, MPa (ksi)	2979 (432)
Tensile elongation, (%)	2,8
Hardness, Shore D	81

(Sumber : Liemawan, FK. 2014)

### 2.6.3 *Silicone Rubber*



Gambar 2.8 Ikatan Karet Silikon  
(Sumber : Arizal, R. 2015)

*Silicone rubber* merupakan suatu polimer elastomer (bahan seperti-karet) yang mengandung silikon Karet silikon secara umum non-reaktif, stabil, dan tahan terhadap lingkungan dan suhu ekstrim dari  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  sampai  $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$  sambil masih mempertahankan sifat-sifatnya yang berguna. Karena sifat-sifat tersebut dan mudahnya fabrikasi dan pembentukan.

Sifat utama silicone rubber yaitu sebagai berikut :

1. Stabilitas suhu tinggi karet silikon, pada suhu di atas  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , karet silikon tetap dapat mempertahankan tingkat fleksibilitas, elastisitas dan kekerasan, dan tidak ada perubahan signifikan dalam sifat mekanik.

2. Sifat suhu rendah dari karet silikon dengan suhu transisi gelas-70 ~ -50 °C, formulasi khusus sampai dengan-100, kinerja suhu rendah yang sangat baik.
3. Kunci Si-O-Si pada karet silikon memiliki ketahanan pelapukan yang sangat baik terhadap oksigen, ozon dan UV.
4. Mampu bertahan terhadap suhu yang sangat rendah.
5. Karet silikon tidak beracun, hambar, tidak berbau, dan adhesi jaringan manusia tidak dan memiliki efek antikoagulan, reaktivitas organisme sangat kecil. Terutama cocok sebagai bahan untuk keperluan medis.

#### **2.6.4 Bahan Tambah**

Bahan tambah yang digunakan untuk mengeraskan matriks adalah katalis. Katalis digunakan untuk mempercepat pengerasan resin pada suhu yang tinggi. Semakin banyak katalis, maka proses pengerasan akan semakin cepat. Akan tetapi, bila terlalu banyak menambahkan katalis dapat membuat matriks menjadi rapuh atau getas.

### **2.7 Serat**

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
2. Serat sintetis

### **2.8 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.

Beberapa contoh serat alami :

1. Serat nanas
2. Serat agave
3. Serat kenaf
4. Serat rami
5. Serat kapas
6. Serat sabut kelapa
7. Serat eceng gondok
8. Serat kapuk

### 2.8.1 Serat Rami

Serat rami merupakan serat alami yang dihasilkan oleh tanaman rami, yang kulit batangnya banyak digunakan untuk bahan baku tekstil serat rami. Karakter serat rami hampir sama dengan serat kapas namun serat rami lebih berkilap, kuat, dan dapat menyerap air dengan sangat baik. Serat rami sangat baik untuk pembuatan komposit karena kandungan selulosa yang cukup tinggi dan sifat mekanis relatif paling tinggi dibandingkan dengan serat alam lainnya, sehingga serat rami banyak digunakan untuk serat penguat pada pembuatan material komposit. Gambar serat rami dapat dilihat pada gambar 2..



Gambar 2.9 Serat Rami  
Sumber : Dektiyin, 2019

Beberapa perbandingan sifat mekanis antara serat rami dan serat alam lainnya dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Sifat mekanis serat selulosa: rami, kapas, dan rayon

Karakteristik	Rami
<i>Average ultimate fibre length (mm)</i>	120-150
<i>Average ultimate fibre diameter (<math>\mu</math>)</i>	40-60
<i>Tensile strength (<math>kg/mm^2</math>)</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))

## 2.9 Serat Sintetis

Serat sintetis merupakan serat yang dibuat oleh manusia atau serat yang tidak berasal dari makhluk hidup. Serat sintetis memiliki beberapa kelebihan seperti tidak mudah rusak, awet dan tahan lama.

### 2.9.1 Serat Karbon

Serat karbon merupakan material komposit yang artinya terbentuk dari dua atau lebih material dalam pembentukannya yang jika dikombinasikan akan menghasilkan material berkarakteristik berbeda dengan material - material penyusunnya. Dalam proses pembuatan serat karbon, salah satu material penyusun yang digunakan adalah carbon fiber dan aramid (kevlar) yang bekerja sebagai material penguat atau reinforcement. Sedangkan sifat material penyusun satunya disebut dengan istilah matriks.

#### A. Carbon Fiber

Carbon *fiber* pada dasarnya adalah benang karbon yang sangat tipis, bahkan lebih tipis daripada rambut manusia. Karbon *fiber* tersusun oleh atom karbon yang terikat bersama untuk membentuk rantai yang panjang. Benang karbon *fiber* bisa diputar bersama-sama seperti benang dan benang dapat dijalin bersama seperti kain



Gambar 2.10 Carbon Fiber  
(Sumber : Mobilmo, 2019)

Sifat fisik carbon fiber dapat dilihat pada tabel 2.4

Tabel 2.4 Sifat Fisik carbon fiber

Physical Properties	Metric	English
Density	1.79 gr/cc	0.0647 lb/in <sup>3</sup>
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 : ASM (aerospace Specification Metal, inc), 2019)

## B. Karbon Kevlar

Dalam Septyawan Dwi. 2010 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 2.11 Serat Karbon Kevlar

Satu lapisan Kevlar tebalnya kurang dari 1 mm, ada tiga macam Kevlar yang digunakan dalam bahan komposit. Kevlar 29 memiliki kekuatan untuk serupa serat kaca dengan berat yang lebih rendah, Kevlar 49 dan Kevlar 149 dapat digunakan untuk mengurangi berat bahkan lebih. 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.

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 sifat fisik serat karbon dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2.5 Spesifikasi macam serat karbon kevlar

Physical Properties	Metric	English
Density	1.44 gr/cc	0.0031 lb/in <sup>3</sup>
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, D.,2010

### 2.9.2 Anyaman Kawat

Kawat merupakan material yang terbuat dari logam yang memiliki ukuran diameter yang kecil sekaligus memiliki sifat lentur. Penggunaan kawat tergantung dari kegunaannya, seperti bila untuk menghantarkan listrik, kawat yang digunakan adalah tembaga. Dan bila digunakan untuk bahan bangunan, menggunakan kawat baja.

Anyaman kawat merupakan gabungan dari beberapa lonjoran kawat yang dianyam sedemikian rupa untuk menambah kekuatannya. Anyaman kawat biasanya diaplikasikan untuk kontruksi, dan menggunakan material logam baja, PVC coated dan galvanized.

Anyaman kawat yang akan digunakan dalam penelitian adalah SS304. Spesifikasi dari anyaman kawat dapat dilihat pada tabel 2.6

Tabel 2.6 Spesifikasi Anyaman Kawat SS304

Reinforcement Material	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)	Density g/cm <sup>3</sup>	Diameter of wire (mm)	Width between wires (mm)	Elongation At Break (%)
Stainless steel (SS304)	620	275	8.0	0.5	1.6	70

(Sumber :Sathivel, M., Vijayakumar, S. 2017)

## 2.10 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.

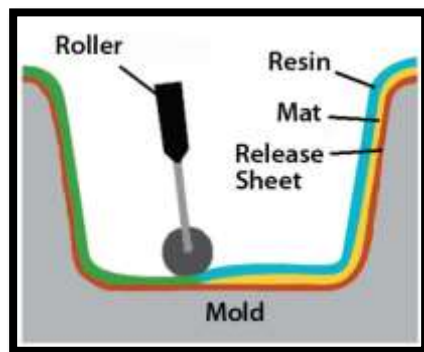
Secara garis besar, metode pembuatan material komposit terdiri atas dua cara yaitu (Mawardi,I., & Lubis,H., 2018) :

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

### 2.10.1 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.

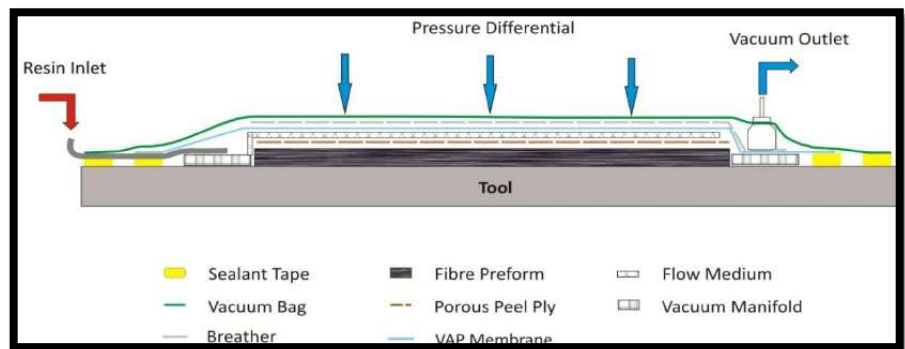


Gambar 2.12 Proses *Hand Lay Up*  
(Sumber : sealersupply, 2019)

#### 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

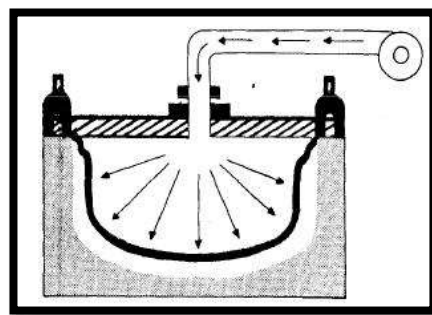
terperangkap dan berlebih dalam penggunaan resin. Metode ini menggunakan pompa vakum untuk menghisap udara dalam wadah diletakkannya komposit yang akan dilakukan proses pencetakan. Artinya, dengan divakumkannya udara dalam wadah, maka udara yang ada diluar penutup plastik akan menekan ke arah dalam. (Mawardi,I., & Lubis,H., 2018).



Gambar 2.13 Metode *Vacuum Bag*  
(sumber : netcomposite, 2019)

### 3. *Pressure Bag*

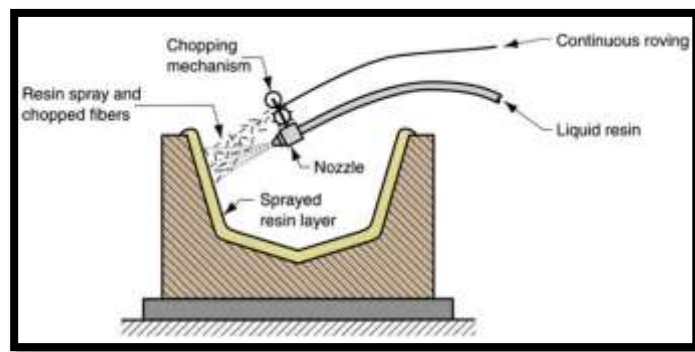
Proses *pressure bag* hampir sama dengan vakum bag, namun cara ini tidak menggunakan pompa vakum, melainkan menggunakan udara atau uap bertekanan yang dimasukkan melalui suatu wadah elastis. Tekanan udara yang masuk ke dalam cetakan akan menekan komposit tersebut. Tekanan yang biasanya digunakan sebesar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



Gambar 2.14 *Pressure Bag*  
(Sumber : Mawardi, I. & Lubis, H. 2018)

#### 4. *Spray Up*

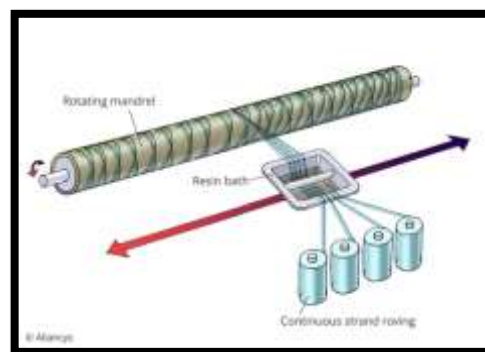
Proses *spray up* dilakukan dengan cara menyemprotkan serat (*fiber*) yang telah melewati tempat pemotongan (*chopper*). Sementara itu, resin yang telah dicampur dengan katalis juga disemprotkan secara bersamaan. Setelah proses penyemprotan selesai, maka hasil semprotan akan didiamkan dan dibiarkan mengeras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



Gambar 2.15 Metode *Spray Up*  
(Sumber : Hanlon Composite, 2019)

#### 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.

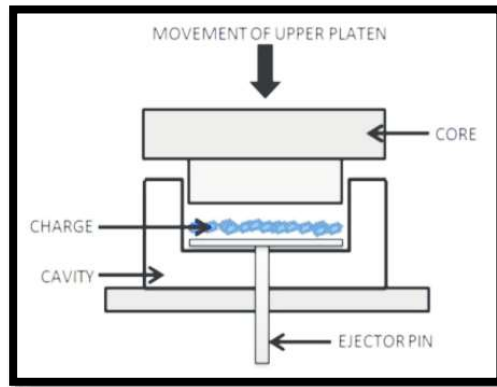


Gambar 2.16 Metode *Filament Winding*  
(Sumber : aliancy, 2019)

### 2.10.2 Proses Cetaka Tertutup ( Closed Mould Process)

#### 1. Compression Moulding

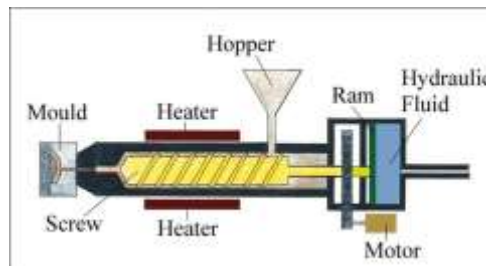
Proses ini menggunakan hydraulic sebagai penekannya. Fiber yang telah dicampur dengan resin dimasukkan ke dalam rongga cetakan, kemudian dilakukan penekanan dan pemanasan.



Gambar 2.17 Konsep *Compression Moulding*  
(Sumber : Researchgate, 2019)

#### 2. Injection Moulding

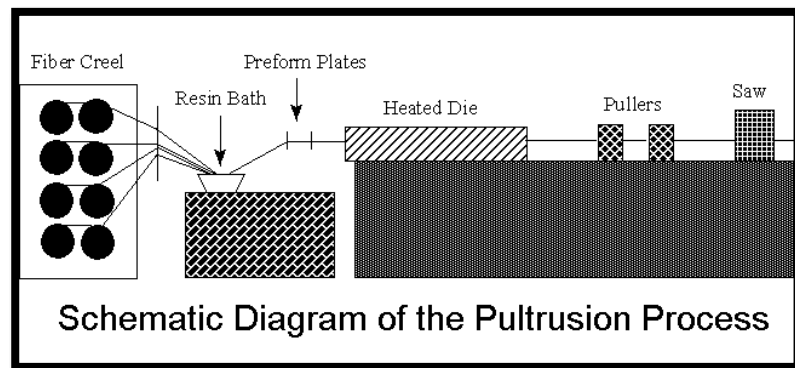
*Injection moulding* merupakan proses pembuatan komposit dengan cara mengalirkan resin dan fiber ke dalam cetakan dengan tekanan tinggi. Fiber dan resin dimasukkan ke dalam rongga cetakan bagian atas, kondisi temperatur tetap dijaga agar tetap dapat mencairkan resin. Resin cair beserta fiber akan mengalir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



Gambar 2.18 Konsep *Injection Moulding*  
(Sumber : Design, 2019)

### 3. *Continuous Pultrusion*

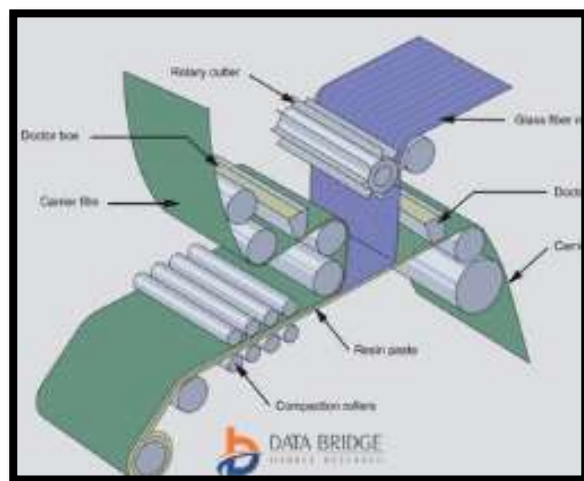
Fiber jenis roving dilewatkan melalui wadah berisi resin, kemudian secara kontinu dilewatkan ke cetakan pracetak dan diawetkan (cure). Kemudian dilakukan pengerolan sesuai dengan dimensi yang diinginkan.



Gambar 2.19 *Pultrusion Process*  
(Sumber : Olemiss, 2019)

### 4. *Sheet Moulding Compound (SMC)*

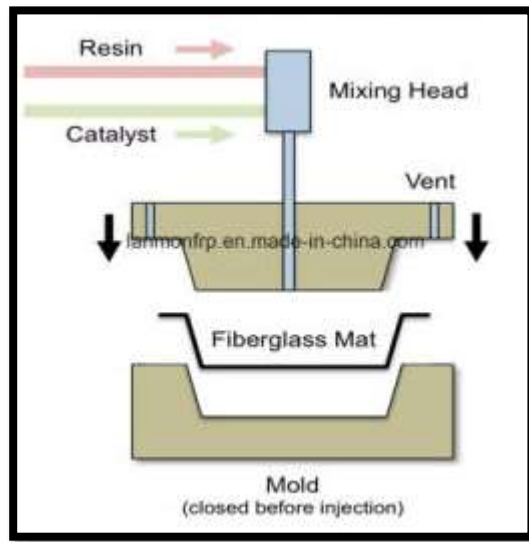
SMC merupakan suatu proses yang dijalankan secara otomatis. Proses ini memungkinkan kontrol resin sangat baik serta produk memiliki kekuatan mekanis baik dengan volume produksi, ukuran yang tinggi, dan produk dengan tinggi sifat keseragamannya.



Gambar 2.20 *Sheet Moulding Compound*  
(sumber : Journaldairy, 2019)

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 2.21 Resin Transfer Moulding (sumber : lanmonfrp, 2019)

2.11 Fraksi Volume

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 ( $v_f$ ) atau fraksi massa serat ( $w_f$ ). Namun formulasi kekuatan komposit lebih banyak menggunakan fraksi volume serat. Jadi semakin besar fraksi folumnya semakin besar pula kekuatannya. Berikut adalah persamaan dalam menghitung fraksi volume serat (Romadhona Ilham, 2018):

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

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

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



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.  $\rho_f$  = Berat Jenis Serat ( $g/cm^3$ )
- f.  $\rho_m$  = Berat Jenis Matrik ( $g/cm^3$ )
- g.  $V_f$  = Fraksi Volume Serat (%)
- h.  $W_f$  = Fraksi Berat Serat (%)

## 2.12 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, kemamputempaan (malleability), kekerasan, daya lenting, keuletan, mulur dan kemampumesinan (machinability).

### 2.12.1 Teori Pengujian Tarik ( Tensile Strength)

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 mengasilkan regangan tersebut, ditentukan dari difleksi 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 cengkaman 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 :

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

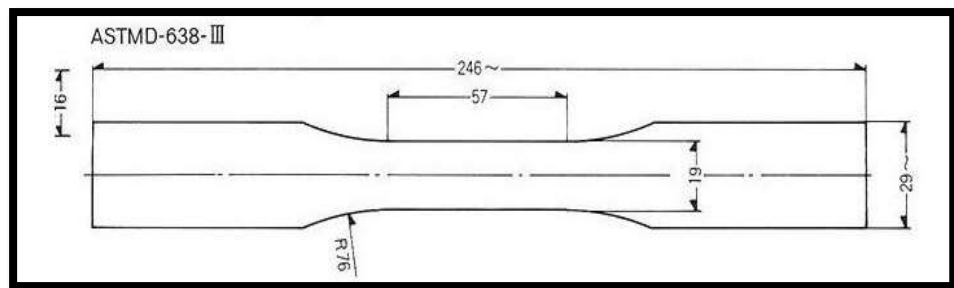
Dimana :

$\sigma$  = Tegangan (N/mm<sup>2</sup>)

P = Beban Tarik (N)

A<sub>0</sub> = Luas penampang specimen awal (mm<sup>2</sup>)

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



Gambar 2.22 Standar ASTM D638-Type III  
(Sumber : Znanzhu, 2017)

Pada setiap tipe spesimen dalam standar ASTM D638 memiliki ukuran dimensi yang berbeda-beda. Standar ASTM D638 memiliki lima tipe yang dapat dilihat pada tabel 2.7.

Tabel 2.7 Standar ukuran spesimen ASTM D638 untuk tiap tipe (mm)

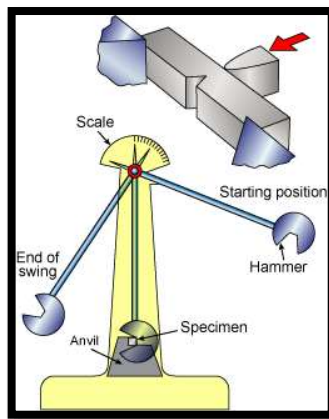
size	Type I	Type II	Type III	Type IV	Type V
Full length	165	185	246	115	
Parallel length	57	57	57	33	63,5
Gauge length	50	50	50	25	-
Parallel section width, $strong_1$	13	6	19	6	7,62
Thickness, $h$	7 mm or less (recommnd $3,2 \pm 0,4$ mm)		7 mm to 14 mm	4 mm or less	
Grip section width, $strong_2$	19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

Sumber : Znanzhu, 2017

### 2.12.2 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 ( Mirfan, D. 2017).



Gambar 2.23 Pengujian Impact Metode Charpy  
(Sumber : Mirfan, D, 2017)

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 ( $\alpha$ ) pada sumbu tegak dan setelah memutuskan spesimen mengayun sampai maksimum membuat sudut  $\beta$  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
- $\beta$  : Sudut akhir bandul
- $\alpha$  : Sudut awal bandul

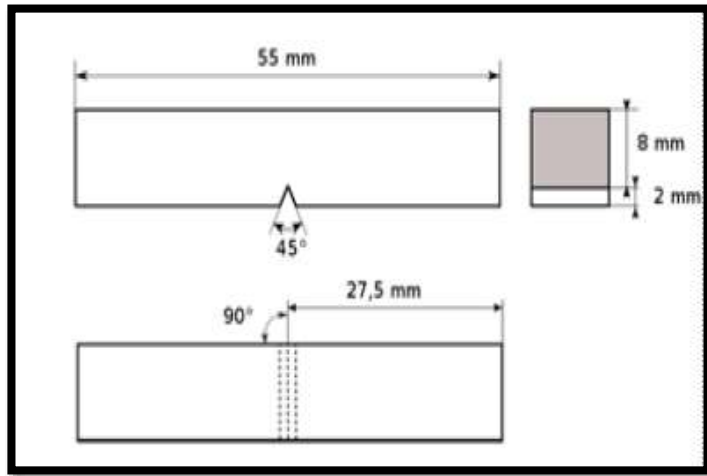
Harga impact dapat dihitung dengan rumus :

$$HI = \frac{E}{A_0} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

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

Dimensi untuk spesimen uji impact dapat dilihat pada gambar 2.24.



Gambar 2.24 Dimensi Bahan Pengujian Impact ASTM D256  
(Sumber : Utomo.T, Rusnoto, Samyono.D, 2016)