

TUGAS AKHIR - TM184835

**ANALISIS METODE PENGUJIAN *FOUR POINT BENDING*
UNTUK MATERIAL KOMPOSIT SERAT SISAL DAN KENAF
DENGAN STANDAR D6272 MENGGUNAKAN METODE
ELEMEN HINGGA**

Vikrant
NRP 02111840000169

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



TUGAS AKHIR - TM184835

**ANALISIS METODE PENGUJIAN *FOUR POINT BENDING*
UNTUK MATERIAL KOMPOSIT SERAT SISAL DAN KENAF
DENGAN STANDAR D6272 MENGGUNAKAN METODE
ELEMEN HINGGA**

VIKRANT
NRP 02111840000169

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

**ANALYSIS STUDY OF FOUR POINT BENDING TEST
METHOD ON SISAL AND KENAF FIBER COMPOSITE
MATERIALS WITH D6272 STANDARD USING FINITE
ELEMENT METHOD**

VIKRANT
NRP 02111840000169

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 METODE PENGUJIAN *FOUR POINT BENDING* UNTUK MATERIAL KOMPOSIT SERAT SISAL DAN KENAF DENGAN STANDAR D6272 MENGUNAKAN 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: **VIKRANT**
NRP. 02111840000169

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Alief Wikarta S.T., M.Sc., Eng., Ph.D. (Pembimbing)
NIP. 198202102006041002
2. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA (Penguji 1)
NIP. 196508101991021001
3. Ir. Julendra B. Ariatedja, M.T. (Penguji 2)
NIP. 196807061999031004
4. Achmad Syaifudin, S.T., M.Eng., Ph.D. (Penguji 3)
NIP. 197909262005011001

SURABAYA
Juli, 2022

APPROVAL SHEET

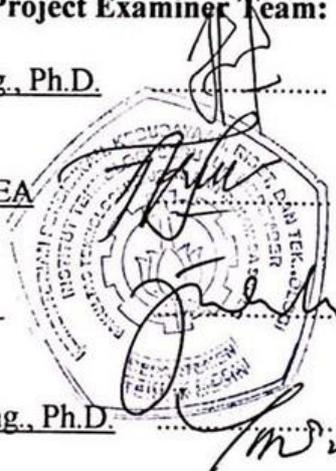
ANALYSIS STUDY OF FOUR POINT BENDING TEST METHOD ON SISAL AND KENAF FIBER COMPOSITE MATERIALS WITH D6272 STANDARD USING FINITE ELEMENT METHOD

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

Oleh: **VIKRANT**
NRP. 02111840000169

Approved by Final Project Examiner Team:

1. Alief Wikarta S.T., M.Sc., Eng., Ph.D. (Advisor)
NIP. 198202102006041002
 2. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA (Examiner 1)
NIP. 196508101991021001
 3. Ir. Julendra B. Ariatedja, M.T. (Examiner 2)
NIP. 196807061999031004
 4. Achmad Syaifudin, S.T., M.Eng., Ph.D. (Examiner 3)
NIP. 197909262005011001
- 

SURABAYA
July, 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Vikrant / 02111840000169
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 Metode Pengujian *Four Point Bending* untuk Material Komposit Serat Sisal dan Kenaf dengan Standar D6272 Menggunakan Metode Elemen Hingga” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

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

Surabaya, 29 Juli 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing,

Mahasiswa,



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

Vikrant
NRP. 02111840000164

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Vikrant / 02111840000169
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 “Analysis Study of Four Point Bending Test Method on Sisal and Kenaf Fiber Composite Materials with D6272 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.

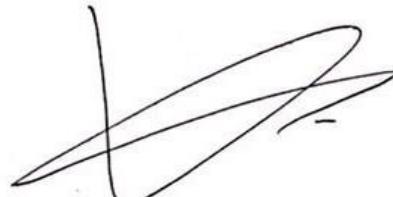
Acknowledged
Advisor,



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

Surabaya, 29th July 2022

Student,



Vikrant
NRP. 02111840000169

**ANALISIS METODE PENGUJIAN *FOUR POINT BENDING* UNTUK MATERIAL
KOMPOSIT SERAT SISAL DAN KENAF DENGAN STANDARD D6272
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

Nama Mahasiswa : Vikrant
NRP : 02111840000169
Departemen : Teknik Mesin FT-IRS ITS
Dosen Pembimbing : Alief Wikarta S.T., M.Sc., Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Polusi merupakan salah satu permasalahan penting yang ada didunia. Polusi dapat menimbulkan pencemaran pada lingkungan. Salah satu solusi dari permasalahan polusi adalah dengan menggunakan *green material*. *Green material* merupakan material ramah lingkungan yang tidak memberikan dampak buruk pada lingkungan. Salah satu contoh dari *green material* adalah komposit alami. Komposit alami merupakan komposit yang menggunakan serat dari alam. Serat alami yang digunakan pada penelitian ini adalah serat sisal dan serat kenaf.

Pada penelitian ini, akan dilakukan analisa pengaruh dari fraksi volume dan variasi arah serat antara serat sisal dan serat kenaf untuk mengetahui *flexural properties* dengan menggunakan pengujian *fourpoint bending*. Penelitian yang dilakukan berupa simulasi pada *software* ANSYS untuk memperoleh nilai dari total deformasi, tegangan *flexural*, tegangan geser, regangan serta *flexural modulus* dari kedua jenis serat. Penelitian akan dimulai dengan mencari data mengenai kedua jenis serat lalu melakukan simulasi *four point bending* hingga material komposit mengalami kegagalan untuk mendapatkan nilai *flexural properties* dari setiap serattmenggunakan variasi fraksi volume dan arah serat.

Hasil penelitian yang didapat adalah kombinasi material komposit terbaik yaitu fraksi volume sebesar 40% dengan orientasi arah serat $[(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(90^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2]$. *Flexural properties* terbaik dari variasi yang ada dimiliki oleh Serat Sisal-Epoxy Resin dengan nilai *flexural stress* sebesar 185,73 MPa, *shear stress* sebesar 30,23 MPa, *pure flexural stress* sebesar 170,9 MPa, total deformasi sebesar 7,5424 mm, *Flexural Strain* sebesar 0,035522 dan *flexural modulus* sebesar 6164,185 MPa.

Kata kunci: *serat sisal, serat kenaf, arah serat, fraksi volume, fourpoint bending, ANSYS.*

ANALYSIS STUDY OF FOUR POINT BENDING TEST METHOD ON SISAL AND KENAF FIBER COMPOSITE MATERIALS WITH D6272 STANDARD USING FINITE ELEMENT METHOD

Nama Mahasiswa : Vikrant
NRP : 02111840000169
Departemen : Teknik Mesin FT-IRS ITS
Dosen Pembimbing : Alief Wikarta S.T., M.Sc., Eng., Ph.D.

ABSTRACT

Pollution is one of the most important problems in the world. Pollution can be defined as a compound that causes damage to the environment. As a solution, green materials such as natural composites with natural fibers can be used to reduce pollution problems in the world. This study focuses on sisal and kenaf fiber as the natural fibers.

This research analyzes the fiber directions and volume fractions between sisal and kenaf fibers in determining flexural properties through fourpoint bending testing. This research is conducted in the form of simulation on ANSYS software to obtain the total value of deformation, flexural stress, shear stress, and strain as well as flexural modulus from both fibers. The first step of the research is looking for the data of sisal and kenaf fibers, followed by conducting the fourpoint bending simulation and when the composite material breaks, the value of flexural properties from each fiber is obtained through fiber directions and volume fractions.

The result of the simulation is the material combination of the best composites which are volume fractions of 40% with the orientation of fiber directions $[(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(90^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2]$. The best flexural properties were from Sisal Fiber-Epoxy Resin with the value of *flexural stress* of 185,73 MPa, *shear stress* of 30,23 MPa, *pure flexural stress* of 170,9 MPa, total deformasi of 7,5424 mm, *Flexural Strain* of 0,035522 and *flexural modulus* of 6164,185 MPa.

Keyword: *sisal fiber, kenaf fiber, fiber orientation angle, volume fraction, fourpoint bending, ANSYS.*

KATA PENGANTAR

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

1. Bapak Parambir Singh dan Ibu Rita selaku orang tua penulis serta kepada Saheen 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., Ph.D. 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 Ir. Julendra B. Ariatedja, M.T., 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. Jenny Sukhwita yang selalu membantu dan menemani Penulis dengan penuh kasih sayang selama mengerjakan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh teman bimbingan tugas akhir (Fazhli, Edo, Rizaldy, dan Ganesha) yang selalu membantu penulis dalam hal motivasi, bantuan, dan ilmu diberikan selama menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Seluruh keluarga besar Gunadya (Rizaldy, Ganesha, Pray, Rafli, Ican, Mumud, Acid, Jono, Edo, Fadel, Fazhli, Andi, Athalla, 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.
8. Seluruh warga Lab MBP (Jay, Faqih, Kelpo, dan Arighi) yang telah memberikan fasilitas, motivasi, pujian dan juga semangat dalam mengerjakan Tugas Akhir ini
9. Seluruh keluarga besar M61 yang telah menemani Penulis selama menempuh pendidikan di Departemen Teknik Mesin FT-IRS ITS.
10. Seluruh dosen, karyawan, dan civitas akademika Departemen Teknik Mesin FT-IRS ITS, atas segala bantuan dan kerjasamanya selama masa perkuliahan.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih atas bantuan serta doa-doa baiknya

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, 2 Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

COVER.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	vii
PERNYATAAN ORISINALITAS	xi
ABSTRAK	xv
KATA PENGANTAR.....	xix
DAFTAR ISI	xxi
DAFTAR GAMBAR.....	xxv
DAFTAR TABEL	xxix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Dasar Teori.....	5
2.2 <i>Sisal Fiber</i>	8
2.3 <i>Kenaf Fiber</i>	8
2.4 Orientasi Arah Serat.....	10
2.4.1 Matriks.....	10
2.4.2 Epoxy Resin.....	11
2.4.3 Polyester Resin	12
2.4.4 Fraksi Volume	12
2.5 Pengujian <i>Bending</i>	13
2.5.1 Pengujian Fourpoint Bending.....	14
2.6 ASTM D6272	15
2.7 Rule of Mixture.....	16
2.8 Orthotropic Elasticity.....	16
2.9 Orthotropic Stress Limit	17
2.9.1 Perhitungan Buku Engineering Mechanics of Composite Materials.....	17
2.9.2 Perhitungan Buku Composite Structures: Design, Mechanics, Analysis, Manufacturing and Testing	19
2.10 Metode Elemen Hingga	20
2.11 Failure Theory.....	20
2.12 ANSYS	21
2.12.1 Material Designer	21
2.12.2 ACP Pre/Post	22
2.12.3 Static Structural	23
2.13 Tinjauan Pustaka.....	23
BAB III METODE PENELITIAN	33
3.1 Diagram Alur Penelitian	33
3.2 Identifikasi Masalah.....	35
3.3 Studi Literatur	37
3.4 Variasi Penelitian	37
3.5 Modelling.....	39
3.6 Simulasi <i>Four Point Bending</i> untuk Serat Kenaf dan Serat Sisal.....	39
3.6.1 Material Designer	39

3.6.2	Pembentukan Geometri.....	40
3.6.3	Meshing.....	41
3.6.4	ACP Pre	43
3.6.5	Static Structural.....	45
3.7	<i>Grid Independence Test</i>	47
3.8	Verifikasi Penelitian.....	48
3.8.1	<i>Rule of Mixture</i>	48
3.8.2	Perhitungan <i>Orthotropic Stress Limit</i>	50
3.8.2.1	Perhitungan Buku Engineering Mechanics of Composite Materials.....	50
3.8.2.2	Perhitungan Buku Composites Structures: Design, Mechanics Analysis, Manufacturing, and Testing	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		59
4.1	Hasil Simulasi dan Pembahasan Simulasi Four Point Bending Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin	59
4.1.1	Hasil dan Pembahasan Simulasi Four Point Bending Serat Sisal-Epoxy Resin dengan Variasi Fraksi Volume	60
4.1.2	Hasil dan Pembahasan Simulasi Four Point Bending Serat Sisal-Epoxy Resin dengan Variasi Orientasi Arah Sudut Serat.....	67
4.2	Hasil Simulasi dan Pembahasan Simulasi Four Point Bending Komposit Serat Kenaf-Polyester Resin.....	74
4.2.1	Hasil Simulasi dan Pembahasan Simulasi <i>Four Point Bending</i> Serat Kenaf-Polyester Resin dengan Variasi Fraksi Volume	75
4.2.2	Hasil dan Pembahasan Simulasi <i>Four Point Bending</i> Serat Kenaf-Epoxy Resin dengan Variasi Orientasi Arah Sudut Serat.....	81
4.3	Pembahasan Hasil Perbandingan dari Flexural Properties antara Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dengan Komposit Serat Kenaf-Polyester Resin.....	89
4.3.1	Perbandingan <i>Flexural Stress</i> Maksimum Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dengan Material Serat Kenaf-Polyester Resin.....	89
4.3.2	Perbandingan <i>Shear Stress</i> Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dengan Material Serat Kenaf-Polyester Resin	90
4.3.3	Perbandingan <i>Flexural Stress</i> pada Midspan Permukaan Bawah Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dengan Material Serat Kenaf-Polyester Resin	91
4.3.4	Perbandingan <i>Total Deformation</i> Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dengan Material Serat Kenaf-Polyester Resin.....	92
4.3.5	Perbandingan <i>Flexural strain</i> Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dengan Material Serat Kenaf-Polyester Resin	93
4.3.6	Perbandingan <i>Flexural Modulus</i> Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dengan Material Serat Kenaf-Polyester Resin.....	94
4.4	Pembahasan Hasil Perbandingan Metode Four Point Bending dengan Metode Three Point Bending antara Flexural Properties Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dengan Flexural Properties Komposit Serat Kenaf-Polyester Resin	95
4.4.1	Perbandingan Hasil dari Metode <i>Three Point Bending</i> dan <i>Four Point Bending</i> terhadap <i>Flexural Stress</i> Maksimum Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Material Serat Kenaf-Polyester Resin	95
4.4.2	Perbandingan Hasil dari Metode <i>Three Point Bending</i> dan <i>Four Point Bending</i> terhadap <i>Shear Stress</i> Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Material Serat Kenaf-Polyester Resin	99

4.4.3	Perbandingan Hasil dari Metode <i>Three Point Bending</i> dan <i>Four Point Bending</i> terhadap <i>Total Deformation</i> Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Material Serat Kenaf-Polyester Resin.....	101
4.4.4	Perbandingan Hasil dari Metode <i>Three Point Bending</i> dan <i>Four Point Bending</i> terhadap <i>Flexural Strain</i> Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Material Serat Kenaf-Polyester Resin.....	103
4.4.5	Perbandingan Hasil dari Metode <i>Three Point Bending</i> dan <i>Four Point Bending</i> terhadap <i>Flexural Modulus</i> Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Material Serat Kenaf-Polyester Resin.....	105
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		107
5.1	Kesimpulan	107
5.2	Saran	107
DAFTAR PUSTAKA.....		109
LAMPIRAN		111

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Material Komposit.....	5
Gambar 2. 2 Klarifikasi Komposit Berdasarkan Penguat.....	6
Gambar 2. 3 <i>Carbon Fiber</i>	7
Gambar 2. 4 <i>Coconut Fiber</i>	7
Gambar 2. 5 Tanaman Sisal.....	8
Gambar 2. 6 Tanaman Kenaf (Sumber: balittas.litbang.pertanian.go.id).....	9
Gambar 2. 7 Susunan Pembentukan Komposit (a) Serat Panjang Searah (b) Serat Panjang Dua Arah (c) Serat Pendek Searah (d) Serat Pendek Acak (e) Serat <i>Woven</i> (Klemens, 2009)	10
Gambar 2. 8 <i>Epoxy Resin</i>	12
Gambar 2. 9 <i>Three Point Bending</i> (Khamid, 2011)	13
Gambar 2. 10 <i>Fourpoint Bending</i> (Khamid, 2011)	13
Gambar 2. 11 Pengujian <i>Fourpoint Bending</i> menurut ASTM D6272 (ASTM, 2014).....	15
Gambar 2. 12 ANSYS <i>Workbench</i>	21
Gambar 2. 13 <i>Material Designer</i>	22
Gambar 2. 14 <i>ACP Pre</i>	22
Gambar 2. 15 Distribusi <i>Stress</i> pada <i>ACP Post</i>	23
Gambar 2. 16 <i>Static Structural</i>	23
Gambar 2. 17 Hasil Pengujian <i>Tensile</i> (Fajrin et al., 2022)	24
Gambar 2. 18 Hasil Pengujian <i>Bending</i> (Fajrin et al., 2022).....	24
Gambar 2. 19 Hasil <i>Tensile Strength</i> (Mahjoub et al., 2014).....	25
Gambar 2. 20 Grafik Perbandingan Tegangan <i>Ultimate</i> (Lokantara & Suardana, 2012)	26
Gambar 2. 21 Grafik Perbandingan Tegangan Bending (Lokantara & Suardana, 2012).....	26
Gambar 2. 22 Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas (Lokantara & Suardana, 2012).....	27
Gambar 2. 23 Grafik <i>Longitudinal Tensile Strength</i> (Zuccarello et al., 2021).....	28
Gambar 2. 24 Grafik Longitudinal Young's Modulus (Zuccarello et al., 2021).....	28
Gambar 2. 25 Grafik <i>Transversal Tensile Strength</i> (Zuccarello et al., 2021)	29
Gambar 2. 26 Hasil Distribusi <i>Shear Stress</i> pada pengujian <i>Three Point Bending</i> untuk <i>Linear Material</i> (Cui & Wisnom, 1992)	29
Gambar 2. 27 Hasil Distribusi <i>Shear Stress</i> pada pengujian <i>Three Point Bending</i> untuk <i>Non Linear Material</i> (Cui & Wisnom, 1992)	30
Gambar 2. 28 Hasil Pengujian <i>Three Point Bending</i> Menggunakan Ukuran Roller yang Berbeda (Cui & Wisnom, 1992).....	30
Gambar 2. 29 Hasil Distribusi <i>Shear Stress</i> pada pengujian <i>Four Point Bending</i> untuk <i>Linear Material</i> (Cui & Wisnom, 1992)	30
Gambar 2. 30 Hasil Distribusi <i>Shear Stress</i> pada pengujian <i>Four Point Bending</i> untuk <i>Non Linear Material</i> (Cui & Wisnom, 1992)	31
Gambar 2. 31 Perbandingan Hasil Pengujian <i>Three Point Bending</i> dengan <i>Four Point Bending</i> (Cui & Wisnom, 1992).....	31
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	33
Gambar 3. 2 <i>Flowchart</i> Simulasi	34
Gambar 3. 3 <i>Flowchart</i> Simulasi <i>Four Point Bending</i>	35
Gambar 3. 4 Hasil dari Gabungan Serat dan Matriks.....	40
Gambar 3. 5 Pembentukan Specimen Komposit.....	41
Gambar 3. 6 Pembentukan Roller Penekan dan Roller Support	41
Gambar 3. 7 <i>Meshing</i> Specimen Komposit.....	42
Gambar 3. 8 <i>Meshing Roller</i>	42
Gambar 3. 9 <i>Orthogonal Quality</i>	42

Gambar 3. 10 Spektrum Warna <i>Mesh Quality</i>	42
Gambar 3. 11 <i>Skewness</i> pada Specimen	43
Gambar 3. 12 Menginput <i>Mechanical Properties</i>	43
Gambar 3. 13 Penentuan Material dan Ketebalan Lembar Komposit pada ACP Pre.....	44
Gambar 3. 14 Penentuan Jumlah Lembar dan Arah Orientasi Sudut	44
Gambar 3. 15 Arah Tumpukan Komposit.....	45
Gambar 3. 16 <i>Modelling Groups</i>	45
Gambar 3. 17 <i>Contact Frictional</i> pada <i>Roller</i> dan Specimen.....	46
Gambar 3. 18 <i>Contact Frictionless</i> pada <i>Roller</i> dan Specimen	46
Gambar 3. 19 <i>Remote Displacement</i> pada <i>Roller</i> Penekan.....	46
Gambar 3. 20 <i>Remote Displacement</i> pada <i>Roller Support</i>	47
Gambar 3. 21 Arah Pemberian Gaya	47
Gambar 3. 22 Grafik Uji Konvergensi.....	48
Gambar 3. 23 Grafik <i>longitudinal tensile</i> vs eksperimen	52
Gambar 3. 24 Grafik <i>transverse tensile</i> vs eksperimen	52
Gambar 3. 25 Grafik <i>longitudinal compressive</i> vs eksperimen	53
Gambar 3. 26 Grafik <i>transverse compressive</i> vs eksperimen.....	53
Gambar 3. 27 Grafik <i>inplane shear strength</i> vs eksperimen	53
Gambar 3. 28 Grafik <i>longitudinal tensile</i> vs eksperimen	55
Gambar 3. 29 Grafik <i>transverse tensile</i> vs eksperimen	55
Gambar 3. 30 Grafik <i>longitudinal compressive</i> vs eksperimen	56
Gambar 3. 31 Grafik <i>transverse compressive</i> vs eksperimen.....	56
Gambar 3. 32 Grafik <i>inplane shear strength</i> vs eksperimen	56
Gambar 4. 1 <i>Flexural Stress</i> Serat Sisal-Epoxy Resin pada Simulasi <i>Four Point Bending</i>	61
Gambar 4. 2 Hasil Simulai Variasi Fraksi Volume <i>Four Point Bending Flexural Stress</i>	62
Gambar 4. 3 <i>Shear Stress</i> Serat Sisal-Epoxy Resin pada Simulasi <i>Four Point Bending</i>	62
Gambar 4. 4 Hasil Simulai Variasi Fraksi Volume <i>Four Point Bending Shear Stress</i>	62
Gambar 4. 5 <i>Flexural Stress</i> Serat Sisal-Epoxy Resin dengan Plot Midspan Permukaan Bawah pada Simulasi <i>Four Point Bending</i>	63
Gambar 4. 6 Plot <i>Flexural Stress</i> pada Midspan Permukaan Bawah	63
Gambar 4. 7 Total Deformasi Serat Sisal-Epoxy Resin pada Simulasi <i>Four Point Bending</i> ..	64
Gambar 4. 8 Hasil Simulai Variasi Fraksi Volume <i>Four Point Bending Total Deformation</i> ..	64
Gambar 4. 9 <i>Flexural strain</i> Serat Sisal-Epoxy Resin pada Simulasi <i>Four Point Bending</i> ...	65
Gambar 4. 10 Hasil Simulai Variasi Fraksi Volume <i>Four Point Bending Flexural Strain</i>	65
Gambar 4. 11 <i>Flexural Modulus</i> pada Pengujian <i>Four Point Bending</i> pada Serat Sisal-Epoxy Resin	66
Gambar 4. 12 Kegagalan Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin pada Fraksi Volume 70%	67
Gambar 4. 13 <i>Flexural Stress</i> Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi <i>Four Point Bending</i>	68
Gambar 4. 14 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat <i>Four Point Bending Flexural Stress</i>	68
Gambar 4. 15 <i>Shear Stress</i> Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi <i>Four Point Bending</i>	69
Gambar 4. 16 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat <i>Four Point Bending Shear Stress</i>	69
Gambar 4. 17 <i>Inverse Reserve Factor</i> Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi <i>Four Point Bending</i>	70
Gambar 4. 18 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat <i>Four Point Bending Inverse Reserve Factor</i> 70	
Gambar 4. 19 <i>Flexural Stress</i> Variasi Orientasi Arah Sudut Serat dengan Plot Midspan Permukaan Bawah pada Simulasi <i>Four Point Bending</i>	71

Gambar 4. 20 Plot <i>Flexural Stress</i> pada Midspan Permukaan Bawah.....	71
Gambar 4. 21 <i>Total Deformation</i> Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi <i>Four Point Bending</i>	72
Gambar 4. 22 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat <i>Four Point Bending Total Deformation</i>	72
Gambar 4. 23 <i>Flexural strain</i> Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi <i>Four Point Bending</i>	73
Gambar 4. 24 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat <i>Four Point Bending Flexural Strain</i>	73
Gambar 4. 25 <i>Flexural Modulus</i> Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi <i>Four Point Bending</i>	74
Gambar 4. 26 <i>Flexural Stress</i> Serat Kenaf-Polyester Resin pada Simulasi <i>Four Point Bending</i> dengan Variasi Fraksi Volume	76
Gambar 4. 27 Hasil Simulai Variasi Fraksi Volume <i>Four Point Bending Flexural Stress</i>	76
Gambar 4. 28 <i>Shear Stress</i> Serat Kenaf-Polyester Resin pada Simulasi <i>Four Point Bending</i> dengan Variasi Fraksi Volume	77
Gambar 4. 29 Hasil Simulai Variasi Fraksi Volume <i>Four Point Bending Shear Stress</i>	77
Gambar 4. 30 <i>Flexural Stress</i> Murni pada Bagian <i>Midspan</i> Permukaan Bawah Serat Kenaf-Polyester Resin pada Simulasi <i>Four Point Bending</i> dengan Variasi Fraksi Volume.....	78
Gambar 4. 31 Plot <i>Flexural Stress</i> pada Midspan Permukaan Bawah.....	78
Gambar 4. 32 Total Deformasi Serat Kenaf-Polyester Resin pada Simulasi <i>Four Point Bending</i> dengan Variasi Fraksi Volume.....	79
Gambar 4. 33 Hasil Simulai Variasi Fraksi Volume <i>Four Point Bending Total Deformation</i>	79
Gambar 4. 34 <i>Flexural strain</i> Serat Kenaf-Polyester Resin pada Simulasi <i>Four Point Bending</i> dengan Variasi Fraksi Volume	80
Gambar 4. 35 Hasil Simulai Variasi Fraksi Volume <i>Four Point Bending Flexural Strain</i>	80
Gambar 4. 36 <i>Flexural Modulus</i> Serat Kenaf-Polyester Resin pada Simulasi <i>Four Point Bending</i> dengan Variasi Fraksi Volume.....	81
Gambar 4. 37 <i>Flexural Stress</i> Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi <i>Four Point Bending</i>	82
Gambar 4. 38 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat <i>Four Point Bending Flexural Stress</i>	83
Gambar 4. 39 <i>Shear Stress</i> Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi <i>Four Point Bending</i>	83
Gambar 4. 40 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat <i>Four Point Bending Shear Stress</i>	84
Gambar 4. 41 <i>Inverse Reserve Factor</i> Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi <i>Four Point Bending</i>	84
Gambar 4. 42 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat <i>Four Point Bending Inverse Reserve Factor</i>	85
Gambar 4. 43 <i>Flexural Stress</i> Murni pada Bagian <i>Midspan</i> Permukaan Bawah Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi <i>Four Point Bending</i>	85
Gambar 4. 44 Plot <i>Flexural Stress</i> pada Midspan Permukaan Bawah.....	86
Gambar 4. 45 Total Deformasi Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi <i>Four Point Bending</i>	86
Gambar 4. 46 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat <i>Four Point Bending Total Deformation</i>	87
Gambar 4. 47 <i>Flexural strain</i> Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi <i>Four Point Bending</i>	87
Gambar 4. 48 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat <i>Four Point Bending Flexural Strain</i>	88
Gambar 4. 49 <i>Flexural Modulus</i> Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi <i>Four Point Bending</i>	88
Gambar 4. 50 Grafik Perbandingan <i>Flexural Stress</i>	90
Gambar 4. 51 Grafik Perbandingan <i>Shear Stress</i>	91
Gambar 4. 52 Grafik Perbandingan <i>Flexural Stress Murni</i>	92

Gambar 4. 53 Grafik Perbandingan Total Deformasi	93
Gambar 4. 54 Grafik Perbandingan <i>Flexural strain</i>	94
Gambar 4. 55 Letak <i>Flexural Stress</i> Maksimum <i>Three Point Bending</i>	96
Gambar 4. 56 Letak <i>Flexural Stress</i> Maksimum <i>Four Point Bending</i>	96
Gambar 4. 57 <i>Sampling Point</i> pada Titik Maksimum pada Metode <i>Four Point Bending</i>	97
Gambar 4. 58 <i>Sampling Point</i> pada Titik <i>Midspan</i> pada Metode <i>Four Point Bending</i>	97
Gambar 4. 59 <i>Sampling Point</i> pada Titik <i>Midspan</i> dan Maksimum pada Metode <i>Three Point Bending</i>	97
Gambar 4. 60 Letak <i>Flexural Stress Midspan Four Point Bending</i>	98
Gambar 4. 61 Grafik Perbandingan <i>Flexural Stress</i> Maksimum <i>4 Point vs 3 Point Bending</i> ..	99
Gambar 4. 62 Distribusi <i>Shear Stress Three Point Bending</i>	100
Gambar 4. 63 Distribusi <i>Shear Stress Four Point Bending</i>	100
Gambar 4. 64 Distribusi <i>Shear Stress Ply 1</i> pada Pengujian <i>Four Point Bending</i>	101
Gambar 4. 65 Grafik Perbandingan <i>Shear Stress 4 Point vs 3 Point Bending</i>	101
Gambar 4. 66 Total Deformasi pada Pengujian <i>Three Point Bending</i>	102
Gambar 4. 67 Total Deformasi pada Pengujian <i>Four Point Bending</i>	102
Gambar 4. 68 Grafik Perbandingan Total Deformasi <i>4 Point vs 3 Point Bending</i>	103
Gambar 4. 69 <i>Flexural Strain</i> pada Pengujian <i>Three Point Bending</i>	104
Gambar 4. 70 <i>Flexural Strain</i> pada Pengujian <i>Four Point Bending</i>	104
Gambar 4. 71 Grafik Perbandingan <i>Flexural Strain 4 Point vs 3 Point Bending</i>	104
Gambar 4. 72 Grafik Perbandingan <i>Flexural Modulus 4 Point vs 3 Point Bending</i>	105

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Material Properties</i> Serat Sisal	8
Tabel 2. 2 <i>Material Properties</i> Serat Kenaf	9
Tabel 2. 3 Jenis Serat Beserta Matriks Yang Digunakan	11
Tabel 2. 4 <i>Mechanical Properties</i> Epoxy Resin.....	11
Tabel 2. 5 <i>Mechanical Properties</i> Polyester Resin	12
Tabel 2. 6 Kelebihan dan Kekurangan Metode <i>Three Point Bending</i> dan <i>Fourpoint Bending</i>	13
Tabel 3. 1 <i>Mechanical Properties</i> Serat Kenaf	36
Tabel 3. 2 <i>Mechanical Properties</i> Serat Sisal	36
Tabel 3. 3 <i>Mechanical Properties</i> Matriks <i>Epoxy-Resin</i>	36
Tabel 3.4 <i>Mechanical Properties</i> Matriks <i>Polyester-Resin</i>	37
Tabel 3. 5 Variasi Fraksi Volume Serat Kenaf.....	38
Tabel 3. 6 Variasi Fraksi Volume Serat Sisal.....	38
Tabel 3. 7 Konfigurasi Variasi Arah Komposit Serat Kenaf.....	38
Tabel 3. 8 Konfigurasi Variasi Arah Komposit Serat Sisal.....	39
Tabel 3. 9 Data Properti Komposit Serat Kenaf-Polyester Resin.....	40
Tabel 3. 10 Perbandingan Nilai <i>Elastic Properties</i> Perhitungan ROM dengan Hasil <i>Material Designer</i>	49
Tabel 3. 11 <i>Material Properties</i> dari Sisal-Green Epoxy (Zuccarello et al., 2021)	50
Tabel 4. 1 Hasil Simulasi <i>Four Point Bending</i> dengan Variasi Fraksi Volume pada Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin	61
Tabel 4. 2 Hasil Simulasi <i>Four Point Bending</i> dengan Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin	67
Tabel 4. 3 Hasil Simulasi <i>Four Point Bending</i> dengan Variasi Fraksi Volume pada Komposit Serat Kenaf-Polyester Resin.....	75
Tabel 4. 4 Hasil Simulasi <i>Four Point Bending</i> dengan Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Komposit Serat Kenaf-Polyester Resin	82
Tabel 4. 5 Hasil Nilai <i>Flexural Stress</i> Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin	89
Tabel 4. 6 Hasil Nilai <i>Shear Stress</i> Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin	90
Tabel 4. 7 Hasil Nilai <i>Flexural Stress</i> Murni Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin.....	91
Tabel 4. 8 Hasil Nilai Total Deformasi Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin	92
Tabel 4. 9 Hasil Nilai <i>Flexural strain</i> Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin	93
Tabel 4. 10 Hasil Nilai <i>Flexural Modulus</i> Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin	94
Tabel 4. 11 Hasil Nilai <i>Flexural Stress</i> pada Metode <i>Three Point Bending</i> dan <i>Four Point Bending</i> untuk Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin.....	95
Tabel 4. 12 Hasil Nilai <i>Flexural Stress</i> Maksimum dan <i>Flexural Stress Midspan Four Point Bending</i> untuk Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin.....	98
Tabel 4. 13 Hasil Nilai <i>Shear Stress</i> pada Metode <i>Three Point Bending</i> dan <i>Four Point Bending</i> untuk Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin.....	99
Tabel 4. 14 Hasil Nilai Total Deformasi pada Metode <i>Three Point Bending</i> dan <i>Four Point Bending</i> untuk Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin.....	101

Tabel 4. 15 Hasil Nilai <i>Flexural Strain</i> pada Metode <i>Three Point Bending</i> dan <i>Four Point Bending</i> untuk Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin	103
Tabel 4. 16 Hasil Nilai <i>Flexural Modulus</i> pada Metode <i>Three Point Bending</i> dan <i>Four Point Bending</i> untuk Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin	105

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Polusi merupakan salah satu permasalahan yang ada di dunia dikarenakan sudah menjadi permasalahan sejak dahulu kala. Polusi itu sendiri dapat diartikan sebagai kondisi dimana senyawa kimia yang masuk ke lingkungan yang menyebabkan bahaya bagi kesehatan dari manusia dan juga merusak alam. Terdapat beberapa jenis polusi yaitu polusi air, polusi udara, polusi tanah dan lain sebagainya. Polusi yang terjadi seringkali diakibatkan oleh penggunaan bahan baku yang tidak ramah lingkungan seperti penggunaan material yang dapat mencemari lingkungan dan lain sebagainya. Penggunaan bahan baku yang dapat mencemari alam menjadi salah satu sumber dari timbulnya polusi di dunia ini. Contoh dari penggunaan material yang tidak ramah lingkungan adalah penggunaan plastik pada kehidupan sehari-hari masyarakat. Penggunaan plastik mengambil andil yang besar dalam mengakibatkan pencemaran lingkungan dikarenakan plastik tidak mudah terurai di alam. Solusi dari permasalahan material yang tidak ramah lingkungan adalah dengan mencari material lainnya yang ramah lingkungan. Material ramah lingkungan atau *Green Material* merupakan material yang memiliki peran yang sangat besar dalam mengurangi polusi yang ada di dunia ini. Peran yang dimiliki dari *Green Material* itu sendiri adalah material dapat didaur ulang, harga yang lebih murah dan persediaan yang masih melimpah. Salah satu contoh dari *Green Material* adalah perpaduan dari dua material atau lebih untuk membentuk suatu komposit, dimana komposit tersebut terbentuk dari paduan dari material-material yang berasal dari alam dan ramah lingkungan. Jenis komposit ini dapat dikatakan sebagai *Green Composite* atau Komposit Alami.

Komposit dapat dibentuk dari *Natural* atau *Synthetic Fiber* dimana dari kedua pembentuk komposit ini memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing. Serat sintetis memiliki daya tahan material yang lebih baik jika dibandingkan dengan serat alami namun tidak ramah lingkungan. Serat alami atau *Natural Fiber* dijadikan pilihan untuk menggantikan serat sintetis dikarenakan ramah lingkungan dan juga dapat didaur ulang kembali (Gapsari et al., 2021). Serat alami atau *Natural Fiber* menjadi penyusun dasar dari *Green Composite*. Serat alami juga memiliki keunggulan seperti kelimpahan jumlah, harga yang relatif murah, energi terbarukan, memiliki kekuatan dan juga modulus yang tinggi jika dibandingkan dengan serat sintesis (Gapsari et al., 2021). Serat alami pada umumnya berasal dari tumbuhan, beberapa jenis tumbuhan sudah digunakan untuk membentuk komposit alami karena dinilai memiliki sifat mekanik yang baik dan juga sesuai untuk dijadikan pengganti dari komposit sintesis. Serat alami yang berasal dari bambu, rami, pohon kenaf, serpihan kayu, serat kelapa, dan juga serat dari tumbuhan sisal sudah diuji dan sudah digunakan sebagai pengganti dari beberapa material komposit sintesis seperti karbon, aramid dan *glass fiber*. Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang sudah membahas mengenai *Green Composite* dimana penelitian tersebut bertujuan untuk mencari dan mengaplikasikan serat alami dari beberapa jenis material yang tidak memiliki efek dalam pencemaran lingkungan.

Sisal 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. (Gupta & Srivastava, 2014) melakukan eksperimen pada serat sisal menggunakan matriks *epoxy resin*. Komposit diproduksi dengan metode *hand lay up* dimana setiap spesimen memiliki variasi fraksi volume serat yang berbeda-beda. Variasi fraksi volume serat yang digunakan adalah sebesar 15%, 20%, 25% dan 30% dan jenis konfigurasi serat yang digunakan adalah *unidirectional*. Pengujian yang dilakukan pada

eksperimen ini adalah pengujian tarik atau *tensile test* dan pengujian *bending* atau *flexural test*. Standar pengujian yang digunakan pada eksperimen ini adalah untuk pengujian tarik menggunakan ASTM D638 dan untuk pengujian *bending* menggunakan ASTM D790. Pengujian *bending* yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *threepoint bending*. Hasil yang didapatkan dari kedua pengujian yang dilakukan terhadap spesimen dengan variasi fraksi volume serat yang berbeda-beda adalah nilai kekuatan tarik dan kekuatan *bending* terbaik yang dimiliki oleh variasi yang digunakan adalah pada fraksi volume serat sebesar 30%. Selanjutnya (Fajrin dkk, 2022) melakukan penelitian mengenai 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 & Suardana, 2012) dijelaskan bahwa serat tapis atau kelapa merupakan salah satu serat alami yang memiliki ketersediaan yang sangat berlimpah dan menjadi limbah sehingga berpotensi untuk dimanfaatkan 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 memberikan perlakuan yang berbeda kepada serat dengan menggunakan NaOH dan KMnO₄ dengan variasi konsentrasi 0.5%, 1%, dan 2% dan pengujian dilakukan dengan pengujian tarik (*tensile test*) dan uji *bending* (*flexural test*). 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% KMnO₄ dan orientasi serat 45° . (Mahjoub dkk, 2014) melakukan penelitian mengenai pengaruh fraksi volume terhadap material komposit kenaf-epoxy dengan konfigurasi *Unidirectional*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan pengujian *tensile test* atau uji tarik dengan standarisasi ASTM D3039-08. Nilai fraksi volume yang optimum untuk serat kenaf adalah 40% dikarenakan seiring pertambahan fraksi volume maka nilai dari *tensile strength* dan *ultimate strain* yang didapatkan akan menurun sedangkan nilai dari *tensile modulus* akan meningkat. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh (Zuccarello, 2021) melakukan pengujian tarik (*tensile test*) dengan menggunakan material serat sisal dengan menggunakan 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.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, tidak terdapat penelitian mengenai pengujian *Fourpoint Bending* yang dilakukan pada serat alami terutama pada serat sisal dan serat kenaf. Serat alami memiliki sifat material *brittle* atau getas sedangkan pengujian *Fourpoint Bending* sesuai untuk pengujian material yang memiliki sifat getas atau material nilai nilai modulus yang tinggi. Maka dari itu penelitian ini dilakukan guna membandingkan fenomena yang terjadi pada perbedaan metode pengujian *flexural* yang ada yaitu antara *Three Point Bending* dengan *Four Point Bending*. Penelitian ini dilakukan menggunakan variabel berupa fraksi volume, jumlah layer, dan arah serat yang diaplikasikan kepada dua jenis komposit serat alami yaitu komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin untuk mengetahui nilai dari *Flexural Properties* dari kedua serat alami yang digunakan. Maka dari itu, pada penelitian ini akan dilakukan menggunakan *software* ANSYS. Untuk

mendapatkan hasil yang maksimal maka pada penelitian ini akan menggunakan standarisasi ASTM D6272 untuk metode pengujian *Four Point Bending*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, terdapat rumusan masalah sebagai berikut yaitu:

1. Bagaimana mengetahui *Flexural Properties* dari Serat Sisal dan Serat Kenaf akibat pengaruh dari fraksi volume ?
2. Bagaimana mengetahui *Flexural Properties* dari Serat Sisal dan Serat Kenaf akibat pengaruh dari orientasi arah sudut serat ?
3. Bagaimana mengetahui pengaruh dari *Shear Stress* pada Serat Sisal dan Serat Kenaf yang terjadi pada metode pengujian *Four Point Bending* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui *Flexural Properties* dari Serat Sisal dan Serat Kenaf akibat pengaruh dari fraksi volume.
2. Mengetahui *Flexural Properties* dari Serat Sisal dan Serat Kenaf akibat pengaruh dari orientasi arah sudut serat.
3. Mengetahui pengaruh dari *Shear Stress* pada Serat Sisal dan Serat Kenaf yang terjadi pada metode pengujian *Four Point Bending*.

1.4 Batasan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian terdapat batasan masalah yang diperhatikan dan diaplikasikan, yaitu:

1. *Specimen* pengujian menggunakan standar ASTM D6272 untuk metode pengujian *Four Point Bending*.
2. Material komposit yang digunakan adalah Serat Sisal dan Serat Kenaf.
3. Matriks yang digunakan adalah Matriks *Epoxy-Resin* untuk Komposit Serat Sisal dan Matriks *Polyester-Resin* untuk Serat Kenaf.
4. Variasi fraksi volume untuk Serat Sisal dan Matriks *Epoxy-Resin* sebesar 15%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%.
5. Variasi fraksi volume untuk Serat Kenaf dan Matriks *Polyester-Resin* sebesar 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%.
6. *Flexural Properties* yang dihasilkan berupa *Flexural Stress*, *Shear Stress*, *Total Deformation*, *Flexural Modulus*, dan *Flexural Strain*
7. Penelitian dilakukan dengan melakukan simulasi pada *software ANSYS 2021 R1*.

1.5 Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa manfaat yang diharapkan dapat berguna untuk penelitian material komposit yang menggunakan Serat Sisal dan Serat Kenaf, yaitu:

1. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan kegunaan Serat Sisal dan Serat Kenaf sebagai pengganti material lainnya yang tidak ramah lingkungan.
2. Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya.
3. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi penggunaan material komposit yang ramah lingkungan untuk diujikan kembali agar mendapatkan kombinasi material dengan penyusunan yang lebih efisien dan efektif.

4. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi penggunaan metode *Four Point Bending* untuk pengujian *Flexural* kepada material komposit serat alami.

BAB II DASAR TEORI

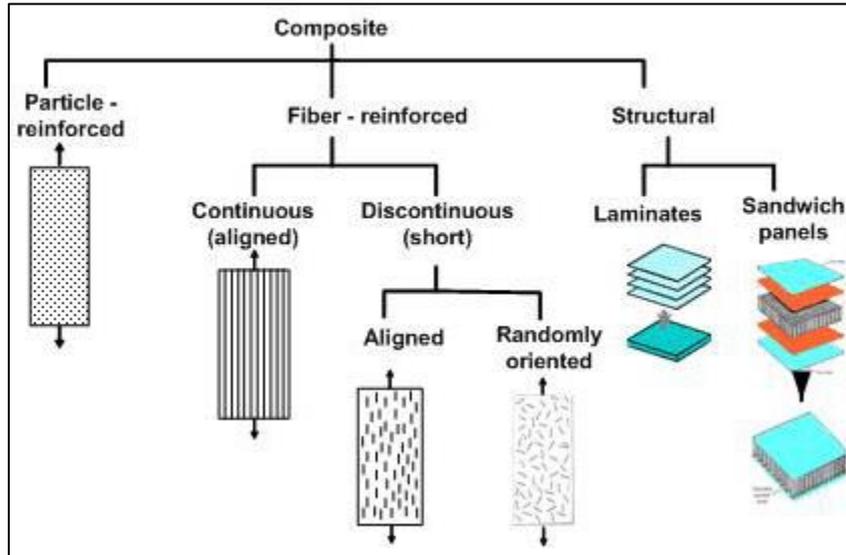
2.1 Dasar Teori

Komposit merupakan suatu material yang dibentuk dari suatu campuran dua material atau lebih material baku yang dimana memiliki tujuan untuk mendapatkan *mechanical properties* yang lebih baik dari material yang dijadikan bahan baku. Untuk menciptakan suatu ikatan dari material yang dicampurkan maka akan dibutuhkan sebuah perekat atau dapat disebut juga *wetting agent*. Suatu komposit pada umumnya terdiri dari dua fasa yaitu matriks dan *fiber*. Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar. Fungsi dari matriks adalah mentransfer tegangan ke serat, membentuk ikatan koheren pada permukaan matriks dan serat, melindungi serat, memisahkan serat, melepas ikatan dan tetap membuat stabil setelah proses manufaktur dilakukan. *Fiber* atau serat merupakan bagian utama dari komposit yang dimana memiliki fungsi untuk menanggung beban utama pada komposit.



Gambar 2. 1 Material Komposit

Pada komposit terdapat ikatan antar suatu permukaan yang dipengaruhi oleh gaya adhesi-koheisi. Gaya adhesi dan kohesi terjadi melalui tiga cara yaitu *Interlocking* antar permukaan, gaya elektrostatis dan gaya vanderwalls. Dimana *interlocking* terjadi karena kekasaran bentuk permukaan partikel, gaya elektrostatis terjadi karena ada gaya tarik menarik antara atom yang bermuatan sedangkan gaya vanderwalls terjadi karena adanya pengutupan antar partikel. Kualitas ikatan antara matriks dan juga *fiber* atau serat dipengaruhi oleh variabel antara lain ukuran partikel, rapat jenis bahan yang digunakan, fraksi volume material, komposisi material, bentuk partikel, kecepatan dan waktu pencampuran.



Gambar 2. 2 Klarifikasi Komposit Berdasarkan Penguat

Komposit memiliki berbagai macam jenis berdasarkan dari klarifikasinya. Salah satu jenis klarifikasi dari material komposit adalah berdasarkan penguat yang digunakan. Berikut ini adalah jenis komposit berdasarkan penguat digunakan:

1. Particulate Composites

Particulate Composites atau Komposit Partikel merupakan jenis komposit yang menggunakan penguat dengan jenis partikel yang terdapat pada matriks. Contoh dari jenis komposit ini adalah beton.

2. Structural Composites

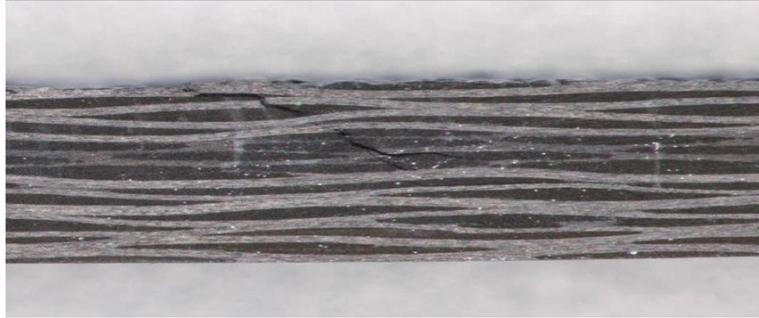
Structural Composites atau Komposit Struktural merupakan komposit yang terbentuk dari suatu bahan homogen yang menyusunnya. Sifat pada komposit ini bergantung pada *design* geometris dari komposit ini. Terdapat dua jenis *design* geometris dari komposit structural yaitu komposit lamina (*laminated composites*) dan komposit sandwich (*sandwich composites*).

3. Fiber-reinforced Composites

Fiber-reinforced Composites merupakan komposit yang menggunakan penguat berupa serat atau *fiber* dimana serat akan disusun secara teratur atau juga acak dengan variasi sudut yang kompleks. Pada jenis komposit ini, terdapat beberapa bahan dari serat dapat digunakan yaitu:

a. Synthetic Fiber Composites

Synthetic Fiber Composite atau Komposit Sintetis merupakan jenis komposit yang menggunakan serat sintetis. Dimana bahan bersifat sintetis menggunakan bahan baku material buatan. Komposit jenis ini memiliki daya tahan yang lebih baik jika dibandingkan dengan komposit yang menggunakan serat natural namun serat sintesis memiliki dampak buruk bagi lingkungan. Contoh dari serat sintesis adalah serat karbon, serat aramid, dan serat *glass*.



Gambar 2. 3 *Carbon Fiber*

b. *Natural Fiber Composites*

Natural Fiber Composite atau sering disebut sebagai komposit alami merupakan komposit dengan bahan penyusun yang berasal dari serat alami. Serat alami pada umumnya digunakan untuk menggantikan serat sintetis yang telah digunakan dan dapat mengakibatkan pencemaran pada lingkungan atau bahan baku untuk pembuatan serat sintesis tersebut sudah langka dan sulit untuk didapatkan. Komposit yang dibentuk dari serat alami memiliki daya tahan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan serat sintetis namun komposit dengan serat alami dapat di daur ulang kembali setelah penggunaannya dan tidak memiliki dampak buruk terhadap lingkungan. Harga produksi yang harus dikeluarkan untuk memproduksi komposit dengan serat alami juga jauh lebih murah jika dibandingkan dengan serat sintetis. Contoh dari serat alami seperti serat kelapa (*coconut fiber*), serat kenaf (*kenaf fiber*), dan serat sisal (*sisal fiber*).



Gambar 2. 4 *Coconut Fiber*

2.2 Sisal Fiber



Gambar 2. 5 Tanaman Sisal

Sisal merupakan tanaman yang tumbuh di daerah yang beriklim kering. Tanaman sisal memiliki nama latin *Agave Sisalana*. Tanaman sisal pada umumnya tumbuh pada daerah tropis seperti Brazil, Kenya, Tanzania, Madagaskar dan Indonesia. Sisal dibudidayakan di banyak daerah di Indonesia seperti di daerah Madura, Malang, Jember dan Sumbawa (Kusumastuti, 2009). Tanaman sisal hanya dapat tumbuh pada daerah yang terpapar matahari dengan temperatur maksimum 27-28°C dan tanah berpasir. Sisal memiliki karakteristik tanaman yang memiliki daun menyatu dengan batangnya sehingga tanaman sisal ini memiliki kekuatan serat yang baik. Pemanfaatan serat sisal sudah menjamur di berbagai bidang seperti bidang industri, bidang kelautan, bidang pertanian, bidang kerajinan bahkan bidang keamanan. Serat sisal dapat diaplikasikan menjadi rompi anti peluru dikarenakan memiliki sifat mekanik yang kuat terutama untuk serat alami.

Tabel 2. 1 *Material Properties* 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)	2500	ANSYS

Penggunaan serat sisal tentunya dapat menjadi opsi pengganti material yang tidak ramah lingkungan dikarenakan sifat mekaniknya yang kuat dan tentunya keberadaan serat sisal sangatlah melimpah.

2.3 Kenaf Fiber

Kenaf merupakan sebuah tumbuhan yang tumbuh didaerah tropis dan subtropis dimana memiliki persebaran mayoritas di benua Asia dan Afrika. Kenaf memiliki nama latin *Hibiscus Malvaceae*, ciri utama dari tanaman kenaf adalah memiliki tinggi sekitar tiga meter dengan daun berwarna hijau dan memiliki batang berduri. Kenaf memiliki ketahanan yang baik terhadap serangga sehingga penggunaan pestisida tidak dibutuhkan untuk pembudidayaan tanaman kenaf. Tanaman kenaf juga memiliki toleransi yang tinggi terhadap air maupun dengan kekeringan.



Gambar 2. 6 Tanaman Kenaf (Sumber: balittas.litbang.pertanian.go.id)

Keberadaan tanaman kenaf di Indonesia sangatlah melimpah dikarenakan tanaman kenaf dapat tumbuh dengan baik dan sesuai dengan iklim di Indonesia. Budidaya tanaman kenaf di Indonesia tersebar di Pulau Sumatera, Pulau Jawa hingga Pulau Kalimantan. Budidaya kenaf dilakukan dikarenakan tanaman kenaf ini memiliki manfaat hampir seluruh bagiannya terutama dapat dijadikan bahan baku untuk industri. Kayu pada tanaman kenaf memiliki karakteristik yang sangat baik untuk dijadikan furnitur seperti pintu, jendela dan lainnya. Lalu bagian lainnya dari tanaman kenaf yang dimanfaatkan adalah serat dari tanaman kenaf. Serat dari kenaf didapatkan dari batang kenaf itu sendiri dengan cara menguliti batang dari tanaman kenaf. Serat dari kenaf memiliki karakteristik yang baik untuk dijadikan sebagai serat komposit natural atau *natural composite* dikarenakan karakteristik dari kenaf itu sendiri. Serat pada kenaf tergolong dalam dua golongan yaitu kenaf serat panjang dan kenaf serat pendek. Perbedaan kedua golongan kenaf ada pada panjang seratnya dimana kenaf serat panjang memiliki ukuran sebesar 10-30 mm sedangkan kenaf serat pendek memiliki ukuran sebesar 1-6 mm. Sifat mekanik yang dimiliki kedua golongan serat kenaf tentunya memiliki perbedaan dan kenaf serat panjang memiliki sifat mekanik yang lebih baik jika dibandingkan dengan kenaf serat pendek. Sifat mekanik yang dimiliki kenaf dapat dilihat pada tabel berikut ini.

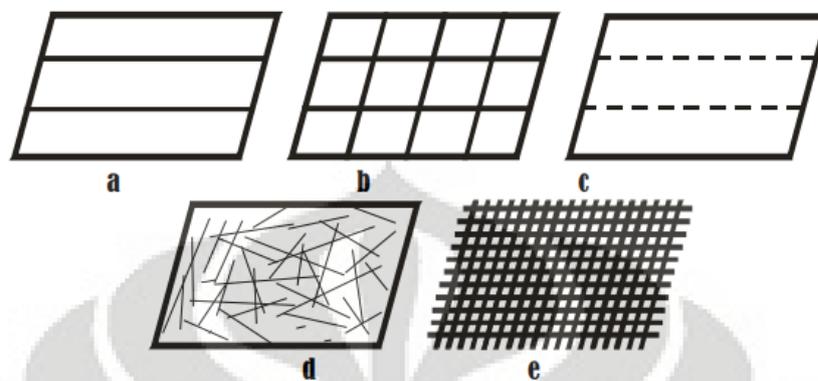
Tabel 2. 2 *Material Properties* Serat Kenaf

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	Hasil Perhitungan ANSYS

Dari sifat mekanik yang terdapat pada tabel diatas, serat kenaf memiliki karakteristik yang sesuai jika dijadikan *natural fiber* dan tentunya pengembangan komposit serat kenaf dapat menggantikan material yang tidak ramah lingkungan.

2.4 Orientasi Arah Serat

Komposit merupakan material yang memiliki susunan lapisan-lapisan yang terikat satu sama lain. Lapisan-lapisan yang terdapat pada suatu susunan komposit terdiri dari serat dan juga matriks. Serat panjang (*continuous fiber*) dipergunakan untuk membuat lapisan, dimana serat tersebut dapat memiliki orientasi satu arah atau dapat disebut *unidirectional orientation* dan juga lapisan serat panjang dapat memiliki orientasi dua arah atau dapat disebut sebagai *bidirectional orientation*. Selain serat panjang juga terdapat serat pendek atau dapat disebut *discontinuous fiber*. Serat pendek dapat memiliki orientasi satu arah atau pun secara acak. Lapisan komposit yang ditumpuk satu dengan yang lainnya akan memiliki ketebalan tertentu dan akan membentuk suatu lembaran atau dapat disebut *laminat*, dimana variasi lapisan dalam suatu lembaran dapat terdiri dari serat searah maupun berbeda arah (*Serat Woven*).



Gambar 2. 7 Susunan Pembentukan Komposit (a) Serat Panjang Searah (b) Serat Panjang Dua Arah (c) Serat Pendek Searah (d) Serat Pendek Acak (e) Serat Woven (Klemens, 2009)

2.4.1 Matriks

Matriks merupakan bagian terbesar atau dominan yang terdapat pada suatu susunan komposit yang akan ditingkatkan *mechanical properties* nya. Fungsi utama dari adanya matriks pada suatu komposit adalah untuk mentransfer tegangan ke serat, membentuk ikatan koheren pada permukaan matriks dan serat, melindungi serat, memisahkan serat, melepas ikatan dan tetap membuat stabil setelah proses manufaktur dilakukan. Serat dan juga matrix dalam suatu material komposit memiliki pembagian masing-masing atau dapat disebut sebagai fraksi volume.

Terdapat beberapa jenis matriks yaitu *Polymer-matrix*, *Metal-matrix*, *Ceramic-matrix*, dan *Carbon-matrix*. Dari masing-masing jenis matriks ini memiliki karakteristik masing-masing dimana karakteristik tersebut dapat menentukan sifat dari suatu material komposit. *Polymer-matrix* merupakan jenis matriks yang seringkali diaplikasikan pada suhu rendah. Contoh dari matriks ini adalah *epoxy*, *polymide*, *polyester*, dan *polysulfone*. Matriks ini seringkali dikombinasikan dengan serat *glass*, aramin, karbon dan boron. *Metal-matrix* adalah jenis matriks yang terbentuk oleh kandungan logam didalamnya dan pada umumnya menggunakan temperature maksimal dari masing-masing logam untuk dapat mencairkan logam yang menjadi matriks. Contoh dari matriks ini adalah alumunium, magnesium, titanium dan tembaga. *Ceramic-matrix* merupakan jenis matriks yang menggunakan *ceramic* menjadi matriks dan memiliki kriteria yang sangat baik untuk material komposit yang digunakan pada temperature tinggi. Contoh dari matriks ini adalah *silicon carbide*, *alumunium oxide*, *glass-*

ceramic, dan *silicon nitride*. *Carbon-matrix* adalah jenis matriks yang dibentuk dari karbon atau *graphite*. Karakteristik dari matriks ini adalah material memiliki kekakuan yang tinggi namun tidak memiliki kekuatan yang baik ketika berada pada temperature tinggi dan juga memiliki massa jenis yang rendah (M.Daniel & Ishai, 2006).

Tabel 2. 3 Jenis Serat Beserta Matriks Yang Digunakan

Matrix Type	Fiber	Matrix
Polymer	E-glass	Epoxy
	S-glass	Phenolic
	Carbon (graphite)	Polyimide
	Aramid (Kevlar)	Bismaleimide
	Boron	Polyester
		Thermoplastics (PEEK, polysulfone, etc.)
Metal	Boron	Aluminum
	Borsic	Magnesium
	Carbon (graphite)	Titanium
	Silicon carbide	Copper
	Alumina	
Ceramic	Silicon carbide	Silicon carbide
	Alumina	Alumina
	Silicon nitride	Glass-ceramic
		Silicon nitride
Carbon	Carbon	Carbon

2.4.2 Epoxy Resin

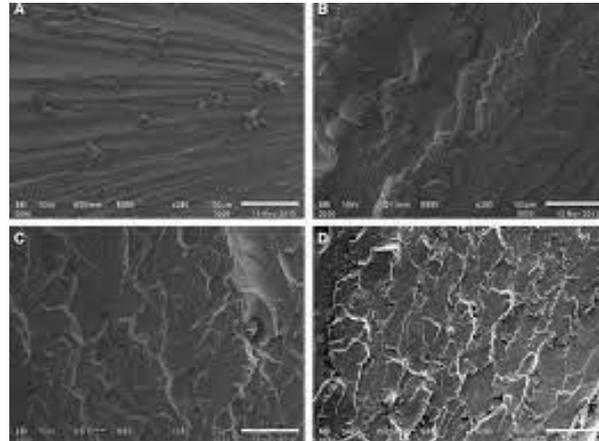
Matriks merupakan komponen penyusun pada suatu material komposit dimana suatu material komposit terdiri dari matriks dan juga serat atau *fiber*. Terdapat beberapa jenis matriks yang ada yaitu seperti *Polymer-matrix*, *Metal-matrix*, *Ceramic-matrix*, dan *Carbon-matrix* (M.Daniel & Ishai, 2006). Matriks memiliki fungsi yang sangat penting pada suatu komposit yaitu salah satu nya untuk membentuk ikatan koheren pada permukaan matriks dan serat dan juga untuk melindungi serat. *Polymer-matrix* merupakan salah satu jenis matriks yang memiliki sifat *thermoset* dan *thermoplastic* dimana dari kedua sifat ini matriks yang digunakan hanya dapat bertahan pada suhu yang rendah (M.Daniel & Ishai, 2006). Contoh matriks yang memiliki sifat *thermoplastic* adalah *polysulfone* sedangkan contoh dari matriks yang memiliki sifat *thermoset* adalah *polyimide*, *polyester*, dan *epoxy*.

Tabel 2. 4 Mechanical Properties Epoxy Resin

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

Salah satu jenis matriks yang seringkali digunakan untuk melakukan pembentukan dari komposit adalah *Epoxy Resin* dimana matriks ini memiliki kriteria yang sangat memenuhi untuk digunakan pada material-material yang akan dipadukan kepada matriks ini. *Epoxy resin* memiliki harga yang lebih murah jika dibandingkan dengan jenis matriks *polymer-matrix* yang

lainnya seperti *vinyl-ester*. Selain perbandingan harga, *epoxy resin* memiliki ketahanan yang baik terhadap suhu tinggi dan juga *mechanical properties* yang lebih baik jika dibandingkan dengan *polymer-matrix* yang lainnya. Lalu *epoxy resin* juga memiliki ketahanan terhadap lembab yang baik dan tidak mudah menyusut. *Epoxy resin* juga dapat menyeimbangkan *chemical properties* dan *mechanical properties* dari suatu material yang dijadikan sebagai serat.



Gambar 2. 8 Epoxy Resin

2.4.3 Polyester Resin

Polyester Resin merupakan resin yang sudah dipasarkan hampir ke seluruh dunia terutama di Indonesia. Hampir 70% penggunaan resin di dunia menggunakan jenis polyester resin. Polyester resin memiliki kekurangan yang cukup banyak seperti tidak dapat digunakan untuk lapisan tipis sehingga memerlukan bahan lainnya seperti *fiberglass* atau serat kaca. Kekuatan polyester resin juga tidak terlalu baik jika terpapar air dikarenakan polyester resin memiliki sifat mudah untuk menyerap air lalu polyester resin juga mudah retak retak dan terkelupas. Kelebihan dari polyester resin adalah memiliki harga yang lebih murah dan penggunaan sudah banyak sehingga mudah untuk mencari resin ini.

Tabel 2. 5 Mechanical Properties Polyester Resin

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

2.4.4 Fraksi Volume

Fraksi volume pada komposit dapat diartikan sebagai perbandingan antara serat dengan matriks yang digunakan untuk membuat suatu komposit dan fraksi volume dari suatu komposit merupakan bagian penting dalam menentukan sifat mekanik dari suatu material komposit yang dibentuk. Dengan adanya fraksi volume pada suatu komposit maka akan membagi persentase antara serat yang digunakan dengan matriks dari suatu komposit. Kenaikan persentase fraksi volume pada suatu komposit disebabkan oleh bertambahnya serat pada komposit yang diiringi dengan meningkatnya nilai kekuatan tarik pada komposit tersebut. Perilaku mekanik dari sebuah material komposit ditentukan oleh adanya bentuk dan ukuran dari serat yang digunakan

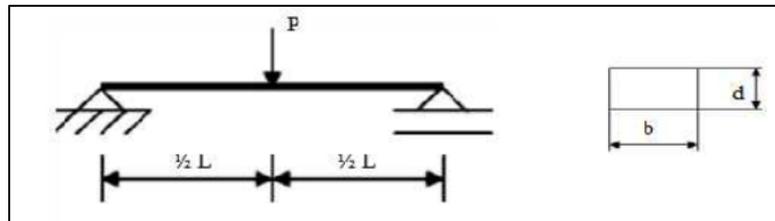
pada suatu komposit. Lalu fraksi volume dari suatu komposit akan ditentukan dari ikatan antara matriks dengan serat.

Fraksi volume dari suatu komposit memiliki standarisasi tersendiri dalam penentuannya. Dalam penentuan persentase pembagian antara matriks dengan serat, komposisi serat pada suatu komposit tidak dapat melebihi dari 50 % atau dapat dikatakan juga matriks yang digunakan pada suatu komposit harus lebih dominan jika dibandingkan dengan serat. Dengan komposisi matriks yang lebih dominan maka akan mengikat serat dengan lebih baik dan juga dapat meningkatkan *mechanical properties* dari komposit yang dibentuk.

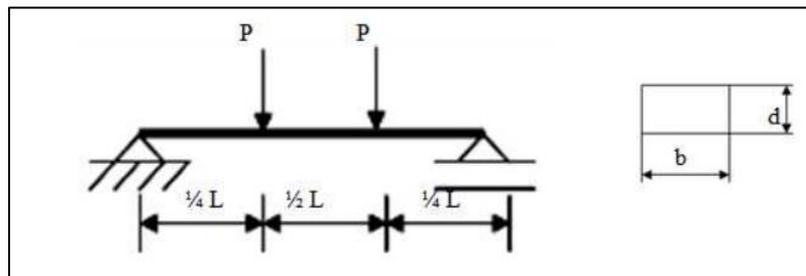
2.5 Pengujian Bending

Pengujian *bending* merupakan pengujian kekuatan lengkung dari suatu material untuk mendapatkan hasil berupa data mengenai kekuatan lengkung. Pengujian *bending* membutuhkan peralatan uji yang disebut alat uji *bending*. Pada umumnya alat uji *bending* memiliki beberapa bagian utama seperti rangka, alat tekan, *point bending* dan alat pengukur. Rangka pada alat uji *bending* memiliki fungsi untuk menjadi penahan gaya balik pada saat melakukan uji *bending*, alat tekan berfungsi untuk sebagai pemberi gaya tekan pada benda yang diujikan, *point bending (support)* berfungsi untuk menjadi tumpuan benda yang diujikan, sedangkan alat ukur adalah suatu alat yang menunjukkan besarnya kekuatan tekan yang terjadi pada benda yang diujikan.

Pengujian *bending* memiliki dua jenis pengujian yaitu pengujian *three point bending* dan *fourpoint bending*. Kedua jenis pengujian ini memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Pengujian *three point bending* merupakan pengujian yang menggunakan dua tumpuan (*support*) untuk menumpu specimen yang diujikan dan satu penekan yang berfungsi untuk memberikan gaya pada specimen. Sedangkan pengujian *fourpoint bending* merupakan pengujian *bending* dengan menggunakan dua tumpuan (*support*) dan dua penekan.



Gambar 2. 9 *Three Point Bending* (Khamid, 2011)



Gambar 2. 10 *Fourpoint Bending* (Khamid, 2011)

Terdapat beberapa kelebihan dan kekurangan dari adanya metode pengujian *three point bending* dan *fourpoint bending*.

Tabel 2. 6 Kelebihan dan Kekurangan Metode *Three Point Bending* dan *Fourpoint Bending*

	Three Point Bending	Four Point Bending
Kelebihan	Kemudahan Persiapan spesimen dan pengujian	Penggunaan rumus perhitungan lebih mudah
	Pembuatan <i>point</i> lebih mudah	Hasil Pengujian lebih akurat
		Nilai <i>Flexural Stress</i> yang dihasilkan merupakan <i>flexural stress</i> murni tanpa adanya <i>shear stress</i>
		Shear Stress yang dihasilkan pada pengujian berada pada titik setelah roller penekan
	Cocok untuk material yang bersifat <i>Brittle</i> atau getas seperti <i>Natural Composite</i>	
	Material rusak ketika <i>interlaminar shear</i> terjadi dikarenakan tegangan <i>compressive</i> yang terjadi lebih rendah dibanding <i>Three Point Bending</i>	
Kekurangan	Kesulitan menentukan titik tengah persis, karena jika posisi tidak di tengah penggunaan rumus akan berubah	Pembuatan <i>point</i> lebih rumit
	Kemungkinan terjadi pergeseran (<i>Shear</i>) sehingga benda yang diuji tidak patah tepat ditengah	Point penekan harus menekan spesimen secara bersamaan

2.5.1 Pengujian Fourpoint Bending

Pengujian *Fourpoint Bending* merupakan salah satu metode pengujian pada uji *bending*. Pengujian *fourpoint bending* dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan modulus elastisitas pada suatu specimen, tegangan *bending* dan regangan *bending* dari specimen yang diujikan. Ciri khas dari adanya pengujian ini adalah dengan adanya empat *point* yang berada pada alat uji dimana dua *point* digunakan untuk menopang specimen yang diujikan dan dua *point* digunakan untuk memberikan gaya pada specimen yang diujikan.

Pengujian *fourpoint bending* ini memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan metode uji *three point bending* yaitu rumus yang digunakan untuk melakukan penghitungan lebih mudah dan hasil yang didapatkan dari hasil pengujian lebih akurat. Sedangkan kekurangan dari pengujian ini adalah pembuatan *point* yang lebih rumit dan kedua *point* penekan harus menekan secara bersamaan. Perumusan yang digunakan untuk menghitung *flexural properties* pada pengujian *fourpoint bending* adalah:

$$\sigma_f = \frac{3PL}{4bd^2} \quad (2.1)$$

Keterangan:

- σ_f = Tegangan *bending* (MPa)
- P = Gaya yang diberikan (N)
- L = Jarak *point* (mm)
- b = Lebar benda uji (mm)
- d = Ketebalan benda uji (mm)

Sedangkan untuk menghitung regangan *bending* pada pengujian *fourpoint bending* adalah:

$$\epsilon = \frac{4,36\delta h}{L^2} \quad (2.2)$$

Keterangan:

- ϵ = Regangan Maximum (mm/mm)
- δ = defleksi (mm)
- L = Jarak *point* (mm)
- h = Ketebalan benda uji (mm)

Setelah mengetahui perumusan untuk *stress* dan *strain* pada specimen, untuk menghitung elastis yang dimiliki pada pengujian *fourpoint bending* akan menggunakan *Flexural Chord Modulus of Elasticity*. Berikut ini adalah perumusannya:

$$E_B = \frac{0,17L^3m}{bd^3} \quad (2.3)$$

Keterangan:

m = rasio kurva pembebanan-deformasi

Nilai m yang terdapat pada perumusan *Flexural Chord Modulus of Elasticity* dapat diartikan sebagai nilai *Slope of Tangent* dimana nilai tersebut didapatkan dengan perumusan sebagai berikut:

$$m = \frac{P}{D} \quad (2.4)$$

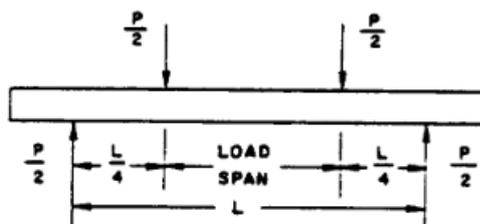
Keterangan:

P = Beban (N)

D = Deformasi (mm)

2.6 ASTM D6272

American Standar for Testing Material atau dapat disingkat menjadi ASTM merupakan organisasi internasional sukarela yang mengembangkan standarisasi teknik kepada material, produk, dan sistem. Pengujian *bending* memiliki standarisasi yang berbeda-beda dalam setiap pengujiannya. Perbedaan yang pada umumnya terdapat pada setiap standarisasi adalah ukuran specimen yang digunakan dan juga jenis material yang dijadikan specimen. Standarisasi yang mengatur pengujian *four point bending* untuk material komposit adalah ASTM D6272.



Gambar 2. 11 Pengujian *Fourpoint Bending* menurut ASTM D6272 (ASTM, 2014)

Keterangan:

L: Panjang Support / *Support Span* (mm)

P: Gaya yang diberikan (N)

d: Tebal Specimen (mm)

b: Lebar Specimen (mm)

Untuk ukuran specimen yang digunakan pada standar ASTM D6272, panjang specimen yang digunakan adalah jarak support span (L) yang diukur dari pusat kedua support ditambahkan 20% dari jarak support span (L), untuk ukuran ketebalan specimen menggunakan rasio jarak antar support span dengan ketebalan dimana rasio tersebut bernilai 16:1.

2.7 Rule of Mixture

Rule of Mixture atau dapat disingkat ROM merupakan suatu metode yang bertujuan untuk menghitung kekuatan pada komposit secara teoritis. Rule of mixture menggunakan penjumlahan kekuatan yang dimiliki dari setiap penyusun dengan menggunakan fraksi volume yang terdapat pada setiap penyusun (M.Daniel & Ishai, 2006). Persamaan yang digunakan dalam rule of mixture adalah sebagai berikut.

$$V = V_f + V_m + V_v \quad (2.5)$$

$$v_f = \frac{V_f}{V} \quad (2.6)$$

$$v_m = \frac{V_m}{V} \quad (2.7)$$

$$v_v = \frac{V_v}{V} \quad (2.8)$$

Keterangan:

V : Volume

v : Fraksi volume

f : fiber

m : matriks

v : void

Dari persamaan diatas, akan didapatkan:

$$v_f + v_m + v_v = 1 \quad (2.9)$$

Selanjutnya jika proses penyatuan *fiber* dengan matriks dianggap baik, maka *void* yang terdapat pada perumusan dapat diabaikan sehingga didapat persamaan sebagai berikut:

$$v_m = 1 - v_f \quad (2.10)$$

Sehingga akan didapatkan perumusan yang digunakan untuk massa jenis komposit yaitu:

$$\rho_c = v_f \rho_f + v_m \rho_m \quad (2.11)$$

2.8 Orthotropic Elasticity

Komposit memiliki beberapa jenis konfigurasi serat, yang dimana salah satunya berjenis *unidirectional*. Konfigurasi komposit yang memiliki konfigurasi *unidirectional* memiliki beberapa nilai *material properties*. *Properties* tersebut dibagi dua menjadi *longitudinal properties* dan *transverse properties*. *Longitudinal properties* terbagi atas *Young's modulus* (E_1), *Poisson's ratio* (ν_{12} dan ν_{13}), dan *shear modulus* (G_{12} dan G_{13}). Lalu, *Transverse properties* terbagi atas *Young's modulus* (E_2 dan E_3), *Poisson's ratio* (ν_{23}), dan *shear modulus* (G_{23}) (M.Daniel & Ishai, 2006). Persamaan yang digunakan untuk *longitudinal Young Modulus* pada elemen dengan hubungan matriks dan *fiber* yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$E_1 = v_f E_f + v_m E_m \quad (2.12)$$

Lalu persamaan yang digunakan untuk menghitung *young modulus transversal* adalah sebagai berikut:

$$E_2 = \left(\frac{v_f}{E_f} + \frac{v_m}{E_m} \right)^{-1} \quad (2.13)$$

Setelah itu untuk mencari nilai dari *longitudinal shear modulus* (G_{12} dan G_{13}) dan juga *transversal shear modulus* (G_{23}), dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$G_{12} = G_m \frac{(1 + V_f)G_f + V_m G_m}{V_m G_f + (1 + V_f)G_m} \quad (2.14)$$

$$G_{23} = \frac{G_m K_m (G_m + G_f) + 2G_f G_m + K_m (G_f - G_m) V_f}{K_m (G_m + G_f) + 2G_f G_m - (K_m + 2G_m)(G_f - G_m) V_f} \quad (2.15)$$

Dan guna mendapatkan nilai dari *longitudinal poisson ratio* (v_{12} dan v_{13}) serta *transversal poisson ratio* (v_{23}) dapat menggunakan persamaan berikut ini:

$$v_{12} = V_f v_f + V_m v_m \quad (2.16)$$

$$v_{23} = \frac{E_2}{2G_{23}} - 1 \quad (2.17)$$

2.9 Orthotropic Stress Limit

Orthotropic Stress Limit merupakan nilai kekuatan dari material komposit. Nilai yang didapatkan dibagi atas dua properties yaitu *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*.

2.9.1 Perhitungan Buku Engineering Mechanics of Composite Materials

Perhitungan didapatkan dari buku (M.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 :

$$F_{1t} = F_{ft} \left(V_f + V_m \frac{E_m}{E_f} \right) \quad (2.18)$$

Keterangan:

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 :

$$F_{1t} = F_{mt} \left(V_f \frac{E_m}{E_f} + V_m \right) \quad (2.19)$$

Keterangan

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 mendapatkan nilai transverse strength dari komposit dilakukan perhitungan menggunakan persamaan yang didapatkan dari transverse strength composite adalah sebagai berikut:

$$F_{2t} = \frac{1 - v_m}{k_\sigma(1 + v_m)(1 - 2v_m)} (F_{mt} - \varepsilon_{rm}E_m) \quad (2.20)$$

Dimana, untuk mendapatkan nilai k_σ dengan menggunakan persamaan berikut :

$$k_\sigma = \frac{1 - V_f(1 - \frac{E_m}{E_f})}{1 - \left(\frac{4V_f}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{E_m}{E_f}\right)} \quad (2.21)$$

Keterangan:

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

Guna mendapatkan nilai dari longitudinal compressive strength dari komposit dilakukan perhitungan menggunakan persamaan dari transverse strength composite seperti berikut ini:

$$F_{1c} = 2F_{fs} \left[V_f + (1 - V_f) \frac{E_m}{E_f} \right] \quad (2.22)$$

Keterangan:

F_{1c} = Longitudinal compressive strength composite

F_{fs} = Shear Strength fiber

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

$$F_{2c} = \frac{F_{mc} + \sigma_{rm}}{k_\sigma} \quad (2.23)$$

Dengan nilai k_σ dihitung menggunakan rumus pada persamaan 2.20. Untuk menghitung nilai *In-plane Shear Strength Composite* menggunakan persamaan berikut:

$$F_6 = \frac{F_{ms}}{k_\tau} \quad (2.24)$$

Dengan nilai k_τ adalah sebagai berikut :

$$k_{\tau} = \frac{1 - V_f \left(1 - \frac{G_m}{G_{12f}}\right)}{1 - \left(\frac{4V_f}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{G_m}{G_{12f}}\right)} \quad (2.25)$$

Keterangan:

F_6 = In plane Shear Strength of Composite

F_{ms} = shear strength of matrix

k_{τ} = shear stress concentration factor

G_m = shear modulus matriks

G_{12f} = In plane shear modulus fiber

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

Perhitungan didapatkan dari buku (Kumar, 2017), persamaan untuk mendapatkan *longitudinal tensile strength* pada komposit dibagi atas dua kondisi yaitu kondisi ketika nilai $\epsilon_m > \epsilon_f$ dan kondisi ketika $\epsilon_m < \epsilon_f$. Berikut ini adalah perumusan yang digunakan:

Untuk nilai $\epsilon_m > \epsilon_f$

$$(\sigma_{x_c}^T)_{ult} = (\sigma_{x_f}^T) V_f + (\epsilon_{1_f}^T)_{ult} E_m (1 - V_f) \quad (2.26)$$

Untuk nilai $\epsilon_m < \epsilon_f$

$$(\sigma_{x_c}^T)_{ult} = (\epsilon_{1_m}^T) E_{1_f} V_f + (\sigma_m^T)_{ult} (1 - V_f) \quad (2.27)$$

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

$$(\sigma_{y_c}^T)_{ult} = (\sigma_m^T)_{ult} \left(1 - 2 \sqrt{\frac{V_f}{\pi}}\right) \quad (2.28)$$

Setelah itu untuk mendapatkan *longitudinal compressive strength* dan *transverse compressive strength* adalah sebagai berikut:

Untuk *longitudinal compressive strength*

$$(\sigma_{x_c}^C)_{ult} = 2(\tau_f)_{ult} \left[V_f + \frac{E_m}{E_{2f}} (1 - V_f) \right] \quad (2.29)$$

Untuk *transverse compressive strength*

$$(\sigma_{y_c}^C)_{ult} = (\sigma_m^C)_{ult} \left(1 - 2 \sqrt{\frac{V_f}{\pi}}\right) \quad (2.30)$$

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

Untuk *longitudinal compressive strength*

$$(\tau_{xy_c})_{ult} = G_{12_c} \left[1 + \left(\frac{G_m}{G_{12f}} - 1 \right) V_f \right] (Y_m)_{ult} \quad (2.31)$$

Untuk *transverse compressive strength*

$$(\tau_{yz_c})_{ult} = \frac{(\tau_{xy_c})_{ult}}{2} \quad (2.32)$$

2.10 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga atau *finite element method* merupakan metode yang dapat digunakan untuk melakukan analisa structural, termal dan juga elektromagnetik pada suatu pengujian. Pada metode elemen hingga, seluruh masalah kompleks seperti varias bentuk specimen, kondisi batas, dan kondisi beban dapat diselesaikan dengan metode pendekatan. Prosedur dari adanya metode elemen hingga adalah untuk mengurangi variabel yang tidak diketahui menjadi sejumlah berhingga dengan membagi daerah penyelesaian menjadi bagian yang lebih kecil yang disebut elemen. Variabel medan yang tidak diketahui dianggap sebagai fungsi pendekatan dalam setiap elemen. Variabel medan dapat ditentukan pada beberapa titik menggunakan fungsi dari interpolasi. Fungsi pendekatan pada metode elemen hingga dapat didefinisikan sebagai medan variabel dari titik tertentu yang disebut sebagai node. Metode elemen hingga memiliki kelebihan dalam waktu pengerjaan yang lebih singkat dan dapat menyelesaikan masalah pada benda yang memiliki geometri kompleks dengan perhitungan yang mudah.

Langkah dalam menganalisa menggunakan metode elemen hingga atau *finite element method* adalah sebagai berikut:

- Memilih variabel medan yang tepat dan elemen yang akan digunakan
- Mendiskritkan secara kontinu
- Menentukan sifat dari bahan elemen yang akan digunakan
- Menyusun sifat-sifat dari bahan elemen untuk memperoleh sifat bahan yang digunakan secara global
- Menentukan kondisi dari batasan yang akan digunakan
- Memecahkan persamaan sistem untuk mendapatkan node yang tidak diketahui dalam sistem
- Membuat perhitungan tambahan untuk mendapatkan nilai yang diinginkan

Dari metode elemen hingga akan didapatkan output berupa besaran nilai pada elemen yang ditentukan.

2.11 Failure Theory

Failure Theory atau dapat disebut sebagai teori kegagalan merupakan kumpulan teori yang menyatakan kegagalan dari suatu material. Terdapat beberapa teori kegagalan untuk material komposit *orthotropic* seperti *Tsai Wu Failure Criteria*. *Tsai wu failure criteria* merupakan teori kegagalan yang dapat memprediksi kekuatan dari material tanpa menggunakan data eksperimen yang digunakan. Kelebihan dari *tsai wu failure criteria* adalah penggunaan teori ini sangat mudah dan dapat dibaca untuk prosedur komputasi.

Rumus yang digunakan pada teori *tsai wu failure criteria* untuk menentukan kegagalan suatu material adalah sebagai berikut:

$$F1 \cdot \sigma_1 + F2 \cdot \sigma_2 + F66 \cdot \tau_{12}^2 + F11 \cdot \sigma_1^2 + F22 \cdot \sigma_2^2 + 2 \cdot F12 \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_2 = 1 \quad (2.33)$$

$$F1 = \frac{1}{X_t} + \frac{1}{X_c} \quad (2.34)$$

$$F2 = \frac{1}{Y_t} + \frac{1}{Y_c} \quad (2.35)$$

$$F11 = -\frac{1}{X_t \cdot X_c} \quad (2.36)$$

$$F22 = \frac{1}{Y_t \cdot Y_c} \quad (2.37)$$

$$F12 = -\frac{0,5}{\sqrt{X_t \cdot X_c \cdot Y_t \cdot Y_c}} \quad (2.38)$$

Keterangan:

X_t = Longitudinal Tensile Strength

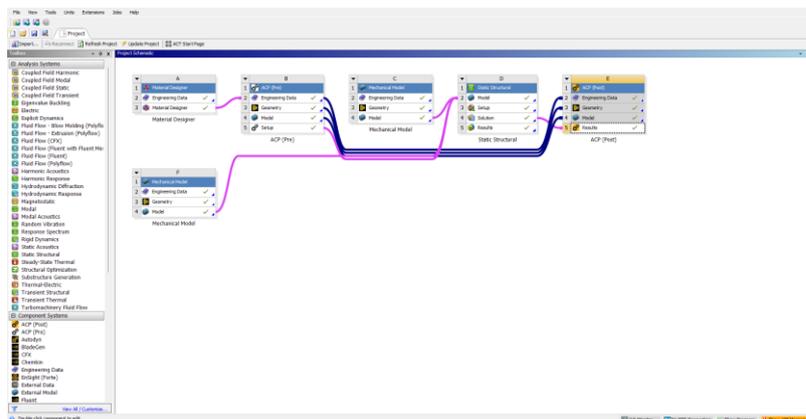
Y_t = Transverse Tensile Strength

X_c = Longitudinal Compressive Strength

Y_c = Transverse Compressive Strength

2.12 ANSYS

ANSYS adalah sebuah *software* yang berbasiskan metode elemen hingga yang dipakai untuk menganalisa masalah rekayasa. ANSYS memiliki banyak sekali fitur untuk menyelesaikan masalah rekayasa *engineering*. Beberapa fitur yang dimiliki oleh ANSYS adalah *Mechanical, Fluid Flow, Engineering Data, Design Modeler, Meshing Application, ACP Pre dan Post, Material Designer, Static Structural* dan lain-lain.

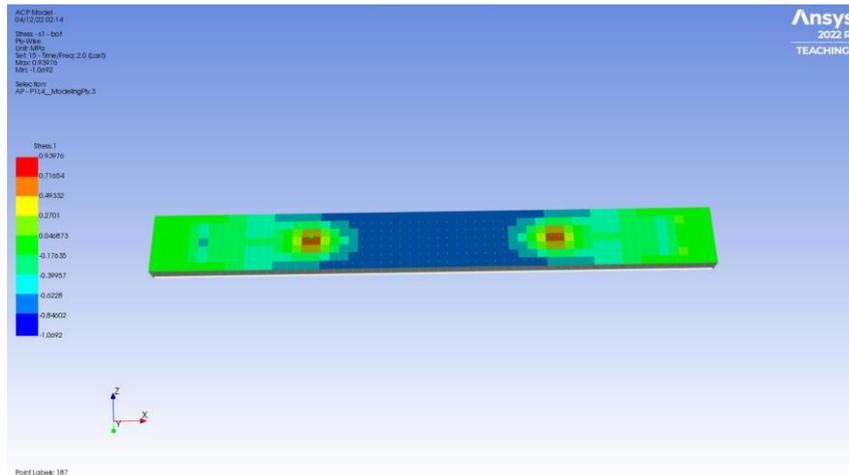


Gambar 2. 12 ANSYS Workbench

2.12.1 Material Designer

Material Designer merupakan sebuah fitur yang terdapat pada ANSYS yang memiliki tujuan untuk memadukan dua atau lebih material guna mendapatkan suatu material baru dengan *mechanical properties* yang baru juga. *Material designer* seringkali digunakan untuk menciptakan suatu material komposit yang baru dengan perpaduan dua material yang diketahui *mechanical properties* nya. Material yang dipadukan harus berupa serat dan matriks agar terbentuk paduan yang sempurna untuk menjadi suatu material komposit. Pada *material designer* dapat mengatur fraksi volume, material yang ingin digabungkan, diameter serat, bentuk dari *geometry* campuran material, dan jenis dari komposit yang diinginkan.

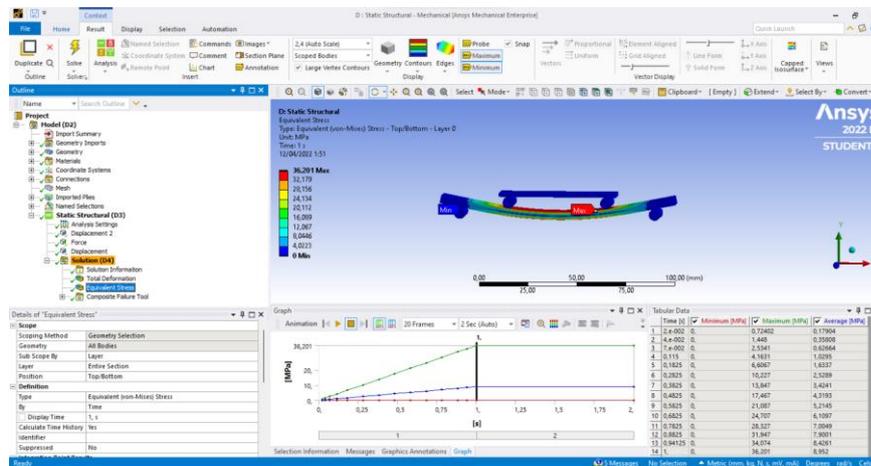
Hasil yang didapatkan setelah menyatukan material pada *material designer* adalah *mechanical properties* dari komposit baru. *Mechanical properties* yang didapatkan berupa *Young Modulus, Shear Modulus, Poisson Ratio* dan densitas dari material komposit yang telah digabungkan.



Gambar 2. 15 Distribusi *Stress* pada *ACP Post*

2.12.3 Static Structural

Static Structural merupakan sebuah fitur pada ANSYS yang memiliki fungsi untuk menganalisa struktur dari suatu simulasi yang bersifat statis. Pada *static structural*, data yang dapat diinput untuk menjalankan simulasi adalah berupa gaya, *displacement* yang diinginkan, tekanan, *support* dan lain sebagainya. Sedangkan yang dapat dihasilkan dari fitur *static structural* adalah *total deformation*, *equivalent stress*, *composite failure tool*, *maximum shear* dan lain sebagainya.



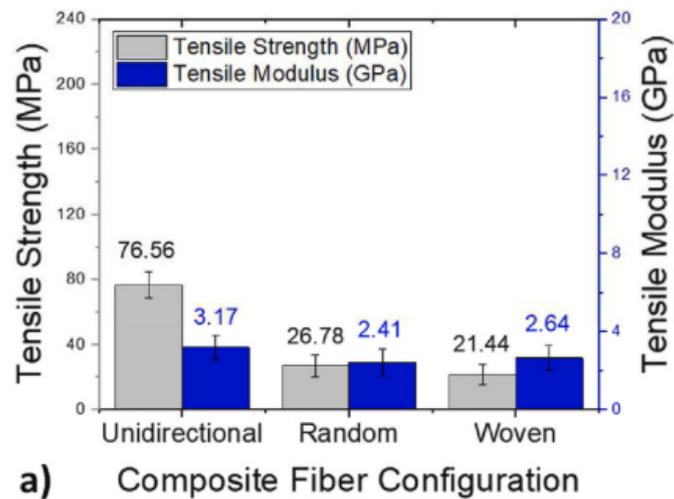
Gambar 2. 16 *Static Structural*

2.13 Tinjauan Pustaka

Penelitian pertama dilakukan oleh Jauhar Fajrin, Akmaluddin, dan Femiana Gapsari dengan judul “*Utilization of kenaf fiber waste as reinforced polymer composites*”. Penelitian ini membahas tentang analisa yang dilakukan terhadap eksperimen serat yang diambil dari tanaman kenaf. Serat kenaf didapatkan dengan cara dicuci dengan air hangat dan dikeringkan pada suhu ruangan selama 12 jam. Lalu serat kenaf yang sudah disiapkan akan diberikan perlakuan NaOH dengan tujuan untuk menghilangkan zat hemiselulosa dan lignin yang dimana dapat mengurangi kemampuan untuk mengikat dengan matriks. Perlakuan alkali NaOH juga meningkatkan kekasaran permukaan serat yang mengarah pada ekstensi ikatan hidrogen yang lebih tinggi dalam antarmuka matriks serat.

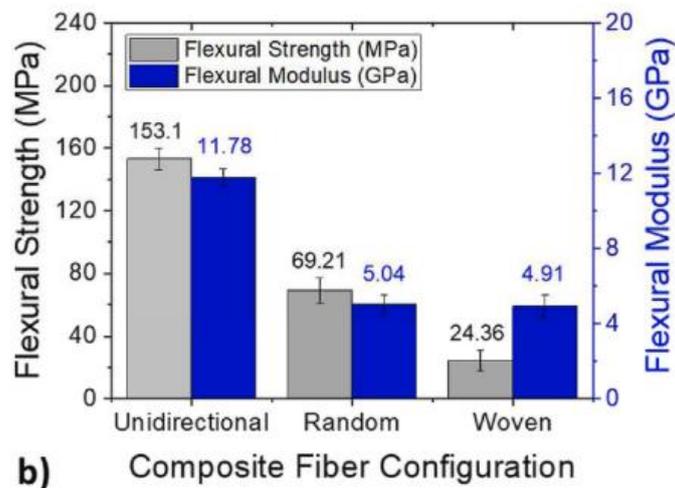
Penelitian dilakukan dengan melakukan variasi konfigurasi yaitu konfigurasi *Unidirectional*, *Random* dan *Woven*. Pada penelitian ini dilakukan pengujian material dengan

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. 17 Hasil Pengujian *Tensile* (Fajrin et al., 2022)

Berdasarkan hasil pengujian tensile yang telah dilakukan nilai kekuatan tarik dari ketiga variasi yang dilakukan terdapat perbedaan. Konfigurasi serat *Unidirectional* adalah 76,56 MPa, sedangkan komposit dengan konfigurasi serat *Random* dan *Woven* memiliki kekuatan tarik 26,78 MPa dan 21,44 MPa. Hasil modulus tarik dari pengujian tarik, spesimen konfigurasi *Unidirectional* menghasilkan komposit kekakuan yang lebih tinggi dengan modulus tarik rata-rata 3,18 GPa. Nilai ini sekitar 23,89% lebih tinggi dari modulus komposit konfigurasi serat *Random* dan 16,98% lebih tinggi dari modulus komposit konfigurasi serat *Woven*. Ini berarti bahwa modulus tarik konfigurasi serat *Random* dan *Woven* yang diperkuat serat masing-masing hanya 76,10% dan 83,02%, dibandingkan dengan konfigurasi serat *Unidirectional*.



Gambar 2. 18 Hasil Pengujian *Bending* (Fajrin et al., 2022)

Hasil uji kinerja kelenturan (*Bending*) spesimen dengan variasi konfigurasi serat. Konfigurasi serat *Unidirectional* memiliki kekuatan bending rata-rata 153,1 MPa. Hasil kekuatan bending dengan konfigurasi serat *Random* dan *Woven* adalah 69,21 MPa dan 24,36 MPa. Hasil modulus bending komposit yang diperkuat dengan konfigurasi serat *Unidirectional* memiliki modulus lentur tertinggi jika dibandingkan dengan hasil modulus bending dari

komposit diperkuat dengan konfigurasi serat *Woven* dan *Random* dengan hasil modulus bending sebesar 4,92 GPa dan 5,04 GPa.

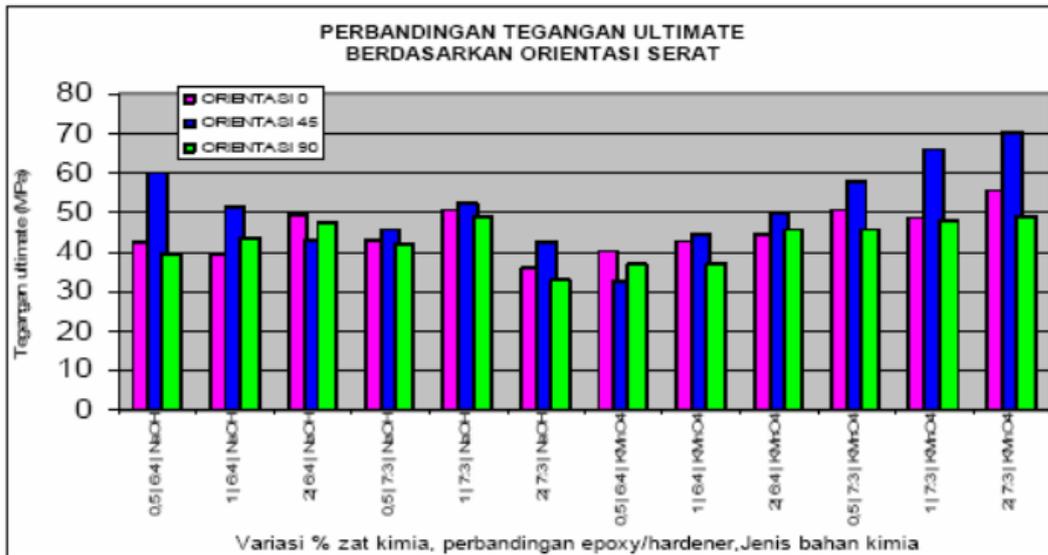
Penelitian kedua dilakukan oleh Reza Mahjoub, Jamaludin Mohamad Yatim, Abdul Rahman Mohd Sam, dan Mehdi Raftari dengan judul “*Characteristics of Continuous Unidirectional Kenaf Fiber Reinforced Epoxy Composite*”. Penelitian ini membahas mengenai Serat Kenaf yang digabungkan dengan matriks epoxy resin. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian *tensile* atau pengujian tarik dengan standarisasi ASTM D3039-08. Serat kenaf yang diuji memiliki konfigurasi serat dengan jenis *Unidirectional*. Pada penelitian ini, variasi yang digunakan adalah variasi fraksi volume serat kenaf dengan matriks epoxy resin dengan rentan fraksi volume 10%, 30% dan 40%.

Composite series	Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (GPa)	Elongation at break (%)	Poisson's ratio
Epoxy	22.2	2.131	1.042	0.39
KFRP-10	58	6.8	0.86	0.39
KFRP-30	124	14.4	0.86	0.37
KFRP-40	164	18.15	0.9	0.32

Gambar 2. 19 Hasil *Tensile Strength* (Mahjoub et al., 2014)

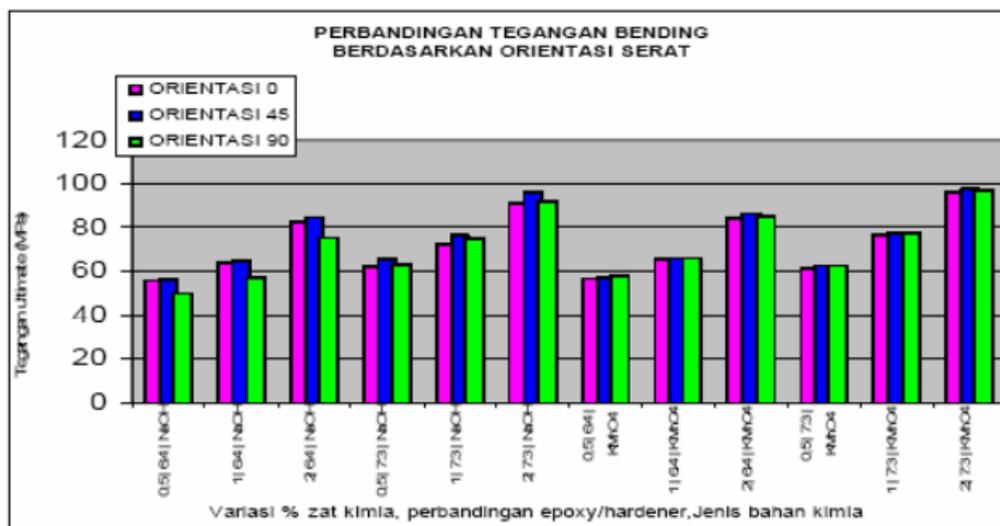
Berdasarkan hasil yang didapatkan dari pengujian, nilai tensile strength kenaf-epoxy resin memiliki titik maksimum pada fraksi volume 40% dengan nilai 164 MPa. Seiring pertambahan fraksi volume, nilai dari tensile strength mengalami penurunan setelah fraksi volume 40%. Hal ini dikarenakan peningkatan fraksi volume mengakibatkan banyaknya serat dibandingkan dengan matriks dan hal ini tentunya akan membuat material menjadi lebih kaku. Selanjutnya hasil dari tensile modulus terdapat pada gambar berikut ini. Maka dari itu dapat ditarik kesimpulan bahwa peningkatan fraksi volume akan mengakibatkan penurunan tensile strength namun dapat meningkatkan tensile modulus dari material tersebut.

Penelitian ketiga 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*” dimana penelitian ini melakukan pemanfaatan limbah serat tapis kelapa sebagai fase penguat pada komposit alami dengan matriks *epoxy 7120* dengan *hardener Versamid 140*. Tujuan dari adanya penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku perubahan sifat fisis dan juga mekanis dari *natural composite*. Variasi penelitian dilakukan pada perlakuan alkali, perbandingan antara *epoxy* dengan *hardener*, dan arah orientasi serat dimana perlakuan alkali yang dijadikan variasi adalah menggunakan NaOH dan KMnO₄ dengan persentase 0.5%, 1%, dan 2% berat lalu perbandingan *epoxy* dengan *hardener* yaitu 7:3 dan 6:4, serta orientasi serat yang digunakan adalah 0°, 45°, dan 90°. Pengujian dilakukan dengan dua jenis pengujian yaitu pengujian tarik dengan ASTM D3039 dan uji *three point bending* dengan standar ASTM D790.



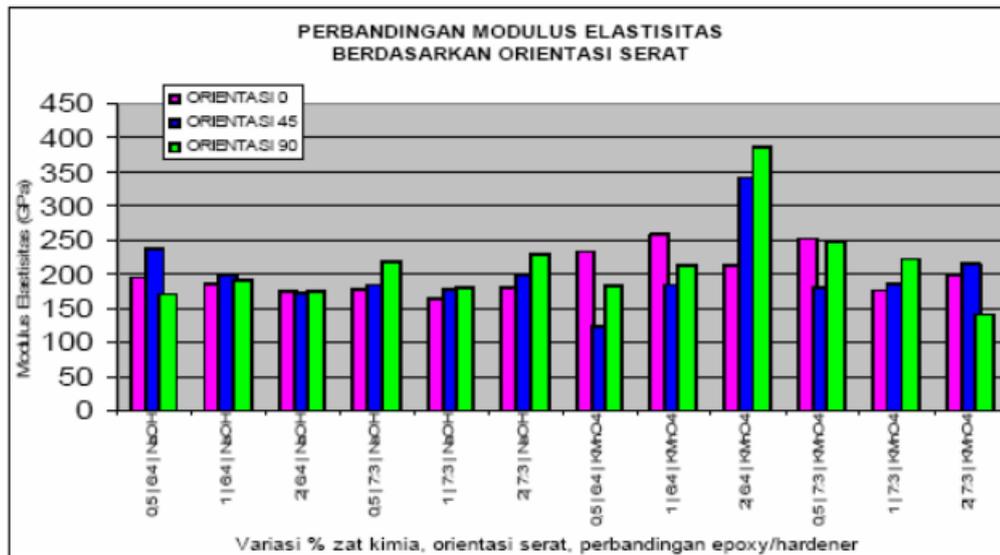
Gambar 2. 20 Grafik Perbandingan Tegangan *Ultimate* (Lokantara & Suardana, 2012)

Grafik diatas merupakan perbandingan tegangan *ultimate*, memperlihatkan bentuk tren yang cukup menarik. Hasil dari perlakuan NaOH mengalami tren penurunan sedangkan perlakuan alkali KMnO₄ memiliki tren kenaikan dengan bertambahnya konsentrasi alkali. Hasil yang dimiliki dari pengujian, tegangan ultimate tertinggi dicapai oleh spesimen dengan rasio epoxy dan hardener 7:3 dengan perlakuan alkali 2% KMnO₄ 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. 21 Grafik Perbandingan Tegangan Bending (Lokantara & Suardana, 2012)

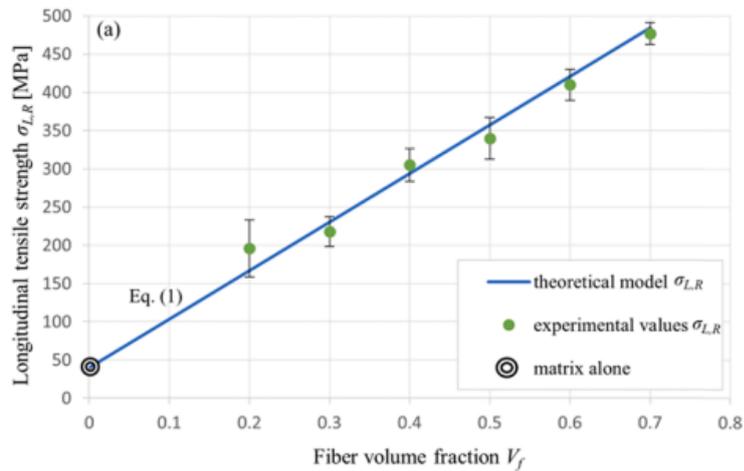
Lalu pada grafik perbandingan tegangan *bending*, memperlihatkan tren yang cenderung naik bagi semua specimen dengan perlakuan variasi alkali. Hasil tertinggi dicapai oleh spesimen dengan rasio epoxy dan hardener 7:3 dengan perlakuan KMnO₄ dengan perlakuan alkali 2% KMnO₄ sebesar 97.81 MPa dengan orientasi 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. 22 Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas (Lokantara & Suardana, 2012)

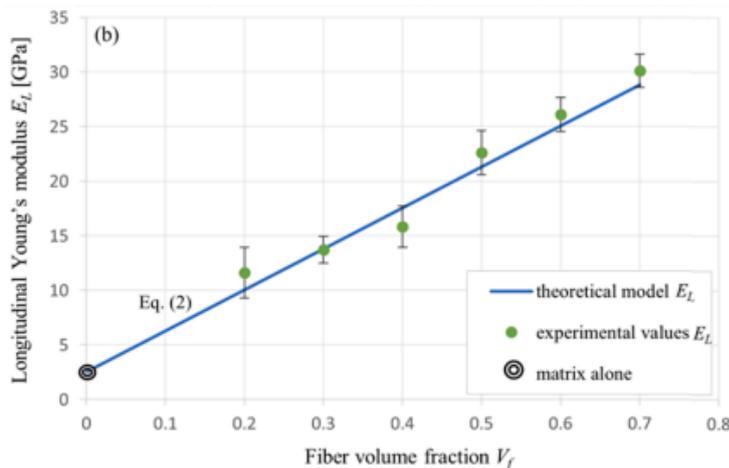
Lalu pada grafik perbandingan modulus elastisitas, memperlihatkan tren yang cukup fluktuatif. Tren mengalami kenaikan ketika perlakuan alkali menggunakan KMnO_4 . Hasil tertinggi dicapai oleh spesimen dengan rasio epoxy dan hardener 6:4 dengan perlakuan KMnO_4 dengan perlakuan alkali 0.5% KMnO_4 sebesar 385.48 GPa dengan orientasi serat 90° . Lalu hasil dari spesimen dengan perlakuan alkali NaOH memiliki hasil maksimal pada 95 MPa dengan rasio antara epoxy dengan hardener 7:3 dengan alkali 2% NaOH dan orientasi serat 45° .

Penelitian keempat dilakukan oleh Bernado Zucarello, Carmello Militello, dan Francesco Bongiorno dengan judul “*Influence of the anisotropy of sisal fibers on the mechanical properties of high performance unidirectional biocomposite lamina and micromechanical models*”. Penelitian ini dilakukan terhadap serat Sisal sebagai penguat di dalam matriks *green resin* dan mengevaluasi properti mekanis dari komposit. Penelitian ini melakukan variasi berupa fraksi volume dari 20% sampai 70% dengan menggunakan lima specimen. Penelitian ini melakukan analisis dari perilaku anisotropik yang dimiliki oleh 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 yaitu pembebanan tarik longitudinal, pembebanan tarik transversal, pembebanan geser, pembebanan tekan longitudinal dan pembebanan tekan transversal. Untuk setiap kondisi pembebanan lima specimen telah digunakan untuk setiap fraksi volume serat yang dipertimbangkan. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini dimulai dari *Longitudinal Tensile Strength* dimana dari eksperimen yang dilakukan, nilai *Longitudinal Tensile Strength* meningkat seiring dengan pertambahan fraksi volume.



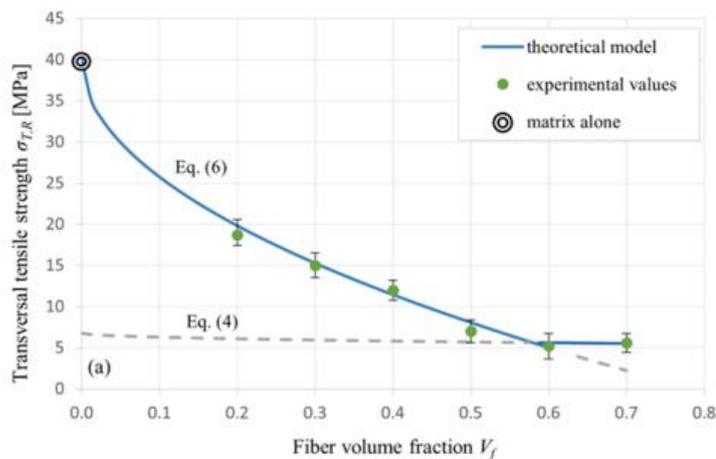
Gambar 2. 23 Grafik Longitudinal Tensile Strength (Zuccarello et al., 2021)

Hasil eksperimen yang dilakukan mendekati dengan pendekatan perhitungan tangan secara teoritis. 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. Selanjutnya hasil dari *Longitudinal Young Modulus* juga menunjukkan trend yang sama dengan *Longitudinal Tensile Strength* dimana hasil young modulus akan meningkat seiring dengan penambahan fraksi volume.



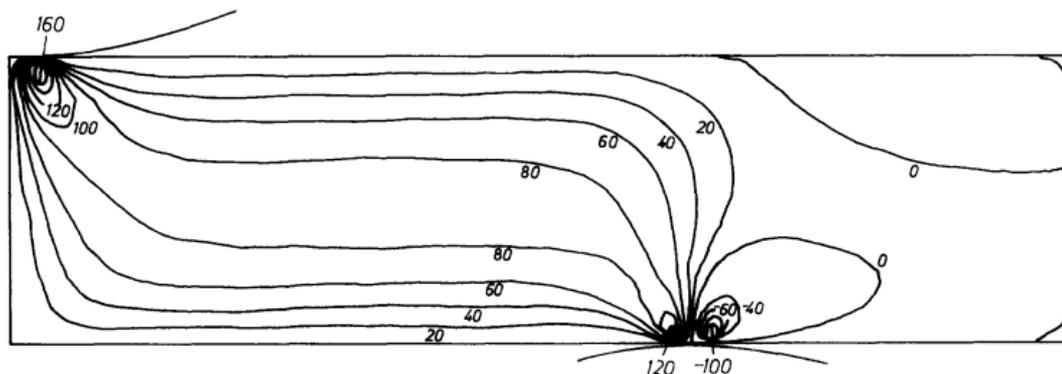
Gambar 2. 24 Grafik Longitudinal Young's Modulus (Zuccarello et al., 2021)

Hasil selanjutnya yang didapatkan adalah Transversal Tensile Strength, dimana hasilnya merupakan kebalikan dari Longitudinal Tensile Strength. Seiring penambahan fraksi volume terdapat penurunan nilai *Transversal tensile strength* dengan pembebanan tarik. Hal ini terjadi kerusakan serat yang terbelah karena besarnya stress ke arah transversal.

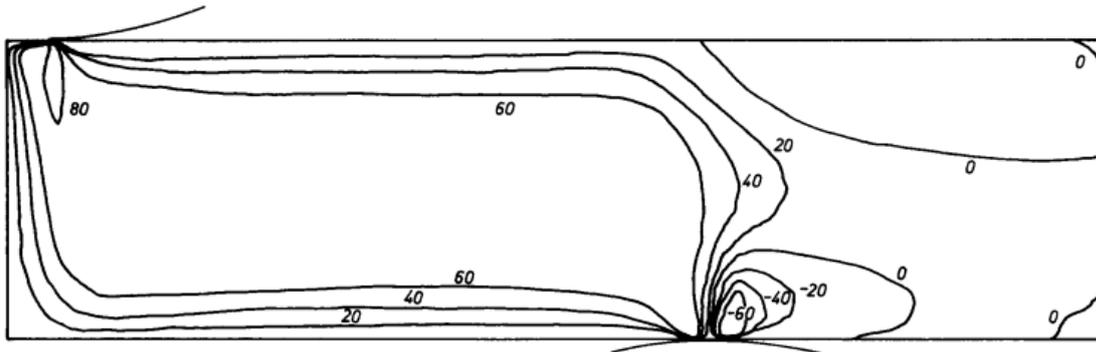


Gambar 2. 25 Grafik *Transversal Tensile Strength* (Zuccarello et al., 2021)

Penelitian selanjutnya dilakukan Wei Cheng Cui dan Michael R. Wisnom dengan judul “*Contact Finite Element Analysis of Three- and Four-Point Short-Beam Bending of Unidirectional*”. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian *three point bending* dan *four point bending* pada material *glass-fibre/epoxy* untuk melihat distribusi dari *shear stress* yang terjadi pada kedua metode pengujian *flexural* yang dilakukan. Distribusi dari *shear stress* yang terjadi pada kedua jenis metode pengujian ini memiliki perbedaan yang signifikan dikarenakan kerusakan yang terjadi pada metode pengujian *three point bending* memiliki perbedaan terutama pada bagian roller penekan dimana kerusakan yang terjadi sebelum *interlaminar shear failure* atau tegangan geser antar lamina. Hal ini terjadi dikarenakan tegangan *compressive* yang tinggi membuat material menjadi gagal. Maka dari itu dibutuhkannya pengujian *four point bending* untuk mengukur *interlaminar shear strength* dari material komposit. Penelitian ini dilakukan menggunakan aplikasi ABAQUS. Pengujian ini juga melihat dampak dari ukuran roller yang digunakan pada saat pengujian *three point bending* dan *four point bending*.



Gambar 2. 26 Hasil Distribusi *Shear Stress* pada pengujian *Three Point Bending* untuk *Linear Material* (Cui & Wisnom, 1992)



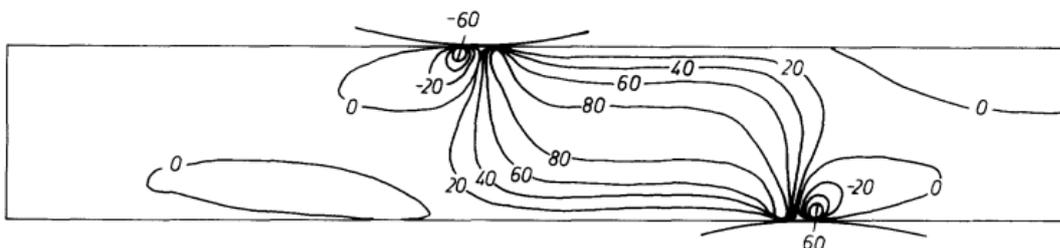
Gambar 2. 27 Hasil Distribusi *Shear Stress* pada pengujian *Three Point Bending* untuk Non *Linear Material* (Cui & Wisnom, 1992)

Dari gambar diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa *shear stress* yang terjadi pada pengujian *three point bending* terjadi pada bagian midspan specimen yang digunakan *compressive stress* yang terjadi sangat besar sehingga *shear stress* pun terjadi. Hal ini pun mengakibatkan kerusakan pada specimen yang diujikan. Ukuran diameter dari roller juga memberikan dampak yang cukup signifikan, berikut ini adalah tabel hasil dari variasi ukuran diameter roller.

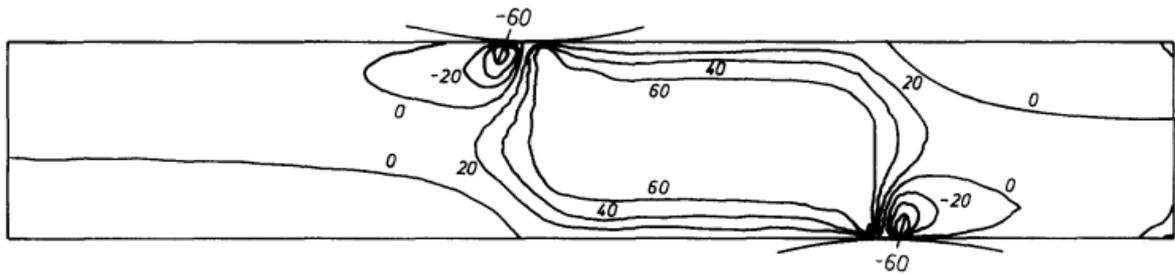
Roller diameter (mm)	σ_x^{\max} (MPa)	σ_x^{\min} (MPa)	σ_z^{\min} (MPa)	τ_{xz}^{\max} (MPa)
6	904	-2 113	-786	230
10	893	-1 792	-606	178
20	866	-1 437	-418	127

Gambar 2. 28 Hasil Pengujian *Three Point Bending* Menggunakan Ukuran Roller yang Berbeda (Cui & Wisnom, 1992)

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa semakin besar ukuran roller yang digunakan maka nilai tegangan yang terjadi pada specimen yang diujikan akan semakin mengecil dan untuk mendapatkan nilai dari *interlaminar shear stress* maka ukuran diameter yang digunakan harus sebesar mungkin sehingga dapat menghindari *compressive failure*.



Gambar 2. 29 Hasil Distribusi *Shear Stress* pada pengujian *Four Point Bending* untuk *Linear Material* (Cui & Wisnom, 1992)



Gambar 2. 30 Hasil Distribusi *Shear Stress* pada pengujian *Four Point Bending* untuk Non Linear Material (Cui & Wisnom, 1992)

Dari hasil yang didapatkan dari pengujian *four point bending* maka dapat dilihat bahwa distribusi *shear stress* yang terjadi pada specimen berada pada bagian setelah roller penekan. Perbandingan dari hasil pengujian dengan kedua metode yang digunakan terdapat pada tabel berikut ini.

Case	σ_x^{\max} (MPa)	σ_x^{\min} (MPa)	σ_z^{\min} (MPa)	τ_{xz}^{\max} (MPa)
Three-point linear	866	-1 437	-418	127
Four-point linear	688	-1 149	-330	101
Difference (%)	-21	-20	-21	-20
Three-point nonlinear	1 015	-1 491	-407	81
Four-point nonlinear	788	-1 207	-315	78
Difference (%)	-22	-19	-23	-4

Gambar 2. 31 Perbandingan Hasil Pengujian *Three Point Bending* dengan *Four Point Bending* (Cui & Wisnom, 1992)

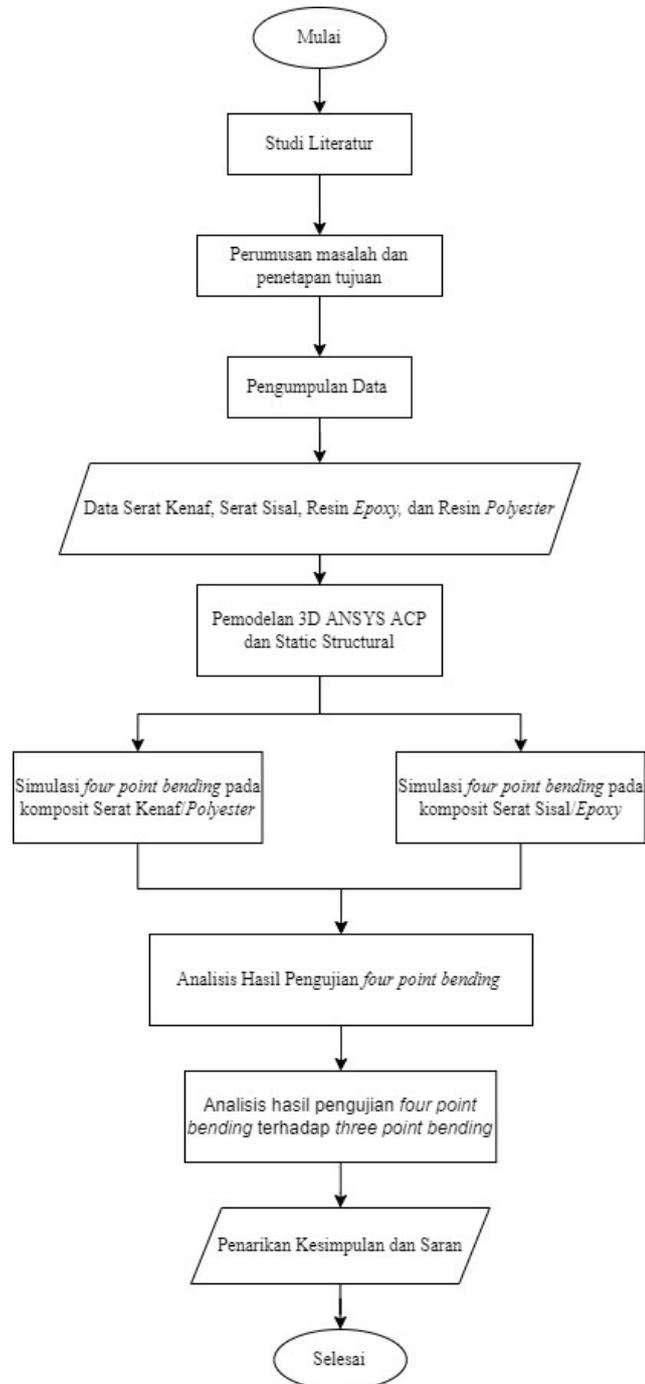
Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa pengujian *four point bending* dapat mengurangi tegangan yang terjadi pada specimen seperti *compressive stress* dan juga *transverse stress* yang dimana merupakan kebalikan dari *three point bending* dimana tegangan *compressive* dan *transverse* yang terjadi sangat besar. Penggunaan ukuran roller yang lebih besar dapat mereduksi tegangan yang terjadi pada metode pengujian *three point bending* sehingga dapat menghindari kerusakan specimen sebelum *interlaminar shear stress* terjadi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

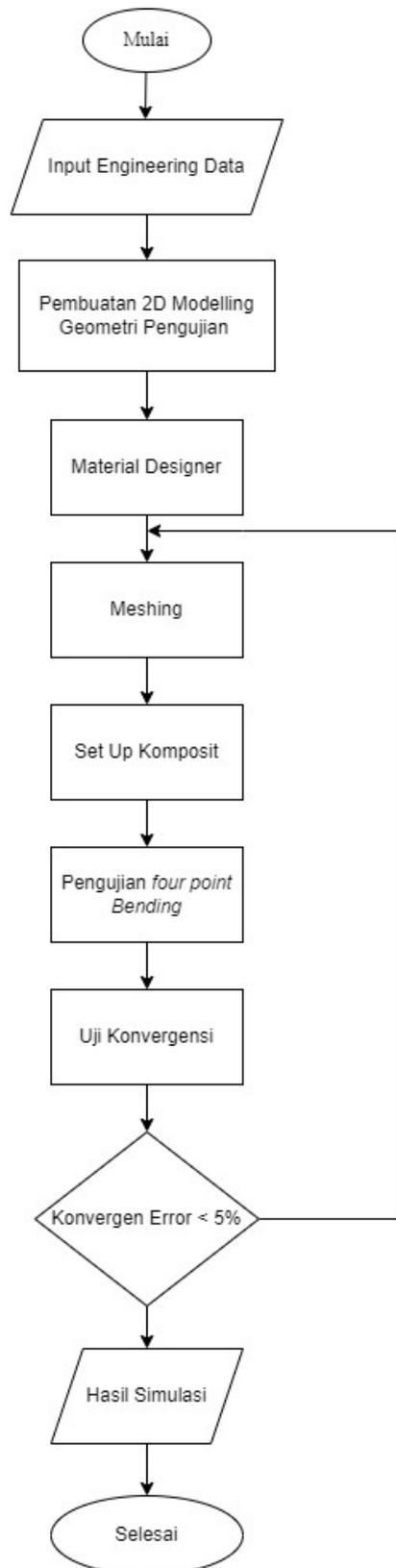
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alur Penelitian

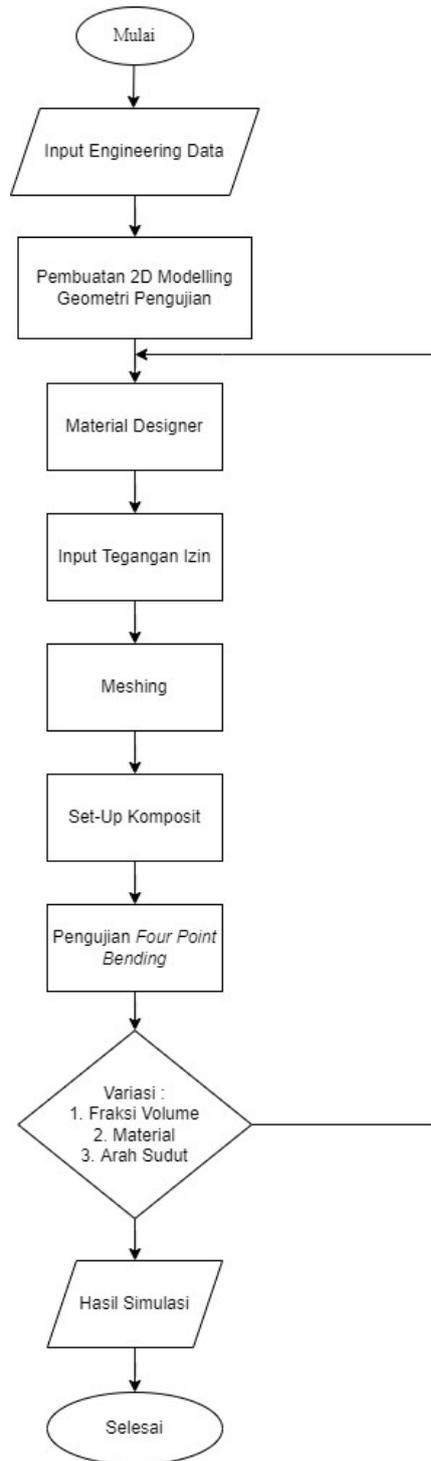
Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram flowchart yang terdapat pada gambar berikut ini:



Gambar 3. 1 *Flowchart* Penelitian



Gambar 3. 2 Flowchart Simulasi



Gambar 3. 3 Flowchart Simulasi *Four Point Bending*

3.2 Identifikasi Masalah

Penelitian ini dilakukan untuk mengatasi latar belakang yang ada yaitu untuk mencari material baru yang ramah lingkungan guna menggantikan material yang sudah digunakan dan memiliki dampak buruk untuk lingkungan. Maka dari itu, penelitian ini memiliki tujuan untuk menguji apakah material yang berasal dari alam seperti serat sisal dan serat kenaf memiliki *mechanical properties* yang cukup untuk dapat digunakan untuk menggantikan material yang tidak ramah lingkungan.

Masalah yang akan dianalisa pada penelitian kali ini merupakan dampak dari variasi fraksi volume antara Serat Sisal dan Serat Kenaf dengan Matriks yang digunakan pada pengujian ini yaitu *Epoxy-Resin* dan *Polyester-Resin*. Variasi fraksi volume serat terhadap matriks berkisar dari 15%-70% untuk komposit sisal/epoxy resin dan 20-70% untuk komposit kenaf/polyester resin. Pada struktur dari komposit juga diberikan variasi orientasi sudut yang akan tertera pada bagian variasi penelitian dimana orientasi sudut yang akan diberikan akan berbeda-beda pada setiap lembarannya dan akan berjumlah lima lembar setiap tumpukannya, setiap lembar komposit akan memiliki ketebalan 0,16mm dan akan terdapat lima tumpukan lembar komposit agar mencapai ketebalan specimen sebesar 4 mm. Untuk mendapatkan nilai dari *mechanical properties* serat komposit yang dicari maka pada penelitian ini akan menggunakan metode pengujian *fourpoint bending* dengan pembebanan yang diberikan pada plat yang akan menekan *roller*. Pembebanan yang akan diberikan pada plat akan berupa gaya hingga specimen mengalami kegagalan.

Terdapat dua jenis serat yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu serat kenaf dan serat *sisal* atau serat kelapa. Serat kenaf yang digunakan diberikan perlakuan alkali sebesar 8% dan alkali yang digunakan adalah NaOH. Serat sisal yang digunakan adalah tanpa perlakuan.. Setelah serat, matriks yang akan digunakan pada pengujian ini adalah *epoxy-resin* dimana matriks ini masuk kedalam jenis matriks polimer thermoset. Matriks merupakan campuran pada serat yang akan diuji dimana matriks *epoxy-resin* akan dicampurkan kedalam serat guna memperkuat *mechanical properties* dari serat tersebut. Berikut ini adalah nilai dari *mechanical properties* serat kenaf, serat *sisal*, dan matriks *epoxy-resin* dan *polyester resin*.

Tabel 3. 1 *Mechanical Properties* Serat Kenaf

Kenaf (8% NaOH)		
<i>Properties</i>		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 *Mechanical Properties* Serat Sisal

Sisal		
<i>Properties</i>		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)	2500	ANSYS

Tabel 3. 3 *Mechanical Properties* Matriks *Epoxy-Resin*

<i>Epoxy-Resin</i>		
<i>Properties</i>		Referensi
Density (g/cm ³)	1.16	ANSYS
Tensile Strength (MPa)	80	(M.Daniel & Ishai, 2006)
Young Modulus (GPa)	3.4	(M.Daniel & Ishai, 2006)

Poisson's Ratio	0.36	(M.Daniel & Ishai, 2006)
Shear Modulus (GPa)	1.25	ANSYS

Tabel 3.4 *Mechanical Properties* Matriks Polyester-Resin

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

Hasil yang akan diamati pada penelitian ini adalah total deformasi yang dialami oleh kedua jenis komposit yang digunakan, nilai *Flexural Properties* yang dihasilkan berupa *Flexural Stress*, *Shear Stress*, *Total Deformation*, *Flexural Modulus*, dan *Flexural Strain*. Hasil tersebut akan diambil dengan pembebanan yang akan diberikan pada material dengan variasi dari fraksi volume pada specimen yang diujikan. Ukuran dari specimen yang digunakan mengikuti standarisasi ASTM D6272.

3.3 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan melakukan pendalaman ilmu yang diambil dari buku, dan berbagai jurnal ilmiah yang memiliki hubungan dalam pengujian *Fourpoint Bending* terhadap material komposit apapun yang diuji. Buku yang digunakan adalah *Engineering Mechanics Of Composite Materials* (M.Daniel & Ishai, 2006) dan *Composite Structures: Design, Mechanics, Analysis, Manufacturing, and Testing* (Kumar, 2017). Lalu jurnal yang digunakan sebagai studi literatur adalah *Aplikasi Serat Sisal sebagai Komposit Polimer* (Kusumastuti, 2009), *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 & Suardana, 2012), *Influence of the Anisotropy of Sisal Fibers on the Mechanical Properties of High Performance Unidirectional Biocomposite Lamina and Micromechanical Models, Characteristics of Continuous Unidirectional Kenaf Fiber Reinforced Epoxy Composites* (Mahjoub et al., 2014), dan *Tensile and Flexural Properties of Sisal Fibre Reinforced Epoxy Composite: A Comparison between Unidirectional and Mat form of Fibres* (Gupta & Srivastava, 2014)

3.4 Variasi Penelitian

Untuk melakukan penelitian ini maka akan diperlukannya variasi yang dimana variasi tersebut akan dijadikan dasaran untuk menyimpulkan kekuatan dari komposit yang digunakan terhadap komposisi dari Serat dan juga Matriks yang digunakan. Salah satu variasi yang akan digunakan pada penelitian kali ini adalah variasi terhadap fraksi volume antara Serat yang digunakan dengan Matriks yang dicampurkan menjadi satu komponen material. Setelah itu akan dilakukan variasi arah sudut orientasi untuk mendapatkan arah sudut orientasi yang

maksimal. Pada tabel berikut ini akan ditunjukkan variasi fraksi volume yang akan dilakukan pada penelitian kali ini:

Tabel 3. 5 Variasi Fraksi Volume Serat Kenaf

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

Tabel 3. 6 Variasi Fraksi Volume Serat Sisal

Variasi Fraksi Volume Serat Komposit		
No	Lapisan	Fraksi Volume
1	<i>Sisal Fiber/Epoxy Resin</i>	15%
2	<i>Sisal Fiber/Epoxy Resin</i>	20%
3	<i>Sisal Fiber/Epoxy Resin</i>	30%
4	<i>Sisal Fiber/Epoxy Resin</i>	40%
5	<i>Sisal Fiber/Epoxy Resin</i>	50%
6	<i>Sisal Fiber/Epoxy Resin</i>	60%
7	<i>Sisal Fiber/Epoxy Resin</i>	70%

Pada penyusunan dari struktur komposit yang akan diuji, akan dilakukan pencampuran antara serat dengan matriks dimana pada penelitian akan dilakukan pencampuran antara Serat Kenaf dengan Matriks Polyester Resin dan Serat Sisal dengan Matriks *Epoxy-Resin*. Serat dengan matriks yang digunakan akan disusun dalam bentuk lamina. Pada tahap pertama yaitu dilakukan variasi fraksi volume untuk mencapai variasi fraksi volume serat terbaik. Setelah itu dilanjutkan dengan variasi arah orientasi serat untuk mendapatkan kombinasi arah serat yang optimal. Maka akan lebih baik jika mengetahui sudut orientasi yang terbaik pada campuran serat dan matriks. Pada penelitian ini, sudut yang digunakan untuk konfigurasi arah serat pada setiap tumpukan dapat diperhatikan pada tabel berikut ini:

Tabel 3. 7 Konfigurasi Variasi Arah Komposit Serat Kenaf

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

Tabel 3. 8 Konfigurasi Variasi Arah Komposit Serat Sisal

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

3.5 Modelling

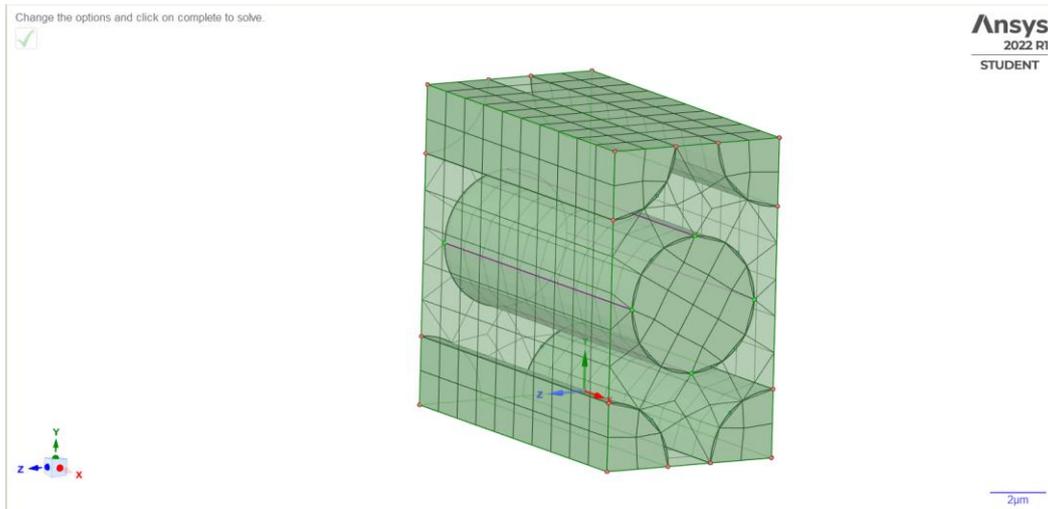
Pemodelan yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan dengan *software ANSYS Design Modeler* dan *ANSYS ACP*. Dimana ukuran specimen yang akan digunakan mengikuti standarisasi dimensi beam ASTM D6272 sebagai standar pengujian untuk material bahan komposit sisal/epoxy resin yaitu 80 x 13 x 3 mm dan untuk material bahan komposit kenaf/polyester resin yaitu 150 x 25,4 x 6 mm. Lalu pemodelan juga dilakukan pada *roller* penekan dan *support* yang mempunyai ukuran diameter 6 mm.

3.6 Simulasi *Four Point Bending* untuk Serat Kenaf dan Serat Sisal

Simulasi pengujian *Four Point Bending* dilakukan untuk mengetahui dampak dari variasi arah orientasi sudut komposit serat Kenaf dan serat Sisal menggunakan matriks *epoxy resin* dan *polyester resin*. Setelah mendapatkan variasi dari fraksi volume antara serat terbaik lalu dicari variasi arah orientasi sudut serat yang optimum untuk komposit serat kenaf dan sisal dengan matriks *epoxy resin* dan *polyester resin*.

3.6.1 Material Designer

Tahapan awal untuk melakukan simulasi pada penelitian ini adalah menggabungkan serat kenaf dan serat sisal dengan matriks *epoxy resin* dan *polyester resin*. Penggabungan ini dilakukan untuk menciptakan suatu komposit agar ketika simulasi dilakukan, material yang diujikan sudah membentuk satu kesatuan. Penggabungan serat dengan matriks ini juga berguna untuk mendapatkan nilai *mechanical properties* dari campuran kedua material yang digunakan. Penggunaan *material designer* pada mulanya adalah dengan memasukan jenis serat dan matriks yang akan digabungkan. Setelah itu, menentukan tipe geometri dari susunan serat dan matriks yang digunakan dimana terdapat beberapa tipe yaitu *square*, *diamond*, dan *hexagonal*. Pada simulasi ini, tipe geometri yang digunakan adalah *hexagonal*. Setelah itu memasukan nilai fraksi volume yang akan digunakan pada simulasi.



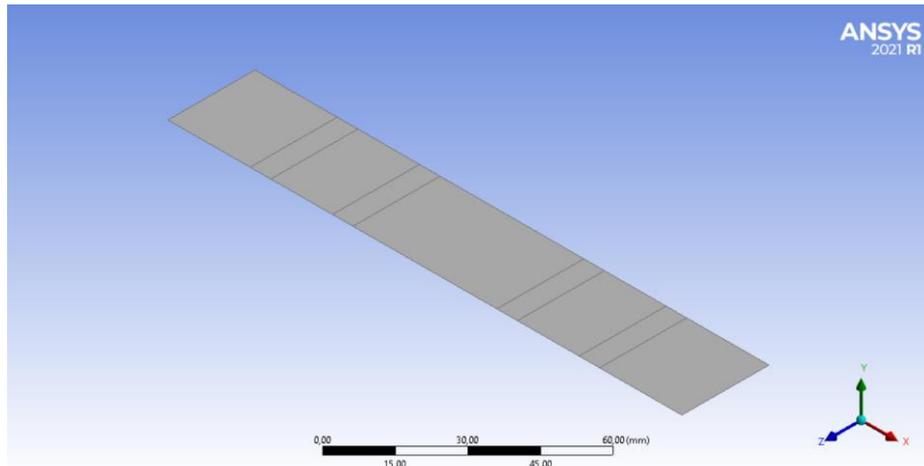
Gambar 3. 4 Hasil dari Gabungan Serat dan Matriks

Tabel 3. 9 Data Properti Komposit Serat Kenaf-Polyester Resin

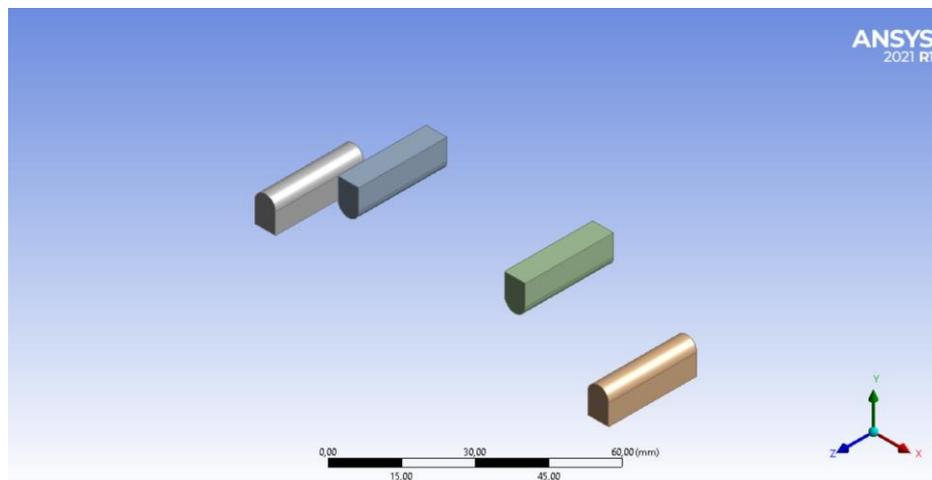
E1	4541,5	MPa
E2	4089,3	MPa
E3	4089,3	MPa
G12	1526,2	MPa
G23	1502,8	MPa
G31	1526,2	MPa
Nu12	0,34148	
Nu13	0,36056	
Nu23	0,34149	

3.6.2 Pembentukan Geometri

Pada tahap pembentukan geometri yang akan digunakan pada simulasi *four point bending*, tahap pertama adalah membentuk geometri dari specimen dan juga roller penekan dan roller support. Pembentukan geometri dilakukan menggunakan 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.



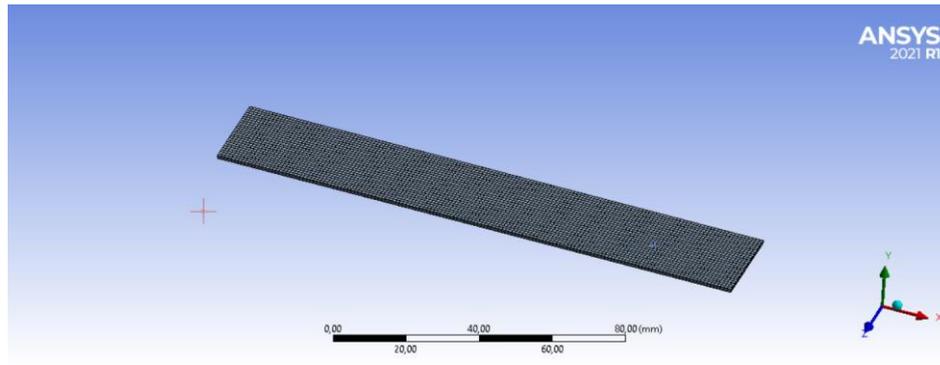
Gambar 3. 5 Pembentukan Specimen Komposit



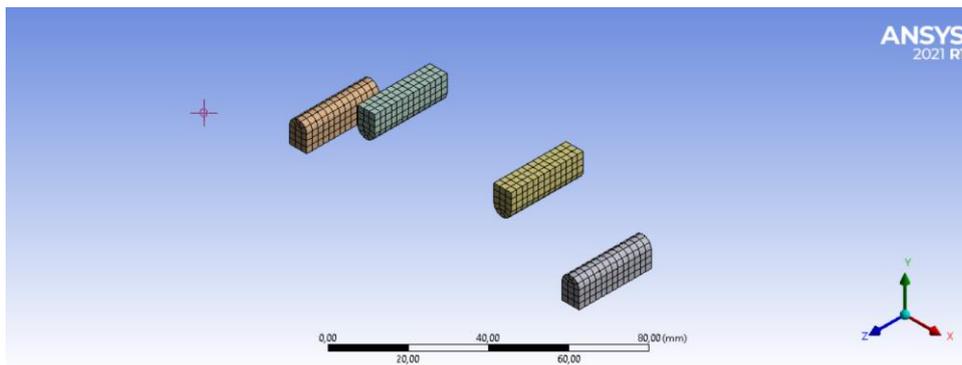
Gambar 3. 6 Pembentukan Roller Penekan dan Roller Support

3.6.3 Meshing

Meshing merupakan tahapan yang membagi model 3D menjadi model diskrit atau *nodes* yang dimana hal ini merupakan inti dari metode elemen hingga. Elemen *meshing* yang digunakan mempengaruhi hasil dari simulasi yang akan dilakukan, jika ukuran *meshing* semakin kecil maka hasil *meshing* akan semakin kecil dan juga akan lebih *detail*. Pada pengujian ini akan dilakukan uji konvergensi untuk menentukan ukuran *meshing* yang akan digunakan pada simulasi. Setelah melakukan uji konvergensi maka dapat disimpulkan bahwa ukuran *meshing* yang akan digunakan pada simulasi ini adalah 1 mm untuk specimen komposit dikarenakan memiliki nilai *error* paling kecil dan memiliki waktu dari simulasi yang tidak terlalu lama. Sedangkan untuk roller dan juga plat penekan memiliki nilai *meshing* standar dari ANSYS.



Gambar 3. 7 Meshing Specimen Komposit



Gambar 3. 8 Meshing Roller

Kualitas yang dimiliki oleh *meshing* yang digunakan dapat ditentukan dengan *orthogonal quality*. Penentuan dilakukan dengan melihat *parameter* dari *orthogonal quality*.

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Skewness	Default (0.900000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Orthogonal Quality
<input type="checkbox"/> Min	0,99936
<input type="checkbox"/> Max	1,
<input type="checkbox"/> Average	0,99994
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	7,901e-005

Gambar 3. 9 Orthogonal Quality

Skewness mesh metrics spectrum					
Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00
Orthogonal Quality mesh metrics spectrum					
Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

Gambar 3. 10 Spektrum Warna Mesh Quality

Jika dilihat dari nilai minimum *orthogonal quality* yang telah didapatkan sebesar 0,99936 dan nilai rata-rata dari *orthogonal quality* sebesar 0,99994 maka dapat disimpulkan

bahwa nilai dari *meshing* yang digunakan berada pada titik *excellent* atau dianggap hasil *meshing* sudah sangat baik. Untuk kualitas *meshing* berdasarkan parameter *skewness* mendapatkan hasil sebesar 0,005986. Hasil tersebut sudah masuk dalam kategori *excellent* pada kualitas *skewness*.

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Skewness	Default (0.900000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/> Min	1,3059e-010
<input type="checkbox"/> Max	2,4169e-002
<input type="checkbox"/> Average	5,9586e-003
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	4,9898e-003

Gambar 3. 11 *Skewness* pada Specimen

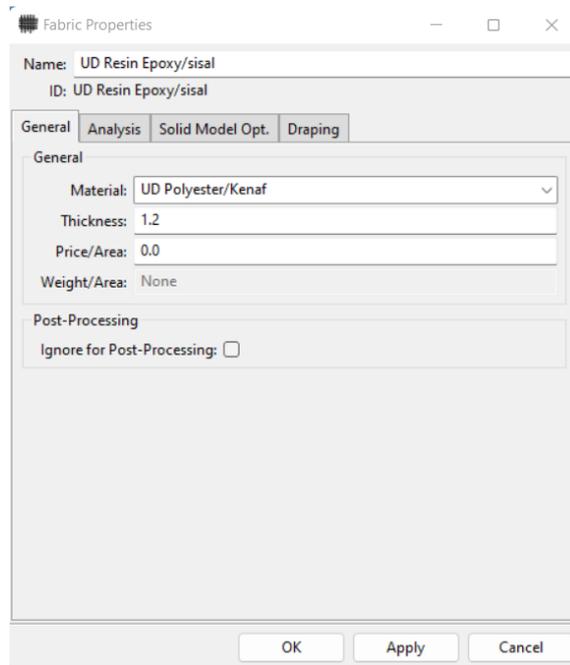
3.6.4 ACP Pre

ACP Pre merupakan Langkah selanjutnya untuk melanjutkan simulasi. Pada ACP Pre akan dilakukan pembentukan struktur dari komposit mulai dari pemilihan material yang akan digunakan pada specimen, ketebalan antar tumpukan komposit, arah orientasi sudut dari setiap lembaran komposit, menentukan arah tumpukan komposit, dan lain sebagainya. Langkah awal yang akan dilakukan pada ACP Pre adalah menentukan material yang akan digunakan pada specimen yang telah dibentuk dan menginput *mechanical properties* dari material yang akan digunakan pada *Engineering Data*. Pada *engineering data*, sebagian besar *mechanical properties* didapatkan dari hasil *material designer*.

Property	Value	Unit
Orthotropic Elasticity		
Young's Modulus X direction	4841,3	MPa
Young's Modulus Y direction	4899,3	MPa
Young's Modulus Z direction	4899,3	MPa
Poisson's Ratio XY	0,34148	
Poisson's Ratio XZ	0,30056	
Poisson's Ratio YZ	0,34149	
Shear Modulus XY	1526,2	MPa
Shear Modulus XZ	1522,8	MPa
Shear Modulus YZ	1526,2	MPa
Orthotropic Stress Limits		
Tensile X direction	53,03	MPa
Tensile Y direction	53,27	MPa
Tensile Z direction	53,27	MPa
Compressive X direction	-20,35	MPa
Compressive Y direction	-24,35	MPa
Compressive Z direction	-24,35	MPa
Shear XZ	49,87	MPa
Shear XY	23,83	MPa
Shear YZ	49,87	MPa
Shear Viscosity Constants		
Coupling Coefficient X1	-1	
Coupling Coefficient X2	-1	
Coupling Coefficient X3	-1	
Plz Type		
Type	Regular	

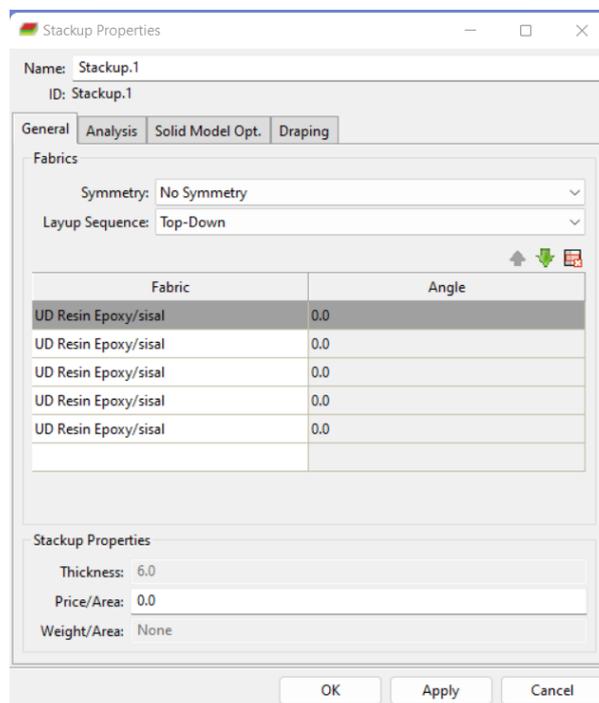
Gambar 3. 12 Menginput *Mechanical Properties*

Penentuan material dilakukan sembari memberikan ukuran ketebalan dari setiap lembar komposit



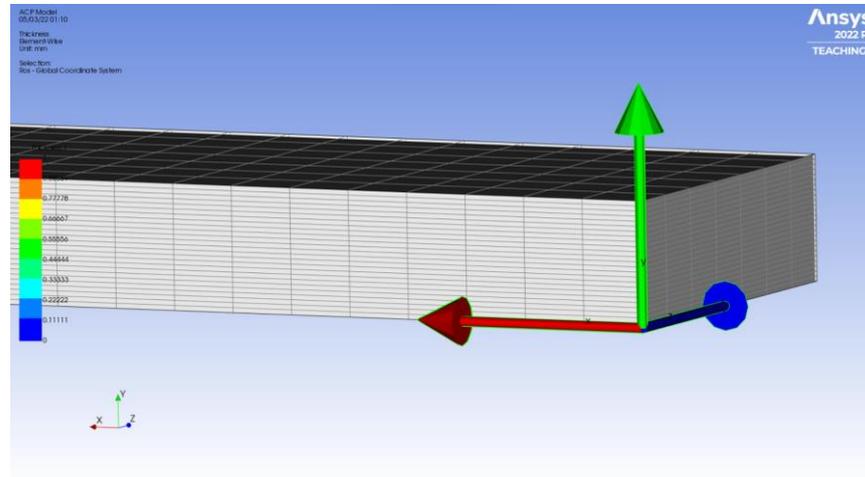
Gambar 3. 13 Penentuan Material dan Ketebalan Lembar Komposit pada ACP Pre

Langkah berikutnya adalah menentukan berapa lembar komposit per satu tumpukan yang dibutuhkan pada komposit yang akan diuji sembari menentukan juga arah sudut orientasi dari setiap lembar komposit. Arah sudut orientasi yang akan digunakan sebagai salah satu variasi untuk menentukan arah sudut orientasi terbaik yang akan digunakan pada pengujian komposit. Untuk arah sudut yang akan digunakan terdapat pada variasi penelitian guna mendapatkan arah sudut orientasi yang terbaik.



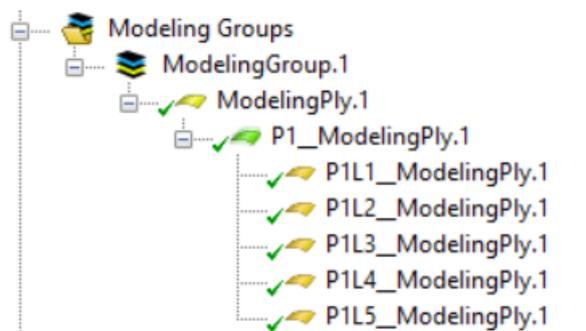
Gambar 3. 14 Penentuan Jumlah Lembar dan Arah Orientasi Sudut

Penentuan arah dari tumpukan komposit atau dapat disebut juga sebagai penentuan *Rosettes* menjadi suatu factor penting dalam melakukan simulasi. Arah tumpukan yang akan digunakan pada pengujian ini adalah mengarah pada sumbu Y dikarenakan gaya yang akan diberikan ketika simulasi akan mengarah secara vertikal atau ke arah sumbu Y.



Gambar 3. 15 Arah Tumpukan Komposit

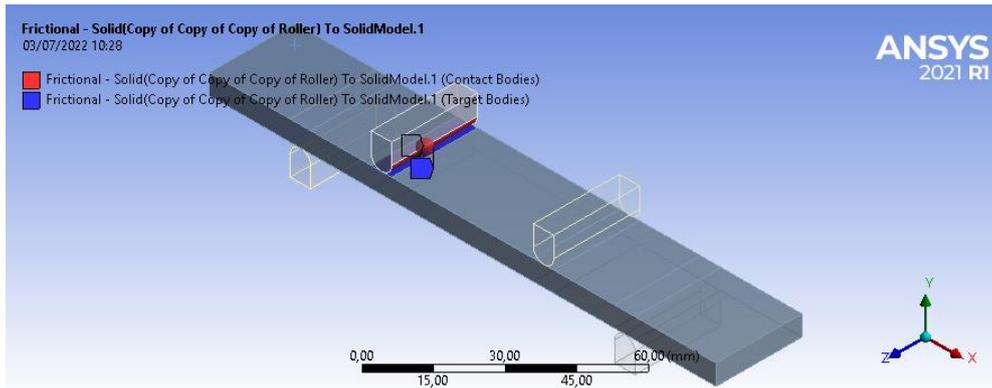
Selanjutnya, untuk dapat memasukan jumlah dari tumpukan komposit maka diperlukan adanya penggunaan *modelling groups*. Pada simulasi ini akan digunakan jumlah tumpukan komposit sebesar lima tumpukan agar mencapai ketebalan specimen sebesar 4mm.



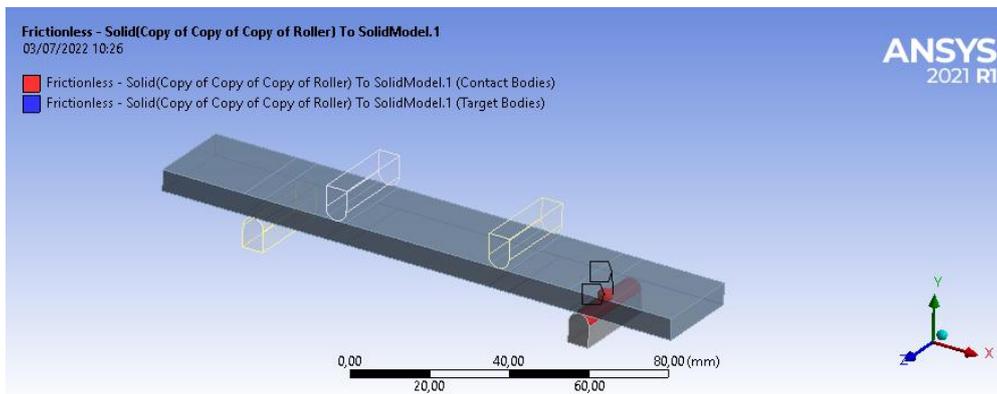
Gambar 3. 16 *Modelling Groups*

3.6.5 Static Structural

Tahapan *static structural* merupakan tahapan dimana simulasi dilakukan. Tahapan ini diperlukan untuk menentukan arah gaya, jenis *displacement* yang akan digunakan, jenis *contact* antar komponen pengujian seperti roller pada plat dan specimen, mengatur besar kecilnya gaya yang akan diberikan dan untuk menentukan output yang diinginkan pada simulasi. Langkah awal yang dilakukan adalah menentukan jenis *contact* antara setiap komponen.

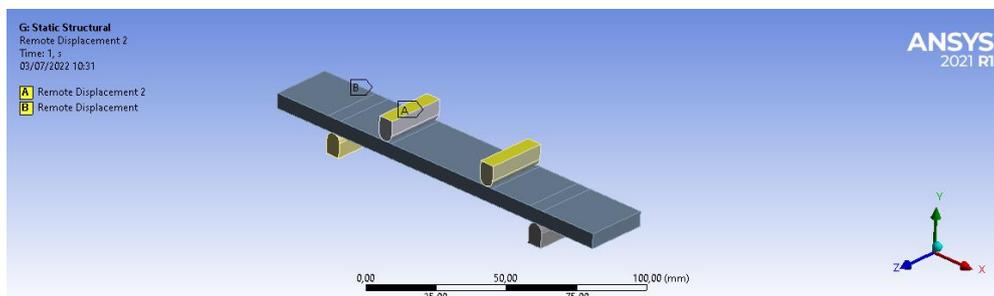


Gambar 3. 17 *Contact Frictional* pada *Roller* dan *Specimen*

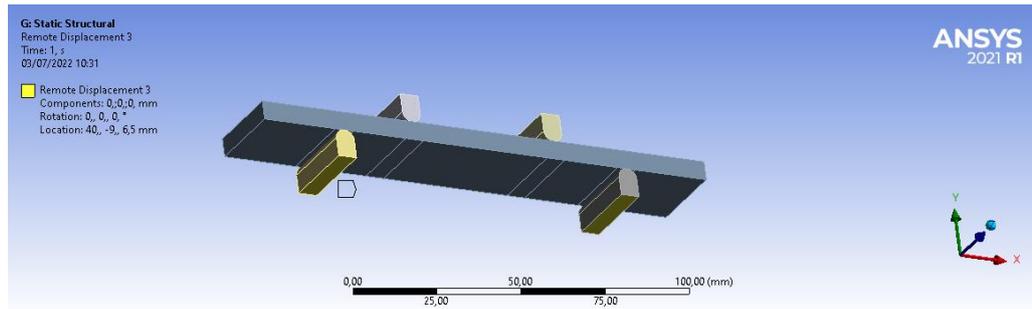


Gambar 3. 18 *Contact Frictionless* pada *Roller* dan *Specimen*

Setelah menentukan jenis *contact*, langkah selanjutnya adalah penentuan jarak *remote displacement* yang akan digunakan pada simulasi. Jarak *remote displacement* yang akan digunakan dibagi menjadi dua bagian yaitu *remote displacement* yang terjadi pada *roller* penekan dan *remote displacement* yang terjadi pada *roller support*. *remote displacement* yang terjadi pada *roller* penekan akan memiliki jarak 0mm untuk sumbu x dan z sedangkan untuk sumbu y akan dibebaskan atau dapat disebut *free* dikarenakan plat penekan akan bergerak ke arah sumbu y sesuai dengan gaya yang akan diberikan. Lalu untuk *roller support* akan memiliki nilai *remote displacement* sebesar 0mm untuk ketiga sumbu x, y, dan z dikarenakan *roller support* tidak dapat bergerak agar dapat menopang specimen.

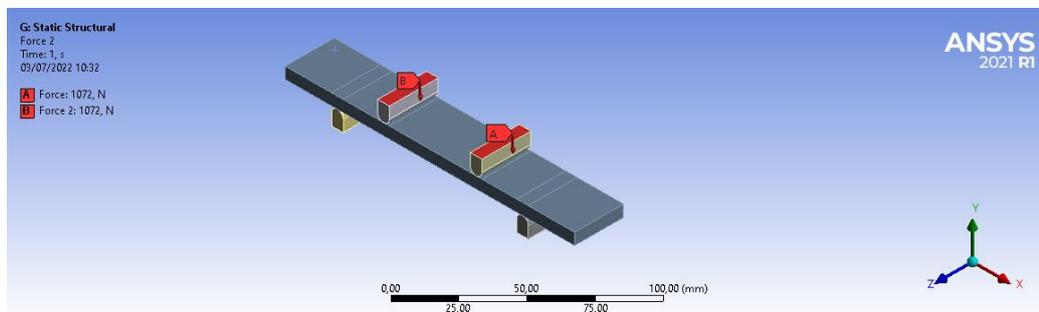


Gambar 3. 19 *Remote Displacement* pada *Roller* Penekan



Gambar 3. 20 *Remote Displacement* pada *Roller Support*

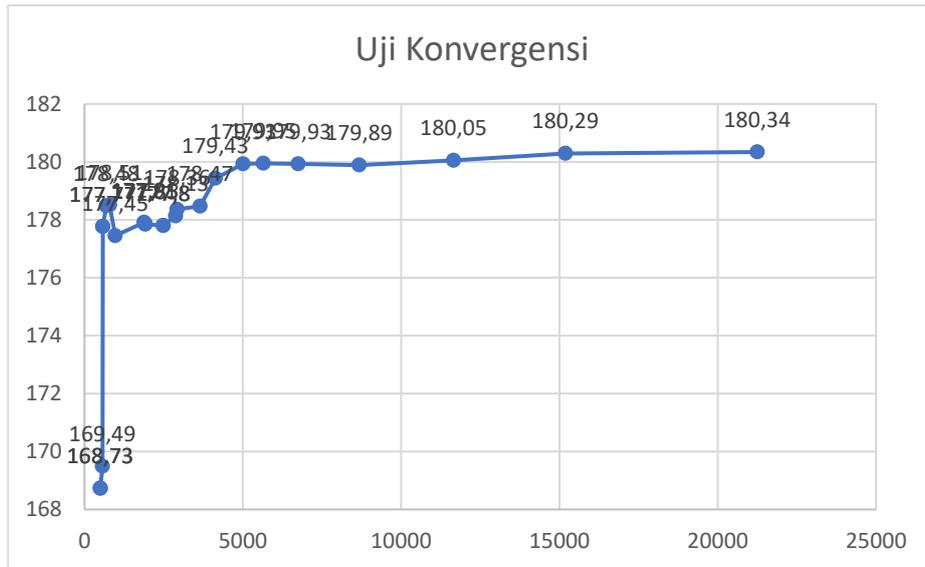
Langkah selanjutnya adalah pemberian gaya yang akan diberikan oleh plat penekan pada specimen yang akan diujikan. Pemberian gaya akan mengarah pada sumbu y negatif dikarenakan plat ditujukan untuk menekan *roller* dan specimen. Besarnya gaya yang akan diberikan akan dilakukan hingga specimen mengalami kegagalan.



Gambar 3. 21 Arah Pemberian Gaya

3.7 *Grid Independence Test*

Setelah simulasi telah berjalan, akan dilakukan uji konvergensi atau *grid independence test* untuk menentukan ukuran *meshing* yang efektif. Tentu semakin kecil ukuran dari *mesh*, maka hasil dari simulasi yang dilakukan akan lebih akurat karena *total element mesh* semakin banyak sehingga akan meningkatkan ketelitian. Tetapi semakin nilai *element mesh*, maka simulasi akan memakan waktu yang lama semakin lama. Oleh karena itu, uji konvergensi dilakukan untuk mendapatkan ukuran *mesh* yang sesuai dengan hasil namun memiliki waktu simulasi yang relatif cepat. *Meshing* yang dilakukan yaitu pada ketiga *roller* dan pada specimen. Berikut ini adalah grafik hasil uji konvergensi.



Gambar 3. 22 Grafik Uji Konvergensi

Dari hasil uji konvergensi yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan bahwa nilai meshing 1 mm sudah mengalami titik konvergen dikarenakan peningkatan hasil sudah tidak terlalu signifikan. Sehingga akan digunakan *meshing* 1 mm untuk melakukan simulasi *four point bending*.

3.8 Verifikasi Penelitian

3.8.1 Rule of Mixture

Berdasarkan perumusan yang terdapat pada buku *Engineering Mechanics of Composite Materials* (M.Daniel & Ishai, 2006), perumusan *Rule of Mixture* merupakan sebuah metode untuk mengetahui nilai properties dari massa jenis, *shear modulus*, *young modulus*, dan *poisons ratio* yang dimiliki oleh sebuah komposit. Perumusan ini akan dijadikan dasar validasi bagi penulis guna mendapatkan nilai properties dari material komposit dan dibandingkan dengan hasil simulasi mikrostruktur komposit dari *software ANSYS Material Designer*. Pada contoh perhitungan, material yang digunakan adalah komposit Serat Kenaf-Polyester Resin menggunakan fraksi volume 30%. Nilai massa jenis akan didapatkan dengan perhitungan berikut ini.

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

$$\rho_c = (0,3 \times 1500) + (0,7 \times 1100)$$

$$\rho_c = 1220 \text{ kg/mm}^3$$

Setelah didapatkan nilai dari massa jenis, maka nilai *longitudinal young modulus* dapat dihitung menggunakan perumusan berikut ini.

$$E_1 = v_f E_f + v_m E_m$$

$$E_1 = (0,3 \times 7.67) + (0,2 \times 3.2)$$

$$E_1 = 4,541 \text{ GPa} = 4541 \text{ MPa}$$

Setelah mendapatkan nilai *longitudinal young modulus*, nilai *transverse young modulus* dapat dihitung dengan menggunakan perumusan sebagai berikut.

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

$$E_2 = \frac{3,2 (1 + (1)(0,41122)(0,3))}{(1 - (0,41122)(0,3))}$$

$$E_2 = 4,1006 \text{ GPa} = 4100,6 \text{ MPa}$$

Lalu untuk nilai *longitudinal shear modulus* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

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

$$G_{12} = 1,1852 \frac{(1 + 0,3) \times 2,8965 + 0,7 \times 1,1852}{0,8 \times 2,8965 + (1 + 0,3) \times 1,1852}$$

$$G_{12} = 1,5262 \text{ GPa} = 1526,2 \text{ MPa}$$

Setelah mendapatkan nilai *longitudinal shear modulus*, nilai dari *transverse shear modulus* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

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

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

$$G_{23} = 1,4998 \text{ GPa} = 1499,8 \text{ MPa}$$

Lalu untuk mendapatkan nilai dari *longitudinal poissons ratio* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

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

$$v_{12} = 0,3 \times 0,324 + 0,7 \times 0,35$$

$$v_{12} = 0,3422$$

Dan untuk mendapatkan nilai *transverse poissons ratio* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini.

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

$$v_{23} = \frac{4100,6}{2 \times 1499,8} - 1$$

$$v_{23} = 0,3671$$

Dari hasil perhitungan yang telah didapatkan, maka dapat dibandingkan dengan hasil dari *software ANSYS Material Designer*. Berikut ini adalah hasil dari perbandingan hasil perhitungan ROM dengan Hasil *Material Designer*.

Tabel 3. 10 Perbandingan Nilai *Elastic Properties* Perhitungan ROM dengan Hasil *Material Designer*

Parameter	Hasil Material Designer	Hasil Perhitungan ROM	Error
ρ	1220	1220	0 %
E1	4541,5	4541	0,01 %
E2	4089,3	4100,6	0,28 %
G12	1526,2	1526,2	0 %

G23	1502,8	1499,8	0,2 %
v12	0,34148	0,3422	0,21 %
v23	0,36056	0,3671	1,78 %

Berdasarkan hasil yang didapatkan dan dihitung nilai errornya maka dapat ditarik kesimpulan bahwa data yang didapatkan dari ANSYS *Material Designer* dapat digunakan dalam proses simulasi.

3.8.2 Perhitungan *Orthotropic Stress Limit*

Setelah mendapatkan nilai dari *orthotropic elasticity* dari gabungan serat alami dan matriks dengan menggunakan ANSYS *Material Designer*, Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan *orthotropic stress limit* atau stress izin untuk ke setiap arah agar dapat memprediksi atau melakukan pendekatan kekuatan dari komposit yang dilakukan simulasi untuk berbagai arah. Perhitungannya *orthotropic stress limit* meliputi *tensile* ($x y z$), *compressive* ($x y z$), dan *shear* ($x y z$). Pada perhitungan *orthotropic stress limit*, referensi yang digunakan berasal dari dua buku yaitu "*Engineering Mechanics of Composite Materials*" (M.Daniel & Ishai, 2006), dan "*Composite Structures : Design, Mechanics, Analysis, Manufacturing, and Testing*" (Kumar, 2017). Setelah melakukan perhitungan menggunakan dua perumusan yang ada pada kedua buku tersebut, hasil perhitungan dicocokkan dengan material serat sisal dengan fraksi volume serat 30% 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) guna mendapatkan acuan secara eksperimental. Setelah membandingkan kedua perhitungan dari buku yang digunakan maka akan dapat ditarik kesimpulan bahwa perumusan mana yang dianggap valid untuk digunakan untuk melanjutkan simulasi menggunakan *software* ANSYS

Tabel 3. 11 *Material Properties* dari Sisal-Green Epoxy (Zuccarello et al., 2021)

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*

Perumusan yang terdapat pada buku *Engineering Mechanics of Composite Materials* (M.Daniel & Ishai, 2006), memiliki persamaan untuk masing-masing *orthotropic stress limit* yang ada. Untuk mendapatkan nilai dari *longitudinal tensile* maka akan digunakan perumusan sebagai berikut.

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

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

$$\varepsilon_m = 0,018 > \varepsilon_f = 0,01683$$

Jika $\varepsilon_m^u > \varepsilon_f^u$, maka persamaan tensile longitudinal X direction yang akan digunakan adalah:

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

$$F_{1t} = 675 \left(0,3 + 0,7 \frac{2500}{40100} \right)$$

$$F_{1t} = 231,957 \text{ MPa}$$

Setelah mendapatkan hasil *longitudinal tensile x direction*, maka nilai *tensile transverse strength* akan menggunakan perumusan sebagai berikut:

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

$$k_{\sigma} = \frac{1 - 0,3 \left(1 - \frac{2500}{40100} \right)}{1 - \left(\frac{4 \times 0,3}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{2500}{40100} \right)}$$

$$k_{\sigma} = 1,7097$$

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

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

$$F_{2t} = 48,17 \text{ MPa}$$

Setelah itu untuk mendapatkan nilai dari *compressive strength longitudinal* maka dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut:

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

$$F_{1c} = 2 \times 19,1 \left[0,3 + (1 - 0,3) \frac{2500}{40100} \right]$$

$$F_{1c} = 13,127 \text{ MPa}$$

Dan untuk mendapatkan *compressive strength transverse* digunakan perumusan sebagai berikut:

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

$$F_{2c} = \frac{78,1 + 1}{1,7079}$$

$$F_{2c} = 46,26 \text{ MPa}$$

Lalu untuk mendapatkan nilai *In-Plane Shear Strength* akan menggunakan persamaan berikut ini:

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

$$k_{\tau} = \frac{1 - 0,3(1 - \frac{905,8}{1840})}{1 - (\frac{4 \times 0,3}{\pi})^{\frac{1}{2}} (1 - \frac{905,8}{1840})}$$

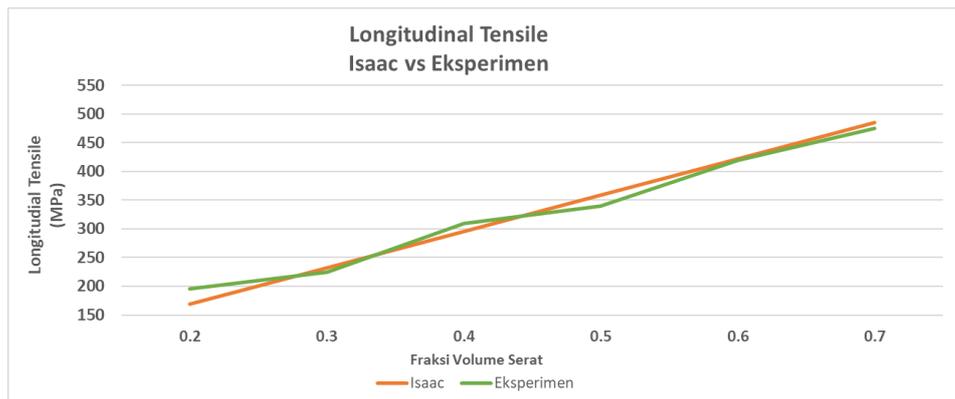
$$k_{\tau} = 1,235$$

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

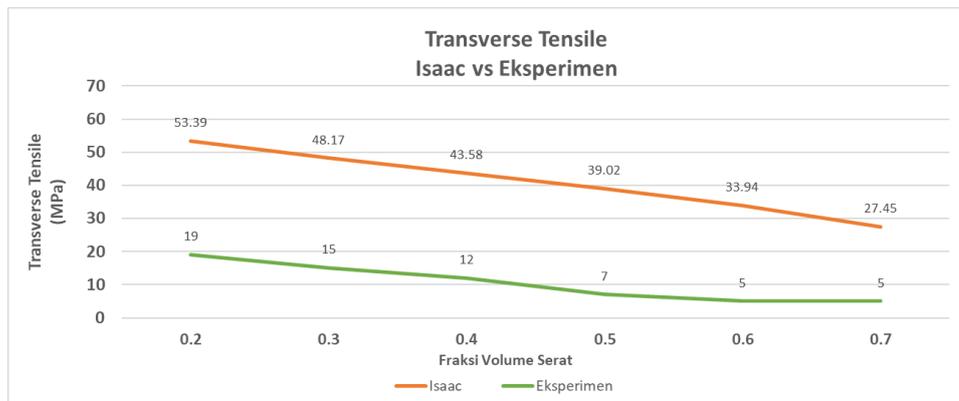
$$F_6 = \frac{25}{1,235}$$

$$F_6 = 20,2354 \text{ MPa}$$

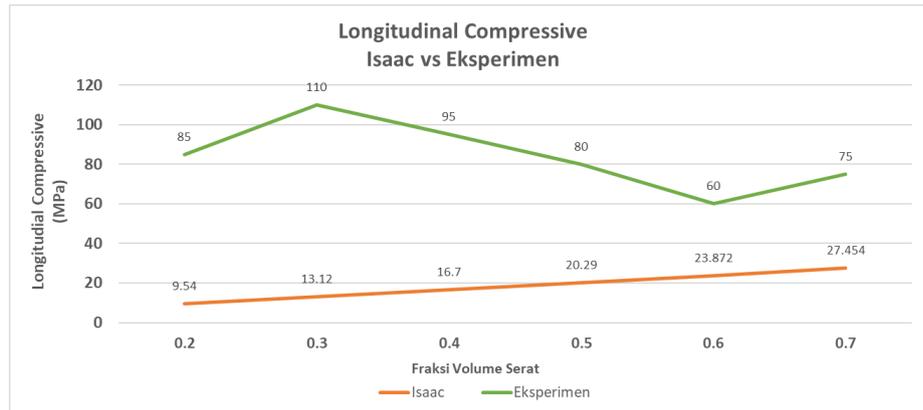
Setelah mendapatkan hasil dari masing-masing *orthotropic stress limit*, maka hasil tersebut dapat dibandingkan dengan penelitian yang berdasarkan eksperimen. Berikut ini adalah grafik dari perbandingan perhitungan buku *Engineering Mechanics of Composite Materials* dengan penelitian *Influence of the anisotropy of sisal fibers on the mechanical properties of high performance unidirectional biocomposite lamina and micromechanical models*.



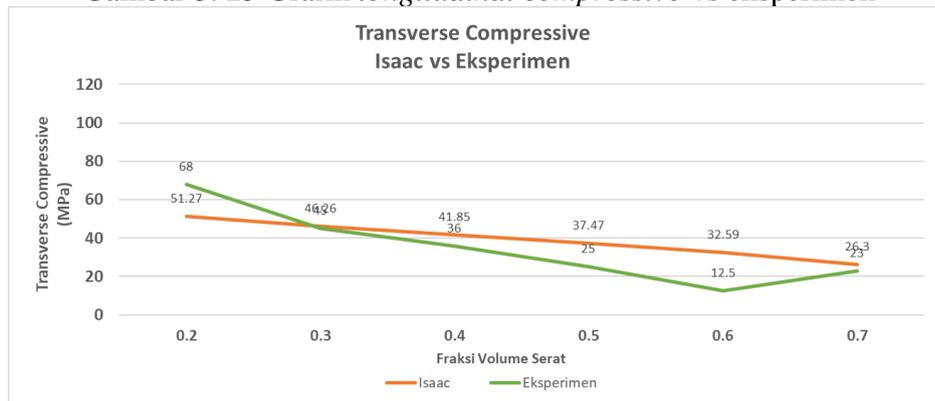
Gambar 3. 23 Grafik *longitudinal tensile* vs eksperimen



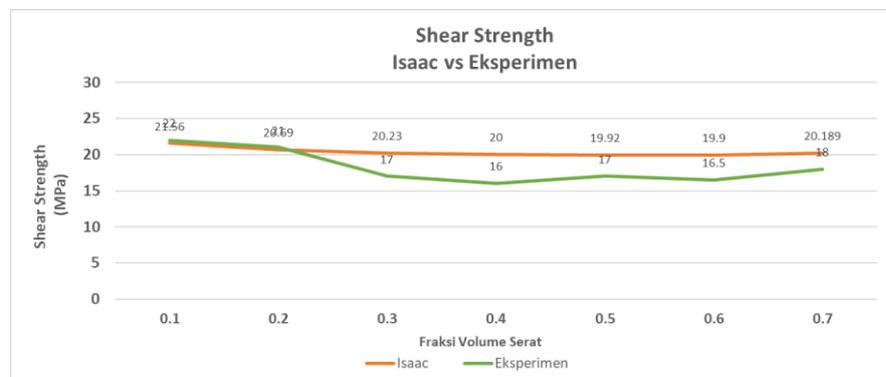
Gambar 3. 24 Grafik *transverse tensile* vs eksperimen



Gambar 3. 25 Grafik *longitudinal compressive* vs eksperimen



Gambar 3. 26 Grafik *transverse compressive* vs eksperimen



Gambar 3. 27 Grafik *inplane shear strength* vs eksperimen

Berdasarkan hasil perhitungan yang sudah dilakukan untuk setiap fraksi volume yang terdapat pada eksperimen, dilakukan plot pada grafik maka didapatkan kesimpulan bahwa trend hasil grafik yang cukup mengikuti trend yang dihasilkan oleh eksperimen. Perbedaan nilai dapat dilihat pada aspek nilai *longitudinal compressive* yang dimana memiliki tren yang berbeda dengan hasil eksperimen.

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

Perumusan yang terdapat pada buku *Composites Structures: Design, Mechanics Analysis, Manufacturing, and Testing* (Kumar, 2017) digunakan untuk menjadi pembandingan perumusan untuk mencari *orthotropic stress limit*. Nilai pertama yang akan dicari adalah nilai dari *longitudinal tensile strength* yang dimana akan didapatkan melalui perumusan berikut ini.

$$\begin{aligned}\varepsilon_m &= \frac{\sigma_m}{E_m} & \varepsilon_f &= \frac{\sigma_f}{E_f} \\ \varepsilon_m &= \frac{45}{2500} & \varepsilon_f &= \frac{675}{40100} \\ \varepsilon_m &= 0,018 & & > \varepsilon_f = 0,01683\end{aligned}$$

Jika nilai dari $\varepsilon_m > \varepsilon_f$, maka perhitungan nilai *longitudinal tensile strength* akan menggunakan persamaan berikut ini.

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

$$(\sigma_{x_c}^T)_{ult} = (675) 0,3 + (0,016832) 2500 (1 - 0,3)$$

$$(\sigma_{x_c}^T)_{ult} = 232,77 \text{ MPa}$$

Selanjutnya untuk mendapatkan nilai *transverse tensile strength* akan menggunakan persamaan berikut ini.

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

$$(\sigma_{y_c}^T)_{ult} = 45 \left(1 - 2 \sqrt{\frac{0,3}{\pi}} \right)$$

$$(\sigma_{y_c}^T)_{ult} = 17,18 \text{ MPa}$$

Setelah mendapatkan hasil nilai *transverse tensile strength* maka akan didapatkan nilai *longitudinal compressive strength* dengan menggunakan perumusan berikut ini.

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

$$= 2 \times 19,1 \left[0,3 + \frac{2500}{40100} (1 - 0,3) \right]$$

$$(\sigma_{x_c}^C)_{ult} = 13,12 \text{ MPa}$$

Lalu setelah mendapatkan hasil dari *longitudinal compressive strength*, maka akan dicari nilai *transverse compressive strength* dengan perumusan berikut ini.

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

$$(\sigma_{y_c}^C)_{ult} = 78,1 \left(1 - 2 \sqrt{\frac{0,3}{\pi}} \right)$$

$$(\sigma_{y_c}^C)_{ult} = 29,81 \text{ MPa}$$

Dan yang terakhir, untuk nilai *inplane shear strength* dan juga *outplane shear strength* akan didapatkan dengan perumusan sebagai berikut ini.

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

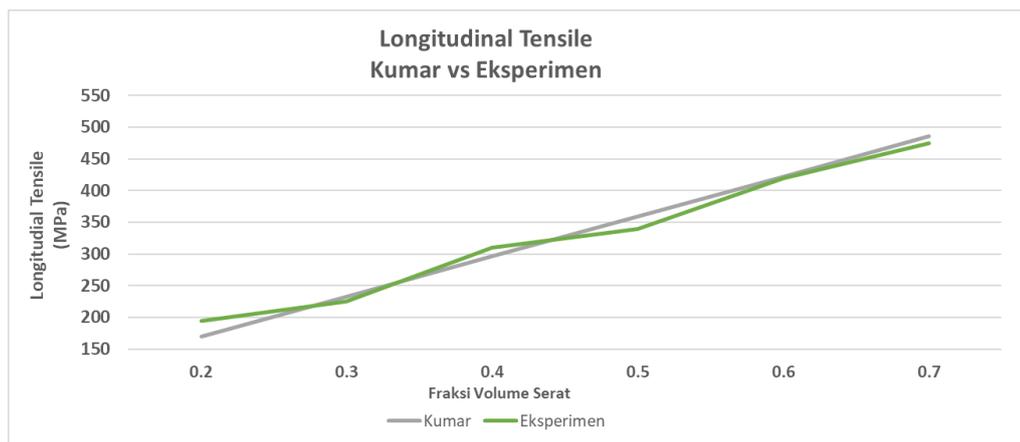
$$(\tau_{xy_c})_{ult} = 11111,8 \left[1 + \left(\frac{905,8}{1840} - 1 \right) 0,3 \right] 0,027599$$

$$(\tau_{xy_c})_{ult} = 26,011$$

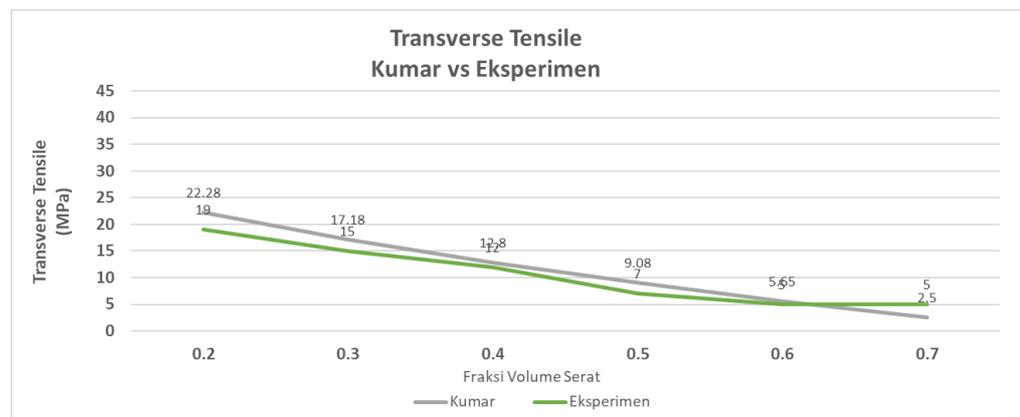
$$(\tau_{yz_c})_{ult} = \frac{(\tau_{xy_c})_{ult}}{2}$$

$$(\tau_{yz_c})_{ult} = \frac{26,011}{2} = 13,0055 \text{ MPa}$$

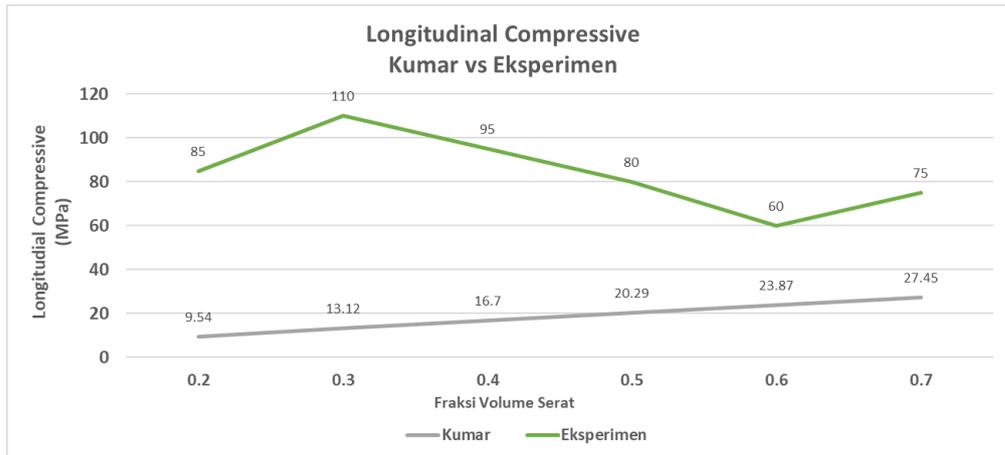
Setelah mendapatkan hasil perhitungan dengan menggunakan perumusan yang terdapat pada buku *Composites Structures: Design, Mechanics Analysis, Manufacturing, and Testing*, hasil perhitungan akan dibandingkan dengan hasil eksperimen yang terdapat pada penelitian *Influence of the anisotropy of sisal fibers on the mechanical properties of high performance unidirectional biocomposite lamina and micromechanical models*.



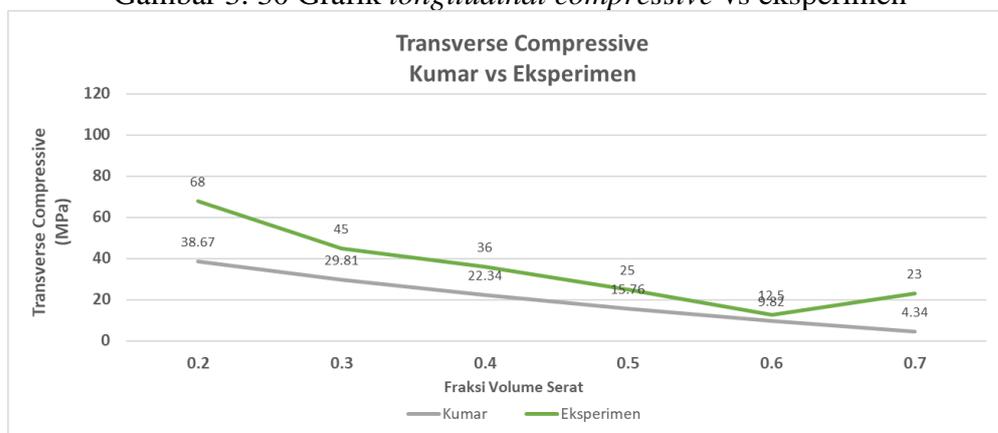
Gambar 3. 28 Grafik longitudinal tensile vs eksperimen



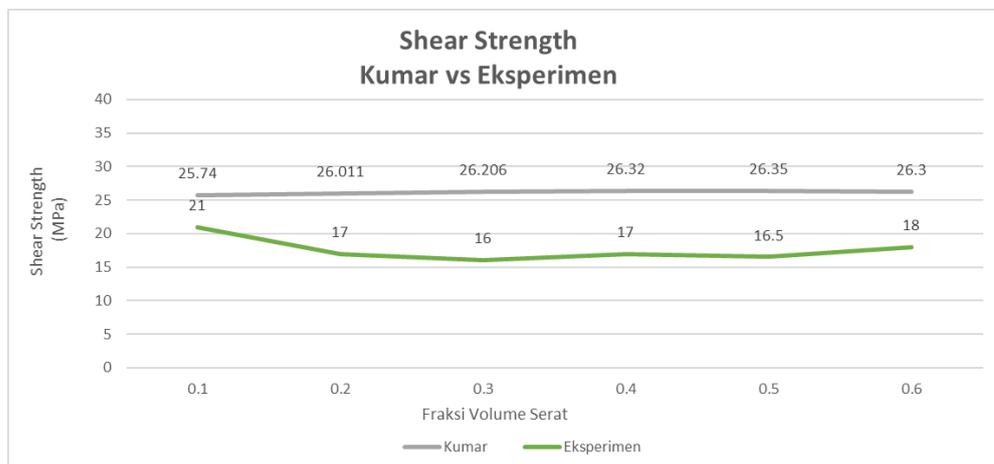
Gambar 3. 29 Grafik transverse tensile vs eksperimen



Gambar 3. 30 Grafik *longitudinal compressive* vs eksperimen



Gambar 3. 31 Grafik *transverse compressive* vs eksperimen



Gambar 3. 32 Grafik *inplane shear strength* vs eksperimen

Setelah dilakukan perhitungan sesuai dengan variasi fraksi volume yang ada pada eksperimen maka dapat dilakukan penarikan kesimpulan bahwa hasil perhitungan cukup mendekati hasil yang dimiliki oleh eksperimen pada penelitian. Terdapat perbedaan pada nilai *longitudinal compressive strength* namun hasil nilai *orthrotopic stress limit* yang lainnya memiliki trend yang sama bahkan hampir memiliki nilai yang mirip. Sehingga pada akhirnya akan dilakukan perbandingan antara kedua referensi buku yang digunakan sebagai rumus perhitungan *orthrotopic stress limit*. Dikarenakan nilai hasil perhitungan referensi *Composites Structures: Design, Mechanics Analysis, Manufacturing, and Testing* (Kumar, 2017) lebih mendekati dengan hasil eksperimen yang dilakukan 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) maka referensi (Kumar, 2017) akan digunakan untuk menjadi *orthotropic stress limit* atau stress izin dari kedua material komposit yang akan digunakan pada penelitian ini.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab ini terdapat pembahasan dan hasil dari analisa penelitian tentang *Flexural Properties* pada material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin dengan metode pengujian *Four Point Bending*. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode elemen hingga pada *software* ANSYS 2021 R1.

4.1 Hasil Simulasi dan Pembahasan Simulasi Four Point Bending Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin

Penelitian ini dilakukan untuk menemukan variasi terbaik yang dimiliki oleh komposit Serat Sisal-Epoxy Resin. Pada penelitian ini dilakukan simulasi untuk variasi fraksi volume yang berbeda-beda untuk masing-masing serat, dimana pada komposit Serat Sisal-Epoxy Resin memiliki variasi fraksi volume sebesar 15%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% dan 70%. Dan juga variasi arah serat dengan variasi berupa [(0°)10],[(0°)4/(45°)2/(0°)4],[(45°)2/(0°)2/(45°)2/(0°)2/(45°)2],[(45°)2/(0°)2/(45°)2/(0°)2/(45°)2],[(45°)10],[(45°)2/(45°)2/(45°)2/(45°)2/(45°)2],[(45°)2/(45°)2/(0°)2/(45°)2/(45°)2],[(0°)4/(90°)2/(0°)4],[(0°)2/(45°)2/(90°)2/(45°)2/(0°)2], dan [(90°)2/(0°)2/(90°)2/(0°)2/(90°)2]. Pada simulasi yang akan dilakukan, pembebanan yang akan digunakan adalah melalui pendekatan dari eksperimen dimana *flexural strength* hasil dari eksperimen dimasukkan kedalam rumus guna mendapatkan nilai pembebanan sesungguhnya. Berikut ini adalah perhitungan pembebanan yang dilakukan pada hasil eksperimen *Three Point Bending* Sisal-Epoxy Resin dengan mengambil fraksi volume 15%.

$$\sigma = \frac{3P_3L}{2bh^2}$$

$$204,3 = \frac{3P_3 * 48}{2 * 13 * 3^2}$$

$$\frac{204,3}{48} = \frac{3P_3}{3 * 48}$$

$$P_3 = \frac{234 * 204.3}{3 * 48}$$

$$P_3 = 331,9875 \text{ N}$$

Dari hasil perhitungan pembebanan diatas, dimana beban yang didapatkan merupakan pembebanan pengujian *Three Point Bending* maka untuk pembebanan simulasi yang akan digunakan pada metode *Four Point Bending* adalah menggunakan perumusan berikut ini:

$$\sigma = \frac{3P_3L}{2bh^2} \text{ dan } \sigma = \frac{3P_4L}{4bh^2}$$

$$\frac{3P_3L}{2bh^2} = \frac{3P_4L}{4bh^2}$$

$$\frac{3P_3L}{2bh^2} = \frac{3P_4L}{4bh^2}$$

$$\frac{P_3}{2} = \frac{P_4}{4}$$

$$4P_3 = 2P_4$$

$$P_4 = \frac{4}{2}P_3$$

$$P_4 = 2P_3$$

Dari penurunan rumus yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa pembebanan yang digunakan untuk pengujian *Four Point Bending* adalah dua kali pembebanan yang digunakan pada metode *Three Point Bending* sehingga pembebanan yang digunakan pada metode *Four Point Bending* ini adalah:

$$P_4 = 2P_3$$

$$P_4 = 2 * 331,9875$$

$$P_4 = 663,975 \text{ N}$$

Untuk perhitungan pembebanan pada komposit Serat Kenaf-Polyester Resin digunakan pembebanan hasil eksperimen *Three Point Bending* pada fraksi volume 20%, berikut ini adalah perumusannya:

$$\sigma = \frac{3P_3L}{2bh^2}$$

$$153,1 = \frac{3P_3 * 96}{2 * 25,4 * 6^2}$$

$$\frac{153,1}{96} = \frac{3P_3}{1828,8}$$

$$P_3 = \frac{3 * 96}{153,1 * 1828,8}$$

$$P_3 = 972,185 \text{ N}$$

Lalu untuk pembebanan pada metode *Four Point Bending* yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$P_4 = 2P_3$$

$$P_4 = 2 * 972,185$$

$$P_4 = 1944,37 \text{ N}$$

Setelah didapatkan pembebanan didapatkan untuk metode yang akan digunakan maka dapat dilakukan simulasi untuk material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin.

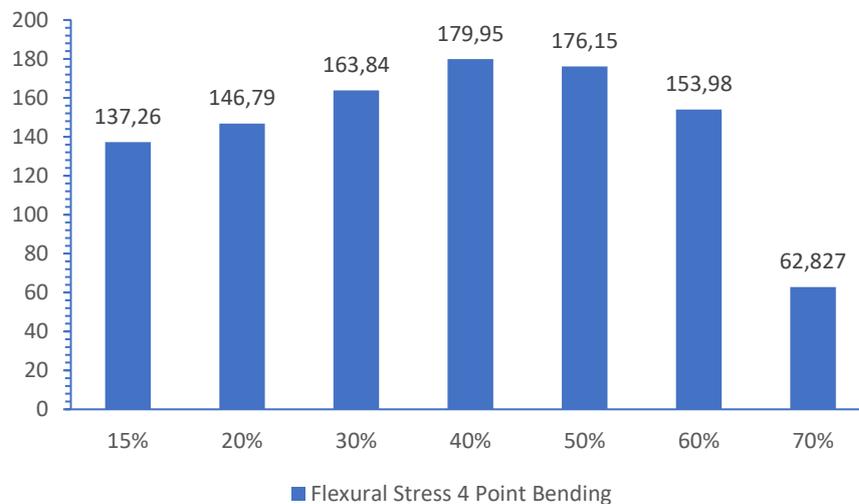
4.1.1 Hasil dan Pembahasan Simulasi Four Point Bending Serat Sisal-Epoxy Resin dengan Variasi Fraksi Volume

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*. Setelah mendapatkan nilai pembebanan dari *Three Point Bending* maka metode *Four Point Bending* dapat dilakukan. Berikut ini adalah tabel hasil simulasi *Four Point Bending* pada material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dengan variasi fraksi volume.

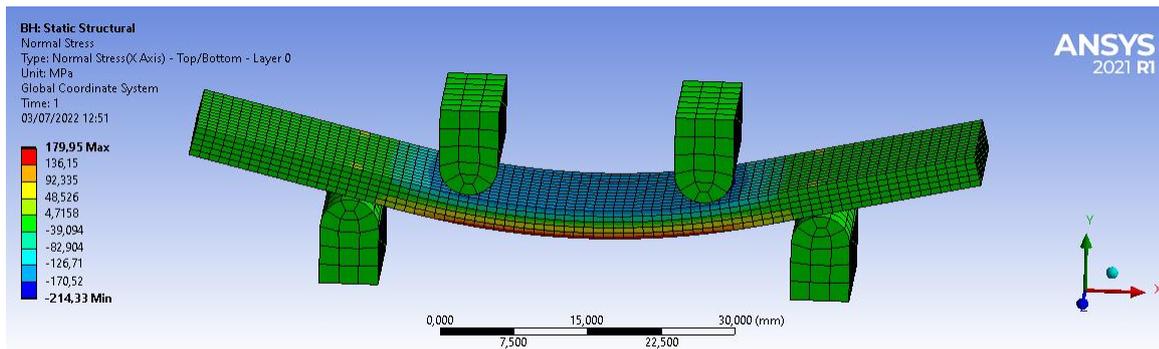
Tabel 4. 1 Hasil Simulasi *Four Point Bending* dengan Variasi Fraksi Volume pada Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin

Hasil Sisal-Epoxy Resin	Fraksi Volume						
	15%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
Lebar (b)	13						
Tebal (d)	3						
Span (L)	48						
Hasil Eksperimen	204,3	167,7	288,6	-	-	-	-
Beban Aktual 3 Point Bending	331,9875	272,5125	468,975	-	-	-	-
Beban Simulasi 3 Point Bending	331,9875	355	395	434	425	335	113
Beban Aktual 4 Point Bending	663,975	545,025	937,95	-	-	-	-
Beban Simulasi 4 Point Bending	663,975	710	790	868	850	670	226
Flexural Stress 4 Point Bending	137,26	146,79	163,84	179,95	176,15	153,98	62,827
Shear Stress 4 Point Bending	21,524	22,953	25,458	28,042	27,56	22,469	8,3426
Inverse Reserve Factor 4 Point Bending	1,3695	1,3968	1,4242	1,4377	1,3301	1,0198	0,36922
Flexural Stress 4 Point Bending Probe Tengah	128,2	137,04	152,71	167,79	164,13	144,35	59,327
Total Deformation 4 Point Bending	6,8187	7,0008	7,2084	7,3546	6,5614	5,1573	2,0392
Normal Strain 4 Point Bending	0,032651	0,03381	0,03421	0,034787	0,031673	0,026098	0,010071
Slope of Tangent (m) 4 Point Bending	97,37559945	101,4169809	109,5943621	118,0213744	129,5455238	129,9129389	110,8277756
Flexural Modulus 4 Point Bending	5215,736724	5432,20555	5870,211249	6321,587954	6938,856857	6958,536742	5936,27667

Hasil yang didapatkan dari simulasi *Four 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 179,95 MPa. Trend dari nilai *flexural stress* dapat dilihat pada gambar berikut ini.

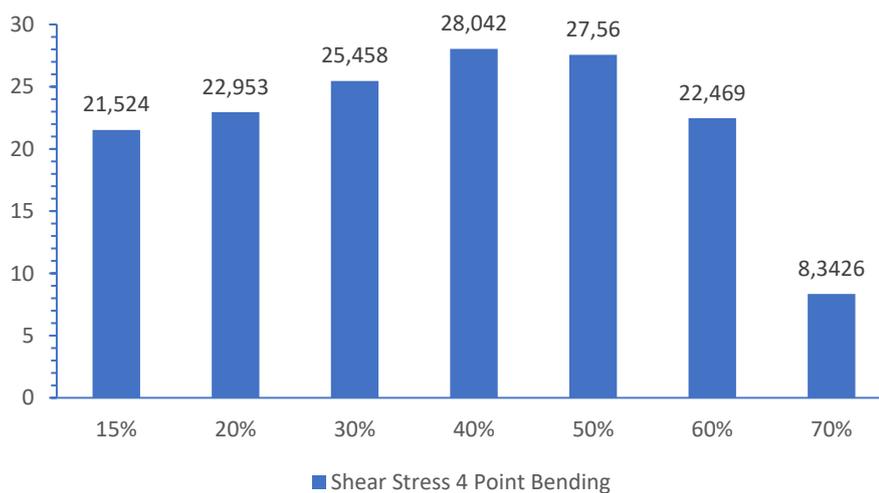


Gambar 4. 1 *Flexural Stress* Maksimum Serat Sisal-Epoxy Resin pada Simulasi *Four Point Bending*

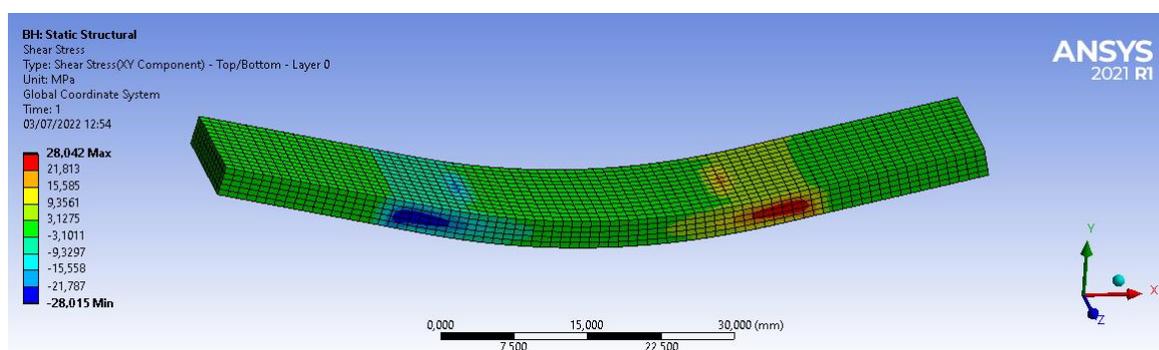


Gambar 4. 2 Hasil Simulai Variasi Fraksi Volume *Four Point Bending Flexural Stress* Maximum

Dapat dilihat bahwa nilai *flexural stress* mengalami penurunan setelah fraksi volume 40% dan mencapai titik terendah pada fraksi volume 70% dengan nilai 62,827 MPa. Setelah *flexural stress*, simulasi *Four 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 *Shear Stress* Serat Sisal-Epoxy Resin pada Simulasi *Four Point Bending*

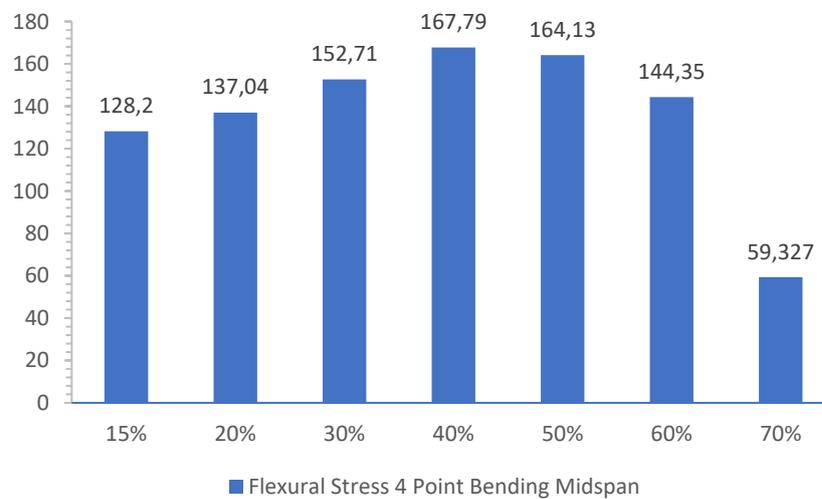


Gambar 4. 4 Hasil Simulai Variasi Fraksi Volume *Four Point Bending Shear Stress*

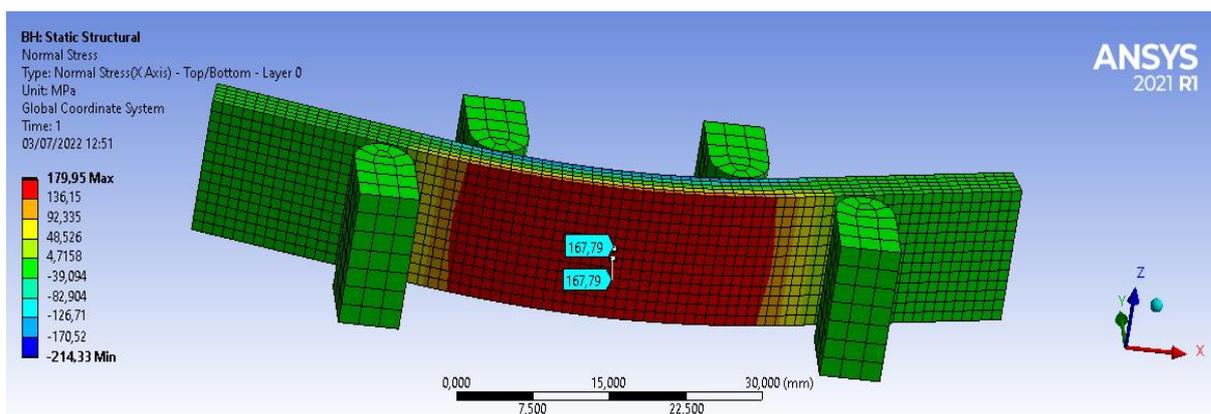
Nilai *shear stress* maksimum yang dimiliki oleh komposit Serat Sisal-Epoxy Resin adalah 28,042 MPa yang terdapat pada fraksi volume 40% dan nilai *shear stress* minimum yang

dimiliki oleh Serat Sisal-Epoxy Resin adalah 8,3426 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%.

Four Point Bending memiliki kelebihan dimana nilai bending yang dihasilkan pada titik *midspan* permukaan bawah spesimen memiliki nilai *flexural stress* murni yang dimana tidak terdapat nilai *shear stress*. Hal ini menjadi pembeda antara metode pengujian *four point bending* dan *three point bending* yang dimana metode *three point bending* menghasilkan nilai *flexural stress* yang tidak murni pada *midspan* permukaan bawah specimen dikarenakan terdapat *shear stress* yang mempengaruhi. Maka dari itu, untuk mengetahui nilai bending murni yang terdapat pada material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dilakukan plot titik *flexural stress* pada bagian *midspan* permukaan bawah. Berikut ini adalah trend dari plot *flexural stress* pada *midspan* permukaan bawah.



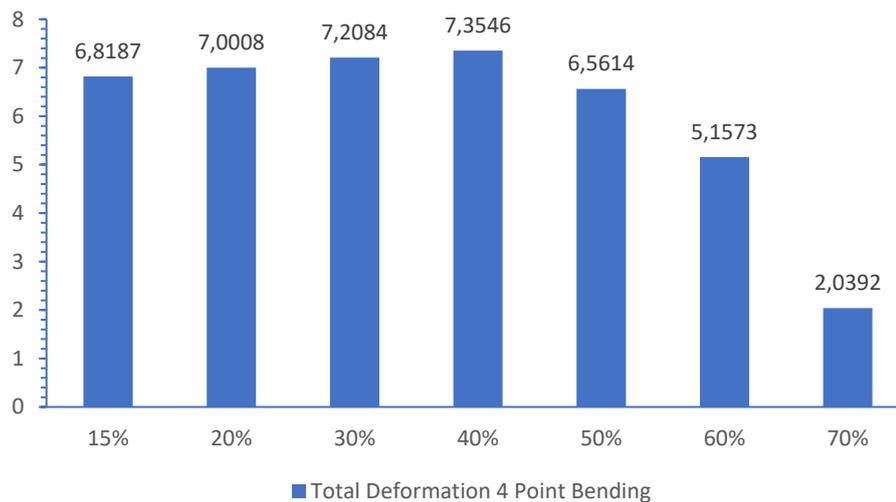
Gambar 4. 5 *Flexural Stress* Serat Sisal-Epoxy Resin dengan Plot Midspan Permukaan Bawah pada Simulasi *Four Point Bending*



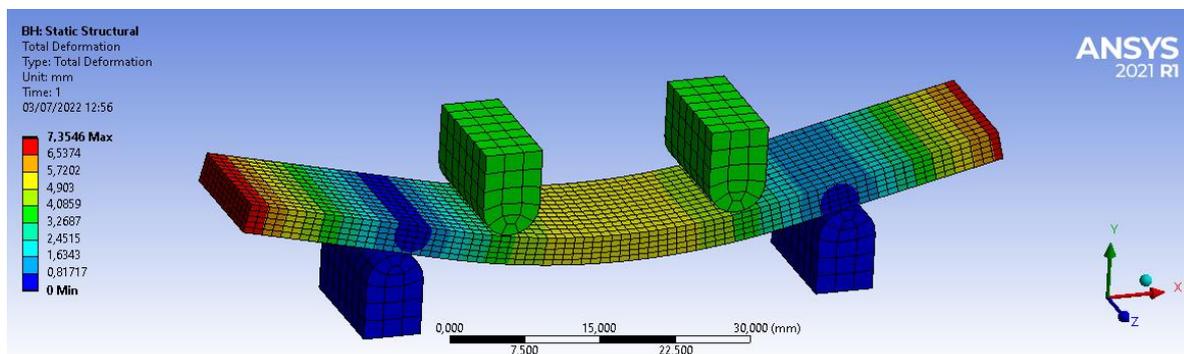
Gambar 4. 6 Plot *Flexural Stress* pada Midspan Permukaan Bawah

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, didapatkan nilai *flexural stress* plot midspan permukaan bawah maksimum sebesar 167,79 MPa pada fraksi volume 40% dan titik minimum sebesar 59,327 MPa. Dari hasil yang didapatkan dapat disimpulkan bahwa nilai *flexural stress* murni terbaik berada pada fraksi volume 40%. Selanjutnya, *flexural properties* yang didapatkan

dari hasil simulasi *four 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 kaku atau sifat lentur. Semakin besar nilai dari total deformasi menandakan bahwa material memiliki sifat lentur dan sebaliknya jika nilai total deformasi semakin rendah maka akan menandakan bahwa material bersifat kaku. Berikut ini adalah trend hasil total deformasi dari simulasi *four point bending* terhadap material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin.

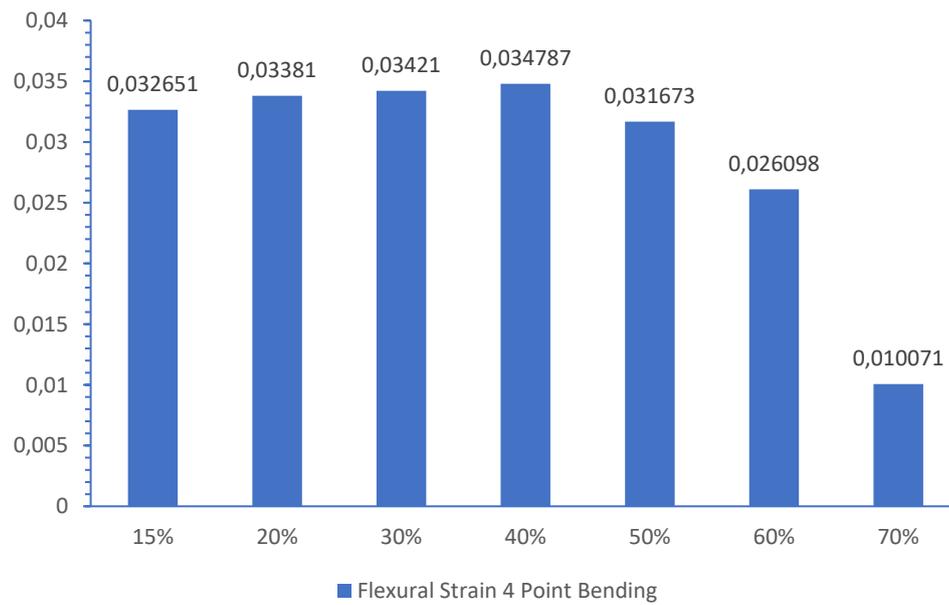


Gambar 4. 7 Total Deformasi Serat Sisal-Epoxy Resin pada Simulasi *Four Point Bending*

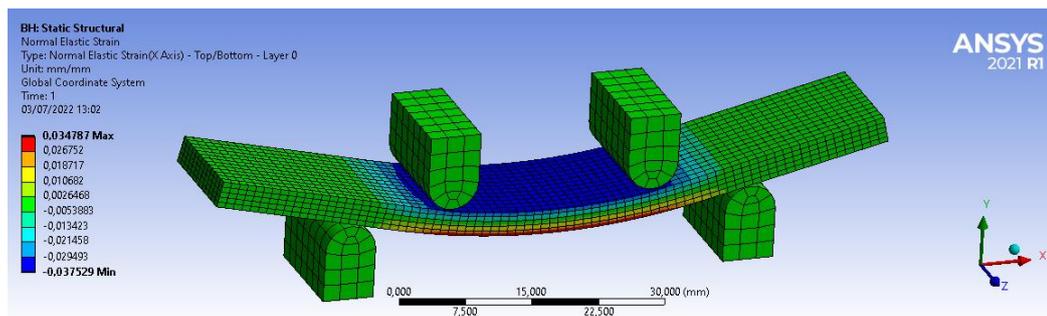


Gambar 4. 8 Hasil Simulasi Variasi Fraksi Volume *Four Point Bending* Total Deformation

Dari hasil total deformasi dapat diperhatikan bahwa nilai total deformasi terbaik yang dimiliki oleh Serat Sisal-Epoxy Resin berada pada fraksi volume 40% dengan nilai 7,3546 mm sedangkan nilai minimum dari total deformasi dimiliki pada fraksi volume 70% dengan nilai 2,0392 mm. Dari hasil yang didapatkan bahwa komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dengan fraksi volume di atas 40% memiliki sifat yang kaku jika dibandingkan dengan komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dengan fraksi volume di bawah 40% yang dimana memiliki sifat yang lentur. Selanjutnya, *flexural properties* yang dihasilkan dari simulasi *four point bending* adalah *flexural strain*. Berikut ini adalah trend hasil *flexural strain* dari simulasi *four point bending*.



Gambar 4. 9 *Flexural strain* Serat Sisal-Epoxy Resin pada Simulasi *Four Point Bending*



Gambar 4. 10 Hasil Simulasi Variasi Fraksi Volume *Four Point Bending Flexural Strain*

Hasil dari *flexural strain* menunjukkan bahwa regangan yang terjadi pada pengujian *fourpoint bending*. Hasil *flexural strain* yang lebih besar menunjukkan bahwa regangan yang terjadi pada material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin semakin besar. Jika nilai *flexural strain* menunjukkan nilai yang besar maka dapat ditarik kesimpulan bahwa material memiliki sifat lentur jika dibandingkan dengan nilai *flexural strain* yang lebih kecil dikarenakan bersifat kaku. Dari hasil yang didapatkan dapat diperhatikan nilai *flexural strain* maksimum berada pada fraksi volume 40% dengan nilai 0,034787 sedangkan nilai *flexural strain* minimum berada pada fraksi volume 70% dengan nilai 0,010071. Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa fraksi volume 40% memiliki sifat material yang lentur jika dibandingkan dengan fraksi volume lainnya lalu fraksi volume 70% memiliki sifat yang lebih kaku jika dibandingkan dengan fraksi volume lainnya.

Dari hasil simulasi yang telah didapatkan dengan metode pengujian *four point bending*, maka dapat dilakukan perhitungan dari *flexural modulus* guna mendapatkan rasio perbandingan dari *stress* dan *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)

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

$$m = \frac{663,975}{6,8187}$$

$$m = 97,3755$$

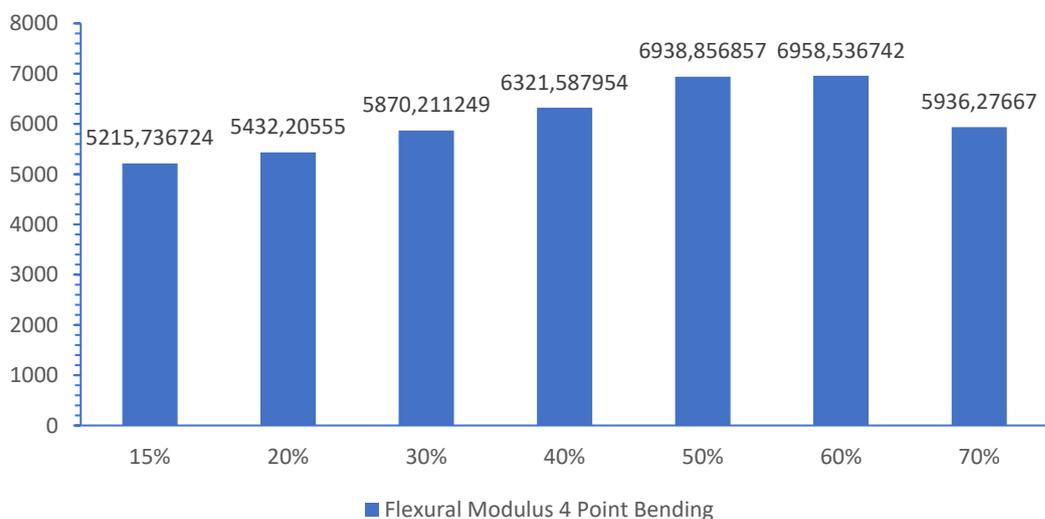
Mencari nilai *Flexural Modulus* (E_B)

$$E_B = \frac{0,17 * L^3 * m}{b * d^3}$$

$$E_B = \frac{0,17 * 48^3 * 97,355}{13 * 3^3}$$

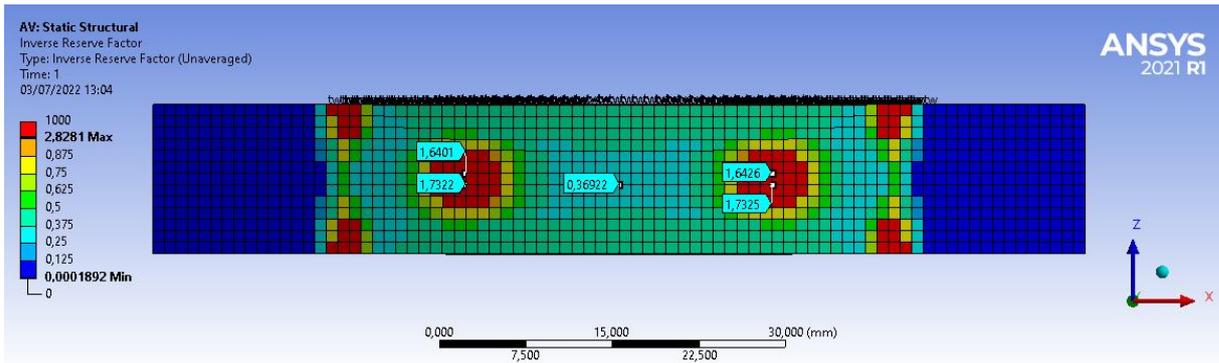
$$E_B = 5215,7367$$

Dari persamaan diatas maka dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai dari *flexural modulus* pada setiap fraksi volume yang digunakan. Berikut ini adalah hasil trend dari *flexural modulus*.



Gambar 4. 11 *Flexural Modulus* pada Pengujian *Four Point Bending* pada Serat Sisal-Epoxy Resin

Dari hasil yang didapatkan berdasarkan simulasi pengujian *Four Point Bending* dengan variasi fraksi volume dapat ditarik kesimpulan bahwa, nilai fraksi volume terbaik yang dimiliki material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin adalah 40% sedangkan nilai fraksi volume terburuk dimiliki material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin 70%. Hal ini terjadi dikarenakan seiring penambahan fraksi volume dari nilai 15% sampai dengan 40%, 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 maksimum 40% maka akan terjadi penurunan kekuatan. Peningkatan fraksi volume juga berpengaruh kepada peningkatan kekakuan material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin. Pada titik 40% material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin bersifat lentur dikarenakan memiliki total deformasi tertinggi sedangkan pada titik fraksi volume 70% material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin memiliki sifat kaku dikarenakan 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%.



Gambar 4. 12 Kegagalan Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin pada Fraksi Volume 70%

4.1.2 Hasil dan Pembahasan Simulasi Four Point Bending Serat Sisal-Epoxy Resin dengan Variasi Orientasi Arah Sudut Serat

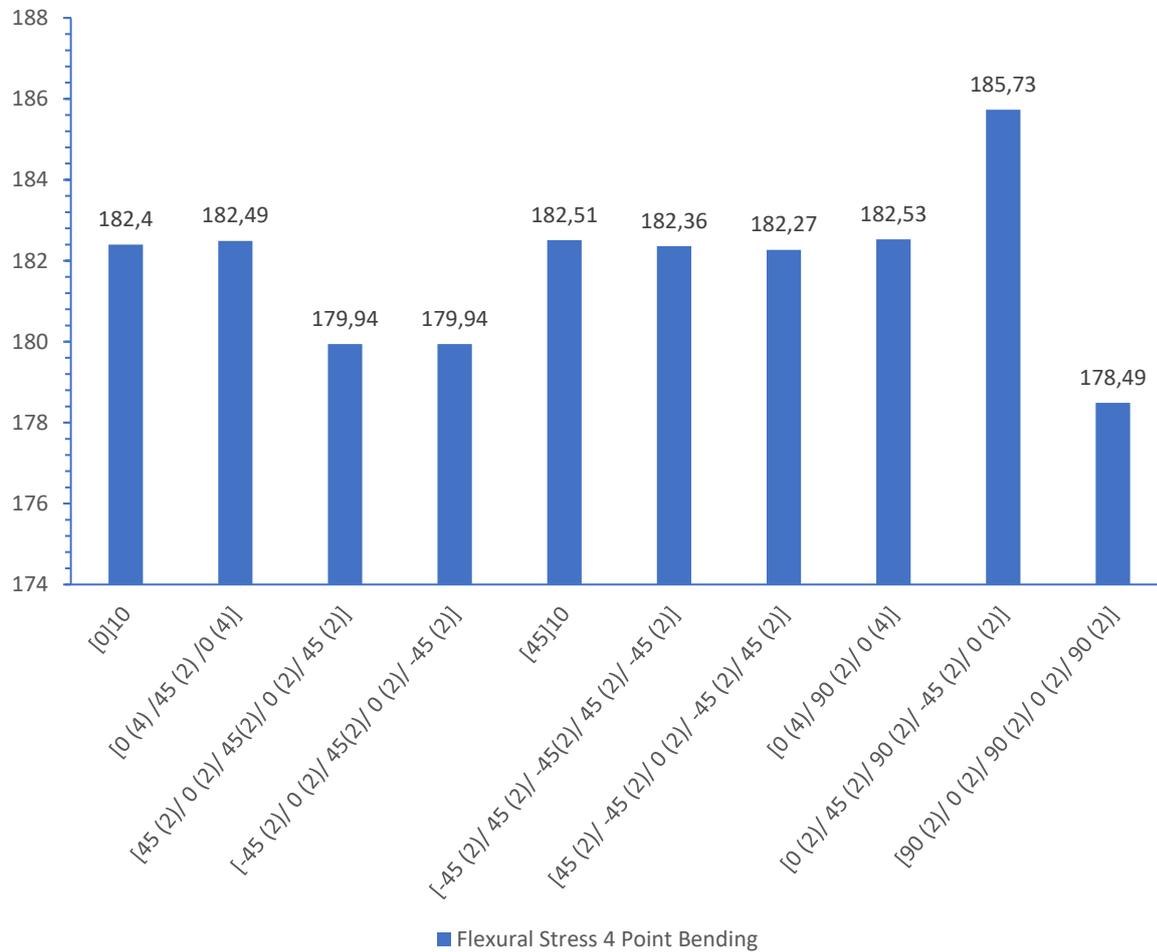
Orientasi arah sudut serat pada suatu komposit dapat membuat material menjadi lebih kuat atau bahkan membuat material komposit menjadi melemah. Orientasi arah serat tentunya dapat menjadi variasi guna mendapatkan hasil sudut terbaik yang dapat diaplikasikan pada suatu komposit dan akan menghasilkan variasi komposit yang lebih baik dari sebelumnya. Penentuan sudut dari suatu komposit maka akan dibutuhkan adanya jumlah layer terbaik yang akan digunakan pada material komposit. 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° , 90° , - 45° dan divariasikan menjadi sepuluh jenis variasi yaitu $[(0^\circ)_{10}]$, $[(0^\circ)_4/(45^\circ)_2/(0^\circ)_4]$, $[(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2]$, $[(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(-45^\circ)_2]$, $[(45^\circ)_{10}]$, $[(-45^\circ)_2/(45^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(45^\circ)_2/(-45^\circ)_2]$, $[(45^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(45^\circ)_2]$, $[(0^\circ)_4/(90^\circ)_2/(0^\circ)_4]$, $[(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(90^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2]$, dan $[(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2]$. 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. Berikut ini adalah hasil simulasi *Four Point Bending* material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dengan menggunakan variasi orientasi arah sudut serat.

Tabel 4. 2 Hasil Simulasi *Four Point Bending* dengan Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin

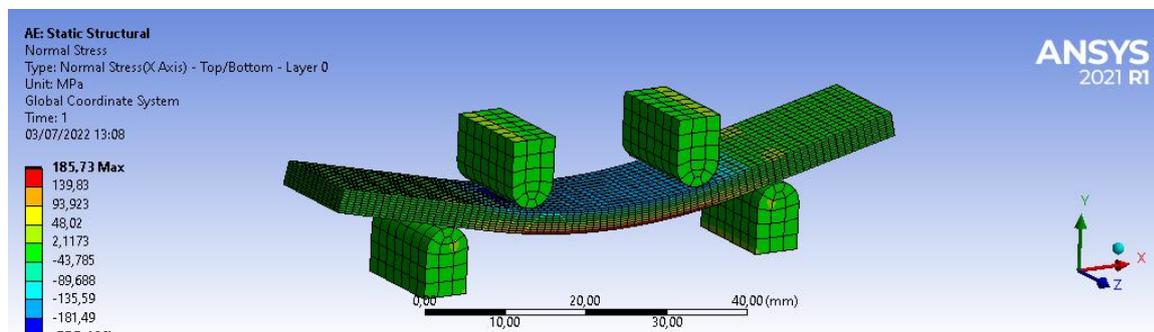
Hasil Sisal-Epoxy	Fraksi Volume									
	[0]10	[0]4/[45]2/[0]4	[45]2/[0]2/[45]2/[0]2/[45]2	[(-45]2/[0]2/[45]2/[0]2/[-45]2	[45]10	[(-45]2/[45]2/[-45]2/[45]2/[-45]2	[45]2/[-45]2/[0]2/[-45]2/[45]2	[0]4/[90]2/[0]4	[0]2/[45]2/[90]2/[-45]2/[0]2	[90]2/[0]2/[90]2/[0]2/[90]2
Lebar (b)	15									
Tebal (d)	3									
Span (L)	48									
Beban Simulasi 3 Point Bending	434									
Beban Simulasi 4 Point Bending	868									
Flexural Stress 4 Point Bending	182,4	182,43	179,34	179,34	182,51	182,36	182,27	182,53	185,73	178,43
Shear Stress 4 Point Bending	30,702	30,71	32,261	32,201	32,802	32,152	32,123	30,038	30,23	30,48
Inverse Reserve Factor 4 Point Bending	1,4387	1,4386	2,6011	2,6012	2,6441	2,6339	2,6372	1,4375	1,4635	1,1466
Flexural Stress 4 Point Bending Probe Tangah	167,8	167,31	165,27	165,27	167,72	167,7	167,59	167,95	170,3	164,3
Total Deformation 4 Point Bending	1,3776	1,3823	1,8425	1,8425	1,9709	1,8661	1,8613	1,8832	1,5424	1,3344
Normal Strain 4 Point Bending	0,034632	0,034512	0,036741	0,036741	0,037288	0,037282	0,037255	0,034918	0,035922	0,037289
Slope of Tangent (m) 4 Point Bending	117,85344	117,8785324	110,6783927	110,6783927	108,89611	108,9671253	109,0274201	117,5641938	115,0827323	109,3970559
Flexural Modulus 4 Point Bending	6301,8801	6297,867977	5928,307398	5928,307398	5832,8707	5836,329235	5833,844032	6297,100278	6164,182242	5893,642318

Pada variasi orientasi arah sudut serat, indikator sudut tersebut termasuk sudut terbaik adalah dari nilai kegagalan material atau inverse reserve factor yang dimiliki oleh material tersebut. Semakin kecil nilai dari inverse reserve factor maka material semakin tidak gagal begitu pun sebaliknya jika nilai *inverse reserve factor* semakin besar maka dapat dianggap

material semakin gagal. Indikator selanjutnya adalah nilai *flexural stress* yang dimiliki oleh variasi sudut 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 *four point bending* yang dilakukan.



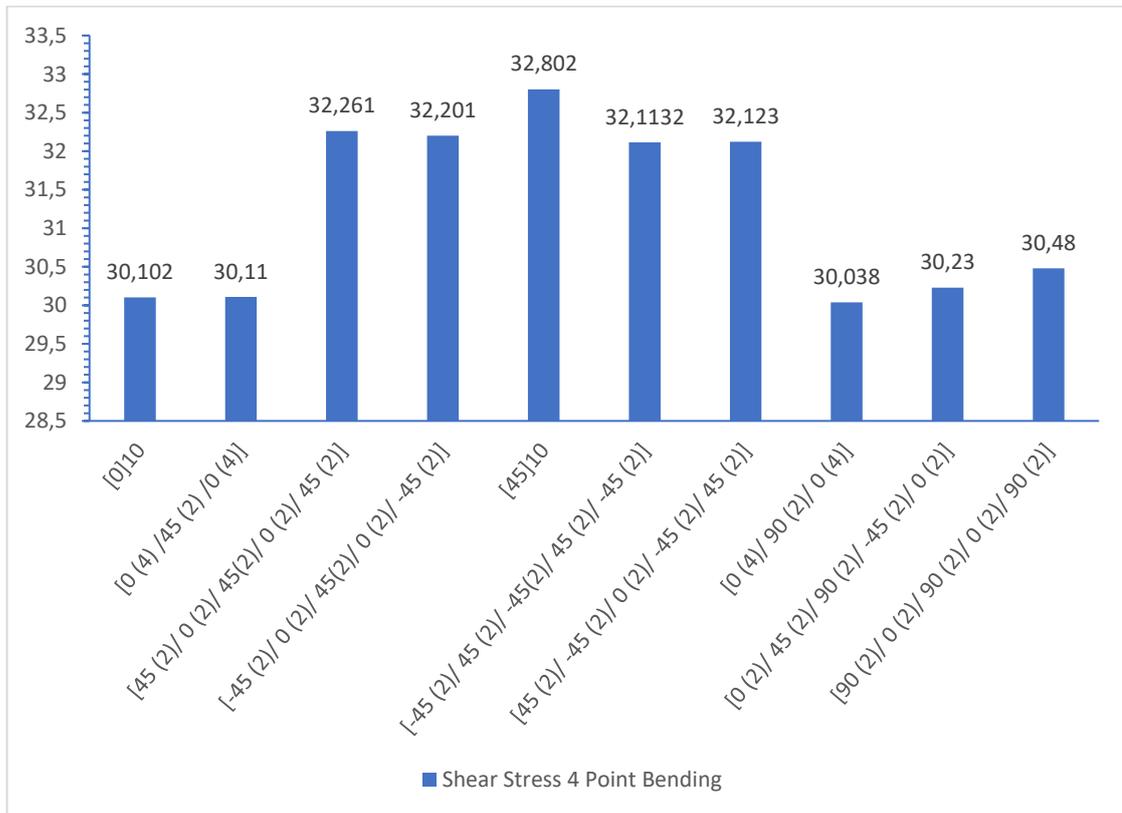
Gambar 4. 13 *Flexural Stress* Maksimum Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Four Point Bending*



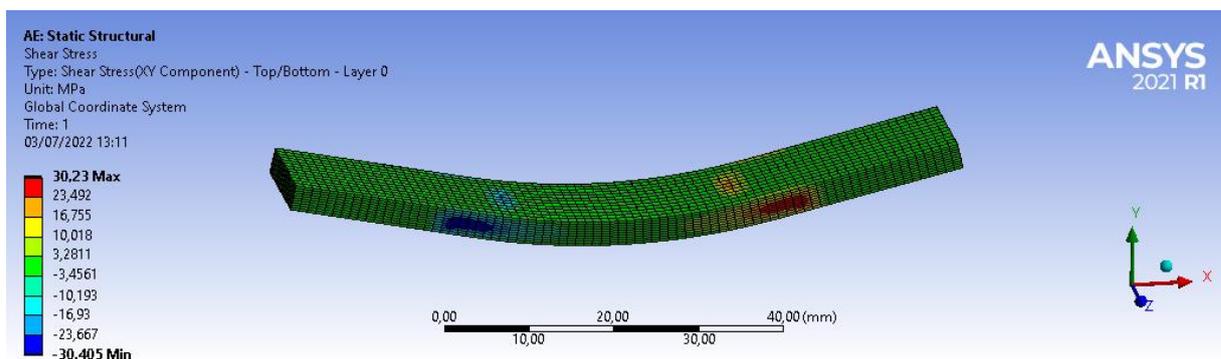
Gambar 4. 14 Hasil Simulasi Uji Orientasi Serat *Four Point Bending Flexural Stress* Maksimum

Berdasarkan hasil *flexural stress* maksimum yang telah didapatkan maka dapat ditarik kesimpulan variasi orientasi arah sudut serat yang memiliki ketahanan terhadap *flexural stress*

maksimum terbaik dimiliki oleh variasi sudut $[(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(90^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2]$ dengan nilai *flexural stress* sebesar 185,73 MPa sedangkan nilai *flexural stress* maksimum terendah yang dihasilkan pada variasi ini terdapat pada sudut $[(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2]$ dengan nilai *flexural stress* sebesar 178,49 MPa. Selanjutnya, hasil dari *shear stress* yang dihasilkan dari simulasi *four point bending* untuk variasi orientasi arah sudut serat dapat diperhatikan pada grafik berikut ini.



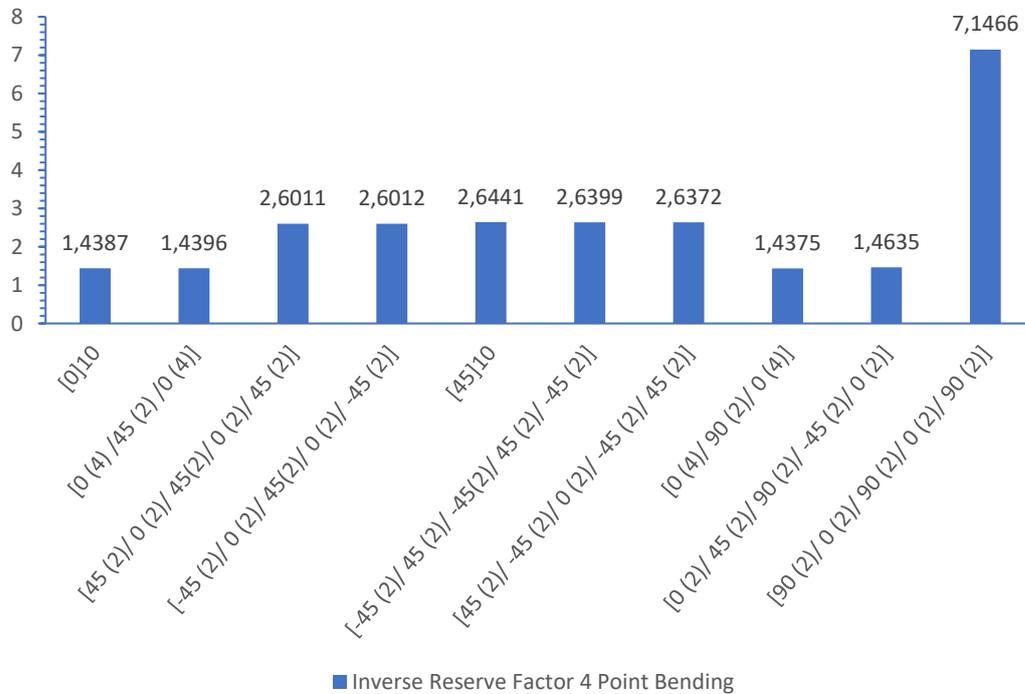
Gambar 4. 15 *Shear Stress* Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Four Point Bending*



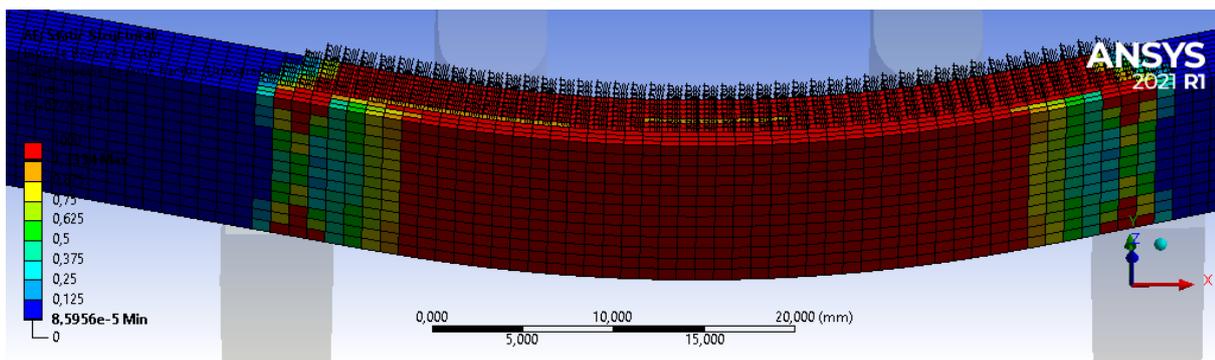
Gambar 4. 16 Hasil Simulasi Uji Orientasi Serat *Four Point Bending Shear Stress*

Dapat diperhatikan dari grafik diatas, nilai *shear stress* maksimum yang dihasilkan dari simulasi *four point bending* berada pada variasi sudut $[(45^\circ)_2/(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2/(45^\circ)_2]$ dengan nilai *shear stress* sebesar 32,802 MPa sedangkan nilai *shear stress* minimum yang dihasilkan dari simulasi *four point bending* berada pada variasi sudut $[(0^\circ)_4/(90^\circ)_2/(0^\circ)_4]$ dengan nilai *shear stress* sebesar 30,038 MPa. Nilai *shear stress* yang tinggi menandakan bahwa variasi sudut tidak dapat

meminimalisir *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 yang dihasilkan dari simulasi *four point bending* adalah nilai *inverse reserve factor* atau indikator kegagalan material, berikut ini adalah grafik dari hasil *inverse reserve factor*.



Gambar 4. 17 *Inverse Reserve Factor* Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Four Point Bending*

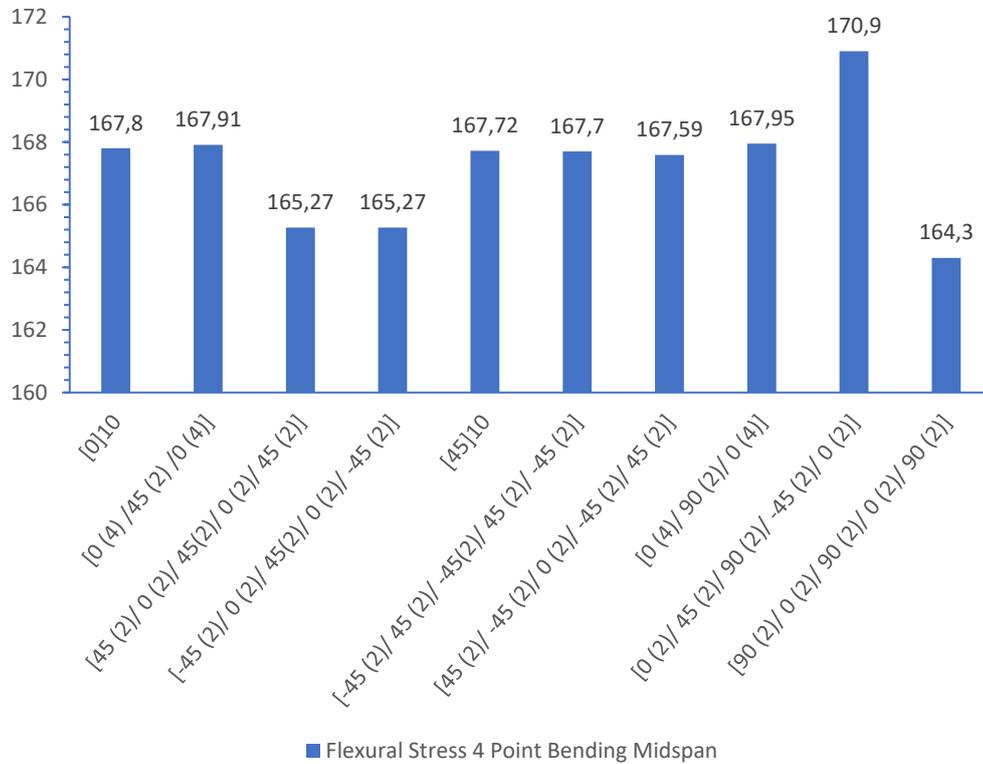


Gambar 4. 18 Hasil Simulasi Uji Orientasi Serat *Four Point Bending Inverse Reserve Factor*

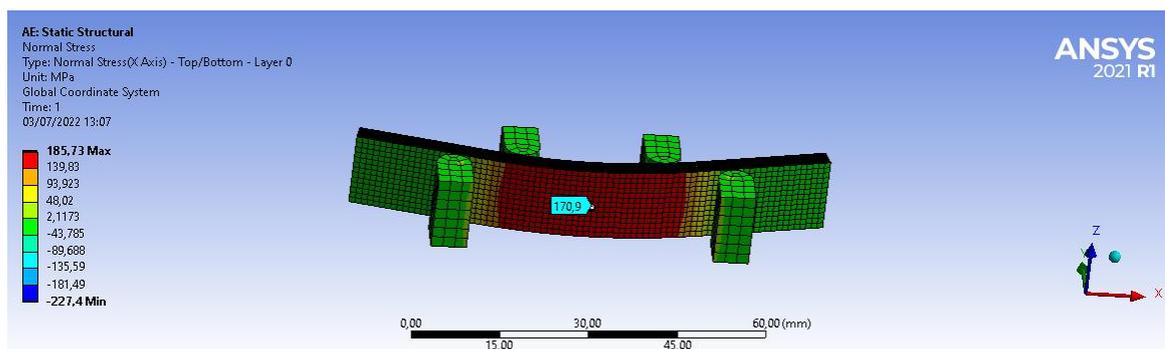
Hasil *inverse Reserve Factor* yang didapatkan dari simulasi *four point bending* terhadap material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin menandakan kegagalan material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin. Meningkatnya nilai *inverse reserve factor* menandakan bahwa material komposit mengalami kegagalan. Berdasarkan grafik diatas, didapatkan nilai maksimum dari *inverse reserve factor* sebesar 7,1466 yang terdapat pada variasi $[(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2]$ sedangkan nilai minimum dari *inverse reserve factor* dengan nilai sebesar 1,4375 dimiliki oleh variasi $[(0^\circ)_4/(90^\circ)_2/(0^\circ)_4]$. Dari hasil diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi sudut $[(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2]$ mengalami kegagalan

material paling besar dan tidak dapat diaplikasikan untuk Serat Sisal-Epoxy Resin sedangkan variasi sudut $[(0^\circ)_4/(90^\circ)_2/(0^\circ)_4]$ tidak terlalu mengalami kegagalan.

Nilai *flexural stress* murni yang didapatkan dari hasil simulasi *four point bending* dihasilkan pada bagian *midspan* permukaan bawah dari spesimen. Berikut ini adalah grafik hasil *flexural stress* murni dari simulai *four point bending*.



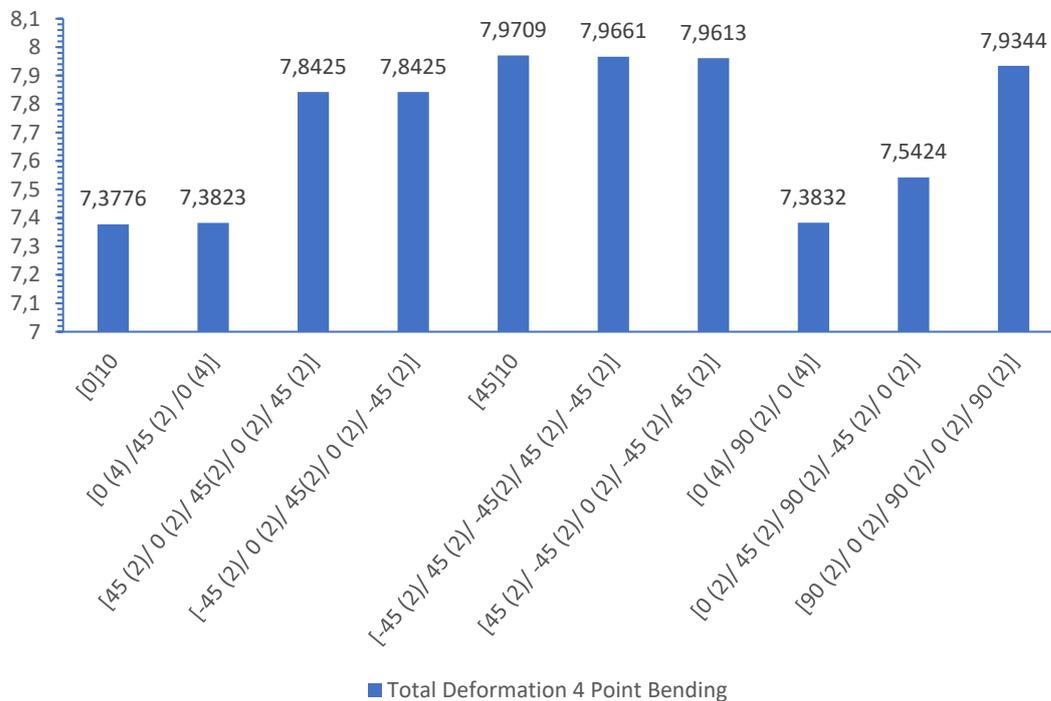
Gambar 4. 19 *Flexural Stress* Variasi Orientasi Arah Sudut Serat dengan Plot Midspan Permukaan Bawah pada Simulasi *Four Point Bending*



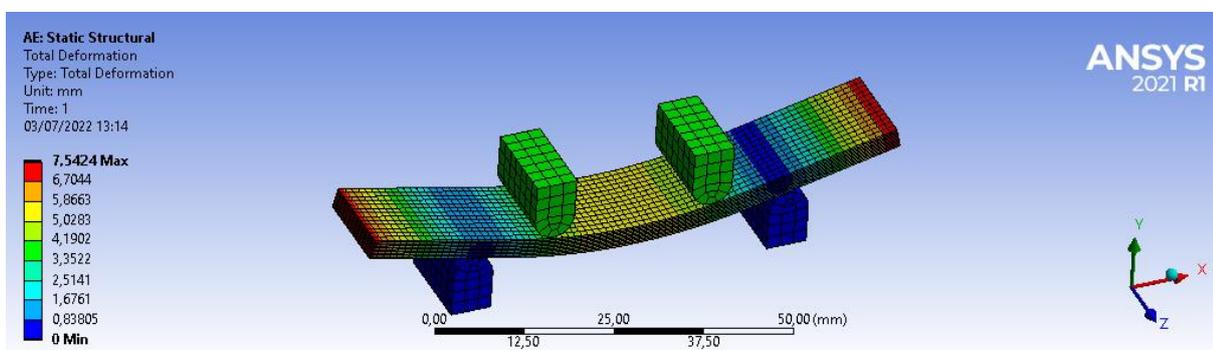
Gambar 4. 20 Plot *Flexural Stress* pada Midspan Permukaan Bawah

Dari hasil yang didapatkan, dapat ditarik kesimpulan bahwa trend *flexural stress* plot *midspan* memiliki trend yang sama dengan hasil *flexural stress* maksimum pada *four point bending*. Nilai maksimum *flexural stress* plot *midspan* dimiliki oleh variasi $[(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(90^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2]$ dengan nilai 170,9 MPa sedangkan nilai *flexural stress* plot *midspan* minimum dimiliki oleh variasi $[(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2]$ dengan nilai 164,3 MPa. Selanjutnya *flexural properties* yang dihasilkan dari simulasi *four point bending* adalah

nilai total deformasi, berikut ini adalah plot grafik untuk hasil dari total deformasi pada simulasi *four point bending*.

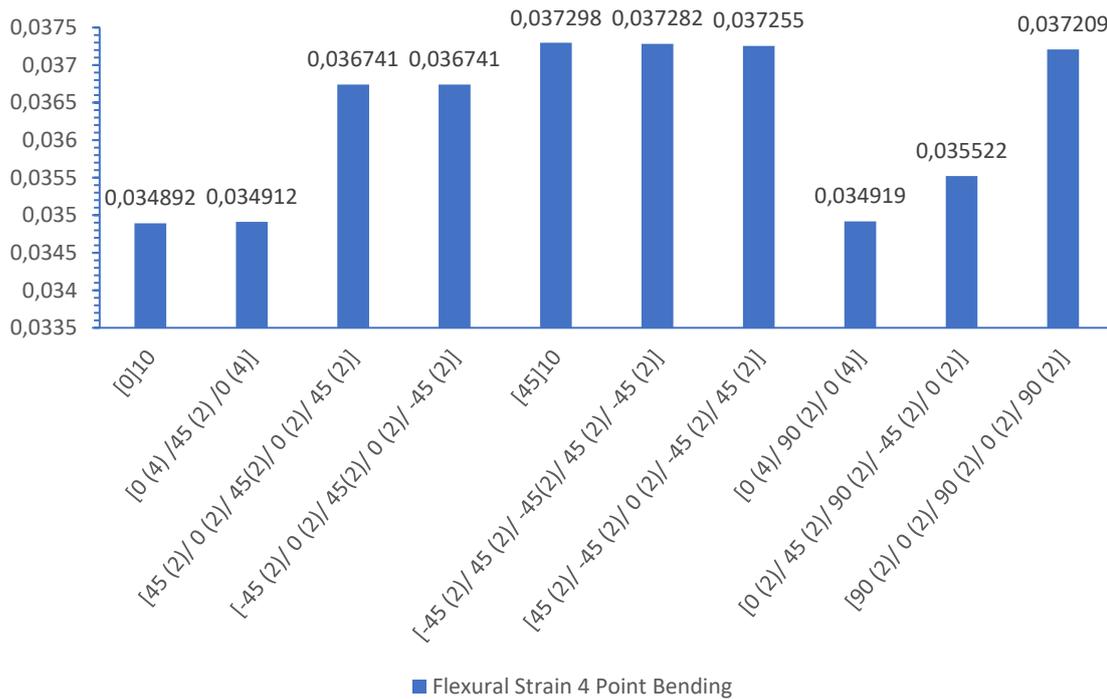


Gambar 4. 21 *Total Deformation* Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Four Point Bending*

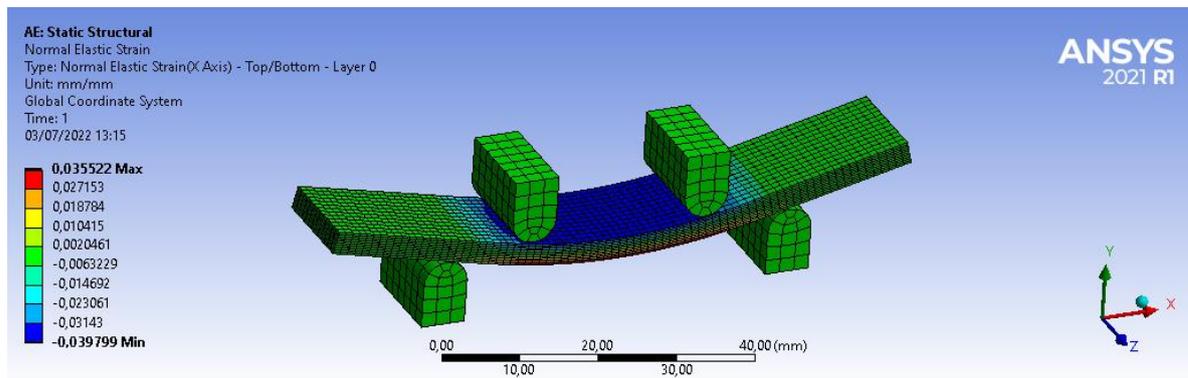


Gambar 4. 22 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat *Four Point Bending Total Deformation*

Nilai total deformasi yang dihasilkan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dikarenakan memiliki range yang kurang lebih sama. Hasil maksimum dari nilai total deformasi terdapat pada variasi sudut [(45°)10] dengan nilai 7,9709 mm dan hasil minimum terdapat pada variasi sudut [(0°)10] dengan nilai 7,336 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 *four point bending* untuk nilai *flexural strain*.

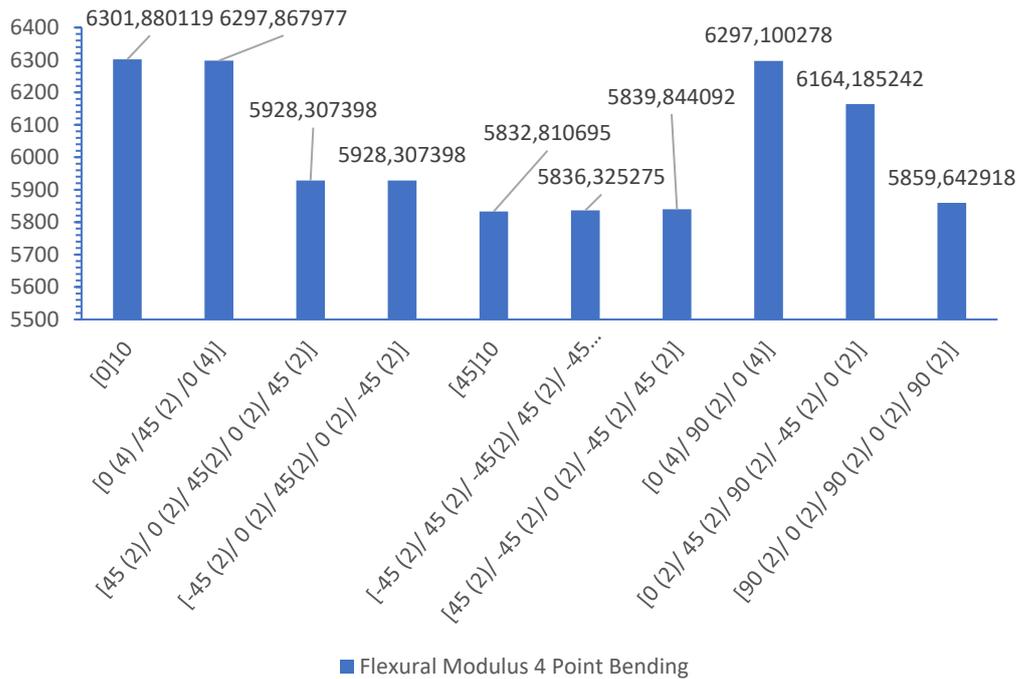


Gambar 4. 23 *Flexural strain* Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Four Point Bending*



Gambar 4. 24 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat *Four Point Bending Flexural Strain*

Dari hasil yang didapatkan setelah melakukan simulasi *four point bending* material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin, nilai maksimum dari *flexural strain* berada pada variasi [(45°)10] dengan nilai 0,037298 sedangkan nilai minimum berada pada variasi [(0°)10] dengan nilai 0,034892. Hasil dari *flexural strain* menunjukkan kekakuan dari material yang diuji dan nilai yang dihasilkan memiliki trend sama dengan hasil total deformasi. Maka dapat ditarik kesimpulan nilai *flexural strain* atau regangan menunjukkan 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 (2.3), berikut ini adalah plot grafik dari hasil perhitungan *flexural modulus*.



Gambar 4. 25 *Flexural Modulus* Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Four 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 6301,88 MPa sedangkan nilai minimum dimiliki oleh variasi sudut [(45°)10] dengan nilai 5832,81 MPa. Hasil dari *flexural modulus* menyatakan bahwa jika nilai semakin besar 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.

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 *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 variasi sudut [(0°)2]/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2 dapat menahan *flexural stress* yang lebih dibandingkan dengan variasi sudut [(0°)10]. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi sudut terbaik pada material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin terdapat pada variasi sudut [(0°)2]/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2

4.2 Hasil Simulasi dan Pembahasan Simulasi Four Point Bending Komposit Serat Kenaf-Polyester Resin

Penelitian ini dilakukan untuk menemukan variasi terbaik yang dimiliki oleh komposit Serat Kenaf-Polyester Resin. Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi untuk variasi fraksi volume dan variasi orientasi arah sudut serat yang berbeda-beda. Fraksi volume yang digunakan pada simulasi material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin sebesar 20%, 30%, 40%, 50%, 60% dan 70%. Lalu untuk variasi arah serat dengan variasi berupa [(0°)10], [(0°)4]/(45°)2/(0°)4, [(45°)2]/(0°)2/(45°)2/(0°)2/(45°)2, [(-45°)2]/(0°)2/(45°)2/(0°)2/(-45°)2],

[(45°)10], [(-45°)2/(45°)2/(-45°)2/(45°)2/(-45°)2], [(45°)2/(-45°)2/(0°)2/(-45°)2/(45°)2], [(0°)4/(90°)2/(0°)4],[0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2], dan[(90°)2/(0°)2/(90°)2/(0°)2/(90°)2]. Pada simulasi yang akan dilakukan, pembebanan yang akan digunakan adalah melalui pendekatan dari eksperimen dimana *flexural strength* hasil dari eksperimen dimasukkan kedalam rumus guna mendapatkan nilai pembebanan sesungguhnya. Perhitungan pembebanan yang akan digunakan untuk metode *three point bending* dan *four point bending*. Setelah didapatkan hasil pembebanan maka dapat dilakukan simulasi *four point bending* untuk variasi fraksi volume dan variasi orientasi arah sudut serat.

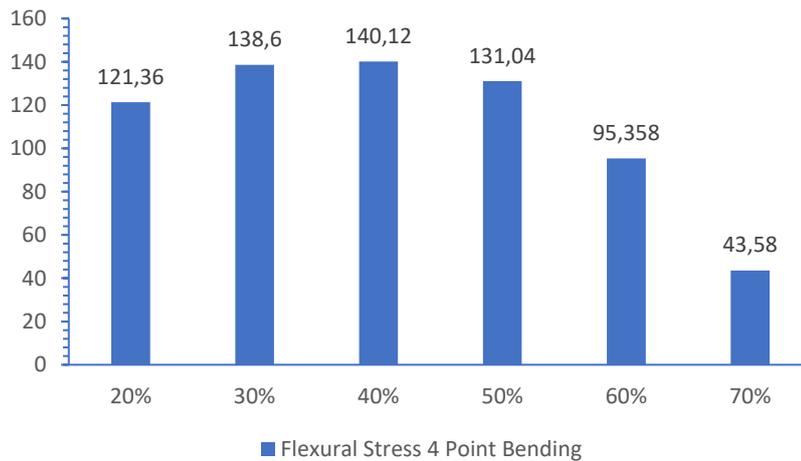
4.2.1 Hasil Simulasi dan Pembahasan Simulasi *Four Point Bending* Serat Kenaf-Polyester Resin dengan Variasi Fraksi Volume

Pada simulasi *Four Point Bending* dengan variasi fraksi volume untuk material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin, dilakukan pendekatan pembebanan seperti pada Serat Sisal-Epoxy Resin guna mendapatkan nilai dari *inverse reserve factor*. Setelah mendapatkan nilai beban yang akan digunakan pada simulasi *three point bending* maka dapat dilakukan simulasi *four point bending* sesuai dengan perumusan pembebanan *four point bending* terhadap *three point bending*. Tabel berikut ini merupakan hasil dari simulasi *four point bending* terhadap material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin dengan variasi fraksi volume.

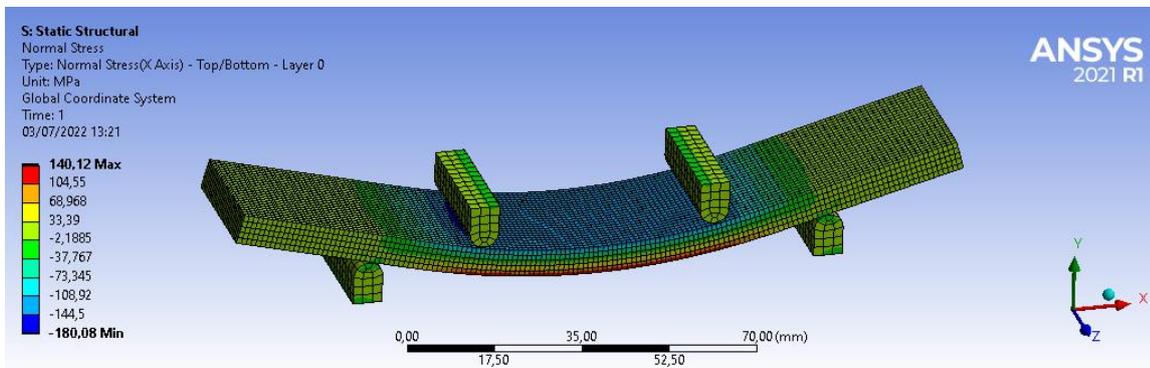
Tabel 4. 3 Hasil Simulasi *Four Point Bending* dengan Variasi Fraksi Volume pada Komposit Serat Kenaf-Polyester Resin

Hasil Kenaf-Polyester Resin	Fraksi Volume					
	20%	30%	40%	50%	60%	70%
Lebar (b)	25,4					
Tebal (d)	6					
Span (L)	96					
Hasil Eksperimen	153,1	-	-	-	-	-
Beban Aktual 3 Point Bending	972,185	-	-	-	-	-
Beban Simulasi 3 Point Bending	972,185	1072	1123	1030	697	294
Beban Aktual 4 Point Bending	1944,37	-	-	-	-	-
Beban Simulasi 4 Point Bending	1944,37	2144	2246	2060	1394	588
Flexural Stress 4 Point Bending	121,36	138,6	140,12	131,04	95,358	43,58
Shear Stress 4 Point Bending	16,242	17,522	18,512	16,865	11,793	5,6485
Inverse Reserve Factor 4 Point Bending	2,3828	2,4208	2,2531	1,9236	1,3089	0,5808
Flexural Stress 4 Point Bending Probe Tengah	114,47	129,3	132,25	123,28	90,705	41,567
Total Deformation 4 Point Bending	9,7474	10,123	9,1818	7,7513	5,372	2,2765
Normal Strain 4 Point Bending	0,028217	0,028955	0,026812	0,022976	0,01551	0,0066026
Slope of Tangent (m) 4 Point Bending	199,475758	211,794922	244,614346	265,761872	259,493671	258,291237
Flexural Modulus 4 Point Bending	5468,46297	5806,18269	6705,90005	7285,642	7113,80445	7080,8407

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan dari simulasi *four point bending*, nilai dari setiap *flexural properties* dari setiap fraksi volume memiliki perbedaan hasil yang cukup signifikan. *Flexural properties* yang akan pertama yang akan dibahas adalah *flexural stress* maksimum yang dihasilkan dari simulasi *four point bending*. Berikut ini adalah grafik hasil *flexural stress* maksimum pada simulasi *four point bending* untuk material komposisi Serat Kenaf-Polyester Resin.

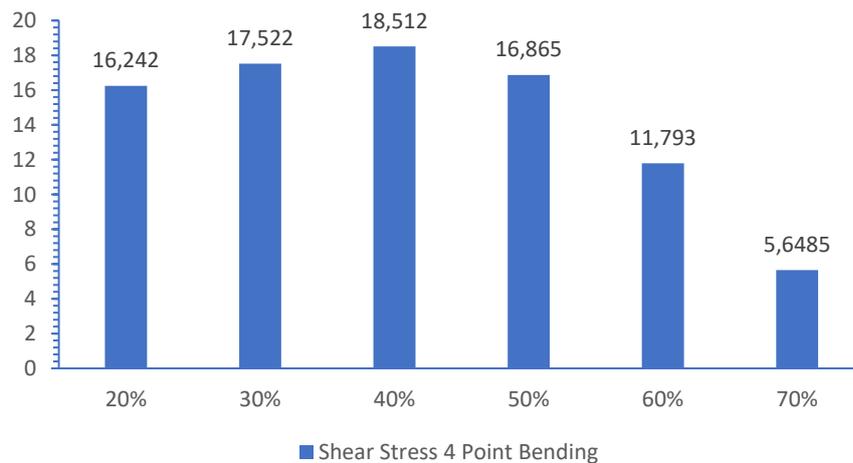


Gambar 4. 26 *Flexural Stress* Maksimum Serat Kenaf-Polyester Resin pada Simulasi *Four Point Bending* dengan Variasi Fraksi Volume

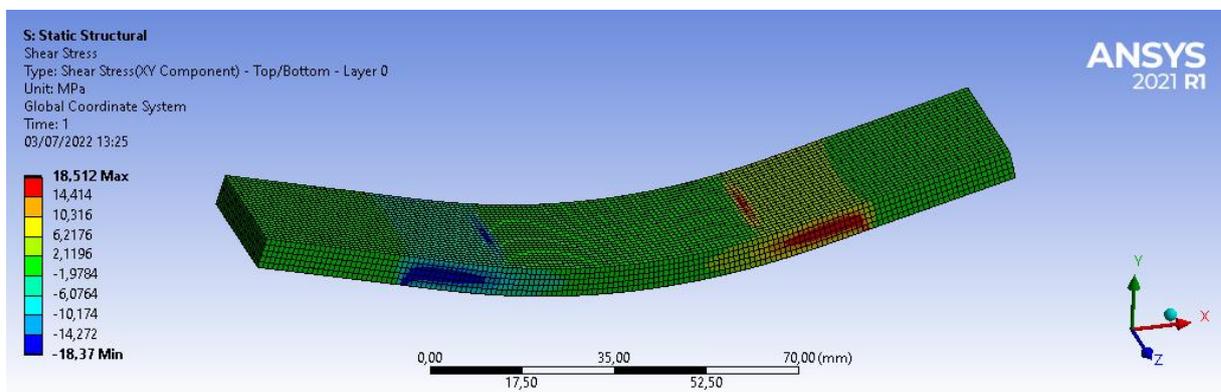


Gambar 4. 27 Hasil Simulasi Variasi Fraksi Volume *Four Point Bending Flexural Stress* Maksimum

Berdasarkan hasil *flexural stress* maksimum yang telah didapatkan, nilai maksimum berada pada fraksi volume 40% dengan nilai 140,12 MPa sedangkan nilai *flexural stress* minimum yang didapatkan berada pada fraksi volume 70% dengan nilai 43,58 MPa. *Flexural Properties* selanjutnya yang didapatkan adalah nilai *shear stress* pada simulasi *four point bending*. Berikut ini adalah hasil *shear stress* dari simulasi *four point bending* pada material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin.

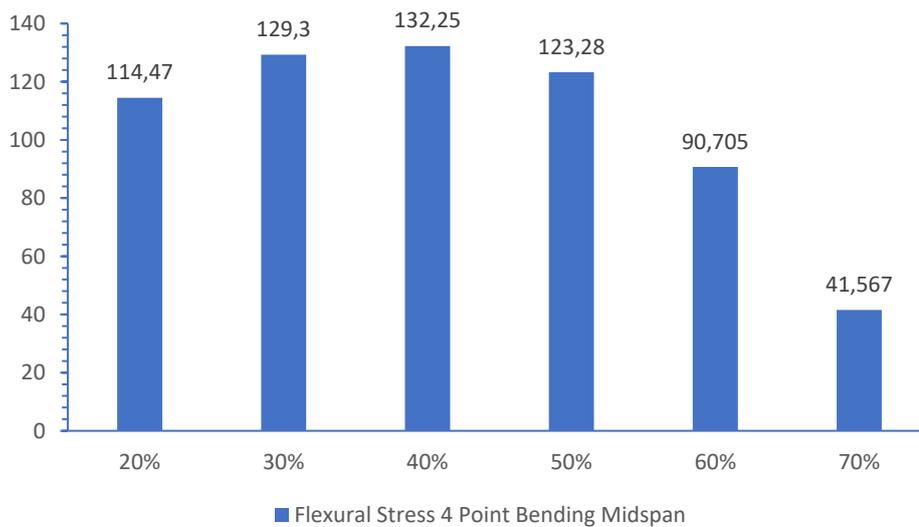


Gambar 4. 28 *Shear Stress* Serat Kenaf-Polyester Resin pada Simulasi *Four Point Bending* dengan Variasi Fraksi Volume

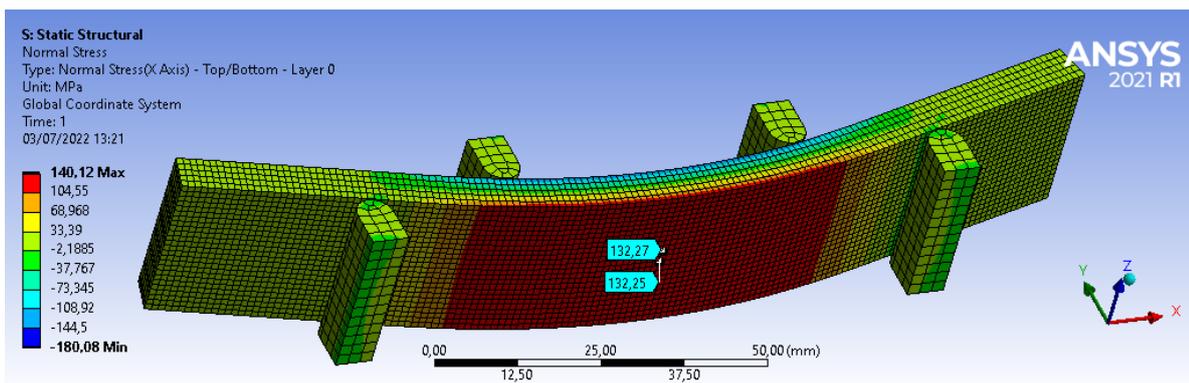


Gambar 4. 29 Hasil Simulai Variasi Fraksi Volume *Four Point Bending Shear Stress*

Dari hasil yang didapatkan, nilai *shear stress* yang dihasilkan mengalami peningkatan dari fraksi volume 20% hingga 40% lalu setelah dari fraksi volume 40% mengalami penurunan hingga fraksi volume 70%. Nilai *shear stress* maksimum yang didapatkan berada pada fraksi volume 40% dengan nilai 18,512 MPa sedangkan nilai *shear stress* minimum yang didapatkan berada pada fraksi volume 70% dengan nilai 5,6485 MPa. Hal ini menyatakan bahwa fraksi volume 40% dapat menerima *shear stress* yang lebih besar jika dibandingkan dengan fraksi volume lainnya. *Flexural properties* lainnya yang didapatkan dari simulasi *four point bending* adalah nilai *flexural stress* murni pada bagian *midspan* permukaan bawah. Berikut ini adalah grafik hasil nilai *flexural stress* murni pada bagian *midspan* permukaan bawah.

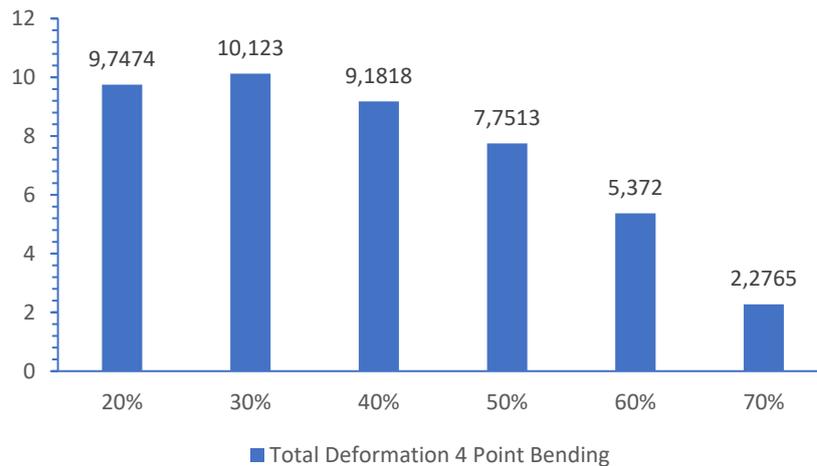


Gambar 4. 30 *Flexural Stress* Murni pada Bagian *Midspan* Permukaan Bawah Serat Kenaf-Polyester Resin pada Simulasi *Four Point Bending* dengan Variasi Fraksi Volume

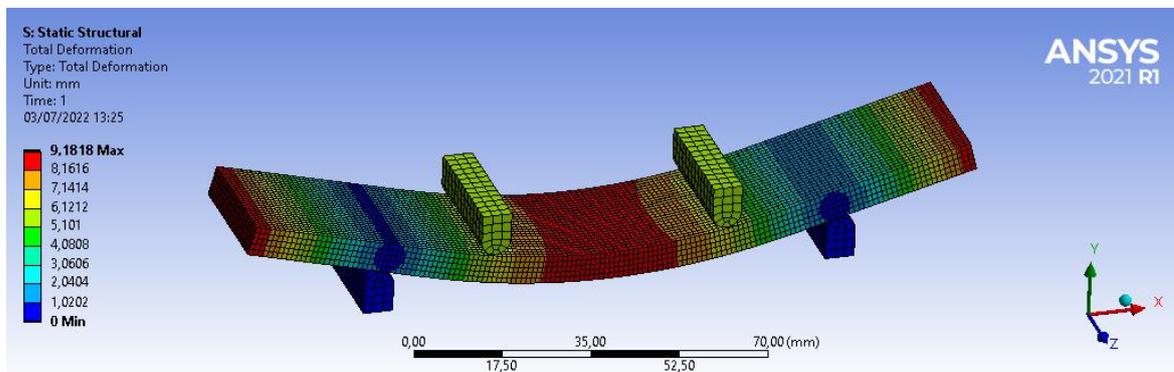


Gambar 4. 31 Plot *Flexural Stress* pada *Midspan* Permukaan Bawah

Dari hasil yang didapatkan, nilai *flexural stress* murni pada bagian *midspan* permukaan bawah memiliki trend yang sama dengan hasil *flexural stress* maksimum. Hasil maksimum yang didapatkan berada pada fraksi volume 40% dengan nilai sebesar 132,25 MPa sedangkan nilai terendah berada pada fraksi volume 70% dengan nilai sebesar 41,567 MPa. Nilai *flexural stress* murni pada bagian *midspan* permukaan bawah merupakan hasil *flexural stress* murni yang tidak terdapat *shear stress*. Hasil *flexural properties* selanjutnya yang didapatkan adalah hasil total deformasi yang akan ditunjukkan pada grafik berikut ini.

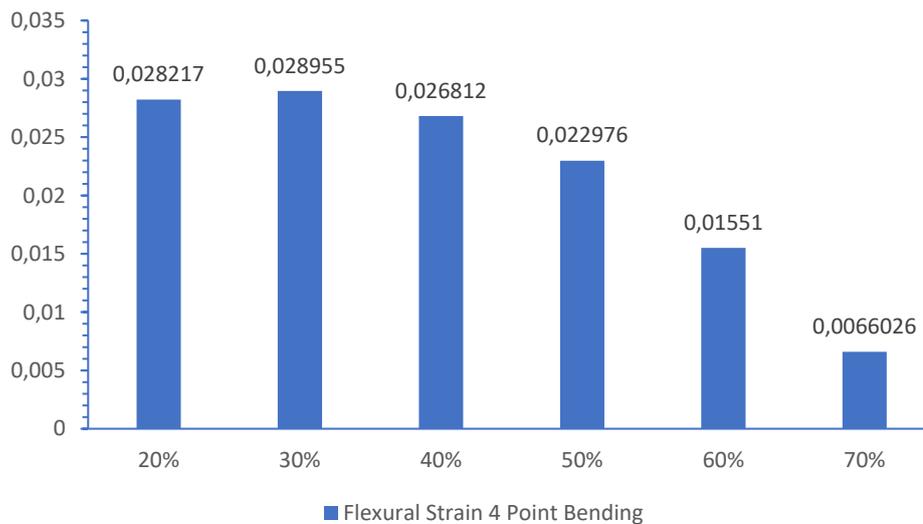


Gambar 4. 32 Total Deformasi Serat Kenaf-Polyester Resin pada Simulasi *Four Point Bending* dengan Variasi Fraksi Volume

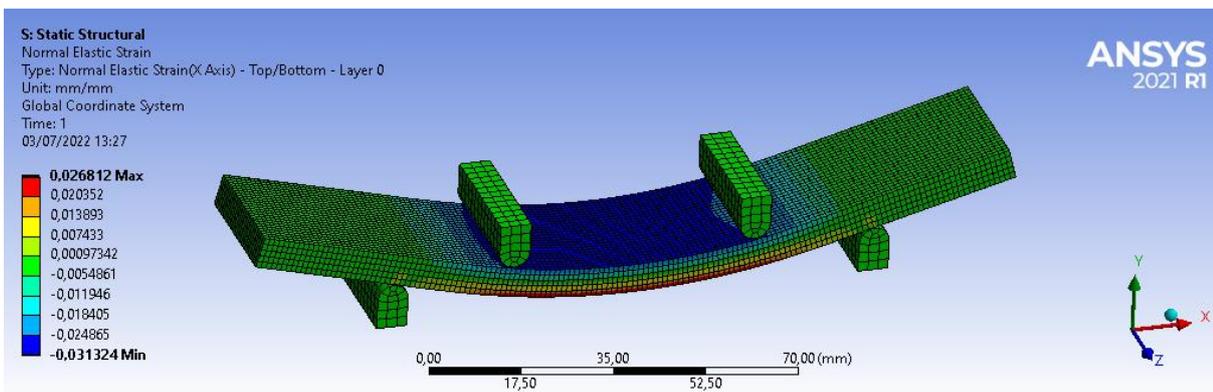


Gambar 4. 33 Hasil Simulai Variasi Fraksi Volume *Four Point Bending Total Deformation*

Berdasarkan dari hasil yang telah didapatkan, maka dapat didapat nilai total deformasi maksimum berada pada fraksi volume 30% dengan nilai 10,123 mm sedangkan nilai total deformasi minimum berada pada fraksi volume 70% dengan nilai 2,2765 mm. Hal ini menunjukkan bahwa material komposit Serat Sisal-Polyester Resin dengan fraksi volume 30% memiliki nilai total deformasi maksimum yang dimana dapat ditarik kesimpulan bahwa material memiliki sifat yang lebih lentur jika dibandingkan dengan fraksi volume lainnya sedangkan material komposit Serat Sisal-Polyester Resin dengan fraksi volume 70% memiliki sifat material paling kaku dibandingkan dengan fraksi volume lainnya. Hasil *flexural properties* selanjutnya yang dihasilkan adalah *flexural strain* yang terdapat pada grafik berikut ini.

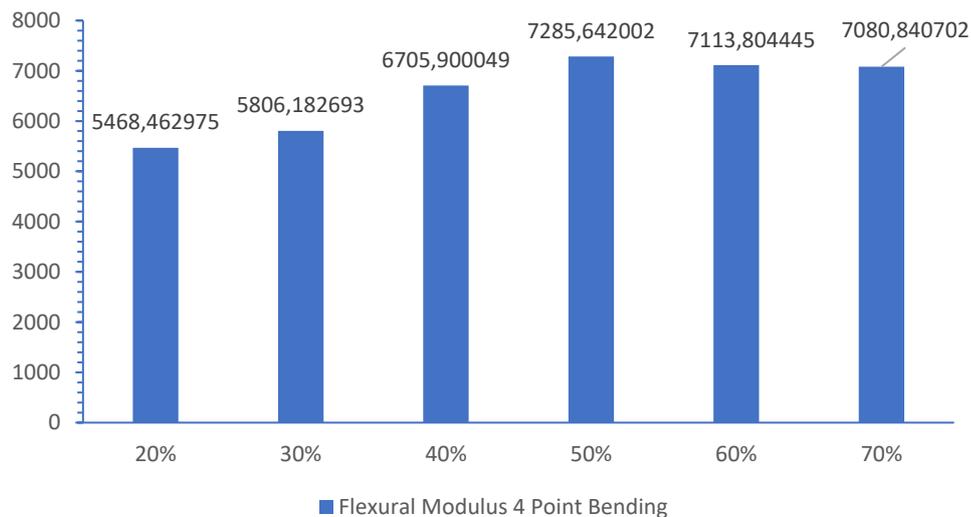


Gambar 4. 34 *Flexural strain* Serat Kenaf-Polyester Resin pada Simulasi *Four Point Bending* dengan Variasi Fraksi Volume



Gambar 4. 35 Hasil Simulai Variasi Fraksi Volume *Four Point Bending Flexural Strain*

Dari hasil grafik diatas, nilai *flexural strain* maksimum berada pada fraksi volume 30% dengan nilai 0,028955 dan nilai *flexural strain* minimum berada pada fraksi volume 70% dengan nilai 0,00662026. Nilai *flexural strain* memiliki trend yang sama dengan total deformasi dan hal ini menunjukkan besarnya regangan yang terjadi pada variasi fraksi volume yang dilakukan. Fraksi volume 30% memiliki sifat material yang lebih lentur sedangkan fraksi volume 70% memiliki sifat material yang lebih kaku. Hasil selanjutnya yang didapatkan adalah , *flexural properties* yang dihasilkan dari data hasil simulasi adalah *flexural modulus* yang dihasilkan dengan perhitungan manual dengan persamaan (2.3), berikut ini adalah plot grafik dari hasil perhitungan *flexural modulus*.



Gambar 4. 36 *Flexural Modulus* Serat Kenaf-Polyester Resin pada Simulasi *Four Point Bending* dengan Variasi Fraksi Volume

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan nilai dari *flexural modulus* maka dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai maksimum *flexural modulus* dimiliki oleh fraksi volume 50% dengan nilai 7285,642 MPa sedangkan nilai minimum dimiliki oleh fraksi volume 20% dengan nilai 5468,463 MPa. Hasil dari *flexural modulus* yang telah didapat menyatakan bahwa selain total deformasi, beban juga memberikan andil dalam perhitungan *flexural modulus*.

Dari hasil yang didapatkan dari simulasi *four point bending* maka dapat ditarik kesimpulan bahwa fraksi volume terbaik yang didapatkan untuk material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin adalah fraksi volume 40% dikarenakan memiliki nilai *flexural stress* dan *shear stress* tertinggi tetapi sifat dari material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin dengan fraksi volume 40% sedikit lebih kaku jika dibandingkan dengan fraksi volume 30%. Maka dari itu untuk melanjutkan variasi orientasi arah sudut serat akan digunakan fraksi volume 40% untuk material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin.

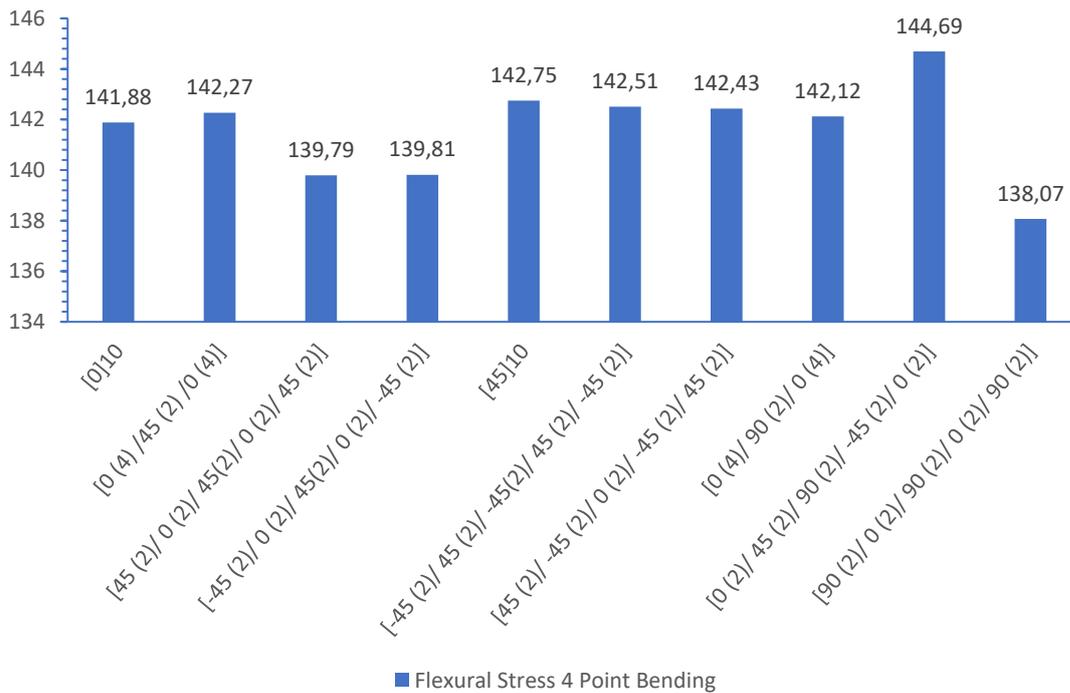
4.2.2 Hasil dan Pembahasan Simulasi *Four Point Bending* Serat Kenaf-Epoxy Resin dengan Variasi Orientasi Arah Sudut Serat

Orientasi arah sudut serat dapat meningkatkan kekuatan dari komposit sehingga dapat membuat material menjadi lebih kuat atau bahkan membuat material komposit menjadi melemah. Orientasi arah sudut serat yang akan diterapkan pada material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin berdasarkan pada jumlah layer yang akan digunakan. Layer yang digunakan pada material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin berjumlah sebesar 10 dengan ketebalan layer sebesar 0,6 mm. Dengan adanya jumlah layer, maka penentuan sudut yang akan digunakan dapat dilakukan. Variasi sudut yang akan digunakan adalah $[(0^\circ)_{10}]$, $[(0^\circ)_4/(45^\circ)_2/(0^\circ)_4]$, $[(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2]$, $[(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2]$, $[(45^\circ)_{10}]$, $[(45^\circ)_2/(45^\circ)_2/45^\circ)_2/(45^\circ)_2/(45^\circ)_2]$, $[(45^\circ)_2/(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(45^\circ)_2]$, $[(0^\circ)_4/(90^\circ)_2/(0^\circ)_4]$, $[(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(90^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2]$, dan $[(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2]$. 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. Berikut ini adalah hasil simulasi *Four Point Bending* material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin dengan menggunakan variasi orientasi arah sudut serat.

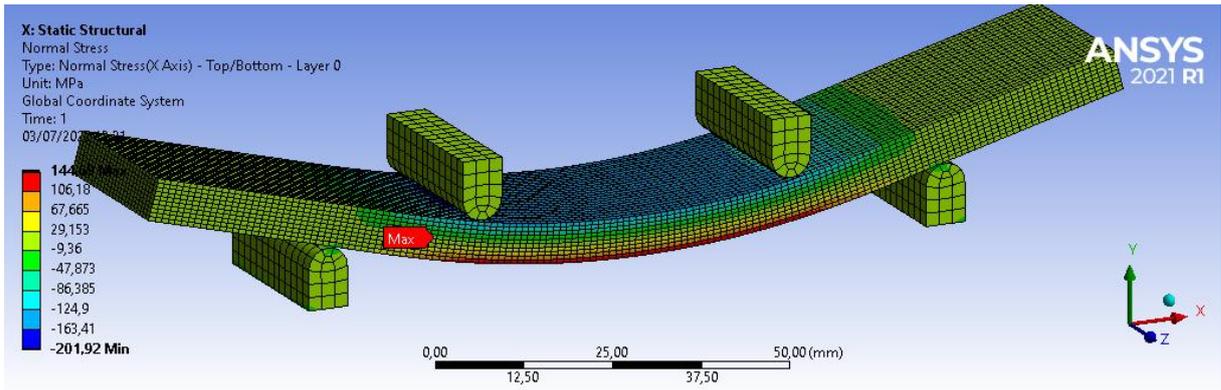
Tabel 4. 4 Hasil Simulasi *Four Point Bending* dengan Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Komposit Serat Kenaf-Polyester Resin

Hasil Kenaf-Polyester	Fraksi Volume									
	[0]10	[0 (4)/45 (2)]0 (4)	[45 (2)/0 (2)/45 (2)/0 (2)/45 (2)]	[45 (2)/0 (2)/45 (2)/0 (2)/-45 (2)]	[45]10	[45 (2)/45 (2)/-45 (2)/45 (2)/-45 (2)]	[45 (2)/-45 (2)/0 (2)/-45 (2)/45 (2)]	[0 (4)/90 (2)/0 (4)]	[0 (2)/45 (2)/90 (2)/-45 (2)/0 (2)]	[90 (2)/0 (2)/90 (2)/0 (2)/90 (2)]
Lebar (b)	25,4									
Tebal (d)	6									
Span (L)	96									
Beban Simulasi 3 Point Bending	123									
Beban Simulasi 4 Point Bending	2246									
Flexural Stress 4 Point Bending	141,88	142,27	139,79	139,81	142,75	142,51	142,43	142,12	144,69	138,07
Shear Stress 4 Point Bending	23,701	23,719	24,295	24,174	24,596	24,493	24,572	23,708	23,92	23,601
Inverse Reserve Factor 4 Point Bending	2,2507	2,2524	4,6869	4,6347	4,7425	4,7161	4,7126	2,2521	2,3013	11,231
Flexural Stress 4 Point Bending Probe Tengah	132,14	132,25	129,46	129,45	132,32	132,24	132,13	132,28	134,97	128,59
Total Deformation 4 Point Bending	9,2331	9,2544	10,149	10,159	10,433	10,412	10,404	9,2492	9,4708	10,274
Normal Strain 4 Point Bending	0,026368	0,02701	0,02917	0,029174	0,029813	0,029777	0,029756	0,026997	0,027517	0,029538
Slope of Tangent (m) 4 Point Bending	94,009596	93,79322288	85,52566755	85,44146046	83,197546	83,36534788	83,42945021	93,84595424	91,65012459	84,49510804
Flexural Modulus 4 Point Bending	5035,4432	5023,853601	4581,01791	4578,50859	4456,3166	4463,30483	4468,738059	5026,678066	4909,062674	4525,282341

Pada variasi orientasi arah sudut serat, *flexural stress* dan *inverse reserve factor* menjadi indikator penting untuk menentukan variasi yang sesuai dengan material yang akan digunakan. Hasil pertama yang akan dibahas adalah *flexural stress*. Berikut ini adalah grafik hasil simulasi *four point bending* terhadap material Serat Kenaf-Polyester Resin dengan variasi orientasi arah sudut serat.

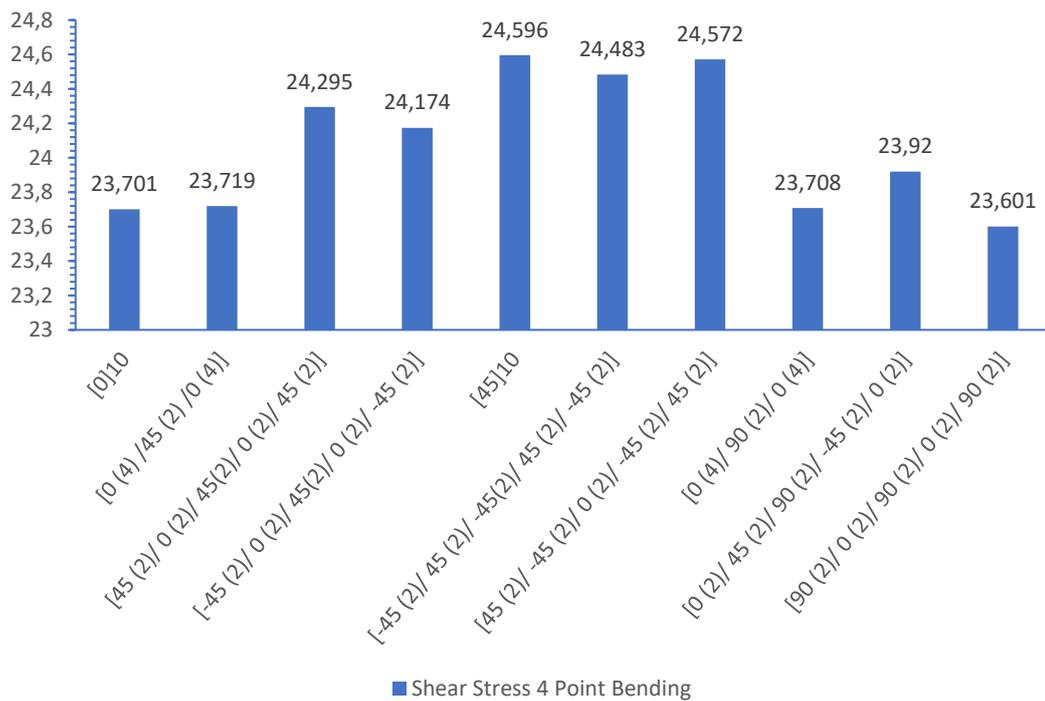


Gambar 4. 37 *Flexural Stress* Maksimum Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Four Point Bending*

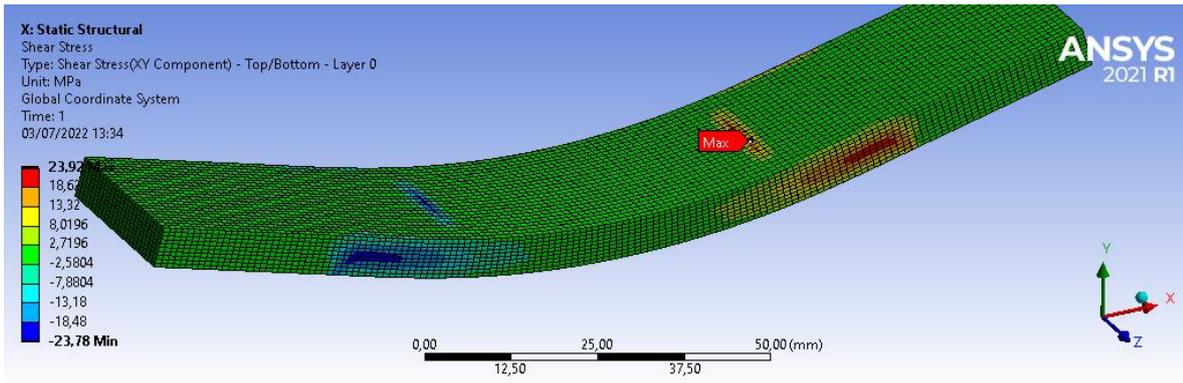


Gambar 4. 38 Hasil Simulasi Uji Orientasi Serat *Four Point Bending Flexural Stress* Maksimum

Berdasarkan hasil yang sudah didapatkan maka nilai *flexural stress* maksimum terdapat pada variasi sudut $[(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(90^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2]$ dengan nilai 144,69 MPa lalu nilai *flexural stress* minimum terdapat pada variasi sudut $[(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2]$ dengan nilai 138,07 MPa. *Flexural properties* selanjutnya yang didapat adalah *shear stress*, grafik berikut ini adalah hasil nilai *shear stress* dari simulasi *four point bending* yang telah dilakukan.

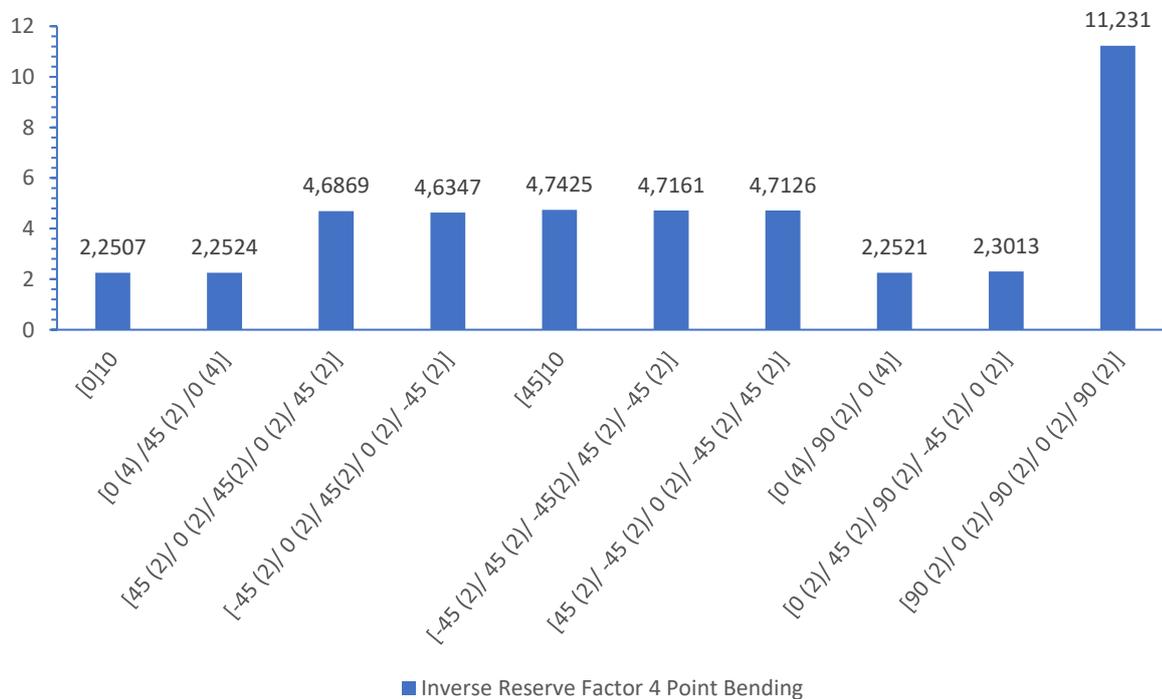


Gambar 4. 39 *Shear Stress* Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Four Point Bending*

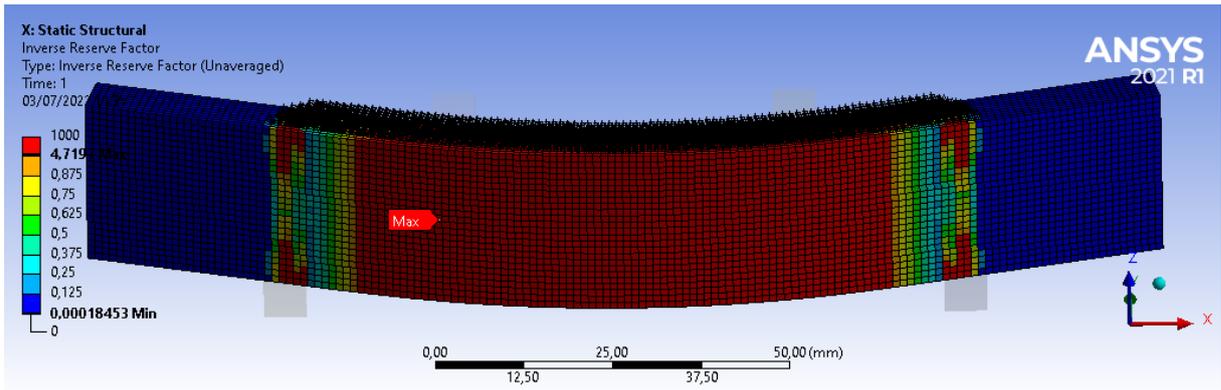


Gambar 4. 40 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat *Four Point Bending Shear Stress*

Dapat diperhatikan dari grafik diatas, nilai *shear stress* maksimum yang dihasilkan dari simulasi *four point bending* berada pada variasi sudut [(45°)10] dengan nilai *shear stress* sebesar 24,596 MPa sedangkan nilai *shear stress* minimum yang dihasilkan dari simulasi *four point bending* berada pada variasi sudut [(90°)2/(0°)2/(90°)2/(0°)2/(90°)2] dengan nilai *shear stress* sebesar 23,601 MPa. Dengan meningkatnya nilai *shear stress* yang ada maka material variasi orientasi arah sudut serat tidak dapat meredam *shear stress* yang terjadi sehingga dapat berpengaruh pada *inverse reserve factor* dari material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin. Selanjutnya, nilai dari *inverse reserve factor* menjadi hasil yang harus ditinjau untuk dapat menentukan kualitas dari variasi orientasi arah sudut. Berikut ini adalah hasil dari *inverse reserve factor* dari hasil simulasi *four point bending* dengan variasi orientasi arah sudut serat.

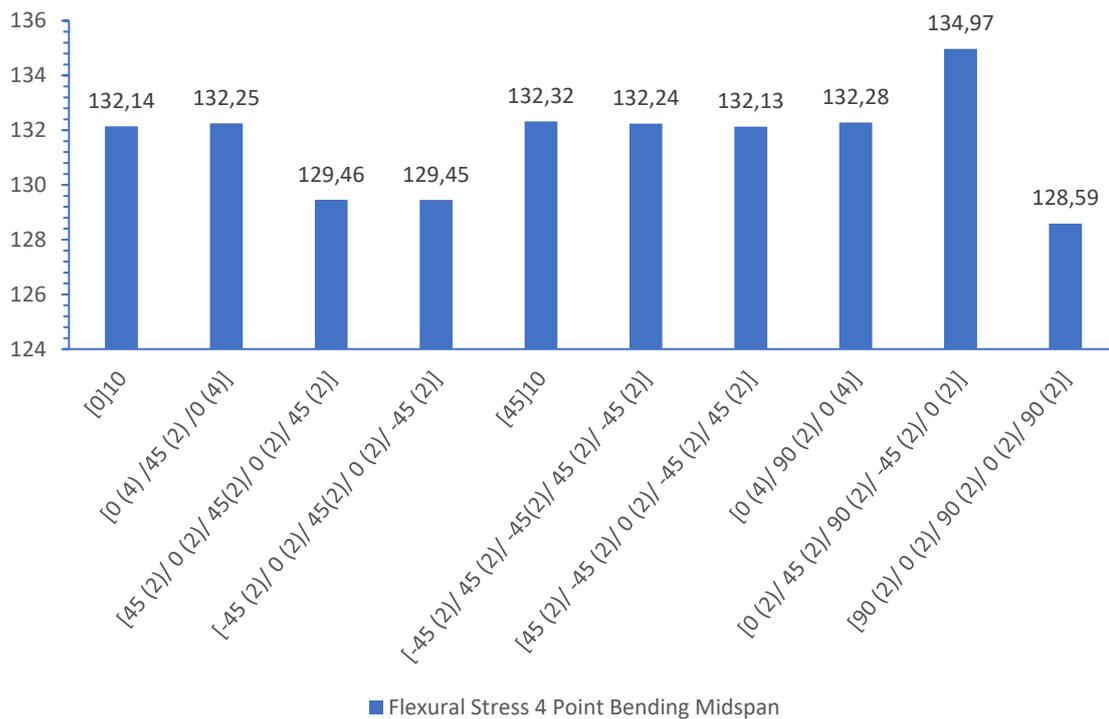


Gambar 4. 41 *Inverse Reserve Factor* Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Four Point Bending*

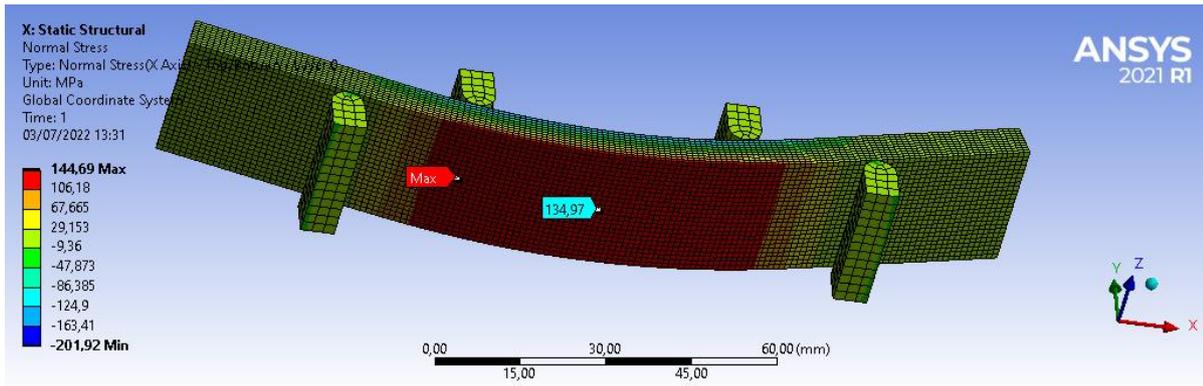


Gambar 4. 42 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat *Four Point Bending Inverse Reserve Factor*

Dari hasil yang telah didapatkan, nilai *inverse reserve factor* maksimum dimiliki pada variasi arah sudut serat $[(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2]$ dengan nilai 11,231 sedangkan nilai minimum dimiliki oleh variasi sudut $[(0^\circ)_{10}]$ dengan nilai 2,2507. Dari nilai yang didapat, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi sudut $[(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2]$ memiliki kegagalan material yang terburuk sedangkan variasi yang lainnya tidak mengalami kegagalan sebesar itu. *Flexural stress* murni juga harus ditinjau dalam simulasi *four point bending*, berikut ini adalah hasil dari simulasi *four point bending*.

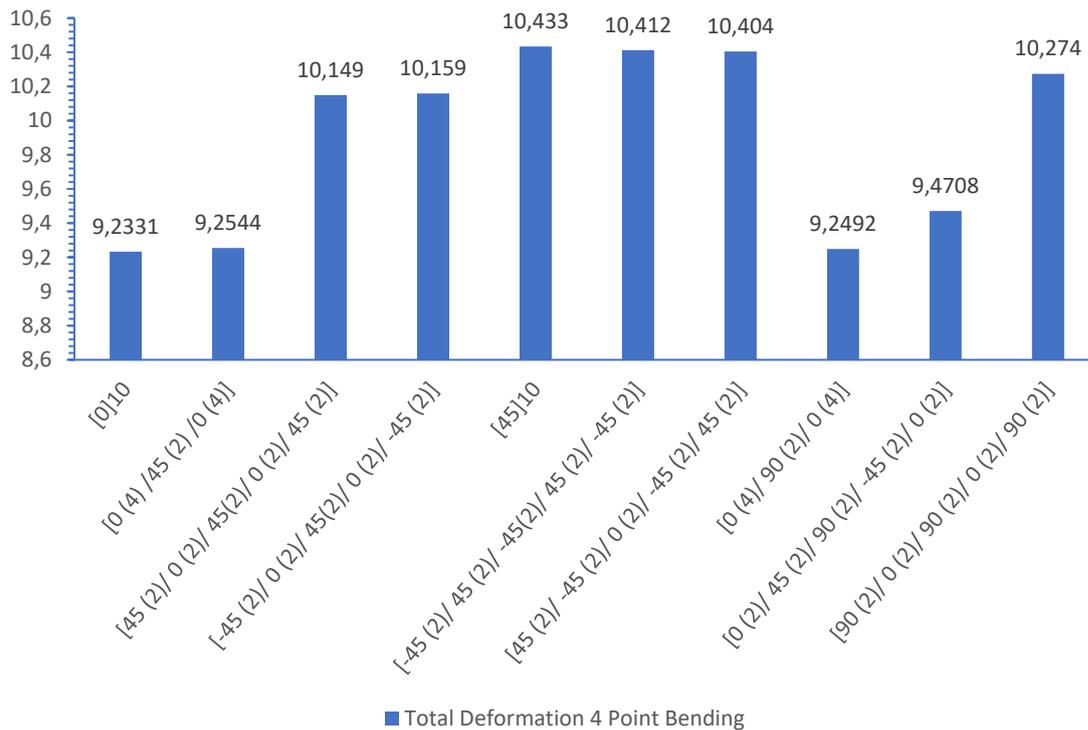


Gambar 4. 43 *Flexural Stress* Murni pada Bagian *Midspan* Permukaan Bawah Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Four Point Bending*

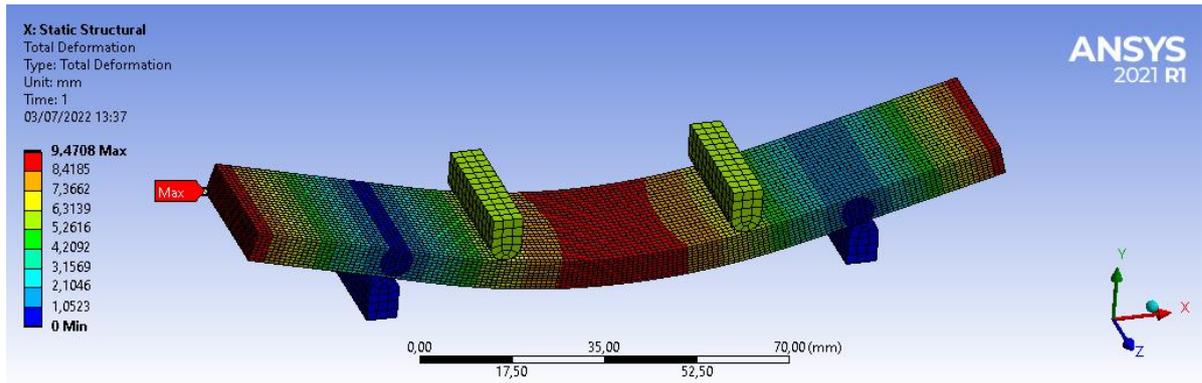


Gambar 4. 44 Plot *Flexural Stress* pada Midspan Permukaan Bawah

Berdasarkan hasil *flexural stress* murni pada bagian *midspan* permukaan bawah, trend yang dimiliki sama dengan *flexural stress* maksimum yang dihasilkan dimana nilai maksimum dimiliki variasi sudut $[(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(90^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2]$ dengan nilai 134,97 MPa sedangkan nilai minimum dimiliki variasi sudut $[(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2]$ dengan nilai 128,59 MPa. *Flexural properties* yang selanjutnya akan ditampilkan adalah nilai dari total deformasi yang dihasilkan oleh setiap variasi sudut, berikut ini adalah grafik hasil dari nilai total deformasi antar variasi orientasi arah sudut serat.

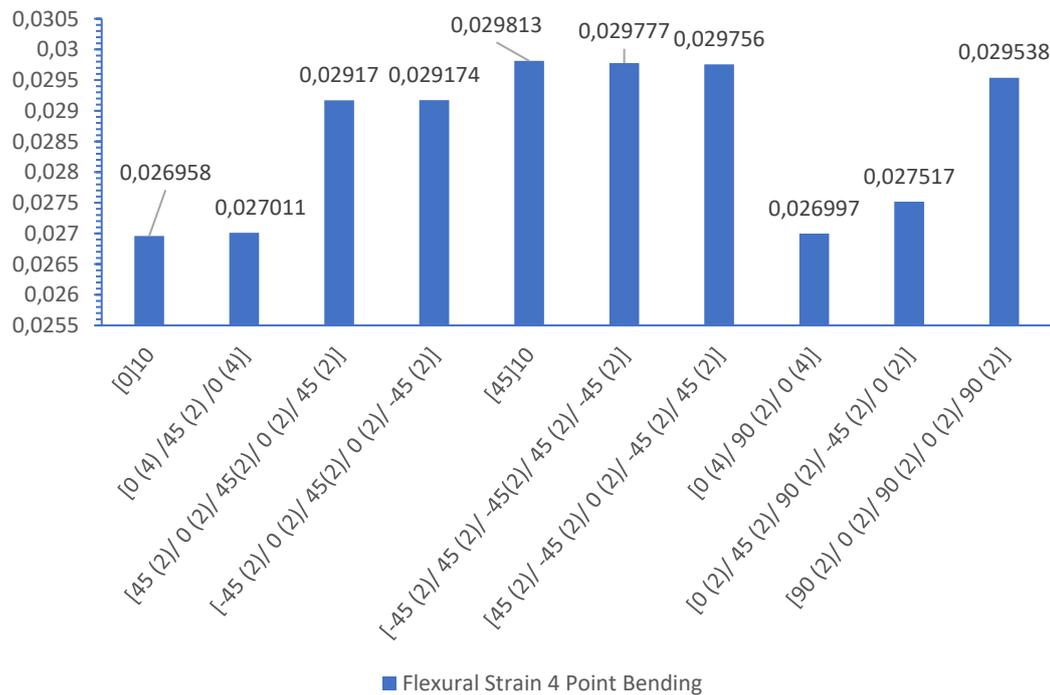


Gambar 4. 45 Total Deformasi Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Four Point Bending*

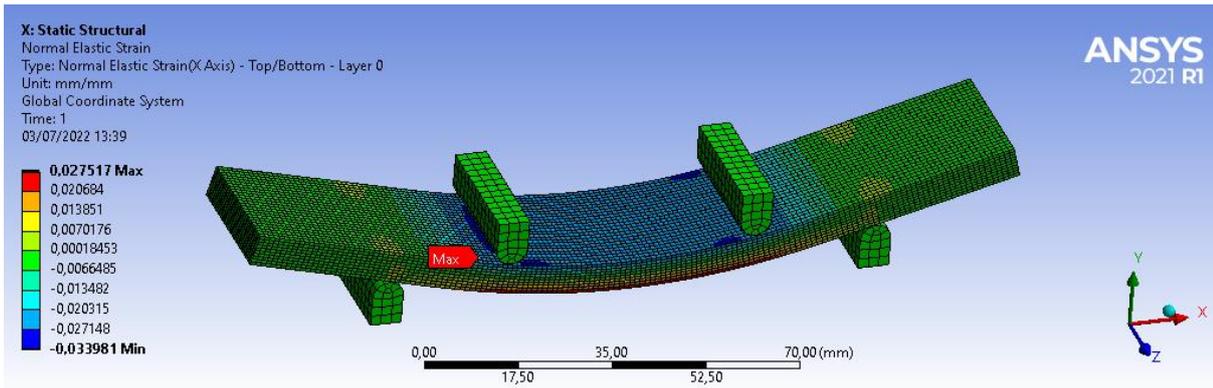


Gambar 4. 46 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat *Four Point Bending Total Deformation*

Dari hasil yang didapatkan dari simulasi yang telah dilakukan, nilai total deformasi maksimum dimiliki oleh variasi $[(45^\circ)_{10}]$ dengan nilai 10,433 mm lalu nilai total deformasi minimum dimiliki oleh variasi $[(0^\circ)_{10}]$ dengan nilai 9,2331 mm. Dari hasil ini didapatkan kesimpulan bahwa nilai sifat dari variasi sudut $[(45^\circ)_{10}]$ memiliki sifat ter lentur jika dibandingkan dengan variasi orientasi arah sudut serat yang lainnya pada material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin sedangkan variasi sudut $[(0^\circ)_{10}]$ memiliki sifat material ter kaku jika dibanding kan dengan hasil total deformasi variasi sudut yang lainnya. *Flexural Properties* selanjutnya yang didapatkan dari hasil simulasi adalah *flexural strain*, berikut ini adalah grafik nilai *flexural strain*.

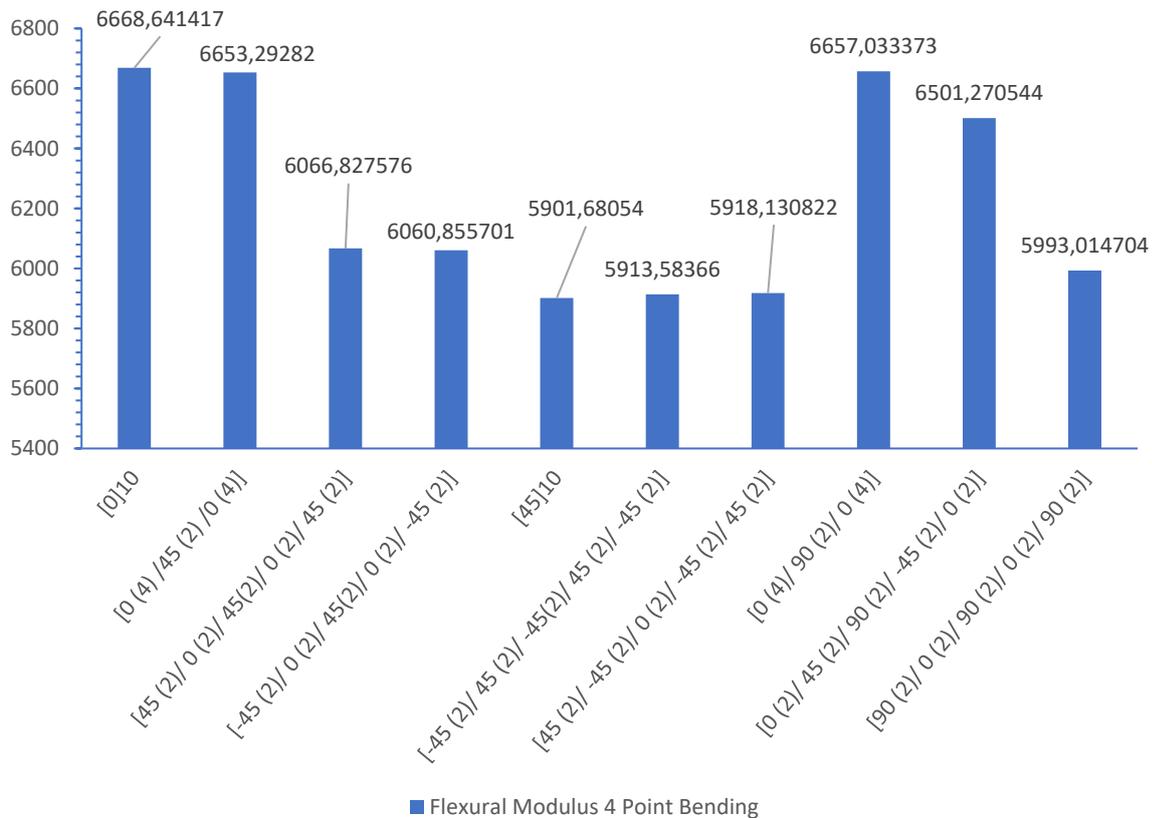


Gambar 4. 47 *Flexural strain* Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Four Point Bending*



Gambar 4. 48 Hasil Simulai Uji Orientasi Serat *Four Point Bending Flexural Strain*

Nilai dari *flexural strain* memiliki trend yang sama dengan nilai total deformasi dimana nilai maksimum dimiliki oleh variasi sudut $[(45^\circ)_{10}]$ dengan nilai 0,029813 sedangkan nilai minimum dimiliki oleh variasi sudut $[(0^\circ)_{10}]$ dengan nilai 0,026958. Nilai regangan yang didapat menunjukkan bahwa material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin dengan variasi sudut $[(45^\circ)_{10}]$ memiliki sifat lentur sedangkan variasi sudut $[(0^\circ)_{10}]$ memiliki sifat yang kaku. Hasil akhir yang akan didapatkan adalah hasil perhitungan untuk nilai dari *flexural modulus* dimana menggunakan persamaan (2.3), berikut ini adalah grafik hasil perhitungan *flexural modulus*.



Gambar 4. 49 *Flexural Modulus* Variasi Orientasi Arah Sudut Serat pada Simulasi *Four 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 5035,44 MPa sedangkan nilai minimum dimiliki oleh variasi sudut [(45°)10] dengan nilai 4456,31 MPa. Hasil dari *flexural modulus* menyatakan bahwa jika nilai semakin besar 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.

Setelah hasil dari simulasi *four point bending* dengan material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin didapatkan maka dapat ditarik kesimpulan, variasi sudut terbaik yang dapat digunakan untuk material Serat Kenaf-Polyester Resin adalah variasi orientasi arah sudut serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] dikarenakan nilai *flexural stress* yang tertinggi dan *inverse reserve factor* yang tidak terlalu berbeda jauh dibandingkan dengan variasi orientasi arah sudut serat [(0°)10] yang memiliki kriteria terbaik untuk *inverse reserve factor*. Variasi sudut [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] bahkan memiliki nilai *flexural stress* yang lebih dibandingkan dengan variasi sudut [(0°)10]. Maka dari itu variasi terbaik untuk orientasi arah sudut serat pada material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin adalah [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2].

4.3 Pembahasan Hasil Perbandingan dari Flexural Properties antara Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dengan Komposit Serat Kenaf-Polyester Resin

Simulasi *four point bending* yang telah dilakukan kepada material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin mendapatkan hasil berupa *flexural properties* dari material komposit yang diujikan. Dari kedua variasi yang telah dilakukan kepada material komposit menghasilkan variasi terbaik yang dimiliki oleh masing-masing material komposit. Untuk variasi fraksi volume yang dilakukan kepada material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin didapatkan hasil fraksi volume terbaik sebesar 40% dimana didukung dengan hasil *flexural properties* yang baik setelah itu untuk variasi orientasi arah sudut serat, material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin memiliki variasi sudut terbaik yaitu [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2]. Material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin memiliki nilai fraksi volume terbaik yang sama dengan material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin yaitu 40% dan variasi orientasi arah sudut serat [(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2] dimana hal ini juga sama dengan hasil komposit Serat Sisal-Epoxy Resin. Maka dari itu dari kedua material komposit ini dapat dibandingkan nilai *flexural properties* nya dan dapat ditarik kesimpulan komposit yang memiliki nilai *flexural properties* terbaik.

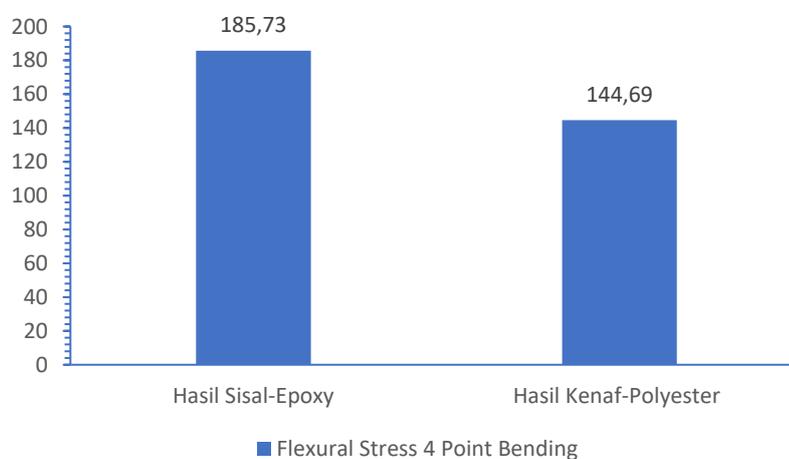
4.3.1 Perbandingan Flexural Stress Maksimum Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dengan Material Serat Kenaf-Polyester Resin

Nilai *Flexural Stress* yang dihasilkan oleh setiap material komposit memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Perbedaan dari nilai *flexural stress* dapat diperhatikan pada tabel berikut ini.

Tabel 4. 5 Hasil Nilai *Flexural Stress* Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin

Material Komposit	Fraksi Volume	Arah Orientasi Sudut Serat	<i>Flexural Stress</i> (MPa)
Serat Sisal-Epoxy Resin	40%	[(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2]	185,73
Serat Kenaf-Polyester Resin	40%	[(0°)2/(45°)2/(90°)2/(-45°)2/(0°)2]	144,69

Hasil yang didapat dari simulasi *four point bending* memiliki nilai *flexural stress* yang berbeda dan perbedaan yang terjadi cukup signifikan. Hal ini terjadi dikarenakan terdapat perbedaan *material properties* yang dimiliki oleh masing-masing serat. Serat Sisal memiliki nilai *ultimate tensile strength* 450 MPa sedangkan Serat Kenaf memiliki nilai *ultimate tensile strength* 89,58 MPa. Lalu selain *material properties* dari serat, matriks juga mengambil peran penting dimana dapat diketahui terdapat perbedaan matriks yang digunakan pada kedua material komposit. Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin menggunakan matriks epoxy resin yang dimana memiliki *ultimate tensile strength* sebesar 80 MPa sedangkan komposit Serat Kenaf-Polyester Resin menggunakan matriks polyester resin yang memiliki *ultimate tensile strength* sebesar 40 MPa. Perbedaan *material properties* yang terjadi cukup besar sehingga mengakibatkan hasil *flexural stress* yang berbeda sehingga ketika simulasi pengujian *four point bending*, komposit Serat Sisal-Epoxy Resin lebih dapat menahan beban jika dibandingkan dengan komposit Serat Kenaf-Polyester Resin.



Gambar 4. 50 Grafik Perbandingan *Flexural Stress*

4.3.2 Perbandingan *Shear Stress* Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dengan Material Serat Kenaf-Polyester Resin

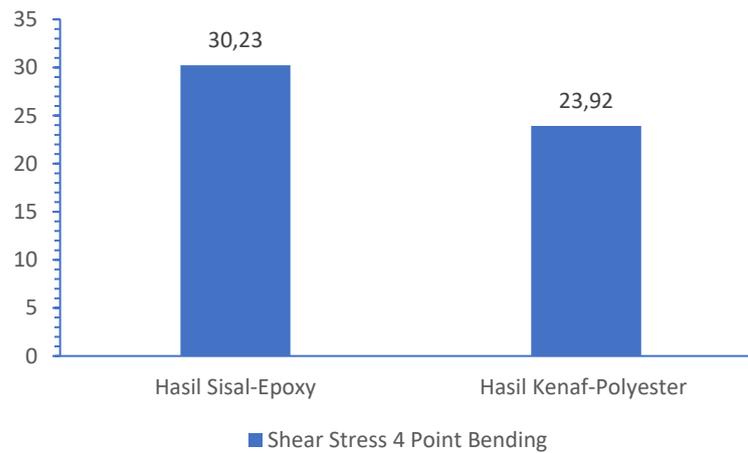
Hasil simulasi pengujian *four point bending* menghasilkan *flexural properties* berupa *shear stress*. Hasil dari *shear stress* yang didapatkan mengalami perbedaan yang dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4. 6 Hasil Nilai *Shear Stress* Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin

Material Komposit	Fraksi Volume	Arah Orientasi Sudut Serat	<i>Shear Stress</i> (MPa)
Serat Sisal-Epoxy Resin	40%	$[(0^\circ)^2/(45^\circ)^2/(90^\circ)^2/(-45^\circ)^2/(0^\circ)^2]$	30,23
Serat Kenaf-Polyester Resin	40%	$[(0^\circ)^2/(45^\circ)^2/(90^\circ)^2/(-45^\circ)^2/(0^\circ)^2]$	23,92

Perbedaan nilai *shear stress* menandakan terdapat perbedaan *material properties* pada kedua jenis komposit. *Material properties* yang berbeda adalah *shear modulus* dari kedua jenis komposit dimana serat kenaf memiliki *shear modulus* sebesar 2896,5 MPa sedangkan *shear modulus* serat sisal memiliki nilai sebesar 2500 MPa. Jika dilihat dari *material properties*, serat kenaf memiliki kemampuan lebih untuk meredam *shear stress* yang terjadi dibandingkan dengan serat sisal. Matriks yang digunakan juga memiliki dampak dimana diketahui nilai *shear*

modulus dari epoxy resin memiliki nilai sebesar 1250 MPa sedangkan matriks polyester resin memiliki *shear modulus* sebesar 1185,2 MPa. Hal ini menandakan bahwa matriks epoxy resin lebih dapat menahan *shear stress* yang terjadi. Variasi orientasi arah sudut serat juga mempengaruhi *shear stress* yang dihasilkan dimana diketahui bawah arah sudut serat 45°, -45°, 90° dapat menahan *shear stress* yang terjadi kepada kedua material komposit dengan baik. Maka dari itu dapat ditarik kesimpulan, berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi pengujian *four point bending* maka material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin memiliki kemampuan lebih baik dalam menahan *shear stress* yang terjadi pada komposit dikarenakan kombinasi arah sudut serat dan juga material matriks yang dapat menahan *shear stress* dengan baik.



Gambar 4. 51 Grafik Perbandingan *Shear Stress*

4.3.3 Perbandingan *Flexural Stress* pada Midspan Permukaan Bawah Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dengan Material Serat Kenaf-Polyester Resin

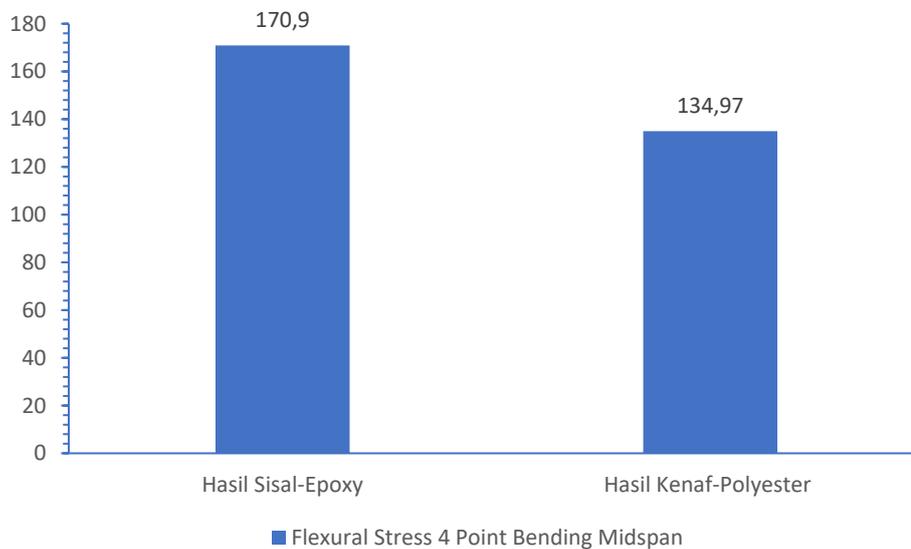
Nilai *Flexural Stress* yang dihasilkan pada pengujian *four point bending* memiliki dua jenis yaitu *flexural stress* maksimal dan *flexural stress* pada midspan permukaan bawah atau *flexural stress* murni. Nilai *flexural stress* murni yang didapatkan pada pengujian simulasi *four point bending* memiliki perbedaan nilai dengan *flexural stress* maksimum. Perbedaan hasil *flexural stress* murni dari kedua material komposit dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4. 7 Hasil Nilai *Flexural Stress* Midspan Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin

Material Komposit	Fraksi Volume	Arah Orientasi Sudut Serat	<i>Flexural Stress</i> Midspan (MPa)
Serat Sisal-Epoxy Resin	40%	$[(0^\circ)^2/(45^\circ)^2/(90^\circ)^2/(-45^\circ)^2/(0^\circ)^2]$	170,9
Serat Kenaf-Polyester Resin	40%	$[(0^\circ)^2/(45^\circ)^2/(90^\circ)^2/(-45^\circ)^2/(0^\circ)^2]$	134,97

Dari hasil yang didapat dari simulasi pengujian *four point bending* terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada *flexural stress* murni. Pengaruh terbesar perbedaan nilai *flexural stress* murni dari kedua material komposit adalah dikarenakan adanya perbedaan *material properties* yang sudah dibahas pada subbab *flexural stress*. *Flexural stress* murni merupakan hasil tanpa adanya *shear stress* yang pada bagian midspan specimen. Maka dari itu dapat ditarik kesimpulan bahwa material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin memiliki ketahanan yang lebih

baik terhadap *flexural stress* murni jika dibandingkan dengan material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin.



Gambar 4. 52 Grafik Perbandingan *Flexural Stress Murni*

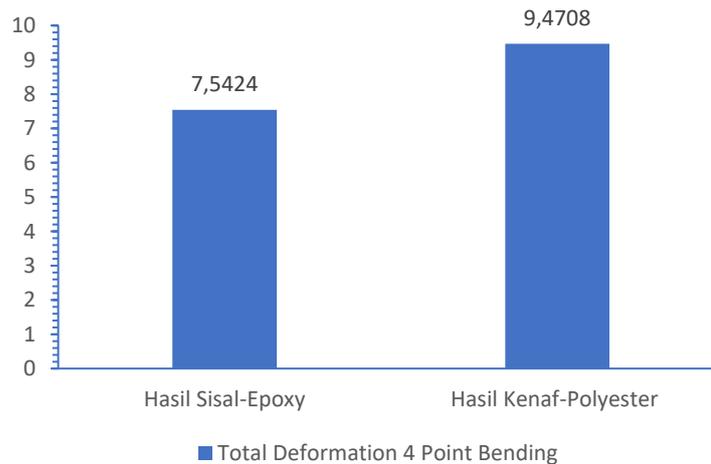
4.3.4 Perbandingan *Total Deformation* Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dengan Material Serat Kenaf-Polyester Resin

Total deformation atau total deformasi merupakan salah satu hasil *flexural properties* yang dihasilkan dari simulasi pengujian *four point bending*. Hasil dari total deformasi untuk kedua material komposit yang diujikan memiliki perbedaan, perbedaan dari hasil total deformasi dapat dilihat dari tabel berikut ini.

Material Komposit	Fraksi Volume	Arah Orientasi Sudut Serat	Total Deformasi (mm)
Serat Sisal-Epoxy Resin	40%	$[(0^\circ)^2/(45^\circ)^2/(90^\circ)^2/(-45^\circ)^2/(0^\circ)^2]$	7,5424
Serat Kenaf-Polyester Resin	40%	$[(0^\circ)^2/(45^\circ)^2/(90^\circ)^2/(-45^\circ)^2/(0^\circ)^2]$	9,4708

Tabel 4. 8 Hasil Nilai Total Deformasi Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin

Dari hasil yang didapatkan, dapat dilihat perbedaan yang terjadi pada hasil total deformasi dari kedua material komposit. Material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin memiliki nilai total deformasi 7,5425 mm sedangkan material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin memiliki hasil total deformasi. Dari hasil yang didapatkan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin memiliki sifat yang lebih lentur dibandingkan dengan material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin. Namun perbedaan ukuran specimen komposit dapat mempengaruhi hasil total deformasi dimana diketahui ukuran specimen yang dimiliki kedua material komposit terdapat perbedaan. Jika semakin besar ukuran specimen maka nilai total deformasi juga akan semakin besar begitu pula sebaliknya. Maka dari itu untuk mengetahui sifat dari material dibutuhkan pengujian pada ukuran specimen yang sama.



Gambar 4. 53 Grafik Perbandingan Total Deformasi

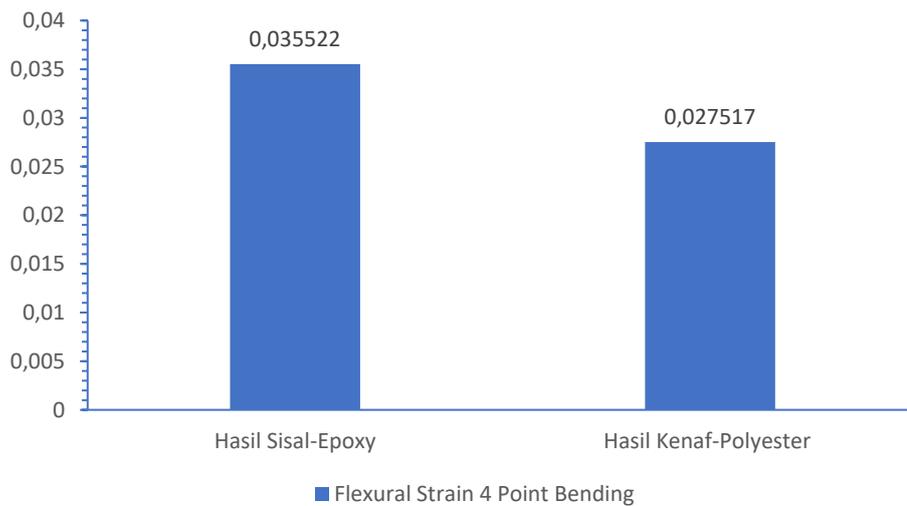
4.3.5 Perbandingan *Flexural strain* Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dengan Material Serat Kenaf-Polyester Resin

Hasil simulasi pengujian *four point bending* yang akan dibahas selanjutnya adalah *flexural strain*. *Flexural strain* yang dihasilkan oleh kedua material komposit memiliki perbedaan seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 9 Hasil Nilai *Flexural strain* Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin

Material Komposit	Fraksi Volume	Arah Orientasi Sudut Serat	<i>Flexural strain</i>
Serat Sisal-Epoxy Resin	40%	$[(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(90^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2]$	0,035522
Serat Kenaf-Polyester Resin	40%	$[(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(90^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2]$	0,027517

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi pengujian *four point bending*, terdapat perbedaan pada kedua material komposit. Nilai *flexural strain* yang dimiliki oleh material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin adalah 0,035522 sedangkan nilai *flexural strain* yang dimiliki oleh material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin adalah 0,027517. Nilai hasil *flexural strain* dipengaruhi oleh *material properties* dari material komposit yaitu *young's modulus*, nilai *young's modulus* yang dimiliki serat sisal adalah 7000 MPa sedangkan nilai *young's modulus* yang dimiliki oleh serat kenaf adalah 7670 MPa. Lalu *material properties* dari matriks juga mempengaruhi hasil dari *flexural strain* yang dihasilkan oleh komposit. Nilai *young's modulus* dari epoxy resin adalah sebesar 3400 MPa sedangkan nilai *young's modulus* yang dimiliki oleh polyester resin adalah 3200 MPa. Serat sisal memiliki nilai *young's modulus* yang lebih kecil dibandingkan serat kenaf sehingga memungkinkan material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin memiliki regangan yang lebih besar jika dibandingkan dengan material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin. Selain *material properties* yang dimiliki oleh masing masing komposit, variasi sudut juga mempengaruhi nilai regangan yang terjadi pada material komposit.



Gambar 4. 54 Grafik Perbandingan *Flexural strain*

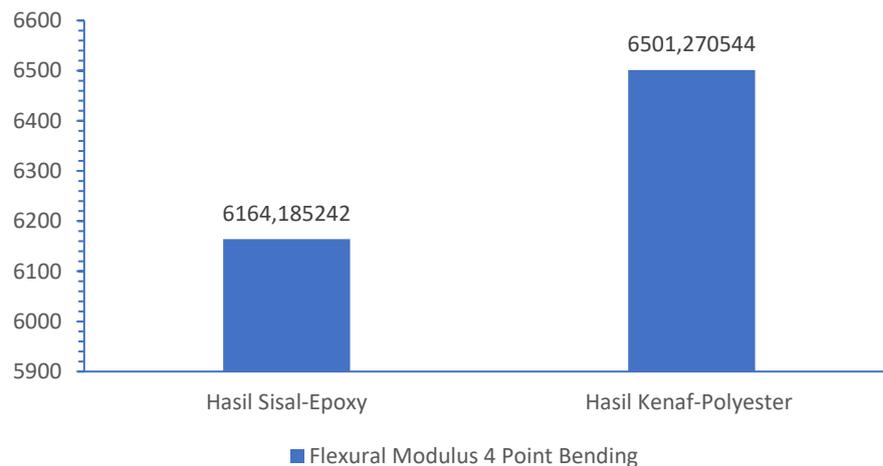
4.3.6 Perbandingan *Flexural Modulus* Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dengan Material Serat Kenaf-Polyester Resin

Flexural modulus didapatkan dari hasil perhitungan namun merupakan salah satu *flexural properties* yang dimiliki pengujian *four point bending*. *Flexural modulus* yang dihasilkan memiliki perbedaan antara kedua material. Berikut adalah tabel perbandingan nilai *flexural modulus* dari kedua material komposit yang diujikan.

Tabel 4. 10 Hasil Nilai *Flexural Modulus* Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin

Material Komposit	Fraksi Volume	Arah Orientasi Sudut Serat	<i>Flexural Modulus</i> (MPa)
Serat Sisal-Epoxy Resin	40%	$[(0^\circ)^2/(45^\circ)^2/(90^\circ)^2/(-45^\circ)^2/(0^\circ)^2]$	6164,1852
Serat Kenaf-Polyester Resin	40%	$[(0^\circ)^2/(45^\circ)^2/(90^\circ)^2/(-45^\circ)^2/(0^\circ)^2]$	6501,2705

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan, nilai *flexural modulus* kedua jenis material terdapat perbedaan yang cukup besar. Nilai *flexural modulus* yang dimiliki oleh material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin adalah 6164,1852 MPa sedangkan nilai *flexural modulus* yang dimiliki oleh material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin adalah 6501,2705 MPa. Nilai *flexural modulus* berpengaruh pada meningkatnya nilai total deformasi dan juga beban yang diberikan kepada specimen, semakin besar nilai total deformasi maka akan menghasilkan nilai *flexural modulus* yang lebih kecil. Dikarenakan total deformasi berdasarkan pada ukuran specimen maka didapatkan perbedaan pada analisa kedua material komposit yang dilakukan pengujian. Selain total deformasi, nilai *flexural modulus* juga berpengaruh pada nilai *flexural strain* yang dimiliki oleh masing-masing material komposit. Jika nilai *flexural strain* yang lebih kecil maka akan menghasilkan nilai *flexural modulus* yang lebih besar begitu pula sebaliknya. Maka dari itu dari hasil *flexural modulus* disimpulkan sifat material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin adalah bersifat kaku dikarenakan nilai *flexural strain* yang kecil dan material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin memiliki sifat lentur dikarenakan nilai *flexural modulus* yang lebih kecil.



Gambar 4. 55 Grafik Perbandingan *Flexural strain*

4.4 Pembahasan Hasil Perbandingan Metode Four Point Bending dengan Metode Three Point Bending antara Flexural Properties Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dengan Flexural Properties Komposit Serat Kenaf-Polyester Resin

Pengujian *bending* atau *flexural test* memiliki dua metode pengujian yang dapat dilakukan yaitu pengujian *three point bending* dan *four point bending*. Kedua metode ini memiliki perbedaan yang cukup signifikan terutama pada bagian *flexural stress* yang dihasilkan. Perbedaan dari kedua metode pengujian *flexural* ini akan dianalisa melalui hasil simulasi metode pengujian *three point bending* dan *four point bending* pada material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin.

4.4.1 Perbandingan Hasil dari Metode Three Point Bending dan Four Point Bending terhadap Flexural Stress Maksimum Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Material Serat Kenaf-Polyester Resin

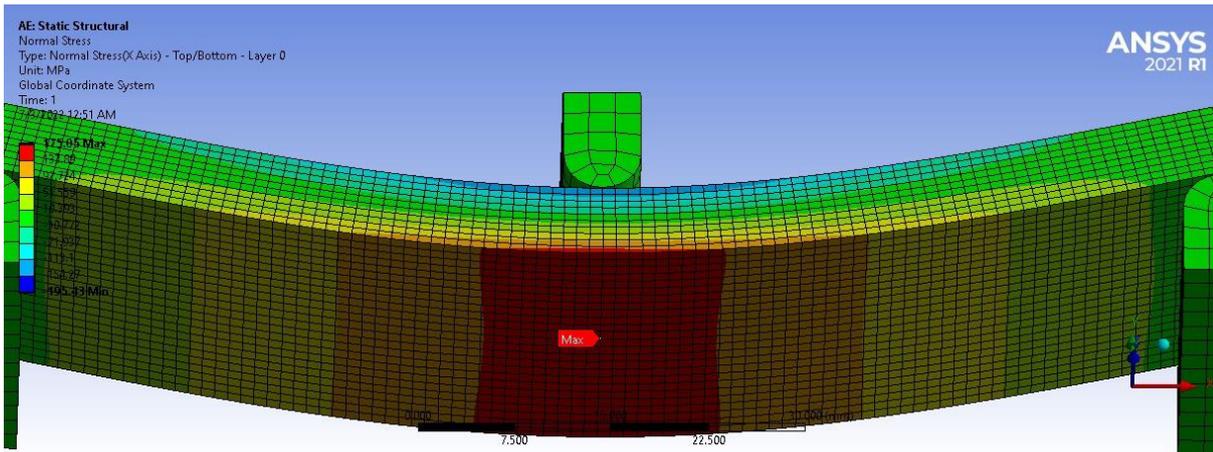
Nilai *flexural stress* yang dihasilkan oleh simulasi dengan metode pengujian *three point bending* dan *four point bending* memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Perbedaan yang terjadi dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4. 11 Hasil Nilai *Flexural Stress* Maksimum pada Metode *Three Point Bending* dan *Four Point Bending* untuk Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin

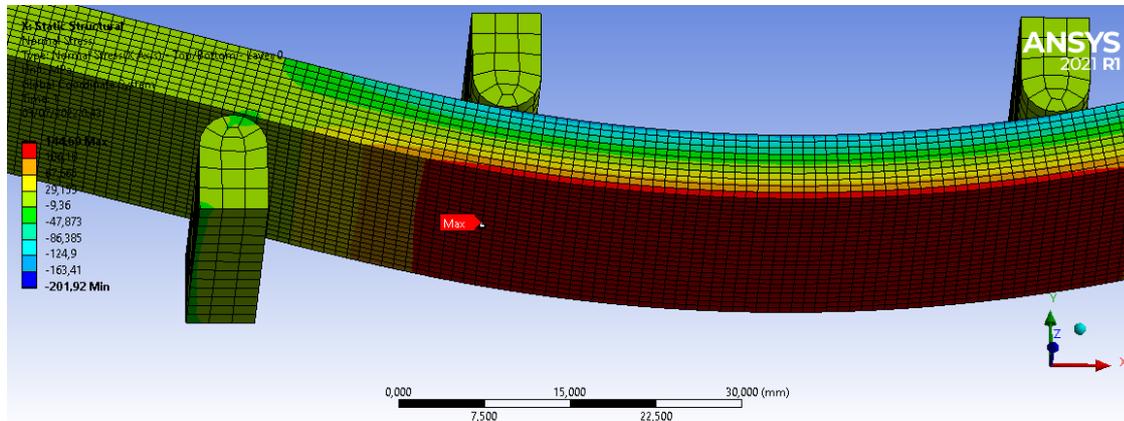
Material Komposit	Fraksi Volume	Arah Orientasi Sudut Serat	<i>Flexural Stress Three Point Bending</i> (MPa)	<i>Flexural Stress Four Point Bending</i> (MPa)
Serat Sisal-Epoxy Resin	40%	$[(0^\circ)^2/(45^\circ)^2/(90^\circ)^2/(-45^\circ)^2/(0^\circ)^2]$	250,9	185,73
Serat Kenaf-Polyester Resin	40%	$[(0^\circ)^2/(45^\circ)^2/(90^\circ)^2/(-45^\circ)^2/(0^\circ)^2]$	175,05	144,69

Dari hasil yang terdapat pada tabel diatas, dapat dilihat bahwa perbedaan nilai *flexural stress* dari kedua metode mengalami perbedaan yang cukup signifikan. Nilai *flexural stress*

yang dihasilkan oleh metode *three point bending* lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai yang dihasilkan oleh metode *four point bending*. Hal ini terjadi dikarenakan pada metode *three point bending*, ketika specimen diberikan pembebanan maka tidak hanya terdapat *flexural stress* pada bagian *midspan* namun terdapat tegangan lainnya yaitu *shear stress* sedangkan pada metode *four point bending* nilai *flexural stress* yang terdapat bagian *midspan* merupakan hasil *pure flexural stress* dimana tidak terdapat *shear stress*. Nilai *flexural stress* yang ditampilkan pada tabel diatas merupakan hasil dari *flexural stress* maksimum pada pengujian *three point bending* dan *four point bending*. Terdapat perbedaan titik letak *flexural stress* maksimum pada pengujian *three point bending* dan *four point bending* seperti pada gambar dibawah ini.



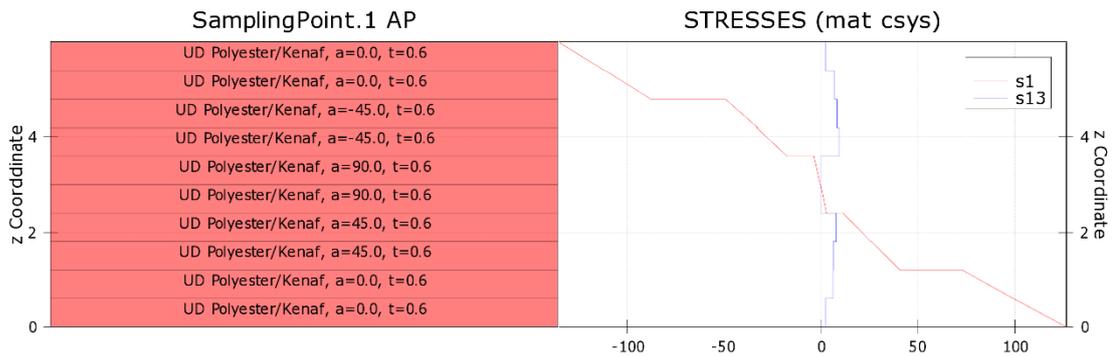
Gambar 4. 56 Letak *Flexural Stress* Maksimum *Three Point Bending*



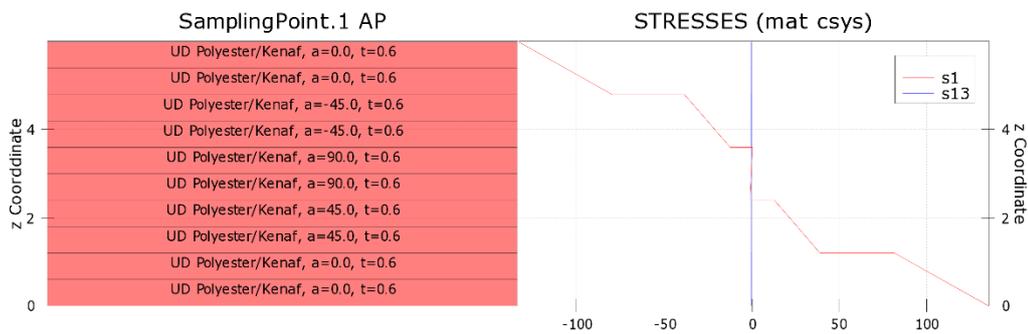
Gambar 4. 57 Letak *Flexural Stress* Maksimum *Four Point Bending*

Dari perbedaan letak *flexural stress* maksimum dari kedua metode pengujian *flexural* menunjukkan bahwa nilai *flexural stress* maksimum yang dimiliki oleh metode pengujian *four point bending* terdampak *shear stress*.

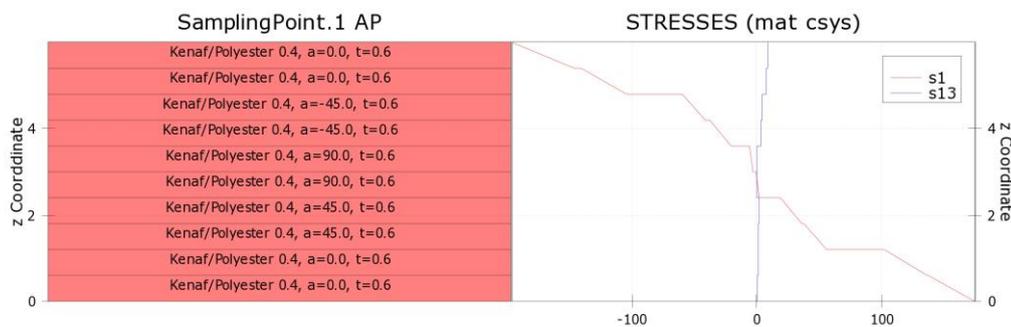
Lalu untuk memperjelas *flexural stress* pada metode pengujian *four point bending* merupakan *flexural stress* tanpa adanya *shear stress*, dapat digunakan fitur *Sampling Point* guna mendapatkan grafik distribusi tegangan antara *flexural stress* dan *shear stress*. Berikut ini adalah grafik distribusi *flexural stress* dan *shear stress* antara metode pengujian *three point bending* dan *four point bending*.



Gambar 4. 58 *Sampling Point* pada Titik Maksimum pada Metode *Four Point Bending*



Gambar 4. 59 *Sampling Point* pada Titik *Midspan* pada Metode *Four Point Bending*



Gambar 4. 60 *Sampling Point* pada Titik *Midspan* dan Maksimum pada Metode *Three Point Bending*

Terlihat pada grafik, perbedaan antara metode pengujian *three point bending* dan *four point bending* dimana pada metode pengujian *three point bending* terdapat nilai S13 pada plot *sampling point* pada bagian midspan yang dimana nilai S13 merupakan nilai dari *shear stress* sedangkan pada metode pengujian *four point bending* tidak terdapat nilai S13 pada plot *sampling point* pada bagian midspan. Maka dari itu, hasil dari *flexural stress* yang dimiliki oleh metode *four point bending* merupakan *flexural stress* murni yang dihasilkan dari pengujian *flexural* sedangkan pada metode pengujian *three point bending* nilai *flexural stress* terdapat *shear stress* pada seluruh bagiannya.

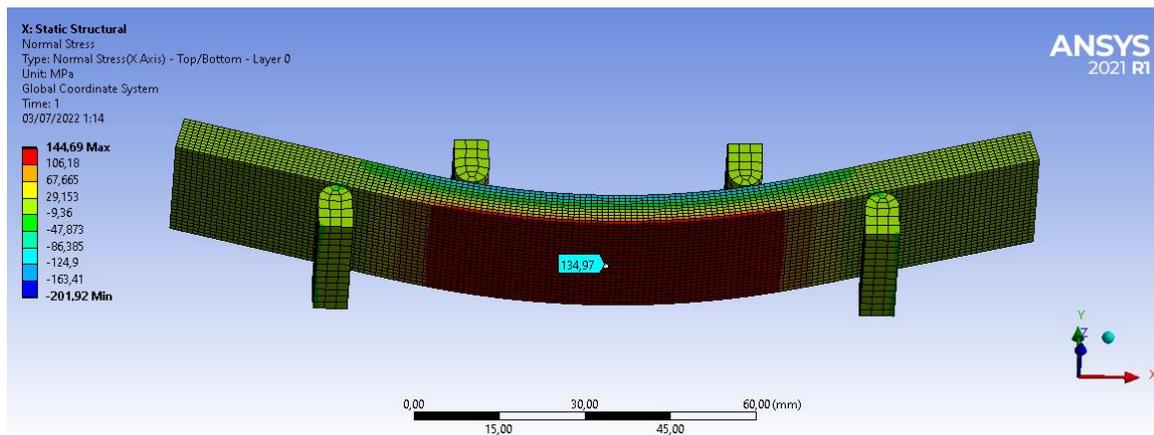
Hasil *flexural stress* pada *midspan* yang dimiliki oleh metode *four point bending* memiliki nilai yang berbeda dari hasil *flexural stress* maksimum pada *four point bending*. Pada

tabel berikut ini akan ditunjukkan perbedaan hasil dari *flexural stress* pada *midspan* dan hasil *flexural stress* maksimum pada pengujian *four point bending*.

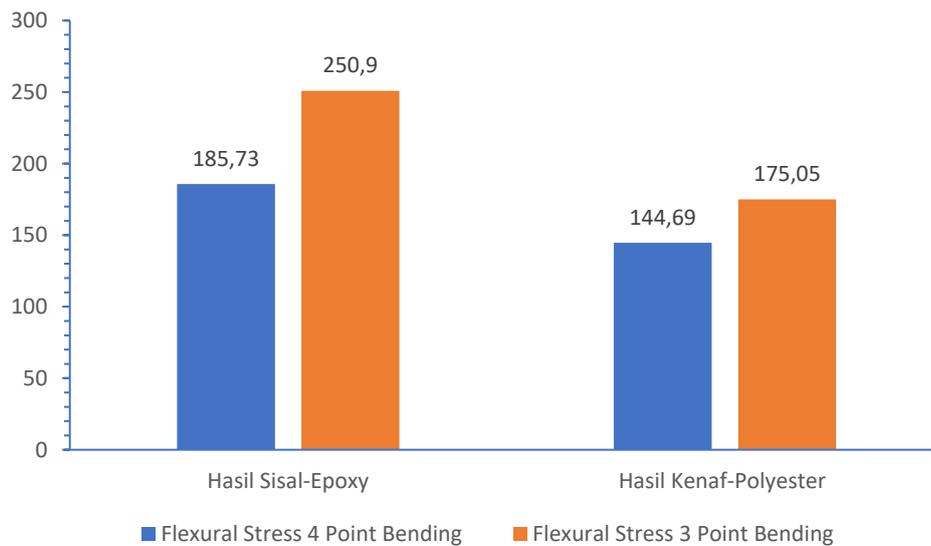
Tabel 4. 12 Hasil Nilai *Flexural Stress* Maksimum dan *Flexural Stress Midspan Four Point Bending* untuk Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin

Material Komposit	Fraksi Volume	Arah Orientasi Sudut Serat	<i>Flexural Stress Midspan Four Point Bending</i> (MPa)	<i>Flexural Stress Four Point Bending Maksimum</i> (MPa)
Serat Sisal-Epoxy Resin	40%	$[(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(90^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2]$	170,9	185,73
Serat Kenaf-Polyester Resin	40%	$[(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(90^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2]$	134,97	144,69

Dari tabel diatas, dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai yang dimiliki *flexural stress* maksimum memiliki nilai yang lebih besar jika dibandingkan pada *flexural stress midspan*. Hal ini terjadi dikarenakan pada *flexural stress* maksimum pada metode pengujian *four point bending* tidak berada pada titik *midspan* melainkan berada pada titik dibawah roller penekan yang dimana pada titik tersebut sudah terdapat *shear stress* sehingga hasil *flexural stress* yang dihasilkan akan lebih besar. Lalu *flexural stress midspan* memiliki hasil yang lebih kecil dikarenakan pada titik *midspan* tidak terdapat *shear stress* dan dapat dapat dikatakan sebagai *pure flexural stress*.



Gambar 4. 61 Letak *Flexural Stress Midspan Four Point Bending*



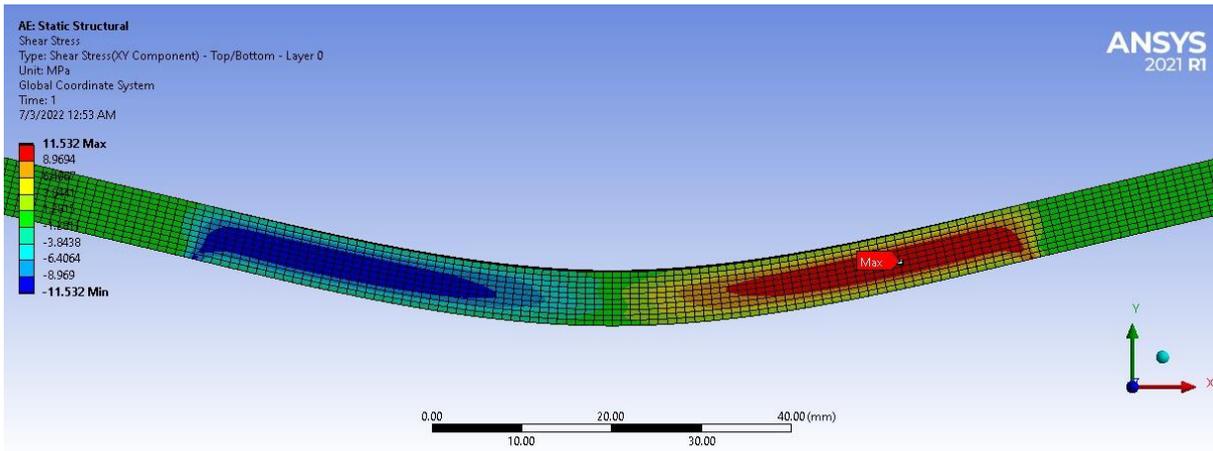
Gambar 4. 62 Grafik Perbandingan *Flexural Stress* Maksimum *4 Point* vs *3 Point Bending*
4.4.2 Perbandingan Hasil dari Metode *Three Point Bending* dan *Four Point Bending* terhadap *Shear Stress* Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Material Serat Kenaf-Polyester Resin

Nilai *shear stress* yang dihasilkan oleh simulasi dengan metode pengujian *three point bending* dan *four point bending* memiliki nilai yang berbeda dan tidak hanya pada nilai namun pada letak keberadaan *shear stress*. Perbedaan nilai *shear stress* pada metode pengujian *three point bending* dan *four point bending* dapat dilihat pada tabel berikut ini.

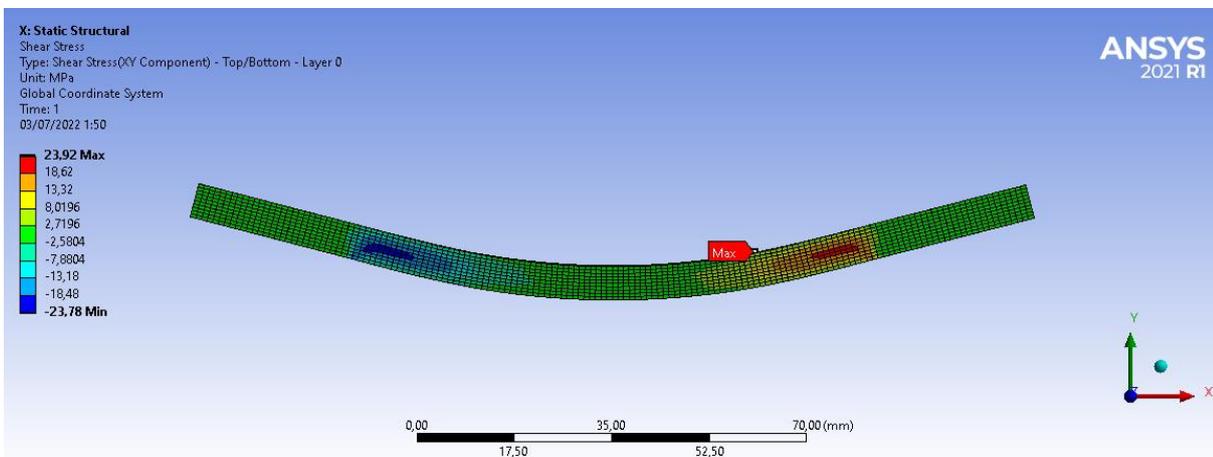
Tabel 4. 13 Hasil Nilai *Shear Stress* pada Metode *Three Point Bending* dan *Four Point Bending* untuk Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin

Material Komposit	Fraksi Volume	Arah Orientasi Sudut Serat	<i>Shear Stress Three Point Bending</i> (MPa)	<i>Shear Stress Four Point Bending</i> (MPa)
Serat Sisal-Epoxy Resin	40%	$[(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(90^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2]$	18,595	30,23
Serat Kenaf-Polyester Resin	40%	$[(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(90^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2]$	11,532	23,92

Berdasarkan hasil yang didapatkan, dapat dilihat bahwa nilai *shear stress* yang dimiliki oleh metode pengujian *three point bending* dan *four point bending* memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Perbedaan nilai *shear stress* yang terjadi dikarenakan oleh posisi dari distribusi *shear stress* itu sendiri. Berikut ini adalah perbedaan distribusi *shear stress* metode pengujian *three point bending* dan *four point bending*.

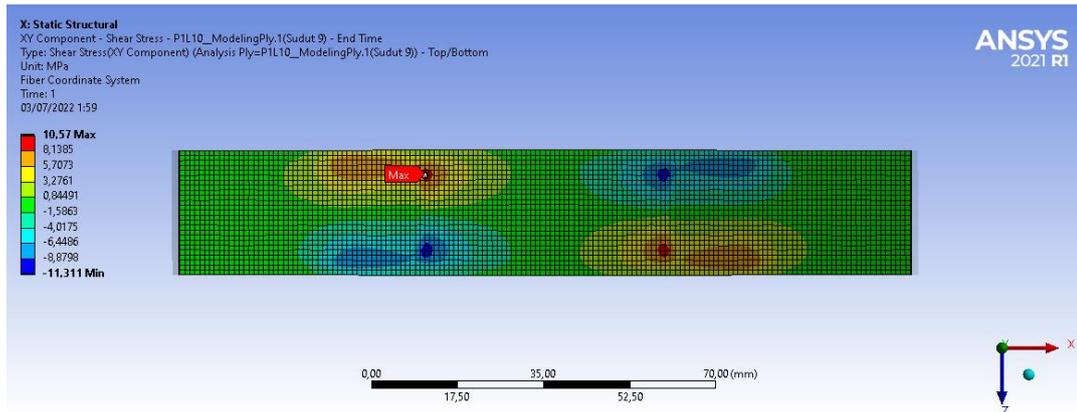


Gambar 4. 63 Distribusi *Shear Stress Three Point Bending*

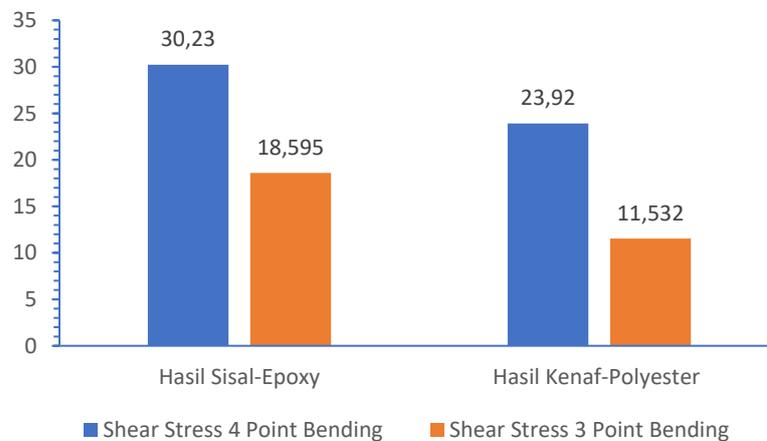


Gambar 4. 64 Distribusi *Shear Stress Four Point Bending*

Dari kedua gambar diatas, dapat dilihat bahwa distribusi shear stress metode *three point bending* memiliki daerah distribusi dari mulai roller penekan hingga roller support bahkan hampir diseluruh specimen. Hal ini mengakibatkan nilai dari *shear stress* yang ada akan mempengaruhi hasil dari *flexural properties* yang dimiliki oleh pengujian *three point bending* dan tentunya salah satu efek terbesar terjadi pada nilai *flexural stress*. Namun untuk metode pengujian *four point bending* memiliki perbedaan distribusi *shear stress*. Shear stress yang terjadi pada pengujian *four point bending* memiliki daerah distribusi setelah *roller penekan* hingga *roller support*. Bagian *midspan* dari specimen tidak terjadi shear stress sehingga hanya terdapat nilai dari *pure flexural stress*.



Gambar 4. 65 Distribusi *Shear Stress* Ply 1 pada Pengujian *Four Point Bending*



Gambar 4. 66 Grafik Perbandingan *Shear Stress* 4 Point vs 3 Point Bending

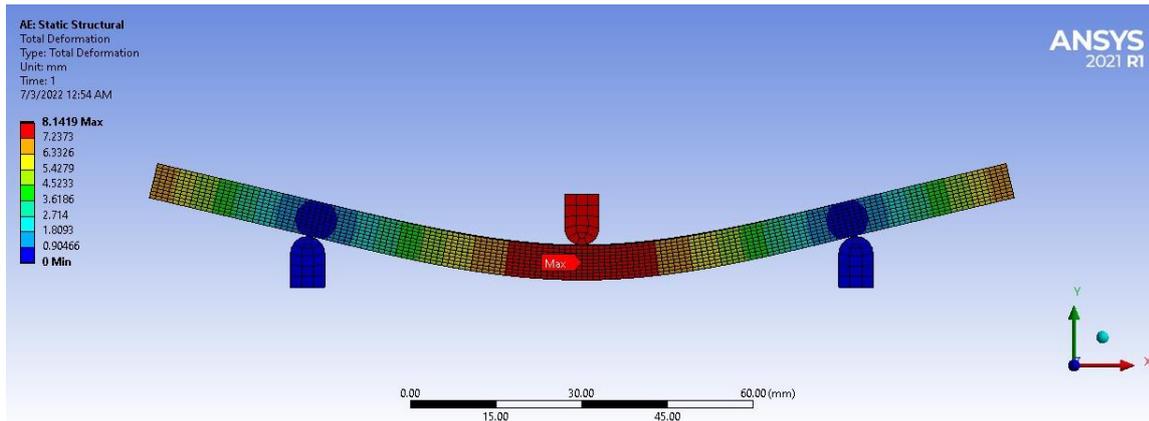
4.4.3 Perbandingan Hasil dari Metode *Three Point Bending* dan *Four Point Bending* terhadap *Total Deformation* Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Material Serat Kenaf-Polyester Resin

Flexural properties selanjutnya yang akan ditinjau adalah nilai dari *total deformation* atau total deformasi guna mengetahui perbedaan yang terjadi dalam metode pengujian *three point bending* dan *four point bending*. Perbandingan nilai total deformasi hasil simulasi metode pengujian *three point bending* dan *four point bending* terdapat pada tabel berikut ini.

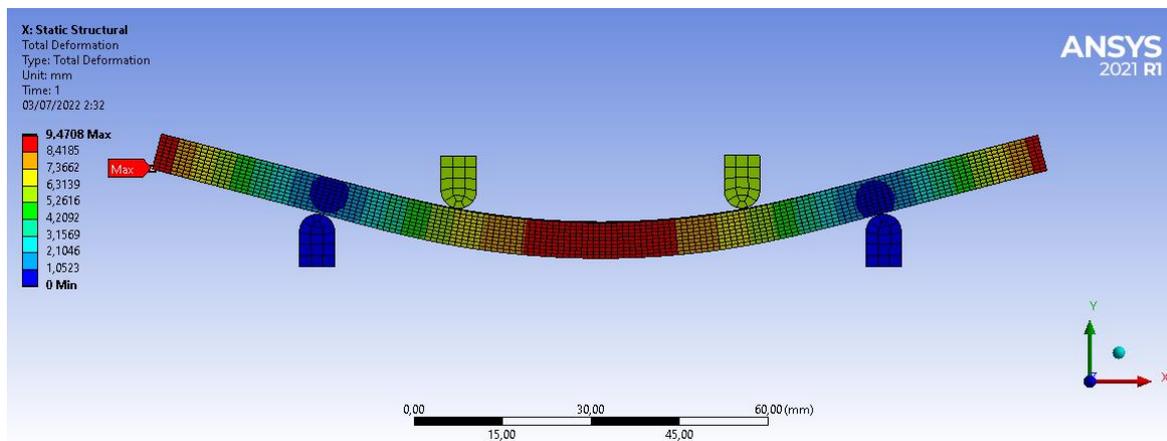
Tabel 4. 14 Hasil Nilai Total Deformasi pada Metode *Three Point Bending* dan *Four Point Bending* untuk Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin

Material Komposit	Fraksi Volume	Arah Orientasi Sudut Serat	Total Deformasi <i>Three Point Bending</i> (MPa)	Total Deformasi <i>Four Point Bending</i> (MPa)
Serat Sisal-Epoxy Resin	40%	$[(0^\circ)^2/(45^\circ)^2/(90^\circ)^2/(-45^\circ)^2/(0^\circ)^2]$	6,3728	7,5424
Serat Kenaf-Polyester Resin	40%	$[(0^\circ)^2/(45^\circ)^2/(90^\circ)^2/(-45^\circ)^2/(0^\circ)^2]$	8,1419	9,4708

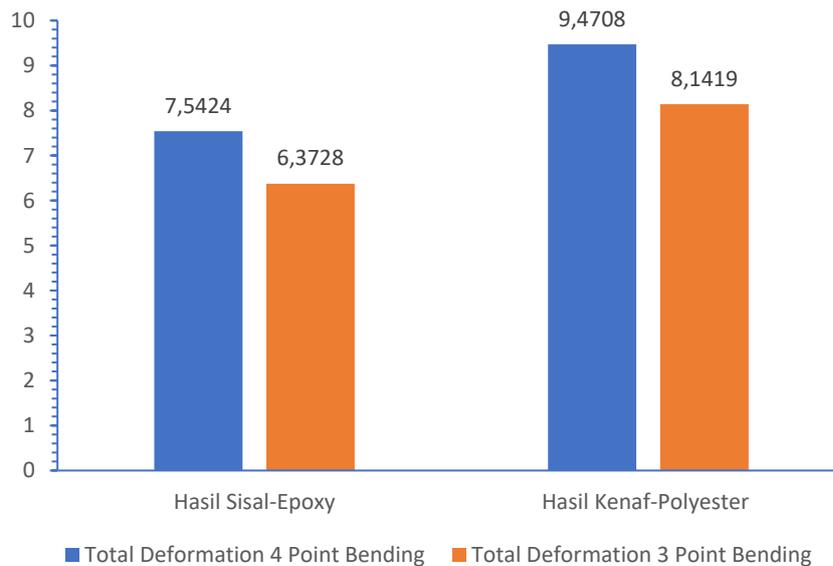
Dari hasil yang didapatkan, dapat dilihat bahwa nilai total deformasi yang dihasilkan melalui metode pengujian *four point bending* lebih besar jika dibandingkan dengan hasil total deformasi dengan metode pengujian *three point bending*. Hal ini terjadi dikarenakan adanya *shear stress* yang terdapat pada bagian *midspan* yang membuat specimen pada pengujian *three point bending* menjadi lebih kaku dibandingkan dengan specimen pada pengujian *four point bending*. Pada pengujian *four point bending* tidak terdapat *shear stress* yang terjadi di bagian *midspan* dikarenakan distribusi *shear stress* pada pengujian *four point bending* berada setelah roller penekan sehingga membuat specimen memiliki nilai total deformasi yang lebih besar sehingga tidak ada tegangan yang menghambat specimen untuk berdeformasi.



Gambar 4. 67 Total Deformasi pada Pengujian *Three Point Bending*



Gambar 4. 68 Total Deformasi pada Pengujian *Four Point Bending*



Gambar 4. 69 Grafik Perbandingan Total Deformasi 4 Point vs 3 Point Bending
4.4.4 Perbandingan Hasil dari Metode *Three Point Bending* dan *Four Point Bending* terhadap *Flexural Strain* Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Material Serat Kenaf-Polyester Resin

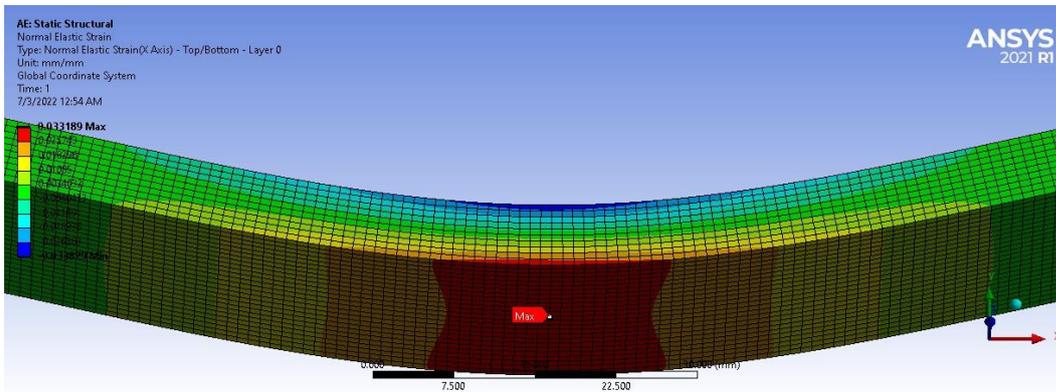
Flexural Strain merupakan regangan yang terjadi pada specimen dari kedua metode pengujian. Dari kedua metode pengujian *flexural*, memiliki perbedaan untuk hasil nilai *Flexural Strain* yang didapatkan. Pada tabel berikut ini, terdapat perbedaan hasil pengujian *Flexural Strain* pada metode pengujian *three point bending* dan *four point bending*.

Tabel 4. 15 Hasil Nilai *Flexural Strain* pada Metode *Three Point Bending* dan *Four Point Bending* untuk Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin

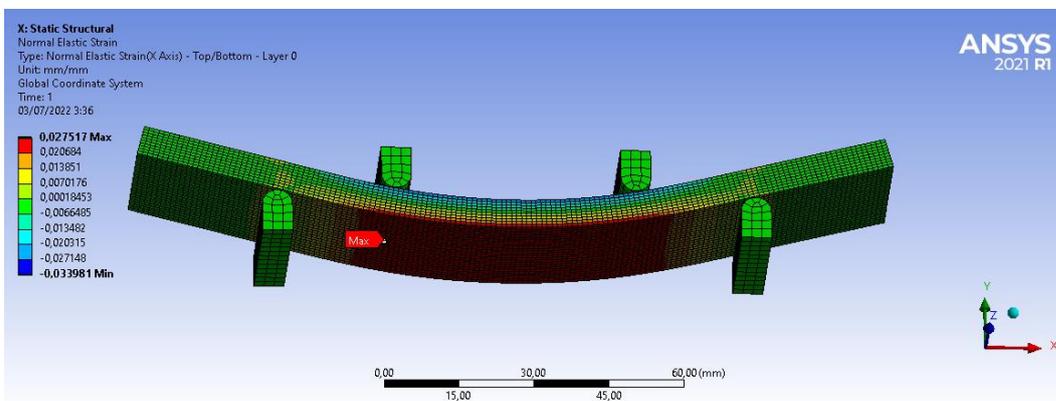
Material Komposit	Fraksi Volume	Arah Orientasi Sudut Serat	<i>Flexural Strain Three Point Bending</i> (MPa)	<i>Flexural Strain Four Point Bending</i> (MPa)
Serat Sisal-Epoxy Resin	40%	$[(0^\circ)^2/(45^\circ)^2/(90^\circ)^2/(-45^\circ)^2/(0^\circ)^2]$	0,048313	0,035522
Serat Kenaf-Polyester Resin	40%	$[(0^\circ)^2/(45^\circ)^2/(90^\circ)^2/(-45^\circ)^2/(0^\circ)^2]$	0,033189	0,027517

Berdasarkan hasil yang didapatkan, dapat dilihat bahwa nilai dari *Flexural Strain* pada pengujian *three point bending* memiliki nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan *Flexural Strain* pada pengujian *four point bending*. Hal ini dikarenakan pada pengujian *three point bending* hasil normal strain merupakan gabungan dari kedua komponen strain yaitu *stress strain* dan *shear strain* dengan nilai *stress* dan *shear* yang besar pada bagian *midspan* maka didapatkan hasil *Flexural Strain* yang besar juga. Begitupula untuk metode pengujian *four point bending* namun perbedaannya, *shear* yang terjadi pada titik maksimum *Flexural Strain* bukan merupakan nilai maksimum dari *shear* yang dimiliki dan nilai *stress* yang dimiliki oleh pengujian *four point bending* tidak sebesar nilai pengujian *three point bending*. Maka dari itu

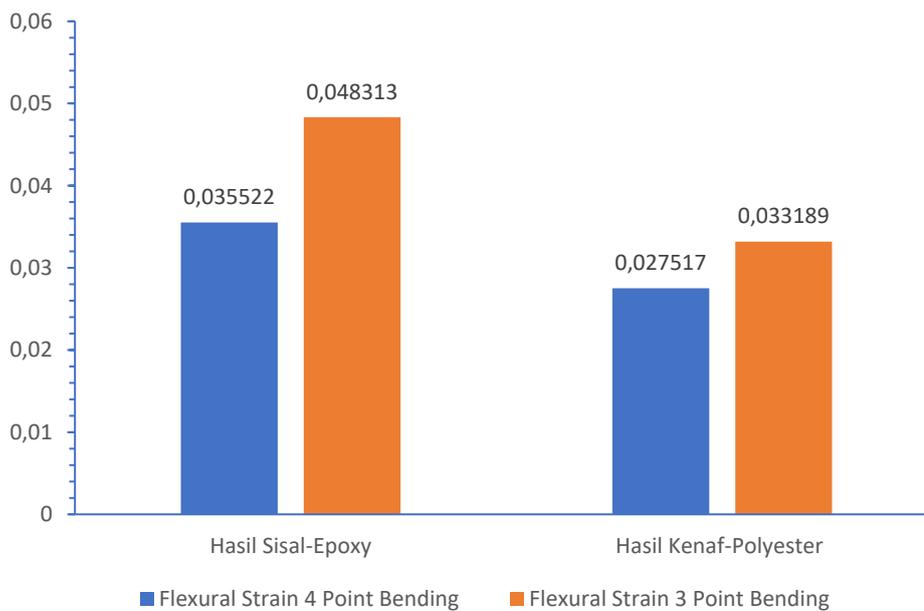
nilai regangan metode pengujian *three point bending* lebih besar dibandingkan nilai regangan pada metode pengujian *four point bending*.



Gambar 4. 70 Flexural Strain pada Pengujian *Three Point Bending*



Gambar 4. 71 Flexural Strain pada Pengujian *Four Point Bending*



Gambar 4. 72 Grafik Perbandingan *Flexural Strain 4 Point vs 3 Point Bending*

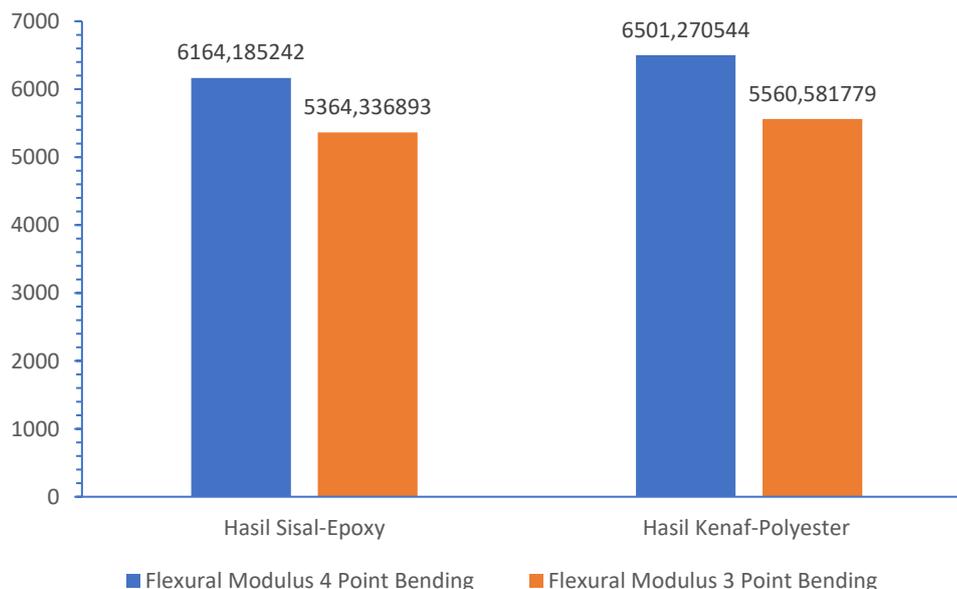
4.4.5 Perbandingan Hasil dari Metode *Three Point Bending* dan *Four Point Bending* terhadap *Flexural Modulus* Material Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Material Serat Kenaf-Polyester Resin

Flexural modulus didapatkan dari hasil perhitungan dimana nilai yang dibutuhkan untuk menghasilkan nilai dari *flexural modulus* diambil dari simulasi seperti nilai total deformasi. Berikut ini adalah tabel perbandingan nilai *flexural modulus* antara metode pengujian *three point bending* dan *four point bending*.

Tabel 4. 16 Hasil Nilai *Flexural Modulus* pada Metode *Three Point Bending* dan *Four Point Bending* untuk Komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin

Material Komposit	Fraksi Volume	Arah Orientasi Sudut Serat	<i>Flexural Modulus Three Point Bending</i> (MPa)	<i>Flexural Modulus Four Point Bending</i> (MPa)
Serat Sisal-Epoxy Resin	40%	$[(0^\circ)^2/(45^\circ)^2/(90^\circ)^2/(-45^\circ)^2/(0^\circ)^2]$	5364,33	6164,18
Serat Kenaf-Polyester Resin	40%	$[(0^\circ)^2/(45^\circ)^2/(90^\circ)^2/(-45^\circ)^2/(0^\circ)^2]$	5560,58	6501,27

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari perhitungan, dapat dilihat bahwa nilai *flexural modulus four point bending* lebih besar dibandingkan dengan nilai *flexural modulus three point bending*. Hal ini dikarenakan terdapat perbedaan pada nilai total deformasi diantara kedua metode pengujian dan diketahui bahwa total deformasi milik pengujian *four point bending* lebih besar. Jika nilai total deformasi lebih besar maka akan didapatkan nilai *flexural modulus* yang lebih besar juga dan jika nilai *flexural modulus* besar maka material akan semakin kaku.



Gambar 4. 73 Grafik Perbandingan *Flexural Modulus* 4 Point vs 3 Point Bending

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Didapatkan hasil fraksi volume terbaik dari material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin sebesar 40% dari fraksi volume yang diujikan yaitu 15%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% dan 70%. Lalu untuk material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin, fraksi volume terbaik adalah 40% dari fraksi volume yang diujikan yaitu 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, dan 70%.
2. Didapatkan hasil variasi orientasi arah sudut serat terbaik dengan sudut $[(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(90^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2]$ untuk material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dari sudut yang diujikan yaitu $[(0^\circ)_{10}], [(0^\circ)_4/(45^\circ)_2/(0^\circ)_4], [(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2], [(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(-45^\circ)_2], [(45^\circ)_{10}], [(45^\circ)_2/(45^\circ)_2/(45^\circ)_2/(45^\circ)_2/(45^\circ)_2], [(45^\circ)_2/(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(45^\circ)_2], [(0^\circ)_4/(90^\circ)_2/(0^\circ)_4], [(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(90^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2]$, dan $[(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2]$. Setelah itu untuk material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin, orientasi arah sudut serat terbaik dimiliki sudut $[(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(90^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2]$ dari orientasi sudut yang diujikan $[(0^\circ)_{10}], [(0^\circ)_4/(45^\circ)_2/(0^\circ)_4], [(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2], [(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(-45^\circ)_2], [(45^\circ)_{10}], [(45^\circ)_2/(45^\circ)_2/(45^\circ)_2/(45^\circ)_2/(45^\circ)_2], [(45^\circ)_2/(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(45^\circ)_2], [(0^\circ)_4/(90^\circ)_2/(0^\circ)_4], [(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(90^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2]$, dan $[(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2]$.
3. Dari simulasi pengujian *four point bending* terhadap material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin dan Serat Kenaf-Polyester Resin, maka nilai *flexural properties* yang dihasilkan oleh metode *four point bending* merupakan hasil yang tidak mempertimbangkan adanya *shear stress* pada bagian *midspan* specimen dikarenakan distribusi tegangan geser pada *four point bending* berada pada bagian setelah *roller* penekan. Pengujian *four point bending* sesuai untuk diujikan pada material komposit terutama *natural composite* dikarenakan metode pengujian *four point bending* dapat mengesampingkan *shear stress* yang terdapat bagian *midspan* sehingga material tidak gagal dikarenakan *shear stress* yang terjadi pada specimen sehingga didapatkan hasil *pure flexural stress* atau *flexural stress* murni dari material.

5.2 Saran

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

1. Disarankan untuk melakukan studi literatur terkait komposit yang akan digunakan untuk mendapatkan nilai *mechanical properties* dan juga nilai stress izin atau *orthotropic stress limit*.
2. Disarankan untuk melakukan pengujian *four point bending* pada material *natural composite* guna mendapatkan hasil berupa *pure flexural strength* dikarenakan material *natural composite* memiliki *shear* antar fiber dan matriks yang besar.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

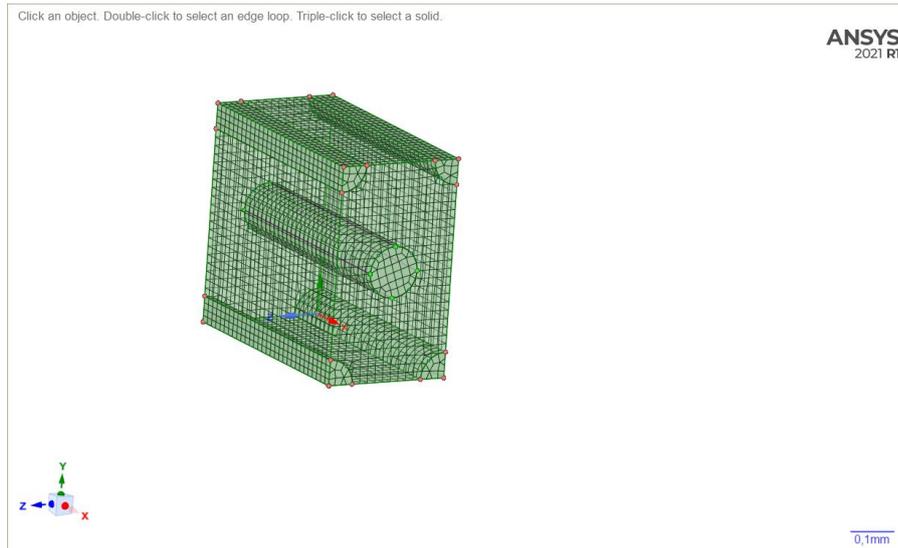
- ASTM. (2014). *Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending 1*. 1–9. <https://doi.org/10.1520/D6272-10.1>
- Cui, W. C., & Wisnom, M. R. (1992). Contact finite element analysis of three- and four-point short-beam bending of unidirectional composites. *Composites Science and Technology*, 45(4), 323–334. [https://doi.org/10.1016/0266-3538\(92\)90047-7](https://doi.org/10.1016/0266-3538(92)90047-7)
- 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>
- Gapsari, F., Purnowidodo, A., Hidayatullah, S., & Suteja, S. (2021). Characterization of Timoho Fiber as a reinforcement in green composite. *Journal of Materials Research and Technology*, 13, 1305–1315. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.05.049>
- 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>
- Klemens. (2009). *Pengembangan Komposit Berbahan Dasar Serat Pisang Abaca dan Resin Epoxy Dikombinasikan Dengan Keramik Untuk Panel Rompi Tahan Peluru Level IIIA*. 71.
- Kumar, M. (2017). *Composite Structures: Design, Mechanics, Analysis, Manufacturing, and Testing*.
- Kusumastuti, A. (2009). Aplikasi Serat Sisal sebagai Komposit Polimer. *Jurnal Kompetensi Teknik*, 1(1), 27–32.
- Lokantara, P., & Suardana, N. P. G. (2012). Analisis Arah Dan Perlakuan Serat Tapis Serta Rasio Epoxy Hardener Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Komposit Tapis/Epoxy. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM*, 1(1), 15–21.
- M.Daniel, I., & Ishai, O. (2006). Engineering mechanics of composite materials. In *Materials & Design* (Vol. 17, Issue 2). [https://doi.org/10.1016/s0261-3069\(97\)87195-6](https://doi.org/10.1016/s0261-3069(97)87195-6)
- Mahjoub, R., Yatim, J. M., Mohd Sam, A. R., & Raftari, M. (2014). Characteristics of continuous unidirectional kenaf fiber reinforced epoxy composites. *Materials and Design*, 64(May 2019), 640–649. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.08.010>
- Mariselvam, V., & Logesh, M. (2015). Analytical analysis on material properties of Kenaf fiber composite. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(50), 617–620.
- Sinitzky, 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(January), 106320. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2021.106320>

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

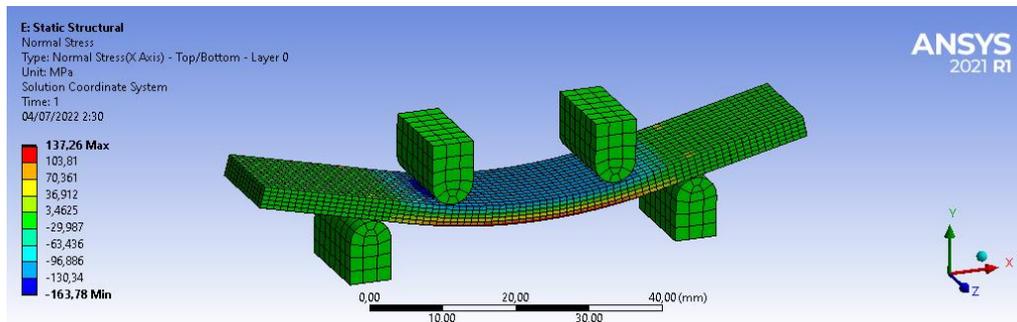
LAMPIRAN

Hasil Simulasi *Four Point Bending* material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin pada variasi fraksi volume:

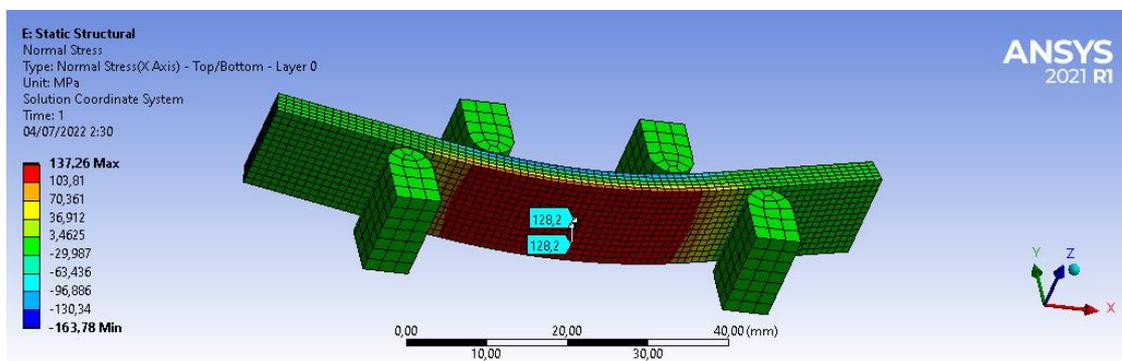
Fraksi Volume 15%



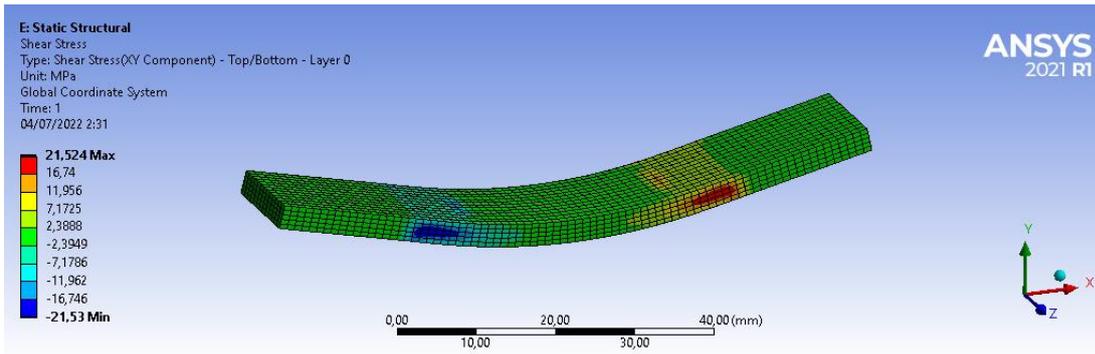
Material Designer



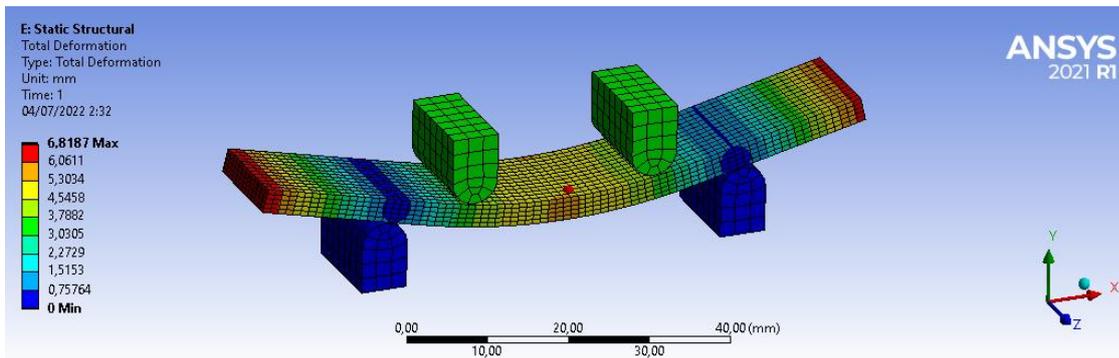
Flexural Stress Maksimum



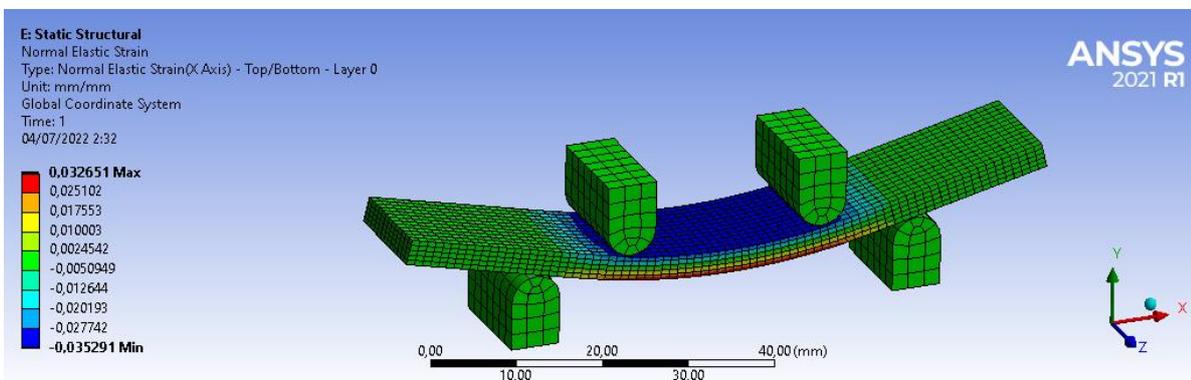
Flexural Stress Midspan



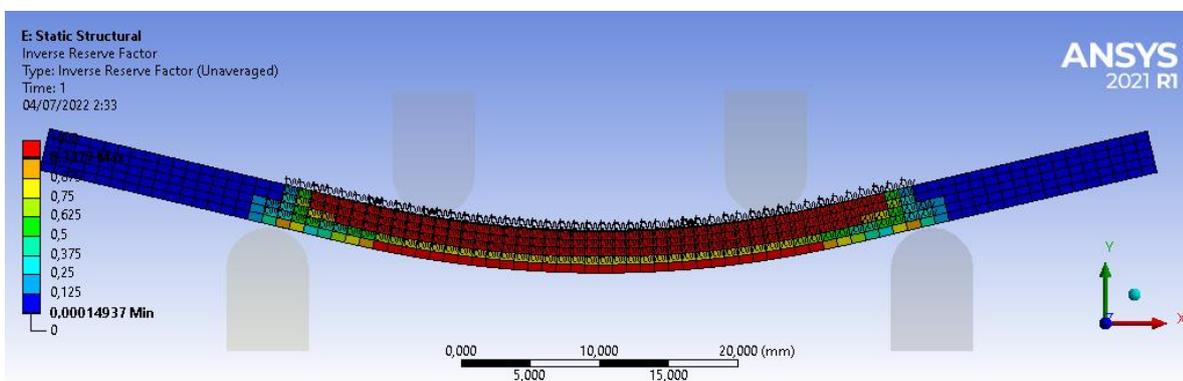
Shear Stress



Total Deformation



Flexural Strain

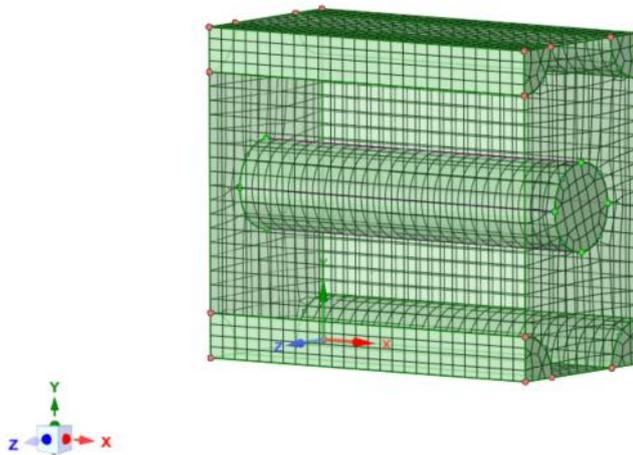


Inverse Reserve Factor

Fraksi Volume 20%

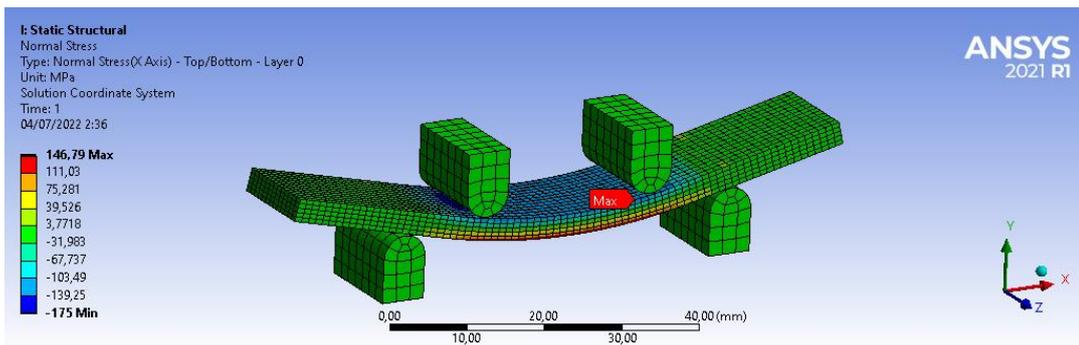
Click an object. Double-click to select an edge loop. Triple-click to select a solid.

ANSYS
2021 R1

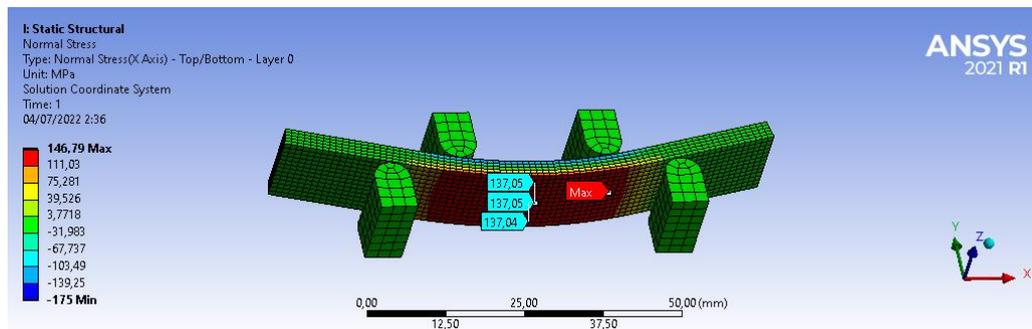


0,1mm

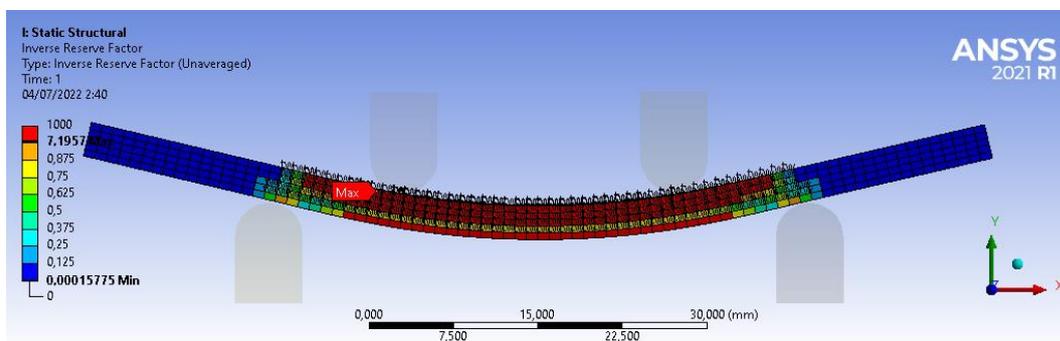
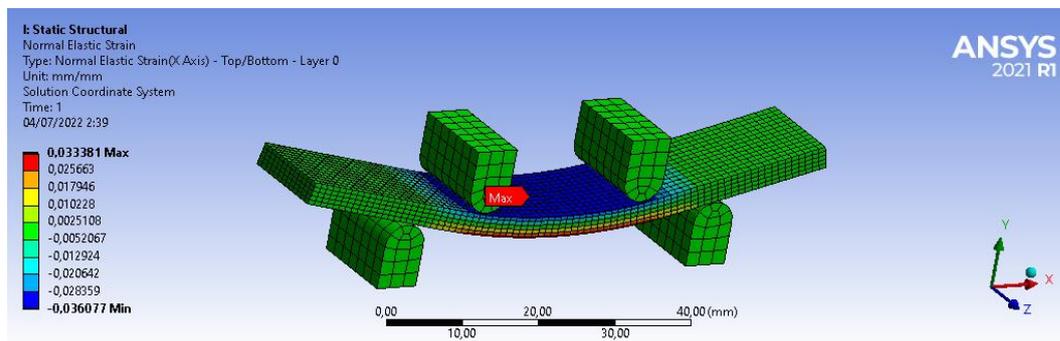
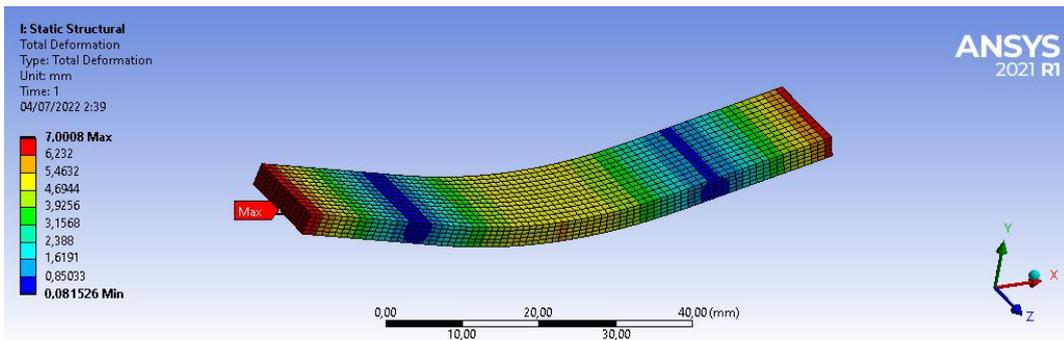
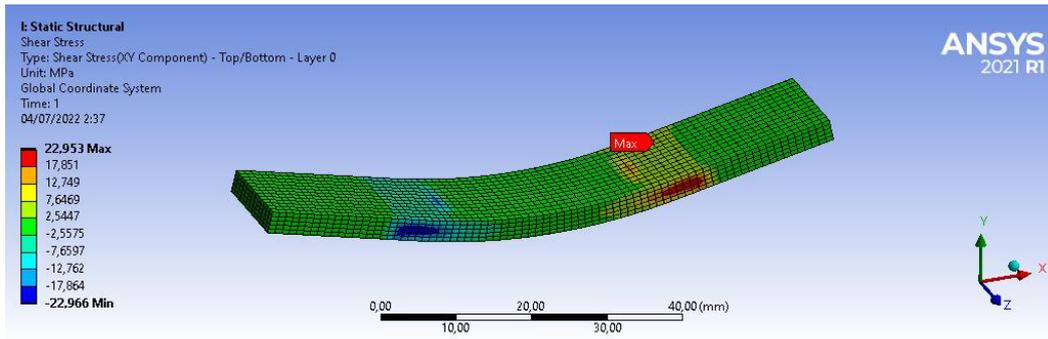
Material Designer



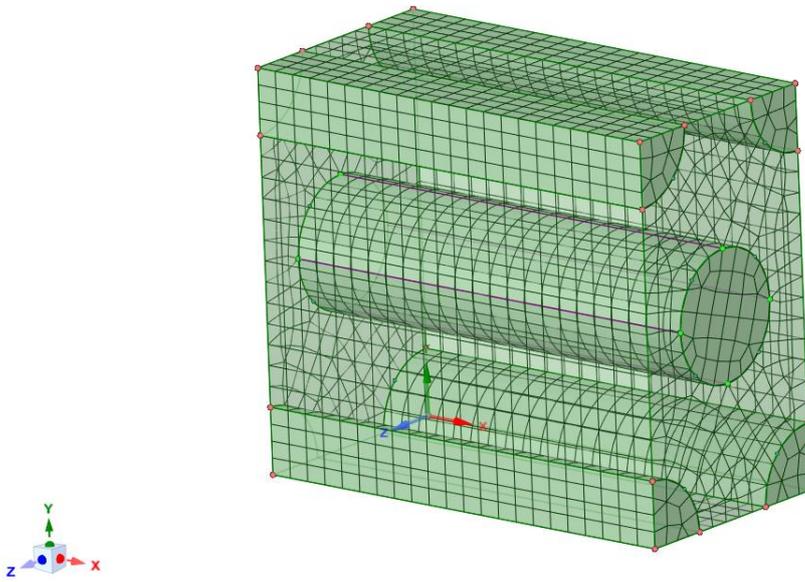
Flexural Stress Maksimum



Flexural Stress Midspan

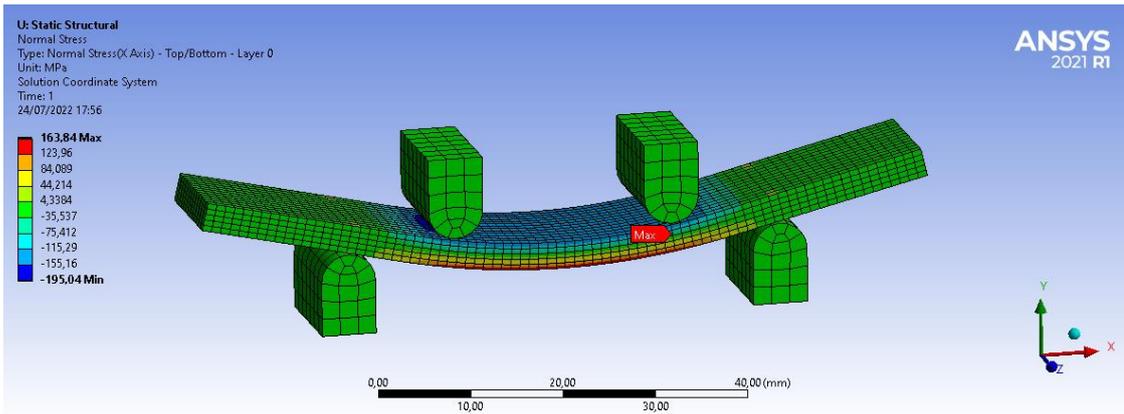


Fraksi Volume 30%

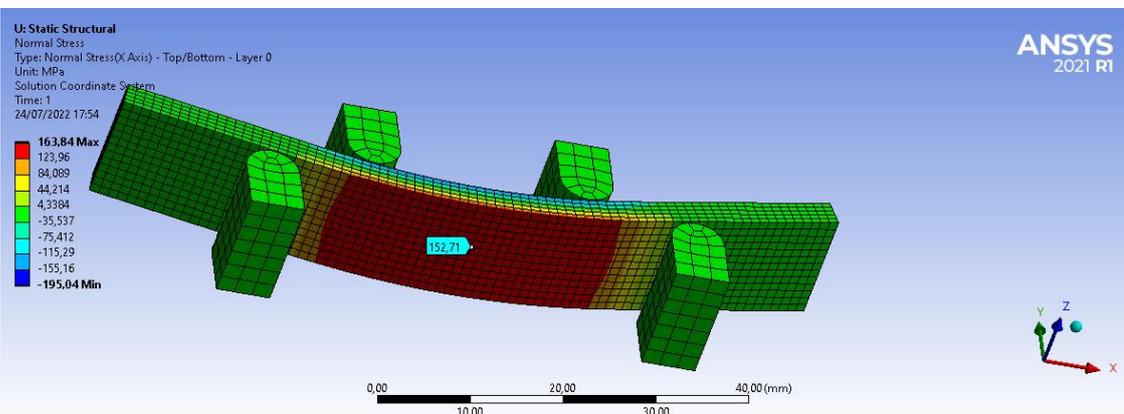


80µm

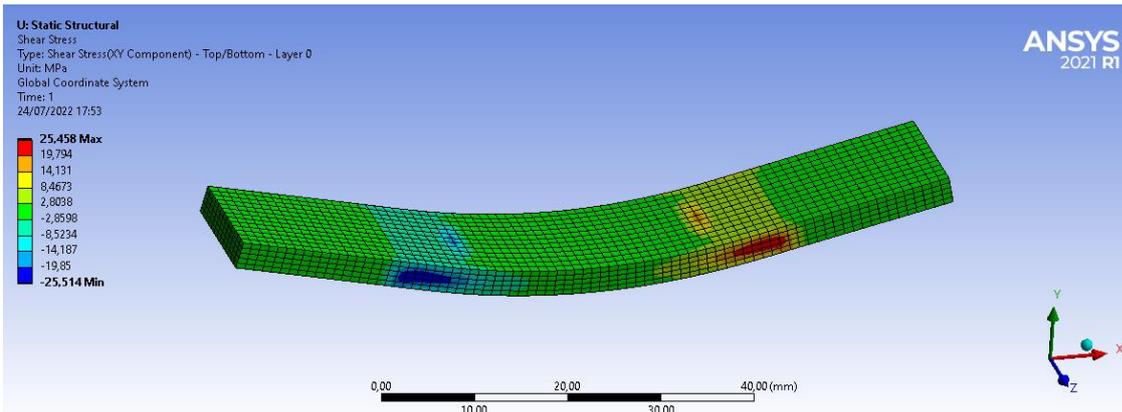
Material Designer



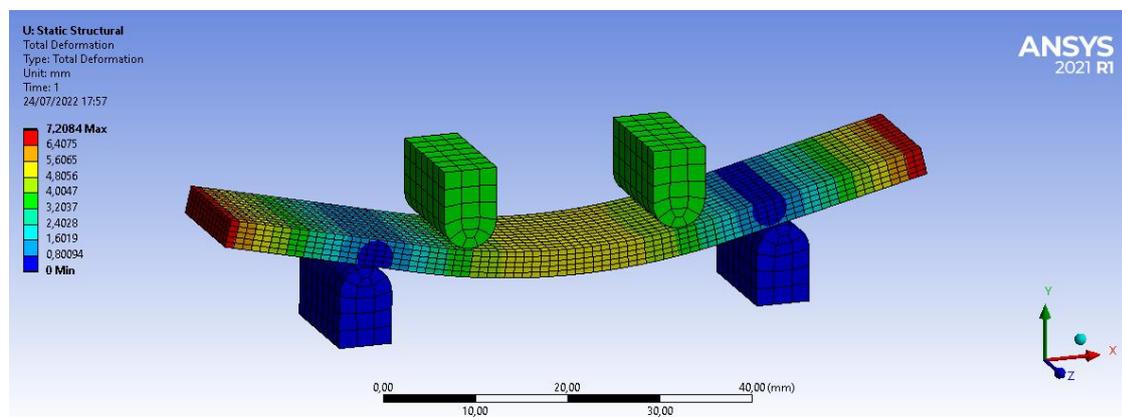
Flexural Stress Maksimum



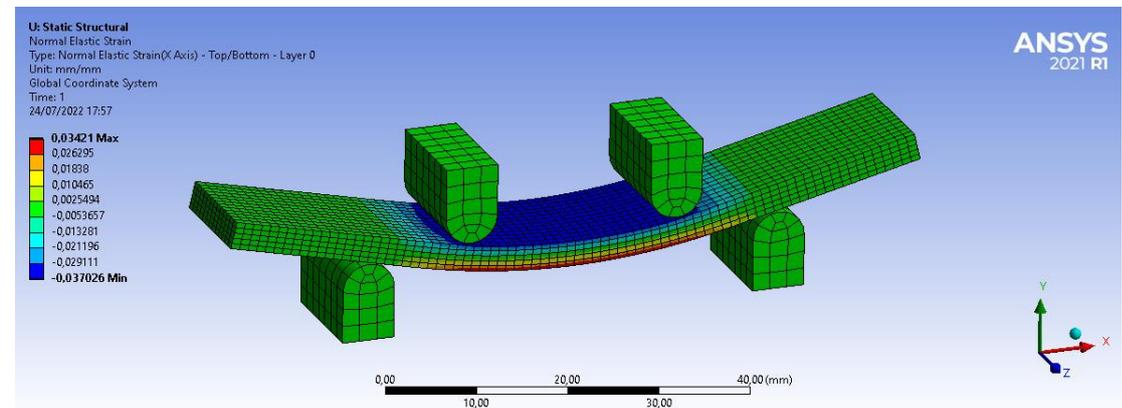
Flexural Stress Midspan



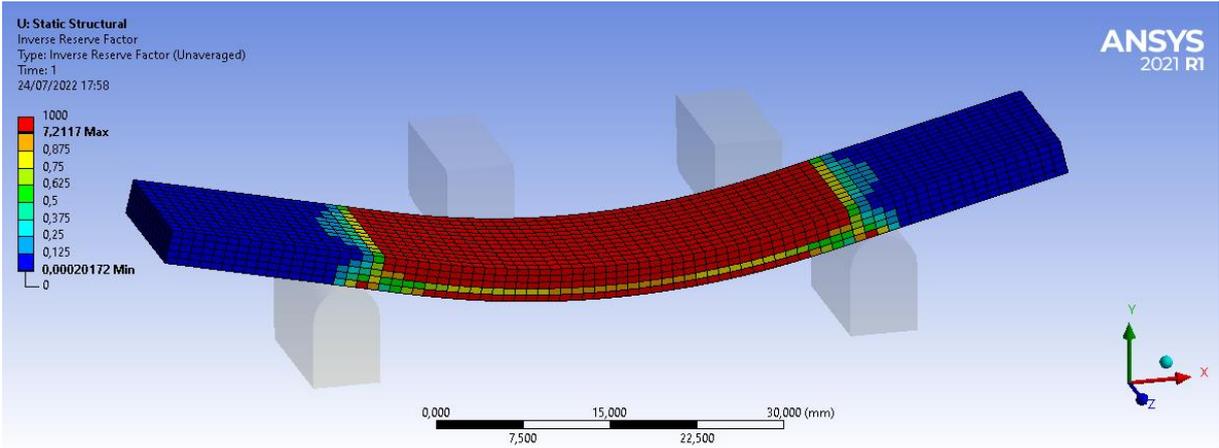
Shear Stress



Total Deformation

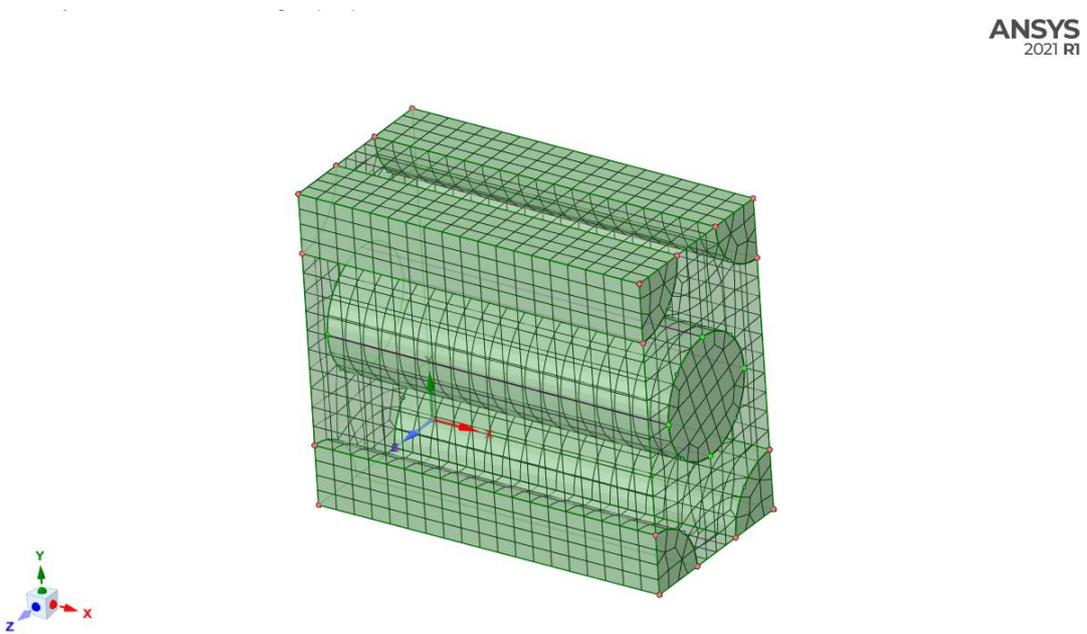


Flexural Strain

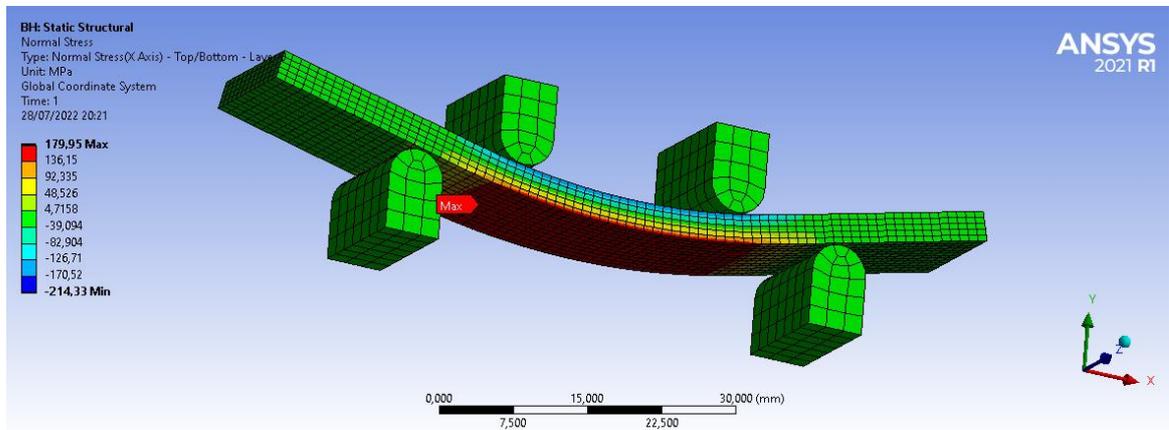


Inverse Reserve Factor

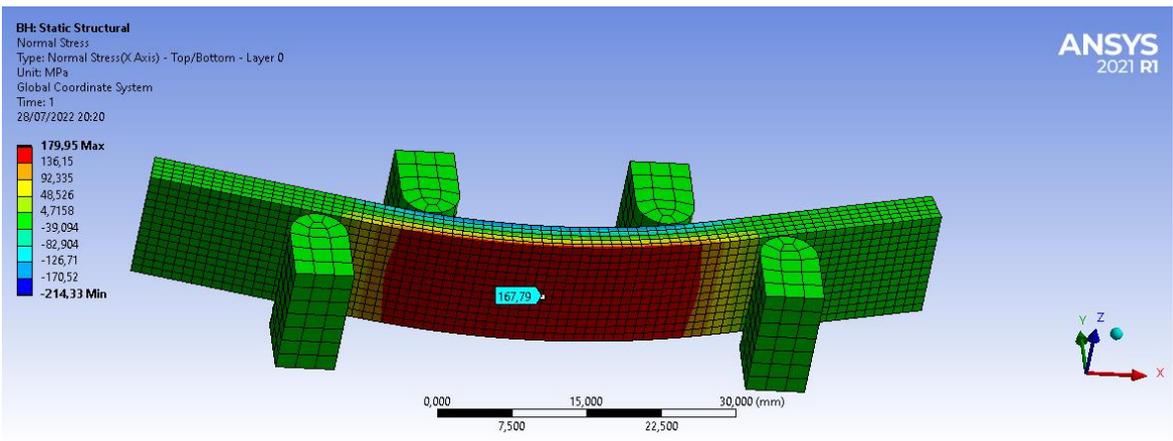
Fraksi Volume 40%



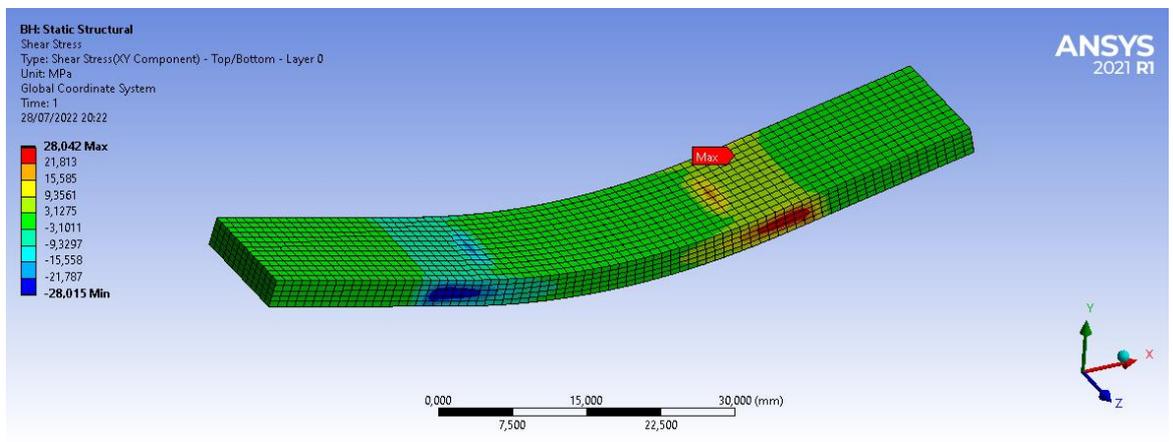
Material Designer



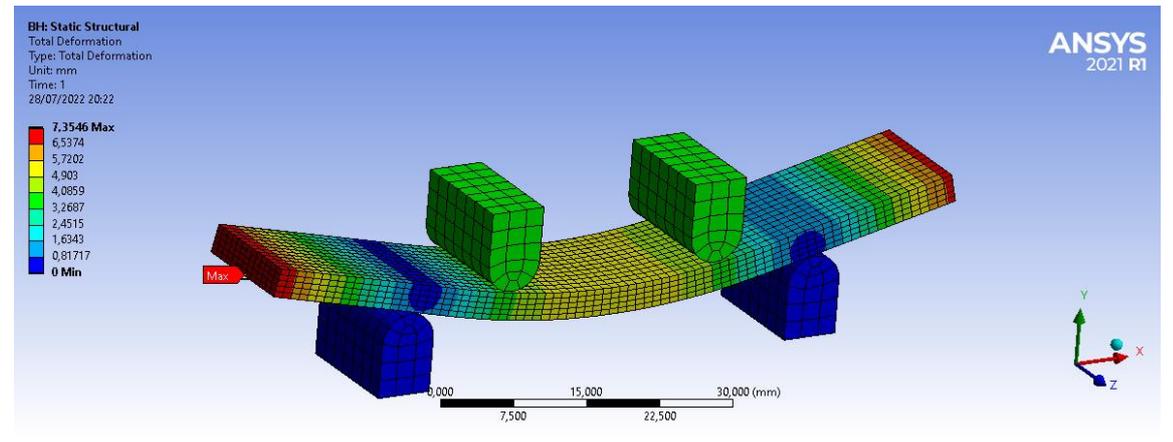
Flexural Stress Maksimum



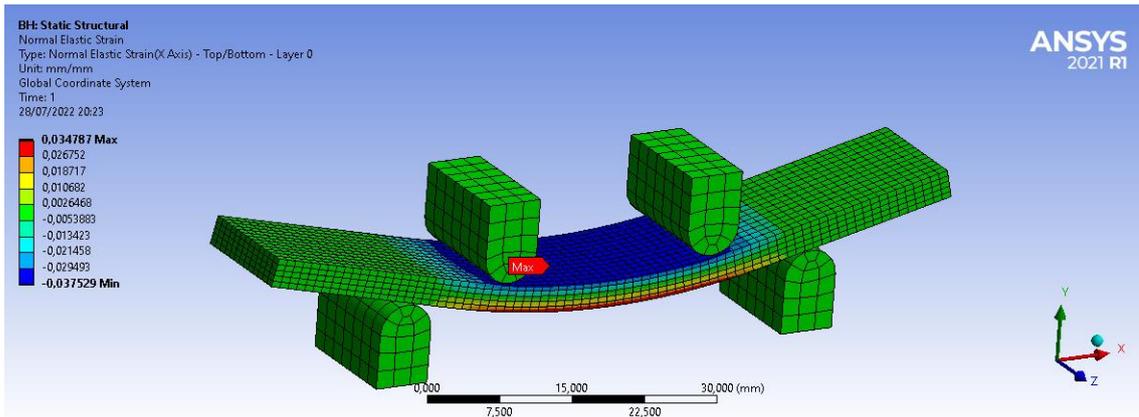
Flexural Stress Midspan



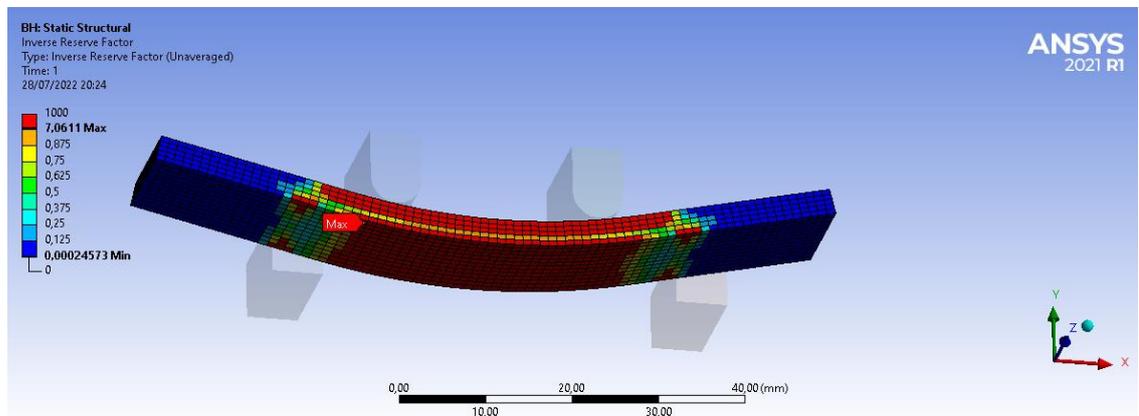
Shear Stress



Total Deformation

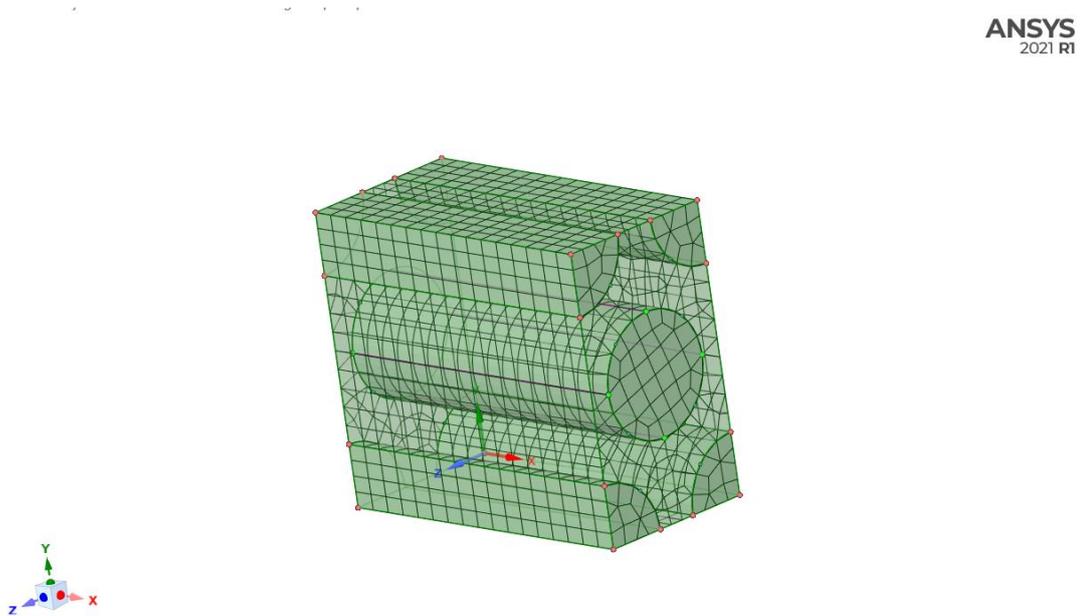


Flexural Strain

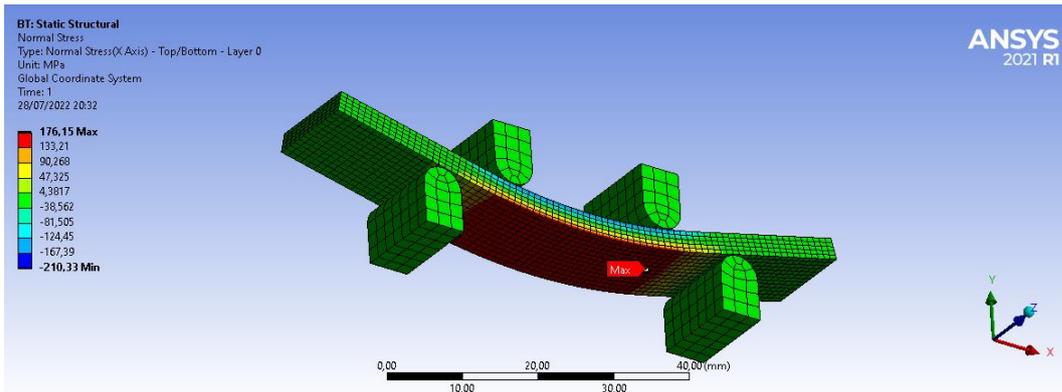


Inverse Reserve Factor

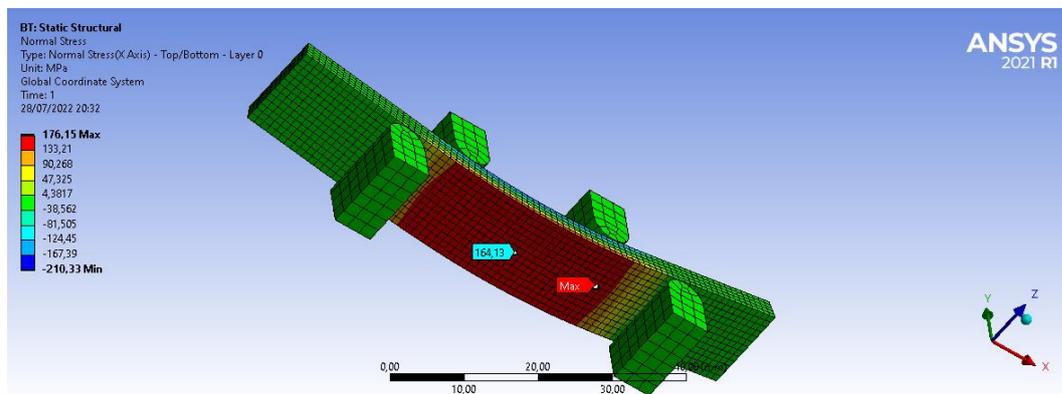
Fraksi Volume 50%



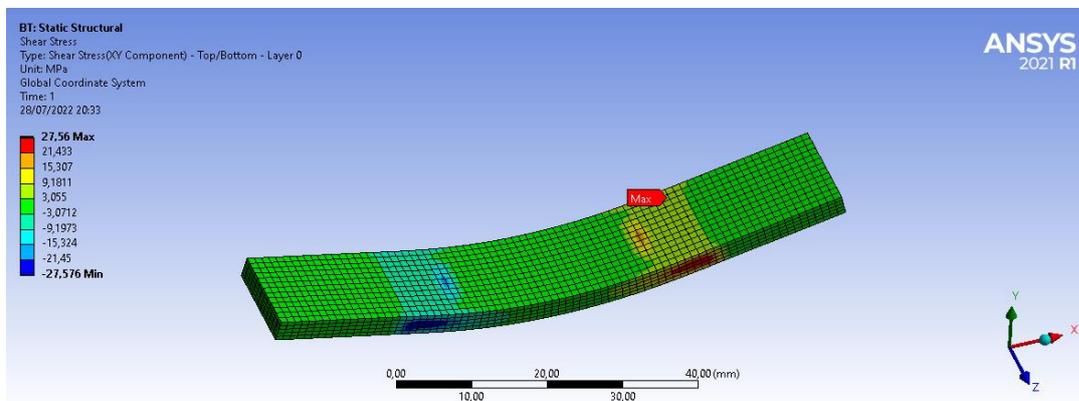
Material Designer



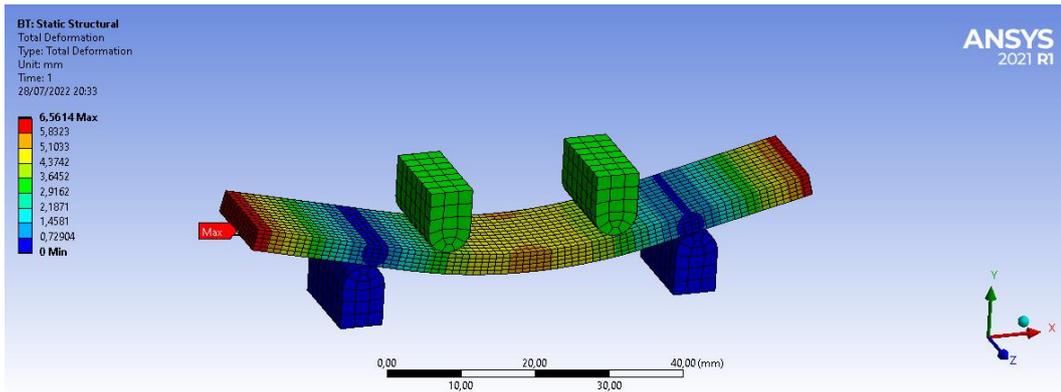
Flexural Stress Maksimum



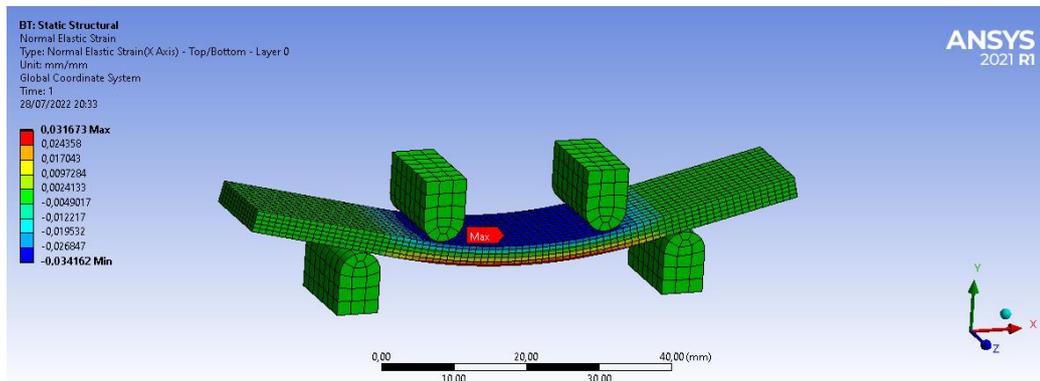
Flexural Stress Midspan



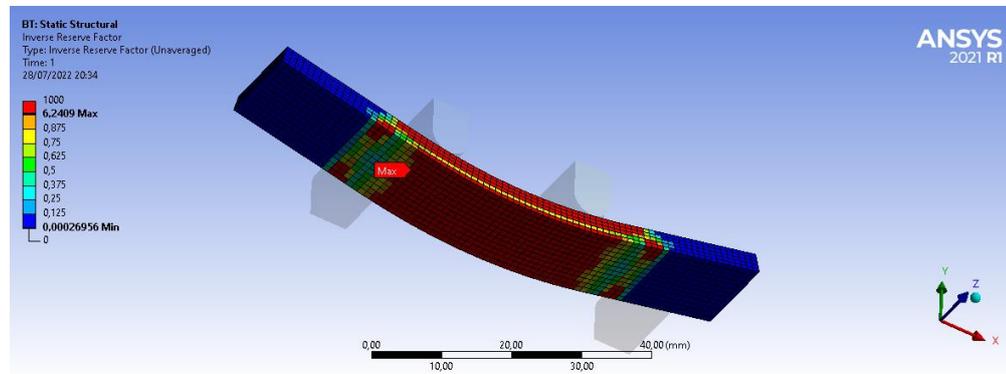
Shear Stress



Total Deformation

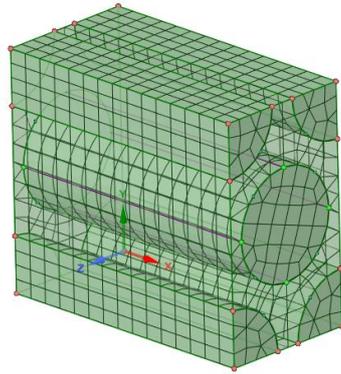


Flexural Strain

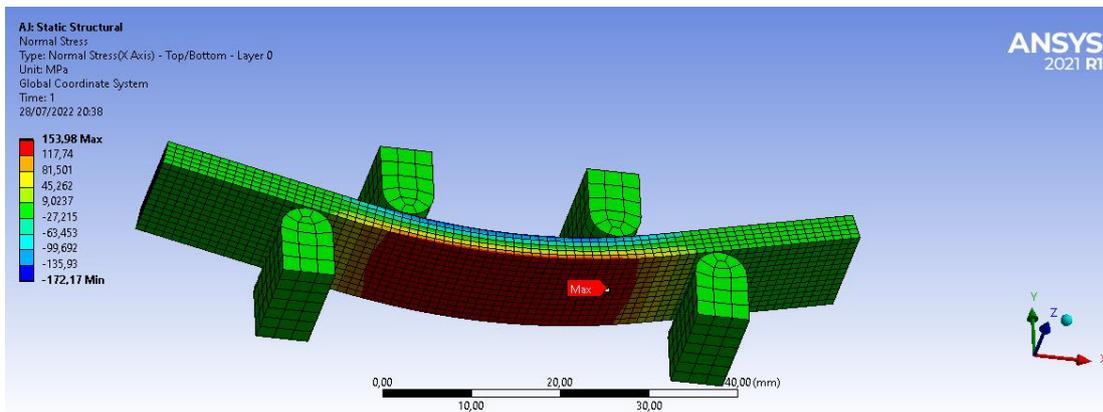


Inverse Reserve Factor

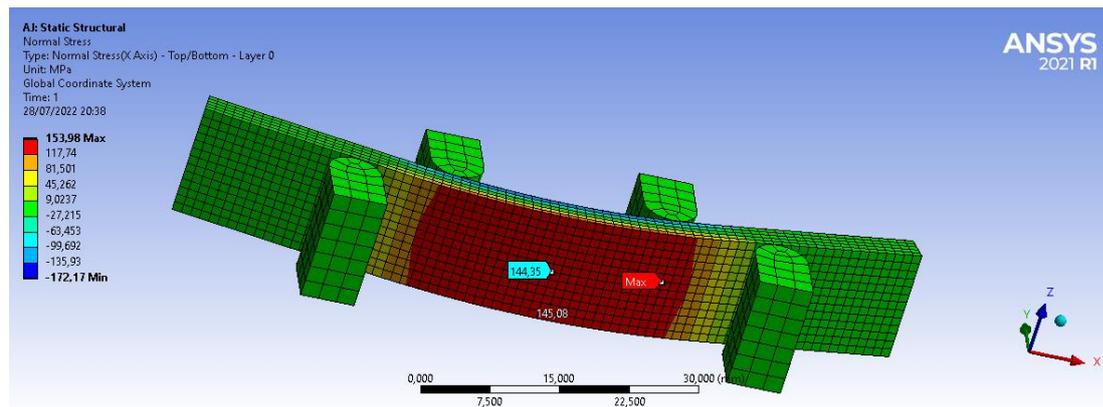
Fraksi Volume 60%



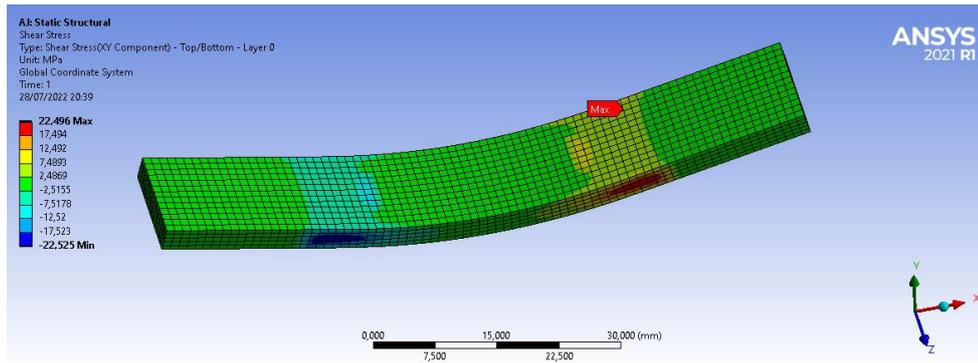
Material Designer



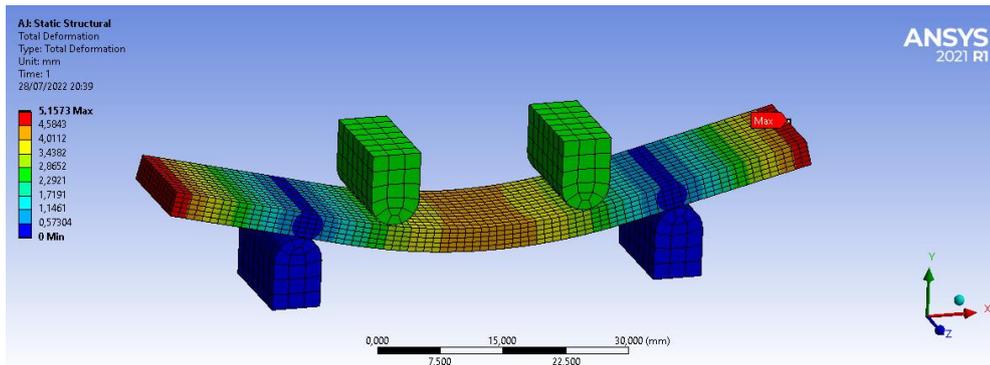
Flexural Stress Maksimum



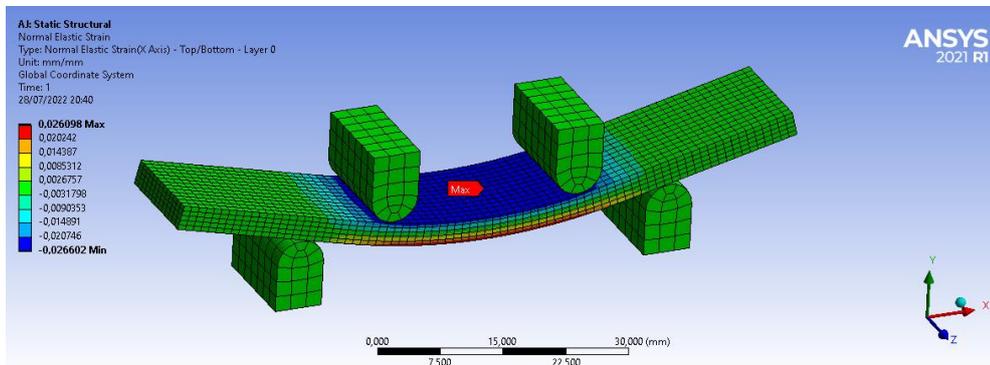
Flexural Stress Midspan



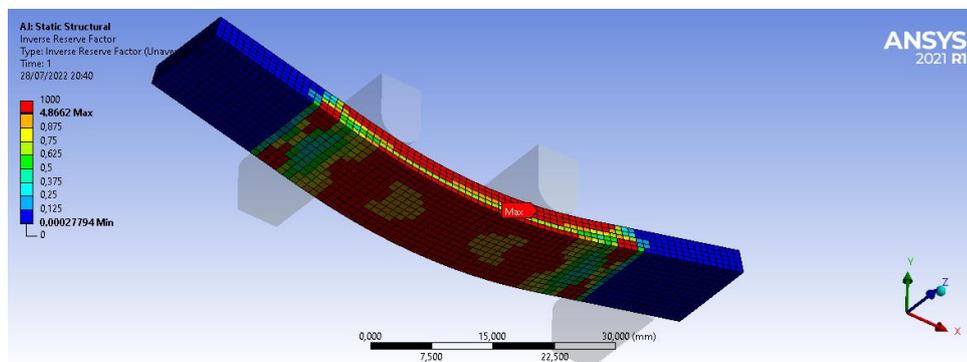
Shear Stress



Total Deformation

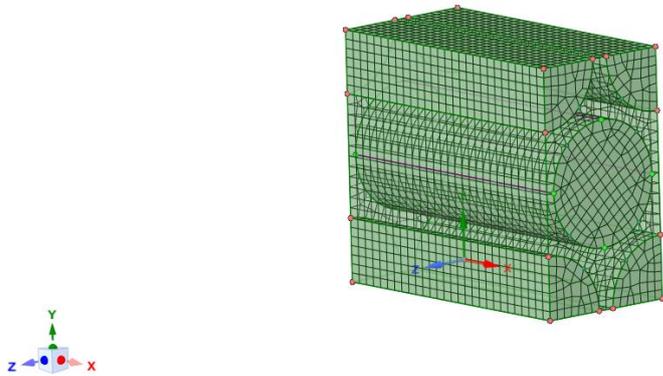


Flexural Strain

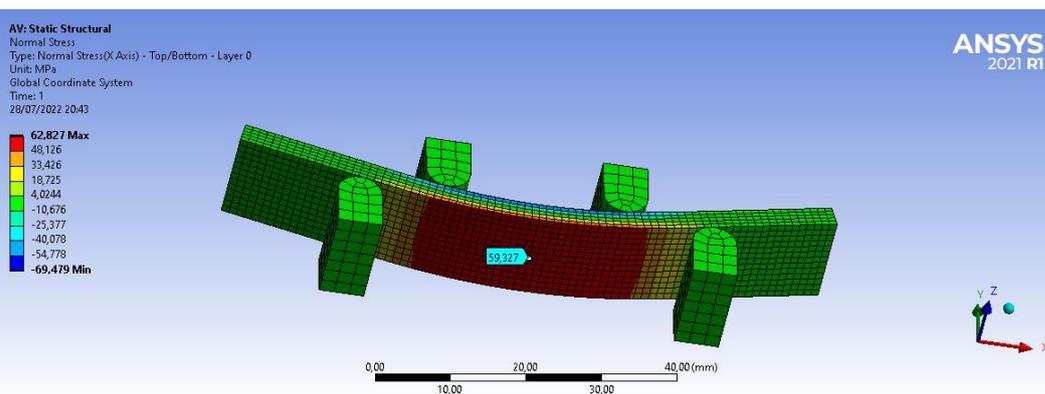
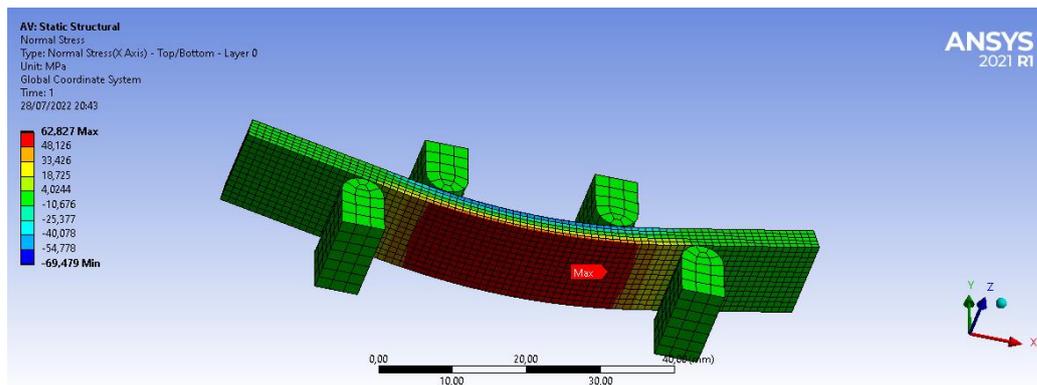


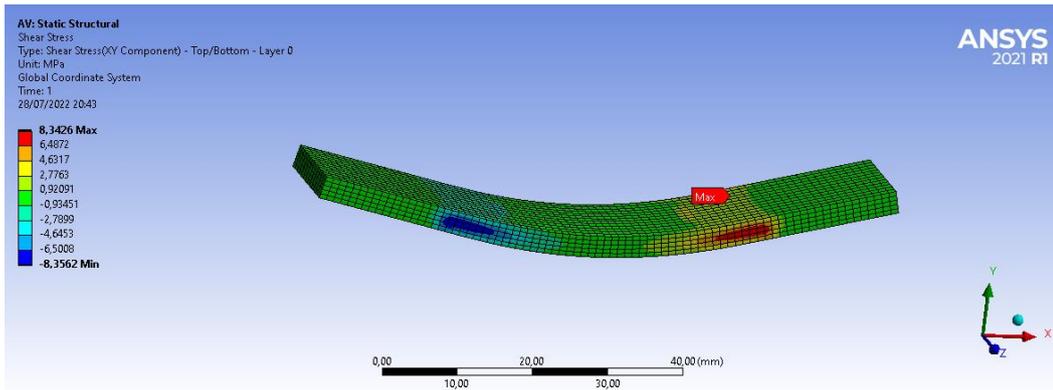
Inverse Reserve Factor

Fraksi Volume 70%

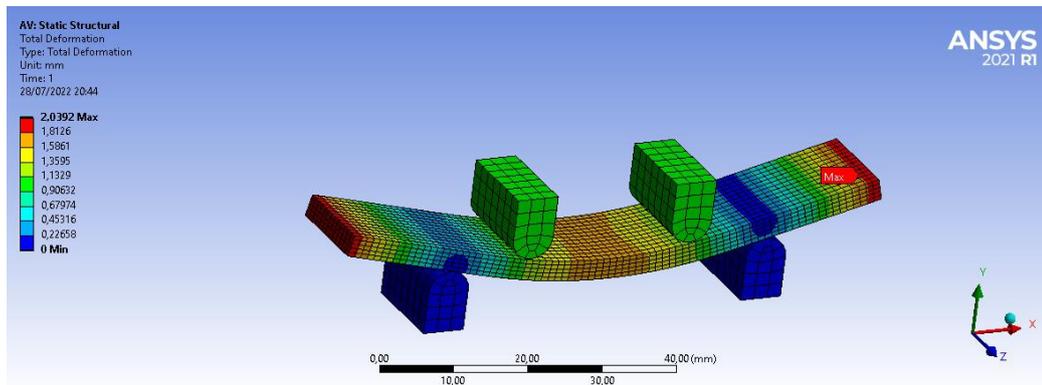


Material Designer

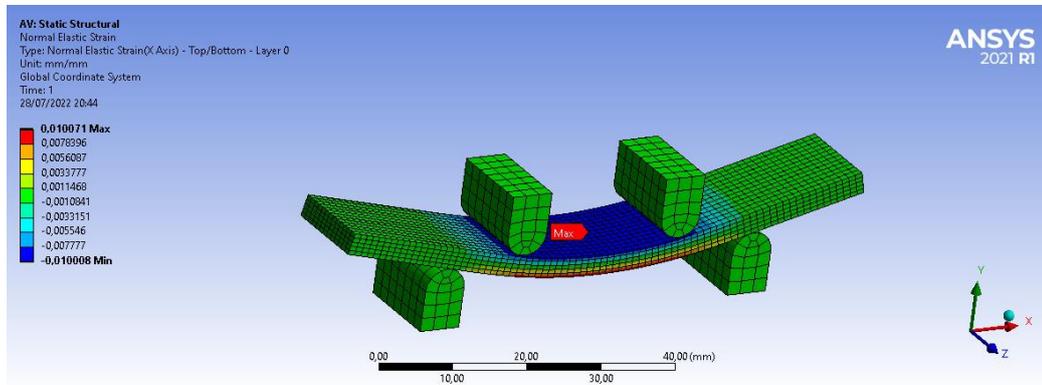




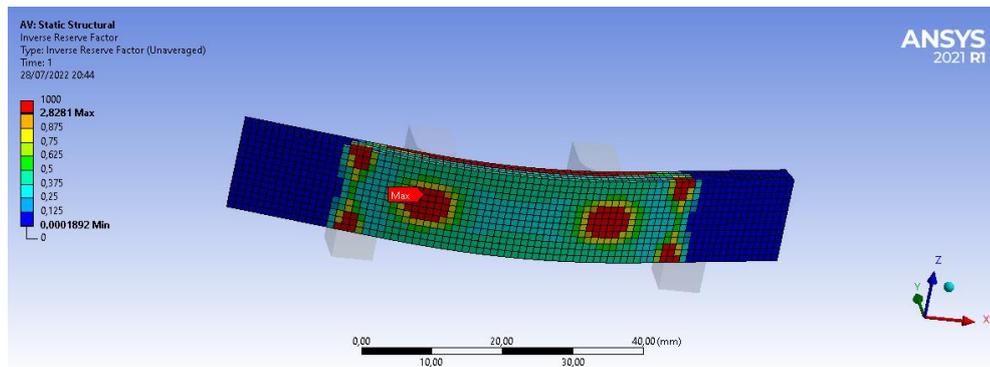
Shear Stress



Total Deformation



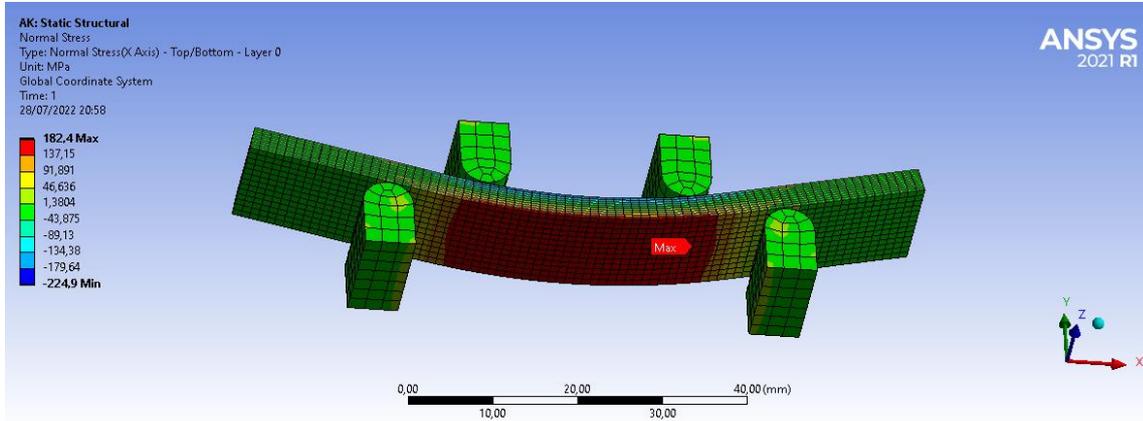
Flexural Strain



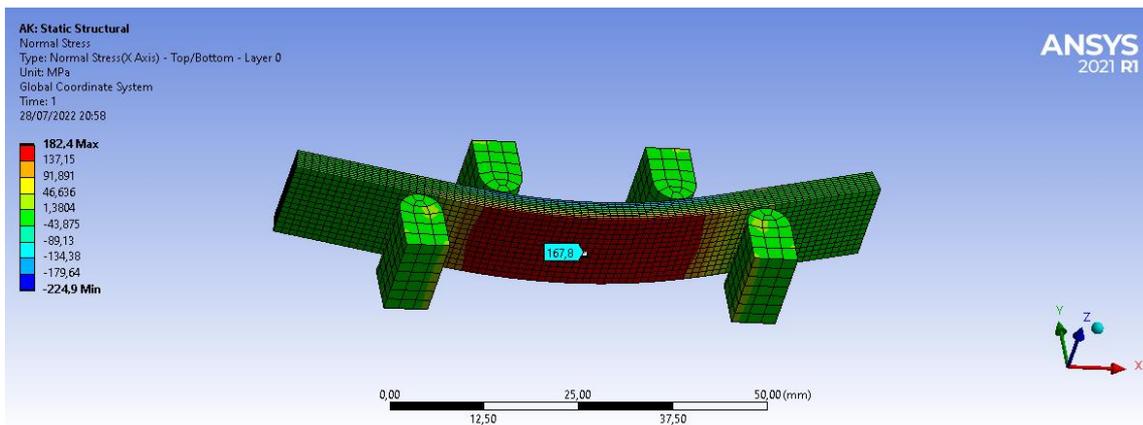
Inverse Reserve Factor

Hasil Simulasi *Four Point Bending* material komposit Serat Sisal-Epoxy Resin pada variasi orientasi arah sudut serat:

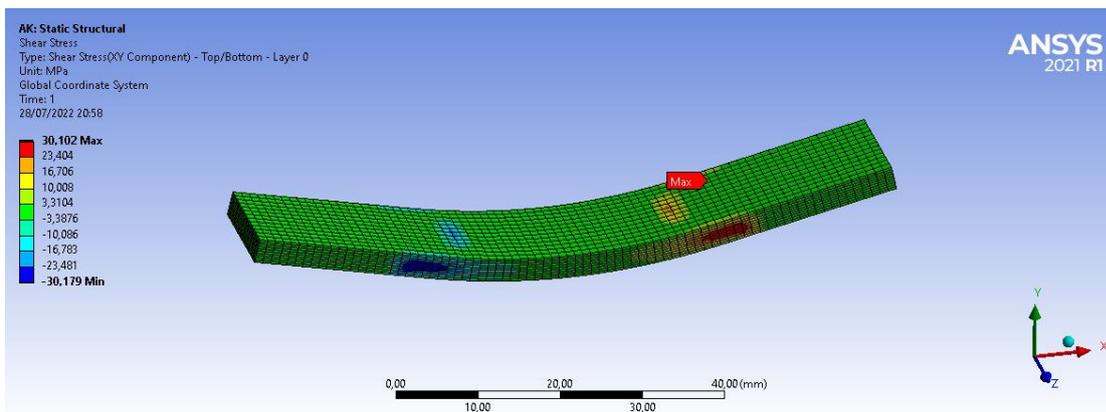
$[(0^\circ)_{10}]$



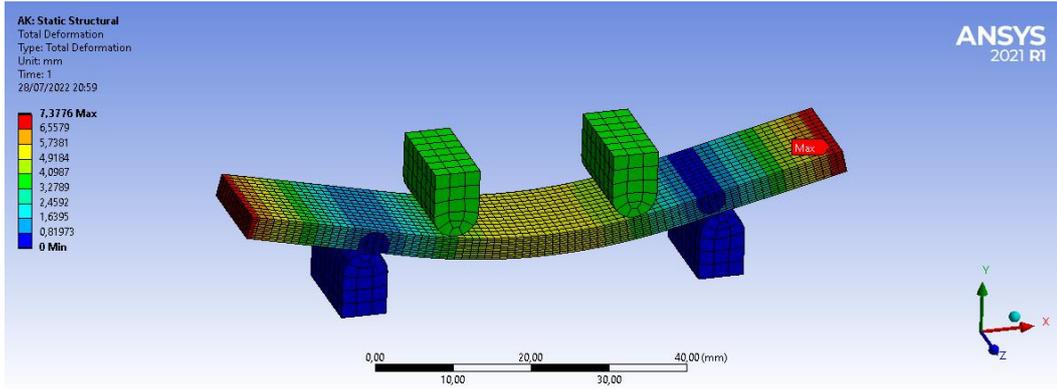
Flexural Stress Maksimum



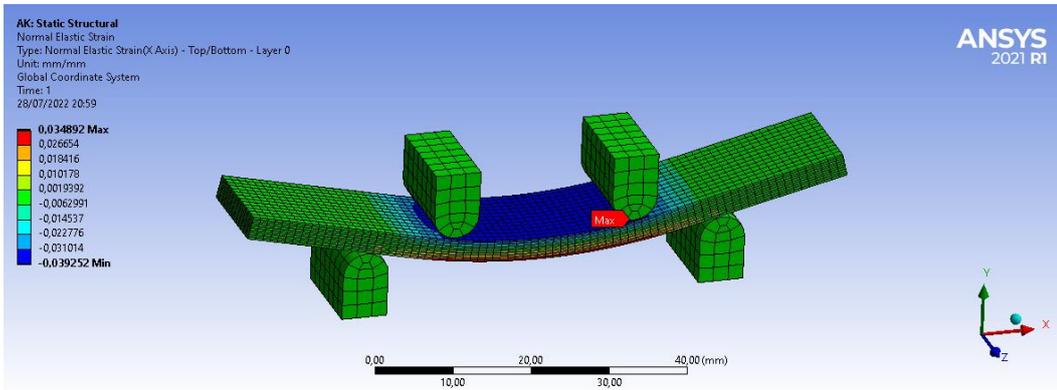
Flexural Stress Midspan



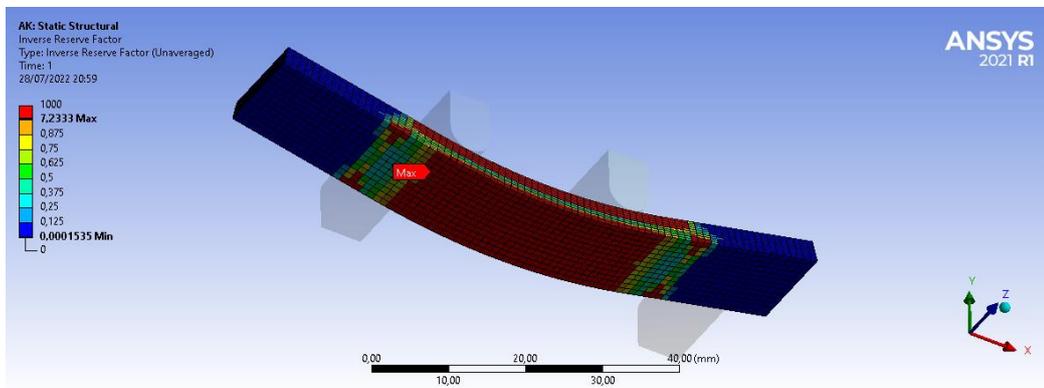
Shear Stress



Total Deformation

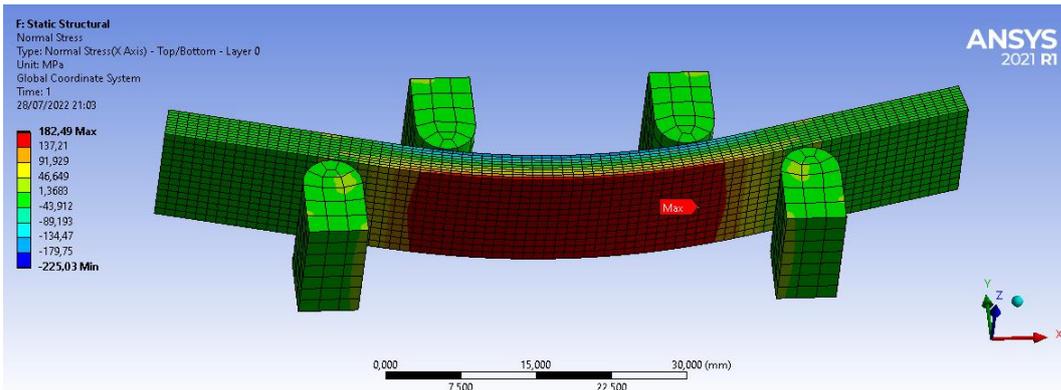


Flexural Strain

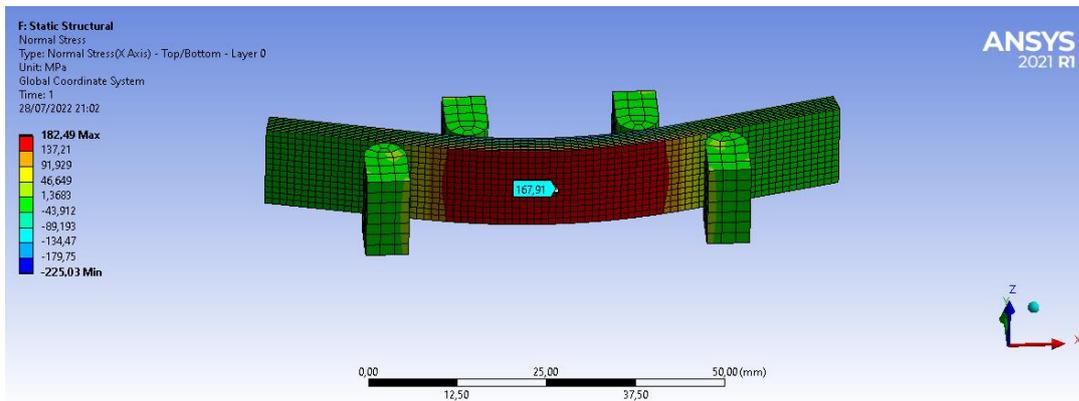


Inverse Reserve Factor

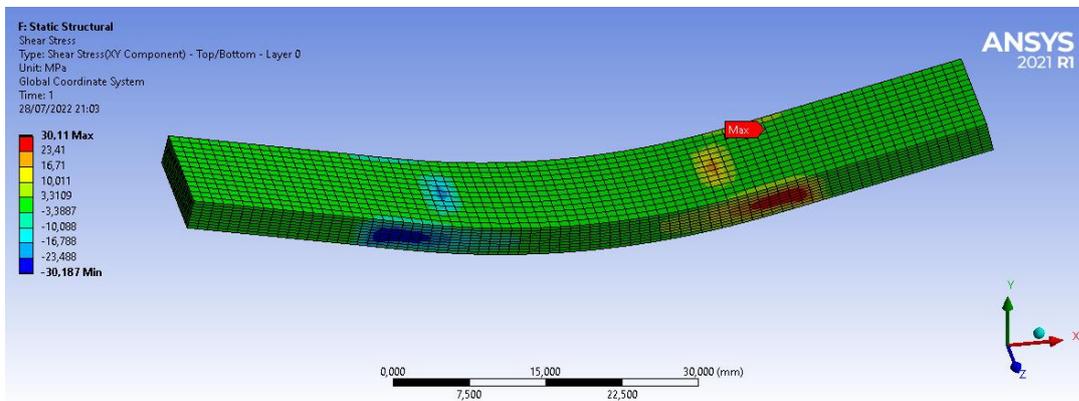
$$[(0^\circ)_4/(45^\circ)_2/(0^\circ)_4]$$



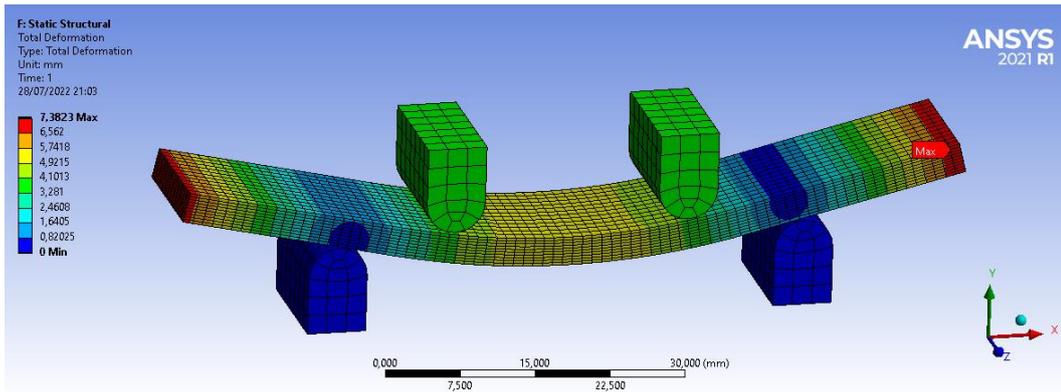
Flexural Stress Maksimum



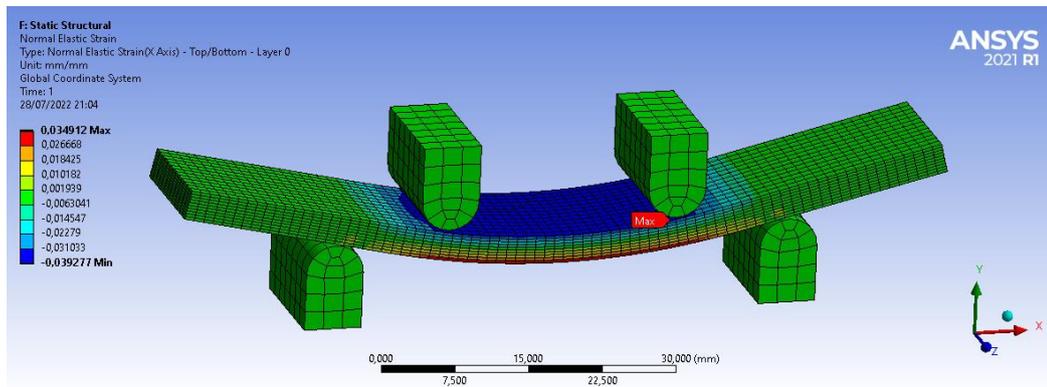
Flexural Stress Midspan



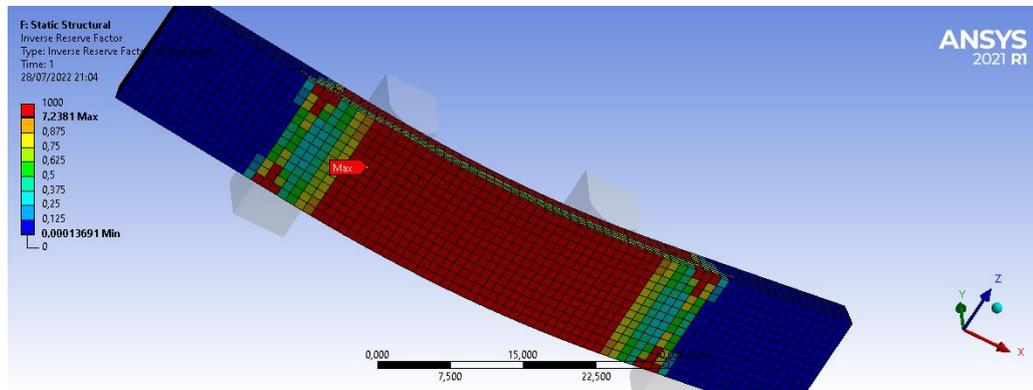
Shear Stress



Total Deformation

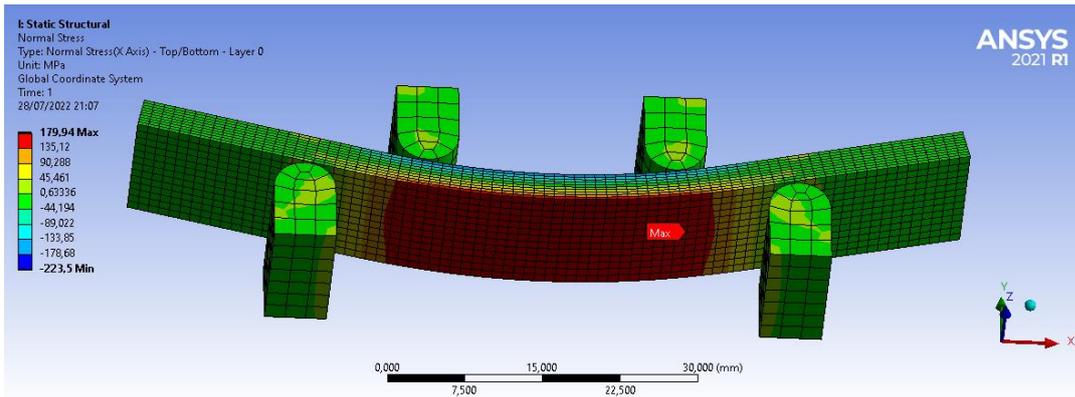


Flexural Strain

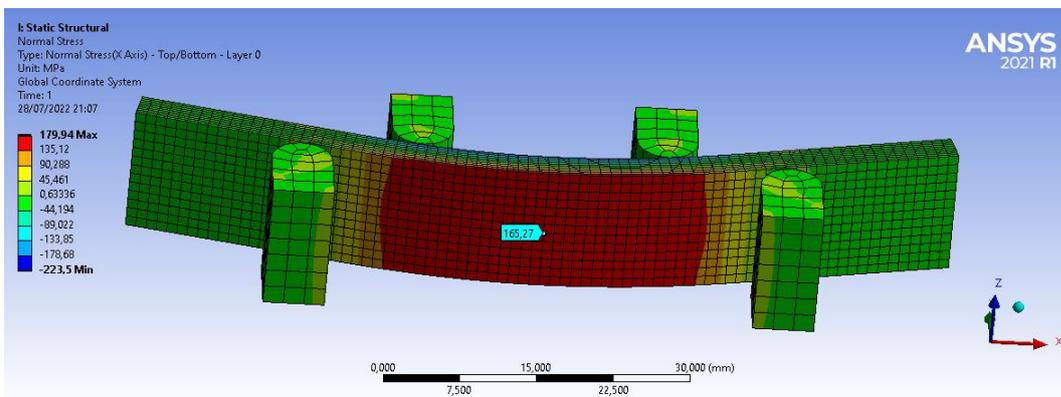


Inverse Reserve Factor

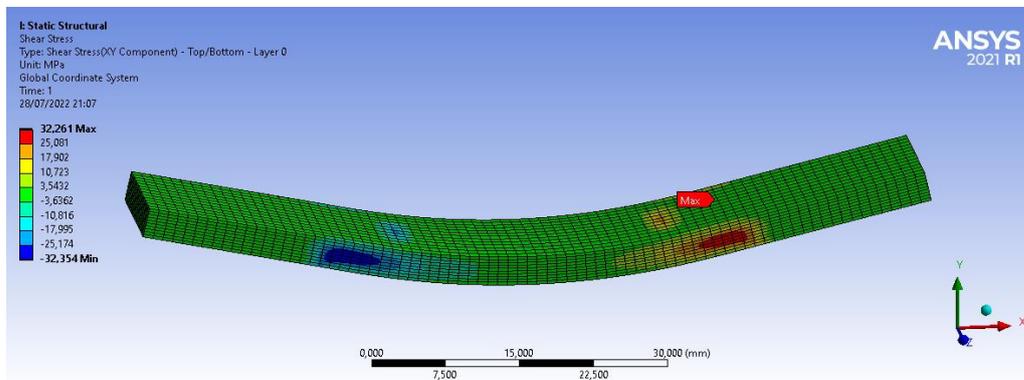
$$[(45^\circ)^2/(0^\circ)^2/(45^\circ)^2/(0^\circ)^2/(45^\circ)^2]$$



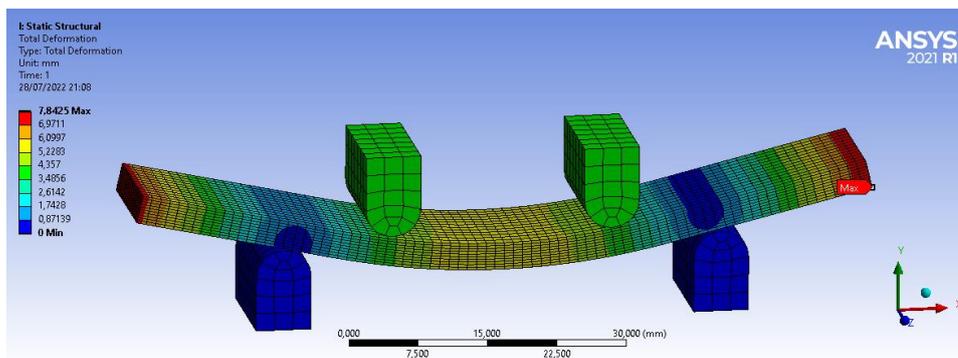
Flexural Stress Maksimum



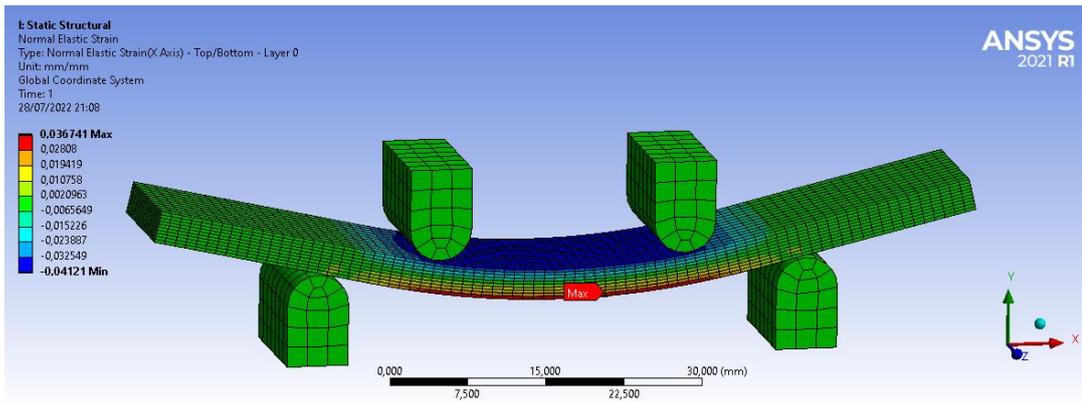
Flexural Stress Midspan



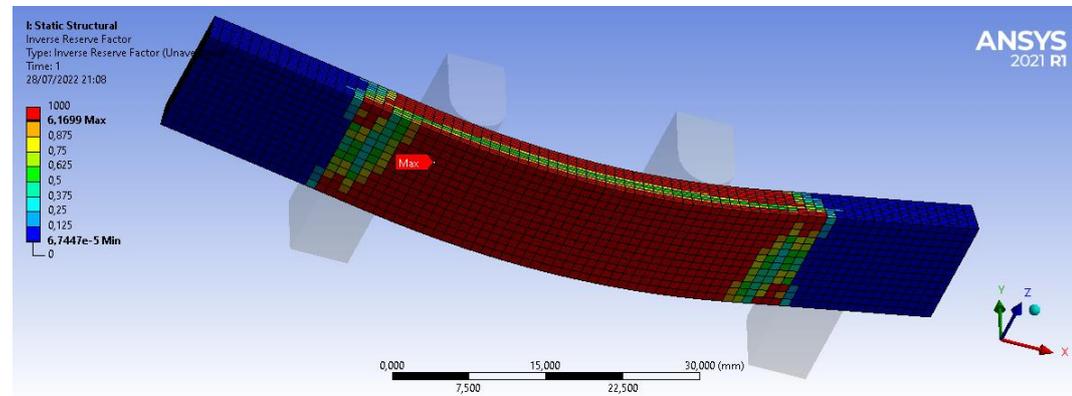
Shear Stress



Total Deformation

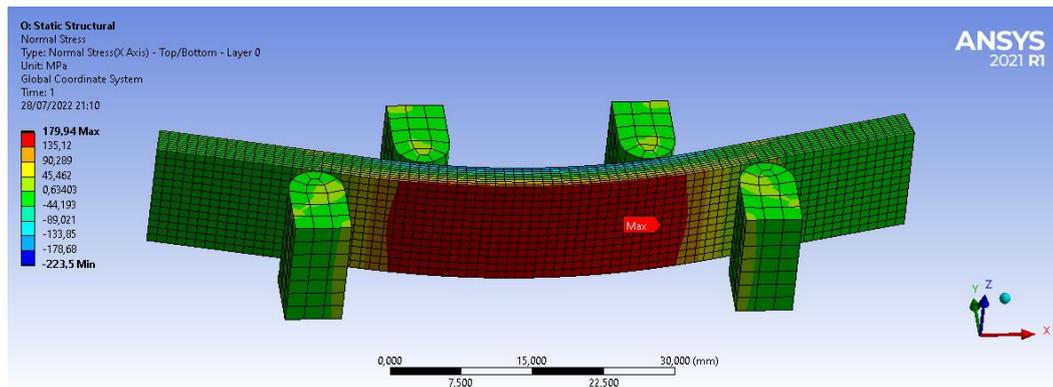


Flexural Strain

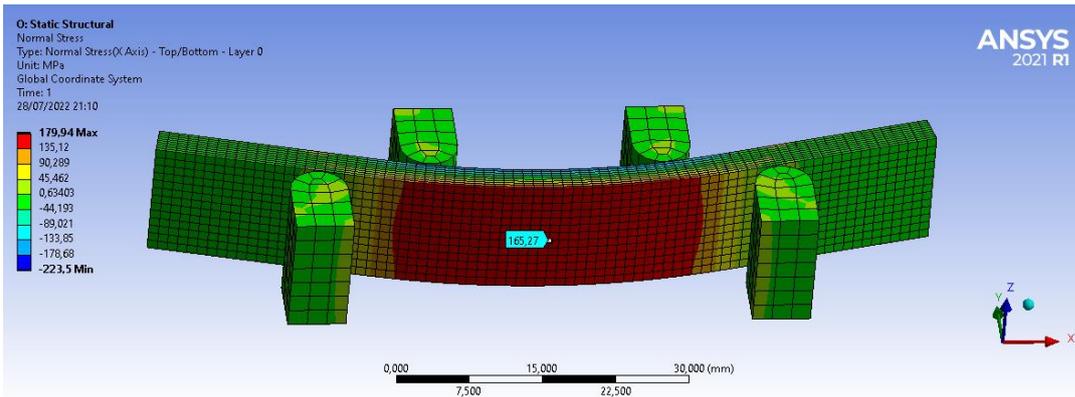


Inverse Reserve Factor

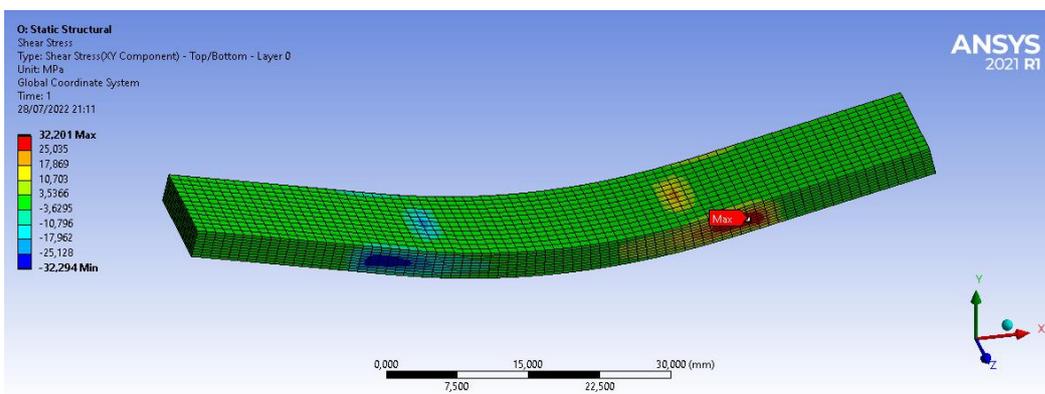
$$[(-45^\circ)^2/(0^\circ)^2/(45^\circ)^2/(0^\circ)^2/(-45^\circ)^2]$$



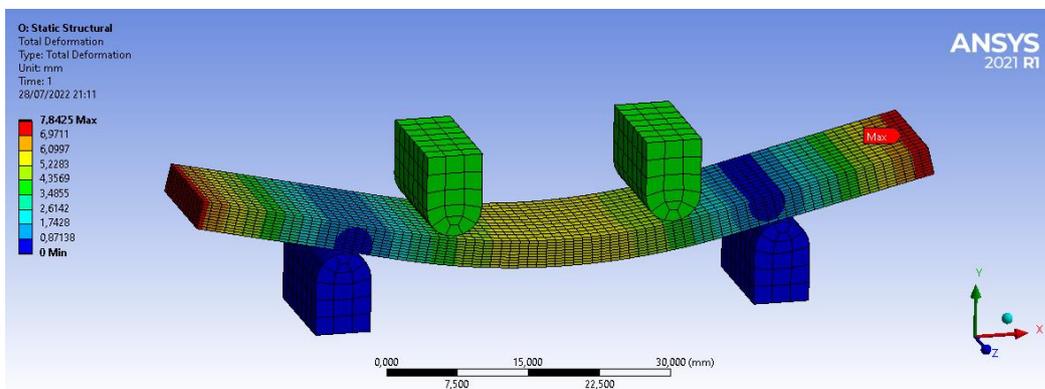
Flexural Stress Maksimum



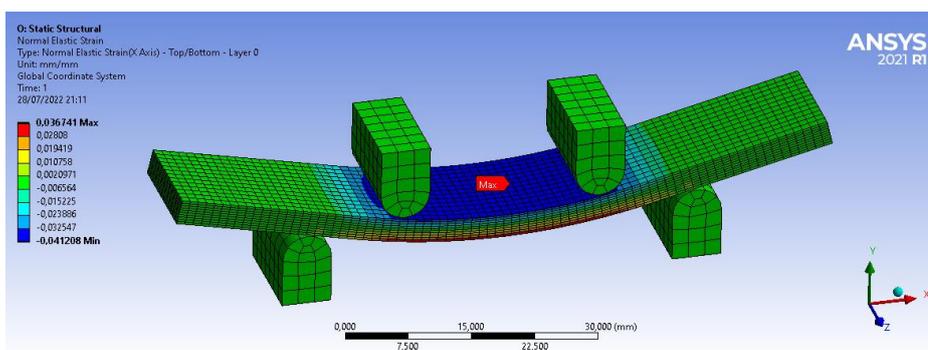
Flexural Stress Midspan



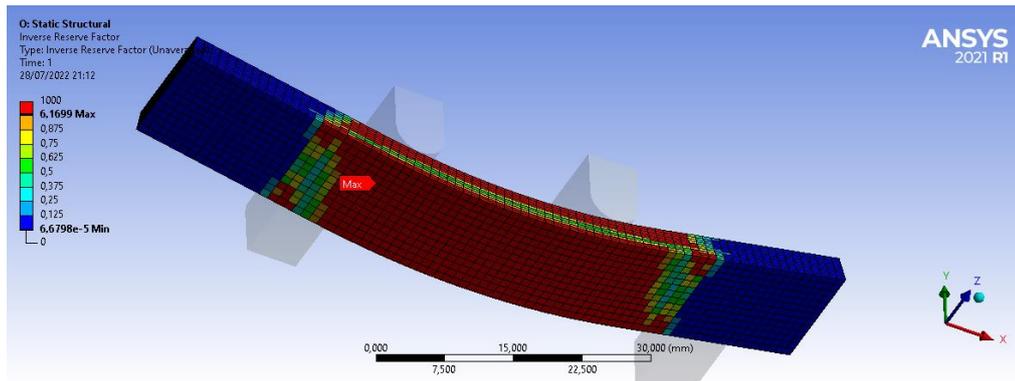
Shear Stress



Total Deformation

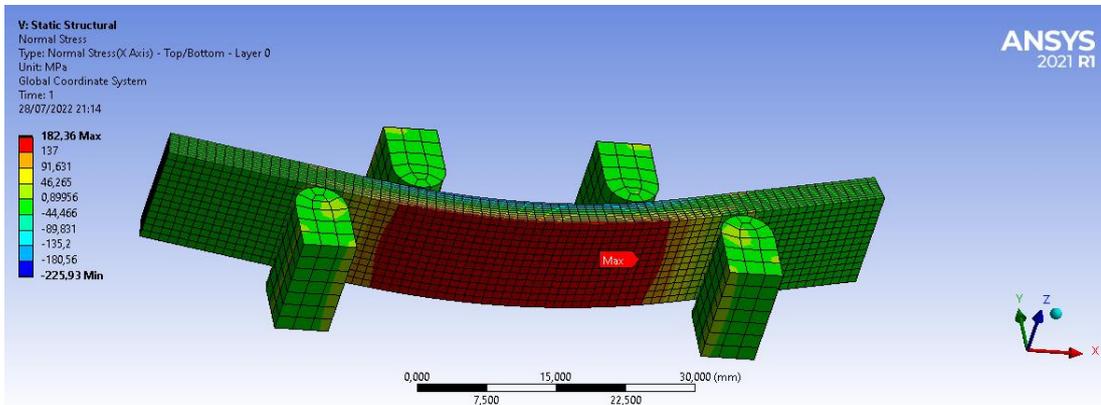


Flexural Strain

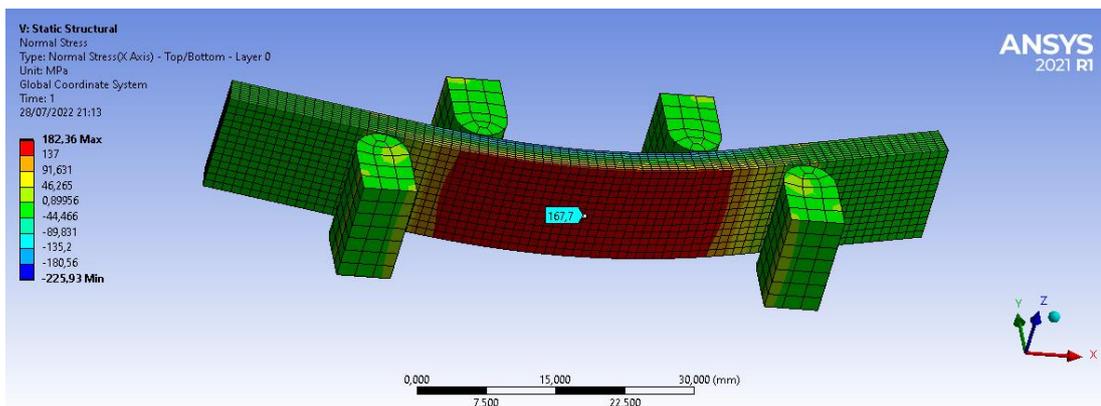


Inverse Reserve Factor

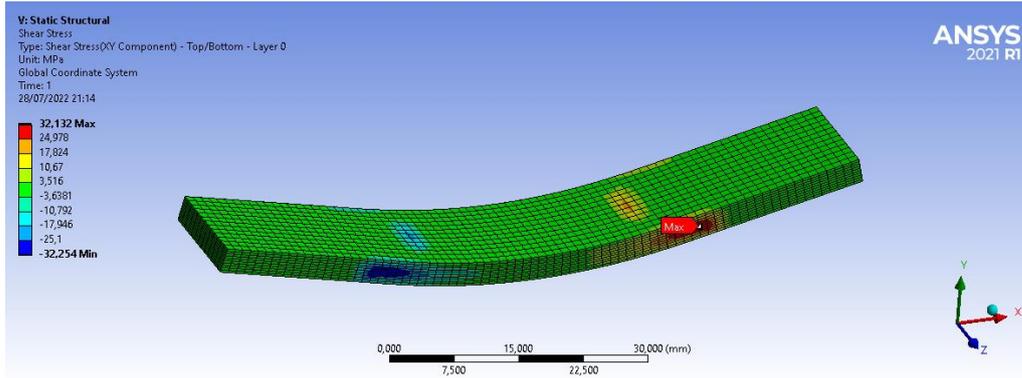
$$[(45^\circ)^2/(45^\circ)^2+45^\circ)^2/(45^\circ)^2+(45^\circ)^2]$$



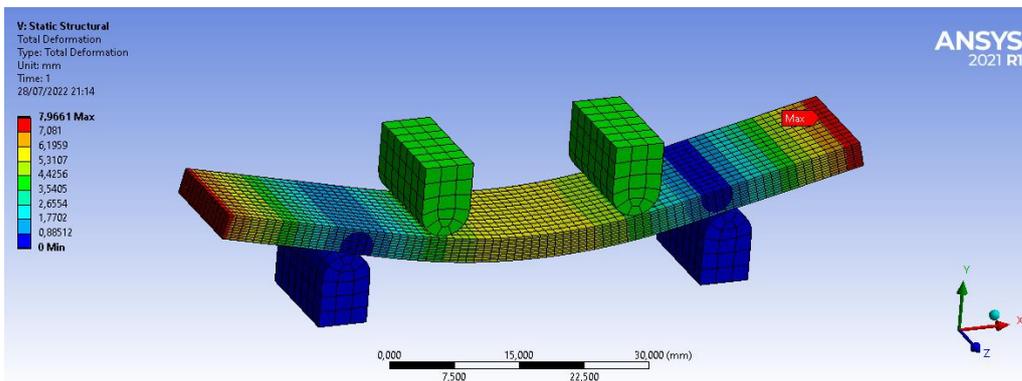
Flexural Stress Maksimum



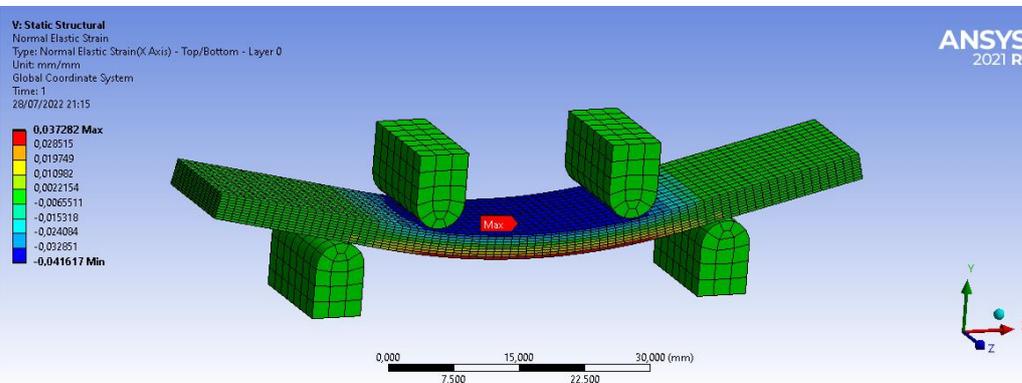
Flexural Stress Midspan



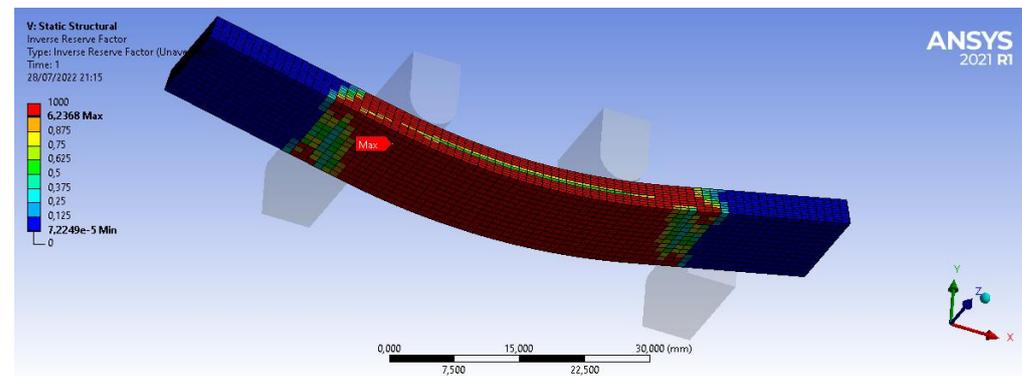
Shear Stress



Total Deformation

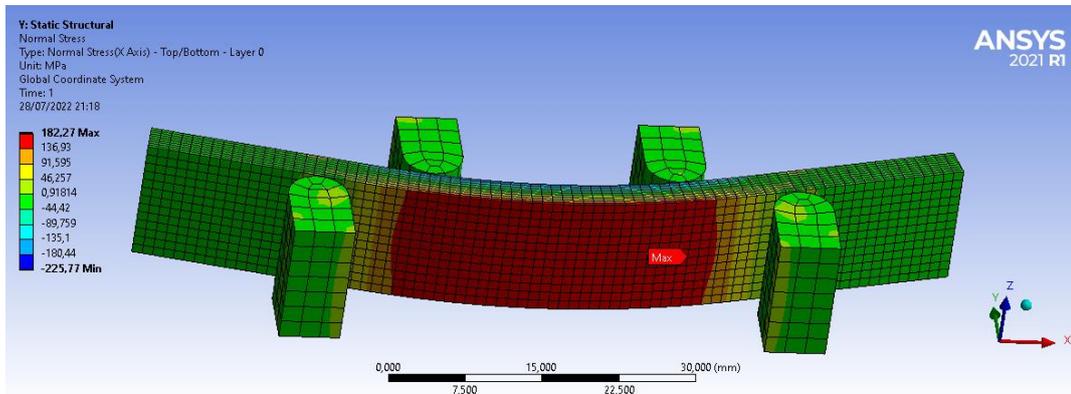


Flexural Strain

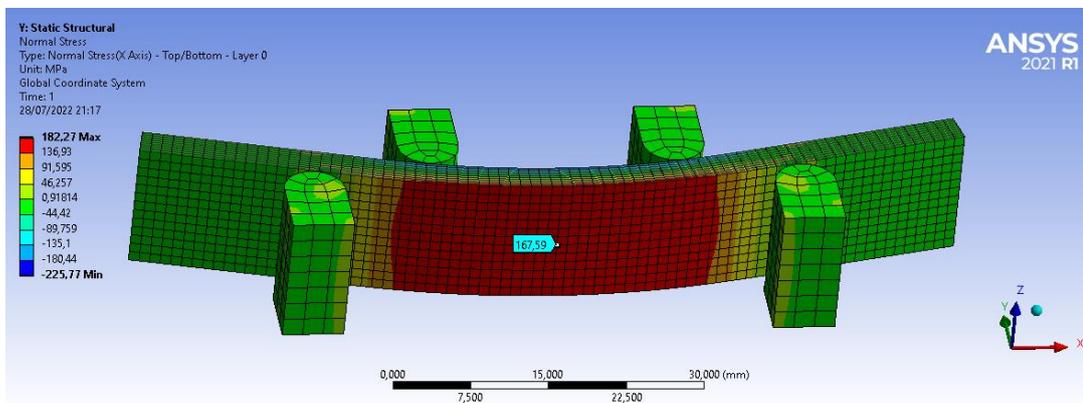


Inverse Reserve Factor

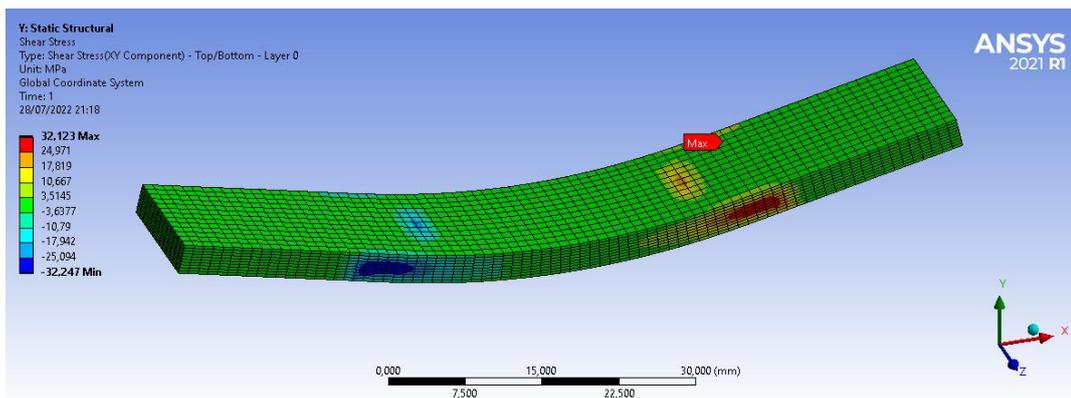
$[(45^\circ)_2/(45^\circ)_2/(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(45^\circ)_2]$



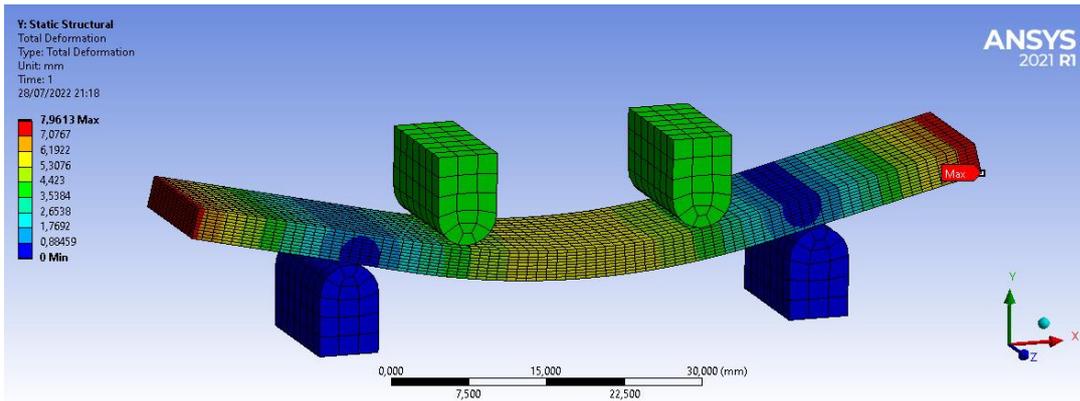
Flexural Stress Maksimum



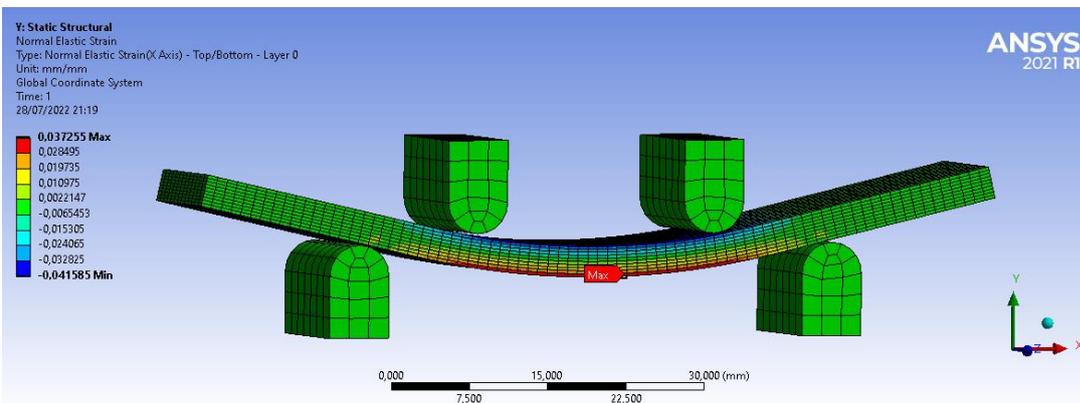
Flexural Stress Midspan



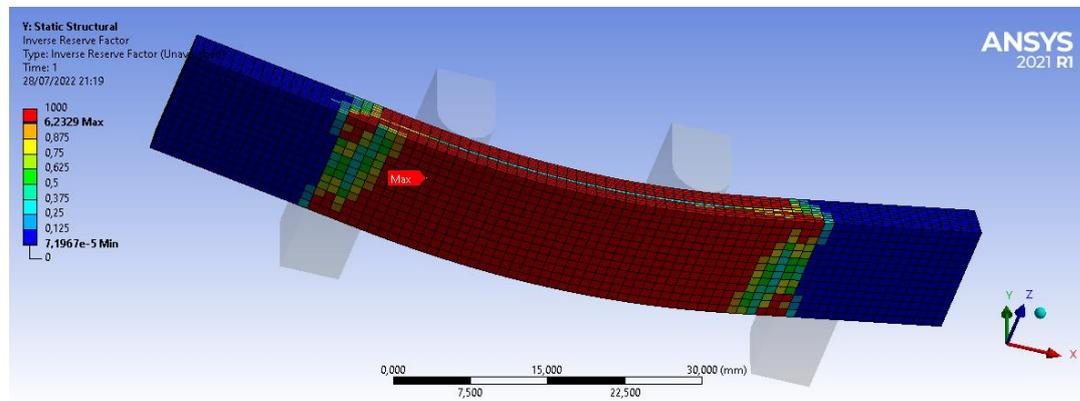
Shear Stress



Total Deformation

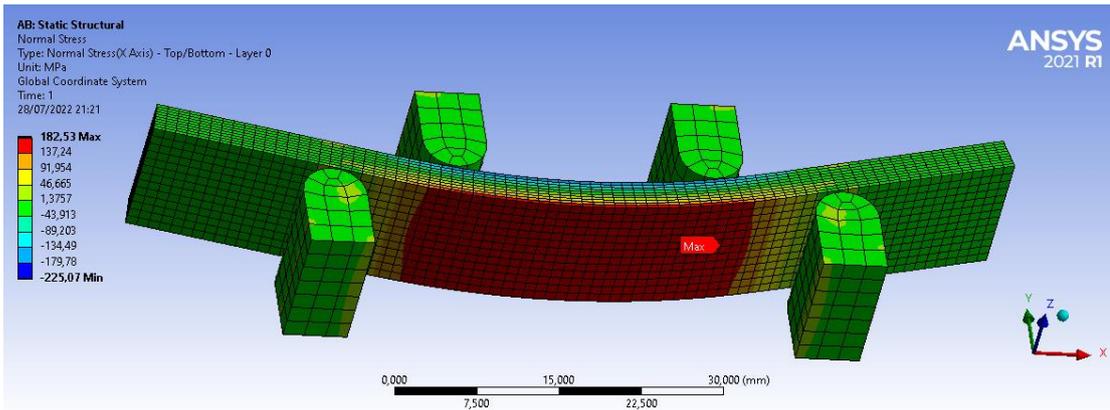


Flexural Strain

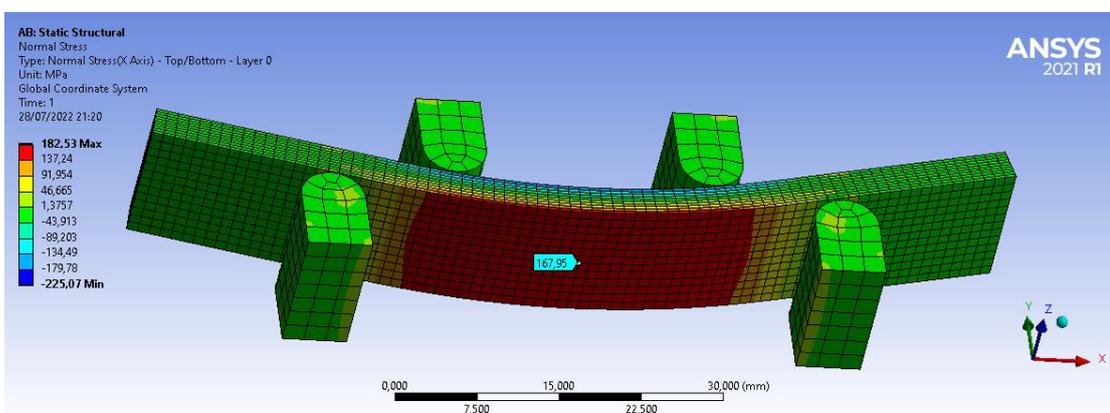


Inverse Reserve Factor

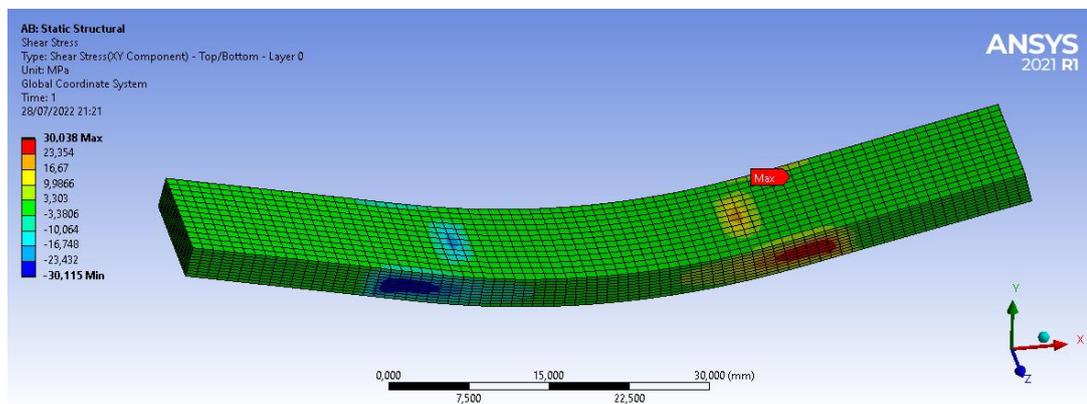
[(0°)4/(90°)2/(0°)4]



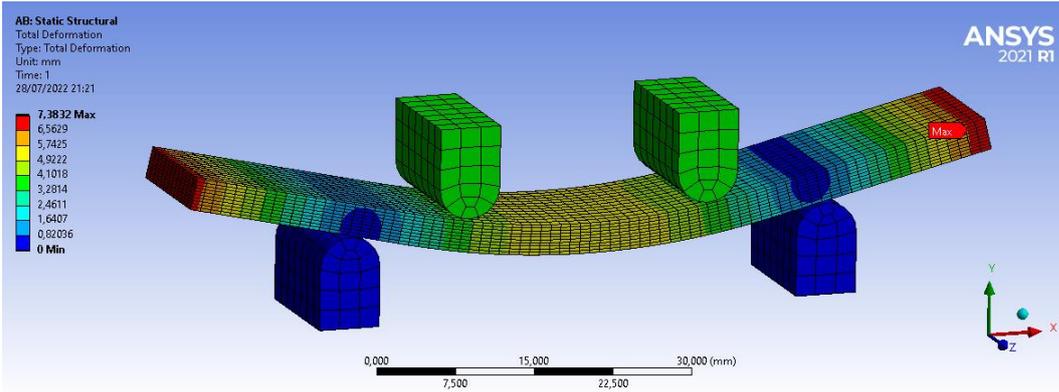
Flexural Stress Maksimum



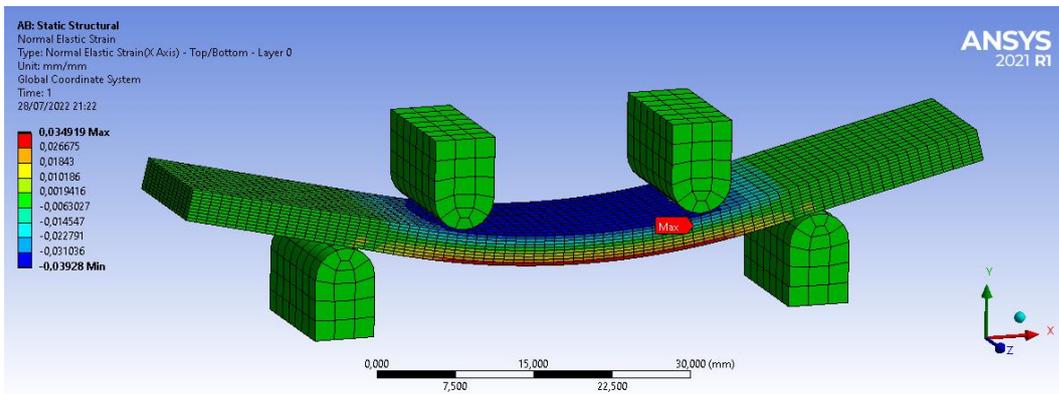
Flexural Stress Midspan



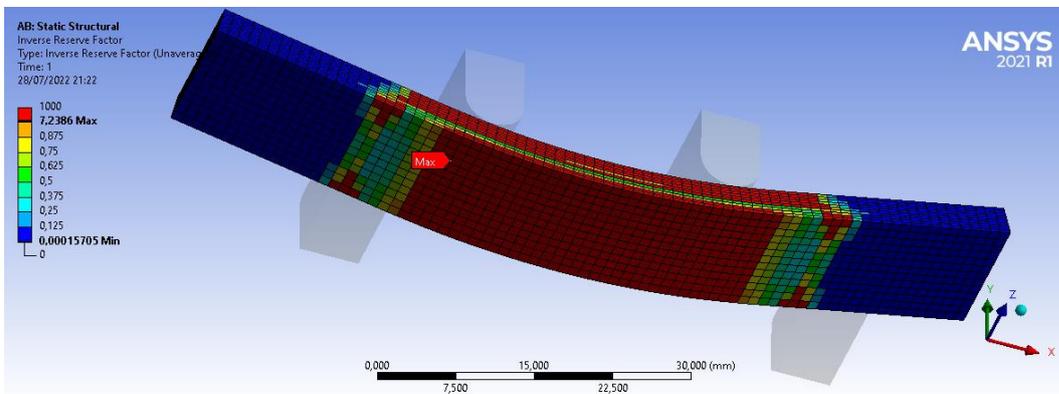
Shear Stress



Total Deformation

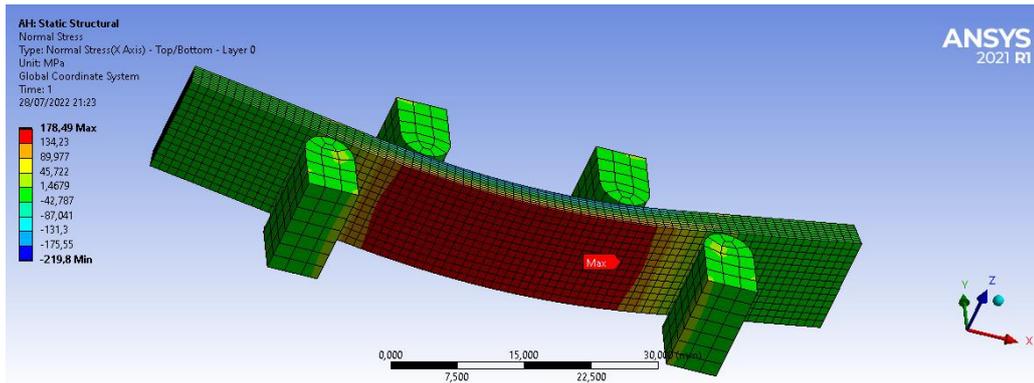


Flexural Strain

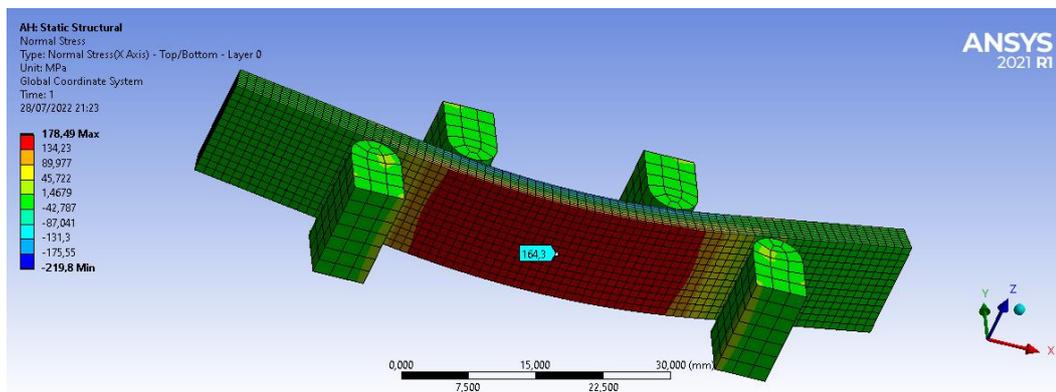


Inverse Reserve Factor

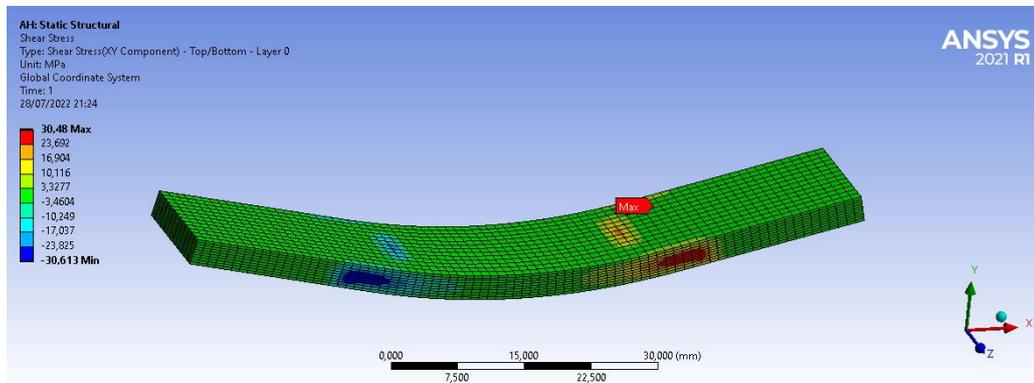
$[(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2/(0^\circ)_2/(90^\circ)_2]$



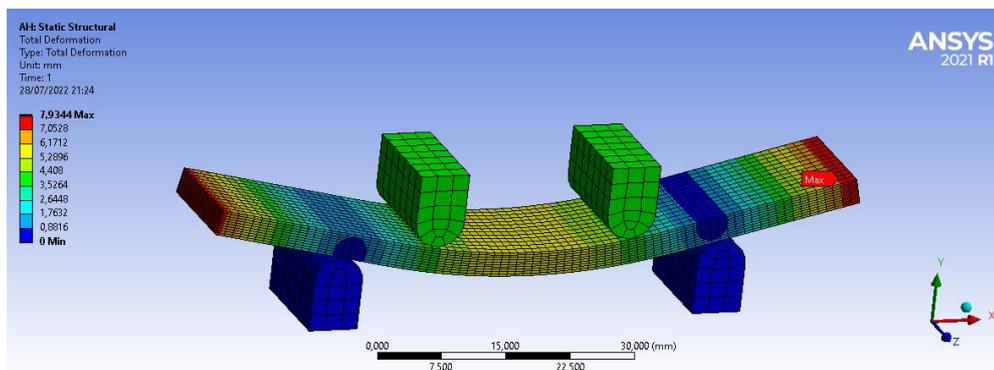
Flexural Stress Maksimum



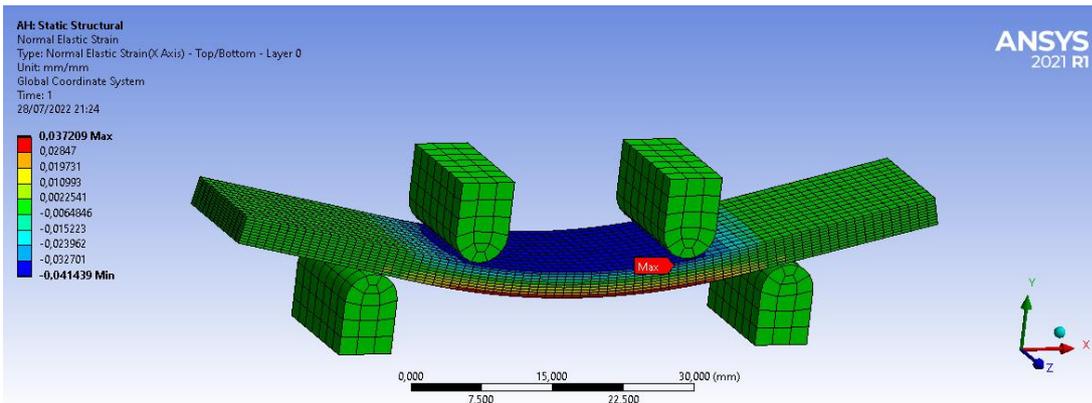
Flexural Stress Midspan



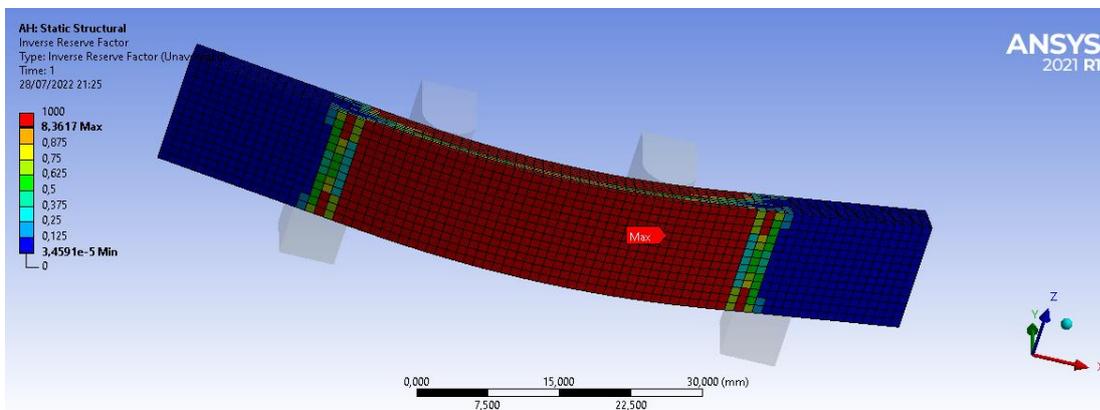
Shear Stress



Total Deformation

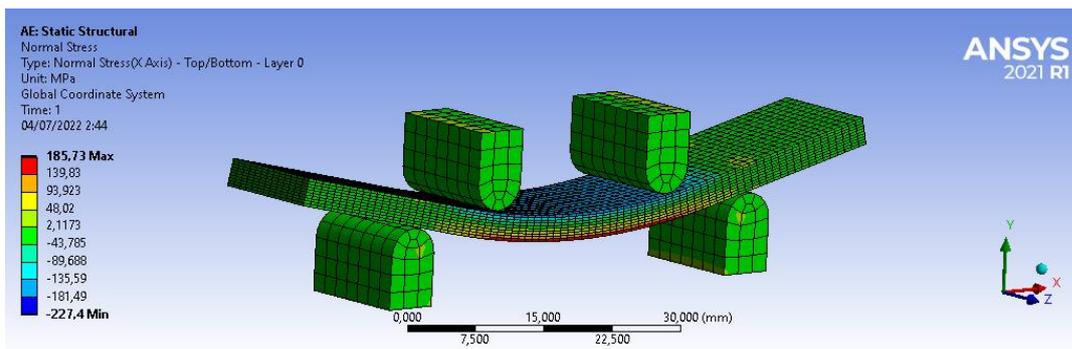


Flexural Strain

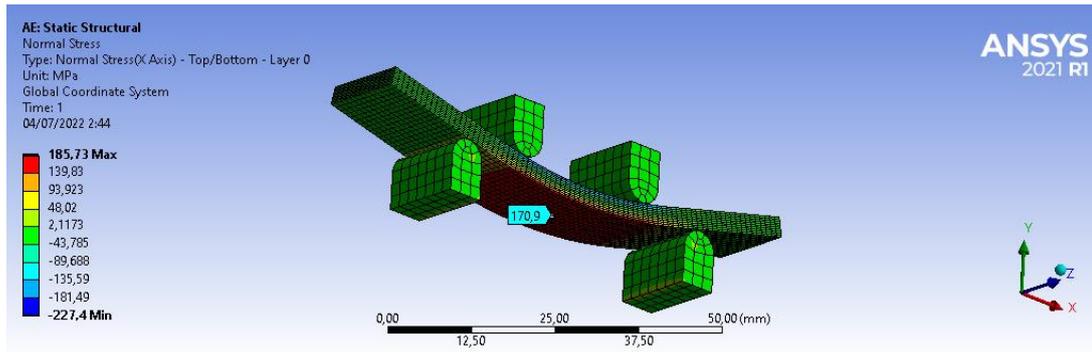


Inverse Reserve Factor

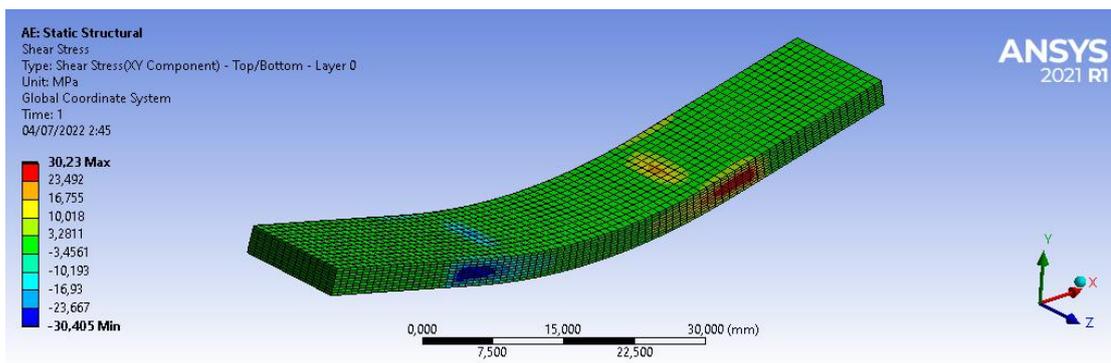
$$[(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(90^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2]$$



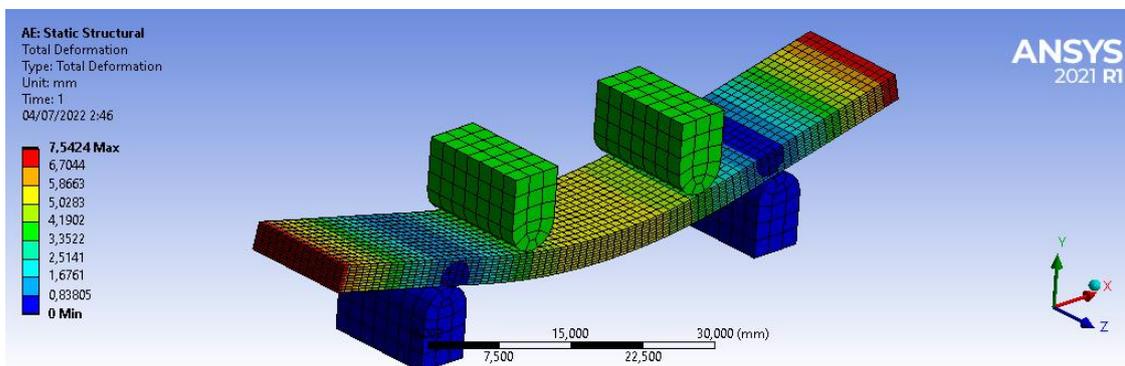
Flexural Stress



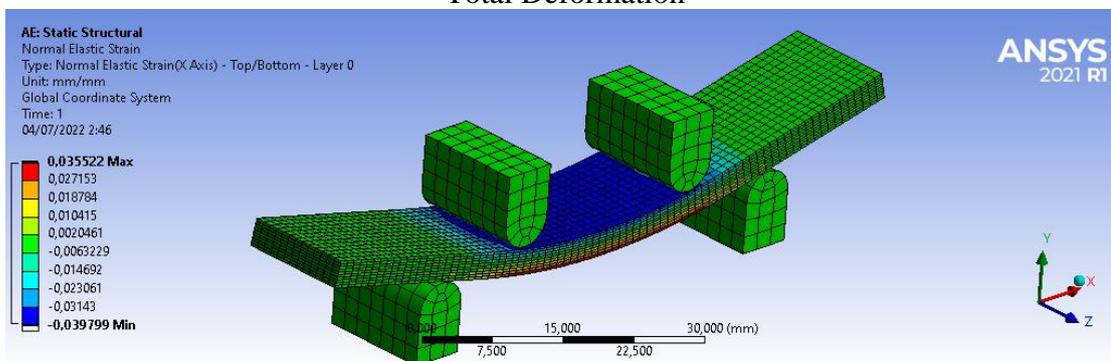
Flexural Stress Midspan



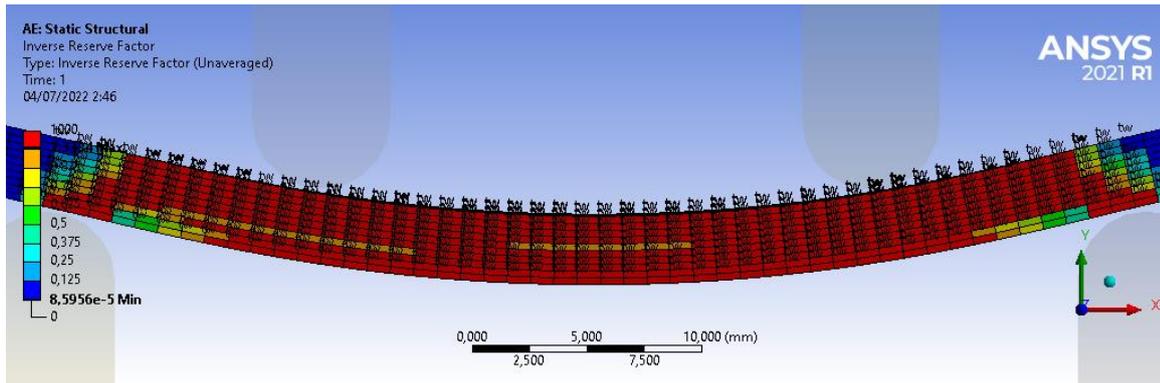
Shear Stress



Total Deformation

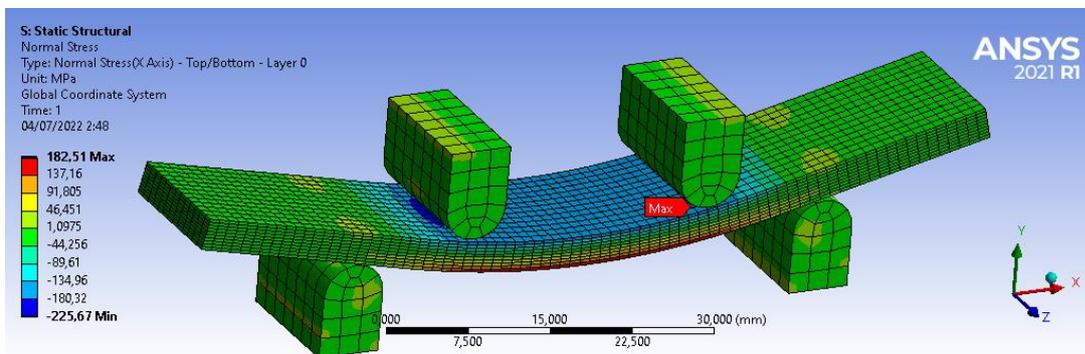


Flexural Strain

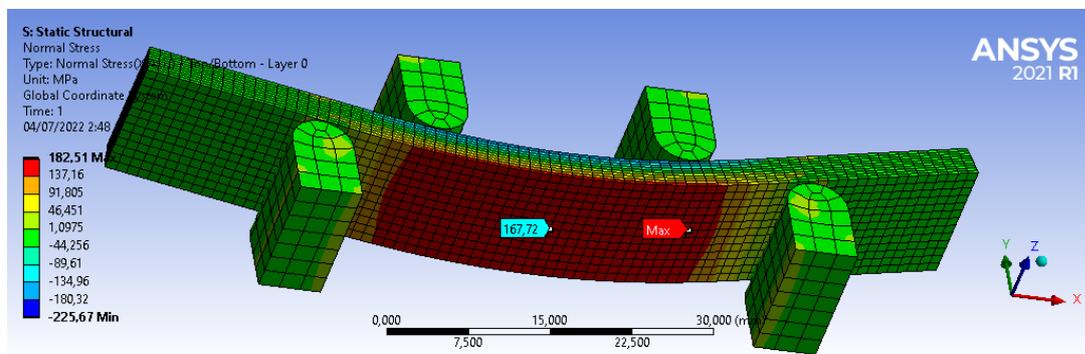


Inverse Reserve Factor

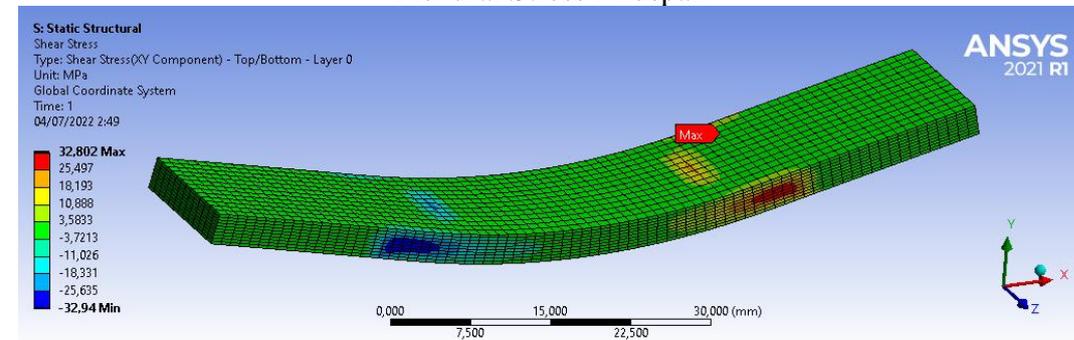
$[(45^\circ)_{10}]$



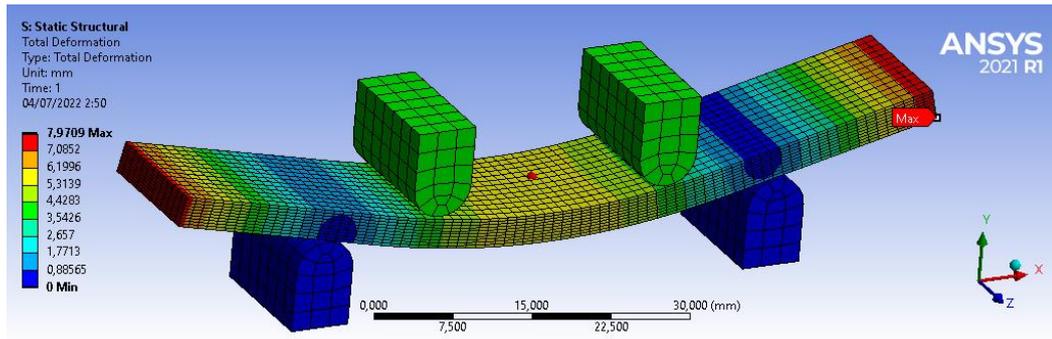
Flexural Stress



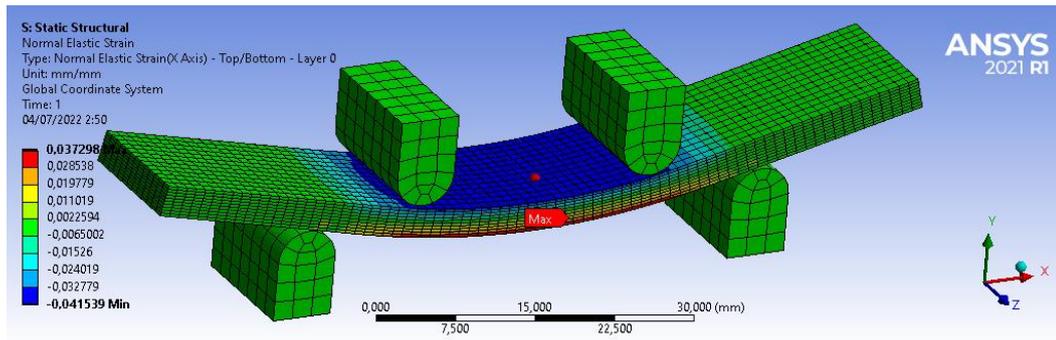
Flexural Stress Midspan



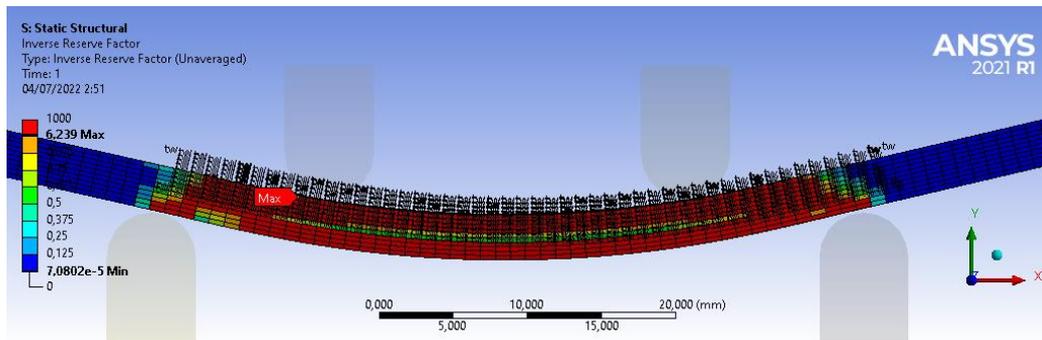
Shear Stress



Total Deformation



Flexural Strain



Inverse Reserve Factor

Material Designer

Flexural Stress Maksimum

Flexural Stress Midspan

Shear Stress

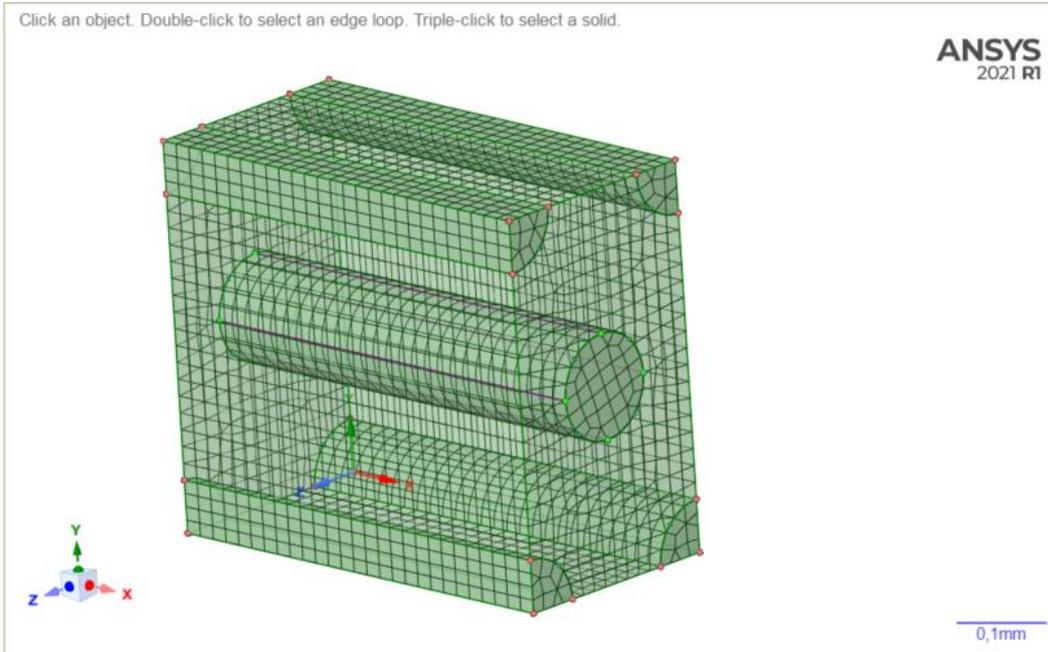
Total Deformation

Flexural Strain

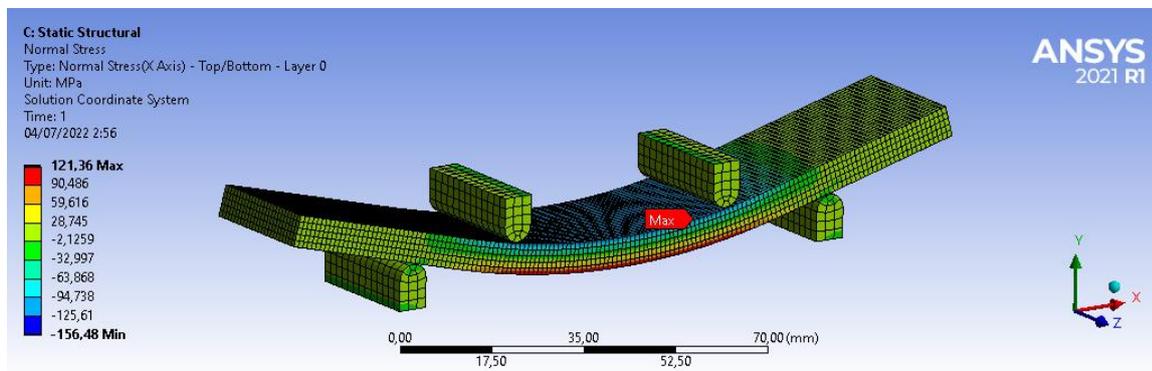
Inverse Reserve Factor

Hasil Simulasi *Four Point Bending* material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin pada variasi fraksi volume:

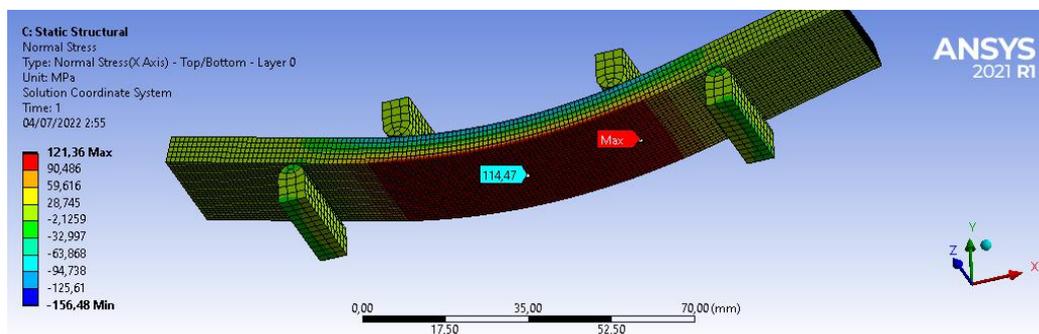
Fraksi Volume 20%



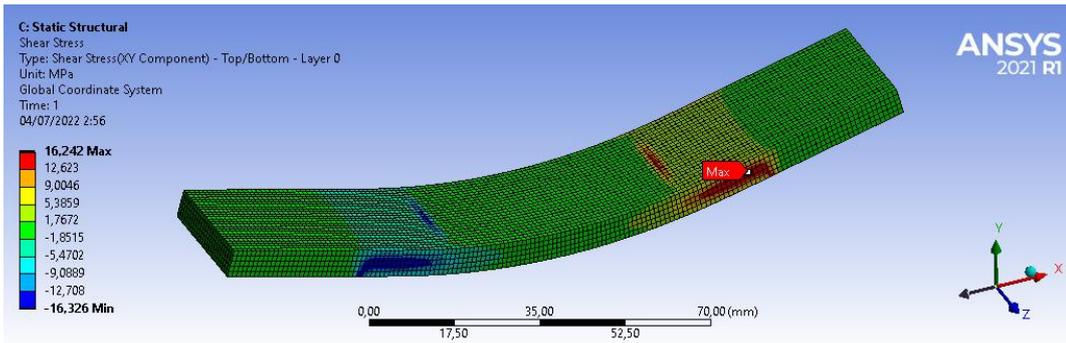
Material Designer



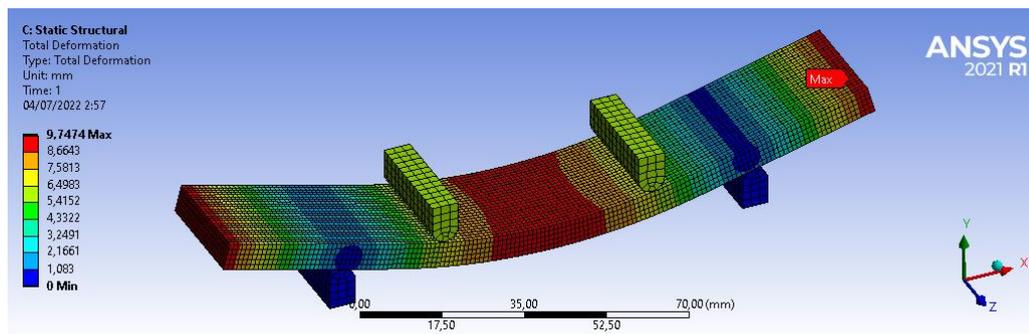
Flexural Stress



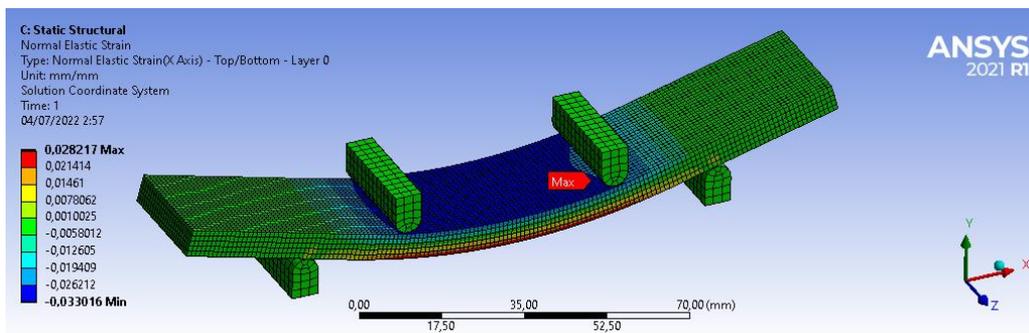
Flexural Stress Midspan



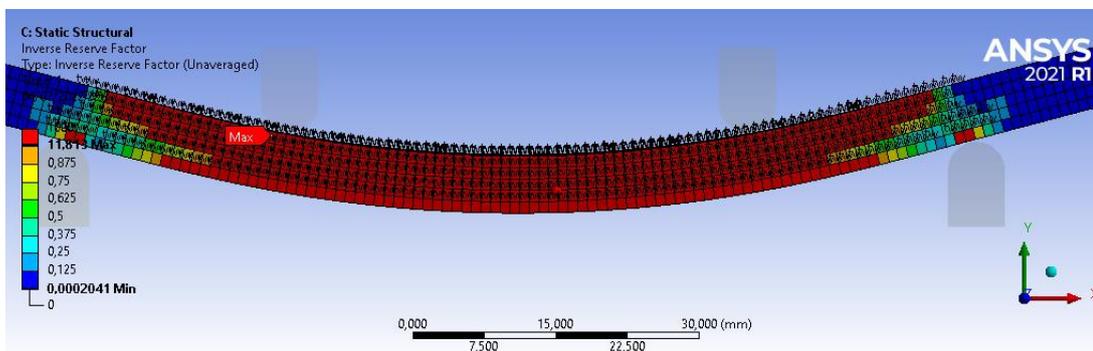
Shear Stress



Total Deformation

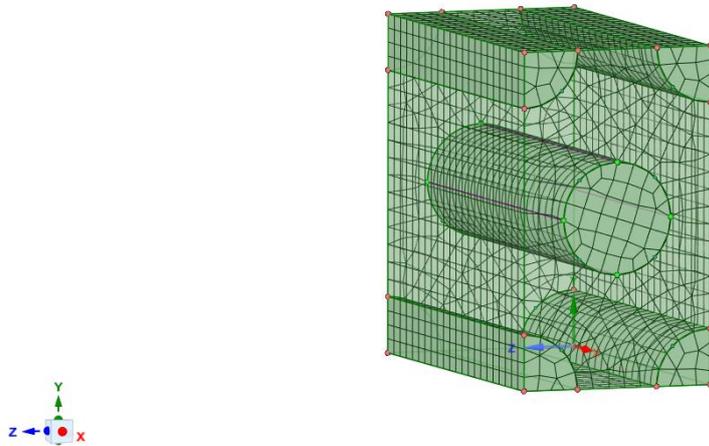


Flexural Strain

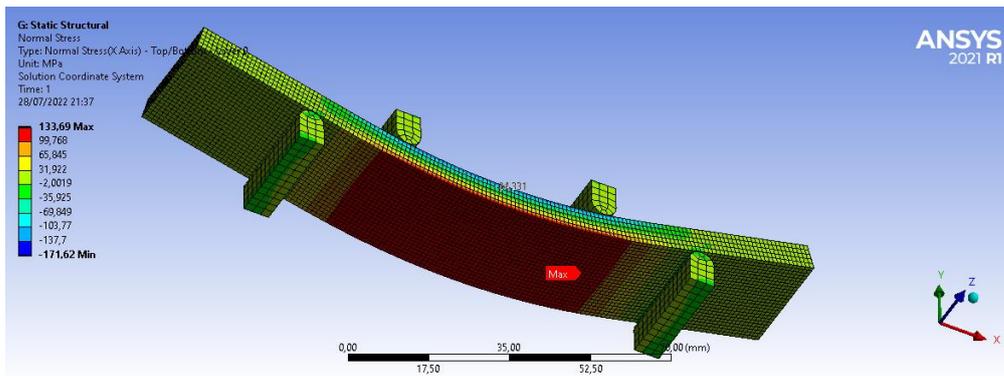


Inverse Reserve Factor

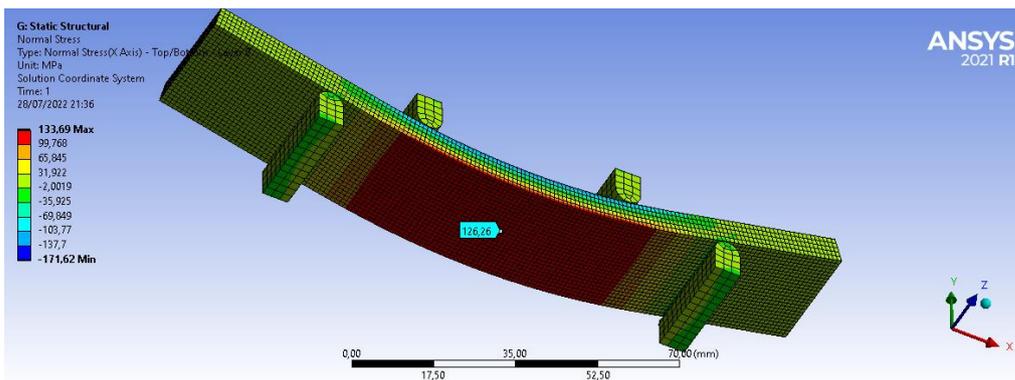
Fraksi Volume 30%



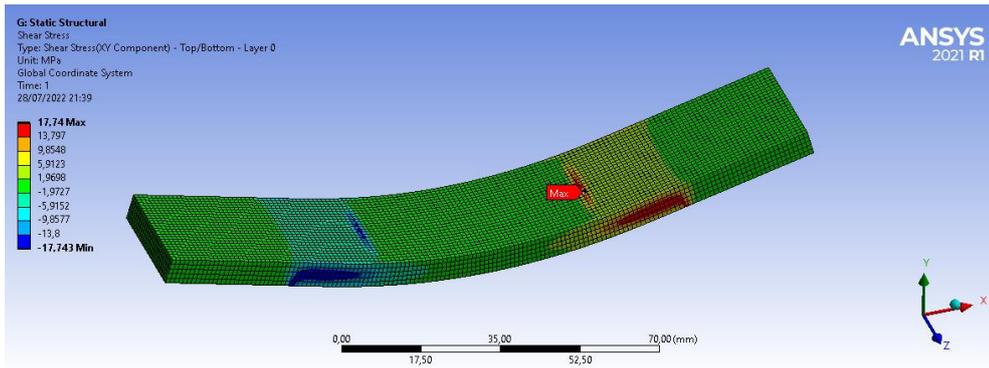
Material Designer



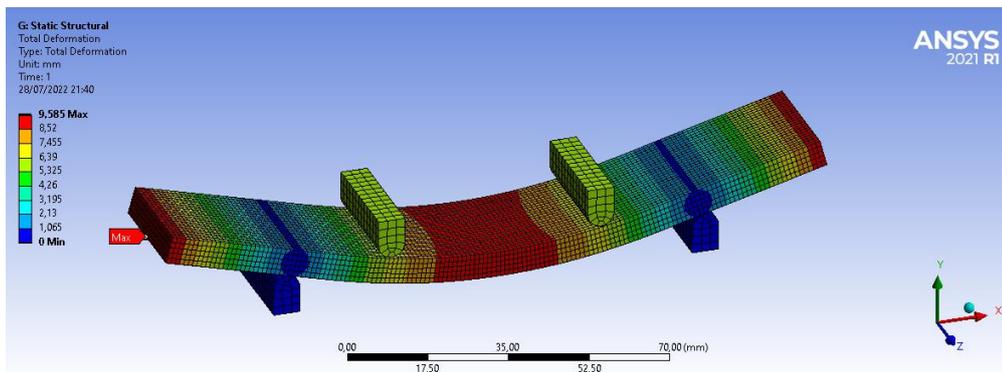
Flexural Stress Maksimum



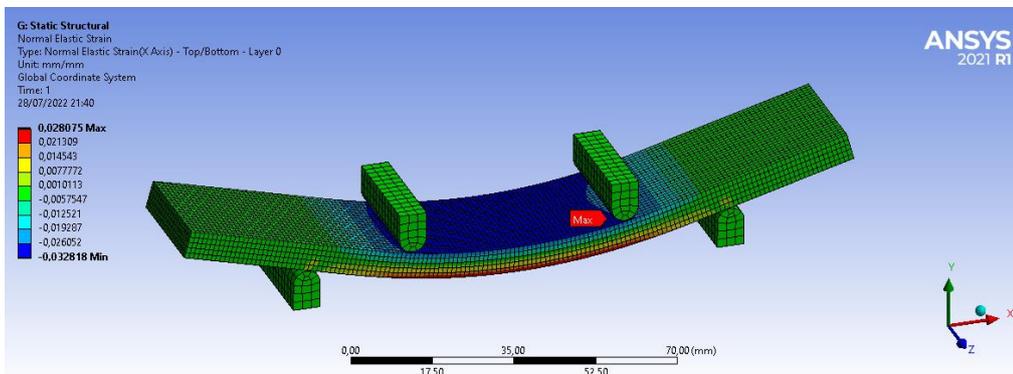
Flexural Stress Midspan



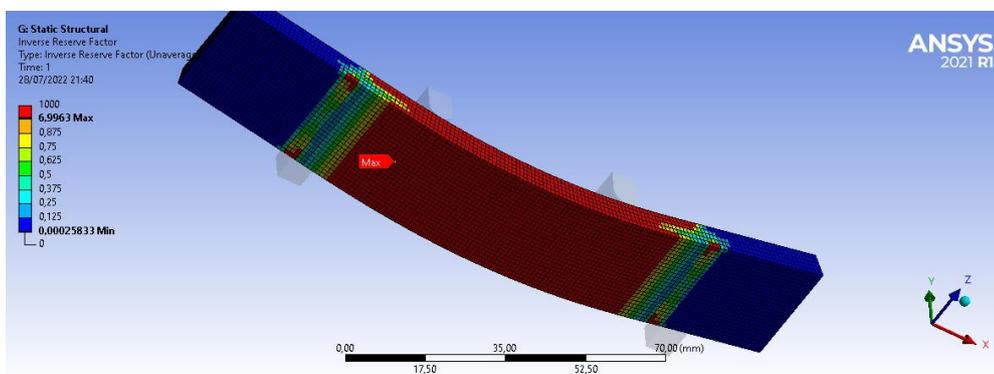
Shear Stress



Total Deformation

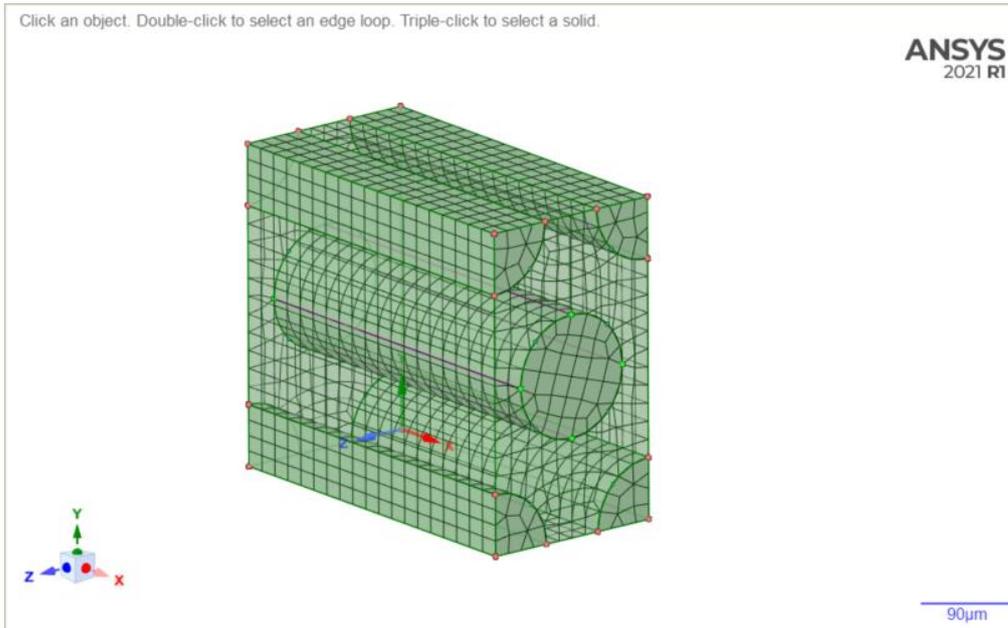


Flexural Strain

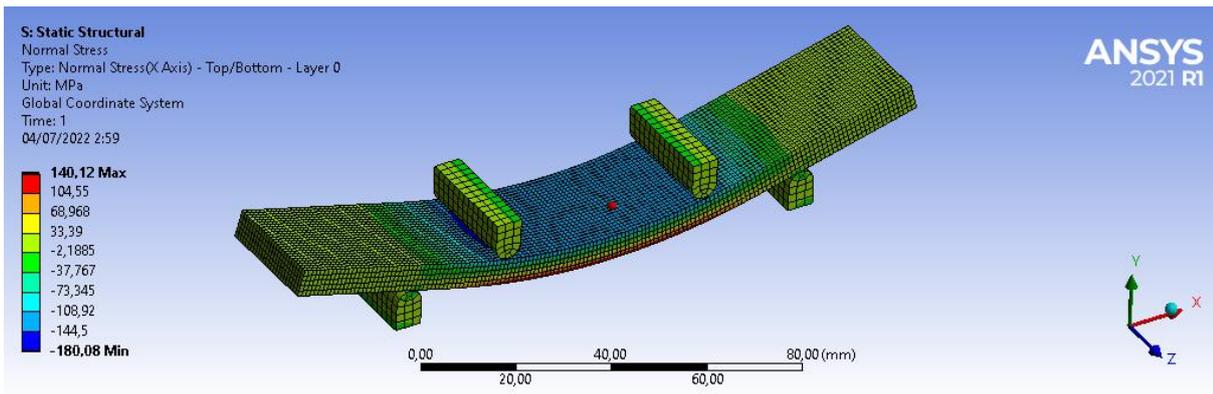


Inverse Reserve Factor

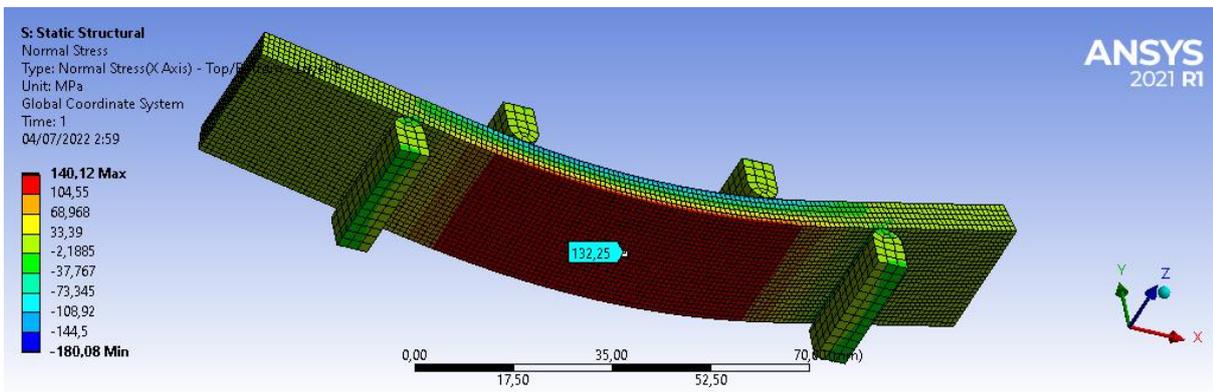
Fraksi Volume 40%



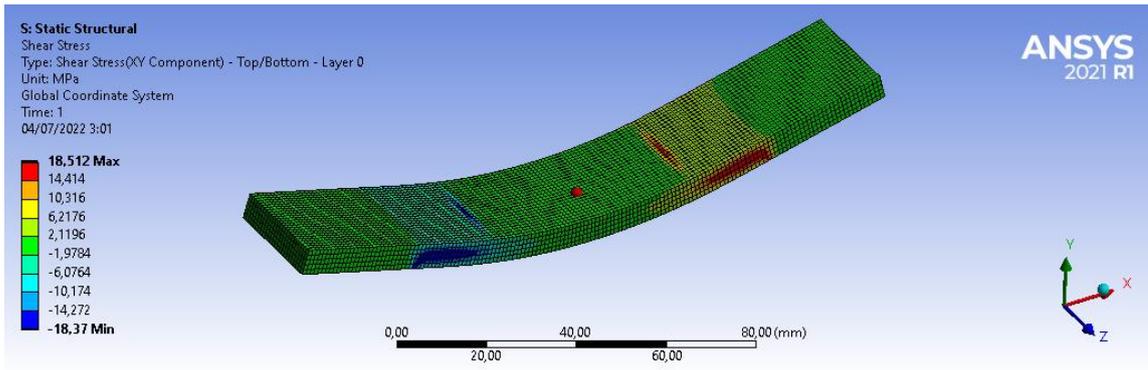
Material Designer



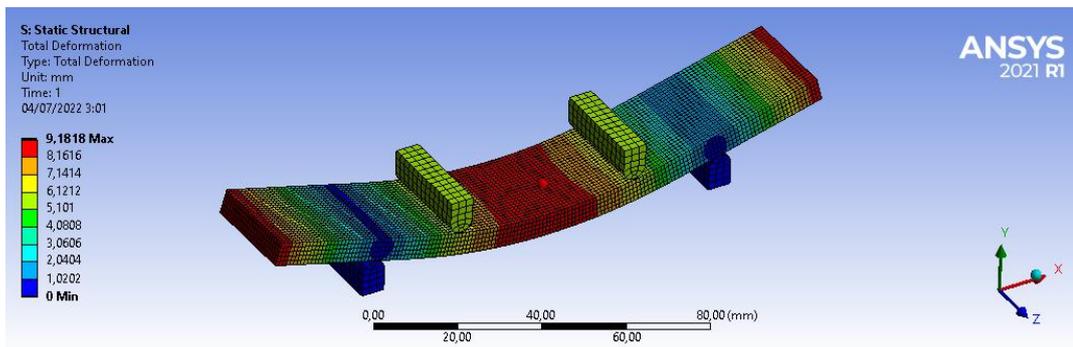
Flexural Stress



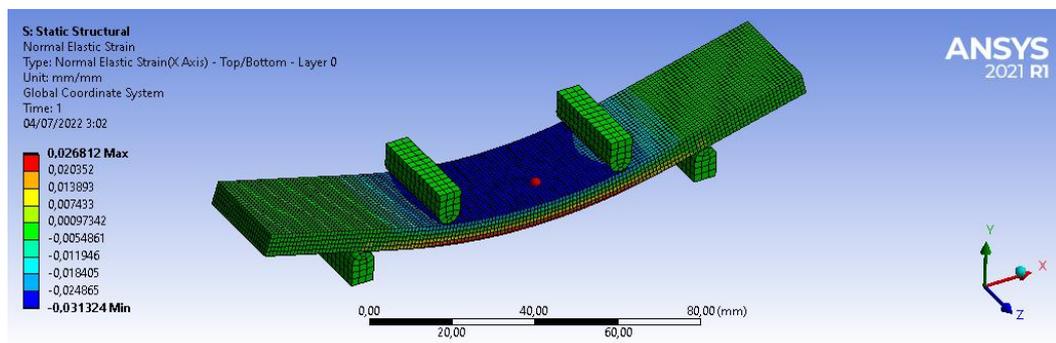
Flexural Stress Midspan



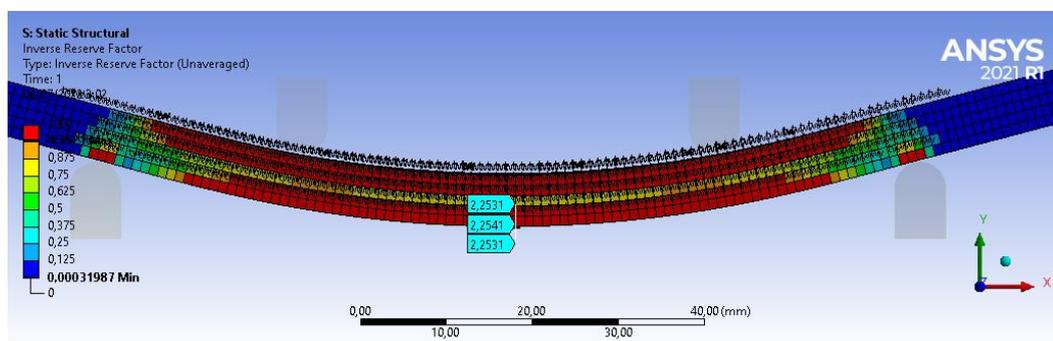
Shear Stress



Total Deformation

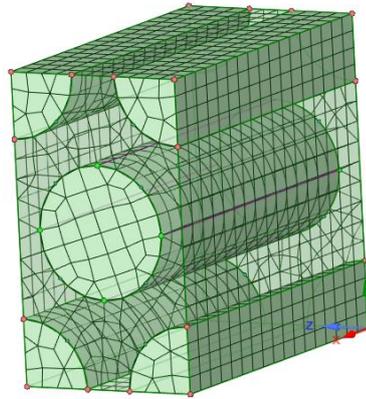


Flexural Strain

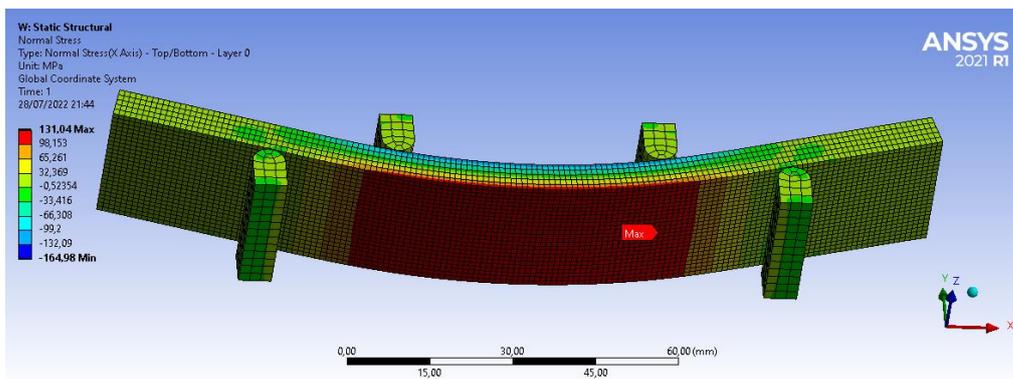


Inverse Reserve Factor

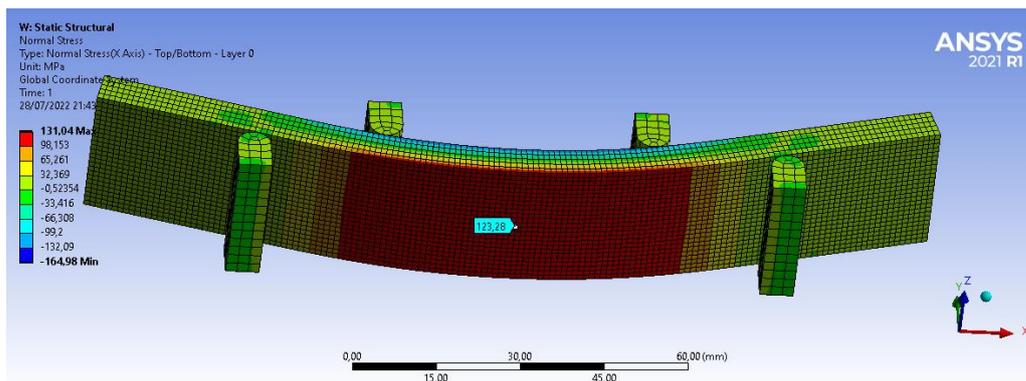
Fraksi Volume 50%



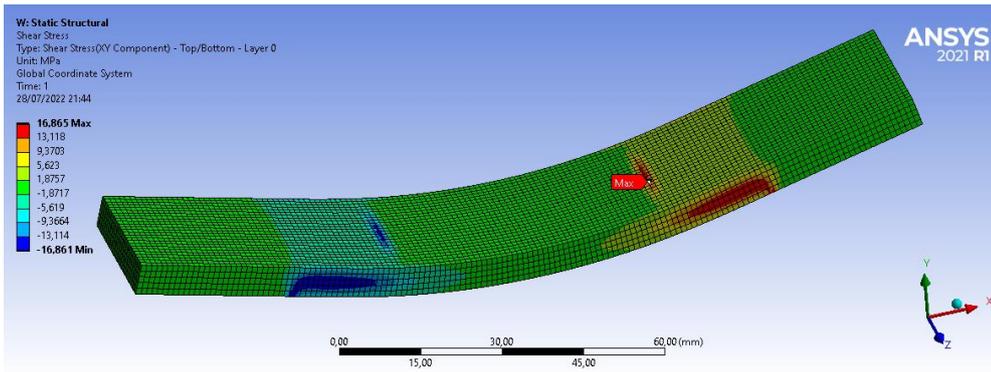
Material Designer



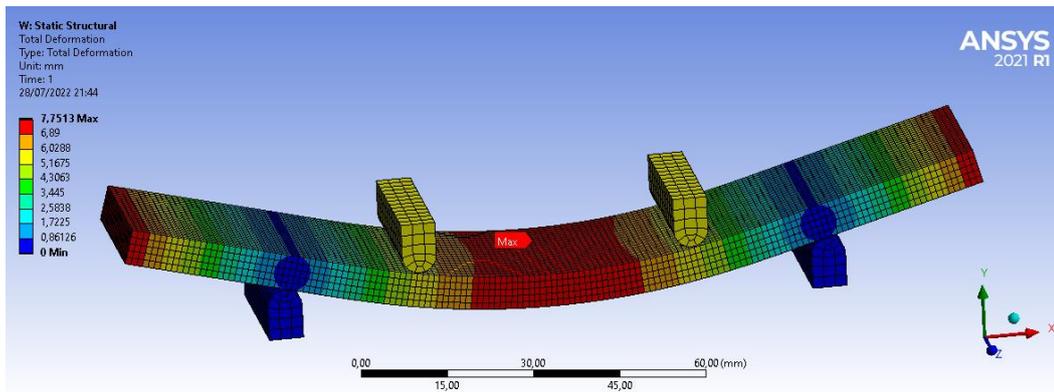
Flexural Stress Maksimum



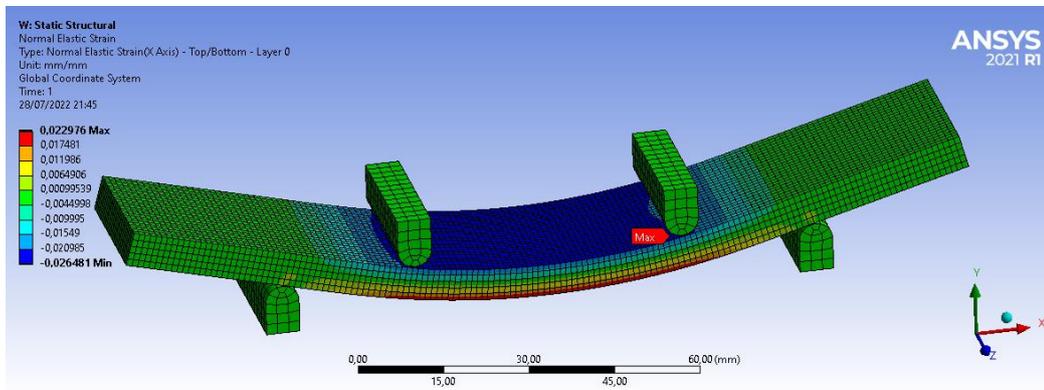
Flexural Stress Midspan



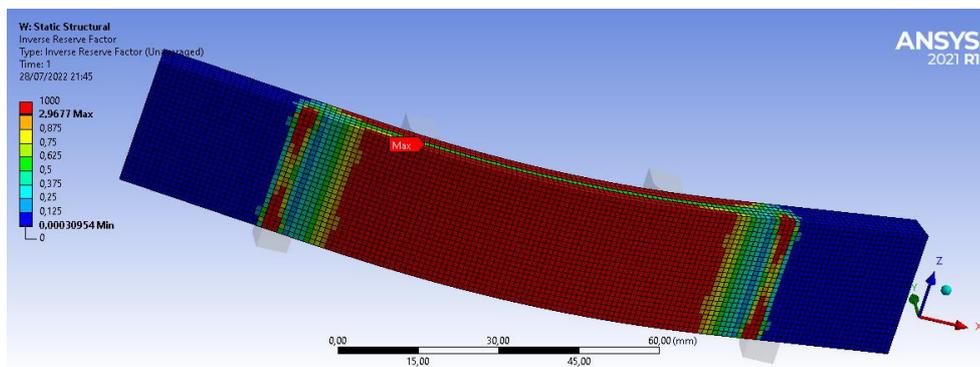
Shear Stress



Total Deformation



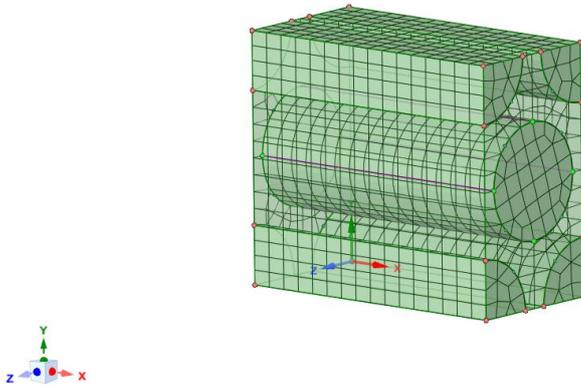
Flexural Strain



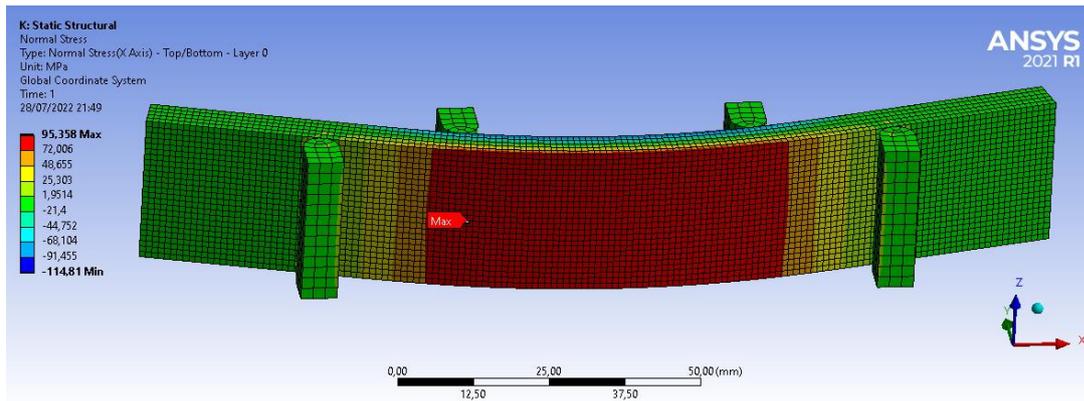
Inverse Reserve Factor

Fraksi Volume 60%

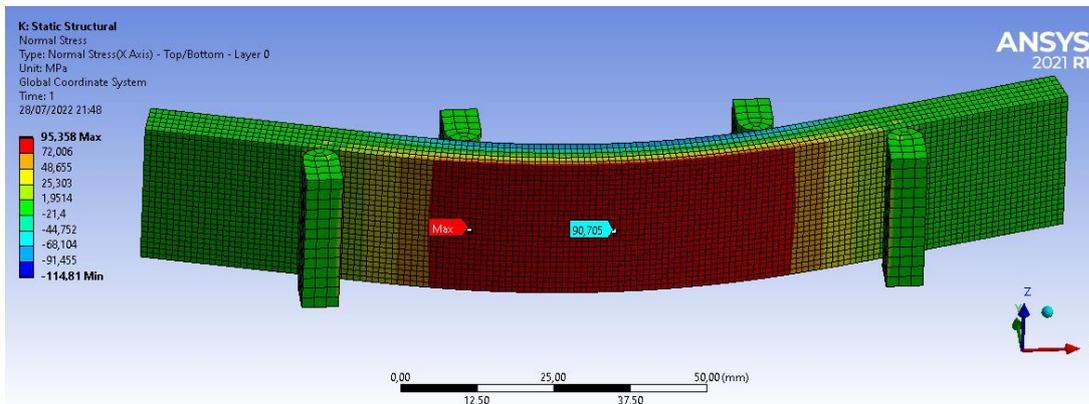
ANSYS
2021 R1



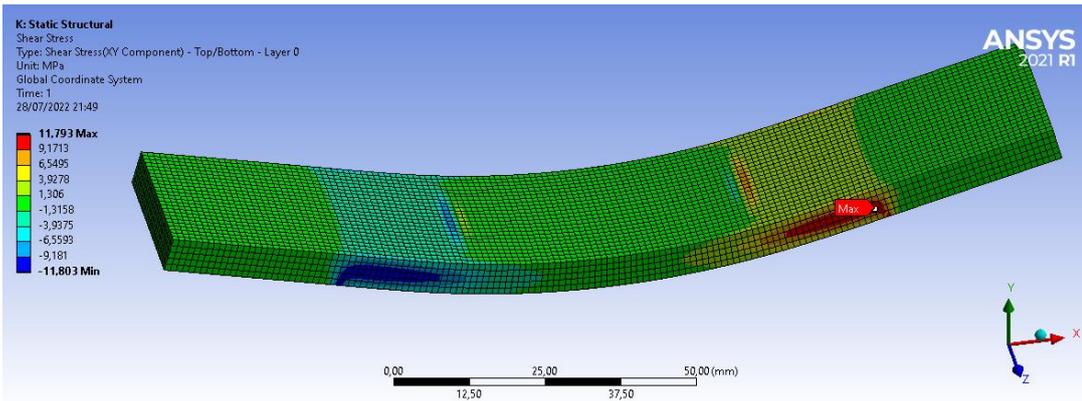
Material Designer



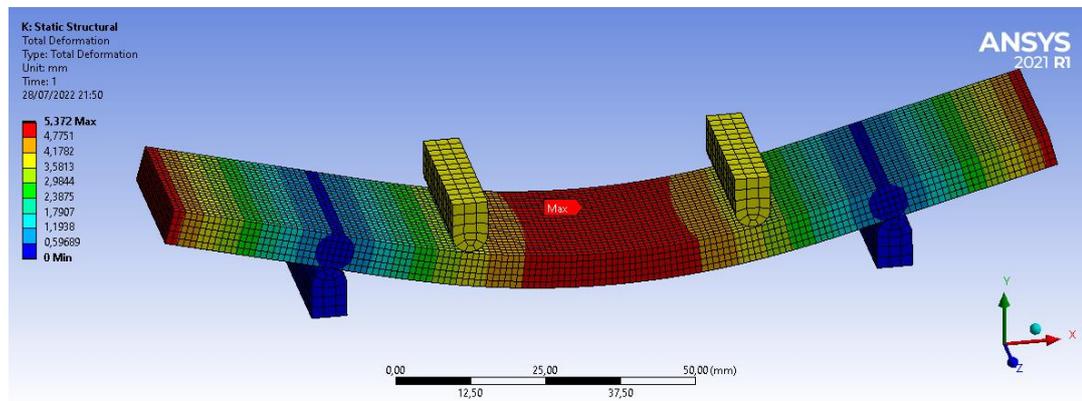
Flexural Stress Maksimum



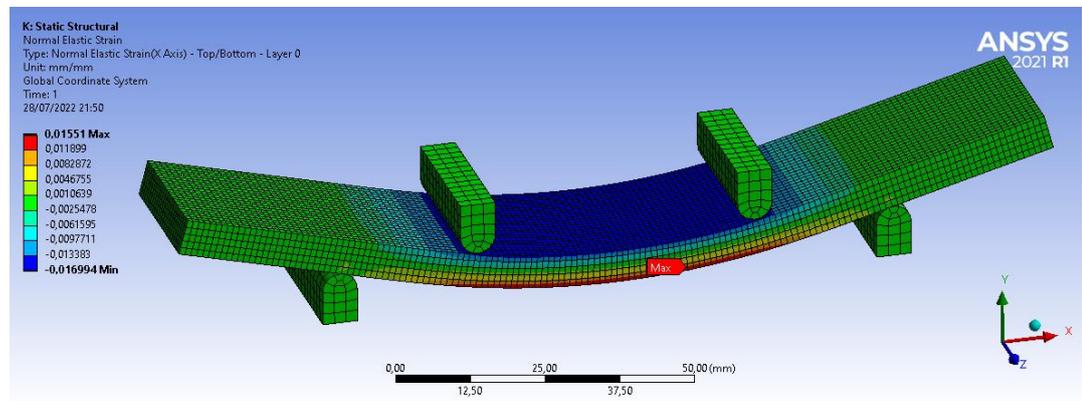
Flexural Stress Midspan



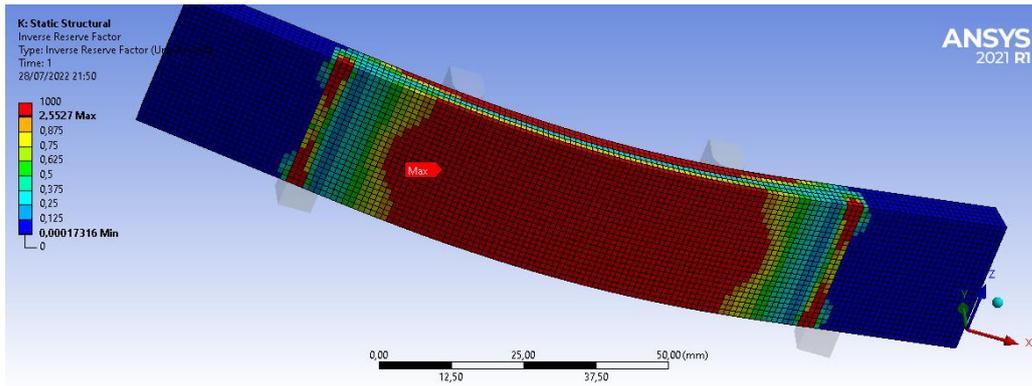
Shear Stress



Total Deformation



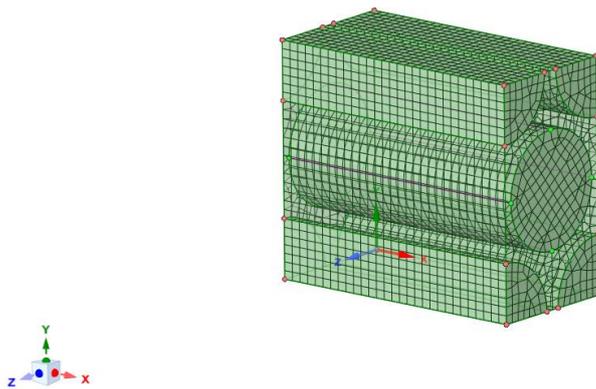
Flexural Strain



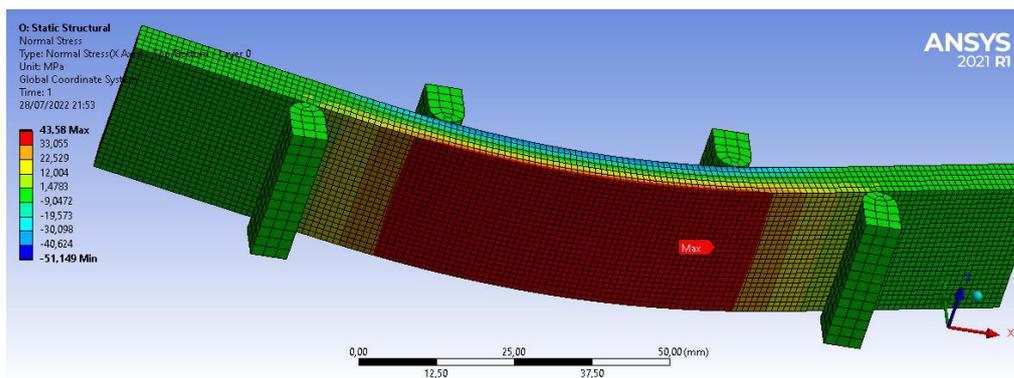
Inverse Reserve Factor

Fraksi Volume 70%

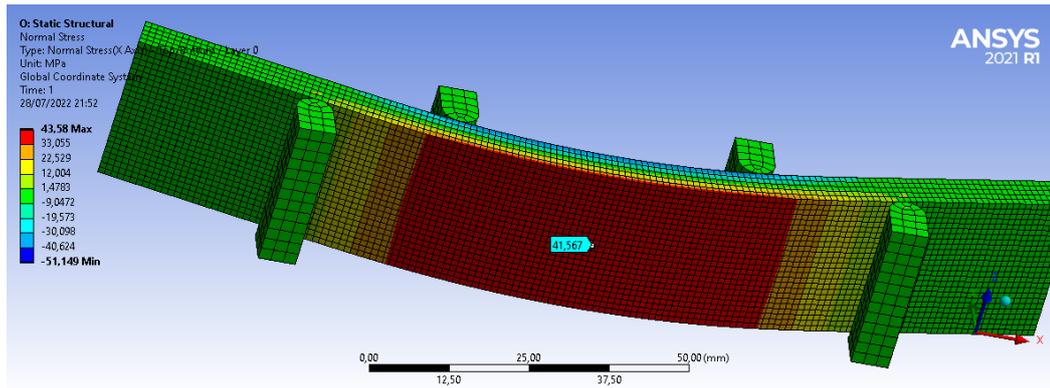
ANSYS
2021 R1



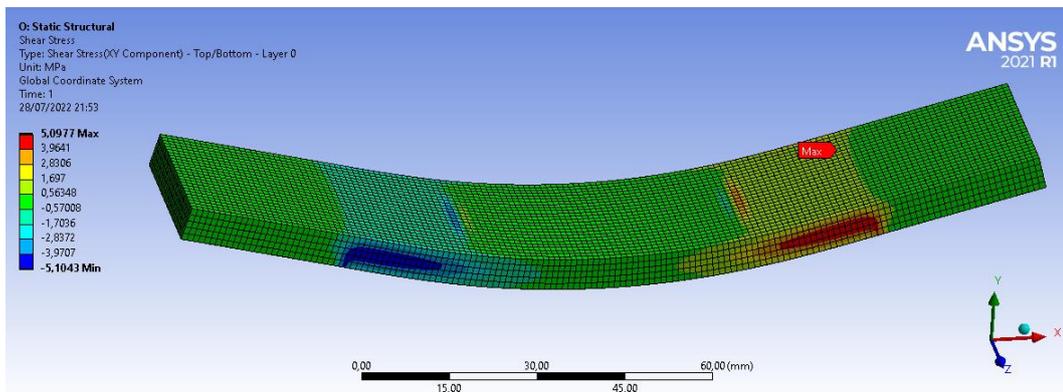
Material Designer



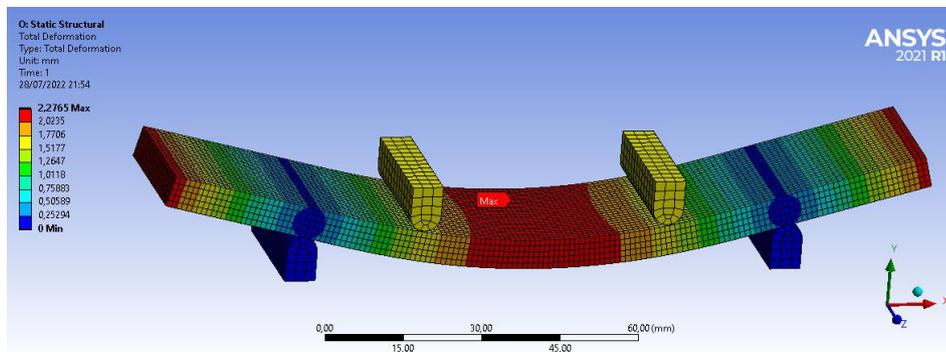
Flexural Stress Maksimum



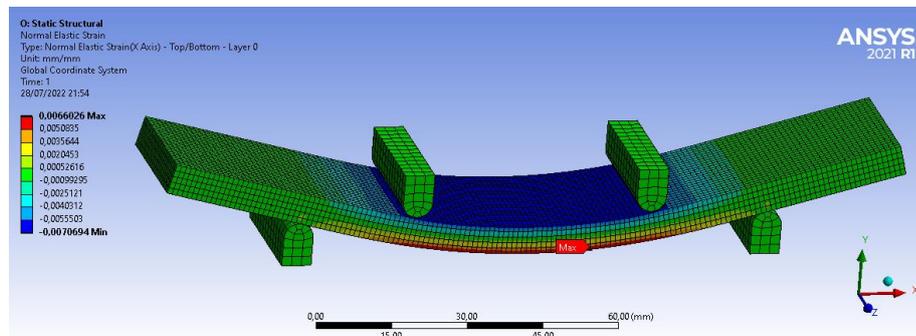
Flexural Stress Midspan



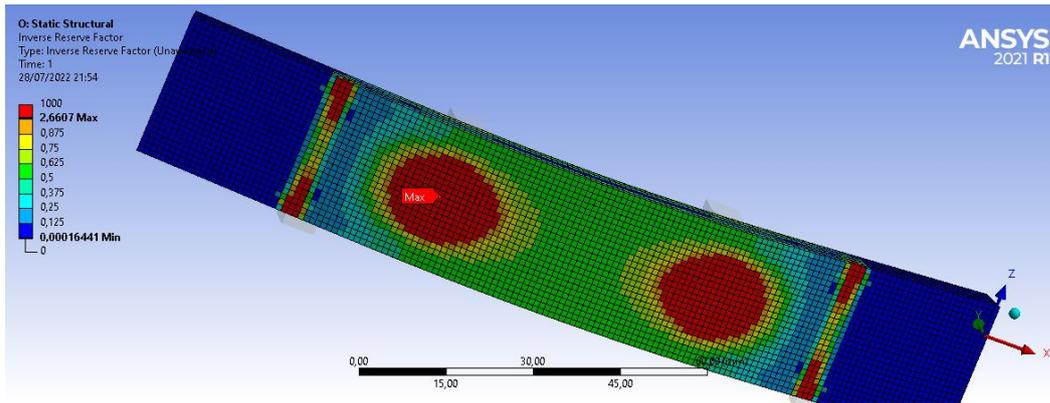
Shear Stress



Total Deformation



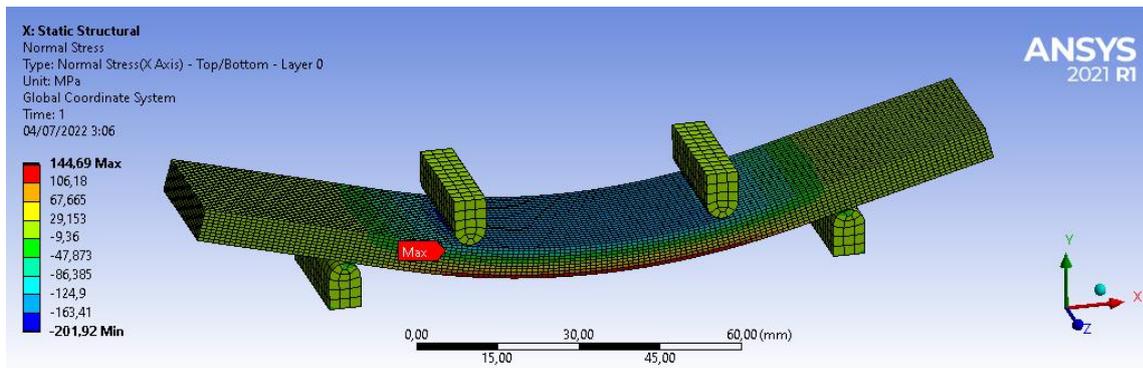
Flexural Strain



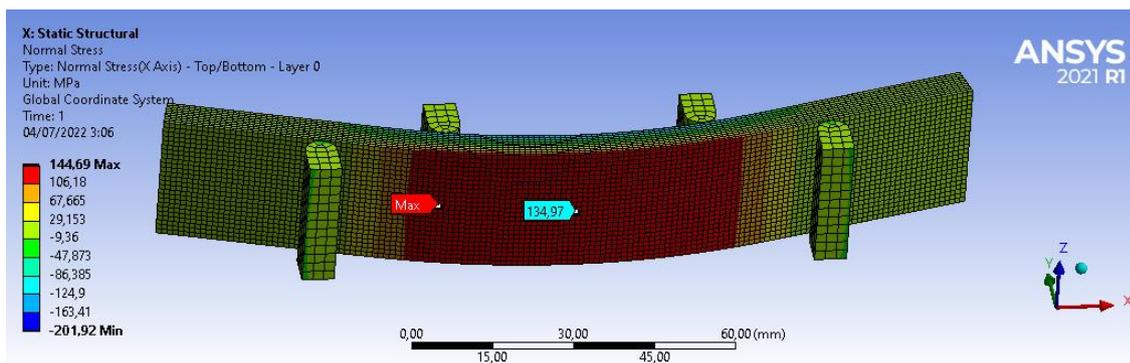
Inverse Reserve Factor

Hasil Simulasi *Four Point Bending* material komposit Serat Kenaf-Polyester Resin pada variasi orientasi arah sudut serat:

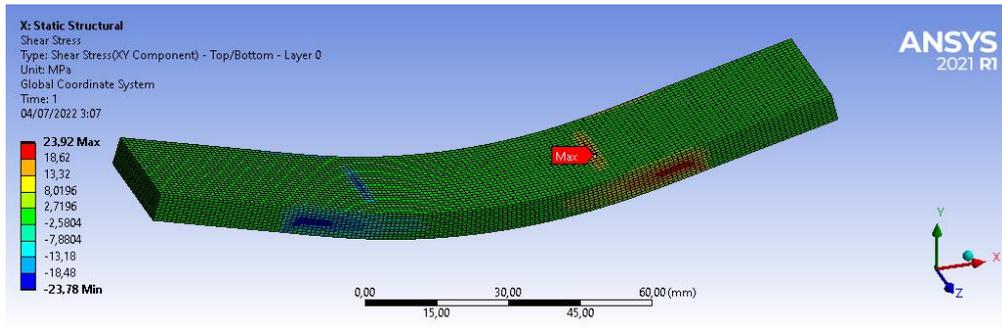
$[(0^\circ)_2/(45^\circ)_2/(90^\circ)_2/(-45^\circ)_2/(0^\circ)_2]$



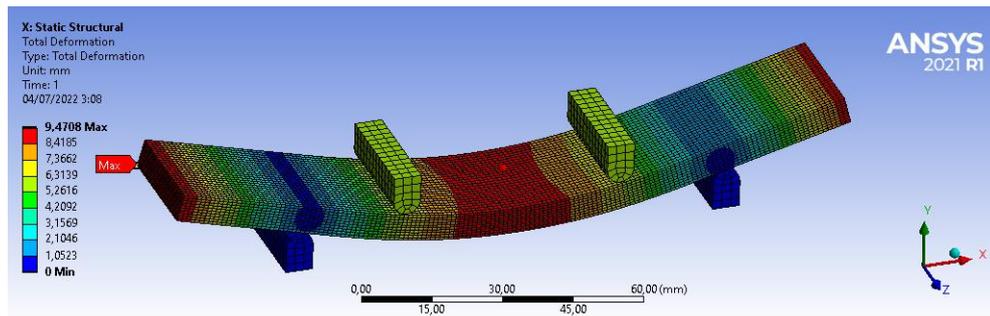
Flexural Stress



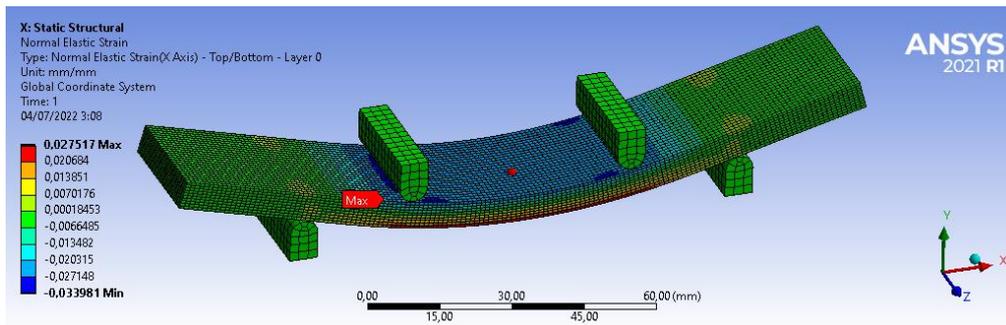
Flexural Stress Midspan



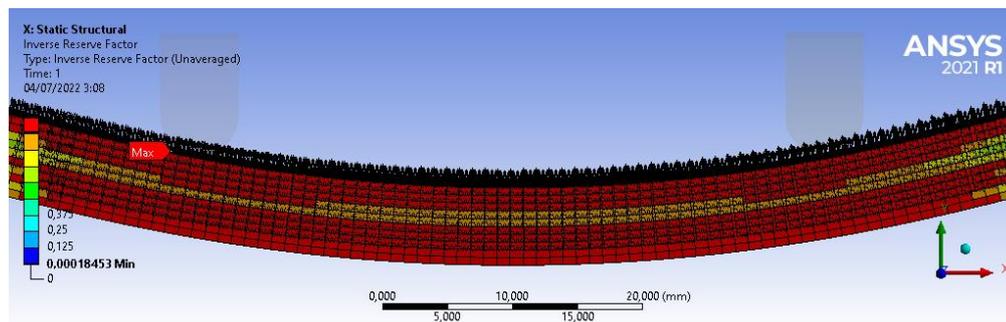
Shear Stress



Total Deformation

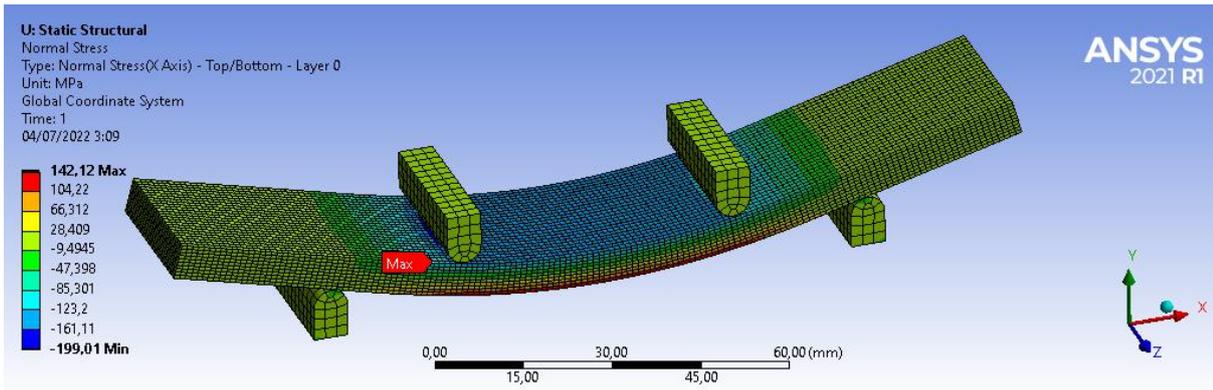


Flexural Strain

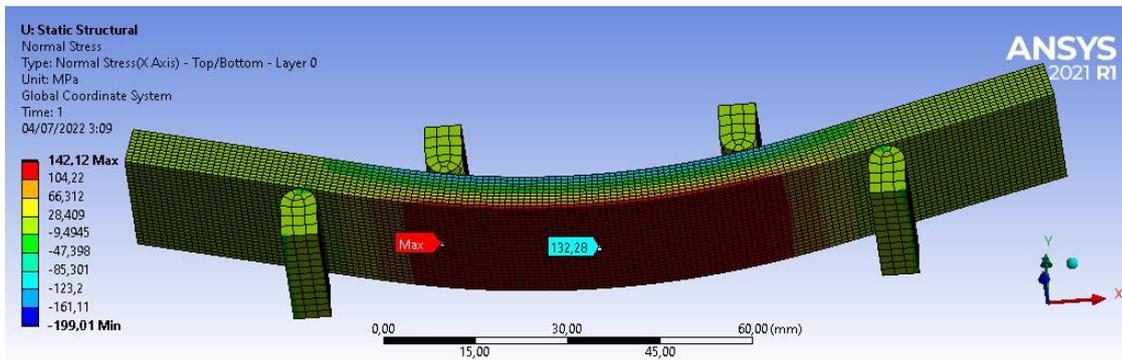


Inverse Reserve Factor

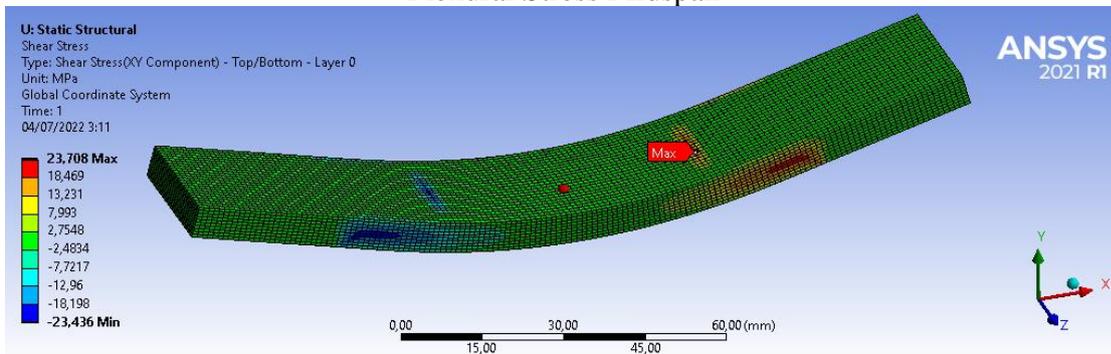
$[(0^\circ)_4/(90^\circ)_2/(0^\circ)_4]$ sudut 8



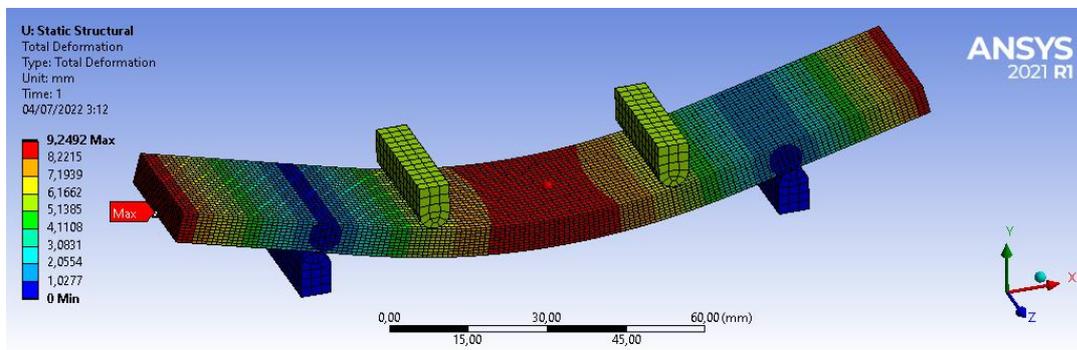
Flexural Stress



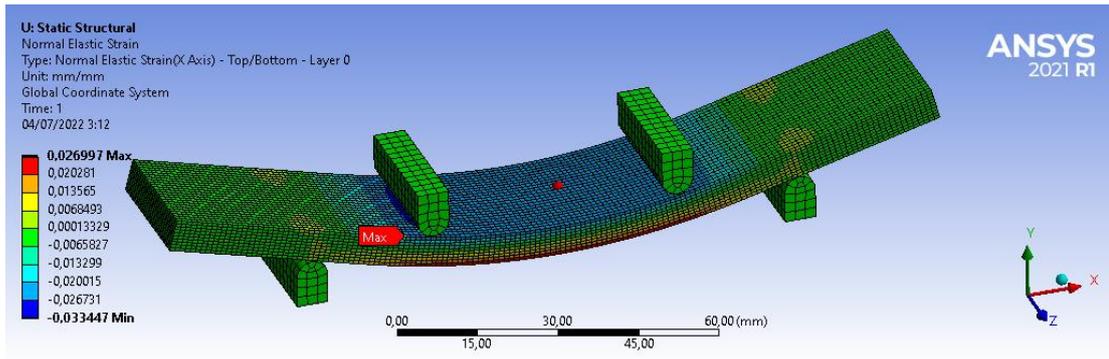
Flexural Stress Midspan



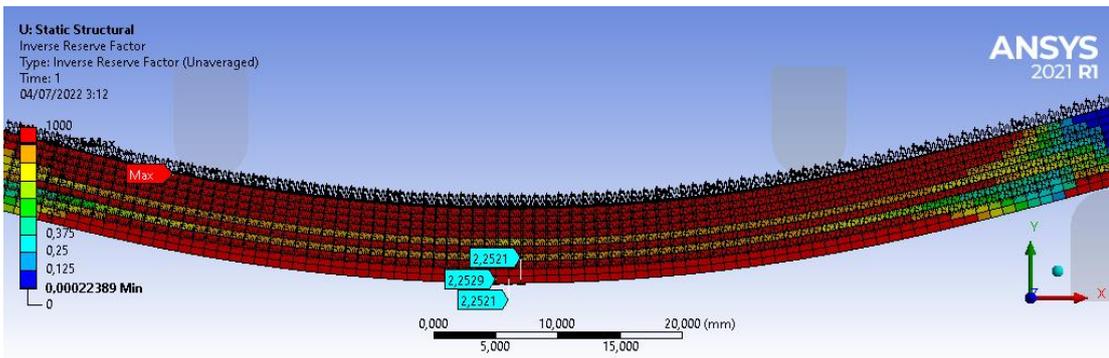
Shear Stress



Total Deformation

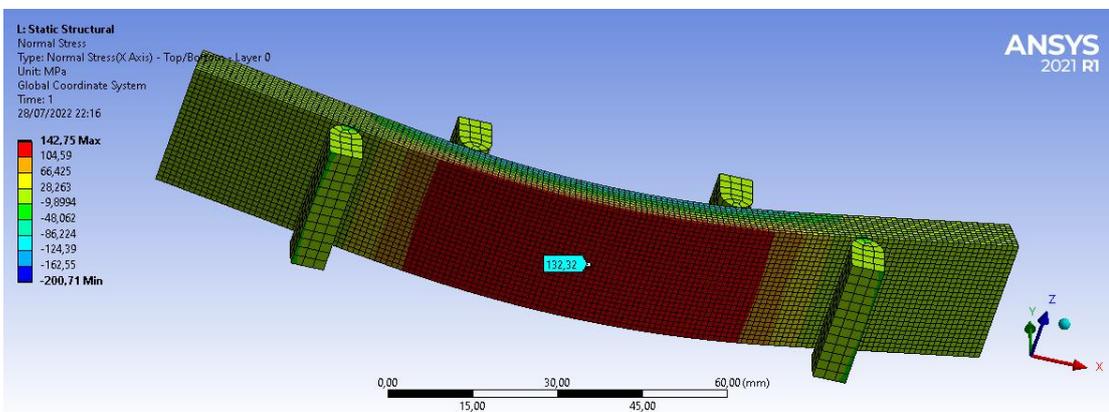


Flexural Strain

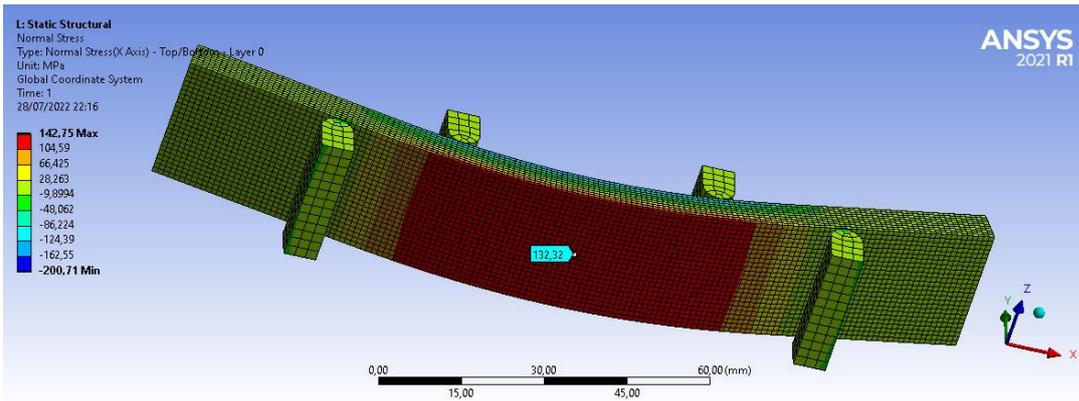


Inverse Reserve Factor

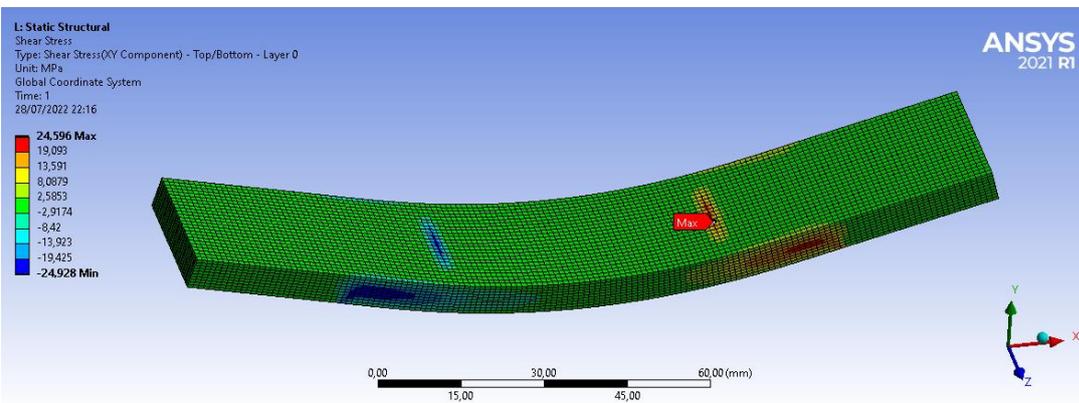
[[45°]₁₀]



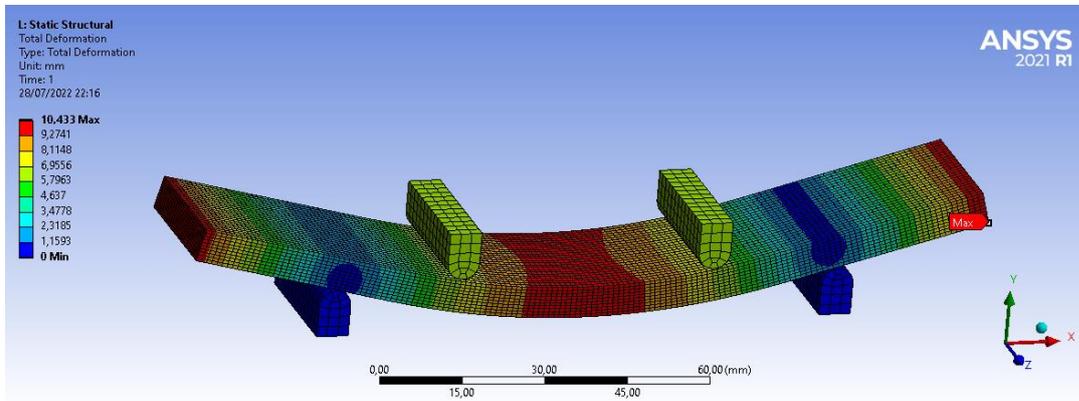
Flexural Stress Maksimum



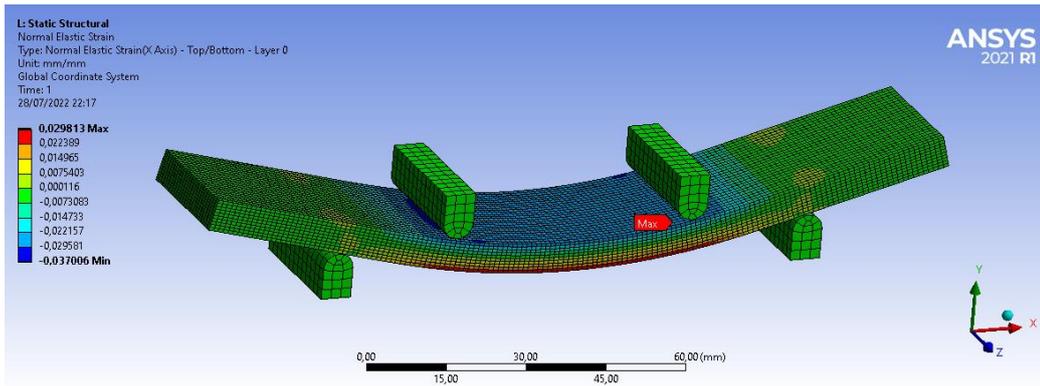
Flexural Stress Midspan



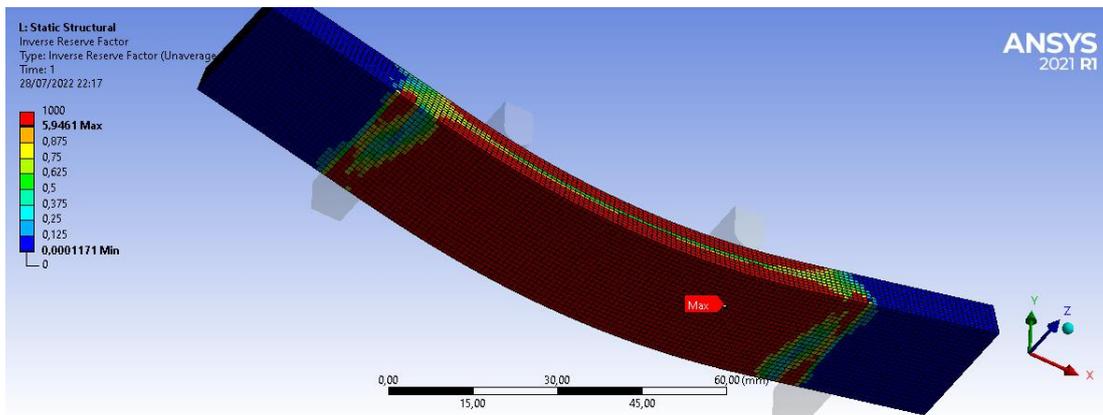
Shear Stress



Total Deformation

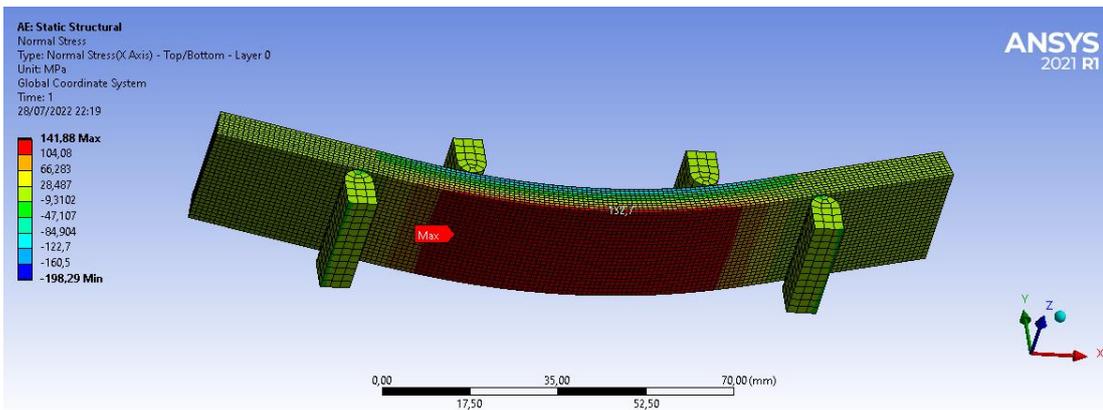


Flexural Strain

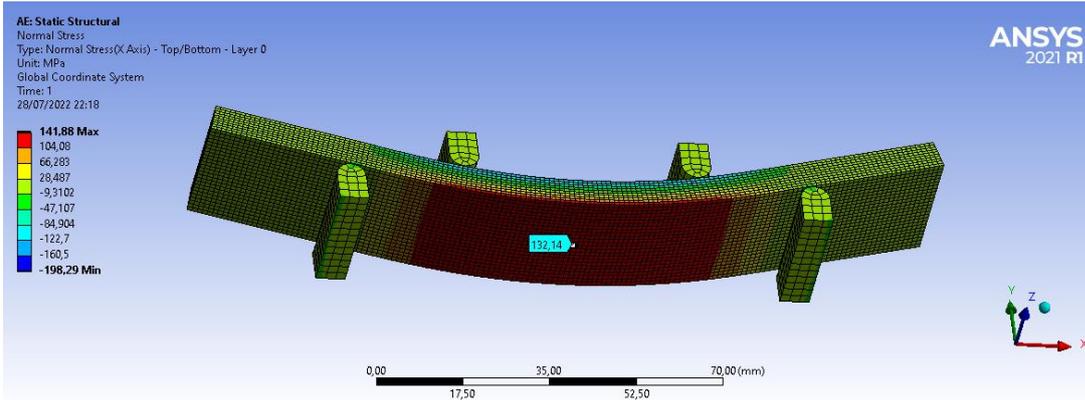


Inverse Reserve Factor

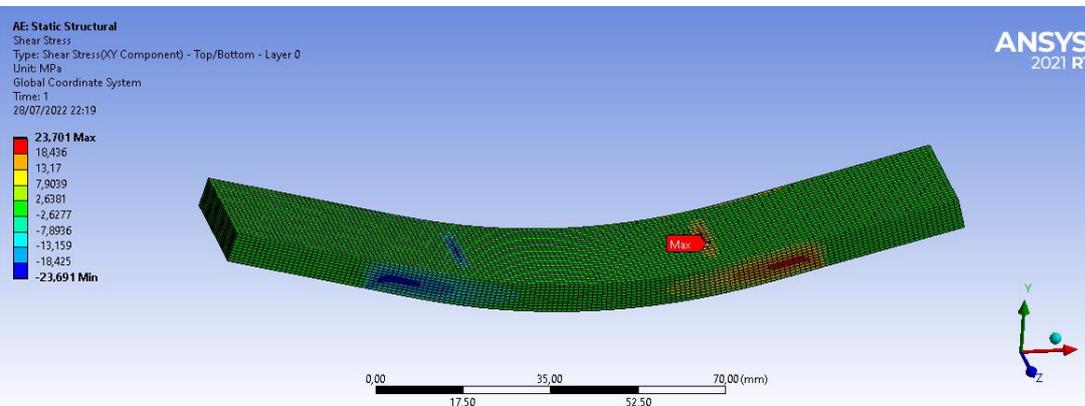
[[0°)10]



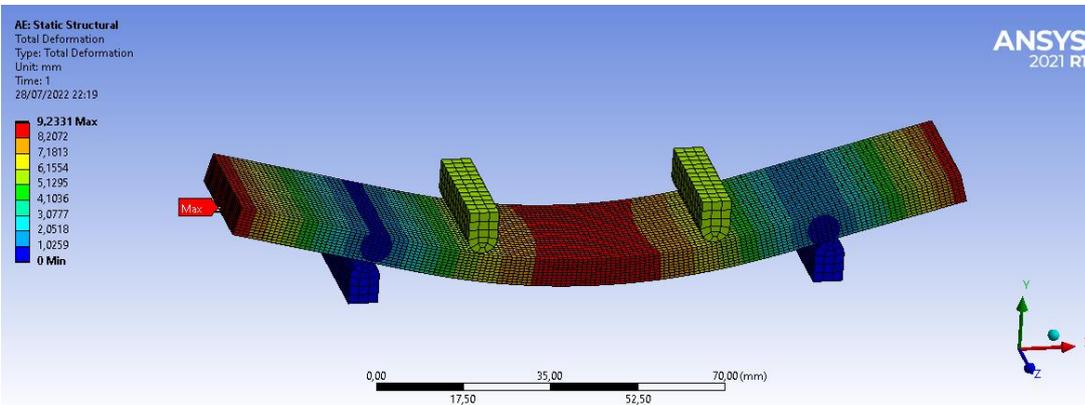
Flexural Stress Maksimum



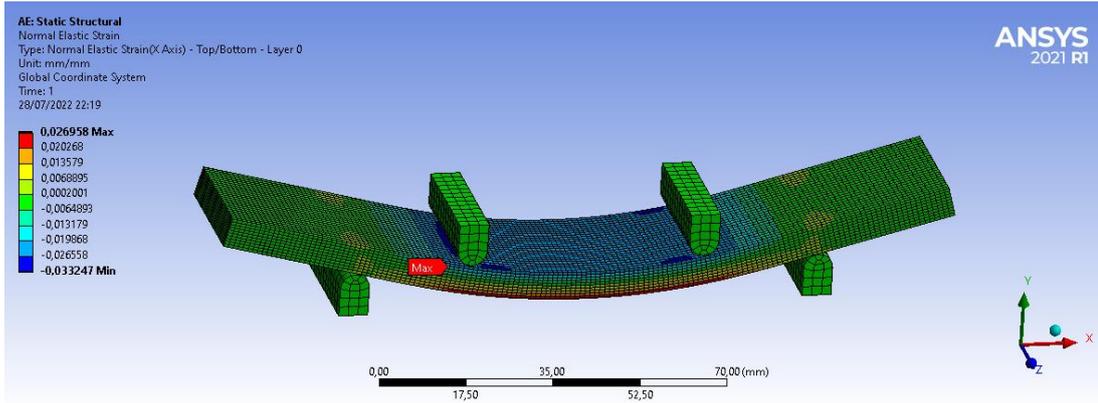
Flexural Stress Midspan



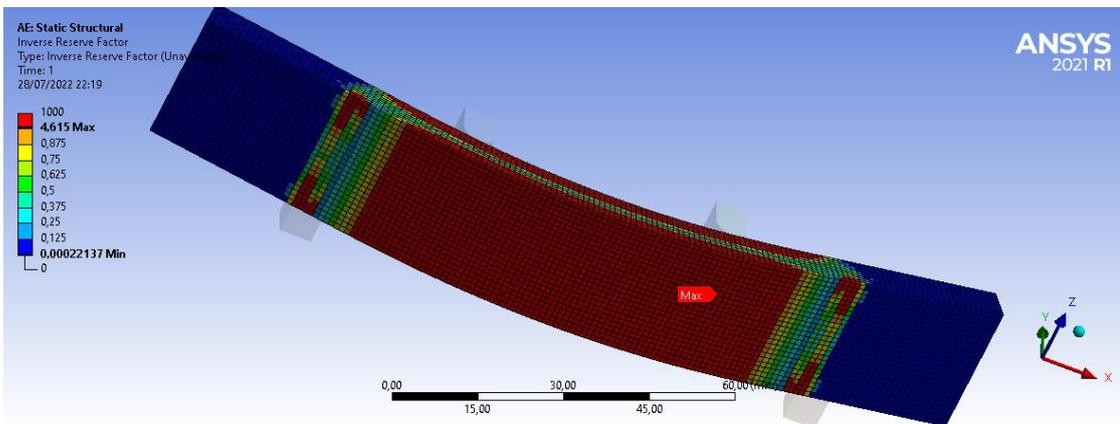
Shear Stress



Total Deformation

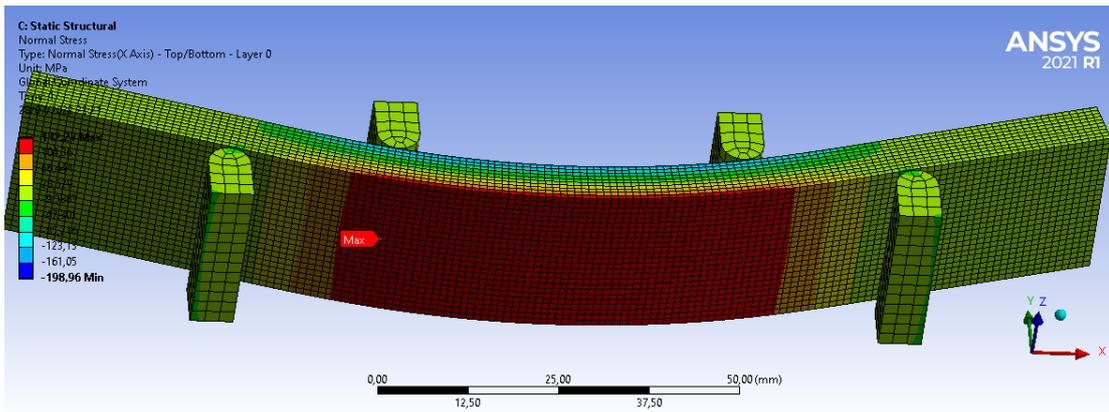


Flexural Strain

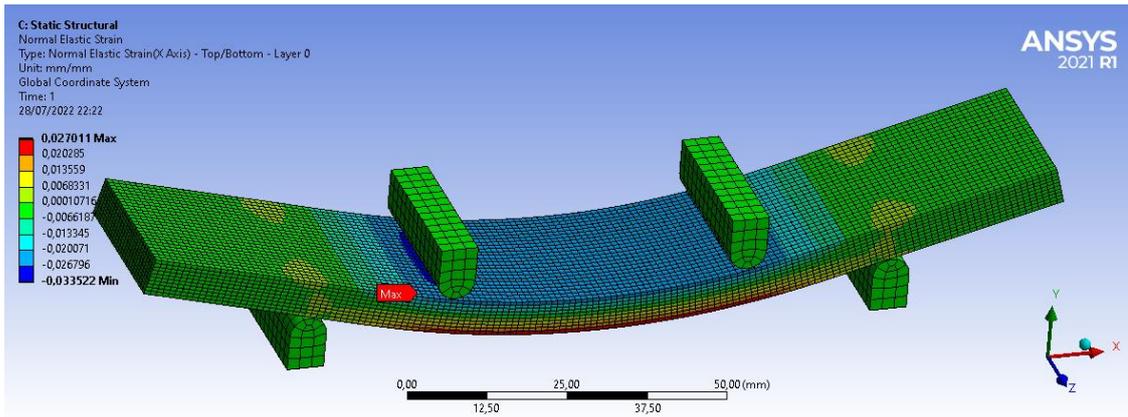


Inverse Reserve Factor

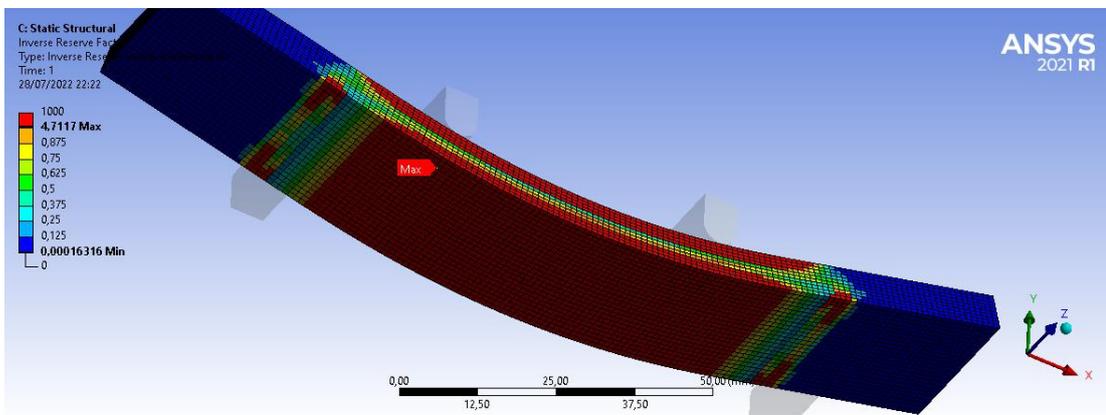
$[(0^\circ)_4/(45^\circ)_2/(0^\circ)_4]$



Flexural Stress Maksimum

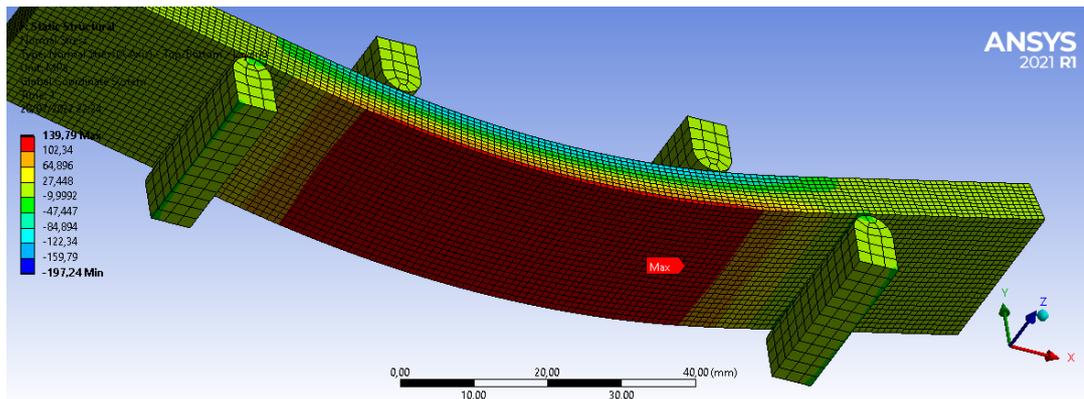


Flexural Strain

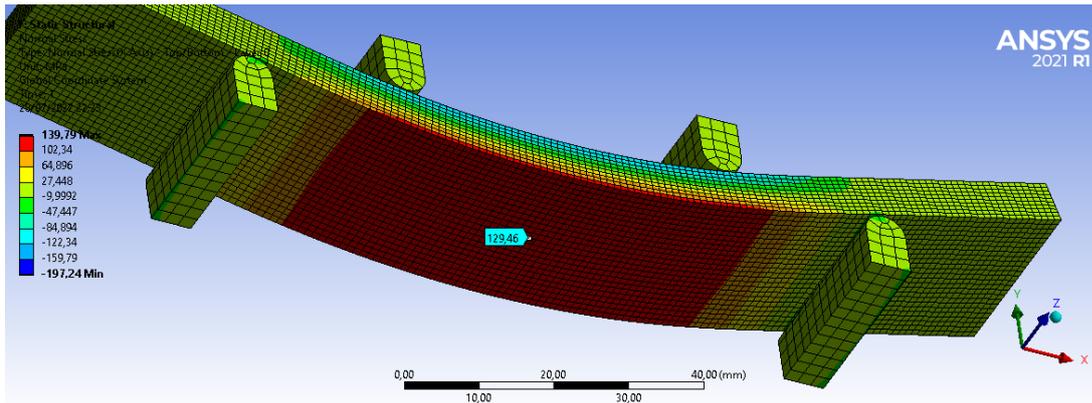


Inverse Reserve Factor

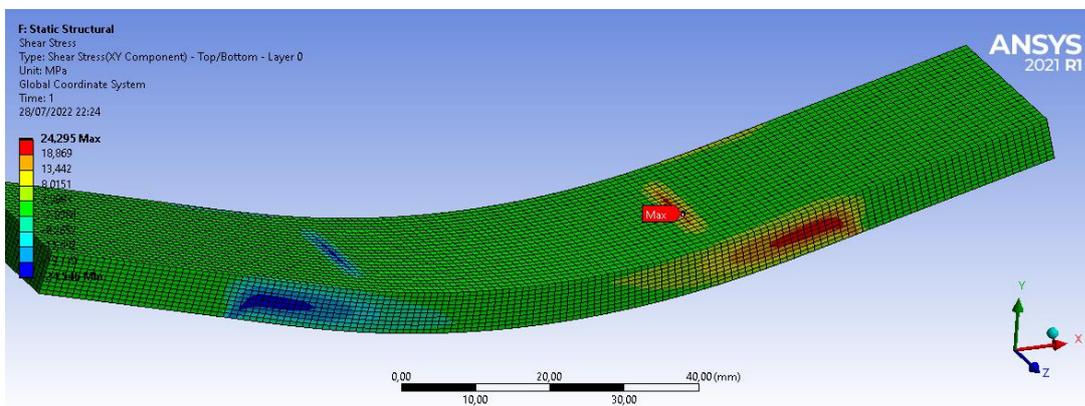
[(45°)2/(0°)2/(45°)2/(0°)2/(45°)2]



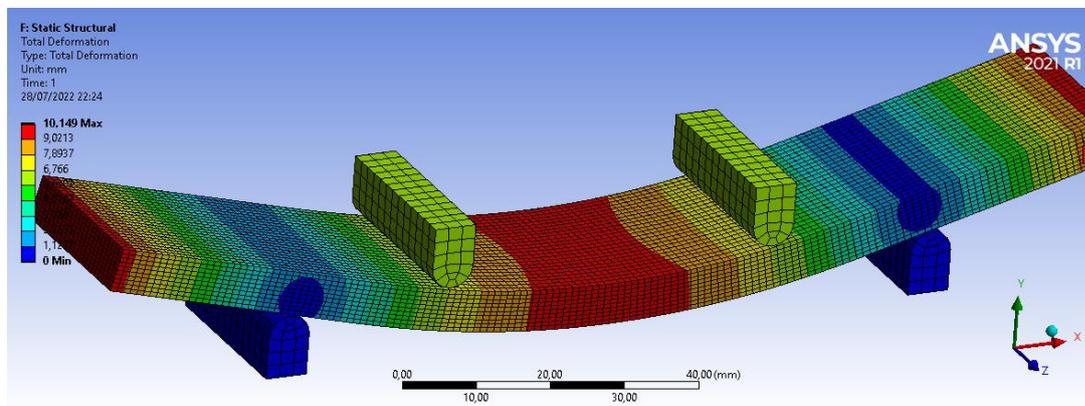
Flexural Stress Maksimum



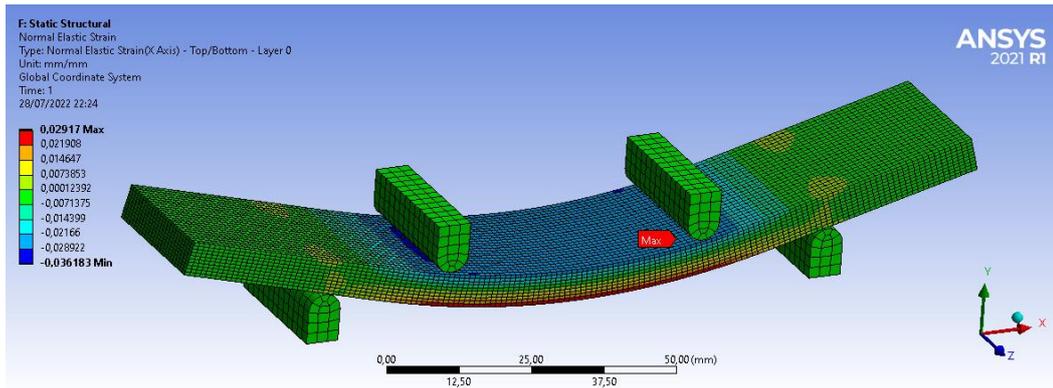
Flexural Stress Midspan



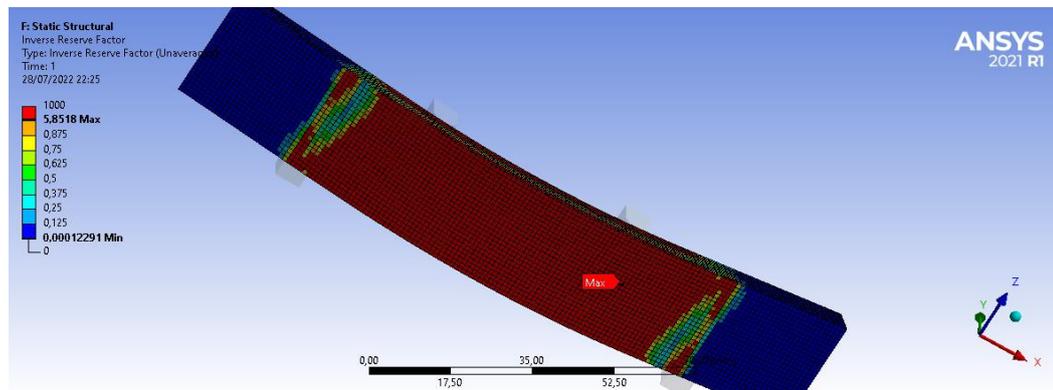
Shear Stress



Total Deformation

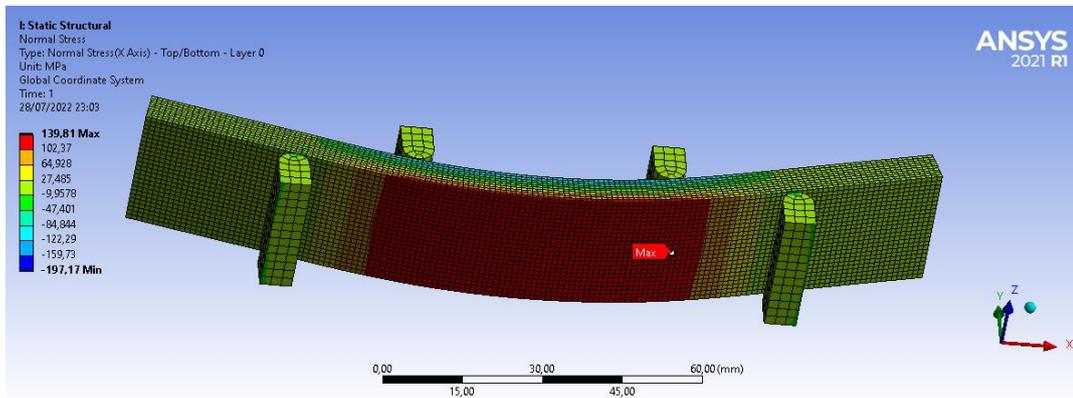


Flexural Strain

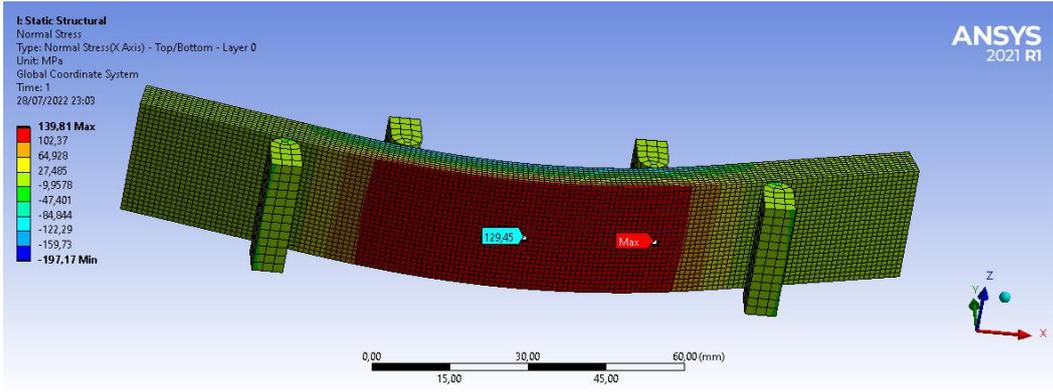


Inverse Reserve Factor

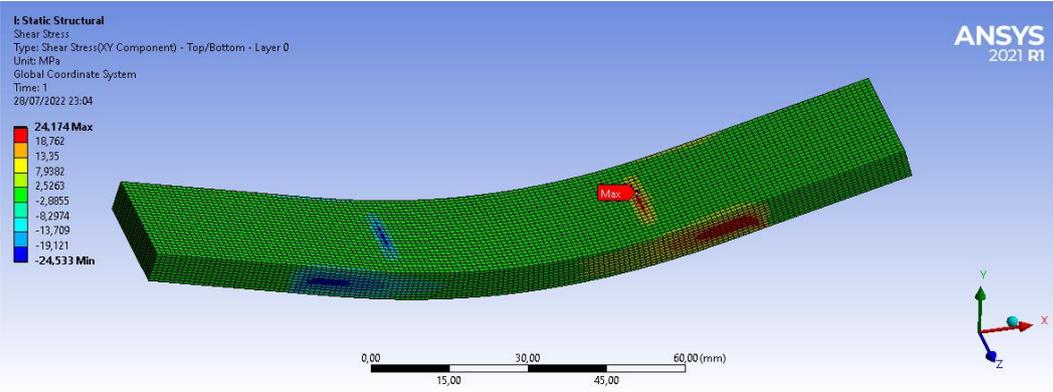
$$[(-45^\circ)^2/(0^\circ)^2/(45^\circ)^2/(0^\circ)^2/(-45^\circ)^2]$$



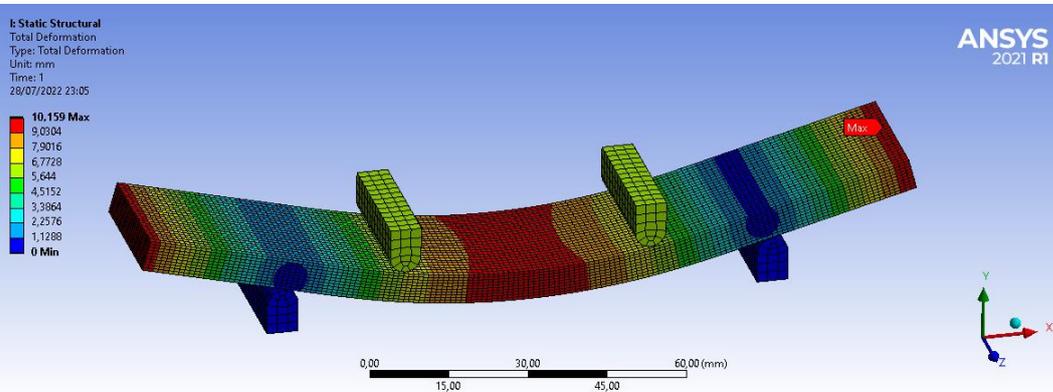
Flexural Stress Maksimum



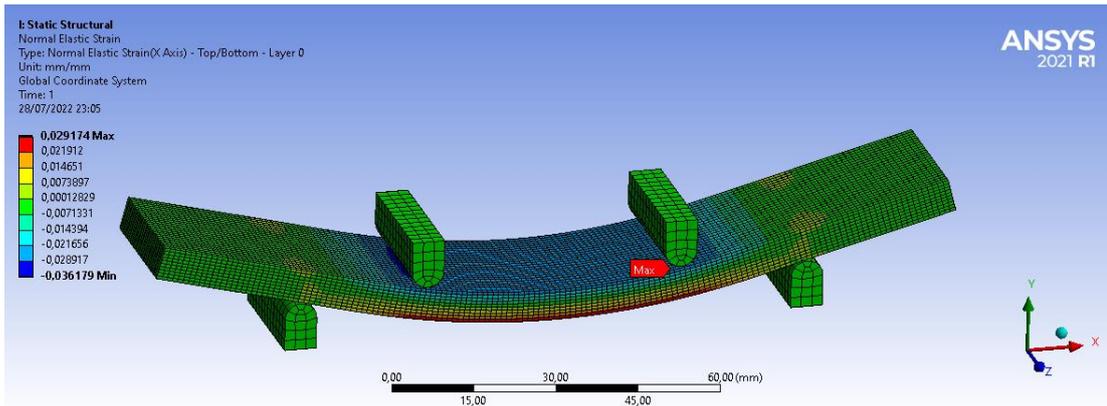
Flexural Stress Midspan



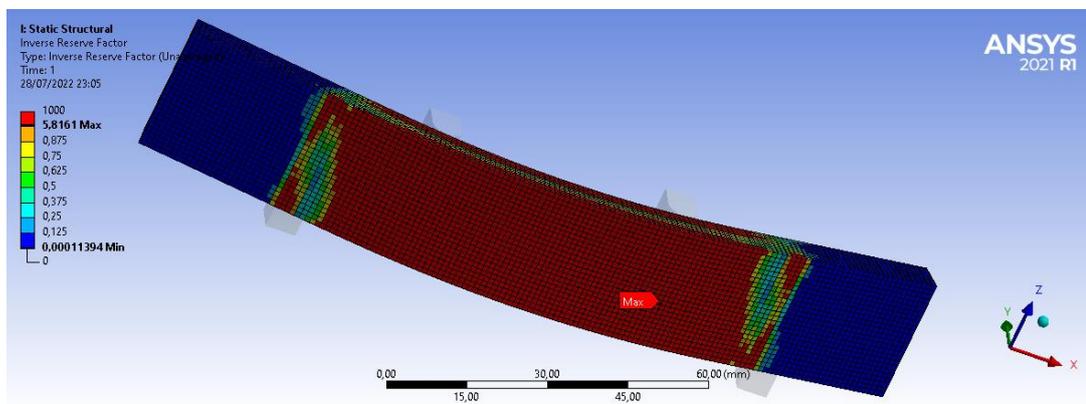
Shear Stress



Total Deformation

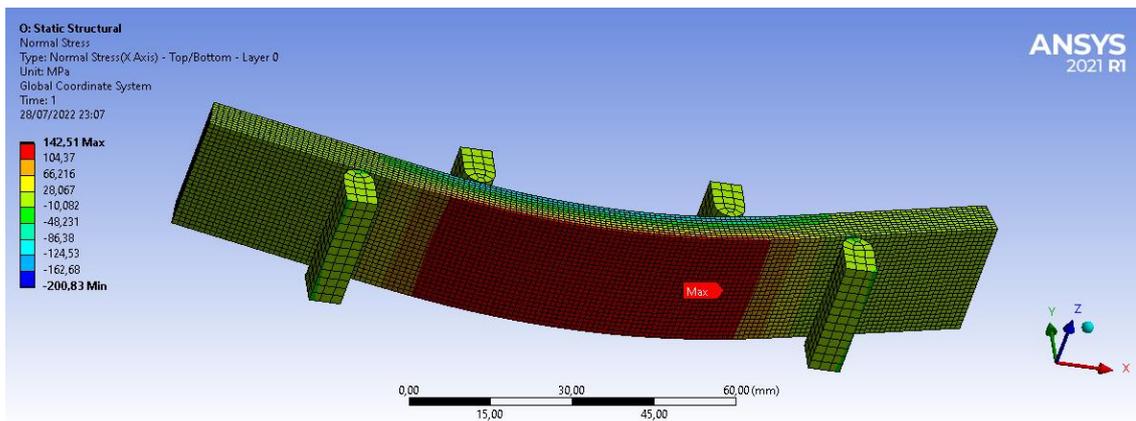


Flexural Strain

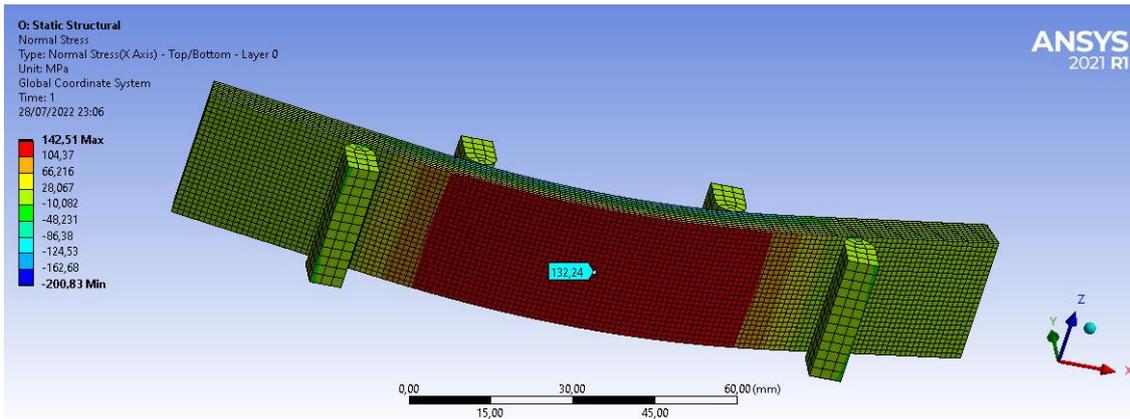


Inverse Reserve Factor

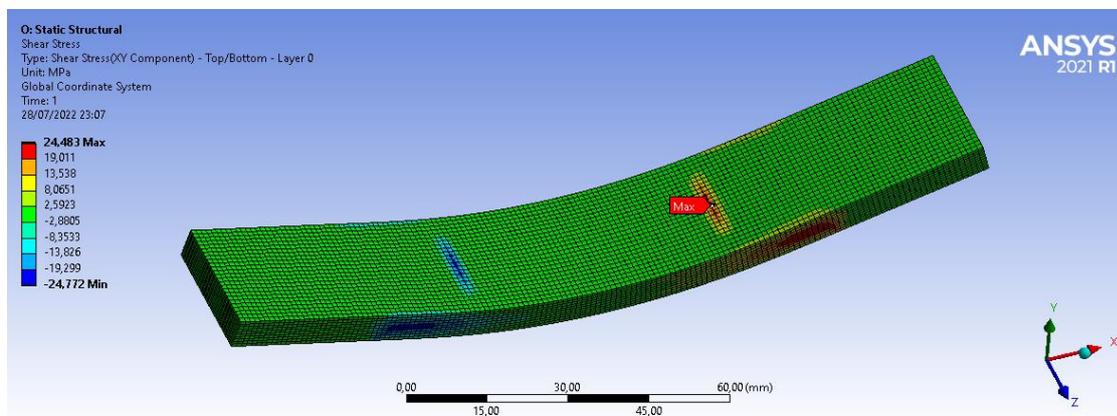
$$[(45^\circ)^2/(45^\circ)^2/(45^\circ)^2/(45^\circ)^2/(45^\circ)^2]$$



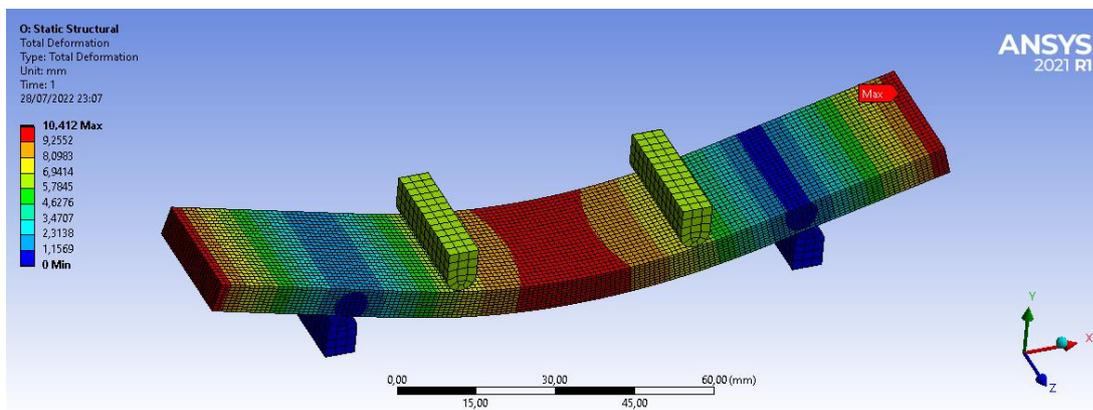
Flexural Stress Maksimum



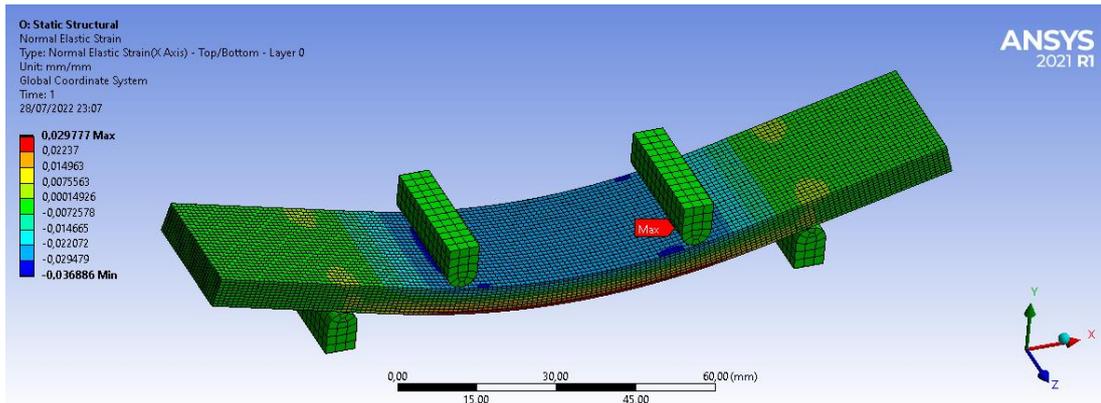
Flexural Stress Midspan



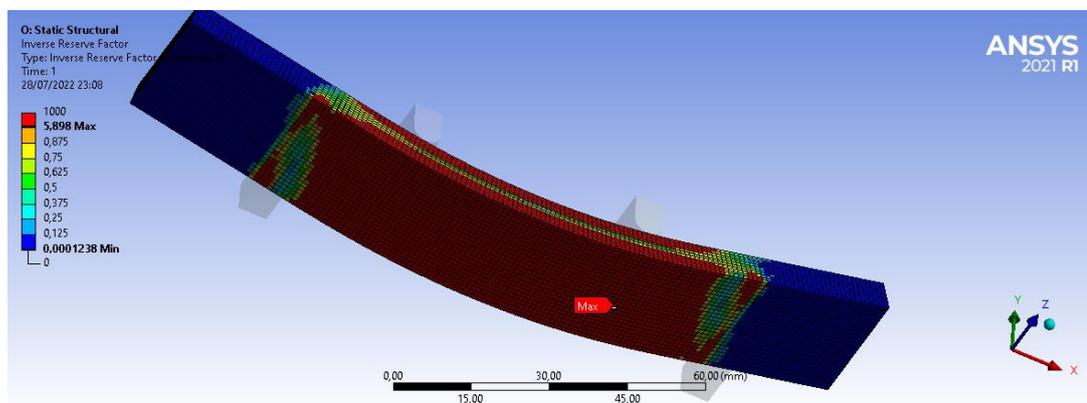
Shear Stress



Total Deformation

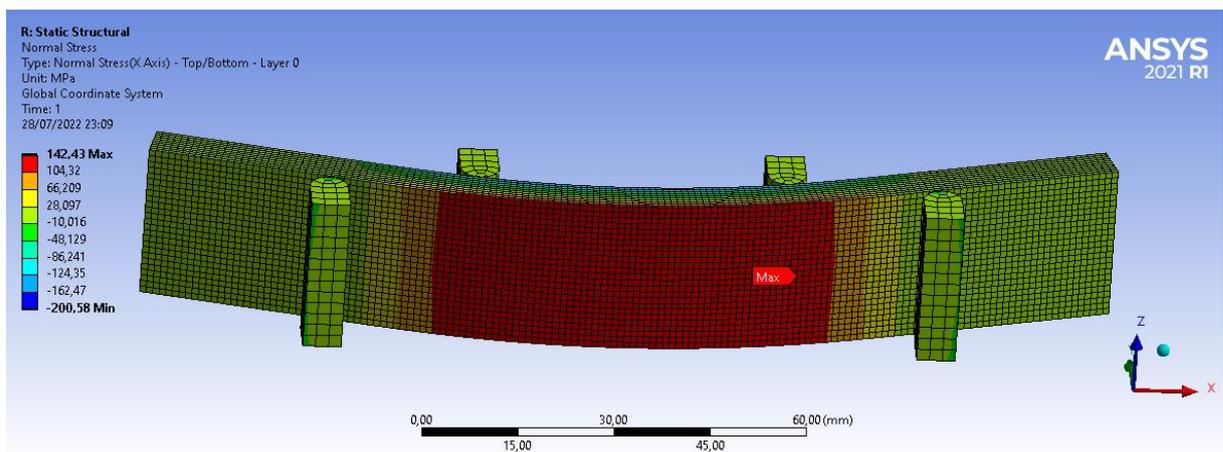


Flexural Strain

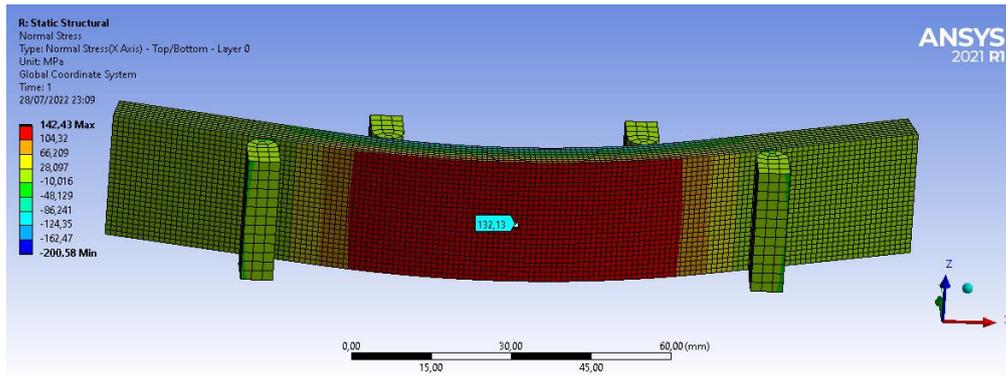


Inverse Reserve Factor

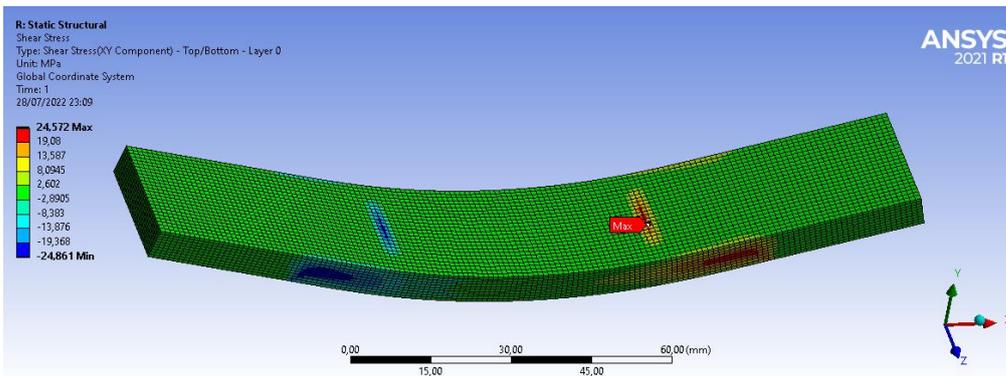
$[(45^\circ)^2/(45^\circ)^2/(0^\circ)^2/(45^\circ)^2/(45^\circ)^2]$ sudut 7



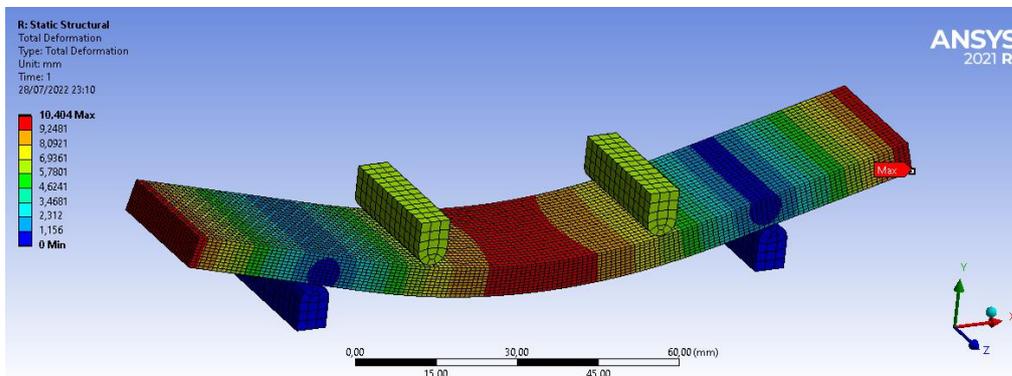
Flexural Stress Maksimum



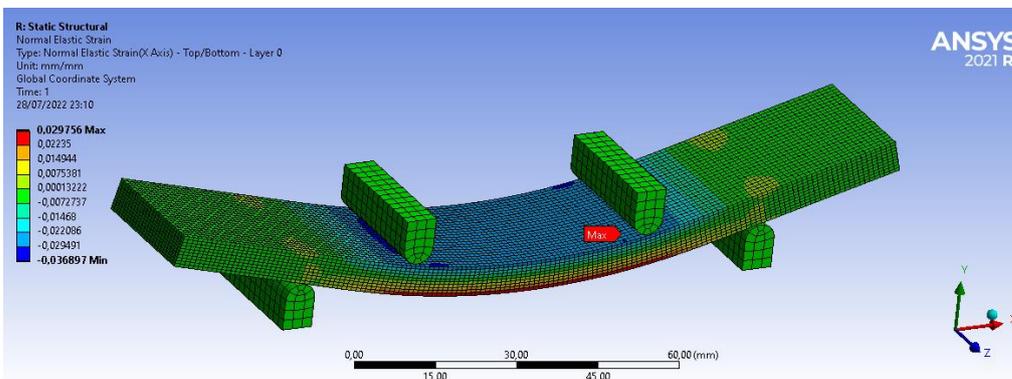
Flexural Stress Midspan



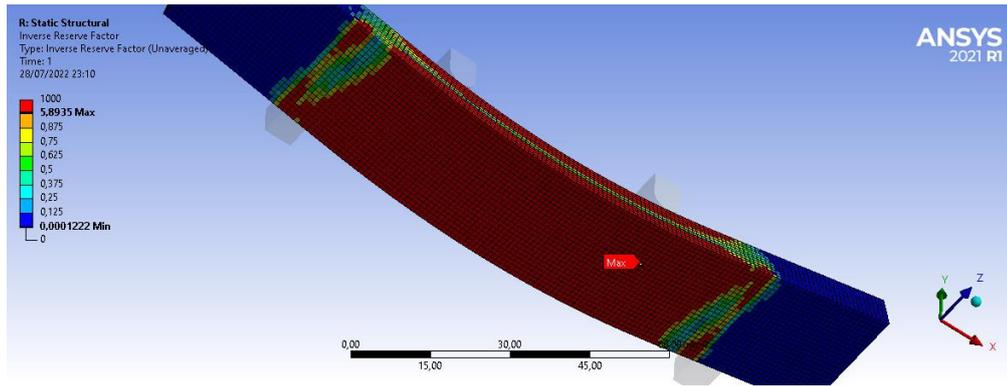
Shear Stress



Total Deformation

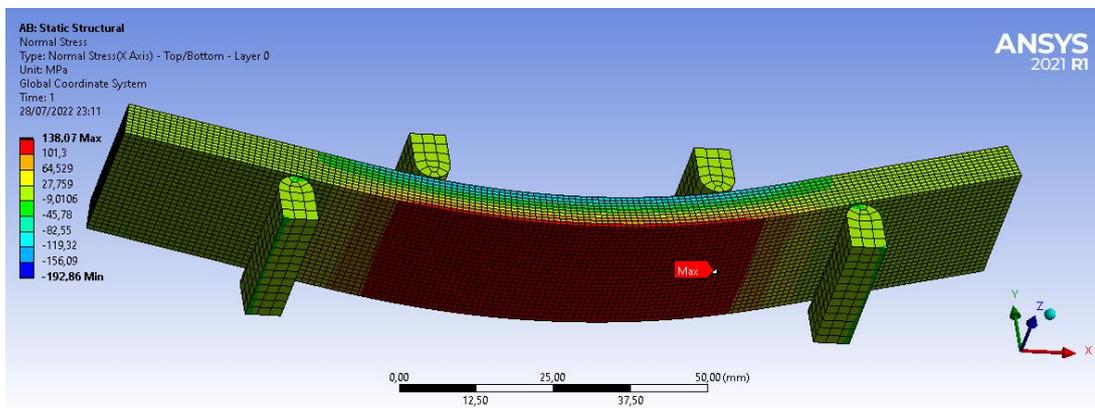


Flexural Strain

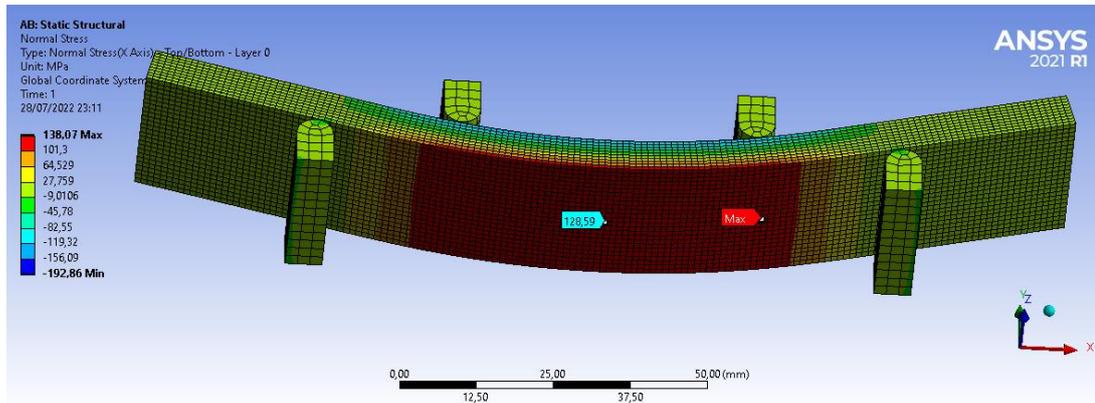


Inverse Reserve Factor

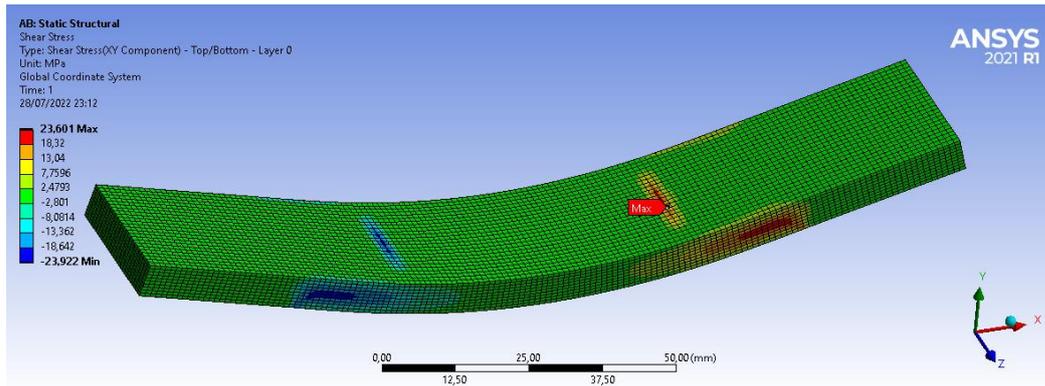
$[(90^\circ)^2/(0^\circ)^2/(90^\circ)^2/(0^\circ)^2/(90^\circ)^2]$ sudut 10



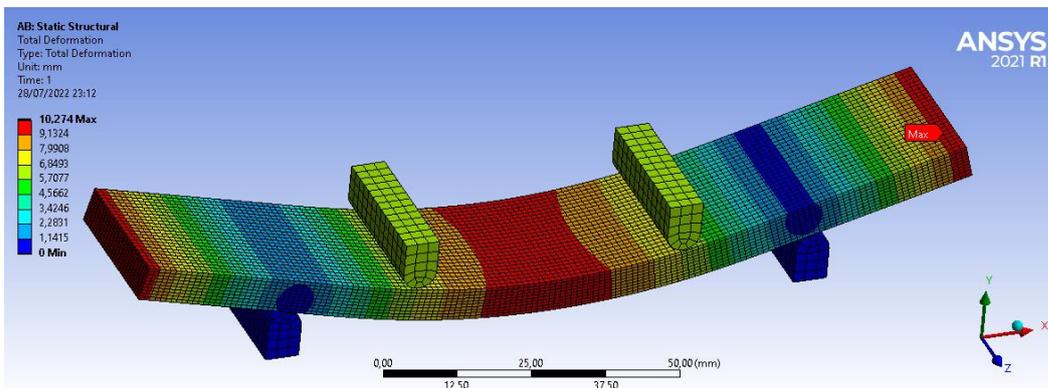
Flexural Stress Maksimum



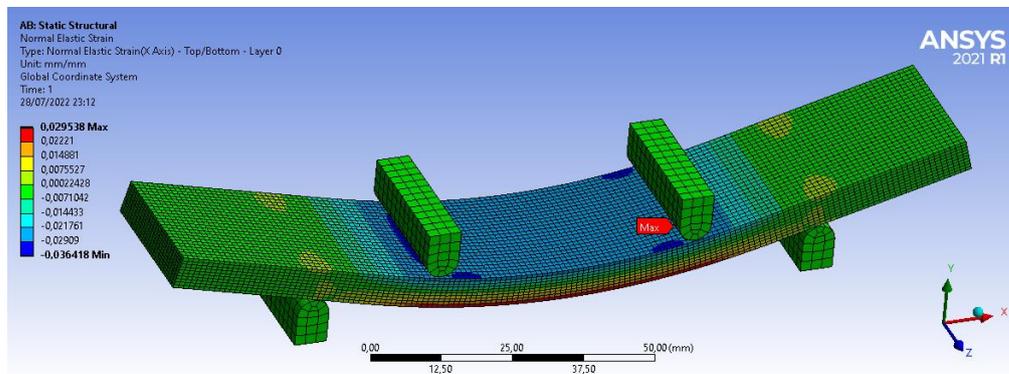
Flexural Stress Midspan



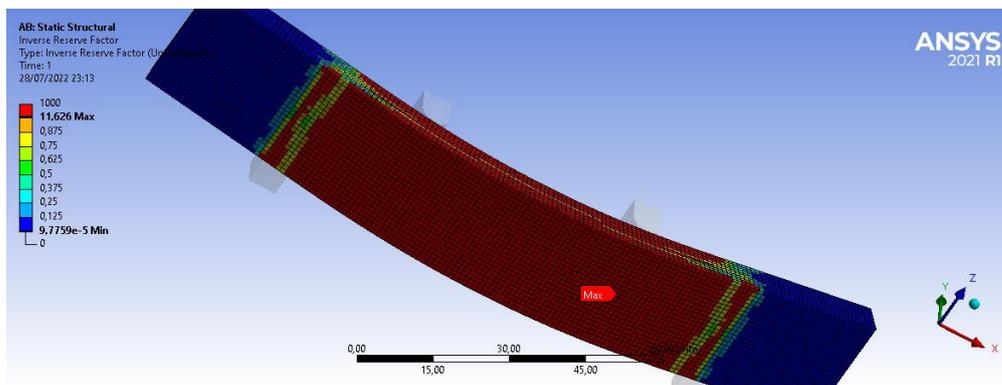
Shear Stress



Total Deformation



Flexural Strain



Inverse Reserve Factor

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Medan, 25 Oktober 1999 yang merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dari TK Melania II Jakarta, SD Don Bosco II Jakarta, SMP Don Bosco II Jakarta, dan SMAK 2 Penabur Jakarta. Setelah lulus dari SMAK 2 Penabur, Penulis melanjutkan Pendidikan di Departemen Teknik Mesin FT-IRS Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan terdaftar dengan NRP 02111840000169. Penulis aktif di bidang akademik dan non-akademik selama berkuliah di kampus. Pada bidang non akademik, Penulis aktif sebagai Kabiرو Kelembagaan di Departemen Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Mesin ITS. Pada bidang akademik, Penulis aktif mempelajari Bidang Studi Desain di Laboratorium Mekanika Benda Padat. Untuk informasi lebih lanjut mengenai penelitian ini beserta kritik dapat

menghubungi Penulis melalui

email: vv25101999@gmail.com.