

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Pengertian Fiberglass Reinforced Plastic (FRP)

Serat kaca, sebagaimana didefinisikan oleh ilmu material, termasuk dalam golongan material yang dikenal sebagai Komposit Polimer Termoset, yang tersusun dari dua atau lebih material fisik dan kimia berbeda yang disatukan secara makroskopis untuk membentuk material baru dengan sifat baru dan berbeda. Dengan kata lain, Komposit Polimer Termoset tersusun dari resin polimer (plastik) dan fiberglass (serat kaca) sebagai penguat; karena alasan ini, fiberglass juga biasa disebut sebagai Plastik Bertulang Fiberglass (FRP).[2]

Fiberglass Reinforced Plastic (FRP) merupakan material yang menyerupai lapisan polimer tipis yang terbuat dari fiber, epoxy, dan serat karbon. Resin cair (gelas air), witon (kalsium karbonat), kobalt biru, serat fiber, dan katalis digabungkan untuk membentuk fiberglass, yang merupakan campuran komponen yang mengeras dari keadaan cair. Teknik dasar untuk membuat kapal fiber adalah hand lay-up. Teknik laminasi yang paling sederhana dan paling mudah adalah yang satu ini. Bahan fiberglass dan resin disatukan selama proses laminasi hanya dengan tangan dengan bantuan rol.[4]

Kekuatan tarik merupakan ukuran utama kekuatan pada polimer yang diperkuat serat (FRP). Seperti yang diilustrasikan pada tabel 2.1, kekuatan tarik serat kaca dapat mencapai 100.000 psi, atau 689 Mpa. Sebaliknya, resin poliester, yang sering digunakan untuk membuat perahu fiberglass, memiliki nilai kekuatan tarik yang relatif rendah, biasanya dalam kisaran 50 Mpa, seperti yang diilustrasikan pada tabel 2.2.

Tabel 2. 1 Sifat mekanis serat gelas [2]

| Sifat Mekanis  | Nilai                    |
|--|--------------------------|
| <i>Tensile Strength</i> (psi)  | 100.000                  |
| <i>Young's Modulus</i> (psi)   | 3.000                    |
| <i>Elastic Recovery</i> (%)  | 10                       |
| <i>Specific Strengt</i> (km)   | 76                       |
| <i>Coefficient of Expansion</i> ( $^{\circ}\text{F}^{-1}$ )                    | 40 - 60x10 <sup>-7</sup> |
| <i>Thermal Conductivity</i><br>(cal/sec/cm <sup>2</sup> / $^{\circ}\text{C}$ ) | 8 x 10 <sup>-5</sup>     |
| <i>Specific Heat</i>   | 0,16 – 0,2               |
| <i>Specific Grafity</i>  | 2,5 +                    |

Tabel 2. 2 sifat mekanis resin polymer [2]

| Material                       | Density             |                    | Tensile Strength      |       | Tensile Modulus       |      | Ultimate Elongation % | 1995 Cost \$/lb |
|--------------------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|-------|-----------------------|------|-----------------------|-----------------|
|                                | lbs/ft <sup>3</sup> | gm/cm <sup>3</sup> | psi x 10 <sup>3</sup> | Mpa   | psi x 10 <sup>5</sup> | Gpa  |                       |                 |
| <i>Orthophthalic Polyester</i> | 76,7                | 1,23               | 7                     | 48,3  | 0,59                  | 4,07 | 1                     | 1,05            |
| <i>Isophthalic Polyester</i>   | 75,5                | 1,21               | 10,3                  | 71,1  | 0,57                  | 3,90 | 2                     | 1,19            |
| <i>Vinyl Ester</i>             | 69,9                | 1,12               | 11-12                 | 76-83 | 0,49                  | 3,38 | 4-5                   | 1,74            |
| <i>Epoxy (Gougeon Proset)</i>  | 74,9                | 1,20               | 1-11                  | 48-76 | 0,53                  | 3,66 | 5-6                   | 3,90            |
| <i>Phenolic</i>                | 71,8                | 1,15               | 5,1                   | 35,2  | 0,53                  | 3,66 | 2                     | 1,10            |

Ketika dua material utama (resin dan serat kaca) digabungkan dan menjadi material baru (Komposit/FRP), nilai kekuatan tarik menjadi relatif menengah antara kekuatan tarik serat dan kekuatan tarik resin.[2]

## 2.2 Pengertian penguat (serat)

Tulangan yang berfungsi sebagai penahan beban utama komposit. Meskipun tulangan lebih kaku dan kuat, tulangan kurang lentur dan lebih kaku. Berdasarkan komposisi kimianya, adapun jenis-jenis serat penguat sebagai berikut :

### 1. Electrical glass (E-glass)

Serat penguat borosilikat (Borosilicate) memiliki ketahanan yang baik terhadap Air dan Zat kimia, dan merupakan jenis serat penguat yang sering digunakan dalam pembuatan kapal.

### 2. Strength glass (S-glass)

Memiliki sifat yang lebih kuat, lebih kaku, dan lebih mahal. Serat ini umumnya digunakan untuk konstruksi pesawat terbang.

### 3. Aramid (Kevlar)

Serat sintetis yang memiliki sifat termoset, tahan terhadap abrasi, memiliki kekakuan, kekuatan kelelahan kestabilan bentuk, dan kekuatan tumbuk yang baik. Digunakan sebagai serat penguat dalam matriks keramik untuk meningkatkan ketahanan terhadap ledakan/api di atas kapal perang.

### 4. Carbon Fibre (Serat karbon)

Serat paling kaku yang mirip dengan fiberglass untuk penguatan. Dibandingkan dengan fiberglass, serat ini memiliki kekuatan tumbuk yang lebih rendah dan serat yang lebih lunak dan lebih getas. Jenis serat ini secara eksklusif digunakan dalam aplikasi tertentu, seperti meningkatkan ketahanan lambung atau superstruktur terhadap ledakan atau tembakan di wilayah dengan tekanan tinggi.[5]

Tabel 2. 3 Spesifikasi Tiap Serat Penguat [5]

| Serat                | Massa Jenis           | Modulus Young | Kekuatan Tarik |
|----------------------|-----------------------|---------------|----------------|
| E - Glass            | 2,55 $gr/cm^3$        | 72 Gpa        | 2,4 Gpa        |
| S - Glass            | 2,5 $gr/cm^3$         | 88 Gpa        | 3,4 Gpa        |
| Kevlar               | 1,45 $gr/cm^3$        | 124 Gpa       | 2,8 Gpa        |
| High Strength Carbon | 1,74 - 1,81 $gr/cm^3$ | 248 - 345 Gpa | 3,1 - 4,5 Gpa  |
| High Modulus Carbon  | 2 - 2,8 $gr/cm^3$     | 520 - 823 Gpa | 2,1 - 2,2 Gpa  |

### 2.3 Pengertian Matriks (bagian dari komposit)

Matriks adalah bagian dari komposit. Secara umum, kekakuan dan kekuatan lebih rendah tetapi fleksibilitas lebih tinggi (ulet). Berdasarkan jenis penguat yang digunakan, secara umum ada tiga jenis komposit: Komposisi laminat (Laminated Composites), Komposit serat (Fibrous Composites), serta Komposit Partikel (Particulate Composites).[5]

Berikut ini adalah fungsi dari matriks:

1. Mendistribusikan tekanan pada serat secara merata.
2. Melindungi serat dari gaya gesekan.
3. Mempertahankan posisi serat.[6]

Resin dan polimer merupakan material yang paling sering digunakan sebagai matriks. Jenis resin berikut ini sering digunakan:

1. Orthophalic (Polyester)
2. Isophathalic (Polyester)
3. Vinyl Ester
4. Epoxy
5. Phenolic. [5]

### 2.4 Jenis serat penguat komposit

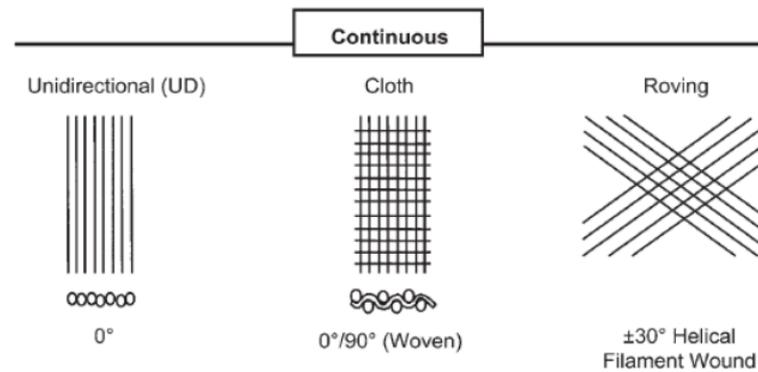
Serat penguat komposit terdapat dalam 2 jenis: serat panjang dan kontinu serta serat pendek dan terputus-putus :

- a. Continuous fiber (Serat panjang/tidak terputus)

Komposit serat kontinu disusun menjadi komposit berlapis dengan cara memupuk beberapa lapis serat kontinu dengan orientasi yang berbeda-beda. Terdapat beberapa orientasi dalam penyusunan serat kontinu, yaitu:

- 1) Undirectional (tidak searah), terdiri dari arah serat ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  dan  $(-45^\circ)$ ).
- 2) Woven (Cloth), arah seratnya tersusun secara tegak lurus ( $0^\circ$  dan  $90^\circ$ ).

3) Roving, arah serat tersusun secara silang ( $\pm 30^\circ$ ).

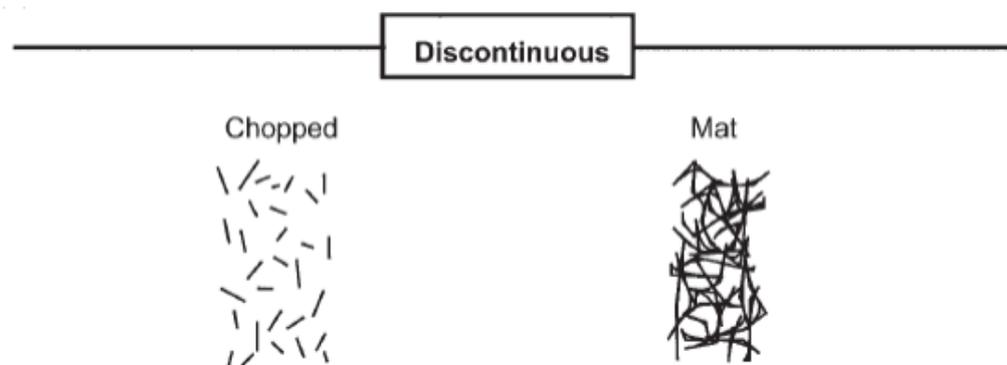


Gambar 2. 1 Serat Panjang/tidak terputus (Continuous Fiber) [6]

b. Discontinuous Fiber (Serat Pendek)

Serat pendek dalam komposit ini tersusun secara acak. Serat pendek terdapat dua jenis, yaitu:

1. Chopped, Serat lurus dengan diameter dan panjang yang sebanding. Tanpa mempertimbangkan orientasi sudut serat, penataan ke dalam lamina dilakukan secara acak.
2. Mat, Ukuran serat yang digunakan bervariasi. Dan juga tidak mempertimbangkan orientasi sudut serat saat menyusun material komposit.



Gambar 2. 2 Serat pendek (Discontinuous fiber) [6]

## 2.5 Jenis lapisan pada komposit berlapis

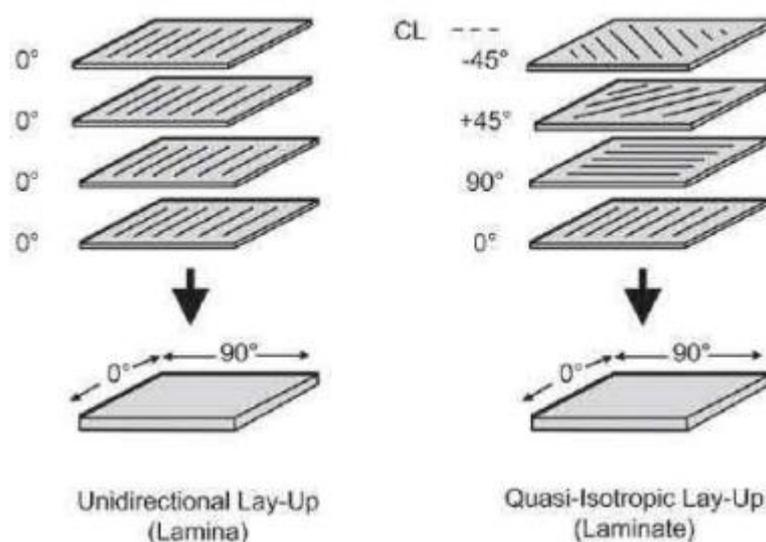
Bergantung pada arah serat lapisan, komposit berlapis dapat dibuat dengan salah satu dari dua cara:

- a. Undirectional laminate (Lamina).

Lamina adalah komposit yang terdiri dari lapisan-lapisan yang berorientasi menurut sudut serat yang sama, tetapi hanya satu orientasi yang digunakan.

- b. Quasi-isotropic (Laminate).

Komposit ini memiliki susunan lapisan dengan berbagai orientasi sudut serat; setiap lapisan serat dalam komposit menggunakan berbagai orientasi sudut.



Gambar 2. 3 Lamina dan Laminate [6]

## 2.6 Bahan pendukung pembuatan komposit

Selain resin yang berasal dari serat penguat, terdapat bahan pendukung lain yang sesuai dengan fungsi masing-masing dan berkontribusi pada pembentukan bahan komposit. Bahan-bahan ini meliputi:

1. Catalyst

Bila dikombinasikan dengan resin, ia menghasilkan panas melalui reaksi kimia yang memicu proses polimerisasi.

2. Accelerator

berfungsi untuk mempercepat polimerisasi resin vinilester dan katalis pada suhu ruangan tanpa memerlukan panas eksternal. Cobalt Naaphthenate berwarna ungu

merupakan akselerator yang paling banyak digunakan, dan harus digunakan dengan tidak lebih dari 1% fraksi berat resin poliester.

### 3. Styrene

sebagai cairan bening dan tidak berwarna yang berfungsi untuk mengencerkan resin yang stabil selama proses pengerasan tanpa mengubah sifat-sifatnya. Apabila komposisi tambahan sebesar 5% hingga 15% dari fraksi berat resin diaplikasikan dengan pistol semprot.

### 4. Gel Coat

Dirancang khusus untuk melindungi bagian luar fiberglass dari goresan, gel coat merupakan resin poliester dengan ketebalan minimum 0,3 mm, ketebalan maksimum 1,0 mm, dan tampilan warna yang indah (pigmen) dengan kehati-hatian bahwa zat pewarna tidak boleh lebih dari 15% dari resin gel coat. Ketebalan yang paling umum untuk gel coat adalah 0,5 mm.

### 5. Lapisan pelepas (Mold Release)

mencegah laminasi FRP menempel pada permukaan cetakan. Pelapis seperti Mirror Glaze (Mold Release Wax) sering digunakan.[5]

## 2.7 Resin Epoxy

Senyawa kimia yang dikenal sebagai resin Epoxy terbentuk saat Epoxy dipolimerisasi. Resin termoset, yang menciptakan ikatan molekuler yang kuat antara polimer dalam suatu struktur, merupakan hasil polimerisasi. Pertama, rangkaian yang membentuk epoksi terbentuk sebagai cairan yang mengalami reaksi kimia untuk memadat. Kekuatan mekanis polimer epoksi ini sangat tinggi. Polimer epoksi memiliki karakteristik yang umumnya terlihat pada konstituen kimia padat, seperti ketahanan terhadap perubahan. Kualitas perekatnya yang sangat baik tercipta saat berubah dari cairan menjadi padat. Bergantung pada bahan kimia dasar yang ada dalam resin, polimer epoksi dapat memiliki berbagai fitur khas. Hasilnya, epoksi menawarkan berbagai manfaat dan kegunaan.

Berdasarkan bahan dasar yang digunakan untuk membuatnya, terdapat perbedaan sifat resin Epoxy sebagai berikut:

#### 1. Resin Bisfenol – A.

Zat ini melekat cukup baik pada bahan lain. Zat ini sering digunakan dalam pelapis fiberglass, perekat, dan cat logam. Penyusutan volumenya minimal dan tidak ada produk tambahan, seperti air, yang terbentuk selama proses pengawetan. Zat ini memiliki stabilitas dimensi yang baik, ketahanan kimia

yang tinggi, dan stabilitas terhadap sebagian besar asam—kecuali asam pengoksidasi kuat—kadar asam alifatik, alkali, dan garam yang rendah. Bahan ini cocok untuk digunakan sebagai bahan non-korosif karena hampir semua pelarut tidak merusaknya.

## 2. Resin Sikloalifatik.

Zat ini memiliki ekuivalen epoksi yang sangat kecil dan viskositas yang rendah. Karena mudah ditangani, zat ini dapat digunakan sebagai pengencer bisfenol. Zat ini sebagian besar digunakan untuk perangkat isolasi listrik yang diperkuat serat kaca karena kekakuan dan kerapuhannya. Antialur dan ketahanan busurnya baik.[5].

## 2.8 Macam-macam jenis serat gelas

Jenis serat kaca berikut ini sering digunakan untuk membuat perahu fiberglass:

### a. CSM (Chopped Strand Mat)

CSM merupakan generasi pertama teknologi fiberglass. Material ini memiliki kandungan serat pendek yang acak dan berbentuk seperti selebar kain. Karena struktur seratnya yang tidak teratur dan acak, kain ini tidak memiliki arah kekuatan tarik yang pasti. Rasio kandungan kaca (kandungan berat serat) terhadap resin sekitar 70:30 saat dicampur.

### b. WR (Woven Roving)

Teknologi fiberglass generasi kedua disebut WR. Zat ini berbentuk seperti lembaran kain yang terbuat dari benang kaca yang telah dirajut. Kekuatan tarik kain ini baik pada sudut 0 dan 90 derajat. Rasio kandungan resin terhadap serat saat dicampur dengan resin adalah sekitar 55:45.

### c. Multiaxial (DB)

Kemajuan terbaru dalam teknologi fiberglass disebut DB. Bahan ini berupa selebar kain yang terbuat dari benang kaca yang dirajut halus yang dapat dirangkai dalam beberapa lapisan sekaligus dan diarahkan ke berbagai arah sesuai keinginan. Karena daya rekatnya yang kuat ke berbagai arah, aplikasi kain ini dapat disesuaikan dengan berat yang akan ditopang oleh produk akhir. Rasio kandungan kaca terhadap resin sekitar 40:60 saat dicampur bersama.[2]

## 2.9 Pengertian laminasi

Laminasi pada kapal fiber adalah proses pembuatan kapal menggunakan serat kaca atau fiberglass yang diperkuat dengan resin epoksi atau poliester. Proses ini melibatkan penyusunan lapisan serat kaca di dalam cetakan kapal dan kemudian meresapkannya dengan resin untuk membentuk struktur yang kuat dan tahan lama.

Terdapat tiga metode laminasi yang sering digunakan. Berikut ini penjelasan proses laminasi:

### 1. Metode Hand Lay Up

Metode Hand Lay Up merupakan teknik laminasi paling dasar dan mudah yang digunakan dalam konstruksi perahu fiber. Metode ini melibatkan pengaplikasian resin pada material penguat (misalnya serat kaca) dengan kuas atau rol saat material berada dalam cetakan terbuka.

### 2. Metode Chopper Gun

Dengan teknik ini, instrumen berbentuk pistol digunakan untuk menyemprotkan serpihan serat yang dilapisi resin ke seluruh lapisan cetakan, yang kemudian digulung menjadi satu. Hanya serat berbentuk gulungan benang (Spray Gun Roving) yang dapat digunakan saat melapisi dengan teknik Chopper Gun.

### 3. Metode Vacuum Infusion

Proses ini merupakan jenis teknik pencetakan tertutup yang dikenal sebagai sistem Resin Transfer Molding (RTM). Cetakan kaku ditempatkan di atas resin setelah disuntikkan ke dalam cetakan tertentu. Namun dengan infus vakum, film plastik menggantikan cetakan atas. Hasil laminasi yang lebih tipis, lebih seragam, dan lebih kuat merupakan keuntungan dari pendekatan infus vakum.[7]

## 2.10 Langkah-langkah proses laminasi dalam pembuatan kapal fiberglass

1. Persiapkan cetakan positif : Untuk memudahkan pelepasan body kapal dari cetakan setelah laminasi selesai, lapisan Mirroerglass diaplikasikan pada cetakan positif lambung kapal sebelum proses laminasi dimulai.
2. Aplikasi gelcoat: Setelah cetakan disiapkan, langkah selanjutnya adalah mengaplikasikan lapisan gelcoat yang dicampur dengan pewarna yang diinginkan. Gelcoat ini akan menciptakan permukaan luar badan kapal yang halus dan mengurangi hambatan kapal.

3. Proses laminasi : Kuas Rol digunakan dalam proses laminasi manual. Prosedur ini penting karena laminasi yang benar memiliki dampak besar pada kualitas lambung perahu fiberglass.
4. Penguatan frame : Lambung kapal perlu diperkuat dengan rangka memanjang dan melintang sebelum dikeluarkan dari cetakan. Rangka ini dapat dibuat dengan dua metode berbeda:
  - Metode pertama adalah membuat komponen kayu yang sesuai dengan struktur kapal, lalu melaminasinya pada lambung kapal sebagai satu kesatuan.
  - Pendekatan kedua adalah dengan menggunakan frame fiberglass. Frame ini dibuat dengan cara melaminasi fiberglass ke cetakan kayu; Frame yang dihasilkan memiliki tampilan seperti frame kayu.[8]

### **2.11 Pembangunan Kapal Fiber**

Pembuatan cetakan kapal, laminasi dan pembuatan komponen kapal, serta perakitan yang melibatkan penyambungan badan kapal, merupakan tiga langkah utama dalam proses pembuatan kapal fiber. Cetakan yang digunakan untuk membuat kapal terdiri dari dasar cetakan, yang juga dikenal sebagai cetakan, dan rangka cetakan atau sumbat. Gading, superstruktur, dan badan kapal semuanya dilaminasi selama proses laminasi komponen kapal.[9]. Adapaun contoh proses pembuatan kapal fiber sebagai berikut :

1. Pertama adalah proses pembuatan cetakan(mall)
  - Siapkan perlengkapan yang diperlukan, termasuk kayu, paku, dempul, triplek mika, dan lem Fox, sebelum membuat cetakan.
  - Berikutnya, buatlah dasar cetakan, atau fondasi, yang membentang dari lunas kapal hingga ke gading-gading kapal, tempat kekuatan kapal akan ditemukan.
  - Pemasangan frame cetakan melibatkan pembangunan kerangka cetakan untuk kapal yang akan diproduksi, mengikuti penempatan dasar cetakan.
  - Bentuk produk akhir akan terlihat setelah rangka cetakan selesai.
  - Triplek selanjutnya akan diaplikasikan pada rangka cetakan.

## 2. Proses Laminasi

- Cetakan (mall) akan dibuat menggunakan material FRP untuk membangun badan kapal setelah selesai. Sebelum laminasi Mat dan Wr, sejumlah prosedur diselesaikan, termasuk

- 1) Proses pemasangan Mirror
- 2) Pemasangan gelcoat
- 3) Proses Wr dan Mat.

## 3. Proses finishing

- Dua komponen yang menyusun prosedur finishing ini adalah sebagai berikut:
  - 1) Perbaikan pada yang mengalami kerusakan.
  - 2) Pengecekan hasil laminasi.

## 4. Proses Pengecatan

- Pengecatan ini dilakukan agar memberikan hasil yang lebih baik dari aslinya. Oleh karena itu ada beberapa proses pengecatan yang harus kita lakukan saat mengecat kapal, diantaranya:
  - 1) Rough painting (Pengecatan kasar)
  - 2) Filling (Pendempulan)
  - 3) Sanding (Pengamplasan)
  - 4) Electrical instalation (Instalasi listrik).[10]

### 2.12 Macam-macam pengujian

Terdapat dua jenis pengujian material: Pengujian Non-Destruktif (Non-Destructive Testing) dan Pengujian Destruktif (Destructive Testing). Dalam ilmu dan teknologi industri, pengujian non-destruktif adalah metode analisis yang digunakan untuk menilai kualitas komponen, material, atau sistem tanpa menimbulkan kerusakan. Di sisi lain, pengujian destruktif melibatkan tindakan menyebabkan kerusakan untuk menilai kualitas komponen, material, atau sistem.

Tensile Test (Uji tarik) merupakan salah satu pengujian regangan-tegangan mekanis yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan material terhadap gaya tarik. Dalam pengujian tersebut, material uji ditarik hingga putus. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kuat tarik, kuat luluh, dan perpanjangan dari material komposit.

Uji tekuk atau uji Bending adalah uji yang digunakan untuk menilai kekuatan yang diperlukan untuk menekuk papan plastik yang diberi beban di tiga lokasi. Data tersebut

terkadang digunakan untuk memilih material untuk bagian yang akan menerima beban tanpa menekuk.[11].

- Ada beberapa metode pengujian kekerasan (hardness) yang umum digunakan :

#### 1. BRINELL

Metode uji kekerasan ini berupa pembentukan cekungan pada permukaan logam dengan menggunakan bola baja yang telah dikeraskan kemudian ditekan dengan beban tertentu. Beban diberikan selama waktu tertentu, biasanya 30 detik, dan diukur diameternya dengan mikroskop, setelah beban dilepaskan. Permukaan harus relatif halus, rata, bebas dari debu atau kerak.

Beban P dibagi dengan luas permukaan lekukan menghasilkan angka kekerasan Brinell (BHN). Sebenarnya, panjang diameter cetakan diukur secara mikroskopis untuk menentukan luas ini. BHN dapat ditemukan menggunakan rumus berikut:

$$BHN = \frac{P}{\left(\frac{\pi D}{2}\right)(D - \sqrt{D^2 + d^2})} \quad \text{Rumus 2. 1}$$

Keterangan : BHN = Brinell Hardness Number (Angka Kekerasan Brinell)

P = Beban yang digunakan (Kg)

D = Diameter bola baja (Mm)

d = Diameter lekukan (Mm)

$\pi$  = Konstanta Matematika, Mendekati 3.14159

$\sqrt{D^2 + d^2}$  = Akar kuadrat dari jumlah kuadrat diameter bola dan kuadrat diameter jejak (Satuan=Milimeter)

Keunggulan uji kekerasan Brinell adalah ketidakseragaman lokal terdistribusi secara merata karena dampaknya yang relatif besar. Selain itu, dibandingkan dengan uji kekerasan lainnya, uji Brinell kurang terpengaruh oleh kekasaran permukaan dan goresan. Namun, penggunaan uji ini pada spesimen tipis atau kecil mungkin sulit karena dampaknya yang besar.

## 2. Uji Kekerasan VICKERSS

Indenter berbentuk piramida berlian, yang pada dasarnya dibentuk seperti sangkar, digunakan dalam uji kekerasan Vickers. Sisi-sisi berlawanan dari piramida berlian berada pada sudut  $136^{\circ}$ . Nilai ini dipilih dalam uji Brinell karena secara kasar sesuai dengan sebagian besar rasio yang diinginkan antara diameter bola tumbukan dan diameter indentasi.

Beban dibagi dengan luas permukaan lekukan, yang sebenarnya diperoleh dari pengukuran mikroskopis panjang diagonal cetakan, adalah definisi dari Angka Kekerasan Vickers (VHN). Angka ini dapat ditemukan menggunakan persamaan berikut:

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{(1,854)P}{d^2} \quad \text{Rumus 2. 2}$$

Keterangan : VHN = Angka kekerasan vickers

P = Beban yang digunakan (Kg)

d = Panjang diagonal rata-rata (Mm)

$\theta$  = Sudut antara permukaan intan yang berhadapan =  $136^{\circ}$

Konstanta 1.854 = Konstanta hasil perhitungan dari geometri indenter Vickers (piramida dengan sudut  $136^{\circ}$ )

VHN tidak bergantung pada beban karena kesan yang dibuat oleh penekanan piramidal secara geometris sebanding dan ukurannya tidak terbantahkan. Dengan pengecualian beban yang sangat rendah, hal ini sering terpenuhi. Uji Vickers biasanya menggunakan beban mulai dari 1 hingga 120 kg, berdasarkan seberapa keras logam yang perlu diuji. Faktor-faktor berikut mencegah manfaat metode Vickers terwujud:

1. Karena sangat lamban, pengujian ini tidak dapat digunakan untuk pengujian rutin.
2. Memerlukan persiapan permukaan spesimen uji.
3. Terdapat pengaruh kesalahan manusia yang besar dalam menentukan panjang diagonal.

### 3. Uji Kekerasan ROCKWELL

Uji Brinell dan Uji Rockwell sebanding dalam hal derajat lekukan menentukan angka kekerasan yang dihasilkan. Beban dan indenter yang digunakan bervariasi tergantung pada kondisi pengujian. Berbeda dengan uji Brinell, indenter dan beban yang digunakan lebih kecil, sehingga menghasilkan lekukan yang lebih kecil dan halus. Banyak digunakan dalam industri karena prosedurnya lebih cepat. Indenter atau "penetrator" dapat berupa bola baja atau kerucut berlian dengan ujung yang agak membulat (biasanya disebut "brale"). Diameter bola baja umumnya 1/16 inci, tetapi ada juga indenter dengan diameter lebih besar, yaitu 1/8, 1/4, atau 1/2 inci untuk bahan lunak. Pengujian dilakukan dengan terlebih dahulu memberikan beban minor sebesar 10 kg, kemudian diberikan beban mayor. Beban mayor biasanya 60 atau 100 kg untuk indenter bola baja dan 150 kg untuk indenter brale. Namun, beban dan indenter dapat digunakan sesuai dengan kondisi pengujian. Oleh karena pada pengujian Rockwell, angka kekerasan yang ditunjukkan merupakan gabungan antara beban dan penekan yang digunakan, maka perlu diberikan awalan huruf pada angka kekerasan yang menunjukkan gabungan tertentu antara beban dan penekan untuk skala beban yang digunakan.

Dial pada mesin terdiri dari warna merah dan hitam yang dirancang untuk mengakomodasi pengujian skala B dan C yang sering digunakan. Skala kekerasan B digunakan untuk menguji kekerasan sedang seperti baja karbon rendah dan baja karbon tinggi dalam kondisi anil (lunak). Rentang kekerasannya adalah dari 0-100. Ketika penyok bola baja digunakan untuk menguji material dengan kekerasan melebihi B 100, penyok tersebut dapat berubah bentuk dan berubah bentuk. Selain itu, karena bentuknya, bola baja tidak sepeka brale untuk membedakan kekerasan material keras. Namun, jika penyok bola baja digunakan untuk menguji material yang lebih lunak dari B 0, itu dapat menyebabkan kedudukan penyok membentur benda uji, sehingga hasil pengujian tidak tepat dan kedudukan penyok dapat rusak.

Tabel 2. 4 skala kekerasan Rockwell dan huruf awalannya [12]

| Simbol skala dan huruf awalan   | Indentor  | Beban penekanan (kg)                       | Warna dial  |
|---------------------------------|---|--|---|
| B<br>C                          | Kelompok 1:<br>Bola baja 1/16 –<br>inchi<br>Brale   | 100<br>150                                 | Merah<br>Hitam  |
| A<br>D<br>E<br>F<br>G<br>H<br>K | Kelompok 2:<br>Brale<br>Brale<br>Bola baja 1/8 –<br>inchi<br>Bola baja 1/16 –<br>inchi<br>Bola baja 1/16 –<br>inchi<br>Bola baja 1/8 –<br>inchi<br>Bola baja 1/8 –<br>inchi         | 60<br>100<br>100<br>60<br>150<br>60<br>150 | Hitam<br>Hitam<br>Merah<br>Merah<br>Merah<br>Merah<br>Merah |
| L<br>M<br>P<br>R<br>S<br>V      | Kelompok 3:<br>Bola baja 1/4 –<br>inchi<br>Bola baja 1/4 –<br>inchi<br>Bola baja 1/4 –<br>inchi<br>Bola baja 1/2 –<br>inchi<br>Bola baja 1/2 –<br>inchi<br>Bola baja 1/2 –<br>inchi | 60<br>100<br>150<br>60<br>100<br>150       | Merah<br>Merah<br>Merah<br>Merah<br>Merah<br>Merah          |

**Rumus uji kekerasan Rockwell Skala HRC:**

$$HRC = 100 - \frac{t}{0,002} \quad \text{Rumus 2. 3}$$

Keterangan HRC = Skala Kekerasan Rockwell C

t = Kedalaman penetrasi indentor ke dalam material setelah beban diterapkan

Konstanta 100 = Nilai referensi awal dalam skala kekerasan Rockwell untuk jenis pengujian C

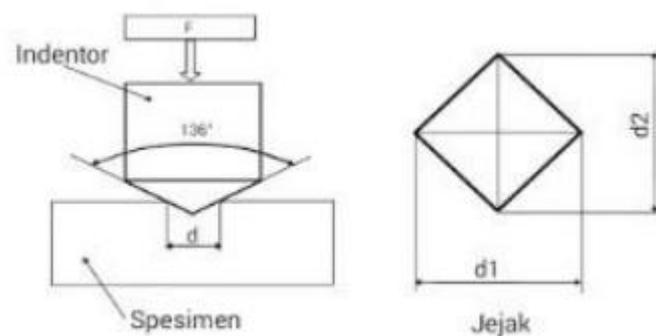
Konstanta 0,002 = Faktor pengali untuk mengkonversi kedalaman penetrasi  $t$  ke dalam skala Rockwell

Contoh:  $t = 0,07$

$$\begin{aligned} HRC &= 100 - \frac{0,07}{0,02} \\ &= 100 - 35 \\ &= 65 \text{ HRC} \end{aligned}$$

### 2.13 Prinsip Kerja Metode pengujian Vickers

Metode pengujian Vickers beroperasi berdasarkan penekanan material atau spesimen uji pada sudut besar  $136^\circ$  pada permukaan yang berlawanan menggunakan indenter berlian berbentuk seperti piramida dengan alas persegi panjang. Permukaan material uji akan memiliki jejak atau lekukan akibat penekanan dengan indenter. Untuk menentukan nilai kekerasan bahan uji, rata-rata diagonal jejak harus terlebih dahulu diukur di bawah mikroskop.



Gambar 2. 4 Prinsip kerja metode Vickers [13]

Kelebihan metode Vickers :

1. Metode pengujian Vickers menunjukkan skala kekerasan secara berkelanjutan dalam beban yang berbeda-beda.
2. Metode uji Vickers memiliki skala kekerasan yang berkisar dari skala kecil yaitu 5 sampai skala sangat keras yaitu 1500 dengan menggunakan DPH sebagai skalanya.
3. Mampu mengukur dan menghasilkan data uji pada rentang kekerasan yang luas.
4. Menghasilkan hasil indentasi yang relatif jelas, sehingga digunakan dengan menggunakan mikroskop.

5. Sangat baik apabila digunakan untuk mengamati mterial dengan jumlah sedikit atau yang memiliki ukuran kecil. [13]

