TUGAS AKHIR – TM18435

ANALISIS PERBANDINGAN *FLEXURAL PROPERTIES* KOMPOSIT SERAT KENAF DAN SISAL MELALUI UJI *THREE POINT BENDING* DENGAN STANDAR D790 MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

RIZALDY AZIZ AMIN
NRP. 02111840000164

DOSEN PEMBIMBING:
ALIEF WIKARTA, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.
NIP 198202102006041002

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2022

TUGAS AKHIR – TM18435

ANALISIS PERBANDINGAN FLEXURAL PROPERTIES KOMPOSIT SERAT KENAF DAN SISAL MELALUI UJI THREE POINT BENDING DENGAN STANDAR D790 MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

RIZALDY AZIZ AMIN
NRP 02111840000164

Dosen Pembimbing
ALIEF WIKARTA, S.T., M.Sc.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

COMPARATIVE ANALYSIS OF FLEXURAL PROPERTIES OF KENAF AND SISAL FIBER COMPOSITES THROUGH THREE POINT BENDING TEST WITH D790 STANDARD USING FINITE ELEMENT METHOD

RIZALDY AZIZ AMIN
NRP 02111840000164

Advisor
ALIEF WIKARTA, S.T., M.Sc.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 PERBANDINGAN FLEXURAL PROPERTIES KOMPOSIT SERAT KENAF DAN SISAL MELALUI UJI THREEPOINT BENDING DENGAN STANDAR D790 MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Teknik Mesin
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **RIZALDY AZIZ AMIN**
NRP. 02111840000164

Disetujui oleh Tim Penguji 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

COMPARATIVE ANALYSIS OF FLEXURAL PROPERTIES OF KENAF AND SISAL FIBER COMPOSITES THROUGH THREE POINT BENDING TEST WITH D790 STANDARD USING FINITE ELEMENT METHOD

FINAL PROJECT

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: **RIZALDY AZIZ AMIN**
NRP. 02111840000164

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 Syaifudin, S.T., M.Eng., Ph.D. Examiner 2

SURABAYA
July, 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP	: Rizaldy Aziz Amin / 02111840000164
Departemen	: Teknik Mesin FT-IRS ITS
Dosen Pembimbing / NIP	: Alief Wikarta S.T., M.Sc., Eng., PhD. / 198202102006041002

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Analisis Perbandingan *Flexural Properties* Komposit Serat Kenaf dan Sisal melalui Uji *Three Point Bending* dengan Standar D790 Menggunakan Metode Elemen Hingga" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan engikuti 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 S.T., M.Sc., Eng., PhD.
NIP. 198202102006041002

Mahasiswa,

Rizaldy Aziz Amin
NRP. 02111840000164

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP	: Rizaldy Aziz Amin / 02111840000164
Departement	: Mechanical Engineering FT-IRS ITS
Advisor / NIP	: Alief Wikarta S.T., M.Sc., Eng., PhD. / 198202102006041002

hereby declare that the Final Project with the title of "Comparative Analysis of Flexural Properties of Kenaf and Sisal Fiber Composites Through Three Point Bending Test with D790 Standard Using 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, 29th July 2022

Acknowledged

Advisor,

Alief Wikarta S.T., M.Sc., Eng., PhD.
NIP. 198202102006041002

Student,

Rizaldy Aziz Amin
NRP. 02111840000164

ANALISIS PERBANDINGAN FLEXURAL PROPERTIES KOMPOSIT SERAT KENAF DAN SISAL MELALUI UJI THREE POINT BENDING DENGAN STANDAR D790 MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Nama Mahasiswa	**: Rizaldy Aziz Amin**
NRP	**: 02111840000164**
Departemen	**: Teknik Mesin FT-IRS ITS**
Dosen Pembimbing	**: Alief Wikarta S.T., M.Sc., Eng., PhD.**

ABSTRAK

Efek rumah kaca dapat terjadi karena disebabkan oleh penggunaan bahan bakar fosil yang menghasilkan emisi karbon. Untuk mengurangi dampak tersebut, salah satu caranya adalah dengan menggunakan bahan yang diproduksi dengan prinsip energi hijau. Indonesia memiliki potensi untuk mengurangi emisi karbon dengan memanfaatkan sumber daya alamnya. Bahan yang berasal dari logam secara tidak langsung meningkatkan emisi karbon karena dibuat dengan proses pembakaran yang menggunakan bahan bakar fosil. Dengan mengurangi pemakaian bahan logam, maka emisi karbon juga berkurang. Bahan logam dapat digantikan dengan bahan komposit alami yang diperkuat oleh serat. Serat alami digunakan adalah serat sisal dan serat kenaf yang sudah banyak kegunannya.

Dalam penelitian ini, dilakukan analisis perbandingan fraksi volume dan arah orientasi serat sisal dan kenaf untuk mengetahui *flexural properties* melalui uji *three point bending* dengan metode elemen hingga. Penelitian diawali dengan melakukan studi literatur untuk mempelajari penelitian terdahulu dan mencari data kekuatan serat. Penentuan variabel bebas dilakukan setelah mendapatkan data awal penelitian. Penelitian berupa simulasi dengan menggunakan *software* ANSYS untuk memperoleh nilai *flexural properties* menggunakan variasi fraksi volume serat dan arah orientasi serat. Dilanjutkan dengan simulasi pembebanan pada komposit alami sampai komposit mengalami kegagalan dengan metode uji *three point bending*.

Hasil penelitian ini didapat kombinasi material komposit terbaik yang terdiri fraksi volume sebesar 40% dengan variasi arah orientasi serat terbaik yaitu [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2]. Hasil simulasi yang didapatkan berupa *Flexural Properties* yaitu *Flexural Stress*, *Shear Stress*, *Total Deformation*, *Flexural Strain*, dan *Flexural Modulus*. Hasil *flexural properties* terbaik dicapai oleh komposit serat sisal/epoxy resin dengan nilai berturut -turut yaitu *flexural stress* sebesar 250,9 MPa, *shear stress* sebesar 18,595 MPa, *total deformation* sebesar 6,3728 mm, *flexural strain* sebesar 0,048313, dan *flexural modulus* sebesar 5364,3368 MPa. Lalu diikuti oleh komposit serat kenaf/polyester resin dengan nilai berturur-turut *flexural stress* sebesar 175,05 MPa, shear stress sebesar 11,532 MPa, *total deformation* sebesar 8,1419 mm, *flexural strain* sebesar 0,03319, dan *flexural modulus* sebesar 5560,5817 MPa.

Kata kunci: ***sisal, kenaf, fraksi volume serat, sudut orientasi serat, three point bending.***

COMPARATIVE ANALYSIS OF FLEXURAL PROPERTIES OF KENAF AND SISAL FIBER COMPOSITES THROUGH THREE POINT BENDING TEST WITH D790 STANDARD USING FINITE ELEMENT METHOD

Student Name : Rizaldy Aziz Amin
NRP : 02111840000164
Department : Mechanical Engineering FT-IRS ITS
Advisor : Alief Wikarta S.T., M.Sc., Eng., PhD.

ABSTRACT

The greenhouse effect can occur because it is caused by the use of fossil fuels that produce carbon emissions. To reduce the impact, one way is to use materials produced with the principle of green energy. Indonesia has the potential to reduce carbon emissions by utilizing its natural resources. Materials derived from metals indirectly increase carbon emissions because they are made by combustion processes that use fossil fuels. By reducing usage of metal materials, carbon emissions are also reduced. Metal materials can be replaced with natural composite materials reinforced by fibers. The natural fibers used are sisal fiber and kenaf fiber.

In this study, a comparative analysis of the volume fraction and orientation direction of sisal and kenaf fibers was carried out to determine the flexural properties through a three-point bending test with the finite element method. The research begins with conducting a literature study to study previous research and find fiber strength data. Determination of free variables is carried out after obtaining the initial data of the study. The research was in the form of simulations using ANSYS software to obtain flexural properties values using variations in fiber volume fractions and fiber orientation directions. Continued with a simulation of loading on natural composites until the composite fails with the three-point bending test method.

The results of this study obtained the best combination of composite materials consisting of a volume fraction of 40% with variations in the direction of the best fiber orientation, namely [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2]. The simulation results obtained are in the form of Flexural Properties, namely Flexural Stress, Shear Stress, Total Deformation, Flexural Strain, and Flexural Modulus. The best flexural properties results were achieved by the sisal fiber/epoxy resin composite with the best values were flexural stress of 250,9 MPa, shear stress of 18,595 MPa, total deformation of 6,3728 mm, flexural strain of 0,048313, and flexural modulus of 5364,3368 MPa. Then followed by a composite of kenaf fibers/polyester resin with a flexural stress value of 175,05 MPa, shear stress of 11,532 MPa, total deformation of 8,1419 mm, flexural strain of 0,03319, and flexural modulus of 5560,5817 MPa.
Keyword: ***sisal, kenaf, fiber volume fraction, fiber orientation angle, three point bending.***

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 Perbandingan Flexural Properties Komposit Serat Kenaf Dan Sisal Melalui Uji Three Point Bending Menggunakan Metode Elemen Hingga” dengan lancer dan sebaik-baiknya. Penelitian ini penulis dedikasikan kepada diri penulis sendiri dan juga kepada keluarga penulis yang telah membatu 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 Dwi Julianto Amin dan Ibu Erni Ernawati selaku orang tua penulis serta kepada Rahardian Abrar Amin dan Rahmadini Anasykira Amin selaku adik 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 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 (Ganesha, 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 warga Lab MBP (Jay, Faqih, Kelpo, dan Arighi) yang telah memberikan fasilitas, motivasi, pujian dan juga semangat dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
8. 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, 29 Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

COVER ... iii
LEMBAR PENGESAHAN ... vii
PERNYATAAN ORISINALITAS ... xi
ABSTRAK ... xv
KATA PENGANTAR ... xix
DAFTAR ISI ... xxi
DAFTAR GAMBAR ... xxiii
DAFTAR TABEL ... xxvii
BAB I PENDAHULUAN ... 1
1.1 Latar Belakang ... 1
1.2 Rumusan Masalah ... 3
1.3 Batasan Masalah ... 3
1.4 Tujuan Penelitian ... 4
1.5 Manfaat Penelitian ... 4
BAB II DASAR TEORI ... 5
2.1 Dasar Teori ... 5
2.1.1 Komposit ... 5
2.1.1.1 Pengertian ... 5
2.1.1.2 Klasifikasi Komposit ... 6
2.1.1.3 Manufaktur Komposit ... 10
2.1.2 Serat ... 12
2.1.2.1 Serat Kenaf ... 14
2.1.2.2 Serat Sisal ... 15
2.1.3 Matriks ... 16
2.1.3.1 Epoxy Resin ... 18
2.1.3.2 Polyester Resin ... 18
2.1.4 Fraksi Volume ... 19
2.1.5 Teori Kegagalan ... 20
2.1.6 Pengujian *Three Point Bending* ... 20
2.1.6.1 Standar ASTM D790 ... 22
2.1.7 Rules Of Mixture ... 24
2.1.7.1 Material Orthotropic Elasticty ... 24
2.1.7.2 Material Orthotropic Stress Limit ... 25
2.1.8 Metode Elemen Hingga ... 28
2.1.9 Simulasi ANSYS ... 29
2.1.8.1 Material Designer ... 29
2.1.8.2 ACP Pre/Post ... 30
2.1.8.3 Static Structural ... 31
2.2 Tinjauan Pustaka ... 32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN ... 41
3.1 Prosedur Penelitian ... 41
3.2 Diagram Alur Tugas Akhir ... 41
3.3 Studi Literatur ... 44
3.4 Identifikasi Masalah ... 44
3.5 Variasi Penelitian ... 45
3.6 Modelling ... 46
3.7 Uji Konvergensi ... 46

3.8 Validasi 47
3.8.1 *Rule Of Mixture* 47
3.8.2 Perhitungan *Orthotropic Stress Limit* 49
3.8.2.1 Perhitungan Buku *Engineering Mechanics Of Composite Materials* 50
3.8.2.2 Perhitungan Buku *Composite Structures : Design, Mechanics, Analysis, Manufacturing, and Testing* 53
3.8.3 Perhitungan Pembebanan *Three Point Bending* 57
3.9 Simulasi 57
3.9.1 Pemodelan Geometri Pengujian 58
3.9.2 Meshing 58
3.9.3 Memasukkan *Engineering Data* Serat dan Matriks 61
3.9.4 Membuat Konfigurasi Komposit 63
3.9.5 Pengujian Three Point Bending 68
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 71
4.1 Hasil Simulasi Uji *Three Point Bending* Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy 71
4.1.1 Hasil Simulasi dan Pembahasan Fraksi Volume *Three Point Bending* Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy 71
4.1.2 Hasil Simulasi dan Pembahasan Orientasi Arah Serat *Three Point Bending* Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy 77
4.2 Hasil Simulasi Uji *Three Point Bending* Material Komposit Kenaf Fiber/Polyester 83
4.2.1 Hasil Simulasi dan Pembahasan Fraksi Volume *Three Point Bending* Material Komposit Kenaf Fiber/Polyester 84
4.2.2 Hasil Simulasi dan Pembahasan Orientasi Arah Serat *Three Point Bending* Material Komposit Kenaf Fiber/Polyester 90
4.3 Pembahasan Hasil Perbandingan *Flexural Properties* Komposit Serat Sisal/Epoxy Resin Dengan Serat Kenaf/Polyester Resin 96
4.3.1 Perbandingan *Flexural Stress* Komposit Serat Sisal/Epoxy Resin Dengan Serat Kenaf/Polyester Resin 97
4.3.2 Perbandingan *Shear Stress* Komposit Serat Sisal/Epoxy Resin Dengan Serat Kenaf/Polyester Resin 98
4.3.3 Perbandingan *Total Deformation* Komposit Serat Sisal/Epoxy Resin Dengan Serat Kenaf/Polyester Resin 99
4.3.4 Perbandingan *Flexural strain* Komposit Serat Sisal/Epoxy Resin Dengan Serat Kenaf/Polyester Resin 99
4.3.5 Perbandingan *Flexural Modulus* Komposit Serat Sisal/Epoxy Resin Dengan Serat Kenaf/Polyester Resin 100
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 103
5.1 Kesimpulan 103
5.2 Saran 103
DAFTAR PUSTAKA 105
LAMPIRAN 107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Interface dan Interphase pada sebuah komposit (Groover, 2010)........................5
Gambar 2.2 Sifat serat, matriks, dan komposit (Groover, 2010)...6
Gambar 2.3 Klasifikasi Bentuk Penguat Komposit (Daniel & Ishai, 2006).............................7
Gambar 2.4 *Laminated Composites* (Jones, 1999) 8
Gambar 2.5 Lamina dan Sumbu Koordinat Utama (Daniel & Ishai, 2006) 9
Gambar 2.6 Struktur *Sandwich* dan Tipe *Core* (Ratwani, 2010)..9
Gambar 2.7 *Autoclave Molding* Komposit Lamina (Daniel & Ishai, 2006)...........................10
Gambar 2.8 Skema Alat Penggulungan Filamen (Daniel & Ishai, 2006)..............................11
Gambar 2.9 Skema Proses RTM (Daniel & Ishai, 2006)...11
Gambar 2.10 Hubungan antara kekuatan tarik dengan diameter dari serat karbon (Groover, 2010)..12
Gambar 2.11 Morfologi umum serat alami (Freire et al., 2021)..13
Gambar 2.12 Tanaman Kenaf (Sumber: agronet.co.id)...14
Gambar 2.13 Tanaman Sisal..15
Gambar 2.14 Serat Sisal (Sumber:www.greeners.co) 16
Gambar 2.15 Struktur sebuah polimer (Jones, 1999)..17
Gambar 2.16 Rangkaian pengujian *three point bending* dan *four point bending* (ASTM D7264, 2007)..21
Gambar 2.17 Diagram pembebanan three point bending (ASTM D790, 2015).....................22
Gambar 2.18 Model Geometri Serat Hexagonal (Daniel & Ishai, 2006) 25
Gambar 2.19 Mesh metode perbedaan hingga (a), elemen segitiga (b), elemen segiempat (c) (Isworo & Ansyah, 2018)..29
Gambar 2.20 Geometri serat dan matriks pada *Material Designer* 30
Gambar 2.21 Konstanta pada Lamina UD pada *Material Designer*.......................................30
Gambar 2.22 Spesimen Komposit pada *ACP Pre/Post* 31
Gambar 2.23 Penentuan jumlah tumpukan dan arah serat pada *ACP Pre/Post*......................31
Gambar 2.24 Hasil perhitungan yang berupa tegangan pada *ANSYS Static Structural*.........32
Gambar 2.25 Arah orientasi serat *Unidirectional*, *Random*, dan *Woven*...............................32
Gambar 2.26 Hasil *Tensile Test*...33
Gambar 2.27 Hasil *Flexural Test*...33
Gambar 2.28 Grafik Perbandingan Tegangan *Ultimate* (Lokantara & Gede, 2012).............34
Gambar 2.29 Grafik Perbandingan Tegangan *Bending* (Lokantara & Gede, 2012)..............35
Gambar 2.30 Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas (Lokantara & Gede, 2012) 35
Gambar 2.31 Grafik *Tensile Strength* dari komposit *Coir Fiber* (Naveen & Dharma Raju, 2013)..36
Gambar 2.32 Grafik *Failure Strain* dari komposit *Coir Fiber* (Naveen & Dharma Raju, 2013) 36
Gambar 2.33 Grafik *Young's Modulus* dari komposit *Coir Fiber* (Naveen & Dharma Raju, 2013)..37
Gambar 3.1 Flowchart Penelitian..41
Gambar 3.2 Flowchart Simulasi..42
Gambar 3.3 Flowchart Simulasi *Three Point Bending* 43
Gambar 3.4 Grafik Uji Konvergensi..47
Gambar 3.5 Grafik *longitudinal tensile* vs eksperimen 52
Gambar 3.6 Grafik *transverse tensile* vs eksperimen 52
Gambar 3.7 Grafik *longitudinal compressive* vs eksperimen..52
Gambar 3.8 Grafik *transverse* vs eksperimen...53

Gambar 3.9 Grafik *shear strength* vs eksperimen 53
Gambar 3.10 Grafik *longitudinal tensile* vs eksperimen 55
Gambar 3.11 Grafik *transverse tensile* vs eksperimen 55
Gambar 3.12 Grafik *longitudinal compressive* vs eksperimen 56
Gambar 3.13 Grafik *transverse compressive* vs eksperimen 56
Gambar 3.14 Grafik *shear strength* vs eksperimen 56
Gambar 3.15 Pemodelan *Surface* Komposit 58
Gambar 3.16 Pemodelan *Roller Three Point Bending* 58
Gambar 3.17 Hasil Meshing pada Permukaan Komposit 59
Gambar 3.18 Hasil Meshing pada Roller Three Point Bending 59
Gambar 3.19 Spektrum Warna *Mesh Quality* 60
Gambar 3.20 *Skewness* Surface Komposit 60
Gambar 3.21 *Orthogonal Quality Surface* Komposit 60
Gambar 3.22 *Skewness Roller Three Point Bending* 61
Gambar 3.23 Orthogonal Quality Roller Three Point Bending 61
Gambar 3.24 Model Penggabungan Serat dan Matriks 63
Gambar 3.25 *Fabric Properties* 64
Gambar 3.26 *Stackup Properties* 64
Gambar 3.27 *Rosette Properties* 65
Gambar 3.28 Pemodelan dari *Rosette* yang digunakan 65
Gambar 3.29 *Oriented Selection Sets Properties* 65
Gambar 3.30 Pemodelan *Oriented Selection Sets* 66
Gambar 3.31 *Modelling Ply Properties* 66
Gambar 3.32 Pemodelan Total Lapisan yang Digunakan 67
Gambar 3.33 *Solid Model* 67
Gambar 3.34 Arah Orientasi pada Tumpukan ke-1 Lapisan ke-1 67
Gambar 3.35 Pemodelan Akhir *Three Point Bending* 68
Gambar 3.36 Pembebanan *Three Point Bending* 68
Gambar 3.37 Penentuan Jenis *Support* 69
Gambar 3.38 Penentuan Jenis Kontak Support 1 69
Gambar 3.39 Penentuan Jenis Kontak Support 2 69
Gambar 3.40 Penentuan Jenis Kontak Roller Penekan 70
Gambar 4.1 Hasil Simulai Uji Fraksi Volume *Three Point Bending Flexural stress X Axis*. 71
Gambar 4.2 Fl*exural Stress* Serat Sisal/Epoxy pada Simulasi *Three Point Bending* 72
Gambar 4.3 Hasil Simulai Uji Fraksi Volume *Three Point Bending Shear Stress XY Axis*... 73
Gambar 4.4 *Shear Stress* Serat Sisal/Epoxy pada Simulasi *Three Point Bending* 73
Gambar 4.5 Hasil Simulai Uji Fraksi Volume *Three Point Bending Total Deformation* 74
Gambar 4.6 *Deformation* Serat Sisal/Epoxy pada Simulasi *Three Point Bending* 74
Gambar 4.7 Hasil Simulai Uji Fraksi Volume *Three Point Bending Flexural strain X Axis*. 75
Gambar 4.8 *Flexural strain* Serat Sisal/Epoxy Resin pada Simulasi *Three Point Bending*... 75
Gambar 4.9 *Flexural Modulus* Serat Sisal/Epoxy Resin pada Simulasi *Three Point Bending* 76
Gambar 4.10 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] *Three Point Bending Flexural stress X Axis* 78
Gambar 4.11 *Flexural Stress* Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending* 78
Gambar 4.12 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] *Three Point Bending Shear Stress X Axis* 79

Gambar 4.13 *Shear Stress* Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending*....79
Gambar 4.14 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] *Three Point Bending Total Deformation*....80
Gambar 4.15 *Deformation* Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending*....80
Gambar 4.16 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] *Three Point Bending Flexural strain X Axis*....81
Gambar 4.17 *Flexural strain* Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending*....81
Gambar 4.18 *Flexural Modulus* Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending*....82
Gambar 4.19 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] *Three Point Bending Inverse Reserve Factor*....82
Gambar 4.20 *Inverse Reserve Factor* Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending*....83
Gambar 4.21 Hasil Simulai Uji Fraksi Volume Kenaf 40% *Three Point Bending Flexural stress X Axis*....84
Gambar 4.22 Fl*exural Stress* Serat Kenaf/Polyester Resin pada Simulasi *Three Point Bending*....85
Gambar 4.23 Hasil Simulai Uji Fraksi Volume Kenaf 40% *Three Point Bending Shear Stress X Axis*....86
Gambar 4.24 *Shear Stress* Serat Kenaf/Polyester Resin pada Simulasi *Three Point Bending*....86
Gambar 4.25 Hasil Simulai Uji Fraksi Volume Kenaf 40% *Three Point Bending Total Deformation*....87
Gambar 4.26 *Deformation* Serat Kenaf/Polyester Resin pada Simulasi *Three Point Bending*....87
Gambar 4.27 Hasil Simulai Uji Fraksi Volume Kenaf 40% *Three Point Bending Flexural strain X Axis*....88
Gambar 4.28 *Flexural strain* Serat Kenaf/Polyester Resin pada Simulasi *Three Point Bending*....88
Gambar 4.29 *Flexural Modulus* Serat Kenaf/Polyester Resin pada Simulasi *Three Point Bending*....89
Gambar 4.30 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat Kenaf [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] *Three Point Bending Flexural stress X Axis*....91
Gambar 4.31 *Flexural Stress* Serat Kenaf/Polyester Resin Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending*....91
Gambar 4.32 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat Kenaf [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] *Three Point Bending Shear Stress XY Axis*....92
Gambar 4.33 *Shear Stress* Serat Kenaf/Polyester Resin Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending*....92
Gambar 4.34 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat Kenaf [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] *Three Point Bending Total Deformation*....93
Gambar 4.35 *Deformation* Serat Kenaf/Polyester Resin Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending*....93
Gambar 4.36 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat Kenaf [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] *Three Point Bending Flexural strain X Axis*....94

Gambar 4.37 *Flexural strain* Serat Kenaf/Polyester Resin Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending* 94
Gambar 4.38 *Flexural Modulus* Serat Kenaf/Polyester Resin Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending* 95
Gambar 4.39 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat Kenaf [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] *Three Point Bending Inverse Reserve Factor* 95
Gambar 4.40 *Inverse Reserve Factor* Serat Kenaf/Polyester Resin Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending* 96
Gambar 4.41 Grafik Flexural Stress 97
Gambar 4.42 Grafik *Shear Stress* 98
Gambar 4.43 Grafik Deformation 99
Gambar 4.44 Grafik *Flexural strain* 100
Gambar 4.45 Grafik *Flexural Modulus* 101

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan zat dan *physical and mechanical properties* pada serat alami (Freire et al., 2021) 13
Tabel 2.2 *Material Properties* Kenaf 15
Tabel 2.3 *Material Properties* dari Serat Sisal 16
Tabel 2.4 Klasifikasi Matriks Komposit (Groover, 2010) 16
Tabel 2.5 *Material Properties* dari matriks epoxy 18
Tabel 2.6 *Material Properties* dari matriks polyester 19
Tabel 2.7 Kelebihan dan kekurangan three point bending dan four point bending (Khamid, 2011) 21
Tabel 3.1 Properti Serat Kenaf dengan perlakuan alkali 44
Tabel 3.2 Properti Serat Sisal 44
Tabel 3.3 Properti Matriks *Epoxy Resin* 45
Tabel 3.4 Properti Matriks *Polyester Resin* 45
Tabel 3.5 Konfigurasi Variasi Fraksi Volume Serat Kenaf 45
Tabel 3.6 Konfigurasi Variasi Fraksi Volume Serat Sisal 45
Tabel 3.7 Konfigurasi Variasi Arah Komposit Serat Kenaf 46
Tabel 3.8 Konfigurasi Variasi Arah Komposit Serat Sisal 46
Tabel 3.9 Perbandingan nilai *elastic properties* perhitungan 49
Tabel 3.10 Material properties sisal 49
Tabel 3.11 Properti Serat Kenaf dengan perlakuan alkali 61
Tabel 3.12 Properti Matriks *Polyester Resin* 62
Tabel 3.13 Properti serat sisal 62
Tabel 3.14 Properti Matriks *Epoxy Resin* 62
Tabel 3.15 Data Properti Komposit Kenaf/Resin 63
Tabel 4.1 Hasil Simulasi *Three Point Bending* dengan Variasi Fraksi Volume pada Komposit Serat Sisal/Epoxy Resin 71
Tabel 4.2 Hasil Simulasi *Three Point Bending* dengan Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Komposit Serat Sisal/Epoxy Resin 77
Tabel 4.3 Hasil Simulasi *Three Point Bending* dengan Variasi Fraksi Volume pada Komposit Serat Kenaf/Polyester Resin 84
Tabel 4.4 Hasil Simulasi *Three Point Bending* dengan Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Komposit Serat Sisal/Epoxy Resin 90
Tabel 4.5 Nilai *Flexural Stress* Komposit Sisal/Epoxy Resin dan Kenaf/Polyester Resin 97
Tabel 4.6 Nilai *Shear Stress* Komposit Sisal/Epoxy Resin dan Kenaf/Polyester Resin 98
Tabel 4.7 Nilai *Total Deformation* Komposit Sisal/Epoxy Resin dan Kenaf/Polyester Resin 99
Tabel 4.8 Nilai *Flexural strain* Komposit Sisal/Epoxy Resin dan Kenaf/Polyester Resin ... 100
Tabel 4.9 Nilai *Flexural Modulus* Komposit Sisal/Epoxy Resin dan Kenaf/Polyester Resin 101

“Halaman ini sengaja dikosongkan”.

BAB I
PENDAHULUAN

Dalam bab ini akan menjelaskan terkait latar belakangan permasalahan, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, Batasan penelitian serta sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian.

1.1 Latar Belakang

Penggunaan bahan bakar fosil secara terus menerus menghasilkan emisi karbon yang semakin banyak. Karbon tersebut berasal dari reaksi kimia dari penggunaan bahan bakar fosil itu sendiri. Karbon merupakan salah satu gas rumah kaca. Terus meningkatnya emisi gas rumah kaca menyebabkan terjadinya efek rumah kaca sehingga terjadi peningkatan suhu global dan perubahan iklim. Pada dasarnya, efek rumah kaca sama dengan kondisi yang terjadi pada rumah kaca, dimana panas matahari terjebak di atmosfer bumi dan menyebabkan suhu bumi menjadi hangat. Gas-gas di atmosfer yang dapat menangkap panas matahari disebut gas rumah kaca. Yang termasuk gas rumah kaca yang ada di atmosfer antara lain adalah karbon dioksida (CO_2), nitrogen dioksida (N_2O), metana (CH_4), dan freon (SF_6, HFC dan PFC). Oleh karena itu, temperatur bumi sekarang sangat berbeda jauh dari kondisi awal dan semakin memburuk. Perubahan iklim mengakibatkan terjadinya iklim ekstrim yang memicu berbagai bencana alam. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mencatat, bencana hidrometeorologi yang terjadi sepanjang tahun 2020 berupa banjir sebanyak 1.080 kasus, kekeringan 29 kasus, tanah longsor 577 kasus, puting beliung 880 kasus, dan gelombang pasang atau abrasi 36 kasus. Berbagai bencana hidrometeorologi tersebut menimbulkan kerugian ekonomi (Sri Nurhayati, 2019). Untuk mengurangi peningkatan suhu global tersebut perlu upaya mengurangi emisi gas rumah kaca. Salah satu upaya untuk mengurangi penambahan gas emisi adalah dengan mengubah sumber energi dari bahan bakar fosil menjadi energi yang ramah lingkungan dan terbarukan.

Energi hijau atau *green energy* adalah sumber energi yang ramah lingkungan atau energi bersih (clean energy). Pemanfaatan energi hijau penting karena dapat membawa beberapa keuntungan, terutama bagi negara berkembang (Sri Nurhayati, 2019). Pertama, penggunaan *green energy* dapat mengurangi emisi gas penyebab pemanasan global dan perubahan iklim. Kedua, pemakaian terus menerus *green energy* tidak akan mengurangi sumber daya alam dan merusak lingkungan atau bisa disebut dengan istilah *renewable*. Beberapa negara maju sudah beralih dari bahan bakar fosil yang merusak lingkungan menjadi energi hijau agar menunjang industri yang semakin bersih dan meningkatnya kelangsungan hidup masyarakat. Sedangkan pada negara berkembang masih terdapat ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang tinggi untuk menunjang industrinya.

Salah satu cara untuk menjadi industri yang lebih bersih dan hijau adalah dengan menggunakan bahan-bahan produksi yang berasal dari alam agar dapat didaur ulang oleh lingkungan dan mengurangi bahan yang terbuat dari logam. Karena logam diproduksi dan diproses menggunakan proses pembakaran yang menggunakan bahan bakar fosil sehingga meningkatkan emisi karbon. Hal ini tidak sesuai dengan prinsip industri bersih dan hijau yaitu pada setiap proses produksinya menghasilkan emisi yang minimum dan menggunakan sumber daya secara efektif dan efisien sehingga terjadi keselarasan kegiatan perindustrian dengan kelestarian fungsi lingkungan hidup. material yang berbahan dasar logam tersebut dapat digantikan dengan komposit yang lebih ramah lingkungan.

Komposit adalah suatu material yang berasal dari perpaduan atau gabungan dua material atau lebih untuk menghasilkan material baru yang memiliki sifat mekanik tertentu. Tujuan dari penggabungan dua material tersebut adalah untuk menciptakan sifat baru yang tidak dimiliki kedua material penyusunnya. Yang diharapkan adalah dua material tersebut saling menutupi

kelemahan masing-masing dan tercipta sinergitas antar material sehingga dapat dieksplorasi kegunannya lebih jauh (Freire et al., 2021). Komposit dapat diklasifikasikan menjadi komposit alami dan buatan. Keduanya tentu memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. Komposit alami memiliki keuntungan sumber daya tersebar luas dan terbarukan, massa jenis rendah, proses manufaktur yang tidak berbahaya, dan keausan alat yang lebih rendah selama pemrosesan sedangkan kekurangannya adalah daya tahan yang lebih rendah, penyerapan air yang tinggi, dan kekuatan yang lebih rendah dibandingkan dengan komposit sintetis, variabilitas sifat yang lebih tinggi dan suhu pemrosesan yang lebih rendah sehingga membatasi rentang matriks yang tersedia untuk pembentukannya (Freire et al., 2021). Komposit buatan memiliki keuntungan yaitu variabilitas rendah, daya tahan cukup kuat, sedangkan kekurangannya adalah membahayakan lingkungan, biaya pembuatan cukup mahal, dan tidak tersebar luas. Penggunaan serat alami yang sudah banyak salah satunya adalah serat Kenaf.

Serat Kenaf pengunaannya sudah cukup masif yang terbagi dalam berbagai sektor industri. Serat Sisal juga sudah beberapa dimanfaatkan menjadi bahan penguat komposit. material. Serat Sisal juga merupakan salah satu serat alam yang paling banyak digunakan dan pembudidayaannya dapat dikatakan mudah. Serat sisal didapatkan dari proses ekstraksi daun tanaman sisal dan serat sisal memiliki karakteristik serat keras. Pengujian yang dilakukan pada serat sisal juga sudah tergolong banyak. Oleh karena itu maka pemanfaatan dari serat Kenaf dan serat Sisal dapat dijadikan sebagai bahan penguat dari sebuah komposit.

Pada penelitian (Fajrin et al., 2022), dilakukan pengujian material serat kenaf yang dimana diberikan variasi konfigurasi serat. Terdapat tiga jenis variasi yang dilakukan pada eksperimen ini yaitu Unidirectional, Woven, dan Random. Pada eksperimen ini dilakukan pengujian tarik (tensile test) dengan ASTM D638 dan pengujian bending (flexural test) dengan ASTM D790. Hasil dari eksperimen ini adalah jenis variasi konfigurasi serat yang memiliki hasil terbaik adalah konfigurasi Unidirectional untuk kedua jenis pengujian yang dilakukan.

Pada penelitian (Lokantara & Gede, 2012), dijelaskan bahwa serat tapis atau kelapa merupakan salah satu serat alami yang berlimpah sehingga berpotensi menjadi bahan komposit alami. Penelitian ini tergolong eksperimen dengan melakukan variasi arah serat yaitu 0°, 45°, dan 90° dan rasio antara *epoxy* dengan *hardener* sebesar 7 : 3 dan 6 : 4. Penelitian juga melakukan metode perlakuan yang berbeda dengan menggunakan NaOH dan $KMnO_4$ dengan variasi konsentrasi 0.5%, 1%, dan 2% dan pengujian dilakukan dengan uji tarik dan uji *three-point bending*. Lalu didapatkan hasil penelitian yaitu variasi orientasi serat 0°, 45°, dan 90° memberi pengaruh secara signifikan terhadap kekuatan tarik dengan nilai terbesar pada arah 45°. Dan juga hasil kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan kekuatan *bending* tertinggi terdapat pada komposit rasio *epoxy-hardener* 7:3 dengan 2% $KMnO_4$ dan orientasi serat 45°.

Pada penelitian (Naveen & Dharma Raju, 2013), dijelaskan bahwa serat sebagai penguat dalam suatu komposit memegang peranan penting untuk penggunaan secara luas karena kekuatan dan modulus spesifiknya. Penelitian ini tergolong eksperimen dengan variasi penelitian yaitu fraksi volume serat dengan nilai 5%, 10%, dan 15%. Penelitian menggunakan metode percobaan dengan *Tensile Test* untuk mengetahui *Mechanical Properties* dan *Modal Analysi*s untuk mengetahui *Dynamic Characteristic*. Lalu didapatkan hasil penelitian berupa penurunan pada *Tensile Strength* dan *Young Modulus* dengan meningkatnya fraksi volume serat dan juga kenaikan pada Failure Strain dengan meningkatnya fraksi volume serat. Hal ini karena semakin besar kemungkinan terjadinya *void* atau rongga sehingga tidak terdapat ikatan yang cukup kuat antara serat dan matriks.

Pada penelitian (Zuccarello, 2021), dilakukan pengujian tarik (*tensile test*) dengan menggunakan material serat sisal dengan matriks *green epoxy*. Pengujian pada eksperimen ini menggunakan standar ASTM D3039. Pengujian tensile dilakukan untuk arah fiber *longitudinal* dan *transverse* untuk nilai *tensile strength* dan *tensile modulus*. Variasi yang digunakan pada

pengujian ini adalah variasi fraksi volume serat dari 20% hingga 70%. Hasil yang didapatkan dari eksperimen ini adalah nilai *tensile strength* untuk longitudinal meningkat seiring pertambahan fraksi volume dan memiliki nilai maksimal pada fraksi volume 70%. Sedangkan hasil dari nilai *tensile strength* untuk transverse mengalami penurunan seiring penurunan nilai fraksi volume.

Pada penelitian (Oroh, 2013), dilakukan penelitian tentang bagaimana pengaruh fraksi volume serat terhadap kekuatan bending. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan bending yang optimal dari komposit serat sabut kelapa pada fraksi volume serat 10-70% dengan perlakuan alkali (NaOH) selama dua jam dan tanpa perlakuan serta mengetahui hasil patahan pada spesimen yang memiliki harga optimal dari pengujian bending. Hasil pengujian komposit serat sabut kelapa tanpa perlakuan dengan variasi fraksi volume dengan pengujian bending didapat tegangan *bending* pada fraksi serat 40%.

Berdasarkan penelitian terdahulu, belum terdapat penelitian yang melakukan pengujian sifat mekanik komposit dengan metode uji *three-point bending* antara serat Kenaf dan serat Sisal dengan matriks *epoxy-resin* dan *polyester-resin*. Penelitian ini menggunakan variabel pengujian yaitu fraksi volume antara serat dengan matriksnya, jumlah *layer* total komposit, dan variasi arah sudut orientasi serat. Penelitian dilakukan dengan simulasi menggunakan software ANSYS 2021 R1. Penelitian juga menggunakan pengujian *three-point bending* dengan menggunakan standar ASTM D790 untuk bahan komposit matriks polimer.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat rumusan masalah, yaitu :

1. Bagaimana mengetahui dan menganalisa pengaruh fraksi volume terbaik terhadap *Flexural Properties* pada komposit serat Kenaf dan serat Sisal dengan pengujian *Three-Point Bending*?
2. Bagaimana mengetahui dan menganalisa pengaruh variasi arah serat terbaik terhadap *Flexural Properties* pada komposit serat Kenaf dan serat Sisal dengan pengujian *Three-Point Bending*?
3. Bagaimana menganalisa dan membandingkan kombinasi fraksi volume serat dan variasi arah serat terbaik pada komposit serat Kenaf dan serat Sisal dengan pengujian *Three-Point Bending*?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian terdapat batasan masalah yang perlu diperhatikan agar penelitian lebih mengarah, yaitu :

1. Serat yang digunakan adalah serat Kenaf dan serat Sisal.
2. Matriks yang digunakan adalah *Polyester-Resin* untuk serat Kenaf dan *Epoxy-Resin* untuk serat Sisal.
3. Standar spesimen yang digunakan adalah ASTM D790 untuk bahan komposit pengujian *Three-Point Bending*
4. Variasi fraksi volume serat Kenaf dengan matriks adalah 10%, 20%, 30%, 40%, 50% 60%, dan 70%.
5. Variasi fraksi volume serat Sisal dengan matriks 15%, 20%, 30%, 40%, 50% 60%, dan 70%.
6. *Flexural Properties* yang dihasilkan berupa *Flexural Stress, Shear Stress, Total Deformation*, *Flexural Strain,* dan *Flexural Modulus*.
7. Penelitian dilakukan dengan melakukan simulasi dengan menggunakan *software* ANSYS 2021 R1.

1.4 Tujuan Penelitian

Dalam penelitian terdapat tujuan yang akan dicapai yaitu sebagai berikut :

1. Mengetahui dan menganalisa pengaruh fraksi volume terbaik terhadap *Flexural Properties* pada komposit serat Kenaf dan serat Sisal dengan pengujian *Three-Point Bending*.
2. Mengetahui dan menganalisa pengaruh variasi arah serat terbaik terhadap *Flexural Properties* pada komposit serat Kenaf dan serat Sisal dengan pengujian *Three-Point Bending*.
3. Menganalisa dan membandingkan kombinasi fraksi volume serat dan variasi arah serat terbaik pada komposit serat Kenaf dan serat Sisal dengan pengujian *Three-Point Bending.*

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan akan memiliki manfaat sebagai berikut :

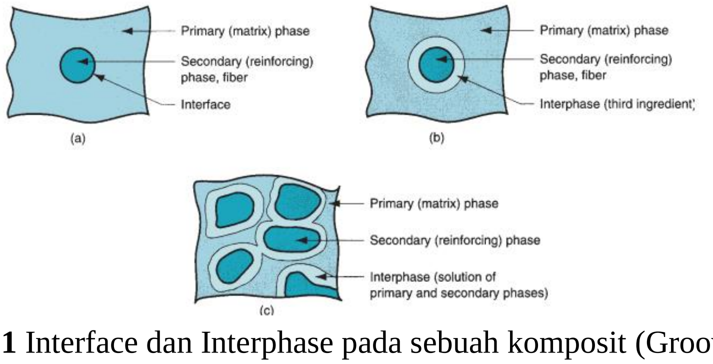
1. Meningkatkan nilai kegunaan serat Kenaf dan serat Sisal sebagai bahan dasar komposit agar bisa menambahkan nilai ekonomis.
2. Penelitian diharapkan dapat menjadi referensi penggunaan metode *three point bending* untuk pengujian *flexural* material komposit alami.
3. Penelitian diharapkan menjadi referensi pengembangan komposit alami agar dapat memajukan teknologi komposit.
4. Penelitian diharapkan digunakan dan diterapkan agar bermanfaat bagi bangsa Indonesia.

BAB II
DASAR TEORI

2.1 Dasar Teori
2.1.1 Komposit
2.1.1.1 Pengertian

Kata komposit dalam istilah material komposit menandakan bahwa dua atau lebih material digabungkan dalam skala makroskopik untuk membentuk material baru yang berguna. Kata makroskopik berarti bahwa material dari penyusun komposit dapat dilihat dengan mata manusia tanpa bantuan alat. Sedangkan dalam aspek mikroskopik seperti penggabungan dua jenis logam yang berbeda yang secara mikro mengalami perubahan tetapi ketika dilihat secara makro seperti menjadi satu kesatuan (Jones, 1999). Sedangkan menurut (Groover, 2010), material komposit adalah sistem material yang terdiri dari dua atau lebih fase yang lebih berbeda secara fisik yang kombinasinya menghasilkan sifat agregat yang berbeda dari sifat-sifat konstituennya. Definisi lainnya yaitu menurut (Matthews & Rawlings, 1999), komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Dari campuran tersebut akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya sehingga kita leluasa merencanakan kekuatan material komposit yang kita inginkan dengan jalan mengatur komposisi dari material pembentuknya. Jadi komposit merupakan sejumlah sistem multi fase sifat dengan gabungan, yaitu gabungan antara bahan matriks atau pengikat dengan penguat.

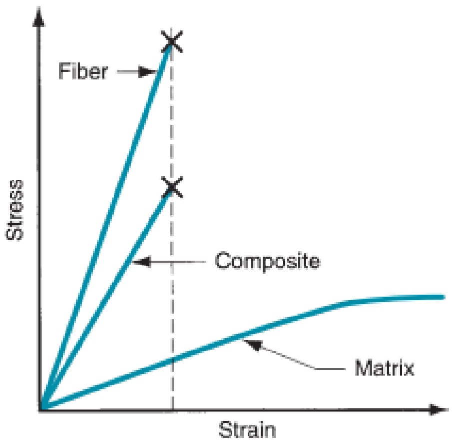
Konstituen atau bahan penyusun memainkan peran kunci dalam pengembangan sifat material akhir. Komposit tingkat lanjut dengan bahan yang digunakan dalam aplikasi struktural diperoleh dengan memperkuat bahan matriks dengan kontinu serat memiliki sifat kekuatan dan kekakuan yang tinggi. Pemilihan bahan komposit untuk setiap aplikasi akan melibatkan pemilihan serat penguat dan matriks, dan volume fraksionalnya dalam bahan yang dihasilkan. Kombinasi yang dipilih dengan benar akan memberikan bahan komposit dengan beberapa keunggulan (Ratwani, 2010). Beberapa hal yang dapat ditingkatkan dengan membuat komposit adalah kekuatan, kekakuan, ketahanan korosi, ketahanan aus, berat, dan sebagainya.



Gambar 2.1 Interface dan Interphase pada sebuah komposit (Groover, 2010)

Dalam manifestasi paling sederhana dari definisi komposit, bahan komposit terdiri dari dua fase yaitu fase primer dan fase sekunder seperti pada gambar 2.1. Fase primer membentuk matriks di mana fase sekunder tertanam pada matriks. Fase tertanam kadang-kadang disebut sebagai penguat atau *reinforcement*, karena biasanya berfungsi untuk memperkuat komposit. Fase penguat dapat berupa serat, partikel, atau berbagai geometri lainnya. Fase primer dan sekunder umumnya tidak larut satu sama lain, maka harus terdapat perekat yang berfungsi untuk

menyatukan keduanya (Groover, 2010). Selalu ada bagian antarmuka atau *interface* antara fase konstituen dalam komposit. Agar komposit beroperasi secara efektif, fase harus terikat di mana mereka bergabung. Di beberapa kasus, ada ikatan langsung antara kedua bahan seperti pada Gambar 2.1 bagian a. Dalam kasus lain, bahan ketiga ditambahkan untuk memperkuat ikatan dari dua fase primer. Bahan ketiga tersebut adalah interfase, bahan ketiga ini biasanya berperan sebagai perekat. Salah satu contoh penting adalah pelapisan serat kaca untuk mencapai adhesi dengan *thermosetting resin* dalam plastik yang diperkuat *fiberglass*. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.1 bagian b, kasus ini menghasilkan dua antarmuka, satu di kedua batas interfase. Akhirnya, bentuk antarmuka ketiga terjadi ketika dua komponen utama tidak sepenuhnya tidak larut satu sama lain; di kasus ini, interfase terbentuk yang terdiri dari larutan fase seperti Gambar 2.1 bagian c.



Gambar 2.2 Sifat serat, matriks, dan komposit (Groover, 2010)

Secara alami, penggabungan dua material berbeda tidak selalu menguntungkan dan tidak selalu terdapat peningkatan sepeti pada gambar 2.2. Bahkan pada penggabungan itu bisa terdapat perlawanan antara satu sama lain seperti *Thermal Insulation versus Thermal Conductivity*. Oleh karena itu, pembuatan sebuah komposit harus memiliki karakteristik tertentu yang didesain sedemikian rupa agar dapat menyelesaikan tugasnya. Dengan pemilihan gabungan material yang saling menguntungkan maka akan terbentuk material baru yang memiliki kemampuan lebih dari material penyusunnya sehingga tercipta sinergitas antar material. Jika itu terjadi, komposit yang telah dibuat akan memiliki potensial terbaiknya.

2.1.1.2 Klasifikasi Komposit

Komposit dapat dibedakan menjadi beberapa kategori berdasarkan parameter yang digunakan. Berdasarkan cara pembuatannya, komposit dapat dibedakan menjadi :

1. **Traditional Composites**

   Komposit tradisional adalah material yang berasal dari alam atau telah diproduksi oleh peradaban selama bertahun-tahun. Kayu adalah material komposit yang terbentuk secara alami, sedangkan beton (semen Portland ditambah pasir atau kerikil) dan aspal yang dicampur dengan kerikil adalah komposit tradisional yang digunakan dalam konstruksi.

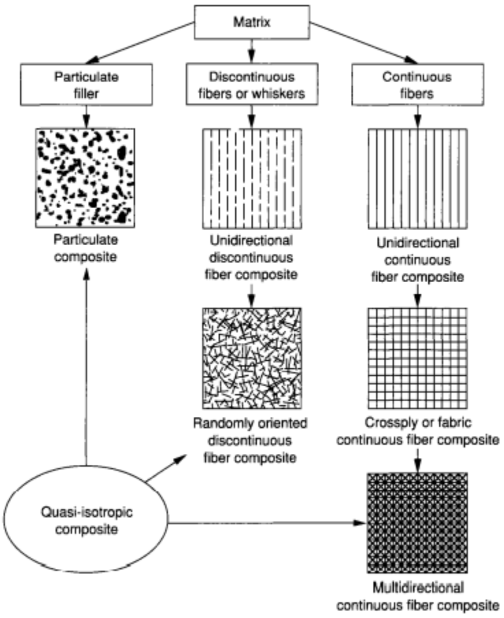
2. **Synthetic Composites**

   Komposit sintetik adalah sistem material modern yang biasanya diasosiasikan dengan industri manufaktur, di mana komponen pertama kali diproduksi secara terpisah dan kemudian digabungkan dengan cara yang terkontrol untuk mencapai struktur, properti, dan bagian

geometri yang diinginkan. Bahan sintetis ini adalah komposit yang biasanya dipikirkan dalam konteks produk rekayasa.

Komposit tradisional yang memakai bahan dari alam lebih lanjut dapat disebut sebagai komposit alami. Perbedaan yang signifikan antara komposit tradisional dengan sintetik yaitu komposit tradisional biasanya tidak menggunakan teknologi yang rumit dalam pembuatannya sedangkan komposit sintetik melibatkan teknologi yang cukup maju atau baru dalam proses pembuatannya.

Berdasarkan bentuk penguat atau *reinforcement* yang digunakan, komposit dapat dibedakan menjadi :



Gambar 2.3 Klasifikasi Bentuk Penguat Komposit (Daniel & Ishai, 2006)

1. **Particulate Composites**

Komposit partikulat atau serbuk terdiri dari partikel dengan berbagai ukuran dan bentuk secara acak tersebar di dalam matriks. Karena tingkat keacakan dari distribusi partikel, komposit ini dapat dianggap sebagai quasi-homogen dan quasi-isotropic pada skala jauh lebih besar dari ukuran partikel dan jarak antar partikel (skala makro). Dalam beberapa kasus, seperti polimer/tanah liat nanokomposit, trombosit silikat dapat mencapai beberapa derajat paralelisme, sehingga membuat bahan anisotropik. Komposit partikulat dapat terdiri dari partikel nonlogam dalam matriks bukan logam (beton, kaca yang diperkuat dengan serpihan mika, rapuh) polimer yang diperkuat dengan partikel mirip karet, nanokomposit polimer/tanah liat, keramik.

2. **Discontinuous or Short-Fiber Composites**

Komposit jenis ini tergolong komposit yang diperkuat dengan serat atau *fiber reinforced composite*. Komposit tidak kontinu atau komposit serat pendek mengandung serat pendek, nanotube, atau kumis/*whiskers* sebagai fase penguatnya. Komposit serat pendek cukup panjang jika dibandingkan dengan diameternya karena memiliki rasio aspek yang tinggi. Serat terputus-putus (serat kontinyu yang dipotong-potong) pendek panjang (L/D~100). Jenis serat yang penting adalah jenis kumis yang seperti rambut kristal tunggal dengan diameter turun menjadi sekitar 0,001 mm (0,00004 in) dan memiliki kekuatan yang sangat tinggi.

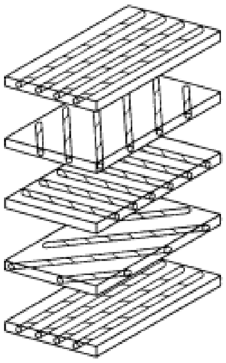
Komposit serat pendek bisa memiliki arah orientasi serat pada satu arah atau berorientasi secara acak. Dalam contoh pertama, bahan komposit cenderung anisotropik, atau lebih khusus orthotropik, sedangkan yang kedua, dapat dianggap sebagai quasi isotropik. Nanokomposit dikendalikan dengan nanotube karbon (berdiameter sekitar 1 nm dan panjang 1000 nm) adalah contoh kelompok komposit ini.

3. Continuous-Fiber Composites

Komposit serat kontinu diperkuat oleh serat yang sangat panjang dan komposit serat kontinyu merupakan jenis serat penguat yang paling efisien dari sudut pandang kekakuan dan kekuatan. Komposit jenis ini juga tergolong komposit yang diperkuat dengan serat atau *fiber reinforced composite.* Serat kontinu sangat panjang, secara teori mereka menawarkan jalur kontinu yang sangat panjang di mana beban dapat dibawa oleh bagian komposit. Pada kenyataannya, hal ini sulit untuk dicapai karena variasi dalam bahan berserat dan pemrosesannya. Serat kontinu dapat memiliki konfigurasi paralel (komposit serat kontinu searah), dapat berorientasi pada sudut kanan satu sama lain (*crossply* atau *woven fabric continuous-fiber composite*), atau dapat berorientasi di sepanjang beberapa arah (*multidirectional continuous-fiber composite*). Dalam kasus terakhir, untuk jumlah arah serat tertentu dan distribusi serat, komposit dapat dicirikan sebagai bahan kuasi-isotropik.

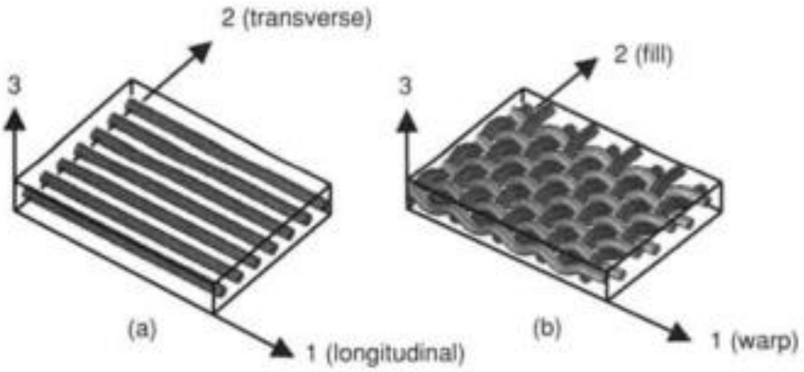
Berdasarkan tipe struktur yang digunakan, komposit dapat dibedakan menjadi :

1. Laminates



Gambar 2.4 *Laminated Composites* (Jones, 1999)

Laminasi atau *laminates* adalah tumpukan lamina terdiri dari dua atau lebih lamina searah atau *plies* yang ditumpuk bersama-sama pada berbagai orientasi seperti pada gambar 2.4. Orientasi serat lapisan bisa tidak simetris dengan permukaan tengah laminasi. Lapisan laminasi biasanya terikat bersama oleh bahan matriks yang sama yang digunakan dalam lamina individu. Artinya, beberapa bahan matriks dalam lamina melapisi permukaan lamina dan digunakan untuk mengikat lamina ke lamina yang berdekatan tanpa penambahan lebih banyak bahan matriks. Laminasi dapat terdiri dari pelat bahan yang berbeda atau lapisan lamina yang diperkuat serat.

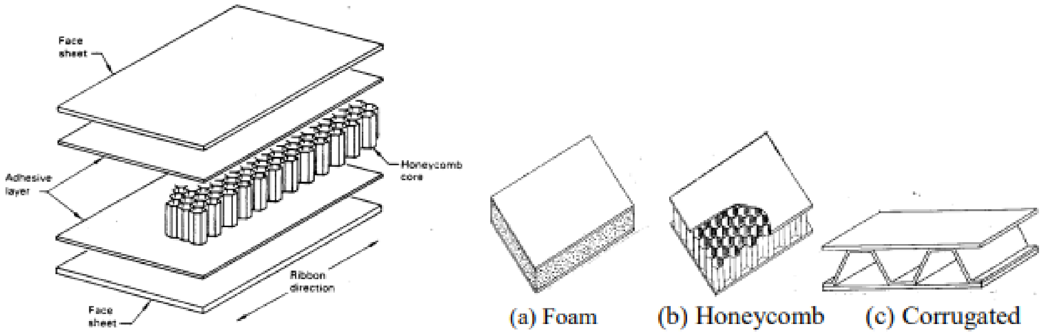


Gambar 2.5 Lamina dan Sumbu Koordinat Utama (Daniel & Ishai, 2006)

Lamina (atau plies, atau lapisan) dapat memiliki berbagai ketebalan dan terdiri dari bahan yang berbeda. Sejak orientasi sumbu koordinat material bervariasi dari lapisan ke lapisan, lebih mudah untuk menganalisis laminasi menggunakan sistem atau koordinat tetap umum (x, y, z) seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5. Orientasi ply yang diberikan diberikan oleh sudut antara referensi sumbu x dan sumbu material utama (orientasi serat atau arah warp) dari ply, diukur dalam arah berlawanan arah jarum jam di bidang x-y.

Tujuan utama laminasi adalah untuk menyesuaikan ketergantungan arah kekuatan dan kekakuan bahan komposit agar sesuai dengan lingkungan pemuatan elemen struktural. Laminasi secara unik cocok untuk tujuan ini karena arah material utama dari setiap lapisan dapat berorientasi sesuai dengan kebutuhan.

2. Sandwich



Gambar 2.6 Struktur *Sandwich* dan Tipe *Core* (Ratwani, 2010)

Struktur *sandwich* kadang-kadang dibedakan sebagai kasus khusus lamina. Struktur komposit terdiri dari inti yang relatif tebal dari bahan kepadatan rendah yang terikat pada kedua wajah hingga lembaran tipis dari bahan yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6. Konstruksi *sandwich* telah menemukan aplikasi yang luas dalam struktur pesawat terbang, rudal dan pesawat ruang angkasa karena rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi. Jenis konstruksi ini terdiri dari lembaran logam yang tipis, kaku dan kuat.

Inti kepadatan rendah mungkin dengan bahan berbusa, seperti pada gambar 2.6 (a), atau sarang lebah seperti pada (b), dan bahan bergelombang inti seperti yang ditunjukkan pada (c). Lapisan tebal bahan dengan kepadatan rendah yang biasa dikenal sebagai bahan inti atau *core* mungkin jenis busa ringan (misalnya Nomex inti atau Rohacell seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 bagian a). Bahan inti umumnya terikat menggunakan perekat pada lembaran.

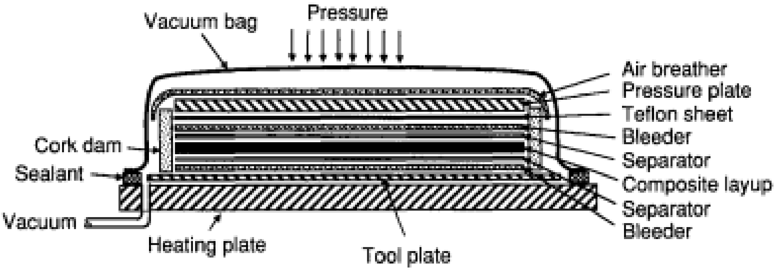
Alasan menggunakan sandwich struktur adalah untuk mendapatkan bahan dengan rasio kekuatan-ke-berat dan kekakuan-ke-berat yang tinggi.

2.1.1.3 Manufaktur Komposit

Proses manufaktur adalah salah satu langkah paling penting dalam penggunaan bahan komposit. Idealnya, metode manufaktur harus dipilih secara bersamaan dengan pemilihan material dan desain struktural dalam proses terpadu dan interaktif. Proses manufaktur diatur oleh matriks yang digunakan. Bagian ini hanya berhubungan dengan komposit polimer-matriks. Tingginya biaya bahan komposit adalah satu-satunya penghalang yang paling signifikan untuk pemanfaatan yang lebih luas. Sebagian besar biaya disebabkan oleh kurangnya metode fabrikasi yang hemat biaya dan perlunya inspeksi untuk memastikan kualitas bahan yang dipakai. Sifat produk komposit jadi terkait erat dengan metode pembuatannya.

Produk yang sudah jadi harus memenuhi beberapa persyaratan umum. Persyaratannya adalah bebas dari cacat (rongga, retakan, serat bergelombang), seragam dalam propertinya, sepenuhnya *cured* (mendapatkan nilai properti yang diinginkan, misalnya, kekakuan, kekuatan, daya tahan kelelahan), dan dapat diproduksi secara banyak. Beberapa tujuan spesifik manufaktur adalah kontrol lokasi/orientasi penguatan, ketebalan ply, rasio volume serat, rongga, tegangan sisa, dan dimensi akhir. Mengenai proses itu sendiri, suhu tidak boleh melebihi nilai yang ditetapkan, distribusi suhu harus cukup seragam di seluruh bagian, dan *curing* secara lengkap dan seragam harus dilakukan dalam waktu sesingkat mungkin. Berikut ini adalah beberapa contoh metode manufaktur komposit yang banyak digunakan saat ini.

1. Autoclave Molding

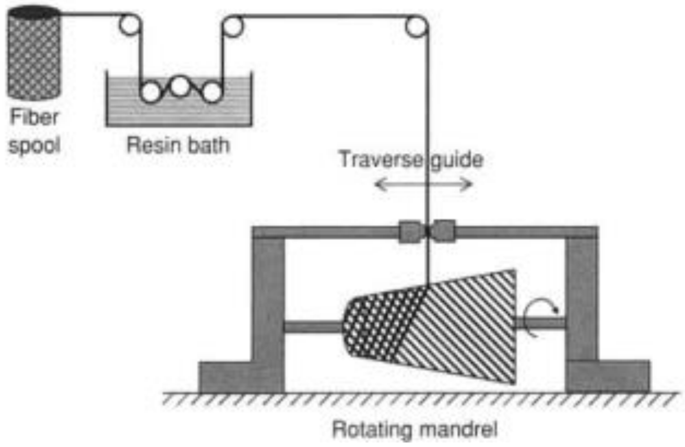


Gambar 2.7 *Autoclave Molding* Komposit Lamina (Daniel & Ishai, 2006)

Proses pencetakan autoklaf digunakan untuk fabrikasi komposit canggih berkinerja tinggi untuk aplikasi militer, kedirgantaraan, transportasi, kelautan, dan infrastruktur. Metode ini memiliki beberapa batasan pada ukuran dan bentuk dan menghasilkan produk dengan toleransi dimensi yang cukup baik. Ini adalah proses dengan volume rendah dan padat karya dan karena itu memakan biaya yang cukup mahal. Bahan yang digunakan biasanya resin termoset dan termoplastik yang diperkuat dengan kaca, karbon, dan serat dan kain aramid.

Proses autoklaf menggunakan bahan dalam bentuk *prepreg*. *Prepreg* berbentuk lembaran dipotong sesuai ukuran, berorientasi sesuai keinginan, dan ditumpuk untuk membentuk *layup*. Sebuah sistem *bleededbreather* yang terdiri dari kain serat kaca kering (dry glass fiber) digunakan untuk menyerap resin yang berlebihan dan membolehkan zat volatil keluar selama proses *curing*. Seluruh perakitan *layup prepreg* dan bahan tambahan disegel dengan kantong vakum ke piring alat pada gambar 2.7. Proses *curing* dipengaruhi oleh penerapan siklus suhu-tekanan-vakum-waktu yang ditentukan di dalam ruangan (autoklaf). Lalu proses pendinginan dilakukan secara bertahap dan dikontrol untuk meminimalkan tegangan sisa dan mencegah *microcracking*.

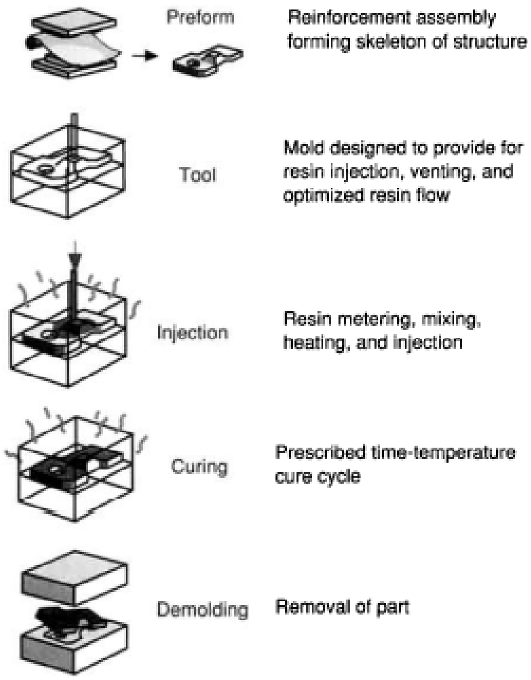
2. Filament Winding



Gambar 2.8 Skema Alat Penggulungan Filamen (Daniel & Ishai, 2006)

Gulungan filamen terdiri dari penggulungan penguat atau *reinforement* di bawah tegangan yang dilapisi resin di sekitar mandrel yang berputar seperti gambar 2.8. Berdasarkan sifatnya gerakannya, proses ini paling cocok untuk produk yang memiliki permukaan revolusi atau permukaan bundar misalnya, pipa, wadah, bejana tekan, benda dengan struktur tubular dan kerucut lainnya. Proses pemadatan dicapai melalui ketegangan serat. Proses ini menghasilkan produk dengan kekuatan spesifik yang tinggi dan orientasi serat dan keseragaman yang terkontrol dengan baik. Untaian serat dapat dilapisi dengan sebagian *cured* resin (gulungan kering) atau dibasahi dengan melalui bak resin (gulungan basah).

3. Resin Transfer Molding (RTM)



Gambar 2.9 Skema Proses RTM (Daniel & Ishai, 2006)

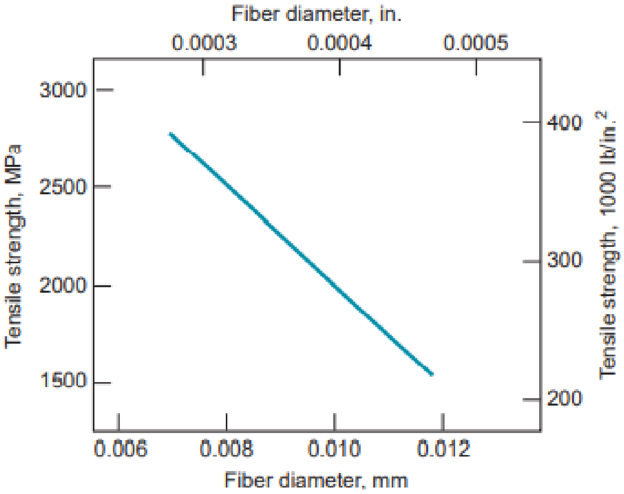
Pencetakan transfer resin (RTM) adalah proses yang cocok untuk produksi dengan volume tinggi untuk bagian yang kompleks atau tebal. RTM merupakan proses hemat biaya yang membutuhkan biaya rendah untuk perangkat keras dan pemeliharaan alat. Proses RTM

digunakan untuk memproduksi militer, kedirgantaraan, produk transportasi, kelautan, dan infrastruktur. *Reinforcement* atau penguatan yang digunakan adalah kaca, karbon dan serat kevlar. Resin yang digunakan termasuk epoksi, poliester tak jenuh, dan vinilester.

Proses ini terdiri dari pemilihan bahan (resin dan penguatan atau bentuk awal), desain cetakan, mengisi cetakan, *curing*, dan mengontrol. Perakitan penguat serat kering, atau bentuk awal, membentuk kerangka struktur disiapkan dalam bentuk bagian akhir dan ditempatkan ke dalam cetakan seperti pada gambar 2.9. Cetakan dirancang untuk menyediakan injeksi resin, ventilasi, dan aliran resin yang dioptimalkan. Selama tahap injeksi, resin, pengeras, dan akselerator (bila digunakan) diukur, dicampur, dipanaskan, dan disuntikkan pada tekanan dan/atau dengan laju aliran tertentu melalui satu atau lebih gerbang ke dalam cetakan tertutup. Setelah pengisian cetakan selesai, siklus *curing* dengan suhu waktu yang ditentukan diterapkan sampai proses *curing* lengkap.

2.1.2 Serat

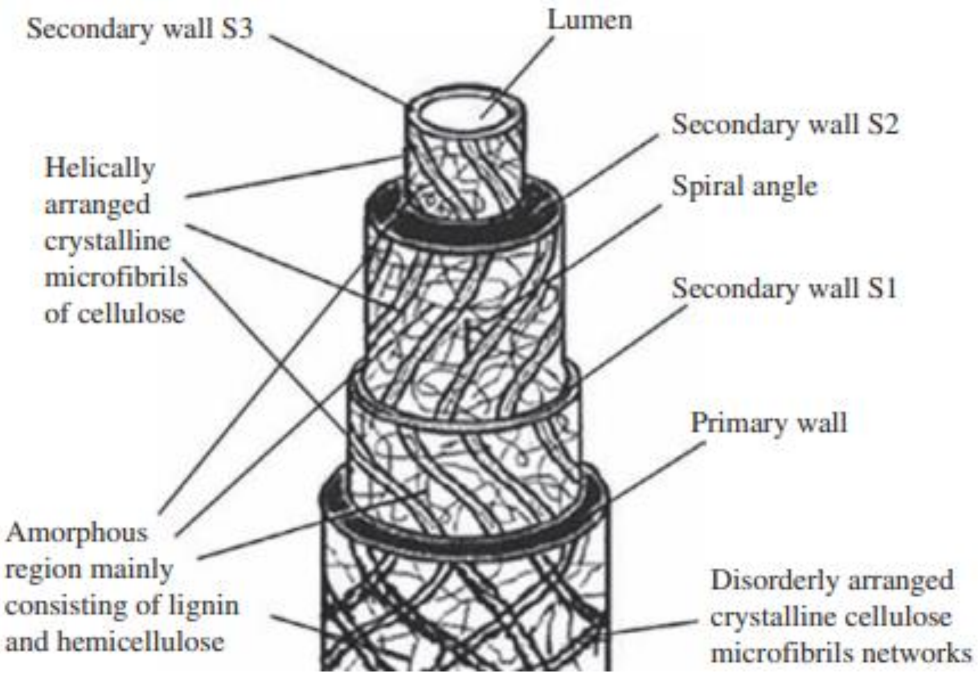
Serat adalah filamen bahan penguat, umumnya melingkar di penampang, meskipun bentuk alternatif kadang-kadang digunakan (misalnya, tubular, persegi panjang, heksagonal) Diameter berkisar dari kurang dari 0,0025 mm (0,0001 in) hingga sekitar 0,13 mm (0,005 in), tergantung pada material.



Gambar 2.10 Hubungan antara kekuatan tarik dengan diameter dari serat karbon (Groover, 2010)

Penguatan serat memberikan peluang terbesar untuk peningkatan kekuatan struktur komposit. Dalam komposit yang diperkuat serat, serat sering dianggap sebagai konstituen utama karena berperan menerima dan menahan beban. Serat cocok sebagai penguat karena bentuk filamen sebagian besar bahan secara signifikan lebih kuat dari bentuk massal. Pada gambar 2.10, dapat dilihat efek diameter serat pada kekuatan tarik. Ketika diameter berkurang, bahan semakin menjadi berorientasi ke arah sumbu serat dan probabilitas cacat pada struktur menurun secara signifikan. Akibatnya, kekuatan tarik meningkat secara dramatis.

Serat material komposit pada umunya terbagi menjadi dua yaitu serat alami dan serat sintetis. Jenis kedua serat tersebut tentu memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri. Tetapi dengan semakin majunya teknologi manufaktur, penggunaan serat alami semakin banyak digemari karena sumbernya sangat melimpah dan ramah lingkungan. Secara umum, serat alami mengandung beberapa zat yang tentu memiliki pengaruh terhadap kekuatan dan juga ketahanan sebagai komposit.



Gambar 2.11 Morfologi umum serat alami (Freire et al., 2021)

Serat alami terdiri dari selulosa, lignin, hemiselulosa, lilin, pektin, dan zat yang larut dalam air. Selulosa, hadir di dinding sel, terutama bertanggung jawab atas kekuatan struktur. Rantai selulosa adalah diatur dalam bundel heliks (mikrofibril) yang direndam dalam matriks lignin dan hemiselulosa (selulosa nonkristalin) pada gambar 2.11, mikrofibril selulosa tersebar sepanjang serat, membentuk sudut dengan arah aksial, mikrofibril atau sudut spiral. Struktur filamen tersebut menyajikan area penampang berongga (lumen), yang memberikan porositas yang lebih tinggi dan rendah kepadatan. Properti seperti kepadatan, permeabilitas, dan ketebalan dinding sel, serta panjang dan diameter serat dan sudut spiral dapat bervariasi menurut spesies. Kondisi lingkungan di mana tanaman tumbuh, seperti tanah, kelembaban, dan kondisi matahari juga dapat mempengaruhi properti serat.

Tabel 2.1 Kandungan zat dan *physical and mechanical properties* pada serat alami (Freire et al., 2021)

Fiber	Cellulose (%)	Hemicellulose (%)	Lignin (%)	Density (g/ cm^3)	Spiral angle (°)	Tensile modulus (GPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
Flax	60–85	14.0–20.6	1–3	1.53–1.54	8.3–11	37.2–75.1	595–1510	1.6–3.6
Sisal	52.8–65	19.3	11.1–13.5	1.45	20	9.0–25.0	347–577	2.3–5.45
Kenaf	52.0–61.2	18.5–29.7	12.9–16.1	1.45	9–15	19	983	4.5
Jute	58.0–71.5	13.6–24.0	11.8–16.0	1.38–1.40	7–12	10.0–31.2	114–629	1.5–1.8
Coir	32.0–43.4	0.3	40–45.8	1.2	30–49	4–6	131–220	15–30
Bamboo	36.1–54.6	11.4–16.6	20.5–28.5	1.15–1.41	8–10.7	32.0–43.7	1210–1610	3.8–5.8
Ramie	61.8–76.2	5.3–16.7	0.6–9.1	1.5	7.5	24.5–65	560–900	1.2–2.5
Banana	60–65	6–19	5–10	1.35	11	12	470–550	4–6
PALF[a]	80.5	17.5	8.3	1.5	12–14	8–32	170–1627	3–10
Curauá	70.7–73.6	21.1	7.5–11.1	0.92–1.40	18.8[b]	27.1	117–495	1.3–3.2
Basalt	–	–	–	2.63–2.8	–	93–110	3000–4840	3.1–6.0

[a]Pineapple leaf fibers.
[b]Calculated.

Pada umumnya, serat alami mengandung berbagai zat yang memiliki pengaruh terhadap sifat mekanik suatu komposit yang dapat dilihat pada tabel 2.1. Salah satu masalah utama pada serat alami adalah kompatibilitasnya yang buruk dengan matriks polimer hidrofobik, karena sifatnya yang hidrofilik. Kekuatan ikatan *intefacial* yang rendah menghasilkan antarmuka matriks serat yang lemah dan buruk dari segi sifat mekanik komposit. Contohnya adalah zat

selulosa yang terkandung pada serat alami yang berperan langsung terhadap kekuatan komposit. Sedangkan hemiselulosa dan lignin yang bersifat hidrofilik atau menyerap air yang akan berdampak berkurangnya kekuatan komposit karena berkurangnya kekuatan ikatan antara serat dan matrix. Lalu untuk mengurangi kandungan residu lainnya seperti hemiselulosa dan lignin, maka harus dilakukan perlakuan dengan alkali untuk mengurangi zat tersebut. Tujuannya adalah menghilangkan zat yang bersifar hidrofilik agar serat dan matriks dapat terikat sempurna yang berpengaruh terhadap sifat mekanik komposit.

2.1.2.1 Serat Kenaf

Kenaf merupakan tumbuhan yang memiliki nama Latin *Hibiscus Malvaceae.* Serat kenaf didapat dengan menguliti batang dari tumbuhan tersebut. Kenaf merupakan tumbuhan yang tangguh karena dapat tumbuh di daerah tropis maupun subtropis dengan persebaran terbesar berada di benua Afrika dan Asia. Kenaf merupakan tumbuhan yang kuat karena dapat tahan serangga dan memerlukan sedikit atau bahkan tidak perlu menggunakan pestisida serta memiliki toleransi tinggi terhadap air maupun kekeringan. Pohon kenaf biasanya tubuh hingga mencapai tinggi 3 meter, dengan ciri ciri warna hijau dan batangnya kadang memiliki duri yang cukup tajam seperti yang terlihat pada gambar berikut ini.

Gambar 2.12 Tanaman Kenaf (Sumber: agronet.co.id)

Karena kelimpahannya kenaf sudah sering dibudidayakan di Indonesia, lahannya tersebar di Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Kalimantan Selatan. Kenaf memiliki rentang harga diantara Rp. 9.000,00 – Rp. 20.000,00 tergantung pasar dan industrinya. Kenaf ini mirip seperti kelapa dalam konteks fungsi karena hampir semua bagian tanaman bisa dimanfaatkan untuk bahan baku berbagai industri. Mulai dari daunnya yang mengandung protein kasar 24 persen yang biasa digunakan untuk pakan ternak unggas, juga biji kenaf yang memiliki kandungan lemak 20 persen yang bisa digunakan untuk bahan baku minyak goreng apalagi kenaf banyak mengandung asam lemak tidak jenuh. Kayu kenaf pun sangat baik digunakan sebagai bahan baku industri furnitur seperti pintu, jendela, kusen dan lain sebagainya. Serta seratnya juga sering digunakan sebagai bahan baku industri seperti kertas dan *pulp*, tekstil, karpet, kerajinan tangan dan lain sebagainya (Santoso et al., 2016).

Serat kenaf biasanya terbagi menjadi dua golongan yaitu kenaf panjang dan kenaf pendek. Untuk kenaf panjang ukurannya berkisar antara 10-30 mm sementara untuk kenaf pendek ukuran panjangnya berada diantara 1-6 mm. Dalam hal ini kenaf panjang memiliki sifat

mekanik yang lebih unggul. Serat Kenaf yang digunakan memiliki nilai properti yang tercantum pada tabel 2.2 sebagai berikut.

Tabel 2.2 *Material Properties* Kenaf

Properties		Referensi
Density (g/cm^3)	1.5	(Mariselvam & Logesh, 2015)
Tensile Strength (MPa)	89.58	(Ibrahim et al., 2018)
Young Modulus (GPa)	7.67	(Ibrahim et al., 2018)
Poisson's Ratio	0.324	(Mariselvam & Logesh, 2015)
Shear Modulus (GPa)	2.8965	ANSYS

2.1.2.2 Serat Sisal

Sisal merupakan salah satu serat alam yang paling banyak digunakan dan paling mudah dibudidayakan. Serat sisal dihasilkan dari daun tanaman *Agave Sisalana*. Tanaman ini cocok dibudidayakan di tanah kering dan beriklim kering dikarenakan tanaman ini tidak tahan genangan air. Syarat tumbuh dari tanaman ini adalah terpapar sinar matahari dengan kelembaban udara *moderate* (70-80%), temperatur maksimum 27-28^{o}C, tanah lempung berpasir, dengan pH tanah berkisar antara 5,5 – 7,5. Tanaman sisal merupakan tanaman yang batang dan daunnya menyatu, mempunyai serat yang kuat, dapat hidup pada lahan yang lapisan olahnya tipis seperti pada gambar 2.13. Kekuatan dari sisal ini lebih baik dibanding serat lainnya, serta tahan terhadap kadar garam tinggi.

Gambar 2.13 Tanaman Sisal

Tanaman ini dihasilkan oleh negara Brazil sebagai penghasil sisal terbesar di dunia, China, Kenya, Tanzania, Madagaskar, Indonesia, dan Thailand. Tanaman sisal di Indonesia banyak dibudidayakan di Pulau Madura, Malang Selatan, Jember, Blitar Selatan, dan di Kabupaten Sumbawa. Satu tanaman sisal dapat memproduksi sektar 200-250 daun dan satu daun terdiri atas 1000-1200 bundel serat seperti pada gambar 2.14. Penggunaan serat Sisal telah menjamur di berbagai bidang, yaitu dalam bidang kelautan, pertanian, kerajinan, dan keamanan (seperti penggunaan dalam pembuatan rompi anti peluru). Panjang serat sisal dapat bervariasi antara 1.0 – 1.5 meter dengan diameter antara 100-300 mm (Kusumastuti, 2009).

Gambar 2.14 Serat Sisal (Sumber:www.greeners.co)

Dengan jumlah tanaman Sisal yang sudah melimpah sehingga memungkinkan untuk dilakukan pemanfaatan menjadi sebuah komposit. Serat Sisal yang digunakan memiliki nilai properti yang tercantum pada tabel 2.3 sebagai berikut

Tabel 2.3 *Material Properties* dari Serat Sisal

Properties		Referensi
Density (g/cm^3)	1.45	(Gupta & Srivastava, 2014)
Tensile Strength (MPa)	450	(Kusumastuti, 2009)
Young Modulus (GPa)	7000	(Kusumastuti, 2009)
Poisson's Ratio	0.44	(Sinitsky, 2022)
Shear Modulus (GPa)	2.5	ANSYS

2.1.3 Matriks

Matriks adalah fase dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). Matriks, umumnya lebih ductile tetapi mempunyai kekuatan dan rigiditas yang lebih rendah. Syarat pokok matriks yang digunakan dalam komposit adalah matriks harus bisa meneruskan beban, sehingga serat harus bisa melekat pada matriks dan kompatibel antara serat dan matrik, artinya tidak ada reaksi yang mengganggu. Umumnya matriks dipilih yang mempunyai ketahanan panas yang tinggi. Matriks mempunyai fungsi sebagai mentransfer tegangan ke serat, membentuk ikatan koheren permukaan matriks/serat, melindungi serat, memisahkan serat, melepas ikatan, dan stabil setelah proses manufaktur.

Tabel 2.4 Klasifikasi Matriks Komposit (Groover, 2010)

Secondary phase (reinforcement)	Primary Phase (matrix)		
	Metal	**Ceramic**	**Polymer**
Metal	Powder metal parts infiltrated with a second metal	NA	Plastic molding compounds Steel-belted radial tires
Ceramic	Cermets[a] Fiber-reinforced metals	SiC whisker-reinforced Al_2O_3	Plastic molding compounds Fiberglass-reinforced plastic
Polymer	Powder metal parts impregnated with polymer	NA	Plastic molding compounds Kevlar-reinforced epoxy
Elements (C, B)	Fiber-reinforced metals	NA	Rubber with carbon black B or C fiber-reinforced plastic

NA = Not applicable currently.
[a]Cermets include cemented carbides.

Komponen penyusun terbesar dalam sebuah komposit adalah matriks. Oleh karena itu, matriks memegang peranan penting dalam menentukan sifat keseluruhan komposit dalam menyelesaikan tugasnya. Berdasarkan matriks yang digunakan, komposit dapat dibedakan menjadi tiga jenis seperti pada tabel 2.4 yaitu :

1. Metal matrix

Komposit matriks logam atau *Metal Matrix Composite* (MMC) terdiri dari matriks logam yang diperkuat oleh fase kedua. Fase penguat umum termasuk (1) partikel keramik dan (2) serat dari berbagai bahan, termasuk logam lain, keramik, karbon, dan boron.

Komposit matriks logam terdiri dari logam atau paduan (aluminium, magnesium, titanium, tembaga) diperkuat dengan boron, karbon (grafit), atau serat keramik. Suhu penggunaan maksimum mereka dibatasi oleh suhu pelunakan atau pencairan matriks logam.

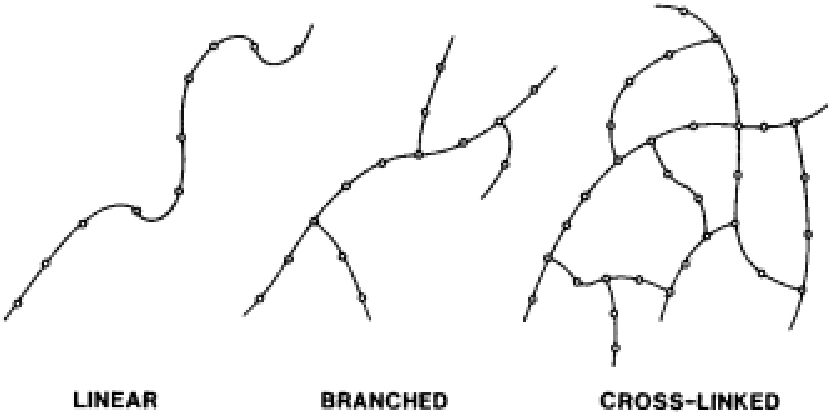
2. Ceramic matrix

Komposit matriks keramik atau *Ceramic Matrix Composite* (CMC) terdiri dari fase primer keramik tertanam dengan fase sekunder. Keramik memiliki sifat keunggulan tertentu yaitu: kekakuan tinggi, kekerasan, kekerasan panas, dan kekuatan tekan; dan kepadatan yang relatif rendah. Keramik juga memiliki beberapa kekurangan yaitu: rendah ketangguhan dan kekuatan tarik massal, dan kerentanan terhadap retak termal. Matriks keramik komposit (CMC) mewakili upaya untuk mempertahankan sifat keramik yang diinginkan sambil mengompensasi kelemahannya.

Komposit matriks keramik terdiri dari matriks keramik (silikon karbida, aluminium oksida, kaca-keramik, silikon nitrida) diperkuat dengan serat keramik. Komposit matriks keramik adalah yang paling cocok untuk aplikasi suhu sangat tinggi

3. Polymer matrix

Matriks yang banyak digunakan saat ini adalah matriks jenis polimer. Polimer merupakan molekul raksasa yang tersusun dari ikatan kimia sederhana atau bahan dengan berat molekul yang besar mempunyai struktur dan sifat-sifat yang rumit disebabkan jumlah atom pembentuk yang jauh lebih besar dibandingkan dengan senyawa yang berat atomnya rendah seperti yang digambarkan pada gambar 2.15 berikut ini.



Gambar 2.15 Struktur sebuah polimer (Jones, 1999)

Jenis matriks polimer terbagi dua berdasarkan perlakuannya terhadap panas yaitu :

1. Thermoset

Polimer termoset adalah jenis sistem matriks yang paling dominan. Resin termoset mengalami proses polimerisasi dan *cross-linking* selama *curing* dengan bantuan pengerasan agen dan pemanas. Mereka tidak meleleh saat dipanaskan kembali, tetapi mereka terurai secara termal pada tingkat tinggi. Suhu. Termoset yang paling umum digunakan adalah poliester tak jenuh, epoxies, polimida, dan vinilester.

2. Thermoplastic

Polimer termoplastik adalah matriks yang sepenuhnya dipolimerisasi polimer dan dapat diubah secara fisik oleh melembutkan atau melelehkannya dengan panas. Termoplastik digunakan sebagai matriks untuk komposit termasuk polypropylene (PP), polyphenylene sulfida (PPS), polysulfone, poly-ether-ether-ketone (PEEK), dan thermoplastic polimida. Mereka lebih kompatibel dengan metode fabrikasi *hot-forming* dan *injection molding*. Dibandingkan dengan epoksi dan polimida termoset, termoplastik dapat diproses lebih cepat dan memiliki transisi kaca yang jauh lebih tinggi dan suhu penggunaan maksimum (naik untuk 400 °C, 750 °F).

Komposit matriks polimer atau *Polymer Matrix Composite* (PMC) terdiri dari fase primer polimer di mana fase sekunder tertanam dalam bentuk serat, partikel, atau serpihan. Secara komersial, PMC adalah yang paling penting dari tiga kelas komposit sintetis. Mereka termasuk sebagian besar senyawa cetakan plastik, karet diperkuat dengan karbon hitam, dan *fiber-reinforced polymers* (FRPs).

Komposit matriks polimer termasuk resin termoset (epoksi, polimida, poliester) atau termoplastik (poli-eter-eter-keton, polysulfone) yang diperkuat dengan kaca, karbon (grafit), aramid (Kevlar), atau serat boron. Mereka digunakan terutama dalam aplikasi temperatur yang relatif rendah.

2.1.3.1 Epoxy Resin

Salah satu matriks polimer yang sering digunakan dalam berbagai macam industri adalah *epoxy resin*. Matriks epoxy resin tergolong matriks polimer thermoset yaitu matriksnya tidak akan meleleh kembali jika dipanaskan. Epoxy resin banyak digunakan tentu karena memiliki keunggulan dari berbagai macam faktor.

Untuk beberapa aplikasi kegunaan dari epoxy resin yaitu banyak dipakai untuk pengecoran, pelapisan, dan perlindungan bagian instalasi listrik. Resin yang telah diawetkan mempunyai sifat daya tahan kimia dan stabilitas dimensi yang baik, daya lekat pada material berbahan kaca dan logam yang baik juga dapat digunakan untuk membuat panel sirkuit cetak, tangki, dan cetakan. Lalu sifat epoxy resin yang tahan aus dan kejut, banyak digunakan untuk membuat cetakan tekan untuk pembentukan logam. Namun terdapat beberapa kelemahan atau kekurangan dari epoxy resin yaitu sifatnya yang agak getas sehingga mudah retak dan patah, tidak terlalu ulet, dan biaya pembuatannya agak mahal dibandingkan dengan matriks polimer yang lainnya (Salam, 2007). *Epoxy-resin* yang digunakan memiliki nilai properti yang tercantum pada tabel 2.5 sebagai berikut

Tabel 2.5 *Material Properties* dari matriks epoxy

Properties		Referensi
Density (g/cm^3)	1.16	ANSYS
Tensile Strength (MPa)	80	(Daniel & Ishai, 2006)
Young Modulus (GPa)	3.4	(Daniel & Ishai, 2006)
Poisson's Ratio	0.36	(Daniel & Ishai, 2006)
Shear Modulus (GPa)	1.25	ANSYS

2.1.3.2 Polyester Resin

Resin polyester atau biasa disebut *fiberglass resin* atau resin kapal banyak dipasarkan di dunia khususnya Indonesia dengan warna yang berbeda-beda seperti merah, putih kekuning-kuningan dan hijau yang akan telihat sedikit transparan apabila diaplikasikan dalam lapisan yang relatif tipis. Penggunaan jenis polyester resin diperkirakan sekitar 70% dalam seluruh

penggunaan seluruh jenis resin diseluruh dunia. Kekurangan resin ini adalah tidak akan kuat apabila hanya digunakan untuk lapisan tipis tetapi memerlukan bahan lain seperti talek (mirip bedak bayi) dan serat kaca (mat fiberglass).

Dari segi kekuatan, polyester resin memiliki kekurangan seperti mudah retak dan terkelupas. Dan juga resin kurang baik dalam menghadapi air karena mudah menyerap air atau *water permeable* lalu menyebabkan mudah untuk patah. *Polyester resin* yang digunakan memiliki nilai properti yang tercantum pada tabel 2.6 sebagai berikut.

Tabel 2.6 *Material Properties* dari matriks polyester

Properties		Referensi
Density (g/cm^3)	1100	(Daniel & Ishai, 2006)
Tensile Strength (MPa)	40	(Daniel & Ishai, 2006)
Young Modulus (GPa)	3.2	(Daniel & Ishai, 2006)
Poisson's Ratio	0.35	(Daniel & Ishai, 2006)
Shear Modulus (GPa)	1.1825	ANSYS

2.1.4 Fraksi Volume

Sifat-sifat dari bahan komposit adalah pengaruh dari material penyusunnya. Sifat-sifat tertentu dari bahan komposit dapat dihitung melalui *Rule of Mixtures* atau aturan campuran, yang melibatkan perhitungan rata-rata berat dari bahan penyusun komposit. Massa jenis adalah contoh dari perhitungan rata-rata ini. Massa bahan komposit adalah jumlah massa fase matriks dan penguat yaitu :

$$m_c = m_m + m_r \tag{2.1}$$

di mana m = massa, kg (lb); dan subskrip c, m, dan r menunjukkan komposit, matriks, dan fase penguat, masing-masing. Demikian pula, volume komposit adalah jumlah dari material penyusunnya :

$$V_c = V_m + V_r + V_v \tag{2.2}$$

di mana V = volume, cm^3 (in^3). V_v adalah volume dari setiap rongga atau *voids* dalam komposit (misalnya, pori-pori). Massa jenis komposit adalah massa dibagi dengan volume.

$$\rho_c = \frac{m_c}{V_c} = \frac{m_m + m_r}{V_c} \tag{2.3}$$

Karena massa matriks dan fase penguat adalah massa jenis masing-masing yang dikalikan dengan volumenya, yaitu :

$$m_m = \rho_m V_m \; dan \; m_r = \rho_r V_r$$

Lalu persamaan tersebut dapat disubstitusikan ke persamaan (2.3), maka persamaannya menjadi :

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_r \rho_r \tag{2.4}$$

Di mana,

$$f_m = \frac{V_m}{V_c}\ dan\ f_r = \frac{V_r}{V_c}$$

Merupakan fraksi volume matriks dan fase penguatnya.

2.1.5 Teori Kegagalan

Kegagalan komposit dengan konfigurasi lamina orthotropic dapat ditentukan dengan menggunakan berbagai macam teori kegagalan yang dimiliki untuk menentukan kegagalan materialnya. Terdapat berbagai macam teori kegagalan yaitu *maximum stress theory, maximum strain theory,* Tsai-Hill, Tsai-Wu, dan sebagainya. Masing-masing teori kegagalan memiliki keunggulan yang bisa membantu untuk menyelesaikan suatu permasalahan perhitungan. Berdasarkan permasalahan yang ada, teori kegagalan Tsai-Wu cocok untuk penelitian yang belum memiliki data percobaan.

Teori kegagalan Tsai – wu adalah teori kegagalan yang dapat memprediksi kekuatan dari material tanpa adanya data penelitian/eksperimen yang dapat digunakan. Selain itu terdapat juga beberapa keunggulan yang dimiliki teori kegagalan Tsai-Wu yaitu :

1. Ini secara operasional sederhana dan mudah untuk prosedur komputasi.
2. Seperti teori Tsai-Hill, permasalahan dinyatakan dalam hal kriteria tunggal atau persamaan tunggal, bukan enam persamaan subcriteria yang diperlukan dalam *maximum stress theory* dan *maximum strain theory*.
3. Istilah *stress interactions* dapat diperlakukan sebagai sifat material independen yang ditentukan oleh eksperimen yang tepat, tidak seperti teori Tsai-Hill di mana istilah interaksi ditetapkan sebagai fungsi dari istilah lain.
4. Teori ini, menjelaskan perbedaan antara kekuatan tarik. dan kekuatan tekan.

Teori Tsai-Wu dapat ditentukan kegagalannya (nilai faktor kegagalan) melalui rumus :

$$F_1\sigma_1 + F_2\sigma_2 + F_{66}{\tau_{12}}^2 + F_{11}{\sigma_1}^2 + F_{22}{\sigma_2}^2 + 2F_{12}\sigma_1\sigma_2 = 1 \qquad (2.5)$$

dengan masing-masing komponen yaitu :

$$F_1 = \frac{1}{X_t} + \frac{1}{X_c}, F_2 = \frac{1}{Y_t} + \frac{1}{Y_c}\ , F_{11} = -\frac{1}{X_t X_c}$$

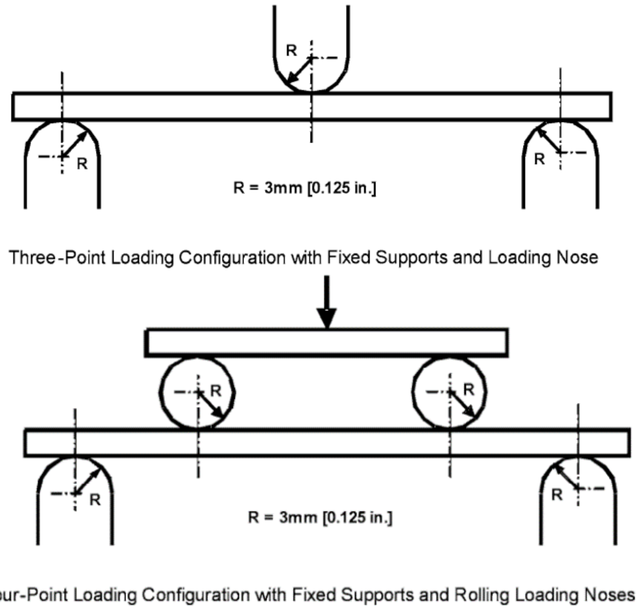
$$F_{22} = \frac{1}{Y_t Y_c}\ , F_{12} = -\frac{1}{2\sqrt{X_t.X_c.Y_t.Y_c}}$$

Keterangan :
X_t : longitudinal tensile strength
X_c : longitudinal compressive strength
Y_t : transverse tensile strength
Yc : transverse compressive strength

2.1.6 Pengujian *Three Point Bending*

Pengujian *bending* atau menekuk adalah pengujian dengan cara memberikan tekanan pada spesimen di bagian tertentu sehingga mengakibatkan terjadinya deformasi plastis pada bagian yang diberikan tekanan. Sedangkan proses bending sendiri adalah proses penekukan menggunakan suatu rangkaian alat manual atau menggunakan mesin.

Secara umum rangkaian alat terdiri dari rangka, alat tekan, dan alat ukur. Rangka berfungsi sebagai penahan gaya balik yang terjadi pada saat melakukan uji *bending*. Rangka harus memiliki kekuatan lebih besar dari kekuatan alat tekan, agar tidak terjadi kerusakan pada rangka pada saat melakukan pengujian. Alat tekan berfungsi sebagai alat yang memberikan gaya tekan pada benda uji pada saat melakukan pengujian. Alat penekan harus memiliki kekuatan lebih besar dari benda yang di uji (ditekan). Alat ukur adalah suatu alat yang yang menunjukan besarnya kekuatan tekan yang terjadi pada benda uji. Metode yang biasa digunakan untuk pengujian *bending* yaitu *point bending* yang terdiri dari *three point bending* dan *four point bending.*



Gambar 2.16 Rangkaian pengujian *three point bending* dan *four point bending* (ASTM D7264, 2007)

Perbedaan dari kedua cara pengujian terletak dari bentuk dan jumlah point yang digunakan seperti pada gambar 2.16, *three point bending* menggunakan 2 *point* pada bagian bawah yang berfungsi, sebagai tumpuan dan 1 *point* pada bagian atas yang berfungsi sebagai penekan sedangkan *four point bending* menggunakan 2 *point* pada bagian bawah yang berfungsi sebagai tumpuan dan 2 *point* penekan pada bagian atas yang berfungi sebagai penekan. Selain itu juga terdapat beberapa kelebihan dan kekurangan dari pengujian *three* dan *four point bending* seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 2.7 Kelebihan dan kekurangan three point bending dan four point bending (Khamid, 2011)

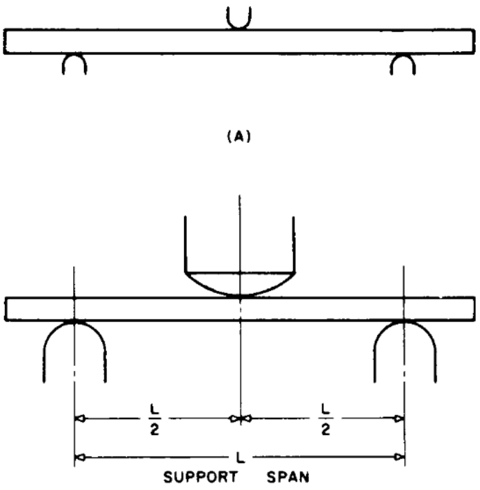
Three Point Bending	**Four Point Bending**
KELEBIHAN	
• Persiapan dan pengujian spesimen yang mudah dan cepat • Pembuatan *point* lebih mudah	• Rumus perhitungan yang lebih mudah • Hasil pengujian lebih akurat
KEKURANGAN	
• Kesulitan menentukan titik tengah persis, karena jika posisi tidak di	• Pembuatan Point lebih rumit • 2 *point* bagian atas harus bersamaan menekan benda uji. Jika salah satu

tengah persis maka object yang ingin di teliti melenceng • Kemungkinan terjadi pergeseran, sehingga benda yang diuji pecah/patah tidak tepat di tengah	point lebih dulu menekan benda uji maka terjadi three point bending, sehingga rumus yang digunakan berbeda.

Perbedaan utama antara konfigurasi pembebanan *three point* dan *four point bending* adalah lokasi momen pembengkokan maksimum/*maximum bending moment* dan tegangan lentur maksimum/*maximum flexural stress*. Dengan konfigurasi four point, momen lentur/*bending moment* adalah konstan antara tengah spesimen. Akibatnya, tegangan lentur maksimum/*maximum flexural stress* seragam antara gaya pada bagian tengah spesimen. Dalam konfigurasi tiga poin, tegangan lentur maksimum/*maximum flexural stress* terletak tepat di tengah spesimen (ASTM D7264, 2007). Untuk mendapatkan hasil pengujian yang terukur dan tepat, maka dalam pengujian *three point bending* menggunakan standar yang ditetapkan oleh *American Society for Testing Materials* (ASTM).

2.1.6.1 Standar ASTM D790

Standar ASTM D790 adalah standar metode pengujian yang ditetapkan oleh *American Society for Testing Materials* (ASTM) untuk material komposit dengan matriks polimer. Standar yang ditetapkan adalah standar spesimen dan pengujian. Standar ASTM D790 mengatur tentang pengujian *three point bending*. Penggunaan standar ini bertujuan untuk mendapatkan nilai parameter tegangan, regangan, dan kekuatan komposit dengan matriks polimer. Satuan yang digunakan adalah SI dan *inch-pound* dengan tidak mengganti satuan agar hasil pengujian dapat dibandingkan.



Gambar 2.17 Diagram pembebanan three point bending (ASTM D790, 2015)

Keterangan :
L : Panjang support (mm)
P : Gaya yang diberikan (N)
h : Tebal Spesimen (mm)
b : Lebar Spesimen (mm)

Jarak dari konfigurasi *three point bending* mengikuti dari ukuran spesimen yang digunakan seperti pada gambar 2.17. Oleh karena itu, ukuran spesimen merupakan bagian yang penting dalam melakukan pengujian *three point bending*. Dengan menggunakan satuan SI,

panjang dari spesimen adalah jarak support diukur dari pusat kedua *support* ditambah 20% dari jarak support (L) itu sendiri dengan rasio jarak antar support dengan ketebalan adalah 16:1.

Ketika spesimen diuji dan didukung pada dua titik/*support* dan pembebanan dimuat tepat di titik tengah spesimen, tegangan maksimum di permukaan luar terjadi pada bagian tengah spesimen. Tegangan dapat dihitung untuk setiap titik pada kurva pembebanan-defleksi dengan persamaan berikut :

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^3} \tag{2.6}$$

Keterangan :
σ : Tegangan bagian terluar pada bagian tengah (Mpa)

P : Load (N)
L : Jarak support (mm)
b : Lebar spesimen (mm)
h : Tebal spesimen (mm)

Kekuatan lentur/*flexural strength* besarnya sama dengan tegangan maksimum di permukaan terluar yang sesuai dengan puncak beban yang diterapkan sebelum kegagalan. Lalu untuk menghitung regangan maksimum di permukaan terluar pada bagian tengah spesimen dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\epsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \tag{2.7}$$

Keterangan :
ϵ : Regangan bagian terluar pada bagian tengah (mm/mm)
δ : Defleksi pada bagian tengah (mm)
h : Tebal spesimen (mm)
L : Jarak support (mm)

Untuk menghitung besarnya defleksi yang dialami oleh spesimen maka dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$D = \frac{rL^2}{6h} \tag{2.8}$$

Keterangan :
r : regangan yang dialami (mm/mm)

Setelah menghitung stress dan strain pada spesimen, lalu menghitung modulus elastisitasnya. *Flexural Chord Modulus of Elasticity* rasio rentang stres dan rentang regangan. Persamaan perhitungan dapat dilihat sebagai berikut :

$$E_f = \frac{L^3 m}{4bh^3} \tag{2.9}$$

Keterangan :
m : rasio kurva pembebanan-deformasi

2.1.7 Rules Of Mixture

Rules of Mixtures (ROM) merupakan suatu metode yang dapat digunakan untuk menghitung kekuatan pada komposit secara teoritis dengan menggunakan penjumlahan kekuatan tiap penyusun dengan menggunakan fraksi volume tiap penyusun tersebut. Adapun persamaan ROM adalah sebagai berikut.

$$V = V_f + V_m + V_v \tag{2.10}$$

$$v_f = \frac{V_f}{V}$$

$$v_m = \frac{V_m}{V}$$

$$v_v = \frac{V_v}{V}$$

Dimana, V dan v merupakan volume dan volume fraksi dari elemen. *Subscribt* f, m, dan v ditujukan untuk *fiber*, matriks, dan *void*. Dari kedua persamaan diatas, maka didapat :

$$v_f + v_m + v_v = 1 \tag{2.11}$$

Saat proses penyatuan *fiber* dan matriks dianggap baik, maka *void* atau rongga kosong dapat diabaikan, sehingga persamaan dapat menjadi :

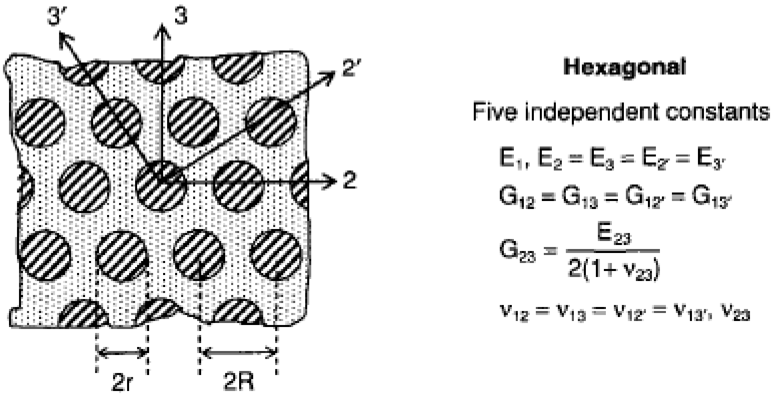
$$v_m = 1 - v_f \tag{2.12}$$

Sehingga didapatkan rumus untuk massa jenis komposit adalah :

$$\rho_c = v_f \rho_f + v_m \rho_m \tag{2.13}$$

2.1.7.1 Material Orthotropic Elasticty

Pada komposit dengan jenis *unidirectional* memiliki beberapa nilai dari *material properties* dan geometri susunan serat seperti pada gambar 2.18. Nilai tersebut dibagi atas dua *properties*, yaitu *longitudinal properties* dan *transverse properties*. Berdasarkan (Daniel & Ishai, 2006), *longitudinal properties* terbagi atas *Young's modulus* (E_1), *Poisson's ratio* (v_{12} dan v_{13}), dan *shear modulus* (G_{12} dan G_{13}). Kemudian, *Transverse properties* terbagi atas Young's *modulus* (E_2 dan E_3), Poisson's *ratio* (v_{23}), dan *shear modulus* (G_{23}).



Gambar 2.18 Model Geometri Serat Hexagonal (Daniel & Ishai, 2006)

Persamaan *longitudinal Young modulus* pada elemen dengan hubungan matriks dan *fiber* dapat dituliskan menjadi :

$$E_1 = v_f E_f + v_m E_m \tag{2.14}$$

Sedangkan untuk nilai *Young modulus* transversal atau E_2 dan E_3 dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$E_2 = \left(\frac{v_f}{E_f} + \frac{v_m}{E_m}\right)^{-1} \tag{2.15}$$

Untuk mencari nilai *longitudinal shear modulus* G_{12} dan G_{13} serta *transversal shear modulus* G_{23}, dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$G_{12} = Gm\frac{(1 + V_f)G_f + V_m G_m}{V_m G_f + (1 + V_f)G_m} \tag{2.16}$$

$$G_{23} = \frac{G_m K_m(G_m + G_f) + 2G_f G_m + K_m(G_f - G_m)V_f}{K_m(G_m + G_f) + 2G_f G_m - (K_m + 2G_m)(G_f - G_m)V_f} \tag{2.17}$$

Untuk *longitudinal poisson ratio* (v_{12}) dan (v_{13}) serta *transversal poisson ratio* (v_{23}) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$v_{12} = V_f v_f + V_m v_m \tag{2.18}$$

$$v_{23} = \frac{E_2}{2G_{23}} - 1 \tag{2.19}$$

2.1.7.2 Material Orthotropic Stress Limit

Orthotropic Stress Limit adalah nilai kekuatan dari material komposit. Nilai ini dibagi atas 2 *properties*, yakni *longitudinal properties* dan *transversal properties*. *Longitudinal properties* terbagi atas *tensile strength X direction, compressive strength X direction, shear strength XY*, dan *shear strength XZ.* Sedangkan untuk *transversal properties* terbagi atas *tensile strength Y*

direction, tensile strength Z direction, compressive strength Y direction, compressive Z direction, dan shear strength YZ.

1. **Perhitungan Buku *Engineering Mechanics of Composite Materials***

Berdasarkan (Daniel & Ishai, 2006), persamaan untuk longitudinal tensile strength dibagi menjadi dua kondisi :
Jika $\varepsilon_m^u > \varepsilon_f^u$, maka persamaan tensile longitudinal X direction yaitu :

$$F_{1t} = F_{ft}\left(V_f + V_m \frac{E_m}{E_f}\right) \tag{2.20}$$

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 :

$$F_{1t} = F_{mt}\left(V_f \frac{E_m}{E_f} + V_m\right) \tag{2.21}$$

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 :

$$F_{2t} = \frac{1 - v_m}{k_\sigma(1 + v_m)(1 - 2v_m)}(F_{mt} - \varepsilon_{rm}E_m) \tag{2.22}$$

Dimana, untuk memperoleh nilai k_σ dengan menggunakan persamaan berikut :

$$k_\sigma = \frac{1 - V_f(1 - \frac{E_m}{E_f})}{1 - \left(\frac{4V_f}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}(1 - \frac{E_m}{E_f})} \tag{2.23}$$

F_{2t}= Transverse tensile strength composite
F_{mt}= Matriks Tensile Strength

v_m= poisson ratio matriks
E_m= Modulus elastisitas matriks
ε_{rm}= strain residual strain
k_σ= stress concentration factor

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

$$F_{1c} = 2F_{fs}\left[V_f + \left(1 - V_f\right)\frac{E_m}{E_f}\right] \tag{2.24}$$

F_{1c} = Longitudinal compressive strength composite
F_{fs}= Shear Strength fiber

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

$$F_{2c} = \frac{F_{mc} + \sigma_{rm}}{k_\sigma} \tag{2.25}$$

Dengan nilai k_σ adalah sebagai berikut :

$$k_\sigma = \frac{1 - V_f(1 - \frac{E_m}{E_f})}{1 - \left(\frac{4V_f}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}(1 - \frac{E_m}{E_f})} \tag{2.26}$$

F_{2c}= transverse compressive strength composite
F_{mc}= compressive strength of matrix
σ_{rm}= residual stress
k_σ= stress concentration factor

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

$$F_6 = \frac{F_{ms}}{k_\tau} \tag{2.27}$$

Dengan nilai k_τ adalah sebagai berikut :

$$k_\tau = \frac{1 - V_f(1 - \frac{G_m}{G_{12f}})}{1 - \left(\frac{4V_f}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}\left(1 - \frac{G_m}{G_{12f}}\right)} \tag{2.28}$$

F_6= In plane Shear Strengh of Composite
F_{ms}= shear strength of matrix
k_τ= shear stress concetration factor
G_m= shear modulus matriks

G_{12f}= In plane shear modulus fiber

2. **Perhitungan Buku *Composite Structures : 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 $\varepsilon_m > \varepsilon_f$ dan kondisi kedua adalah ketika nilai $\varepsilon_m < \varepsilon_f$. Rumus perhitungan dari kedua kondisi tersebut adalah sebagai berikut :
Untuk nilai $\varepsilon_m > \varepsilon_{f\backslash}$

$$\left(\sigma^T_{x\ c}\right)_{ult} = \left(\sigma^T_{x\ f}\right) V_f + \left(\varepsilon^T_{1_f}\right)_{ult} E_m\left(1 - V_f\right) \tag{2.29}$$

Untuk nilai $\varepsilon_m < \varepsilon_f$

$$\left(\sigma^T_{x\ c}\right)_{ult} = \left(\varepsilon^T_{1_m}\right) E_{1_f}V_f + (\sigma^T_m)_{ult}\left(1 - V_f\right) \tag{2.30}$$

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

$$\left(\sigma^T_{y\ c}\right)_{ult} = (\sigma^T_m)_{ult}\left(1 - 2\sqrt{\frac{V_f}{\pi}}\right) \tag{2.31}$$

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

$$\left(\sigma^C_{x\ c}\right)_{ult} = 2\left(\tau_f\right)_{ult}\left[V_f + \frac{E_m}{E_{2f}}\left(1 - V_f\right)\right] \tag{2.32}$$

$$\left(\sigma^C_{y\ c}\right)_{ult} = (\sigma^C_m)_{ult}\left(1 - 2\sqrt{\frac{V_f}{\pi}}\right) \tag{2.33}$$

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

$$(\tau_{xy_c})_{ult} = G_{12_c}\left[1 + \left(\frac{G_m}{G_{12f}} - 1\right)V_f\right](\Upsilon_m)_{ult} \tag{2.34}$$

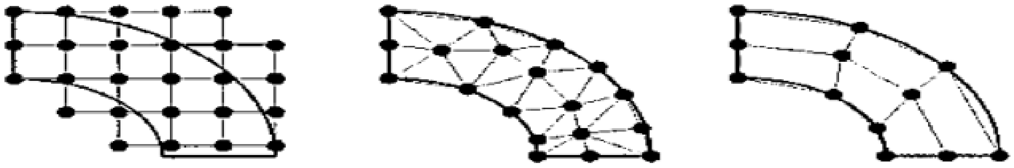
$$(\tau_{yz_c})_{ult} = \frac{(\tau_{xy_c})_{ult}}{2} \tag{2.35}$$

2.1.8 Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga atau *Finite Element Analysis* adalah metode numerik untuk mendapatkan solusi permasalahan diferensial, baik persamaan diferensial biasa (Ordinary Differential Equation) maupun persamaan diferensial biasa (Partial Differential Equation). Karena persamaan differensial seringkali digunakan sebagai model permasalahan *engineering* maka penting bagi para insinyur untuk dapat memahami dan mampu menerapkan MEH. Saat

ini MEH merupakan salah satu metode numerik paling versatile untuk memecahkan problem dalam domain kontinuum.

Pada awalnya MEH dikembangkan untuk memecahkan masalah di bidang mekanika benda padat (*Solid Mechanics*), tetapi kini MEH sudah merambah ke hampir semua problem *engineering* seperti mekanika fluida (fluid mechanics), perpindahaan panas (heat transfer), elektromagnetik (electro magnetism), getaran (vibration), dan sebagainya. Di samping Metode Elemen Hingga, metode numerik lain yang umum digunakan adalah Metode Perbedaan Hingga (MPH). Perbedaan utama dari kedua metode ini terletak pada solusi yang diperoleh dan juga bentuk (geometri) dari domain. MPH menghasilkan solusi aproksimasi pada titik-titik nodal (pointwise solution).



(a) (b) (c)

Gambar 2.19 Mesh metode perbedaan hingga (a), elemen segitiga (b), elemen segiempat (c) (Isworo & Ansyah, 2018)

Proses MEH adalah permasalahan yang kompleks dibagi-bagi menjadi bagian kecil atau elemen-elemen seperti pada gambar 2.19 sehingga menjadi solusi yang lebih sederhana dapat mudah diperoreh. Solusi dari setiap elemen jika digabungkan akan menjadi solusi permasalahan secara menyeluruh.

Prinsip penerapan MEH terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut :

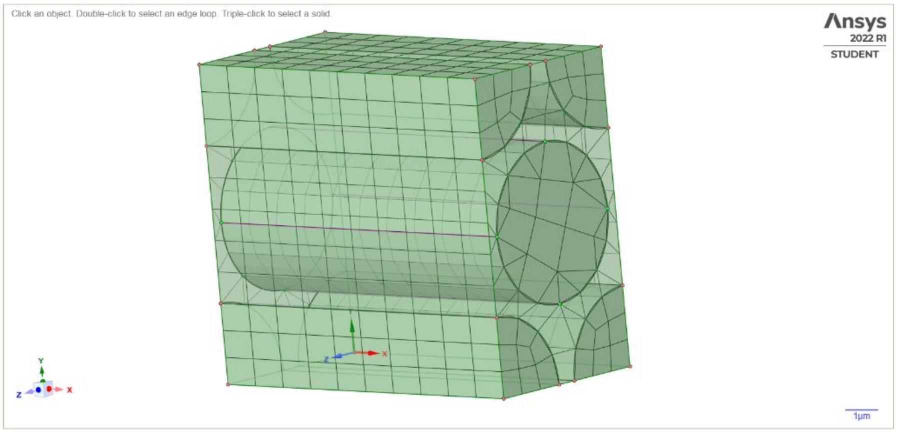
1. Dikritisasi domain
2. Penentuan bentuk fungsi aproksimasi
3. Penghitungan properti elemen
4. Pembentukan sistem persamaan linear
5. Pemecahan sistem persamaan linear
6. Post Process hasil

Dengan MEH, solusi yang diperoleh adalah fungsi interpolasi setiap elemen. Setelah fungsi interpolasi elemen dihitung, solusi keseluruhan dapat diperoleh. Fungsi-fungsi interpolasi setiap elemen ditentukan oleh nilai pada titik mesh. Pada setiap titik mesh akan menghasilkan perhitungan misalnya adalah nilai tegangan atau regangan maksimum.

2.1.9 Simulasi ANSYS

ANSYS adalah salah satu perangkat lunak yang berbasis metode elemen hingga. ANSYS digunakan untuk menganalisa masalah yang ada di bidang *engineering*. Pada penelitian ini menggunakan model *Material Designer* untuk mendesain lamina dari serat alami dengan matriks *epoxy resin*, ACP pre/post untuk mengatur banyak lapisan lamina dan arah orientasi serat pada komposit, dan Static Structural untuk mengetahui nilai hasil pembebanan pada komposit dengan pengujian *bending* menggunakan metode *three point bending*.

2.1.8.1 Material Designer



Gambar 2.20 Geometri serat dan matriks pada *Material Designer*

ANSYS Material Designer adalah sebuah perangkat lunak yang berguna untuk homogenisasi (rata-rata) komponen kompleks dengan beberapa bahan komposit sehingga bahan komponen dapat diwakili oleh bahan orthotropic atau bahan Hill. Material Designer berfungsi untuk menyederhanakan bahan penyusun komposit yaitu fase penguat/serat dan fase matriks. Dengan memasukkan properties serat dan juga matriks, maka gabungan kedua material tersebut menjadi lamina pada suatu komposit. Material Designer juga dapat mengatur model konfigurasi serat yaitu *uni-directional*, *woven*, dan sebagainya, geometri dari serat bisa berupa hexagonal, square, dan diamond, fraksi volume dari serat, dan diameter serat seperti pada gambar 2.20.

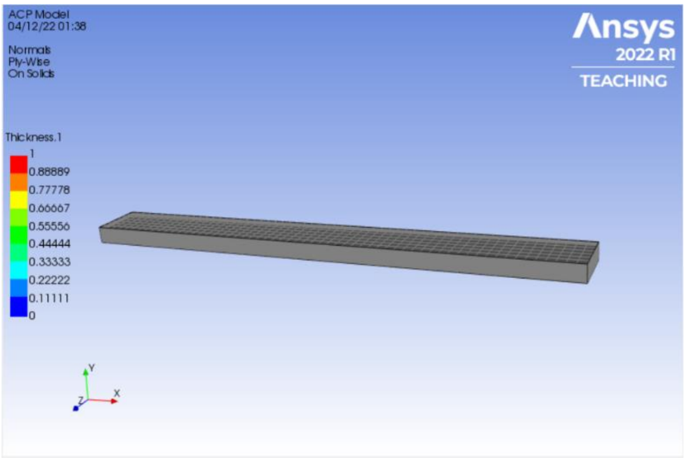
Engineering Constant		
E1	9928.1	MPa
E2	8369.6	MPa
E3	8369.7	MPa
G12	3163.8	MPa
G23	3122.2	MPa
G31	3163.8	MPa
nu12	0.31341	
nu13	0.31336	
nu23	0.34049	

Gambar 2.21 Konstanta pada Lamina UD pada *Material Designer*

Material Designer juga mengeluarkan hasil dari properties gabungan yang merupakan konstanta material baru antara serat dan matriks yang sudah menjadi lamina seperti pada gambar 2.21. Hasil perhitungannya meliputi Young Modulus Shear Modulus, dan Poisson Ratio.

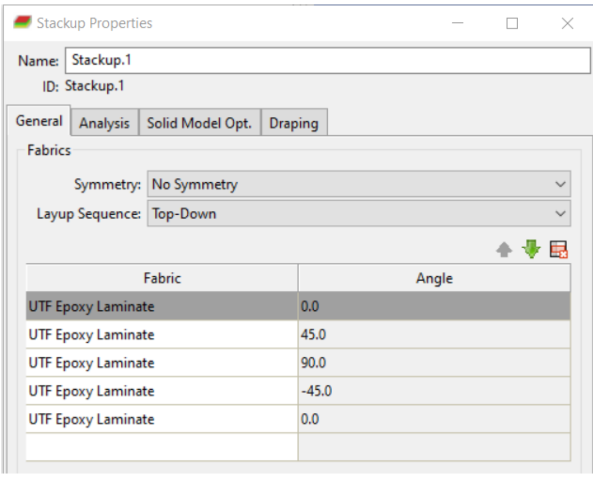
2.1.8.2 ACP Pre/Post

Karena sifat alami dari komposit yang ringan, kekuatan dan fleksibilitas membuatnya menarik untuk beberapa aplikasi, terutama jika tujuannya adalah untuk mencapai kinerja mekanik tingkat tinggi. Untuk mengatur simulasi *Finite Element Method* (FEM) dengan benar menggunakan bahan-bahan ini, perlu untuk mempertimbangkan sifat kompositnya, arah sifat mekanik dan kebutuhan untuk mendefinisikan laminasi melalui pendekatan berlapis dengan membentuk spesimen yang diinginkan seperti pada gambar 2.22.



Gambar 2.22 Spesimen Komposit pada *ACP Pre/Post*

Ansys Composite PrepPost (ACP) adalah perangkat lunak yang terintegrasi dalam platform *Workbench* yang bertujuan untuk pemodelan laminasi komposit (Pre) dan hasil analisis lanjutan (Post) menggunakan alat kegagalan khusus/*specific failure tool*.

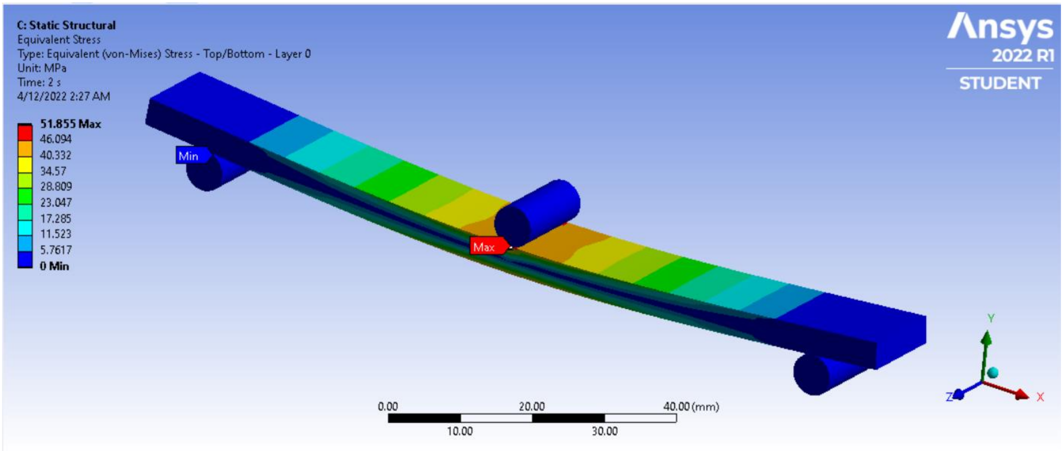


Gambar 2.23 Penentuan jumlah tumpukan dan arah serat pada *ACP Pre/Post*

ACP memungkinkan untuk menghasilkan model FEM dengan daerah laminasi yang berbeda-beda yang didefinisikan lapisan demi lapisan seperti pada gambar 2.23, lalu menggunakan *ANSYS Mechanical Solver* untuk melakukan simulasi struktural dan termal implisit /eksplisit, serta interaksi struktur fluida. Mulai dari definisi/pilihan data material (UD, Fabric, Stack-up), dalam fase Pra-pemrosesan ACP memungkinkan untuk menentukan urutan susun dari lamina dan menentukan arah orientasi dari masing-masing lamina.

2.1.8.3 Static Structural

ANSYS Static Structural atau analisis struktural statis adalah salah satu perangkat lunak dalam platform *Workbech* yang bertujuan untuk melakukan analisa pembebanan pada suatu bentuk struktur yang tidak terpengaruh waktu. Dalam *ANSYS Static Structural*, beban, tekanan, regangan, dan beban fisik lainnya seperti diasumsikan tidak berubah drastis dengan perubahan waktu. Jadi tidak seperti *Explicit Dynamics*, *damping effect* dan inersia dapat diabaikan dalam analisis struktural statis di ANSYS.



Gambar 2.24 Hasil perhitungan yang berupa tegangan pada *ANSYS Static Structural*

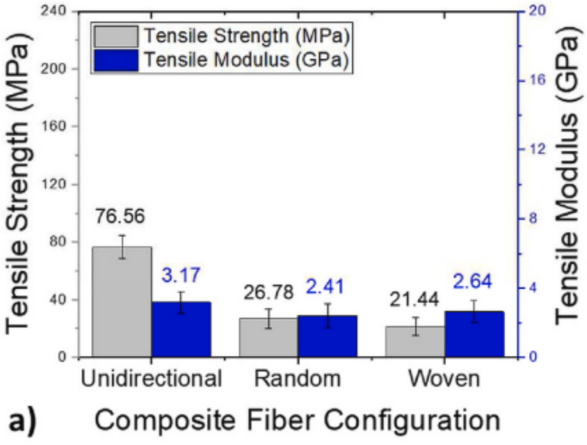
Pembebanan yang dimasukkan dapat berupa tegangan, tekanan, dan sebagainya, lalu memasukkan support yang berupa fixed, bergerak, dan sebagainya. Dan juga mendefinisikan kontak antara geometri yaitu terikat atau *bonded* , tanpa gesekan atau *frictionless*, dan sebagainya. Pembebanan yang dilakukan berupa pembebanan statis, lalu melakukan analisa sehingga dapat mengetahui tegangan dan regangan yang dialami struktur yang dapat dilihat contoh hasilnya pada gambar 2.24.

2.2 Tinjauan Pustaka

Penelitian pertama dilakukan oleh Jauhar Fajrin, Akmaluddin, dan Femiana Gapsari, dengan judul "*Utilization of kenaf fiber waste as reinforced polymer composites*". Penelitian tersebut tergolong eksperimen dengan memanfaatkan serat alami yaitu serat Kenaf yang tidak dapat digunakan lagi untuk membentuk tekstil sebagai penguat komposit. Serat Kenaf didapatkan dengan cara dicuci dengan air hangat dan dikeringkan pada suhu ruangan selama 12 jam. Kemudian serat tersebut diberikan perlakuan dengan NaOH untuk menghilangkan zat hemiselulosa dan lignin yang mengurangi kemampuan untuk mengikat dengan matriks selama 4 jam. Zat tersebut juga tergolong hidrofilik atau menyerap air sehingga dapat memengaruhi ikatan antar serat dan juga matriks. Perlakuan alkali juga meningkatkan kekasaran permukaan serat yang mengarah pada ekstensi ikatan hidrogen yang lebih tinggi dalam antarmuka matriks serat. Dengan demikian, meningkatkan ikatan antarmuka matriks. Hal ini juga meningkatkan massa jenis serat, stabilitas panas, perilaku mekanis, konten selulosa, dan indeks kristalinitas.

Gambar 2.25 Arah orientasi serat *Unidirectional*, *Random*, dan *Woven*

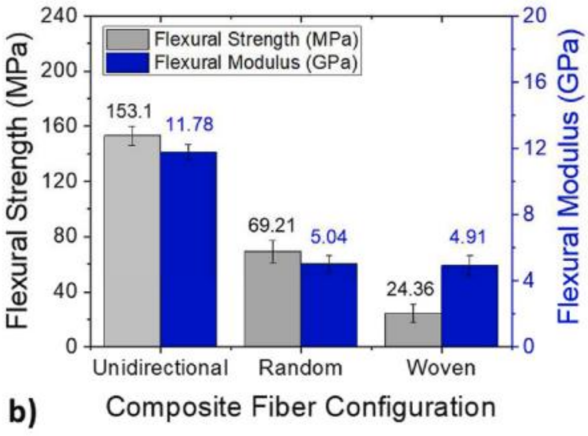
Penelitian ini memiliki variasi arah orientasi serat yang dapat dilihat pada gambar 2.25. Penelitian dilakukan dengan beberapa metode pengujian untuk mengetahui aspek kekuatan tarik dan kelenturan dari serat Kenaf yaitu *Tensile Test* dengan ASTM D3039 untuk mengetahui kekuatan tarik, dan *Flexural Test*dengan ASTM D790 untuk mengetahui kekuatan lentur.



Gambar 2.26 Hasil *Tensile Test*

Gambar 2.25 menunjukkan bahwa kekuatan tarik rata-rata komposit yang diperkuat dengan serat *Unidirectional* adalah 76, 56 MPa, sedangkan komposit dengan serat *Random* dan *Woven* memiliki kekuatan tarik 26,78 MPa dan 21, 44 MPa, masing-masing. Berdasarkan hasil tersebut, komposit yang diperkuat dengan serat *Random* dan *Woven* hanya memiliki 34,98% dan 28% dari kekuatan tarik komposit searah. Hal ini memiliki arti yaitu komposit *Unidirectional* 65,88% lebih tinggi dari komposit yang diperkuat dengan serat berorientasi *Random* dan sekitar 71,62% lebih tinggi dari komposit yang diperkuat dengan serat *Woven*.

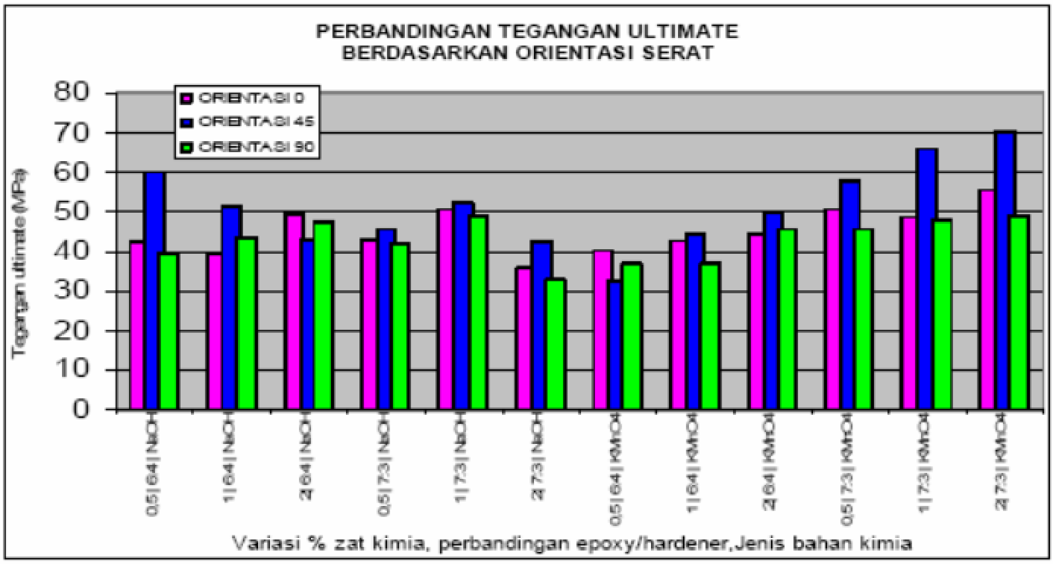
Perbedaan kekuatan tarik antara komposit diperkuat dengan serat *Random* dan *Woven* adalah 19,94%, dengan komposit serat *Random* memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi daripada komposit serat *Woven*. Sejalan dengan kekuatan tarik, spesimen berorientasi searah menghasilkan komposit kekakuan yang lebih tinggi dengan modulus tarik rata-rata 3,18 GPa. Nilai ini sekitar 23,89% lebih tinggi dari modulus komposit serat *Random* dan 16,98% lebih tinggi dari modulus komposit serat *Woven*. Ini berarti bahwa modulus tarik *Random* dan *Woven* komposit yang diperkuat serat masing-masing hanya 76,10% dan 83,02%, dibandingkan dengan komposit searah. Menariknya, serat acak komposit memiliki modulus yang lebih rendah (2,42 GPa) daripada serat anyaman.



Gambar 2.27 Hasil *Flexural Test*

Hasil uji kinerja kelenturan spesimen dengan berbagai susunan serat ditunjukkan pada Gambar 2.26. Mirip dengan kinerja tarik, serat *Unidirectional* juga terbukti menjadi yang paling sukses dalam mencapai sifat lentur tinggi dalam komposit. Komposit yang diperkuat dengan serat *Unidirectional* memiliki kekuatan lentur rata-rata 153,1 MPa. Kekuatan lentur komposit FRP dengan orientasi serat *Random* dan *Woven* adalah 69,21 MPa dan 24,36 MPa. Menurut data, kelenturan kekuatan komposit yang diperkuat dengan serat searah adalah 54, 79% lebih tinggi dari komposit yang diperkuat dengan berorientasi *Random* dan kira-kira 84,08% lebih tinggi dari komposit yang diperkuat dengan serat *Woven*. Perbedaan kekuatan kelenturan antara komposit serat *Random* dan *Woven* adalah 64,8%, dengan komposit serat *Random* yang memiliki kekuatan lentur yang lebih tinggi daripada komposit serat *Woven*. Ini berarti bahwa komposit yang diperkuat dengan serat *Random* dan *Woven* hanya memiliki 45,20% dan 15,91% dari kekuatan tarik komposit *Unidirectional*. Selain itu, komposit yang diperkuat dengan serat *Unidirectional* memiliki modulus lentur tertinggi sebesar 11,78 GPa, yang 57,21% lebih besar dari komposit diperkuat dengan serat *Random* dan 58,23% lebih tinggi dari komposit diperkuat dengan serat *Woven*. Modulus lentur dari komposit *Woven* dan serat *Random* adalah 4,92 GPa dan 5,04 GPa.

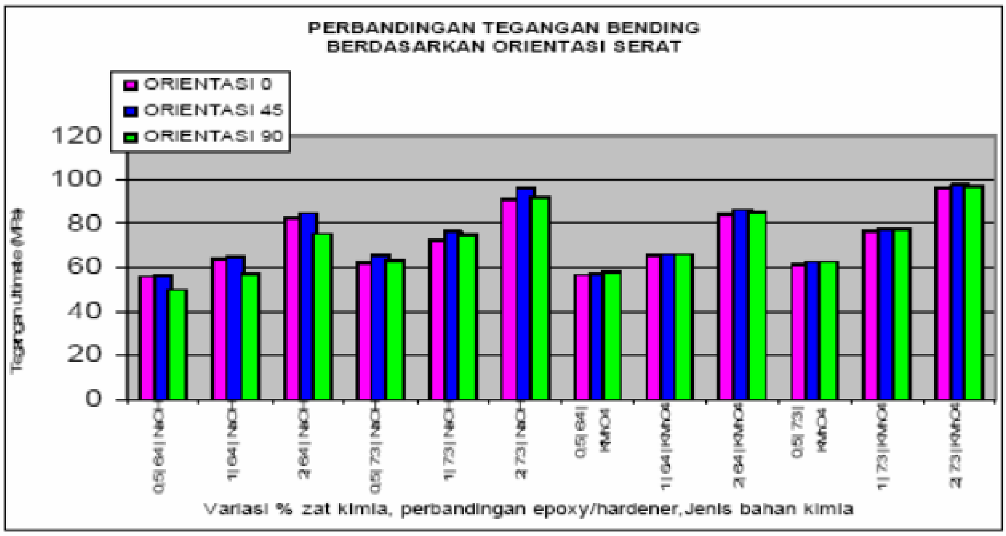
Penelitian kedua dilakukan oleh Putu Lokantara dan Ngakan Putu Gede Suardana dengan judul "*Analisis Arah dan Perlakuan Serat Tapis serta Rasio Epoxy Hardener terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Tapis/Epoxy*" melakukan pemanfaatan limbah serat tapis kelapa sebagai fase penguat pada komposit alami dengan matriks *epoxy 7120* dengan *hardener Versamid 140.* Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku perubahan sifat fisis dan mekanis komposit alami. Variasi penelitian dilakukan pada perlakuan alkali, perbandingan *epoxy* dengan *hardener*, dan arah orientasi serat. Perlakuan alkali dilakukan pada serat dengan menggunakan NaOH dan $KMnO_4$ dengan persentase 0.5%, 1%, dan 2% berat. Perbandingan *epoxy* dengan *hardener* yaitu 7:3 dan 6:4, serta orientasi serat 0°, 45°, dan 90°. Pengujian spesimen dilakukan dengan uji tarik dengan standar ASTM D3039 dan uji *three point bending* dengan standar ASTM D790.



Gambar 2.28 Grafik Perbandingan Tegangan *Ultimate* (Lokantara & Gede, 2012)

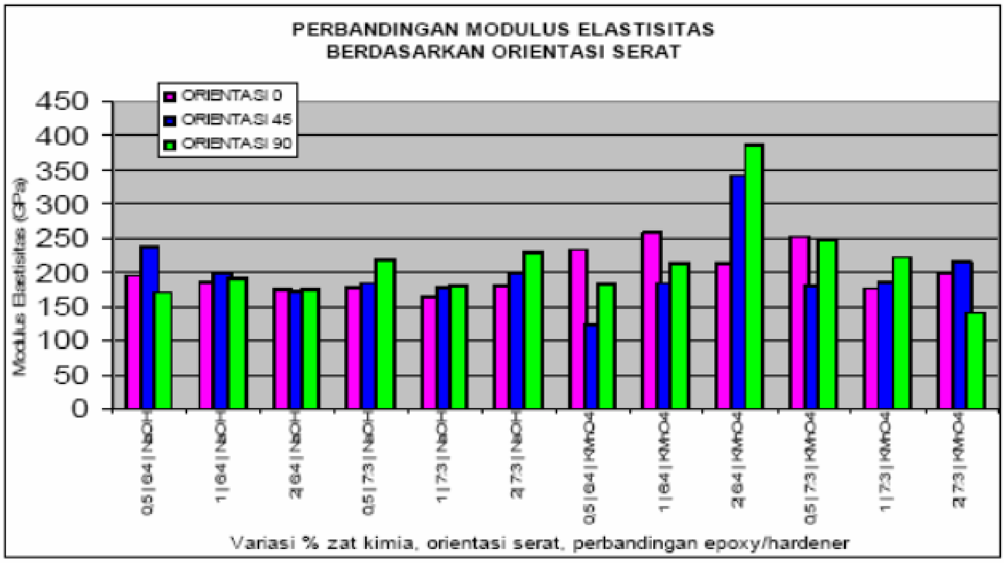
Grafik perbandingan tegangan *ultimate*, memperlihatkan bentuk tren yang cukup menarik. Hasil dari perlakuan NaOH mengalami tren penurunan sedangkan perlakuan $KMnO_4$ memiliki tren kenaikan seiring dengan bertambahnya konsentrasi alkali. Hasil tegangan ultimate tertinggi dicapai oleh spesimen dengan rasio epoxy dan hardener 7:3 dengan perlakuan

alkali 2% $KMnO_4$ sebesar 70.23 MPa dengan orientasi serat 45°. Lalu hasil dari spesimen dengan perlakuan NaOH memiliki hasil maksimal pada 60 MPa dengan rasio antara epoxy dengan hardener 6:4 dengan alkali 0.5% NaOH dan orientasi serat 45°.



Gambar 2.29 Grafik Perbandingan Tegangan *Bending* (Lokantara & Gede, 2012)

Lalu pada grafik perbandingan tegangan *bending*, memperlihatkan tren yang cenderung naik bagi semua spesimen perlakuan alkali. Tren mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan konsentrasi alkali. Hasil tertinggi dicapai oleh spesimen dengan rasio epoxy dan hardener 7:3 dengan perlakuan $KMnO_4$ dengan perlakuan alkali 2% $KMnO_4$ sebesar 97.81 MPa dengan orientasi serat 45°. Lalu hasil dari spesimen dengan perlakuan NaOH memiliki hasil maksimal pada 95 MPa dengan rasio antara epoxy dengan hardener 7:3 dengan alkali 2% NaOH dan orientasi serat 45°.

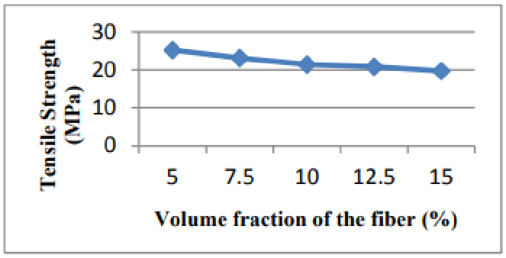


Gambar 2.30 Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas (Lokantara & Gede, 2012)

Lalu pada grafik perbandingan modulus elastisitas, memperlihatkan tren yang cukup datar dan naik ekstrem pada spesimen tertentu. Tren mengalami kenaikan secara tiba-tiba dengan perlakuan alkali menggunakan $KMnO_4$. Hasil tertinggi dicapai oleh spesimen dengan rasio

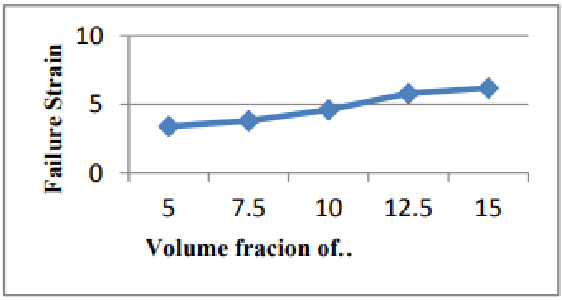
epoxy dan hardener 6:4 dengan perlakuan $KMnO_4$ dengan perlakuan alkali 0.5% $KMnO_4$ sebesar 385.48 GPa dengan orientasi serat 90°. Lalu hasil dari spesimen dengan perlakuan NaOH memiliki hasil maksimal pada 95 MPa dengan rasio antara epoxy dengan hardener 7:3 dengan alkali 2% NaOH dan orientasi serat 45°.

Penelitian ketiga dilakukan oleh P.N.E Naveen dan T. Dharma Raju dengan judul "*Evaluation of Mechanical Properties of Coconut Coir Fiber Reinforced Polymer Matrix Composites*" melakukan penelitian terhadap serat kelapa atau *coconut coir* sebagai penguat di dalam matriks *epoxy resin* dan mengevaluasi properti mekanis dari komposit. Penelitian ini tergolong eksperimen dengan melakukan variasi penelitian yaitu fraksi volume dengan menggunakan lima spesimen. Penelitian menggunakan dua metode, yaitu metode uji tarik dengan ASTM D638 Tipe 1 untuk mendapatkan properti mekanis yaitu *Young's Modulus* dan metode Dynamic Testing untuk mendapatkan karakteristik dinamis seperti frekuensi natural dan *damping*.



Gambar 2.31 Grafik *Tensile Strength* dari komposit *Coir Fiber* (Naveen & Dharma Raju, 2013)

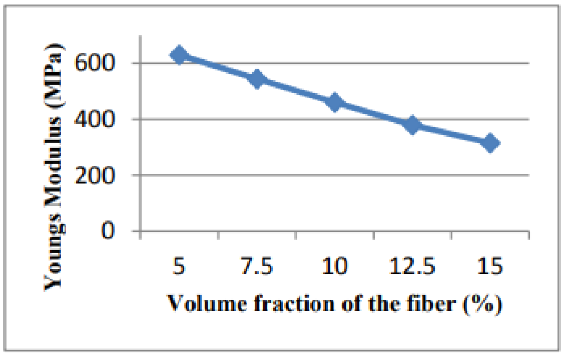
Hasil dari pengujian Tensile dari komposit yang diperkuat serat kelapa mengalami tren penurunan yang cukup landai. Hasil maksimal dicapai pada fraksi volume serat sebesar 5% adalah sekitar 25 MPa. Sedangkan hasil minimal dicapai ketika volume serat maksimum yaitu 15% adalah sekitar 20 MPa. Terdapat sebuah indikasi bahwa kekuatan tarik dari komposit berkurang seiring dengan naiknya fraksi volume dari serat. Hal ini menandakan bahwa *coir fiber* tidak memperkuat kekuatan tarik dari komposit karena dengan bertambahnya serat maka kemungkinan terjadinya *void* juga semakin besar sehingga kekuatan tarik menjadi berkurang.



Gambar 2.32 Grafik *Failure Strain* dari komposit *Coir Fiber* (Naveen & Dharma Raju, 2013)

Sementara itu, Gambar 2.31 menunjukkan bahwa komposit yang diperkuat serat kelapa mengalami *ductile fracture* yang meningkat dengan meningkatnya fraksi volume serat. *Failure Strain* sedikit meningkat dari 3.4% menjadi 5.8% ketika persentase volume serat meningkat dari 5% menjadi 12.5% ditandai dengan grafik yang sedikit naik dan landai, kemudian naik lagi untuk mencapai 6.2% untuk persentase serat 15%. Dapat diketahui bahwa perubahan *failure*

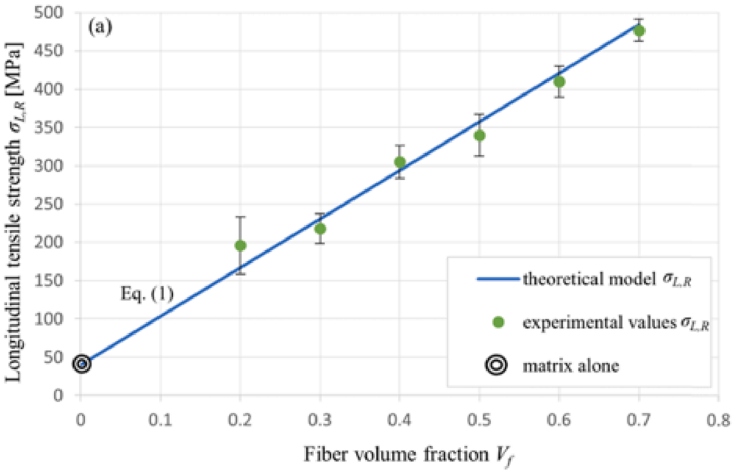
strain komposit dengan peningkatan fraksi volume serat sangat besar karena *strain at break* serat kelapa dan *epoxy resin* terlalu jauh.



Gambar 2.33 Grafik *Young's Modulus* dari komposit *Coir Fiber* (Naveen & Dharma Raju, 2013)

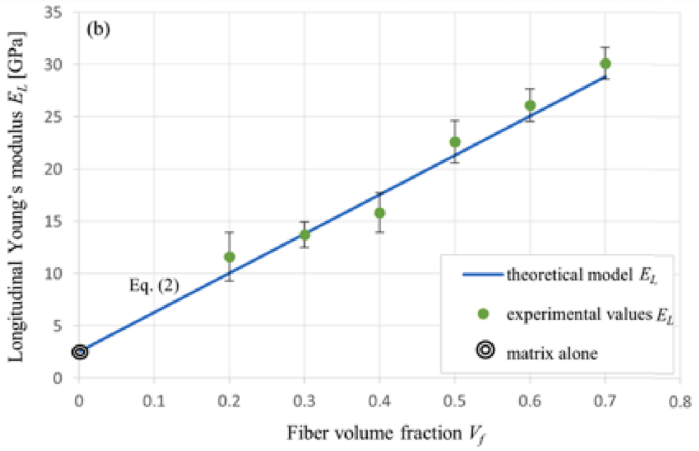
Lalu grafik di atas menunjukkan hasil dari *Young's Modulus* pada komposit. Dapat dilihat bahwa hasil pengujian mengalami tren menurun yang cukup signifikan. Hasil *Young's Modulus* komposit meningkat hingga 630 MPa untuk fraksi volume serat 5% tetapi pada peningkatan fraksi volume serat lebih lanjut, nilainya menurun. Gambar 2.32 menunjukkan bahwa nilai *Young's Modulus* terus menurun dengan meningkatnya kandungan serat yang menunjukkan kontribusi serat yang lebih rendah terhadap sifat mekanik statis komposit. Nilai minimum *Young's Modulus* diperoleh pada volume serat 15% yang menentukan transfer stres yang tidak efektif antara serat kelapa dan matriks poliester. Hal ini disebabkan oleh ketidakcocokan ikatan antara serat dan matriks. Secara teoritis *Young's Modulus* akan meningkat karena fraksi volume serat meningkat. Namun, pada kenyataannya asumsi ini tidak tepat karena ikatan *interfacial* pada *interface* antara serat dan matriks memainkan peran penting dalam menentukan kekuatan komposit.

Penelitian keempat dilakukan oleh Bernado Zucarello, Carmello Militello, dan Franscesco Bongiorno dengan judul "*Influence of the anisotropy of sisal fibers on the mechanical properties of high performance unidirectional biocomposite lamina and micromechanical models*" melakukan penelitian terhadap serat Sisal sebagai penguat di dalam matriks *green resin* dan mengevaluasi properti mekanis dari komposit. Penelitian ini tergolong eksperimen dengan melakukan variasi penelitian yaitu fraksi volume dengan menggunakan lima spesimen. Penelitian ini melakukan analisis dari perilaku anisotropik serat sisal, dalam hal sifat elastis dan kekuatan mekanik, telah dilakukan melalui pengujian eksperimental lengkap dari lamina searah yang diperkuat dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi pembebanan utama : pembebanan tarik longitudinal, pembebanan tarik transversal, pembebanan geser, pembebanan tekan longitudinal dan pembebanan tekan transversal. Untuk setiap kondisi pembebanan lima spesimen telah digunakan untuk setiap fraksi volume serat yang dipertimbangkan.



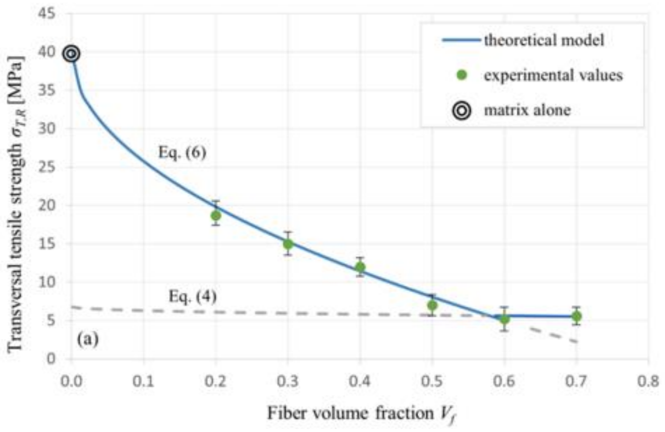
Gambar 2.33 Grafik *Longitudinal Tensile Strength* (Zuccarello et al., 2021)

Pada Gambar 2.32 menunjukkan bahwa komposit yang diperkuat dengan menambah fraksi volume juga meningkatkan kekuatan searah longitudinal dengan pembebanan tarik. Grafik yang dihasilkan cukup mendekati dengan pendekatan menggunakan perhitungan secara teoritis. Mengenai, mekanisme kerusakan yang terjadi di bawah pembebanan tarik longitudinal, bukti eksperimental telah menunjukkan bahwa kegagalan tarik selalu terjadi tanpa fenomena *debonding* atau *fiber pull-out* yang cukup prematur; ini menegaskan adhesi serat / matriks yang baik yang terjadi meskipun tidak ada perawatan permukaan yang telah dilakukan, dan tidak adanya rongga internal yang cukup besar yang dapat menyebabkan *debonding* sekunder karena pertumbuhan cacat matriks di sepanjang serat matriks antarmuka.



Gambar 2.34 Grafik Longitudinal Young's Modulus (Zuccarello et al., 2021)

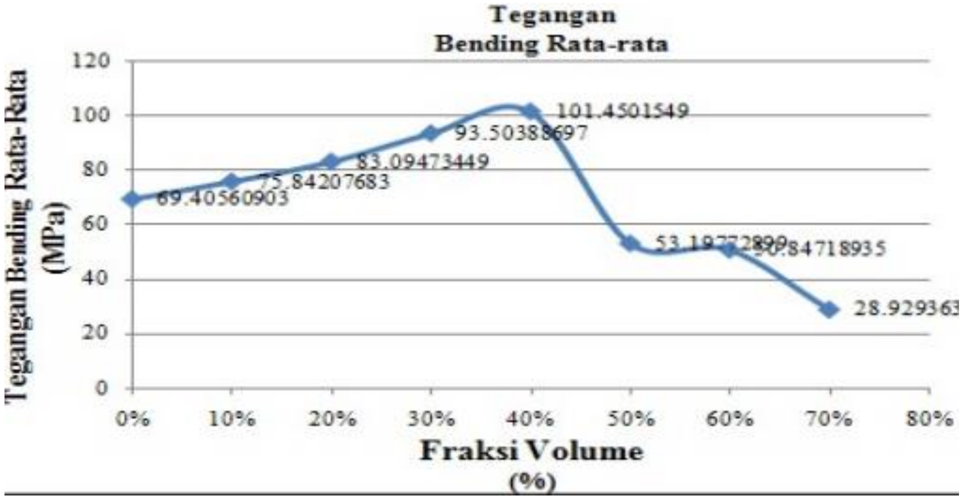
Pada Gambar 2.34 menunjukkan bahwa komposit yang diperkuat dengan menambah fraksi volume juga terdapat peningkatan nilai *Young's Modulus* longitudinal dengan pembebanan tarik. Hasil Grafik yang dihasilkan cukup mendekati dengan pendekatan menggunakan perhitungan secara teoritis. Hasil tertinggi dicapai pada fraksi volume 0,7 dengan nilai Young's Modulus sekitar 28 GPa.



Gambar 2.35 Grafik Transversal Tensile Strength (Zuccarello et al., 2021)

Pada Gambar 2.35 menunjukkan bahwa komposit yang diperkuat dengan menambah fraksi volume terdapat penurunan nilai *Transversal tensile strength* dengan pembebanan tarik. Hasil grafik yang dihasilkan cukup mendekati dengan pendekatan menggunakan perhitungan secara teoritis. Di sini terjadi kerusakan serat yang terbelah karena besarnya stress ke arah transversal. Kerusakan semacam ini tidak dapat terjadi pada pengujian tarik longitudinal biasa saja karena jenis pembebanannya yang berbeda. Hasilnyang didapatkan dengan fraksi volume 0.7 adalah nilai dari *Transversal Tensile Strength* adalah 5.55 MPa

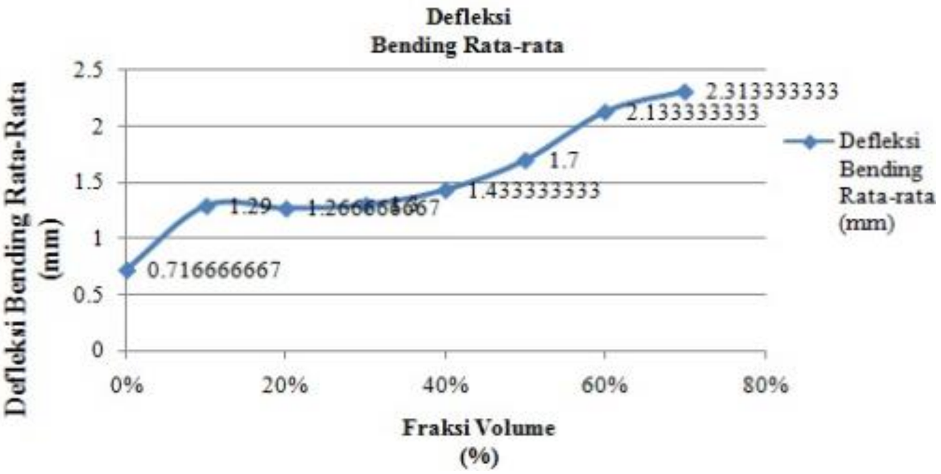
Penelitian kelima dilakukan oleh Jonathan Oroh, Ir.Frans P. Sappu, dan Romels Lumintang dengan judul "*ANALISIS SIFAT MEKANIK MATERIAL KOMPOSIT DARI SERAT SABUT KELAPA*" melakukan penelitian terhadap serat sabut kelapa atau *coconut coir* sebagai penguat di dalam matriks *polyester* . Penelitian ini tergolong eksperimen yang bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan bending yang optimal dari komposit serat sabut kelapa pada fraksi volume 0% serat 100% resin, 10% serat 80% resin, 20% serat 80% resin, 30% serat 70% resin, 40% serat 60%resin, 50% resin 50%serat, 60% resin 40% serat dan 70% Serat 30% resin dengan perlakuan alkali (NaOH) selama dua jam dan tanpa perlakuan serta mengetahui hasil patahan pada spesimen yang memiliki harga optimal dari pengujian bending.



Gambar 2.36 Grafik *Tegangan Bending* rata-rata (Oroh, 2013)

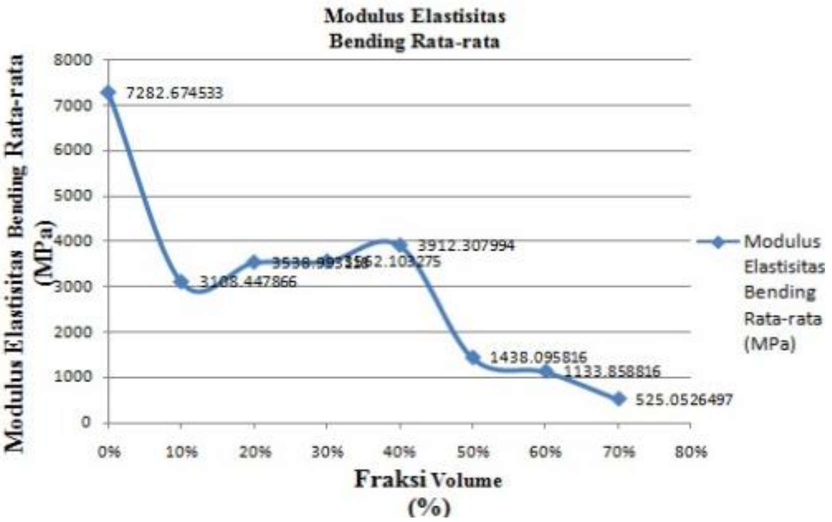
Pada Gambar 2.36 menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan fraksi volume tidak selalu menghasilkan nilai tegangan *bending* yang tinggi. Dapat dilihat bahwa pada grafik, terjadi

penigkatan nilai tegangan secara linier sampai fraksi volume 40%. Lalu dilanjutkan dengan tren menurun dengan nilai fraksi yang lebih tinggi. Hasil tegangan *bending* maksimum sebesaar 101.45 MPa diraih oleh komposit dengan fraksi volume serat 40%.



Gambar 2.37 Defleksi *Bending* rata-rata (Oroh, 2013)

Pada Gambar 2.37 menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan fraksi volume tidak selalu menghasilkan nilai defleksi yang tinggi. Seiring dengan penambahan fraksi volume, nilai defleksi juga ikut naik secara bertahap. Pada fraksi 10-40%, nilai defleksi tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Lalu dilanjutkan dengan tren naik pada fraksi 50-70%. Hal ini menandakan sifat dari fiber yang cukup ulet dengan nilai defleksi maksimum diraih oleh fraksi volume serat 70% dengan nilai defleksi sebesar 2.313 mm.



Gambar 2.38 Modulus Elastisitas *Bending* rata-rata (Oroh, 2013)

Pada Gambar 2.38 menunjukkan dari besaran modulus elastisitas *bending* rata-rata sesuai dengan tegangan *bending* dengan besaran nilai defleksi. Semakin kecil nilai dari modulus elastisitas rata-rata, maka sifat komposit lebih ulet. karena mengalami defleksi yang cukup tinggi Dapat dilihat pada grafik di atas bahwa nilai modulus elastisitas terkecil dicapai pada fraksi volume serat 70% dengan nilai 525.05 MPa. .

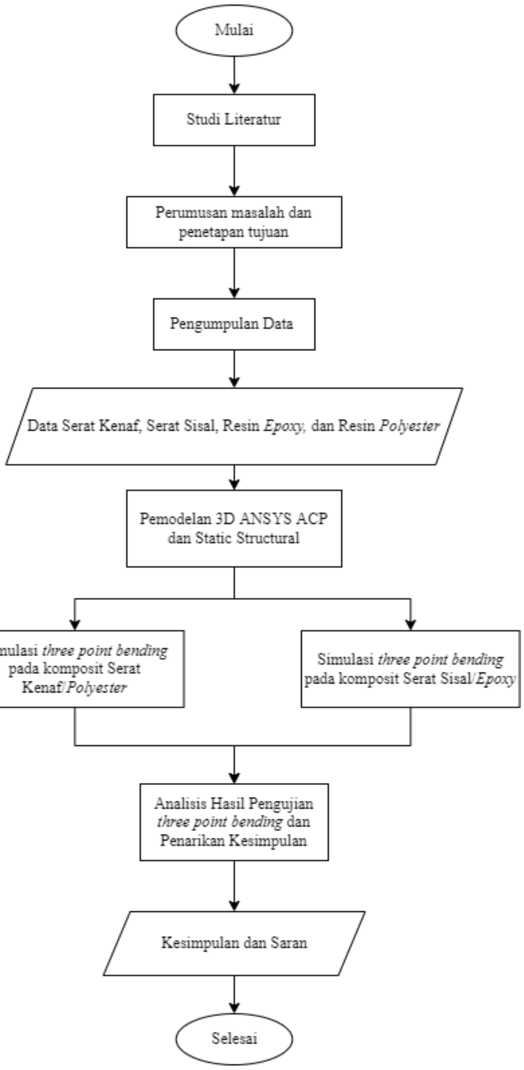
BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Prosedur Penelitian

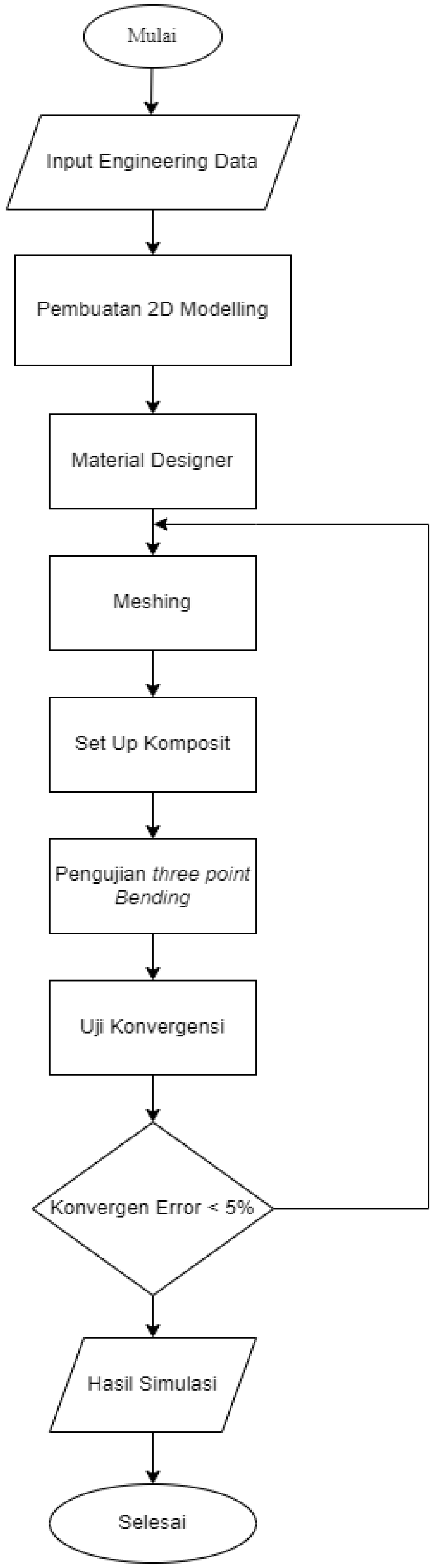
Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh variasi fraksi volume, jumlah layer, dan arah orientasi sudut serat antara serat kenaf dengan matriks *polyester-resin* dan serat sisal dengan matriks yaitu *epoxy resin*. Penelitian dilakukan dengan melalui beberapa tahap. Pada tahap pertama dilakukan studi literatur untuk mengambil data-data yang dibutuhkan untuk penelitian material komposit. Tahap selanjutnya adalah membuat pemodelan 3D spesimen komposit yang sesuai dengan standar ASTM D790 sebagai standar pengujian untuk material bahan komposit matriks polimer menggunakan ANSYS ACP. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode pengujian *three point bending* lalu dilakukan simulasi pembebanan dengan mengubah data gaya yang diberikan *roller* penekan menggunakan ANSYS Workbench sampai spesimen mengalami kegagalan. Lalu didapatkan hasil dari simulasi yaitu data tegangan maksimum, deformasi total, dan juga *composite failure tool* yaitu *inverse reserve factor*.

3.2 Diagram Alur Tugas Akhir

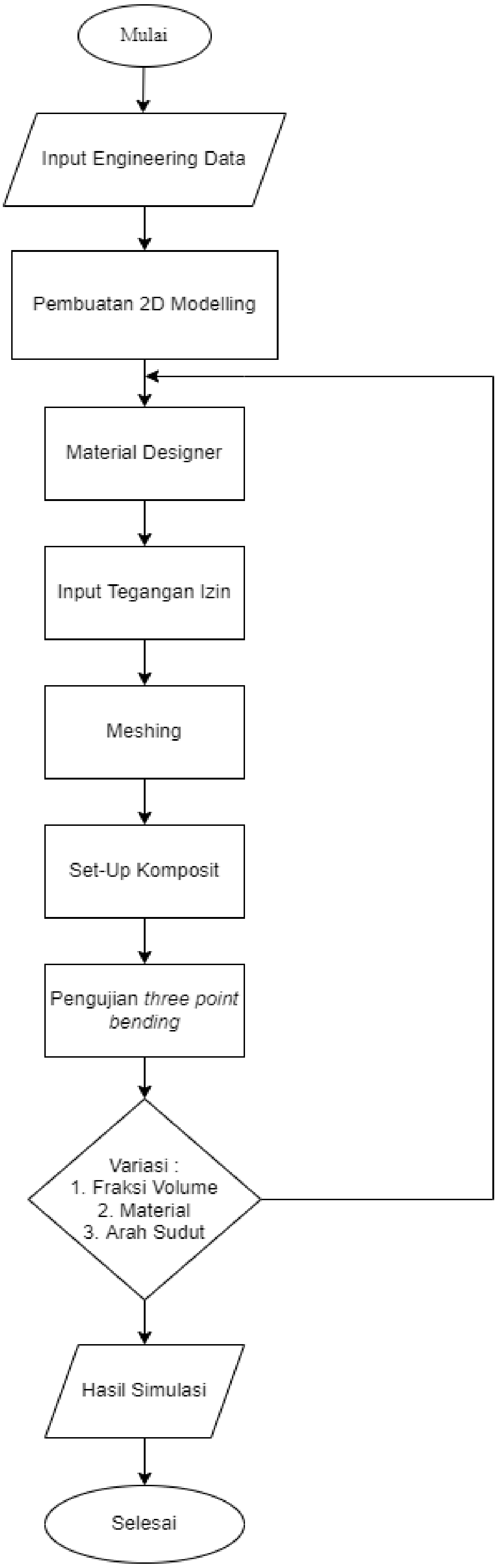
Berikut adalah diagram alur yang digunakan pada metodologi penelitian kali ini.



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian



Gambar 3.2 Flowchart Simulasi



Gambar 3.3 Flowchart Simulasi *Three Point Bending*

3.3 Studi Literatur

Pada penelitian ini, studi literatur dilakukan untuk mendalami pengujian komposit menggunakan metode *three point bending* dan mendapatkan data-data yang mendukung pengujian yaitu dari buku dan laporan terdahulu. Buku yang digunakan adalah "*Engineering Mechanics of Composite Materials*" (Daniel & Ishai, 2006) dan "*Composite Structures : Design, Mechanics, Analysis, Manufacturing, and Testing*" (Kumar, 2017). Laporan penelitian terdahulu yang digunakan pada penelitian ini adalah ""*Utilization of kenaf fiber waste as reinforced polymer composites*"(Fajrin et al., 2022), "*Analisis Arah dan Perlakuan Serat Tapis serta Rasio Epoxy Hardener terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Tapis/Epoxy*" (Lokantara & Gede, 2012), "*Evaluation of Mechanical Properties of Coconut Coir Fiber Reinforced Polymer Matrix Composites*" (Naveen & Dharma Raju, 2013), "*Influence of the anisotropy of sisal fibers on the mechanical properties of high performance unidirectional biocomposite lamina and micromechanical models*" (Zuccarello et al., 2021), dan "*ANALISIS SIFAT MEKANIK MATERIAL KOMPOSIT DARI SERAT SABUT KELAPA*"(Oroh, 2013).

3.4 Identifikasi Masalah

Penelitian ini memiliki latar belakang yaitu diperlukan pergantian terhadap material yang pada proses pembuatannya membahayakan lingkungan menjadi material yang berasal dari alam dan terbarukan agar mendukung perubahan industri menjadi industri hijau yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Salah satu material yang bisa diubah komposisinya adalah material berbahan komposit yang menggunakan serat alami.

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh variasi fraksi volume, jumlah dan arah orientasi sudut serat antara serat kenaf dengan matriks *polyester-resin* dan serat sisal dengan matriks yaitu *epoxy resin*. Variabel yang diubah adalah fraksi volume dan arah orientasi sudut serat. Orientasi sudut yang berjumlah 10 variasi dengan menggunakan total tumpukan atau layer maksimal dari komposit dengan tebal total 6 mm untuk spesimen kenaf dan 3 mm untuk spesimen sisal. Variasi fraksi volume serat terhadap matriks yang dilakukan yaitu dari fraksi volume 20-70% untuk material serat kenaf dan 15-70% untuk material serat sisal. Penelitian dilakukan dengan pengujian *bending* dengan metode pengujian menggunakan *three point bending* dengan pembebanan berasal dari *roller* penekan.

Jenis serat yang digunakan pada penelitian ini adalah serat kenaf dengan perlakuan alkali 8% NAOH dan serat sisal. Berikut ini adalah nilai properti dari serat Kenaf dan Sisal.

Tabel 3.1 Properti Serat Kenaf dengan perlakuan alkali

Kenaf (8% NaOH)		
Properties		Referensi
Density (g/cm^3)	1.5	(Mariselvam & Logesh, 2015)
Tensile Strength (MPa)	89.58	(Ibrahim et al., 2018)
Young Modulus (GPa)	7.67	(Ibrahim et al., 2018)
Poisson's Ratio	0.324	(Mariselvam & Logesh, 2015)
Shear Modulus (GPa)	2.8965	ANSYS

Tabel 3.2 Properti Serat Sisal

Sisal		
Properties		Referensi
Density (g/cm^3)	1.45	(Gupta & Srivastava, 2014)
Tensile Strength (MPa)	450	(Kusumastuti, 2009)
Young Modulus (GPa)	7	(Kusumastuti, 2009)
Poisson's Ratio	0.44	(Sinitsky, 2022)

Shear Modulus (GPa)	2.5	ANSYS

Serat kemudian digabungkan ke suatu matriks menjadi sebuah komposit alami. Jenis matriks yang digunakan pada penelitian ini adalah matriks polimer termoset yaitu matriks epoxy resin dan polyester resin. Berikut ini adalah properti dari kedua matriks tersebut.

Tabel 3.3 Properti Matriks *Epoxy Resin*

Epoxy-Resin		
Properties		Referensi
Density (g/cm^3)	1.16	ANSYS
Tensile Strength (MPa)	80	(Daniel & Ishai, 2006)
Young Modulus (GPa)	3.4	(Daniel & Ishai, 2006)
Poisson's Ratio	0.36	(Daniel & Ishai, 2006)
Shear Modulus (GPa)	1.25	ANSYS

Tabel 3.4 Properti Matriks *Polyester Resin*

Polyester-Resin		
Properties		Referensi
Density (g/cm^3)	1.1	(Daniel & Ishai, 2006)
Tensile Strength (MPa)	40	(Daniel & Ishai, 2006)
Young Modulus (GPa)	3.2	(Daniel & Ishai, 2006)
Poisson's Ratio	0.35	(Daniel & Ishai, 2006)
Shear Modulus (GPa)	1.1825	ANSYS

3.5 Variasi Penelitian

Variasi atau variabel bebas pada penelitian ini adalah perbandingan antara volume serat dengan volume matriks sebagai penyusun utama komposit atau bisa disebut dengan fraksi volume, lalu jumlah *layer* dan arah orientasi serat pada komposit. Pada penelitian kali ini dilakukan variasi terhadap fraksi volume serat terlebih dahulu agar mendapatkan fraksi volume yang optimal. Lalu variasi selanjutnya adalah penambahan jumlah layer dengan ketebalan yang tetap. Setelah itu melakukan Penelitian ini mengharapkan terdapat hubungan pada perubahan arah serat dan fraksi volume serat dengan sifat *Flexural Properties* komposit yang dihasilkan.

Tabel 3.5 Konfigurasi Variasi Fraksi Volume Serat Kenaf

Variasi Fraksi Volume Serat Komposit		
No	Lapisan	Fraksi Volume
1	*Kenaf Fiber/Polyester Resin*	10%
2	*Kenaf Fiber/Polyester Resin*	20%
3	*Kenaf Fiber/Polyester Resin*	30%
4	*Kenaf Fiber/Polyester Resin*	40%
5	*Kenaf Fiber/Polyester Resin*	50%
6	*Kenaf Fiber/Polyester Resin*	60%
7	*Kenaf Fiber/Polyester Resin*	70%

Tabel 3.6 Konfigurasi Variasi Fraksi Volume Serat Sisal

Variasi Fraksi Volume Serat Komposit		
No	Lapisan	Fraksi Volume

1	*Sisal Fiber/Epoxy Resin*	15%
2	*Sisal Fiber/Epoxy Resin*	20%
3	*Sisal Fiber/Epoxy Resin*	30%
4	*Sisal Fiber/Epoxy Resin*	40%
5	*Sisal Fiber/Epoxy Resin*	50%
6	*Sisal Fiber/Epoxy Resin*	60%
7	*Sisal Fiber/Epoxy Resin*	70%

Tabel 3.7 Konfigurasi Variasi Arah Komposit Serat Kenaf

Variasi Arah Serat Komposit				
No	Lapisan	Arah Serat	Ketebalan	Jenis
1	*Kenaf Fiber/Polyester Resin*	$[(0^\circ)_{10}]$		
2	*Kenaf Fiber/Polyester Resin*	$[(0^\circ)_4/(45^\circ)_2/(0^\circ)_4]$		
3	*Kenaf Fiber/Polyester Resin*	$[(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2]$		
4	*Kenaf Fiber/Polyester Resin*	$[(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(-45^\circ)_2]$		
5	*Kenaf Fiber/Polyester Resin*	$[(45^\circ)_{10}]$		
6	*Kenaf Fiber/Polyester Resin*	$[(-45^\circ)_2/(45^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(45^\circ)_2/(-45^\circ)_2]$	6 mm	UD
7	*Kenaf Fiber/Polyester Resin*	$[(45^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(45^\circ)_2]$		
8	*Kenaf Fiber/Polyester Resin*	$[(0^\circ)_4/(90^\circ)_2/(0^\circ)_4]$		
9	*Kenaf Fiber/Polyester Resin*	$[(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(90^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2]$		
10	*Kenaf Fiber/Polyester Resin*	$[(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2]$		

Tabel 3.8 Konfigurasi Variasi Arah Komposit Serat Sisal

Variasi Arah Serat Komposit				
No	Lapisan	Arah Serat	Ketebalan	Jenis
1	*Sisal Fiber/Epoxy Resin*	$[(0^\circ)_{10}]$		
2	*Sisal Fiber/Epoxy Resin*	$[(0^\circ)_4/(45^\circ)_2/(0^\circ)_4]$		
3	*Sisal Fiber/Epoxy Resin*	$[(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2]$		
4	*Sisal Fiber/Epoxy Resin*	$[(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(-45^\circ)_2]$		
5	*Sisal Fiber/Epoxy Resin*	$[(45^\circ)_{10}]$		
6	*Sisal Fiber/Epoxy Resin*	$[(-45^\circ)_2/(45^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(45^\circ)_2/(-45^\circ)_2]$	3 mm	UD
7	*Sisal Fiber/Epoxy Resin*	$[(45^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(45^\circ)_2]$		
8	*Sisal Fiber/Epoxy Resin*	$[(0^\circ)_4/(90^\circ)_2/(0^\circ)_4]$		
9	*Sisal Fiber/Epoxy Resin*	$[(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(90^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2]$		
10	*Sisal Fiber/Epoxy Resin*	$[(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2]$		

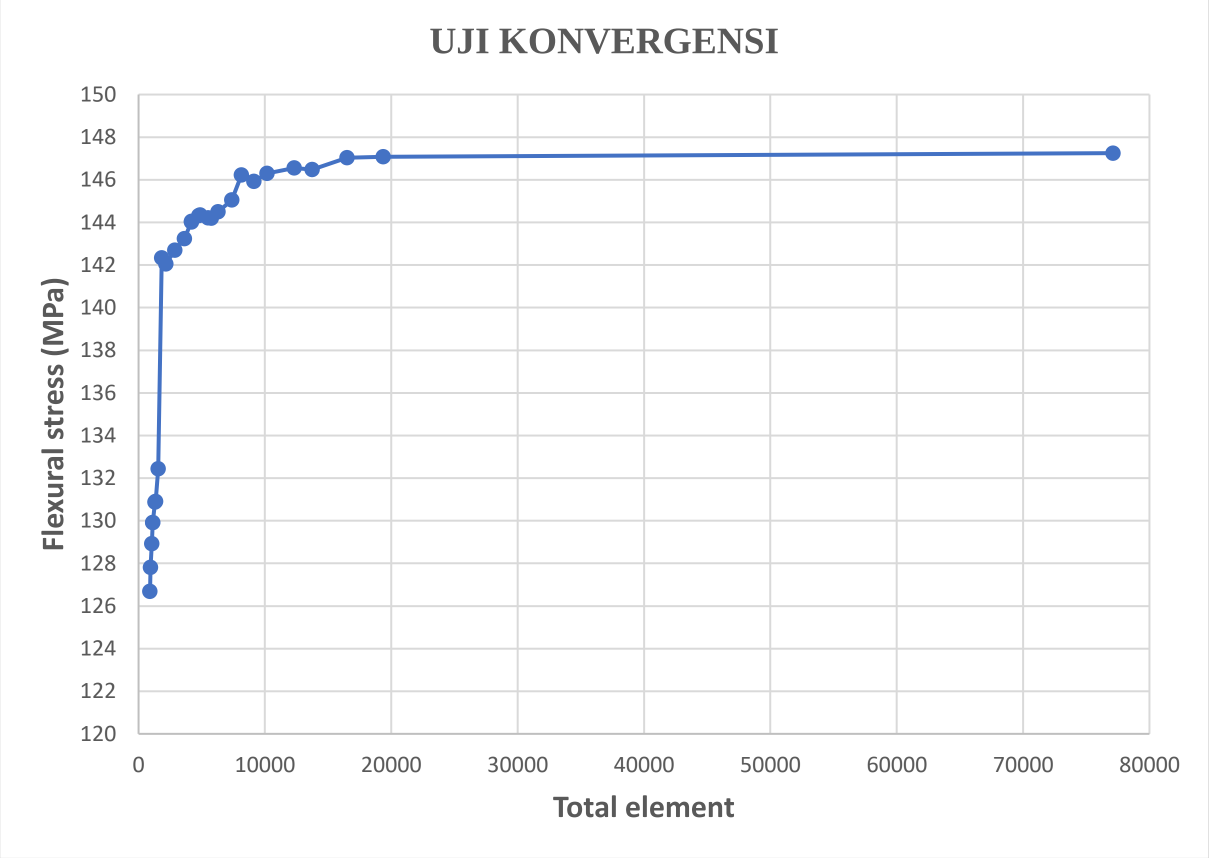
3.6 Modelling

Pemodelan pada penelitian ini dilakukan dengan bantuan ANSYS Design Modeler dan ANSYS ACP Pre/Post. Ukuran spesimen pengujian yang digunakan yaitu sesuai dengan ASTM D790 sebagai standar pengujian untuk material bahan komposit matriks polimer agar mendapatkan hasil yang akurat. Ukuran spesimennya adalah dengan panjang 150 mm, lebar 25.4 mm, dan tebal 6 mm untuk spesimen kenaf dan panjang 80 mm, lebar 13 mm, dan 3 mm. Lalu pemodelan juga dilakukan pada *roller* penekan dan *support* yang mempunyai ukuran diameter 6 mm.

3.7 Uji Konvergensi

Setelah melakukan simulasi, pentingnya untuk melakukan uji konvergensi atau *grid independence test* untuk menentukan ukuran *mesh* yang efektif. Tentu semakin kecil ukuran

dari *mesh*, maka simulasi yang dihasilkan akan lebih akurat karena jumlah mesh semakin banyak. Hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan jumlah elemen agar hasilnya diharapkan mendekati dengan nilai sebenarnya. Tetapi semakin banyak jumlah *mesh*, maka waktu yang dibutuhkan untuk melakukan simulasi juga semakin lama. Oleh karena itu, uji konvergensi dilakuakn untuk mendapatkan ukuran *mesh* yang sesuai dengan hasil dan waktu simulasi. *Meshing* yang dilakukan yaitu pada ketiga roller dan pada spesimen komposit alami. Lalu didapatkan grafik sebagai berikut sebagai berikut.



Gambar 3.4 Grafik Uji Konvergensi

Berdasarkan hasil tersebut, dapat dilihat terdapat perbedaan yang cukup jauh pada total element 0 – 10.000 terjadi perubahan nilai atau *error* yang cukup besar sehingga hasil kurang akurat. Lalu pada total element 10.000 – 20.000 memiliki perbedaan hasil yang tidak terlalu jauh atau nilai *error* cukup kecil. Sedangkan pada *total element* di atas 20.000 hasil yang diberikan tidak jauh berbeda dengan hasil pada rentang total element 10.000 – 20.000 tetapi waktu yang dibutuhkan untuk simulasi cukup lama. Maka ukuran *mesh* yang digunakan adalah 1 mm dengan *total element* sebanyak 19.374.

3.8 Validasi

3.8.1 *Rule Of Mixture*

Berdasarkan perumusan (Daniel & Ishai, 2006) yang telah dipaparkan pada dasar teori, *rules of mixtures* merupakan salah satu metode untuk mengetahui nilai *properties* massa jenis, *shear modulus*, Young *modulus*, dan *poisson ratio* dari komposit. Metode ini akan penulis gunakan sebagai validasi dalam hasil simulasi mikrostruktur komposit dari *software* Material Designer. Pada contoh perhitungan kali ini, material yang digunakan adalah kenaf 8% NaOH

dengan matriks polyester resin dengan fraksi volume serat 0,2. Nilai massa jenis dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\rho_c = v_f \rho_f + v_m \rho_m$$

$$\rho_c = (0{,}2\ x\ 1500) + (0{,}8\ x\ 1100)$$

$$\rho_c = 1180\ kg/mm^3$$

Adapun nilai *longitudinal* Young's Modulus dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$E_1 = v_f E_f + v_m E_m$$

$$E_1 = (0{,}2\ x\ 7.67) + (0{,}8\ x\ 3.2)$$

$$E_1 = 4{,}0944\ GPa = 4094.4\ MPa$$

Adapun nilai *transverse* Young's Modulus dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$E_2 = \frac{E_m\left(1 + \xi \eta v_f\right)}{(1 - \eta v_f)}$$

$$E_2 = \frac{3{,}2\ (1 + (1)(0{,}4122)(0{,}2))}{(1 - (0{,}4122)(0{,}2))}$$

$$E_2 = 3{,}7735\ GPa = 3773{,}5\ MPa$$

Lalu nilai *longitudinal shear modulus* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$G_{12} = Gm \frac{\left(1 + V_f\right)G_f + V_m G_m}{V_m G_f + \left(1 + V_f\right)G_m}$$

$$G_{12} = 1{,}1852\ \frac{(1 + 0{,}2)\ x\ 2{,}8965 + 0{,}8\ x\ 1{,}1852}{0{,}2\ x\ 2{,}8965 + (1 + 0{,}2)\ x\ 1{,}1852}$$

$$G_{12} = 1{,}40215\ GPa = 1.402{,}15\ MPa$$

Lalu nilai *transverse shear modulus* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$G_{23} = \frac{G_m K_m\left(G_m + G_f\right) + 2G_m G_f + K_m\left(G_f - G_m\right)V_f}{K_m\left(G_m + G_f\right) + 2G_f G_m - (K_m + 2G_m)\left(G_f - G_m\right)V_f}$$

$$G_{23} = \frac{1{,}1852\ \ x\ 3{,}55\ x\ (1{,}1852\ \ + 2{,}8965) + 2\ x\ 1{,}1852\ x\ 2{,}8965\ \ + 3{,}55\ x\ (2{,}8965 - 1{,}1852\ )\ x\ 0{,}2}{3{,}55\ x\ (1{,}1852 + 2{,}8965) + 2\ x\ 2{,}8965\ x\ 1{,}1852 - (3{,}55 + 2\ x\ 1{,}1852)(2{,}8965 - 1{,}1852)\ x\ 0{,}2}$$

$$G_{23} = 1{,}3839\ GPa = 1383{,}9\ MPa$$

Untuk nilai *longitudinal* Poisson's Ratio dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$v_{12} = V_f v_f + V_m v_m$$

$$v_{12} = 0{,}2\ x\ 0{,}324 + 0{,}8\ x\ 0{,}35$$

$$v_{12} = 0{,}3448$$

Untuk nilai *transverse* Poisson's Ratio dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$v_{23} = \frac{E_2}{2G_{23}} - 1$$

$$v_{23} = \frac{3773{,}5}{2\ x\ 1383{,}94} - 1$$

$$v_{23} = 0{,}3633$$

Jika dibandingkan hasil *material designer* dengan hasil perhitungan teoritis *rules of mixtures* diatas, maka didapatkan error sebagaimana yang dijelaskan pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.9 Perbandingan nilai *elastic properties* perhitungan

Parameter	Hasil Material Designer	Hasil Perhitungan ROM	Error
ρ	1180	1180	0 %
E1	4094,4	4094,4	0 %
E2	3768	3773,5	0,0014 %
G12	1402,1	1402,15	0,003 %
G23	1385,4	1383,9	0,108 %
v12	0,34425	0,3448	0,159 %
v23	0,35985	0,3633	0,958 %

Berdasarkan hasil error di atas, dapat disimpulkan bahwa data yang didapatkan dengan menggunakan *software* material designer dapat digunakan dalam proses simulasi ini.

3.8.2 Perhitungan *Orthotropic Stress Limit*

Setelah mendapatkan nilai dari *orthotropic elasticity* dari gabungan serat alami dan matriks dengan menggunakan ANSYS *Material Designer* selanjutnya adalah melakukan perhitungan *stress limit* untuk ke setiap arah agar dapat memprediksi atau melakukan pendekatan kekuatan dari komposit untuk berbagai arah. Perhitungannya *stress limit* meliputi *tensile (x y z), compressive (x,y,z),* dan *shear (x,y,z)*. Pada perhitungan kali ini menggunakan referensi dari buku "*Engineering Mechanics of Composite Materials*" (Daniel & Ishai, 2006), "*Composite Structures : Design, Mechanics, Analysis, Manufacturing, and Testing*" (Kumar, 2017), dan dicocokkan dengan material serat sisal dengan fraksi volume serat 0,2 pada penelitian "*Influence of the anisotropy of sisal fibers on the mechanical properties of high performance unidirectional biocomposite lamina and micromechanical models*" (Zuccarello et al., 2021).

Tabel 3.10 Material properties sisal

Sisal/ Green Resin		
Properties	Sisal	Green Resin
Tensile Strength (MPa)	675	45

Young Modulus (GPa)	40100	2500
Poisson's Ratio	0.38	0.61
Shear Modulus (GPa)	905.8	1840

3.8.2.1 Perhitungan Buku *Engineering Mechanics Of Composite Materials*

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

$$\varepsilon_m = \frac{\sigma_m}{E_m} \qquad \varepsilon_f = \frac{\sigma_f}{E_f}$$

$$\varepsilon_m = \frac{45}{2500} \qquad \varepsilon_f = \frac{675}{40100}$$

$$\varepsilon_m = 0{,}018 \quad > \quad \varepsilon_f = 0{,}01683$$

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

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

$$F_{1t} = 675\left(0{,}2 + 0{,}8\frac{2500}{40100}\right)$$

$$F_{1t} = 168{,}66\ MPa$$

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

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

$$k_\sigma = \frac{1 - 0{,}2(1 - \frac{2500}{40100})}{1 - \left(\frac{4\ x\ 0{,}2}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}(1 - \frac{2500}{40100})}$$

$$k_\sigma = 1{,}54$$

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

$$F_{2t} = \frac{1 - 0{,}38}{1{,}54(1 + 0{,}38)(1 - (2\ x\ 0{,}38))}(45 - (1\ x\ 2500))$$

$$F_{2t} = 53.39\ MPa$$

Untuk memperoleh nilai *compressive strength* dari komposit dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

$$F_{1c} = 2\ x\ 19,1\left[0,2 + (1 - 0,2)\frac{2500}{40100}\right]$$

$$F_{1c} = 9,542\ MPa$$

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

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

$$F_{2c} = \frac{78,1 + 1}{1,54}$$

$$F_{2c} = 51,27\ MPa$$

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

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

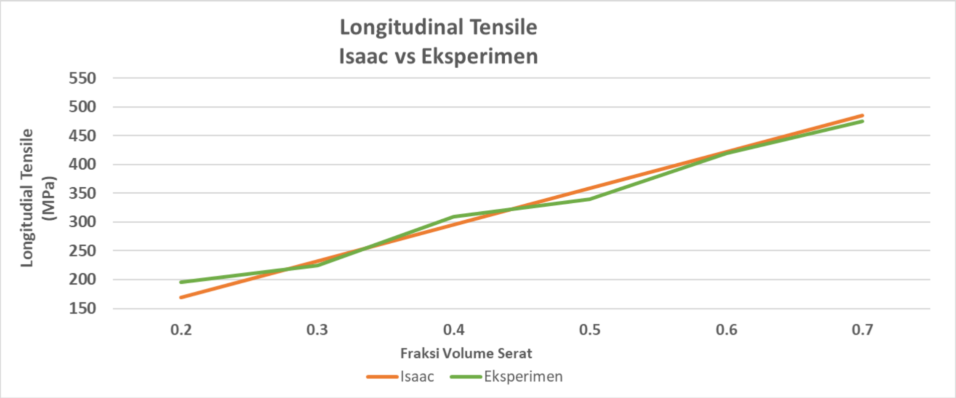
$$k_\tau = \frac{1 - 0,2(1 - \frac{905,8}{1840})}{1 - \left(\frac{4\ x\ 0,2}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}\left(1 - \frac{905,8}{1840}\right)}$$

$$k_\tau = 1,2$$

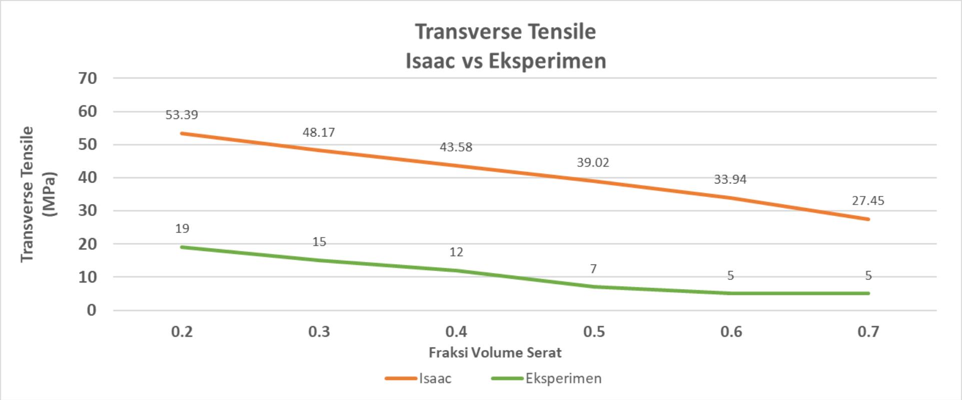
$$F_6 = \frac{F_{ms}}{k_\tau}$$

$$F_6 = \frac{25}{1,2}$$

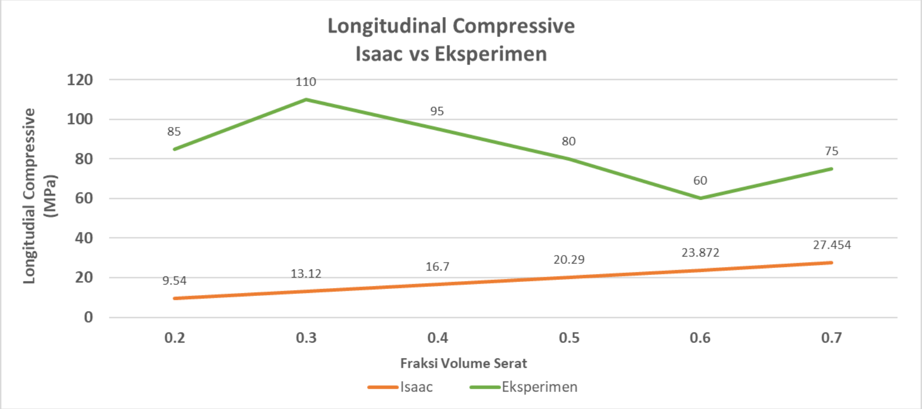
$$F_6 = 20,691\ MPa$$



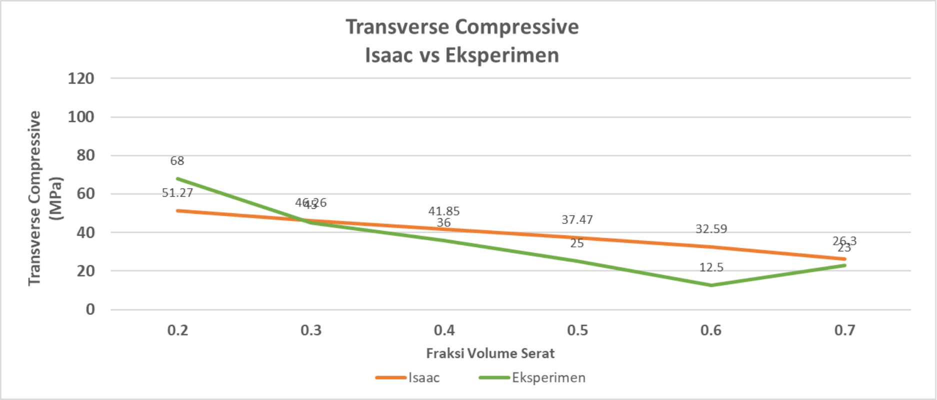
Gambar 3.5 Grafik *longitudinal tensile* vs eksperimen



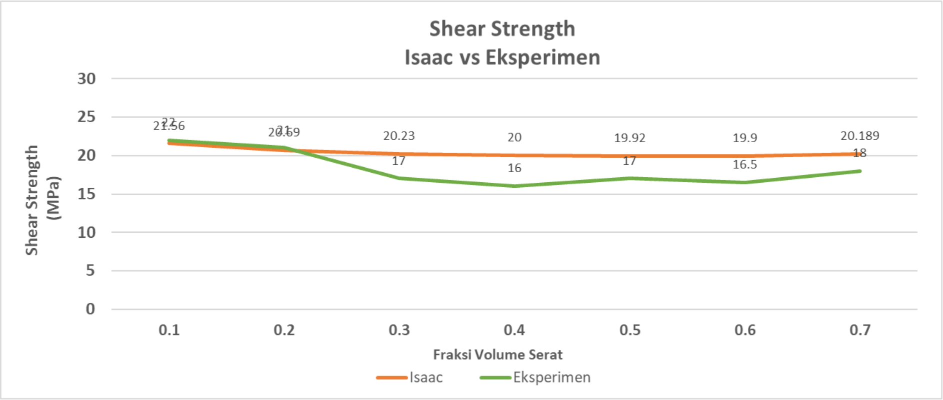
Gambar 3.6 Grafik *transverse tensile* vs eksperimen



Gambar 3.7 Grafik *longitudinal compressive* vs eksperimen



Gambar 3.8 Grafik *transverse* vs eksperimen



Gambar 3.9 Grafik *shear strength* vs eksperimen

Berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan mulai dari fraksi volume serat 0,2 – 0,7, didapatkan lalu dipaparkan dalam bentuk grafik didapatkan hasil grafik yang cukup mengikuti tren eksperimen untuk beberapa aspek. Perbedaan nilai dapat dilihat pada aspek nilai *longitudinal compressive* yang memiliki tren cukup berbeda dengan hasil ekperimen. Dan juga pada aspek nilai *transverse tensile* memiliki tren yang cukup mirip dengan hasil eksperimen tetapi terdapat perbedaan nilai yang cukup signifikan.

3.8.2.2 Perhitungan Buku *Composite Structures : Design, Mechanics, Analysis, Manufacturing, and Testing*

Berdasarkan perhitungan (Kumar, 2017), persamaan untuk *longitudinal tensile strength* dibagi menjadi dua kondisi :

Dalam mendapatkan nilai dari *Orthotrophic Stress Limit* dari komposit sisal-*epoxy* digunakan rumus (2.) , yakni sebagai berikut :

$$\varepsilon_m = \frac{\sigma_m}{E_m} \qquad \varepsilon_f = \frac{\sigma_f}{E_f}$$

$$\varepsilon_m = \frac{45}{2500} \qquad \varepsilon_f = \frac{675}{40100}$$

$$\varepsilon_m = 0{,}018 \quad > \quad \varepsilon_f = 0{,}01683$$

Dikarenakan nilai dari $\varepsilon_m < \varepsilon_f$, maka perhitungan nilai *longitudinal tensile strength* dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$(\sigma_{x\ c}^{T})_{ult} = \left(\sigma_{x\ f}^{T}\right) V_f + \left(\varepsilon_{1_f}^{T}\right)_{ult} E_m\left(1 - V_f\right)$$

$$(\sigma_{x\ c}^{T})_{ult} = (675)\ 0{,}2 + (0{,}016832)\ 2500\ (1 - 0{,}2)$$

$$(\sigma_{x\ c}^{T})_{ult} = 168{,}66\ MPa$$

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

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

$$\left(\sigma_{y\ c}^{T}\right)_{ult} = 45\left(1 - 2\sqrt{\frac{0{,}2}{\pi}}\right)$$

$$\left(\sigma_{y\ c}^{T}\right)_{ult} = 22{,}28\ MPa$$

Persamaan untuk *longitudinal compressive strength* adalah sebagai berikut :

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

$$= 2\ x\ 19{,}1\left[0{,}2 + \frac{2500}{40100}(1 - 0{,}2)\right]$$

$$(\sigma_{x\ c}^{C})_{ult} = 9{,}542\ MPa$$

Persamaan untuk *transverse compressive strength* adalah sebagai berikut :

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

$$\left(\sigma_{y\ c}^{C}\right)_{ult} = 78{,}1\left(1 - 2\sqrt{\frac{0{,}2}{\pi}}\right)$$

$$\left(\sigma_{y\ c}^{C}\right)_{ult} = 38{,}67\ MPa$$

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

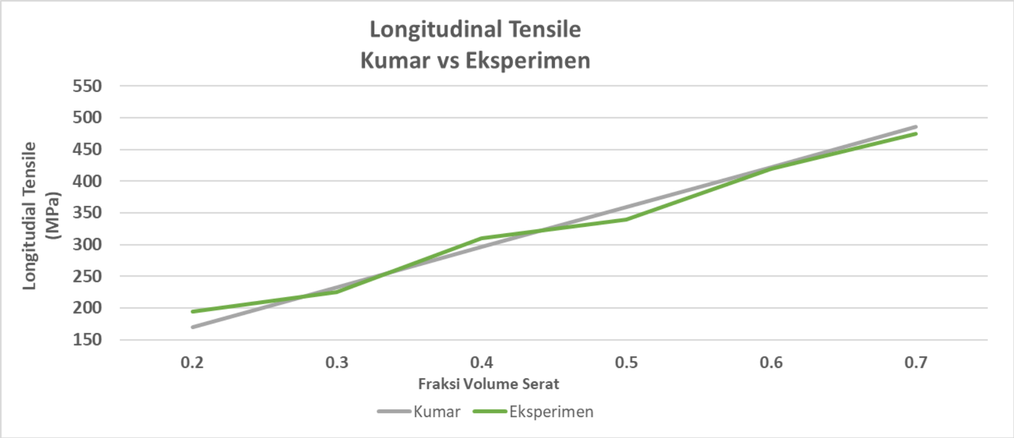
$$(\tau_{xy_c})_{ult} = G_{12_c}\left[1 + \left(\frac{G_m}{G_{12f}} - 1\right)V_f\right](\Upsilon_m)_{ult}$$

$$(\tau_{xy_c})_{ult} = 1038{,}1\ \left[1 + \left(\frac{905{,}8}{1840} - 1\right)0{,}2\right]\ 0{,}027599$$

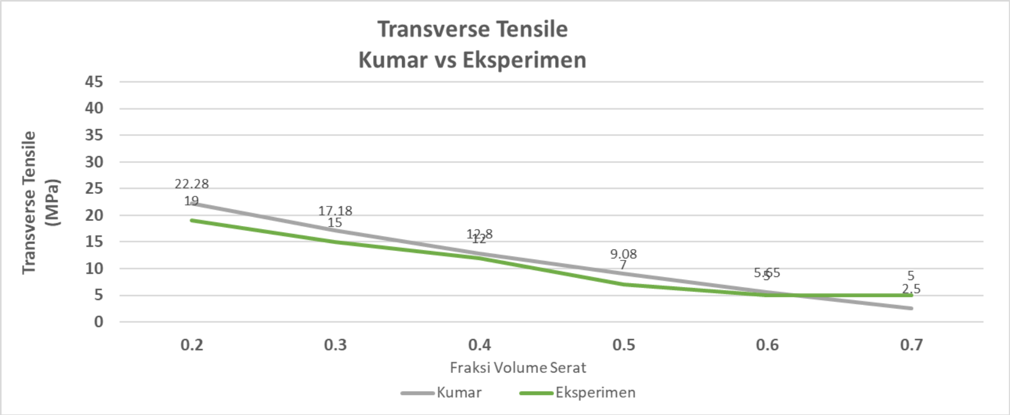
$$(\tau_{xy_c})_{ult} = 25{,}74$$

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

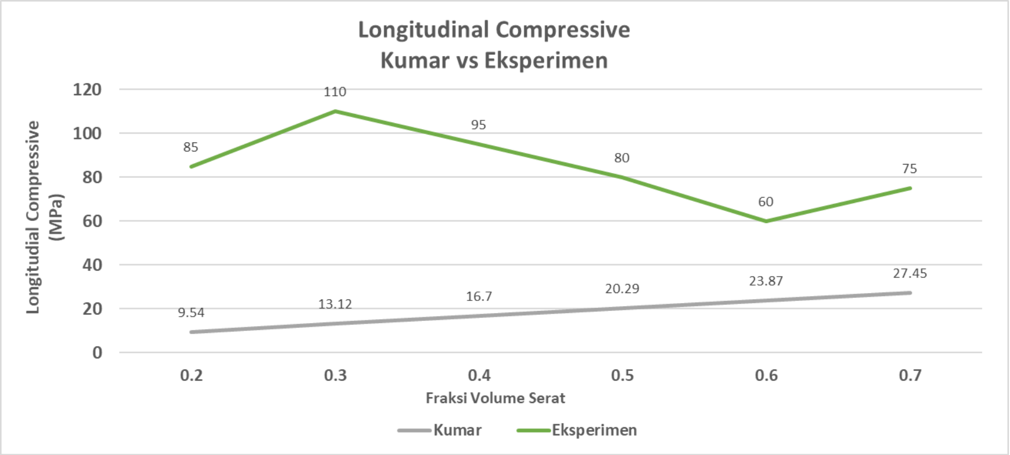
$$(\tau_{yz_c})_{ult} = \frac{25{,}74}{2} = 12{,}87\ MPa$$



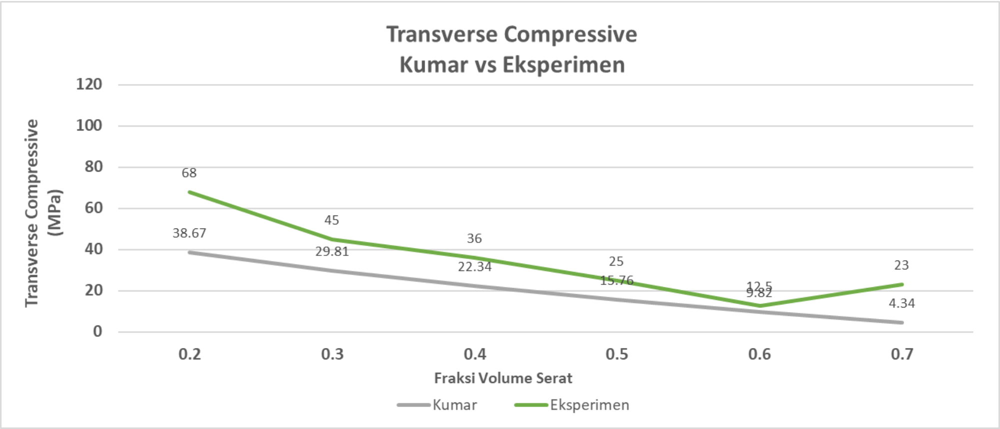
Gambar 3.10 Grafik *longitudinal tensile* vs eksperimen



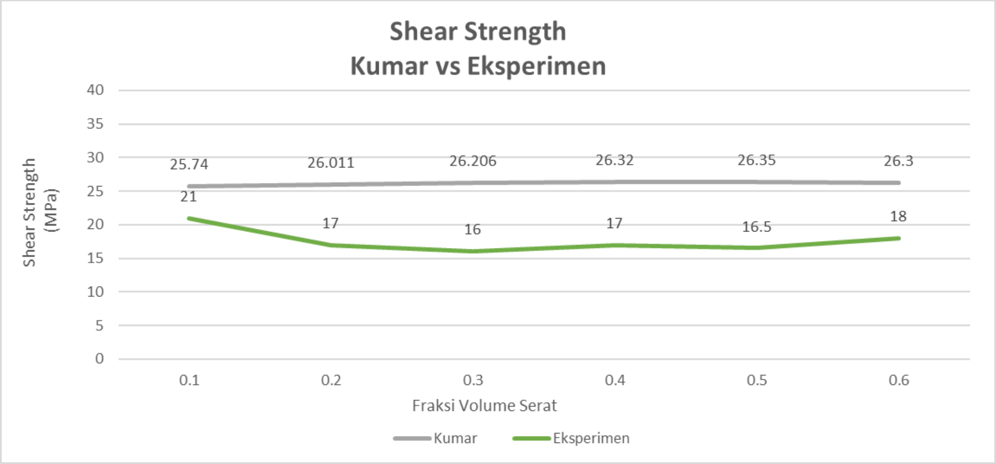
Gambar 3.11 Grafik *transverse tensile* vs eksperimen



Gambar 3.12 Grafik *longitudinal compressive* vs eksperimen



Gambar 3.13 Grafik *transverse compressive* vs eksperimen



Gambar 3.14 Grafik *shear strength* vs eksperimen

Berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan mulai dari fraksi volume serat 0,2 – 0,7, didapatkan lalu dipaparkan dalam bentuk grafik didapatkan hasil grafik yang cukup mengikuti tren eksperimen untuk beberapa aspek. Perbedaan nilai yang sama dapat dilihat pada aspek nilai *longitudinal compressive* yang memiliki tren cukup berbeda dengan hasil ekperimen. Tetapi pada aspek nilai *transverse tensile* memiliki tren yang sangat mirip dan juga memiliki nilai yang hampir sama. Berdasarkan perbandingan dari referensi kedua perhitungan (Daniel & Ishai, 2006; Kumar, 2017), maka pada penelitian ini menggunakan perhitungan dari referensi

(Kumar, 2017) untuk menghitung *Orthothropic Stress Limit* dari material kenaf/polyester dan sisal/epoxy.

3.8.3 Perhitungan Pembebanan *Three Point Bending*

Pada simulasi yang akan dilakukan, pembebanan yang akan digunakan adalah melalui pendekatan dari eksperimen dimana *flexural strength* hasil dari eksperimen dimasukan kedalam rumus guna mendapatkan nilai pembebanan sesungguhnya. Berikut ini adalah perhitungan pembebanan yang dilakukan pada hasil ekperimen *Three Point Bending* Sisal-Epoxy Resin dengan mengambil fraksi volume 15% berdasarkan jurnal (Gupta & Srivastava, 2014).

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2}$$

$$204{,}3 = \frac{3P\ x\ 48}{2\ x\ 13\ x\ 3^2}$$

$$\frac{204{,}3}{48} = \frac{3P}{234}$$

$$P = \frac{3\ x\ 48}{234\ x\ 204.3}$$

$$P = 331{,}9875\ N$$

Lalu hal yang sama juga dilakukan pada material serat Kenaf/Polyester dengan fraksi volume 20% berdasarkan jurnal (Fajrin et al., 2022) dengan menggunakan acuan nilai eksperimen *flexural strength* lalu dilakukan penurunan rumus untuk mendapatkan nilai pembebanan sesungguhnya.

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2}$$

$$153{,}1 = \frac{3P\ x\ 96}{2\ x\ 25{,}4\ x\ 6^2}$$

$$\frac{153{,}1}{96} = \frac{3P}{1828{,}8}$$

$$P = \frac{153{,}1\ x\ 1828{,}8}{96\ x\ 3}$$

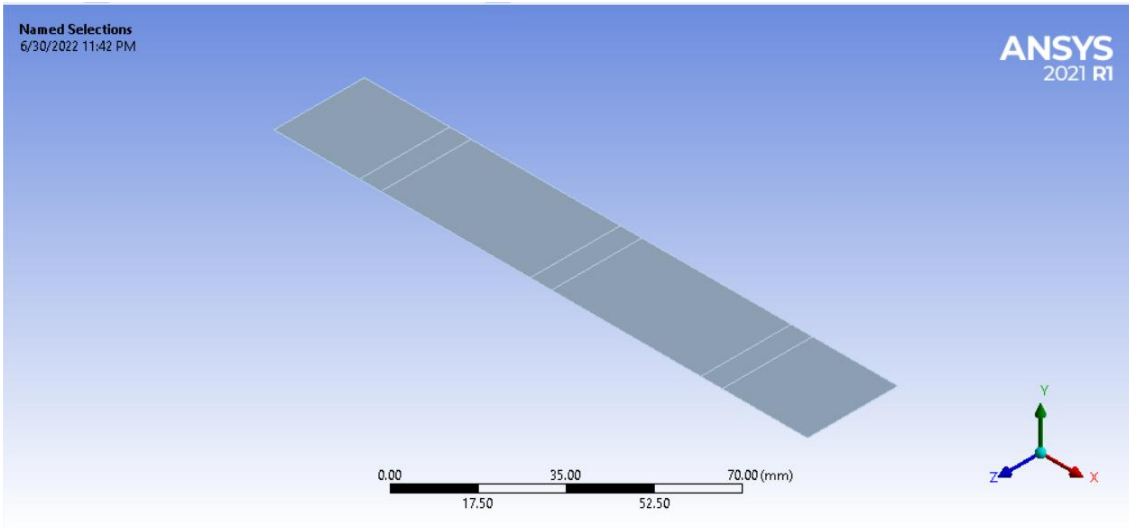
$$P = 971{,}185\ N$$

3.9 Simulasi

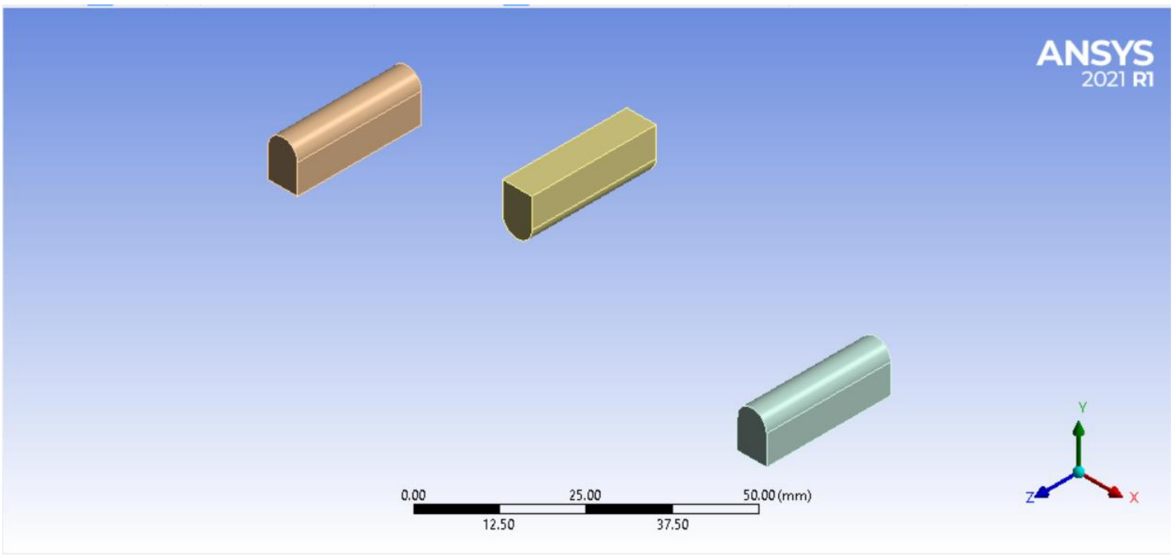
Simulasi penelitian komposit dengan metode pengujian *three point bending* dilakukan dengan memasukkan nilai gaya yang diberikan dari *roller* penekan. Lalu melakukan analisa hasil simulasi pada ANSYS Static Structural.

3.9.1 Pemodelan Geometri Pengujian

Tahap pertama yaitu melakukan pemodelan geometri pengujian. Pada tahap ini dilakukan pemodelan terhadap spesimen komposit dan ketiga *roller* pengujian *three point bending*. Pemodelan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak ANSYS yang di dalamnya sudah terdapat pilihan untuk desain dengan fitur *Design Modeler*. Lalu setelah desain sudah sesuai dengan ketentuan, dilanjutkan dengan fitur *Mechanical Model*. Pada komposit, pemodelan dilakukan dengan bentuk *surface* atau lapisan permukaan yang sangat tipis sebagai acuan untuk pembuatan komposit. Pada roller three point bending, pemodelan dilakukan dengan menggunakan fitur *extrude* sehingga membentuk model 3D.



Gambar 3.15 Pemodelan *Surface* Komposit



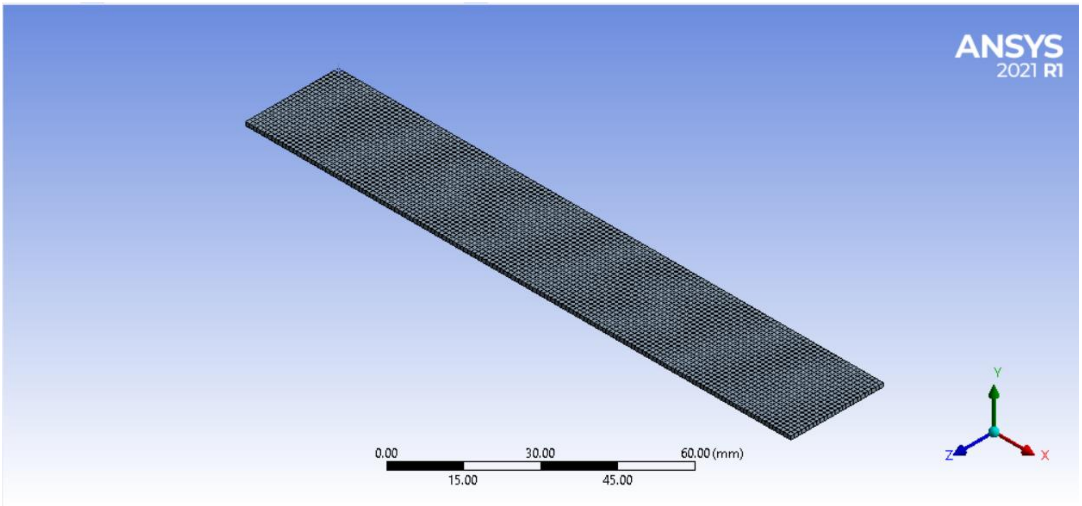
Gambar 3.16 Pemodelan *Roller Three Point Bending*

3.9.2 Meshing

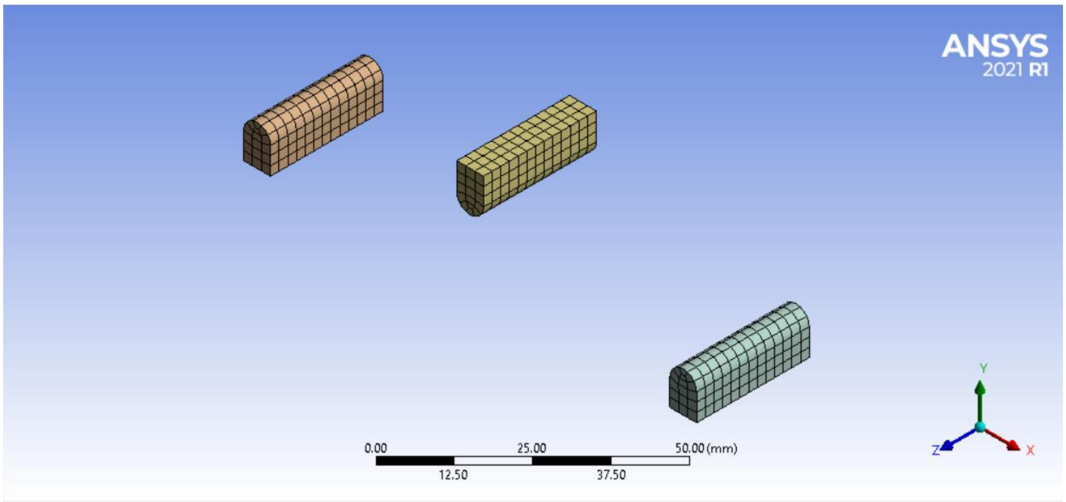
Setelah melakukan pemodelan geometri pengujian, lalu melakukan *meshing* terhadap model yang sudah dibuat. *Meshing* sendiri merupakan tahapan yang cukup penting karena menentukan hasil dari simulasi. *Meshing* bekerja dengan membagi permasalahan yang kompleks menjadi bagian kecil atau elemen-elemen sehingga menjadi solusi yang lebih sederhana dapat mudah diperoleh. Semakin banyak elemen yang digunakan, maka hasilnya

akan semakin akurat dengan keadaan sebenarnya. Tetapi hal ini juga berakibat dengan waktu simulasi yang semakin lama.

Meshing yang dilakukan pada model lapisan permukaan komposit adalah *face sizing*. Hal ini karena model yang dibuat berukuran sangat tipis sehingga dianggap sebagai lapisan. Ukuran *mesh* yang digunakan adalah 1 mm. Sedangkan pada *roller three point bending*, meshing yang dilakukan adalah body sizing. Hal ini karena model yang dibuat berbentuk 3D. Ukuran mesh yang digunakan adalah 2 mm.

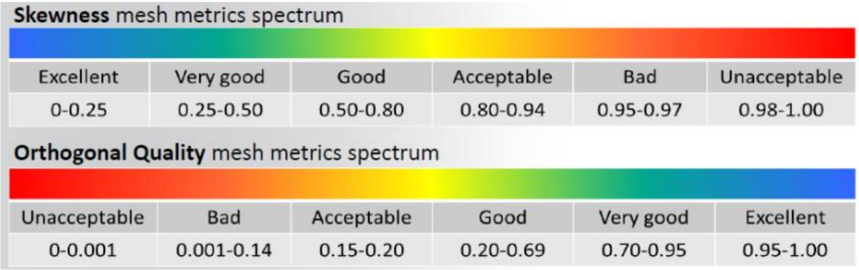


Gambar 3.17 Hasil Meshing pada Permukaan Komposit



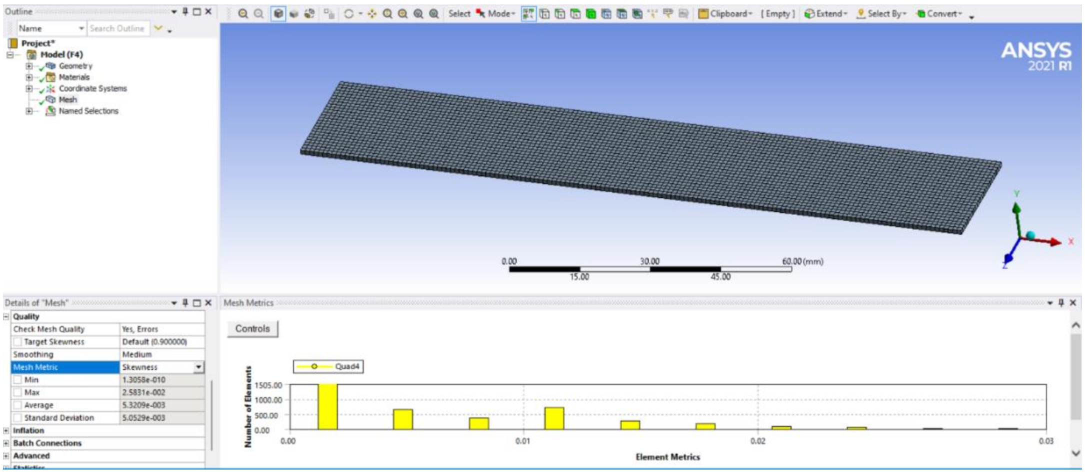
Gambar 3.18 Hasil Meshing pada Roller Three Point Bending

Setelah proses *meshing* selesai dilakukan, lalu masuk ke tahap pengecekan *mesh quality*. Tahap ini berfungsi untuk melihat apakah *mesh* yang dilakukan sudah sesuai dengan kriteria pengujian yang cukup baik. Karena apabila *mesh* yang dilakukan tidak cukup baik, maka hasil pengujian pasti tidak akurat. Oleh karena itu ANSYS menyediakan spektrum dari *Skewness* dan *Ortogonal Quality* pada meshing. Jika hasil *mesh* sudah berada pada spektrum biru atau *Excellent* maka proses meshing dapat dikatakan sudah selesai. Untuk kualitas *skewness* yang baik, nilai mesh akan mendekati angka 0. Untuk kualitas *orthogonal* yang baik, nilai mesh akan mendekati angka 1.

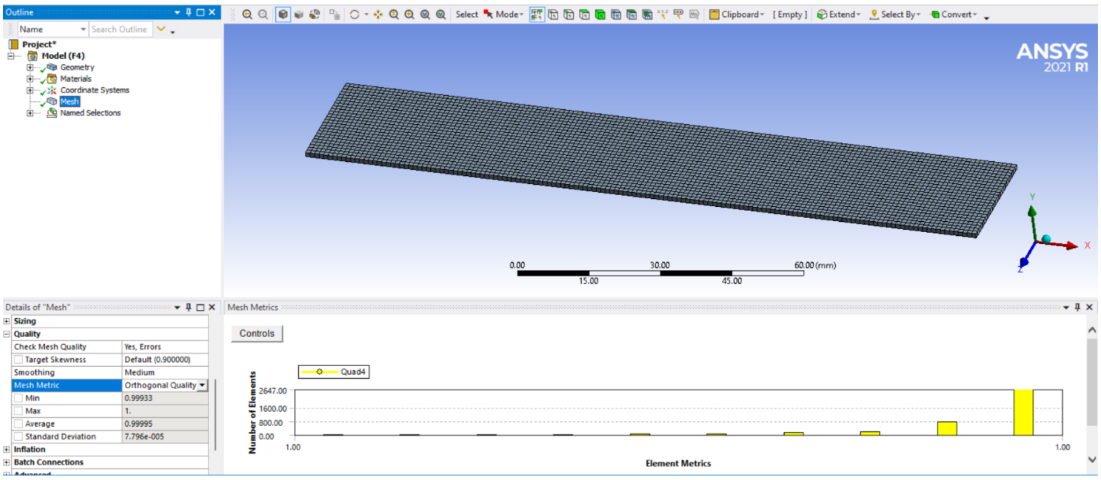


Gambar 3.19 Spektrum Warna *Mesh Quality*

Kualitas dari hasil *meshing* pada lapisan komposit adalah sebagai berikut. Untuk kualitas *meshing* berdasarkan parameter *skewness* mendapatkan hasil sebesar 0,0053209. Hasil tersebut sudah masuk dalam kategori *excellent* pada kualitas *skewness*. Lalu untuk kualitas *meshing* berdasarkan parameter *orthogonal quality* mendapatkan hasil sebesar 0,9995. Hasil tersebut sudah masuk dalam kategori *excellent* pada kualitas *orthogonal*.



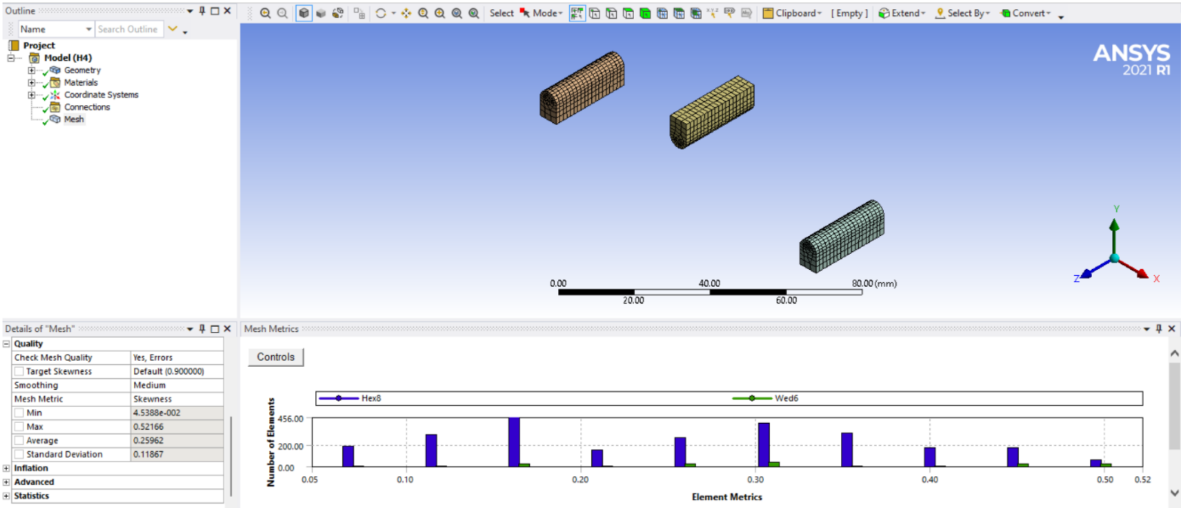
Gambar 3.20 *Skewness* Surface Komposit



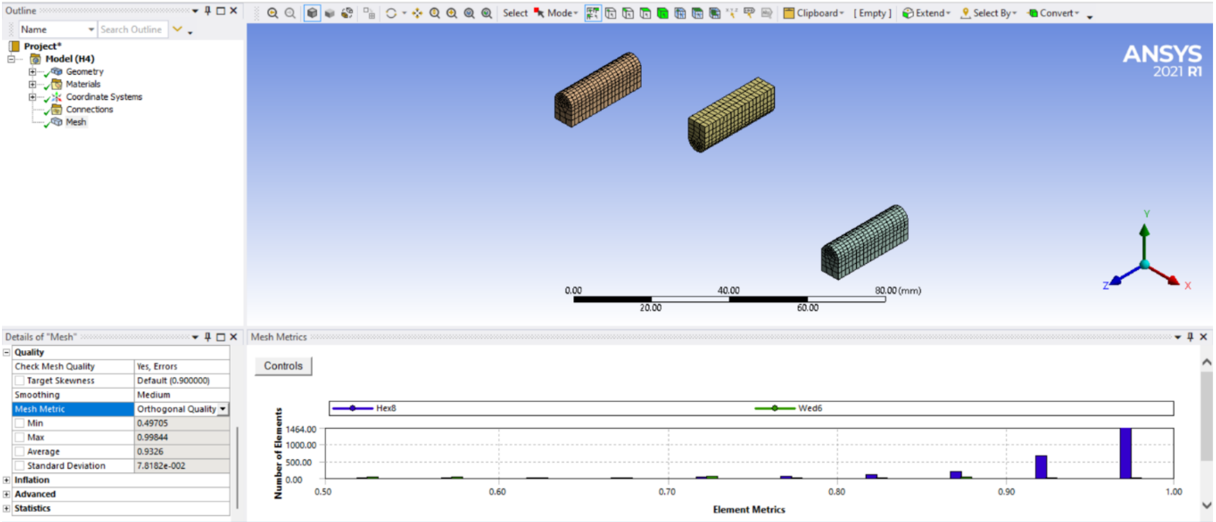
Gambar 3.21 *Orthogonal Quality Surface* Komposit

Kualitas dari hasil *meshing* pada *roller three point bending* adalah sebagai berikut. Untuk kualitas *meshing* berdasarkan parameter *skewness* mendapatkan hasil sebesar 0,25962. Hasil tersebut sudah masuk dalam kategori *very good* pada kualitas *skewness*. Lalu untuk

kualitas *meshing* berdasarkan parameter *orthogonal quality* mendapatkan hasil sebesar 0,9326. Hasil tersebut sudah masuk dalam kategori *very good* pada kualitas *orthogonal*.



Gambar 3.22 *Skewness Roller Three Point Bending*



Gambar 3.23 Orthogonal Quality Roller Three Point Bending

3.9.3 Memasukkan *Engineering Data* Serat dan Matriks

Tahap selanjutnya adalah memasukkan data properti dari material penyusun komposit. Pada penelitian ini menggunakan serat kenaf dengan matriks *polyester resin* dan serat sisal dengan matriks *epoxy resin*. Serat yang digunakan adalah serat kenaf dengan perlakuan alkali NaOH sebesar 8% dan serat sisal. Hasil masukan dari data properti material penyusun komposit adalah sebagai berikut.

Tabel 3.11 Properti Serat Kenaf dengan perlakuan alkali

Kenaf (8% NaOH)		
Properties		Referensi
Density (g/cm^3)	1.5	(Mariselvam & Logesh, 2015)
Tensile Strength (MPa)	89.58	(Ibrahim et al., 2018)
Young Modulus (GPa)	7.67	(Ibrahim et al., 2018)

Poisson's Ratio	0.324	(Mariselvam & Logesh, 2015)
Shear Modulus (GPa)	2.8965	ANSYS

Tabel 3.12 Properti Matriks *Polyester Resin*

Polyester-Resin		
Properties		Referensi
Density (g/cm^3)	1100	(Daniel & Ishai, 2006)
Tensile Strength (MPa)	40	(Daniel & Ishai, 2006)
Young Modulus (GPa)	3.2	(Daniel & Ishai, 2006)
Poisson's Ratio	0.35	(Daniel & Ishai, 2006)
Shear Modulus (GPa)	1.1825	ANSYS

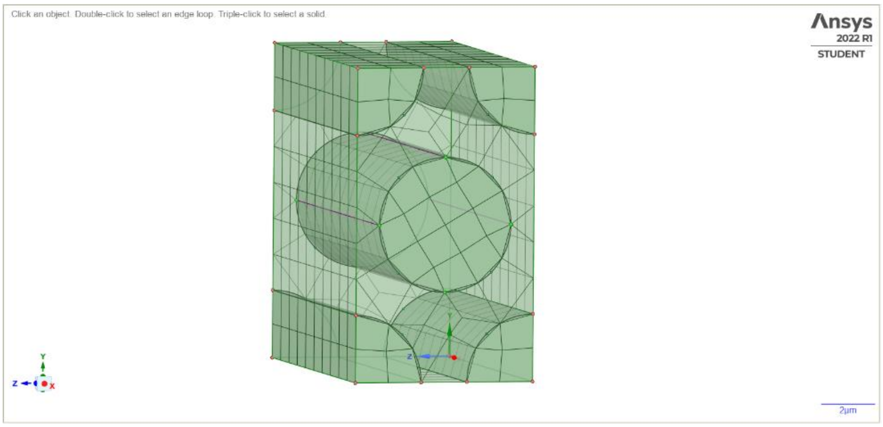
Tabel 3.13 Properti serat sisal

Sisal		
Properties		Referensi
Density (g/cm^3)	1.45	(Kusumastuti, 2009)
Tensile Strength (MPa)	450	(Kusumastuti, 2009)
Young Modulus (GPa)	7000	(Kusumastuti, 2009)
Poisson's Ratio	0.44	(Sinitsky, 2022)
Shear Modulus (GPa)	2.5	ANSYS

Tabel 3.14 Properti Matriks *Epoxy Resin*

Epoxy-Resin		
Properties		Referensi
Density (g/cm^3)	1.16	ANSYS
Tensile Strength (MPa)	80	(Daniel & Ishai, 2006)
Young Modulus (GPa)	3.4	(Daniel & Ishai, 2006)
Poisson's Ratio	0.36	(Daniel & Ishai, 2006)
Shear Modulus (GPa)	1.25	ANSYS

Lalu setelah memasukkan data material penyusun komposit, kemudian data tersebut diolah lagi. Pada keadaan sebenarnya, sebuah lamina komposit terdiri dari gabungan serat dan matriks. Oleh karena itu, data serat dan matriksnya harus diolah menjadi data properti gabungan. Dengan menggabungkan serat dan matriks, maka akan terbentuk data properti baru yang dihasilkan dari keduanya. Hal ini dapat dipermudah dengan bantuan *Material Designer* pada ANSYS.



Gambar 3.24 Model Penggabungan Serat dan Matriks

Tahap pengerjaan pada *Material Designer* diawali dengan pemilihan model komposit. Model komposit yang dipilih yaitu Unidirectional atau UD. Kemudian memilih material sebagai *reinforcement* dan matriksnya. Selanjutnya melakukan pemilihan geometri komposit, geometri yang dipilih yaitu hexagonal dengan volume fraksi serat 0,2 atau 20% serta diameter fiber yaitu 125 μm untuk serat kenaf dan 121,6 μm untuk sisal. Untuk mesh yang dilakukan dengan ukuran 20 μm. Dan tahap terakhir yaitu *settings*, dimana tahap ini melakukan pemilihan hasil dari material properties dari komposit. tahap ini dipilih tipe anisotropi yaitu orthotropic. Setelah menggabungkan data properti serat dan matriks, maka hasil data properti yang baru adalah sebagai berikut.

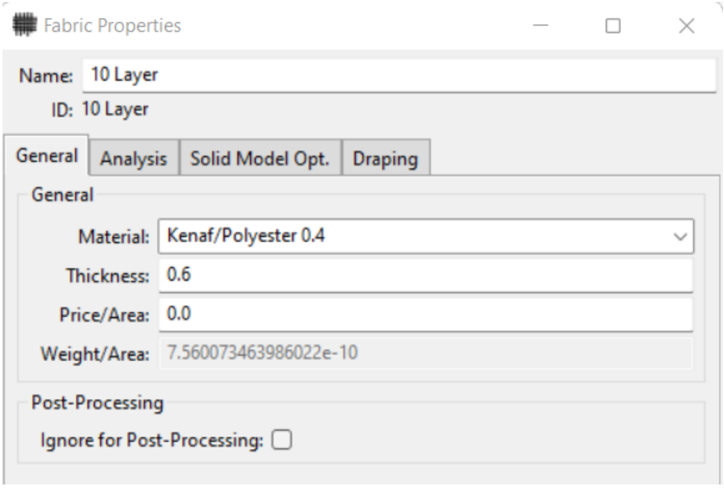
Tabel 3.15 Data Properti Komposit Kenaf/Resin

E1	4094,4	MPa
E2	3768	MPa
E3	3768	MPa
G12	1402,1	MPa
G23	1385,4	MPa
G31	1402,1	MPa
Nu12	0,34425	
Nu13	0,34425	
Nu23	0,35985	

3.9.4 Membuat Konfigurasi Komposit

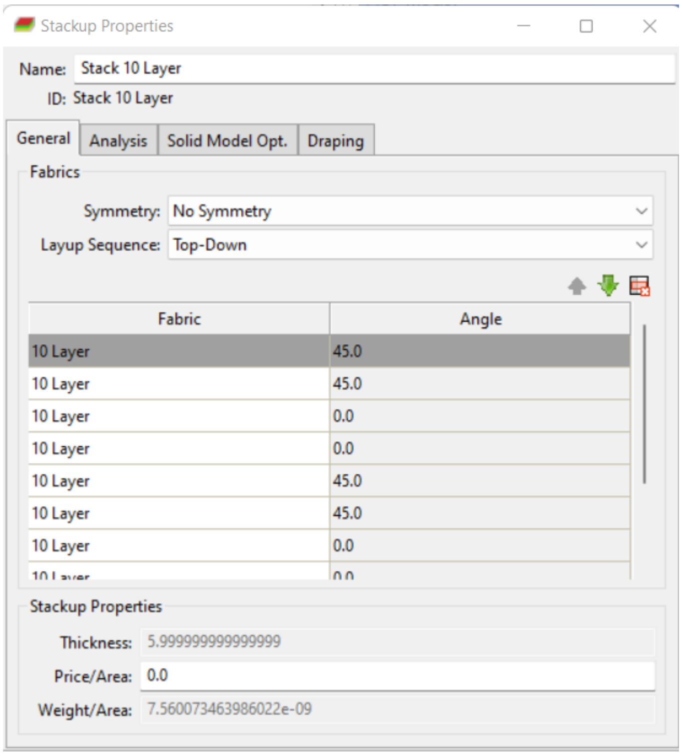
Setelah memasukkan data-data material penyusun komposit, langkah selanjutnya adalah membuat konfigurasi kompositnya. Hal yang diatur adalah ketebalan komposit, jumlah lamina, serta sudut arah orientasi dari seratnya. Proses ini menggunakan bantuan ANSYS ACP Pre/Post agar penyusunan komposit lebih mudah.

Langkah pertama adalah menentukan material komposit yang akan digunakan serta menentukan ketebalan lamina. Ukuran ketebalan lamina menggunakan satuan milimeter. Pada penelitian ini, material komposit kenaf-polyester dengan ketebalan lamina yang digunakan sebesar 0.6 mm.



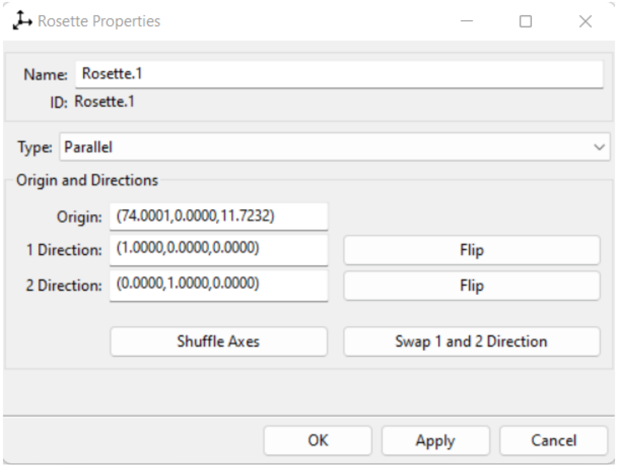
Gambar 3.25 *Fabric Properties*

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 5 buah dan arahnya adalah $[(45°)_2/(0°)_2/(45°)_2/(0°)_2/(45°)_2]$.

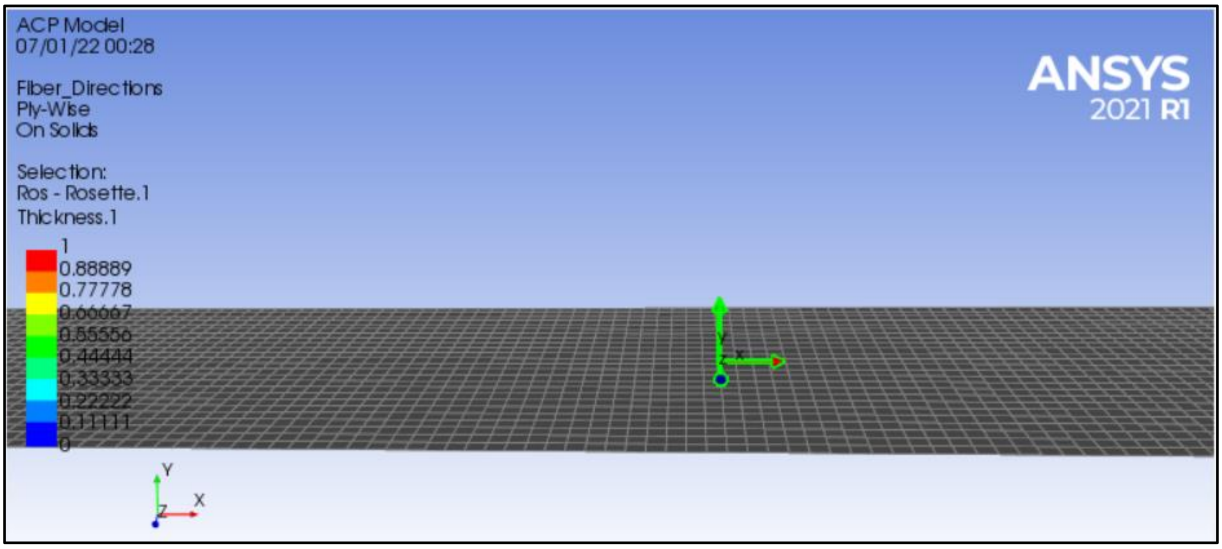


Gambar 3.26 *Stackup Properties*

Lalu penentuan *Rosette* dilakukan agar memiliki sumbu acuan dalam penyusunan komposit, dimana sumbu x pada *Rosette* berfungsi sebagai acuan orientasi 0° dari material komposit, sedangkan sumbu y adalah acuan dalam menyusun lapisan komposit. Pada penelitian kali ini, digunakan rossete seperti sumbu awal atau *Global Coordinate System* karena pembuatan komposit sudah mengacu terhadap sumbu tersebut.

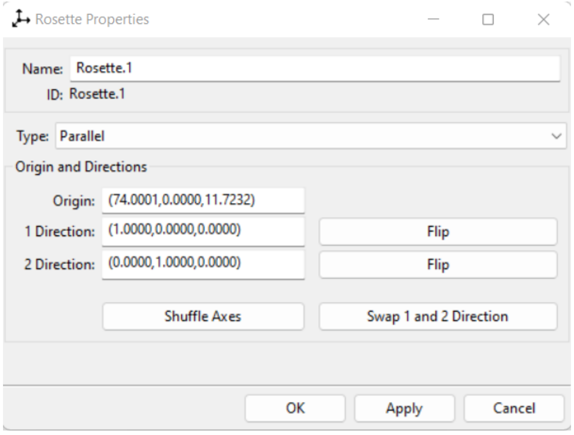


Gambar 3.27 *Rosette Properties*

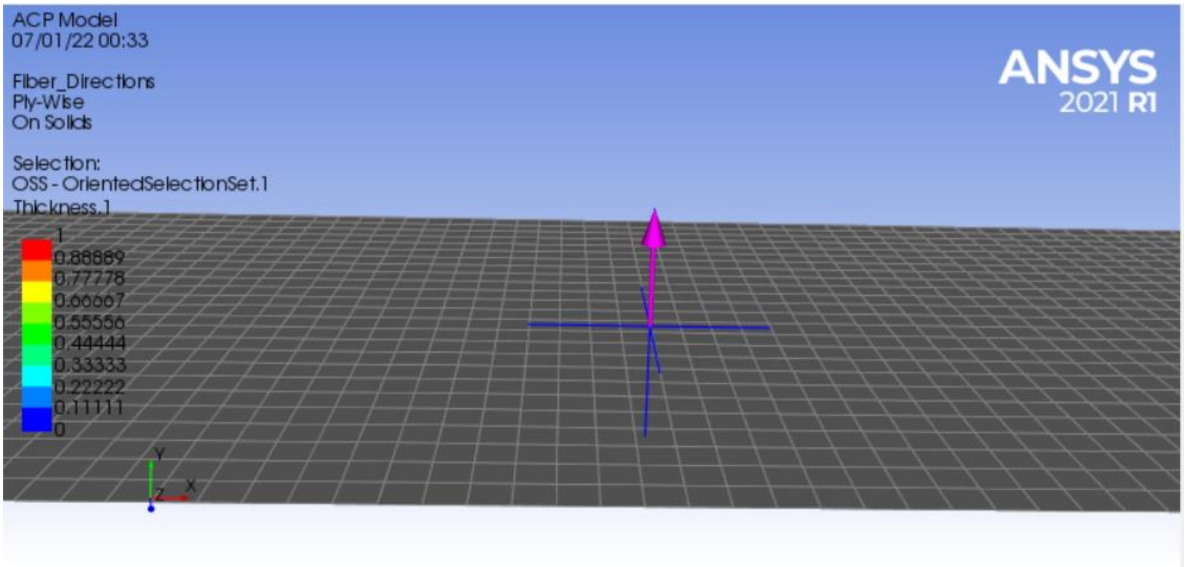


Gambar 3.28 Pemodelan dari *Rosette* yang digunakan

Setelah itu menentukan *Oriented Selection Sets* atau OSS yang berfungsi untuk sebagai acuan arah tumpukan pada komposit. Dapat dilihat pada penelitian kali ini, arah yang dijadikan acuan adalah sumbu y.

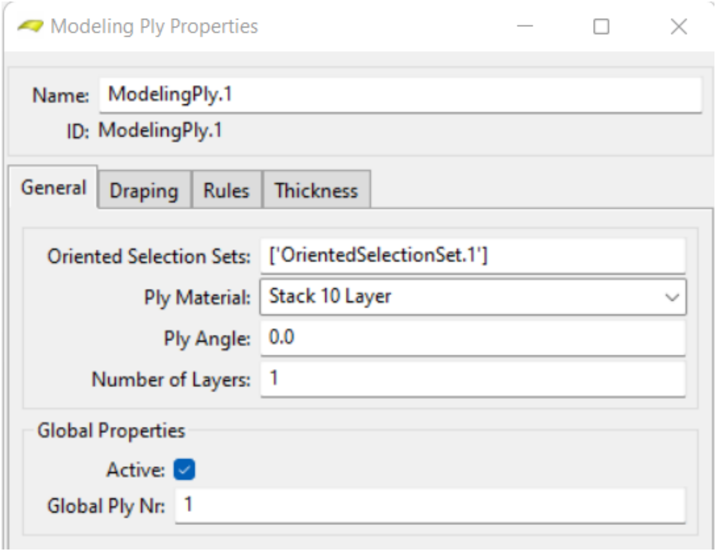


Gambar 3.29 *Oriented Selection Sets Properties*

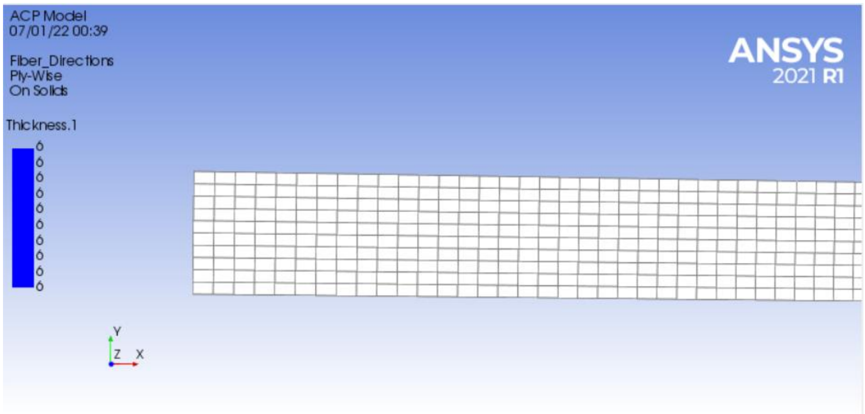


Gambar 3.30 Pemodelan *Oriented Selection Sets*

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 6 mm.

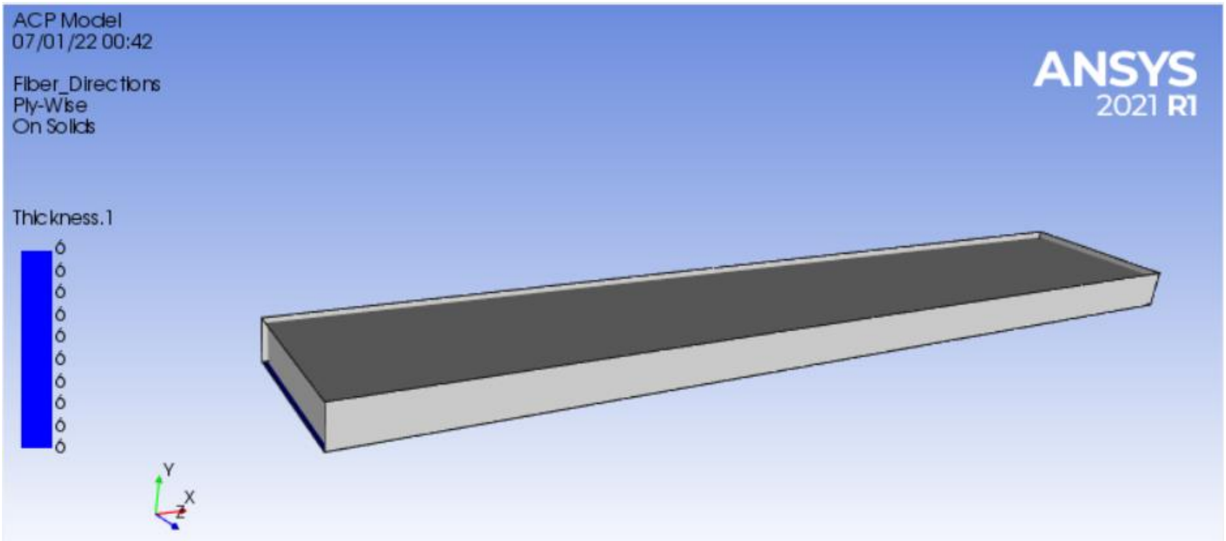


Gambar 3.31 *Modelling Ply Properties*

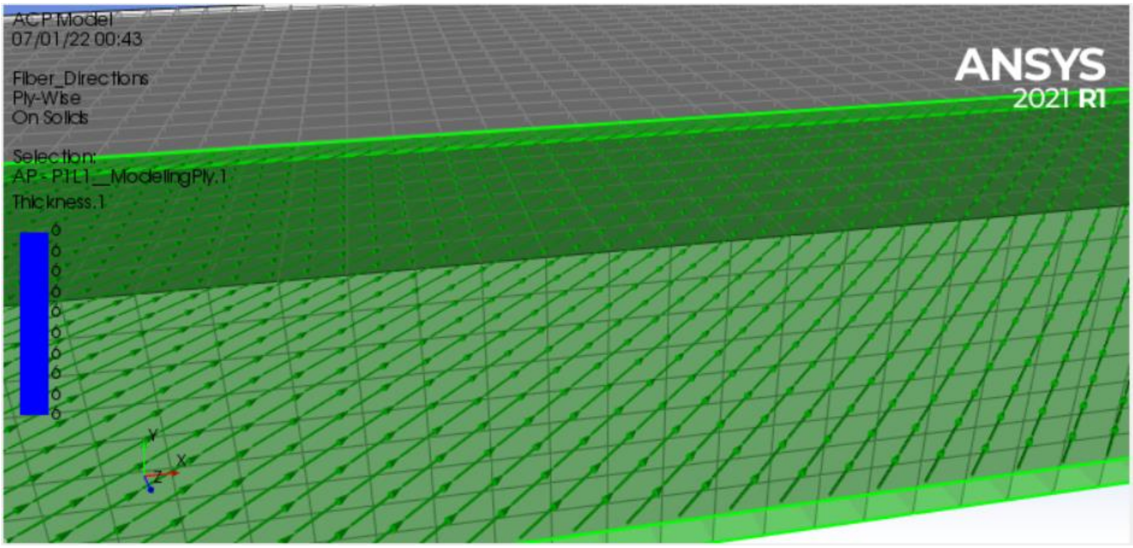


Gambar 3.32 Pemodelan Total Lapisan yang Digunakan

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. Berikut adalah hasil pemodelannya.



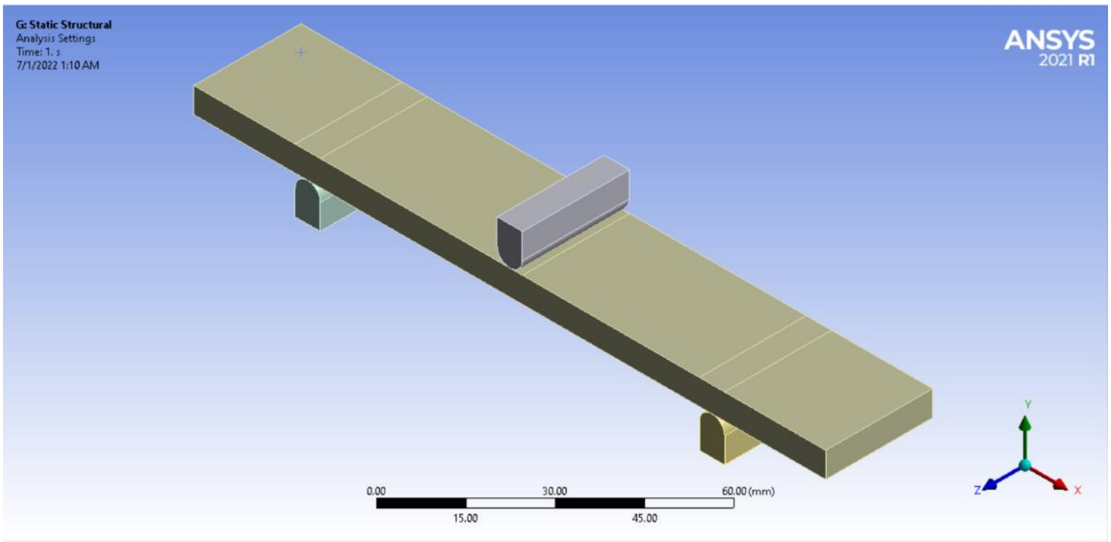
Gambar 3.33 *Solid Model*



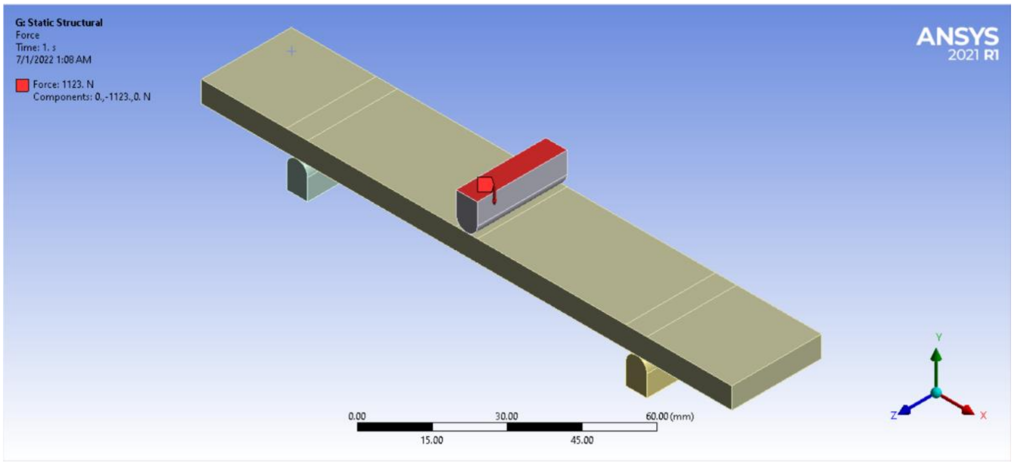
Gambar 3.34 Arah Orientasi pada Tumpukan ke-1 Lapisan ke-1

3.9.5 Pengujian Three Point Bending

Pengujian komposit dengan metode *three point bending* akan dilakukan menggunakan fitur ANSY *Static Structural*. Tahap awal yaitu menentukan jenis pembebanan yang akan dilakukan. Pada pengujian three point bending, pada prinsipnya akan menguji sampai spesimen mengalami kegagalan agar mengetahui kekuatan maksimumnya. Oleh karena itu pembebanan dilakukan sampai spesimen mengalami kegagalan. Beban yang dimasukkan dalam satuan Newton.

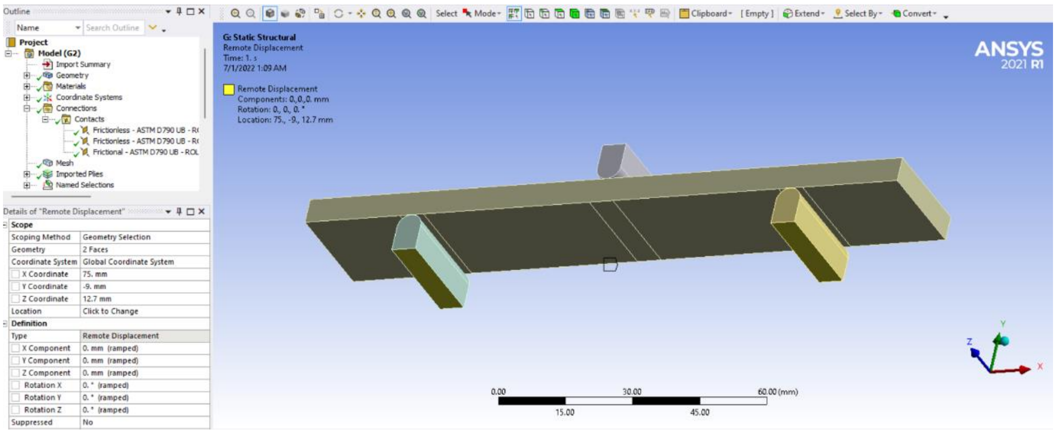


Gambar 3.35 Pemodelan Akhir *Three Point Bending*



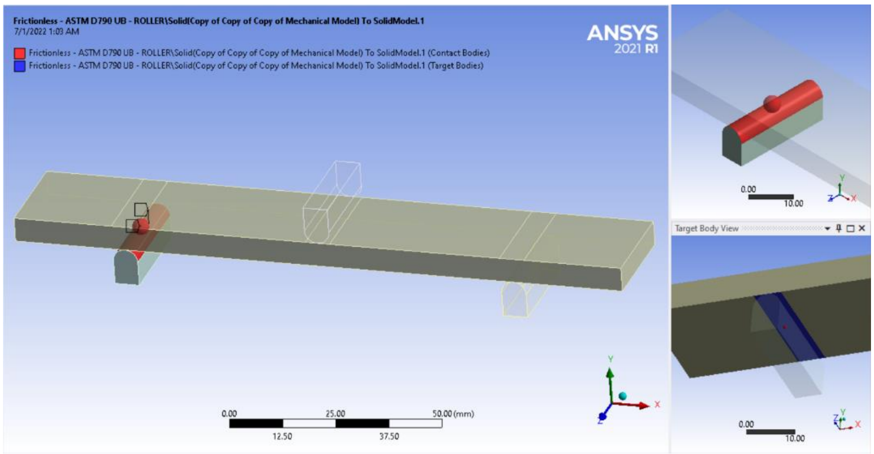
Gambar 3.36 Pembebanan *Three Point Bending*

Selanjutnya adalah menentukan jenis support yang digunakan. Untuk kedua roller, jenis supportnya adalah *Fixed Support* dengan penentuan perpindahan sebesar 0 mm pada sumbu x,y, dan z.

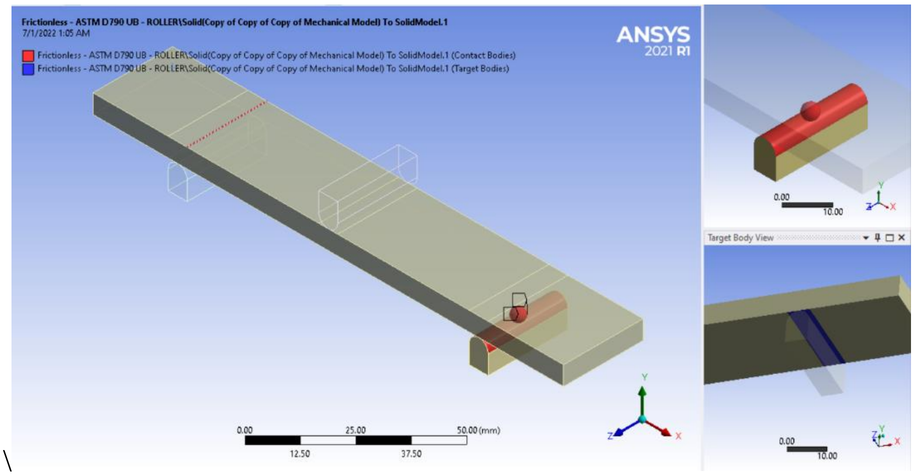


Gambar 3.37 Penentuan Jenis *Support*

Lalu setelah penentuan jenis support, pada penelitian ini juga mentukan jenis kontak yang akan digunakan. Jenis kontak yang digunakan adalah Frictionless atau tanpa gesekan pada ketiga *roller* karena untuk menciptakan kondisi seperti pengujian pada keadaan sebenarnya.

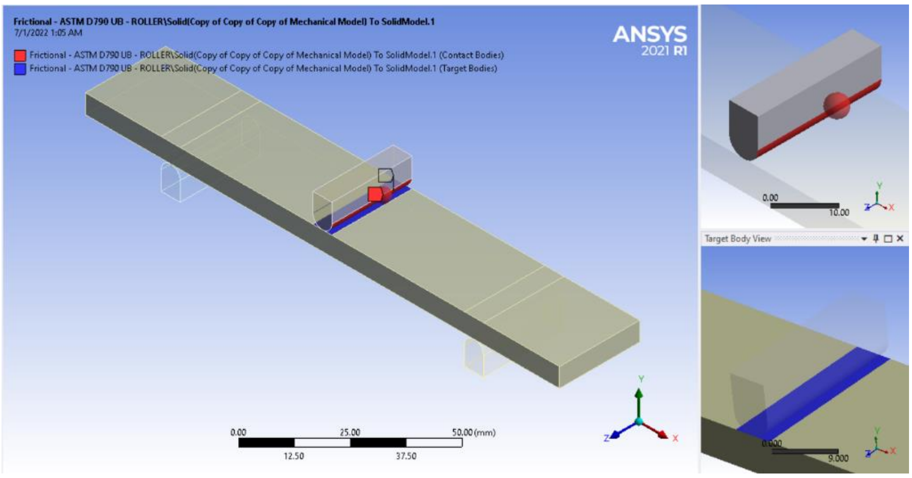


Gambar 3.38 Penentuan Jenis Kontak Support 1



\

Gambar 3.39 Penentuan Jenis Kontak Support 2



Gambar 3.40 Penentuan Jenis Kontak Roller Penekan

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Simulasi Uji *Three Point Bending* Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy

Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari setiap variasi dan menemukan kombinasi fraksi volume dan orientasi arah serat paling optimum yang bisa digunakan pada material komposit Sisal fiber/Epoxy. Dari setiap variasi akan diperlihatkan hasil berupa *Flexural Stress*, *Shear Stress*, *Total Deformation*, *Flexural Strain*, dan *Flexural* Modulus dari setiap variasi yang dilakukan simulasi. Lalu hasilnya akan dilakukan analisa sebagai berikut.

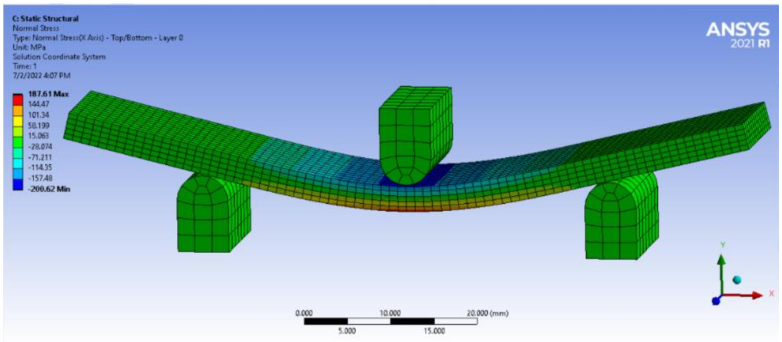
4.1.1 Hasil Simulasi dan Pembahasan Fraksi Volume *Three Point Bending* Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy

Pembebanan yang dilakukan guna mendapatkan nilai standar dari *inverse reserve factor* yang dimiliki material komposit Serat Sisal/Epoxy Resin pada simulasi metode *Three Point Bending*. Setelah didapatkan nilai standar dari *inverse reserve factor*, maka pembebanan simulasi dapat dilanjutkan. Dengan kenaikan fraksi volume pada material maka pembebanan juga akan meningkat hingga mendapatkan hasil *inverse reserve factor*.

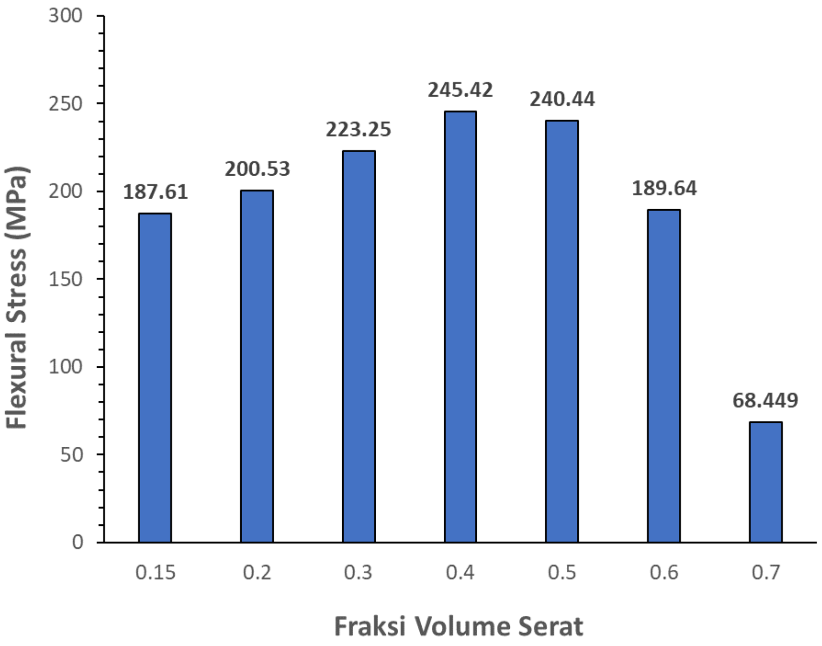
Tabel 4.1 Hasil Simulasi *Three Point Bending* dengan Variasi Fraksi Volume pada Komposit Serat Sisal/Epoxy Resin

Fraksi Volume Sisal/Epoxy							
Fraksi Volume	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
Hasil Eksperimen	204.3	167.7	288.6	-	-	-	-
Beban Aktual	331.9875	272.5125	468.975	-	-	-	-
Beban Simulasi	331.9875	355	395	434	425	335	113
Flexural Stress	187.61	200.53	223.25	245.42	240.44	189.64	68.449
Shear Stress	13.224	14.093	15.64	17.204	16.926	13.445	4.6654
Inverse Reserve	1.8605	1.8659	1.8615	1.8669	1.8678	1.8634	1.8689
Total Deformation	5.8862	6.0223	6.1682	6.2771	5.6929	4.1146	1.4686
Normal Strain	0.044649	0.045626	0.046684	0.047463	0.043226	0.031852	0.010823
Slope of Tangent (m)	56.40098875	58.94757817	64.03813106	69.14020806	74.65439407	81.41739173	76.94402833
Flexural Modulus	4442.662499	4643.255388	5044.234323	5446.121004	5880.469194	6413.185318	6060.821924

Hasil yang didapatkan dari simulasi *Three Point Bending* terhadap komposit Serat Sisal/Epoxy Resin memiliki trend yang relatif meningkat dari fraksi volume 15% hingga fraksi volume 40%. Nilai ini dapat dilihat dari meningkatnya nilai *flexural stress* dimana nilai dari *flexural stress* maksimum yang dimiliki oleh Serat Sisal/Epoxy Resin dengan fraksi volume 40% dengan nilai 245.42 MPa. Trend dari nilai *flexural stress* dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4.1 Hasil Simulai Uji Fraksi Volume *Three Point Bending Flexural stress X Axis*



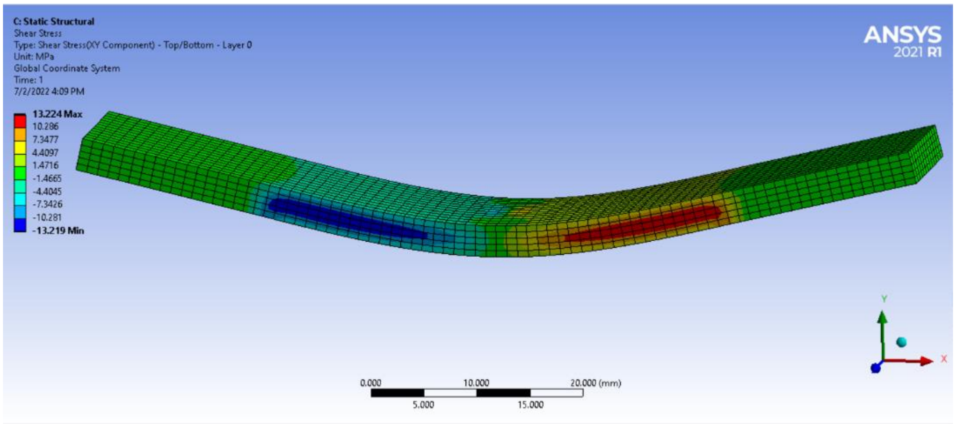
Gambar 4.2 Fl*exural Stress* Serat Sisal/Epoxy pada Simulasi *Three Point Bending*

Dapat dilihat pada Gambar 4.2 bahwa nilai *flexural stress* mengalami kenaikan pada fraksi volume serat 15% sampai dengan fraksi volume serat 40% lalu mengalami penurunan setelah fraksi volume 40% dan mencapai titik terendah pada fraksi volume 70% dengan nilai 68,449 MPa. Nilai *flexural stress* tertinggi dicapai pada fraksi volume 40% dengan nlai sebesar 245,42 MPa.

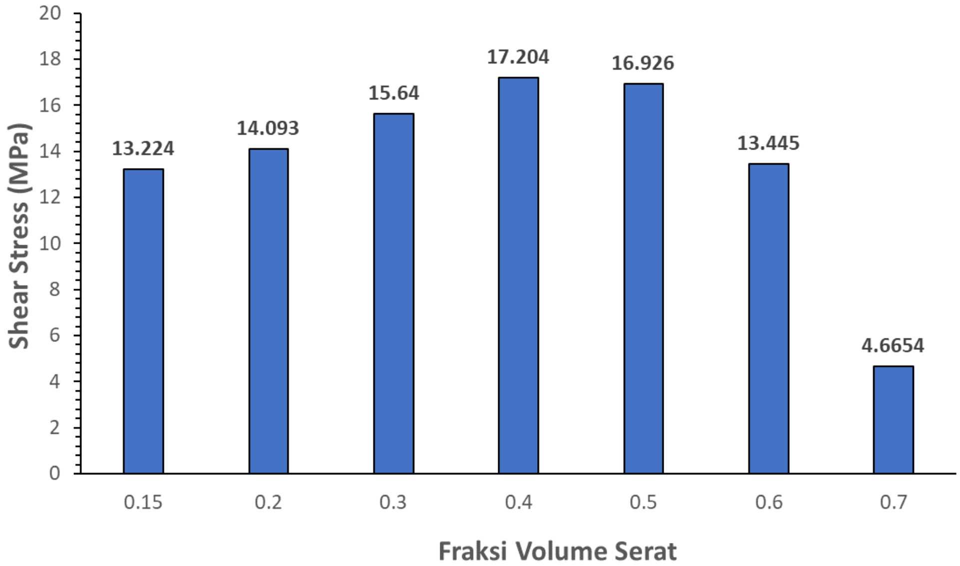
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu penelitian (Gupta & Srivastava, 2014) pada fraksi volume serat 30% memiliki nilai *flexural stress* sebesar 288,6 MPa, pada simulasi didapatkan nilai sebesar 223,25 MPa sehingga memiliki nilai *error* sebesar 22,64%. Lalu berdasarkan penelitian (Bisanda & Ansell, 1991) pada fraksi volume serat 40% memiliki nilai *flexural stress* sebesar 266,5 MPa, pada simulasi didapatkan nilai sebesar 245.42 MPa sehingga memiliki nilai *error* sebesar 7,91%. Pada penelitian (Ratna Prasad & Mohana Rao, 2011) pada fraksi volume serat 40% memiliki nilai *flexural stress* sebesar 99,5 MPa, pada simulasi didapatkan nilai sebesar 245,42 MPa sehingga memiliki nilai *error* di atas 30%.

Perbedaan nilai *flexural stress* simulasi terhadap penelitian terdahulu terjadi karena terdapat perbedaan ukuran spesimen pengujian terhadap simulasi yang dilakukan. Karena pada standar ASTM D790 tidak terdapat ukuran pasti mengenai pengujian spesimen untuk *three point bending*. Pada standar tersebut terdapat rasio jarak support/*span* terhadap ketebalan spesimen pengujian atau biasa disebut *span to thickness ratio*. Pada penelitian (Gupta & Srivastava, 2014) dan (Bisanda & Ansell, 1991), pengujian spesimen *three point bending* untuk komposit sisal menggunakan *span to thickness ratio* sebesar 16:1. Oleh karena itu pada hasil simulasi dibandingkan dengan penelitian tersebut memiliki perbedaan yang tidak cukup jauh karena menggunakan rasio yang sama. Sedangkan pada penelitian (Ratna Prasad & Mohana Rao, 2011) pengujian spesimen *three point bending* untuk komposit sisal menggunakan *span to thickness ratio* sebesar 21:1. Oleh karena itu pada hasil simulasi dibandingkan dengan penelitian tersebut memiliki perbedaan yang cukup jauh karena menggunakan rasio berbeda dan spesimennya lebih lebar sehingga penampang semakin luas. Berdasarkan persamaan flexural stress pada standar ASTM D790, semakin luas penampang spesimen maka nilai flexural stress semakin kecil.

Setelah flexural stress, simulasi *Three Point Bending* yang telah dilakukan menghasilkan nilai *shear stress* dari komposit Serat Sisal-Epoxy Resin. Trend dari *shear stress* pada komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dapat dilihat pada gambar berikut ini.



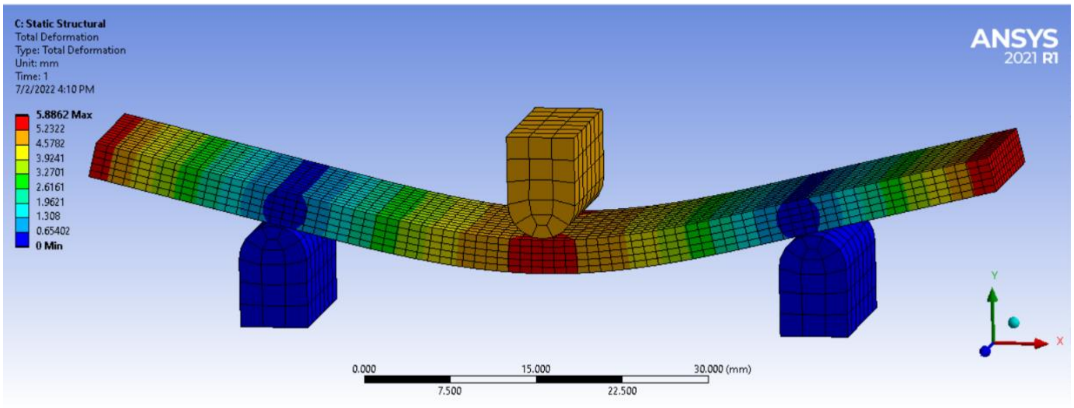
Gambar 4.3 Hasil Simulai Uji Fraksi Volume *Three Point Bending Shear Stress XY Axis*



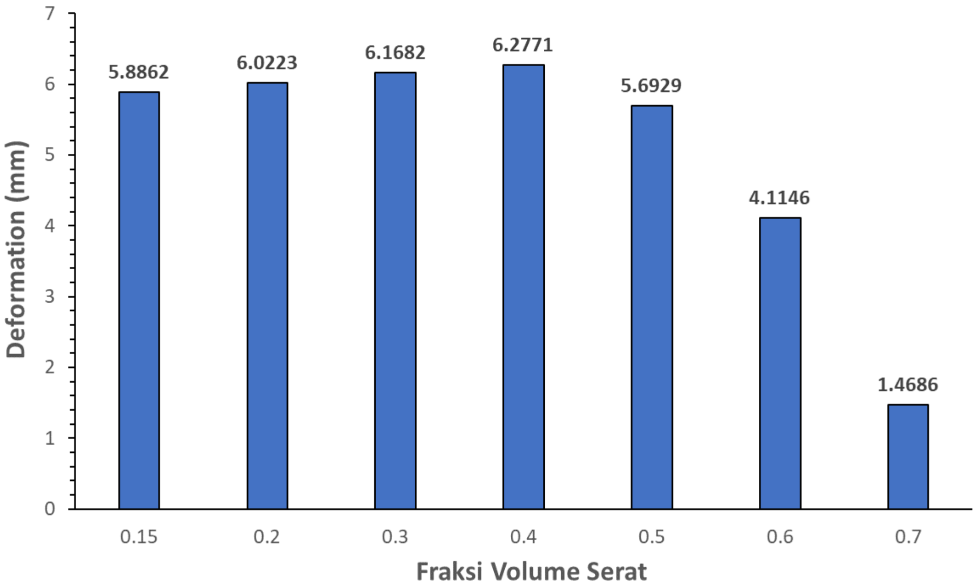
Gambar 4.4 *Shear Stress* Serat Sisal/Epoxy pada Simulasi *Three Point Bending*

Dapat dilihat pada Gambar 4.4 nilai *shear stress* maksimum yang dimiliki oleh komposit Serat Sisal-Epoxy Resin adalah 17,204 MPa yang terdapat pada fraksi volume 40% dan nilai *shear stress* minimum yang dimiliki oleh Serat Sisal-Epoxy Resin adalah 4,6654 MPa yang terdapat pada fraksi volume 70%. Trend yang dimiliki hasil simulasi *shear stress* menyerupai trend yang dimiliki oleh hasil simulasi *flexural stress* dengan nilai maksimum dan minimum berada pada fraksi volume yang sama yaitu 40% dan 70%.

Selanjutnya, *flexural properties* yang didapatkan dari hasil simulasi *three point bending* adalah nilai *total deformation* atau total deformasi pada material komposit Serat Sisal/Epoxy Resin. Nilai total deformasi menandakan bahwa material yang diujikan memiliki sifat jika nilai deformasi semakin besar maka kekakuan semakin kecil dan sebaliknya jika nilai deformasi semakin kecil maka kekakuan semakin besar.



Gambar 4.5 Hasil Simulai Uji Fraksi Volume *Three Point Bending Total Deformation*



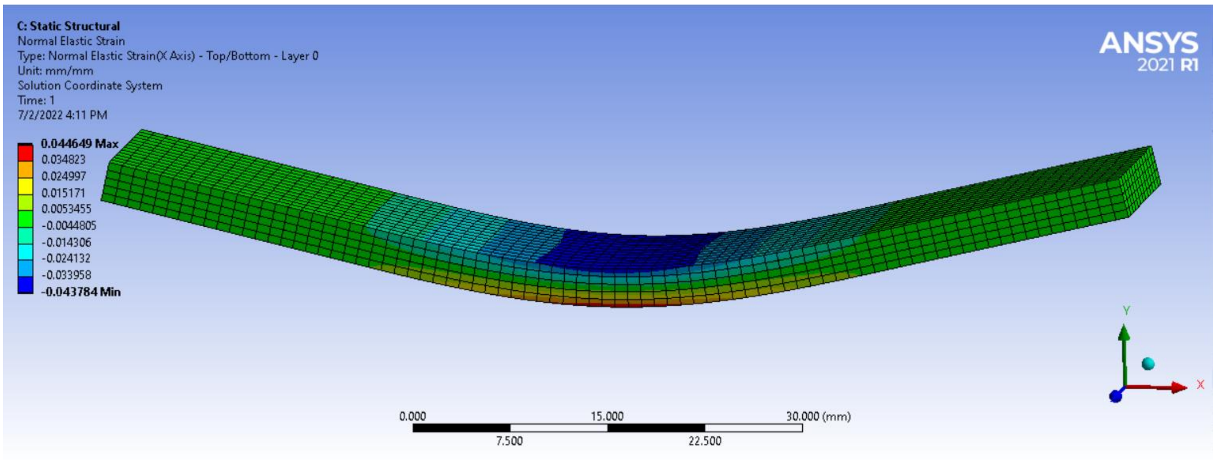
Gambar 4.6 *Deformation* Serat Sisal/Epoxy pada Simulasi *Three Point Bending*

Dapat dilihat pada Gambar 4.6 Serat Sisal/Epoxy Resin berada pada fraksi volume 40% dengan nilai 6,2771 mm sedangkan nilai minimum dari total deformasi dimiliki pada fraksi volume 70% dengan nilai 1,4686 mm. Dari hasil yang didapatkan bahwa komposit Serat Sisal/Epoxy Resin dengan fraksi volume di atas 40% memiliki sifat kekakuan yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan komposit Serat Sisal/Epoxy Resin dengan fraksi volume dibawah 40% yang dimana memiliki sifat sifat kekakuan yang rendah karena nilai deformasi yang tinggi.

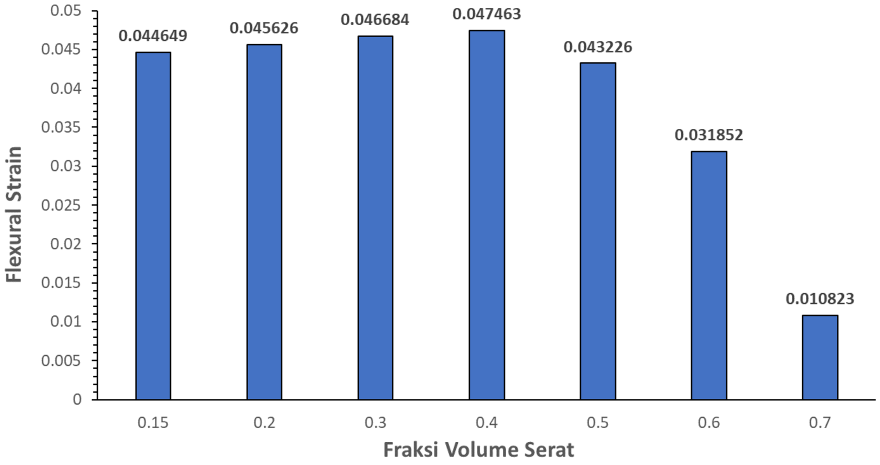
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu penelitian (Gupta & Srivastava, 2014) pada fraksi volume serat 30% memiliki nilai deformasi sekitar 9 mm, pada simulasi didapatkan nilai sebesar 6,1682 mm sehingga memiliki nilai *error* sebesar 31,46%. Pada penelitian (Ratna Prasad & Mohana Rao, 2011) pada fraksi volume serat 40% memiliki nilai nilai deformasi sekitar 6 mm, pada simulasi didapatkan nilai sebesar 6.2771 mms ehingga memiliki nilai *error* di atas 4,62%.

Perbedaan nilai deformasi simulasi terhadap penelitian terdahulu terjadi juga karena terdapat perbedaan ukuran spesimen pengujian terhadap simulasi yang dilakukan. Karena pada standar ASTM D790 tidak terdapat ukuran pasti mengenai pengujian spesimen untuk *three point bending*. Pada standar tersebut terdapat rasio jarak support/*span* terhadap ketebalan spesimen pengujian atau biasa disebut *span to thickness ratio*. Pada penelitian (Gupta &

Srivastava, 2014), pengujian spesimen *three point bending* untuk komposit sisal menggunakan *span to thickness ratio* sebesar 16:1. Oleh karena itu pada hasil simulasi dibandingkan dengan penelitian tersebut memiliki perbedaan yang tidak cukup jauh karena menggunakan rasio yang sama. Sedangkan pada penelitian (Ratna Prasad & Mohana Rao, 2011) pengujian spesimen *three point bending* untuk komposit sisal menggunakan *span to thickness ratio* sebesar 21:1. Dengan melakukan pendekatan dengan rumus defleksi pada persamaan 2.8, regangan yang dialami atau simulasi besarnya adalah 0,047463 maka didapatkan nilai deformasi sebesar 6,075 mm sebagai batas bawah dan dengan memasukkan regangan sebesar 0,05 sebagai regangan maksimum sesuai standar ASTM D790, maka didapatkan nilai deformasi sebesar 6,4 mm sebagai batas atas. Nilai deformasi yang didapatkan pada simulasi yaitu 6,2771 mm sudah termasuk dalam rentang tersebut sehingga spesimen mengalami kegagalan.



Gambar 4.7 Hasil Simulai Uji Fraksi Volume *Three Point Bending Flexural strain X Axis*



Gambar 4.8 *Flexural strain* Serat Sisal/Epoxy Resin pada Simulasi *Three Point Bending*

Selanjutnya, *flexural properties* yang dihasilkan dari simulasi *three point bending* adalah *flexural strain*. Berikut ini adalah tren hasil *flexural strain* dari simulasi *three point bending* dan cukup mirip dengan tren pada grafik *deformation*. Dapat dilihat pada Gambar 4.8 hasil dari *flexural strain* menunjukan bahwa regangan yang terjadi pada pengujian *three point bending*. Hasil *flexural strain* yang lebih besar menunjukan bahwa regangan yang terjadi pada material komposit Serat Sisal/Epoxy Resin semakin besar. Jika nilai *flexural strain* menunjukan nilai yang besar maka dapat ditarik kesimpulan bahwa material memiliki sifat kekakuan yang

rendah jika dibandingkan dengan nilai *flexural strain* yang lebih kecil dikarenakan memilliki kekakuan tinggi. Dari hasil yang didapatkan dapat diperhatikan nilai *flexural strain* maksimum berada pada fraksi volume 40% dengan nilai 0,047463 sedangkan nilai *flexural strain* minimum berada pada fraksi volume 70% dengan nilai 0,010823. Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa fraksi volume 40% memiliki sifat kekakuan yang rendah jika dibandingkan dengan fraksi volume lainnya lalu fraksi volume 70% memiliki sifat yang lebih getas jika dibandingkan dengan fraksi volume lainnya.

Dari hasil simulasi yang telah didapatkan dengan metode pengujian *three point bending*, maka dapat dilakukan perhitungan dari *flexural modulus* guna mendapatkan rasio perbandingan dari *flexural stress* dan *flexural strain*. Berikut ini adalah contoh perhitungan untuk mendapatkan nilai *flexural modulus* pada Serat Sisal/Epoxy Resin variasi fraksi volume 15%.
Mencari nilai slope of tangent (m)

$$m = \frac{P}{D}$$

$$m = \frac{331{,}9875}{5{,}8862}$$

$$m = 56{,}4$$

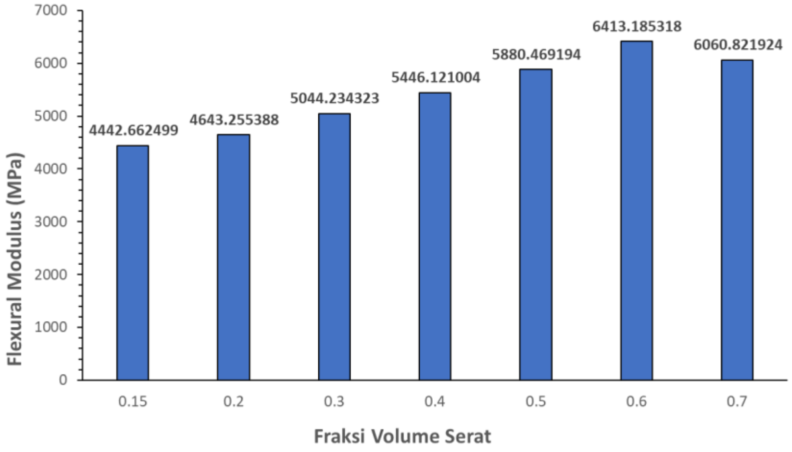
Mencari nilai *Flexural Modulus* (E_B)

$$E_B = \frac{L^3 x\, m}{4\, x\, b\, x\, h^3}$$

$$E_B = \frac{48^3\ x\ 56{,}4}{4\ x\ 13\ x\ 3^3}$$

$$E_B = 4442{,}66 \text{ MPa}$$

Berdasarkan persamaan di atas maka dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai dari *flexural modulus* pada setiap fraksi volume yang digunakan. Berikut ini adalah hasil tren dari *flexural modulus*.



Gambar 4.9 *Flexural Modulus* Serat Sisal/Epoxy Resin pada Simulasi *Three Point Bending*

Dapat dilihat pada Gambar 4.9, hasil yang didapatkan berdasarkan simulasi pengujian *Three Point Bending*, tren nilai dari flexural modulus yang semakin naik dari fraksi volume 15-60% dan pada akhirnya turun pada fraksi volume 70%. Nilai *flexural modulus* yang dimiliki material komposit Serat Sisal/Epoxy Resin naik secara bertahap dengann jarak yang cukup sama pada fraksi 10-50%. Lalu nilai flexural modulus tertinggi dicapai pada fraksi volume 60% dengan besar nilai 6413,185 MPa dan turun pada fraksi volume 70% dengan nilai 6060,821 MPa. Nilai flexural modulus terkecil yaitu pada saat fraksi volume 15 % dengan nilai 4442,662 MPa. Hal ini terjadi dikarenakan seiring penambahan fraksi volume, jumlah fiber yang berada pada komposit menjadi bertambah banyak dan membuat material komposit Serat Sisal/Epoxy Resin menjadi lebih kuat namun jika fraksi volume Serat Sisal/Epoxy Resin melebihi titik optimum dengan matriksnya maka akan terjadi penurunan dari segi kekuatan komposit.

Peningkatan fraksi volume juga berpengaruh kepada peningkatan nilai kekakuan material komposit Serat Sisal/Epoxy Resin. Pada saat fraksi volume serat 40% material komposit Serat Sisal/Epoxy Resin memiliki kekakuan yang lebih rendah atau kelenturan yang tinggi dikarenakan memiliki total deformasi tertinggi dan regangan tertinggi sedangkan pada titik fraksi volume 70% material komposit Serat Sisal/Epoxy Resin memiliki kekakuan yang lebih tinggi atau kelenturan yang rendah dikarenakan memiliki total deformasi terendah dan regangan terendah oleh jumlah serat yang lebih dominan pada komposit tersebut. Material dengan fraksi volume tinggi memiliki ketahanan yang lebih minim terhadap shear stress sehingga kegagalan material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin fraksi volume lebih dari 40% dikarenakan adanya shear stress yang terjadi pada spesimen komposit Serat Sisal/Epoxy Resin. Maka dari itu dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai fraksi volume terbaik yang dimiliki oleh material komposit Serat Sisal/Epoxy Resin adalah 40%.

4.1.2 Hasil Simulasi dan Pembahasan Orientasi Arah Serat *Three Point Bending* Material Komposit Sisal Fiber/Epoxy

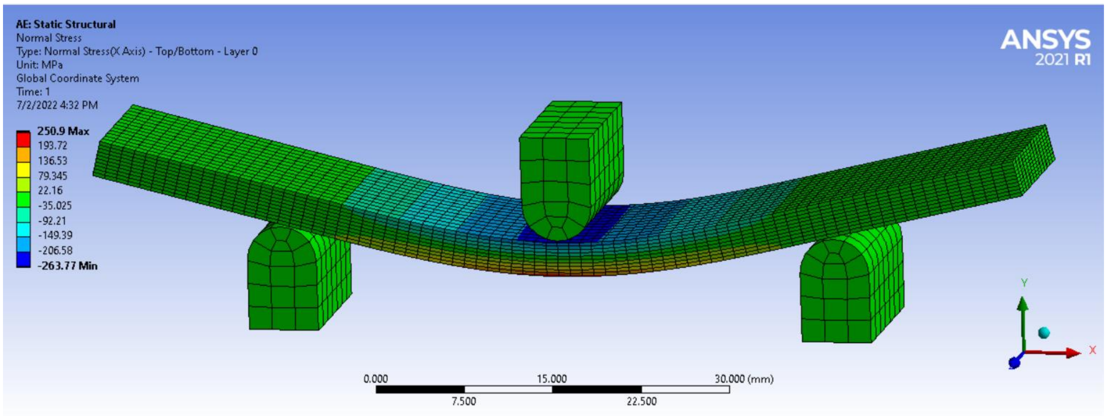
Orientasi arah sudut serat pada suatu komposit dapat membuat material menjadi lebih kuat atau bahkan membuat material komposit menjadi melemah. Orientasi arah serat tentunya dapat menjadi variasi guna mendapatkan hasil sudut terbaik yang dapat diaplikasikan pada suatu komposit dan akan menghasilkan variasi komposit yang lebih baik dari sebelumnya. Pada penelitian kali ini *layer* yang digunakan pada material komposit Serat Sisal/Epoxy Resin berjumlah sebesar 10 dengan ketebalan layer sebesar 0,3 mm.

Dengan adanya jumlah layer, maka penentuan sudut yang akan digunakan dapat dilakukan. Variasi utama dari sudut yang digunakan didapatkan dari jurnal penelitian terdahulu dimana akan digunakan empat jenis sudut yaitu 0°, 45°,-45, 90°, dan divariasikan menjadi sepuluh jenis variasi seperti pada tabel 4.4. Variasi orientasi arah sudut serat diaplikasikan pada material komposit Serat Sisal/Epoxy Resin dengan fraksi volume terbaik yaitu 40% agar mendapatkan material komposit Serat Sisal/Epoxy Resin terbaik.

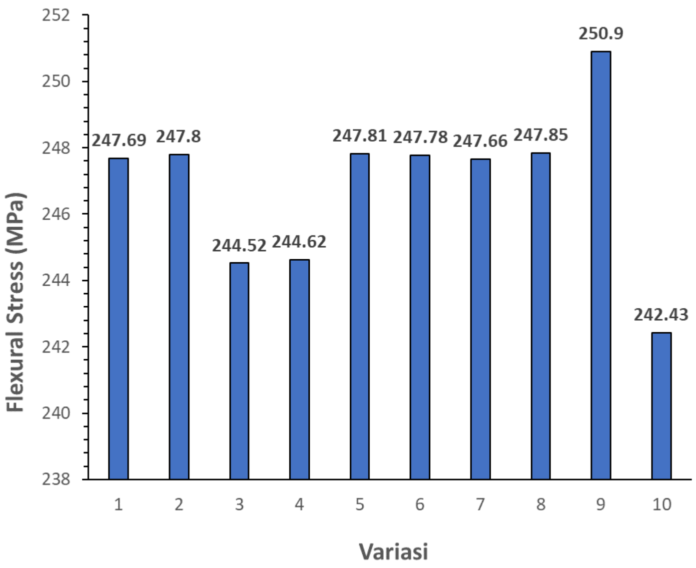
Tabel 4.2 Hasil Simulasi *Three Point Bending* dengan Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Komposit Serat Sisal/Epoxy Resin

Variasi	Sudut	Flexural Stress (Mpa)	Shear Stress (Mpa)	Deformation (mm)	Strain	Flexural Modulus (Mpa)	Inverse Factor
1	[0]10	247.69	18.466	6.2753	0.047652	5447.683163	1.8869
2	[0 (4) /45 (2) /0 (4)]	247.8	18.485	6.2788	0.047676	5444.646454	1.8878
3	[45 (2)/ 0 (2)/ 45(2)/ 0 (2)/ 45 (2)]	244.62	19.787	6.6695	0.050204	5125.698501	4.172
4	[-45 (2)/ 0 (2)/ 45(2)/ 0 (2)/ -45 (2)]	244.62	19.763	6.6688	0.050203	5126.236527	4.1857
5	[45]10	247.81	20.218	6.7827	0.05091	5040.153059	4.2642
6	[-45 (2)/ 45 (2)/ -45(2)/ 45 (2)/ -45 (2)]	247.78	19.739	6.7651	0.050894	5053.265459	4.1963
7	[45 (2)/ -45 (2)/ 0 (2)/ -45 (2)/ 45 (2)]	247.66	19.73	6.7607	0.050866	5056.554226	4.1931
8	[0 (4)/ 90 (2)/ 0 (4)]	247.85	18.424	6.2795	0.047685	5444.039518	1.8881
9	[0 (2)/ 45 (2)/ 90 (2)/ -45 (2)/ 0 (2)]	250.9	18.595	6.3728	0.048313	5364.336893	1.912
10	[90 (2)/ 0 (2)/ 90 (2)/ 0 (2)/ 90 (2)]	242.43	18.569	6.7197	0.050833	5087.406604	9.4847

Pada variasi orientasi arah sudut serat, indikator sudut tersebut termasuk sudut terbaik adalah dari flexural stress yang lebih tinggi yang dimiliki oleh material tersebut. Semakin besar nilai dari *flexural stress* maka variasi material komposit memiliki ketahanan yang baik. Berikut ini adalah trend dari hasil *flexural stress* berdasarkan simulasi *three point bending* yang dilakukan.

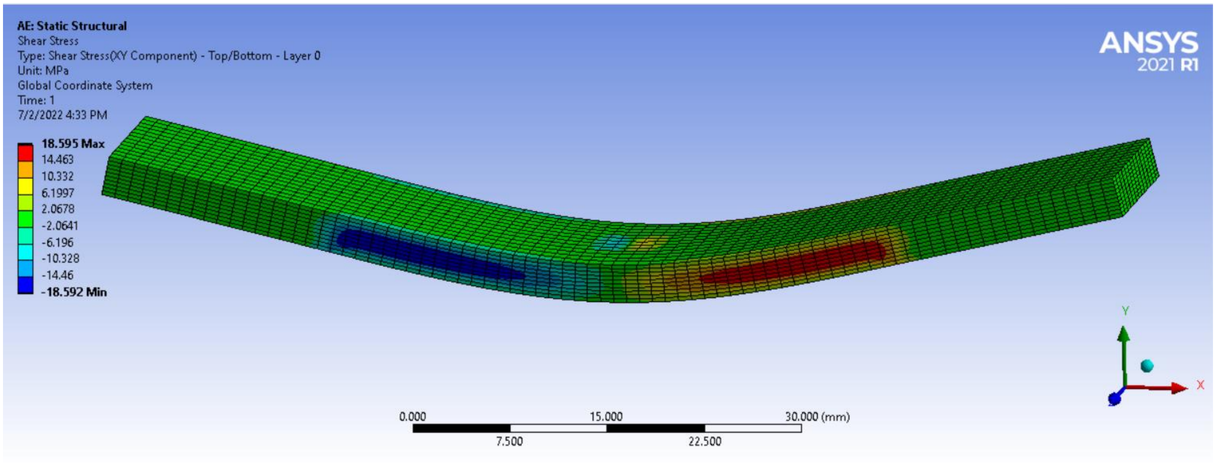


Gambar 4.10 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] *Three Point Bending Flexural stress X Axis*

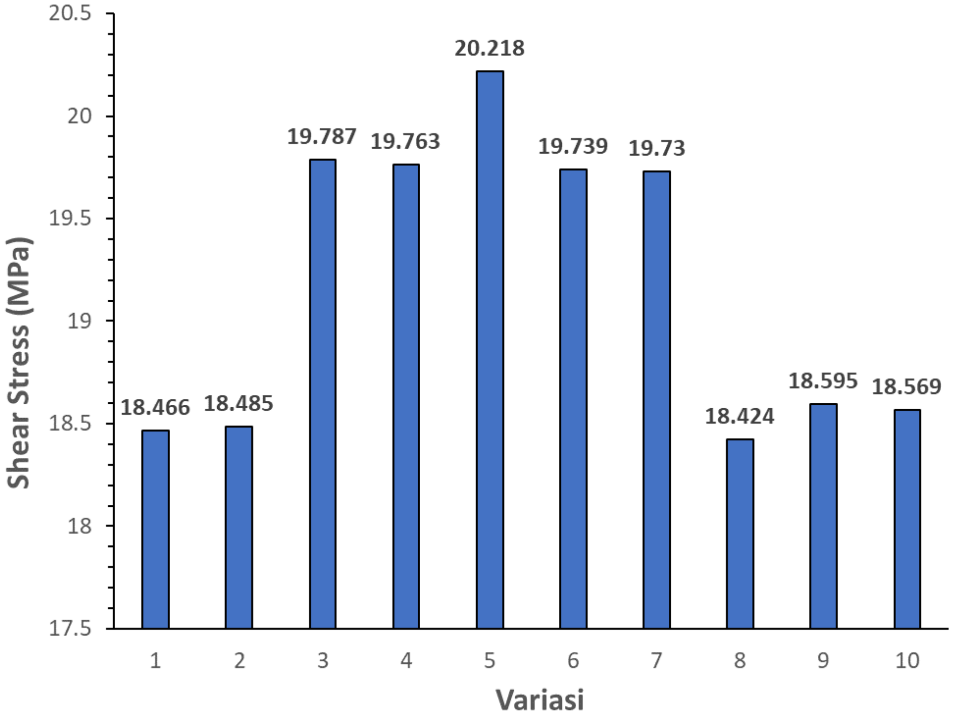


Gambar 4.11 *Flexural Stress* Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending*

Berdasarkan hasil *flexural stress* yang telah didapatkan maka dapat ditarik kesimpulan variasi orientasi arah sudut serat yang memiliki ketahanan terhadap *flexural stress* terbaik dimiliki oleh variasi sudut [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] dengan nilai *flexural stress* sebesar 250,9 MPa sedangkan nilai *flexural stress* terendah yang dihasilkan pada variasi ini terdapat pada sudut [(90°)2/(0°)2/(90°)2/(0°)2/(90°)2] dengan nilai *flexural stress* sebesar 242,43 MPa. Selanjutnya, hasil dari *shear stress* yang dihasilkan dari simulasi *three point bending* untuk variasi orientasi arah sudut serat dapat diperhatikan pada grafik berikut ini.

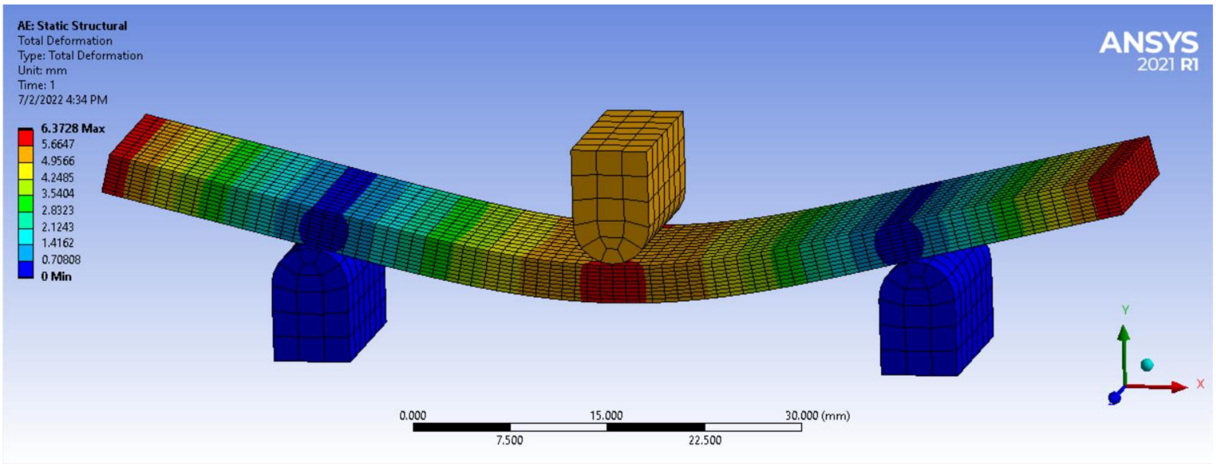


Gambar 4.12 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] *Three Point Bending Shear Stress X Axis*

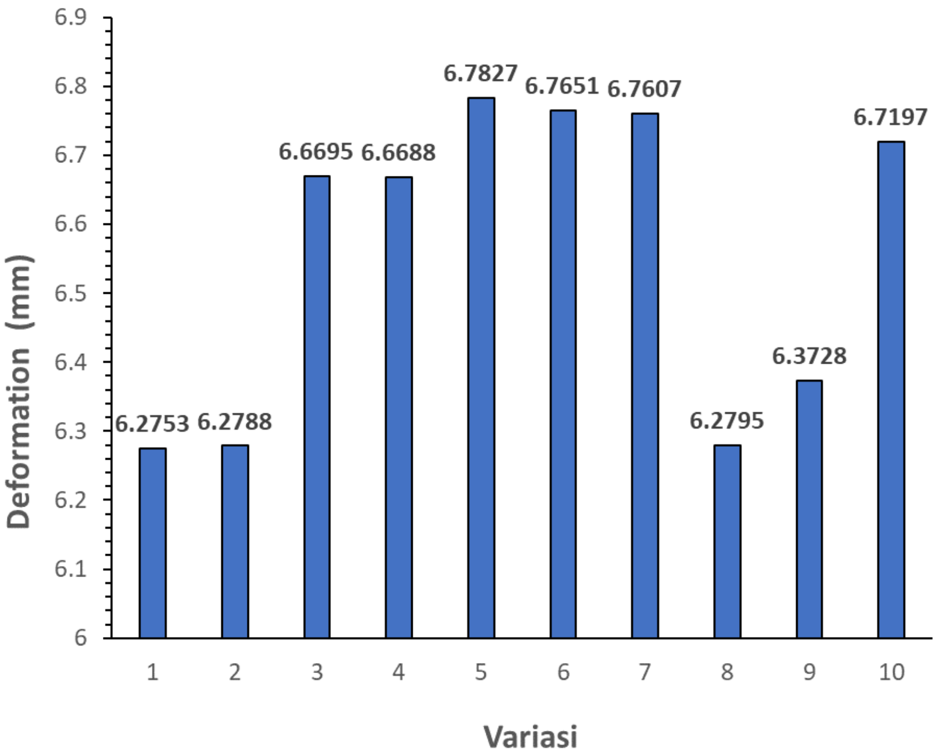


Gambar 4.13 *Shear Stress* Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending*

Dapat diperhatikan dari grafik diatas, nilai *shear stress* maksimum yang dihasilkan dari simulasi *three point bending* berada pada variasi sudut [(45°)10] dengan nilai *shear stress* sebesar 20,218 MPa sedangkan nilai *shear stress* minimum yang dihasilkan dari simulasi *three point bending* berada pada variasi sudut [(0°)4/(90°)2/(0°)4] dengan nilai *shear stress* sebesar 18,424 MPa. Nilai *shear stress* yang tinggi menandakan bahwa variasi sudut dapat menahan *shear stress* yang terjadi pada material komposit Serat Sisal/Epoxy Resin. Peningkatan *shear stress* dapat memberikan dampak buruk kepada spesimen dikarenakan dapat menyebabkan kegagalan pada material komposit Serat Sisal/Epoxy Resin. Hasil selanjutnya adalah deformasi spesimen pada lokasi *mid-span*.

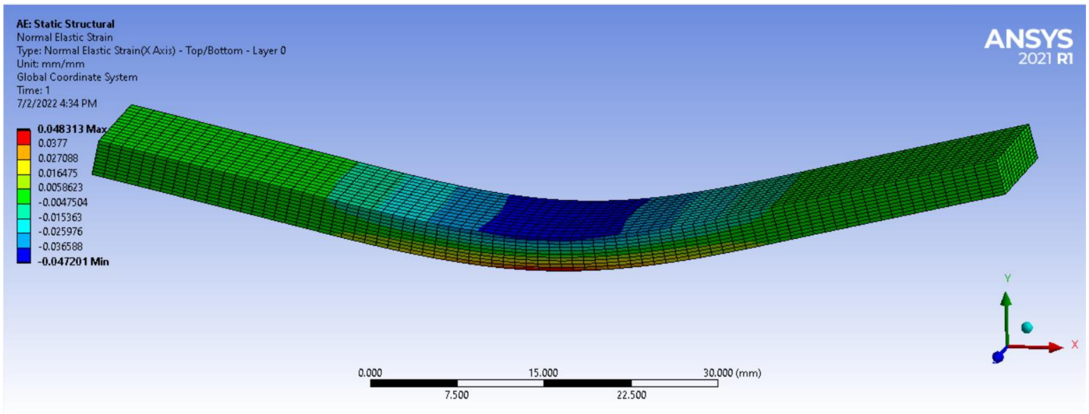


Gambar 4.14 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] *Three Point Bending Total Deformation*

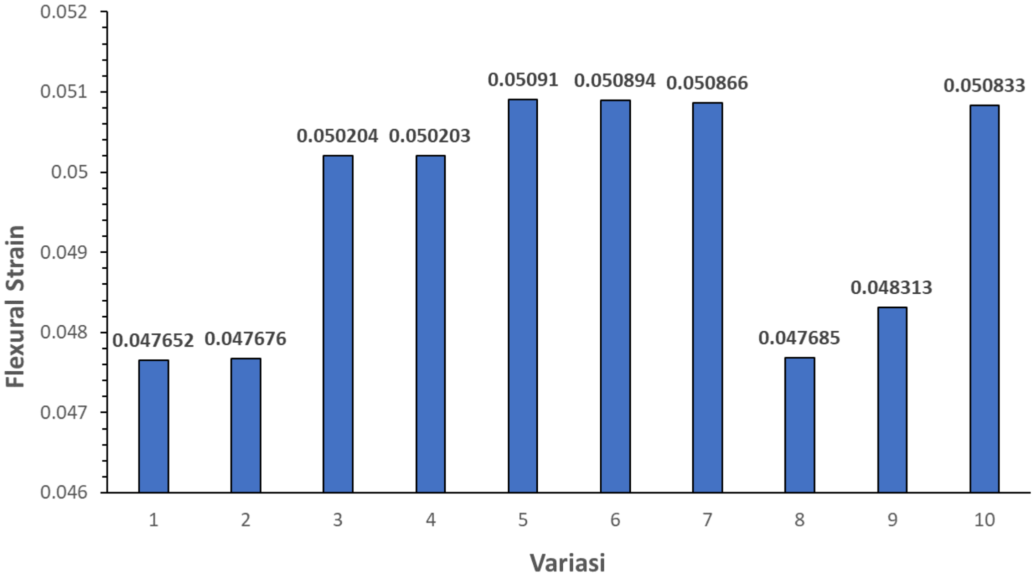


Gambar 4.15 *Deformation* Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending*

Nilai total deformasi yang dihasilkan tidak menunjukan perbedaan yang signifikan dikarenakan memiliki range yang kurang lebih sama. Hasil maksimum dari nilai total deformasi terdapat pada variasi sudut [(45°)10] dengan nilai 6,7827 mm dan hasil minimum terdapat pada variasi sudut [(0°)10] dengan nilai 6,2753 mm. Dari hasil tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi sudut [(45°)10] memiliki sifat material yang lebih lentur dikarenakan memiliki nilai total deformasi tertinggi sedangkan variasi sudut [(0°)10] memiliki sifat material yang lebih kaku dibandingkan dengan variasi sudut yang lainnya. *Flexural properties* selanjutnya yang didapatkan adalah nilai dari *flexural strain*, berikut ini adalah grafik hasil simulasi *three point bending* untuk nilai *flexural strain*.

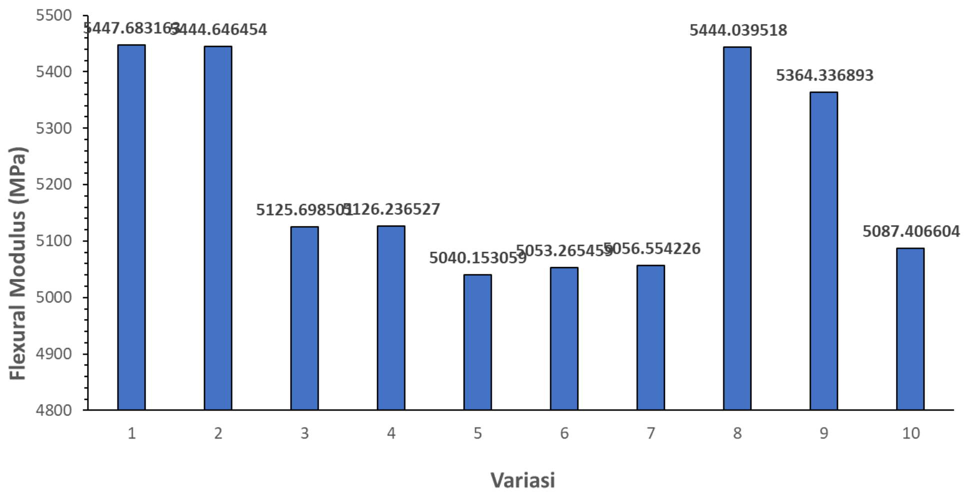


Gambar 4.16 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] *Three Point Bending Flexural strain X Axis*



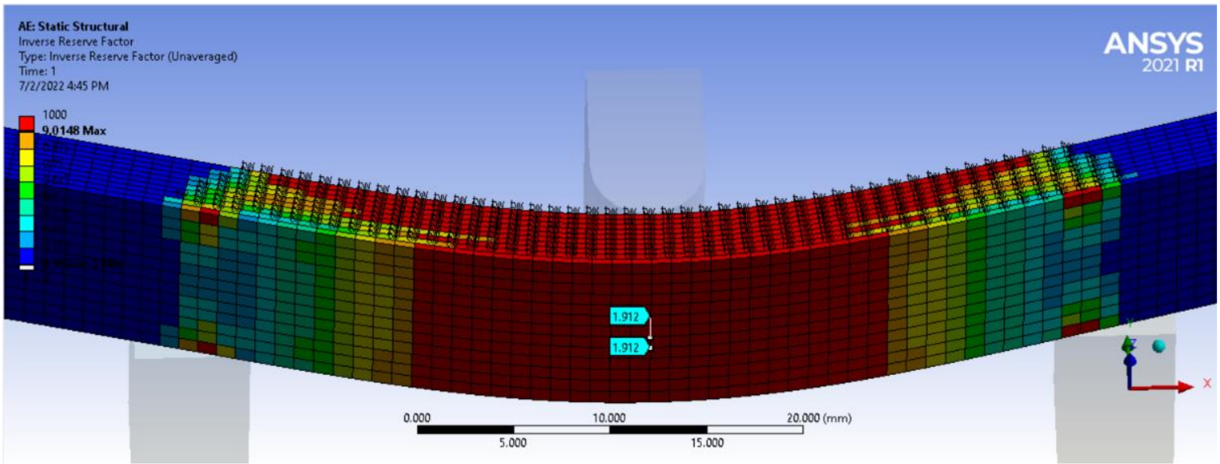
Gambar 4.17 *Flexural strain* Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending*

Dari hasil yang didapatkan setelah melakukan simulasi *three point bending* material komposit Serat Sisal/Epoxy Resin, nilai maksimum dari *flexural strain* berada pada variasi [(45°)10] dengan nilai 0,05091 sedangkan nilai minimum berada pada variasi [(0°)10] dengan nilai 0,047652. Hasil dari *flexural strain* menunjukan kekakuan dari material yang diuji dan nilai yang dihasilkan memiliki tren sama dengan hasil total deformasi. Maka dapat ditarik kesimpulan nilai *flexural strain* atau regangan menunjukan sifat kekakuan material yang diujikan, dengan meningkatnya nilai *flexural strain* maka material dapat dikatakan memiliki sifat material yang lebih lentur. Oleh karena itu, berdasarkan hasil yang didapatkan, variasi sudut [(45°)10] memiliki sifat material yang lebih lentur dan variasi sudut [(0°)10] memiliki sifat material yang kaku. Selanjutnya, *flexural properties* yang dihasilkan dari data hasil simulasi adalah *flexural modulus* yang dihasilkan dengan perhitungan manual dengan persmaan flexural modulus, berikut ini adalah plot grafik dari hasil perhitungan *flexural modulus*.

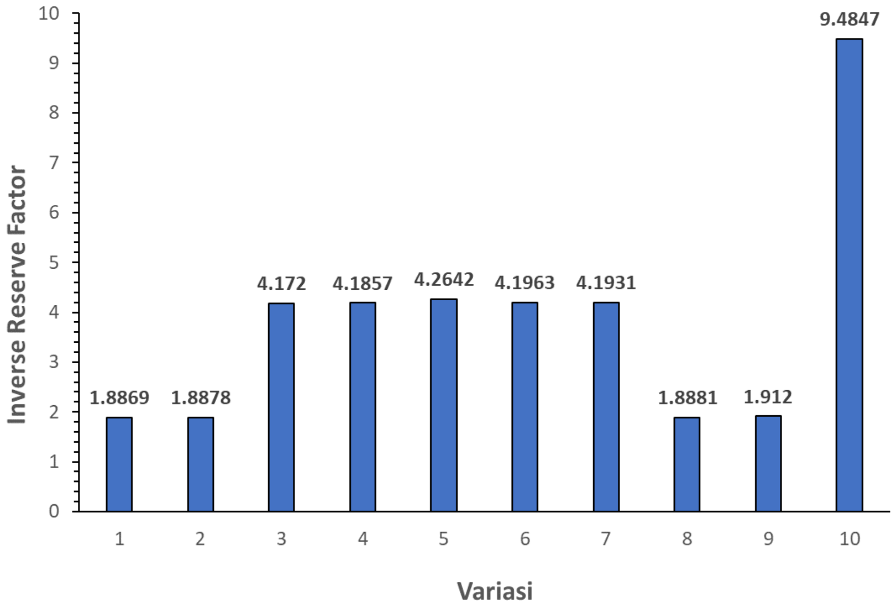


Gambar 4.18 *Flexural Modulus* Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending*

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan nilai dari *flexural modulus* maka dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai maksimum *flexural modulus* dimiliki oleh variasi sudut [(0°)10] dengan nilai 5447,683 MPa sedangkan nilai minimum dimiliki oleh variasi sudut [(45°)10] dengan nilai 5040,153 MPa. Hasil dari *flexural modulus* menyatakan bahwa jika nilai semakin besar deformasi atau regangan maka nilai dari *flexural modulus* akan menurun begitu pula sebaliknya. Maka dari itu variasi sudut [(0°)10] memiliki nilai *flexural modulus* tertinggi sedangkan variasi sudut [(45°)10] memiliki nilai terendah. Lalu hasil dari *inverse reserve factor* adalah sebagai berikut.



Gambar 4.19 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] *Three Point Bending Inverse Reserve Factor*



Gambar 4.20 *Inverse Reserve Factor* Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending*

Hasil *inverse reserve factor* yang didapatkan dari simulasi *three point bending* terhadap material komposit Serat Sisal/Epoxy Resin menandakan kegagalan material komposit Serat Sisal/Epoxy Resin. Nilai *inverse reserve factor* menandakan bahwa material komposit mengalami kegagalan. Berdasarkan grafik diatas, didapatkan nilai maksimum dari *inverse reserve factor* sebesar 9,4847 yang terdapat pada variasi [(90°)2/(0°)2/(90°)2/(0°)2/(90°)2] sedangkan nilai minimum dari *inverse reserve factor* dengan nilai sebesar 1,8869 dimiliki oleh variasi [(0°)10]. Dari hasil diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi sudut [(90°)2/(0°)2/(90°)2/(0°)2/(90°)2] mengalami kegagalan material paling besar dan kurang baik dari segi perfoma pengujian *three point bending* untuk Serat Sisal/Epoxy Resin sedangkan variasi sudut [(0°)4/(90°)2/(0°)4] tidak terlalu mengalami kegagalan.

Setelah mendapatkan hasil dari simulasi maka dapat ditentukan variasi orientasi arah sudut serat yang terbaik untuk material komposit Serat Sisal/Epoxy Resin. Penentuan variasi orientasi arah sudut serat terbaik berdasarkan nilai dari *inverse reserve factor* dan nilai dari *flexural stress* yang dihasilkan oleh variasi sudut pada Serat Sisal/Epoxy Resin. Variasi sudut [(0°)10] memiliki kriteria terbaik untuk kedua indikator namun variasi sudut tersebut sudah sangat digunakan secara masal, maka dari itu harus didapatkan variasi sudut lainnya yang memiliki kualitas menyerupai dengan variasi sudut [(0°)10]. Maka dari itu berdasarkan data yang telah didapatkan, dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi sudut [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] memiliki nilai *inverse reserve factor* yang menyerupai dengan variasi sudut [(0°)10] dan nilai *flexural stress* diatas variasi sudut [(0°)10]. Variasi sudut [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] dapat menahan *flexural stress* yang lebih dibandingkan dengan variasi sudut [(0°)10] dan memiliki nilai *inverse reserve factor* yang sedikit lebih besar dibanding kan dengan *inverse reserve factor* variasi [(0°)10].

4.2 Hasil Simulasi Uji *Three Point Bending* Material Komposit Kenaf Fiber/Polyester

Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari setiap variasi dan menemukan kombinasi fraksi volume dan orientasi arah serat paling optimum yang bisa digunakan pada material komposit Kenaf fiber/Polyester. Dari setiap variasi akan diperlihatkan hasil berupa

Flexural Stress, Shear Stress, Total Deformation, Flexural Strain, dan *Flexural* Modulus dari setiap variasi yang dilakukan simulasi. Lalu hasilnya akan dilakukan analisa sebagai berikut.

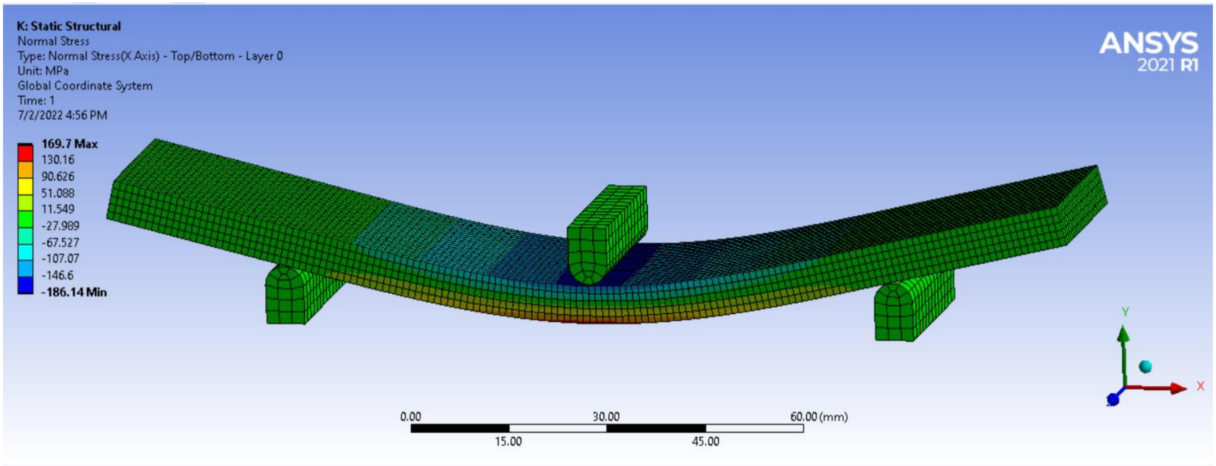
4.2.1 Hasil Simulasi dan Pembahasan Fraksi Volume *Three Point Bending* Material Komposit Kenaf Fiber/Polyester

Pembebanan yang dilakukan guna mendapatkan nilai standar dari *inverse reserve factor* yang dimiliki material komposit Serat Kenaf/Polyester pada simulasi metode *Three Point Bending*. Setelah didapatkan nilai standar dari *inverse reserve factor*, maka pembebanan simulasi dapat dilanjutkan. Dengan kenaikan fraksi volume pada material maka pembebanan juga akan meningkat hingga mendapatkan hasil *inverse reserve factor*.

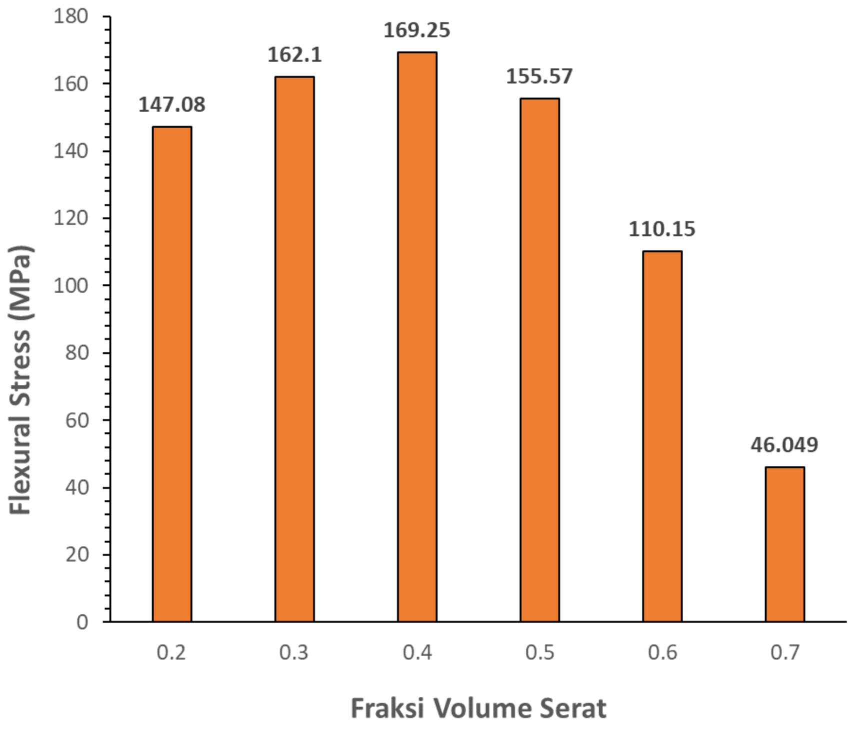
Tabel 4.3 Hasil Simulasi *Three Point Bending* dengan Variasi Fraksi Volume pada Komposit Serat Kenaf/Polyester Resin

Fraksi Volume Kenaf/Polyester						
Fraksi Volume	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
Hasil Eksperimen	153.1	-	-	-	-	-
Beban Aktual	972.185	-	-	-	-	-
Beban Simulasi	972.185	1072	1123	1030	697	294
Flexural Stress	147.08	162.1	169.25	155.57	110.15	46.049
Shear Stress	9.44	10.25	10.623	9.7336	6.6538	2.8225
Inverse Reserve	2.94	2.9416	2.9421	2.9444	2.9479	2.9453
Total Deformation	8.4002	8.3564	7.9859	6.7719	4.5276	1.7748
Normal Strain	0.034034	0.033869	0.032318	0.027	0.017838	0.006987
Slope of Tangent (m)	115.733554	128.2849074	140.6228478	152.0991155	153.9446948	165.6524679
Flexural Modulus	4665.793672	5171.80099	5669.204571	6131.869852	6206.274308	6678.272721

Hasil yang didapatkan dari simulasi *Three Point Bending* terhadap komposit Serat Kenaf/Polyester Resin memiliki trend yang relatif meningkat dari fraksi volume 20% hingga fraksi volume 40%. Nilai ini dapat dilihat dari meningkatnya nilai *flexural stress* dimana nilai dari *flexural stress* maksimum yang dimiliki oleh Serat Kenaf/Polyester Resin dengan fraksi volume 40% dengan nilai 169,25 MPa. Trend dari nilai *flexural stress* dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4.21 Hasil Simulai Uji Fraksi Volume Kenaf 40% *Three Point Bending Flexural stress X Axis*



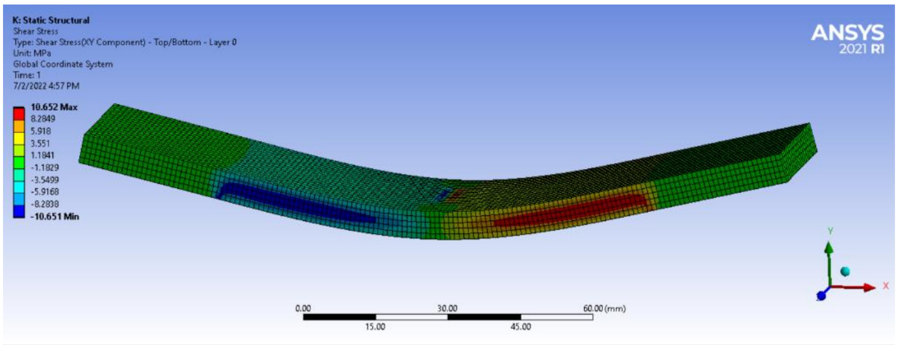
Gambar 4.22 Fl*exural Stress* Serat Kenaf/Polyester Resin pada Simulasi *Three Point Bending*

Dapat dilihat pada Gambar 4.22 bahwa nilai *flexural stress* mengalami penurunan setelah fraksi volume 40% dan mencapai titik terendah pada fraksi volume 70% dengan nilai 46,049 MPa. Setelah flexural stress, simulasi *Three Point Bending* yang telah dilakukan menghasilkan nilai *shear stress* dari komposit Serat Kenaf/Polyester Resin.

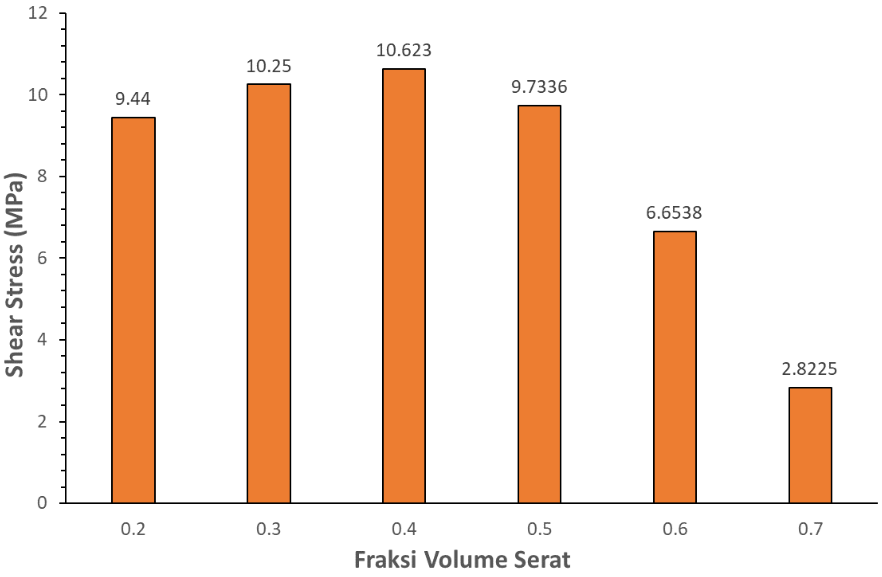
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu penelitian (Fajrin et al., 2022) pada fraksi volume serat 20% memiliki nilai *flexural stress* sebesar 153,1 MPa, pada simulasi didapatkan nilai sebesar 147,08 MPa sehingga memiliki nilai *error* sebesar -3,63%.

Perbedaan nilai *flexural stress* simulasi terhadap penelitian terdahulu terjadi karena terdapat perbedaan ukuran spesimen pengujian terhadap simulasi yang dilakukan. Karena pada standar ASTM D790 tidak terdapat ukuran pasti mengenai pengujian spesimen untuk *three point bending*. Pada standar tersebut terdapat rasio jarak support/*span* terhadap ketebalan spesimen pengujian atau biasa disebut *span to thickness ratio*. Pada penelitian (Fajrin et al., 2022), pengujian spesimen *three point bending* untuk komposit kenaf menggunakan *span to thickness ratio* sebesar 16:1. Pada penelitian ini juga menggunakan ukuran spesimen yang sama dengan penelitian tersebut. Oleh karena itu hasil flexural stress memiliki nilai error yang kecil jika dibandingkan hasil eksperimen. Terdapat perbedaan yang kecil kemungkinan disebabkan perbedaan sedikit pada *material properties* dari serat kenaf yang digunakan eksperimen.

Setelah flexural stress, simulasi *Three Point Bending* yang telah dilakukan menghasilkan nilai *shear stress* dari komposit Serat Kenaf-Polyester Resin. Trend dari *shear stress* pada komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dapat dilihat pada Gambar 4.23.



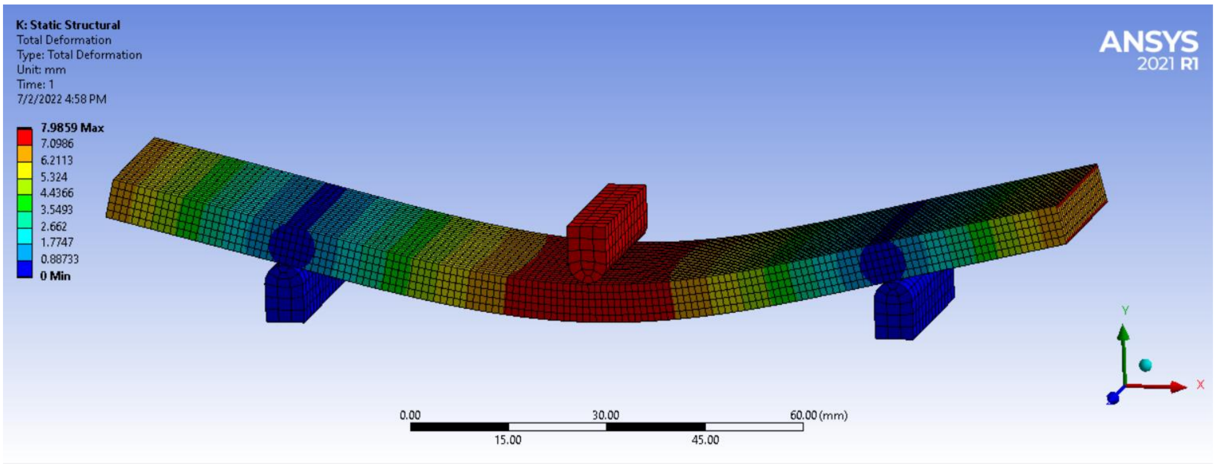
Gambar 4.23 Hasil Simulai Uji Fraksi Volume Kenaf 40% *Three Point Bending Shear Stress X Axis*



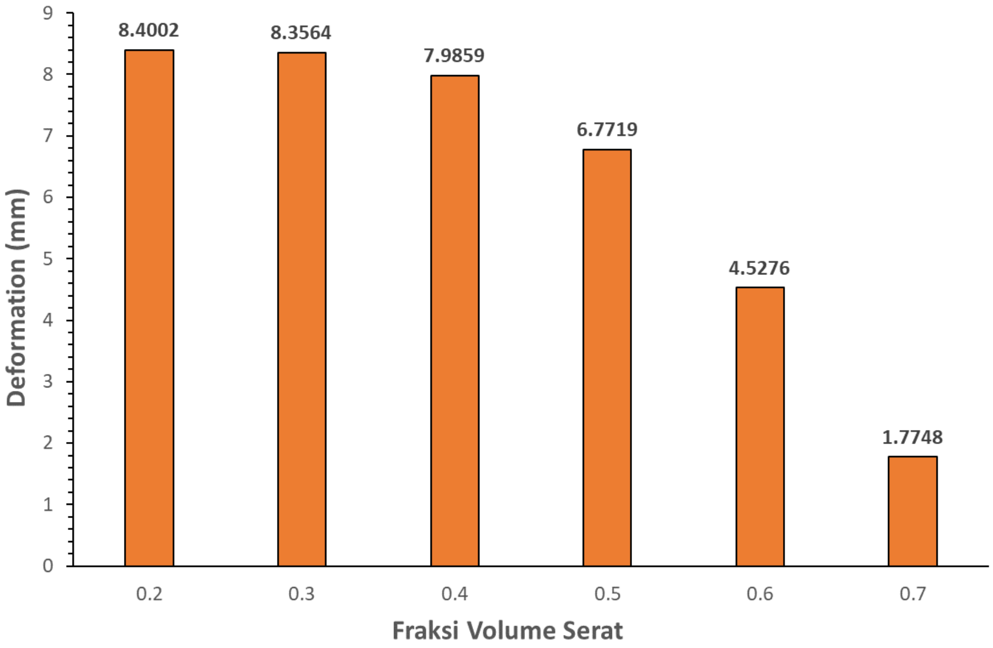
Gambar 4.24 *Shear Stress* Serat Kenaf/Polyester Resin pada Simulasi *Three Point Bending*

Dapat dilihat pada Gambar 4.24 nilai *shear stress* maksimum yang dimiliki oleh komposit Serat Kenaf/Polyester Resin adalah 10,623 MPa yang terdapat pada fraksi volume 40% dan nilai *shear stress* minimum yang dimiliki oleh Serat Kenaf/Polyester Resin adalah 2,8225 MPa yang terdapat pada fraksi volume 70%. Trend yang dimiliki hasil simulasi *shear stress* menyerupai trend yang dimiliki oleh hasil simulasi *flexural stress* dengan nilai maksimum dan minimum berada pada fraksi volume yang sama yaitu 40% dan 70%.

Selanjutnya, *flexural properties* yang didapatkan dari hasil simulasi *three point bending* adalah nilai *total deformation* atau total deformasi pada material komposit Serat Kenaf/Polyester Resin. Nilai total deformasi menandakan bahwa material yang diujikan memiliki sifat jika nilai deformasi semakin besar maka kekakuan semakin kecil dan sebaliknya jika nilai deformasi semakin kecil maka kekakuan semakin besar.



Gambar 4.25 Hasil Simulai Uji Fraksi Volume Kenaf 40% *Three Point Bending Total Deformation*

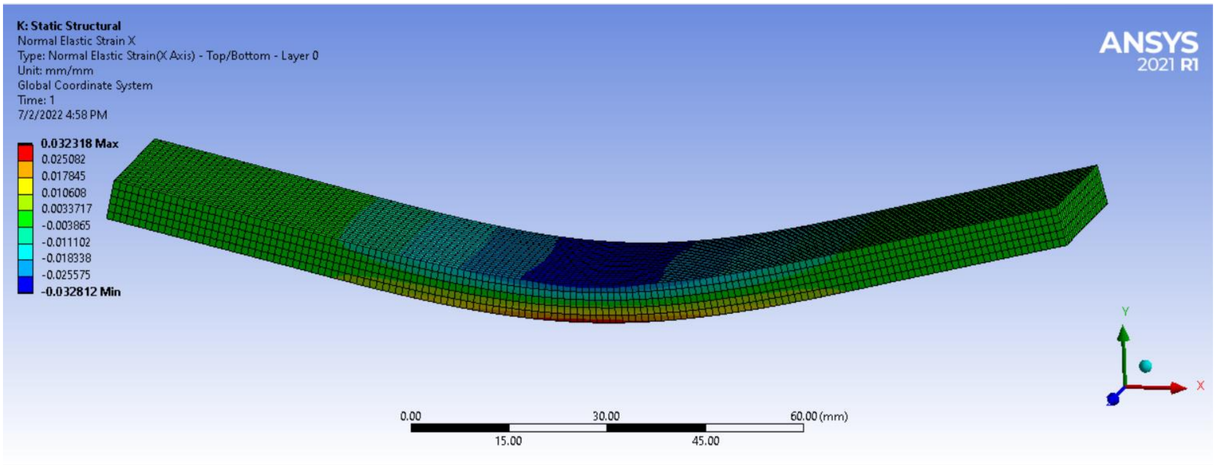


Gambar 4.26 *Deformation* Serat Kenaf/Polyester Resin pada Simulasi *Three Point Bending Bending*

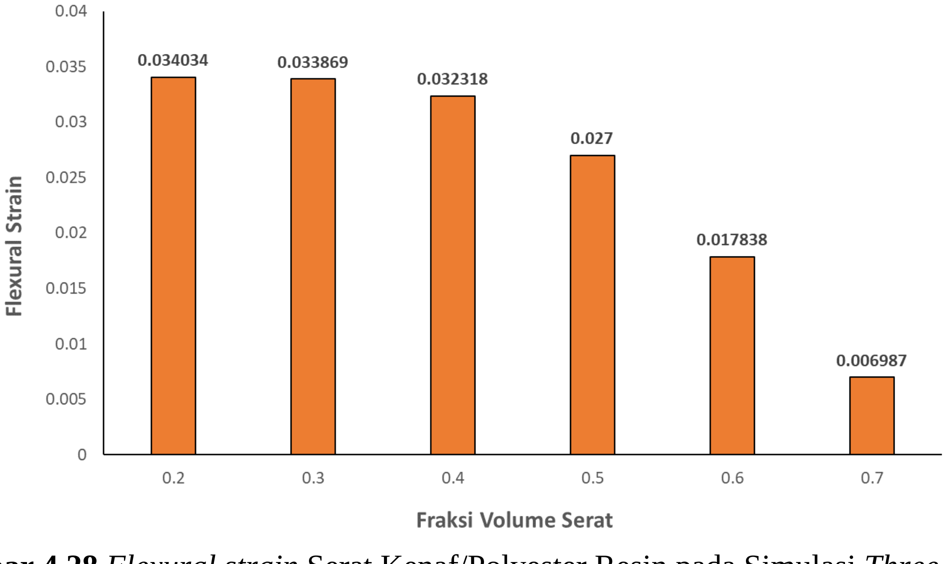
Dapat dilihat pada Gambar 4.26 Serat Kenaf/Polyester Resin berada pada fraksi volume 20% dengan nilai 8,4002 mm sedangkan nilai minimum dari total deformasi dimiliki pada fraksi volume 70% dengan nilai 1,7748 mm. Hal ini menunjukan bahwa material komposit Serat Kenaf/Polyester Resin dengan fraksi volume 20% memiliki sifat yang lebih lentur jika dibandingkan dengan fraksi volume lainnya sedangkan material komposit Serat Kenaf/Polyester Resin dengan fraksi volume 70% memiliki sifat material paling kaku dibandingkan dengan fraksi volume lainnya. Fraksi volume 20% memiliki nilai total deformasi maksimum yang dimana dapat ditarik kesimpulan bahwa material semakin naik fraksi volume serat maka nilai deformasi semakin berkurang.

Pada penelitian (Fajrin et al., 2022), pengujian spesimen *three point bending* untuk komposit sisal menggunakan *span to thickness ratio* sebesar 16:1. Oleh karena itu pada hasil simulasi dibandingkan dengan penelitian tersebut memiliki perbedaan yang tidak cukup jauh

karena menggunakan rasio yang sama. Dengan melakukan pendekatan dengan rumus defleksi pada persamaan 2.8, nilai regangan eksperimen pada (Fajrin et al., 2022) mengalami nilai regangan maksimum sebesar 0,027 sehingga memiliki nilai deformasi yaitu 6,91 mm. nilai regangan pada simulasi ini adalah 0,034034 sehingga mengalami deformasi sebesar 8,4 mm. Oleh karena itu spesimen dapat dikatakan sudah mengalami kegagalan.



Gambar 4.27 Hasil Simulai Uji Fraksi Volume Kenaf 40% *Three Point Bending Flexural strain X Axis*

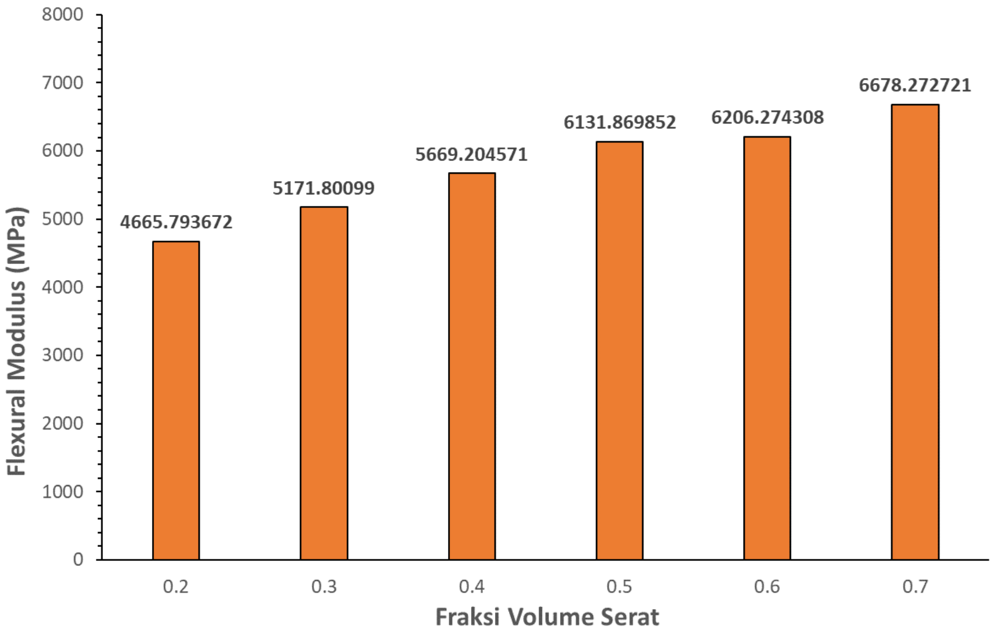


Gambar 4.28 *Flexural strain* Serat Kenaf/Polyester Resin pada Simulasi *Three Point Bending*

Selanjutnya, *flexural properties* yang dihasilkan dari simulasi *three point bending* adalah *flexural strain*. Berikut ini adalah tren hasil *flexural strain* dari simulasi *three point bending* dan cukup mirip dengan tren pada grafik *deformation*. Dapat dilihat pada Gambar 4.28 hasil dari *flexural strain* menunjukan bahwa regangan yang terjadi pada pengujian *three point bending*. Hasil tren *flexural strain* cenderung menurun menunjukkan bahwa regangan yang terjadi pada material komposit Serat Kenaf/Polyester Resin semakin menurun. Jika nilai *flexural strain* menunjukan nilai yang mengecil maka dapat ditarik kesimpulan bahwa material memiliki sifat kekakuan yang meningkat jika dibandingkan dengan nilai *flexural strain* yang lebih kecil dikarenakan memilliki kekakuan yang rendah. Dari hasil yang didapatkan dapat

diperhatikan nilai *flexural strain* maksimum berada pada fraksi volume 20% dengan nilai 0,034034 sedangkan nilai *flexural strain* minimum berada pada fraksi volume 70% dengan nilai 0,006987. Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa fraksi volume 20% memiliki sifat kekakuan yang rendah jika dibandingkan dengan fraksi volume lainnya lalu fraksi volume 70% memiliki kekakuan yang tinggi.

Dari hasil simulasi yang telah didapatkan dengan metode pengujian *three point bending*, maka dapat dilakukan perhitungan dari *flexural modulus* guna mendapatkan rasio perbandingan dari *flexural stress* dan *flexural strain*. Dengan menggunakan persamaan yang sama pada persamaan flexural modulus, untuk menghitung *flexural modulus* dari komposit Serat Kenaf/Polyester Resin. Berikut ini adalah hasil tren dari *flexural modulus*.



Gambar 4.29 *Flexural Modulus* Serat Kenaf/Polyester Resin pada Simulasi *Three Point Bending*

Dapat dilihat pada Gambar 4.29 hasil yang didapatkan berdasarkan simulasi pengujian *Three Point Bending*, tren nilai dari *flexural modulus* yang semakin naik dari fraksi volume 20-70%. Nilai *flexural modulus* yang dimiliki material komposit Serat Kenaf/Polyester Resin naik secara bertahap dengann jarak yang cukup sama pada fraksi 20-50%. Lalu nilai flexural modulus tertinggi dicapai pada fraksi volume 70% dengan besar nilai 6678,2727 MPa. Nilai *flexural modulus* terkecil yaitu pada saat fraksi volume 20% dengan nilai 4665,793 MPa. Hal ini terjadi dikarenakan seiring penambahan fraksi volume, jumlah fiber yang berada pada komposit menjadi bertambah banyak dan membuat material komposit Serat Kenaf/Polyester Resin menjadi lebih kuat namun jika fraksi volume Serat Kenaf/Polyester Resin melebihi titik optimum dengan matriksnya maka akan terjadi penurunan dari segi kekuatan komposit kekakuan kompsit secara keseluruhan akan meningkat.

Peningkatan fraksi volume juga berpengaruh kepada peningkatan nilai kekakuan material komposit Serat Kenaf/Polyester Resin. Pada saat fraksi volume serat 20% material komposit Serat Kenaf/Polyester Resin memiliki kekakuan yang lebih rendah atau kelenturan yang tinggi dikarenakan memiliki total deformasi tertinggi dan regangan tertinggi sedangkan pada titik fraksi volume 70% material komposit Serat Kenaf/Polyester Resin material komposit Serat Kenaf/Polyester Resin memiliki kekakuan yang lebih tinggi atau kelenturan yang rendah

dikarenakan memiliki total deformasi terendah dan regangan terendah oleh jumlah serat yang lebih dominan pada komposit tersebut. Material dengan fraksi volume tinggi memiliki ketahanan yang lebih minim terhadap shear stress sehingga kegagalan material komposit Serat Kenaf/Polyester Resin fraksi volume lebih dari 40% dikarenakan adanya shear stress yang terjadi pada spesimen komposit Serat Kenaf/Polyester Resin. Maka dari itu dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai fraksi volume terbaik yang dimiliki oleh material komposit Serat Kenaf/Polyester Resin adalah 40%.

4.2.2 Hasil Simulasi dan Pembahasan Orientasi Arah Serat *Three Point Bending* Material Komposit Kenaf Fiber/Polyester

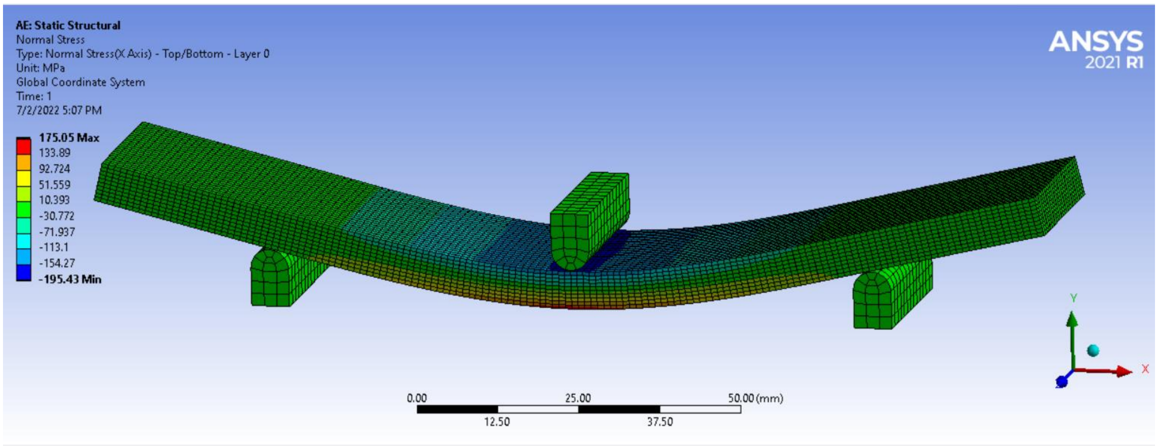
Orientasi arah sudut serat pada suatu komposit dapat membuat material menjadi lebih kuat atau bahkan membuat material komposit menjadi melemah. Orientasi arah serat tentunya dapat menjadi variasi guna mendapatkan hasil sudut terbaik yang dapat diaplikasikan pada suatu komposit dan akan menghasilkan variasi komposit yang lebih baik dari sebelumnya. Pada penelitian kali ini *layer* yang digunakan pada material komposit Serat Kenaf/Polyester Resin berjumlah sebesar 10 dengan ketebalan layer sebesar 0,6 mm.

Dengan adanya jumlah layer, maka penentuan sudut yang akan digunakan dapat dilakukan. Variasi utama dari sudut yang digunakan didapatkan dari jurnal penelitian terdahulu dimana akan digunakan empat jenis sudut yaitu 0°, 45°,-45, 90°, dan divariasikan menjadi sepuluh jenis variasi seperti pada tabel 4.6. Variasi orientasi arah sudut serat diaplikasikan pada material komposit Serat Kenaf/Polyester Resin dengan fraksi volume terbaik yaitu 40% agar mendapatkan material komposit Serat Kenaf/Polyester Resin terbaik.

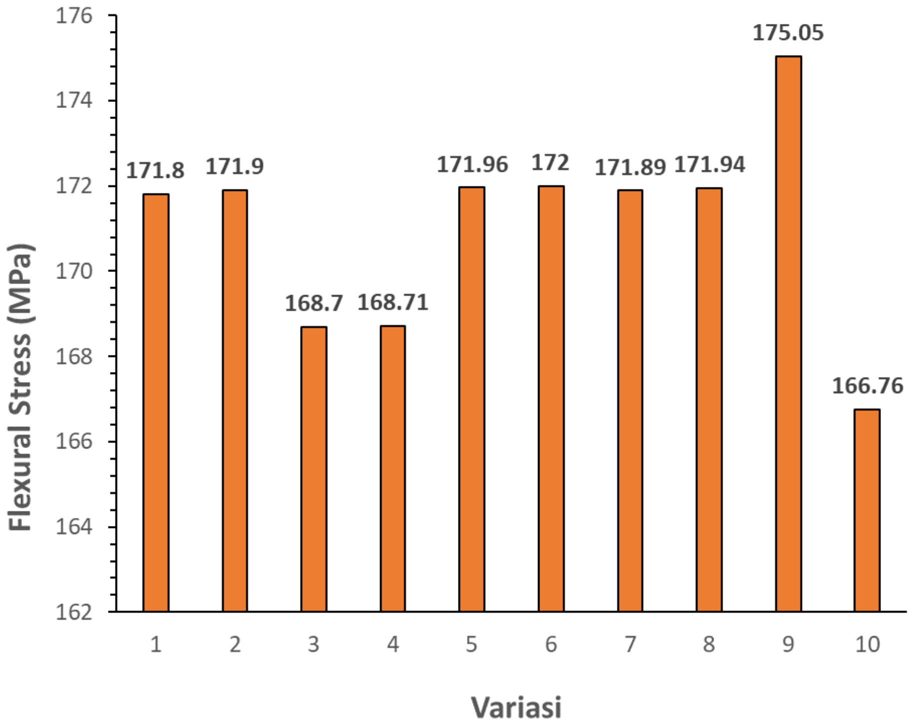
Tabel 4.4 Hasil Simulasi *Three Point Bending* dengan Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Komposit Serat Sisal/Epoxy Resin

Variasi	Sudut	Flexural Stress (Mpa)	Shear Stress (Mpa)	Deformation (mm)	Strain	Flexural Modulus (Mpa)	Inverse Factor
1	[(0°)10]	171.8	11.398	7.9763	0.032529	5676.027831	2.983
2	[(0°)4/(45°)2/(0°)4]	171.9	11.437	7.9827	0.032552	5671.477168	2.9841
3	[(45°)2/(0°)2/(45°)2/(0°)2/(45°)2]	168.7	12.71	8.6182	0.035143	5253.266435	7.0117
4	[(-45°)2/(0°)2/(45°)2/(0°)2/(-45°)2]	168.71	12.609	8.618	0.035143	5253.388349	7.0041
5	[(45°)10]	171.96	13.209	8.8067	0.035888	5140.824689	7.1764
6	[(-45°)2/(45°)2/(-45°)2/(45°)2/(-45°)2]	172	12.568	8.8018	0.035875	5143.686608	7.0379
7	[(45°)2/(-45°)2/(0°)2/(-45°)2/(45°)2]	171.89	12.541	8.7939	0.035846	5148.307439	7.0284
8	[(0°)4/(90°)2/(0°)4]	171.94	11.353	7.9836	0.032559	5670.837816	2.9847
9	[(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2]	175.05	11.532	8.1419	0.033189	5560.581779	3.0365
10	[(90°)2/(0°)2/(90°)2/(0°)2/(90°)2]	166.76	11.495	8.6882	0.035588	5210.941367	13.969

Pada variasi orientasi arah sudut serat, indikator sudut tersebut termasuk sudut terbaik adalah dari *flexural stress* yang lebih tinggi yang dimiliki oleh material tersebut. Semakin besar nilai dari *flexural stress* maka variasi material komposit memiliki ketahanan yang baik. Berikut ini adalah trend dari hasil *flexural stress* berdasarkan simulasi *three point bending* yang dilakukan.

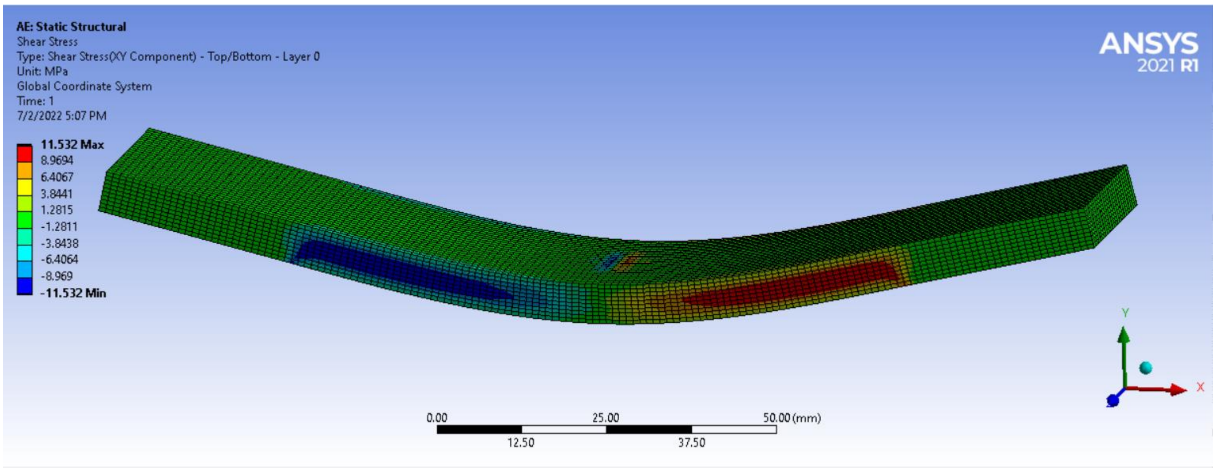


Gambar 4.30 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat Kenaf [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] *Three Point Bending Flexural stress X Axis*

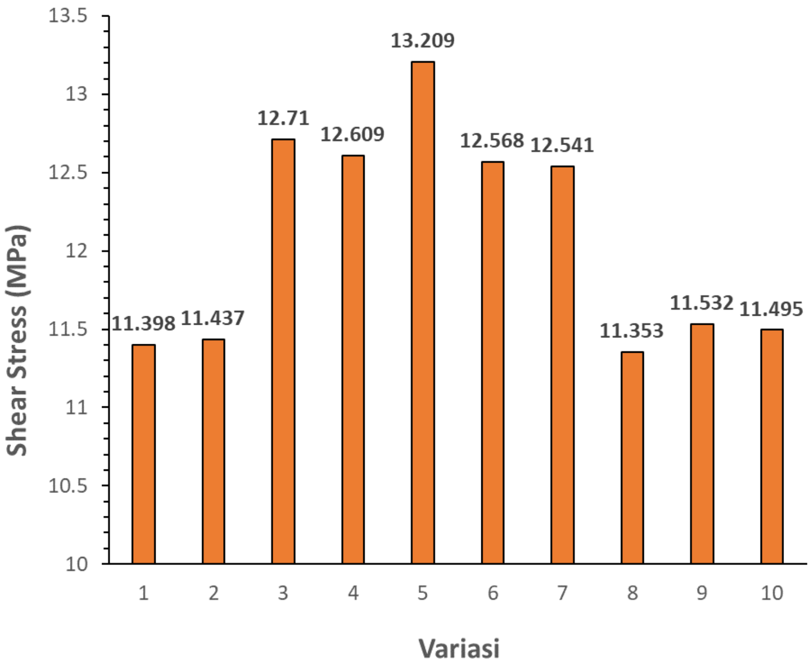


Gambar 4.31 *Flexural Stress* Serat Kenaf/Polyester Resin Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending*

Berdasarkan hasil *flexural stress* yang telah didapatkan maka dapat ditarik kesimpulan variasi orientasi arah sudut serat yang memiliki ketahanan terhadap *flexural stress* terbaik dimiliki oleh variasi sudut [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] dengan nilai *flexural stress* sebesar 175,05 MPa sedangkan nilai *flexural stress* terendah yang dihasilkan pada variasi ini terdapat pada sudut [(90°)2/(0°)2/(90°)2/(0°)2/(90°)2] dengan nilai *flexural stress* sebesar 166,76 MPa. Selanjutnya, hasil dari *shear stress* yang dihasilkan dari simulasi *three point bending* untuk variasi orientasi arah sudut serat dapat diperhatikan pada grafik berikut ini.

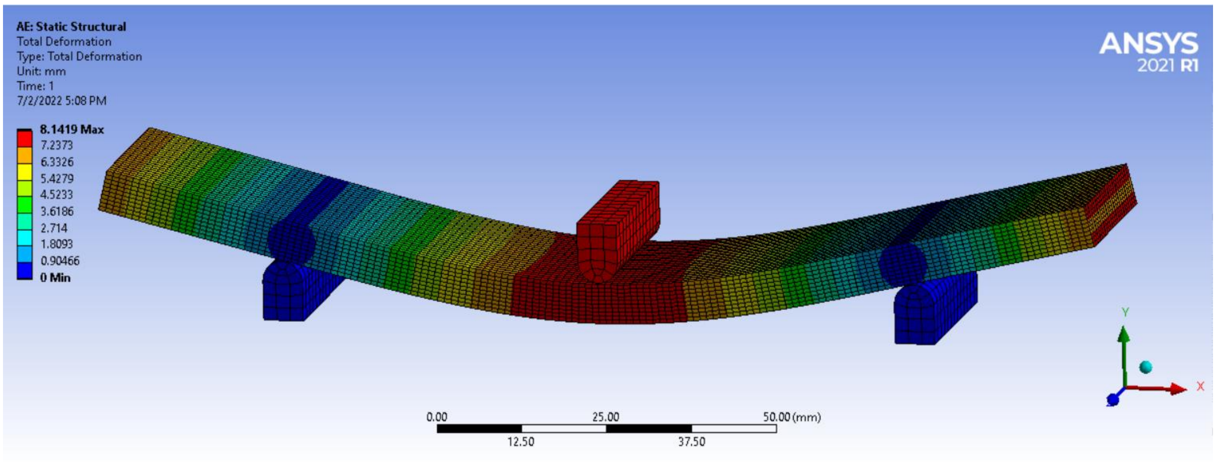


Gambar 4.32 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat Kenaf [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] *Three Point Bending Shear Stress XY Axis*

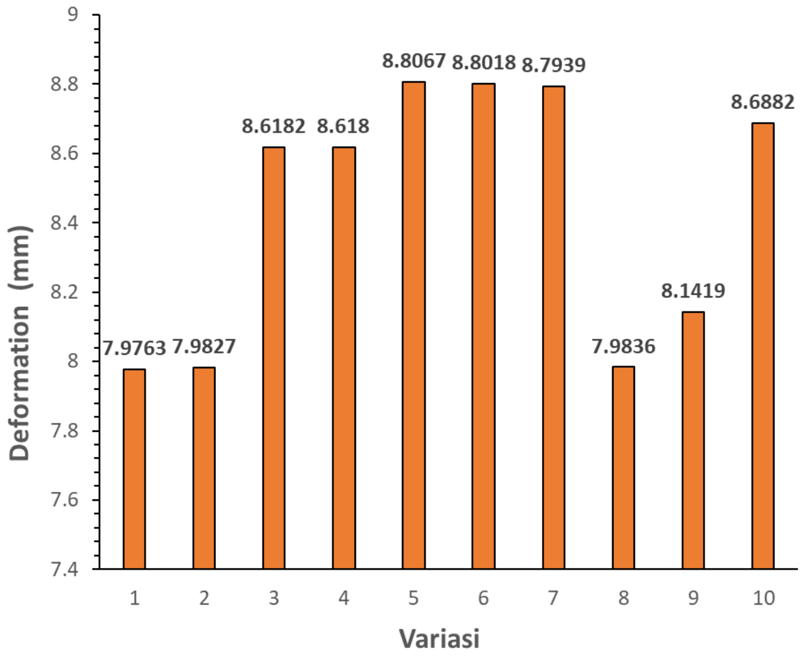


Gambar 4.33 *Shear Stress* Serat Kenaf/Polyester Resin Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending*

Dapat diperhatikan dari grafik diatas, nilai *shear stress* maksimum yang dihasilkan dari simulasi *three point bending* berada pada variasi sudut [(45°)10] dengan nilai *shear stress* sebesar 13,209 MPa sedangkan nilai *shear stress* minimum yang dihasilkan dari simulasi *three point bending* berada pada variasi sudut [(0°)4/(90°)2/(0°)4] dengan nilai *shear stress* sebesar 11,353 MPa. Nilai *shear stress* yang tinggi menandakan bahwa variasi dapat menahan *shear stress* yang terjadi pada material komposit Serat Kenaf/Polyester Resin. Peningkatan *shear stress* dapat memberikan dampak buruk kepada spesimen dikarenakan dapat menyebabkan kegagalan pada material komposit Serat Kenaf/Polyester Resin. Hasil selanjutnya adalah deformasi spesimen pada lokasi *mid-span*.

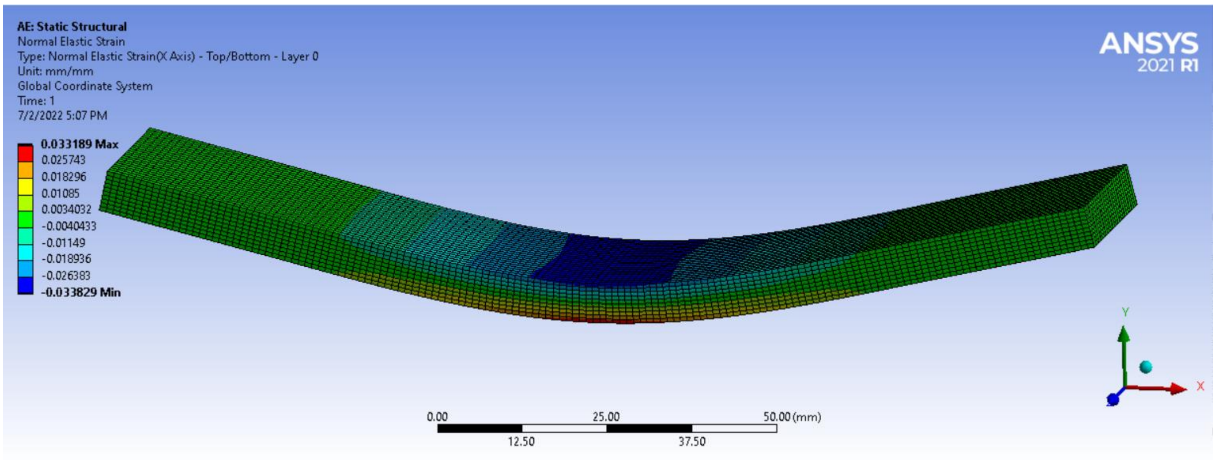


Gambar 4.34 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat Kenaf [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] *Three Point Bending Total Deformation*

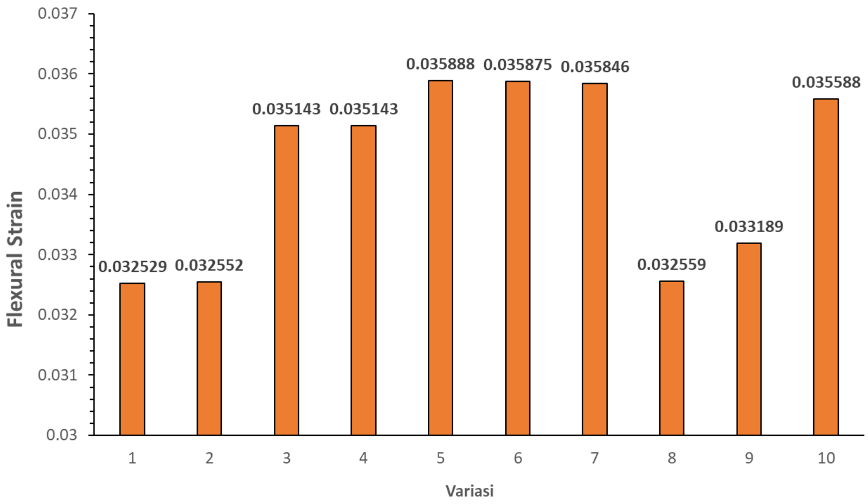


Gambar 4.35 *Deformation* Serat Kenaf/Polyester Resin Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending*

Nilai total deformasi yang dihasilkan menunjukan perbedaan yang signifikan dikarenakan memiliki rentang cukup jauh. Hasil maksimum dari nilai total deformasi terdapat pada variasi sudut [(45°)10] dengan nilai 8,8067 mm dan hasil minimum terdapat pada variasi sudut [(0°)10] dengan nilai 7,9763 mm. Dari hasil tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi sudut [(45°)10] memiliki sifat yang lebih lentur dikarenakan memiliki nilai total deformasi tertinggi sedangkan variasi sudut [(0°)10] memiliki sifat material yang lebih kaku dibandingkan dengan variasi sudut yang lainnya. *Flexural properties* selanjutnya yang didapatkan adalah nilai dari *flexural strain*, berikut ini adalah grafik hasil simulasi *three point bending* untuk nilai *flexural strain*.

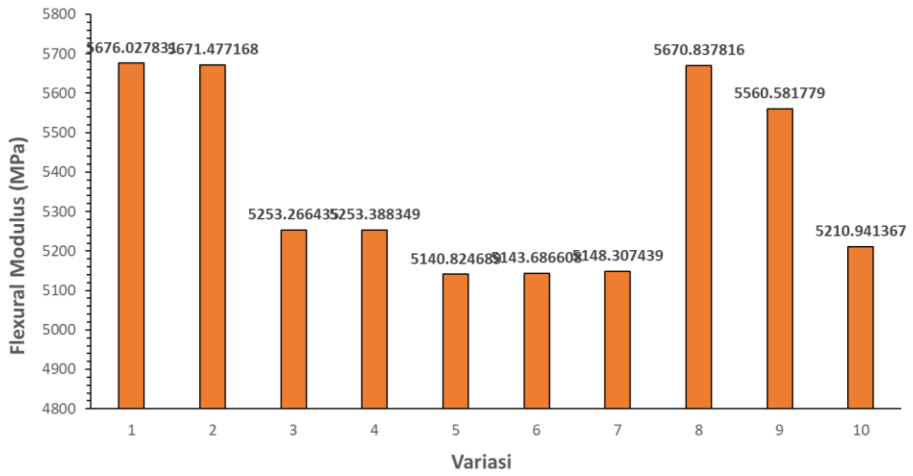


Gambar 4.36 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat Kenaf [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] *Three Point Bending Flexural strain X Axis*



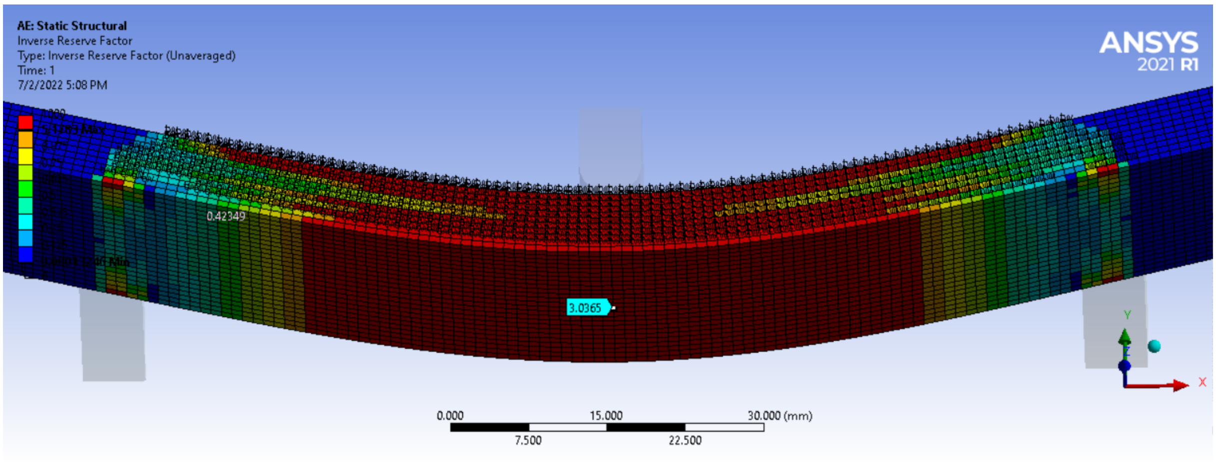
Gambar 4.37 *Flexural strain* Serat Kenaf/Polyester Resin Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending*

Dari hasil yang didapatkan setelah melakukan simulasi *three point bending* material komposit Serat Kenaf/Polyester Resin, nilai maksimum dari *flexural strain* berada pada variasi [(45°)10] dengan nilai 0,035888 sedangkan nilai minimum berada pada variasi [(0°)10] dengan nilai 0,032529. Hasil dari *flexural strain* menunjukan kekakuan dari material yang diuji dan nilai yang dihasilkan memiliki tren sama dengan hasil total deformasi. Maka dapat ditarik kesimpulan nilai *flexural strain* atau regangan menunjukan sifat kekakuan material yang diujikan, dengan meningkatnya nilai *flexural strain* maka material dapat dikatakan memiliki sifat material yang lebih lentur. Oleh karena itu, berdasarkan hasil yang didapatkan, variasi sudut [(45°)10] memiliki sifat material yang lebih lentur dan variasi sudut [(0°)10] memiliki sifat material yang kaku. Selanjutnya, *flexural properties* yang dihasilkan dari data hasil simulasi adalah *flexural modulus* yang dihasilkan dengan perhitungan manual dengan persamaan flexural modulus, berikut ini adalah plot grafik dari hasil perhitungan *flexural modulus*.

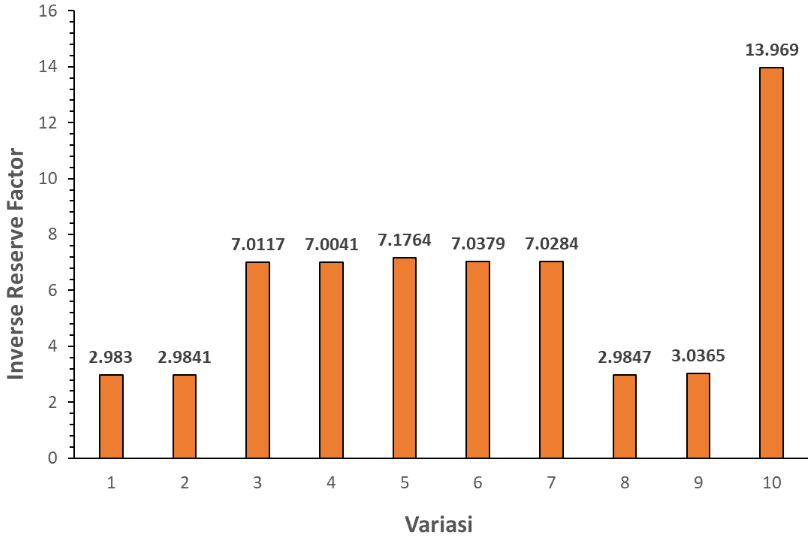


Gambar 4.38 *Flexural Modulus* Serat Kenaf/Polyester Resin Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending*

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan nilai dari *flexural modulus* maka dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai maksimum *flexural modulus* dimiliki oleh variasi sudut [(0°)10] dengan nilai 5676,027 MPa sedangkan nilai minimum dimiliki oleh variasi sudut [(45°)10] dengan nilai 5140,824 MPa. Hasil dari *flexural modulus* menyatakan bahwa jika nilai semakin besar deformasi atau regangan maka nilai dari *flexural modulus* akan menurun begitu pula sebaliknya. Maka dari itu variasi sudut [(0°)10] memiliki nilai *flexural modulus* tertinggi sedangkan variasi sudut [(45°)10] memiliki nilai terendah. Lalu hasil dari *inverse reserve factor* adalah sebagai berikut.



Gambar 4.39 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat Kenaf [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] *Three Point Bending Inverse Reserve Factor*



Gambar 4.40 *Inverse Reserve Factor* Serat Kenaf/Polyester Resin Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Three Point Bending*

Hasil *inverse reserve factor* yang didapatkan dari simulasi *three point bending* terhadap material komposit Serat Kenaf/Polyester Resin menandakan kegagalan material komposit Serat Kenaf/Polyester Resin. Nilai *inverse reserve factor* menandakan bahwa material komposit mengalami kegagalan. Berdasarkan grafik diatas, didapatkan nilai maksimum dari *inverse reserve factor* sebesar 13,969 yang terdapat pada variasi [(90°)2/(0°)2/(90°)2/(0°)2/(90°)2] sedangkan nilai minimum dari *inverse reserve factor* dengan nilai sebesar 2,983 dimiliki oleh variasi [(0°)10]. Dari hasil diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi sudut [(90°)2/(0°)2/(90°)2/(0°)2/(90°)2] mengalami kegagalan material paling besar dan kurang baik dari segi perfoma pengujian *three point bending* untuk Serat Kenaf/Polyester Resin sedangkan variasi sudut [(0°)4/(90°)2/(0°)4] tidak terlalu mengalami kegagalan.

Setelah mendapatkan hasil dari simulasi maka dapat ditentukan variasi orientasi arah sudut serat yang terbaik untuk material komposit Serat Kenaf/Polyester Resin. Penentuan variasi orientasi arah sudut serat terbaik berdasarkan nilai dari *inverse reserve factor* dan nilai dari *flexural stress* yang dihasilkan oleh variasi sudut pada Serat Kenaf/Polyester Resin. Variasi sudut [(0°)10] memiliki kriteria terbaik untuk kedua indikator namun variasi sudut tersebut sudah sangat digunakan secara masal, maka dari itu harus didapatkan variasi sudut lainnya yang memiliki kualitas menyerupai dengan variasi sudut [(0°)10]. Maka dari itu berdasarkan data yang telah didapatkan, dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi sudut [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] memiliki nilai *inverse reserve factor* yang menyerupai dengan variasi sudut [(0°)10] dan nilai *flexural stress* diatas variasi sudut [(0°)10]. Variasi sudut [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] dapat menahan *flexural stress* yang lebih dibandingkan dengan variasi sudut [(0°)10] dan memiliki nilai *inverse reserve factor* yang sedikit lebih besar dibanding kan dengan *inverse reserve factor* variasi [(0°)10].

4.3 Pembahasan Hasil Perbandingan *Flexural Properties* Komposit Serat Sisal/Epoxy Resin Dengan Serat Kenaf/Polyester Resin

Setelah mendapatkan hasil fraksi volume serat terbaik untuk kedua komposit serat sisal/epoxy resin dengan serat kenaf/polyester resin yaitu sebesar 0,4 dan variasi orientasi sudut serat terbaik untuk kedua komposit yaitu variasi [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2]. Lalu dilanjutkan dengan pembahasan mengenai perbandingan *flexural properties* dari komposit serat

sisal/epoxy resin dengan serat kenaf/polyester resin dengan fraksi volume terbaik dan orientasi arah sudut serat terbaik.

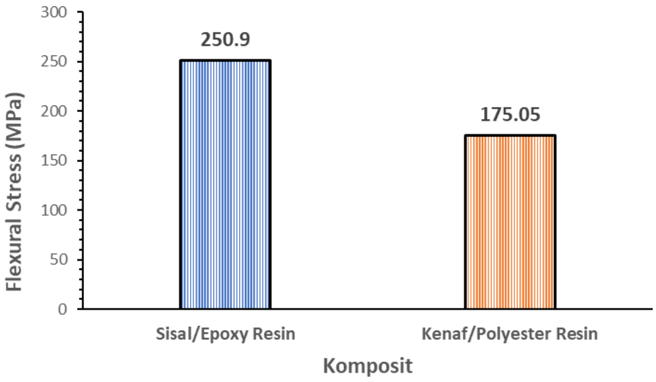
4.3.1 Perbandingan *Flexural Stress* Komposit Serat Sisal/Epoxy Resin Dengan Serat Kenaf/Polyester Resin

Berdasarkan hasil *flexural stress* yang telah didapatkan maka dapat ditarik kesimpulan variasi orientasi arah sudut serat yang memiliki nilai *flexural stress* terbaik dimiliki oleh komposit serat sisal/epoxy dengan nilai *flexural stress* sebesar 250,9 MPa dengan pembebanan sebesar 434 N dengan variasi orientasi arah serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] sedangkan nilai *flexural stress* dari komposit serat kenaf/polyester menghasilkan nilai stress sebesar 175.05 MPa dengan pembebanan sebesar 1123 N dengan variasi orientasi arah serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] yang dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.5 Nilai *Flexural Stress* Komposit Sisal/Epoxy Resin dan Kenaf/Polyester Resin

Komposit	Arah Orientasi Sudut Serat	Flexural Stress (MPa)
Sisal/Epoxy Resin	[(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] (9)	250.9
Kenaf/Polyester Resin	[(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] (9)	175.05

Hal ini terjadi karena berdasarkan material properties dari serat kenaf dan serat sisal bahwa dapat dilihat sifat alami dari serat kenaf yang memiliki nilai strength sebesar 89.58 Mpa dan serat sisal yang memiliki nilai strength sebesar 450 MPa. Serat sisal memiliki kemampuan lebih untuk menahan beban yang searah dengan arah orientasi serat atau arah longitudinal. Berdasarkan konfigurasi peletakan arah serat pada spesimen pengujian, serat dengan orientasi 0° berada pada permukaan atas dan permukaan bawah spesimen.



Gambar 4.41 Grafik Flexural Stress

Ketika pengujian *three point bending* dilakukan, permukaan atas mengalami beban tekan dan permukaan bawah mengalami beban Tarik yang menyebabkan terjadinya patahan. Oleh karena itu, komposit serat sisal/epoxy resin lebih mampu untuk menahan beban lebih tinggi dibandingkan dengan komposit kenaf/polyester resin. Kemampuannya juga didukung oleh matriks penyusunnya yang lebih kuat yaitu *epoxy resin* memiliki nilai strength sebesar 80 MPa jika dibandingkan dengan matriks *polyester resin* yang memiliki nilai strength sebesar 40 MPa. Seperti pada Gambar 4.41, terlihat perbedaan nilai yang cukup jauh dan dapat dipastikan bahwa komposit serat sisal/epoxy dengan variasi arah serat no.9 memiliki kemampuan lebih baik dalam hal flexural stress dibandingkan serat kenaf/polyester resin dengan variasi arah serat yang sama.

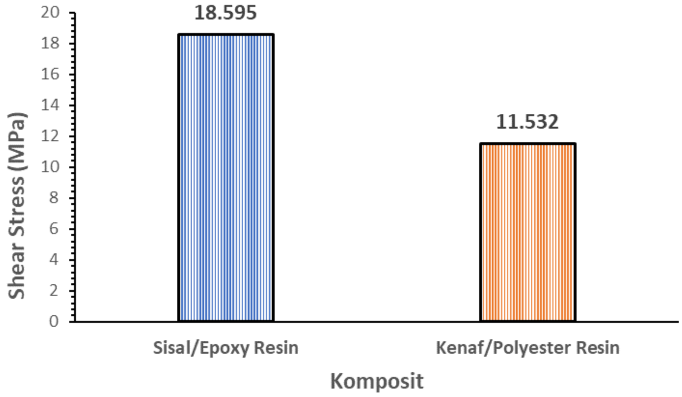
4.3.2 Perbandingan *Shear Stress* Komposit Serat Sisal/Epoxy Resin Dengan Serat Kenaf/Polyester Resin

Berdasarkan hasil *shear stress* yang telah didapatkan maka dapat ditarik kesimpulan variasi orientasi arah sudut serat yang memiliki nilai *shear stress* terbaik dimiliki oleh komposit serat sisal/epoxy dengan nilai *flexural stress* sebesar 18,595 MPa dengan pembebanan sebesar 434 N dengan variasi orientasi arah serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] sedangkan nilai *shear stress* dari komposit serat kenaf/polyester menghasilkan nilai stress sebesar 11,532 MPa dengan pembebanan sebesar 1123 N dengan variasi orientasi arah serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] yang dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.6 Nilai *Shear Stress* Komposit Sisal/Epoxy Resin dan Kenaf/Polyester Resin

Komposit	Arah Orientasi Sudut Serat	Shear Stress (MPa)
Sisal/Epoxy Resin	[(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] (9)	18.595
Kenaf/Polyester Resin	[(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] (9)	11.532

Hal ini terjadi karena berdasarkan material properties dari serat kenaf dan serat sisal bahwa dapat dilihat sifat alami dari serat kenaf yang memiliki shear modulus sebesar 2,8965 Mpa dan serat sisal yang memiliki nilai shear modulus sebesar 2,500 MPa. Serat kenaf memiliki kemampuan lebih untuk menahan beban *shear* yang lebih baik dibandingkan dengan serat sisal. Berdasarkan konfigurasi peletakan arah serat pada spesimen pengujian, serat dengan orientasi 45°, -45°, 90° memiliki kemampuan lebih baik dalam menahan beban *shear*. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan 4.6 bahwa variasi sudut [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] lebih baik menahan beban shear.



Gambar 4.42 Grafik *Shear Stress*

Ketika pengujian *three point bending* dilakukan, spesimen mengalami beban shear yang dari tepi spesimen sampai tepat di bawah *roller* penekan. Tidak terdapat perbedaan yang cukup jauh dari nilai *shear stresss* seperti pada Gambar 4.42 karena orientasi arah serat 45°, -45°, 90° menahan dengan baik. Tetapi, komposit serat sisal/epoxy resin lebih mampu untuk menahan beban *shear* lebih tinggi dibandingkan dengan komposit kenaf/polyester resin karena kemampuannya juga didukung oleh matriks penyusunnya yang lebih kuat yaitu *epoxy resin* memiliki nilai *shear modulus* sebesar 1,25 GPa jika dibandingkan dengan matriks *polyester resin* yang memiliki nilai *shear modulus* sebesar 1,1852 MPa. Seperti pada Gambar 4.33, tidak terlihat perbedaan nilai yang cukup jauh dan dapat dipastikan bahwa komposit serat sisal/epoxy dengan variasi arah serat no.9 memiliki kemampuan lebih baik dalam hal *shear stress* dibandingkan serat kenaf/polyester resin dengan variasi arah serat yang sama.

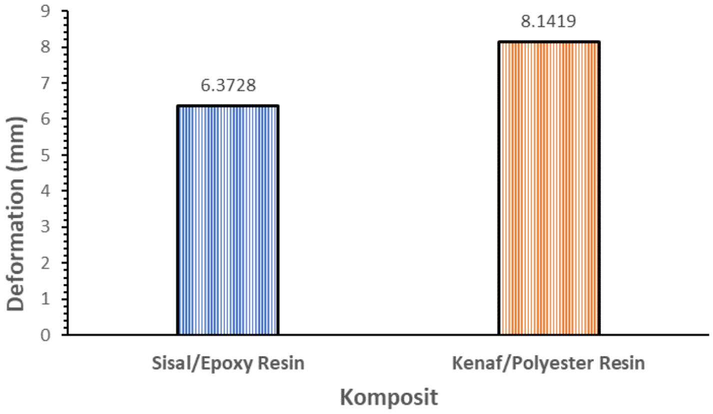
4.3.3 Perbandingan *Total Deformation* Komposit Serat Sisal/Epoxy Resin Dengan Serat Kenaf/Polyester Resin

Berdasarkan hasil *total deformation* yang telah didapatkan maka dapat ditarik kesimpulan variasi orientasi arah sudut serat yang memiliki nilai *shear stress* terbaik dimiliki oleh komposit serat sisal/epoxy dengan nilai *total deformation* sebesar 6,3728 mm dengan pembebanan sebesar 434 N dengan variasi orientasi arah serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] sedangkan nilai *total deformation* dari komposit serat kenaf/polyester menghasilkan nilai stress sebesar 11,532 MPa dengan pembebanan sebesar 1123 N dengan variasi orientasi arah serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] yang dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.7 Nilai *Total Deformation* Komposit Sisal/Epoxy Resin dan Kenaf/Polyester Resin

Komposit	Arah Orientasi Sudut Serat	Total Deformation (mm)
Sisal/Epoxy Resin	[(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2]	6.3728
Kenaf/Polyester Resin	[(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2]	8.1419

Hal ini terjadi karena berdasarkan material properties dari serat kenaf dan serat sisal seolah-olah material komposit serat sisal/epoxy resin memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit serat kenaf/polyester resin karena memiliki nilai deformasi yang lebih kecil. Pada penelitian kali ini, ukuran dari spesimen komposit sisal/epoxy resin berbeda dengan kenaf/polyester resin.



Gambar 4.43 Grafik Deformation

Ukuran spesimen komposit sisal/epoxy resin adalah 80 x 13 x 3 mm sedangkan ukuran spesimen komposit kenaf/polyester resin adalah 150 x 25,4 x 6 mm. Karena spesimen yang berbeda maka hasil deformasi yang dihasilkan juga berbeda seperti Gambar 4.43. Oleh karena itu untuk menggambarkan kekakuan atau kelenturan dari komposit, lebih mudah untuk mengetahuinya dari hasil regangan dan *flexural modulus* karena deformasi dengan spesimen yang lebih besar pasti memiliki deformasi yang lebih besar sehingga kurang menggambarkan sifat dari komposit.

4.3.4 Perbandingan *Flexural strain* Komposit Serat Sisal/Epoxy Resin Dengan Serat Kenaf/Polyester Resin

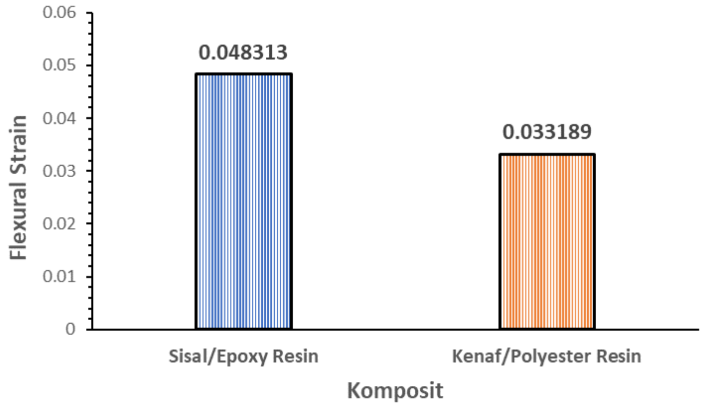
Berdasarkan hasil *flexural strain* yang telah didapatkan maka dapat ditarik kesimpulan variasi orientasi arah sudut serat yang memiliki nilai *flexural strain* terbaik dimiliki oleh komposit serat sisal/epoxy dengan nilai *flexural strain* sebesar 0,048313 dengan pembebanan

sebesar 434 N dengan variasi orientasi arah serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] sedangkan nilai *flexural strain* dari komposit serat kenaf/polyester menghasilkan nilai stress sebesar 0,033189 dengan pembebanan sebesar 1123 N dengan variasi orientasi arah serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] yang dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.8 Nilai *Flexural strain* Komposit Sisal/Epoxy Resin dan Kenaf/Polyester Resin

Komposit	Arah Orientasi Sudut Serat	*Flexural strain*
Sisal/Epoxy Resin	[(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2]	0,048313
Kenaf/Polyester Resin	[(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2]	0,033189

Hal ini terjadi karena berdasarkan material properties dari serat kenaf dan serat sisal material komposit serat serat kenaf/polyester resin memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit sisal/epoxy resin karena memiliki nilai *flexural strain* yang lebih kecil seperti Gambar 4.44. Komposit serat sisal/epoxy resin memiliki kemampuan untuk mengalami regangan yang lebih besar karena sifat dari material yang memiliki *Young's Modulus* sebesar 7 GPa lebih kecil dibandingkan dengan komposit serat kenaf/polyester resin yang memiliki nilai *Young's Modulus* lebih besar yaitu 7,67 GPa.



Gambar 4.44 Grafik *Flexural strain*

Kemampuan komposit untuk mengalami regangan juga dibantu oleh matriks penyusunnya. Terdapat perbedaan yang cukup dekat antara nilai regangan komposit sisal/epoxy resin dengan kenaf/polyester resin karena serat sisal yang bersifat lebih lentur digabungkan dengan matriks epoxy yang memiliki nilai *Young's Modulus* sebesar 3,4 GPa yang lebih bersifat kaku dibandingkan dengan matriks penyusun dari komposit serat kenaf/polyester resin yaitu matriks polyester yang memiliki nilai *Young's Modulus* sebesar 3,2 GPa.

Dan juga kemampuan untuk mengalami regangan dapat dipengaruhi oleh konfigurasi penyusunan serat. Berdasarkan Tabel 4.4 dan 4.8, orientasi sudut [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] mengalami regangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi [0°]10 sehingga komposit bertambah sifat kelenturannya.

4.3.5 Perbandingan *Flexural Modulus* Komposit Serat Sisal/Epoxy Resin Dengan Serat Kenaf/Polyester Resin

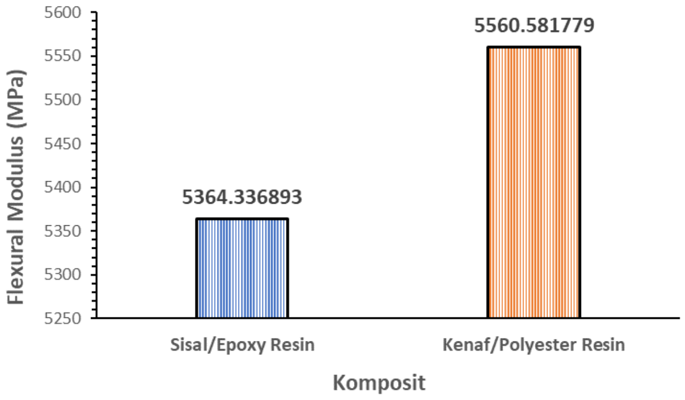
Berdasarkan hasil *flexural modulus* yang telah didapatkan maka dapat ditarik kesimpulan variasi orientasi arah sudut serat yang memiliki nilai *flexural modulus* terbaik dimiliki oleh komposit serat sisal/epoxy dengan nilai *flexural modulus* sebesar 5364,3368 MPa dengan pembebanan sebesar 434 N dengan variasi orientasi arah serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-

45°)2/(0°)2] sedangkan nilai *flexural modulus* dari komposit serat kenaf/polyester menghasilkan nilai *flexural modulus* sebesar 5560,581 MPa dengan pembebanan sebesar 1123 N dengan variasi orientasi arah serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] yang dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.9 Nilai *Flexural Modulus* Komposit Sisal/Epoxy Resin dan Kenaf/Polyester Resin

Komposit	Arah Orientasi Sudut Serat	Flexural Modulus (MPa)
Sisal/Epoxy Resin	[(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2]	5364.336893
Kenaf/Polyester Resin	[(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2]	5560.581779

Hal ini terjadi karena berdasarkan material properties yang berkorelasi dengan nilai regangan dari serat kenaf dan serat sisal material komposit serat serat kenaf/polyester resin memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit sisal/epoxy resin karena memiliki nilai *flexural strain* yang lebih kecil seperti Gambar 4.44.



Gambar 4.45 Grafik *Flexural Modulus*

Karena nilai *flexural strain* yang lebih kecil, sehingga menghasilkan *flexural modulus* yang lebih besar sehingga material komposit serat kenaf/polyester resin bersifat lebih kaku dibandingkan dengan komposit serat sisal/epoxy resin yang memiliki nilai flexural modulus yang lebih kecil.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada penelitian ini didapatkan bahwa fraksi volume serat yang terbaik pada material komposit sisal/epoxy yaitu sebesar 40% dan untuk material komposit kenaf/polyester adalah 40% jika dibandingkan dengan kombinasi fraksi volume serat lainnya. Hal ini dikarenakan penggunaan fraksi volume tersebut pada pengujian *three point bending* dengan standar ASTM D790 menghasilkan nilai *flexural stress* dan *shear stress* yang sangat baik jika dibandingkan dengan fraksi volume serat lainnya. Pada material sisal/epoxy memiliki nilai *total deformation* dan *flexural strain* yang paling tinggi jika dibandingkan dengan fraksi volume lainnya, tetapi pada material kenaf/polyester memiliki nilai *total deformation* dan *flexural strain* tidak paling tinggi jika dibandingkan dengan fraksi volume serat lainnya. Hal ini menandakan material komposit k*enaf/polyester* memiliki kekakuan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan material komposit sisal/epoxy.
2. Pada penelitian ini didapatkan bahwa orientasi sudut serat yang terbaik pada material komposit sisal/epoxy yaitu [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] dan untuk material komposit kenaf/polyester yaitu [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2]. Hal ini dikarenakan penggunaan kombinasi sudut orientasi tersebut pada pengujian *three point bending* dengan standar ASTM D790 menghasilkan nilai *flexural stress* yang sangat baik dibandingkan dengan orientasi sudut serat pada variasi lainnya. Tetapi memiliki kelemahan dalam menahan beban *shear stress* dibandingkan beberapa orientasi sudut serat lainnya dan juga memiliki kekakuan yang lebih jika dibandingkan dengan orientasi sudut serat lainnya dengan hasil *total deformation*, *flexural strain*, dan *flexural modulus* yang tinggi.
3. Pada penelitian ini didapatkan bahwa kombinasi fraksi volume dan orientasi sudut serat yang terbaik pada material komposit sisal/epoxy dengan fraksi volume 40% dan orientasi sudut serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2]. Hal ini dikarenakan penggunaan kombinasi fraksi volume dan orientasi sudut serat tersebut pada pengujian *three point bending* dengan standar ASTM D790 menghasilkan nilai *flexural stress* dan *shear stress* yang lebih tinggi jika dibandingkan material komposit kenaf/polyester dengan fraksi volume 40% dan orientasi sudut serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2].

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 data material yang lebih lengkap agar simulasi yang didapatkan dapat merepresentasikan hasil yang akurat.
2. Disarankan untuk melakukan pengujian *three point bending* dengan ukuran spesimen yang sama agar hasil yang didapatkan lebih akurat.
3. Disarankan untuk melakukan eksperimen agar data kekuatan dari material merupakan data yang lebih akurat.

‘‘Halaman ini sengaja dikosongkan.’’

DAFTAR PUSTAKA

ASTM D7264. (2007). *Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials 1 Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials 1*. *March*.

ASTM D790. (2015). D790-03-Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulation Materials. *ASTM Standards*, 1–11. http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Standard+Test+Methods+for+Flexural+Properties+of+Unreinforced+and+Reinforced+Plastics+and+Electrical+Insulating+Materials#0

Bisanda, E. T. N., & Ansell, M. P. (1991). The effect of silane treatment on the mechanical and physical properties of sisal-epoxy composites. *Composites Science and Technology*, *41*(2), 165–178. https://doi.org/10.1016/0266-3538(91)90026-L

Daniel, I. M., & Ishai, O. (2006). Engineering Mechanics of Composite Materials. In *Oxford University Press* (Vol. 17, Issue 2). https://doi.org/10.1016/s0261-3069(97)87195-6

Fajrin, J., Akmaluddin, A., & Gapsari, F. (2022). Utilization of Kenaf Fiber Waste As Reinforced Polymer Composites. *Results in Engineering*, *13*(December 2021), 100380. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100380

Freire, R. T. S., dos Santos, J. C., Panzera, T. H., & da Silva, L. J. (2021). Recent research and developments in hybrid natural fiber composites. In *Hybrid Natural Fiber Composites: Material Formulations, Processing, Characterization, Properties, and Engineering Applications*. Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819900-8.00008-8

Groover, M. P. (2010). FUNDAMENTALS OF MODERN MANUFACTURING. *FUNDAMENTALS OF MODERN MANUFACTURING Materials,Processes,AndSystems*, 98–132.

Gupta, M. K., & Srivastava, R. K. (2014). Tensile and Flexural Properties of Sisal Fibre Reinforced Epoxy Composite: A Comparison between Unidirectional and Mat form of Fibres. *Procedia Materials Science*, *5*, 2434–2439. https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.489

Ibrahim, M. I., Hassan, M. Z., Dolah, R., Yusoff, M. Z. M., & Salit, M. S. (2018). Tensile Behaviour for Mercerization of Single Kenaf Fiber. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, *14*(4), 437–439. https://doi.org/10.11113/mjfas.v14n4.1099

Isworo, H., & Ansyah, P. R. (2018). *Metode Elemen Hingga* (Vol. 1).

Jones, R. M. (1999). Mechanics Of Composite Materials Second Edition. In *Taylor & Francis, Inc.* (p. 507). Taylor & Francis. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100369-5.00008-8

Khamid. (2011). *Kelebihan dan Kekurangan Three Point Bending*. 6–25.

Kumar, M. (2017). *Composite Structures : Design, Mechanics, Analysis, Manufacturing, and Testing*. Taylor & Francis Group.

Kusumastuti, A. (2009). *Aplikasi Serat Sisal sebagai Komposit Polimer*. *1*(1), 27–32.

Lokantara, P., & Gede, P. (2012). Analisis Arah Dan Perlakuan Serat Tapis Serta Rasio Epoxy Hardener Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Komposit Tapis/Epoxy. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, *2*(2).

Mariselvam, V., & Logesh, M. (2015). Analytical analysis on material properties of Kenaf fiber composite. *International Journal of Applied Engineering Research*, *10*(50), 617–620.

Matthews, F. L., & Rawlings, R. D. (1999). *Composite Materials : Engineering and Science*. Woodhead Publishing Limited.

Naveen, P. N. E., & Dharma Raju, T. (2013). Evaluation of mechanical properties of coconut coir fiber reinforced polymer matrix composites. *Journal of Nano Research*, *24*, 34–45. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JNanoR.24.34

Oroh, J. (2013). ANALISIS SIFAT MEKANIK MATERIAL KOMPOSIT DARI SERAT SABUT KELAPA. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, *126*(1712), 583. https://doi.org/10.2307/964910

Qodriyatun, S. N. (2021). *GREEN ENERGY DAN TARGET PENGURANGAN EMISI* (p. 6). Pusat Penelitian Badan Keahlian DPR RI.

Ratna Prasad, A. V., & Mohana Rao, K. (2011). Mechanical properties of natural fibre reinforced polyester composites: Jowar, sisal and bamboo. *Materials and Design*, *32*(8–9), 4658–4663. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.03.015

Ratwani, M. M. (2010). Composite Materials and Sandwich Structures A Primer. *NATO : Materials & Design*, 16.

Salam, S. (2007). *STUDI SIFAT FISIS DAN MEKANIS KOMPOSIT MATRIKS RESIN EPOXY YANG DIPERKUAT DENGAN SERBUK TITANIA*.

Santoso, B., Jamil, A. H., & Machfud, M. (2016). Manfaat Kenaf (Hibiscus cannabinus L.) dalam Penyerapan Karbondioksida (CO2). *Perspektif*, *14*(2), 125. https://doi.org/10.21082/p.v14n2.2015.125-133

Sinitsky, O. (2022). The Mechanical Response of Epoxy – Sisal Composites. *Computational and Experimental Study*.

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. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, *143*(February), 106320. https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2021.106320

LAMPIRAN

Orthotropic Elasticity dan *Orthotropic Stress Limit*
SISAL

SISAL			0,15
Orthotropic Elasticity		Orthotropic Elasticity	
Young Modulus X	3940.9	Tensile X	92.705
Young Modulus Y	3759.1	Tensile Y	45.029
Young Modulus Z	3759.1	Tensile Z	45.029
Poisson Ratio XY	0.36681	Compressive X	-18.454
Poisson Ratio YZ	0.36839	Compressive Y	-58.53
Poissons Ratio XZ	0.36681	Compressive Z	-58.53
Shear Modulus XY	1381.6	Shear XY	40.89
Shear Modulus YZ	1373.6	Shear YZ	20.445
Shear Modulus XZ	1381.6	Shear XZ	40.89

15%

SISAL			0,2
Orthotropic Elasticity		Orthotropic Stress Limit	
Young Modulus X	4121.1	Tensile X	96.941
Young Modulus Y	3887.9	Tensile Y	39.619
Young Modulus Z	3887.9	Tensile Z	39.619
Poisson Ratio XY	0.36901	Compressive X	-22.483
Poisson Ratio YZ	0.37071	Compressive Y	-51.505
Poissons Ratio XZ	0.36901	Compressive Z	-51.505
Shear Modulus XY	1428.6	Shear XY	41.394
Shear Modulus YZ	1418.2	Shear YZ	20.697
Shear Modulus XZ	1428.6	Shear XZ	41.394

20%

SISAL			0,3
Orthotropic Elasticity		Orthotropic Stress Limit	
Young Modulus X	4481.4	Tensile X	105.41
Young Modulus Y	4161.5	Tensile Y	30.54
Young Modulus Z	4161.5	Tensile Z	30.54
Poisson Ratio XY	0.37331	Compressive X	-24.448
Poisson Ratio YZ	0.3748	Compressive Y	-39.707
Poissons Ratio XZ	0.37331	Compressive Z	-39.707
Shear Modulus XY	1527.8	Shear XY	41.55
Shear Modulus YZ	1513.5	Shear YZ	20.775
Shear Modulus XZ	1527.8	Shear XZ	41.55

30%

SISAL			0,4
Orthotropic Elasticity		Orthotropic Stress Limit	
Young Modulus X	4481.4	Tensile X	113.88
Young Modulus Y	4460.2	Tensile Y	22.893
Young Modulus Z	4460.2	Tensile Z	22.893
Poisson Ratio XY	0.37331	Compressive X	-26.412
Poisson Ratio YZ	0.3748	Compressive Y	-29.761
Poissons Ratio XZ	0.37331	Compressive Z	-29.761
Shear Modulus XY	1634.6	Shear XY	41.84
Shear Modulus YZ	1618.1	Shear YZ	20.92
Shear Modulus XZ	1634.6	Shear XZ	41.84

40%

SISAL			0,5
Orthotropic Elasticity		Orthotropic Stress Limit	
Young Modulus X	5201.6	Tensile X	122.35
Young Modulus Y	4788.2	Tensile Y	16.15
Young Modulus Z	4788.2	Tensile Z	16.15
Poisson Ratio XY	0.38151	Compressive X	-28.37
Poisson Ratio YZ	0.38118	Compressive Y	-20.998
Poissons Ratio XZ	0.38151	Compressive Z	-20.998
Shear Modulus XY	1750.1	Shear XY	42.002
Shear Modulus YZ	1733.5	Shear YZ	21.001
Shear Modulus XZ	1750.1	Shear XZ	42.002

50%

SISAL			0,6
Orthotropic Elasticity		Orthotropic Stress Limit	
Young Modulus X	5561.6	Tensile X	130.82
Young Modulus Y	5149.3	Tensile Y	10.059
Young Modulus Z	5149.3	Tensile Z	10.059
Poisson Ratio XY	0.38544	Compressive X	-30.34
Poisson Ratio YZ	0.38396	Compressive Y	-13.07
Poissons Ratio XZ	0.38544	Compressive Z	-13.07
Shear Modulus XY	1875.3	Shear XY	41.006
Shear Modulus YZ	1860.3	Shear YZ	20.503
Shear Modulus XZ	1875.3	Shear XZ	41.006

60%

SISAL			0,7
Orthotropic Elasticity		Orthotropic Stress Limit	
Young Modulus X	5921.4	Tensile X	139.29
Young Modulus Y	5545.8	Tensile Y	4.45
Young Modulus Z	5545.8	Tensile Z	4.45
Poisson Ratio XY	0.38926	Compressive X	-32.306
Poisson Ratio YZ	0.38709	Compressive Y	-5.791
Poissons Ratio XZ	0.38926	Compressive Z	-5.791
Shear Modulus XY	2011.9	Shear XY	41.84
Shear Modulus YZ	1999.1	Shear YZ	20.92
Shear Modulus XZ	2011.9	Shear XZ	41.84

70%

KENAF

KENAF			0,2
Orthotropic Elasticity		Orthotropic Elasticity	
Young Modulus X	4094.4	Tensile X	47.814
Young Modulus Y	3768	Tensile Y	19.8
Young Modulus Z	3768	Tensile Z	19.8
Poisson Ratio XY	0.34425	Compressive X	-12.38
Poisson Ratio YZ	0.35985	Compressive Y	-44.57
Poissons Ratio XZ	0.34425	Compressive Z	-44.57
Shear Modulus XY	1402.1	Shear XY	46.94
Shear Modulus YZ	1385.4	Shear YZ	23.47
Shear Modulus XZ	1402.1	Shear XZ	46.94

20%

KENAF			0,3
Orthotropic Elasticity		Orthotropic Elasticity	
Young Modulus X	4541.5	Tensile X	53.035
Young Modulus Y	4089.3	Tensile Y	15.27
Young Modulus Z	4089.3	Tensile Z	15.27
Poisson Ratio XY	0.34148	Compressive X	-20.76
Poisson Ratio YZ	0.36056	Compressive Y	-34.36
Poissons Ratio XZ	0.34148	Compressive Z	-34.36
Shear Modulus XY	1526.2	Shear XY	47.67
Shear Modulus YZ	1502.8	Shear YZ	23.835
Shear Modulus XZ	1526.2	Shear XZ	47.67

30%

KENAF			0,4
Orthotropic Elasticity		Orthotropic Elasticity	
Young Modulus X	4988.6	Tensile X	58.256
Young Modulus Y	4444.8	Tensile Y	11.44
Young Modulus Z	4444.8	Tensile Z	11.44
Poisson Ratio XY	0.33879	Compressive X	-30.63
Poisson Ratio YZ	0.35898	Compressive Y	-25.75
Poissons Ratio XZ	0.33879	Compressive Z	-25.75
Shear Modulus XY	1662.8	Shear XY	48.213
Shear Modulus YZ	1635.4	Shear YZ	24.1065
Shear Modulus XZ	1662.8	Shear XZ	48.213

40%

KENAF			0,5
Orthotropic Elasticity		Orthotropic Elasticity	
Young Modulus X	5435.6	Tensile X	63.47
Young Modulus Y	4841.4	Tensile Y	8.07
Young Modulus Z	4141.4	Tensile Z	8.07
Poisson Ratio XY	0.33617	Compressive X	-42.053
Poisson Ratio YZ	0.3554	Compressive Y	-18.17
Poissons Ratio XZ	0.33617	Compressive Z	-18.17
Shear Modulus XY	1814.1	Shear XY	48.531
Shear Modulus YZ	1786.2	Shear YZ	24.2655
Shear Modulus XZ	1814.1	Shear XZ	48.531

50%

KENAF			0,6
Orthotropic Elasticity		Orthotropic Elasticity	
Young Modulus X	5882.6	Tensile X	68.697
Young Modulus Y	5285.6	Tensile Y	5.029
Young Modulus Z	5285.6	Tensile Z	5.029
Poisson Ratio XY	0.33361	Compressive X	-55.039
Poisson Ratio YZ	0.3503	Compressive Y	-11.316
Poissons Ratio XZ	0.33361	Compressive Z	-11.316
Shear Modulus XY	1982.6	Shear XY	48.591
Shear Modulus YZ	1957.2	Shear YZ	24.2955
Shear Modulus XZ	1982.6	Shear XZ	48.591

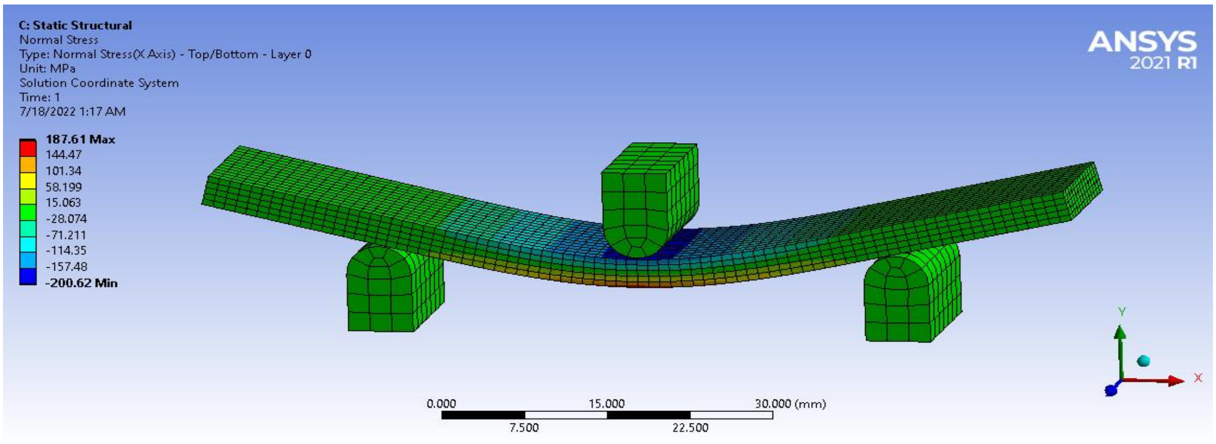
60%

KENAF			0,7
Orthotropic Elasticity		Orthotropic Elasticity	
Young Modulus X	6329.5	Tensile X	74.994
Young Modulus Y	5781.4	Tensile Y	2.227
Young Modulus Z	5781.4	Tensile Z	2.227
Poisson Ratio XY	0.3311	Compressive X	-69.634
Poisson Ratio YZ	0.34447	Compressive Y	-5.012
Poissons Ratio XZ	0.33111	Compressive Z	-5.012
Shear Modulus XY	2172	Shear XY	48.361
Shear Modulus YZ	2150.4	Shear YZ	24.1805
Shear Modulus XZ	2172	Shear XZ	48.361

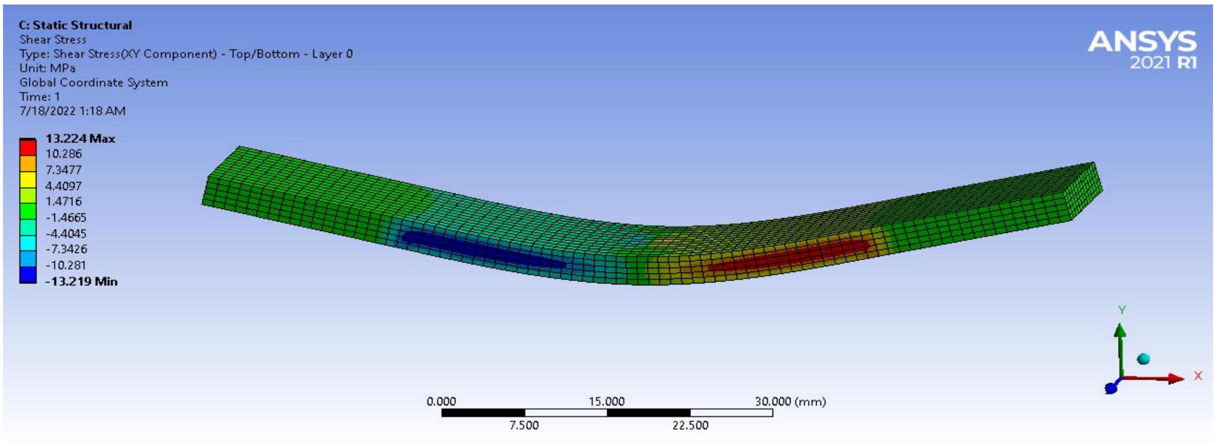
70%

HASIL SIMULASI FRAKSI VOLUME
SISAL

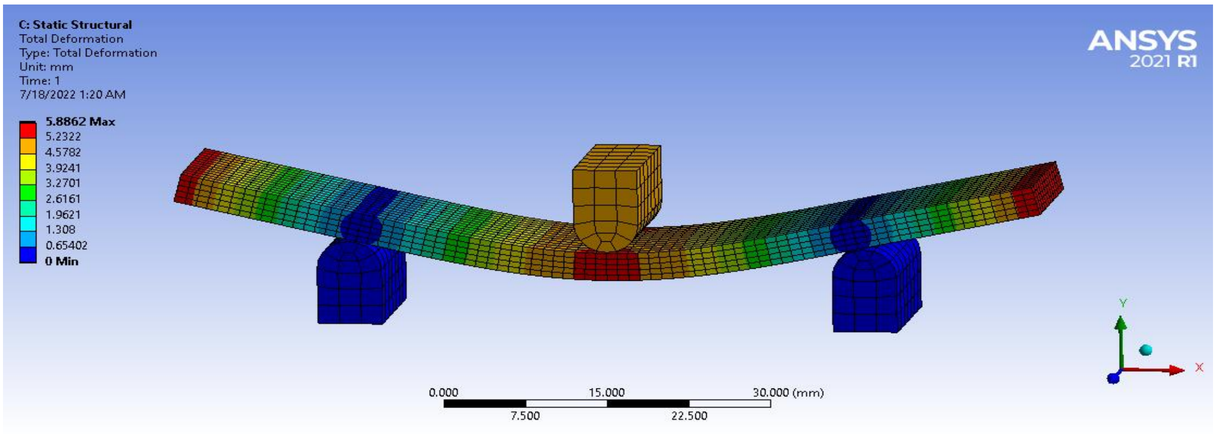
Fraksi Volume 15%



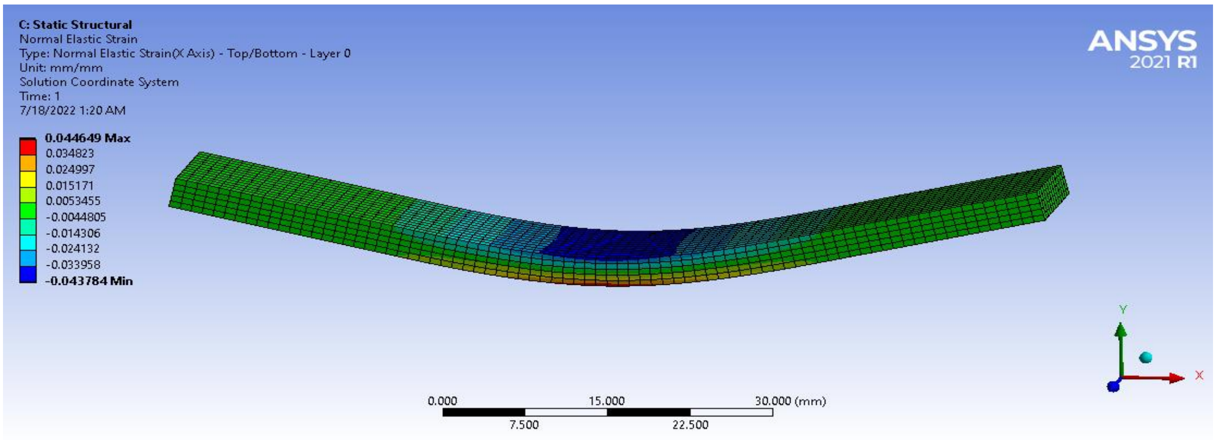
Flexural Stress



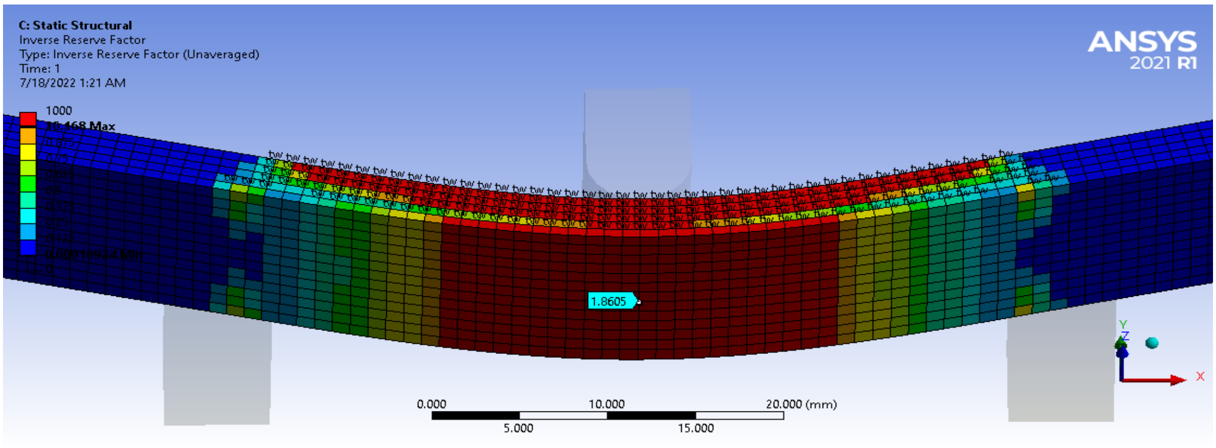
Shear Stress



Total Deformation

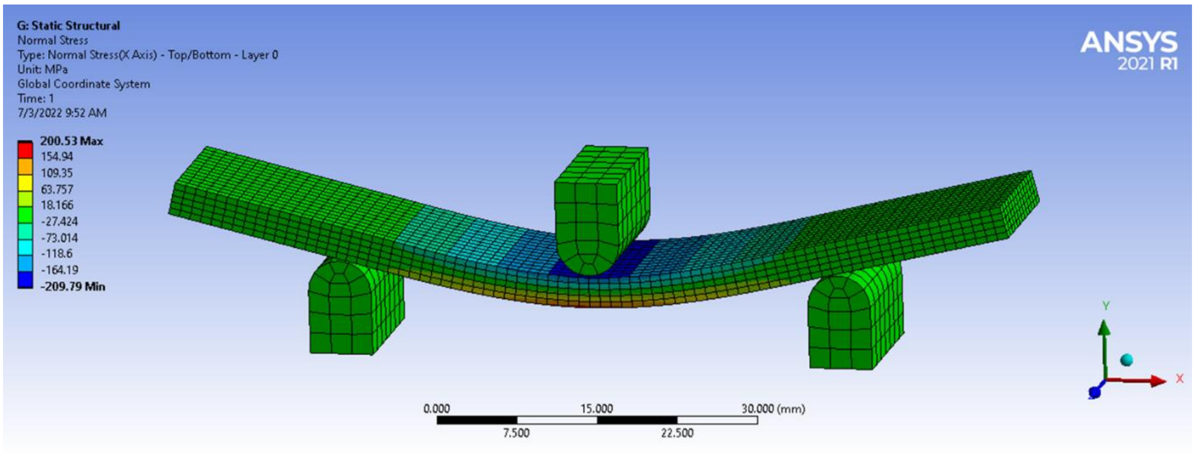


Flexural Strain

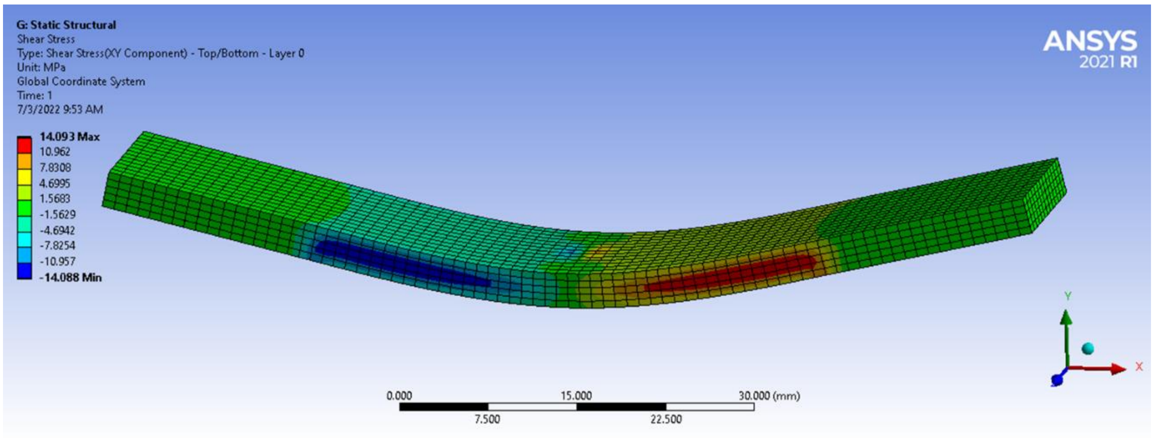


Inverse Reserve Factor

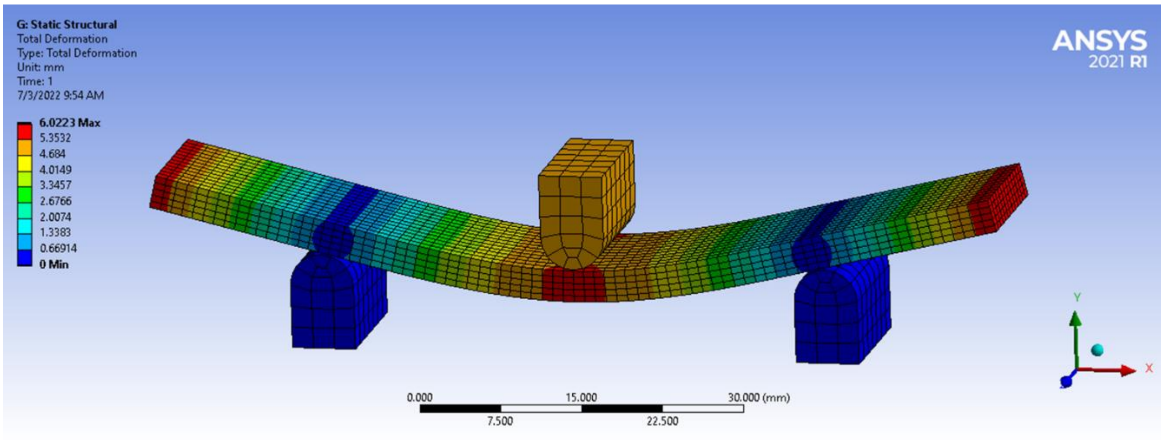
Fraksi Volume 20%



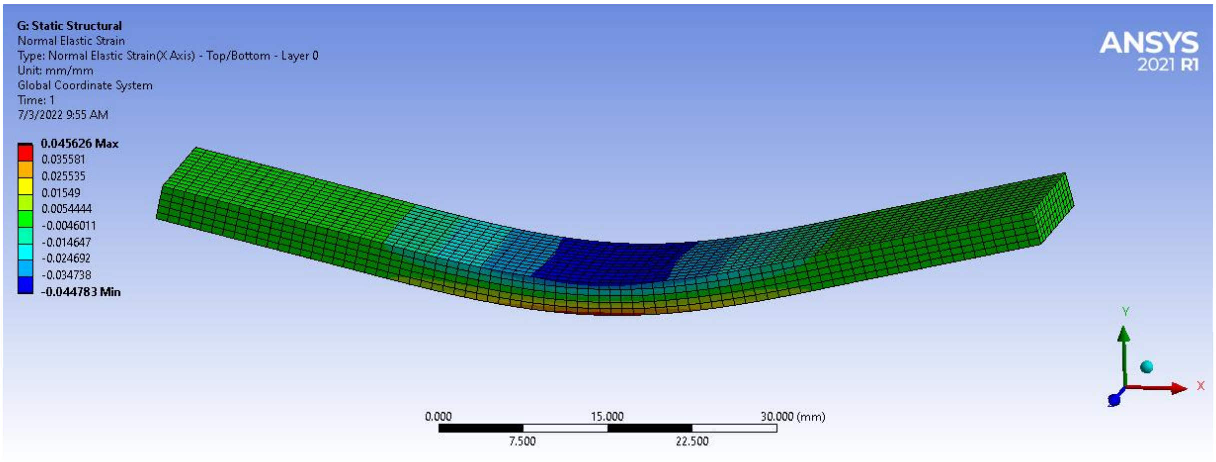
Flexural Stress



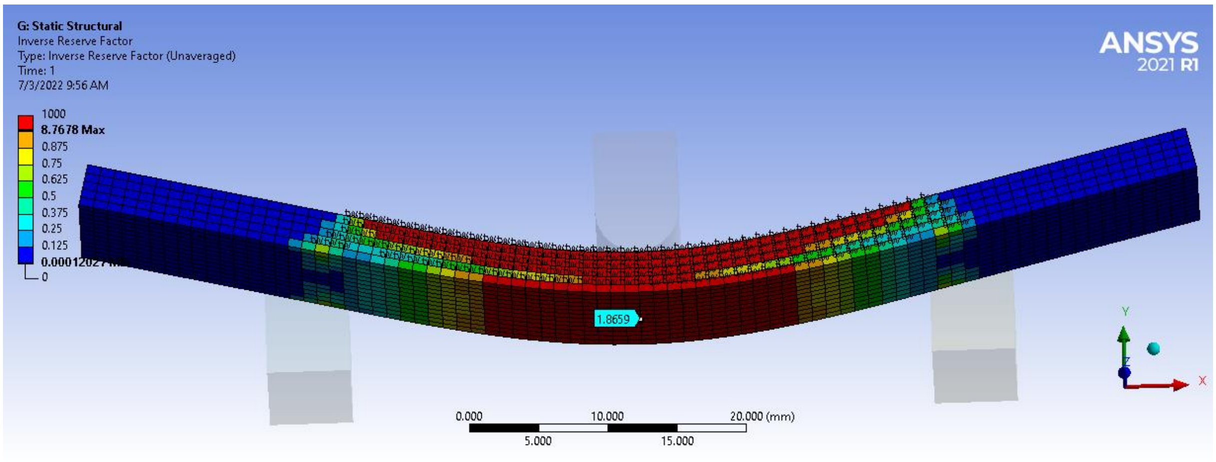
Shear Stress



Total Deformation

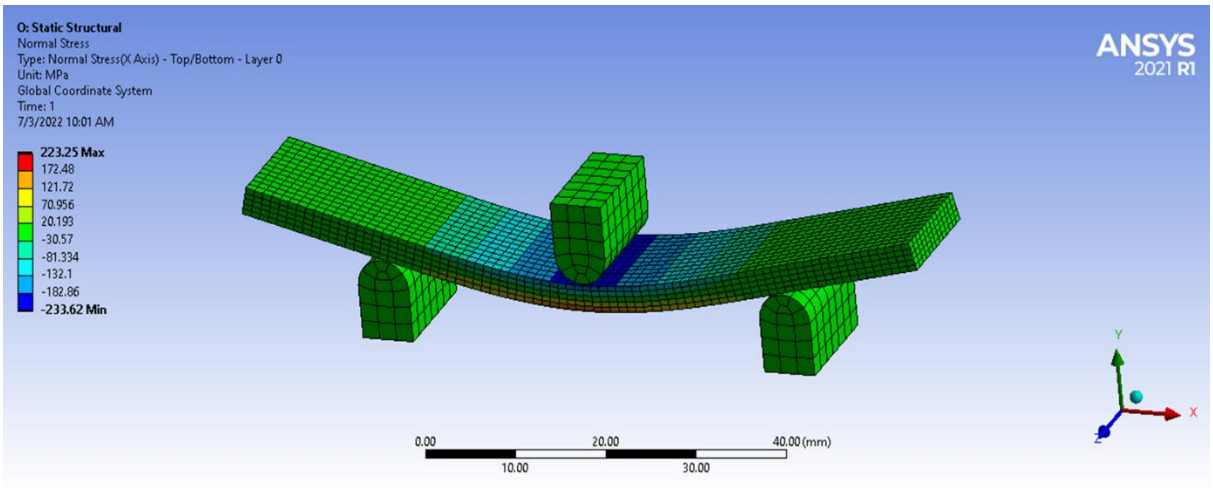


Flexural Strain

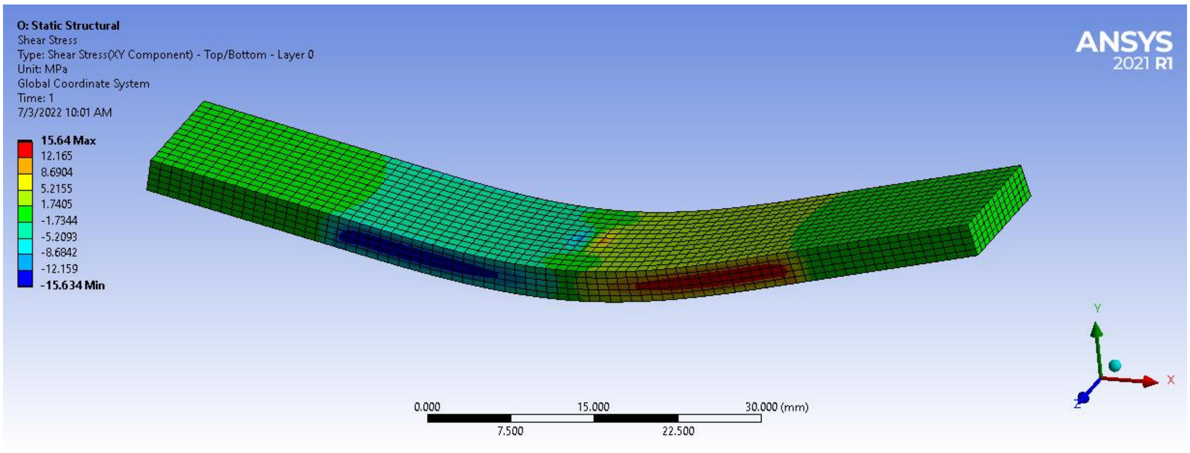


Inverse Reserve Factor

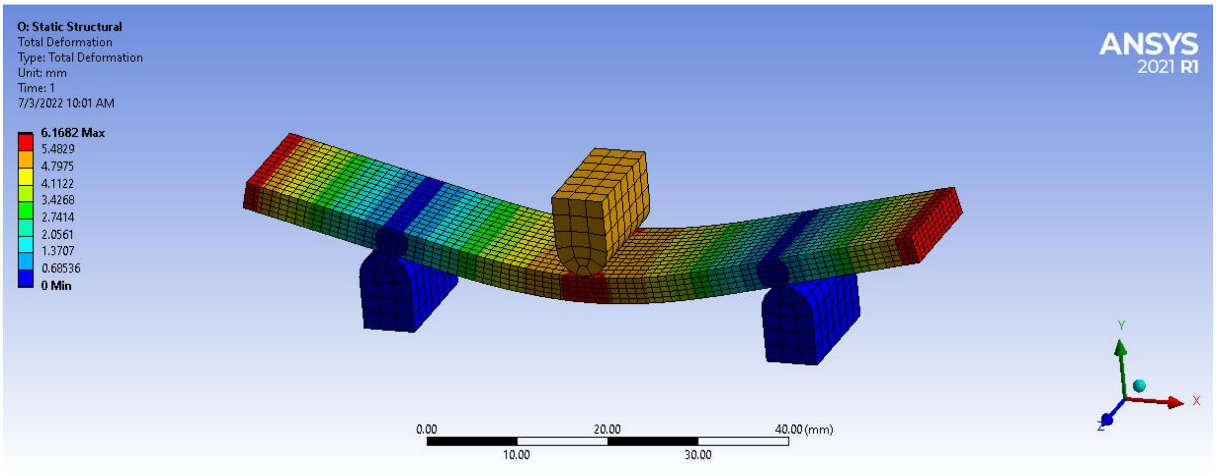
Fraksi Volume 30%



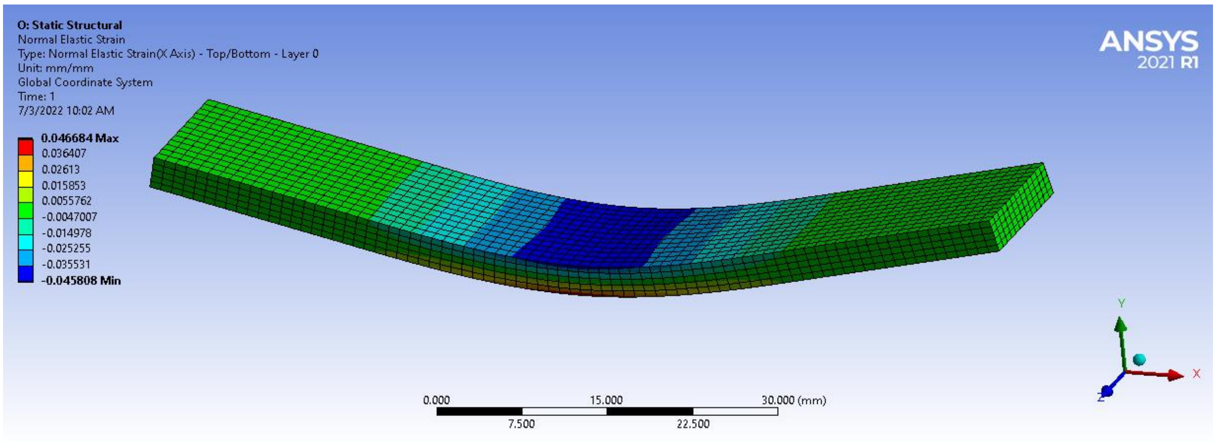
Flexural Stress



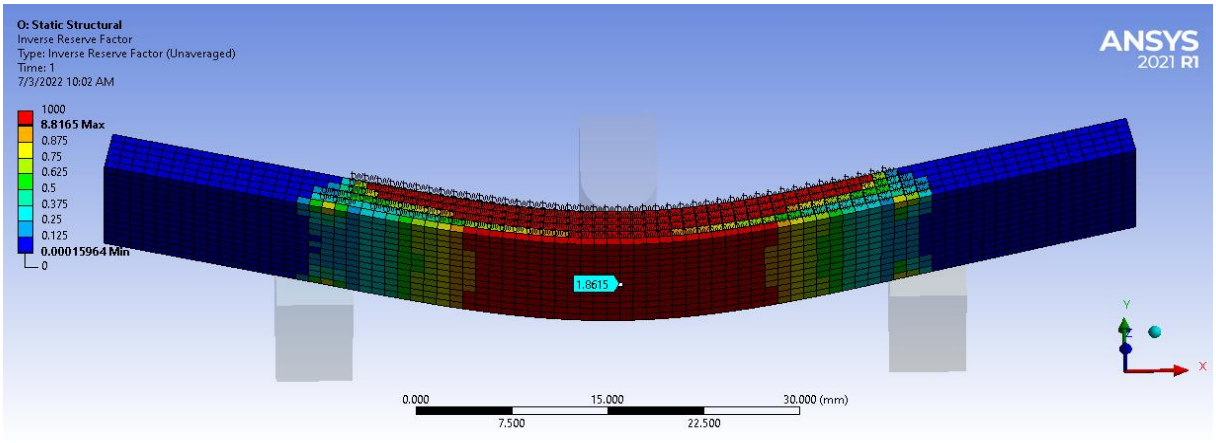
Shear Stress



Total Deformation

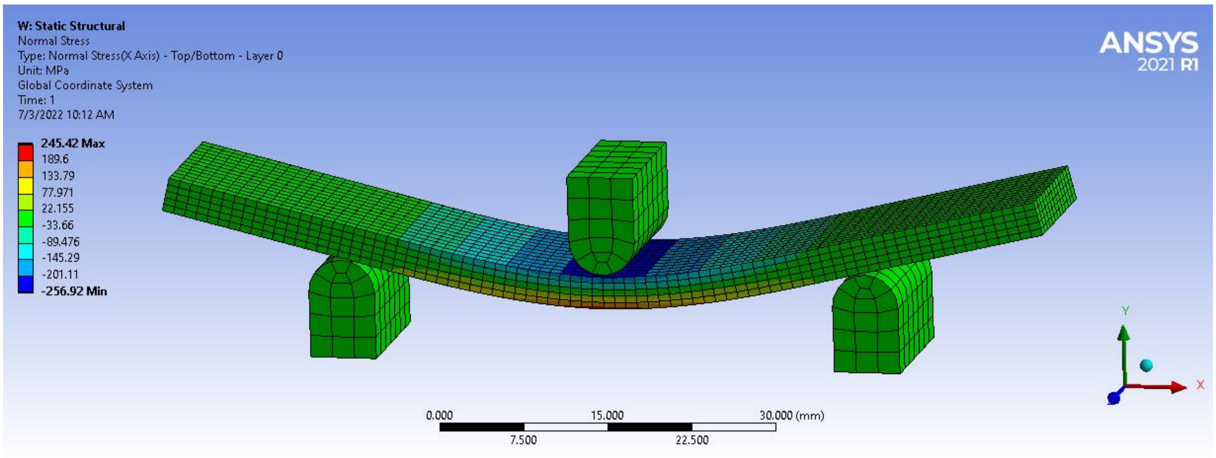


Flexural Strain

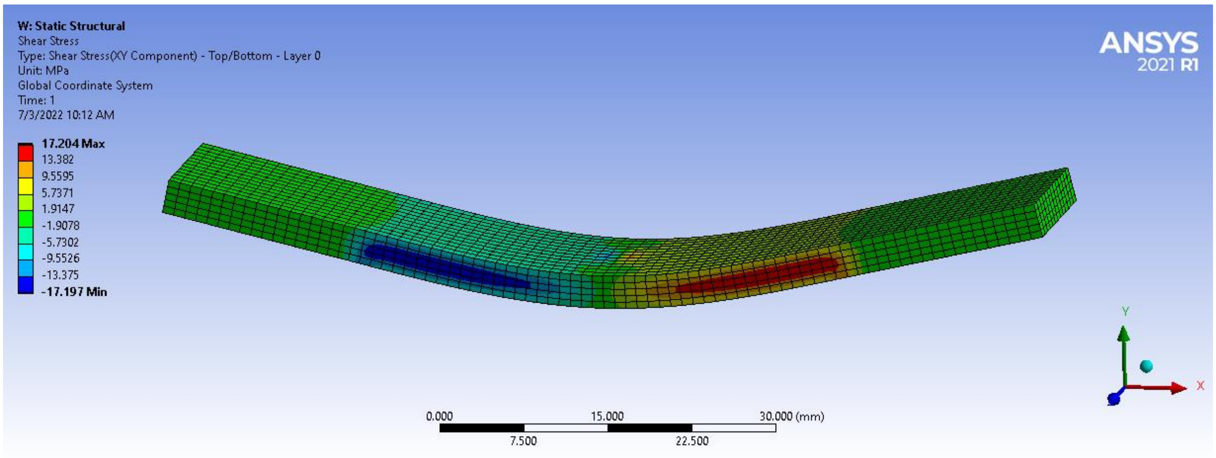


Inverse Reserve Factor

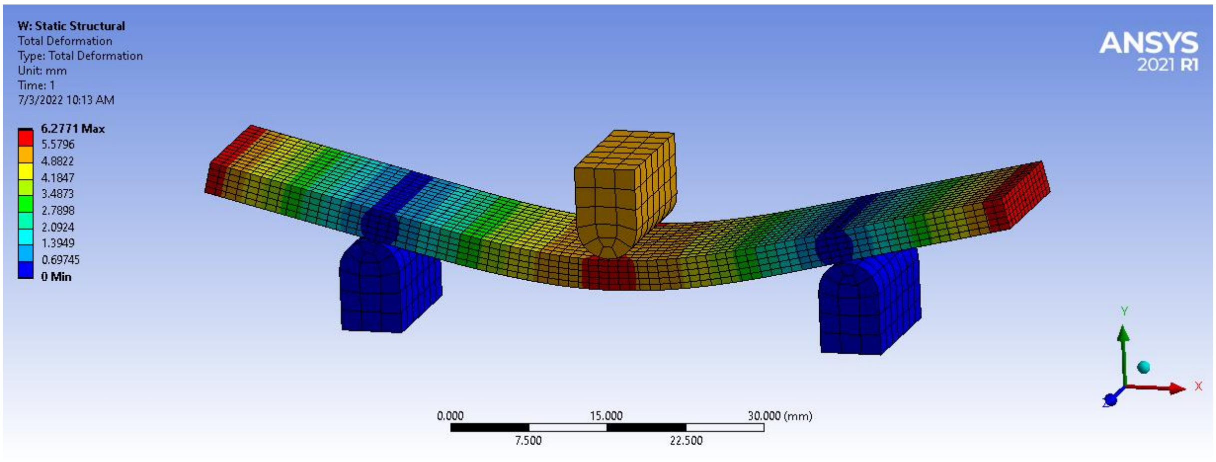
Fraksi Volume 40%



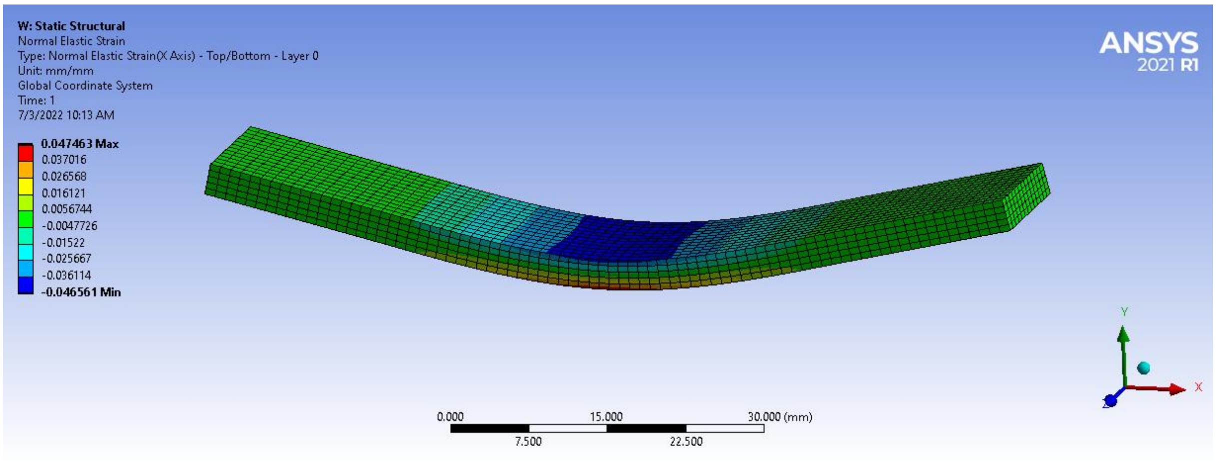
Flexural Stress



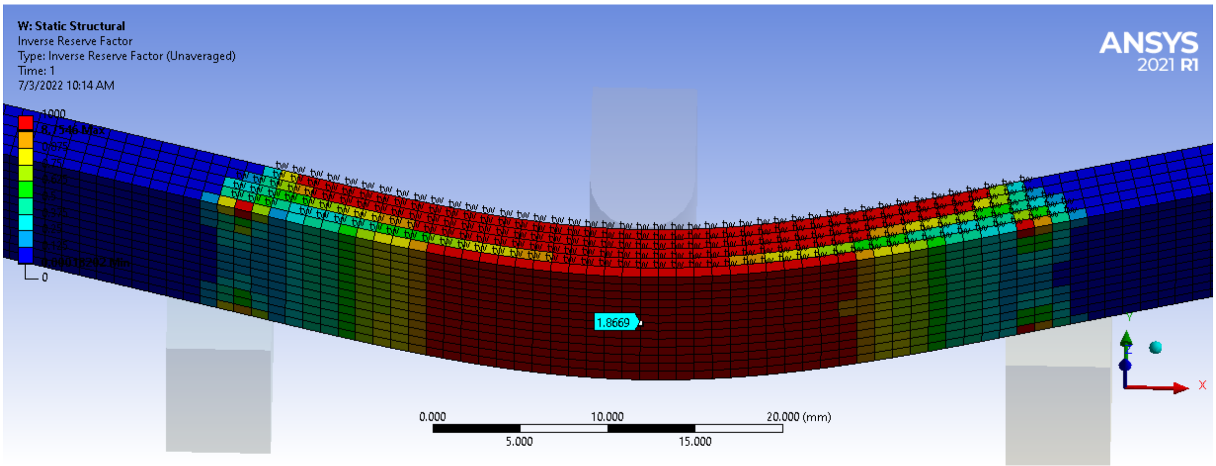
Shear Stress



Total Deformation

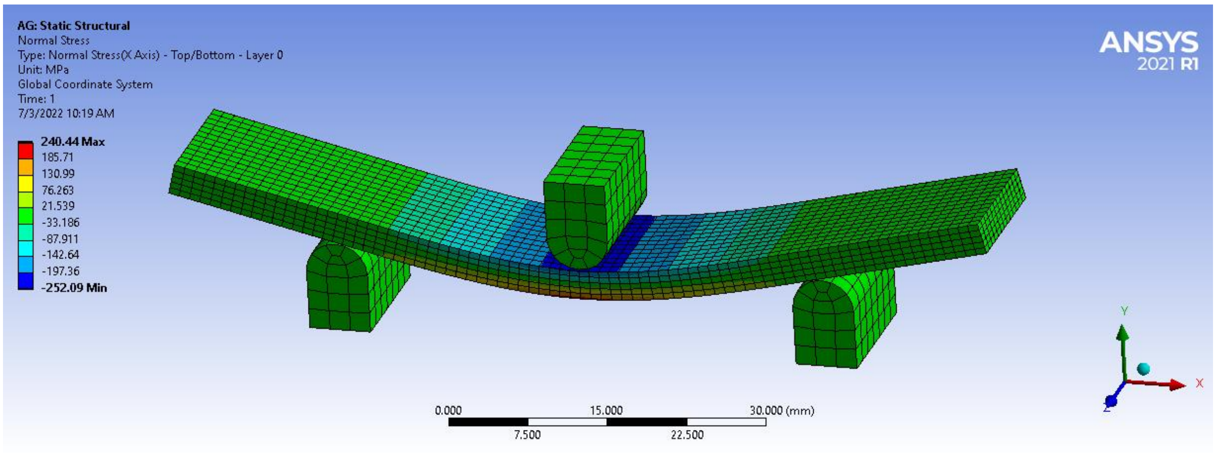


Flexural Strain

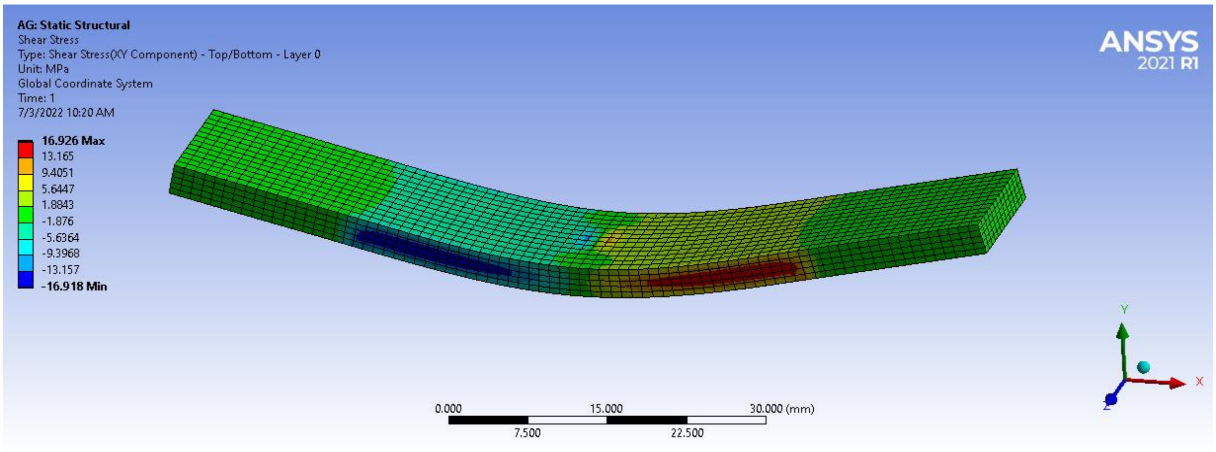


Inverse Reserve Factor

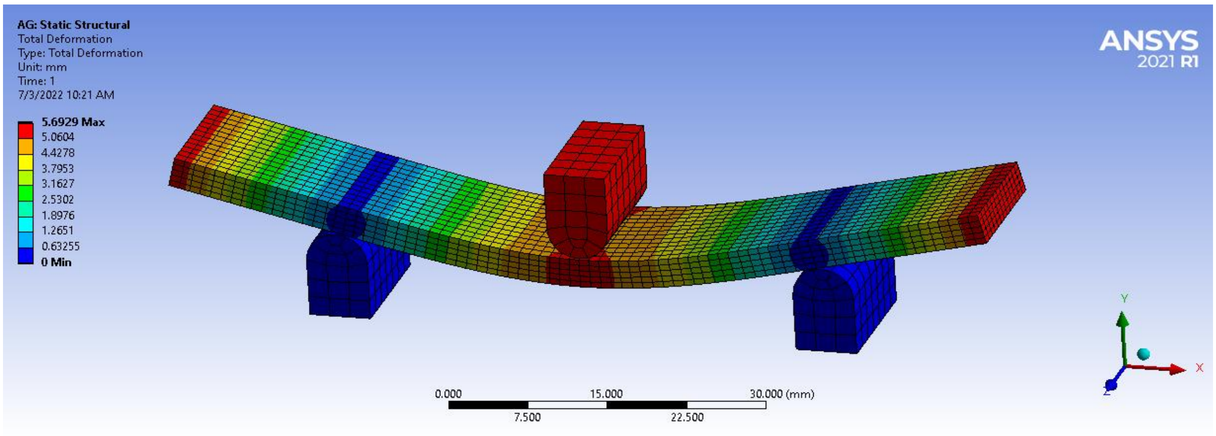
Fraksi Volume 50%



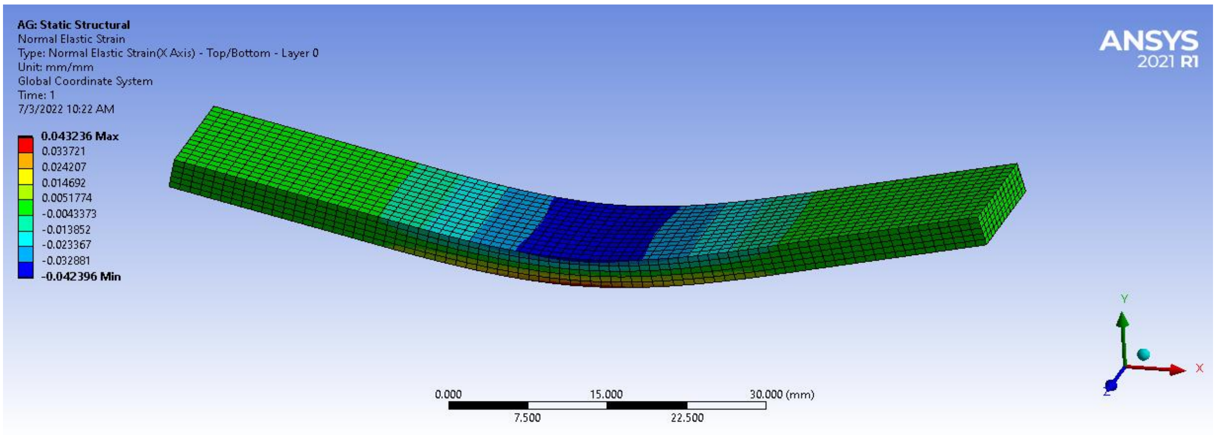
Flexural Stress



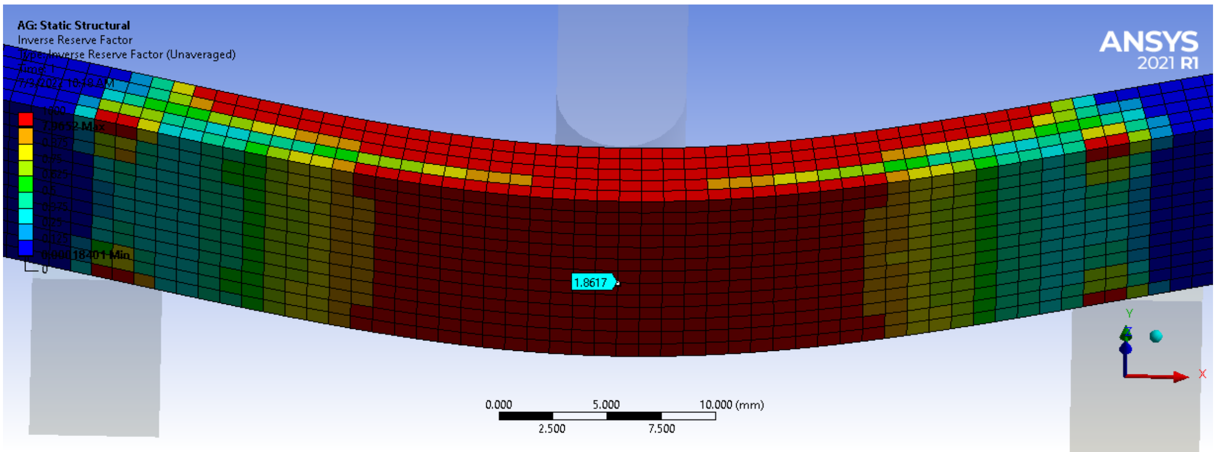
Shear Stress



Total Deformation

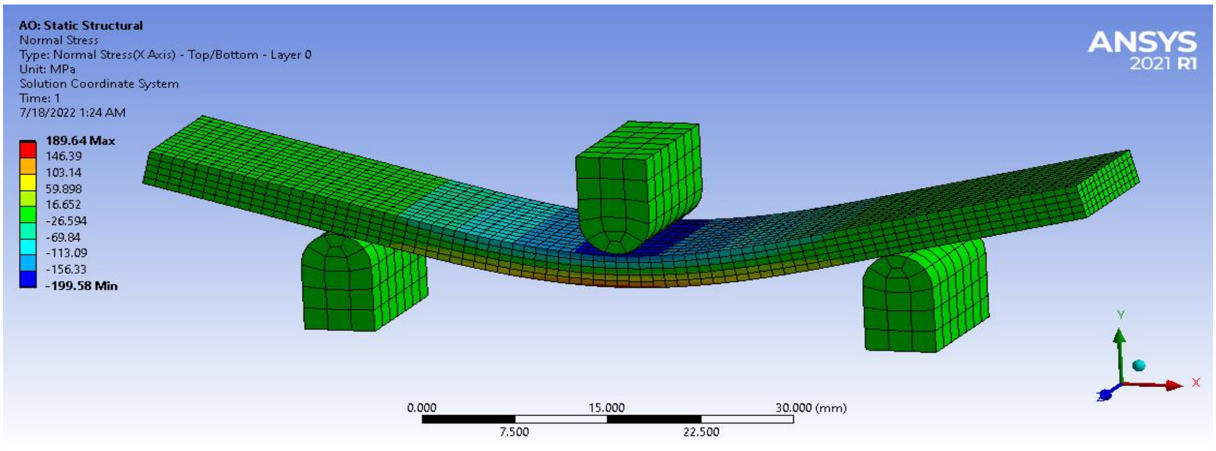


Flexural Strain

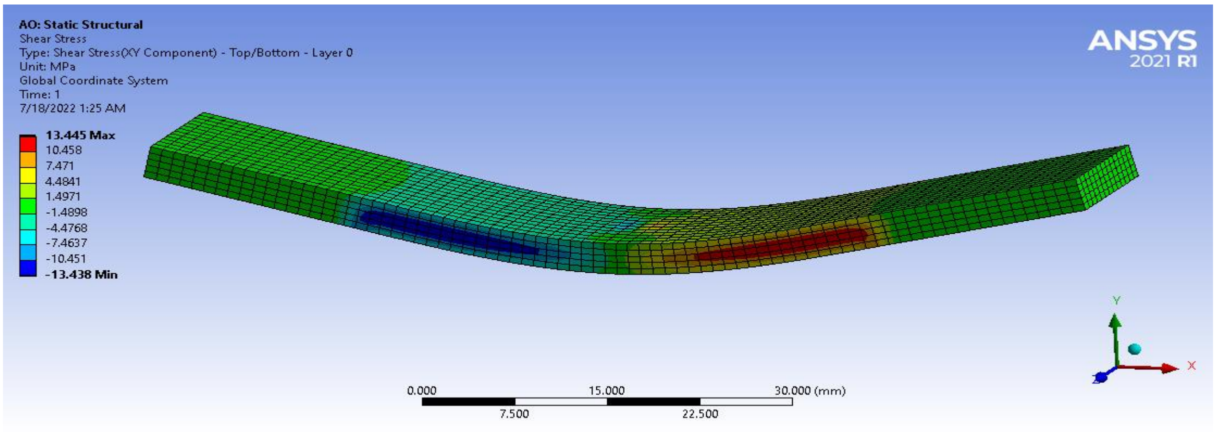


Inverse Reserve Factor

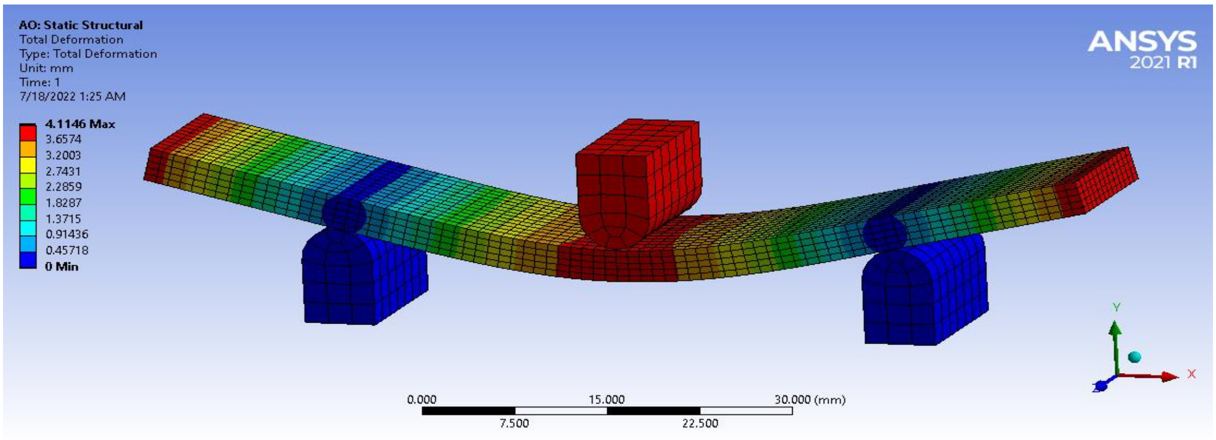
Fraksi Volume 60%



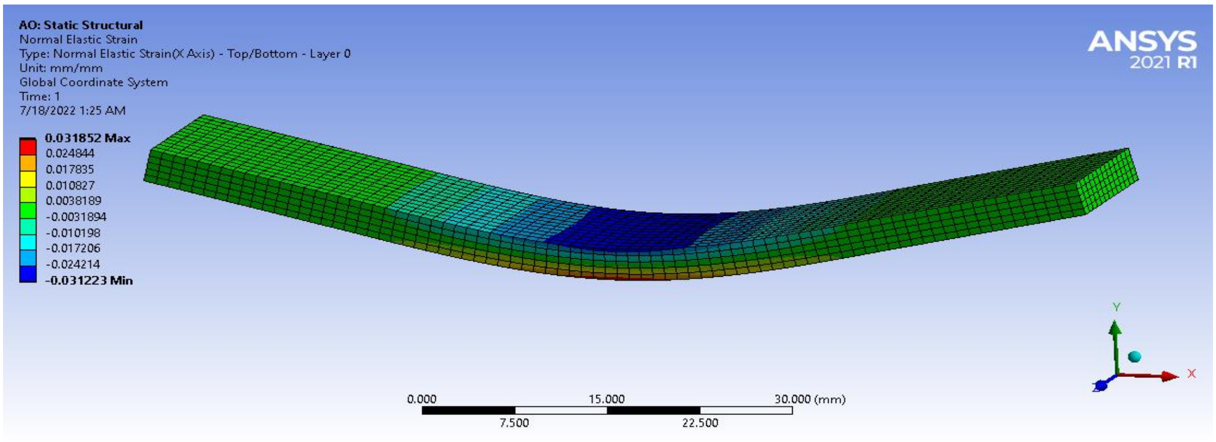
Flexural Stress



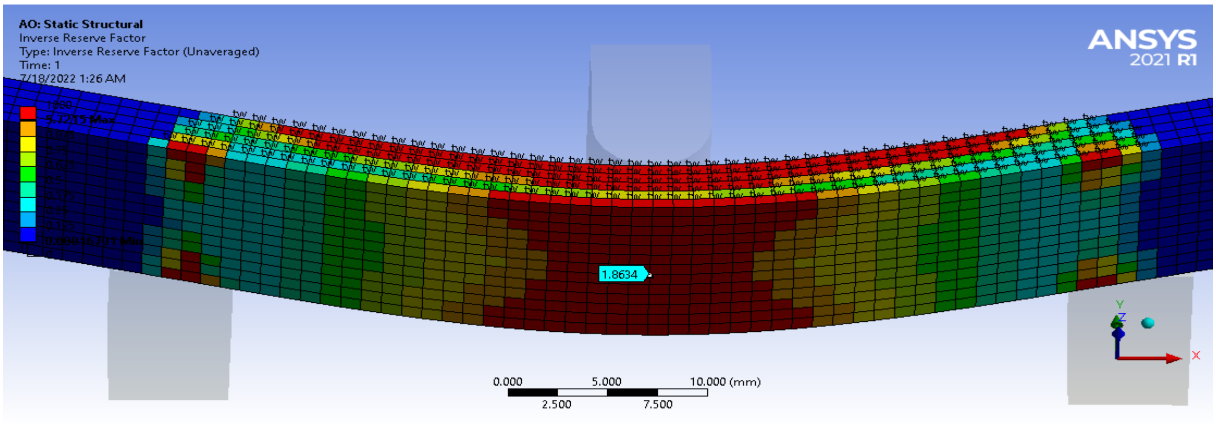
Shear Stress



Total Deformation

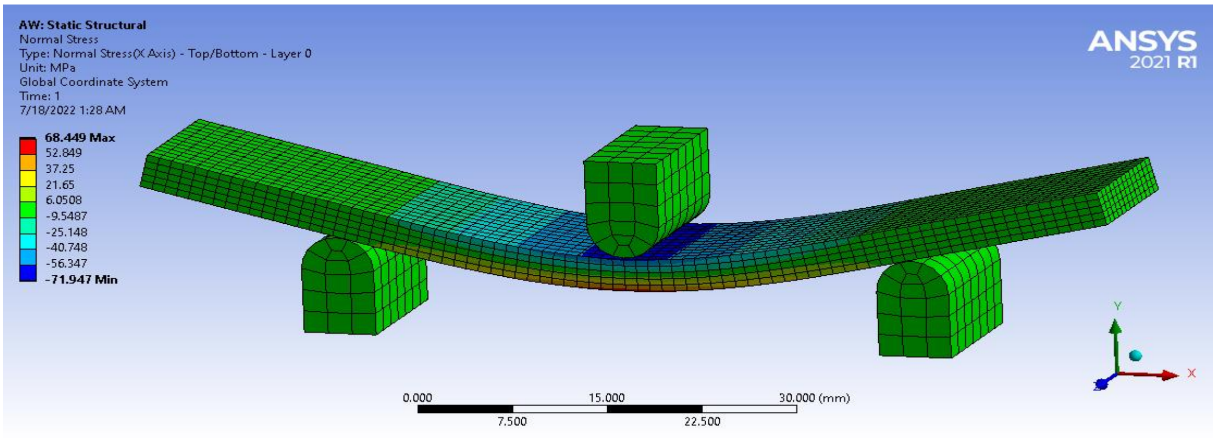


Flexural Strain

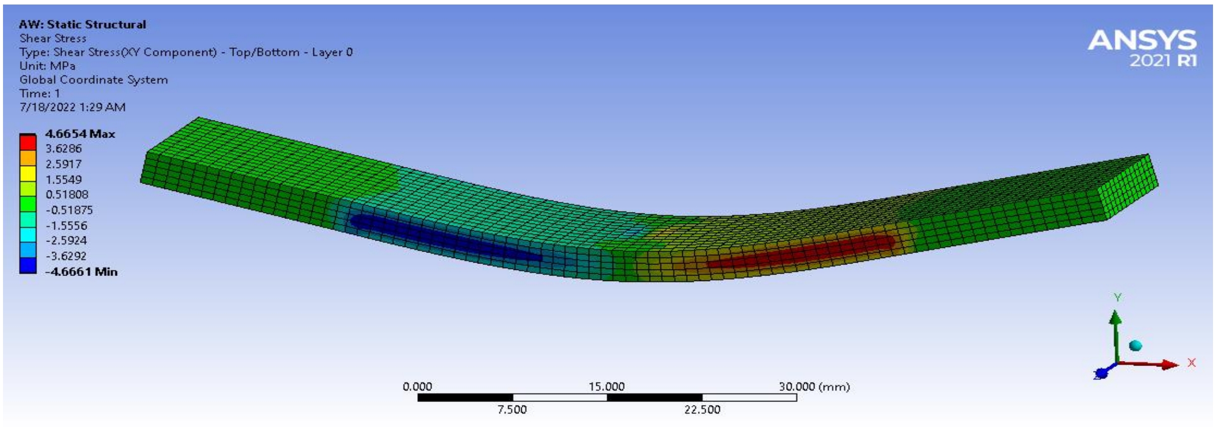


Inverse Reserve Factor

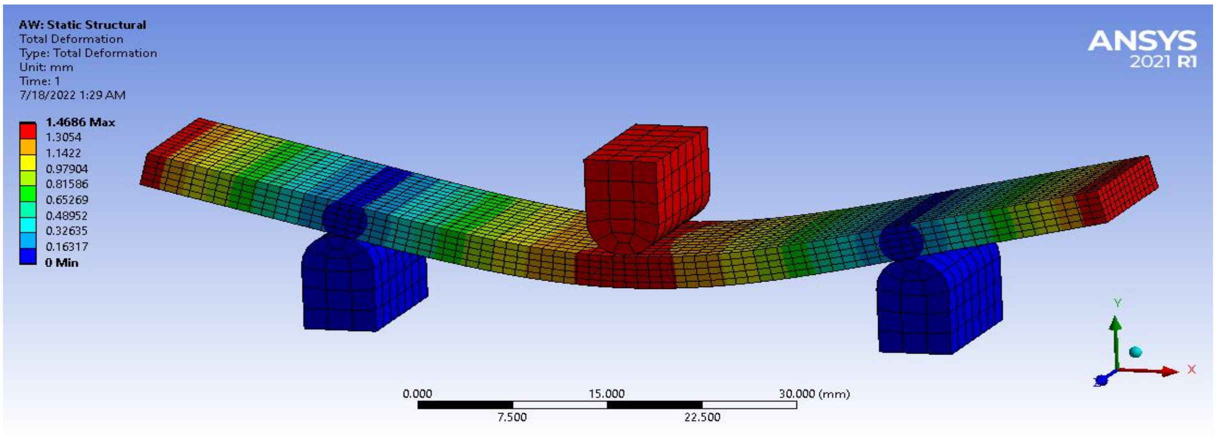
Fraksi Volume 70%



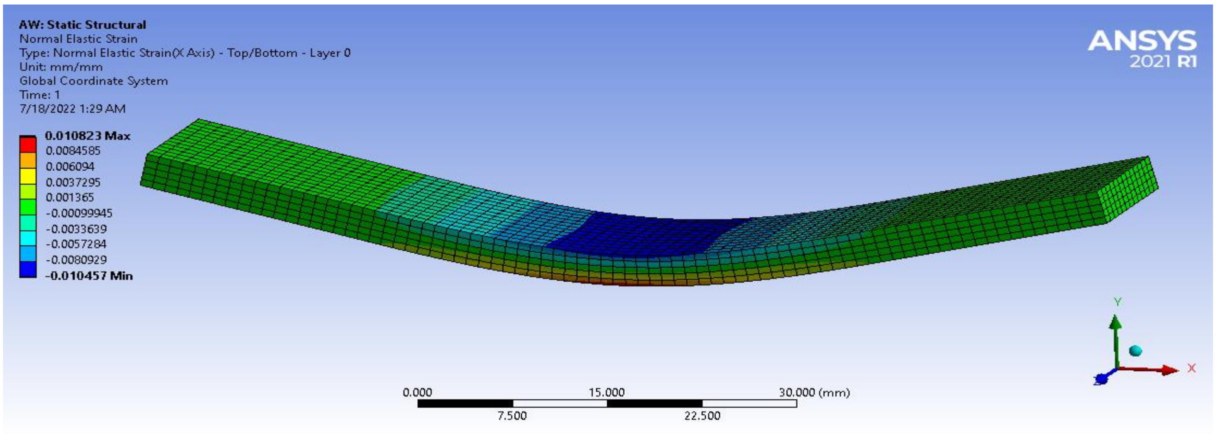
Flexural Stress



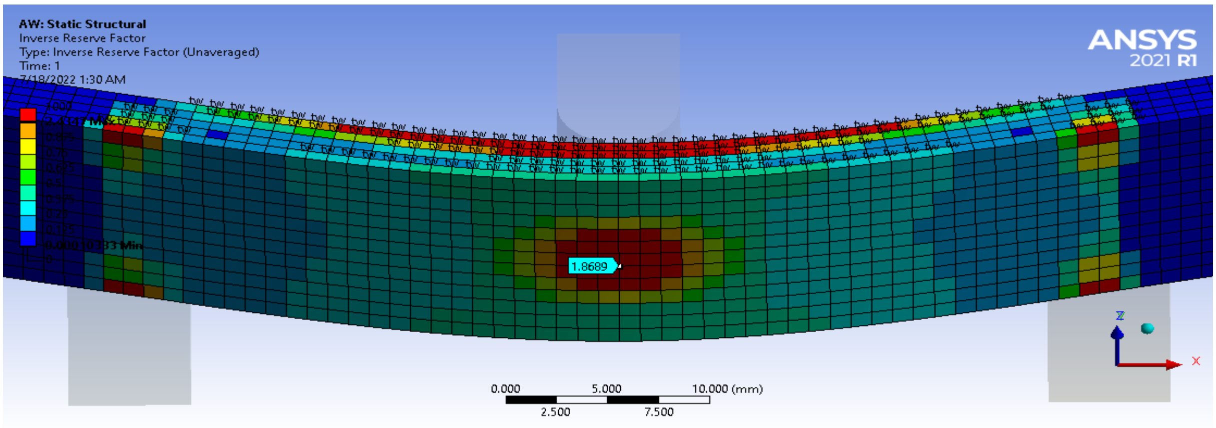
Shear Stress



Total Deformation

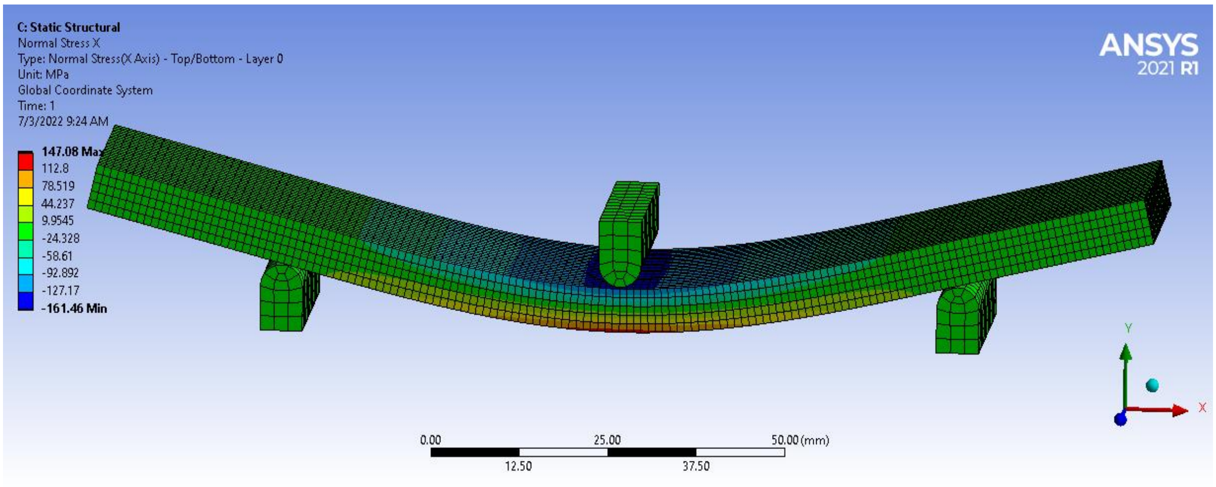


Flexural Strain

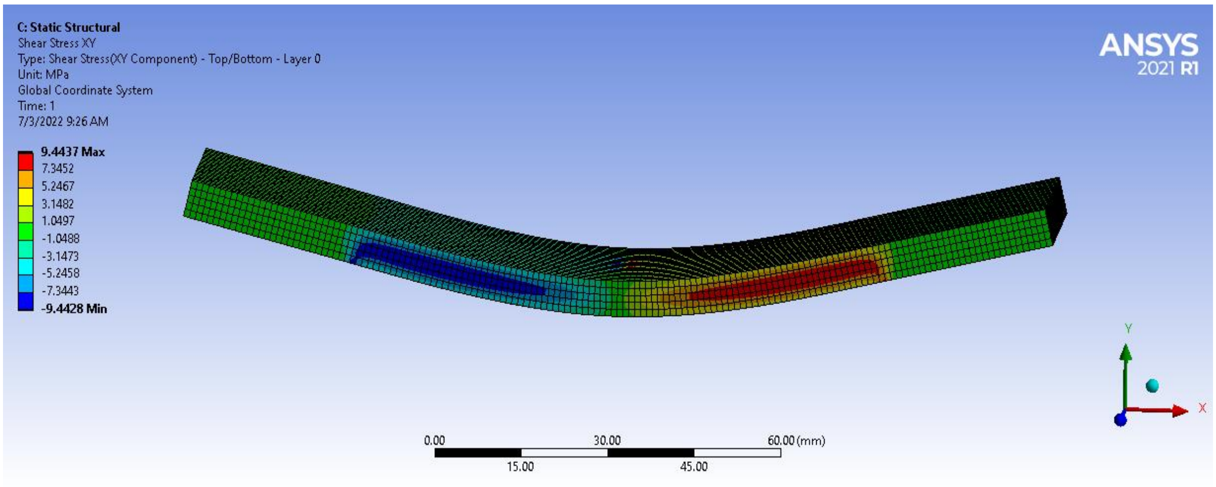


Inverse Reserve Factor

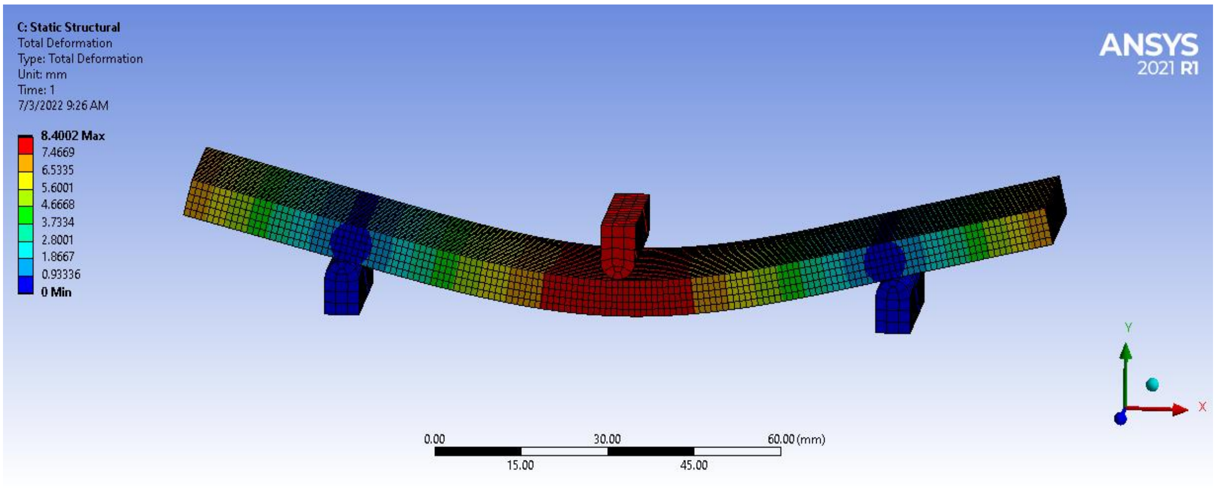
KENAF
Fraksi Volume 20%



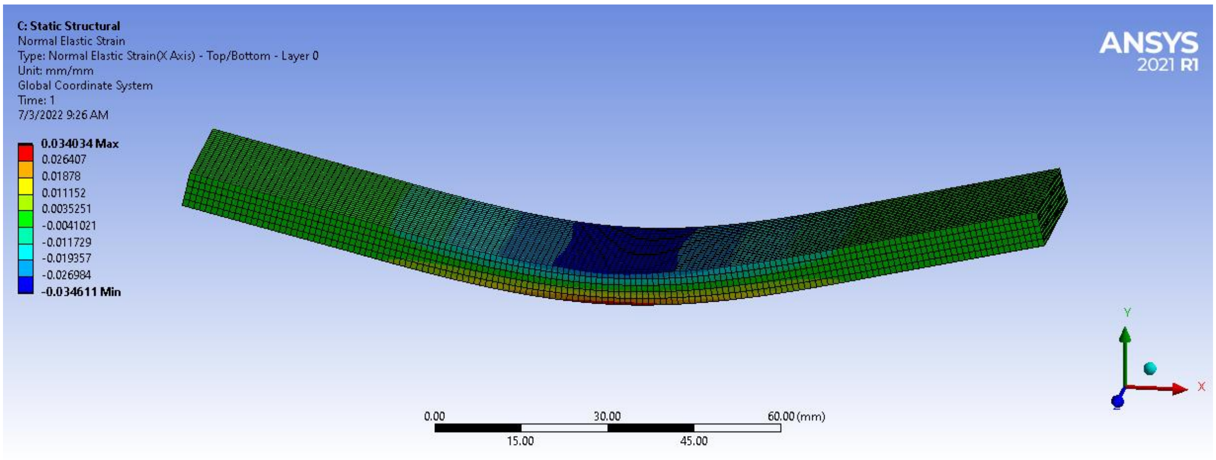
Flexural Stress



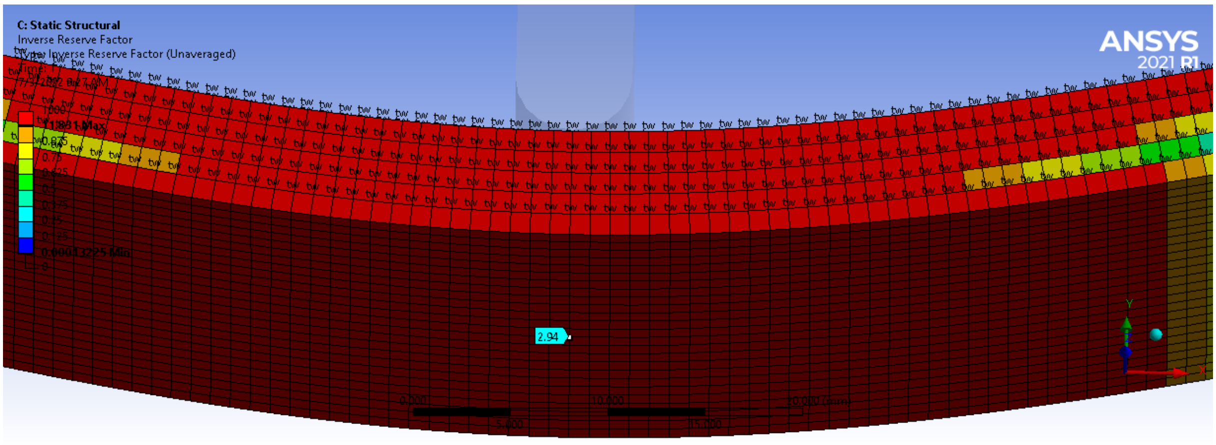
Shear Stress



Total Deformation

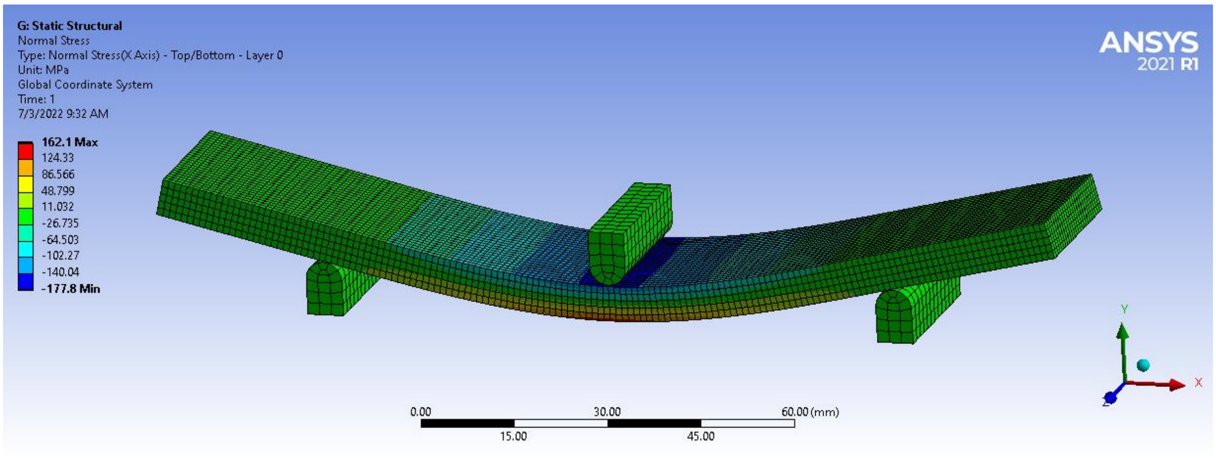


Flexural Strain

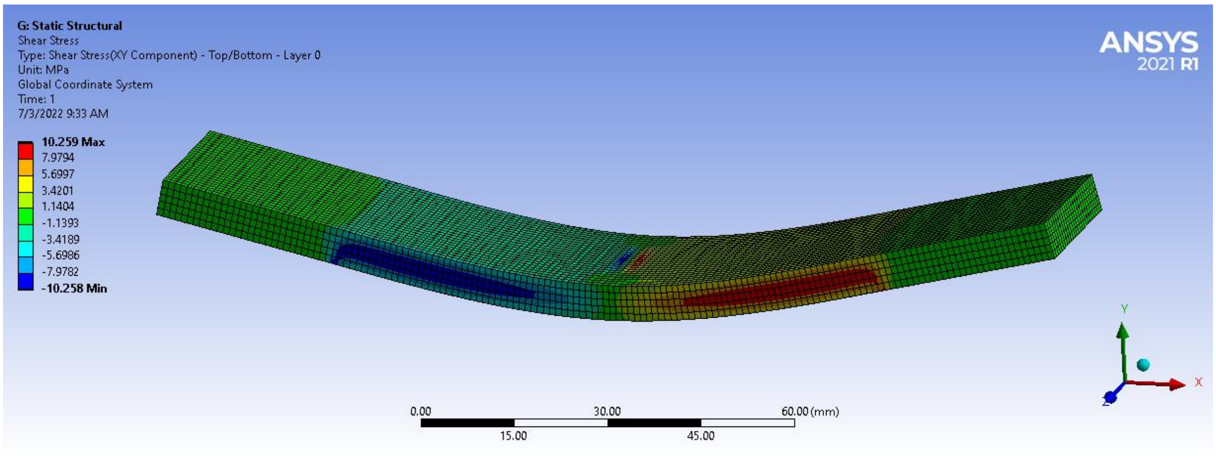


Inverse Reserve Factor

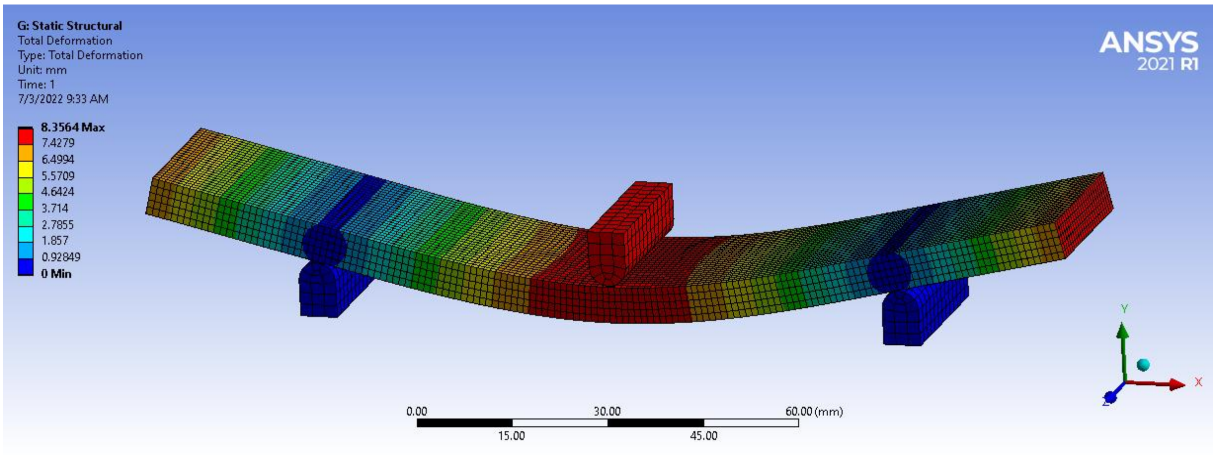
Fraksi Volume 30%



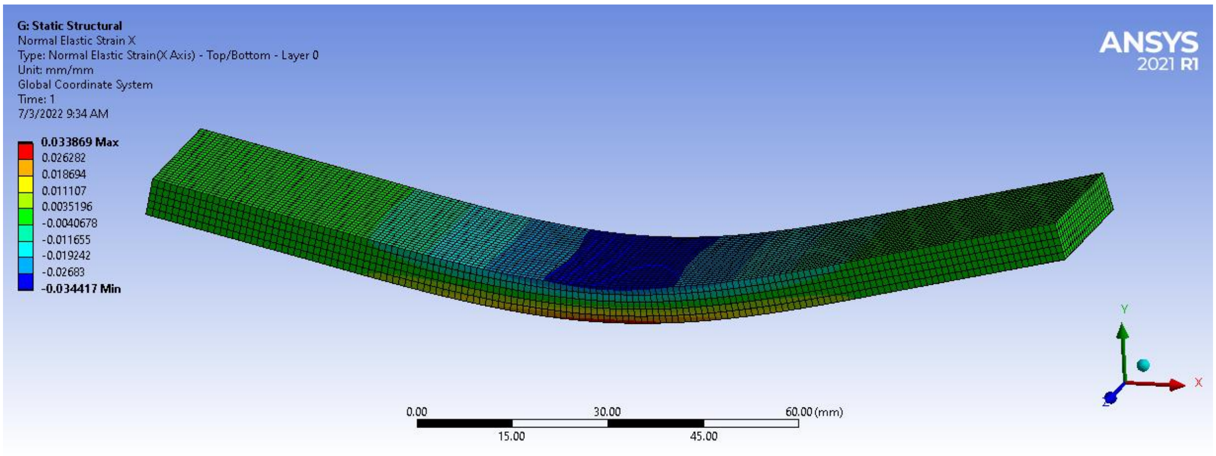
Flexural Stress



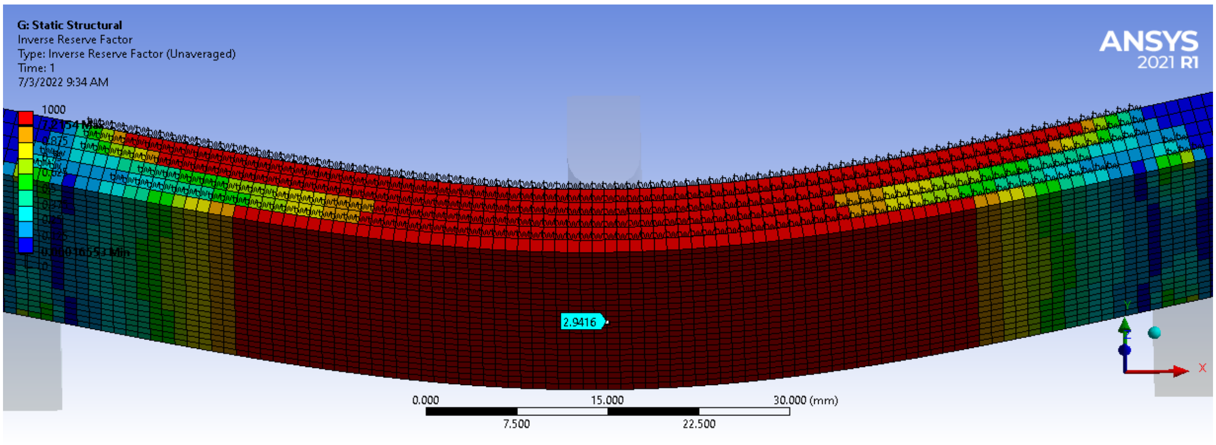
Shear Stress



Total Deformation

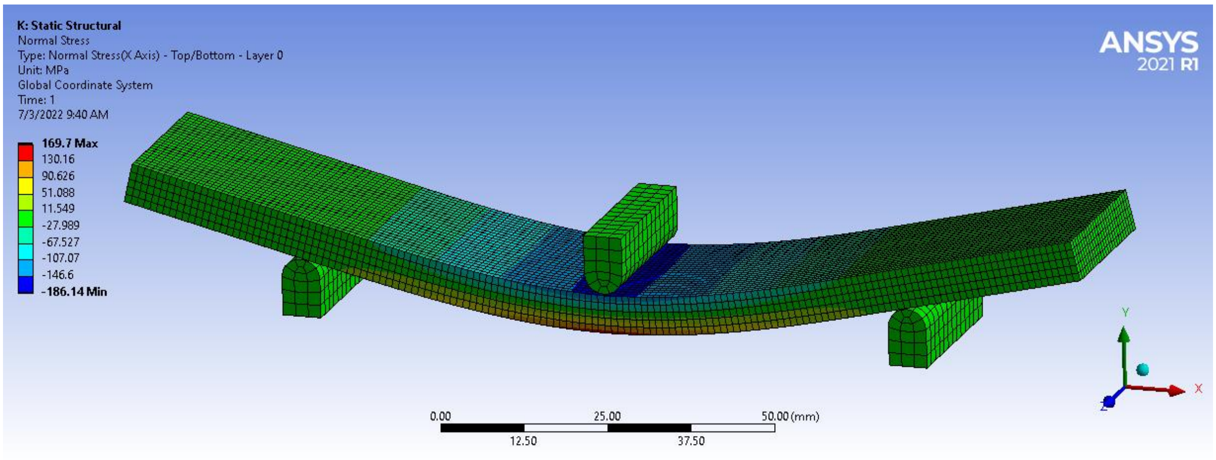


Flexural Strain

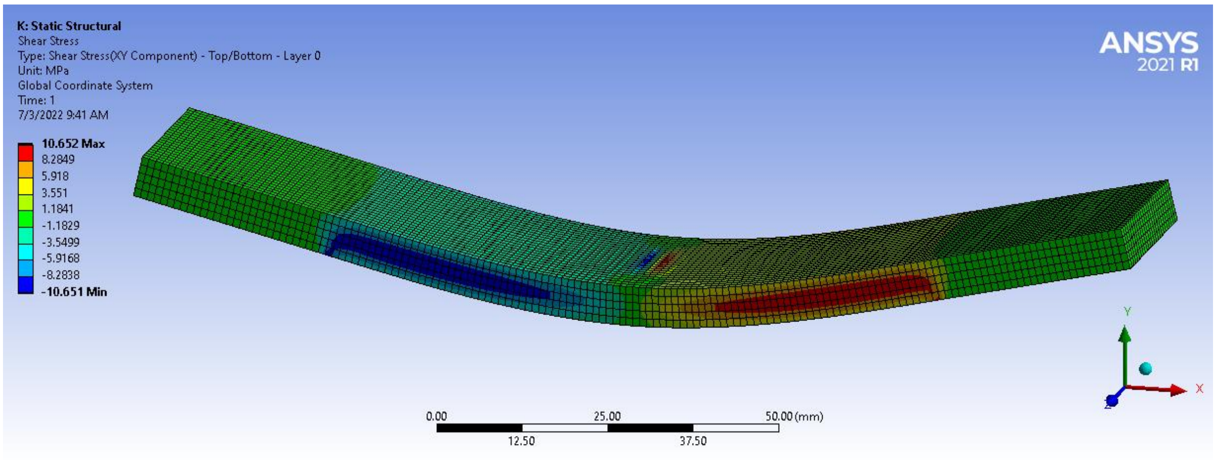


Inverse Reserve Factor

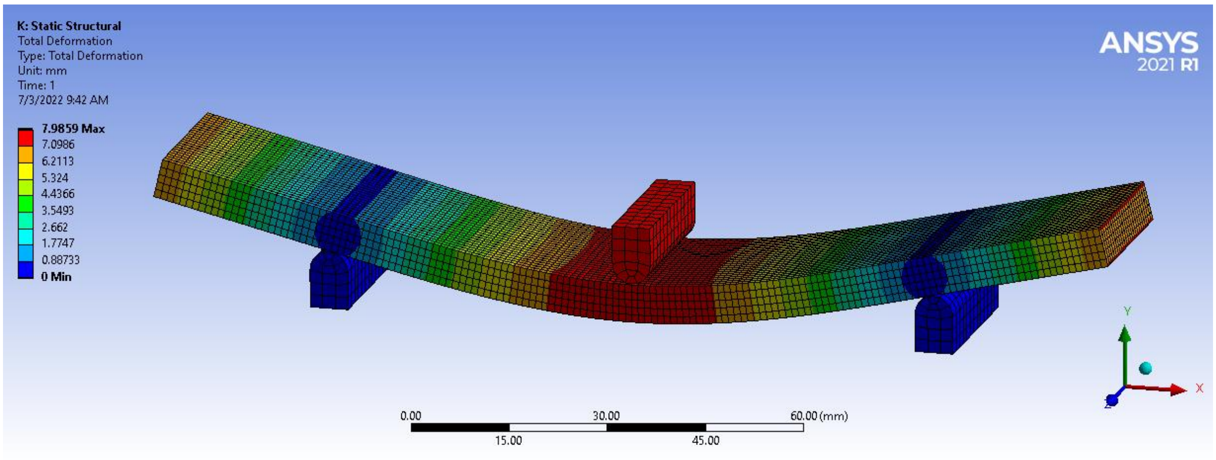
Fraksi Volume 40%



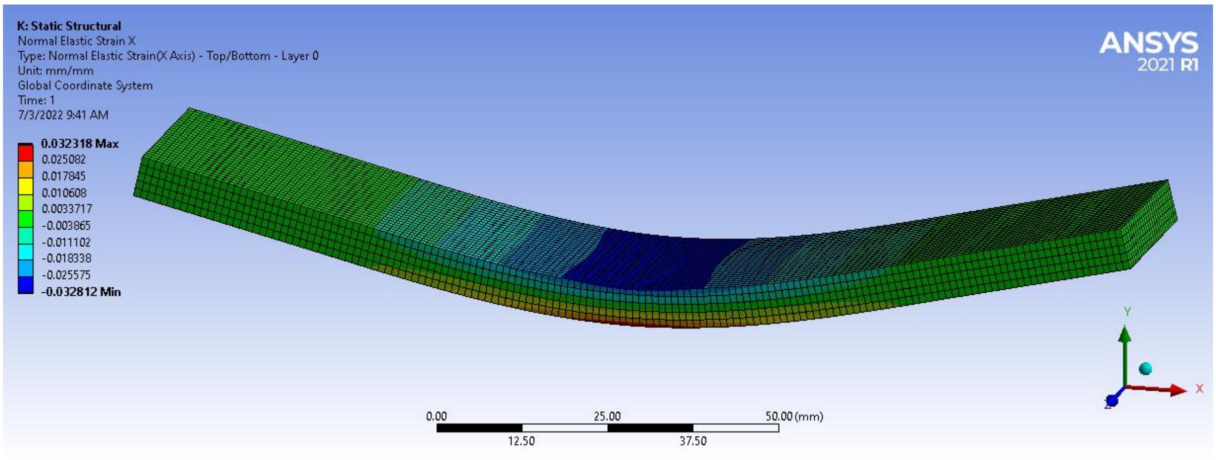
Flexural Stress



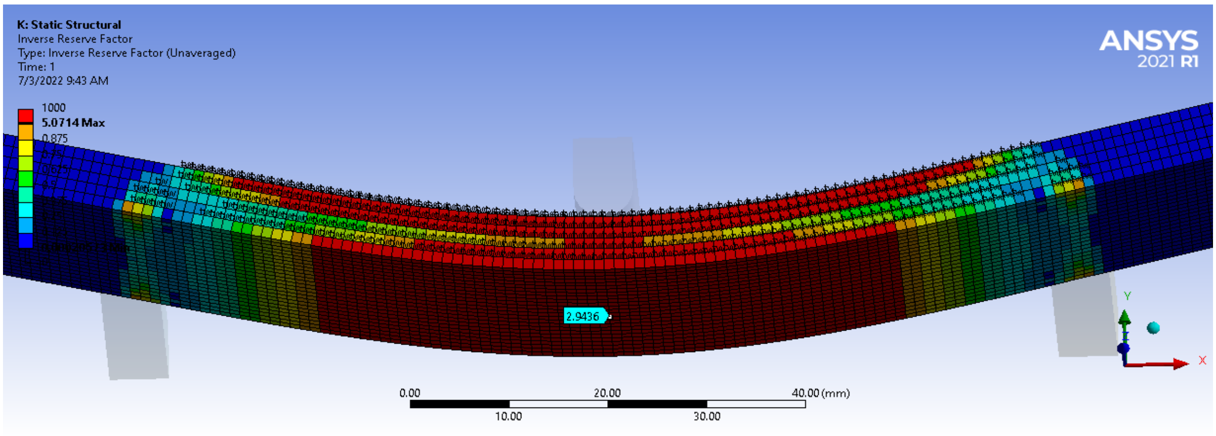
Shear Stress



Total Deformation

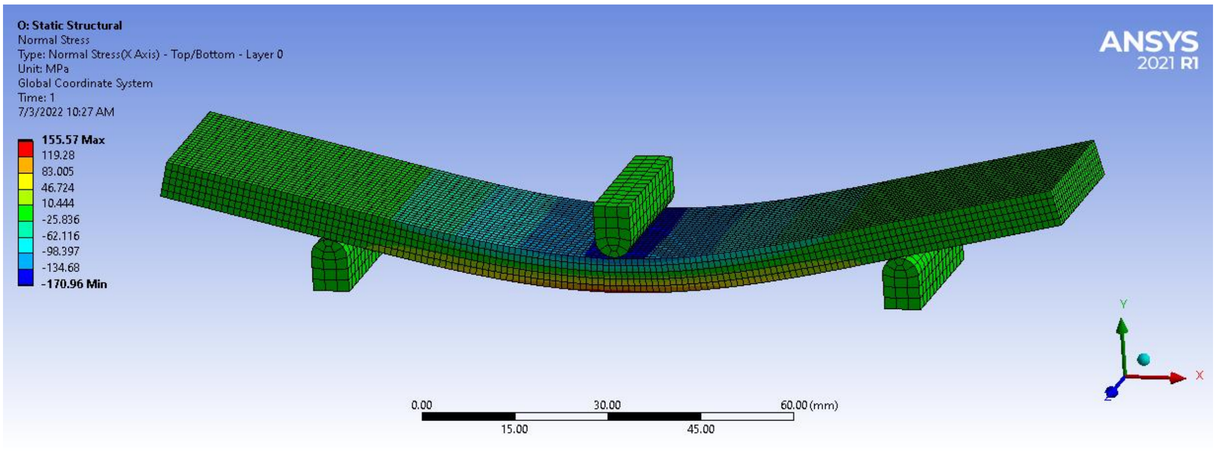


Flexural Strain

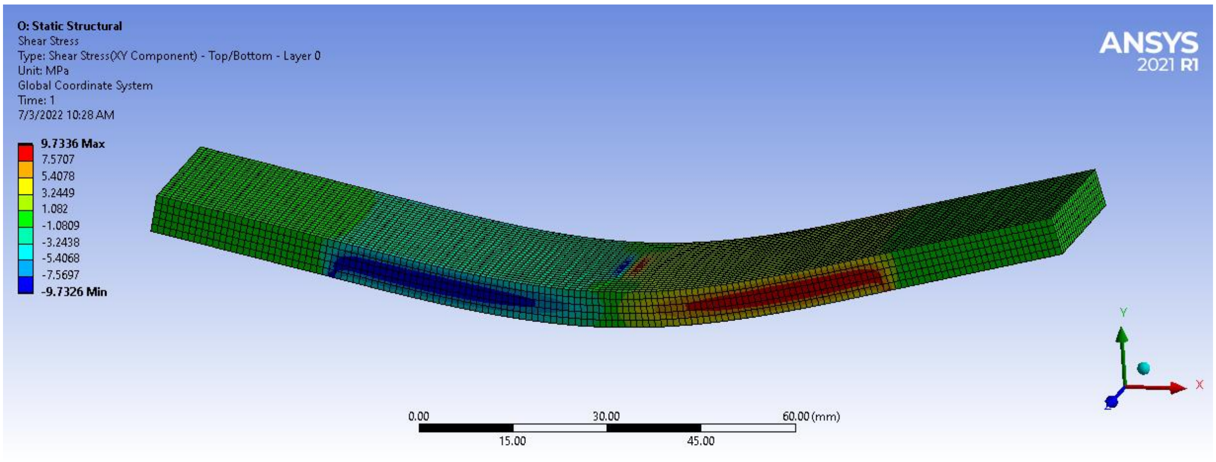


Inverse Reserve Factor

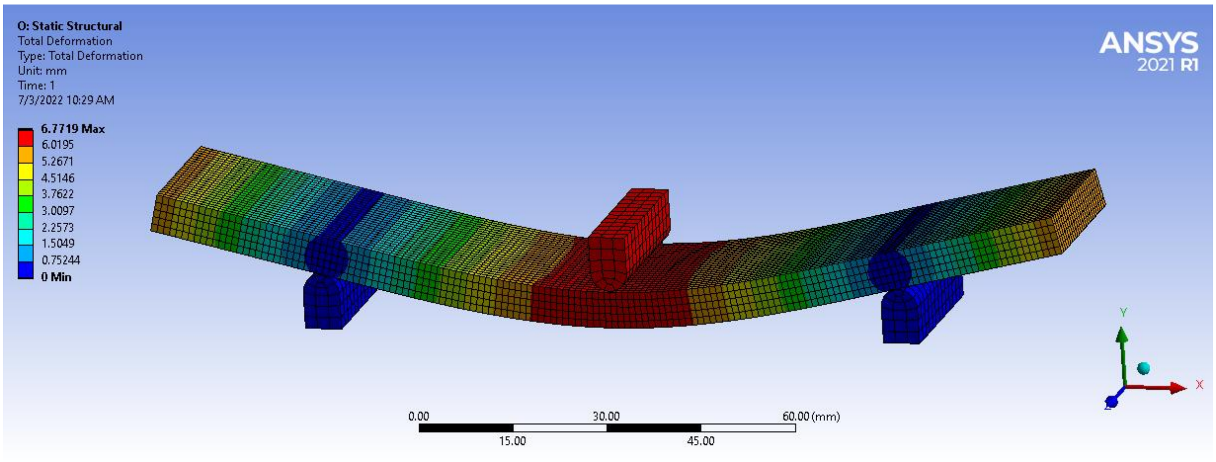
Fraksi Volume 50%



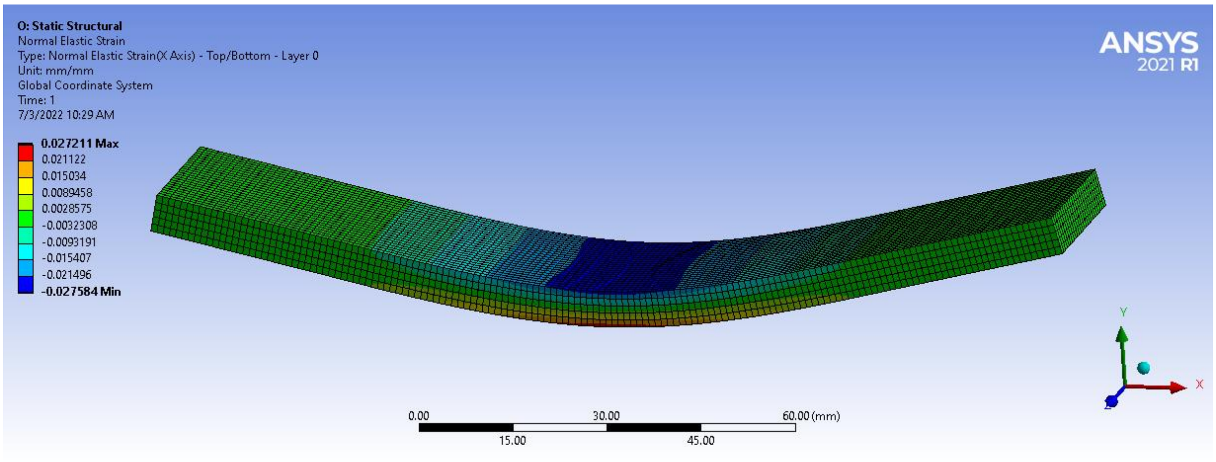
Flexural Stress



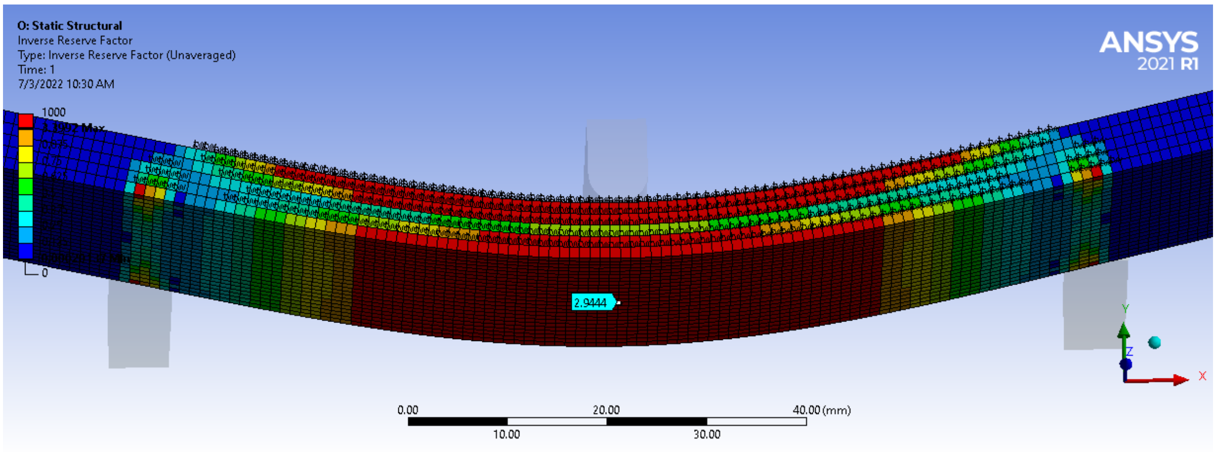
Shear Stress



Total Deformation

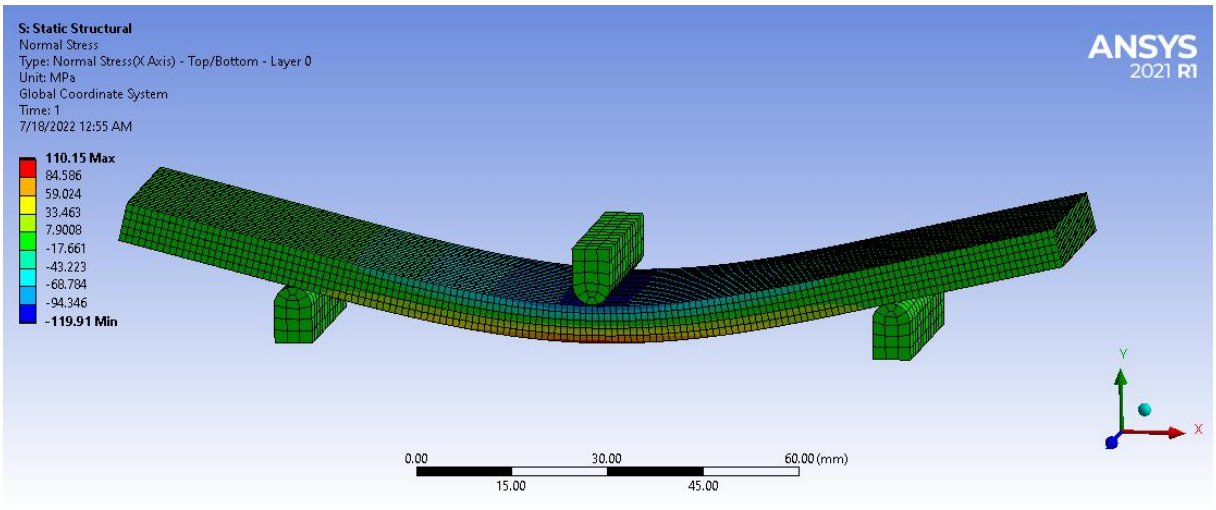


Flexural Strain

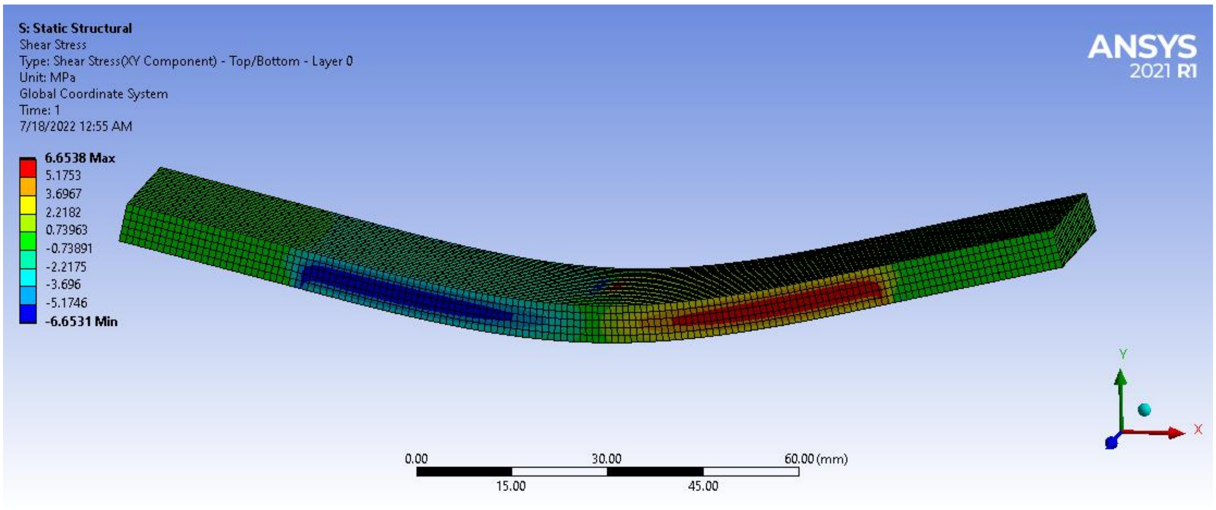


Inverse Reserve Factor

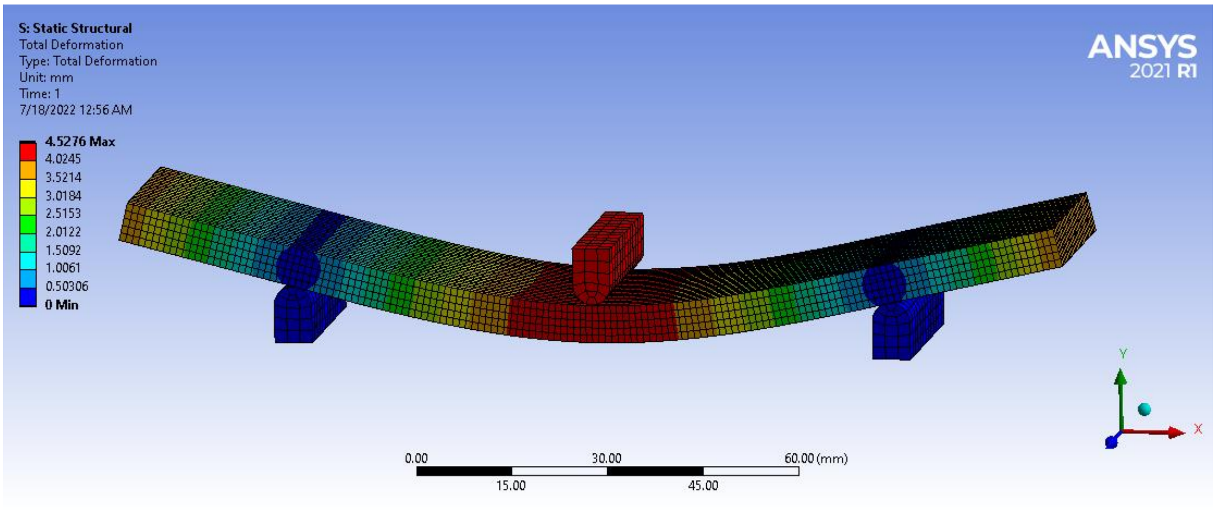
Fraksi Volume 60%



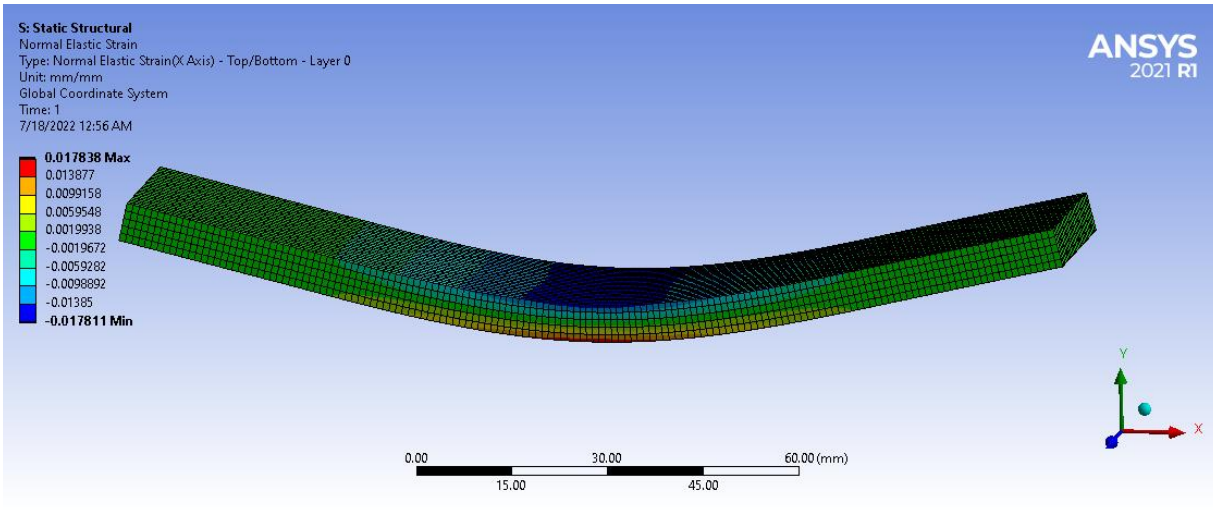
Flexural Stress



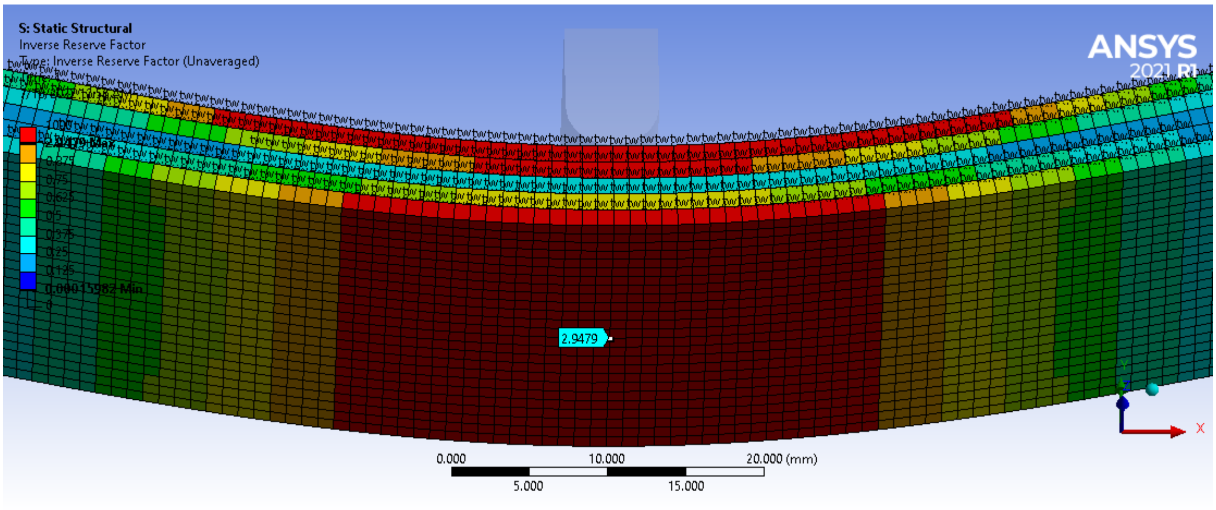
Shear Stress



Total Deformation

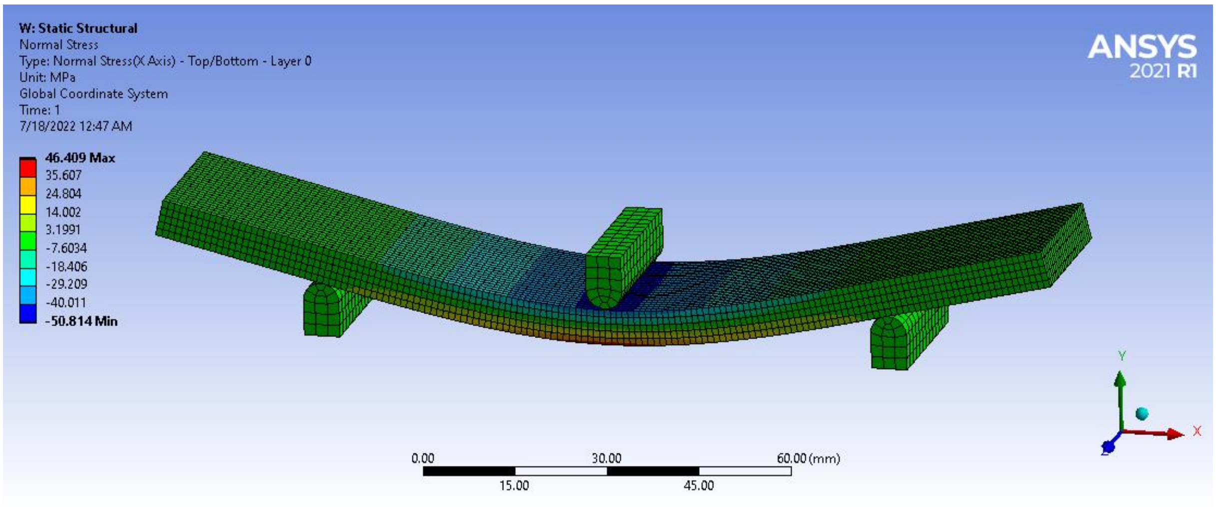


Flexural Strain

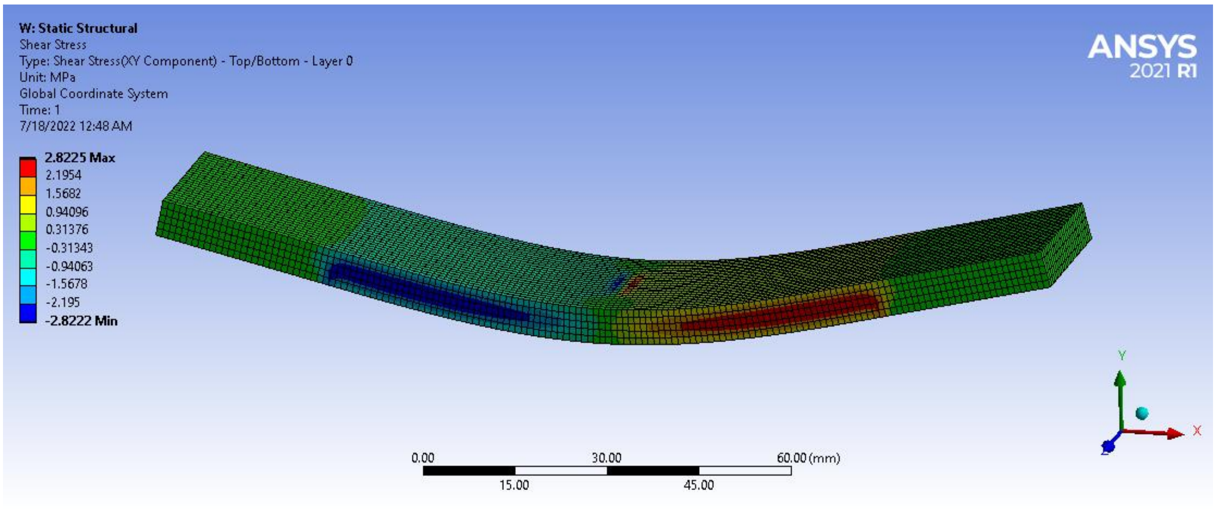


Inverse Reserve Factor

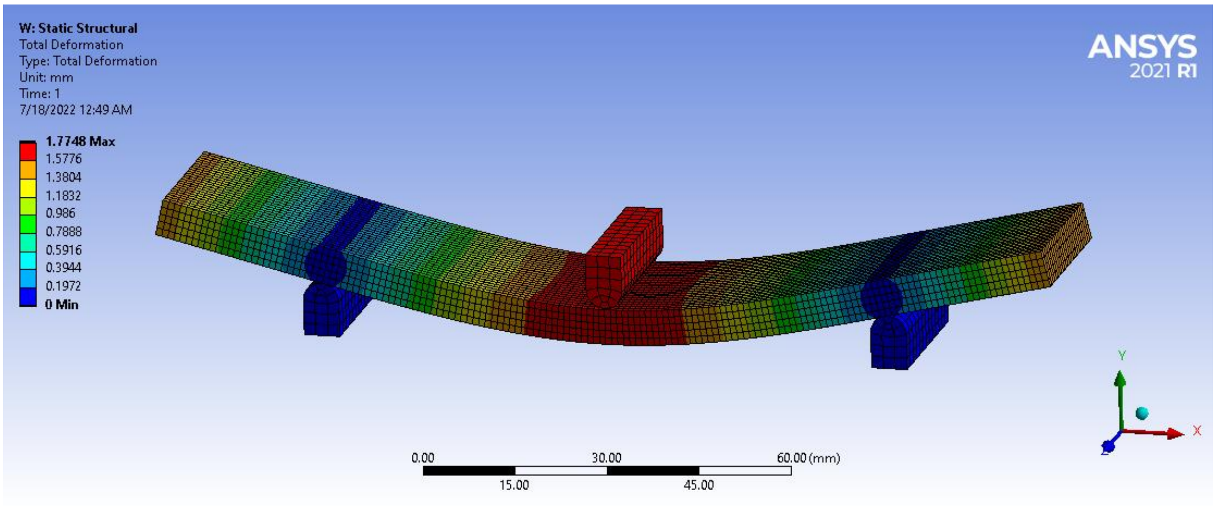
Fraksi Volume 70%



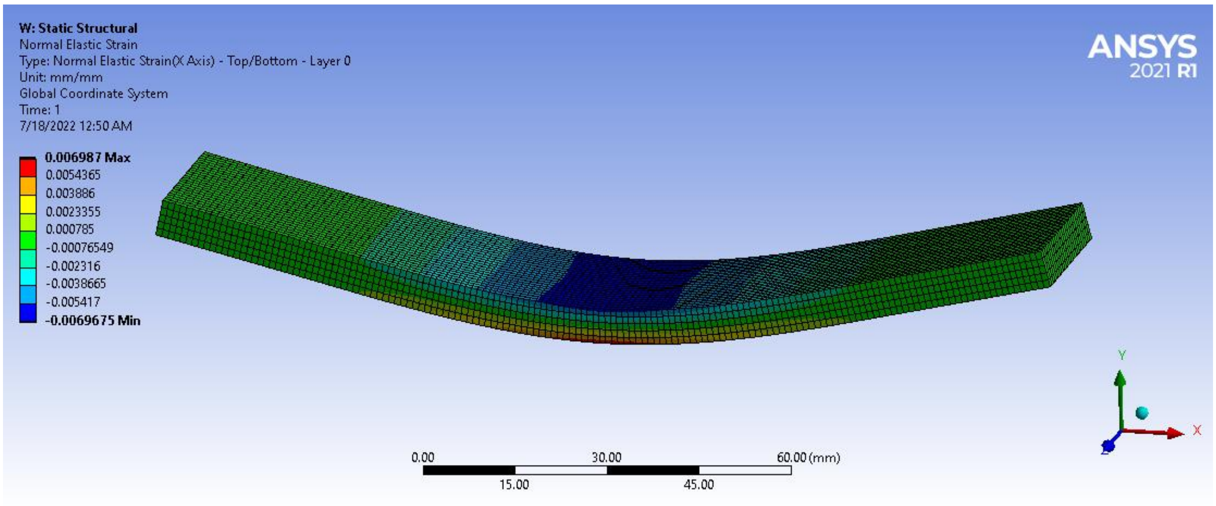
Flexural Stress



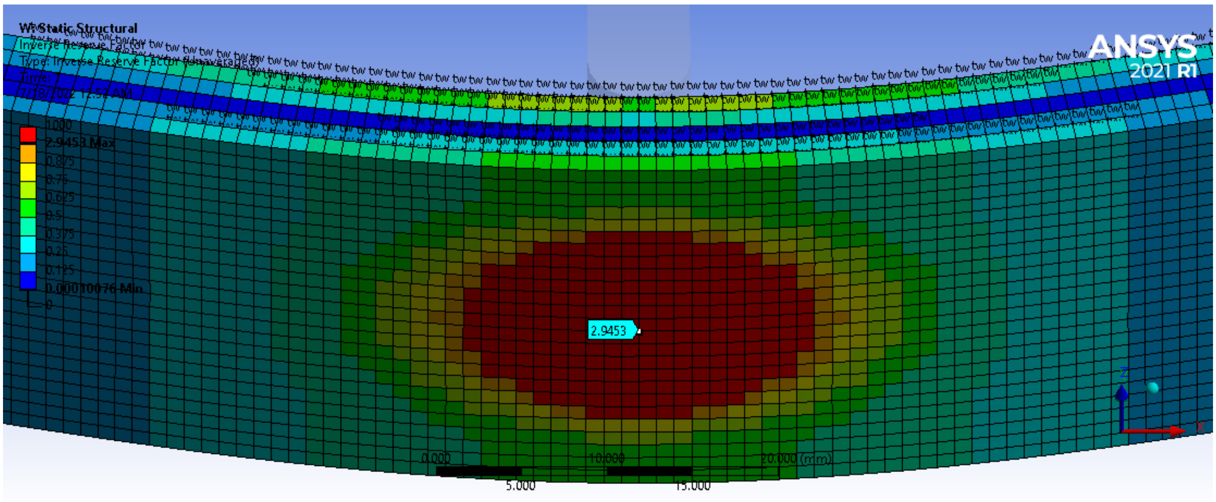
Shear Stress



Total Deformation



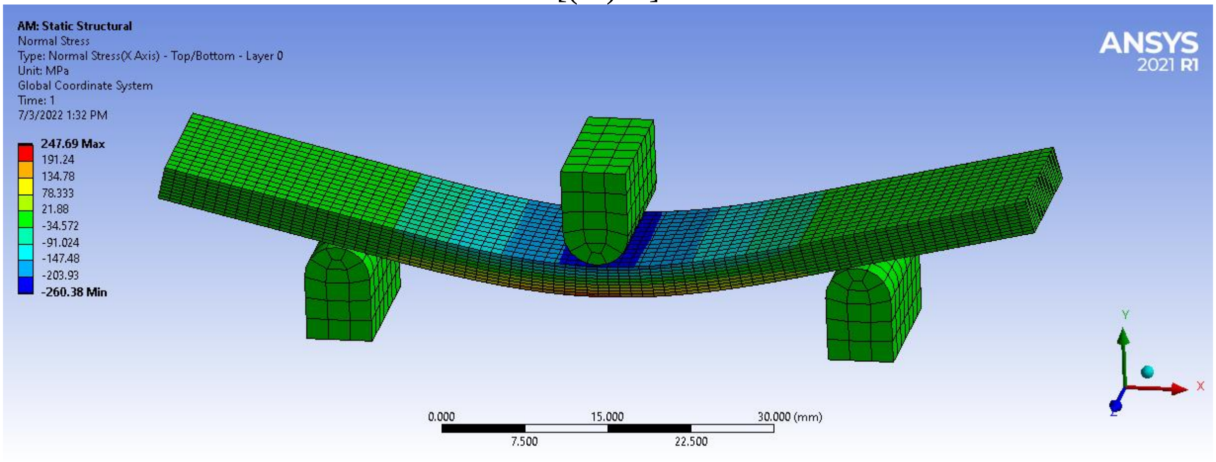
Flexural Strain



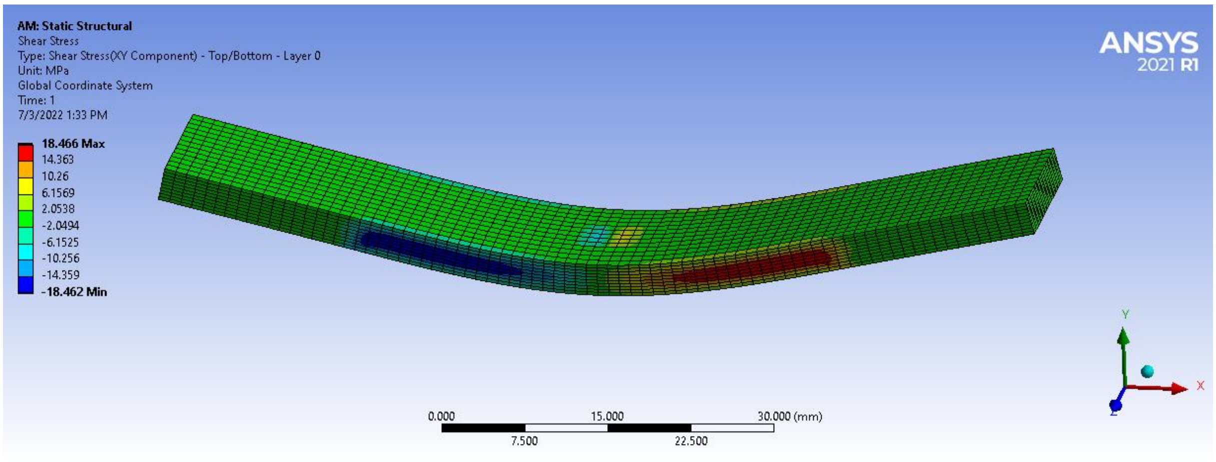
Inverse Reserve Factor

HASIL SIMULASI ARAH ORIENTASI SUDUT SERAT
SISAL

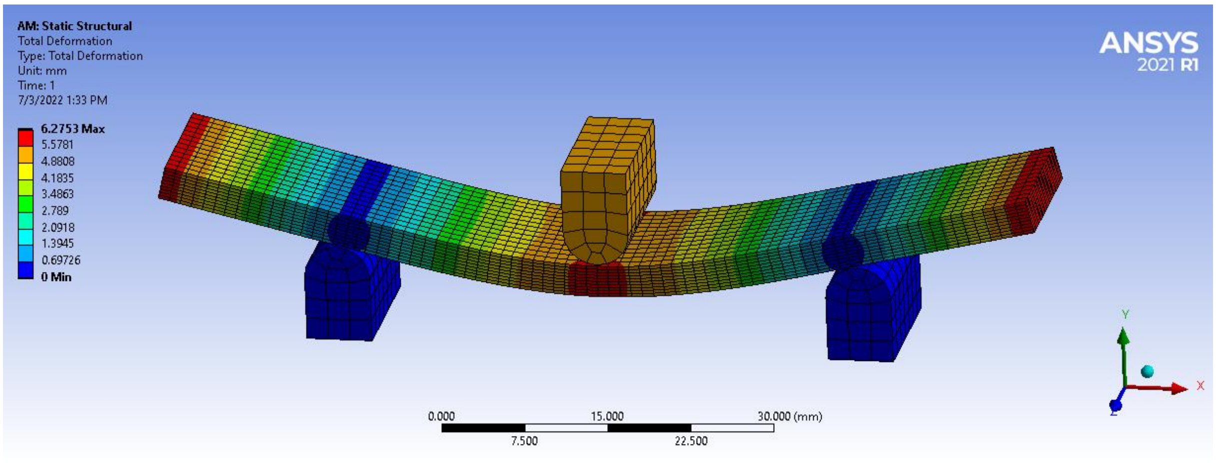
[(0°)10]



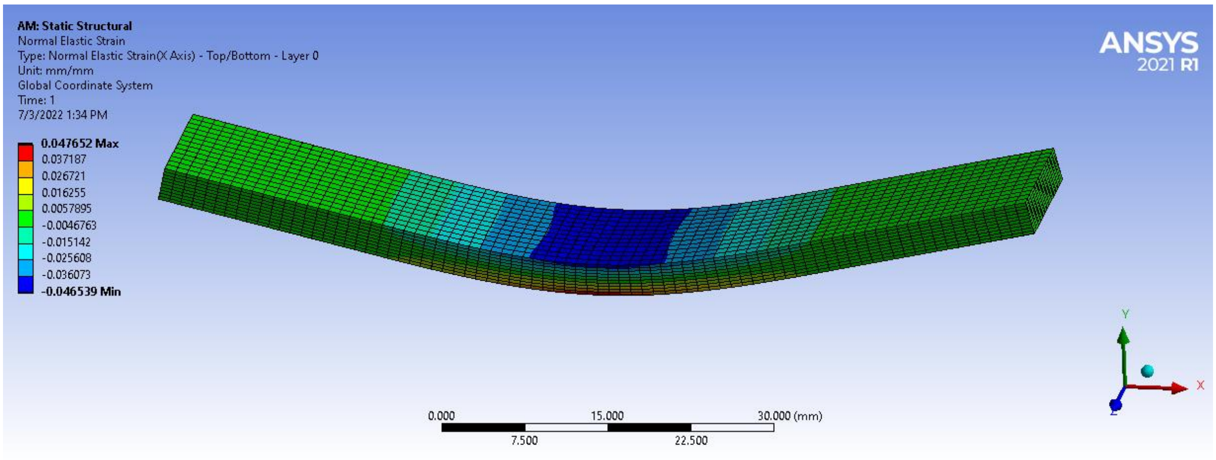
Flexural Stress



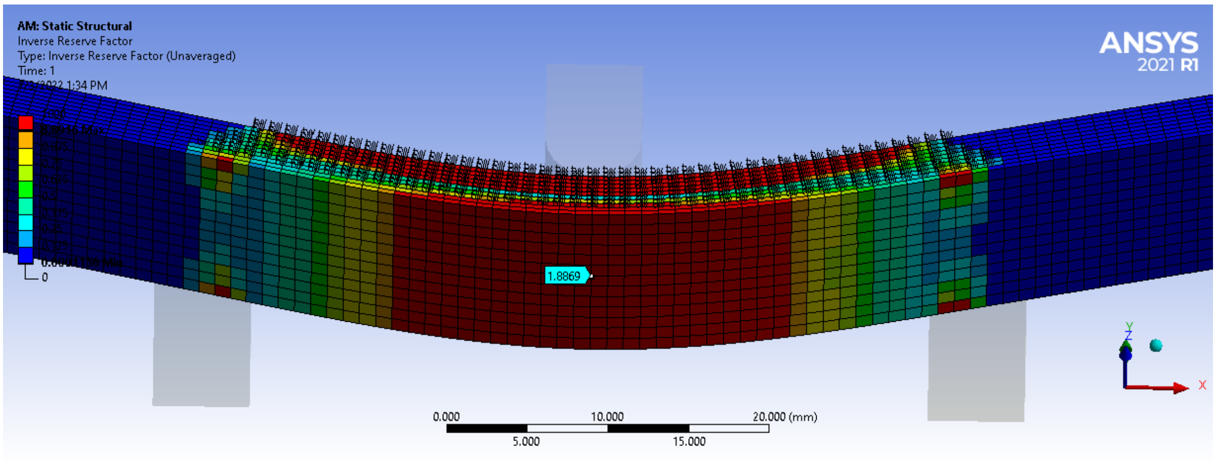
Shear Stress



Total Deformation

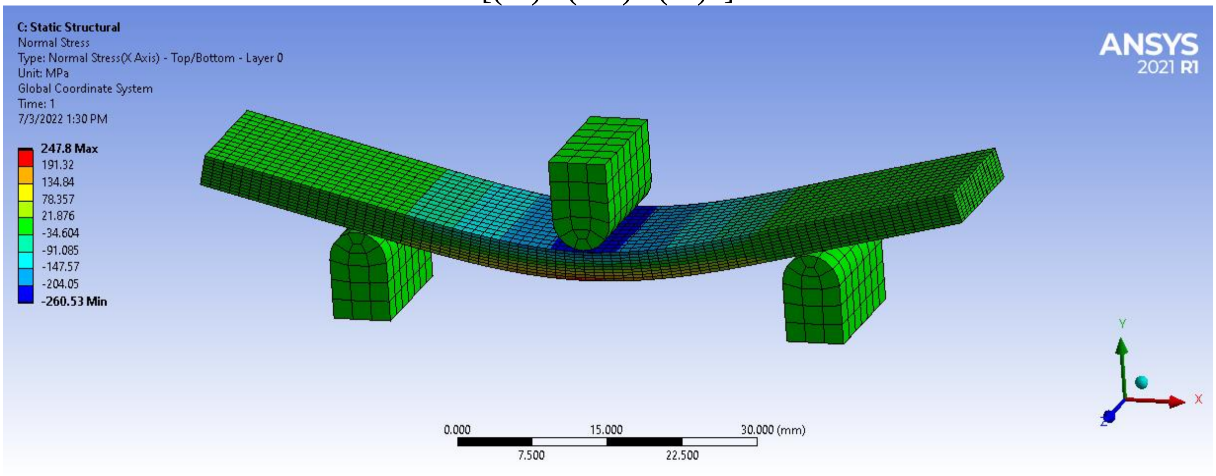


Flexural Strain

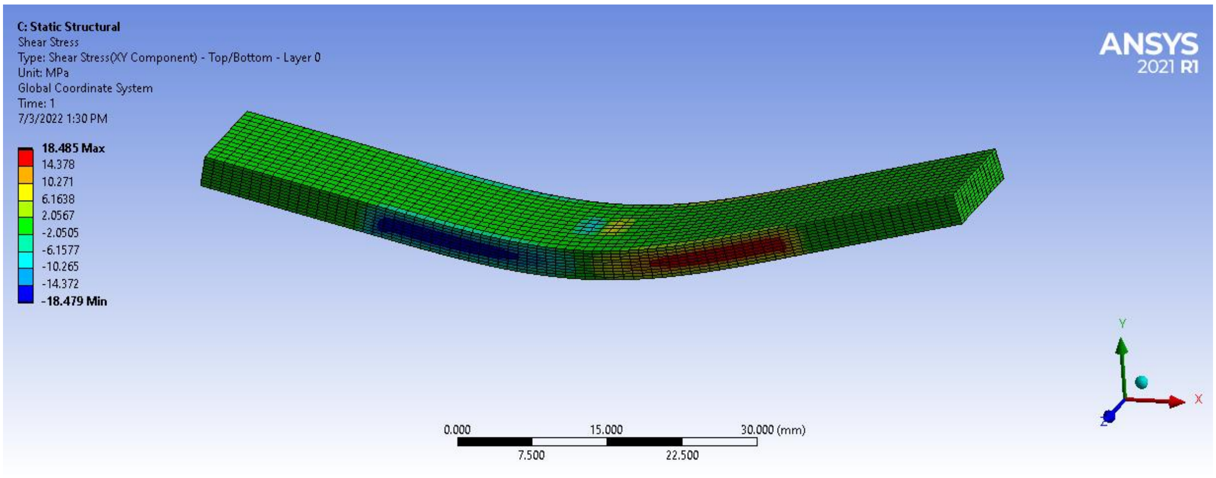


Inverse Reserve factor

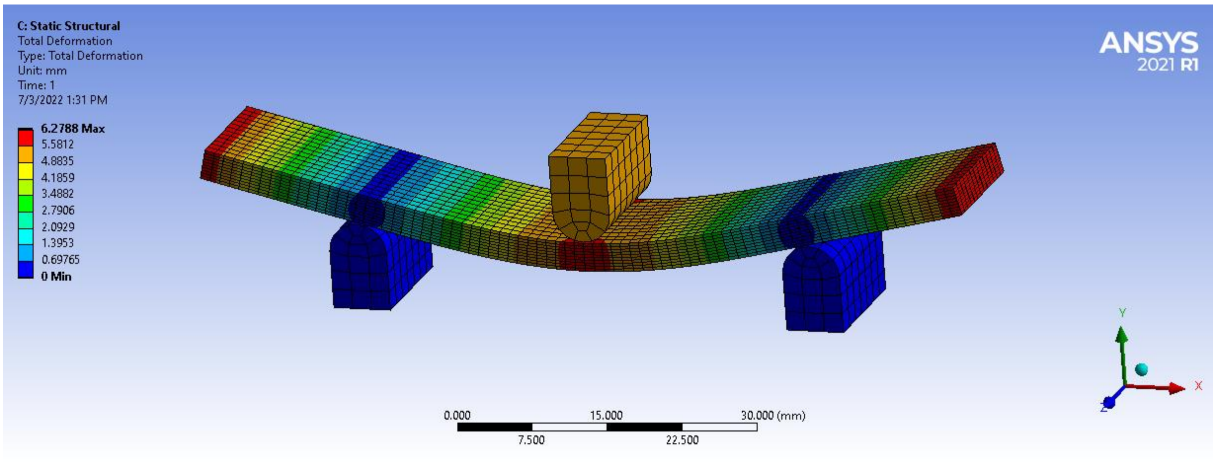
[(0°)4/(45°)2/(0°)4]



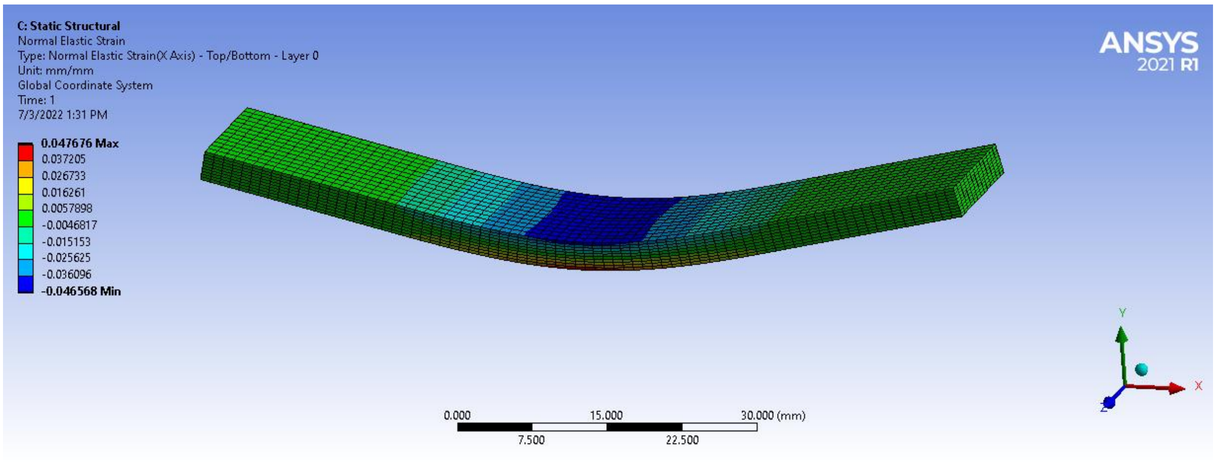
Flexural Stress



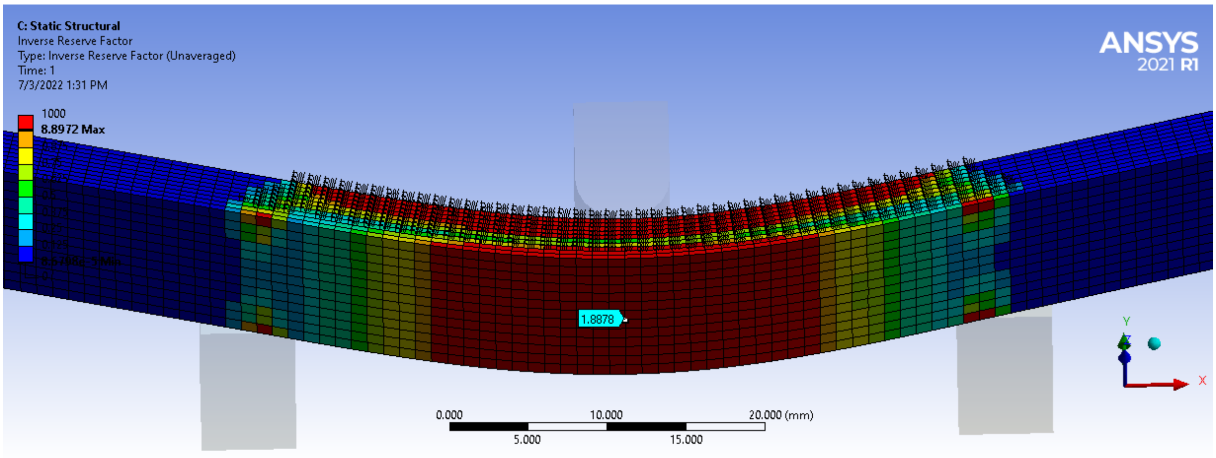
Shear Stress



Total Deformation

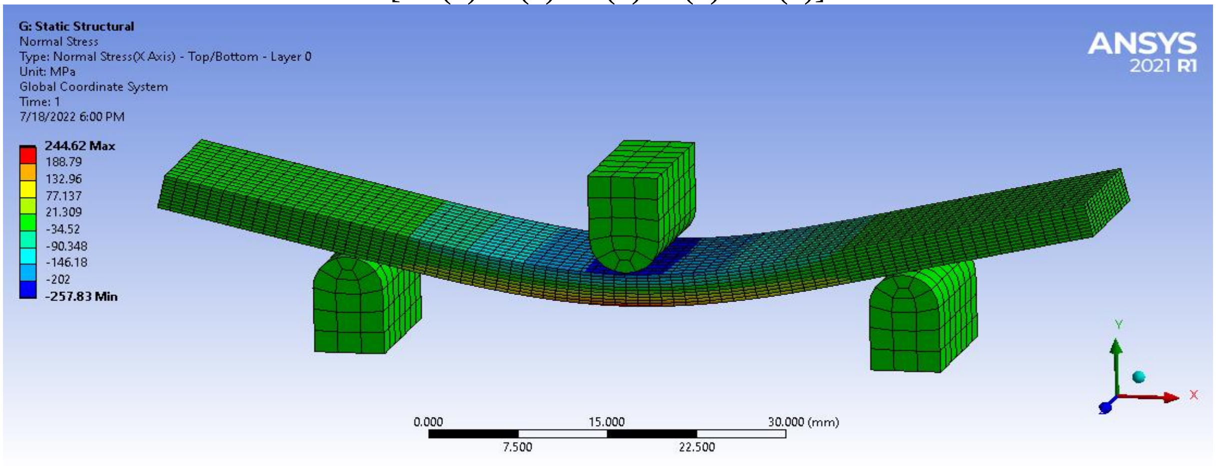


Flexural Strain

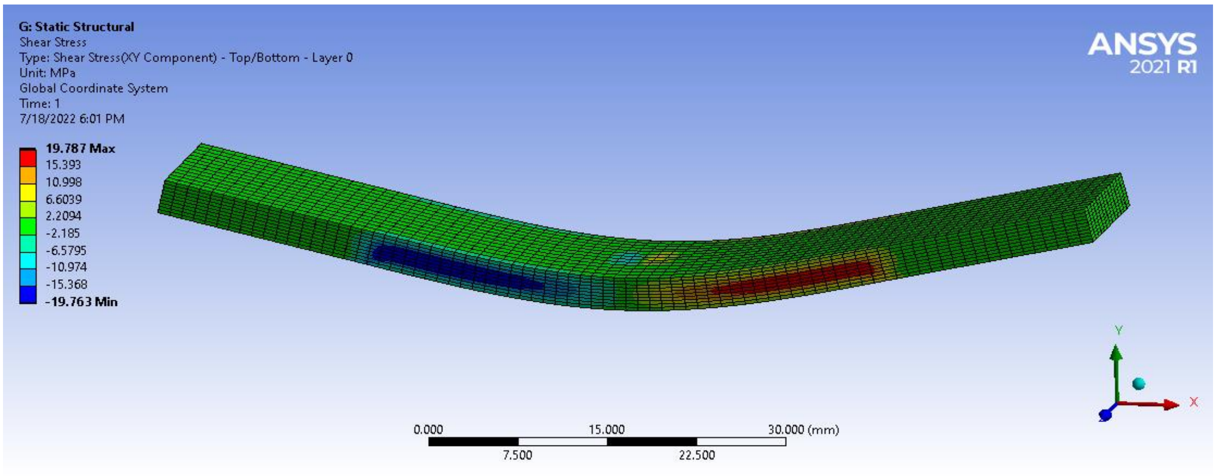


Inverse Reserve factor

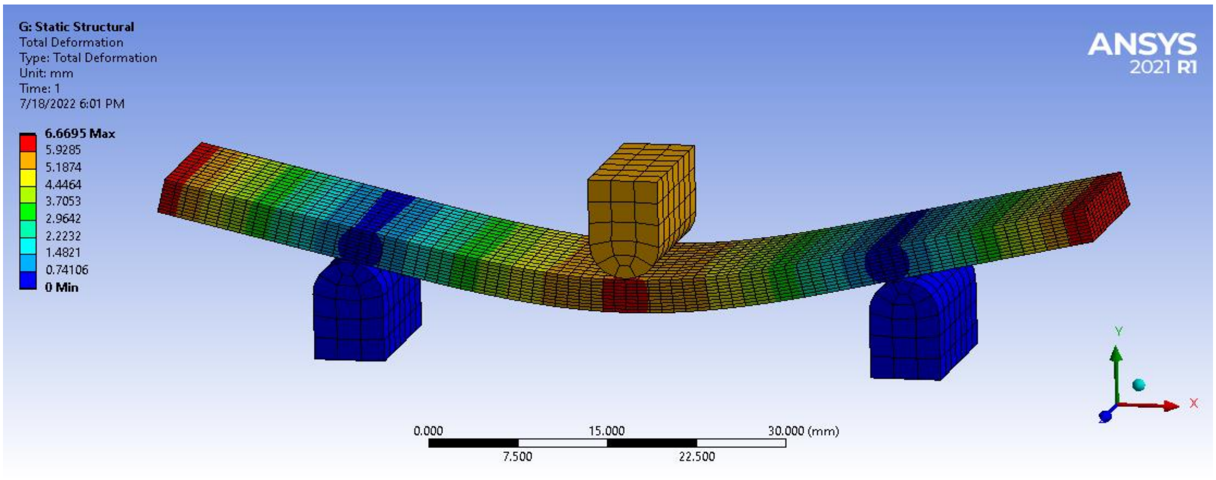
[45 (2)/ 0 (2)/ 45(2)/ 0 (2)/ 45 (2)]



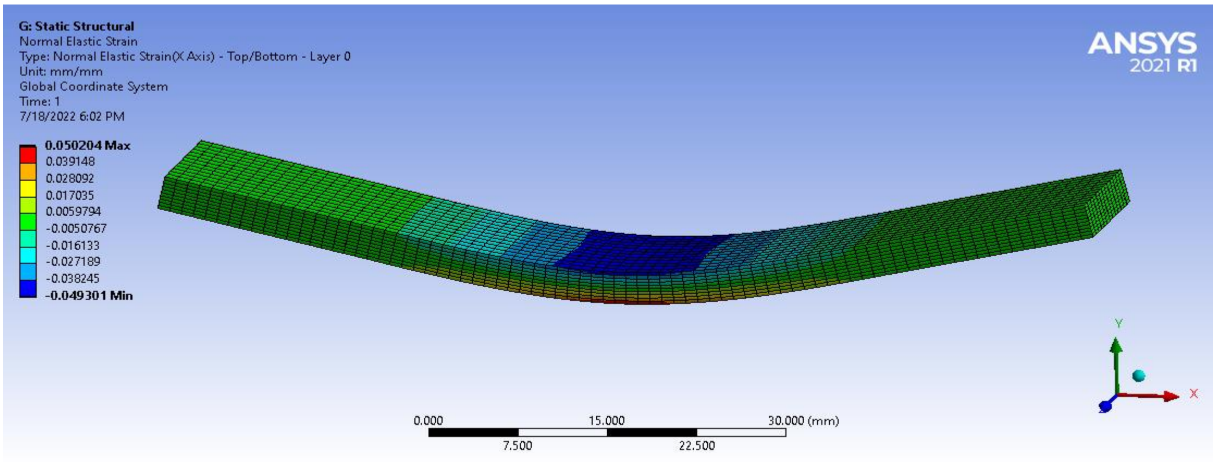
Flexural Stress



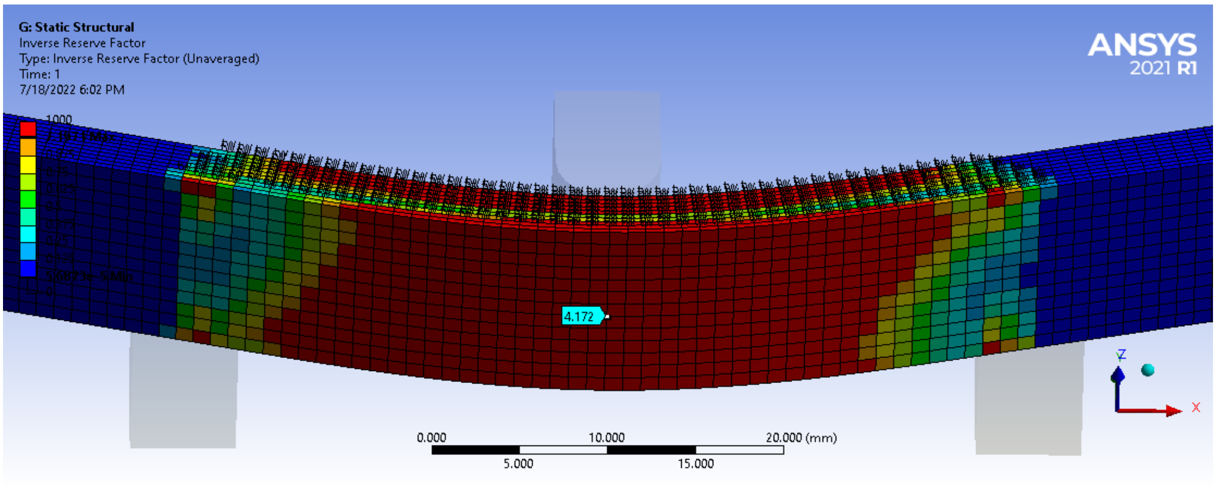
Shear Stress



Total Deformation

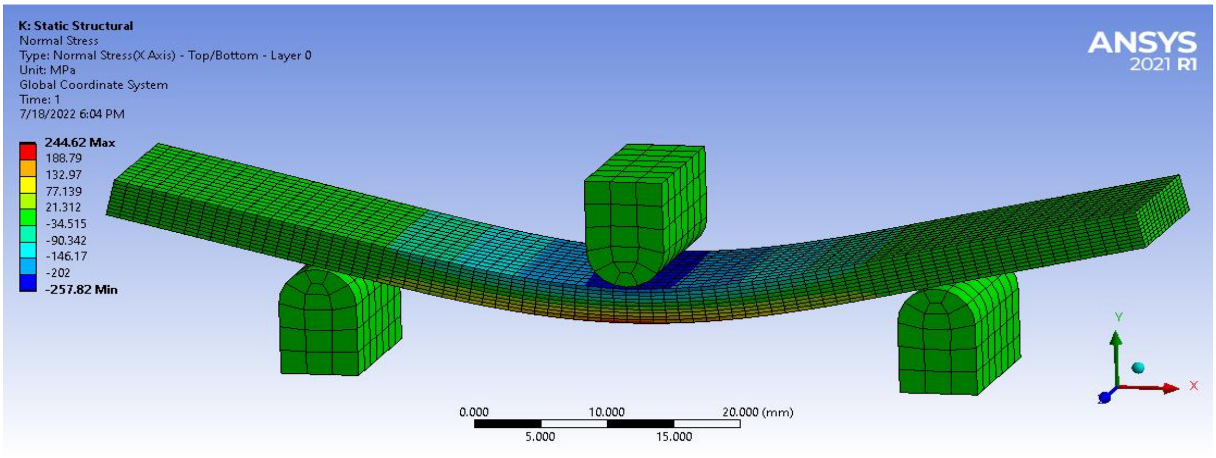


Flexural Strain

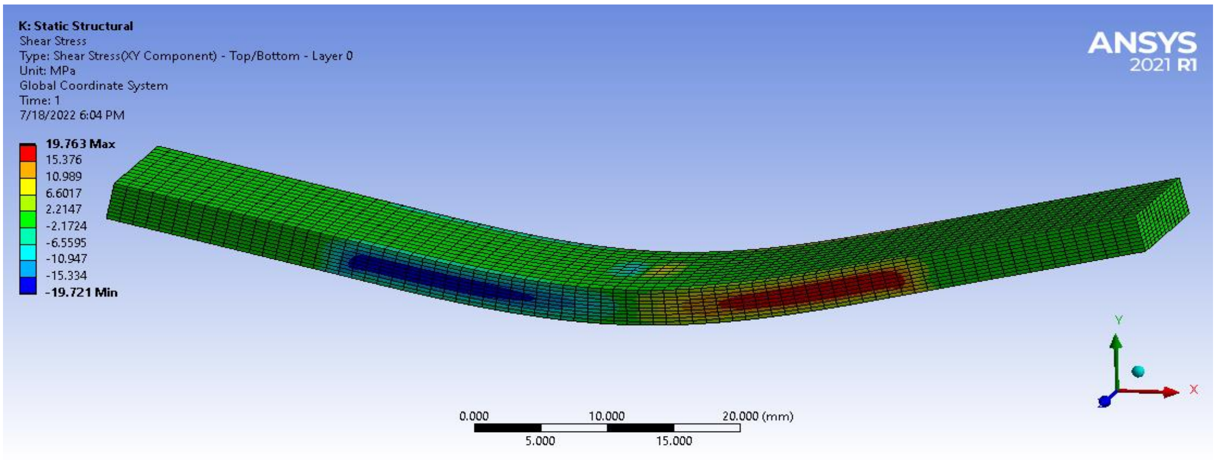


Inverse Reserve Factor

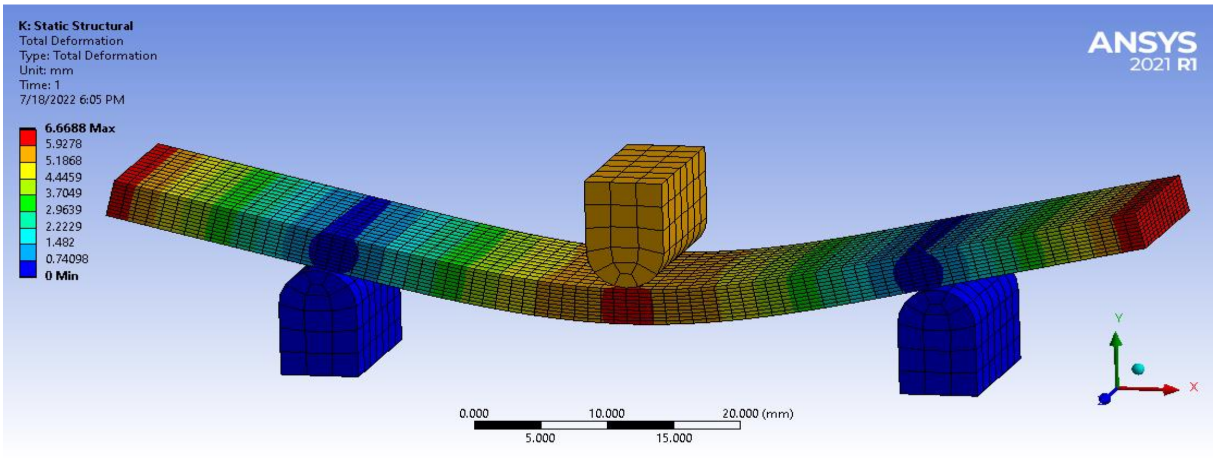
[-45 (2)/ 0 (2)/ 45(2)/ 0 (2)/ -45 (2)]



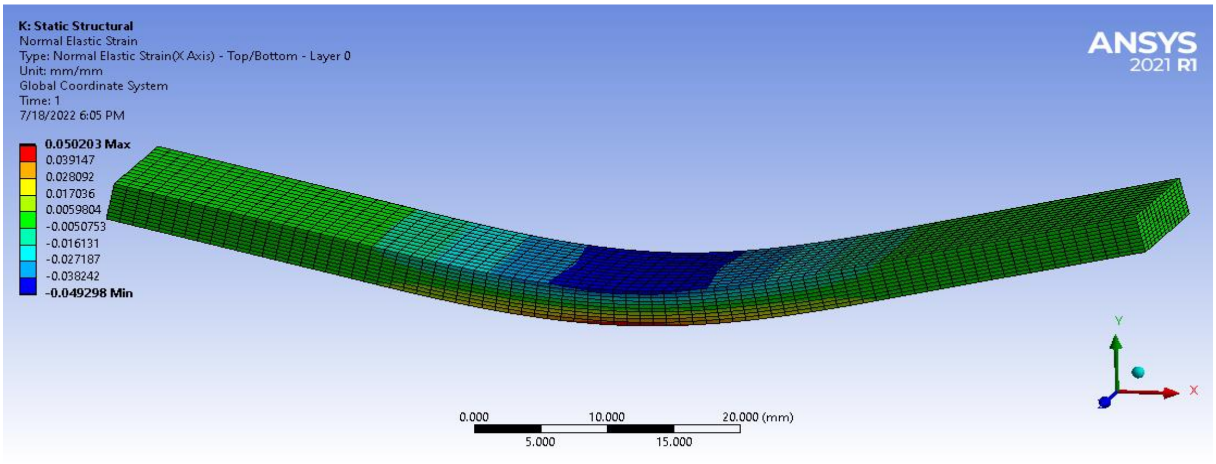
Flexural Stress



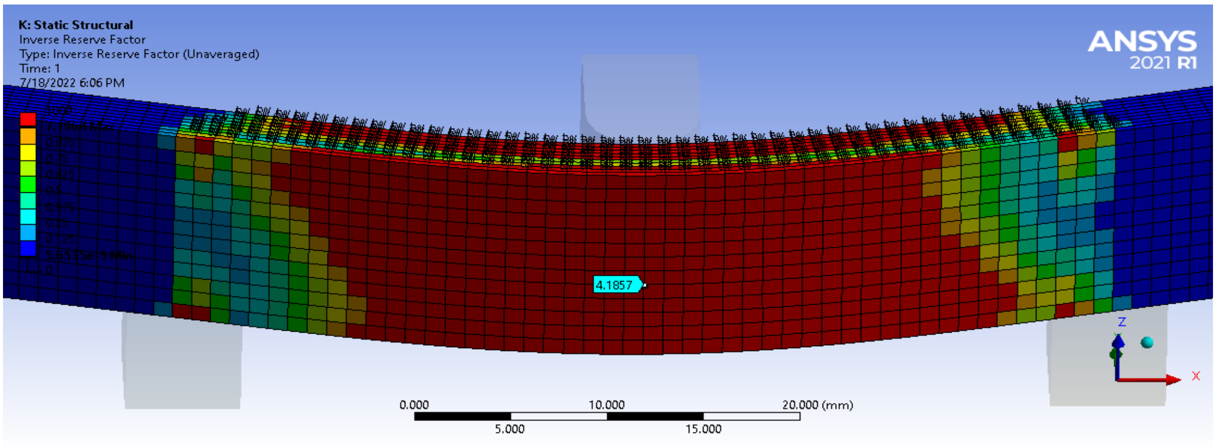
Shear Stress



Total Deformation

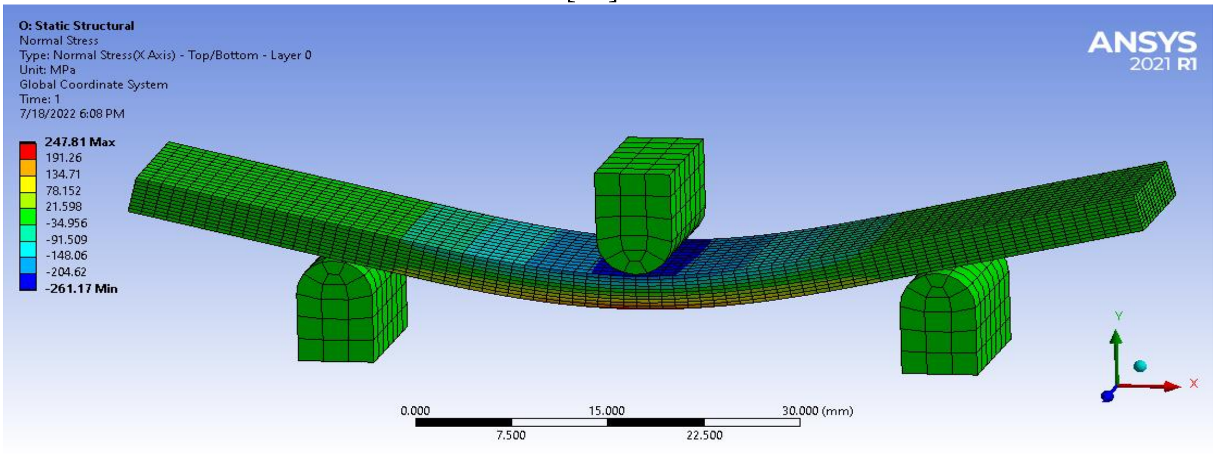


Flexural Strain

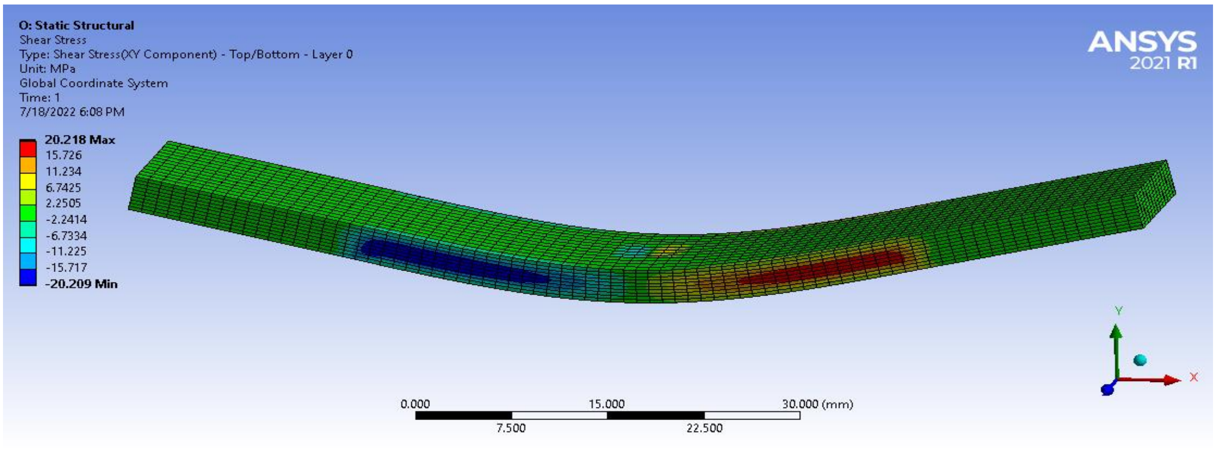


Inverse Reserve Factor

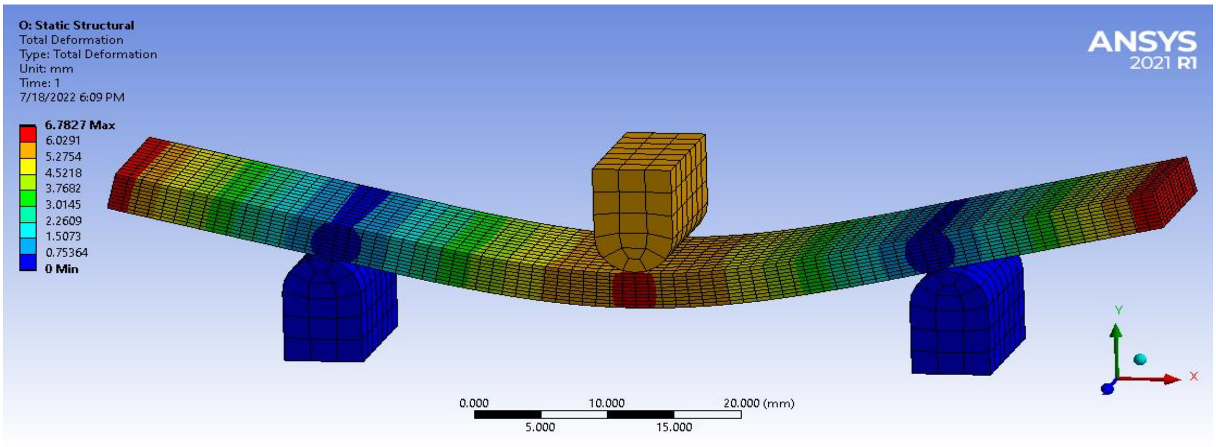
[45]10



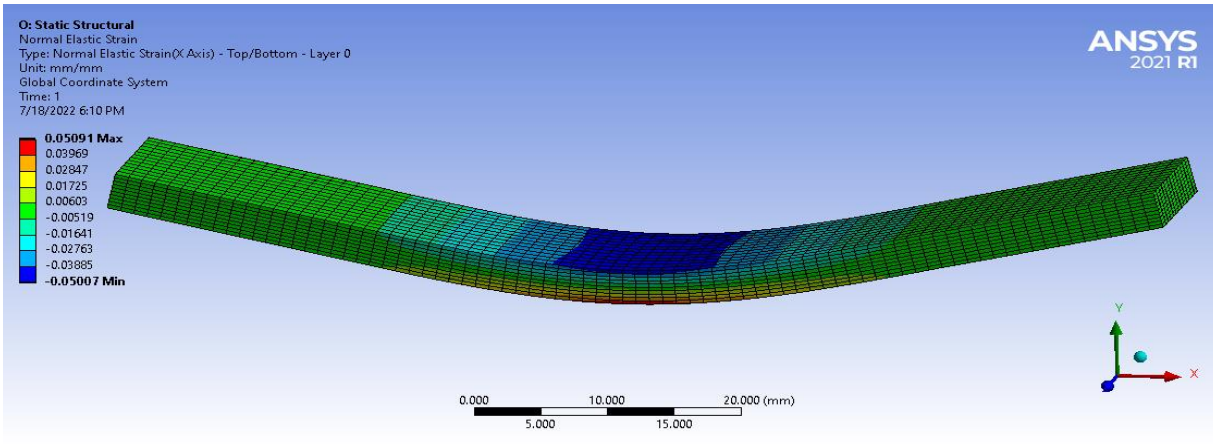
Flexural Stress



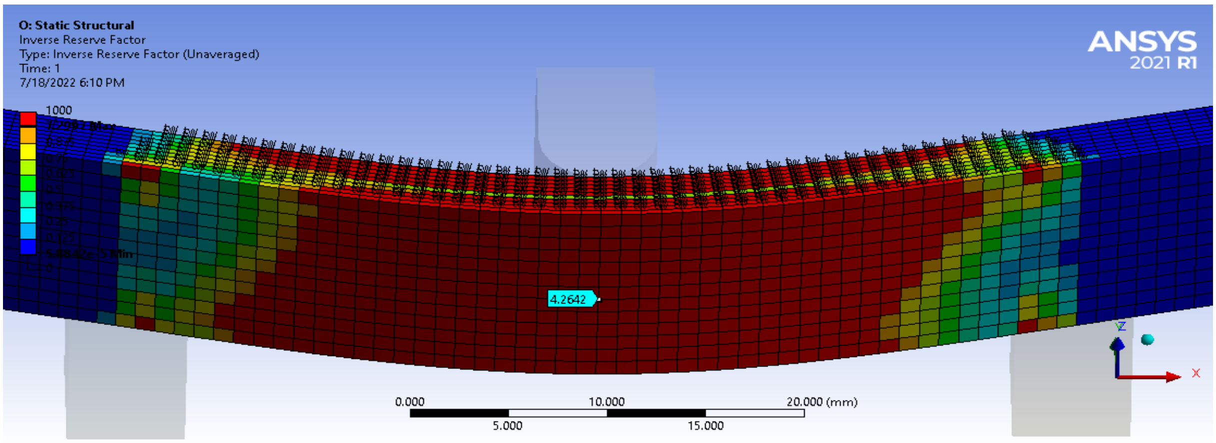
Shear Stress



Total Deformation

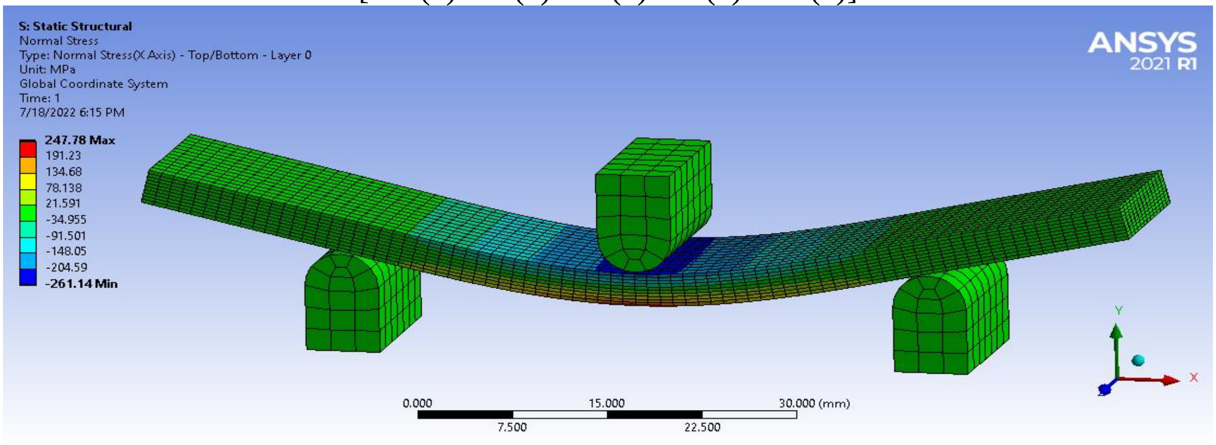


Flexural Strain

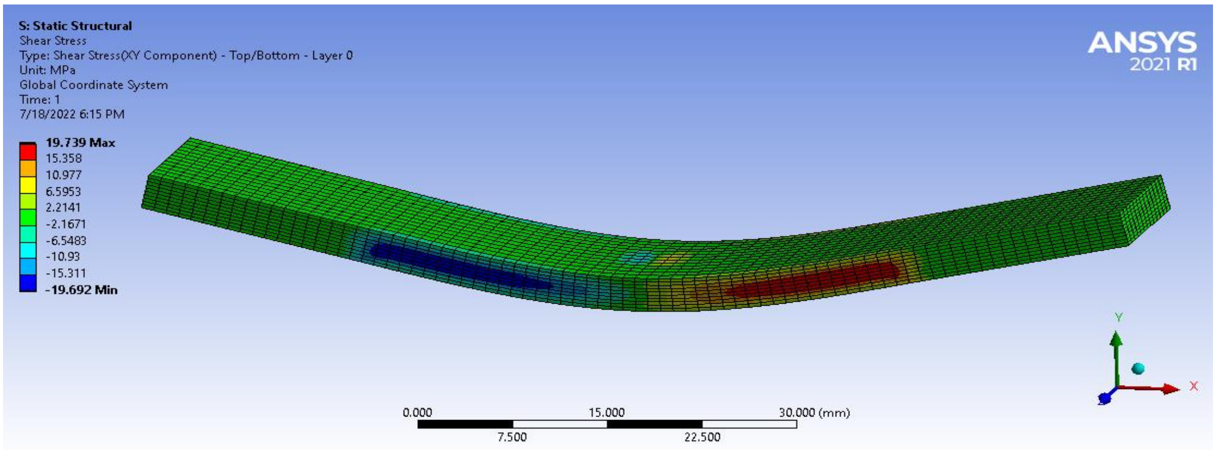


Inverse Reserve Factor

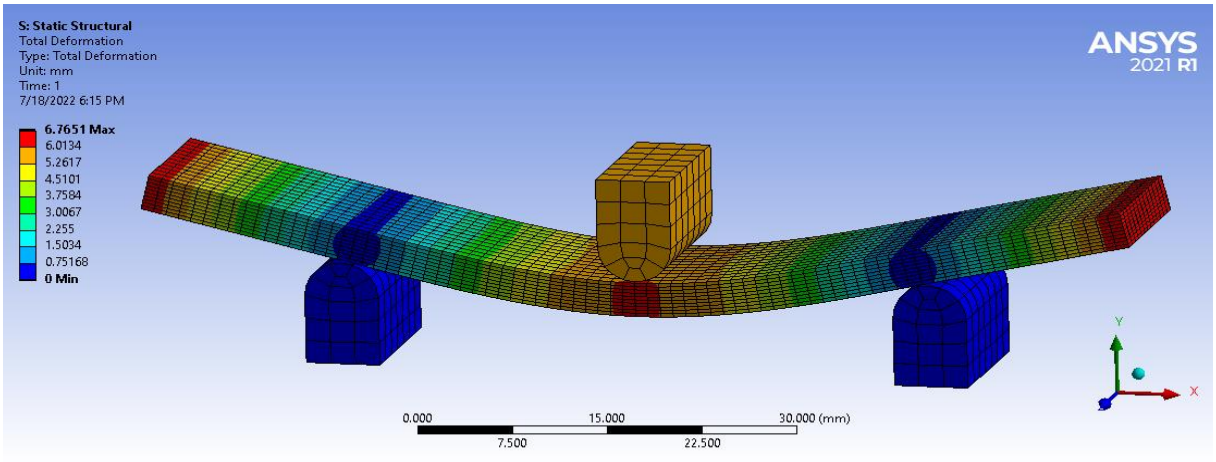
[-45 (2)/ 45 (2)/ -45(2)/ 45 (2)/ -45 (2)]



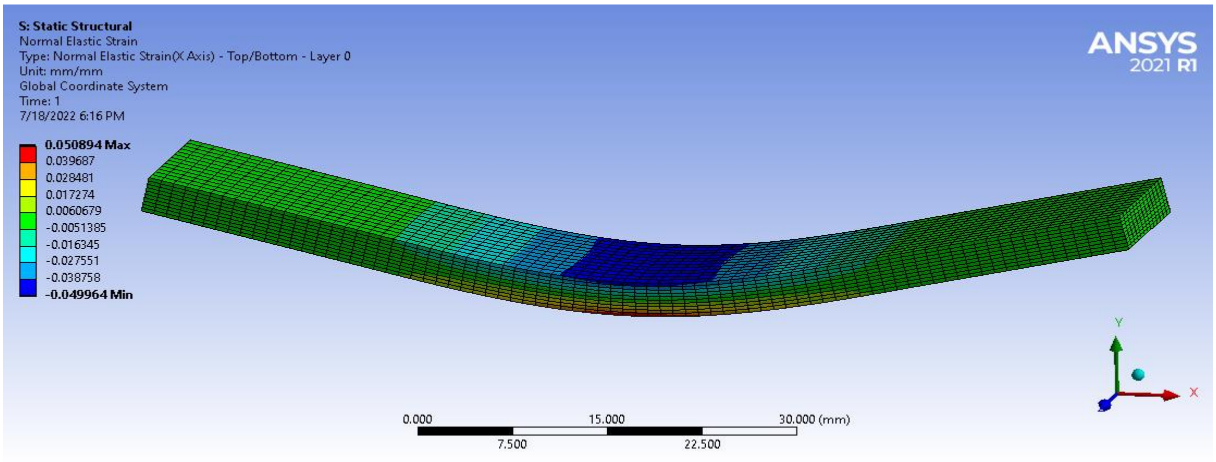
Flexural Stress



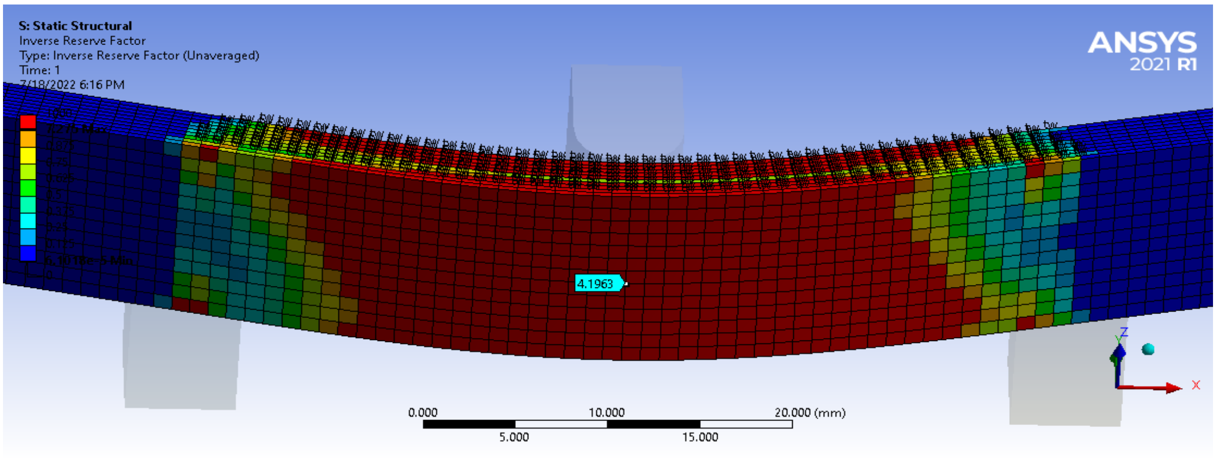
Shear Stress



Total Deformation

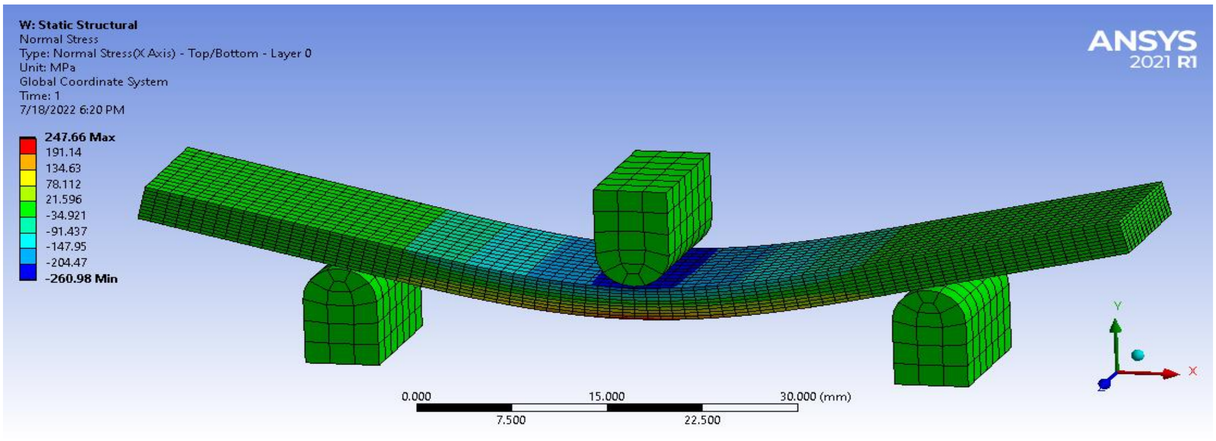


Flexural Strain

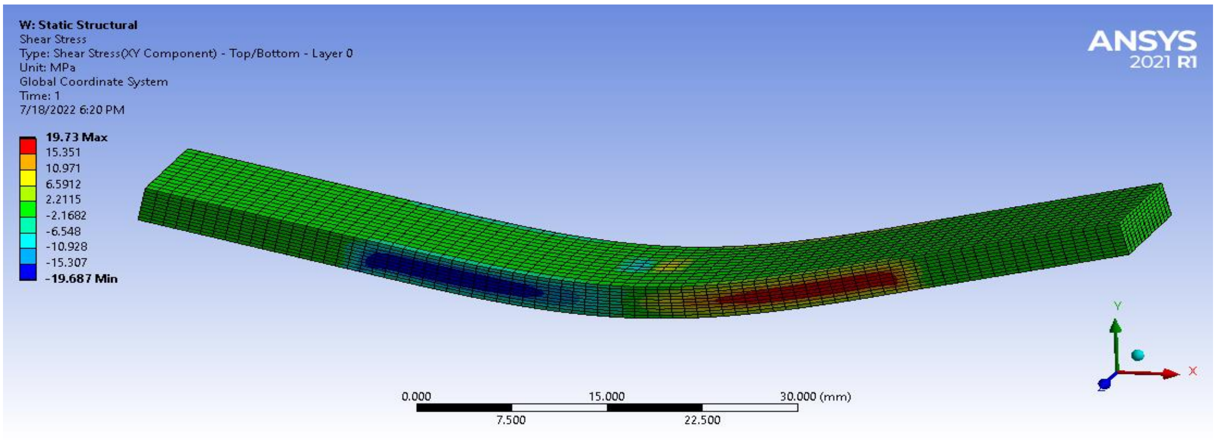


Inverse Reserve Factor

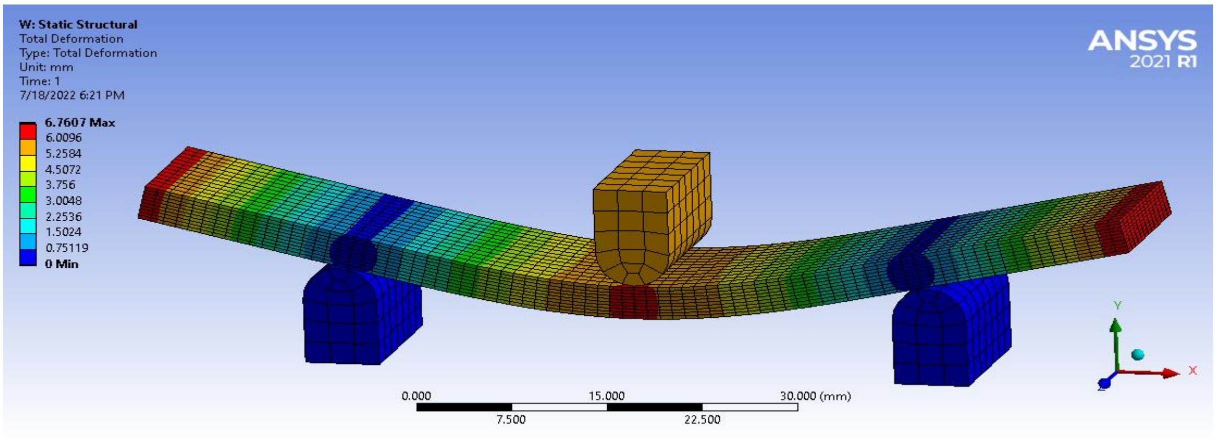
[45 (2)/ -45 (2)/ 0 (2)/ -45 (2)/ 45 (2)]



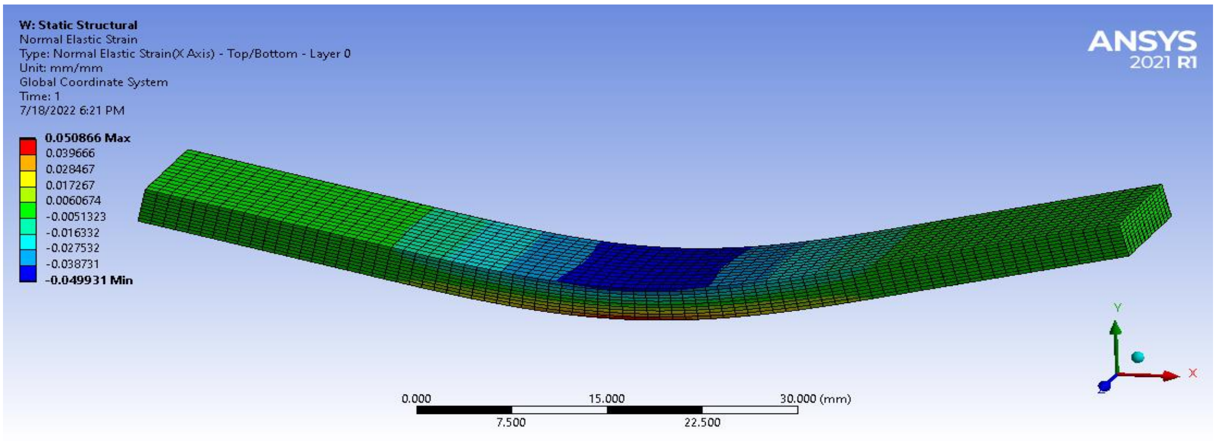
Flexural Stress



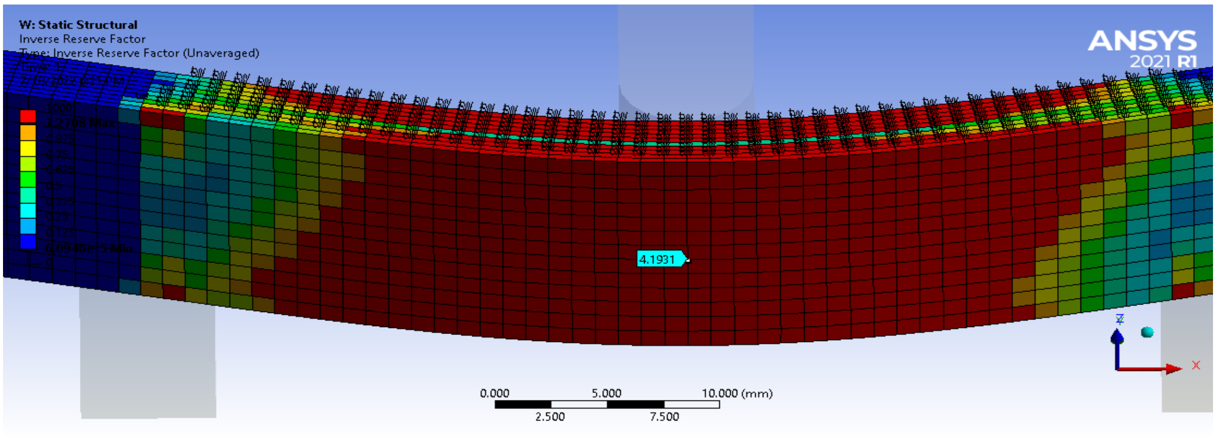
Shear Stress



Total Deformation

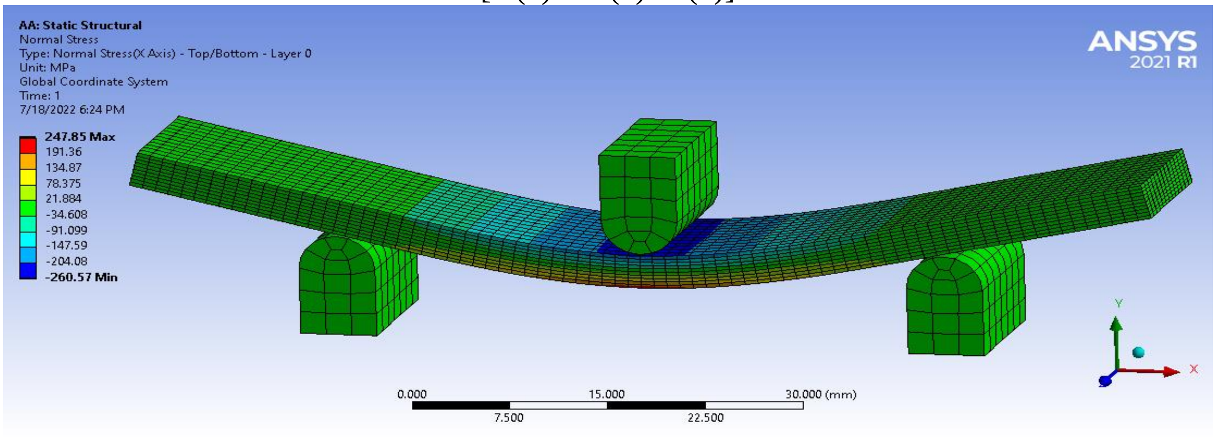


Flexural Strain

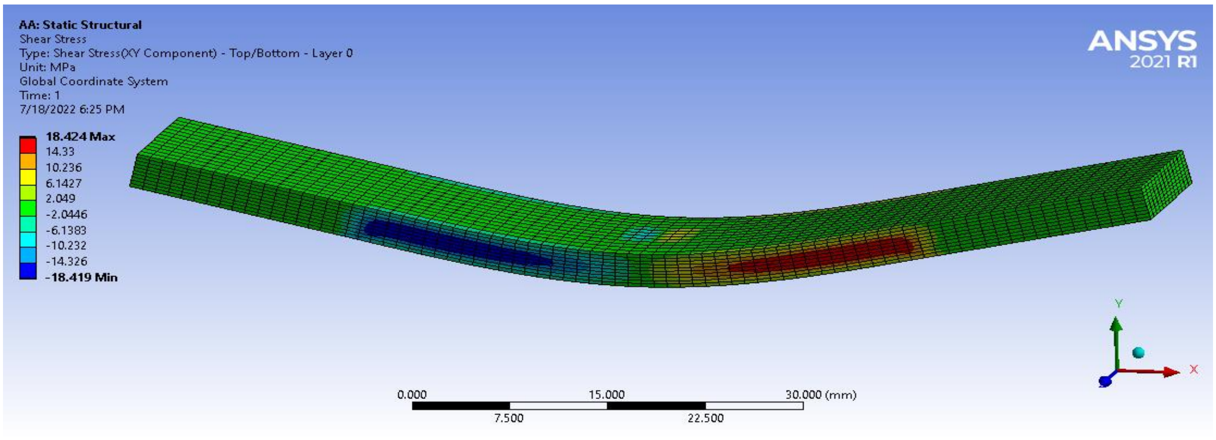


Inverse Reserve Factor

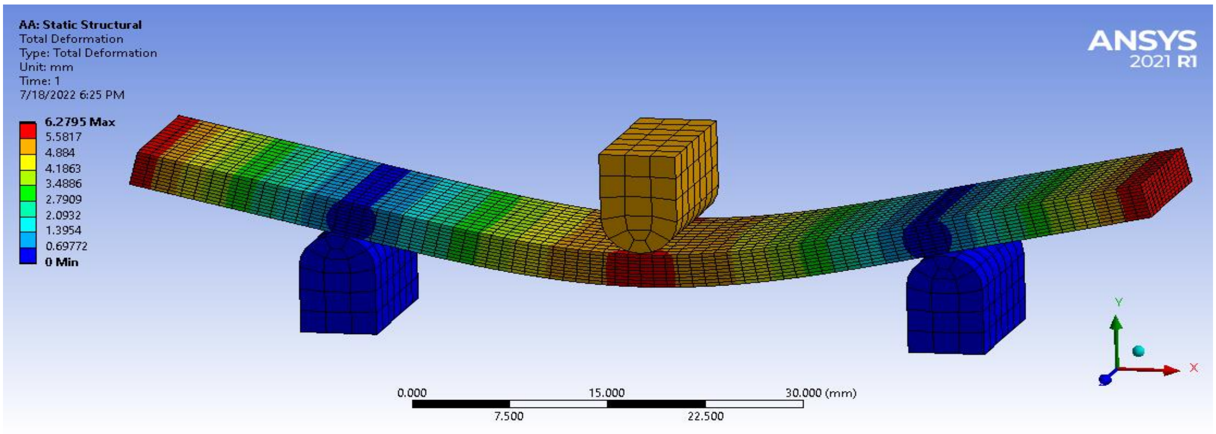
[0 (4)/ 90 (2)/ 0 (4)]



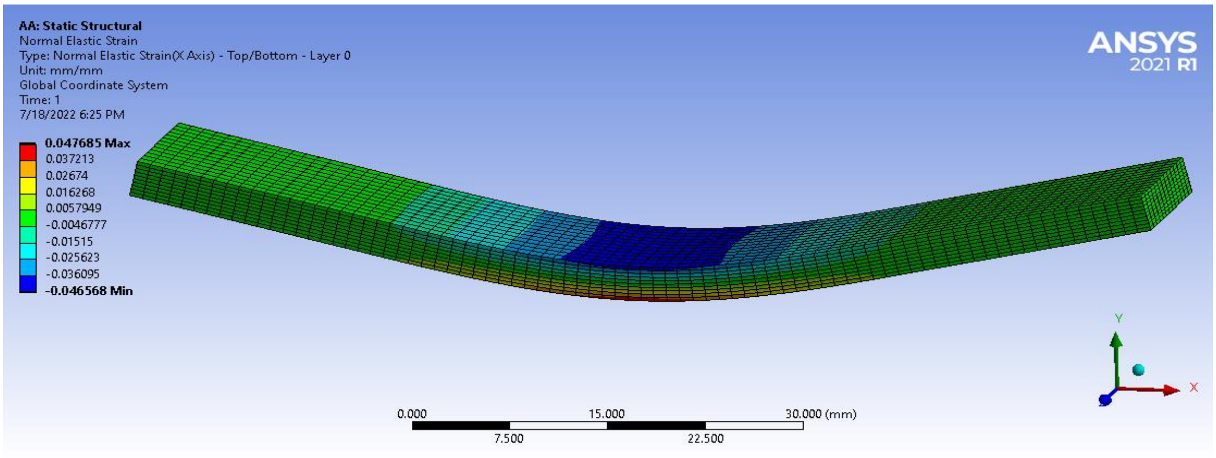
Flexural Stress



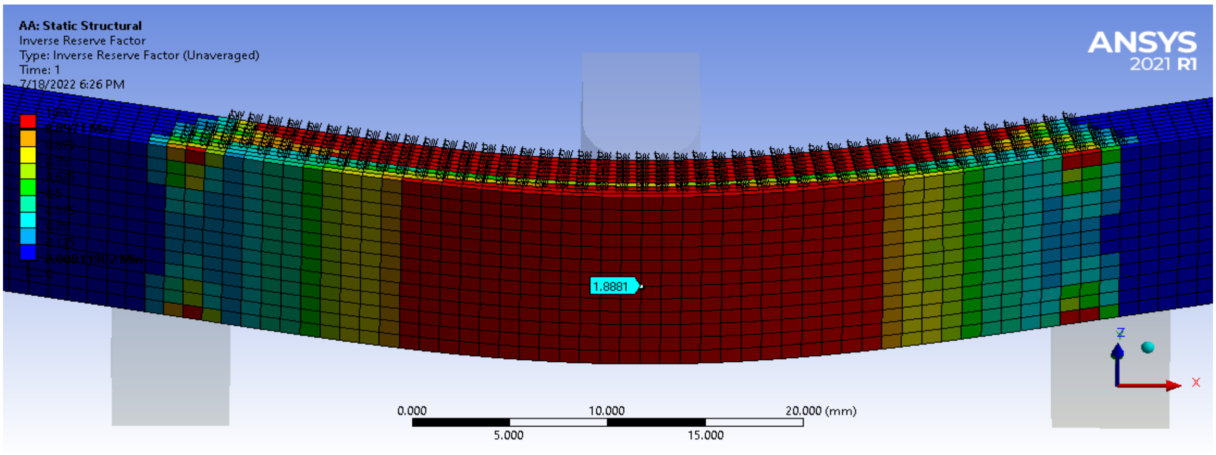
Shear Stress



Total Deformation

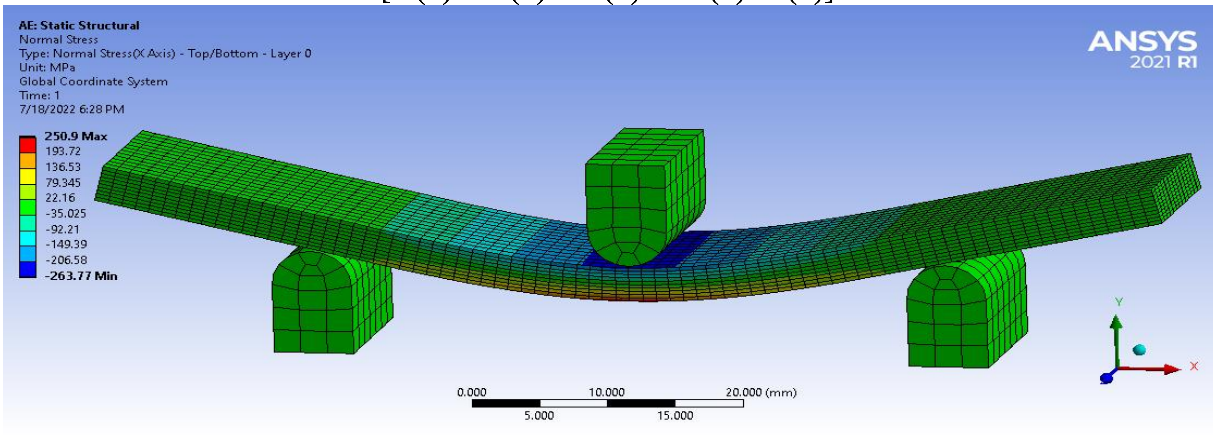


Flexural Strain

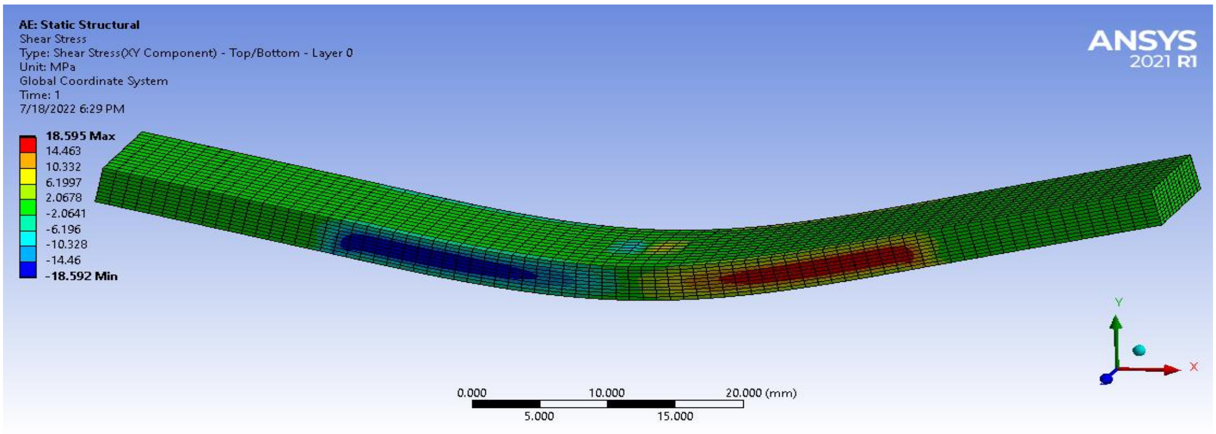


Inverse Reserve Factor

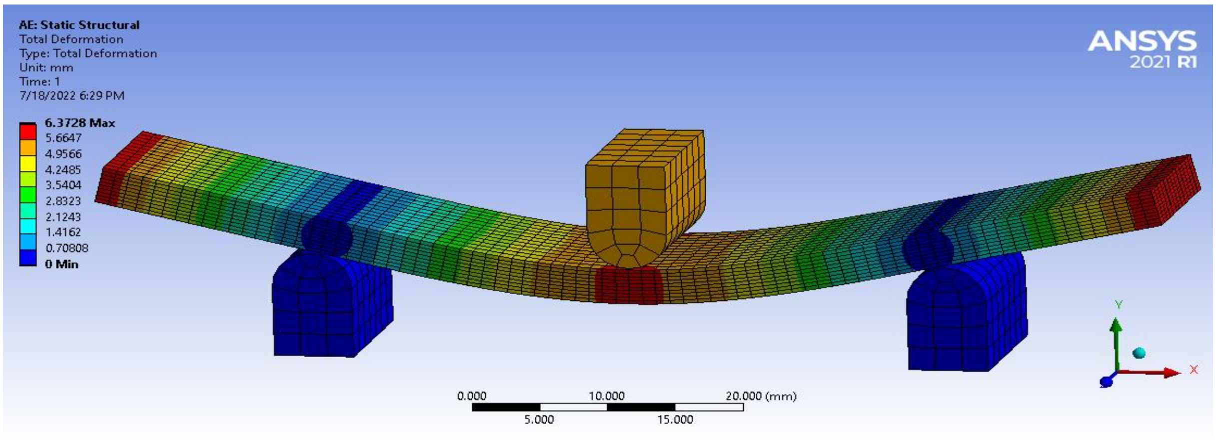
[0 (2)/ 45 (2)/ 90 (2)/ -45 (2)/ 0 (2)]



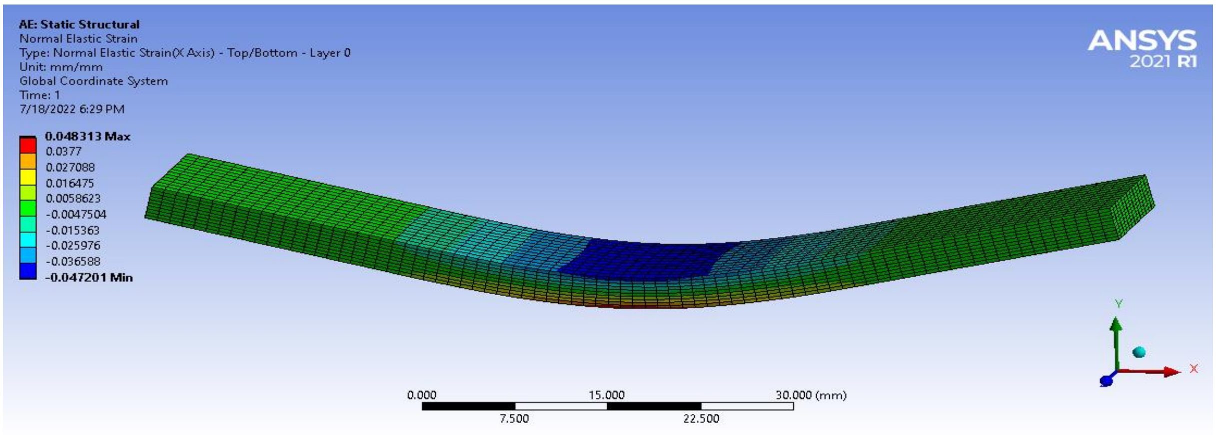
Flexural Stress



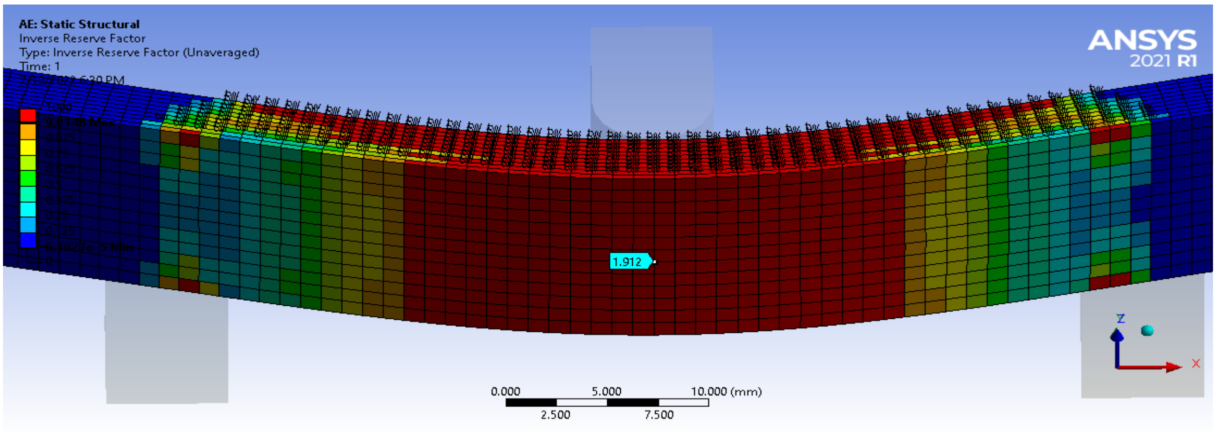
Shear Stress



Total Deformation

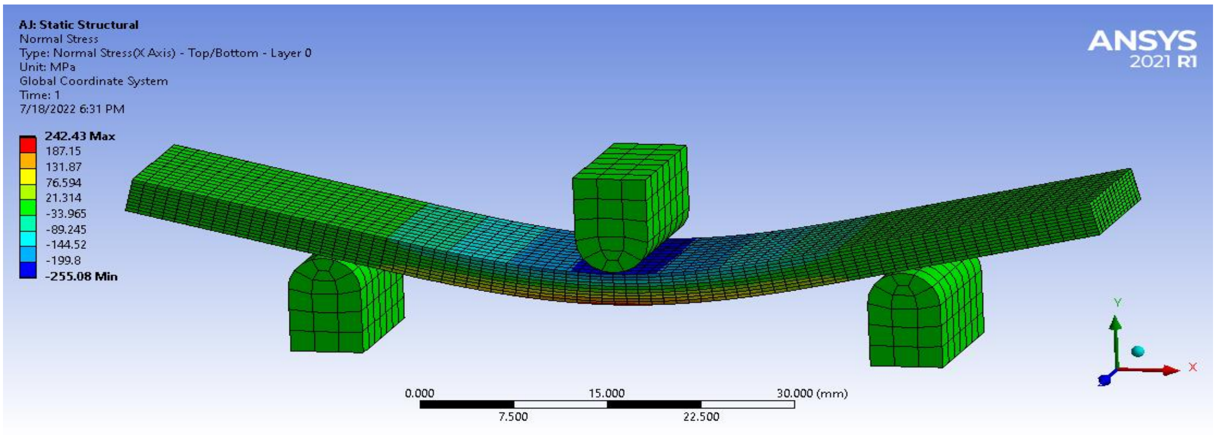


Flexural Strain

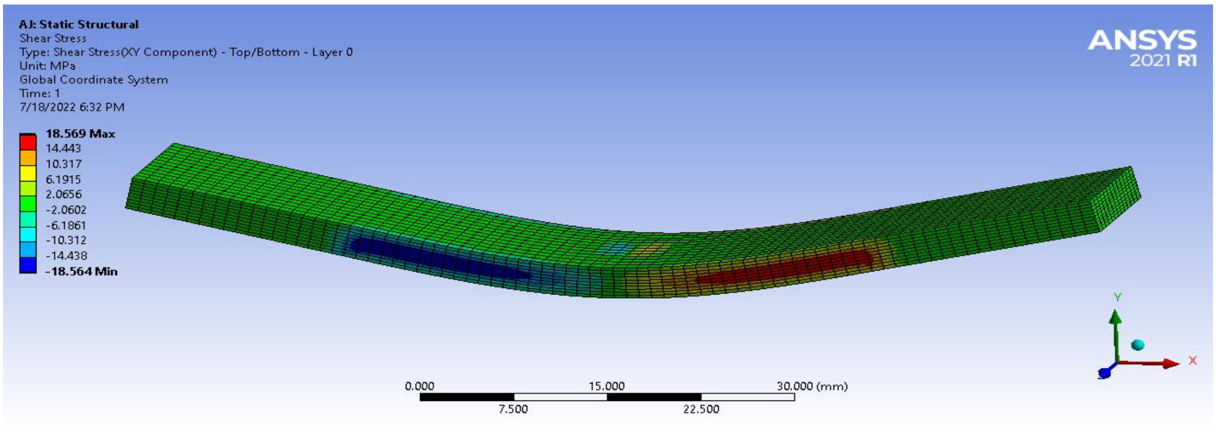


Inverse Reserve Factor

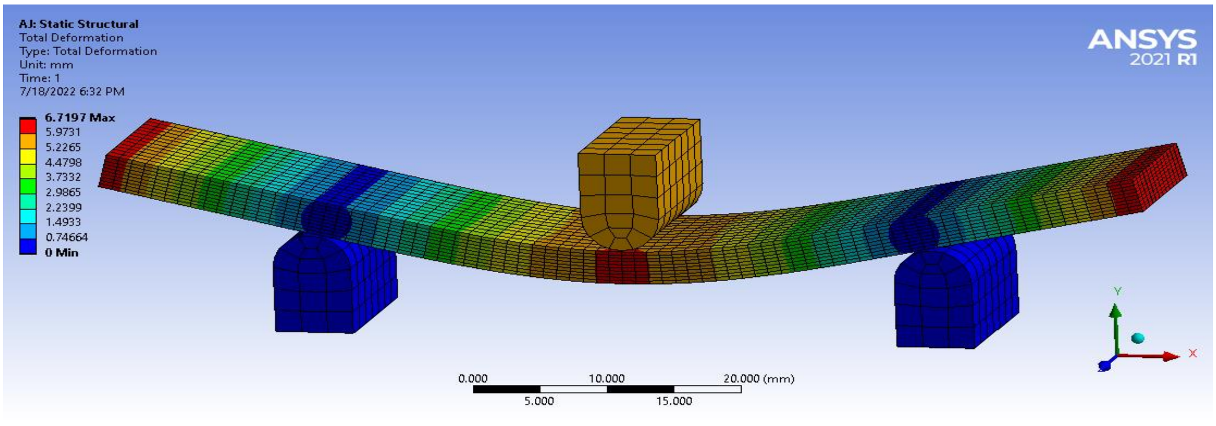
[90 (2)/ 0 (2)/ 90 (2)/ 0 (2)/ 90 (2)]



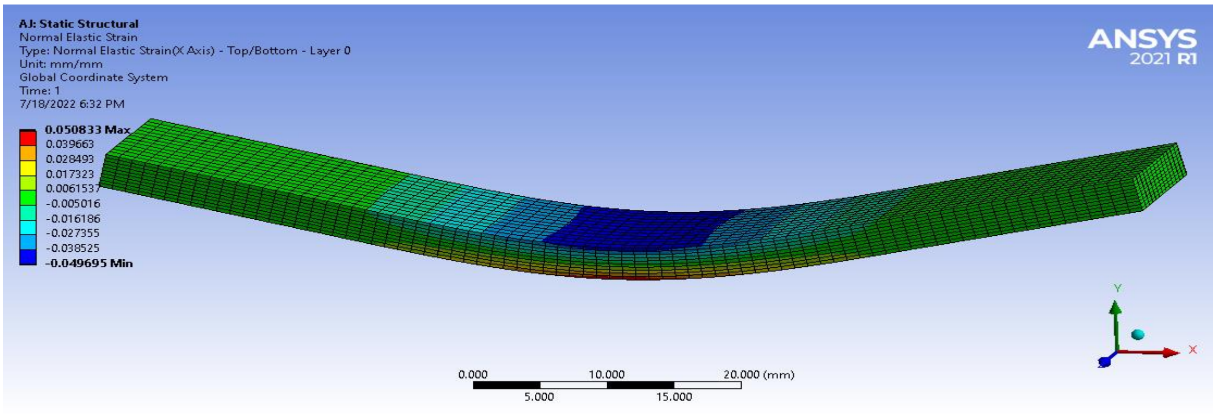
Flexural Stress



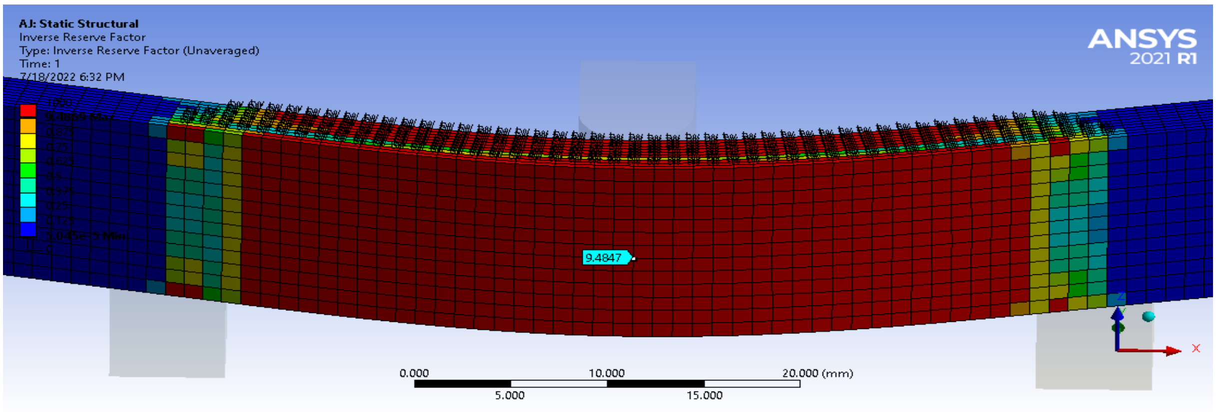
Shear Stress



Total Deformation



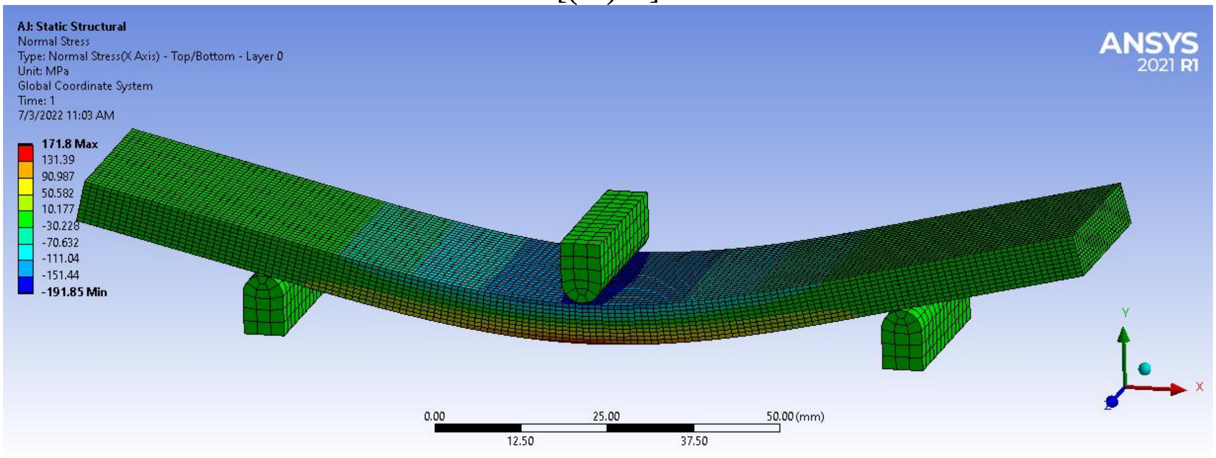
Flexural Strain



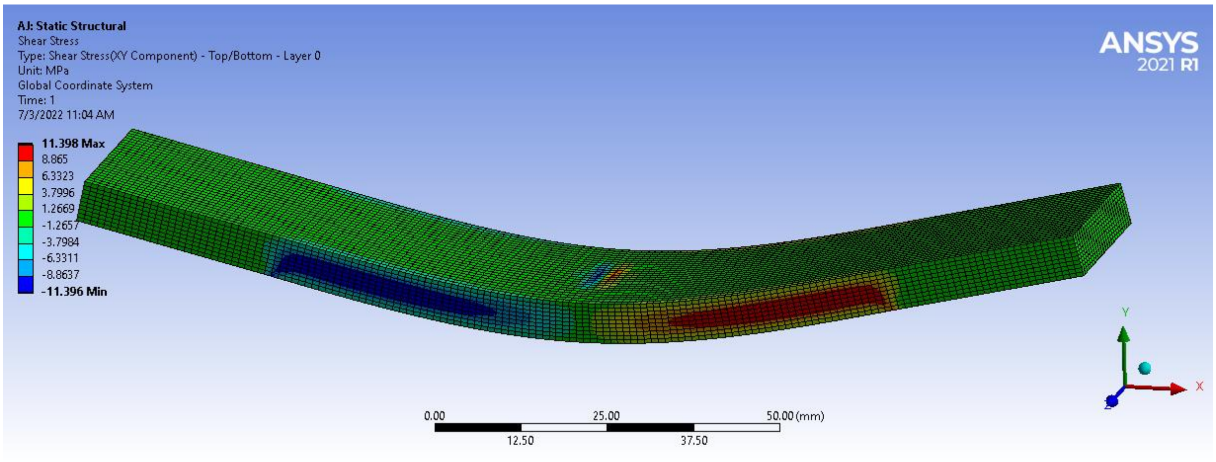
Inverse Reserve Factor

KENAF

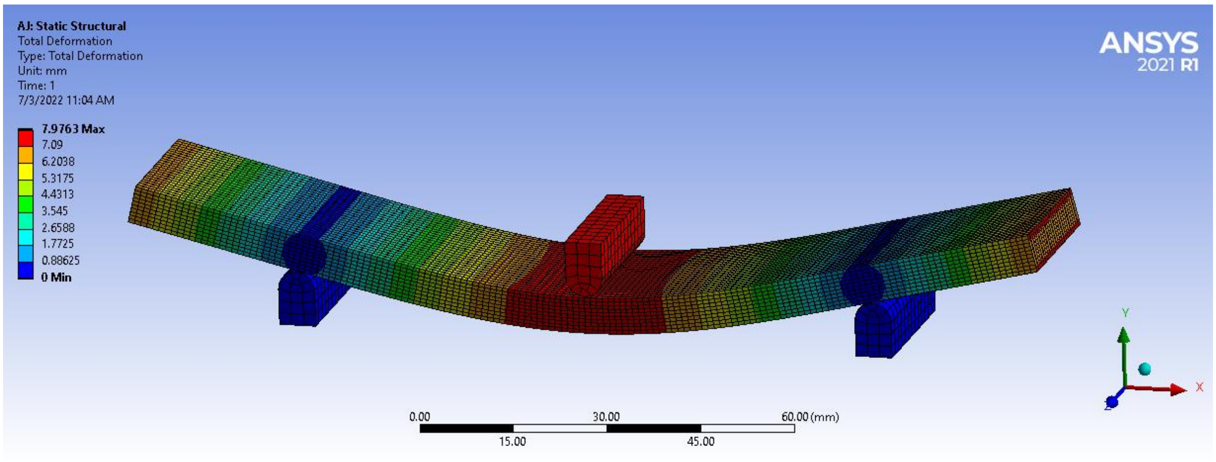
[(0°)10]



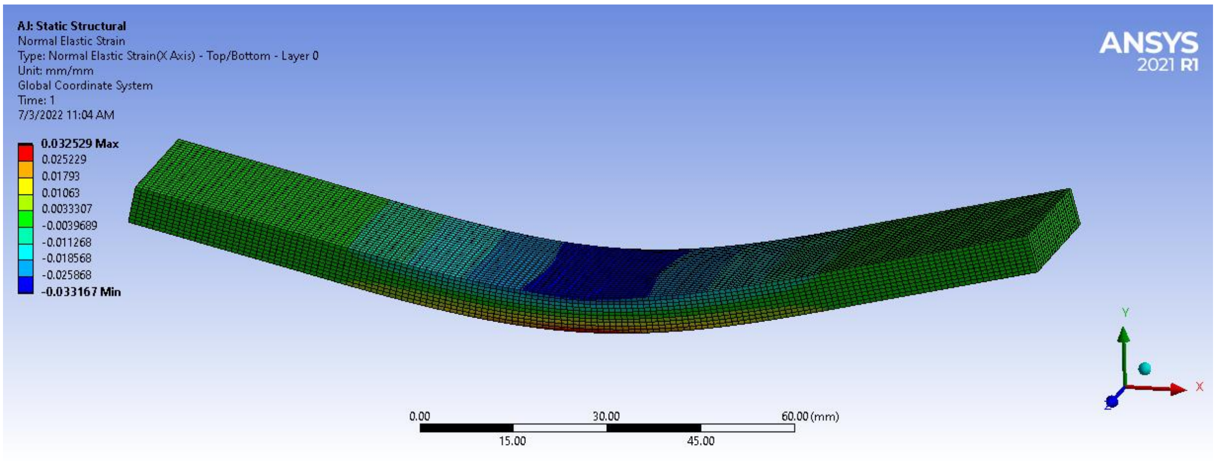
Flexural Stress



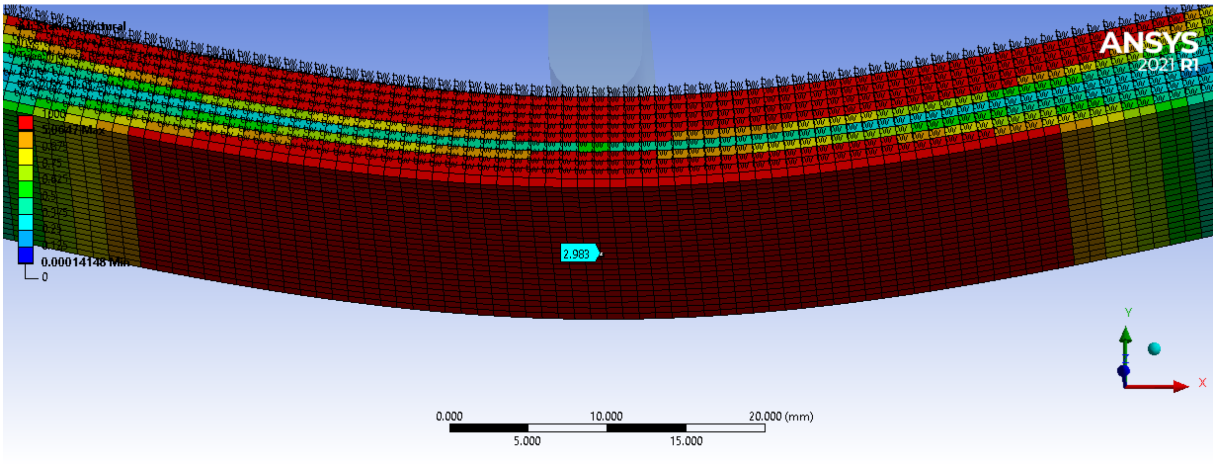
Shear Stress



Total Deformation

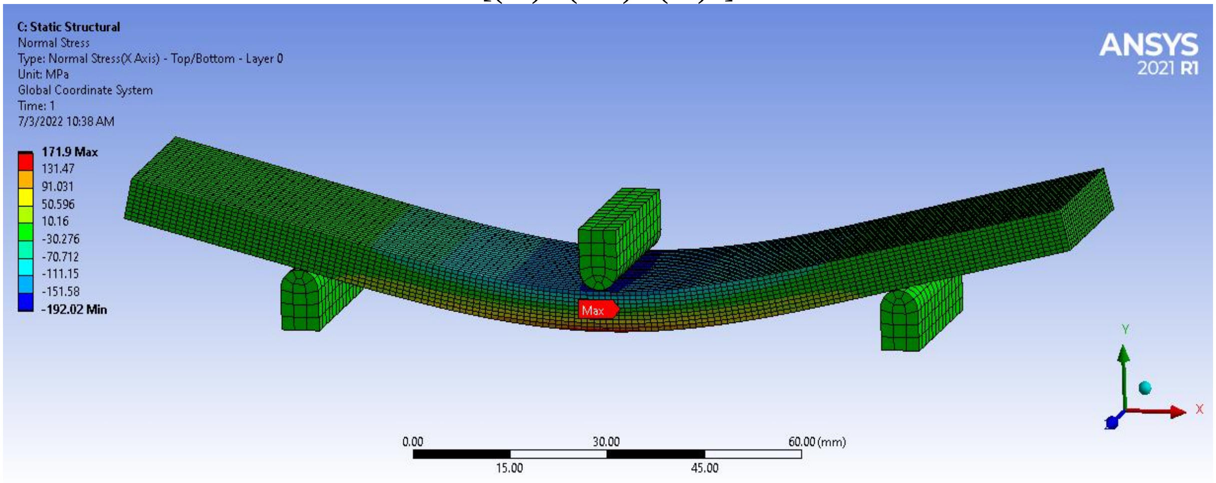


Flexural Strain

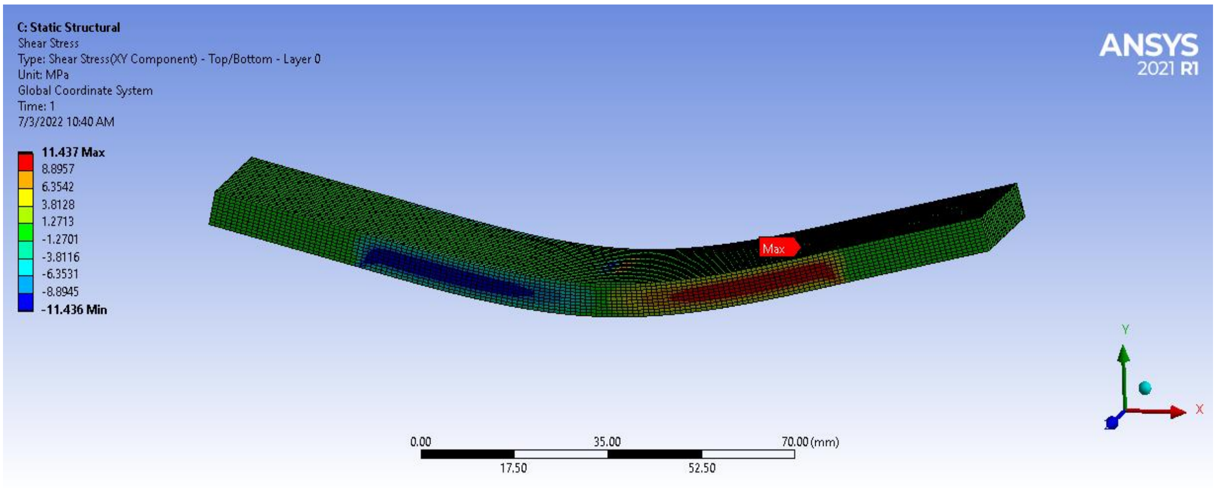


Inverse Reserve Factor

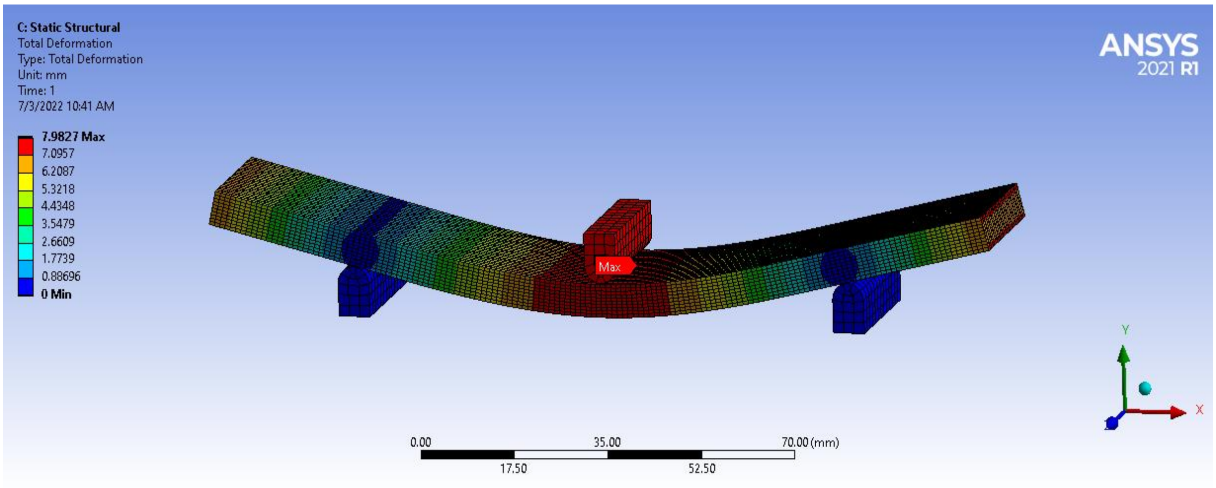
[(0°)4/(45°)2/(0°)4]



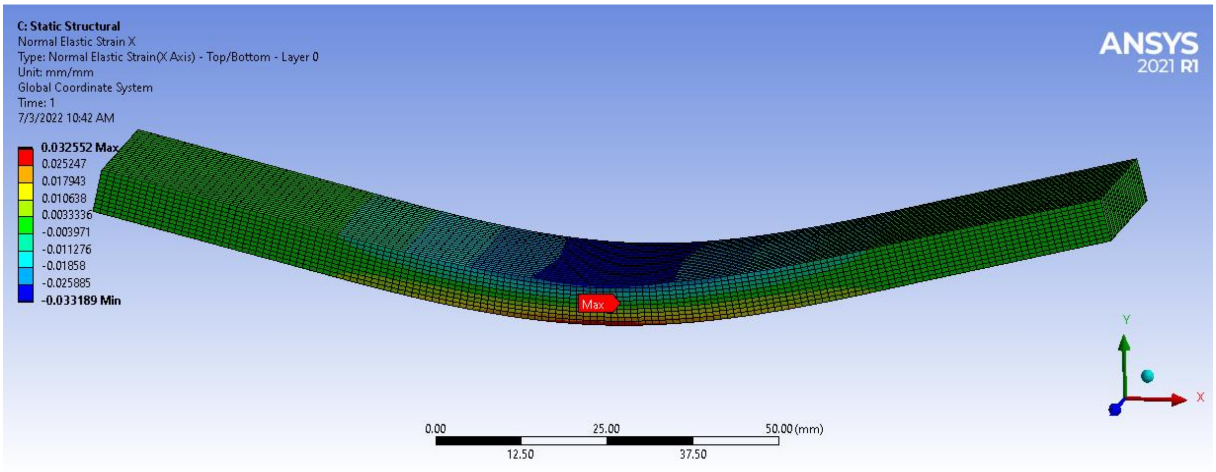
Flexural Stress



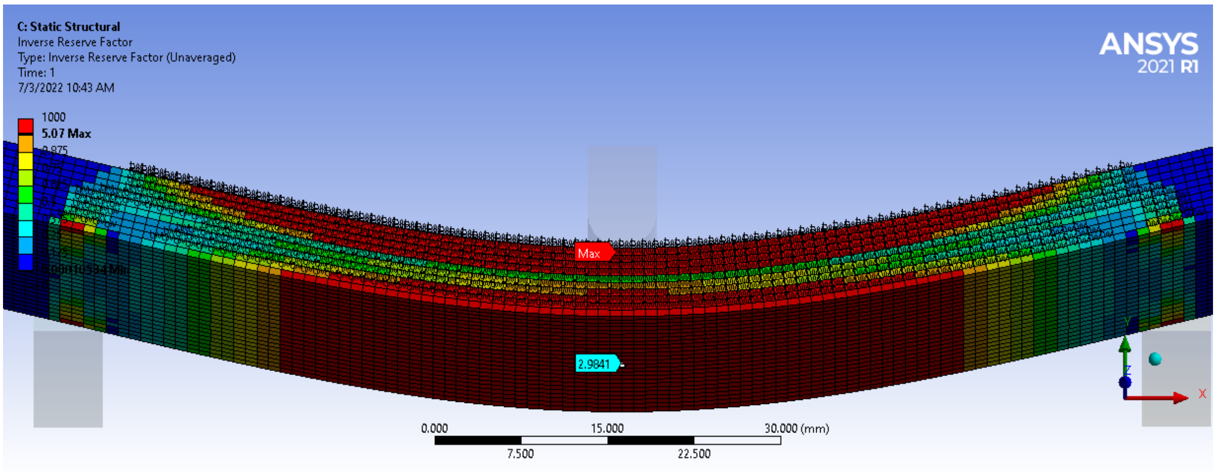
Shear Stress



Total Deformation

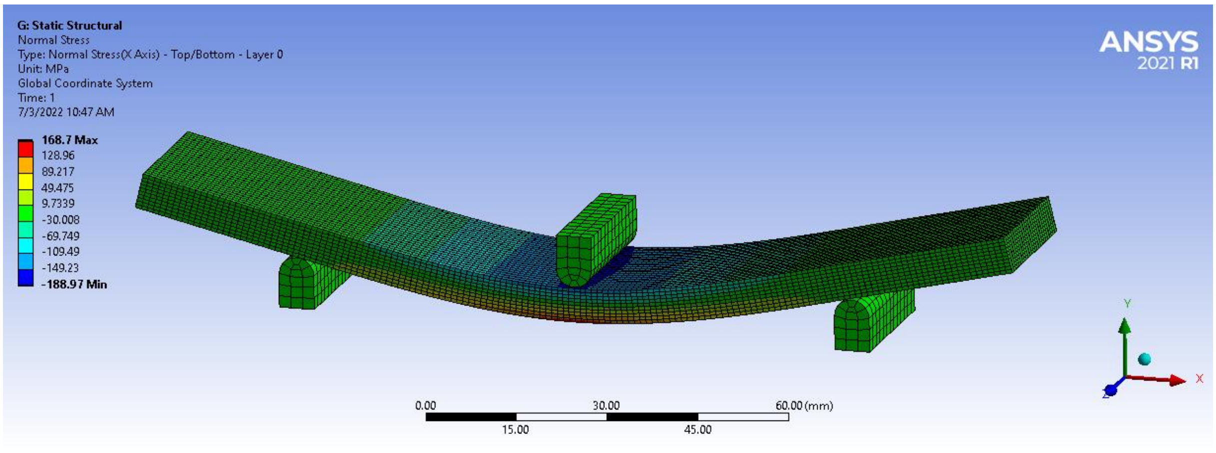


Flexural Strain

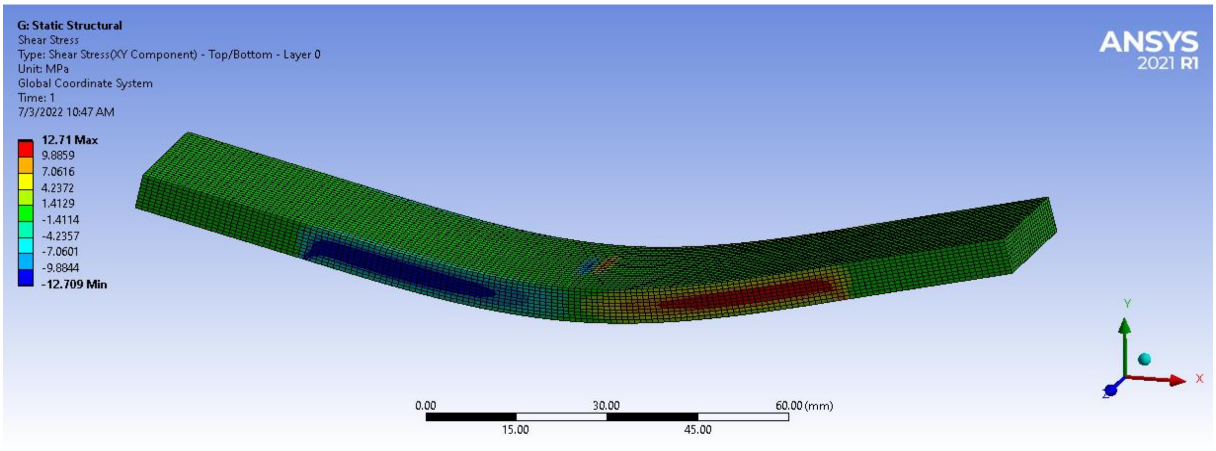


Inverse Reserve Factor

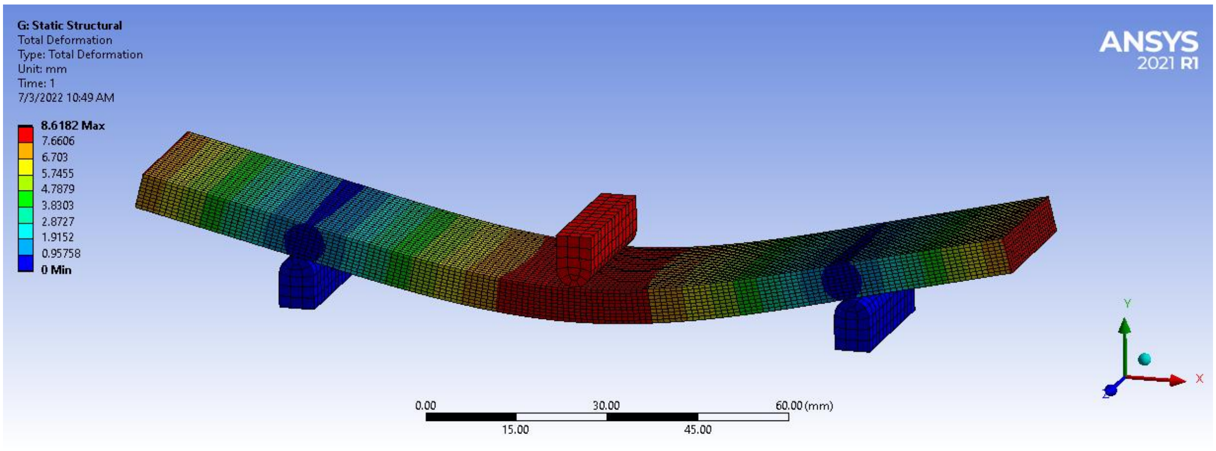
[45 (2)/ 0 (2)/ 45(2)/ 0 (2)/ 45 (2)]



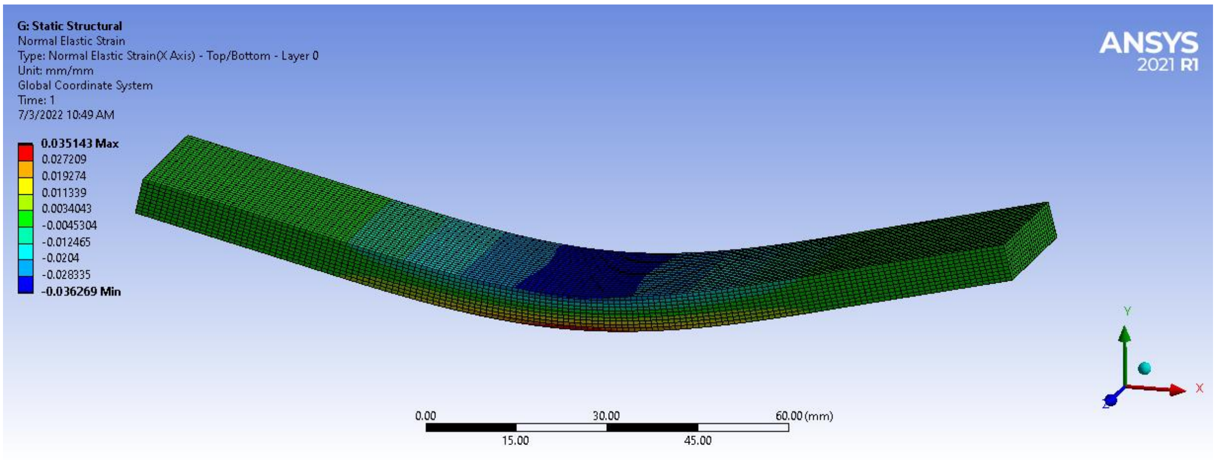
Flexural Stress



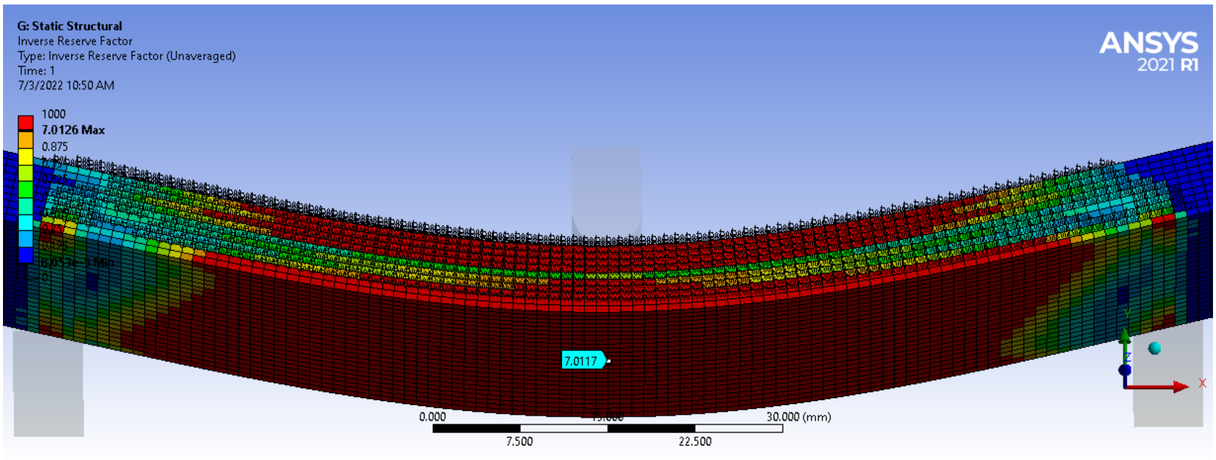
Shear Stress



Total Deformation

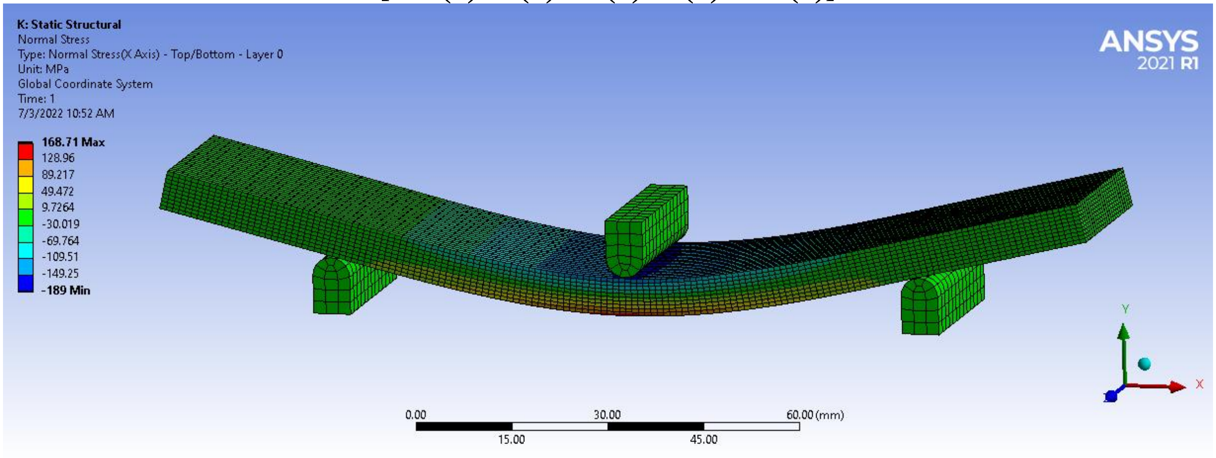


Flexural Strain

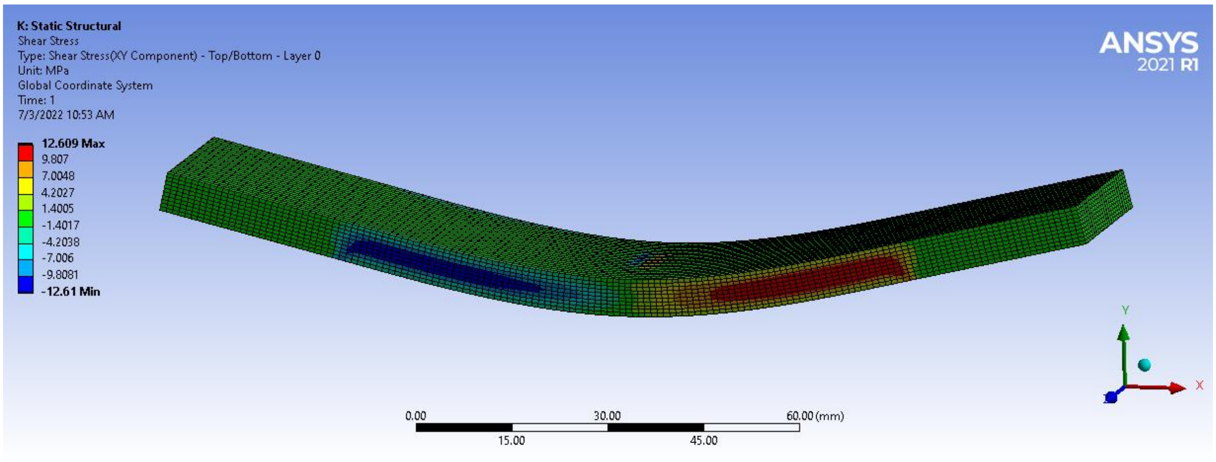


Inverse Reserve Factor

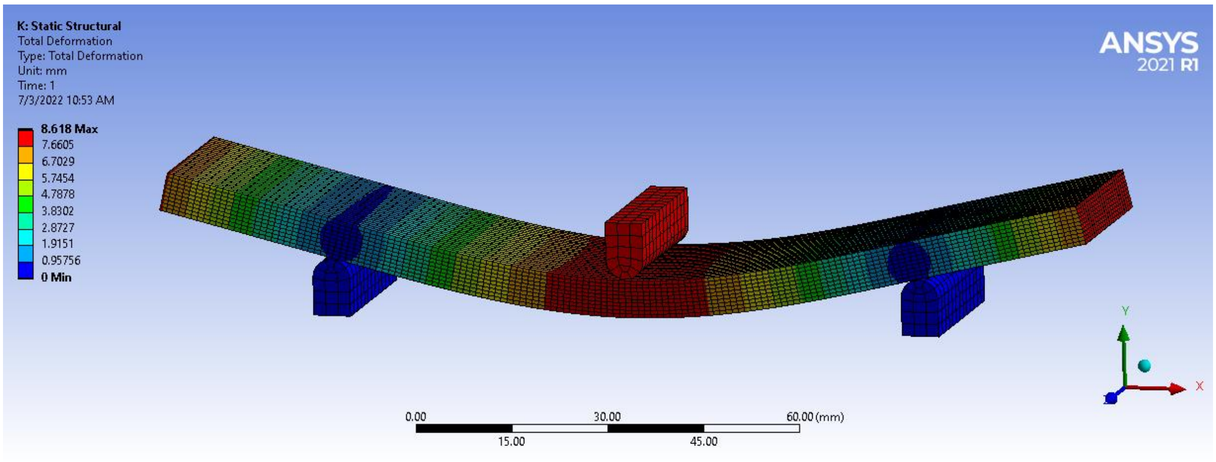
[-45 (2)/ 0 (2)/ 45(2)/ 0 (2)/ -45 (2)]



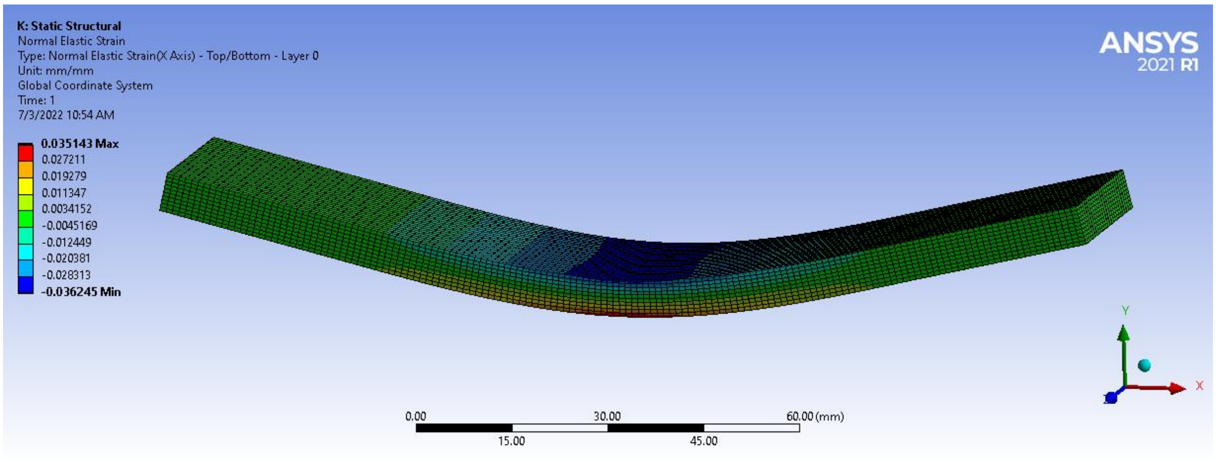
Flexural Stress



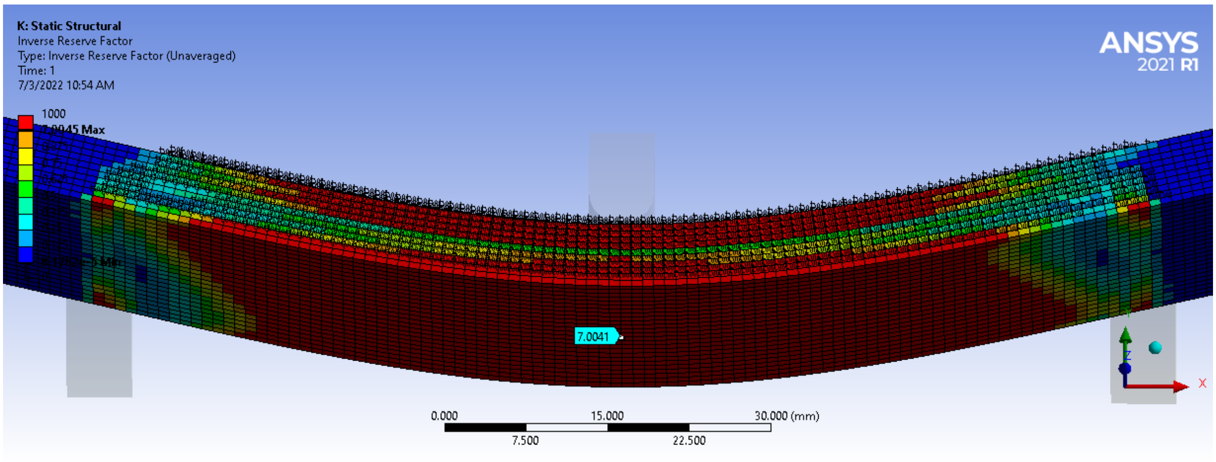
Shear Stress



Total Deformation

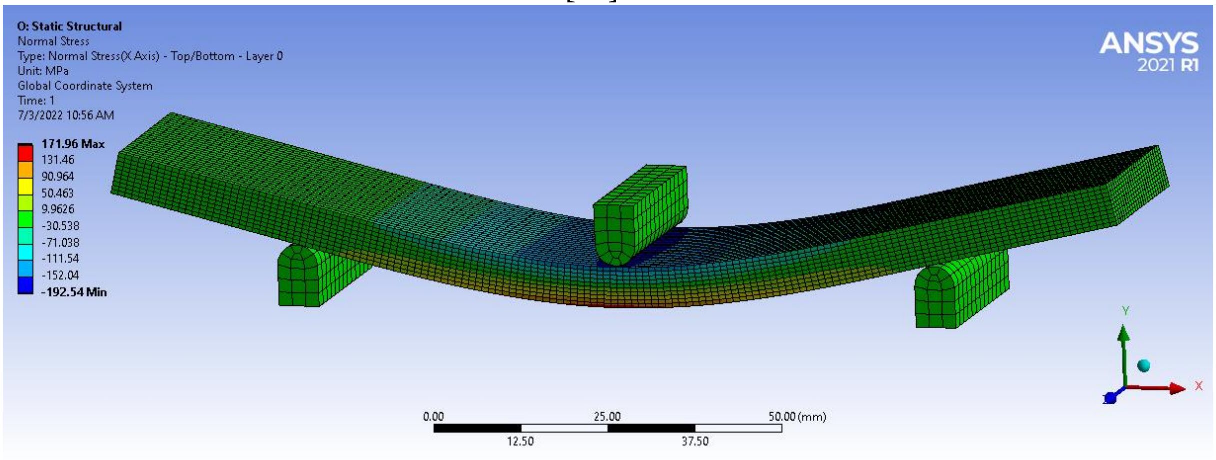


Flexural Strain

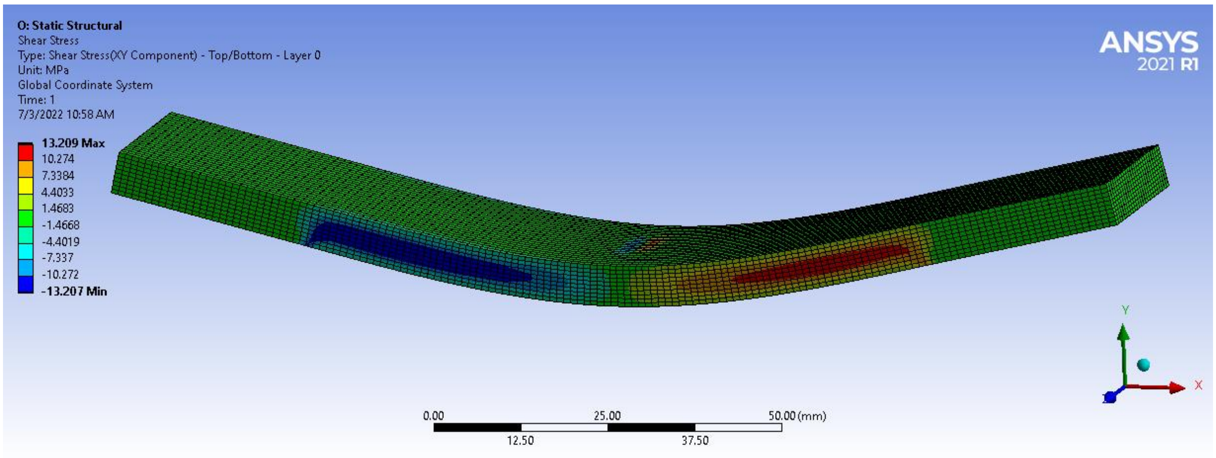


Inverse Reserve Factor

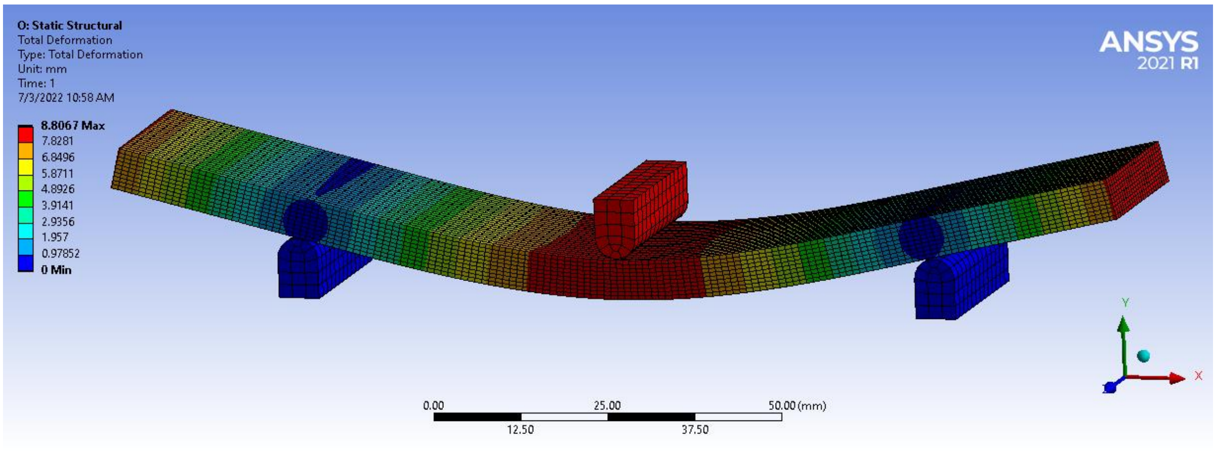
[45]10



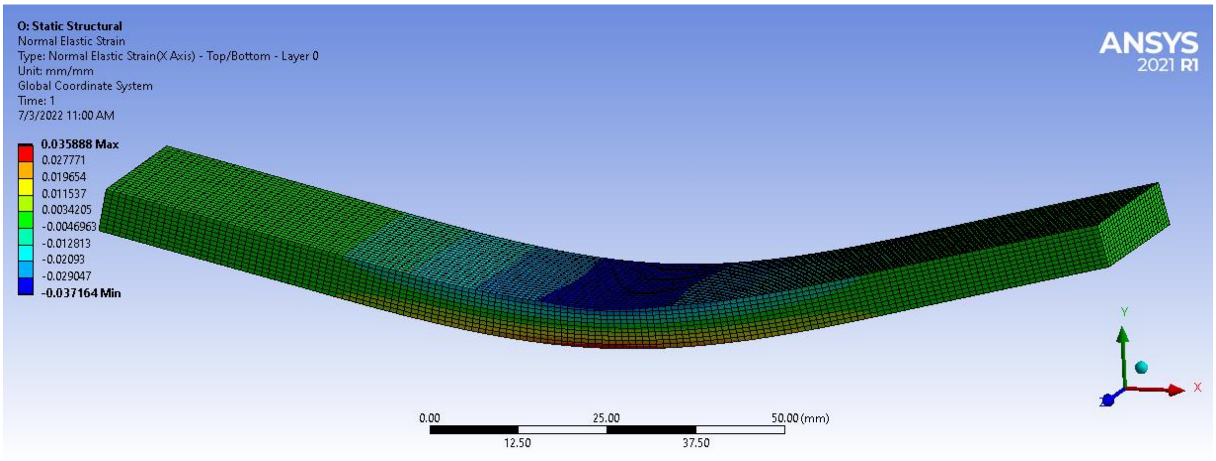
Flexural Stress



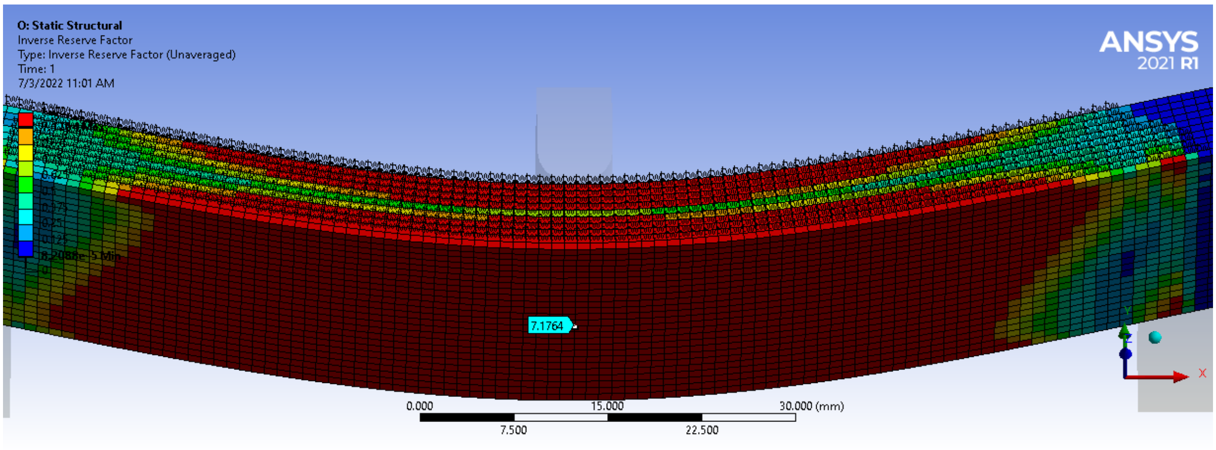
Shear Stress



Total Deformation

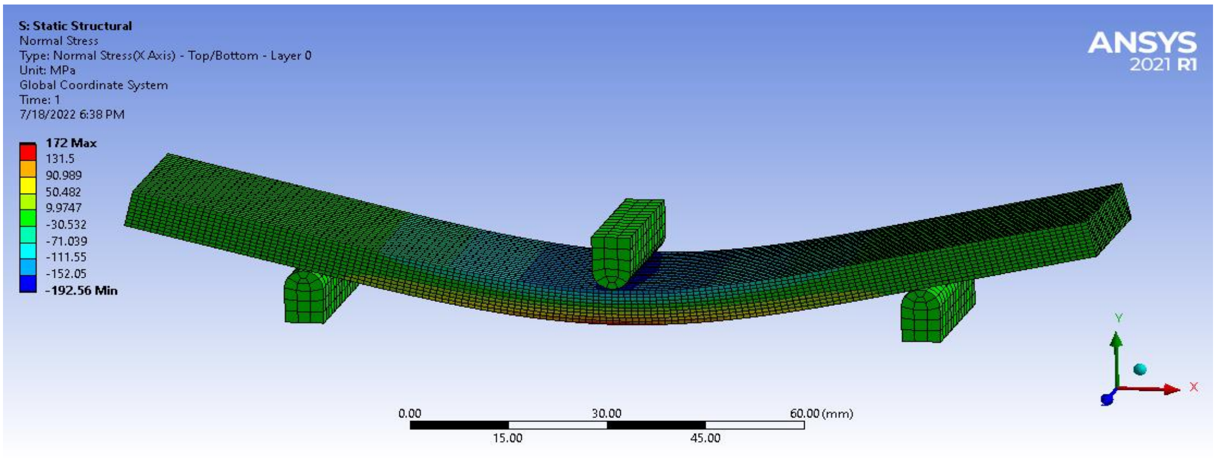


Flexural Strain

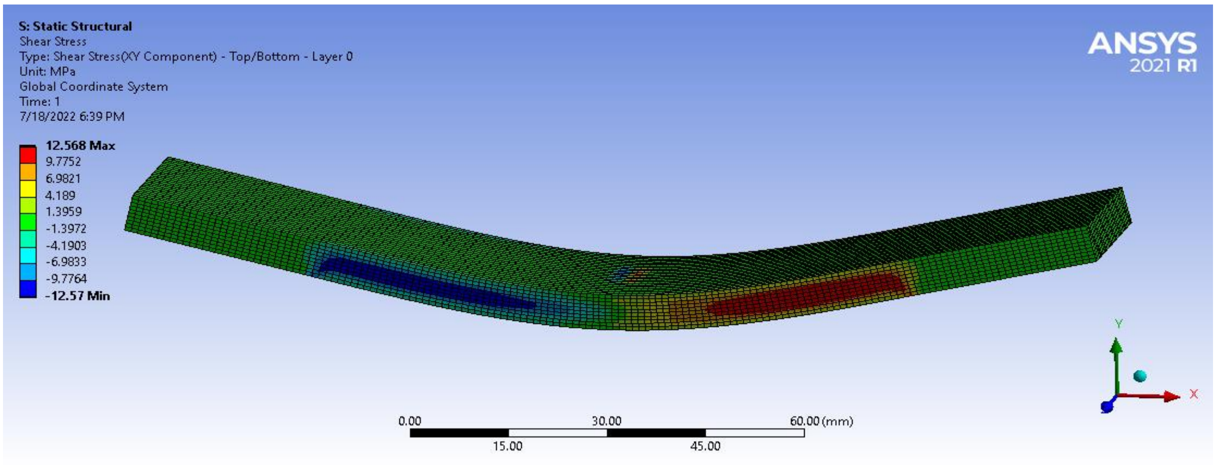


Inverse Reserve Factor

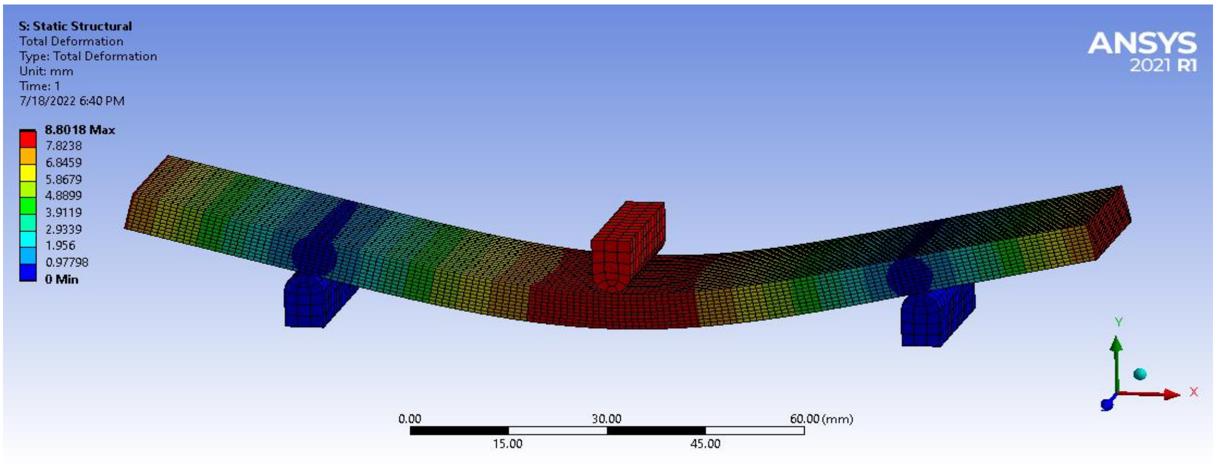
[-45 (2)/ 45 (2)/ -45(2)/ 45 (2)/ -45 (2)]



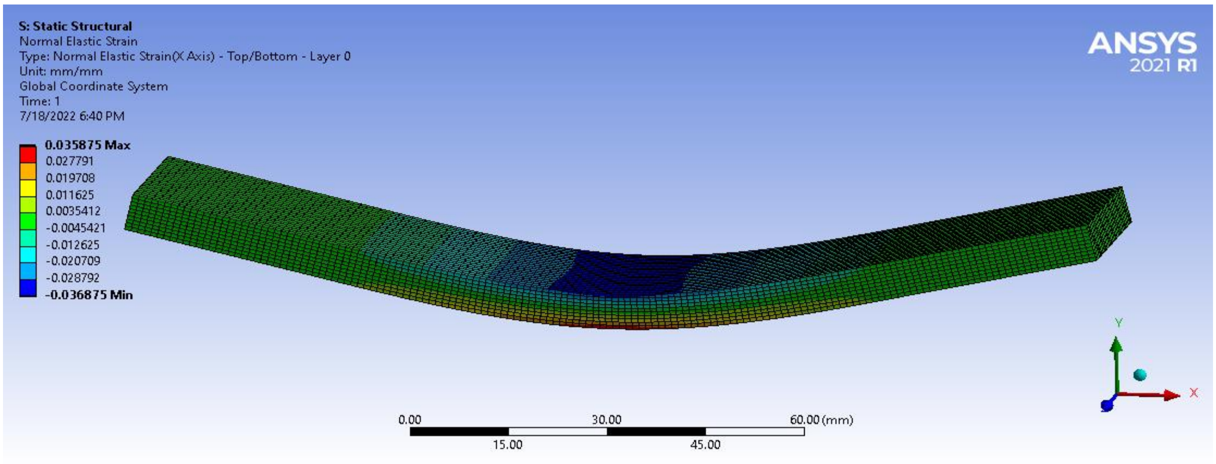
Flexural Stress



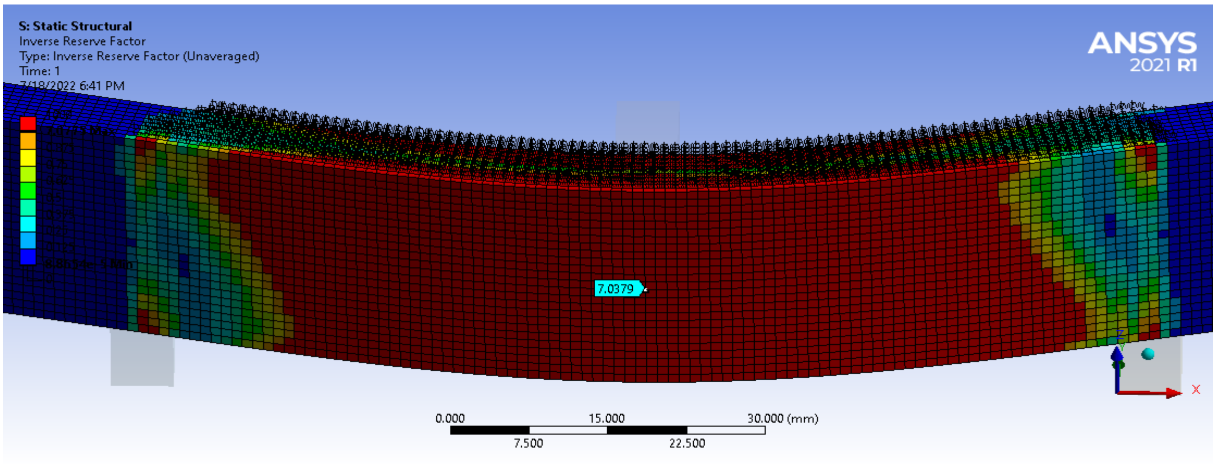
Shear Stress



Total Deformation

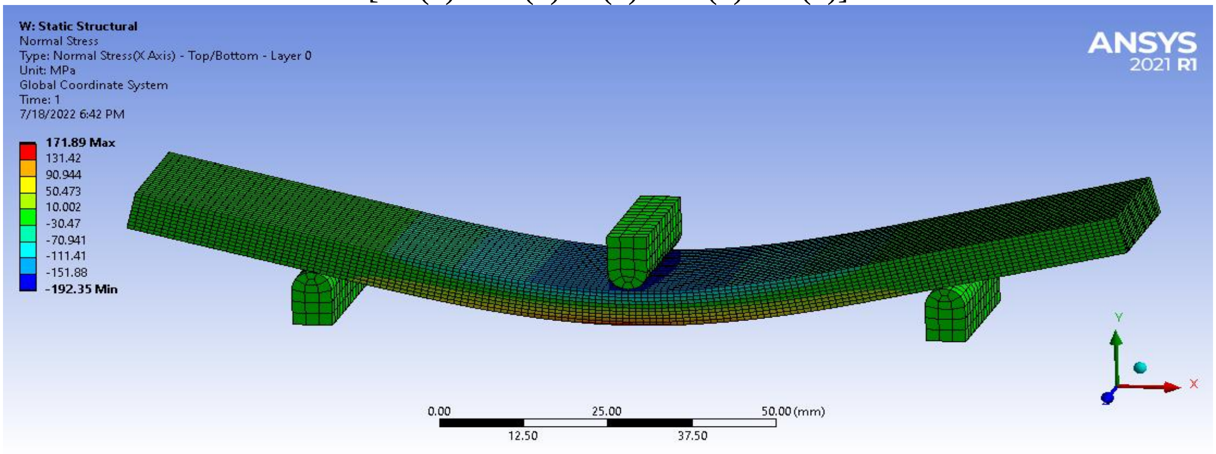


Flexural Strain

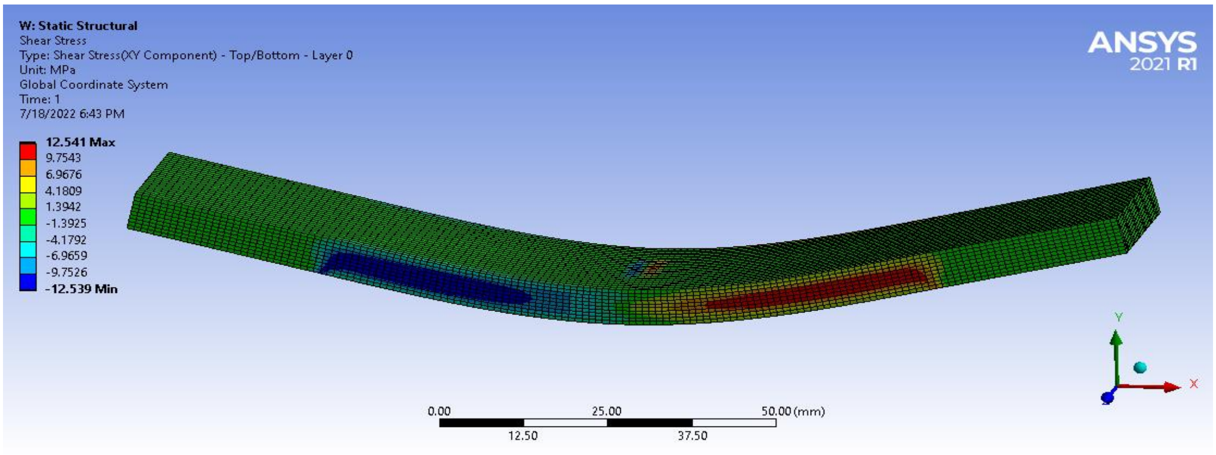


Inverse Reserve Factor

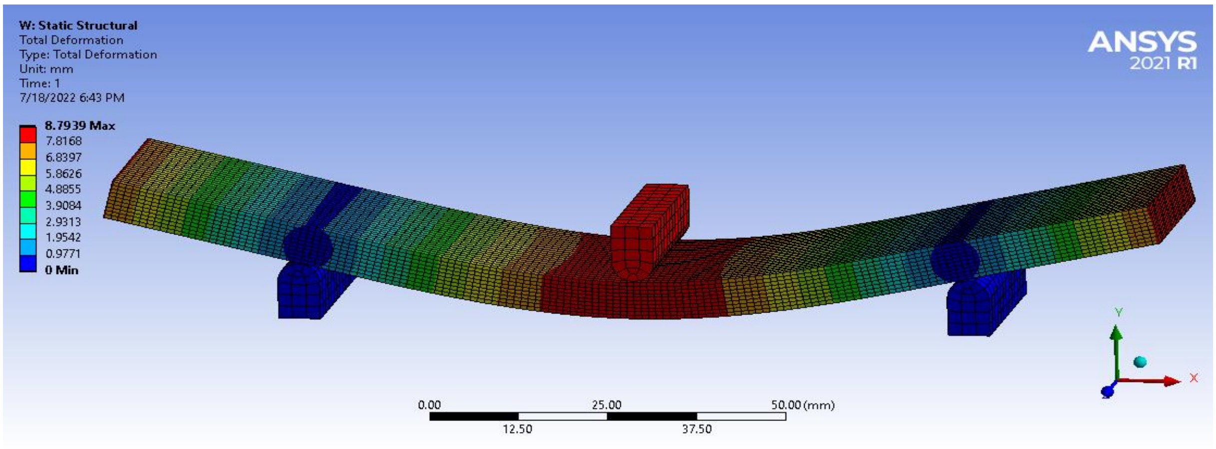
[45 (2)/ -45 (2)/ 0 (2)/ -45 (2)/ 45 (2)]



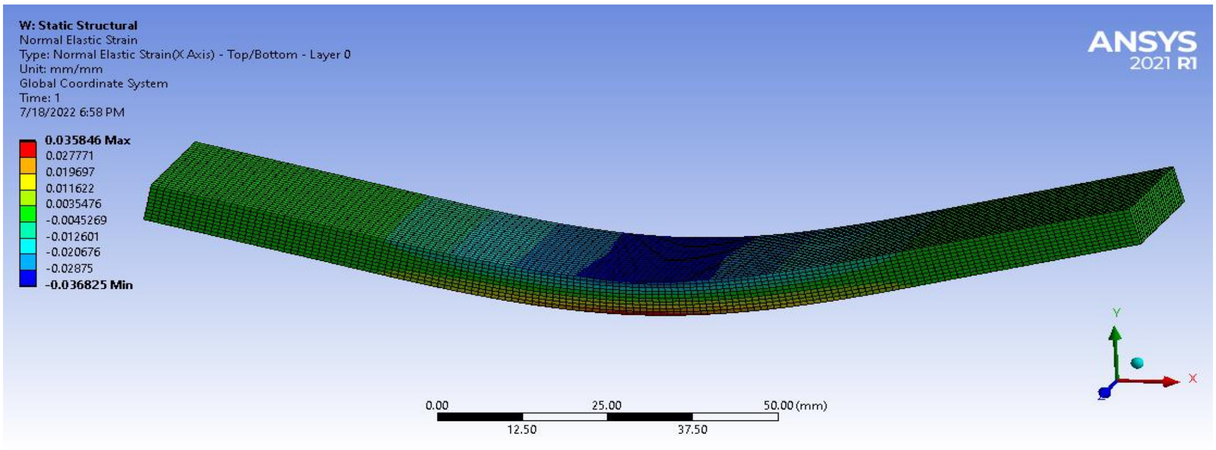
Flexural Stress



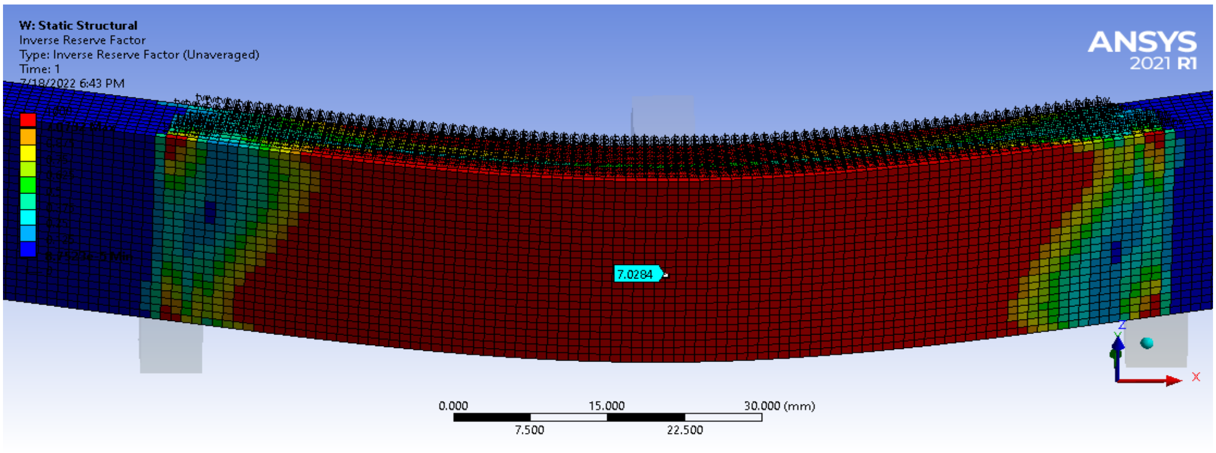
Shear Stress



Total Deformation

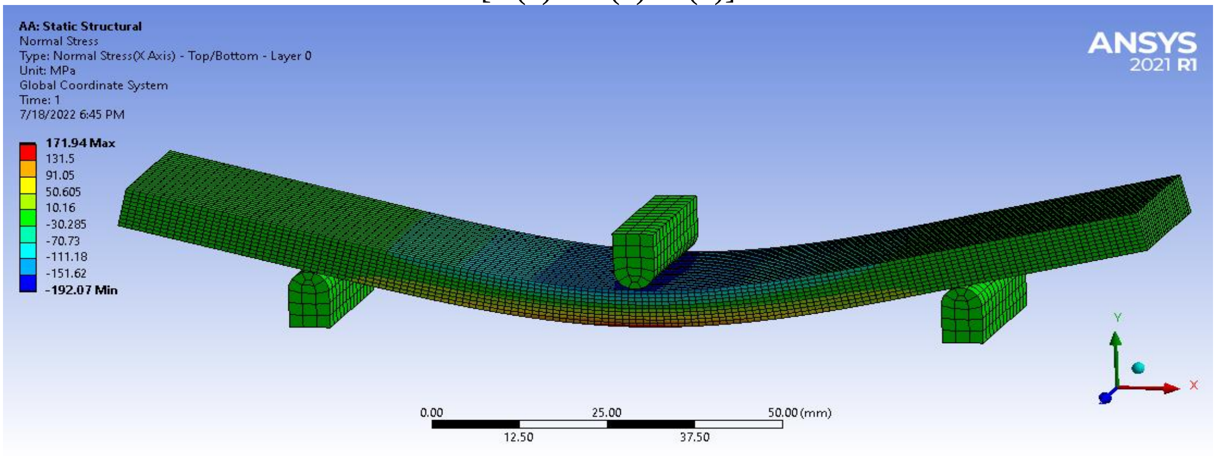


Flexural Strain

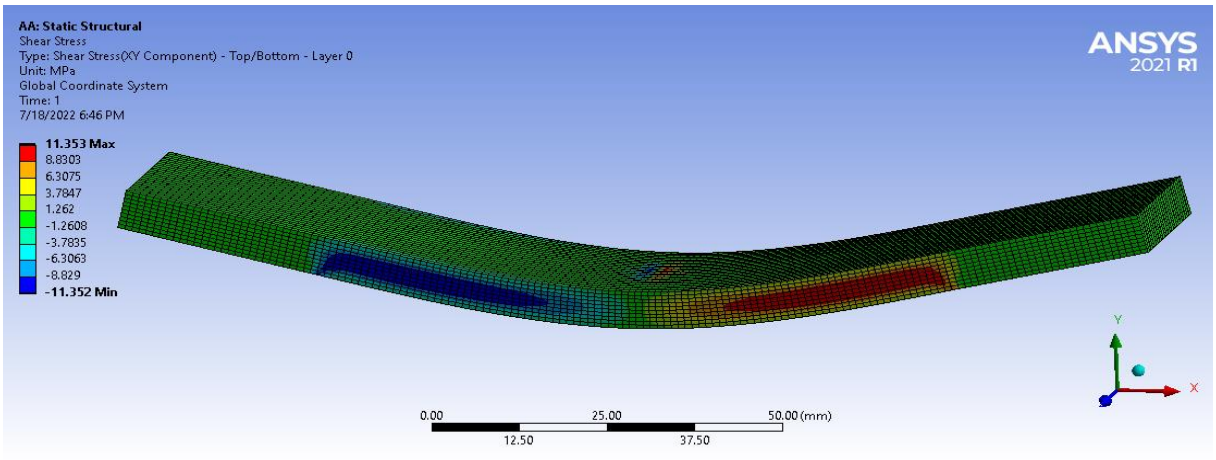


Inverse Reserve Factor

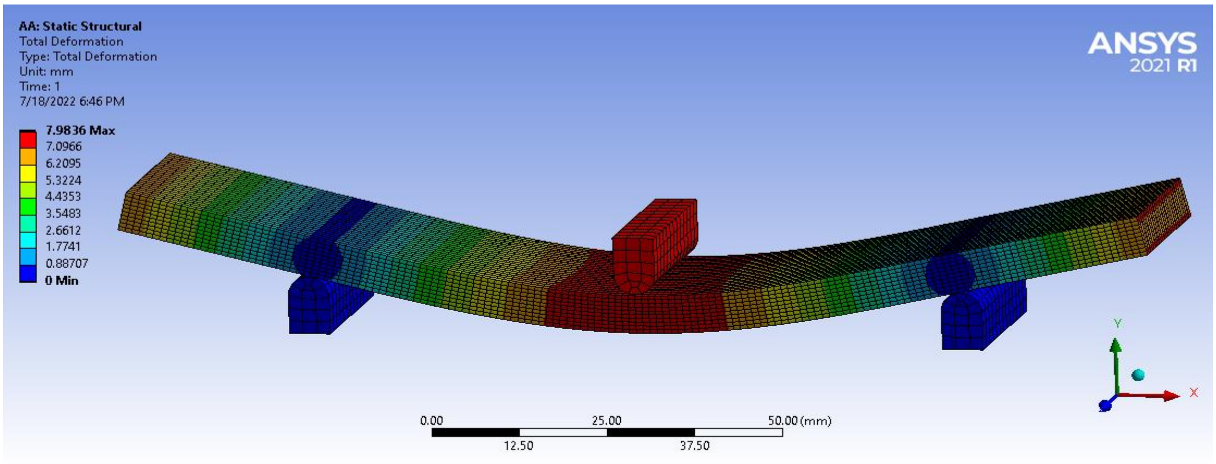
[0 (4)/ 90 (2)/ 0 (4)]



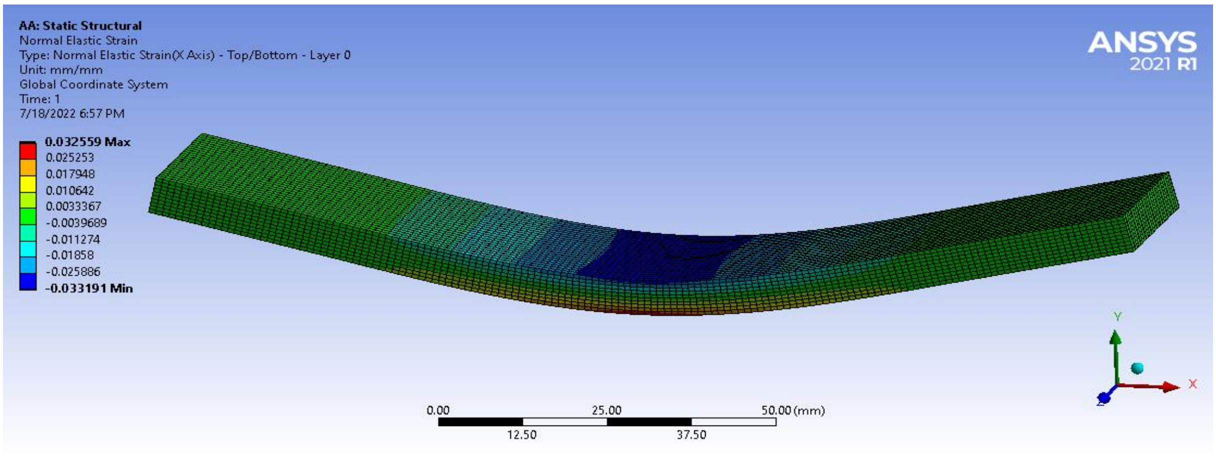
Flexural Stress



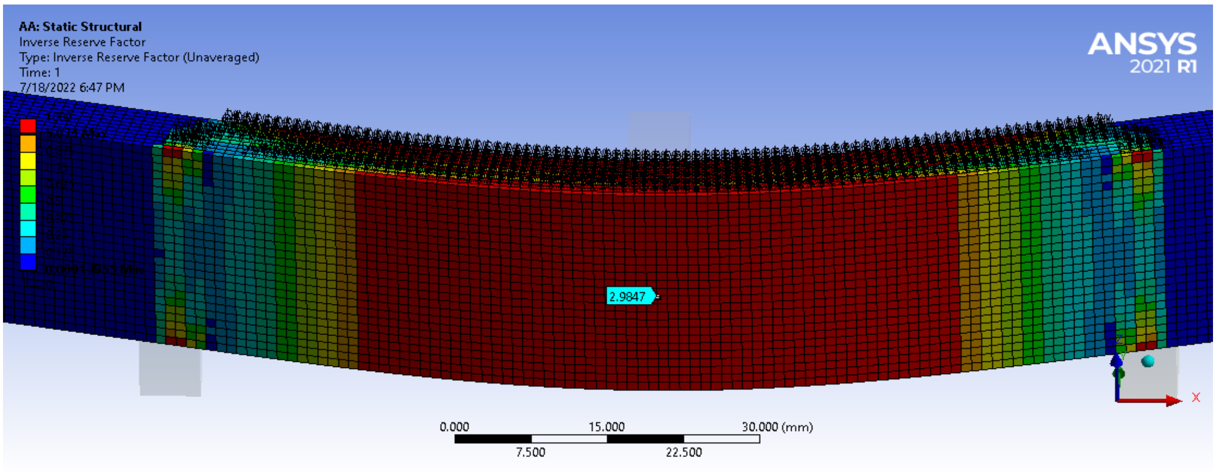
Shear Stress



Total Deformation

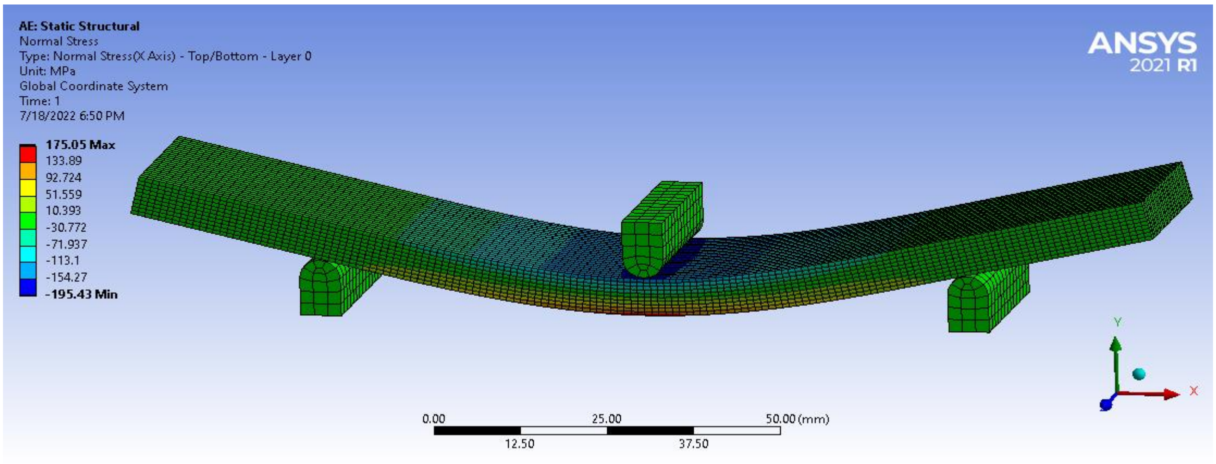


Flexural Strain

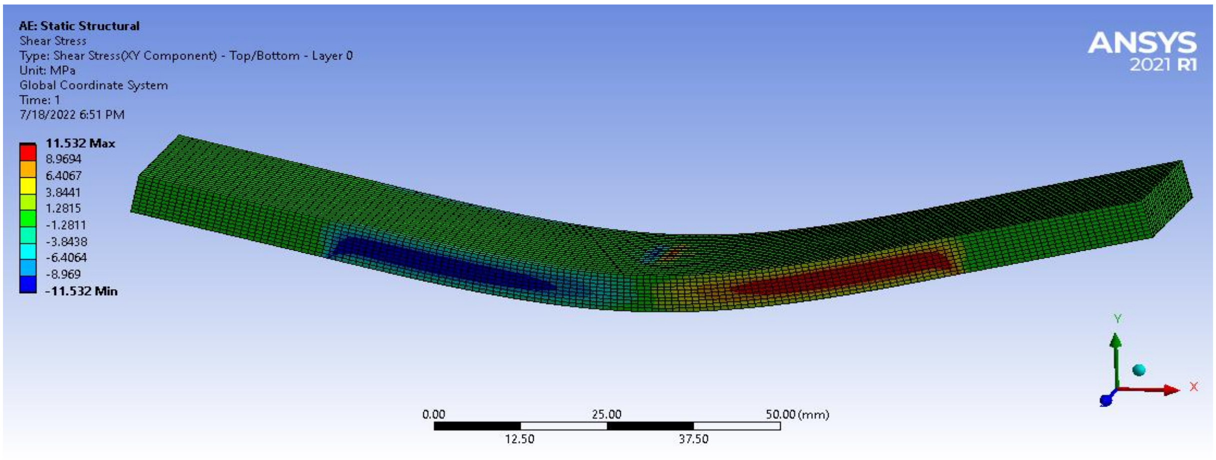


Inverse Reserve Factor

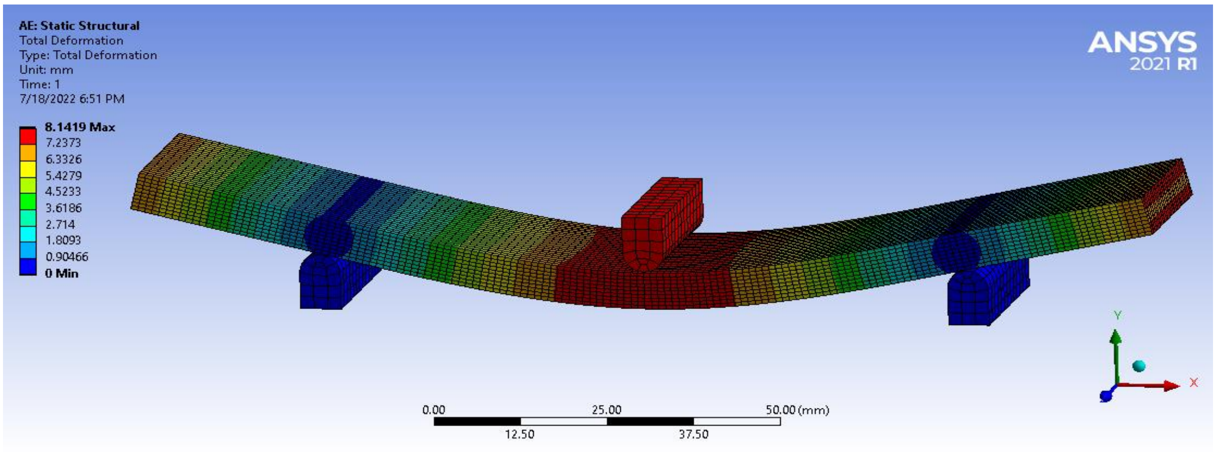
[0 (2)/ 45 (2)/ 90 (2)/ -45 (2)/ 0 (2)]



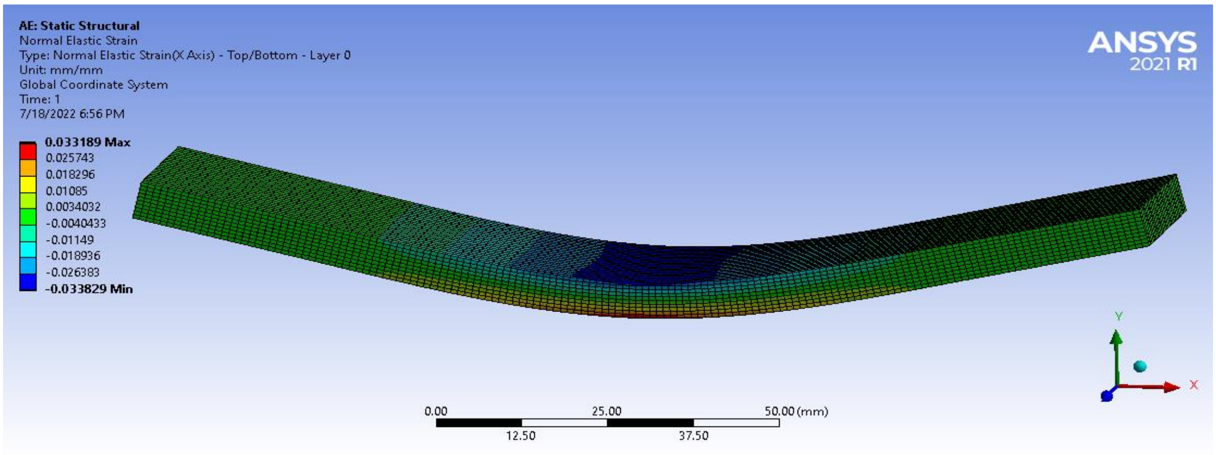
Flexural Stress



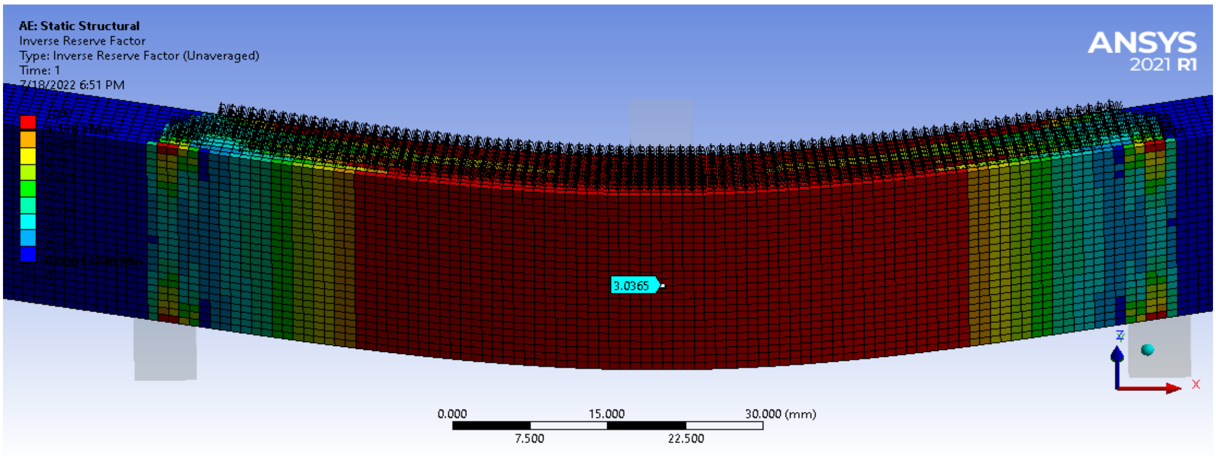
Shear Stress



Total Deformation

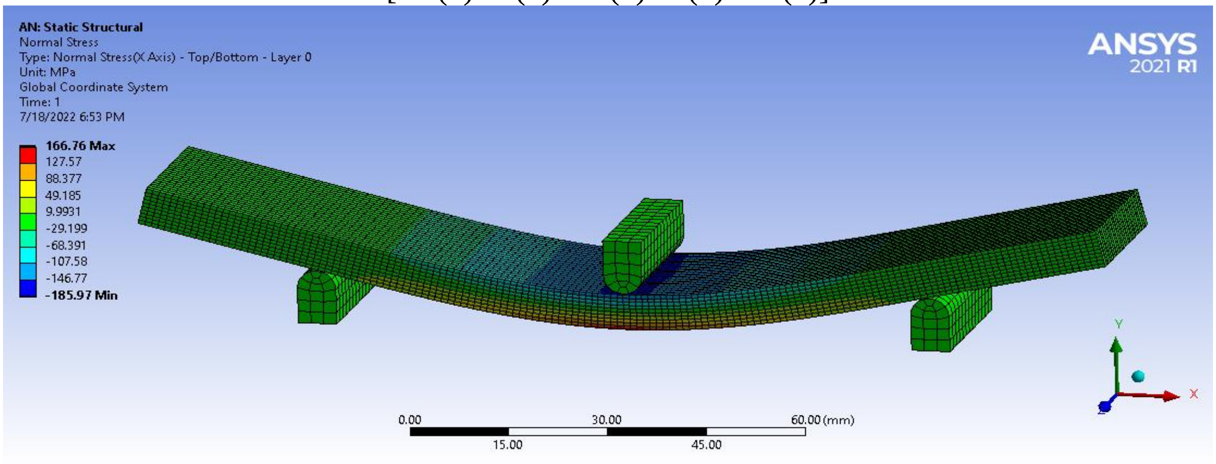


Flexural Strain

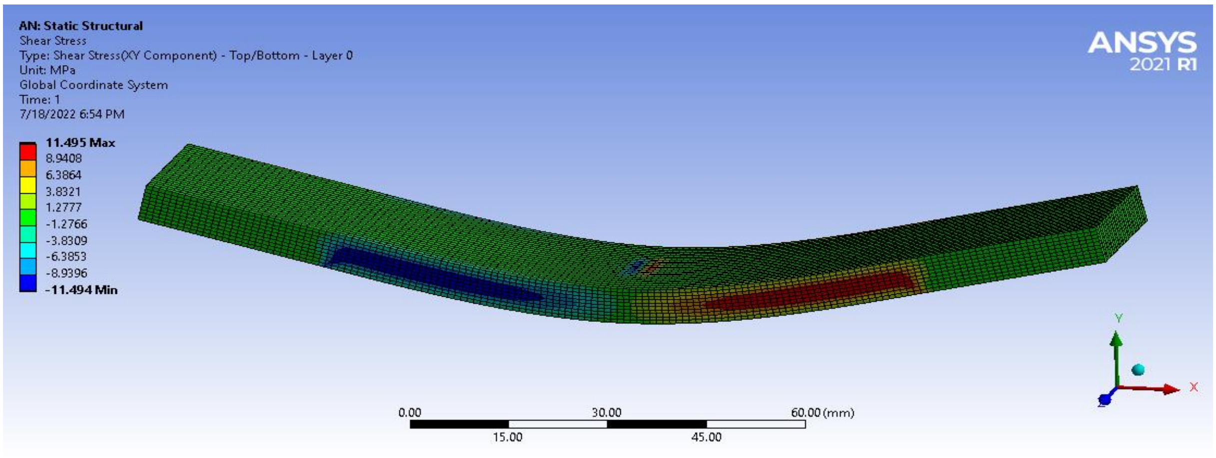


Inverse Reserve Factor

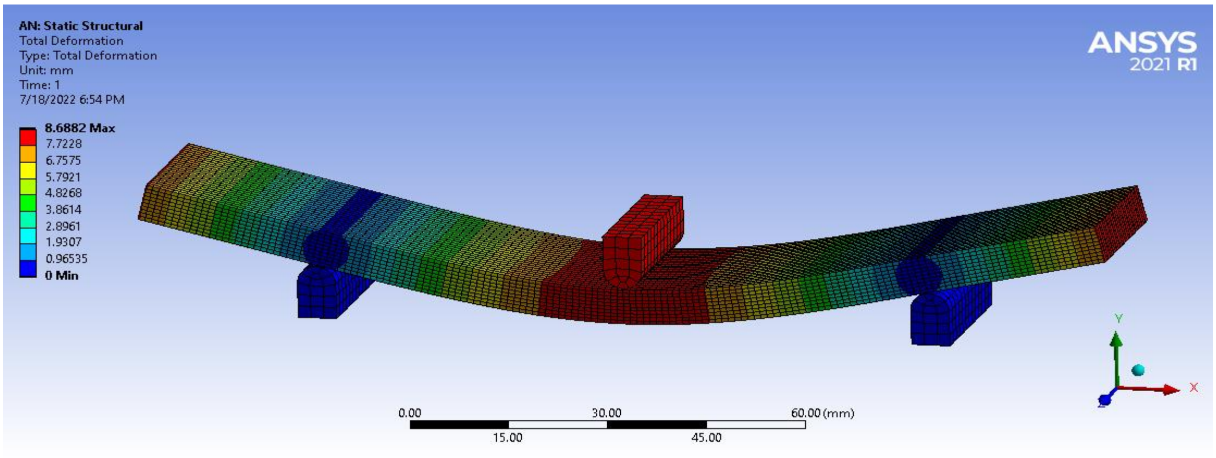
[90 (2)/ 0 (2)/ 90 (2)/ 0 (2)/ 90 (2)]



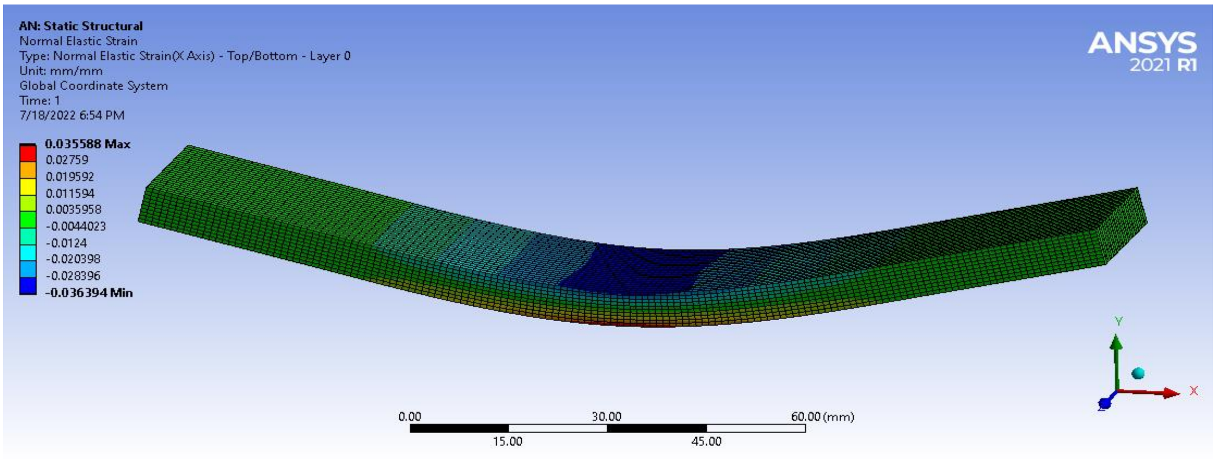
Flexural Stress



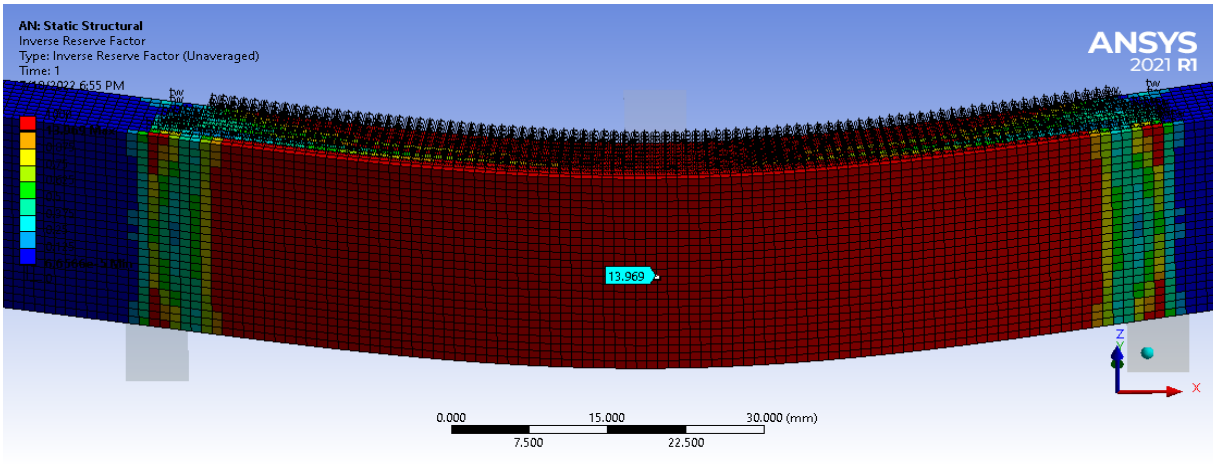
Shear Stress



Total Deformation



Flexural Strain



Inverse Reserve Factor

BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Jakarta, 5 Agustus 2000, yang merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal mulai dari TK Fajar Islami, SDN Sukasari 5 Tangerang, SMPN 1 Tangerang, dan SMAN 1 Tangerang. Setelah lulus dari SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Mesin FT-IRS ITS dan terdaftar dengan NRP.02111840000164. Penulis aktif di bidang akademik maupun non-akademik selama berkuliah di kampus. Di bidang akademik di Departemen Teknik Mesin, Penulis mempelajari Bidang Studi Desain di Laboratorium Mekanika Benda Padat.

Di bidang non-akademik, Penulis aktif sebagai Kabiro *Enterpreneur Development* di Departemen Kewirausahaan Himpunan Mahasiswa Mesin serta menjadi Tim Futsal Putra perwakilan Departemen Teknik Mesin FT-IRS ITS. Untuk informasi lebih lanjut mengenai penelitian ini beserta kritik dapat menghubungi Penulis melalui

email: rizaldyaziz11@gmail.com