

**PENGARUH JENIS MATRIKS POLIMER TERMOSET  
DAN FRAKSI BERAT SERAT TERHADAP  
KUAT TARIK KOMPOSIT**

**SKRIPSI**

Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Mendapat Gelar Sarjana Teknik Pada  
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



**ANDHIKA YOGA PRADANA  
3334160089**

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
CILEGON - BANTEN  
2023**

**LEMBAR PENGESAHAN**

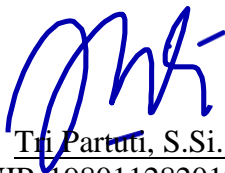
**PENGARUH JENIS MATRIKS POLIMER TERMOSET  
DAN FRAKSI BERAT SERAT TERHADAP  
KUAT TARIK KOMPOSIT**

**SKRIPSI**

Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Mendapat Gelar Sarjana Teknik Pada Jurusan  
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

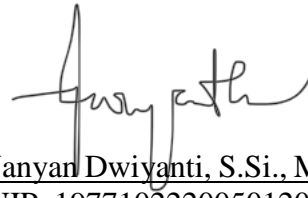
Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing 1



Tri Partuti, S.Si., M.Si  
NIP. 198011282012122003

Pembimbing 2



Yanyan Dwiyantri, S.Si., M.T.  
NIP. 197710222005012002

## LEMBAR PERSETUJUAN

### PENGARUH JENIS MATRIKS POLIMER TERMOSET DAN FRAKSI BERAT SERAT TERHADAP KUAT TARIK KOMPOSIT

Disusun dan diajukan oleh:

**Andhika Yoga Pradana**

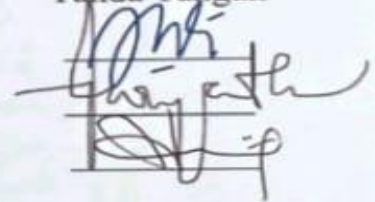
**3334160089**

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal **3 Juli 2023**

Susunan Dewan Penguji

Penguji I (Ketua Sidang) : Tri Partuti, S.Si.,M.Si  
Penguji II : Yanyan Dwiyantri, S.Si., M.T.  
Penguji III : Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc.

Tanda Tangan



Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



**Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc.**

NIP. 197804102003121001

## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Pengaruh Jenis Matriks Polimer Termoset Dan Fraksi Berat Serat Terhadap Kuat Tarik Komposit  
Nama : Andhika Yoga Pradana  
NIM : 3334160089  
Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya saya sendiri dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar pernyataan ini.

Cilegon, M



**Andhika Yoga Pradana**

**NIM. 3334160089**

## ABSTRAK

Berdasarkan Peraturan Menteri Negara Perumahan Rakyat Republik Indonesia No. 25 Tahun 2011 tentang Pedoman Penyelenggaraan Rumah Murah, pemerintah menyelenggarakan pembuatan rumah murah agar masyarakat berpenghasilan rendah dapat memiliki hunian layak. Berdasarkan kondisi tersebut maka diperlukan penekanan anggaran pada pembuatan rumah seperti dengan mengganti beberapa material seperti kayu dengan jenis lain. Namun alternatif material tersebut harus memiliki kualitas yang sama dengan kayu sesuai SK SNI 03-xxxx-2000 yaitu sebesar 17-60 MPa (bergantung dari kode mutu kayu). Salah satu caranya adalah dengan menggantikan penggunaan material yang menggunakan kayu menjadi komposit. Komposit serat alam memiliki banyak keunggulan dibandingkan bahan tradisional, seperti biayanya yang murah, densitasnya yang rendah, 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. Serat ijuk memiliki nilai kuat tarik tertinggi sebagai *reinforce*. Selain itu serat ijuk juga memiliki ketahanan dari degradasi dan kelembapan. Metode *hand lay-up* memiliki kelebihan seperti fleksibilitas pada berbagai aplikasi dan geometri dengan biaya yang murah serta tidak memerlukan pelatihan khusus sehingga sangat cocok untuk dalam skala laboratorium. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan material komposit dengan variasi jenis polimer termoset (polyester tak jenuh, *vinyl ester*, dan epoksi) dan diperkuat fraksi berat serat ijuk sebesar 0, 5, 10, 15%. Komposit *vinyl ester* merupakan resin yang menghasilkan nilai sifat mekanik tertinggi diikuti oleh komposit epoksi dan komposit *unsaturated polyester*. Komposit *vinyl ester* mencapai nilai kuat tarik 41,22 Mpa, disusul oleh komposit epoksi 35,24 MPa dan komposit *unsaturated polyester* 28,58 MPa. Hasil uji tarik pada komposit resin *unsaturated polyester* dengan masing-masing fraksi berat 0, 5 10, 15% adalah 19,48 MPa, 20,87 MPa, 24,04 MPa, dan 28,58 MPa. Hasil uji tarik pada komposit resin epoksi dengan masing-masing fraksi berat 0, 5 10, 15% adalah 21,72 MPa, 22,55 MPa, 28,14 MPa, dan 35,24 MPa. Hasil uji tarik pada komposit resin *vinyl ester* dengan masing-masing fraksi berat 0, 5 10, 15% adalah 24,32 MPa, 29,63 MPa, 34,53 MPa, dan 41,2 MPa. Nilai kuat tarik komposit tertinggi pada masing-masing resin terdapat pada fraksi berat serat ijuk 15%. Dari hasil SPSS analisa *homogeneity* dengan signifikansi sebesar  $0,096 > 0,05$  yang berarti variasi fraksi berat adalah homogen. Pada uji *analysis of variance* signifikansinya adalah  $0,758 > 0,05$  yang berarti fraksi berat tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap densitas. Berdasarkan hasil uji tarik yang didapat, sesuai dengan SNI 03-xxxx-2000 yaitu sebesar 17-60 MPa.

**Kata Kunci :** Komposit, serat ijuk, resin termoset, metode *hand lay-up*

## KATA PENGANTAR

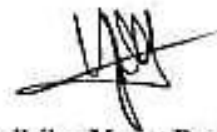
Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan penelitian dan skripsi ini.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc. selaku Ketua sekaligus Koordinator Skripsi Jurusan Teknik Metalurgi FT. Untirta;
2. Ibu Tri Partuti, S.Si., M.Si. dan Ibu Yanyan Dwiyanti, S.Si., M. Si. selaku Dosen Pembimbing I dan II yang telah memberikan bimbingan, saran dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Harapan penulis semoga skripsi ini berguna sebagai acuan penelitian bagi penulis dan bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa maupun pihak-pihak lain yang memerlukannya sebagai bahan kajian dan studi maupun sumber referensi. Atas perhatiannya, penulis ucapkan terima kasih.

Cilegon, Maret 2023



Andhika Yoga Pradana

# DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	iii
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	i
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Komposit .....	6
2.2 Komposit Serat Alam .....	7
2.3 Serat Alam.....	9
2.4 Polimer Termoset .....	10
2.4.1 Poliester tak jenuh .....	12

2.4.2 Vinyl ester	14
<b>DAFTAR ISI</b>	
2.4.3 Epoksi	16
2.5 Serat Ijuk .....	19
2.6 Metode Hand Lay-Up.....	22
2.7 <i>Rule of Mixture</i> .....	27
2.8 Pengaruh Alkalisasi NaOH.....	28
2.9 Pengaruh Jenis Matrik Pada Komposit.....	30
2.10 Pengaruh Fraksi Serat Pada Komposit .....	31
2.11 Uji Tarik .....	34
2.12 Uji Densitas .....	36
2.13 Standar Papan Partikel.....	37

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	39
3.2 Alat dan Bahan .....	40
3.2.1 Alat.....	40
3.2.2 Bahan.....	41
3.3 Prosedur Penelitian .....	41

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Pengaruh Fraksi Berat Serat Ijuk Terhadap Kuat Tarik Komposit . .....	44
4.2 Pengaruh Jenis Matrik Terhadap Kuat Tarik Komposit.....	46
4.3 Hasil Uji Densitas.....	47
4.4 Hasil Uji Statistik .....	49



**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan.....54

5.2 Saran.....54

**DAFTAR PUSTAKA .....56**

**LAMPIRAN A. CONTOH PERHITUNGAN.....64**

**LAMPIRAN B. DATA HASIL PENELITIAN.....67**

**LAMPIRAN C. ALAT DAN BAHAN.....95**

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
Tabel 2.1 Sifat Poliester Tak Jenuh.....	12
Tabel 2.2 Sifat <i>Vinyl ester</i> .....	16
Tabel 2.3 Sifat Fisik dan Mekanik beberapa Serat Alam.....	21
Tabel 2.4 Data <i>Rule of Mixture</i> .....	28
Tabel 2.5 Sifat Mekanik Resin Thermoset .....	31
Tabel 2.6 Syarat Sifat Mekanis Papan Partikel Struktural.....	37
Tabel 2.7 Sifat Fisis dan Mekanis Papan Partikel SNI 03-2105-2006 .....	38
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Kuat Tarik .....	29
Tabel 4.2 Hasil Uji Densitas.....	33
Tabel 4.3 Hasil Uji Normalitas Variabel Fraksi Berat dengan Metode Shapiro-Wilk.....	34
Tabel 4.4 <i>Homogeneity of Variances</i> .....	35
Tabel 4.5 <i>Analysis of Variances</i> .....	36
Tabel 4.6 Hasil Uji Korelasi Pearson .....	37
Tabel B.1 Hasil Pengujian Tarik.....	68
Tabel B.2 Hasil Uji Densitas.....	72
Tabel B.3 Hasil Uji Normalitas Variabel Fraksi Berat dengan Metode Shapiro-Wilk.....	72
Tabel B.4 <i>Homogeneity of Variances</i> .....	73
Tabel B.5 <i>Analysis of Variances</i> .....	73



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Skematik Proses <i>Curing</i> . (A) Monomer/Oligomer Sebelum Proses <i>Curing</i> (B) Rantai Polimer Tergabung Sehingga Viskositas Polimer Meningkat (C) Proses Berlanjut Hingga Membentuk Formasi Gel, Namun Jaringan Ikatan Silang Belum Sempurna (D) Proses <i>Curing</i> Pada Thermoset Selesai	11
Gambar 2.2 Pembuatan Poliester Tak Jenuh	13
Gambar 2.3 Reaksi Ikatan Silang (cross-linked) Poliester Tak Jenuh pada Proses <i>Curing</i>	13
Gambar 2.4 Sintesis Resin <i>Vinyl Ester</i>	15
Gambar 2.5 Reaksi Sintesis DGEBA	17
Gambar 2.6 Proses Reaksi <i>Crosslink</i> pada Resin Epoksi menggunakan <i>Curing Agent Diamine</i>	18
Gambar 2.7 Serat Ijuk	20
Gambar 2.8 Metode <i>Hand Lay-Up</i>	26
Gambar 2.9 Mikrografi SEM (a) Serat tanpa alkalisasi (b) Serat alkalisasi 6% NaOH selama 4 jam	29
Gambar 2.10 Grafik Kuat Tarik Serat terhadap Persen Berat Serat	33
Gambar 2.11 Grafik Kuat Tarik serat terhadap Fraksi Berat Serat	34
Gambar 2.12 Kurva Tegangan dan Regangan dari <i>Fiber, Polymer Matrix</i> , dan FRP <i>Composite</i> (Rahman dan Putra, 2018)	35

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	40
Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Fraksi Berat Serat Ijuk terhadap Kuat Tarik Komposit	45
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Jenis Matrik terhadap Kuat Tarik Komposit	47
Gambar 4.3 Grafik Batang Hasil Uji Densitas	49
Gambar B.1 Hasil Uji Tarik Polyester	68
Gambar B.2 Hasil Uji Tarik Epoksi	69
Gambar B.3 Hasil Uji Tarik <i>Vinyl ester</i>	70
Gambar C.1 Neraca Digital	96
Gambar C.2 Gelas Beker	96
Gambar C.3 Sarung tangan	96
Gambar C.4 Akuades	96
Gambar C.5 <i>Polyester</i>	96
Gambar C.6 Epoksi	96
Gambar C.7 NaOH	96
Gambar C.8 <i>Vinyl ester</i>	96
Gambar C.9 Cetakan Komposit	97
Gambar C.10 <i>Wax</i>	97
Gambar C.11 Serat Ijuk	97
Gambar C.12 Alkohol 70%	97
Gambar C.13 Penampang	97
Gambar C.14 Kain majun	97

Gambar C.15 Penggaris \_\_\_\_\_ 97

Gambar C.16 Gelas Plastik \_\_\_\_\_ 97

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki jumlah penduduk terbanyak di dunia. Berdasarkan hasil dari sensus penduduk tahun 2020 menyatakan bahwa penduduk di negara Indonesia berjumlah 270,2 juta jiwa dengan populasi usia produktif sejumlah 72% dari total populasi penduduk Indonesia (BPS, 2020). Banyaknya penduduk menyebabkan meningkatnya permintaan harga rumah khususnya pada pulau Jawa. Namun dikarenakan keterbatasan lahan maka jumlah rumah menjadi terbatas sehingga harga rumah akan semakin meningkat. Ini mengakibatkan daya beli rumah masyarakat menurun khususnya pada masyarakat berpenghasilan rendah (MBR). Hal itu mengakibatkan munculnya kesenjangan sosial. Untuk mengatasi kesenjangan tersebut maka dalam Peraturan Menteri Negara Perumahan Rakyat Republik Indonesia No. 25 Tahun 2011 tentang Pedoman Penyelenggaraan Rumah Murah, pemerintah menyelenggarakan pembuatan rumah murah agar masyarakat berpenghasilan rendah dapat memiliki hunian layak. Berdasarkan RPJMN (Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional) 2015-2019, target hunian yang akan dibangun oleh pemerintah adalah sebesar 2,2 juta hunian dalam jangka waktu 5 tahun untuk masyarakat berpenghasilan rendah.

Berdasarkan kondisi tersebut maka diperlukan penekanan anggaran pada pembuatan rumah seperti dengan mengganti beberapa material seperti kayu dengan jenis lain. Namun alternatif material tersebut harus memiliki kualitas yang sama dengan kayu sesuai SK SNI 03-xxxx-2000 yaitu sebesar 17-60 MPa (bergantung dari kode mutu kayu). Salah satu caranya adalah dengan menggantikan penggunaan material yang menggunakan kayu menjadi komposit. Kayu sendiri memiliki beberapa kelemahan seperti harga yang cenderung lebih mahal, lebih berat, ketahanan terhadap kelembapan yang rendah serta rawan terhadap ancaman biologis seperti rayap dan jamur. Komposit serat alam memiliki banyak keunggulan dibandingkan bahan tradisional, seperti biayanya yang murah, densitasnya yang rendah, 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

Terdapat penelitian yang dilakukan oleh Sapuan (2012) menggunakan *high impact polystyrene* (HIPS) penguat serat ijuk, Alam (2010) menggunakan *Polypropylene* (PP) penguat serat Jute, dan Munawar (2019) menggunakan komposit epoksi. Didapatkan nilai kuat tarik masing-masing komposit adalah 28.47, 41.3, dan 112 MPa. Berdasarkan penelitian tersebut dapat diketahui nilai kuat tarik tertinggi terdapat pada komposit termoset epoksi. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa komposit bisa menggantikan material kayu (Munawar et al., 2019). Terdapat beberapa penelitian serat alam seperti yang dilakukan oleh Srenivan (2013)



menggunakan serat kenaf, Odusote (2016) menggunakan serat daun nanas dan Munawar (2019) menggunakan serat ijuk. Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan perbandingan nilai kuat tarik antara tiga jenis serat tersebut adalah 20-90,  $69.12 \pm 5.20$ , dan 112 MPa. Dari ketiga penelitian tersebut dipilih serat ijuk dikarenakan memiliki nilai kuat tarik tertinggi sehingga dipilih sebagai *reinforce* dalam penelitian ini. Selain itu serat ijuk juga memiliki ketahanan dari degradasi dan kelembapan (Mardin et al., 2016).

Metode yang digunakan adalah *hand lay-up* dikarenakan memiliki kelebihan seperti fleksibilitas pada berbagai aplikasi dan geometri dengan biaya yang murah serta tidak memerlukan pelatihan khusus sehingga sangat cocok untuk dalam skala laboratorium (Kuppusamy et al., 2020). Pada penelitian ini dilakukan pembuatan material komposit dengan variasi jenis polimer termoset (polyester tak jenuh, *vinyl ester*, dan epoksi) dan fraksi berat serat ijuk sebesar 0, 5, 10, 15%. Adapun penentuan kelayakan dari penelitian ini dapat diketahui dari beberapa pengujian yang dilakukan, yakni uji tarik ASTM D3039, uji densitas ASTM D792, dan uji statistik untuk mengetahui korelasi antara variabel dengan hasil pengujian.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka identifikasi masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh jenis resin *unsaturated polyester* (UP), *vinyl ester* (VE), dan epoksi terhadap nilai kuat tarik dan densitas komposit?

2. Bagaimana pengaruh fraksi berat serat ijuk terhadap kuat tarik dan densitas pada komposit matrik UP, VE, dan epoksi?
3. Bagaimana pengaruh fraksi berat serat ijuk terhadap densitas material komposit?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian ini secara umum adalah memanfaatkan limbah ijuk menjadi material komposit sebagai pengganti peran material kayu pada bahan bangunan. Secara khusus, tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh jenis resin komposit terhadap nilai kuat tarik.
2. Mengetahui pengaruh fraksi berat serat ijuk terhadap nilai kuat tarik komposit.
3. Mengetahui pengaruh fraksi berat serat ijuk terhadap densitas komposit.

### **1.4 Batasan Masalah**

Batasan Masalah untuk penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Serat ijuk sebagai penguat.
2. UP, VE, dan epoksi sebagai matriks pada komposit.
3. Serat ijuk dicuci menggunakan air dan dikeringkan Laboratorium Metalurgi FT UNTIRTA, Cilegon.
4. Serat ijuk direndam dalam larutan NaOH 5% dengan lama perendaman 1 jam Laboratorium Metalurgi–FT UNTIRTA, Cilegon.

5. Proses pembuatan material komposit menggunakan resin UP, VE, dan epoksi dengan *reinforce* serat ijuk yang diberi penguat Metil Etil Keton dengan metode *hand lay-up* dengan variasi arah serat *unidirectional* di Laboratorium Metalurgi – FT UNTIRTA, Cilegon.
6. Material komposit yang telah di cetak didiamkan selama 2 jam untuk proses *curing* di Laboratorium Metalurgi – FT UNTIRTA, Cilegon.
7. Pengujian tarik sampel material komposit menggunakan standar ASTM D3039
8. Pengujian densitas material komposit menggunakan standar ASTM D792 Laboratorium Metalurgi – FT UNTIRTA.

### **1.5 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan proposal penelitian ini terdiri atas lima bab. Bab I menjelaskan tentang latar belakang adanya penelitian, rumusan masalah merupakan dasar penelitian ini, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, hipotesis dan sistematika penulisan. Bab II menjelaskan tentang teori mengenai komposit, biokomposit, hal-hal yang mempengaruhi komposit serat, dan pengujian yang perlu dilakukan pada sampel komposit. Bab III berisi metodologi penelitian yang akan menjelaskan mengenai diagram alir penelitian, alat serta bahan yang digunakan saat penelitian, serta prosedur saat melakukan penelitian. Bab IV menjelaskan mengenai hasil penelitian dan pembahasan yang didukung oleh literatur. Bab V menjelaskan mengenai kesimpulan penelitian yang dikaitkan dengan tujuan penelitian dan saran untuk penelitian berikutnya.

## **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 termoplas 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**

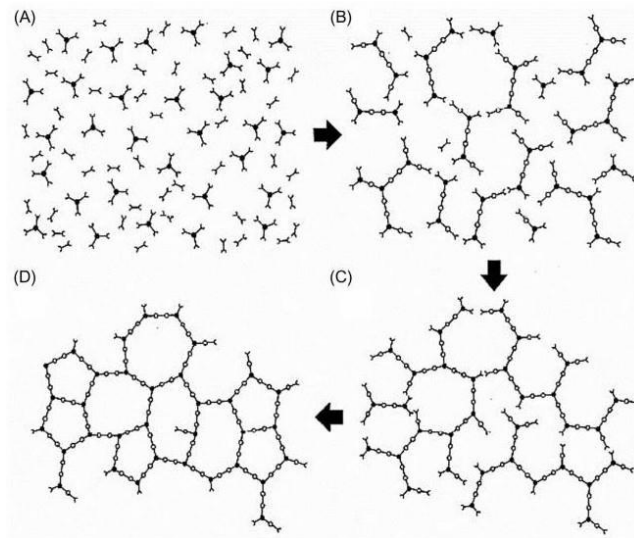
Dalam beberapa dekade terakhir, penggunaan serat alam telah meluas di berbagai bidang. Sebagai contoh, serat pisang, goni, hingga rami telah menggantikan beberapa serat sintetis seperti karbon, kaca, dan boron. Kelimpahannya yang tinggi, kemudahannya untuk diproses, dan keramahlingkungannya merupakan 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



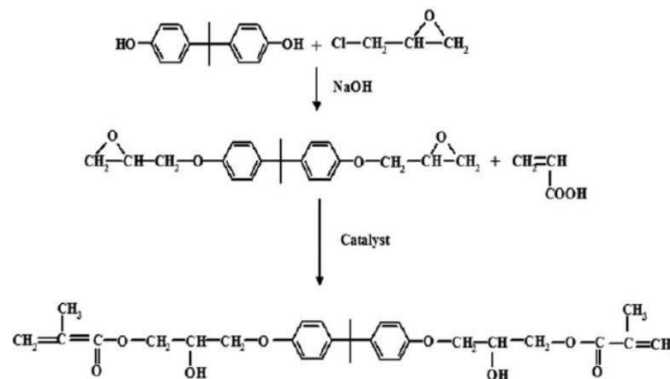
Poliester tak jenuh digunakan dalam berbagai produk komersial seperti plastik, serat, komposit, dan dalam aplikasi pelapisan. Penggunaan polimer ini telah meningkat selama dekade terakhir karena kekuatan spesifiknya yang relatif tinggi, ketahanan terhadap korosi, fleksibilitas desain, dan densitas yang 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*.

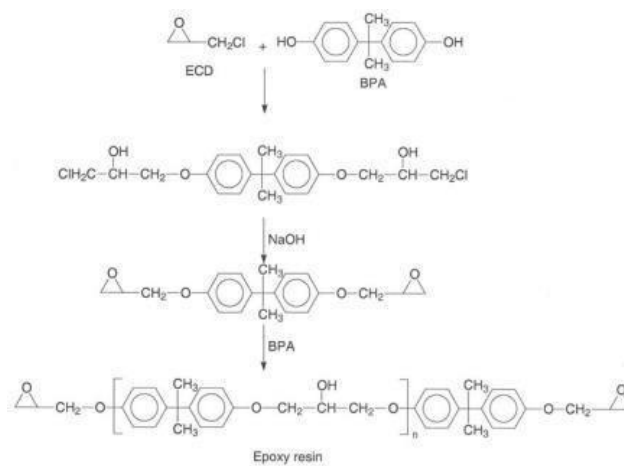
**Tabel 2.2** Sifat resin *vinyl ester* (Dodiuk, 2014)

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.

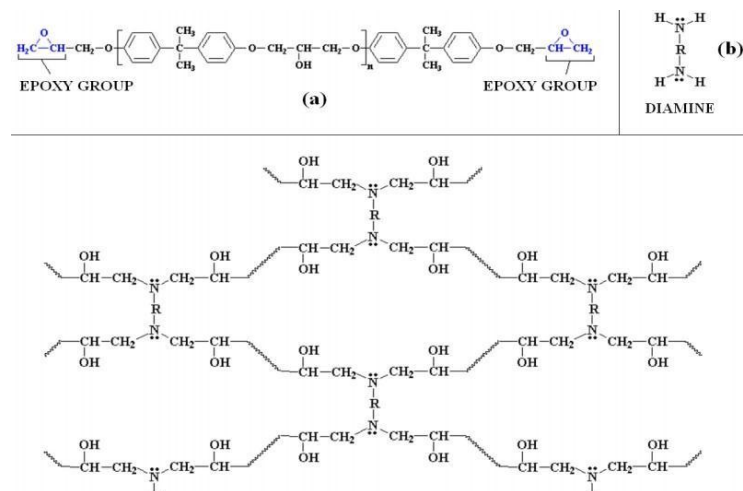


**Gambar 2.5** Reaksi Sintesis DGEBA (Ratna, 2010).

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 (Huzaiyah et al., 2019)

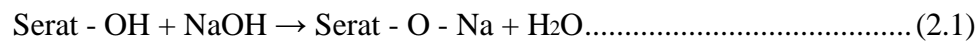
Serat aren terutama terdiri dari selulosa, hemiselulosa, lignin, dan abu (*ash*). Komponen utama dalam serat aren adalah selulosa, yang memberikan kekuatan dan stabilitas serat. Namun selulosa mempengaruhi sifat *hydrophilic* pada serat. Semakin tinggi kandungan selulosa maka serat tersebut akan lebih 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).

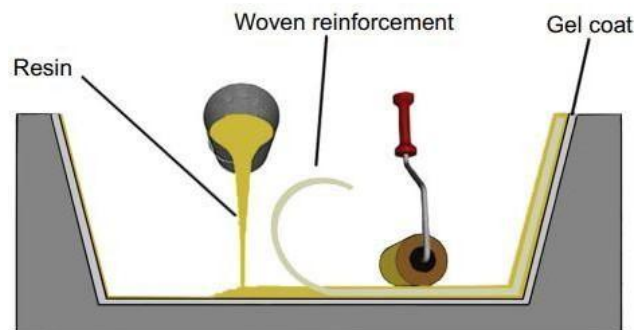
*Hand lay-up* merupakan proses pembuatan komponen komposit yang dilakukan secara manual dengan meletakkan komponen lapisan penguat dan lapisan campuran resin cair serta hardener secara berurutan. Proses ini diulang untuk setiap lapisan sampai ketebalan lapisan yang dibutuhkan tercapai. Sebelum memulai 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.

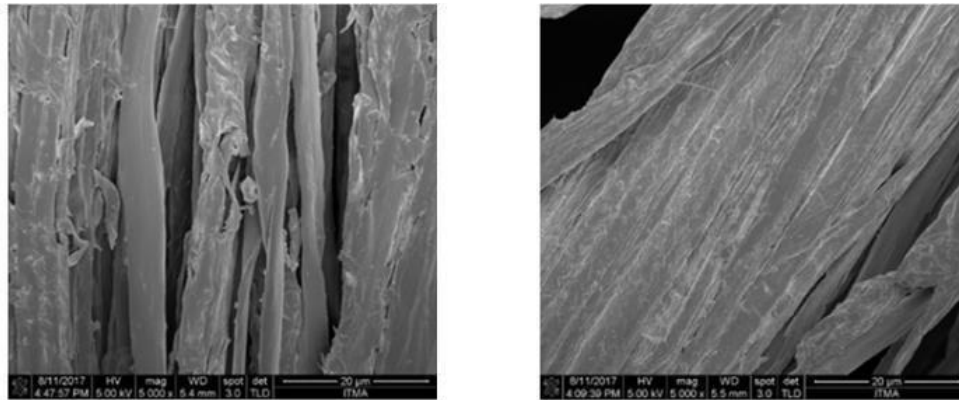
**Tabel 2.4** Data *Rule of Mixture*

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.

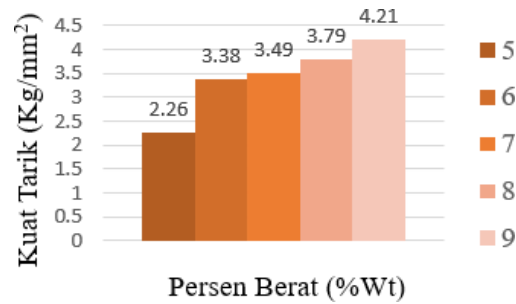
Fraksi berat serat dalam komposit dapat di hitung dengan menggunakan persamaan 2.2

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

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).

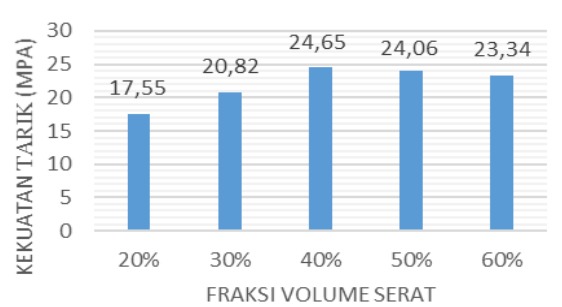
Berdasarkan penelitian Surono pada tahun 2016 didapatkan bahwa komposit polyester BQTN 268 Yukalac dengan *reinforce* serat ijuk dapat meningkatkan nilai kuat tariknya. penelitian tersebut memvariasikan persen berat serat mulai dari 5,6,7,8, dan 9%. Didapatkan nilai kuat tarik pada masing-masing variabel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



**Gambar 2.10** Grafik Kuat Tarik Serat terhadap Persen Berat Serat (Suroño, 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).

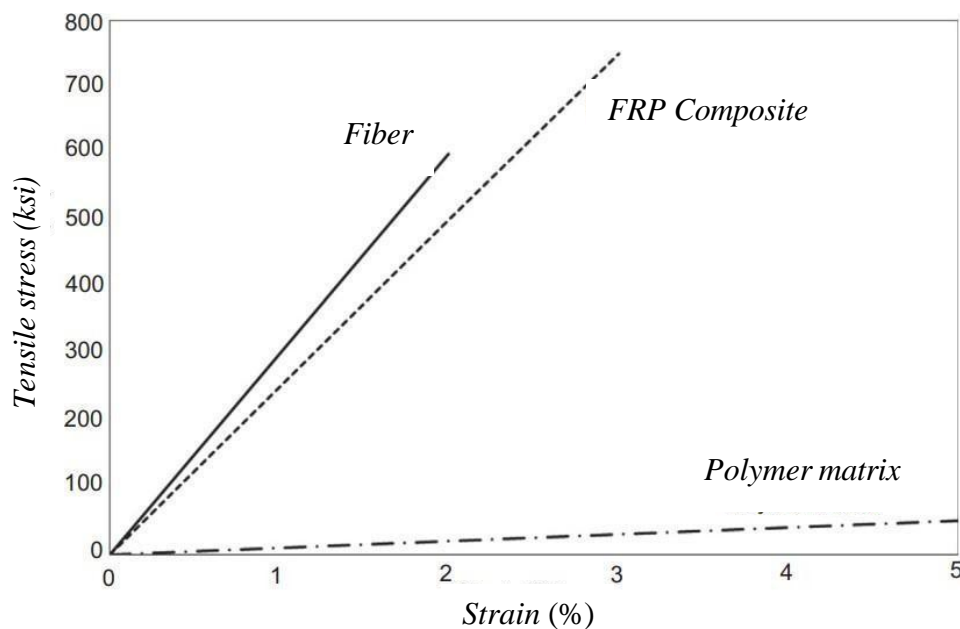
Opsi standar yang sesuai dengan pengujian tarik pada penelitian ini adalah ASTM D638 dan ASTM D3039, tergantung pada jenis komposit polimer yang digunakan. ASTM D638 digunakan untuk komposit polimer dengan orientasi serat acak, diskontinu, dapat dicetak, atau bervolume rendah. Sedangkan ASTM D3039 digunakan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

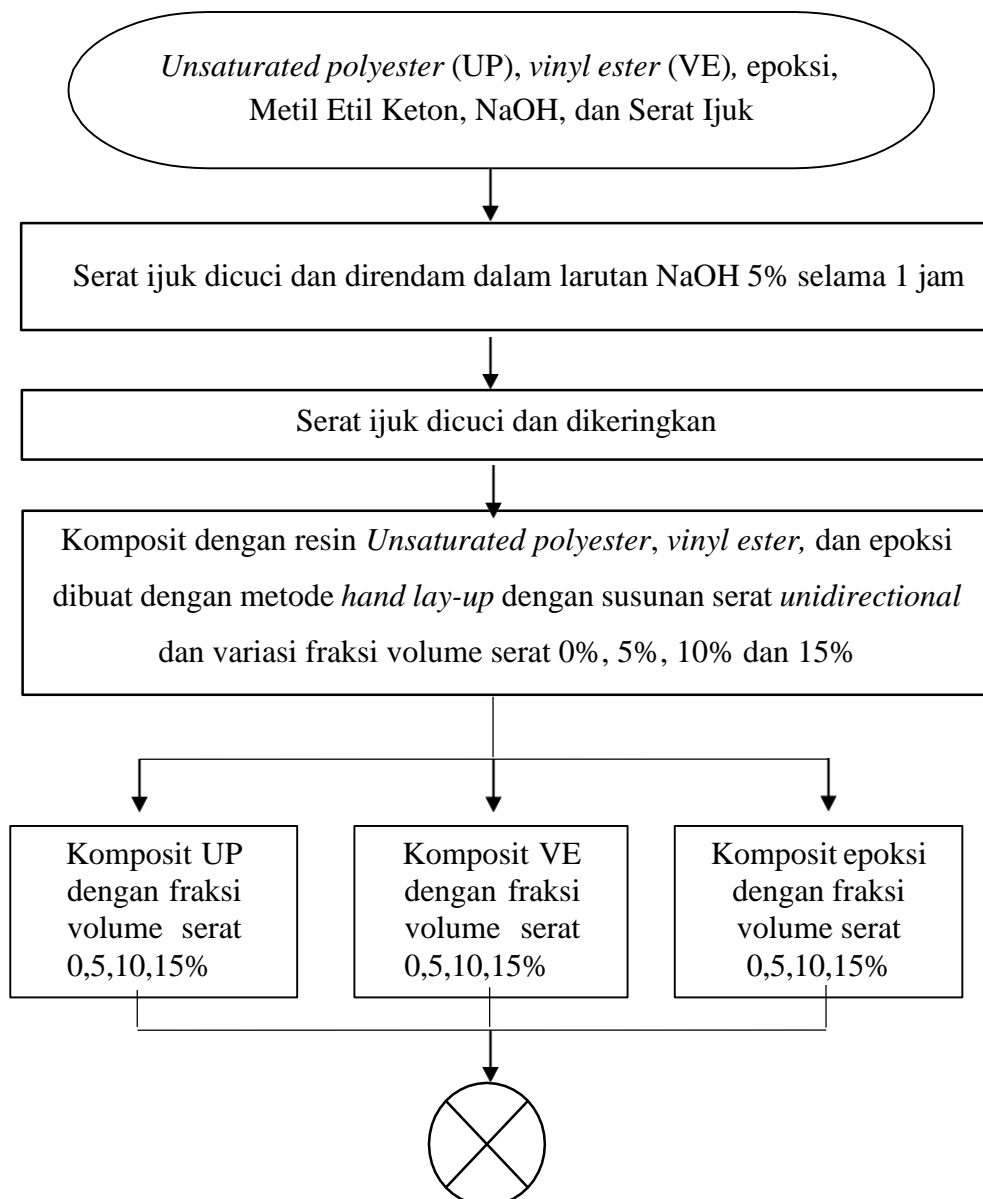
No	Sifat Fisik dan Mekanik	SNI 03-2015-2006
1	Densitas ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	0,4-0,9
2	Kadar air (%)	<14
3	Kuat Tarik Minimum ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )	1,5-3,1
4	Kuat Lentur Minimum ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )	82-184
5	Kekerasan (N)	-

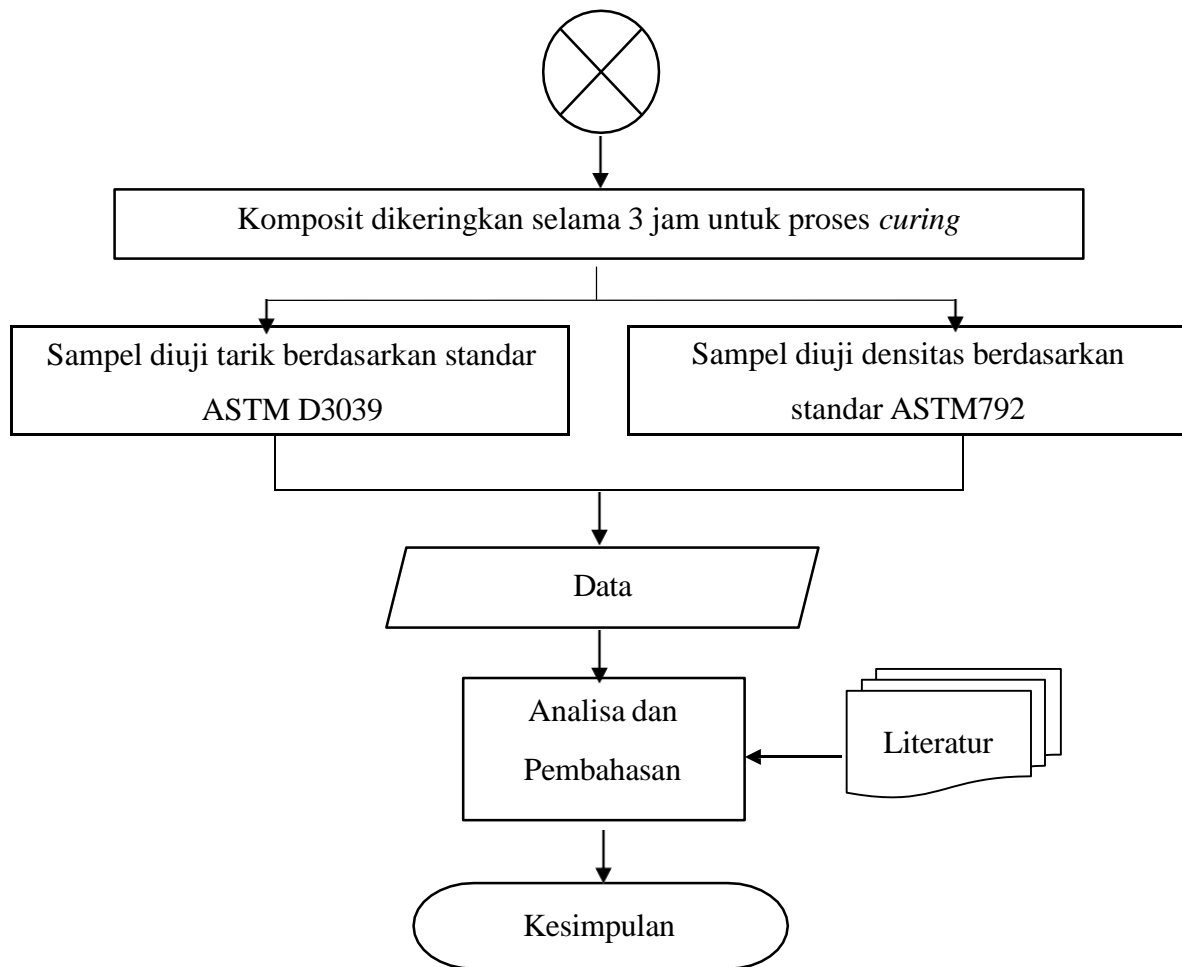
# BAB III

## METODE PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian kali ini akan dijelaskan tahapan tahapan proses penelitian yang dilakukan. Tahapan tahapan penelitian akan dijabarkan menggunakan diagram alir pada Gambar 3.1 dibawah ini.





**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

## 3.2 Alat dan Bahan

### 3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Corong gelas
2. Neraca digital
3. Gelas Beker
4. Pipet Tetes

5. Spatula
6. Wadah Tabung Plastik
7. Cetakan Spesimen
8. Alat uji Tarik

### **3.2.2 Bahan**

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Aquades
2. Resin *unsaturated polyester* 2668 SCHP
3. Resin *vinyl ester Ripoxy R-804 J500*
4. Resin epoksi *bisphenol A*
5. Aquades
6. Larutan NaOH 5%
7. MEK (Metil Etil Keton)
8. Ijuk Pohon Aren

### **3.3 Prosedur Penelitian**

1. Persiapan penelitian

Serat ijuk yang akan digunakan dicuci dengan air mengalir untuk menghilangkan serbuk pengotor serat kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari.

2. Proses Perendaman Ijuk Pada Larutan Alkali (NaOH)

Sebelum digunakan serat ijuk harus direndam terlebih dahulu pada larutan NaOH 5% selama 1 jam. Perendaman ini bertujuan untuk

membuka rantai selulosa pada serat ijuk agar kontak antara serat ijuk dan resin menjadi optimal.

### 3. Pembuatan Cetakan

Cetakan sampel dibuat sesuai standar ASTM D3039, yakni 25 x 2,5 x 0,3 cm. Cetakan dibuat menggunakan kaca yang dipotong lalu dibentuk sesuai dengan ukuran yang telah disediakan.

### 4. Pembuatan Komposit Polimer Menggunakan Metode *Hand Lay-Up*

Material komposit dibuat menggunakan metode *hand lay-up*. Metode ini dilakukan dengan cara meratakan resin dengan menggunakan roller, dilanjutkan dengan *reinforce* dan ditutup Kembali dengan resin. Setelah itu sampel ditutup dengan rapat untuk mengurangi kontaminasi dari luar. Penelitian ini menggunakan jenis resin *Unsaturated polyester, vinyl ester*, epoksi, dan *reinforce* dengan variasi fraksi berat serat ijuk sebesar 0,5,10,15% arah serat *unidirectional*.

### 5. Proses Pengeringan Komposit

Material komposit yang telah dicetak dilakukan pengeringan atau *curing time* dengan lama waktu 3 jam.

### 6. Pengujian Tarik

7. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kuat tarik material komposit yang dibuat pada penelitian ini. Pengujian tarik yang dilakukan menggunakan standar ASTM D3039.

### 8. Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui densitas komposit yang



dibuat pada penelitian ini. Pengujian densitas yang dilakukan menggunakan standar ASTM D792.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengaruh Fraksi Berat Serat Ijuk Terhadap Kuat Tarik Komposit

Sifat mekanik pada komposit dipengaruhi oleh sifat mekanik dari matrik dan penguatnya. Selain dari material penyusunnya, sifat mekanik komposit juga dipengaruhi oleh ikatan antara matrik dan penguatnya. Salah satu dari sifat mekanik tersebut adalah kuat tarik. Kuat tarik dapat didefinisikan sebagai tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh suatu material saat di tarik sebelum patah (Ismail, 2019). Semakin tinggi nilai kuat tarik maka semakin kuat material tersebut dapat menahan suatu beban. Penelitian ini menggunakan variasi komposit resin termoset *unsaturated polyester, vinyl ester* dan epoksi untuk melihat pengaruh fraksi berat, penelitian ini juga menggunakan fraksi berat sebesar 0%,5%,10%, dan 15% serat ijuk terhadap nilai kuat tarik dari komposit. Hasil dari pengujian tarik dapat dilihat pada Tabel 4.1.

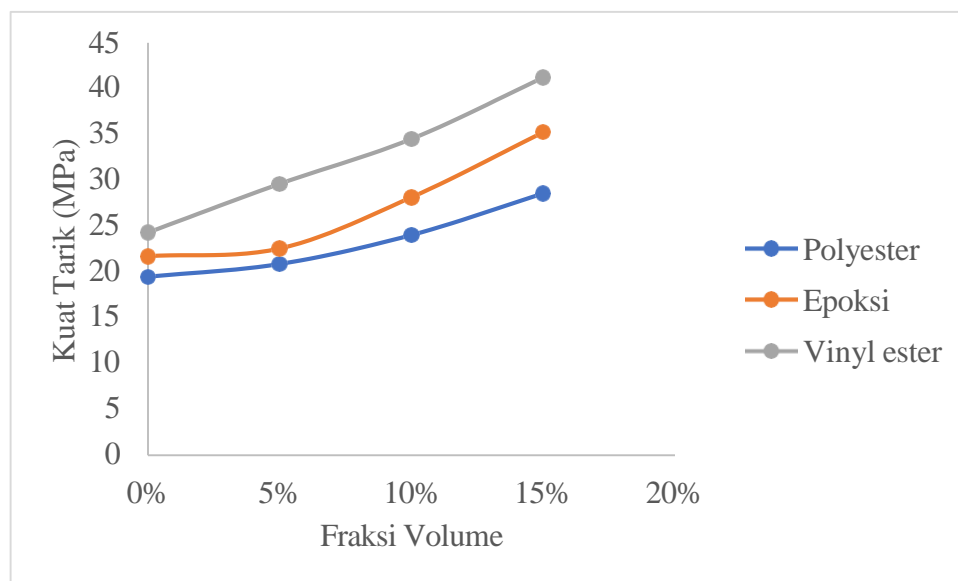
**Tabel 4.1** Data Hasil Pengujian Kuat Tarik

Resin	Fraksi Berat	Kuat Tarik (MPa)
<i>Unsaturated Polyester</i>	0%	19,48
	5%	20,87
	10%	24,04
	15%	28,58

Tabel 4.1 (Lanjutan)

Resin	Fraksi Berat	Kuat Tarik (Mpa)
Epoksi	0%	21,72
	5%	22,55
	10%	28,14
	15%	35,24
<i>Vinyl ester</i>	0%	24,32
	5%	29,63
	10%	34,53
	15%	41,22

Berdasarkan data hasil pengujian kuat tarik pada Tabel 4.1 didapatkan grafik pengaruh fraksi berat serat ijuk terhadap kuat tarik komposit. Pengaruh fraksi berat serat ijuk terhadap kuat tarik komposit dapat dilihat pada Gambar 4.1.

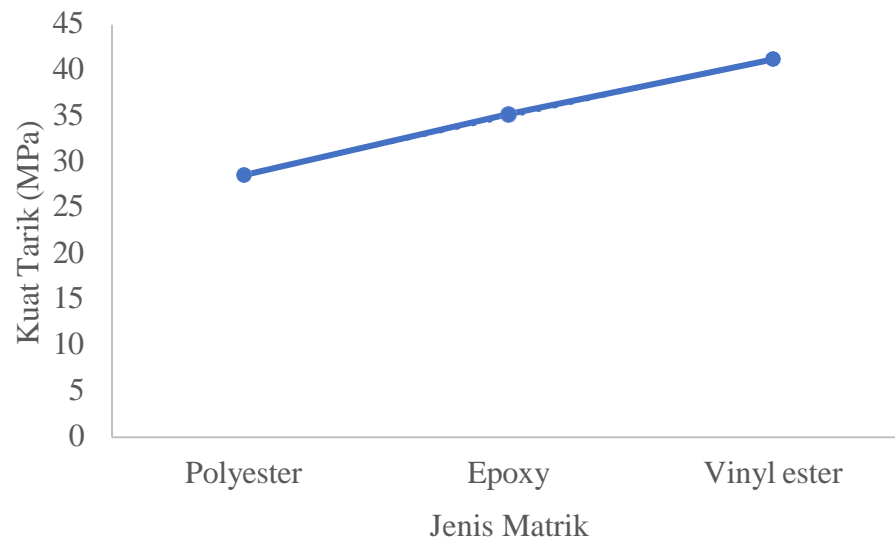


**Gambar 4.1** Grafik Pengaruh Fraksi Berat Serat Ijuk terhadap Kuat Tarik Komposit

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.1 dapat dilihat pengaruh fraksi berat serat ijuk terhadap kuat tarik dimana grafik yang didapat berbentuk linear. Kuat tarik terendah pada masing-masing resin terdapat pada fraksi berat 0% dan kuat tarik tertinggi pada masing-masing resin terdapat pada fraksi berat 15%. Hal ini di selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Fatkhurrohman pada tahun 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).

#### **4.2 Pengaruh Jenis Matrik Terhadap Kuat Tarik 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. Berdasarkan data hasil pengujian kuat tarik pada Tabel 4.1 didapatkan grafik pengaruh fraksi berat serat ijuk terhadap kuat tarik komposit. Pengaruh jenis matrik terhadap kuat tarik komposit dapat dilihat pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Grafik Pengaruh Jenis Matrik terhadap Kuat Tarik Komposit

Kuat tarik tertinggi yaitu pada resin *vinyl ester* dengan fraksi berat serat ijuk 15% sebesar 41,22 MPa, epoksi dengan fraksi berat serat ijuk 15% sebesar 35,24 Mpa, dan yang paling rendah *unsaturated polyester* dengan fraksi berat serat ijuk 15% sebesar 28,58 MPa. Hal ini di selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Fatkhurrohman pada tahun 1999. Berdasarkan penelitian tersebut didapat kesimpulan dalam keadaan *neat resin*, resin dengan nilai kuat tarik tertinggi terdapat pada resin *vinyl ester*, lalu epoksi dan resin *unsaturated polyester*. Hal ini dikarenakan panjangnya rantai molekul dan banyaknya ikatan *crosslink* pada *vinyl ester* sehingga mampu menahan beban yang diberikan (Orozco, 1999)

#### 4.3 Hasil Uji Densitas

Pada penelitian ini komposit yang digunakan menggunakan variasi jenis matrik menggunakan resin termoset *unsaturated polyester*, *vinyl ester*, dan epoksi

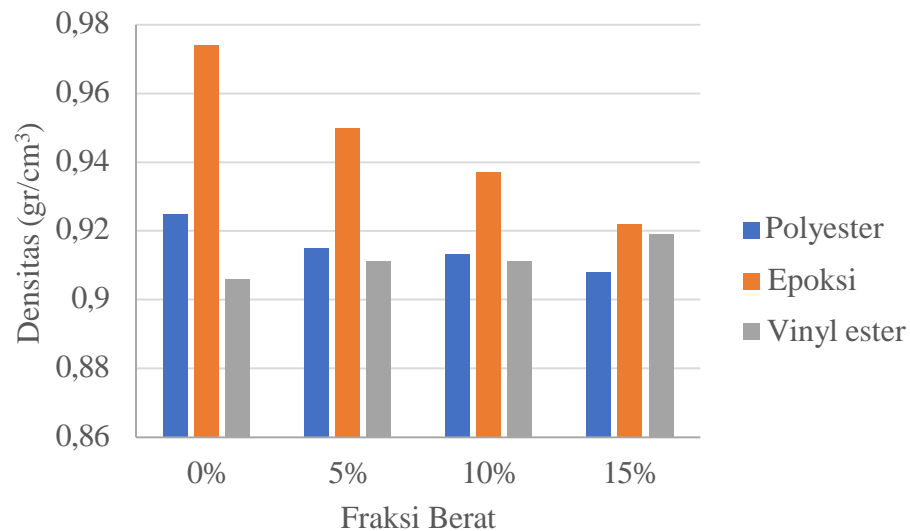
dengan variasi fraksi berat serat ijuk 0%, 5%, 10%, dan 15%. Dengan variasi yang digunakan diperoleh nilai densitas pada komposit serat ijuk yang dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Hasil Uji Densitas

Resin	Fraksi Berat	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )
<i>Unsaturated Polyester</i>	0%	0,925
	5%	0,915
	10%	0,913
	15%	0,908
	0%	0,974
	5%	0,95
	10%	0,937
	15%	0,922
	0%	0,906
	5%	0,911
	10%	0,911
	15%	0,919

Pengujian densitas merupakan pengujian sifat fisik terhadap spesimen, yang bertujuan untuk mengetahui nilai kerapatan massa dari spesimen yang diuji. Rapat massa (*mass density*) suatu zat adalah massa zat per satuan berat. Dari hasil pengukuran dan pengamatan yang dilakukan, terdapat perbedaan yang relatif kecil. Perbedaan ini disebabkan karena adanya luasan dari penampang serat yang tidak sama, juga pengaruh dari susunan serat yang tidak teratur sehingga menyebabkan

perbedaan hasil pada uji densitas. Grafik batang hasil uji densitas terdapat pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Grafik Batang Hasil Uji Densitas

#### 4.4 Hasil Uji Statistik

Untuk melihat seberapa besar pengaruh variabel fraksi berat serat ijuk dan jenis matrik dapat dilakukan dengan menggunakan statistik. Metode pengujian statistik yang digunakan adalah uji korelasi pearson. Uji korelasi pearson dilakukan untuk mengetahui hubungan monoton antara 2 variabel. Hubungan monoton antara 2 variabel adalah hubungan di mana ketika nilai 1 variabel meningkat, maka nilai variabel tersebut juga akan meningkat atau menurun. Berdasarkan pengujian tersebut didapati hubungan korelasi antara masing masing variabel (Schober,2018).

Namun sebelum melakukan pengujian korelasi pearson data tersebut harus memiliki distribusi yang normal. Normalnya distribusi data dapat diketahui dengan menggunakan uji normalitas. Salah satu metode yang digunakan adalah metode

Shapiro-Wilk. Metode Shapiro-Wilk digunakan karena metode tersebut cocok digunakan pada sampel dengan populasi kurang dari 50 (Mishra,2019). Hasil uji normalitas dapat dilihat pada tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Hasil Uji Normalitas Variabel Fraksi Berat dengan Metode Shapiro-Wilk

	Fraksi Berat	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		<i>Statistic</i>	<i>df</i>	<i>Sig.</i>	<i>Statistic</i>	<i>df</i>	<i>Sig.</i>
Densitas	0,00%	,279	3	.	,939	3	,524
	5,00%	,352	3	.	,826	3	,178
	10,00%	,361	3	.	,807	3	,132
	15,00%	,308	3	.	,902	3	,391

Normalnya suatu data dapat dilihat dari nilai signifikan (P) yang terdapat pada Tabel 4.5 dan 4.6. Jika nilai P dari suatu data kecil dari 0,05, maka sampel tidak terdistribusi secara normal. Sedangkan jika nilai P lebih besar dari 0,05 maka sampel dapat dikatakan sampel terdistribusi secara normal. Berdasarkan nilai tabel tersebut dapat kita lihat semua data pada variabel bulan dan lapisan memiliki nilai  $P > 0,05$ , sehingga dapat disimpulkan bahwa data dari penelitian tersebut berdistribusi normal. Data yang berdistribusi normal dapat mempresentasikan populasi dari sampel tersebut (Misra, 2019).

Dasar pengambilan keputusan untuk uji homogenitas yaitu jika Probabilitas *value* (sig.) dibawah 0,05 maka  $H_0$  ditolak dan  $H_0$  diterima jika Probabilitas *value* (sig.)  $> 0,05$ . Hasil analisis *homogeneity* densitas dapat dilihat pada Tabel 4.4. Diketahui bahwa besarnya angka *Levene Statistic* adalah 2,991 sedangkan



signifikansinya adalah 0,096 yang berarti lebih besar dari 0,05 yang berarti asumsi bahwa variabel fraksi berat dapat diterima.

**Tabel 4.4 Homogeneity of Variances**

		<i>Levene</i>			
		<i>Statistic</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>Sig.</i>
Densitas	<i>Based on Mean</i>	2,991	3	8	,096
	<i>Based on Median</i>	,605	3	8	,630
	<i>Based on Median and with adjusted df</i>	,605	3	5,221	,639
	<i>Based on trimmed mean</i>	2,685	3	8	,117

Uji *Analysis of Variance* berfungsi untuk membandingkan rata-rata populasi untuk mengetahui perbedaan signifikan dari dua atau lebih kelompok data. Dasar pengambilan keputusan *analysis of variance* yaitu jika nilai sig < 0,05 maka ada perbedaan rata-rata ( $H_0$  ditolak) dan jika nilai sig > 0,05 maka tidak ada perbedaan rata-rata ( $H_0$  diterima). Hasil *analysis of variance* dari densitas dapat dilihat pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5 Analysis of Variances**

	<i>Sum of</i>		<i>Mean</i>		
Densitas	<i>Squares</i>	<i>df</i>	<i>Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Between Groups</i>	,001	3	,000	,398	,758
<i>Within Groups</i>	,004	8	,000		
<i>Total</i>	,004	11			

Hasil *analysis of variance* uji densitas pada tabel 4.5 menunjukkan bahwa besarnya nilai signifikannya adalah 0,758 lebih besar dari 0,05, dengan demikian

rata-rata densitas sama ( $H_0$  diterima). Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan rata-rata nilai densitas bahan komposit matrik resin berpenguat serat ijuk dengan variasi fraksi berat serat ijuk. Hasil uji korelasi pearson dapat dilihat pada tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Hasil Uji Korelasi Pearson

		Resin	Fraksi Berat	Kuat Tarik (Mpa)	Densitas
Resin	<i>Pearson Correlation</i>	1	,000	,585	-,074
	<i>Sig. (2-tailed)</i>		1,000	,045	,820
	N	12	12	12	12
Fraksi Berat	<i>Pearson Correlation</i>	,000	1	,770	-,352
	<i>Sig. (2-tailed)</i>	1,000		,003	,261
	N	12	12	12	12
Kuat Tarik (Mpa)	<i>Pearson Correlation</i>	,585	,770		
	<i>Sig. (2-tailed)</i>	,045	,003		
	N	12	12		
Densitas	<i>Pearson Correlation</i>	-,074	-,352		
	<i>Sig. (2-tailed)</i>	,820	,261		
	N	12	12		

Nilai korelasi antara variabel resin dan kuat tarik adalah 0,585. Sedangkan nilai korelasi antara variabel fraksi berat dan kuat tarik adalah 0,770. Dengan menggunakan penelitian Schober (2018) sebagai acuan, maka hubungan antara variabel tersebut dapat ditentukan. Nilai korelasi antara 0,10-0,39 termasuk kategori korelasi lemah, sedangkan jika nilai korelasi antara 0,40–0,69 termasuk dalam katagori korelasi sedang, dan jika nilai korelasi antara 0,70–0,89 termasuk

dalam katagori korelasi kuat. Sehingga dapat ditentukan korelasi variabel resin dan kuat tarik adalah masuk dalam kategori korelasi sedang, sedangkan hubungan antara variabel fraksi berat dan kuat tarik masuk dalam kategori korelasi kuat.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Komposit *vinyl ester* merupakan resin yang menghasilkan nilai sifat mekanik tertinggi diikuti oleh komposit epoksi dan komposit *unsaturated polyester*. *Vinyl ester* mencapai nilai kuat tarik 41,22 Mpa, disusul oleh epoksi 35,24 MPa dan *unsaturated polyester* 28,58 MPa.
2. Nilai kuat tarik komposit tertinggi pada masing-masing resin terdapat pada fraksi berat serat ijuk 15%.
3. Dari hasil SPSS analisa *homogeneity* dengan signifikansi sebesar  $0,096 > 0,05$  yang berarti variasi fraksi berat adalah homogen. Pada uji *analysis of variance* signifikansinya adalah  $0,758 > 0,05$  yang berarti fraksi berat tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap densitas.

#### 5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Melakukan pengujian FTIR untuk melihat gugus yang terbentuk pada komposit.

2. Mempelajari pengaruh proses pengadukan untuk memastikan tidak ada gelembung yang terbentuk saat proses penuangan.

## DAFTAR PUSTAKA

Alam, A., Beg, H., & Ahmad Khan, M. (2010). *Study of natural fibers reinforced thermoplastic composites and their comparative study Preparation of Poly(ethylene terephthalate)-Based Proton-Exchange Membranes Through the Ultraviolet-Induced Graft Copolymerization of Allyl Methacrylate for Applications in Fuel Cells View project.*  
<https://doi.org/10.13140/2.1.1809.9208>

Ammar, I. M., Huzaifah, M. R. M., Sapuan, S. M., Ishak, M. R., & Leman, Z. B. (2018). Development of Sugar Palm Fiber Reinforced Vinyl Ester Composites. In *Natural Fibre Reinforced Vinyl Ester and Vinyl Polymer Composites* (pp. 211–224). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102160-6.00011-1>

Astuti, M. (2014). *Pedoman Budidaya Aren (Arenga pinnata MERR) yang baik.* Kementerian Pertanian Direktorat Jenderal Perkebunan.

ASTM (1998) —*Standard Test Method for Water Absorption of Plastics.* ASTM D570-98. West Conshohocken, PA.

ASTM (2007) —*Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials.* ASTM D7264/7264M-07. West Conshohocken, PA.

ASTM (2008) — *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*. ASTM D3039/D3039M-08. West Conshohocken, PA.

Athawale, A. A., & Pandit, J. A. (2019). Unsaturated polyester resins, blends, interpenetrating polymer networks, composites, and nanocomposites: State of the art and new challenges. In *Unsaturated Polyester Resins: Fundamentals, Design, Fabrication, and Applications* (pp. 1–42). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816129-6.00001-6>

Badan Standardisasi Nasional (2006) *Papan Partikel, Standar Nasional Indonesia (Papan Serat)*.

BPS. (2014). *Statistik Industri Manufaktur*. 1, 6–8. <https://doi.org/10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004>

Bunsell, A. (2005). *Fundamentals of Fibre Reinforced Composite Materials*.

Capper, R. R., & Foreman, J. P. (2018). Internal antiplasticisation in highly crosslinked amine cured multifunctional epoxy resins. *Polymer*, 146, 321–330. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2018.05.048>

Chand, N. (2021). *Tribology of Natural Fiber Polymer Composites*.

Choo, V. K. (1990). *Fundamentals of Composite Materials*.

Devaraju, S., & Alagar, M. (2019). Unsaturated polyester-macrocomposites. In *Unsaturated Polyester Resins: Fundamentals, Design, Fabrication, and Applications* (pp. 43–66). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816129-6.00002-8>

Dodiuk, H. (2014). *Thermoplastics and thermoplastic composites*. Elsevier/WA.

Fatkhurrohman. (2016). *STUDI FRAKSI VOLUME SERAT TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT POLYESTER BERPENGUAT SERAT POHON AREN (IJUK)*.

Hao, L. C., Sapuan, S. M., Hassan, M. R., & Sheltami, R. M. (2018). Natural fiber reinforced vinyl polymer composites. In *Natural Fibre Reinforced Vinyl Ester and Vinyl Polymer Composites* (pp. 27–70). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102160-6.00002-0>

Huzaifah, M. R. M., Sapuan, S. M., Leman, Z., & Ishak, M. R. (2019). Effect of Fibre Loading on the Physical, Mechanical and Thermal Properties of Sugar Palm Fibre Reinforced Vinyl Ester Composites. *Fibers and Polymers*, 20(5), 1077–1084. <https://doi.org/10.1007/s12221-019-1040-0>



Ishak, M. R., Sapuan, S. M., Leman, Z., Rahman, M. Z. A., & Anwar, U. M. K. (2012). Characterization of sugar palm (*Arenga pinnata*) fibres Tensile and thermal properties. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, *109*(2), 981–989. <https://doi.org/10.1007/s10973-011-1785-1>

Kuppusamy, R. R. P., Rout, S., & Kumar, K. (2020). Advanced manufacturing techniques for composite structures used in aerospace industries. In *Modern Manufacturing Processes* (pp. 3–12). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819496-6.00001-4>

Madhav, H., Singh, N., & Jaiswar, G. (2019). Thermoset, bioactive, metal-polymer composites for medical applications. In *Materials for Biomedical Engineering: Thermoset and Thermoplastic Polymers* (pp. 105–143). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816874-5.00004-9>

Mallick, P. K. (2017). *Processing of Polymer Matrix Composites*. <http://taylorandfrancis.com>

Mardin, H., Wardana, I. N. G., Pratikto, Suprpto, W., & Kamil, K. (2016). Effect of Sugar Palm Fiber Surface on Interfacial Bonding with Natural Sago Matrix. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/9240416>

- Munawar, N. S. Z., Ishak, M. R., Shahroze, R. M., Jawaid, M., & Zuhri, M. Y. M. (2019). *An Investigation of the Morphological and Tensile Properties of Vacuum Resin Impregnated Sugar Palm Fibers with Various Thermosetting Resins.*
- Nascimento, L. F. C., da Luz, F. S., Costa, U. O., Braga, F. de O., Lima Júnior, É. P., & Monteiro, S. N. (2019). Curing Kinetic Parameters of Epoxy Composite Reinforced with Mallow Fibers. *Materials*, 12(23), 3939. <https://doi.org/10.3390/ma12233939>
- Oodusote, J., & Kumar, V. (2016). Mechanical Properties of Pineapple Leaf Fibre Reinforced Polymer Composites for Application as Prosthetic Socket. *Journal of Engineering Technology*, 6(1), 24–32. <https://doi.org/10.21859/jet-06011>
- Orozco, R. (1999). *Effects of toughened matrix resins on composite materials for wind turbine blades.*
- Panda, S., & Behera, D. (2019). Unsaturated polyester nanocomposites. In *Unsaturated Polyester Resins: Fundamentals, Design, Fabrication, and Applications* (pp. 101–124). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816129-6.00004-1>

Parameswaranpillai, J., Hameed, N., Pionteck, J., & Woo, E. M. (2017). *Handbook of Epoxy Blends*.

Rahman, R. dan Putra, S. Z. F. S. (2018) *Tensile properties of natural and synthetic fiber-reinforced polymer composites, Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*. Elsevier Ltd. doi: 10.1016/B978-0-08-102292-4.00005-9.

Raji, M., Abdellaoui, H., Essabir, H., Kakou, C. A., Bouhfid, R., & el Kacem Qaiss, A. (2019). Prediction of the cyclic durability of woven-hybrid composites. In *Durability and Life Prediction in Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites* (pp. 27–62). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102290-0.00003-9>

Rangappa, M. S. (2020). *Lightweight Polymer Composite Structures; Design and Manufacturing Techniques*.

Rashid, M. M., Samad, S. A., Gafur, M. A., Rakibul Qadir, M., & Chowdhury, A. M. S. (2016). Effect of Reinforcement of Hydrophobic Grade Banana (*Musa ornata*) Bark Fiber on the Physicomechanical Properties of Isotactic Polypropylene. *International Journal of Polymer Science*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/9017956>

Ratna, Debdatta. (2010). *Handbook of thermoset resins*. ISmithers.

Sapuan, S. M. (2019). *Sugar Palm Biofibers, Biopolymers, and Biocomposites*.

Sapuan, S. M., & Bachtiar, D. (2012). Mechanical Properties of Sugar Palm Fibre Reinforced High Impact Polystyrene Composites. *Procedia Chemistry*, 4, 101–106. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2012.06.015>

Sapuan S.M. (2017). *Composite Materials*. Elsevier .

Sreenivasan, S., Sulaiman, S., Baharudin, B. T. H. T., Ariffin, M. K. A., & Abdan, K. (2013). Recent developments of kenaf fibre reinforced thermoset composites: Review. *Materials Research Innovations*, 17(SUPPL 2). <https://doi.org/10.1179/1432891713Z.000000000312>

Surono, B. U. (2016). Prosiding Seminar Nasional XI "Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi. In *Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta* (Vol. 298).

Vascova, H. (2011). *Quasi real-time monitoring of epoxy resin*.

Vimalathithan, P. K., & Vijayakumar, C. T. (2018). Characterization of cenosphere-reinforced vinyl ester composites. *Journal of Elastomers and Plastics*, 50(2), 95–106. <https://doi.org/10.1177/0095244317708591>

**LAMPIRAN A**  
**CONTOH PERHITUNGAN**

### A.1 Perhitungan Konsentrasi NaOH 5%

Untuk menyiapkan 1000 mL larutan NaOH dengan konsentrasi 5% maka,

$$\% \text{Larutan} = \frac{\text{massa zat terlarut (gr)}}{\text{massa zat pelarut (mL)}} \times 100$$

$$5\% = \frac{\text{massa zat terlarut (gr)}}{1000 \text{ mL}} \times 100$$

$$\text{massa zat terlarut (gr)} = \frac{5 \times 1000 \text{ mL}}{100}$$

Massa zat terlarut = 50 gr

### A.2 Perhitungan Komposisi Komposit

Diketahui :

$$\text{Berat sampel} = 25 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm} \times 0,3 \text{ cm} = 18,75 \text{ cm}^3$$

$$\rho \text{ ijuk} = 1,4 \text{ gr/cm}^3$$

$$\rho \text{ polyester} = 1,1 \text{ gr/cm}^3$$

$$\rho \text{ epoksi} = 1,2 \text{ gr/cm}^3$$

$$\rho \text{ vinyl ester} = 1,1 \text{ gr/cm}^3$$

1. Mencari berat serat (pada fraksi berat 5%)

$$\text{Berat serat (gr)} = \text{Berat ijuk} \times \rho \text{ ijuk}$$

$$\text{Berat serat (gr)} = (\text{Berat sampel} \times \% \text{Berat serat}) \times \rho \text{ ijuk}$$

$$\text{Berat serat (gr)} = (18,75 \times 5\%) \times 1,4 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Berat serat (gr)} = 3,937 \text{ gr}$$

2. Mencari berat resin (pada fraksi berat 5%)

$$\text{Berat serat (gr)} = \text{Berat resin} \times \rho \text{ polyester}$$

$$\text{Berat serat (gr)} = (\text{Berat sampel} \times \% \text{Berat resin}) \times \rho \text{ polyester}$$

$$\text{Berat serat (gr)} = (18,75 \times 95\%) \times 1,1 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Berat serat (gr)} = 17,531 \text{ gr}$$

### A.3 Perhitungan Nilai Densitas

Diketahui sampel *polyester* 5%

$$SG = \frac{a}{a+w-b}$$

$$SG = \frac{25,784}{25,784+27,509-25,509}$$

$$SG = \frac{25,784}{27,784}$$

$$SG = 0,928$$

$$\text{Densitas sampel} = SG \times \rho \text{ air}$$

$$\text{Densitas sampel} = 0,928 \times 0,997$$

$$\text{Densitas sampel} = 0,925 \text{ gr/cm}^3$$

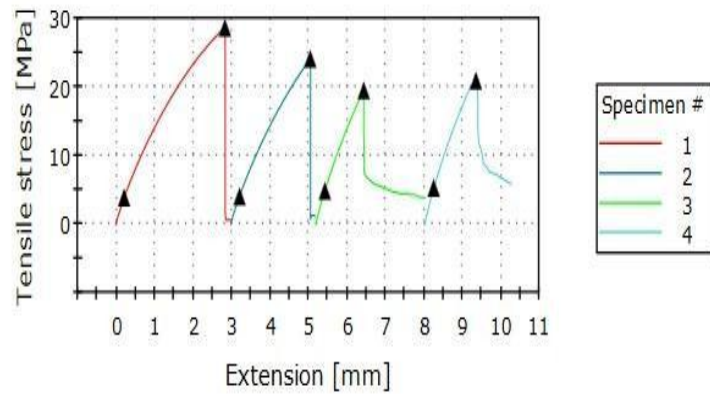


**LAMPIRAN B**  
**DATA HASIL PENELITIAN**

**B.1 Data Hasil Uji Tarik****Tabel B.1** Hasil Pengujian Tarik

Resin	Fraksi Berat	Kuat Tarik (Mpa)
<i>Unsaturated Polyester</i>	0%	19,48
	5%	20,87
	10%	24,04
	15%	28,58
Epoksi	0%	21,72
	5%	22,55
	10%	28,14
	15%	35,24
<i>Vinyl ester</i>	0%	24,32
	5%	29,63
	10%	34,53
	15%	41,22

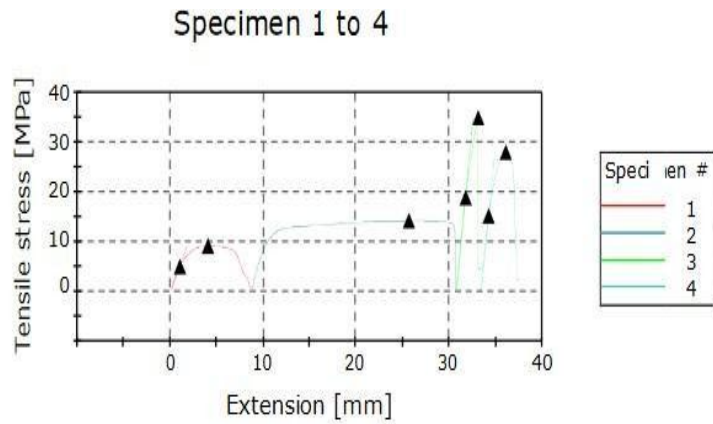
Specimen 1 to 4



Results table 1

	Width [mm]	Thickness [mm]	Max Load [N]	Tensile stress [MPa]	Tensile stress at Yield [MPa]	Tensile strain (Extension) at Maximum Load [%]	Modulus 1 (Gpa)	Code
1	25.66	3.78	2768.85	28.58	3.94	5.665	0.505	Polyester 15%
2	25.81	3.34	2075.67	24.04	4.13	4.132	0.582	Polyester 10%
3	24.99	3.18	1549.12	19.48	4.95	2.499	0.780	Polyester 0
4	24.74	3.25	1676.56	20.87	5.32	2.667	0.782	Polyester 5%
Mean	25.30	3.39	2017.55	23.24	4.58	3.741	0.662	
Maximum	25.81	3.78	2768.85	28.58	5.32	5.665	0.782	
Minimum	24.74	3.18	1549.12	19.48	3.94	2.499	0.505	

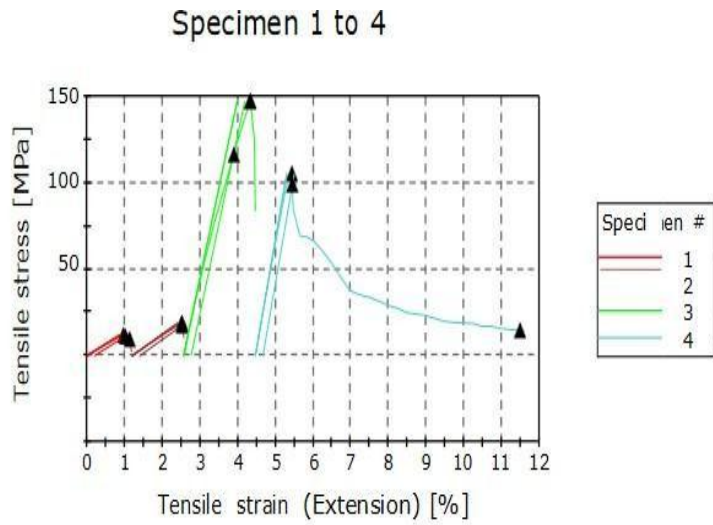
Gambar B.1 Hasil Uji Tarik Polyester



Results table 1

	Width [mm]	Thickness [mm]	Max Load [N]	Tensile stress [MPa]	Tensile stress at Yield [MPa]	Tensile strain (Extension) at Maximum Load [%]	Modulus 1 (Gpa)	Code
1	27.40	3.06	752.98	21.72	4.82	7.970	0.113	Epoxy 0
2	27.27	3.14	1210.96	22.55	12.42	33.932	0.042	Epoxy 5%
3	26.75	3.25	3063.90	35.24	18.94	4.766	0.739	Epoxy 15%
4	27.98	3.16	2487.84	28.14	15.13	5.415	0.520	Epoxy 10%
Mean	27.35	3.15	1878.92	26.92	12.96	13.021	0.353	
Maximum	27.98	3.25	3063.90	35.24	18.94	33.932	0.739	
Minimum	26.75	3.06	752.98	21.72	4.82	4.766	0.042	

**Gambar B.2 Hasil Uji Tarik Epoksi**



	Width [mm]	Thickness [mm]	Maximum Load [N]	Tensile stress at Maximum Load [MPa]	Tensile stress at Yield (Offset 0.2 %) [MPa]	Tensile strain (Extension) at Maximum Load [%]	Modulus-1 [Gpa]	Specimen label
1	25.10	3.07	956.92	24.32	24.32	0.97	1.276	Vinylester 0%
2	25.20	3.19	1535.78	29.63	29.63	1.33	1.437	Vinylester 5%
3	12.38	1.02	1865.09	41.22	41.53	1.76	8.356	Vinylester 15%
4	12.38	1.02	1338.85	34.53	34.53	0.97	10.909	Vinylester 10%
Mean	18.76	2.08	1424.16	32.42	32.50	1.26	5.495	
Maximum	25.20	3.19	1865.09	41.22	41.53	1.76	10.909	
Minimum	12.38	1.02	956.92	24.32	24.32	0.97	1.276	

**Gambar B.3** Hasil Uji Tarik *Vinyl ester*

## B.2 Data Hasil Uji Densitas

**Tabel B.2** Hasil Uji Densitas

Resin	Fraksi Berat	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )
<i>Unsaturated Polyester</i>	0%	0,925
	5%	0,915
	10%	0,913
	15%	0,908
	0%	0,974
	5%	0,95
	10%	0,937
	15%	0,922
	0%	0,906
	5%	0,911
	10%	0,911
	15%	0,919

**Tabel B.3** Hasil Uji Normalitas Variabel Fraksi Berat dengan Metode Shapiro-Wilk

	Fraksi Berat	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		<i>Statistic</i>	<i>df</i>	<i>Sig.</i>	<i>Statistic</i>	<i>df</i>	<i>Sig.</i>
Densitas	0,00%	,279	3	.	,939	3	,524
	5,00%	,352	3	.	,826	3	,178
	10,00%	,361	3	.	,807	3	,132
	15,00%	,308	3	.	,902	3	,391

**Tabel B.4 Homogeneity of Variances**

		<i>Levene</i>			
		<i>Statistic</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>Sig.</i>
Densitas	<i>Based on Mean</i>	2,991	3	8	,096
	<i>Based on Median</i>	,605	3	8	,630
	<i>Based on Median and with adjusted df</i>	,605	3	5,221	,639
	<i>Based on trimmed mean</i>	2,685	3	8	,117

**Tabel B.5 Analysis of Variances**

Densitas	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Between Groups</i>	,001	3	,000	,398	,758
<i>Within Groups</i>	,004	8	,000		
<i>Total</i>	,004	11			

**Tabel 4.6 Hasil Uji Korelasi Pearson**

		Resin	Fraksi Berat	Kuat Tarik (Mpa)	Densitas
Resin	<i>Pearson Correlation</i>	1	,000	,585	-,074
	<i>Sig. (2-tailed)</i>		1,000	,045	,820
	N	12	12	12	12
Fraksi Berat	<i>Pearson Correlation</i>	,000	1	,770	-,352
	<i>Sig. (2-tailed)</i>	1,000		,003	,261
	N	12	12	12	12
Kuat Tarik (Mpa)	<i>Pearson Correlation</i>	,585	,770	1	-,325
	<i>Sig. (2-tailed)</i>	,045	,003		,303
	N	12	12	12	12
Densitas	<i>Pearson Correlation</i>	-,074	-,352	-,325	1
	<i>Sig. (2-tailed)</i>	,820	,261	,303	
	N	12	12	12	12

### Notes

Output Created	21-MAR-2023 01:42:32	
Comments		
Input	Active Dataset	DataSet2
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	<none>
	N of Rows in Working Data File	12
Missing Value Handling	Definition of Missing	User-defined missing values are treated as missing.
	Cases Used	Statistics for each pair of variables are based on all the cases with valid data for that pair.
Syntax	CORRELATIONS /VARIABLES=FraksiVolume KuatTarikMpa Densitas /PRINT=TWOTAIL NOSIG /STATISTICS DESCRIPTIVES XPROD /MISSING=PAIRWISE.	
Resources	Processor Time	00:00:00,05
	Elapsed Time	00:00:00,07

### Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
Fraksi Volume	7,5000%	5,83874%	12
Kuat Tarik (Mpa)	27,5267	6,68746	12
Densitas	,92425	,020213	12



### Correlations

		Fraksi Volume	Kuat Tarik (Mpa)	Densitas
Fraksi Volume	Pearson Correlation	1	,770**	-,352
	Sig. (2-tailed)		,003	,261
	Sum of Squares and Cross-products	375,000	330,550	-,457
	Covariance	34,091	30,050	-,042
	N	12	12	12
Kuat Tarik (Mpa)	Pearson Correlation	,770**	1	-,325
	Sig. (2-tailed)	,003		,303
	Sum of Squares and Cross-products	330,550	491,943	-,483
	Covariance	30,050	44,722	-,044
	N	12	12	12
Densitas	Pearson Correlation	-,352	-,325	1
	Sig. (2-tailed)	,261	,303	
	Sum of Squares and Cross-products	-,457	-,483	,004
	Covariance	-,042	-,044	,000
	N	12	12	12

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

## Resin

### Case Processing Summary

	Resin	Valid		Cases Missing		Total	
		N	Percent	N	Percent	N	Percent
Densitas	epoxy	4	100,0%	0	0,0%	4	100,0%
	polyeste	4	100,0%	0	0,0%	4	100,0%
	vinyl es	4	100,0%	0	0,0%	4	100,0%

### Descriptives

Resin		Statistic	Std. Error			
Densitas	epoxy	Mean	,94575	,011018		
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,91069		
			Upper Bound	,98081		
		5% Trimmed Mean	,94550			
		Median	,94350			
		Variance	,000			
		Std. Deviation	,022036			
		Minimum	,922			
		Maximum	,974			
		Range	,052			
		Interquartile Range	,042			
		Skewness	,533	1,014		
		Kurtosis	,089	2,619		
		polyeste	polyeste	Mean	,91525	,003568
				95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,90390
Upper Bound	,92660					
5% Trimmed Mean	,91511					
Median	,91400					
Variance	,000					
Std. Deviation	,007136					
Minimum	,908					

	Maximum		,925	
	Range		,017	
	Interquartile Range		,013	
	Skewness		,981	1,014
	Kurtosis		1,704	2,619
vinyl es	Mean		,91175	,002689
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,90319	
		Upper Bound	,92031	
	5% Trimmed Mean		,91167	
	Median		,91100	
	Variance		,000	
	Std. Deviation		,005377	
	Minimum		,906	
	Maximum		,919	
	Range		,013	
	Interquartile Range		,010	
	Skewness		,815	1,014
	Kurtosis		1,874	2,619

### M-Estimators

	Resin	Huber's M-Estimator <sup>a</sup>	Tukey's Biweight <sup>b</sup>	Hampel's M-Estimator <sup>c</sup>	Andrews' Wave <sup>d</sup>
Densitas	epoxy	,94350	,94398	,94411	,94399
	polyeste	,91400	,91361	,91400	,91362
	vinyl es	,91100	,91064	,91100	,91065

- The weighting constant is 1,339.
- The weighting constant is 4,685.
- The weighting constants are 1,700, 3,400, and 8,500
- The weighting constant is  $1,340 \cdot \pi$ .

### Percentiles

		Resin	Percentiles			
			5	10	25	50
Weighted Average(Definition 1)	Densitas	epoxy	,92200	,92200	,92575	,94350
		polyeste	,90800	,90800	,90925	,91400
		vinyl es	,90600	,90600	,90725	,91100
Tukey's Hinges	Densitas	epoxy			,92950	,94350
		polyeste			,91050	,91400
		vinyl es			,90850	,91100

### Percentiles

		Resin	Percentiles		
			75	90	95
Weighted Average(Definition 1)	Densitas	epoxy	,96800	.	.
		polyeste	,92250	.	.
		vinyl es	,91700	.	.
Tukey's Hinges	Densitas	epoxy	,96200		
		polyeste	,92000		
		vinyl es	,91500		

### Extreme Values<sup>a</sup>

Resin				Case Number	Value
Densitas	epoxy	Highest	1	5	,974
			2	6	,950
	Lowest	1	8	,922	
		2	7	,937	
	polyeste	Highest	1	1	,925
			2	2	,915
Lowest		1	4	,908	

		2	3	,913
vinyl es	Highest	1	12	,919
		2	10	,911 <sup>b</sup>
	Lowest	1	9	,906
		2	11	,911 <sup>c</sup>

- a. The requested number of extreme values exceeds the number of data points. A smaller number of extremes is displayed.
- b. Only a partial list of cases with the value ,911 are shown in the table of upper extremes.
- c. Only a partial list of cases with the value ,911 are shown in the table of lower extremes.

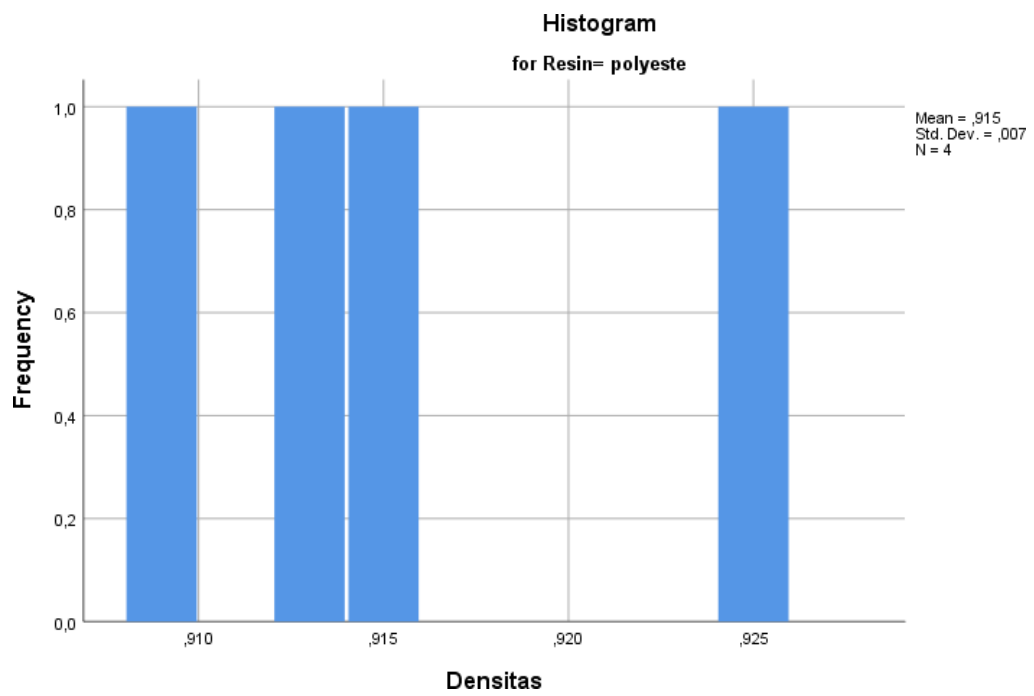
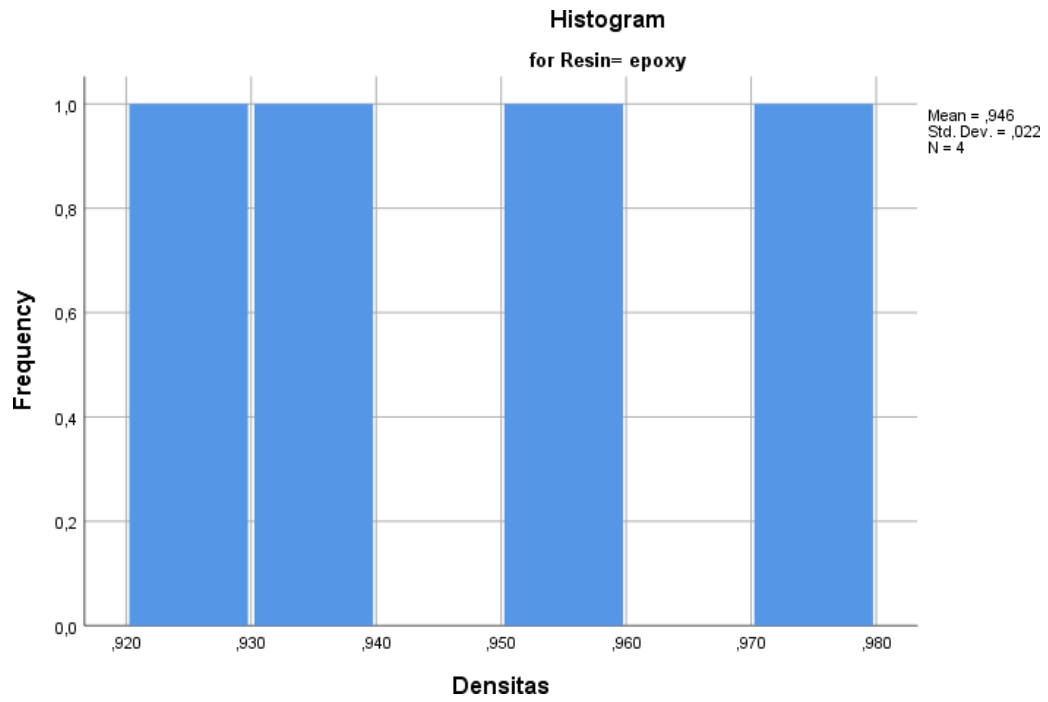
### Tests of Normality

Resin	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Densitas epoxy	,174	4	.	,986	4	,936
polyeste	,264	4	.	,945	4	,687
vinyl es	,305	4	.	,920	4	,538

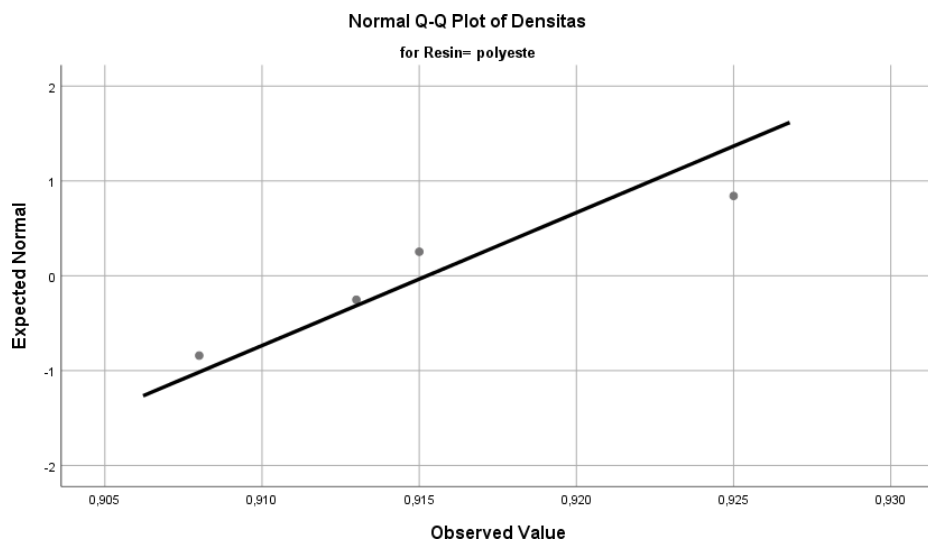
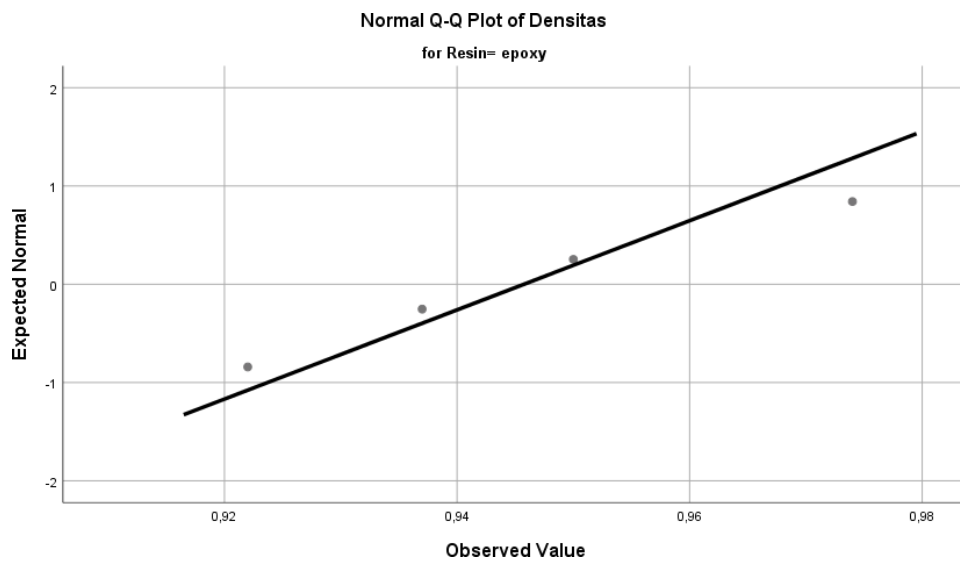
- a. Lilliefors Significance Correction

## Densitas

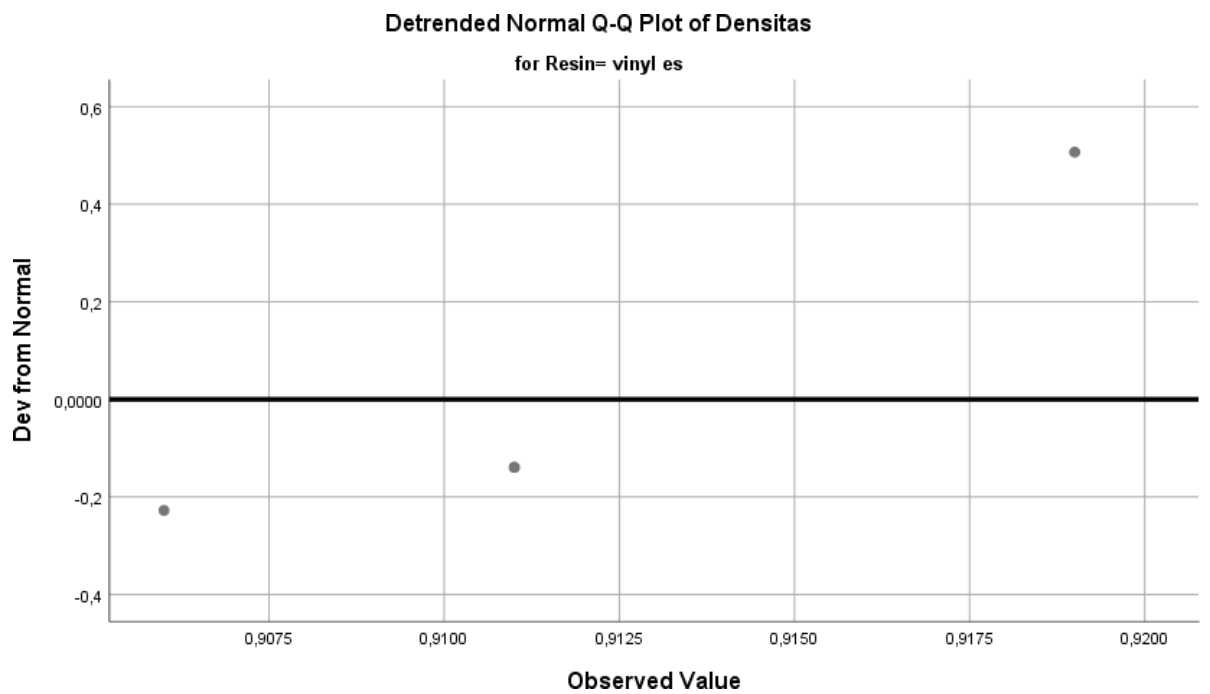
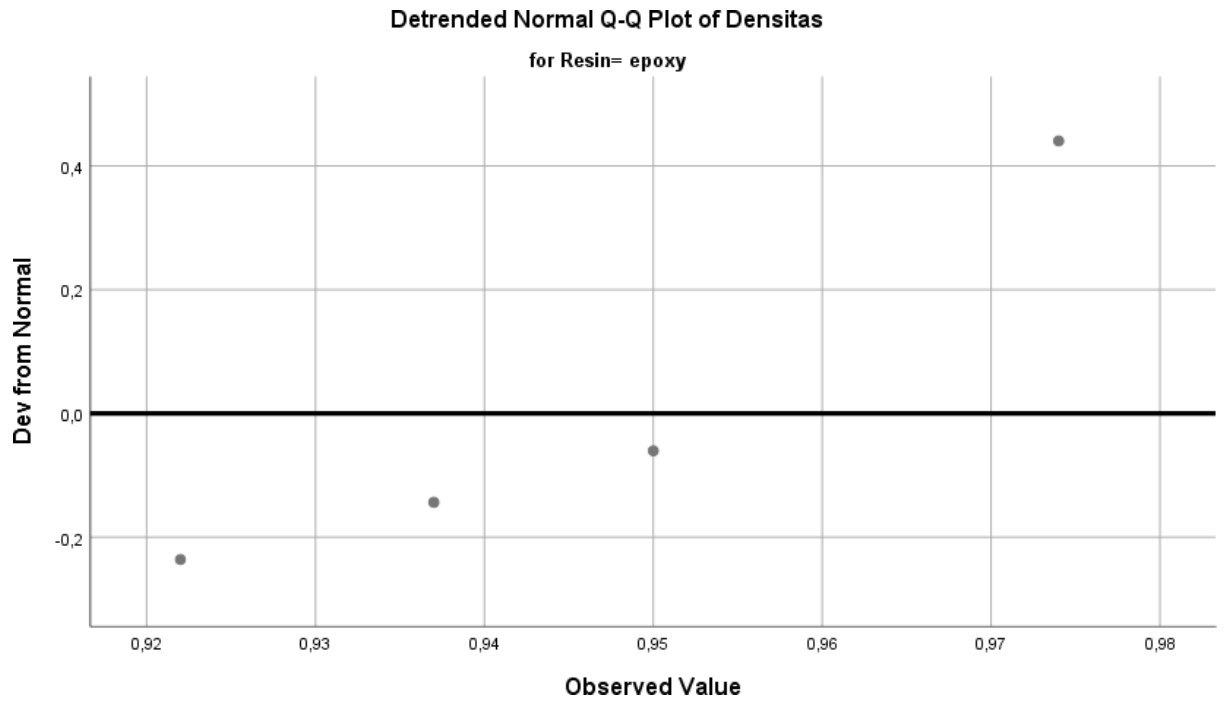
## Histograms



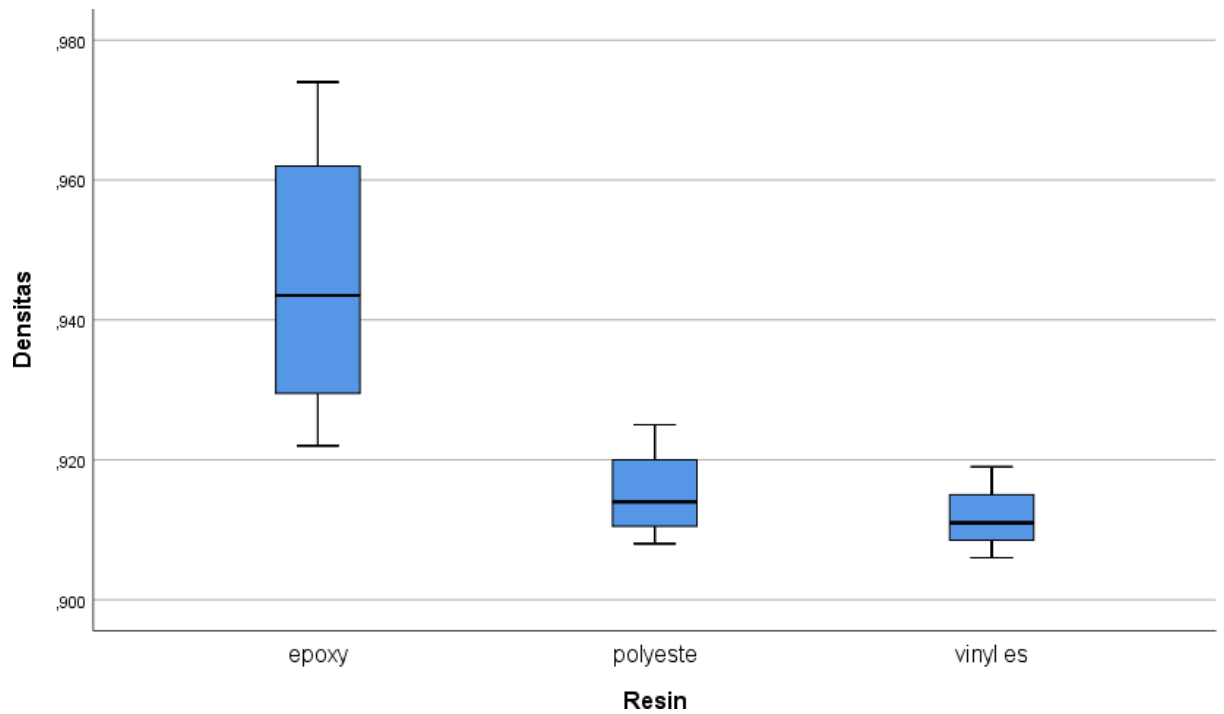
## Normal Q-Q Plots



## Detrended Normal Q-Q Plots







## Fraksi Volume

### Case Processing Summary

	Fraksi Volume	Valid		Cases Missing		Total	
		N	Percent	N	Percent	N	Percent
Densitas	0,00%	3	100,0%	0	0,0%	3	100,0%
	5,00%	3	100,0%	0	0,0%	3	100,0%
	10,00%	3	100,0%	0	0,0%	3	100,0%
	15,00%	3	100,0%	0	0,0%	3	100,0%

### Descriptives

	Fraksi Volume	Statistic	Std. Error
Densitas	0,00%	Mean	,93500
		95% Confidence Interval for Lower Bound	,84784
	Mean	Upper Bound	1,02216

	5% Trimmed Mean		.	
	Median		,92500	
	Variance		,001	
	Std. Deviation		,035086	
	Minimum		,906	
	Maximum		,974	
	Range		,068	
	Interquartile Range		.	
	Skewness		1,178	1,225
	Kurtosis		.	.
5,00%	Mean		,92533	,012387
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,87204	
		Upper Bound	,97863	
	5% Trimmed Mean		.	
	Median		,91500	
	Variance		,000	
	Std. Deviation		,021455	
	Minimum		,911	
	Maximum		,950	
	Range		,039	
	Interquartile Range		.	
	Skewness		1,665	1,225
	Kurtosis		.	.
10,00%	Mean		,92033	,008353

	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,88439	
		Upper Bound	,95627	
	5% Trimmed Mean		.	
	Median		,91300	
	Variance		,000	
	Std. Deviation		,014468	
	Minimum		,911	
	Maximum		,937	
	Range		,026	
	Interquartile Range		.	
	Skewness		1,695	1,225
	Kurtosis		.	.
15,00%	Mean		,91633	,004256
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,89802	
		Upper Bound	,93464	
	5% Trimmed Mean		.	
	Median		,91900	
	Variance		,000	
	Std. Deviation		,007371	
	Minimum		,908	
	Maximum		,922	
	Range		,014	
	Interquartile Range		.	
	Skewness		-1,415	1,225

Kurtosis	.	.
----------	---	---

### M-Estimators

	Fraksi Volume	Huber's M- Estimator <sup>a</sup>	Tukey's Biweight <sup>b</sup>	Hampel's M- Estimator <sup>c</sup>	Andrews' Wave <sup>d</sup>
Densitas	0,00%	,92756	,92771	,93121	,92775
	5,00%	,91563	,91309	,91300	,91309
	10,00%	,91332	,91205	,91200	,91205
	15,00%	,91857	,91952	,91825	,91956

- The weighting constant is 1,339.
- The weighting constant is 4,685.
- The weighting constants are 1,700, 3,400, and 8,500
- The weighting constant is  $1,340 \cdot \pi$ .

### Percentiles

		Fraksi Volume	Percentiles			
			5	10	25	50
Weighted Average(Definition Densitas 1)	0,00%		,90600	,90600	,90600	,92500
	5,00%		,91100	,91100	,91100	,91500
	10,00%		,91100	,91100	,91100	,91300
	15,00%		,90800	,90800	,90800	,91900
Tukey's Hinges	Densitas	0,00%			,91550	,92500
		5,00%			,91300	,91500
		10,00%			,91200	,91300
		15,00%			,91350	,91900

### Percentiles

		Fraksi Volume	Percentiles		
			75	90	95
Weighted Average(Definition 1)	Densitas	0,00%	.	.	.
		5,00%	.	.	.

		10,00%	.	.	.
		15,00%	.	.	.
Tukey's Hinges	Densitas	0,00%	,94950		
		5,00%	,93250		
		10,00%	,92500		
		15,00%	,92050		

### Extreme Values<sup>a</sup>

	Fraksi Volume		Case Number	Value	
Densitas	0,00%	Highest	1	5	,974
		Lowest	1	9	,906
	5,00%	Highest	1	6	,950
		Lowest	1	10	,911
	10,00%	Highest	1	7	,937
		Lowest	1	11	,911
	15,00%	Highest	1	8	,922
		Lowest	1	4	,908

a. The requested number of extreme values exceeds the number of data points. A smaller number of extremes is displayed.

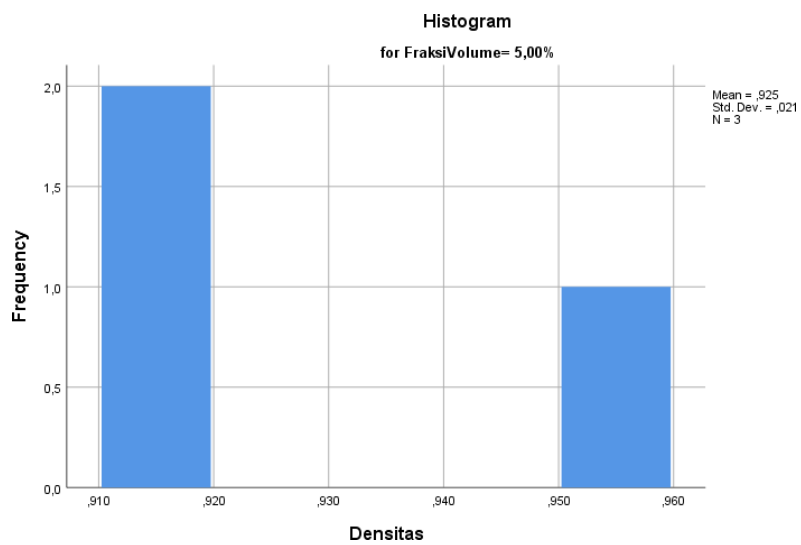
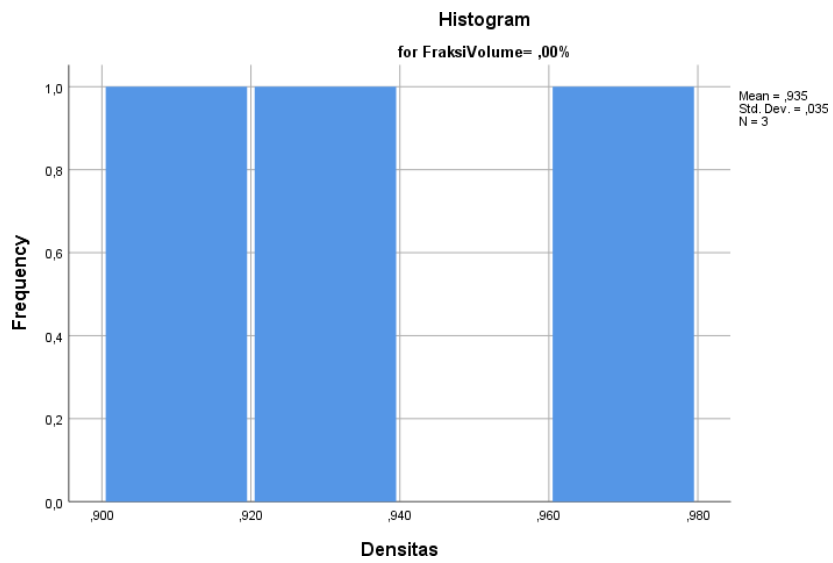
### Tests of Normality

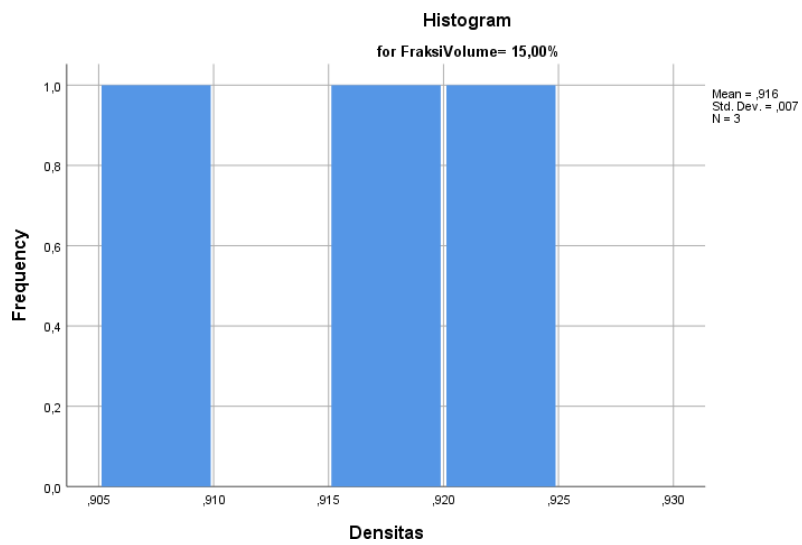
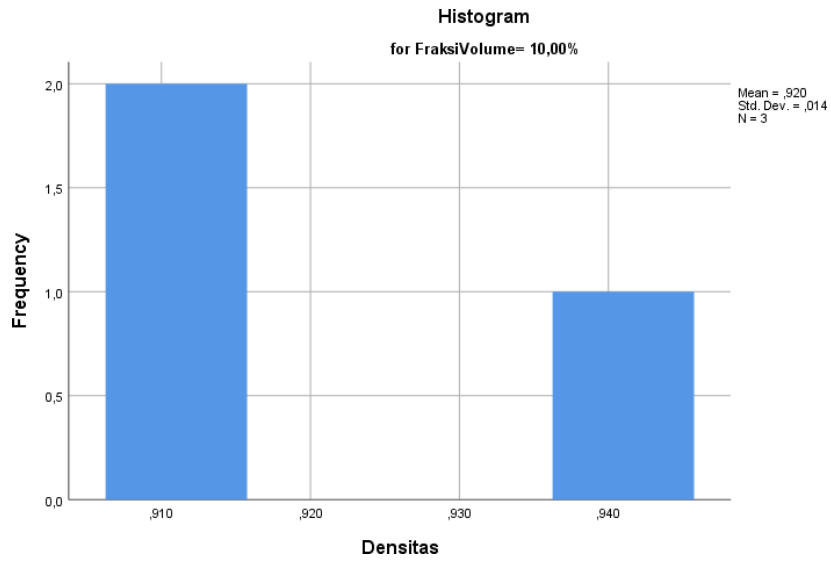
	Fraksi Volume	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Densitas	0,00%	,279	3	.	,939	3	,524
	5,00%	,352	3	.	,826	3	,178
	10,00%	,361	3	.	,807	3	,132
	15,00%	,308	3	.	,902	3	,391

a. Lilliefors Significance Correction

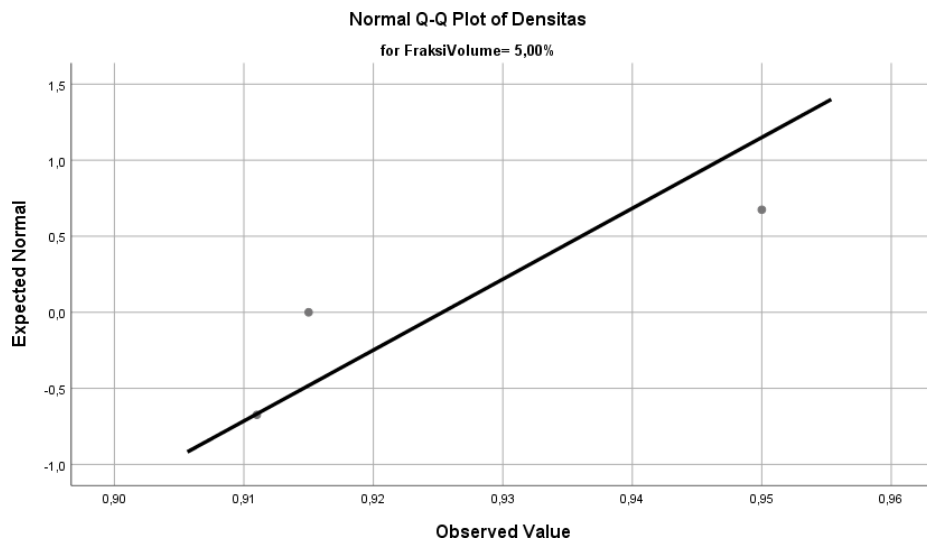
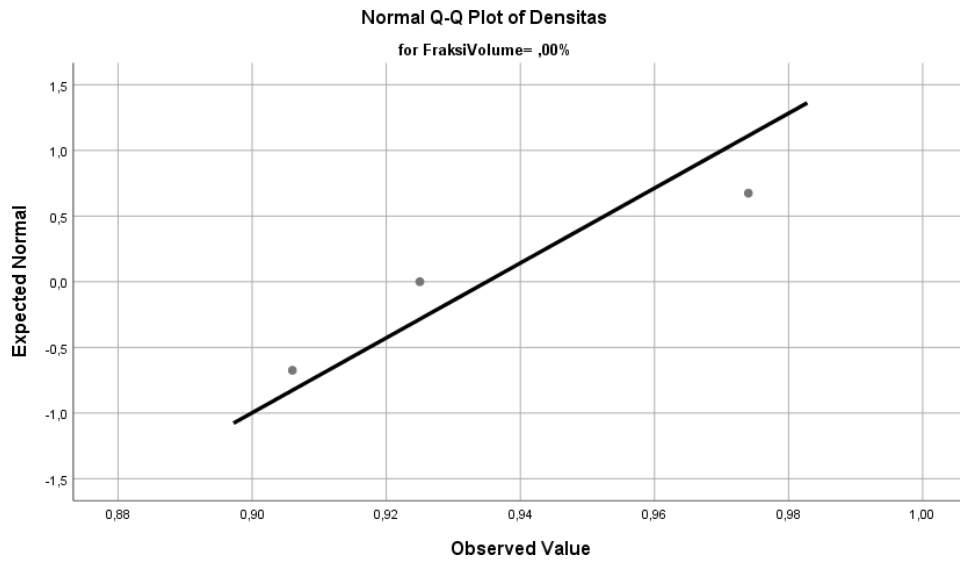
## Densitas

## Histograms

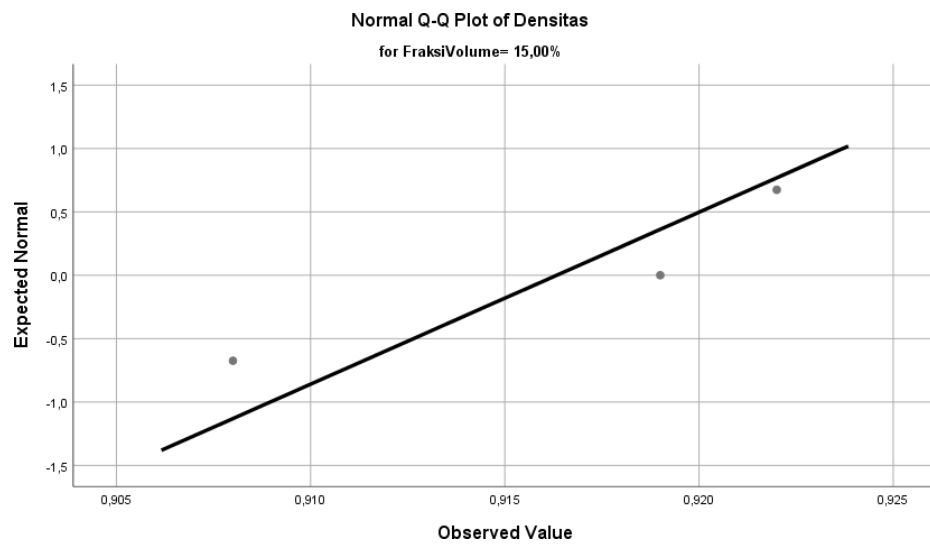
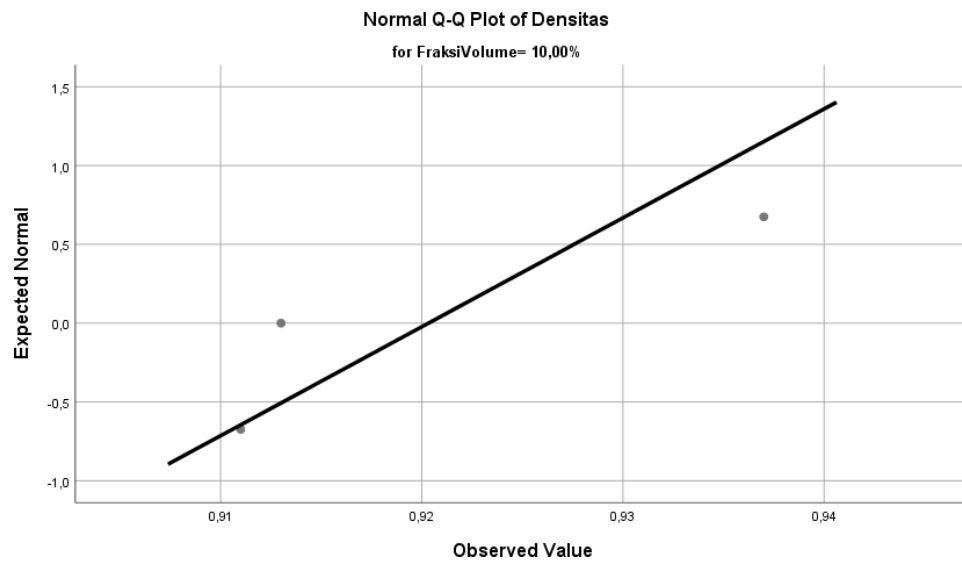




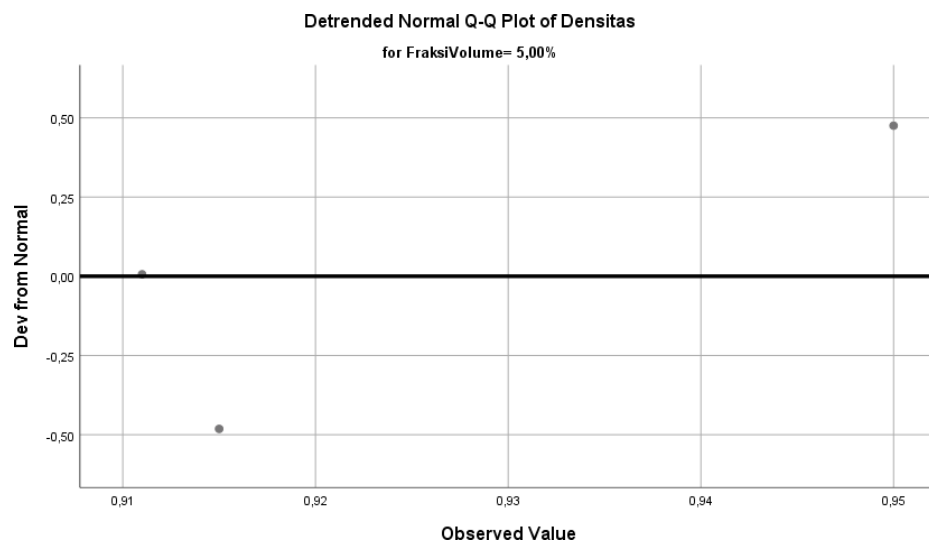
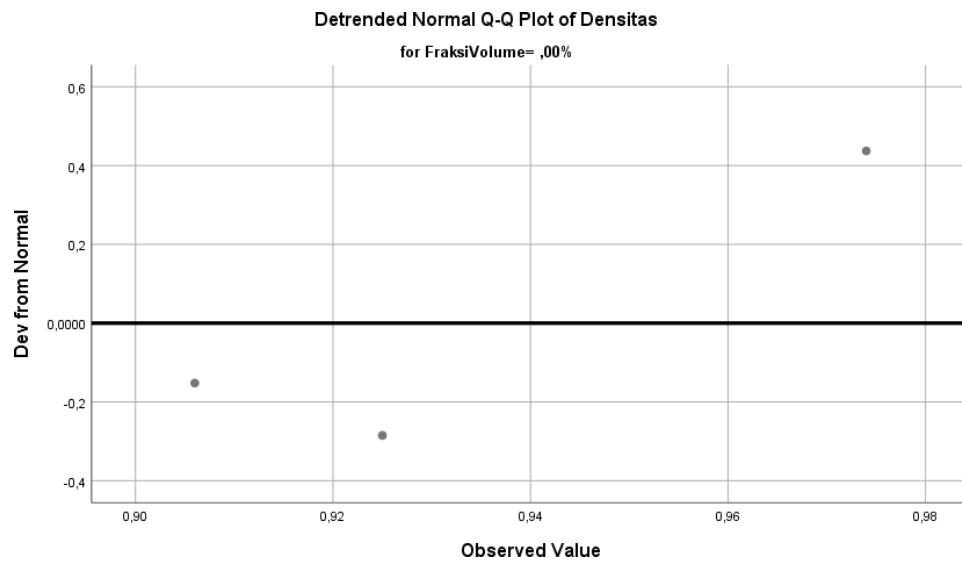
## Normal Q-Q Plots

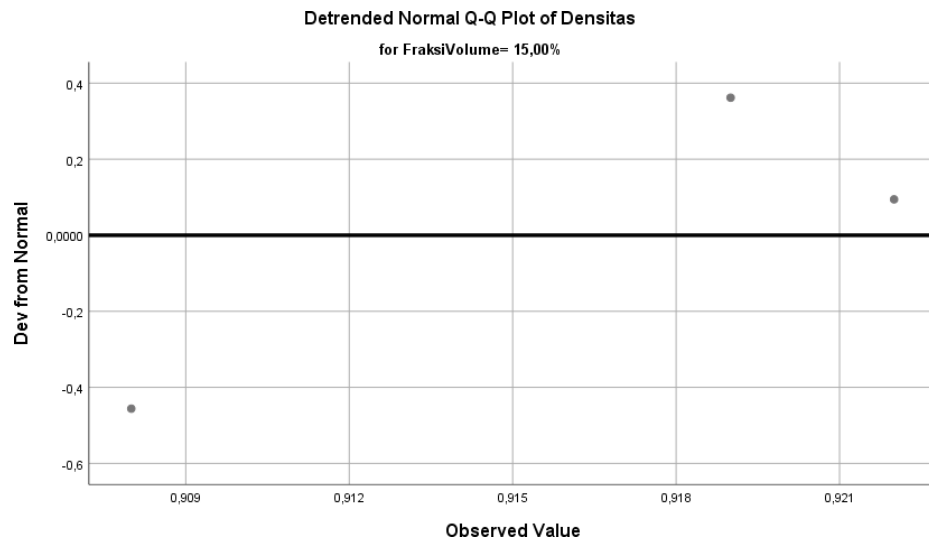
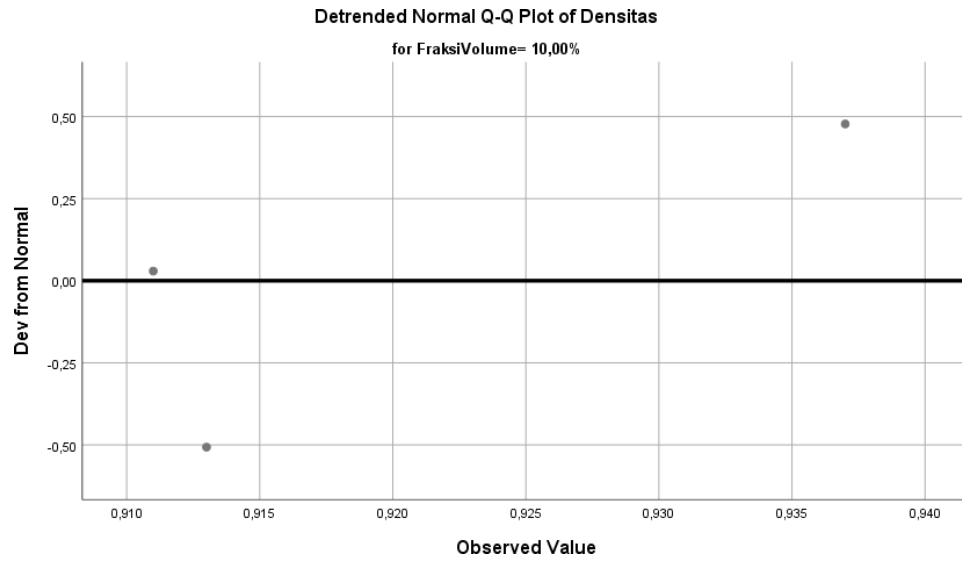




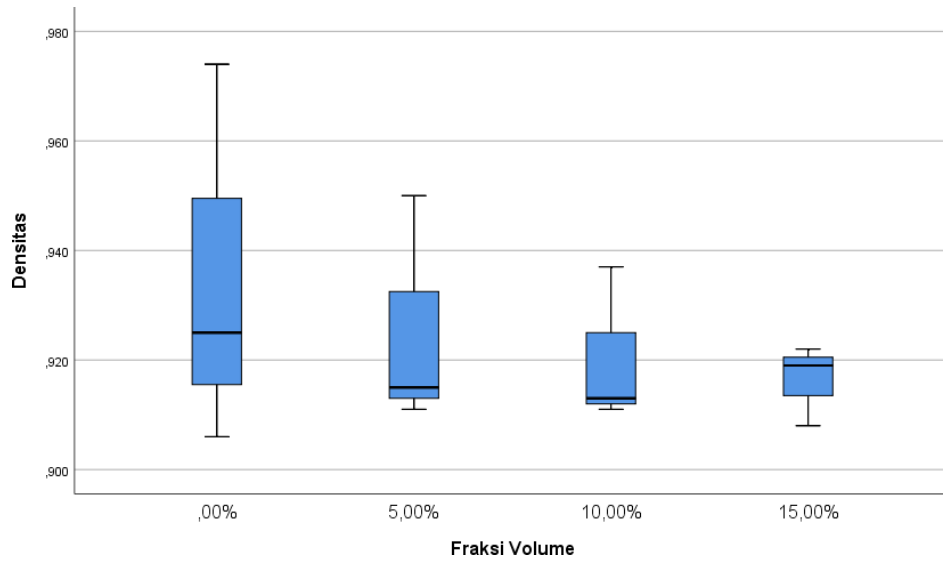


## Detrended Normal Q-Q Plots





## Boxplots



**LAMPIRAN C**  
**ALAT DAN BAHAN**



**Gambar C.1** Neraca Digital



**Gambar C.2** Gelas Beker



**Gambar C.3** Sarung tangan



**Gambar C.4** Akuades



**Gambar C.5** Polyester



**Gambar C.6** Epoksi



**Gambar C.7** NaOH



**Gambar C.8** Vinyl ester



**Gambar C.9** Cetakan Komposit



**Gambar C.10** Wax



**Gambar C.11** Serat Ijuk



**Gambar C.12** Alkohol 70%



**Gambar C.13** Penampang



**Gambar C.14** Kain majun



**Gambar C.15** Penggaris



**Gambar C.16** Gelas Plastik