

**TUGAS AKHIR - TM184835**

**ANALISIS KEKUATAN TARIK BERMACAM MATERIAL  
NATURAL FIBER LAMINATE DENGAN STANDAR D3039  
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

**Ganesha Vishnu Mahendra**  
NRP 0211184000174

Dosen Pembimbing  
**Alief Wikarta ST., Msc.Eng Ph.D**  
NIP 198202102006041002

**Program Studi S-1 Teknik Mesin**  
Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022









**TUGAS AKHIR - TM184835**

**ANALISIS KEKUATAN TARIK BERMACAM MATERIAL  
NATURAL FIBER LAMINATE DENGAN STANDAR D3039  
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

**GANESHA VISHNU MAHENDRA  
NRP. 0211184000174**

**Dosen Pembimbing  
Alief Wikarta St., Msc.Eng. Ph.D  
NIP 198202102006041002**

**Program Studi S-1 Teknik Mesin  
Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022**











**FINAL PROJECT - TM184835**

**ANALYSIS TENSILE STRENGTH OF VARIOUS NATURAL  
FIBER LAMINATE MATERIALS WITH STANDAR D3039  
USING THE FINITE ELEMENT METHOD**

**Ganesha Vishnu Mahendra**  
NRP 02111840000174

Advisor  
**Alief Wikarta St., Msc.Eng. Ph.D**  
NIP 198202102006041002

**Undergraduate Study Program of Mechanical Engineering**  
Departement of Mechanical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2022







**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS KEKUATAN TARIK BERMACAM MATERIAL NATURAL FIBER  
LAMINATE DENGAN STANDAR D3039 MENGGUNAKAN METODE ELEMEN  
HINGGA**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

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

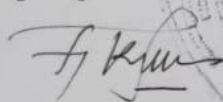
Oleh: **GANESHA VISHNU MAHENDRA**  
NRP. 02111840000174

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Alief Wikarta S.T., M.Sc., Eng., PhD. Pembimbing



2. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA Penguji 1



3. Achmad Syaifudin, S.T., M.Eng., Ph.D. Penguji 2



**SURABAYA**  
**Juli, 2022**



**APPROVAL SHEET**

**ANALYSIS TENSILE STRENGTH OF VARIOUS NATURAL FIBER  
LAMINATE MATERIALS WITH STANDAR D3039 USING FINITE  
ELEMEN METHOD**

**FINAL PROJECT REPORT**

Submitted to fulfill one of the requirements  
for obtaining a degree Bachelor of Engineering at  
Undergraduate Study Program of Mechanical Engineering  
Department of Mechanical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Sepuluh Nopember Institute of Technology

By: **GANESHA VISHNU MAHENDRA**

NRP. 02111840000174

Approved by Final Project Examiner Team:

1. Alief Wikarta S.T., M.Sc., Eng., PhD. Advisor
2. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA Examiner 1
3. Achmad SyaiRudin, S.T., M.Eng., Ph.D. Examiner 2

**SURABAYA  
JULY, 2022**





## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Ganesha Vishnu Mahendra/ 02111840000174

Departemen : Teknik Mesin

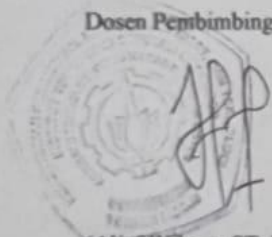
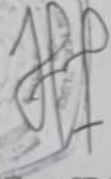
Dosen Pembimbing / NIP : Alief Wikarta ST., Msc Eng Ph.D/ 198202102006041002

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Analisis Kekuatan Tarik Berbagai Material Natural Fiber Laminate dengan Standar D3039 Menggunakan Metode Elemen Hingga" 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

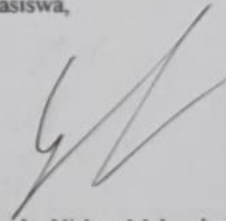
Mengetahui

Dosen Pembimbing



(Alief Wikarta ST., Msc Eng Ph.D)  
NIP. 198202102006041002

Mahasiswa,



(Ganesha Vishnu Mahendra)  
NRP.02111840000174



### STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Ganesha Vishnu Mahendra/ 02111840000174  
Departement : Mechanical Engineering  
Advisor / NIP : Alief Wikarta ST., Msc.Eng Ph.D/ 198202102006041002

hereby declare that the Final Project with the title of "Analysis Tensile Strengt of Various Natural Fiber Laminate Materials with Standar D3039 Using The Finite Element Method" 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



(Alief Wikarta ST., Msc.Eng Ph.D)  
NIP. 198202102006041002

Student,

A handwritten signature in black ink, appearing to be "GVM", written over a light background.

(Ganesha Vishnu Mahendra)  
NRP. 02111840000174



# **ANALISIS KEKUATAN TARIK BERMACAM MATERIAL NATURAL FIBER LAMINATE DENGAN STANDAR D3039 MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

**Nama Mahasiswa : Ganesha Vishnu Mahendra**  
**NRP : 02111840000174**  
**Dapartemen : Teknik Mesin FTI-RS ITS**  
**Dosen Pembimbing : Alief Wikarta ST., MSc.Eng., Ph. D**

## **ABSTRAK**

*Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh fraksi volume serat, jumlah layer dan arah serat terhadap pembebanan tarik yang diberikan kepada material komposit dengan penguat serat sisal, serat kenaf dan serat palem. Pada penelitian ini juga memiliki tujuan mengetahui kombinasi fraksi volume, jumlah layer dan kombinasi arah serat yang memiliki kekuatan tarik terbaik.*

*Dalam penelitian analisis dan simulasi dengan metode elemen hingga ini dilakukan pengujian tarik pada specimen dengan standard ASTM D3039. Simulasi sendiri akan menggunakan perangkat lunak dari Ansys, dengan variasi penelitian ada empat yang pertama variasi material penguat yaitu, material penguat Serat sisal, serat kenaf dan material penguat serat palem. Selanjutnya variasi yang akan digunakan yaitu variasi fraksi volume, dimana fraksi volume disini menggunakan fraksi volume 20%-70%. Setelah mengetahui fraksi volume terbaik selanjutnya variasi yang akan digunakan yaitu jumlah layer, dimana jumlah layer pada penelitian ini menggunakan layer 1-10. Dan variasi yang terakhir yaitu kombinasi dari arah serat, dimana variasi kombinasi arah serat yang akan digunakan sebanyak sebelas variasi arah sudut serat. Penelitian dilakukan dengan memberikan pembebanan sampai material mengalami kegagalan dengan ketentuan safety factor lebih kecil dari 1.*

*Hasil penelitian ini didapat kobinasi material komposit terbaik, dimana pada material komposit sisal fiber/epoxy terdapat pada kombinasi fraksi volume serat 40%, dengan jumlah layer sebanyak satu, dan arah sudut serat penguatnya 0°. Sedangkan untuk material komposit kenaf fiber/epoxy dan palem fiber/epoxy terdapat pada kombinasi fraksi volume serat 40%, dengan jumlah layer sebanyak satu, dan arah sudut serat penguatnya 0°. Dari ketiga material tersebut, sisal fiber/epoxy memiliki kekuatan tarik terbesar pada penelitian ini dengan nilai kekuatan tarik sebesar 231.69 MPa, lalu dilanjutkan dengan material komposit Palem fiber/epoxy yang memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 105.83 MPa, dan untuk kekuatan tarik terlemah terdapat pada material komposit kenaf fiber/epoxy dengan nilai kekuatan tarik sebesar 99.08 MPa*

***Kata Kunci: factor kegagalan, komposit, serat kenaf, serat palem, uji tarik***



# **ANALYSIS TENSILE STRENGTH OF VARIOUS NATURAL FIBER LAMINATE MATERIALS WITH STANDAR D3039 USING THE FINITE ELEMENT METHOD**

**Student Name** : Ganesha Vishnu Mahendra  
**NRP** : 02111840000174  
**Departement** : Teknik Mesin, FTI-RS ITS  
**Academic Supervisor** : Alief Wikarta ST., MSc.Eng., Ph.D

## **ABSTRACT**

*This study was conducted to analyze the influence of fiber volume fraction, number of layers and direction of fibers on tensile loading given to composite materials with reinforcement of sisal fibers, kenaf fibers and palm fibers. This study also aims to find out the combination of volume fractions, the number of layers and the combination of fiber directions that have the best tensile strength.*

*In this analysis and simulation research with the finite element method, this simulation occurs tensile testing on specimens with ASTM D3039 standard. The simulation itself will use software from Ansys with research variations there are four first variations of reinforcing materials, namely, sisal fiber reinforcement material, kenaf fiber reinforcement materials and palm fiber reinforcing materials. Furthermore, the variation that will be used is the variation in the volume fraction, where the volume fraction here uses a volume fraction of 20%-70%. After knowing the best volume fraction, the next variation to be used is the number of layers, where the number of layers in this study uses layers 1-10. And the last variation is a combination of fiber direction, where the variation of the combination of fiber directions to be used is as many as eleven variations in the direction of the fiber angle. The study was conducted by providing loading until the material failed with a safety factor provision smaller than 1.*

*The results of this study obtained the best combination of composite materials, where in the sisal fiber / epoxy composite material there is a combination of 40% fiber volume fraction, with one number of layers, and the direction of the strengthening fiber angle is 0 °. As for the composite material kenaf fiber / epoxy and palm fiber / epoxy, there is a combination of 40% fiber volume fraction, with one number of layers, and the direction of the reinforcing fiber angle is 0°. Of the three materials, sisal fiber / epoxy has the largest tensile strength in this study with a tensile strength value of 231.69 MPa, then continued with the Palm fiber / epoxy composite material which has a tensile strength value of 105.83 MPa, and for the weakest tensile strength is found in kenaf fiber / epoxy composite materials with a tensile strength value of 99.08 MPa*

**Keyword: Composite, Failure Factor, Kenaf Fiber, Palm Fiber, Tensile Test**





## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas Kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, dengan izin dan berkah-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir ini dengan judul “Analisis Kekuatan Tarik Material Komposit Serat Kenaf Serat Palem dan Serat Sisal dengan Resin Epoksi Menggunakan Metode Elemen Hingga” dengan lancar dan sebaik-baiknya. Penelitian ini penulis dedikasikan kepada diri penulis sendiri dan juga kepada keluarga penulis yang telah membantu penulis dalam melalui perjalanan Panjang hingga akhirnya penulis dapat menyampaikan rasa syukur dan ucapan terimakasih pada kata pengantar ini. Tidak lupa juga penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada.

1. Bapak Ganis Kristanto dan Ibu Putu Eka Kartikawati selaku orang tua penulis serta kepada kak Kharisma Larasati dan mas Gandhi Saka Aryawan selaku kakak penulis yang selalu memberikan doa-doanya, dan menjadi motivasi tersendiri untuk penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Alief Wikarta S.T., M.Sc., Eng., PhD. Selaku dosen pembimbing penulis yang selalu memberikan pelajaran kehidupan dan bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr Agus Sigit Pramono, DEA., Bapak Dr. Eng. Yohanes, S.T., M.Sc., Bapak Achmad Syaifudin, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen penguji penulis yang telah memberikan banyak saran serta masukan yang berguna dalam menyempurnakan tugas akhir ini.
4. Bapak Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc., selaku dosen wali penulis yang selalu membantu dan membimbing penulis selama masa perkuliahan
5. Seluruh teman bimbingan tugas akhir (Fazhli, Edo, Rizaldy, dan Vicky) yang selalu membantu penulis dalam hal motivasi, bantuan, dan ilmu diberikan selama menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Seluruh keluarga besar Gunadya (Ajis, Vicky, pray, Rafli, Ican, Mumud, Acid, Jono, Edo, Fadel, Fazhli, Andi, Athallah, Aga, Apin, Ghani, Klipo, dan Ilham) yang telah membantu dan menemani Penulis dengan dipenuhi canda, tawa, pujian, cacian, serta semangat yang tiada henti diberikan untuk penulis selama perkuliahan.
7. Seluruh keluarga besar M61 yang telah menemani Penulis selama menempuh pendidikan di Departemen Teknik Mesin FT-IRS ITS.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidak sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi positif dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Mesin khususnya, dan civitas akademika ITS pada umumnya. Selain itu, semoga dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan Tugas Akhir bagi mahasiswa yang akan mengerjakan.

Surabaya, 28 Juni 2022

Penulis



## DAFTAR ISI

|   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| COVER.....  | i                                   |
| LEMBAR PENGESAHAN .....                               | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| ABSTRAK .....   | 9                                   |
| KATA PENGANTAR.....                                   | 13                                  |
| DAFTAR ISI .....                                      | 15                                  |
| DAFTAR GAMBAR.....                                    | 19                                  |
| DAFTAR TABEL .....                                    | 23                                  |
| 1. BAB I PENDAHULUAN .....                            | 25                                  |
| 1.1. Latar Belakang .....                             | 25                                  |
| 1.2. Rumusan Masalah .....                            | 26                                  |
| 1.3. Tujuan Penelitian .....                          | 27                                  |
| 1.4. Batasan Masalah .....                            | 27                                  |
| 1.5. Manfaat Penelitian .....                         | 27                                  |
| 2. BAB II DASAR TEORI DAN TIJAUAN PUSTAKA .....       | 29                                  |
| 2.1. Penelitian Terdahulu .....                       | 29                                  |
| 2.2. Komposit.....                                    | 32                                  |
| 2.2.1. Komposit Serat Sintetis.....                   | 33                                  |
| 2.2.2. Komposit Serat Alami.....                      | 33                                  |
| 2.2.3. Komposit <i>Hybrid</i> .....                   | 33                                  |
| 2.3. Metode Pembuatan Komposit.....                   | 33                                  |
| 2.3.1. <i>Hand Layup</i> .....                        | 33                                  |
| 2.3.2. <i>Vacuum Bag</i> .....                        | 34                                  |
| 2.4. Faktor yang Mempengaruhi Performa Komposit ..... | 35                                  |
| 2.4.1. Jenis Serat .....                              | 35                                  |
| 2.4.2. Orientasi Serat.....                           | 35                                  |
| 2.4.3. Komposisi dan Bentuk Serat.....                | 35                                  |
| 2.4.4. Faktor Matriks.....                            | 36                                  |
| 2.5. Matriks Epoksi .....                             | 36                                  |
| 2.6. Serat Kenaf.....                                 | 36                                  |
| 2.7. Serat Palem .....                                | 37                                  |
| 2.8. Serat Sisal.....                                 | 38                                  |
| 2.9. Uji Tarik.....                                   | 38                                  |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 2.10.   | Mekanisme Kegagalan Komposit .....  | 40 |
| 2.10.1. | Patah Pada Serat (Intralaminar).....  | 40 |
| 2.10.2. | Patah pada Matriks .....  | 41 |
| 2.10.3. | <i>Delamination</i> .....   | 41 |
| 2.10.4. | <i>Debonding</i> .....  | 42 |
| 2.10.5. | <i>Fiber Pullout</i> .....  | 42 |
| 2.10.6. | <i>Micro Buckling</i> .....   | 43 |
| 2.10.7. | <i>Kink Band Failure</i> .....  | 43 |
| 2.11.   | Metode Elemen Hingga.....   | 44 |
| 2.12.   | Perhitungan <i>Orthotropic Stress Limit</i> .....   | 46 |
| 2.12.1. | Buku <i>Engineering Mechanics of Composite Materials</i> .....                              | 46 |
| 2.12.2. | Buku <i>Composite Structure: Design Mechanics, Analysis, Manufacturing, and testing</i> .48 |    |
| 3.      | BAB III METODE PENELITIAN .....   | 51 |
| 3.1.    | Diagram Alir Penelitian.....  | 51 |
| 3.2.    | Tahapan Penelitian .....  | 52 |
| 3.2.1.  | Studi Literatur.....  | 52 |
| 3.2.2.  | Pengumpulan Data Sifat Material .....   | 52 |
| 3.2.3.  | Variasi Pengujian.....  | 52 |
| 3.2.4.  | Uji Konvergensi Simulasi.....   | 55 |
| 3.3.    | Uji FEM.....  | 56 |
| 3.3.1.  | Pre-Processing .....  | 57 |
| 3.3.2.  | Processing.....   | 58 |
| 3.3.3.  | Post-Processing.....  | 64 |
| 3.4.    | Validasi.....   | 64 |
| 3.4.1.  | Perhitungan <i>Orthotropic Stress Limit</i> .....   | 64 |
| 4.      | BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....   | 71 |
| 4.1.    | Perhitungan Modulus Elastisitas .....   | 71 |
| 4.2.    | Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy.....                           | 71 |
| 4.2.1.  | Hasil Simulasi dan Pembahasan Fraksi Volume Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy<br>71       |    |
| 4.2.2.  | Hasil Simulasi dan Pembahasan Jumlah Layer Material Komposit Sisal Fiber Epoxy<br>75        |    |
| 4.2.3.  | Hasil Simulasi dan Pembahasan Arah Sudut Serat Material Komposit Sisal<br>Fiber/Epoxy.....  | 79 |
| 4.3.    | Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy.....                           | 83 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 4.3.1. | Hasil Simulasi dan Pembahasan Fraksi Volume material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy          | 84  |
| 4.3.2. | Hasil Simulasi dan Pembahasan Arah Sudut Serat Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy ..... | 91  |
| 4.4.   | Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Palem Fiber/Epoxy .....                       | 95  |
| 4.4.1. | Hasil Simulasi dan Pembahasan Fraksi Volume Material Komposit Palem Fiber/Epoxy          | 96  |
| 4.4.2. | Hasil Simulasi dan Pembahasan Jumlah Layer Material Komposit Palem Fiber/Epoxy           | 99  |
| 4.4.3. | Hasil Simulasi dan Pembahasan Arah Sudut Serat material Komposit Palem Fiber/Epoxy ..... | 103 |
| 4.5.   | Pembahasan Hasil Penelitian .....  | 107 |
| 4.5.1. | Fraksi Volume Serat.....   | 108 |
| 4.5.2. | Jumlah Layer.....  | 109 |
| 4.5.3. | Arah Sudut Serat .....   | 110 |
| 5.     | BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....   | 113 |
| 5.1.   | Kesimpulan .....   | 113 |
| 5.2.   | Saran.....   | 113 |
|        | DAFTAR PUSTAKA.....  | 115 |
|        | LAMPIRAN .....   | 117 |

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| <b>Gambar 2.1</b> Konfigurasi Komposit Kenaf (Fajrin, Akmaludin, & Gapsari, 2022) .....   | 29 |
| <b>Gambar 2.2</b> a) Kekuatan Tarik dan Modulus Elastisitas, b) Kekuatan Flexural dan Modulus Flexural, c) <i>Stress-Strain Tensile Load</i> , d) <i>Stress-Strain Flexural Load</i> (Fajrin, Akmaludin, & Gapsari, 2022) ..... | 30 |
| <b>Gambar 2.3</b> Skema Pengujian <i>Single Fiber Test</i> (Ibrahim , Hassan, Dolah, & Mohamed, 2018) .....   | 30 |
| <b>Gambar 2.4</b> Grafik Kekuatan Tarik terhadap Perlakuan NaOH Serat Kenaf (Ibrahim , Hassan, Dolah, & Mohamed, 2018).....   | 31 |
| <b>Gambar 2.5</b> Grafik <i>Longitudinal Tensile Strength</i> terhadap Fraksi Volume Serat Komposit Sisal Fiber/Epoxy (Zuccarello, Militello, & Bongiorno, 2021) .....  | 32 |
| <b>Gambar 2.6</b> Skema Hand Layup (Gibson,1994).....   | 34 |
| <b>Gambar 2.7</b> Skema Vacuum Bag (Gibson,1994).....   | 34 |
| <b>Gambar 2.8</b> (a) Unidirectional, (b) Pseudoisotropic, (c) Bidirectional, dan (d) multi-Directional (Mukmin, 2019).....   | 35 |
| <b>Gambar 2.9.</b> Contoh Grafik Tegangan-Regangan (Salindeho S D., 2013).....  | 39 |
| <b>Gambar 2.10.</b> Patah pada Serat .....  | 40 |
| <b>Gambar 2.11</b> Patah pada Matriks .....   | 41 |
| <b>Gambar 2.12.</b> Delaminasi .....  | 41 |
| <b>Gambar 2.13.</b> Debonding .....   | 42 |
| <b>Gambar 2.14.</b> Fiber Pull-Out.....   | 42 |
| <b>Gambar 2.15.</b> Micro Buckling .....  | 43 |
| <b>Gambar 2.16.</b> kink Bind Failure.....  | 43 |
| <b>Gambar 2.17.</b> Kegagalan akibat beban tarik longitudinal.....  | 44 |
| <b>Gambar 2.18.</b> Kegagalan akibat beban tarik Transversal .....  | 44 |
| <b>Gambar 2.19.</b> Metode Elemen Hingga pada plat dengan cacat di tengah .....   | 45 |
| <b>Gambar 2.20.</b> Contoh Penyelesaian dengan Metode Elemen Hingga .....   | 45 |
| <b>Gambar 2.21.</b> (a) Mesh Metode Elemen Hingga, (b) Elemen Segitiga, (c) Elemen Segi empat .....   | 46 |
| <b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian .....   | 51 |
| <b>Gambar 3.2</b> Diagram Alir Simulasi .....   | 55 |
| <b>Gambar 3.3</b> Grafik Uji Konvergensi.....   | 56 |
| <b>Gambar 3.4</b> Diagram Alir Simulasi Pengujian Tarik.....  | 57 |
| <b>Gambar 3.5.</b> Gambar 3D Modelling specimen .....   | 58 |
| <b>Gambar 3.6.</b> Geometri Komposit Hexagonal .....  | 59 |
| <b>Gambar 3.7.</b> Meshing Specimen Uji Tarik .....   | 60 |
| <b>Gambar 3.8</b> Quality Meshing Specimen Uji Tarik .....  | 60 |
| <b>Gambar 3.9.</b> Fabric Properties sisal Fiber/Epoxy .....  | 61 |
| <b>Gambar 3.10.</b> <i>Stackup Properties</i> .....   | 61 |
| <b>Gambar 3.11.</b> <i>Rosette Properties</i> .....   | 62 |
| <b>Gambar 3.12</b> Pemodelan dari <i>Rosette</i> yang digunakan.....  | 62 |
| <b>Gambar 3.13</b> <i>Oriented Selection Sets Properties</i> .....  | 62 |
| <b>Gambar 3.14.</b> Pemodelan <i>Oriented Selection Sets</i> .....  | 63 |
| <b>Gambar 3.15</b> <i>Modelling Ply Properties</i> .....  | 63 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Gambar 3.16</b> <i>Solid Model</i> .....   | 63 |
| <b>Gambar 3.17.</b> Boundary Condition Pengujian Tarik.....   | 64 |
| <b>Gambar 3.18</b> Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik dengan Menggunakan <i>Orthotropic Stress Limit</i> Buku Kumar dan Buku Isaac dengan Ekperimen.....  | 69 |
| <b>Gambar 4.1</b> Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy Fraksi Volume 20% (a) <i>Normal Stress (X Axis)</i> , (b) <i>Normal Strain (X Axis)</i> .....  | 72 |
| <b>Gambar 4.2</b> Grafik perbandingan Fraksi Volume Serat terhadap Kekuatan Tarik Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy .....   | 73 |
| <b>Gambar 4.3</b> Grafik perbandingan Fraksi Volume Serat terhadap Regangan Tarik Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy .....   | 74 |
| <b>Gambar 4.4</b> Grafik perbandingan Fraksi Volume Serat terhadap Modulus Elastisitas Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy .....  | 75 |
| <b>Gambar 4.5</b> Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy Fraksi Volume 40% dengan 2 Layer (a) <i>Normal Stress (X Axis)</i> , (b) <i>Normal Strain (X Axis)</i> .....                                 | 76 |
| <b>Gambar 4.6</b> Grafik perbandingan Jumlah Layer Serat terhadap Kekuatan Tarik Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy .....  | 77 |
| <b>Gambar 4.7</b> Grafik perbandingan Jumlah Layer Serat terhadap Regangan Tarik Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy .....  | 78 |
| <b>Gambar 4.8</b> Grafik perbandingan Jumlah Layer Serat terhadap Modulus Elastisitas Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy .....   | 79 |
| <b>Gambar 4.9</b> Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy Fraksi Volume 40% dengan 10 Layer dan Arah Sudut Serat Variasi 2 (a) <i>Normal Stress (X Axis)</i> , (b) <i>Normal Strain (X Axis)</i> ..... | 80 |
| <b>Gambar 4.10</b> Grafik perbandingan Arah Sudut Serat terhadap Kekuatan Tarik Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy .....   | 81 |
| <b>Gambar 4.11</b> Grafik perbandingan Arah Sudut Serat terhadap Regangan Tarik Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy .....   | 82 |
| <b>Gambar 4.12</b> Grafik perbandingan Arah Sudut Serat terhadap Modulus Elastisitas Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy .....  | 83 |
| <b>Gambar 4.13</b> Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy Fraksi Volume 20% (a) <i>Normal Stress (X Axis)</i> , (b) <i>Normal Strain (X Axis)</i> .....   | 84 |
| <b>Gambar 4.14</b> Grafik perbandingan Fraksi Volume Serat terhadap Kekuatan Tarik Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy .....  | 85 |
| <b>Gambar 4.15</b> Grafik perbandingan Fraksi Volume Serat terhadap Regangan Tarik Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy .....  | 86 |
| <b>Gambar 4.16</b> Grafik perbandingan Fraksi Volume Serat terhadap Modulus Elastisitas Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy .....   | 87 |
| <b>Gambar 4.17</b> Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy Fraksi Volume 30% dengan 2 Layer (a) <i>Normal Stress (X Axis)</i> , (b) <i>Normal Strain (X Axis)</i> .....                                | 88 |
| <b>Gambar 4.18</b> Grafik perbandingan Jumlah Layer Serat terhadap Kekuatan Tarik Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy .....   | 89 |
| <b>Gambar 4.19</b> Grafik perbandingan Jumlah Layer Serat terhadap Regangan Tarik Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy .....   | 90 |
| <b>Gambar 4.20</b> Grafik perbandingan Jumlah Layer Serat terhadap Modulus Elastisitas Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy .....  | 91 |



|  |     |
|--|-----|
| <b>Gambar 4.21</b> Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy Fraksi Volume 40% dengan 10 Layer dan Arah Sudut Serat Variasi 2 (a) <i>Normal Stress (X Axis)</i> , (b) <i>Normal Strain (X Axis)</i> ..... | 92  |
| <b>Gambar 4.22</b> Grafik perbandingan Arah Sudut Serat terhadap Kekuatan Tarik Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy.....   | 93  |
| <b>Gambar 4.23</b> Grafik perbandingan Arah Sudut Serat terhadap Regangan Tarik Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy.....   | 94  |
| <b>Gambar 4.24</b> Grafik perbandingan Arah Sudut Serat terhadap Modulus Elastisitas Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy.....  | 95  |
| <b>Gambar 4.25</b> Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Palem Fiber/Epoxy Fraksi Volume 20% (a) <i>Normal Stress (X Axis)</i> , (b) <i>Normal Strain (X Axis)</i> .....  | 96  |
| <b>Gambar 4.26</b> Grafik perbandingan Fraksi Volume Serat terhadap Kekuatan Tarik Material Komposit Palem Fiber/Epoxy .....   | 97  |
| <b>Gambar 4.27</b> Grafik perbandingan Fraksi Volume Serat terhadap Regangan Tarik Material Komposit Palem Fiber/Epoxy .....   | 98  |
| <b>Gambar 4.28</b> Grafik perbandingan Fraksi Volume Serat terhadap Modulus Elastisitas Material Komposit Palem Fiber/Epoxy .....  | 99  |
| <b>Gambar 4.29</b> Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Palem Fiber/Epoxy Fraksi Volume 30% dengan 2 Layer (a) <i>Normal Stress (X Axis)</i> , (b) <i>Normal Strain (X Axis)</i> .....                                 | 100 |
| <b>Gambar 4.30</b> Grafik perbandingan Jumlah Layer Serat terhadap Kekuatan Tarik Material Komposit Palem Fiber/Epoxy .....  | 101 |
| <b>Gambar 4.31</b> Grafik perbandingan Jumlah Layer Serat terhadap Regangan Tarik Material Komposit Palem Fiber/Epoxy .....  | 102 |
| <b>Gambar 4.32</b> Grafik perbandingan Jumlah Layer Serat terhadap Modulus Elastisitas Material Komposit Palem Fiber/Epoxy .....   | 103 |
| <b>Gambar 4.33</b> Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Palem Fiber/Epoxy Fraksi Volume 30% dengan 10 Layer dan Arah Sudut Serat Variasi 2 (a) <i>Normal Stress (X Axis)</i> , (b) <i>Normal Strain (X Axis)</i> ..... | 104 |
| <b>Gambar 4.34</b> Grafik perbandingan Arah Sudut Serat terhadap Kekuatan Tarik Material Komposit Palem Fiber/Epoxy .....  | 105 |
| <b>Gambar 4.35</b> Grafik perbandingan Arah Sudut Serat terhadap Regangan Tarik Material Komposit Palem Fiber/Epoxy .....  | 106 |
| <b>Gambar 4.36</b> Grafik perbandingan Arah Sudut Serat terhadap Modulus Elastisitas Material Komposit Palem Fiber/Epoxy .....   | 107 |
| <b>Gambar 4.37</b> Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Variasi Fraksi Volume.....   | 108 |
| <b>Gambar 4.38</b> Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas Variasi Fraksi Volume .....   | 108 |
| <b>Gambar 4.39</b> Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Variasi Jumlah Layer.....  | 109 |
| <b>Gambar 4.40</b> Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas Variasi Jumlah Layer .....  | 110 |
| <b>Gambar 4.41</b> Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Variasi Arah Sudut Serat .....   | 110 |
| <b>Gambar 4.42</b> Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas Variasi Arah Sudut Serat.....   | 111 |

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| <b>Table 2.1</b> Tabel Mechanical Properties Resin Epoxy .....  | 36 |
| <b>Table 2.2</b> <i>Mechanical Properties</i> Serat Kenaf.....  | 37 |
| <b>Table 2.3</b> <i>Mechanical Properties</i> Serat Palem ..... | 38 |
| <b>Table 2.4</b> <i>Mechanical Properties</i> Serat Sisal.....  | 38 |
| <b>Table 3.1</b> Tabel Variasi Fraksi Volume Serat Kenaf.....   | 52 |
| <b>Table 3.2</b> Tabel Variasi Fraksi Volume Serat Palem.....   | 52 |
| <b>Table 3.3</b> Tabel Variasi Fraksi Volume Serat Sisal.....   | 53 |
| <b>Table 3.4</b> Tabel Variasi Jumlah Layer Serat Kenaf.....    | 53 |
| <b>Table 3.5</b> Tabel Variasi Jumlah Layer Serat Kenaf.....    | 53 |
| <b>Table 3.6</b> Tabel Variasi Jumlah Layer Serat Sisal.....    | 54 |
| <b>Table 3.7</b> Tabel Variasi Arah Sudut Serat Kenaf .....     | 54 |
| <b>Table 3.8</b> Tabel Variasi Arah Sudut Serat Palem .....     | 54 |
| <b>Table 3.9</b> Tabel Variasi Arah Sudut Serat Sisal .....     | 55 |
| <b>Table 3.10</b> Data Uji Konvergensi .....                    | 56 |
| <b>Table 3.11</b> Hasil Material Design .....                   | 59 |
| <b>Table 3.12</b> Orthotropic Stress Limit Buku Isaac .....     | 67 |
| <b>Table 3.13</b> Orthotropic Stress Limit Buku Kumar .....     | 69 |

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan teknologi bergerak sangat cepat, hal ini sejalan dengan material-material yang sangat bervariasi. Pemilihan material sendiri sangatlah diperhatikan, dan hal-hal yang paling diperhatikan dalam pemilihan material adalah sifat mekanis, biaya, serta proses manufaktur dari suatu material. Kebanyakan teknologi saat ini menginginkan material memiliki sifat mekanis tertentu, oleh sebab itu dikembangkannya material komposit. Material komposit sendiri adalah kombinasi antara dua material atau lebih yang secara makroskopis berbeda bentuknya, komposisi kimianya, dan tidak saling melarutkan dimana material yang satu berperan sebagai penguat (filler) dan yang lainnya sebagai pengikat (matriks), hal ini akan menghasilkan material baru yang memiliki sifat lebih baik dari material penyusunnya (Astley et al., 2001). Sifat mekanis dari material komposit sendiri dapat memenuhi sifat-sifat tertentu yang ingin diaplikasikan kepada suatu teknologi. Selain dapat menciptakan material yang tepat guna, dengan adanya material komposit sendiri dapat membuat suatu teknologi lebih efisien dan lebih murah jika dibandingkan dengan penggunaan besi (Davanageri et al., 2014)

Komposit dapat memanfaatkan material-material yang berada di alam sebagai bahan dasar dari pembuatannya. Menurut Al-Waily et al. (2017), Serat-serat yang berasal dari tanaman, hewan, maupun dari mineral yang ada di alam biasa kita sebut dengan *Natural Fiber*. Dari tanaman sendiri ada banyak sekali bagian yang bisa kita manfaatkan, mulai dari serat biji, serat batang, serat daun, serat buah, maupun serat akarnya dapat dimanfaatkan sebagai penguat pada proses pembuatan material komposit. Hasil komposit yang berasal dari tanaman ini akan memiliki sifat mekanis yang kuat namun ringan, selain itu dengan memanfaatkan tanaman-tanaman yang mudah dijumpai akan menciptakan bahan yang murah dan dapat mengurangi polusi yang dihasilkan. Oleh sebab itu pemanfaatan tanaman sebagai material pembuatan komposit dapat diklasifikasikan sebagai teknologi hijau atau teknologi yang ramah lingkungan. Serat tumbuhan yang biasa dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan komposit sendiri sudah banyak, diantaranya pohon bambu, pohon kelapa, pohon pisang, serta tumbuhan lain yang memiliki serat pada pohonnya (Widiarta et al., 2018). Serat tanaman ini memiliki keunggulan tersendiri jika dibanding dengan serat-serat buatan (Rekayasa). Terutama jika di Indonesia, dimana berdasarkan data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kelautan (2011-2019) Indonesia sendiri memiliki lahan berhutan hingga 94,1 juta Hektar, hingga 50% dari luas daratan dari Indonesia. Selain itu Indonesia memiliki banyak varietas-varietas tanaman yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar dalam pembuatan komposit.

Tanaman kenaf (*Hibiscus Cannabinus L*) tanaman yang sudah berkembang di Indonesia sejak tahun 1970/1980 yang sudah dimanfaatkan sebagai karung goni (Indriani & Widiawati, 2015). Tanaman kenaf sendiri memiliki kelebihan dalam melakukan adaptasi luas sehingga dapat berkembang baik pada berbagai lahan/tanah seperti lahan banjir, lahan gambut, lahan tadah hujan/lahan kering. Produktifitas tanaman kenaf sendiri saat ini mencapai 2–4 ton serat kering/ha. Saat ini sendiri tanaman kenaf sudah banyak dimanfaatkan salah satunya sebagai *fiberboard* pada interior mobil, selain itu tanaman kenaf sendiri biasa digunakan sebagai bahan dasar pembuatan kertas dan juga sebagai bahan pembungkus hasil pertanian atau bias akita sebut dengan karung goni. Tanaman kenaf memiliki kelebihan pada *mechanical properties* dimana memiliki kekakuan yang tinggi dan memiliki kekuatan yang besar. Maka dari itu dengan kelebihan tersebut tanaman kenaf sendiri saat ini sudah banyak diteliti oleh negara-negara maju sebagai bahan penguat dari material komposit.

Tanaman Palem adalah tanaman yang tumbuh dan tersebar diseluruh wilayah Indonesia. Tanaman palem memiliki banyak jenis, sekitar 460 jenis tanaman palem tersebar luas di Indonesia. Tanaman palem sendiri saat ini hanya dimanfaatkan sebagai bahan dasar dalam pembuatan parobot rumah, selain itu tanaman palem sendiri biasa ditanam di jalan dan rumah-rumah sebagai tanaman peneduh. Untuk pemafaatannya pada bidang teknologi sendiri masih belum ada, padahal tanaman palem memiliki kekuatan yang besar. Oleh sebab itu tanaman palem berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan penguat material komposit, diharapkan dengan dikembangkannya tanaman palem sebagai material penguat komposit ini, nilai ekonomi dari tanaman palem ini dapat naik.

Penelitian dari Fajrin, Akmaludin, & Gapsari (2022), dilakukan eksperimen pengujian tarik dan pengujian *three point bending*, dimana pada penelitian ini dilakukan menggunakan komposit dengan serat penguat serat kenaf dan resin poliester. Pada penelitian ini juga dilakukan variasi berupa konfigurasi arah serat dimana terdapat 3 variasi arah serat, yang pertama *unidirectional*, *random*, dan *woven*. Didapat kesimpulan bahwa komposit dengan konfigurasi arah serat *unidirectional* memiliki nilai *tensile strength* dan *flexural strenght* terbaik dengan nilai 76,56 MPa dan 153,56 MPa. Penelitian selanjutnya dilakukan Zuccarello, Militello, & Bongiorno, (2021), pada penelitian ini dilakukan eksperimen dengan tujuan untuk mengetahui *mechanical properties* dari material *anisotropy* komposit dengan serat penguat sisal dan resin *Green Epoxy*. Dalam penelitian ini didapat nilai-nilai hasil eksperimen lalu digunakan pendekatan untuk mengetahui dan memprediksi nilai dari *anisotropy mechanical properties* dari komposit dengan penguat serat sisal dan resin epoxy. Selanjutnya penelitian dilakukan oleh Ibrahim et al. (2018), penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisis pengaruh *alkaline treatment* terhadap kekuatan tarik. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pemberian cairan NaOH terbaik adalah dengan konsentrasi 6% NaOH dimana didapat nilai kekuatan tarik sebesar 267,68 MPa, *Young Modulus* sebesar 11,88 MPa. Pada Penelitian yang dilakukan Abdal-hay, Suardana, Jung, Choi, & Lim (2012), Penelitian ini menitikberatkan pada pengujian tarik material komposit serat pohon kurma yang merupakan bagian dari famili tanaman palem dengan resin epoksi. Pada penelitian ini dilakukan variasi berupa diameter dari serat penguat, dimana variasinya adalah 400-200  $\mu\text{m}$ , 600-400  $\mu\text{m}$ , dan yang terakhir 800-600  $\mu\text{m}$ . dari penelitian ini dihasilkan bahwa kekuatan tarik terbesar yang dihasilkan terletak pada variasi diameter 400-200  $\mu\text{m}$  yang memiliki nilai 40,6 MPa, dan yang paling kecil terdapat pada variasi diameter 800-600  $\mu\text{m}$  dimana memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 20 MPa.

Pada penelitian kali ini akan dilakukan simulasi dengan menggunakan aplikasi ansys, dimana penulis berharap dapat menyajikan data-data yang lebih detail jika dibandingkan dengan eksperimen. Dimana dengan menggunakan simulasi ini diharapkan dapat mengetahui persebaran tegangan dari setiap lapisan, dan juga dapat menghilangkan pengaruh-pengaruh dari luar yang dapat mengurangi kekuatan tarik dari material komposit tersebut.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, Adapun rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh fraksi volume terhadap *tensile properties* material komposit serat sisal, serat kenaf, dan serat palem dengan resin epoksi?
2. Bagaimana pengaruh jumlah layer terhadap *tensile properties* material komposit serat sisal, serat kenaf, dan serat palem dengan resin epoksi?
3. Bagaimana pengaruh arah sudut serat terhadap *tensile properties* material komposit serat sisal, serat kenaf, dan serat palem dengan resin epoksi?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini yaitu:

1. Menganalisis pengaruh fraksi volume terhadap *tensile properties* material komposit serat sisal, serat kenaf, dan serat palem dengan resin epoksi.
2. Menganalisis pengaruh jumlah layer terhadap *tensile properties* material komposit serat sisal, serat kenaf, dan serat palem dengan resin epoksi.
3. Menganalisis pengaruh arah sudut serat terhadap *tensile properties* material komposit serat sisal, serat kenaf, dan serat palem dengan resin epoksi.

### **1.4. Batasan Masalah**

Agar penelitian ini mencapai tujuan yang diinginkan, maka Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan penguat yang digunakan dalam penelitian ini ada tiga variasi yang pertama serat sisal, kedua serat kenaf dan yang ketiga serat palem
2. Matrik yang digunakan pada penelitian ini adalah resin *Epoxy*
3. Data *properties* material didapat melalui jurnal eksperimen yang sudah ada
4. Arah variasi serat pada penelitian ini ada tiga variasi arah yang pertama  $0^\circ$ , varian kedua  $45^\circ$ , dan varian ketiga  $90^\circ$ ,
5. Variasi Fraksi volume serat pada penelitian ini berkisar 20%-70%
6. Pembebanan yang diberikan pada penelitian ini dimulai dengan 1000 N dan akan naik 100 N
7. Penelitian dilakukan hingga material mengalami kegagalan dengan keterangan *Safety Factor* bernilai lebih kecil dari 1
8. Penelitian ini dilakukan secara simulasi menggunakan aplikasi Ansys, dengan specimen pengujian Tarik standar D3039

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat digunakan untuk bahan pertimbangan dalam memilih kombinasi dari fraksi volume, jumlah layer dan arah serat terbaik material komposit serat kenaf dan serat palem menggunakan resin epoksi yang selanjutnya dapat dilakukan eksperimen langsung guna melakukan validasi dari penelitian ini.

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## BAB II

### DASAR TEORI DAN TIJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Penelitian Terdahulu

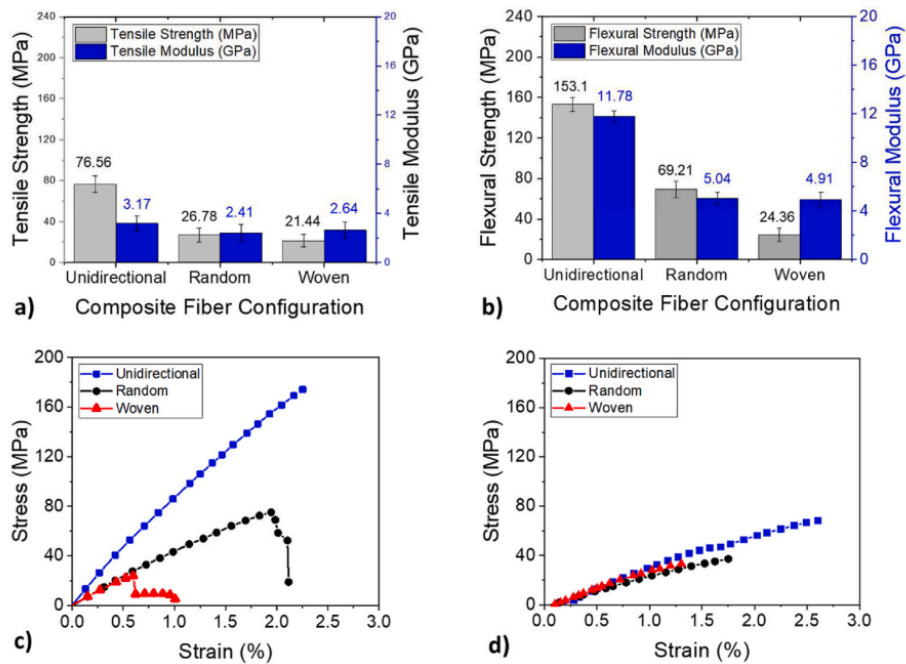
Fajrin, Akmaludin, & Gapsari (2022) Melakukan eksperimennya yang berjudul “*Utilization of Kenaf Fiber Waste as Reinforced Polymer Composites*”. Pada eksperimen tersebut bertujuan untuk mengetahui *Mechanical Properties* dari material komposit dengan penguat serat kenaf dan serat Polyester. Variasi yang diberika pada eksperimen ini adalah konfigurasi dari serat selama proses pembuatan material kompositnya, dimana terdapat tiga konfigurasi berbeda, variasi ini dapat dilihat pada Gambar 2.1, pada gambar tersebut ditunjukkan perbedaan bentuk komposit yang bergantung dengan konfigurasi arah seratnya, gambar kiri menunjukkan *unidirectional*, tengah *random*, dan yang kanan menunjukkan konfigurasi arah serat *woven*. Pada penelitian ini juga akan dilakukan dua ekperimen yaitu pengujian tarik dengan standar ASTM D3039 dan pengujian *Three Point Bending* dengan standard D790.



**Gambar 2.1** Konfigurasi Komposit Kenaf (Fajrin, Akmaludin, & Gapsari, 2022)

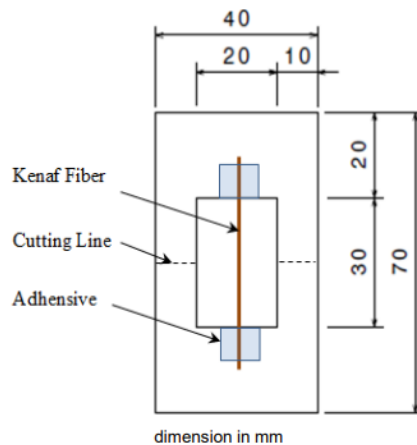
Pada penelitian tersebut didapat hasil dari pengujian tarik dan pengujian bending seperti pada Gambar 2.2. Dapat dilihat pada gambar a) kekuatan tarik terbaik terletak pada konfigurasi serat *unidirectional* dengan nilai kekuatan tarik sebesar 76.56 MPa dan didapat juga modulus elastisitas tarik dari material komposit serat kenaf dengan konfigurasi *unidirectional* sebesar 3.17 GPa. Sedangkan pada konfigurasi *random* didapat nilai kekuatan tarik sebesar 26.78 MPa dan modulus elastisitas sebesar 2.41 GPa. Lalu untuk yang konfigurasi *woven* didapat nilai kekuatan tarik sebesar 21.44 MPa dan Modulus elastisitas sebesar 2.64 GPa. Dan pada gambar c) dapat dilihat juga grafik tegangan -regangan dari pembebanan tarik, pada grafik tersebut garis biru yang mewakili konfigurasi serat *unidirectional* memiliki nilai tegangan dan reganagn yang besar, diikuti dengan garis berwarna hitam yang mewakili konfigurasi serat *random*, dan yang terakhir adalah garis merah yang mewakili konfigurasi serat *woven*. Sedangkan pada gambar b) dapat dilihat hasil dari kekuatan bending dari material, dimana kekuatan bending terbaik terletak pada konfigurasi *unidirectional* yang memiliki nilai *flexural Strength* sebesar 153.1 MPa dan *Flexural Modulus* sebesar 11.78 GPa, lalu untuk random didapat nilai *flexural strength* 69.21 MPa dan *flexural Modulus* sebesar 5.04 GPa, dan yang terakhir adalah konfigurasi *woven* yang memiliki *flexural Strength* sebesar 24.36 MPa dan *Flexural Modulus* 4.91 GPa. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa konfigurasi terbaik dalam menahan

pembebanan tarik dan pembebanan *flexural* adalah komposit yang memiliki konfigurasi *unidirectional*.



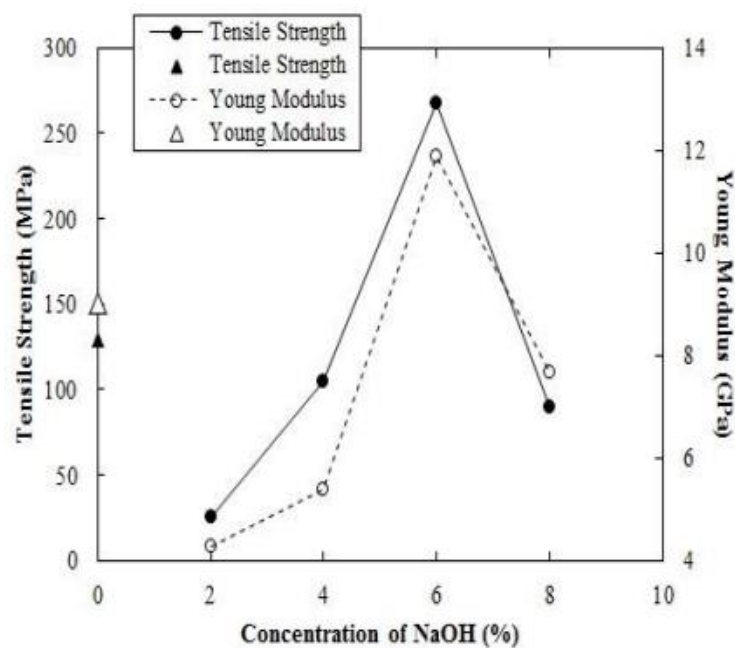
**Gambar 2.2** a) Kekuatan Tarik dan Modulus Elastisitas, b) Kekuatan Flexural dan Modulus Flexural, c) *Stress-Strain Tensile Load*, d) *Stress-Strain Flexural Load* (Fajrin, Akmaludin, & Gapsari, 2022)

Ibrahim , Hassan, Dolah, & Mohamed (2018) melakukan eksperimen yang diberi judul “Tensile Behavior for Mecerization of Single Kenaf Fiber” dalam penelitian ini, eksperimen dilakukan untuk tujuan mengetahui pengaruh dari perlakuan alkaline terhadap kekuatan tarik serat kenaf. Pada pengujian kali ini dilakukan pengujian *single fiber test* dengan standar ASTM D3379-89. Pada pengujian kali ini variasi perlakuan alkaline yang diberikan berupa konsentrasi dari NaOH yang diberikan kepada serat kenaf sebelum dilakukan pengujian. Dapat dilihat pada Gambar 2.3 merupakan skema pengujian ASTM D3379-89 dimana serat kenaf akan diberikan pembebanan tensile.



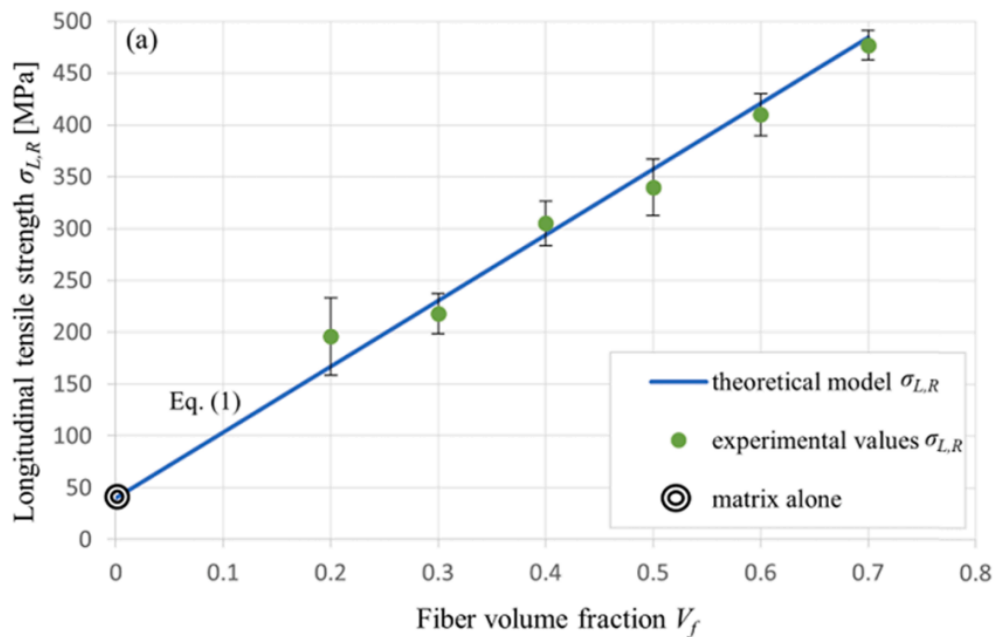
**Gambar 2.3** Skema Pengujian *Single Fiber Test* (Ibrahim , Hassan, Dolah, & Mohamed, 2018)

Dalam pengujian tersebut didapat grafik seperti Gambar 2.4. didalam grafik tersebut terdapat dua garis yang pertama garis lurus yang akan menjelaskan pengaruh konsentrasi NaOH terhadap kekuatan tarik, sedangkan garis putus-putus menjelaskan pengaruh konsentrasi NaOH terhadap *Young Modulus* dari serat kenaf. Dari data tersebut juga dapat disimpulkan bahwa konsentrasi 6% memiliki nilai kekuatan tarik yang besar, pada konsentrasi 6% didapat nilai kekuatan tarik sebesar 267.69 MPa dan *young modulus* pada konsentration 6% didapat nilai sebesar 11.88 GPa. Dan konsentrasi NaOH 2% memiliki dampak yang buruk, dimana nilai tegangan tariknya menurun jika dibandingkan dengan serat kenaf tanpa diberikannya perlakuan alkaline NaOH tersebut. Pada konsentrasi 2% sendiri nilai kekuatan tarik yang dihasilkan pada pengujian tersebut sebesar 25.28 MPa dan dengan nilai *young modulus* sebesar 4.28 GPa.



**Gambar 2.4** Grafik Kekuatan Tarik terhadap Perlakuan NaOH Serat Kenaf (Ibrahim , Hassan, Dolah, & Mohamed, 2018)

Ekperimen dilakukan oleh Zuccarello, Militello, & Bongiorno (2021), pada eksperimen tersebut diberi judul “Influence of the Anisotropy of Sisal Fiber on The Mechanical Properties of High Performance Unidirectional Biocomposite Lamina and Micromechanical Models”. Penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui *mechanical properties* dari material komposit Sisal Fiber/Epoxy, dimana pada penelitian ini dilakukan pengujian yang lengkap. Pegujian dilakukan untuk mencari *Longitudinal Tensile Strength, Transversal Tensile Strength, Shear Strength, Longitudinal Compression Strength*, dan yang terakhir *Transversal Compression strength*. Untuk variasi yang diberikan pada penelitian ini adalah variasi fraksi volume serat sisal, dimana fraksi volume berkisar antara 20%-70%. Setelah mengetahui persebaran nilai eksperimen dari setiap percobaan, penelitian dilanjutkan pada pendekatan rumus yang bisa digunakan guna memprediksi nilai-nilai yang tidak diketahui.



**Gambar 2.5** Grafik *Longitudinal Tensile Strength* terhadap Fraksi Volume Serat Komposit Sisal Fiber/Epoxy (Zuccarello, Militello, & Bongiorno, 2021)

Pada Gambar 2.5 terdapat grafik hasil eksperimen yang digambarkan sebagai titik hijau dan nilai *longitudinal tensile strength* secara perhitungan dengan menggunakan rumus. Dari keduanya dapat disimpulkan bahwa semakin besar fraksi volume serat maka nilai *longitudinal tensile strength* nya semakin besar juga. Dimana nilai terbesar terdapat pada fraksi volume serat 70% dimana nilai *longitudinal tensile strength* sebesar 475 MPa.

## 2.2. Komposit

Material komposit adalah pergabungkan dari dua material atau lebih, yang dibentuk pada skala makroskopik dan menyatu secara fisik yang dimanfaatkan untuk memperoleh sifat-sifat material baru yang tidak dimiliki material pembentuknya (Kusmiran et al., 2020). Pada dasarnya material komposit disusun dari 2 bahan utama, yang pertama yaitu pengisi atau biasa juga disebut sebagai matriks, dan penguat atau biasa juga disebut sebagai *Reinforcement*. Kedua material tersebut cenderung memiliki sifat mekanis yang berbeda, contohnya penguat serat yang biasanya memiliki sifat elastis, dan kuat dalam menahan beban Tarik. Sedangkan untuk pengisi atau matriks biasanya berifat ulet dan lunak. Dari kedua sifat material tersebut, kedua material tersebut memiliki fungsinya masing-masing pada material komposit, misalnya penguat memiliki fungsi untuk menahan gaya yang diberikan terhadap material komposit tersebut, sedangkan matriks digunakan untuk melindungi dan mengikat penguat agar dapat bekerja lebih baik terhadap temperature dan gaya-gaya yang diberikan kepada material komposit tersebut. Jadi tujuan utama dari dibentuknya material komposit adalah untuk menciptakan material baru yang memiliki sifat-sifat yang tepat guna, yang selanjutnya dapat diaplikasikan pada aplikasi-aplikasi yang ada.

Pemanfaatan material komposit dewasa ini sudah sangat meningkat mencakup segala bidang, contohnya pada *body* mobil, *body* pesawat terbang, peralatan olahraga, dan masih banyak lagi (Masdani & Dharta, 2018). Sifat material komposit yang cenderung ringan dan memiliki sifat mekanis yang kuat membuat material komposit sangat diminati sebagai pengganti dari material-material seperti besi dan baja. Selain itu material komposit sendiri dapat memanfaatkan material-material yang dapat diperbarukan seperti serat alami, hal ini bukan

hanya berdampak pada lingkungan tetapi juga berdampak pada segi ekonomis, dimana dengan melimpahnya sumber daya alam yang ada di dunia ini maka material komposit dengan serat alami dapat terus digunakan dan memiliki nilai ekonomi yang lebih efisien jika dibandingkan dengan penggunaan besi atau baja. Selain itu dengan memanfaatkan serat alami menjadi bahan dasar dalam material komposit, hal ini akan menaikkan nilai ekonomis dari serat alami tersebut.

Komposit sendiri memiliki banyak jenisnya, komposit berdasarkan asal material penguatnya dibagi menjadi tiga seperti komposit serat sintentis, komposit serat alami, dan komposit serat *hybrid*.

### **2.2.1. Komposit Serat Sintentis**

Serat sintentis adalah serat yang berasal dari hasil olahan manusia. Pada dasarnya pembuatan serat sintentis ini berasal dari dua bahan kimia yang diolah menjadi suatu material serat. Serat sintentis sendiri saat ini banyak digunakan untuk komersil seperti benang kain dan lain sebagainya. Kelebihan yang dimiliki serat sintentis sendiri adalah sifat dan ukuran serat sintentis yang cenderung seragam, bahan dasar pembuatannya cenderung lebih mudah ditemukan dan harganya cenderung lebih murah jika dibandingkan dengan serat alami. Namun untuk kekurangan serat sintentis sendiri adalah Sebagian besar serat sintentis tidak mudah diuraikan, sehingga serat sintentis tidak ramah terhadap lingkungan

### **2.2.2. Komposit Serat Alami**

Serat alami adalah serat yang berasal dari alam langsung, berbeda dengan serat sintentis yang merupakan rekayasa manusia. Serat alami sendiri biasanya berasal dari tumbuhan, hewan, maupun mineral yang berada di alam. Contoh tanaman yang sering digunakan sebagai serat komposit sendiri ada phon kelapa, pohon pisang, dan pohon lainnya yang biasanya batangnya memiliki serat. Serat alami sendiri memiliki kelebihan yaitu seratnya lebih ringan, ramah lingkungan, dan ketersediaan cukup berlimpah di beberapa daerah. Untuk kekurangan serat alami sendiri adalah kualitas sangat bergantung kepada alam disekitarnya, biasanya tidak cukup kuat untuk menahan perbedaan temperature yang tinggi, dan dikarenakan kandungan kimia pada serat tersebut mengakibatkan kemampuan untuk merekatnya cukup rendah.

### **2.2.3. Komposit Hybrid**

Komposit *Hybrid* adalah komposit yang diperkuat dengan beberapa gabungan serat sintentis maupun serat alami. Komposit *Hybrid* biasanya digunakan dengan tujuan untuk meminimalisir kekurangan dari sifat kedua serat dan menggabungkannya agar menciptakan sifat material yang lebih baik lagi.

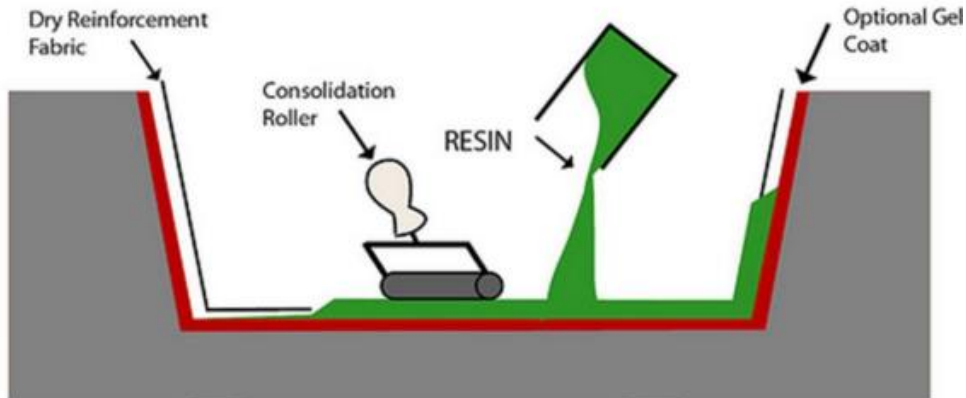
## **2.3. Metode Pembuatan Komposit**

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya komposit terdiri dari dua material utama yaitu material penguat dan material pengisi. Pada kenyataannya proses percampuran kedua material tersebut memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap hasil dari material komposit tersebut, sampai saat ini sendiri sudah banyak metode-metode yang bisa digunakan dalam pembuatan komposit tersebut. Berikut merupakan metode-metode yang paling sering digunakan dalam pembentukan komposit.

### **2.3.1. Hand Layup**

*Hand layup* adalah metode yang paling sering digunakan pada proses pembuatan komposit, metode ini sendiri adalah metode yang paling sederhana dari proses fabrikasinya jika dibandingkan dengan metode lain. Dapat dilihat pada Gambar 2.6 skema dari metode *hand layup*, dimana pada proses ini cairan resin akan dituangkan ke dalam cetakan yang sudah berisi material penguat dan diratakan dengan menggunakan *roller* atau kuas. Metode ini sendiri memiliki kelebihan yaitu peralatan yang dibutuhkan sedikit dan haraganya yang murah, namun

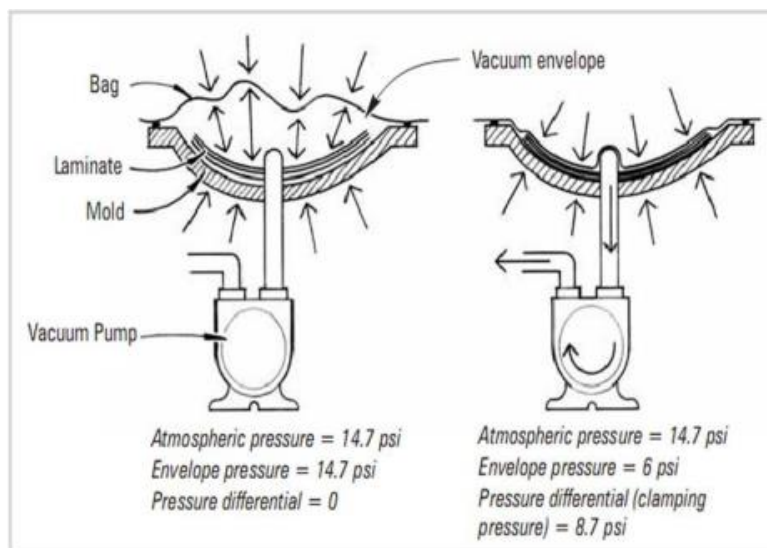
metode ini juga memiliki keterbatasan dalam ketebalan yang cenderung tidak konsisten dan distribusi resin yang tidak merata dikarenakan pada proses penuangan terdapat udara luar yang akan menghasilkan *void* atau ruang kosong antara resin dan penguat.



**Gambar 2.6** Skema Hand Layup (Gibson,1994)

### 2.3.2. Vacuum Bag

*Vacuum Bag* adalah metode pemebentukan komposit yang merupakan penyempurnaan dari metode *hand layup*, dimana penyempurnaan dengan menghilangkan udara luar yang dapat mengganggu proses pencampuran material resin dengan penguatnya. Dapat dilihat pada Gambar 2.7 skema *vacuum bag*, dimana pada prosesnya Ketika laminasi disegel tekanan udara di dalam cetakan dan diluar cetakan akan memiliki tekanan yang sama dengan tekanan atmosfer yaitu sebesar 14.7 Psi. sehingga dengan dinyalakannya pompa maka tekanan di dalam cetakan akan berkurang sehingga udara dari luar akan menekan cetakan dari luar secara bersamaan, perbedaan tekanan yang terjadi harus berkisar 6-12,5 Psi agar dapat menghilangkan udara dari semua sisi cetakan.



**Gambar 2.7** Skema Vacuum Bag (Gibson,1994)

## 2.4. Faktor yang Mempengaruhi Performa Komposit

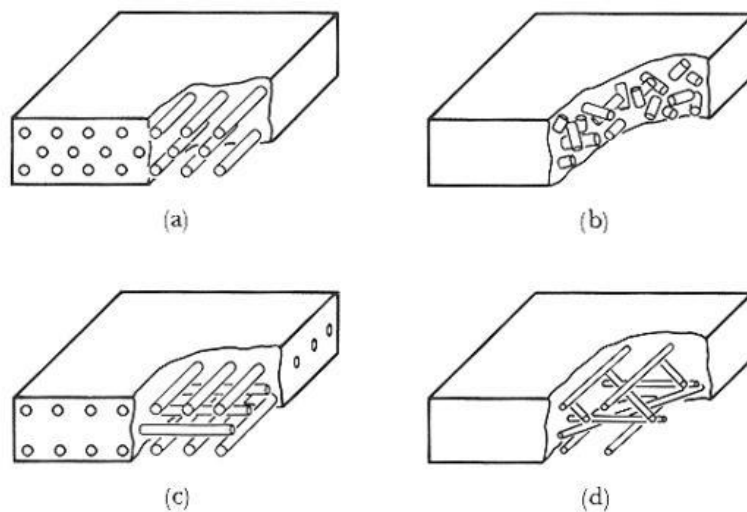
Sifat material komposit sangat dipengaruhi oleh sifat, dan distribusi dari material penyusun, selain itu interaksi dari kedua bahan (matriks dan penguat) sangat mempengaruhi sifat dari material komposit. Selain itu parameter lain yang mempengaruhi sifat dari material komposit adalah bentuk, ukuran, orientasi, dan distribusi dari penguat, dan berbagai ciri-ciri dari matriks (Mukmin, 2019)

### 2.4.1. Jenis Serat

Serat sendiri dibedakan menjadi dua yaitu serat kontinu (*continue*) dan serat yang tidak kontinu (*discontinue*). Secara teori serat yang memiliki sifat kontinu memiliki kekuatan yang lebih baik jika dibandingkan dengan serat yang tidak kontinu (Widjayarto, 2007). Namun pada eksperimen langsung biasanya hal ini terkendala dengan adanya faktor manufaktur, dimana biasanya akan terjadi ketimpangan pembebanan yang terjadi di satu titik serat saja. Sehingga jika komposit diberikan pembebanan mendekati beban maksimumnya, sebagian serat akan mengalami patah terlebih dahulu

### 2.4.2. Orientasi Serat

Orientasi serat sangat mempengaruhi kekuatan suatu material komposit, dari Gambar 2.8 dapat dilihat orientasi dibagi menjadi empat yaitu, *Unidirectional*, *Bidirectional*, dan *Pseudoisotropic*.



**Gambar 2.8**(a) Unidirectional, (b) Pseudoisotropic, (c) Bidirectional, dan (d) multi-Directional (Mukmin, 2019)

### 2.4.3. Komposisi dan Bentuk Serat

Komposisi serat memiliki pengaruh yang cukup besar pada sifat material komposit. Semakin banyak komposisi serat penguat maka material komposit akan semakin kuat, namun material komposit akan cenderung bersifat getas. Disisi lain dengan komposisi serat penguat yang sedikit akan menciptakan material komposit yang lebih ulet, namun akan memiliki sifat mekanis yang cenderung lemah. Selain itu bentuk serat juga mempengaruhi kekuatan material komposit, kekuatan serat dapat dilihat dari diameter serat, jika perbandingan antara Panjang

dan diameter serat besar maka kekuatan serat akan semakin baik. Hal ini terjadi dikarenakan tegangan geser yang terjadi pada permukaan serat dan matriks.

#### 2.4.4. Faktor Matriks

Matriks sendiri adalah material yang akan mengisi dan mengikat material penguat, jadi material matriks akan berpera sebagai serat adhesi yang baik agar menghasilkan struktur komposit yang sempurna. Fungsi dari matriks sendiri adalah mendistribusikan beban yang terjadi pada material komposit ke serat yang memiliki kekuatan tinggi dan sebagai pelindung permukaan serat penguat dari gesekan antar serat.

#### 2.5. Matriks Epoksi

Matriks adalah salah satu material pembentuk pada komposit, selain itu matriks juga mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar atau dominan pada material komposit. Menurut (Yasa Utama & Zakiyya, 2016), matriks bersifat ulet tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih rendah, selain itu fungsi matriks sendiri dalam material komposit adalah sebagai berikut:

1. Mentransfer tegangan ke serat
2. Melindungi serat
3. Memisahkan serat
4. Melepaskan ikatan
5. Tetap stabil setelah proses manufaktur

Matriks yang paling sering digunakan dalam pembuatan material komposit adalah matriks epoksi. Epoksi adalah matriks polimer yang terbentuk dari dua zat kimia yang berbeda yaitu resin yang berasal dari monomer dan pengeras yang berasal dari monomer polimine. Pada proses pembentukannya Ketika kedua material tersebut digabungkan maka kelompok amina akan bereaksi dengan kelompok epoksida untuk membentuk ikatan kovalen sehingga menghasilkan polimer yang kaku dan kuat. Pada Table 2.1 terdapat properties dari material matriks epoksi yang akan digunakan pada penelitian kali ini.

**Table 2.1** Tabel Mechanical Properties Resin Epoxy

| Properties Epoxy          |      |                   |
|---------------------------|------|-------------------|
| Density                   | 1160 | kg/m <sup>3</sup> |
| Young Modulus             | 3200 | MPa               |
| Poisson's Ratio           | 0.35 |                   |
| Ultimate Tensile Strength | 40   | MPa               |

#### 2.6. Serat Kenaf

Tanaman Kenaf atau bisa disebut juga yute jawa adalah tanaman semak yang memiliki tinggi bisa mencapai 3 meter, batangnya tidak bercabang dan gundul namun Sebagian lagi berduri tempel. Kenaf memiliki nama latin *Hibiscus Cannabinus* adalah tanaman yang mudah beradaptasi di berbagai kondisi lahan dan memiliki toleransi yang cukup baik terhadap kondisi ekstrim abiotik seperti genangan air, kekeringan, maupun pH tanah yang rendah. Kenaf sendiri sudah lama dikenal di Indonesia sekitar tahun 1986/1987 dan hampir tersebar di seluruh wilayah tropis dunia. Diduga juga tanaman kenaf sendiri berasal dari dataran Afrika tropis, dan



memiliki kerabat liarnya di Asia. Dikarenakan kekuatan adaptasinya yang tinggi tanaman kenaf sendiri diprioritaskan untuk ditanam di lahan yang tidak sesuai untuk tanaman lain pada waktu banjir, sehingga tanaman tersebut bisa mengisi kekosongan di lahan yang tidak cocok ditumbuhi oleh tanaman lain tersebut.

Untuk pemanfaatannya sendiri, tanaman kenaf merupakan tanaman penghasil serat yang berasal dari batangnya. Dimana serat ini biasa dimanfaatkan untuk bahan baku karung goni yang biasa digunakan untuk mengemas hasil-hasil pertanian seperti kopi, gula, coklat, dan hasil-hasil pertanian lainnya yang mudah busuk dalam proses pengiriman. Selain itu tanaman kenaf sendiri biasa digunakan sebagai bahan dasar dalam industry kertas, dan juga sebagai suplemen penguat tekstil yang dimana dicampur dengan bahan utama yaitu kapas dan poliester. Sampai saat ini tanaman serat kenaf sudah dimanfaatkan sebagai bahan baku *fibre board* yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai interior mobil seperti langit-langit, pintu, dashboard, dan lain sebagainya.

Dengan sudah digunakannya serat kenaf ini, maka diharapkan juga serat kenaf ini dapat dimanfaatkan juga sebagai serat penguat pada material komposit. Pada penelitian ini juga tanaman kenaf yang dipakai memiliki *mechanical properties* seperti pada Tabel 2.2 dimana kenaf yang diberikan menggunakan eksperimen yang dilakukan oleh Ibrahim, Hassan, Dolah, & Mohamed, (2018), dimana serat kenaf yang digunakan pada penelitian ini adalah serat kenaf yang sudah diberikan perlakuan alkaline sebesar 8%.

**Table 2.2** *Mechanical Properties* Serat Kenaf

| Properties Kenaf          |       |     |
|---------------------------|-------|-----|
| Diameter                  | 125   | µm  |
| Young Modulus             | 7670  | MPa |
| Poisson's Ratio           | 0.324 |     |
| Ultimate Tensile Strength | 89.58 | Mpa |

## 2.7. Serat Palem

Tanaman Palem adalah tanaman yang mampu hidup di berbagai karakteristik tanah, mulai dari yang subur sampai tanah yang gersang. Berbeda dengan tanaman kenaf yang hanya ditemukan di daerah tropis, tanaman palem ini mampu ditemukan dan juga tersebar luas di daerah tropis maupun sub tropis, wilayah dengan dataran tinggi maupun dataran rendah sekaligus. Tanaman ini sendiri tersebar luas bukan hanya karena kemampuannya namun juga dikarenakan kemudahannya dalam perawatannya, sehingga tanaman ini cukup sering digunakan sebagai tanaman hias dan juga sebagai tanaman peneduh jalan yang memang disengaja ditanaman untuk meneduhkan jalan.

Tanaman palem sendiri saat ini pemanfaatannya hanya sebatas sebagai tanaman hias dan tanaman peneduh jalan, padahal dengan banyaknya tanaman palem, tanaman ini seharusnya juga memiliki manfaat lain. Oleh sebab itu peneliti akan melanjutkan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, dimana pada penelitian tersebut dilakukan eksperimen guna mengetahui *mechanical properties* yang dapat dilihat di Tabel 2.3, tanaman palem tersebut sebelumnya tidak diberikan perlakuan alkaline apapun.

**Table 2.3 Mechanical Properties Serat Palem**

| Properties Palm           |        |     |
|---------------------------|--------|-----|
| Diameter                  | 100    | μm  |
| Young Modulus             | 23424  | Mpa |
| Poisson's Ratio           | 0.35   |     |
| Ultimate Tensile Strength | 487.78 | MPa |

## 2.8. Serat Sisal

Tanaman sisal yang memiliki nama latin *Agave Sisalana* adalah tanaman penghasil serat yang cukup populer di Indonesia. Berdasarkan sejarah yang ada tanaman ini berasal dari Meksiko, dibawa dan diperkenalkan oleh pedagang Spanyol pada abad ke-17. Tanaman ini memiliki ketahanan yang cukup kuat, dimana dapat dilihat dari habitatnya dalam berkembang biak tanaman ini dapat berkembang biak pada lingkungan tandus, panas, hingga tanah yang memiliki karakteristik yang kering. Tanaman sisal sendiri memiliki bentuk yang mirip dengan lidah buaya dimana yang membedakannya adalah pada ukurannya yang lebih besar, tebal, dan juga lebih tebal.

Tanaman sisal sendiri saat ini sudah banyak dimanfaatkan. Terutama oleh beberapa petani yang memiliki lahan yang curam, tanaman sisal ini dapat dimanfaatkan sebagai penahan tanah agar tanah tidak rusak, dan jika masa panen sudah datang tanaman tersebut dapat dijual juga. Tanaman sisal sendiri lebih dikenal sebagai tanaman penghasil serat alami, dimana serat tersebut dimanfaatkan dalam industri rumah tangga seperti karpet, keset, sapu dan sebagainya. Selain itu serat sisal sendiri biasa dimanfaatkan sebagai pembungkus kabel, karung, geotekstil, jala ikan, tali temali, sikat, hingga dimanfaatkan sebagai bahan dasar pada industri kertas.

Dengan banyaknya ketersediaan tanaman sisal di Indonesia, pada penelitian kali ini akan memanfaatkan serat sisal tersebut untuk dimanfaatkan sebagai tanaman penguat material komposit. Serat sisal yang akan digunakan berasal dari eksperimen yang pernah dilakukan oleh Zuccarello, Militello, & Bongiorno (2021), dimana *mechanical properties* dari serat sisal dapat dilihat pada Tabel 2.4

**Table 2.4 Mechanical Properties Serat Sisal**

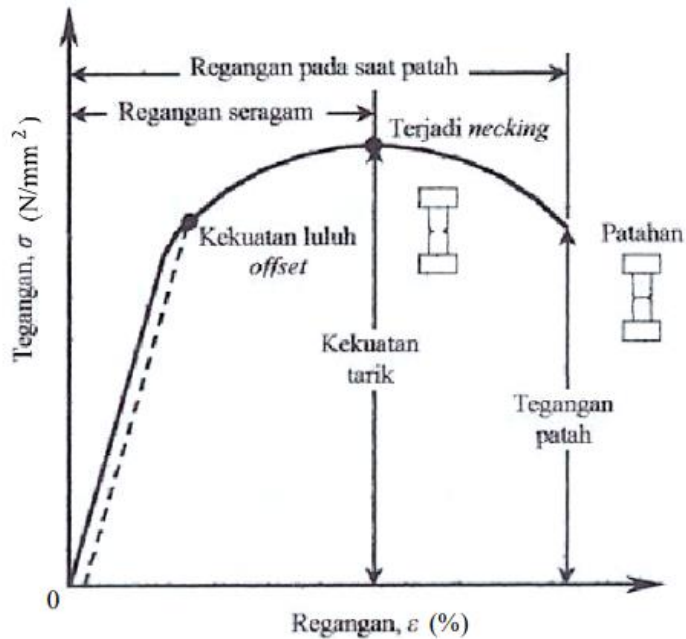
| Properties Sisal          |      |     |
|---------------------------|------|-----|
| Diameter                  | 121  | μm  |
| Young Modulus             | 7000 | Mpa |
| Poisson's Ratio           | 0.4  |     |
| Ultimate Tensile Strength | 450  | MPa |

## 2.9. Uji Tarik

Pengujian Tarik adalah pengujian yang dilakukan dengan memberikan gaya atau tegangan Tarik kepada material uji dengan maksud untuk mengetahui atau mendeteksi kekuatan dari suatu material (Salindeho S D., 2013). Secara mekanis sendiri pengujian Tarik dilakukan dengan penarikan material uji secara terus menerus hingga material mengalami kegagalan. Pengujian Tarik sendiri memiliki tujuan untuk mengetahui tegangan, regangan, modulus

elastisitas dari material uji. Pengujian Tarik adalah salah satu pengujian yang paling banyak dilakukan dalam melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai informasi pendukung bagi spesifikasi bahan yang akan digunakan.

Pada pengujian Tarik sendiri hubungan tegangan dan regangan akan dibuat menjadi sebuah grafik, dimana grafik tersebut akan memberikan informasi terkait kekuatan *yield*, kekuatan maksimum, zona elastis, dan zona plastis dari material. Selain itu pada grafik tegangan-regangan dapat dilihat apakah material tersebut merupakan material getas atau material ulet. Pada Gambar 2.9 dapat dilihat contoh grafik Tegangan-Regangan yang terbentuk pada pengujian Tarik.



**Gambar 2.9.** Contoh Grafik Tegangan-Regangan (Salindeho S D., 2013)

Pada pengujian Tarik sendiri selain grafik tegangan dan regangan, kekuatan Tarik dari material akan terlihat. Kekuatan Tarik atau biasa disebut dengan kekuatan Tarik maksimum sendiri adalah nilai tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh material uji sebelum material tersebut mengalami kegagalan. Selain itu juga terdapat kekuatan luluh atau biasa disebut juga *yield strenght*, yaitu besaran tegangan maksimum yang dapat diberikan kepada material uji sebelum material uji tersebut mengalami defromasi secara plastis.

Dalam pengujian Tarik sendiri kita dapat mengetahui hubungan linier antara tegangan dan regangan yang biasa disebut dengan elastis secara linier. Hubungan linier tersebut dapat mengetahui seberapa besar modulus elastisitas material, berikut persamaan yang digunakan.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \dots \dots \dots (1)$$

dimana tegangan sendiri akan timbul dengan diberikannya beban tarik pada luasan benda seperti persamaan berikut

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

σ = Tegangan (MPa)

- E = Modulus elastisitas
- $\epsilon$  = Regangan (mm/mm)
- F = Beban tarik (N)
- A = Luas penampang (mm<sup>2</sup>)

Lalu untuk regangan sendiri adalah jumlah pertambahan Panjang karena pembebanan yang dibandingkan dengan panjang daerah ukur. Regangan sendiri dapat dirumuskan berdasarkan pada grafik tegangan regangan hasil uji tarik.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

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

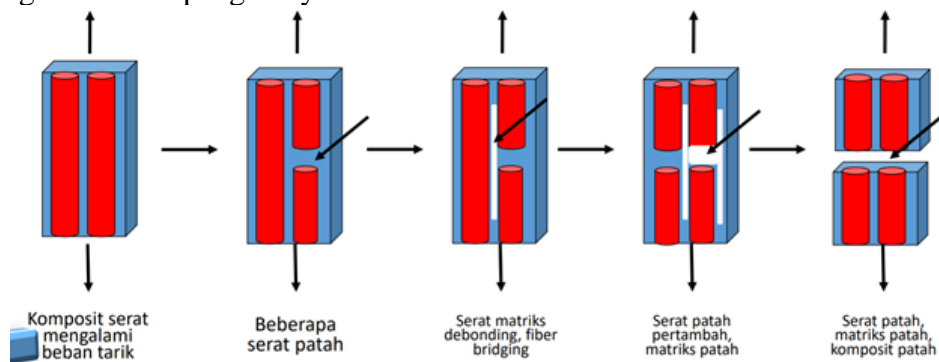
Dalip pengujian ini uji Tarik yang digunakan menggunakan standar ASTM D3039. Tujuan dari penggunaan uji Tarik ini sendiri adalah untuk mendapatkan tegangan Tarik, modulus Tarik, titik hasil, titik putus, dan *poisson's ratio* dari material uji.

## 2.10. Mekanisme Kegagalan Komposit

Kegagalan pada komposit memiliki banyak jenis, kegagalan pada komposit sendiri terjadi apabila bahan komposit tersebut telah rusak total Ketika mendapatkan pembebanan tertentu atau dapat dilihat pada kurva tegangan-regangan yang ditunjukan tidak lagi linier. Jenis kegagalan pada komposit sendiri terdapat beberapa jenis kegagalan, antara lain sebagai beriku

### 2.10.1. Patah Pada Serat (Intralaminar)

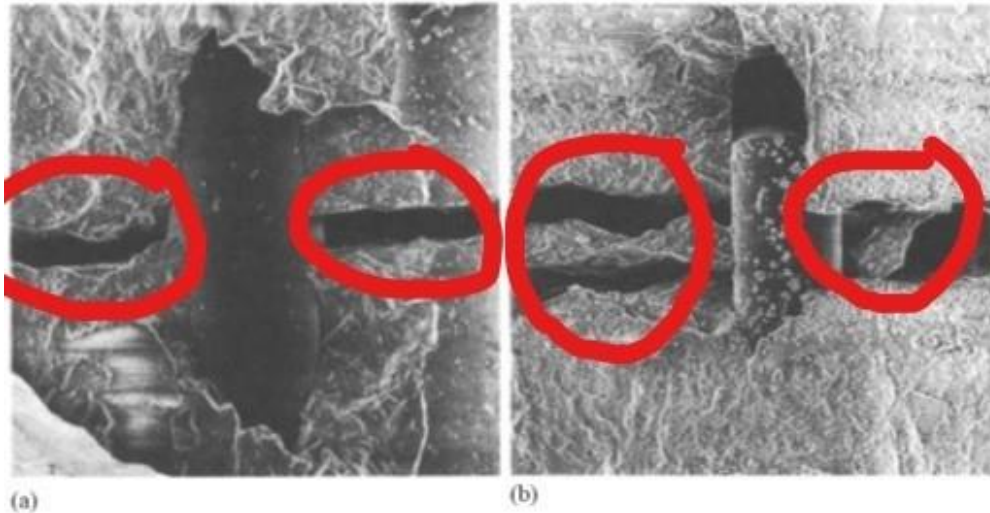
Pada Gambar 2.10 dapat dilihat kegagalan berupa patah pada serat dimana pada gambar tersebut garis merah menandakan serat penguat dan warna biru muda menunjuka matriks pengisi. Kegagalan ini memiliki patahan yang dimulai dari penguat atau serat dan akan merambat ke matriks dari material komposit tersebut. Biasanya penyebab kegagalan ini adalah serat yang tidak mampu menahan beban yang diberikan serta regangan serat lebih kecil jika dibandingkan dengan matriks penyusunnya, sehingga pertambahan Panjang matriks tidak bisa diimbangi oleh serat penguatnya.



Gambar 2.10. Patah pada Serat

### 2.10.2. Patah pada Matriks

Hampir sama dengan patahan sebelumnya hanya saja pada kegagalan ini patahan berawal dari matriks penyusunnya. Biasanya penyebab kegagalan ini adalah regangan yang dimiliki matriks penyusunnya sangat rendah, sehingga jika diberikan beban yang melebihi kapasitas dari matriks mengakibatkan terjadinya retakan yang kemudian menjalar. Pada Gambar 2.11 terdapat lingkaran merah, dimana pada lingkaran merah tersebut matriks mengalami patahan sedangkan serat penguatannya masih utuh, sehingga pada gambar tersebut material mengalami kegagalan berupa patah pada matriks.



Gambar 2.11 Patah pada Matriks

### 2.10.3. Delamination

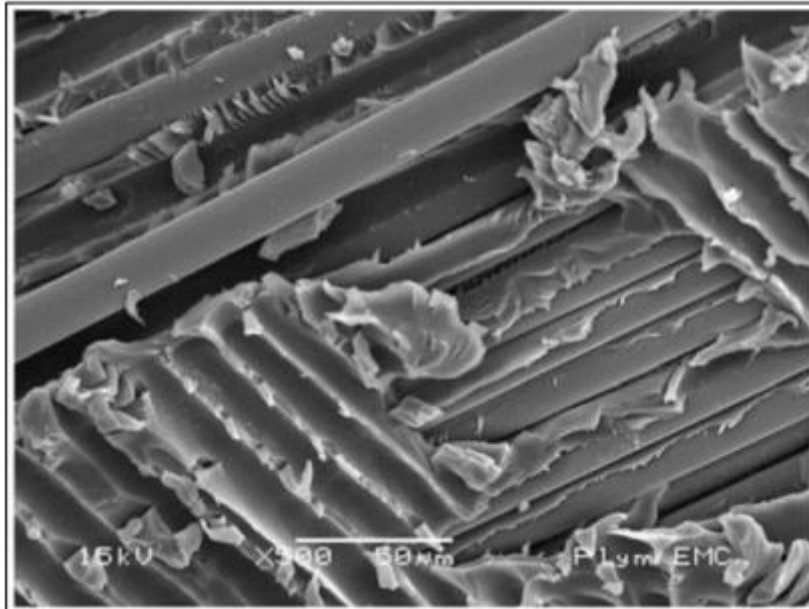
Kegagalan delaminasi sendiri biasa terjadi akibat ikatan antara satu lamina dengan lamina lainnya terlepas. Penyebabnya sangat beragam antara lain seperti tegangan interlaminar yang tinggi dan konsentrasi tegangan pada lokasi cacat yang cukup tinggi. Pada Gambar 2.12 dapat dilihat bahwa material mengalami patahan yang berlapis-lapis, dimana hal ini menandakan bahwa material mengalami patahan ikatan antar lamina atau *delamination*.



Gambar 2.12. Delaminasi

#### 2.10.4. *Debonding*

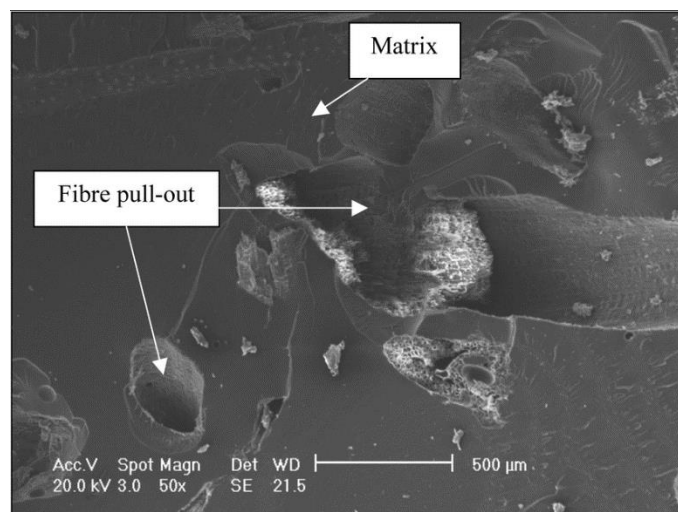
Kagagalan ini sendiri hampir sama dengan *delamination* hanya saja ikatan yang terlepas pada kegagalan ini adalah ikatan antar lapisan serat penguat dan matriks penyusnnya. Biasa kegagalan ini disebabkan karena gaya adhesi antara penguat dan matrisknya yang sangat lemah dan juga matriks penyusnnya kurang mengisi ruang antar serat. Pada Gambar 2.13 terjadi pelepasan ikatan antara serat dan matriks dimana pada gambar tersebut keduanya masih utuh namun mengalami kegagalan berupa lepasnya ikatan antara matriks dan serat penguat.



**Gambar 2.13.** *Debonding*

#### 2.10.5. *Fiber Pullout*

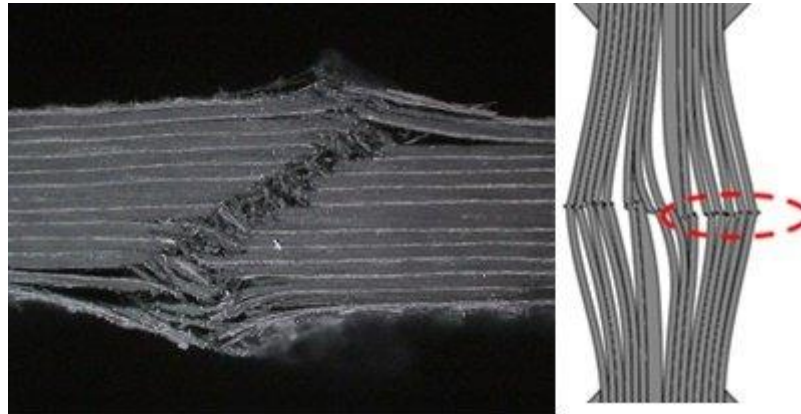
*Fiber Pullout* adalah kegagalan yang biasa terjadi pada komposit, kegagalan ini berupa keluarnya serat penguat dari lubang pada matriksnya. Penyebab kegagalan ini sendiri akibat lanjutan dari *debonding*. Dapat dilihat pada Gambar 2.14, dimana pada gambar tersebut serat penguat keluar dari matriks dengan ditandai dengan adanya lubang hasil dari kegagalan dari *fiber pullout*.



**Gambar 2.14.** *Fiber Pull-Out*

### 2.10.6. *Micro Buckling*

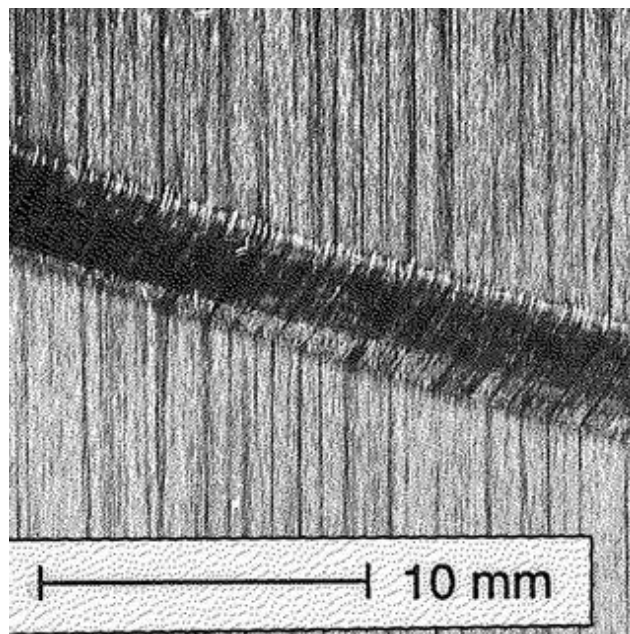
Pada Gambar 2.15 terlihat kegagalan ini adalah pembebanan kompresi atau pembebanan tekan. Pembebanan tekan yang berlebih ini akan mengakibatkan bentuk serat penguat berubah menjadi menekuk atau biasa disebut juga dengan *Buckling* dan biasanya akan mengakibatkan patahan pada material komposit tersebut.



**Gambar 2.15.** Micro Buckling

### 2.10.7. *Kink Band Failure*

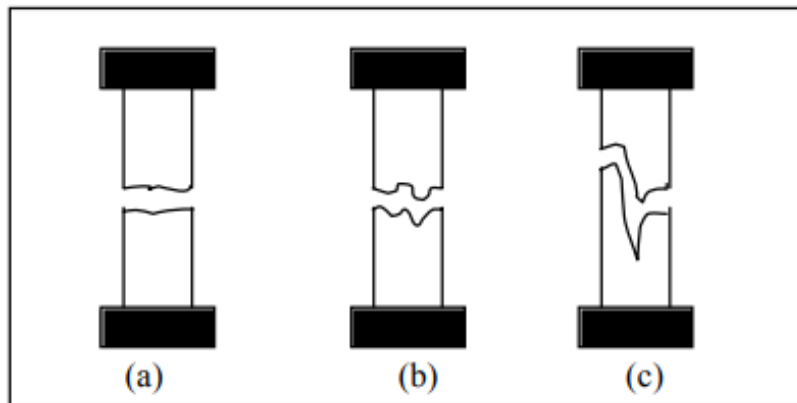
Pada Gambar 2.16 kegagalan ini sama dengan *Micro Buckling*, hanya saja beban tekan yang berlebih disini akan mengakibatkan serat menghasilkan serat-serat pendek yang memiliki arah orientasi berbeda. Seperti yang sudah diketahui arah serat akan mempengaruhi tegangan maksimum pada material komposit.



**Gambar 2.16.** kink Band Failure

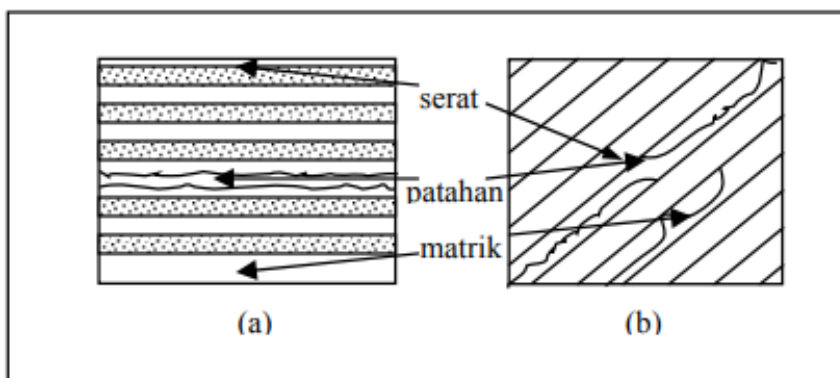
Pada umumnya pembebanan tarik sendiri akan menghasilkan kegagalan pada komposit tergantung dengan arah pembebanannya jika dibandingkan dengan arah serat yang ada. Jika

pembebanan tarik ke arah longitudinal atau searah dengan serat, maka kegagalan yang akan terjadi akan bermula dengan patahan pada penampang terlemahnya. Jika pembebanan terus diberikan maka terdapat tiga kemungkinan, yang pertama seperti pada Gambar 2.17 (a) matriks dapat menahan gaya geser dan meneruskannya ke serat disekitarnya, sehingga serat yang gagal atau patah akan semakin banyak sehingga timbul patahan getas. Lalu pada gambar (b) matriks tidak mampu menahan tegangan geser yang timbul pada ujung serat sehingga terjadi *debonding* dan komposit rusak searah serat. Dan yang terakhir seperti pada gambar (c) yang merupakan gabungan dari kedua kegagalan sebelumnya, kegagalan ini berwujud seperti sikat.



**Gambar 2.17.** Kegagalan akibat beban tarik longitudinal

Selain pembebanan searah serat, pada pembebanan tarik secara transversal sendiri akan mengakibatkan kegagalan pada material komposit. Pada Gambar 2.18 pembebanan yang diberikan tegak lurus dengan arah serat akan mengakibatkan tegangan yang terkonsentrasi pada *interface* antara serat dan matriks. Pada Gambar 2.18 (a) dan (b) menunjukkan Kegagalan berupa patahan matriks dan *debonding* pada lapisan antara serat dan matriks.



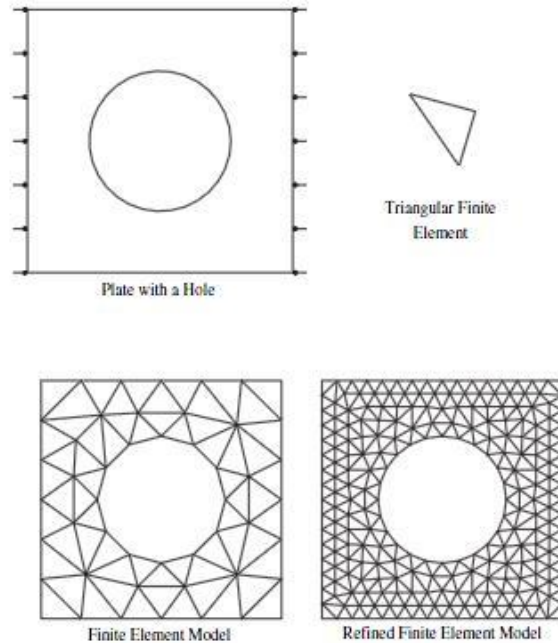
**Gambar 2.18.** Kegagalan akibat beban tarik Transversal

## 2.11. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk mendapatkan solusi diferensial. Metode elemen hingga sendiri dapat memecahkan *ordinary differential Equation* maupun *Partial Differential Equation*. Pada dasarnya metode elemen hingga sendiri digunakan untuk memecahkan problem di bidang mekanika benda padat (*Solid Mechanic*), namun seiring perkembangannya saat ini Metode Elemen Hingga sudah dapat digunakan dalam memecahkan permasalahan seluruh bidang *engineering* seperti mekanika fluida (*Fluid*

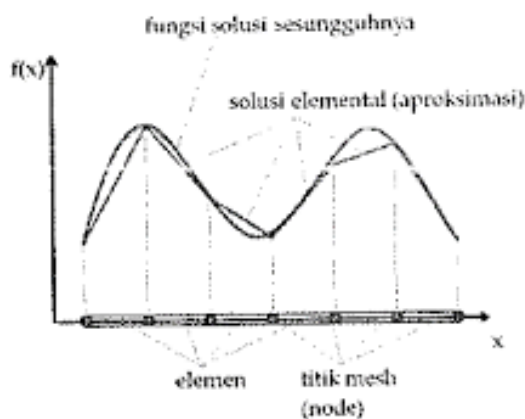


*Mechanich*), perpindahan panas (*Heat Transfer*), Getaran (*Vibration*), dan banyak problem pada bidang *Engineering* lainnya yang dapat dipecahkan menggunakan metode elemen hingga.



**Gambar 2.19.** Metode Elemen Hingga pada plat dengan cacat di tengah

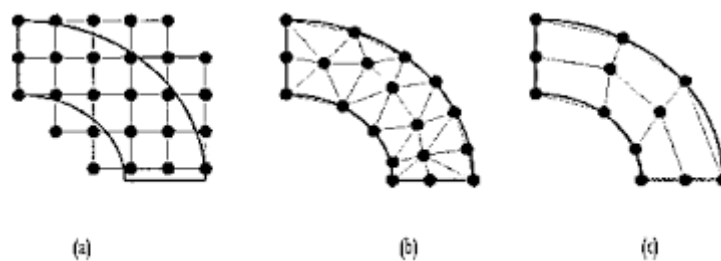
Pada dasarnya cara kerja Metode Elemen Hingga sendiri adalah dengan membagi problem yang kompleks menjadi bagian-bagian atau elemen-elemen kecil yang lebih sederhana, sehingga bagian-bagian atau elemen-elemen kecil tersebut dapat diselesaikan dengan persamaan yang lebih sederhana. Lalu selanjutnya bagian-bagian atau elemen-elemen kecil tersebut akan digabungkan sehingga menciptakan solusi problem secara keseluruhan. Pada Gambar 2.20 diperlihatkan cara kerja metode elemen hingga, suatu problem yang kompleks akan di aproksimalkan oleh solusi elemen, dimana solusi elemental ini digunakan fungsi interpolasi untuk mengaproksimalkan solusi elemen. Selanjutnya elemen tersebut akan digabungkan sehingga dolusi keseluruhan problem dapat diperoleh. Dengan menggunakan fungsi yang lebih kompleks lagi sebagai fungsi interpolasi akan menghasilkan solusi yang lebih akurat.



**Gambar 2.20.** Contoh Penyelesaian dengan Metode Elemen Hingga

Pada simulasi yang akan digunakan sendiri metode elemen hingga digunakan untuk memotong-motong suatu bidang yang luas dengan dimensi yang disesuaikan sehingga

menghasilkan bentuk segi tiga atau bentuk segi empat yang beraturan. Selanjutnya bentuk dimensi awal akan disebut dengan kontinum dan bidang segitiga atau segi empat beraturan akan disebut elemen hingga. Dari contoh tersebut dapat disimpulkan bahwa elemen hingga merupakan elemen diskrit dari suatu kontinum yang mana perilakunya masih mewakili perilaku struktur kontinumnya secara keseluruhan (Kumsiran, Prandhipta, & Desiasi, 2020). Memotong-motong suatu bidang yang luas menjadi dimensi yang lebih kecil ini biasa disebut juga dengan *Meshing* dimana semakin kompleks dan kecil bentuk mesh akan mempengaruhi keakuratan dari hasil keseluruhan, begitu juga sebaliknya. Dapat dilihat juga pada Gambar 2.21 dimana terdapat macam-macam bentuk mesh dari yang berbentuk segitiga sampai dengan segi empat, pada mesh yang segitiga memiliki jumlah elemen yang lebih banyak, namun memiliki keakuratan yang lebih baik jika dibandingkan dengan mesh yang berbentuk segiempat.



**Gambar 2.21.** (a) Mesh Metode Elemen Hingga, (b) Elemen Segitiga, (c) Elemen Segi empat

**2.12. Perhitungan Orthotropic Stress Limit**

Komposit serat alami adalah material yang memiliki sifat berbeda jika dibandingkan dengan material lain, pembedanya terdapat pada *mechanical properties* nya, jika material seperti loga merupakan material yang bisa disebut sebagai *isotropic*, dimana *isotropic* sendiri adalah material yang memiliki sifat material yang tidak terpengaruh oleh arah, sedangkan untuk *orthotropic* material adalah material yang memiliki sifat yang berbeda bergantung dengan arah dari materialnya. Lalu untuk *orthotropic stress limit* sendiri adalah nilai kekuatan dari material komposit. Seperti yang sudah diketahui bahwa nilai *orthotropic* bergantung dengan arah dari material, maka pada dasarnya nilai dari *orthotropic stress limit* dibagi kedalam dua *properties* yaitu *longitudinal properties* yang terdiri dari *tensile strength x direction*, *compressive strength x direction*, *shear strength XZ* dan *shear strength XY*. Sedangkan untuk *transversal properties* terbagi pada *tensile strength Y direction*, *tensile strength Z direction*, *compressive Z direction*, dan *shear strength YZ*. Pada perumusannya sendiri nilai kedua *properties* tersebut dapat diprediksi dengan pendekatan rumus, dimana terdapat dua buku yang memiliki pendekatan yang berbeda sebagai berikut

**2.12.1. Buku Engineering Mechanics of Composite Materials**

Berdasarkan (Daniel & Ishai, 2006), persamaan untuk longitudinal tensile strength dibagi menjadi dua kondisi :

Jika  $\epsilon_m^u > \epsilon_f^u$ , maka persamaan tensile longitudinal X direction yaitu:

$$F_{1t} = F_{ft} \left( V_f + V_m \frac{E_m}{E_f} \right) \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

$F_{1t}$  = longitudinal composite tensile strength

$F_{ft}$  = longitudinal fiber tensile strength

$V_m$  = Volume fraksi matriks

$V_f$  = Volume fraksi fiber

$E_m$  = Modulus elastisitas matriks

$E_f$  = Modulus elastisitas fiber

Jika  $\varepsilon_m^u < \varepsilon_f^u$ , maka persamaan tensile longitudinal X direction yaitu:

$$F_{1t} = F_{mt} \left( V_f \frac{E_m}{E_f} + V_m \right) \dots \dots \dots (5)$$

Dimana:

$F_{1t}$  = longitudinal composite tensile strength

$F_{mt}$  = matrix tensile strength

$V_m$  = Volume fraksi matriks

$V_f$  = Volume fraksi fiber

$E_m$  = Modulus elastisitas matriks

$E_f$  = Modulus elastisitas fiber

Untuk memperoleh nilai transverse strength dari Komposit dilakukan perhitungan menggunakan persamaan dari transverse strength composite adalah sebagai berikut:

$$F_{2t} = \frac{1-v_m}{k_\sigma(1+v_m)(1-2v_m)} (F_{mt} - \varepsilon_{rm}E_m) \dots \dots \dots (6)$$

Dimana, untuk memperoleh nilai  $k_\sigma$  dengan menggunakan persamaan berikut:

$$k_\sigma = \frac{1-V_f(1-\frac{E_m}{E_f})}{1-\left(\frac{4V_f}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}(1-\frac{E_m}{E_f})} \dots \dots \dots (7)$$

Dimana:

$F_{2t}$  = Transverse tensile strength composite

$F_{mt}$  = Matriks Tensile Strength

$v_m$  = poisson ratio matriks

$E_m$  = Modulus elastisitas matriks

$\varepsilon_{rm}$  = strain residual strain

$k_\sigma$  = stress concentration factor

Untuk memperoleh nilai *compressive strength* dari komposit dilakukan perhitungan menggunakan persamaan dari transverse strength composite adalah sebagai berikut:

Jika nilai volume fraksi fiber tinggi akan menyebabkan kegagalan shear, maka nilai dari longitudinal compressive strength adalah sebagai berikut:

$$F_{1c} = 2F_{fs} \left[ V_f + (1 - V_f) \frac{E_m}{E_f} \right] \dots\dots\dots (8)$$

Dimana:

$F_{1c}$  = Longitudinal compressive strength composite

$F_{fs}$  = Shear Strength fiber

Untuk menghitung nilai *transverse compressive strength* composite menggunakan persamaan berikut:

$$F_{2c} = \frac{F_{mc} + \sigma_{rm}}{k_\sigma} \dots\dots\dots (9)$$

Dengan nilai  $k_\sigma$  adalah sebagai berikut:

$$k_\sigma = \frac{1 - V_f \left(1 - \frac{E_m}{E_f}\right)}{1 - \left(\frac{AV_f}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{E_m}{E_f}\right)} \dots\dots\dots (10)$$

Dimana:

$F_{2c}$  = transverse compressive strength composite

$F_{mc}$  = compressive strength of matrix

$\sigma_{rm}$  = residual stress

$k_\sigma$  = stress concentration factor

Untuk menghitung nilai *In-plane Shear Strength Composite* menggunakan persamaan berikut:

$$F_6 = \frac{F_{ms}}{k_\tau} \dots\dots\dots (11)$$

Dengan nilai  $k_\tau$  adalah sebagai berikut:

$$k_\tau = \frac{1 - V_f \left(1 - \frac{G_m}{G_{12f}}\right)}{1 - \left(\frac{AV_f}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{G_m}{G_{12f}}\right)} \dots\dots\dots (12)$$

Dimana:

$F_6$  = In plane Shear Strength of Composite

$F_{ms}$  = shear strength of matrix

$k_\tau$  = shear stress concentration factor

$G_m$  = shear modulus matriks

$G_{12f}$  = In plane shear modulus fiber

**2.12.2. Buku Composite Struture: Design Mechanics, Analysis, Manufacturing, and testing**

Berdasarkan (Kumar, 2017), persamaan untuk *longitudinal tensile strength* pada komposit dibagi atas dua kondisi. Kondisi pertama adalah ketika nilai  $\epsilon_m > \epsilon_f$  dan kondisi kedua adalah ketika nilai  $\epsilon_m < \epsilon_f$ . Rumus perhitungan dari kedua kondisi tersebut adalah sebagai berikut :

Untuk nilai  $\epsilon_m > \epsilon_f$

$$(\sigma_{x_c}^T)_{ult} = (\sigma_{x_f}^T) V_f + (\varepsilon_{1_f}^T)_{ult} E_m(1 - V_f) \dots\dots\dots (13)$$

Untuk nilai  $\varepsilon_m < \varepsilon_f$

$$(\sigma_{x_c}^T)_{ult} = (\varepsilon_{1_m}^T) E_{1_f} V_f + (\sigma_m^T)_{ult}(1 - V_f) \dots\dots\dots (14)$$

Selanjutnya persamaan untuk *transverse tensile strength* pada komposit adalah sebagai berikut:

$$(\sigma_{y_c}^T)_{ult} = (\sigma_m^T)_{ult} \left(1 - 2\sqrt{\frac{V_f}{\pi}}\right) \dots\dots\dots (15)$$

Persamaan untuk *longitudinal compressive strength* dan *transverse compressive strength* adalah sebagai berikut :

$$(\sigma_{x_c}^C)_{ult} = 2(\tau_f)_{ult} \left[V_f + \frac{E_m}{E_{2_f}} - (1 - V_f)\right] \dots\dots\dots (16)$$

$$(\sigma_{y_c}^C)_{ult} = (\sigma_m^C)_{ult} \left(1 - 2\sqrt{\frac{V_f}{\pi}}\right) \dots\dots\dots (17)$$

Kemudian untuk persamaan *longitudinal shear strength (In-Plane Shear)* dan *transverse shear strength (Out-Plane Shear)* adalah sebagai berikut :

$$(\tau_{xy_c})_{ult} = G_{12_c} \left[1 + \left(\frac{G_m}{G_{12_f}} - 1\right) V_f\right] (Y_m)_{ult} \dots\dots\dots (17)$$

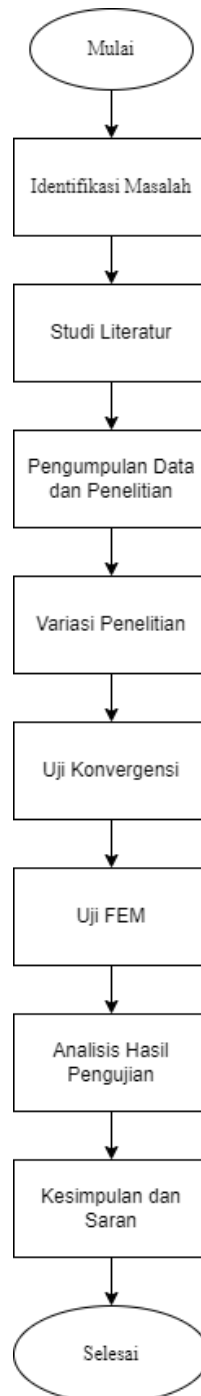
$$(\tau_{yz_c})_{ult} = \frac{(\tau_{xy_c})_{ult}}{2} \dots\dots\dots (17)$$

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1. Diagram Alir Penelitian

Metodologi penelitian ini dibuat untuk menggambarkan Langkah kerja yang akan dilakukan pada penelitian kali ini. Berikut Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir dari penelitian yang akan dilaksanakan:



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.2. Tahapan Penelitian

Tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini dibuat berdasarkan diagram alir yang telah dibuat pada Gambar 3.1 Tahapan-tahapan tersebut adalah sbagai berikut:

#### 3.2.1. Studi Literatur

Pada tahapan kali ini dilakukan studi literatur dengan pendalaman ilmu dan materi-materi penopang yang dibutuhkan dalam penelitian. Studi literatur diambil dari berbagai buku, jurnal ilmiah, serta laporan penelitian terdahulu yang berhubungan dengan pengujian Tarik material komposit serat alami. Materi-materi yang dipelajari seperti factor-faktor yang mempengaruhi sifat mekanis komposit, sifat-sifat serat alami khususnya serat kenaf dan serat palem, sifat matriks yang akan digunakan, metode elemen hingga, simulasi uji Tarik menggunakan aplikasi ansys, *meshing quality* yang baik pada FEM, serta mempelajari teori-teori kegagalan material komposit.

#### 3.2.2. Pengumpulan Data Sifat Material

Sebelum melakukan simulasi uji Tarik dengan menggunakan aplikasi Ansys, dilakukan pengumpulan data sifat material yang akan digunakan yaitu Sisal, Kenaf dan palem. Lalu untuk matriks yang akan digunakan menggunakan resin *epoxy* dimana sifat material yang akan digunakan didapat pada *database* material pada Ansys.

#### 3.2.3. Variasi Pengujian

Pada pengujian ini akan diberikan variasi berupa variasi material penguat komposit dan arah serat komposit. Berikut Table 3.1 sampai dengan Tabel 3.3, variasi pengujian yang akan digunakan selama pengujian kali ini.

**Table 3.1** Tabel Variasi Fraksi Volume Serat Kenaf

| No | Material          | Ketebalan | Variasi Fraksi Volume |
|----|-------------------|-----------|-----------------------|
| 1  | Kenaf Fiber/Epoxy | 0.3 mm    | 20 %                  |
| 2  | Kenaf Fiber/Epoxy | 0.3 mm    | 30 %                  |
| 3  | Kenaf Fiber/Epoxy | 0.3 mm    | 40 %                  |
| 4  | Kenaf Fiber/Epoxy | 0.3 mm    | 50 %                  |
| 5  | Kenaf Fiber/Epoxy | 0.3 mm    | 60 %                  |
| 6  | Kenaf Fiber/Epoxy | 0.3 mm    | 70%                   |

**Table 3.2** Tabel Variasi Fraksi Volume Serat Palem

| No | Material          | Ketebalan | Variasi Fraksi Volume |
|----|-------------------|-----------|-----------------------|
| 1  | Palem Fiber/Epoxy | 0.3 mm    | 20 %                  |
| 2  | Palem Fiber/Epoxy | 0.3 mm    | 30 %                  |
| 3  | Palem Fiber/Epoxy | 0.3 mm    | 40 %                  |
| 4  | Palem Fiber/Epoxy | 0.3 mm    | 50 %                  |
| 5  | Palem Fiber/Epoxy | 0.3 mm    | 60 %                  |
| 6  | Palem Fiber/Epoxy | 0.3 mm    | 70 %                  |



**Table 3.3** Tabel Variasi Fraksi Volume Serat Sisal

| No | Material          | Ketebalan | Variasi Fraksi Volume |
|----|-------------------|-----------|-----------------------|
| 1  | Sisal Fiber/Epoxy | 0.3 mm    | 20 %                  |
| 2  | Sisal Fiber/Epoxy | 0.3 mm    | 30 %                  |
| 3  | Sisal Fiber/Epoxy | 0.3 mm    | 40 %                  |
| 4  | Sisal Fiber/Epoxy | 0.3 mm    | 50 %                  |
| 5  | Sisal Fiber/Epoxy | 0.3 mm    | 60 %                  |
| 6  | Sisal Fiber/Epoxy | 0.3 mm    | 70 %                  |

Setelah mengetahui fraksi volume yang memiliki kekuatan tarik terbaik, selanjutnya akan dilakukan variasi berupa jumlah layer dalam satu komposit. Tabel variasi jumlah layer seperti pada Tabel 3.4 sampai dengan Tabel 3.6

**Table 3.4** Tabel Variasi Jumlah Layer Serat Kenaf

| No | Material          | Ketebalan | Variasi Jumlah Layer |
|----|-------------------|-----------|----------------------|
| 1  | Kenaf Fiber/Epoxy | 0.3 mm    | 1                    |
| 2  | Kenaf Fiber/Epoxy | 0.6 mm    | 2                    |
| 3  | Kenaf Fiber/Epoxy | 0.9 mm    | 3                    |
| 4  | Kenaf Fiber/Epoxy | 1.2mm     | 4                    |
| 5  | Kenaf Fiber/Epoxy | 1.5 mm    | 5                    |
| 6  | Kenaf Fiber/Epoxy | 1.8 mm    | 6                    |
| 7  | Kenaf Fiber/Epoxy | 2.1 mm    | 7                    |
| 8  | Kenaf Fiber/Epoxy | 2.4 mm    | 8                    |
| 9  | Kenaf Fiber/Epoxy | 2.7 mm    | 9                    |
| 10 | Kenaf Fiber/Epoxy | 3 mm      | 10                   |

**Table 3.5** Tabel Variasi Jumlah Layer Serat Kenaf

| No | Material          | Ketebalan | Variasi Jumlah Layer |
|----|-------------------|-----------|----------------------|
| 1  | Palem Fiber/Epoxy | 0.3 mm    | 1                    |
| 2  | Palem Fiber/Epoxy | 0.6 mm    | 2                    |
| 3  | Palem Fiber/Epoxy | 0.9 mm    | 3                    |
| 4  | Palem Fiber/Epoxy | 1.2mm     | 4                    |
| 5  | Palem Fiber/Epoxy | 1.5 mm    | 5                    |
| 6  | Palem Fiber/Epoxy | 1.8 mm    | 6                    |
| 7  | Palem Fiber/Epoxy | 2.1 mm    | 7                    |
| 8  | Palem Fiber/Epoxy | 2.4 mm    | 8                    |
| 9  | Palem Fiber/Epoxy | 2.7 mm    | 9                    |
| 10 | Palem Fiber/Epoxy | 3 mm      | 10                   |

**Table 3.6** Tabel Variasi Jumlah Layer Serat Sisal

| No | Material          | Ketebalan | Variasi Jumlah Layer |
|----|-------------------|-----------|----------------------|
| 1  | Sisal Fiber/Epoxy | 0.3 mm    | 1                    |
| 2  | Sisal Fiber/Epoxy | 0.6 mm    | 2                    |
| 3  | Sisal Fiber/Epoxy | 0.9 mm    | 3                    |
| 4  | Sisal Fiber/Epoxy | 1.2mm     | 4                    |
| 5  | Sisal Fiber/Epoxy | 1.5 mm    | 5                    |
| 6  | Sisal Fiber/Epoxy | 1.8 mm    | 6                    |
| 7  | Sisal Fiber/Epoxy | 2.1 mm    | 7                    |
| 8  | Sisal Fiber/Epoxy | 2.4 mm    | 8                    |
| 9  | Sisal Fiber/Epoxy | 2.7 mm    | 9                    |
| 10 | Sisal Fiber/Epoxy | 3 mm      | 10                   |

Selanjutnya didapat kombinasi antara fraksi volume dan jumlah layer dalam satu komposit yang memiliki kekuatan tarik terbaik, akan dilakukan variasi arah serat yang terdiri dari sepuluh layer dalam satu komposit. Berikut Tabel 3.7 menunjukkan variasi arah sudut serat yang digunakan pada penelitian ini.

**Table 3.7** Tabel Variasi Arah Sudut Serat Kenaf

| No | Material          | Ketebalan | Variasi Arah Sudut Serat                |
|----|-------------------|-----------|---|
| 1  | Kenaf Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(0°)10]                                |
| 2  | Kenaf Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(0°)4/(45°)2/(0°)4]                    |
| 3  | Kenaf Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(45°)2/(0°)2/(45°)2/(0°)2/(45°)2]      |
| 4  | Kenaf Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(45°)10]                               |
| 5  | Kenaf Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(-45°)2/(0°)2/(45°)2/(0°)2/(-45°)2]    |
| 6  | Kenaf Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(-45°)2/(45°)2/(-45°)2/(45°)2/(-45°)2] |
| 7  | Kenaf Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(45°)2/(-45°)2/(0°)2/(-45°)2/(45°)2]   |
| 8  | Kenaf Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(0°)4/(90°)2/(0°)4]                    |
| 9  | Kenaf Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2]     |
| 10 | Kenaf Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(90°)2/(0°)2/(90°)2/(0°)2/(90°)2]      |

**Table 3.8** Tabel Variasi Arah Sudut Serat Palem

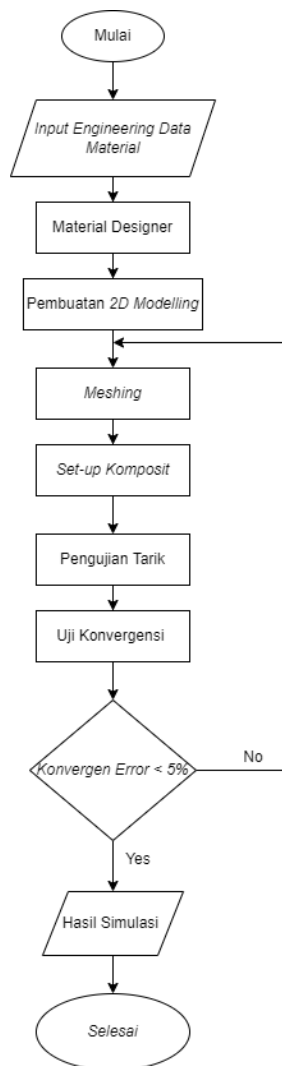
| No | Material          | Ketebalan | Variasi Arah Sudut Serat                |
|----|-------------------|-----------|---|
| 1  | Palem Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(0°)10]                                |
| 2  | Palem Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(0°)4/(45°)2/(0°)4]                    |
| 3  | Palem Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(45°)2/(0°)2/(45°)2/(0°)2/(45°)2]      |
| 4  | Palem Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(45°)10]                               |
| 5  | Palem Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(-45°)2/(0°)2/(45°)2/(0°)2/(-45°)2]    |
| 6  | Palem Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(-45°)2/(45°)2/(-45°)2/(45°)2/(-45°)2] |
| 7  | Palem Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(45°)2/(-45°)2/(0°)2/(-45°)2/(45°)2]   |
| 8  | Palem Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(0°)4/(90°)2/(0°)4]                    |
| 9  | Palem Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2]     |
| 10 | Palem Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(90°)2/(0°)2/(90°)2/(0°)2/(90°)2]      |

**Table 3.9** Tabel Variasi Arah Sudut Serat Sisal

| No | Material          | Ketebalan | Variasi Arah Sudut Serat   |
|----|-------------------|-----------|--|
| 1  | Sisal Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(0°) <sub>10</sub> ]  |
| 2  | Sisal Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(0°) <sub>4</sub> /(45°) <sub>2</sub> /(0°) <sub>4</sub> ]  |
| 3  | Sisal Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(45°) <sub>2</sub> /(0°) <sub>2</sub> /(45°) <sub>2</sub> /(0°) <sub>2</sub> /(45°) <sub>2</sub> ]    |
| 4  | Sisal Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(45°) <sub>10</sub> ]   |
| 5  | Sisal Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(-45°) <sub>2</sub> /(0°) <sub>2</sub> /(45°) <sub>2</sub> /(0°) <sub>2</sub> /(45°) <sub>2</sub> ]   |
| 6  | Sisal Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(-45°) <sub>2</sub> /(45°) <sub>2</sub> /(45°) <sub>2</sub> /(45°) <sub>2</sub> /(45°) <sub>2</sub> ] |
| 7  | Sisal Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(45°) <sub>2</sub> /(45°) <sub>2</sub> /(0°) <sub>2</sub> /(45°) <sub>2</sub> /(45°) <sub>2</sub> ]   |
| 8  | Sisal Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(0°) <sub>4</sub> /(90°) <sub>2</sub> /(0°) <sub>4</sub> ]  |
| 9  | Sisal Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(0°) <sub>2</sub> /(45°) <sub>2</sub> /(90°) <sub>2</sub> /(45°) <sub>2</sub> /(0°) <sub>2</sub> ]    |
| 10 | Sisal Fiber/Epoxy | 3 mm      | [(90°) <sub>2</sub> /(0°) <sub>2</sub> /(90°) <sub>2</sub> /(0°) <sub>2</sub> /(90°) <sub>2</sub> ]    |

### 3.2.4. Uji Konvergensi Simulasi

Uji Konvergensi ini dilakukan guna mengetahui ukurang meshing yang akan digunakan selama simulasi dilakukan. Simulasi dilakukan sesuai dengan diagram alir pada Gambar 3.2

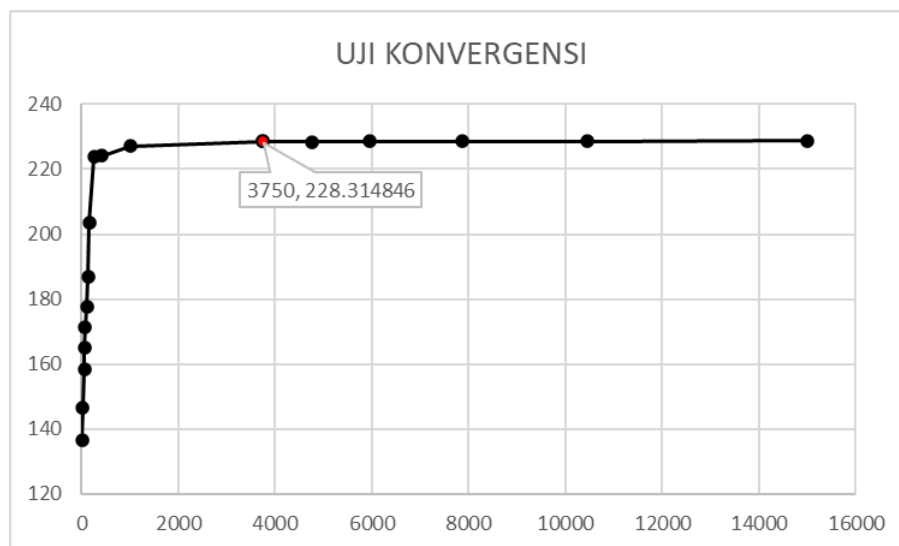


**Gambar 3.2** Diagram Alir Simulasi

Pada uji konvergensi tersebut didapat data seperti tabel seperti pada Tabel 3.5 dimana nilai *error* sudah dibawah 5%, dimana ketentuan dalam uji konvergensi adalah nilai *error* harus dibawah 5%. Dan dapat dilihat dari tabel juga bahwa nilai *error* saat meshing 1 mm sudah sangat kecil dengan jumlah element 3750 dan jumlah node 4016. Lalu dapat dilihat Gambar 3.3 grafik uji konvergensi, dapat dilihat bahwa grafik sudah konvergen di titik dimana meshing 1 mm. maka dapat disimpulkan meshing dengan ukuran 4 mm memenuhi uji konvergensi.

**Table 3.10** Data Uji Konvergensi

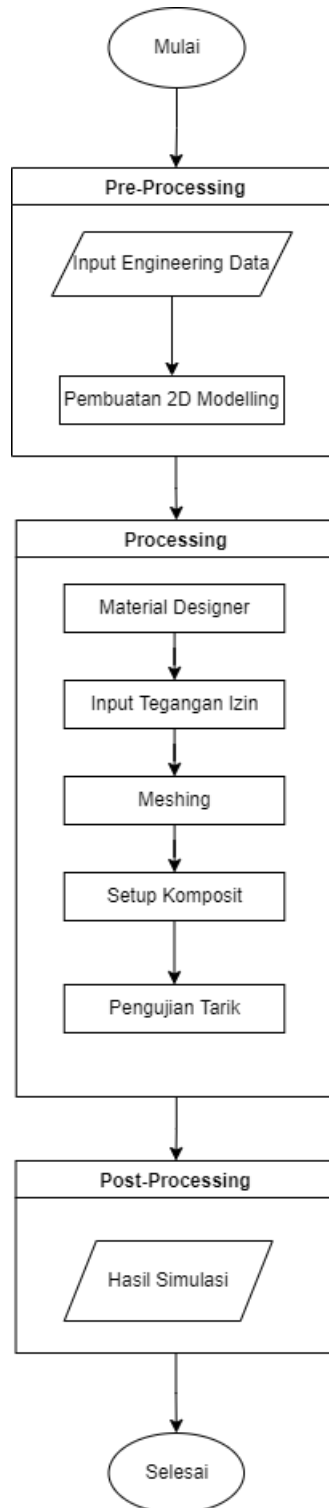
| Ukuran Mesh | Node  | Element | Normal Stress | error |
|-------------|-------|---------|---------------|-------|
| 20          | 28    | 13      | 136.5536927   | -     |
| 15          | 38    | 18      | 146.6893722   | 6.91% |
| 10          | 81    | 52      | 158.5384661   | 7.47% |
| 9           | 93    | 60      | 165.19906     | 4.03% |
| 8           | 99    | 64      | 171.4806797   | 3.66% |
| 7           | 148   | 108     | 177.7556139   | 3.53% |
| 6           | 176   | 129     | 186.7378257   | 4.81% |
| 5           | 212   | 156     | 203.4282954   | 8.20% |
| 4           | 320   | 252     | 223.7290396   | 9.07% |
| 3           | 510   | 420     | 224.074276    | 0.15% |
| 2           | 1134  | 1000    | 227.1113949   | 1.34% |
| 1           | 4016  | 3750    | 228.314846    | 0.53% |
| 0.9         | 5058  | 4760    | 228.3415393   | 0.01% |
| 0.8         | 6280  | 5947    | 228.5509003   | 0.09% |
| 0.7         | 8257  | 7876    | 228.5842375   | 0.01% |
| 0.6         | 10894 | 10450   | 228.6593056   | 0.03% |
| 0.5         | 15531 | 15000   | 228.7824287   | 0.05% |



**Gambar 3.3** Grafik Uji Konvergensi

### 3.3. Uji FEM

Pengujian Tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis dari material komposit yang akan di uji. Langkah-langkah uji FEM dapat dilihat pada Gambar 3.4 diagram alir berikut.



**Gambar 3.4** Diagram Alir Simulasi Pengujian Tarik

### 3.3.1. Pre-Processing

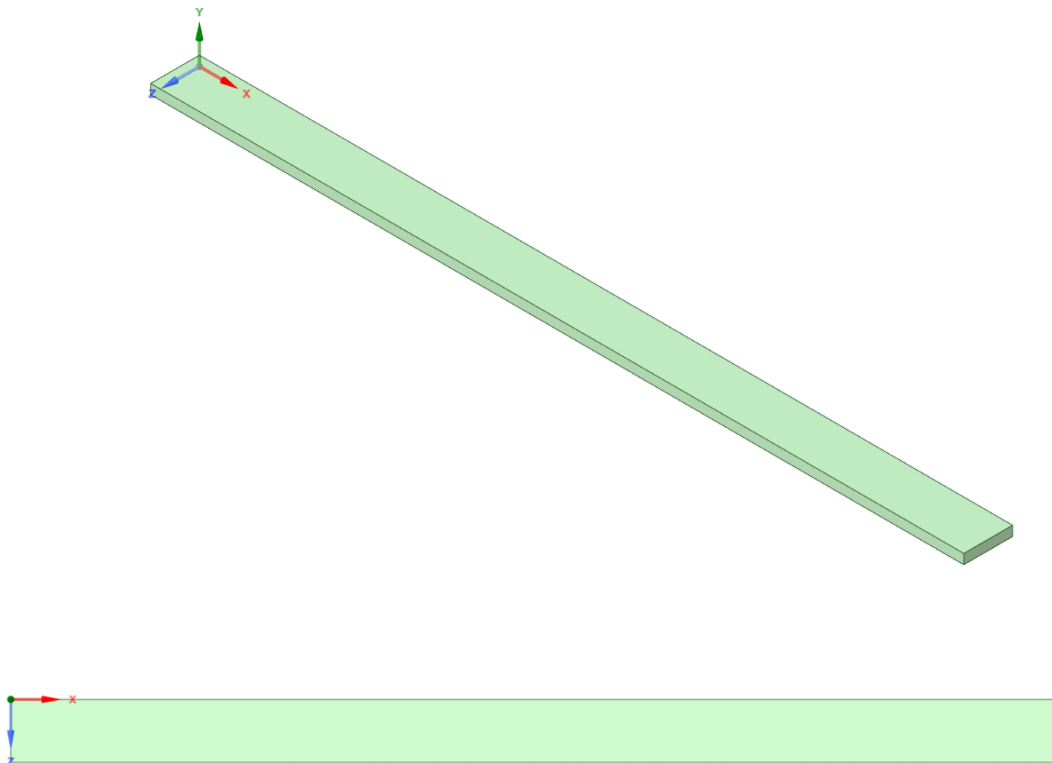
#### 3.3.1.1. Input Engineering Data

Langkah awal pada tahapan simulasi menggunakan aplikasi Ansys adalah melakukan *Input* data sifat-sifat material pada *Engineering Data*. Sifat material yang di *input* sendiri yaitu

sifat material serat kenaf dan serat palem. Sedangkan untuk matriks resin *epoxy* data sifat material yang akan digunakan menggunakan data yang sudah ada di *database* aplikasi Ansys.

### 3.3.1.2. Pembuatan 2D Modelling

Untuk permodelan specimen pada percobaan kali ini digunakan standard uji Tarik ASTM-D3039. Terlihat pada Gambar 3.7 specimen akan berbentuk persegi panjang dengan dimensi 250 mm x 15 mm x 3mm. Proses permodelan menggunakan SpaceClaim. Dan pada permodelan ini, model yang dibuat hanya berupa 2D yang berupa *surface* dari model specimen yang akan digunakan.



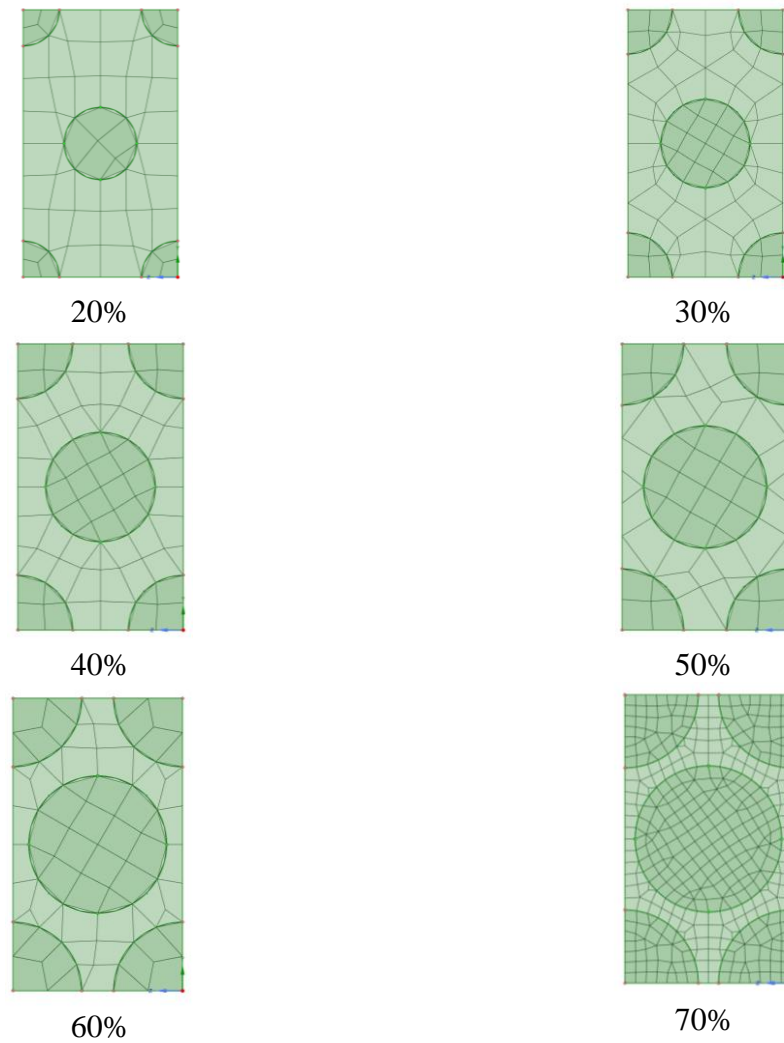
**Gambar 3.5.** Gambar 3D Modelling specimen

## 3.3.2. Processing

### 3.3.2.1. Material Designer

Pada Langkah ini data material pembentuk serat kenaf dan serat palem akan digabungkan dengan material resin *epoxy*. Tujuan penggabungan material penguat dan material resin ini agar material dapat menyatu sebagai material komposit.

Pada Gambar 3.5. peneliti memilih resin *epoxy* dan serat kenaf untuk dilakukan penggabungan. Selanjutnya akan dipilih bentuk geometri komposit, dimana pada bagian ini akan dipilih bentuk geometri *hexagonal* dengan ketebalan disesuaikan dengan diameter serat kenaf yaitu 125  $\mu\text{m}$ . Untuk fraksi volume yang digunakan pada gambar tersebut adalah 20%-70%. Setelah menentukan fraksi dan diameter, akan dilakukan meshing dengan ukuran meshing sebesar 1  $\mu\text{m}$ , dan juga memilih *setting* komposit yang akan dihasilkan, pada tahap ini peneliti memilih *orthotropic*. Setelah semuanya selesai akan muncul hasil seperti Gambar 3.6, dimana akan dihasilkan nilai E1 sampai nu23.



**Gambar 3.6.** Geometri Komposit Hexagonal

**Table 3.11** Hasil Material Design

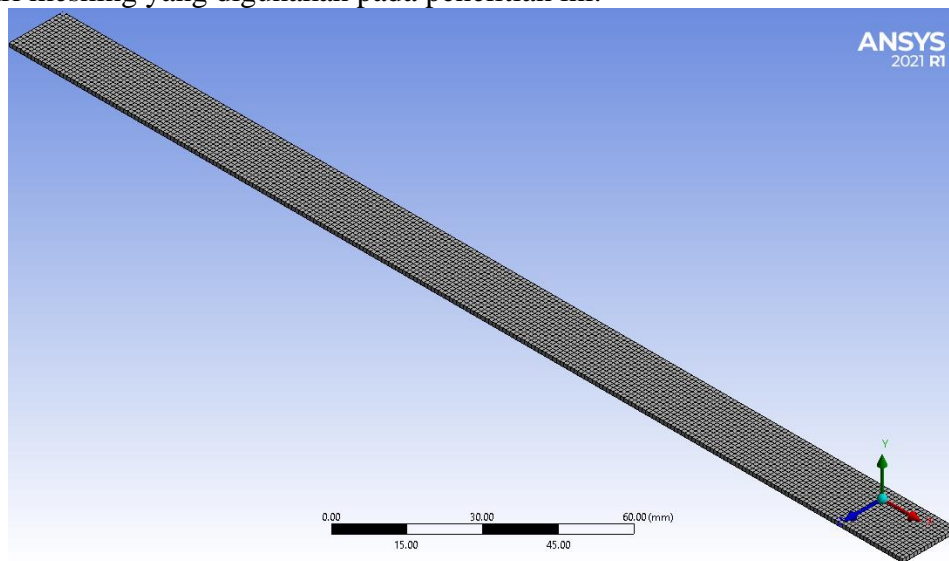
|      |         |     |
|------|---------|-----|
| E1   | 6210.3  | MPa |
| E2   | 5285.4  | MPa |
| E3   | 5285.4  | MPa |
| G12  | 1923.1  | MPa |
| G23  | 1821.5  | MPa |
| G31  | 1923.   | MPa |
| nu12 | 0.34131 |     |
| nu13 | 0.34131 |     |
| nu23 | 0.35543 |     |

### 3.3.2.2. Input Tegangan Izin

Dari perhitungan yang terdapat pada Bab 2.12, dimana terdapat persamaan yang dapat digunakan untuk memprediksi besarnya *Orthotropic Stress Limit*. Maka persamaan tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam perhitungan simulasi.

### 3.3.2.3. Meshing

Pada tahap ini hasil *2D Modelling* yang sudah dibuat akan diberikan ketebalan awal sebesar 1 mm, dan akan dipilih material pembentuknya yang berupa serat sabut sisal, serat kenaf atau serat palem. Pada gambar 3.8 dilakukan Meshing yang digunakan adalah meshing dengan elemen quadrilateral, dengan *element size* sebesar 1 mm. dapat dilihat pada gambar 3.8, terdapat visualisasi dari meshing yang digunakan pada penelitian ini.



**Gambar 3.7.** Meshing Specimen Uji Tarik

Dapat dilihat juga pada Gambar 3.9, terdapat kualitas meshing, dimana pada penelitian ini dilakukan *Mesh quality metric aspect ratio*. Pada *aspect ratio* sendiri dapat dilihat perbedaan ukuran Panjang dari bentuk meshing, lalu dilakukan perbandingan ukuran terpanjang dibandingkan dengan ukuran terpendek dari Panjang meshing tersebut. Berdasarkan Gambar 3.9 dapat dilihat nilai *aspect ratio* yang didapat sebesar 1, hal ini menandakan bahwa meshing yang digunakan sudah ideal dimana setiap meshing memiliki ukuran yang seragam.

| Quality                                     |                       |
|---|-----------------------|
| Check Mesh Quality                          | Yes, Errors           |
| Error Limits                                | Aggressive Mechanical |
| <input type="checkbox"/> Target Quality     | Default (0.050000)    |
| Smoothing                                   | Medium                |
| Mesh Metric                                 | Aspect Ratio          |
| <input type="checkbox"/> Min                | 1.                    |
| <input type="checkbox"/> Max                | 1.                    |
| <input type="checkbox"/> Average            | 1.                    |
| <input type="checkbox"/> Standard Deviation | 0.                    |

**Gambar 3.8** Quality Meshing Specimen Uji Tarik

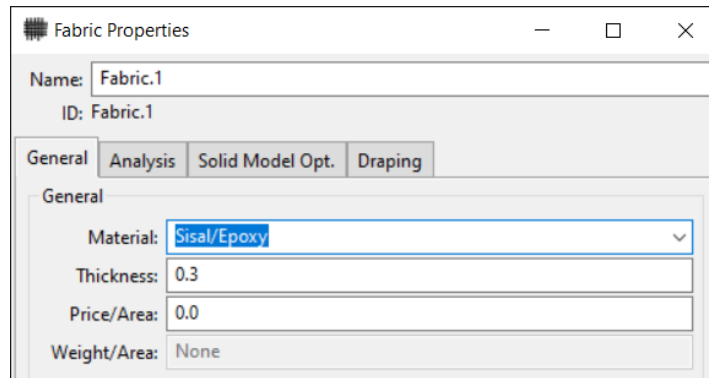
### 3.3.2.4. Set-up Komposit

Setelah memasukkan data-data material penyusun komposit, langkah selanjutnya adalah membuat konfigurasi kompositnya. Hal yang diatur adalah ketebalan komposit, jumlah



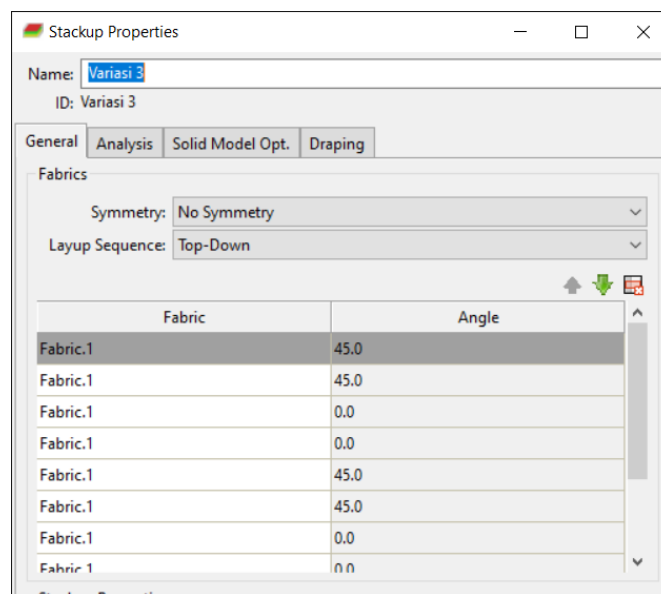
lamina, serta sudut arah orientasi dari seratnya. Proses ini menggunakan bantuan ANSYS ACP Pre/Post agar penyusunan komposit lebih mudah.

Langkah pertama adalah menentukan material komposit yang akan digunakan serta menentukan ketebalan lamina. Ukuran ketebalan lamina menggunakan satuan milimeter. Pada penelitian ini, material komposit Sisal/Epoxy dengan ketebalan lamina yang digunakan sebesar 0.3 mm.



**Gambar 3.9.** Fabric Properties sisal Fiber/Epoxy

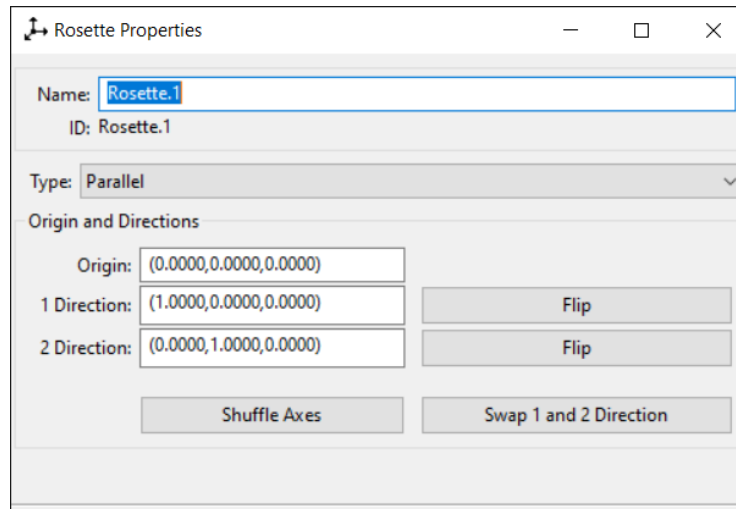
Selanjutnya adalah penentuan jumlah tumpukan atau stackup dari komposit tersebut. Pada bagian stackup properties, hal yang dapat ditentukan adalah jumlah lamina dan arah masing-masing lamina dalam satu tumpukan. Pada penelitian kali ini, jumlah lamina yang digunakan adalah satu sampai dengan lima buah tergantung dengan variasi yang akan digunakan. Pada Gambar 2.8 Terdapat konfigurasi 10 layer dengan susunan  $[(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2]$



**Gambar 3.10.** Stackup Properties

Lalu penentuan *Rosette* dilakukan agar memiliki sumbu acuan dalam penyusunan komposit, dimana sumbu x pada *Rosette* berfungsi sebagai acuan orientasi  $0^\circ$  dari material komposit, sedangkan sumbu y adalah acuan dalam menyusun lapisan komposit. Pada penelitian

kali ini, digunakan rosette seperti sumbu awal atau *Global Coordinate System* karena pembuatan komposit sudah mengacu terhadap sumbu tersebut



**Gambar 3.11.** *Rosette Properties*

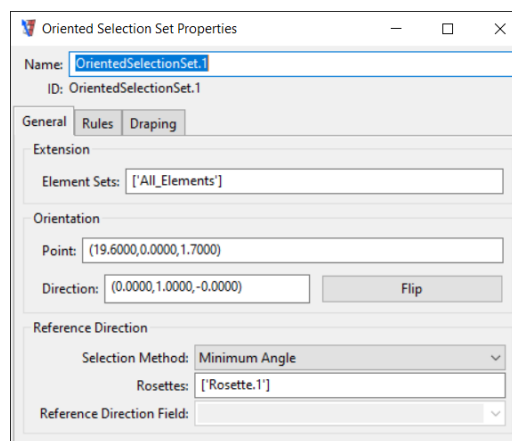
ACP Model  
07/26/22 15:51  
Thickness  
Element-Web  
Unit:mm  
Selection:  
Rosette.1  
1  
0.88889  
0.77778  
0.66667  
0.55556  
0.44444  
0.33333  
0.22222  
0.11111  
0

**ANSYS**  
2021 R1



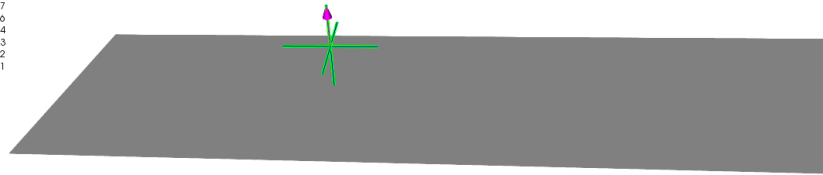
**Gambar 3.12** Pemodelan dari *Rosette* yang digunakan

Setelah itu menentukan *Oriented Selection Sets* atau OSS yang berfungsi untuk sebagai acuan arah tumpukan pada komposit. Dapat dilihat pada Gambar 3.15, dimana pada penelitian kali ini arah yang dijadikan acuan adalah sumbu y. Dan dapat dilihat juga pada Gambar 3.14, *setting* yang diberikan untuk menghasilkan *Oriented Selection Sets* seperti pada Gambar 3.15.



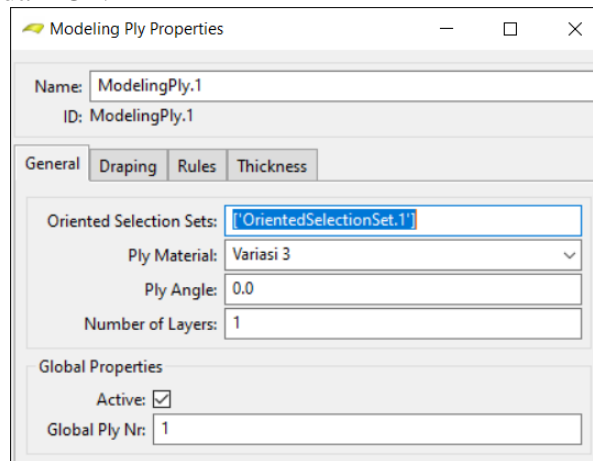
**Gambar 3.13** *Oriented Selection Sets Properties*

ACP Model  
07/26/22 15:52  
Thickness  
Element-Wise  
Unit: mm  
Selection:  
OrientedSelectionSet.1



**Gambar 3.14.** Pemodelan *Oriented Selection Sets*

Selanjutnya adalah penentuan *Modelling Ply Group*. Pada tahap ini dilakukan penentuan jumlah tumpukan yang digunakan atau keseluruhan lamina yang akan digunakan dalam menyusun komposit pada *surface* model yang telah dibuat. Pada penelitian kali ini menggunakan 1 tumpukan. Maka total lapisan yang digunakan berjumlah 10 dengan ketebalan total sebesar 3 mm. dapat dilihat pada Gambar 3.16, *setting* yang digunakan untuk melakukan proses *solid modelling* pada ACP.



**Gambar 3.15** *Modelling Ply Properties*

Tahap terakhir adalah pembentukan *Solid Model*. Setelah menentukan jumlah lapisan yang akan digunakan pada komposit, maka dengan menggunakan solid model akan dibentuk sebagai benda padat atau pejal. Dapat dilihat pada Gambar 3.17 hasil *solid model* dari proses ACP.

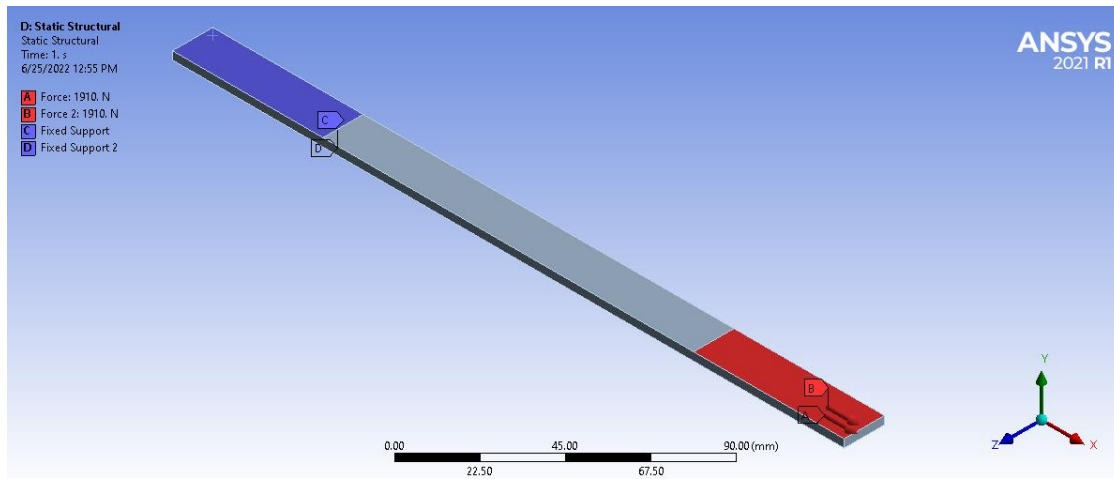
ACP Model  
07/26/22 15:54  
Thickness  
Element-Wise  
Unit: mm  
Max: 3  
Min: 3  
Thickness.1  
Selection:  
SolidModel.1



**Gambar 3.16** *Solid Model*

### 3.3.2.5. Pengujian Tarik

Selanjutnya pengujian Tarik akan dilakukan menggunakan static Structural. Pada proses ini material akan diberikan *fixed support* pada salah satu tepi specimen dan di tepi yang satunya akan dilakukan penarikan hingga material mengalami kegagalan. Berikut gambar-gambar *set-up* pembebanan yang diberikan pada specimen uji Tarik material komposit *Kenaf Fiber/Epoxy* dan *Palm Fiber/Epoxy*. Dapat dilihat pada Gambar 3.16 *Boundary Condition* dari pengujian tarik yang disesuaikan dengan standar ASTM D3039, warna biru menandakan area yang akan dikenakan *Fixed Support* dan warna merah adalah area yang akan diberikan pembebanan.



Gambar 3.17. Boundary Condition Pengujian Tarik

### 3.3.3. Post-Processing

#### 3.3.3.1. Hasil Simulasi

Hasil simulasi yang diharapkan oleh penulis pada penelitian ini adalah *Normal Stress* kearah sumbu X, *Normal Strain* kearah sumbu X, dari pengujian yang akan dilakukan.

### 3.4. Validasi

#### 3.4.1. Perhitungan *Orthotropic Stress Limit*

Pada penelitian ini, untuk dapat mengetahui nilai *safety factor* dari suatu material komposit maka akan dilakukan perhitungan nilai *orthotropic stress limit*. Seperti yang sudah dijelaskan juga di bab 2.12, terdapat dua pendekatan yang bisa digunakan, berikut pendekatan yang akan digunakan. Untuk contoh perhitungan akan digunakan variasi Sisal, fraksi Volume 20%, jumlah layer 1, dan arah sudut  $0^\circ$

##### 3.4.1.1. Perhitungan Buku *Engineering Mechanics of Composite Materials*

1. Tensile Longitudinal X Direction  
tensile longitudinal X direction yaitu:

|   |            |
|---|------------|
| <i>longitudinal fiber tensile strength</i> ( $F_{ft}$ ) | : 450 MPa  |
| Volume fraksi matriks ( $V_m$ )                         | : 0.8      |
| Volume fraksi fiber ( $V_f$ )                           | : 0.2      |
| Modulus elastisitas matriks ( $E_m$ )                   | : 3200 MPa |
| Modulus elastisitas fiber ( $E_f$ )                     | : 7000 MPa |

*longitudinal composite tensile strength ( $F_{1t}$ ):*

$$F_{1t} = F_{ft} \left( V_f + V_m \frac{E_m}{E_f} \right)$$

$$F_{1t} = 450 \left( 0.2 + 0.8 \frac{3200}{7000} \right)$$

$$F_{1t} = 254.571 \text{ MPa}$$

## 2. Tensile Transverse Strength

Perhitungan menggunakan persamaan dari transverse strength composite adalah sebagai berikut.

|  |            |
|--|------------|
| Matriks Tensile Strength ( $F_{mt}$ )              | : 40 MPa   |
| poisson ratio matriks ( $v_m$ )                    | : 0.35     |
| Modulus elastisitas matrik ( $E_m$ )               | : 3200 MPa |
| strain residual strain ( $\varepsilon_{rm}$ )      | : 1        |
| stress concentration factor ( $k_\sigma$ )         | : 1.2278   |
| Transverse tensile strength composite ( $F_{2t}$ ) | :          |

$$F_{2t} = \frac{1 - v_m}{k_\sigma(1 + v_m)(1 - 2v_m)} (F_{mt} - \varepsilon_{rm}E_m)$$

$$F_{2t} = \frac{1 - 0.35}{1.2278(1 + 0.35)(1 - 2 \times 0.35)} (40 - 1 \times 3200)$$

$$F_{2t} = 50.9761 \text{ MPa}$$

## 3. Longitudinal Compressive Strength

Perhitungan *Longitudinal Compressive strength* digunakan untuk menghitung *compression X Direction*.

Shear Strength fiber ( $F_{fs}$ ) : 19.1 MPa

Longitudinal compressive strength composite ( $F_{1c}$ ) :

$$F_{1c} = 2F_{fs} \left[ V_f + (1 - V_f) \frac{E_m}{E_f} \right]$$

$$F_{1c} = 2(19.1) \left[ 0.2 + (1 - 0.2) \frac{3200}{7000} \right]$$

$$F_{1c} = 21.610 \text{ MPa (Nilai akan diinput negatif untuk menandakan arah)}$$

## 4. Transverse Compressive Strength

Perhitungan *Transverse Compressive Strength* digunakan untuk menghitung nilai *Compression Y Direction*, dan *Compression Z Direction*.

|  |          |
|--|----------|
| Compressive strength of matrix ( $F_{mc}$ )            | : 90 MPa |
| Residual stress ( $\sigma_{rm}$ )                      | : 1      |
| Stress concentration factor ( $k_{\sigma}$ )           | : 1.2278 |
| Transverse compressive strength composite ( $F_{2c}$ ) | :        |

$$F_{2c} = \frac{F_{mc} + \sigma_{rm}}{k_{\sigma}}$$

$$F_{2c} = \frac{90 + 1}{1.2599}$$

$$F_{2c} = 74.111 \text{ MPa}$$

### 5. *In-Plane Shear Strength*

Perhitungan *in plane Shear* ini digunakan untuk mengetahui besarnya nilai *Shear XY*, *Shear YZ*, dan *Shear XZ*.

Dimana:

shear modulus matriks ( $G_m$ ) : 1185.2 MPa

In plane shear modulus fiber ( $G_{12f}$ ) : 2500 MPa

shear stress concentration factor ( $k_{\tau}$ ) :

$$k_{\tau} = \frac{1 - V_f \left(1 - \frac{G_m}{G_{12f}}\right)}{1 - \left(\frac{4V_f}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{G_m}{G_{12f}}\right)}$$

$$k_{\tau} = \frac{1 - 0.2 \left(1 - \frac{1185.2}{2500}\right)}{1 - \left(\frac{4(0.2)}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{1185.2}{2500}\right)}$$

$$k_{\tau} = 1.218$$

shear strength of matrix ( $F_{ms}$ )

In plane Shear Strength of Composite ( $F_6$ )

$$F_6 = \frac{F_{ms}}{k_{\tau}}$$

$$F_6 = \frac{45}{1.218}$$

$$F_6 = 36,939 \text{ MPa}$$

Setelah dilakukan perhitungan *Orthotropic Stress Limit*, maka nilai tersebut akan di *input* pada *engineering data* seperti pada Tabel 4.1

**Table 3.12** Orthotropic Stress Limit Buku Isaac

| Orthotropic Stress Limit |         |     |
|--------------------------|---------|-----|
| Tensile X Direction      | 254.571 | MPa |
| Tensile Y Direction      | 50.9761 | MPa |
| Tensile Z direction      | 50.9761 | MPa |
| Compressive X            | -21.610 | MPa |
| Compressive Y            | -74.111 | MPa |
| Compressive Z            | -74.111 | MPa |
| Shear XY                 | 36.939  | MPa |
| Shear YZ                 | 18.469  | MPa |
| Shear XZ                 | 36.939  | MPa |

**3.4.1.2.** Perhitungan Buku *Composite Structure: Design, Mechanics, Analysis, Manufacturing, and Testing*

1. tensile longitudinal X direction yaitu:

Nilai perhitungan *Tensile Longitudinal Strength* digunakan untuk memprediksi nilai *Tensile X direction*. Untuk persamaan yang akan digunakan sebagai berikut:

*longitudinal composite tensile strength* ( $F_{1t}$ ):

$$(\sigma_{x_c}^T)_{ult} = (\sigma_{x_f}^T) V_f + (\varepsilon_{1f}^T)_{ult} E_m (1 - V_f)$$

$$(\sigma_{x_c}^T)_{ult} = 450 (0.2) + 0.06 (3200)(1 - 0.2)$$

$$(\sigma_{x_c}^T)_{ult} = 243.6 \text{ MPa}$$

2. Tensile Transverse Strength

Nilai perhitungan *Transverse Strength* digunakan untuk memprediksi nilai *Tensile Y Direction*, dan *Tensile Z Direction*. Perhitungan menggunakan persamaan dari *transverse strength composite* adalah sebagai berikut.

$$(\sigma_{y_c}^T)_{ult} = (\sigma_m^T)_{ult} \left( 1 - 2 \sqrt{\frac{V_f}{\pi}} \right)$$

$$(\sigma_{y_c}^T)_{ult} = 40 \left( 1 - 2 \sqrt{\frac{0.2}{\pi}} \right)$$

$$(\sigma_{y_c}^T)_{ult} = 19.8098 \text{ MPa}$$

### 3. Longitudinal Compressive Strength

Nilai perhitungan *Longitudinal compressive strength* digunakan untuk memprediksi nilai *compressive X Direction*. Perhitungan menggunakan persamaan dari *longitudinal compressive strength composite* adalah sebagai berikut.

$$(\sigma_{x_c}^c)_{ult} = 2(\tau_f)_{ult} \left[ V_f + \frac{E_m}{E_{2f}} - (1 - V_f) \right]$$

$$(\sigma_{x_c}^c)_{ult} = 2(19.1) \left[ 0.2 + \frac{3200}{7000} - (1 - 0.2) \right]$$

$$(\sigma_{x_c}^c)_{ult} = 21.6102 \text{ MPa (Nilai akan bernilai negative saat input pada Engineering data)}$$

### 4. Transverse Compressive Strength

Nilai perhitungan *Transverse Compressive Strength* digunakan untuk memprediksi nilai *Compressive Y Direction*, dan *Compressive Z Direction*. Perhitungan menggunakan persamaan dari *transverse strength composite* adalah sebagai berikut.

$$(\sigma_{y_c}^c)_{ult} = (\sigma_m^c)_{ult} \left( 1 - 2 \sqrt{\frac{V_f}{\pi}} \right)$$

$$(\sigma_{y_c}^c)_{ult} = 90 \left( 1 - 2 \sqrt{\frac{0.2}{\pi}} \right)$$

$$(\sigma_{y_c}^c)_{ult} = 44.3720 \text{ MPa (Nilai akan bernilai negative saat input pada Engineering data)}$$

### 5. In-Plane Shear Strength

Nilai perhitungan *in-plane shear strength* digunakan untuk memprediksi nilai *shear XY*, *shear YZ*, dan *shear XZ*. Perhitungan menggunakan persamaan dari *transverse strength composite* adalah sebagai berikut.

$$(\tau_{xy_c})_{ult} = G_{12_c} \left[ 1 + \left( \frac{G_m}{G_{12_f}} - 1 \right) V_f \right] (Y_m)_{ult}$$

$$(\tau_{xy_c})_{ult} = 1367 \left[ 1 + \left( \frac{1185.2}{2500} - 1 \right) 0.2 \right] 0.03796$$

$$(\tau_{xy_c})_{ult} = 48.5361 \text{ MPa}$$

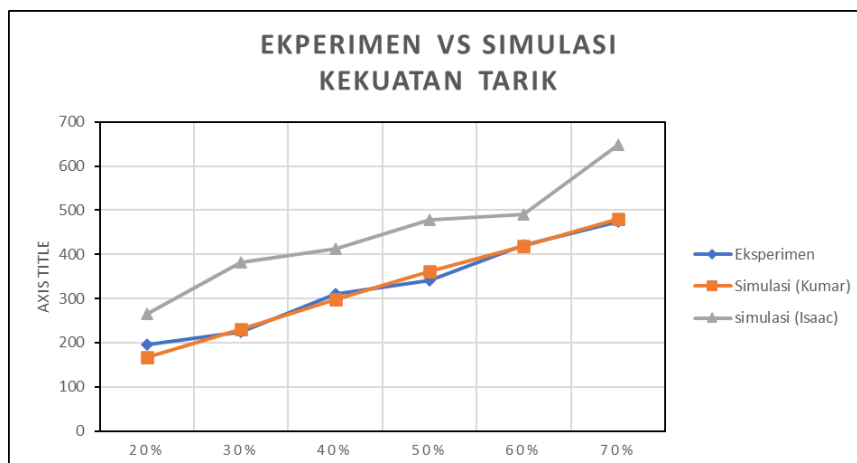
Setelah dilakukan perhitungan *Orthotropic Stress Limit*, maka nilai tersebut akan di *input* pada *engineering data* seperti pada Tabel 4.2



**Table 3.13** Orthotropic Stress Limit Buku Kumar

| Orthotropic Stress Limit |        |     |
|--------------------------|--------|-----|
| Tensile X Direction      | 243.6  | MPa |
| Tensile Y Direction      | 19.8   | MPa |
| Tensile Z direction      | 19.8   | MPa |
| Compressive X            | -21.61 | MPa |
| Compressive Y            | -44.37 | MPa |
| Compressive Z            | -44.37 | MPa |
| Shear XY                 | 48.53  | MPa |
| Shear YZ                 | 24.265 | MPa |
| Shear XZ                 | 48.53  | MPa |

Dari kedua pendekatan yang sudah dilakukan, maka dilakukan simulasi dengan menggunakan *orthotropic stress limit* dari kedua pendekatan tersebut dan dihasilkan grafik seperti pada Gambar 4.1, dimana pada gambar tersebut didapat nilai kekuatan tarik dari kedua *Orthotropic Stress Limit* dan dibandingkan dengan eksperimen yang dilakukan oleh Zuccarello, Militello, & Bongiorno (2021). Dimana nilai kekuatan tarik yang mendekati eksperimen yang dilakukan terdapat pada nilai saat *orthotropic stress limit* menggunakan pendekatan buku kumar, maka untuk penelitian kali ini akan menggunakan pendekatan buku kumar dalam memprediksi nilai *orthotropic stress limit*.



**Gambar 3.18** Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik dengan Menggunakan *Orthotropic Stress Limit* Buku Kumar dan Buku Isaac dengan Eksperimen

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab ini terdapat hasil dan pembahasan penelitian kekuatan tarik material komposit serat palem dan serat kenaf dengan variasi fraksi volume, jumlah layer, dan arah sudut serat penguat. Penelitian ini menggunakan *finite element method* dengan menggunakan aplikasi ansys.

### 4.1. Perhitungan Modulus Elastisitas

Penelitian ini menggunakan simulasi untuk mendapatkan nilai kekuatan tarik dan regangan tarik dari material komposit, untuk itu diperlukan perhitungan tambahan guna mengetahui nilai modulus elastisitas. Modulus elastisitas sendiri adalah nilai yang digunakan untuk mengukur suatu objek dalam mengalami deformasi elastis ketika material tersebut diberikan gaya. Berikut contoh perhitungan untuk variasi material Palem, fraksi volume 20%, jumlah layer satu, dan arah sudut 0°.

Hasil Simulasi

Kekuatan tarik ( $\sigma$ ) : 88.652 MPa  
Regangan Tarik ( $\epsilon$ ) : 0.0121 mm/mm  
Modulus Elastisitas (E) :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$E = \frac{88.652}{0.0121}$$

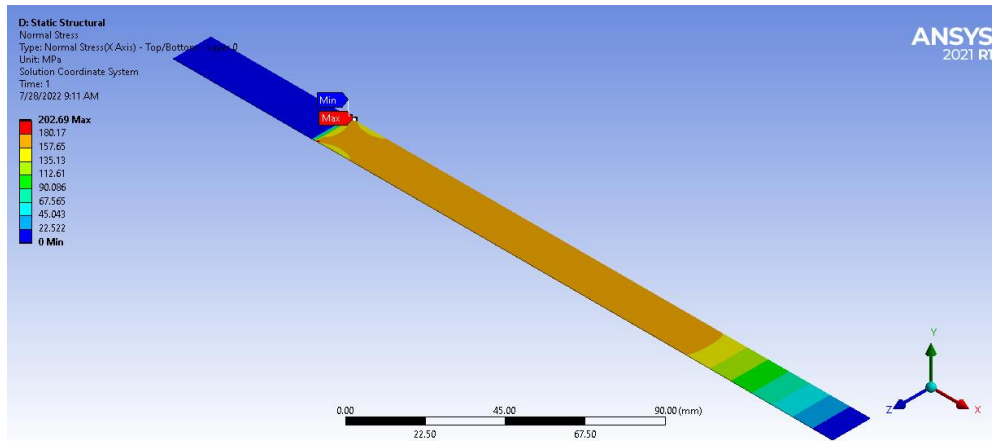
$$E = 7299.878 \text{ MPa}$$

### 4.2. Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy

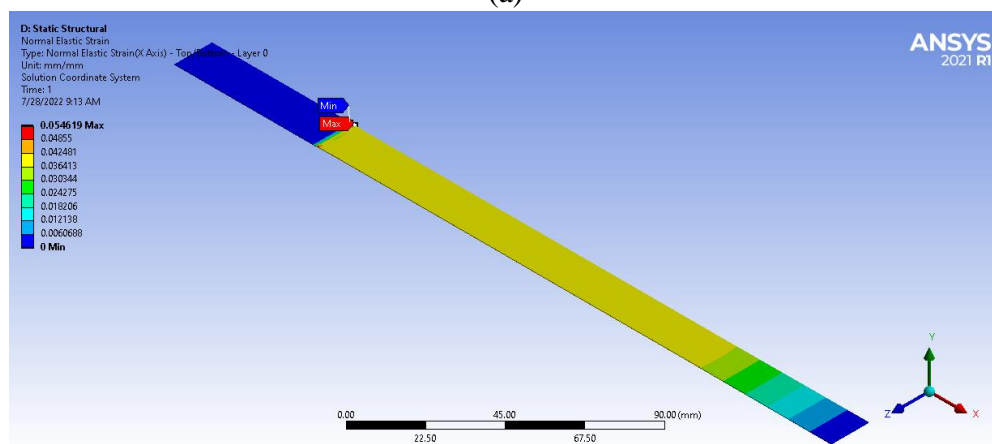
Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh dari setiap variasi dan menemukan kombinasi paling optimum yang bisa digunakan pada material komposit Sisal fiber/epoxy. Dari setiap variasi akan diperlihatkan hasil berupa *Normal Stress*, *Normals Strain*, dan modulus elastisitas dari setiap variasi yang dilakukan simulasi. Dari ketiganya akan dilakukan Analisa seperti yang akan jelaskan berikut ini.

#### 4.2.1. Hasil Simulasi dan Pembahasan Fraksi Volume Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy

Pada penelitian ini dilakukan variasi fraksi volume dari 20%-70%, guna mengetahui fraksi volume terbaik yang bisa digunakan pada material komposit sisal fiber/ epoxy. Pemilihan fraksi volume tebaik sendiri dipilih berdasarkan kekuatan tarik terbesar yang dapat ditahan oleh material dengan variasi fraksi volume serat. Berikut dilampirkan hasil simulasi untuk material komposit sisal fiber/epoxy dengan variasi fraksi volume.



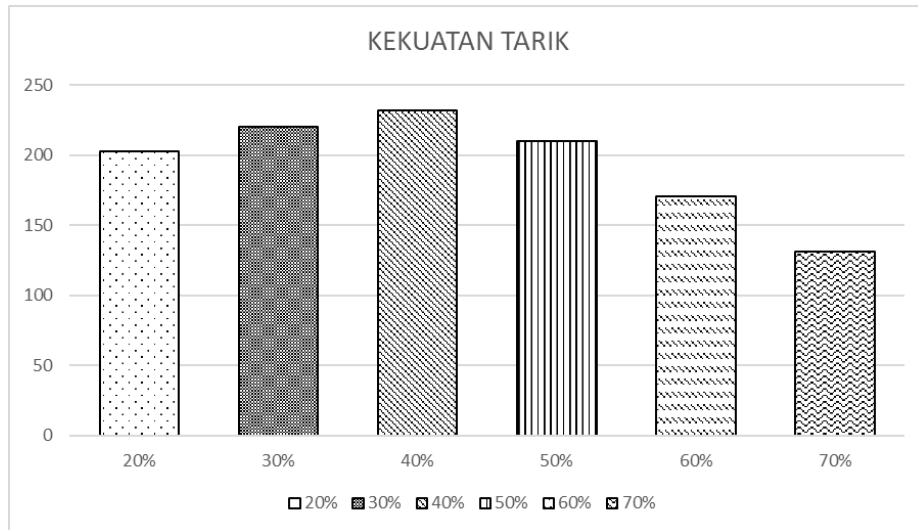
(a)



(b)

**Gambar 4.1** Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy Fraksi Volume 20% (a) *Normal Stress (X Axis)*, (b) *Normal Strain (X Axis)*

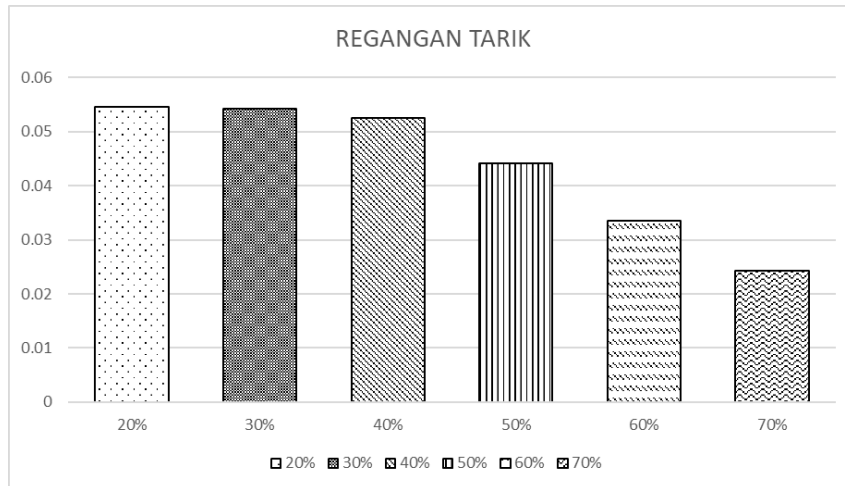
Dapat dilihat pada gambar 4.1, pada gambar tersebut disajikan contoh hasil simulasi yang dilakukan pada material komposit sisal fiber/epoxy dengan komposisi fraksi volume serat sebanyak 20%. Dari hasil tersebut dihasilkan *normal stress* kearah sumbu X dan *normal strain* kearah sumbu X. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat nilai *normal stress* kearah sumbu X sebesar 201.69 MPa. Sedangkan untuk *normal strain* kearah sumbu X, material tersebut mendapat nilai *normal strain* kearah sumbu X sebesar 0.054619 mm/mm. kedua material tersebut diberikan pembebanan hingga material tersebut mengalami kegagalan. Selanjutnya data-data tersebut akan di *plotting* kedalam grafik batang sebagai berikut.



**Gambar 4.2** Grafik perbandingan Fraksi Volume Serat terhadap Kekuatan Tarik Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy

Dari Gambar 4.2 didapat nilai tegangan normal yang selanjutnya akan dijadikan sebagai acuan dalam penentuan kekuatan tarik terhadap fraksi volume serat sisal. Dari data tersebut didapat nilai kekuatan tarik yang di alami material komposit sisal fiber/epoxy dengan fraksi volume 20% didapat nilai sebesar 202.6937 MPa. Lalu untuk fraksi volume 30% memiliki nilai kekuatan tarik yang lebih tinggi, dimana nilai kekuatan tarik yang dimiliki material komposit dengan fraksi volume serat 30% sebesar 219.9098 MPa. Selanjutnya pada fraksi volume 40% kekuatan tarik material komposit mengalami kenaikan, dengan nilai kekuatan tarik yang didapat dari simulasi sebesar 231.5446 MPa, lalu untuk fraksi volume serat 50% kekuatan tarik mengalami penurunan, dengan didapat nilai kekuatan tarik sebesar 209.6812 MPa, selanjutnya untuk fraksi volume serat sisal 60% didapat nilai kekuatan tarik sebesar 170.5997 MPa, dan yang terakhir adalah fraksi volume serat sisal 70% didapat nilai kekuatan tarik terkecil jika dibandingkan dengan nilai kekuatan tarik sebelumnya, dimana nilai kekuatan tarik tersebut sebesar 131.3334 MPa.

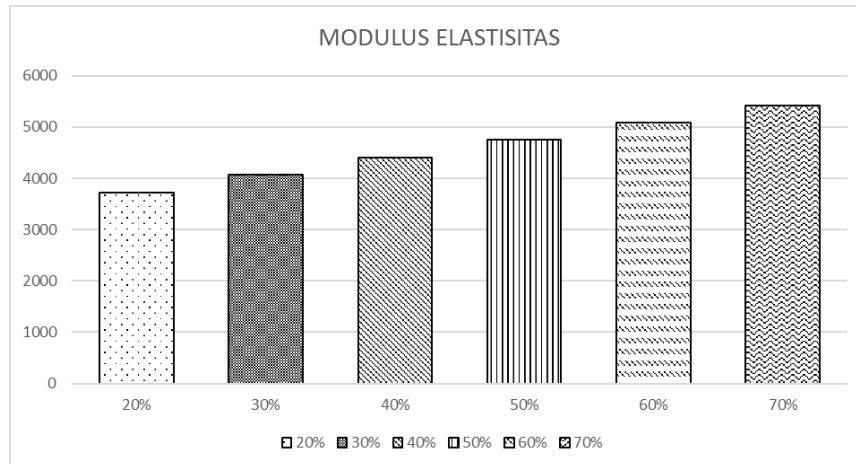
Berdasarkan grafik diatas juga dapat dilihat bahwa tren kekuatan tarik mengalami kenaikan dari fraksi volume serat 20% sampai dengan 40%, lalu dilanjutkan penurunan yang cukup besar sampai dengan komposisi fraksi volume serat 70%. Dari data diatas juga dapat diketahui bahwa komposisi terbaik yang bisa digunakan dalam membuat material komposit Sisal Fiber/Epoxy adalah dengan komposisi 40% serat sisal dan 60% matriks epoksi. Sedangkan untuk komposisi yang memiliki kekuatan tarik paling lemah terdapat pada komposisi fraksi volume serat 70% dan fraksi volume matriks 30%. Dapat disimpulkan bahwa penambahan fraksi volume serat dengan jumlah tertentu dapat menaikkan nilai kekuatan tarik, namun penambahan fraksi volume berlebih akan menurunkan nilai kekuatan tarik. Hal ini terjadi dikarenakan pada dasarnya sifat material serat memiliki kekuatan tarik yang besar, namun jika semakin besar fraksi volume serat maka akan muncul sifat material serat dimana material akan lebih bersifat getas dan mudah mengalami kegagalan.



**Gambar 4.3** Grafik perbandingan Fraksi Volume Serat terhadap Regangan Tarik Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy

Berdasarkan Gambar 4.3 dimana terdapat regangan normal ke arah sumbu x yang akan digunakan sebagai nilai regangan tarik maksimum material komposit sisal fiber/epoxy, terhadap fraksi volume serat sisal. Dari data tersebut didapat nilai regangan tarik yang dialami oleh material komposit sisal fiber/epoxy dengan fraksi volume 20% didapat nilai regangan tarik sebesar 0.054618 mm/mm. Pada fraksi volume serat sisal 30% didapat nilai regangan tarik sebesar 0.054136 mm/mm. Selanjutnya pada kombinasi fraksi volume serat sisal 40%, didapat nilai regangan tarik sebesar 0.052545 mm/mm. Selanjutnya pada fraksi volume serat sisal 50%, didapat nilai regangan tarik sebesar 0.04412 mm/mm, pada fraksi volume serat sisal 60% didapat nilai regangan tarik sebesar 0.033511 mm/mm, dan yang terakhir pada fraksi volume 70% didapat nilai regangan tarik sebesar 0.024217 mm/mm.

Berdasarkan Gambar 4.3 juga, dapat diketahui semakin besar fraksi volume serat maka akan menghasilkan tren regangan tarik yang terus menurun. Dimana pada grafik tersebut material komposit Sisal Fiber/Epoxy yang memiliki regangan tarik terbesar terdapat pada material komposit dengan fraksi volume serat 20%, dan pada penelitian ini juga nilai regangan tarik terkecil terdapat pada material komposit yang memiliki fraksi volume serat 70%. Hal ini dapat terjadi dikarenakan semakin besar fraksi volume serat maka sifat komposit akan menyerupai sifat dari material serat tersebut, dimana material serat memiliki sifat yang getas atau tidak kuat terhadap penambahan Panjang.



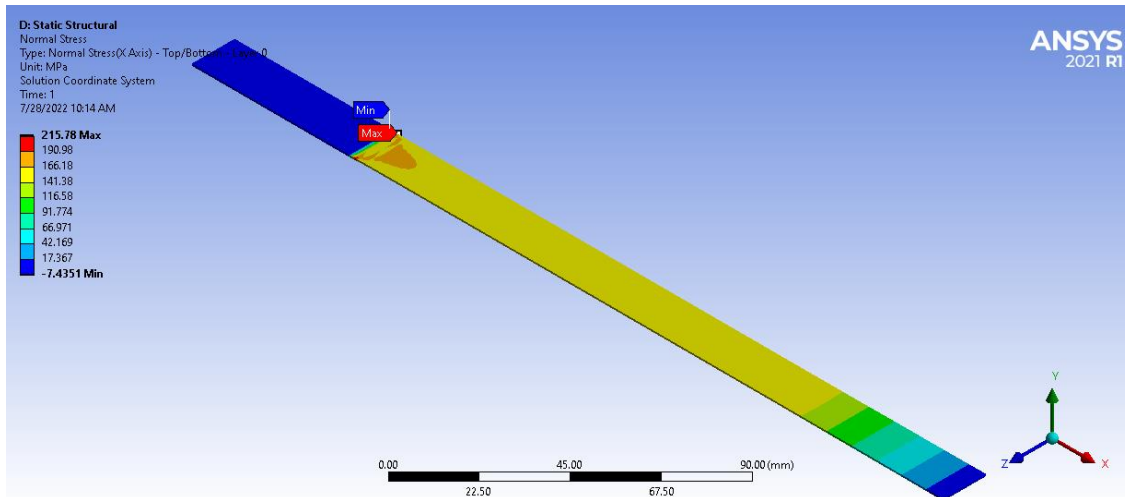
**Gambar 4.4** Grafik perbandingan Fraksi Volume Serat terhadap Modulus Elastisitas Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy

Berdasarkan pada Gambar 4.4, dimana terdapat grafik dari modulus elastisitas terhadap fraksi volume serat sisal. Modulus elastisitas sendiri didapat dari pembagian antara kekuatan tarik dibagi dengan regangan tarik. Dari data tersebut didapat nilai modulus elastisitas dari fraksi volume 20% sebesar 3711.05 MPa. Selanjutnya pada kombinasi fraksi volume serat Sisal 30% didapat nilai modulus elastisitas sebesar 4062.17 MPa, selanjutnya pada fraksi volume serat sisal 40% didapat nilai modulus elastisitas sebesar 4409.40 MPa, lalu untuk kombinasi fraksi volume serat sisal 50% didapat nilai modulus elastisitas sebesar 4752.49 MPa, selanjutnya pada kombinasi fraksi volume serat sisal 60% didapat nilai modulus elastisitas sebesar 5090.73 MPa, dan yang terakhir adalah kombinasi fraksi volume serat sisal 70% dimana didapat nilai modulus elastisitas sebesar 5423.09 MPa.

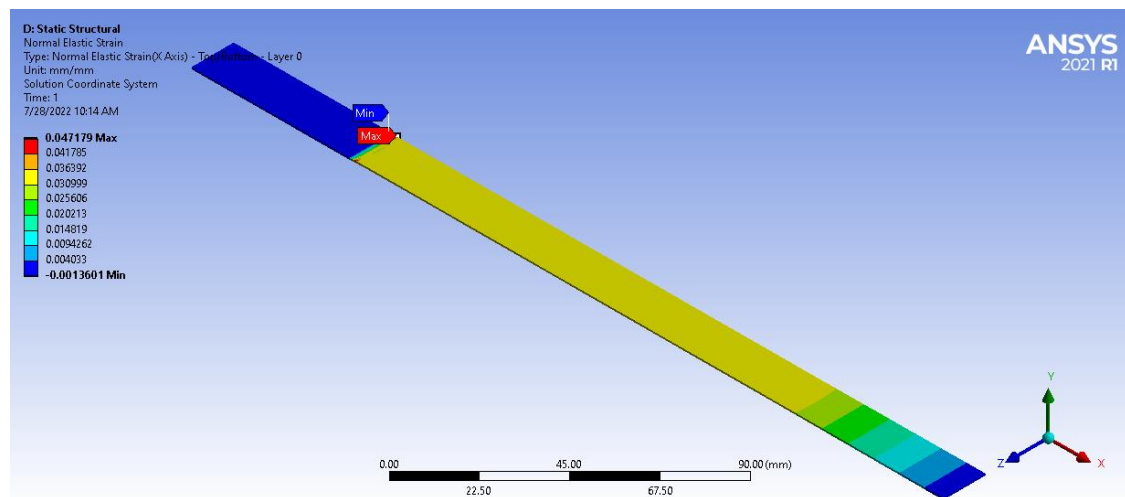
Berdasarkan pada Gambar 4.4 juga dapat disimpulkan bahwa semakin besar komposisi fraksi volume serat akan mengakibatkan tren modulus elastisitas yang naik. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa modulus elastisitas terkecil terdapat pada material komposit yang memiliki komposisi fraksi volume serat sebesar 20%, dan untuk modulus elastisitas terbesar terdapat pada material komposit yang terdiri dari fraksi volume serat sebesar 70%. Dari data ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar fraksi volume serat maka material komposit akan semakin kuat dalam menahan deformasi elastisnya.

#### 4.2.2. Hasil Simulasi dan Pembahasan Jumlah Layer Material Komposit Sisal Fiber Epoxy

Pada bagian ini setelah mengetahui fraksi volume terbaik, maka fraksi volume tersebut akan digunakan untuk dilakukan pengujian tarik dengan variasi jumlah layer. Variasi jumlah layer disini untuk mengetahui kombinasi jumlah layer terbaik yang dapat dikombinasikan pada material komposit sisal fiber/epoxy. Untuk variasi jumlah layer yang digunakan terdapat 10 variasi yaitu 1-10 layer. Untuk hasil simulasi pengujian tarik dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut, dimana terdapat dua hasil yang akan menjadi *output* pada pengujian tarik, dan selanjutnya dapat digunakan dalam menentukan modulus elastisitas dari material komposit tersebut.



(a)

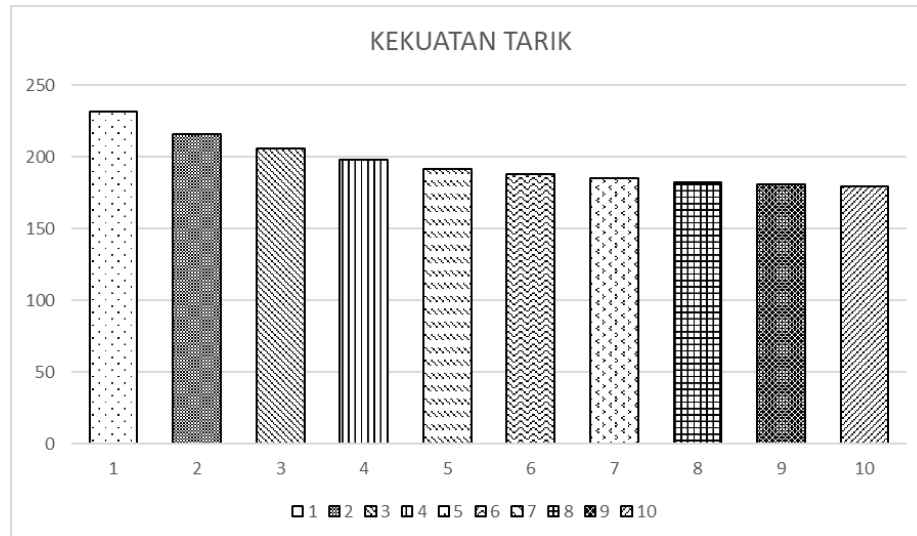


(b)

**Gambar 4.5** Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy Fraksi Volume 40% dengan 2 Layer (a) *Normal Stress (X Axis)*, (b) *Normal Strain (X Axis)*

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat hasil simulasi pengujian tarik dari material komposit sisal fiber/epoxy dengan kombinasi fraksi volume 30% dan jumlah layer 2. Dari data tersebut didapat nilai *normal stress* kearah sumbu x dengan nilai 215.78 MPa, dan didapat juga nilai dari *normal strain* kearah sumbu normal sebesar 0.047179 mm/mm. Material sendiri pada proses simulasinya dilakukan pemberian pembebanan hingga material mengalami kegagalan, dimana material dinyatakan gagal jika *safety factor* material bernilai dibawah satu. Lalu data selanjutnya akan dilakukan *plotting* di dalam sebuah grafik batang, berikut grafik yang dihasilkan.

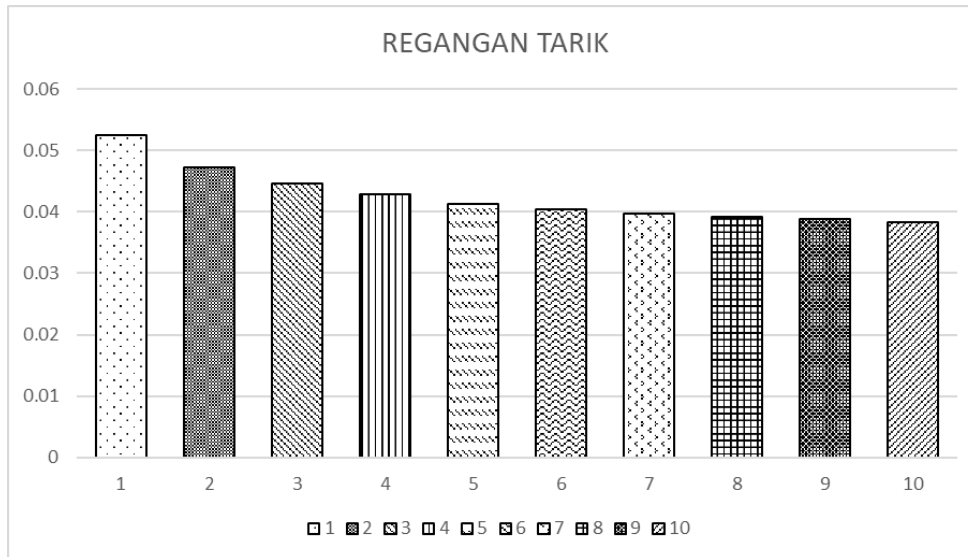




**Gambar 4.6** Grafik perbandingan Jumlah Layer Serat terhadap Kekuatan Tarik Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy

Berdasarkan pada Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa pengaruh jumlah layer terhadap kekuatan tarik memiliki tren yang menurun. Dimana untuk dari gambar tersebut dapat diketahui nilai kekuatan tarik yang dimiliki oleh material komposit Sisal fiber/epoxy dengan variasi jumlah layer, dari data tersebut nilai kekuatan tarik yang dimiliki jika material komposit hanya terdiri dari satu layer didapat nilai sebesar 231.6956 MPa, selanjutnya untuk material komposit serat sisal/epoxy dengan jumlah layer dua memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 215.7846 MPa, lalu untuk material komposit sisal fiber/epoxy yang terdiri dari tiga layer memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 205.6537 MPa, selanjutnya pada material komposit sisal fiber/epoxy dengan jumlah layer empat didapat nilai kekuatan tarik sebesar 198.2169 MPa, dan pada material komposit dengan jumlah layer lima, didapat nilai kekuatan tarik hasil simulasi sebesar 191.8107 MPa. Selanjutnya untuk maerial komposit yang terdiri dari enam layer, kekuatan tarik yang didapat sebesar 188.0971 MPa. Lalu untuk material komposit dengan jumlah layer tujuh, memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 184.8548 MPa. Selanjutnya pada material komposit yang memiliki jumlah layer delapan, didapat nilai kekuatan tarik dari hasil simulasi sebesar 182.5357. dan selanjutnya pada material komposit dengan jumlah layer Sembilan, didapat kekuatan tarik sebesar 180.7219 MPa. dan untuk yang terakhir yaitu material komposit yang terdiri dari sepuluh layer, menghasilkan kekuatan tarik sebesar 179.1452 MPa.

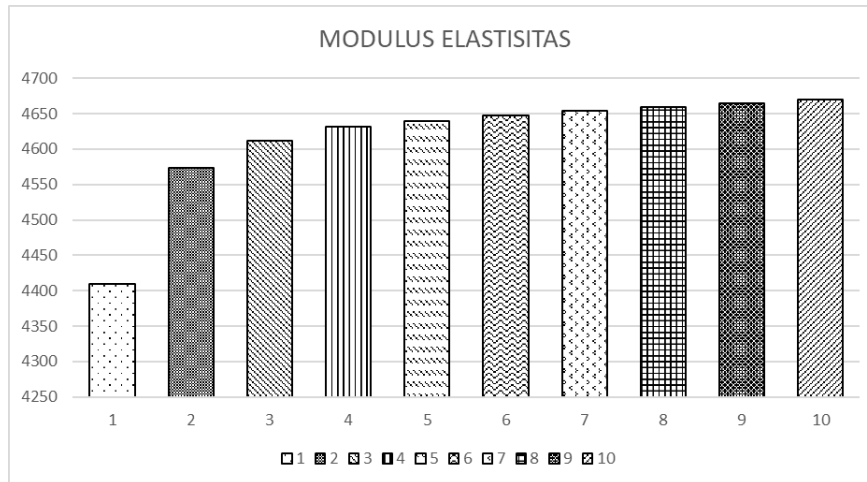
Dari Gambar 4.6 dapat dilihat juga semakin banyak layer penyusun komposit Sisal Fiber/Epoxy akan menghasilkan tren kekuatan tarik yang terus menurun dan dapat diperhatikan juga bahwa penurunan tersebut akan mengalami konvergen, dimana kekuatan tarik terbesar terdapat pada material komposit yang memiliki jumlah layer satu, dan untuk kekuatan tarik terkecil terdapat pada material komposit yang terdiri dari sepuluh layer.



**Gambar 4.7** Grafik perbandingan Jumlah Layer Serat terhadap Regangan Tarik Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy

Berdasarkan pada Gambar 4.7 ditampilkan persebaran nilai regangan tarik dari material komposit sisal fiber/epoxy terhadap jumlah layer material komposit. Dari data tersebut, dapat diketahui bahwa tren jumlah layer serat terhadap regangan tarik memiliki tren yang menurun. Dari data tersebut dapat diketahui nilai regangan tarik yang dialami oleh material komposit saat material tersebut mengalami kegagalan tarik, pada jumlah layer satu nilai regangan tarik material komposit sisal fiber/epoxy mendapat nilai sebesar 0.052545 mm/mm. Lalu dilanjutkan pada material komposit yang terdiri dari dua layer memiliki nilai regangan tarik sebesar 0.047178 mm/mm. Lalu untuk material komposit sisal fiber/epoxy yang terdiri dari tiga layer, didapat nilai regangan tarik dengan simulasi sebesar 0.044589 mm/mm, selanjutnya pada komposisi jumlah layer empat, material komposit sisal fiber/epoxy memiliki nilai regangan tarik sebesar 0.042801 mm/mm, dan untuk yang terakhir pada material komposit palem fiber/epoxy yang terdiri dari lima layer, didapat nilai regangan tarik sebesar 0.041339 mm/mm. Selanjutnya untuk maerial komposit yang terdiri dari enam layer, regangan tarik yang didapat sebesar 0.040475 mm/mm. Lalu untuk material komposit dengan jumlah layer tujuh, memiliki nilai regangan tarik sebesar 0.039724 mm/mm. Selanjutnya pada material komposit yang memiliki jumlah layer delapan, didapat nilai regangan tarik dari hasil simulasi sebesar 0.039176 mm/mm. dan selanjutnya pada material komposit dengan jumlah layer Sembilan, didapat regangan tarik sebesar 0.038741 mm/mm. dan untuk yang terakhir yaitu material komposit yang terdiri dari sepuluh layer, menghasilkan nilai regangan tarik sebesar 0.038363 mm/mm

Dapat diamati juga pada Gambar 4.7, dimana semakin besar jumlah layer penyusun material komposit Sisal Fiber/Epoxy akan menghasilkan regangan tarik yang semakin kecil dan akan mengalami konvergen. Dimana nilai regangan tarik terbesar terdapat material komposit Sisal Fiber/Epoxy dengan jumlah layer satu, dan nilai regangan tarik terkecil pada penelitian ini terdapat pada materia komposit dengan jumlah layer sepuluh. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya jumlah layer penyusun komposit tersebut, maka materia komposit tersbut akan semakin bersifat getas dan tidak kuat dalam menahan deformasi yang berlebihan.



**Gambar 4.8** Grafik perbandingan Jumlah Layer Serat terhadap Modulus Elastisitas Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy

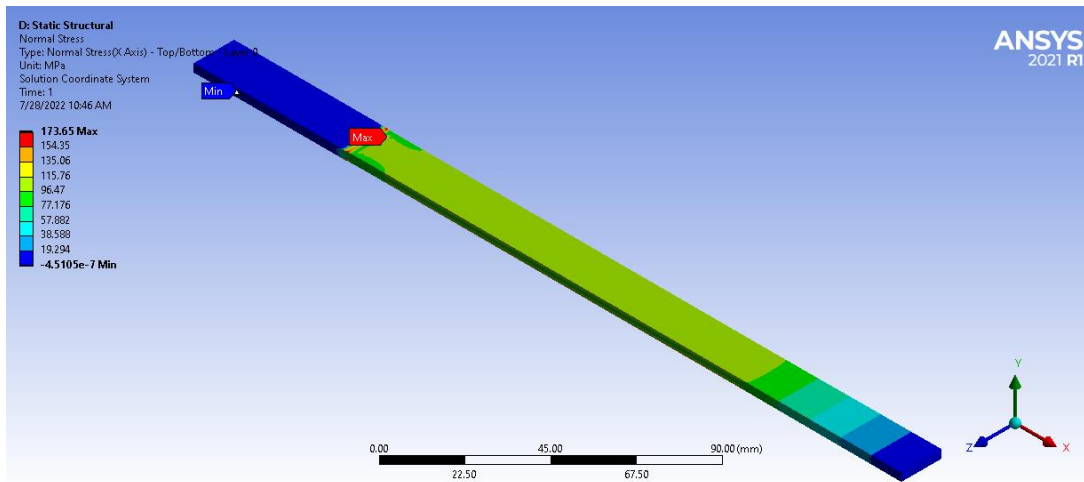
Berdasarkan nilai kekuatan tarik dan regangan tarik yang dimiliki material komposit sisal fiber/epoxy, dapat dihitung modulus elastisitas dari material komposit tersebut. Berdasarkan Gambar 4.8, jumlah layer pada komposit memiliki pengaruh terhadap modulus elastisitas material komposit. Dari grafik batang tersebut, nilai modulus elastisitas pada material komposit yang terdiri hanya satu layer sebesar 4409.40 MPa. Sedangkan untuk material komposit sisal fiber/epoxy yang terdiri dari dua layer memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 4573.78 MPa, selanjutnya pada material komposit yang terdiri dari tiga layer didapat nilai modulus elastisitas sebesar 4612.17 MPa. Selanjutnya pada material komposit sisal fiber/epoxy yang terdiri dari empat layer, didapat nilai modulus elastisitas sebesar 4631.03 MPa. Dan yang terakhir adalah material komposit yang memiliki jumlah layer sebanyak lima, didapat nilai modulus elastisitas sebesar 4639.84 MPa. Selanjutnya untuk material komposit yang terdiri dari enam layer, modulus elastisitas yang didapat sebesar 4647.12 MPa. Lalu untuk material komposit dengan jumlah layer tujuh, memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 4653.43 MPa. Selanjutnya pada material komposit yang memiliki jumlah layer delapan, didapat nilai modulus elastisitas dari hasil perhitungan sebesar 4659.33 MPa. dan selanjutnya pada material komposit dengan jumlah layer Sembilan, didapat modulus elastisitas sebesar 4664.75 MPa. dan untuk yang terakhir yaitu material komposit yang terdiri dari sepuluh layer, menghasilkan nilai modulus elastisitas sebesar 4669.69 MPa.

Berdasarkan Gambar 4.8, dapat diamati bahwa semakin bertambahnya jumlah layer penyusun material komposit, maka akan menghasilkan tren nilai modulus elastisitas yang akan semakin besar. Dimana nilai modulus elastisitas terbesar pada penelitian ini terdapat pada jumlah layer satu, dan nilai modulus elastisitas terkecil terdapat pada material komposit yang terdiri dari sepuluh layer. Berdasarkan data tersebut dapat diartikan bahwa semakin banyak jumlah layer yang menyusun suatu komposit maka material komposit tersebut akan semakin kuat dalam menahan deformasi elastis.

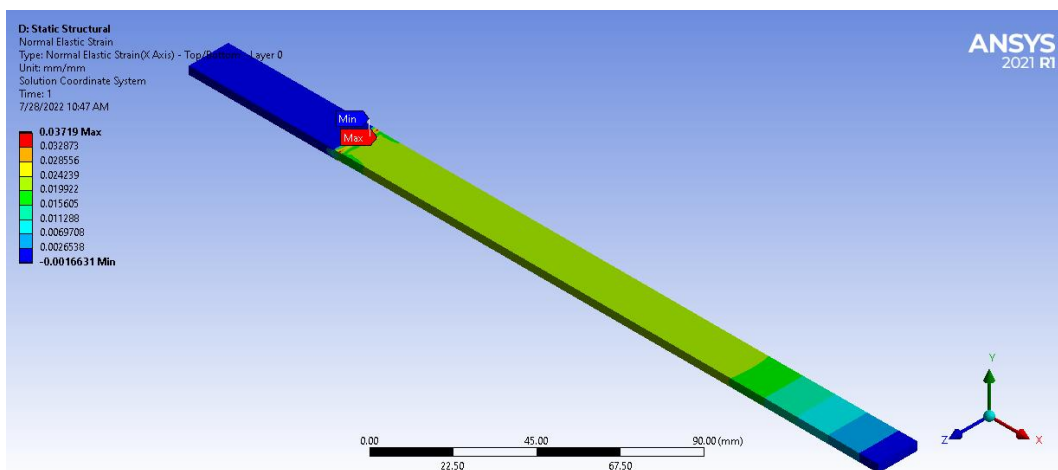
#### 4.2.3. Hasil Simulasi dan Pembahasan Arah Sudut Serat Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy

Selanjutnya setelah mengetahui kombinasi dari fraksi volume serat dan jumlah layer komposit sisal fiber/epoxy yang memiliki kekuatan tarik terbaik, maka kedua kombinasi tersebut akan digunakan untuk mencari kombinasi dari arah sudut serat terbaik. Pada percobaan

kali ini kombinasi fraksi volume terbaik adalah 40% dan material komposit terdiri dari sepuluh layer komposit. Untuk variasi arah serat yang akan digunakan sendiri, terdapat sebelas variasi seperti yang sudah dijelaskan di Bab 3.2.3. *Output* dari simulasi adalah kekuatan tarik dan regangan tarik seperti pada gambar 4.9 berikut.



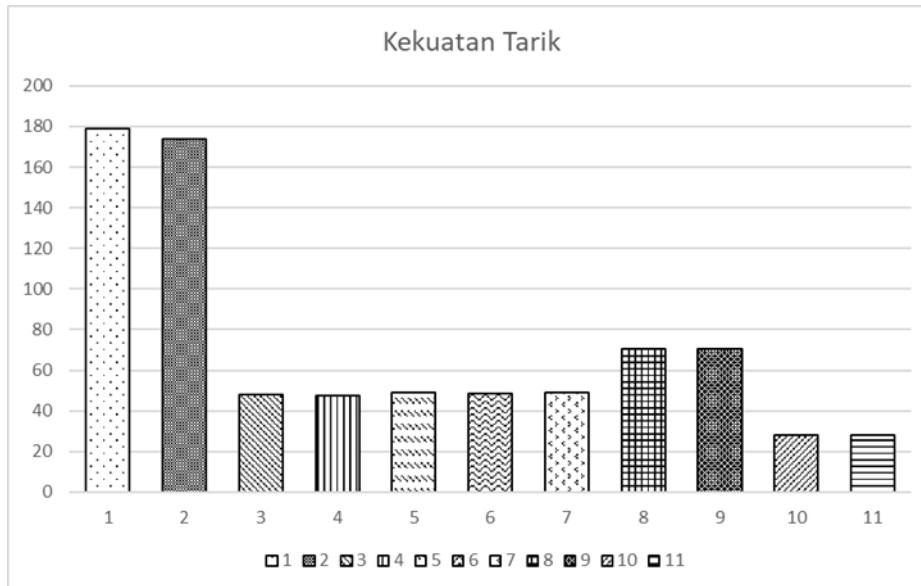
(a)



(b)

**Gambar 4.9** Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy Fraksi Volume 40% dengan 10 Layer dan Arah Sudut Serat Variasi 2 (a) *Normal Stress (X Axis)*, (b) *Normal Strain (X Axis)*

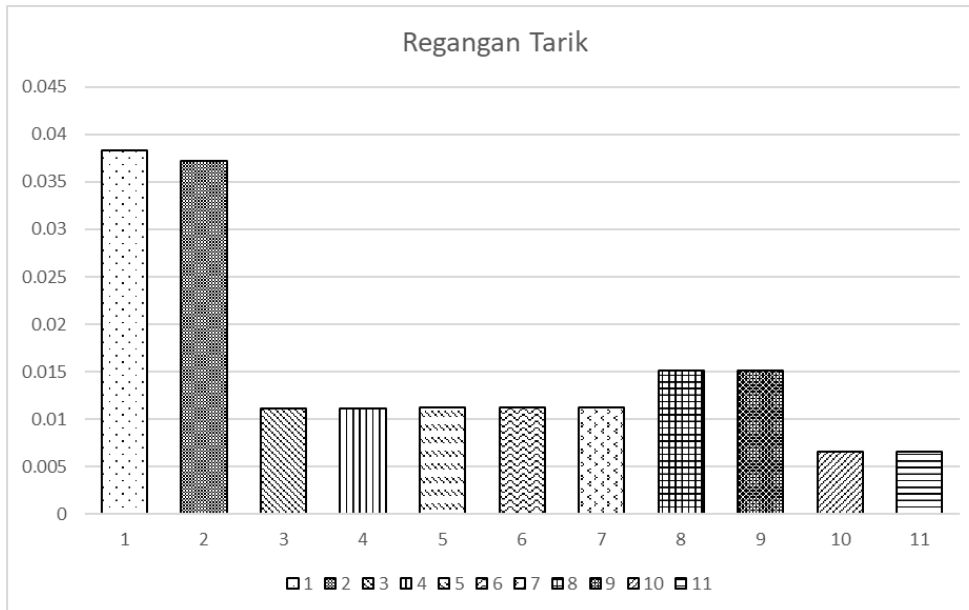
Dari Gambar 4.9 menunjukkan hasil simulasi pengujian tarik material komposit Sisal Fiber/Epoxy dengan kombinasi fraksi volume 40%, terdiri dari sepuluh layer, dan dengan konfigurasi arah serat  $[(0^\circ)_4/(45^\circ)_2/(0^\circ)_4]$ , didapat nilai *normal stress* kearah sumbu x sebesar 173.65 MPa, dan *normal strain* kearah sumbu X sebesar 0.03719 mm/mm. Material tersebut disimulasikan hingga material mengalami kegagalan, dimana ditandai dengan nilai *safety factor* dibawah satu. Pada bagian ini, simulasi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kombinasi arah sudut serat terbaik yang dapat terbentuk pada material komposit serat palem fiber/epoxy.



**Gambar 4.10** Grafik perbandingan Arah Sudut Serat terhadap Kekuatan Tarik Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy

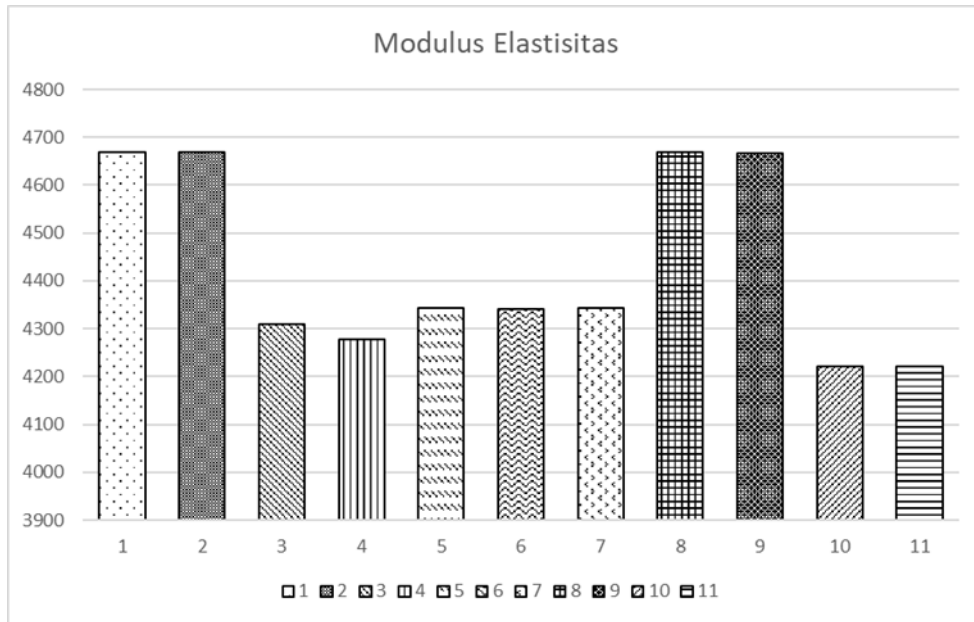
Berdasarkan Gambar 4.10 dapat terlihat persebaran kekuatan tarik dari material komposit Sisal fiber/epoxy yang telah diberikan pembebanan tarik sampai material komposit tersebut mengalami kegagalan. Berdasarkan hasil simulasi yang sudah dilakukan didapat nilai kekuatan tarik pada kombinasi fraksi volume 40% dengan terdiri dari sepuluh layer serat, pada arah sudut serat dengan susunan 1 didapat nilai kekuatan tarik sebesar 179.145 MPa. Sedangkan pada variasi 2 didapat nilai yang menurun dengan nilai kekuatan tarik yang didapat sebesar 173.646 MPa. Lalu untuk variasi susunan arah sudut 3 didapat nilai kekuatan tarik yang jauh lebih rendah, dimana didapat nilai kekuatan tarik sebesar 48.042 MPa. lalu untuk variasi arah serat ke 4 didapat nilai kekuatan tarik sebesar 47.579 MPa. Selanjutnya pada variasi arah sudut serat ke 5 didapat nilai kekuatan tarik sebesar 49.025 MPa. Selanjutnya pada variasi susunan arah sudut serat ke 6 didapat nilai kekuatan tarik sebesar 48.724 MPa. lalu dilanjutkan dengan susunan arah sudut sera ke7 didapat nilai kekuatan tarik sebesar 48.993 MPa. lalu pada variasi arah sudut serat ke 8, didapat nilai kekuatan tarik sebesar 70.473 MPa. lalu dilanjutkan kembali pada variasi susunan arah sudut serat ke 9 didapat nilai kekuatan tarik sebesar 70.635 MPa. Selanjutnya pada variasi susunan arah sudut ke 10 didapat nilai kekuatan tarik sebesar 27.932 MPa. Lalu pada variasi terakhir yaitu variasi arah sudut serat ke 11, didapat nilai kekuatan tarik sebesar 27.868 MPa.

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa material dengan konfigurasi arah serat 1 yaitu dengan konfigurasi  $[(0^\circ)_{10}]$  memiliki kekuatan tarik terbesar, hal ini dapat terjadi dikarenakan pembebanan yang diberikan searah dengan arah penyusunan serat sehingga pembebanan dapat distribusikan oleh matriks ke serat penguatnya dengan baik. Untuk kekuatan tarik terlemah terdapat pada material komposit dengan susunan arah sudut serat ke 11, dimana pada arah sudut serat tersebut serat disusun dengan konfigurasi  $[(90^\circ)_{10}]$ , dimana pada variasi tersebut material matriks tidak dapat mendistribusikan pembebanan dikarenakan pembebanan tegak lurus dengan arah sudut serat penguatnya.



**Gambar 4.11** Grafik perbandingan Arah Sudut Serat terhadap Regangan Tarik Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy

Berdasarkan Gambar 1.2 dapat terlihat persebaran Regangan Tarik dari material komposit Sisal fiber/epoxy yang telah diberikan pembebanan tarik sampai material komposit tersebut mengalami kegagalan. Berdasarkan hasil simulasi yang sudah dilakukan didapat nilai Regangan tarik pada kombinasi fraksi volume 40% dengan terdiri dari sepuluh layer serat, pada arah sudut serat dengan susunan 1 didapat nilai regangan tarik sebesar 0.0383 mm/mm. Sedangkan pada variasi 2 didapat nilai yang menurun dengan nilai regangan tarik yang didapat sebesar 0.0371 mm/mm. Lalu untuk variasi susunan arah sudut 3 didapat nilai regangan tarik yang jauh lebih rendah, dimana didapat nilai regangan tarik sebesar 0.01114 mm/mm. lalu untuk variasi arah serat ke 4 didapat nilai regangan tarik sebesar 0.01112 mm/mm. Selanjutnya pada variasi arah sudut serat ke 5 didapat nilai regangan tarik sebesar 0.01128 mm/mm. Selanjutnya pada variasi susunan arah sudut serat ke 6 didapat nilai regangan tarik sebesar 0.01122 mm/mm. lalu dilanjutkan dengan susunan arah sudut sera ke 7 didapat nilai regangan tarik sebesar 0.01128 mm/mm. lalu pada variasi arah sudut serat ke 8, didapat nilai regangan tarik sebesar 0.01509 mm/mm. lalu dilanjutkan kembali pada variasi susunan arah sudut serat ke 9 didapat nilai regangan tarik sebesar 0.01513 mm/mm. Selanjutnya pada variasi susunan arah sudut ke 10 didapat nilai regangan tarik sebesar 0.00661 mm/mm. Lalu pada variasi terakhir yaitu variasi arah sudut serat ke 11, didapat nilai regangan tarik sebesar 0.0066 mm/mm.



**Gambar 4.12** Grafik perbandingan Arah Sudut Serat terhadap Modulus Elastisitas Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy

Dapat dilihat pada Gambar 1.3 dimana pada gambar tersebut menunjukkan pengaruh arah sudut serat terhadap modulus elastisitas dari material komposit Sisal fiber/epoxy. Berdasarkan hasil simulasi yang sudah dilakukan didapat nilai modulus elastisitas, pada arah sudut serat dengan susunan 1 didapat nilai modulus elastisitas sebesar 4669.69 MPa. Sedangkan pada variasi 2 didapat nilai yang menurun dengan nilai modulus elastisitas yang didapat sebesar 4669.20 MPa. Lalu untuk variasi susunan arah sudut 3 didapat nilai modulus elastisitas yang jauh lebih rendah, dimana didapat nilai modulus elastisitas sebesar 4309 MPa. lalu untuk variasi arah serat ke 4 didapat nilai modulus elastisitas sebesar 4277.56 MPa. Selanjutnya pada variasi arah sudut serat ke 5 didapat nilai modulus elastisitas sebesar 4342.92 MPa. Selanjutnya pada variasi susunan arah sudut serat ke 6 didapat nilai modulus elastisitas sebesar 4341.94 MPa. lalu dilanjutkan dengan susunan arah sudut sera ke 7 didapat nilai modulus elastisitas sebesar 4342.24 MPa. lalu pada variasi arah sudut serat ke 8, didapat nilai modulus elastisitas sebesar 4669.02 MPa. lalu dilanjutkan kembali pada variasi susunan arah sudut serat ke 9 didapat nilai modulus elastisitas sebesar 4667.70 MPa. Selanjutnya pada variasi susunan arah sudut ke 10 didapat nilai modulus elastisitas sebesar 4220.68 MPa. Lalu pada variasi terakhir yaitu variasi arah sudut serat ke 11, didapat nilai modulus elastisitas sebesar 4221.31 MPa.

Dari data modulus elastisitas ini dapat disimpulkan bahwa material dengan modulus elastisitas yang tinggi memiliki sifat yang lebih kuat dalam menahan deformasi. Pada penelitian ini material komposit yang memiliki sifat paling kuat menahan deformasi adalah pada material dengan variasi arah sudut serat 1, yaitu dengan konfigurasi  $[(0^\circ)_{10}]$ . Sedangkan material yang memiliki ketahanan terhadap deformasi paling rendah terdapat pada material komposit dengan variasi arah sudut serat ke 11.

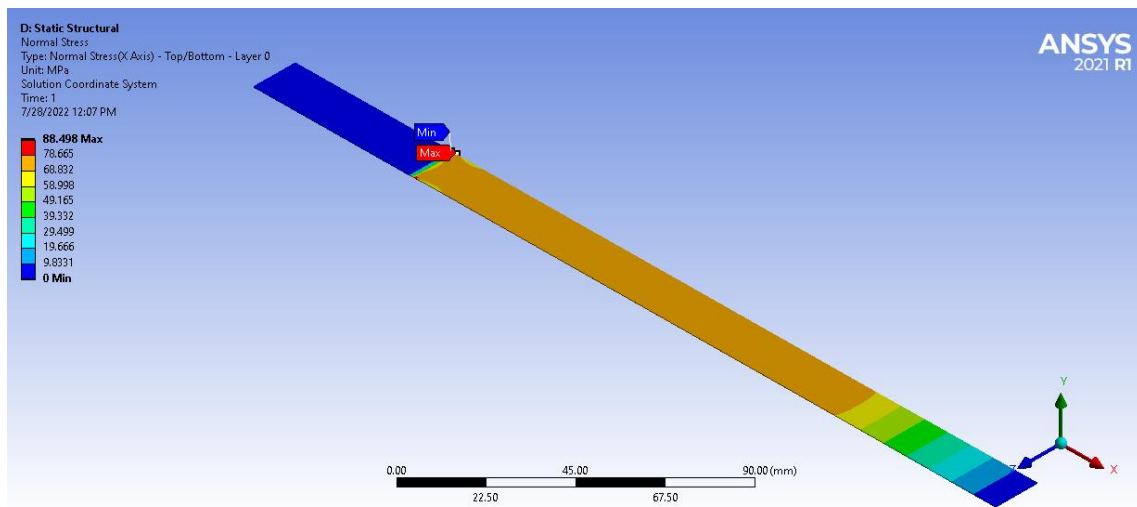
### 4.3. Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh dari setiap variasi dan menemukan kombinasi paling optimum yang bisa digunakan pada material komposit Kenaf fiber/epoxy. Dari setiap variasi akan diperlihatkan hasil berupa *Normal Stress*, *Normals Strain*,

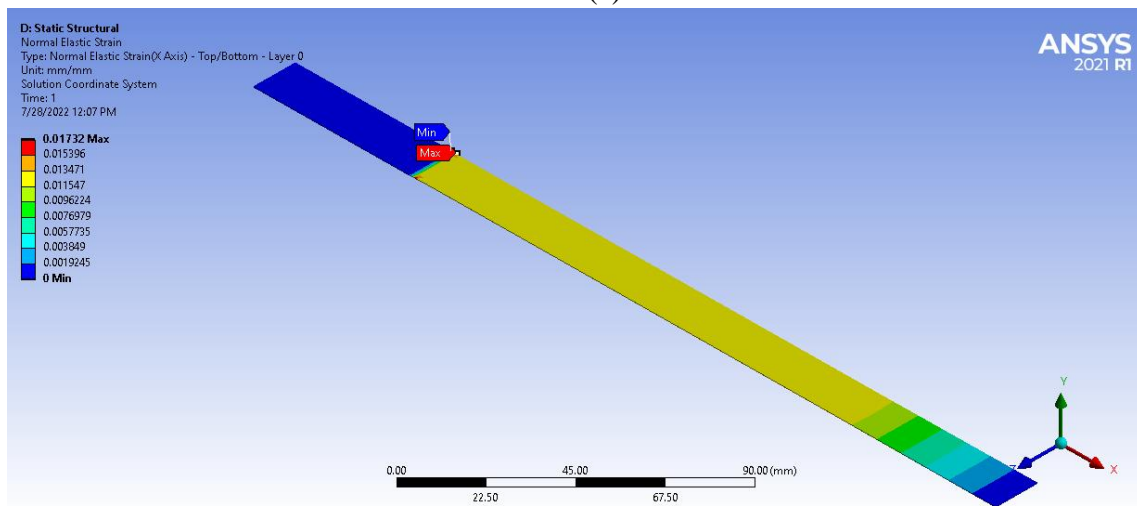
dan modulus elastisitas dari setiap variasi yang dilakukan simulasi. Dari ketiganya akan dilakukan Analisa seperti yang akan jelaskan berikut ini.

### 4.3.1. Hasil Simulasi dan Pembahasan Fraksi Volume material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy

Pada penelitian ini dilakukan variasi fraksi volume dari 20%-70%, guna mengetahui fraksi volume terbaik yang bisa digunakan pada material komposit kenaf fiber/ epoxy. Pemilihan fraksi volume tebaik sendiri dipilih berdasarkan kekuatan tarik terbesar yang dapat ditahan oleh material dengan variasi fraksi volume serat. Berikut dilampirkan hasil simulasi untuk material komposit kenaf fiber/epoxy dengan variasi fraksi volume.



(a)



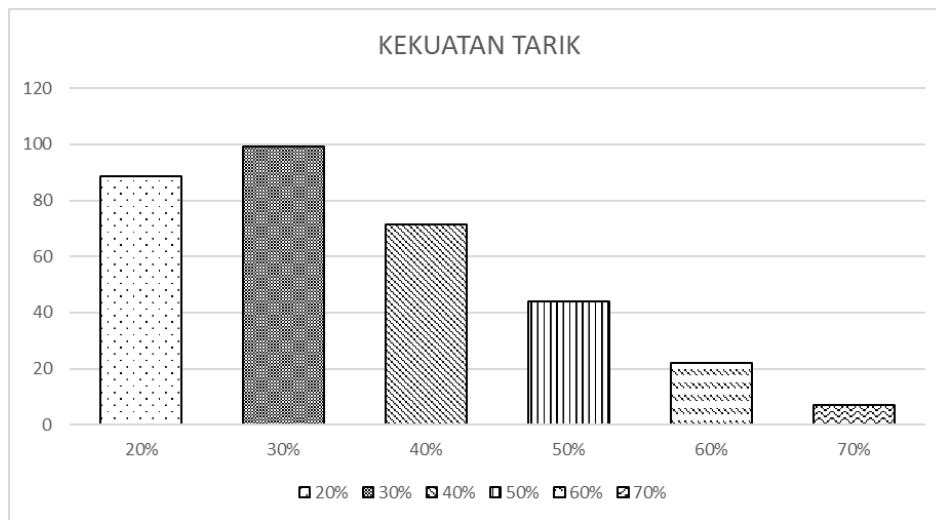
(b)

**Gambar 4.13** Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy Fraksi Volume 20% (a) *Normal Stress (X Axis)*, (b) *Normal Strain (X Axis)*

Dari data simulasi Gambar 4.13 diatas didapat nilai tegangan normal kearah sumbu x sebesar 88.498 MPa, dan regangan normal kearah sumbu x didapat nilai sebesar 0.01732 mm/mm. keduanya diberikan pembebanan kearah longitudinal sampai material mengalami kegagalan dengan bukti nilai *safety factor* dibawah 1. Dapat dilihat juga tegangan dan regangan



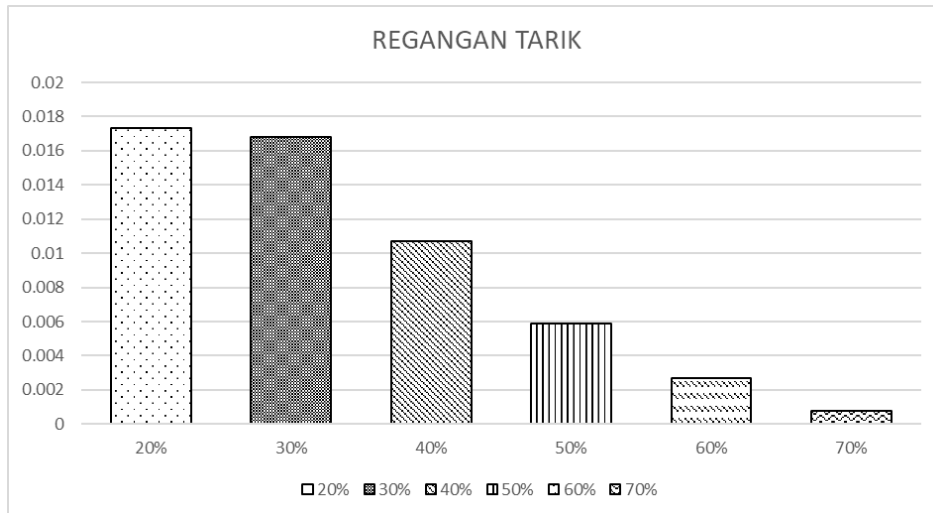
maksimum terjadi di posisi yang sama. Dari percobaan fraksi volume seperti gambar diatas, hasil akan di gambar pada sebuah grafik, maka didapat grafik sebagai berikut.



**Gambar 4.14** Grafik perbandingan Fraksi Volume Serat terhadap Kekuatan Tarik Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy

Dari Gambar 4.15 didapat nilai tegangan normal yang selanjutnya akan dijadikan sebagai acuan dalam penentuan kekuatan tarik terhadap fraksi volume serat kenaf. Dari data tersebut didapat nilai kekuatan tarik yang di alami material komposit Kenaf Fiber/Epoxy dengan fraksi volume 20% didapat nilai sebesar 88.4976 MPa. Lalu untuk fraksi volume 30% memiliki nilai kekuatan tarik yang lebih tinggi, dimana nilai kekuatan tarik yang dimiliki material komposit dengan fraksi volume serat 30% sebesar 99.0888 MPa. Selanjutnya pada fraksi volume 40% kekuatan tarik material komposit mengalami penurunan, dengan nilai kekuatan tarik yang didapat dari simulasi sebesar 71.3567 MPa, lalu untuk fraksi volume serat 50% kekuatan tarik mengalami penurunan kembali, dengan didapat nilai kekuatan tarik sebesar 43.8495 MPa, selanjutnya untuk fraksi volume serat sisal 60% didapat nilai kekuatan tarik sebesar 21.9216 MPa, dan yang terakhir adalah fraksi volume serat kenaf 70% didapat nilai kekuatan tarik terkecil jika dibandingkan dengan nilai kekuatan tarik sebelumnya, dimana nilai kekuatan tarik tersebut sebesar 7.1324 MPa.

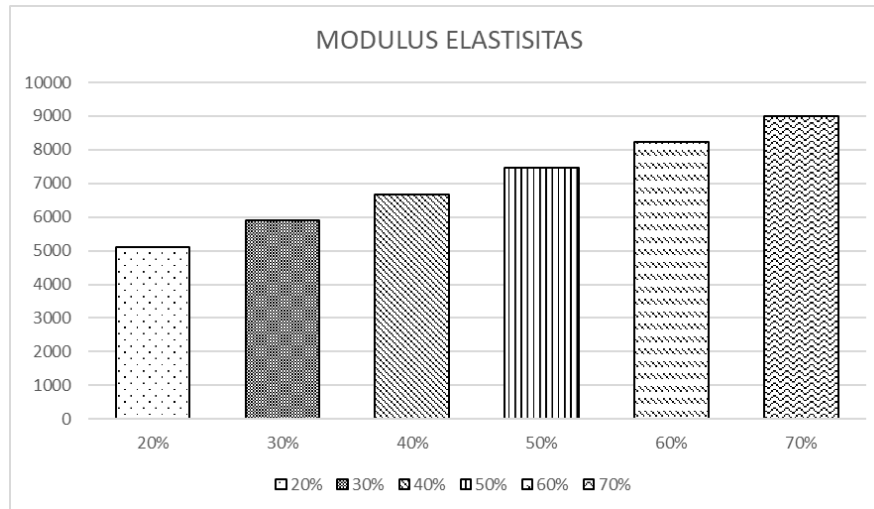
Berdasarkan grafik diatas juga dapat dilihat bahwa tren kekuatan tarik mengalami kenaikan dari fraksi volume serat 20% sampai dengan 30%, lalu dilanjutkan penurunan yang cukup besar sampai dengan komposisi fraksi volume serat 70%. Dari data diatas juga dapat diketahui bahwa komposisi terbaik yang bisa digunakan dalam membuat material komposit Kenaf Fiber/Epoxy adalah dengan komposisi 30% serat sisal dan 70% matriks epoksi. Sedangkan untuk komposisi yang memiliki kekuatan tarik paling lemah terdapat pada komposisi fraksi volume serat 70% dan fraksi volume matriks 30%. Dapat disimpulkan bahwa penambahan fraksi volume serat dengan jumlah tertentu dapat menaikkan nilai kekuatan tarik, namun penambahan fraksi volume berlebih akan menurunkan nilai kekuatan tarik. Hal ini terjadi dikarenakan pada dasarnya sifat material serat memiliki kekuatan tarik yang besar, namun jika semakin besar fraksi volume serat maka akan muncul sifat material serat dimana material akan lebih bersifat getas dan mudah mengalami kegagalan.



**Gambar 4.15** Grafik perbandingan Fraksi Volume Serat terhadap Regangan Tarik Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy

Berdasarkan Gambar 4.15 dimana terdapat regangan normal kearah sumbu x yang akan digunakan sebagai nilai regangan tarik maksimum material komposit Kenaf Fiber/Epoxy, terhadap fraksi volume serat Kenaf. Dari data tersebut didapat nilai regangan tarik yang dialami oleh material komposit Kenaf Fiber/Epoxy dengan fraksi volume 20% didapat nilai regangan tarik sebesar 0.017320 mm/mm. Pada fraksi volume serat kenaf 30% didapat nilai regangan tarik sebesar 0.016814 mm/mm. Selanjutnya pada kombinasi fraksi volume serat kenaf 40%, didapat nilai regangan tarik sebesar 0.010690 mm/mm. Selanjutnya pada fraksi volume serat kenaf 50%, didapat nilai regangan tarik sebesar 0.005881 mm/mm, pada fraksi volume serat kenaf 60% didapat nilai regangan tarik sebesar 0.002662 mm/mm, dan yang terakhir pada fraksi volume 70% didapat nilai regangan tarik sebesar 0.000791 mm/mm.

Berdasarkan Gambar 4.15 juga, dapat diketahui semakin besar fraksi volume serat maka akan menghasilkan tren regangan tarik yang terus menurun. Dimana pada grafik tersebut material komposit Kenaf Fiber/Epoxy yang memiliki regangan tarik terbesar terdapat pada material komposit dengan fraksi volume serat 20%, dan pada penelitian ini juga nilai regangan tarik terkecil terdapat pada material komposit yang memiliki fraksi volume serat 70%. Hal ini dapat terjadi dikarenakan semakin besar fraksi volume serat maka sifat komposit akan menyerupai sifat dari material serat tersebut, dimana material serat memiliki sifat yang getas atau tidak kuat terhadap penambahan Panjang.



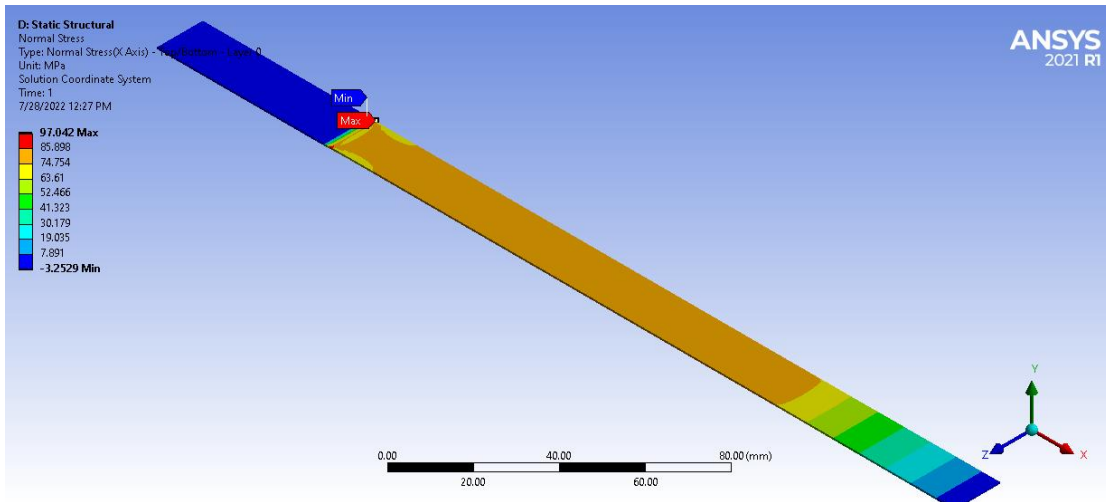
**Gambar 4.16** Grafik perbandingan Fraksi Volume Serat terhadap Modulus Elastisitas Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy

Berdasarkan pada Gambar 4.16, dimana terdapat grafik dari modulus elastisitas terhadap fraksi volume serat kenaf. Modulus elastisitas sendiri didapat dari pembagian antara kekuatan tarik dibagi dengan regangan tarik. Dari data tersebut didapat nilai modulus elastisitas dari fraksi volume 20% sebesar 5109.45 MPa. Selanjutnya pada kombinasi fraksi volume serat kenaf 30% didapat nilai modulus elastisitas sebesar 5893.18 MPa, selanjutnya pada fraksi volume serat kenaf 40% didapat nilai modulus elastisitas sebesar 6675.08 MPa, lalu untuk kombinasi fraksi volume serat kenaf 50% didapat nilai modulus elastisitas sebesar 7455.10 MPa, selanjutnya pada kombinasi fraksi volume serat kenaf 60% didapat nilai modulus elastisitas sebesar 8232.45 MPa, dan yang terakhir adalah kombinasi fraksi volume serat kenaf 70% dimana didapat nilai modulus elastisitas sebesar 9006.07 MPa.

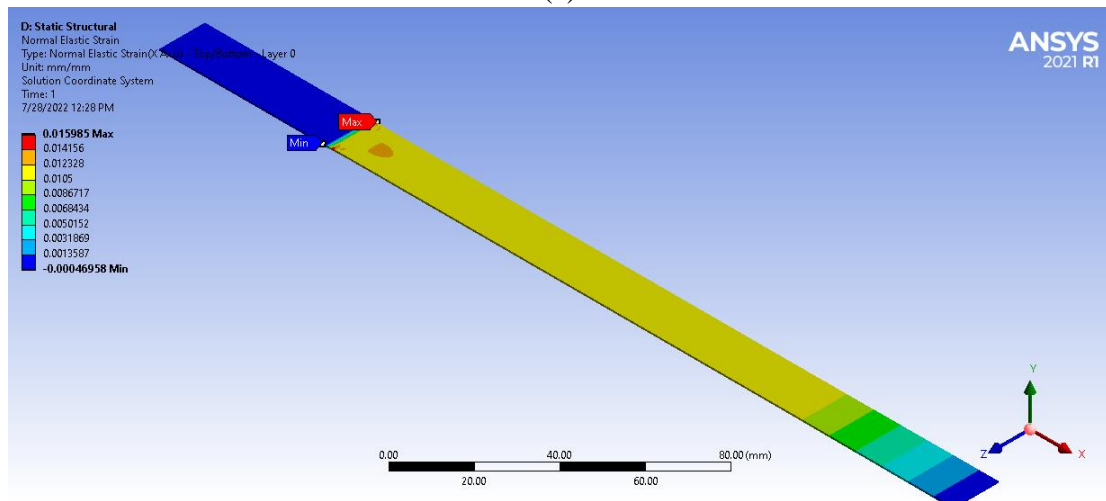
Berdasarkan pada Gambar 4.16 juga dapat disimpulkan bahwa semakin besar komposisi fraksi volume serat akan mengakibatkan tren modulus elastisitas yang naik. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa modulus elastisitas terkecil terdapat pada material komposit yang memiliki komposisi fraksi volume serat sebesar 20%, dan untuk modulus elastisitas terbesar terdapat pada material komposit yang terdiri dari fraksi volume serat sebesar 70%. Dari data ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar fraksi volume serat maka material komposit akan semakin kuat dalam menahan deformasi elastisnya.

### **Hasil Simulasi dan Pembahasan Jumlah Layer Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy**

Pada bagian ini setelah mengetahui fraksi volume terbaik, maka fraksi volume tersebut akan digunakan untuk dilakukan pengujian tarik dengan variasi jumlah layer. Variasi jumlah layer disini untuk mengetahui kombinasi jumlah layer terbaik yang dapat dikombinasikan pada material komposit kenaf fiber/epoxy. Untuk variasi jumlah layer yang digunakan terdapat sepuluh variasi yaitu 1-10 layer. Untuk hasil simulasi pengujian tarik dapat dilihat pada Gambar 4.17 berikut, dimana terdapat dua hasil yang akan menjadi *output* pada pengujian tarik, dan selanjutnya dapat digunakan dalam menentukan modulus elastisitas dari material komposit tersebut.



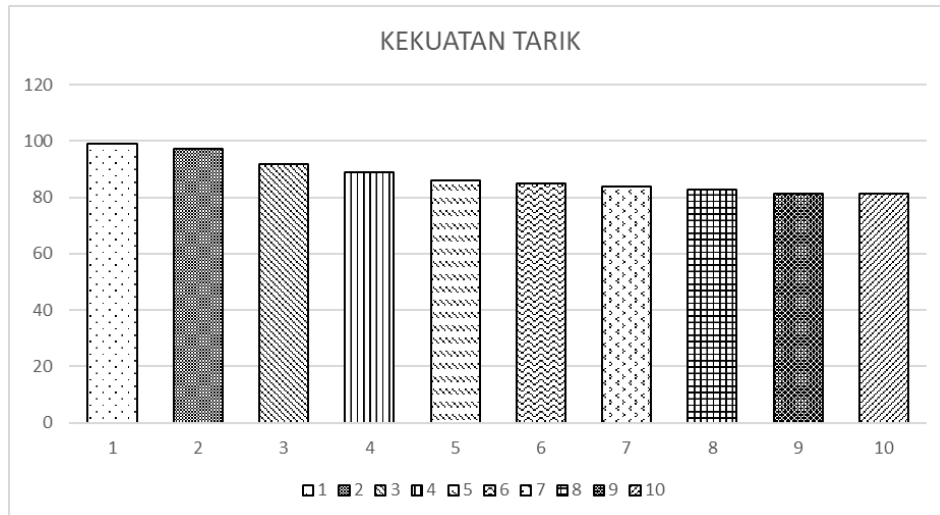
(a)



(b)

**Gambar 4.17** Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy Fraksi Volume 30% dengan 2 Layer (a) *Normal Stress (X Axis)*, (b) *Normal Strain (X Axis)*

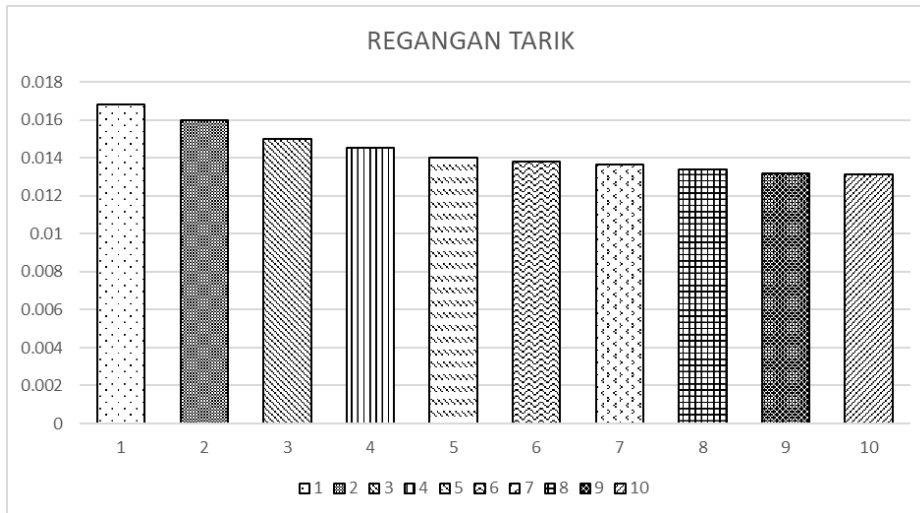
Pada Gambar 4.17 dapat dilihat hasil simulasi pengujian tarik dari material komposit kenaf fiber/epoxy dengan kombinasi fraksi volume 30% dan jumlah layer 2. Dari data tersebut didapat nilai *normal stress* kearah sumbu x dengan nilai 97.042 MPa, dan didapat juga nilai dari *normal strain* kearah sumbu normal sebesar 0.015985 mm/mm. Material sendiri pada proses simulasinya dilakukan pemberian pembebanan hingga material mengalami kegagalan, dimana material dinyatakan gagal jika *safety factor* material bernilai dibawah satu. Lalu data selanjutnya akan dilakukan *plotting* di dalam sebuah grafik batang, berikut grafik yang dihasilkan.



**Gambar 4.18** Grafik perbandingan Jumlah Layer Serat terhadap Kekuatan Tarik Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy

Berdasarkan pada Gambar 4.18 dapat dilihat bahwa pengaruh jumlah layer terhadap kekuatan tarik memiliki tren yang menurun. Dimana untuk dari gambar tersebut dapat diketahui nilai kekuatan tarik yang dimiliki oleh material komposit Kenaf Fiber/Epoxy dengan variasi jumlah layer, dari data tersebut nilai kekuatan tarik yang dimiliki jika material komposit hanya terdiri dari satu layer didapat nilai sebesar 99.0888 MPa, selanjutnya untuk material komposit Kenaf Fiber/Epoxy dengan jumlah layer dua memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 97.0419 MPa, lalu untuk material komposit Kenaf Fiber/Epoxy yang terdiri dari tiga layer memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 91.6879 MPa, selanjutnya pada material komposit kenaf fiber/epoxy dengan jumlah layer empat didapat nilai kekuatan tarik sebesar 89.0149 MPa, dan pada material komposit dengan jumlah layer lima, didapat nilai kekuatan tarik hasil simulasi sebesar 86.1689 MPa. Selanjutnya untuk maerial komposit yang terdiri dari enam layer, kekuatan tarik yang didapat sebesar 85.0658 MPa. Lalu untuk material komposit dengan jumlah layer tujuh, memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 83.9577 MPa. Selanjutnya pada material komposit yang memiliki jumlah layer delapan, didapat nilai kekuatan tarik dari hasil simulasi sebesar 82.7047 MPa. dan selanjutnya pada material komposit dengan jumlah layer Sembilan, didapat kekuatan tarik sebesar 81.2514 MPa. dan untuk yang terakhir yaitu material komposit yang terdiri dari sepuluh layer, menghasilkan kekuatan tarik sebesar 81.1386 MPa.

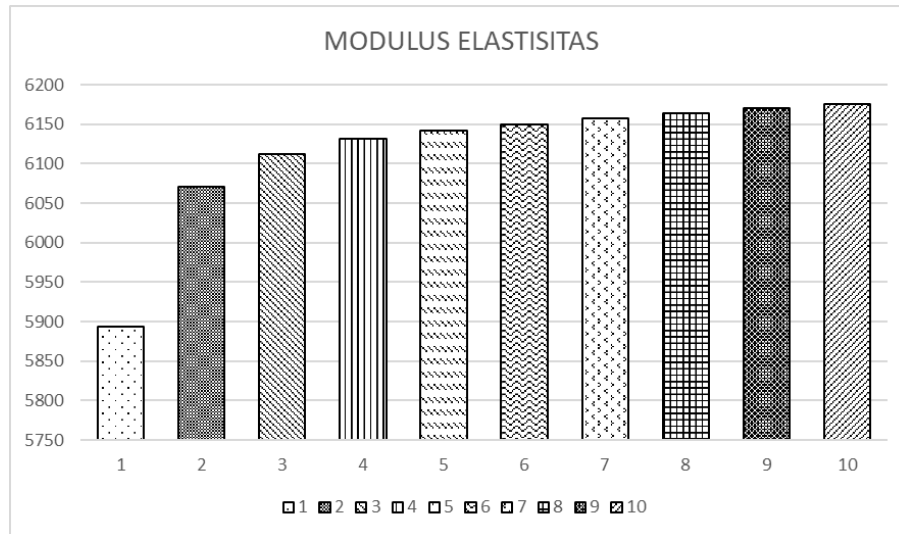
Dari Gambar 4.18 dapat dilihat juga semakin banyak layer penyusun komposit Kenaf Fiber/Epoxy akan menghasilkan tren kekuatan tarik yang terus menurun dan dapat diperhatikan juga bahwa penurunan tersebut akan mengalami konvergen, dimana kekuatan tarik terbesar terdapat pada material komposit yang memiliki jumlah layer satu, dan untuk kekuatan tarik terkecil terdapat pada material komposit yang terdiri dari sepuluh layer.



**Gambar 4.19** Grafik perbandingan Jumlah Layer Serat terhadap Regangan Tarik Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy

Berdasarkan pada Gambar 4.19 ditampilkan persebaran nilai regangan tarik dari material komposit Kenaf Fiber/Epoxy terhadap jumlah layer material komposit. Dari data tersebut, dapat diketahui bahwa tren jumlah layer serat terhadap regangan tarik memiliki tren yang menurun. Dari data tersebut dapat diketahui nilai regangan tarik yang dialami oleh material komposit saat material tersebut mengalami kegagalan tarik, pada jumlah layer satu nilai regangan tarik material komposit Kenaf Fiber/Epoxy mendapat nilai sebesar 0.016814 mm/mm. Lalu dilanjutkan pada material komposit yang terdiri dari dua layer memiliki nilai regangan tarik sebesar 0.015984 mm/mm. Lalu untuk material komposit kenaf fiber/epoxy yang terdiri dari tiga layer, didapat nilai regangan tarik dengan simulasi sebesar 0.015001 mm/mm, selanjutnya pada komposisi jumlah layer empat, material komposit Kenaf Fiber/Epoxy memiliki nilai regangan tarik sebesar 0.014516 mm/mm, dan untuk material komposit Kenaf fiber/epoxy yang terdiri dari lima layer, didapat nilai regangan tarik sebesar 0.014030 mm/mm. Selanjutnya untuk material komposit yang terdiri dari enam layer, regangan tarik yang didapat sebesar 0.013831 mm/mm. Lalu untuk material komposit dengan jumlah layer tujuh, memiliki nilai regangan tarik sebesar 0.013635 mm/mm. Selanjutnya pada material komposit yang memiliki jumlah layer delapan, didapat nilai regangan tarik dari hasil simulasi sebesar 0.013417 mm/mm. dan selanjutnya pada material komposit dengan jumlah layer Sembilan, didapat regangan tarik sebesar 0.013168 mm/mm. dan untuk yang terakhir yaitu material komposit yang terdiri dari sepuluh layer, menghasilkan nilai regangan tarik sebesar 0.013137 mm/mm

Dapat diamati juga pada Gambar 4.19, dimana semakin besar jumlah layer penyusun material komposit Kenaf Fiber/Epoxy akan menghasilkan regangan tarik yang semakin kecil dan akan mengalami konvergen. Dimana nilai regangan tarik terbesar terdapat material komposit Kenaf Fiber/Epoxy dengan jumlah layer satu, dan nilai regangan tarik terkecil pada penelitian ini terdapat pada materia komposit dengan jumlah layer sepuluh. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya jumlah layer penyusun komposit tersebut, maka materia komposit tersbut akan semakin bersifat getas dan tidak kuat dalam menahan deformasi yang berlebih.



**Gambar 4.20** Grafik perbandingan Jumlah Layer Serat terhadap Modulus Elastisitas Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy

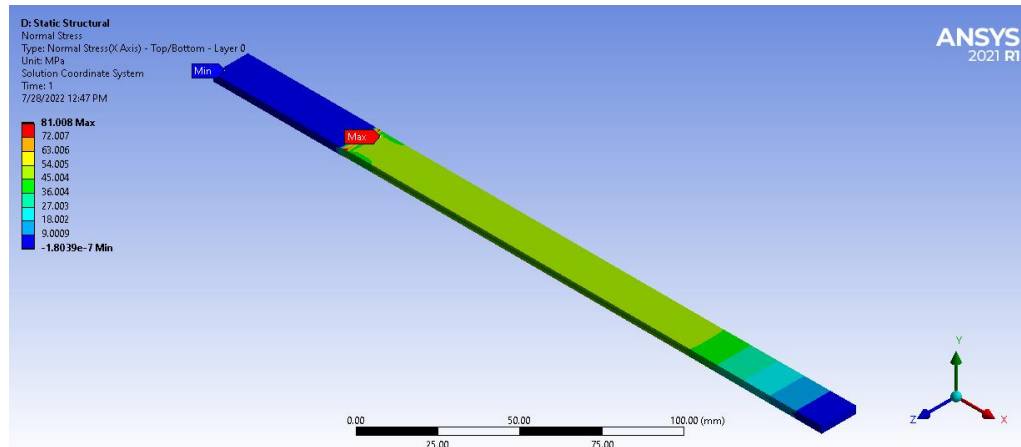
Berdasarkan nilai kekuatan tarik dan regangan tarik yang dimiliki material komposit sisal fiber/epoxy, dapat dihitung modulus elastisitas dari material komposit tersebut. Berdasarkan Gambar 4.20, jumlah layer pada komposit memiliki pengaruh terhadap modulus elastisitas material komposit. Dari grafik batang tersebut, nilai modulus elastisitas pada material komposit yang terdiri hanya satu layer sebesar 5893.18 MPa. Sedangkan untuk material komposit Kenaf Fiber/Epoxy yang terdiri dari dua layer memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 6070.95 MPa, selanjutnya pada material komposit yang terdiri dari tiga layer didapat nilai modulus elastisitas sebesar 6111.98 MPa. Selanjutnya pada material komposit Kenaf Fiber/Epoxy yang terdiri dari empat layer, didapat nilai modulus elastisitas sebesar 6131.85 MPa. Dan yang terakhir adalah material komposit yang memiliki jumlah layer sebanyak lima, didapat nilai modulus elastisitas sebesar 6141.73 MPa. Selanjutnya untuk material komposit yang terdiri dari enam layer, modulus elastisitas yang didapat sebesar 6149.95 MPa. Lalu untuk material komposit dengan jumlah layer tujuh, memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 6157.20 MPa. Selanjutnya pada material komposit yang memiliki jumlah layer delapan, didapat nilai modulus elastisitas dari hasil perhitungan sebesar 6164.00 MPa. dan selanjutnya pada material komposit dengan jumlah layer Sembilan, didapat modulus elastisitas sebesar 6170.27 MPa. dan untuk yang terakhir yaitu material komposit yang terdiri dari sepuluh layer, menghasilkan nilai modulus elastisitas sebesar 6175.99 MPa.

Berdasarkan Gambar 4.20, dapat diamati bahwa semakin bertambahnya jumlah layer penyusun material komposit, maka akan menghasilkan tren nilai modulus elastisitas yang akan semakin besar. Dimana nilai modulus elastisitas terbesar pada penelitian ini terdapat pada jumlah layer satu, dan nilai modulus elastisitas terkecil terdapat pada material komposit yang terdiri dari sepuluh layer. Berdasarkan data tersebut dapat diartikan bahwa semakin banyak jumlah layer yang menyusun suatu komposit maka material komposit tersebut akan semakin kuat dalam menahan deformasi elastis.

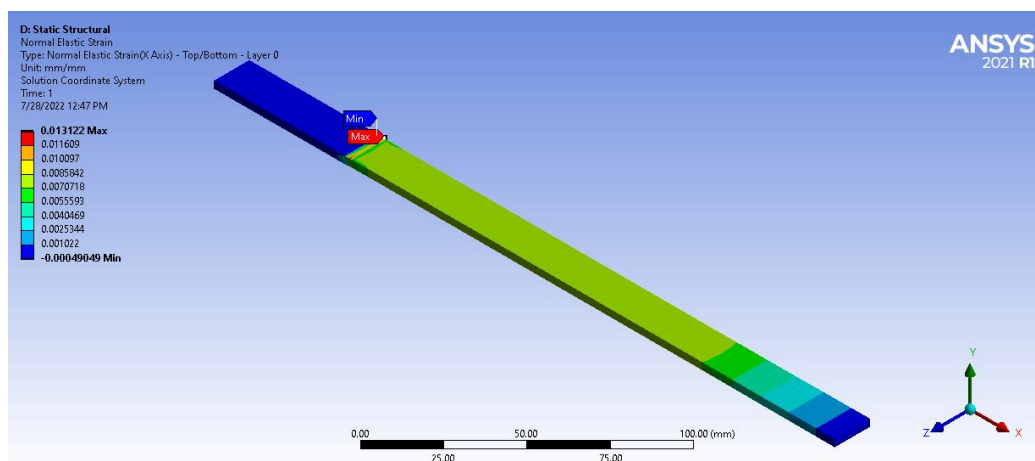
#### **4.3.2. Hasil Simulasi dan Pembahasan Arah Sudut Serat Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy**

Selanjutnya setelah mengetahui kombinasi dari fraksi volume serat dan jumlah layer komposit Kenaf fiber/epoxy yang memiliki kekuatan tarik terbaik, maka kedua kombinasi

tersebut akan digunakan untuk mencari kombinasi dari arah sudut serat terbaik Pada percobaan kali ini kombinasi fraksi volume terbaik adalah 30% dan material komposit terdiri dari sepuluh layer komposit. Untuk variasi arah serat yang akan digunakan sendiri, terdapat sebelas variasi seperti yang sudah dijelaskan di Bab 3.2.3. *Output* dari simulasi adalah kekuatan tarik dan regangan tarik seperti pada gambar 4.21 berikut.



(a)

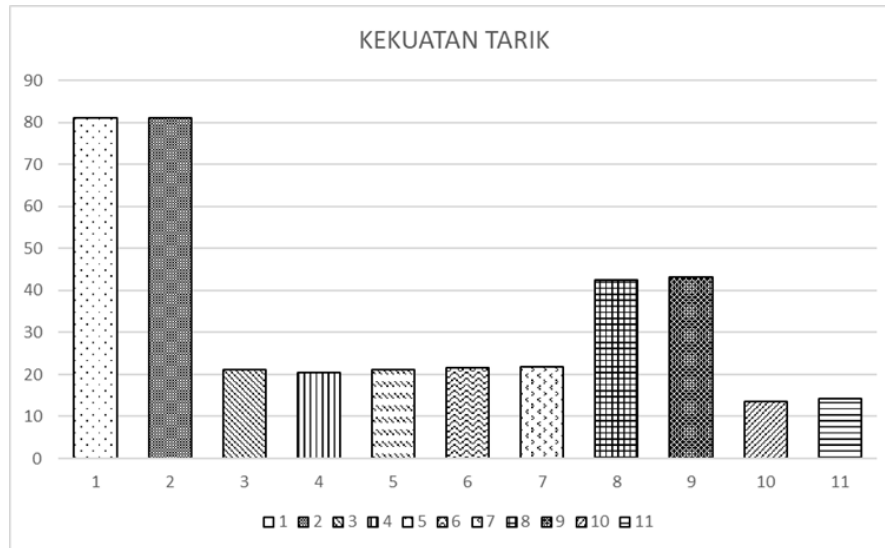


(b)

**Gambar 4.21** Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy Fraksi Volume 40% dengan 10 Layer dan Arah Sudut Serat Variasi 2 (a) *Normal Stress (X Axis)*, (b) *Normal Strain (X Axis)*

Dari Gambar 4.22 menunjukkan hasil simulasi pengujian tarik material komposit Kenaf Fiber/Epoxy dengan kombinasi fraksi volume 30%, terdiri dari sepuluh layer, dan dengan konfigurasi arah serat  $[(0^\circ)_4/(45^\circ)_2/(0^\circ)_4]$ , didapat nilai *normal stress* kearah sumbu x sebesar 81.008 MPa, dan *normal strain* kearah sumbu X sebesar 0.013122 mm/mm. Material tersebut disimulasikan hingga material mengalami kegagalan, dimana ditandakan dengan nilai *safety factor* dibawah satu. Pada bagian ini, simulasi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kombinasi arah sudut serat terbaik yang dapat terbentuk pada material komposit serat palem fiber/epoxy.

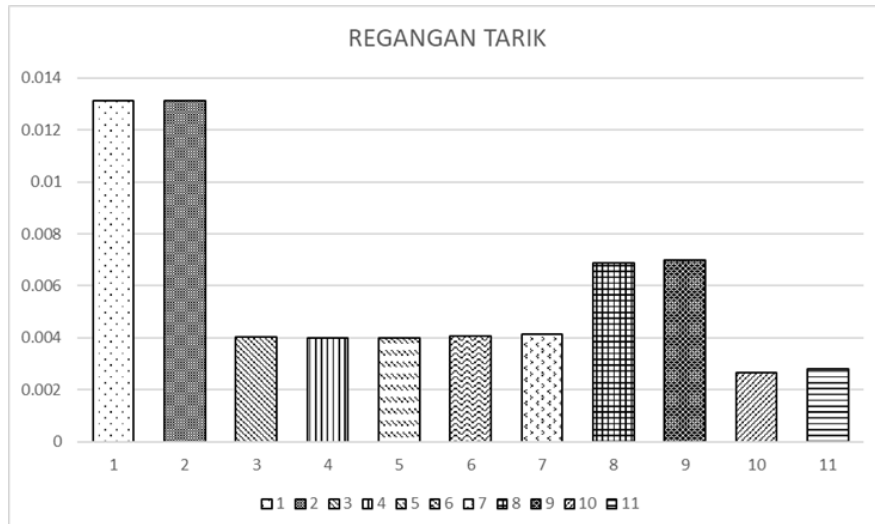




**Gambar 4.22** Grafik perbandingan Arah Sudut Serat terhadap Kekuatan Tarik Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy

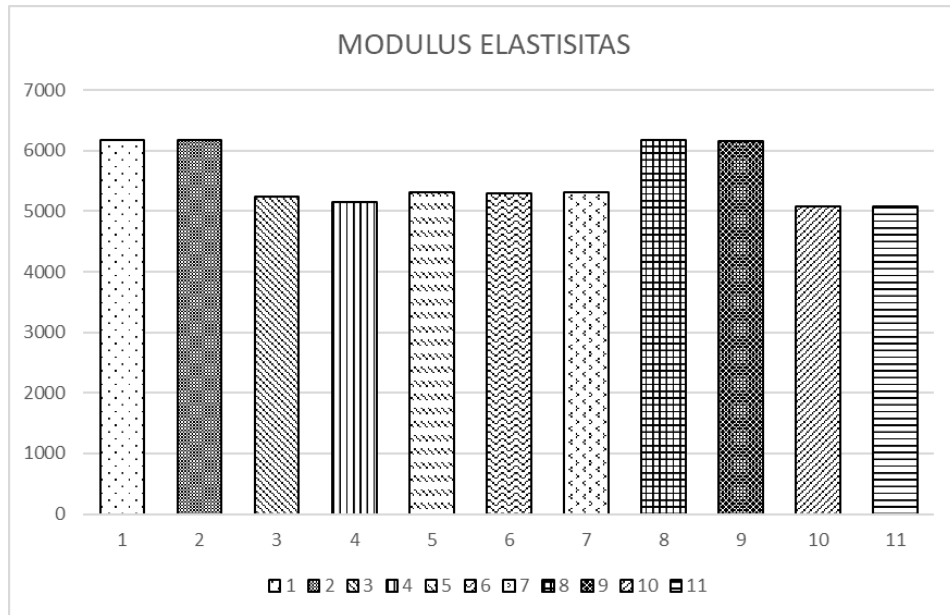
Berdasarkan Gambar 4.22 dapat terlihat persebaran kekuatan tarik dari material komposit kenaf fiber/epoxy yang telah diberikan pembebanan tarik sampai material komposit tersebut mengalami kegagalan. Berdasarkan hasil simulasi yang sudah dilakukan didapat nilai kekuatan tarik pada kombinasi fraksi volume 30% dengan terdiri dari sepuluh layer serat, pada arah sudut serat dengan susunan 1 didapat nilai kekuatan tarik sebesar 81.1386 MPa. Sedangkan pada variasi 2 didapat nilai yang menurun dengan nilai kekuatan tarik yang didapat sebesar 81.0079 MPa. Lalu untuk variasi susunan arah sudut 3 didapat nilai kekuatan tarik yang jauh lebih rendah, dimana didapat nilai kekuatan tarik sebesar 21.0644 MPa. lalu untuk variasi arah serat ke 4 didapat nilai kekuatan tarik sebesar 20.5586 MPa. Selanjutnya pada variasi arah sudut serat ke 5 didapat nilai kekuatan tarik sebesar 21.2272 MPa. Selanjutnya pada variasi susunan arah sudut serat ke 6 didapat nilai kekuatan tarik sebesar 21.65 MPa. lalu dilanjutkan dengan susunan arah sudut sera ke7 didapat nilai kekuatan tarik sebesar 21.9159 MPa. lalu pada variasi arah sudut serat ke 8, didapat nilai kekuatan tarik sebesar 42.4953 MPa. lalu dilanjutkan kembali pada variasi susunan arah sudut serat ke 9 didapat nilai kekuatan tarik sebesar 43.1907 MPa. Selanjutnya pada variasi susunan arah sudut ke 10 didapat nilai kekuatan tarik sebesar 13.6238 MPa. Lalu pada variasi terakhir yaitu variasi arah sudut serat ke 11, didapat nilai kekuatan tarik sebesar 14.2919 MPa.

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa material dengan konfigurasi arah serat 1 yaitu dengan konfigurasi  $[(0^\circ)_{10}]$  memiliki kekuatan tarik terbesar, hal ini dapat terjadi dikarenakan pembebanan yang diberikan searah dengan arah penyusunan serat sehingga pembebanan dapat didistribusikan oleh matriks ke serat penguatnya dengan baik. Untuk kekuatan tarik terlemah terdapat pada material komposit dengan susunan arah sudut serat ke 11, dimana pada arah sudut serat tersebut serat disusun dengan konfigurasi  $[(90^\circ)_{10}]$ , dimana pada variasi tersebut material matriks tidak dapat mendistribusikan pembebanan dikarenakan pembebanan tegak lurus dengan arah sudut serat penguatnya.



**Gambar 4.23** Grafik perbandingan Arah Sudut Serat terhadap Regangan Tarik Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy

Berdasarkan Gambar 4.23 dapat terlihat persebaran Regangan Tarik dari material komposit Kenaf fiber/epoxy yang telah diberikan pembebanan tarik sampai material komposit tersebut mengalami kegagalan. Berdasarkan hasil simulasi yang sudah dilakukan didapat nilai Regangan tarik pada kombinasi fraksi volume 30% dengan terdiri dari sepuluh layer serat, pada arah sudut serat dengan susunan 1 didapat nilai regangan tarik sebesar 0.01313 mm/mm. Sedangkan pada variasi 2 didapat nilai yang menurun dengan nilai regangan tarik yang didapat sebesar 0.01312 mm/mm. Lalu untuk variasi susunan arah sudut 3 didapat nilai regangan tarik yang jauh lebih rendah, dimana didapat nilai regangan tarik sebesar 0.00402 mm/mm. lalu untuk variasi arah serat ke 4 didapat nilai regangan tarik sebesar 0.00398 mm/mm. Selanjutnya pada variasi arah sudut serat ke 5 didapat nilai regangan tarik sebesar 0.00399 mm/mm. Selanjutnya pada variasi susunan arah sudut serat ke 6 didapat nilai regangan tarik sebesar 0.00408 mm/mm. lalu dilanjutkan dengan susunan arah sudut sera ke 7 didapat nilai regangan tarik sebesar 0.00413 mm/mm. lalu pada variasi arah sudut serat ke 8, didapat nilai regangan tarik sebesar 0.00688 mm/mm. lalu dilanjutkan kembali pada variasi susunan arah sudut serat ke 9 didapat nilai regangan tarik sebesar 0.007 mm/mm. Selanjutnya pada variasi susunan arah sudut ke 10 didapat nilai regangan tarik sebesar 0.00267 mm/mm. Lalu pada variasi terakhir yaitu variasi arah sudut serat ke 11, didapat nilai regangan tarik sebesar 0.00281 mm/mm.



**Gambar 4.24** Grafik perbandingan Arah Sudut Serat terhadap Modulus Elastisitas Material Komposit Kenaf Fiber/Epoxy

Dapat dilihat pada Gambar 4.24 dimana pada gambar tersebut menunjukkan pengaruh arah sudut serat terhadap modulus elastisitas dari material komposit Kenaf fiber/epoxy. Berdasarkan hasil simulasi yang sudah dilakukan didapat nilai modulus elastisitas, pada arah sudut serat dengan susunan 1 didapat nilai modulus elastisitas sebesar 6175.99 MPa. Sedangkan pada variasi 2 didapat nilai yang menurun dengan nilai modulus elastisitas yang didapat sebesar 6173.65 MPa. Lalu untuk variasi susunan arah sudut 3 didapat nilai modulus elastisitas yang jauh lebih rendah, dimana didapat nilai modulus elastisitas sebesar 5234.10 MPa. lalu untuk variasi arah serat ke 4 didapat nilai modulus elastisitas sebesar 5157.83 MPa. Selanjutnya pada variasi arah sudut serat ke 5 didapat nilai modulus elastisitas sebesar 5309.07 MPa. Selanjutnya pada variasi susunan arah sudut serat ke 6 didapat nilai modulus elastisitas sebesar 5302.14 MPa. lalu dilanjutkan dengan susunan arah sudut sera ke 7 didapat nilai modulus elastisitas sebesar 5306.08 MPa. lalu pada variasi arah sudut serat ke 8, didapat nilai modulus elastisitas sebesar 6172.79 MPa. lalu dilanjutkan kembali pada variasi susunan arah sudut serat ke 9 didapat nilai modulus elastisitas sebesar 6166.46 MPa. Selanjutnya pada variasi susunan arah sudut ke 10 didapat nilai modulus elastisitas sebesar 5089.02 MPa. Lalu pada variasi terakhir yaitu variasi arah sudut serat ke 11, didapat nilai modulus elastisitas sebesar 5086.34 MPa.

Dari data modulus elastisitas ini dapat disimpulkan bahwa material dengan modulus elastisitas yang tinggi memiliki sifat yang lebih kuat dalam menahan deformasi. Pada penelitian ini material komposit yang memiliki sifat paling kuat menahan deformasi adalah pada material dengan variasi arah sudut serat 1, yaitu dengan konfigurasi  $[(0^\circ)_{10}]$ . Sedangkan material yang memiliki ketahanan terhadap deformasi paling rendah terdapat pada material komposit dengan variasi arah sudut serat ke 11.

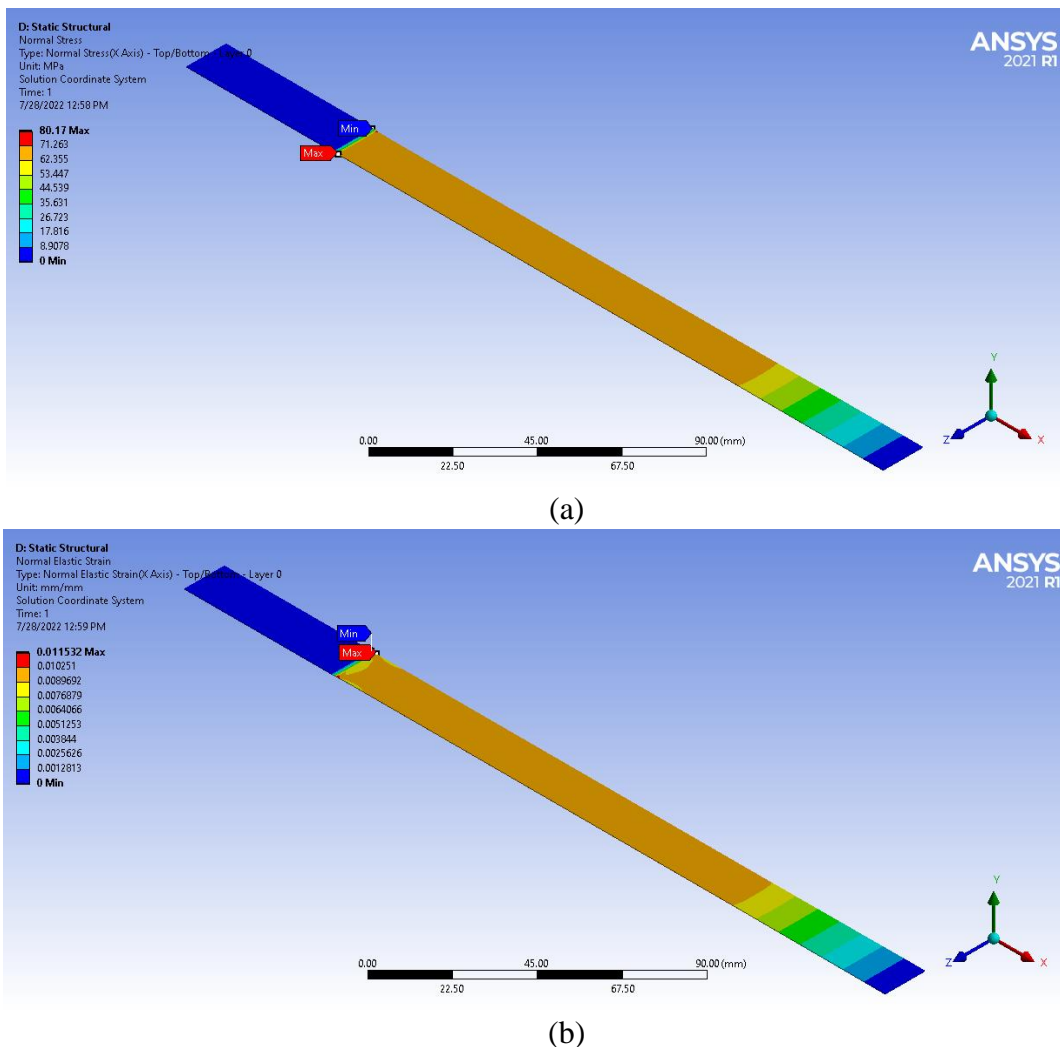
#### 4.4. Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Palem Fiber/Epoxy

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh dari setiap variasi dan menemukan kombinasi paling optimum yang bisa digunakan pada material komposit palem fiber/epoxy. Dari setiap variasi akan diperlihatkan hasil berupa *Normal Stres*, *Normals Strain*,

dan modulus elastisitas dari setiap variasi yang dilakukan simulasi. Dari ketiganya akan dilakukan Analisa seperti yang akan jelaskan berikut ini.

#### 4.4.1. Hasil Simulasi dan Pembahasan Fraksi Volume Material Komposit Palem Fiber/Epoxy

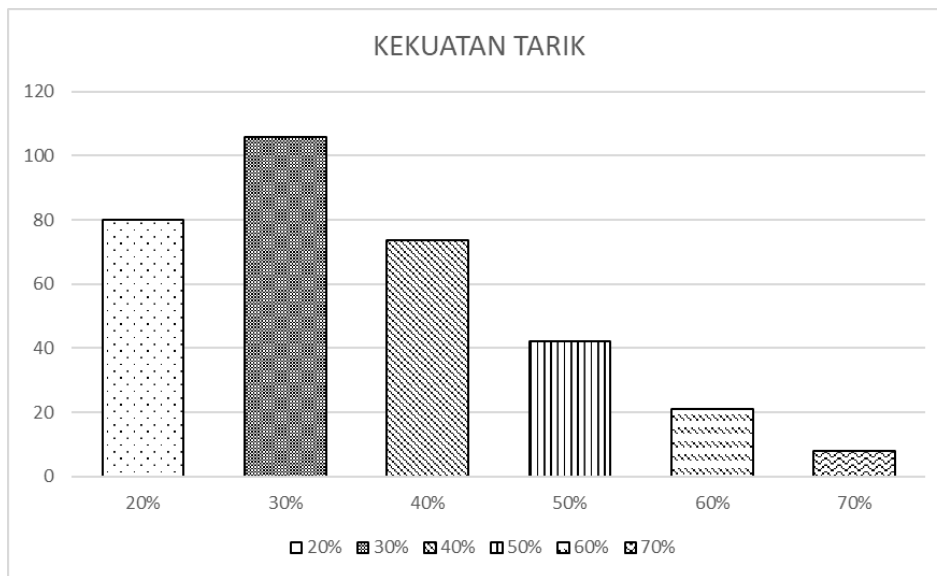
Pada penelitian ini dilakukan variasi fraksi volume dari 20%-70%, guna mengetahui fraksi volume terbaik yang bisa digunakan pada material komposit palem fiber/ epoxy. Pemilihan fraksi volume tebaik sendiri dipilih berdasarkan kekuatan tarik terbesar yang dapat ditahan oleh material dengan variasi fraksi volume serat. Berikut dilampirkan hasil simulasi untuk material komposit palem fiber/epoxy dengan variasi fraksi volume.



**Gambar 4.25** Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Palem Fiber/Epoxy Fraksi Volume 20% (a) *Normal Stress (X Axis)*, (b) *Normal Strain (X Axis)*

Dari data simulasi pada Gambar 4.25 diatas didapat nilai tegangan normal kearah sumbu x sebesar 82.17 MPa, dan regangan normal kearah sumbu x didapat nilai sebesar 0.011532 mm/mm. keduanya diberikan pembebanan kearah longitudinal sampai material mengalami kegagalan dengan bukti nilai safety factor dibawah 1. Dapat dilihat juga tegangan dan regangan

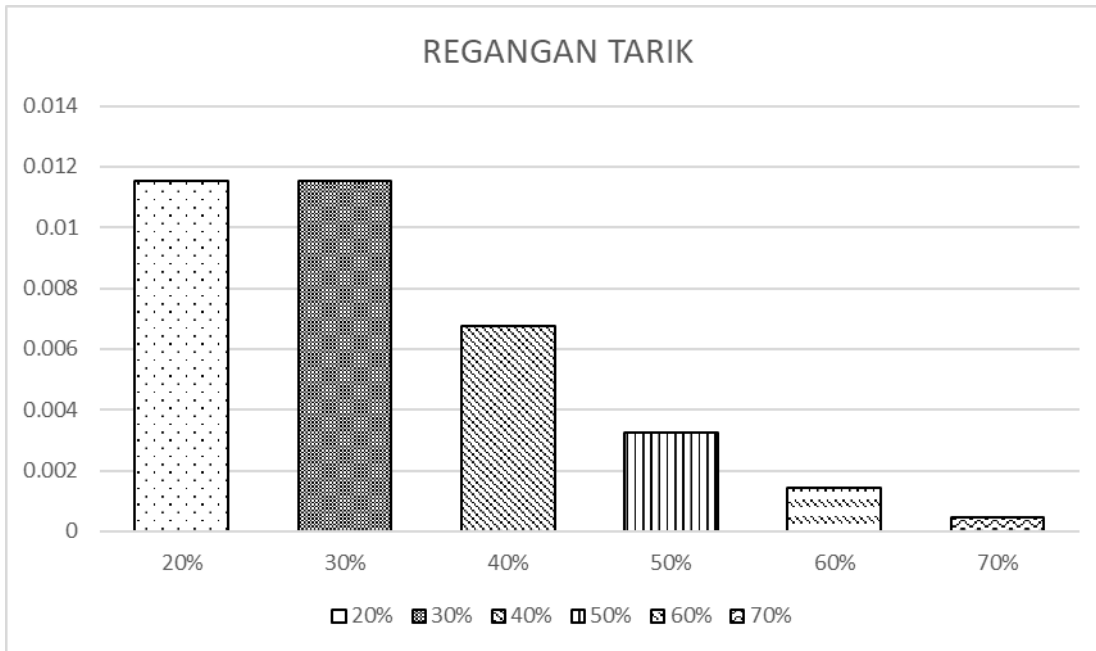
maksimum terjadi di posisi yang sama. Dari percobaan fraksi volume seperti gambar diatas, hasil akan di gambar pada sebuah grafik, maka didapat grafik sebagai berikut.



**Gambar 4.26** Grafik perbandingan Fraksi Volume Serat terhadap Kekuatan Tarik Material Komposit Palem Fiber/Epoxy

Dari Gambar 4.26 didapat nilai tegangan normal yang selanjutnya akan dijadikan sebagai acuan dalam penentuan kekuatan tarik terhadap fraksi volume serat sisal. Dari data tersebut didapat nilai kekuatan tarik yang di alami material komposit palem fiber/epoxy dengan fraksi volume 20% didapat nilai sebesar 80.1704 MPa. Lalu untuk fraksi volume 30% memiliki nilai kekuatan tarik yang lebih tinggi, dimana nilai kekuatan tarik yang dimiliki material komposit dengan fraksi volume serat 30% sebesar 105.8385 MPa. Selanjutnya pada fraksi volume 40% kekuatan tarik material komposit mengalami penurunan, dengan nilai kekuatan tarik yang didapat dari simulasi sebesar 73.7085 MPa, lalu untuk fraksi volume serat 50% kekuatan tarik mengalami penurunan, dengan didapat nilai kekuatan tarik sebesar 42.0479 MPa, selanjutnya untuk fraksi volume serat palem 60% didapat nilai kekuatan tarik sebesar 21.0479 MPa, dan yang terakhir adalah fraksi volume serat kenaf 70% didapat nilai kekuatan tarik terkecil jika dibandingkan dengan nilai kekuatan tarik sebelumnya, dimana nilai kekuatan tarik tersebut sebesar 7.9254 MPa.

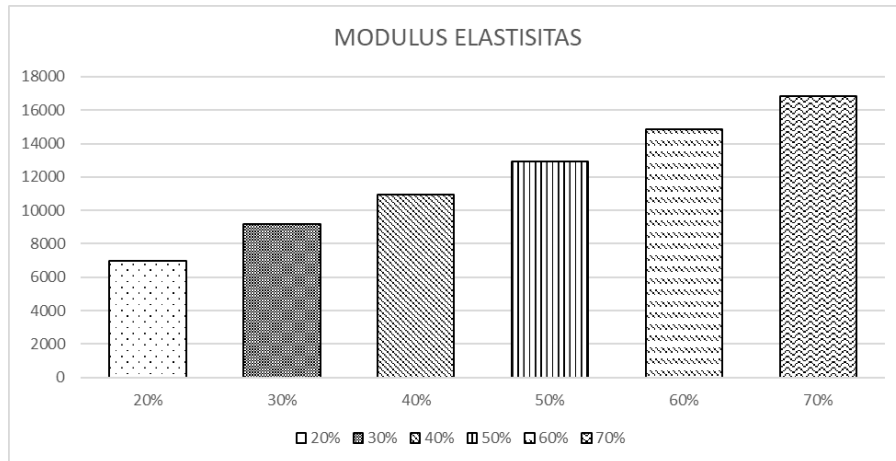
Berdasarkan grafik diatas juga dapat dilihat bahwa tren kekuatan tarik mengalami kenaikan dari fraksi volume serat 20% sampai dengan 30%, lalu dilanjutkan penurunan yang cukup besar sampai dengan komposisi fraksi volume serat 70%. Dari data diatas juga dapat diketahui bahwa komposisi terbaik yang bisa digunakan dalam membuat material komposit Sisal Fiber/Epoxy adalah dengan komposisi 30% serat sisal dan 70% matriks epoksi. Sedangkan untuk komposisi yang memiliki kekuatan tarik paling lemah terdapat pada komposisi fraksi volume serat 70% dan fraksi volume matriks 30%. Dapat disimpulkan bahwa penambahan fraksi volume serat dengan jumlah tertentu dapat menaikkan nilai kekuatan tarik, namun penambahan fraksi volume berlebih akan menurunkan nilai kekuatan tarik. Hal ini terjadi dikarenakan pada dasarnya sifat material serat memiliki kekuatan tarik yang besar, namun jika semakin besar fraksi volume serat maka akan muncul sifat material serat dimana material akan lebih bersifat getas dan mudah mengalami kegagalan.



**Gambar 4.27** Grafik perbandingan Fraksi Volume Serat terhadap Regangan Tarik Material Komposit Palem Fiber/Epoxy

Berdasarkan Gambar 4.27 dimana terdapat regangan normal kearah sumbu x yang akan digunakan sebagai nilai regangan tarik maksimum material komposit palem fiber/epoxy, terhadap fraksi volume serat palem. Dari data tersebut didapat nilai regangan tarik yang dialami oleh material komposit palem fiber/epoxy dengan fraksi volume 20% didapat nilai regangan tarik sebesar 0.011531 mm/mm. Pada fraksi volume serat palem 30% didapat nilai regangan tarik sebesar 0.011529 mm/mm. Selanjutnya pada kombinasi fraksi volume serat palem 40%, didapat nilai regangan tarik sebesar 0.006747 mm/mm. Selanjutnya pada fraksi volume serat palem 50%, didapat nilai regangan tarik sebesar 0.003259 mm/mm, pada fraksi volume serat palem 60% didapat nilai regangan tarik sebesar 0.001415 mm/mm, dan yang terakhir pada fraksi volume 70% didapat nilai regangan tarik sebesar 0.000470 mm/mm.

Berdasarkan Gambar 4.27 juga, dapat diketahui semakin besar fraksi volume serat maka akan menghasilkan tren regangan tarik yang terus menurun. Dimana pada grafik tersebut material komposit Palem Fiber/Epoxy yang memiliki regangan tarik terbesar terdapat pada material komposit dengan fraksi volume serat 20%, dan pada penelitian ini juga nilai regangan tarik terkecil terdapat pada material komposit yang memiliki fraksi volume serat 70%. Hal ini dapat terjadi dikarenakan semakin besar fraksi volume serat maka sifat komposit akan menyerupai sifat dari material serat tersebut, dimana material serat memiliki sifat yang getas atau tidak kuat terhadap penambahan Panjang.



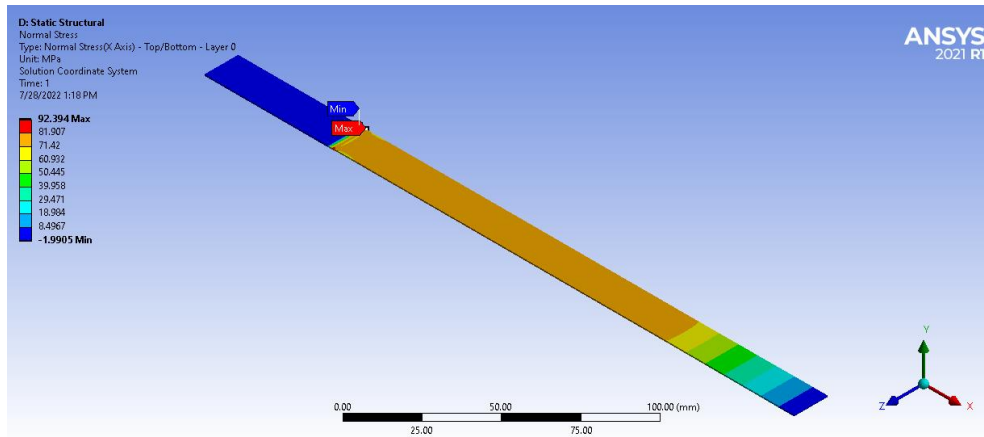
**Gambar 4.28** Grafik perbandingan Fraksi Volume Serat terhadap Modulus Elastisitas Material Komposit Palem Fiber/Epoxy

Berdasarkan pada Gambar 4.28, dimana terdapat grafik dari modulus elastisitas terhadap fraksi volume serat palem. Modulus elastisitas sendiri didapat dari pembagian antara kekuatan tarik dibagi dengan regangan tarik. Dari data tersebut didapat nilai modulus elastisitas dari fraksi volume 20% sebesar 6952.06 MPa. Selanjutnya pada kombinasi fraksi volume serat palem 30% didapat nilai modulus elastisitas sebesar 9179.98 MPa, selanjutnya pada fraksi volume serat palem 40% didapat nilai modulus elastisitas sebesar 10923.27 MPa, lalu untuk kombinasi fraksi volume serat palem 50% didapat nilai modulus elastisitas sebesar 12901.96 MPa, selanjutnya pada kombinasi fraksi volume serat palem 60% didapat nilai modulus elastisitas sebesar 14872.47 MPa, dan yang terakhir adalah kombinasi fraksi volume serat palem 70% dimana didapat nilai modulus elastisitas sebesar 16829.15 MPa.

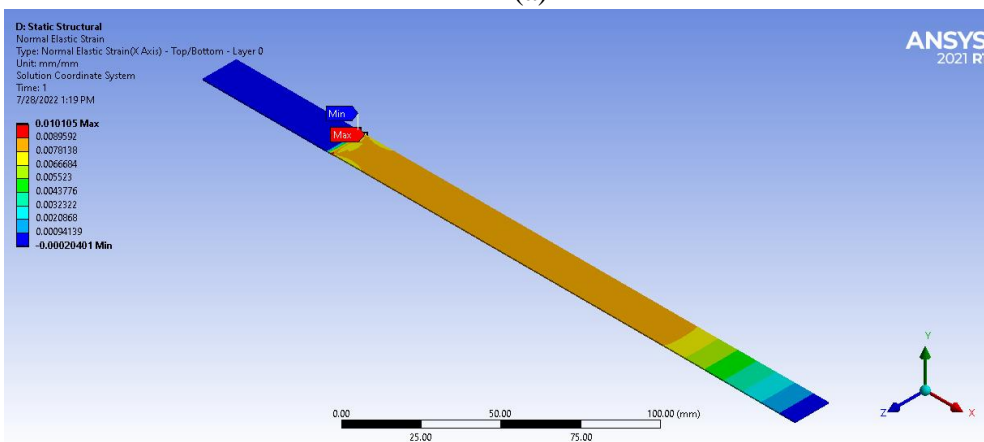
Berdasarkan pada Gambar 4.28 juga dapat disimpulkan bahwa semakin besar komposisi fraksi volume serat akan mengakibatkan tren modulus elastisitas yang naik. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa modulus elastisitas terkecil terdapat pada material komposit yang memiliki komposisi fraksi volume serat sebesar 20%, dan untuk modulus elastisitas terbesar terdapat pada material komposit yang terdiri dari fraksi volume serat sebesar 70%. Dari data ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar fraksi volume serat maka material komposit akan semakin kuat dalam menahan deformasi elastisnya.

#### 4.4.2. Hasil Simulasi dan Pembahasan Jumlah Layer Material Komposit Palem Fiber/Epoxy

Pada bagian ini setelah mengetahui fraksi volume terbaik, maka fraksi volume tersebut akan digunakan untuk dilakukan pengujian tarik dengan variasi jumlah layer. Variasi jumlah layer disini untuk mengetahui kombinasi jumlah layer terbaik yang dapat dikombinasikan pada material komposit palem fiber/epoxy. Untuk variasi jumlah layer yang digunakan terdapat sepuluh variasi yaitu 1-10 layer. Untuk hasil simulasi pengujian tarik dapat dilihat pada gambar 4.29 berikut, dimana terdapat dua hasil yang akan menjadi *output* pada pengujian tarik, dan selanjutnya dapat digunakan dalam menentukan modulus elastisitas dari material komposit tersebut.



(a)

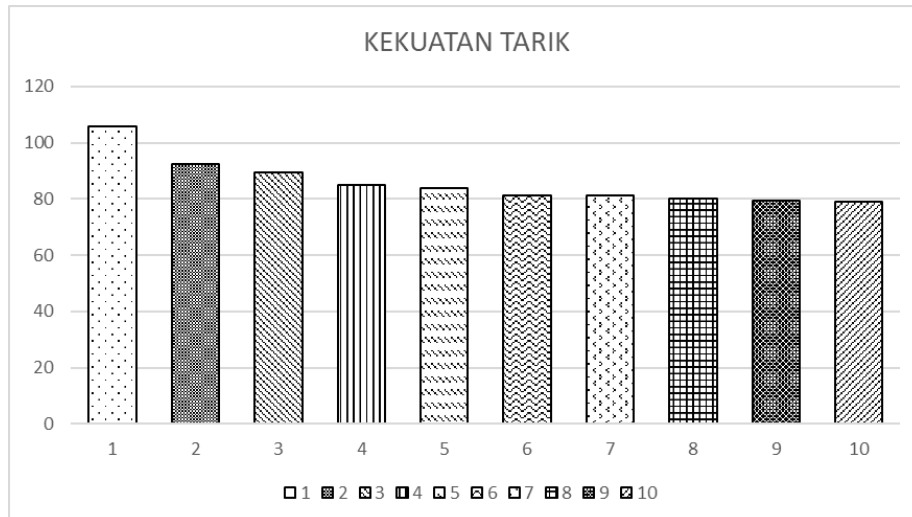


(b)

**Gambar 4.29** Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Palem Fiber/Epoxy Fraksi Volume 30% dengan 2 Layer (a) *Normal Stress (X Axis)*, (b) *Normal Strain (X Axis)*

Pada Gambar 4.29 dapat dilihat hasil simulasi pengujian tarik dari material komposit palem fiber/epoxy dengan kombinasi fraksi volume 30% dan jumlah layer 2. Dari data tersebut didapat nilai *normal stress* kearah sumbu x dengan nilai 92.394 MPa, dan didapat juga nilai dari *normal strain* kearah sumbu normal sebesar 0.010105 mm/mm. Material sendiri pada proses simulasinya dilakukan pemberian pembebanan hingga material mengalami kegagalan, dimana material dinyatakan gagal jika *safety factor* material bernilai dibawah satu. Lalu data selanjutnya akan dilakukan *plotting* di dalam sebuah grafik batang, berikut grafik yang dihasilkan.

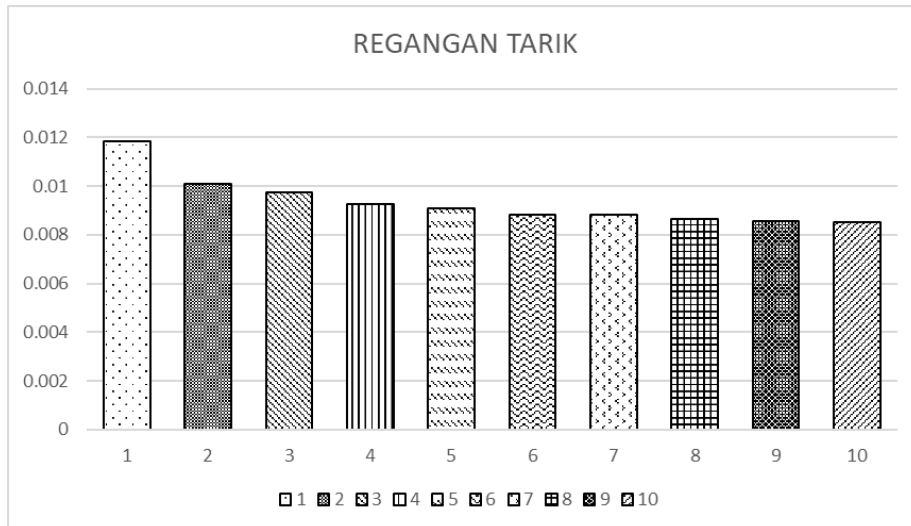




**Gambar 4.30** Grafik perbandingan Jumlah Layer Serat terhadap Kekuatan Tarik Material Komposit Palem Fiber/Epoxy

Berdasarkan pada Gambar 4.30 dapat dilihat bahwa pengaruh jumlah layer terhadap kekuatan tarik memiliki tren yang menurun. Dimana untuk dari gambar tersebut dapat diketahui nilai kekuatan tarik yang dimiliki oleh material komposit Palem Fiber/epoxy dengan variasi jumlah layer, dari data tersebut nilai kekuatan tarik yang dimiliki jika material komposit hanya terdiri dari satu layer didapat nilai sebesar 105.8385 MPa, selanjutnya untuk material komposit serat Palem Fiber/Epoxy dengan jumlah layer dua memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 92.3939 MPa, lalu untuk material komposit palem fiber/epoxy yang terdiri dari tiga layer memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 89.3627 MPa, selanjutnya pada material komposit palem fiber/epoxy dengan jumlah layer empat didapat nilai kekuatan tarik sebesar 85.0330 MPa, dan pada material komposit dengan jumlah layer lima, didapat nilai kekuatan tarik hasil simulasi sebesar 83.7089 MPa. Selanjutnya untuk maerial komposit yang terdiri dari enam layer, kekuatan tarik yang didapat sebesar 81.3957 MPa. Lalu untuk material komposit dengan jumlah layer tujuh, memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 81.3588 MPa. Selanjutnya pada material komposit yang memiliki jumlah layer delapan, didapat nilai kekuatan tarik dari hasil simulasi sebesar 79.9697. dan selanjutnya pada material komposit dengan jumlah layer Sembilan, didapat kekuatan tarik sebesar 79.2166 MPa. dan untuk yang terakhir yaitu material komposit yang terdiri dari sepuluh layer, menghasilkan kekuatan tarik sebesar 78.8946 MPa.

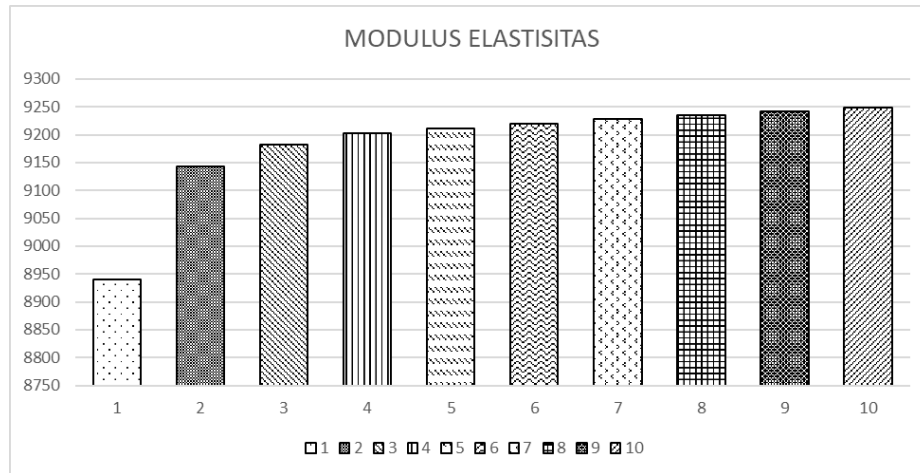
Dari Gambar 4.30 dapat dilihat juga semakin banyak layer penyusun komposit Palem Fiber/Epoxy akan menghasilkan tren kekuatan tarik yang terus menurun dan dapat diperhatikan juga bahwa penurunan tersebut akan mengalami konvergen, dimana kekuatan tarik terbesar terdapat pada material komposit yang memiliki jumlah layer satu, dan untuk kekuatan tarik terkecil terdapat pada material komposit yang terdiri dari sepuluh layer.



**Gambar 4.31** Grafik perbandingan Jumlah Layer Serat terhadap Regangan Tarik Material Komposit Palem Fiber/Epoxy

Berdasarkan pada Gambar 4.31 ditampilkan persebaran nilai regangan tarik dari material komposit Palem fiber/epoxy terhadap jumlah layer material komposit. Dari data tersebut, dapat diketahui bahwa tren jumlah layer serat terhadap regangan tarik memiliki tren yang menurun. Dari data tersebut dapat diketahui nilai regangan tarik yang dialami oleh material komposit saat material tersebut mengalami kegagalan tarik, pada jumlah layer satu nilai regangan tarik material komposit Palem Fiber/Epoxy mendapat nilai sebesar 0.011839 mm/mm. Lalu dilanjutkan pada material komposit yang terdiri dari dua layer memiliki nilai regangan tarik sebesar 0.010104 mm/mm. Lalu untuk material komposit palem fiber/epoxy yang terdiri dari tiga layer, didapat nilai regangan tarik dengan simulasi sebesar 0.009732 mm/mm, selanjutnya pada komposisi jumlah layer empat, material komposit palem fiber/epoxy memiliki nilai regangan tarik sebesar 0.009240 mm/mm, dan untuk yang terakhir pada material komposit palem fiber/epoxy yang terdiri dari lima layer, didapat nilai regangan tarik sebesar 0.009087 mm/mm. Selanjutnya untuk maerial komposit yang terdiri dari enam layer, regangan tarik yang didapat sebesar 0.008828 mm/mm. Lalu untuk material komposit dengan jumlah layer tujuh, memiliki nilai regangan tarik sebesar 0.008816 mm/mm. Selanjutnya pada material komposit yang memiliki jumlah layer delapan, didapat nilai regangan tarik dari hasil simulasi sebesar 0.008659 mm/mm. dan selanjutnya pada material komposit dengan jumlah layer Sembilan, didapat regangan tarik sebesar 0.008571 mm/mm. dan untuk yang terakhir yaitu material komposit yang terdiri dari sepuluh layer, menghasilkan nilai regangan tarik sebesar 0.008531 mm/mm

Dapat diamati juga pada Gambar 4.31, dimana semakin besar jumlah layer penyusun material komposit Palem Fiber/Epoxy akan menghasilkan regangan tarik yang semakin kecil dan akan mengalami konvergen. Dimana nilai regangan tarik terbesar terdapat material komposit Palem Fiber/Epoxy dengan jumlah layer satu, dan nilai regangan tarik terkecil pada penelitian ini terdapat pada materia komposit dengan jumlah layer sepuluh. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya jumlah layer penyusun komposit tersebut, maka materia komposit tersbut akan semakin bersifat getas dan tidak kuat dalam menahan deformasi yang berlebihan.



**Gambar 4.32** Grafik perbandingan Jumlah Layer Serat terhadap Modulus Elastisitas Material Komposit Palem Fiber/Epoxy

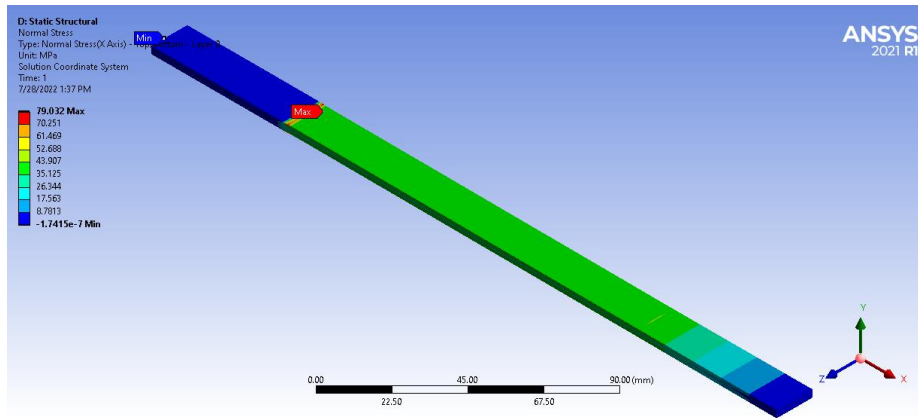
Berdasarkan nilai kekuatan tarik dan regangan tarik yang dimiliki material komposit Palem Fiber/Epoxy, dapat dihitung modulus elastisitas dari material komposit tersebut. Berdasarkan Gambar 4.32, jumlah layer pada komposit memiliki pengaruh terhadap modulus elastisitas material komposit. Dari grafik batang tersebut, nilai modulus elastisitas pada material komposit yang terdiri hanya satu layer sebesar 8939.61 MPa. Sedangkan untuk material komposit palem fiber/epoxy yang terdiri dari dua layer memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 9143.78 MPa, selanjutnya pada material komposit yang terdiri dari tiga layer didapat nilai modulus elastisitas sebesar 9182.07 MPa. Selanjutnya pada material komposit palem fiber/epoxy yang terdiri dari empat layer, didapat nilai modulus elastisitas sebesar 9201.94 MPa. Dan material komposit yang memiliki jumlah layer sebanyak lima, didapat nilai modulus elastisitas sebesar 9211.70 MPa. Selanjutnya untuk material komposit yang terdiri dari enam layer, modulus elastisitas yang didapat sebesar 9220.15 MPa. Lalu untuk material komposit dengan jumlah layer tujuh, memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 9227.77 MPa. Selanjutnya pada material komposit yang memiliki jumlah layer delapan, didapat nilai modulus elastisitas dari hasil perhitungan sebesar 9235.01 MPa. dan selanjutnya pada material komposit dengan jumlah layer Sembilan, didapat modulus elastisitas sebesar 9241.75 MPa. dan untuk yang terakhir yaitu material komposit yang terdiri dari sepuluh layer, menghasilkan nilai modulus elastisitas sebesar 9247.96 MPa.

Berdasarkan Gambar 4.32, dapat diamati bahwa semakin bertambahnya jumlah layer penyusun material komposit, maka akan menghasilkan tren nilai modulus elastisitas yang akan semakin besar. Dimana nilai modulus elastisitas terbesar pada penelitian ini terdapat pada jumlah layer satu, dan nilai modulus elastisitas terkecil terdapat pada material komposit yang terdiri dari sepuluh layer. Berdasarkan data tersebut dapat diartikan bahwa semakin banyak jumlah layer yang menyusun suatu komposit maka material komposit tersebut akan semakin kuat dalam menahan deformasi elastis.

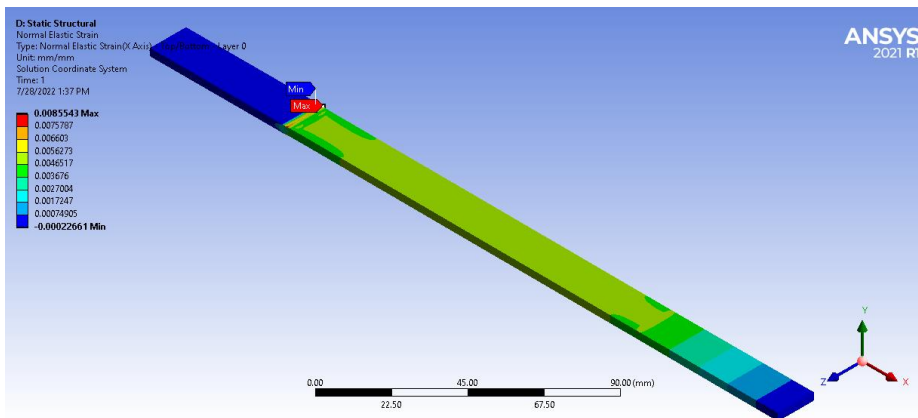
#### 4.4.3. Hasil Simulasi dan Pembahasan Arah Sudut Serat material Komposit Palem Fiber/Epoxy

Selanjutnya setelah mengetahui kombinasi dari fraksi volume serat dan jumlah layer komposit palem fiber/epoxy yang memiliki kekuatan tarik terbaik, maka kedua kombinasi tersebut akan digunakan untuk mencari kombinasi dari arah sudut serat terbaik. Pada percobaan

kali ini kombinasi fraksi volume terbaik adalah 30% dan material komposit terdiri dari sepuluh layer komposit. Untuk variasi arah serat yang akan digunakan sendiri, terdapat sebelas variasi seperti yang sudah dijelaskan di Bab 3.2.3. *Output* dari simulasi adalah kekuatan tarik dan regangan tarik seperti pada gambar 4.33 berikut.



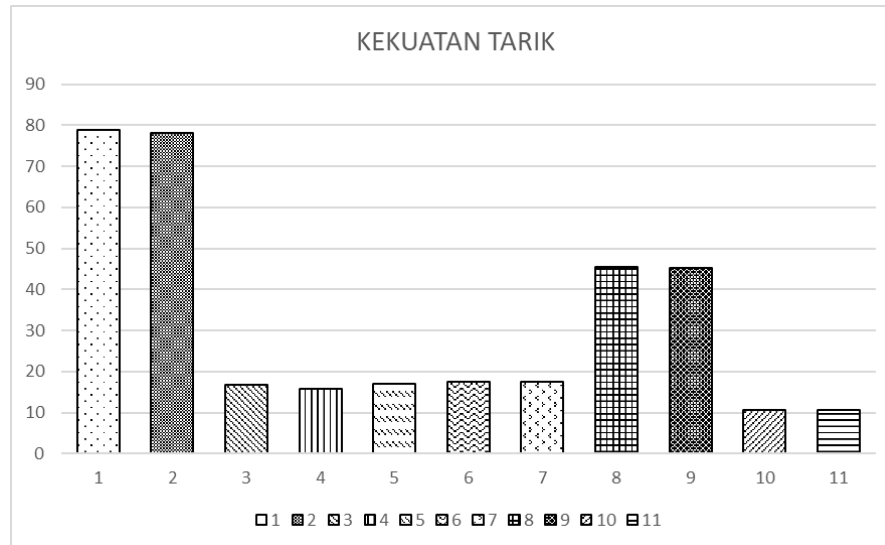
(a)



(b)

**Gambar 4.33** Hasil Simulasi Uji Tarik Material Komposit Palem Fiber/Epoxy Fraksi Volume 30% dengan 10 Layer dan Arah Sudut Serat Variasi 2 (a) *Normal Stress (X Axis)*, (b) *Normal Strain (X Axis)*

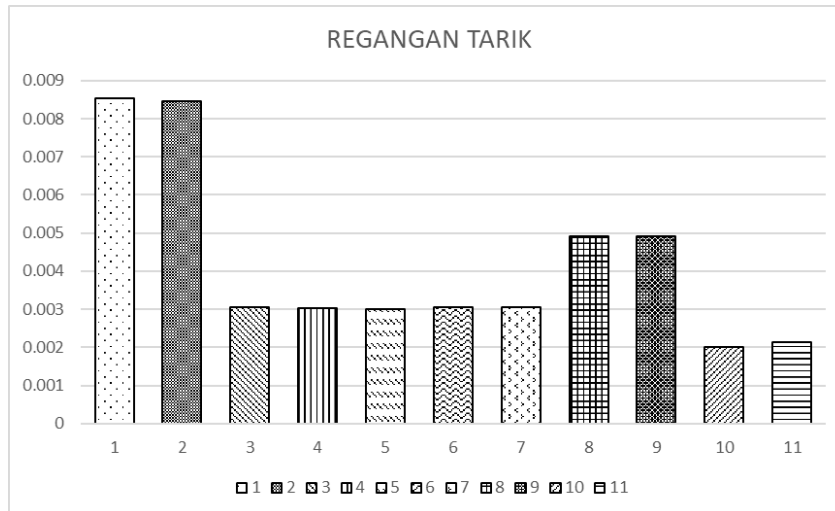
Dari Gambar 4.33 menunjukkan hasil simulasi pengujian tarik material komposit Palem Fiber/Epoxy dengan kombinasi fraksi volume 30%, terdiri dari satu layer, dan dengan konfigurasi arah serat  $[(0^\circ)_4/(45^\circ)_2/(0^\circ)_4]$ , didapat nilai *normal stress* kearah sumbu x sebesar 79.032 MPa, dan *normal strain* kearah sumbu X sebesar 0.0085543 mm/mm. Material tersebut disimulasikan hingga material mengalami kegagalan, dimana ditandakan dengan nilai *safety factor* dibawah satu. Pada bagian ini, simulasi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kombinasi arah sudut serat terbaik yang dapat terbentuk pada material komposit serat palem fiber/epoxy.



**Gambar 4.34** Grafik perbandingan Arah Sudut Serat terhadap Kekuatan Tarik Material Komposit Palem Fiber/Epoxy

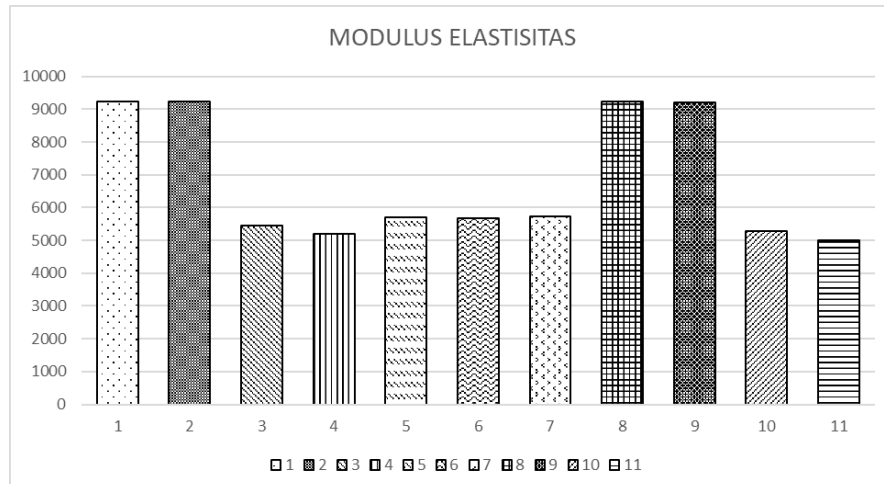
Berdasarkan Gambar 4.34 dapat terlihat persebaran kekuatan tarik dari material komposit palem fiber/epoxy yang telah diberikan pembebanan tarik sampai material komposit tersebut mengalami kegagalan. Berdasarkan hasil simulasi yang sudah dilakukan didapat nilai kekuatan tarik pada kombinasi fraksi volume 30% dengan terdiri dari sepuluh layer serat, pada arah sudut serat dengan susunan 1 didapat nilai kekuatan tarik sebesar 78.8946 MPa. Sedangkan pada variasi 2 didapat nilai yang menurun dengan nilai kekuatan tarik yang didapat sebesar 78.0320 MPa. Lalu untuk variasi susunan arah sudut 3 didapat nilai kekuatan tarik yang jauh lebih rendah, dimana didapat nilai kekuatan tarik sebesar 16.6702 MPa. lalu untuk variasi arah serat ke 4 didapat nilai kekuatan tarik sebesar 15.7683 MPa. Selanjutnya pada variasi arah sudut serat ke 5 didapat nilai kekuatan tarik sebesar 17.1201 MPa. Selanjutnya pada variasi susunan arah sudut serat ke 6 didapat nilai kekuatan tarik sebesar 17.4347 MPa. lalu dilanjutkan dengan susunan arah sudut sera ke 7 didapat nilai kekuatan tarik sebesar 17.4955 MPa. lalu pada variasi arah sudut serat ke 8, didapat nilai kekuatan tarik sebesar 45.4845 MPa. lalu dilanjutkan kembali pada variasi susunan arah sudut serat ke 9 didapat nilai kekuatan tarik sebesar 45.2477 MPa. Selanjutnya pada variasi susunan arah sudut ke 10 didapat nilai kekuatan tarik sebesar 10.6579 MPa. Lalu pada variasi terakhir yaitu variasi arah sudut serat ke 11, didapat nilai kekuatan tarik sebesar 10.6782 MPa.

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa material dengan konfigurasi arah serat 1 yaitu dengan konfigurasi  $[(0^\circ)_{10}]$  memiliki kekuatan tarik terbesar, hal ini dapat terjadi dikarenakan pembebanan yang diberikan searah dengan arah penyusunan serat sehingga pembebanan dapat didistribusikan oleh matriks ke serat penguatnya dengan baik. Untuk kekuatan tarik terlemah terdapat pada material komposit dengan susunan arah sudut serat ke 10, dimana pada arah sudut serat tersebut serat disusun dengan konfigurasi  $[(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2]$ , dimana pada variasi tersebut material matriks tidak dapat mendistribusikan pembebanan dikarenakan pembebanan tegak lurus dengan arah sudut serat penguatnya.



**Gambar 4.35** Grafik perbandingan Arah Sudut Serat terhadap Regangan Tarik Material Komposit Palem Fiber/Epoxy

Berdasarkan pada Gambar 4.35, dapat terlihat persebaran Regangan Tarik dari material komposit palem fiber/epoxy yang telah diberikan pembebanan tarik sampai material komposit tersebut mengalami kegagalan. Berdasarkan hasil simulasi yang sudah dilakukan didapat nilai Regangan tarik pada kombinasi fraksi volume 30% dengan terdiri dari sepuluh layer serat, pada arah sudut serat dengan susunan 1 didapat nilai regangan tarik sebesar 0.00853 mm/mm. Sedangkan pada variasi 2 didapat nilai yang menurun dengan nilai regangan tarik yang didapat sebesar 0.00845 mm/mm. Lalu untuk variasi susunan arah sudut 3 didapat nilai regangan tarik yang jauh lebih rendah, dimana didapat nilai regangan tarik sebesar 0.00305 mm/mm. lalu untuk variasi arah serat ke 4 didapat nilai regangan tarik sebesar 0.00303 mm/mm. Selanjutnya pada variasi arah sudut serat ke 5 didapat nilai regangan tarik sebesar 0.00299 mm/mm. Selanjutnya pada variasi susunan arah sudut serat ke 6 didapat nilai regangan tarik sebesar 0.00408 mm/mm. lalu dilanjutkan dengan susunan arah sudut sera ke 7 didapat nilai regangan tarik sebesar 0.00306 mm/mm. lalu pada variasi arah sudut serat ke 8, didapat nilai regangan tarik sebesar 0.0.305 mm/mm. lalu dilanjutkan kembali pada variasi susunan arah sudut serat ke 9 didapat nilai regangan tarik sebesar 0.00491 mm/mm. Selanjutnya pada variasi susunan arah sudut ke 10 didapat nilai regangan tarik sebesar 0.00201 mm/mm. Lalu pada variasi terakhir yaitu variasi arah sudut serat ke 11, didapat nilai regangan tarik sebesar 0.00213 mm/mm.



**Gambar 4.36** Grafik perbandingan Arah Sudut Serat terhadap Modulus Elastisitas Material Komposit Palem Fiber/Epoxy

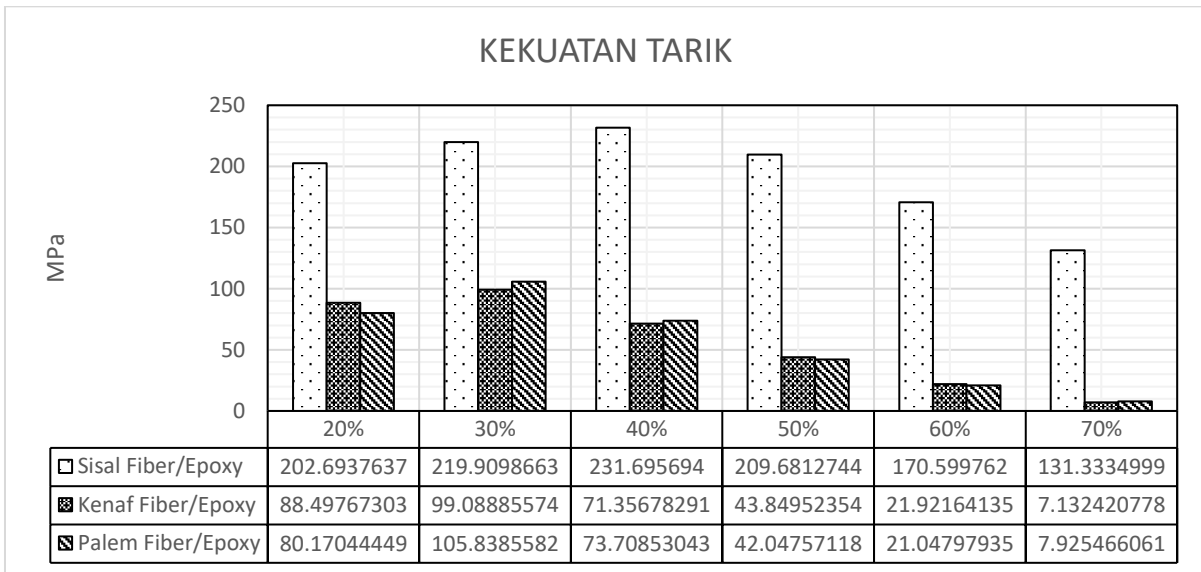
Dapat dilihat pada Gambar 4.37 dimana pada gambar tersebut menunjukkan pengaruh arah sudut serat terhadap modulus elastisitas dari material komposit palem fiber/epoxy. Berdasarkan hasil simulasi yang sudah dilakukan didapat nilai modulus elastisitas, pada arah sudut serat dengan susunan 1 didapat nilai modulus elastisitas sebesar 9247.96 MPa. Sedangkan pada variasi 2 didapat nilai yang menurun dengan nilai modulus elastisitas yang didapat sebesar 9229.83 MPa. Lalu untuk variasi susunan arah sudut 3 didapat nilai modulus elastisitas yang jauh lebih rendah, dimana didapat nilai modulus elastisitas sebesar 5453.44 MPa. lalu untuk variasi arah serat ke 4 didapat nilai modulus elastisitas sebesar 5200.57 MPa. Selanjutnya pada variasi arah sudut serat ke 5 didapat nilai modulus elastisitas sebesar 5715.72 MPa. Selanjutnya pada variasi susunan arah sudut serat ke 6 didapat nilai modulus elastisitas sebesar 5688.20 MPa. lalu dilanjutkan dengan susunan arah sudut sera ke 7 didapat nilai modulus elastisitas sebesar 5718.90 MPa. lalu pada variasi arah sudut serat ke 8, didapat nilai modulus elastisitas sebesar 9240.03 MPa. lalu dilanjutkan kembali pada variasi susunan arah sudut serat ke 9 didapat nilai modulus elastisitas sebesar 9215.20 MPa. Selanjutnya pada variasi susunan arah sudut ke 10 didapat nilai modulus elastisitas sebesar 5285.94 MPa. Lalu pada variasi terakhir aitu variasi arah sudut serat ke 11, didapat nilai modulus elastisitas sebesar 5007.31 MPa.

Dari data modulus elastisitas ini dapat disimpulkan bahwa material dengan modulus elastisitas yang tinggi memiliki sifat yang lebih kuat dalam menahan deformasi. Pada penelitian ini material komposit yang memiliki sifat paling kuat menahan deformasi adalah pada material dengan variasi arah sudut serat 1, yaitu dengan konfigurasi  $[(0^\circ)_{10}]$ . Sedangkan material yang memiliki ketahanan terhadap deformasi paling rendah terdapat pada material komposit dengan variasi arah sudut serat ke 11.

#### 4.5. Pembahasan Hasil Penelitian

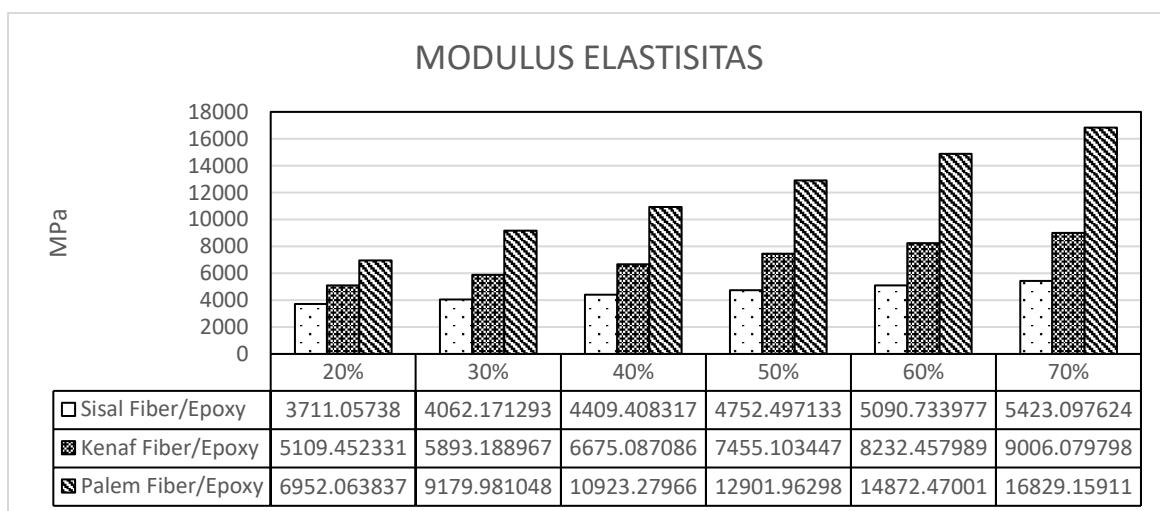
Dari data diatas, pada bab ini akan dilakukan perbandingan setiap variasi material yang sudah dilakukan simulasi pengujian tarik. Berikut pembahasan setiap variasi material serat penguat.

#### 4.5.1. Fraksi Volume Serat



**Gambar 4.37** Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Variasi Fraksi Volume

Berdasarkan Gambar 4.37 grafik perbandingan kekuatan tarik setiap material komposit yang disimulasikan pada penelitian ini, didapat bahwa material sisal fiber/epoxy memiliki kekuatan tarik material terbesar. Dimana nilai kekuatan tarik terbesar tersebut terdapat pada fraksi volume 40%. Sedangkan untuk kekuatan tarik komposit terendah terdapat pada material Kenaf fiber/epoxy. Dimana nilai kekuatan tarik terendah tersebut terdapat pada fraksi volume 70%. Berdasarkan pada grafik tersebut dapat dilihat juga bahwa material Sisal Fiber/Epoxy memiliki tren yang berbeda jika dibandingkan dengan kedua material lainnya, dimana material Sisal Fiber/Epoxy mengalami tren naik sampai dengan fraksi volume 40%, sedangkan pada material Kenaf Fiber/Epoxy dan Palem Fiber/Epoxy keduanya mengalami titik puncak kekuatan tarik pada fraksi volume serat 30%.



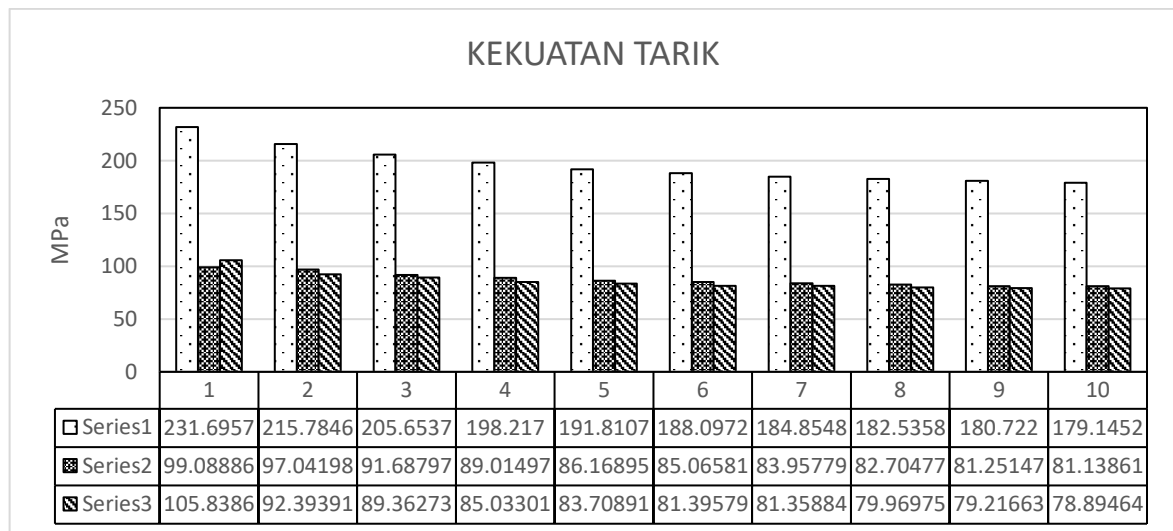
**Gambar 4.38** Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas Variasi Fraksi Volume

Berdasarkan pada Gambar 4.38, dapat dilihat persebaran nilai modulus elastisitas dari setiap material komposit yang sudah dilakukan simulasi pengujian tarik pada simulasi kali ini.



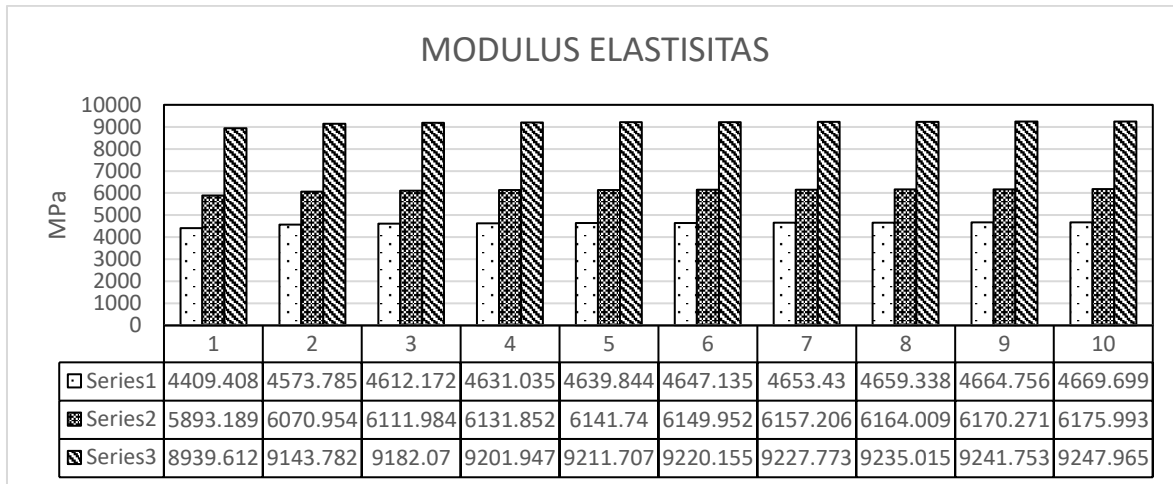
Berdasarkan grafik perbandingan tersebut dapat dilihat bahwa ketiga material memiliki tren kenaikan yang sama disetiap fraksi volume serat, dimana semakin besar fraksi volume serat maka nilai modulus elastisitas semakin besar. Dapat dilihat juga nilai modulus elastisitas terbesar terdapat pada material palem fiber/epoxy dengan fraksi volume 70. Sedangkan untuk nilai modulus elastisitas terendah terdapat pada material komposit Sisal Fiber/Epoxy dengan fraksi volume serat 20%. Dari grafik tersebut juga dapat disimpulkan bahwa material komposit Palem Fiber/Epoxy memiliki sifat yang sangat kuat dalam menahan deformasi elastis jika dibandingkan dengan material komposit Sisal Fiber/Epoxy dan Kenaf Fiber/Epoxy

#### 4.5.2. Jumlah Layer



**Gambar 4.39** Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Variasi Jumlah Layer

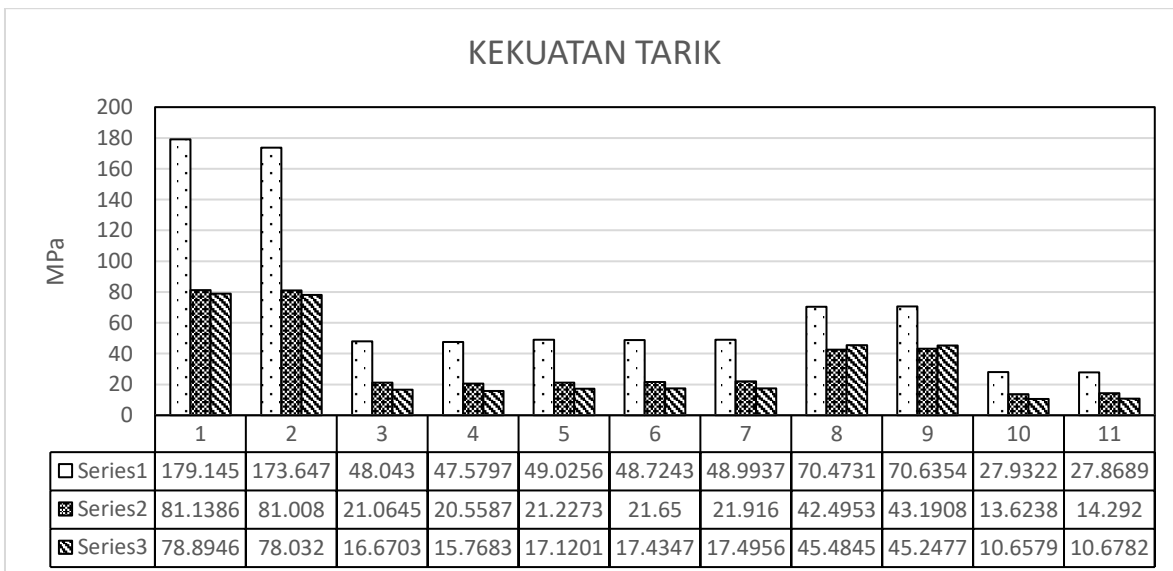
Dapat dilihat pada Gambar 4.39, grafik perbandingan kekuatan tarik dengan variasi yang diberikan berupa jumlah layer. Dari grafik batang tersebut dapat dilihat bahwa ketiga material tersebut memiliki tren pengaruh yang sama terhadap penambahan jumlah layer, dapat dilihat ketiga material memiliki kekuatan tarik terbesar ketika hanya terdiri dari satu layer saja, dan memiliki nilai kekuatan tarik yang rendah jika material komposit dari ketiganya terdiri dari sepuluh layer dan juga ketiganya membentuk grafik yang cenderung konvergen jika semakin banyak jumlah layer penyusun komposit tersebut. Berdasarkan grafik batang tersebut juga nilai kekuatan tarik terbesar dapat diketahui, kekuatan tarik terbesar terdapat pada material komposit sisal fiber/epoxy dengan jumlah layer satu. Untuk kekuatan tarik terendah terdapat pada material komposit palem fiber/epoxy dengan jumlah layer sebanyak sepuluh layer.



**Gambar 4.40** Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas Variasi Jumlah Layer

Berdasarkan pada Gambar 4.40, grafik perbandingan modulus elastisitas dengan variasi jumlah layer. Berdasarkan gambar grafik batang tersebut nilai ketiga material komposit tersebut memiliki kecenderungan yang sama, dimana semakin banyak jumlah layer penyusun komposit maka nilai modulus elastisitas dari material tersebut akan semakin tinggi. Maka dapat disimpulkan bahwa jumlah layer akan mempengaruhi setiap material. Sedangkan untuk nilai modulus elastisitas terbesar dapat dilihat pada grafik batang tersebut, nilai modulus elastisitas terbesar dimiliki oleh material palem fiber/epoxy. Dan untuk material yang memiliki nilai modulus elastisitas terkecil terdapat pada material sisal fiber/epoxy. Hal ini menunjukkan bahwa material Sisal Fiber/Epoxi memiliki sidat yang lemah dalam menahan deformasi elastis.

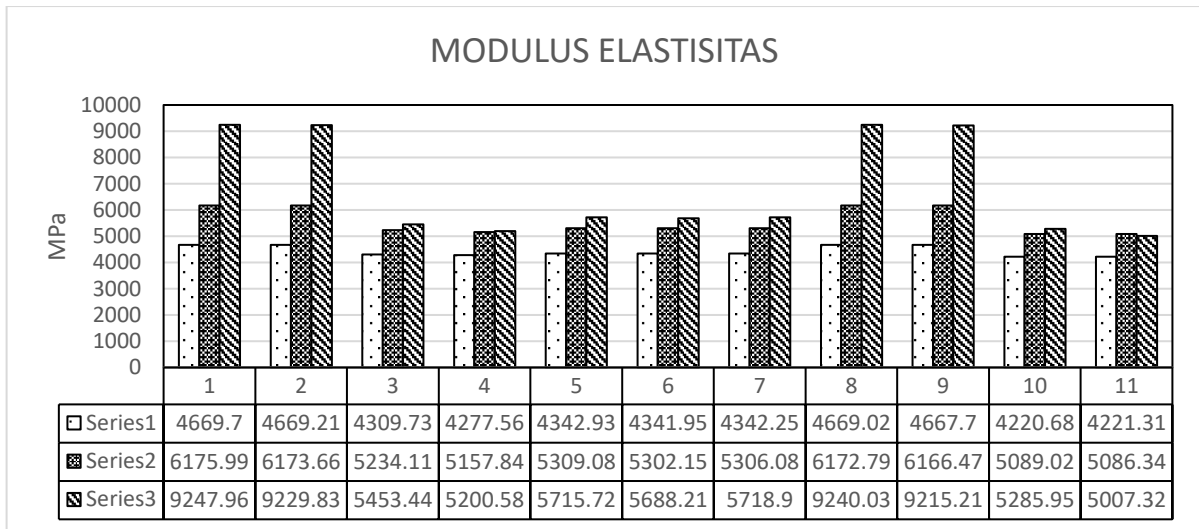
#### 4.5.3. Arah Sudut Serat



**Gambar 4.41** Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Variasi Arah Sudut Serat

Berdasarkan pada Gambar 4.41, dimana terdapat persebaran nilai kekuatan tarik dari ketiga material komposit yang sudah dilakukan pengujian tarik dengan variasi arah sudut serat, didapat bahwa ketiga material memiliki tren yang sama untuk kesebelas variasi arah serat yang sudah diberikan pada penelitian ini. Dimana ketiga material mengalami kekuatan terbaik di

konfigurasi arah sudut serat dengan variasi 1, dan memiliki nilai kekuatan tarik terlemah pada konfigurasi arah sudut serat variasi 11.



**Gambar 4.42** Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas Variasi Arah Sudut Serat

Selanjutnya terdapat grafik batang nilai modulus elastisitas dari ketiga material komposit yang sudah diuji terhadap variasi arah serat seperti pada Gambar 4.42. Dari grafik perbandingan tersebut dapat disimpulkan bahwa ketiga material memiliki modulus elastisitas terbaik pada arah sudut serat sebesar variasi satu. Dan dari tabel tersebut juga didapat bahwa kecenderungan dua material komposit yaitu material sisal fiber/epoxy, kenaf fiber/epoxy, dan Palem Fiber/Epoxy memiliki tren yang sama, dimana kedua material itu memiliki nilai modulus elastisitas yang terus mengecil dengan pertambahan besarnya arah sudut serat.

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Material Sisal Fiber/Epoxy memiliki kekuatan tarik terbesar pada fraksi volume serat 40%, dimana pada fraksi volume serat sisal 40% memiliki kekuatan tarik sebesar 231.69 MPa, sedangkan untuk material Kenaf Fiber/Epoxy dan Palem Fiber/Epoxy memiliki kekuatan tarik terbesar dititik yang sama yaitu pada fraksi volume serat 30% dimana nilai kekuatan tarik berturut-turut 99.08 MPa dan 105.83 MPa
2. Ketiga material memiliki kekuatan tarik terbesar di jumlah layer satu dengan nilai kekuatan tarik dari sisal fiber/epoxy sebesar 231.69 MPa, untuk material komposit kenaf fiber/epoxy memiliki nilai kekuatan tarik di saat komposit terdiri dari satu layer sebesar 99.08 MPa, dan untuk material palem fiber/epoxy dengan jumlah layer satu memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 105.83MPa.
3. Jika material terdiri dari sepuluh layer maka, ketiga material memiliki kekuatan tarik terbesar di arah sudut serat  $[0^\circ]_{10}$  dengan nilai kekuatan tarik dari sisal fiber/epoxy sebesar 179.145 MPa, untuk material komposit kenaf fiber/epoxy memiliki nilai kekuatan tarik pada saat arah sudut serat penyusunnya  $[0^\circ]_{10}$  sebesar 81.1386 MPa, dan untuk material palem fiber/epoxy dengan arah sudut serat  $[0^\circ]_{10}$  memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 78.8946 MPa
4. Didapat kombinasi fraksi volume serat, jumlah layer, dan arah sudut serat terbaik yaitu untuk material komposit Sisal Fiber/Epoxy pada fraksi volume serat 40%, dengan terdiri dari satu layer, dan dengan orientasi arah sudut serat  $[0^\circ]$ , lalu untuk material komposit Kenaf Fiber/Epoxy dan Palem Fiber/Epoxy pada fraksi volume serat 30%, dengan terdiri dari satu layer, dan dengan orientasi arah sudut serat  $[0^\circ]$

#### **5.2. Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan kesimpulan yang telah didapatkan, adapun saran yang dapat diberikan untuk pengembangan selanjutnya antara lain sebagai berikut.

1. Disarankan untuk menggunakan Standar ASTM D638
2. Disarankan untuk melakukan eksperimen terlebih dahulu agar dapat menentukan nilai *orthotropic stress limit* yang lebih akurat.

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## DAFTAR PUSTAKA

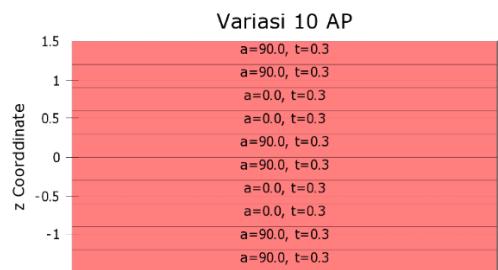
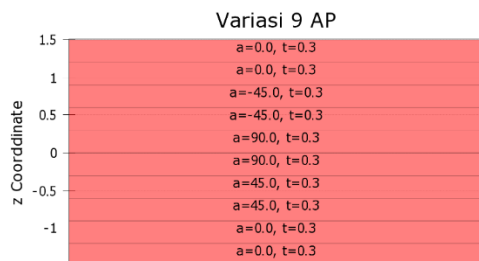
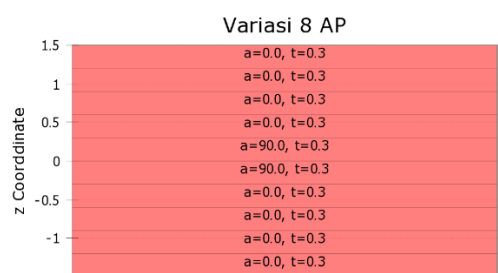
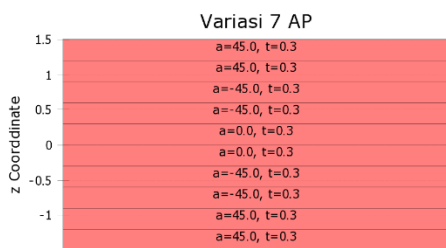
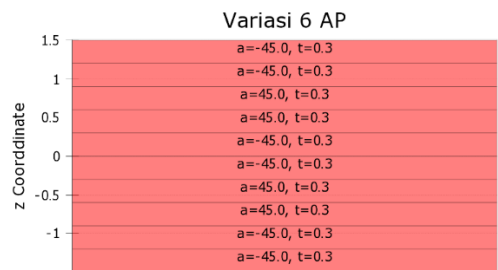
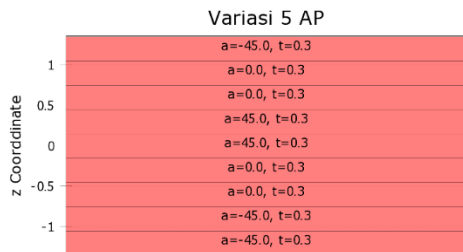
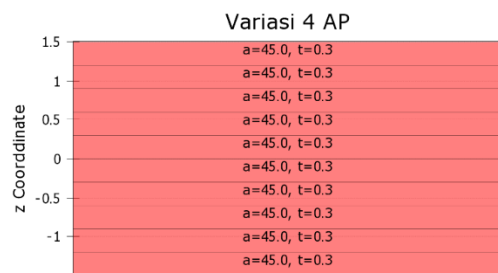
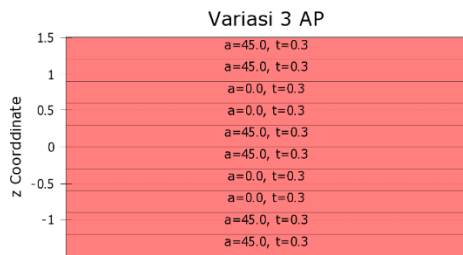
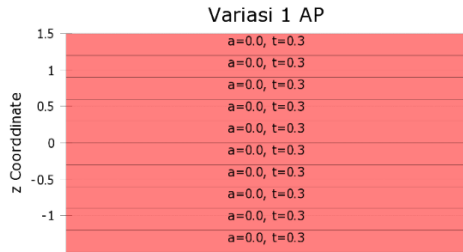
- Abdal-hay, A., Suardana, N. P., Jung, D. Y., Choi, K. S., & Lim, J. K. (2012). Effect of Diameters and Alkali Treatment on the Tensile Properties of Date Palm Fiber Reinforced Epoxy Composite. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 1199-1206.
- Al-Waily, M., Abdulzahra Deli, A., Darweesh Al-Mawash, A., & Abud Almalik Abud Ali, Z. (2017). Effect of Natural Sisal Fiber Reinforcement on the Composite Plate Buckling Behavior. In *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS* (Vol. 17).
- Ali, M. (2011). Coconut Fibre: A versatile material and its applications in Engineering. *Journal of Civil Engineering and Construction technology*, 189-197.
- Astika, I. M., Lokantara, I. P., & Gatot Karohika, I. M. (2013). Sifat Mekanis Komposit Polyester dengan Penguat Serat Sabut Kelapa. *Jurnal Energi Manufaktur*, 6(2), 95–202.
- Astley, O. M., Chanliaud, E., Donald, A. M., & Gidley, M. J. (2001). Structure of Acetobacter cellulose composites in the hydrated state. *International Journal of Biological Macromolecules*, 29(3), 193–202. [https://doi.org/10.1016/S0141-8130\(01\)00167-2](https://doi.org/10.1016/S0141-8130(01)00167-2)
- Davanageri, M., Davangeri, M. B., U, V. B., & Bhat, V. (2014). *DEVELOPMENT AND EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF ASBESTOS FILLED E-GLASS/EPOXY COMPOSITES* Some of the authors of this publication are also working on these related projects: working on embrittlement effect on wear View project *DEVELOPMENT AND EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF ASBESTOS FILLED E-GLASS/EPOXY COMPOSITES*. 4, 25–30. <https://www.researchgate.net/publication/263714634>
- Fajrin, J., Akmaludin, A., & Gapsari, F. (2022). Utilization of Kenaf Fiber Waste as Reinforced Polymer Composite. *Result in ENgineering*, 1-7.
- Gibson, R. F. (1994). Principle Of Composite Material Mechanic. Mc Graw Hill International Book Company, New York
- Gapsari, F., Purnowidodo, A., Hidayatullah, S., & Suteja, S. (2021). Characterization of Timoho Fiber as a reinforcement in green composite. *Journal of Materials Research and Technology*, 13, 1305–1315. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.05.049>
- Hakim, L., Hamdan Adma Adinugraha, dan, Utama, K., & Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan Jl Palagan Tentara Pelajar Km, B. (2019). PENGARUH POHON INDUK DAN BAHAN STEK TERHADAP PERTUMBUHAN STEK CABANG TIMOHO (*Kleinhovia hospita* L) Effect of mother trees and cuttings material on the growth of Timoho (*Kleinhovia hospita* L.) stemcuttings. In *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan* (Vol. 13, Issue 2).
- Ibrahim , M. I., Hassan, M. Z., Dolah, R., & Mohamed, M. Z. (2018). Tensile Behaviour for Mercerization of Single Kenaf Fiber. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 437-439.
- Indriani, I., & Widiawati, D. (2015). Eksplorasi Struktur Serat Tanaman Kenaf (*Hibicus Cannainus* L.) pada Teknik Tenun ATBM Sebagai Bahan Baku Tekstil. *Jurnal Tingkat Sarjana bidang Seni Rupa dan Desain*, 1-7.

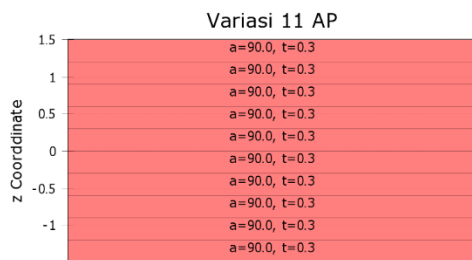
- Kemala, N. (2015). KAJIAN PENDAPATAN DAN KONTRIBUSI USAHATANI KELAPA (Cocos Nucifera) TERHADAP PENDAPATAN KELUARGA PETANI DI KABUPATEN TANJUNG JABUNG BARAT, PROVINSI JAMBI. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi* , 15(3), 125–132.
- Kusmiran, A., Sukma Pradhipta, A., & Desiasni, R. (2020). PENGARUH ORIENTASI SERAT KOMPOSIT E-GLASS EPOXY TERHADAP SIFAT MEKANIK PEGAS DAUN TUNGGAL DENGAN METODE ELEMEN HINGGA. *Jurnal Tambora*, 4(1), 57–62. <http://jurnal.uts.ac.id>
- Marcelino, R. (2018). *THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF COMPOSITES COCONUT FIBERS WITH THE VARIATION OF DIRECTION OF THE FIBER*.
- Masdani, & Dharta, Y. (2018). POTENSI PENGEMBANGAN KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT KULIT GAHARU SEBAGAI MATERIAL PENGGANTI FIBERGLASS PADA PEMBUATAN DASHBOARD. *Jurnal MANUTECH*, 10(1), 34–57.
- Mukmin, K. (2019). *PENGARUH ARAH SERAT IJUK TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN BENDING MATERIAL KOMPOSIT SERAT IJUK-EPOXY*.
- NAVEEN, P.N.E. and RAJU, T.DHARMA (2014) "Evaluation of Mechanical properties of coir fiber reinforced polyester matrix composites," *International Journal of Mechanical and Industrial Engineering*: Vol. 3 : Iss. 3 , Article 11.
- Qasthari, H. (2022). *STUDI EKSPERIMENTAL SIFAT MEKANIS KOMPOSIT SERAT SABUT KELAPA SEBAGAI MATERIAL ALTERNATIF BUMPER MOBIL*.
- Salindeho S D., S. J. (2013). PEMODELAN PENGUJIAN TARIK UNTUK MENGANALISIS SIFAT MEKANIK MATERIAL. 3-4.
- Widiarta, O. I. W., Pasek Nugraha, I. N., Rihendra Dantes, K., Pendidikan, J., & Mesin, T. (2018). PENGARUH ORIENTASI SERAT TERHADAP SIFAT MEKANIK KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT ALAM BATANG KULIT WARU (HIBISCUS TILIACEUST) DENGAN Matrik POLYESTER. In *JJTM* (Vol. 6, Issue 1).
- Widjayarto, A. (2007). *PENGARUH ORIENTASI SERAT TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS KOMPOSIT (SERAT GELAS-E, RESIN JUSTUS 157)*.
- Yasa Utama, F., & Zakiiyya, H. (2016). PENGARUH VARIASI ARAH SERAT KOMPOSIT BERPENGUAT HIBRIDA FIBERHYBRID TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN DENSITAS MATERIAL DALAM APLIKASI BODY PART MOBIL. *MEKANIKA*, 15(2), 60–69.
- Zuccarello, B., Militello, C., & Bongiorno, F. (2021). Influence of the Anisotropy of Sisal Fibers on The Mechanical Properties of High Performance Unidirectional Biocomposite Lamina and Micromechanical Models. *Composite Part A*, 1-14.



# LAMPIRAN

## VISUALISASI ARAH SERAT





## TABEL ORTHOTROPIC ELASTICITY

Sisal

| Orthotropic Elasticity |         |     |
|------------------------|---------|-----|
| Young's Modulus X      | 3961.1  | MPa |
| Young's Modulus Y      | 3694.2  | MPa |
| Young's Modulus Z      | 3694.1  | MPa |
| Poisson's Ratio XY     | 0.36141 |     |
| Poisson's Ratio YZ     | 0.36195 |     |
| Poisson's Ratio XZ     | 0.3615  |     |
| Shear Modulus XY       | 1367.3  | MPa |
| Shear Modulus YZ       | 1356.4  | MPa |
| Shear Modulus XZ       | 1367.3  | MPa |

20%

| Orthotropic Elasticity |         |     |
|------------------------|---------|-----|
| Young's Modulus X      | 4342    | MPa |
| Young's Modulus Y      | 3972    | MPa |
| Young's Modulus Z      | 3972    | MPa |
| Poisson's Ratio XY     | 0.36685 |     |
| Poisson's Ratio YZ     | 0.367   |     |
| Poisson's Ratio XZ     | 0.36688 |     |
| Shear Modulus XY       | 1469.2  | MPa |
| Shear Modulus YZ       | 1453.2  | MPa |
| Shear Modulus XZ       | 1469.2  | MPa |

30%

| Orthotropic Elasticity |         |     |
|------------------------|---------|-----|
| Young's Modulus X      | 4722    | MPa |
| Young's Modulus Y      | 4280.4  | MPa |
| Young's Modulus Z      | 4280.4  | MPa |
| Poisson's Ratio XY     | 0.37211 |     |
| Poisson's Ratio YZ     | 0.37089 |     |
| Poisson's Ratio XZ     | 0.37207 |     |
| Shear Modulus XY       | 1579.8  | MPa |
| Shear Modulus YZ       | 1561    | MPa |
| Shear Modulus XZ       | 1579.8  | MPa |

40%

| Orthotropic Elasticity |         |     |
|------------------------|---------|-----|
| Young's Modulus X      | 5102.2  | MPa |
| Young's Modulus Y      | 4623.4  | MPa |
| Young's Modulus Z      | 4623.1  | MPa |
| Poisson's Ratio XY     | 0.37709 |     |
| Poisson's Ratio YZ     | 0.37433 |     |
| Poisson's Ratio XZ     | 0.37724 |     |
| Shear Modulus XY       | 17002   | MPa |
| Shear Modulus YZ       | 1682.6  | MPa |
| Shear Modulus XZ       | 1700.2  | MPa |

50%

| Orthotropic Elasticity |         |     |
|------------------------|---------|-----|
| Young's Modulus X      | 5482.1  | MPa |
| Young's Modulus Y      | 4999.9  | MPa |
| Young's Modulus Z      | 4999.7  | MPa |
| Poisson's Ratio XY     | 0.38198 |     |
| Poisson's Ratio YZ     | 0.37824 |     |
| Poisson's Ratio XZ     | 0.8211  |     |
| Shear Modulus XY       | 1831.2  | MPa |
| Shear Modulus YZ       | 1814.7  | MPa |
| Shear Modulus XZ       | 1831.2  | MPa |

60%

| Orthotropic Elasticity |         |     |
|------------------------|---------|-----|
| Young's Modulus X      | 5862    | MPa |
| Young's Modulus Y      | 54195   | MPa |
| Young's Modulus Z      | 54195   | MPa |
| Poisson's Ratio XY     | 0.38677 |     |
| Poisson's Ratio YZ     | 0.38251 |     |
| Poisson's Ratio XZ     | 0.38677 |     |
| Shear Modulus XY       | 1975.4  | MPa |
| Shear Modulus YZ       | 1960    | MPa |
| Shear Modulus XZ       | 1975.4  | MPa |

70%

Kenaf

| Othotropic Elasticity |         |     |
|-----------------------|---------|-----|
| Young's Modulus X     | 5399.3  | MPa |
| Young's Modulus Y     | 4709.3  | MPa |
| Young's Modulus Z     | 4709.1  | MPa |
| Poisson's Ratio XY    | 0.34408 |     |
| Poisson's Ratio YZ    | 0.36125 |     |
| Poisson's Ratio XZ    | 0.34419 |     |
| Shear Modulus XY      | 1727.8  | MPa |
| Shear Modulus YZ      | 1671.8  | MPa |
| Shear Modulus XZ      | 1727.8  | MPa |

20%

| Othotropic Elasticity |         |     |
|-----------------------|---------|-----|
| Young's Modulus X     | 7020.3  | MPa |
| Young's Modulus Y     | 5949.5  | MPa |
| Young's Modulus Z     | 5949.5  | MPa |
| Poisson's Ratio XY    | 0.33859 |     |
| Poisson's Ratio YZ    | 0.3456  |     |
| Poisson's Ratio XZ    | 0.33859 |     |
| Shear Modulus XY      | 2145.4  | MPa |
| Shear Modulus YZ      | 1992.2  | MPa |
| Shear Modulus XZ      | 2145.4  | MPa |

40%

| Othotropic Elasticity |         |     |
|-----------------------|---------|-----|
| Young's Modulus X     | 8640.1  | MPa |
| Young's Modulus Y     | 7533.2  | MPa |
| Young's Modulus Z     | 7533.2  | MPa |
| Poisson's Ratio XY    | 0.33333 |     |
| Poisson's Ratio YZ    | 0.32719 |     |
| Poisson's Ratio XZ    | 0.33333 |     |
| Shear Modulus XY      | 2706.7  | MPa |
| Shear Modulus YZ      | 2462.7  | MPa |
| Shear Modulus XZ      | 2706.7  | MPa |

60%

| Othotropic Elasticity |         |     |
|-----------------------|---------|-----|
| Young's Modulus X     | 6210.3  | MPa |
| Young's Modulus Y     | 5285.4  | MPa |
| Young's Modulus Z     | 5285.4  | MPa |
| Poisson's Ratio XY    | 0.34131 |     |
| Poisson's Ratio YZ    | 0.35543 |     |
| Poisson's Ratio XZ    | 0.34131 |     |
| Shear Modulus XY      | 1923.1  | MPa |
| Shear Modulus YZ      | 1821.5  | MPa |
| Shear Modulus XZ      | 1923.1  | MPa |

30%

| Othotropic Elasticity |         |     |
|-----------------------|---------|-----|
| Young's Modulus X     | 7830.2  | MPa |
| Young's Modulus Y     | 6700    | MPa |
| Young's Modulus Z     | 6700    | MPa |
| Poisson's Ratio XY    | 0.33594 |     |
| Poisson's Ratio YZ    | 0.33515 |     |
| Poisson's Ratio XZ    | 0.33594 |     |
| Shear Modulus XY      | 2402.5  | MPa |
| Shear Modulus YZ      | 2198.4  | MPa |
| Shear Modulus XZ      | 2402.5  | MPa |

50%

| Othotropic Elasticity |         |     |
|-----------------------|---------|-----|
| Young's Modulus X     | 9405.5  | MPa |
| Young's Modulus Y     | 8444.2  | MPa |
| Young's Modulus Z     | 8444.2  | MPa |
| Poisson's Ratio XY    | 0.33073 |     |
| Poisson's Ratio YZ    | 0.32475 |     |
| Poisson's Ratio XZ    | 0.33074 |     |
| Shear Modulus XY      | 3079.4  | MPa |
| Shear Modulus YZ      | 2829.8  | MPa |
| Shear Modulus XZ      | 3079.4  | MPa |

70%

Palem

| Othotropic Elasticity |         |     |
|-----------------------|---------|-----|
| Young's Modulus X     | 7243.4  | MPa |
| Young's Modulus Y     | 4523.4  | MPa |
| Young's Modulus Z     | 4523.4  | MPa |
| Poisson's Ratio XY    | 0.33827 |     |
| Poisson's Ratio YZ    | 0.39607 |     |
| Poisson's Ratio XZ    | 0.33805 |     |
| Shear Modulus XY      | 1615.5  | MPa |
| Shear Modulus YZ      | 1510.2  | MPa |
| Shear Modulus XZ      | 1615.5  | MPa |

20%

| Othotropic Elasticity |         |     |
|-----------------------|---------|-----|
| Young's Modulus X     | 9268    | MPa |
| Young's Modulus Y     | 5406    | MPa |
| Young's Modulus Z     | 5406    | MPa |
| Poisson's Ratio XY    | 0.33268 |     |
| Poisson's Ratio YZ    | 0.38209 |     |
| Poisson's Ratio XZ    | 0.33268 |     |
| Shear Modulus XY      | 1895    | MPa |
| Shear Modulus YZ      | 1698    | MPa |
| Shear Modulus XZ      | 1895.7  | MPa |

30%

| Orthotropic Elasticity |          |     |
|------------------------|----------|-----|
| Young's Modulus X      | 11291    | MPa |
| Young's Modulus Y      | 6539.1   | MPa |
| Young's Modulus Z      | 6539.1   | MPa |
| Poisson's Ratio XY     | 0.329737 |     |
| Poisson's Ratio YZ     | 0.3571   |     |
| Poisson's Ratio XZ     | 0.32737  |     |
| Shear Modulus XY       | 2243.2   | MPa |
| Shear Modulus YZ       | 1923.9   | MPa |
| Shear Modulus XZ       | 2243.2   | MPa |

40%

| Orthotropic Elasticity |         |     |
|------------------------|---------|-----|
| Young's Modulus X      | 15335   | MPa |
| Young's Modulus Y      | 9831.3  | MPa |
| Young's Modulus Z      | 9831.3  | MPa |
| Poisson's Ratio XY     | 0.3708  |     |
| Poisson's Ratio YZ     | 0.3024  |     |
| Poisson's Ratio XZ     | 0.31708 |     |
| Shear Modulus XY       | 3304.7  | MPa |
| Shear Modulus YZ       | 2661.3  | MPa |
| Shear Modulus XZ       | 3304.7  | MPa |

60%

| Orthotropic Elasticity |         |     |
|------------------------|---------|-----|
| Young's Modulus X      | 13313   | MPa |
| Young's Modulus Y      | 7923.3  | MPa |
| Young's Modulus Z      | 7983.3  | MPa |
| Poisson's Ratio XY     | 0.32221 |     |
| Poisson's Ratio YZ     | 0.32816 |     |
| Poisson's Ratio XZ     | 0.32221 |     |
| Shear Modulus XY       | 2690.6  | MPa |
| Shear Modulus YZ       | 2222.8  | MPa |
| Shear Modulus XZ       | 2690.6  | MPa |

50%

| Orthotropic Elasticity |         |     |
|------------------------|---------|-----|
| Young's Modulus X      | 17359   | MPa |
| Young's Modulus Y      | 12247   | MPa |
| Young's Modulus Z      | 12247   | MPa |
| Poisson's Ratio XY     | 0.3118  |     |
| Poisson's Ratio YZ     | 0.28911 |     |
| Poisson's Ratio XZ     | 0.31183 |     |
| Shear Modulus XY       | 4224.8  | MPa |
| Shear Modulus YZ       | 3423    | MPa |
| Shear Modulus XZ       | 4244.8  | MPa |

70%

## TABEL ORTHOTROPIC STRESS LIMIT

Sisal

| Orthotropic Stress Limit |        |     |
|--------------------------|--------|-----|
| Tensile X Direction      | 243.6  | MPa |
| Tensile Y Direction      | 19.8   | MPa |
| Tensile Z direction      | 19.8   | MPa |
| Compressive X            | -21.61 | MPa |
| Compressive Y            | -44.37 | MPa |
| Compressive Z            | -44.37 | MPa |
| Shear XY                 | 48.53  | MPa |
| Shear YZ                 | 24.265 | MPa |
| Shear XZ                 | 48.53  | MPa |

20%

| Orthotropic Stress Limit |        |     |
|--------------------------|--------|-----|
| Tensile X Direction      | 295.2  | MPa |
| Tensile Y Direction      | 11.44  | MPa |
| Tensile Z direction      | 11.44  | MPa |
| Compressive X            | -25.75 | MPa |
| Compressive Y            | -25.72 | MPa |
| Compressive Z            | -25.72 | MPa |
| Shear XY                 | 4283   | MPa |
| Shear YZ                 | 21.415 | MPa |
| Shear XZ                 | 42.83  | MPa |

40%

| Orthotropic Stress Limit |         |     |
|--------------------------|---------|-----|
| Tensile X Direction      | 269.4   | MPa |
| Tensile Y Direction      | 15.27   | MPa |
| Tensile Z direction      | 15.27   | MPa |
| Compressive X            | -23.68  | MPa |
| Compressive Y            | -34.362 | MPa |
| Compressive Z            | -34.362 | MPa |
| Shear XY                 | 45.68   | MPa |
| Shear YZ                 | 2284    | MPa |
| Shear XZ                 | 45.68   | MPa |

30%

| Orthotropic Stress Limit |         |     |
|--------------------------|---------|-----|
| Tensile X Direction      | 321     | MPa |
| Tensile Y Direction      | 8.07    | MPa |
| Tensile Z direction      | 8.07    | MPa |
| Compressive X            | -27.83  | MPa |
| Compressive Y            | -18.172 | MPa |
| Compressive Z            | -18.172 | MPa |
| Shear XY                 | 39.978  | MPa |
| Shear YZ                 | 14.989  | MPa |
| Shear XZ                 | 39.978  | MPa |

50%

| Orthotropic Stress Limit |         |     |
|--------------------------|---------|-----|
| Tensile X Direction      | 346.8   | MPa |
| Tensile Y Direction      | 5.02    | MPa |
| Tensile Z direction      | 5.02    | MPa |
| Compressive X            | -29.9   | MPa |
| Compressive Y            | -11.316 | MPa |
| Compressive Z            | -11.316 | MPa |
| Shear XY                 | 37.125  | MPa |
| Shear YZ                 | 18.56   | MPa |
| Shear XZ                 | 37.125  | MPa |

60%

| Orthotropic Stress Limit |        |     |
|--------------------------|--------|-----|
| Tensile X Direction      | 372.6  | MPa |
| Tensile Y Direction      | 2.22   | MPa |
| Tensile Z direction      | 2.22   | MPa |
| Compressive X            | -31.97 | MPa |
| Compressive Y            | -5.01  | MPa |
| Compressive Z            | -5.01  | MPa |
| Shear XY                 | 34.272 | MPa |
| Shear YZ                 | 17.136 | MPa |
| Shear XZ                 | 34.272 | MPa |

70%

Kenaf

| Orthotropic Stress Limit |        |     |
|--------------------------|--------|-----|
| Tensile X Direction      | 103.08 | MPa |
| Tensile Y Direction      | 27.04  | MPa |
| Tensile Z direction      | 27.04  | MPa |
| Compressive X            | -23.36 | MPa |
| Compressive Y            | -38.67 | MPa |
| Compressive Z            | -38.67 | MPa |
| Shear XY                 | 40.07  | MPa |
| Shear YZ                 | 20.035 | MPa |
| Shear XZ                 | 40.07  | MPa |

20%

| Orthotropic Stress Limit |         |     |
|--------------------------|---------|-----|
| Tensile X Direction      | 127.32  | MPa |
| Tensile Y Direction      | 20.846  | MPa |
| Tensile Z direction      | 20.846  | MPa |
| Compressive X            | -26.848 | MPa |
| Compressive Y            | -29.818 | MPa |
| Compressive Z            | -29.818 | MPa |
| Shear XY                 | 40.36   | MPa |
| Shear YZ                 | 20.18   | MPa |
| Shear XZ                 | 40.36   | MPa |

30%

| Orthotropic Stress Limit |         |     |
|--------------------------|---------|-----|
| Tensile X Direction      | 151.56  | MPa |
| Tensile Y Direction      | 15.624  | MPa |
| Tensile Z direction      | 15.624  | MPa |
| Compressive X            | -30.372 | MPa |
| Compressive Y            | -22.349 | MPa |
| Compressive Z            | -22.349 | MPa |
| Shear XY                 | 40.31   | MPa |
| Shear YZ                 | 20.15   | MPa |
| Shear XZ                 | 40.31   | MPa |

40%

| Orthotropic Stress Limit |         |     |
|--------------------------|---------|-----|
| Tensile X Direction      | 175.8   | MPa |
| Tensile Y Direction      | 11.024  | MPa |
| Tensile Z direction      | 11.024  | MPa |
| Compressive X            | -33.87  | MPa |
| Compressive Y            | -15.769 | MPa |
| Compressive Z            | -15.769 | MPa |
| Shear XY                 | 39.848  | MPa |
| Shear YZ                 | 19.924  | MPa |
| Shear XZ                 | 39.848  | MPa |

50%

| Orthotropic Stress Limit |         |     |
|--------------------------|---------|-----|
| Tensile X Direction      | 200.04  | MPa |
| Tensile Y Direction      | 6.865   | MPa |
| Tensile Z direction      | 6.865   | MPa |
| Compressive X            | -37.381 | MPa |
| Compressive Y            | -9.82   | MPa |
| Compressive Z            | -9.82   | MPa |
| Shear XY                 | 38.932  | MPa |
| Shear YZ                 | 19.46   | MPa |
| Shear XZ                 | 38.932  | MPa |

60%

| Orthotropic Stress Limit |         |     |
|--------------------------|---------|-----|
| Tensile X Direction      | 224.28  | MPa |
| Tensile Y Direction      | 3.04    | MPa |
| Tensile Z direction      | 3.04    | MPa |
| Compressive X            | -40.886 | MPa |
| Compressive Y            | -4.349  | MPa |
| Compressive Z            | -4.349  | MPa |
| Shear XY                 | 37.51   | MPa |
| Shear YZ                 | 18.755  | MPa |
| Shear XZ                 | 37.51   | MPa |

70%

Palem

| Orthotropic Stress Limit |        |     |
|--------------------------|--------|-----|
| Tensile X Direction      | 90.56  | MPa |
| Tensile Y Direction      | 19.809 | MPa |
| Tensile Z direction      | 19.809 | MPa |
| Compressive X            | -11.64 | MPa |
| Compressive Y            | -44.57 | MPa |
| Compressive Z            | -44.57 | MPa |
| Shear XY                 | 50.68  | MPa |
| Shear YZ                 | 25.34  | MPa |
| Shear XZ                 | 50.68  | MPa |

20%

| Orthotropic Stress Limit |         |     |
|--------------------------|---------|-----|
| Tensile X Direction      | 115.85  | MPa |
| Tensile Y Direction      | 15.272  | MPa |
| Tensile Z direction      | 15.272  | MPa |
| Compressive X            | -22.674 | MPa |
| Compressive Y            | -34.362 | MPa |
| Compressive Z            | -36.362 | MPa |
| Shear XY                 | 52.225  | MPa |
| Shear YZ                 | 26.612  | MPa |
| Shear XZ                 | 52.225  | MPa |

30%

| Orthotropic Stress Limit |         |     |
|--------------------------|---------|-----|
| Tensile X Direction      | 141.45  | MPa |
| Tensile Y Direction      | 11.446  | MPa |
| Tensile Z direction      | 11.446  | MPa |
| Compressive X            | -37.388 | MPa |
| Compressive Y            | -25.755 | MPa |
| Compressive Z            | -25.755 | MPa |
| Shear XY                 | 55.584  | MPa |
| Shear YZ                 | 27.792  | MPa |
| Shear XZ                 | 55.584  | MPa |

40%

| Orthotropic Stress Limit |         |     |
|--------------------------|---------|-----|
| Tensile X Direction      | 166.7   | MPa |
| Tensile Y Direction      | 8.07    | MPa |
| Tensile Z direction      | 8.07    | MPa |
| Compressive X            | -55.96  | MPa |
| Compressive Y            | -18.172 | MPa |
| Compressive Z            | -18.172 | MPa |
| Shear XY                 | 57.798  | MPa |
| Shear YZ                 | 28.899  | MPa |
| Shear XZ                 | 57.798  | MPa |

50%

| Orthotropic Stress Limit |         |     |
|--------------------------|---------|-----|
| Tensile X Direction      | 191.68  | MPa |
| Tensile Y Direction      | 5.029   | MPa |
| Tensile Z direction      | 5.029   | MPa |
| Compressive X            | -72.557 | MPa |
| Compressive Y            | -11.31  | MPa |
| Compressive Z            | -11.31  | MPa |
| Shear XY                 | 60.093  | MPa |
| Shear YZ                 | 30.046  | MPa |
| Shear XZ                 | 60.093  | MPa |

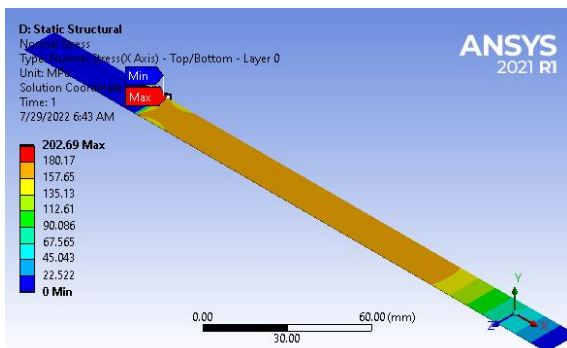
60%

| Orthotropic Stress Limit |         |     |
|--------------------------|---------|-----|
| Tensile X Direction      | 216.96  | MPa |
| Tensile Y Direction      | 2.227   | MPa |
| Tensile Z direction      | 2.227   | MPa |
| Compressive X            | -105.38 | MPa |
| Compressive Y            | -5.0121 | MPa |
| Compressive Z            | -5.0121 | MPa |
| Shear XY                 | 63.191  | MPa |
| Shear YZ                 | 31.595  | MPa |
| Shear XZ                 | 63.191  | MPa |

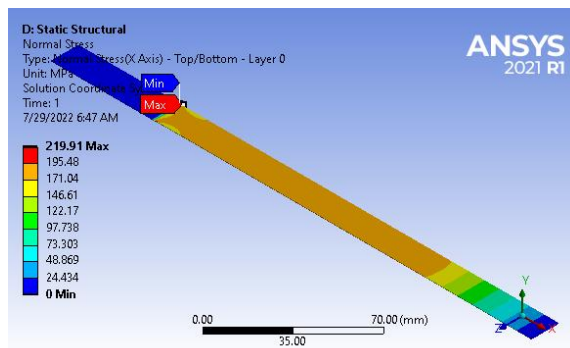
70%

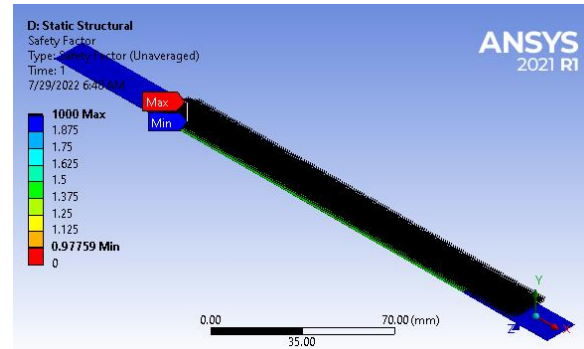
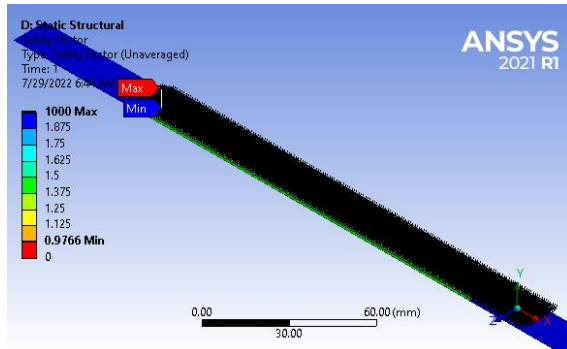
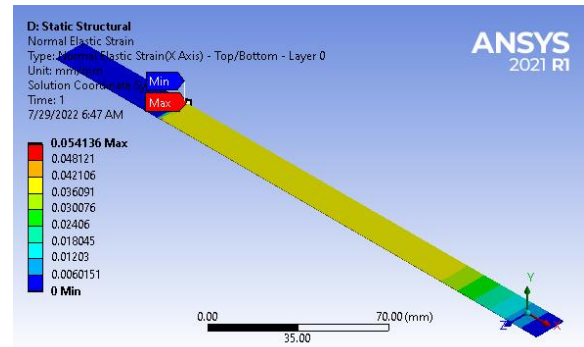
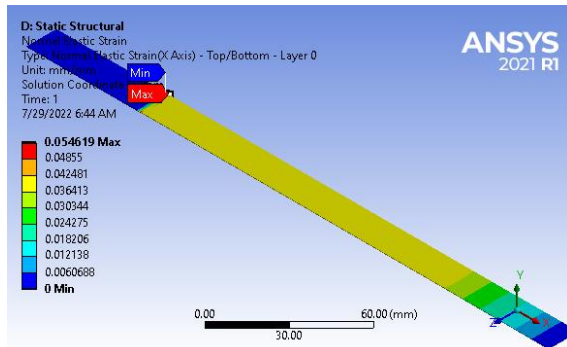
## HASIL SIMULASI SISAL

### Fraksi Volume 20%



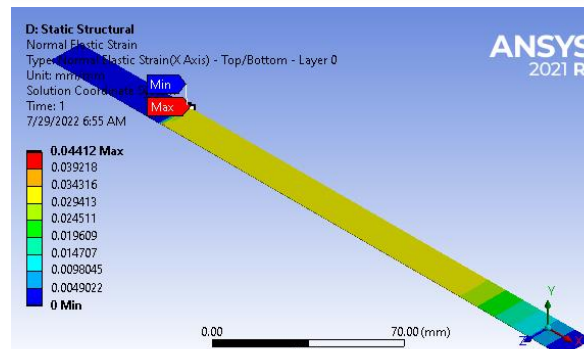
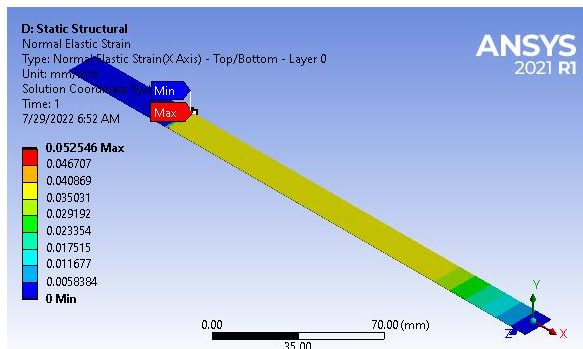
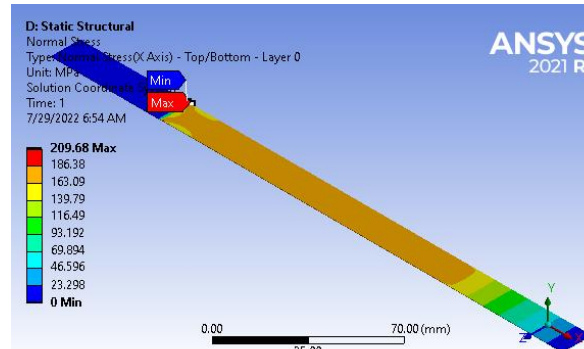
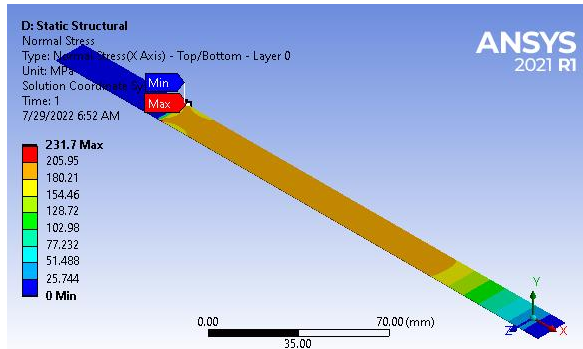
### Fraksi Volume 30%

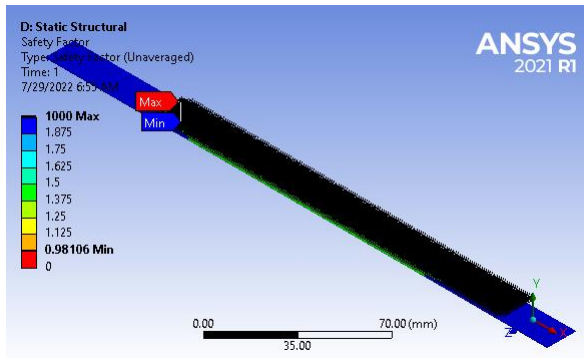
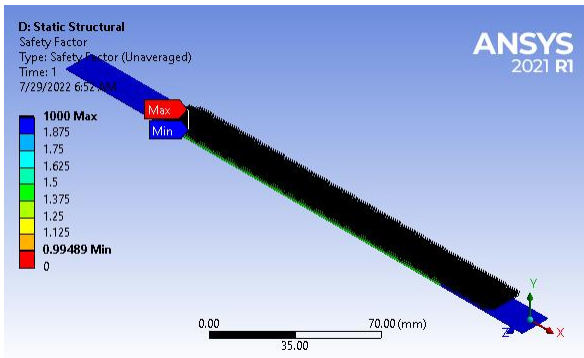




Fraksi Volume 40%

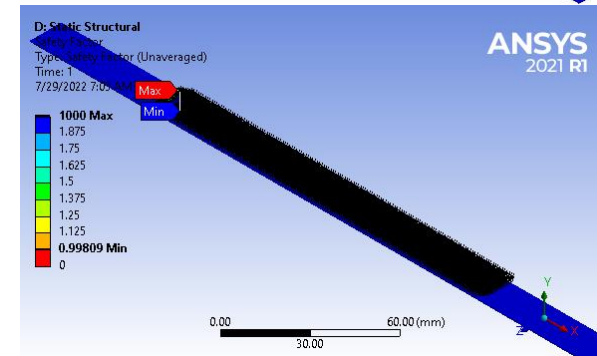
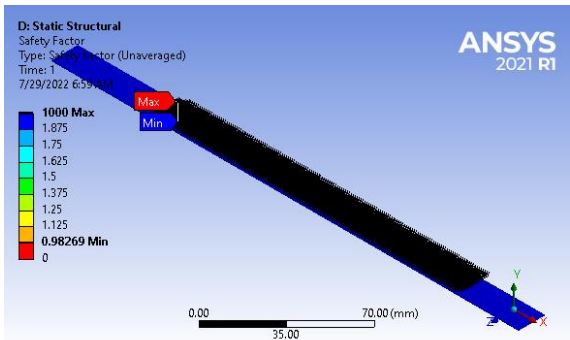
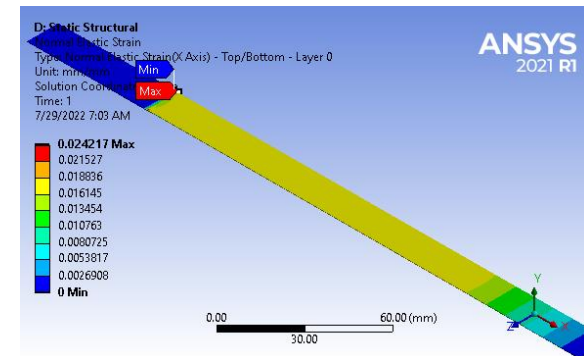
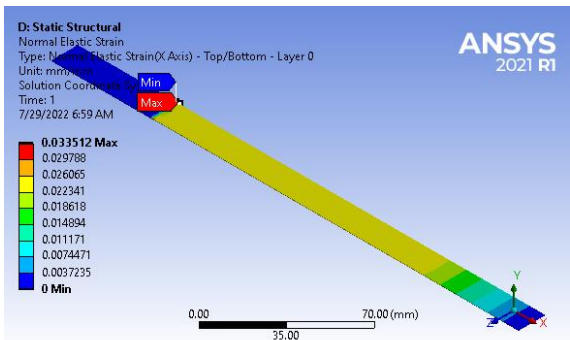
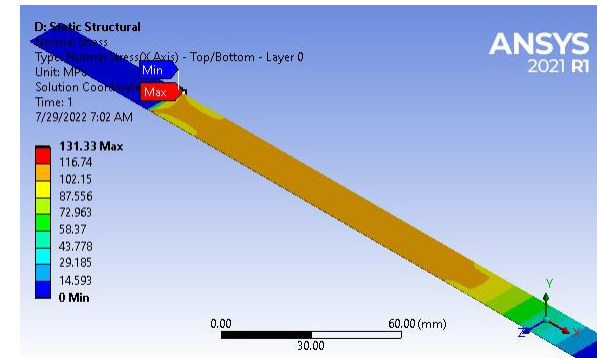
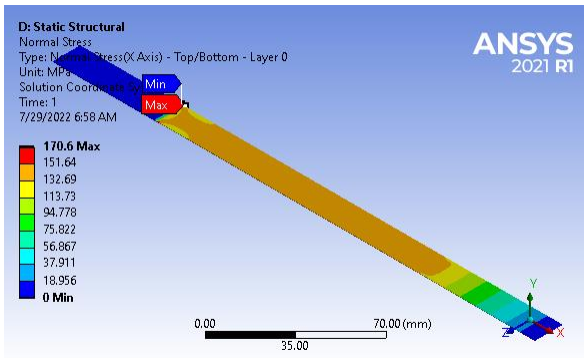
Fraksi Volume 50%





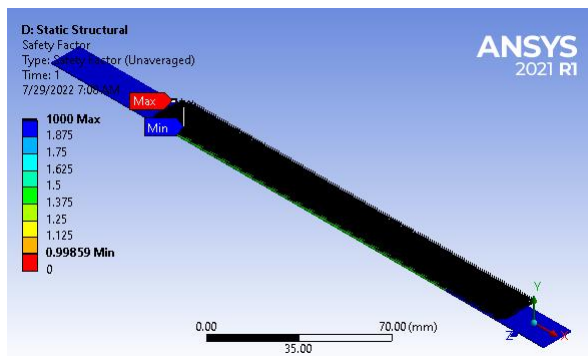
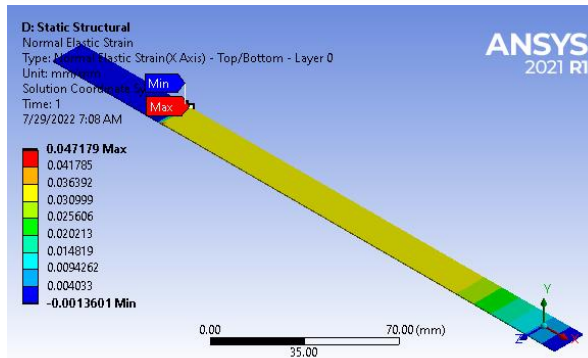
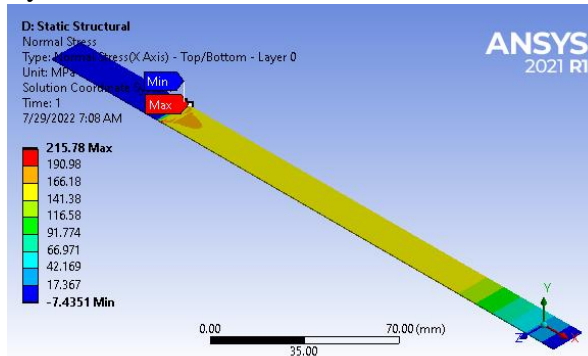
Fraksi Volume 60%

Fraksi Volume 70%

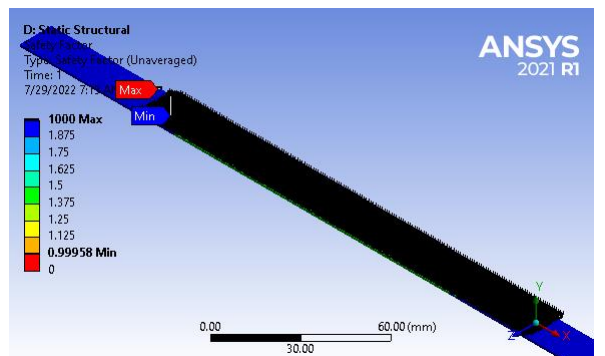
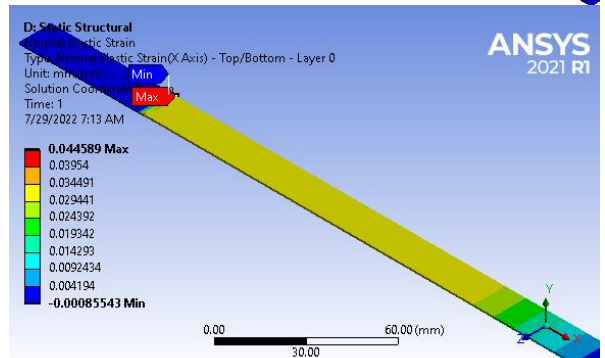
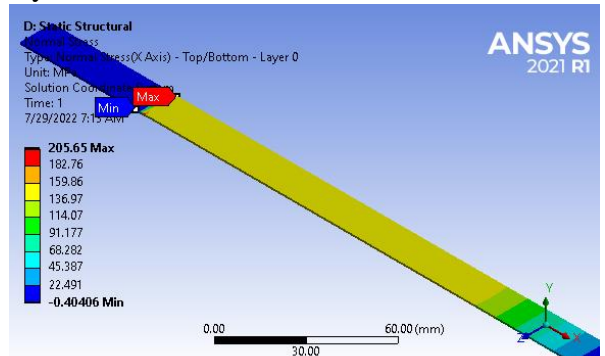




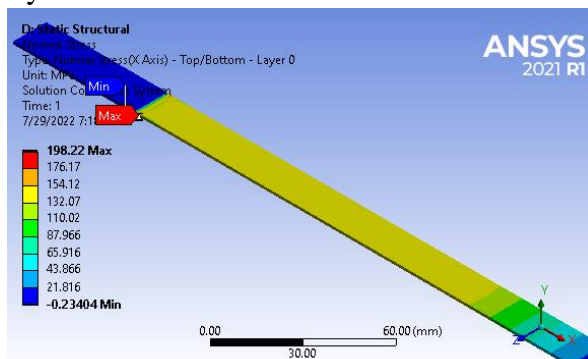
Layer 2



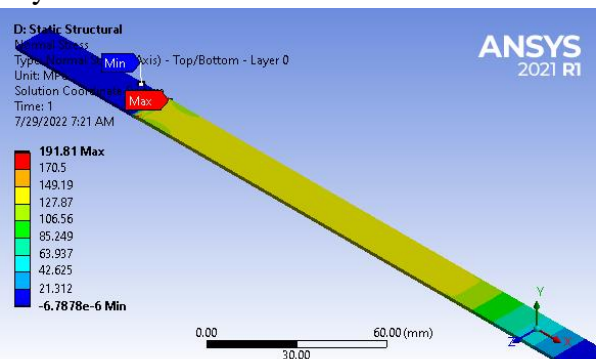
Layer 3

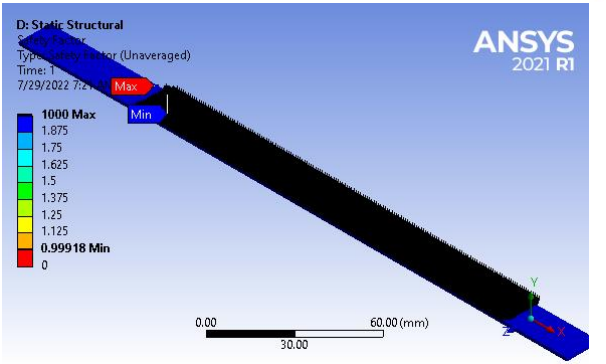
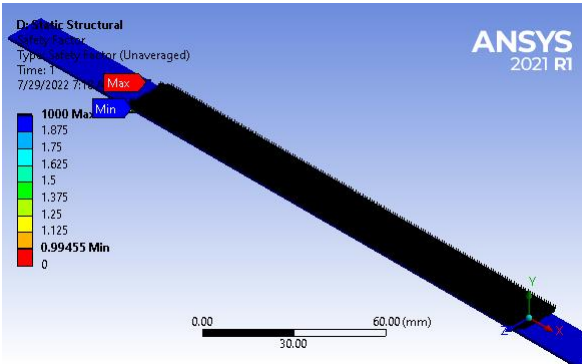
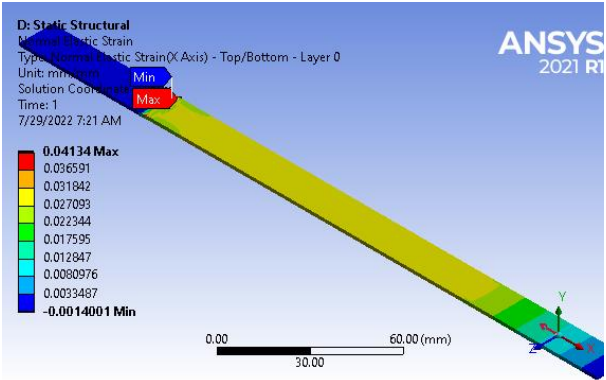
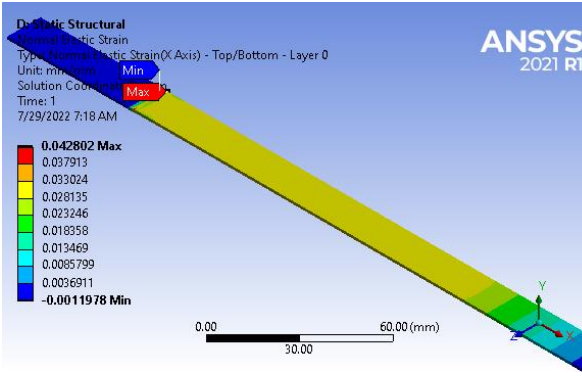


Layer 4



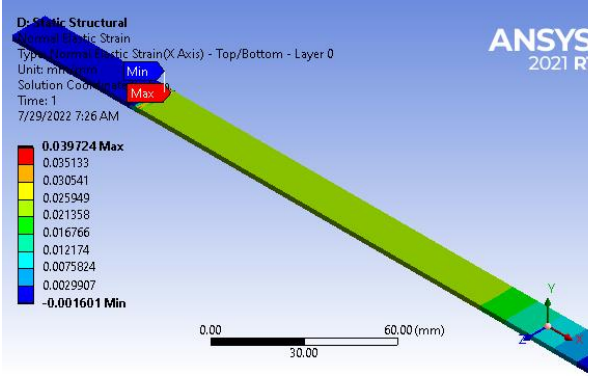
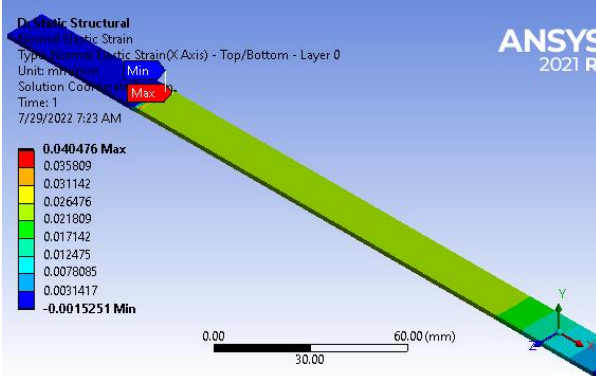
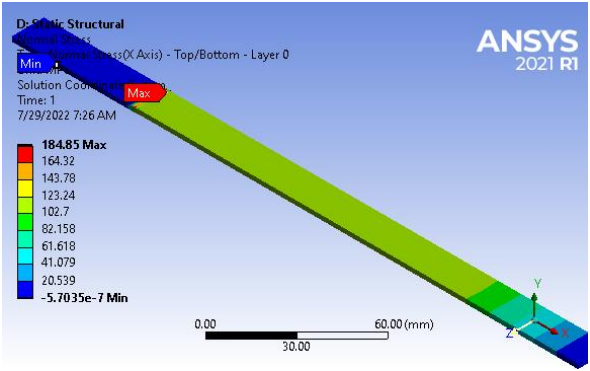
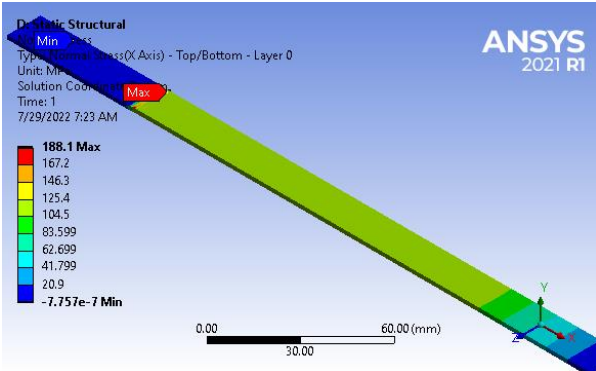
Layer 5

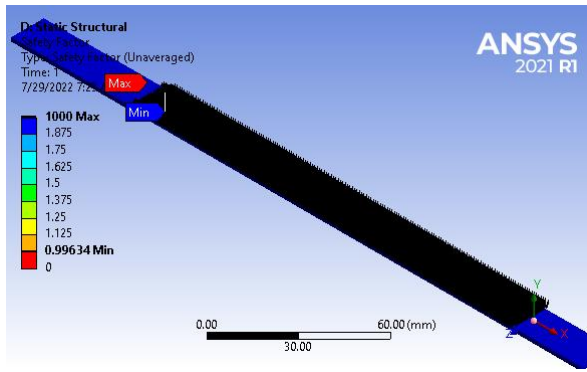




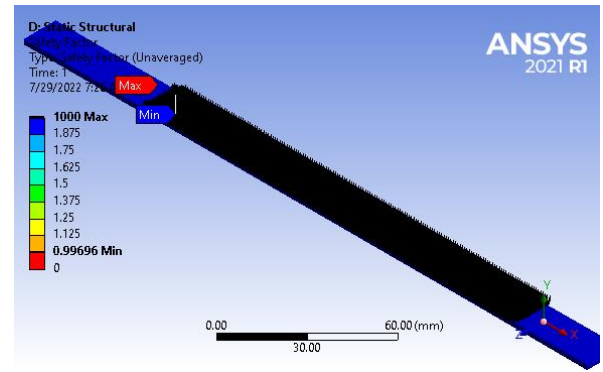
Layer 6

Layer 7

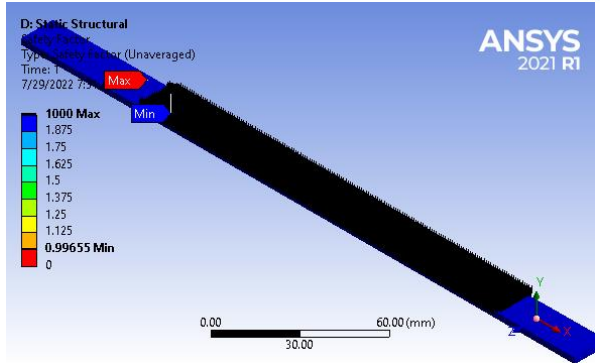
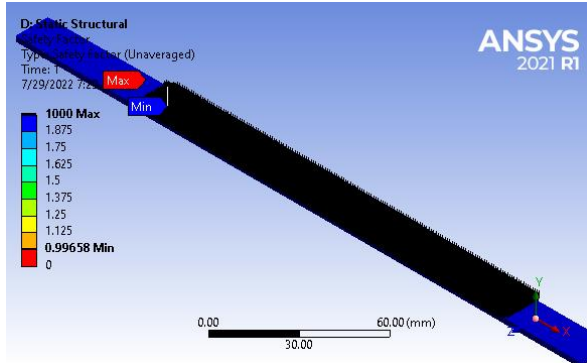
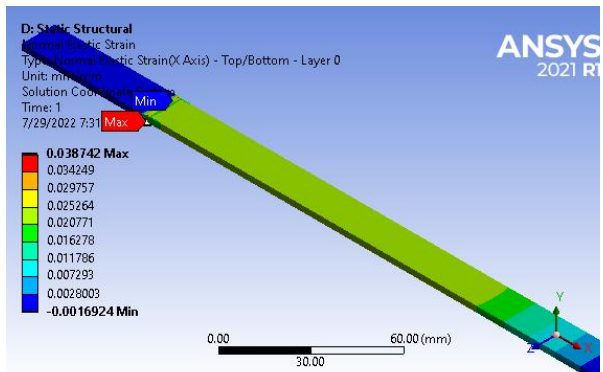
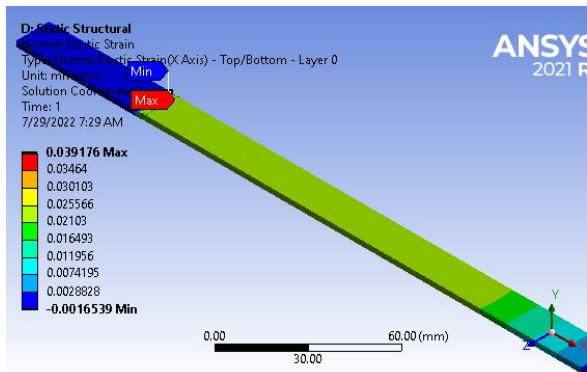
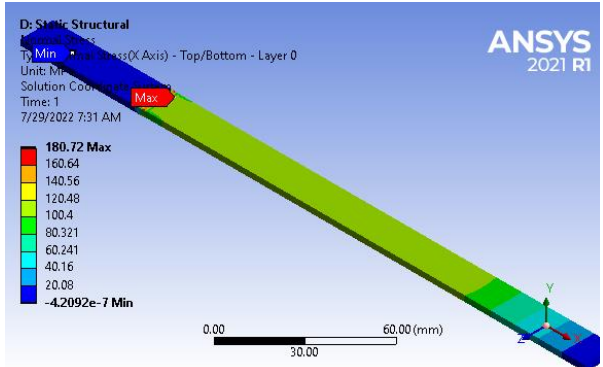
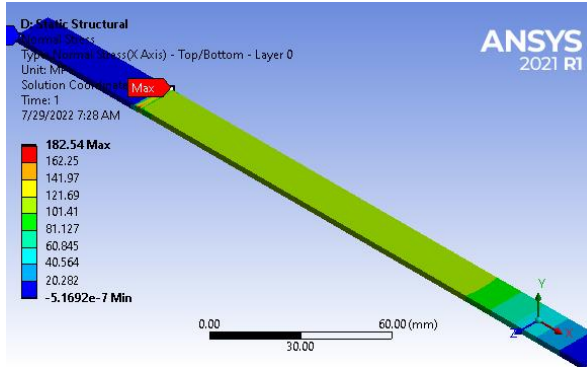




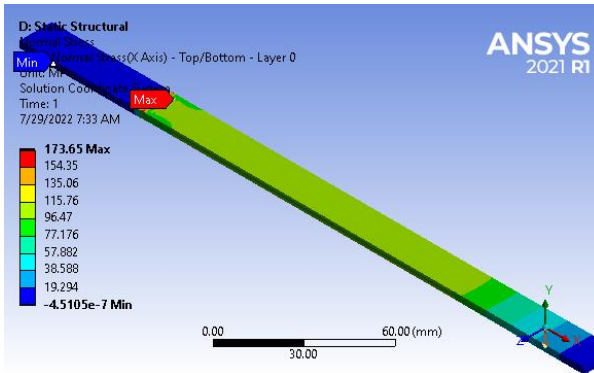
Layer 8



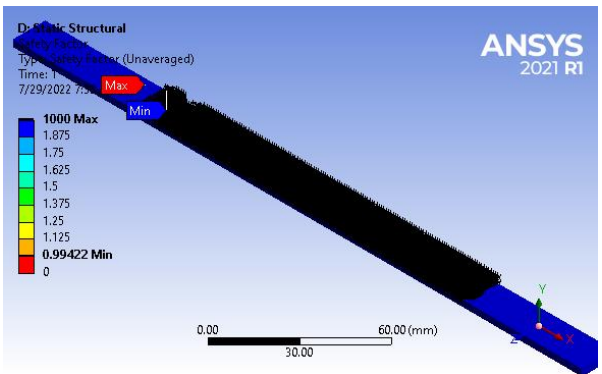
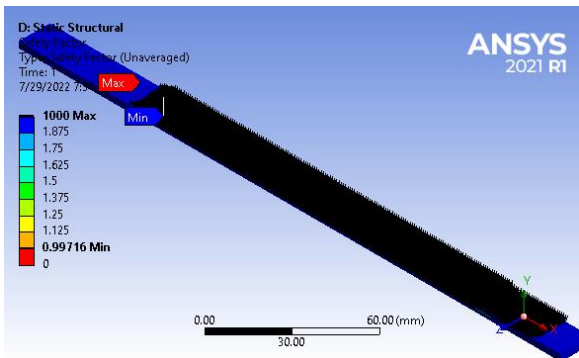
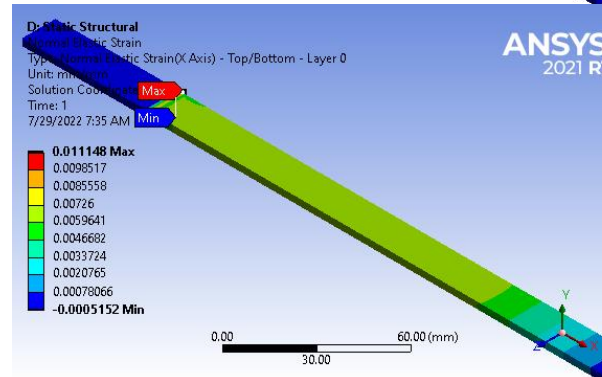
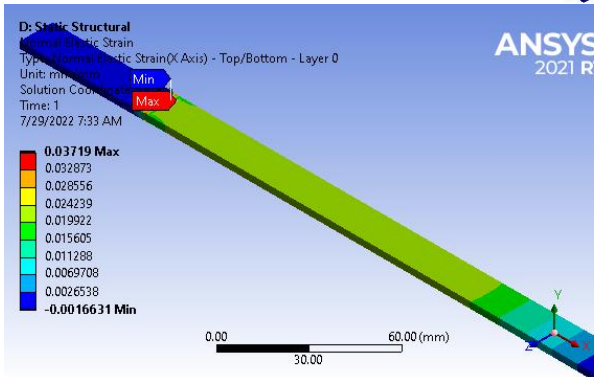
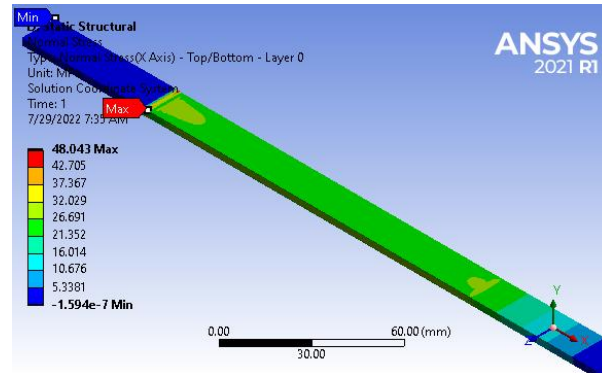
Layer 9



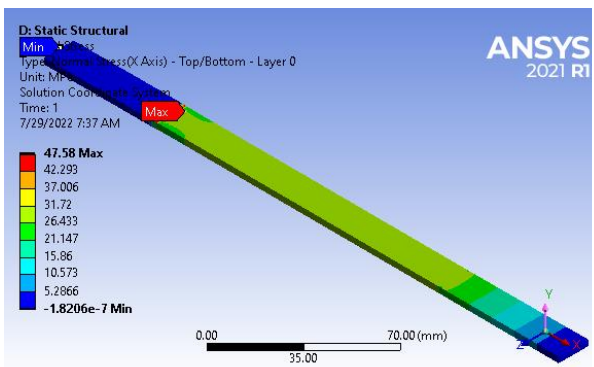
### Variasi Arah Serat 2



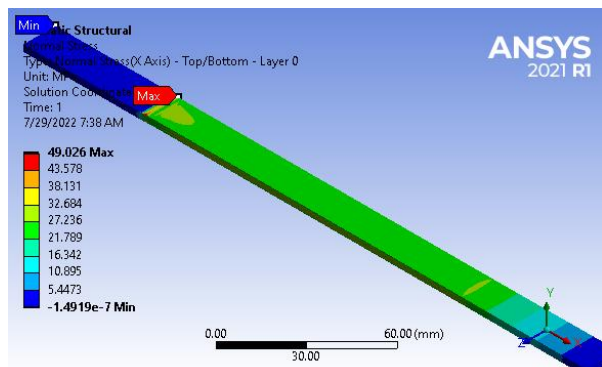
### Variasi Arah Serat 3

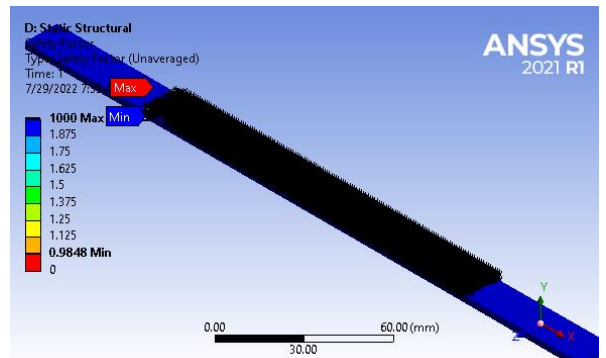
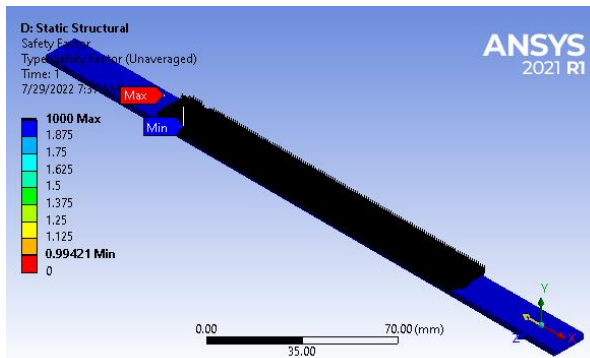
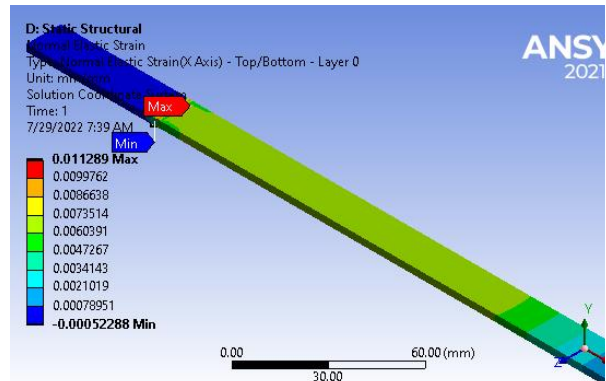
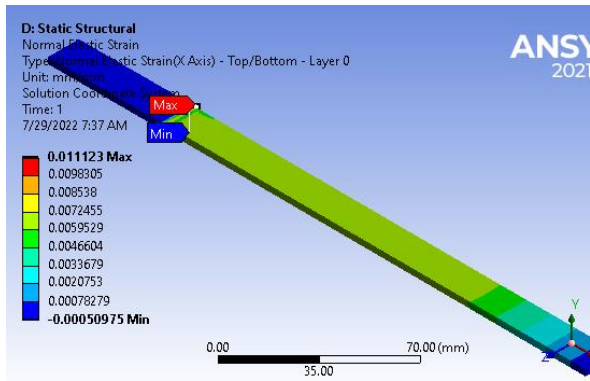


### Variasi Arah Serat 4



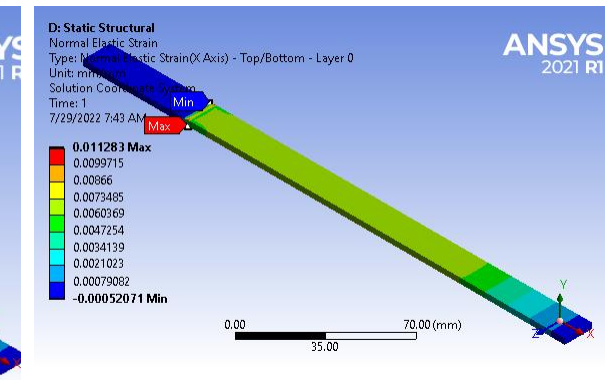
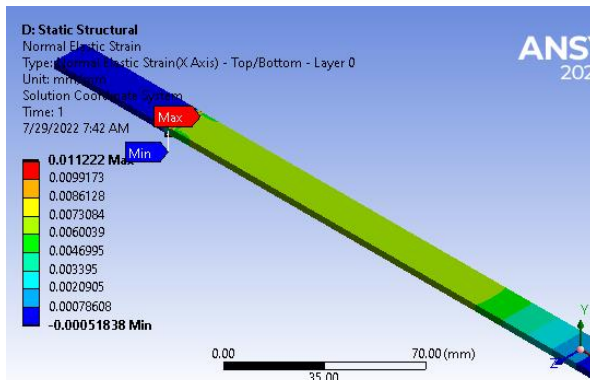
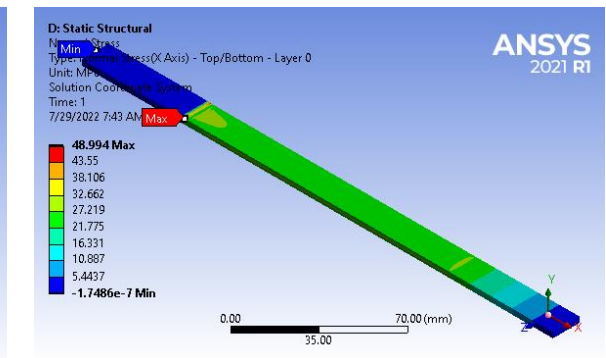
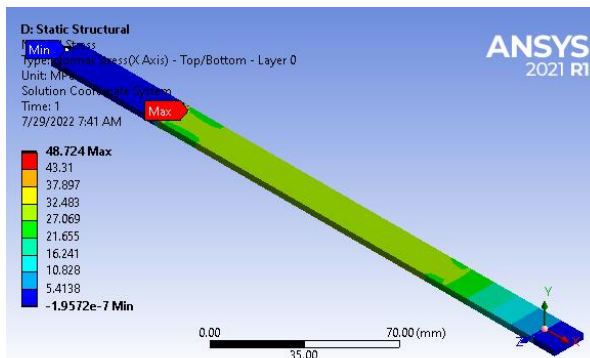
### Variasi Arah Serat 5

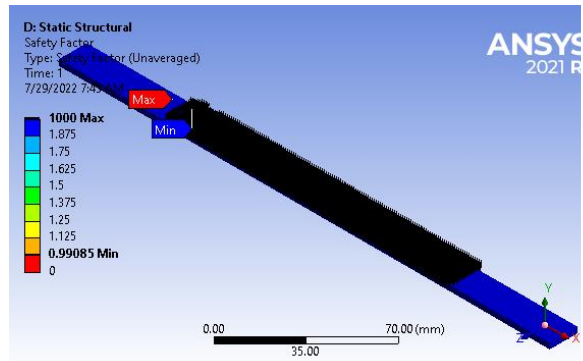
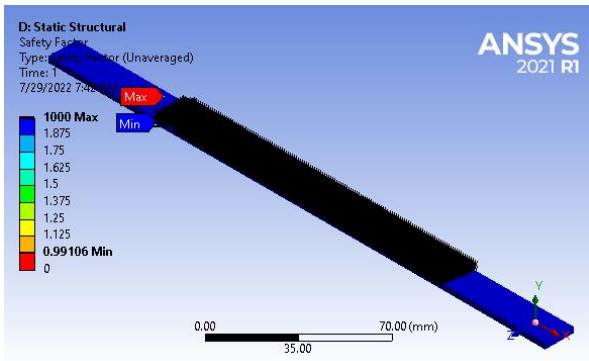




Variasi Arah Serat 6

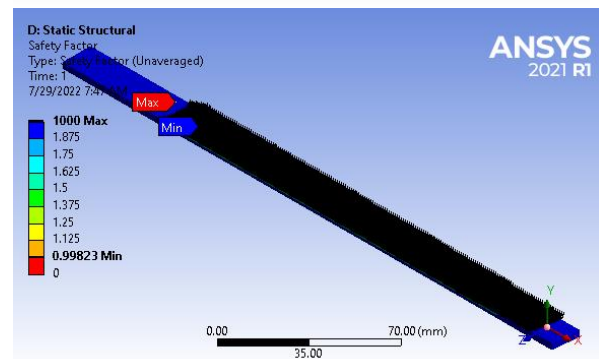
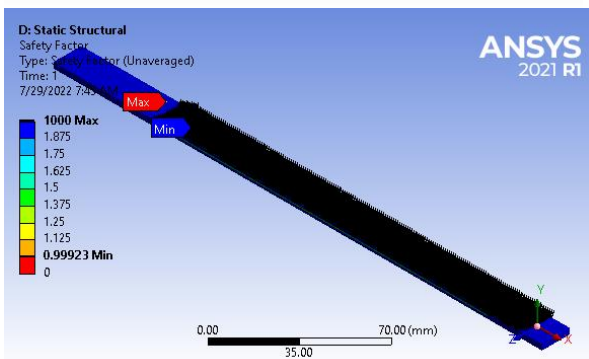
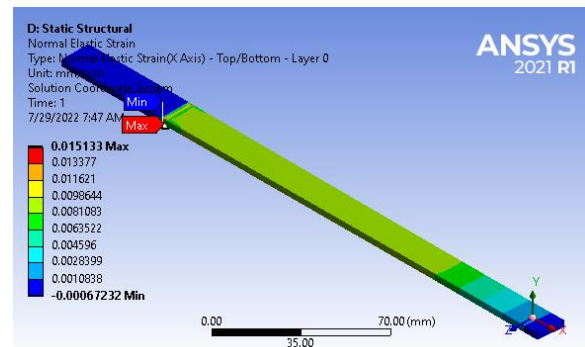
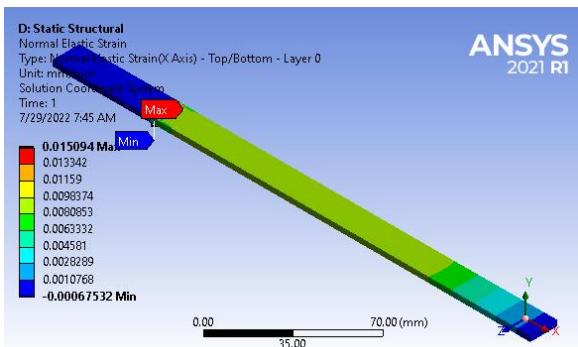
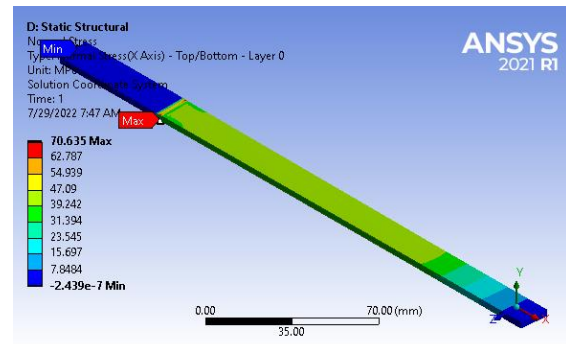
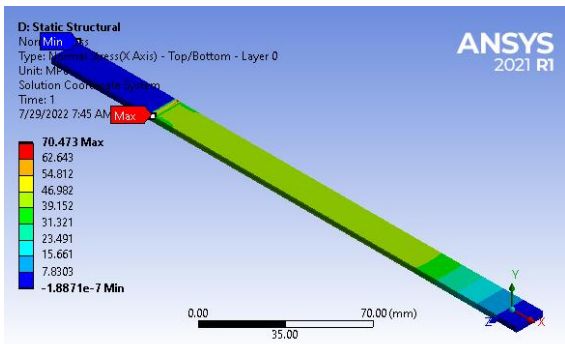
Variasi Arah Serat 7



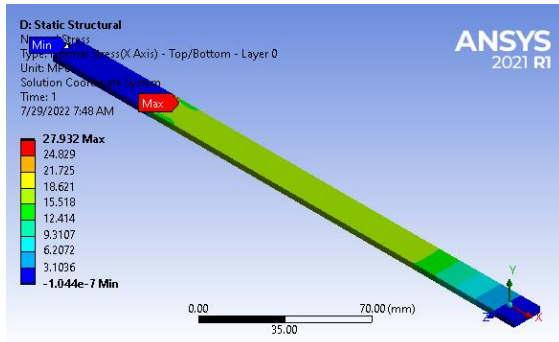


Variasi Arah Serat 8

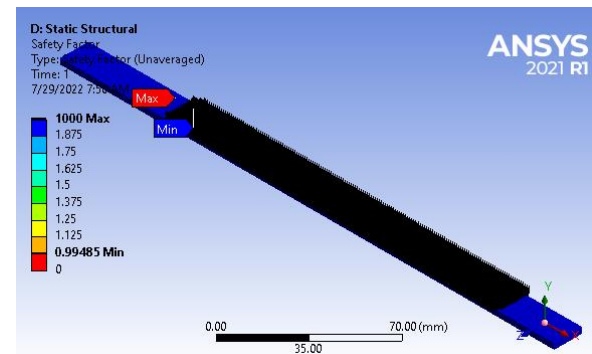
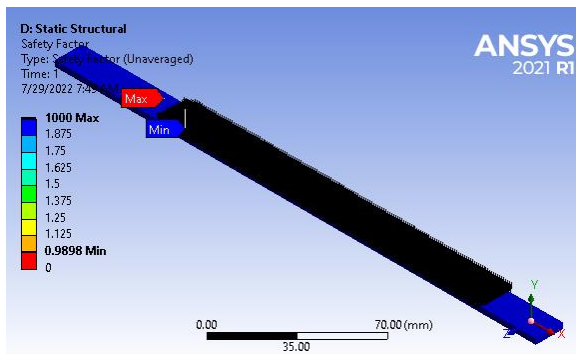
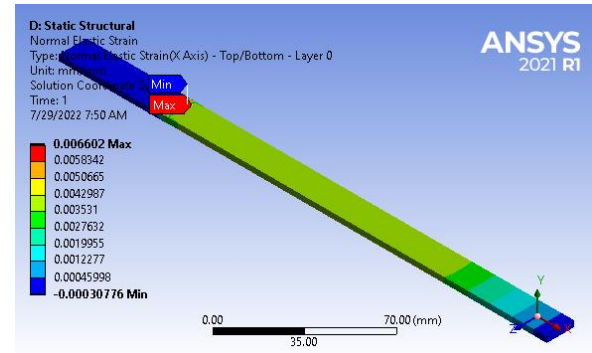
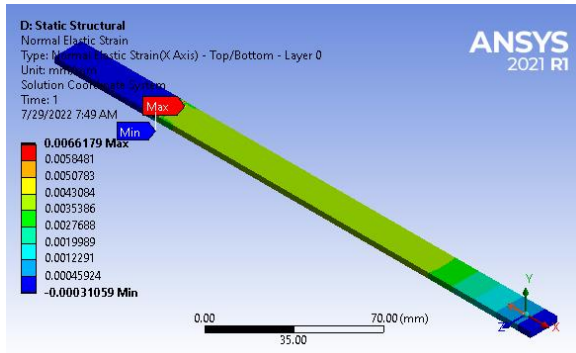
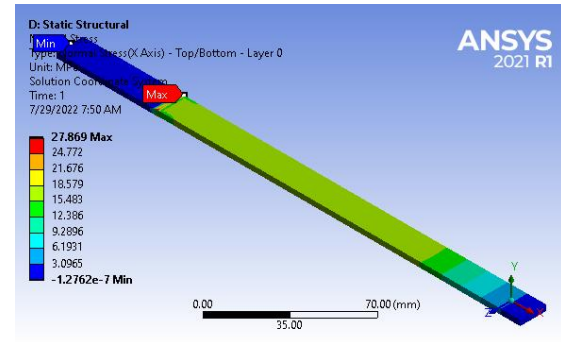
Variasi Arah Serat 9



### Variasi Arah Serat 10

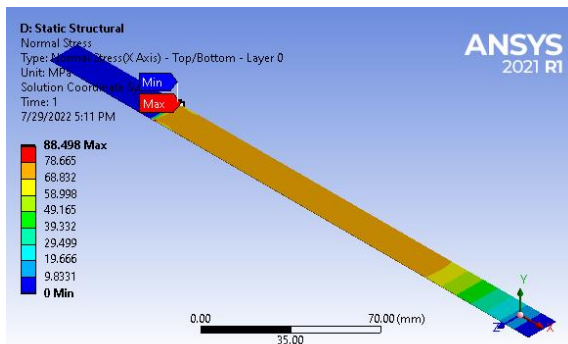


### Variasi Arah Serat 11

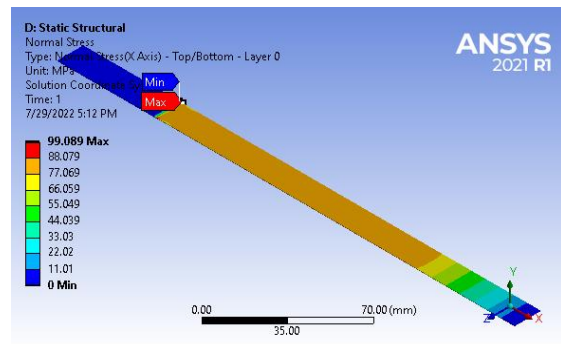


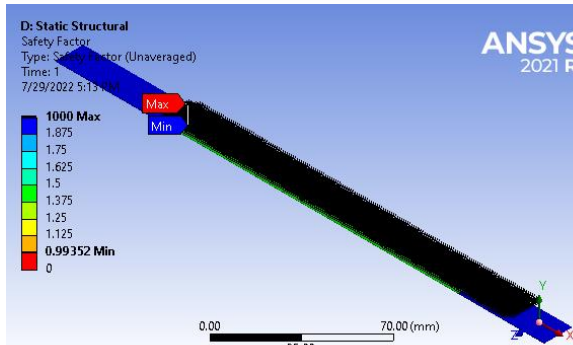
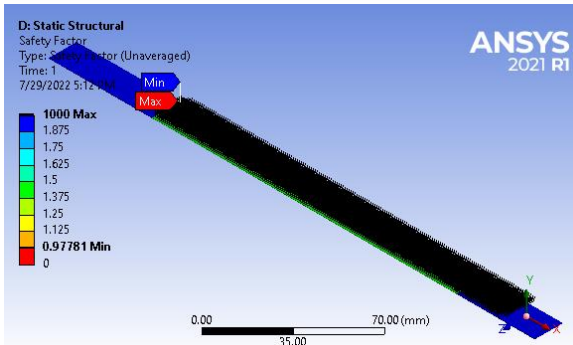
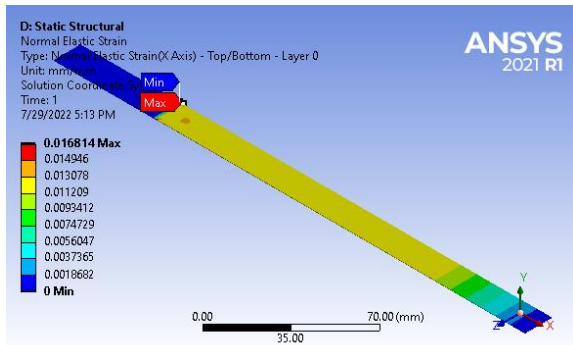
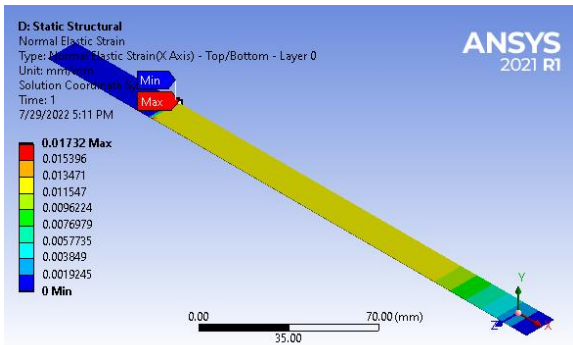
### HASIL SIMULASI KENAF

#### Fraksi Volume 20%



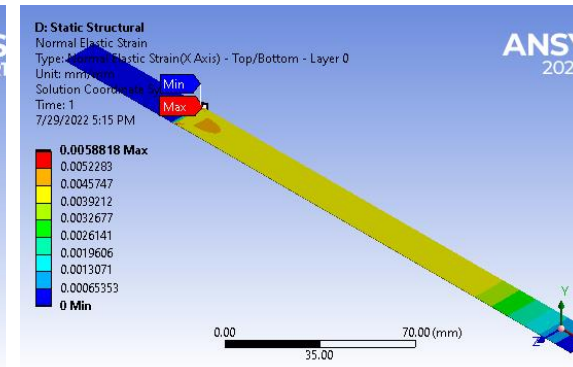
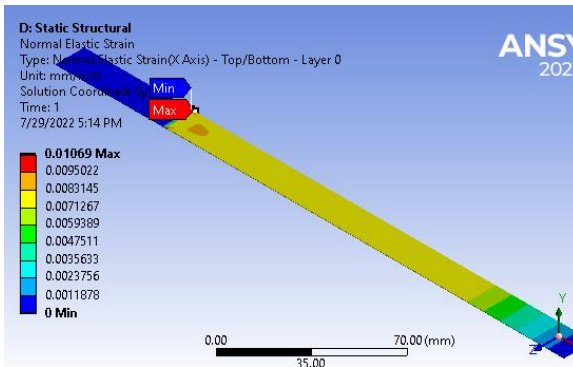
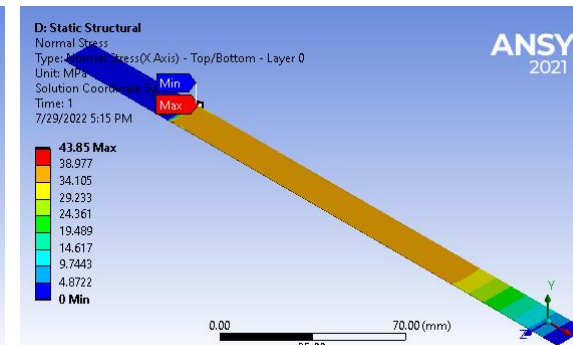
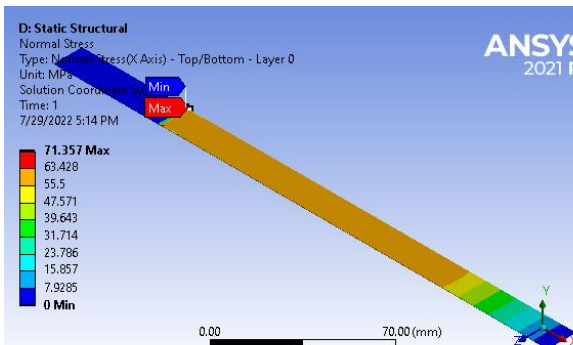
#### Fraksi Volume 30%



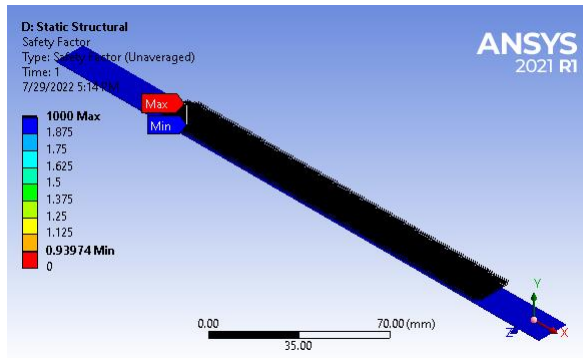


Fraksi Volume 40%

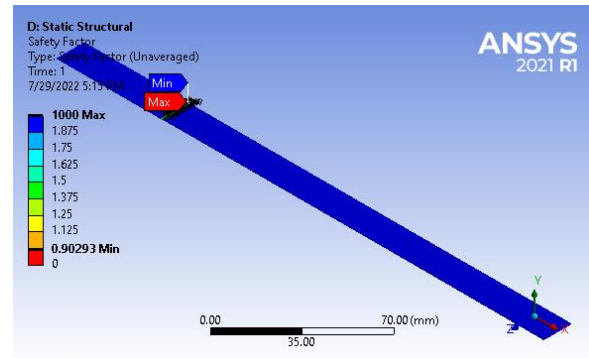
Fraksi Volume 50%



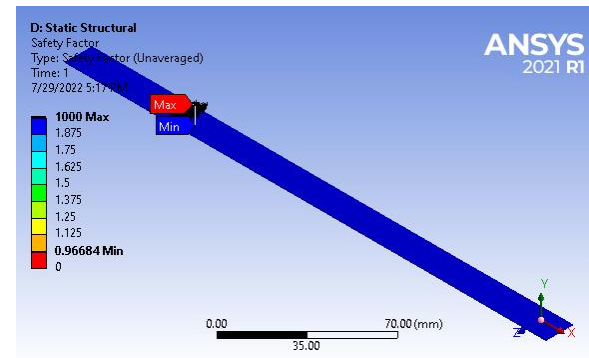
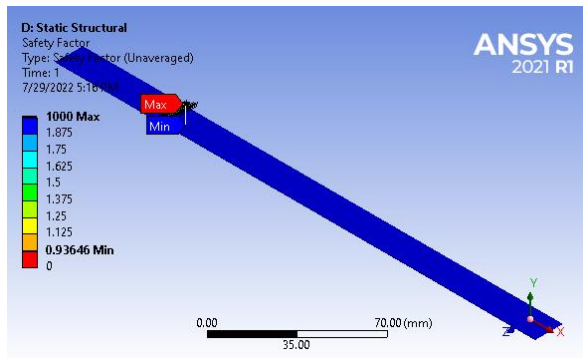
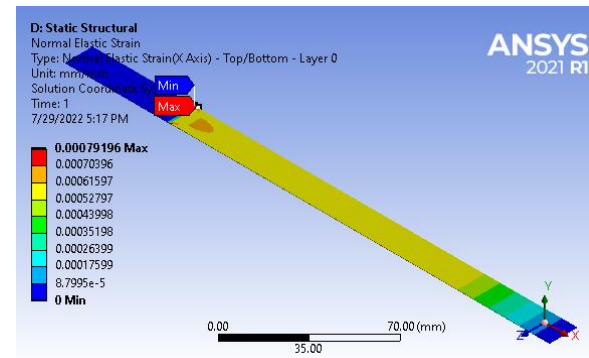
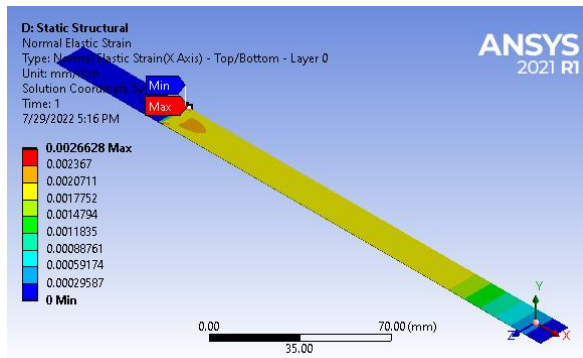
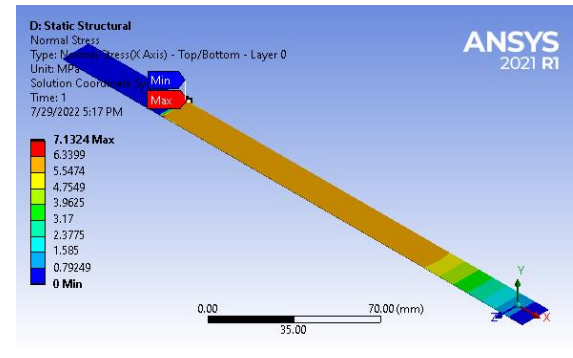
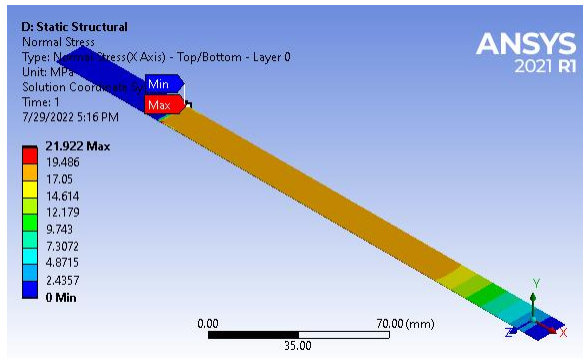




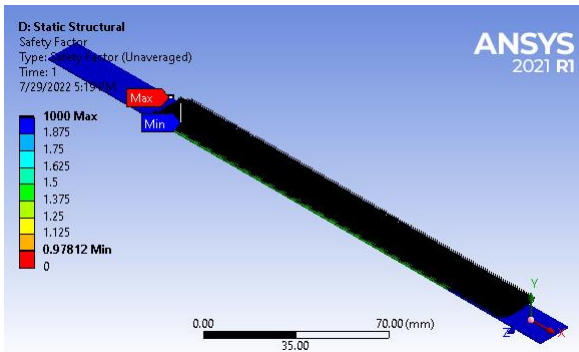
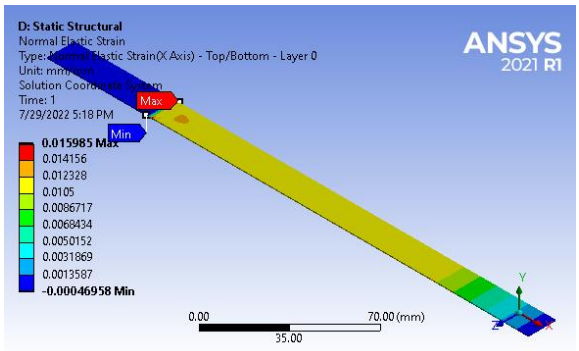
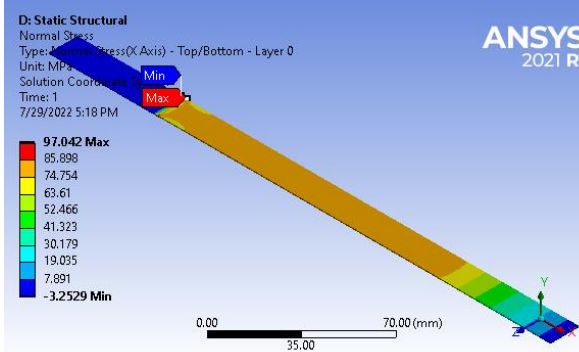
Fraksi Volume 60%



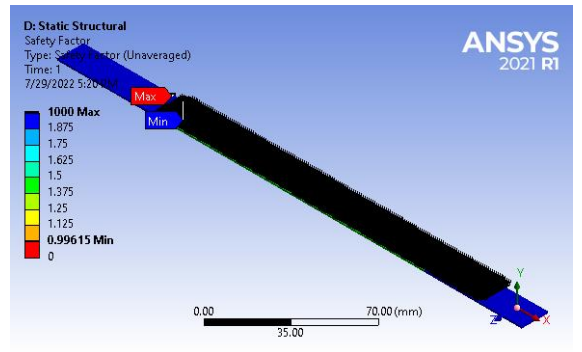
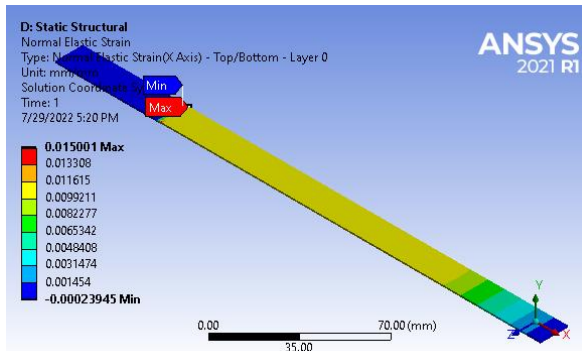
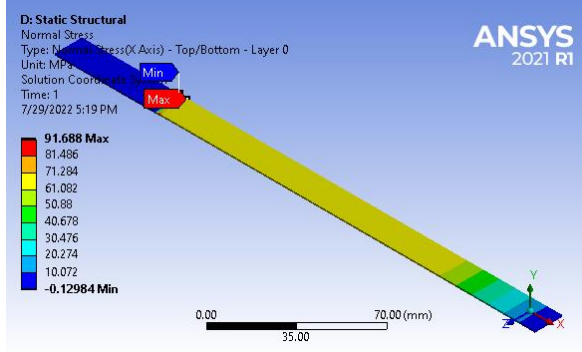
Fraksi Volume 70%



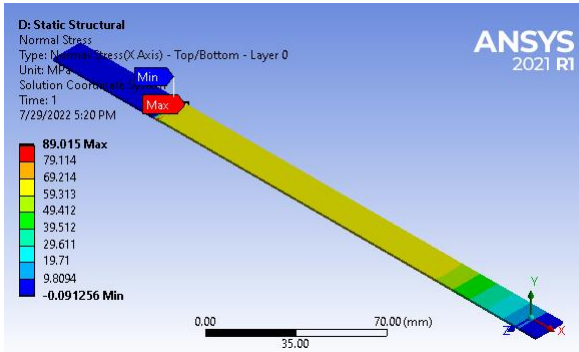
### Layer 2



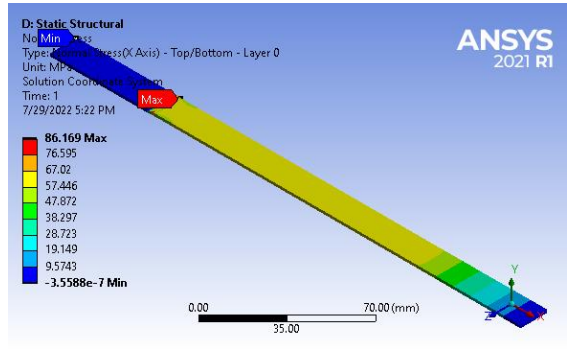
### Layer 3

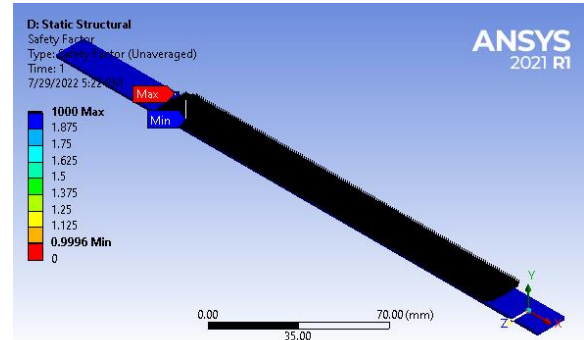
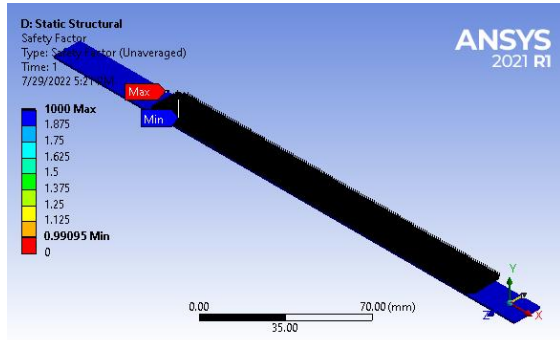
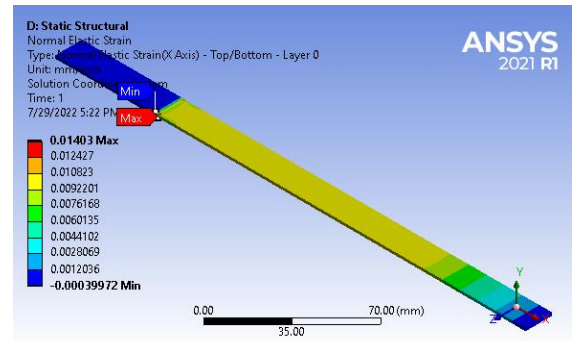
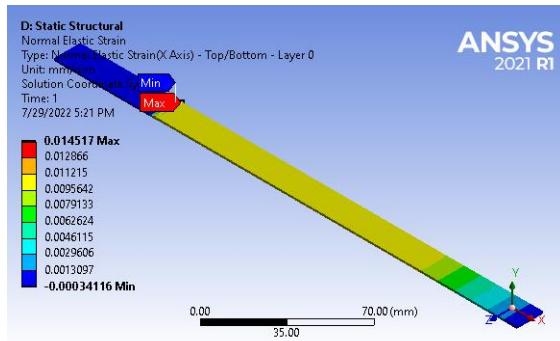


### Layer 4



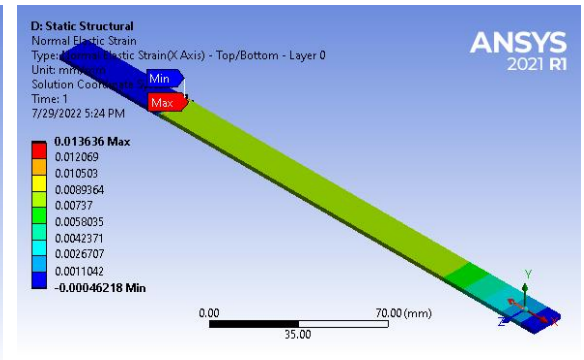
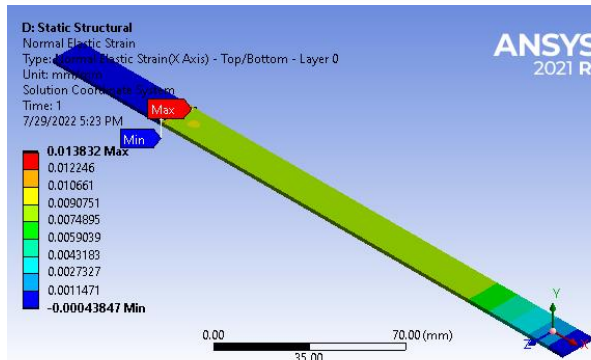
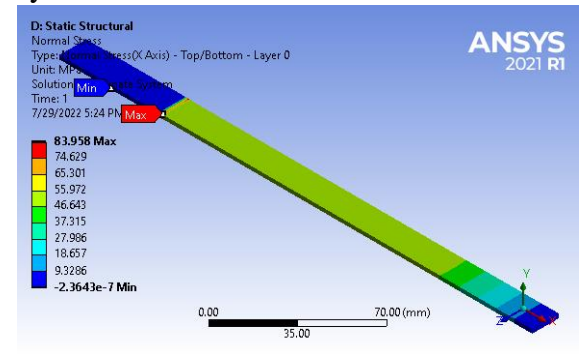
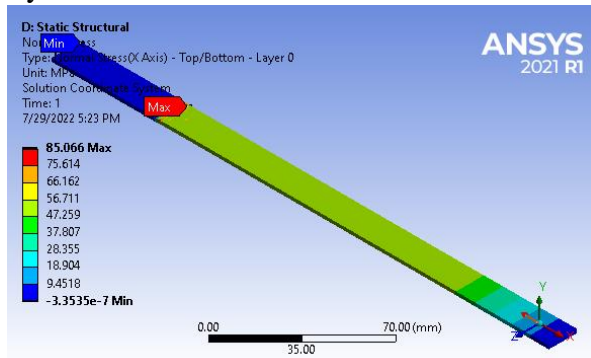
### Layer 5

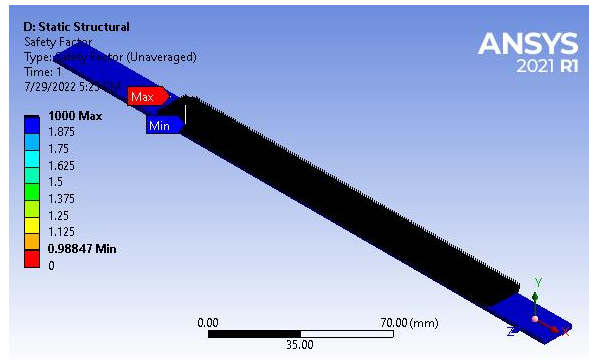
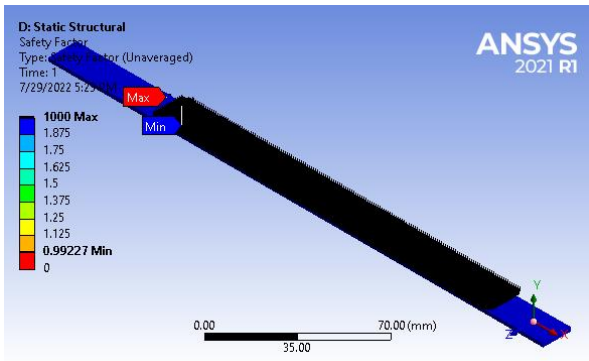




Layer 6

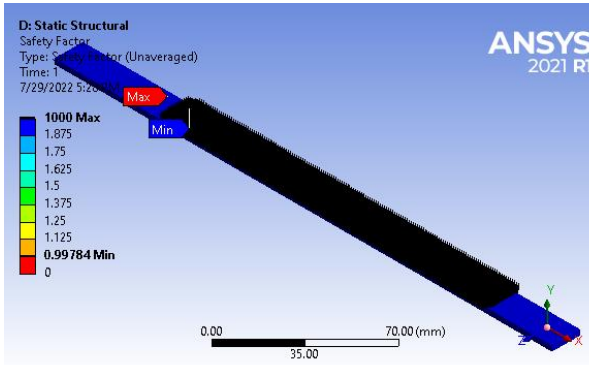
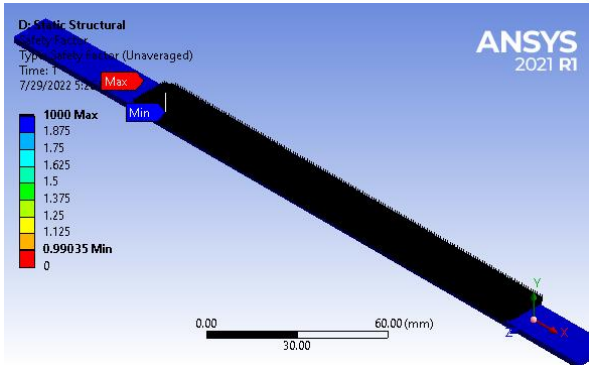
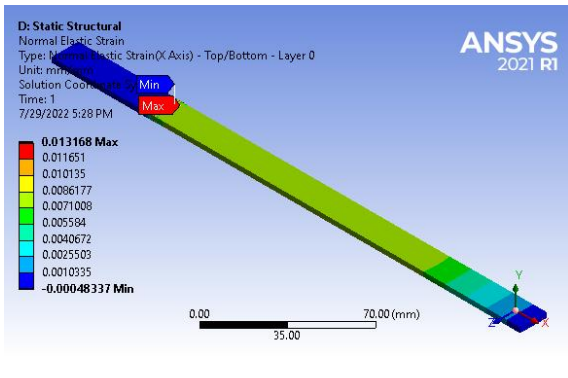
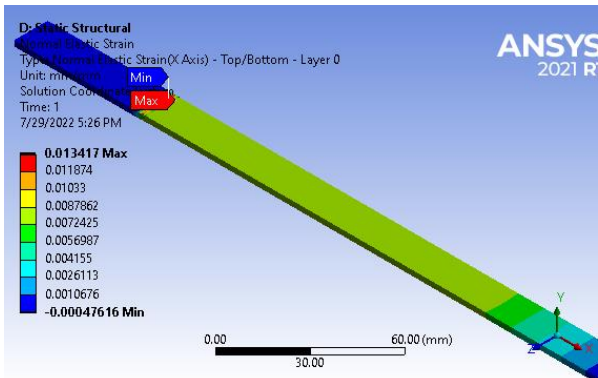
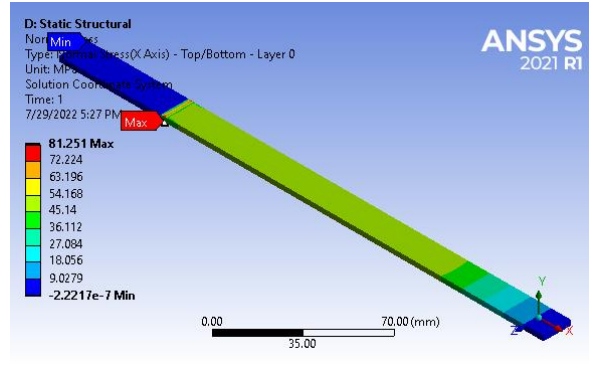
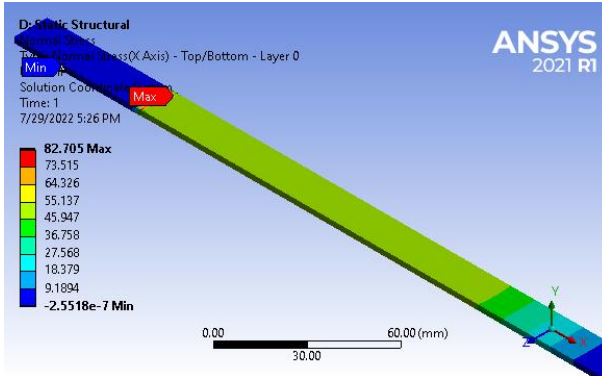
Layer 7



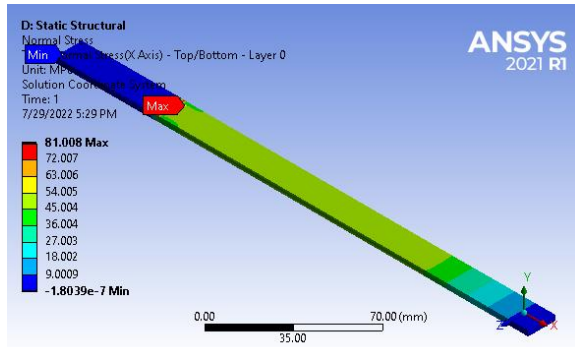


Layer 8

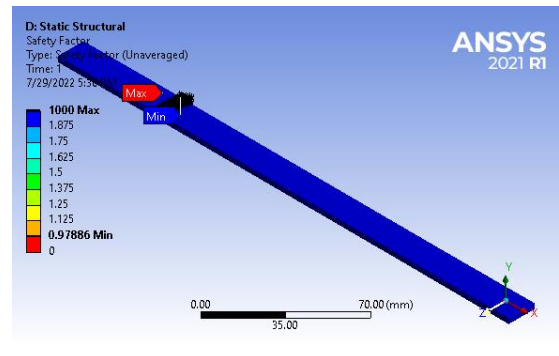
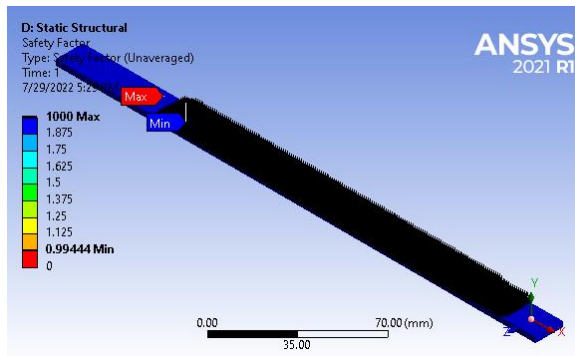
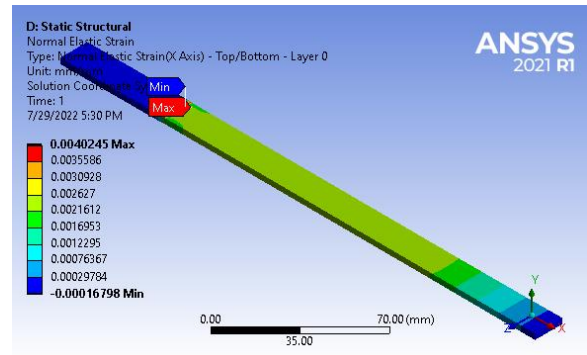
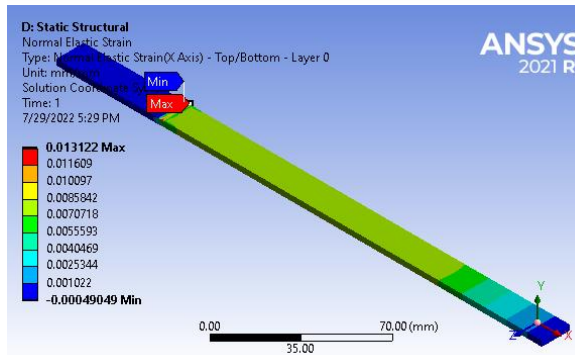
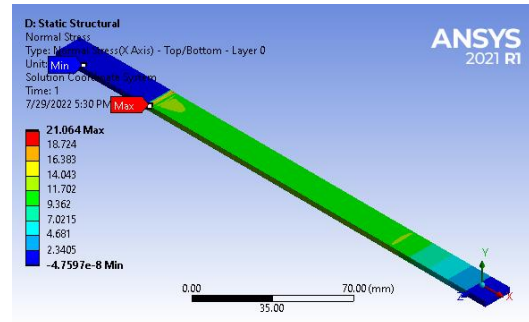
Layer 9



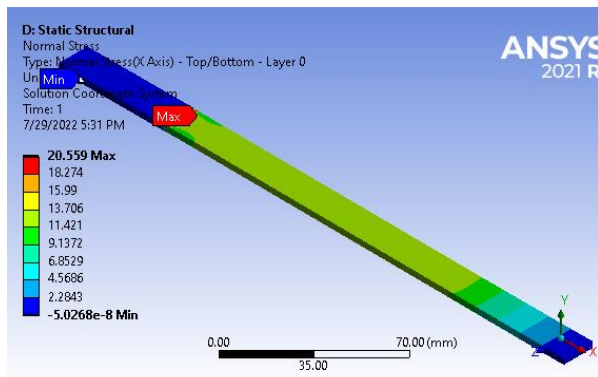
### Variasi Arah Serat 2



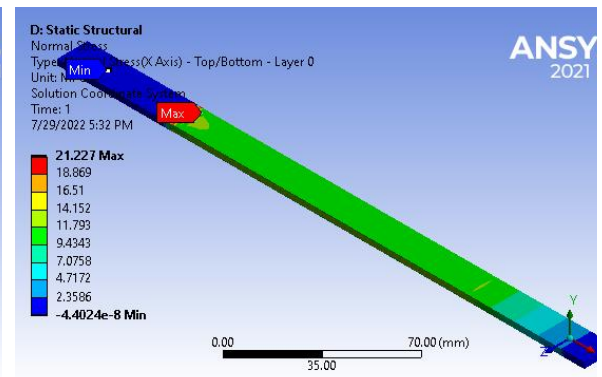
### Variasi Arah Serat 3

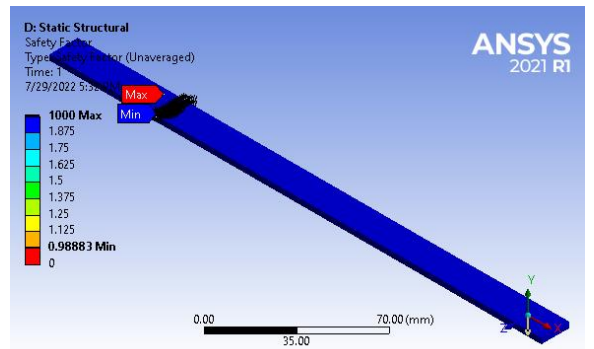
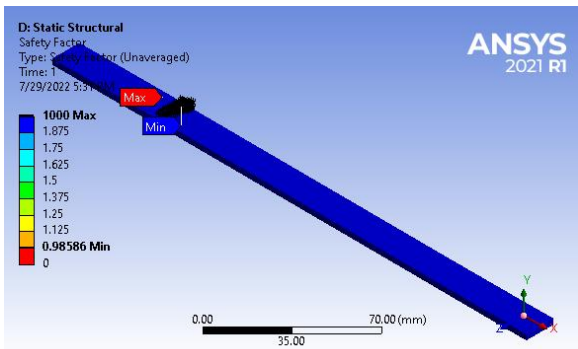
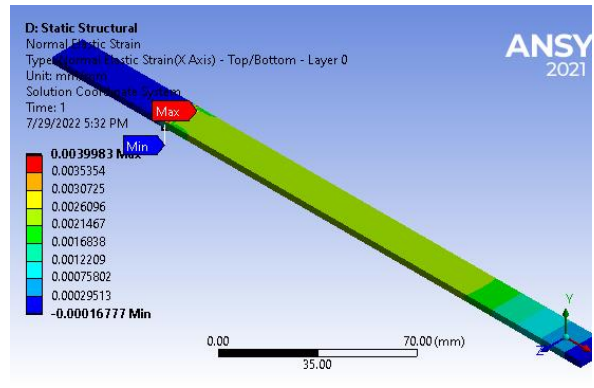
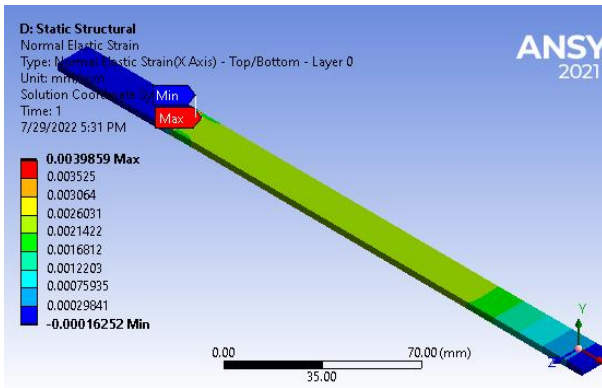


### Variasi Arah Serat 4



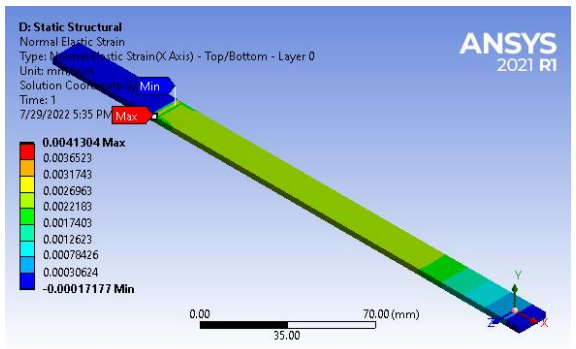
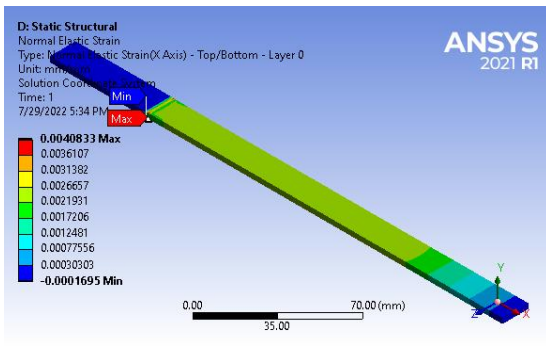
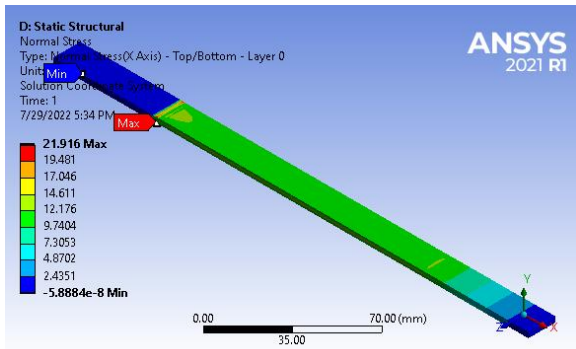
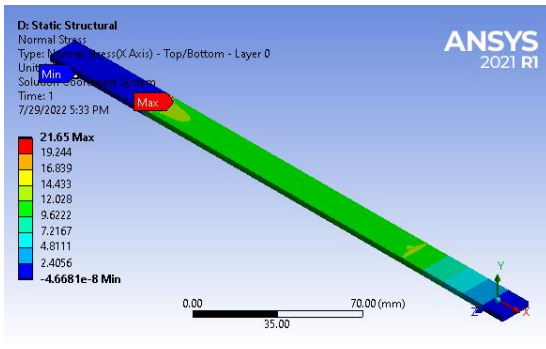
### Variasi Arah Serat 5

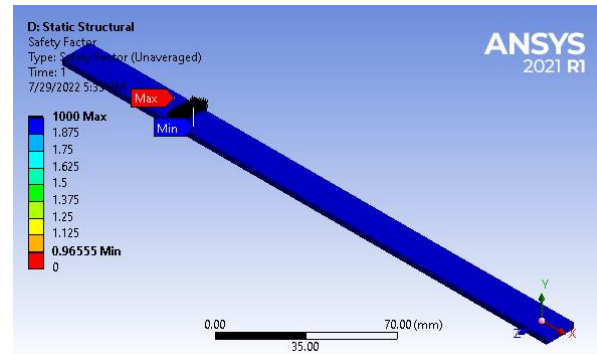
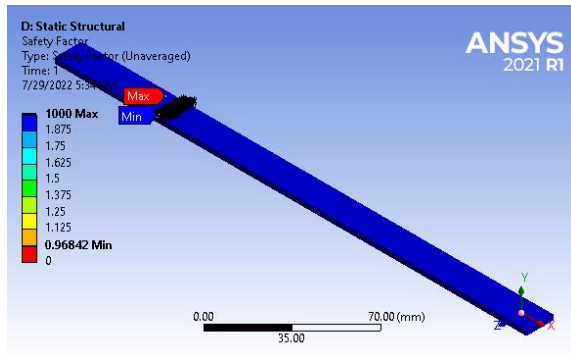




Variasi Arah Serat 6

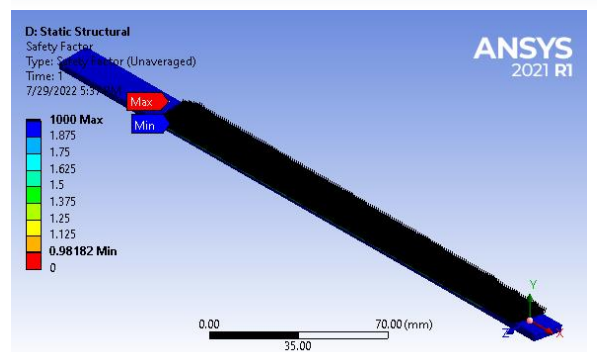
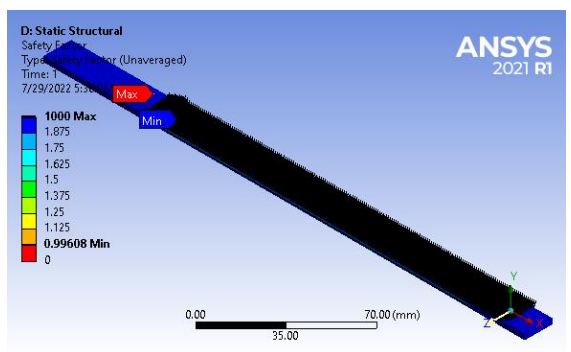
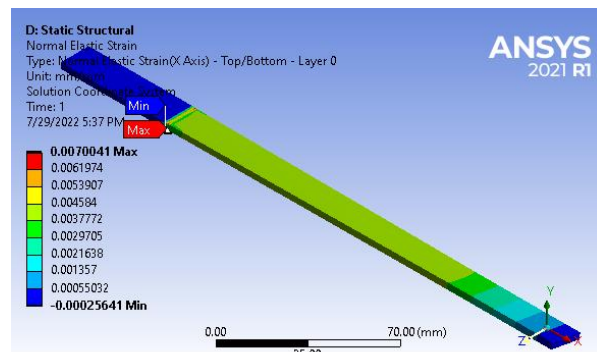
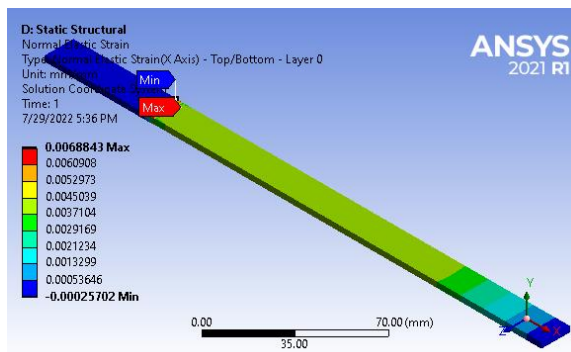
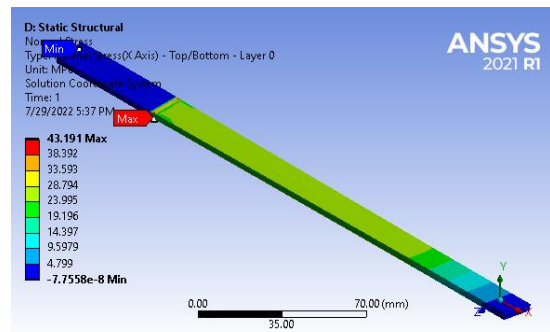
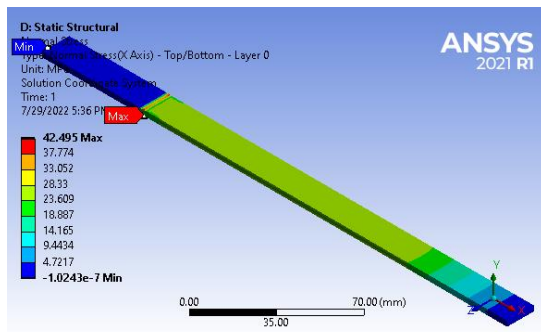
Variasi Arah Serat 7



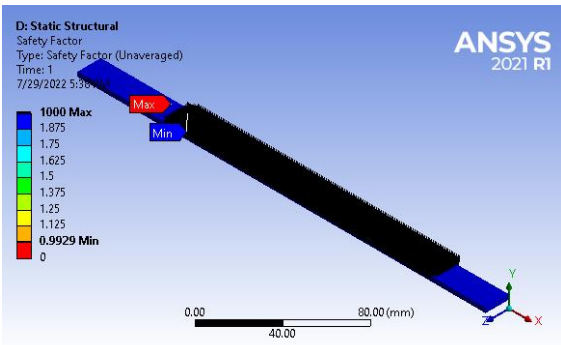
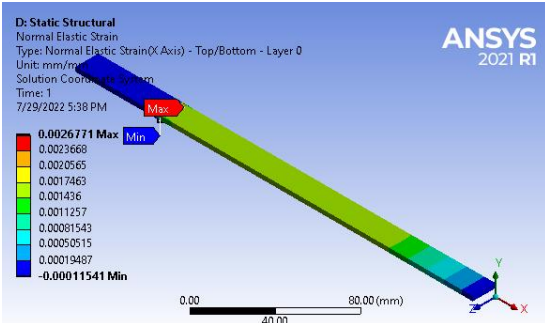
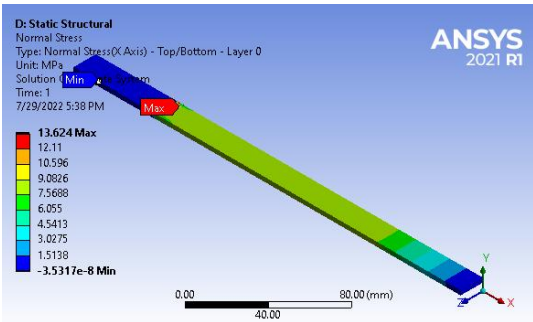


Variasi Arah Serat 8

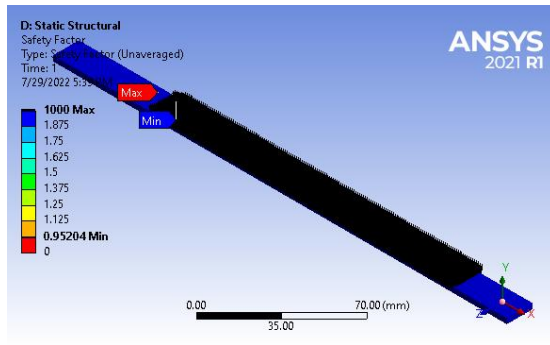
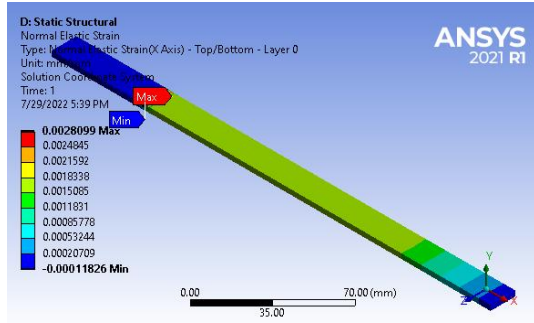
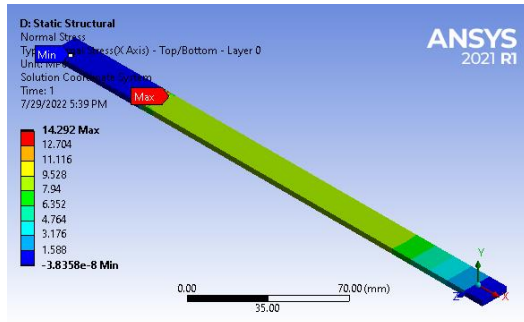
Variasi Arah Serat 9



### Variasi Arah Serat 10

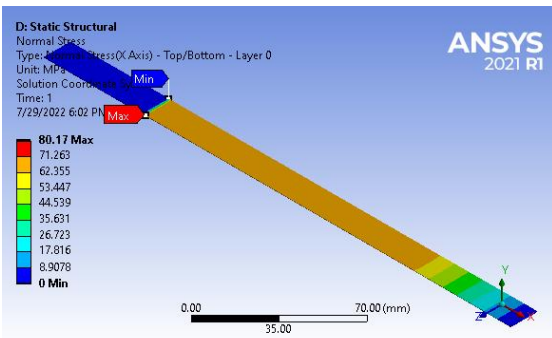


### Variasi Arah Serat 11

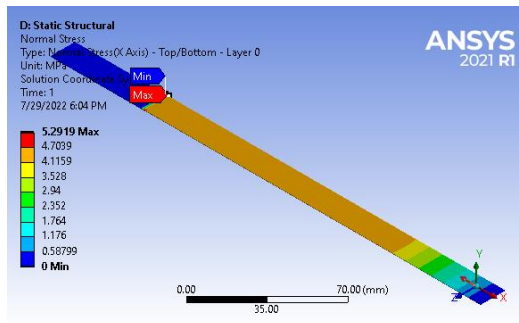


### HASIL SIMULASI PALEM

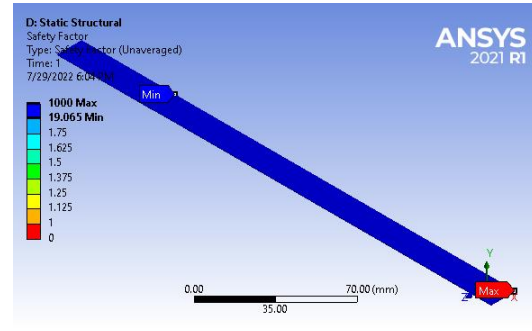
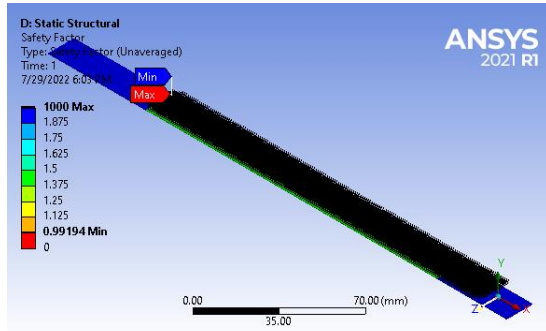
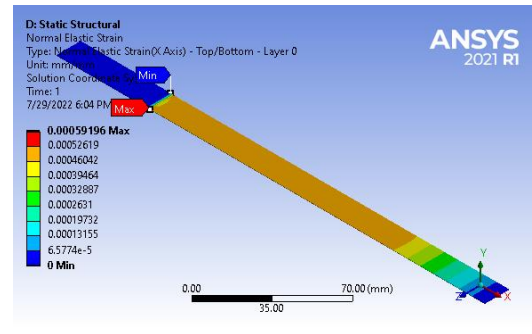
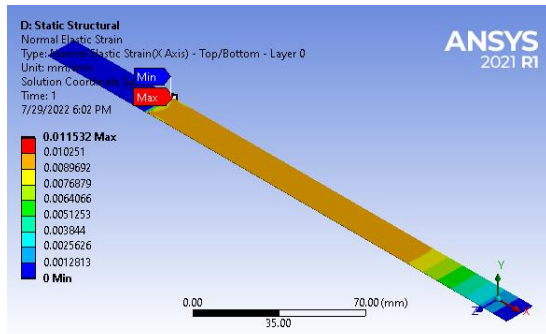
#### Fraksi Volume 20%



#### Fraksi Volume 30%

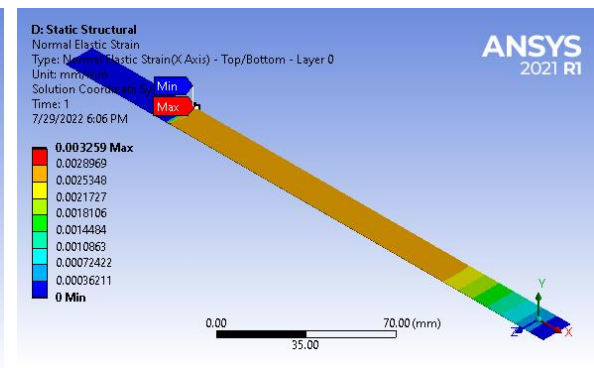
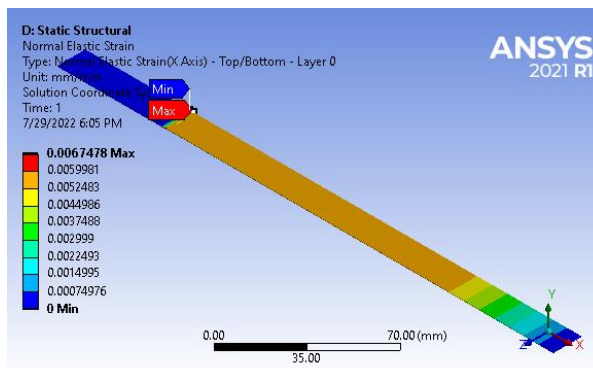
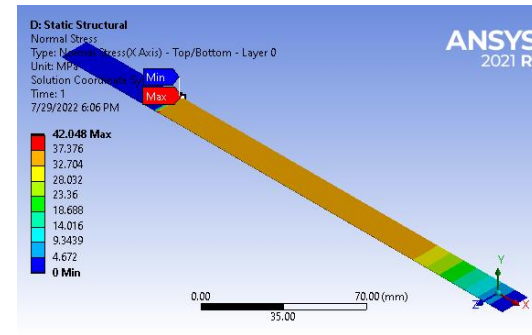
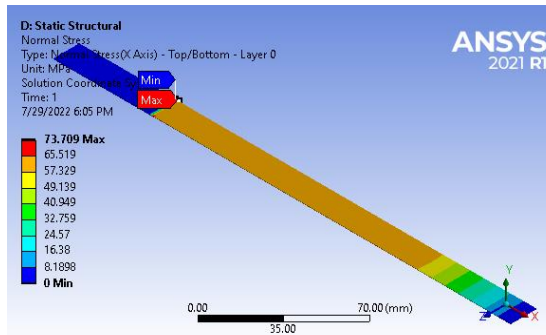


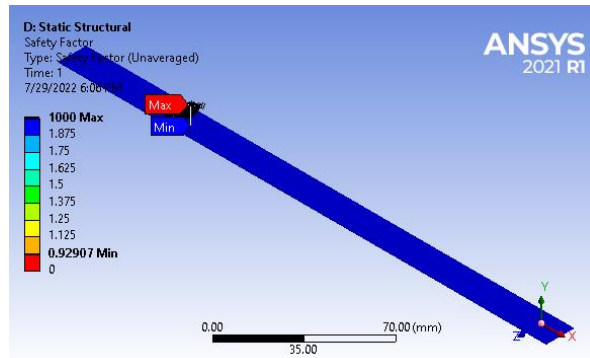
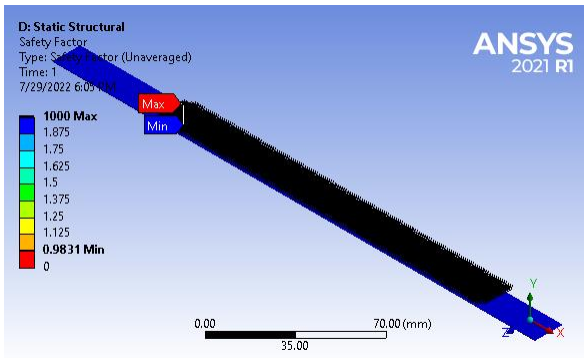




Fraksi Volume 40%

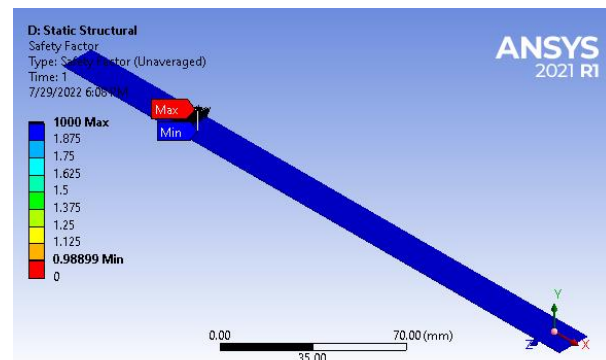
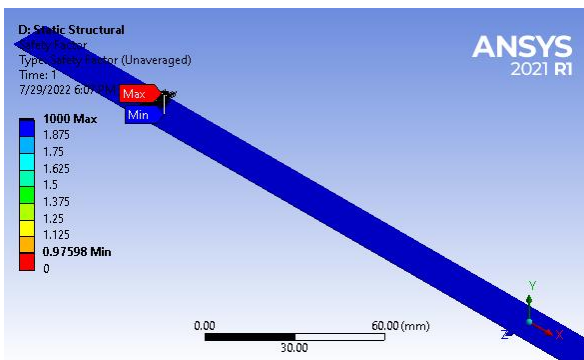
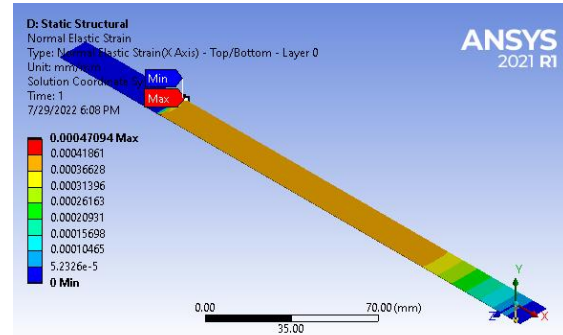
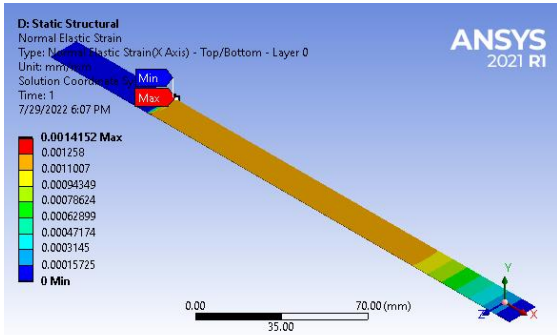
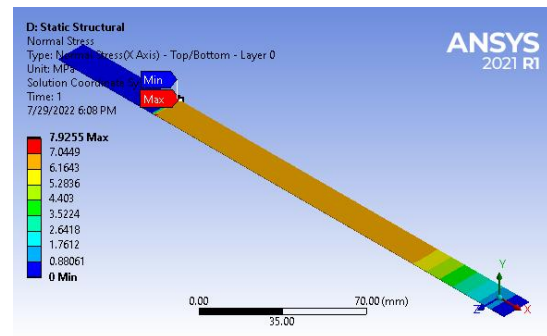
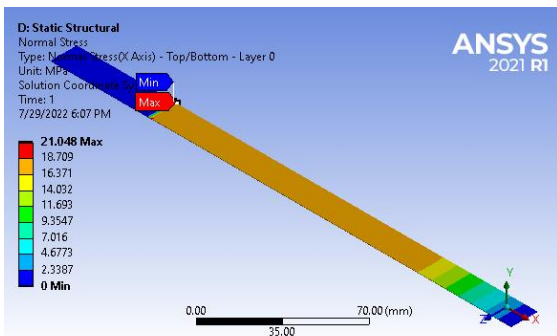
Fraksi Volume 50%



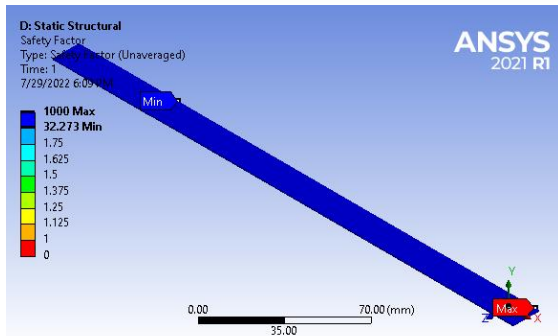
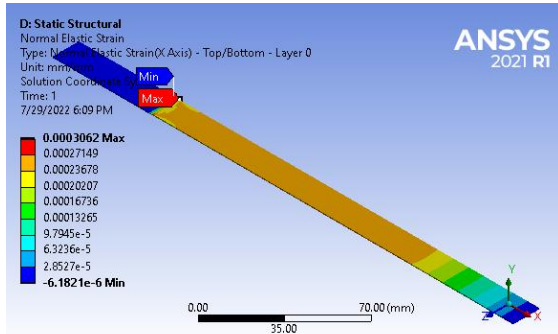
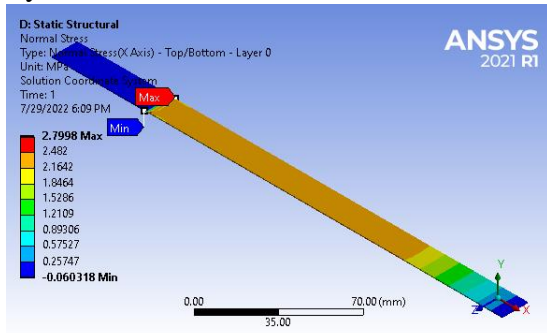


Fraksi Volume 60%

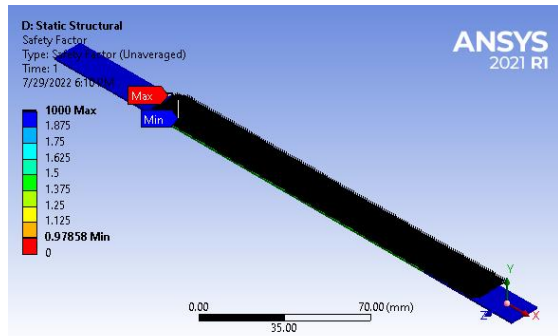
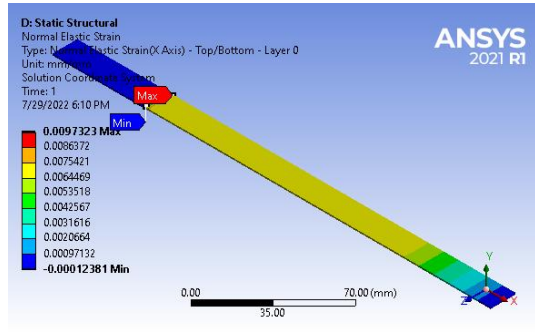
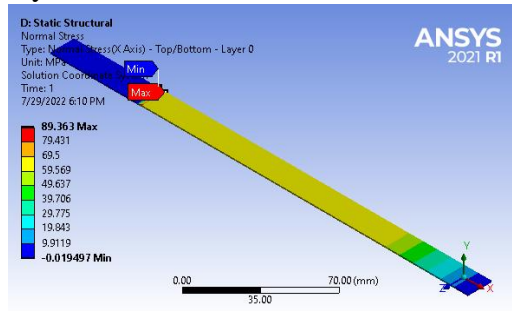
Fraksi Volume 70%



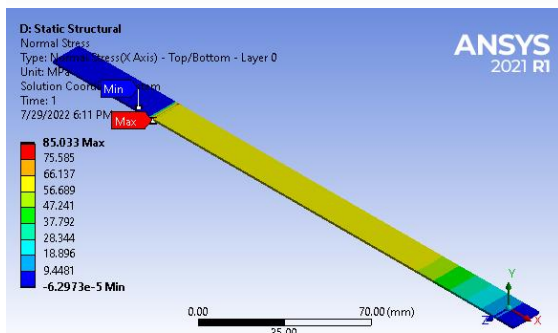
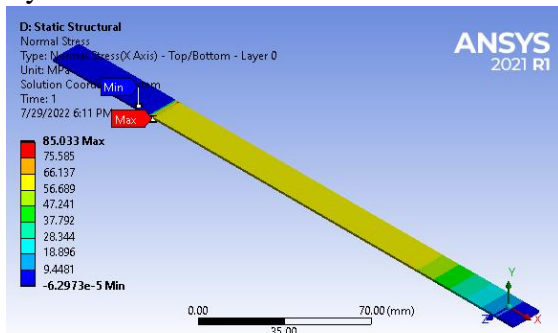
## Layer 2



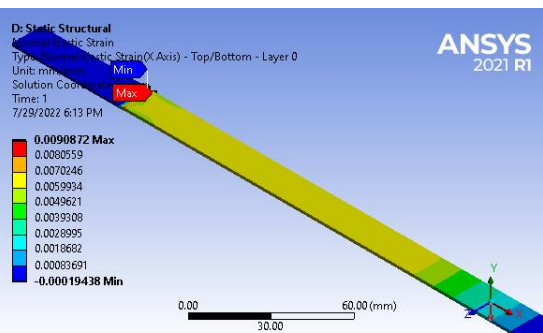
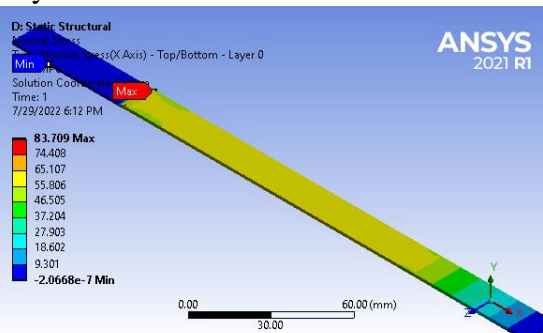
## Layer 3

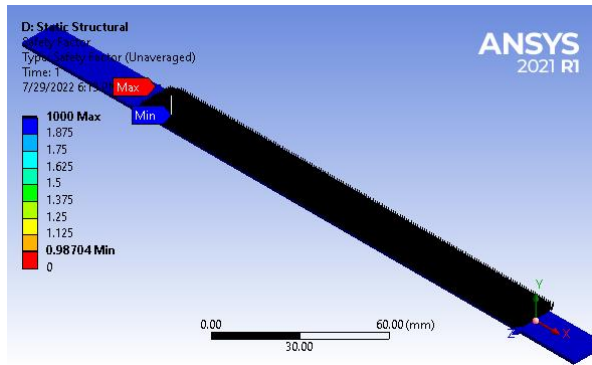
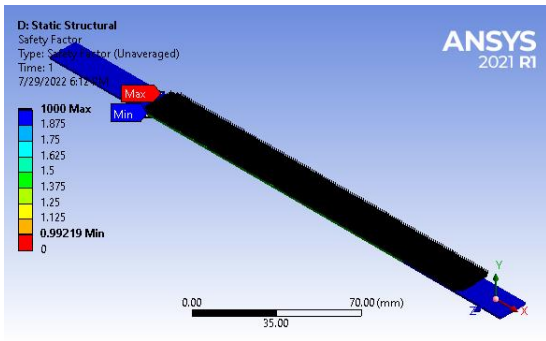


## Layer 4

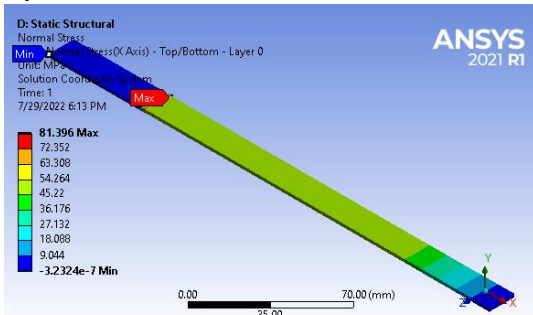


## Layer 5

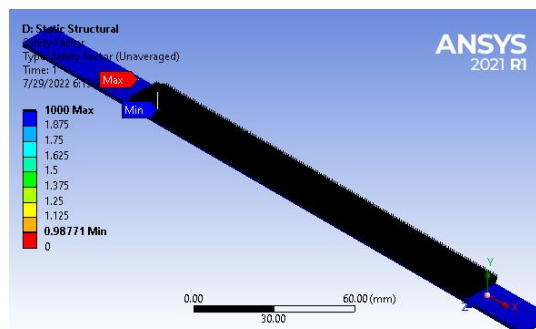
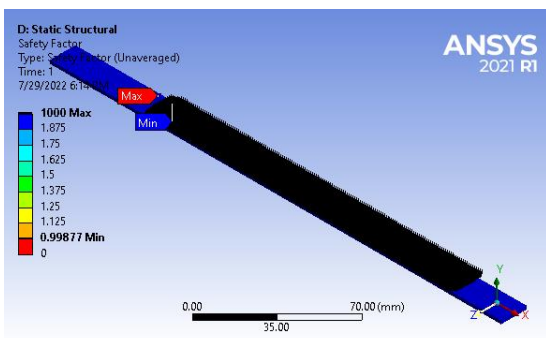
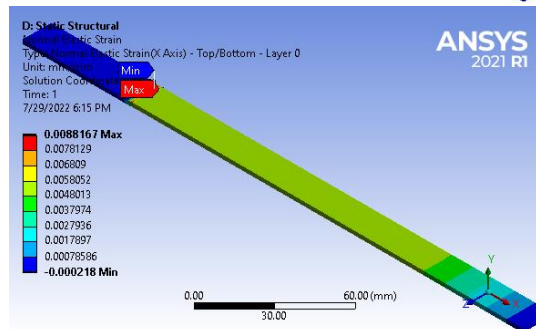
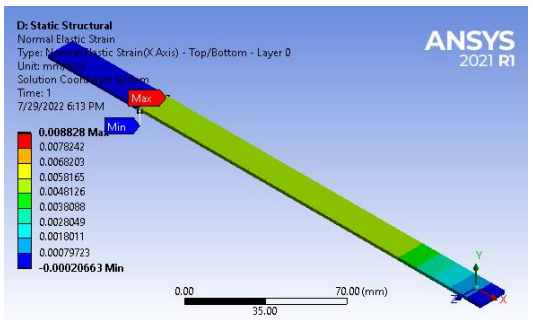
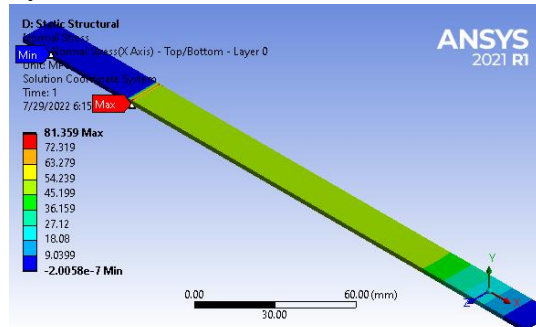




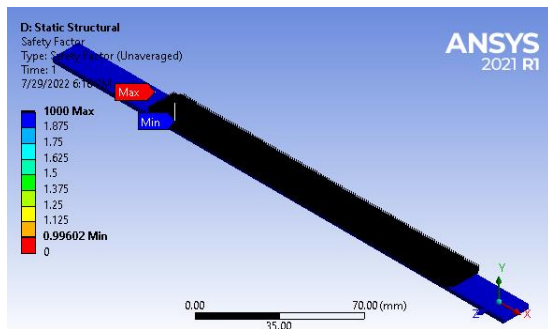
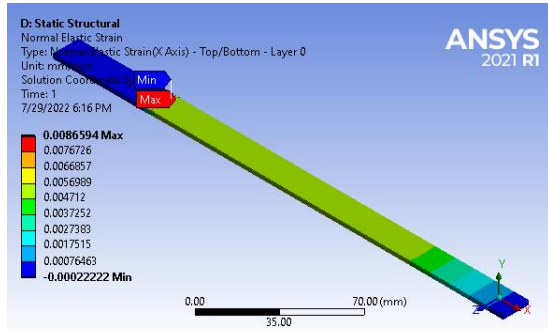
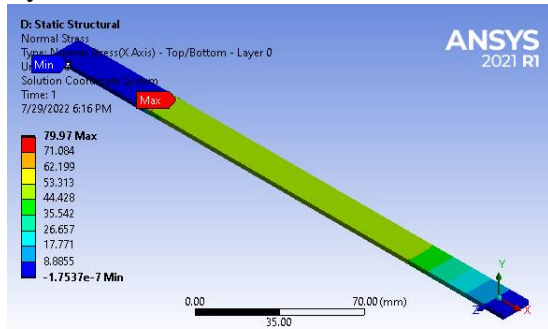
### Layer 6



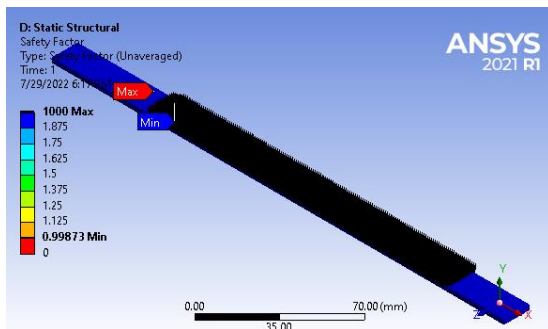
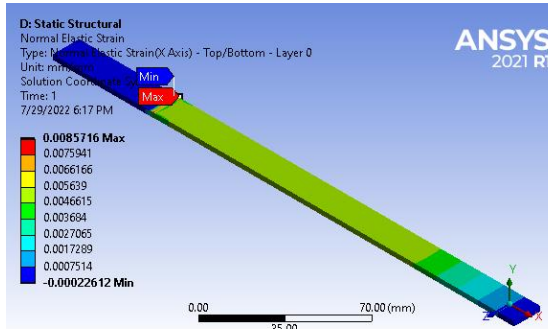
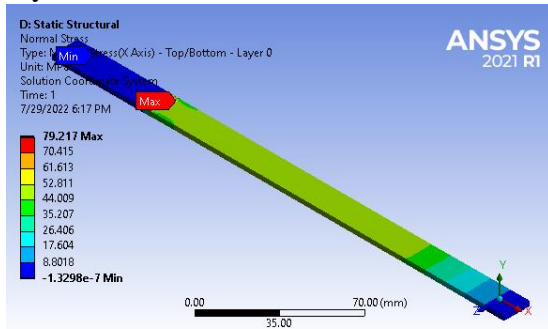
### Layer 7



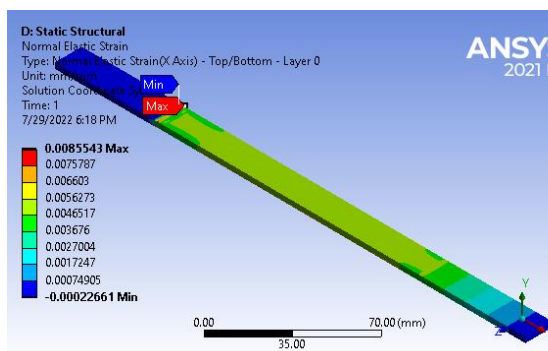
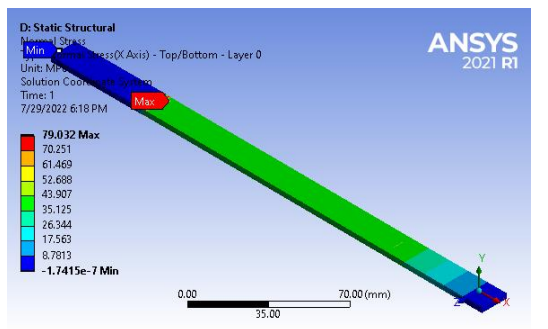
### Layer 8



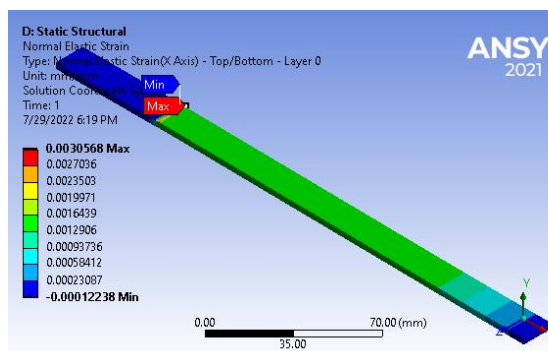
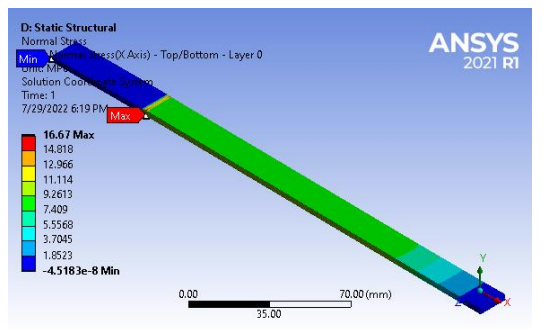
### Layer 9

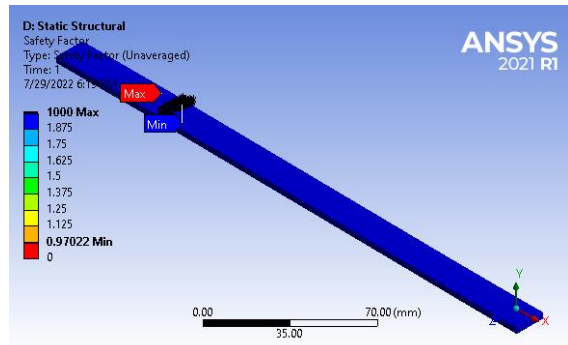
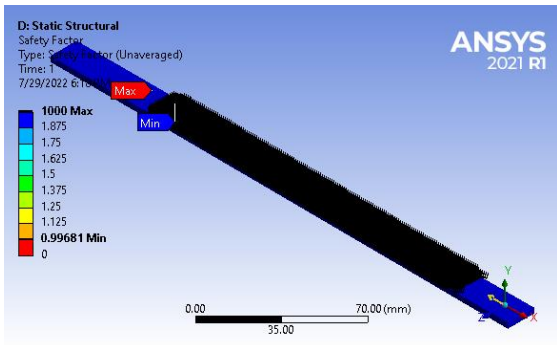


### Variasi Arah Serat 2



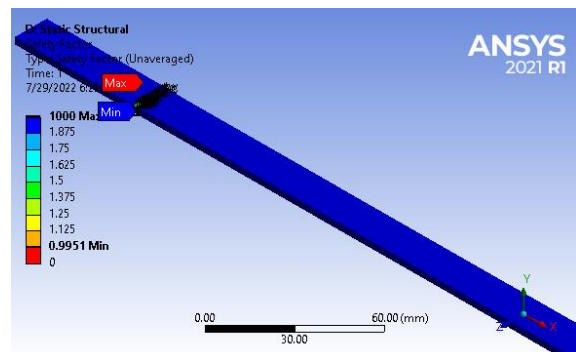
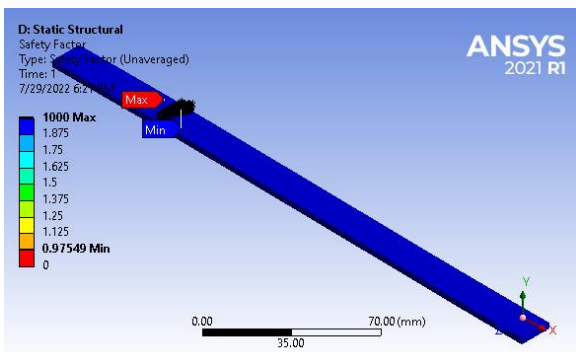
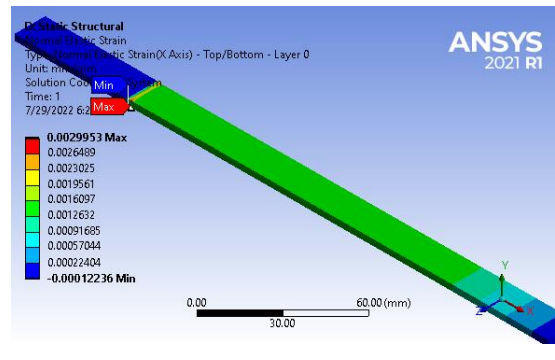
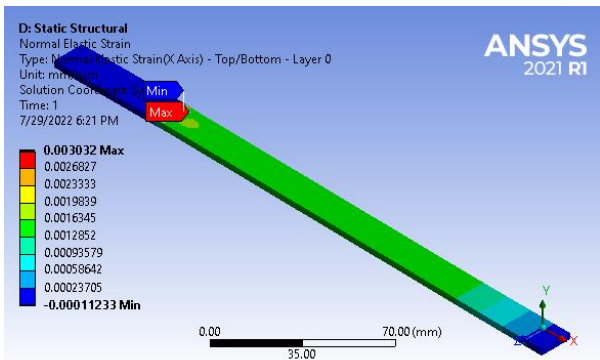
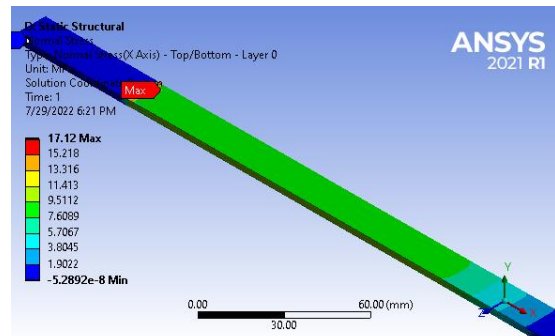
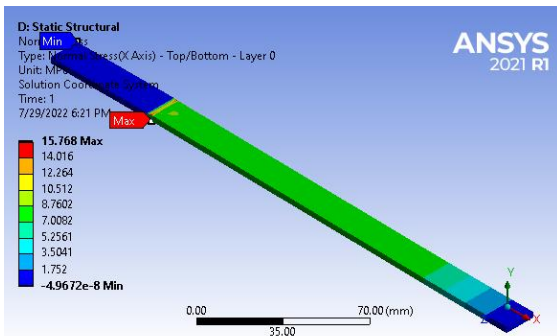
### Variasi Arah Serat 3



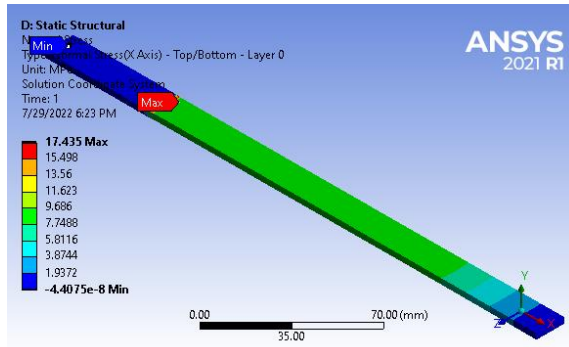


Variasi Arah Serat 4

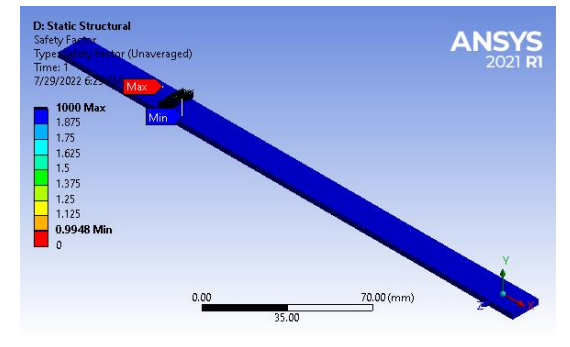
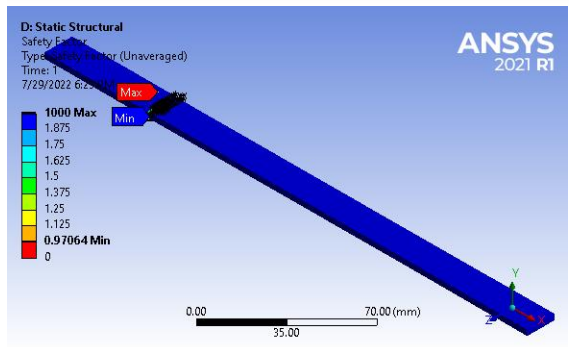
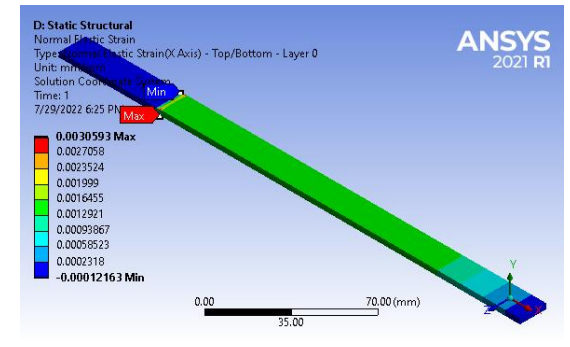
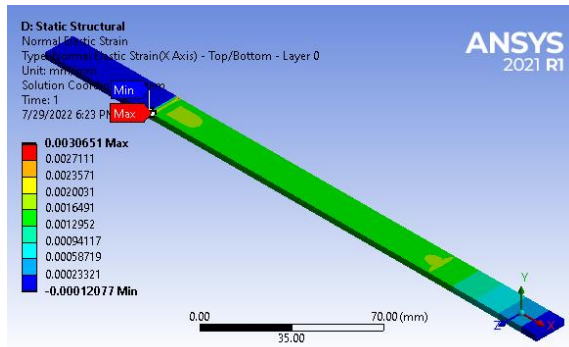
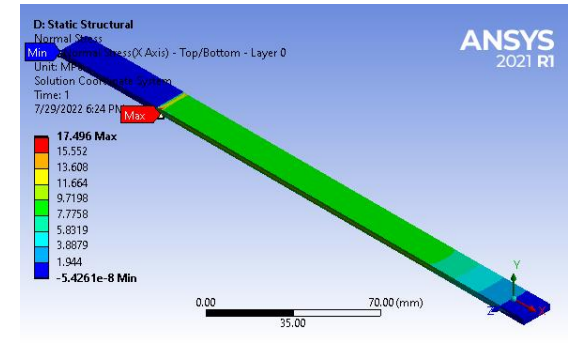
Variasi Arah Serat 5



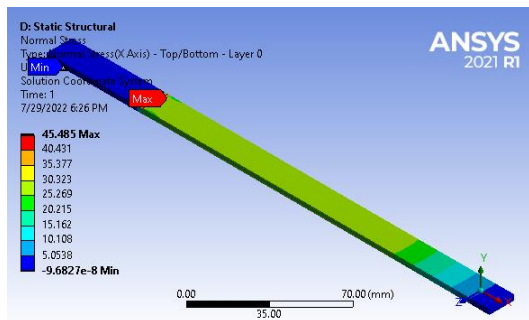
### Variasi Arah Serat 6



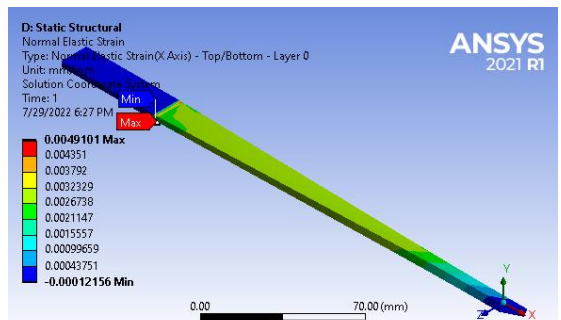
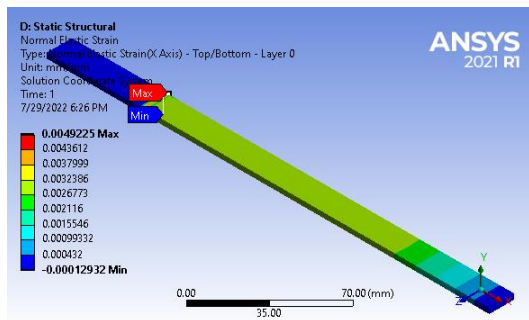
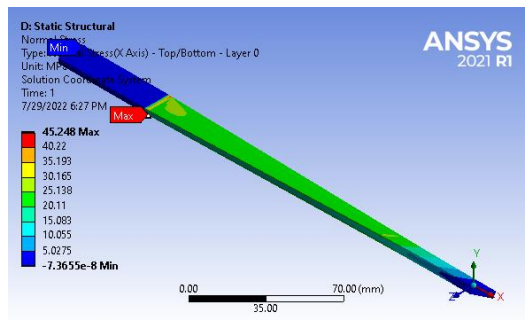
### Variasi Arah Serat 7

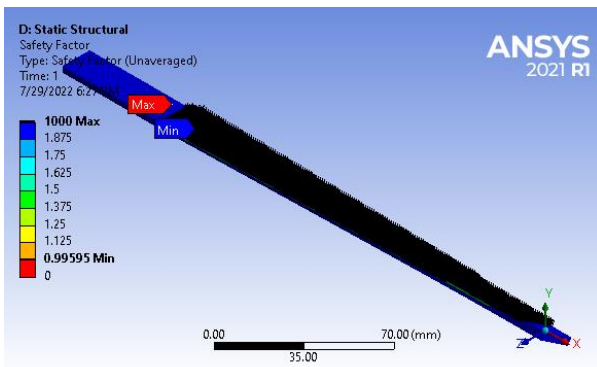
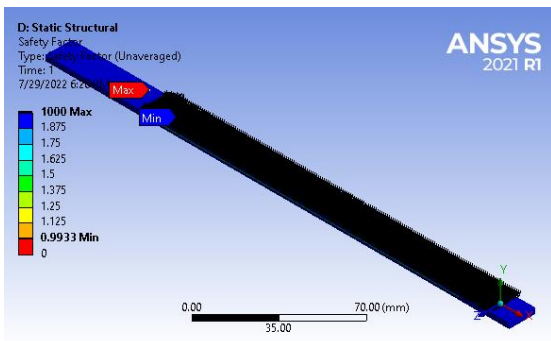


### Variasi Arah Serat 8



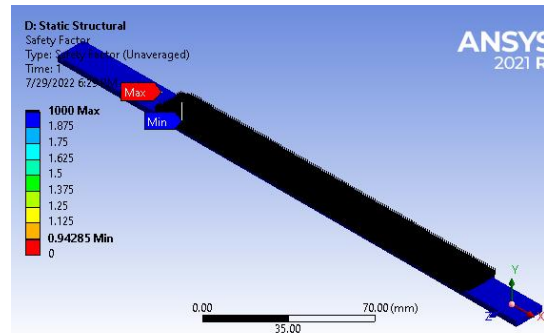
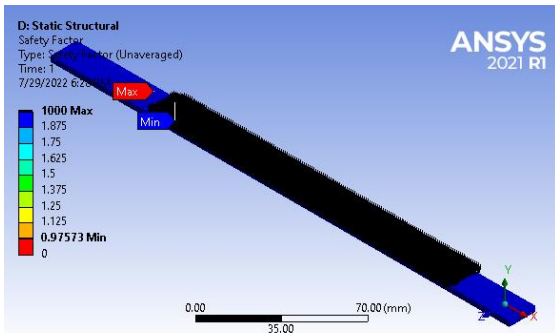
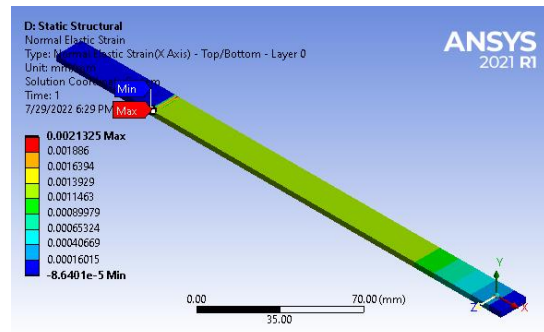
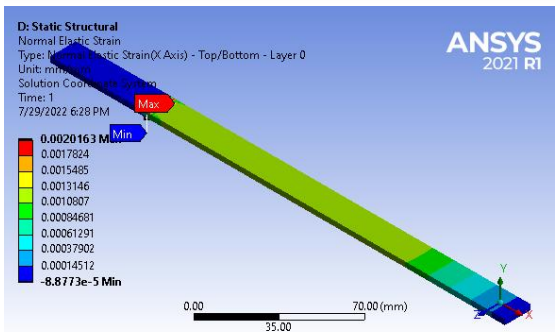
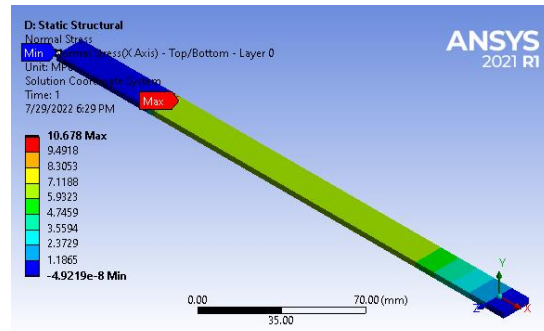
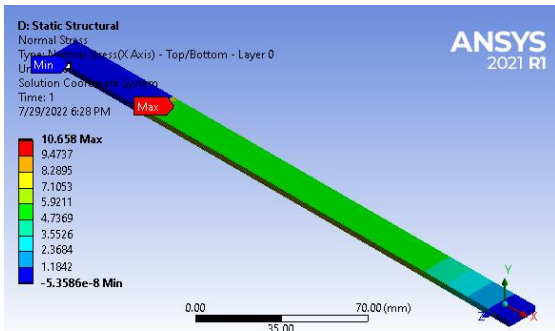
### Variasi Arah Serat 9





Variasi Arah Serat 10

Variasi Arah Serat 11





## BIODATA PENULIS



Ganesha Vishnu Mahendra atau biasa disapa dengan Ganesha, adalah anak ketiga dari ketiga bersaudara dari Bapak Ganis Kristanto dan Ibu Putu Eka Kartikawati yang lahir pada tanggal 7 September 1999. Ganesha tumbuh berkembang dan menuntut ilmu dari TK hingga SMA di Kota Tangerang, Banten. Selama masa perkuliahan, peneliti mengikuti beberapa kegiatan yang membantu peneliti dalam berkembang. Peneliti pernah mengikuti pelatihan Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa (LKMM) Pra-Tingkat Dasar, dimana pada pelatihan tersebut berfokus pada Manajemen Diri dan juga penulis pernah mengikuti pelatihan Latihan Keterampilan Manajemen Wirausaha (LKMW) Tingkat Dasar. Selain itu penulis juga aktif dalam team minat bakat olahraga voli departemen Teknik

Mesin, dimana selama penulis aktif pernah memenangkan Juara 1 Voli Putra pada perlombaan Red Olympic Games 2020 yang diselenggarakan oleh Badan Eksekutif Mahasiswa FTI-RS. Selain aktif pada minat bakat penulis juga pernah mengikuti kegiatan Liga PKM Mahasiswa ITS. Dan untuk bidang Manajemen panulis pernah menjadi ketua Panitia Pemilihan Umum ITS tahun 2019. Penulis juga tergabung pad Himpunan Mahasiswa Mesin ITS pada Departemen Hubungan Luar selama satu tahun pada 2019 dengan posisi sebagai staf dan diamanakah sebagai Ketua Departemen Divisi Hubungan Luar pada tahun 2020 selama satu tahun kepengurusan. Peneliti sangat terbuka untuk diskusi dan kerjasama dalam bidangnya, dan dapat dihubungi melalui email [ganeshavishnumahendra@gmail.com](mailto:ganeshavishnumahendra@gmail.com)