

www.itk.ac.id
BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini kajian pustaka dan dasar teori ini dijelaskan mengenai keterkaitan beberapa referensi dengan penelitian yang akan dilaksanakan. Bab 2 ini meliputi beberapa aspek bahasan, diantaranya: kapal, komposit, *fiberglass*, matriks *polyester*, katalis, metode *hand lay up*, pengujian tarik, pengujian *bending*, perhitungan *void* dan penelitian terdahulu.

2.1. Kapal

Kapal merupakan alat transportasi laut yang digunakan untuk mengangkut barang atau penumpang dari satu tempat ke tempat lain. Salah satu contoh jenis kapal yaitu kapal perikanan. Menurut Fyson (1985), terdapat beberapa jenis material yang biasa digunakan untuk pembuatan kapal perikanan salah satunya yaitu komposit. Komposit adalah gabungan dari 2 atau lebih material yang memiliki sifat berbeda untuk mendapatkan sifat dari gabungan material tersebut. Komposit gabungan bahan utama (matriks) dan jenis penguat (*reinforcement*) untuk meningkatkan kekuatannya. Pembuatan kapal berbahan dasar komposit berpenguat *fiberglass* saat ini sedang banyak diminati karena ketersediannya yang cukup juga bersifat ringan. Menurut Coackley et al (2003), menjelaskan bahwa bahan lambung kapal menggunakan *fiberglass* memiliki berat spesifik yang ringan yaitu sebesar $1,5 \text{ ton/m}^3$ dibandingkan aluminium dan baja sebesar $2,7 \text{ ton/m}^3$ dan $7,8 \text{ ton/m}^3$. Berdasarkan data Kementerian Kelautan dan Perikanan, terdapat program kerja yang mengadakan pembangunan 1000 kapal yang akan diberikan kepada nelayan di tahun 2010-2014 namun hanya 735 kapal ikan yang terselesaikan diantaranya terbuat dari bahan *Fiberglass Reinforced Polimer* (KKP, 2013).

Salah satu bagian kapal yakni lambung kapal. Lambung kapal berguna untuk memberikan daya apung kapal (Schneekluth, 1998). Daya apung tersebut berperan sebagai kekuatan untuk menopang beban dari isi muatan kapal agar kapal tidak tenggelam. Berdasarkan BKI atau Biro Klasifikasi Indonesia (*Rules for Fibreglass*

Reinforced Plastic Ship), material komposit lambung kapal yang bisa diaplikasikan minimal mempunyai kekuatan sebesar 98 MPa untuk pengujian tarik dan 150 MPa untuk pengujian *bending*.

2.2. Komposit

Composite berasal dari kata kerja “*to compose*” yang berarti menyusun atau menggabung (Hasbi, 2016). Komposit adalah gabungan dari 2 atau lebih material yang memiliki sifat berbeda untuk mendapatkan gabungan dari kedua sifat material tersebut (Rawlings, 1999). Komposit terdiri dari matriks dan penguat (*reinforcement*) yang ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan. Dalam perkembangan teknologi komposit mengalami kemajuan yang sangat pesat di karenakan ke istimewaan sifat yang terbaru dan juga memiliki kekuatan yang tinggi, kekakuan, ketahanan panas yang tinggi, korosi dll. (Hasbi, 2016)

2.2.1. *Reinforcement* (Penguat)

Penambahan serat pada matriks bertujuan untuk meningkatkan sifat-sifat mekanik melalui penyebaran tekanan di antara serat dan matriks, selain itu mengurangi biaya serta memperbaiki sifat-sifat produk. Bahan komposit serat mempunyai keunggulan yang utama yaitu *strong* (kuat), *stiff* (tangguh), dan lebih tahan terhadap panas pada saat didalam matriks (Schwartz, 1984).

2.2.1.1. *Particulate* (Partikulat)

Partikulat dibedakan berdasarkan ukurannya, dari skala mikro ke makro. Distribusi partikulat pada matriks komposit biasanya acak dengan kekuatan dan sifat lainnya biasanya isotropik. Mekanisme penguatan tergantung pada ukuran partikulat. Ukuran mikro atau serbuk yang sangat halus dan makro atau *flake* (serpihan). Sifat penguat serbuk pada matriks komposit akan meningkatkan kekuatan dan mencegah pergerakan dislokasi karena terlokalisasi pada serbuk. Sifat penguat serpihan akan mendistribusi sebagian beban ke matriks. (Groover, 2013)



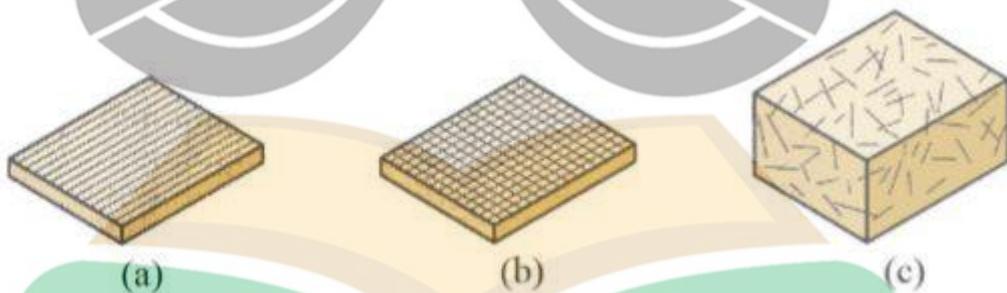
Gambar 2. 1 Penguat komposit jenis serbuk halus (*powder*) dan serpihan (*flake*) (Groover, 2013)

2.2.1.2. *Fiber (Serat)*

Serat merupakan filamen dari material penguat yang umumnya berbentuk silindris. Penguat serat memiliki sifat memikul bagian beban terbesar. Serat yang digunakan dalam penguat komposit dapat berupa *continous* atau *short*. Serat *continous* memiliki karakteristik panjang (tanpa dipotong – potong) dengan sifat kekuatan dan ketkakuan paling optimal dibanding serat pendek (*short*). Hal ini dikarenakan adanya titik perpotongan (bagian yang kosong tanpa serat) sehingga konsentrasi tegangan terlokalisasi. Serat dapat disesuaikan orientasi. (Groover,2013)



Gambar 2. 2 Penguat komposit jenis serat (*fibre*) (Groover,2013)

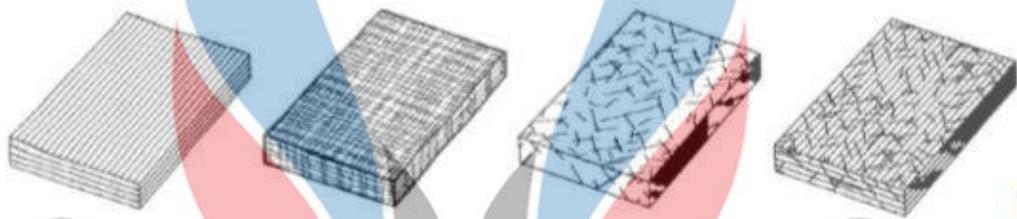


Gambar 2. 3 Orietasi serat pada komposit (a) satu arah, (b) dua arah dan (c) pendek acak (Groover, 2013)

Komposit serat merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu lamina atau lapisan yang menggunakan penguat berupa serat (*fiber*) yang memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih besar dibandingkan matriknya. Serat yang digunakan bisa berupa serat alam ataupun serat sintetis seperti *glass fiber*, *carbon fiber*, *aramid fiber*, dan sebagainya. Bahan komposit serat ini terdiri dari

dua macam, yaitu serat panjang (*continuous fiber*) dan serat pendek (*short fiber* dan *whisker*). Jenis komposit serat terbagi menjadi 4 macam yaitu:

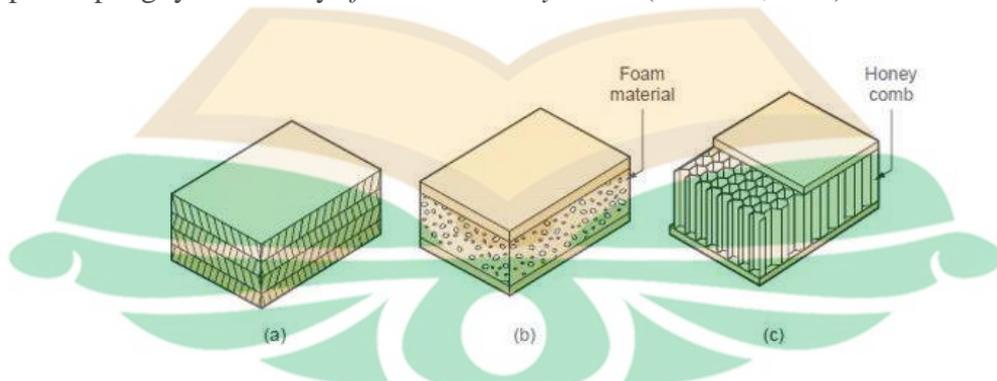
- Continuous fiber composite* (komposit yang diperkuat dengan serat kontinu)
- Woven fiber composite* (komposit yang diperkuat dengan serat anyaman)
- Chopped fiber composite* (komposit yang diperkuat dengan serat pendek/acak)
- Hybrid composite* (komposit yang diperkuat dengan serat kontinu dan serat acak).



Gambar 2. 4 Jenis komposit serat (Gibson, 1994)

2.2.1.3. *Structural* (Struktural)

Model dari *reinforce* struktural berbeda dengan sebelumnya. Jenis struktural merupakan bentuk alternatif dimana *reinforce* dibentuk kerangka sesuai dengan desain dan geometri (*sandwich*) atau dengan tumpukan yang berlapis lapis dari lamina. Struktur laminat terdiri dari dua lamina atau lebih yang berikatan menjadi satu dengan orientasi yang berbeda. Struktur *sandwich* memiliki inti (*core*) dengan sifat material densitas rendah dan kerangka yang terikat diantara penampangnya contohnya *foam* dan *honeycomb*. (Groover,2013).



Gambar 2. 5 Penguat komposit jenis *structural* (a) laminat, (b) *sandwich foam core* dan (c) *sandwich honeycomb core* (Groover, 2013)

2.2.2. *Matrix (Pengikat)*

Matriks merupakan bahan pengisi komposit berfungsi untuk mengisi kekosongan rongga yang ada pada komposit. Matriks berfungsi sebagai:

- a. bahan pengikat serat menjadi sebuah unit struktur,
- b. melindungi dari kerusakan eksternal,
- c. meneruskan atau memindahkan beban eksternal pada bidang geser antara serat dan matriks, sehingga matriks dan serat saling berhubungan.

Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar. Syarat matriks yang digunakan harus mampu mempertahankan serat pada posisinya serta mampu mentransfer tegangan ke serat saat komposit dikenai beban. Matriks yang ditambahkan pada pembuatan komposit berfungsi untuk meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan sekaligus sebagai perekat bahan komposit terhadap material lainnya. Pemilihan material matriks biasanya mempertimbangkan sifat-sifatnya, yaitu tahan terhadap panas, tahan cuaca yang buruk dan tahan terhadap guncangan. Bahan matriks dapat berupa polimer, keramik, logam atau karbon. (Gibson, 2012)

2.2.2.1. *PMC (Polymer Matrix Composite)*

Matriks polimer digunakan karena memiliki sifat ulet, densitas rendah, tahan korosi serta fabrikasi mudah. Paling umum digunakan adalah jenis epoksi, *polyester*, fenolik, dan lain – lain. PMC terbagi dua berdasarkan pengaruh temperatur pada jenis polimer yaitu termoplastik dan termoset. Termoplastik memiliki sifat ikatan linier atau bercabang dengan temperatur leleh rendah namun dapat dibentuk ulang dan lemah. Termoset memiliki sifat ikatan silang dengan temperatur leleh tinggi namun tidak dapat dibentuk ulang dan kuat. Dua jenis polimer tersebut tentu proses manufaktur komposit akan berbeda perlakuan (Kalpakjian,2010).

2.2.2.2. *MMC (Metal Matrix Composite)*

Matriks logam digunakan karena memiliki sifat modulus elastisitas tinggi, ketangguhan tinggi, dan ketahanan terhadap kenaikan temperatur tinggi. Namun kelemahan dari matriks logam ini adalah densitas tinggi dan susah dalam pembuatannya dibandingkan matriks polimer. Contohnya matriks logam yaitu aluminium, magnesium, tembaga, titanium dan *superalloy*. Matriks logam terbagi

dua berdasarkan komposisinya, logam murni dan paduan. Logam paduan terbagi menjadi dua jenis berdasarkan diameter atom paduannya yaitu substitusi dan intersisi (Kalpakjian,2010).

2.2.2.3. CMC (*Ceramic Matrix Composite*)

Matriks keramik digunakan karena memiliki sifat tahan terhadap temperatur tinggi lingkungan korosif, kuat dan kaku. Namun kelemahan matriks keramik adalah ketangguhan rendah. Matriks keramik contohnya silikon karbida, silikon nitrida, aluminium oksida, dan lain – lain. Matriks keramik terbagi menjadi 3 jenis berdasarkan ikatannya yaitu ionik, kovalen dan gabungan. (Kalpakjian, 2010)

Komposit memiliki beberapa keunggulan diantaranya yaitu,

1. memperbaiki sifat mekanik dan/atau sifat spesifik tertentu.
2. mempermudah design yang sulit di manufaktur.
3. hemat biaya karena menggunakan bahan yang sederhana.
4. menjadikan suatu produk menjadi lebih ringan.

(Nariyah, 2016)

2.3. *Fiberglass*

Biayanya yang murah, kekuatan tarik tinggi, ketahanan benturan tinggi, dan ketahanan kimia yang baik, serat kaca digunakan secara luas dalam aplikasi komposit. Meskipun ada banyak jenis serat kaca, tiga yang paling umum digunakan dalam komposit adalah *e-glass*, *S-2 glass*, dan kuarsa. *E-glass* adalah yang paling umum dan paling murah, memberikan kombinasi yang baik antara kekuatan tarik 500 ksi (3,5 GPa) dan modulus 10,0 msi (70 GPa). (Chambell, 2010)

Fiberglass ada 4 jenis yang diklasifikasikan berdasarkan aplikasinya di dunia yaitu sebagai berikut (Aubourg dkk, 1991) :

1. **C-Glass** : *Chemical Glass* adalah material *fiberglass* yang digunakan untuk memproduksi benda-benda yang tahan bahan kimia yang reaktif.
2. **E-Glass** : *Electrical Glass* adalah material yang digunakan untuk memproduksi insulator listrik, penguat (*reinforcement*), dan tekstil. Tipe ini adalah yang paling banyak digunakan di dunia.

3. **S-Glass** : *Stiff Glass* adalah material yang memiliki *high tensile* modulus, atau *fiberglass* yang memiliki kekakuan besar, diaplikasikan pada pembuatan bangunan pencakar langit dan pesawat terbang.
4. **T-Glass** : *Thermal Glass* adalah *fiberglass* yang digunakan untuk pelapis tahan panas.

Serat gelas mempunyai karakteristik yang berbeda antara satu dengan yang lain. Pada penggunaannya, serat gelas disesuaikan dengan sifat atau karakteristik yang dimilikinya. Serat gelas terbuat dari silica, alumina, lime, magnesia dan lain-lain. Keunggulan serat gelas terletak pada ratio (perbandingan) harga dan *performance* yaitu biaya produksi rendah, proses produksi sangat sederhana, Serat gelas banyak digunakan di industri-industri otomotif seperti pada *body* kendaraan. (Gundara, 2017)

Fiberglass memiliki beberapa keuntungan sebagai berikut (Onder, 2007) :

1. *High tensile strength.*
2. *High shear modulus.*
3. *Good electrical resistance.*
4. *Good thermal resistance.*
5. *Low thermal expansion.*
6. *Low price*

Tabel 2. 1 *Properties of E-glass* (Mallick, 2007)

<i>Mechanical and Thermal Properties</i>	<i>E-glass</i>
<i>Density (g/cm³)</i>	2.54
<i>Tensile Strength, l. (Gpa)</i>	3.45
<i>Tensile Modulus (GPa)</i>	72.4
<i>Strain to Failure %</i>	4.8

Sumber : Mallick, 2007

2.4. *Polyester*

Matriks polimer yang sering dipakai untuk komposit disebut dengan resin. Resin yang sering digunakan yaitu *epoxy* dan *polyester*. *Polyester* berupa resin cair

dengan viskositas yang relatif rendah, mengeras pada suhu kamar dengan penggunaan katalis dan harganya relatif lebih terjangkau dari pada *epoxy*. Resin *polyester* merupakan resin yang paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi yang menggunakan resin termoset, baik itu secara terpisah maupun dalam bentuk material komposit.

Polyester merupakan bahan *termoseting* yang banyak beredar dipasaran karena harganya yang relatif murah dan dapat diaplikasikan untuk berbagai macam penggunaan. *Polyester* memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. Suhu deformasi termal *polyester* lebih rendah jika dibandingkan dengan resin termoset lainnya, karena *polyester* banyak mengandung monomer stiren.
2. Memiliki ketahanan panas kira-kira 110-140°C.
3. Relatif tahan terhadap asam kecuali asam pengoksid, tetapi lemah terhadap alkali.
4. Mudah mengembang dalam pelarut yang melarutkan polimer stiren.
5. Ketahanan terhadap cuaca sangat baik, khususnya terhadap kelembaban dan sinar UV.

Tabel 2. 2 *Typical Properties of Thermoset Polyester Resin* (Reis, 2014)

<i>Mechanical and Thermal Properties</i>	<i>Polyester</i>
<i>Density (g/cm³)</i>	1.09
<i>Tensile Strength, MPa (Mpa)</i>	40
<i>Modulus of Elasticity (GPa)</i>	3.3
<i>Flexural Strength (Mpa)</i>	45
<i>Maximum Elongation %</i>	1

Sumber : Reis dkk, 2014.

2.5. Katalis

Katalis adalah bahan pemicu (*initiator*) yang berfungsi untuk mempersingkat proses *curing* pada temperatur ruang. Komposisi katalis pada komposit harus sangat diperhatikan. Komposit dengan kadar katalis yang terlalu sedikit akan mengakibatkan proses *curing* yang terlalu lama. Dan apabila pada

www.itk.ac.id

proses terjadi kelebihan katalis, maka akan menimbulkan panas yang berlebihan sehingga akan merusak produk. (Prabowo, 2007)

Katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Metyl Etyl Keton Peroksida* (MEKPO) yaitu bahan kimia yang dikenal dengan sebutan katalis. Fungsi dari katalis adalah mempercepat proses pengeringan (*curing*) pada bahan matriks suatu komposit. Semakin banyak jumlah katalis yang dicampurkan pada cairan matriks akan mempercepat proses laju pengeringan (May A. C, 1988).

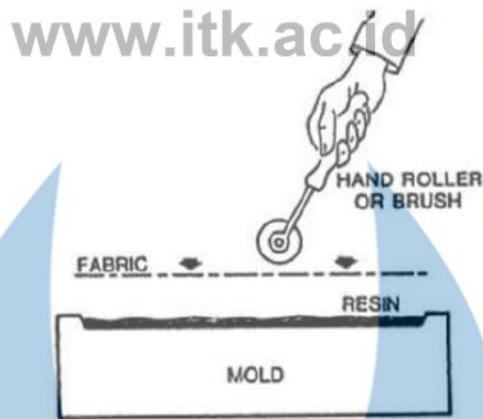
Katalis digunakan untuk mempercepat pengerasan resin pada suhu yang tinggi. Semakin banyak katalis maka reaksi pengerasan resin akan semakin cepat tetapi terlalu banyak katalis bisa membuat resin getas dan rapuh. Oleh karena itu pemakaian katalis dibatasi sampai 1% dari volume resin. (PT. Justus Kimia Raya, 2016).

2.6. *Hand Lay Up*

Hand lay-up merupakan metode yang paling sederhana sekaligus proses dengan metode terbuka dari proses fabrikasi komposit. Adapun proses dari pembuatan dengan metode ini yaitu dengan cara menuangkan resin kedalam serat berbentuk anyaman, partikel atau lembaran, dan kemudian memberi tekanan sekaligus meratakannya menggunakan *roll* atau kuas. Proses tersebut dilakukan berulang-ulang hingga ketebalan yang diinginkan tercapai. Pada proses ini resin langsung berkontak dengan udara dan biasanya proses pencetakan dilakukan pada temperatur kamar. Pada metode *hand lay up* ini resin yang paling banyak di gunakan adalah *polyester* dan *epoxy*.

Kelebihan penggunaan metode ini (Lee M. Stuart, 1993):

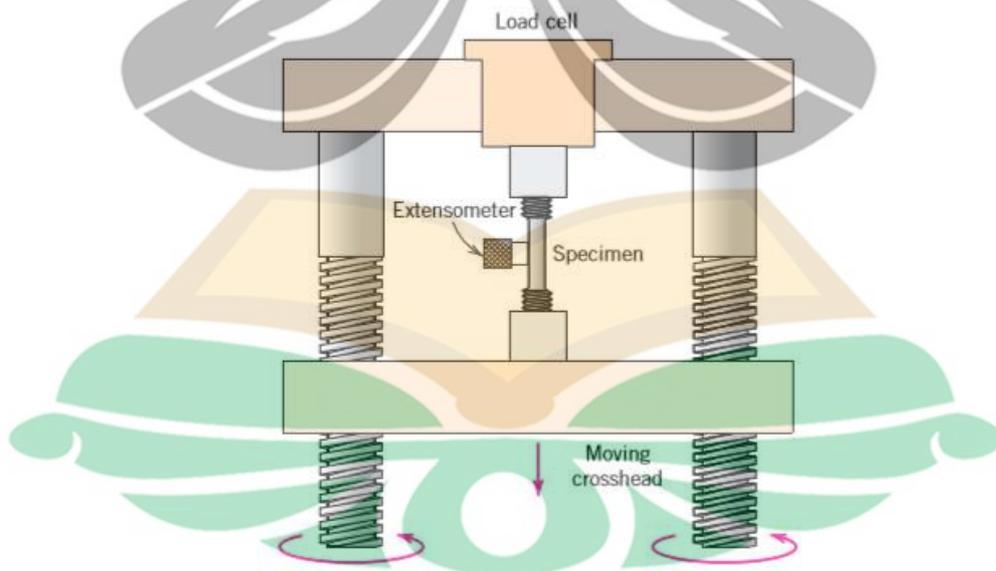
1. Mudah dilakukan
2. Cocok di gunakan untuk komponen yang besar
3. Volumanya rendah



Gambar 2. 6 Metode *hand lay up* (Lee M. Stuart, 1993)

2.7. Pengujian Tarik

Uji tarik merupakan suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan atau material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu (Askeland, 1985). Kekuatan tarik komposit ini mengacu pada standar BKI. Alat yang digunakan untuk menguji kekuatan tarik komposit ini menggunakan *Universal Testing Machine*. Proses penarikan suatu bahan akan diketahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap gaya tarikan dan dapat diketahui pertambahan panjangnya. Berikut adalah alat uji tarik,



Gambar 2. 7 Alat uji tarik (callister, 2014)

Hasil dari pengujian tarik berupa *print-out* grafik hubungan beban dan pertambahan panjang. Berikut adalah rumus menghitung kekuatan tarik dan regangan dari pengujian tarik sebagai berikut:

1. *Tensile strength* atau kekuatan tarik dapat didefinisikan sebagai gaya per unit luas material yang menerima gaya tersebut.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad 2.1$$

di mana F adalah beban sesaat yang diterapkan tegak lurus terhadap potongan melintang spesimen, dalam satuan newton (N) atau gaya pound (lbf), dan A_0 adalah luas penampang asli sebelum beban diterapkan (m^2 atau $in.^2$). Satuan tegangan teknik megapascal, MPa (SI) (di mana $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ N} / m^2$), dan pound gaya per inci persegi, psi.

2. *Tensile strain* adalah ukuran perubahan panjang suatu material setelah dilakukan uji tarik, sehingga dari hasil pengujian tarik dapat digunakan untuk mencari nilai regangan dari suatu material.

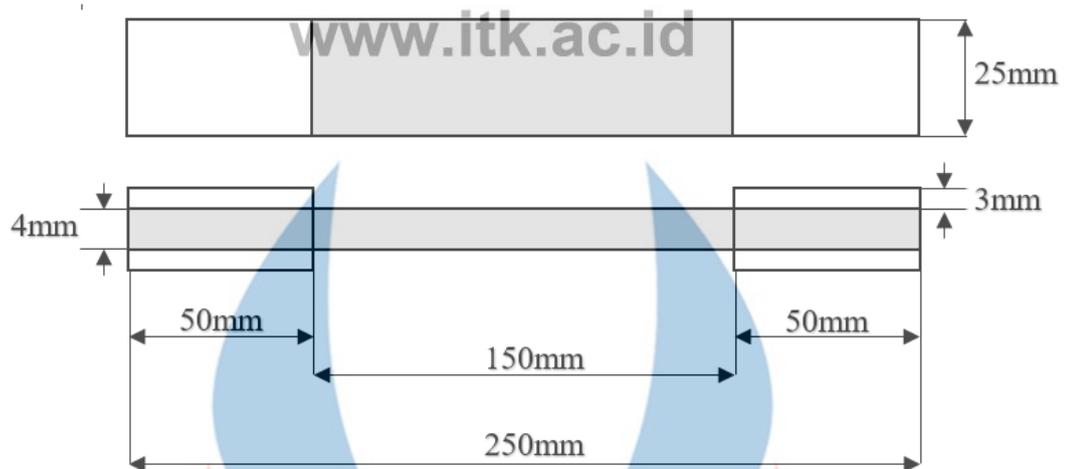
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{l_i - l_0}{l_0} \quad 2.2$$

di mana l_0 adalah panjang awal sebelum beban diterapkan dan l_i adalah panjang sesaat. Kadang-kadang kuantitas $l_i - l_0$ dilambangkan sebagai ΔL dan merupakan pertambahan panjang akibat deformasi. Regangan teknik tidak memiliki satuan, tetapi meter per meter atau inci per inci sering digunakan, nilai regangan jelas tidak tergantung pada sistem unit. Kadang-kadang regangan juga dinyatakan sebagai persentase, di mana nilai regangan dikalikan dengan 100 (Callister, 2014).

3. Modulus elastisitas (*Young Modulus*) adalah perbandingan antara tegangan (*stress*) dengan regangan (*strain*).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad 2.3$$

dimana E adalah modulus elastisitas (Mpa), σ adalah tegangan (Mpa) dan ε adalah regangan.

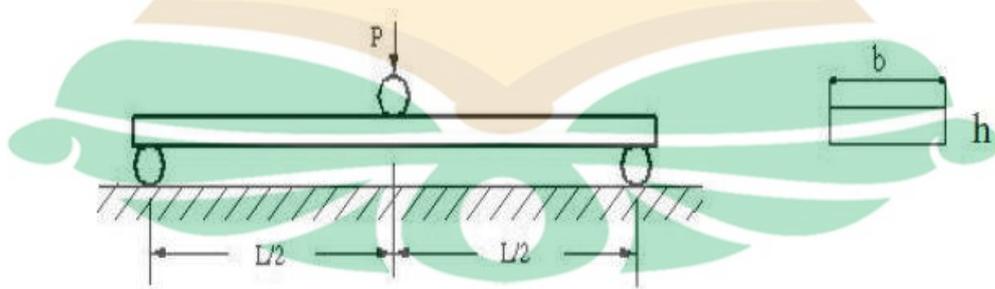


Gambar 2. 8 Spesimen uji tarik (BKI, 2015)

2.8. Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* merupakan pengujian yang dilakukan pada suatu material untuk mengetahui karakteristik *bending* dari material tersebut. Salah satu metode dari pengujian *bending* yaitu *three point bending*. Pengujian *three point bending* dilakukan untuk mengetahui kekuatan lentur (*flexural stiffness*) komposit. Pengujian ini dilakukan dengan cara sebuah spesimen berbentuk batang disangga pada kedua sisinya, kemudian diberikan beban diantara kedua penyangga tersebut sampai spesimen mengalami patah.

Idealnya spesimen uji *bending* akan mengalami kegagalan berupa patah atau *fracture* akibat adanya beban geser (*shear*). Pada bagian atas spesimen akan mengalami beban tekan dan pada bagian bawah spesimen akan mengalami beban tarik. Pengujian *bending* berdasarkan standar BKI.



Gambar 2. 9 Pembebanan pada pengujian *three point bending* (ASTM D790)

www.itk.ac.id

Nilai kekuatan *bending* dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sigma_b = \frac{M c}{I} \quad (2.4)$$

Dimana M, I, dan c dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$M = \frac{P L}{8} \quad (2.5)$$

$$I = \frac{b d^3}{12} \quad (2.6)$$

$$c = d \quad (2.7)$$

Substitusikan persamaan 2.5, 2.6 dan 2.7 ke dalam persamaan 2.4 dan didapatkan persamaan 2.8. Persamaan kekuatan *bending* (ASTM D790-03),

$$\sigma_b = \frac{3 P L}{2 b d^2} \quad (2.8)$$

Nilai modulus elastisitas *bending* dapat dihitung dengan persamaan:

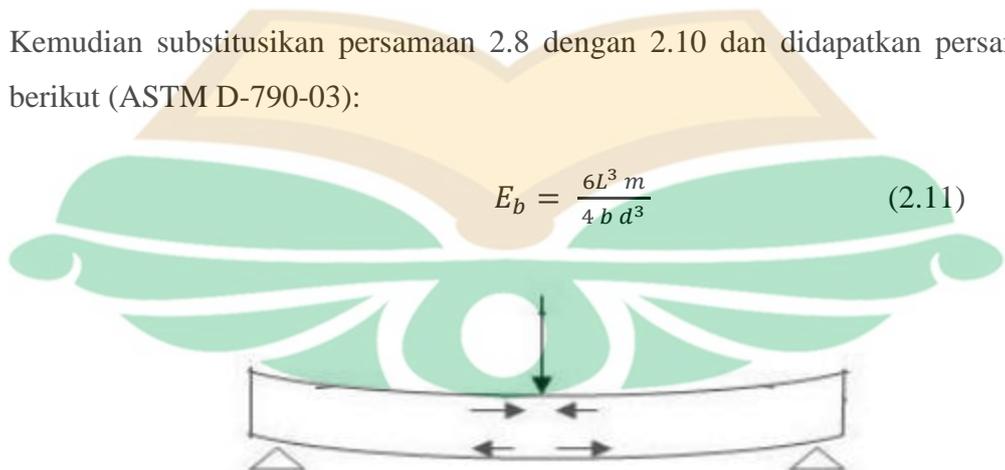
$$E_b = \frac{\sigma_b}{\varepsilon_b} \quad (2.9)$$

Dimana tegangan sudah menggunakan persamaan 2.8 dan regangan dihitung dengan persamaan berikut:

$$\varepsilon_b = \frac{6 D d}{L^2} \quad (2.10)$$

Kemudian substitusikan persamaan 2.8 dengan 2.10 dan didapatkan persamaan berikut (ASTM D-790-03):

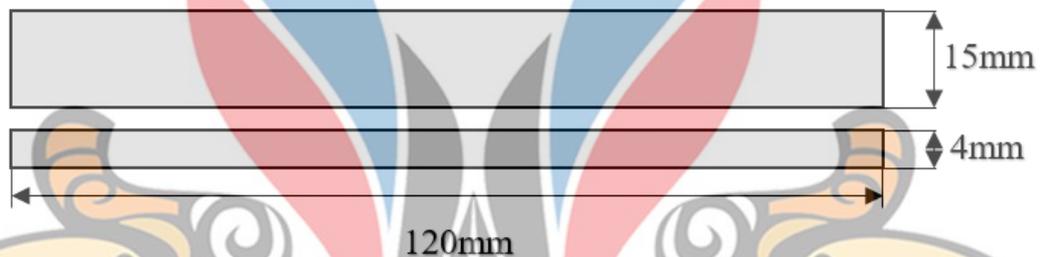
$$E_b = \frac{6 L^3 m}{4 b d^3} \quad (2.11)$$



www.itk.ac.id

Gambar 2. 10 Mekanisme kegagalan (Erwin, 2005)

Pada pengujian *bending*, umumnya terjadi patah diakibatkan oleh adanya gaya tekan dan gaya tarik yang terjadi pada spesimen uji. Pada bagian atas spesimen uji mengalami gaya tekan yang diakibatkan oleh beban yang diberikan oleh mesin dan bagian bawah spesimen uji mengalami gaya tarik akibat dari defleksi yang terjadi pada spesimen setelah diberikan beban. Dengan beban yang terus menerus diberikan, maka akan terjadi gaya geser sebelum terjadi kegagalan atau patah pada spesimen. Gaya geser tersebut terjadi pada interlaminer dan menyebabkan delaminasi pada spesimen, sehingga terjadi kegagalan pada spesimen *bending*. (Erwin, 2005)



Gambar 2. 11 Spesimen uji *bending* (BKI, 2015)

2.9. Perhitungan Void

Perhitungan kadar *void* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kandungan *void* pada suatu komposit. Perhitungan kadar *void* mengacu pada standar ASTM D2734-94 Pengujian ini diawali dengan menghitung fraksi berat serat dan resin. Setelah didapatkan fraksi berat, maka dapat dihitung densitas teori dari komposit dengan persamaan sebagai berikut,

$$Td = \frac{100}{\frac{R}{D} + \frac{r}{d}} \quad 2.8$$

dimana :

Td = Teori Densitas (gr/cm^3)

R = Fraksi berat matriks (%)

D = Massa jenis matriks (gr/cm^3)

r = Fraksi berat serat (%)

d = Massa jenis serat (gr/cm^3)

www.itk.ac.id

Setelah didapatkan nilai densitas teori, maka dilakukan perhitungan densitas komposit. Kemudian, kandungan *void* dalam komposit dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$V = 100 \frac{(T_d - M_d)}{T_d} \quad 2.9$$

dimana :

V = Kandungan *void* (%)

T_d = Teori densitas komposit (gr/cm^3)

M_d = Densitas benda uji komposit (gr/cm^3)

Menurut standar ASTM D2734-94 menjelaskan bahwa densitas resin, penguat, dan komposit diukur secara terpisah. Lalu, kandungan resin diukur dan kepadatan komposit teoritis dihitung. Kemudian dibandingkan densitas komposit yang diukur. Perbedaan densitas menunjukkan kandungan *void*. Komposit yang baik memiliki *void* 1% atau kurang sedangkan komposit yang buruk memiliki kandungan *void* yang jauh lebih tinggi. Nilai dibawah 1% harus diakui mewakili kualitas kerapatan laminasi, tetapi kandungan rongga harus dengan pengujian pelengkap.

Void adalah gelembung udara yang terjebak akibat dari proses saat pembuatan komposit. Semakin banyak *void*, maka kekuatannya akan semakin rendah dan komposit akan mudah mengalami *crack*. Hal ini karena *void* dapat mempengaruhi ikatan antara partikel dan matriks yakni adanya celah pada serat atau bentuk serat yang kurang sempurna yang mengakibatkan matriks tidak mampu mengisi ruang kosong pada cetakan. Jika diberi pembebanan, maka daerah tegangan akan berpindah ke daerah *void* sehingga akan mengurangi kekuatan dari komposit. (Porwanto, dkk. 2011)

2.10. Penelitian Terdahulu

Berikut adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan.

www.itk.ac.id

Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1	Carli dkk, 2012	<p>Metode : serat gelas <i>woven roving</i> 0/90° dan ± 45° bermatriks resin <i>polyester</i> dan epoxy. Metode yang digunakan yaitu <i>hand lay up</i>. Menggunakan 6 lapisan serat dengan variasi matriks <i>polyester</i> dan epoxy serta variasi arah serat 0/90° dan ± 45° .</p> <p>Hasil : Kekuatan tertinggi terdapat pada serat gelas arah serat 0/90° bermatriks <i>polyester</i> sebesar 119 Mpa dan tegangan <i>bending</i> sebesar 1600 N/mm².</p>
2	Rusman dkk, 2015	<p>Metode : serat gelas dan karbon bermatriks resin <i>unsaturated polyester</i> (UP) Yukalac 157 BTQNEX. Metode yang digunakan yaitu <i>hand lay up</i>. Menggunakan variasi susunan lamina yang digunakan untuk masing-masing sampel yakni 3 lapisan <i>E-glass</i> CSM, 3 lapisan <i>E-glass</i> WR, 3 lapisan <i>Fiber-Carbon</i>, dan 3 lapisan kombinasi <i>E-glass</i> CSM, <i>E-glass</i> WR dan <i>Fiber-Carbon</i>.</p> <p>Hasil : Kekuatan tarik tertinggi yaitu serat karbon sebesar 265,99 Mpa. Sedangkan untuk serat gelas yang tertinggi yaitu <i>woven roving</i> sebesar 196,30 Mpa sedangkan serat random 115,01 Mpa. Dan <i>hybrid</i> campuran ke 3 serat tersebut sebesar 198,25 Mpa.</p>
3	S. Ekşi dkk, 2016	<p>Metode : serat gelas, karbon dan aramid bermatriks epoksi (MGS L285) dicampur dengan <i>hardener</i> (HGS L285). Variasi serat searah dan tenun. Fraksi volume serat 30%. Metode yang digunakan adalah <i>hand lay up</i>.</p> <p>Hasil : Kekuatan tarik tinggi pada serat gelas <i>unidirectional</i> dengan sudut 0° yakni sebesar 432 Mpa</p>

dibandingkan dengan serat gelas *unidirectional* 90° dan *woven glass* yaitu 52 Mpa dan 220 Mpa . Selain itu nilai kekuatan tekan serat gelas *unidirectional* dengan sudut 0° juga tinggi yaitu sebesar 71 Mpa .

-
- 4 Andi dkk, 2019 **Metode** : serat gelas bermatriks resin *polyester* dan katalis. Metode yang digunakan yaitu *hand lay up*. Menggunakan variasi susunan lamina yang digunakan yakni 2 lapisan, 3 lapisan, 4 lapisan, dan 5 lapisan.
- Hasil** : Nilai tinggi pada tegangan tarik dan tegangan *bending* yaitu pada campuran untuk variasi 5 lapisan dengan nilai tegangan tarik sebesar 60,2719 N/mm² dan tegangan *bending* sebesar 116,93 N/mm².
-

