

TUGAS AKHIR - TM184835

**STUDI EKSPERIMENTAL KARAKTERISASI DASAR SIFAT  
MEKANIS KOMPOSIT BERPENGUAT BAMBU JENIS ANYAMAN  
PLAIN DAN TWILL DENGAN MATRIKS POLYURETHANE**

**FARREL TRISNA FEBRIANSYAH**

NRP. 02111740000161

Dosen Pembimbing

**Ir. Julendra Bambang Ariatedja, M.T.**

NIP. 1968070619990310041

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**TUGAS AKHIR – TM 184835**

**STUDI EKSPERIMENTAL KARAKTERISASI DASAR  
SIFAT MEKANIS KOMPOSIT BERPENGUAT BAMBU  
JENIS ANYAMAN *PLAIN* DAN *TWILL* DENGAN  
MATRIKS POLYURETHANE**

**FARREL TRISNA FEBRIANSYAH**  
02111740000161

Dosen Pembimbing

**Ir. Julendra Bambang Ariatedja, M.T.**  
NIP 1968070619990310041

**Program Studi Sarjana**

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

**FINAL PROJECT – TM 184835**

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE BASIC  
CHARACTERIZATION OF THE MECHANICAL  
PROPERTIES OF BAMBOO REINFORCED  
COMPOSITES OF PLAIN AND TWILL WOVEN TYPES  
WITH POLYURETHANE MATRIX**

**FARREL TRISNA FEBRIANSYAH**  
02111740000161

Advisor

**Ir. Julendra Bambang Ariatedja, M.T.**  
NIP 1968070619990310041

**Undergraduate Study Program**

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI EKSPERIMENTAL KARAKTERISASI DASAR SIFAT MEKANIS  
KOMPOSIT BERPENGUAT BAMBU JENIS ANYAMAN *PLAIN* DAN *TWILL*  
DENGAN Matriks POLYURETHANE**

### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Farrel Trisna Febriansyah**

NRP. 02111740000161

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

**Ir. Julendra Bambang Ariatedja, M.T.**

NIP. 196807061999031004

**Dr. Eng. Yohanes, S.T., M.Sc.**

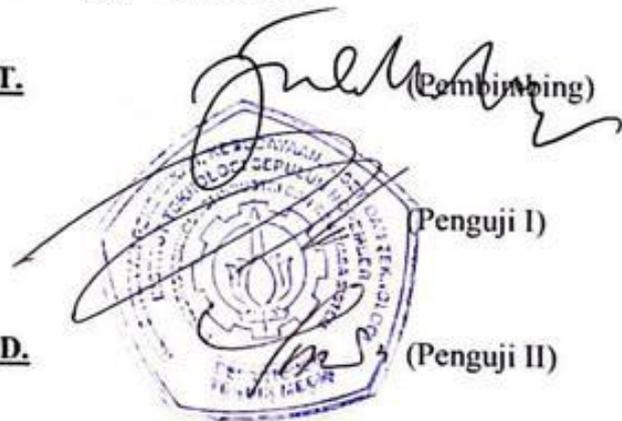
NIP. 198006272012121003

**Achmad Syaifudin, S.T., M.Eng., Ph.D.**

NIP. 197909262005011001

**Dr. Putu Suwarta, S.T., M.Sc.**

NIP. 198203032009121007



(Pembimbing)

(Penguji I)

(Penguji II)

(Penguji III)

SURABAYA

Juli, 2022

## APPROVAL SHEET

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE BASIC CHARACTERIZATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF BAMBOO REINFORCED COMPOSITES OF PLAIN AND TWILL WOVEN TYPES WITH POLYURETHANE MATRIX**

### FINAL PROJECT

Submitted to fulfil one the requirements  
for obtaining a Bachelor degree at  
Department of Mechanical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By:  
**Farrel Trisna Febriansyah**  
NRP. 02111740000161

Approved by Final Project Examiner Team:

**Ir. Julendra Bambang Ariatedja, M.T.**

NIP. 196807061999031004

**Dr. Eng. Yohanes, S.T., M.Sc.**

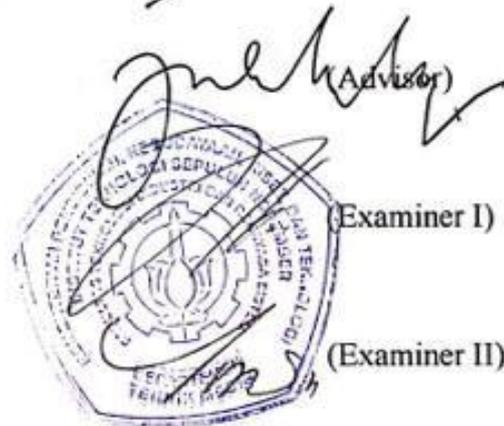
NIP. 198006272012121003

**Achmad Syaifudin, S.T., M.Eng., Ph.D.**

NIP. 197909262005011001

**Dr. Putu Suwarta, S.T., M.Sc.**

NIP. 198203032009121007



SURABAYA  
July, 2022

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Farrel Trisna Febriansyah / 02111740000161  
Departemen : Teknik Mesin  
Dosen Pembimbing / NIP : Ir. Julendra B. Ariatedja, MT / 196807061999031004

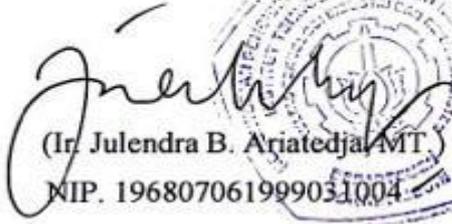
dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "*Studi Eksperimental Karakterisasi Dasar Sifat Mekanis Komposit Berpenguat Anyaman Bambu Jenis Anyaman Plain dan Twill Dengan Matriks Polyurethane*" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 29 Juli 2022

Mengetahui

Dosen Pembimbing

  
(Ir. Julendra B. Ariatedja, MT)  
NIP. 196807061999031004

Mahasiswa,

  
(Farrel Trisna Febriansyah)  
NRP.02111740000161

## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Farrel Trisna Febriansyah / 02111740000161

Department : Mechanical Engineering

Advisor / NIP : Ir. Julendra B. Ariatedja, MT / 196807061999031004

hereby declare that the Final Project with the title of "*Experimental Study Of The Basic Characterization Of The Bamboo Reinforced Composites Of Plain and Twill Woven Types With Polyurethane Matrix*" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 29 July 2022

Acknowledged

Advisor



(Ir. Julendra B. Ariatedja, MT)  
NIP. 196807061999031004

Student



(Farrel Trisna Febriansyah)

NRP.02111740000161

# STUDI EKSPERIMENTAL KARAKTERISASI DASAR SIFAT MEKANIS KOMPOSIT BERPENGUAT BAMBU JENIS ANYAMAN *PLAIN* DAN *TWILL* DENGAN Matriks POLYURETHANE

Nama Mahasiswa : Farrel Trisna Febriansyah  
NRP : 0211174000161  
Jurusan : Teknik Mesin FTIRS-ITS  
Dosen Pembimbing : Ir. Julendra Bambang Ariatedja, M.T.

## ABSTRAK

Pemilihan material di bidang industri merupakan suatu hal yang krusial. Material komposit semakin berperan dan semakin dibutuhkan untuk menciptakan sifat mekanis baru yang kuat, namun juga ringan dan hemat. Indonesia merupakan negara yang kaya akan aneka tumbuhan, yang salah satunya adalah bambu. Dalam kehidupan masyarakat pedesaan di Indonesia, bambu memegang peranan yang sangat penting. Bahan bambu dikenal oleh masyarakat memiliki sifat-sifat yang baik untuk dimanfaatkan karena batangnya kuat, lurus, rata, keras, mudah dibelah, mudah dibentuk, dan mudah dikerjakan. Komposit yang dibuat dan diuji pada penelitian ini terbuat dari matriks resin polyurethane dan anyaman bambu akan dimanfaatkan menjadi material penguat komposit alami dan menganalisis sifat mekanis yang ada pada komposit alami tersebut. Anyaman serat bambu pada penelitian ini melewati proses alkalisasi untuk meningkatkan *wettability* serat dan memaksimalkan terbentuknya *interface* pada komposit

Penelitian ini memvariasikan jenis anyaman serat bambu yaitu anyaman *plain* dan *twill*, serta variasi orientasi sudut anyaman bambu sebesar  $45^\circ$  dan  $90^\circ$  dengan proses alkalisasi NaOH 5% selama 2 jam. Alat dan bahan yang dibutuhkan yaitu anyaman bambu, resin polyurethane, pelapis wax, cetakan, pompa *vacuum*, *vacuum catch pot*, selang *infusion house*, selang *spiral tube*, T *connector*, *peel ply*, *vacuum bagging film*, *perforated release film*, *flow media infusion mesh*, *sealant tape*, timbangan, NaOH, sarung tangan. Tahapan dalam penelitian yaitu melakukan studi literatur, mencari properties material, dan menyiapkan alat dan bahan. Kemudian dilanjutkan dengan proses alkalisasi anyaman bambu dan pembuatan komposit. Setelah komposit dibuat, komposit dipotong sesuai standar uji tarik dan uji impak. Pada uji tarik didapatkan kekuatan tarik komposit anyaman bambu pada anyaman Plain  $45^\circ$ , Plain  $90^\circ$ , Twill  $45^\circ$ , Twill  $90^\circ$  sebesar 13,55 MPa, 42,40 MPa, 23,66 MPa, sebesar 54,12 MPa. Didapatkan kekuatan luluh komposit sebesar 6,75 MPa, 9,28 MPa, 9,37 MPa, 7,71 MPa. Didapatkan modulus elastisitas sebesar 5,35 MPa, 14,36 MPa, 7,77 MPa, 14,66 MPa. Didapatkan pemanjangan komposit sebesar 7,2 %, 19,2 %, 10,8 %, 24,7 %. Pada pengujian impak didapatkan energi terserap oleh komposit anyaman bambu pada anyaman Plain  $45^\circ$ , Plain  $90^\circ$ , Twill  $45^\circ$ , Twill  $90^\circ$  sebesar 1,266 J, 0,878 J, 0,320 J, 2,146 J dan didapatkan kekuatan impak sebesar 0,0162 J/mm<sup>2</sup>, 0,014 J/mm<sup>2</sup>, 0,042 J/mm<sup>2</sup>, 0,028 J/mm<sup>2</sup>. Mekanisme kegagalan komposit berdasarkan pengujian SEM adalah patah ulet, *debonding*, patah pada matriks (*translaminar*), dan *fiber pullout*.

**Kata Kunci:** Komposit Alam, Resin Polyurethane, Anyaman Serat Bambu, Alkalisasi, *vacuum bagging*

# EXPERIMENTAL STUDY OF THE BASIC CHARACTERIZATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF BAMBOO-REINFORCED COMPOSITES OF PLAIN AND TWILL WOVEN TYPES WITH POLYURETHANE MATRIX

Nama Mahasiswa : Farrel Trisna Febriansyah  
NRP : 02111740000161  
Jurusan : Teknik Mesin FTIRS-ITS  
Dosen Pembimbing : Ir. Julendra Bambang Ariatedja, M.T.

## ABSTRACT

*The selection of materials in the industrial field is a crucial thing. Composite materials are increasingly playing a role and are increasingly needed to create new mechanical properties that are strong, yet also lightweight and cost-effective. Indonesia is a country rich in various plants, one of which is bamboo. In the life of rural communities in Indonesia, bamboo plays a very important role. Bamboo material is known by the public to have good properties to be utilized because the stems are strong, straight, flat, hard, easy to split, easy to form, and easy to work with. The composites made and tested in this study are made of polyurethane resin matrices and woven bamboo will be used as a natural composite reinforcing material and analyze the mechanical properties of the natural composite. The woven bamboo fibers in this study went through an alkalization process to increase the wettability of the fibers and maximize the formation of interfaces in the composite*

*This study varied the types of woven bamboo fibers, namely plain and twill webbing, as well as variations in the orientation of bamboo webbing angles of 45° and 90° with a 5% NaOH alkalization process for 2 hours. The tools and materials needed are bamboo matting, polyurethane resin, wax coating, mold, vacuum pump, vacuum catch pot, infusion house hose, spiral tube hose, T connector, peel ply, vacuum bagging film, perforated release film, flow media infusion mesh, sealant tape, scales, NaOH, gloves. The stages in the research are conducting literature studies, looking for material properties, and preparing tools and materials. Then proceed with the process of alkalizing bamboo matting and making composites. After the composite is made, it is cut according to the standards of tensile test and impact test. In the tensile test, the tensile strength of bamboo woven composites was obtained on woven Plain 45°, Plain 90°, Twill 45°, Twill 90° by 13.55 MPa, 42.40 MPa, 23.66 MPa, by 54.12 MPa. Composite yield strength was obtained at 6.75 MPa, 9.28 MPa, 9.37 MPa, 7.71 MPa. The modulus of elasticity was obtained by 5.35 MPa, 14.36 MPa, 7.77 MPa, 14.66 MPa. Composite elongation was obtained by 7.2%, 19.2%, 10.8%, 24.7%. In the impact test, energy was absorbed by bamboo woven composites on woven plain 45°, Plain 90°, Twill 45°, Twill 90° by 1.266 J, 0.878 J, 0.320 J, 2.146 J and gained an impact strength of 0.016 2 J/mm<sup>2</sup>, 0.014 J/mm<sup>2</sup>, 0.042 J/mm<sup>2</sup>, 0.028 J/mm<sup>2</sup>. The mechanism of composite failure based on SEM testing is ductile fracture, debonding, fracture of the matrix (translaminar), and fiber pullout.*

**Keywords:** *Natural Composites, Polyurethane Resins, Woven Bamboo Fibers, Alkalization, vacuum bagging*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, atas berkat dan rahmatnya penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam Menyusun laporan tugas akhir yang berjudul :

### **“STUDI EKSPERIMENTAL KARAKTERISASI DASAR SIFAT MEKANIS KOMPOSIT BERPENGUAT BAMBU JENIS ANYAMAN *PLAIN* DAN *TWILL* DENGAN MATRIKS POLYURETHANE”**

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik yang harus dipenuhi penulis dalam program studi S-1 Teknik Mesin FTIRS-ITS. Tak lupa dalam penulisan laporan ini penulis juga mengucapkan terima kasih banyak dalam kelancaran tugas akhir ini kepada :

1. Bapak Sutrisno Roestam dan Ibu Erfana Moethar (Almh.) selaku ayah dan ibu dari penulis yang telah merawat dan mengajarkan serta mendoakan penulis sehingga dilancarkan jalannya hingga sampai saat ini.
2. Keluarga penulis lainnya yang telah membantu penulis dan berbagi pengalaman dengan penulis.
3. Bapak Ir. Julendra B. Ariatedja, M.T. yang telah memberi banyak ilmu dan bimbingan beserta waktunya untuk membantu penulis dalam menjalani pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Eng. Yohanes, S.T., M.Sc., Bapak Achmad Syaifudin, S.T., M.Eng. Ph.D., dan Bapak Dr. Putu Suwarta, S.T., M.Sc. selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak saran serta masukan guna menyempurnakan tugas akhir ini.
5. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Mesin FTIRS-ITS yang sudah mengajarkan penulis banyak hal selama di perkuliahan ini.
6. Nur Indah Maryana yang selalu mendukung dan menemani tanpa henti dalam proses kelancaran pelaksanaan hingga penulisan tugas akhir ini.
7. Seluruh rekan saya di Surabaya khususnya rekan Departemen Teknik Mesin ITS utamanya Angkatan M60.

Semoga amal dan jasa yang telah diberikan dapat bermanfaat dan mendapat imbalan dari Tuhan Yang Maha Esa. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini. Oleh sebab itu besar harapan penulis agar penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif serta menambah wawasan yang berguna untuk pembaca.

Surabaya, Juli 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>ix</b>
<b>BAB I</b> .....	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II</b> .....	<b>4</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1 Penelitian Terdahulu .....	4
2.2 Komposit .....	7
2.3 Metode Pembuatan Komposit .....	8
2.4 Polyurethane .....	12
2.5 Bambu.....	13
2.6 Pemanfaatan Bambu .....	14
2.7 Bambu Sebagai Penguat .....	14
2.8 Pola Anyaman.....	15
2.9 Alkalisasi .....	15
2.9.1 Antarmuka ( <i>Interface</i> ) dan Kemampubasahan ( <i>Wettability</i> ).....	16
2.10 Struktur Serat Alam .....	17
2.11 Plastik ABS.....	17
2.12 Kaidah Pencampuran ( <i>Rule of Mixture</i> ) .....	18
2.13 Pengujian Sifat Mekanis .....	19
2.13.1 Uji Tarik .....	19
2.13.1.1 Pengujian Tarik ( <i>Tensile Test</i> ) ASTM D3039 .....	21
2.13.2 Uji Impak .....	22
2.14.2.1 Pengujian Impak ( <i>Impact Test</i> ) ASTM D256 .....	23
2.14 Scanning Electron Microscope (SEM) .....	23
2.15 Mekanisme Kegagalan Komposit.....	25

2.16 Uji Anova .....	28
<b>BAB III .....</b>	<b>29</b>
<b>METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>29</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	29
3.2 Alat dan Bahan .....	30
3.3 Pembuatan Komposit.....	33
3.4 Pengujian Sifat Mekanis.....	34
3.4.1 Uji Tarik .....	34
3.4.2 Uji Impak.....	35
3.4.3 Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM) .....	36
<b>BAB IV .....</b>	<b>37</b>
<b>ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>37</b>
4.1 Perhitungan Massa Komposit.....	36
4.2 Pengujian Tarik.....	37
4.2.1 Hasil Uji Tarik.....	38
4.2.2 Grafik dan Analisis Hasil Uji Tarik.....	39
4.2.2.1 Kekuatan Tarik .....	39
4.2.2.2 Kekuatan Luluh.....	42
4.2.2.3 Modulus Elastisitas.....	44
4.2.2.4 Pemanjangan .....	47
4.2.2.5 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan.....	49
4.2.2.6 Uji Anova Hasil Uji Tarik.....	53
4.3 Pengujian Impak.....	55
4.3.1 Hasil Uji Impak .....	56
4.3.2 Grafik dan Analisis Hasil Uji Impak .....	57
4.3.2.1 Energi Terserap .....	57
4.3.2.2 Kekuatan Impak.....	59
4.3.2.3 Uji Anova Hasil Uji Impak .....	61
4.4 Kegagalan Pada Komposit.....	63
<b>BAB V .....</b>	<b>65</b>
<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>65</b>
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran .....	66
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>67</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengamatan Komposit dengan metode SEM (Agung, 2015).....	5
Gambar 2.2 Aspek Makroskopik dari fraktur spesimen hasil uji impak charpy (Mariana, 2021) .....	6
Gambar 2.3 Material Penyusun Komposit (Fauzan, 2021) .....	7
Gambar 2.4 Klasifikasi Komposit (Fauzan, 2021) .....	8
Gambar 2.5 Metode Pembuatan <i>Hand layup</i> (Fauzan, 2021) .....	9
Gambar 2.6 Metode Pembuatan <i>Vacuum Bag</i> (Fauzan, 2021).....	9
Gambar 2.7 Metode Pembuatan <i>Pressure Bag</i> (Fauzan, 2021) .....	10
Gambar 2.8 Metode Pembuatan <i>Spray-Up</i> (Fauzan, 2021).....	10
Gambar 2.9 Metode Pembuatan <i>Filament Winding</i> (Fauzan, 2021) .....	11
Gambar 2.10 Metode Pembuatan <i>Compression Molding</i> (Fauzan, 2021) .....	11
Gambar 2.11 Metode Pembuatan <i>Injection Molding</i> (Fauzan, 2021) .....	12
Gambar 2.12 Metode Pembuatan <i>Continuous Pultrusion</i> (Fauzan, 2021).....	12
Gambar 2.13 Reaksi Polyurethane (Komariyah et al, 2016).....	12
Gambar 2.14 Pola Anyaman : a). <i>Plain</i> , b). <i>Twill</i> , c). <i>Random</i> (Alimaskur, 2011) .....	15
Gambar 2.15 <i>Interface</i> pada Komposit (Hilman, 2022).....	16
Gambar 2.16 Sudut Kontak <i>Wettability</i> pada Komposit (Hilman, 2022).....	17
Gambar 2.17 Struktur Serat Alam (Hilman, 2022) .....	17
Gambar 2.18 <i>Universal Testing Machine</i> .....	21
Gambar 2.19 Dimensi Spesimen Uji Tarik ASTM D3039 (Jaimon, 2014) .....	22
Gambar 2.20 Dimensi Spesimen Uji Impak ASTM D256 (S.Raj, et al, 2021).....	23
Gambar 2.21 Mesim SEM (Teknik Mesin ITS) .....	24
Gambar 2.22 Cara Kerja SEM (Hizkia, 2016) .....	24
Gambar 2. 23 Patah pada serat ( <i>intralaminar</i> ) (Hilman, 2022).....	25
Gambar 2. 24 Patah pada matriks (Hilman, 2022) .....	25
Gambar 2. 25 Delaminasi pada komposit (Hilman, 2022).....	25
Gambar 2.26 <i>Debonding</i> (Hilman, 2022).....	26
Gambar 2.27 <i>Fiber Pullout</i> (Hilman, 2022) .....	26
Gambar 2.28 <i>Micro Buckling</i> (Hilman, 2022).....	26
Gambar 2.29 <i>Kink Band Failure</i> (Hilman, 2022).....	27
Gambar 2.30 <i>Loungitudinal Compression Load</i> (Hilman, 2022).....	27
Gambar 2.31 <i>Longitudinal Tension Load</i> (Hilman, 2022) .....	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	29
Gambar 3.2 Diagram Alir Pembuatan Komposit .....	30
Gambar 3.3 Metode <i>Vacuum Bag</i> .....	34
Gambar 3.4 Bentuk dan Dimensi Standar Spesimen Uji tarik ASTM D3039 .....	35
Gambar 3.5 Bentuk dan Dimensi Standar Spesimen Uji Impak ASTM D256 .....	36
Gambar 4. 1 Material Sebelum Pemoangan.....	37
Gambar 4. 2 Perbedaan Ukuran Ketebalan Anyaman.....	37
Gambar 4.3 a) Spesimen Sebelum Uji Tarik b) Spesimen Setelah Uji Tarik .....	38
Gambar 4.4 Mesin Uji Tarik .....	38
Gambar 4.5 Grafik Kekuatan Tarik.....	39
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Rata-Rata.....	40
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Komposit dengan Plastik ABS* .....	41
Gambar 4.8 Grafik Kekuatan Luluh.....	42
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Kekuatan Luluh Rata-Rata.....	43
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Kekuatan Luluh dengan Plastik ABS.....	44

Gambar 4.11 Grafik Modulus Elastisitas .....	44
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas Rata-Rata .....	45
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas dengan Plastik ABS .....	46
Gambar 4.14 Grafik Pemanjangan .....	47
Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Pemanjangan Rata-Rata .....	48
Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Pemanjangan dengan Plastik ABS .....	48
Gambar 4.17 Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen 1 Komposit Anyaman Plain 45° .....	49
Gambar 4.18 Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen 1 Komposit Anyaman Plain 90° .....	50
Gambar 4.19 Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen 1 Komposit Anyaman Twill 45° .....	51
Gambar 4.20 Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen 1 Komposit Anyaman Twill 90° .....	52
Gambar 4.21 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Spesimen Komposit Anyaman Plain 45°, Plain 90°, Twill 45°, Twill 90° .....	53
Gambar 4. 22 Grafik Hasil Uji Anova Pengujian Tarik .....	55
Gambar 4.23 Pengujian Anova Pada Hasil Uji Tarik .....	55
Gambar 4. 24 a) Spesimen Sebelum Uji Impak b) Spesimen Setelah Uji Impak .....	56
Gambar 4.25 Mesin Uji Impak .....	56
Gambar 4.26 Grafik Energi Terserap .....	57
Gambar 4.27 Grafik Perbandingan Energi Terserap Rata-Rata .....	58
Gambar 4.28 Grafik Kekuatan Impak .....	59
Gambar 4.29 Grafik Perbandingan Kekuatan Impak Rata-Rata .....	60
Gambar 4.30 Grafik Perbandingan Kekuatan Impak dengan Plastik ABS .....	60
Gambar 4. 31 Grafik Hasil Uji Anova Pengujian Impak .....	62
Gambar 4.32 Hasil Uji <i>Scanning Electron Microscope</i> pada komposit anyaman bambu a) Perbesaran 35x, b) Perbesaran 50x, c) Perbesaran 100x .....	63

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat-sifat Polyurethane (Komariyah et al, 2016).....	13
Tabel 2.2 Kandungan Jenis Serat Alami (Monalisa dan Pieter, 2010).....	14
Tabel 2. 3 Kekuatan Mekanik Bambu (arfie et al, 2010 dan vivas et al, 2019) .....	15
Tabel 2.4 <i>Properties</i> Plastik ABS (Khan, 2005 dan Beigbeder, 2013).....	18
Tabel 3. 1 Perhitungan Massa Komposit.....	32
Tabel 4.1 Hasil Uji Tarik.....	39
Tabel 4. 2 Hasil Descriptives Pengujian Tarik SPSS .....	53
Tabel 4. 3 Hasil Uji Homogenitas Pengujian tarik.....	54
Tabel 4. 4 Hasil Uji Anova Pengujian Tarik .....	54
Tabel 4.5 Hasil Uji Impak .....	56
Tabel 4.6 Hasil Descriptives Pengujian Impak SPSS .....	61
Tabel 4. 7 Hasil Uji Homogenitas Pengujian Impak.....	61
Tabel 4. 8 Hasil Uji Anova Pengujian Impak .....	62

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pemilihan material di bidang industri merupakan suatu hal yang krusial. Sifat mekanis, biaya, serta proses manufaktur merupakan beberapa hal yang perlu diperhatikan. Salah satu material yang banyak dibutuhkan dalam berbagai aplikasi adalah plastik. Aplikasi penggunaan plastik tersebut terkadang membutuhkan kekuatan dan ketangguhan yang lebih. Namun jika material tersebut diganti dengan material logam, hasilnya kemungkinan akan terlalu mahal, terlalu berat, dan *overdesign*. Di sinilah material komposit berperan dan semakin dibutuhkan, untuk menciptakan sifat mekanis baru yang kuat, namun juga ringan dan hemat. Material komposit terdiri dari dua material penyusun yang berbeda yang disebut sebagai matriks dan penguat. Tujuan dari pembuatan komposit adalah menghasilkan material baru yang memiliki sifat unggul dari material pembentuknya.

Indonesia merupakan negara yang kaya akan aneka tumbuhan, yang salah satunya adalah bambu. Tanaman bambu di Indonesia dapat ditemukan mulai dari dataran rendah sampai pegunungan, yang pada umumnya ditemukan beberapa tempat terbuka dan bebas dari genangan air. Dalam kehidupan masyarakat pedesaan di Indonesia, bambu memegang peranan yang sangat penting. Bahan bambu dikenal oleh masyarakat memiliki sifat-sifat yang baik untuk dimanfaatkan karena batangnya kuat, lurus, rata, keras, mudah dibelah, mudah dibentuk, dan mudah dikerjakan. Selain itu bambu juga relatif lebih murah dibanding bahan bangunan lain karena banyak ditemukan di sekitar pemukiman pedesaan (Widjaja, 2001).

Serat bambu merupakan salah satu serat alam yang dapat dijadikan bahan penguat komposit. Salah satu keunggulan serat alam yaitu elastis, kuat, bahan baku melimpah, ramah lingkungan, dan pembuatannya mengkonsumsi energi sekitar 70%, yang lebih rendah dibandingkan dengan komposit polimer serat gelas (Jansen, 1987).

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda (Widodo B, 2008). Dari campuran tersebut akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya.

Komposit dari bahan serat terus diteliti dan dikembangkan karena sifat komposit serat yang lebih kuat dan ringan dibandingkan dengan logam. Penggunaan komposit dengan serat yang berasal dari alam tidak terlepas dari sifat-sifat unggul yang dimiliki komposit serat yaitu ringan, kuat, kaku serta tahan terhadap korosi.

Serat alam memiliki keunggulan ramah lingkungan dari segi produksi maupun jika produk tersebut telah selesai digunakan karena dapat didaur ulang. Komposit ini dibuat dengan tujuan mendekati material aslinya. Komposit dibuat dan diuji pada penelitian ini terbuat dari matriks resin polyurethane dan serat anyaman bambu. Resin polyurethane dipilih karena merupakan bahan yang mempunyai kekuatan dan ketahanan sempurna, serta memiliki tingkat kekerasan sesuai kebutuhan. Serat anyaman bambu dipilih karena mudah ditemukan dan cenderung murah jika dibandingkan dengan serat buatan. Serta bambu sudah banyak diaplikasikan dalam kehidupan, mulai dari anyaman, hingga lantai dan dinding bangunan ada yang menggunakan bambu sebagai bahan penguatnya.

Serat alam merupakan alternatif bahan pengisi untuk berbagai komposit polimer karena keunggulannya dibanding serat sintesis. Serat alam mudah didapatkan dengan harga yang murah, mudah diproses. Bahan komposit serat mempunyai keunggulan yang utama yaitu kuat, tangguh dan lebih tahan terhadap panas pada saat didalam matriks. Dalam perkembangan teknologi pengolahan serat, membuat serat sekarang makin diunggulkan dibandingkan material

matriks yang digunakan. Cara yang digunakan untuk mengkombinasi serat berkekuatan tarik tinggi dan bermodulus elastisitas tinggi dengan matrik yang bermassa ringan, berkekuatan tarik rendah, serta bermodulus elastisitas rendah makin banyak dikembangkan guna untuk memperoleh hasil yang maksimal. Bambu merupakan salah satu alternatif penggunaan untuk bahan pengisi komposit dikarenakan ketersediaan di alam yang melimpah serta kemampuan bambu yang mudah didaur ulang atau biodegradable.

Anyaman bambu yang digunakan sebagai penguat komposit dicari sifat mekanik yang paling kuat dan tangguh dengan variasi orientasi sudut. Sayangnya anyaman bambu pada penelitian ini melewati proses alkalisasi yang menghilangkan lignin, yaitu bagian paling luar serat menyerupai lilin yang mengurangi kemampuan *wettability* serat. Sehingga perlu dilakukan proses alkalisasi untuk mengoptimalkan *wettability* serat dan memaksimalkan terbentuknya *interface* pada komposit. Dari penelitian oleh Maryanti et al, 2011 dan Di Salvio et al, 2019 telah disimpulkan bahwa alkalisasi serat dari alam kekuatan tarik dan impaknya optimal direndam dalam larutan NaOH 5% selama 1-2 jam.

Dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Fauzan di tahun 2021 menggunakan metode *hand lay-up* pada pembuatan dan karakterisasi komposit serbuk kelapa dengan resin epoksi. Penulis menyarankan untuk menggunakan komposisi material komposit yang berbeda dan untuk dilakukannya metode pembuatan lain seperti *vacuum bagging* atau *compression molding*. Maka digunakan komposisi material penguat komposit anyaman bambu dan digunakan metode pembuatan *vacuum bagging* pada penelitian komposit anyaman bambu ini.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, adapun rumusan masalah pada penelitian ini yaitu

1. Bagaimana pengaruh variasi sudut anyaman bambu dengan resin polyurethane terhadap uji tarik dan uji impak?
2. Bagaimana karakterisasi uji tarik dan uji impak dari komposit polyurethane berpenguat anyaman bambu?
3. Bagaimana mekanisme kegagalan komposit terhadap uji tarik dan uji impak?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Menganalisis pengaruh variasi sudut anyaman bambu dengan resin polyurethane terhadap uji tarik dan uji impak.
2. Menganalisis karakterisasi uji tarik dan uji impak dari komposit polyurethane berpenguat anyaman bambu.
3. Menganalisis mekanisme kegagalan komposit terhadap uji tarik dan uji impak.

## 1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini mencapai tujuan yang diinginkan, maka batasan masalah yang diberikan adalah sebagai berikut

1. Pembuatan komposit menggunakan metode *vacuum bagging*.
2. Pembuatan dan pengujian dilakukan pada suhu dan kelembaban ruang.
3. Spesimen dan standar pengujian mengacu pada ASTM D3039 untuk uji tarik komposit.
4. Spesimen dan standar pengujian mengacu pada ASTM D256 untuk uji impak komposit.
5. Komposit berpenguat sayatan bambu disusun secara anyaman dengan pola anyaman *plain* dan anyaman *twill*.
6. Variasi sudut orientasi anyaman bambu yang digunakan yaitu 45° dan 90°.

7. Pembuatan komposit menggunakan komposisi resin polyurethane dan anyaman bambu dengan perbandingan massa 70 : 30.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh dari jenis anyaman dan sudut anyaman bambu terhadap karakteristik uji tarik dan uji impak pada material komposit dengan resin polyurethane berpenguat anyaman bambu yang kedepannya dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian berikutnya.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Arfie pada tahun 2010 melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Kekuatan Tarik Komposit Serat Bambu Laminat Helai Dan *Wooven* Yang Dibuat Dengan Metode Manufaktur *Hand Lay-up*” dengan standar uji tarik ASTM D3039 bertujuan untuk mendapatkan karakteristik penggunaan serat bambu dalam komposit maupun *sandwich*. Bambu yang digunakan adalah jenis bambu tali (*Gigantochloa Apus*). Matrik yang digunakan adalah resin *epoxy* dengan katalis *epoxy* hardener. Selanjutnya dilakukan pengujian tarik untuk mendaoatkan nilai *modulus young* untuk serat bambu helai dengan arah  $0^\circ$  dan komposit serat bambu dengan arah  $0^\circ/90^\circ$  cukup besar. Namun untuk spesimen komposit serat bambu helai dengan arah  $90^\circ$  dan komposit serat bambu anyam dengan arah  $+45^\circ/-45^\circ$ , *modulus young* yang didapat nilainya kecil karena arah serat  $90^\circ$  dan  $+45^\circ/-45^\circ$  tidak kuat menahan beban tarik longitudinal.

Kegagalan yang terjadi pada spesimen disebabkan oleh adhesive yang berupa resin epoxy tidak kuat menahan beban geser sehingga pada saat pengujian resin terlepas dari serat. Patahan yang terjadi di dekat penjepit karena adanya konsentrasi tegangan yang tinggi di daerah penjepit dan spesimen tidak dapat menahannya. Ultimate strength untuk komposit serat bambu helai dengan arah  $0^\circ$  dan komposit serat bambu anyam dengan arah  $0^\circ/90^\circ$  memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit serat bambu helai dengan arah  $90^\circ$  dan komposit serat bambu anyam dengan arah  $+45^\circ/-45^\circ$ . Hal ini menyatakan nilai ultimate strength akan lebih tinggi jika pada pengujian diberikan beban tarik yang searah dengan serat.

Abd. Kadir et al pada tahun 2014 melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Pola Anyaman Terhadap Kekuatan Tarik dan Bending Komposit Berpenguat Serat Bambu” bertujuan untuk mengetahui pengaruh pola anyaman terhadap kekuatan tarik dan bending komposit berpenguat serat bambu. Bahan yang digunakan adalah serat bambu apus dan bahan matrik adalah resin polyester dan pola anyaman adalah plain, twill, dan random. Pengujian spesimen berdasarkan standar ASTM D 638-01 untuk uji tarik dan standar ASTM D 790-02 untuk uji bending. Hasil pengujian menunjukkan nilai uji tarik tertinggi terdapat pada komposit dengan anyaman plain ( $20,234 \text{ N/mm}^2$ ), sedangkan nilai kekuatan tarik terendah terdapat pada komposit anyaman random ( $3,451 \text{ N/mm}^2$ ). Pada pengujian bending, nilai kekuatan bending tertinggi terdapat pada anyaman plain ( $41,707 \text{ N/mm}^2$ ), sedangkan nilai kekuatan bending terendah terdapat pada anyaman random ( $15,061 \text{ N/mm}^2$ ).

Sofyan pada tahun 2014 melakukan penelitian berjudul “Kekuatan Tarik Komposit Matrik Polimer Berpenguat Serat Alam Bambu *Gigantochloa Apus* Jenis Anyaman Diamond Braid dan Plain Weave” menggunakan metode penelitian dengan pembuatan cetakan (molding) dengan ukuran  $500 \times 500 \times 20 \text{ mm}$ , dan matrik yang digunakan polymer dan reinforcement berupa fiber bahan alam bambu jenis *gigantochloa apus* dipotong berbentuk serat. Pemoangan bambu sebagai reinforcement berbentuk serat dengan ketebalan 1,5 mm, pembuatan anyaman tipe diamond braid dan plain weave, proses manufaktur bahan komposit dengan metode hand lay-up, ketebalan bahan komposit 4 mm, pembuatan spesimen dengan standar ASTM D 3039 dengan sudut orientasi  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ . Selanjutnya dilakukan proses pengujian tarik untuk mendapatkan nilai kekuatan tarik maksimum (ultimate tensile strength). Nilai kekuatan tarik maksimum untuk spesimen diamond braid sudut orientasi  $0^\circ$  :  $1,963 \text{ N/mm}^2$ ,  $45^\circ$  :  $2,387 \text{ N/mm}^2$  dan  $90^\circ$  :  $2,253 \text{ N/mm}^2$ . Nilai kekuatan tarik maksimum untuk spesimen plain weave sudut orientasi  $0^\circ$  :  $4,2 \text{ N/mm}^2$ ,  $45^\circ$  :  $2,017 \text{ N/mm}^2$  dan  $90^\circ$  :  $4,2 \text{ N/mm}^2$ .

Agung pada tahun 2015 melakukan penelitian berjudul “Pengembangan Komposit Polimer Epoxy Berpenguat Serat Bambu dan Serat Sabut Kelapa Untuk Aplikasi Running

Boards” untuk mengetahui kekuatan dan ketangguhan material komposit polimer epoxy berpenguat serat bambu dan serat sabut kelapa untuk aplikasi running boards. Proses pembuatan komposit dilakukan dengan metode hand lay-up, dengan variable bebasnya adalah fraksi volume serat dengan variasi 5%; 7.5%; 10%, rasio serat hybrid serat bambu (SB) dan serat sabut kelapa (SSK) 30%:70% ; 50%:50% ; 70%:30%, orientasi arah serat bambu ( $^{\circ}$ ) dengan variasi :  $90^{\circ}$  ;  $45^{\circ}$  ;  $0^{\circ}$  dan Orientasi arah serat sabut kelapa ( $^{\circ}$ ) dengan variasi :  $90^{\circ}$  ;  $-45^{\circ}$  ;  $0^{\circ}$ . Dan variabel tetapnya adalah perlakuan alkali 5% pada serat selama dua jam, dan panjang masing-masing serat 10 cm.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa modulus elastisitas optimum komposit sebesar 320.19 MPa terdapat pada spesimen dengan fraksi volume serat 10%, rasio serat hybrid SB:SSK adalah 50:50, orientasi arah serat SB  $90^{\circ}$ , dan orientasi arah serat SSK  $0^{\circ}$  telah memenuhi syarat kekakuan running boards dengan pembebanan statis sebesar 227 kg dan defleksi yang diizinkan sebesar 5mm. Sedangkan ketangguhan optimum komposit sebesar 0.4623 J/mm<sup>2</sup> dapat dicapai pada spesimen dengan fraksi volume serat 7.5%, rasio serat hybrid SB:SSK adalah 30:70, orientasi arah serat SB  $45^{\circ}$ , dan orientasi arah serat SSK  $0^{\circ}$ .

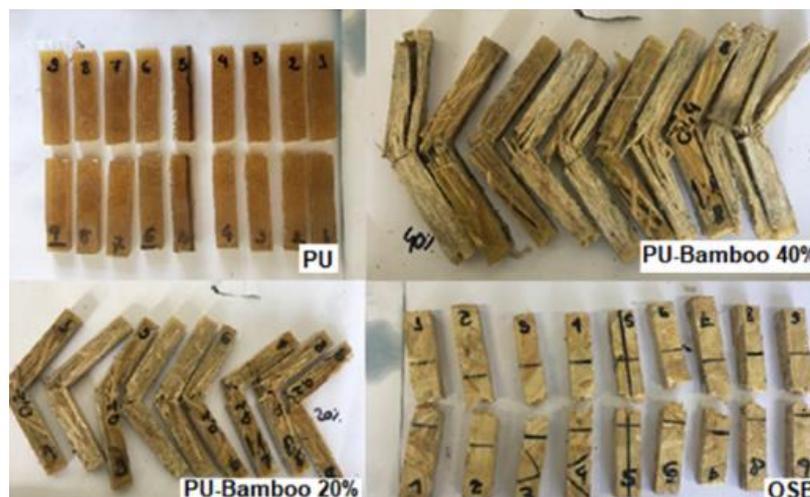


Gambar 2.1 Pengamatan Komposit dengan metode SEM (Agung, 2015)

Mariana pada tahun 2021 melakukan penelitian berjudul “*Natural based polyurethane matrix composites reinforced with bamboo fiber waste for use as oriented strand board*” yang bertujuan untuk mengembangkan dan membangun analisis komparatif dari sifat mekanik dan karakteristik fisik antara komposit resin poliuretan berbasis minyak jarak yang diperkuat dengan bambu berserat residu dan Oriented Strand Board (OSB) komersial, di mana ditentukan masalah teknis menggunakan komposit ini sebagai panel OSB. Serat bambu yang digunakan adalah tercemar sebagai residu dari industri stik barbekyu. Komposit dibuat dengan 20% dan 40% fraksi volume serat bambu lurus dan sejajar. Kepadatan, kelembaban, penyerapan, dan kekuatan mekanik komposit diuji dan dibandingkan dengan OSB komersial. Komposit tidak hanya menghadirkan kinerja mekanis yang lebih unggul daripada OSB komersial, melebihi 1000 J/m, 85 MPa dan 4,4 GPa untuk ketahanan benturan, kekuatan lentur, dan modulus elastisitas lentur, tetapi juga memenuhi standar persyaratan, sedangkan OSB komersial, gagal di sebagian besar kriteria standar yang diamati. Selain itu, bahan yang dikembangkan berkontribusi pada lingkungan yang berkelanjutan dengan menggunakan keduanya limbah bambu dan resin poliuretan berbasis minyak jarak dalam bahan komposit.

Analisis dengan piknometri serat bambu untuk menentukan kepadatan menghasilkan nilai yang lebih tinggi dari ditemukan dalam literatur. Gambar SEM memperkuat pernyataan

bahwa serat memiliki permukaan kasar, yaitu poin positif untuk digunakan sebagai penguat dalam polimer matriks. Untuk pengujian lentur, disimpulkan bahwa Pose yang diperkuat oleh serat bambu menghadirkan keunggulan resistensi terhadap panel OSB komersial, dengan OSB menunjukkan patah tulang yang fatal (*catastrophic fracture*). *Flexural elastic modulus* dan kekuatan untuk komposit 40% keduanya sekitar 4 kali lebih tinggi dari pencapaian OSB komersial hampir 4,5 GPa dan 85,5 MPa, masing-masing. Mengenai hasil dampak, komposit diserap menjadi 1 kJ/m. Memang, nilai-nilai ini menunjukkan bahwa komposit dibuat dengan fraksi volume 20 dan 40% serat bambu per- formasinya 11 dan 26 kali lebih baik dari komersial OSB, masing-masing. Hasilnya membuktikan bahwa ada kemungkinan untuk mengganti OSB dengan bahan komposit resin poliuretan nabati yang diperkuat oleh serat bambu, tidak hanya mempertahankan kekuatan mekanik, tetapi juga meningkatkannya.



Gambar 2.2 Aspek Makroskopik dari fraktur spesimen hasil uji impak charpy (Mariana, 2021)

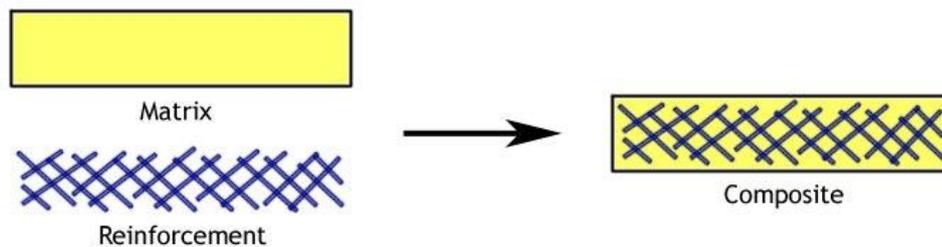
Hilman pada tahun 2021 melakukan penelitian berjudul “Studi Eksperimental Sifat Mekanis Komposit Serat Sabut Kelapa Sebagai Material Alternatif Bumper Mobil” menggunakan metode *hand layup* pada pembuatan material alternatif bumper mobil dengan komposit serat sabut kelapa dengan resin epoksi. Dilakukan pengujian tarik dan impak pada penelitian ini, dimana menggunakan variasi fraksi volume komposit serat sabut kelapa 10%, 20%, 30%. Hasil yang didapatkan berdasarkan uji tarik didapatkan kekuatan tarik, kekuatan luluh, modulus elastisitas, dan pemanjangan komposit serat sabut kelapa. Berdasarkan pengujian tarik, semakin besar volume serat sabut kelapa yang digunakan maka akan semakin besar pula kekuatan tarik, luluh, dan modulus elastisitas komposit tersebut. Pada pengujian impak didapatkan kekuatan impak, berdasarkan pengujian impak semakin banyak volume serat sabut kelapa maka semakin tinggi energi yang dapat diserap oleh komposit dan semakin tinggi pula kekuatan impaknya.

Berdasarkan hasil pengujian tarik dan impak, sifat mekanis komposit serat sabut kelapa dan resin epoksi dengan proses alkalisasi serat direndam menggunakan larutan NaOH 5% selama 2 jam menggunakan metode *press moulding* dengan orientasi serat acak kekuatannya masih dibawah kekuatan plastik ABS yang merupakan material yang umum digunakan untuk bumper mobil. Pada penelitian berikutnya penulis menyarankan menggunakan serat alam lainnya dan menggunakan matriks yang memiliki kekuatan yang lebih baik agar dapat meningkatkan kekuatan komposit, serta menyarankan menggunakan metode pembuatan *vacuum bagging* agar meminimalisir *void* pada komposit agar material lebih kuat.

## 2.2 Komposit

Komposit adalah suatu jenis material baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan yang masing-masing sifatnya berbeda satu sama lain, baik itu sifat kimia maupun sifat fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut yaitu bahan komposit. Tujuan dibentuknya komposit yaitu menghasilkan material yang baru yang memiliki sifat unggul dari material pembentuknya, memperbaiki sifat mekanik dan/atau sifat spesifik tertentu, mempermudah desain yang sulit pada proses manufaktur, keeluasaan dalam desain yang dapat menghemat biaya, dan menjadikan bahan lebih ringan. Dengan kelebihan tersebut, komposit banyak diaplikasikan dalam peralatan-peralatan berteknologi tinggi di bidang industri, transportasi, serta konstruksi bangunan.

Penyusun material komposit umumnya dibagi menjadi dua macam, yaitu matriks (*matrix*) dan penguat (*reinforcement*). Matriks adalah fasa kontinu dalam komposit, umumnya mempunyai bagian atau fraksi volume yang dominan. Fungsi dari matriks pada komposit adalah memberikan bentuk pada struktur komposit, sebagai pengikat atau penyangga, sebagai transfer tegangan, dan sebagai pelindung fasa lain. Penguat atau *reinforcement* merupakan fasa diskontinu yang berfungsi sebagai penanggung beban utama komposit.

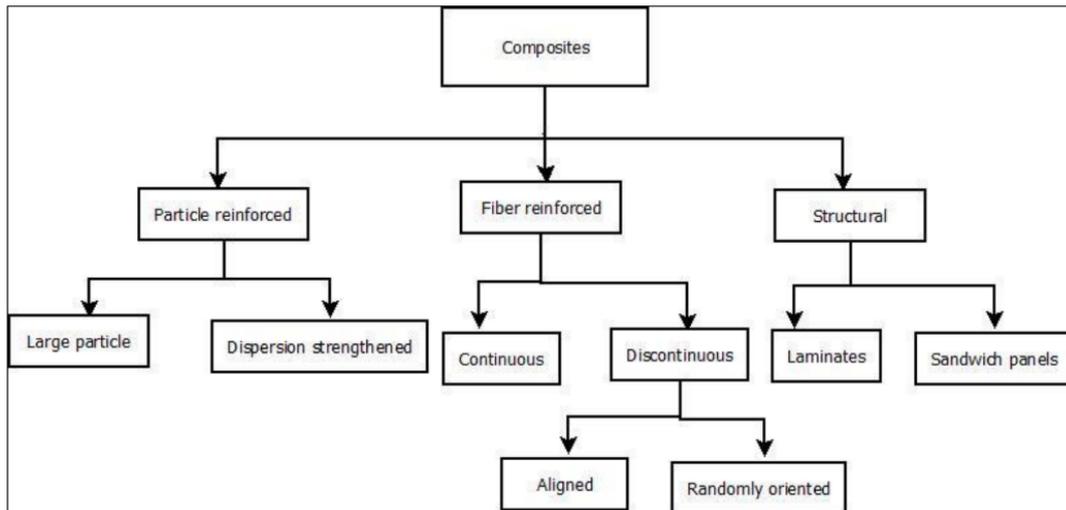


Gambar 2.3 Material Penyusun Komposit (Fauzan, 2021)

Jenis komposit berdasarkan jenis matriks terdiri dari

1. *Polymer Matrix Composite* (PMC) yang merupakan komposit dengan jenis matriks polimer. (Contoh: Thermoplastik, Thermosetting)
2. *Metal Matrix Composite* (MMC) yang merupakan komposit berbahan matriks logam. (Contoh: Alumunium, Magnesium, dan Titanium)
3. *Ceramic Matrix Composite* (CMC) yaitu komposit dengan bahan matriks keramik. (Contoh: Alumina, Aluminium Titanate, Silicon Carbide)

Komposit berbahan matriks logam banyak diaplikasikan pada bidang kedirgantaraan dan komponen otomotif. Sedangkan komposit berbahan matriks keramik banyak digunakan untuk keperluan perlindungan panas pada pesawat luar angkasa dan komponen pada roket. Komposit berbahan polimer sering digunakan pada alat-alat rumah tangga hingga peralatan elektronik.



Gambar 2.4 Klasifikasi Komposit (Fauzan, 2021)

Bahan polimer pada matriks dibagi menjadi dua jenis, yaitu termoset dan termoplastik. Polimer termoset adalah bahan yang akan menjadi keras jika dipanaskan di atas temperatur kritisnya dan tidak dapat diperlunak dengan cara dipanaskan. Polimer termoset tidak dapat didaur ulang. Contoh matriks polimer termoset adalah epoksi dan poliester. Polimer termoplastik adalah polimer yang dapat dilunakkan dengan cara dipanaskan di atas temperatur kritisnya. Polimer termoplastik dapat didaur ulang. Contoh polimer termoplastik adalah polistirena dan nilon.

Material penguat adalah salah satu penyusun utama pada material komposit. Material ini secara umum berbentuk serat baik serat panjang dan serat pendek. Mayoritas fraksi volume dari material komposit terdiri dari material penguat ini agar beban yang dikenakan dapat terdistribusi dengan baik ke material penguat. Pemilihan jenis serat, fraksi volume serat, panjang serat, dan arah serat akan mempengaruhi karakteristik material komposit sebagai berikut: berat jenis, kekuatan tarik dan modulus elastisitas, kekuatan tekan dan modulus, ketahanan lelah, mekanisme kegagalan, serta biaya produksi. Berdasarkan jenis penguatnya, komposit dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain:

1. Komposit Berpenguat Partikel  
Merupakan komposit yang penguatnya berupa fase partikel. (Contoh: Beton, yang merupakan bahan baku bangunan dimana matriksnya adalah semen sedangkan penguatnya adalah pasir)
2. Komposit Berpenguat Serat  
Merupakan komposit yang fase penguatnya berupa serat. (Contoh: *fiber glass* dalam matriks polimer dan serat alam dalam matriks polimer)
3. Komposisi Berpenguat Struktur  
Merupakan komposit yang penguatnya berupa lapisan maupun struktural. (Contoh: *polywood*)
4. Hybrid Composite  
Merupakan suatu jenis komposit yang penguatnya lebih dari satu jenis penguat ke dalam satu matriks. Tujuan dari hibridisasi adalah untuk membuat suatu material baru yang mengandung keunggulan dari penyusunnya. (Contoh dari hybrid composite adalah Glass Reinforced Fiber Metal Laminate atau disingkat GLARE)

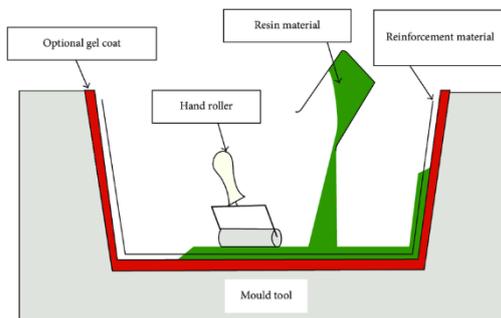
### 2.3 Metode Pembuatan Komposit

Komposit dapat dibuat dengan berbagai metode yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan

dan bahan yang tersedia. Berikut merupakan metode-metode pembuatan komposit.

- *Hand Layup*

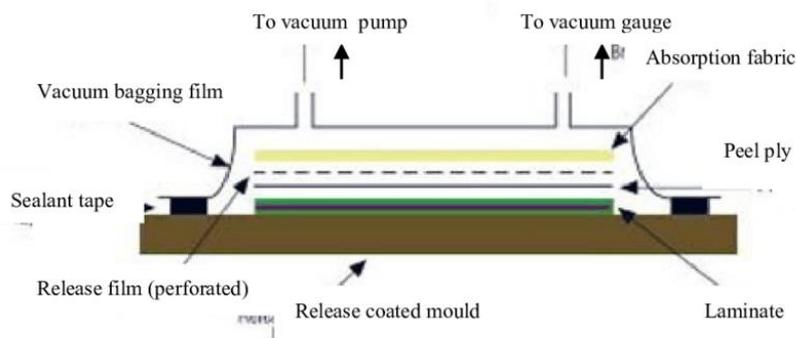
*Hand layup* adalah metode yang paling sederhana dari proses fabrikasi komposit. Adapun proses dari pembuatan dengan metode ini adalah dengan cara menuangkan resin ke dalam cetakan berisi penguat kemudian diberi tekanan sekaligus meratakannya menggunakan rol atau kuas. Proses tersebut dilakukan berkali-kali hingga ketebalan yang diinginkan tercapai. Biasanya proses pencetakan dilakukan pada temperatur kamar. Kelebihan penggunaan metode ini yaitu mudah dilakukan, cocok digunakan untuk komponen yang besar maupun kecil. Pada metode *hand layup* ini, resin yang paling banyak digunakan adalah poliester dan epoksi. Proses ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.5 Metode Pembuatan *Hand layup* (Fauzan, 2021)

- *Vacuum Bag*

Proses *vacuum bag* merupakan penyempurnaan dari metode *hand layup*. Tujuan dari proses vakum ini adalah menghilangkan udara yang terperangkap, serta resin yang berlebih. Pada proses ini pompa vakum digunakan untuk menghisap udara pada wadah komposit saat proses pencetakan. Dengan vakumnya udara dalam wadah tersebut, udara di luar penutup plastik akan menekan ke arah dalam. Hal ini meminimalisir udara yang terperangkap dalam komposit, sehingga memiliki sifat yang lebih baik dari *hand layup* seperti penguatan konsentrasi material yang lebih tinggi, adhesi yang lebih baik antar lapisan, dan kontrol lebih terhadap resin.

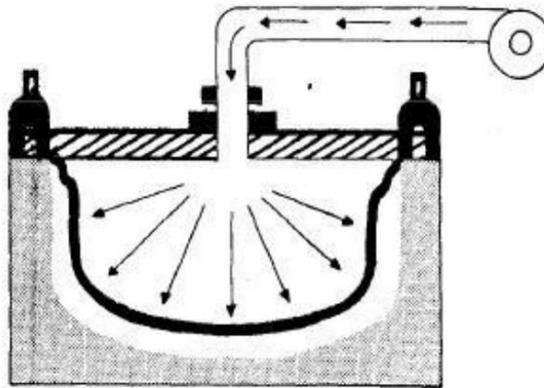


Gambar 2.6 Metode Pembuatan *Vacuum Bag* (Fauzan, 2021)

- *Pressure Bag*

Metode *pressure bag* memiliki kesamaan dengan metode *vacuum bag*. Namun metode ini tidak memakai pompa vakum melainkan menggunakan udara atau uap bertekanan yang dimasukkan melalui suatu wadah elastis. Wadah elastis inilah yang akan berkontak

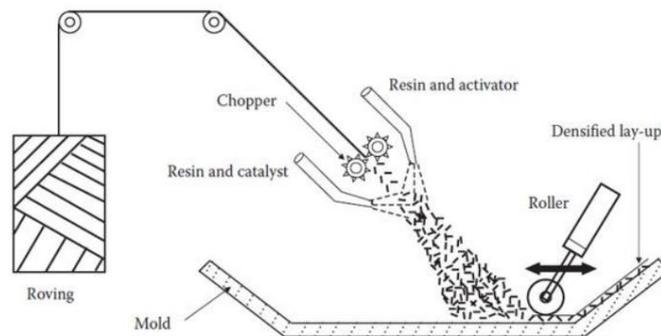
dengan komposit yang akan dicetak. Biasanya tekanan yang diberikan pada proses ini cukup besar yaitu sekitar 30 hingga 50 psi.



Gambar 2.7 Metode Pembuatan Pressure Bag (Fauzan, 2021)

- *Spray-Up*

*Spray-up* merupakan metode cetakan terbuka yang dapat menghasilkan bagian-bagian yang lebih kompleks namun ekonomis jika dibandingkan dengan *hand layup*. Proses *spray-up* dilakukan dengan cara menyemprotkan serat yang telah melewati tempat pemotong (*chopper*). Sementara resin yang telah dicampur dengan katalis juga disemprotkan secara bersamaan pada cetakan yang telah disiapkan sebelumnya. Proses selanjutnya adalah dengan membiarkannya mengeras pada kondisi atmosfer standar.

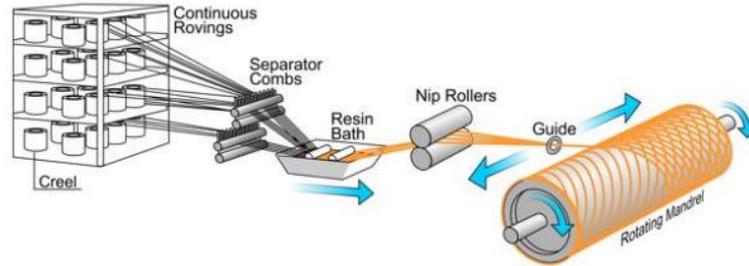


Gambar 2.8 Metode Pembuatan *Spray-Up* (Fauzan, 2021)

- *Filament Winding*

*Filament winding* digunakan untuk membuat komposit silinder berlubang yang memiliki kekuatan yang tinggi. Adapun aplikasi dari proses *filament winding* ini yaitu untuk memproduksi pipa, bejana tekan, motor roket, hingga tongkat golf dan pipa. Proses ini dilakukan dengan cara fiber tipe *roving* atau *single-strand* dilewatkan melalui wadah yang berisi resin. Kemudian fiber tersebut akan diputar sekeliling *mandrel* yang bergerak dua arah, arah radial dan tangensial. Proses ini dilakukan berulang kali, sehingga didapatkan lapisan serat dan fiber sesuai dengan yang diinginkan. Resin thermosetting yang biasa digunakan pada proses ini adalah poliester, vinil ester, epoksi, dan fenolat. Kelebihan metode ini yaitu hanya sedikit membutuhkan jumlah operator, kontrol yang presisi terhadap produk, sehingga dihasilkan produk yang memiliki kekuatan yang tinggi pada segala arah dan kualitas yang konsisten, dapat memproduksi produk dengan ukuran besar, dan material yang tidak terpakai (*wasted material*) jumlahnya sangat sedikit. Sedangkan kekurangannya adalah kekuatan geser dan

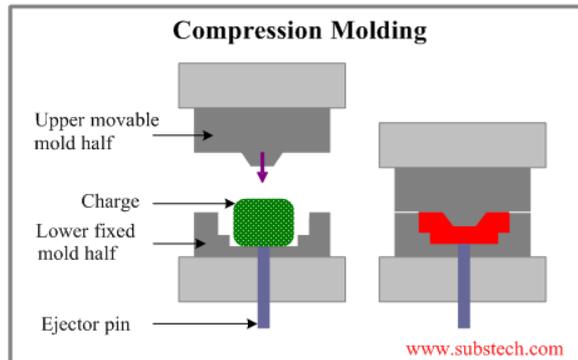
kekuatan tekannya rendah.



Gambar 2.9 Metode Pembuatan *Filament Winding* (Fauzan, 2021)

- *Compression Molding*

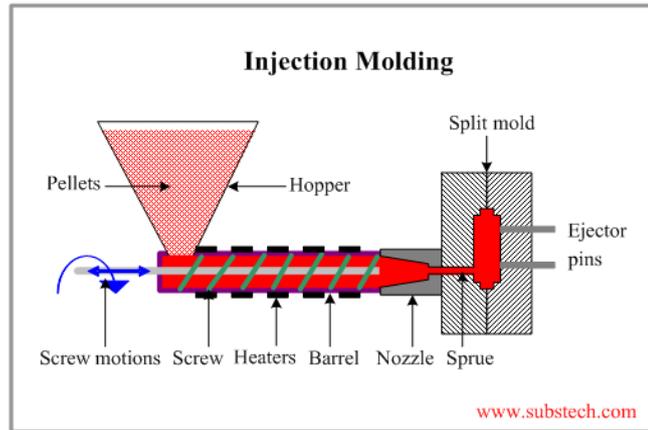
Proses ini menggunakan tenaga hidrolik sebagai penekannya. Fiber yang telah dicampur dengan resin dimasukkan ke dalam rongga cetakan, kemudian dilakukan penekanan dan pemanasan. Resin termoset yang digunakan dalam proses *compression molding* ini adalah poliester, vinil ester, epoksi, dan fenolat. Aplikasi dari proses ini adalah alat rumah, kontainer besar, alat listrik, panel bodi kendaraan, kerangka sepeda, hingga jet ski.



Gambar 2.10 Metode Pembuatan *Compression Molding* (Fauzan, 2021)

- *Injection Molding*

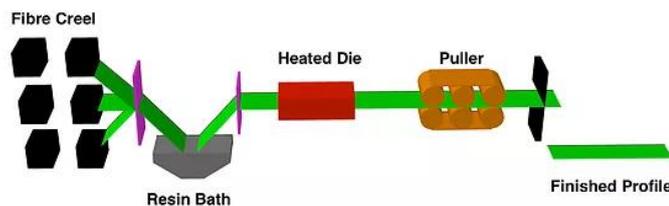
Metode *injection molding* juga dikenal sebagai pencetakan cairan atau pelapisan dengan tekanan tinggi. Untuk melakukan proses ini, fiber dan resin dimasukkan ke dalam rongga cetakan bagian atas, kondisi temperatur dijaga supaya tetap dapat mencairkan resin. Resin cair beserta fiber akan mengalir ke bagian bawah, kemudian injeksi dilakukan oleh *mandrel* ke arah nozel menuju cetakan. Pada proses ini resin polimer reaktif yang digunakan seperti polioliol, isosianat, poliuretan, dan poliamida menyediakan siklus pencetakan cepat yang cocok untuk aplikasi otomotif. Aplikasi secara umum meliputi bumper otomotif, alat-alat rumah, dan komponen mebel.



Gambar 2.11 Metode Pembuatan *Injection Molding* (Fauzan, 2021)

- *Continuous Pultrusion*

Proses ini dilakukan dengan cara fiber jenis roving dilewatkan melalui wadah berisi resin, kemudian secara kontinu dilewatkan ke cetakan pracetak dan diawetkan (*cure*), kemudian dilakukan pengerolan sesuai dengan dimensi yang diinginkan. Selanjutnya dilewatkan pada cetakan yang telah dipanaskan. Fungsi dari cetakan tersebut adalah mengontrol kandungan resin, melengkapi pengisian serat, dan mengerasakan bahan menjadi bentuk akhir setelah melewati cetakan.

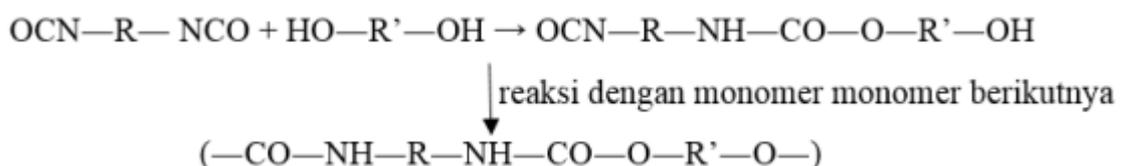


Gambar 2.12 Metode Pembuatan *Continuous Pultrusion* (Fauzan, 2021)

## 2.4 Polyurethane

Polyurethane (PU) merupakan salah satu material polimer serbaguna karena produknya dapat diaplikasikan diberbagai sector. Produk polyurethane ini dapat diaplikasikan sebagai busa, elastomer, cat, perekat, isolasi, konstruksi, industri otomotif, peralatan manufaktur, dan sebagainya (Sakti, 2013). Keunggulan *polyurethane* jika dibandingkan dengan bahan lain (*metal, wood, plastic* dan *rubber*) antara lain adalah karena material ini bersifat ulet, tidak mudah putus, ringan, fleksibel, bahan kekuatannya lebih baik dari bahan *rubber*.

Polyurethane merupakan bahan polimer yang mempunyai ciri khas adanya gugus fungsi urethane (-NHCOO-) dalam rantai utama polimer. Gugus fungsi urethane dihasilkan dari reaksi antara senyawa yang mengandung gugus hidroksil (-OH) yang biasa disebut polyol dengan senyawa yang mengandung gugus isocyanate (-NCO-).



Gambar 2.13 Reaksi Polyurethane (Komariyah et al, 2016)

Polyurethane (PU) foam adalah salah satu produk utama dari material urethane. Pada dasarnya material ini diproduksi dari polyol, isocyanate, air, katalis dan surfactant. Dari bahan-bahan tersebut, campuran polyol dan isocyanate akan membentuk ikatan polyurethane. Komponen lain seperti air ditambahkan sebagai blowing agent untuk membentuk foam sementara katalis dan surfactant berfungsi sebagai penyokong pertumbuhan inti dan juga sebagai penstabil foam pada saat tahap berkembangnya foam.

Polyurethane biasanya digunakan dengan filler berbentuk serat, partikel dan lainnya. Pada masa kini, telah dilakukan penelitian bahwa penambahan filler seperti PET, carbon nanotube, calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomite ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), calcium carbonate dan silica akan meningkatkan property mekanik, kemampuan akustik dan kemampuan untuk di *recycle*. (Ting, LiangLiang, 2011).

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, PU merupakan bahan hasil produksi hasil poliadisi yang ditemukan oleh Otto Bayer digunakan sebagai busa keras maupun lunak serta sebagai bahan pelapis dan campuran elastomer. PU dibuat dengan meraksikan diisocyanate dengan diol menghasilkan struktur blok yang terdiri atas bagian yang keras (isocyanate dan diol berantai pendek) dan bagian yang lunak (diol berantai Panjang). Keras dan lunaknya PU dihasilkan dari variasi ketiga komponen pembentuk blok tersebut.

Reaksi polyurethane menghasilkan busa yang berisi gas. Gas memiliki kekuatan mekanik yang rendah. Oleh karena itu semakin banyak gas yang terbentuk maka semakin berkurang kekuatan dari busa *polyurethane*, semakin rendah densitas *polyurethane* menunjukkan semakin kecil modulus young. Jika rasio tinggi-lebar cell meningkat, maka *tensile* dan *compressive strength* juga meningkat. *Open cell structure* memiliki kelemahan yaitu rendahnya sifat mekanik, namun memiliki kelebihan pada absorbs suara. (Ashida, 2007)

<b>Sifat Fisik</b>	
<i>Density</i>	1.12-1.24 gr/cm <sup>3</sup>
<i>Viscosity</i>	800-1000 mPas
Serapan air	0.15-0.19 %
<i>Shrinkage</i>	0.4-1 %
<b>Sifat Mekanis</b>	
<i>Yield Strength</i>	63.6 Mpa
<i>Tensile Strength</i>	64.5 Mpa
<i>Modulus Young</i>	3.9 Gpa
<i>Impact Srength</i>	37 kJ/m <sup>2</sup>
<i>Poisson Ratio</i>	0.49
<i>Shear Modulus</i>	2.2 Mpa
<i>Compression Set</i>	10-45%
<i>Elongation at break</i>	10-86 %

Tabel 2.1 Sifat-sifat Polyurethane (Komariyah et al, 2016)

## 2.5 Bambu

Bambu merupakan tanaman sebangsa rumput yang banyak tumbuh di negara kita. Tanaman ini dapat tumbuh di daerah beriklim panas maupun dingin. Batang bambu bentuknya bulat, berongga, seluruhnya beruas, dapat dibelah kearah vertical dan lentur. Adanya ruas akan menambah kuatnya batang bambu. Berat jenis bambu sekitar 0,6 sampai 0,9 (kering udara) lebih ringan dari air (Monalisa dan Pieter, 2010).

Meskipun bambu cepat tumbuh namun tetap pada batas maksimumnya, yaitu untuk daerah tropis 6 bulan setelah tunas timbul. Ini merupakan suatu hal yang membedakan bambu

dengan pohon biasa. Bambu ditebang setelah berumur 4 tahun, jumlah bambu per hektar antara 100-500 rumpun atau 2000-14000 batang, tergantung jenis dan kesuburan tanahnya, sedangkan garis tengahnya antara 2-10 cm. Jenis bambu yang banyak dikenal di Indonesia adalah : bambu tali (Apus), bambu betung, bambu talang, bambu ater, bambu tutul, dan bambu wulung.

## 2.6 Pemanfaatan Bambu

Bambu memiliki manfaat yang sangat luas, mulai dari makanan, kerajinan, hingga kebutuhan industry dan bahan bangunan. Jenis-jenis bambu juga sangat beragam sehingga tiap jenis bambu memiliki karakteristik tersendiri dan berbeda-beda dalam pemanfaatannya. Bagian-bagian bambu yang banyak dimanfaatkan, yaitu :

### a. Akar

Akar tanaman bambu dapat berfungsi sebagai penahan erosi guna mencegah bahaya banjir. Akar bambu juga dapat berperan dalam menangani limbah beracun akibat keracunan merkuri. Bagian tanaman ini menyaring air yang terkena limbah tersebut melalui serabut-serabut akarnya.

### b. Batang

Batang bambu baik yang masih muda maupun yang sudah tua dapat digunakan untuk berbagai macam keperluan, namun demikian tidak semua jenis bambu dapat dimanfaatkan. Secara garis besar pemanfaatan batang bambu dapat digolongkan kedalam dua hal yaitu :

- Berdasarkan bentuk bahan baku yaitu :
  - 1) Bambu yang masih dalam keadaan bulat, umumnya digunakan untuk tiang pada bangunan rumah sederhana.
  - 2) Bambu yang sudah dibelah, umumnya digunakan untuk dinding rumah, rangka atap (yang terbuat dari ijuk atau rumbia), simpit, kerajinan tangan dan lain sebagainya.
  - 3) Gabungan bambu bulat dan sudah dibelah serta serat bambu, umumnya digunakan untuk kerajinan tangan, misalnya keranjang, kursi, meja, dan lain-lain.
- Berdasarkan penggunaan akhir yaitu untuk konstruksi dan non konstruksi.

## 2.7 Bambu Sebagai Penguat

Serat alam (natural fiber) seperti bambu, jute, straw, sisal dan coir sedang mendapat perhatian sebagai bahan penguat polymer untuk digunakan material komposit. Hal ini disebabkan karena :

- Serat alam lebih murah dibandingkan dengan serat sintetik (syntetic fiber)
- Memiliki berat jenis rendah
- Memiliki kekuatan spesifik yang tinggi
- Mudah diperoleh dan merupakan sumber daya alam yang dapat di olah kembali
- Kekuatan tarik dan modulus young rata-rata meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan cellulose

Seperti ditunjukkan dalam tabel 2.2 dibawah ini :

<i>Natural Fiber</i>	<i>Density</i> ( $10^{-3} \text{ kg. M}^{-3}$ )	<i>Cellulose</i> (%)	<i>Lignin</i>	<i>Migro Fibrilla angle</i> ( <i>degree</i> )
Coir	1150	43	45	30-49
Banana	1350	65	5	11
Sisal	1450	70	12	20-25
Jute	1450	63	11,7	8
Bambu	600-800	60,8	32,2	2-10

Tabel 2.2 Kandungan Jenis Serat Alami (Monalisa dan Pieter, 2010)

Dari sifat-sifat fisik sejumlah serat alam yang ditunjukkan pada tabel diatas, serat bambu meunjukkan prosentase kandungan cellulose nya cukup tinggi (60 %) dan sudut microbillar nya (2-10°) dan prosentasi lignin (32 %), serta densitas bambu lebih rendah dibandingkan serat alam lainnya. Dengan melihat sifat-sifat fisik bambu yang cukup baik, tentu akan menempatkan bambu sebagai material yang mempunyai karakteristik mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan serat alam lainnya.

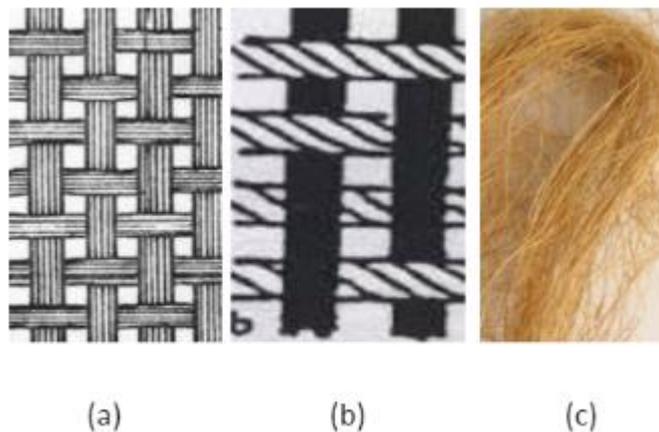
Berikut adalah data sifat mekanik dari bambu :

Mechanical Properties Bambu`	
<i>Density</i>	300-400 kg/m <sup>3</sup>
<i>Modulus Young</i>	18 GPa
<i>Tensile Strength</i>	150 MPa
<i>Tensile Modulus</i>	20.1GPa
<i>Compressive Strength</i>	39 MPa
<i>Compressive Modulus</i>	16 GPa
<i>Bending Strength</i>	76 MPa
<i>Bending Modulus</i>	14 GPa
<i>Strain to Failure</i>	2.58-5.78 %

Tabel 2. 3 Kekuatan Mekanik Bambu (arfie et al, 2010 dan vivas et al, 2019)

## 2.8 Pola Anyaman

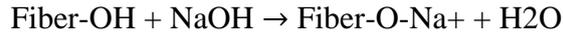
Selain bahan matrik dan serat, pola anyaman dapat mempengaruhi kekuatan komposit. Beberapa model anyaman yang dikembangkan antara lain anyaman polos (plain), basket, satin, twill dan kombinasinya. Pola anyaman memiliki jenis orientasi pakan/warp dan lusi/weft yang homogen maupun hibrida. Ada 3 anyaman dasar yang banyak digunakan seperti plain, twill dan satin dengan beberapa variasi (Alimaskur, 2011).



Gambar 2.14 Pola Anyaman : a). *Plain*, b). *Twill*, c). *Random* (Alimaskur, 2011)

## 2.9 Alkalisasi

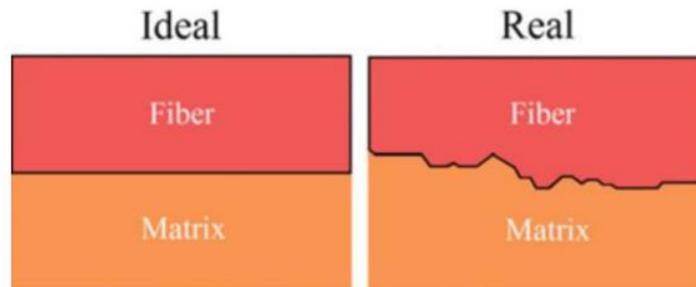
Untuk memperoleh ikatan yang baik antara matriks dan serat dilakukan modifikasi permukaan serat. Modifikasi permukaan dilakukan untuk meningkatkan kompatibilitas antara serat alam dengan matriks. Alkalisasi pada serat alam adalah metode yang telah digunakan untuk menghasilkan serat berkualitas tinggi. Alkalisasi pada serat merupakan metode perendaman serat ke dalam basa alkali. Reaksi berikut menggambarkan proses yang terjadi saat perlakuan alkali pada serat:



Proses alkalisasi menghilangkan komponen penyusun serat yang kurang efektif dalam menentukan kekuatan interface yaitu hemiselulosa, lignin atau pektin. Dengan berkurangnya hemiselulosa, lignin atau pektin, wettability serat oleh matriks akan semakin baik, sehingga kekuatan antarmuka pun akan meningkat. Selain itu, pengurangan hemiselulosa, lignin atau pektin, akan meningkatkan kekasaran permukaan yang menghasilkan mechanical interlocking yang lebih baik (Maryanti, 2011).

### 2.9.1 Antarmuka (*Interface*) dan Kemampubasahan (*Wettability*)

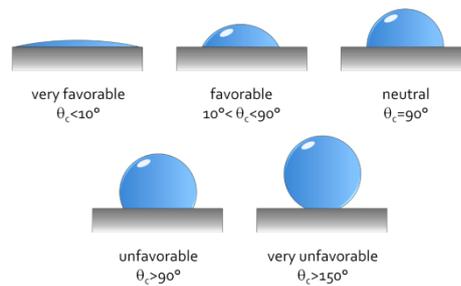
Interface merupakan daerah planar dengan ketebalan hanya beberapa mikron dan pada daerah ini terjadi perubahan sifat dari matriks dan penguat. Pengertian klasik dari interface adalah permukaan yang terbentuk di antara matriks dan penguat serta mengalami kontak dengan keduanya dengan membuat ikatan antara keduanya. Interface ditandai dengan adanya diskontinuitas. Perubahan sifat dari suatu sisi ke sisi lainnya (serat ke matriks atau sebaliknya) perubahan sifat dapat berupa sifat fisis, mekanis, termal, dan elektrik.



Gambar 2.15 *Interface* pada Komposit (Hilman, 2022)

Sifat bawaan bahan pembentuknya dan sifat interface akan menentukan sifat mekanis komposit yang dihasilkan. Interface dari komposit sangat berpengaruh terhadap proses transfer beban antara matriks dan penguat. Interface yang kuat akan memberikan kekuatan yang tinggi begitu juga sebaliknya. Sifat-sifat seperti ketahanan creep, kekuatan fatigue, dan ketahanan korosi juga dipengaruhi oleh interface. Interface yang tidak optimal menyebabkan beban yang diterima oleh serat lebih besar daripada beban yang diterima matriks. Kemudian matriks akan mengalami gagal geser yang memanjang searah serat dan menyebabkan patah brittle dengan banyak permukaan patah. Interface yang lemah menyebabkan debonding terjadi dan akan membentuk patahan yang banyak. Material lignoselulosa diketahui memiliki karakteristik ikatan yang buruk dengan resin sintetik. Hal ini disebabkan oleh adanya zat organik dan anorganik pada permukaan serat yang menghalangi kontak langsung antara matriks dengan serat. Sifat dari interface sangat tergantung kepada wettability antara matriks dan komposit.

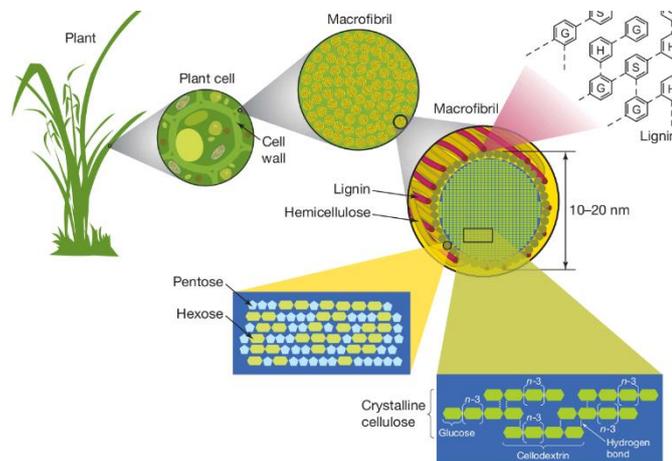
Kemampuan matriks untuk membasahi serat disebut dengan *wettability*. *Wettability* antara dua permukaan serat dan matriks akan berpengaruh langsung terhadap kekuatan komposit. Perilaku mampu basah atau tidak mampu basah permukaan padat oleh suatu cairan diukur secara sederhana menggunakan sudut kontak pada droplet (Rochery, 2006 dan Eral, 2011).



Gambar 2.16 Sudut Kontak *Wettability* pada Komposit (Hilman, 2022)

## 2.10 Struktur Serat Alam

Komponen utama penyusun serat adalah selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Serat alam dapat dianggap sebagai komposit dari fibril selulosa yang terbentuk bersama lignin dan hemiselulosa. Struktur lapisan pertama terdiri dari dinding primer dan dinding sekunder yang terdiri dari tiga lapisan. Berikut merupakan struktur dari serat alam.



Gambar 2.17 Struktur Serat Alam (Hilman, 2022)

Selulosa merupakan komponen struktural yang paling penting pada susunan serat alam. Selulosa mempunyai peran yang menentukan karakter serat. Selulosa memiliki sifat tidak larut dalam pelarut organik dan air. Selain itu selulosa juga tidak mudah terhidrolisis dalam larutan alkali namun mudah terhidrolisis dalam asam pekat (Robinson, 1995). Hemiselulosa diartikan sebagai selulosa molekul rendah. Pada serat alam, hemiselulosa berfungsi sebagai matriks dari selulosa. Hemiselulosa lebih mudah terhidrolisis dibandingkan dengan selulosa. Pada asam dan basa encer, selulosa akan terhidrolisis dan larut (Timell, 1967). Lignin juga berfungsi sebagai pengikat antar serat. Lignin mempunyai karakter menyerupai lilin yang hidrofobik. Sifat-sifat lignin yaitu tidak larut dalam air dan asam kuat. Namun, lignin akan mudah larut dalam larutan alkali encer (Robinson, 1995).

## 2.11 Plastik ABS

ABS (Akrilonitril Butadiena Stiren) adalah termoplastik rekayasa berbiaya rendah yang mudah dikerjakan, dibuat, dan termofom. Bahan termoplastik ini memiliki ketahanan kimia, tegangan, dan mulur yang sangat baik. ABS memiliki keseimbangan yang baik dari benturan, panas, bahan kimia dan ketahanan abrasi, stabilitas dimensi, kekuatan tarik, kekerasan permukaan, kekakuan dan karakteristik listrik.

ABS atau Akrilonitril butadiena stiren adalah polimer organik pembentuk plastik yang

cukup mempunyai kekuatan. Awal mulanya jenis plastik ini sudah ada dan banyak digunakan karena ketahanannya sejak tahun 1940 tetapi belum begitu dikenal luas. Hal ini disebabkan oleh terbatasnya butadiena (sejenis karet) yang merupakan bahan dasar pembuatan plastik ini. Seiring dengan perkembangan teknologi, bahan butadiena makin mudah dibuat dan didapatkan sehingga harganya makin mudah untuk dijangkau. Banyak produk yang dibuat dari jenis plastik ini seperti rangka/casing peralatan elektronik (monitor komputer, printer, keyboard, casing), produk otomotif, peralatan medis, mainan, pipa, alat musik. Ciri-ciri ABS adalah tahan banting, kokoh, mudah dibentuk di mesin injeksi dan bukan penghantar listrik. Berikut merupakan properties dari plastik ABS.

Properties	
<i>Density</i>	1.05 g/cm <sup>3</sup>
<i>Modulus Young</i>	1.7 GPa
<i>Shear Modulus</i>	8.5 MPa
<i>Poisson Ratio</i>	0.399
<i>Yield Strength</i>	34 MPa
<i>Tensile Strength</i>	35 MPa
<i>Impact Strength</i>	0,175 J/m <sup>2</sup>
<i>Elongation</i>	5-20%

Tabel 2.4 *Properties* Plastik ABS (Khan, 2005 dan Beigbeder, 2013)

## 2.12 Kaidah Pencampuran (*Rule of Mixture*)

Dalam melakukan penelitian sebaiknya kita memilih bahan komposit yang memiliki kombinasi yang tepat dari sifat penyusunnya. Pencampuran dengan kombinasi yang optimum akan menghasilkan komposit yang baik pula. Sifat-sifat komposit ditentukan oleh fase matrik dan fase reinforcing sebagai bahan penyusunnya. Beberapa hal yang harus dihindari yaitu rongga udara (void), tidak melekatnya fasa penguat pada fasa matriks (interface), rusak atau retaknya serat (crack), dan adanya rongga antara fasa penguat dan fasa matriks (interphase). Bahan komposit dibuat untuk memperbaiki sifat-sifat dari bahan penyusunnya. Komposit meningkatkan kekuatan tarik matrik dan mengurangi regangan matriks. Komposit juga menurunkan kekuatan tarik serat dan meningkatkan regangan serat. Serat yang bersifat getas tetapi memiliki kekuatan tarik yang tinggi dipadukan dengan matriks yang memiliki kekuatan tarik rendah dan regangan yang besar, akan menciptakan suatu bahan yang memiliki sifat-sifat yang lebih baik. Di bawah ini adalah beberapa perhitungan terkait kaidah pendampuran atau rule of mixture dari komposit:

1. Kekuatan tarik komposit

$$\sigma_{Komposit} = \%Matriks \times \sigma_{Matriks} + \%Serat \times \sigma_{Sera} \quad (2.1)$$

2. Modulus elastisitas komposit

$$E_{Komposit} = \%Matriks \times E_{Matriks} + \%Serat \times E_{Serat} \quad (2.2)$$

3. Volume cetakan

$$V_{Cetakan} = panjang \times lebar \times tebal \quad (2.3)$$

4. Massa matriks

$$m_{Matriks} = \rho_{Serat} \times V_{Serat} \quad (2.4)$$

5. Massa matriks  

$$m_{Serat} = \rho_{Serat} \times V_{Serat} \quad (2.5)$$

6. Volume matriks  

$$VM_{atriks} = \frac{VM_{atriks}}{VM_{atriks} + VSerat} \times V_{cetakan} \quad (2.6)$$

7. Volume serat  

$$VSerat = \frac{VSerat}{VM_{atriks} + VSerat} \times V_{cetakan} \quad (2.7)$$

8. Persentase matriks  

$$VM_{atriks} = \frac{VM_{atriks}}{VM_{atriks} + VSerat} \times 100 \% \quad (2.8)$$

9. Persentase serat  

$$VSerat = \frac{VSerat}{VM_{atriks} + VSerat} \times 100 \% \quad (2.9)$$

### 2.13 Pengujian Sifat Mekanis

Pengujian sifat mekanis mengetahui sifat-sifat mekanik bahan atau cacat pada bahan/produk, sehingga pemilihan bahan dapat dilakukan dengan tepat. Berikut merupakan pengujian yang dilakukan pada penelitian ini.

#### 2.13.1 Uji Tarik

Uji tarik bertujuan untuk mengetahui tegangan, regangan, modulus elastisitas bahan dengan cara menarik spesimen sampai putus. Teori menyatakan bahwa suatu bahan berkelakuan secara elastis dan memperlihatkan suatu hubungan linier antara tegangan regangan yang disebut elastis secara linier. Hubungan linier antara tegangan regangan untuk suatu batang yang mengalami tarik atau tekan sehingga diperoleh modulus elastisitas material dinyatakan sebagai

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (2.10)$$

dimana hubungan antara beban tarik dan tegangan adalah

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.11)$$

dengan

$\sigma$  = Tegangan (MPa)

E = Modulus elastisitas

$\epsilon$  = Regangan (mm/mm)

F = Beban tarik (N)

A = Luas penampang (mm<sup>2</sup>)

Besarnya regangan adalah jumlah pertambahan panjang karena pembebanan dibandingkan dengan panjang daerah ukur (*gage length*). Nilai regangan ini adalah regangan proporsional yang didapat dari garis. Proporsional pada grafik tegangan regangan hasil uji tarik

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2.12)$$

dimana:

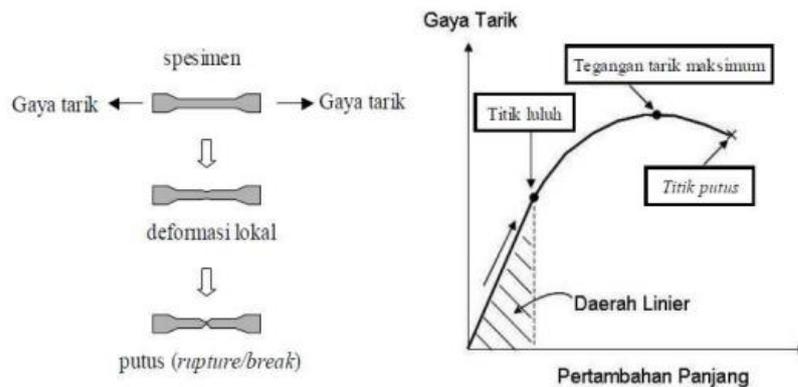
- $\varepsilon$  = Regangan (mm/mm)
- $\Delta L$  = Pertambahan panjang (mm)
- $L_0$  = Panjang daerah ukur (gage length, mm)

Pada daerah proporsional yaitu daerah dimana tegangan regangan yang terjadi masih sebanding, defleksi yang terjadi masih bersifat elastis dan masih berlaku hukum Hooke. Besarnya nilai modulus elastisitas komposit yang juga merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan pada daerah proporsional dapat dihitung dengan persamaan

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.13)$$

dimana:

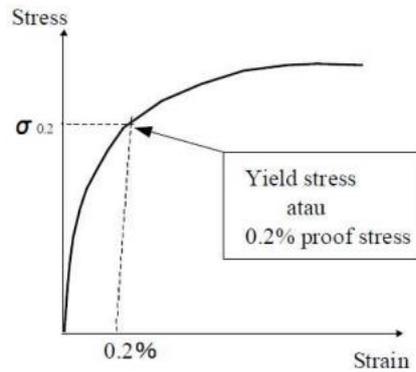
- $E$  = Modulus elastisitas tarik (MPa)
- $\sigma$  = Kekuatan tarik (MPa)
- $\varepsilon$  = Regangan (mm/mm)



Gambar 2.18 Profil Data Hasil Uji Tarik (Calister, 2004)

Dalam uji tarik (polimer yang mengandung isian) bentuk kurva dari hasil uji tarik biasanya akan tampak seperti gambar diatas. Daerah elastis dibatasi oleh koordinat  $(\sigma, \varepsilon)$ , pada linier titik tersebut menunjukkan terjadinya pemecahan ikatan antara permukaan binder dengan bahan padat (isian). Apabila regangan bertambah, kurva akan melewati titik kekuatan tarik maksimum, selanjutnya keadaan tidak elastis lagi. Pada titik ini akan terjadi aliran viscous dan regangan bertambah secara cepat dengan sedikit atau tanpa kenaikan kekuatan tarik dan akhirnya putus.

Untuk hasil uji tarik yang tidak memiliki daerah linier dan landing yang jelas, untuk menentukan kekuatan luluh material digunakan metode yang dikenal sebagai metode *offset*, dengan metode ini tegangan luluh biasanya didefinisikan sebagai tegangan yang menghasilkan regangan permanen sebesar 0,2 %, regangan ini disebut *offset-strain*. Seperti yang terlihat pada gambar berikut :



Gambar 2.19 Penentuan tegangah luluh (*yield stress*) untuk kurva tanpa daerah linier (Calister, 2004)

### 2.13.1.1 Pengujian Tarik (*Tensile Test*) ASTM D3039

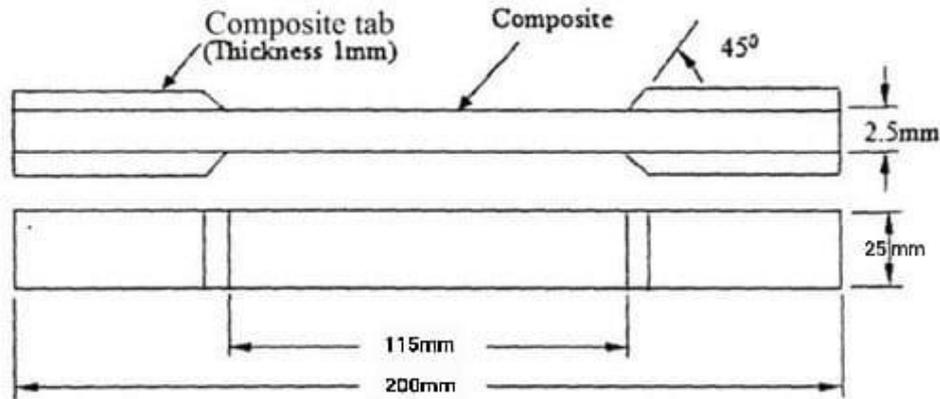
Pengujian tarik dengan standar ASTM D3039 dilakukan pada mesin uji bernama “*Universal Testing Machine*” seperti pada gambar berikut



Gambar 2.20 *Universal Testing Machine*

Pengujian dengan standar ini dilakukan untuk mendapatkan *tensile properties* dari polimer yang diperkuat oleh serat panjang sintesis ataupun serat alam, kemudian serat yang dibentuk anyaman, serat karbon, Kevlar, dan yang lainnya. Data yang didapatkan secara mendasar adalah berupa *tensile strength*, *tensile modulus*, *elongation*, dan *poisson's ratio*. Ketebalan spesimen dari standar ASTM ini berkisar di antara 2 hingga 15 mm. Namun berdasarkan penerapannya kebanyakan para peneliti menggunakan ketebalan sebesar 4.5 mm. Kemudian untuk ASTM D3039 kecepatan uji dapat ditentukan oleh spesifikasi material atau waktu kegagalan (1 hingga 10 menit). Kecepatan uji tipikal untuk uji spesimen adalah 2 mm/min (0.05 in/min). Pengujian tarik merupakan pengukuran terhadap suatu bahan untuk mengetahui keuletan dan kekuatan terhadap tegangan tertentu serta penambahan panjang yang dialami oleh bahan tersebut. Kekuatan *ultimate* material dapat ditentukan dari beban maksimum dilakukan sebelum kegagalan. Pada uji tarik kedua ujung benda dijepit, salah satu ujung dihubungkan dengan perangkat penegang. Alat untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman yang kuat dan kekakuan yang tinggi. Metode pengujiannya dengan

menggunakan sebuah plat strip tipis yang berbentuk persegi panjang dengan penampang dipasang pegangan dan beban yang tetap. Standar ASTM D3039 memberikan spesifikasi dimensi untuk spesimen uji dengan panjang 200 mm, lebar 25 mm, ketebalan 4.5 mm. Kemudian diberikan *Composite Tab* dengan ketebalan 1 mm di kedua ujung spesimen dengan sudut kemiringan  $45^{\circ}$  pada ujung dalam.



Gambar 2.21 Dimensi Spesimen Uji Tarik ASTM D3039 (Jaimon, 2014)

### 2.13.2 Uji Impak

Pengujian impak merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut menggunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*). Pengujian impak merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dimana beban selamanya tidak terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba. Pada pengujian impak ini banyaknya energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan impak dan ketangguhan bahan tersebut. Suatu material dikatakan tangguh bila kemampuan menyerap beban kejut yang besar tanpa terjadinya retak atau deformasi yang mudah. Berikut merupakan persamaan yang digunakan pada uji impak

$$IS = \frac{\Delta E}{A} \quad (2.14)$$

dengan

- IS = Kekuatan impak ( $J/mm^2$ )
- $\Delta E$  = Energi yang Tereadam (Joule)
- A = Luas penampang ( $mm^2$ )

$$A = p \times l \quad (2.15)$$

dengan

- A = Luas penampang ( $mm^2$ )
- p = Panjang spesimen (mm)
- l = Lebar Spesimen

$$\Delta E = W \times L \times (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (2.16)$$

dimana

$\Delta E$  = Energi yang Tereadam (Joule)

$W$  = Berat Pendulum (N)

$L$  = Panjang lengan pendulum (m)

$\alpha$  = Sudut setelah mematahkan spesimen ( $^{\circ}$ )

$\beta$  = Sudut sebelum mematahkan spesimen ( $^{\circ}$ )

$$W = m \times g \quad (2.17)$$

dengan

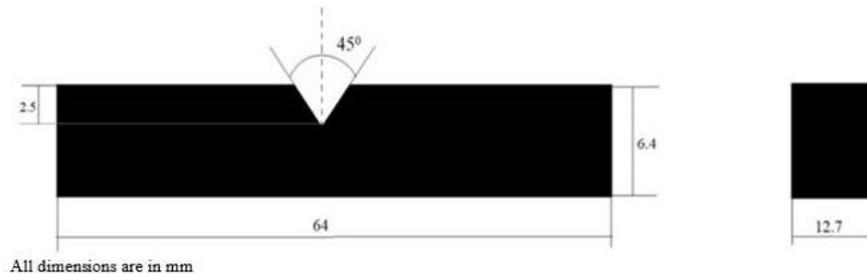
$W$  = Berat pendulum (N)

$m$  = Massa pendulum (kg)

$g$  = Gaya gravitasi ( $m/s^2$ )

#### 2.14.2.1 Pengujian Impak (*Impact Test*) ASTM D256

Pengujian impak dengan standar ASTM D256 yang digunakan untuk material berbahan polimer menyarankan untuk menggunakan pengujian impak dengan metode *Charpy*. Standar ASTM D256 memberikan spesifikasi dimensi untuk spesimen uji dengan panjang 64 mm, lebar 12.7 mm, dan 6.4 mm untuk ketebalan. Kemudian "*V-Notch*" pada spesimen uji diberikan tepat pada tengah spesimen dengan sudut takik sebesar  $45^{\circ}$ . Kedalaman takik yang dipertimbangkan adalah sebesar 2.5 mm seperti pada gambar berikut



Gambar 2.22 Dimensi Spesimen Uji Impak ASTM D256 (S.Raj, et al, 2021)

#### 2.14 Scanning Electron Microscope (SEM)

*Scanning electron microscope* (SEM) bertujuan untuk melakukan observasi terhadap karakterisasi dari material organik dan non-organik, pada material berukuran nanometer (nm) hingga micrometer yang bersifat heterogenus (Goldstein, Joseph I, 2003). SEM menjadi populer karena kemampuannya untuk dapat menghasilkan gambar tiga dimensi dari permukaan sebuah material dengan macam yang sangat beragam. SEM digunakan untuk berbagai macam media, dari jurnal sains hingga majalah populer atau bahkan digunakan untuk keperluan film. Kegunaan utama SEM adalah untuk mendapatkan gambar topografi suatu benda dalam perbesaran 10-10000x.



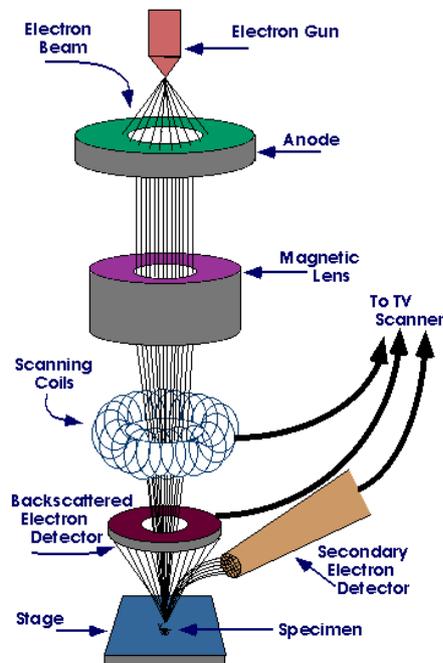
Gambar 2.23 Mesim SEM (Teknik Mesin ITS)

Dalam SEM, area yang akan diteliti atau microvolume yang akan dianalisis dipapar dengan beam electron yang difokuskan dengan baik, yang memungkinkan menyapu permukaan spesimen untuk membentuk suatu gambar, yang memungkinkan untuk diteliti dalam suatu posisi statis. Beberapa jenis signal yang dihasilkan dari interaksi dengan gelombang electron, adalah *secondary electron*, *backscattered electron*, *characteristic x-rays*, dan beberapa foton dengan energi yang bervariasi. Signal ini dapat digunakan untuk menyelidiki berbagai macam karakteristik dari sample (topografi permukaan, kristalografi, komposisi, dll)

Cara kerja SEM adalah :

1. Elektron dilepaskan oleh ujung *electron gun*
2. Lensa elektromagnet menyearahkan dan memfokuskan berkas electron
3. Koil pemindai megarahkan berkas elektron terfokus pada spesimen
4. Detektor menangkap sinyal dari electron

Berikut adalah ilustrasi cara kerja SEM



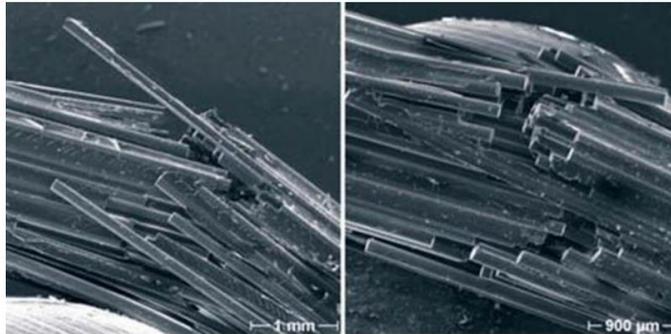
Gambar 2.24 Cara Kerja SEM (Hizkia, 2016)

## 2.15 Mekanisme Kegagalan Komposit

Bahan komposit dikatakan gagal apabila bahan tersebut telah rusak total ketika mendapat beban tertentu atau kurva tegangan-regangan yang ditunjukkan tidak lagi linear. Hal ini berlaku baik untuk lapisan tunggal maupun lamina. Beberapa jenis mekanisme kegagalan pada komposit yaitu sebagai berikut

- Patah Pada Serat (*Intralaminar*)

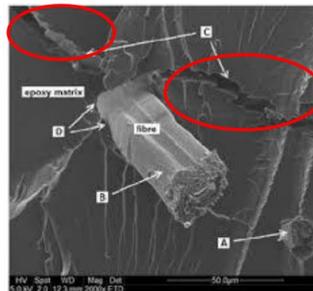
Kegagalan ini memiliki alur perpatahan dimulai dari penguat/serat dan merambat ke matriks. Kegagalan ini disebabkan oleh serat yang tidak mampu menerima beban serta regangan penguat/serat lebih rendah daripada regangan matriks, sehingga saat menerima beban, pertambahan panjang matriks tidak diikuti oleh pertambahan panjang penguat/serat



Gambar 2. 25 Patah pada serat (*intralaminar*) (Hilman, 2022)

- Patah pada matriks (*Translaminar*)

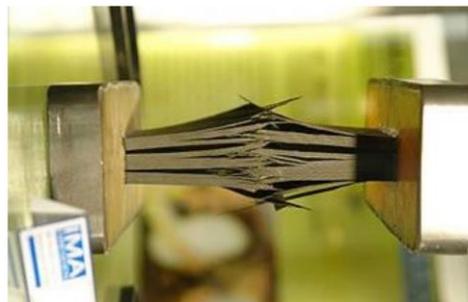
Perpatahan ini sangat mudah terjadi pada matriks yang memiliki regangan rendah. Pemberian beban yang melebihi kekuatan tarik maksimum matriks mengakibatkan terjadinya retak yang kemudian menjalar.



Gambar 2. 26 Patah pada matriks (Hilman, 2022)

- *Delamination*

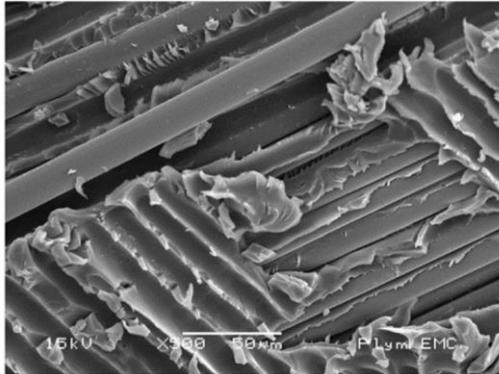
Kegagalan delaminasi terjadi akibat terlepasnya ikatan antara satu lamina dengan lamina lainnya pada sebuah lamina.



Gambar 2. 27 Delaminasi pada komposit (Hilman, 2022)

- *Debonding*

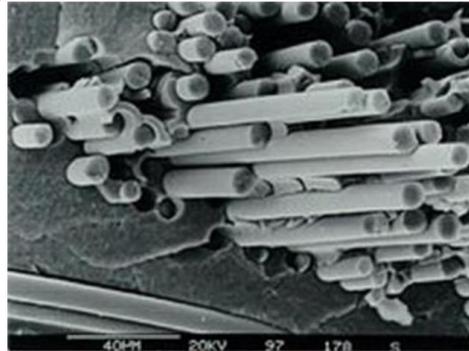
*Debonding* merupakan terlepasnya ikatan antara lapisan penguat dan matriks. Hal ini disebabkan oleh gaya adhesi antara penguat dan matriks yang lemah dan kemampuan matriks untuk mengisi ruang antara serat kurang baik.



Gambar 2.28 *Debonding* (Hilman, 2022)

- *Fiber Pullout*

Kegagalan ini berupa keluarnya fiber dari lubangnya pada matriks pada saat terjadinya regangan saat fiber mengalami patah, juga bisa disebabkan oleh *debonding*.



Gambar 2.29 *Fiber Pullout* (Hilman, 2022)

- *Micro Buckling*

Jenis kegagalan material komposit ini disebabkan adanya pembebanan tekan (*compressive*). Pembebanan tekan ini mengakibatkan bentuk serat berubah menjadi lebih menekuk (*buckling*) dan akhirnya patah.



Gambar 2.30 *Micro Buckling* (Hilman, 2022)

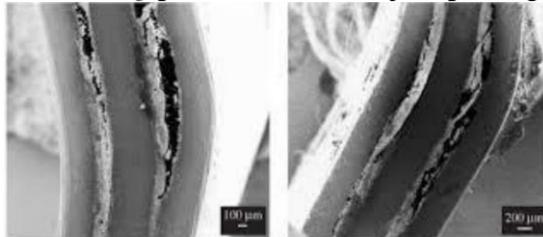
- *Kink Band Failure*

*Kink Band Failure* terjadi akibat adanya pembebanan tekan yang mengakibatkan serat mengalami *buckling*, kemudian perlahan-lahan akan menghasilkan serat pendek yang memiliki arah orientasi berbeda.



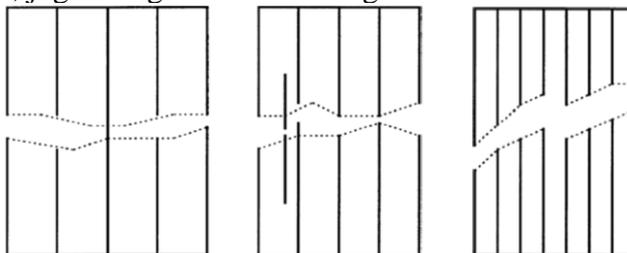
Gambar 2.31 *Kink Band Failure* (Hilman, 2022)

- *Longitudinal compression load – Lamina unidirection*  
 Patahan ini terjadi pada matriks atau interface akibat adanya regangan tarik pada arah transversal, terjadi *microbuckling* pada serat, dan terjadi patah geser pada serat.



Gambar 2.32 *Longitudinal Compression Load* (Hilman, 2022)

- *Longitudinal tension load – Lamina unidirection*  
 Patahan yang terjadi akan memiliki tiga kemungkinan mode kegagalan berdasarkan kekuatan interface matriks fiber dan fraksi volume dari fiber, yaitu fiber mengalami patah getas, fiber mengalami patah getas dan mengalami pullout, fiber mengalami patah getas, pullout, juga mengalami debonding.



Gambar 2.33 *Longitudinal Tension Load* (Hilman, 2022)

## 2.16 Uji Anova

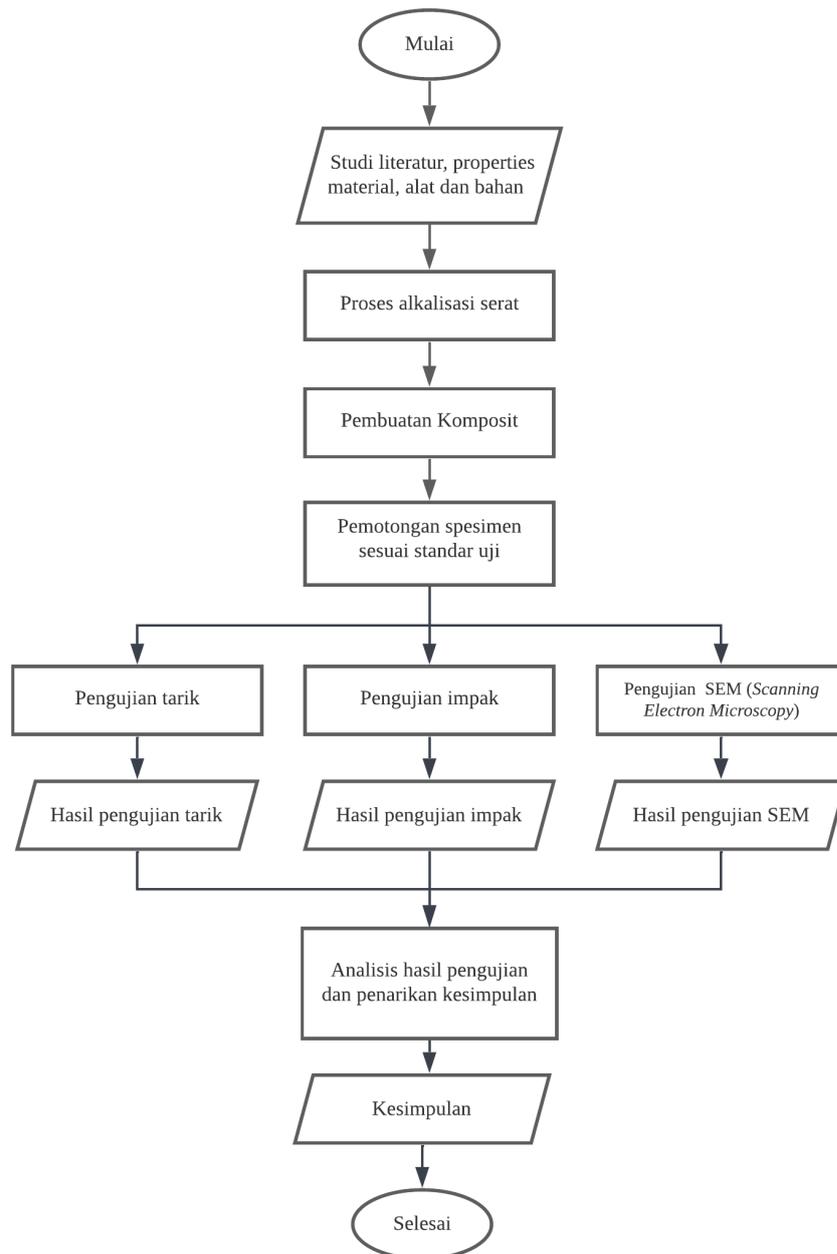
Uji Anova (*Analysis of Variance*) adalah bentuk khusus dari analisis statistik yang banyak digunakan dalam penelitian eksperimen. Uji Anova adalah bentuk uji hipotesis statistik dimana kita mengambil kesimpulan berdasarkan data atau kelompok statistik inferentif. Hipotesis nol dari uji Anova adalah bahwa data adalah sampel random dari populasi yang sama sehingga memiliki ekspektasi rata-rata dan varian yang sama. Sebagai contoh penelitian perbedaan perlakuan terhadap sampel pasien yang sama. Hipotesis nol nya adalah semua perlakuan akan memiliki efek yang sama.

Dalam uji Anova, statistik uji atau *F-ratio* harus dihitung untuk menguji pernyataan bahwa apakah kelompok yang dibandingkan memiliki kesamaan atau tidak. Bahasa statistik hipotesis uji Anova dapat dituliskan sebagai berikut:  $H_0: M_1 = M_2 = M_3 = 0$ , dengan harapan bahwa  $H_0$  dapat ditolak untuk memberikan bukti bahwa hipotesis alternatif ( $H_1$ : Tidak  $H_0$ ). Untuk menguji  $H_0$ , Sampel diambil secara acak kelompok peserta/sampel/responden dan menetapkan ukuran-ukuran (variabel dependen). Kemudian melihat apakah ukuran-ukuran tersebut berbeda berarti untuk berbagai kondisi. Jika berbeda maka akan menolak  $H_0$ . Sama seperti uji statistik lain,  $H_0$  ditolak ketika mendapati statistik uji yang diukur melalui F-statistik yang melebihi F tabel dengan tingkat kepercayaan tertentu. Cara lain dapat dilakukan dengan melihat *P-value* (nilai probabilitas) yang mana lebih rendah dari 5%, misalnya kita menggunakan tingkat kepercayaan 95%.

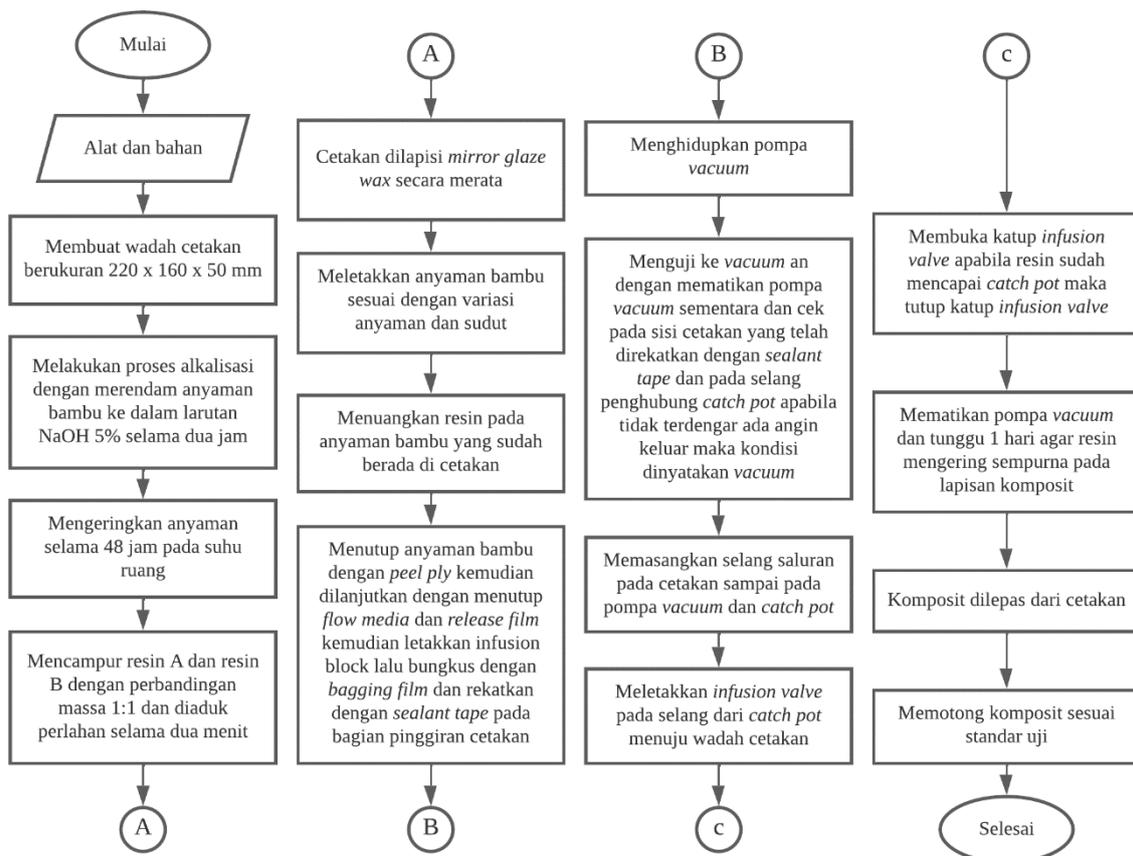
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan secara eksperimental dan analisis. Pengambilan data dilakukan secara langsung dan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan kekuatan tarik, kekuatan luluh, modulus elastisitas, energi serapan, pemanjangan dan kekuatan impact dari material komposit. Dan dilakukan pengujian SEM untuk menganalisis mekanisme kegagalan komposit. Adapun diagram alir penelitian adalah sebagai berikut



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Pembuatan Komposit

Adapun diagram alir dalam pembuatan komposit adalah sebagai berikut

### 3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada pembuatan komposit yaitu sebagai berikut

1. Serat Bambu  
Serat bambu berupa anyaman digunakan sebagai penguat komposit.
2. Resin Polyurethane  
Polyurethane QMPU digunakan sebagai matriks yang digunakan pada penelitian ini.
3. Cetakan  
Cetakan yang digunakan berbahan dasar akrilik dengan dimensi 220 x 160 x 50 mm
4. Pompa Vacuum  
Pompa vacuum digunakan sebagai alat untuk mengeluarkan molekul-molekul gas dari dalam sebuah ruangan tertutup untuk mencapai tekanan vacuum. Dalam penelitian ini pompa yang digunakan yaitu pompa vacuum berukuran 1/4 PK.
5. Vacuum Catch Pot  
Vacuum catch pot digunakan sebagai media penyimpanan tekanan yang akan menarik resin ke dalam cetakan.
6. Selang Infusion House  
Selang infusion house digunakan sebagai media penghubung untuk aliran fluida antara pompa ke tabung vacuum, tabung vacuum ke cetakan, dan cetakan ke sumber resin.

7. *Selang Spiral Tube*  
Selang *spiral tube* digunakan untuk mengalirkan resin ke semua bagian dalam cetakan dan mengalirkan resin ke saluran buang menuju tabung *vacuum*.
8. *T Connector*  
*T connector* digunakan untuk menghubungkan antara selang *infusion house* dan selang *spiral tube* sebagai jalannya resin menuju tabung *vacuum*.
9. *Mirror Glaze Wax*  
*Mirror glaze wax* digunakan sebagai bahan untuk mencegah hasil cetakan melekat di cetakan.
10. *Peel Ply*  
*Peel ply* digunakan untuk melepaskan barang yang dicetak dari *flow media* dan *bagging film*, juga untuk menyerap sisa resin pada saat proses *vacuum infusion*.
11. *Vacuum Bagging Film*  
*Vacuum bagging film* digunakan untuk menutup semua permukaan laminasi supaya kedap udara.
12. *Perforated Release Film*  
*Perforated release film* digunakan sebagai sekat atau pembatas antara *flow mesh* agar tidak merekat secara permanen pada permukaan produk.
13. *Flow Media Infusion Mesh*  
*Flow media infusion mesh* digunakan untuk membantu aliran resin agar mengalir lancar dan merata ke semua permukaan.
14. *Sealant Tape*  
*Sealant tape* digunakan untuk menempelkan *bagging film* ke cetakan agar kedap udara.
15. *Infusion Valve*  
*Infusion valve* berfungsi untuk mengatur buka tutup aliran resin.
16. Timbangan  
Timbangan berfungsi untuk mengukur massa serat, resin, dan hardener. Timbangan yang digunakan adalah timbangan digital dengan ketelitian pembacaan 0,01 gram agar tingkat ketelitian lebih baik.
17. NaOH  
NaOH murni digunakan untuk dibuat sebagai larutan NaOH 5% untuk proses alkalisasi.
18. Sarung Tangan  
Sarung tangan digunakan untuk melindungi tangan agar tidak bersentuhan langsung dengan campuran komposit maupun saat proses alkalisasi.

### 3.3 Perhitungan Massa Komposit

Massa yang dibutuhkan dari bahan komposit dihitung berdasarkan persentase fraksi volume 30% serat dan 70% resin. Volume yang digunakan adalah volume cetakan dengan ukuran 21 x 16 x 5 cm atau sama dengan 176 ml. Untuk menentukan massa yang dibutuhkan, dapat dilakukan perkalian antara volume dan massa jenis menggunakan rumus

Menghitung volume serat dan epoksi

$$V_{\text{cetakan}} = 176 \text{ ml}$$

$$V_{\text{serat}} = \% \text{serat} \times V_{\text{cetakan}}; V_{\text{matriks}} (1 - \% \text{serat})$$

$$= (1-\% \text{serat}) \times V_{\text{cetakan}}$$

$$V_{\text{serat 30\%}} = 30\% \times V_{\text{cetakan}}; V_{\text{matriks 70\%}} = 70\% \times V_{\text{cetakan}}$$

$$V_{\text{serat 30\%}} = 30\% \times 176 \text{ ml}; V_{\text{matriks 70\%}} = 70\% \times 176 \text{ ml}$$

$$V_{\text{serat 30\%}} = 52,8 \text{ g/cm}^3; V_{\text{matriks 70\%}} = 123,2 \text{ ml}$$

Menghitung massa serat dan matriks yang dibutuhkan

$$m = \rho \times V$$

$$\rho_{\text{Serat}} = 0,6 \text{ g/cm}^3; \rho_{\text{Matriks}} = 1,12 \text{ g/cm}^3$$

$$m_{\text{Serat 30\%}} = \rho_{\text{Serat}} \times V_{\text{Serat 30\%}}; m_{\text{Matriks 70\%}}$$

$$= \rho_{\text{Matriks}} \times V_{\text{Matriks 70\%}}$$

$$m_{\text{Serat 30\%}} = 0,6 \text{ g/cm}^3 \times 52,8 \text{ g/cm}^3; m_{\text{Matriks 70\%}}$$

$$= 1,12 \text{ g/cm}^3 \times 123,2 \text{ ml}$$

$$m_{\text{Serat 30\%}} = 31,68 \text{ g}; m_{\text{Matriks 70\%}} = 137,98 \text{ g}$$

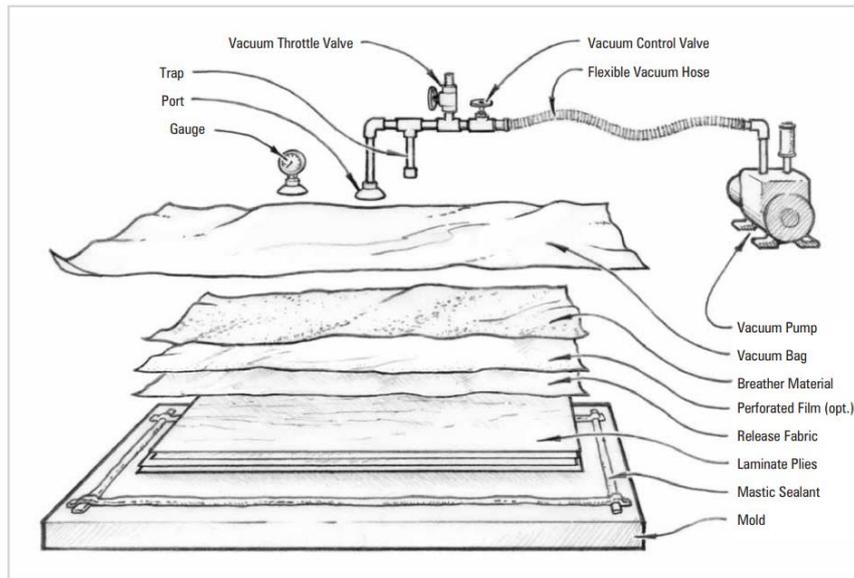
No.	Bahan dan Fraksi Volume	Volume (cm <sup>3</sup> )	Massa Jenis (g/cm <sup>3</sup> )	Massa (g)
1	30% Penguat	52,8	0,6	31,68
	70% Matriks	123,2	1,12	137,98

Tabel 3. 1 Perhitungan Massa Komposit

### 3.4 Pembuatan Komposit

Langkah pembuatan komposit pada penelitian ini yaitu

1. Alat dan bahan dipersiapkan.
2. Proses alkalisasi dilakukan dengan merendam anyaman bambu ke dalam larutan NaOH 5% selama dua jam.
3. Anyaman bambu dikeringkan pada suhu ruang selama 48 jam.
4. Mempersiapkan jenis anyaman dan variasi sudut orientasi anyaman bambu yang dibutuhkan untuk pembuatan komposit.
5. Resin Polyurethane A dan Polyurethane B dicampurkan dengan massa 1:1 dan diaduk selama tiga sampai empat menit sampai merata hingga terbentuk adonan homogen.
6. Cetakan dilapisi *mirror glaze wax* secara merata.
7. Anyaman bambu sesuai variasi sudut diletakkan pada cetakan.
8. Tuangkan resin Polyurethane pada anyaman bambu yang sudah berada di cetakan.
9. Tutupi dengan *peel ply*, lalu ditutupi dengan *flow media* dan *release film*, dan letakkan *infusion block*, setelah semua tertata rapi bungkus dengan menggunakan *bagging film* dan rekatkan dengan *sealant tape* pada bagian pinggiran cetakan.
10. Pemasangan instalasi peralatan pompa *vacuum* yaitu memasang selang saluran yang menghubungkan cetakan sampai pada pompa *vacuum* dan *catch pot*.
11. Setelah selang instalasi terpasang kemudian hidupkan pompa *vacuum*.
12. Menguji ke *vacuum* an, pada proses ini matikan pompa *vacuum* sementara, selanjutnya cek pada sisi cetakan yang telah di rekatkan dengan *sealant tape* dan pada selang yang menghubungkan cetakan dengan *catch pot*. Jika tidak ada terdengar adanya angin keluar maka kondisi saluran dinyatakan *vacuum* (tidak bocor).
13. Setelah *infusion valve* terpasang kemudian buka katup *infusion valve* untuk memulai menyedot resin yang berlebih dari dalam cetakan ke *catch pot*. Apabila resin mulai mencapai *catch pot* maka tutup katup *infusion valve*.
14. Setelah proses *vacuum infusion* selesai matikan pompa *vacuum*, biarkan resin menutupi seluruh bagian yang ada dalam wadah cetakan dan tunggu 1 hari untuk memastikan resin mengering sempurna pada lapisan komposit.
15. Komposit dilepas dari cetakan.
16. Langkah di atas diulangi hingga mendapatkan spesimen komposit dengan variasi anyaman *plain* sudut orientasi 45°, 90° dan anyaman *twill* 45°, 90° masing-masing sebanyak lima sampel.
17. Komposit dipotong sesuai dengan standar spesimen pengujian.



Gambar 3.3 Metode *Vacuum Bag*

### 3.5 Pengujian Sifat Mekanis

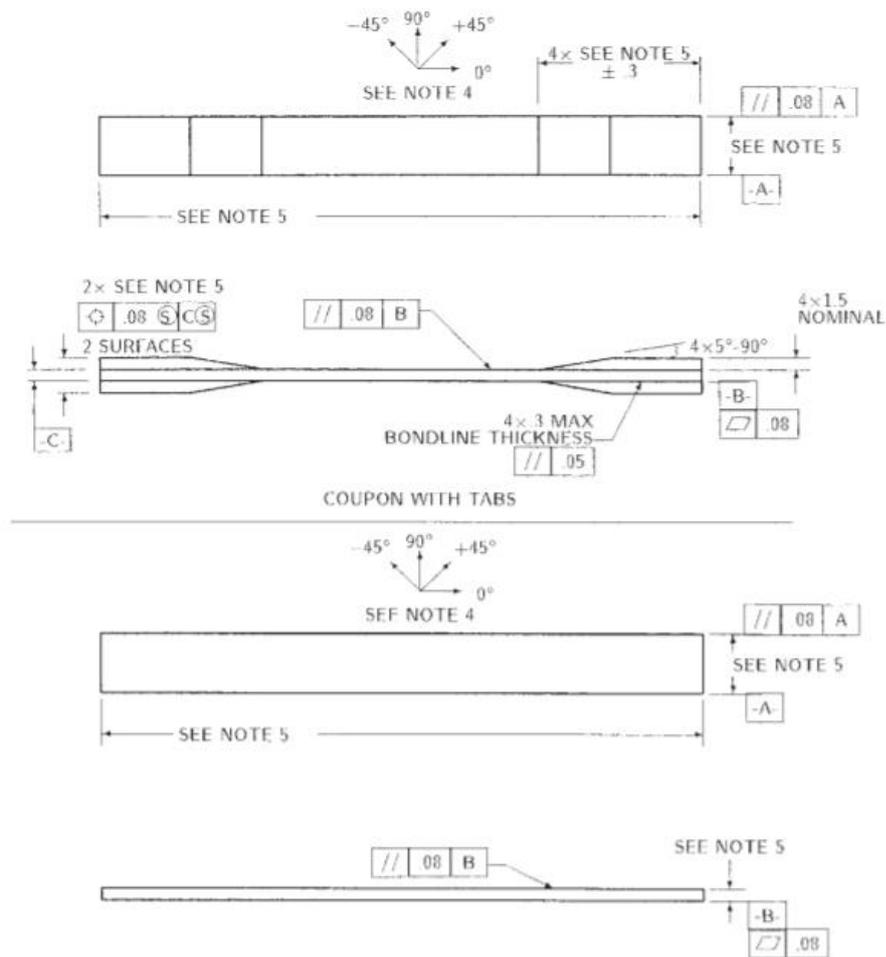
Pengujian komposit anyaman bambu dilakukan sesuai standar ASTM D3039 untuk uji tarik dan ASTM D256 untuk uji impak, kemudian dilakukan pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM).

#### 3.5.1 Uji Tarik

Proses pembuatan spesimen uji tarik adalah sebagai berikut

1. Komposit resin epoksi berpenguat anyaman serat bambu yang telah dikeluarkan dari cetakan disiapkan.
2. Komposit Digambar berdasarkan bentuk standar benda uji ASTM D3039.
3. Spesimen dipotong dengan menggunakan mesin sesuai dengan jumlah spesimen yang diperlukan untuk tiap komposit.

Bentuk standar spesimen untuk uji tarik adalah sebagai berikut



Gambar 3.4 Bentuk dan Dimensi Standar Spesimen Uji tarik ASTM D3039

Pengujian ini dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang.

Langkah-langkah melakukan uji tarik adalah sebagai berikut:

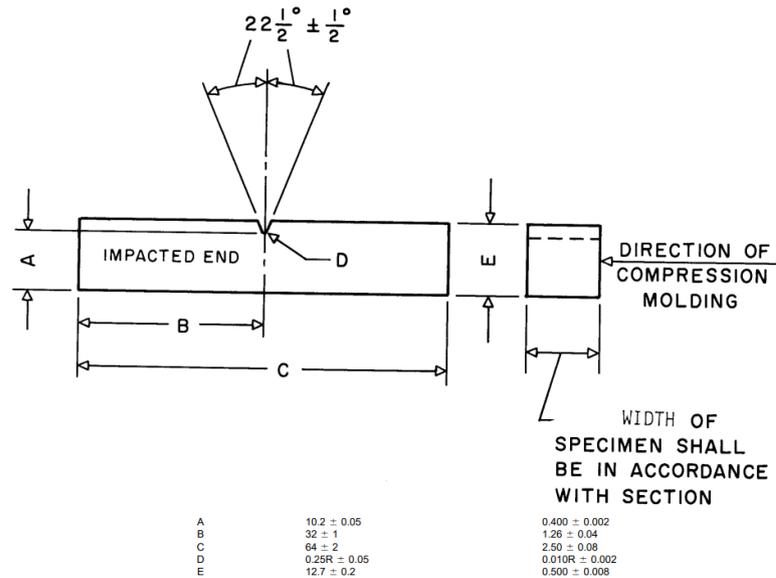
1. Masing-masing spesimen diberikan label penamaan.
2. Dimensi spesimen diukur meliputi panjang, lebar, tebal, dan panjang *composite tabs*.
3. Spesimen diletakkan pada pemegang alat uji.
4. Penamaan dan dimensi spesimen dicatat pada komputer pengujian.
5. Mesin pengujian dinyalakan dan pembebanan dilakukan pada spesimen.
6. Data hasil pengujian pada komputer dicatat.
7. Spesimen dilepaskan dari mesin pengujian.

### 3.5.2 Uji Impak

Proses pembuatan spesimen uji impact adalah sebagai berikut

1. Komposit resin epoksi berpenguat anyaman serat bambu yang telah dikeluarkan dari cetakan disiapkan.
2. Komposit digambar berdasarkan bentuk standar benda uji ASTM D256.
3. Spesimen dipotong dengan menggunakan mesin sesuai dengan jumlah spesimen yang diperlukan untuk tiap komposit.

Bentuk dan ukuran standar spesimen untuk uji impact adalah sebagai berikut



Gambar 3.5 Bentuk dan Dimensi Standar Spesimen Uji Impak ASTM D256

Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang.

1. Masing-masing spesimen diberikan label penamaan.
2. Dimensi spesimen diukur meliputi panjang, lebar, tebal, dan kedalaman *v notch*.
3. Panjang lengan, sudut awal, berat, dan sudut awal bandul dicatat.
4. Spesimen diletakkan pada alat uji.
5. Jarum penunjuk pada alat pengukur mesin dipastikan berada pada angka nol.
6. Bandul diangkat lebih tinggi dengan memutar handwhel sampai mencapai sudut awal yang diinginkan.
7. Pasak pengunci dilepaskan dari bandul dengan menarik tuas pengunci sehingga bandul akan terjatuh dan bergerak bebas.
8. Tuas rem ditekan setidaknya 2-3 detik setelah bandul menumbuk spesimen.
9. Energi yang terdata pada alat pengukur mesin dan sudut akhir bandul dicatat.

### 3.5.3 Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)

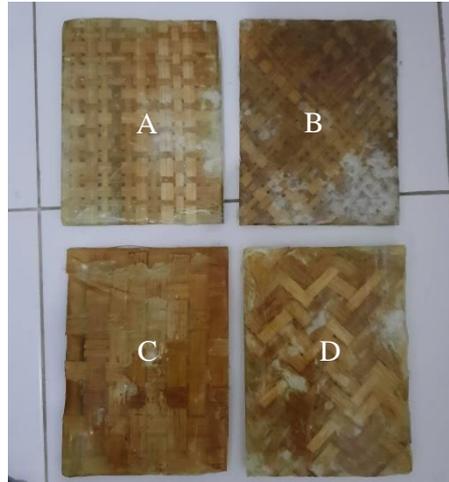
Pengujian SEM memiliki tujuan untuk mengetahui morfologi (struktur permukaan), ukuran partikel dan pori, serta bentuk partikel suatu material. Pengujian ini menggunakan mesin SEM menggunakan hamburan elektron yang ditangkap oleh detektor sehingga dapat membentuk suatu gambar yang nampak seperti tiga dimensi. Pengujian dilakukan di Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Adapun cara kerja dari SEM adalah *electron gun* memproduksi *electron beam*, anoda menangkap *electron beam* untuk kemudian diarahkan ke sampel kemudian serangkaian lensa magnetik memfokuskan beam ini dan menembakkan ke sampel, *scanner* membaca struktur permukaan sampel selanjutnya menangkap sinyal dari *secondary* dan *back scattered electron* untuk dikirim ke sistem control sehingga dapat dilihat gambarnya pada monitor dan dapat dicetak bila diperlukan.

## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengujian Tarik

Adapun berikut merupakan gambar material komposit yang telah jadi sebelum proses *machining*



Gambar 4. 1 Material Sebelum Pemotongan

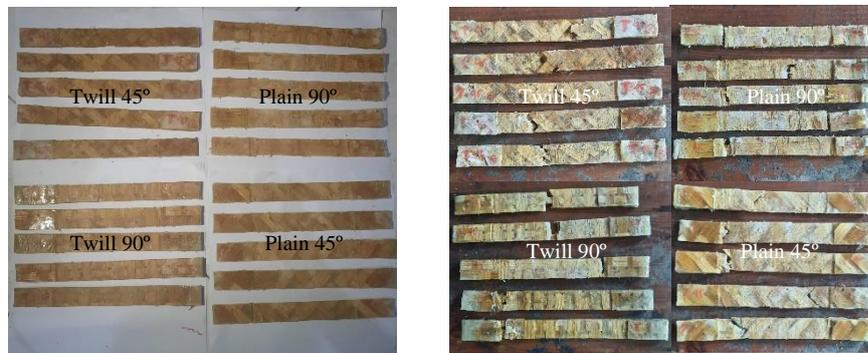
- a) Spesimen Twill 90° b) Spesimen Twill 45° c) Spesimen Plain 90° d) Spesimen Plain 45°



Gambar 4. 2 Perbedaan Ukuran Ketebalan Anyaman

Terdapat perbedaan pada ukuran ketebalan anyaman 90° dan 45° yang menyebabkan perbedaan pada kekuatan pengujian tarik yang membuat anyaman 90° lebih baik daripada anyaman 45° karena pada anyaman 90° memiliki ukuran ketebalan anyaman lebih besar daripada anyaman 45°.

Pengujian tarik dilakukan menggunakan standar ASTM D3039. Spesimen yang telah kering dilakukan proses pemotongan untuk mendapatkan dimensi yang sesuai dengan standar uji. Berikut gambar spesimen sebelum dan sesudah uji tarik.



a)

b)

Gambar 4.3 a) Spesimen Sebelum Uji Tarik b) Spesimen Setelah Uji Tarik

Berikut merupakan mesin uji tarik yang digunakan dalam pengujian tarik yaitu Universal Testing Machine Tarno Grocki



Gambar 4.4 Mesin Uji Tarik

#### 4.1.1 Hasil Uji Tarik

Pengujian dilakukan sebanyak lima kali untuk masing-masing variasi anyaman dan sudut anyaman untuk melihat persebaran data. Pada penelitian ini pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik, kekuatan luluh, modulus elastisitas, dan pemanjangan dari material. Berikut merupakan hasil dari pengujian tarik yang dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang.

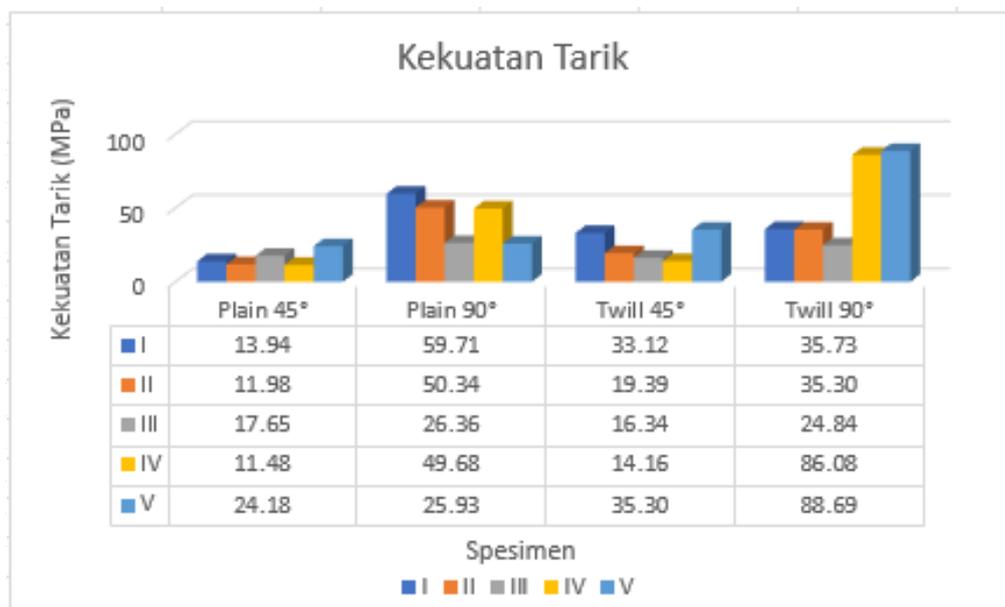
Komposisi		Spesimen	Kekuatan Tarik (MPa)	Kekuatan Luluh (MPa)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Pemanjangan (%)
Tipe Anyaman	°Sudut Anyaman					
Plain	45°	I	13.94	7.84	3.84	6.3
		II	11.98	4.79	5.26	5.5
		III	17.65	5.88	4.61	8.1
		IV	11.48	3.48	4.72	5.2
		V	24.18	11.76	8.34	11.2
		Rata-rata	13.55	6.75	5.35	7.2
Plain	90°	I	59.71	11.11	17.58	27.4
		II	50.34	10.67	12.77	22.6
		III	26.36	11.56	21.21	12
		IV	49.68	9.80	12.11	22.5
		V	25.93	3.27	8.15	11.5
		Rata-rata	42.40	9.28	14.36	19.2
Twill	45°	I	33.12	13.34	11.53	15.1
		II	19.39	7.62	4.83	8.8
		III	16.34	4.14	5.60	7.5
		IV	14.16	7.19	9.11	6.5
		V	35.30	9.58	7.79	16.1
		Rata-rata	23.66	9.37	7.77	10.8
Twill	90°	I	35.73	6.75	11.83	16.4
		II	35.30	10.89	25.43	16.1
		III	24.84	6.31	10.63	11.3
		IV	86.08	10.24	12.06	39.1
		V	88.69	4.35	12.88	40.6
		Rata-rata	54.12	7.71	14.66	24.7

Tabel 4.1 Hasil Uji Tarik

#### 4.1.2 Grafik dan Analisis Hasil Uji Tarik

##### 4.1.2.1 Kekuatan Tarik

Berikut terdapat grafik kekuatan tarik berdasarkan pengujian tarik



Gambar 4.5 Grafik Kekuatan Tarik

Pada anyaman Plain 45° didapatkan nilai kekuatan tarik pada percobaan spesimen pertama sebesar 13,94 MPa , untuk percobaan kedua sebesar 11,98 MPa, untuk percobaan

ketiga sebesar 17,65 MPa, untuk percobaan keempat sebesar 11,48 MPa, untuk percobaan kelima sebesar 24,18 MPa . Adapun nilai standar deviasi dari kekuatan tarik anyaman Plain 45° sebesar 5,25 dengan nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 13,55 MPa.

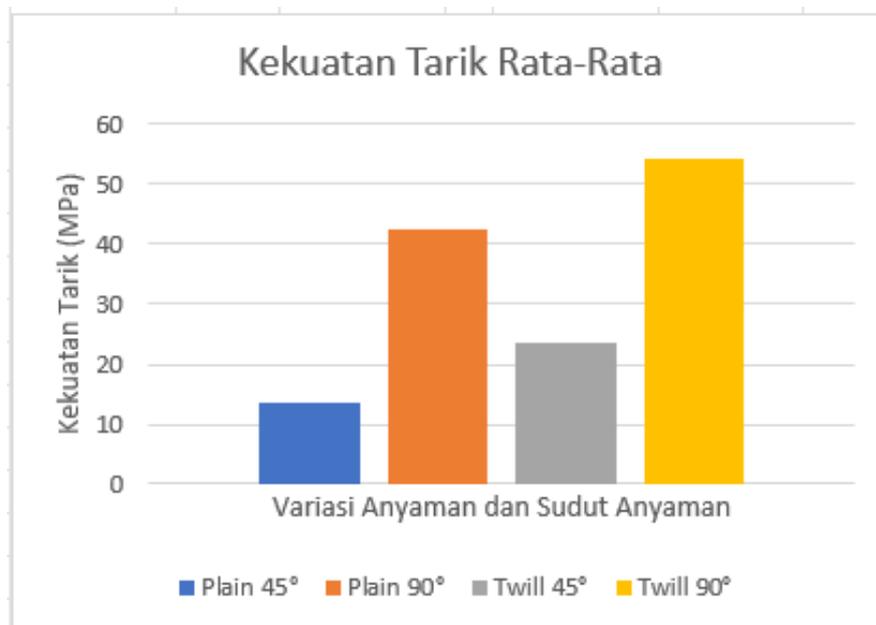
Pada anyaman Plain 90° didapatkan nilai kekuatan tarik pada percobaan spesimen pertama sebesar 59,71 MPa , untuk percobaan kedua sebesar 50,34 MPa, untuk percobaan ketiga sebesar 26,36 MPa, untuk percobaan keempat sebesar 49,68 MPa, untuk percobaan kelima sebesar 25,93 MPa . Adapun nilai standar deviasi dari kekuatan tarik anyaman Plain 90° sebesar 15,36 dengan nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 42,40 MPa.

Pada anyaman Twill 45° didapatkan nilai kekuatan tarik pada percobaan spesimen pertama sebesar 33,12 MPa , untuk percobaan kedua sebesar 19,39 MPa, untuk percobaan ketiga sebesar 16,34 MPa, untuk percobaan keempat sebesar 14,16 MPa, untuk percobaan kelima sebesar 35,30 MPa . Adapun nilai standar deviasi dari kekuatan tarik anyaman Twill 45° sebesar 9,83 Dengan nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 23,66 MPa.

Pada anyaman Twill 90° didapatkan nilai kekuatan tarik pada percobaan spesimen pertama sebesar 35,73 MPa , untuk percobaan kedua sebesar 35,30 MPa, untuk percobaan ketiga sebesar 24,84 MPa, untuk percobaan keempat sebesar 86,08 MPa, untuk percobaan kelima sebesar 88,69 MPa . Adapun nilai standar deviasi dari kekuatan tarik anyaman Twill 90° sebesar 30,68 dengan nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 54,12 MPa.

Terdapat perbedaan nilai kekuatan tarik pada tiap spesimen dapat disebabkan oleh pengadukan komposisi resin yang dilakukan secara manual, sehingga kurang konsisten dan memungkinkan adanya *void*. Perbedaan kekuatan tarik juga bisa disebabkan oleh jarak pada bentuk anyaman yang berbeda-beda sesuai dengan bentuk alaminya. Ketidakteraturan data juga dapat disebabkan pada saat dilakukan proses pemvakuman yang terkadang tidak maksimal sehingga masih terdapat udara didalam cetakan.

Berikut terdapat grafik perbandingan kekuatan tarik rata-rata

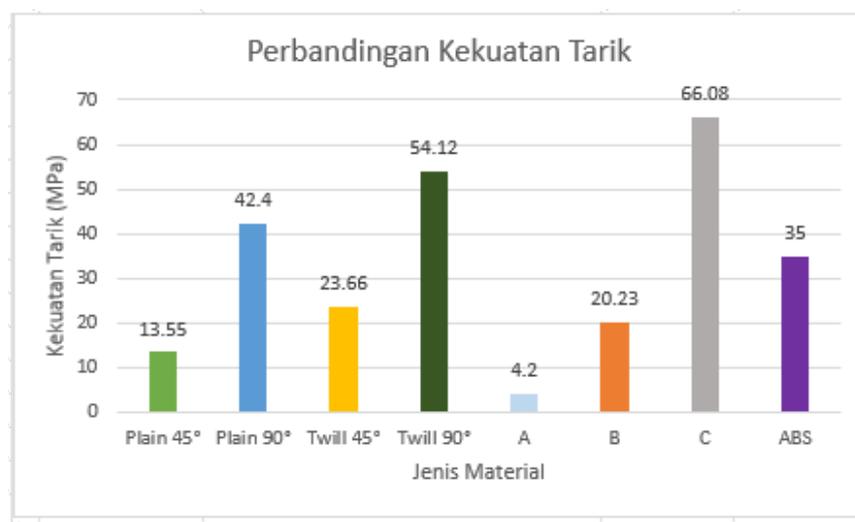


Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Rata-Rata

Berdasarkan grafik perbandingan kekuatan tarik rata-rata diatas, dapat dilihat bahwa nilai kekuatan tarik tertinggi didapatkan pada anyaman sudut 90° pada masing-masing variasi anyaman, pada anyaman Twill 90° sebesar 54,12 MPa, kemudian anyaman Plain 90° sebesar 42,40 MPa, dan yang memiliki nilai kekuatan tarik rendah didapatkan pada anyaman sudut

45° pada masing-masing variasi anyaman, pada anyaman Twill 45° sebesar 23,66 MPa, kemudian anyaman plain 45° sebesar 13,55 MPa. Terjadi perbedaan kekuatan tarik yang sangat signifikan antara spesimen jenis anyaman Plain 45° dan Plain 90°, lalu untuk jenis anyaman Twill 45°, dan Twill 90°. Hal ini dapat terjadi karena arah anyaman sejajar dengan tegangan utama dalam kasus ini adalah anyaman sudut 90°. Sehingga nilai kekuatan tarik akan lebih tinggi jika pada pengujian diberikan beban tarik yang searah dengan arah sudut anyaman.

Berikut terdapat grafik perbandingan kekuatan tarik antara komposit polyurethane-anyaman bambu dengan material yang umum digunakan yaitu plastik ABS.



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Komposit dengan Plastik ABS\*

\*A – Sofyan, 2014 (Plain 0°/90°), B – Abd Kadir, 2014 (Plain), C – Arfie, 2010 (0°/90°)

Pada grafik perbandingan kekuatan tarik dengan plastik ABS di atas, dapat dilihat bahwa kekuatan tarik komposit anyaman bambu dan resin polyurethane dengan jenis anyaman Plain 45° dan Twill 45° masih dibawah kekuatan tarik plastik ABS sebesar 35 MPa, sedangkan untuk jenis anyaman Plain 90° dan Twill 90° nilai kekuatan tariknya diatas kekuatan tarik plastik ABS yang umum digunakan sebagai material dalam berbagai aplikasi.

Pada penelitian terdahulu yang dilakukan Sofyan (2014) menggunakan komposit anyaman bambu menggunakan matriks polymer menghasilkan kekuatan tarik tertinggi dengan jenis anyaman Plain 0°/90° sebesar 4,2 MPa, hasil tersebut masih dibawah dibandingkan kekuatan tarik pada penelitian ini. Pada penelitian Abd Kadir (2014) menggunakan komposit anyaman bambu dengan matriks polyester menghasilkan kekuatan tarik tertinggi dengan jenis anyaman Plain sebesar 20,23 MPa, pada penelitian tersebut dapat dikatakan struktur anyaman Plain dengan pola satu naik satu turun, membuat serat tidak mudah bergeser dari tempatnya dan jumlah silangan paling banyak antara serat satu dengan yang lain membuat anyaman Plain menjadi lebih kokoh dan kuat. Hasil tersebut masih dibawah dibandingkan kekuatan tertinggi pada penelitian ini. Pada penelitian Arfi (2010)

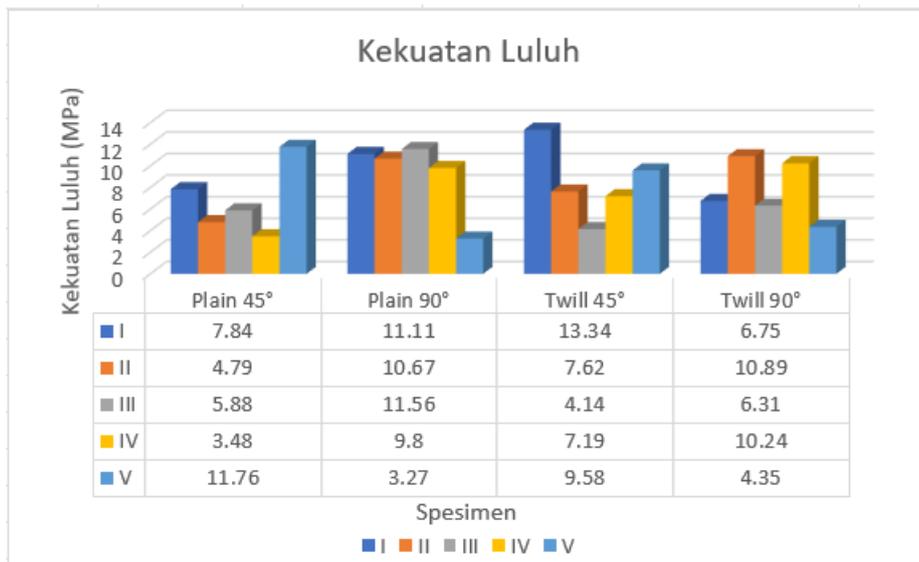
menggunakan komposit anyaman bambu dengan matriks epoksi menghasilkan kekuatan tertinggi dengan sudut orientasi 0°/90° sebesar 66,08 MPa. Pada penelitian menyatakan nilai kekuatan tertinggi jika pada pengujian diberikan beban tarik yang searah dengan serat sehingga hampir semua beban dapat ditanggung oleh serat, hasil tersebut didapatkan lebih tinggi dibandingkan kekuatan tarik komposit pada penelitian ini.

Untuk komposit, beban tidak diterapkan ke penguat, tetapi ke matriks, kemudian serat dihubungkan melewati sela-sela antara matriks. Kemudian beban tertransfer dari matriks ke penguat. Penguat harus terhubung erat ke matriks untuk berkontribusi pada kekuatan komposit. Banyaknya penguat yang ditambahkan maka kemampuan matriks mengikat penguat tersebut makin berkurang. Komposit yang memiliki kekuatan tarik tinggi dan tahan terhadap pepatahan mempunyai hubungan yang lemah antara resin dan penguat.

Penurunan kekuatan komposit disebabkan oleh interaksi antara matriks dengan serat-serat lemah, sehingga beban yang diberikan pada matriks tidak ditransfer dengan baik ke serat dan pada akhirnya kekuatan tarik komposit berkurang. Semakin banyak serat yang ditambahkan, matriks akan semakin tidak mampu mengikat serat dan semakin tidak kuat materialnya. Ketika interaksi antara matriks dan serat kuat, beban yang diterapkan pada matriks dapat ditransfer dengan baik ke serat. (Mathew & R.D.Drawlings, 1994).

#### 4.1.2.2 Kekuatan Luluh

Berikut terdapat grafik kekuatan luluh berdasarkan pengujian tarik



Gambar 4.8 Grafik Kekuatan Luluh

Pada anyaman Plain 45° didapatkan nilai kekuatan luluh pada percobaan spesimen pertama sebesar 7,84 MPa , untuk percobaan kedua sebesar 4,79 MPa, untuk percobaan ketiga sebesar 5,88 MPa, untuk percobaan keempat sebesar 3,48 MPa, untuk percobaan kelima sebesar 11,76 MPa . Adapun nilai standar deviasi dari kekuatan luluh anyaman Plain 45° sebesar 3,22 dengan nilai rata-rata kekuatan luluh sebesar 6,75 MPa.

Pada anyaman Plain 90° didapatkan nilai kekuatan luluh pada percobaan spesimen pertama sebesar 11,11 MPa , untuk percobaan kedua sebesar 10,67 MPa, untuk percobaan ketiga sebesar 11,56 MPa, untuk percobaan keempat sebesar 9,80 MPa, untuk percobaan kelima sebesar 3,27 MPa . Adapun nilai standar deviasi dari kekuatan luluh anyaman Plain 90° sebesar 3,42 dengan nilai rata-rata kekuatan luluh sebesar 9,28 MPa.

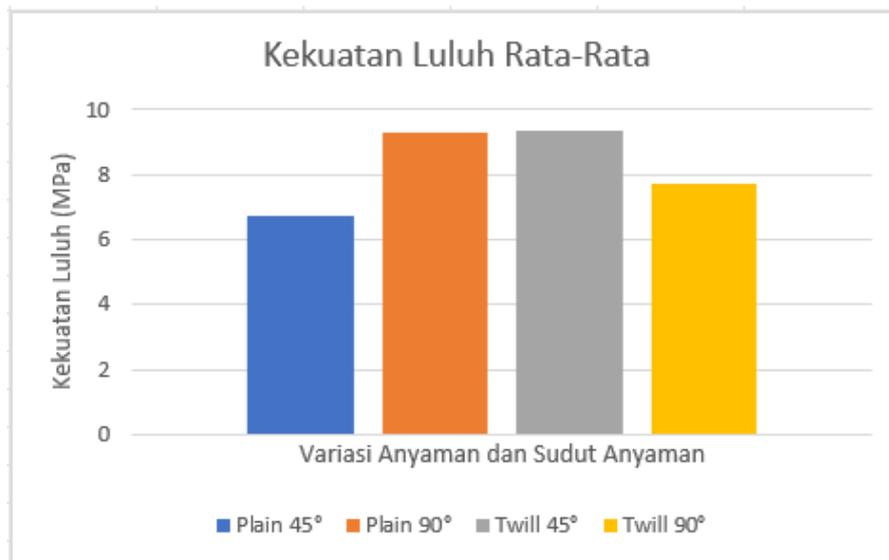
Pada anyaman Twill 45° didapatkan nilai kekuatan luluh pada percobaan spesimen

pertama sebesar 13,34 MPa , untuk percobaan kedua sebesar 7,62 MPa, untuk percobaan ketiga sebesar 4,14 MPa, untuk percobaan keempat sebesar 7,19 MPa, untuk percobaan kelima sebesar 9,58 MPa . Adapun nilai standar deviasi dari kekuatan luluh anyaman Twill 45° sebesar 3,39 dengan nilai rata-rata kekuatan luluh sebesar 9,37 MPa.

Pada anyaman Twill 90° didapatkan nilai kekuatan luluh pada percobaan spesimen pertama sebesar 6,75 MPa , untuk percobaan kedua sebesar 10,89 MPa, untuk percobaan ketiga sebesar 6,31 MPa, untuk percobaan keempat sebesar 10,24 MPa, untuk percobaan kelima sebesar 4,35 MPa . Adapun nilai standar deviasi dari kekuatan luluh anyaman Twill 90° sebesar 2,76 dengan nilai rata-rata kekuatan luluh sebesar 7,71 MPa.

Terdapat perbedaan nilai kekuatan luluh pada tiap spesimen dapat disebabkan oleh pengadukan komposisi resin yang dilakukan secara manual, sehingga kurang konsisten dan memungkinkan adanya *void*. Perbedaan kekuatan luluh juga bisa disebabkan oleh jarak pada bentuk anyaman yang berbeda-beda sesuai dengan bentuk alaminya. Ketidakteraturan data juga dapat disebabkan pada saat dilakukan proses pemvakuman yang terkadang tidak maksimal sehingga masih terdapat udara didalam cetakan.

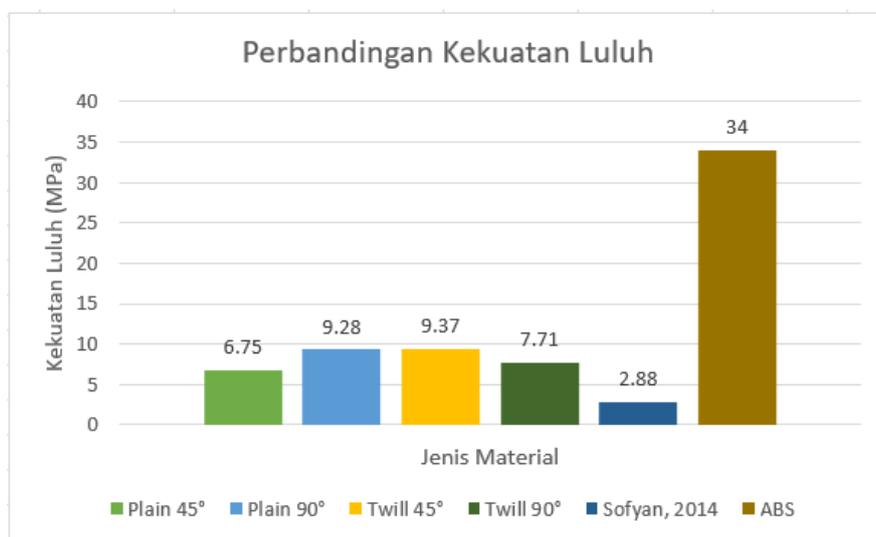
Berikut terdapat grafik perbandingan kekuatan luluh rata-rata



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Kekuatan Luluh Rata-Rata

Berdasarkan grafik perbandingan kekuatan luluh rata-rata diatas, dapat dilihat bahwa kekuatan luluh tertinggi pada anyaman Twill 45° sebesar 9,37 MPa, kemudian anyaman Plain 90° sebesar 9,28 MPa, kemudian anyaman Twill 90° sebesar 7,71 MPa, dan nilai kekuatan luluh terendah pada anyaman Plain 45° sebesar 6,75 MPa.

Berikut terdapat grafik perbandingan kekuatan luluh antara komposit polyurethane-anyaman bambu dengan material yang umum digunakan yaitu plastik ABS.



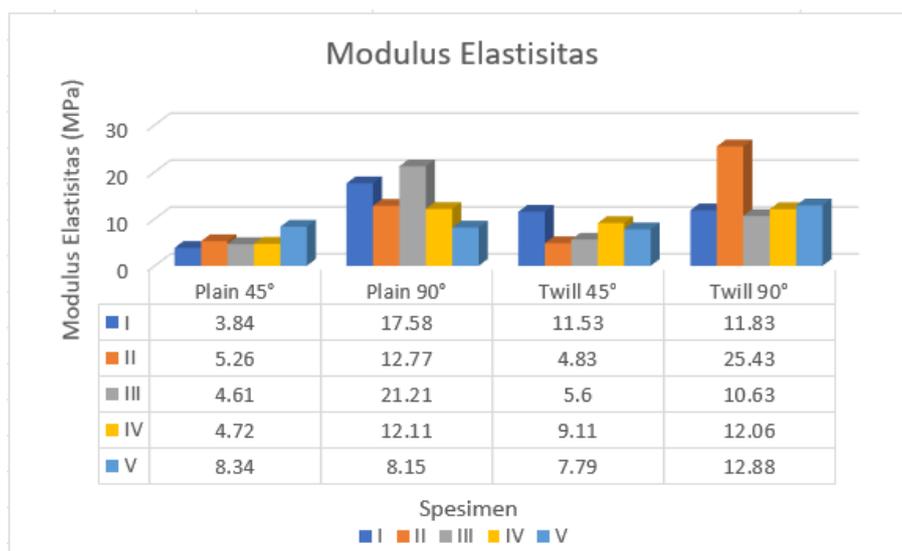
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Kekuatan Luluh dengan Plastik ABS

Pada grafik perbandingan kekuatan luluh dengan plastik ABS di atas, dapat dilihat bahwa kekuatan luluh komposit anyaman bambu dan resin polyurethane masih dibawah kekuatan luluh plastik ABS sebesar 34 MPa, sedangkan untuk kekuatan luluh tertinggi pada jenis anyaman Twill 45° sebesar 9,37 MPa. Sehingga kekuatan luluh komposit masih dibawah kekuatan luluh plastik ABS yang umum digunakan sebagai material dalam berbagai aplikasi.

Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Sofyan (2014) menggunakan komposit anyaman bambu menggunakan matriks polymer menghasilkan kekuatan luluh 2,88 MPa. Berdasarkan penelitian tersebut dapat diketahui kekuatan luluh masih dibawah penelitian ini.

#### 4.1.2.3 Modulus Elastisitas

Berikut terdapat grafik modulus elastisitas berdasarkan pengujian tarik



Gambar 4.11 Grafik Modulus Elastisitas

Pada anyaman Plain 45° didapatkan nilai modulus elastisitas pada percobaan spesimen

pertama sebesar 3,84 MPa , untuk percobaan kedua sebesar 5,26 MPa, untuk percobaan ketiga sebesar 4,61 MPa, untuk percobaan keempat sebesar 4,72 MPa, untuk percobaan kelima sebesar 8,34 MPa . Adapun nilai standar deviasi dari modulus elastisitas anyaman Plain 45° sebesar 1,74 dengan nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 5,35 MPa.

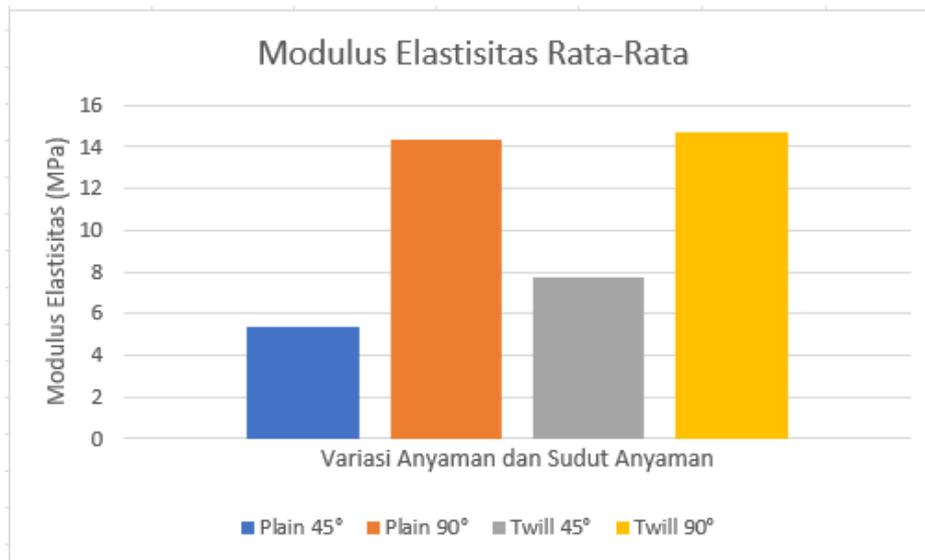
Pada anyaman Plain 90° didapatkan nilai modulus elastisitas pada percobaan spesimen pertama sebesar 17,58 MPa , untuk percobaan kedua sebesar 12,77 MPa, untuk percobaan ketiga sebesar 21,21 MPa, untuk percobaan keempat sebesar 12,11 MPa, untuk percobaan kelima sebesar 8,15 MPa . Adapun nilai standar deviasi dari modulus elastisitas anyaman Plain 90° sebesar 5,08 dengan nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 14,36 MPa.

Pada anyaman Twill 45° didapatkan nilai modulus elastisitas pada percobaan spesimen pertama sebesar 11,53 MPa , untuk percobaan kedua sebesar 4,83 MPa, untuk percobaan ketiga sebesar 5,60 MPa, untuk percobaan keempat sebesar 9,11 MPa, untuk percobaan kelima sebesar 7,79 MPa . Adapun nilai standar deviasi dari modulus elastisitas anyaman Twill 45° sebesar 2,70 dengan nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 7,77 MPa.

Pada anyaman Twill 90° didapatkan nilai modulus elastisitas pada percobaan spesimen pertama sebesar 11,83 MPa , untuk percobaan kedua sebesar 25,43 MPa, untuk percobaan ketiga sebesar 10,63 MPa, untuk percobaan keempat sebesar 12,06 MPa, untuk percobaan kelima sebesar 12,88 MPa . Adapun nilai standar deviasi dari modulus elastisitas anyaman Twill 90° sebesar 6,12 dengan nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 14,66 MPa.

Terdapat perbedaan nilai modulus elastisitas pada tiap spesimen dapat disebabkan oleh pengadukan komposisi resin yang dilakukan secara manual, sehingga kurang konsisten dan memungkinkan adanya *void*. Perbedaan modulus elastisitas juga bisa disebabkan oleh jarak pada bentuk anyaman yang berbeda-beda sesuai dengan bentuk alaminya. Ketidakteraturan data juga dapat disebabkan pada saat dilakukan proses pemvakuman yang terkadang tidak maksimal sehingga masih terdapat udara didalam cetakan.

Berikut terdapat grafik perbandingan modulus elastisitas rata-rata

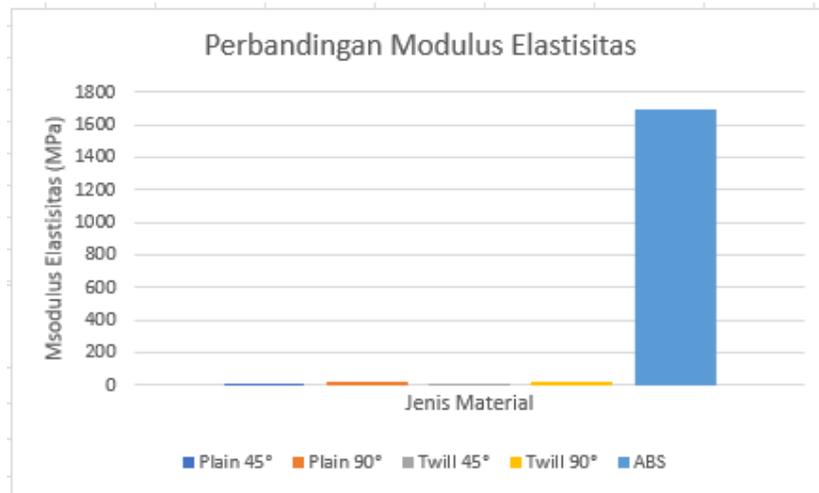


Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas Rata-Rata

Berdasarkan grafik perbandingan modulus elastisitas rata-rata diatas, dapat dilihat bahwa modulus elastisitas tertinggi didapatkan pada anyaman sudut 90° pada masing-masing variasi anyaman, pada anyaman Twill 90° sebesar 14,66 MPa, kemudian anyaman Plain 90° sebesar 14,36 MPa, dan yang memiliki nilai kekuatan tarik rendah didapatkan pada anyaman

sudut 45° pada masing-masing variasi anyaman, pada anyaman Twill 45° sebesar 7,77 MPa, kemudian anyaman plain 45° sebesar 5,35 MPa. Terjadi perbedaan modulus elastisitas yang sangat signifikan antara spesimen jenis anyaman Plain 45° dan Plain 90°, lalu untuk jenis anyaman Twill 45°, dan Twill 90°. Hal ini dapat terjadi karena arah anyaman sejajar dengan tegangan utama dalam kasus ini adalah anyaman sudut 90°. Sehingga modulus elastisitas akan lebih tinggi jika pada pengujian diberikan beban tarik yang searah dengan arah sudut anyaman.

Berikut terdapat grafik perbandingan modulus elastisitas antara komposit polyurethane-anyaman bambu dengan material yang umum digunakan yaitu plastik ABS.



Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas dengan Plastik ABS

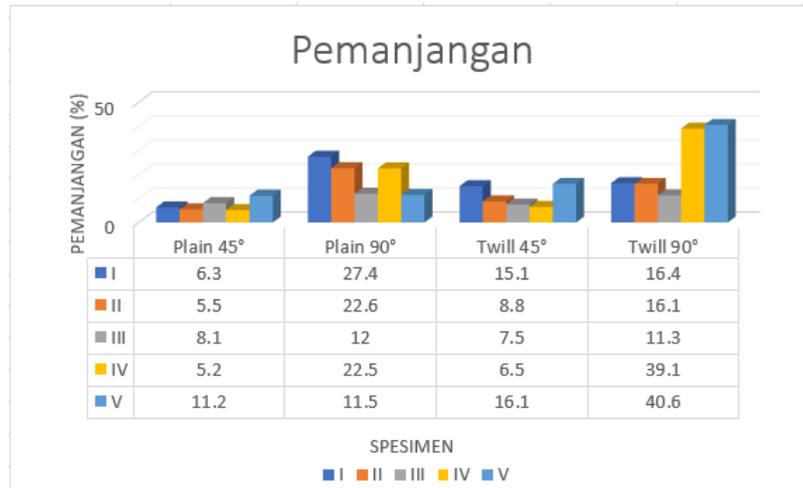
Pada grafik perbandingan modulus elastisitas dengan plastik ABS di atas, dapat dilihat bahwa modulus elastisitas komposit anyaman bambu dan resin polyurethane masih dibawah modulus elastisitas plastik ABS sebesar 1700 MPa, sedangkan untuk modulus elastisitas tertinggi pada jenis anyaman Twill 90° sebesar 14,66 MPa. Sehingga modulus elastisitas komposit masih dibawah modulus elastisitas plastik ABS yang umum digunakan sebagai material dalam berbagai aplikasi.

Pada penelitian ini nilai modulus elastisitas plastik ABS dengan spesimen komposit anyaman bambu dan resin polyurethane sangat signifikan perbedaannya, sehingga bisa dikatakan penelitian ini tidak mencapai target. Kekuatan tarik cenderung meningkat, sedangkan modulus elastisitas dan regangan hingga patah kecenderungan menurun ini menunjukkan bahwa kekakuan ikatan serat bambu meningkat dari bagian dalam ke bagian luar. Kemudian modulus elastisitas sebanding dengan kandungan selulosa dan berbanding terbalik dengan *migro fibrilla angle*, dan *migro fibrilla angle* sebanding dengan *strain to failure* karena deformasi *irreversible* dari dinding sel (Dagang et al, 2012 dan Wang et al, 2012). Bila nilai modulus elastisitasnya semakin tinggi, maka semakin sulit bahan untuk mengalami perpanjangan.

Perbedaan pada teori dan hasil pengujian tidak hanya disebabkan oleh kondisi spesimen saja. Namun spesimen dalam pengujian ini adalah penguat yang didapat dari serat alam, yang dihubungkan oleh lapisan antar sel yang terdiri dari pektin dan lignin (Wang et al, 2020). Selain itu perlakuan dengan komponen kimia dalam kasus ini proses alkalisasi dengan merendam NaOH juga mempengaruhi kekakuan ikatan serat anyaman bambu sebagai penguat. Sehingga untuk meningkatkan nilai modulus elastisitas dapat dilakukan penelitian lebih lanjut untuk penguat yang akan digunakan perlu dilakukan proses alkalisasi atau tidak.

#### 4.1.2.4 Pemanjangan

Berikut terdapat grafik pemanjangan berdasarkan pengujian tarik



Gambar 4.14 Grafik Pemanjangan

Pada anyaman Plain 45° didapatkan nilai pemanjangan pada percobaan spesimen pertama sebesar 6,3 % , untuk percobaan kedua sebesar 5,5 % , untuk percobaan ketiga sebesar 8,1%, untuk percobaan keempat sebesar 5,2 % , untuk percobaan kelima sebesar 11,2 % . Adapun nilai standar deviasi dari pemanjangan anyaman Plain 45° sebesar 2,47 dengan nilai rata-rata pemanjangan sebesar 7,2 % .

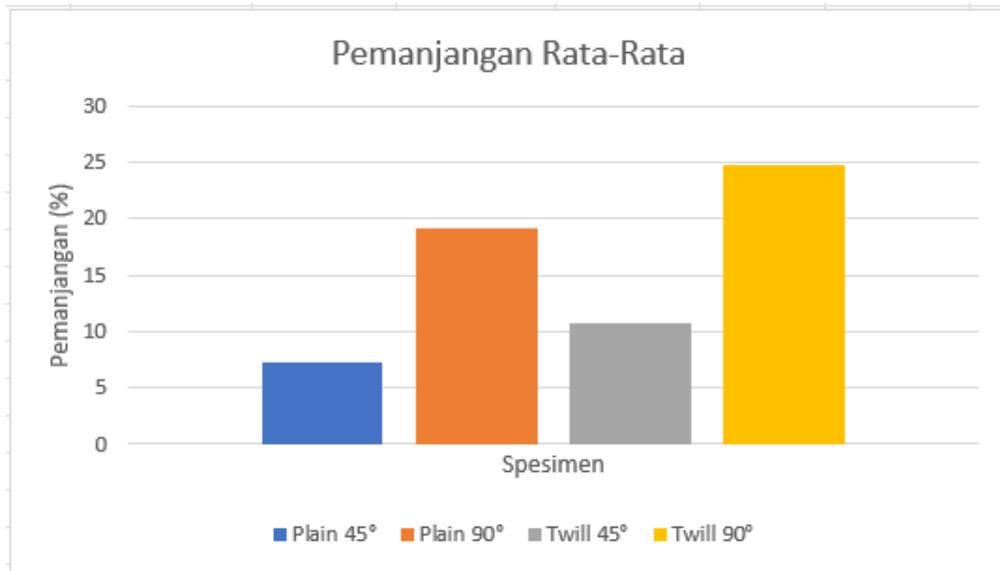
Pada anyaman Plain 90° didapatkan nilai pemanjangan pada percobaan spesimen pertama sebesar 27,4 % , untuk percobaan kedua sebesar 22,6 % , untuk percobaan ketiga sebesar 12 % , untuk percobaan keempat sebesar 22,5 % , untuk percobaan kelima sebesar 11,5 % . Adapun nilai standar deviasi dari pemanjangan anyaman Plain 90° sebesar 7,08 dengan nilai rata-rata pemanjangan sebesar 19,2 % .

Pada anyaman Twill 45° didapatkan nilai pemanjangan pada percobaan spesimen pertama sebesar 15,1 % , untuk percobaan kedua sebesar 8,8 % , untuk percobaan ketiga sebesar 7,5 % , untuk percobaan keempat sebesar 6,5 % , untuk percobaan kelima sebesar 16,1 % . Adapun nilai standar deviasi dari pemanjangan anyaman Twill 45° sebesar 4,47 dengan nilai rata-rata pemanjangan sebesar 10,8 % .

Pada anyaman Twill 90° didapatkan nilai pemanjangan pada percobaan spesimen pertama sebesar 16,4 % , untuk percobaan kedua sebesar 16,1 % , untuk percobaan ketiga sebesar 11,3 % , untuk percobaan keempat sebesar 39,1 % , untuk percobaan kelima sebesar 40,6 % . Adapun nilai standar deviasi dari pemanjangan anyaman Twill 90° sebesar 13,98 dengan nilai rata-rata pemanjangan sebesar 24,7 % .

Terdapat perbedaan nilai pemanjangan pada tiap spesimen dapat disebabkan oleh pengadukan komposisi resin yang dilakukan secara manual, sehingga kurang konsisten dan memungkinkan adanya *void*. Perbedaan pemanjangan juga bisa disebabkan oleh jarak pada bentuk anyaman yang berbeda-beda sesuai dengan bentuk alaminya. Ketidakteraturan data juga dapat disebabkan pada saat dilakukan proses pemvakuman yang terkadang tidak maksimal sehingga masih terdapat udara didalam cetakan.

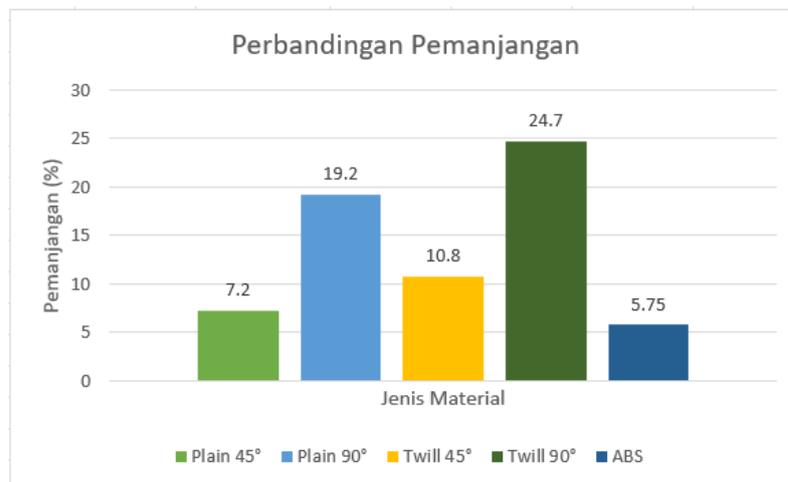
Berikut terdapat grafik perbandingan pemanjangan rata-rata



Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Pemanjangan Rata-Rata

Berdasarkan grafik perbandingan pemanjangan rata-rata diatas, dapat dilihat bahwa pemanjangan tertinggi didapatkan pada anyaman sudut 90° pada masing-masing variasi anyaman, pada anyaman Twill 90° sebesar 24,7 %, kemudian anyaman Plain 90° sebesar 19,2 %, dan yang memiliki nilai kekuatan tarik rendah didapatkan pada anyaman sudut 45° pada masing-masing variasi anyaman, pada anyaman Twill 45° sebesar 10,8 %, kemudian anyaman plain 45° sebesar 7,2 %. Terjadi perbedaan pemanjangan yang sangat signifikan antara spesimen jenis anyaman Plain 45° dan Plain 90°, lalu untuk jenis anyaman Twill 45°, dan Twill 90°. Hal ini dapat terjadi karena arah anyaman sejajar dengan tegangan utama dalam kasus ini adalah anyaman sudut 90°. Sehingga nilai pemanjangan akan lebih tinggi jika pada pengujian diberikan beban tarik yang searah dengan arah sudut anyaman.

Berikut terdapat grafik perbandingan pemanjangan antara komposit polyurethane-anyaman bambu dengan material yang umum digunakan yaitu plastik ABS.



Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Pemanjangan dengan Plastik ABS

Pada grafik perbandingan pemanjangan dengan plastik ABS di atas, dapat dilihat bahwa pemanjangan komposit anyaman bambu dan resin polyurethane diatas pemanjangan plastik ABS sebesar 5,75%, sehingga pemanjangan komposit masih diatas pemanjangan plastik ABS yang umum digunakan sebagai material dalam berbagai aplikasi.

#### 4.1.2.5 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan

Grafik hubungan tegangan-regangan pada umumnya menunjukkan karakteristik material yang diuji tarik. Grafik ini menunjukkan kekuatan luluh (*yield strength*), kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*), modulus elastisitas (*young's modulus*), dan pemanjangan (*elongation*). Berikut terdapat grafik hubungan tegangan-regangan tiap jenis anyaman dan sudut anyaman diwakili oleh satu spesimen.



Gambar 4.17 Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen 1 Komposit Anyaman Plain 45°

Analisa perhitungan data :

Hubungan tegangan dan regangan

$$\sigma = \frac{F}{A} \left( \frac{N}{\text{mm}^2} \right)$$

$$\sigma = \frac{1255}{90} \left( \frac{N}{\text{mm}^2} \right)$$

$$\sigma = 13,94 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

sedangkan regangan pada saat itu dapat dirumuskan sebagai berikut

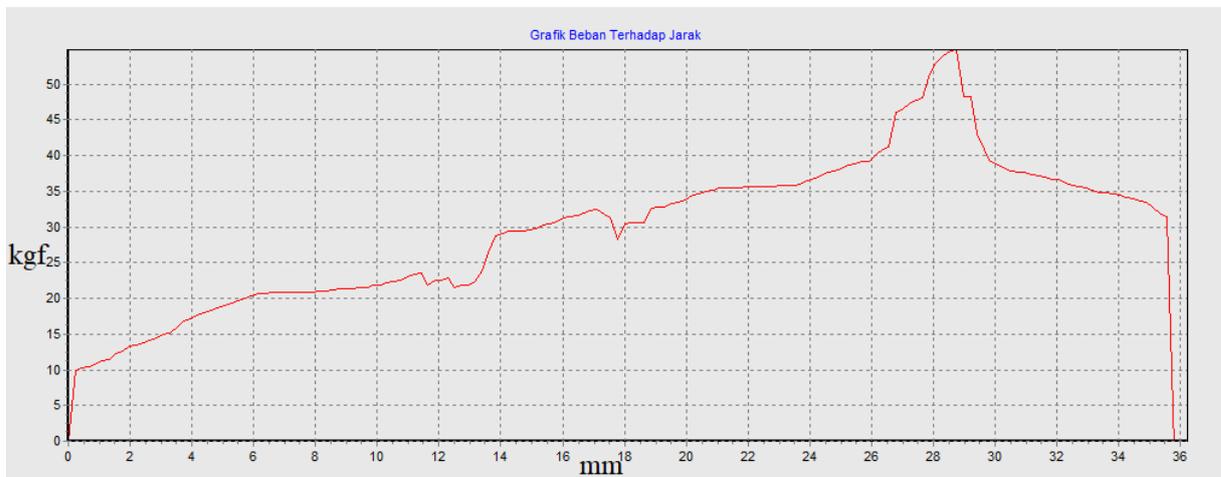
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{12,6}{200} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 6,3 \%$$

menyatakan bahwa pada pengujian ini terjadi regangan sebesar 6,3 % yang menandakan hasil dari komposit memiliki kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) sebesar 13,94 N/mm<sup>2</sup>. Kemudian didapatkan kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 7,84 MPa. Pada kekuatan luluh (*yield strength*) material mengalami deformasi plastis. Sampai dengan titik luluh (*yield point*) material terdeformasi secara elastis dan dapat kembali ke bentuk semula. Pada titik kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength/UTS*) material mengalami tegangan terbesar yang dapat ditarik sebelum patah. Pada material getas titik UTS umumnya dekat dengan titik *yield* sedangkan pada material ulet UTS dapat lebih tinggi. (Vlack, 1982). Pada anyaman Plain 45° merupakan material yang ulet karena ditandai dengan adanya deformasi plastis yang cukup besar.

Berikut terdapat grafik hubungan tegangan-regangan pada anyaman Plain 90°



Gambar 4.18 Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen 1 Komposit Anyaman Plain 90°

Analisa perhitungan data :

Hubungan tegangan dan regangan

$$\sigma = \frac{F}{A} \left( \frac{N}{\text{mm}^2} \right)$$

$$\sigma = \frac{5374}{90} \left( \frac{N}{\text{mm}^2} \right)$$

$$\sigma = 59,71 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

sedangkan regangan pada saat itu dapat dirumuskan sebagai berikut

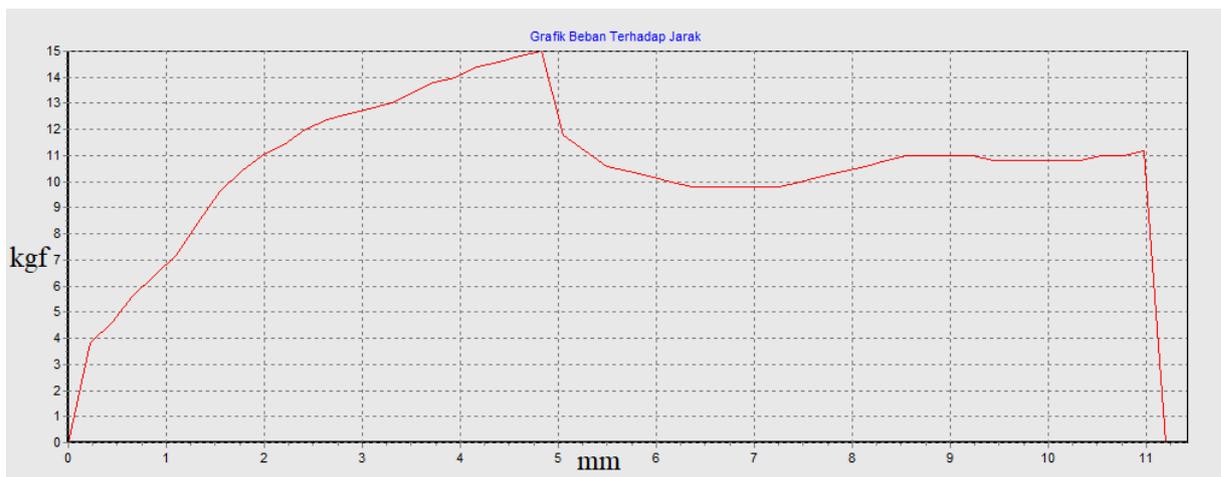
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{54,8}{200} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 27,4 \%$$

menyatakan bahwa pada pengujian ini terjadi regangan sebesar 27,4 % yang menandakan hasil dari komposit memiliki kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) sebesar 59,71 N/mm<sup>2</sup>. Kemudian didapatkan kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 11,11 MPa. Pada anyaman Plain 90° merupakan material yang ulet karena ditandai dengan adanya deformasi plastis yang cukup besar.

Berikut terdapat grafik hubungan tegangan-regangan pada anyaman Twill 45°



Gambar 4.19 Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen 1 Komposit Anyaman Twill 45°

Analisa perhitungan data :

Hubungan tegangan dan regangan

$$\sigma = \frac{F}{A} \left( \frac{N}{\text{mm}^2} \right)$$

$$\sigma = \frac{1471}{90} \left( \frac{N}{\text{mm}^2} \right)$$

$$\sigma = 16,34 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

sedangkan regangan pada saat itu dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{30,02}{200} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 15,1 \%$$

menyatakan bahwa pada pengujian ini terjadi regangan sebesar 15,1 % yang menandakan hasil dari komposit memiliki kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) sebesar 16,34 N/mm<sup>2</sup>. Kemudian didapatkan kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 4,14 MPa. Pada

anyaman Twill 45° merupakan material yang ulet karena ditandai dengan adanya deformasi plastis yang cukup besar.

Berikut terdapat grafik hubungan tegangan-regangan pada anyaman Twill 90°



Gambar 4.20 Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen 1 Komposit Anyaman Twill 90°

Analisa perhitungan data :

Hubungan tegangan dan regangan

$$\sigma = \frac{F}{A} \left( \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$\sigma = \frac{3216}{90} \left( \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$\sigma = 35,73 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

sedangkan regangan pada saat itu dapat dirumuskan sebagai berikut

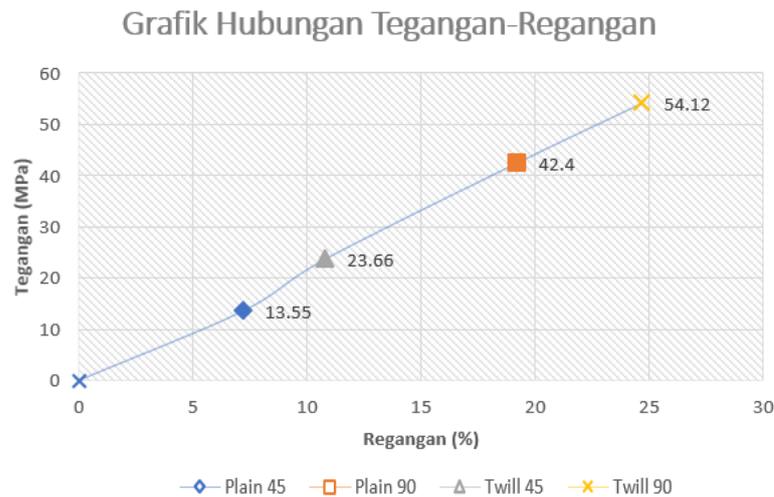
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{32,80}{200} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 16,4 \%$$

menyatakan bahwa pada pengujian ini terjadi regangan sebesar 16,4 % yang menandakan hasil dari komposit memiliki kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) sebesar 335,73 N/mm<sup>2</sup>. Kemudian didapatkan kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 6,75 MPa. Pada anyaman Twill 90° merupakan material yang ulet karena ditandai dengan adanya deformasi plastis yang cukup besar.

Dari nilai yang telah dihitung diatas, berikut terdapat grafik hubungan tegangan-regangan seluruh variasi jenis anyaman dan sudut orientasi anyaman



Gambar 4.21 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Spesimen Komposit Anyaman Plain 45<sup>0</sup>, Plain 90<sup>0</sup>, Twill 45<sup>0</sup>, Twill 90<sup>0</sup>.

#### 4.1.2.6 Uji Anova Hasil Uji Tarik

Pengujian *one-way anova* dilakukan pada hasil uji tarik menggunakan software SPSS Statistics 26 dengan hipotesis  $H_0$ : Tidak ada pengaruh sudut orientasi anyaman bambu pada komposit dengan matriks resin polyurethane terhadap kekuatan tarik menggunakan metode anova, dan  $H_1$ : Ada pengaruh sudut orientasi anyaman bambu pada komposit dengan matriks resin polyurethane terhadap kekuatan tarik menggunakan metode anova.

Sebelum dilakukan pengujian anova, data harus terdistribusi normal, sama (homogen), dan sampel tidak berhubungan satu dengan yang lain. Oleh karena itu perlu dilakukan uji normalitas dan uji homogenitas terlebih dahulu.

**Descriptives**

Kekuatan Tarik

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Plain 45	5	15.8460	5.25240	2.34894	9.3243	22.3677	11.48	24.18
Plain 90	5	42.4040	15.36409	6.87103	23.3270	61.4810	25.93	59.71
Twill 45	5	23.6620	9.83675	4.39913	11.4481	35.8759	14.16	35.30
Twill 90	5	54.1280	30.68481	13.72266	16.0278	92.2282	24.84	88.69
Total	20	34.0100	22.67490	5.07026	23.3978	44.6222	11.48	88.69

Tabel 4. 2 Hasil Descriptives Pengujian Tarik SPSS

Berdasarkan output SPSS diatas, dapat dilihat perbedaan rata-rata nilai kekuatan tarik komposit berpenguat anyaman bambu dengan matriks polyurethane dengan rata-rata nilai kekuatan tarik tertinggi didapat pada anyaman Twill 90<sup>0</sup> sebesar 54,128 MPa.

Menguji kesamaan varian atau uji homogenitas, berikut adalah hasil uji homogenitas dari data uji tarik

### Test of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Kekuatan Tarik	Based on Mean	19.837	3	16	.000012
	Based on Median	1.524	3	16	.247
	Based on Median and with adjusted df	1.524	3	6.295	.298
	Based on trimmed mean	18.869	3	16	.000

Tabel 4. 3 Hasil Uji Homogenitas Pengujian tarik

Berdasarkan hasil diatas, *Based on Mean* untuk hasil dari kekuatan tarik diperoleh angka *Levene Statistic* sebesar 19,837 dengan signifikansi (Sig.) sebesar 0,000012 dimana  $< 0,05$  maka  $H_0$  ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa ke empat variasi jenis anyaman adalah berbeda atau tidak homogen. Namun data yang tidak homogen tetapi normal dapat dilanjutkan ketahap uji anova (Irvan, 2019).

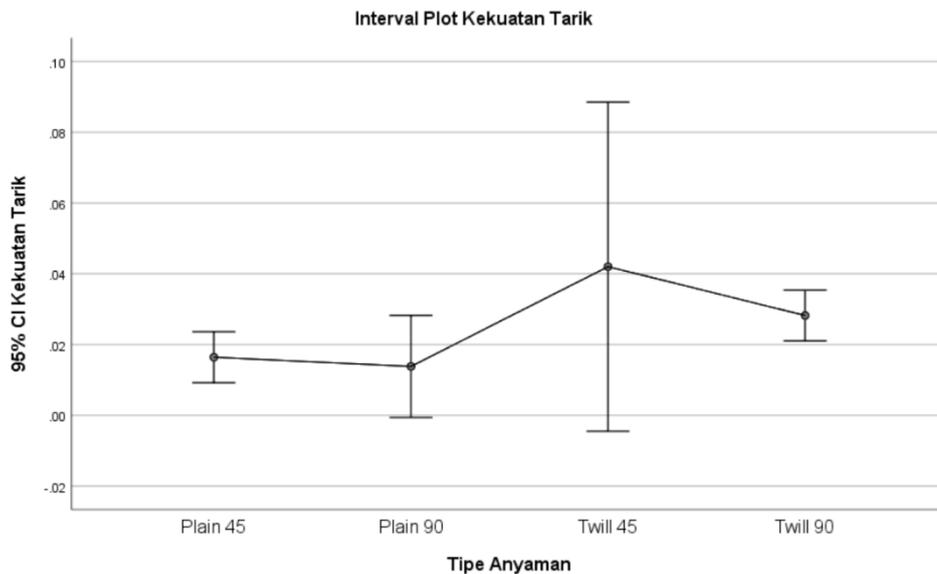
Kemudian dilakukan uji anova, Analisa ini harus memiliki hipotesa sebelum dapat menarik sebuah kesimpulan, hipotesa yang diajukan adalah

- Tidak terdapat pengaruh yang signifikan pada penggunaan anyaman bambu pada komposit dengan matriks resin polyurethane terhadap kekuatan tarik menggunakan metode anova,
- Terdapat pengaruh yang signifikan pada penggunaan anyaman bambu pada komposit dengan matriks resin polyurethane terhadap kekuatan tarik menggunakan metode anova,

### ANOVA

Kekuatan Tarik					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4561.026	3	1520.342	4.671	.016
Within Groups	5207.847	16	325.490		
Total	9768.873	19			

Tabel 4. 4 Hasil Uji Anova Pengujian Tarik



Gambar 4. 22 Grafik Hasil Uji Anova Pengujian Tarik

Berdasarkan hasil analisis *one-way* anova dengan menggunakan taraf signifikansi 95% ( $\alpha = 0,05$ ) yang dilihat dengan angka signifikansi (Sig.) dengan ketentuan sebagai berikut

- Jika nilai sig. hasil hitung  $> 0,05$ , maka  $H_0$  diterima,  $H_1$  ditolak
- Jika nilai sig. hasil hitung  $< 0,05$ , maka  $H_1$  diterima,  $H_0$  ditolak

Tingkat signifikansi dari asumsi uji anova dari 20 sampel adalah 5%. Berdasarkan interval plot pada gambar 4.21 terlihat sebaran rata-rata Twill 45° lebih tinggi, namun jika dilihat dari hasil uji anova nilai Sig. hasil hitung pada tabel 4.4 sebesar 0,016 dimana  $< 0,05$ . Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima, dimana terdapat pengaruh yang signifikan pada sudut orientasi anyaman bambu pada komposit dengan matriks polyurethane terhadap kekuatan tarik menggunakan metode anova.

#### 4.2 Pengujian Impak

Pengujian impak dilakukan menggunakan standar ASTM D256. Spesimen yang telah dilakukan proses pemotongan untuk mendapatkan dimensi yang sesuai dengan standar uji. Berikut gambar spesimen sebelum dan sesudah uji impak.



Gambar 4.23 Pengujian Anova Pada Hasil Uji Tarik

a) b)  
 Gambar 4. 24 a) Spesimen Sebelum Uji Impak b) Spesimen Setelah Uji Impak

berikut merupakan mesin uji impact yang digunakan



Gambar 4.25 Mesin Uji Impact

#### 4.2.1 Hasil Uji Impact

Pengujian dilakukan sebanyak lima kali untuk masing-masing variasi anyaman dan sudut anyaman untuk melihat persebaran data. Berikut merupakan hasil dari pengujian impact yang dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang.

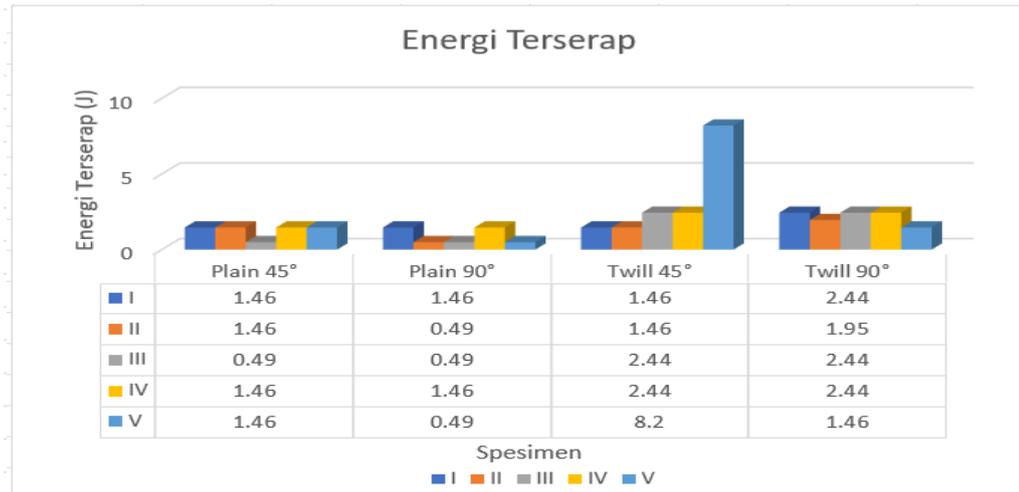
Komposisi		Spesimen	Luas (mm <sup>2</sup> )	Sudut α (°)	Sudut β (°)	Kekuatan Impact (J/mm <sup>2</sup> )	Energi Terserap (J)
Tipe anyaman	*Sudut Anyaman						
Plain	45°	I	75.6	50	48	0.019	1.46
		II	75.6	50	48	0.019	1.46
		III	75.6	50	49	0.006	0.49
		IV	75.6	50	48	0.019	1.46
		V	75.6	50	48	0.019	1.46
		Rata-rata					0.016
Plain	90°	I	75.6	50	48	0.019	1.46
		II	75.6	50	49	0.006	0.49
		III	75.6	50	49	0.006	0.49
		IV	75.6	50	48	0.032	1.46
		V	75.6	50	49	0.006	0.49
		Rata-rata					0.014
Twill	45°	I	75.6	50	48	0.019	1.46
		II	75.6	50	48	0.019	1.46
		III	75.6	50	46	0.032	2.44
		IV	75.6	50	46	0.032	2.44
		V	75.6	50	36	0.108	8.20
		Rata-rata					0.042
Twill	90°	I	75.6	50	46	0.032	2.44
		II	75.6	50	47	0.026	1.95
		III	75.6	50	46	0.032	2.44
		IV	75.6	50	46	0.032	2.44
		V	75.6	50	48	0.019	1.46
		Rata-rata					0.028

## 4.2.2 Grafik dan Analisis Hasil Uji Impak

Pada penelitian ini pengujian impact bertujuan untuk mengetahui energi terserap oleh material dan kekuatan impactnya.

### 4.2.2.1 Energi Terserap

Berikut terdapat grafik energi terserap berdasarkan pengujian impact



Gambar 4.26 Grafik Energi Terserap

Pada anyaman Plain 45° didapatkan nilai energi serapan pada percobaan spesimen pertama sebesar 1,46 J, untuk percobaan kedua sebesar 1,46 J, untuk percobaan ketiga sebesar 0,49 J, untuk percobaan keempat sebesar 1,46 J, untuk percobaan kelima sebesar 1,46 J. Adapun nilai standar deviasi dari energi terserap anyaman Plain 45° sebesar 0,434 dengan nilai rata-rata energi serapan sebesar 1,266 J.

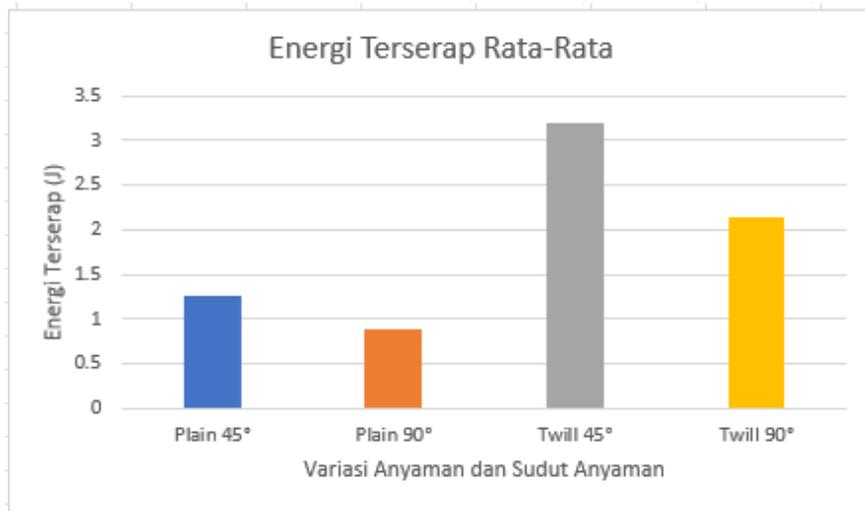
Pada anyaman Plain 90° didapatkan nilai energi serapan pada percobaan spesimen pertama sebesar 1,46 J, untuk percobaan kedua sebesar 0,49 J, untuk percobaan ketiga sebesar 0,49 J, untuk percobaan keempat sebesar 1,46 J, untuk percobaan kelima sebesar 0,49 J. Adapun nilai standar deviasi dari energi terserap anyaman Plain 90° sebesar 0,531 dengan nilai rata-rata energi serapan sebesar 0,878 J.

Pada anyaman Twill 45° didapatkan nilai energi serapan pada percobaan spesimen pertama sebesar 1,46 J, untuk percobaan kedua sebesar 1,46 J, untuk percobaan ketiga sebesar 2,44 J, untuk percobaan keempat sebesar 2,44 J, untuk percobaan kelima sebesar 8,2 J. Adapun nilai standar deviasi dari energi terserap anyaman Twill 45° sebesar 2,837 dengan nilai rata-rata energi serapan sebesar 3,20 J.

Pada anyaman Twill 90° didapatkan nilai energi serapan pada percobaan spesimen pertama sebesar 2,44 J, untuk percobaan kedua sebesar 1,95 J, untuk percobaan ketiga sebesar 2,44 J, untuk percobaan keempat sebesar 2,44 J, untuk percobaan kelima sebesar 1,46 J. Adapun nilai standar deviasi dari energi terserap anyaman Twill 90° sebesar 0,438 dengan nilai rata-rata energi serapan sebesar 2,146 J.

Terdapat perbedaan nilai energi serapan pada tiap spesimen dapat disebabkan oleh pengadukan komposisi resin yang dilakukan secara manual, sehingga kurang konsisten dan memungkinkan adanya *void*. Perbedaan energi serapan juga bisa disebabkan oleh jarak pada bentuk anyaman yang berbeda-beda sesuai dengan bentuk alaminya. Ketidakteraturan data juga dapat disebabkan pada saat dilakukan proses pemvakuman yang terkadang tidak maksimal sehingga masih terdapat udara didalam cetakan.

Berikut terdapat grafik perbandingan energi terserap rata-rata



Gambar 4.27 Grafik Perbandingan Energi Terserap Rata-Rata

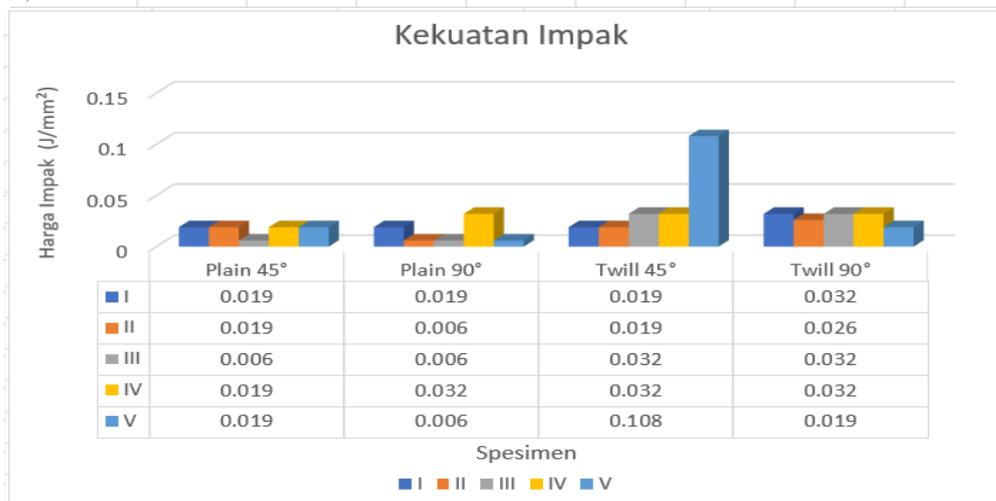
Berdasarkan grafik perbandingan energi serap rata-rata di atas, dapat dilihat bahwa energi serap tertinggi didapatkan pada anyaman Twill 45° sebesar 3,20 J, kemudian pada anyaman Twill 90° sebesar 2,146 J, kemudian pada anyaman Plain 45° sebesar 1,266 J, dan yang paling rendah didapatkan pada anyaman Plain 90° sebesar 0,878 J.

Polimer merupakan material yang bersifat viskoelastik, seperti dalam kasus polyurethane pada saat di suhu ruang yang bersifat viskoelastik sehingga membuat matriks dapat menyelimuti dan menahan penguat tetap pada tempatnya. (Anna et al, 2019)

Ada kecenderungan energi terserap oleh komposit meningkat dengan arah sudut orientasi anyaman yang lebih kecil. Dari data diatas dapat diketahui bahwa arah sudut orientasi anyaman yang memiliki pengaruh yang besar terhadap penyerapan energi impact adalah arah sudut orientasi yang melintang terhadap arah datangnya beban kejut. Sedangkan arah sudut orientasi anyaman yang searah beban kejut memiliki pengaruh yang kecil. Dengan perbedaan ukuran diameter sayatan yang semakin kecil, serat dihubungkan melewati sela-sela antara matriks. Kemudian beban tertransfer dari matriks ke penguat. Penguat terhubung erat ke matriks untuk berkontribusi pada kekuatan komposit. Ini menyebabkan peningkatan yang tinggi pada impact *resistance* bahan polimer. Kinerja mekanis yang lebih baik diketahui terkait dengan perubahan arah perambatan polyurethane yang disebabkan oleh penyisipan penguat pada matriks (Mariana et al, 2021).

#### 4.2.2.2 Kekuatan Impak

Berikut terdapat grafik kekuatan impak berdasarkan pengujian impak



Gambar 4.28 Grafik Kekuatan Impak

Pada anyaman Plain 45° didapatkan nilai kekuatan impak pada percobaan spesimen pertama sebesar 0,019 J/mm<sup>2</sup>, untuk percobaan kedua sebesar 0,019 J/mm<sup>2</sup>, untuk percobaan ketiga sebesar 0,006 J/mm<sup>2</sup>, untuk percobaan keempat sebesar 0,019 J/mm<sup>2</sup>, untuk percobaan kelima sebesar 0,019 J/mm<sup>2</sup>. Adapun nilai standar deviasi dari kekuatan impak anyaman Plain 45° sebesar 0,0058 dengan nilai rata-rata kekuatan impak sebesar 0,016 J/mm<sup>2</sup>.

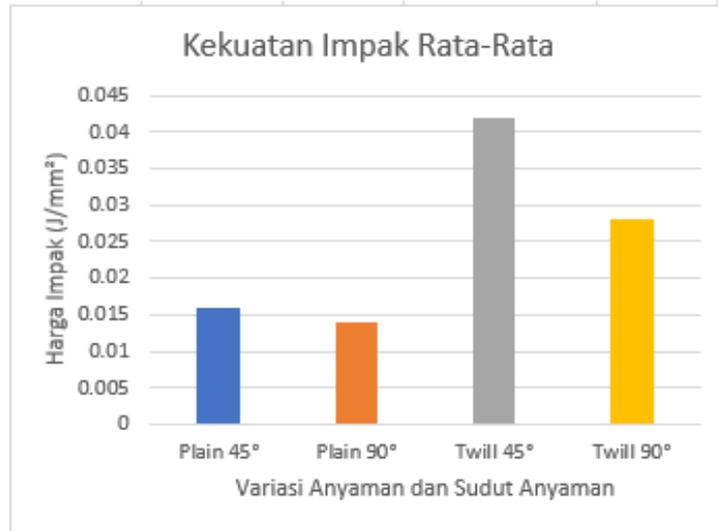
Pada anyaman Plain 90° didapatkan nilai kekuatan impak pada percobaan spesimen pertama sebesar 0,019 J/mm<sup>2</sup>, untuk percobaan kedua sebesar 0,006 J/mm<sup>2</sup>, untuk percobaan ketiga sebesar 0,006 J/mm<sup>2</sup>, untuk percobaan keempat sebesar 0,032 J/mm<sup>2</sup>, untuk percobaan kelima sebesar 0,006 J/mm<sup>2</sup>. Adapun nilai standar deviasi dari kekuatan impak anyaman Plain 90° sebesar 0,0116 dengan nilai rata-rata kekuatan impak sebesar 0,014 J/mm<sup>2</sup>.

Pada anyaman Twill 45° didapatkan nilai kekuatan impak pada percobaan spesimen pertama sebesar 0,019 J/mm<sup>2</sup>, untuk percobaan kedua sebesar 0,019 J/mm<sup>2</sup>, untuk percobaan ketiga sebesar 0,032 J/mm<sup>2</sup>, untuk percobaan keempat sebesar 0,032 J/mm<sup>2</sup>, untuk percobaan kelima sebesar 0,108 J/mm<sup>2</sup>. Adapun nilai standar deviasi dari kekuatan impak anyaman Twill 45° sebesar 0,0374 dengan nilai rata-rata kekuatan impak sebesar 0,042 J/mm<sup>2</sup>.

Pada anyaman Twill 90° didapatkan nilai kekuatan impak pada percobaan spesimen pertama sebesar 0,032 J/mm<sup>2</sup>, untuk percobaan kedua sebesar 0,026 J/mm<sup>2</sup>, untuk percobaan ketiga sebesar 0,032 J/mm<sup>2</sup>, untuk percobaan keempat sebesar 0,032 J/mm<sup>2</sup>, untuk percobaan kelima sebesar 0,019 J/mm<sup>2</sup>. Adapun nilai standar deviasi dari kekuatan impak anyaman Twill 90° sebesar 0,0057 dengan nilai rata-rata kekuatan impak sebesar 0,028 J/mm<sup>2</sup>.

Terdapat perbedaan nilai kekuatan impak pada tiap spesimen dapat disebabkan oleh pengadukan komposisi resin yang dilakukan secara manual, sehingga kurang konsisten dan memungkinkan adanya *void*. Perbedaan kekuatan impak juga bisa disebabkan oleh jarak pada bentuk anyaman yang berbeda-beda sesuai dengan bentuk alaminya. Ketidakteraturan data juga dapat disebabkan pada saat dilakukan proses pemvakuman yang terkadang tidak maksimal sehingga masih terdapat udara didalam cetakan.

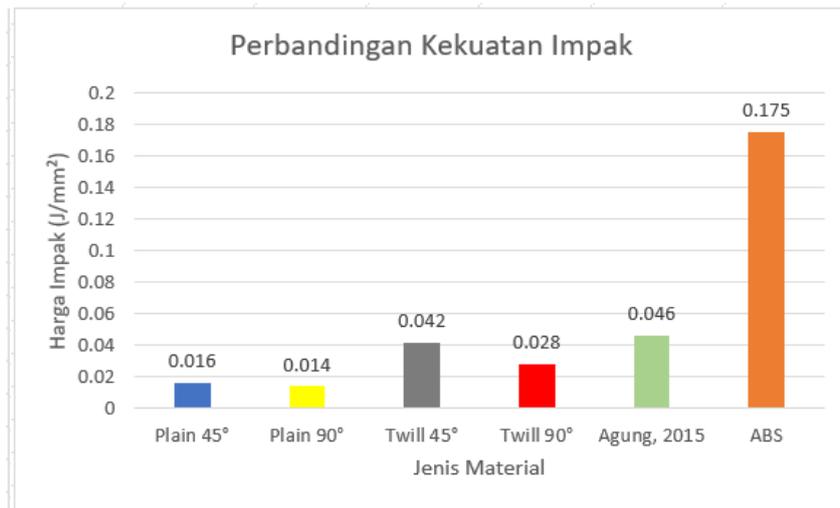
Berikut terdapat grafik perbandingan kekuatan impak rata-rata



Gambar 4.29 Grafik Perbandingan Kekuatan Impak Rata-Rata

Berdasarkan grafik perbandingan kekuatan impak rata-rata diatas, dapat dilihat bahwa kekuatan impak tertinggi didapatkan pada anyaman Twill 45° sebesar 0,042 J/mm<sup>2</sup>, kemudian pada anyaman Twill 90° sebesar 0,028 J/mm<sup>2</sup>, kemudian pada anyaman Plain 45° sebesar 0,016 J/mm<sup>2</sup>, dan yang paling rendah didapatkan pada anyaman Plain 90° sebesar 0,014 J/mm<sup>2</sup>.

Berikut terdapat grafik perbandingan kekuatan impak komposit dengan material yang umum digunakan untuk berbagai aplikasi.



Gambar 4.30 Grafik Perbandingan Kekuatan Impak dengan Plastik ABS

Pada grafik perbandingan kekuatan impak dengan plastik ABS diatas, dapat dilihat bahwa kekuatan impak komposit anyaman bambu dan resin polyurethane masih dibawah kekuatan impak plastik ABS sebesar 0,175 J/mm<sup>2</sup>. Sehingga kekuatan impak komposit masih dibawah kekuatan impak plastik ABS yang umum digunakan dalam berbagai aplikasi.

Pada penelitian terdahulu yang dilakukan Agung (2015) menggunakan komposit serat bambu dan matriks epoksi dengan fraksi volume 7.5 % serat menghasilkan kekuatan impak

sebesar 0,046 J/mm<sup>2</sup> dengan sudut orientasi 45°.

#### 4.2.2.3 Uji Anova Hasil Uji Impak

Pengujian *one-way anova* dilakukan pada hasil uji impact menggunakan software SPSS Statistics 26 dengan hipotesis H<sub>0</sub>: Tidak ada pengaruh sudut orientasi anyaman bambu pada komposit dengan matriks resin polyurethane terhadap kekuatan impact menggunakan metode anova, dan H<sub>1</sub>: Ada pengaruh sudut orientasi anyaman bambu pada komposit dengan matriks resin polyurethane terhadap kekuatan impact menggunakan metode anova.

Sebelum dilakukan pengujian anova, data harus terdistribusi normal, sama (homogen), dan sampel tidak berhubungan satu dengan yang lain. Oleh karena itu perlu dilakukan uji normalitas dan uji homogenitas terlebih dahulu.

Kekuatan Impact		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
Plain 45		5	.02	.006	.003	.01	.02	0	0
Plain 90		5	.01	.012	.005	.00	.03	0	0
Twill 45		5	.04	.037	.017	.00	.09	0	0
Twill 90		5	.03	.006	.003	.02	.04	0	0
Total		20	.03	.022	.005	.01	.04	0	0

Tabel 4.6 Hasil Descriptives Pengujian Impact SPSS

Berdasarkan output SPSS diatas, dapat dilihat perbedaan rata-rata nilai kekuatan impact komposit berpenguat anyaman bambu dengan matriks polyurethane dengan rata-rata nilai kekuatan impact tertinggi didapat pada anyaman Twill 45° sebesar 0,04 J/mm<sup>2</sup>.

Menguji kesamaan varian atau uji homogenitas, berikut adalah hasil uji homogenitas dari data uji impact

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Kekuatan Impact	Based on Mean	3.788	3	16	.032
	Based on Median	1.095	3	16	.380
	Based on Median and with adjusted df	1.095	3	5.651	.424
	Based on trimmed mean	2.833	3	16	.071

Tabel 4. 7 Hasil Uji Homogenitas Pengujian Impact

Berdasarkan hasil diatas, *Based on Mean* untuk hasil dari kekuatan tarik diperoleh angka *Levene Statistic* sebesar 3,788 dengan signifikansi (Sig.) sebesar 0,032 dimana < 0,05 maka H<sub>0</sub> ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa ke empat variasi jenis anyaman adalah berbeda atau tidak homogen. Namun data yang tidak homogen tetapi normal dapat dilanjutkan ketahap uji anova (Irvan, 2019).

Kemudian dilakukan uji anova, Analisa ini harus memiliki hipotesa sebelum dapat menarik sebuah kesimpulan, hipotesa yang diajukan adalah

- Tidak terdapat pengaruh yang signifikan pada penggunaan anyaman bambu

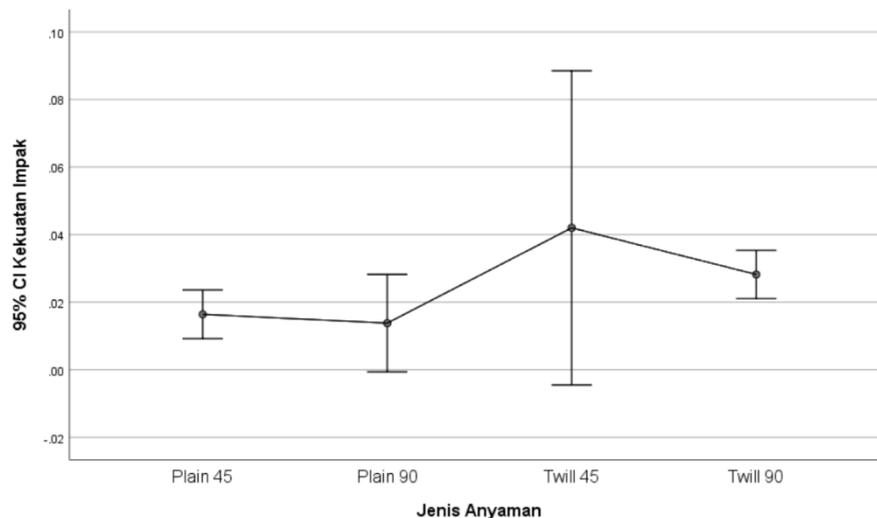
pada komposit dengan matriks resin polyurethane terhadap kekuatan tarik menggunakan metode anova,

- Terdapat pengaruh yang signifikan pada penggunaan anyaman bambu pada komposit dengan matriks resin polyurethane terhadap kekuatan tarik menggunakan metode anova,

### ANOVA

Kekuatan Impak					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.002	3	.001	2.070	.145
Within Groups	.006	16	.000		
Total	.009	19			

Tabel 4. 8 Hasil Uji Anova Pengujian Impak



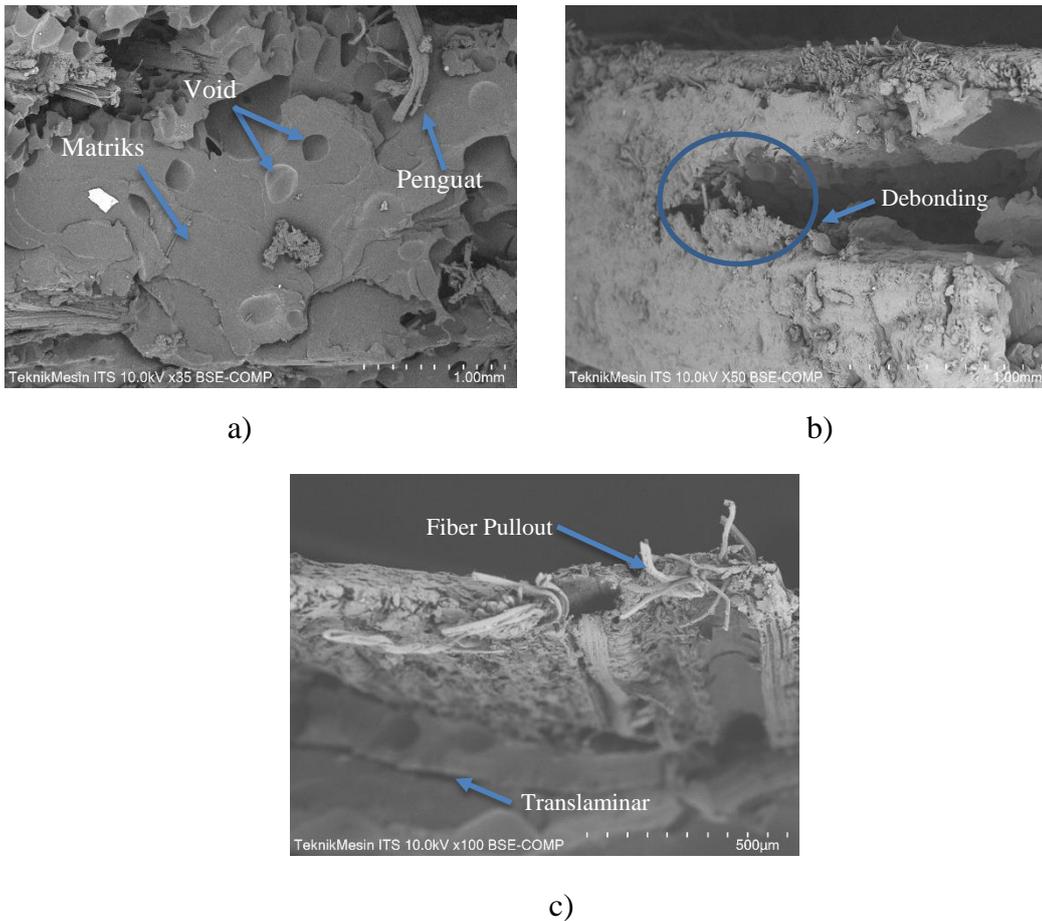
Gambar 4. 31 Grafik Hasil Uji Anova Pengujian Impak

Berdasarkan hasil analisis *one-way* anova dengan menggunakan taraf signifikansi 95% ( $\alpha = 0,05$ ) yang dilihat dengan angka signifikansi (Sig.) dengan ketentuan sebagai berikut

- Jika nilai sig. hasil hitung  $> 0,05$ , maka  $H_0$  diterima,  $H_1$  ditolak
- Jika nilai sig. hasil hitung  $< 0,05$ , maka  $H_1$  diterima,  $H_0$  ditolak

Nilai Sig. hasil hitung pada tabel 4.8 sebesar 0,145 dimana  $> 0,05$ . Berdasarkan Sig. hasil yang ada pada tabel 4.8 maka dapat ditarik kesimpulan bahwa  $H_1$  ditolak dan  $H_0$  diterima, dimana tidak terdapat pengaruh yang signifikan pada sudut orientasi anyaman bambu pada komposit dengan matriks resin polyurethane terhadap kekuatan impak menggunakan metode anova.

### 4.3 Kegagalan Pada Komposit



Gambar 4.32 Hasil Uji *Scanning Electron Microscope* pada komposit anyaman bambu a) Perbesaran 35x, b) Perbesaran 50x, c) Perbesaran 100x

Pengujian metalografi SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada spesimen komposit anyaman bambu dilakukan di Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, ITS Surabaya. Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada penelitian ini bertujuan untuk melihat penggambaran struktur lapisan yang lebih jelas dengan skala perbesaran yang lebih besar dibandingkan dengan uji foto mikro. Berdasarkan hasil pengujian SEM pada komposit dengan matriks polyurethane, dilihat bahwa terdapat *void* pada komposit yang ditandai dengan adanya lubang hitam pada gambar 4.13 a). Terjadinya *void* diduga karena pencampuran yang kurang merata antara anyaman bambu sebagai *reinforcement* dan polyurethane sebagai matriks, dimana matriks memiliki presentase yang lebih kecil dibandingkan dengan *reinforcement* sehingga matriks tidak dapat menutup ruang kosong secara sempurna, kondisi inilah yang menyebabkan terbentuknya *void*. Menurut Handani, kondisi ini diakibatkan pencampuran yang tidak homogen antara penguat dan matriks, sehingga terbentuknya celah yang dapat menyebabkan matriks tidak mampu mengisi ruang kosong pada cetakan (Handani, 2012).

Kegagalan yang dialami oleh spesimen adalah patah ulet, *debonding*, patah pada matriks (*Translaminar*), dan *fiber pullout*. Patah ulet terlihat pada permukaan hasil patahan yang gelap karena menyerap cahaya, dan patahan tersebut terdapat serabut-serabut dan mengalami deformasi plastis. *Debonding* adalah sebagian penguat terputus dan tercabut dari

matriks disebabkan antara penguat dan matriks yang lemah dan kemampuan matriks untuk mengisi ruang antara anyaman kurang baik. Patah pada matriks (*Translaminar*) disebabkan oleh matriks yang memiliki kekuatan tarik rendah. Sedangkan penyebab dari *fiber pullout* adalah ikatan yang kurang baik. Untuk mengoptimalkan komposit berdasarkan kegagalan tersebut, dapat dilakukan penelitian menggunakan matriks yang lebih baik, menggunakan anyaman dan sudut orientasi anyaman serat alam yang memiliki kekuatan tarik yang lebih baik, dan melakukan penelitian terkait ikatan matriks resin polyurethane dan anyaman bambu setelah proses alkalisasi.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Berdasarkan pengujian tarik ASTM D3039, didapatkan kekuatan tarik komposit anyaman bambu pada anyaman Plain 45° sebesar 13,55 MPa, anyaman Plain 90° sebesar 42,40 MPa, anyaman Twill 45° sebesar 23,66 MPa, anyaman Twill 90° sebesar 54,12 MPa. Didapatkan kekuatan luluh komposit anyaman bambu pada anyaman Plain 45° sebesar 6,75 MPa, anyaman Plain 90° sebesar 9,28 MPa, anyaman Twill 45° sebesar 9,37 MPa, anyaman Twill 90° sebesar 7,71 MPa. Didapatkan modulus elastisitas komposit anyaman bambu pada anyaman plain 45° sebesar 5,35 MPa, anyaman Plain 90° sebesar 14,36 MPa, anyaman Twill 45° sebesar 7,77 MPa, anyaman Twill 90° sebesar 14,66 MPa. Didapatkan pemanjangan komposit anyaman bambu pada anyaman plain 45° sebesar 7,2 %, kemudian anyaman Plain 90° sebesar 19,2 %, anyaman Twill 45° sebesar 10,8 %, anyaman Twill 90° sebesar 24,7 %.
2. Berdasarkan pengujian impak ASTM D256, energi terserap oleh komposit anyaman bambu pada anyaman Plain 45° sebesar 1,266 J, anyaman Plain 90° sebesar 0,878 J, anyaman Twill 45° sebesar 3,20 J, anyaman Twill 90° sebesar 2,146 J. Didapatkan kekuatan impak komposit anyaman bambu pada anyaman anyaman Plain 45° sebesar 0,016 J/mm<sup>2</sup>, anyaman Plain 90° sebesar 0,014 J/mm<sup>2</sup>, anyaman Twill 45° sebesar 0,042 J/mm<sup>2</sup>, kemudian pada anyaman Twill 90° sebesar 0,028 J/mm<sup>2</sup>.
3. Berdasarkan pengujian tarik nilai kekuatan tarik, kekuatan luluh, modulus elastisitas, dan pemanjangan komposit jenis anyaman Twill lebih tinggi dibandingkan anyaman Plain, kekuatan tarik yang baik pada anyaman Twill juga disebabkan oleh terjadinya *interface* antara penguat dan matriks, sehingga komposit menjadi lebih kuat. Sedangkan pada sudut orientasi anyaman 90° pada anyaman Plain dan Twill nilai kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan pemanjangan komposit lebih tinggi dibandingkan pada sudut orientasi anyaman 45° pada anyaman Plain dan Twill. Hal ini dapat terjadi karena arah anyaman sejajar dengan tegangan utama dalam kasus ini adalah anyaman sudut 90°. Sehingga nilai kekuatan tarik akan lebih tinggi jika pada pengujian diberikan beban tarik yang searah dengan arah sudut anyaman. Rendahnya nilai kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan pemanjangan 45° disebabkan oleh sayatan anyaman yang diskontinyu, sehingga kekuatan bagian utama untuk menahan beban tinggi menjadi rendah.
4. Berdasarkan pengujian impak menunjukkan bahwa perbedaan sudut orientasi dan diameter ukuran sayatan anyaman mempengaruhi hasil dari nilai kekuatan impak dan energi terserap. Hal ini menunjukkan bahwa dimana susunan sudut orientasi anyaman yang semakin kecil dalam kasus ini adalah anyaman sudut orientasi 45°, maka semakin tinggi hasil nilai kekuatan impak dan energi terserap.

5. Berdasarkan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada komposit anyaman bambu terdapat mekanisme kegagalan pada pengujian tarik dan impak adalah patah ulet, *debonding*, patah pada matriks (*translaminar*), dan *fiber pullout*.

## 5.2 Saran

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, penulis memiliki beberapa saran pada penelitian berikutnya, diantaranya yaitu

1. Pada penelitian berikutnya dapat menggunakan komposisi material komposit yang berbeda ataupun dengan perbandingan rasio volume matriks yang lebih rendah.
2. Pada penelitian berikutnya dalam proses pemvakuman dapat ditambahkan pengunci antara konektor dengan selang untuk menghindari kebocoran udara.
3. Pada penelitian berikutnya cetakan perlu diperkuat dengan bahan dasar yang kokoh sehingga lebih mempermudah dalam proses pencetakan ulang.
4. Pada penelitian berikutnya cetakan langsung dibuat sesuai ukuran standar ASTM agar tidak perlu dilakukan machining pada komposit.
5. Pada penelitian berikutnya dapat dilakukan pengujian material penyusun komposit untuk mengetahui *properties* awal penyusun komposit.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alimaskur. (2011). *Pengaruh Susunan Bambu Terhadap Kekuatan Komposit Beton*. Skripsi Fisika. Universitas Andalas. Padang.
- Andersson, R., Schedin, E., Magnusson, C., & Ocklund, J. (2002). *The Applicability of Stainless Steel for Crash Absorbing Components*. SAE Technical Paper.
- Armelia, A. (2010). *Analisis Kekuatan Tarik Komposit Serat Bambu Laminat Helai dan Wooven Yang Dibuat Dengan Metode Manufaktur Hand Lay-up*. Program Studi Aeronatika dan Astronotika, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara. Bandung.
- ASTM D256-97. *Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics*.
- ASTM D3039/3039M-08. *Standard Test Method for: Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*.
- Di Salvio, S. et al (2019). *Karakteristik Green Composite Serat Sabut Kelapa/Getah Pinus dengan Variasi Alkalisasi*. Prosiding Konferensi Nasional Engineering Perhotelan X, 147-152.
- Djamil, S. (2014). *Kekuatan Tarik Komposit Matrik Polimer Berpenguat Serat Alam Bambu Gigantochloa Apus Jenis Anyaman Diamond Braid dan Plain Weave*. Jurnal Energi dan Manufaktur Vol.7, No.1, 1-118.
- Dransield, S., & Widjaya, E. A. (1995). *Bamboo Plant Resources of South East Asia 7th Edition*. Beckhays. Leiden.
- Helps, I. G. (2001). *Plastics in European Cars 2000-2008*. iSmithers Rapra Publishing.sc.
- Jamasri. (2008). *Prospek Pengembangan Komposit Serat Alam di Indonesia*. Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Janssen, J. (1987). *The Mechanical Properties of Bamboo*. 250-256.
- Kadir, A. (2014). *Pengaruh Pola Anyaman Terhadap Kekuatan Tarik dan Bending Komposit Berpenguat Komposit Serat Bambu*. Dinamika Jurnal Ilmiah Teknik Mesin. Universitas Halu Oleo. Kendari.
- Kusiak, A. (1993). *Concurrent engineering: automation, tools, and techniques*. John Wiley & Sons.
- Lee, K. -H., & Bang, I. -K. (2006). *Robust Design of an Automobile Front Bumper Using Design of Experiments*. Porceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. 220(9), 1199-1207.
- Lopes, MDM., Padua, MDS., De Carvalho, JPRG., Simonassi, NT., Lopez FPD, Colorado, HA., et al. (2021). *Natural based polyurethane matrix composites reinforced with bamboo fiber waste for use as oriented strand board*. J Mater Res Technol,

12:2317e24.

- Manuputty, M., & Pieter, T. B. (2010). *Pemanfaatan Material Bambu Sebagai Alternatif Bahan Komposit Pembuatan Kulit Kapal Pengganti Material Kayu Untuk Armada Kapal Rakyat Yang Beroperasi Di Daerah Maluku*. Jurnal Teknologi 7(2), 788-94.
- Maryanti, B. et al. (2011). *Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik*. Rekayasa Mesin, 2, 123-129.
- Qasthari, H. (2021). *Studi Eksperimental Sifat Mekanis Komposit Serat Sabut Kelapa Sebagai Material Alternatif Bumper Mobil*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Scallan, P. (2003). *Process planning: the design/manufacture interface*. Elsevier.
- Setiawan, A., & Rahmalina, D. (2015). *Pengembangan Komposit Polimer Epoxy Berpenguat Serat Bambu dan Serat Kelapa Untuk Aplikasi Running Boards*. Jurnal Ilmiah Teknobiz Magister Teknik Mesin. Universitas Pancasila. Vol. 5 , No.1, 39-40.
- Ting, L., LiangLiang, M., Fuwei , L., Zhaobo, H., & Pengfei, F. (2011). *Preparation, Structure, and Properties of Flexible Polyurethane Foams Filled with Silica*. Journal of Natural Sciences. Vol. 16 , No.1, 029-032.
- Widjaya, E. A. (2001). *Identikit Jenis-Jenis Bambu di Kepulauan Sunda Kecil*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Biologi LIPI Bogor.
- Widodo, B. (2008). *Analisis Sifat Mekanik Komposit Epoxy Dengan Penguat Serat Daun Nenas Model Laminat Berorientasi Sudut Acak (Random)*. Jurnal Teknologi Technoscientia. Vol. I. ITN.

## LAMPIRAN

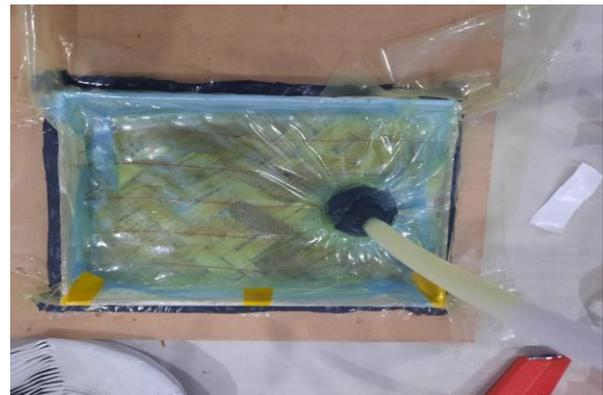
### Lampiran 1 Alat dan Bahan



### Lampiran 1 Resin Polyurethane



### Lampiran 2 Proses Alkalisasi Anyaman Bambu Menggunakan Larutan NaOH 5%



### Lampiran 3 Proses Pembuatan Komposit Dengan Metode Vacuum Bagging

## Lampiran 2 Perhitungan Hasil Pengujian Impak

Menghitung berat pendulum

Keterangan :

Massa pendulum = 8,3 kg

$$W = m \times g$$

$$W = 8,3 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$W = 81,34 \text{ N}$$

1. Menghitung energi terserap ( $\Delta E$ )  
Spesimen 1 Plain 45°

Keterangan :

Panjang lengan pendulum ( $L$ ) = 0,6 m

Sudut sebelum mematahkan spesimen ( $\alpha$ ) = 50°

Sudut setelah mematahkan spesimen ( $\beta$ ) = 48°

$$\Delta E = W \times L \times (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$\Delta E = 81,34 \text{ N} \times 0,6 \text{ m} \times (\cos 48^\circ - \cos 50^\circ)$$

$$\Delta E = 1,46 \text{ J}$$

2. Menghitung kekuatan impak ( $IS$ )  
Spesimen 1 Plain 45°

Keterangan :

Luas penampang ( $A$ ) = 75,6 mm<sup>2</sup>

$$IS = \frac{\Delta E}{A}$$

$$IS = \frac{1,46 \text{ J}}{75,6 \text{ mm}^2}$$

$$IS = 0,019 \text{ J/mm}^2$$

### Lampiran 3 Grafik Hasil Uji Tarik



Uji Tarik Plain 45° Spesimen 1



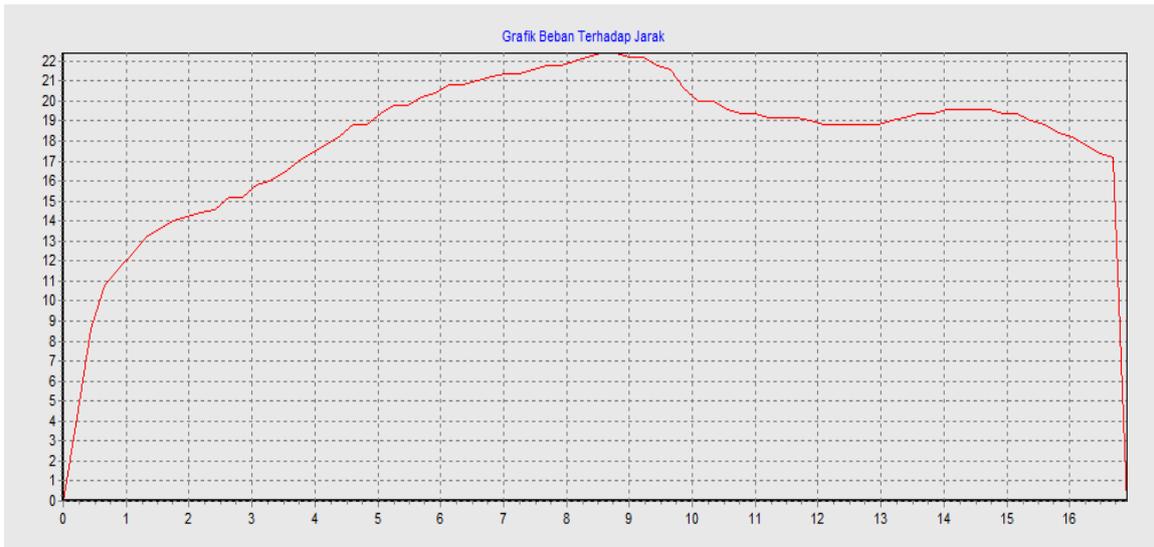
Uji Tarik Plain 45° Spesimen 2



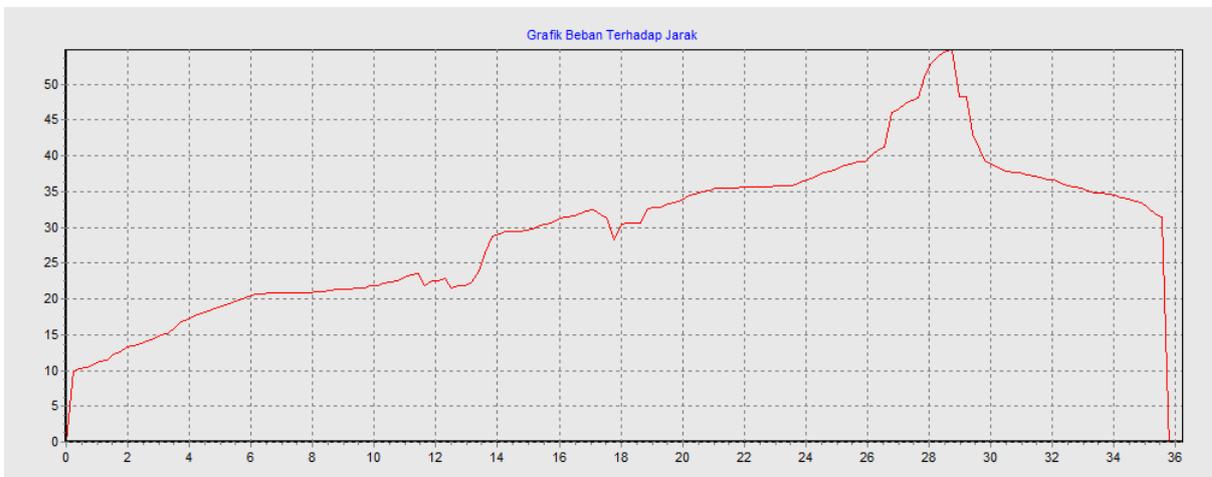
Uji Tarik Plain 45° Spesimen 3



Uji Tarik Plain 45° Spesimen 4



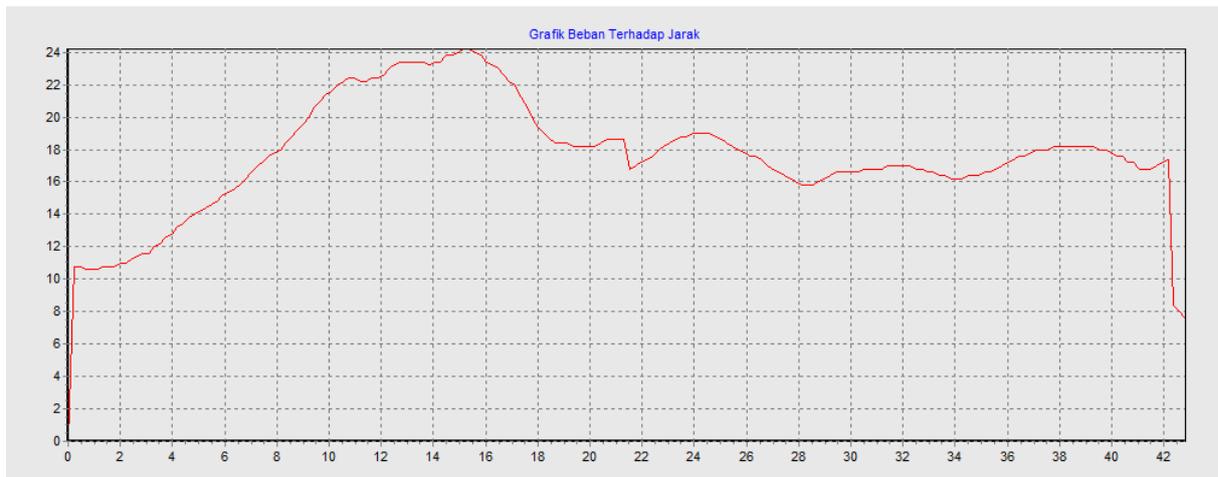
Uji Tarik Plain 45° Spesimen 5



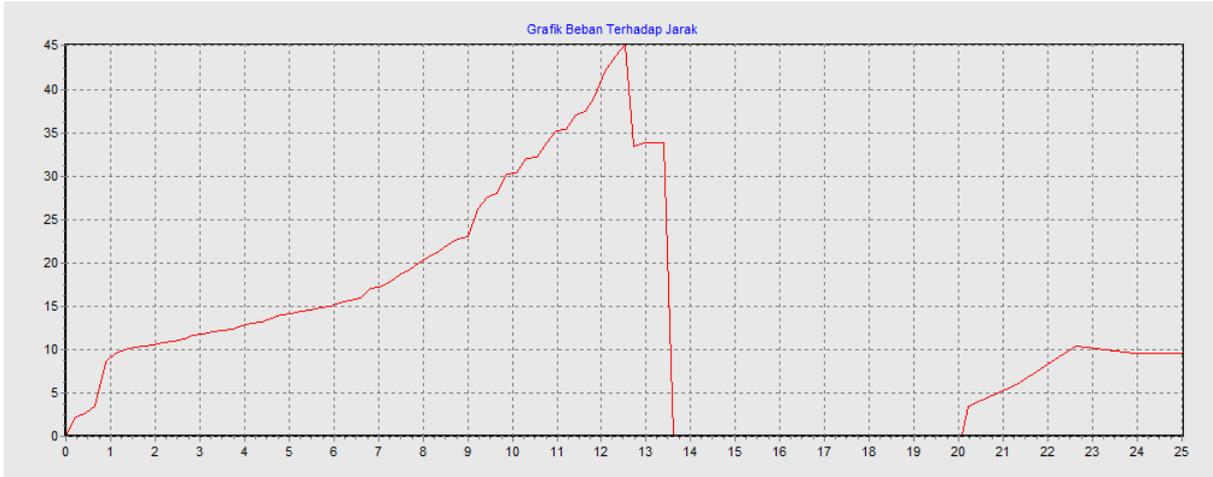
Uji Tarik Plain 90° Spesimen 1



Uji Tarik Plain 90° Spesimen 2



Uji Tarik Plain 90° Spesimen 3



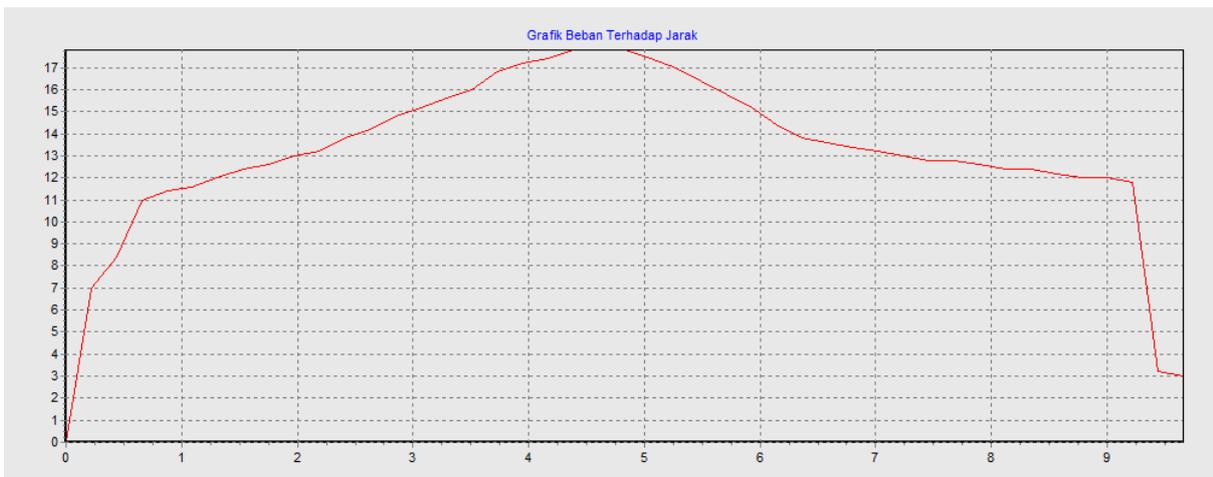
Uji Tarik Plain 90° Spesimen 4



Uji Tarik Plain 90° Spesimen 5



Uji Tarik Twill 45° Spesimen 1



Uji Tarik Twill 45° Spesimen 2



Uji Tarik Twill 45° Spesimen 3



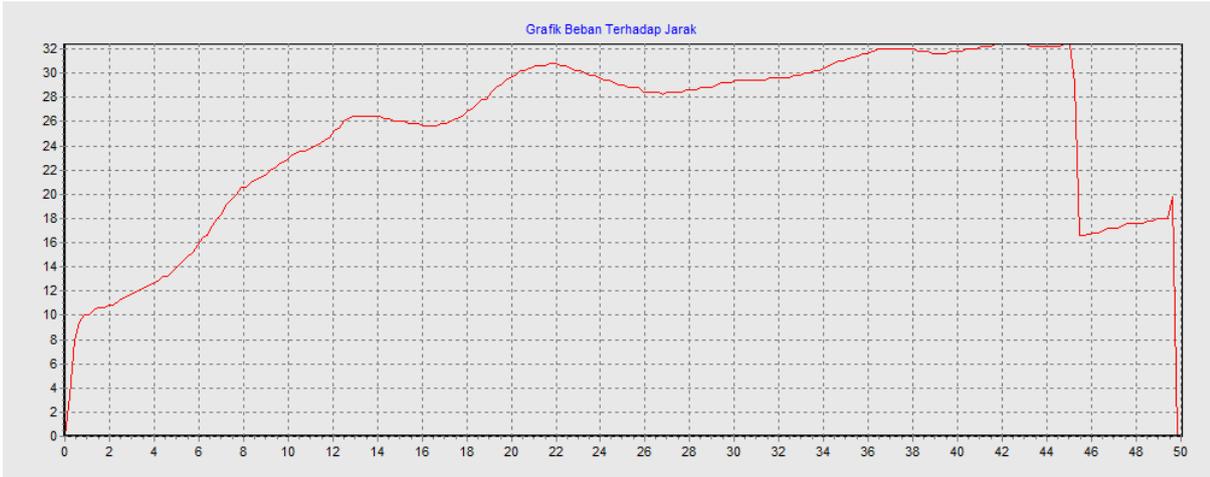
Uji Tarik Twill 45° Spesimen 4



Uji Tarik Twill 45° Spesimen 5



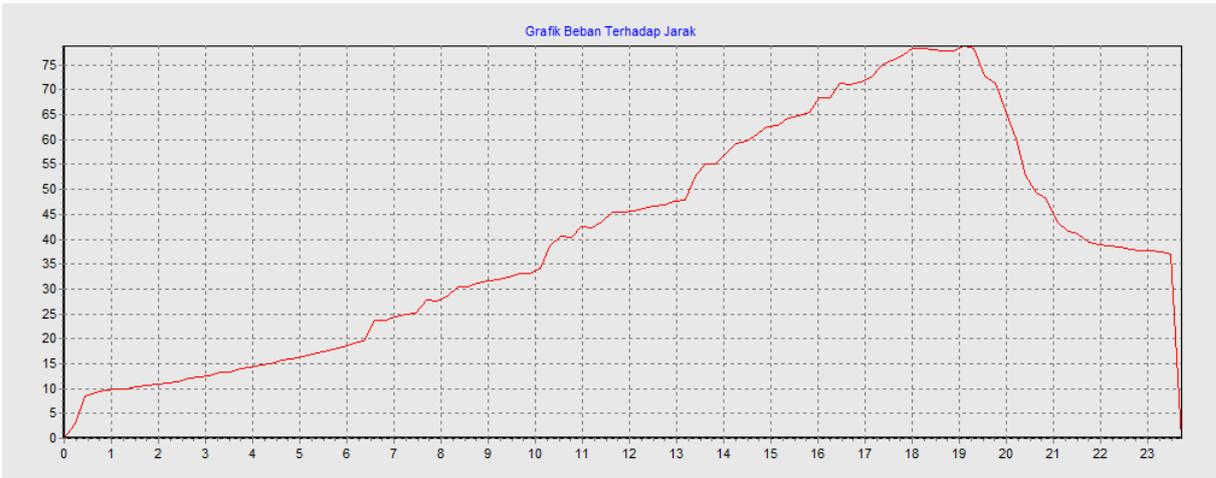
Uji Tarik Twill 90° Spesimen 1



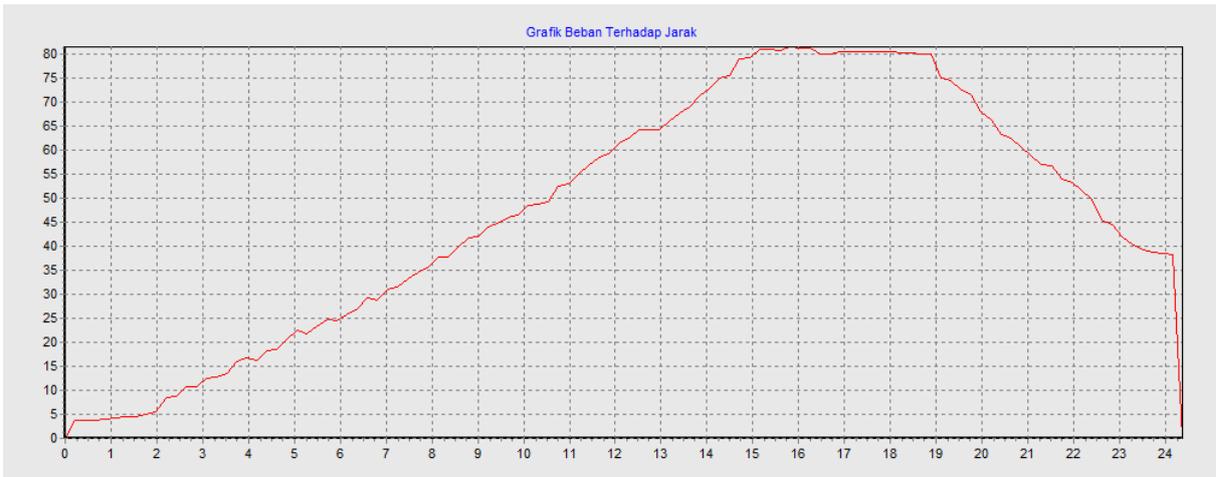
Uji Tarik Twill 90° Spesimen 2



Uji Tarik Twill 90° Spesimen 3



Uji Tarik Twill 90° Spesimen 4



Uji Tarik Twill 90° Spesimen 5

## **BIODATA PENULIS**



Penulis Bernama Farrel Trisna Febriansyah. Penulis lahir di Kota Gresik pada 2 Februari 1999 dari pasangan Sutrisno Roestam dan Erfana Moethar. Penulis menempuh pendidikan di SD Muhammadiyah 1 Gresik lulus pada tahun 2011, SMP Muhammadiyah 12 GKB lulus pada tahun 2014, SMA Muhammadiyah 1 Gresik lulus pada tahun 2017. Penulis menempuh Pendidikan sarjana di Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama aktif menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam berbagai kegiatan. Penulis bergabung di

organisasi Mesin ITS Autosport sebagai Staf Divisi Public Relation periode 2018/2019. Kemudian menjabat sebagai Ketua Divisi Human Resource Development Mesin ITS Autosport periode 2019/2020. Penulis juga pernah mengikuti kegiatan kepanitiaan diantaranya Two Wheel Slalom SMRM 2018 oleh MAUTS sebagai Koordinator Acara, dan pada Kejuaraan Daerah Jawa Timur Mesin Rally 2019 oleh MAUTS sebagai Koordinator Kestari. Penulis tergabung dalam Laboratorium Mekanika Benda Padat dengan fokus material komposit.

Untuk informasi, saran, dan kepentingan sehubungan terkait penelitian, penulis dapat dihubungi melalui [farrel.trisna@gmail.com](mailto:farrel.trisna@gmail.com).