

## BAB II LANDASAN TEORI

### 2.1 Tinjauan Pustaka

Yodya, (2017) dalam mengkaji pembuatan dan karakterisasi tekan dan impak komposit *hybrid* serat ijuk acak/serat gelas anyam bermatriks *epoxy*. Kuat tekan terbesar diperoleh pada variasi dengan 4 lapisan serat gelas yaitu sebesar 29,796 MPa dan kuat tekan terkecil diperoleh pada lapisan serat gelas tanpa lapis yaitu sebesar 18,861 MPa. Regangan tekan terbesar diperoleh pada variasi dengan 1 lapisan serat gelas yaitu sebesar 0,464 mm/mm dan regangan tekan terkecil diperoleh pada lapisan serat gelas tanpa lapis yaitu sebesar 0,311 mm/mm. Sedangkan untuk modulus elastisitas tekan terbesar diperoleh pada variasi dengan 4 lapisan serat gelas yaitu sebesar 2875,55 MPa dan modulus elastisitas tekan terkecil diperoleh pada variasi tanpa lapisan serat gelas yaitu sebesar 915,015 MPa. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa variasi lapisan serat gelas mampu menaikkan kekuatan dan modulus elastisitas tekan. Kemudian, nilai ketangguhan impak meningkat seiring bertambahnya lapisan serat gelas, nilai ketangguhan impak terbesar diperoleh pada variasi dengan 3 lapisan serat gelas yaitu sebesar 0,1008 J/mm<sup>2</sup> dan kemudian menurun pada variasi dengan 4 lapisan serat gelas yaitu sebesar 0,882 J/mm<sup>2</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa ketangguhan impak komposit optimum pada lapis 3.

Supriyadi, (2017) meneliti tentang analisis sifat lentur komposit *hybrid* serat ijuk acak/serat gelas searah dengan matriks *epoxy*. Pengujian yang dilakukan adalah uji bending mengacu pada ASTM D790. Perbandingan fraksi volume serat 0,3 dengan lima rasio *hybrid* yaitu 0,0, 0,1, 0,2, 0,3, dan 0,4. Variasi panjang span yaitu  $L/d=16$ ,  $L/d=24$ ,  $L/d=32$ . Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin bertambahnya fraksi volume serat gelas membuat kekuatan bending dan modulus elastisitasnya semakin meningkat, tetapi pada panjang span  $L/d= 32$  dan  $L/d=24$  menunjukkan peningkatan titik maksimal. Hasil kekuatan bending terbesar ada pada  $L/d= 32$  dengan rasio *hybrid* 0,2 yaitu sebesar 127,659 MPa sedangkan

untuk hasil kekuatan bending terendah yaitu pada  $L/d = 16$  dengan rasio hybrid 0,0 yaitu sebesar 30,731 MPa. Sementara untuk nilai regangan menurun dipenambahan volume serat gelas dengan rasio hybrid 0,1, hasil tegangan bending tertinggi yaitu pada  $L/d = 16$  sebesar 0,106 mm/mm dan regangan bending terendah yaitu pada  $L/d = 32$  sebesar 0,045 mm/mm. Sedangkan untuk hasil modulus elastisitas tertinggi diperoleh pada  $L/d = 32$  dengan rasio hybrid 0,3 yaitu sebesar 2,018 GPa dan untuk hasil terendah diperoleh pada  $L/d = 16$  dengan rasio hybrid 0,0 yaitu sebesar 0,544 Gpa.

Nizam, (2018) meneliti pembuatan dan karakterisasi tekan dan impak komposit *hybrid* serat ijuk acak/serat gelas anyam bermatrik *polyester*, menyimpulkan bahwa variasi lapisan serat gelas mempengaruhi besar nilai kuat tekan dan modulus elastisitas tekan komposit hybrid serat ijuk acak/serat gelas anyam bermatrik *polyester*. Nilai rata-rata kuat tekan terendah diperoleh pada variasi lapisan serat gelas 0 lapis sebesar 25,17 MPa dan nilai rata-rata kuat tekan tertinggi diperoleh pada variasi lapisan serat gelas 4 lapis sebesar 67,38 MPa sedangkan untuk nilai rata-rata modulus elastisitas terendah diperoleh pada variasi lapisan serat gelas 0 lapis sebesar 57,214 MPa dan nilai rata-rata modulus elastisitas tertinggi diperoleh pada variasi lapisan serat gelas 4 lapis sebesar 124,767 MPa. Variasi lapisan serat gelas anyam mampu menaikkan kekuatan tekan tetapi membuat spesimen menjadi semakin kaku. Kemudian, variasi lapisan serat gelas mempengaruhi besar ketangguhan impak. Nilai rata-rata ketangguhan impak tertinggi diperoleh pada variasi 3 sebesar 0,1058 J/mm<sup>2</sup> dan nilai rata-rata ketangguhan impak terendah diperoleh pada variasi 0 sebesar 0.0122 J/mm<sup>2</sup>. Hal ini disebabkan oleh penambahan serat gelas anyam yang menyebabkan peningkatan ketahanan material komposit terhadap beban kejut pendulum.

Sandhi, (2017) meneliti pembuatan dan karakterisasi lentur komposit *hybrid* serat ijuk acak/serat gelas searah bermatriks *polyester*, menyimpulkan bahwa nilai kekuatan bending tertinggi diperoleh pada  $L/d = 32$  dengan hybrid ratio (rh) 0,4 yaitu sebesar 231,765 MPa, sedangkan untuk nilai kekuatan bending terendah diperoleh pada  $L/d = 16$  dengan hybrid ratio (rh) 0,0 yaitu sebesar 29,036 MPa. Bertambahnya fraksi volume serat gelas meningkatkan nilai modulus elastisitas,

namun pada  $L/d = 16$  dengan hybrid ratio (rh) 0,2 dan 0,4 serta pada  $L/d = 24$  dengan hybrid ratio (rh) 0,3 modulus elastisitas mengalami penurunan. Nilai modulus elastisitas terendah didapat pada  $L/d = 16$  dengan hybrid ratio (rh) 0,0 sebesar 0,760 GPa, sedangkan nilai modulus elastisitas tertinggi didapat pada  $L/d = 32$  dengan hybrid ratio (rh) 0,4 sebesar 3,484 GPa. Sementara itu, semakin bertambahnya fraksi volume serat gelas cenderung meningkatkan nilai regangan bending. Namun pada  $L/d = 16$  nilai regangan bending menurun pada hybrid ratio (rh) 0,1 0,3 dan 0,4. Nilai regangan bending terendah didapat pada  $L/d = 32$  dengan hybrid ratio (rh) 0,0 sebesar 0,050 mm/mm, sedangkan nilai regangan bending tertinggi diperoleh pada  $L/d = 16$  dengan hybrid ratio (rh) 0,2 yaitu sebesar 0,125 mm/mm.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Pengertian Komposit

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari dua atau lebih material yang memiliki sifat berbeda baik dari sifat kimia maupun fisika, sehingga akan terbentuk material baru yang memiliki sifat yang berbeda dari material penyusunnya. Sedangkan komposit serat merupakan jenis komposit yang menggunakan serat sebagai bahan penguatnya. Komposit serat terdiri dari serat sebagai bahan penguat dan matriks sebagai bahan pengikat, pengisi volume dan pelindung serat yang berfungsi untuk mendistribusikan beban atau gaya kepada serat (Schwartz, 1984).

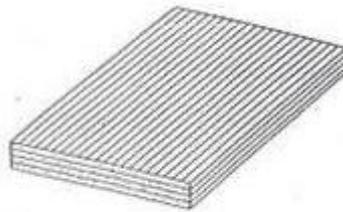
Menurut Robert (1999), keuntungan dari material komposit adalah jika komposit dirancang dengan baik, maka biasanya akan menunjukkan kualitas terbaik dari komponen penyusunnya. Beberapa sifat yang dapat ditingkatkan dengan membentuk material komposit adalah :

- kekuatan
- kelelahan
- kekakuan
- perilaku yang bergantung pada suhu
- tahan korosi
- isolasi termal
- konduktivitas termal
- daya tarik
- insulasi akustik
- bobot

Menurut Schwartz (1984) dalam buku *composite material handbook* berdasarkan material penguatnya, komposit digolongkan menjadi lima jenis komposit berbeda yaitu :

1. Komposit serat (*fibrous composite*)

Komposit serat terdiri dari serat sebagai bahan penguat dan matriks sebagai bahan pengikat, pengisi volume, dan pelindung serat untuk mendistribusikan gaya atau beban antar serat. Pada dasarnya penguat yang berbentuk serat mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih baik dibandingkan dengan matriksnya. Komposisi dari ukuran serat akan mempengaruhi sifat komposit yang akan dihasilkan.



**Gambar 2.1** Komposit Serat (Gibson, 1994)

2. Komposit serpih (*flake composite*)

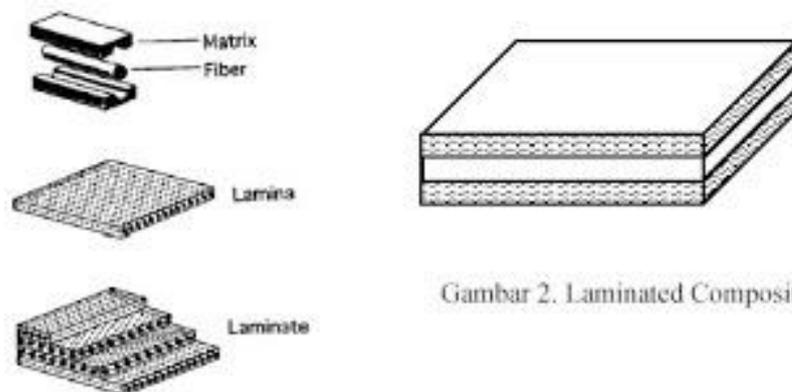
Komposit serpih adalah komposit yang metode fabrikasinya berupa penambahan material dengan bentuk serpihan kedalam matriksnya. Serpihan yang biasa digunakan dapat berupa serpihan mika, glass maupun serpihan metal baja.

3. Komposit skeltal (*filled composite*)

Komposit skeltal merupakan komposit yang didalamnya mengandung partikel yang hanya digunakan untuk memperbesar volume material akan tetapi bukan untuk kepentingan sebagai bahan penguat. Pada komposit skeltal biasanya diberi tambahan material pengisi atau *filler* kedalam matriksnya dengan struktur bentuk tiga dimensi.

4. Komposit laminat (*laminated composite*)

Komposit laminat adalah jenis komposit yang tersusun dua atau lebih material penguat yang disatukan, dengan setiap lapisannya mempunyai sifat berbeda. Laminat dibuat bertujuan agar elemen struktur mampu menahan beban multiaksial, sesuatu yang tidak dapat dicapai dengan lapisan tunggal.

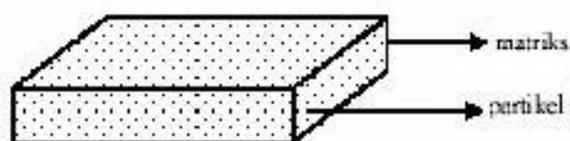


Gambar 2. Laminated Composites

**Gambar 2.2** Komposit Lamina (Gibson, 1994)

5. Komposit partikel (*particulate composite*)

Komposit partikel adalah komposit yang menggunakan partikel serbuk sebagai penguat, dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya. Komposit ini mempunyai bahan penguat yang dimensinya kurang lebih sama, seperti bulat, balok, serta bentuk lainnya yang memiliki sumbu hampir sama.



**Gambar 2.3** Komposit partikel (Gibson, 1994)

Merurut KBBI, rasio adalah perbandingan yang dapat dinyatakan dengan angka, sedangkan hibridisasi merupakan percampuran atau gabungan dari material (serat) yang berbeda. Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan lapisan serat gelas 0 lapis, 1 lapis, 2 lapis, dan 8 lapis, serta perbandingan panjang *support span* yaitu  $L/d = 16$  dan  $L/d = 24$ . Kemudian, dilakukan hibridisasi atau menggabungkan antara serat ijuk acak/serat gelas searah bermatriks *polyester*. Sebelum melakukan proses pencetakan komposit, terlebih dahulu dilakukan perhitungan perbandingan keduanya. Dalam menentukan perbandingan antara komponen matriks dengan serat material komposit ini biasanya dilakukan dengan menggunakan dua metode, yaitu:

1. Metode fraksi massa

Metode ini digunakan jika massa komponen matriks dan pengisi material komposit tidak jauh berbeda atau serat yang dipakai cukup berat. Untuk menghitung perbandingan massa digunakan persamaan sebagai berikut:

a. Fraksi massa serat

$$W_f = m_f/m_c \dots\dots\dots (2.1a)$$

Dimana:

$W_f$  = fraksi massa serat (%)

$m_f$  = massa serat (gr)

$m_c$  = massa komposit (gr)

b. Fraksi volume serat

$$V_{ftotal} = V_{ftotal}/v_c \dots\dots\dots (2.1b)$$

Dimana:

$V_{ftotal}$  = fraksi volume serat (%)

$v_{ftotal}$  = volume serat total (cm<sup>3</sup>)

$v_c$  = volume komposit (cm<sup>3</sup>)

c. *Hybrid ratio*

Bila serat yang digunakan lebih dari satu jenis, maka:

$$V_{ftot} = V_{f1} + V_{f2} + \dots$$

Perbandingan fraksi volume suatu serat dengan fraksi volume serat total disebut '*hybrid ratio*'.

$$r_h = V_{f1} / V_{ftot} \dots\dots\dots (2.1c)$$

Dimana:

$$r_h = \text{hybrid ratio}$$

$$V_{f1} = \text{fraksi volume serat gelas}$$

$$V_{ftot} = \text{fraksi volume serat total}$$

## 2. Metode fraksi volume

Metode ini digunakan apabila berat antara komponen matriks dan penguat (serat) material komposit jauh berbeda. Fraksi volume dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

## a. Massa komposit

Massa komposit dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$m_c = m_f + m_m \dots\dots\dots (2.2a)$$

## b. Massa jenis komposit

$$\rho_c = m_c / v_c \dots\dots\dots (2.2b)$$

## c. Massa serat

$$m_{ftot} = v_c \cdot V_{ftot} \cdot \rho_f \dots\dots\dots (2.2c)$$

## d. Massa matrik

$$m_m = v_c \cdot V_m \cdot \rho_m$$

$$= v_c \cdot (1 - V_{ftot}) \cdot \rho_m \dots\dots\dots (2.2d)$$

Dimana:

$m_c$  = massa komposit (gr)

$m_{ftot}$  = massa serat (gr)

$m_m$  = massa matriks (gr)

$\rho_c$  = massa jenis komposit (gr/cm<sup>3</sup>)

$v_c$  = volume komposit (cm<sup>3</sup>)

$V_{ftot}$  = fraksi volume serat (%)

$V_m$  = fraksi volume matriks

$\rho_m$  = massa jenis matriks (gr/cm<sup>3</sup>)

$\rho_f$  = massa jenis serat (gr/cm<sup>3</sup>).

### 2.2.2. Resin Polyester (*Thermosetting*)

**Tabel 2.1** Spesifikasi Resin Polyester BQTN 268 (*Singapore Highpolymer Chemical Product Pte Ltd*)

Spesifikasi	Nilai	Metode Uji
Penyerapan air	0,35%	ISO-62-1980
Kekerasan	48 BHC	ASTM D2583-67
Suhu distorsi panas	67,3°C	ASTM D648-72
Perpanjangan	3,2%	ASTM D638-72
Massa jenis resin pada 25° C	1,13 kg/liter	ASTM D1475
Volume penyusutan	9%	Massa Jenis
Penguapan	40-43%	ASTM D3030
Kekuatan bending	82,4 MPa	ASTM 790
Modulus bending	5257,3 Mpa	ASTM 790
Kekuatan tarik	29,4 MPa	ASTM D638

Istilah resin poliester termoseting adalah istilah umum yang digunakan untuk resin poliester ortofalat atau resin poliester isofalat. Resin poliester adalah resin yang relatif murah dan cepat digunakan umumnya untuk aplikasi

berbiaya rendah. Dalam kombinasi dengan pengisi tertentu, mereka dapat menunjukkan ketahanan terhadap kerusakan dalam busur listrik dan kondisi pelacakan. Secara umum, untuk sistem resin yang diperkuat serat, keunggulan poliester adalah biaya yang rendah dan kemampuannya untuk diproses dengan cepat (*Department of defense USA, composite materials handbook*). Spesifikasi resin polyester dapat dilihat pada Tabel 2.1.

### 2.2.3. Serat Ijuk

Menurut Rodiawan dkk (2016), serat ijuk (*arenga pennata*) adalah serat berwarna hitam yang dihasilkan dari pohon aren yang memiliki banyak keistimewaan diantaranya:

- a) Tahan lama
- b) Tahan terhadap asam dan garam air laut Serat ijuk merupakan salah satu serat yang tahan terhadap asam dan garam air laut, salah satu bentuk pengolahan dari serat ijuk adalah tali ijuk yang telah digunakan oleh nenek moyang kita untuk mengikat berbagai peralatan nelayan laut.
- c) Mencegah penembusan rayap tanah.



**Gambar 2.4** (a). Serat ijuk (b). Pohon Aren

Permentan (2014), tentang pedoman budidaya aren yang baik, aren (*Arenga pinnata* MERR) termasuk salah satu jenis tanaman palma, yang tersebar hampir di seluruh wilayah Indonesia, terutama di 14 provinsi, yaitu Papua, Maluku, Maluku Utara, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Jawa Barat,

Jawa Tengah, Banten, Sulawesi Utara, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Bengkulu, Kalimantan Selatan dan Aceh, dengan total luas areal sekitar 70.000 Ha. Tanaman aren tidak membutuhkan kondisi tanah yang spesifik, sehingga dapat tumbuh pada tanah-tanah liat, dan berpasir, tetapi aren tidak tahan pada tanah masam (pH tanah yang rendah). Aren dapat tumbuh pada ketinggian 0–1.400 meter di atas permukaan laut, pada berbagai agroekosistem dan mempunyai daya adaptasi yang tinggi terhadap lingkungan tumbuhnya. Namun yang paling baik pertumbuhannya pada ketinggian 500 – 700 meter di atas permukaan laut dengan curah hujan lebih dari 1.200-3.500 mm/tahun.

#### 2.2.4. Serat Gelas

Serat gelas adalah bahan yang tidak mudah terbakar. Serat jenis ini biasanya digunakan sebagai penguat matrik jenis polymer. Komposisi kimia serat gelas sebagian besar adalah SiO<sub>2</sub> dan sisanya adalah oksida-oksida aluminium (Al), kalsium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na), dan unsur-unsur lainnya. Untuk mengetahui sifat mekanik pada serat E glass dapat dilihat pada Table 2.2

**Table 2.2** *Typical properties of E glass fiber* (Chawla, 1987)

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Coefficient of thermal expansion (K <sup>-1</sup> )
2.55	1,750	70	$4.7 \times 10^{-6}$

Berikut adalah beberapa macam serat gelas berdasarkan bentuk seratnya

a. *Woven rooving*:



**Gambar 2.5** *Woven rooving*

Jenis bahan kain yang terdiri dari serat kaca yang ditunen dalam pola tertentu yang bertujuan untuk memberikan kekuatan tinggi ketika digunakan untuk memperkuat lapisan atau sistem komposit lainnya.

b. *Chopped strand mat*:



**Gambar 2.6** *Chopped strand mat*

Fiberglass yang paling murah dan sering digunakan dalam konstruksi cetakan atau proyek yang membutuhkan ketebalan.

c. *Chopped Strand*:



**Gambar 2.7** *Chopped Strand*

Merupakan strand yang di potong – potong dengan ukuran tertentu kemudian di gabung menjadi satu ikatan.

d. *Continuos roving*:



**Gambar 2.8** *Continuos roving*

Merupakan untaian serat panjang yang dililit menjadi sebuah gulungan besar, merupakan bahan yang dikombinasikan dengan Cornice Compound TE 11 untuk pembuatan lis profil.

#### **2.2.5. Alkalisasi**

Perbedaan sifat pada serat alami (*hydrophilic*) dan matriks (*hydrophobic*) menyebabkan ikatan antar serat dan matriks menjadi lemah dan dapat menurunkan sifat mekanis komposit, sehingga perlu dilakukan proses alkalisasi (Akil dkk, 2011). Alkalisasi pada serat alam dilakukan dengan tujuan untuk melarutkan kotoran alam dan kandungan lignin yang terdapat pada lapisan luar serat. Larutan yang sering digunakan dalam proses alkalisasi yaitu NaOH (Natrium Hidroksida), KOH (Kalium Hidroksida) dan LiOH (Lithium Hidroksida). Lignin yang ada pada lapisan luar serat memiliki sifat hidrofobik yang kurang bersifat kompatibel dengan matriks, sehingga dengan proses alkalisasi yang tepat dapat memperbaiki kompatibilitas serat dengan matriknya (John & Anandjiwala, 2008).



**Gambar 2.9** NaOH

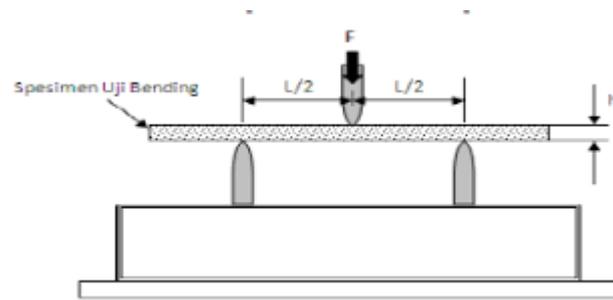
### **2.2.6. Pengujian Bending**

Untuk mengetahui kekuatan bending suatu material komposit maka yang dilakukan adalah melakukan pengujian bending pada material komposit tersebut. Kekuatan bending adalah tegangan maksimal yang dapat diterima akibat adanya pembebanan yang terjadi di luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau kegagalan. Besar kekuatan bending tergantung dari material dan pembebanan. Standar pengujian bending yang dipakai pada penelitian kali ini adalah ASTM D790.

Pengujian lengkung ialah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui aspek-aspek kemampuan bahan uji dalam menerima pembebanan lengkung, yakni:

1. Kekuatan atau tegangan lengkung ( $\sigma$ )
2. Lentur atau defleksi ( $\delta$ ) sudut yang terbentuk oleh lenturan atau sudut defleksi.
3. Elastisitas (E)

Pada perlakuan uji bending bagian atas spesimen mengalami proses penekanan dan bagian bawah mengalami proses tarik sehingga akibatnya spesimen mengalami patah bagian bawah karena tidak mampu menahan tegangan tarik.



**Gambar 2.10** Pengujian bending

Pada material komposit homogen yang dikenai pengujian *three point bending* dengan sumbu netral terletak ditengah, kekuatan bending komposit dapat dirumuskan dengan persamaan (ASTM D790) :

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bd^2} \dots\dots\dots (2.3)$$

Persamaan 2.3 digunakan pengujian bending untuk balok pendek yang memiliki perbandingan  $L/d \leq 16$ , dimana,  $F$  = beban (N),  $L$  = *support span* (mm),  $b$  = lebar (mm) dan  $d$  = tebal spesimen. Sedangkan persamaan 2.4 digunakan pengujian bending untuk balok panjang yang memiliki perbandingan  $L/d > 16$ . Jika defleksi maksimum yang terjadi lebih dari 10% dari jarak antar penumpu ( $L$ ), kekuatan bendingnya dapat dihitung dengan persamaan :

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bd^2} \left[ 1 + 6 \left( \frac{D}{L} \right)^2 - 4 \left( \frac{d}{L} \right) \left( \frac{D}{L} \right) \right] \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan  $D$  = defleksi pada bagian tengah spesimen (mm). Untuk menghitung regangan bending ( $\epsilon_f$ ) digunakan persamaan berikut:

$$\epsilon_f = \frac{6Dd}{L^2} \dots\dots\dots (2.5)$$

Untuk menghitung nilai modulus elastisitas bending ( $E_f$ ) digunakan persamaan berikut:

$$E_f = \frac{L^3 m}{4bd^3} \dots\dots\dots (2.6)$$

Di mana:

$\sigma_f$  = Tegangan bending (MPa)

$\epsilon_f$  = Regangan bending (%)

$E_f$  = Modulus elastisitas (GPa)

$m$  = Gradien, yaitu kemiringan dari bagian lurus awal dari defleksi beban kurva (N/mm)

### 2.2.7. Pengujian Impak

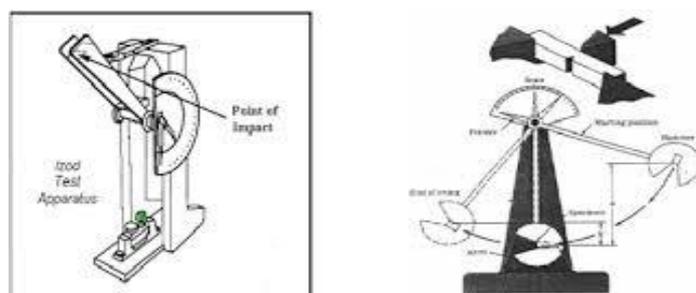
Adapun metode pengujian impak yang dapat dilakukan diantaranya yaitu:

#### a. Metode Charpy

Metode Charpy adalah metode uji impak yang dilakukan dengan cara meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi horizontal/mendatar, dan arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan.

#### b. Metode Izod

Metode Izod adalah metode uji impak yang dilakukan dengan cara meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi, dan arah pembebanan searah dengan arah takikan.



**Gambar 2.11** Pengujian impak

Metode izod digunakan dalam penelitian ini untuk mengetahui pengaruh beban impak terhadap sifat mekanik dari balok komposit pada sisi permukaan belakang yang dilapisi serat gelas dan mengetahui ketangguhan

balok komposit dalam menerima beban impact yang diterima pada sisi permukaan belakang.

Pada pengujian impact izod berdasarkan ASTM D 4812 bisa didapatkan nilai sebagai berikut:

a) Energi Impact

$$E_{\text{serap}} = m \cdot g \cdot R [( \cos \beta - \cos \alpha )] \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

$E_{\text{serap}}$  = Energi yang terserap untuk mematahkan spesimen

$m$  = Massa pendulum (kg)

$R$  = Panjang lengan pendulum (m)

$\beta$  = Sudut pantul pendulum ( $^{\circ}$ )

$\alpha$  = Sudut ayun pendulum ( $^{\circ}$ )

$g$  = Gravitasi

b) Ketangguhan Impact

$$I_s = \frac{W}{A} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

$I_s$  = Ketangguhan impact  $J/mm^2$

$W$  = Energi serap (J)

$A$  = Luas penampang ( $mm^2$ )