

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Komposit**

Komposit dapat didefinisikan sebagai material yang terbentuk dari dua atau lebih material yang memiliki sifat berbeda, Sehingga material tersebut akan menghasilkan komposit yang memiliki karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya (Rangappa, 2020). Komposit terdiri dari dua bagian yaitu matrik dan penguat. Matrik adalah bagian terbesar dalam komposit yang memiliki fungsi utama sebagai pengikat dan pelindung penguat. Sedangkan penguat adalah bagian yang berfungsi sebagai penerima beban utama yang di alami oleh komposit. Penguat yang digunakan biasanya berupa serat. (H. B. Vinay, 2014).

Berdasarkan matriknya komposit dapat di klasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu (Sapuan, 2017):

1. *Metal matrix composite* (MMC) adalah komposit yang bermatrik logam. MMC memiliki sifat mekanik yang tinggi sehingga sering digunakan pada industri otomotif. Contoh dari MMC adalah matriks alumunium berpenguat partikel SiC.
2. *Ceramic matrix composite* (CMC) adalah komposit bermatrik keramik. Umumnya CMC memiliki ketahanan panas yang tinggi sehingga digunakan

pada komponen *furnace*. Contoh dari CMC adalah matrik SiC berpenguat serat karbon.

3. *Polymer matrix composite* (PMC) adalah komposit yang menggunakan polimer sebagai matriknya. Pembuatan PMC umumnya sederhana dan murah sehingga banyak di aplikasikan di berbagai bidang. Contoh PMC adalah resin poliester berpenguat serat ijuk.

Proses pembuatan yang PMC sederhana sehingga menarik banyak perhatian oleh para peneliti. Selain itu PMC memiliki ketahanan abrasi yang baik, kekuatan spesifik yang tinggi, kekakuan spesifik tinggi, ketahanan patah tinggi, Ketahanan impak yang baik, Ketahanan korosi yang baik, dan Ketahanan *fatigue* yang baik. Namun PMC memiliki beberapa kekurangan seperti ketahanan terhadap panas yang rendah dan koefisien ekspansi termal yang tinggi (Ammar et al., 2018).

## 2.2 Komposit Serat Alam

Komposit polimer yang diperkuat serat alam atau *natural fiber composites* (NFC) menjadi bahan alternatif yang sangat berharga dalam berbagai industri modern. Dalam komposit serat alam, serat alam (seperti kelapa sawit, rami, goni, sisal, daun nanas) digunakan sebagai penguat dengan matriks berbasis polimer. Hal ini dapat mengurangi jumlah dari limbah serta dapat mereduksi tingkat pencemaran lingkungan. Komposit serat alam dianggap menarik dari sudut pandang lingkungan dan dijadikan sebagai alternatif komposit serat kaca yang telah umum digunakan. Komposit serat alam dapat

diimplementasikan dalam berbagai aplikasi seperti *furniture*, *packaging*, dan komponen untuk industri otomotif. Komposit serat alam memiliki banyak keunggulan dibandingkan komposit serat kaca, seperti biayanya yang murah, densitasnya yang rendah, serta nilai kekuatan dan modulus yang dapat diterima untuk digunakan pada produk berbobot rendah. Disamping keunggulannya, komposit serat alam juga menghadirkan kepuasan dari sudut pandang lingkungan karena dapat berkontribusi untuk menghasilkan barang yang dapat didaur ulang serta biodegradable setelah digunakan (Al-Oqla dan Sapuan, 2017).

Secara umum, polimer dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu termoplastik dan termoset. Bahan termoplastik yang umum digunakan sebagai komposit adalah polipropilen (PP), polietilen, dan polivinil klorida (PVC). Sedangkan resin phenolic, epoxy, vinyl ester, dan polyester adalah bahan termoset yang umum digunakan (Ku et al., 2011). Secara praktik, terdapat tiga faktor utama yang dapat memengaruhi sifat pada komposit polimer: sifat penyusunnya, geometri/distribusi fasa, dan fraksi volume penguat terhadap serat. Faktanya, distribusi penguat pada komposit memiliki fungsi utama atau dapat dikatakan sebagai penentu dalam menghasilkan sifat komposit yang diinginkan. Semakin kurang seragam distribusi dari penguat maka komposit menjadi lebih heterogen. Selain itu, fungsi dari geometri dan orientasi juga turut berperan dalam memengaruhi anisotropi sistem. Selain ketiga faktor tersebut, masih banyak faktor lain yang dapat memengaruhi kinerja komposit yang diperkuat serat alam. Selain sifat serat yang hidrofilik, sifat komposit yang diperkuat serat alam juga dapat dipengaruhi oleh kandungan serat/jumlah bahan pengisi. Secara umum, kandungan serat yang tinggi

diperlukan untuk mencapai kinerja komposit yang tinggi. Faktor penting lainnya yang secara signifikan memengaruhi sifat dan karakteristik antarmuka komposit adalah parameter pemrosesan yang digunakan. Oleh karena itu, teknik dan parameter pemrosesan yang sesuai harus dipilih dengan cermat untuk menghasilkan produk komposit yang optimal (Al-Oqla dan Sapuan, 2017)

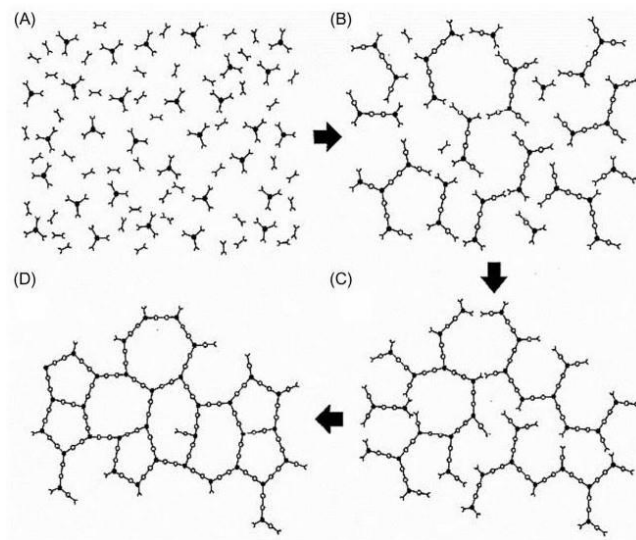
### **2.3 Serat Alam**

Dalam beberapa dekade terakhir, penggunaan serat alam telah meluas di berbagai bidang. Sebagai contoh, serat pisang, goni, hingga rami telah menggantikan beberapa serat sintetis seperti karbon, kaca, dan boron. Kelimpahannya yang tinggi, kemudahannya untuk diproses, dan keramahlingkungannya merupakan beberapa hal yang menarik perhatian pelaku industri untuk memanfaatkan jenis serat alam pada pembuatan produk komposit (Kandasamy et al., 2021). Berdasarkan asalnya, serat alam diklasifikasikan menjadi serat tumbuhan – seperti nanas, bambu, dan sisal, serat hewan – seperti wol, rambut unta, dan sutra, juga serat mineral – seperti asbestos, mineral wol, dan basalt (Akay, 2015). Diantara ketiga serat tersebut, saat ini serat mineral adalah jenis yang dihindari penggunaannya karena mengandung zat karsinogenik yang dapat membahayakan kesehatan. Beberapa negara bahkan sudah melarang penggunaan jenis serat mineral ini (Jawaid et al., 2019). Sedangkan aplikasi untuk kedua jenis serat lainnya masih umum ditemui. Jika ditinjau dari sifat mekaniknya, Pickering dkk. Melaporkan bahwa serat tumbuhan memiliki nilai kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi dibanding serat hewan (kecuali untuk serat

sutra). Penyusun utama serat alam tumbuhan adalah selulosa dan lignin. Selulosa merupakan suatu komponen yang terdiri dari banyak fibril yang berasosiasi dengan ikatan hidrogen untuk meningkatkan kekuatan dan fleksibilitas. Sebelum memilih serat tumbuhan, perlu memerhatikan beberapa hal, yakni panjang, kekuatan, dan tujuan penggunaan agar mendapat jenis serat yang sesuai dan sifat yang optimal.

#### **2.4 Polimer Termoset**

Polimer termoset yang juga dikenal sebagai termoset atau plastik termoset adalah polimer yang terdiri dari struktur ikatan silang (*crosslink*) atau molekul bercabang banyak. Polimer termoset, resin, atau plastik, sering disebut termoset, adalah polimer yang dikeraskan secara *irreversibel* dengan melakukan proses *curing* pada resin. Termoset adalah polimer yang tidak dapat diubah menjadi kaku ketika dipanaskan. Awalnya, polimer termoset adalah cairan atau padatan lunak. Namun ketika dilakukan proses *curing*, polimer akan memadat (Madhav, 2019).



**Gambar 2.1** Skematik proses *curing*. (a) monomer/oligomer sebelum proses *curing* (b) rantai polimer bergabung sehingga viskositas polimer meningkat (c) proses berlanjut hingga membentuk formasi gel, namun jaringan ikatan silang belum sempurna (d) proses *curing* pada thermoset selesai (Madhav, 2019).

Proses *Curing* diinduksi oleh panas atau radiasi yang sesuai dan dapat ditingkatkan dengan menggunakan tekanan tinggi, atau dengan mencampurkan dengan katalis. Polimer yang berada dalam keadaan padat lunak atau kental ketika diberi pemanasan akan mengalami ikatan silang dalam cetakan. Panas memberikan energi untuk pembentukan ikatan kovalen, ikatan silang sub-unit polimer dan *curing* polimer. Proses ini dihasilkan oleh reaksi resin dengan *curing agent* (katalis, pengeras). Proses tersebut menghasilkan jaringan polimer yang tidak dapat dicairkan dan tidak dapat larut (Ratna, 2010).

Beberapa sifat polimer termoset antara lain memiliki kombinasi mulai dari stabilitas termal, ketahanan kimia, hingga integritas struktural. Termoset dapat

menjaga stabilitasnya pada semua lingkungan dan suhu jauh lebih baik jika dibandingkan dengan polimer termoplastik. Oleh karena itu polimer termoset sering dimanfaatkan sebagai matrik pada pembuatan komposit. Penggunaan termoset sebagai matrik komposit memungkinkan pengaplikasian berbagai jenis mulai dari yang sederhana hingga rumit (Dodiuk, 2014). Berikut adalah contoh polimer termoset.

#### 2.4.1 Poliester tak jenuh

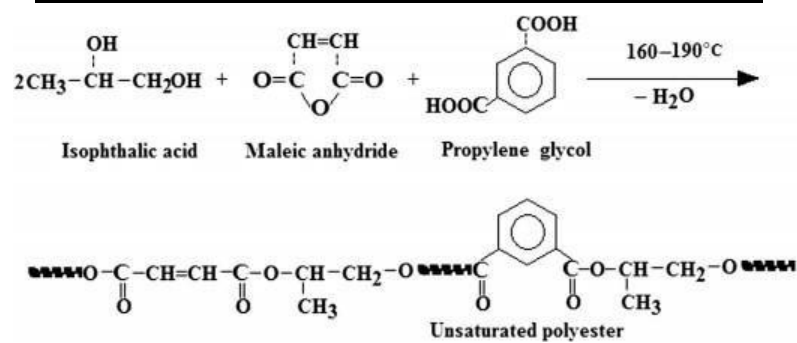
Poliester tak jenuh merupakan resin sintetik yang tersusun dari rantai lurus, yang dihasilkan dari asam organik tak jenuh dan alkohol *dihydroxy*. Salah satu asam yang sering digunakan adalah asam *maleic* dan alkohol yang sering digunakan adalah *ethylene glycol*. Sedangkan untuk *curing* menggunakan bahan inisiasi seperti *styrene*, *alpha methyl styrene*, *methyl methacrylate*, dan *vinyl toluene*. Namun inisiasi untuk proses *curing* yang paling sering digunakan adalah *styrene*. Hal itu dikarenakan *styrene* mudah didapatkan dan memiliki kualitas yang lebih bagus. Umumnya penambahan *styrene* diikuti dengan penambahan MEKP (*methyl ethyl ketone peroxide*) untuk mempercepat reaksi (Panda & Behera, 2019). Berikut adalah sifat dan reaksi kimia poliester tak jenuh.

**Tabel 2.1** Sifat poliester tak jenuh (Athawale & Pandit, 2019)

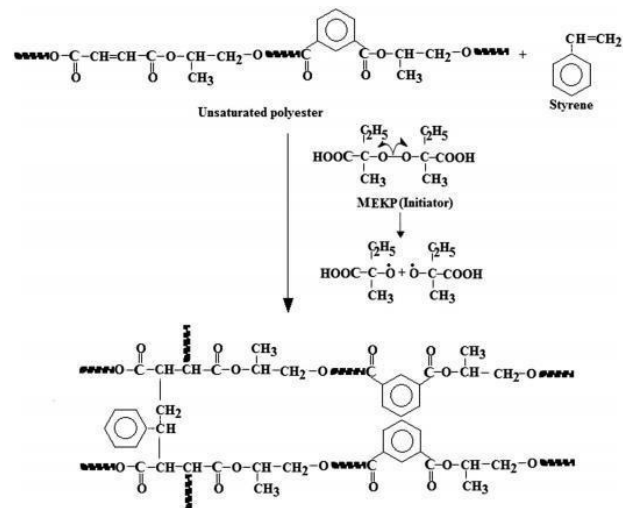
Sifat	Nilai
Kuat Tarik (MPa)	33,3
Modulus ( $\times 10^2$ MPa)	14,1

Tabel 2.1 (Lanjutan)

Sifat	Nilai
Elongasi Saat Patah (%)	2,25
Kekuatan Impak ( $\times 10^{-2}$ /mm <sup>2</sup> )	1,21
Kekerasan ( Shore D)	88
<i>Abrasion Loss</i> (cc)	0,37
Penyerapan Air (%)	0,21



Gambar 2.2 Pembuatan Poliester Tak Jenuh (Panda &amp; Behera, 2019).



Gambar 2.3 Reaksi Ikatan Silang (cross-linked) Poliester Tak Jenuh pada Proses Curing (Panda &amp; Behera, 2019)



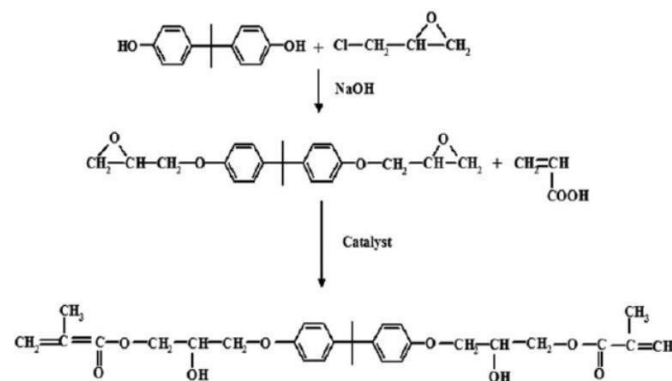
Poliester tak jenuh digunakan dalam berbagai produk komersial seperti plastik, serat, komposit, dan dalam aplikasi pelapisan. Penggunaan polimer ini telah meningkat selama dekade terakhir karena kekuatannya yang relatif tinggi, ketahanan terhadap korosi, fleksibilitas desain, dan densitas yang rendah. Poliester tak jenuh sebagian besar digunakan secara komersial sebagai serat, plastik, komposit, dan pelapis (Devaraju & Alagar, 2019).

#### 2.4.2 Vinyl ester

Polimer vinil berasal dari monomer vinil, yaitu molekul kecil yang terdiri dari ikatan rangkap karbon-karbon. Polimerisasi vinil adalah penggabungan senyawa tak jenuh (monomer) untuk membuat rantai polimer (Hao et al., 2018). Sedangkan *vinyl ester* adalah senyawa organik yang mengandung gugus ester  $R-COO-R'$  dengan gugus fungsi vinil ( $R'$ ). *Vinyl ester* diproduksi dengan esterifikasi resin epoksi dan asam monokarboksilat tak jenuh. Oleh karena itu *vinyl ester* sering dianggap sebagai hibrida epoksi dan poliester. *Vinyl ester* adalah rantai molekul yang terdiri dari beberapa gugus ester yang terikat ganda dengan gugus *vinyl*. Seringkali *vinyl ester* diperoleh dengan mereaksikan epoksi *methacrylated* dengan Styrene dengan menggunakan inisiator peroksida. Styrene, seperti halnya poliester tak jenuh, berfungsi sebagai pelarut/pengencer untuk menurunkan viskositas dan meningkatkan kemampuan proses, dan sebagai pemanjangan rantai untuk monomer *vinyl ester*. Monomer tersebut mengandung beberapa kelompok akhir vinil yang reaktif sehingga menyediakan kemampuan

cross-linking yang baik (Dodiuk, 2014)

Resin *vinyl ester* memiliki ikatan rangkap reaktif terminal yang membuatnya lebih stabil terhadap hidroksil dibandingkan dengan resin lainnya. Dikarenakan struktur rantai panjangnya, resin *vinyl ester* lebih fleksibel daripada resin epoksi lainnya. *vinyl ester* hanya memiliki ikatan rangkap reaktif pada ujung rantai, tidak seperti resin poliester tak jenuh yang memiliki ikatan rangkap reaktif di seluruh rantai. Sifat ikatan ganda tersebut memberikan resin *vinyl ester* dengan ketangguhan bawaan yang tinggi. Baik laju *curing* maupun kondisi reaksi dapat dengan mudah dikontrol saat menggunakan resin *vinyl ester*. Ini membuat resin vinilester lebih fleksibel daripada resin epoksi lainnya (Vimalathithan, 2018)



**Gambar 2.4** Sintesis Resin *Vinyl Ester* (Vimalathithan, 2018)

Resin *vinyl ester* menawarkan ketangguhan dan sifat ketahanan kimia yang umumnya lebih unggul dari poliester tak jenuh. *Backbone* resin epoksi yang digunakan dalam pembuatan resin *vinyl ester* memberikan ketangguhan dan sifat

*tensile elongation* yang lebih besar pada resin ini. Ketahanan kimia terutama dalam situasi basa pH tinggi yang unggul (dibandingkan dengan poliester tak jenuh) dari resin *vinyl ester* disebabkan oleh tidak adanya ikatan ester pada *Backbone* epoksi di tempat-tempat di mana unit polimer dihubungkan dengan ikatan fenil eter. Ikatan ester dalam resin *vinyl ester* hanya ada di ujung molekul, yang meminimalkan jumlah ikatan ester yang dapat diserang secara kimia (Bunsell, 2005) Berikut adalah srtuktur dan sifat resin *vinyl ester*.

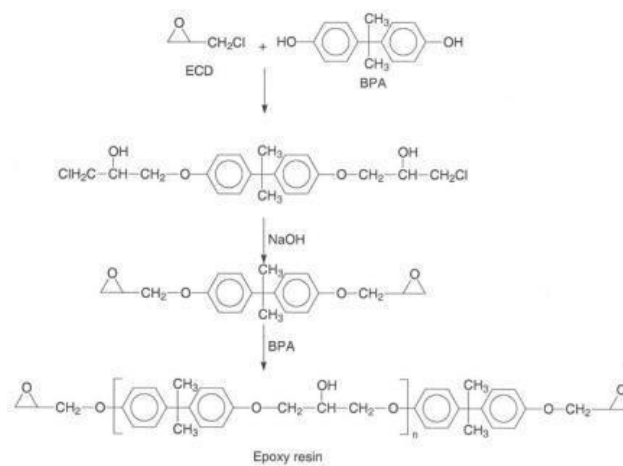
**Tabel 2.2** Sifat resin *vinyl ester* (Dodiuk, 2014)

Sifat	Nilai
Kuat Tarik (MPa)	69-76
Modulus Tarik ( $\times 10^2$ MPa)	24,8 - 30
Elongasi Saat Patah (%)	5.3 – 5,8
Flexural strength (MPa)	124 - 131
<i>Flexural modulus</i> (MPa)	3100
<i>Heat Deflection temperature</i> ( $^{\circ}$ C)	0,37
Kuat Impak Izod (Kg.m/Panjang notch)	0,5-0,55
Kekerasan Barcol	40-50

### 2.4.3 Epoksi

Secara kimia, resin epoksi mengandung lebih dari satu gugus epoksi yang terletak secara terminal, siklis, atau internal dalam suatu molekul yang dapat diubah menjadi padatan melalui reaksi termoset. Resin ini berbentuk cairan

kental atau hampir padat sebelum ditambahkan dengan *hardener*. Resin epoxy jika direaksikan dengan *hardener* yang akan membentuk struktur tiga dimensi. Resin epoksi yang paling umum adalah *diglycidyl ether* dari *bisphenol A* (DGEBA), yang dibuat dengan reaksi *epichlorohydrin* (ECD) dan *bisphenol A* (BPA) (Nascimento et al., 2019). Berikut adalah reaksi sintesis DGEBA.

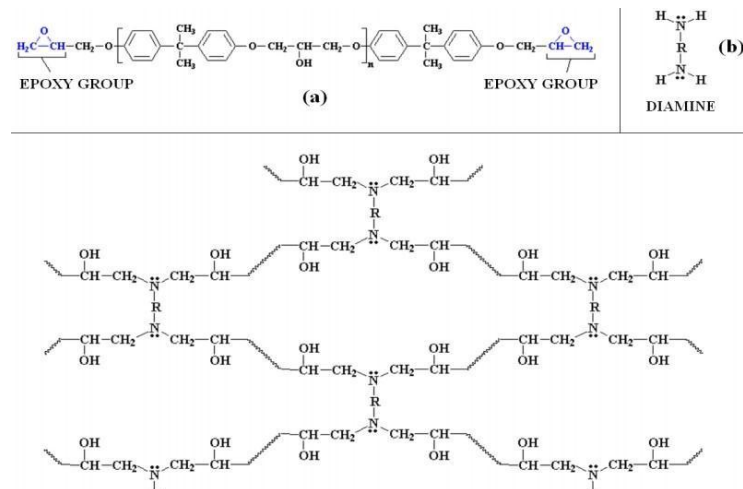


**Gambar 2.5** Reaksi Sintesis DGEBA (Ratna, 2010).

Untuk mendapatkan resin epoksi yang keras dan tidak *infusible*, perlu dilakukan proses *curing*. Proses *curing* umumnya menggunakan polimer bermolekul rendah seperti *diamine*. Selama proses *curing*, gugus epoksida kimia dalam resin epoksi bereaksi dengan pengeras dan membentuk jaringan tiga dimensi yang memiliki *crosslink* yang tinggi. Selama proses *curing*, mobilitas molekul dalam sistem akan semakin berkurang seiring dengan berlangsungnya reaksi pembentukan jaringan. Sifat-sifat resin epoksi sangat bergantung pada

struktur kimia, banyaknya *curing agent* dan kondisi *curing*.

Secara umum, resin epoksi yang sudah melalui proses *curing* memiliki sifat kekakuan, kekuatan, ketahanan panas, dan ketahanan mulur yang lebih baik daripada polimer termoplastik (Capper & Foreman, 2018). Hal ini disebabkan resin epoksi membentuk jaringan tiga dimensi yang memiliki ikatan *crosslink* yang tinggi. Selain itu tekanan yang dibutuhkan untuk fabrikasi resin epoksi jauh lebih rendah daripada resin termoset lainnya. Tegangan sisa resin epoksi lebih rendah dibandingkan dengan resin poliester tak jenuh yang di-*curing* dengan polimerisasi *vinyl*. Polimer epoksi bisa di-*curing* dalam berbagai suhu tergantung pada *hardener*-nya. Beberapa sifat tersebut menjadikan resin epoksi salah satu polimer termoset yang paling banyak digunakan dalam industri (Parameswaranpillai et al., 2017).



**Gambar 2.6** Proses Reaksi *Crosslink* pada Resin Epoksi menggunakan *Curing Agent Diamine* (Vascova, 2011)

## 2.5 Serat Ijuk

*Arenga pinnata* dikenal dengan nama umum pohon aren, berasal dari Asia Tenggara dan tumbuh di hutan hujan tropis dan hutan kering. Itu dikategorikan di bawah suku *Caryoteae* dalam keluarga *Arecoideae*. Aren merupakan jenis tanaman tahunan, berukuran besar, berbentuk pohon soliter tinggi hingga 12 m, diameter setinggi dada (DBH) hingga 60 cm (Sapuan, 2019). Pohon aren dapat tumbuh mencapai tinggi dengan diameter batang sampai 65 cm dan tinggi 15 m bahkan mencapai 20 m dengan tajuk daun yang menjulang di atas batang. Tanaman aren tumbuh dengan baik pada ketinggian 500 – 1200 m dpl. Di Indonesia pada tahun 2014, total area yang telah ditanami pohon aren mencapai 70.000 ha (Astuti. M, 2014).

Serat ijuk adalah serat alami yang terdapat dari pohon aren dan juga dikenal sebagai serat hitam (*black fiber*). Serat ijuk dapat dimanfaatkan sebagai bahan untuk membuat tali, sapu, kuas, kuas, saringan dasar tangki septik, atap, alat pancing hingga kerajinan tangan. Ada tiga keunggulan utama serat aren yaitu memiliki kekuatan tarik tinggi dan dapat bertahan dari degradasi lebih baik, tidak terpengaruh oleh panas dan kelembaban dibandingkan dengan serat lain seperti serat sabut, serta tahan lama dan ketahanan yang baik terhadap air laut (Mardin et al., 2016). Secara tradisional, serat aren digunakan untuk membuat tali untuk ikat kapal dan terbukti memiliki sifat yang baik di air laut. selain serat ijuk sebagai *reinforce* adalah serat yang sudah di ekstrak tidak memerlukan pemrosesan sekunder dan siap digunakan dalam bentuk anyaman alami sehingga mempermudah proses preparasi (Ishak et al., 2012). Berikut adalah gambar dari serat ijuk yang didapat dari pohon aren.



**Gambar 2.7** Serat Ijuk (Huzaifah et al., 2019)

Serat aren terutama terdiri dari selulosa, hemiselulosa, lignin, dan abu (*ash*). Komponen utama dalam serat aren adalah selulosa, yang memberikan kekuatan dan stabilitas serat. Namun selulosa mempengaruhi sifat *hydrophilic* pada serat. Semakin tinggi kandungan selulosa maka serat tersebut akan lebih mudah menyerap air. Komposisi kimia serat ijuk tersusun dari 44,47% selulosa, 8,93% hemiselulosa, 44,42% lignin, dan 0,91% *ash*. Serat ijuk memiliki nilai kuat tarik, modulus tarik, elongasi saat patah, kelembapan dan densitas sebesar 276.6 MPa, 5.86 GPa, 22.3%, 5,6%, dan 1,20151 g/cm<sup>3</sup>. Jika dibandingkan dengan serat dari tanaman lain, ijuk memiliki beberapa kelebihan seperti jauh lebih ringan dan ulet dibandingkan dengan serat lain (Sapuan, 2019).

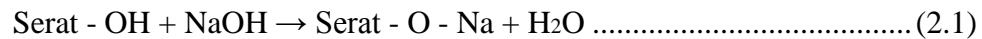
**Tabel 2.3** Sifat fisik dan Mekanik beberapa Serat Alam (Sapuan, 2019)

Jenis Serat Alam	Kuat Tarik (MPa)	Modulus Tarik (GPa)	Elongasi Saat Patah (%)	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	Kandungan Selulosa (wt %)	Kelembapan (%)
<i>Flax</i> (Lenan)	344	60-80	1,2-1,6	1,5-3	71	8-12
<i>Hemp</i>	550-900	70	1,6	1,48	70-74	6.2-12
<i>Jute</i>	400-800	10-30	1,8	1,3-1,45	61-71,5	12,5-13,7
<i>Kenaf</i> (Yuta Jawa)	194-983	7,6-20	1,7-5,4	1,45	45-57	± 8
Serat Nanas	170-1627	82	1-3	1,56	70-82	11,8
Sisal	510	28	2,2-4,2	1,45	66-78	10-22
Pisang	529-914	27-32	1-3	1,35	63-64	10-12

Tetapi serat ijuk yang akan digunakan dalam pembuatan komposit harus di preparasi terlebih dahulu. Komposisi struktural serat (seperti selulosa, hemiselulosa, lignin, dan pektin) memungkinkan penyerapan air dari lingkungan yang menyebabkan terjadinya penyerapan air pada serat yang sangat tinggi, sehingga ikatan antar muka menjadi lemah antara serat dan polimer matrik (Rashid et al., 2016). Hal ini dikarenakan struktur serat memiliki gugus hidroksil dan gugus polar yang bersifat hidrofilik. Untuk itu perlu dilakukan *pre treatment* pada serat ijuk agar kinerja sebagai penguat pada material komposit polimer menjadi lebih baik. *Pre treatment* dapat



mempengaruhi struktur serat dan mengubah komposisinya. Akibatnya, kecenderungan penyerapan air oleh serat berkurang memfasilitasi ikatan yang lebih baik dengan bahan matriks. Ini memberikan sifat mekanik dan termal yang lebih baik dari serat dan komposit. Proses *pre treatment* menggunakan larutan NaOH dikarenakan larutan NaOH dapat mengganti gugus hidroksi pada ijuk menjadi gugus alkoxide. Perubahan gugus tersebut yang mengubah serat yang sebelumnya hidrofilik menjadi hidrofobik (Chand, 2021).



## 2.6 Metode Hand Lay-Up

Teknik *hand lay-up* adalah salah satu metode tertua dalam pembuatan komposit. Proses *Hand Lay-Up* merupakan proses laminasi serat secara manual dengan memberi penekanan pada lapisan dengan menggunakan *roller*. Proses *Hand Lay-Up* memiliki beberapa kelebihan yaitu *Hand Lay-Up* memungkinkan pembuatan produk dengan berbagai aplikasi dan geometri dengan biaya yang murah dan tidak memerlukan pelatihan khusus. Namun, ada beberapa kelemahan *Hand Lay-Up* seperti kualitas bergantung kepada kemampuan yang mengerjakan sehingga memungkinkan untuk menghasilkan komposit yang tidak seragam yang menyebabkan ketebalan tidak merata. dan distribusi material dan matriks tulangan yang tidak seragam. Selain itu metode ini membutuhkan waktu produksi yang lebih lama dan tingkat produksi yang lebih rendah. Oleh karena itu metode *hand lay-up* tidak cocok untuk skala besar (Kuppusamy et al., 2020).

Ada beberapa tahapan dalam pembuatan komposit dengan menggunakan metode *hand lay-up*. Pertama permukaan cetakan diberikan lapisan anti-adhesif untuk menghindari menempelnya polimer ke permukaan. Lalu, lembaran plastik tipis diletakkan di bagian atas dan bawah pelat cetakan untuk mendapatkan permukaan produk yang halus. Lapisan penguat dipotong sesuai bentuk yang diinginkan dan ditempatkan pada permukaan cetakan. Kemudian resin dimasukkan ke cetakan menggunakan *roller* agar tersebar secara merata. Kemudian *reinfore* ditempatkan pada lapisan polimer sebelumnya dan ditekan menggunakan *roller* untuk menghilangkan gelembung udara yang terperangkap dan juga kelebihan polimer, sehingga komposit yang dihasilkan bebas dari cacat. Cetakan kemudian ditutup dan tekanan dilepaskan (Raji et al., 2019).

Metode Hand lay-up (HLU) digunakan pada penelitian ini karena memiliki aplikasi yang kompatibel pada geometri papan partikel. Hal ini didukung oleh salah satu perusahaan pembuatan papan partikel yang berasal dari India yakni AGNI Fiber Boards Pvt. Ltd. yang masih memproduksi papan partikel menggunakan teknik hand lay-up sejak berdirinya pada tahun 1998 hingga sekarang. Selain itu, berdasarkan laporan riset pasar terbaru yang berjudul “Composites Market by Fiber Type (Glass Fiber Composites, Carbon Fiber Composites, Natural Fiber Composites), Resin Type (Thermoset Composites, Thermoplastic Composites), Manufacturing Process, End-use Industry and Region - Global Forecast to 2026”. Proses manufaktur lay-up mendominasi pasar komposit global dalam segi kuantitas dan volume. Dalam proses lay-up, orientasi serat dapat dikontrol sesuai kebutuhan sehingga serat dapat menyerap

tegangan maksimum yang diterapkan. Metode ini memiliki biaya yang rendah dan memiliki keunggulan seperti deposisi serat dan resin yang cepat serta prinsip pengoperasiannya yang sangat mudah. Proses lay-up sebagian besar digunakan untuk merancang komposit dengan geometri sederhana seperti panel struktural dengan beban ringan. Tingkat permintaan dari metode ini sangat besar dari industri kedirgantaraan dan pertahanan, konstruksi dan infrastruktur, serta pada industri perkapalan. Proses *lay-up* selanjutnya dibagi menjadi tiga jenis, yaitu *hand lay-up*, *tape lay-up*, dan *spray lay-up*. *Hand lay-up* adalah proses yang paling umum digunakan untuk pembuatan komposit. Metode ini merupakan salah satu proses paling sederhana dan dapat digunakan dalam produksi komponen besar seperti komponen turbin angin, bentuk beton, dan komponen pesawat (Markets and Markets, 2021).

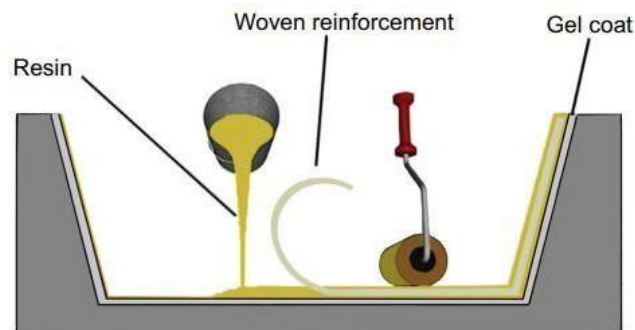
*Hand lay-up* merupakan proses pembuatan komponen komposit yang dilakukan secara manual dengan meletakkan komponen lapisan penguat dan lapisan campuran resin cair serta hardener secara berurutan. Proses ini diulang untuk setiap lapisan sampai ketebalan lapisan yang dibutuhkan tercapai. Sebelum memulai fabrikasi komposit, gel pelepas diterapkan pada cetakan untuk memudahkan komposit untuk dilepas pada akhir proses. Roller atau kuas biasa digunakan untuk membantu pemadatan dan pembasahan serat secara homogen untuk menghilangkan udara yang terperangkap. Untuk mendapatkan ikatan antarmuka yang tepat, biasanya jumlah tekanan yang sesuai diterapkan. Untuk pengawetan pada suhu kamar atau suhu yang lebih tinggi, seluruh pengaturan ditempatkan di lingkungan yang telah ditentukan. Setelah proses curing selesai, produk akhir dikeluarkan dari cetakan dan diproses lebih

lanjut sesuai kebutuhan (Kuppusamy et al., 2020).

Waktu curing untuk setiap polimer bervariasi sesuai periode waktu matriks termoset dan hardener/katalis yang digunakan. Seperti dalam kasus komposit berbasis epoxy, dibutuhkan 24–48 jam untuk menyelesaikan curing pada suhu kamar. Keterbatasan utama dari teknik HLU adalah hanya dapat digunakan untuk pembuatan komposit berbasis termoset. Bahan matriks yang digunakan untuk fabrikasi komposit dengan teknik HLU dapat berupa vinyl ester, epoxy, polyester, phenolic, polyurethane resin, dll. Penguat yang digunakan dapat berupa serat kaca, serat aramid, serat karbon, serat tumbuhan alam (rami, pisang, nanas, dll) dalam bentuk chopped mat. Proses HLU dapat memungkinkan pembuatan produk komposit untuk berbagai aplikasi serta geometri dengan modal investasi rendah. Terlepas dari kelebihan tersebut, terdapat beberapa keterbatasan dari proses HLU yaitu rendahnya fraksi volume penguat, kualitas lapisan yang tidak seragam menyebabkan ketebalan yang tidak merata, serta distribusi penguat dan matriks yang tidak merata. Selain itu, karena HLU merupakan proses cetakan terbuka (open mold), dapat menghasilkan styrena dalam jumlah besar yang membuat proses ini tidak ramah lingkungan. Styrena merupakan senyawa aromatik bersifat genotoksik dan berpotensi karsinogenik yang banyak digunakan dalam produksi plastik, karet, resin, dan isolator (Huff & Infante, 2011). Kemudian faktor dari waktu produksi yang lebih lama, tingkat produksi yang lebih rendah, serta keterlibatan tenaga kerja terampil yang tinggi membuat proses HLU tidak cocok untuk produksi skala besar.

Untuk mengatasi kekurangan ini, produsen biasanya mengeksplorasi opsi

alternatif lain seperti metode liquid composite molding (LCM) (Kuppusamy et al., 2020). Langkah pertama yang harus dilakukan adalah meratakan resin yang berfungsi sebagai matrik pada dinding cetakan lalu diikuti dengan peletakkan reinforce atau penguat. Setelah diberikan penguat maka lapisan tersebut ditutup dengan cairan termoset atau resin kembali dan diratakan menggunakan bantuan kuas. Untuk lapisan kedua dilakukan hal yang sama dengan sedikit diberikan tekanan saat pemerataan menggunakan kuas untuk menghindari udara yang terperangkap, karena udara tersebut akan menimbulkan rongga dan membuat kekuatan komposit menurun. Setelah mendapat ketebalan sesuai yang diinginkan maka komposit dibiarkan kering pada suhu ruang atau suhu tertentu. Setelah komposit mengeras komposit dikeluarkan dari cetakan dan diproses lebih lanjut (Abdurohman et al., 2018). Proses hand lay-up terlihat pada Gambar 2.8



**Gambar 2.8** Metode *Hand Lay-Up* (Raji et al., 2019).

## 2.7 Rule of Mixture

*Rule of mixture* adalah teori umum yang digunakan untuk menginterpretasikan sifat mekanik komposit NFRP. Berdasarkan *rule of mixture*, sifat mekanik suatu komposit dapat ditentukan dengan menjumlahkan sifat serat dan matriks secara murni dengan mempertimbangkan fraksi volumenya

$$E_c = E_f V_f + E_m V_m \dots \dots \dots (2.1)$$

di mana E adalah modulus elastisitas dan V adalah fraksi volume dari masing-masing fiber dan matriksnya (Lau 2018).

Dalam model NFRP, orientasi serat merupakan elemen penting untuk sifat komposit. Pada kenyataannya, komposit serat berorientasi acak adalah aliran utama untuk proses pencetakan injeksi. Hanya model Bowyer Bader yang mempertimbangkan panjang serat dengan memasukkan faktor panjang serat (K) ke dalam persamaannya. Persamaan (2.2) dan (2.3) dibentuk berdasarkan prinsip yang sama dari Persamaan (2.1) dengan tambahan memasukkan dua faktor, orientasi serat dan panjang serat. Namun, kedua faktor ini sulit diukur secara akurat (Lau 2018).

$$M_c = M_f K_1 K_2 V_f + M_m V_m \dots \dots \dots (2.2)$$

$$T_c = T_f K_1 K_2 V_f + T_m V_m \dots \dots \dots (2.3)$$

di mana  $K_1$  dan  $K_2$  masing-masing adalah orientasi serat dan faktor panjang serat.  $M_c$  dan  $T_c$  adalah modulus dan kekuatan tarik komposit NFRP. V adalah fraksi volume. Subskrip c, f dan m masing-masing menunjukkan komposit, serat dan matriks (Lau 2018). Data Rule of Mixture dapat dilihat pada tabel 2.4.

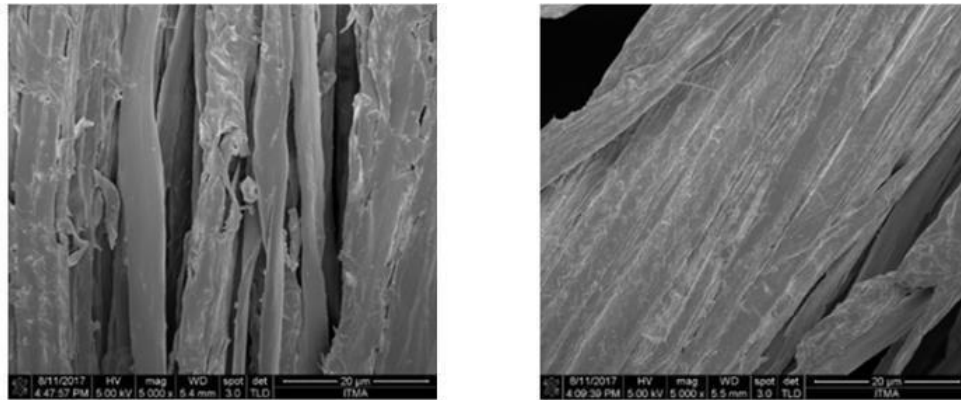
**Tabel 2.4** Data *Rule of Mixture*

Sifat Mekanik	Nilai	Referensi
s tarik serat nanas	126,6 Mpa	(Zin et al., 2018)
s tarik epoxy	69 MPa	(James E., 2009)
s tarik vinyl ester	72,5 Mpa	(Hanna, 2013)
s tarik polyester	47 MPa	(James E., 2009)
E serat nanas	4405 MPa	(Zin et al., 2018)
E epoxy	2400 MPa	(James E., 2009)
E vinyl ester	3250 MPa	(Hanna, 2013)
E polyester	3000 MPa	(James E., 2009)
s lentur serat nanas	193,475 Mpa	(Zhuang et al., 2020)
s lentur epoxy	117 MPa	(James E., 2009)
s lentur vinyl ester	127,5 Mpa	(Hanna, 2013)
s lentur polyester	110 MPa	(James E., 2009)

Catatan : Nilai pada tabel ini diperoleh berdasarkan median dari interval data pada referensi.

## 2.8 Pengaruh Alkalisasi NaOH

Serat alam merupakan jenis sumber daya terbarukan dengan harga murah serta ketersediaannya yang melimpah. Karakteristik serat alam yang dapat terurai secara alami, dapat menimbulkan masalah dalam sifat daya tahannya. Hal tersebut dapat menyebabkan penurunan nilai kekuatan dan ketangguhan jika serat tersebut tidak diberikan perlakuan (Berlin et al., 2016).



(a)

(b)

**Gambar 2.9** Mikrografi SEM (a) Serat tanpa alkalisasi (b) Serat alkalisasi 6% NaOH selama 4 jam (Zin et al., 2018)

Perlakuan kimia telah diperkenalkan untuk mencegah atau mengurangi serangan kimia pada serat yang digunakan sebagai penguat dalam komposit polimer. Proses treatment yang dilakukan bertujuan untuk meningkatkan daya rekat (adhesi) antara permukaan serat dengan matriks polimer, sehingga meningkatkan kekasaran permukaan serat, sehingga menghasilkan nilai kekuatan tarik yang lebih baik dan penurunan nilai penyerapan air yang meningkat. Perawatan alkali atau alkalizing adalah salah satu proses perawatan serat kimia yang paling umum digunakan. Perawatan ini biasanya digunakan ketika serat digunakan sebagai penguat dalam komposit termoplastik atau termoset. Alkalisasi, dilakukan dengan menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH) yang diaplikasikan pada serat, merangsang ionisasi gugus hidroksil menjadi alkoksida. Selama alkalisasi, serat biasanya direndam dalam soda api (NaOH) untuk jangka waktu tertentu (Berlin et al., 2016).

Gambar 2.9 menunjukkan perbedaan morfologi permukaan serat dengan dan



tanpa alkalinisasi. Pada poin (a), tanpa alkalisasi, terlalu banyak kotoran yang mengendap di permukaan serat. Kehadiran pengotor ini membatasi area kontak antara serat dan matriks, yang dapat menyebabkan adhesi serat-matriks yang buruk pada antarmuka. Sebaliknya, pada (b), permukaan serat bersih dan kasar tanpa kotoran. Selain itu, hilangnya pengotor dan elemen seperti lignin dan hemiselulosa meningkatkan adhesi permukaan antara serat dan matriks (Zin et al., 2018).

## **2.9 Pengaruh Jenis Matrik Pada Komposit**

Matrik memiliki peran dalam menjaga ketahanan struktur, menyebarkan beban ke serat, dan menjaga matrik dari elemen lingkungan. Untuk itu perlu diperhatikan penggunaan jenis matrik yang akan digunakan pada komposit. Setiap jenis resin memiliki sifat mekanik dan fisik yang berbeda. Pemilihan jenis resin yang tepat sangat penting untuk memaksimalkan keefektifan dari resin tersebut. Pada tahun 1999 dilakukan penelitian yang membandingkan sifat mekanik antara beberapa resin thermoset *unsaturated polyester* (*CoRezyn 63-AX-051*), *vinyl ester* (*Derakane 8084*), dan epoksi (*Epoxy SC-12*) sebagai matrik untuk pembuatan komposit *fiber*. Penelitian tersebut menggunakan beberapa jenis resin thermoset dalam kondisi *neat resin* dan ketika sudah diberi serat (Orozco, 1999).

**Tabel 2.5** Sifat Mekanik Resin Thermoset (Orozco, 1999).

Resin	UTS (MPa)	<i>Yield strength</i> (MPa)	Modulus, E (GPa)	Elongasi patah (%)
CoRezyn	54,07	45,19	3,18	2
63-AX-051	(4,64)	(2,47)	(0,12)	(0,31)
Derakane	72,57	55,16	3,25	2,97
8084	(2,73)	(2,39)	(0,15)	(0,31)
Epoksi SC-	68,31	48,50	2,80	3,31
14	(2,68)	(1,33)	(0,03)	(0,27)

Berdasarkan penelitian tersebut didapat kesimpulan dalam keadaan *neat resin*, resin dengan nilai UTS tertinggi terdapat pada resin *vinyl ester* dengan nilai 72,57 MPa, lalu epoksi dengan nilai 68,31 MPa dan resin *unsaturated polyester* dengan nilai 54,07 MPa. Hal ini dikarenakan panjangnya rantai molekul dan banyaknya ikatan *crosslink* pada *vinyl ester* sehingga mampu menahan beban yang berikan (Orozco, 1999)

## 2.10 Pengaruh Fraksi Serat Pada Komposit

*Reinforce* memiliki peranan penting dalam komposit serat ijuk. *Reinforce* memiliki fungsi untuk meningkatkan sifat mekanik dari komposit dan memberikan kekuatan dan kekakuan komposit pada satu arah. Komposit serat ijuk adalah komposit yang sifat mekaniknya tergantung pada antarmuka dari serat-matrik dengan fungsi

transfer tegangan dari matrik keserat. Salah satu komponen yang mempengaruhi karakteristik serat ijuk pada komposit adalah fraksi berat.

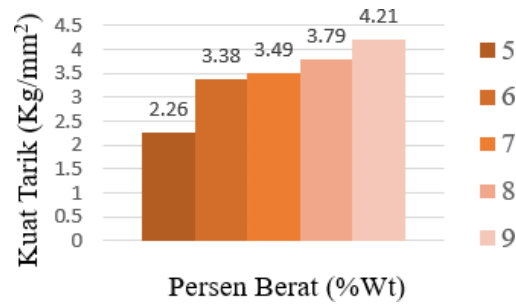
Fraksi berat serat dalam komposit dapat di hitung dengan menggunakan persamaan 2.2

$$V_f = \frac{\rho_m \cdot W_f}{\rho_m \cdot W_f + \rho_f \cdot W_m} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana  $\rho_f$  adalah densitas serat,  $\rho_m$  adalah densitas matrik,  $W_f$  adalah fraksi berat serat, dan  $W_m$  adalah fraksi berat matrik. fraksi berat matriks adalah  $V_m = (1-V_f)$  dan fraksi berat matriks adalah  $W_m = (1-W_f)$ . Fraksi berat serat  $W_f$  adalah berat serat  $W_f$  dalam suatu komposit dibagi dengan berat komposit  $W_c$ . Bobot matriks dalam komposit adalah  $W_m$ , yang sama dengan  $(W_c - W_f)$ . Umumnya densitas sebenarnya dari bagian komposit akan lebih rendah dari densitas teoritis Hal itu dikarenakan komposit mengandung rongga yang diakibatkan oleh terperangkapnya udara atau material volatil selama pembuatan bagian komposit. Rongga bisa terdapat di matriks, pada antarmuka serat-matriks atau di dalam serat. Salah satu tantangan dalam pembuatan komposit adalah mengurangi *void* sebanyak mungkin (Mallick, 2017).

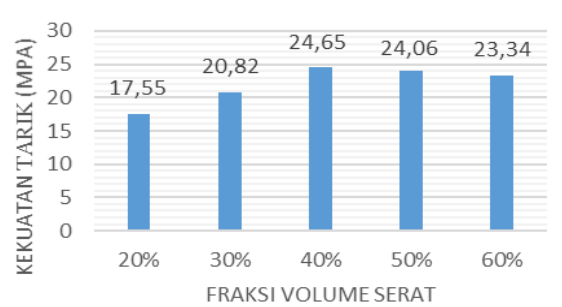
Berdasarkan penelitian Surono pada tahun 2016 didapatkan bahwa komposit polyester BQTN 268 Yukalac dengan *reinforce* serat ijuk dapat meningkatkan nilai kuat tariknya. penelitian tersebut memvariasikan persen berat serat mulai dari 5,6,7,8, dan 9%. Didapatkan nilai kuat tarik pada masing-masing variabel sebesar 2.26, 3.38,

3.49, 3.79, dan 4,21 Kg/mm<sup>2</sup>. Dari penelitian tersebut bisa dilihat terjadi peningkatan antara fraksi berat 5% dan 9% sebesar 86% (Surono, 2016).



**Gambar 2.10** Grafik Kuat Tarik Serat terhadap Persen Berat Serat (Surono, 2016)

Hal ini di selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Fatkhurrohman pada 2016. Penelitian tersebut menggunakan komposit dengan resin polyester BQTN 157 dengan *reinforce* ijuk. Pada penelitian tersebut didapatkan nilai kuat tarik hingga fraksi berat serat 40%. Peningkatan nilai kuat tarik pada komposit serat ijuk tersebut dikarenakan semakin banyak serat ijuk pada komposit maka semakin banyak serat yang menerima distribusi tegangan. Hal ini menyebabkan berkurangnya beban pada masing-masing serat sehingga komposit mampu menerima beban yang lebih besar (Fatkhurrohman, 2016).



**Gambar 2.11** Grafik Kuat Tarik serat terhadap Fraksi Berat Serat (Fatkhurrohman, 2016).

## 2.11 Uji Tarik

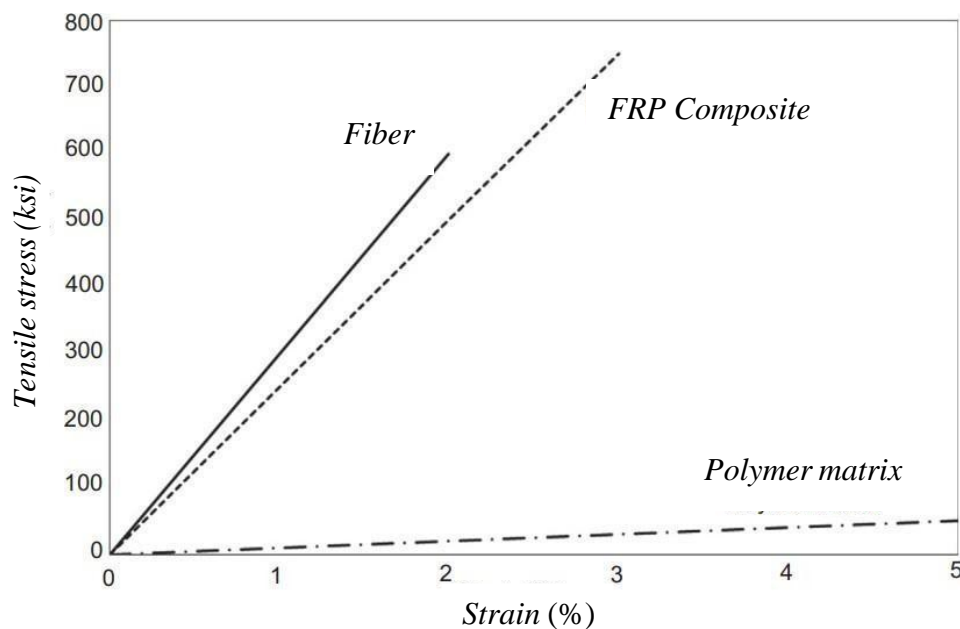
Nilai kuat tarik merupakan sebuah nilai yang dihasilkan akibat reaksi ketahanan bahan terhadap tegangan tarik yang diberikan. Menentukan kuat tarik sangat penting karena dapat memberikan informasi tentang modulus elastisitas, batas elastis, elongasi, batas proporsional, pengurangan luas (*reduction of area*), kuat tarik, titik luluh, dan sifat tarik lainnya. Sifat tarik memiliki nilai yang bervariasi dari setiap bahan dan ditentukan melalui pengujian tarik yang dijelaskan melalui standar ASTM (Rahman dan Putra, 2018).

Opsi standar yang sesuai dengan pengujian tarik pada penelitian ini adalah ASTM D638 dan ASTM D3039, tergantung pada jenis komposit polimer yang digunakan. ASTM D638 digunakan untuk komposit polimer dengan orientasi serat acak, diskontinu, dapat dicetak, atau bervolume rendah. Sedangkan ASTM D3039 digunakan untuk komposit polimer yang diperkuat serat dengan orientasi tinggi atau modulus tarik yang tinggi. Spesimen untuk pengujian tarik biasanya berbentuk barbel

atau tulang anjing, dan batang persegi panjang.

Uji tarik merupakan fundamental dari pengujian material guna mendapatkan kurva antara tegangan dan regangan material serta daktilitas dari material. Selain itu, uji tarik juga berguna untuk mendapatkan hubungan antara pembentukan *shear bands* dan perpatahan material (ASTM, 2008).

Pada komposit *fiber-reinforced polymer* (FRP), nilai kuat tarik dari serat, matriks, dan komposit ditunjukkan pada Gambar 2.15. Serat umumnya memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi, sedangkan matriks memiliki tingkat elongasi yang lebih tinggi. Kombinasi kedua konstituen ini menghasilkan produksi komposit FRP yang memiliki sifat tarik yang terletak di antara kedua konstituen tersebut.



**Gambar 2.12** Kurva Tegangan dan Regangan dari *Fiber*, *Polymer Matrix*, dan *FRP Composite* (Rahman dan Putra, 2018)

## 2.12 Uji Densitas

Densitas merupakan salah satu faktor terpenting dalam menentukan sifat-sifat dari suatu material komposit. Hal ini tergantung pada proporsi relatif dari kandungan serat dan matriks. Keberadaan *void* pada komposit merupakan faktor penentu pada nilai densitas komposit secara eksperimental (Das dan Biswas, 2016). Densitas komposit dapat meningkat seiring meningkatnya kandungan serat. Dengan demikian, rongga yang terbentuk pada spesimen semakin rendah. Hal ini dapat menghasilkan komposit dengan densitas yang lebih tinggi. Adapun pengujian densitas komposit polimer umumnya menggunakan standar ASTM D792. Pengujian dilakukan dengan menimbang massa spesimen di udara. Spesimen kemudian direndam dalam larutan, dan ditimbang massa yang muncul saat perendaman. Rumus perhitungannya adalah seperti pada rumus 2.5 berikut.

$$SG = a/(a+w-b) \dots\dots\dots (2.5)$$

$$D = SG \times \rho \text{ air} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

$SG = \textit{specific gravity}$  (tanpa satuan)

$a =$  massa yang muncul ketika diudara (gr)

$b =$  massa ketika spesimen terendam dan kabel penggantung terendam sebagian(gr)

$w =$  massa total spesimen dan kabel.(gr)

$D =$  densitas komposit (gr/cm<sup>3</sup>)

### 2.13 Standar Papan Partikel

Pembuatan komposit polimer termoset dengan menggunakan serat daun nanas bertujuan untuk menggantikan peran dari papan partikel kayu. Untuk dapat menggantikan papan partikel tersebut perlu diketahui standar SNI dari papanpartikel di Indonesia. Menurut Standar SNI 03-2105-2006 tentang papan partikel, syarat sifat mekanis papan partikel struktural dapat dilihat pada Tabel 2.6.

**Tabel 2.6** Syarat Sifat Mekanis Papan Partikel Struktural (Badan Standardisasi Nasional, 2006)

No.	Jenis Papan Partikel	Tipe	Keteguhan Lentur Minimum (Kgf/cm <sup>2</sup> )				Modulus Elastisitas Lentur(Kering) Minimum (10 <sup>4</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	Keteguhan Tarik Tegak Lurus Permukaan Minimum (kgf/cm <sup>2</sup> )
			Kering		Basah			
			Arah Panjang	Arah Lebar	Arah Panjang	Arah Lebar		
1	Papan Partikel Biasa dan Papan Partikel Dekoratif	18	184		92		3,06 (arah lebar)	3,1
		13	133		66		2,55 (arah lebar)	2
		8	82		-		2,04 (arah lebar)	1,5
2	Papan Partikel Berlapis	30–15	306	153	153	77	4,59 (arah panjang) 2,86 (arah lebar)	3,1
3	Papan Partikel Biasa Struktural	24–10	245	102	122	51	4,08 (arah panjang) 1,33 (arah lebar)	3,1
		17,5–10,5	178	107	90	54	3,06 (arah panjang) 2,04 (arah lebar)	3,1



**Tabel 2.7** Sifat Fisis dan Mekanis Papan Partikel SNI 03-2105-2006

No	Sifat Fisik dan Mekanik	SNI 03-2015-2006
1	Densitas ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	0,4-0,9
2	Kadar air (%)	<14
3	Kuat Tarik Minimum ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )	1,5-3,1
4	Kuat Lentur Minimum ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )	82-184
5	Kekerasan (N)	-

